

Az elektromágneses összeférhetőség (kompatibilitás) feltételeinek vizsgálata rádiórelé-vonalak optimális telepítése esetén

HTO 621.391.8:621.396.43:629.783

Az alábbiakban közölt dolgozat rádiórelé-vonalak műszakilag-gazdaságilag optimális telepítésének az [1] irodalomban elkezdett kérdései további vizsgálatával foglalkozik. Konkrétan az elektromágneses összeférhetőség (EMÖ) feltételei javításának lehetőségét tárgyalja rádiórelé berendezések energetikai jellemzőinek olyan értékig történő csökkentése esetén, amelyek még lehetővé teszik a rádiórelé-vonal csatornai megkövetelt minőségi jellemzőinek megőrzését.

A rádiórelé-vonal (RRV) műszakilag-gazdaságilag optimális telepítésének célszerűsége abból ered, hogy a rádiórelé berendezések új nemzedékei kizárólag félvezető eszközökkel és integrált áramkörökkel készülnek [1].

Az optimalizálás egyik legfontosabb szempontja az ugyanazon frekvenciasávban üzemelő egyéb hírközlő rendszerek rádiórelé berendezéseitől származó zavaró jelek szintjének csökkentése.

A rögzített telepítésű földfelszíni hírközlő rendszerek és a mesterséges holdakat (MH) alkalmazó hírközlő rendszerek [2] számára fenntartott átlagolt frekvenciasávokban a következő kölcsönös zavarok lehetségesek: geostacionárius távközlő vagy műsorközlő MH és rádiórelé állomások (RRÁ) között; RRÁ és mesterséges holdakat alkalmazó hírközlő vagy műsorközlő rendszerek földi állomásai (FÁ) között; területileg szétválasztott RRV állomásai között és ugyanazon RRV állomásai között.

Ellipszis pályájú MH alkalmazása esetén a zavarok nem jelentősek, mivel az RRÁ antennáinak keskeny iránykarakterisztikái és az MH kis helyszögeknél meglévő nagy pályasebessége miatt a zavartatás valószínűsége kicsi.

Geostacionárius MH és RRÁ közötti kölcsönös zavarok

A rádióösszeköttetésre vonatkozó előírások [2] az 1–10 GHz frekvenciatartományban 47 dBW-ben, a 10–15 GHz frekvenciatartományban pedig 45 dBW-ben határozzák meg az RRÁ-tól a geostacionárius műholdpálya irányába kisugározható effektív teljesítmény megengedhető határértékét. Ugyanakkor az RRÁ által effektív kisugárzott maximális teljesítmény az 55 dBW-ot nem haladhatja meg.

Következésképpen, ha az RRV optimális telepítése folyamán célszerűnek mutatkozik a kisugárzott

teljesítménynek akár 8–10 dB-es csökkentése is, akkor az MH fedélzeti vevőberendezései gyakorlatilag teljesen védve lesznek az RRÁ zavaraitól. Ez megszünteti a RRV telepítési kialakításainak korlátozásait, ami sok esetben az RRÁ építési és üzemeltetési költségeinek jelentős csökkenéséhez vezethet.

Határozzuk meg az RRÁ vevőantennája kimenetén a hasznos jel teljesítményének és a zavaró teljesítménynek a viszonyát a w teljesítmény fluxus-sűrűséggel sugárzó MH fedélzeti adója hatására arra a határesetre, amikor az RRÁ vevőantennája iránykarakterisztikájának (IK) maximuma van a műhold irányában.

A zavaró jel terjedése a szabad tér terjedési feltételeihez közelálló feltételek között történik, ezért a zavaró jel teljesítménye az RRÁ vevőantennája kimenetén:

$$P_{2Z} = w \frac{\lambda_{MH}^2}{4\pi} G_{2RRÁ} \quad (1)$$

ahol:

λ_{MH} az MH fedélzeti adója által kisugárzott hullámhossz, $G_{2RRÁ}$ az RRÁ vevőantennájának nyeresége.

A hasznos jel teljesítménye az RRÁ vevőantennájának kimenetén a legrosszabb hónap időtartamának T százalékában nem haladja meg az alábbi értéket:

$$P_2(T) = \frac{P_1 G_{1RRÁ} G_{2RRÁ} \lambda_{RRÁ}^2}{16\pi^2 R} V^2(T) \quad (2)$$

ahol:

P_1 az RRÁ $G_{1RRÁ}$ nyereségű adóantennájában betáplált teljesítmény, $V(T)$ a szabad tér hasznos jellel szembeni csillapítási tényezőjének olyan értéke, amelyet az időtartam T százalékában nem halad meg, R az RRV rádiószakaszának hossza.

