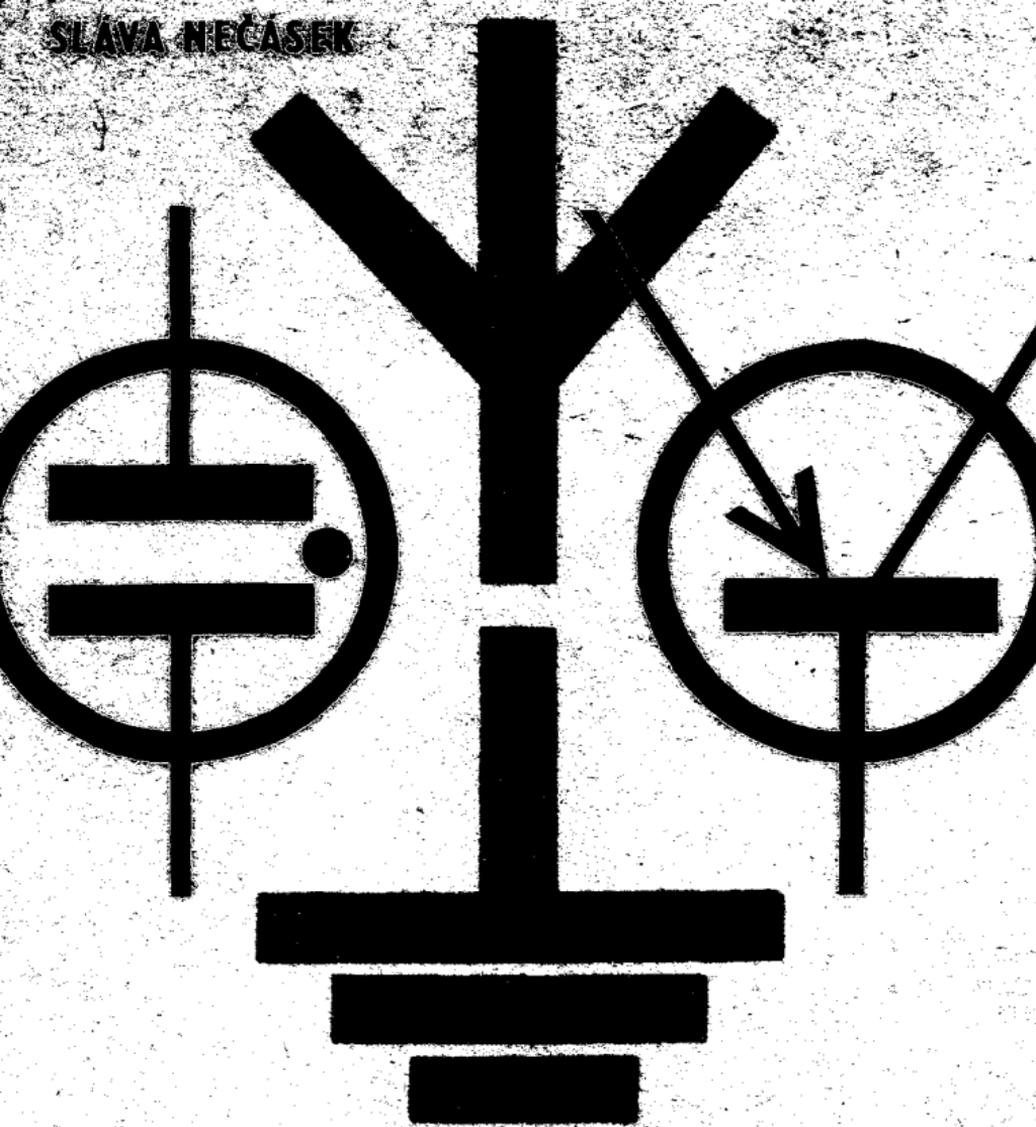


SLÁVA NEČASEK



**RADIOTECHNIKA  
DO KAPSY**



**Sláva Nečásek**

# **RADIOTECHNIKA do kapsy**

**Praha 1972**

**SNTL — Nakladatelství technické literatury**

Přehledná příručka, která podává základní poznatky z radiotechniky zcela přístupným způsobem, v níž lze nalézt základní vztahy i s jejich aplikacemi v praxi.

Kniha je určena radioamatérům, studentům a širokému okruhu zájemců o radiotechniku.

Lektoři: Ing. Vladimír Ševčík a Ing. Jiří Vackář, CSc.

Redakce elektrotechnické literatury —  
hlavní redaktor Ing. Dr. František Kašpar, DrSc.

<b>I. Základní elektrotechnické vztahy</b>	<b>9</b>
1. Stejnoseměrný proud	10
Ohmův zákon	10
Elektrický výkon	11
Kirchhoffovy zákony	13
Joulův zákon	14
2. Střídavý proud	15
Kmitočet, doba kmitu (perioda)	15
Odpor v obvodech se střídavým proudem	16
Ohmův zákon pro střídavý proud	17
Střídavý proud sinusového průběhu	18
Trojfázový proud	20
3. Napětí elektrických zdrojů	21
4. Elektrický odpor	22
Odpor kovových materiálů	22
Závislost odporu na teplotě	24
Spojování odporů	26
5. Kondenzátory. Kapacita	31
Výpočet kapacity kondenzátoru	32
Spojování kondenzátorů	35
Energie kondenzátoru	37
Kapacitní reaktance	38
6. Cívky. Indukčnost	40
Spojování indukčností	41
Vzájemná indukčnost	42
Energie indukčnosti	45
Induktivní reaktance	45
7. Reaktance jako předřadný odpor	46
Reaktance obvodů $RC$	51
8. Rezonanční obvody $LC$	55
Součiny $LC$	57

Kmitočet, délka vlny . . . . .	60
Impedance obvodů <i>LC</i> . . . . .	65
Elektrická jakost obvodů . . . . .	67
Přechodné jevy v obvodech <i>RC</i> a <i>RL</i> . . . . .	71
Značení odporů, kondenzátorů a potenciometrů . . . . .	76
Vliv tolerance hodnot . . . . .	79
<b>II. Výpočet součástí a jednoduchých obvodů . . . . .</b>	<b>82</b>
9. Odporové děliče . . . . .	82
Zatížení jednotlivých odporů . . . . .	85
10. Výpočet indukčnosti . . . . .	87
Železová jádra . . . . .	92
Feritová jádra . . . . .	96
Vinutí se železným jádrem . . . . .	102
Přitažlivá síla elektromagnetu . . . . .	106
11. Úprava relé pro jiné napětí . . . . .	107
12. Ladicí obvody přijímačů . . . . .	110
13. Souběh . . . . .	113
14. Výpočet oscilátoru . . . . .	114
15. Materiály na železná jádra . . . . .	118
Určení optimální vzduchové mezery . . . . .	120
Střední délka silové čáry . . . . .	125
Délka středního závitu . . . . .	128
16. Zatížitelnost neznámých tlumivek . . . . .	130
17. Výstupní, vstupní a budicí transformátory . . . . .	131
Návrh výstupního transformátoru . . . . .	133
Návrh dvojčinného výstupního transformátoru . . . . .	136
Návrh vstupního transformátoru . . . . .	141
Transformátory vazební a budicí . . . . .	146
18. Síťový transformátor . . . . .	150
19. Autotransformátor . . . . .	163
Návrh autotransformátoru . . . . .	164
20. Usměrňovač s výstupní kapacitou . . . . .	171
21. Usměrňovač s výstupní indukčností . . . . .	176
Kontrola velikosti plechů . . . . .	178
Úbytky napětí na vinutí . . . . .	178
Konstrukce transformátorků . . . . .	180
22. Zdvojovače a násobiče napětí . . . . .	184
23. Zvlnění usměrněného napětí . . . . .	188
24. Filtrační obvody . . . . .	192

25. Dvojité filtry . . . . .	197
26. Speciální filtry . . . . .	200
27. Stabilizátory napětí . . . . .	201
Stabilizátor s doutnavkou . . . . .	202
Stabilizátor se Zenerovou diodou . . . . .	206
28. Elektronky . . . . .	208
Zesílení (zisk) elektronek . . . . .	212
Obvody <i>RC</i> v zesilovači . . . . .	215
Kmitočtová korekce koncového stupně . . . . .	226
Nf záporná zpětná vazba . . . . .	228
Katodový sledovač . . . . .	233
29. Tranzistory . . . . .	236
Parametry tranzistorů . . . . .	236
Zapojení se společnou bází a společným emitorem . . . . .	238
Proudové tranzistorových elektrod . . . . .	240
Teplotní stabilizace . . . . .	243
Zesílení tranzistorového stupně . . . . .	245
Mezní kmitočty tranzistorů . . . . .	247
Nf tranzistorové stupně v odporové vazbě . . . . .	249
Výkonové stupně . . . . .	251
Přídavné chlazení . . . . .	252
Zatěžovací odpor výkonových stupňů . . . . .	254
30. Určení vývodů a polarity neznámých tranzistorů a diod . . . . .	257
31. Rozvod energie k reproduktorům . . . . .	261
32. Elektrické vyhýbky pro reproduktorové kombinace . . . . .	263
33. Antény vkv a antény tv . . . . .	267
Impedance dipólu . . . . .	269
Jednoduché antény pro I. až III. pásmo . . . . .	269
Jednoduché antény pro IV. a V. pásmo . . . . .	270
Složený dipól s reflektorem a direktorem pro I. až III. pásmo . . . . .	270
Složený dipól s reflektorem a direktorem pro IV. a V. pásmo . . . . .	271
Vnitřní a náhražkové antény . . . . .	273
34. Vzdálenost diváka od televizoru . . . . .	277
35. Určení odporu měřicího přístroje . . . . .	279
36. Zvětšení rozsahu měřicího přístroje . . . . .	281
37. Oprava chyby měření . . . . .	288
38. Jednoduchá měření součástek . . . . .	289
Měření odporů . . . . .	289
Měření kondenzátorů . . . . .	292
Měření indukčností . . . . .	295

39. Úroveň, zisk, útlum . . . . .	297
40. Zatížitelnost plošných spojů . . . . .	302
41. Tavný proud vodičů . . . . .	303
42. Značení elektronek . . . . .	304
43. Značení diod, tranzistorů a tyristorů . . . . .	306
44. Barevný kód . . . . .	308
<b>III. Dodatek . . . . .</b>	<b>316</b>
45. Počet s mocninami a logaritmy . . . . .	316
Mocniny . . . . .	316
Počítání s logaritmy . . . . .	319
46. Zákonné měrové jednotky . . . . .	323
Logaritmické tabulky . . . . .	324
Základní měrové jednotky soustavy SI . . . . .	327
Násobky a díly jednotek . . . . .	328
Elektrické a magnetické veličiny a jednotky . . . . .	333
47. Nemetrické míry a váhy . . . . .	336
48. Převod teplotních stupnic . . . . .	337
49. Předvrtání otvorů pro závity . . . . .	341
50. Praktické tabulky . . . . .	342
Hrací doba magnetofonových pásek . . . . .	342
Televizní kanály I. až V. pásma podle normy OIRT . . . . .	343
Zatížitelnost šňůr s pryžovou izolací a pryžovým pláštěm . . . . .	343
Římské číslice . . . . .	345
Řecká abeceda . . . . .	345
<b>Rejstřík . . . . .</b>	<b>347</b>

# I. ZÁKLADNÍ ELEKTROTECHNICKÉ VZTAHY

Vzorce a rovnice v této příručce jsou upraveny podle ČSN 34 5571 a zvyklostí československé technické literatury: Příslušné jednotky se uvádějí vpravo v hranaté závorce, postupně odleva doprava, popřípadě nejprve v čitateli, potom ve jmenovateli zlomku. Levá strana rovnice se od pravé strany rovnice odděluje středníkem. Vzorce se pořadově číslijí zcela vpravo v kulaté závorce.

Příklad:

$$U = IR \quad [V; A, \Omega] \quad (1)$$

Znak násobení — křížek nebo tečka — se obvykle vynechává (pokud to nenarušuje srozumitelnost).

Většinou jsou uvedeny základní fyzikální jednotky (volty, ampéry, farady, henry apod.). Někdy je to ovšem nepohodlné, máme-li dané veličiny ve zlomcích nebo násobcích jednotek (miliampéry, kiloohmy). V tom případě vzorec doplníme příslušnými činiteli — mocninami deseti podle čl. 46. Všechny jednotky se ovšem musí dosazovat ve správném poměru, aby se platnost původního vzorce nenarušila, např.

$$P = \frac{U^2}{R} \quad [W; V, \Omega] \text{ nebo } [mW; V, k\Omega] \quad (15)$$

Stejné pravidlo platí i pro jiné vztahy.

# 1. Stejnoseměrný proud

**Ohmův zákon** (obr. 1a) vyjadřuje závislost mezi napětím  $U$ , proudem  $I$  a odporem  $R$ . Početní vztahy pro

a) napětí

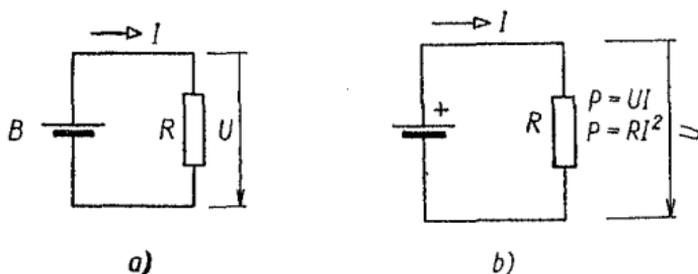
$$U = IR \quad [\text{V}; \text{A}, \Omega] \text{ nebo } [\text{V}; \text{mA}, \text{k}\Omega] \quad (1)$$

b) proud

$$I = \frac{U}{R} \quad [\text{A}; \text{V}, \Omega] \text{ nebo } [\text{mA}; \text{V}, \text{k}\Omega] \quad (2)$$

c) odpor

$$R = \frac{U}{I} \quad [\Omega; \text{V}, \text{A}] \text{ nebo } [\text{k}\Omega; \text{V}, \text{mA}] \quad (3)$$



Obr. 1. a) Základní elektrický obvod a jeho veličiny, b) k výpočtu elektrického výkonu

## Příklady:

1. Jaký odpor  $R$  potřebujeme, aby na něm při průchodu proudem  $I = 30 \text{ mA}$  vznikl úbytek napětí  $U = 1,5 \text{ V}$ ?

Podle vztahu (3)

$$R = \frac{1,5}{30} = 0,05 \text{ k}\Omega = 50 \Omega$$

Zde je výhodnější počítat se základními jednotkami

$$R = \frac{1,5}{0,03} = 50 \Omega$$

2. Na plochou baterii o napětí 4,5 V je zapojen odpor  $R = 1,5 \text{ k}\Omega$ . Jak velký proud jím prochází?

Dosazením do vztahu (2) zjistíme

$$I = \frac{4,5}{1,5} = 3 \text{ mA}$$

3. Odpořem  $R = 600 \Omega$  prochází proud  $I = 0,02 \text{ A}$ . Jak velký úbytek napětí na odporu vznikne?

Podle vztahu (1)

$$U = 0,02 \cdot 600 = 12 \text{ V}$$

**Elektrický výkon** (obr. 1b). Součin elektrického proudu  $I$  a napětí  $U$  dává elektrický výkon  $P$ ; jednotkou výkonu je 1 watt [W]. Výkon  $P$  určíme

a) z napětí  $U$  a proudu  $I$  ze vztahu

$$P = UI \quad [\text{W}; \text{V}, \text{A}] \quad (4)$$

b) z napětí  $U$  a odporu  $R$  spótrebiče ze vztahu

$$P = \frac{U^2}{R} \quad [\text{W}; \text{V}, \Omega] \quad (5)$$

c) z odporu  $R$  a proudu  $I$  (neznáme-li napětí) ze vztahu

$$P = RI^2 \quad [\text{W}; \Omega, \text{A}] \quad (6)$$

Opáčně lze z výkonu  $P$  zjistit

a) napětí

$$U = \frac{P}{I} = \sqrt{PR} \quad [\text{V}; \text{W}, \text{A}; \text{W}, \Omega] \quad (7)$$

b) proud

$$I = \frac{P}{U} = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad [\text{A}; \text{W}, \text{V}; \text{W}, \Omega] \quad (8)$$

c) odpor

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{P}{I^2} \quad [\Omega; V, W; W, A] \quad (9)$$

Také u těchto vztahů lze dosazovat s použitím převodních mocností i násobky nebo zlomky jednotek (např. mW, kΩ aj.).

Tab. 1. Přehled vztahů  $U$ ,  $I$ ,  $R$  a  $P$   
(základní jednotky)

Napětí	$U = IR = \frac{P}{I} = \sqrt{P \cdot R}$
Proud	$I = \frac{U}{R} = \frac{P}{U} = \sqrt{P/R}$
Odpor	$R = \frac{U}{I} = \frac{U^2}{P} = \frac{P}{I^2}$
Výkon	$P = UI = \frac{U^2}{R} = I^2 R$

*Příklady:*

1. V katodě koncové pentody EL84 je zařazen odpor  $R = 200 \Omega$ , kterým prochází katodový proud  $I = 42 \text{ mA}$ . Na jaký výkon musí být tento odpor navržen?

Podle vztahu (6)

$$P = 200 \cdot 0,042^2 = 200 \cdot 1,764 \cdot 10^{-3} = 0,353 \text{ W}$$

Vzhledem k oteplení použijeme odporu pro zatížení 0,5 W.

2. Žárovka 25 W je zapojena na síť o napětí 220 V. Jaký proud jí prochází?

Ze vztahu (8) zjistíme

$$I = \frac{25}{220} = 0,114 \text{ A}$$

**Kirchhoffovy zákony** vyjadřují vztahy mezi napětími, proudy a odpory v uzavřeném elektrickém obvodu.

*I. Kirchhoffův zákon.* V proudovém uzlu je algebraický součet (tj. s ohledem na jejich znaménka) proudů roven nule (obr. 2)

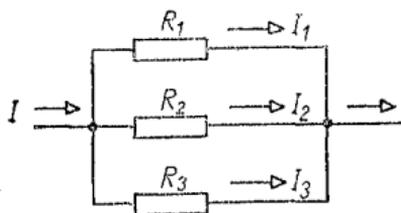
$$I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0 \quad [\text{A}] \quad (10)$$

neboli

$$\sum_{x=1}^n I_x = 0 \quad [\text{A}] \quad (11)$$

kde symbol  $\sum$  čteme suma, tj. součet hodnot označených indexem od 1 do  $n$ .

(Znaménka proudů udávají jejich směr, např.  $+I$  jdou směrem k uzlu, proudy značené  $-I$  směrem od uzlu.)



Obr. 2. I. Kirchhoffův zákon

*II. Kirchhoffův zákon.* V uzavřeném obvodu je algebraický součet všech napětí jednotlivých větví (spotřebičů) roven algebraickému součtu napětí zdrojů.

$$\sum_{x=1}^n R_x I_x = \sum_{y=1}^n U_y \quad [\Omega; \text{A}; \text{V}] \quad (12)$$

(napětím jednotlivých větví rozumíme součin  $RI$ , tj. napětí na odporech).

Často je výhodnější používat místo odporu  $R$  jeho vodivosti  $G$ , tj. převrácené hodnoty odporu.

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U} \quad [\text{S}; \Omega; \text{A}, \text{V}] \quad (13)$$

Opačně je odpor převrácenou hodnotou vodivosti

$$R = \frac{1}{G} \quad [\Omega; \text{S}] \quad (14)$$

kde  $G$  je vodivost,  
 $R$  odpor,  
 $I$  proud,  
 $U$  napětí.

*Příklady:*

1. Síťová část přijímače napájí vstupní elektronky anodovým proudem 25 mA a koncový stupeň odebírá 40 mA. Jaký proud dodává usměrňovač?

Podle vztahu (11) je

$$\Sigma I = 25 + 40 = 65 \text{ mA}$$

2. Máme nahradit v přijímači se sériovým žhavením starou elektronku CF7 (žhavicí proud  $I = 0,2$  A, napětí  $U = 13$  V) typem 12F31 (proud  $I = 0,15$  A, napětí  $U = 12,6$  V). Jaké úpravy vyžaduje sériový žhavicí obvod?

Malý rozdíl napětí 0,4 V můžeme zanedbat. Rozdíl proudů je však nutné vyrovnat paralelním připojením odporu k vláknu elektronky s menším proudem. Podle (13) určíme vodivost vláken obou elektrod:  $G_1 = \frac{0,2}{13} = 0,01538$  S; vodivost nové elektronky  $G_2 = \frac{0,15}{13} = 0,01154$  S. Vodivost potřebného odporu je rozdílem obou vodivostí

$$G_R = G_1 - G_2 \quad [\text{S}] \quad (15)$$

Po dosazení získaných údajů do (15) dostaneme  $G_R = 0,01538 - 0,01154 = 0,00384$  S. Z toho podle vztahu (13b) najdeme potřebnou velikost paralelního odporu k žhavicímu vláknu elektronky 12F31

$$R = \frac{1}{0,00384} \doteq 260 \Omega$$

**Joulův zákon.** Prochází-li proud vodičem (odporem), vzniká teplo. Množství tepla  $Q$  závisí na čase  $t$ , proudu  $I$  a odporu vodiče  $R$ , resp. napětí  $U$  podle vztahu

$$Q = UIt \quad [\text{J}; \text{V}, \text{A}, \text{s}] \quad (16)$$

nebo

$$Q = I^2Rt \quad [\text{J}; \text{A}, \Omega, \text{s}] \quad (17)$$

popř.

$$Q = \frac{U^2 t}{R} \quad [\text{J}; \text{V}, \text{s}, \Omega] \quad (18)$$

Jednotkou množství tepla je 1 joule (J) — čti džaul. Ostatní jednotky i veličiny v těchto vztazích známe. Starší jednotkou pro množství tepla je kalorie (cal); platí

$$\begin{aligned} 1 \text{ cal} &= 4,186 \text{ J} \\ 1 \text{ J} &= 0,239 \text{ cal} \end{aligned}$$

*Příklady:*

1. Topným tělískem o odporu  $300 \Omega$  prochází při napětí  $60 \text{ V}$  proud  $I = 0,2 \text{ A}$ . Jaké množství tepla vydá tělísko za hodinu? ( $1 \text{ h} = 3\,600 \text{ s}$ .) Podle vztahu (16) vznikne tepelné množství

$$Q = 60 \cdot 0,2 \cdot 3\,600 = 43\,200 \text{ J} = 43,2 \text{ kJ}.$$

2. Páječka na napětí  $220 \text{ V}$  odebírá proud  $I = 0,15 \text{ A}$ . Jaké množství tepla vydá za 10 minut?

Odpor topného tělíska

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0,15} = 1\,467 \Omega$$

$10 \text{ min} = 600 \text{ s}$ . Ze vztahu (18) zjistíme

$$Q = \frac{220^2 \cdot 600}{1\,467} = 19\,862 \text{ J} = 19,862 \text{ kJ}$$

## 2. Střídavý proud

Střídavý proud mění s časem svůj směr i velikost, periodicky, tj. opakovaně v pravidelných časových úsecích.

**Kmitočet. Doba kmitu (perioda).** Počet kmitů střídavého napětí nebo proudu

$$f = \frac{1}{T} \quad [\text{Hz}; \text{s}] \quad (19)$$

Doba trvání jednoho kmitu

$$T = \frac{1}{f} \quad [\text{s}; \text{Hz}] \quad (20)$$

kde  $f$  je kmitočet,  
 $T$  doba kmitu.

*Příklady:*

1. Střídavý proud o 2 000 kmitcích za 1 sekundu má kmitočet  $f = 2\,000$  Hz.

2. Doba jednoho kmitu při kmitočtu  $f = 500$  Hz podle (20)

$$T = \frac{1}{500} = 0,002 \text{ s} = 2 \text{ ms (milisekundy)}$$

*Úhlový kmitočet* střídavého proudu sinusového průběhu

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad [\text{rad/s}; \text{Hz}] \quad (21)$$

kde  $\omega$  je úhlový kmitočet v radiánech za sekundu,  
 $\pi$  Ludolfovo číslo = 3,1416.

*Příklad:*

Jaký je úhlový kmitočet střídavého proudu o kmitočtu  $f = 1\,000$  Hz?

Podle vztahu (21)

$$\omega = 6,28 \cdot 1\,000 = 6\,280 \text{ rad/s}$$

**Odpor v obvodech se střídavým proudem.** Pro střídavý proud platí stejné zákony jako pro proud stejnosměrný (Ohmův, Kirchhoffovy, Joulov aj.). Kromě činného (ohmického) odporu  $R$  je nutné v obvodech střídavého proudu uvažovat ještě reaktanci  $X$  (kapacitní  $X_C$  nebo induktivní  $X_L$ ) neboli jalový odpor a dále zdánlivý odpor, tzv. impedance  $Z$ . Jím odpovídají zdánlivá vodivost, tzv. admitance  $Y$

(převrácená hodnota impedance), resp. kapacitní nebo induktivní vodivost  $B$ .

a) *Kapacitní reaktanci* vypočítáme ze vztahu

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad [\Omega; \text{F}, \text{Hz}] \quad (22)$$

b) *Induktivní reaktanci* vypočítáme ze vztahu

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \quad [\Omega; \text{H}, \text{Hz}] \quad (23)$$

c) *Impedance* (zdánlivý odpor)

Při sériovém spojení činného odporu, indukčnosti a kapacity je její velikost

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad [\Omega; \Omega, \text{H}, \text{F}] \quad (24)$$

d) *Admittance* (zdánlivá vodivost)

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad [\text{S}; \Omega, \text{H}, \text{F}] \quad (25)$$

**Ohmův zákon pro střídavý proud** má obecný tvar

a) pro proud

$$I = \frac{U}{Z} \quad [\text{A}; \text{V}, \Omega] \quad (26)$$

b) pro napětí

$$U = IZ \quad [\text{V}; \text{A}, \Omega] \quad (27)$$

c) pro odpor (reaktanci nebo impedanci)

$$Z \text{ (nebo } X) = \frac{U}{I} \quad [\Omega; \text{V}, \text{A}] \quad (28)$$

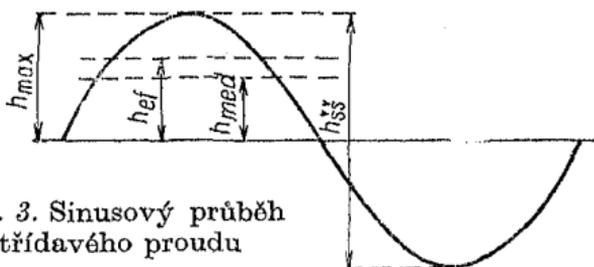
Dosadíme-li za impedanci  $Z$  (nebo reaktanci  $X$ ) výrazy ze vztahů (22) nebo (23) nebo (24), je výpočet stejný jako u obvodů s proudem stejnosměrným.

**Střídavý proud sinusového průběhu** (obr. 3).

*Maximální hodnota*

a) napětí

$$U_{\max} = U\sqrt{2} = 1,414 U \quad [\text{V}; \text{V}] \quad (29)$$



Obr. 3. Sinusový průběh střídavého proudu

b) proudu

$$I_{\max} = I\sqrt{2} = 1,414 I \quad [\text{A}; \text{A}] \quad (30)$$

*Efektivní hodnota*

a) napětí

$$U_{\text{ef}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = 0,707 U_{\max} \quad [\text{V}; \text{V}] \quad (31)$$

b) proudu

$$I_{\text{ef}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = 0,707 I_{\max} \quad [\text{A}; \text{A}] \quad (32)$$

*Střední hodnota*

a) napětí

$$U_{\text{med}} = U_{\max} \frac{2}{\pi} = 0,637 U_{\max} \quad [\text{V}; \text{V}] \quad (33)$$

nebo

$$U_{\text{med}} = U_{\text{ef}} \frac{0,637}{0,707} = 0,9 U_{\text{ef}} \quad [\text{V}; \text{V}] \quad (34)$$

b) proudu

$$I_{\text{med}} = I_{\text{max}} \frac{2}{\pi} = 0,637 I_{\text{max}} \quad [\text{A}; \text{A}] \quad (35)$$

nebo

$$I_{\text{med}} = I_{\text{ef}} \frac{0,637}{0,707} = 0,9 I_{\text{ef}} \quad [\text{A}] \quad (36)$$

Výkon (příkon) střídavého proudu je obecně

$$P = I_{\text{ef}} U_{\text{ef}} = \frac{I_{\text{max}} U_{\text{max}}}{2} \quad [\text{W}; \text{A}, \text{V}] \quad (37)$$

*Poznámka:* Index ef se obvykle neuvádí; např. síťové napětí  $U = 220 \text{ V}$  je vždy efektivní hodnotou. Index st u písménové značky udává střídavou veličinu ( $U_{\text{st}}$ ), na rozdíl od stejnosměrné ss ( $I_{\text{ss}}$ ).

Podle druhu zátěže (odporová, induktivní aj.) rozlišujeme výkon činný

$$P = UI \cos \varphi \quad [\text{W}; \text{V}, \text{A}, -] \quad (38)$$

výkon jalový

$$Q = UI \sin \varphi \quad [\text{VAr}; \text{V}, \text{A}, -] \quad (39)$$

(udává se ve voltampérech reaktančních, VAr),

výkon zdánlivý

$$S = UI \quad [\text{VA}; \text{V}, \text{A}] \quad (40)$$

(udává se ve voltampérech).

Jinak platí pro výkon stejné vztahy jako u proudu stejnosměrného.

Účinitk (kosinus  $\varphi$ )

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad [\text{W}; \text{VA}] \quad (41)$$

*Příklady:*

1. Síť o napětí 220 V ( $U_{\text{ef}}$ ) má podle vztahu (29) maximální napětí  $U_{\text{max}} = 220 \cdot 1,414 = 311,1 \text{ V}$ . (Proto musí izolace vodičů, kondenzátorů a přístrojů připojených na síť odpovídat aspoň napětí 500 V.)

2. Střední hodnota síťového napětí (kterou dostaneme např. po usměrnění bez filtrace) by podle (34) byla  $U_{\text{med}} = 220 \cdot 0,9 = 198 \text{ V}$ .

3. Činný výkon motoru pro napětí 120 V s účinníkem  $\cos \varphi = 0,7$  při proudu  $I = 0,8$  A je podle vzorce (38)  $P = 120 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 67$  W. Zdánlivý příkon, odebíraný ze sítě (40)  $S = 120 \cdot 0,8 = 96$  VA.

4. Žárovkou 220 V prochází proud  $I = 0,182$  A. Jaký je její příkon?

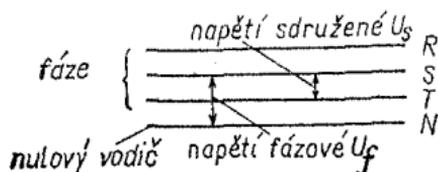
Pro odporovou zátěž je  $\cos \varphi = 1$ . Proto příkon této žárovky  $P = 220 \cdot 0,182 \cdot 1 = 40$  W.

5. Reprodaktor má kmitací cívku o impedanci  $Z = 6 \Omega$ . Jaký proud jí prochází při výkonu zesilovače  $P = 5$  W?

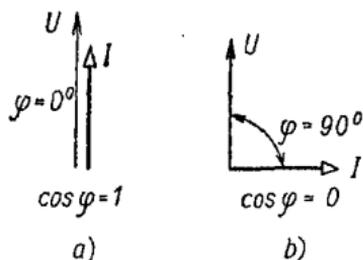
Podle vztahu (8) je proud

$$I = \sqrt{\frac{5}{6}} \approx 0,915 \text{ A}$$

**Trojfázový proud.** Průmyslová vedení střídavého proudu pro větší výkony mají tři fázové vodiče a jeden vodič nulový. Mezi dvěma fázovými vodiči je sdružené síťové napětí  $U_s$ , mezi fázovými vodiči a nulovým je napětí fázové  $U_f$  (obr. 4).



Obr. 4. Trojfázová síť



Obr. 5. Výkon střídavého proudu

Jejich vzájemný vztah:

a) *Napětí*

$$U_s = U_f \sqrt{3} = 1,73 U_f \quad [\text{V}; \text{V}] \quad (42)$$

a opačně

$$U_f = \frac{U_s}{\sqrt{3}} = 0,578 U_s \quad [\text{V}; \text{V}] \quad (43)$$

b) *Proud*

$$I_s = I_f \sqrt{3} = 1,73 I_f \quad [\text{A}; \text{A}] \quad (44)$$

a opačně

$$I_f = \frac{I_s}{\sqrt{3}} = 0,578 I_s \quad [\text{A}; \text{A}] \quad (45)$$

c) Výkon (příkon) trojfázového proudu a napětí je jak při spojení do trojúhelníka, tak i do hvězdy (za předpokladu souměrného zatížení fází, obr. 5)

$$P = \sqrt{3} U_s I_s \cos \varphi \quad [W; V, A] \quad (46)$$

*Příklady:*

1. Trojfázová síť o sdruženém napětí  $3 \times 380$  V má podle vztahu (45) fázové napětí

$$U_f = 0,578 \cdot 380 = 220 \text{ V}$$

2. Trojfázový motor s účinkem  $\cos \varphi = 0,82$  na síti s napětím  $3 \times 220$  V má v jednotlivých větvích proud  $I_s = 1,2$  A. Jeho výkon, podle (46)

$$P = 1,73 \cdot 220 \cdot 1,2 \cdot 0,82 = 736 \text{ W}$$

### 3. Napětí elektrických zdrojů

Tab. 2. Jmenovité napětí běžných zdrojů

Stejnosměrné	Akumulátor olověný (1 článěk)	2 V
	oceloniklový	1,25 V
	niklokadmiový	1,2 V
	stříbrozinkový	1,8 V
	Suchý článěk (Leclanchéův)	
	monočláněk, tužkový článěk	1,5 V
	hůlková baterie	3 V
	plochá baterie	4,5 V
	rtuťový článěk	1,35 V
	baterie 71D nebo 5102	6 V
baterie 51D nebo 5100	9 V	
Střídavé	Rozvodná síť 50 Hz	
	jednofázová	220 V
	trojfázová	$3 \times 220$ V
	nebo	$3 \times 380$ V
	místy dosud:	
jednofázová	120 V	
trojfázová	$3 \times 120$ V	

## 4. Elektrický odpor

Jednotkou elektrického odporu je 1 ohm ( $\Omega$ ). Je to odpor vodiče, v němž stálé napětí 1 V, zapojené na jeho konce, vyvolá elektrický proud 1 A. V praxi se používá též násobků, většinou kiloohm ( $k\Omega$ ) a megaohm ( $M\Omega$ ). Malé (např. přechodové) odpory se vyjadřují v miliohmeh ( $m\Omega$ ), popř. mikrohmeh ( $\mu\Omega$ ).

**Odpor kovových materiálů** má obecně velikost danou vztahem

$$R = \varrho \frac{l}{S} \quad [\Omega; \Omega \text{ mm}^2/\text{m}, \text{m}, \text{mm}^2] \quad (47)$$

kde  $R$  je odpor vodiče,  
 $\varrho$  měrný odpor kovu,  
 $l$  délka vodiče,  
 $S$  jeho průřez.

Průřezy vodičů podle průměrů jsou v tab. 31 na str. 167. Měrné odpory běžných kovů a slitin jsou uvedeny v tab. 3.

*Příklad:*

Jaký odpor má 100 m měděného vodiče průměru 0,5 mm? Průřez  $S = 0,1964 \text{ mm}^2$ . Měrný odpor mědi při teplotě  $\vartheta_0 = 20^\circ\text{C}$  je  $\varrho = 0,0178 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ . Odpor tohoto vodiče podle vztahu (47)

$$R = 0,0178 \frac{100}{0,1964} \doteq 8,9 \Omega$$

Příklady k tab. 4 na str. 24.:

$$\begin{array}{lll} 1 \Omega = 10^{-6} \text{ M}\Omega; & 1 \text{ k}\Omega = 10^6 \text{ m}\Omega; & 10^{-9} \text{ G}\Omega = 1 \Omega \\ 1 \text{ G}\Omega = 10^6 \text{ k}\Omega; & 1 \text{ M}\Omega = 10^3 \text{ k}\Omega; & 1 \text{ m}\Omega = 10^{-3} \Omega \\ 1 \text{ T}\Omega = 10^{12} \Omega; & 1 \text{ M}\Omega = 10^{-6} \text{ T}\Omega; & 1 \text{ T}\Omega = 10^6 \text{ M}\Omega \end{array}$$

Tab. 3. Měrný odpor a teplotní odporový součinitel některých kovů

Kov	Měrný odpor $\rho$ [ $\Omega$ mm <sup>2</sup> /m]	Měrná vodivost $\gamma$ [Sm/mm <sup>2</sup> ]	Teplotní odporový součinitel $\alpha$ [1/°C]
Antimon	0,39	3,56	0,003 5
Bronz	0,17	5,90	0,005
Bronz fosforový	0,078	12,80	0,004
Bronz hliníkový	0,13	7,70	0,000 8
Cín	0,12	8,34	0,004 6
Dural	0,05	20,00	0,002 2
Hliník	0,029	34,50	0,004
Iridium	0,053	18,88	0,004 1
Kadmium	0,07	14,30	0,003 8
Kobalt	0,11	9,10	0,006 6
Lithium	0,095	10,52	0,004 7
Měď (na vodiče)	0,0178	56,10	0,003 93
Molybden	0,049	20,40	0,004 2
Mosaz	0,075	13,34	0,002
Nikl	0,09	11,10	0,005 5
Olovo	0,208	4,81	0,003 8
Osmium	0,10	10,0	0,003 3
Paladium	0,11	9,1	0,003 8
Platina	0,10	10,0	0,003 9
Rhodium	0,05	20,0	0,004 3
Rtuť	0,95	1,05	0,000 99
Stříbro	0,0165	60,6	0,004
Tantal	0,15	6,67	0,003 3
Vanadium	0,06	16,7	0,004 5
Wolfram	0,055	18,2	0,004 8
Zinek	0,06	16,7	0,004 1
Zlato	0,023	43,5	0,003 7
Železo: čisté	0,10	10,0	0,006
litina	0,20	5,0	0,005 2

Poznámka: Údaje se mohou poněkud lišit podle čistoty a zpracování.

Tab. 4. Převod jednotek odporu

Název	mΩ	Ω	kΩ	MΩ	GΩ	TΩ
mΩ (miliohm)	1	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-15</sup>
Ω (ohm)	10 <sup>3</sup>	1	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-12</sup>
kΩ (kiloohm)	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	1	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-9</sup>
MΩ (megaohm)	10 <sup>9</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	1	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>
GΩ (gigaohm)	10 <sup>12</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	1	10 <sup>-3</sup>
TΩ (teraohm)	10 <sup>15</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	1

Závislost odporu na teplotě je dána vztahem

$$R_{\vartheta} = R_{\vartheta_0} [1 + \alpha(\vartheta - \vartheta_0)] \quad [\Omega; \Omega, 1/^{\circ}\text{C}, ^{\circ}\text{C}] \quad (48)$$

kde  $\alpha$  je teplotní odporový součinitel,

$R_{\vartheta}$  výsledný odpor teplého vodiče,

$R_{\vartheta_0}$  odpor vodiče při výchozí teplotě,

$\vartheta$  (theta) výsledná teplota,

$\vartheta_0$  výchozí teplota (teplota okolí).

Oteplení

$$\Delta\vartheta = \vartheta - \vartheta_0 \quad [^{\circ}\text{C}; ^{\circ}\text{C}] \quad (49)$$

Konečná teplota

$$\vartheta = \vartheta_0 + \Delta\vartheta \quad [^{\circ}\text{C}; ^{\circ}\text{C}] \quad (50)$$

Úpravou vzorce (48) je možné určit změnu odporu vodiče v procentech

$$\begin{aligned} \Delta R &= 100\alpha(\vartheta - \vartheta_0) = \\ &= \frac{(R_{\vartheta} - R_{\vartheta_0}) 100}{R_{\vartheta_0}} \quad [\% ; 1/^{\circ}\text{C}, ^{\circ}\text{C}; \Omega, \Omega] \end{aligned} \quad (51)$$

nebo po úpravě ze vztahu

$$\Delta R = \Delta\vartheta \cdot 100\alpha \quad [\% ; ^{\circ}\text{C}, 1/^{\circ}\text{C}] \quad (52)$$

Ze změny odporu ohřátého vodiče v porovnání s jeho odporem při výchozí teplotě lze též určit oteplení

$$\Delta\vartheta = \frac{\Delta R}{\alpha 100} \quad [^{\circ}\text{C}; \%, 1/^{\circ}\text{C}] \quad (53)$$

Změna odporu měděných (a s postačující přesností i hliníkových) vodičů vlivem teploty je uvedena v tab. 5.

Tab. 5. Změna odporu s teplotou

$\Delta R$ [%]	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
$\Delta\vartheta$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55

$\Delta R$ [%]	24	26	28	30	35	40	45	50	60	70	80
$\Delta\vartheta$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	60	65	70	75	88	100	113	125	150	176	200

*Poznámka:* Velikosti  $\Delta R$  jsou zaokrouhleny.

*Příklady:*

1. Měděné vinutí síťového transformátoru má při teplotě okolí  $\vartheta_0 = 20^{\circ}\text{C}$  odpor  $R\vartheta_0 = 100 \Omega$ . Jaký odpor bude vinutí mít po ohřátí v provozu na  $60^{\circ}\text{C}$ ?

Pro měď je činitel  $\alpha = 0,00393 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ . Podle vztahu (48)

$$R_{60} = 100[1 + 0,00393(60 - 20)] = 100 \cdot 1,1572 = 115,72 \Omega$$

2. O kolik procent vzrostl odpor tohoto vinutí zahřátím?

Ze vztahu (51) zjistíme

$$\Delta R = \frac{(115,72 - 100) 100}{100} = 15,72 \%$$

V tabulce najdeme zaokrouhlenou hodnotu 16 % nebo ze vzorce (52)

$$\Delta R = 40 \cdot 100 \cdot 0,00393 = 15,72 \%$$

3. Vinutí odpojeného motoru po přetížení má odpor  $R = 250 \Omega$ ; předtím mělo při  $\vartheta_0 = 20^\circ \text{C}$  odpor  $R_1 = 200 \Omega$ . Jak teplé je vinutí po vypnutí?

Podle vztahu (51)

$$\Delta R = \frac{(250 - 200) 100}{200} = \frac{5\,000}{200} = 25 \%$$

Oteplení vinutí (53)

$$\Delta \vartheta = \frac{25}{0,00393 \cdot 100} \approx 63^\circ \text{C}$$

Výsledná teplota podle (50) je tedy

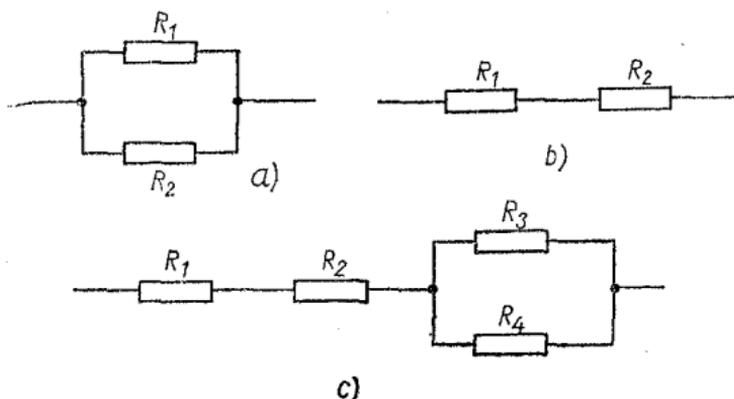
$$\vartheta = 20 + 63 = 83^\circ \text{C}$$

**Spojování odporů.** Pro dosažení hodnoty odporu, která se nevyrobí, pro získání větší proudové zatížitelnosti a podobné účely se spojují dva nebo několik odporů buď

a) *paralelně* (obr. 6a):

*Dva odpory*

$$R_V = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad [\Omega; \Omega, \Omega, \Omega] \quad (54)$$



Obr. 6. Spojování odporů: a) paralelně, b) sériově, c) smíšeně

kde  $R_v$  je výsledný odpor,  
 $R_1, R_2$  jednotlivé odpory.

Vztah (54) lze upravit dělením  $R_2$ . Potom dostaneme jednodušší tvar

$$R_v = \frac{R_1}{\frac{R_1}{R_2} + 1} \quad [\Omega; \Omega, \Omega, \Omega] \quad (55)$$

*Tři odpory*

$$R_v = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \quad (56)$$

Ze vzorců (54) nebo (55) a (56) lze stanovit jednotlivé odpory: Hledáme-li jeden ze dvou odporů, např.  $R_2$  ze vztahu (54)

$$R_2 = \frac{R_1 R_v}{R_1 - R_v} \quad (57)$$

Jeden ze tří odporů (např.  $R_3$ ) vypočítáme ze vztahu (56)

$$R_3 = \frac{R_v R_1 R_2}{R_1 R_2 - R_v R_1 - R_v R_2} \quad (58)$$

b) *do série n odporů* (obr. 6b)

$$R_v = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (59)$$

c) *skupinově* (obr. 6c) neboli *smíšeně*, tzv. spojení sériově paralelní

$$R_v = R_1 + R_2 + \dots + R_n + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} \quad (60)$$

*Příklady:*

1. Jaký je výsledný odpor dvou odporů o velikosti 300  $\Omega$  a 600  $\Omega$ , spojených paralelně?

Podle vztahu (54)

$$R_v = \frac{300 \cdot 600}{300 + 600} = \frac{18\,000}{900} = 200 \, \Omega$$

Tab. 6. Paralelně spojené odpory nebo sériově

$R_2(C_2) \rightarrow$ $R_1(C_1) \downarrow$	1	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2
1	0,50											
1,2	0,55	0,60										
1,5	0,60	0,67	0,75									
1,8	0,64	0,72	0,81	0,90								
2,2	0,69	0,78	0,89	0,99	1,10							
2,7	0,73	0,83	0,96	1,08	1,21	1,35						
3,3	0,77	0,88	1,03	1,16	1,32	1,48	1,65					
3,9	0,80	0,92	1,08	1,23	1,41	1,60	1,79	1,95				
4,7	0,83	0,96	1,14	1,30	1,50	1,71	1,94	2,13	2,35			
5,6	0,85	0,99	1,18	1,36	1,58	1,82	2,08	2,32	2,56	2,80		
6,8	0,87	1,02	1,23	1,42	1,66	1,93	2,24	2,48	2,78	3,07	3,40	
8,2	0,89	1,05	1,27	1,48	1,74	2,03	2,36	2,64	2,99	3,33	3,72	4,10
10	0,91	1,07	1,30	1,53	1,80	2,13	2,48	2,81	3,19	3,59	4,05	4,51
12	0,92	1,09	1,33	1,57	1,86	2,20	2,59	2,94	3,38	3,82	4,34	4,87
15	0,94	1,11	1,36	1,61	1,92	2,29	2,70	3,09	3,58	4,09	4,68	5,30
18	0,95	1,13	1,39	1,64	1,96	2,35	2,79	3,21	3,73	4,28	4,94	5,64
22	0,956	1,14	1,40	1,66	2,00	2,41	2,87	3,32	3,87	4,46	5,19	5,97
27	0,96	1,15	1,42	1,69	2,03	2,45	2,94	3,41	4,00	4,64	5,43	6,29
33	0,97	1,16	1,43	1,71	2,06	2,50	3,00	3,49	4,11	4,79	5,64	6,57
39	0,98	1,164	1,444	1,721	2,08	2,525	3,043	3,515	4,195	4,897	5,790	6,775
47	0,982	1,170	1,454	1,734	2,02	2,553	3,083	3,601	4,273	5,004	5,941	6,982
56	0,985	1,175	1,461	1,744	2,12	2,576	3,116	3,646	4,336	5,011	6,064	7,153
68	0,986	1,180	1,468	1,754	2,13	2,597	3,147	3,688	4,396	5,174	6,182	7,318
82	0,988	1,183	1,473	1,761	2,14	2,614	3,172	3,723	4,445	5,242	6,279	7,455
100	0,99	1,186	1,479	1,781	2,15	2,629	3,195	3,754	4,489	5,303	6,367	7,579

nebo podle (55) by bylo

$$R_v = \frac{600}{\frac{600}{300} + 1} = \frac{600}{3} = 200 \Omega$$

2. Jaký odpor musíme připojit paralelně k odporu  $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$ , abychom dostali výsledný odpor  $R_v = 1,8 \text{ k}\Omega$ ?

Použijeme vztahu (57)

$$R_2 = \frac{2 \cdot 1,8}{2 - 1,8} = \frac{3,6}{0,2} = 18 \text{ k}\Omega$$

3. Jaký je výsledný odpor dvou odporů o velikosti 160 a 82  $\Omega$  zapojených v sérii?

zapojené kondenzátory řádově stejných velikostí

10	12	15	18	22	27	33	39	47	56	68	83	100
5,00												
4,45	6,00											
6,00	6,67	7,50										
6,43	7,20	8,18	9,00									
6,88	7,76	8,92	9,90	11,00								
7,30	8,31	9,64	10,80	12,12	13,50							
7,64	8,80	10,31	11,65	13,20	14,85	16,50						
7,959	9,176	10,833	12,315	14,065	15,954	17,88	19,50					
8,246	9,559	11,370	13,015	14,985	17,148	19,39	21,31	23,50				
8,485	9,882	11,850	13,621	15,800	18,216	20,76	22,99	25,55	28,00			
8,718	10,200	12,289	14,232	16,622	19,326	22,22	24,79	27,79	30,71	34,00		
8,913	10,468	12,680	14,760	17,346	20,31	23,53	26,43	28,88	33,28	37,17	41,00	
9,091	10,714	13,043	15,254	18,032	21,26	24,81	28,06	31,97	35,88	40,48	45,05	50,00

Podle vzorce (59)

$$R_v = 160 + 82 = 242 \Omega$$

4. Odpor  $R_1 = 56 \Omega$ ,  $R_2 = 100 \Omega$  a  $R_3 = 82 \Omega$  zapojené v sérii jsou spojeny s paralelně zapojenými odpory  $R_4 = 1 \text{ k}\Omega$  a  $R_5 = 2 \text{ k}\Omega$ . Jaký je výsledný odpor celé skupiny?

Dosazením do vztahu (60) určíme

$$R_v = 56 + 100 + 82 + \frac{1\,000 \cdot 2\,000}{1\,000 + 2\,000} = 238 + 666,7 = 904,7 \Omega$$

Velikosti dvou paralelně spojených odporů z normalizované řady velikostí, které v praxi potřebujeme nejčastěji, jsou uvedeny v tab. 6 a 7 na str. 28, 29 a 30.

Tab. 7. Paralelně spojené odpory nebo v sérii zapojené kondenzátory řádově nesterýných velikostí

$R_2(C_2) \rightarrow$ $R_1(C_1) \downarrow$	100	120	150	180	220	270	330	390	470	560	680	820
10	9,1	9,23	9,38	9,48	9,56	9,64	9,71	9,75	9,79	9,83	9,86	9,89
12	10,7	10,9	11,1	11,3	11,4	11,55	11,58	11,64	11,7	11,75	11,78	11,83
15	13,0	13,3	13,6	13,9	14,1	14,22	14,35	14,45	14,54	14,6	14,68	14,74
18	15,3	15,7	16,1	16,4	16,6	16,9	17,07	17,2	17,34	17,45	17,54	17,63
22	18,0	18,6	19,2	19,6	20,0	20,3	20,62	20,8	21,0	21,18	21,3	21,42
27	21,3	22,0	22,9	23,5	24,0	24,5	25,0	25,25	25,55	25,75	26,0	26,15
33	24,8	25,9	27,0	27,9	28,7	29,4	30,0	30,4	30,9	31,2	31,5	31,72
39	28,0	29,4	31,0	32,0	33,1	34,1	34,9	35,45	36,0	36,5	36,9	37,45
47	32,0	33,8	35,8	37,3	38,7	40,0	41,2	42,0	42,7	43,2	43,95	44,5
56	35,9	38,2	40,8	42,7	44,7	46,4	48,0	49,0	50,0	50,9	51,8	52,45
68	40,5	43,4	46,8	49,4	51,9	54,4	56,4	57,9	59,4	60,6	61,8	62,8
82	45,0	48,7	53	56,4	59,8	62,9	65,7	67,8	69,8	71,6	73,2	74,6
100	50,0	54,5	60,0	64,3	68,8	73,9	76,8	79,6	82,5	84,9	87,2	89,2
120	54,5	60,0	66,7	72,0	77,7	83,1	88,0	91,8	95,7	98,9	102,0	104,7
150	60,0	66,7	75,0	81,9	89,2	96,5	103,0	108,3	114,0	118,0	123,0	127,0
180	64,3	72,0	81,9	90,0	99,0	108,0	116,5	123,0	130,0	136,0	142,0	148,0
220	68,8	77,7	89,2	99,0	110,0	121,0	132,0	141,0	150,0	158,0	166,0	174,0
270	73,0	83,1	96,5	108,0	121,0	135,0	148,0	160,0	172,0	182,0	193,0	203,0
330	76,8	88,0	103,0	117,0	132,0	148,0	165,0	179,0	194,0	208,0	222,0	235,0
390	79,6	91,8	108,0	123,0	141,0	160,0	179,0	195,0	218,0	230,0	248,0	264,0
470	82,5	95,7	114,0	130,0	150,0	172,0	194,0	213,0	235,0	256,0	278,0	299,0
560	84,9	98,9	118,0	136,0	158,0	182,0	208,0	230,0	256,0	280,0	307,0	333,0
680	87,2	102,0	123,0	142,0	166,0	193,0	222,0	248,0	278,0	307,0	340,0	372,0
820	89,2	105,0	127,0	148,0	174,0	203,0	235,0	264,0	299,0	333,0	372,0	410,0

Tabulka platí též pro kondenzátory zapojené v sérii. Tabulky lze použít i pro velikosti o několik řádů vyšší (nebo nižší) než jsou uvedeny, jestliže čísla v obou sloupcích — svislém i vodorovném — násobíme, nebo dělíme stejným činitelem (10, 100, 0,1 apod.). Někdy je nutné pořadí daných velikostí zaměnit, aby byly obě v tabulce obsaženy.

*Příklady:*

1. Jaká je výsledná velikost paralelně spojených odporů  $R_1 = 2,7 \text{ k}\Omega$  a  $R_2 = 3,9 \text{ k}\Omega$ ?

Řádka 2,7 neprotíná sloupec nadepsaný 3,9 — proto je přehodíme. Výsledná velikost na průsečíku obou sloupců dává  $R_v = 1,6 \text{ k}\Omega$ .

2. Jakou kapacitu dostaneme spojením kondenzátorů  $C_1 = 680 \text{ pF}$  a  $C_2 = 220 \text{ pF}$  v sérii?

Na průsečíku příslušných sloupců zjistíme výsledek  $C_v = 166 \text{ pF}$ .

3. Jaký odpor  $R_2$  je nutné paralelně připojit k odporu  $R_1 = 180 \Omega$ , potřebujeme-li odpor  $R_v = 130 \Omega$ ?

Z tabulky zjistíme velikost  $R_2 = 470 \Omega$ .

4. Máme kondenzátor o kapacitě 330 pF. Jakou kapacitu musí mít kondenzátor spojený s ním do série, abychom dostali výslednou kapacitu 235 pF?

Označíme-li  $C_1 = 330$ ,  $C_v = 235$ , nalezneme v tabulce příslušnou velikost kapacity jako  $C_2 = 820 \text{ pF}$ .

## 5. Kondenzátory. Kapacita

Jednotkou kapacity je 1 farad (F). Je to kapacita kondenzátoru, mezi jehož svorkami vznikne napětí 1 V, nabije-li se elektrickým nábojem 1 C (coulomb).

V praxi se používá menších jednotek — mikrofarad ( $\mu\text{F}$ ), nanofarad (nF) a pikofarad (pF).

*Příklady:*

$$1 \text{ nF} = 10^3 \text{ pF}; \quad 1 \mu\text{F} = 10^6 \text{ pF}; \quad 1 \text{ pF} = 10^{-3} \text{ nF}$$

$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}; \quad 1 \text{ nF} = 10^{-3} \mu\text{F}; \quad 1 \text{ pF} = 10^{-6} \mu\text{F}$$

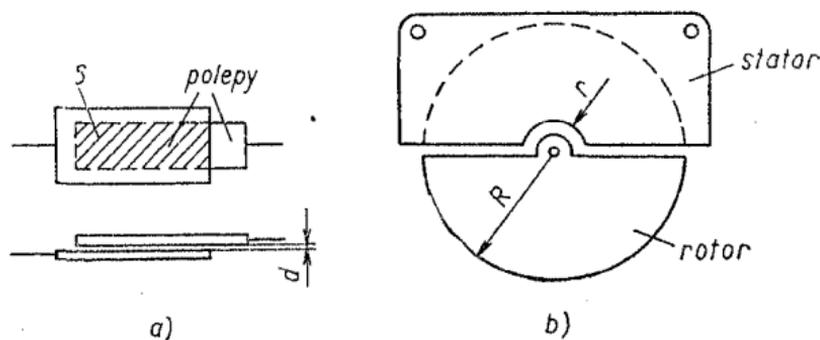
Tab. 8. Převod jednotek kapacity

Jednotka	F	$\mu\text{F}$	nF	pF
F (farad)	1	$10^6$	$10^9$	$10^{12}$
$\mu\text{F}$ (mikrofarad)	$10^{-6}$	1	$10^3$	$10^6$
nF (nanofarad)	$10^{-9}$	$10^{-3}$	1	$10^3$
pF (pikofarad)	$10^{-12}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	1

## Výpočet kapacity kondenzátoru

### 1. Pevné (neproměnné) kondenzátory

a) *Pevný kondenzátor o dvou deskách (polepech) má kapacitu (obr. 7a)*



Obr. 7. Kondenzátor: a) pevný, b) kruhový proměnný

$$C = \frac{\epsilon_r S}{0,9 \cdot 4\pi d} = 0,0884 \frac{\epsilon_r S}{d} \quad [\text{pF}; \text{cm}^2, \text{cm}] \quad (61)$$

kde  $C$  je kapacita kondenzátoru,

$\epsilon_r$  poměrná permitivita,

$S$  plocha překrývajících se polepů,

$d$  tloušťka dielektrika (u vzduchových kondenzátorů je to vzdálenost mezi plechy),

$\pi$  3,1416 Ludolfovo číslo.

b) *Svitkový kondenzátor* je tvořen dvěma pásy kovové fólie, oddělené pásem dielektrika (impregnovaný papír, styroflex, terylén aj.). Po svinutí působí každý polep s dalším prokladovým pásem dielektrika kapacitně také na polep sousední — výsledná kapacita svitku je dvojnásobná.

$$C = 2 \cdot 0,0884 \frac{\epsilon_r S}{d} \doteq 0,177 \frac{\epsilon_r S}{d} \quad [\text{pF}; \text{cm}^2, \text{cm}] \quad (62)$$

c) *Pevný kondenzátor o několika polepech* má kapacitu

$$C = 0,0884 \frac{\epsilon_r S(n - 1)}{d} \quad [\text{pF}; \text{cm}^2, \text{cm}] \quad (63)$$

kde  $n$  je celkový počet polepů.

*Poznámka:* Kapacitu  $C$  v jiných jednotkách dostaneme násobením pravé strany rovnic (61), (62) a (63) činitelem  $10^{-3}$  (nanofarady), nebo  $10^{-6}$  (mikrofarady), popř. jejich dělením číslem  $10^3$  nebo  $10^6$ .

*Příklady:*

1. Vzduchový kondenzátor má 2 desky rozměrů účinné (překrývající se) plochy  $16 \times 20$  mm, vzájemně vzdálených 0,2 mm. Jaká je jeho kapacita?

Poměrná permitivita vzduchu  $\epsilon_r \doteq 1$ , plocha polepu  $S = 1,6 \cdot 2 = 3,2$  cm<sup>2</sup>. Dosazením do vztahu (61) vypočítáme kapacitu

$$C = 0,0884 \frac{1 \cdot 3,2}{0,02} = 14,15 \text{ pF}$$

2. Svitkový kondenzátor obsahuje dva pásy hliníkové fólie 25 mm široké a 15 m dlouhé a dva pásy impregnovaného papíru tloušťky  $d = 0,02$  mm s poměrnou permitivitou  $\epsilon_r = 3,4$ . Jaká je kapacita svitku?

Plocha polepu  $S = 2,5 \cdot 1500 = 3,750$  cm<sup>2</sup>. Kapacita bude zřejmě velká, proto vzorec (62) doplníme činitelem  $10^{-6}$ .

$$C = 0,177 \frac{3,4 \cdot 3750 \cdot 10^{-6}}{0,002} = 1,12 \mu\text{F}$$

3. Pevný kondenzátor se sedmi polepy účinné plochy  $10 \times 12$  mm má jako dielektrikum slídu tloušťky  $d = 0,1$  mm, jejíž poměrná permitivita je  $\epsilon_r = 7$ . Jaká je jeho kapacita?

Dosažením daných údajů do vztahu (63) dostaneme

$$C = 0,0884 \frac{7 \cdot 1,2(7 - 1)}{0,01} = \frac{4,46}{0,01} = 446 \text{ pF}$$

2. Proměnné kondenzátory slouží jednak k ladění (ladicí kondenzátory), jednak k doladování vysokofrekvenčních obvodů (doladovací kondenzátory, trimry). Podle použitého dielektrika jsou vzduchové nebo s pevným dielektrikem (styroflexové, keramické, skleněné aj.). Ladicí kondenzátory se liší kapacitním průběhem (lineární, frekvenční, logaritmické) nebo podle tvaru rotorových desek (kruhové, ledvinové apod.). Ty si bude sotva někdo vyrábět — proto výpočet jejich kapacity neuvádíme. Občas se však setkáme s kruhovým kondenzátorem, zvláště krátkovlnným, popř. s nutností změnit jeho kapacitu.

d) *Kruhový kondenzátor* má největší kapacitu (obr. 7b)

$$C_{\max} = \frac{\epsilon_r(n - 1)(R^2 - r^2)}{0,9 \cdot 8d} \quad [\text{pF}; \text{cm}, \text{cm}] \quad (64)$$

kde  $n$  je počet plechů (polepů),

$R$  vnější poloměr rotorového plechu,

$r$  poloměr výřezu ve statorovém plechu pro osu rotoru,

$d$  vzájemná vzdálenost desek.

Po úpravě vzorce (64) dostaneme výsledný tvar

$$C_{\max} = 0,139 \frac{\epsilon_r(n - 1)(R^2 - r^2)}{d} \quad [\text{pF}; \text{cm}, \text{cm}] \quad (65)$$

Potřebujeme-li stanovit počet plechů daných rozměrů pro určitou velikost kapacity  $C_{\max}$ , vypočítáme ze vztahu (64) výraz

$$(n - 1) = \frac{C_{\max} d}{\varepsilon_r 0,139(R^2 - r^2)} \quad [—; \text{pF}, \text{cm}, \text{cm}] \quad (66)$$

a z ní určíme počet plechů

$$n = \frac{C_{\max} d}{0,139 \varepsilon_r (R^2 - r^2)} + 1 \quad [—; \text{pF}, \text{cm}, \text{cm}] \quad (67)$$

*Příklady:*

1. Otočný vzduchový kruhový kondenzátor s rotorem vnějšího poloměru  $R = 3$  cm, poloměr výřezu statoru  $r = 0,5$  cm, má 10 plechů vzdálených od sebe 1 mm. Jakou má maximální kapacitu? Převedeme  $d = 0,1$  cm;  $\varepsilon_r \doteq 1$ . Dosadíme do rovnice (65)

$$C = 0,139 \frac{1(10 - 1)(9 - 0,25)}{0,1} = 109,5 \text{ pF}$$

2. Chceme sestavit proměnný kondenzátor pro rozprostření krátkovlnného pásma o maximální kapacitě asi 10 pF. Máme k dispozici z rozebraného vzduchového kondenzátoru rotorové plechy o poloměru  $R = 12$  mm, statorové s výřezem o poloměru 4 mm a podložky, které mezi plechy udržují vzdálenost  $d = 1,4$  mm. Kolik plechů na kondenzátor potřebujeme?

Dosadíme do vztahu (67). Počet plechů

$$n = \frac{10 \cdot 0,14}{0,139(1,44 - 0,16)} + 1 = \frac{1,4}{0,178} + 1 = 7,9 + 1 \doteq 9 \text{ plechů}$$

(Například 5 statorových a 4 rotorové nebo opačně.)

## Spojování kondenzátorů

a) *Sériové.* Nejčastěji se tak spojují dva kondenzátory (obr. 8). Výsledná kapacita

$$C_v = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad [\text{pF}; \text{pF}]^* \quad (68)$$

\*) Nebo jiné jednotky kapacity, nF,  $\mu$ F apod. pro obě strany rovnice stejné.

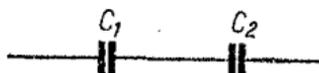
Vzorec je stejný jako pro paralelní spojení dvou odporů (54). Proto lze použít i zde krácení jedním členem.

Při dvou kondenzátorech je

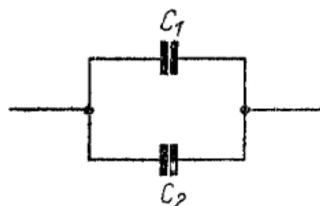
$$C_v = \frac{C_1}{\frac{C_1}{C_2} + 1} \quad (69)$$

Sériové spojení tří kondenzátorů je obdobné paralelnímu spojení tří odporů (56)

$$C_v = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_1 C_2 + C_2 C_3 + C_1 C_3} \quad (70)$$



Obr. 8. Sériové spojení kondenzátorů



Obr. 9. Paralelní spojení kondenzátorů

*Vyhledání jednoho členu*

a) ze dvou sériových kondenzátorů

$$C_2 = \frac{C_1 C_v}{C_1 - C_v} \quad (71)$$

b) ze tří kondenzátorů v sérii

$$C_3 = \frac{C_v C_1 C_2}{C_1 C_2 - C_v C_1 - C_v C_2} \quad (72)$$

b) *Paralelní* (obr. 9). Při tomto spojení se kapacity jednotlivých kondenzátorů sčítají [obdoba sériového spojování odporů podle (59)]

$$C_v = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \quad (73)$$

### Příklady:

1. Jaká je výsledná kapacita dvou kondenzátorů 1 200 pF a 470 pF spojených paralelně?

Podle vztahu (73)

$$C_v = 1\,200 + 470 = 1\,670 \text{ pF}$$

2. Jakou výslednou kapacitu mají kondenzátory  $C_1 = 300 \text{ pF}$  a  $C_2 = 150 \text{ pF}$ , spojené v sérii?

Dosadíme obě velikosti do vztahu (68)

$$C_v = \frac{300 \cdot 150}{300 + 150} = \frac{45\,000}{450} = 100 \text{ pF}$$

nebo podle (69)

$$C_v = \frac{300}{\frac{300}{150} + 1} = \frac{300}{3} = 100 \text{ pF}$$

3. Potřebujeme kapacitu 300 pF. V řadě vyráběných velikostí je pouze 330 pF. Spojíme s ním do série kondenzátor (71)

$$C_2 = \frac{330 \cdot 300}{330 - 300} = \frac{99\,000}{30} = 3\,300 \text{ pF}$$

4. Sériově spojené kondenzátory 22 nF, 18 nF a 33 nF dají výslednou kapacitu (72)

$$C = \frac{22 \cdot 18 \cdot 33}{22 \cdot 18 + 18 \cdot 33 + 22 \cdot 33} = 7,6 \text{ nF}$$

5. Krátkovlnný ladič kondenzátor má největší kapacitu  $C = 270 \text{ pF}$ . Jaký kondenzátor musíme s ním spojit do série, abychom konečnou kapacitu zmenšili na  $C = 160 \text{ pF}$ ?

Hledanou sériovou kapacitu  $C_2$  zjistíme buď ze vzorce (71)

$$C_2 = \frac{270 \cdot 160}{270 - 160} = \frac{43\,200}{110} = 390 \text{ pF}$$

nebo přímo z tab. 7 na str. 30.

**Energie kondenzátoru.** Energie nahromaděná v kondenzátoru o kapacitě  $C$  nabitým na napětí  $U$  je dána vztahem

$$W = \frac{CU^2}{2} \quad [\text{J}; \text{F}, \text{V}] \quad (74)$$

kde  $W$  je energie,  
 $C$  kapacita,  
 $U$  napětí.

Tato energie je (na rozdíl od energie cívky) v kondenzátoru uchována dlouhodobě — ubývá jí jen zásluhou nedokonalé izolace kondenzátoru. Dá se jí využít k ovládnání relé časových spínačů pomocí elektronky nebo tranzistoru, k napájení výbojky elektronického blesku apod.

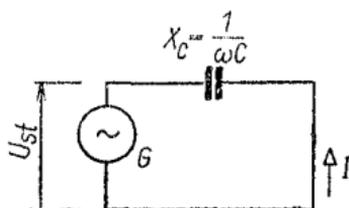
*Příklad:*

Jakou energii dodá do bleskové výbojky při vybití kondenzátor o kapacitě  $320 \mu\text{F}$ , nabitý na napětí  $500 \text{ V}$ ?

Podle vztahu (74) je energie kondenzátoru při vybití ( $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$ )

$$W = \frac{320 \cdot 10^{-6} \cdot 500^2}{2} = \frac{32 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot 10^5}{2} = \frac{80}{2} = 40 \text{ J}$$

*Kapacitní reaktance* (obr. 10) je jalový odpor kondenzátoru při střídavém proudu (tzn., že se na něm neztrácí činný výkon)



Obr. 10. Reaktance kondenzátoru

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad [\Omega; \text{—}, \text{rad/s}, \text{F}] \quad (75)$$

kde  $X_C$  je kapacitní reaktance,  
 $\omega$  úhlový kmitočet,  
 $C$  kapacita.

nebo v jiném tvaru

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad [\Omega; \text{—}, \text{—}, \text{Hz}, \text{F}] \quad (76)$$

kde  $\pi$  je Ludolfovo číslo (3,1416),

$f$  kmitočet,  
 $C$  kapacita.

Tab. 9. Kapacitní reaktance kondenzátorů pro různé kmitočty

Kapacita	Kmitočet									
	20 Hz	50 Hz	100 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz	1 MHz	10 MHz	100 MHz	
10 pF	—	—	—	—	1,59 MΩ	159 kΩ	15,9 kΩ	1,6 k	159 Ω	
20 pF	—	—	—	8 MΩ	100 kΩ	80 kΩ	8 kΩ	800 Ω	80 Ω	
50 pF	—	—	—	3,2 MΩ	318 Ω	32 kΩ	3,2 kΩ	318 Ω	32 Ω	
100 pF	—	—	—	1,6 Ω	159 kΩ	15,9 kΩ	1,6 kΩ	159 Ω	15,9 Ω	
200 pF	—	—	8 MΩ	800 kΩ	80 kΩ	8 kΩ	800 Ω	80 Ω	8 Ω	
500 pF	—	6,3 MΩ	3,2 MΩ	320 kΩ	32 kΩ	3,2 kΩ	318 Ω	32 Ω	3,2 Ω	
1 nF	8 MΩ	3,2 MΩ	1,6 MΩ	159 kΩ	15,9 kΩ	1,6 kΩ	159 Ω	15,9 Ω	1,6 Ω	
2 nF	4 MΩ	1,6 MΩ	800 kΩ	80 kΩ	8 kΩ	800 Ω	80 Ω	8 Ω	800 mΩ	
5 nF	1,6 MΩ	635 kΩ	318 kΩ	32 kΩ	3,2 kΩ	318 Ω	32 Ω	3,2 Ω	318 mΩ	
10 nF	800 kΩ	318 kΩ	159 kΩ	15,9 kΩ	1,6 kΩ	159 kΩ	16 Ω	16 Ω	—	
20 nF	400 kΩ	159 kΩ	80 kΩ	8 kΩ	800 Ω	80 Ω	8 Ω	800 mΩ	—	
50 nF	159 kΩ	63 kΩ	32 kΩ	3,2 kΩ	318 Ω	32 Ω	3,2 Ω	—	—	
0,1 μF	80 kΩ	32 kΩ	16 kΩ	1,6 kΩ	159 Ω	16 Ω	1,6 Ω	—	—	
0,2 μF	40 kΩ	15,9 kΩ	8 kΩ	800 Ω	80 Ω	8 Ω	800 mΩ	—	—	
0,5 μF	15,9 kΩ	6,3 kΩ	3,2 kΩ	318 Ω	32 Ω	3,2 Ω	—	—	—	
1 μF	8 kΩ	3,2 kΩ	1,6 kΩ	159 Ω	16 Ω	1,6 Ω	—	—	—	
2 μF	4 kΩ	1,6 kΩ	800 Ω	80 Ω	8 Ω	800 mΩ	—	—	—	
5 μF	1,6 kΩ	635 Ω	318 Ω	32 Ω	3,2 Ω	318 mΩ	—	—	—	
10 μF	800 Ω	318 Ω	159 Ω	16 Ω	1,6 Ω	—	—	—	—	
20 μF	400 Ω	159 Ω	80 Ω	8 Ω	800 mΩ	—	—	—	—	
50 μF	159 Ω	63 Ω	32 Ω	3,2 Ω	318 mΩ	—	—	—	—	
100 μF	80 Ω	32 Ω	15,9 Ω	1,59 Ω	—	—	—	—	—	
200 μF	40 Ω	16 Ω	8 Ω	—	—	—	—	—	—	
500 μF	15,9 Ω	6,3 Ω	3,2 Ω	—	—	—	—	—	—	

Úpravou pro běžně používané jednotky a dělením získáme praktický vztah

$$X_C = \frac{10^6}{2\pi fC} = \frac{1,59 \cdot 10^5}{fC} \quad [\Omega; \text{—, Hz, } \mu\text{F}] \quad (77)$$

*Příklad:*

Jakou kapacitní reaktanci má kondenzátor  $C = 5\,000 \text{ pF}$  při střídavém proudu o kmitočtu  $500 \text{ Hz}$ ? Kapacitu převedeme na  $\mu\text{F}$  (nebo jiné jednotky ve správném poměru).  $C = 5\,000 \text{ pF} = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{F}$ . Kapacitní reaktance je podle (77)

$$X_C = \frac{1,59 \cdot 10^5}{500 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = 63\,000 \Omega = 63 \text{ k}\Omega$$

Kapacitní reaktance běžných kondenzátorů pro některé hlavní kmitočty jsou uvedeny v tab. 9.

## 6. Cívky. Indukčnost

Jednotkou indukčnosti je 1 henry (H). Je to indukčnost uzavřeného obvodu, ve kterém vznikne napětí 1 V, jestliže se proud tímto obvodem procházejícím mění rovnoměrně o 1 A za 1 s. V praxi, zvláště u vysokofrekvenčních cívek, se používá též zlomků jednotky: milihenry (mH); mikrohenry ( $\mu\text{H}$ ) a nanohenry (1 nH).

Tab. 10. Převod jednotek indukčnosti

Název	H	mH	$\mu\text{H}$	nH
H (henry)	1	$10^3$	$10^6$	$10^9$
mH (milihenry)	$10^{-3}$	1	$10^3$	$10^6$
$\mu\text{H}$ (mikrohenry)	$10^{-6}$	$10^{-3}$	1	$10^3$
nH (nanohenry)	$10^{-9}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	1

**Spojování indukčností.** Pokud mezi spojenými indukčnostmi není elektromagnetická vazba, postupujeme stejně jako při spojování odporů (str. 26). Proto také lze použít tabulek, určených pro tento účel (tab. 6 a 7 na str. 28 a 30).

Výsledná indukčnost cívek

a) *spojených paralelně*: dva členy (obr. 11)

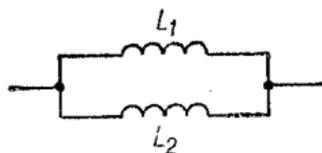
$$L_v = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} \quad [\text{H}; \text{H}] \quad (78)$$

Po krácení pravé strany veličinou  $L_2$

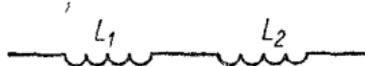
$$L_v = \frac{L_1}{\frac{L_1}{L_2} + 1} \quad [\text{H}; \text{H}] \quad (79)$$

Tři členy

$$L_v = \frac{L_1 L_2 L_3}{L_1 L_2 + L_2 L_3 + L_1 L_3} \quad [\text{H}; \text{H}] \quad (80)$$



Obr. 11. Dvě cívky spojené paralelně



Obr. 12. Dvě cívky spojené v sérii

Hledáme-li jeden člen paralelního spojení (dva členy)

$$L_2 = \frac{L_1 L_v}{L_1 - L_v} \quad [\text{H}; \text{H}] \quad (81)$$

a z tří členů

$$L_3 = \frac{L_v L_1 L_2}{L_1 L_2 - L_v L_1 - L_v L_2} \quad [\text{H}; \text{H}] \quad (82)$$

b) *spojených v sérii* (obr. 12)

$$\dot{L}_v = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n \quad [H; H] \quad (83)$$

**Vzájemná indukčnost.** Mezi cívkami (indukčnostmi), které na sebe mohou navzájem působit elektromagnetickým polem, je tzv. vzájemná indukčnost, která působí vznik napětí v jedné cívce při změně proudu v cívce druhé.

Vzájemná indukčnost

$$M = k \sqrt{L_1 L_2} \quad [H; -, H, H] \quad (84)$$

kde  $M$  je vzájemná indukčnost,  
 $k$  činitel vazby,  
 $L_1, L_2$  jednotlivé indukčnosti.

Opačně ze vzájemné indukčnosti  $M$  a indukčností jednotlivých cívek lze určit činitele vazby

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad [-; H, H, H] \quad (85)$$

*Činitel vazby* může být teoreticky nulový,  $k = 0$  (žádná vazba, např. u odstíněných cívek) do  $k = 1$  (nejvyšší možná vazba). V praxi se vyskytuje několik stupňů vazby:

a) *velmi volná vazba*

$$k < 0,01$$

Velmi volné vazby se používá např. mezi měřicím (pomocným) vysílačem a měřeným přijímačem.

b) *volná vazba*

$$k < 0,05$$

Volná vazba je ve většině vf obvodů přijímačů.

c) *těsná vazba*

$$k < 0,9$$

Těsná vazba je např. mezi koncovým stupněm vysílače a anténou.

d) *velmi těsná vazba*

$$k > 0,9$$

Velmi těsná vazba je mezi vinutími na uzavřeném feromagnetickém jádře (nízkofrekvenční a síťové transformátory).

Zvláštní případ nastane, je-li na společném jádře umístěno několik vinutí, které lze spojovat do série nebo paralelně. Protože zde je činitel vazby  $k \approx 1$ , je možné ho ve výpočtu vynechat. Výsledná indukčnost dvou indukčností spojených

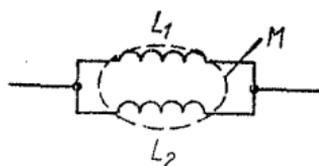
a) *paralelně* (obr. 13)

$$L_v = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \mp 2M} \quad [H; H, H, H, H] \quad (86)$$

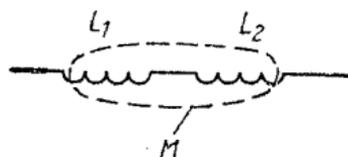
kde  $L_v$  je výsledná indukčnost,

$L_1, L_2$  indukčnost jednotlivých vinutí,

$M$  vzájemná indukčnost.



Obr. 13. Vzájemná indukčnost dvou cívek spojených paralelně



Obr. 14. Vzájemná indukčnost dvou cívek spojených do série

Znaménko — ve jmenovateli platí tehdy, jsou-li obě vinutí spojena souhlasným směrem (začátek cívky  $L_1$  se začátkem cívky  $L_2$  a konec cívky  $L_1$  s koncem cívky  $L_2$ ).

Znaménka + použijeme, jsou-li obě vinutí spojena proti sobě.

b) *při sériovém spojení* (obr. 14)

$$L_v = L_1 + L_2 \pm 2M \quad [H; H, H, H] \quad (87)$$

Znaménka + použijeme, jsou-li cívky spojeny do série souhlasným směrem (konec cívky  $L_1$  se začátkem cívky  $L_2$ ; vývody jsou začátek cívky  $L_1$  a konec cívky  $L_2$ ).

Znaménko — platí, jsou-li vinutí spojena proti sobě, (konec cívky  $L_1$  s koncem cívky  $L_2$ ; vývody jsou začátek cívky  $L_1$  a začátek cívky  $L_2$ ).

*Příklady:*

1. Jaká je vzájemná indukčnost dvou stejných cívek mezifrekvenčního transformátoru o indukčnosti po  $600 \mu\text{H}$ , je-li mezi nimi vazba o činiteli  $k = 0,02$ ?

Vzájemná indukčnost (84)

$$M = 0,02 \sqrt{600 \cdot 600} = 0,02 \sqrt{360\,000} = 0,02 \cdot 600 = 12 \mu\text{H}$$

2. Jaký je činitel vazby  $v_f$  cívek středovlnného přijímače o indukčnosti  $L_1 = 50 \mu\text{H}$  a  $L_2 = 200 \mu\text{H}$ , byla-li zjištěna vzájemná indukčnost  $M = 15 \mu\text{H}$ ?

Podle vztahu (85) je činitel vazby těchto cívek

$$k = \frac{15}{\sqrt{10\,000}} = \frac{15}{100} = 0,015$$

3. Jaká je vzájemná indukčnost mezi primárním a sekundárním vinutím nf transformátoru na uzavřeném železném jádře při indukčnosti  $L_1 = 3,6 \text{ H}$  a  $L_2 = 10 \text{ H}$ ?

Činitel vazby  $k = 1$ . Podle vztahu (84)

$$M = 1 \sqrt{3,6 \cdot 10} = \sqrt{36} = 6 \text{ H}$$

4. Transformátor má na společném jádře dvě vinutí, jedno o indukčnosti  $2 \text{ H}$ , druhé  $3 \text{ H}$ . Jakou indukčnost dostaneme, spojíme-li je do série ve stejném smyslu vinutí?

Zjistíme vzájemnou indukčnost (84)  $M = \sqrt{2 \cdot 3} = \sqrt{6} = 2,45 \text{ H}$ .  
Výsledná indukčnost obou vinutí. (87)

$$L_v = 2 + 3 + (2 \cdot 2,45) = 5 + 4,9 = 9,9 \text{ H}$$

5. Máme zjistit výslednou indukčnost cívek z příkladu 4, zapojíme-li je v sérii s opačným smyslem vinutí.

S použitím vztahu (87) dostaneme

$$L_v = 2 + 3 - (2 \cdot 2,45) = 5 - 4,9 = 0,1 \text{ H}$$

Energie v indukčnosti je dána vztahem

$$W = \frac{LI^2}{2} \quad [\text{J}; \text{H}, \text{A}] \quad (88)$$

kde  $W$  je energie,

$L$  indukčnost,

$I$  proud.

Tato energie se nejčastěji projevuje jako krátkodobý impuls napětí, vznikající ve vinutí při změně proudu jím procházejícího (zapnutí, změna velikosti proudu, vypnutí).

Uplatňuje se i škodlivě — např. ve spínacích obvodech s tranzistory; po náhlém zapojení nebo odpojení relé, připojeného na tranzistor, elektrická energie vyvolá napětovou špičku, která může připojený tranzistor poškodit nebo i zničit.

**Induktivní reaktance** (obr. 15) je jalový odpor v obvodu střídavého proudu

$$X_L = \omega L \quad [\Omega; \text{rad/s}, \text{H}] \quad (89)$$

nebo po úpravě

$$X_L = 2\pi fL \quad [\Omega; \text{Hz}, \text{H}] \quad (90)$$

kde  $X_L$  je induktivní reaktance,

$L$  indukčnost,

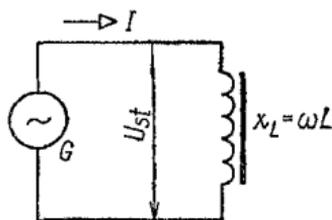
$f$  kmitočet.

Úpravou dostaneme praktický vztah

$$X_L = 6,28fL \quad [\Omega; \text{Hz}, \text{H}] \quad (91)$$

*Příklady:*

1. Vf tlumivka 20 mH má pracovat na kmitočtu 100 kHz. Jakou bude mít reaktanci?



Obr. 15. Indukčnost v obvodu střídavého proudu

Dané jednotky převedeme na základní:  $1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H}$ ,  $1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$ ;  $X_L = 6,28 \cdot 100 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 6,28 \cdot 100 \cdot 20 = 12\,560 \, \Omega$ , přibližně  $12,5 \text{ k}\Omega$ .

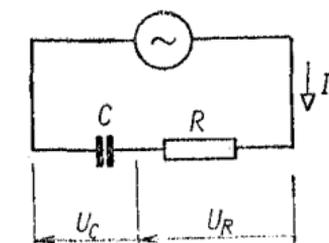
2. Jakou induktivní reaktanci má filtrační tlumivka  $8 \text{ H}$  v síťové části přijímače s dvojecestným usměrněním?

Dvojecestné usměrnění dává pulzační proud o kmitočtu  $f = 100 \text{ Hz}$ . Reaktance tlumivky tedy bude (91)  $X_L = 6,28 \cdot 100 \cdot 8 = 5\,024 \, \Omega$ , přibližně  $5 \text{ k}\Omega$ .

Induktivní reaktance běžných cívek a tlumivek pro některé hlavní kmitočty jsou uvedeny v tab. 11.

## 7. Reaktance jako předřadný odpor

Okolnosti, že reaktance — ať kapacitní nebo induktivní — vykazuje v obvodu střídavého proudu zdánlivý (jalový) odpor, je možné využít tak, že ji použijeme místo předřadného („srážecího“) odporu. Výhodnější je kondenzátor, protože snadno získáme libovolnou velikost kapacity.



