

vypočtený pro šířku pásma $B = 100$ Hz a šumovou teplotu systému T_s podle vztahu (4) při daném kmitočtu, např. 433 MHz. Uvážíme přitom meze hodnot T_a , případně přesnější hodnoty podle zvolené doby pokusu, tj. příslušného úseku dráhy Měsíce. Na kmitočtech do několika set MHz je žádoucí vyloučit dobu, kdy deklinace Měsíce nabývá větších záporných hodnot, jinak příliš stoupá šumová teplota oblohy vlivem blízkosti vyzařovacího svazku antény ke středu naší Galaxie. Za těchto podmínek by mohly vyjít požadavky na zařízení pro nižší kmitočty neúnosně vysoké. V každém případě jsou pro tyto kmitočty nejvhodnější pro pokusy zimní noci s vysokou kladnou hodnotou deklinace Měsíce nejlépe samozřejmě pro obě uvažované stanice.

Vztah (4) nám též určuje, nakolik je šumová teplota antény T_a zhoršena parametry přijímacího zařízení. Je žádoucí zajistit hodnoty b_k a F_p takové, aby se výsledná hodnota teploty T_s příliš nelišila od T_a . Pro kmitočet 433 MHz lze počítat s rozsahem $T_a = 30^\circ$ až 150° K (výjimečně i méně). Uvažme dále anténní zesilovač s $F_p = 1,5$ (1,8 dB), upevněný u antény tak, že $b_k = 0,2$ dB (1,05) a $T_0 = 300^\circ$ K. Ze vztahů (3) a (4) vypočteme šumovou teplotu systému $T_s = 200 \dots 320^\circ$ K a minimální přijímaný výkon $P_{p \min} = -185,6$ dBW až $-183,5$ dBW.

Pro kmitočet $f = 433$ MHz určíme ze vztahu (2) útlum trasy $b = 261$ dB (pro perigeum), případně až 263 dB (apoageum). Ze vztahu (5) pak po dosažení stanovených hodnot dostaneme pro apoageum $P_v + G_{vi} + G_{pi} = 77,4 \dots 79,5$ dBW. Podle toho zda jsme omezení výkonem vysílače nebo zisky antén určíme rozdělení této požadované hodnoty na P_v , G_{vi} , G_{pi} . Např. pro $G_{vi} = 45$ dB a $P_v = 800$ W = 29 dBW je třeba $G_{pi} = 3,4 \dots 5,5$ dB. Tato hodnota ovšem platí jen pro šířku pásma $B = 100$ Hz a poměr $s/s = 0$ dB. Požadujeme-li např. příjem signálů s poměrem $s/s = 10$ dB při šíři pásma $B = 500$ Hz (+7 dB), pak potřebný zisk antény okamžitě stoupne na hodnotu $G_{pi} = 20,4 \dots 22,5$ dB, tj. 18,2...20,3 dB vůči dipólu, což na daném kmitočtu není hodnota zrovna nejmenší (odpovídá přibližně dobré soustavě 4—8 Yagiho antén s 15 elementy).

Uvažme ještě opačný směr spojení, kdy budeme vysílat efektivní vyzařovaný výkon (ERP) asi 10 kW, tj. např. zisk antény $G_{vi} = 20$ dB a $P_v = 100$ W = 20 dBW. Pro jednoduchost předpokládejme stejný nebo menší minimální přijímaný výkon $P_{p \min}$ a pro $G_{pi} = 45$ dB vypočteme ze vztahu (5) poměr $s/s = 7,6 \dots 5,5$ dB, tj. pro $B = 500$ Hz (+7 dB) bude $s/s = 0,6 \dots 1,5$ dB. Vidíme, že v tomto směru lze spojení za daných parametrů považovat za krajní. Zvýšením výkonu vysílače na 400 W (+6 dB) a při zisku antény $G_{vi} = 25$ dB (+5 dB) by měl být poměr $s/s = 9,5 \dots 11,6$ dB.