Feltételezve, hogy $\lambda_{MH} = \lambda_{RRÁ}$, az (1) és (2) összefüggés alapján:

$$\frac{P_{2M}}{P_2(T)} = \frac{4\pi w \cdot R^2}{P_1 G_{1RRÁ} V^2(T)} \quad (3)$$

A [2] irodalom alapján a földfelszíni hírközlő rendszerek és a mesterséges holdakat alkalmazó hírközlő rendszerek együttes alkalmazására kijelölt 1,7–2,535; 3–8; 8–1,7; 12,5–15,4 GHz-es frekvenciasávokban a teljesítmény fluxus-sűrűség megengedett határértéke 4 KHz-es frekvenciasávban és a horizont felett 5°-nál kisebb elektromos sugárnyaláb beesési szögek esetén, $w_1 = -(154-148)$ dBW/m². Figyelembe véve, hogy a korszerű rádiórelé rendszerek és a mes-

A cikk az *Электросвязь* folyóirat 1978. 9. számában megjelent cikk fordítása. Magyarra átdolgozta Molnári Sándor.

terséges holdakat alkalmazó hírközlő rendszerek vevőberendezéseinek áteresztési frekvenciasávja megközelítőleg 40 MHz és $w_1 = -150$ dBW/m² értéket felvéve, a (3) összefüggésből $w = 10 - 11$ W/m² megengedett határérték adódik.

Mivel a $P_{2M}/P_2(T)$ mennyiség az időben véletlenül változik, a zavarhatás miatt a vonal csatornáiban megjelenő zajteljesítmény szintén sztochasztikus függvénye az időnek. A CCIR ajánlásainak [3] megfelelően a hipotetikus referenciához csatornáiban az összes zavarforrás miatt fellépő egyperces átlagzajteljesítmény bármely hónap időtartamának nem több, mint 20%-ban 1000 pW és nem több, mint 0,01%-ban 50 000 pW lehet.

Korszerű RRV esetén $R \approx 50$ km és a $U(T)$ statisztikai eloszlásának átlaggörbéi szerint 4 GHz frekvenciára $U(20\%) = 0,63$ (-4 dB), $U(0,01\%) = 4,47 \cdot 10^{-2}$ (-27 dB), (4). Következésképpen, a $P_1 = 10$ W, $G_{1RRÁ} = 10^4$ és $w = 10^{-11}$ w/m² átlagos jellemzőkkel rendelkező rádiórelé berendezés esetén a (3) összefüggésből $P_{2M}/P_2(20\%) = 7,8 \cdot 10^{-6}$ (51 dB), valamint $P_{2M}/P_2(0,01\%) = 1,58 \cdot 10^{-3}$ (-28 dB). Tételezzük fel, hogy a hasznos és zavaró jel frekvenciája egybeesik, spektrális jellemzőik pedig megközelítőleg egyformák. Az [5, 6] irodalmak alapján könnyen belátható, hogy sokcsatornás telefónia-átvitelnél a 600–2000 csatornás rádiórelé rendszernek a mesterséges holdról érkező zavarok miatti zajteljesítménye az időtartam 20%-ban meghaladja a 200 pW-ot és 0,01%-ban a 38 000 pW-ot.

Tételezzük fel, hogy a rádiórelé-vonal telepítésének optimalizálása folyamán célszerűvé vált R értékének az [1] irodalomban megadott határértékekig történő leszállítása és a berendezés energetikai jellemzőinek megközelítőleg 20 dB-es csökkentése. R határértéke a 4–6 GHz frekvenciartományra kb. 15 km, és ebben az esetben $U(20\%) \approx 1$, $U(0,01\%) = 0,143$ (-14 dB) [1]. A (3) összefüggés és az [5, 6] irodalmak alapján meghatározható, hogy az RRV csatornáiban a mesterséges holdról érkező zavarok miatti zajteljesítmény az időtartam 20%-ban meghaladja a 750 pW-t és 0,01%-ban a 19 000 pW-t.