Obr. 16. Sériový obvod  $RC$

Reaktanci lze použít např. ke snížení střídavého napětí sítě na velikost vhodnou pro malé žárovky nebo pro žhavení do série zapojených elektronek.

„Předřadný“ kondenzátor. V tomto případě je kondenzátor spojen v sérii s činným odporem, jde tedy o obvod  $RC$  (obr. 16).

Impedance obvodu

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad [\Omega; \Omega, \text{ rad/s, F}] \quad (92)$$

kde  $Z$  je impedance,

$R$  činný odpor,

$\omega$  úhlový kmitočet,

$C$  kapacita.

Tab. 11. Induktivní reaktance pro různé kmitočty

Indukčnost	Kmitočet									
	20 Hz	50 Hz	100 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz	1 MHz	10 MHz	100 MHz	
1 $\mu\text{H}$	—	—	—	—	—	—	6,3 $\Omega$	62,8 $\Omega$	628 $\Omega$	
2 $\mu\text{H}$	—	—	—	—	—	1,25 $\Omega$	12,5 $\Omega$	125 $\Omega$	1,2 k $\Omega$	
5 $\mu\text{F}$	—	—	—	—	—	6,3 $\Omega$	31,4 $\Omega$	314 $\Omega$	3,1 k $\Omega$	
10 $\mu\text{H}$	—	—	—	—	—	—	62,8 $\Omega$	628 $\Omega$	6,28 k $\Omega$	
20 $\mu\text{H}$	—	—	—	—	1,25 $\Omega$	12,5 $\Omega$	125 $\Omega$	1,25 k $\Omega$	12,5 k $\Omega$	
50 $\mu\text{H}$	—	—	—	—	3,1 $\Omega$	31,4 $\Omega$	314 $\Omega$	3,1 k $\Omega$	31,4 k $\Omega$	
100 $\mu\text{H}$	—	—	—	—	6,3 $\Omega$	62,8 $\Omega$	628 $\Omega$	6,3 k $\Omega$	62,8 k $\Omega$	
200 $\mu\text{H}$	—	—	—	1,25 $\Omega$	12,5 $\Omega$	125 $\Omega$	1,2 k $\Omega$	12,5 k $\Omega$	125 k $\Omega$	
500 $\mu\text{H}$	—	—	—	3,1 $\Omega$	31,4 $\Omega$	314 $\Omega$	3,1 k $\Omega$	31,4 k $\Omega$	—	
1 mH	—	—	—	6,3 $\Omega$	62,8 $\Omega$	628 $\Omega$	6,3 k $\Omega$	62,8 k $\Omega$	—	
2 mH	—	—	1,2 $\Omega$	12,5 $\Omega$	125 $\Omega$	1,2 k $\Omega$	12,5 k $\Omega$	125 k $\Omega$	—	
5 mH	—	1,6 $\Omega$	3,1 $\Omega$	31,4 $\Omega$	314 $\Omega$	3,1 k $\Omega$	31,4 k $\Omega$	—	—	
10 mH	1,2 $\Omega$	3,1 $\Omega$	6,3 $\Omega$	62,8 $\Omega$	628 $\Omega$	6,3 k $\Omega$	62,8 k $\Omega$	—	—	
20 mH	2,5 $\Omega$	6,3 $\Omega$	12,5 $\Omega$	125 $\Omega$	1,2 k $\Omega$	12,5 k $\Omega$	125 k $\Omega$	—	—	
50 mH	6,3 $\Omega$	15,7 $\Omega$	31,4 $\Omega$	314 $\Omega$	3,1 k $\Omega$	31,4 k $\Omega$	—	—	—	
100 mH	12,5 $\Omega$	31,4 $\Omega$	62,8 $\Omega$	628 $\Omega$	6,3 k $\Omega$	62,8 k $\Omega$	—	—	—	
200 mH	25 $\Omega$	62,8 $\Omega$	125 $\Omega$	1,2 k $\Omega$	12,5 k $\Omega$	125 k $\Omega$	—	—	—	
500 mH	62,8 $\Omega$	157 $\Omega$	314 $\Omega$	3,1 k $\Omega$	31,4 k $\Omega$	—	—	—	—	
1 H	125 $\Omega$	314 $\Omega$	628 $\Omega$	6,3 $\Omega$	62,8 k $\Omega$	—	—	—	—	
2 H	250 $\Omega$	628 $\Omega$	1,2 k $\Omega$	12,5 $\Omega$	125 k $\Omega$	—	—	—	—	
5 H	628 $\Omega$	1,6 k $\Omega$	3,1 k $\Omega$	31,4 k $\Omega$	—	—	—	—	—	
10 H	1,2 k $\Omega$	3,1 k $\Omega$	6,3 k $\Omega$	62,8 k $\Omega$	—	—	—	—	—	
20 H	2,5 k $\Omega$	6,3 k $\Omega$	12,5 k $\Omega$	125 k $\Omega$	—	—	—	—	—	
50 H	6,28 k $\Omega$	15,7 k $\Omega$	31,4 k $\Omega$	—	—	—	—	—	—	

Poznámka: Uvedených velikostí induktivních reaktancí pro velké indukčnosti a vysoké kmitočty se v praxi nedosáhne. Uplatňují se zkratky a kapacita vinutí, takže pro nejvyšší kmitočty působí cívka jako kondenzátor.

Po úpravě na běžné jednotky

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{10^6}{2\pi fC}\right)^2} \quad [\Omega; \Omega, \text{Hz}, \mu\text{F}] \quad (93)$$

kde  $f$  je kmitočet.

[ostatní symboly jako v rovnici (92)].

Střídavé napětí celého obvodu  $CR$  se skládá z napětí na odporu  $U_R$  a z napětí na kondenzátoru  $U_C$ . Obě složky jsou fázově posunuty o  $90^\circ$  (vektory), a proto se sčítají nebo odčítají geometricky.

Celkové napětí

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} \quad [\text{V}; \text{V}, \text{V}] \quad (94)$$

Z toho napětí

a) na kondenzátoru

$$U_C = \sqrt{U^2 - U_R^2} \quad [\text{V}; \text{V}, \text{V}] \quad (95)$$

b) na odporu

$$U_R = \sqrt{U^2 - U_C^2} \quad [\text{V}; \text{V}, \text{V}] \quad (96)$$

Obvykle známe proud spotřebiče (např. vlákna žárovky nebo elektronek). Napětí na kondenzátoru je dáno součinem procházejícího proudu  $I$  a kapacitní reaktance  $X_C$ .

Napětí na kondenzátoru

$$U_C = I \frac{1}{\omega C} = \frac{I}{\omega C} \quad [\text{V}; \text{A}, \text{rad/s}, \text{F}] \quad (97)$$

kde  $U_C$  je napětí na kondenzátoru,

$I$  proud,

$\omega$  úhlový kmitočet,

$C$  kapacita.

Úpravou vztahu (97) vypočítáme kapacitu

$$C = \frac{I \cdot 10^6}{2\pi f U_C} \quad [\mu\text{F}; \text{A}, \text{Hz}, \text{V}] \quad (98)$$

kde  $f$  je kmitočet,

$I$  proud,

$\pi = 3,1416$ ,

$U_C$  napětí na kondenzátoru.

Pro střídavý proud o kmitočtu  $f = 50 \text{ Hz}$  je možné vztah (98) zjednodušit

$$C = \frac{3 \, 183 \cdot I}{U_C} \quad [\mu\text{F}; \text{A}, \text{V}] \quad (99)$$

kde  $C$  je kapacita,

3 183 činitel pro kmitočet 50 Hz,

$I$  proud,

$U_C$  napětí na kapacitě.

Vztahy (95) a (99) můžeme sloučit:

$$C = \frac{3 \, 183 \cdot I}{\sqrt{U^2 - U_R^2}} \quad [\mu\text{F}; \text{A}, \text{V}, \text{V}] \quad (100)$$

kde  $U$  je napětí sítě,

$U_R$  žhavicí napětí vláken elektronek,

ostatní symboly jsou stejné jako u rovnice (99).

Použití kapacitní reaktance místo předřadného odporu je úsporné, protože příkon ze sítě je prakticky roven jen poměrně malému činnému výkonu žhavicího obvodu. Elektrický výkon kondenzátoru je jalový — nemění se v teplo, jako u předřadného odporu, takže odpadá (často značné) zahřívání.

Jak bylo uvedeno v kap. 2 je zdánlivý výkon

$$S = UI \quad [\text{VA}; \text{V}, \text{A}] \quad (101)$$

kde  $S$  je zdánlivý výkon,

$U$  napětí,

$I$  proud.

## Činný výkon

$$P = UI \cos \varphi \quad [W; V, A, \text{—}] \quad (102)$$

kde  $\cos \varphi$  (kosinus  $\varphi$ ) je účinník.

Účinník

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad [\text{—}; W, VA] \quad (103)$$

kde  $P$  je činný výkon,  
 $S$  zdánlivý výkon.

Pro „předřadný“ kondenzátor lze účinník stanovit též z poměru napětí

$$\cos \varphi = \frac{U_R}{U} \quad [\text{—}; V, V] \quad (104)$$

kde  $U_R$  je žhavicí napětí vláken,  
 $U$  napětí sítě.

### Upozornění:

Kondenzátor musí vydržet bezpečně aspoň trojnásobek nejvyššího napětí v obvodu! Např. pro síť 220 V volíme kondenzátor na 650 V, lépe na 1 000 V, protože při jeho průrazu hrozí elektronkám zničení (spálení žhavicího vlákna).

### Příklad:

Chceme sestavit co nejmenší síťový zesilovač do přenosného gramofonu. Abychom se obešli bez síťového transformátoru, použijeme sdruženou elektronku, která dá dostatečné zesílení a výkon s přímým usměrněním síťového napětí. Máme například k dispozici novalovcu triodu—pentodu UCL82 se žhavicím napětím  $U_f = 50$  V a žhavicím proudem  $I_f = 0,1$  A (dává již při anodovém napětí 200 V výkon asi 3 W). Vláknko bude napájeno přímo ze sítě přes kondenzátor (obr. 17).

1. Jakou kapacitu má mít tento kondenzátor?

Dosadíme-li místo veličiny  $U_R$  žhavicí napětí  $U_f$ , je napětí na kondenzátoru (95)

$$U_C = \sqrt{220^2 - 50^2} = \sqrt{48\,400 - 2\,500} = \sqrt{45\,900} = 214 \text{ V}$$

Při proudu  $I = 0,1$  A je potřebná kapacita (98)

$$C = \frac{0,1 \cdot 10^6}{6,28 \cdot 50 \cdot 214} = \frac{10^5}{314 \cdot 214} = \frac{100\,000}{67\,196} \approx 1,48 \mu\text{F}$$

Podobně ze vzorce (100) dostaneme

$$C = \frac{3\,183 \cdot 0,1}{\sqrt{220^2 - 50^2}} = \frac{318,3}{214} \approx 1,48 \mu\text{F}$$

Tuto velikost získáme např. z paralelně zapojených svitkových kondenzátorů  $1 \mu\text{F}$  a  $0,5 \mu\text{F}$  — výslednou kapacitu nejlépe změříme, aby se příliš nelišila od vypočtené (přežhavení nebo podžhavení elektronky).

2. Jaký je příkon žhavicího obvodu: a) při použití kondenzátoru, b) s běžným předřadným odporem?

a) Dosazením do vzorce (103) dostaneme účinník  $\cos \varphi = \frac{50}{220} = 0,228$ , přibližně  $0,23$ .

Příkon při použití kondenzátoru (102)

$$P = 220 \cdot 0,1 \cdot 0,23 = 5 \text{ W}$$

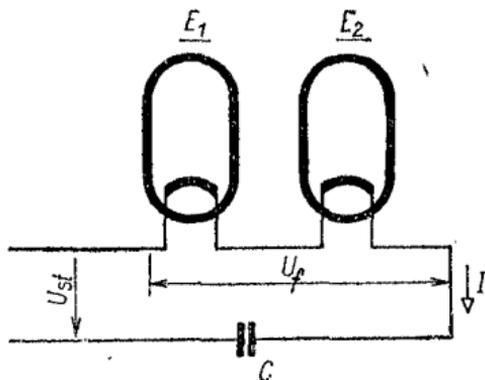
b) Při použití odporu — kdy  $\cos \varphi = 1$  — byl by příkon

$$P = 220 \cdot 0,1 \cdot 1 = 22 \text{ W}$$

**Reaktance obvodů RC.** Paralelním nebo sériovým spojením kondenzátoru a odporu vznikne obvod zvaný stručně — podle symbolů obou součástí — obvod RC. Podobně spojení kondenzátoru a indukčnosti tvoří obvod LC a spojení indukčnosti a odporu obvod RL.

Při rovnosti kapacitní reaktance a činného odporu, zapojených v obvodu střídavého proudu, platí rovnice

$$\frac{1}{\omega C} = R \quad [\text{rad/s, F; } \Omega] \quad (105)$$



Obr. 17. Předřadný kondenzátor

nebo jinak vyjádřeno

$$R\omega C = 1 \quad [\Omega, \text{rad/s}, \text{F}] \quad (106)$$

Z toho lze vypočítat *odpor*

$$R = \frac{1}{\omega C} \quad [\Omega; \text{rad/s}, \text{F}] \quad (107)$$

kde  $R$  je činný odpor,  
 $\omega$  úhlový kmitočet,  
 $C$  kapacita,

nebo po úpravě

$$R = \frac{1}{2\pi f C} \quad [\Omega; \text{Hz}, \text{F}] \quad (108)$$

kde  $R$  je odpor,  
 $f$  kmitočet,  
 $C$  kapacita.

Vztah (108) můžeme upravit pro běžnější jednotky

$$R = \frac{1,59 \cdot 10^5}{f C} \quad [\Omega; \text{Hz}, \mu\text{F}] \quad (109)$$

Podobně ze vztahu (105) určíme *kapacitu*

$$C = \frac{1}{\omega R} \quad [\text{F}; \text{rad/s}, \Omega] \quad (110)$$

nebo po úpravě

$$C = \frac{1}{2\pi f R} \quad [\text{F}; \text{Hz}, \Omega] \quad (111)$$

a výsledný vztah

$$C = \frac{1,59 \cdot 10^5}{f R} \quad [\mu\text{F}; \text{Hz}, \Omega] \quad (112)$$

(popř. pro jiné vhodné jednotky, např. pro vysoké kmitočty pF, kHz apod.).

### Mezní kmitočet

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad [\text{Hz}; \Omega, \text{F}] \quad (113)$$

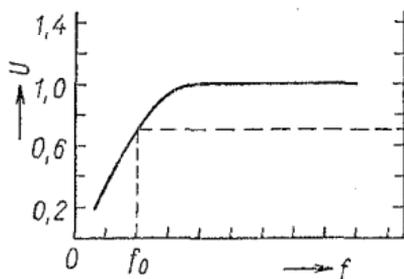
nebo pro stejné jednotky jako ve (112)

$$f_0 = \frac{1,59 \cdot 10^5}{RC} \quad [\text{Hz}; \Omega, \mu\text{F}] \quad (114)$$

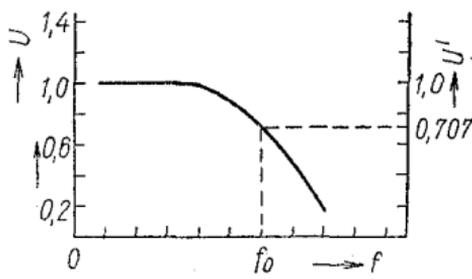
Při mezním kmitočtu, zvaném též dělicí, je poměr střídavého napětí  $U'$  na odporu (nebo kondenzátoru) k celkovému napětí  $U$  (obr. 18c, d)



Obr. 18. Členy  $RC$  spojené a) do série, b) paralelně



c)



d)

Obr. 18cd. Mezní kmitočty

$$\frac{U'}{U} = p = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707 \quad [V, V; -] \quad (115)$$

kde  $U'$  je napětí na odporu (kapacitě),  
 $U$  celkové napětí obvodu,  
 $p$  poměr napětí.

Při rovnosti kapacitní reaktance  $X_C$  a odporu  $R$  je tedy na odporu  $U' \doteq 71 \%$  celkového napětí  $U$ , tzn. napětí  $U'$  je asi o 30 % neboli o  $-3$  dB menší než celkové napětí  $U$ .

Při spojení členů  $C$  a  $R$  v sérii jako vazebních nf členů ubývá nižších kmitočtů na výstupu pod mezním kmitočtem o 6 dB, tj. na polovinu pro oktávu.

Při spojení členů  $RC$  paralelně ubývá na výstupu naopak vyšších kmitočtů nad kmitočtem rovnosti o 6 dB na oktávu (oktáva je tón o dvojnásobném — nebo zde podle okolnosti polovičním — kmitočtu), (obr. 18b).

Obecně zesílení nebo útlum  $g$  pro  $n$  oktáv lze vyjádřit vztahem

$$\pm g = \pm 2^n \quad (116)$$

kde  $+g$  je zesílení (zisk),  
 $-g$  útlum (zeslabení),  
 $n$  počet oktáv.

Uvedené vztahy platí jen pro samotné obvody  $RC$ . Jsou-li v obvodu zapojeny tzv. aktivní součástky (elektronky, tranzistory), musí se počítat s jejich zesilovacím činitelem, popř. strmostí, což vztahy komplikuje.

#### *Příklady:*

1. Ve starším rozhlasovém přijímači je paralelně k výstupnímu transformátoru koncevého stupně s pentodou EL84 připojen kondenzátor 5 000 pF. Od kterého kmitočtu jsou potlačovány vyšší tóny? Elektronka EL84 má podle katalogu zatěžovací odpor v anodě 7 000  $\Omega$ .

$$f_0 = \frac{1,59 \cdot 10^5}{7\,000 \cdot 0,005} = \frac{159\,000}{35} = 4\,500 \text{ Hz}$$

Na dvojnásobku, tj. na 9 000 Hz, by bylo tónové napětí již jen poloviční — o jakostní reprodukci podle dnešních měřítek by se sotva dalo mluvit.

2. Jakým kondenzátorem nutno vysokofrekvenčně uzemnit na kostru přívod anodového napětí do vf stupně, je-li napájen přes odpor 20 k $\Omega$ ? Jde o přijímač pro střední a dlouhé vlny.

Kapacitu volíme podle nejnižšího vf kmitočtu, zde tedy bezpečně nad koncem dlouhovlnného pásma (100 kHz), např. pro 10 kHz. Potřebná kapacita podle upraveného vzorce (112)

$$C = \frac{1,59 \cdot 10^8}{10\,000 \cdot 10} = \frac{1,59 \cdot 10^8}{10^5} = 1,59 \cdot 10^3 = 1\,590 \text{ pF}$$

Volíme normalizovanou velikost  $C = 1\,500 \text{ pF}$ .

3. Od kterého kmitočtu začíná působit korekční záporná zpětná vazba pro zdůraznění basů v zesilovači, má-li oddělovací kondenzátor kapacitu 500 pF a sériový zpětnovazební odpor je 800 k $\Omega$ ?

Působení zpětné vazby počíná mezním kmitočtem (114)

$$f = \frac{1,59 \cdot 10^8}{800 \cdot 500} = \frac{1,59 \cdot 10^8}{40 \cdot 10^4} = 3,98 \cdot 10^2 = 398 \text{ Hz}$$

Kolikrát bude zdůrazněn nejnižší kmitočet (prakticky 50 Hz)?

Nejnižší kmitočet 50 Hz je o 3 oktávy níže (116):  $+g = 2^3 = 8$ , takže „zvednutí“ basů bude osminásobné (v logaritmickém poměru napětí +18 dB).

## 8. Rezonanční obvody LC

**Rezonanční kmitočet  $f_0$  ideálního obvodu beze ztrát (Thomsonův vzorec)**

a) pro základní jednotky

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{0,159}{\sqrt{LC}} \quad [\text{Hz}; \text{F}, \text{H}] \quad (117)$$

b) pro nízké kmitočty

$$f_0 = \frac{159}{\sqrt{LC}} \quad [\text{Hz}; \mu\text{F}, \text{H}] \quad (118)$$

c) pro vysoké kmitočty

$$f_0 = \frac{5,03 \cdot 10^3}{\sqrt{LC}} \quad [\text{kHz}; \text{mH}, \text{pF}] \quad (119)$$

nebo

$$f_0 = \frac{159}{\sqrt{LC}} \quad [\text{MHz}; \mu\text{H}, \text{pF}] \quad (120)$$

Potřebujeme-li znát velikost jednotlivých složek laděného obvodu pro požadovaný rezonanční kmitočet, vypočítáme je z předcházejících rovnic, např.

$$f_0^2 = \frac{159^2}{LC} = \frac{2,533 \cdot 10^4}{LC} \quad [\text{Hz}; \text{H}, \mu\text{F}] \quad (121)$$

Z toho najdeme

a) pro nízké kmitočty  
indukčnost

$$L = \frac{2,533 \cdot 10^4}{f_0^2 C} \quad [\text{H}; \text{Hz}, \mu\text{F}] \quad (122)$$

kapacitu

$$C = \frac{2,533 \cdot 10^4}{f_0^2 L} \quad [\mu\text{F}; \text{Hz}, \text{H}] \quad (123)$$

b) pro vysoké kmitočty  
indukčnost

$$L = \frac{2,533 \cdot 10^4}{f_0^2 C} \quad [\mu\text{H}; \text{MHz}, \text{pF}] \quad (124)$$

kapacitu

$$C = \frac{2,533 \cdot 10^4}{f_0^2 L} \quad [\text{pF}; \text{MHz}, \mu\text{H}] \quad (125)$$

### Příklady:

1. Na jakém kmitočtu rezonuje obvod složený z cívky o indukčnosti  $L = 200 \mu\text{H}$  a kondenzátoru o kapacitě  $C = 270 \text{ pF}$ ?

Dosažením do vztahu (120) zjistíme

$$f_0 = \frac{159}{\sqrt{200 \cdot 270}} = \frac{159}{\sqrt{5,4 \cdot 10^4}} = \frac{159}{233} = 0,685 \text{ MHz}$$

2. S jakou kapacitou bude v rezonanci tlumivka o indukčnosti  $L = 1 \text{ H}$  na kmitočtu  $f = 100 \text{ Hz}$ ?

Podle vztahu (123)

$$C = \frac{2,533 \cdot 10^4}{100^2 \cdot 1} = \frac{25\,330}{10\,000} = 2,5 \mu\text{F}$$

**Součiny  $LC$ .** Podobné — často potřebné — výpočty nám usnadní tabulka součinů  $LC$ , uvedená na str. 58.

Pro určení kapacity  $C$  dělíme příslušný součin  $LC$  indukčnosti

$$C = \frac{LC}{L} \quad (126)$$

Naopak hledáme-li indukčnost, dělíme součin kapacitou

$$L = \frac{LC}{C} \quad (127)$$

V tab. 12 jsou přímo uvedeny součiny  $LC$  pro rozsah 100 až 1 000 kHz, přičemž údaje ve sloupci  $LC$  se musí násobit činitelem  $10^6$ .

Pro vyšší kmitočty násobíme údaje ve sloupci  $f$  požadovaným činitelem (např. 10, 100 atd.), ale přitom je třeba odpovídající součiny  $LC$  dělit dvojnásobkem tohoto činitele (tj. 100, 10 000 apod.).

Tabulky lze rovněž použít pro nízkofrekvenční kmitočty. V tom případě uvažujeme kmitočet  $f$  v Hz a údaje  $LC$  čteme přímo (bez násobení). Indukčnost  $L$  vyjde v H, kapacita  $C$  v  $\mu\text{F}$ .

Tab. 12. Součiny LC

$f$ [kHz]	$LC \cdot 10^6$	$f$ [kHz]	$LC \cdot 10^6$	$f$ [kHz]	$LC \cdot 10^6$
100	2,533 0	410	0,150 7	710	0,050 25
110	2,093 4	420	0,143 6	720	0,048 86
120	1,760 0	430	0,137 0	730	0,047 53
130	1,498 8	440	0,130 8	740	0,046 25
140	1,292 3	450	0,125 1	750	0,045 03
150	1,125 6	460	0,119 7	760	0,043 85
160	0,989 4	470	0,114 7	770	0,042 72
170	0,876 5	480	0,109 9	780	0,041 63
180	0,781 6	490	0,105 5	790	0,040 58
190	0,701 6	500	0,101 4	800	0,039 58
200	0,633 5	510	0,097 39		
210	0,574 3	520	0,093 68	810	0,038 61
220	0,523 3	530	0,090 18	820	0,037 67
230	0,478 7	540	0,086 87	830	0,036 77
240	0,439 7	550	0,083 74	840	0,035 90
250	0,405 3	560	0,080 77	850	0,035 06
260	0,374 7	570	0,077 97	860	0,034 25
270	0,347 7	580	0,075 30	870	0,033 47
280	0,323 1	590	0,072 76	880	0,032 71
290	0,301 2	600	0,070 39	890	0,031 98
300	0,281 6	610	0,068 07	900	0,031 27
310	0,263 5	620	0,065 89	910	0,030 57
320	0,247 3	630	0,063 62	920	0,029 9
330	0,232 6	640	0,061 84	930	0,029 83
340	0,219 1	650	0,059 95	940	0,028 66
350	0,206 8	660	0,058 15	950	0,028 06
360	0,195 5	670	0,056 42	960	0,027 49
370	0,185 0	680	0,054 78	970	0,026 92
380	0,174 5	690	0,053 20	980	0,026 38
390	0,166 5	700	0,051 70	990	0,025 85
400	0,158 3			1 000	0,025 33

Pro kmitočty pod 100 Hz tabulka nestačí. Potom dělíme kmitočet  $f$  deseti, kdežto součin  $LC$  násobíme stem ( $= 10^2$ ). Opět vyjde indukčnost  $L$  v H a kapacita  $C$  v  $\mu\text{F}$ .

Údaje v tabulce neobsažené najdeme interpolací. Například mezifrekvenční kmitočet 452 kHz v tabulce není. Součin  $LC$  pro 450 kHz je 0,1251, pro 460 kHz je součin  $LC = 0,1197$ . Rozdíl je  $0,1251 - 0,1197 = 0,0054$  na 10 kHz, tedy 0,000 54 na 1 kHz. Požadovaný rozdíl pro 2 kHz  $= 2 \cdot 0,000 54 = 0,001 08$  odečteme od součinu nižšího kmitočtu. Pro  $f = 452$  kHz je tedy  $LC = 0,124 02 \cdot 10^6$ .

*Příklady:*

1. Jaký je součin  $LC$  pro kmitočet 500 Hz?

Výsledek najdeme v tabulce přímo:  $LC = 0,1014$ .

2. Jaký je součin  $LC$  pro  $f = 40$  Hz?

Zde tabulka nestačí. Hledáme tedy kmitočet desetkrát vyšší, tj. 400 Hz a jemu odpovídající součin násobíme  $10^2$ . Pro  $f = 40$  Hz, je tedy  $LC = 15,83$ .

3. Jakou indukčnost musí mít vinutí feritové antény, chceme-li obsáhnout pásmo středních vln s nejnižším kmitočtem  $f = 520$  kHz, je-li největší kapacita (zavřeného) ladicího kondenzátoru  $C = 220$  pF?

Pro  $f = 520$  kHz najdeme součin  $LC = 0,093 68 \cdot 10^6$ . Kapacita je dána, indukčnost najdemé ze vztahu (127)

$$L = \frac{9\ 368}{220} = 425,8 \mu\text{H}$$

4. Jakou kapacitu kondenzátoru potřebujeme pro odladovač vysílače Praha (kmitočet  $f = 638$  kHz), máme-li cívku o indukčnosti  $L = 205 \mu\text{H}$ ?

Součin  $LC$  vyhledáme interpolací, popsanou nahoře.  $LC = 0,062 22 \cdot 10^6$  a potřebná kapacita (126)

$$C = \frac{62\ 220}{205} = 302 \text{ pF}$$

*Změna indukčnosti.* Potřebujeme-li změnit indukčnost na jiný kmitočet rezonančního obvodu při stejné kapacitě, změníme počet závitů s druhou mocninou jejich poměru

$$\frac{L_2}{L_1} = p^2 \quad [\mu\text{H}; -] \quad (128)$$

kde  $L_1$  je dosavadní indukčnost,  
 $L_2$  indukčnost požadovaná,  
 $p$  převod nebo poměr počtu závitů,

Indukčnost může být v libovolných jednotkách.  
 Poměr  $p$  získáme odmocněním

$$p = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \quad [—; \mu\text{H}] \quad (129)$$

Ze vztahu (128) zjistíme počet potřebných závitů  $N_2$  z počtu závitů  $N_1$  stávajícího vinutí

$$N_2 = N_1 p = N_1 \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \quad (130)$$

*Příklad:*

Krátkovlnný rozsah přijímače sahá do 50 m; ladicí kondenzátor má maximální kapacitu  $C = 400$  pF. Ladicí rozsah chceme rozšířit do 85 m beze změny kondenzátoru.

Pro 50 m neboli 6 000 kHz je v tab. 12 součin  $LC = 704$ , takže cívka má při použití kapacity  $C = 400$  pF indukčnost  $L = \frac{704}{400} = 1,76 \mu\text{H}$ . Zjistili jsme, že je na ní např. 12 závitů. Pro 85 m neboli 3 530 kHz je potřebný součin (interpolací)  $LC = 2\,034$ . Při kapacitě  $C = 400$  pF potřebujeme nyní indukčnost  $L = \frac{2\,034}{400} = 5,08 \mu\text{H}$ .

Tomu odpovídá podle vztahu (130) vinutí

$$N_2 = 12 \sqrt{\frac{5,08}{1,76}} = 12 \sqrt{2,88} \doteq 20,5 \text{ závitů}$$

**Kmitočet, délka vlny.** U střídavých proudů vysokých kmitočetů (vř) se často udává délka vlny — v metrech (m), decimetrech (dm), popřípadě centimetrech (cm).

Délka vlny kmitočet na sobě závisí nepřímo úměrně.

a) *Délka vlny*

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [\text{m}; \text{km/s}, \text{kHz}] \quad (131)$$

kde  $\lambda$  (lambda) je délka vlny,  
 $c$  rychlost šíření,  
 $f$  kmitočet.

b) *Kmitočet*

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad [\text{kHz}; \text{km/s}, \text{m}] \quad (132)$$

Konstanta  $c$  je rychlost šíření světla a elektromagnetických vln — má (ve vakuu) hodnotu  $c \doteq 299\,793$  km/s. Pro naše praktické účely se zaokrouhluje na  $c \doteq 300\,000$  neboli  $3 \cdot 10^5$  km/s.

Převod hlavních vf kmitočetů na vlnové délky je v tab. 13.

Pro rezonanční (laděné) obvody vysokých kmitočetů se známý Thomsonův vzorec pro kmitočet

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (133)$$

používá též v úpravě pro vlnové délky:

a) *Pro delší vlny*

$$\lambda = 59,6 \sqrt{LC} \quad [\text{m}; \text{mH}, \text{pF}] \quad (134)$$

kde  $\lambda$  je délka vlny,

$L$  indukčnost cívky,

$C$  kapacita kondenzátoru.

b) *Pro kratší vlny*

$$\lambda = 1,885 \sqrt{LC} \quad [\text{m}; \mu\text{H}, \text{pF}] \quad (135)$$

(Součiny  $LC$  pro hlavní kmitočty jsou uvedeny v tab. 12.)

Ze vztahů (134) a (135) můžeme zjistit jednotlivé složky rezonančního obvodu podobně jako z Thomsonova vzorce pro kmitočet:

a) *Indukčnost*

$$L = \frac{281\lambda^2}{C \cdot 10^6} \quad [\text{mH}; \text{m}, \text{pF}] \quad (136)$$

Tab. 13. Převod vlnových

MHz m	m MHz								
20,0	15,000	17,0	17,647	14,0	21,428	11,0	27,273	8,0	37,500
19,9	15,075	16,9	17,751	13,9	21,583	10,9	27,523	7,9	37,975
19,8	15,151	16,8	17,857	13,8	21,739	10,8	27,778	7,8	38,461
19,7	15,228	16,7	17,964	13,7	21,898	10,7	28,037	7,7	38,961
19,6	15,306	16,6	18,072	13,6	22,059	10,6	28,302	7,6	39,474
19,5	15,385	16,5	18,182	13,5	22,222	10,5	28,571	7,5	40,000
19,4	15,464	16,4	18,293	13,4	22,388	10,4	28,846	7,4	40,540
19,3	15,544	16,3	18,405	13,3	22,556	10,3	29,126	7,3	41,096
19,2	15,625	16,2	18,519	13,2	22,727	10,2	29,412	7,2	41,667
19,1	15,707	16,1	18,633	13,1	22,901	10,1	29,703	7,1	42,254
19,0	15,789	16,0	18,750	13,0	23,077	10,0	30,000	7,0	42,857
18,9	15,873	15,9	18,868	12,9	23,256	9,9	30,303	6,9	43,478
18,8	15,947	15,8	18,987	12,8	23,437	9,8	30,612	6,8	44,118
18,7	16,043	15,7	19,108	12,7	23,622	9,7	30,928	6,7	44,776
18,6	16,129	15,6	19,231	12,6	23,810	9,6	31,250	6,6	45,455
18,5	16,216	15,5	19,355	12,5	24,000	9,5	31,579	6,5	46,154
18,4	16,304	15,4	19,480	12,4	24,193	9,4	31,915	6,4	46,874
18,3	16,303	15,3	19,608	12,3	24,390	9,3	32,258	6,3	47,619
18,2	16,483	15,2	19,737	12,2	24,590	9,2	32,608	6,2	48,387
18,1	16,574	15,1	19,867	12,1	24,793	9,1	32,967	6,1	49,180
18,0	16,667	15,0	20,000	12,0	25,000	9,0	33,333	6,0	50,000
17,9	16,760	14,9	20,134	11,9	25,210	8,9	33,708	5,9	50,847
17,8	16,854	14,8	20,270	11,8	25,424	8,8	34,091	5,8	51,724
17,7	16,949	14,7	20,408	11,7	25,641	8,7	34,483	5,7	52,631
17,6	17,000	14,6	20,548	11,6	25,862	8,6	34,884	5,6	53,571
17,5	17,143	14,5	20,690	11,5	26,087	8,5	35,294	5,5	54,545
17,4	17,242	14,4	20,833	11,4	26,316	8,4	35,714	5,4	55,555
17,3	17,341	14,3	20,979	11,3	26,549	8,3	36,145	5,3	56,604
17,2	17,442	14,2	21,127	11,2	26,786	8,2	36,585	5,2	57,692
17,1	17,544	14,1	21,276	11,1	27,027	8,1	37,037	5,1	58,824

Tabulky lze používat i opačně, místo MHz nebo kHz dosadíme vlnovou délku

délek na kmitočty a naopak

MHz m	m MHz	kHz m	m kHz	kHz m	m kHz	kHz m	m kHz	kHz m	m kHz
5,0	60,000	2 000	150,00	1 250	240,00	950	315,79	650	461,54
4,9	61,224	1 900	157,89	1 240	241,93	940	319,15	640	463,75
4,8	62,500	1 800	166,67	1 230	243,90	930	322,58	630	476,19
4,7	63,830	1 700	176,47	1 220	245,90	920	326,09	620	483,87
4,6	65,217	1 600	187,50	1 210	247,93	910	329,67	610	491,80
4,5	66,667	1 500	200,00	1 200	250,00	900	333,33	600	500,00
4,4	68,182	1 490	201,34	1 190	252,10	890	337,08	590	508,47
4,3	69,767	1 480	202,70	1 180	254,24	880	340,91	580	517,24
4,2	71,429	1 470	204,08	1 170	256,41	870	344,83	570	526,32
4,1	73,171	1 460	205,48	1 160	258,62	860	348,84	560	535,71
4,0	75,000	1 450	206,90	1 150	260,87	850	352,94	550	545,45
3,9	76,923	1 440	208,33	1 140	263,16	840	357,14	540	555,55
3,8	78,947	1 430	209,79	1 130	265,49	830	361,45	530	566,03
3,7	81,080	1 420	211,27	1 120	267,86	820	365,85	520	576,79
3,6	83,333	1 410	212,77	1 110	270,27	810	370,37	510	588,24
3,5	85,714	1 400	214,28	1 100	272,73	800	375,00	500	600,00
3,4	88,235	1 390	215,83	1 090	275,23	790	379,75	450	666,67
3,3	90,909	1 380	217,39	1 080	277,78	780	384,61	400	750,00
3,2	93,750	1 370	218,98	1 070	280,37	770	389,61	350	857,14
3,1	96,774	1 360	220,59	1 060	283,02	760	394,74	300	1 000
3,0	100,00	1 350	222,22	1 050	285,71	750	400,00	250	1 200
2,9	103,45	1 340	223,88	1 040	288,46	740	405,40	200	1 500
2,8	107,14	1 330	225,56	1 030	291,26	730	410,96	150	2 000
2,7	111,11	1 320	227,27	1 020	294,12	720	416,67	100	3 000
2,6	115,38	1 310	229,01	1 010	297,03	710	422,54	80	3 750
2,5	120,00	1 300	230,77	1 000	300,00	700	428,57	60	5 000
2,4	125,00	1 290	232,56	990	303,03	690	434,78	40	7 500
2,3	130,43	1 280	234,38	980	306,12	680	441,18	20	15 000
2,2	136,36	1 270	236,22	970	309,28	670	447,76	10	30 000
2,1	142,86	1 260	238,10	960	312,50	660	454,54	5	60 000

v m. Např. 19,0 MHz = 15,789 m nebo 19,0 m = 15,789 MHz.

nebo

$$L = \frac{0,281 \cdot \lambda^2}{C} \quad [\mu\text{H}; \text{m}, \text{pF}] \quad (137)$$

b) *Kapacita*

$$C = \frac{281\lambda^2}{L \cdot 10^6} \quad [\text{pF}; \text{m}, \text{mH}] \quad (138)$$

nebo

$$C = \frac{0,281\lambda^2}{L} \quad [\text{pF}; \text{m}, \mu\text{H}] \quad (139)$$

*Příklady:*

1. Jaká délka vlny přísluší vř kmitočtu  $f = 200 \text{ kHz}$ ?  
Ze vztahu (131) zjistíme

$$\lambda = \frac{300\,000}{200} = 1\,500 \text{ m}$$

2. Jaký kmitočet má čs. rozhlasová stanice Hvězda na vlně 233,3 m?

Dosažením do vztahu (132) dostaneme

$$f = \frac{300\,000}{233,3} = 1\,286 \text{ kHz}$$

3. Rozměry prvků televizních antén se určují podle vlnové délky. Jakou délku vlny má TV vysílač IV pásma Petřín, je-li jeho střední kmitočet  $f = 498 \text{ MHz}$ ?

Použijeme vzorec (131) s převodem kmitočtu na kHz ( $498 \text{ MHz} = 498\,000 \text{ kHz}$ ).

$$\lambda = \frac{300\,000}{498\,000} = 0,6 \text{ m}$$

4. Jakou kapacitu proměnného kondenzátoru potřebujeme pro odladovač vysílače Praha s vlnovou délkou  $\lambda = 470,2 \text{ m}$ , máme-li vř cívku o indukčnosti  $L = 400 \mu\text{H}$ ?

Vzhledem k nastavitelnosti kondenzátoru a přidavné kapacitě spojů je možné údaje zaokrouhlit; např. vlnovou délku na 470 m a převodní činitel v čitateli na 0,28. Použijeme vztahu (139):

$$C = \frac{0,28 \cdot 470^2}{400} = \frac{61\,852}{400} = 154 \text{ pF} \doteq 155 \text{ pF}$$

5. Na jakou vlnu je naladěn rezonanční obvod se součinem  $LC = 49\,730$ ? ( $L$  v  $\mu\text{H}$ ,  $C$  v  $\text{pF}$ .)

Podle vztahu (135)

$$\lambda = 1,885 \sqrt{49\,730} = 1,885 \cdot 223 = 420 \text{ m}$$

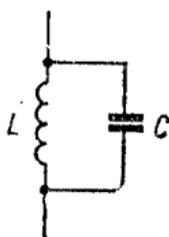
**Impedance obvodů  $LC$ .** Tyto obvody tvoří indukčnost a kapacita, spojené buď paralelně nebo v sérii v obvodu střídavého proudu.

V ideálním případě (tj. pro indukčnost i kapacitu beze ztrát):

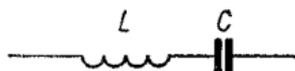
a) *Indukčnost a kapacita zapojené paralelně* (obr. 19)  
Impedance

$$Z = \frac{L}{C \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right)} \quad [\Omega; \text{H, F, rad/s, F}] \quad (140)$$

kde  $Z$  je výsledná impedance,  
 $L$  indukčnost,  
 $C$  kapacita,  
 $\omega$  úhlový kmitočet



Obr. 19. Paralelní obvod  $LC$



Obr. 20. Sériový obvod  $LC$

(Vzorce pro základní jednotky lze známým způsobem upravit pro jednotky prakticky více používané, jako  $\text{pF}$ ,  $\mu\text{H}$ ,  $\text{k}\Omega$  apod.)

b) *Indukčnost a kapacita zapojené v sérii* (obr. 20)  
Impedance

$$Z = \omega L - \frac{1}{\omega C} \quad [\Omega; \text{rad/s, H, rad/s, F}] \quad (141)$$

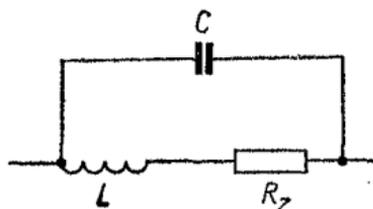
V praxi se vyskytuje vedle ideální indukčnosti a kapacity i ztrátový činný odpor  $R_z$ , zvláště ve vinutí cívky. Tím se vzorec změní.

Indukčnost  $L$  s odporem  $R_z$  v sérii, kapacitě  $C$  paralelně (obr. 21). Pro  $R \ll \omega L$  dostaneme přibližně

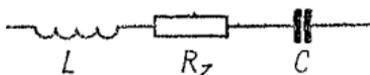
$$Z = \frac{\omega L}{\sqrt{(1 - \omega^2 LC)^2 + (R_z \omega C)^2}} \quad [\Omega; \text{rad/s, H, F, } \Omega] \quad (142)$$

kde  $R_z$  je ztrátový činný odpor.

$L$ ,  $R_z$ ,  $C$  v sérii (obr. 22)



Obr. 21. Smíšený obvod se ztrátovým odporem



Obr. 22. Sériový obvod se ztrátovým odporem

## Impedance

$$Z = \sqrt{R_z^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad [\Omega; \Omega, \text{rad/s, H, rad/s, F}] \quad (143)$$

Vztahy (142) a (143) platí jen pro stavy mimo rezonanci.

Nejčastěji potřebujeme znát impedanci obvodu  $LC$  v rezonanci. Potom je (v ideálním případě) induktivní reaktance stejně velká jako reaktance kapacitní

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad [\text{rad/s, H; rad/s, F}] \quad (144)$$

neboli

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad [\text{rad/s, H, rad/s, F; ---}] \quad (145)$$

*Impedance ladících obvodů za rezonance.* V tomto stavu se neuplatňuje kmitočet. Potom je impedance pro.

a) *paralelní ladící obvod* (obr. 21)

$$Z = \frac{L}{CR_z} \quad [\Omega; \text{H}, \text{F}, \Omega] \quad (146)$$

kde  $Z$  je impedance obvodu,

$L$  indukčnost cívky,

$C$  kapacita kondenzátoru,

$R_z$  ztrátový odpor,

nebo po úpravě pro  $\omega$  kmitočty

$$Z = \frac{L \cdot 10^6}{CR_z} \quad [\Omega; \mu\text{H}, \text{—}, \text{pF}, \Omega] \quad (147)$$

b) *sériový ladící obvod* (obr. 22)

$$Z = R_z \quad [\Omega; \Omega] \quad (148)$$

*Příklady:*

1. Ladící obvod se skládá z cívky indukčnosti  $L = 180 \mu\text{H}$  o ztrátovém odporu  $3 \Omega$ . Připojený kondenzátor má kapacitu  $C = 200 \text{ pF}$ . Jakou impedanci má tento obvod při rezonanci, je-li cívka spojena s kondenzátorem paralelně? Dosazením do vztahu (147) zjistíme impedanci paralelního rezonančního obvodu

$$Z = \frac{180 \cdot 10^6}{200 \cdot 3} = \frac{180\,000\,000}{600} = 300\,000 \Omega = 300 \text{ k}\Omega$$

2. Jakou impedanci za rezonance by měl ladící obvod se stejnými složkami, zapojenými v sérii, např. jako tzv. sací obvod?

Podle vztahu (148) by byla impedance sériového rezonančního obvodu  $Z = 3 \Omega$ .

**Elektrická jakost obvodů.** Činitel jakosti má význam hlavně u vysokofrekvenčních obvodů.

1. *Činitel jakosti cívky*

$$Q = \frac{\omega L}{R_z} \quad [\text{—}; \text{rad/s}, \text{H}, \Omega] \quad (149)$$

kde  $Q$  je činitel jakosti,  
 $\omega$  úhlový kmitočet,  
 $L$  indukčnost,  
 $R_z$  ztrátový odpor.

Ztrátový odpor  $R_z$  je součet jednotlivých odporů vinutí (obr. 23), např. odporu činného, vysokofrekvenčního, povrchové vodivosti (skinefektu) aj. Je zapojen v sérii s vinutím a má být co nejmenší.

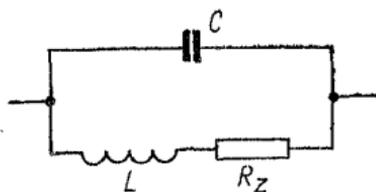
Po rozložení veličiny  $\omega$  je možné vztah (149) upravit pro  $\omega$  kmitočet

$$Q = \frac{2\pi fL}{R_z} \quad [—; \text{kHz}, \text{mH}, \Omega] \quad (150)$$

Potřebujeme-li znát přípustný ztrátový odpor  $R_z$  pro žádaný činitel jakosti  $Q$ , obměníme vztah (150)

$$R_z = \frac{2\pi fL}{Q} \quad [\Omega; \text{kHz}, \text{mH}, —] \quad (151)$$

Ztrátový činitel je převrácená hodnota činitele jakosti.



Obr. 23. K vysvětlení pojmu činitele jakosti

Ztrátový činitel

$$d = \frac{1}{Q} \quad (152a)$$

kde  $d$  je ztrátový činitel,  
 $Q$  činitel jakosti.

## 2. Ztrátový činitel indukčnosti

$$d = \frac{R_z}{\omega L} \quad [—; \Omega, \text{rad/s}, \text{H}] \quad (152b)$$

kde  $d$  je ztrátový činitel,  
 $R_z$  ztrátový odpor (sériový),  
 $\omega$  úhlový kmitočet.

po úpravě pro vf kmitočty

$$d = \frac{R_z}{2\pi fL} \quad [—; \Omega, \text{kHz}, \text{mH}] \quad (153)$$

3. Ztrátový činitel kondenzátoru (obr. 24)

$$d = \frac{1}{\omega C R_z} \quad [—; \text{rad/s}, \text{F}, \Omega] \quad (154)$$

a po úpravě pro vf kmitočty

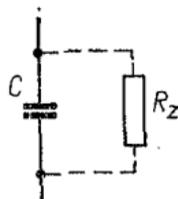
$$d = \frac{1}{2\pi f C R_z \cdot 10^{-6}} \quad [—; \text{MHz}, \text{pF}, \Omega] \quad (155)$$

kde  $d$  je ztrátový činitel,

$f$  kmitočet,

$C$  kapacita,

$R_z$  ztrátový odpor (paralelní).



Obr. 24. Ztrátový činitel kondenzátoru

*Poznámka:* U kondenzátorů se ztrátový činitel  $d$  často nazývá též ztrátový úhel,  $\text{tg } \delta$  (tangens delta). V ideálním kondenzátoru beze ztrát předbíhá proud vektorově napětí o úhel  $90^\circ$ . Ztráty tento úhel zmenšují o malý úhel  $\delta$ . Měřítkem ztrát je potom jeho tangenta, proto označení  $\text{tg } \delta$ . (Pro zcela malé hodnoty je ovšem úhel  $\delta \doteq \text{tg } \delta$  v obloukové míře.)

Jím se udává též jakost izolantu (dielektrika) kondenzátoru při určitém kmitočtu a za dané teploty. Tak např. při  $20^\circ\text{C}$  a  $f = 1 \text{ MHz}$  má styroflex (trolitul) ztrátový činitel 2 až  $3 \cdot 10^{-4}$ , vf keramika 5 až  $10 \cdot 10^{-4}$ , impregnovaný papír svitkových kondenzátorů má ztrátový činitel 50 až  $150 \cdot 10^{-4}$  apod. To je vodítkem pro volbu druhu kondenzátorů do elektrických obvodů podle kmitočtu.

$$\operatorname{tg} \delta = d \quad (156)$$

z čehož odvodíme vztah pro běžné jednotky

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{10^6}{2\pi f C R_z} \quad [---; ---; \text{MHz, pF, } \Omega] \quad (157)$$

Chceme-li zjistit přípustný ztrátový odpor pro určitý ztrátový činitel  $\operatorname{tg} \delta$ , upravíme vztah (155) na tvar

$$R_z = \frac{10^6}{2\pi f C \operatorname{tg} \delta} \quad [\Omega; \text{MHz, pF, } -] \quad (158)$$

*Příklady:*

Dlouhovlnná cívka má indukčnost  $L = 2 \text{ mH}$  a sériový ztrátový odpor  $R_z = 20 \Omega$ . Jaký má činitel jakosti na kmitočtu  $f = 200 \text{ kHz}$ ? Dosazením údajů do vztahu (150) zjistíme

$$Q = \frac{6,28 \cdot 200 \cdot 2}{20} = \frac{2\,512}{20} = 125$$

2. Feritová anténa pro střední vlny má indukčnost  $L = 204 \mu\text{H}$  a na kmitočtu  $f = 500 \text{ kHz}$  (vlivem jakostního feritu) činitel jakosti  $Q = 320$ . Jaký je ztrátový odpor vinutí?

Podle vztahu (151)

$$R_z = \frac{6,28 \cdot 500 \cdot 0,24}{320} = \frac{640}{320} = 2 \Omega$$

3. Jaký ztrátový činitel  $\operatorname{tg} \delta$  má kondenzátor s papírovým dielektrikem kapacity  $C = 200 \text{ pF}$  na kmitočtu  $f = 5 \text{ MHz}$ , byl-li na něm naměřen paralelní ztrátový odpor  $R_z = 10\,000 \Omega$ ?

Údaje dosadíme do vztahu (157)

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{10^6}{6,28 \cdot 5 \cdot 200 \cdot 10\,000} = \frac{10^6}{6,28 \cdot 10 \cdot 10^6} = \frac{1}{62,8} = 0,0159 = 159 \cdot 10^{-4}$$

4. Jaký paralelní ztrátový odpor smí mít kondenzátor o kapacitě  $C = 100 \text{ pF}$ , aby při kmitočtu  $f = 80 \text{ MHz}$  jeho ztrátový činitel  $\operatorname{tg} \delta$  nepřesáhl  $8 \cdot 10^{-4}$ ?

Podle vztahu (158)

$$R_x = \frac{10^6}{6,28 \cdot 80 \cdot 100 \cdot 8 \cdot 10^{-4}} = \frac{10^6}{6,28 \cdot 64 \cdot 10^{-1}} =$$

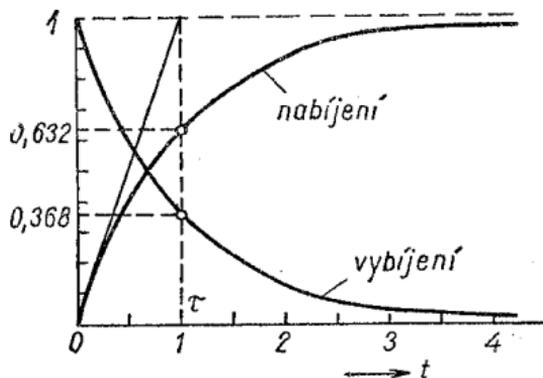
$$= \frac{10^6}{40,2} = 24\,820 \, \Omega \doteq 25 \, \text{k}\Omega$$

### Přechodné jevy v obvodech $RC$ a $RL$ . Časová konstanta.

#### 1. Obvod kondenzátor — odpor ( $RC$ )

Nabíjí nebo vybíjí-li se kondenzátor přes odpor, je parametry těchto součástí dán čas, potřebný k nabití (nebo vybití) kondenzátoru. Obojí děj probíhá podle exponenciální křivky. Teoreticky by bylo třeba k úplnému nabití nebo vybití kondenzátoru nekonečné doby. V praxi počítáme s časem potřebným k nabití na 63 % ustálené hodnoty, při vybíjení asi na 37 % počátečního napětí, s tzv. časovou konstantou  $\tau$  (tau).

Počáteční nárazový proud je dán jen velikostí odporu podle Ohmova zákona, bez ohledu na velikost kapacity (obr. 25).



Obr. 25. Nabíjení kondenzátoru

#### a) Nabíjení

Počáteční proud

$$I_0 = \frac{U_z}{R} \quad [\text{A}; \text{V}, \Omega] \quad (159)$$

kde  $I_0$  je počáteční proud,  
 $U_z$  napětí zdroje,  
 $R$  odpor obvodu.

Okamžitá hodnota nabíjecího proudu je dána vztahem

$$i = I_0 \exp^{-\frac{t}{RC}} \quad [\text{A}; \text{A}, \text{s}, \Omega, \text{F}] \quad (160)$$

kde  $i$  je okamžitá hodnota proudu,  
 $e$  Eulerovo číslo 2,718,  
 $t$  čas,  
 $R$  odpor,  
 $C$  kapacita.

Časová konstanta obvodu

$$\tau = RC \quad [\text{s}; \Omega, \text{F}] \quad (161)$$

takže vztah (160) lze též psát ve tvaru

$$i = I_0 \exp^{-\frac{t}{\tau}} \quad [\text{A}; \text{A}, \text{s}, \text{s}] \quad (162)$$

Napětí na kondenzátoru za čas  $t = \tau$

$$U_C = \left(1 - \frac{1}{e}\right) U_z = 0,632 U_z \quad (163)$$

kde  $U_C$  je napětí na kondenzátoru,  
 $e$  základ přirozených logaritmů,  
 $U_z$  napětí zdroje.

#### b) Vybíjení

Počáteční proud je stejný jako při nabíjení až na znaménko (má opačný směr)

$$-I_0 = -\frac{U_z}{R} \quad [\text{A}; \text{V}, \Omega] \quad (164)$$

Okamžitá hodnota vybíjecího proudu

$$-i = -I_0 \exp^{-\frac{t}{\tau}} \quad [A; A, s, s] \quad (165)$$

Napětí na kondenzátoru po době  $t = \tau$

$$U_C = \frac{1}{e} U_0 = 0,368 U_0 \quad (166)$$

kde  $U_C$  je napětí na kondenzátoru,  
 $U_0$  jeho počáteční napětí.

Zpoždění způsobeného obvodu  $RC$  využíváme k filtraci, ke kmitočtovým korekcím v zesilovačích, při automatickém řízení citlivosti (AVC) v přijímačích s amplitudovou modulací (AM) i kmitočtovou modulací (FM) apod.

Podle žádané časové konstanty a jednoho daného členu zjistíme velikost druhého členu ze vzorce (161) kapacita

$$C = \frac{\tau}{R} \quad [F; s, \Omega] \quad (167)$$

odpor

$$R = \frac{\tau}{C} \quad [\Omega; s, F] \quad (168)$$

2. Obvod indukčnost — odpor ( $RL$ ) má podobné vlastnosti jako obvod  $RC$ , není však tak snadno realizovatelný (vhodná indukčnost se obtížně získává, působí na ni okolní magnetické pole atd.). Při vypnutí proudu indukuje se v cívce napětí, které vyvolá špičku dosti vysokého napětí, jež může i poškodit připojené součástky.

a) *Připojení obvodu na napětí.*

Počáteční proud je na rozdíl od obvodu  $RC$  vlivem indukčnosti nulový, stoupá však (při stejnosměrném proudu) rychle na ustálenou hodnotu.

Okamžitá hodnota proudu (do hodnoty  $0,632 \cdot I$ )

$$i = I \left( 1 - e^{-\frac{Rt}{L}} \right) \quad [A; A, \Omega, s, H] \quad (169)$$

kde  $i$  je okamžitá hodnota proudu,

$I$  ustálený proud,

$e$  číslo 2,7183,

$R$  odpor obvodu,

$t$  čas,

$L$  indukčnost.

Časová konstanta

$$\tau = \frac{L}{R} \quad [s; H, \Omega] \quad (170)$$

S jejím použitím dostane vzorec (169) tvar

$$i = I \left( 1 - \exp^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad [A; A, s, s] \quad (171)$$

Ustálený proud

$$I = \frac{U_z}{R + r} \quad [A; V, \Omega] \quad (172)$$

kde  $I$  je ustálený proud,

$U_z$  napětí zdroje,

$R$  zařazený odpor,

$r$  odpor vinutí.

*Poznámka:* Prakticky lze považovat stav za ustálený po čase  $t \geq 3\tau$ .

b) *Odpojení napětí* (při uzavřeném obvodu proudu).

Proud klesá k nule úměrně časové konstantě  $\tau$ .

Okamžitá hodnota proudu

$$i = I \exp^{-\frac{Rt}{L}} \quad [A; A, -, \Omega, s, H] \quad (173)$$

nebo s použitím časové konstanty  $\tau$

$$i = I \exp \frac{-t}{\tau} \quad [A; A, -, s, s] \quad (174)$$

Při odpojení indukčnosti indukuje se ve vinutí napětí opačného smyslu.

Indukované napětí

$$-u = -L \frac{di}{dt} \quad [V; H, A, s] \quad (175)$$

kde  $-u$  je okamžitá hodnota napětí,

$L$  indukčnost,

$\frac{di}{dt}$  rychlost změny proudu.

*Poznámka:* Tento vztah uvádíme vzhledem ke škodlivosti vzniklé napěťové špičky, která může např. ohrozit spínací tranzistor, v jehož kolektorovém obvodu je indukčnost (viz dále příklad 4).

*Příklady:*

1. Kondenzátor o kapacitě  $1 \mu F$  připojíme přes odpor  $10 k\Omega$  na zdroj stejnosměrného napětí  $U_z = 100 V$ . a) Jaký proud prochází obvodem bezprostředně po zapnutí? b) Jaké napětí bude na kondenzátoru po čase  $\tau$ ?

a) Po zapojení prochází obvodem proud (159)

$$I_0 = \frac{100}{10\,000} = 0,01 A = 10 mA$$

b) Časová konstanta obvodu (dosadíme  $C$  v  $\mu F$  a  $R$  v  $M\Omega$ ) je  $\tau = 1 \cdot 0,01 = 0,01 s$ . Po této době bude na kondenzátoru napětí (163)

$$U_C = \left(1 - \frac{1}{2,718}\right) U_z = 0,632 \cdot 100 = 63,2 V$$

2. Jakou kapacitu filtračního kondenzátoru musíme použít v obvodu AVC superhetu, aby s ním spojený indikátor vyladění (magické oko) pohotově reagoval na změnu vř signálu, nikoli ale na nf modulaci? Oddělovací odpor je  $500 k\Omega$ .

Zvolíme časovou konstantu pod nejnižším nv kmitočtem, např. pro  $f = 20$  Hz. Podle (20) je  $\tau = \frac{1}{20} = 0,05$  s = 50 ms. Odpor  $R$  je dán, kapacitu určíme ze vztahu (167) (při dosazení veličin v  $\mu\text{F}$  a  $\text{M}\Omega$ )

$$C = \frac{0,05}{0,5} = 0,1 \mu\text{F}$$

3. V poměrovém detektoru FM přijímače na vkv zahraniční výroby máme provést změnu útlumu vysokých nf kmitočtů (deemfázi) podle normy OIRT s časovou konstantou  $\tau = 50$   $\mu\text{s}$ . V obvodu deemfáze ponecháme původní kondenzátor  $C = 1$  nF. Jaký odpor musíme použít?

Časová konstanta  $50 \mu\text{s} = 0,000 05$  s. Je-li dána kapacita  $C = 1$  nF =  $0,001 \mu\text{F}$ , bude potřebný odpor podle vztahu (168)

$$R = \frac{0,000 05}{0,001} = 0,05 \text{ M}\Omega = 50 \text{ k}\Omega$$

4. Na výstupu tranzistorového spínače je připojeno relé na napětí 6 V o indukčnosti budicí cívky 2 H, kterou prochází proud 0,12 A. Jak vysoké napětí vznikne na cívce při vypínacím čase jedné setiny sekundy?

Podle vztahu (175) —  $u = -2 \frac{0,12}{0,01} = -24$  V. To je čtyřikrát víc, než napájecí napětí — vzniklou špičku je nutné zneškodnit např. připojením paralelní diody, aby nedošlo k proražení tranzistoru.

## Značení odporů, kondenzátorů a potenciometrů

Výrobky n. p. TESLA Lanškroun jsou značeny přehlednou kódovou soustavou. Násobků jednotek jako nF, k $\Omega$  apod. se v ní nepoužívá — stejně jako desetinné čárky, kterou zastupuje symbol řádu, u malých hodnot znak jednotky j.

Odpory se liší od kondenzátorů nebo potenciometrů typovými znaky TR (odpory), TC (kondenzátory), TP (potenciometry).

*Hodnoty.* Značení hodnot je pro všechny druhy těchto součástek společné

$$j = 1; \quad k = 10^3; \quad M = 10^6; \quad G = 10^9$$

Základem hodnot odporů a potenciometrů je  $1 \Omega$ , kondenzátorů  $1 \text{ pF}$ . Hodnoty větší než je řádová jednotka se píše vlevo od řádového znaku, menší vpravo (např.  $1 \text{ k}$ ,  $\text{M } 5$ , popř.  $2 \text{ k}7$  nebo  $3\text{M}3$ ). Na přechodu dekády lze použít jak násobku nižší, tak i zlomku vyšší jednotky, např.  $470\text{k}$  i  $\text{M}47$ .

V označení výrobků je určen typ a vlastnosti, dále jmenovitá hodnota a její tolerance. U potenciometrů se udává též délka hřídele a jeho zakončení, průběh odporové dráhy aj.

### Řada hodnot

Dříve se používalo hodnot, odstupňovaných v Renardově řadě R5 až R20 a jejich desetinných násobků a zlomků.

Nyní se používá tzv. procentní řady E6 až E24 (v zahraničí i výše).

U kondenzátorů větších kapacit se používá odchylné řady, např. elektrolytické kondenzátory mají normalizované hodnoty  $1-2-5-10$  a dekadické násobky.

#### a) Renardova řada

R5:  $10-16-25-40-64-100$

R10:  $10-12,5-16-20-25-32-40-50-64-80-100$

#### b) Procentní řada

E6:  $10-15-22-33-47-68-100$

E12:  $10-12-15-18-22-27-33-39-47-56-68-82-100$

*Poznámka:* V obou případech jsou uvedeny jen 2 hlavní řady.

### Tolerance

Základní tolerance  $\pm 13 \%$  pro řadu R10 a  $\pm 20 \%$  pro řadu E6 se neznačí. Užší tolerance se značí velkým písmenem.

## Běžné součásti

$\pm 10\%$ — A	$\pm 1\%$ — D
$\pm 5\%$ — B	$\pm 0,5$ — E
$\pm 2\%$ — C	

Některé součástky mají větší toleranci hodnoty kladné („do plusu“) než záporné („do minusu,“), např. elektrolytické kondenzátory  $+50 - 20\%$ ,  $i + 100 - 10\%$ . Ploché keramické kondenzátory mají obdobně toleranci  $+80 - 20\%$ . Ta se neuvádí. Jiné tolerance těchto kondenzátorů se rovněž označují písmeny.

## Keramické kondenzátory

$80\%$ — R <sup>1)</sup>	$30\%$ — N
$50\%$ — Q	$20\%$ — M <sup>1)</sup>

Kombinací písmenových znaků se u některých keramických kondenzátorů vyjádří libovolné toleranční pole, např. QM =  $+50 - 20\%$ .

## Potenciometry

a) Průběh odporové dráhy značí se nátiskem písmene na pouzdru:

N — lineární potenciometr

G — logaritmický průběh

Y — logaritmicky s odbočkou v 1/3

E — exponenciální

(Jsou uvedeny jen běžné průběhy odporové dráhy.)

b) Zakončení hřídele se značí velkým písmenem s připojenou hodnotou délky v mm uprostřed označení. Hlavní druhy:

---

<sup>1)</sup> V případě potřeby, jinak se neuvádí.

- A — hladký hřídel
- B — s opěrnou ploškou
- E — se zářezem pro šroubovák
- H — s opěrnou ploškou a zarážkou

*Příklady značení:*

1. Jaké hodnoty má odpor, označený TR 103 8k2/B?

TR 103 je vrstvý odpor s drátovými vývody, zatížitelnost 1 W, hodnoty 8 200  $\Omega$  s tolerancí  $\pm 5\%$ .

2. Jaké vlastnosti kondenzátoru jsou vyjádřeny označením TC 104 68 k?

TC 104 je starší typ fóliového svitku s papírovým dielektrikem v izolantové trubce, provozní napětí 400 V. Hodnota je 68 000 pF, tolerance neudána, tedy  $\pm 20\%$ .

3. Elektrolytický kondenzátor nese označení TC 517 50/50 M. Jde o dvojitý kondenzátor se středovým upevněním šroubovou maticí, provozní napětí 250 V, kapacity  $2 \times 50 \mu\text{F}$ .

4. Jaké provedení a hodnoty má potenciometr TP 180 50 A 50k/N? Jde o vrstvý potenciometr bez spínače průměru 18 mm, hřídel hladký délky 50 mm, odpor 50 k $\Omega$  lineárního průběhu.

5. TP 180 20 E 10k/N je vrstvý potenciometr průměru 18 mm s hřídelem délky 20 mm a zářezem pro šroubovák, hodnoty 10 k $\Omega$ , lineární.

6. Co značí označení potenciometru TP 287 80B 50k/N + M5/G? Je to dvojitý vrstvý potenciometr průměru 28 mm s otočným spínačem, hřídel délky 80 mm s opěrnou ploškou. Hodnoty: 50 k $\Omega$  lineární a 500 k $\Omega$  logaritmický.

*Poznámka:* Jakou velikost, tvar, provedení a vlastnosti má ta která součástka podle kódovaného značení, použitého ve výše uvedených příkladech (TR103, TC521, TP181 aj.) udává Katalog radiosoučástek n. p. TESLA Lanškroun — zde je není možné uvádět. Organizacím jsou navíc k dispozici tzv. „tabulky T“, příloha Technických podmínek téhož výrobce.

**Vliv tolerance hodnot.** Velikost tolerance nelze v praxi podceňovat. Udaná hodnota součástek je tzv. jmenovitá, ale skutečná hodnota se může — vlivem tolerance — dosti značně lišit.

Hodnota tolerance

$$\Delta h = \frac{h_j t}{100} \quad [—; —, \%, —] \quad (176)$$

kde  $\Delta h$  je skutečná tolerance,  
 $h_j$  jmenovitá hodnota součástky,  
 $t$  tolerance.

Skutečná hodnota součástky

$$h_s = h_j \pm \Delta h \quad (177)$$

kde  $h_s$  je skutečná hodnota součástky,  
 $h_j$  jmenovitá hodnota,  
 $\Delta h$  hodnota tolerance.

Největší hodnota součástky

$$h_{\max} = h_j + \Delta h \quad (178)$$

a nejmenší hodnota součástky

$$h_{\min} = h_j - \Delta h \quad (179)$$

*Příklady:*

1. V jakém rozmezí může ležet skutečná hodnota odporu TESLA TR 112 - 10 k?

Jmenovitá hodnota je 10 k; protože toleranční písmeno chybí, je tolerance  $\pm 20\%$ . Hodnota tolerance (176)

$$\Delta h = \frac{10 \cdot 20}{100} = \frac{200}{100} = 2 \text{ k}\Omega$$

Skutečná hodnota odporu (177)  $h_s = 10 \pm 2 \text{ k}\Omega$ , takže největší hodnota (178)

$$h_{\max} = 10 + 2 = 12 \text{ k}\Omega$$

nejmenší hodnota (179)

$$h_{\min} = 10 - 2 = 8 \text{ k}\Omega$$

Vidíme, že skutečná hodnota běžného odporu 10 k $\Omega$  s tolerancí  $\pm 20\%$  leží mezi 8 až 12 k $\Omega$ !

2. Jakou kapacitu může mít kondenzátor TC 271 - 22 k/A?  
Jmenovitá kapacita je 22 nF, udaná tolerance  $\pm 10\%$ . Hodnota tolerance (176)

$$\Delta h = \frac{22 \cdot 10}{100} = \frac{220}{100} = 2,2 \text{ nF}$$

Skutečná kapacita může být někde mezi (178), (179)

$$h_{\max} = 22 + 2,2 = 24,2 \text{ nF}$$

$$h_{\min} = 22 - 2,2 = 19,8 \text{ nF}$$

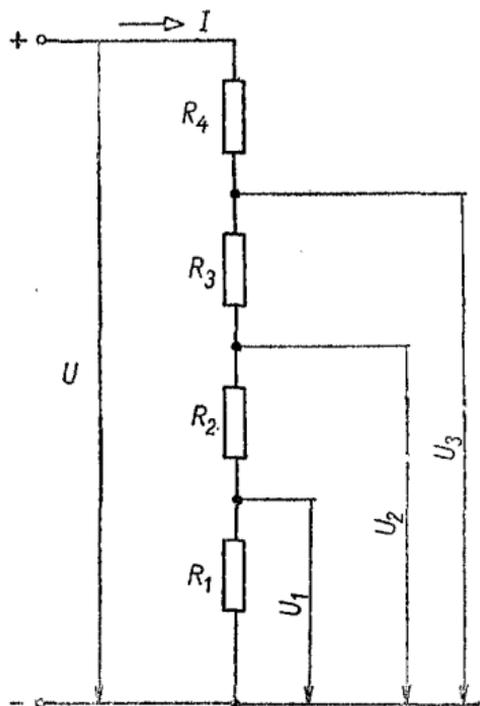
Možný rozptyl kapacity je tedy 19,8 až 24,2 nF, i při zúžené toleranci 10 %.

## II. VÝPOČET SOUČÁSTÍ A JEDNODUCHÝCH OBVODŮ

### 9. Odporové děliče

Často potřebujeme odbočit jedno nebo několik nižších napětí z anodového zdroje, ze zdroje pro předpětí apod. K tomu slouží odporové děliče. Pro některé účely stačí jen napětí bez odběru proudu (dělič nezatížený); většinou ale odbočené napětí musí dodávat i určitý proud. K tomu potřebujeme tzv. zatížený dělič (s odběrem). Je možné provést jednu nebo více odboček.

a) *Dělič bez odběru (nezatížený)*. Nejčastěji potřebujeme najít velikost jednotlivých odporů děliče pro požadované velikosti napětí (obr. 26). Výpočet provedeme podle Ohmova, popř. podle Kirchhoffova zákona.



Obr. 26. Výpočet odporů děliče

$$R_1 = \frac{U_1}{I} \quad [\Omega; \text{A}, \text{A nebo k}\Omega; \text{V}, \text{mA}] \quad (180)$$

Podobně

$$R_2 = \frac{U_2}{I} - R_1 \quad (181)$$

také

$$R_3 = \frac{U_3}{I} - (R_1 + R_2) \quad (182)$$

a konečně

$$R_4 = \frac{U}{I} - (R_1 + R_2 + R_3) \quad (183)$$

kde  $R_1$  až  $R_4$  jsou odpory děliče,

$I$  příčný proud děliče,

$U$  napětí zdroje,

$U_1$  až  $U_3$  napětí jednotlivých odboček.

U nezatíženého děliče volíme buď příčný proud  $I$ , nebo celkový odpor děliče

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_n \quad (184)$$

*Příklad:*

Jaké odpory použijeme pro nezatížený dělič na zdroji anodového napětí  $U = 250$  V, abychom dostali  $U_1 = 60$  V,  $U_2 = 100$  V,  $U_3 = 150$  V?

Zvolíme příčný proud, např.  $I = 5$  mA.

Dosadíme do rovnic (180) až (183) proud  $I$  v mA:

$$R_1 = 60 : 5 = 12 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = (100 : 5) - 12 = 20 - 12 = 8 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = (150 : 5) - (12 + 8) = 30 - 20 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = (250 : 5) - (12 + 8 + 10) = 50 - 30 = 20 \text{ k}\Omega$$

Celkový odpor děliče (184) je

$$R = 12 + 8 + 10 + 20 = 50 \text{ k}\Omega$$

Zkontrolujeme zvolený příčný proud:

$$I = \frac{250}{50} = 5 \text{ mA}$$

b) *Dělič s odběrem (zatížený)*. U děliče, z jehož odboček se napájí určité obvody (např. stínicí mřížky elektronek,

předzesilovací stupeň apod.), je nutné respektovat i odebíraný proud. Proud  $I_1$  dolního odporu  $R_1$  (obr. 27) opět volíme. Vypočítáme potom odpor

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} \quad [\Omega; \text{V}, \text{A} \text{ nebo } \text{k}\Omega; \text{V}, \text{mA}] \quad (185)$$

dále

$$R_2 = \frac{U_2 - U_1}{I_1 + I_2} \quad (186)$$

potom

$$R_3 = \frac{U_3 - U_2}{I_1 + I_2 + I_3} \quad (187)$$

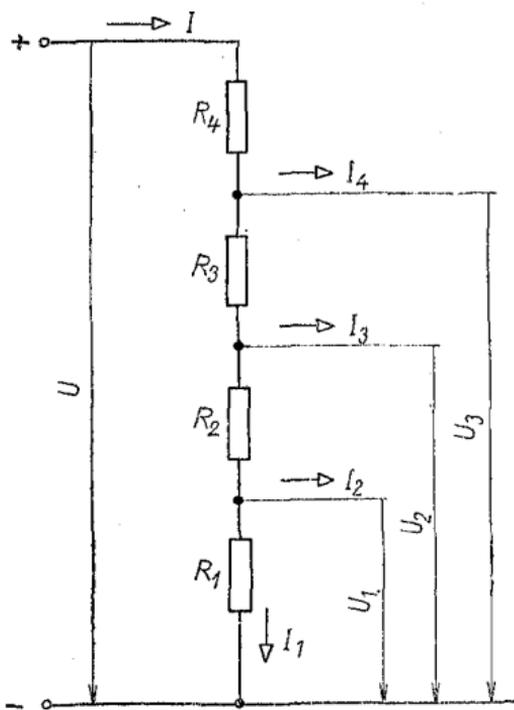
a konečně

$$R_4 = \frac{U - U_3}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4} \quad (188)$$

$I_1$  je proud procházející odporem  $R_1$ ; ostatní písmenové znaky mají stejný význam jako u děliče bez odběru.

Celkový proud děliče

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \quad (189)$$



Obr. 27. Zatížený dělič

*Příklad:*

1. Ze zdroje o napětí  $U = 300 \text{ V}$  potřebujeme získat napětí  $U_1 = 90 \text{ V}$  a proud  $I_2 = 10 \text{ mA}$ ,  $U_2 = 150 \text{ V}$  a proud  $I_3 = 5 \text{ mA}$  a  $U_3 = 210 \text{ V}$  při odběru  $I_4 = 10 \text{ mA}$ . Jaké budou odpory děliče?

Proud  $I_1$  zvolíme, např.  $5 \text{ mA}$ . Dané údaje dosadíme do vzorců (185) až (188),

$$R_1 = 90 : 5 = 18 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{150 - 90}{5 + 10} = \frac{60}{15} = 4 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = \frac{210 - 150}{5 + 10 + 5} = \frac{60}{20} = 3 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = \frac{300 - 210}{5 + 10 + 5 + 10} = \frac{90}{30} = 3 \text{ k}\Omega$$

Celkový odpor děliče (189)

$$R = 18 + 4 + 3 + 3 = 28 \text{ k}\Omega$$

2. Jakým výkonem jsou jednotlivé odpory tohoto děliče zatíženy?

Protože známe odpor a proud, určíme zatížení např. podle vzorce (6).  $R_1 = 18 \text{ k}\Omega$ ,  $I_1 = 5 \text{ mA}$ ; zatížení  $P_1 = RI^2 = 0,45 \text{ W}$ .  $R_2 = 4 \text{ k}\Omega$ ,  $I_2 = 10 \text{ mA}$ ; zatížení  $P_2 = 0,4 \text{ W}$ .  $R_3 = 3 \text{ k}\Omega$ ,  $I_3 = 5 \text{ mA}$ ; zatížení  $P_3 = 0,075 \text{ W}$ .  $R_4 = 3 \text{ k}\Omega$ ,  $I_4 = 10 \text{ mA}$ ;  $P_4 = 0,3 \text{ W}$ . (Zvolíme ovšem normalizované hodnoty, např.  $R_1$ ,  $R_2$  a  $R_4 = 0,5 \text{ W}$ ,  $R_3 = 0,125 \text{ W}$ .)

**Zatížení jednotlivých odporů.** Prochází-li spojenými odpory proud, budou — jak při paralelním tak i při sériovém spojení — jednotlivé odpory nestejně zatíženy.

*Odpory spojené do série.* Při sériovém zapojení prochází celým obvodem a tím i všemi odpory stejný proud. Zatížení jednotlivých odporů určíme podle vztahu

$$P = RI^2 \quad [W; \Omega, A] \quad (190)$$

kde  $P_1, P_2$  je výkonové zatížení odporů,

$R_1, R_2$  jednotlivé odpory,  
 $I$  procházející proud.

To je případ nezatíženého odporového děliče (děliče bez odběru) podle čl. 9 odst. a) Proud  $I$ , a tedy i velikost  $I^2$  je všem členům děliče společná. Celkový příkon spojených odporů (viz obr. 26)

$$\sum P = P_1 + P_2 + \dots \quad [W; W, W] \quad (191)$$

Tab. 14.

W Ω	0,125	0,25	0,5	1	2	4	6	8	12	25	50
	proud [mA]										
5,6	146	211	298	422	597	845	1035	1195	1464	2112	2985
6,8	132	192	271	383	542	767	939	1085	1328	1918	2710
8,2	120	174	247	349	494	698	855	988	1210	1746	2490
10	110	158	223	316	447	632	775	894	1096	1580	2235
12	100	144	204	288	408	577	707	816	1000	1443	2040
15	89	129	182	258	365	516	632	730	894	1290	1825
18	81	117	166	235	333	470	577	666	816	1174	1667
22	73	107	150	213	301	426	522	603	738	1066	1507
27	67	96	136	192	272	385	470	544	666	962	1362
33	60	87	123	174	246	348	426	492	602	870	1232
39	55	80	113	160	226	320	392	453	554	800	1132
47	50	73	103	145	206	290	357	412	505	729	1030
56	46	67	94	133	189	267	327	378	463	668	945
68	42	60	85	120	170	242	297	343	420	606	857
82	38	55	78	110	156	222	270	312	382	552	780
100	34	50	70	100	141	200	245	283	346	500	707
120	31	45	64	90	129	182	223	258	316	456	645
150	28	41	57	80	115	163	200	230	282	408	577
180	25	37	52	74	105	149	182	210	258	372	527
220	23	34	47	67	95	134	165	190	233	337	476
270	21	30	43	61	86	120	149	172	210	304	430
330	19	27	39	55	77	110	135	155	190	275	389
390	17	25	36	50	70	100	124	143	175	253	358
470	16	23	32	46	65	92	113	130	160	230	326
560	14	20	30	42	59	84	103	119	146	210	298
680	13	19	27	38	54	76	94	108	132	190	270
820	12	17	24	35	49	69	85	98	120	174	247

## Zatřitelnost odporů

W kΩ	0,125	0,25	0,5	1	2	4	6	8	12	25	50
	proud [mA]										
1	11	16	22	30	44	63	77	89	109	158	223
1,2	10	14,4	20	28	40	57	70	80	100	144	204
1,5	9	13	18	25	36	50	63	73	89	129	182
1,8	8	12	16	23	33	47	57	66	80	117	166
2,2	7	10,6	15	21	30	42	52	60	73	106	150
2,7	6,5	9,6	13	19	27	38	47	54	66	96	136
3,3	6	8,7	12	17	24	34	42	49	60	87	123
3,9	5,5	8	11	16	22	32	39	45	55	80	113
4,7	5	7,3	10	14	20	29	35	41	50	73	103
5,6	4,6	6,6	9,4	13	19	26	32	37	46	66	94
6,8	4,2	6	8,5	12	17	24	29	34	42	60	85
8,2	3,8	5,5	7,8	11	15	22	27	31	38	55	78
10	3,4	5	7	10	14	20	24	28	34	50	70
12	3,1	4,5	6,4	9	13	18	22	25	31	45	64
15	2,8	4	5,7	8	11	16	20	23	28	40	57
18	2,5	3,7	5,2	7,4	10	15	18	21	25	37	52
22	2,3	3,3	4,7	6,7	9,5	13	16	19	23	33	47
27	2	3	4,3	6	8,6	12	15	17	21	30	43
33	1,9	2,7	3,9	5,5	7,7	11	13	15	19	27	39
39	1,7	2,5	3,5	5	7	10	12	14	17	25	35
47	1,6	2,3	3,2	4,6	6,5	9,2	11	13	16	23	32
56	1,4	2,1	3	4,2	5,9	8,4	10	12	14	21	30
68	1,3	1,9	2,7	3,8	5,4	7,6	9,4	10	13	19	27
82	1,2	1,7	2,4	3,4	4,9	6,9	8,5	9,8	12	17	24
100	1,1	1,5	2,2	3	4,4	6,3	7,7	8,9	11	15	22

1. Na str. 83 je v příkladu výpočtu nezatížený odporový dělič se členy  $R_1 = 12 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 8 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_4 = 20 \text{ k}\Omega$  a příčným proudem  $I = 5 \text{ mA} = 0,005 \text{ A}$ . Jak jsou jednotlivé odpory wattově zatíženy?

Proud  $I = 5 \text{ mA}$  je společný. Jeho druhá mocnina  $I^2 = 25 \cdot 10^{-6} \text{ A}$ . Dosazujeme do vztahu (190) jednotlivé hodnoty odporů a zjišťujeme jejich výkonové zatížení:  $P_1 = R_1 I^2 = 12 \cdot 10^3 \cdot 25 \cdot 10^{-6} = 300 \cdot 10^{-3} = 0,3 \text{ W}$ ;  $P_2 = 8 \cdot 10^3 \cdot 25 \cdot 10^{-6} = 200 \cdot 10^{-3} = 0,2 \text{ W}$ ;  $P_3 = 10 \cdot 10^3 \cdot 25 \cdot 10^{-6} = 250 \cdot 10^{-3} = 0,25 \text{ W}$ ;  $P_4 = 20 \cdot 10^3 \cdot 25 \cdot 10^{-6} = 500 \cdot 10^{-3} = 0,5 \text{ W}$ .

(Protože jde o odpory řádově stejné, je i jejich zatížení přibližně stejné. V praxi můžeme použít všechny odpory stejného typu — s rezervou z typizované řady zatížitelnosti o něco větší, např.  $0,5 \text{ W}$  místo  $0,25 \text{ W}$  apod.)

2. Zatížení členů odporového děliče s odběrem bylo vypočteno v příkladu 2. čl. 9 odst. b) na str. 85.

*Odpory spojené paralelně.* U paralelně spojených odporů jsou (většinou) nejen nestejné velikosti odporů, ale prochází jimi i různě velký proud, takže již při dvou paralelně spojených odporech máme čtyři různé veličiny (pokud nejde o spojení stejných odporů). Zato napětí — nebo úbytek napětí — je na obou odporech stejný.

Jednotlivé odpory mají příkon podle vztahu (190)

$$P = RI^2 \quad [\text{W}; \Omega, \text{A}]$$

Celkový příkon několika odporů spojených paralelně

$$\Sigma P = P_1 + P_2 + \dots \quad [\text{W}; \text{W}, \text{W}] \quad (192)$$

Celkový příkon  $P$  (elektrické zatížení) odporu se rozdělí mezi jednotlivé odpory v nepřímém poměru jejich velikostí. Pro dva odpory

$$P_1 = P \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad [\text{W}; \text{W}, \Omega] \quad (193)$$

popř.

$$P_2 = P \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad [\text{W}; \text{W}, \Omega] \quad (194)$$

kde  $P_1, P_2$  jsou zatížení odporů  $R_1, R_2$ ,  
 $R_1, R_2$  jednotlivé odpory.

V tab. 14 jsou pro normalizované hodnoty odporů uvedena příslušná zatížení.