Využitím publikovaných údajů o zařízení [1] ověříme vztahy (3) až (5) ještě na kmitočtu 10 GHz. Uvažme výkon vysílače $P_v = 2200$ W = 33,3 dBW, kmitočet $f = 10$ GHz, zisk antény $G_{vi} = G_{pi} = 45$ dB. Útlum trasy podle vztahu (2) by měl být $b = 289,6$ dB. Při nasměrování na Měsíc byla šumová teplota systému $T_s = 325^\circ$ K, tj. $P_{p \min} = -183,5$ dBW při šíři pásma $B = 100$ Hz a poměru $s/s = 0$ dB. Ze vztahu (5) po dosažení uvedených hodnot a šíře

pásma $B = 500$ Hz (+7 dB) a poměru $s/s = 10$ dB vychází dovolený útlum trasy $b = 289,8$ dB. I když není uvažován rozdíl 2,2 dB útlumu trasy při perigeu a apoageu, je shoda výsledků až neuvěřitelná.

Praktická realizace EME spojení

Neuvažujeme-li technické problémy realizace potřebného výkonu vysílače a minimálního činitele šumu, zejména na vyšších kmitočtech, lze za největší problém při EME spojení považovat správné určené hodnoty zisku stávající antény, kterou chceme pro pokus použít, resp. především návrh a realizace antény podle požadovaného zisku, který plyne z dosažených či dosažitelných parametrů vysílače a přijímacího zařízení. Na údaje o ziscích antén se lze totiž spolehnout jedině na základě skutečně objektivního měření, vždy důsledně rozlišujeme hodnoty zisku vůči isotropnímu zářiči a vůči dipólu (rozdíl 1,64-krát, tj. 2,15 dB), a zejména při použití stávajících ne zcela vyhovujících systémů, např. parabolických reflektorů s malým poměrem f/D , vždy uvažujeme hodnoty nejnižší. Praktické výsledky nás o správnosti tohoto přístupu velmi rychle přesvědčí.

Zisk stávající antény velmi často určujeme ze změřených vertikálních a horizontálních vyzařovacích úhlů. Vhodným vztahem, uvažujícím postranní laloky o velikosti 15—20 dB pod úroveň hlavního svazku antény, je výraz

$$G_{vi} = \frac{32\,600}{\alpha_H \cdot \alpha_V}, \quad (6)$$

kde G_i je zisk antény vůči isotropnímu zářiči a α_H , α_V jsou šířky svazku antény v horizontální a vertikální rovině pro pokles 3 dB. Vztahu (6) velmi dobře odpovídá i jednoduchý vztah pro parabolický reflektor

$$G_d = 4 \cdot \left(\frac{D}{\lambda} \right)^2, \quad (7)$$

kde G_d je zisk vůči dipólu a D je průměr reflektoru v m a délka vlny též v m. V ideálním případě, kdy lze předpokládat profesionální anténu kvalitních parametrů, u které lze říci, že veškerá přijímaná či vysílaná energie je soustředěna do svazků o šíři α_H a α_V (tj. se stejnou amplitudou, rovnou max. hodnotě), může zisk dosáhnout hodnoty až

$$G_i = \frac{41\,200}{\alpha_H \cdot \alpha_V}.$$

Tento vzorec však lze v běžné praxi většinou uplatnit jen u menších hodnot G_i . Určení hodnot α_H a α_V je třeba věnovat velkou péči, protože při vyzařovacích úhlech pod 10° znamená chyba 1° již značnou změnu v hodnotě zisku antény. Na vyšších kmitočtech se používá často pro měření zisku antény šumu Slunce, jehož poměr vůči šumové teplotě ostatní okolní oblohy slouží na kmitočtech vyšších než několik set MHz jako kvalitativní činitel pro celý přijímací systém. Např. pro 433 MHz značí hodnota šumu Slunce 8—10 dB nad šumem oblohy vyhovující přijímací systém na to, abychom při výkonu asi 1000 W právě uslyšeli vlastní odrazy od povrchu Měsíce při šíři pásma přijímače asi 100...200 Hz.