A kapott eredmények azt mutatják, hogy a mesterséges hold sugárzása miatt az RRV csatornáiban megjelenő zajteljesítményre vonatkozó CCIR ajánlások [3] teljesítésének feltételei lerövidített rádiószakaszok és 20 dB-lel csökkentett közepes jelszintek esetén megközelítőleg ugyanolyanok, mint átlagos rádiószakasz hosszúság mellett, átlagos jellemzőkkel rendelkező rádiórelé berendezés esetén. A különbség csupán annyi, hogy átlagos hosszúságú rádiószakaszok esetén a hasznos jel szintjének nagymértékű időbeni változásai miatt meghatározó az előírást az időtartam 0,01%-ban meghaladó zajszint, míg lerövidített rádiószakaszok és a berendezés csökkentett energetikai jellemzői esetén – az előírást az időtartam 20%-ban meghaladó zajszint.

RRÁ és mesterséges holdakat alkalmazó hírközlő rendszerek földi állomásai közötti kölcsönös zavarok

Az RRÁ-ról származó zavaró jel $P_{2MFA}(T)$ teljesítményének az időtartam T százalékában meghaladó

értékét a FÁ vevőantennájának kimenetén általános esetben a következőképpen lehet kifejezni:

$$P_{2MFA}(T) = \frac{P_1 G_{1RRÁ} G_{2FA} \lambda_{RRÁ}^2}{16\pi^2 R_M^2} \cdot F_{RRÁ}^2(\varphi) F_{FA}^2(\varphi_{FA}, \Delta_{FA}) U_{MRA}^2(T) \quad (4)$$

ahol:

R_M az RRÁ és FÁ közötti távolság, G_{2FA} az FÁ vevőantennájának nyeresége, $F_{RRÁ}^2(\varphi)$ az RRÁ adóantennájának iránykarakterisztikája miatti csillapítás, az RRÁ φ azimutszögének adott értékénél, $F_{FA}^2(\varphi_{FA}, \Delta_{FA})$ az FÁ vevőantennájának iránykarakterisztikája miatti csillapítás, az FÁ azimutszögének és Δ_{FA} helyszögének adott értékénél, $U_{MRA}(T)$ a zavaró jel csillapítási tényezőjének olyan értéke, amelyet az időtartam T százalékában meghalad és a RRÁ és FÁ közötti nyomvonal földrajzi és éghajlati viszonyaitól, valamint R_M és $\lambda_{RRÁ}$ értékétől függ.

Tételezzük fel, hogy a rádióhullámok terjedésének feltételei az MH–FÁ nyomvonalán megközelítőleg azonosak a szabad tér terjedési feltételeivel. Ebben az esetben a hasznos jel teljesítménye az FÁ vevőantennájának kimenetén:

$$P_{2FA} = \frac{P_{1MH} G_{1MH} G_{2FA} \lambda_{MH}^2}{16\pi^2 R_{MH}^2} \quad (5)$$

ahol:

P_{1MH} az MH fedélzeti adójának teljesítménye, G_{1MH} a fedélzeti adóantenna nyeresége, R_{MH} az MH–FÁ nyomvonalának távolsága,

következésképpen, $\lambda_{RRÁ} = \lambda_{MH}$ esetén:

$$\frac{P_{2M MH}(T)}{P_{2FA}} = \frac{P_1 G_{1RRÁ} R_{MH}^2}{P_{1MH} G_{1MH} R_M^2} \cdot F_{RRÁ}^2(\varphi) F_{FA}^2(\varphi_{FA}, \Delta_{FA}) V_{MRA}^2(T) \quad (6)$$

Az RRÁ vevőantennájának kimenetén az FÁ zavaró jele $P_{2M}(T)$ teljesítménye olyan értékének, amelyet az időtartam T százalékában meghalad, a hasznos jel $P_2(T)$ teljesítménye olyan értékéhez viszonyított hányadosa, amelyet az időtartam T százalékában nem halad meg, az alábbi:

$$\frac{P_{2M}(T)}{P_2(T)} = \frac{P_{1FA} G_{1FA} R^2}{P_1 G_{1RRÁ} R_M^2} F_{RRÁ}^2(\varphi) \cdot F_{FA}^2(\varphi_{FA}, \Delta_{FA}) \frac{U_{MFA}^2(T)}{U^2(T)} \quad (7)$$

ahol:

P_{1FA} az FÁ adójának teljesítménye, G_{1FA} az FÁ adóantennájának nyeresége, $V_{MFA}(T)$ az FÁ-tól származó zavaró jel csillapítási tényezőjének olyan értéke, amelyet az időtartam T százalékában meghalad, $F_{RRÁ}^2(\varphi)$ és $F_{FA}^2(\varphi_{FA}, \Delta_{FA})$ az RRÁ vevőantennájának és a FÁ adóantennájának iránykarakterisztikája miatti csillapítás.