*Příklad:*

Dvojici paralelně spojených odporů  $R_1 = 3,3 \text{ k}\Omega$  a  $R_2 = 330 \Omega$  prochází proud  $I = 0,1 \text{ A}$ . Jaké zatížení musí každý z nich snést? Výsledný odpor dvojice je

$$R = \frac{3\,300 \cdot 330}{3\,300 + 330} = \frac{108\,900}{3\,630} = 300 \Omega$$

Zatížení při proudu  $I = 0,1 \text{ A}$  (190)

$$P = 300 \cdot 0,1^2 = 300 \cdot 0,01 = 3 \text{ W}$$

A chceme-li zjistit napětí na koncích dvojice odporů, použijeme Ohmova zákona, vztah (1)

$$U = 300 \cdot 0,1 = 30 \text{ V}$$

Zatížení jednotlivých odporů určíme ze vztahů (193) a (194)

$$P_1 = \frac{3 \cdot 330}{3\,300 + 330} = \frac{990}{3\,630} = 0,273 \text{ W}$$

$$P_2 = \frac{3 \cdot 3\,300}{3\,300 + 330} = \frac{9\,900}{3\,630} = 2,73 \text{ W}$$

Zatížení výsledného odporu (192)

$$P = 0,273 + 2,73 = 3 \text{ W}$$

## 10. Výpočet indukčnosti

I. Vysokofrekvenční cívky jsou buď bez jádra (vzduchové) nebo s jádrem z vf železa nebo feritu, tvaru trnu, doladovacího šroubu, hrníčku aj.

a) *Válcová cívka o jedné vrstvě* (obr. 28a) vzduchová, bez jádra (solenoid)

Indukčnost je dána vztahem

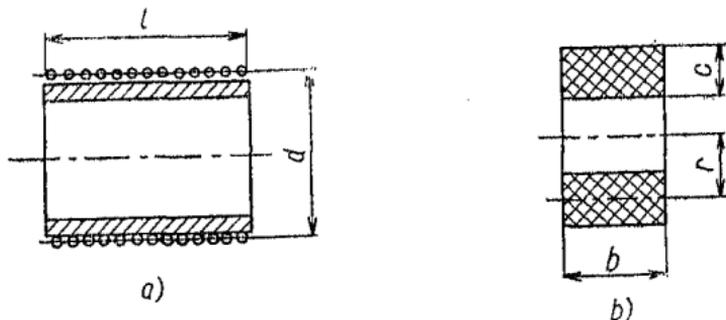
$$L = \frac{\pi^2 N^2 d^2 \cdot 10^{-3}}{l \left(1 + 0,45 \frac{d}{l}\right)} \quad [\mu\text{H}; \text{cm}, \text{cm}, \text{cm}, \text{cm}] \quad (195)$$

kde  $L$  je indukčnost,

$N$  počet závitů,

$d$  průměr cívky až do středu vodičů,

$l$  délka cívky (části s vinutím).



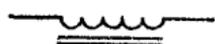
Obr. 28. Indukčnost cívky  $\sigma$ : a) jedné vrstvě, b) několika vrstvách

Tento vztah má tu výhodu, že se obejde bez tabulky opravných činitelů (např. tzv. Nagaokova činitele), závislého na poměru průměru k délce cívky.

Schematické značky pro vinutí bez jádra, se železovým (vf) jádrem a železným (nf) jádrem jsou na obr. 29.

Potřebujeme-li zjistit počet závitů pro žádanou indukčnost, stanovíme ze vztahu (195) veličinu

$$N = \sqrt{\frac{Ll \left(1 + 0,45 \frac{d}{l}\right)}{\pi^2 d^2 \cdot 10^{-3}}} \quad [—; \mu\text{H}, \text{cm}, \text{cm}, \text{cm}, \text{cm}] \quad (196)$$



Obr. 29. Schematické značky vinutí bez jádra i s jádrem

b) *Vinutí o několika vrstvách (křížové)* (obr. 28b). (Výpočet poněkud závisí na poměrech rozměrů, počtu kroků křížení aj.). Jsou-li rozměry  $r$ ,  $b$  i  $c$  přibližně stejné, platí s dostatečnou přesností pro indukčnost vzorec

$$L = \frac{0,315r^2N^2}{6r + 9b + 10c} \quad [\mu\text{H}; \text{cm}, \text{cm}, \text{cm}, \text{cm}] \quad (197)$$

kde  $r$  je střední poloměr (do poloviny výšky vinutí),  
 $b$  šířka cívky,  
 $c$  výška vinutí.

Počet závitů takové cívky pro žádanou indukčnost

$$N = \sqrt{\frac{L(6r + 9b + 10c)}{0,315r^2}} \quad [—; \mu\text{H}, \text{cm}, \text{cm}, \text{cm}, \text{cm}] \quad (198)$$

Vztahy platí s dostatečnou přesností i pro jiné druhy cívek o několika vrstvách (voštinové, „divoké“ vinutí na tělísku aj.).

*Příklady:*

1. Válcová cívka na trubce o průměru 3 cm má v jedné vrstvě 80 závitů drátu 0,28 mm dvakrát hedvábím opředěného. Osová délka vinutí  $l = 3$  cm. Jaká je indukčnost této cívky?

Údaje dosadíme do vzorce (195)

$$L = \frac{9,87 \cdot 6 \cdot 400 \cdot 9 \cdot 10^{-3}}{3 \left(1 + 0,45 \frac{3}{3}\right)} = \frac{568 \cdot 512 \cdot 10^{-3}}{4,35} \doteq 131 \mu\text{H}$$

2. Na trubku průměru 2,5 cm máme navinout cívku o indukčnosti 200  $\mu\text{H}$  drátem 0,25 mm, izolovaným lakem + hedvábím. Kolik bude mít cívka závitů?

Délku  $l$  zprvu odhadneme na 4 cm. Dané údaje dosadíme do vzorce (196) a zjistíme počet závitů

$$N = \sqrt{\frac{200 \cdot 4 \left(1 + 0,45 \frac{2,5}{4}\right)}{9,87 \cdot 2,5^2 \cdot 10^{-3}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{800 \cdot 1,28}{0,0617}} = \sqrt{\frac{1\,024}{0,0617}} = 128,5 \text{ závitů}$$

Zkontrolujeme skutečnou délku  $l$ , odhadnutou na 4 cm. Vnější průměr vodiče 0,25 mm lak + hedvábí (např. z tab. 32 na str. 169) je 0,325 mm. Násoben počtem závitů dá délku cívky  $l = 0,325 \times \times 128,5 = 41,76 \text{ mm} = 4,18 \text{ cm}$ . To je v mezích přesnosti výpočtu. Jinak bychom museli vyjít z vypočtené hodnoty  $l$  a počet závitů upravit.

3. Křížově vinutá cívka o 400 závitěch na tělísku průměru 8 mm vodičem 0,2 mm izolovaným lakem má šířku  $b = 5 \text{ mm}$ , výšku vinutí  $c = 6 \text{ mm}$ , z čehož vyplývá střední poloměr  $r = 7 \text{ mm}$ . Jakou má cívka indukčnost?

Po dosazení do vzorce (197) dostaneme

$$L = \frac{0,315 \cdot 0,7^2 \cdot 400^2}{6 \cdot 0,7 + 9 \cdot 0,5 + 10 \cdot 0,6} = \frac{24\,640}{14,7} = 1\,674 \mu\text{H} = 1,67 \text{ mH}$$

c) *Vysokofrekvenční cívky s jádrem*. Použitím speciálního vysokofrekvenčního železa nebo feritu jako jádra v dutině vf cívek se zvýší jejich indukčnost a činitel jakosti. Jádra mají nejčastěji tvar trnu se závitěm (šroubová jádra). Pro větší indukčnosti nebo k odstínění elektromagnetického pole cívky se používá jader plášťových neboli hrníčkových.

Změnou polohy jádra ve vinutí se jeho indukčnost mění o 5 až 15 %. Také šroubovým trnem v hrníčkovém jádře se indukčnost mění nejméně o 5 % až 10 %.

**Železová jádra.** Vf cívky se železovým jádrem mají indukčnost

$$L = kN^2 \quad [\mu\text{H}; \text{—, —}] \quad (199)$$

kde  $L$  je vlastní indukčnost,

$k$  činitel jádra,

$N$  počet závitů.

Počet závitů potřebný pro žádanou indukčnost  $L$  vypočítáme ze vztahu

$$N = \sqrt{\frac{L}{k}} \quad [—; \mu\text{H}] \quad (200)$$

K vypočtenému údaji přidáme 3 až 5 % závitů, aby bylo možné cívku doladit (větší procento u šroubového jádra). Pro starší typy jader byl uváděn *směrný činitel  $k$  pro šroubová jádra*

$$M \ 7 \times 13 \text{ mm} \quad k = 0,011 \text{ až } 0,0125^*)$$

$$M \ 10 \times 19 \text{ mm} \quad k = 0,016$$

pro *hrníčková jádra*

$$\text{průměru } 14 \text{ a } 23 \text{ mm} \quad k = 0,036 \text{ až } 0,038$$

(Má-li vinutí v hrníčkovém jádru značnou vlastní kapacitu, často spíše několik procent závitů proti výpočtu odebíráme.)

*Příklady:*

1. Křížově vinutá cívka na trolitulovém tělísku se šroubovým jádrem  $M \ 7 \times 13 \text{ mm}$  obsahuje 126 závitů. Jakou má indukčnost? Podle vztahu (199) s použitím činitele  $k = 0,012$

$$L = 0,012 \cdot 15 \ 876 = 190,5 \ \mu\text{H}$$

2. Kolik závitů musí mít vinutí v hrníčkovém jádru, aby mělo indukčnost 2 mH (= 2 000  $\mu\text{H}$ )? (Činitel  $k = 0,036$ .)

Použijeme vztahu (200) a odečteme asi 3 % závitů

$$N = \sqrt{\frac{2 \ 000}{0,036}} = \sqrt{55 \ 550} = 236,4 \text{ závitů}$$

Po odečtení 3 % závitů dostaneme skutečný počet závitů

$$N' = 236,4 - 7 = 229,4 \text{ závitů, přibližně } 230 \text{ závitů}$$

\*) Menší číslo platí pro jednovrstvové kv cívky, větší pro křížově vinutí na izolantovém tělísku.

Nověji se u šroubových a hrníčkových jader místo činitele  $k$  udává (přesnější) cívková permeabilita  $\mu_c$ . Běžně se pohybuje v mezích 1,1 až 2,3. Je to poměr indukčnosti  $L$  cívky s jádrem k indukčnosti vinutí  $L_0$  bez jádra.

$$\mu_c = \frac{L}{L_0} \quad [—; \mu\text{II}, \mu\text{H}] \quad (201)$$

Výsledná indukčnost s jádrem

$$L = L_0 \mu_c \quad [\mu\text{H}; \mu\text{H}, —] \quad (202)$$

Ze vztahu (202) lze též určit potřebnou indukčnost vinutí bez jádra (např. pro její výpočet z geometrických rozměrů)

$$L_0 = \frac{L}{\mu_c} \quad [\mu\text{H}; \mu\text{H}, —] \quad (203)$$

Podobně se mění při použití vf jádra i činitel jakosti  $Q$  cívky s jádrem v porovnání s činitelem jakosti  $Q_0$  vinutí bez jádra v poměru

$$q = \frac{Q}{Q_0} \quad (204)$$

Činitel jakosti cívky s jádrem má velikost

$$Q = Q_0 q \quad (205)$$

*Příklad:*

Vinutí bez jádra má indukčnost  $L_0 = 160 \mu\text{H}$  a činitele jakosti  $Q = 100$ . Jak se tyto údaje změní použitím šroubového jádra M  $8 \times 18$  mm jakosti D?

Z tab. 15 zjistíme pro tento tvar železového jádra činitele  $\mu_c = 1,75$  a  $q = 1,3$ . Dosazením do vztahu (202) najdeme největší indukčnost

$$L = 160 \cdot 1,75 = 280 \mu\text{H}$$

a ze vztahu (205) činitele jakosti cívky s jádrem

$$Q = 100 \cdot 1,3 = 130$$

*Poznámka:* Nemusí jít vždy jen o zvýšení hodnot. Z tab. 15 je patrné, že někdy není indukčnost  $L$  cívky s jádrem o mnoho větší ( $\mu_c \doteq 1$ ), činitel jakosti  $Q$  je dokonce menší ( $q < 1$ ). Jádro tu slouží hlavně k doladění.

*Druhy železových jader.* Železová jádra prášková se značila podle permeability a kmitočtů, pro něž se mohla používat, písmenem a barevnou značkou:

- A (bez barvy) — pro všeobecné použití
- B (červená) — pro kmitočty nad 5 MHz
- D (žlutá) — pro kmitočty do 5 MHz

Vlastnosti železových jader jsou uvedeny v tab. 15, 16.

*Tab. 15.* Železová jádra šroubová stříkaná (ČSN 35 8460/61)

Jádro ( $D \times l$ ) mm	Stoupání mm	Druh B		Druh D	
		$\mu_c$	$q$	$\mu_c$	$q$
4 × 10	4 × 0,5	1,17	1,10	1,40	1,20
4 × 10	4 × 0,7	1,17	1,10	1,40	1,20
6 × 6	6 × 0,5	1,32	1,10	1,54	1,20
6 × 10	6 × 0,5	1,45	1,10	1,68	1,30
6 × 10	6 × 1	1,45	1,10	1,68	1,30
6 × 12	6 × 0,5	1,62	1,15	1,93	1,30
6 × 16	6 × 1	1,45	1,05	1,91	1,50
7 × 13	7 × 1	1,33	1,00	1,45	1,20
8 × 18	8 × 1,25	1,60	1,10	1,75	1,30
10 × 20	10 × 1	1,80	0,90	2,23	1,60
10 × 25	10 × 1,5	2,10	1,00	2,30	1,60

*Poznámka:*  $D$  je průměr,  $l$  je délka. Význam označení druhu B a D viz text; podobně význam činitelů  $\mu_c$  a  $q$ .

Tab. 16. Železová jádra hrncová, stříkaná

Velikost	Rozměr ( $D \times l$ ) mm	Šroubové jádro mm	Změna $L^1$ %
14	14 × 12	4 × 0,7 × 10	8
23	23 × 18	8 × 1,25 × 18	10
36	36 × 27	10 × 1,5 × 25	15

1) Přibližná velikost; není obsažena v normě ČSN 35 8462.

*Upozornění:* Železová jádra právě popsaná jsou zastaralá a nadále se nevyrábějí. Příslušné normy, ČSN 35 8460 a další, jsou zrušeny! Uvádíme je pro ty, kdož je mohou použít — pro nové konstrukce se nehodí!

**Feritová jádra.** Nověji přicházejí v úvahu pouze jádra zhotovená z feritů. U typů hrníčkových a transformátorových druhů E se místo činitele cívkové permeability udává měrná indukčnost  $A_L$  (nebo  $a_L$ ). Je to indukčnost jednoho závitu na příslušném jádře a udává se v  $\mu\text{H} \cdot 10^{-3}$  neboli v nH.

Indukčnost vinutí s feritovým jádrem — s použitím činitele  $A_L$  — je

$$L = A_L \cdot 10^{-3} N^2 \quad [\mu\text{H}; \mu\text{H}, \text{—}] \quad (206)$$

Příslušný počet závitů pro dané jádro určíme z upraveného vztahu (206)

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L \cdot 10^{-3}}} = \sqrt{\frac{L \cdot 10^3}{A_L}} \quad [\text{—}; \mu\text{H}, \mu\text{H}] \quad (207)$$

Rozměry feritových jader Závodů práškové metalurgie PRAMET n. p. Šumperk jsou uvedeny v tab. 17, 18, 19, 20.

Tab. 17. Šroubová jádra feritová

Rozměr $D \times s \times l^1)$	Výrobní číslo
$3,5 \times 0,5 \times 10$ $3,0 \times 0,5 \times 8$ $3,5 \times 0,5 \times 5$	504500/N01 504501/H6 504502/N01
$4 \times 0,5 \times 8$	504600/H10 /N01 /N02 /N01P
$4 \times 0,5 \times 12$	504601/H10 /H11 /N05 /N1 /N02
$6 \times 0,5 \times 12$	504602/H10 /N05 /N01
$6 \times 0,5 \times 20$ $6 \times 0,75 \times 12$ $6 \times 0,75 \times 20$	504603/H10 504604/H10 504605/H10
$8 \times 0,75 \times 20$ $8 \times 0,75 \times 30$ $8 \times 1 \times 30$	504700/H10 504701/H10 504702/H11

<sup>1)</sup>  $D$  je průměr,  $s$  je stoupání,  $l$  je délka, vše v mm.

Tab. 18. Feritová jádra plášťová (hrníčková)

Rozměr $D \times h^1$ mm	Staré značení .	Nové značení	Konstanta $A_L$ [nH/N <sup>2</sup> ]	Mezera mm
18 × 11	0930-115/H12	505250/H12	2 000	0
		252/H12	63	0,66
		253/H12	100	0,34
		254/H12	160	0,2
		255/H12	250	0,1
18 × 11	0930-115/H22	505250/H22	2 500	0
		253/H22	100	0,66
		254/H22	160	0,34
		255/H22	250	0,2
		256/H22	400	0,1
26 × 16	0930-116/H12	505350/H12	3 200	0
		351/H12	100	0,82
		352/H12	160	0,42
		353/H12	250	0,24
		354/H12	400	0,15
		355/H12	630	0,1
26 × 16	0930-116/H22	505350/H22	4 200	0
		352/H22	160	0,82
		353/H22	250	0,42
		354/H22	400	0,24
		355/H22	630	0,15
		356/H22	1 000	0,1
36 × 22	0930-144/H12	505450/H12	5 000	0
		452/H12	250	1,25
		453/H12	400	0,67
		454/H12	630	0,36
		455/H12	1 000	0,21
36 × 22	0930-144/H22	505450/H22	8 000	0
		452/H22	250	1,25
		453/H22	400	0,67
		454/H22	630	0,36
		455/H22	1 000	0,21
		456/H22	1 600	0,1

<sup>1)</sup>  $D$  je vnější průměr,  $h$  je výška hrnce.

*Poznámka:* Tolerance konstanty  $A_L$  je u jader bez vzduchové mezery  $\pm 25\%$ ; se vzduchovou mezerou  $\pm 3\%$ , s výjimkou typu  $36 \times 22$  mm s označením 505455 a 505456, u nichž je tolerance  $A_L \pm 5\%$ . Údaj za lomící čarou v označení (např. 505452/H22) udává výchozí materiál (ferit) podle tab. 20.

Tab. 19. Feritová jádra typu E (obr. 37d)

Starší značení	Nové značení <sup>1)</sup>	Rozměry [mm]			
		A	L	C	S
0930-014	503000/H10	12	5	3	3
0930-016	503050/H10	20	8	5	5
0930-017	503100/H10	25	10	6	6
0930-018	503150/H10	32	13	8	8
0930-019	503250/H10	42	21	12	15
0930-020	503300/H10	55	28	17	20

<sup>1)</sup> Za lomící čarou je uveden druh feritového materiálu (viz tab. 20).

Hrníčková feritová jádra jsou složena ze dvou polovin se zabroušenými okraji. Prostřední části se buď těsně stýkají, nebo je mezi nimi přesně definovaná vzduchová mezera. S tloušťkou mezery klesá indukčnost nepřímo úměrně (větší mezera — menší indukčnost).

#### Příklady:

1. V hrníčkovém jádře  $\varnothing 18 \times 11$  mm čís. 505256/H 22 se vzduchovou mezerou 0,1 mm je umístěno vinutí s 25 závity. Jakou má cívka indukčnost?

Pro uvedený typ jádra (tab. 18) je udáno  $A_L = 400$ . Ze vztahu (206) určíme indukčnost

$$L = 400 \cdot 10^{-3} \cdot 25^2 = 250 \mu\text{H}$$

2. S hrníčkovým jádrem rozměrů jako v příkladě 1, ale se vzduchovou mezerou 0 mm (čís. 505250/H 22) chceme zhotovit vf tlumivku o indukčnosti 10 mH. Kolik závitů k tomu potřebujeme?

10 mH = 10 000  $\mu\text{H}$ . Pro mezeru 0 mm je z tab. 17 měrná indukčnost  $A_L = 2\,500$  nH. Dosazením do vztahu (207) dostaneme počet závitů

$$N = \sqrt{\frac{10\,000}{2\,500 \cdot 10^{-3}}} = \sqrt{\frac{10\,000}{2,5}} = \sqrt{4\,000} = 63,3 \text{ závitů}$$

Speciálních feritových tyček se dnes používá jako antén, zvláště pro malé tranzistorové přijímače.

Tab. 20. Čs. feritový materiál

Materiál		H22	H20	H18	H10
Vlastnosti					
Počáteční permeabilita $\mu_p$		2 200 ±25 %	2 000 ±20 %	1 800 ±20 %	1 300 ±20 %
Měrný ztrátový činitel $\lg \delta/\mu_p$ při $f$	$10^{-6}$ MHz	8 0,02	22 0,1	15 0,1	20 0,1
Curleho teplota $t_{cur}$	°C	90	140	90	90
Magnetická indukce $B$ při intenzitě magnetického pole $H$	T A/cm	0,36 10	0,40 10	0,36 10	0,32 10
Koerctivní síla $H_c$	A/cm	0,2	0,2	0,2	0,3
Měrný hysterzní ztrátový činitel $h/\mu_p^2$ (odpovídá $q$ 2-24-100) při $f$	$10^{-6}$ cm/A [ $\Omega/H^{3/2}$ · mA] kHz	4,1 6 4			5,5 8 20
Teplotní činitel permeability $\frac{(TK) \mu}{\mu_p}$ (+20 až 60 °C)	$10^{-6}/^\circ\text{C}$	2	4,5	4	3,5
Měrný odpor	$\Omega$ cm	$10^2$	$10^2$	$10^2$	$10^2$
Měrná hmotnost	g/cm <sup>3</sup>	4,8	4,8	4,8	4,8
Použití		1	2	3	4

## Použití:

- 1 Hrníčková jádra, jádra tvaru E;
- 2 Jádra tvaru E nebo U;
- 3 Šroubová jádra, tyčinky, jádra pro mazací hlavy;
- 4 Tyčinky, trubičky, šroubová jádra, jádra E a hrníčková;
- 5 Hrníčková jádra;
- 6 Tyčinky, toroidy, jádra U, vychylovačí kroužky;

Fonox (Pramet, n. p., Šumperk)

H12	H11	H6	N2	N1	N05	N02	N01	N01P
1 200 +30 -20 %	1 100 ± 20 %	600 ± 20 %	200 ± 20 %	120 ± 20 %	50 ± 20 %	20 ± 20 %	8 ± 20 %	12 ± 20 %
10 0,1	20 0,1	30 1	80 1	100 10	200 20	400 50	1 000 100	1 250 200
180	160	200	200	260	350	450	500	550
0,42 10	0,36 10	0,44 10	0,40 50	0,35 50	0,30 50	0,27 80	0,20 100	
0,3	0,3	0,7	1,2	2,5	4,5	12	15	15
1,7 2,5 20		2 2,9 20						
0 až 3	6	1 až 4	15	35	60	80	100—200	80
10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>6</sup>
4,8	4,8	4,8	4,7	4,7	4,6	4,3	4,4	4,3
5	6	7	8	9	10	11	12	13

7 Hrníčková jádra, anténní tyčky;

8 Anténní tyčky, šroubová jádra;

9 Hrníčková jádra, tyčinky, šroubová jádra;

10 Tyčinky, šroubová jádra, hrníčková jádra;

11 Šroubová jádra, tyčinky;

12, 13 Tyčinky, šroubová jádra;

**Vinutí se železným jádrem.** Pro nízké kmitočty (tónové v zesilovačích a síťové v transformátorech a tlumivkách) se používá železných jader, většinou uzavřených, složených pro zmenšení ztrát i snazší sestavování z tenkých plechů. Ty jsou navzájem odděleny izolační vrstvičkou laku nebo okují na povrchu, popř. polepením tenkým papírem.

Materiálem na železná jádra je ocel s několika procenty křemíku (transformátorový a dynamový plech), speciální tzv. magneticky měkké slitiny železa s niklem aj. kovy (permaloy) nebo ocel s magneticky orientovanými molekulami (orthoperm). Pro vyšší kmitočty (nad 300 Hz) se s výhodou používá i jader feritových. Z pásů orientovaných plechů se vinou tzv. jádra typu C, jejichž zabroušené plochy po rozříznutí svitku se stáhnou k sobě držákem a tak — podobně jako u feritových jader E — po navléknutí cívky s vinutím se jádro vytvoří prostým přiložením obou polovin k sobě a stažením. Údaje o hlavních materiálech na jádra jsou uvedeny v tab. 21.

Pro výpočet cívek a transformátorů se železným jádrem je nutné znát některé další veličiny magnetického pole.

Intenzita magnetického pole cívky bez jádra (tzv. solenoidu)

$$H = \frac{B}{\mu_0} \quad [Az/m; T, H/m] \quad (208)$$

kde  $H$  je intenzita magnetického pole,

$B$  magnetická indukce (hustota magnetického toku),

$\mu_0$  permeabilita vakua.

Pro praktické výpočty používáme vztahu

$$H = \mu_0 \frac{NI}{l} \quad [Az/m; H/m, —, A, m] \quad (209)$$

Magnetická indukce

$$B = \mu_r \mu_0 H \quad [T; —, H/m, Az/m] \quad (210)$$

kde  $B$  je magnetická indukce,  
 $\mu_r$  poměrná permeabilita jádra,  
 $\mu_0$  permeabilita vakua,  
 $H$  intenzita magnetického pole.

Permeabilita vakua má hodnotu

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} = 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ H/m} \quad (211)$$

Poměrná permeabilita jádra

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} \quad [—; \text{T, H/m, Az/m}] \quad (212)$$

*Hopkinsonův zákon* pro magnetické obvody je obdobou Ohmova zákona pro obvody elektrického proudu. Využíváme jej při výpočtu magnetických obvodů, zvláště při výpočtu železného jádra tlumivek a transformátorů.

1. Magnetomotorické napětí

$$F_m = \Phi R_m \quad [\text{Az; Wb, Az/Wb}] \quad (213)$$

kde  $F_m$  je magnetomotorické napětí,

$\Phi$  (fí) magnetický tok,  
 $R_m$  magnetický odpor (reluktance).

2. Magnetický tok

$$\Phi = \frac{F_m}{R_m} \quad [\text{Wb; Az, Az/Wb}] \quad (214)$$

3. Magnetický odpor (reluktance)

$$R_m = \frac{F_m}{\Phi} \quad [\text{Az/Wb; Az, Wb}] \quad (215)$$

Pro konstrukční návrh používáme vztahu

$$R_m = \frac{l}{\mu_r \mu_0 S} \quad [\text{Az/Wb; m, H/m, m}^2] \quad (216)$$

kde  $\mu_r$  je poměrná permeabilita materiálu,  
 $\mu_0$  permeabilita vakua,  
 $l$  délka střední silové čáry,  
 $S$  průřez jádra.

### Indukčnost vinutí se železným jádrem

V praxi přicházejí hlavně dva druhy vinutí ze železným jádrem, určené pro nízké kmitočty (tónové nebo síťové):

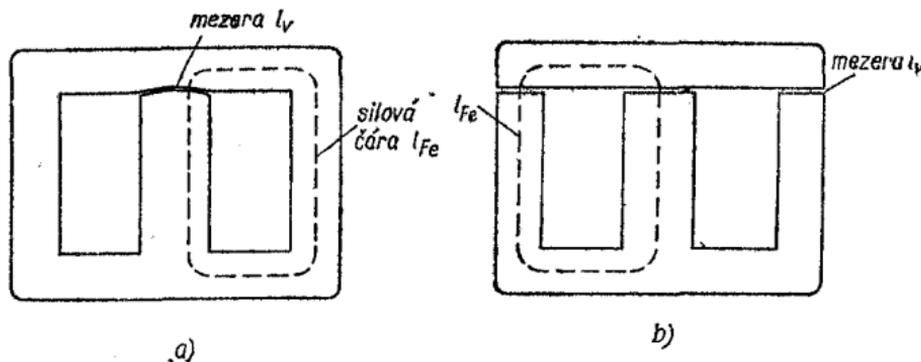
a) s jádrem zcela uzavřeným pro síťové transformátory a jiná vinutí bez stejnosměrné magnetizace,

b) s jádrem přerušeným vzduchovou mezerou pro filtrační tlumivky a výstupní transformátory se stejnosměrnou magnetizací.

1. Indukčnost vinutí na uzavřeném jádře (obr. 30a) s použitím magnetického odporu (reluktance)

$$L = \frac{4\pi N^2 \cdot 10^{-9}}{R_m} = \frac{1,256 N^2 \cdot 10^{-8}}{R_m} \quad [\text{H}; \text{---}, \text{Az/Wb}] \quad (217a)$$

kde  $R_m$  je reluktance,  
 $N$  počet závitů.



Obr. 30. Jádra tlumivek: a) uzavřená, b) se vzduchovou mezerou

Velikost reluktance  $R_m$  je dána vztahem (216), po dosazení a úpravě dostaneme

$$L = \frac{4\pi N^2 \mu S_{Fe} \cdot 10^{-9}}{l_{Fe}} \quad [H; \text{---}, \text{cm}^2, \text{cm}] \quad (217b)$$

2. Indukčnost vinutí na jádře s mezerou (obr. 30b)

a) s reluktancí jádra a mezery

$$L = \frac{4\pi N^2 \cdot 10^{-9}}{\Sigma R_m} = \frac{4\pi N^2 \cdot 10^{-9}}{\frac{l_{Fe}}{\mu S_{Fe}} + \frac{l_v}{S_v}} \quad [H; \text{cm}, \text{cm}^2] \quad (218)$$

kde  $l_v$  je délka silové čáry v mezeře,

$\mu$  permeabilita jádra,

$S_{Fe}$  účinný průřez jádra,

$S_v$  účinný průřez vzduchové mezery.

*Poznámka:* Vlivem rozptylu ve vzduchu je účinný průřez vzduchové mezery  $S_v$  asi o 10 až 25 % větší než průřez jádra, takže  $S_v = (1,1 \text{ až } 1,25) S_{Fe}$  podle tloušťky mezery.

Počet závitů pro danou indukčnost zjistíme ze vzorce

$$N = \sqrt{\frac{L \left( \frac{l_{Fe}}{S_{Fe}} + \frac{l_v}{S_v} \right) \cdot 10^9}{4\pi}} \quad [ \text{---}; H, \text{cm}, \text{cm}^2 ] \quad (219)$$

*Příklady:*

1. Na uzavřeném železném jádře z transformátorových plechů o účinném průřezu  $S_{Fe} = 2 \text{ cm}^2$  a střední délce silové čáry  $l_{Fe} = 10 \text{ cm}$  je navinuto 1 200 závitů izolovaného vodiče. Permeabilita materiálu jádra (při použité magnetické indukci)  $\mu = 2 000$ . Jakou má tato cívka indukčnost?

Údaje dosadíme do vztahu (217b)

$$L = \frac{12,56 \cdot 1 200^2 \cdot 2 000 \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{10} = \frac{72,5}{10} = 7,25 \text{ H}$$

2. Kolik závitů se musí navinout na železné jádro s mezerou šířky 0,5 mm o střední délce silové čáry v železo  $l_{Fe} = 11$  cm, účinného průřezu  $S_{Fe} = 3$  cm<sup>2</sup> s permeabilitou  $\mu = 1\,600$ , abychom dostali tlumivku o indukčnosti  $L = 4,5$  H?

V tomto případě jsou dva druhy reluktance, proto použijeme vztahu (218). Chybí nám ještě průřez mezery — odhadem  $S_v = 1,2 S_{Fe} = 3,6$  cm<sup>2</sup>. Délku  $l_v$  je třeba dosadit v cm.

Dosazením vyjde

$$N = \sqrt{\frac{4,5 \left( \frac{11}{1\,600 \cdot 3} + \frac{0,05}{3,6} \right) \cdot 10^9}{12,56}} = \sqrt{5,8 \cdot 10^6} = 2\,400 \text{ závitů}$$

### Přitažlivá síla elektromagnetu

$$F = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2 S}{\mu_0} \doteq 4SB^2 \quad [\text{kp; T, m}^2, \text{H/m; cm}^2, \text{T}] \quad (220)$$

kde  $F$  je přitažlivá síla,  
 $S$  plocha pólů,  
 $B$  magnetická indukce.

#### Příklady:

1. Elektromagnet tvaru U, napájený stejnosměrným proudem, má póly rozměrů  $1,5 \times 2$  cm a magnetickou indukci  $B = 0,8$  T. Jaké břemeno unese?

Elektromagnet tvaru U má dva póly o celkové ploše  $S = 2 \cdot 3 = 6$  cm<sup>2</sup>. Dosazením do vztahu (220) zjistíme nosnost

$$F = 24 \cdot 0,8^2 = 24 \cdot 0,64 = 15,4 \text{ kp}$$

2. Jakou silou je přitahována membrána v telefonním sluchátku k pólovým nastavcům rozměrů  $2 \times 8$  mm, je-li magnetická indukce v mezere mezi póly a membránou  $B = 0,2$  T?

Membrána je přitahována silou (220)

$$F = 4 \cdot 2 \cdot 0,16 \cdot 0,2^2 = 0,051 \text{ kp}$$

## 11. Úprava relé pro jiné napětí

Občas potřebujeme upravit nějaký elektromagnet pro jiné napájecí napětí, aniž by se změnil výkon elektromagnetu, přitažlivá síla apod. Dnes je to nejčastěji relé (dříve též vinutí buzeného reproduktoru aj.).

Přitažlivá síla

$$F \doteq 4SB^2 \quad (\text{kp; cm}^2, \text{T}) \quad (221)$$

kde  $F$  je přitažlivá síla,

$S$  plocha pólu,

$B$  magnetická indukce.

Protože součin

$$SB = \Phi \quad [\text{cm}^2, \text{T}; \text{Wb}] \quad (222)$$

kde  $\Phi$  je magnetický tok

a magnetický tok

$$\Phi \sim NI \quad [\text{Wb}; \text{—}, \text{A}] \quad (223)$$

kde  $NI$  je magnetomotorické napětí

je také přitažlivá síla

$$F \sim NI \quad [\text{kp}; \text{A}] \quad (224)$$

Magnetomotorické napětí je dáno vztahem

$$F_m = NI \quad [\text{A}^*]; \text{—}, \text{A}] \quad (225)$$

kde  $I$  je proud,

$N$  počet závitů.

*Přitažlivá síla* je úměrná magnetomotorickému napětí, tj. součinu počtu závitů a procházejícího proudu. Při změně vinutí relé je tedy nutné původní magnetomotorické napětí (počet ampérvávitů) zachovat.

\*) Často se používá pro magnetomotorické napětí jednotky ampérvávit ( $Az$ ).

Jmenovité hodnoty relé jsou většinou napsány na štítku pod průhledným obalem vinutí. Například telefonní relé má — kromě typového označení a značky výrobce — uvedeny údaje: „280—7 900—0,19 CuL“. První číslo udává odpor vinutí, druhé počet závitů a třetí údaj značí průměr, materiál a izolaci vodiče (CuL = měděný lakovaný, popř. CuP = měděný s polyamidovým lakem apod.). Na jedné cívce může být i několik vinutí.

Relé pro speciální účely mají někdy značení odlišné, např. miniaturní typ LUN: 0,063 CuL,  $n = 6\ 750$ ,  $R = 972\ \Omega$  — nejprve průměr a druh vodiče, potom počet závitů a nakonec odpor vinutí.)

Téměř vždy však chybí údaj o velikosti proudu — u relé totiž rozeznáváme proud přitahový, přídržný, proud odpadu aj., takže jednoznačný údaj není možný. Určíme jej buď z průměru vodiče a proudového zatížení (které však bývá větší než u vinutí transformátorů — podle typu a velikosti relé je  $\sigma = 3$  až  $4\ \text{A/mm}^2$ ), nebo, je-li známo budicí napětí, můžeme použít Ohmova zákona  $I = \frac{U}{R}$ .

Původní vinutí bylo jistě zvoleno správně — stačí porovnat daný a žádaný průměr vodiče podle prostoru na cívce. Ten určíme z počtu závitů a průměru vodiče dosavadního vinutí podle činitele plnění, tzn. počet vodičů na  $\text{cm}^2$ , např. podle tab. 30 na str. 161.

Při změně budicího napětí se průřez vodiče změní nepřímě úměrně s napětím

Poměr

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{S_{\text{Cu1}}}{S_{\text{Cu2}}} \quad [V; V; \text{mm}^2, \text{mm}^2] \quad (226)$$

kde  $U_1$  je vyšší budicí napětí,

$U_2$  nižší budicí napětí,

$S_{\text{Cu1}}$  průřez vodiče při napětí  $U_1$ ,

$S_{\text{Cu2}}$  průřez vodiče při napětí  $U_2$ .

Označíme-li poměr napětí

$$\frac{U_1}{U_2} = p \quad [V, V; \text{—}] \quad (227)$$

bude potřebný průřez vodiče

$$S_{Cu2} = S_{Cu1} \cdot p \quad [mm^2; mm^2, \text{—}] \quad (228)$$

Průřez kruhového vodiče

$$S_{Cu} = 0,785d^2 \quad [mm^2; mm] \quad (229)$$

kde  $S_{Cu}$  je průřez vodiče,  
 $d$  průměr vodiče;

jeho průměr vypočítáme ze vztahu

$$d = \sqrt{\frac{S_{Cu}}{0,785}} \quad [mm; mm^2] \quad (230)$$

nebo zjistíme z tabulek (tab. 31), avšak některé průměry v nich nejsou přímo obsaženy. Poměr plnění

$$\frac{N_1/cm^2}{N_2/cm^2} = p \quad (231)$$

kde  $N_1/cm^2$  je plnění starého vinutí,  
 $N_2/cm^2$  plnění nového vinutí.

Počet závitů nového vinutí

$$N_2 = \frac{N_1}{p} \quad (232)$$

*Příklad:*

Relé s údaji „400 — 8 000 — 0,16 CuL“ je určeno pro budicí napětí 24 V. Potřebujeme je upravit na napětí 6 V. Jaký vodič a kolik závitů bude mít nové vinutí?

Z tab. 31 určíme průřez dosavadního drátu vinutí o průměru  $d_1 = 0,16$  mm tzn.  $S_{Cu} = 0,0201$  mm<sup>2</sup>. Poměr napětí (227)  $p = \frac{24}{6} = 4$ . Proto průřez nového vinutí bude (228)  $S_{Cu} = 0,0201 \cdot 4 = 0,0804$  mm<sup>2</sup>, čemuž odpovídá průměr vodiče  $d_2 = 0,32$  mm.

Určeme počet závitů nového vinutí. Plnění vodiče  $d_1 = 0,16$  mm je (z tab. 30) 2 500 závitů/cm<sup>2</sup>, vodiče  $d_2 = 0,32$  mm je 700 závitů/cm<sup>2</sup>. Poměr obou (231)  $p = \frac{2\,500}{700} = 3,58$ , takže nové vinutí bude mít (231)  $N_2 = \frac{8\,000}{3,58} = 2\,240$  závitů.

Přibližný odpor nového vinutí lze zjistit nepřímo pomocí hustoty proudu ve vodiči. Relé bylo původně určeno pro 24 V a odpor jeho cívky byl 400 Ω. Budící proud byl tedy  $I = \frac{24}{400} = 0,06$  A, což dává při průřezu  $S_{Cu} = 0,0201$  mm<sup>2</sup> hustotu proudu  $\sigma = \frac{0,06}{0,0201} \doteq 3$  A/mm<sup>2</sup>. Proud nového vinutí při stejné hustotě proudu (z tab. 31) pro  $d_2 = 0,32$  mm,  $I = 0,24$  A a jeho odpor při napětí 6 V podle Ohmova zákona  $R = \frac{6}{0,24} = 25$  Ω. Po převinutí bude tedy mít toto relé jmenovité hodnoty „25 — 2 240 — 0,32 CuL“.

## 12. Ladicí obvody přijímačů

Rozhlasové přijímače — dnes jsou to téměř výhradně superhety — používají ladicích obvodů, složených z indukčnosti a kapacity. Změnou jedné veličiny přijímač ladíme na žádanou délku vlny.

Vstupní ladicí obvody jsou vázány s přijímací anténou (nebo přímo anténní obvod tvoří, např. feritové antény). U superhetů jsou navíc ladicí obvody pomocného oscilátoru, který směřováním se vstupním kmitočtem dává mezifrekvenční kmitočty.

Změna veličin ladicího obvodu určuje vlnový nebo kmitočtový rozsah přijímače.

1. *Vstupní obvody* (obr. 31a). Kmitočtový rozsah

$$\frac{f_{\max}^2}{f_{\min}^2} = \frac{C_{\max}}{C_{\min}} \quad [\text{kHz}; \text{pF}] \quad (233)$$

neboli poměr

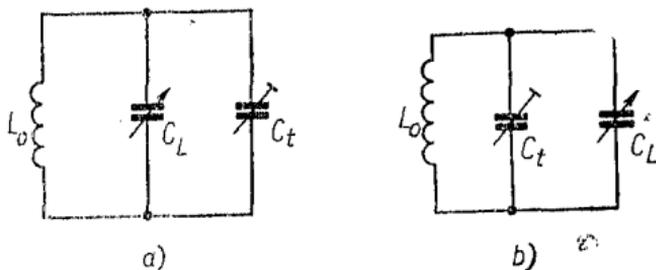
$$\frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \sqrt{\frac{C_{\max}}{C_{\min}}} \quad [\text{kHz}; \text{pF}] \quad (234)$$

kde  $f_{\max}$  je nejvyšší kmitočet (nejkratší vlna),

$f_{\min}$  nejnižší kmitočet (nejdelší vlna),

$C_{\max}$  největší kapacita,

$C_{\min}$  nejmenší kapacita.



Obr. 31. Vstupní obvody

Kapacita  $C_{\min}$  laděného obvodu se skládá z několika složek

$$C_{\min} = C_0 + C_L + C_z + C_t \quad [\text{pF}; \text{pF}] \quad (235)$$

kde  $C_0$  je základní kapacita ladicího kondenzátoru otevřeného (úhel  $0^\circ$ ),

$C_L$  vlastní kapacita cívky,

$C_z$  kapacita zapojení (spojů),

$C_t$  kapacita trimru.

*Poznámka:* Trimr — malý nastavitelný vyrovnávací kondenzátor — bývá umístěn buď přímo na ladicím kondenzátoru, nebo samostatně (u cívek apod.).

Kapacita  $C_{\max}$  má rovněž několik složek

$$C_{\max} = C_{180} + C_L + C_z + C_t \quad [\text{pF}; \text{pF}] \quad (236)$$

kde  $C_{180}$  je největší kapacita ladicího kondenzátoru (zavřeného, úhel  $180^\circ$ ).

*Kmitočtový rozsah* (šířka pásma) je dán poměrem  $C_{\max}$  ku  $C_{\min}$  a jedním krajním kmitočtem

$$f_{\min} = \frac{f_{\max}}{\sqrt{\frac{C_{\max}}{C_{\min}}}} \quad [\text{kHz}; \text{kHz}, \text{pF}, \text{pF}] \quad (237)$$

nebo opačně

$$f_{\max} = f_{\min} \sqrt{\frac{C_{\max}}{C_{\min}}} \quad [\text{kHz}; \text{kHz}, \text{pF}, \text{pF}] \quad (238)$$

Všechny tyto vztahy platí pro dlouhé, střední, krátké i velmi krátké vlny.

*Příklady:*

Vstupní ladicí obvod přijímače má pokrývat středovlnný kmitočtový rozsah od 1 610 kHz neboli 186 m výše. Ladicí kondenzátor má kapacity  $C_0 = 12$  pF,  $C_{180} = 502$  pF. Kapacita vinutí cívky  $C_L = 20$  pF, kapacita spojů  $C_z = 15$  pF; trimr je nastaven na hodnotu  $C_t = 10$  pF.

1. Jaká je nejmenší a největší kapacita tohoto obvodu?  
Nejmenší kapacita obvodu při otevřeném ladicím kondenzátoru (235)

$$C_{\min} = 12 + 20 + 15 + 10 = 57 \text{ pF}$$

Největší kapacita při uzavřeném ladicím kondenzátoru (236)

$$C_{\max} = 502 + 20 + 15 + 10 = 547 \text{ pF}$$

2. Jaký je nejnižší kmitočet tohoto ladicího obvodu?

Nejvyšší kmitočet je dán

$$f_{\min} = \frac{1\,610}{\sqrt{\frac{547}{57}}} = \frac{1\,610}{3,1} \doteq 520 \text{ kHz}$$

neboli 576 m.

Daný ladicí obvod má tedy vlnový rozsah 186 až 576 m neboli 1 610 až 520 kHz.

2. *Ladicí obvody superhetu.* Ladicí obvod oscilátoru musí být se vstupním obvodem v souběhu, tj. na všech místech

stupnice musí mít oscilátor kmitočet vyšší (jen výjimečně nižší) o tzv. mezifrekvenci, než má kmitočet vstupní. To lze přesně provést jen u jediného vlnového rozsahu jiným průběhem a konečnou hodnotou kapacity oscilátorové části. (Toho se používá např. u malých tranzistorových přijímačů se středovlnným rozsahem.)

Jinak se spokojujeme se souběhem ve třech bodech — uprostřed a blíže obou konců vlnového pásma. Obě části ladícího kondenzátoru zde mají stejný průběh kapacity a souběhu se dosahuje jednak sériovým kondenzátorem, zvaným padding (pedynk), jednak paralelním kondenzátorem u každé oscilační cívky.

### 13. Souběh (kmitočty shody)

Souběh přizpůsobujeme kmitočtům vstupního obvodu. Kmitočty shody se určují nejčastěji ze tří rovnic podle Čebyševovy aproximace. V ostatní části rozsahu je při správném nastavení neshoda prakticky zanedbatelná.

a) *Vstupní obvod* (obr. 31b).

Střední (2.) kmitočet shody

$$f_2 = \frac{f_{\max} + f_{\min}}{2} \quad [\text{MHz}; \text{MHz}] \quad (239)$$

kde  $f_2$  je 2. kmitočet shody,

$f_{\max}$  nejvyšší kmitočet,

$f_{\min}$  nejnižší kmitočet.

1. kmitočet shody

$$f_1 = f_2 - \frac{\sqrt{3}}{4} (f_{\max} - f_{\min}) \quad [\text{MHz}; \text{MHz}, -, \text{MHz}] \quad (240)$$

kde  $f_1$  je 1. kmitočet shody, nižší než  $f_2$ ,

$$\frac{\sqrt{3}}{4} = 0,4333$$

### 3. kmitočet shody

$$f_3 = f_2 + \frac{\sqrt{3}}{4} (f_{\max} - f_{\min}) \quad [\text{MHz}; \text{MHz}, \text{MHz}] \quad (241)$$

kde  $f_3$  je 3. kmitočet shody (vyšší než  $f_2$ ).

b) *Oscilátor*. Bodům (kmitočetům) souběhu vstupního obvodu přísluší v oscilátoru střední (2.) kmitočet shody

$$f_{02} = f_2 + F \quad [\text{MHz}; \text{MHz}, \text{MHz}] \quad (242)$$

kde  $f_{02}$  je střední (2.) kmitočet shody oscilátoru,

$f_2$  střední kmitočet shody vstupního obvodu,

$F$  mezifrekvenční kmitočet.

### 1. kmitočet shody

$$f_{01} = f_1 + F \quad [\text{MHz}; \text{MHz}, \text{MHz}] \quad (243)$$

### 3. kmitočet shody

$$f_{03} = f_3 + F \quad [\text{MHz}; \text{MHz}, \text{MHz}] \quad (244)$$

## 14. Výpočet oscilátoru

Pro určení velikosti sériové, popřípadě paralelní kapacity a indukčnosti oscilátorového obvodu k dosažení souběhu se používá celé řady početně grafických metod (s použitím čar vypočtených průběhů, nakreslených na průsvítce).

Početní řešení je snazší, ale i tak je výpočet náročný na čas a přesnost. Proto se omezíme jen na vybrané vztahy, do nichž dané údaje dosazujeme. (Přesnější počet vícemístných čísel usnadní použití 5 až 7místných logaritmů, jak je uvedeno v matematické části této příručky.)

Zásadní rozdíl je v paralelní kapacitě, dále značné  $C_p$ , která může být:

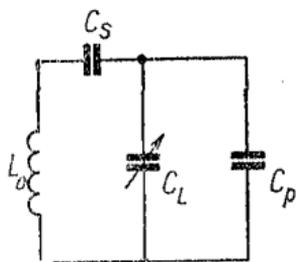
a) u cívky každého rozsahu zvlášť;

b) u ladicího kondenzátoru, zvlášť u přijímačů s jedním rozsahem.

(Malý proměnný kondenzátor o velikosti několika piko-faradů — trimr — který bývá u obou částí ladicího kondenzátoru, slouží k vyrovnání jejich průběhů, zvláště na počátku vlnového rozsahu.)

Je nutno vypočítat sériový kondenzátor  $C_s$  neboli padding, paralelní kapacitu  $C_p$  (popř.  $C'_p$ ) a indukčnost oscilátoru  $L_0$  (obr. 32).

Případ a) ( $C'_p = 0$ ).  
Sériový kondenzátor



Obr. 32. Obvod oscilátoru

$$C_s = \frac{k}{n^2} \quad [\text{pF}; \text{MHz}, \text{MHz}] \quad (245)$$

kde  $C_s$  je sériový kondenzátor (padding),  
 $k$  pomocná veličina (viz níže),  
 $n^2$  pomocná veličina (viz str. 117).

Paralelní kondenzátor

$$C_p = \frac{k}{l^2 - n^2} \quad [\text{pF}; \text{MHz}, \text{MHz}, \text{MHz}] \quad (246)$$

kde  $C_p$  je kondenzátor u cívky,  
 $k, l^2, n^2$  pomocné veličiny (viz str. 117).

Indukčnost

$$L_0 = \frac{L_m l^2 C_s}{m^2 (C_s + C_p)} \quad [\mu\text{H}; \mu\text{H}, \text{MHz}, \text{pF}, \text{MHz}, \text{pF}] \quad (247)$$

kde  $L_0$  je indukčnost cívky oscilátoru,  
 $L_m$  indukčnost vstupní (mřížkové) cívky,  
 $C_s$  sériový kondenzátor,  
 $C_p$  paralelní kondenzátor u cívky,  
 $C'_p$  paralelní  $C$  u ladicího kondenzátoru,  
 $l^2, m^2$  pomocné veličiny (viz str. 117).

Indukčnost z Thomsonova vzorce

$$L_0 = \frac{2,53 \cdot 10^4}{f^2 C_v} \quad (248)$$

kde  $f$  je nejnižší kmitočet oscilátoru,  
 $C_v$  výsledná maximální kapacita.

Případ b) ( $C_p = 0$  nebo  $C_p \ll C_s$ ).

Sériový kondenzátor

$$C_s = k \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{l^2} \right) \quad [\text{pF}; \text{MHz}, \text{MHz}, \text{MHz}] \quad (249)$$

kde  $C_s$  je sériový kondenzátor,  
 $k, l^2, n^2$  pomocné veličiny.

Paralelní kapacita u ladícího kondenzátoru

$$C'_p = \frac{k}{l^2} \quad [\text{pF}; \text{MHz}, \text{MHz}] \quad (250)$$

kde  $C'_p$  je paralelní kondenzátor,  
 $k, l^2$  pomocné veličiny.

Indukčnost

$$L_0 = \frac{L_m l^2 (C_s + C'_p)}{m^2 C_s} \quad [\mu\text{H}; \mu\text{H}, \text{MHz}, \text{pF}, \text{MHz}, \text{pF}] \quad (251)$$

kde  $L_0$  je indukčnost oscilátorové cívky,  
 $L_m$  indukčnost vstupní cívky,  
 $C_s$  sériový kondenzátor,  
 $C_p$  paralelní kondenzátor,  
 $l^2, m^2$  pomocné veličiny.

Pomocné veličiny pro případ a) i b)

$$a = f_1 + f_2 + f_3 \quad (252)$$

$$b^2 = f_1 f_2 + f_2 f_3 + f_1 f_3 \quad (253)$$

$$c^3 = f_1 f_2 f_3 \quad (254)$$

$$d = a + 2F \quad (255)$$

$$k = C_{\max} f_{\min}^2 \quad (256)$$

$$l^2 = (b^2 d - c^3) / 2F \quad (257)$$

$$m^2 = l^2 + F^2 + ad - b^2 \quad (258)$$

$$n^2 = \frac{c^3 d + F^2 l^2}{m^2} \quad (259)$$

kde  $F$  je mezifrekvenční kmitočet [MHz]; ostatní kmitočty (pokud není uvedeno jinak) jsou rovněž v MHz.

Výsledná kapacita

$$C_v = \frac{C_{\max} C_s}{C_{\max} + C_s} + C_p \quad [\text{pF}] \quad (260)$$

kde  $C_v$  je výsledná kapacita,  
 $C_{\max}$  maximální kapacita obvodu,  
 $C_s$  sériový kondenzátor,  
 $C_p$  paralelní kondenzátor.

*Příklad:*

Máme vypočítat oscilátor několikarozsahového superhetu s mf kmitočtem  $F = 460$  kHz pro střední vlny 1 610 až 520 kHz; maximální kapacita obvodu při zavřeném ladicím kondenzátoru ( $C_{180}$ )  $C_{\max} = 545$  pF, minimální kapacita při otevřeném kondenzátoru ( $C_0$ )  $C_{\min} = 55$  pF, indukčnost vstupní mřížkové cívky  $L_m = 172$   $\mu\text{H}$ .

Jde o několikarozsahový superhet — kondenzátor  $C_p$  bude tedy paralelně u cívky a použijeme postupu pro případ a).

a) Kmitočty shody pro rozsah 1,61—0,52 MHz:

$$\text{Střední (239)} f_2 = \frac{1,61 + 0,52}{2} = \frac{2,13}{2} = 1,065 \text{ MHz.}$$

$$\text{Krajní (240)} f_1 = 1,065 - (0,433 \cdot 1,09) = 1,065 - 0,472 = 0,593 \text{ MHz.}$$

$$\text{Krajní (241)} f_3 = 1,065 + (0,433 \cdot 1,09) = 1,065 + 0,472 = 1,537 \text{ MHz.}$$

b) Pomocné veličiny [(252) až (259)]

$$a = 0,593 + 1,065 + 1,537 = 3,195$$

$$b^2 = 0,6315 + 0,9144 + 1,6369 = 3,1799$$

$$c^3 = 0,593 \cdot 1,065 \cdot 1,537 = 0,9707$$

$$d = 3,195 + 0,92 = 4,115$$

$$k = 545 \cdot 0,52^2 = 545 \cdot 0,27 = 147,2$$

$$l^2 = (3,1799 \cdot 4,115 - 0,9707) : 0,92 = 13,168$$

$$m^2 = 13,1680 + 0,2116 + 3,1474 - 3,1799 = 23,347$$

$$n^2 = (0,9707 \cdot 4,115 + 0,2116 \cdot 13,168) : 23,347 = 6,7806 : 23,347 = 0,2917$$

Kapacita (245)

$$C_s = 147,2 : 0,2917 = 504 \text{ pF}$$

Kapacita (246)

$$C_p = \frac{147,2}{13,168 - 0,2917} = 147,2 : 12,88 = 11 \text{ pF}$$

Celková kapacita obvodu (260)

$$C_v = \frac{545 \cdot 504}{545 + 504} + 11 = 273 \text{ pF}$$

Indukčnost oscilátoru z Thomsonova vzorce (248)

$$L_0 = \frac{25 \ 300}{0,98^2 \cdot 273} = \frac{25 \ 300}{262} \doteq 96,5 \ \mu\text{H}$$

nebo ze vzorce (247)

$$L_0 = \frac{172 \cdot 13,168 \cdot 504}{23,347 \cdot 515} = \frac{115 \cdot 10^4}{12 \cdot 10^3} \doteq 96 \ \mu\text{H}$$

(Malý rozdíl obou výsledků je způsoben zaokrouhlováním.)

Výsledek: Oscilátor středofrekvenčního rozsahu pro vstupní kmitočtové pásmo 1 610 až 520 kHz bude mít indukčnost  $L_0 \doteq 96 \ \mu\text{H}$ , sériový kondenzátor (padding)  $C_s = 504 \text{ pF}$  a paralelně k ladící cíve kondenzátor  $C_p = 11 \text{ pF}$ .

## 15. Materiály na železná jádra

Železné jádro vykazuje v elektromagnetickém poli střídavého proudu určité ztráty. Přemagnetizováváním jeho

molekul vznikají ztráty hysterezní a ztráty způsobené indukovanými vířivými proudy. Energie potřebná ke krytí těchto ztrát se mění v teplo — jádro se ohřívá. Proto ztráty mají být co nejmenší. Toho se dosahuje tzv. legováním — přidávkem 0,5 až 4,6 % křemíku do výchozí oceli (vyšší procento — kvalitnější plech), čímž se zvětší elektrický odpor, dále válcováním plechů za studena k dosažení tzv. orientované krystalické struktury (např. materiál ortoperm) a rozdělením jádra na tenké plechy tloušťky 0,1 až 1 mm, navzájem od sebe izolovaných vrstvou laku, okují nebo mořením povrchu (tab. 21).

Tab. 21. Čs. materiály na železná jádra

Materiál	Druh plechu	Skupina	Poměrná permeabilita	Tloušťka mm
Křemíková ocel	transformátový plech	B 1	$\mu_{20} < 600$	0,5
	transformátový plech	A 2	$\mu_{20} \geq 600$	0,5, 0,35
Magneticky měkké slitiny	PY 36	D 2	$\mu_{20} \approx 1\ 700$	0,35
	PY 36 výběr	D 1	$\mu_{10} \approx 2\ 000$	0,35, 0,2
	PY 76 Cu	E 4	$\mu_5 \approx 6\ 000$	0,2 a méně
	PY 76 Cu výběr	E 3	$\mu_5 \approx 15\ 000$	0,2 a méně

Celkové ztráty v železe se udávají ve wattech na 1 kg (W/kg) hmotnosti plechů, obvykle pro magnetickou indukci  $B = 1$  nebo 1,5 T. Materiál je charakterizován tzv. měrnými ztrátami; např.  $\Delta p_{1,0} = 1,6$ , znamená plech se ztrátami 1,6 W/kg při magnetické indukci  $B = 1$  T. Podle účelu volíme jakost a tloušťku plechů, např. pro síťové transformátory používáme plechů s měrnými ztrátami  $\Delta p_{1,0} = 2,6$  nebo i  $\Delta p_{1,0} = 1,3$  tloušťky 1 mm, 0,5 mm, nebo 0,35 mm, pro nízkofrekvenční a výstupní transformátory do zesilovačů plechy

s měrnými ztrátami  $\Delta p_{1,0} = 1,6$  nebo  $\Delta p_{1,0} = 1,2$  tloušťky 0,35 mm, pro vstupní transformátory i méně.

Plechý v tabulkách i ve výsecích tvaru M, EI atd. se rozlišují barvou podle měrných ztrát. Dříve bylo zavedeno normalizované třídění na transformátorové plechy TN s měrnými ztrátami 1,1 až 1,6 W/kg a tzv. dynamové plechy DN se ztrátami 1,75 až 3,6 W/kg. Barevné značení těchto plechů — s nimiž se dosud občas setkáváme — je uvedeno v tab. 22.

Tab. 22. Starší značení měrných ztrát

Plech	Barva	Plech	Barva
TN 1,1	žlutá	DN 1,75	zelená
TN 1,2	oranžová	DN 2,0	hnědá
TN 1,3	modrá	DN 2,3	žlutá
TN 1,45	růžová	DN 2,6	červená
TN 1,6	temně fialová	DN 3,0	bílá
		DN 3,6	—

Podle nyní platné normy ČSN 42 0230 se transformátorové plechy značí písmeny Et a číslem udávajícím měrné ztráty, např. Et 2,3. Ztráty se udávají základní barvou a nátiskem barevných pruhů, jak je uvedeno v tab. 23.

Plechý válcované za studena (s orientovanou strukturou) se značí obdobně Eo s připojeným číslem udávajícím měrné ztráty (např. Eo1,1), mají však menší ztráty, a proto se uvádějí při větší magnetické indukci, obvykle při  $B = 1,5$  T. Z tenkých pásků tohoto materiálu, zvaného ortoperm, se zhotovují jádra typu C.

Určení optimální vzduchové mezery (Hannův diagram). V čl. 10 byla permeabilita materiálu v příkladech určena odhadem z tzv. magnetizačních křivek transformátorové

Tab. 23. Ocelové plechy pro elektrotechniku  
(výťah z ČSN 42 0230)

Značení plechu	Tloušťka mm	Povrch	Barevné označení		
			Základ	Pruhy	Počet pruhů
Et 3,6 3,0 2,6	1 0,5	nemořený	černá <sup>1)</sup> 1999	hnědá 2430 <sup>2)</sup>	3 2 1
Et 2,3 2,0 1,8	0,5				černá 1999
Et 1,6	0,5 0,35	mořený	černá 1999	žlutá 6200	3
Et 1,4	0,5 0,35				2
Et 1,3	0,5 0,35				1
Et 1,2 1,1 1,0	0,35				černá 1999

1) Barevné označení plechů válcovaných za tepla.

2) Číslo barevného odstínu podle ČSN 67 3067.

oceli. Permeabilita však značně závisí — kromě jiného — na velikosti stejnosměrné i střídavé složky magnetické indukce  $B$ . Při malé (nebo nulové) magnetické indukci je i permeabilita malá (tzv. počáteční permeabilita). Se zvětšující se indukci se permeabilita stupňuje až do jistého maxima, ale po dosažení určité velikosti magnetické indukce opět klesá.

Křivka permeability má tedy někde vrchol. Vzduchová mezera přerušuje magnetický tok v jádře, a proto může ovládat magnetickou indukci  $B$ .

Spojením vrcholů většího množství nakreslených křivek permeability dostaneme čaru, spolu s příslušnými stupnicemi známou jako Hannův graf. Z něho pomocí objemu železného jádra, střední délky silové čáry, počtu závitů ve vinutí a velikosti stejnosměrného proudu, který vinutím prochází, určíme magnetické pole vinutí. Podle dovolené magnetické indukce  $B$  v jádře snadno najdeme potřebnou šířku vzduchové mezery.

Hannův graf (obr. 33) je určen pro transformátorovou ocel s přísadou asi 4 % křemíku. Hodí se pro výpočet vinutí, kterým prochází stejnosměrný proud se střídavou složkou, jako jsou nízkofrekvenční a výstupní transformátory, filtrační a vazební tlumivky apod.

Na vodorovné ose je vynesena intenzita magnetického pole  $H$ , na svislé ose veličina  $K$

Intenzita magnetického pole

$$H = \frac{NI}{l_{\text{Fe}}} \quad [\text{Az/cm}; \text{---}, A, \text{cm}] \quad (261a)$$

kde  $H$  je intenzita magnetického pole,

$N$  počet závitů,

$I$  proud — stejnosměrná složka,

$l_{\text{Fe}}$  střední délka silové čáry.

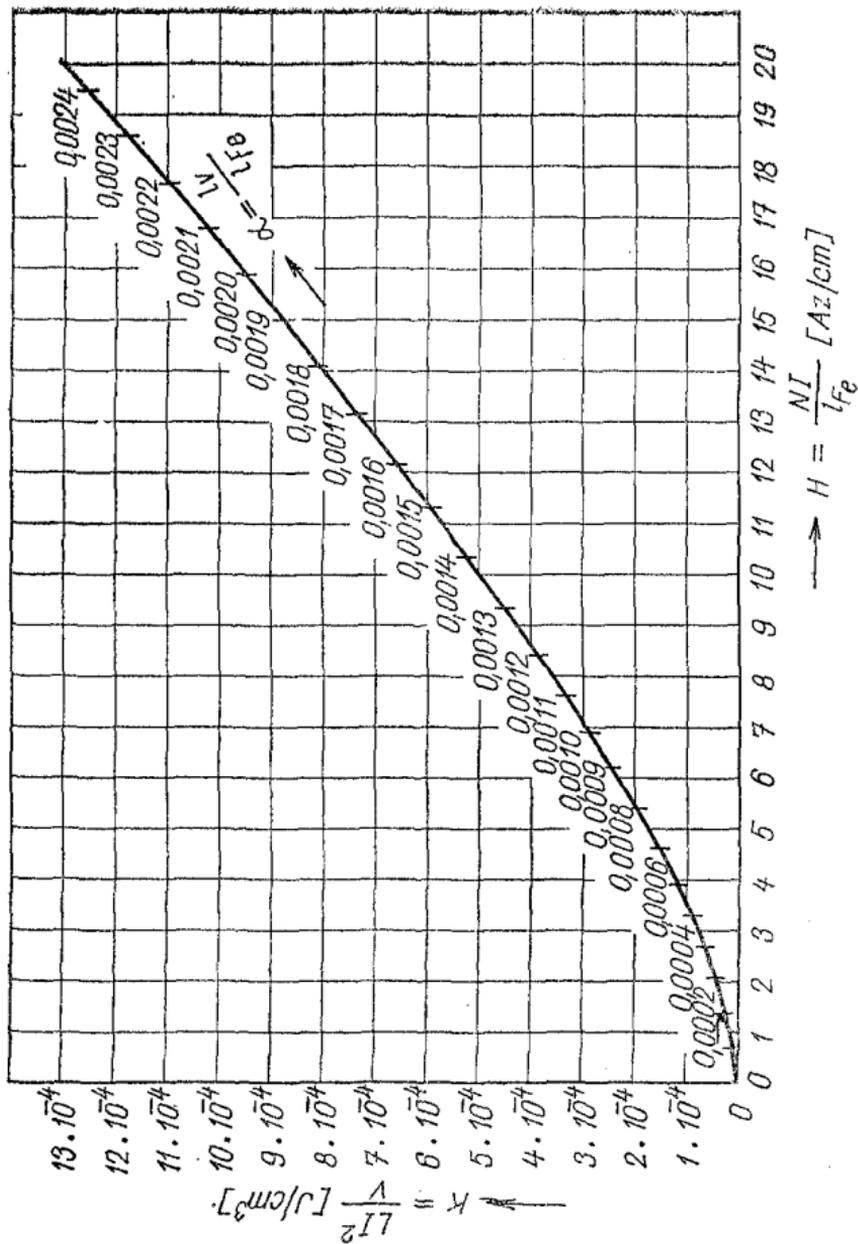
Veličina

$$K = \frac{LI^2}{V} \quad [\text{J/cm}^3; H, A, \text{cm}^3] \quad (261b)$$

kde  $L$  je indukčnost,

$V$  objem jádra.

Křivka udává poměr šířky vzduchové mezery  $l_v$  ke střední délce silové čáry  $l_{\text{Fe}}$  v železe (jádre).



Obr. 33. Hannův graf

Objem železa

$$V = S_{\text{Fe}} l_{\text{Fe}} \quad [\text{cm}^3; \text{cm}^2, \text{cm}] \quad (262)$$

kde  $V$  je objem jádra,

$S_{\text{Fe}}$  účinný průřez,

$l_{\text{Fe}}$  střední délka silové čáry.

*Poznámka:* Pro výpočet objemu jádra je správnější použít střední délku silové čáry bez zaoblení rohů, která je asi o 10 % delší.

Křivka udává poměr délky magnetických cest v mezeře a v jádře

$$\alpha = \frac{l_v}{l_{\text{Fe}}} \quad [—; \text{cm}, \text{cm}] \quad (263)$$

kde  $l_v$  je tloušťka vzduchové mezery,

$l_{\text{Fe}}$  střední délka silové čáry.

Z těchto vztahů lze zjistit

a) tloušťku vzduchové mezery — ze vztahu (263)

$$l_v = \alpha l_{\text{Fe}} \quad [\text{cm}; —, \text{cm}] \quad (264)$$

b) potřebný počet závitů — ze vztahu (261)

$$N = \frac{H l_{\text{Fe}}}{I} = \frac{N I}{l_{\text{Fe}}} \frac{l_{\text{Fe}}}{I} \quad [—; \text{A/cm}, \text{A}, \text{cm}] \quad (265)$$

Potřebné údaje pro nejběžnější typy čs. normalizovaných transformátorových plechů typu EI a M jsou uvedeny v tab. 24 a 25 na str. 152 až 155.

*Příklad:*

Na jádře tvaru EI 16, tloušťka svazku 16 mm, tj. čistého průřezu středního sloupku  $S_{\text{Fe}} = 2,3 \text{ cm}^2$  o střední délce silové čáry  $l_{\text{Fe}} = 9 \text{ cm}$ , máme navinout nf tlumivku o indukčnosti  $L = 6 \text{ H}$  při stejnosměrném proudu  $I_{\text{ss}} = 50 \text{ mA}$ . Kolik bude mít závitů, z jakého vodiče a jak velká má být vzduchová mezera v jádře?

Postup: Nejprve určíme voličinu  $K$ . Součin  $LI^2 = 6 \cdot 0,05^2 = 0,15$  J. Objem [vztah (262) s poznámkou]  $V = 2,3 \cdot 9,9 = 22,77$  cm<sup>3</sup>. Dosazením do (261a) dostaneme

$$K = \frac{0,015}{22,77} = 0,000658 = 6,58 \cdot 10^{-4} \text{ J/cm}^3$$

Tento údaj vyhledáme na svislé ose Hannovera grafu a odtud vedeme vodorovnou přímkou, až protne křivku  $\alpha$ ; v daném případě v místě označeném číslem 0,0016. Je tedy podle (263) poměr

$$\frac{l_v}{l_{\text{Fe}}} = 16 \cdot 10^{-4}$$

takže vzduchová mezera má mít šířku (264) — zde silová čára se zaoblenými rohy

$$l_v = 16 \cdot 10^{-4} \cdot 9 \approx 0,144 \text{ mm}$$

Protože u jádra tvaru EI je magnetický tok přerušen vzduchovou mezerou dvakrát, oddálíme příložku I od jádra E o polovinu, tj.

$o \frac{0,144}{2} \approx 0,07$  mm vložení stejně tlustého impregnovaného (transformátorového) papíru mezi obě části jádra.

Z boku na křivce  $\alpha$  spustíme kolmici a dostaneme na vodorovné ose odpovídající intenzitu magnetického podle  $H = 12,2$  Az/cm. Z té podle vztahu (265) stanovíme pro žádanou indukčnost 6 H počet závitů (s použitím střední délky silové čáry s oblými rohy)

$$N = \frac{12,2 \cdot 9}{0,05} = 2196 \approx 2200 \text{ závitů}$$

Při běžné hustotě proudu ve vodiči  $\sigma = 2,5$  A/mm<sup>2</sup> najdeme v tab. 31 na str. 167 pro proud 0,05 A průměr vodiče 0,16 mm.

**Střední délka silové čáry.** Je to pomyslný průběh magnetického pole uprostřed jádra. Střední délku silové čáry značíme symbolem  $l_{\text{Fe}}$ .

Běžná železná jádra jsou nejčastěji složena z plechů řezu EI nebo M, popř. tvaru přeříznutého slisovaného svitku (jádra C). Miniaturní transformátorky pro nf techniku, zvláště plechy ze speciálních slitin (PY 36, PY 76 Cu, perma-

loy apod.) tvaru EE nebo EB se rozlišují počtem postranních zářezů (vrubů) podle složení materiálu jádra. Feritová jádra mívají pro vinutí transformátorků a tlumivek rovněž tvar EI nebo EE (neuvažujeme-li speciální účely, jako jha televizních rozkladových obvodů apod.). Rozměry plechů EI jsou v tab. 26, plechů M v tab. 27 a plechů typu C v tab. 28.

U nejčastěji používaných plechů EI při kótování rozměrů podle obr. 37a délka střední silové čáry  $l_{Fe}$  se rovná obvodu obdélníku o stranách  $a$ ,  $c$  (plocha okénka pro cívku s vinutím) a čtyřem čtvrtinám, tj. celému obvodu kružnice o průměru rovném šířce  $a$  postranních pásků plechu. Obvod obdélníka  $O_0 = 2(a + c)$ , obvod kružnice  $O_k = 2\pi r = \pi d$  (v našem případě  $\pi a$ ).

Délka oblé střední silové čáry v jádru

$$l_{FeO} = 2(a + c) + \pi a \quad (266)$$

Při určování objemu jádra (např. pro Hannův diagram) je správnější používat délky střední silové čáry bez zaoblených rohů (někdy zvané „pravoúhlá“ silová čára), která je asi o 10 % delší (podle tvaru jádra). Potřebujeme-li je rozlišovat, značíme „oblou“ silovou čáru  $l_{FeO}$  „pravoúhlou“  $l_{Fe\Box}$ .

Délka pravoúhlé střední čáry v jádře je (při uvedeném značení)

$$l_{Fe\Box} = 2(a + c) + 4a \quad (267)$$

*Příklady:*

1. Normalizovaný plech EI 16 má rozměry:  $a = 8$  mm,  $b = 16$  mm,  $c = 24$  mm. Jak dlouhá je jeho oblá střední silová čára?

Rozměry dosazujeme do vztahu (266) v cm.  $l_{FeO} = 2(0,8 + 2,4) + 3,14 \cdot 0,8 = 6,4 + 2,51 = 8,9$  cm.

2. Délka „pravoúhlé“ střední čáry při stejných rozměrech plechu je podle vzorce (267)  $l_{Fe\Box} = 2(0,8 + 2,4) + 4 \cdot 0,8 = 6,4 + 3,2 = 9,6$  cm.

*Objem železného jádra.* Je to obsah transformátorové oceli nebo jiné magneticky měkké slitiny v jádře. Přibližně se určí ze vztahu

$$V = l_{\text{Fe}\square} S_{\text{Fe}} \quad [\text{cm}^3; \text{cm}, \text{cm}^2] \quad (268)$$

kde  $V$  je objem jádra,

$l_{\text{Fe}\square}$  střední délka pravoúhlé silové čáry,

$S_{\text{Fe}}$  „čistý“ průřez jádra.

„Čistý“ průřez je obsah železa v jádru po odečtení izolačních vrstev plechů (okuje, lak apod.) a prostoru vzniklého netěsným skládáním. Podíl  $S_{\text{Fe}}/S'_{\text{Fe}}$ , kde  $S'_{\text{Fe}}$  je skutečný průřez sloupku jádra s vinutím, je tzv. činitel plnění železa  $\kappa$  (kappa).

*Příklad:*

Jádro EI 16 o tloušťce svazku plechů  $s = 16$  mm a střední délce pravoúhlé silové čáry jádra  $l_{\text{Fe}\square} = 9,8$  cm, má činitele plnění  $\kappa = 0,9$ . Jaký přibližný objem má toto jádro?

Průřez sloupku pro vinutí se rovná  $as = 1,6 \cdot 1,6 = 2,56$  cm<sup>2</sup>, čistý průřez při činiteli plnění  $\kappa = 0,9$  bude  $2,56 \cdot 0,9 = 2,3$  cm<sup>2</sup>. Po dosazení do vztahu (268) stanovíme přibližný objem jádra  $V = 9,8 \cdot 2,3 = 22,54$  cm<sup>3</sup>.

*Hmotnost jádra.* Z objemu lze určit i přibližnou hmotnost (nesprávně váhu)  $G$  jádra. Je to součin objemu a měrné hmotnosti materiálu jádra

$$G = V\gamma \quad [\text{g}; \text{cm}^3, \text{g/cm}^3] \quad (269)$$

kde  $G$  je hmotnost jádra,

$V$  objem jádra,

$\gamma$  měrná hmotnost.

Měrná hmotnost transformátorové oceli je 7,55 až 7,85 g/cm<sup>3</sup> podle obsahu křemíku nebo jiných přísad. Pro běžné plechy (dostupné jakosti) můžeme počítat se střední hodnotou ( $\gamma = 7,75$  g/cm<sup>3</sup>).

*Příklad:*

Jádro z normalizovaných plechů EI 16 × 16 podle předchozího příkladu má objem  $V = 22,54 \text{ cm}^3$ . Jakou má hmotnost?

Dosazením do vztahu (269) zjistíme

$$G = 22,54 \cdot 7,75 \approx 175 \text{ g}$$

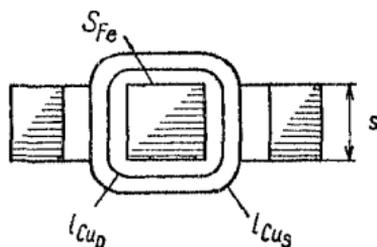
**Délka středního závitu.** Pro zjištění délky vodiče a tím i odporu (popř. hmotnosti) vinutí — nejčastěji se železným nebo feritovým jádrem (např. nízkofrekvenční, výstupní nebo síťový transformátor, tlumivka apod.) používáme tzv. délky středního závitu. Značí se  $l_{Cu}$ .

Střední závit běží mezi největším a nejmenším průměrem vinutí uprostřed okénka. Jeho délku tvoří obvod příslušného sloupku železného jádra s vinutím plus obvod kružnice o průměru rovném šířce okénka ( $a$ ) pro vinutí (kótování podle obr. 37b). (Také cívková tělíska pro vinutí mají normalizované rozměry.)

Délka středního závitu

$$l_{Cu} = 2(s + b) + \pi a \quad [\text{cm}; \text{cm}] \quad (270)$$

kde  $s$  je tzv. stah (obr. 34).



Obr. 34. Střední délka závitu

Tento vztah platí pro případ, kdy celé okénko je vyplněno jedním vinutím (např. nízkofrekvenční tlumivka). Transformátory však mají dvě oddělená vinutí, primární a sekundární (u síťových transformátorů bývá sekundárních vinutí i několik).

Pro nízké kmitočty (např. u síťových transformátorů) mohou být obě vinutí umístěna ve vrstvách na sobě — každé v celé délce cívky (tzv. válcová vinutí). Pro jakostní nízkofrekvenční transformátory, které mají přenášet kmitočty do 20 000 Hz, bývá nutné každé vinutí rozdělit do úzkých cívek (tzv. kotoučové vinutí).

Označíme-li výšku (resp. šířku) prostoru pro vinutí (okénka)  $o$ , případně na každé vinutí

$$o = \frac{a}{2} = 0,5a \quad [\text{cm}; \text{cm}] \quad (271)$$

1. Za tohoto předpokladu bude střední závit spodního (obvykle primárního) vinutí probíhat přibližně v jedné čtvrtině, střední závit vrchního vinutí ve třech čtvrtinách výšky okénka.

Délka středního závitu primárního vinutí

$$l_{\text{Cup}} = 2(s + b) + 0,25\pi o \quad [\text{cm}; \text{cm}] \quad (272)$$

2. Délka středního závitu sekundárního vinutí

$$l_{\text{Cus}} = 2(s + b) + 0,75\pi o \quad [\text{cm}; \text{cm}] \quad (273)$$

Při vinutí kotoučovým se počítá střední závit pro jednu sekci.

*Příklady:*

1. Tlumivka na normalizovaném jádře EI 12, o stahu 15 mm je vinuta vcelku na cívkovém tělísku. Rozměr středního sloupku  $b = 1,2$  cm,  $s = 1,5$  cm. Jak dlouhý bude vodič pro vinutí o 1 000 závitů? (Z tab. 25 zjistíme, že  $a = 6,5$  mm.)

Střední závit (270)

$$l_{\text{Cu}} = 2(1,5 + 1,2) + 3,14 \cdot 0,65 = 5,4 + 2,0 = 7,4 \text{ cm}$$

Délka drátu je 7 400 cm = 74 m.

2. Na jádru EI 16 × 16 navinutý zvonkový transformátorek má obě vinutí umístěná na sobě. Jak dlouhý je střední závit a) primárního (síťového), b) sekundárního vinutí?

Hrubý rozměr středního sloupku:  $s = 1,6$  cm,  $b = 1,6$  cm. Šířka okénka pro vinutí  $a = o = 0,8$  cm.

a) Délka středního závitu primárního vinutí (272)

$$l_{\text{Cup}} = 2(1,6 + 1,6) + 3,14 \cdot 0,25 \cdot 0,8 = 6,4 + 0,628 = 7 \text{ cm}$$

b) Délka středního závitu sekundárního vinutí (273)

$$l_{\text{cus}} = 2(1,6 + 1,6) + 3,14 \cdot 0,75 \cdot 0,8 = 6,4 + 1,88 = 8,28 \text{ cm}$$

## 16. Zatížitelnost neznámých tlumivek

U tlumivek se železným jádrem, na kterých není žádný údaj o proudové zatížitelnosti vinutí (často u výprodejních druhů), můžeme s dostatečnou přesností zjistit dovolený stejnosměrný proud z přibližného výkonu omezeného oteplením vinutí.

Z praxe víme, že výkon tlumivky podle velikosti a provedení bývá

$$P = 0,8 \text{ až } 1,6 \text{ W} \quad (274)$$

Z toho zjistíme dovolený proud vinutí

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad [\text{A}; \text{W}, \Omega] \quad (275)$$

kde  $R$  je odpor vinutí,

$P$  výkon,

$I$  dovolený proud.

Odpor vinutí změříme ohmmetrem. (Z vývodů nelze vždy soudit na průměr vodiče vinutí, protože tenké vodiče nastavujeme tlustšími vývody.)

Je-li možné přibližně změřit průřez sloupků jádra s vinutím, určíme z něho čistý průřez jako u síťového transformátoru násobením činitelem plnění  $\kappa = 0,85$  až  $0,9$ . Výkon tlumivky je dán vztahem

$$P \doteq \frac{\sqrt{S_{\text{Fe}}}}{0,9 \text{ až } 1,2} \quad [\text{W}; \text{cm}^2] \quad (276)$$

a proud vinutí zjistíme rovněž podle vztahu (275).

*Poznámka:* V obou případech lze přibližně zjistit jen dovolený proud, nikoli indukčnost tlumivky; tu musíme změřit

*Příklad:*

1. Tlumivka střední velikosti má naměřený odpor vinutí  $400 \Omega$ . Pro jaký proud jí smíme použít?

Zvolíme-li střední výkon tlumivky  $P = 1,2 \text{ W}$ , zjistíme podle vztahu (275) dovolený stejnosměrný proud

$$I = \sqrt{\frac{1,2}{400}} = \sqrt{0,003} = 0,055 \text{ A} = 55 \text{ mA}$$

2. Větší tlumivka má jádro EI 16 se středním sloupkem  $1,6 \times 1,6 \text{ cm}$ . Změřený odpor vinutí je  $152 \Omega$ . Jakým proudem je možné tuto tlumivku zatížit?

Použijeme vztah (276). Plnění železa v uvedeném jádru odhadneme na  $\kappa = 0,9$ . Skutečný průřez železa  $S_{\text{Fe}} = 1,6 \cdot 1,6 \cdot 0,9 = 2,3 \text{ cm}^2$ . Do jmenovatele vztahu (276) dosadíme střední hodnotu 1.

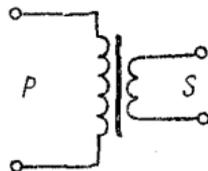
$$P = \frac{\sqrt{2,3}}{1} = \frac{1,52}{1} = 1,52 \text{ W}$$

Z toho dovolený proud tlumivky

$$I = \sqrt{\frac{1,52}{152}} = \sqrt{0,001} = 0,1 \text{ A}$$

## 17. Výstupní, vstupní a budicí transformátory

Pro přizpůsobení impedance elektronkového nebo tranzistorového zesilovače impedanci reproduktoru a pro oddělení stejnosměrného napětí zesilovače od nízkofrekvenčního vedení (linky) se používá výstupní transformátor, obvykle s jedním primárním a jedním sekundárním vinutím (obr. 35).



*Převod transformátoru*

Obr. 35. Schéma transformátoru výstupního

$$p = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_r}} \quad [—; \Omega, \Omega] \quad (277)$$

kde  $p$  je převod (poměr závitů).

$Z_p$  primární impedance,  
 $Z_r$  impedance reproduktoru.

Impedance  $Z_p$  odpovídá zatěžovacímu odporu  $R_a$  elektronky (při dvojitěm stupni odporu  $R_{a,a}$  od anody k anodě) nebo  $R_C$  u tranzistoru (při dvojitěm zapojení  $R_{C,c}$ ).

Impedance kmitací cívky reproduktoru  $Z_r$  se určí — není-li udána — z jejího stejnosměrného odporu (změřeného ohmmetrem)

$$Z_r \doteq 1,25R_k \quad [\Omega; \Omega] \quad (278)$$

kde  $Z_r$  je impedance reproduktoru,

$R_k$  činný odpor cívky.

Známe-li poměr  $p$  a impedanci jednoho vinutí, např.  $Z_r$ , lze určit impedanci druhého vinutí ze vztahu

$$Z_p = p^2 Z_r \quad [\Omega; \text{—}, \Omega] \quad (279)$$

Změna převodu  $p$  na jiný je nutná při použití reproduktoru nebo linky o jiné impedanci. Musíme znát impedanci jednoho vinutí a jeho počet závitů. Nový počet závitů

$$N_2 = N_1 \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}} \quad [\text{—}; \text{—}, \Omega, \Omega] \quad (280)$$

kde  $Z_1$  je známá impedance,

$N_1$  její počet závitů,

$Z_2$  žádaná impedance,

$N_2$  hledaný počet závitů.

*Příklady:*

1. K elektronce 6L31 (výrobce doporučuje zatěžovací odpor  $R_a = 5 \text{ k}\Omega$ ) chceme připojit reproduktor s impedancí  $4 \Omega$ . Jaký převod musí mít výstupní transformátor?

Uvažujeme-li  $R_a = Z_p$ , dosadíme do vztahu (277)

$$p = \sqrt{\frac{5\,000}{4}} = \sqrt{1\,250} = 34$$

neboli vinutí pro reproduktor bude mít  $\frac{1}{34}$  počtu primárních závitů.

2. Neznámý reproduktor má měřením zjištěný činný odpor kmitací cívky  $4,8 \Omega$ . Jakou má impedanci?

Podle vztahu (278) je impedance přibližně

$$Z_r = 1,25 \cdot 4,8 = 6 \Omega$$

3. Výstupní transformátor má, na přístupném sekundárním vinutí 60 závitů pro reproduktor o impedanci  $Z_r = 4 \Omega$ . Jeho připojením na střídavé napětí 1 V bylo zjištěno na vývodech primárního vinutí napětí 42 V. Jak velká je impedance primárního vinutí?