Při měření šířek α_H a α_V svazku antény pomocí šumu Slunce je třeba dát

pozor na to, že při větších elevačních úhlech je nutné korigovat úhlový rozdíl v azimutu pro určení správné hodnoty α_H , používáme-li běžný otočný systém azimut—elevace (AzEl). Také při sledování Měsíce při velkých kladných hodnotách deklinace bude efektivní šířka svazku v rovině azimutu podstatně větší než šířka svazku v elevační rovině. Pokud anténu používáme jen pro sledování Měsíce či jiných nebeských těles je nejlepší otočný systém paralaktický (polární), kdy vlastně otočný systém AzEl nakloníme v rovině poledníku směrem k severu o úhel rovný 90° — zeměpisná šířka stanoviště od svislé osy. Výhodou této montáže je potřeba pohybu jen v jedné ose, a to v původním azimutu, původní pohyb v elevaci se nastaví na hodnotu deklinace Měsíce, která se vůči rychlosti pohybu Měsíce mění jen velmi pomalu.

Jak jsme již uvedli, je pro antény při EME spojení optimální kruhová polarizace minimálně až do kmitočtů několika set MHz, ale nesmíme zapomenout na to, že odraz jak od Měsíce, tak např. od parabolického reflektoru obrací smysl kruhové polarizace a je tedy velmi vhodné mít možnost přepínat smysl polarizace podle potřeby. Je evidentní, že pokud mají obě stanice opačný smysl polarizace, je přepínání zbytečné.

Radioamatéři a EME

I aktivita radioamatérů v oblasti EME spojení v posledních letech ve světě značně vzrostla, k čemuž nesporně přispěly i pokusy s profesionálními radioteleskopy, jako je např. parabolická anténa o průměru 45 m v Stanfordském výzkumném ústavu v Menlo Parku v Kalifornii, kterou občas používá klubová stanice ústavu WA6LET. Tato anténa má např. na 433 MHz zisk asi 45 dBi. S touto anténou byly 23. listopadu 1975 a 23. května 1976 uskutečněny EME testy na 433 MHz, při kterých byla úspěšná i čs. stanice OK1KIR z radioklubu Svazarmu Praha 5.

Americká stanice používala při pokusech vysílač s výkonem asi 1 kW, útlum napájecího kabelu k anténě o délce přibližně 85 m byl asi 1 dB (průměr 15 cm), anténní zesilovač byl umístěn přímo u primárního zářiče v ohnisku parabolického reflektoru, kde byly výsledky znatelně lepší než při zapojení zesilovače na konci koaxiálního kabelu. U antény bylo používáno kruhové polarizace, při vysílání levotočivé, při příjmu pravotočivé.

Zařízení čs. stanice bylo vesměs vlastní konstrukce vyjma antény, kterou tvořil parabolický reflektor o průměru sice 7,5 m, ale s poměrem f/D pouze asi 0,23, který byl pro oba pokusy zapůjčen astronomickým ústavem ČSAV na observatoři v Ondřejově. Při druhém pokusu byl po dobu pokusu původní logperiodický zářič nahrazen dvěma zkříženými dipóly s reflektory s kruhovou polarizací. Přímou úlohou zářiče byl v krabici spolu s koaxiálními přepínači polarizace a příjem/vysílání umístěn též anténní zesilovač 432 MHz s transistorem BFR 91 s činitelem šumu asi 1,8 dB a ziskem asi 16 dB. Následující transistorový konvertor ($F = 4$ dB), připojený přes asi 6,5 m kabelu VFKV 630 tvořil spolu s mf přijímačem 27/1 MHz přijímací soupravu s proměnnou šířkou pásma asi 0,3...6 kHz, která byla doplněna magnetofonem B4, nf V-metrem a osci-