A (6) és (7) mennyiségek értékének becsléséhez vizsgáljunk meg két határesetet.

1. Az antennák iránykarakterisztikái miatt keletkező zajszint-csillapítás kicsi. Az RRÁ és FÁ kölcsönös zavaró hatása R_M nagy értékeinél lép fel, amikor a zavaró jel szintje időbeni változásának diszperziója még normális rádiószakasz hosszok esetén is jelentősen nagyobb, mint a hasznos jel változásának diszperziója. Következésképpen, első megközelítésben a RRÁ vevőantennájának kimenetén a hasznos jel időbeni változásai elhanyagolhatók, s így a (7) formulában $V(T)=1$. Ebben az esetben a rádiórelé állomásnak a földi állomásra gyakorolt zavaró hatása következtében keletkező zavaró jel szintjének az antennák iránykarakterisztikái miatti csillapítását azonosnak feltételezve meghatározzuk (6) és (7) összefüggések hányadosát:

$$X_1 = \frac{P_1^2 G_{IRRA}^2 R_{MH}^2 U_{MRA}^2(T)}{P_{1MH} G_{1MH} P_{IFA} G_{IFA} R^2 U_{MFA}^2(T)}. \quad (8)$$

Becsüljük meg X_1 értékét arra az esetre, amikor a földi állomásról a mesterséges holdra történő jelátvitelre a 6 GHz-es frekvenciatartományt, a mesterséges holdról a földi állomásra történő jelátvitelre pedig a 4 GHz-es frekvenciatartományt alkalmazzuk. Az említett frekvenciatartományok esetén a (8) összefüggésben előforduló mennyiségekre a következő átlagértékek vehetők fel:

$$\begin{aligned} P_1 &= 10 \text{ W}, & G_{IRRA} &= 10^4, \\ P_{1MH} &= 20 \text{ W}, & G_{1MH} &= 400, & P_{IFA} &= 10^3 \text{ W}, \\ G_{IFA} &= 4 \cdot 10^5, & R_{MH} &= 4 \cdot 10^4 \text{ km}, & R &= 50 \text{ km}. \end{aligned}$$

Ebben az esetben:

$$X_1 = 2 \cdot 10^3 \frac{U_{MRA}^2(T)}{U_{MFA}^2(T)}. \quad (9)$$

Ha figyelembe vesszük az

$$U_{MRA}(T)/U_{MFA}(T) = 1$$

összefüggést is, akkor a (9) alapján megállapítható, hogy a FÁ kimenetén a zajteljesítménynek a hasznos jel teljesítményéhez viszonyított hányadosa 33 dB-nél nagyobb, mint ugyanezen hányados értéke az RRÁ vevőantennájának kimenetén. Következésképpen, ugyanilyen különbség lesz a zavartatás hatására a csatornában fellépő zajszintekben is. Valós feltételek között a különbség T bármilyen értékénél még nagyobb lesz, mivel a zavaró jelek keletkezésének alapvető mechanizmusai esetén (a rádióhullámok diffrakciós és távoli trapezferikus terjedésénél) a fenti hányados

$$V_{MPPA}(T)V_{MPA}(T) > 1.$$

2. Az antennák iránykarakterisztikái miatt keletkező zajszint-csillapítás nagy, vagyis $F_{RRÁ}^2(\varphi) \ll 1$ és $F_{FA}^2(\varphi_{FA}, \lambda_{FA}) \ll 1$. Az RRÁ és FÁ közötti kölcsönös zavaró hatás csak R_M kis értékei mellett válik érezhetővé, amikor a zavaró jelek szintjének időbeni változásai elhanyagolhatók és feltételezhető, hogy a terjedési feltételek közel azonosak a szabad tér terjedési feltételeivel ($U_{MRA}(T) = U_{MFA}(T) = 1$). Feltételezve, hogy az antennák iránykarakterisztikái miatt keletkező zajszint csillapítás ugyanolyan értékű földi állomásnak rádiórelé állomástól és rádiórelé

állomásnak földi állomástól történő zavartatása esetén is, meghatározzuk a (6) és (7) hányadosát:

$$X_2(T) = \frac{P_1^2 G_{IRRA} R_{MH}^2 U^2(T)}{P_{1MH} G_{1MH} P_{IFA} G_{IFA} R^2} \quad (10)$$