Poměr napětí odpovídá poměrům závitů, takže převod  $p = 42$ . Impedance primárního vinutí podle (279)

$$Z_p = 42^2 \cdot 4 = 1\,750 \cdot 4 = 7\,000 \Omega$$

4. Výstupní transformátor o impedanci  $4 \Omega$  potřebujeme upravit pro reproduktor o impedanci  $Z_r = 6 \Omega$ . Původní vinutí mělo 62 závitů. Potřebné vinutí pro  $6 \Omega$  (280)

$$N_2 = 62 \sqrt{\frac{6}{4}} = 62 \cdot 1,25 = 76 \text{ závitů}$$

**Návrh výstupního transformátoru.** Pro návrh výstupního transformátoru je nutné znát výstupní zatěžovací odpor elektronky nebo tranzistoru a výkon zesilovače, pro nějž je transformátor určen, zapojení koncového stupně (jednoduchý nebo dvojitý), impedanci reproduktoru, dále při jednoduchém zesilovači i stejnosměrný proud elektronky nebo tranzistoru (který prochází primárním vinutím a magnetuje jeho jádro) a nejnižší žádaný přenášený kmitočet. Nejvyšší kmitočet je dán konstrukcí transformátoru (rozdělení vinutí na sekce za účelem zmenšení kapacity mezi závity apod.), ale u dobře zhotoveného transformátoru bývá dostatečně vysoký a nemusíme to počítat.

*Jednoduchý výstupní transformátor.* Průřez jádra stanovíme z nf výkonu obdobně jako u transformátoru síťového a případnou vzduchovou mezeru určíme z indukčnosti jako u tlumivky se stejnosměrnou magnetizací.

Skutečný průřez jádra

$$S_{Fe} = c \sqrt{\frac{P}{f_d}} \quad [\text{cm}^2; \text{---}, \text{W}, \text{Hz}] \quad (281)$$

kde  $P$  je nf výkon zdroje (elektronky),

$S_{Fe}$  účinný průřez jádra,

$c$  součinitel (10 až 20),

$f_d$  nejnižší přenášený kmitočet.

Součinitel  $c$  volíme zde větší než u síťového transformátoru, aby magnetická indukce byla menší ( $B = 0,6$  až  $0,8$  T). Čím jakostnější má být výstupní transformátor, tím volíme většího součinitele  $c$ ; používáme též jádra z tenších plechů ( $0,3$  až  $0,5$  mm) s malými měrnými ztrátami, např.  $\Delta p_{1,0} = 1,2$  až  $1,6$  W/kg. Pro jednoduché výstupní transformátory jsou vhodné plechy tvaru EI, u nichž lze snadno nastavit potřebnou vzduchovou mezeru.

Indukčnost primárního vinutí

$$L_p = \frac{X_p}{2\pi f_d} \quad [\text{H}; \Omega, \text{---}, \text{Hz}] \quad (282)$$

kde  $L_p$  je primární indukčnost,

$X_p$  reaktance primárního vinutí,

$f_d$  nejnižší přenášený kmitočet.

Činný odpor vinutí má být zanedbatelný v porovnání s jeho induktivní reaktancí a rovněž vnitřní kapacita se na nízkých kmitočtech neuplatní. Proto se impedance vinutí prakticky rovná jeho induktivní reaktanci

$$L_p = \frac{Z_p}{\omega} \quad [\text{H}; \Omega, \text{rad/s}] \quad (283)$$

Ovšem volíme-li  $Z_p = R_a$  (tj. udanému zatěžovacímu odporu elektronky) nebo  $Z_p = R_C$  (zatěžovací odpor tranzistoru), poklesne nejnižší přenášený kmitočet  $f_d$  asi o  $-3$  dB (asi o 30 %). Při větší impedanci  $Z_p$  je úbytek menší.

Optimální velikost primární impedance

$$Z_p = (2 \text{ až } 3) R_a \quad [\Omega; \Omega] \quad (284)$$

kdy úbytek na  $f_d$  je jen asi 10 % ( $-1$  dB).

Počet závitů pro primární indukčnost a velikost vzduchové mezery počítáme z Hannova grafu. Příslušný postup, vztahy a graf jsou uvedeny v čl. 15 na str. 120.

*Příklad:*

Pro malý rozhlasový přijímač se sdruženou triodou—pentodou na koncovém stupni máme navrhnout výstupní transformátorek průměrné jakosti a nevelkých rozměrů. Údaje koncové pentody: Výstupní výkon  $P_0 = 3,5$  W, stejnosměrný anodový proud  $I_a = 35$  mA, zatěžovací odpor  $R_a = 5\,600 \Omega$ . Reprodukter má impedanci  $5 \Omega$ .

Vzhledem k nevelkým požadavkům na jakost transformátorku volíme výjimečně primární impedanci  $Z_p = R_a$ . Pro výkon  $P_0 = 3,5$  W podle (281) vypočteme skutečný průřez jádra ( $f_d = 50$  Hz)

$$S_{Fe} = 11 \sqrt{\frac{3,5}{50}} = 11 \sqrt{0,077} = 11 \cdot 0,265 = 2,9 \text{ cm}^2$$

Vhodný plech je EI 16  $\times$  20. Má účinný průřez  $S_{Fe} = 2,9 \text{ cm}^2$  a plochu okénka pro vinutí  $1,92 \text{ cm}^2$ ; střední délka silové čáry  $l_{Fe0} = 8,9 \text{ cm}$ . Objem železa (z hranaté silové čáry)  $V = l_{Fe0} S_{Fe} = 10 \cdot 2,9 \doteq 29 \text{ cm}^3$ . (Viz tab. 24 na str. 152.)

Indukčnost primárního vinutí

$$L_p = \frac{5\,600}{314} = 17,8 \text{ H}$$

Veličinu

$$K = \frac{LI^2}{V} = \frac{17,8 \cdot 0,035^2}{29} = 0,00075 = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ J/cm}^3$$

zjistíme z obr. 33.

Z toho na křivce Hannova grafu (obr. 33) zjistíme

$$\alpha = 17,1 \cdot 10^{-4}$$

Spuštěním kolmice na vodorovnou osu dostaneme  $H = 13,2 \text{ Az/cm}$ .  
Velikost vzduchové mezery

$$l_v = \alpha \cdot l_{Fe} = 17,1 \cdot 10^{-4} \cdot 8,9 = 0,0152 \text{ cm} = 0,152 \text{ mm}$$

Spojku oddělíme o

$$\frac{0,152}{2} = 0,076 \text{ mm}$$

Počet primárních závitů

$$N_p = \frac{H l_{Fe}}{I} = \frac{13,2 \cdot 8,9}{0,035} = 3360 \text{ závitů}$$

Průměr primárního vodiče CuL (volíme větší)  $d = 0,15 \text{ mm}$ .  
Převod transformátoru, (přidáme-li na sekundární vinutí asi  
3 % na úhradu ztrát)

$$p = \sqrt{\frac{5600}{5,15}} = \sqrt{1087} \approx 33$$

Sekundární vinutí

$$N_s = \frac{3360}{33} \approx 102 \text{ závity}$$

Proud při plném výkonu

$$I_s = \sqrt{\frac{3,5}{5}} = \sqrt{0,7} = 0,83 \text{ A}$$

kterému odpovídá průměr vodiče  $d = 0,65 \text{ mm}$ .

Výsledek: Na jádro EI 16 × 20 navineme primární vinutí 3360  
závitů vodiče o průměru 0,15 mm a sekundární vinutí o 102 závitech  
vodiče o průměru 0,65 mm.

Kontrola (352)

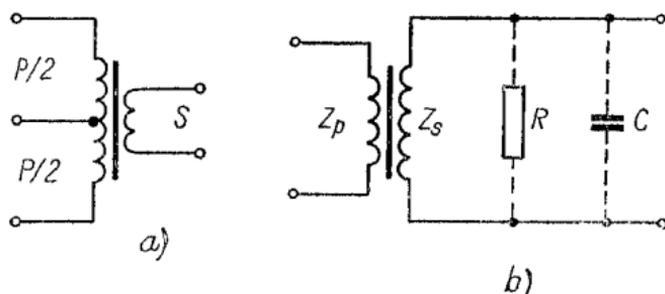
$$P_p \leq 0,6 \cdot 3,2 \cdot 1,92 = 3,7$$

Ježto  $3,5 < 3,7$ , vinutí by se na cívku mělo vejít. V případě nut-  
nosti postačí pro primární vinutí vodič o průměru 0,14 mm.

**Návrh dvojčinného výstupního transformátoru.** Výstupní  
transformátor pro dvojčinné koncové stupně nemá stejno-  
směrně předmagnetizované jádro, protože proudy obou

elektronek nebo tranzistorů působí proti sobě a jejich výsledný účinek se ruší. Proto jádra takových výstupních transformátorů stačí dimenzovat jen podle střídavého výkonu zesilovače a nemusí mít vzduchovou mezeru.

Při návrhu dvojitinného výstupního transformátoru stanovíme předem primární impedanci  $Z_p$  podle zatěžovacího



Obr. 36. a) Schéma dvojitinného výstupního transformátoru, b) schéma vstupního transformátoru

odporu „od anody k anodě“ elektronek  $R_{aa}$ , nebo mezi kolektory tranzistorů  $R_{CC}$ . Dále se počítá výstupní transformátor pro třídu A i B stejně (obr. 36a).

Indukčnost primárního vinutí

$$L_p = \frac{Z_p}{\omega} = \frac{4\pi N^2 \mu_r S_{Fe}}{l_{Fe} \cdot 10^9} \quad [\text{H}; \Omega, \text{rad/s}, \text{—}, \text{cm}^2, \text{cm}] \quad (285)$$

kde  $L_p$  je indukčnost primárního vinutí,

$Z_p$  impedance primárního vinutí,

$\omega$  úhlový kmitočet,

$N$  počet závitů,

$\mu_r$  poměrná permeabilita,

$S_{Fe}$  skutečný průřez jádra,

$l_{Fe}$  střední délka silové čáry.

Skutečný průřez železa jádra se stanoví obdobně jako u jednoduchého transformátoru

$$S_{Fe} = C \sqrt{\frac{P_0}{f_d}} \quad [\text{cm}^2; \text{---}, \text{W}, \text{Hz}] \quad (286)$$

kde  $S_{Fe}$  je průřez jádra,  
 $C$  konstanta (12 až 20),  
 $P_0$  výkon zesilovače,  
 $f_d$  nejnižší kmitočet.

Počet závitů primárního vinutí

$$N = \sqrt{\frac{l_{Fe} L_p 10^9}{4\pi \mu_r S_{Fe}}} \quad [\text{---}; \text{cm}, \text{H}, \text{---}, \text{cm}^2] \quad (287)$$

Vzhledem k nepřítomnosti stejnosměrné magnetizační složky a vzduchové mezery volíme poměrnou permeabilitu železa přibližně v mezích  $\mu_r = 500$  až 600.

Průměr vodičů jednotlivých vinutí se určí z činného výkonu podle procházejícího střídavého proudu. Na sekundárním vinutí přidáváme několik procent závitů vzhledem k úbytkům napětí.

Proud

$$I = \sqrt{\frac{P}{Z}} \quad [\text{A}; \text{W}, \Omega] \quad (288)$$

kde  $I$  je proud ve vinutí,  
 $P$  výkon zdroje,  
 $Z$  impedance vinutí.

*Příklady:*

1. Navrhněte dvojitý výstupní transformátor pro zesilovač třídy A s dvěma elektronkami EL5 a příkonu  $2 \times 18 \text{ W}$ . Údaje elektronek: Výkon  $P_0 = 20 \text{ W}$ , zatěžovací odpor  $R_{a,a} = 4\,500 \Omega$ , maximální anodový proud  $I_a = 2 \times 65 \text{ mA}$ . Reprodukční má impedanci  $8 \Omega$ . Nejnižší přenášený kmitočet  $f_d = 40 \text{ Hz}$ . Pro dobrý přenos hlubokých tónů („basů“) volíme poměr  $Z_p = 2R_{a,a}$ . Pro výkon  $20 \text{ W}$  potřebujeme jádro průřezu (286)

$$S_{Fe} = 15 \sqrt{\frac{20}{40}} = 15 \cdot 0,7 = 10,5 \text{ cm}^2$$

Aby transformátor nevyšel příliš rozměrný, použijeme typizovaného jádra EI 32 × 32, které má skutečný průřez železa  $S_{Fe} = 9,7 \text{ cm}^2$ ,  $l_{Fe} = 17,9 \text{ cm}$  a plochu pro vinutí  $S_0 = 7,7 \text{ cm}^2$ . I tak je rozměr jádra 80 × 95 mm poplatkem za dobrý přenos hlubokých tónů. Šířka středního sloupku zvoleného plechu  $b = 3,2 \text{ cm}$ , stah (výška svazku)  $s = 3,2 \text{ cm}$ , takže hrubý (brutto) průřez  $S'_{Fe} = 3,2 \cdot 3,2 = 10,2 \text{ cm}^2$ . Indukčnost primárního vinutí (283)

$$L_p = \frac{2 \cdot 4 \cdot 500}{251} = 35,8 \text{ H}$$

Počet závitů primárního vinutí (287)

$$\begin{aligned} N_p &= \sqrt{\frac{10^9 \cdot 17,9 \cdot 35,8}{12,56 \cdot 500 \cdot 9,7}} = \sqrt{\frac{640 \cdot 10^9}{61 \cdot 10^3}} = \\ &= \sqrt{10,5 \cdot 10^6} = 3 \ 240 \text{ závitů} \end{aligned}$$

V polovině tohoto počtu, tj. na 1 620. závit, provedeme odbočku, vývod pro kladný pól anodového napětí.

Převod transformátoru (277)

$$p = \sqrt{\frac{4 \cdot 500}{8}} = \sqrt{562,5} = 23,8$$

Sekundární vinutí

$$N_s = \frac{3 \ 240}{23,8} = 136 \text{ závitů} + 5 \% \doteq 143 \text{ závitů}$$

Průměr vodičů: Primární proud je dán 65 mA. Tomu odpovídá vodič CuL průměru  $d = 0,18 \text{ mm}$  (tab. 31) pro  $\sigma = 2,5 \text{ A/mm}^2$ .

Proud v sekundárním vinutí při plném výkonu (288)

$$I_s = \sqrt{\frac{20}{8}} = 1,6 \text{ A}$$

jemuž podle tab. 31 ( $\sigma = 2,5 \text{ A/mm}^2$ ) přísluší vodič průměru  $d = 0,9 \text{ mm}$ .

Předběžná kontrola, zda se vinutí s cívkou a proklady vejde na jádro, podle vztahu (352)  $P_p \leq 0,6 \cdot 10,2 \cdot 7,7 = 47,5$ . Protože  $P_p = 20 \text{ W}$ , vyjde  $20 < 47$ , takže vinutí se vejde bez potíží; snad by postačil i menší typ jádra (návrh můžeme zkusmo opakovat).

2. Navrhnout výstupní transformátor pro dvojitý stupeň s 2 tranzistory o příkonu po 400 mW. Zatěžovací odpor  $R_{CC} = 120 \Omega$ , výkon zesilovače asi 0,5 W, nejnižší přenášený kmitočet  $f_d = 75 \text{ Hz}$ . Impedance reproduktoru  $Z_r = 8 \Omega$ .

Postup je přibližně stejný jako u transformátoru pro elektronky, až na daleko menší výstupní výkon. Skutečný průřez železa (286)

$$S_{Fe} = 15 \sqrt{\frac{0,5}{80}} = 15 \sqrt{0,00625} = 1,19 \text{ cm}^2.$$

Půjde zřejmě o velmi malý rozměr plechů jádra. Pokud nám nejde o miniaturní transformátorek do kapesního přijímače, můžeme pro příklad výpočtu použít nejmenší typ EI  $10 \times 10$  o skutečném průřezu železa  $S_{Fe} = 0,95 \text{ cm}^2$ , délce silové čáry  $l_{Fe} = 5,2 \text{ cm}$  a s plochou okénka pro vinutí  $S_0 = 0,75 \text{ cm}^2$ .

Indukčnost primárního vinutí (282)

$$L_p = \frac{2 \cdot 120}{480} = 0,5 \text{ H}$$

Tó odpovídá počet závitů

$$N_p = \sqrt{\frac{10^3 \cdot 5,2 \cdot 0,5}{12,6 \cdot 500 \cdot 1,19}} = \sqrt{\frac{2,6 \cdot 10^9}{7460}} = 590 \text{ závitů},$$

odbočka na 295 závitěch.

Převod transformátoru

$$p = \sqrt{\frac{120}{8}} = 3,88$$

Sekundární vinutí

$$N_s = \frac{590}{3,88} = 152 \text{ závitů} + 6\% = 152 + 9 = 161 \text{ závitů}$$

Vodič pro primární vinutí: Výkon 0,5 W, proud

$$I_p = \sqrt{\frac{0,5}{120}} = 0,065 \text{ A}$$

průměr vodiče  $d = 0,18 \text{ mm}$  (tab. 31).

Vodič pro sekundární vinutí: Proud

$$I_s = \sqrt{\frac{0,5}{8}} = 0,25 \text{ A}$$

průměr vodiče  $d = 0,4 \text{ mm}$  (stačí i 0,35 mm).

**Návrh vstupního transformátoru.** Známe-li impedanci primárního vinutí  $Z_p$  (impedance linky, mikrofonu apod.) nebo  $Z_s$  (impedance sekundárního vinutí), určíme z ní pro nejnižší požadovaný kmitočet indukčnost primárního vinutí (obr. 36b)

$$L_p = \frac{Z_p}{\omega_d} = \frac{Z_p}{2\pi f_d} \quad [\text{H}; \Omega, \text{rad/s}; \Omega, \text{Hz}] \quad (289)$$

kde  $L_p$  je indukčnost primárního vinutí,  
 $Z_p$  impedance primárního vinutí,  
 $\omega_d$  nejnižší úhlový kmitočet,  
 $f_d$  dolní mezní kmitočet,

nebo

$$L_s = \frac{Z_s}{\omega_d} = \frac{Z_s}{2\pi f_d} \quad [\text{H}; \Omega, \text{rad/s}; \Omega, \text{Hz}] \quad (290)$$

Převod na žádanou impedanci

$$p = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}} \quad [—; \Omega, \Omega] \quad (291)$$

kde  $p$  je převod transformátoru,  
 $Z_p$  impedance primárního vinutí,  
 $Z_s$  impedance sekundárního vinutí.

Požadovaná impedance sekundárního vinutí.

$$Z_s = \frac{Z_p}{p^2} \quad [\Omega; \Omega, —] \quad (292)$$

Nejvyšší přípustná paralelní kapacita (tj. kapacita vinutí, spojů, elektronky aj.)

$$C = \frac{10^{12}}{\omega_h Z_s} = \frac{10^{12}}{2\pi f_h Z_s} \quad [\text{pF}; \text{rad/s}, \Omega; \text{Hz}, \Omega] \quad (293)$$

kde  $C$  je celková kapacita,  
 $\omega_h$  horní úhlový kmitočet,

$Z_s$  sekundární impedance,  
 $f_h$  horní mezní kmitočet.

Pro určitou kapacitu je přípustná největší impedance sekundárního vinutí

$$Z_s = \frac{10^{12}}{\omega_h C} = \frac{10^{12}}{2\pi f_h C} \quad [\Omega; \text{rad/s, pF}; \text{Hz, pF}] \quad (294)$$

Pro dovolený pokles nejvyššího přenášeného kmitočtu  $f_h$  o  $-3$  dB (asi o  $-30$  %) platí vztah (294), ovšem jen přibližně, neboť v něm není respektována tzv. rozptylová indukčnost a také výpočet vnitřní kapacity vinutí je dosti složitý a nepříliš přesný.

Pro pokles nejnižších kmitočtů o  $-3$  dB ( $-30$  %) platí podobně

$$Z_s = \omega_d L_s = 2\pi f_d L_s \quad [\Omega; \text{rad/s, H}; \text{Hz, H}] \quad (295)$$

kde  $Z_s$  je impedance sekundárního vinutí,

$\omega_d$  dolní úhlový kmitočet,

$L_s$  indukčnost sekundárního vinutí,

$f_d$  dolní mezní kmitočet.

Protože přenášený výkon je nepatrný — několik miliwattů — nelze průřez jádra  $S_{Fe}$  určovat z výkonu. Zato není nutná vzduchová mezera v jádru — plechy skládáme střídavě. Volíme tedy vhodný typ jádra spíše podle plochy okénka, aby se vinutí vešlo na cívku a podle jeho průřezu a permeability určujeme počet závitů z vypočtené indukčnosti: V tomto případě je směrodatná indukčnost sekundárního vinutí a převod. Proto začínáme od sekundárního vinutí.

Počet závitů sekundárního vinutí

$$N_s = \sqrt{\frac{L_s l_{Fe} \cdot 10^9}{4\pi S_{Fe} \mu_r}} \quad [—; \text{H, cm, cm}^2, —] \quad (296)$$

kde  $N_s$  je počet závitů sekundárního vinutí,  
 $L_s$  indukčnost sekundárního vinutí,  
 $l_{Fe}$  střední délka silové čáry,  
 $S_{Fe}$  skutečný průřez železa jádra,  
 $\mu_r$  poměrná permeabilita.

Počet závitů primárního vinutí

$$N_p = \frac{N_s}{p} \quad (297)$$

kde  $N_p$  je počet závitů primárního vinutí,  
 $N_s$  počet závitů sekundárního vinutí,  
 $p$  převod.

Průměr vodiče nelze rovněž určovat z výkonu nebo proudu — odhadneme jej podle plochy, kterou vinutí v okénku zabere. Pro vinutí s velkým počtem závitů a prokladů je přibližně počet vodičů na čtvereční centimetr plochy okénka

$$N/\text{cm}^2 = \frac{N}{0,6 \cdot S_0} \quad [—; —, \text{cm}^2] \quad (298)$$

a pro vinutí s malým počtem závitů

$$N/\text{cm}^2 = \frac{N}{0,4 \cdot S_0} \quad [—; —, \text{cm}^2] \quad (299)$$

kde  $N/\text{cm}^2$  je počet vodičů v  $1 \text{ cm}^2$  plochy okénka,  
 $N$  počet závitů vinutí,  
 $S_0$  plocha okénka.

Navržený průměr vodiče je možné zběžně zkontrolovat podle činného odporu celého vinutí

$$R_d = l_v N r_{1m} \quad [\Omega; \text{m}, —, \Omega/\text{m}] \quad (300)$$

kde  $R_d$  je odpor vodiče vinutí,  
 $l_v$  střední délka závitu,  
 $N$  počet závitů vinutí,  
 $r_{1m}$  odpor délky 1 m vodiče.

Obdobně se navrhují transformátory linkové, ať již z linky na vstup zesilovače (např. 600  $\Omega$ /100 k $\Omega$ ) nebo pro výstup ze zesilovače do linky (např. 10 k $\Omega$ /600  $\Omega$ ) apod.

### Příklad

Pro dynamický mikrofón i impedanci 200  $\Omega$  navrhnete převodní transformátor na vstup elektronkového zesilovače (impedance asi 80 k $\Omega$ ). Požadovaný přenášený rozsah 50 až 15 000 Hz s úbytkem  $-3$  dB na koncích.

Zvolíme nejmenší typizované jádro M5, plechy tloušťky 0,1 mm z čs. slitiny PY76Cu s permeabilitou  $\mu_s = 6\,000$ . Účinný průřez jádra  $S_{Fe} = 0,21$  cm<sup>2</sup>, plocha okénka pro vinutí  $S_o = 0,52$  cm<sup>2</sup> (po odečtení prostoru na cívku s vývody po obou stranách zbývá pro vinutí asi 0,28 cm<sup>2</sup>).

Impedance primárního vinutí je dána. Převod (291)

$$p = \sqrt{\frac{200}{80\,000}} = \sqrt{0,0025} = 0,05,$$

nebo ve směru sekundární vinutí/primární vinutí

$$p = \frac{1}{0,05} = 20$$

(S ohledem na rozptyl a mechanické potíže vineme nejprve primární vinutí  $Z_p = 200$   $\Omega$ , potom sekundární.)

Potřebná indukčnost pro dolní mezní kmitočet  $f_d = 50$  Hz

$$L_s = \frac{80\,000}{6,28 \cdot 50} = \frac{80\,000}{314} \doteq 250 \text{ H}$$

Pro nejvyšší přenášený kmitočet  $f_h = 15$  kHz je přípustná paralelní kapacita

$$C = \frac{10^{12}}{6,28 \cdot 15\,000 \cdot 80\,000} = 133 \text{ pF}$$

Kapacita vinutí s parazitními kapacitami spojů a elektronky by patrně tuto hodnotu překročila. Protože na maličkém jádře není možné provádět dělené vinutí a permeabilita plechů není příliš vysoká — takže vyjde dost velký počet závitů — budeme nuceni pro jakostní přenos hudby zmenšit převod transformátoru, např. na 1 : 10 a tím i sekundární impedanci asi na 20 000  $\Omega$ . (Kdyby šlo jen o dobrý přenos řeči, hlášení apod., původní převod by nevalil).

Pro kontrolu: S touto indukčností by byla přípustná paralelní kapacita pro  $f_h = 15\ 000\ \text{Hz}$

$$C = \frac{10^{12}}{6,28 \cdot 15\ 000 \cdot 20\ 000} \doteq 530\ \text{pF},$$

tedy bezpečně nad skutečnou hodnotou.

Počet závitů sekundárního vinutí pro jádro uvedené dříve

$$N_s = \sqrt{\frac{63,5 \cdot 3,5 \cdot 10^9}{12,56 \cdot 0,21 \cdot 6\ 000}} = 3,74 \cdot 10^3 = 3\ 740\ \text{závitů}$$

Počet závitů primárního vinutí

$$N_p = 3\ 740 : 10 = 374\ \text{závity}$$

Průměry vodičů vyhledáme v tab. 30 podle plnění v  $1\ \text{cm}^2$ :  
Sekundární vinutí (298)

$$N_s/\text{cm}^2 = \frac{3\ 740}{0,6 \cdot 0,28} = 22\ 260\ \text{závitů/cm}^2$$

Primární vinutí (299)

$$N_p/\text{cm}^2 = \frac{374}{0,4 \cdot 0,28} = 3\ 340\ \text{závitů/cm}^2$$

V tab. 30 najdeme pro  $N_s$  přibližně vodič  $0,04\ \text{mm}$ . Kdybychom jej neměli, musíme se spokojit s běžným lakovaným drátem  $0,05\ \text{mm}$ , ovšem je nutné vinout pečlivě a šetřit proklady. Jistá kompenzace nastane tím, že vodič pro primární vinutí  $N_p$  o průměru  $0,12\ \text{mm}$  zabere méně místa, než jsme určili.

Kontrola odporu vinutí, který má být menší než  $10\ \%$  příslušné impedance:

Délka středního závitu primárního vinutí  $l_v = 3,0\ \text{cm}$ , odpor vodiče o průměru  $0,12\ \text{mm}$  je  $1,55\ \Omega/\text{m}$ . Délka vodiče primárního vinutí je  $374 \cdot 3 = 1\ 122\ \text{cm} = 11,22\ \text{m}$ . Odpor vodiče (300)  $11,22 \cdot 1,55 = 17,4\ \Omega$ , tedy přípustná hodnota.

Délka středního závitu sekundárního vinutí  $l_v = 3,6\ \text{cm}$ , odpor vodiče o průměru  $0,05\ \text{mm}$  je  $9\ \Omega/\text{m}$ . Délka vodiče sekundárního vinutí je  $3\ 740 \cdot 3,6 = 13\ 460\ \text{cm} \doteq 135\ \text{m}$ . Odpor celého vinutí (300)  $R_d = 135 \cdot 9 = 1\ 215\ \Omega$ , což je rovněž pod dovolenou hodnotou — vodiče tedy vyhovují podmínce.

**Transformátory vazební a budicí.** Slouží k vazbě mezi zesilovacími elektronkami (dnes již vzácně) nebo tranzistory. Impedance primárního vinutí musí odpovídat zatěžovacímu odporu předchozí elektronky nebo tranzistoru; obvykle jím prochází určitý stejnosměrný proud. Je-li větší, nelze na jádro použít speciálních slitin a navíc je nutno jádro opatřit vzduchovou mezerou. Materiál jádra na kvalitní nf transformátory bývá ocel vysoce legovaná křemíkem, tloušťky jen 0,1 až 0,35 mm o malých měrných ztrátách.

Transformátory mezi stupni elektronkového zesilovače mají poměr mírně vzestupný (asi 1 : 1,5 až 1 : 4), kdežto mezi tranzistory naopak sestupný (3 : 1 až 5 : 1); jak to vyžaduje vzájemné přizpůsobení odporů tranzistorových obvodů.

*Návrh budicího transformátoru.* Vyjdeme ze zatěžovacího (kolektorového) odporu. Ten lze určit buď z příkonu (ztrátového kolektorového výkonu), nebo z napětí na kolektoru a jeho proudu.

Zatěžovací odpor

$$R_z = \frac{U_C^2}{P_C} \quad [\Omega; V, W] \quad (301)$$

kde  $R_z$  je zatěžovací odpor,

$U_C$  napětí na kolektoru,

$P_C$  příkon tranzistoru.

Pro jednoduchý tranzistorový stupeň lze zatěžovací odpor též určit jako u (konečné) pentody

$$R_z = \frac{U_C}{I_C} \quad [\Omega; V, A] \quad (302)$$

kde  $U_C$  je napětí kolektoru,

$I_C$  kolektorový proud.

Impedance primárního vinutí

$$Z_p = (1 \text{ až } 3) R_z \quad [\Omega; \Omega] \quad (303)$$

kde  $Z_p$  je impedance primárního vinutí,  
 $R_z$  zatěžovací odpor.

Indukčnost primárního vinutí

$$L_p = \frac{Z_p}{2\pi f_d} \quad [H; \Omega, \text{—}, Hz] \quad (304)$$

kde  $L_p$  je indukčnost primárního vinutí,  
 $Z_p$  impedance primárního vinutí,  
 $f_d$  nejnižší žádaný kmitočet.

Skutečný průřez železa jádra pro budicí transformátorky z malého výkonu řádu mW obvykle neurčujeme. Volíme vhodný typ a rozměr jádra, na které by se potřebná vinutí vešla — skutečný průřez železa středního sloupku vyjde nejméně dostatečný.

Primární vinutí

$$N_p = \sqrt{\frac{L_p l_{Fe} 10^9}{4\pi \mu_r S_{Fe}}} \quad [—; H, \text{cm}, \text{—}, \text{cm}^2] \quad (305)$$

kde  $N_p$  je počet primárních závitů,  
 $l_{Fe}$  střední délka silové čáry v jádře,  
 $\mu_r$  permeabilita jádra,  
 $S_{Fe}$  skutečný průřez železa.

Převod se řídí poměrem výstupního odporu budicího tranzistoru k vstupnímu odporu báze koncových tranzistorů.

U malých výkonů, které zde uvažujeme, bývá  $p = 5 : 1$  až  $3 : 1$ . Sekundární vinutí (s použitím dříve uvedeného empirického poměru  $p$ ) pro jednu polovinu sekundárního vinutí

$$N_s = \frac{N_p}{p} \quad (306)$$

kde  $N_s$  je počet sekundárních závitů,  
 $N_p$  počet primárních závitů,  
 $p$  převod (3 až 5).

Průměr vodiče. Při zjednodušeném návrhu jej volíme obvykle podle plnění plochy okénka; nejvýše nakonec zkontrolujeme odpor vinutí s ohledem na úbytek kolektorového napětí. (Budící výkon zde bývá téměř vždy značně větší než potřebujeme, a proto na ztrátách tolik nezáleží.)

Protože sekundární vinutí je dvojité a z tlustšího drátu, zabírá primární i sekundární vinutí přibližně stejný prostor.

a) Vodič pro primární vinutí zabírá plochu okénka

$$N_p/\text{cm}^2 = \frac{N_p}{0,5 \cdot S_0} \quad [—; —, \text{cm}^2] \quad (307)$$

kde  $N_p/\text{cm}^2$  je počet závitů v 1  $\text{cm}^2$  plochy okénka,

$N_p$  počet závitů primárního vinutí,

$S_0$  plocha okénka pro vinutí.

Průměr vodiče najdeme v tab. 30 podle nejbližší hodnoty plnění (závity/ $\text{cm}^2$ ).

b) Vodiče sekundárního vinutí

$$N_s/\text{cm}^2 = \frac{N_s}{0,5 \cdot S_0} \quad [—; —, \text{cm}^2] \quad (308)$$

kde  $N_s/\text{cm}^2$  je počet závitů v 1  $\text{cm}^2$  plochy okénka,

$N_s$  počet sekundárního vinutí,

$S_0$  plocha okénka pro vinutí.

c) Kontrola činného odporu má význam hlavně u primárního vinutí. Přibližně je

$$R_p = l_v N_p r_{1m} \quad [\Omega; \text{m}, —, \Omega/\text{m}] \quad (309)$$

kde  $R_p$  je odpor primárního vinutí,

$l_v$  délka středního závitu,

$N_p$  počet závitů primárního vinutí,

$r_{1m}$  odpor 1 m vodiče.

Odpor sekundárního vinutí kontrolujeme obdobně.

Délku středního závitu pro typizovaná jádra najdeme přímo v tab. 24 a 25, odpor 1 m vodiče v tab. 31.

Vzduchová mezera. Přesto, že primárním vinutím prochází kolektorový proud budicího tranzistoru, bývá tak malý (1 až 5 mA), že jej neuvažujeme. Také vzduchová mezera nebývá nutná — nahrazuje ji netěsné skládání částí jádra E a spojky I. Nejmenší jádra typu M bývají opatřena mezerou — potom plechy vkládáme střídavě.

### *Příklad návrhu*

Pro tranzistorový přijímač potřebujeme budicí transformátor dvojitelného koncového stupně s tranzistorem o maximální kolektorové ztrátě 50 mW, s ohledem na vliv teploty okolí využitý asi z poloviny. Napětí napájecí baterie  $U_B = 6$  V, na kolektoru zbývá napětí  $U_C = 4,8$  V při kolektorovém proudu  $I_C = 5$  mA. Převod každé poloviny sekundárního vinutí má být 4 : 1. Postačí nejnižší přenášený kmitočet  $f_d = 150$  Hz s úbytkem —3 dB.

Tranzistor bude zatížen kolektorovou ztrátou  $4,8 \cdot 5 = 24$  mW = = 0,024 W. Určíme zatěžovací odpor (301)

$$R_z = \frac{4,8^2}{0,024} = 960 \Omega$$

Impedance primárního vinutí (303) postačí vzhledem k účelu  $Z_p = R_z$ . Indukčnost primárního vinutí (304)

$$L_p = \frac{960}{6,28 \cdot 150} = 1,02 \text{ H}$$

Zvolíme nejmenší jádro M5 z tenkých plechů, skutečného průřezu  $S_{Fe} = 0,21$  cm<sup>2</sup>; střední délka silové čáry  $l_{Fe} = 5$  cm, užitečný prostor pro vinutí (při vývodech na jedné straně)  $S_0 = 0,3$  cm<sup>2</sup>. Permeabilitu jádra odhadneme na  $\mu_r = 700$ . Délka středního závitů primárního vinutí (pro plnění 50 %)  $l_v = 3$  cm, sekundárního  $l_v = = 3,6$  cm.

Primární vinutí (305)

$$N_p = \sqrt{\frac{1,02 \cdot 5 \cdot 10^9}{12,57 \cdot 700 \cdot 0,21}} = 1\,660 \text{ závitů}$$

Počet sekundárních závitů při převodu 4 : 1 (306)

$$N_s = \frac{1\,660}{4} = 415 \text{ závitů}$$

Prostor, který zaujme primární vinutí na cívice (307)

$$N_p/\text{cm}^2 = \frac{1\ 660}{0,5 \cdot 0,3} = 11\ 000 \text{ závitů/cm}^2$$

Tomu v tab. 30 odpovídá vodič průměru  $d = 0,07$  mm CuL. Celé (dvojitě) sekundární vinutí zabere prostor

$$N_s = \frac{830}{0,5 \cdot 0,3} = 5\ 533 \text{ závitů/cm}^2$$

Tomu odpovídá (s rezervou místa) vodič průměru  $d = 0,1$  mm CuL. Činný odpor primárního vinutí (309)

$$R_p = 0,03 \cdot 1\ 660 \cdot 4,55 = 226,5 \ \Omega$$

Úbytek napětí na něm při proudu  $I_C = 0,005$  A je

$U_{R_p} = 226,5 \cdot 0,005 = 1,13$  V. Předpokládaný úbytek byl  $U = 1,2$  V; vinutí vyhovuje.

## 18. Síťový transformátor

Pro síťové transformátory se používá uzavřeného železného jádra bez vzduchové mezery, složeného z hotových normalizovaných výseků (řezů) plechu tvaru M nebo EI, nověji tzv. jader C, vinutých z magneticky orientovaných pásů (obr. 37a, b, c).

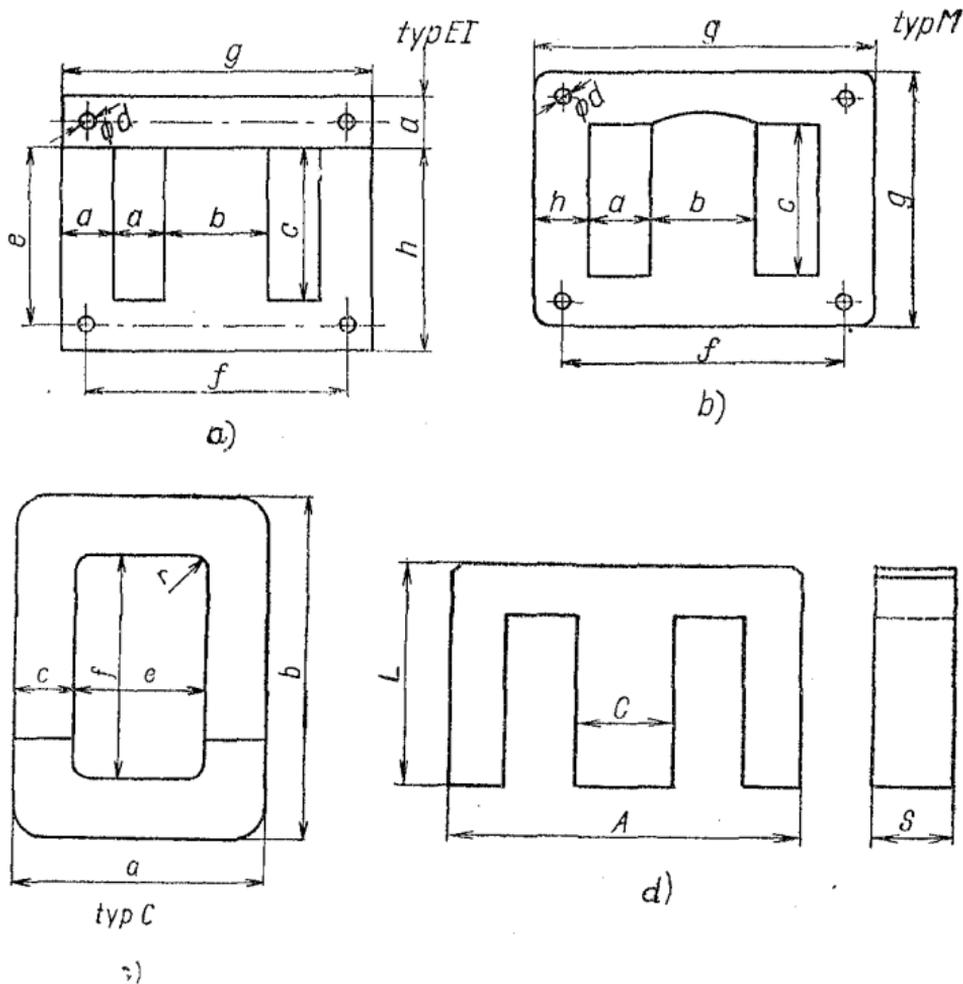
Některé (zvláště starší) typy plechů M mívají větší okénko pro vinutí a téměř žádnou vzduchovou mezeru. Plechy EI jsou běžnější, protože jsou úsporné ve výrobě (nevzniká žádný odpad při ražení). Nutným skládáním jádra z části E a příložky I však vzniká určitá vzduchová mezera a tím ztráty. Proto se plechy EI pro jádro síťových transformátorů kladou střídavě, tj. příložkou jednou na jednu, podruhé na druhou stranu. (To se dělá i u plechů M.) Jádra C jsou zatím poměrně drahá a na trhu k dostání jen s obtíží.

Úlohou síťového transformátoru je převádět střídavé napětí sítě na jinou požadovanou velikost s určitým výkonem. Indukčnost nebo impedance vinutí zde není důležitá.

Průřez jádra (sloupku pro vinutí) je nutné volit takový,

aby jádro nebylo magneticky přesyceno. Běžně volíme u malých transformátorků magnetickou indukci  $B = 0,8$  až  $1 \text{ T}$ , u lepší jakosti plechů  $1,2$  až  $1,4 \text{ T}$ , pro jádra C až  $1,7 \text{ T}$ .

U jader M a EI se dává cívka s vinutím obvykle na střední sloupek, u jader C se vinutí nejčastěji rozděluje na 2 cívky, umístěné na obou sloupcích jádra.



Obr. 37. Jádra síťových transformátorů

Typ	Střih (Výška svazku) [mm]	Počet plechů		Výkon [W]	Skutečný průřez $S_{pe}$ [cm <sup>2</sup> ]		Počet závitů na 1 V ( $B = 1$ T)		Střední délka silové čáry $l_v$ [cm]
		0,5 mm	0,35 mm		0,5	0,35	0,5	0,34	
EI 10	8	16	22	1	0,76	0,68	59,2	66,2	5,2
	10	20	28	2	0,95	0,85	47,5	53,0	
	12,5	25	35	3	1,19	1,06	37,8	42,5	
EI 12	10	20	28	3	1,14	1,02	39,4	44,0	7,1
	12,5	25	35	4	1,43	1,28	31,5	35,2	
	16	32	45	5	1,82	1,63	24,8	27,6	
EI 16	12,5	25	35	5	1,90	1,70	23,7	26,5	8,9
	16	32	45	6	2,43	2,18	18,5	20,6	
	20	40	55	8	3,00	2,72	14,8	16,5	
EI 20	16	32	45	8	3,00	2,72	14,8	16,5	11,1
	20	40	55	10	3,80	3,40	11,8	13,3	
	25	50	69	20	4,70	4,40	9,6	10,2	
EI 25	20	40	55	20	4,70	4,40	9,6	10,2	13,9
	25	50	69	40	5,90	5,30	7,7	8,5	
	32	64	89	60	7,60	6,80	5,0	6,6	
EI 32	25	50	69	60	7,60	6,80	5,9	6,6	17,8
	32	64	89	100	9,70	8,70	4,6	5,2	
	40	80	110	150	12,20	10,90	3,7	4,1	
EI 40	32	64	89	150	12,20	10,90	3,7	4,1	22,3
	40	80	110	200	15,20	13,60	3,0	3,3	
	50	100	139	350	19,00	17,00	2,4	2,7	
EI 50	40	80	110	350	19,00	17,00	2,4	2,7	27,8
	50	100	139	500	23,80	21,80	1,9	2,1	
	64	128	178	800	30,20	27,20	1,5	1,7	
EI 64	50	100	139	800	30,20	27,20	1,5	1,7	35,6
	64	128	178	1 500	39,00	34,80	1,2	1,3	
	80	160	224	2 100	48,50	43,50	0,93	1,0	

1) Pro plechy tloušťky 0,5 mm.

2) Čistý prostor cívky.

Indukční konstanta $A_L \cdot 10^{-3}$	Délka střed- ního závitu $l_{Cu}$ [cm] při plnění		Plocha okenka [cm <sup>2</sup> ]	Prostor pro vinutí [cm <sup>2</sup> ]			Konstanta $LI^2$ [J]	Chladicí plocha [cm <sup>2</sup> ]	Hmotnost jádra <sup>3)</sup> [kg]	Účinnost [%]
	50 %	100 %		abs. <sup>2)</sup>	1x <sup>3)</sup>	2x <sup>4)</sup>				
1,7 2,2 2,7	4,7 5,1 5,6	5,3 5,7 6,2	0,75	0,44	0,30	0,23	0,0025 0,0032 0,0040	24 26 29	0,04 0,05 0,06	60
1,9 2,4 3,1	5,8 6,3 7,0	6,6 7,1 7,8	1,23	0,82	0,56	0,46	0,0059 0,0074 0,0095	38 42 46	0,07 0,08 0,11	65
2,5 3,2 4,1	7,3 8,0 8,9	8,3 9,0 9,9	1,92	1,46	1,10	0,95	0,015 0,019 0,024	60 66 73	0,14 0,18 0,22	70
3,2 4,1 5,1	9,1 10,0 11,1	10,4 11,3 12,4	3,0	2,34	1,80	1,43	0,035 0,044 0,055	95 104 115	0,27 0,35 0,45	75
4,1 5,1 6,5	11,4 12,5 13,9	13,1 14,2 15,6	4,7	3,63	2,74	2,30	0,08 0,10 0,13	148 162 181	0,52 0,65 0,85	80
5,1 6,5 8,1	14,5 15,9 17,6	18,8 18,2 19,9	7,7	6,25	5,10	4,45	0,19 0,24 0,30	242 268 295	1,05 1,38 1,71	84
6,5 8,1 10,1	18,4 20,1 22,2	21,0 22,8 24,9	12,0	9,6	8,0	7,2	0,42 0,51 0,64	381 416 460	2,1 2,6 3,4	87
8,1 10,1 13,0	22,9 25,0 17,9	26,4 28,5 31,4	18,7	15,4	13,3	12,4	0,95 1,2 1,5	595 650 727	4,2 5,2 6,7	90
10,1 13,0 16,2	29,1 32,0 35,4	33,5 36,4 39,8	30,5	25,4	21,1	20,7	2,3 3,0 3,8	966 1 065 1 176	8,6 11,1 13,8	92

<sup>2)</sup> S vývody po jedné straně cívky.

<sup>4)</sup> S vývody po obou stranách cívky.

Typ	Stah (Výška svazku) [mm]	Počet plechů		Pro výkon [W]	Skutečný průřez $S_{Fe}$ [cm <sup>2</sup> ]		Počet závitů na 1 V ( $B = 1$ T)		Střední délka silové čáry $l_v$ [cm]
		0,5 mm	0,35 mm		0,5	0,35	0,5	0,35	
M5	5	45 <sup>1)</sup>	90 <sup>2)</sup>	0,2	0,21 <sup>1)</sup>	0,19 <sup>2)</sup>	214	237	5,0
M7	7 10	64 <sup>1)</sup> 95 <sup>1)</sup>	128 <sup>2)</sup> 189 <sup>2)</sup>	0,5 1	0,41 <sup>1)</sup> 0,63 <sup>1)</sup>	0,37 <sup>2)</sup> 0,56 <sup>2)</sup>	110 71,5	121 80,8	6,5
M12	14,5	29	40	5	1,69	1,48	26,6	30,4	10,2
M17	19,5	39	54	15	3,21	2,82	14,0	15,9	13,0
M20	26,0	53	73	25	5,15	4,50	8,7	10,0	15,4
M23	31,0	63	87	50	7,0	6,15	6,4	7,8	17,2
M29	32,0	64	89	70	9,0	7,9	5,0	5,7	19,7
M34a	35,0	70	97	120	11,5	10,0	3,9	4,5	23,8
M34b	52,0	104	144	180	17,1	15,0	2,6	3,0	

<sup>1)</sup> Zde platí pro plechy tloušťky 0,1 mm.

<sup>2)</sup> Platí pro plechy tloušťky 0,05 mm.

<sup>3)</sup> Čistý prostor cívky.

<sup>4)</sup> S vývody po jedné straně cívky.

<sup>5)</sup> S vývody po obou stranách.

### Zjednodušený výpočet

Skutečný průřez železa jádra (viz obr. 34)  $S_{Fe}$  po odečtení izolace plechů (okuje, lak) a netěsnosti skládání

$$S_{Fe} = k \sqrt{\frac{P_p}{f}} \quad [\text{cm}^2; \text{—, VA, Hz}] \quad (310a)$$

typu M

Indukční konstanta $A_L \cdot 10^{-3}$	Délka střed- ního závitů $l_{cu}$ [cm] při plnění		Plocha okénka $cm^2$	Prostor pro vinutí $cm^2$			Konstanta $LI^2$ [J]	Chladicí plocha [ $cm^2$ ]	Hmotnost jádra [kg]	Účinnost [%]
	50 %	100 %		abs. <sup>3)</sup>	1x <sup>4)</sup>	2x <sup>5)</sup>				
0,45	3,0	3,5	0,52	0,39	0,30	0,28	0,0008	13	0,01	50
0,80 1,25	4,35 5,0	5,0 5,7	1,3	0,68	0,56	0,53	0,0022 0,0033	25 29	0,03 0,05	55
2,0	7,7	8,8	2,7	1,82	1,38	1,26	0,015	60	0,12	65
3,0	10,1	11,4	4,0	2,60	2,21	2,06	0,043	106	0,31	75
4,0	12,2	13,8	5,6	3,7	3,06	2,88	0,094	159	0,62	80
5,0	14,3	16,2	6,9	5,16	4,25	3,69	0,145	199	0,88	84
5,5	15,3	17,0	7,1	5,40	4,44	4,19	0,215	255	1,33	86
6,0	17,7	19,8	11,5	8,23	6,84	6,48	0,350	353	2,0	88
8,5	21,2	23,3					0,525	422	3,0	90

kde  $S_{Fe}$  je skutečný průřez železa jádra,

$P_p$  příkon transformátoru,

$k$  konstanta (6 až 8),

$f$  kmitočet sítě.

Pro předběžný odhad při známém příkonu  $P_p$  a kmitočtu sítě 50 Hz se někdy používá zjednodušeného vzorce

$$S_{Fe} = \sqrt{P_p} \quad [cm^2; VA] \quad (310b)$$

Hrubý průřez jádra

$$S'_{Fe} = \frac{S_{Fe}}{\kappa} \quad [cm^2; cm^2, —] \quad (311)$$

Tab. 26. Rozměry plechů EI

Typ	<i>b</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	$\varnothing d$
	mm							
EI 10	10	30	20	5	15	—	—	—
EI 12	12	38	25,5	6,5	19	—	—	—
EI 16	16	48	32	8	24	—	—	—
EI 20	20	60	40	10	30	35	50	4,5
EI 25	25	75	50	12,5	37,5	43,7	62,5	4,5
EI 32	32	96	64	16	48	56	80	5
EI 40	40	120	80	20	60	70	100	7
EI 50	50	150	100	25	75	87,5	125	9
EI 64	64	192	128	32	96	112	160	11

Tab. 27. Rozměry plechů typu M

Typ	<i>b</i>	<i>g</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>f</i>	<i>h</i>	$\varnothing d$	Vzduchová mezera				
	mm							mm				
M 5	5	20	4	13	—	3,5	—	—	0,3	—	—	—
M 7	7	30	6,5	20	—	5	—	—	0,3	—	—	—
M 12	12	42	9	30	36	6	3,5	0	—	0,5	1	—
M 17	17	55	10,5	38	47	8,5	3,5	0	—	0,5	1	—
M 20	20	65	12,5	45	56	10	4,5	0	—	0,5	1	—
M 23	23	74	14	51	64	11,5	4,5	0	—	0,5	1	2
M 26	29	85	13,5	56	75	14,5	4,5	0	—	—	1	2
M 34	34	102	17	68	91	17	6	0	—	—	1	2

kde  $S'_{Fe}$  je hrubý (brutto) průřez jádra,  
 $\kappa$  čísel plnění jádra.

Čísel plnění

a) pro plechy 0,5 až 1 mm

(312)

Tab. 28. Rozměry hlavních jader typu C

Označení	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	Toleranční skupina
	mm						
10 001	30	50	30	10	10	10	1
002	26	46	30	15	8	10	1
003	30	50	30	15	10	10	1
004	40	60	30	15	15	10	1
12 001	28	53	37	15	8	12	2
003	32	57	37	20	10	12	2
004	42	67	37	20	15	12	2
005	52	77	37	20	20	12	2
16 003	36	68	48	20	10	16	2
004	46	78	48	20	15	16	2
005	56	88	48	20	20	16	2
20 001	40	80	60	20	10	20	3
002	50	90	60	20	15	20	3
003	60	100	60	20	20	20	3
004	50	90	60	30	15	20	3
005	60	100	60	30	20	20	3
006	80	120	60	30	30	20	3
26 001	56	106	76	30	15	26	3
002	66	116	76	30	20	26	3
003	86	136	76	30	30	26	3
004	66	116	76	40	20	26	3
005	86	136	76	40	30	26	3
006	106	156	76	40	40	26	3
31 001	71	154	94	40	20	31	3
002	91	154	94	40	30	31	3
003	111	174	94	40	40	31	3
004	81	144	94	50	25	31	3
005	111	174	94	50	40	31	3
006	131	194	94	50	50	31	3

*Poznámka:* Jádra se běžně vinou z pásku tloušťky 0,32 nebo 0,13 mm, pro vyšší kmitočty též z pásku 0,08 a 0,05 mm.

polepené tenkým papírem  $\kappa \doteq 0,9$   
 lakované nebo oxidované  $\kappa \doteq 0,92$  až  $0,94$

b) pro plechy 0,2 až 0,35 mm (313)  
 lakované nebo oxidované  $\kappa \doteq 0,88$  až  $0,92$

Stah (výška svazku) jádra při známé šířce  $b$  středního sloupku plechu

$$s = \frac{S'_{Fe}}{b} \quad [\text{cm}; \text{cm}^2, \text{cm}] \quad (314)$$

kde  $s$  je stah (výška svazku) plechů,

$S'_{Fe}$  hrubý průřez jádra,  
 $b$  šířka středního sloupku.

Primární příkon určuje skutečný průřez železa jádra. Příkon zahrnuje součet výkonů sekundárních vinutí a ztráty vznikající v jádře (tzv. ztráty v železe) i v odporu vinutí (ztráty v mědi)

$$P_p = \frac{\sum P_s}{\eta} \quad (315)$$

kde  $P_p$  je příkon,

$P_s$  výkon,

$\eta$  účinnost transformátoru.

Účinnost se pohybuje u menších transformátorů podle měrných ztrát  $\Delta p$  použitého jádra a proudového zatížení vodičů ve vinutí mezi 0,65 až 0,92, pro naše účely nejčastěji 0,8 až 0,9.

Počet závitů jednotlivých vinutí určíme ze vzorce

$$N = \frac{U \cdot 10^4}{4,44 \cdot fBS_{Fe}} \quad [—; \text{V}, \text{Hz}, \text{T}, \text{cm}^2] \quad (316)$$

kde  $N$  je počet závitů,

$U$  napětí na vinutí,

$f$  kmitočet sítě,

$B$  magnetická indukce,

$S_{Fe}$  skutečný průřez železa jádra.

Pro přibližný výpočet při magnetické indukci  $B = 1 \text{ T}$  a  $f = 50 \text{ Hz}$  se vztah (316) zjednoduší

$$N = \frac{45U}{S_{\text{Fe}}} \quad [—; \text{V}, \text{cm}^2] \quad (317)$$

Často udáváme počet závitů na 1 V. Z obou vztahů (316) i (317) zjistíme tuto veličinu dělením obou stran rovnic napětím  $U$ .

$$N_{1\text{V}} = \frac{10^4}{4,44 \cdot fBS_{\text{Fe}}} \quad [\text{z/V}; \text{Hz}, \text{T}, \text{cm}^2] \quad (318)$$

nebo pro  $B = 1 \text{ T}$  a  $f = 50 \text{ Hz}$  zjednodušeně

$$N_{1\text{V}} = \frac{45}{S_{\text{Fe}}} \quad (319)$$

kde  $N_{1\text{V}}$  je počet závitů na jeden volt,  
 $S_{\text{Fe}}$  skutečný průřez železa.

Průměr vodičů (tab. 31) jednotlivých vinutí se řídí procházejícím proudem.

Pro nejčastější hustotu proudu  $\sigma = 2,55 \text{ A/mm}^2$

$$d = \sqrt{\frac{I}{2}} \quad [\text{mm}; \text{A}] \quad (320)$$

kde  $d$  je průměr vodiče,  
 $I$  příslušný proud.

*Poznámka:* Pro jinou hustotu proudu (např.  $\sigma = 2 \text{ A/mm}^2$  nebo  $3 \text{ A/mm}^2$ ) určíme průměr vodiče z tab. 31 (str. 167) nebo z průřezu.

Primární proud zatím neznáme. Musíme jej určit z celkového primárního příkonu

$$I_{\text{p}} = \frac{P_{\text{p}}}{U} \quad [\text{A}; \text{VA}, \text{V}] \quad (321)$$

kde  $I_p$  je primární proud,  
 $P_p$  primární příkon,  
 $U$  síťové napětí.

Celkový sekundární výkon

$$\Sigma P_s = U_2 I_2 + U_3 I_3 + \dots \quad [\text{VA}; \text{V}, \text{A}] \quad (322)$$

Tab. 29. Značky izolace  
 čs. lakovaných drátů

Zkratka	Druh laku
E	epoxidový
P	polyamidový
T	tereftalátový
U	polyuretanový
S	silikonový
C	samolepivý
F	polyvinylformalový
I	polyesterimidový

Příklad značení:

CuP — měděný drát s polyamidovým lakem

Cu2T — měděný drát s dvěma vrstvami tereftalátového laku

### Anodové vinutí

Pro usměrňovač s elektronkou, selenovými destičkami nebo polovodičovými diodami dimenzujeme obvykle sekundární vinutí transformátoru podle žádaného stejnosměrného napětí a proudu. Záleží též na tom, zda je usměrnění jednocestné nebo dvoucestné. Jednocestného usměrnění se používá pro malé výkony, u přístrojů bez síťového transfor-

Tab. 30. Počet závitů v 1 cm<sup>2</sup> vinutí

Průměr mm	Druh izolace <sup>1)</sup>				
	L	LH	HH	B	BB
0,04	26 000	10 000	7 000		
0,05	19 000	7 800	5 900		
0,06	14 600	6 300	5 000		
0,07	11 000	5 100	4 200		
0,08	9 000	4 300	3 700		
0,09	7 000	3 800	3 100		
0,10	6 000	3 200	2 800	2 000	1 300
0,11	5 000	2 700	2 500	1 850	1 200
0,12	4 300	2 400	2 200	1 700	1 120
0,14	3 200	2 000	1 800	1 450	980
0,15	2 800	1 900	1 650	1 370	920
0,16	2 500	1 700	1 500	1 300	870
0,18	2 000	1 300	1 300	1 100	750
0,20	1 850	1 150	1 100	930	680
0,22	1 400	1 000	980	800	540
0,25	1 100	800	800	700	500
0,28	870	680	680	590	420
0,30	770	590	590	510	380
0,32	700	500	500	450	320
0,35	580	420	420	400	290
0,38	500	400	400	350	270
0,40	450	360	360	310	250
0,42	420	310	310	280	220
0,45	370	280	280	260	200
0,48	320	260	260	240	185
0,50	300	250	250	230	175
0,55	250	200	200	180	150
0,60	210	180	180	165	130
0,65	180	160	160	140	115
0,70	160	135	135	120	100

Průměr mm	Druh izolace <sup>1)</sup>				
	L	LH	HH	B	BB
0,75	140	120	120	110	90
0,80	120	110	110	98	82
0,85	110	95	95	90	75
0,90	100	88	88	82	70
0,95	90	80	80	75	65
1,0	83	73	73	70	60
1,1	68	60	60	57	49
1,2	58	50	50	48	40
1,3	50	43	43	42	35
1,4	42	37	37	35	30
1,5	38	32	32	31	27
1,6	32	27	27	26	22
1,7	29	25	25	24	21
1,8	26	23	23	22	19
1,9	23	20	20	19	17
2,0	21	18	18	18	15

<sup>1)</sup> L — lak (dříve smalt); LH — lak + 1× hedvábí; HH — 2× hedvábí; B — 1× bavlna; BB — 2× bavlna.

mátoru (např. televizory) a tam, kde nevádí zvlnění usměrněného proudu. Zvlnění při jednocestném usměrnění má kmitočet původního střídavého napětí, u síťového tedy 50 Hz.

Pro větší výkony se nejčastěji používá dvojcestného usměrnění, které dává proud daleko méně zvlněný, takže se snáze filtruje.

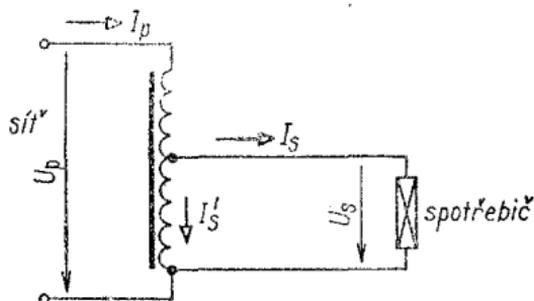
Méně často a spíše pro zcela nízká napětí se používá tzv. můstkové neboli Graetzovo zapojení, které vystačí pro dvojcestné usměrnění s jednoduchým sekundárním vinutím bez

středního vývodu, zato ale potřebuje čtyři usměrňovací ventily.

Vstupní člen filtru tvoří současně výstup usměrňovače, proto jej musíme uvažovat již při návrhu usměrňovače. Rozlišujeme hlavně filtr počínající kapacitou a filtr počínající indukčností, tlumivkou (viz str. 192 čl. 24). Ty mají značný a rozdílný vliv na tzv. úhel otevření usměrňovače a tím i na poměr  $s_s$  a  $s_t$  hodnot usměrňovače a sekundárního vinutí transformátoru.

## 19. Autotransformátor

Pro účely převodu síťového napětí na jinou velikost (např. ze 120 V na 220 V) se často používá autotransformátoru. Jeho nevýhodou je vodivé spojení obou vinutí, takže připojený spotřebič je pod nebezpečným napětím sítě — to však u vysloveně síťových spotřebičů většinou nevádí. Výhodou má autotransformátor několik. Odpadá sekundární vinutí — je zde pouze jedno vinutí s odbočkou. Tím se ušetří vodič i prostor. Kromě toho společnou částí vinutí prochází jen rozdíl proudů spotřebiče a sítě, takže postačí drát o menším průřezu. A konečně průřez a tím i rozměr jádra se volí jen podle průchozího (rozdílového) výkonu, nikoli podle výkonu odebíraného — takže i jádro vyjde menší než u síťového transformátoru s dvěma oddělenými vinutími (obr. 38).



Obr. 38. Schéma transformátoru

## Návrh autotransfómátoru

### Prúchozí výkon

$$P_p = U_s I_s \doteq U_p I_p \quad [\text{VA}; \text{V}, \text{A}; \text{V}, \text{A}] \quad (323)$$

kde  $P_p$  je prúchozí výkon,

$U_s$  sekundární napětí,

$I_s$  sekundární proud,

$U_p$  primární napětí,

$I_p$  primární proud.

### Primární proud

$$I_p = \frac{P_p}{U_p} \quad [\text{A}; \text{VA}, \text{V}] \quad (324)$$

### Sekundární proud

$$I_s = \frac{P_s}{U_s} \quad [\text{A}; \text{VA}, \text{V}] \quad (325)$$

### Proud procházející společným vinutím

$$I'_s = I_s - I_p \quad (326)$$

kde  $I'_s$  je proud ve společném vinutí,

$I_s$  proud odbočky („sekundární“ proud),

$I_p$  primární proud.

### Proud rozdílové části vinutí

a) při sestupném transformačním poměru

$$I_r \doteq I_p \quad (327)$$

b) při vzestupném poměru

$$I_r \doteq I_s \quad (328)$$

kde  $I_r$  je proud rozdílového vinutí,

$I_p$  „primární“ proud,

$I_s$  „sekundární“ proud.

Napětí rozdílové části vinutí

$$U_r = U_p - U_s \quad (329)$$

kde  $U_r$  je napětí rozdílového vinutí,

$U_p$  napětí primární,

$U_s$  napětí sekundární.

Transformátorem přenášený výkon\*)

$$P_v = P_p \left( 1 - \frac{U_s}{U_p} \right) \quad [\text{VA}; \text{VA}, \text{V}, \text{V}] \quad (330)$$

kde  $P_v$  je přenášený výkon,

$P_p$  příkon,

$U_s$  napětí odbočky,

$U_p$  primární napětí.

Skutečný průřez železa jádra

$$S_{\text{Fe}} = C \sqrt{\frac{P_v}{f}} \quad [\text{cm}^2; \text{—}, \text{VA}, \text{Hz}] \quad (331)$$

kde  $S_{\text{Fe}}$  je průřez jádra,

$C$  konstanta (6 až 8),

$P_v$  přenášený výkon,

$f$  kmitočet sítě.

Počet závitů na 1 volt

$$N_{1V} = \frac{10^4}{4,44 \cdot B S_{\text{Fe}} f} \quad [\text{—}; \text{T}, \text{cm}^2, \text{Hz}] \quad (332)$$

kde  $N_{1V}$  je počet závitů na 1 V,

$B$  magnetická indukce v jádře,

$S_{\text{Fe}}$  skutečný průřez železa jádra,

$f$  kmitočet sítě.

\*) Též „vnitřní“ nebo „typový“ výkon.

Počet závitů sekundární části

$$N_s = U_s N_{IV} \quad (333)$$

Počet závitů rozdílové části

$$N_r = \frac{N_s U_r}{U_s} = U_r N_{IV} \quad (334)$$

kde  $N_r$  je počet závitů rozdílové části,  
 $N_s$  počet závitů sekundární části,  
 $U_r$  napětí rozdílové části,  
 $U_s$  napětí sekundární části,  
 $N_{IV}$  počet závitů na 1 V.

Pro autotransformátor můžeme volit větší hustotu proudu ve vinutí, např.  $\sigma = 3$  až  $3,2$  A/mm. Proto použijeme pro určení průměru vodičů obecného vztahu.

Průměr vodiče společné části

$$d_s = \sqrt{\frac{I_s}{0,785 \cdot \sigma}} \quad [\text{mm}, \text{A}, \text{A/mm}^2] \quad (335)$$

kde  $d_s$  je průměr vodiče společné části,  
 $I_s$  proud společné části,  
 $\sigma$  hustota proudu ve vodiči.

Průměr vodiče primární (rozdílové) části

$$d_p = d_r = \sqrt{\frac{I_r}{0,785 \cdot \sigma}} \quad [\text{mm}, \text{A}, \text{A/mm}^2] \quad (336)$$

*Příklad:*

Potřebujeme autotransformátor pro připojení spotřebiče o příkonu 150 W/120 V na síťové napětí 220 V. Autotransformátor má být použitelný univerzálně, tj. též pro převod ze 120 V na 220 V.

Příkon je dán. Primární proud (324)

$$I_p = \frac{150}{220} = 0,68 \text{ A}$$

Tab. 31. Průřez měděných vodičů pro různé hustoty proudu

Průměr mm	Průřez mm <sup>2</sup>	Odpor Ω/m	Zatížení [A/mm <sup>2</sup> ]		
			2,0	2,5	3,0
0,05	0,001 96	8,913	0,004 0	0,005 0	0,006 0
0,06	0,002 83	6,189	0,005 6	0,007 1	0,008 5
0,07	0,003 85	4,548	0,007 7	0,009 7	0,011 6
0,08	0,005 03	3,482	0,010 5	0,012 6	0,015 0
0,09	0,006 36	2,751	0,012 8	0,015 9	0,019 2
0,10	0,007 85	2,228	0,016	0,020	0,024
0,11	0,009 50	1,844	0,019	0,024	0,029
0,12	0,011 31	1,548	0,023	0,028	0,034
0,14	0,015 39	1,137	0,031	0,039	0,046
0,15	0,017 67	0,991	0,035	0,044	0,053
0,16	0,020 10	0,870	0,040	0,050	0,060
0,18	0,025 45	0,688	0,051	0,064	0,077
0,20	0,031 4	0,557	0,063	0,079	0,094
0,22	0,038 0	0,460	0,076	0,095	0,114
0,24	0,045 2	0,387	0,090	0,113	0,136
0,25	0,049 1	0,356	0,098	0,123	0,148
0,28	0,061 6	0,284	0,123	0,154	0,181
0,30	0,070 7	0,248	0,140	0,177	0,212
0,32	0,080 4	0,218	0,160	0,201	0,240
0,35	0,096 2	0,182	0,193	0,240	0,288
0,40	0,125 6	0,139	0,250	0,314	0,377
0,45	0,159 0	0,110	0,318	0,398	0,477
0,50	0,196 4	0,089	0,393	0,490	0,589
0,55	0,237 6	0,0737	0,475	0,594	0,713
0,60	0,282 7	0,0619	0,565	0,707	0,848
0,65	0,331 8	0,0527	0,663	0,830	0,996
0,70	0,384 8	0,0455	0,769	0,962	1,154
0,75	0,441 7	0,0396	0,883	1,105	1,325
0,80	0,502 6	0,0348	1,005	1,256	1,508

Průměr mm	Průřez mm <sup>2</sup>	Odpor Ω/m	Zatížení [A/mm <sup>2</sup> ]		
			2,0	2,5	3,0
0,85	0,567 4	0,0307	1,135	1,418	1,702
0,90	0,636 1	0,0275	1,273	1,590	1,910
0,95	0,708 8	0,0247	1,42	1,77	2,13
1,0	0,785 3	0,0223	1,57	1,96	2,36
1,1	0,950 3	0,0185	1,90	2,38	2,85
1,2	1,130 9	0,0155	2,26	2,83	3,39
1,3	1,322 7	0,0132	2,65	3,32	3,98
1,4	1,539 4	0,0114	3,08	3,85	4,62
1,5	1,767 1	0,0099	3,54	4,42	5,30
1,6	2,011	0,0087	4,02	5,02	6,03
1,7	2,270	0,0077	4,54	5,68	6,80
1,8	2,545	0,00688	5,10	6,36	7,64
2,0	3,142	0,00558	6,28	7,85	9,43
2,2	3,801	0,00461	7,60	9,52	11,40
2,5	4,910	0,00356	9,80	12,29	14,73
2,8	6,158	0,00284	13,22	15,40	18,47
3,0	7,069	0,00248	14,15	17,69	21,20

*Poznámka:* Pro jiné hustoty proudu [A/mm<sup>2</sup>] zjistíme zatížení vodičů násobením nebo dělením číselných údajů ve sloupcích „zatížení“.

Proud odebíraný spotřebičem

$$I_s = \frac{150}{120} = 1,25 \text{ A}$$

proud sekundárního vinutí

$$I'_s = 1,25 - 0,68 = 0,57 \text{ A}$$

Přenášený výkon autotransformátoru (330)

$$P_v = 150 \left( 1 - \frac{120}{220} \right) = 150 \cdot 0,455 = 68,25 \text{ W}$$

Tab. 32. Vnější průměry izolovaných vodičů pro vinutí

Průměr vodiče mm	Druh izolace <sup>1)</sup>				
	L	LH	HH	B	BB
	Maximální vnější průměr [mm]				
0,04	0,058	0,093	0,113	—	—
0,05	0,068	0,103	0,123	—	—
0,06	0,082	0,117	0,132	—	—
0,07	0,091	0,127	0,142	—	—
0,08	0,102	0,137	0,152	—	—
0,09	0,112	0,148	0,163	—	—
0,10	0,121	0,158	0,173	0,203	0,263
0,11	0,138	0,172	0,183	0,213	0,273
0,12	0,149	0,184	0,194	0,224	0,284
0,14	0,169	0,204	0,214	0,244	0,304
0,15	0,180	0,215	0,225	0,255	0,315
0,16	0,190	0,225	0,235	0,265	0,325
0,18	0,210	0,245	0,255	0,285	0,345
0,20	0,230	0,265	0,276	0,306	0,366
0,22	0,253	0,295	0,295	0,235	0,385
0,25	0,285	0,325	0,325	0,355	0,415
0,28	0,318	0,357	0,357	0,387	0,447
0,30	0,337	0,377	0,377	0,407	0,467
0,32	0,364	0,404	0,397	0,447	0,527
0,35	0,393	0,434	0,427	0,477	0,557
0,38	0,424	0,464	0,457	0,507	0,587
0,40	0,444	0,484	0,477	0,527	0,607
0,42	0,471	0,511	0,499	0,542	0,629
0,45	0,502	0,541	0,529	0,579	0,659
0,48	0,531	0,571	0,559	0,609	0,689
0,50	0,550	0,591	0,579	0,629	0,709
0,55	0,609	0,649	0,639	0,679	0,779
0,60	0,659	0,699	0,689	0,729	0,829
0,65	0,709	0,749	0,739	0,779	0,879
0,70	0,759	0,799	0,789	0,829	0,929

Průměr vodiče mm	Druh izolace <sup>1)</sup>				
	L	LH	HH	B	BB
	Maximální vnější průměr [mm]				
0,75	0,823	0,849	0,842	0,882	0,982
0,80	0,873	0,912	0,892	0,932	1,032
0,85	0,922	0,962	0,942	0,982	1,082
0,90	0,972	1,012	0,992	1,032	1,132
0,95	1,022	1,062	1,042	1,082	1,182
1,00	1,072	1,112	1,092	1,132	1,232
1,1	1,19	1,23	1,2	1,24	1,34
1,2	1,29	1,33	1,3	1,34	1,44
1,3	1,39	1,43	—	1,44	1,54
1,4	1,49	1,53	—	1,54	1,64
1,5	1,60	1,64	—	1,64	1,74
1,6	1,70	1,74	—	1,77	1,87
1,7	1,80	1,84	—	1,87	1,97
1,8	1,90	1,94	—	1,98	2,09
1,9	2,00	2,04	—	2,08	2,19
2,0	2,10	2,14	—	2,18	2,29

<sup>1)</sup> Viz poznámku pod tab. 30.

Skutečný průřez jádra

$$S_{Fe} = 7 \sqrt{\frac{68,25}{50}} = 7 \sqrt{1,365} = 8,25 \text{ cm}^2$$

Vhodný tvar plechu EI 32 × 32 má skutečný průřez  $S_{Fe} = 9 \text{ cm}^2$ .  
Počet závitů na 1 V pro magnetickou indukci  $B = 1 \text{ T}$  (332)

$$N_{1V} = 5 \text{ závitů na 1 V}$$

Vinutí pro sekundární část (333)

$$N_s = 120 \cdot 5 = 600 \text{ závitů}$$

Vinutí pro rozdílovou část (334)

$$N_r = 100 \cdot 5 = 500 \text{ závitů}$$

Zvolíme hustotu proudu  $\sigma = 3 \text{ A/mm}^2$ . Průměr vodiče pro primární (rozdílové) vinutí s proudem  $I_p = 0,68 \text{ A}$  bude

$$d_r = \frac{0,68}{0,785 \cdot 3} = 0,536 \text{ mm} \text{ — zvolíme } 0,55 \text{ mm.}$$

Pro společné (sekundární) vinutí s proudem  $I_s = 0,57 \text{ A}$  je příslušný vodič

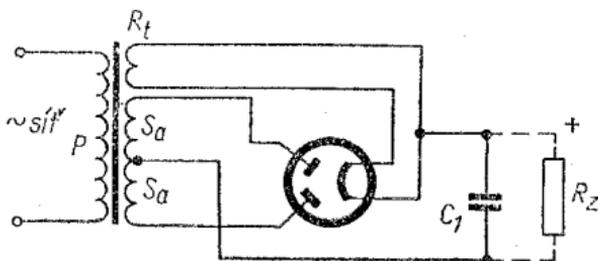
$$d'_s = \sqrt{\frac{0,57}{0,785 \cdot 3}} = 0,492 \text{ mm}$$

použijeme vodič 0,5 mm.

Vinutí zabere prostor: Sekundární vinutí s vodičem 0,5 mm má plnění (z tab. 30) 300 závitů/cm<sup>2</sup>, zabere tedy plochu  $600 : 300 = 2 \text{ cm}^2$ . Primární rozdílové vinutí s vodičem 0,55 mm má plnění 252 závitů/cm<sup>2</sup>, zabere tedy plochu  $500 : 252 = 2 \text{ cm}^2$ ; obě vinutí celkem asi 4 cm<sup>2</sup>. Protože prostor vinutí na cívce je asi 6,2 cm<sup>2</sup>, vinutí se pohodlně vejde.

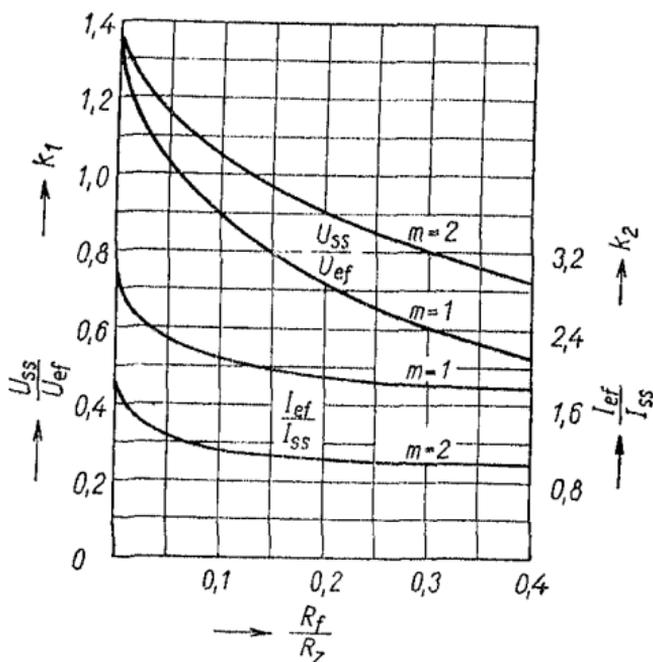
## 20. Usměrňovač s výstupní kapacitou

Jeho výstupní ss napětí dosti značně závisí na zatížení, je „měkké“ vlivem tohoto tzv. sběracího kondenzátoru. Přesto se ho pro některé výhody nejčastěji používá, zvláště u zdrojů s neproměnným odběrem (obr. 39).



Obr. 39. Schéma usměrňovače s výstupní kapacitou

Abychom se při návrhu usměrňovače vyhnuli trigonometrii, použijeme empiricky sestrojeného grafu na obr. 40. Na základě zjištěného poměru odporu fáze  $R_f$  a náhradního zatěžovacího odporu  $R_z$ , z grafu přečteme poměr  $\frac{U_{ss}}{U_{ef}}$  nebo  $\frac{I_{ss}}{I_{ef}}$  (jak pro jednocestný, tak i pro dvojcestný usměrňovač) a z nich snadno určíme odpovídající střídavé hodnoty.



Obr. 40. Graf pro výpočet usměrňovače

Odpor fáze usměrňovače

$$R_f = R_t + R_i \quad [\Omega; \Omega, \Omega] \quad (337)$$

kde  $R_f$  je odpor fáze,

$R_t$  odpor transformátoru,

$R_i$  odpor usměrňovací diody.

Odpor transformátoru. Jeho určení podle odporů vinutí nebo ze stejnosměrného výkonu, viz str. 174.

Zatěžovací odpor

$$R_z = \frac{U_{ss}}{I_{ss}} \quad [\Omega; \text{V}, \text{A}] \quad (338)$$

kde  $R_z$  je zatěžovací odpor,

$U_{ss}$  stejnosměrné napětí,

$I_{ss}$  usměrněný proud,

K poměru  $\frac{R_f}{R_z}$  se z grafu najde pomocná veličina

$$k = f\left(\frac{R_f}{R_z}\right) \quad [—; \Omega, \Omega] \quad (339)$$

kde  $k$  je pomocná veličina,

$f$  znak funkce,

$R_f$  odpor fáze,

$R_z$  zatěžovací odpor.

K nalezené hodnotě  $k$  lze určit poměr napětí (levá svislá stupnice)

$$\frac{U_{ss}}{U_{ef}} = k_1 \quad (340)$$

a z toho hledané střídavé napětí

$$U_{ef} = \frac{U_{ss}}{k_1} \quad (341)$$

Podobně poměr proudů (pravá svislá stupnice)

$$\frac{I_{ef}}{I_{ss}} = k_2 \quad (342)$$

a střídavý proud vinutí

$$I_{ef} = I_{ss}k_2 \quad (343)$$

Stejnoseměrný výkon usměrňovače

$$P_{ss} = U_{ss} I_{ss} \quad [W; V, A] \quad (344)$$

kde  $P_{ss}$  je odebíraný stejnosměrný výkon,

$U_{ss}$  usměrňené napětí,

$I_{ss}$  usměrňený proud.

Střídavý výkon zdroje

$$P_{st} = U_{ef} I_{ef} \quad [VA; V, A] \quad (345)$$

kde veličiny  $U_{ef}$  a  $I_{ef}$  jsou zjištěny z veličin  $U_{ss}$  a  $I_{ss}$  pomocí grafu postupem právě popsaným.

*Poznámka:* Efektivní hodnoty střídavého proudu při usměrňení lze — vzhledem k jejich naprosto nesinusovému průběhu — správně měřit jen tepelným přístrojem. V servisních návodech, kde bývají někdy tyto údaje pro kontrolu uvedeny, jsou však udávány (vzhledem k běžnému vybavení dílny) většinou údaje naměřené univerzálním měřicím přístrojem s usměrňovačem (Avomet, DU10, PU120 apod.), což sice stačí pro kontrolu, ale nedává zcela správné údaje.

Odpor síťového transformátoru

$$R_t = R_s + p^2 R_p \quad [\Omega; \Omega, -, \Omega] \quad (346)$$

kde  $R_t$  je odpor transformátoru,

$R_s$  odpor sekundárního vinutí,

$R_p$  odpor primárního vinutí,

$p$  převod napětí (poměr  $\frac{U_s}{U_p}$ ).

Pokud odpor vinutí neznáme, může zprvu použít přibližného údaje  $R_t$  podle ss výkonu usměrňovače z tab. 33.

*Příklady:*

1. Transformátor pro síť 220 V o sekundárním anodovém napětí 350 V má odpor primárního vinutí  $R_p = 50 \Omega$ , odpor sekundárního vinutí  $R_s = 100 \Omega$ . Jaký je odpor  $R_t$  tohoto transformátoru?

Tab. 33. Odpor síťového transformátoru

$P_{ss}$ [W]	$R_t$ [ $\Omega$ ]
1 až 10	(0,07 až 0,06) $R_z$
10 až 100	(0,06 až 0,04) $R_z$
100 až 1 000	(0,04 až 0,03) $R_z$

Poměr napětí  $p = \frac{350}{220} = 1,59$ ;  $p^2 = 2,5$ . Odpor (346)

$$R_t = 100 + 2,5 \cdot 50 = 225 \Omega$$

2. Usměrňovač v zesilovači má dávat napětí  $U_{ss} = 280$  V při proudu  $I_{ss} = 100$  mA. Jaký je přibližně odpor transformátoru?

Podle vztahu (344) odevzdává usměrňovač výkon  $P_{ss} = 280 \cdot 0,1 = 28$  W. V tab. 33 najdeme pro výkon 10 až 100 W odpor  $R_t = 4$  až 6 %  $R_z$ . Zatěžovací odpor v našem případě (338)

$$R_z = \frac{280}{0,1} = 2\,800 \Omega$$

Stejnoseměrný výkon (344)  $P_{ss} = 28$  W je bližší hodnotě 10 W, proto použijeme většího procenta  $R_z$ . Odpor transformátoru (tab. 33)  $R_t = 0,06 \cdot 2\,800 = 168 \Omega$  (zaokrouhleno 170  $\Omega$ ).

3. Pro 5 + 2 elektronkový superhet navrhnete dvojcestný usměrňovač s kondenzátorem vstupem filtru, který by při zatížení proudem  $I_{ss} = 75$  mA dával napětí  $U_{ss} = 270$  V (anoda koncové elektronky bude napájena přímo z prvního kondenzátoru). Chceme použít usměrňovací elektronky EZ81. Máme určit střídavé hodnoty napětí  $U_{ef}$  a proudu  $I_{ef}$ . (Nejde o výpočet transformátoru — ten je uveden v čl. 18, str. 150.)

Použijeme grafu na obr. 40. Stanovíme odpor transformátoru a odpor fáze. Výkon usměrňovače (344)  $P_{ss} = 270 \cdot 0,075 = 20,3$  W.

Zatěžovací odpor (338)  $R_z = \frac{270}{0,075} = 3\,600 \Omega$ . Z tab. 33 použijeme

asi střední hodnotu odporu  $R_z$ , takže  $R_t = 0,055 \cdot 3\,600 = 198 \Omega$ . Vnitřní odpor elektronky EZ81 je podle katalogu  $R_i = 130 \Omega$ .

Odpor fáze (337)  $R_f = 198 + 130 = 328 \Omega$ . Poměr  $\frac{R_f}{R_z} = \frac{328}{3\,600} = 0,09$ .

a) Určení potřebného střídavého napětí: Z bodu 0,09 na vodorovné ose vztýčíme kolmici, až protne křivku  $m = 2$  poměru  $\frac{U_{ss}}{U_{ef}}$ ; odtud vedeme kolmici na levou svislou osu, kde na stupnici zjistíme  $k_1 = 1,075$ . Ze vztahu (341) zjistíme  $U_{ef} = \frac{270}{1,075} = 252 \text{ V}$ .

b) Určení potřebného střídavého proudu: Kolmice, vedená z bodu 0,09 vzhůru protíná též křivku  $m = 2$  poměru  $\frac{I_{ef}}{I_{ss}}$ . Z průsečíku vedená kolmice na pravou svislou osu vytíná hodnotu  $k_2 = 1,12$ . Ze vztahu (343) vyjde  $I_{ef} = 0,075 \cdot 1,12 = 0,083 \text{ A}$ .

Sekundární vinutí pro anodový usměrňovač tedy musíme navrhnout na proud  $I_2 = 83 \text{ mA}$  a napětí  $U_2 = 252 \text{ V}$ .

*Poznámka:* Kdybychom místo usměrňovací elektronky použili plošných (křemíkových nebo germaniových) diod, jejichž odpor v propustném směru je zanedbatelný proti vnitřnímu odporu elektronky (několik  $\Omega$ ), musíme před usměrňovačem použít ochranného odporu  $R_0$ , o velikosti rovné asi vnitřnímu odporu elektronky. Jinak by diody byly při zapnutí ohroženy proudovým nárazem!

## 21. Usměrňovač s výstupní indukčností

Potřebujeme-li poměrně „tvrdé“ napětí, zvláště při větším a kolísajícím odběru stejnosměrného proudu, zařazujeme do výstupu usměrňovače tzv. nárazovou tlumivku o indukčnosti několika henry. Výsledné stejnosměrné napětí je značně nižší než střídavé napětí sekundárního vinutí transformátoru, neboť je odvozeno od střední hodnoty usměrněného napětí  $U_{med}$  (obr. 41).

Podle vztahu (34)

$$U_{med} = 0,9U_{ef} \quad (347)$$

a naopak

$$U_{ef} = 1,11U_{med} \quad (348)$$

Efektivní hodnota sekundárního napětí musí být vyšší o úbytky na všech odporech než výstupní stejnosměrné napětí.

## Sekundární napětí

$$U_{ef} = 1,11[U_{ss} + I_{ss}(R_t + R_1 + R_{tl})] \quad [V; V, A, \Omega] \quad (349)$$

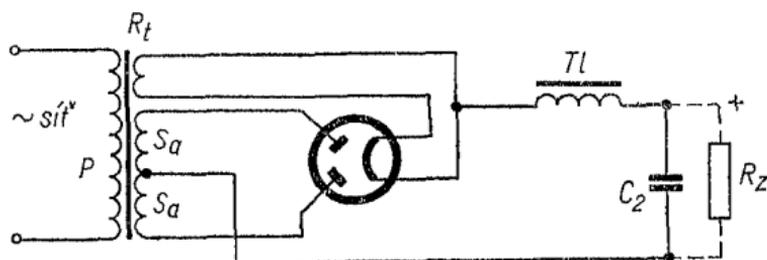
kde  $U_{ss}$  je usměrněné napětí,

$I_{ss}$  usměrněný proud,

$R_t$  odpor transformátoru,

$R_1$  odpor usměrňovací elektronky,

$R_{tl}$  činný odpor tlumivky.



Obr. 41. Schéma usměrňovače s výstupní indukčností

## Sekundární proud

$$I_{ef} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{ss} \quad (350)$$

nebo po úpravě

$$I_{ef} = \frac{1}{1,414} I_{ss} = 0,707 \cdot I_{ss} \quad (351)$$

kde  $I_{ef}$  je efektivní hodnota střídavého proudu,

$I_{ss}$  usměrněný proud.

*Poznámka:* Pro větší výkony se používá usměrňovacích elektroněk plněných vzácnými plyny a rtuťovými parami. Po „zapálení“ je úbytek napětí ve výbojové dráze malý — asi 8 až 16 V — a téměř stálý, bez ohledu na zatížení.

### Příklad:

Navrhněte sekundární střídavé napětí a proud transformátoru pro usměrňovač s elektronikou AX50 s tlumivkovým výstupem pro napětí  $U_{ss} = 400$  V a proud  $I_{ss} = 0,15$  A. Vnitřní odpor elektronky je  $140 \Omega$  (někdy bývá místo toho udáván úbytek napětí ve výboji asi 15 V). Odpor vinutí tlumivky  $R_{t1} = 200 \Omega$ .

Stejnoseměrný výkon usměrňovače  $P_{ss} = 400 \cdot 0,15 = 60$  W. Z tab. 33 odhadneme podle výkonu odpor transformátoru  $R_t = 0,05 \cdot 2\ 660 = 130 \Omega$ , protože zatěžovací odpor  $R_z = \frac{400}{0,15} = 2\ 660 \Omega$ .

Potřebné střídavé napětí každé poloviny sekundárního vinutí (349)

$$U_{ef} = 1,11[400 + 0,15(133 + 140 + 200)] = 522$$
 V

Střídavý proud vinutí (351)

$$I_{ef} = 0,707 \cdot 0,15 = 0,106$$
 A

**Kontrola velikosti plechů.** Rozměr plechů volíme podle středního sloupku (vypočteného skutečného průřezu železa jádra) z řady normalizovaných velikostí. U inkurantních plechů nebo netypických rozměrů se přesvědčíme, zda se všechna vinutí a nutné izolační proklady, cívková kostra atd. do okénka v plechu vejdou. (Tato kontrola se dělá i u plechů normalizovaných.) Obvykle volíme

$$P_p \leq 0,6 \cdot S'_{Fe} S_0 \quad [\text{VA}; \text{cm}^2, \text{cm}^2] \quad (352)$$

kde  $P_p$  je příkon,

$S_{Fe}$  hrubý průřez jádra,

$S_0$  plocha okénka.

Pro odhad vhodného rozměru plechu určíme potřebnou plochu okénka

$$S_0 \geq \frac{P_p}{0,6 \cdot S'_{Fe}} \quad [\text{cm}^2; \text{VA}, \text{cm}^2] \quad (353)$$

**Úbytky napětí na vinutí.** Činný odpor vodiče působí úbytky jak v primárním, tak i v sekundárním vinutí. Ty lze

zjistit poměrně přesně z odporu vinutí a procházejícího proudu. Odpor určíme z délky středního závitu násobením počtem závitů a tak získáme celkovou délku drátu. Odpor vodičů na 1 m délky je uveden v tab. 31.

Pro jednoduchý návrh malých transformátorků o výkonu 20 až 150 VA, které nejčastěji potřebujeme, odhadujeme úbytky v primárním vinutí na 2 až 5 % (podle příkonu a uspořádání vinutí), v sekundárních vinutích na 3 až 6 % (podle vzdálenosti vinutí od jádra a procházejícího proudu). Např. žhavicí vinutí síťových transformátorků bývá obvykle navrehu, má tedy nejdelší závity a také je nejvíce zatíženo — proto zde přidáváme největší procento.

Primární vinutí

$$N_p = (0,95 \text{ až } 0,98) N \quad (354)$$

kde  $N_p$  je skutečný počet závitů primárního vinutí,  
 $N$  vypočtený počet závitů.

Sekundární vinutí

$$N_s = (1,03 \text{ až } 1,06) N \quad (355)$$

Kdyby se vinutí na cívku nevešlo, je nutné zvolit plech s větším okénkem. To zjistíme již při předběžném odhadu. Nevejde-li se jen těsně, lze použít větší hustoty proudu ve vinutí, např.  $\sigma = 3 \text{ A/mm}^2$  použitím tenčího vodiče. Vinutí z tlustého vodiče, které zabírá mnoho místa (např. o průměru větším než 0,8 mm) lze někdy účelně provést ze dvou současně (bifilárně) vinutých tenčích vodičů, které jsou skladnější. Aby průřez zůstal zachován, volíme jejich průměr 70 až 72 % průměru tlustého vodiče a zkontrolujeme výslednou hustotu proudu podle tabulek. Tak vodiči o průměru  $d = 1,2 \text{ mm}$  by odpovídaly dva současně vinuté vodiče s průměrem  $1,2 \cdot 0,71 = 0,85 \text{ mm}$ . Zatížení původního vodiče při hustotě proudu  $\sigma = 2,5 \text{ A/mm}^2$  je 2,83 A, dovolený proud náhradního vodiče  $I = 1,42 \text{ A}$  neboli právě poloviční — náhrada vyhovuje.

**Konstrukce transformátorků.** Při zhotovování transformátorků navijíme vodiče ve zvoleném pořadí na lepenkové nebo bakelitové cívky (kostry). Vinutí má být pravidelné a rovné. Konce vodičů vyvedeme otvory v čelech cívky tak, aby nevadily při vkládání plechů jádra. Tenké vodiče — asi do 0,15 mm — je nutné zesílit vývodem z tlustšího vodiče, nejméně 0,3 mm, nebo lankem. Není-li předepsáno jinak, volíme vodič měděný lakovaný (CuL), značený popřípadě podle druhu laku, např. CuP (polyamidový), CuT (tereftalátový, viz tab. 29).

Mezi vrstvy vinutí síťových a výstupních transformátorů vkládáme izolační proklady, u tenkých drátů po 2 až 3 vrstvách vinutí, nebo bude-li za činnosti transformátoru mezi nimi napětí asi 100 V. Používáme lakovaného papíru tloušťky 0,03 mm (30  $\mu$ m) mezi vodiči do  $\varnothing$  0,25 mm a 50 až 60  $\mu$ m do  $\varnothing$  0,5 mm. Jednotlivá vinutí (primární od sekundárního apod.) oddělujeme tzv. drážkovou lepenkou tloušťky 0,1 až 0,15 mm. Žádný závit se nesmí při vinutí zaříznout po straně cívky do spodního vinutí. Izolace mezi primárním vinutím a sekundárním vinutím a mezi primárním vinutím a jádrem má snést podle předpisů zkušební napětí 2 200 V.

K zabránění přenosu vř rušení ze sítě do přijímače a naopak, hlavně ale k odstranění bručení při poslechu místních vysílačů, které vzniká usměrňovací činností elektronky a moduluje přijímanou vlnu, se někdy používá mezi primárním a sekundárním vinutím vrstva kovové fólie, spojené s kostrou, která však nesmí tvořit závit nakrátko. Podobný účel mává umístění žhavicího vinutí mezi primární vinutí a anodové sekundární vinutí — protože však toto vinutí zpravidla nepokryje celou šířku cívky, nebývá vždy stoprocentně účinné. Spolehlivější je přemostění anodového vinutí — aspoň jedné poloviny — kondenzátorem 2 až 5 nF se zkušebním napětím 1 až 2 kV.

Na poslední vinutí (není-li nutné jeho zvýšené chlazení

přímým stykem se vzduchem) dáme ochrannou vrstvu drážkovou nebo lesklé lepenky.

Jádra typu EI a M je nutné stáhnout šrouby pomocí upevňovacích pásků, aby se nechvěly a nebručely. Pro jádra C jsou speciální stahovací držáky podle typizovaných velikostí jádra.

Pro provoz ve vlhkém, teplém prostředí se vinutí a celý transformátor impregnuje napouštěním lakem nebo impregnační hmotou (za tepla), podle požadovaného stupně klimatické odolnosti.

*Příklady:*

1. Navrhněte žhavicí transformátorek pro síťové napětí 120 a 220 V o sekundárním výkonu 6,3 V/2,5 A.

Určíme sekundární výkon

$$P_s = 6,3 \cdot 2,5 = 15,75 \text{ W}$$

Účinnost transformátorku odhadneme  $\eta = 0,8$ .

Celkový primární příkon (315)

$$P_p = 15,75 : 0,8 = 19,7, \text{ zaokrouhlíme na } 20 \text{ VA}$$

Pro tento příkon potřebujeme skutečný průřez jádra (310)

$$S_{Fe} = 7 \sqrt{\frac{20}{50}} = 7 \sqrt{0,4} = 4,45 \text{ cm}^2, \text{ zaokrouhlíme na } 4,5 \text{ cm}^2$$

Hrubý průřez středního sloupku (311) při činiteli plnění  $\kappa = 0,9$

$$S'_{Fe} = \frac{4,5}{0,9} = 5 \text{ cm}^2$$

Plocha okénka, potřebná pro vinutí (353)

$$S_0 \geq \frac{20}{0,6 \cdot 5} = 6,66 \text{ cm}^2 \doteq 6,7 \text{ cm}^2$$

Nalezli jsme tomu odpovídající inkurantní plech (starší čs. značení M23c) se sloupkem o šířce  $b = 2,3 \text{ cm}$ , výška svazku  $s = 2,3 \text{ cm}$ . Plocha okénka  $S_0 = 7 \text{ cm}^2$ , skutečný průřez železa jádra  $S_{Fe} = 4,47 \text{ cm}^2$ .

Počet závitů na 1 V vypočítáme podle vztahu (319)

$$N_{1V} = \frac{45}{4,77} = 9,6 \text{ závitů na 1 V}$$

Jednotlivá primární vinutí na 120 V a 220 V je nutné rozdělit na 120 + 100 V. Na primárním vinutí odečteme např. 2 % závitů, na sekundárním přičteme asi 4 % (vzhledem k jednoduchosti tohoto transformátoru).

Vinutí pro 120 V

$$120 \cdot 9,6 - 2\% = 1150 - 23 = 1127 \text{ závitů}$$

Doplňek pro 100 V

$$100 \cdot 9,6 - 2\% = 960 - 19 = 941 \text{ závitů}$$

Vinutí pro 6,3 V

$$6,3 \cdot 9,6 + 4\% = 60,5 + 2,4 = 62,9 - \text{dáme } 63 \text{ závitů}$$

Proudy a průměry vodičů [ze vztahu (321) nebo z tab. 31].  
Primární vinutí 120 V (321)

$$I_{p1} = \frac{20}{120} = 0,167 \text{ A}$$

průměr vodiče 0,3 mm.

Primární vinutí 220 V

$$I_{p2} = \frac{20}{220} = 0,09 \text{ A}$$

průměr vodiče 0,22 mm.

Sekundární vinutí 6,3 V, proud  $I_s = 2,5 \text{ A}$

průměr vodiče 1,12 mm.

Tím je výpočet skončen. Navineme tedy na zvolené jádro 1127 závitů vodiče o průměru 0,3 mm + 941 závitů vodiče o průměru 0,22 mm jako primární vinutí na 120 a 220 V.

Žhavicí sekundární vinutí bude mít 63 závitů vodiče o průměru 1,12 mm, nebo — podle dřívější úvahy — ze dvou paralelních vodičů o průměru 0,8 mm.

2. Navrhněte síťový transformátor pro 4 + 2 elektronkový superhet s novalovými elektronkami ECH81, EF80, EBF89, EL84, magickým okem EMS4 a usměrňovací EZ80. Stupnici osvětlují 2 sufitové žárovky 6,5 V/0,1 A. Síťové napětí je 220 V. Stejnoseměrné anodové napětí má být 260 V při odběru proudu 60 mA. Vstupní kapacita  $C_1 = 50 \mu\text{F}$ .

Z katalogu elektronek TESLA zjistíme žhavicí proudy elektronek podle uvedeného pořadí:  $0,3 + 0,3 + 0,3 + 0,76 + 0,21 + 0,6 + 2 \times 0,1 = 2,67$  A. Žhavicí napětí je vesměs 6,3 V. Usměrňovací elektronku EZ80 je možné žhavit spolu s ostatními z jednoho vinutí.

Výkon žhavicího sekundárního vinutí

$$P_{s1} = 2,67 \cdot 6,3 = 16,82, \text{ přibližně } 17 \text{ W}$$

Potřebné střídavé napětí na každé polovině sekundárního anodového vinutí (vypočteno postupem podle čl. 20 z grafu na obr. 40)  $U_{s2} = 248$  V, efektivní proud každé větve  $I_{s2} = 0,066$  A. Výkon  $P_{s2} = 248 \cdot 0,066 = 16,36$  zaokrouhlo na 16,5 W.

Součet sekundárních výkonů transformátoru  $\Sigma P_s = 17 + 16,5 = 33,5$  W. Při účinnosti  $\eta = 0,85$  bude (315)  $P_p = 33,5 : 0,85 = 39,4 \approx 40$  VA.

Zkusmo zvolíme typizovaný plech EI 32  $\times$  32, který má hrubý průřez železa  $S'_{Fe} = 10$  cm<sup>2</sup>, skutečný  $S_{Fe} = 9,7$  cm<sup>2</sup> a plochu okénka pro cívku  $S_0 = 1,6 \times 4,8 = 7,7$  cm<sup>2</sup> (pro tloušťku plechu 0,5 mm).

Počet závitů na 1 V (319)

$$N_{1V} = \frac{45}{9,7} = 4,64, \text{ přibližně } 4,7 \text{ závitů na } 1 \text{ V}$$

Předběžná kontrola vhodnosti plechu (353)

$$S_0 \geq \frac{40}{0,6 \cdot 10} = \frac{40}{6} = 6,7 \text{ cm}^2$$

Protože plocha okénka plechu je 7,7 cm<sup>2</sup> a počítali jsme s malými rezervami, mělo by se vinutí na zvolené jádro vejít — zvláště kdybychom použili na žhavicí vinutí dvou teněch vodičů bifilárně.

Proudy a průměry vodičů:

Primární proud při 220 V (321)

$$I_p = \frac{40}{220} = 0,182 \text{ A}$$

čemuž odpovídá vodič průměru 0,3 mm.

Žhavicí proud  $I_{s1} = 2,67$  A, vodič  $\varnothing$  1,12 mm.

Anodový proud  $I_{s2} = 0,066$  A, vodič  $\varnothing$  0,18 mm.

Počet závitů vinutí po úpravě:

Primární vinutí

$$220 \cdot 4,7 - 3\% = 1\,035 - 31 = 1\,004 \text{ závitů}$$

### Anodové vinutí

$$2 \times 248 \cdot 4,7 + 3 \% = 2 \times 1\,166 + 34 = 2 \times 1\,200 \text{ závitů}$$

### Žhavicí vinutí

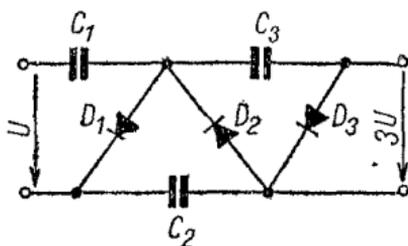
$$6,3 \cdot 4,7 + 5 \% = 29,6 + 1,5 = 31 \text{ závitů}$$

Výsledek: Transformátor bude mít jádro EI 32 × 32, primární vinutí 1 004 závitů lakovaného vodiče průměru 0,3 mm, anodového vinutí 2 × 1 200 závitů vodiče průměru 0,18 mm, žhavicí vinutí 31 závitů vodiče průměru 1,12 mm nebo ze dvou paralelně vinutých vodičů průměru 0,75 mm.

## 22. Zdvojovače a násobiče napětí

a) *Zdvojovač Greinacherův nebo Delonův zdvojovač* se někdy používá ve zdrojích, kde střídavé napětí nestačí k získání dostatečně vysokého napětí stejnosměrného — např. v přijímačích bez transformátoru při síťovém napětí 110 až 125 V.

Zdvojovač tvoří dva jednocestné usměrňovače, zapojené v sérii (usměrňovací elektronka s oddělenými systémy, dva selenové usměrňovače nebo dvě germaniové či křemíkové diody) a dva kondenzátory o stejné kapacitě (obr. 42). Zvlnění má kmitočet 100 Hz.



Obr. 42. Zdvojovač napětí

Napětí  $U_{ss}$  na výstupu je však velmi měkké (kondenzátorový vstup): Bez odběru stoupne až na vrcholovou hodnotu, tj. na téměř trojnásobek efektivní hodnoty střídavého napětí. Podle toho musí být dimenzovány použité kondenzátory.

Při určitém optimálním odběru se na výstupu dosáhne asi dvojnásobku síťového napětí.

Usměrňovací ventily (elektronka, selen, polovodičová dioda) musí vydržet celý usměrňovaný proud a snést závěrné

napětí  $U_z = 1,5U_{ss}$ . Na výstup zdvojovače se připojí potřebný filtrační obvod.

Kapacita kondenzátorů

$$C = \frac{125 I_0}{U_0} \quad [\mu\text{F}; \text{—}, \text{mA}, \text{V}] \quad (356)$$

kde  $C$  je kapacita kondenzátoru,

$I_0$  odebíraný ss proud,

$U_0$  ss napětí na výstupu.

Napětí naprázdno

$$U_0 = 2\sqrt{2}U_{ef} = 2,82U_{ef} \quad (357)$$

kde  $U_0$  je výstupní ss napětí,

$U_{ef}$  střídavé napájecí napětí.

Napětí při zatížení

$$U_0 \doteq 2U_{ef} \quad (358)$$

kde  $U_0$  je výstupní ss napětí,

$U_{ef}$  střídavé napětí zdroje.

b) *Násobiče*. Násobič používáme pro několikanásobné zvýšení napětí, ale jen pro slabé proudy (např. pro vysoké napětí osciloskopických obrazovek nebo Geigerova—Müllerova počítače záření, řádu kV při proudu 1 až 2 mA).

Zdrojem střídavého napětí, většinou vyššího, bývá sekundární vinutí síťového transformátoru. Pro násobiče vysokého napětí při slabém proudu jsou výhodné selenové tyčinkové usměrňovače (tzv. tužky).

Stejnoseměrné napětí

$$U_0 = 1,17 \cdot U_{ef}^n \quad (359)$$

kde  $U_0$  je výstupní ss napětí,

$U_{ef}$  efektivní napětí zdroje,

$n$  počet násobících členů.

Střídavé napětí potřebné pro určitou velikost stejnosměrného výstupního napětí

$$U_{ef} = \frac{0,85 \cdot U_0}{n} \quad (360)$$

(význam symbolů jako nahoře)

Kapacita kondenzátorů

$$C = \frac{I_0 2n(n+2) \cdot 10^3}{f U_0} \quad [\mu\text{F}; \text{mA}, \text{—}, \text{Hz}, \text{V}] \quad (361)$$

kde  $C$  je kapacita kondenzátoru,

$I_0$  odebíraný ss proud,

$n$  počet násobících stupňů,

$f$  kmitočet sítě,

$U_0$  výstupní ss napětí.

Provozní napětí kondenzátorů

$\alpha$ ) první kondenzátor

$$U_{C1} = \frac{U_0}{n} \quad (362)$$

kde  $U_{C1}$  je napětí na prvním kondenzátoru

$\beta$ ) kondenzátory zdvojovače

$$U_{C2,3,\dots} = \frac{2U_0}{n} \quad (363)$$

kde  $U_{C2,3,\dots}$  je napětí na kondenzátoru  $C_2, C_3, \dots$

(význam ostatních symbolů jako nahoře).

*Příklady:*

1. Navrhnout zdroj se zdvojovačem anodového napětí pro přijímač bez síťového transformátoru. Vlákna elektronek typu P jsou zapojena v sérii a přes termistor (teplotně závislý odpor) přímo na síť o napětí 120 V. Potřebné anodové napětí má být 240 až 250 V při proudu  $I_0 = 50$  mA.

a) Který typ křemíkového usměrňovače použijeme?

b) Jaká musí být kapacita kondenzátorů zdvojovače a na jaké napětí?

a) Podle katalogu n. p. TESLA Rožnov se hodí křemíkové usměrňovače KY 704 s předřazeným ochranným odporem asi  $R_0 = 5 \Omega$ , nebo starší typ 35 NP 75. (Oba jsou ovšem na mnohem větší proud, ale menší typy se nevyrobějí.)

b) Kapacita kondenzátorů zdvojovače (356)

$$C = \frac{125 \cdot 50}{250} = \frac{6\,250}{250} = 25 \mu\text{F}$$

Napětí na kondenzátorech naprázdno bude (357)

$$U_0 = 2,82 \cdot 120 = 338,5 \text{ V}$$

s rezervou tedy 350 V. Protože však jsou zapojeny oba v sérii, bude na každém jen poloviční napětí, tj.

$$U_{\max} = \frac{350}{2} = 175 \text{ V}$$

(Volíme typy na nejbližší vyšší typizovanou hodnotu napětí, např. 250 V.)

2. Potřebujeme zdroj vn pro osciloskopickou obrazovku: Anodové napětí  $U_0 = 1\,000 \text{ V}$ , proud s připojenými obvody  $I_0 = 1 \text{ mA}$ . Střídavé napětí chceme odebírat z jedné poloviny anodového vinutí sekundárního vinutí síťového transformátoru, použitého k napájení elektronek zesilovací části osciloskopu.

a) Jaké střídavé napětí má mít sekundární vinutí tohoto transformátoru, předpokládáme-li třístupňový násobič, a jakých usměrňovačů v něm použijeme?

b) Jakou kapacitu kondenzátorů k tomu potřebujeme?

c) Na jaké napětí mají být jednotlivé kondenzátory?

a) Při odběru proudu  $I_0 = 1 \text{ mA}$  pracuje násobič téměř naprázdno, výstupní napětí bude největší. Této hodnotě odpovídá střídavé napětí (360)

$$U_{ef} = \frac{0,85 \cdot 1\,000}{3} = \frac{850}{3} = 283 \text{ V}$$

(což dobře souhlasí s anodovým sekundárním napětím transformátoru  $2 \times 280 \text{ V}$ ).

Hodí se selenové sloupkové usměrňovače, např. T 5311 ČKD Modřany na 300 V nebo podobný typ.

b) Kapacita kondenzátorů (361)

$$C = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 (3 + 2) \cdot 10^3}{50 \cdot 1\,000} = \frac{30\,000}{50\,000} = 0,6 \mu\text{F}$$

e) První (oddělovací) kondenzátor stačí na napětí (362)

$$U_{C1} = \frac{1\,000}{3} = 333\text{ V}$$

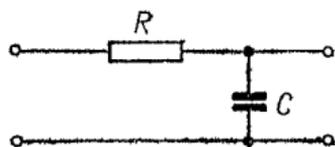
zaokrouhleno na 350 V. Na ostatních kondenzátorech násobiče je napětí dvojnásobné, tedy (363)

$$U_{C2,3} = \frac{2 \cdot 1\,000}{3} = 666$$

zaokrouhleno na 700 V.

## 23. Zvlnění usměrněného napětí

Napětí na výstupu (zátěži) usměrňovače není dokonale stejnosměrné — obsahuje podle druhu usměrnění větší nebo menší střídavou složku, zvlnění, které se projevuje jako bručení (nečesky brum). Pro napájení většiny elektronických spotřebičů je zvlnění nežádoucí a je nutné je odstranit filtrací.



Obr. 43. Filtr  $RC$

a) *Filtr*  $RC$  (obr. 43). Velikost zvlnění na prvním (sběracím) kondenzátoru:

při jednocestném usměrnění ( $f = 50\text{ Hz}$ )

$$U_b = \frac{4I}{C} \quad [\text{V}; \text{mA}, \mu\text{F}] \quad (364)$$

kde  $U_b$  je střídavá složka (zvlnění),

$I$  odebíraný stejnosměrný proud,

$C$  sběrací (nárazový) kondenzátor.

při dvojcestném usměrnění ( $f = 100\text{ Hz}$ )

$$U_b = \frac{1,5 \cdot I}{C} \quad [\text{V}; \text{mA}; \mu\text{F}] \quad (365)$$

[význam symbolů jako v rovnici (364)].

### Příklady:

1. Anodový zdroj, zatížený odběrem ss proudu  $I = 80 \text{ mA}$  má jednocestné usměrnění. Jaká je velikost zvlnění na sběracím kondenzátoru o kapacitě  $C = 20 \mu\text{F}$ ?  
Podle vztahu (364)

$$U_b = \frac{4 \cdot 80}{20} = \frac{320}{20} = 16 \text{ V}$$

2. Jaké zvlnění je na sběracím kondenzátoru o kapacitě  $C = 50 \mu\text{F}$  dvojcestného usměrňovače při odběru proudu  $I = 100 \text{ mA}$ ?  
Dosazením do vztahu (365) zjistíme

$$U_b = \frac{1,5 \cdot 100}{50} = \frac{150}{50} = 3 \text{ V}$$

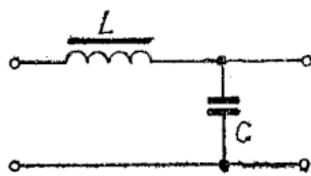
b) *Filtr začínající tlumivkou* (obr. 44). Zvlnění na ní je značné, asi 67 % (přesněji 0,667) usměrněného napětí. Proto je nutná řádná další filtrace. Výsledné napětí je nižší než při použití filtru začínajícího kondenzátorem.

Kritická indukčnost tlumivky

$$L_{kr} = \frac{U_{ss}}{I \cdot 10^3} \quad [\text{H}; \text{V}, \text{A}] \quad (366)$$

kde  $L_{kr}$  je kritická nejmenší indukčnost, nutná ke správné činnosti filtru,

$U_{ss}$  usměrněné napětí,  
 $I_{ss}$  stejnosměrný proud.



Obr. 44. Filtr začínající indukčností

Podle Ohmova zákona

$$\frac{U_{ss}}{I_{ss}} = R_z \quad [\text{V}, \text{A}; \Omega] \quad (367)$$

kde  $R_z$  je zatěžovací odpor usměrňovače.

Někdy se přičítá k zatěžovacímu odporu  $R_z$  odpor vinutí tlumivky  $R_{tl}$ . Vztah (367) je potom možné upravit na tvar

$$L = \frac{R_z + R_{t1}}{1\,000} \quad [H; \Omega, \Omega] \quad (368)$$

kde  $L$  je indukčnost,  
 $R_z$  zatěžovací odpor,  
 $R_{t1}$  odpor vinutí tlumivky.

Při větší kritické indukčnosti se dosáhne menší špičkové hodnoty tepavého (usměrněného) proudu při nezměněné velikosti  $I_{ss}$ . Zvláště bude-li odběr z usměrňovače kolísat, volíme

$$L = 2L_{kr} \quad (369)$$

nebo upravíme vztah (368)

$$L = \frac{R_z + R_{t1}}{500} \quad [H; \Omega, \Omega] \quad (370)$$

c) *Zvlnění*. Zvlnění za nárazovou tlumivkou dosahuje podle druhu usměrnění (jednocestné nebo dvojcestné) a podle indukčnosti tlumivky velikosti několika desítek voltů. Další filtr můžeme proto navrhovat podobně jako filtr začínající kondenzátorem. Kondenzátor za nárazovou tlumivkou uvažujeme jako sběrací kapacitu.

d) *Činitel filtrace*

$$k_f = \frac{U_{b1}}{U_{b2}} \quad (371)$$

kde  $k_f$  je činitel filtrace,  
 $U_{b1}$  zvlnění na vstupu,  
 $U_{b2}$  zvlnění na výstupu.

[Vztah (371) platí obecně pro všechny druhy filtrů.]

e) *Vstupní zvlnění* na nárazové tlumivce

$$U_{b1} = U_{ss} \cdot 0,667 \quad (372)$$

kde  $U_{b1}$  je zvlnění na vstupu,  
 $U_{ss}$  usměrněné napětí,  
 0,667 činitel pro  $f = 100$  Hz.

f) *Výstupní vlnění*

$$U_{b2} = \frac{U_{b1}}{k_f} \quad (373)$$

kde  $k_f$  je činitel filtrace.

g) *Potřebný součín LC*

$$LC = \frac{k_f + 1 \cdot 10^6}{\omega^2} \quad [\text{H}; \mu\text{F}; \text{—}, \text{rad/s}] \quad (374)$$

kde  $L$  je indukčnost tlumivky,  
 $C$  kapacita za tlumivkou,  
 $\omega$  úhlový kmitočet.

Pro nejčastější dvojcestné usměrnění ( $f = 100$ ) je možné vztah (374) zjednodušit na tvar

$$LC = \frac{k_f + 1}{0,4} \quad [\text{H}, \mu\text{F}; \text{—}] \quad (375)$$

h) Kapacita za tlumivkou se určí ze součinu  $LC$  (375)

$$C = \frac{LC}{L} \quad [\mu\text{F}; \text{H}, \mu\text{F}, \text{H}] \quad (376)$$

*Příklady:*

1. Zdroj s dvojcestnou plynem plněnou usměrňovací elektronikou má dodávat usměrněné napětí 400 V při proudu 200 mA. Odpor vinutí tlumivky  $R_{t1} = 150 \Omega$ . Jak velkou indukčnost má mít tlumivka?

Zatěžovací odpor zdroje (367)

$$R_z = \frac{400}{0,2} = 2\,000 \Omega$$

Indukčnost (370)

$$L = \frac{2\,000 + 150}{500} = \frac{2\,150}{500} = 4,3 \text{ H}$$

2. Odběr proudu z usměrňovače o napětí 300 V kolísá od 50 do 100 mA. Jakou indukčnost má mít nárazová tlumivka?

V tomto případě určíme zatěžovací odpor pro nejmenší proud, tedy (367)

$$R_z = \frac{300}{0,05} = 6\,000 \, \Omega$$

Odpor vinutí tlumivky odhadneme na  $R_{lt} = 250 \, \Omega$ . Po dosazení do vztahu (370) vyjde indukčnost

$$L = \frac{6\,000 + 250}{500} = \frac{6\,250}{500} = 12,5 \, \text{H}$$

3. Jaký činitel filtrace má mít nárazová tlumivka o indukčnosti  $L = 5 \, \text{H}$  při usměrněném napětí  $U_{ss} = 300 \, \text{V}$  pro výstupní zvlnění  $U_{b2} = 4 \, \text{V}$ ? Usměrnění je dvojcestné.

Vstupní zvlnění (372)

$$U_{b1} = 300 \cdot 0,667 = 200 \, \text{V}$$

Potřebný činitel filtrace (371)

$$k_f = \frac{200}{4} = 50$$

4. Jakou kapacitu má mít v tomto případě kondenzátor za tlumivkou?

Z činitele filtrace určíme součin  $LC$  pro dvojcestné usměrnění (375)

$$LC = \frac{50 + 1}{0,4} = 127,5$$

Z něho podle (376) zjistíme potřebnou kapacitu

$$C = \frac{127,5}{5} = 25,5 \, \mu\text{F}$$

zvolíme kondenzátor o nejbližší vyšší typizované kapacitě, tj.  $C = 32 \, \mu\text{F}$ .

## 24. Filtrační obvody

Vlastní filtr se skládá buď z tlumivky a druhého kondenzátoru (filtr  $LC$ ), nebo — zvláště pro menší proudy — z odporu a kondenzátoru (filtr  $RC$ ).

a) Činitel filtrace

$$k_f = 4\pi^2 f^2 L_f C_2 \cdot 10^{-6} \quad [—; \text{Hz}, \text{H}, \mu\text{F}] \quad (377)$$

kde  $k_f$  je činitel filtrace,

$f$  kmitočet,

$L_f$  indukčnost filtrační tlumivky,

$C_2$  kapacita.

Pro nejběžnější případy — jednocestné a dvojcestné usměrnění — lze vztah (377) zjednodušit:

pro jednocestné usměrnění

$$k_f = 0,1 L_f C_2 \quad [—; \text{H}, \mu\text{F}] \quad (378)$$

pro dvojcestné usměrnění

$$k_f = 0,4 L_f C_2 \quad [—; \text{H}, \mu\text{F}] \quad (379)$$

Význam symbolů stejný jako ve vztahu (377)

Ze vztahů (378) a (379) můžeme při jednom známém nebo daném členu filtru určit druhý:

Indukčnost

pro jednocestné usměrnění

$$L_f = \frac{k_f}{0,1 C_2} \quad [\text{H}; —, \mu\text{F}] \quad (380)$$

pro dvojcestné usměrnění

$$L_f = \frac{k_f}{0,4 C_2} \quad [\text{H}; —, \mu\text{F}] \quad (381)$$

Kapacita

pro jednocestné usměrnění

$$C_2 = \frac{k_f}{0,1 L_f} \quad [\mu\text{F}; —, \text{H}] \quad (382)$$

pro dvoječné usměrnění

$$C_2 = \frac{k_f}{0,4 L_f} \quad [\mu\text{F}; \text{---}, \text{H}] \quad (383)$$

b) Vlnivé napětí (zvlnění) za filtrem  $LC$

$$U_{b2} = \frac{U_{b1} \cdot 10^6}{\omega^2 L_f C_2} \quad [\text{V}; \text{V}, \text{---}, \text{rad/s}, \text{H}, \mu\text{F}] \quad (384)$$

úprava pro jednočné usměrnění

$$U_{b2} = \frac{5,1 U_{b1}}{L_f C_2} \quad [\text{V}; \text{V}, \text{H}, \mu\text{F}] \quad (385)$$

pro dvoječné usměrnění

$$U_{b2} = \frac{2,53 \cdot U_{b1}}{L_f C_2} \quad [\text{V}; \text{V}, \text{H}, \mu\text{F}] \quad (386)$$

kde  $U_{b2}$  je vlnivé napětí za filtrem,

$U_{b1}$  zvlnění před filtrem,

$\omega$  úhlový kmitočet,

$L$  indukčnost tlumivky,

$C_2$  druhý kondenzátor filtru.

*Filtry RC* (viz obr. 43)

a) Činitel filtrace

$$k_f = 6,28 \cdot f R_f C_2 \cdot 10^{-3} \quad [\text{---}; \text{Hz}, \text{k}\Omega, \mu\text{F}] \quad (387)$$

kde  $k_f$  je činitel filtrace,

$f$  kmitočet zvlnění,

$R_f$  filtrační odpor,

$C_2$  filtrační kapacita.

Vzorec lze opět zjednodušit (číselné činitele zaokrouhlíme).  
pro jednočné usměrnění ( $f = 50 \text{ Hz}$ )

$$k_f = 0,3 R_f C_2 \quad [\text{---}; \text{k}\Omega, \mu\text{F}] \quad (388)$$

pro dvojcestné usměrnění ( $f = 100 \text{ Hz}$ )

$$k_f = 0,6R_f C_2 \quad [—; \text{k}\Omega, \mu\text{F}] \quad (389)$$

Význam symbolů je uveden u rovnice (387),

Při jednom daném členu lze snadno určit druhý.

Kapacita

pro  $f = 50 \text{ Hz}$

$$C_2 = \frac{k_f}{0,3R_f} \quad [\mu\text{F}; —, \text{k}\Omega] \quad (390)$$

pro  $f = 100 \text{ Hz}$

$$C_2 = \frac{k_f}{0,6R_f} \quad [\mu\text{F}; —, \text{k}\Omega] \quad (390a)$$

Odpor

pro  $f = 50 \text{ Hz}$

$$R_f = \frac{k_f}{0,3C_2} \quad [\text{k}\Omega; —, \mu\text{F}] \quad (391)$$

pro  $f = 100 \text{ Hz}$

$$R_f = \frac{k_f}{0,6C_2} \quad [\text{k}\Omega; —, \mu\text{F}] \quad (392)$$

Vlnivé napětí (zvlnění) za filtrem  $RC$

$$U_{b2} = \frac{U_{b1} 10^3}{\omega R_f C_2} \quad [\text{V}; \text{V}, \text{k}\Omega, \mu\text{F}] \quad (393)$$

úprava pro jednocestné usměrnění

$$U_{b2} = \frac{3,2U_{b1}}{R_f C_2} \quad [\text{V}; \text{V}, \text{k}\Omega, \mu\text{F}] \quad (394)$$

pro dvojcestné usměrnění

$$U_{b2} = \frac{1,6U_{b1}}{R_f C_2} \quad [\text{V}; \text{V}, \text{k}\Omega, \mu\text{F}] \quad (395)$$

### Příklady:

1. Jaký je činitel filtrace filtru z indukčnosti a kapacity, má-li tlumivka indukčnost  $L_f = 10 \text{ H}$  a kondenzátor kapacitu  $C_2 = 50 \text{ } \mu\text{F}$  při jednocestném usměrnění?

Pomocí rovnice (378) zjistíme

$$k_f = 0,1 \cdot 10 \cdot 50 = 50$$

2. Filtr s účinností podle příkladu 1 je připojen na vstupní (sběrací) kondenzátor usměrňovače, kde je zvlnění  $U_{b1} = 5 \text{ V}$ . Jaké zvlnění bude za filtrem?

Dané údaje dosadíme do vztahu (373). Výstupní zvlnění

$$U_{b2} = \frac{5}{50} = 0,1 \text{ V} = 100 \text{ mV}$$

3. Jakou indukčnost tlumivky potřebujeme pro kondenzátor  $C_2 = 50 \text{ } \mu\text{F}$  při dvojecestném usměrnění, aby činitel filtrace byl  $k_f = 100$ ?

Podle (381)

$$L_f = \frac{100}{0,4 \cdot 50} = \frac{100}{20} = 5 \text{ H}$$

4. Jaká část vlnivého napětí  $U_{b1} = 15 \text{ V}$  na sběracím kondenzátoru  $C_1$  jednocestného usměrňovače bude za filtrem z tlumivky o  $L_f = 10 \text{ H}$  a kapacity  $C_2 = 50 \text{ } \mu\text{F}$ ?

Údaje dosadíme do upraveného vztahu (385). Zvlnění za filtrem bude

$$U_{b2} = \frac{5,1 \cdot 15}{10 \cdot 50} = \frac{77}{500} = 0,15 \text{ V}$$

5. Místo tlumivky v dvojecestném usměrňovači použijeme filtračního odporu  $R_f = 500 \text{ } \Omega$ . Jakou kapacitu  $C_2$  potřebujeme, je-li činitel filtrace  $k_f = 30$ ?

Kapacita (390a)

$$C_2 = \frac{30}{0,6 \cdot 0,5} = \frac{30}{0,3} = 100 \text{ } \mu\text{F}$$

Z výsledku je patrna nevýhodnost použití odporu ve filtru, nehledě na značně vyšší úbytek napětí na něm.

6. Jaké vlnivé napětí zbude z  $U_{b1} = 6 \text{ V}$  za filtrem  $RC$  s hodnotami členů  $R_f = 600 \text{ } \Omega$  a  $C_2 = 32 \text{ } \mu\text{F}$  při dvojecestném usměrnění?

Ze vztahu (395) zjistíme na výstupu zvlnění

$$U_{b2} = \frac{1,6 \cdot 6}{0,6 \cdot 32} = \frac{9,6}{19,2} = 0,5 \text{ V}$$

## 25. Dvojité filtry

Při požadavku značného snížení výstupního zvlnění usměrněného napětí, tedy při velkém činiteli filtrace  $k_f$  dojdeme k velkým hodnotám filtračních členů. Velký odpor je nevýhodný, velká tlumivka nebo kondenzátor zabírají mnoho místa — a konečně kondenzátory příliš velkých kapacit pro napětí několika set voltů se ani nevyrobějí.

V takových případech lze filtr rozdělit na dvě části, jejich filtrační účinek se násobí. Použijeme-li dvou stejných filtrů (2 odpory nebo tlumivky, 2 kondenzátory), bude výsledný činitel filtrace

$$k_{fv} = k_{f1} k_{f2} \quad (396)$$

kde  $k_{fv}$  je výsledný činitel filtrace,  
 $k_{f1}, k_{f2}$  činitelé jednotlivých filtrů.

Jsou-li oba činitelé stejní, je

$$k_{fv} = k_{f1}^2 = k_{f2}^2 \quad (397)$$

a filtrační činitel jednoho filtru

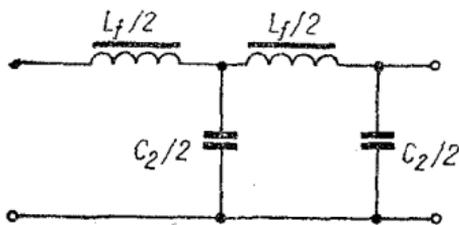
$$k_{f1} = k_{f2} = \sqrt{k_{fv}} \quad (398)$$

Podle toho upravíme již uvedené vztahy pro filtry.

a) Filtry LC (obr. 45)

Indukčnost  
 pro jednocestné usměrnění

$$L_f = \frac{\sqrt{k_f}}{0,1 C_2} \quad [\text{H}; \text{—}, \mu\text{F}] \quad (399)$$



Obr. 45. Dvojitý filtr LC

pro dvojecestné usměrnění

$$L_f = \frac{\sqrt{k_f}}{0,4C_2} \quad [H; \text{---}, \mu F] \quad (400)$$

Kapacita  
pro jednocestné usměrnění

$$C_2 = \frac{\sqrt{k_f}}{0,1L_f} \quad [\mu F; \text{---}, H] \quad (401)$$

pro dvojecestné usměrnění

$$C_2 = \frac{\sqrt{k_f}}{0,4L_f} \quad [\mu F; \text{---}, H] \quad (402)$$

b) Filtry RC (obr. 46)

Odpor  
pro jednocestné usměrnění

$$R_f = \frac{\sqrt{k_f}}{0,3C_2} \quad [k\Omega; \text{---}, \mu F] \quad (403)$$

pro dvojecestné usměrnění

$$R_f = \frac{\sqrt{k_f}}{0,6C_2} \quad [k\Omega; \text{---}, \mu F] \quad (404)$$

Kondenzátor  
pro jednocestné usměrnění

$$C_2 = \frac{\sqrt{k_f}}{0,3R_f} \quad [\mu F; \text{---}, k\Omega] \quad (405)$$

pro dvojecestné usměrnění

$$C_2 = \frac{\sqrt{k_f}}{0,6R_f} \quad [\mu F; \text{---}, k\Omega] \quad (406)$$

### Příklady:

1. Při návrhu zdroje s jednocestně usměrněným výstupním napětím 300 V vyšel činitel filtrace  $k_f = 50$ . Chceme použít filtru  $LC$  s tlumivkou o indukčnosti  $L = 6$  H.

a) Jaká je potřebná kapacita filtru?

b) Jaké kapacity a indukčnosti dají stejný činitel filtrace při použití dvojitého filtru?

a) Podle (382) je potřebná kapacita

$$C_2 = \frac{\sqrt{50}}{0,1 \cdot 6} = \frac{50}{0,6} = 83,5 \mu\text{F}$$

Pro napětí 300 V bychom potřebovali elektrolytický kondenzátor pro napětí aspoň 450 V, ale takový se ve vypočtené kapacitě nevyrábí.

b) V dvojitém filtru použijeme dvou tlumivek po 3 H. Za každou musíme zařadit kapacitu (401)

$$C_2 = \frac{\sqrt{50}}{0,1 \cdot 3} = \frac{7,1}{0,3} = 23,7 \mu\text{F}$$

přibližně 25  $\mu\text{F}$ . Vystačíme tedy s běžně vyráběnými kondenzátory 32  $\mu\text{F}/500$  V.

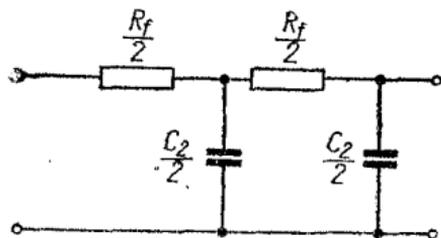
2. Při dvojcestném usměrnění je požadován činitel filtrace  $k_f = 56$ . Filtr je odporový o velikosti  $R_f = 800 \Omega$ . Jaká bude potřebná kapacita

a) při jednoduchém filtru, b) v dvojitém filtru?

a) Filtrační kapacita za odporem v jednoduchém filtru (390a)

$$C_2 = \frac{56}{0,6 \cdot 0,8} = \frac{56}{0,48} = 116 \mu\text{F}$$

b) Použijeme-li dvou odporů po 400  $\Omega$  v sérii, vystačí každý z obou kondenzátorů o kapacitě (406)



Obr. 46. Dvojitý filtr  $RC$

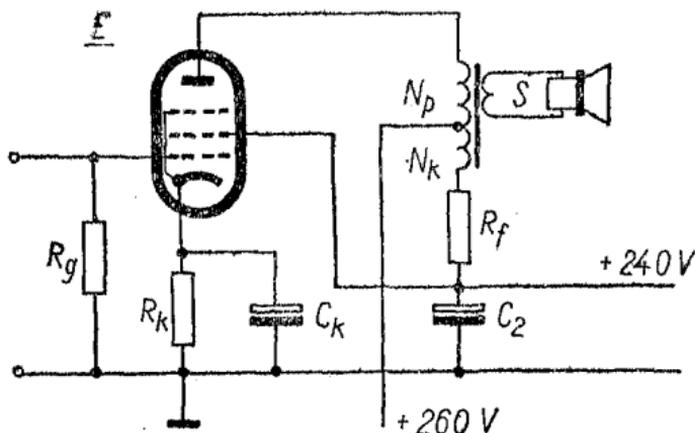
$$C_2 = \frac{\sqrt{56}}{0,6 \cdot 0,4} = \frac{7,5}{0,24} = 31,2 \mu\text{F}$$

tedy opět běžný kondenzátor 32  $\mu\text{F}$ .

## 26. Speciální filtry

V některých našich i dovezených přijímačích najdeme zajímavý filtr, spojený s koncovým stupněm (obr. 47).

Aby se ve filtračním odporu neztrácela příliš velká část anodového napětí, napájí se běžně anodový obvod koncových elektronek přímo z prvního (sběracího) kondenzátoru



Obr. 47. Speciální filtr koncové pentody

usměrňovače, kde je nejvyšší napětí — ale také největší zvlnění, projevující se bručením. U pentod, jejichž stínící mřížky mají malý proud, a proto pro ně lze napětí dobře vyfiltrovat, to sice tolik nevádí, ale koncové stupně s triodami jsou na tom hůře.

Popsaný filtr vtípně odstraňuje zbytek bručení kompenzačním vinutím na výstupním transformátoru. Stínící mřížka a ostatní stupně přijímače se napájí přes obvyklý filtr  $RC$ .

## Kompenzační vinutí

$$N_k = \frac{N_p R_f}{R_i} \quad [—; —, \text{k}\Omega, \text{k}\Omega] \quad (407)$$

kde  $N_k$  je počet kompenzačních závitů,  
 $N_p$  počet závitů na primárním vinutí,  
 $R_f$  filtrační odpor,  
 $R_i$  vnitřní odpor elektronky.

Průměr vodiče kompenzačního vinutí se určuje z velikosti procházejícího stejnosměrného proudu (jako u transformátorů nebo z tabulek).

Filtrační odpor  $R_f$  má běžně velikost v mezích 800  $\Omega$  až 2 k $\Omega$  (pro větší zatížení), podle žádaného účinku a napětí. Kapacita kondenzátoru  $C_2$  se popř. určí z požadovaného zvlnění jako u filtru  $RC$ .

### *Příklad:*

Konecová pentoda EL84 má podle katalogu vnitřní odpor  $R_i = 30 \text{ k}\Omega$ . Primární vinutí výstupního transformátoru má 3 600 závitů. Kolik závitů má mít kompenzační vinutí? Přijímač je čtyřelektronkový superhet.

Zvolíme střední hodnotu filtračního odporu  $R_f = 1,5 \text{ k}\Omega$  a dosadíme známé údaje do vztahu (407)

$$N_k = \frac{3\,600 \cdot 1,5}{30} = \frac{5\,400}{30} = 180 \text{ závitů}$$

Stejnoseměrný anodový proud čtyřelektronkového přijímače je asi 60 až 75 mA, vodič na vinutí zvolíme o průměru 0,18 až 0,2 mm.

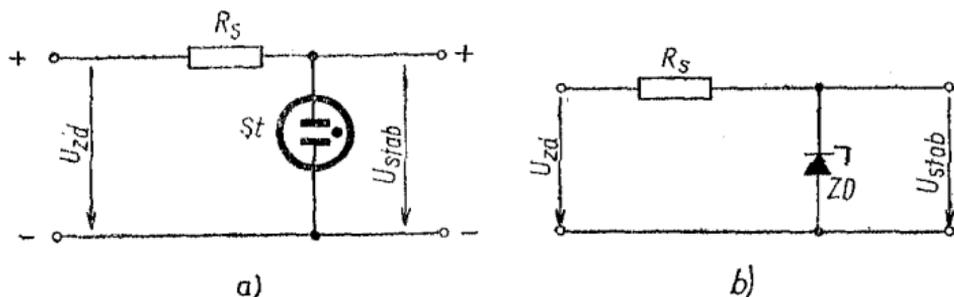
Nakonec opravíme velikost odporu  $R_f$  podle požadovaného napětí na kondenzátoru  $C_2$ . Není-li rozdíl příliš velký, není třeba opravovat počet kompenzačních závitů.

## 27. Stabilizátory napětí

Pro mnohé účely potřebujeme stále napájecí napětí, i když napětí zdroje kolísá. Nejjednoduššími stabilizátory

napětí řádu desítek až stovek voltů jsou doutnavky (výbojky); ke stabilizaci malého napětí (několik voltů) slouží polovodičové Zenerovy diody.

**Stabilizátor s doutnavkou** (obr. 48a). Výboj v ionizovaném plynu doutnavky udržuje na jejích elektrodách téměř stálé napětí, i když proud procházející doutnavkou se mění. Pro ionizaci („zapálení“) plynu je nutné vyšší tzv. zápalné napětí, než je napětí doutnavkou udržované. K udržení výboje



Obr. 48. Schéma stabilizátoru a) s doutnavkou, b) se Zenerovou diodou

musí doutnavkou procházet určitý proud (zvaný též „příčný“). Největší dovolený proud stabilizátoru je dán konstrukcí (velikost a tvar elektrod, druh plynové náplně apod.). Záporná elektroda (katoda) má být vždy ta, která má větší plochu (vnější válec apod.).

Napětí zdroje

$$U_{zd} = (1,3 \text{ až } 1,8) U_{stab} \quad (408)$$

kde  $U_{zd}$  je potřebné napětí zdroje,  
 $U_{stab}$  stabilizované napětí.

Rozdíl mezi  $U_{zd}$  a  $U_{stab}$  se sráží předřadným odporem v jedné větvi stabilizátoru.

Předřadný odpor

$$R_s = \frac{U_{zd} - U_{stab}}{I_o + I_{stab.}} \quad [\text{k}\Omega; \text{V}, \text{V}, \text{mA}, \text{mA}] \quad (409)$$

kde  $R_s$  je srážecí odpor,  
 $I_o$  proud odebíraný spotřebičem,  
 $I_{stab.}$  střední hodnota proudu výbojky.

*Poznámka:* Proud stabilizátoru má dvě hodnoty:  $I_{stab_{min}}$  a  $I_{stab_{max}}$ ; (udává je výrobce). Aby stabilizátor mohl vyrovnávat kolísání napětí na obě strany, volíme zde střední aritmetickou hodnotu proudu  $I_{stab.}$

$$I_{stab.} = \frac{I_{stab_{max}} + I_{stab_{min}}}{2} \quad (410)$$

Zatížení odporu

$$P = R_s(I_o + I_{stab.})^2 \quad [\text{mW}; \text{k}\Omega, \text{mA}, \text{mA}] \quad (411)$$

kde  $P$  je zatížení odporu,  
nebo

$$P = (U_{zd} - U_{stab})(I_o + I_{stab.}) \quad [\text{mW}; \text{V}, \text{V}, \text{mA}, \text{mA}] \quad (412)$$

Činitel stabilizace

$$S = \frac{U_{stab}(p - 1)}{pR_i(I_{stab_{min}} + I_o)} \quad [—; \text{V}, —, \text{k}\Omega, \text{mA}, \text{mA}] \quad (413)$$

kde  $S$  je činitel stabilizace,  
 $p$  poměr napětí,  
 $R_i$  vnitřní odpor stabilizátoru,  
 $I_{stab_{min}}$  klidový proud stabilizátoru  
 $I_o$  odebíraný ustálený proud.

Poměr napětí

$$p = \frac{U_{zd}}{U_{stab}} \quad [—; \text{V}, \text{V}] \quad (414)$$

Vnitřní odpor stabilizátoru bývá udán v katalogu. Není-li, určí se ze vztahu

$$R_1 = \frac{\Delta U_{\text{stab}}}{I_{\text{stab}_{\text{max}}} - I_{\text{stab}_{\text{min}}}} \quad [\text{k}\Omega; \text{V}, \text{mA}, \text{mA}] \quad (415)$$

kde  $\Delta U_{\text{stab}}$  je změna ustáleného napětí.

K získání vyššího stabilizovaného napětí lze spojovat stabilizátory do série, a to i typy s různým stabilizačním napětím, avšak se stejným proudem. Např. je možné zapojit do série stabilizátory TESLA 11TA31 ( $U_{\text{stab}} = 150 \text{ V}$ ,  $I_{\text{stab}} = 5$  až  $30 \text{ mA}$ ) s typem 14TA31 ( $U_{\text{stab}} = 75 \text{ V}$ , proud stejný), čímž dostaneme  $U_{\text{stab}} = 225 \text{ V}$ .

Nelze však spojovat — ani stejné — stabilizátory paralelně za účelem získání většího proudu  $I_{\text{stab}}$ . Ionizace plynu v jednotlivých doutnavkách totiž nenastává současně. Některý stabilizátor potom „nezapálí“ a ostatní jsou přetíženy.

Pro vyšší napětí jsou určeny několikanásobné stabilizátory (s několika výbojovými drahami). Například typy TESLA 11TF25 a 12TF25 mají čtyři dráhy po  $U_{\text{stab}} = 70 \text{ V}$  při proudu  $I_{\text{stab}} = 40$  nebo  $80 \text{ mA}$ . Z nich je možné odebrat stabilizované napětí 70, 140, 210 a 280 V nebo +70, 140, 210 a -70 V (jako záporné předpětí).

### *Stabilizační kaskáda*

K dosažení ještě vyššího činitele stabilizace můžeme použít dvou (nebo více) stabilizačních stupňů v kaskádním zapojení. První stabilizátor musí ovšem dodávat výstupní napětí nejméně rovné zápalnému napětí druhého stabilizačního stupně.

Výpočet jednotlivých stupňů se provádí stejně jako u jednoduchého stabilizátoru.

Činitel stabilizace kaskádového spojení je dán součinem stabilizačních činitelů obou (všech) stupňů

$$S_v = S_1 S_2 \quad (416)$$

### Příklad:

Potřebujeme stejnosměrné stabilizované napětí  $U_{\text{stab}} = 150 \text{ V}$  při proudu  $I_0 = 20 \text{ mA}$ . Máme k dispozici zdroj o napětí  $250 \text{ V}$ .

a) Jaký typ doutnavky nám vyhoví?

Podle katalogu TESLA vyhoví stabilizátor 11TA31 nebo ekvivalent z NDR s označením StR150/30. Údaje: Zápalné napětí  $U_z = 185 \text{ V}$ , stabilizované napětí  $U_{\text{stab}} = 150 \text{ V}$ , proudy  $I_{\text{stabmin}} = 5 \text{ mA}$ ,  $I_{\text{stabmax}} = 30 \text{ mA}$ ,  $\Delta U_{\text{stab}} \leq 5 \text{ V}$ . Protože napětí zdroje  $U_{\text{zd}} = 250 \text{ V}$ , vyjde  $U_{\text{zd}} = 1,66 \cdot U_{\text{stab}}$  — poměr podmínce (408) vyhovuje.

b) Jaký předřadný odpor musíme zapojit mezi zdroj a stabilizační doutnavku?

Podle vztahu (409)

$$R_s = \frac{250 - 150}{20 + 18} = \frac{100}{38} = 2,63 \text{ k}\Omega$$

Použijeme normalizované hodnoty  $2,7 \text{ k}\Omega = 2\,700 \Omega$ .

c) Jaké zatížení (ve wattech) musí odpor vydržet?

Zatížení odporu ( $P = RI^2$ )

$$P = 2,7(20 + 18)^2 = 2,7 \cdot 38^2 = 2,7 \cdot 1\,440 = 3\,880 \text{ mW} = 3,88 \text{ W}$$

zvolíme typ pro  $4 \text{ W}$ .

d) Jaký je stabilizační činitel navrženého stupně?

Nejprve určíme poměr napětí  $p$  a vnitřní odpor  $R_i$  stabilizační doutnavky. Poměr napětí (414)

$$p = \frac{250}{150} = 1,67$$

Vnitřní odpor (415)

$$R_i \leq \frac{5}{30 - 5} = \frac{5}{25} = 0,2 \text{ k}\Omega$$

Činitel stabilizace (413)

$$S = \frac{150(1,67 - 1)}{1,67 \cdot 0,2(5 + 20)} = \frac{100}{8,35} \approx 12$$

Výstupní napětí  $U_{\text{stab}}$  bude kolísat jen o  $\frac{1}{12} = 8,33 \%$  změny vstupního (napájecího) napětí  $U_{\text{zd}}$ .

**Stabilizátor se Zenerovou diodou.** Zenerova dioda je křemíková polovodičová součástka se zvláštním průběhem závěrné části charakteristiky, takže napětí na ní je téměř konstantní i při změnách procházejícího proudu. Vnitřní neboli dynamický odpor této diody je velmi malý (řádu ohmů). Činitel stabilizace Zenerovy diody je tím větší, čím větší je poměr předřadného (sériového) odporu k vnitřnímu odporu diody (obr. 48b).

Napětí zdroje

$$U_{zd} = (2 \text{ až } 4) U_Z \quad (417)$$

kde  $U_{zd}$  je napájecí napětí

$U_Z$  stabilizované (Zenerovo) napětí.

Předřadný (sériový) odpor

$$R_s = \frac{U_{zd} - U_Z}{I_Z + I_0} \quad [\text{k}\Omega; \text{V}, \text{V}, \text{mA}, \text{mA}] \quad (418)$$

kde  $R_s$  je sériový odpor,

$I_Z$  příčný (Zenerův) proud diody,

$I_0$  odebíraný stejnosměrný proud.

Činitel stabilizace z poměru odporů

$$S = \frac{R_s}{R_1} \quad [—; \Omega, \Omega] \quad (419)$$

kde  $S$  je činitel stabilizace,

$R_1$  vnitřní odpor diody,

$R_s$  sériový odpor.

Činitel stabilizace z poměru změn napětí

$$S = \frac{\Delta U_{zd}}{\Delta U_0} \quad [—; \text{V}, \text{V}] \quad (420)$$

kde  $\Delta U_{zd}$  je změna napájecího napětí,

$\Delta U_0$  změna výstupního napětí.

## Kolisání výstupního napětí

$$\Delta U_0 = \pm \Delta I_Z \cdot R_1 \quad [\text{V}; \text{mA}, \text{k}\Omega] \quad (421)$$

kde  $\Delta U_0$  je změna výstupního napětí,

$\Delta I_Z$  změna proudu diody,

$R_1$  vnitřní odpor diody,

příčemž změna proudu

$$\Delta I_Z = \pm \frac{\Delta U_{zd}}{R_s} \quad [\text{mA}; \text{V}, \text{k}\Omega] \quad (422)$$

kde  $\Delta U_{zd}$  je kolisání napětí zdroje  
(význam ostatních symbolů je stejný).

Na rozdíl od doutnavek má zde na změnu výstupního stabilizovaného napětí vliv i teplota, jako u všech polovodičových součástek. (U běžných Zenerových diod to bývá několik setin procenta na  $1^\circ\text{C}$ , u některých — při vhodném nastavení pracovního bodu — i nula.) Teplotní součinitel udává výrobce.

Změna napětí s teplotou •

$$\Delta U_0 = \pm \vartheta \cdot \Delta t \quad [\text{V}; ^\circ\text{C}, ^\circ\text{C}] \quad (423)$$

kde  $\vartheta$  je teplotní součinitel,

$\Delta t$  změna teploty.

Zenerovy diody stejných vlastností lze zapojovat do série pro získání vyššího stabilizovaného napětí. Pro lepší stabilizaci je možné — jako u stabilizátorů s výbojkami — řadit dva nebo několik stabilizačních stupňů do kaskády, za podmínky, že výstupní napětí prvního stabilizačního stupně je dostatečně vysoké pro napájení následující diody (s nižším Zenerovým napětím). Stabilizační činitele jednotlivých stupňů se násobí.

*Příklad:*

Pro televizní konvertor UHF/VHF s tranzistory TESLA GF507 máme navrhnout síťový zdroj o napětí 11 V, stabilizovaný Zenero-

vou diodou. Proud odebraný konvertorem (s nutnými děliči pro teplotní stabilizaci tranzistorů) je 8 mA. Síťové napětí 220 V kolísá v průběhu dne o  $\pm 10\%$ .

V katalogu TESLA najdeme vhodnou Zenerovu diodu 6NZ70. Její údaje jsou  $U_Z = 11 - 13,5$  V,  $R_1 < 7 \Omega$ ,  $I_Z = 50$  mA, teplotní součinitel  $\theta = (+4 \text{ až } +8) 10^{-4} 1/^\circ\text{C}$ .

Zvolíme podle (417) napájecí napětí např.  $U_{zd} = 3U_Z$ , takže zatížený usměrňovač bude dávat  $Z_{zd} = 3 \cdot 11 = 33$  V. Odebraný proud  $I_0 = 8$  mA; jako proud diody zvolíme polovinu katalogového údaje, tj.  $I_Z = 25$  mA.

Potřebný sériový odpor (418)

$$R_s = \frac{33 - 11}{25 + 8} = \frac{22}{33} = 0,667 \text{ k}\Omega$$

Použijeme nejbližší normalizované velikosti  $R_s = 0,68 \text{ k}\Omega = 680 \Omega$ . Jeho zatížení podle vztahu

$$P = RI^2 = 680 \cdot 0,033^2 = 0,75 \text{ W}$$

s nutnou rezervou zvolíme odpor pro zatížení 1 W.

Za vnitřní odpor diody považujeme asi střední hodnotu z katalogu např.  $R_1 = 5 \Omega$ . Stabilizační činitel z poměru odporů (419)

$$S = \frac{680}{5} = 136$$

Napájecí ss napětí se může měnit v souladu s kolísáním síťového napětí  $0 \pm 10\%$ , tj. o  $\pm 3,3$  V.

K určení kolísání výstupního napětí použijeme vztahu (421). Nejprve stanovíme změnu proudu diody (422)

$$\Delta I_Z = \pm \frac{3,3}{680} = \pm 0,0048 \text{ A} = 4,8 \text{ mA}$$

Změna výstupního napětí (421)

$$\Delta U_0 = \pm 0,0048 \cdot 5 = 0,024 \text{ V} = 24 \text{ mV}$$

Kolísání výstupního napětí vlivem změny teploty o  $\pm 10^\circ\text{C}$  při dané střední hodnotě  $\theta = 6 \cdot 10^{-4} 1/^\circ\text{C}$  by činilo jen  $\pm 0,6\%$  — proto jsme je při návrhu nebrali v úvahu.

## 28. Elektronky

Vzájemný vztah hlavních elektrických veličin elektronky, tj. strmosti, vnitřního odporu, průniku, popř. zesilovacího

činitele vyjadřuje vnitřní rovnice triody, zvaná též *Barkhausenova rovnice*

$$SR_1D = 1 \quad [A/V, \Omega, -; -] \quad (424)$$

kde  $S$  je strmost,

$R_1$  vnitřní odpor,

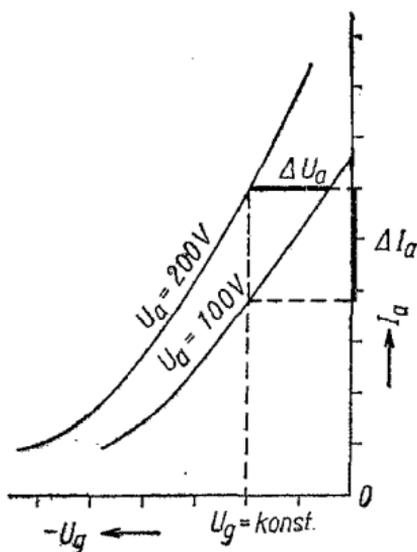
$D$  průnik (desetiný zlomek),

nebo pro běžnější jednotky, je-li průnik dosazován v procentech

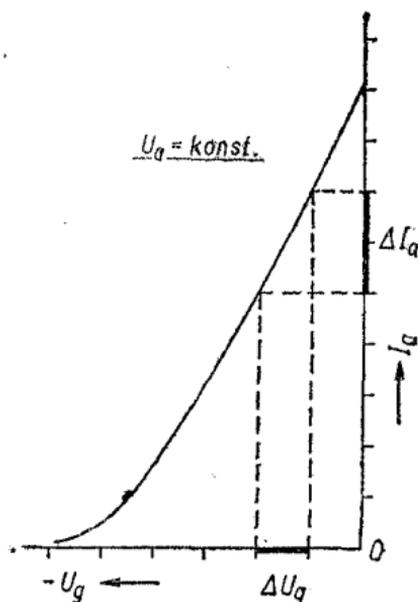
$$SR_1D = 100 \quad [mA/V, k\Omega, \% ; -] \quad (425)$$

*Vnitřní odpor* je poměr změny anodového proudu k určité změně anodového napětí při konstantním napětí mřížky (obr. 49)

$$R_1 = \left| \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \right| \quad U_g = \text{konst} \quad [\Omega; V, A] \quad (426)$$



Obr. 49. Určení vnitřního odporu elektronky



Obr. 50. Určení statické strmosti elektronky

kde  $\Delta U_a$  je změna anodového napětí,  
 $\Delta I_a$  změna anodového proudu,  
 $U_g$  napětí mřížky.

Vnitřní odpor z upravené Barkhausenovy rovnice (425)

$$R_1 = \frac{100}{SD} = \frac{\mu}{S} \quad [\text{k}\Omega; \text{mA/V}, \%; \text{---}, \text{mA/V}] \quad (427)$$

kde  $R_1$  je vnitřní odpor,  
 $S$  strmost,  
 $D$  průnik,  
 $\mu$  zesilovací činitel.

*Strmost* (statická) je poměr změny anodového proudu k určité změně napětí mřížkového při konstantním anodovém napětí (obr. 50)

$$S = \left| \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \right| U_a = \text{konst} \quad [\text{A/V}; \text{A}, \text{V}] \quad (428)$$

nebo z rovnice (427)

$$S = \frac{100}{R_1 D} = \frac{\mu}{R_1} \quad [\text{mA/V}; \text{k}\Omega, \%; \text{---}, \text{k}\Omega] \quad (429)$$

*Průnik* je poměr změny mřížkového napětí k určité změně napětí anodového při konstantním anodovém proudu

$$D = \left| \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a} \right| I_a = \text{konst} \quad [\text{---}; \text{V}, \text{V}] \quad (430)$$

nebo z Barkhausenovy rovnice

$$D = \frac{100}{SR_1} = \frac{100}{\mu} \quad [\%; \text{---}, \text{mA/V}, \text{k}\Omega; \text{---}, \text{---}] \quad (431)$$

*Zesilovací činitel* je poměr změny anodového napětí k určité změně napětí mřížkového při konstantním anodovém

proudu (obr. 51). Zesilovací činitel je převrácenou hodnotou průniku  $\left(\frac{1}{D}\right)$ .

$$\mu = \left| \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \right|_{I_a = \text{konst}} \quad [—; \text{V}, \text{V}] \quad (432)$$

nebo z rovnice (429)

$$\mu = R_1 S = \frac{100}{D} \quad [—; —, \text{k}\Omega, \text{mA/V}; —, \text{‰}] \quad (433)$$

Dosazením výrazů (426) až (430) do Barkhausenovy rovnice a násobením se jednotliví činitelé krátí a vyjde (pro základní jednotky) opět podle vztahu (424)

$$SR_1 D = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \cdot \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \cdot \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a} = 1 \quad [\text{A}, \text{V}] \quad (434)$$

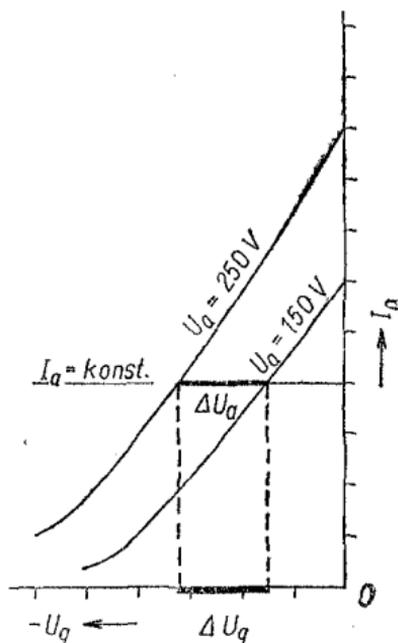
Všechny údaje elektronek totiž nebývají v běžném katalogu uvedeny — aspoň ne číselně. S použitím uvedených vztahů můžeme potřebný chybějící údaj zjistit.

*Příklady:*

1. Triodový systém (obr. 52) sdružené elektronky EABC 80 má při anodovém napětí  $U_a = 250 \text{ V}$  strmost  $S = 1,2 \text{ mA/V}$  a zesilovací činitel  $\mu = 70$ . Jaký je jeho vnitřní odpor?

Dosazením známých hodnot do vztahu (427) zjistíme

$$R_1 = \frac{70}{1,2} = 58,5 \text{ k}\Omega$$

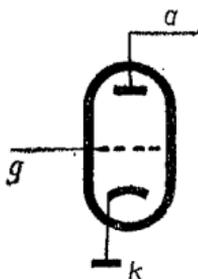


Obr. 51. Určení zesilovacího činitele

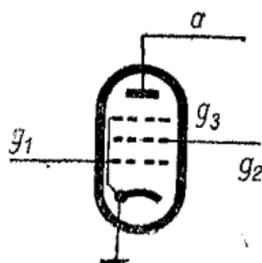
2. jaký volký je průnik této triody?

Podle (431) je

$$D = \frac{100}{70} = 1,43 \% \quad \text{nebo} \quad D = \frac{100}{1,2 \cdot 58,5} = 1,43 \%$$



Obr. 52. Schéma triody



Obr. 53. Schéma pentody

3. U vf pentody EF80 (obr. 53) je v Příručním katalogu TESLA uvedeno — kromě napětí anodového a stínící mřížky a jejich proudů — jen napětí řídicí mřížky —  $U_{g1}$ , strmost  $S = 7,4 \text{ mA/V}$ , vnitřní odpor  $500 \text{ k}\Omega$  a zesilovací činitel řídicí mřížky vůči stínící mřížce. Jaký je zesilovací činitel této pentody? Dosazením do vztahu (433) zjistíme

$$\mu = 500 \cdot 7,4 = 3\,700$$

**Zesílení (zisk) elektronek.** Zesílení stupně s elektronekou může být značně odlišné od jejího zesilovacího činitele, zvláště u pentod. Např. nf pentoda EF86 má  $\mu \doteq 5\,000$ , ale zesílení stupně je pouze asi  $A = 200$ . Záleží velmi na vzájemném poměru vnitřního a vnějšího (zatěžovacího) odporu elektroneky.

Zesílení elektroneky s použitím průniku  $D$  (v desetinném zlomku)

$$A = \frac{R_a}{D(R_a + R_i)} \quad [—; \text{k}\Omega, —, \text{k}\Omega, \text{k}\Omega] \quad (435)$$

nebo zesilovacího činitele

$$A = \frac{\mu R_a}{R_a + R_i} \quad [—; —, \text{k}\Omega, \text{k}\Omega, \text{k}\Omega] \quad (436)$$

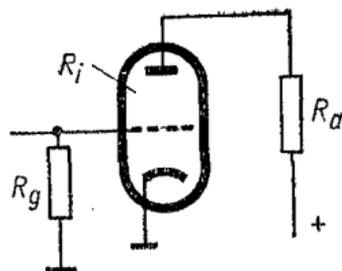
kde  $A$  je zesílení.

Zesílení elektronek s velkým  $R_i$ , např. vysokofrekvenčních pentod, hexod, aj. několikamřížkových elektronek, jejichž vnitřní odpor  $R_i$  je značně větší než zatěžovací odpor  $R_a$ , nelze stanovit s použitím průniku  $D$ , který je nepatrný.

Zesílení elektronky při  $R_i \gg R_a$  s použitím dynamické strmosti

$$A = S_d R_a \quad [—; \text{mA/V, k}\Omega] \quad (437)$$

kde  $S_d$  je dynamická strmost.



Obr. 54. Elektronka s velkým vnitřním odporem

Vztahu (437) používáme hlavně u koncových (výkonových) několikamřížkových elektronek. Tam je dynamická strmost blízká statické strmosti.

*Dynamická strmost (triód)*

a) ze statických hodnot

$$S_d = \frac{SR_i}{R_i + R_a} = \frac{100}{D(R_i + R_a)} \quad [\text{mA/V; mA/V, k}\Omega; —, \%, \text{k}\Omega] \quad (438)$$

b) ze vstupního signálu pro určitý výkon

$$S_d = \sqrt{\frac{P_v}{U_{gst}^2 R_a}} \quad [\text{mA/V; mW, V, k}\Omega] \quad (439)$$

kde  $S_d$  je dynamická strmost,

$P_v$  výstupní střídavý výkon,  
 $U_{gst}$  střídavý signál na mřížce  
 $R_a$  anodový zatěžovací odpor.

Někteří výrobci totiž uváděli potřebnou velikost střídavého signálu přiváděného na mřížku, pro určitý stanovený výkon v anodovém obvodu elektronky, např. pro 50 mW (viz dále příklad 1).

Zesílení obecně je dáno vztahem

$$A = \frac{U_{ast}}{U_{gst}} \quad (440)$$

Vlivem zesílení vstupního signálu  $U_{gst}$  vznikne na anodovém zatěžovacím odporu elektronky střídavé napětí

$$U_{ast} = \sqrt{P_0 R_a} \quad [V; \text{mW}, \text{k}\Omega] \quad (441)$$

(Konečná elektronka má obvykle místo zatěžovacího odporu  $R_a$  impedanci  $Z_a$ .)

*Příklady:*

1. Elektronka ECL86 (pentodová část) potřebuje pro výstupní výkon 50 mW na mřížce střídavý signál o efektivní hodnotě napětí 0,3 V.

a) Jaké střídavé napětí vznikne na anodové impedanci  $Z_a = 7\,000\ \Omega$ ?

b) Jak velká je její dynamická strmost?

c) Jaké poskytuje zesílení jako konečná elektronka?

a) Na anodové impedanci vznikne z výkonu  $P_0 = 50\ \text{mW}$  efektivní hodnota střídavého napětí (441)

$$U_{ast} = \sqrt{50 \cdot 7} = \sqrt{350} = 18,7\ \text{V}$$

b) Dynamická strmost této elektronky (438)

$$S_d = \sqrt{\frac{50}{0,3^2 \cdot 7}} = \sqrt{79} = 8,9\ \text{mA/V}$$

c) V konečném stupni dává tato elektronka napětové zesílení (440)

$$A = \frac{18,7}{0,3} = 62$$

2. Dvojitá trioda ECC82 má v katalogu uvedeny (pro jeden systém) tyto údaje:  $\mu = 17$ ,  $S = 2,2 \text{ mA/V}$ ,  $R_i = 7,7 \text{ k}\Omega$ . V zapojení jako odporový nf zesilovač má zatěžovací odpor  $R_a = 100 \text{ k}\Omega$ .

a) Jaká je v tomto případě její dynamická strmost?

b) Jak velké zesílení poskytuje tento stupeň?

a) Podle vztahu (438)

$$S_d = \frac{2,2 \cdot 7,7}{7,7 + 100} = \frac{17}{107,7} = 0,156 \text{ mA/V}$$

b) Dosadíme známé údaje do vztahu (436)

$$A = \frac{17 \cdot 100}{100 + 7,7} = \frac{1700}{107,7} \doteq 15,8 \text{ přibližně } 16$$

**Obvody RC v zesilovači.** V zesilovacích stupních s elektronkou nebo tranzistorem nelze volit jeden člen — nejčastěji kapacitu k danému odporu — jen z kmitočtu, rovnosti odporu a kapacitní reaktance, protože se tu uplatňuje strmost nebo zesilovací činitel. Nejčastěji jde o obvod katody (nebo emitoru u tranzistoru) a obvod stínící mřížky pentod, hexod a podobných elektronek. V odborné literatuře pro ně najdeme několik více méně složitých vzorců, které dávají často i různé výsledky.

Velikost kapacity nejjednodušeji stanovíme z empirického (pokusného) vzorce.

### 1. Katodový kondenzátor

Potřebná reaktance

$$X_{ck} \leq \frac{R_k}{10} \quad [\Omega; \Omega] \quad (442)$$

kde  $X_{ck}$  je reaktance katodové kapacity,

$\leq$  značí rovno nebo menší,

$R_k$  katodový odpor.

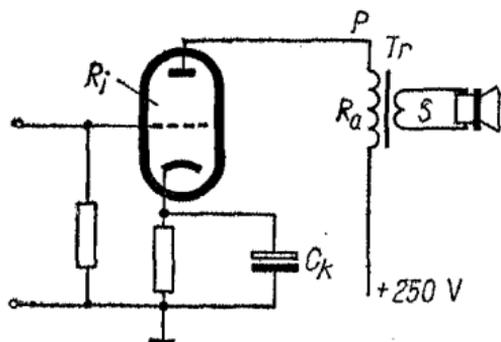
Ze vztahu (442) se vypočítá kapacita, příslušná k danému odporu (obr. 55).

## Kapacita po úpravě vzorce na praktické jednotky

$$C_k \geq \frac{10 \cdot 1,59 \cdot 10^5}{f_d R_k} \doteq \frac{1,6 \cdot 10^6}{f_d R_k} \quad [\mu\text{F}; \text{Hz}, \Omega] \quad (443)$$

kde  $C_k$  je kapacita katodového kondenzátoru,

- $\geq$  rovno nebo větší,
- $f_d$  nejnižší kmitočet,
- $R_k$  katodový odpor.



Obr. 55. K výpočtu katodového kondenzátoru

2. *Katodový odpor* — pokud není udán — se určí z Ohmova zákona z mřížkového předpětí elektronky a jejího anodového proudu

$$R_k = \frac{U_g}{I_a} \quad [\Omega; \text{V}, \text{A}] \quad (444)$$

U několikamřížkových elektronek (pentod apod.) je nutné připočítat i proud těchto mřížek.

$$R_k = \frac{U_g}{I_a + I_{g2} + \dots} \quad [\Omega; \text{V}, \text{A}, \text{A}] \quad (445)$$

3. *Kondenzátor u stínící mřížky* (obr. 56) se počítá rovněž jako katodový kondenzátor, protože stínící mřížka  $g_2$  tvoří s anodou elektronku o určitém zesílení. Proto má též vnitřní

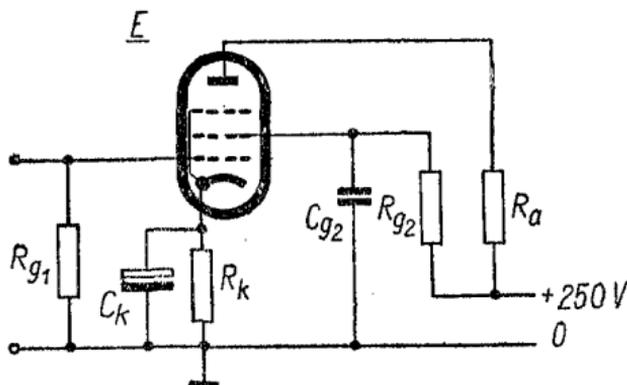
odpor  $R_{1g2}$  — jenže ten nebývá většinou uváděn. (Pohybuje se podle typu elektronky mezi 50 až 250 k $\Omega$ .) Výsledný odpor ve stínící mřížce by měl být roven paralelnímu zapojení

$$R_{g2} = \frac{R_{gs}R_{1g2}}{R_{gs} + R_{1g2}} \quad (446)$$

kde  $R_{g2}$  je výsledný odpor,

$R_{gs}$  odpor ve stínící mřížce,

$R_{1g2}$  vnitřní odpor mezi  $g_2$  — a.



Obr. 56. Výpočet kondenzátoru stínící mřížky

Neznáme-li velikost  $R_{1g2}$ , použijeme větší kapacitu  $C_{g2}$ , jejíž reaktance  $X_{Cg2}$  vliv paralelního spojení obou odporů bezpečně pokryje.

Potřebná reaktance kondenzátoru

$$X_{Cg2} \leq \frac{R_{g2}}{5} \quad [\Omega; \Omega] \quad (447)$$

kde  $X_{Cg2}$  je reaktance kondenzátoru u stínící mřížky,

$R_{g2}$  odpor stínící mřížky.

Kapacita (po úpravě pro běžné jednotky)

$\alpha$ ) pro nf

$$C_{g2} \geq \frac{5 \cdot 1,59 \cdot 10^6}{f_d R_{g2}} = \frac{8 \cdot 10^6}{f_d R_{g2}} \quad [\mu\text{F}; \text{---}, \text{Hz}, \Omega] \quad (448)$$

kde  $C_{g2}$  je kapacita u mřížky  $g_2$ ,  
 $f_d$  nejnižší kmitočet,  
 $R_{g2}$  odpor stínící mřížky;

$\beta$ ) pro vf

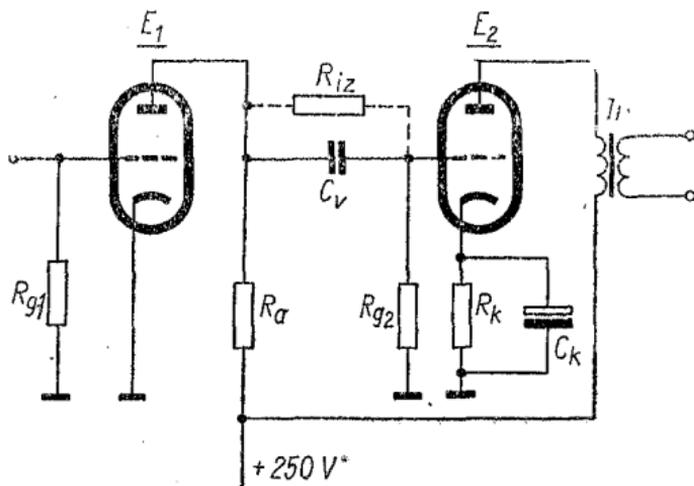
$$C_{g2} \geq \frac{8 \cdot 10^6}{f_d R_{g2}} \quad [\text{pF}; \text{kHz}, \text{k}\Omega] \quad (449)$$

4. *Vazební kondenzátor. Kapacita.* Kapacitní vazební člen mezi elektronkovými nebo tranzistorovými stupni sice počítáme z rovnosti  $R$  a  $X_C$ , ale jako odpor  $R$  zde musíme brát výsledný odpor paralelně spojených odporů  $R_1$  a  $R_a$  a s ním v sérii mřížkový odpor  $R_g$  následujícího stupně.

*Triody* (obr. 57)

Výsledný odpor

$$R = \frac{R_a R_1}{R_a + R_1} + R_g \quad (450)$$



Obr. 57. K výpočtu vazebního kondenzátoru triod

kde  $R$  je výsledný odpor,

$R_a$  anodový odpor elektronky,

$R_i$  vnitřní odpor elektronky,

$R_g$  mřížkový odpor následující elektronky.