Ahogy a fentiekben említettük $R=50$ km esetén a 4–6 GHz frekvenciatartományra $U(20\%)=0,63$, $U(0,01\%)=4,47 \cdot 10^{-2}$. Ezért P_1 , G_{IRRA} , P_{1MH} , G_{1MH} , P_{IFA} , és R_{MH} azonos értékeinél a (10) összefüggésből $X_2(20\%)=8 \cdot 10^2$, $X_2(0,01\%)=4$. Következésképpen, a P_{2M}/P_2 hányados még az időtartam 0,01%-a folyamán is 4-szerre kisebb lesz, mint a P_{2MFA}/P_{2FA} hányados és, bár a [3] irodalom a zavarhalás miatt keletkező zajérték megengedett értékére az időtartam 0,01%-ban 50 000 pW-t ír elő, ugyanakkor FÁ esetén a P_{2MFA}/P_{2FA} hányados állandó értékére a megengedett zajszintnek mindenképpen kisebbnek kell lennie, mint 1000 pW.

A felsorolt szám adatok azt bizonyítják, hogy a modern rádiórelé berendezések energetikai jellemzői a berendezések és mesterséges holdakat alkalmazó hírközlő rendszerek földi állomásai közötti EMÖ szempontjából messze nem optimálisak, hiszen a zavartatási viszonyokat, és következképpen a RRÁ és FÁ szükséges területi szétválasztását a RRÁ-nak a FÁ-hoz viszonyított bármilyen elhelyezkedése esetén a RRÁ sugárzása határozza meg.

Ez a helyzet természetesen nem tekinthető indokoltnak. Igaz, hogy a mesterséges holdakat alkalmazó hírközlő rendszerek sajátosságai miatt a FÁ vevőberendezéseinek bemenetén a hasznos jelszint lényegesen nem növelhető a rendszer műszaki-gazdasági jellemzőinek jelentős romlása és a fedélzeti adókból a földi hírközlő rendszerekre jutó zavartatási szint nem megengedett növekedése nélkül (lásd a fentieket). Ugyanakkor a rádiórelé berendezés energetikai jellemzőinek csökkentése a RRV rádiószakaszai hosszának csökkentése esetén reális lehetőség, amely a RRÁ és FÁ közötti EMÖ feltételeinek jelentős javulásához vezet. Például, a 4–6 GHz frekvenciatartományban üzemelő rádiórelé berendezés energetikai jellemzőinek 20 dB-es csökkentése és a RRV rádiószakaszai hosszának 50-ről 15 km-ig történő csökkentése a következő értékeket eredményezi:

$$X_1 = 2,2 U_{MRA}^2(T)/U_{MFA}^2(T).$$

$X_2(20\%)=2,2$; $X_2(0,01\%)=4,4 \cdot 10^{-2}$, vagyis az RRÁ-nak az FÁ-ra és az FÁ-nak az RRÁ-ra gyakorolt zavaró hatását megközelítőleg kiegyenlíti. Figyelembe kell venni, hogy a zavartatás hatása miatt az RRV csatornáiban fellépő megengedett zajszint az időtartam 0,01%-ban 50 000 pW, az időtartam 20%-ban 1000 pW [3]. Ezért az $X_2(0,01\%)=4,4 \cdot 10^{-2}$ érték teljesen megengedett és ekvivalens az $X^2(20\%)=2,2$ értékkel. Az RRÁ és FÁ szükséges területi szétválasztása így jelentősen csökkenthető.

Ha az antennák iránykarakterisztikái miatt keletkező zajszint-csillapítás nagy, akkor R_M csökkenése a következő összefüggéssel fejezhető ki:

$$R_M \approx \sqrt{P_1 G_{IRRA}}$$

Az antennák iránykarakterisztikái miatt keletkező zajszintcsillapítás kis értéke esetén R_M csökkenése

még jelentősebb, mivel az $U_M(T)$ csillapítási tényező csökkenésének sebessége a távolsággal — pl. a rádióhullámok távoli troposferikus terjedésének zónájában — a 0,1 dB/km értéket nem haladja meg [8].