### *Pentody*

Výsledný odpor. U zesilovacího stupně s „napětovou“ (nikoli výkonovou) pentodou je možné většinou její vnitřní odpor  $R_i$  zanedbat, neboť je mnohonásobně větší než  $R_a$ , tedy se ve výsledku příliš neuplatňuje. Pro zběžný návrh stačí u pentody uvažovat

$$R = R_a + R_g \quad (451)$$

Jinak se výsledný odpor určí stejně jako pro triody.

Pro jistotu nezakresleného přenosu nejnižšího kmitočtu volíme raději hodnotu

$$X_{C_v} = R/2 \quad (452)$$

Nechceme-li hledat vazební kapacitu podle reaktance v tabulkách (nebo není-li tam hledaná hodnota obsažena), použijeme vztahu:

$$C_v \doteq \frac{1,6 \cdot 10^8}{f_d R} \quad [\text{pF}; \text{Hz}, \text{k}\Omega] \quad (453a)$$

kde  $C_v$  je vazební kapacita,

$f_d$  nejnižší kmitočet,

$R$  výsledný odpor

nebo s jistotou podle vztahu (452)

$$C_v = \frac{3,2 \cdot 10^8}{f_d R} \quad [\text{pF}; \text{Hz}, \text{k}\Omega] \quad (453b)$$

*Izolační odpor (svod)*. Vazební kondenzátor mezi elektronkami musí mít velký izolační odpor, to znamená malý svod. Jinak jím proniká část kladného napětí z anody předchozí elektronky na mřížku následujícího stupně a snižuje záporné

předpětí, takže stoupá její anodový proud a nastává zkreslení reprodukce. V těžších případech dochází k poškození nebo i zničení elektronky, zvláště strmé koncové pentody (viz obr. 57).

Izolační odpor vazebního kondenzátoru má být — podle napětí na anodě předechozí elektronky a předpětí elektronky následující

$$R_{iz} \geq 1\,000 R_g \quad [M\Omega; M\Omega] \quad (454)$$

kde  $R_{iz}$  je izolační odpor kondenzátoru,  
 $R_g$  následující mřížkový odpor.

Izolační odpor vazebního kondenzátoru

$$R_{iz} = \frac{R_g U_a}{\Delta U_g} - R_g \quad [M\Omega; M\Omega; V, V] \quad (455)$$

kde  $U_a$  je napětí na anodě,  
 $\Delta U_g$  přípustná změna mřížkového napětí,  
 $R_g$  mřížkový odpor následující elektronky.

### 5. Zatěžovací odpor elektronek.

a) zesilovací stupeň s triodou v transformátorové vazbě pro dobrý přenos nízkých kmitočtů

$$R_a = (2 \text{ až } 3) R_1 \quad (456)$$

kde  $R_a$  je primární impedance transformátoru,  
 $R_1$  vnitřní odpor triody;

b) zesilovací stupeň s triodou v odporové vazbě. Zásadně volíme odpor  $R_a$  tak velký, pokud paralelní parazitní kapacity (spojů, vnitřní kapacity elektronky) nepůsobí útlum vysokých kmitočtů. Běžně bývá

$$R_a = (5 \text{ až } 10) R_1 \quad (457)$$

nejčastěji 50 až 200 k $\Omega$  (viz obr. 54).

Parazitní kapacita  $C_p$  se skládá z několika složek

$$C_p = C_a + C_s + C_{g1} + C_m \quad [\text{pF}; \text{pF}] \quad (458)$$

kde  $C_a$  je výstupní kapacita elektronky,

$C_s$  kapacita spojů,

$C_{g1}$  statická kapacita mřížky následující elektronky,

$C_m$  Millerova kapacita.

Millerova kapacita  $C_m$  je průchozí kapacita následující elektronky, zvětšená stupněm zesílení — tzv. Millerovým jevem:

$$C_m = C_{ga}(1 + A) \quad [\text{pF}; \text{pF}, -] \quad (459)$$

kde  $C_{ga}$  je kapacita mřížka — anoda,

$A$  zesílení elektronky.

Ačkoli kapacity elektronek bývají v katalogu uváděny, nemusíme se jimi při běžném návrhu nf odporového stupně ani zabývat. Jednak některé hodnoty (např. kapacitu spojů) přesně neznáme, jednak celý návrh je empirický, takže přesný výpočet nemá význam.

Z praxe vyplývá, že kapacita  $C_p$  bývá většinou 15 až 25 pF, což pro běžně používané hodnoty součástí odporové vazby postačí pro nezeslabený přenos kmitočtů do 80 až 100 kHz, tedy bezpečně pro celé — i hifi — pásmo (rozsah 30 až 20 000 Hz).

c) Zesilovací stupeň se zesilovací pentodou v odporové vazbě (viz obr. 56). Pentoda má velmi značný vnitřní odpor (řádově několik MΩ). Velikost zatěžovacího odporu volíme

$$R_a = (0,1 \text{ až } 0,25) R_i \quad (460)$$

*Poznámka:* Je-li řazeno několik zesilovacích stupňů za sebou, útlum kmitočtů (dolních i horních) se násobí!

b) Výkonové (koncové) stupně. Jednoduchý výkonový stupeň třídy A s triodou má — podobně jako stupeň zesilovací — zatěžovací odpor

$$R_a = (2 \text{ až } 3) R_i \quad (461)$$

kde zatěžovací odpor  $R_a$  je v praxi roven impedanci primárního vinutí výstupního transformátoru.

Jednoduchý výkonový stupeň třídy A s *pentodou*. Zatěžovací odpor určíme přibližně ze statických (stejnoseměrných) hodnot

$$R_a = \frac{U_a}{I_a} \quad [\text{k}\Omega; \text{V}, \text{mA}] \quad (462)$$

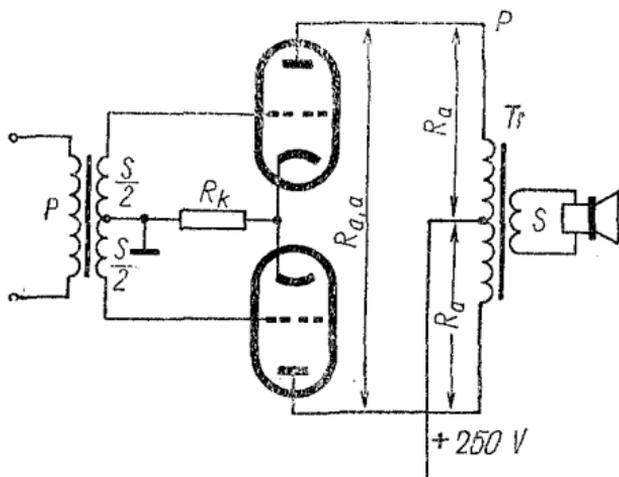
kde  $R_a$  je impedance primárního vinutí výstupního transformátoru,

$U_a$  napětí na anodě elektronky,  
 $I_a$  její anodový proud.

Optimální zatěžovací odpory konečných elektronek uvádí výrobce.

*Dvojčinný výkonový stupeň třídy A* — triody i pentody (obr. 58). U dvojčinných stupňů se udává zatěžovací odpor „od anody k anodě“ (popř. u tranzistorových stupňů od kolektoru ke kolektoru)

$$R_{a, a} = 2R_a \quad (463)$$



Obr. 58. Schéma zapojení dvojčinného výkonového stupně

kde  $R_{a,a}$  je odpor mezi anodami,

$R_a$  doporučený odpor jedné elektronky.

Velikost odporu  $R_a$  se určí jako u jednoduchého stupně třídy A pro příslušný typ elektronky (pro triodu nebo pro pentodu). Dvojitý výkonový stupeň třídy B — triody i pentody

$$R_{a,a} = 4R_a \quad (464)$$

*Poznámka:* V praxi se ovšem někdy uvedené hodnoty přesně nedodržují, je-li to v zájmu největší účinnosti nebo naopak malého zkreslení, popř. zvláště úsporného provozu (např. u bateriových elektronek a tranzistorů).

*Příklady:*

1. Koncová pentoda má při napětí na anodě i stínící mřížce  $U_a = U_{g2} = 250$  V, anodový proud  $I_a = 36$  mA, proud stínící mřížky  $I_{g2} = 4$  mA. Předpětí řídicí mřížky  $U_{g1} = -8$  V. Jaký musí být katodový odpor? A na jaké wattové zatížení?

Podle vztahu (445)

$$R_k = \frac{8}{36 + 4} = \frac{8}{40} = 0,2 \text{ k}\Omega \text{ neboli } 200 \Omega$$

Odpor bude zatížen (podle známého vztahu  $P = RI^2$ )

$$P = 200 \cdot 0,04^2 = 0,32 \text{ W}$$

zaokrouhlíme na normalizovanou velikost 0,5 W.

2. Jak velký katodový kondenzátor potřebujeme pro předchozí příklad, aby byly reprodukovány hluboké tóny do 40 Hz se zanedbatelným útlumem?

Dosadíme do upraveného vztahu (443) a zjistíme

$$C_k = \frac{1,6 \cdot 10^6}{40 \cdot 200} = 1\,600\,000 : 8\,000 = 200 \mu\text{F}$$

3. Nf zesilovací pentoda EF86 má ve stínící mřížce odpor 400 k $\Omega$ . Jakým kondenzátorem jej musíme přemostit na kostru, aby byl zesilován ještě kmitočet 40 Hz? Vnitřní odpor  $R_{ig2}$  není udán.

V tom případě dosadíme dané údaje do empirického vzorce (448) pro nf kmitočty:

$$C_{g2} = \frac{8 \cdot 10^6}{40 \cdot 400\,000} = \frac{8 \cdot 10^6}{16 \cdot 10^6} = 0,5 \mu\text{F}$$

4. Předzesilovač (preselekcí) v pentoda má ve stínící mřížce odpor  $R_{g2} = 20 \text{ k}\Omega$ . Jak velká musí být jeho přemostovací kapacita, aby byl bez útlumu zesilován i rozsah dlouhých vln? (Vnitřní odpor  $R_{1g2}$  můžeme z úvahy vypustit.)

Dlouhé vlny končí u 150 kHz; počítáme-li pro rezervu s mezním kmitočtem  $f_d = 100 \text{ kHz}$ , dostaneme ze vztahu (449) kapacitu

$$C_{g2} = \frac{8 \cdot 10^6}{100 \cdot 20} = \frac{8\,000\,000}{2\,000} = 4\,000 \text{ pF}$$

zvolíme normalizovanou velikost 3 900 nebo 4 700 pF.

5. Jakou vazební kapacitu potřebujeme do odporové vazby mezi elektronkami EF86 o vnitřním odporu  $R_1 = 2,5 \text{ M}\Omega$  s vnějším zatěžovacím odporem  $R_a = 100 \text{ k}\Omega$  a koncovou pentodou EL84 s mřížkovým odporem  $R_g = 0,8 \text{ M}\Omega$  pro dolní mezní kmitočet  $f_d = 35 \text{ Hz}$ ?

Výsledný odpor (450)

$$R = \frac{2\,500 \cdot 100}{2\,500 + 100} + 800 = 96 + 800 = 896 \text{ k}\Omega$$

Potřebná vazební kapacita (453b)

$$C_v = \frac{3,2 \cdot 10^8}{35 \cdot 896} = \frac{3,2 \cdot 10^8}{3,14 \cdot 10^4} = 10\,200 \text{ pF}$$

Použijeme normalizované velikosti

$$C_v = 10\,000 \text{ pF} = 10 \text{ nF}$$

6. Jak velký izolační odpor (svod) musí mít tento vazební kondenzátor, aby předpětí na mřížce koncové pentody se nezměnilo o více než +0,1 V, je-li na anodě předchozí pentody napětí  $U_a = 150 \text{ V}$ ? Izolační odpor (svod) kondenzátoru má být podle (455)

$$R_{iz} = \frac{0,8 \cdot 150}{0,1} = 0,8 = 1\,199,2 \text{ přibližně } 1\,200 \text{ M}\Omega$$

7. Předzesilovač osazený polovinou dvojité triody ECC88 s vnitřním odporem  $R_1 = 2,5 \text{ k}\Omega$  má pracovat do výstupního linkového transformátoru o impedanci sekundárního vinutí  $600 \Omega$ . Jakou musí mít tento transformátor impedanci primárního vinutí, aby přenášel bez útlumu ještě kmitočet  $f_d = 50 \text{ Hz}$ ?

Impedance  $Z$  — jak již bylo dříve odvozeno — je pro nízké kmitočty téměř totožná se zatěžovacím odporem  $R_a$ . Proto podle vztahu (456) musí být impedance

$$Z = R_a = 2R_1 = 5\,000\ \Omega$$

8. Nf pentoda EF86 má zesilovat nf signál v odporové vazbě. Jaký k ní zvolíme anodový odpor  $R_a$ , je-li její vnitřní odpor  $R_1 = 2,5\ \text{M}\Omega$ ?

Podle vztahu (460) zvolíme např.

$$R_a = 0,25\ \text{M}\Omega = 250\ \text{k}\Omega$$

9. Rozhlasový přijímač má na koncovém stupni devítiwattovou triodu-pentodu ECL86. Anodové napětí je  $U_a = 250\ \text{V}$ , anodový proud elektronky  $I_a = 36\ \text{mA}$ . Jaký je vhodný zatěžovací odpor této pentody?

Podle vztahu (462) je zatěžovací odpor

$$R_a = \frac{250}{36} = 6,95\ \text{k}\Omega, \text{ přibližně } 7\ \text{k}\Omega$$

10. Starší zesilovač má dvojčinný koncový stupeň třídy B s dvěma triodami AD1. Pro ty je v katalogu udán zatěžovací odpor  $R_a = 2,3\ \text{k}\Omega$  (pro jednu elektronku). Jaký zatěžovací odpor (impedanci) má výstupní transformátor od anody k anodě?

Podle vztahu (464) je celý zatěžovací odpor

$$R_{a,a} = 4 \cdot 2,3 = 9,2\ \text{k}\Omega, \text{ přibližně } 9\ \text{k}\Omega$$

11. Určete kapacitu vazebního kondenzátoru mezi elektronkami EABC80 s anodovým zatěžovacím odporem  $R_a = 100\ \text{k}\Omega$  a koncovou pentodou EL84 s mřížkovým odporem  $R_g = 500\ \text{k}\Omega$  pro nejnižší kmitočet, přenášený s útlumem  $-3\ \text{dB}$  (asi  $-30\ \%$ ),  $f_d = 50\ \text{Hz}$ .

Trioda elektronky EABC80 má vnitřní odpor  $R_1 = 58\ \text{k}\Omega$ . Výsledný odpor (450)

$$R = \frac{100 \cdot 58}{100 + 58} + 500 = \frac{5\,800}{158} + 500 = 36,8 + 500 = 537\ \text{k}\Omega$$

Vazební kondenzátor (453)

$$C_v = \frac{1,59 \cdot 10^7}{2,15 \cdot 10^4} = 7,4 \cdot 10^3\ \text{pF} = 7\,400\ \text{pF}$$

Použijeme normalizované velikosti z řady E 24 o  $7\,500\ \text{pF}$  nebo nejbližše vyšší z řady E 12, tj.  $8\,200\ \text{pF}$ .

**Kmitočtová korekce koncového stupně.** Nejjednodušší korekce koncového stupně ve starších rozhlasových přijímačích spočívala v paralelním připojení kondenzátoru 3 až 10 nF k primárnímu vinutí výstupního transformátoru. Tím se zabránilo nejen vysokofrekvenčnímu rozkmitání koncového stupně (zvláště se strmou pentodou), ale omezil se „v zájmu příjemnější reprodukce“ i přednes vyšších tónových kmitočtů.

Určitá korekce je u jednoduchých přijímačů (s jedním reproduktorem) namísto i dnes. Impedance reproduktoru není totiž konstantní v celém kmitočtovém pásmu; kromě určité špičky, dané mechanickou rezonancí kmitacího systému na nízkých kmitočtech, se asi od 1 kHz směrem nahoru plynule zvětšuje.

To lze do jisté míry kompenzovat paralelním připojením tlumivého členu  $RC$  (v zahraniční literatuře zvaného Boucherotův (bušeró) článek) k výstupnímu transformátoru jednoduchého i dvojčinného stupně, případně nízkofrekvenční zápornou zpětnou vazbou.

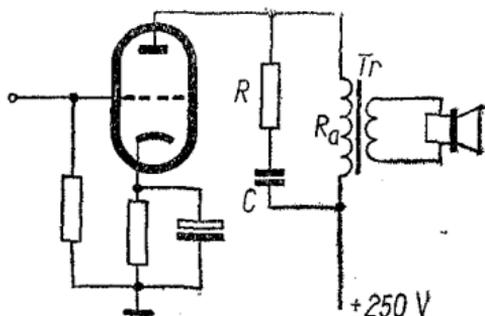
a) člen  $RC$  (obr. 59).

Odpor  $R$  pro jednoduchý stupeň se u tohoto článku volí

$$R = R_a \quad [\text{k}\Omega; \text{k}\Omega] \quad (465)$$

kdě  $R$  je tlumivý odpor,

$R_a$  zatěžovací odpor koncového stupně,



Obr. 59. Jednoduchá kmitočtová korekce

pro dvojčinný stupeň

$$R = R_{a,a} \quad (466)$$

kde  $R_{a,a}$  je zatěžovací odpor mezi anodami elektronek.<sup>1)</sup>

Kapacita  $C$  (upravený vzorec)

$$C = \frac{1,59 \cdot 10^8}{f_0 R} \quad [\text{pF}; \text{Hz}, \text{k}\Omega] \quad (467)$$

kde  $C$  je kapacita kondenzátoru,

$f_0$  mezní kmitočet,

$R$  tlumicí odpor.

Mezní kmitočet

$$f_0 = \frac{1,59 \cdot 10^8}{RC} \quad [\text{Hz}; \text{k}\Omega, \text{pF}] \quad (468)$$

kde  $f_0$  je mezní (dělicí) kmitočet,

$R$  odpor článku,

$C$  kapacita článku.

Kmitočet  $f_0$  volíme na horním konci žádaného přenášeného pásma nebo těsně pod ním. Směrem k vyšším kmitočetům než  $f_0$  zůstává útlum článku konstantní — úměrný velikosti odporu  $R$ .

*Upozornění:* Při kmitočtech vyšších než  $f_0$  ztrácí se na odporu  $R$  více než polovina celého  $n_f$  výkonu koncového stupně. Podle toho je nutné volit zatížitelnost tohoto odporu. Protože však tzv. hudební výkon přijímače nebo zesilovače nedosahuje plného výkonu trvale, postačí odpor asi na 1/4 až 1/3 výstupního výkonu (např. pro výkon 4 W zvolíme odpor  $R$  pro zatížení 1 W).

*Příklad:*

Dvojčinný koncový stupeň tranzistorového přijímače dává  $n_f$  výkon 0,2 W; zatěžovací odpor mezi kolektory obou tranzistorů

<sup>1)</sup> Nebo  $R_{c,c}$  — mezi kolektory tranzistorů.

$R_{C, c} = 850 \Omega$ . Pro korekci chceme použít popsaný článek  $RC$  s úmyslným potlačením kmitočtů nad 5 000 Hz. Jaké hodnoty budou mít jednotlivé složky útlumového článku?

Odpor volíme (465)  $R = 850 \Omega = 0,85 \text{ k}\Omega$ . Kondenzátor pro mezní kmitočet  $f_0 = 5\,000 \text{ Hz}$  (467)

$$C = \frac{1,59 \cdot 10^8}{5\,000 \cdot 0,85} = 3\,7500 \text{ pF}$$

Zvolíme nejbližší velikost v normalizované řadě, tj. 39 nF.

Také v řadě odporů nenajdeme 850  $\Omega$ , nýbrž jen 820  $\Omega$ . Menší odpor a větší kapacita se zde vyrovnají.

Výstupní výkon je poměrně malý, takže vystačíme s nejmenším typem odporu  $R$ , tj. pro zatížení 0,125 W.

**Nízkofrekvenční záporná zpětná vazba.** Záporná zpětná vazba zmenšuje zkreslení a ovlivňuje vnitřní odpor zesilovače. Zmenšuje ovšem i zesílení.

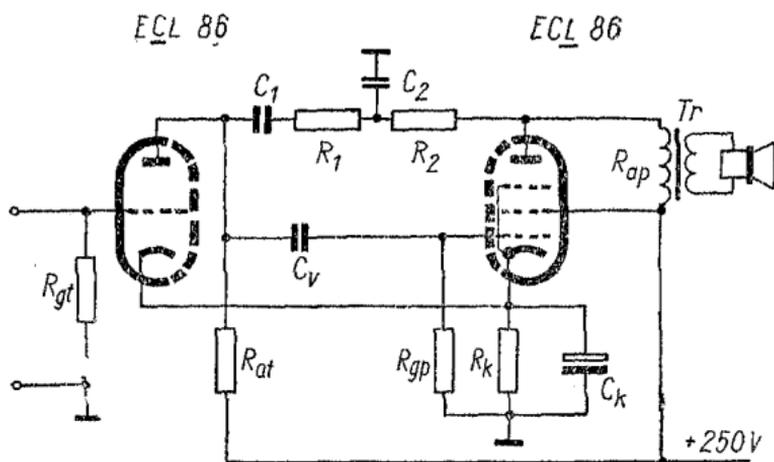
Zpětná vazba napětím vnitřní odpor koncové elektronky zmenšuje, zpětná vazba proudem naopak vnitřní odpor zvětšuje. Protože se dnes používá téměř výhradně pentod, všimneme si jen záporné zpětné vazby napětím. U ní se část výstupního napětí převádí na vstup zesilovače nebo zesilovacího stupně. Přitom je možné měnit i kmitočtový průběh větším nebo menším útlumem některých kmitočtů a tak zdůraznit v přednesu hluboké nebo vysoké tóny.

*Záporná zpětná vazba napětím* (obr. 60). Nejběžnější je případ, kdy koncová pentoda je buzena z předchozí elektronky pomocí odporové vazby. Pak lze zpětnou vazbu zavést spojením anod koncového a budicího stupně odporem, členem CR apod.

Vstupní odpor  $R$  koncové elektronky je dán paralelním zapojením mřížkového odporu  $R_g$  a anodového odporu  $R_a$  předchozí budicí elektronky. K nim je ještě paralelně přiřazen vnitřní odpor  $R_i$  budicí elektronky — ten však je u pentod tak velký, že jej můžeme v praxi vynechat; u triod s ním ovšem počítáme. Vstupní odpor elektronky

$$R = \frac{R_a R_g}{R_a + R_g} \quad (469)$$

kde  $R$  je výsledný odpor,  
 $R_a$  anodový odpor,  
 $R_g$  mřížkový odpor.



Obr. 60. Záporná zpětná vazba napětím

Činitel útlumu (zmenšení zesílení a zkreslení)

$$\gamma = \frac{1}{1 + \beta A} \quad (470)$$

kde  $\gamma$  je činitel útlumu,  
 $\beta$  činitel zpětné vazby,  
 $A$  zesílení stupně.

Zesílení se zpětnou vazbou

$$A' = \frac{1}{1 + \beta A} = \gamma A \quad (471)$$

Velikost zpětné vazby [dB]

a) z poměru zesílení

$$K = 20 \log \frac{A}{A'} \quad [\text{dB}; -, -] \quad (472)$$

kde  $K$  je velikost zpětné vazby,  
 $A$  zesílení bez zpětné vazby,  
 $A'$  zesílení se zpětnou vazbou;

b) z činitele zpětné vazby

$$K = 20 \log (1 + \beta A) \quad [\text{dB}; -, -] \quad (473)$$

kde  $\beta$  je činitel zpětné vazby,  
 $\log$  logaritmus (dekadický),  
 $A$  zesílení stupně.

Činitel zpětné vazby (část výstupního napětí, přiváděná zpět na vstup)

$$\beta = \frac{1 - \gamma}{\gamma A} \quad (474)$$

nebo s použitím poměru odporů

$$\beta = \frac{R}{R + R_1 + R_2} \quad (475)$$

kde  $R$  je výsledný vstupní odpor,  
 $R_1, R_2$  odpory zpětné vazby.

Zpětnovazební odpory

$$R_1 + R_2 = \frac{R - \beta R}{\beta} \quad (476)$$

Vnitřní odpor stupně

$$R'_i = \frac{R_i}{1 + \beta \mu} = \frac{R_i}{1 + \beta S R_i} \quad [\text{k}\Omega, \text{k}\Omega, -; \text{k}\Omega, -, \text{k}\Omega] \quad (477)$$

kde  $R'_i$  je vnitřní odpor při zpětné vazbě,  
 $R_i$  vnitřní odpor bez zpětné vazby,  
 $\beta$  činitel zpětné vazby,  
 $\mu$  zesilovací činitel,  
 $S$  strmost elektronky.

Zařazením kondenzátoru  $C_1$  do větve zpětné vazby lze zdůraznit nízké kmitočty v reprodukci, neboť kondenzátor je v záporné vazbě potlačuje. Kdybychom chtěli podobně zdvihát vysoké kmitočty, připojíme mezi spojení odporů  $R_1 - R_2$  a kostru kondenzátor  $C_2$  (nebo použijeme místo pevných odporů  $R_1, R_2$  potenciometr a kondenzátor  $C_2$  připojíme na jeho běžec; tak můžeme zdvih vysokých kmitočtů nastavovat).

#### Příklad:

Pro jednoduchý zesilovač se sdruženou triodou-pentodou ECL86 v odporové vazbě navrhnete zápornou zpětnou vazbu napětím, aby zkroslení na 1 kHz kleslo na 20 % původní velikosti. Přitom proveďte čtyřnásobné zdůraznění nejnižších kmitočtů (prakticky 50 Hz) oproti 1 kHz a zdůraznění vyšších kmitočtů od 4 000 Hz. Máme určit:

1. Jaké napětové zesílení má koncová pentoda?
2. Jaký je výsledný odpor pro střídavý signál na vstupu pentody?
3. Jak velký je potřebný činitel zpětné vazby?
4. Jaká bude velikost odporů  $R_1, R_2$  mezi anodami?
5. Jaké je napětové zesílení se zpětnou vazbou?
6. Jakou velikost má zpětná vazba (v decibelech)?
7. Jak se změní vnitřní odpor koncové pentody zpětnou vazbou?
8. Jak provedeme požadované zvýšení basů, aby na  $f = 50$  Hz bylo asi čtyřnásobné?
9. Jak získáme zvýšení vysokých tónů a na kterém kmitočtu by bylo asi čtyřnásobné?

Katalog TESLA uvádí pro elektronku ECL86 při anodovém napětí  $U_a = 250$  V tyto údaje: Pentodová část — strmost  $S = 10$  mA/V,  $R_1 = 48$  k $\Omega$ , anodový proud  $I_a = 36$  mA, proud stínící mřížky  $I_{g2} = 6$  mA, mřížkové předpětí  $-7$  V. Mřížkový odpor  $R_{g\max} = 1$  M $\Omega$ .

Triodová část — Strmost  $S = 1,6$  mA/V, vnitřní odpor  $R_1 = 62,5$  k $\Omega$ , zesilovací činitel  $\mu = 100$ , doporučený anodový odpor při odporové vazbě  $R_a = 220$  k $\Omega$ , anodový proud  $I_a = 1,2$  mA, mřížkové předpětí  $U_g = -1,9$  V, mřížkový odpor  $R_{g\max} = 2$  M $\Omega$ .

1. Napětové zesílení pentody určíme z dynamické strmosti (438)

$$S_a = \frac{SR_1}{R_1 + R_a} = \frac{10 \cdot 48}{48 + 7} = \frac{480}{56} = 8,6 \text{ mA/V}$$

Zesílení

$$A = S_d R_a = 8,6 \cdot 7 = 60$$

2. Odpor pro střídavý signál na vstupu pentody: Výstupní odpor triody (437)

$$R_t = \frac{R_a \cdot R_1}{R_a + R_1} = \frac{220 \cdot 62,5}{220 + 62,5} \doteq 48 \text{ k}\Omega$$

Výsledný vstupní odpor pentody (469)

$$R_p = \frac{R_t \cdot R_g}{R_t + R_g} = \frac{48 \cdot 1\,000}{48 + 1\,000} = \frac{48\,000}{1\,048} = 45,8 \text{ k}\Omega$$

přibližně 46 kΩ.

3. Činitel útlumu je dán,  $\gamma = 0,2$ . Činitel zpětné vazby (474)

$$\beta = \frac{1 - \gamma}{\gamma A} = \frac{0,8}{0,2 \cdot 60} = \frac{0,8}{12} = 0,066$$

4. Potřebná velikost zpětnovazebních odporů mezi anodami (476)

$$R_1 + R_2 = \frac{R_p - \beta R_p}{\beta} = \frac{46 - (0,066 \cdot 46)}{0,066} = 651 \text{ k}\Omega$$

přibližně 650 kΩ.

Použijeme dvou odporů normalizované velikosti po 320 kΩ v sérii.

5. Zesílení se zpětnou vazbou (471)

$$A' = \frac{A}{1 + \beta A} = \frac{60}{1 + (0,066 \cdot 60)} \doteq \frac{60}{5} = 12$$

6. Velikost zpětné vazby [dB] (473)

$$K = 20 \log(1 + \beta A) = 20 \log(1 + 0,066 \cdot 60) = 20 \log 5 = \\ = 13,98, \text{ přibližně } 14 \text{ dB}$$

7. Vnitřní odpor pentody při zpětné vazbě (477)

$$R'_1 = \frac{R_1}{1 + \beta S R_1} = \frac{48}{1 + (0,066 \cdot 10 \cdot 48)} = \frac{48}{32,7} = 1,47 \text{ k}\Omega$$

oproti odporu bez zpětné vazby  $R_1 = 48 \text{ k}\Omega$ .

8. Zdůraznění nejnižších kmitočtů provedeme zařazením kapacity  $C_1$  do série se zpětnovazebními odpory  $R_1 + R_2$ . Má-li být maximum na  $f = 50 \text{ Hz}$  a zvýšení čtyřnásobné, zvolíme dělicí kmitočet o 2 oktávy vyšší (neboť člen  $CR$  má průběh 6 dB/okt, tj. dvojnásobek na oktávu). Dělicí (mezní) kmitočet  $f = 50 \cdot 2^2 = 50 \cdot 4 = 200 \text{ Hz}$ . Kapacita pro tento kmitočet při daném odporu  $R_1 + R_2 = 640 \text{ k}\Omega$

$$C_1 = \frac{1,6 \cdot 10^8}{1,28 \cdot 10^5} = 1,25 \cdot 10^3 = 1\,250 \text{ pF}$$

Nejbližší normalizovaná velikost je  $1\,200 \text{ pF} = 1,2 \text{ nF}$ .

9. Zvednutí vysokých kmitočtů se provede jejich odvedením ze zpětnovazební smyčky kapacitou  $C_2$  na kostru (spojenou s katodou elektronky). Kondenzátor připojíme na spojku odporů  $R_1 - R_2$ , takže bude pro tento účel v činnosti jen jeden odpor. Potom kapacita potřebná pro dělicí kmitočet  $f = 4\,000 \text{ Hz}$  bude jako v předešlém případě (467)

$$C_2 = \frac{1,6 \cdot 10^8}{4\,000 \cdot 320} = 125 \text{ pF}$$

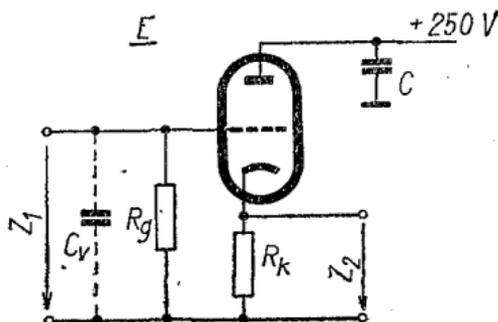
opět použijeme normalizovanou velikost  $C_2 = 120 \text{ pF}$ .

Kmitočet, na němž by zvýšení bylo čtyřnásobné, je o dvě oktávy vyšší než dělicí, tj.  $4\,000 \cdot 2^2 = 4\,000 \cdot 4 = 16\,000 \text{ Hz}$ .

*Poznámka:* Vzhledem ke kmitočtovým korekcím udáváme a uvažujeme parametry zesilovače se zápornou zpětnou vazbou, jako zesílení, vnitřní odpor, stupeň zpětné vazby apod. na středních kmitočtech, např. na  $1 \text{ kHz}$ , kde korekce ještě prakticky nepůsobí.

**Katodový sledovač.** Katodový sledovač slouží jako transformátor impedancí. Vstupní impedance pro přiváděný signál je velká (při malé parazitní kapacitě), výstupní signál se odebrá z malé impedance katodového obvodu.\*) Tento stupeň ovšem nezesiluje, zesílení  $A < 1$  vlivem velké záporné zpětné vazby mezi výstupním a vstupním obvodem, vznikající na nepřemostěném katodovém odporu (obr. 61).

Obr. 61. Schéma katodového sledovače



\*) Proto se v literatuře nazývá také stupněm s uzemněnou anodou.

Podobného zapojení se používá u tranzistorů (emitorový sledovač, tranzistor s uzemněným kolektorem). Vstupní signál se přivádí většinou na bázi a odebírá z emitorového odporu. Zesílení sledovače

$$A = \frac{\mu R_k}{R_1 + R_k(\mu + 1)} \quad [—; \text{k}\Omega, \text{k}\Omega, —] \quad (478)$$

kde  $A$  je zesílení stupně,  
 $R_k$  odpor v katodě,  
 $R_1$  vnitřní odpor elektronky,  
 $\mu$  zesilovací činitel

nebo s použitím průniku

$$A = \frac{R_k}{R_1 D + R_k(1 + D)} \quad [—; \text{k}\Omega, \text{k}\Omega, —, \text{k}\Omega, —] \quad (479)$$

kde  $D$  je průnik.

Výstupní impedance

$$Z_2 = \frac{R_1}{1 + \mu} \doteq \frac{1}{S} \quad [\text{k}\Omega, \text{k}\Omega, —; \text{mA/V}] \quad (480)$$

kde  $Z_2$  je výstupní impedance,  
 $\mu$  zesilovací činitel,  
 $S$  strmost.

Vstupní impedance

$$Z_1 = \frac{R_g}{1 - A} \quad [\text{k}\Omega; \text{k}\Omega, —] \quad (481)$$

kde  $Z_1$  je vstupní impedance,  
 $R_g$  mřížkový odpor,  
 $A$  zesílení stupně.

Jak je vidět, vstupní impedance katodového sledovače je vlivem velké záporné zpětné vazby mnohonásobně větší

než vstupní odpor elektronky. Také vstupní kapacita je menší, než by odpovídalo zesilovacímu stupni.

Vstupní kapacita

$$C_v = C_{ag} + C_{gk}(1 - A) \quad [\text{pF}; \text{pF}, \text{pF}, -] \quad (482)$$

kde  $C_v$  je celková vstupní kapacita,

$C_{ag}$  kapacita mezi anodou a mřížkou,

$C_{gk}$  kapacita mezi mřížkou a katodou,

$A$  zesílení stupně.

Tak malá kapacita se neuplatní na nízkých kmitočtech vůbec, a spolu s velkou vstupní impedancí jen nepatrně na vysokých kmitočtech. Proto se katodový sledovač hodí, jako impedanční transformátor pro nízké i vysoké kmitočty zvláště použijeme-li strmé vysokofrekvenční pentody.

*Příklad:*

Trioda ECC82 má podle katalogu pro jeden systém tyto údaje: Zesilovací činitel  $\mu = 17$ , vnitřní odpor  $R_i = 7,7 \text{ k}\Omega$ , strmost  $S = 2,2 \text{ mA/V}$ , průnik  $D = 0,059$ , kapacita  $C_{ag} \leq 1,9 \text{ pF}$ ,  $C_{gk} = 1,8 \text{ pF}$ . Katodový odpor zvolíme (s ohledem na potřebné mřížkové předpětí)  $R_k = 3 \text{ k}\Omega$ , mřížkový odpor  $R_g = 1 \text{ M}\Omega$ .

a) Jaké zesílení má katodový sledovač s touto elektronkou? Zesílení sledovače podle (478)

$$A = \frac{17 \cdot 3}{7,7 + 3(17 + 1)} = \frac{51}{61,7} = 0,83$$

b) Jaká je jeho výstupní impedance? Dosazením do rovnice (480) zjistíme

$$Z_2 \doteq \frac{1}{2,2} \doteq 0,45 \text{ k}\Omega = 450 \Omega$$

c) Jak velká je vstupní impedance katodového sledovače s použitou elektronkou?

Vstupní impedance (481)

$$Z_1 = \frac{1\ 000}{1 - 0,83} = 5\ 900 \text{ k}\Omega = 5,9 \text{ M}\Omega, \text{ přibližně } 6 \text{ M}\Omega$$

d) Jaká je vstupní kapacita sledovače?  
Podle vztahu (482)

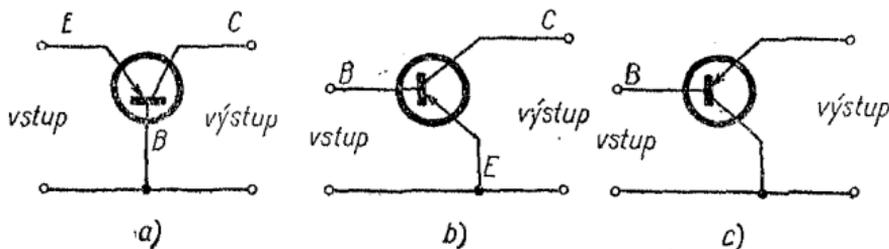
$$C_v = 1,9 + 1,8(1 - 0,83) = 1,9 + 0,3 = 2,2 \text{ pF}$$

(Se strmou vř pentodou lze dosáhnout vstupní kapacity jen několika desetin pF a impedance řádu desítek MΩ.)

## 29. Tranzistory

*Základní zapojení tranzistorů (obr. 62)*

a) se společnou (uzemněnou) bází — SB — obdoba zapojení elektronek s uzemněnou mřížkou. Používá se hlavně pro vkv a ukv obvody s kmitočty řádu stovek MHz až GHz;



Obr. 62. Základní zapojení tranzistorů

b) se společným (uzemněným) emitorem — značené SE — obdoba běžného zapojení elektronek s uzemněnou katodou. Nejčastější zapojení nízkofrekvenčních a vysokofrekvenčních tranzistorů pro kmitočty do několika desítek MHz;

c) se společným kolektorem — SC — (emitorový sledovač), obdoba elektronky s uzemněnou anodou neboli katodového sledovače.

Přehled těchto základních zapojení tranzistorů a průměrné hodnoty typických parametrů jsou v tab. 34.

### Parametry tranzistorů

α) Odporové, značené  $r$  (např.  $r_{11}$  — čti er jedna jedna — vstupní odpor).

$\beta$ ) Smíšené (sériově paralelní neboli hybridní), značené  $h$  (např.  $h_{21}$  — proudový zesilovací činitel).

$\gamma$ ) Vodivostní (admitanční), značené  $y$  (např.  $y_{11}$  — vstupní vodivost).

Tab. 34. Parametry základních zapojení tranzistorů

Veličina	Zapojení		
	společná báze	společný emitor	společný kolektor
vstupní odpor	malý (20 až 200 $\Omega$ ) <sup>1)</sup>	střední (0,5 až 2 k $\Omega$ )	velký (100 k $\Omega$ až 1 M $\Omega$ )
výstupní odpor	velký (100 k $\Omega$ až 1 M $\Omega$ )	střední (10 k $\Omega$ až 100 k $\Omega$ )	malý (0,05 až 1 k $\Omega$ )
proudové zesílení	žádné ( $< 1$ )	střední (20 až 200)	střední (20 až 150)
napětové zesílení	značné <sup>2)</sup> (100 až 600)	střední <sup>3)</sup> (20 až 200)	žádné <sup>2)</sup> ( $< 1$ )
výkonové zesílení	značné (100 až 500)	vysoké (až 6 000)	střední (20 až 100)

1) V závorce jsou uvedeny typické hodnoty.

2) Výstupní signál je se vstupním ve fázi.

3) Výstupní signál otočen proti vstupnímu o 180°.

Nejčastěji se obecně používá parametrů  $r$  pro statické a parametrů  $h$  pro pracovní (dynamické) hodnoty. Jednotlivé parametry lze navzájem snadno převádět. Označují se indexem e nebo E pro zapojení se společným emitorem, b nebo B zapojení se společnou bází. Parametrů admitančních  $y$  se používá pro vf obvody.

$h_{11}$  vstupní odpor (impedance) je poměr vstupního napětí

k vstupnímu proudu při výstupu tranzistoru nakrátko. Udává se v ohmech.

$h_{12}$  činitel zpětného působení (zpětné napěťové zesílení) je poměr vstupního napětí k napětí výstupnímu při otevřeném vstupu (vstupu naprázdno). Je bez rozměru.

$h_{21}$  proudový zesilovací činitel je poměr výstupního proudu tranzistoru k proudu vstupnímu při výstupu nakrátko. Je bez rozměru.

$h_{22}$  výstupní vodivost (admitance) je poměr výstupního proudu k výstupnímu napětí při otevřeném vstupu (naprázdno). Udává se v siemensích (S nebo  $\Omega^{-1}$ ).

Zapojení se společnou bází a společným emitorem jsou nejčastěji používaná zapojení tranzistorů jako čtyřpólu. Zapojení se rozlišuje u parametrů indexem B a E, např.  $h_{11E}$ ,  $h_{22B}$  apod.

Vzájemný převod parametrů  $h$

a) Se společným emitorem  
Vstupní odpor (impedance)

$$h_{11E} = \frac{h_{11B}}{1 + h_{21B}} \quad [\Omega; \Omega, -] \quad (483)$$

Činitel zpětného působení

$$h_{12E} = \frac{h_{11B}h_{22B}}{1 + h_{21B}} - h_{12B} \quad [-; \Omega, S, -] \quad (484)$$

Proudový zesilovací činitel

$$h_{21E} = \frac{-h_{21B}}{1 + h_{21B}} \quad [-; -, -] \quad (485)$$

Výstupní vodivost

$$h_{22E} = \frac{h_{22B}}{1 + h_{21B}} \quad [S; S, -] \quad (486)$$

Pro některé výpočty potřebujeme ještě pomocný vztah

$$\Delta h = h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21} \quad (487)$$

b) Se společnou bází

Vstupní odpor (impedance)

$$h_{11B} = \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}} \quad [\Omega; \Omega, -] \quad (488)$$

Činitel zpětného působení

$$-h_{12B} = \frac{h_{11E}h_{22E}}{1 + h_{21E}} - h_{12E} \quad [-; \Omega, S, -] \quad (489)$$

Proudový zesilovací činitel

$$h_{21B} = \frac{-h_{21E}}{1 + h_{21E}} \quad [-; -, -] \quad (490)$$

Výstupní vodivost

$$h_{22E} = \frac{h_{22E}}{1 + h_{21E}} \quad [S; S, -] \quad (491)$$

(význam všech symbolů byl uveden dříve)

Proudový zesilovací činitel bývá v odborné literatuře značen i jinak:

$h_{21B}$  (zapojení se společnou bází) též  $\alpha_B$  nebo  $\alpha$

$h_{21E}$  (zapojení se společným emitorem) též  $\alpha_E$  nebo  $\beta$

Převodní vztah

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (492)$$

a opačně

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (493)$$

kde  $\beta$  je proudový zesilovací činitel při SE nebo  $h_{21E}$ ,

$\alpha$  proudový zesilovací činitel při SB nebo  $h_{21B}$ .

### Příklady:

1. Zesilovací činitel tranzistoru v zapojení SB je  $\alpha = 0,99$ . Jak velký je zesilovací činitel tohoto tranzistoru při zapojení SE?

Podle (492)

$$\beta = \frac{0,99}{1 - 0,99} = 99 \approx 100$$

2. Tranzistor TESLA KC 509 má podle katalogu největší zesílení s SE  $h_{21E} = 500$ . Jaký má proudový zesilovací činitel  $h_{21B}$ ?

Dosažením do (493) dostaneme

$$\alpha = \frac{500}{1 + 500} = \frac{500}{501} = 0,998$$

3. V katalogu jsme objevili tranzistor, který má při zapojení SB v pracovním bodě  $U_{CE} = 2 \text{ V}$ ,  $I_C = 0,5 \text{ mA}$  následující parametry:

$$h_{11B} = 71 \Omega; h_{12B} = 7 \cdot 10^{-4}; h_{21B} = -0,968; h_{22B} = 0,7 \cdot 10^{-6} \text{ S}$$

Tyto hodnoty máme převést na obdobné parametry pro zapojení SE. Vstupní odpor (483)

$$h_{11E} = \frac{71}{1 + (-0,968)} = \frac{71}{0,032} = 2\,220 \Omega$$

Činitel zpětného působení (484)

$$h_{12E} = \frac{71 \cdot 0,7 \cdot 10^{-6}}{1 + (-0,968)} = 7 \cdot 10^{-4} \approx 8,5 \cdot 10^{-4}$$

Proudový zesilovací činitel (485)

$$h_{21E} = \frac{0,968}{1 + (-0,968)} = \frac{0,968}{0,032} \approx 30$$

Výstupní vodivost (486)

$$h_{22E} = \frac{0,7 \cdot 10^{-6}}{1 + (-0,968)} = 21,95 \cdot 10^{-6} \approx 22 \cdot 10^{-6} \text{ S}$$

**Proudy tranzistorových elektrod (obr. 63).** Celkový proud tranzistoru prochází emitorem (obdoba katody u elektronky)

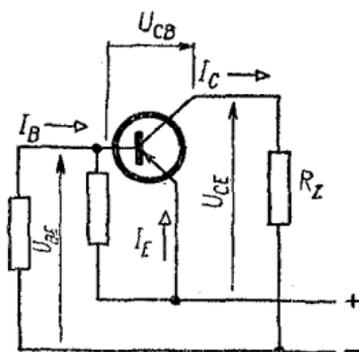
$$I_E = I_C + I_B \quad (494)$$

kde  $I_E$  je proud emitoru,  
 $I_C$  proud kolektoru,  
 $I_B$  proud báze.

*Zbytkové proudy.* Základní materiál tranzistorů — germanium nebo křemík — je polovodič. Proto mezi elektrodami tranzistoru procházejí i nežádané proudy, které se nad to značně mění s teplotou okolí.

Zbytkový proud  $I_{CBO}$  (t—cé—bé—nula) prochází mezi kolektorem a bází. Konstanta změny vodivosti s teplotou je u germania (Ge)  $k \doteq 0,07$  1/°C, u křemíku (Si) teoreticky  $k \doteq 0,1$  1/°C, v praxi přibližně stejná jako u germania.

Informativní hodnoty zbytkového proudu  $I_{CBO}$  pro germaniové a křemíkové tranzistory jsou uvedeny v tab. 35.



Obr. 63. Proudů tranzistorových elektrod

Tab. 35. Zbytkový proud  $I_{CBO}$

Druh tranzistoru	germaniový $\mu A$	křemíkový $\mu A$
malé nf a vf typy do 150 mW	$\leq 10$	$\leq 1$
střední nf typy do 4 W	$\leq 50$	$\leq 20$
výkonové a spínací do 15 W	$\leq 200$	$\leq 100$
výkonové a spínací do 75 W	$\leq 1\ 000$	$\leq 500$

*Poznámka:* Hodnoty zbytkového proudu — zvláště u křemíkových výkonových druhů — se u různých výrobců liší.

Zbytkový proud  $I_{CEO}$  (v zapojení se společným emitorem) je větší úměrně zesilovacímu činiteli tranzistoru.

$$I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO} \quad [\text{mA}; -, \text{mA}] \quad (495)$$

kde  $I_{CEO}$  je zbytkový proud emitoru,  
 $I_{CBO}$  zbytkový proud kolektoru  
 a opačně

$$I_{CBO} = \frac{I_{CEO}}{\beta + 1} \quad [\text{mA}; \text{mA}, -] \quad (496)$$

Kolektorový proud  $I_C$  v zapojení se společnou bází

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \quad [\text{mA}; -, \text{mA}, \text{mA}] \quad (497)$$

kde  $I_C$  je proud kolektoru  
 $I_E$  proud emitoru.

Při větším kolektorovém proudu a u křemíkových tranzistorů lze zbytkový proud  $I_{CBO}$  zanedbat. Přibližně je potom kolektorový proud

$$I_C = \beta I_B \quad [\text{mA}; -, \text{mA}] \quad (498)$$

Tab. 36. Vzájemné vztahy tranzistorových proudů při jednotlivých zapojeních

Proud	$I_B$	$I_C$	$I_E$
$I_B$	—	$\frac{I_C}{\alpha_E} - \frac{I_{CBO}}{\alpha_B}$	$(1 - \alpha_B) I_E - I_{CBO}$
$I_C$	$\alpha_E I_B + (1 + \alpha_E) I_{CBO}$	—	$\alpha_B I_E + I_{CBO}$
$I_E$	$(1 + \alpha_E) (I_B + I_{CBO})$	$\frac{I_C - I_{CBO}}{\alpha_B}$	—

Poznámka: Zesilovací činitel  $\alpha_E = \beta$ ,  $\alpha_B = \alpha$

a také

$$I_C \approx I_E \quad (499)$$

Proud báze lze zjednodušeně odvodit ze vztahu (498)

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \quad [\text{mA}; \text{mA}, \text{mA}, \text{—}] \quad (500)$$

Vzájemné vztahy proudů elektrod a zbytkových proudů jsou v tab. 36.

**Teplotní stabilizace.** Vliv změny teploty na změnu zbytkových proudů a tím na vlastnosti tranzistoru se omezuje stabilizací jeho pracovního bodu. Provádí se to omezováním proudu sériovými odpory (např. v emitoru) a napájením báze z poměrně tvrdého odporového děliče. Činitel stabilizace  $S$  — zdánlivě prostismyslně — je tím menší, čím je stabilizace lepší.

Činitel stabilizace

$$S = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CBO}} \quad [\text{—}; \text{mA}, \text{mA}] \quad (501)$$

kde  $S$  je činitel stabilizace,

$\Delta$  (delta) symbol malé změny.

Báze tranzistoru musí dostávat určité napětí  $U_B$  (stejně polarity jako kolektor) a — na rozdíl od elektronek — jí prochází i malý proud  $I_B$ . V nejjednodušším případě se báze napájí ze zdroje přes činný odpor. Zatěžovací odpor  $R_Z$  v kolektoru sice též omezuje kolektorový proud, ale protože oba tyto odpory jsou nutné k činnosti tranzistoru, nepovažují se za stabilizační.

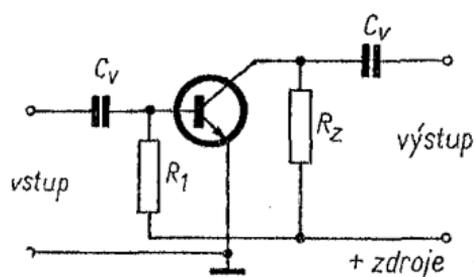
a) *Stabilizace odporem v obvodu zdroj—báze* (obr. 64)

$$S = \frac{1}{1 - \alpha} \approx \beta \quad (502)$$

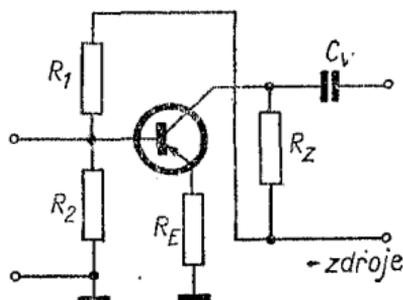
## Odpor zdroj—báze

$$R_1 = \frac{U_{zdr} - U_{BE}}{I_B} \quad [\text{k}\Omega; \text{V}, \text{V}, \text{mA}] \quad (503)$$

b) *Odpor v obvodu emitoru*  $R_E$  sice zlepšuje poněkud stabilizaci, ale ztrácí se na něm část napájecího napětí velikosti  $R_E I_E$ , o které musí mít zdroj vyšší napětí. Proto se volí odpor  $R_E$  poměrně malý, takže jeho vliv na stabilizaci není velký (viz obr. 65).



Obr. 64. Stabilizace teploty odporem v obvodu zdroj—báze



Obr. 65. Stabilizace teploty děličem u báze

c) *Stabilizace děličem u báze* (obr. 65). Tou lze zvolit téměř libovolně velkou hodnotu stabilizace volbou tvrdosti děliče, zvláště ve spojení s použitím odporu  $R_E$  v emitoru.

### Napětí zdroje

$$U_{zdr} = I_C(R_Z + R_E) + U_{CE} \quad [\text{V}; \text{mA}, \Omega, \Omega, \text{V}] \quad (504)$$

kde  $U_{zdr}$  je napětí zdroje,

$I_C$  kolektorový proud,

$R_Z$  zatěžovací odpor,

$R_E$  odpor v emitoru,

$U_{CE}$  napětí kolektor—emitor.

Poměr odporů děliče

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{U_{zdr} - U_{BE} - I_E R_E}{U_{BE} + I_E R_E + I_B R_2}$$

[kΩ; V, V, mA, kΩ, V, mA, kΩ] (505)

kde  $R_1$  je horní odpor děliče,

$R_2$  dolní odpor děliče.

Jeden odpor zvolíme, např. „spodní“  $R_2$  podle zkušeností.  
Druhý odpor děliče

$$R_1 = \frac{R_1}{R_2} R_2 \quad (506)$$

Činitel stabilizace

$$S = \frac{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_E}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_1} (1 - \alpha) + R_E} \quad (507)$$

Odpory  $R_1$ ,  $R_2$  se vůči bázi jeví jako spojené paralelně (Théveninův teorém). Proto předem vypočítáme výsledný odpor  $R_v$

$$R_v = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (508)$$

a ten dosadíme do vztahu (507), který se tím zjednoduší.

$$S = \frac{R_v + R_E}{R_v(1 - \alpha) + R_E} \quad (509)$$

**Zesílení tranzistorového stupně.** Tranzistory mohou zesilovat jak napětí, tak i proudy. Pro nejčastěji používané zapojení se společným emitorem je proudové zesílení

$$A_i = \frac{h_{21E}}{h_{22E} R_z + 1} \quad [-; -, S, \Omega] \quad (510)$$

kde  $A_1$  je proudové zesílení,

$R_z$  zatěžovací odpor v kolektoru (ostatní symboly byly vysvětleny výše);

napěťové zesílení

$$A_u = - \frac{h_{21E} R_z}{\Delta h R_z + h_{11E}} \quad [--; --, \Omega, --, \Omega, \Omega] \quad (511)$$

kde  $A_u$  je napěťové zesílení,

$\Delta h$  pomocná veličina.

Velikost pomocné veličiny  $\Delta h$  se stanoví podle vztahu (487). Záporné znaménko před pravou stranou rovnice (511) udává, že výstupní napětí má opačnou fázi, než má napětí vstupní.

*Příklady:*

1. Navrhněte stabilizaci tranzistorového zesilovacího stupně s GC516 v zapojení se společným emitorem pomocí děliče u báze a emitorového odporu  $R_E = 300 \Omega$  při zatěžovacím odporu v kolektoru  $R_z = 1,5 \text{ k}\Omega$ . Pracovní bod tranzistoru  $U_C = 6 \text{ V}$ ,  $I_C = 3 \text{ mA}$ . Činitel  $\alpha = 0,98$ , proud báze  $I_B = 100 \mu\text{A}$  ( $= 0,1 \text{ mA}$ ), napětí  $U_{BE} = 0,25 \text{ V}$ . Spodní odpor děliče volíme  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ .

Potřebné napětí zdroje (504)

$$U_{zdr} = 3(1,5 + 0,3) + 6 = 11,5 \text{ V}$$

Poměr odporů děliče (505)

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{11,5 - 0,25 - 3 \cdot 0,3}{0,25 + 3 \cdot 0,3 + 0,1 \cdot 10} = \frac{10,35}{2,15} = 4,8$$

Odpor  $R_2$  je dán; druhý odpor děliče (506)

$$R_1 = 4,8 \cdot 10 = 48 \text{ k}\Omega$$

(volíme normalizovanou velikost  $47 \text{ k}\Omega$ ).

2. Tranzistor má v pracovním bodě  $U_{CE} = 2 \text{ V}$  a  $I_C = 0,5 \text{ mA}$  v zapojení SE hodnoty:  $h_{11E} = 2,2 \text{ k}\Omega$ ;  $h_{12E} = 9 \cdot 10^{-4}$ ;  $h_{21E} = 30$ ;  $h_{22E} = 23 \cdot 10^{-6} \text{ S}$ . Zatěžovací odpor v kolektoru  $R_z = 2 \text{ k}\Omega$ . Máme určit proudové a napěťové zesílení a jeho vstupní a výstupní odpor.

$$A_t = \frac{30}{23 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3 + 1} \doteq \frac{30}{1,046} \doteq 28,7$$

(Blíží se tedy proudovému zesilovacímu činiteli  $\beta = 30$ .)

Napěťové zesílení vyžaduje nejprve určit pomocnou veličinu  $\Delta h$ .  
Ta je podle vztahu (487)

$$\Delta h = 2,2 \cdot 10^3 \cdot 23 \cdot 10^{-6} - 9 \cdot 10^{-4} \cdot 30 = 23,6 \cdot 10^{-3}$$

Dosazením výsledku do vztahu (511) dostaneme

$$A_u = \frac{30 \cdot 2 \cdot 10^3}{23,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^3 + 2,2 \cdot 10^3} = -26,7$$

Vstupní odpor tranzistoru

$$R_{vst} = \frac{2,2 \cdot 10^3 + 23,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^3}{23 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3 + 1} = 2150 \Omega = 2,15 \text{ k}\Omega$$

Výstupní odpor

$$R_{výst} = \frac{2,2 \cdot 10^3 + 4 \cdot 10^3}{23,6 \cdot 10^{-3} + 23 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^3} = 52000 \Omega = 52 \text{ k}\Omega$$

3. Jaký je činitel stabilizace tranzistorového zesilovacího stupně z příkladu 1?

Činitel stabilizace vypočítáme ze vztahu (507). Výsledný odpor paralelně zapojených odporů  $R_1$ ,  $R_2$  (508)

$$R_v = \frac{48 \cdot 10}{48 + 10} = \frac{480}{58} = 8,27 \text{ k}\Omega$$

Emitorový odpor je dán,  $R_E = 300 \Omega = 0,3 \text{ k}\Omega$ . Zesilovací činitel rovněž,  $\alpha = 0,98$ . Tyto údaje dosadíme do vztahu (509) a zjistíme

$$S = \frac{8,27 + 0,3}{8,27(1 - 0,98) + 0,3} = \frac{8,57}{0,465} = 18,4$$

**Mezní kmitočet tranzistorů.** Je to — obvykle vysokofrekvenční — kmitočet, na němž zesílení tranzistoru klesne na hodnotu  $1/\sqrt{2} = 0,707$ , přibližně na 70 % neboli — 3 dB hodnoty zesílení na nízkém kmitočtu (1 kHz).

a) Mezní kmitočet v zapojení SB

$$f_{\alpha} = f_{\beta}\beta \quad [\text{kHz}; \text{kHz}, -] \quad (512)$$

kde  $f_{\alpha}$  je mezní kmitočet se společnou bází,  
 $f_{\beta}$  mezní kmitočet se společným emitorem,  
 $\beta$  proudový zesilovací činitel SE;

b) Mezní kmitočet v zapojení SE

$$f_{\beta} = \frac{f_{\alpha}}{\beta} \quad [\text{kHz}; \text{kHz}, -] \quad (513)$$

Je možné samozřejmě dosazovat větší nebo menší jednotky kmitočtu (Hz nebo MHz).

V literatuře se dnes uvádějí i další mezní kmitočty:  $f_1$ , též  $f\beta_1$  — kmitočet, při němž proudový zesilovací činitel klesne na hodnotu 1.

$f_T$  — (kmitočet tranzitní) — je blízký hodnotě  $f\beta_1$ . Podle ČSN 35 8746 je to součin absolutní hodnoty zesilovacího činitele se SB a kmitočtu  $f_{\beta}$

$$f_T = |h_{21E}| f_{\beta} \quad [\text{MHz}; -, \text{MHz}] \quad (514)$$

(Velikost  $|h_{21E}|$  je 1 až 5 a udává ji výrobce).

$f_{\text{max}}$ , někdy též  $f_{\text{osc}}$  — je nejvyšší kmitočet, na němž je tranzistor schopen kmitat. Bývá až několikrát vyšší než  $f_{\alpha}$ ; proto se na oscilátor hodí i tranzistory s nižším mezním kmitočtem.

*Příklady:*

1. V katalogu TESLA má nízkofrekvenční tranzistor GC515 udán kmitočet pro zapojení SE  $f_{\beta} = 12$  kHz. Jaký je jeho kmitočet  $f_{\alpha}$  v zapojení SB, je-li střední proudový zesilovací činitel  $h_{21E} = 25$ ?  
 Ježto  $h_{21E} = \beta$ , je podle vztahu (512)

$$f_E = 12 \cdot 25 = 300 \text{ kHz}$$

2. Tranzistor TESLA GC526 se SB má udán  $f_{\alpha} = 1,2$  MHz. Jaký tomu odpovídá kmitočet při zapojení se SE, je-li  $h_{21E} = 55$ ?

Dosažením do rovnice (513) zjistíme

$$f_{\beta} = \frac{1,2}{55} = 0,0218 \text{ MHz} \approx 22 \text{ kHz}$$

3. Jaký je mezní kmitočet vf tranzistoru OC170, je-li v katalogu uvedena střední hodnota  $f_{\beta} = 100 \text{ MHz}$  a absolutní hodnota  $|h_{21E}| > > 1$ ?

Uvažujeme-li s rezervou nejmenší  $h_{21E} = 1$ , zjistíme ze vztahu (514) mezní kmitočet tohoto tranzistoru  $f_T = 1 \cdot 100 = 100 \text{ MHz}$ .

**Nf tranzistorové stupně v odporové vazbě.** *Vazební kapacita.* Pro zapojení tranzistorů v odporové vazbě platí obdobná pravidla jako pro elektronky. Odpory zde jsou však mnohem menší; tím vyjde i větší vazební kapacita (řádu  $\mu\text{F}$  — používá se elektrolytů na nízké napětí).

*Výstupní odpor tranzistoru  $T_1$*  lze někdy zanedbat proti zatěžovacímu odporu  $R_Z$  (několik  $\text{k}\Omega$ ). Zato vstupní odpor tranzistoru  $T_2$  je poměrně malý. Přesné počítání zde nemá význam, neboť kapacita elektrolytů je odstupňována v řadě 1—2—5—10  $\mu\text{F}$  a násobcích, a je v čerstvém stavu kondenzátoru vždy větší než udaná jmenovitá hodnota o 20 až 100 %.

*Výstupní odpor stupně s  $T_1$*  (obr. 66)

$$R_{v_{\text{yst}}} = \frac{R_{v_{\text{yst}_{T_1}}} R_Z}{R_{v_{\text{yst}_{T_1}}} + R_Z} + R_{v_{\text{st}_{T_2}}} \quad (515)$$

kde  $R_{v_{\text{yst}}}$  je výstupní odpor stupně s  $T_1$ .  
 $R_Z$  zatěžovací odpor tranzistoru  $T_1$ ,  
 $R_{v_{\text{yst}_{T_1}}}$  výstupní odpor tranzistoru  $T_1$ ,  
 $R_{v_{\text{st}_{T_2}}}$  vstupní odpor stupně s  $T_2$

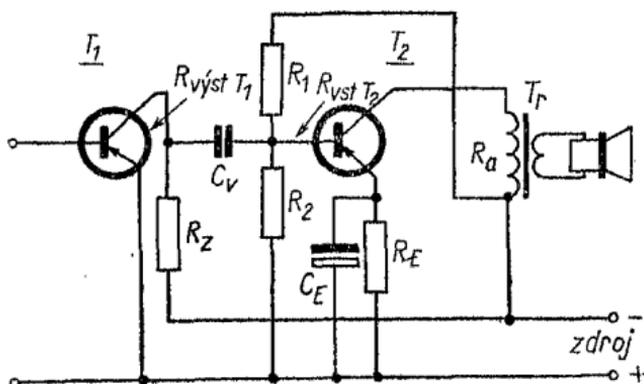
*Vstupní odpor stupně s  $T_2$*  se určí jako výsledný odpor tří paralelně zapojených odporů

$$R_{v_{\text{st}}} = \frac{R_{v_{\text{st}_{T_2}}} R_1 R_2}{R_{v_{\text{st}_{T_2}}} R_1 + R_1 R_2 + R_{v_{\text{st}_{T_2}}} R_2} \quad (516)$$

kde  $R_{vst}$  je vstupní odpor stupně,  
 $R_{vstT_2}$  vstupní odpor tranzistoru  $T_2$ ,  
 $R_1$  horní odpor děliče,  
 $R_2$  dolní odpor děliče.

Vazební kapacita

$$C_v = \frac{159}{f_d R} \quad [\mu\text{F}; \text{Hz}, \text{k}\Omega] \quad (517)$$



Obr. 66. Výpočet vazební kapacity

*Kondenzátor u emitorového odporu.* Velikost tohoto kondenzátoru se počítá zcela obdobně jako katodový kondenzátor u elektronek. Proto se jím zde nebudeme zabývat.

*Příklad:*

Určete velikost vazebního kondenzátoru mezi dvěma stupni nf zesilovače s tranzistory GC516 v odporové vazbě. Požadovaný nejnižší přenášený kmitočet  $f_d = 50$  Hz.

Údaje tranzistoru a stabilizačního děliče u jeho báze byly vypočítány v předchozím příkladě: Zatěžovací odpor  $R_z = 2$  k $\Omega$ , výstupní odpor  $R_{vyst} = 52$  k $\Omega$ . Vstupní odpor tranzistoru  $R_{vst} = 2,15$  k $\Omega$ , odpory u báze:  $R_2$  volen = 10 k $\Omega$ ,  $R_1 = 48$  k $\Omega$ .

a) Velikost výstupního odporu stupně s  $T_1$  (515)

$$R_{vystT_1} = \frac{52 \cdot 2}{52 + 2} = \frac{104}{54} = 1,92 \text{ k}\Omega$$

b) Velikost vstupního odporu stupně s  $T_2$  (516)

$$R_{vstr2} = \frac{2,15 \cdot 48 \cdot 10}{2,15 \cdot 48 + 48 \cdot 10 + 10 \cdot 2,15} = 1,71 \text{ k}\Omega$$

c) Výsledný odpor

$$R = 1,92 + 1,71 = 3,63 \text{ k}\Omega$$

d) Vazební kapacita pro útlum — 3 dB na kmitočtu  $f_d = 50 \text{ Hz}$  (517)

$$C_v = \frac{159}{50 \cdot 3,63} = \frac{159}{181,5} \doteq 0,88 \text{ }\mu\text{F}$$

zvolíme typ 1  $\mu\text{F}/6 \text{ V}$ .

**Výkonové stupně.** Zatím co malé tranzistorové přijímače, přenosné magnetofony a podobná zařízení vystačí s nf tranzistory o výkonu 50 až 300 mW, k vybuzení reproduktorových kombinací, pro spínací účely, měniče stejnosměrného proudu na střídavý proud aj. potřebujeme tranzistory s větším příkonem (kolektorovou ztrátou).

*Kolektorová ztráta*

$$P_C = U_{CE} I_C \quad [\text{W}; \text{V}, \text{A}] \quad (518)$$

kde  $P_C$  je kolektorová ztráta,

$U_{CE}$  napětí kolektor—emitor,

$I_C$  kolektorový proud.

Pro menší výkony dosazujeme  $P_C$  v mW,  $I_C$  v mA.

Tranzistor — jako elektronka — se procházejícím proudem zahřívá. Oteplení závisí hlavně na velikosti kolektorové ztráty vztahem

$$P_C = \frac{\vartheta_j - \vartheta_a}{K} \quad [\text{mW}; \text{ }^\circ\text{C}, \text{ }^\circ\text{C}, \text{ }^\circ\text{C}/\text{mW}] \quad (519)$$

kde  $\vartheta_j$  je teplota tranzistorového přechodu;<sup>1)</sup>

$\vartheta_a$  teplota okolí;<sup>2)</sup>

$K$  teplotní odpor.

<sup>1)</sup> Z anglického junction.

<sup>2)</sup> Z anglického ambient.

## Teplotní odpor

$$K = \frac{\vartheta_j - \vartheta_a}{P_C} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{mW}; ^{\circ}\text{C}, ^{\circ}\text{C}, \text{mW}] \quad (520)$$

(Pro větší výkony dosazujeme W místo mW.)

## Teplota přechodu

$$\vartheta_j = \vartheta_a + KP_C \quad [^{\circ}\text{C}; ^{\circ}\text{C}, ^{\circ}\text{C}/\text{W}, \text{W}] \quad (521)$$

## Dovolená teplota přechodu

v germaniovém tranzistoru	$\vartheta_j = 75$ až $100$ $^{\circ}\text{C}$
v křemíkovém tranzistoru	$\vartheta_j = 135$ až $180$ $^{\circ}\text{C}$

Výrobec udáváví kolektorovou ztrátu — zvláště u malých tranzistorů — pro teplotu okolí  $\vartheta_a = 25$   $^{\circ}\text{C}$  bez chlazení. Odvádí-li se teplo z tranzistoru přidavným chlazením, je možné kolektorovou ztrátu značně zvýšit a získat tak z tranzistoru až desetinásobný výkon.

**Přídavné chlazení.** Získá se zasunutím malých tranzistorů do plechového chladičího křídélka, u velkých plochých tranzistorů jejich upevněním na kovovou desku (hliník, měď) nebo žebrované radiátory. O účinku rozhoduje nejen rozměr, tloušťka a druh materiálu, ale i povrch a barva desky (lesklý, mořený, černěný), dokonce i poloha (vodorovná nebo svislá). Proto přesný výpočet je nesnadný; spokojíme se s empirickými vzorci, odvozenými ze zkušenosti.

U malých tranzistorů se systém s pouzdrem nestýká — přenos tepla navenek je malý.

Tranzistory velkého výkonu mají kolektor přímo spojen s pouzdrem. Protože kolektor je pod napětím, musí se pouzdro od desky odizolovat, např. tenkým lístkem slídy.

Celkový teplotní odpor

$$K = K_1 + K_2 \quad [^{\circ}\text{C}/\text{mW}] \quad (522)$$

kde  $K$  je výsledný teplotní odpor tranzistoru,  
 $K_1$  odpor při přenosu tepla zevnitř na pouzdro,  
 $K_2$  teplotní odpor přídavné chladicí desky.

Činitel  $K_1$  je dán konstrukcí tranzistoru (udává výrobce).

Činitel  $K_2$  určíme z empirického vztahu.

Teplotní odpor chladicí desky

$$K_2 = \frac{1}{aS} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}; \text{---}, \text{mW}/^{\circ}\text{C cm}^2, \text{cm}^2] \quad (523)$$

kde  $K_2$  je teplotní odpor chladiče,

$a$  součinitel  $\approx 1,5 \text{ mW}/^{\circ}\text{C cm}^2$ ,

$S$  plocha desky

a po úpravě

$$K_2 = \frac{1}{1,5 \cdot 10^{-3} S} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}; \text{cm}^2] \quad (524)$$

Obvykle se používá hliníková deska tloušťky 2 až 4 mm, např. přímo šasi zesilovače; plocha 12 až 400 cm<sup>2</sup>. Nejúčinnější by byl čtvercový tvar nebo žebrovaný odlitek.

*Příklady:*

1. Germaniový nf tranzistor má dovolenou teplotu přechodu  $T_{j1} = 75^{\circ}\text{C}$ . Jaká je jeho přípustná kolektorová ztráta při teplotě okolí  $T_a = 50^{\circ}\text{C}$ ? Výrobce udává teplotní odpor  $K = 0,5^{\circ}\text{C}/\text{mW}$ .

Podle vztahu (519)

$$P_c = \frac{75 - 50}{0,5} = \frac{25}{0,5} = 50 \text{ mW}$$

2. Jaký je teplotní odpor tranzistoru OC72, dovoluje-li výrobce bez chlazení kolektorovou ztrátu  $P_c = 125 \text{ mW}$ ? Teplota přechodu nesmí přestoupit  $75^{\circ}\text{C}$ .

Kolektorová ztráta 125 mW se rozumí při teplotě okolí  $T_a = 25^{\circ}\text{C}$ .

*Poznámka:* 1), 2) značení výrobce (místo  $\vartheta_j$ ,  $\vartheta_a$ ).

Dosadíme do vztahu (520) a zjistíme

$$K = \frac{75 - 25}{125} = \frac{50}{125} = 0,4 \text{ } ^\circ\text{C/mW}$$

v soulase s údajem katalogu.

3. Křemíkový tranzistor KF 503 má podle katalogu dovolenou teplotu přechodu  $T_j = 175 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Jaká je přípustná kolektorová ztráta bez chlazení (při  $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), je-li činitel  $K = 220 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ ?

Podle vztahu (519)

$$P_C = \frac{175 - 25}{220} = \frac{150}{220} = 0,68 \text{ W}$$

4. Stanovte dovolený ztrátový výkon germaniového tranzistoru při nejvyšší okolní teplotě  $T_a = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$ , umístěného na hliníkové desce zesilovače o ploše  $S = 250 \text{ cm}^2$ . Výrobce udává vnitřní teplotní odpor  $K_1 = 4 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ . Přípustná teplota polovodičového přechodu je  $75 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Teplotní odpor vnitřního přechodu  $K_1$  je dán. Teplotní odpor vnějšího přechodu zjistíme ze vztahu (523)

$$K_2 = \frac{1}{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 250} = \frac{1}{0,375} = 2,7 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Celkový teplotní odpor tranzistoru (522)

$$K = 4 + 2,7 = 6,7 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Dosazením do rovnice (519) zjistíme maximální dovolený ztrátový výkon .

$$P_C = \frac{75 - 45}{6,7} = \frac{30}{6,7} = 4,5 \text{ W}$$

(Zaokrouhlování výsledku je zde — vzhledem k nepřesnosti údaje  $K_2$  —这件件件.)

**Zatěžovací odpor výkonových stupňů.** Výkonové (koncové) stupně s tranzistory:

a) Jednoduché třídy A s jedním tranzistorem — teoretická účinnost 50 %, v praxi 30 až 35 %

b) Dvojitelné třídy B (nebo AB) se dvěma tranzistory teoretická účinnost 78,5 %, v praxi 50 až 65 %.

*Jednoduchý stupeň.* Ačkoli běžné tranzistory jsou triody, mají charakteristiky podobné pentodám. Proto se také zatěžovací odpor — např. výstupní transformátor v kolektorovém obvodu tranzistoru s uzemněným emitorem — dá určit z poměru napětí na kolektoru a kolektorového proudu (viz obr. 63).

Zatěžovací odpor

$$R_z \doteq \frac{U_{CE} - U_{CEO}}{I_C - I_{CEO}} \quad [\text{k}\Omega; \text{V}, \text{V}, \text{mA}, \text{mA}] \quad (525)$$

kde  $R_z$  je zatěžovací odpor,  
 $U_{CE}$  napětí kolektor—emitor,  
 $U_{CEO}$  zbytkové napětí,  
 $I_C$  kolektorový proud  
 $I_{CEO}$  zbytkový proud

nebo přibližně

$$R_z \doteq \frac{U_{CE}}{I_C} \quad [\text{k}\Omega; \text{V}, \text{mA}] \quad (526)$$

(Proud  $I_C$  určíme z přípustné kolektorové ztráty podle teploty okolí, jak bylo uvedeno dříve.)

*Dvojčinný stupeň.* Dává podstatně větší výkon, vyžaduje však většinou vedle výstupního ještě budicí transformátor — i když existují dvojčinné stupně bez transformátorů.

Podle nastavení pracovního bodu pracuje dvojčinný stupeň:

v třídě A s normálním klidovým kolektorovým proudem,  
v třídě B s potlačeným klidovým kolektorovým proudem,  
v třídě AB s částečně potlačeným klidovým proudem  
Zatěžovací odpor v třídě A

$$R_{C, C} = 2R_z \quad (527)$$

kde  $R_{C, C}$  je odpor mezi oběma kolektory,  
 $R_z$  zatěžovací odpor jednoho tranzistoru.

Odpor  $R_z$  se vypočítá jako u jednoduchého stupně (525).

Zapojení třídy B má větší účinnost, ale slabý signál je zkreslen vlivem chybějícího klidového proudu.

Zapojení třídy AB má také velkou účinnost, ale ani slabý signál není zkreslen, neboť vlivem posunutí pracovního bodu prochází tranzistory malý klidový proud (několik procent kolektorového proudu).

Zatěžovací odpor ve třídě B

$$R_{C,C} = 4R_z \quad (528)$$

Zatěžovací odpor jednoho nebo jednoduchého stupně se dá určit také z kolektorové ztráty  $P_C$  a napětí  $U_{CE}$

$$R_z = \frac{U_{CE}^2}{\pi^2 P_C} \quad [\text{k}\Omega; \text{V}, \text{---}, \text{mW}] \quad (529)$$

kde  $R_z$  zatěžovací odpor,

$P_C$  je kolektorová ztráta tranzistoru,

nebo po úpravě

$$R_z \doteq \frac{U_{CE}^2}{10P_C} = \frac{0,1 U_{CE}^2}{P_C} \quad [\text{k}\Omega; \text{V}, \text{mW}, \text{V}, \text{mW}] \quad (530)$$

Velikost  $P_C$  ve výpočtu můžeme zvýšit o 20 až 30 % proti jmenovité kolektorové ztrátě tranzistoru, protože při běžné reprodukci není tranzistor plným výkonem zatěžován trvale (zvláště ve třídě B nebo AB).

Výsledný zatěžovací odpor (528)  $R_{C,C} = 4R_z$  je v případě koncového zesilovače roven impedanci primárního vinutí výstupního transformátoru. (Návrh výpočtu a určení převodu na kmitací cívku reproduktoru je probrán v odst. 17, výstupní transformátor, str. 133.)

*Příklady:*

1. Určete zatěžovací odpor jednoduchého koncového stupně s 50 mW tranzistorem. Napětí zdroje (baterie)  $U_{zdr} 7,2 = \text{V}$  (6 NiCd

článků v sérii). Ve vinutí výstupního transformátoru a na emitorovém odporu vzniká úbytek napětí 1,2 V. Kolektorový proud  $I_C = 10$  mA.

Použijeme vztahu (526)

$$R_z = \frac{6}{0,01} = 600 \Omega$$

2. Jakou impedanci má mít výstupní transformátor dvojčinného stupně s tranzistory OC 72 bez chlazení (příkon 0,125 W)? Zdroj má napětí  $U_{zdr} = 9$  V, napětí  $U_{CE} = 8$  V.

Protože u třídy B (AB) kolektorový proud značně kolísá s vybuzením koncového stupně, není jeho velikost udána. Použijeme proto vztahu (530). Kolektorovou ztrátu můžeme zvýšit asi o 20 % neboli na 0,15 W. Zatěžovací odpor pro jeden tranzistor (530)

$$R_z = \frac{0,1 \cdot 8^2}{0,15} = \frac{6,4}{0,15} = 42,7 \Omega, \text{ přibližně } 43 \Omega$$

Celkový výstupní odpor mezi oběma kolektory — a tím impedance primárního vinutí výstupního transformátoru — je (528)

$$R_{C,C} = 4 \cdot 43 = 172 \Omega$$

### 30. Určení vývodů a polarity neznámých tranzistorů a diod

V praxi se setkáváme s tranzistory a diodami, na nichž typový údaj chybí nebo je nečitelný. Pro vážnou práci se takové součástky nehodí, protože nevíme-li o nich nic, nemůžeme ani zjistit co snesou a k čemu se hodí. Ale pro méně náročné pokusy často vystačí, jsou-li jinak dobré.

U takových tranzistorů nevíme, jde-li o typ PNP nebo NPN; někdy i uspořádání vývodů je nezvyklé. Pro zjištění, zda neznámý tranzistor nebo dioda jsou použitelné, vystačíme i s improvizací.

Nejjednodušší je použití přímoukazujícího ohmmetru s rozsahem do 1 až 10 k $\Omega$ , s vestavěnou baterií 1,5 V nebo 3 V. Tak můžeme rozlišit odpor jednotlivých přechodů tranzistorů nebo diod — i když ohmmetr neudává katalogové údaje — „naměřený“ odpor totiž značně závisí na přiloženém napětí.

Pozor! Nutno zjistit polaritu vývodů ohmmetru — která pro měření odporů není důležitá, a proto nebývá označena — ale pro určování vývodů a typu vodivosti polovodivých součástek je nezbytná!

Póly (+ a —) vývodů zjistíme nejjednodušeji stejnosměrným voltmetrem, který má polaritu vyznačenu. Kladný (+) pól ohmmetru je ten, který byl připojen na kladný pól voltmetru, když se ručka voltmetru vychýlila správným směrem; podobně zjistíme záporný pól.

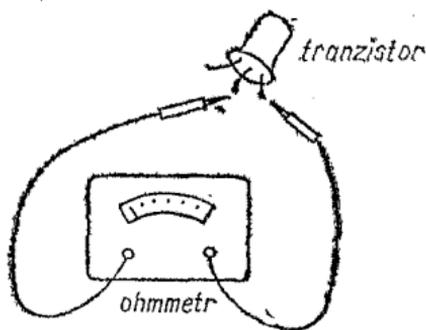
Kombinované univerzální volt—ampér—ohmometry, jako DU10, PUI20 apod. mají sice vývody označeny (alespoň kladný pól), naneštěstí většinou opačně, než jsou póly samostatného ohmmetru, (zjistit!). To by nás mohlo přivést ke zcela mylným závěrům.

*Zjištění vývodů tranzistorů.* Polovodičový přechod působí jako dioda, tj. propouští proud jen v jednom směru (tzv. předním). V opačném (závěrném) je nevodivý. Toho využijeme při určování vývodů neznámého tranzistoru nebo diody (obr. 67).

Tranzistor má dva přechody: kolektor—báze a emitor—báze. Protože emitor mívá menší plochu, má o něco větší odpor než přechod kolektor—báze. Polarita obou přechodů vůči společné bázi je souhlasná, proti sobě navzájem tedy

nesouhlasná. Proto mezi vývody kolektor-emitor zjistíme vždy velký odpor (závěrný), v praxi stejně velký i při přehození polarity ohmmetru. Je-li tomu tak, našli jsme vývody kolektoru a báze — i když zatím nevíme, který je který.

*Upozornění:* Zkoušený tranzistor nesmíme držet dlouho v prstech — teplem ruky se jeho systém zahřívá, stoupá



Obr. 67. Měření tranzistoru ohmmetrem

zbytkový proud a klesá odpor přechodů, což měření zkresluje. Nejlépe je tranzistor nějak uchytit za pouzdro, abychom se jej rukou vůbec nedotýkali.

### *Určení vývodu báze*

Na ohmmetru — předem řádně nastaveném na nulu i plnou výchylku při zkratování vývodů — zapojujeme dva libovolné vývody tranzistoru (u některých druhů je vývod báze nebo kolektoru spojen na pouzdro). Ohmmetr musí podle předchozího odstavce ukázat velký odpor, u křemíkových typů téměř nekonečný, a to i po přehození obou vývodů tranzistoru. Ukáže-li se po přehození mnohem menší odpor, vyhledáme dva jiné vývody tranzistoru, které uvedené podmínce vyhoví.

Zbývající třetí vývod je bezpečně báze.

(Některé tranzistory, jako OC169 až OC171, mají ještě čtvrtý vývod, stínění, většinou spojené s kovovým pouzdem. Ten neuvažujeme.)

### *Určení vývodu kolektoru*

Na zjištěný vývod báze připojíme jeden pól měřidla a kablíkem, spojeným s druhým pólem měřidla, se dotýkáme postupně obou vývodů zbývajících. V každém případě má ohmmetr vykazovat malý odpor, řádově desítky až sto ohmů.

Jeden z vývodů má odpor nepatrně menší — to je kolektor. (Rozdíl odporů je však opravdu malý a výchylku je nutné číst velmi pozorně.)

### *Určení vývodu emitoru*

Zbývající třetí vývod, který má při měření právě popsaným způsobem odpor o něco málo větší, patří emitoru.

*Poznámka:* U tranzistorů typu MOSFET se „emitor“ takto nedá změřit — řídicí elektroda (gate) má příliš velký odpor.

## *Stanovení typu vodivosti*

Zatím jsme nezjistili, zda neznámý tranzistor je typu NPN nebo PNP.

Prochází-li přechodem větší proud (ohmmetr ukáže malý odpor) je-li báze tranzistoru spojena se záporným pólem a kolektor (popř. emitor) s kladným pólem, má zkoušený tranzistor vodivost typu PNP.

Objeví-li se malý odpor při spojení báze s kladným pólem a záporného pólu s kolektorem (emitorem), jde o tranzistor typ u NPN. Zkoušený tranzistor musí být ovšem jinak dobrý.

## *Určení polarity diod*

Podobně lze zkoušet polaritu a vývody diod (hrotových i plošných, Zenerových atd.) a určit katodu (popř. krystal) nebo anodu (nebo hrot).

Na hrotových diodách čs. výroby je strana krystalu označena barvou, která zároveň udává typ diody (např. bílá-GA201, zelená-4NN41 apod. — viz Příruční katalog elektronek a polovodičových prvků TESLA). Setře-li se barva — zvláště se starších skleněných typů — určíme vývody podobně jako u tranzistorů.

Ručka měřidla se při dobré diodě značně vychýlí, je-li spojen vývod krystalu nebo katody diody se záporným pólem. Ohmmetr ukáže — podle typu a stavu diody a přiloženého napětí — odpor řádově stovky  $\Omega$ . Při opačné polaritě diody se ručka téměř nevychýlí, protože dobrá dioda má v závěrečném směru odpor stovky  $k\Omega$ , křemíková i více. Polarita plošných usměrňovacích a Zenerových diod je uvedena na náčrtku v katalogu výrobce.

## *Příklady:*

1. Tranzistor se třemi drátovými vývody o nestejně vzájemné vzdálenosti má nečitelné označení. Válcové pouzdro má průměr asi 6 mm, délku 13 mm. Máme určit jeho vývody a typ (druh vodivosti) univerzálním měřicím přístrojem PUI20.

Přepínač měřidla nastavíme na rozsah „ $\times 1 \Omega$ “; zjistíme, že na zdířce označené (+) je vlastně záporný pól ohmmetru. (Aby nás to nemýlilo, prohodíme šňůry, např. červenou do neoznačené zdířky —.)

Malou, sotva znatelnou výhylkou ručky zjistíme mezi oběma krajními vývody tranzistoru, a to i po přehození přívodů od měřidla — to jsou vývody emitoru a kolektoru. Ručka se značně vychýlí při spojení kladného pólu ohmmetru na střední vývod tranzistoru, po připojení záporného pólu na kterýkoli vývod krajní. Střední vývod je tedy báze a tranzistor je typu NPN. Mezi bází a jedním — vzdálenějším — krajním vývodem ukáže měřidlo  $19 \Omega$ , mezi bází a druhým (blížejším) krajním vývodem  $21 \Omega$ . Vzdálenější vývod s menším odporem je kolektor, zbývající krajní vývod je emitor.

2. Malá hrotová dioda v neprůhledném pouzdru má setřené barevné označení. Chceme zjistit aspoň kdo je katoda, tj. vývod spojený s krystalem.

Použijeme měřicího přístroje a rozsahu jako v příkl. 1. Měřidlo ukáže odpor  $40 \Omega$  při určitém zapojení diody. Katoda (krystal) je na oné straně diody, jejíž vývod je přitom spojen se záporným pólem měřidla.

## 31. Rozvod energie k reproduktorům

a) *Výstupní výkon — impedance.* Podle ČSN 34 2500 a dalších norem zesilovače větších výkonů (rozhlas po drátě, městský rozhlas apod.) mají výstup proveden pro standardní střídavé napětí 100 V. Potřebná impedance se určí z výkonu zesilovače

$$Z = \frac{U^2}{P} \quad [\Omega; V, W] \quad (532)$$

kde  $Z$  je impedance výstupní,

$U$  střídavé nf napětí,

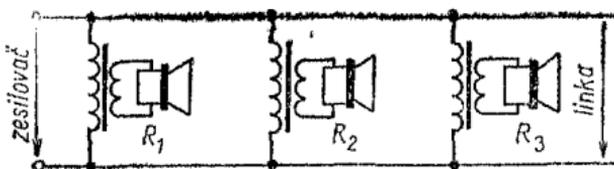
$P$  výkon zesilovače.

b) *Nf linky k reproduktorům.* Pro delší vedení v případech nevázaných ČSN na jednotné napětí se výstup zesilovače upravuje na standardní impedanci (200 až 2 000  $\Omega$ ). Každý reproduktor má vlastní výstupní transformátor; podle jeho impedance se rozdělí příkony reproduktorů ze společné linky (obr. 68).

## Výkon zesilovače

$$P = \Sigma P_R \quad [W; W] \quad (533)$$

kde  $P$  je výkon zesilovače,  
 $\Sigma$  součet (suma),  
 $P_R$  výkon reproduktoru.



Obr. 68. Zapojení reproduktorů

c) *Impedance linkových transformátorů u jednotlivých reproduktorů*

$$Z_R = \frac{PZ}{P_R} \quad [\Omega; W, \Omega, W] \quad (534)$$

kde  $Z_R$  je impedance reproduktoru s linkovým transformátorem,

$P$  nf výkon zesilovače,  
 $Z$  výstupní impedance (linka).

Výkon připadající na jeden reproduktor

$$P_R = \frac{PZ}{Z_R} \quad [W; W, \Omega, \Omega] \quad (535)$$

kde  $P_R$  je výkon reproduktoru,

$P$  výkon zesilovače,  
 $Z$  výstupní impedance,  
 $Z_R$  impedance transformátoru u reproduktoru.

*Příklady:*

1. Zesilovač o výkonu 25 W má mít normalizované nf napětí 100 V. Jakou výstupní impedanci bude mít jeho transformátor?

Podle vztahu (532) je příslušná impedance

$$Z = \frac{100^2}{25} = \frac{10\,000}{25} = 400 \, \Omega$$

2. Na rozvodnou nf linku o impedanci  $200 \, \Omega$  máme připojit jeden reproduktor o příkonu  $8 \, \text{W}$ , dva reproduktory po  $4 \, \text{W}$  a dva reproduktory po  $1 \, \text{W}$ . Jaká bude impedance primárního vinutí transformátorů jednotlivých reproduktorů? Jaký výkon při plném vybuzení reproduktorů odevzdá zesilovač?

Výkon zesilovače (533)

$$P = 8 + (2 \cdot 4) + (2 \cdot 1) = 8 + 8 + 2 = 18 \, \text{W}$$

Impedance primárního vinutí transformátorů jednotlivých reproduktorů zjistíme ze vztahu (534)

a) pro reproduktor  $8 \, \text{W}$  je

$$Z_R = \frac{18 \cdot 200}{8} = \frac{3\,600}{8} = 450 \, \Omega$$

b) pro reproduktor  $4 \, \text{W}$  je

$$Z_R = \frac{18 \cdot 200}{4} = \frac{3\,600}{4} = 900 \, \Omega$$

c) pro reproduktor  $1 \, \text{W}$  je

$$Z_R = \frac{18 \cdot 200}{1} = \frac{3\,600}{1} = 3\,600 \, \Omega$$

3. Jaký výkon připadne na reproduktor s transformátorem o impedanci primárního vinutí  $Z_R = 2\,000 \, \Omega$ , připojený (spolu s jinými) na lince o impedanci  $Z = 400 \, \Omega$  při výkonu zesilovače  $P = 25 \, \text{W}$ ?

Podle vztahu (535) bude výkon na reproduktoru

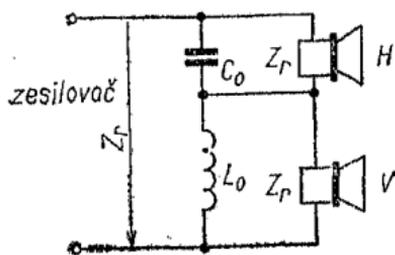
$$P_R = \frac{25 \cdot 400}{2\,000} = \frac{10\,000}{2\,000} = 5 \, \text{W}$$

## 32. Elektrické výhybky pro reproduktorové kombinace

K širokopásovým stereofonním zesilovačům se používají reproduktorové kombinace s oddělenými reproduktory pro hluboké tóny (velký průměr membrány, měkké středění)

a pro tóny vysoké (malý průměr membrány, tvrdé středění — popř. krystalový nebo elektrostatický systém).

Jsou-li oba reproduktory typu s kmitací cívkou a napájeny z téhož výstupního transformátoru, používá se tzv. elektrické výhybky, tvořené kapacitou a indukčností, která nízkofrekvenční kmitočtové pásmo — asi 40 až 12 000 Hz — rozděluje na dvě (někdy i na tři) části. Není žádoucí, aby se plná energie hlubokých tónů dostala do vysokotónového



Obr. 69. Jednoduchá výhybka

reproduktoru, který by se tím mohl poškodit a nadto reprodukce by byla zkreslená. Dělicí kmitočet bývá 1 kHz (pro oddělené reproduktory pro nízké, střední a vysoké kmitočty asi 500 a 5 000 Hz).

Jednoduchá výhybka má pro kmitočty ležící po obou stranách kmitočtu dělicího útlum asi 6 až 8 dB na oktávu.

Vstupní i výstupní impedance jsou prakticky stejné (obr. 69).  
Indukčnost

$$L_0 = \frac{Z_r}{2\pi f_c} \quad [\text{H}; \Omega, \text{Hz}] \quad (536)$$

kde  $L_0$  je indukčnost tlumivky,

$Z_r$  impedance reproduktoru,

$f_c$  dělicí kmitočet

nebo po úpravě

$$L_0 = \frac{0,159 \cdot Z_r}{f_c} \doteq \frac{0,16Z_r}{f_c} \quad [\text{H}; \Omega, \text{Hz}] \quad (537)$$

Kapacita

$$C_0 = \frac{1}{2\pi f_c Z_r} \quad [\text{F}; \text{Hz}, \Omega] \quad (538)$$

kde  $C_0$  je kapacita kondenzátoru,

nebo v úpravě pro běžné jednotky

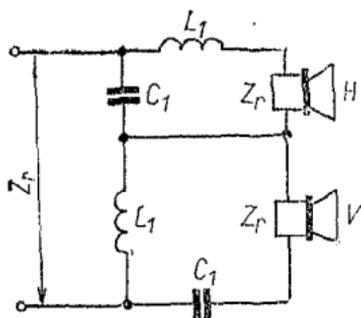
$$C_0 = \frac{1,59 \cdot 10^5}{f_c Z_r} \doteq \frac{1,6 \cdot 10^5}{f_c Z_r} \quad [\mu\text{F}; \text{Hz}, \Omega] \quad (539)$$

*Dvojitá výhybka* (obr. 70) má útlum asi 12 dB/oktávu, což je pro jakostní reprodukci výhodnější.

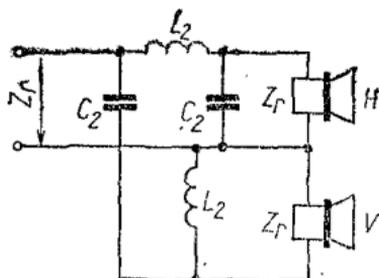
Indukčnost

$$L_1 = \frac{L_0}{\sqrt{2}} = 0,707L_0 \quad (540)$$

kde  $L_1$  je indukčnost dvojitého filtru,  
 $L_0$  indukčnost podle (537).



Obr. 70. Dvojitá výhybka



Obr. 71. Speciální výhybka

Kapacita

$$C_1 = \sqrt{2}C_0 = 1,414C_0 \quad (541)$$

kde  $C_1$  je kapacita dvojitého filtru,  
 $C_0$  kapacita podle (539).

*Jiná výhybka* (obr. 71)

Indukčnost

$$L_2 = \sqrt{2}L_0 = 1,414L_0 \quad (542)$$

kde  $L_2$  je sériová tlumivka,  
 $L_0$  tlumivka podle (537).

## Kapacita

$$C_2 = \frac{C_0}{\sqrt{2}} = 0,707 C_0 \quad (543)$$

kde  $C_2$  je příčná kapacita,  
 $C_0$  kapacita podle (539).

(V těchto případech je tedy nutné nejprve vypočítat velikosti  $C_0$  a  $L_0$  jako pro jednoduchou výhybku.)

Nevýhodou reproduktorových kombinací s malou impedancí (4 až 6  $\Omega$ ) je velká kapacita. Při větších impedancích (8 až 40  $\Omega$ ) jsou poměry výhodnější.

Pro zcela jednoduchou kombinaci v monofonních přijímačích AM-FM se často používá vedle běžného reproduktoru (který přenáší hluboké a střední tóny) výškový reproduktor jako doplněk. Mívá větší impedanci a je připojen pouze přes kondenzátor. Dělicí kmitočet se potom volí vyšší (3 000 až 5 000 Hz).

### Příklady:

1. Navrhněte jednoduchou výhybku pro jeden hlubkový a jeden výškový dynamický reproduktor, oba o impedanci kmitací cívky 6  $\Omega$ . Dělicí kmitočet má být 1 000 Hz. Jaká je indukčnost potřebné tlumivky a jaká kapacita kondenzátoru?

Dosazením do vzorce (537) zjistíme

$$L_0 = \frac{0,16 \cdot 6}{1\,000} = 0,000\,96 \text{ H} \doteq 1 \text{ mH}$$

Kapacita pro výškový reproduktor (539)

$$C_0 = \frac{1,6 \cdot 10^5}{6 \cdot 10^3} = \frac{160}{6} = 26,7 \mu\text{F}$$

2. Jakou indukčnost a kapacitu potřebujeme pro dvojitou výhybku a tytéž reproduktory jako v příkl. 1 při dělicím kmitočtu 1 000 Hz?

Do vztahů (542) a (543) dosazujeme údaje, zjištěné z příkl. 1: Každá z tlumivek bude mít tedy indukčnost (542)  $L_2 = 1,414 \cdot 1 \doteq 1,4 \text{ mH}$  a každý kondenzátor kapacitu (543)  $C_2 = 0,707 \cdot 26,7 = 18,8 \mu\text{F}$ . Zvolíme kapacitu 20  $\mu\text{F}$ .

3. V přijímači AM-FM máme k běžnému oválnému reproduktoru připojit dynamický reproduktor průměru membrány 80 mm s impedancí kmitací cívky  $Z_r = 8 \Omega$  jako výškový. Dělicí kmitočet zvolíme  $f_c = 3\,300$  Hz. Jakého kondenzátoru musíme použít?

Kapacita

$$C_0 = \frac{1,6 \cdot 10^5}{3\,300 \cdot 8} = \frac{160\,000}{26\,500} \doteq 6 \mu\text{F}$$

### 33. Antény vkv a antény tv

. Tyto antény musí být geometrickými rozměry přizpůsobeny přijímané vlně (naladěny). Nejčastěji se používá *délka zářiče\**)

$$A = \frac{\lambda}{2} \quad [\text{m}; \text{m}] \quad (544)$$

kde  $A$  je délka zářiče,

$\lambda$  délka vlny.

Také *svod* (přívod od antény k televizoru nebo přijímači) má být určitým celistvým násobkem vlnové délky.

Mezi vlnou délky  $\lambda$ , kmitočtem  $f$  a rychlostí šíření  $c$  elektromagnetických vln v prostoru platí známý vztah

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [\text{m}; \text{m/s}, \text{Hz}] \quad (545)$$

kde  $\lambda$  je délka vlny,

$c$  rychlost elektromagnetické vlny  $3 \cdot 10^8$  m/s,

$f$  kmitočet,

po úpravě pro vkv

$$\lambda = \frac{300}{f} \quad [\text{m}; \text{MHz}] \quad (546)$$

kmitočet

$$f = \frac{300}{\lambda} \quad [\text{MHz}; \text{m}] \quad (547)$$

\*) Výraz zářič vznikl z vysílací techniky; podobně se svodu často říká napáječ i u antén přijímacích.

Televizní vysílač vysílá obraz a zvuk v kanále širokém 8 MHz. Na jednu anténu (s výjimkou I. pásma) chceme přijímat i více TV kanálů, nebo celé pásmo v kv rozhlasu (podle normy OIRT 66—72,5 MHz). Proto jako kmitočet (nebo vlnovou délku) pro výpočet anténních prvků dosazujeme geometrický průměr (geometrickou střední hodnotu) obou krajních kmitočetů; u televizního kanálu je geometrický průměr

$$f_s = \sqrt{f_0 f_z} \quad [\text{MHz}; \text{MHz}, \text{MHz}] \quad (548)$$

kde  $f_s$  je střední hodnota kmitočtu,

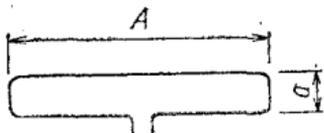
$f_0$  nosný kmitočet obrazu,

$f_z$  nosný kmitočet zvuku.

Širokopásmovou anténou je tzv. *dipól* (obr. 72), buď jednoduchý neboli otevřený (dvě oddělené trubky) nebo složený (trubka zahnutá do téměř uzavřené smyčky). Je konstrukčně jednoduchý, ale přijímá vlny stejně z předu i zezadu (činitel zpětného příjmu je 1), takže zachycuje i nežádoucí odrazy („duchy“). Kromě toho jeho zisk je (proti všesměrovému zářiči) jen asi 2,15 dB. Složitější antény Yagi s pasívními prvky — reflektorem za dipólem a direktorem před anténou směrem k vysílači — mají větší citlivost při dálkovém příjmu, mají značný směrový účinek a podle počtu pasívních prvků mají proti samotnému dipólu zisk 3 až 16 dB, ale užší přijímané pásmo a jejich výstupní impedance s počtem pasívních prvků klesá.

Charakteristická *impedance vedení*

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad [\Omega; \text{H}, \text{F}] \quad (549)$$



Obr. 72. Dipól

kde  $Z_0$  je charakteristická impedance,

$L$  indukčnost vedení,

$C$  jeho kapacita.

Rychlost šíření

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad [\text{m/s; H, F}] \quad (550)$$

kde  $v$  je rychlost šíření.

Rychlost šíření po vedení je vlivem permitivity jeho izolantu menší než rychlost šíření elektromagnetických vln  $c$  v prostoru v poměru tzv. činitele zkrácení, který je různý (podle druhů svodového kabelu nebo dvoulinky).

### Impedance dipólu

a) jednoduchého

$$Z_1 = 73 \text{ až } 75 \, \Omega \quad (551)$$

b) složeného

$$Z_2 = 4Z_1 \doteq 300 \, \Omega \quad (552)$$

### Jednoduché antény pro I. až III. TV pásmo

Rozměr dipólu pro kmitočty  $f < 54$  MHz

$$A = \frac{142,5}{f_s} \quad [\text{m; MHz}] \quad (553)$$

kde  $A$  je délka dipólu,  
 $f_s$  střední kmitočet.

Vzájemná vzdálenost  $a$  obou větví přeloženého dipólu pro I. a II. pásmo je asi 75 mm, průměr trubky 15 až 18 mm.

Rozměr dipólu pro kmitočty  $f > 54$  MHz

$$A = \frac{141}{f_s} \quad [\text{m; MHz}] \quad (554)$$

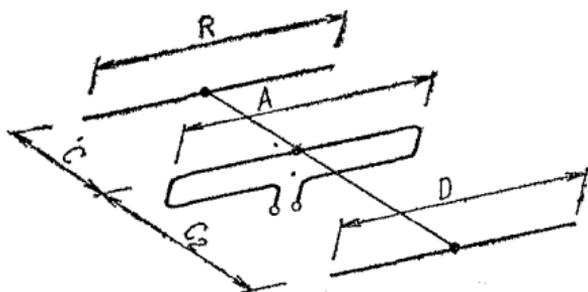
Vzájemná vzdálenost obou větví dipólu pro III. pásmo je asi 55 mm, průměr trubky 10 až 12 mm.

## Jednoduché antény pro IV. a V. pásmo

### Rozměr dipólu

$$A = \frac{140}{f_s} \quad [\text{m}; \text{MHz}] \quad (555)$$

Vzájemná vzdálenost obou větví dipólu pro IV. a V. pásmo je asi 35 mm, průměr trubky 6 až 7 mm. (Pro vnitřní anténu stačí drát o průměru asi 3 mm, vzájemná vzdálenost větví dipólu 30 mm.)



Obr. 73. Složený dipól pro I. až III. pásmo

**Složený dipól s reflektorem a direktorem pro I. až III pásmo (obr. 73.)**

Délka reflektoru

$$B = \frac{150}{f_s} \quad [\text{m}; \text{MHz}] \quad (556)$$

kde  $B$  je délka reflektoru,  
 $f_s$  střední kmitočet.

Trubky nebo tyče reflektorů a zvláště direktorů volíme o málo menším průměru než materiál zářičů.

Vzdálenost reflektoru od zářiče

$$C = 0,25\lambda = \frac{75}{f_s} \quad [\text{m}; \text{m}; \text{MHz}] \quad (557)$$

kde  $C$  je vzdálenost reflektor—zářič,

$\lambda$  vlnová délka,

$f_s$  střední kmitočet

nebo také

$$C = 0,15\lambda = \frac{45}{f_s} \quad [\text{m}; \text{m}; \text{MHz}] \quad (558)$$

Vzdálenost  $C = 0,25 \lambda$  dává lepší přizpůsobení a širší pásmo, ale menší dosah. Použitím reflektoru v této vzdálenosti klesne impedance zářiče ze 300 na 250  $\Omega$ .

Vzdálenost  $C_1 = 0,15\lambda$  dává o něco vyšší zisk a dosah. Direktorů může být na jedné anténní konstrukci až 10 i více. Délka direktoru

$$D = \frac{138}{f_s} \quad [\text{m}; \text{MHz}] \quad (559)$$

kde  $D$  je délka direktoru,

$f_s$  střední kmitočet.

Vzdálenost direktoru od zářiče

$$C_2 = 0,1\lambda = \frac{30}{f_s} \quad [\text{m}; \text{m}; \text{MHz}] \quad (560)$$

nebo též

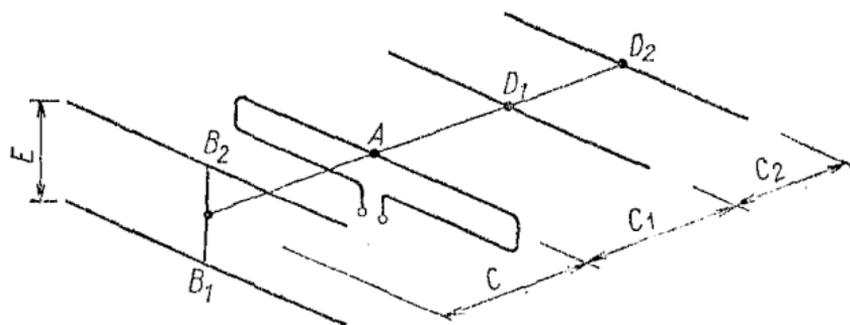
$$C_1 = 0,15\lambda = \frac{45}{f_s} \quad [\text{m}; \text{m}; \text{MHz}] \quad (561)$$

Velikost  $C_1$  pro odstup zářič—reflektor a  $C_2$  pro odstup zářič—direktor dává nejlepší směrovost a největší zisk ale horší přizpůsobení.

**Složený dipól s reflektorem a direktorem pro IV. a V. pásmo.** Poměry jsou podobné jako u antén pro I. až III. pásmo. Reflektorů bývá více (nad a pod osou anténní konstrukce), nebo se používá kovové sítky jako reflektoru.

Pro velkou dálkovou citlivost se stavějí antény i 27prvkové až 35prvkové (obr. 74). Délka zářiče

$$A = \frac{140}{f_s} \quad [\text{m}; \text{MHz}] \quad (562)$$



Obr. 74. Složený dipól pro IV. a V. pásmo

Délka reflektoru

$$B = \frac{150}{f_s} \quad [\text{m}; \text{MHz}] \quad (563)$$

Vzdálenost zářič—reflektor

$$C = \frac{75}{f_s} \quad [\text{m}; \text{MHz}] \quad (564)$$

Rozteč reflektorů  
(nebo šířka síťky)

$$E = \frac{120}{f_s} \quad [\text{m}; \text{MHz}] \quad (565)$$

Délka 1. direktoru

$$D_1 = \frac{133}{f_s} \quad [\text{m}; \text{MHz}] \quad (566)$$

Vzdálenost zářič—1. direktor

$$C_1 = \frac{45}{f_s} \quad [\text{m}; \text{MHz}] \quad (567)$$

Délka 2. direktoru

$$D_2 = \frac{131,5}{f_s} \quad [\text{m}; \text{MHz}] \quad (568)$$

Vzdálenost 1. direktor—2. direktor

$$C_2 = \frac{30}{f_s} \quad [\text{m}; \text{MHz}] \quad (569)$$

(Délka dalších direktorů by byla úměrně menší.)

Čím více prvků má anténa, tím užší pásmo může přijímat. Kromě toho klesá její výstupní impedance, takže nastává nepřizpůsobení k impedanci svodu. Proto se nověji přidává ještě jeden direktor, téměř těsně před zářič, tzv. kompenzační nebo širokopásmový direktor. Jeho umístění a správná délka jsou značně choulostivé — což platí ostatně o všech anténních prvcích. Proto v odborné literatuře pojednávající o těchto anténách jsou potřebné rozměry uváděny v tabulce.

Složitějšími anténami se nebudeme zabývat — o nich jedná podrobně speciální literatura. Povšimneme si jen některých vnitřních a náhražkových typů.

**Vnitřní a náhražkové antény** se hodí s dobrými výsledky pro místa s dostatečně silným televizním nebo kv signálem a pro vyšší kmitočty (např. pro III. a IV. TV pásmo), kdy anténa poměrně malých rozměrů se dá umístit nad přijímač nebo na televizor.

*Skládací teleskopická anténa (obr. 75).*

Délka obou výsuvných ramen se nastaví na celkovou hodnotu

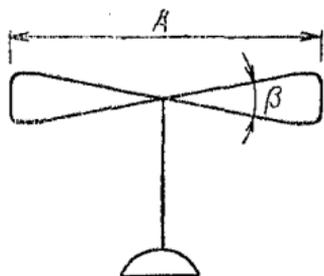
$$A = \frac{\lambda}{2} \quad [\text{m}; \text{m},] \quad (570)$$

Při zdvižení ramen do tvaru širšího písmene V je tato anténa málo směrová. Impedanci má — jako každý jedno-

duchý dipól 73 až 75  $\Omega$ . Bez impedanční transformace jí nelze použít pro přijímač nebo televizor se vstupem 280 až 300  $\Omega$ .



Obr. 75. Skládací toleskopická anténa



Obr. 76. Motýlová anténa

*Motýlová anténa* (obr. 76) (ze dvou protáhlých nespojených trojúhelníků z plechu nebo hliníkové fólie. Hodí se i k zabudování do skříně přístroje).

Délka obou křídel

$$A = 0,73\lambda \quad [\text{m}; \text{—}, \text{m}] \quad (571)$$

kde  $A$  je celková délka,  
 $\lambda$  délka vlny.

Impedance se mění nepřímo úměrně s vrcholovým úhlem  $\beta$ . Při úhlu  $\beta = 30$  až  $28^\circ$  má anténa impedanci 280 až 300  $\Omega$ .

*Přímý dipól s transformací delta* tvoří přímá trubka (hliník, měď) se svorkami pro přívod, umístěnými poblíž středu (obr. 77).

Délka trubky pro kmitočty  $f > 54$  MHz

$$A = \frac{141}{f} \quad [\text{m}; \text{MHz}] \quad (572)$$

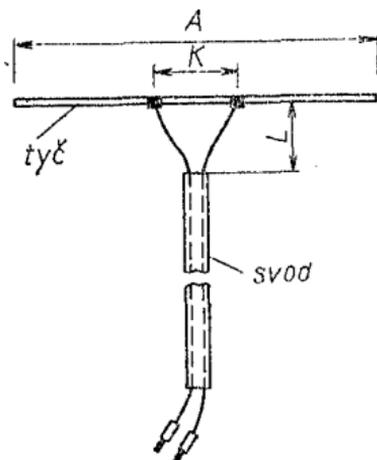
Vzájemná vzdálenost svorek

$$K = \frac{37,5}{f_s} \quad [\text{m}; \text{MHz}] \quad (573)$$

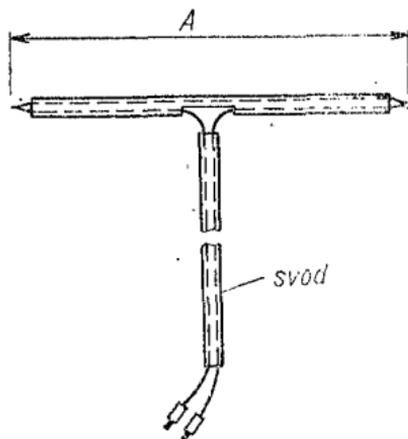
Délka vývodů tvaru Y

$$L = \frac{45}{f_s} \quad [\text{m}; \text{MHz}] \quad (574)$$

*Upozornění:* Pro velmi vysoké kmitočty IV. a V. pásma se nehodí na svod běžná černá dvoulinka. Její ztráty — zvláště při větší délce svodu — jsou příliš velké. Výzkumný ústav kabelů a izolantů v Bratislavě vyvinul pro tyto účely speciální dvou vodičový kabel, který by se měl používat i u antén na vyšších kanálech III. pásma.



Obr. 77. Přímý dipól s transformací delta



Obr. 78. Náhražková anténa

*Improvizovaná anténa z dvoulinky* se hodí pro blízké vysílače III. pásma (pro I. pásmo by vyšla příliš rozměrná a na IV. má dost značné ztráty). Dvoulinky, nejlépe perforované, použijeme jak na svod, tak i na vlastní zářič. Anténa se snadno připevní na okno, skříň apod. ve vhodném směru k vysílači (obr. 78).

Délka zářiče

$$A = \frac{\lambda}{2} k \quad [\text{m}; \text{m}, \text{—},] \quad (575)$$

kde  $A$  je délka vodorovné části,

$\lambda$  délka vlny,

$k$  činitel zkrácení: pro plnou dvoulinku  $k = 0,82$ ,  
pro perforovanou  $k = 0,85$ .

Pro IV. a V. pásmo je do vzdálenosti několika kilometrů až desítek kilometrů (podle energie vysílače) rovněž možné použít vnitřní antény, ale zářič provedeme z holého drátu (měď, hliník) průměru 2 až 3 mm. Svod má být krátký (což u antény umístěné nad televizorem je dodrženo) nebo ze speciálního dvojvodiče o malých ztrátách.

*Příklady:*

1. Pro výpočet půlvlnného dipólu pro 7. kanál III. TV pásma určete střední vlnovou délku.

Protože se na  $v_{kv}$  a  $u_{kv}$  obvykle neuvádějí délky vlny, musíme je odvodit z kmitočtu. Podle tab. 63 má 7. kanál nosný kmitočet obrazu  $f_0 = 183,25$  MHz a zvuku  $f_z = 189,75$  MHz. Střední kmitočet (548)

$$f_s = \sqrt{183,25 \cdot 189,75} = \sqrt{34\,771} \doteq 186 \text{ MHz}$$

Tomu odpovídá vlnová délka (546)

$$\lambda = \frac{300}{186} \doteq 1,6 \text{ m}$$

2. Jaký rozměr by měla vnitřní dipólová anténa pro 24. kanál IV. pásma (vysílač Petřín)?

Určíme střední kmitočet kanálu podle tab. 63. Ze vztahu (548)

$$f_s = \sqrt{495,25 \cdot 501,75} \doteq 498 \text{ MHz}$$

Délka složeného dipólu bude (555)

$$A = \frac{140}{498} \doteq 0,282 \text{ přibližně } 28 \text{ cm}$$

3. Jak velká bude improvizovaná pokojová anténa pro 7. kanál III. TV pásma z perforované dvoulinky VFSP 511?

Střední vlnová délka je vypočtena v příkl. 1 a to  $\lambda = 1,6$  m. Činitel zkrácení  $k = 0,85$ . Délka dvojvodiče na zářiči (575)

$$A = \frac{1,6}{2} \cdot 0,85 \doteq 0,68 \text{ m}$$

4. Navrhněte všechny rozměry tříprvkové vnější antény se složeným dipólem pro 7. kanál III. TV pásma. (Tříprvkovou rozumíme anténu se zářičem, jedním reflektorem a jedním direktorem)

Střední kmitočet 7. kanálu (viz příklad 1)  $f = 186 \text{ MHz}$ . Délka zářiče dipólu (554)

$$A = \frac{141}{186} \doteq 0,76 \text{ m}$$

Délka reflektoru (556)

$$B = \frac{150}{186} \doteq 0,81 \text{ m}$$

Vzdálenost zářič—reflektor (557)

$$C = \frac{75}{186} \doteq 0,4 \text{ m}$$

Délka direktoru (559)

$$D = \frac{138}{186} \doteq 0,74 \text{ m}$$

Vzdálenost zářič—direktor (561)

$$C_1 = \frac{45}{186} \doteq 0,25 \text{ m}$$

Tím jsou hlavní prvky antény určeny (rozměry jsou víceméně směrné). Zisk tříprvkové antény proti samotnému dipólu je ve směru k vysílači asi 4 až 6 dB.

### 34. Vzdálenost diváka od televizoru

Pozorovací vzdálenost závisí na velikosti obrazovky. Normální tzv. kritická vzdálenost je ta, kdy ještě vidíme na obrazovce dostatek detailů, ale přestáváme vnímat jeho strukturu (řádkování, body).

Rozeř obrazovky se obvykle udává délkou její úhlopříčky. Normalizovaný poměr stran obrazu  $v : š = 3 : 4$ .

Úhlopříčka  $u$  je podle Pythagorovy věty přeponou trojúhelníka o stranách  $v$ ,  $š$ .

Délka úhlopříčky

$$u = \sqrt{v^2 + \dot{s}^2} \quad (576)$$

Výška obrazu

$$v = \frac{3}{5} u = 0,6u \quad (577)$$

Pozorovací vzdálenost

a) pro minimální zorný úhel

$$l_p = 5,5 v \quad (578)$$

b) pro danou délku úhlopříčky s použitím vztahů (577)  
a (578)

$$l_p = 0,6 \cdot 5,5 u = 3,3u \quad (579)$$

S rezervou platí vztah

$$l_p = 3,5u \quad (580)$$

Pro obraz o poměru stran 3 : 4 a normální zrak je tedy pozorovací vzdálenost asi 3,5násobkem délky úhlopříčky obrazovky. Je to údaj pouze směrný, protože moderní obrazovky mívají z výrobních důvodů rozměry 4 : 5 a záleží též na rozlišovací schopnosti televizoru.

Doporučené pozorovací vzdálenosti pro běžné rozměry obrazovek televizorů jsou uvedeny v tab. 37.

Tab. 37. Vzdálenost diváka od televizoru

Úhlopříčka cm	Vzdálenost m
28	1,00
36	1,25
43	1,50
47	1,65
53	1,85
59	2,10
65	2,25

*Příklad:*

Televizor Oliver má obrazovku o úhlopříčce 47 cm. Jak daleko od televizoru má sedět divák s normálním zrakem?

Z úhlopříčky určíme pozorovací vzdálenost (580)

$$l_p = 3,5 \cdot 47 = 165 \text{ cm}$$

Také v tab. 37 najdeme pro úhlopříčku 47 cm vzdálenost 1,65 m.

### 35. Určení odporu měřicího přístroje

Potřebujeme-li znát vnitřní odpor ručkového měřicího systému — nejčastěji magnetoelektrického (s otočnou cívkou) — pro zvětšení jeho rozsahu, k přeměně na voltmetr apod., musíme ho změřit. Ohmmetrem se to však nedoporučuje — jemný systém citlivých měřidel by se mohl nárazem procházejícího proudu poškodit. Kromě toho přímoukazující ohmmetry jsou pro tento účel málo přesné.

Nejčastěji se používá nepřímého měření — pomocí jiného kontrolního měřidla o dostatečné přesnosti ( $\pm 1\%$  nebo lepší), zdroje nízkého napětí a proměnného odporu, jímž nastavíme žádanou výchylku.

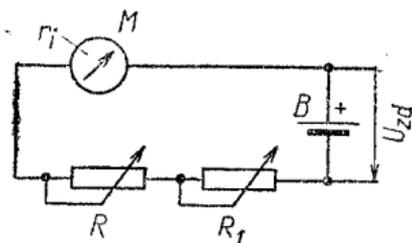
Má-li zkoušené měřidlo stupnici, nebo je-li udán jeho měřicí rozsah, obejdeme se i bez kontrolního měřidla a postup se velmi zjednoduší.

*Měření vlastní soustavy.* Do série s měřenou soustavou zapojíme suchý článěk nebo baterii o napětí 1,5 až 3 V a proměnný drátový odpor nebo potenciometr  $R$  do uzavřeného obvodu. Velikost odporu  $R$  musí odpovídat napětí zdroje a proudu měřidla, aby systém nebyl přetížen. Zhruba ji předem odhadneme z Ohmova zákona  $R = \frac{U}{I}$  (viz dále „Příklad“).

Odpořem  $R$  nastavíme plnou výchylku ručky na stupnici. Potom zapojíme do proudového obvodu v sérii ještě proměnný drátový odpor  $R_1$ , jímž výchylku zmenšíme právě na polovinu. Tím klesne i proud, procházející měřidlem, ve stejném poměru (obr. 79).

Podmínka pro poloviční výchylku

$$R_1 \doteq R \quad (581)$$



Obr. 79. Měření vlastní soustavy

kde  $\doteq$  je přibližně,

$R_1$  přidaný sériový odpor,

$R$  odpor pro nastavení plné výchylky.

Potřebné napětí

$$U_{zd} = (r_1 + R) i \quad [V; \Omega, \Omega, A] \quad (582)$$

kde  $U_{zd}$  je napětí zdroje,

$r_1$  vnitřní odpor měřidla

$R$  odpor při plné výchylce,

$i$  proud měřidla při plné výchylce.

Nastavené velikosti odporů  $R$ ,  $R_1$  změříme po odpojení pokud možno přesně, např. můstkovým ohmmetrem.

Vnitřní odpor měřidla

$$r_1 = R_1 - R \quad (583)$$

Kontrola správnosti

$$U_{zd} = (r_1 + R + R_1) \frac{i}{2} \quad [V; \Omega, \Omega, \Omega, A] \quad (584)$$

*Příklad:*

Určete vnitřní odpor měřidla pro proud 1 mA při plné výchylce. K dispozici jsou dva niklokadmiové články v držáku jako zdroj o napětí 2,5 V. Stupnice má 100 dílků.

Pro napětí  $U_{zd} = 2,5$  V a udaný proud potřebujeme odpor o velikosti

$$R \geq \frac{2,5}{0,001} \geq 2\,500 \Omega$$

zvolíme drátový potenciometr 3 k $\Omega$  nebo 3 200  $\Omega$ .

Po nastavení plné výchylky odporem  $R$  zařadíme do obvodu proměnný odpor  $R_1$  asi stejné velikosti jako odpor  $R$  a jím výchylku ručky zmenšíme na 50 dílků. Oba odpory potom změříme např. můstkovým ohmmetrem Omega I. Zjistíme, že  $R = 2\,400 \Omega$ ,  $R_1 = 2\,500 \Omega$ . Odpor měřicí soustavy (583)

$$r_1 = 2\,500 - 2\,400 = 100 \Omega$$

Kontrola (584)

$$U_{zd} = (100 + 2\,400 + 2\,500) 0,5 \cdot 10^{-3} = 5\,000 \cdot 0,0005 = 2,5 \text{ V}$$

### 36. Zvětšení rozsahu měřicího přístroje

Většinu měřidel lze použít buď jako ampérmetry nebo voltmetry připojením vhodného odporu paralelně nebo do série k přístroji. Nejčastěji se používá ručkových měřidel magneckoelektrických, tzv. deprezského typu s otočnou cívkou.

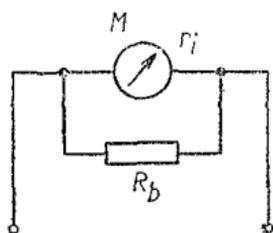
*Ampérmetr (obr. 80). Bočník pro jeden rozsah*

$$R_b = \frac{r_i}{n - 1} \quad (585)$$

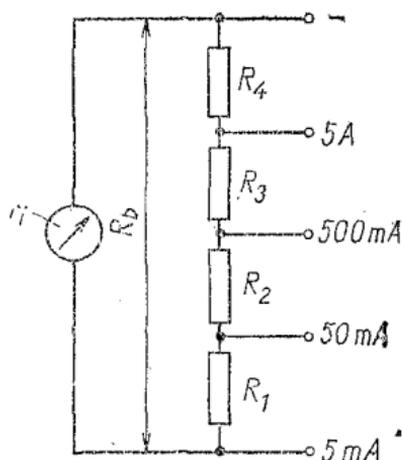
kde  $R_b$  je odpor bočníku,

$r_i$  vnitřní odpor měřicí soustavy,

$n$  poměr žádaného rozsahu k proudu měřicí soustavy



Obr. 80. Zapojení bočníku



Obr. 81. Ayrtonův bočník

*Sdružený (Ayrtonův) bočník* je společný pro několik měřicích rozsahů, s odbočkami pro jednotlivé proudy. Celý bočník je připojen k měřidlu paralelně, jeho jednotlivé odpory jsou spojeny v sérii (obr. 81).

## Odpor celého bočnicku

$$R_b = \frac{r_1}{\frac{I_1}{i_0} - 1} \quad [\Omega; \Omega, A, A, -] \quad (586)$$

kde  $I_1$  je nejmenší rozsah proudu,

$i_0$  proud měřicí soustavy pro plnou výchylku.

Poměr proudů

$$\frac{I_1}{i_0} = n \quad (587)$$

Odpor celého bočnicku, tj. pro nejmenší rozsah proudu, najdeme dosazením zjištěného poměru  $n$  do rovnice (585)

Některé části sdruženého bočnicku (obr. 82) jsou společné pro několik rozsahů. Označíme si je pomocnými písmeny  $A$ ,  $B$ ,  $C$ .  
Odporová větev  $A$

$$\frac{A}{R_b} = \frac{I_1}{I_2} \quad [\Omega, \Omega; A, A] \quad (588)$$

kde  $A$  je odpor části  $A$ ,

$R_b$  odpor celého bočnicku,

$I_1$  proud celého bočnicku,

$I_2$  žádaný proudový rozsah.

*Poznámka:* Proudů je možné samozřejmě dosazovat i v mA.

Větev  $B$

$$\frac{B}{R_b} = \frac{I_1}{I_3} \quad [\Omega, \Omega; A, A] \quad (589)$$

kde  $B$  je odpor části  $B$ ,

$I_3$  žádaný rozsah proudu.

Větev  $C$

$$\frac{C}{R_b} = \frac{I_1}{I_4} \quad [\Omega, \Omega; A, A] \quad (590)$$

Při větším počtu měřicích rozsahů bychom dále postupovali stejným způsobem.

Určíme jednotlivé větve, prozatím označené písmeny: Z rovnice (588)

$$A = \frac{R_b I_1}{I_2} \quad [\Omega; \Omega, A, A] \quad (591)$$

Z rovnice (589)

$$B = \frac{R_b I_1}{I_3} \quad [\Omega; \Omega, A, A] \quad (592)$$

Z rovnice (590)

$$C = \frac{R_b I_1}{I_4} \quad [\Omega; \Omega, A, A] \quad (593)$$

Z výrazů (588) až (593) určíme jednotlivé odpory děliče:

$$R_1 = R_b - A \quad (594)$$

$$R_2 = A - B \quad (595)$$

$$R_3 = B - C \quad (596)$$

$$R_4 = C \quad (597)$$

Zatížitelnost jednotlivých odporů volíme podle proudu příslušného úseku děliče.

*Příklady:*

1. Měřidlo s rozsahem  $200 \mu A$  má odpor  $1\,000 \Omega$ . Jaký odpor musí mít bočník, aby výsledný měřicí rozsah byl  $50 mA$ ?

Poměr žádaného proudu a proudu samostatného měřidla pro plnou výchylku (585)

$$n = \frac{50}{0,2} = 250$$

Podle vztahu (586) bude odpor bočníku

$$R_b = \frac{1\,000}{250 - 1} = \frac{1\,000}{249} \approx 4 \Omega$$

2. Určete jednotlivé odpory sdruženého bočníku pro rozsahy  $I_1 = 5 mA$ ,  $I_2 = 50 mA$ ,  $I_3 = 500 mA$  a  $I_4 = 5 A$  k měřidlu o vnitřním odporu  $r_1 = 100 \Omega$  s proudem  $i_0 = 1 mA$  pro plnou výchylku!

Poměr proudu celého bočnicku (= nejmenší rozsah proudu) k proudu samotného měřidla (587)

$$n = \frac{5}{1} = 5$$

Celkový odpor bočnicku (586)

$$R_b = \frac{100}{5 - 1} = \frac{100}{4} = 25 \Omega$$

Určíme odpory jednotlivých větví:

$$A = \frac{25 \cdot 5}{50} = \frac{125}{50} = 2,5 \Omega$$

$$B = \frac{125}{500} = 0,25 \Omega$$

$$C = \frac{125}{5\,000} = 0,025 \Omega$$

Jednotlivé odpory děliče podle (594) až (597):

$$R_1 = 25 - 2,5 = 22,5 \Omega$$

$$R_2 = 2,5 - 0,25 = 2,25 \Omega$$

$$R_3 = 0,25 - 0,025 = 0,225 \Omega$$

$$R_4 = 0,025 \Omega$$

Pro zajímavost: Odparem  $R_4$  prochází největší proud, tj. 5 A, který musí odpor dlouhodobě snést bez podstatného zahřátí, zatímco podle vztahu  $P = RI^2$  je jeho zatížení pouze  $P = 0,025 \cdot 5^2 = 0,025 \cdot 25 = 0,625 \text{ W}$ !

### Voltmetr

Velikost předřadného odporu (obr. 82) je dána vztahem

$$R_s = R_v(n - 1) \quad [\Omega; \Omega, -] \quad (598)$$

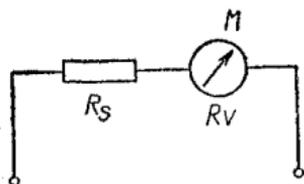
kde  $R_s$  je předřadný odpor,

$R_v$  odpor měřidla,

$n$  poměr rozsahů napětí.

*Poznámka:* Za odpor měřidla  $R_V$  můžeme považovat též odpor voltmetru (i s předřadným odporem), chceme-li jeho měřicí rozsah zvětšit.

Odpor na jednotku napětí ( $\Omega/V$ ) lze určit z proudu měřidla pro plnou výchylku



$$R_{1V} = \frac{10^3}{i_0} \quad [\Omega/V; \text{mA}] \quad (599)$$

kde  $R_{1V}$  je odpor voltmetru na jeden volt,

$i_0$  proud měřidla pro plnou výchylku.

Obr. 82. Zapojení voltmetru

Ze známého proudu pro plnou výchylku a vnitřního odporu měřidla určíme podle Ohmova zákona základní napětí

$$u_0 = i_0 r_i \quad [V; A, \Omega] \quad (600)$$

kde  $u_0$  je napětí při proudu  $i_0$ ,

$i_0$  proud pro plnou výchylku,

$r_i$  vnitřní odpor měřicího systému.

*Sdružený předřadný odpor* pro několikarozsahové voltmetry je — podobně jako sdružený bočník pro několikarozsahové ampérmetry — složen z několika sériových odporů  $R_1, R_2, R_3, R_4, \dots$ , odpovídajících jednotlivým rozsahům napětí (obr. 83).

Při výpočtu vycházíme od nejmenšího napětí popř. od napětí samotného měřicího systému pro plnou výchylku. První předřadný odpor

$$R_{S1} = R_{1V} u_0 (n_1 - 1) \quad [\Omega; \Omega, V, -] \quad (601)$$

Podobně druhý předřadný odpor

$$R_{S2} = R_{1V} U_1 (n_2 - 1) \quad [\Omega; \Omega, V, -] \quad (602)$$

Třetí předřadný odpor

$$R_{S3} = R_{1V} U_2 (n_3 - 1) \quad [\Omega; \Omega, V, -] \quad (603)$$

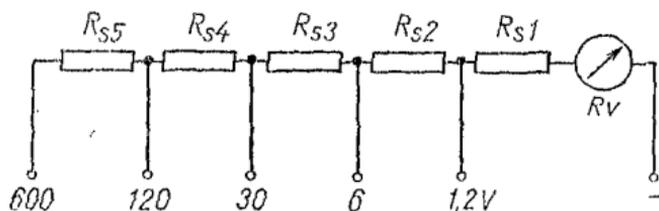
Při větším počtu rozsahů pokračujeme zcela obdobně.  
Poměr napětí

$$U_1 : u_0 = n_1 \quad (604)$$

kde  $U_1$  je žádané vyšší napětí,

$u_0$  rozsah dosavadní nebo vlastního měřidla,

$n_1$  poměr napětí.



Obr. 83. K výpočtu předřadných odporů

Podobně

$$U_2 : U_1 = n_2 \quad (605)$$

nebo

$$U_3 : U_2 = n_3 \quad (606)$$

atd. podle počtu měřicích rozsahů napětí.

*Příklady:*

1. U voltmetru 10 V s odporem 1 000  $\Omega/V$  chceme rozšířit měřicí rozsah do 300 V. Jak velký odpor musí mít předřadný odpor?

Odpor voltmetru je

$$R_V = 10 \cdot 1\,000 = 10\,000 \Omega$$

Poměr rozsahů (604)

$$n = \frac{300}{10} = 30$$

Potřebný předřadný odpor (598)

$$R_g = 10\,000 \cdot (30 - 1) = 10\,000 \cdot 29 = 290\,000 \, \Omega$$

2. Měřicí soustava má pro plnou výchylku proud  $i_0 = 0,5 \text{ mA}$  a odpor  $200 \, \Omega$ . Jaký odpor na jeden volt bude mít voltmetr s tímto měřicím systémem? Podle vztahu (599) bude odpor voltmetru

$$R_{1V} = \frac{10^3}{0,5} = \frac{1\,000}{0,5} = 2\,000 \, \Omega/V$$

3. Z měřicí soustavy podle příkl. 2 sestrojte voltmetr s přepínatelnými rozsahy 1,2 — 6 — 30 — 120 — 600 V. Jaké budou jednotlivé odpory, zapojené v sérii?

Nejmenší napětí, tj. napětí samotné soustavy pro plnou výchylku, zjistíme ze vztahu (600)  $u_0 = 0,0005 \cdot 200 = 0,1 \text{ V}$ . Stanovíme příslušné poměry napětí: Poměr prvního žádaného rozsahu k napětí na měřicím systému (604)

$$n_1 = \frac{1,2}{0,1} = 12$$

Poměr druhého rozsahu k prvnímu (605)

$$n_2 = \frac{6}{1,2} = 5$$

Podobně (606)

$$n_3 = \frac{30}{6} = 5$$

a dále

$$n_4 = \frac{120}{30} = 4; \quad n_5 = \frac{600}{120} = 5$$

Získané poměry dosazujeme do vztahu (601) a dalších, čímž dostaneme velikost jednotlivých odporů:

Odpor (601)

$$R_{S1} = 2\,000 \cdot 0,1(12 - 1) = 200 \cdot 11 = 2\,200 \, \Omega$$

Podobně (602)

$$R_{S2} = 2\,000 \cdot 1,2(5 - 1) = 2\,400 \cdot 4 = 9\,600 \, \Omega$$

Dále (603)

$$R_{S3} = 2\,000 \cdot 6(5 - 1) = 12\,000 \cdot 4 = 48\,000 \, \Omega$$

Stojně

$$R_{S4} = 2\,000 \cdot 30(4 - 1) = 60\,000 \cdot 3 = 180\,000 \, \Omega$$

Nakonec

$$R_{S5} = 2\,000 \cdot 120(5 - 1) = 240\,000 \cdot 4 = 960\,000 \, \Omega$$

Kontrola: Pro největší rozsah  $U_5 = 600 \text{ V}$  má voltmetr celkový odpor  $R_V = 600 \cdot 2\,000 = 1\,200\,000 \, \Omega$  ( $= 1,2 \text{ M}\Omega$ ). Součet všech předřadných odporů  $R_S = 1\,199\,800 \, \Omega$ , odpor měřidla  $r_1 = 200 \, \Omega$ , celkem  $1\,200\,000 \, \Omega$ . Výpočet je správný.

### 37. Oprava chyby měření při měření ručkovým voltmetrem

Měření napětí voltmetrem o poměrně malém vnitřním odporu na měkkém zdroji (zvláště na odporu nebo odporovém děliči) dává nesprávné výsledky. Připojením voltmetru měřené napětí poklesne a tuto velikost napětí voltmetr ukáže. Správný výsledek dává jen elektronkový nebo elektrostatický voltmetr.

I u ručkového měřidla je možné však tuto chybu vyloučit dvojím měřením stejným voltmetrem na dvou různých rozsazích, např.  $250 \text{ V}$  a  $500 \text{ V}$ . [Sdělovací technika 1953, č. 9].

Napětí bez zatížení voltmetrem

$$U_0 = \frac{U_1 U_2 \left(1 - \frac{R_1}{R_2}\right)}{U_1 - \frac{R_1}{R_2} U_2} \quad [\text{V}; \text{V}, \text{V}, \Omega, \text{V}, \Omega, \text{V}] \quad (607)$$

Označíme-li poměr obou měřicích rozsahů a tím i odporů voltmetru

$$\frac{R_1}{R_2} = p \quad [\Omega, \Omega; -] \quad (608)$$

dostane vztah (607) jednodušší tvar

$$U_0 = \frac{U_1 U_2 (1 - p)}{U_1 - p U_2} \quad [V; V, -, V, -, V] \quad (609)$$

*Příklad:*

Na anodovém odporu nízkofrekvenční elektronky naměříme Avometem I o odporu  $1\,000\ \Omega/V$  na rozsahu 300 V napětí  $U_1 = 80\ V$ , na rozsahu 600 V napětí  $U_2 = 100\ V$ . Odpor voltmetru pro nižší napětí je  $R_1 = 1\,000 \cdot 300 = 300\,000\ \Omega$ , pro vyšší napětí  $R_2 = 1\,000 \cdot 600 = 600\,000\ \Omega$ .

Poměr obou odporů (608)

$$p = \frac{300\,000}{600\,000} = 0,5$$

Dosažením do rovnice (609) zjistíme skutečnou velikost napětí na odporu:

$$U_0 = \frac{80 \cdot 100(1 - 0,5)}{80 - (0,5 \cdot 100)} = \frac{4\,000}{30} \doteq 133\ V$$

### 38. Jednoduchá měření součástek

V mnoha případech vystačíme s běžným univerzálním miliampérvoltmetrem na stejnosměrný a střídavý proud (Avomet, DU 10, PU 120 apod.), doplníme-li měření zcela jednoduchým výpočtem. Odpory a tranzistory měříme stejnosměrným proudem, kapacity a indukčnosti střídavým proudem, např. síťovým, vhodně transformovaným. Přesnější a pohodlnější je ovšem měření můstkové (Omega, Icomet apod.). Jinak odpory a reaktance (impedance) zjišťujeme

- a) z údaje proudu, procházejícího měřenou součástkou,
- b) ze dvou výchylek voltmetru na stejném měřicím rozsahu.

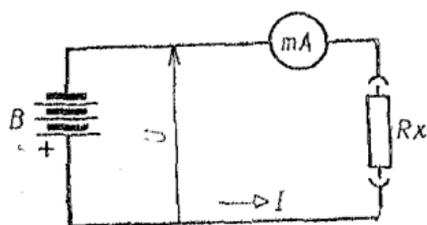
#### Měření odporů

a) *Proudem.* Neznámý odpor  $R_x$  zapojíme do série se zdrojem vhodného stejnosměrného napětí (baterie, usměrňovač) o malém odporu a miliampérmetrovou částí měřidla. Přesnou

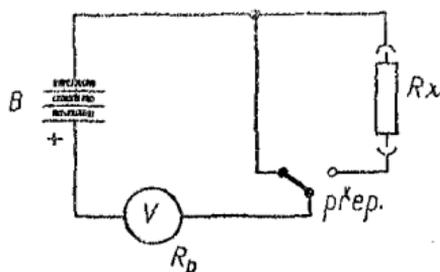
velikost napětí zdroje zjistíme jeho voltmetrovou částí při zatížení měřeným odporem. Podle napětí zdroje lze měřit malé nebo velké odpory s použitím Ohmova zákona. Je-li vnitřní odpor měřidla zanedbatelný proti měřenému odporu, je hledaný odpor (obr. 84a)

$$R_x = \frac{U \cdot 10^3}{I} \quad [\Omega; \text{V, mA}] \quad (610)$$

kde  $R_x$  je měřený odpor,  
 $U$  napětí zdroje,  
 $I$  procházející proud.



a)



b)

Obr. 84. Měření odporů a) proudem, b) voltmetrem

Není-li odpor měřidla  $R_p$  zanedbatelný, odečteme jej:

$$R_x = \frac{U \cdot 10^3}{I} - R_p \quad [\Omega; \text{V, mA, } \Omega] \quad (611)$$

kde  $R_p$  je vnitřní odpor měřidla.

b) *Napětím* určíme:

α) Větší odpory ze dvou výchylek měřidla, zapojeného jako voltmetr jednou před měřený odpor (na zdroj), podruhé za ním. Musíme však znát vnitřní odpor  $R_p$  měřidla (obr. 84b). Hledaný odpor

$$R_x = R_p \frac{U - U_1}{U_1} \quad [\Omega; \Omega, \text{V, V}] \quad (612)$$

kde  $R_x$  je hledaný odpor,

$R_p$  vnitřní odpor voltmetru,

$U$  výchylka bez odporu (napětí zdroje),

$U_1$  výchylka s odporem.

Vnitřní odpor voltmetru je odpor na jeden volt ( $\Omega/V$ ), násobený měřicím rozsahem ve voltech.

β) Malé odpory lze měřit přístrojem, u něhož je vyvedena otočná cívka na svorky nebo zdičky (Roučka Duo, Mavometr Gossen, Avomet I mezi zdičkami + a 300 mV). Při dostatečném napětí, tedy na vyšším měřicím rozsahu je odpor cívky  $r_i$  zanedbatelný proti předřadnému odporu voltmetru (obr. 85).

Hledaný odpor

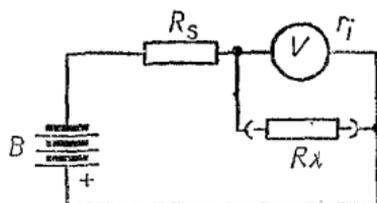
$$R_x = \frac{U_1}{U - U_1} r_i \quad [\Omega; V, V, \Omega] \quad (613)$$

kde  $R_x$  je hledaný odpor,

$U$  napětí baterie,

$U_1$  napětí za odporem,

$r_i$  odpor cívky měřidla.



Obr. 85. Měření malých odporů

*Příklady:*

1. Při napětí baterie  $U = 9$  V prochází měřeným odporem proud  $I = 4,5$  mA. Odpor miliampérmetru je  $R_p = 20$   $\Omega$ . Jakou velikost má neznámý odpor?

Vnitřní odpor měřidla je zanedbatelný; použijeme vztahu (610)

$$R_x = \frac{9 \cdot 10^3}{4,5} = \frac{9\,000}{4,5} = 2\,000 \Omega$$

2. Měřený odpor je zapojen v sérii s miliampérmetrem o odporu  $R_p = 200$   $\Omega$ . Na zdroji o napětí  $U = 1,5$  V ukazuje měřidlo proud  $I = 25$  mA. Jak velký je měřený odpor? Vnitřní odpor měřidla je dost velký — nelze jej zanedbat, proto dosadíme do vztahu (611)

$$R_x = \frac{1,5 \cdot 10^3}{2} - 200 = \frac{1\,500}{2} - 200 = 550 \Omega$$

3. Větší odpor chceme určit ze dvou výchylek voltmetru. Napětí zdroje  $U = 50 \text{ V}$ ; použitý Avomet I zapneme na rozsah  $60 \text{ V}$ . Přes odpor naměříme napětí  $U_1 = 30 \text{ V}$ . Jak velký je měřený odpor?

Avomet I má odpor  $1\,000 \Omega/\text{V}$ , takže jeho vnitřní odpor na rozsahu  $60 \text{ V}$  je  $60\,000 \Omega$ . Údaje dosadíme do vztahu (612)

$$R_x = 60\,000 \cdot \frac{50 - 20}{20} = 60\,000 \cdot 1,5 = 90\,000 \Omega$$

4. Drátový odpor zřejmě malé velikosti chceme změřit Avometem I. Zdrojem napětí je anodová baterie  $45 \text{ V}$ , výchylka ručky po připojení odporu mezi svorku  $+$  a svorku  $300 \text{ mV}$  je  $5 \text{ V}$ . Jaký je měřený odpor?

Odpor cívky Avometu I (mezi kladnou svorkou a svorkou  $300 \text{ mV}$  s korokéními odpory) je  $300 \Omega$ . Podle vztahu (613)

$$R_x = \frac{5}{45 - 5} \cdot 300 = \frac{5}{40} \cdot 300 = 37,5 \Omega$$

**Měření kondenzátorů.** Zecla malé kapacity pro vf obvody se obvykle měří speciálním můstkem nebo vysokofrekvenčně v rezonančním obvodu. Větší a velké kapacity řádu  $\text{nF}$  a  $\mu\text{F}$  lze měřit střídavým proudem ze sítě, buď procházejícím proudem nebo ze dvou výchylek voltmetru. Máme-li můstek, např. Icomet, tím lépe.

a) *Měření proudem* se hodí pro velké kapacity řádu  $\mu\text{F}$ . Měří se podobně, jako odpory, tedy měřením střídavého proudu, který kondenzátorem prochází po připojení na známé střídavé napětí (obr. 86).

Kapacitní reaktance

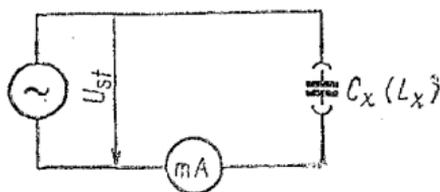
$$\frac{I}{\omega C_x} = \frac{U}{I} \quad [\text{rad/s, F; V, A}] \quad (614)$$

kde  $\omega$  je úhlový kmitočet  $2\pi f$ ,

$C_x$  neznámá kapacita,

$U$  střídavé napětí,

$I$  střídavý proud.



Obr. 86. Měření kapacity proudem

Z toho po úpravě vyjde hledaná kapacita

$$C_x = \frac{I \cdot 10^6}{\omega U} \quad [\mu\text{F}; \text{A, rad/s, V}] \quad (615)$$

Pro kmitočet sítě 50 Hz je

$$C_x = \frac{3,18 \cdot 10^3 I}{U} \quad [\mu\text{F}; \text{A, V}] \quad (616)$$

Napětí  $U$  volíme takové, aby proud  $I$  byl dobře měřitelný — pro větší kapacity nižší napětí a naopak — aby příliš velký proud nepoškodil kondenzátor.

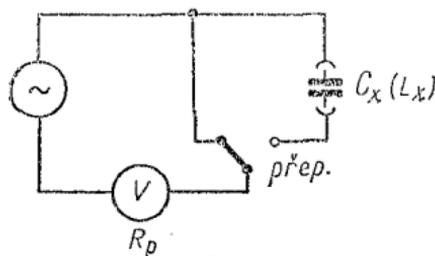
Při napětí  $U = 3,18 \text{ V}$  se údaje v čitateli a jmenovateli vztahu (616) krátí a vyjde jednoduchý tvar:

Kapacita

$$C_x = I \quad [\mu\text{F}; \text{mA}] \quad (617)$$

Střídavé napětí 3,18 V bývá při ruce — je to s dostatečnou přesností napětí jedné poloviny žhavicího vinutí 6,3 V síťového transformátoru bez zatížení.

Proudem lze měřit i kondenzátory elektrolytické. Na jejich polaritě při měření nezáleží, musí však být aspoň na dvojnásobek měřicího napětí. Polarizační stejnosměrné napětí není podle zkušenosti nutné — doporučuje se však déle nepoužívané elektrolyty před měřením „zformovat“ připojením na zdroj vhodného stejnosměrného napětí (kathodové typy na plochou baterii, filtrační na síťový zdroj 200 až 250 V) správnou polaritou.



Obr. 87. Měření kapacity voltmetrem

b) Ze dvou výchylek voltmetru (obr. 87). Voltmetr zapneme jednou před kondenzátor (na zdroj), podruhé za měřený kondenzátor (při menších kapacitách je nutné přepnout i měřicí rozsah voltmetru).

## Hledaná kapacita

$$C_x = \frac{U_1 \sqrt{U^2 - U_1^2} \cdot 10^6}{\omega R_p (U^2 - U_1^2)} \quad [\mu\text{F}; \text{V}, \text{V}, \text{rad/s}, \Omega, \text{V}, \text{V}] \quad (618)$$

kde  $C_x$  je hledaná kapacita,

$U$  napětí zdroje,

$U_1$  napětí za kondenzátorem,

$\omega$  úhlový kmitočet,

$R_p$  odpor voltmetru.

Pro síťový kmitočet 50 Hz se vztah (618) zjednoduší

$$C_x = \frac{3,18 \cdot 10^3 U_1 \sqrt{U^2 - U_1^2}}{R_p (U^2 - U_1^2)} \quad [\mu\text{F}; \text{V}, \text{V}, \Omega, \text{V}, \text{V}] \quad (619)$$

### Příklady:

1. Potřebujeme zjistit kapacitu svitkového kondenzátoru pomocí měřidla Avomet I a síťového střídavého napětí 120 V. Při zapojení do série prochází obvodem proud  $I = 4$  mA.

Dosažením známých údajů do vztahu (616) zjistíme, že

$$C_x = \frac{3,18 \cdot 10^3 \cdot 0,004}{120} = \frac{3,18 \cdot 4}{120} = \frac{12,73}{120} = 0,11 \mu\text{F}$$

2. Elektrolýtickým kondenzátorem prochází při napětí  $U = 3,18$  V střídavý proud 16 mA. Jakou má elektrolýt kapacitu?

Podle vztahu (617)

$$C_x = 16 \mu\text{F}$$

*Poznámka:* Pro katodové a vazební elektrolýty s provozním napětím do 6 V včetně, použijeme raději polovičního napětí  $U = 1,6$  V. Naměřený proud bude ovšem také jen poloviční — pro určení kapacity jej musíme násobit dvěma.

Například: Elektrolýtem  $x \mu\text{F}/6$  V prochází při napětí  $U = 1,6$  V proud  $I = 26$  mA. Kapacita  $C_x = 2I = 2 \cdot 26 = 32 \mu\text{F}$ .

3. V síti o napětí 220 V ukazuje Avomet I po připojení za neznámý kondenzátor napětí  $U_1 = 60$  V. Jaká je kapacita kondenzátoru? Používáme rozsahu 300 V.

Avomet I má odpor 1 000  $\Omega/V$ , na rozsahu 300 V tedy 300 000  $\Omega$ . Podle (619) je kapacita

$$C_x = \frac{3\,180 \cdot 60 \sqrt{220^2 - 60^2}}{3 \cdot 10^5 (220^2 - 60^2)} = \frac{1,91 \cdot 10^5 \sqrt{44\,800}}{3 \cdot 10^5 \cdot 44\,800} = 3 \cdot 10^{-3} \mu F = 3 \text{ nF}$$

**Měření indukčností.** Při něm lze používat střídavého proudu ze sítě jen pro informativní měření hodnot řádově jednotek henry; pro malé vf cívky se nehodí. Ale ani u větších indukčností nemusí být výsledky zcela správné, např. u tlumivek a výstupních transformátorů se stejnosměrnou předmagnetizací, která při měření chybí. Měřicí střídavé napětí volíme jen tak vysoké, aby vinutím procházející proud se nelišil od jmenovité hodnoty. Jinak se doporučuje měření můstkové (např. dostupným přístrojem Icomet apod.)

a) *Měření proudem* (viz obr. 86). Provádí se jako u odporů a kondenzátorů. Vinutí má — někdy dost velký činný odpor (kapacita vinutí je při kmitočtu sítě zanedbatelná). Indukční reaktance indukčnosti je vlastně impedance

$$Z = \sqrt{R_0^2 + \omega^2 L^2} \quad [\Omega; \Omega, \text{ rad/s}, \text{ H}] \quad (620)$$

kde  $Z$  je impedance,  
 $R_0$  odpor vinutí,  
 $\omega$  úhlový kmitočet,  
 $L$  indukčnost.

Impedanci lze též vypočítat ze vztahu

$$Z = \frac{U}{I} \quad [\Omega; \text{ V}, \text{ A}] \quad (621)$$

kde  $Z$  je impedance,  
 $U$  měřicí napětí,  
 $I$  procházející proud.

Hledaná indukčnost

$$L_x = \frac{\sqrt{Z^2 - R_0^2}}{\omega} \quad [\text{H}; \Omega, \Omega, \text{ rad/s}] \quad (622)$$

Je-li činný odpor zanedbatelný vůči impedanci ( $R_0 \ll Z$ ), potom  $Z \doteq \omega L$  a vztah (622) se zjednoduší na tvar

$$L_x = \frac{Z}{\omega} \quad [\text{H}; \Omega, \text{rad/s}] \quad (623)$$

Pro kmitočet sítě 50 Hz

$$L_x = 3,183 \cdot 10^{-3} Z \quad [\text{H}; \Omega] \quad (624)$$

Naopak pro nastavení žádané impedance (např. změnou vzduchové mezery v jádře tlumivky nebo výstupního transformátoru) použijeme obměny vztahu (621)

$$I = \frac{U}{Z} \quad [\text{A}; \text{V}, \Omega] \quad (625)$$

b) *Indukčnost ze dvou údajů voltmetru* (viz obr. 87). Při zanedbatelném odporu vinutí vůči impedanci je hledaná indukčnost

$$L_x = \frac{R_p}{\omega} \cdot \frac{\sqrt{U^2 - U_1^2}}{U_1} \quad [\text{H}; \Omega, \text{rad/s}, \text{V}, \text{V}, \text{V}] \quad (626)$$

kde  $L_x$  je neznámá indukčnost,

$R_p$  odpor voltmetru,

$U$  napětí zdroje,

$U_1$  napětí za indukčností.

Pro síťový kmitočet 50 Hz

$$L_x = 3,183 \cdot 10^{-3} R_p \frac{\sqrt{U^2 - U_1^2}}{U_1} \quad [\text{H}; \Omega, \text{V}, \text{V}, \text{V}] \quad (627)$$

*Příklady:*

1. Filtrační tlumivka má činný odpor 200  $\Omega$ . Po připojení na střídavé napětí 60 V jí prochází proud 20 mA. Jaká je její indukčnost? Můžeme odpor vinutí zanedbat?

Podle vztahu (621) je impedance tlumivky

$$Z = \frac{60}{0,02} = 3\,000\ \Omega$$

Při informativním měření můžeme tedy odpor vinutí zanedbat. Indukčnost (624)

$$L_x = 3,183 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3 = 3,183 \cdot 3 \doteq 9,5\ \text{H}$$

2. Potřebujeme alespoň přibližně nastavit indukčnost primárního vinutí výstupního transformátoru na 5 H změnou vzduchové mezery. Jaký proud přitom má procházet vinutím, je-li měřicí napětí 36 V? Impedance vinutí při  $f = 50\ \text{Hz}$  je

$$Z = \omega L = 2\pi f L = 314 \cdot 5 = 1\,570\ \Omega$$

Dosažením do vztahu (625) zjistíme potřebný proud

$$I = \frac{36}{1\,570} = 0,023\ \text{A}$$

Tento proud nastavíme oddalováním jha jádra vkládáním příslušně tlustých pásků papíru nebo lepenky.

*Poznámka:* Při oddálení jha klesne impedance a značně vzroste proud — pozor na poškození měřidla (přepnout na větší rozsah proudu)!

3. Žhavicí vinutí síťového transformátoru dává napětí naprázdno 14 V. Za tlumivkou o neznámé indukčnosti, zapojenou v sérii, ukázal Avomet I napětí 11 V. Jakou indukčnost má tato tlumivka?

Odpor Avometu I je  $1\,000\ \Omega/\text{V}$ , na rozsahu 30 V je tedy  $30\,000\ \Omega$ . Dosažením do vztahu (627) určíme

$$L_x = 3,183 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 10^3 \frac{\sqrt{14^2 - 11^2}}{11} = 95,5 \frac{\sqrt{196 - 121}}{11} \doteq 75\ \text{H}$$

## 39. Úroveň, zisk, útlum

Úroveň signálu, jeho zesílení (zisk) nebo zeslabení (útlum) se obvykle udává v decibelech (dB) nebo neperech (Np) [hlasitosti, popř. ve fónech (Ph)]. Jsou to logaritmické poměry napětí, proudů nebo výkonů.

Základem decibelové stupnice jsou dekadické logaritmy (log).

Základem neperové stupnice jsou přirozené (Napierovy) logaritmy (ln).

*Normální (nulový) výkon* je základ poměrové stupnice výkonů, potřebný k určení absolutního výstupního (nebo vstupního) výkonu.

Obě stupnice lze navzájem převádět:

*Převod dB na Np*

$$1 \text{ dB} = 0,115 \text{ Np} \quad (628)$$

*Převod Np na dB*

$$1 \text{ Np} = 8,686 \quad [\text{dB}] \quad (629)$$

*Decibely*

α) Poměr napětí

$$a_u = 20 \log \frac{U_2}{U_1} \quad [\text{dB}] \quad (630)$$

kde dB je decibelový poměr,

log symbol dekadického logaritmu,

$U_2$  výstupní napětí,

$U_1$  vstupní napětí

(měřeno na stejně velkém odporu).

β) Poměr proudů

$$a_i = 20 \log \frac{I_2}{I_1} \quad [\text{dB}] \quad (631)$$

kde  $I_2$  je výstupní proud,

$I_1$  vstupní proud.

γ) Poměr výkonů

$$a_p = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad [\text{dB}] \quad (632)$$

kde  $P_2$  je výstupní výkon,

$P_1$  vstupní výkon.

Výsledek s kladným znaménkem je zisk, se záporným znaménkem útlum (ztráta).

### Nepery

#### α) Poměr napětí

$$a_u = \ln \frac{U_2}{U_1} \quad [\text{Np}] \quad (633)$$

kde  $\ln$  je přirozený logaritmus,

$U_2$  výstupní napětí,

$U_1$  vstupní napětí.

#### β) Poměr proudů

$$a_i = \ln \frac{I_2}{I_1} \quad [\text{Np}] \quad (634)$$

kde  $I_2$  je výstupní proud,

$I_1$  vstupní proud.

#### γ) Poměr výkonů

$$a_p = 1/2 \left( \ln \frac{P_2}{P_1} \right) \quad [\text{Np}] \quad (635)$$

kde  $P_2$  je výstupní výkon,

$P_1$  vstupní výkon.

(Také přirozené logaritmy lze převádět na dekadické a naopak, viz odst. Logaritmy, v části III.)

*Poznámka:* Pro malé — často potřebné — poměry napětí a proudu (např. při průběhu frekvenční charakteristiky, zisku nebo útlumu členů  $RC$  apod.) si zapamatujeme hodnoty:

$$\begin{aligned} \pm 1 \text{ dB} &\doteq \begin{matrix} +12 \% \\ -10 \% \end{matrix}; & \pm 2 \text{ dB} &\doteq \begin{matrix} +25 \% \\ -20 \% \end{matrix}; & \pm 3 \text{ dB} &\doteq \\ & & & & & \begin{matrix} +40 \% \\ -30 \% \end{matrix}; & \pm 6 \text{ dB} &= \begin{matrix} +100 \% \\ -50 \% \end{matrix} \end{aligned}$$

$1/4 \doteq -12 \text{ dB}$ ;  $1/3 \doteq -10 \text{ dB}$ ;  $1/2 \doteq -6 \text{ dB}$ . Dvojnásobek  $\doteq 6 \text{ dB}$ ; trojnásobek  $\doteq 10 \text{ dB}$ ; čtyřnásobek  $\doteq 12 \text{ dB}$  atd.

Tab. 38. Hodnoty poměrů v dB

dB	$U_2 : U_1$		dB	$U_2 : U_1$		dB	$U_2 : U_1$	
	$I_2 : I_1$	$P_2 : P_1$		$I_3 : I_1$	$P_2 : P_1$		$I_2 : I_1$	$P_2 : P_1$
0,1	1,012	1,023	8,2	2,57	6,61	20	19,9	308
0,5	1,050	1,122	8,4	2,63	6,92	27	22,4	501
1,0	1,122	1,259	8,6	2,69	7,24	28	25,1	632
1,5	1,19	1,413	8,8	2,75	7,59	29	28,2	794
2,0	1,259	1,585	9,0	2,82	7,94	30	31,6	1 000
2,2	1,288	1,660	9,2	2,88	8,32	31	35,5	1 260
2,4	1,318	1,738	9,4	2,95	8,71	32	39,8	1 585
2,6	1,349	1,820	9,6	3,02	9,12	33	44,7	1 995
2,8	1,380	1,906	9,8	3,09	9,55	34	50,1	2 515
3,0	1,413	1,995	10,0	3,16	10,00	35	56,2	3 165
3,2	1,445	2,09	10,5	3,35	11,22	36	63,1	3 980
3,4	1,479	2,19	11,0	3,55	12,59	37	80,8	5 010
3,6	1,514	2,29	11,5	3,76	14,13	38	79,4	6 310
3,8	1,549	2,40	12,0	3,98	15,85	39	89,1	7 945
4,0	1,585	2,51	12,5	4,22	17,78	40	100,0	1 000
4,2	1,622	2,63	13,0	4,47	19,95	42	125,9	15 850
4,4	1,660	2,75	13,5	4,73	22,4	44	158,5	25 120
4,6	1,698	2,88	14,0	5,01	25,1	46	199,5	39 810
4,8	1,738	3,02	14,5	5,31	28,2	48	251	63 100
5,0	1,778	3,16	15,0	5,62	31,6	50	316	100 000
5,2	1,820	3,31	15,5	5,96	35,5	52	398	158 490
5,4	1,862	3,47	16,0	6,31	39,7	54	501	251 190
5,6	1,906	3,63	16,5	6,68	44,7	56	631	398 105
5,8	1,950	3,80	17,0	7,08	50,1	58	795	630 955
6,0	1,995	3,98	17,5	7,50	56,2	60	1 000	1 000 000
6,2	2,04	4,17	18,0	7,95	62,1	62	1 259	1 584 895
6,4	2,09	4,37	18,5	8,41	70,8	64	1 585	2 511 890
6,6	2,14	4,57	19,0	8,91	79,4	66	1 996	3 981 070
6,8	2,19	4,79	19,5	9,44	89,1	68	2 512	6 309 570
7,0	2,24	5,01	20	10,00	100,0	70	3 163	10 000 000
7,2	2,29	5,25	21	11,23	125,9	75	5 624	31 622 800
7,4	2,34	5,50	22	12,59	158,5	80	10 000	100 000 000
7,6	2,40	5,75	23	14,13	199,5	90	31,62.10 <sup>3</sup>	1,0 . 10 <sup>9</sup>
7,8	2,45	6,03	24	15,7	251	100	100 . 10 <sup>3</sup>	10 10 <sup>9</sup>
8,0	2,51	6,31	25	17,0	316	120	1 . 10 <sup>6</sup>	1,0 . 10 <sup>12</sup>

Poznámka:  $U_1 : U_2$  — poměr napětí;  $I_2 : I_1$  — poměr proudů;  $P_2 : P_1$  — poměr výkonů.

Tab. 39. Hodnoty poměrů v Np

Np	$U_2 : U_1$		Np	$U_2 : U_1$		Np	$U_2 : U_1$	
	$I_2 : I_1$	$P_2 : P_1$		$I_2 : I_1$	$P_2 : P_1$		$I_2 : I_1$	$P_2 : P_1$
0,1	1,01	1,02	1,25	3,49	12,4	4,4	80,5	6 500
0,05	1,05	1,11	1,30	3,67	13,6	4,5	89,0	8 000
0,10	1,11	1,23	1,35	3,85	15,0	4,6	99,0	9 600
0,20	1,22	1,49	1,40	4,05	16,5	4,7	110	11 900
0,25	1,28	1,65	1,45	4,26	18,3	4,8	120	14 500
0,27	1,31	1,72	1,50	4,47	20,2	4,9	132	17 700
0,30	1,35	1,83	1,55	4,71	22,3	5,0	148	21 600
0,32	1,38	1,90	1,60	4,95	25,0	5,2	180	32 000
0,35	1,42	2,02	1,65	5,21	27,5	5,4	220	48 000
0,37	1,45	2,10	1,70	5,47	30,0	5,6	270	71 000
0,40	1,49	2,22	1,75	5,76	33,3	5,8	330	109 000
0,42	1,52	2,32	1,80	6,05	37,0	6,0	400	162 000
0,45	1,57	2,46	1,85	6,36	40,0	6,2	495	241 000
0,47	1,60	2,56	1,90	6,68	45,0	6,4	600	360 000
0,50	1,65	2,72	1,95	7,03	50,0	6,6	740	545 000
0,52	1,68	2,83	2,0	7,40	55,0	6,8	900	810 000
0,55	1,73	3,00	2,1	8,2	67	7,0	1 110	1 200 000
0,57	1,77	3,13	2,2	9,0	82	7,2	1 340	1 790 000
0,60	1,82	3,32	2,3	10,0	100	7,4	1 650	2 680 000
0,62	1,85	3,46	2,4	10,8	120	7,6	2 000	3 980 000
0,65	1,91	3,68	2,5	12,0	147	7,8	2 450	5 950 000
0,67	1,95	3,83	2,6	13,3	182	8,0	3 000	8 800 000
0,70	2,01	4,06	2,7	14,6	220	8,2	3 670	13 600 000
0,72	2,05	4,22	2,8	16,0	265	8,4	4 500	19 700 000
0,75	2,11	4,50	2,9	17,8	327	8,6	5 500	29 000 000
0,77	2,16	4,67	3,0	19,8	400	8,8	6 700	44 000 000
0,80	2,22	4,97	3,1	21,7	495	9,0	8 200	65 000 000
0,82	2,26	5,18	3,2	24,0	595	9,2	10 000	100 000 000
0,85	2,34	5,49	3,3	26,6	730	9,4	12 200	145 000 000
0,87	2,38	5,70	3,4	29,3	890	9,6	15 000	215 000 000
0,90	2,45	6,07	3,5	32,5	1 100	9,8	18 400	320 000 000
0,92	2,50	6,32	3,6	36,0	1 330	10,0	22 500	475 000 000
0,95	2,58	6,70	3,7	40,0	1 630	12	162 000	26,5 · 10 <sup>9</sup>
0,97	2,63	6,97	3,8	44,5	2 000	14	1 132 000	1,45 · 10 <sup>12</sup>
1,00	2,71	7,40	3,9	49,0	2 410	16	8 810 000	78,9 · 10 <sup>12</sup>
1,05	2,85	8,20	4,0	54,0	2 950	18	64 000 000	4,31 · 10 <sup>15</sup>
1,10	3,00	9,03	4,1	59,5	3 600	20	485 000 000	235,5 · 10 <sup>15</sup>
1,15	3,16	10,00	4,2	66,0	4 400	25	72 · 10 <sup>9</sup>	5,18 · 10 <sup>17</sup>
1,20	3,31	11,1	4,3	72,5	5 350			

Poznámka:  $U_2 : U_1$  — poměr napětí;  $I_2 : I_1$  — poměr proudů;  $P_2 : P_1$  — poměr výkonů.

### Příklady:

1. Krystalový mikrofon má citlivost  $-80$  dB. Jak velké musí být zesílení připojeného zesilovače?

Zesílení musí být  $+80$  dB pro nulový výkon (tj.  $0$  dB). Podle tabulek nebo ze vztahu (630) je to  $10\,000$ , neboť  $20 \log 10\,000 = 20 \cdot 4 = 80$  dB.

2. Zosílení tranzistorového stupně je  $100$ . Kolik je to dB?

Porovnáme výstupní a vstupní napětí (na stejně velkém odporu). Je to (630)

$$20 \log 100 = 20 \cdot 2 = 40 \text{ dB}$$

3. Zisk telefonního zesilovače je  $12$  dB. Kolik je to Np?

S použitím převodního vztahu (628)

$$12 \text{ dB} = 12 \cdot 0,115 = 1,38 \text{ Np}$$

## 40. Zatížitelnost plošných spojů

Plošné spoje, zhotovené z měděné fólie, nalisované na destičce z izolantu (kuprextit, kuprextart), smí být zatěžovány proudem podle šířky spojovacího pásku a dovoleného oteplení při běžné tloušťce fólie  $35 \mu\text{m}$  (mikronů) podle tab. 40.

U destiček plátovaných měděnou fólií oboustranně je dovolené zatížení dvojnásobné (jsou-li spoje na obou stranách spolu spojeny).

Tab. 40. Zatížitelnost plošných spojů

Šířka spoje mm	Největší oteplení fólie [ $^{\circ}\text{C}$ ]		
	připustný proud [A]		
	30	50	70
0,8	2,0	2,9	3,4
1,0	2,4	3,1	3,8
1,5	3,0	3,9	4,5
2,0	3,6	4,7	5,6
2,5	4,3	5,6	6,8
3,0	5,0	6,5	7,8

## 41. Tavný proud vodičů

(při kterém se vodič vzniklým teplem přetaví)

a) pro *tenké vodiče*

$$I_{\text{tav}} = \frac{d - 0,005}{k} \quad [\text{A}; \text{mm}, \text{—}] \quad (636)$$

kde  $I_{\text{tav}}$  je tavný proud,  
 $d$  průměr vodiče,  
 $k$  konstanta materiálu.

Materiálová konstanta  $k$  ve vztahu (636) je pro stříbro — 0,031, měď — 0,034, konstantan — 0,07, železo — 0,127;

b) pro *tlustší vodiče*

$$I_{\text{tav}} = m \sqrt{d^3} \quad [\text{A}; \text{—}, \text{mm}] \quad (637)$$

kde  $m$  je materiálová konstanta.

Význam ostatních symbolů je stejný jako u vztahu (636). Materiálová konstanta  $m$  ve vztahu (637) pro měď — 80,0, hliník — 59,2, nikl — 40,8, železo — 24,6, cín — 12,8, olovo — 10,8.

*Příklady:*

1. Jakým proudem se přetaví holý měděný vodič o průměru 0,11 mm?

Podle vztahu (636), je-li pro měď konstanta  $k = 0,034$ , bude tavný proud

$$I_{\text{tav}} = \frac{0,11 - 0,005}{0,034} \doteq 3 \text{ A}$$

2. Jaký je tavný proud pro hliníkový vodič o průměru  $d = 0,8$  mm?  
Dosadíme do vztahu (637); konstanta pro hliník  $m = 59,2$ . Tavný proud

$$I_{\text{tav}} = 59,2 \sqrt{0,8^3} \doteq 42 \text{ A}$$

## 42. Značení elektronek

Značení elektronek v ČSSR se v současné době děje jednotným evropským způsobem. Znak se skládá ze skupiny písmen a skupiny číslic.

*První písmeno* určuje druh žhavení, buď podle napětí (pro paralelní spojování více elektronek) nebo podle proudu (pro spojování do série, tzv. sériové elektronky).

- A — střídavé nebo stejnosměrné napětí 4 V
- B — stejnosměrný proud 180 mA
- C — stejnosměrný nebo střídavý proud 200 mA
- D — napětí 1,25 V až 1,4 V z baterie
- E — napětí 6,3 V (u některých typů též proud 300 mA)
- F — napětí 13 V z autobaterie
- K — napětí 2 V (z akumulátoru)
- P — proud 300 mA
- U — proud 100 mA
- V — proud 50 mA

*Poznámka:* Některých druhů žhavení (např. jako B, C, F, V) se již dávno nepoužívá nebo se ani nevžily. V současné době se používá jen elektronky řady E pro paralelní žhavení a řady P pro sériové žhavení, zvláště v televizorech.

*Další písmena* udávají funkci elektronky

- A — demodulační dioda
- B — dvojitá demodulační dioda
- C — trioda zesilovací
- D — trioda výkonová (konecová)
- E — tetroda
- F — pentoda zesilovací (vf i nf)
- H — hexoda, heptoda
- K — oktoda
- L — pentoda výkonová (konecová)
- M — elektronový indikátor („magické oko“)
- N — tyatron

- P — násobič elektronů
- Q — enioda (detektor a omezovač pro FM)
- W — jednoduchá plynová usměrňovací dioda
- X — dvojitá plynová usměrňovací dioda
- Y — jednoduchá vakuová usměrňovací dioda
- Z — dvojitá vakuová usměrňovací dioda

Ve skupině číslic první udává provedení podle použité patice; ostatní číslice tvoří typové označení.

- 1— 9 Elektronky s bakelitovou paticí a s osmi postranními kontakty (lamelová patice). Starší typy pětikolíkové a pětिलamelové
- 10—19 Kovové elektronky s bakelitovou paticí T s osmi kolíky a vodicím klíčem. (Elektronky koncové, indikátory a některé usměrňovací jsou však skleněné)
- 20—29 Celoskleněné s lisovanou paticí oktál a vodicím klíčem (klíčové elektronky) s osmi kolíky
- 30—39 Skleněné elektronky s paticí oktál a vodicím klíčem
- 40—49 Menší skleněné s lisovanou paticí „rimlock“
- 50—59 Zvláštní elektronky různého provedení
- 60—69 Elektronky podobné řadě 20—29, ale s desítkou kolíky
- 70—79 Trpasličí elektronky bez patice (drátové vývody)
- 80—89 Skleněné elektronky s lisovanou paticí noval a devíti kolíky
- 90—99 Skleněné elektronky miniaturní se sedmikolíkovou paticí heptal

U *sdužených elektronek*, které obsahují několik funkčních systémů ve společné baňce, se v označení spojují písmenové znaky všech systémů.

Vývoj však již i toto rozdělení předstihl. Dnes je nutné např. vyjádřit v označení zvýšenou přesnost parametrů, zvláště dlouhou životnost, použitelnost pro průmyslové účely atd. Tak vznikají znaky E88CC, PCF200, EF806S aj.

## *Příklady:*

- AF7 — Starší vf pentoda s lamelovou paticí, žhavicí napětí 4 V  
EF86 — Nf pentoda s novalovou paticí, žhavicí napětí 6,3 V  
PL82 — Výkonová (koncová) pentoda s novalovou paticí, žhavicí proud 0,3 A  
EABC80 — Sdružená trojitá dioda — nf trioda s novalovou paticí, žhavicí proud 0,3 A, nebo žhavicí napětí 6,3 V  
DL96 — Koncová pentoda s heptalovou paticí (starší značení TESLA 1L33), žhavicí napětí 1,4 V z baterie  
ECC83 — Dvojitá trioda s novalovou paticí, žhavicí napětí 6,3 V  
PL500 — Výkonová pentoda do televizoru, žhavicí proud 0,3 A

## **43. Značení diod, tranzistorů a tyristorů**

Označování polovodičových součástek se průběhem doby měnilo. V současné době se používá následujícího klíče:

Označení se skládá ze dvou částí — skupiny písmen a skupiny číslic. Skupina písmen je u běžných součástek dvojmístná a udává základní materiál a druh polovodičové součástky (dioda, tranzistor, fotonka apod.).

Skupina číslic je trojmístná a neudává technické vlastnosti — slouží jen k typovému označení.

### *Značení výrobků TESLA*

První písmeno značí polovodičový materiál:

G — germanium

K — křemík

Druhé písmeno udává druh polovodičového prvku:

A — dioda (univerzální)

C — tranzistor nízkofrekvenční

D — tranzistor nf výkonový

E — tunelová dioda

F — tranzistor vysokofrekvenční

L — tranzistor vf výkonový

P — fotodioda, fotonka, fototranzistor

- S — tranzistor spínací
- T — řízený usměrňovač (tyristor)
- U — tranzistor spínací výkonový
- Y — usměrňovač výkonový
- Z — Zenerova nebo referenční dioda

Polovodičové součástky pro průmyslové použití mají typové značení složené ze tří písmen a dvou číslic.

*Evropské značení.* Značení zahraničních, zvláště západních polovodičových součástek je velmi nejednotné. Našemu značení se nejvíce blíží tzv. jednotné evropské značení, složené rovněž z části písmenové a z části číslicové. První písmeno však zde značí nejen polovodičový materiál, ale někdy i druh vodivosti.

- A — germaniové diody a tranzistory
- B — křemíkové diody a tranzistory

Druhé písmeno skupiny udává druh polovodičové součástky (vř tranzistor, tyristor, nf tranzistor apod.) se stejným významem, jak bylo uvedeno výše u značení TESLA.

Skupinu číslic volí výrobce podle pořadí a nemá žádný technický význam.

Pro součástky k průmyslovému použití se i v evropském značení používá písmenové skupiny o třech členech, číslicové skupiny dvoučlenné.

*Příklady:*

Značení TESLA:

- GA204 germaniová (hrotová) dioda
- 5NZ70 Zenerova (stabilizační) dioda
- KY705 křemíkový (síťový) usměrňovač
- KT710 křemíkový tyristor středního výkonu
- KF507 vř křemíkový tranzistor
- GD608 nf výkonový germaniový tranzistor
- KFY43 křemíkový vř tranzistor pro průmyslové použití

Evropské značení:

BA106 křemíková vf dioda

AC152 germaniový nf tranzistor PNP

BF115 křemíkový vf tranzistor NPN

AD148 germaniový nf výkonový tranzistor PNP

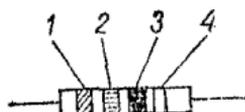
BUY46 křemíkový spínací tranzistor NPN pro průmyslové účely

## 44. Barevný kód

### pro označování miniaturních odporů TESLA

U miniaturních odporů se přechází na mezinárodní barevný kód, používaný v zahraničí již po desetiletí.

Jmenovitá hodnota odporu v ohmech a dovolená odchylka v procentech se značí barevnými proužky v určitém pořadí. První proužek je umístěn nejbližše okraji odporového tělíska (obr. 88).



Obr. 88. Značení odporů barevnými proužky

Tab. 41. Barevné značení odporů TESLA

Barva	Odstín podle ČSN 63 3067	Velikost odporu [ $\Omega$ ]			Tolerance [%]
		1. číslice	2. číslice	násobitel	
		1. proužek <sup>1</sup>	2. proužek	3. proužek	4. proužek
černá	1999	—	0	1	
hnědá	2430	1	1	10	
červená	8190	2	2	10 <sup>2</sup>	
oranžová	7550	3	3	10 <sup>3</sup>	
žlutá	6200	4	4	10 <sup>4</sup>	
zelená	5300	5	5	10 <sup>5</sup>	
modrá	4550	6	6	10 <sup>6</sup>	
fiolová <sup>2)</sup>		7	7	10 <sup>7</sup>	
šedá	1110	8	8	10 <sup>8</sup>	
bílá	1000	9	9	10 <sup>9</sup>	
zlatá <sup>2)</sup>		—	—	10 <sup>-1</sup>	
stříbrná	9110			10 <sup>-2</sup>	
bez barvy					

1) První proužek je umístěn nejbližše okraje tělesa odporu.

2) Tento odstín není v uvedené ČSN stanoven.

*Poznámka:* V zahraničí se používá barevného značení také pro kondenzátory. Na nich je barvou udán i druh dielektrika, (slída, papír, keramika), teplotní součinitel kapacity, provozní napětí apod., takže značek je mnohem více a čtou se v pořadí, označovaném šipkami. V ČSSR se zatím kondenzátory barevným kódem neznačí.

*Příklady:*

1. Miniaturní odpor TESLA má čtyři barevné proužky, od kraje: žlutý — fialový — hnědý — stříbrný. Jakou má velikost a toleranci?

Podle tabuly zjistíme  $4 - 7 - 0 = 470 \Omega$ , tolerance  $\pm 10 \%$ .

2. Určete velikost a toleranci odporu, označeného třemi proužky v pořadí: oranžový — červený — žlutý.

Velikost je  $3 - 2 \cdot 10^4 = 320\,000 \Omega = 320 \text{ k}\Omega$ . Čtvrtý proužek chybí, proto je tolerance  $\pm 20 \%$ .

Tab. 42. Izolační materiály používané na dielektrikum kondenzátorů

Materiál	Poměrná permitivita $\epsilon_r$	Úhel ztrát <sup>1)</sup> $\operatorname{tg} \delta$	Měrný odpor <sup>2)</sup> [ $\Omega \text{ cm}$ ]	Elektrická pevnost [kV/mm]
Keramika typu I <sup>3)</sup>				
Porcelit	~ 7	(6 až 10) $10^{-4}$	$10^{12}$	12
Stabilit L33P	15 až 20	(8 až 10) $10^{-4}$	$10^{13}$	> 12
L47N	15 až 20	(8 až 10) $10^{-4}$	$10^{13}$	> 12
K47N	35 až 40	(8 až 10) $10^{-4}$	$10^{12}$	> 10
Rutilit	80 až 100	(10 až 12) $10^{-4}$	$10^{12}$	> 10
Keramika typu II <sup>4)</sup>				
Permitit 2000	1 700 až 2 000	(300 až 350) $10^{-4}$	$10^{12}$	> 3
4001	3 000 až 5 000	(200 až 250) $10^{-4}$	$10^{11}$	> 3
6000	5 000 až 7 000	~ 200 · $10^{-4}$	$10^{11}$	> 3
10 000	10 000	~ 200 · $10^{-4}$	$10^{10}$	~ 3
Plasty <sup>5)</sup>				
polyamid (silon, nylon)	3,5	(130 až 300) $10^{-4}$	$10^{11}$	25
polyetylen (alkatén)	2,3	8 · $10^{-4}$	$10^{13}$	60 až 100 <sup>6)</sup>
polykarbonát (makrolon)	3	6 · $10^{-4}$	$10^{12}$	50
polystyren vf (styroflex, trolitul)	2,3 až 2,5	2 · $10^{-4}$	$10^{13}$	35 až 40

polypropylen (moplen)	2,2	10 · 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>12</sup>	35
polytetrafluoretylén (teflon)	2	(2 až 5) 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>13</sup>	40
polyvinylchlorid (PVC, igelit)	5 až 8	200 · 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>12</sup>	25
polyetyléntereftalát (terylen)	3	120 · 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>12</sup>	40 až 50
papír napouštěný	2,4 až 4,2	(70 až 100) 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>12</sup>	30 až 50
sklo	5 až 9	(6 až 10) 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>12</sup>	20 až 40
slída (muskovit)	6 až 8	(1 až 2) 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>13</sup>	40 až 60

1) Při kmitočtu  $f = 1 \text{ MHz}$  a teplotě  $\vartheta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2) Povrchový. Podle zpracování a čistoty se údaje různých výrobků liší řádově. Rovněž údaje o elektrické pevnosti nejsou ani zdaleka jednotné.

3) Pro kondenzátory do rezonančních a vf obvodů (malá změna kapacity s teplotou, malé dielektrické ztráty).

4) Hodí se pro kondenzátory do nf obvodů a na filtrační a blokovací kondenzátory ss napětí, kde se požaduje velká kapacita při malém objemu, avšak teplotní stabilita a ztráty jsou druhořadého významu.

5) V závorce jsou uvedeny některé obchodní názvy.

6) Platí pro fólii tloušťky 0,05 mm.

Tab. 43. Převod britských a amerických rozměrů drátu (výťah)

Číslo	American wire gauge <sup>1)</sup>		British standard wire gauge <sup>2)</sup>	
	[inch]	[mm]	[inch]	[mm]
10	0,120	2,59	0,128	3,25
11	0,091	2,30	0,116	2,95
12	0,081	2,05	0,104	2,64
13	0,072	1,83	0,092	2,34
14	0,064	1,63	0,080	2,03
15	0,057	1,45	0,072	1,83
16	0,051	1,29	0,064	1,63
17	0,045	1,15	0,056	1,42
18	0,040	1,02	0,048	1,22
19	0,036	0,91	0,040	1,02
20	0,032	0,81	0,036	0,91
21	0,0285	0,72	0,032	0,81
22	0,0253	0,64	0,028	0,71
23	0,0226	0,57	0,024	0,61
24	0,0201	0,51	0,022	0,56
25	0,0179	0,45	0,020	0,51
26	0,0159	0,40	0,018	0,46
27	0,0142	0,36	0,0164	0,42
28	0,0126	0,32	0,0148	0,38
29	0,0113	0,29	0,0136	0,345
30	0,0100	0,254	0,0124	0,315
31	0,0089	0,227	0,0116	0,295
32	0,0080	0,202	0,0108	0,274
33	0,0071	0,180	0,0100	0,254
34	0,0063	0,160	0,0092	0,234
35	0,0056	0,143	0,0084	0,213
36	0,0050	0,127	0,0076	0,193
37	0,0045	0,113	0,0068	0,173
38	0,0040	0,101	0,0060	0,152
39	0,0035	0,089	0,0052	0,132
40	0,0030	0,080	0,0048	0,122

1) Zkratka AWG, též B & S (Brown & Sharp).

2) Zkratka IWG nebo SWG.

Tab. 44. Odporové vodiče holé lesklé a oxidované

Průměr mm	Nikelin <sup>1)</sup>		Konstantan <sup>2)</sup>		Manganan <sup>2)</sup>	
	Odpor [Ω/m]	Hmot- nost [g/m]	Odpor [Ω/m]	Hmot- nost [g/m]	Odpor [Ω/m]	Hmot- nost [g/m]
0,05	203,7	0,0171	254,7	0,0174	219,8	0,0165
0,056	162,4	0,0214	203,0	0,0218	174,5	0,0207
0,063	128,3	0,0272	160,4	0,0276	137,9	0,0262
0,071	101,0	0,0345	126,3	0,0351	108,6	0,0332
0,080	79,58	0,0438	99,47	0,0446	85,54	0,0412
0,090	62,88	0,0555	78,60	0,0565	67,59	0,0534
0,100	50,93	0,0685	63,66	0,0697	54,75	0,0658
0,112	40,60	0,0860	50,75	0,0875	43,65	0,0825
0,125	32,59	0,107	40,74	0,109	35,04	0,103
0,132	29,23	0,119	36,54	0,121	31,42	0,115
0,140	25,99	0,134	32,48	0,136	27,93	0,129
0,150	22,64	0,154	28,29	0,157	24,33	0,148
0,160	19,84	0,175	24,80	0,178	21,33	0,169
0,170	17,62	0,198	22,03	0,202	18,94	0,190
0,180	15,72	0,222	19,65	0,226	16,90	0,214
0,190	14,11	0,247	17,64	0,252	15,17	0,238
0,200	12,73	0,274	15,92	0,279	13,69	0,264
0,212	11,33	0,308	14,17	0,314	12,18	0,296
0,224	10,15	0,354	12,69	0,350	10,91	0,330
0,236	9,144	0,381	11,43	0,388	9,830	0,367
0,250	8,149	0,428	10,19	0,435	8,760	0,412
0,265	7,252	0,480	9,065	0,490	7,796	0,462
0,280	6,496	0,536	8,120	0,546	6,983	0,516
0,300	5,695	0,615	7,074	0,628	6,083	0,593
0,400	3,183	1,10	3,979	1,11	3,422	1,05
0,450	2,515	1,38	3,144	1,41	2,704	1,33
0,500	2,037	1,71	2,547	1,74	2,190	1,65
0,560	1,624	2,15	2,030	2,19	1,746	2,06
0,600	1,415	2,46	1,768	2,51	1,521	2,37
0,710	1,010	3,45	1,263	3,51	1,086	3,32

Průměr mm	Nikolin <sup>1)</sup>		Konstantan <sup>2)</sup>		Manganan <sup>3)</sup>	
	Odpor [Ω/m]	Hmot- nost [g/m]	Odpor [Ω/m]	Hmot- nost [m/g]	Odpor [Ω/m]	Hmot- nost [g/m]
0,800	0,795 8	4,50	0,994 7	4,46	0,855	4,32
0,900	0,628 8	5,55	0,786 0	5,65	0,675 9	5,34
1,00	0,496 6	6,85	0,636 6	6,97	0,547 5	6,58
1,12	0,406 0	8,60	0,507 5	8,75	0,436 5	8,25
1,18	0,365 8	9,50	0,457 2	9,70	0,393 2	9,16
1,32	0,292 3	11,9	0,365 4	12,1	0,314 2	11,5
1,40	0,259 8	13,4	0,324 8	13,6	0,279 3	12,9
1,50	0,226 4	15,4	0,282 9	15,7	0,243 3	14,8
1,60	0,199 0	17,5	0,248 7	17,8	0,213 9	16,8
1,70	0,176 2	19,8	0,220 3	20,1	0,189 5	19,0
1,80	0,157 2	22,2	0,196 5	22,6	0,169 0	21,4
1,90	0,141 1	24,7	0,176 4	25,2	0,151 7	23,7
2,00	0,127 3	27,4	0,159 2	27,9	0,136 9	26,4
2,24	0,101 5	34,3	0,126 9	35,0	0,109 0	33,1
2,36	0,091 4	38,1	0,114 3	38,8	0,098 3	36,7
2,65	0,072 52	48,0	0,099 65	49,0	0,077 96	46,3
2,80	0,064 96	53,5	0,081 20	54,6	0,069 83	51,6
3,00	0,056 59	61,5	0,070 74	62,8	0,060 83	59,3

1) ČSN 42 3064. Měrný odpor  $\rho = 0,4 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .

2) ČSN 42 3065. Měrný odpor  $\rho = 0,5 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .

3) ČSN 42 3056. Měrný odpor  $\rho = 0,43 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .

Tab. 45. Odporové vodiče topné

Průměr [mm]	Kanthal D <sup>1)</sup> Střední odpor [Ω/m]	Hmot- nost [g/m]	Průměr [mm]	Cekas <sup>2)</sup> Střední odpor [Ω/m]	Hmot- nost [g/m]
0,100	171,8	0,057	0,10	138	0,0648
0,112	137,0	0,071	0,11	114	0,0784
0,125	110,0	0,089	0,12	95,7	0,0932
0,135	98,65	0,099	0,13	81,3	0,110
0,140	87,70	0,112	0,14	70,2	0,127
0,150	76,40	0,128	0,15	61,1	0,146
0,160	67,14	0,146	0,16	53,8	0,166
0,170	59,48	0,165	0,17	47,6	0,187
0,180	53,05	0,185	0,18	42,6	0,210
0,190	47,61	0,206	0,19	38,0	0,234
0,200	42,97	0,228	0,20	34,4	0,259
0,212	38,25	0,256	0,22	27,5	0,382
0,224	34,26	0,286	0,25	22,0	0,405
0,236	30,86	0,317	0,275	18,2	0,490
0,250	27,50	0,356	0,30	15,3	0,583
0,265	24,48	0,400	0,35	11,2	0,794
0,280	21,93	0,446	0,40	8,58	1,04
0,300	19,10	0,513	0,45	6,80	1,31
0,355	13,64	0,718	0,50	5,52	1,62
0,400	10,74	0,911	0,60	3,82	2,34
0,450	8,488	1,153	0,70	2,80	3,18
0,500	6,876	1,424	0,80	2,15	4,15
0,560	5,481	1,786	0,90	1,7	5,24
0,600	4,775	2,050	1,0	1,38	6,48
0,710	3,410	2,870	1,1	1,14	7,84
0,800	2,686	3,644	1,2	0,957	9,32
0,900	2,121	4,612	1,3	0,813	11,0
1,00	1,719	5,694	1,4	0,702	12,7
1,12	1,370	7,143	1,5	0,611	14,6
1,18	1,234	7,929			
1,32	0,987	9,922			
1,40	0,877	11,160			
1,50	0,764	12,810			

1) Kanthal D — měrný odpor  $\rho = 1,35 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .2) Cekas — měrný odpor  $\rho = 1,082 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .

### III. DODATEK

#### 45. Počet s mocninami a logaritmy

To není žádná „vysoká matematika“, které se tak mnozí bojí. Naopak nám velmi usnadňuje složitější výpočty a mění je na práci téměř mechanickou pomocí tabulek nebo logaritmického pravítka. Protože pravítko nebývá vždy po ruce a logaritmické tabulky obvykle neobsahují návod k použití, jsou v dalším uvedena stručná pravidla počtu s mocninami i logaritmy a logaritmické tabulky.

**Mocniny.** Pomocí mocnin deseti lze vyjádřit dlouhé číselné výrazy. Tak číslo 158 000 můžeme krátce napsat jako  $1,58 \cdot 10^5$ , nebo 0,000 002 8 ve tvaru  $2,8 \cdot 10^{-6}$ .

Běžně rozdělujeme výsledné číslo tak, aby před desetinnou čárkou byla jen jedna platná číslice nebo nula. Zlomky a násobky základních jednotek, které nás zde nejvíce zajímají, stoupají většinou v třetí mocnině deseti ( $10^3$ ,  $10^6$ ,  $10^9$  nebo  $10^{-6}$ ,  $10^{-12}$  apod.). Tu je výhodnější převádět příslušná čísla na tyto mocniny (např. místo  $2,3578 \cdot 10^4$  dosadit shodné číslo  $23,578 \cdot 10^3$ ), čímž se některá čísla často krátí (ruší) a výpočet se zjednoduší.

#### *Pravidla počtu s mocninami*

a) Sčítání a odčítání je přímo možné jen u mocnin stejného stupně (tj. se stejným mocnitelem).

Obecně platí pro sčítání vzorec

$$a \cdot 10^m + b \cdot 10^m = (a + b) 10^m \quad (638)$$

a pro odčítání

$$a \cdot 10^m - b \cdot 10^m = (a - b) 10^m \quad (639)$$

Nejsou-li obě mocniny stejného stupně, je možné jednu z nich převést na stupeň mocniny druhé, např.  $10^4 = 10 \cdot 10^3$  nebo  $10^3 = 0,1 \cdot 10^4$ . Za předpokladu, že  $m < n$ , je součet

$$a \cdot 10^m + b \cdot 10^n = 10^m(a + b \cdot 10^{n-m}) \quad (640)$$

a rozdíl

$$a \cdot 10^n - b \cdot 10^m = 10^m(a \cdot 10^{n-m} - b) \quad (641)$$

b) Násobení mocnin se provede sčítáním mocnitelů (exponentů)

$$10^m \cdot 10^n = 10^{m+n} \quad (642)$$

c) Dělení se děje odčítáním mocnitelů

$$10^m : 10^n = 10^{m-n} \quad (643)$$

d) Umocňování se provádí násobením mocnitelů

$$(10^m)^n = 10^{mn} \quad (644)$$

e) Odmocňování se děje dělením mocnitelů

$$\sqrt[n]{10^m} = 10^{\frac{m}{n}} \quad (645)$$

f) Změna znaménka. Při dosazení mocniny z čitatele do jmenovatele a naopak se mění její znaménko v opačné

$$\frac{1}{10^n} = 10^{-n} \quad (646)$$

nebo

$$10^m = \frac{1}{10^{-m}} \quad (647)$$

*Příklady:*

1. Kolik je  $3 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^3$ ? Jde o mocniny stejného stupně. Podle vztahu (638)

$$3 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^3 = (3 + 2) \cdot 10^3 = 5 \cdot 10^3$$

2. Máme zjistit rozdíl mocnin  $5 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^5$ . Podle vztahu (639)

$$(5 - 3) \cdot 10^5 = 2 \cdot 10^5$$

3. Jaký je součet čísel  $3 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^5$ ? Jsou to mocniny nestejného stupně, proto dosadíme do vztahu (640)

$$3 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^5 = 10^3(3 + 5 \cdot 10^{5-3}) = 10^3(3 + 5 \cdot 10^2) = 503 \cdot 10^3 = \\ = 5,03 \cdot 10^5$$

4. Zjistěte rozdíl čísel  $5 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^3$ .

Podle vztahu (641) bude

$$5 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^3 = 10^3(5 \cdot 10^{5-2} - 3) = \\ = 10^3(500 - 3) = 497 \cdot 10^3 = 4,97 \cdot 10^5$$

5. Potřebujeme navzájem znásobit mocniny  $10^4 \cdot 10^7$ .

Podle vztahu (642) je to  $10^{4+7} = 10^{11}$ .

6. Dělte mocninu  $10^6$  mocninou  $10^2$ .

Dosazením do vztahu (643) dostaneme

$$10^{6:2} = 10^3 = 1\,000$$

7. Proveďte umocnění mocniny  $10^3$  na druhou.

Podle vztahu (644)

$$(10^3)^2 = 10^{3 \cdot 2} = 10^6 = 1\,000\,000$$

8. Kolik je druhá odmocnina z  $10^4$ ?

Použijeme vztahu (645)

$$\sqrt[4]{10^4} = 10^{\frac{4}{2}} = 10^2 = 100$$

9. Jak vyjádříme jinak zlomek  $\frac{1}{100} = \frac{1}{10^2}$ ? Jak  $10^5$ ?

Podle vztahu (646)

$$\frac{1}{10^2} = 10^{-2}; \quad 10^5 = \frac{1}{10^{-5}}$$

[Tyto vztahy se často objevují ve výrazu jednotek, např. rychlost v m/s (metr za sekundu) se obvykle píše  $m \cdot s^{-1}$  (metr krát sekunda na minus prvou).]

**Počítání s logaritmy.** Hledání mocnin a odmocnin, ale i násobení nebo dělení větších čísel provádíme snadno pomocí logaritmů. Logaritmy čísel jsou uvedeny buď v tabulkách, nebo méně přesně na logaritmických pravítkách. Protože logaritmy velmi usnadňují práci i méně zdatným počtářům, věnujeme logaritmickému počtu samostatné pojednání, aby vše potřebné měli po ruce.

*Logarithmus je mocnitel (exponent), jímž je nutné umocnit daný základ (bázi), abychom dostali žádané číslo:*

$$\log_b b^m = m \quad (648)$$

kde  $\log_b$  je logarithmus o základu  $b$ ,

$b$  základ (báze)

$m$  mocnitel (exponent).

Například  $\log_{10} 10^3 = 3$ .

Je-li základem logaritmů číslo 10, jsou to *logaritmy desítkové (dekadické)* neboli Briggsovy. Značí se  $\log$  (základ se nepřipisuje).

*Logaritmy přirozené*  $\ln$  neboli Napierovy mají za základ Eulerovo číslo  $e = 2,71828\dots$

Logarithmus se skládá z charakteristiky (tj. celého čísla kladného, záporného nebo nuly), která odpovídá řádu čísla, a z desetinného zlomku, zvaného mantisa. Např. u logaritmu 7,2369 je číslice 7 charakteristika, 2369 mantisa.

Logaritmy desetinných zlomků jsou záporné. Abychom je mohli také hledat přímo v tabulkách, dáváme zápornou charakteristiku za mantisu, které před desetinnou čárkou přidáme nulu. Např.  $\log 0,939 = 0,9727-1$ .

Charakteristika se řídí řádem logaritmovaného čísla:

$\log 1 = 0,$	a obdobně
$\log 10 = 1,$	$\log 0,1 = -1.$
$\log 100 = 2,$	$\log 0,01 = -2,$
$\log 1\ 000 = 3,$	$\log 0,001 = -3$

atd.

Logaritmičké tabulky obsahují jen mantisy — podle přesnosti a rozsahu 3 až 10místné. Logaritmus sestavíme snadno z příslušné charakteristiky, odpovídající řádu čísla a z mantisy, obsažené v tabulkách (viz str. 324, tab. 46).

Dále jsou uvedeny trojmístné mantisy dekadických logaritmů od 10 do 99 (Tab. 46). Mantisy jednomístné až trojmístné nalezneme v tabulce přímo. Pomocí tzv. opravných číslic, uvedených v pravé části tabulky, můžeme v případě potřeby určit ještě čtvrté, popřípadě i páté místo mantisy. Připojené tabulky jsou proti běžným zjednodušeny tím, že místo sloupečků interpolačních částí P. P. jsou opravné číslice uvedeny přímo v řádcích příslušných mantis a není tedy třeba je počítat. Výpočet je nejméně stejně přesný jako na větším logaritmičkém pravítku.

Počítání na logaritmičkém pravítku zde neuvádíme. Jednak vyšlo mnoho více méně podrobných návodů, jednak majitelé pravítka jistě ovládají aspoň hlavní početní úkony na něm (násobení, dělení, mocnění a odmocnění).

Při počítání pomocí tabulek převádíme všechny potřebné hodnoty na logaritmy. S nimi provedeme příslušné početní úkony podle pravidel logaritmičkého počtu a nakonec najdeme zpětně k výslednému logaritmu příslušné číslo (numerus).

Používání logaritmičkých tabulek si ukážeme nejlépe na příkladech:

#### a) *Hledání logaritmů*

1. Máme najít logaritmus čísla 324.

Charakteristika bude 2 (jde o stovky). V logaritmičkých tabulkách najdeme ve svislém sloupci *N* prvá dvě čísla, tj. 32. Třetí místo mantisy vyhledáme na stejném řádku ve sloupci nadepsaném 4 — hodnotu 5105. Výsledek:  $\log 324 = 2,5105$ .

2. Máme určit logaritmus čísla 24,57.

Charakteristika je 1, v logaritmičkých tabulkách na řádku 24 a ve sloupci 5 je mantisa 3892. Čtvrté místo hledáme na stejném řádku ve sloupci opravných číslic, nadepsaném 7. Je to číslo 12, které k mantise přičteme:  $3892 + 12 = 3904$ . Výsledek:  $\log 24,57 = 1,3904$ .

3. Máme nalézt logaritmus čísla 245,35.

Řád čísla, a tedy charakteristika logaritmu je 2. Mantisa bude pětimístná. Na řádce 24 ve sloupci 5 najdeme mantisu 3892. Čtvrté místo vyhledáme v opravných číslicích pod záhlavím 3. Je to číslice 5, kterou připočteme:  $3892 + 5 = 3897$ . Páté místo je ve sloupci 5 — číslice 9. Tu připišeme jako další místo mantisy. Výsledek:

$$\log 245,35 = 2,38979$$

b) *Hledání čísla k logaritmu*

4. Při výpočtu nám vyšel výsledný logaritmus 3,4567. Jakému číslu přísluší?

Číslo (num log), kterému logaritmus přísluší, hledáme v tabulkách opačným způsobem než při převodu čísel na logaritmy. Charakteristiky 3 si zatím nevšímáme a v tabulkách hledáme mantisu, nejbližší nižší než 4567. Je to na řádce 28 ve sloupci 6 mantisa 4564. Do dané mantisy chybí tady  $4567 - 4564 = 3$ . Tu najdeme na stejném řádku opravných číslic pod záhlavím 2. To je další místo mantisy, celkem 2862. Podle charakteristiky logaritmu 3 (tisíce) oddělíme ve výsledku 4 místa odleva. Výsledek: Num log  $3,4567 = 2862,0$ . Při 3 nebo 5místných logaritmech postupujeme obdobně.

*Pravidla logaritmického počtu.* Při logaritmickém počtu se početní úkon snižuje o jeden stupeň, tj. násobení se mění ve sčítání logaritmů, mocnění v jejich násobení, dělení na odčítání apod.

Násobení se děje sčítáním logaritmů

$$\log(ab) = \log a + \log b \quad (649)$$

Dělení se provádí odčítáním logaritmů

$$\log \frac{a}{b} = \log(a : b) = \log a - \log b \quad (650)$$

Mocnění se děje násobením logaritmu mocnitelem

$$\log a^n = n \log a \quad (651)$$

Odmocnění se provádí dělením logaritmu odmocnitelem

$$\log \sqrt[n]{a} = \frac{1}{n} \log a = \frac{\log a}{n} \quad (652)$$

a) Násobení, dělení

1. Máme znásobit  $897 \cdot 36,4$ . Podle vztahu (649) provedeme součet logaritmů těchto čísel.  $\log 897 = 2,9528$ ,  $\log 36,4 = 1,5611$ . Součet obou  $2,9528 + 1,5611 = 4,5139$ . Číslo, jemuž tento logaritmus náleží, najdeme v tabulkách. Na řádce 32 ve sloupci 6 je mantisa 5132, menší o 7 než mantisa daná. Rozdíl najdeme v opravném sloupcu 5, takže celá mantisa je 3265. Podle charakteristiky 4 oddělíme odleva desetitisíce. Výsledek:  $897 \cdot 36,4 = 32\ 650$ .

2. Máme dělit  $64,2$  číslem 246. Najdeme  $\log 64,2 = 1,8075$ ,  $\log 246 = 2,3909$ . Podle vztahu (650) je odečteme:  $1,8075 - 2,3909$ . To nelze provést — proto k menší hodnotě menšence připočteme tak velké celé číslo (charakteristika), aby odčítání menšitele bylo možné. Pomocnou číslicí ve výsledku zase odečteme. Například  $1,8075 + 1 - 2,3909 = 2,8075 - 2,3909 = 0,4166 - 1$ . V tabulkách najdeme příslušné číslo  $N = 261$ , řád je  $-1$ . Výsledek  $64,2 : 246 = 0,261$ .

b) Mocnění, odmocnění

3. Potřebujeme určit  $\sqrt[3]{245}$ . Podle vztahu (652) hledáme  $1/3$  logaritmu čísla 245.  $\log 245 = 2,3892$ ,  $\frac{2,3892}{3} = 0,7964$ . Nejblíže nižší číselný obraz v tabulkách mantis je 7959 na řádce 62 ve sloupci 5, tedy 625. Rozdíl je 5 a k nim najdeme ve sloupci opravných číslic 7 jako další místo. Celek je tedy 6257. Charakteristika je 0, oddělíme tedy odleva jedno místo. Výsledek:  $\sqrt[3]{245} = 6,257$ .

Podobně hledáme druhou, pátou nebo jinou odmocninu.

4. Chceme najít výsledek  $237,5^5$ . Podle vztahu (651) určíme pětinasobek logaritmu čísla 237,5. Logaritmus čísla  $237,5 = 2,3756$ ;  $5 \cdot 2,3756 = 11,87830$ . K němu příslušné číslo je 75562 s řádem 11. Výsledek:  $237,5^5 = 755\ 620\ 000\ 000 (= 7,5562 \cdot 10^{11})$ .

Stejně hledáme druhou, třetí, čtvrtou a další mocniny.

5. Pomocí logaritmů lze snadno vypočítat i případy jinak neřešitelné, jako umocnění na neokrouhlou mocninu, např.  $28^{1,6}$ . Podle vztahu (651) určíme 1,6násobek logaritmu 28. Logaritmus čísla 28 má charakteristiku 1 a mantisu (z tabulek) 4472. Je tedy  $\log 28 = 1,4472$ . Součin  $1,6 \cdot 1,4472 = 2,3155$ . Tomu odpovídá numerus 20678 s řádem 2. Výsledek:  $28^{1,6} = 206,78$ .

6. Složitější výpočet:  $\frac{2,5^6}{\sqrt[3]{345}}$ . Použijeme-li pravidel logaritmického

počtu, výraz se změní na tvar  $\frac{6 \log 2,5}{1/2 \log 345}$ ;  $\log 2,5 = 0,3979$ .  $\log 345 = 2,5378$ .  $6 \log 2,5 = 6 \cdot 0,3979 = 2,3874$ .  $(1/2) \log 345 = (\log 345) : 2 = 2,5378 : 2 = 1,2689$ . Podle vztahu (650) odečteme jmenovatele od čitatele:  $2,3874 - 1,2689 = 1,1185$ .

Num  $\log 1,1185 = 13,14$ . Výsledek:  $\frac{2,56}{\sqrt[3]{345}} = 13,14$ . Výpočet pomocí logaritmů je zřejmě nesrovnatelně lehčí než postupné umocňování čitatele, odmocnění jmenovatele a dělení obou hodnot.

*Převod log na ln a naopak.* V elektrotechnice a jiných oborech (zvláště ve spojové technice) se často používá i přirozených logaritmů; např. jednotky úrovně Np (neper) jsou uváděny v přirozených logaritmech a často je potřebujeme převést na dB (decibely), jejichž základem jsou logaritmy dekadické. Obejdeme se i bez tabulek přirozených logaritmů, neboť mezi oběma systémy logaritmů je možný snadný převod

$$\ln a = 2,302\ 585 \log a \quad (653)$$

a opačně

$$\log a = 0,434\ 294 \ln a \quad (654)$$

*Příklady:*

1. Převedte  $\ln 253$  na dekadický logaritmus. S použitím vztahu (653) zjistíme:  $\ln 253 = \log 253 \cdot 2,302\ 585 = \log 585,574\ 005$ .

2. Jakou velikost má  $\log 32,67$  v soustavě přirozených logaritmů? Podle vztahu (654)  $\log 32,67 = \ln 32,67 \cdot 0,434\ 294 = \ln 14,188\ 385$ .

## 46. Zákoné měrové jednotky

Od roku 1948 platila v ČSSR jednotná měrová soustava, zvaná MKSA (ze zkratk názvů základních jednotek metr—kilogram—sekunda—ampér). Později byly podle mezinárodního doporučení jednotky rozšířeny o základní jednotku svítivosti (kandela) a stupeň teplotního rozdílu (deg) a jako

Tab. 46. Pětimístné logaritmy (dekadické)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0258	0294	0334	0374	4	8	12	17	21	25	29	33	37
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	4	4	8	11	15	19	23	26	30
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	3	3	7	10	14	17	21	24	28
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	3	6	10	13	16	19	23	26	29
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	3	6	9	12	15	18	21	24	27
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	3	6	8	11	14	17	20	22	25
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	3	5	8	11	13	15	18	21	24
17	2314	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	2	5	7	10	12	15	17	20	22
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	2	5	7	9	12	14	16	19	21
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	2	4	7	9	11	13	16	18	20
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	2	4	6	8	11	13	15	17	19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2	4	6	8	10	12	14	16	18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2	4	6	8	10	12	14	15	17
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2	4	6	7	9	11	13	15	17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2	4	5	7	9	11	12	14	16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2	3	5	7	9	10	12	14	15
26	4150	4166	4183	4200	4216	4233	4249	4265	4281	4298	2	3	5	7	8	10	11	13	15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2	3	5	6	9	9	11	13	14
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2	3	5	6	8	9	11	12	14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1	3	4	6	7	9	10	12	13
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	1	3	4	6	7	9	10	11	13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1	3	4	6	7	8	10	11	12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1	3	4	5	7	8	9	11	12
33	5185	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	5315	1	3	4	5	6	8	9	10	12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1	3	4	5	6	8	9	10	11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1	2	4	5	6	7	9	10	11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1	2	4	5	6	7	8	10	11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1	2	3	5	6	7	8	9	10
38	6798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1	1	2	3	5	6	7	8	9
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	1	1	2	3	4	5	6	7	8

Tab. 46. Pětimístné logaritmy (pokračování)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1	2	3	4	5	6	7	8	9
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1	2	3	4	5	6	7	8	9
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	6335	6345	6355	6365	6374	6385	6395	6405	6415	6425	1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1	2	3	4	5	6	7	7	8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1	2	3	4	5	6	6	7	8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1	2	3	4	4	5	6	7	8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1	2	3	4	4	5	6	7	8
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1	2	3	3	4	5	6	7	8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	2	3	4	5	6	7	8
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	5	6	6	7
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1	2	2	3	4	5	5	6	7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1	2	2	3	4	5	5	6	7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1	2	2	3	4	5	5	6	7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1	1	2	3	4	4	5	6	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1	1	2	3	4	4	5	6	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1	1	2	3	4	4	5	6	6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	4	4	5	6	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1	1	2	3	4	4	5	6	6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1	1	2	3	4	4	5	5	6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1	1	2	3	3	4	4	5	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1	1	2	3	3	4	4	5	6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1	1	2	3	3	4	4	5	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1	1	2	3	3	4	4	5	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1	1	2	2	3	3	4	4	5

Tab. 46. Pětimístné logaritmy (pokračování)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1	1	2	2	3	4	4	5	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1	1	2	2	3	4	4	5	5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1	1	2	2	3	4	4	5	5
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1	1	2	2	3	4	4	5	5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1	1	2	2	3	4	4	5	5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1	1	2	2	3	3	3	3	3
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1	1	2	2	3	3	3	3	3
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1	1	2	2	3	3	3	3	3
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1	1	2	2	3	3	3	3	3
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1	1	2	2	3	3	3	3	3
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1	1	2	2	3	3	3	3	3
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1	1	2	2	3	3	3	3	3
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1	1	2	2	3	3	3	3	3
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1	1	2	2	3	3	3	3	3
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	1	1	2	2	3	3	3	3	3
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1	1	2	2	3	3	3	3	3
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1	1	2	2	3	3	3	3	3
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0	1	1	2	2	2	2	2	2
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0	1	1	1	2	2	2	2	2
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0	1	1	1	2	2	2	2	2
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0	1	1	1	2	2	2	2	2
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0	1	1	1	2	2	2	2	2
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0	1	1	1	2	2	2	2	2
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0	1	1	1	2	2	2	2	2
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	0	1	1	1	2	2	2	2	2
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0	1	1	1	2	2	2	2	2
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0	1	1	1	2	2	2	2	2
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0	1	1	1	2	2	2	2	2
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0	1	1	1	2	2	2	2	2
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0	1	1	1	2	2	2	2	2

*Mezinárodní měrová soustava SI* (Système international) zákonem zavedena s platností od 1. 7. 1963 (ČSN 01 1300).

Nadále se používá jednotek hlavních, které jsou odvozeny od základních jednotek, a jednotek vedlejších, odvozených od hlavních jednotek různými převodovými vztahy. Vedlejší jednotky nepatří do platné soustavy SI.

## Základní měrové jednotky soustavy SI

1. *Délka*. Jednotkou je metr (m). Je to 1 650 763,73násobek vlnové délky záření atomu kryptonu 86, které přísluší přechodu mezi energetickými hladinami  $2p_{10}$  a  $5d_5$ .

2. *Hmota* (hmotnost). Jednotkou je kilogram (kg). Je to hmota (hmotnost) mezinárodního kilogramu, uloženého v Mezinárodním úřadě pro míry a váhy v Sèvres (Francie).

3. *Čas*. Jednotkou je sekunda (s). Je to 31 556 925,9747 díl tropického roku 1900, leden 0 ve 12 hodin efemeridového času.

4. *Elektrický proud*. Jednotkou je ampér (A). Je to proud, který při stálém průtoku dvěma přímými, nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu a vzdálenými od sebe 1 m vyvolá mezi nimi sílu  $2 \cdot 10^{-7}$  N (newtonu) na 1 m délky.

5. *Teplotní rozdíl*. Jednotkou je teplotní stupeň (deg). Je to 273,15dílný teplotního rozdílu mezi absolutní nulou a teplotou trojného bodu varu vody, měřený v termodynamické stupnici teplot. V teplotní stupnici, která začíná absolutní nulou, se značí jako stupeň Kelvinův ( $^{\circ}\text{K}$ ); ve stupnici, jejíž počátek přísluší teplotě  $+273,15^{\circ}\text{K}$  se označuje jako stupeň Celsiův ( $^{\circ}\text{C}$ ).

6. *Svítivost*. Jednotkou je kandela (cd). Je to svítivost  $\frac{1}{60} \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$  povrchu absolutně černého tělesa při teplotě tuhnutí platiny, za tlaku  $1,013 25 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$  (= 760 torrů).

## Násobky a díly jednotek

Tvoří se převážně podle třetí mocniny deseti. Vyjadřují se předponami u základní jednotky:

tera	T	$10^{12}$	bilión
giga	G	$10^3$	miliarda
mega	M	$10^6$	milión
kilo	k	$10^3$	tisíc
—	—	$10^0$	jednotka
mili	m	$10^{-3}$	tisícina
mikro	$\mu$	$10^{-6}$	milóntina
nano	n	$10^{-9}$	miliardtina
piko	p	$10^{-12}$	bilióntina
femto	f	$10^{-15}$	biliardtina
atto	a	$10^{-18}$	trilióntina

*Upozornění:* V literatuře ze Spojených států, Francie, popř. i Belgie a Španělska platí:  $10^{12} =$  trilión,  $10^9 =$  bilión! Příklady:  $1 \mu\text{F} = 1$  mikrofarad  $= 10^{-6} \text{ F}$ ;  $1 \text{ nH} = 1$  nanohenry  $= 10^{-9} \text{ H}$ ;  $1 \text{ k}\Omega = 1$  kiloohm  $= 10^3 \Omega$ ;  $1 \text{ MHz} = 1$  megahertz  $= 10^6 \text{ Hz}$ ;  $1 \text{ pA} = 1$  pikoampér  $= 10^{-12} \text{ A}$ ,  $1 \text{ ms} = 1$  milisekunda  $= 1 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ .

*Starší předpony.* Jen ve zvláštních případech je dovoleno ještě používat starších předpon

hekto	h	$10^2$	sto
deka	da	$10^1$	deset
deci	d	$10^{-1}$	desetina
centi	c	$10^{-2}$	setina

*Nové díly a násobky jednotek hmotnosti (hmoty)* jsou odvozeny od gramu:

teragram	Tg	$10^9$	kg
megagram	Mg	$10^3$	kg
gram	g	$10^{-3}$	kg
miligram	mg	$10^{-6}$	kg
mikrogram	$\mu\text{g}$	$10^{-3}$	kg

Tab. 47. Značky veličin ve fyzice. Elektřina a magnetismus

Znak	Význam	Znak	Význam
$B$	magnetická indukce	$\mu_0$	permeabilita vakua
$C$	kapacita	$\mu_r$	poměrná permeabilita
$\cos \varphi$	účinník	$N$	počet závitů
$D$	elektrická indukce; průnik	$\nu$	kmitočet (frekvence)
$\delta$	ztrátový úhel	$P$	činný výkon; příkon
$E$	elektrické pole; elektro- motorické napětí	$Q$	elektrické množství (náboj), jalový výkon
$e$	elementární náboj	$Q$	činitel jakosti
$\epsilon_0$	permitivita (dielek- trická konstanta)	$R$	elektrický odpor (rezistence)
$\epsilon_r$	poměrná permitivita (dielektrická konst.)	$R_m$	magnetický odpor (reluktance)
$\eta$	účinnost	$\rho$	měrný odpor (rezistivita)
$F$	magnetomotorické napětí	$S$	strmost (elektronek), zdánlivý výkon
$f$	kmitočet (frekvence)	$\sigma$	hustota elektrického proudu
$\Phi$	magnetický tok	$\gamma$	měrná vodivost (koňduktivita)
$G$	elektrická vodivost, konduktivita	$T$	doba trvání kmitu; absolutní teplota
$H$	intenzita magnetického pole	$\tau$	hustota náboje; časová konstanta
$I$	elektrický proud	$U$	(svorkové) napětí
$i$	okamžitá hodnota elektrického proudu	$u$	okamžitá hodnota napětí
$\kappa$	činitel vazby	$V$	elektrický potenciál
$\kappa_m$	magnetická susceptibilita	$W$	práce; energie
$L$	vlastní indukčnost	$X$	reaktance, jalový odpor
$\Lambda$	magnetická vodivost (permeance)	$Y$	admittance, zdánlivá vodivost
$\lambda$	vlnová délka	$Z$	impedance, zdánlivý odpor
$M$	vzájemná indukčnost	$Z_0$	vlnová impedance (vakua)

Nejdůležitější matematické značky, používané v odborné literatuře (výběr)

## 1. Aritmetika, algebra

Značka	Význam	Značka	Význam
$=$	rovná se; rovnítko	$\sqrt[n]{a}$	odmocnínko; $n$ -tá odmocnina $a$
$\neq$	nerovná se; není rovno	$n!$	$n$ - faktoriál
$\equiv$	totožno, identické	$\binom{n}{k}$	$n$ nad $k$ , binomický součinitel
$\triangleq$	odpovídá, je obrazem	$\Sigma$	suma, součet
$\sim$	úměrné	$\Pi$	součin, produkt
$\approx$	zhruba rovno	$a, b, c$	obecná čísla, známé veličiny
$\doteq$	rovná se přibližně; zaokrouhleno	$i, j$	imaginární jednotka
$<$	menší než	$\operatorname{Re} a$	reálná část komplexního čísla $a$
$>$	větší než	$\operatorname{Im} a$	imaginární část komplexního čísla $a$
$\cong$	menší nebo rovno	$\arg a$	hlavní hodnota (argument) $a$

$\cong$	větší nebo rovno	$\bar{a}, a$	čísia komplexné sdružená
$\ll$	mnohem menší než	log	dekadický (Briggsův) logaritmus
$\gg$	mnohem větší než	ln	přirozený (Napierův) logaritmus
+	plus; znak kladného čísla	$\infty$	nekonečno
-	minus; znak záporného čísla	$\int$	integrál
$\cdot$ x	krát; násobeno	lim	limita, mezní hodnota
: / —	děleno, lomeno, zlomková čára	$\rightarrow$	blíží se (konverguje) k
() [] {}	závorčky oblé, hranaté, lomené	f	funkce [f(a)]
%	percento	d, $\delta$	diferenciál
‰	promile	$\begin{vmatrix} a, b \\ c, d \end{vmatrix}$	determinant
e	základ přirozených logaritmů	$\begin{vmatrix} a, b, c \\ x, y, z \end{vmatrix}$	matice
$\pi$	pí, Ludolfovo číslo	arc $\alpha$	arkus úhlu alfa
a	absolutní hodnota čísla a	rad	radián
$a^n$	n-tá mocnina; a na n-tou	x, y, z	osy; veličiny neznámé

2. Geometrie

Značka	Význam	Značka	Význam
$A, B, C$	značení bodů	$R, r$	pravý úhel ( $90^\circ$ ), poloměr
$a, b, c$	značení přímek	$D, d$	průměr
$\alpha, \beta, \gamma$	značení úhlů a rovin	$' , ''$	minuta; vteřina (úhlu), sekunda (čas)
$\overline{AB}$ $\widehat{AB}$ $\equiv$ $\equiv$	úsečka oblouk je totožné není totožné, různí se	sin cos tg cotg	sinus kosinus tangens kotangens } goniometrické funkce
$\sphericalangle$ $\triangle$ $\equiv$ $\parallel$	velikost úhlu trojúhelník ( $\Delta A, B, C$ ) rovno a rovnoběžné rovnoběžné (paralelní)	arsin arccos arctg arccotg	arkus sinus arkus kosinus arkus tangens arkus kotangens } cyklometrické funkce
$\nearrow$ $\nwarrow$ $\perp$ $\sim$	rovnoběžné stejného smyslu rovnoběžné opačného smyslu znak kolmosti (kolmé k) znak podobnosti (podobno)	sinh cosh tgh cotgh	hyperbolický sinus hyperbolický kosinus hyperbolický tangens hyperbolický kotangens } hyperbolické funkce
$\cong$	shodné (kongruentní)	$\Delta$	přírůstek, rozdíl (diference)
		$\delta$	malá změna, variace

Tab. 49. Jednotky elektrických a magnetických veličin (výběr)

Veličina		Jednotka	
název	značka	název	značka
Elektrický proud	$I$	ampér	A
Hustota proudu	$\sigma$	ampér na čtve- rečný metr	A/m <sup>2</sup>
Elektrické množství, náboj	$Q$	coulomb	C
Hustota elektrického náboje plošná	$\sigma$	coulomb na čtverečný metr	C/m <sup>2</sup>
Intenzita elektrického pole	$E$	volt na metr	V/m
Elektrický potenciál	$V$	volt	V
Napětí (potenciální rozdíl)	$U$	volt	V
Elektrická indukce	$D$	coulomb na čtverečný metr	C/m <sup>2</sup>
Permitivita, dielek- trická konstanta	$\epsilon$	farad na metr	F/m
Elektrická kapacita	$C$	farad	F
Elektrochemický ekvivalent	$A$	kilogram na coulomb	kg/C
Činný elektrický odpor (rezistance)	$R$	ohm	$\Omega$
Zdánlivý odpor, impedance	$Z$	ohm	$\Omega$
Jalový odpor, reaktance	$X$	ohm	$\Omega$
Induktivní odpor (reaktance)	$X_L$	ohm	$\Omega$
Kapacitní odpor (reaktance)	$X_C$	ohm	$\Omega$
Měrný odpor (rezistivita)	$\rho$	ohm metr	$\Omega\text{m}$

Veličina		Jednotka	
název	značka	název	značka
Vodivost (konduktivita)	$G$	siemens	S
Zdánlivá vodivost (admitance)	$Y$	siemens	S
Měrná vodivost	$\gamma$	siemens na metr	S/m
Činný elektrický výkon	$P$	watt	W
Zdánlivý elektrický výkon	$S, P_z$	voltampér	VA
Jalový výkon	$Q, P_j$	voltampér reaktanční	VAr (var)
Magnetická indukce	$B$	tesla	T
Magnetický indukční tok	$\Phi$	weber	Wb
Intenzita magnetického pole	$H$	ampéřzávit na metr	A/m (Az/m)
Magnetický potenciál	$V_m$	ampéřzávit	A (Az)
Magnetomotorické napětí	$F_m$	ampéřzávit	A (Az)
Permeabilita	$\mu$	henry na metr	H/m
Magnetizace	$M, H_i$	ampéřzávit na metr	A/m (Az/m)
Vlastní indukčnost	$L$	henry	H
Vzájemná indukčnost	$M$	henry	H
Magnetický odpor, reluktance	$R_m$	ampéřzávit na weber	A/Wb (Az/Wb)
Magnetická vodivost (permeance)	$\Lambda$	henry	H
Účinník	$\cos \varphi$	kosinus fi	—

Tab. 50. Jednotky práce a energie (převod)

Jednotka	Znak	J	Wh	kpm	cal	kcal
joule	J	1	$2,778 \cdot 10^{-4}$	0,102	0,239	$0,239 \cdot 10^{-3}$
watthodina	Wh	3600	1	367,1	860,5	0,8605
kilopondmetr	kpm	9,807	$2,724 \cdot 10^{-3}$	1	2,344	$2,34 \cdot 10^{-3}$
kalorie	cal	4,186	$1,162 \cdot 10^{-3}$	0,4266	1	$10^{-3}$
kilokalorie	kcal	4186	1,162	426,6	$10^3$	1

Příklady: 1 kcal = 4186 J; 1 cal =  $1,162 \cdot 10^{-3}$  Wh; 1 J =  $2,778 \cdot 10^{-4}$  Wh; 1 Wh = 3600 J; 1 kcal = 426,6 kpm

Tab. 51. Jednotky výkonu (převod)

Jednotka	Znak	W	kW	k	kpm/s	cal/s	kcal/s
watt	W	1	$10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	0,102	0,239	$0,239 \cdot 10^{-3}$
kilowatt	kW	$10^3$	1	1,36	102	239	0,239
kůň	k	735,5	0,736	1	75	176	0,176
kilopondmetr za sekundu	kpm/s	9,807	$9,807 \cdot 10^{-3}$	0,0133	1	2,34	$2,34 \cdot 10^{-3}$
kalorie za sekundu	cal/s	4,186	$4,186 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	0,4266	1	$10^{-3}$
kilokalorie za sekundu	kcal/s	4186	4,186	5,7	426,6	$10^3$	1

Příklady: 1 kůň = 735,5 W; 1 cal/s = 4,185 W; 1 kpm/s = 0,0133 k; 1 kW =  $10^3$  W

*Poznámky:* Vedle normalizovaného názvu megagram lze používat i dosavadního pojmu tuna,  $1t = 10^3 \text{ kg}$ . Označení dekagram se nadále nepoužívá. Je nahrazeno hodnotou 10 g.

Vedle normálního názvu mikrometr ( $\mu\text{m}$ ) se může používat i jednotky mikron, nikoli však samotného znaku  $\mu$ . Místo milimikron se má nadále používat správně výrazu nanometr, nm.

## 47. Nemetrické míry a váhy

Některé západní země, zvláště Velká Británie a Spojené státy, používají dosud i v technické literatuře vlastní soustavy měr a vah, odlišné od soustavy metrické. Některé jednotky ve Velké Británii, značené Imp. (imperial) nebo UK (United Kingdom) se dokonce poněkud liší od stejnojmenných jednotek, používaných v USA (s označením US).

Převod nejběžnějších z těchto jednotek na metrickou soustavu a naopak je obsažen v tab. 52 až 56.

*Poznámka:* V SSSR se používá v odborné literatuře a technické dokumentaci výhradně metrické soustavy.

Tab. 52. Délkové míry

1 mil = 0,001 inch = 0,0254 mm	1 mm = 0,03937 mil
1 inch (palec) = 2,54 cm	1 cm = 0,3937 in
1 foot (stopa) = 30,48 cm	1 m = 3,28 ft
1 yard = 0,9144 m	1 m = 1,0936 y
1 míle (zeměp.) = 1,609 km	1 km = 0,6214 mi

Tab. 53. Plošné míry

1 sq. mil = 0,000645 mm <sup>2</sup>	1 mm <sup>2</sup> = 0,00155 sq. mil
1 sq. inch = 6,54 cm <sup>2</sup>	1 cm <sup>2</sup> = 0,155 sq. in
1 sq. yd = 0,1361 m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> = 1,196 sq. yd
1 acre = 4046,87 m <sup>2</sup>	1 km <sup>2</sup> = 247 acre
1 sq. mi = 2,59 km <sup>2</sup>	1 km <sup>2</sup> = 0,3861 sq. mi

Tab. 54. Jednotky hmotnosti (váhy)

1 oz (unce) = 28,349 g	1 g = 0,0353 oz
1 libra <sup>1)</sup> = 0,454 kg	1 kg = 2,2046 lb
1 cwt <sup>2)</sup> = 112 lb	1 lb = 0,0089 cwt
1 ton = 1,016 Mg(t)	1 Mg = 0,9842 ton

<sup>1)</sup> též pound

<sup>2)</sup> centweight, též hundredweight

Tab. 55. Objemové míry

1 cubic in = 16,387 2 cm <sup>3</sup>	1 cm <sup>3</sup> = 0,06102 cu. in
1 m <sup>3</sup> = 10 <sup>6</sup> cm <sup>3</sup>	1 cm <sup>3</sup> = 10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup>
1 cu. yd = 0,7646 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup> = 1,3079 cu. yd
1 cu. ft = 28,317 dm <sup>3</sup>	1 dm <sup>3</sup> = 0,0353 cu. ft

Tab. 56. Duté míry

1 US gallon = 3,785 l	1 l = 0,264 US gal.
1 imp. gal. = 4,546 l	1 l = 0,22 imp. gal.
1 US pint = 0,473 l	1 l = 2,113 US pint
1 imp. liq. oz <sup>3)</sup> = 0,0284 l	1 l = 35,21 imp. liq. oz
1 US fl. oz <sup>4)</sup> = 0,0296 l	1 l = 33,82 US fl. oz

<sup>3)</sup> imperial liquid ounce

<sup>4)</sup> US fluid ounce

## 48. Převod teploměrných stupnic

K měření teploty a teplotních rozdílů se používá několika teploměrných stupnic. Největšího rozšíření nabyla stodílková *stupnice Celsiova* (°C), která je též zahrnuta jako základní jednotka do Mezinárodní měrové soustavy SI. Starší *stupnice Réaumurovy* (°R) se již nepoužívá, i když je dosud na některých teploměrech uvedena.

Pro odbornou a vědeckou literaturu se používá tzv. *absolutní teplotní stupnice Kelvinovy* (°K), rovněž obsažené

v Mezinárodní měrové soustavě. Má tu výhodu; že všechny její hodnoty jsou kladné (začíná totiž nejnižší zápornou teplotou — 273,16 °C).

V západní literatuře se uvádí teplota ve *stupních Fahrenheita* (°F), nověji i ve stupnici Rankinově (°R, při možnosti omylu °Rank). Ta rovněž nemá záporné hodnoty teplot, obdobně jako stupnice Kelvinova.

Mezi jednotlivými stupnicemi platí vztah

$$0^{\circ}\text{C} \hat{=} 32^{\circ}\text{F} \hat{=} 273,15^{\circ}\text{K} \hat{=} 491,67^{\circ}\text{R}$$

(Symbol  $\hat{=}$  značí „odpovídá“, viz tab. 48 „Matematické značky“).

K vzájemnému převodu teplot různých teploměrných systémů slouží tab. 57. (Zastaralá stupnice Réamurova není obsažena).

*Příklady:*

1. Kolika °K odpovídá teplota 50 °C?

$$\Theta = 50 + 273,15 = 323,15^{\circ}\text{K}$$

2. Kolika °C je 450 °K?

$$\vartheta = 450 - 273,15 = 176,85^{\circ}\text{C}$$

3. Kolika °F odpovídá 20 °C?

$$\vartheta = \frac{9}{5} 20 + 32 = 1,8 \cdot 20 + 32 = 68^{\circ}\text{F}$$

4. Převedte 0 °F na °C!

$$\vartheta = \frac{5}{9} (-32) = 0,556 (-32) = -17,78^{\circ}\text{C}$$

5. Jaké teplotě v Kelvínově stupnici odpovídá 200 °R?

$$\vartheta = \frac{5}{9} 200 = 111,2^{\circ}\text{R}$$

Tab. 57. Převod teplotměrných stupnic

Stupnice	Jednotka	$\Theta [^{\circ}\text{K}]$	$\vartheta [^{\circ}\text{C}]$	$\Theta [^{\circ}\text{R}]$	$\vartheta [^{\circ}\text{F}]$
Kelvinova	$^{\circ}\text{K}$	1	$\vartheta [^{\circ}\text{C}] + 273,15$	$\frac{5}{9} \Theta [^{\circ}\text{R}]$	$\frac{5}{9} \vartheta [^{\circ}\text{F}] + 255,37$
Celsiova	$^{\circ}\text{C}$	$\Theta [^{\circ}\text{K}] - 273,15$	1	$\frac{5}{9} (\Theta [^{\circ}\text{R}] - 491,67)$	$\frac{5}{9} (\vartheta [^{\circ}\text{F}] - 32)$
Rankinova	$^{\circ}\text{R}$	$\frac{9}{5} \Theta [^{\circ}\text{K}]$	$\frac{9}{5} \vartheta [^{\circ}\text{C}] + 491,67$	1	$\vartheta [^{\circ}\text{F}] + 459,67$
Fahrenheito- tova	$^{\circ}\text{F}$	$\frac{9}{5} \Theta [^{\circ}\text{K}] - 459,67$	$\frac{9}{5} \vartheta [^{\circ}\text{C}] + 32$	$\Theta [^{\circ}\text{R}] - 459,67$	1

Poznámka: Číselník  $\frac{5}{9} = 0,556$ ;  $\frac{9}{5} = 1,8$ .

Tab. 58. Převod °F na °C a opačně

°C	φ	°F	°C	φ	F
-73,33	-100	-148	-12,33	10	50
-67,78	-90	-130	-6,67	20	68
-62,22	-80	-112	-1,11	30	86
-56,67	-70	-94	+4,44	40	104
-51,11	-60	-76	10,0	50	122
-45,56	-50	-58	15,56	60	140
-40,0	-40	-40	21,11	70	158
-34,44	-30	-22	26,67	80	176
-28,89	-20	-4	32,22	90	194
-23,33	-10	+14	37,78	100	212
-17,78	0	+32	43,34	110	230

Tab. 59. Interpolace

°C	φ	°F	°C	φ	°F
0,56	1	1,8	3,36	6	10,8
1,12	2	3,6	3,92	7	12,6
1,68	3	5,4	4,48	8	14,4
2,24	4	7,2	4,94	9	16,2
2,80	5	9,0	5,60	10	18,0

K nejčastěji potřebnému převodu stupnice Fahrenheitovy na Celsiovu a naopak slouží tab. 58.

Známostu teplotu vyhledáme v prostředním sloupci. Jde-li o převod °F na °C, bude výsledek v levém sloupci, při převodu °C na °F v pravém.

*Příklady:*

1.  $-80^{\circ}\text{F}$  máme převést na °C. Proti hodnotě  $-80$  uprostřed leží v levém sloupci  $-62,22$ . Je tedy  $-80^{\circ}\text{F} = -62,22^{\circ}\text{C}$ .

2.  $90^{\circ}\text{C}$  převést na °F. Proti hodnotě 90 v prostředním sloupci leží vpravo číslo 194; výsledek:  $90^{\circ}\text{C} = 194^{\circ}\text{F}$ .

Interpolací lze převádět i hodnoty v tabulce neobsažené: Přímo po 1°, dekadické zlomky (např. 0,1 nebo 0,01 hodnoty t), ale též násobky (10 t, 20 t atd.) (tab. 59).

*Příklady:*

1. Máme převést 12 °C na °F. Ve středním sloupci najdeme nejbližší hodnotu 10, již odpovídá vpravo 50 °F. Ve středním sloupci interpolační tabulky u číslice 2 je vpravo 3,6. Výsledek:  
 $12(\text{tj. } 10 + 2) \text{ °C} = 50 + 3,6 = 53,6 \text{ °F}$ .

2. Teplotu  $-20,5 \text{ °F}$  převést na °C.  $-20 \text{ F} = -28,89 \text{ °C}$ . V interpolační tabulce hodnota 0,5 není; dělíme tedy deseti 5 ve středním sloupcu i jí odpovídající číslo vlevo. Výsledek:  
 $-20,5 \text{ °F} = -(28,89 + 0,28) = 29,17 \text{ °C}$ .

## 49. Předvrtání otvorů pro závity

Průměr vrtáku pro předvrtání otvorů před řezáním závitu je obsažen v tab. 60 (podle ČSN 01 4090) pro závity nové metrické řady I a II. Průměr  $D$  je totožný s označením rozměru šroubu  $M$ ; např. pro šroub  $M3$  platí  $D = 3 \text{ mm}$ .

Tabulka platí pro materiály houževnaté i křehké do hloubky vrtu  $h = 2D$ .

Pro starší, v čs. normě již neobsažené menší průměry šroubů platí pro přechodnou dobu tab. 61.

Tab. 60. Otvory pro závity

Průměr závitu $D[\text{mm}]$	Průměr vrtáku $d[\text{mm}]$	Průměr závitu $D(\text{mm})$	Průměr vrtáku $d[\text{mm}]$	Průměr závitu $D[\text{mm}]$	Průměr, vrtáku $d[\text{mm}]$
1,0	0,75	2,5	2,0	10	8,4
1,1	0,85	3,0	2,5	12	10,2
1,2	0,95	3,5	2,9	14	11,9
1,4	1,1	4,0	3,3	16	13,9
1,6	1,25	4,5	3,75	18	15,3
1,8	1,45	5,0	4,2	20	17,3
2,0	1,6	6	5,0	22	19,3
2,2	1,75	8	6,7	24	21

Tab. 61

Průměr závitů $D$ [mm]	Průměr vrtáku $d$ [mm]
1,7	1,35
2,3	1,9
2,6	2,15

## 50. Praktické tabulky

Tab. 62. Hrací doba magnetofonových pásků

Průměr čivky [cm]	Typ pásku								
	standardní <sup>1)</sup> (tloušťka 50 až 58 $\mu\text{m}$ )			dlouhohrající <sup>2)</sup> (tloušťka 35 až 37 $\mu\text{m}$ )			duo (double) <sup>3)</sup> (tloušťka 25 až 27 $\mu\text{m}$ )		
	délka [m]	hrací doba [min]		délka [m]	hrací doba [min]		délka [m]	hrací doba [min]	
		4,7 cm/s	9,5 cm/s		4,7 cm/s	9,5 cm/s		4,7 cm/s	9,5 cm/s
8	45	15	7,5	70	22	11	90	30	15
10	90	30	15	135	44	22	180	60	30
11	120	45	22	180	60	30	270	90	45
13	180	60	30	270	90	35	360	120	60
15	270	90	45	360	120	60	540	180	90
18	360	120	60	540	180	90	720	240	120
22	540	180	90	730	240	120	1 000	360	180
25	720	240	120	1 080	360	180	1 440	480	240

1) Např. Agfa C, Agfa FR, Basf LGR, Basf LG 52 aj.

2) Např. Emgeton LP 35 LN, Agfa PE 31, Basf LGS 35 apod.

3) Např. Emgeton DP 25 LN, Agfa PE 41, Basf LGS 26 atd.

*Poznámka:* Z tabulky zjistíme hrací dobu i pro jiné normalizované rychlosti posuvu pásku; např. pro 2,38 cm/s násobíme údaj ve sloupcu „4,7 cm/s“ dvěma, pro 19 cm/s dělíme údaj sloupku „9,5 cm/s“, dvěma apod.

Tab. 63. Televizní kanály I. až V. pásma podle normy OIRT<sup>1)</sup>

Pásmo	Kanál	Kmitočet [MHz]		Pásmo	Kanál	Kmitočet [MHz]	
		obraz	zvuk			obraz	zvuk
I	1	49,75	56,25	V	38	607,25	613,75
	2	59,25	65,75		39	615,25	621,75
II	3	77,25	83,75		40	623,25	629,75
	4	85,25	91,75		41	631,25	637,75
	5	93,25	99,75		42	639,25	645,75
III	6	175,25	181,74		43	647,25	653,75
	7	183,25	189,75		44	655,25	661,75
	8	191,25	197,75		45	663,25	669,75
	9	199,25	205,75		46	671,25	677,75
	10	207,25	213,75		47	679,25	685,75
	11	215,25	221,75		48	687,25	693,25
	12	223,25	229,75		49	695,25	701,75
	21	471,25	477,75		50	703,25	709,75
	22	479,25	485,75		51	711,25	717,75
	23	487,25	493,75		52	719,25	725,75
IV	24	495,25	501,75		53	727,25	733,75
	25	503,25	509,75		54	735,25	741,75
	26	511,25	517,75		55	743,25	749,75
	27	519,25	525,75		56	751,25	757,75
	28	527,25	533,75		57	759,25	765,75
	29	535,25	541,75	58	767,25	773,75	
	30	543,25	549,75	59	775,25	781,75	
	31	551,25	557,75	60	783,25	789,75	
	32	559,25	565,75	61	791,25	797,75	
	33	567,25	573,75	62	799,25	805,74	
	34	575,25	581,75	63	807,25	813,75	
	35	583,25	589,75	64	815,25	821,75	
	36	591,25	597,75	65	823,25	829,75	
	37	599,25	605,75	66	831,25	837,75	
			67	839,25	845,75		
			68	847,25	853,75		
			69	855,25	861,75		
			70	863,25	869,75		

<sup>1)</sup> V. pásmo pokračuje do 960 MHz; u nás je dočasně omezeno kanálem 60 (790 MHz).

Tab. 64. Zatížitelnost šňůr s pryžovou izolací a pryžovým pláštěm [A]

Průřez jader [A]	HLS			HSS		
	Počet žil					
	2	3	4	2	3	4
0,35	8	7	—	—	—	—
0,5	10	9	—	—	—	—
0,75	13	12	12	13	12	12
1	16	14	14	16	14	14
1,5	20	18	18	20	18	18
2,5	—	—	—	28	24	24
4	—	—	—	37	33	34
6	—	—	—	47	42	43

HLS — lehká šňůra (ČSN 34 7436), jmenovité napětí 380 V, měděné jádro

HSS — střední šňůra (ČSN 34 7437), jmenovité napětí 750 V, měděné lanko (až do 16 mm<sup>2</sup>)

### Římské číslice

Základní číslovky jsou I (jedna), V (pět), X (deset), L (padesát), C (sto), D (pětset), M (tisíc). Větší čísla se tvoří skladbou dvou nebo několika číslovek základních, např. VII = sedm, XXI = dvacetjedna apod. Na přelomu dekád se menší číslovky odečítají postavením před dekadický znak (např. IX = 9), za přechodem dekády se přičítají umístěním za dekadický znak (např. CV = 105, LI = 51). Čísla, v nichž by šly za sebou 4 stejné číslovky, se vypisují nejbližší vyšším základním znakem, před který se položí číslovka rozdílu; např. 4 místo IIII píšeme IV (pět bez jedné) nebo VIII = IX = 9 (tab. 65).

Tab. 65. Římské číslice

I = 1	XI = 11	XXX = 30	CCC = 300
II = 2	XII = 12	XL = 40	CD = 400
III = 3	XIII = 13	L = 50	D = 500
IV = 4	XIV = 14	LX = 60	DC = 600
V = 5	XV = 15	LXX = 70	DCC = 700
VI = 6	XVI = 16	LXXX = 80	DCCC = 800
VII = 7	XVII = 17	XC = 90	CM = 900
VIII = 8	XVIII = 18	IC = 99	XM = 990
IX = 9	XIX = 19	C = 100	M = 1000
X = 10	XX = 20	CC = 200	MM = 2000

Příklady:

XIV = 14; DXI = 511, XXIX = 29; IC = 99; MLI = 1 051;  
IM = 999; MMC = 2 100; MCMLXXII = 1972.

15 = XV; 356 = CCCLVI; 999 = IM; 1900 = MCM; 123 =  
= CXXIII.

Tab. 66. Řecká abeceda  
Velká a malá písmena a transkripce

$A^*$ $\alpha$ — alfa	$I^*$ $\iota^*$ — jota	$P^*$ $\rho$ — ró
$B^*$ $\beta$ — beta	$K^*$ $\kappa$ — kapa	$\Sigma$ $\sigma$ — sigma
$\Gamma$ $\gamma$ — gama	$\Lambda$ $\lambda$ — lambda	$T^*$ $\tau$ — tau
$\Delta$ $\delta$ — delta	$M^*$ $\mu$ — mí	$Y^*$ $\upsilon$ — ypsilon
$E^*$ $\varepsilon$ — epsilon	$N^*$ $\nu$ — ný	$\Phi$ $\varphi$ — fi
$Z^*$ $\zeta$ — zéta	$\Xi$ $\xi$ — ksí	$X^*$ $\chi$ — chí
$H^*$ $\eta$ — éta	$O^*$ $\omicron^*$ — omikron	$\Psi$ $\psi$ — psí
$\Theta$ $\theta$ — théta	$\Pi$ $\pi$ — pí	$\Omega$ $\omega$ — oméga

\*) Písmena označená hvězdičkou se neužívají vzhledem k možné záměně s písmeny latinské abecedy.

## Literatura

- [1] *Novák, K.*: Slabikář radioamatéra. Praha, SNTL 1972
- [2] *Čermák, J.—Navrátil, J.*: Tranzistorová technika. Praha, SNTL 1967
- [3] *Kadlec, R.—Jakubík, I.*: Návrh síťového transformátoru. Praha, SNTL 1969
- [4] *Svoboda, L.—Štefan, M.*: Reprodukory a reproduktorové soustavy. Praha, SNTL 1969
- [5] *Česlaj, M.*: Antény pro příjem rozhlasu a televize. Praha, SNTL 1969
- [6] *Vít, V.—Kočič, J.*: TV příjem ve IV. a V. pásmu. Praha, SNTL 1971
- [7] *Nečásek, S.*: Výběr zajímavých zapojení. Praha, PRÁCE 1970
- [8] *Kašpar, F.—Schmidtmaier, J.*: Logaritmické pravítko v elektrotechnice. Praha, SNTL 1969
- [9] *Dvořáček, J. a kol.*: Vysokofrekvenční technika. Praha, SNTL 1968
- [10] *Čermák, J.—Jurkovič, K.*: Návrh a konstrukce nf tranzistorových zesilovačů Praha, SNTL 1972

# Rejstřík

- Abeceda řecká 345  
admitance 17  
akumulátory 21  
ampér 327  
ampérmetr 281  
anténa pro vkv a tv 267  
— Yagiho 268  
antény pokojové 273  
— pro I až III pásmo 269  
— — IV a V pásmo 270  
autotransformátor 163
- Baterie — napětí 21  
barva zvuku 55, 226  
báze 237, 259  
bočník u ampérmetru 281  
— Ayrtonův 281  
body shody 113
- Cívka vzduchová 87  
— jednovrstvová 90  
— křížově vinutá 91  
— s feritovým jádrem 96  
— se železovým jádrem 92
- Čára silová magnetická 125  
číslice římské 345  
činitel filtrace 193, 197  
— jakosti 67  
— stabilizace 203, 206, 243  
— útlumu 229, 239, 298  
— zesilovací 210, 238  
— zpětného působení 238  
— zpětné vazby 230
- činitel ztrátový 62  
články akumulátorové 21  
— suché 21  
člen Boucherotův 226  
čtyřpól tranzistorový 238
- Decibel 298  
dělič napětí 82  
— zatížený 83  
délka magnetofonových pásků 342  
— středního závitů 128  
— střední silové čáry 125  
— vlny 60  
dielektrikum kondenzátorů 310  
dioda plošná 176  
— Zenerova 206  
dipól přímý 268, 274  
— složený 269
- doba hrací magnetonových pásků 342  
— kmitů 16  
druhy kondenzátorů 32, 34  
dvojice tranzistorů 255  
dvoulinka televizní 269, 275
- Efekt Millerův 221  
elektromagnet — síla 106  
elektrody tranzistoru 236  
elektronka plynem plněná 177  
— usměrňovací 172, 175  
— výkonová 221  
— zesilovací 212  
energie indukčnosti 215

- energie kondenzátoru 37  
 — převod veličin 335
- Farad 32, 233  
 fáze střídavého proudu 20  
 filtr dvojitý 197  
 — jednoduchý 193  
 — počínající indukčností 189  
 — — kapacitou 189  
 — speciální 200  
 fón 297
- Germanium 241  
 graf Hannův 120
- Henry 40  
 hertz 15, 334  
 hodnota efektivní 18  
 — maximální 18  
 — střední 18  
*h*-parametry 238
- Charakteristika dynamická 212  
 — statická 209  
 — tranzistoru 238  
 chlazení tranzistoru 252
- Impedance 17  
 — charakteristická 268  
 — obvodu *LC* 65, 67  
 — — *RC* 46  
 — reproduktoru 132  
 indukčnost cívek 89  
 — tlumivek 104  
 — transformátorů 125  
 — vzájemná 42  
 indukčnosti — spojování 41  
 izolace vodičů 160  
 izolanty pro kondenzátory 310
- Jádru feritové 96  
 — hrníčkové 96, 98  
 — šroubové 95, 97  
 — železné 118
- jádro železové 92  
 — typu C 150, 157  
 — E 99  
 — EI 150, 152  
 — M 150, 154  
 jakost cívky 67, 94  
 — kondenzátoru 69  
 jednotky elektrické 333  
 — magnetické 333  
 — nemetrické 336  
 jev přechodný v indukčnosti 73  
 — — v kondenzátoru 71
- Kabel souosý 269  
 kanály televizní 343  
 kapacita, výpočet 32  
 kmitočet 15  
 — dělicí 53, 246  
 — mezní 53, 247  
 — — dolní 216  
 — — horní 233  
 — mezifrekvenční 114  
 — rezonanční 55  
 kód barevný 308  
 kombinace reproduktorů 263  
 kompenzace vlivu teploty 243  
 kondenzátory — spojování 35  
 kondenzátor jako předřadný od-  
 por 46  
 — katodový 215  
 — u stínící mřížky 217  
 — vazební 218  
 konstanta časová 72  
 konstrukce transformátorků 180  
 kontrola vhodnosti jádra 178  
 korekce kmitočtového průběhu  
 215, 226, 228  
 křemík 241  
 křivka permeability 122
- Ladění v obvodů 110  
 lak izolační na vodičích 160  
 logaritmické tabulky 324  
 logaritmy — počítání 319

- Materiály na jádra 118  
 Měrové jednotky MKSA 323  
 — — SI 327  
 měření jednoduché 289  
 — indukčnosti 295  
 — kapacity 292  
 — odporů 289  
 mikrofarad 32  
 mocniny — počet 316  
  
 Napáječ anténní 275  
 napětí efektivní 18  
 — běžných zdrojů 21  
 — maximální 18  
 — střední 18  
 — špičkové 18  
 násobič napětí 184  
 návrh autotransformátoru 164  
 — transformátoru síťového 150  
 — — vstupního 141  
 — — výstupního 133, 136  
 neper 299  
  
 Obvody ladicí 110  
 — filtrační 192, 197  
 — LC 55  
 — RC 51  
 odpor izolační kondenzátoru 220  
 — kovových materiálů 23  
 — u báze tranzistoru 243  
 — v obvodu střídavých proudů 16  
 — zatěžovací elektronek 220  
 — — tranzistorů 255  
 odpory — spojování 26  
 — zatížitelnost 86, 88  
 oprava chyby při měření 288  
 oscilátor superhetu 114  
 otvory pro závity 341  
  
 Parametry admitanční 237  
 — hybridní 237  
 — impedanční 236  
 pásky magnetofonové 342  
  
 pentoda 213, 219  
 permeabilita poměrná 120  
 plocha chladičů 252  
 proudy tranzistoru 240  
 prvky anténní 270, 272  
 předvrtání otvorů pro závity 341  
 převod tranzistorových parametru 238  
 — teplotních stupnic 337  
 přijímač — vstupní obvod 110  
 — — oscilátorový obvod 114  
 počítání s logaritmy 319  
 — s mocninami 316  
  
 Reaktance induktivní 45, 47  
 — kapacitní 38  
 reproduktory — spojování 263  
 rovnice Barkhausenova 209  
 rozvod energie k reproduktorům 261  
  
 Síla elektromagnetu 106  
 sledovač katodový 233  
 souběh obvodů superhetu 113  
 součiny LC 57  
 soustava měrových jednotek MKSA 323  
 — — SI 327  
 spojování indukčností 41  
 — kondenzátorů 35  
 — odporů 26  
 stabilizace pracovního bodu 243  
 stabilizátor s doutnavkou 202  
 — se Zenerovou diodou 206  
  
 Teplota tranzistorového přechodu 251  
 — okolí 251  
 tlumivky filtrační 130, 192, 197  
 tranzistory 236  
 — zapojení 237  
 trioda 220  
  
 Úbytek napětí ve vinutí 178

účinník 19  
 úprava relé na jiné napětí 107  
 určení polarity tranzistoru 257  
 — odporu měřidla 279  
 — vývodů tranzistoru 257  
 — vzduchové mezery 120  
 úroveň 297  
 usměrňovač s výstupní indukč-  
 ností 176  
 — — kapacitou 171  
 útlum 297

Vinutí kompenzační 201  
 vliv tolerance hodnot 79  
 vnitřní tv antény 273  
 vodič nulový  
 vodiče izolované 161  
 — odporové 314  
 — pro vinutí 167  
 — topné 315  
 vyhýbka k reproduktorům  
 263  
 výkonový stupeň s elektronkami  
 221  
 — — s tranzistory 251  
 výpočet bočníku 281  
 — indukčnosti 87  
 — kapacity 32  
 — odporového děliče 82  
 — odporů pro voltmetr 284  
 — oscilátoru superhetu 114  
 — transformátoru vstupního 141  
 — — výstupního 131, 136  
 vzdálenost diváka od televizoru  
 277

Zákon Hopkinsonův 103  
 — Jouliův 14  
 — Kirchhoffův 13  
 — Ohmův 10  
 zapojení se společnou bází 236,  
 238  
 — — společným emitorem 236,  
 238  
 — — — kolektorem 236, 238  
 zatížitelnost neznámých tlumi-  
 vek 130  
 — odporů 86, 88  
 — plošných spojů 302  
 — šňůr s pryžovou izolací 344  
 — vodičů pro vinutí 167  
 závislost zbytkových proudů na  
 teplotě 241  
 zdvojovač napětí 184  
 zesílení tranzistorů napěťové 237  
 — — proudové 237  
 — — výkonové 237  
 zisk antény 268, 277  
 — stupně s elektronkou 212  
 — — s tranzistorem 245  
 změna odporů s teplotou 24  
 značení elektronek 304  
 — izolace vodičů 160  
 — kondenzátorů 76  
 — odporů a potenciometrů 76  
 — tranzistorů a diod 306  
 zpětná vazba v nf zesilovači 228  
 zpětné působení 238  
 ztráta kolektorová 251  
 zvětšení rozsahu ampérmetru 281  
 — — voltmetru 284  
 zvlnění usměrněného napětí 188

**Sláva Nečásek**

## **Radiotechnika do kapsy**

DT 621.396

Vydalo SNTL — Nakladatelství technické literatury, n. p., Spálená 51, Praha 1, v roce 1972 v řadě elektrotechnické literatury jako svou 7100. publikaci — Redakce elektrotechnické literatury — Odpovědný redaktor Ing. Josef Říha — Vazbu navrhl Jiří Doležal — Grafická úprava a technická redakce Ivona Malinová — Vytiskl TISK, knižní výroba n. p., Brno, závod I — 352 stran, 188 obrázků, 66 tabulek — Typové číslo L 26-EI-V — 51/52072/XII. — Vydání I. — Náklad 20 200 výtisků — 15,37 AA, 16,65 VA

05/38

Cena vázaného výtisku Kčs 24,00 — I  
505/21,855

Publikace je určena radioamatérům, žákům průmyslových i učňovských škol a širokému okruhu čtenářů a zájemců o radiotechniku

04 - 538 - 72

Kčs 24,00 — I