Területileg szétválasztott RRV rádiórelé állomásai és ugyanazon RRV rádiórelé állomásai közötti kölcsönös zavarok

Megközelítőleg párhuzamos irányú RRV-k közötti kölcsönös zavarok e vonalak legközelebbi rádiórelé állomásai között keletkezhetnek. Mivel hasonló esetekben az RRÁ antennáinak iránykarakterisztikái miatt keletkező zajszint csillapítás jelentős, ezért a kölcsönös zavaró hatás csak az RRÁ-k közötti R_M távolság elegendően kis értékei mellett jelentős. R_M kis értékei esetén a zavaró jel P_{2M} teljesítményének időbeni változásai elhanyagolhatók és feltételezhető, hogy a zavaró jel terjedési feltételei megközelítőleg megegyeznek a szabad tér terjedési feltételeivel.

A területileg szétválasztott két RRV energetikai jellemzőit egyszerűség kedvéért azonosnak tekintve nem nehéz meghatározni, hogy az RRÁ vevőantennájának kimenetén a zavaró jel P_{2M} teljesítményének a hasznos jel olyan $P_2(T)$ teljesítményéhez viszonyított hányadosa, amelyet az időtartam T százaléka folyamán nem halad meg, független az adók teljesítményétől, valamint az adóantennák nyereségétől és következőképpen határozható meg:

$$\frac{P_{2M}}{P_2(T)} = \frac{F^2(\varphi_1)F^2(\varphi_2)R^2}{R_M^2 U_M^2(T)}, \quad (11)$$

ahol:

$F^2(\varphi_1)$, $F^2(\varphi_2)$ a zavaró jel teljesítményének az adó- és vevőantennák iránykarakterisztikája miatti csillapítása a φ_1 és φ_2 azimutszögeknek a zavarforrás elhelyezési pontjában és a vételi pontban fellépő értékeinél.

A $P_{2M}/P_2(T)$ értékét valamilyen $P_{2M}/P_2(T)$ megengedett értékkel egyenlőnek tekintve a (11) összefüggésből

$$R_M(T) = \frac{F(\varphi_1)F(\varphi_2)}{V(T)\sqrt{[P_{2M}/P_2(T)]_{\text{megeng.}}}}. \quad (12)$$

Ahogy a fentiekben már ismertettük, a 4–6 GHz-es frekvenciasávban, $R=50$ km esetén $U(20\%)=0,63$, $U(0,01\%)=4,47 \cdot 10^{-2}$, ezért a (12) összefüggésből meghatározzuk $R_M(20\%)$ és $R_M(0,01\%)$ olyan kilométerben kifejezett, minimálisan megengedett értékeit, amelyeknél a zavarhatás miatt a csatornában fellépő zaj szintjére vonatkozó előírások teljesülnek:

$$R_M(20\%) = 79,5 \frac{F(\varphi_1)F(\varphi_2)}{\sqrt{[P_{2M}/P_2(20\%)]_{\text{megeng.}}}}, \quad (13)$$

$$R_M(0,01\%) = 1,12 \cdot 10^3 \frac{F(\varphi_1)F(\varphi_2)}{\sqrt{[P_{2M}/P_2(0,01\%)]_{\text{megeng.}}}}. \quad (14)$$

Az RRV rádiószakaszai hosszának kb. 15 km-ig történő lecsökkentése $U(20\%) \approx 1$, $U(0,01\%)=0,143$

értékekhez vezet a 4–6 GHz-es frekvenciasávban [1]. Így, a (12) összefüggés alapján

$$R_M(20\%) = 15 \frac{F(\varphi_1)F(\varphi_2)}{\sqrt{[P_{2M}/P_2(20\%)]_{\text{megeng.}}}}. \quad (15)$$

$$R_M(0,01\%) = 1,05 \cdot 10^2 \frac{F(\varphi_1)F(\varphi_2)}{\sqrt{[P_{2M}/P_2(0,01\%)]_{\text{megeng.}}}}. \quad (16)$$

A (13), (15) és (14), (16) formulák összehasonlításából látható, hogy egyébként azonos feltételek mellett a RRV rádiószakaszai hosszának 50-ról 15 km-re történő csökkentése lehetővé teszi $R_M(20\%)$ értékének kb. ötödrészére, $P_{2M}(0,01\%)$ értékének pedig kb. tizedrészére történő csökkentését. Következésképpen, lehetséges az ugyanazon frekvenciasávban üzemelő RRV hálózat sűrűségének jelentős növelése.

A φ_1 és φ_2 szögek kis értéke esetén, amikor az antennák iránykarakterisztikái miatt keletkező zajszintcsillapítás kis értékű, egyes RRV-nak a többiekre gyakorolt zavaró hatása a köztük lévő R_M távolság nagy értékei mellett is létrejöhet. Az ilyen kölcsönös zavaró hatás tipikus példája kétfrekvenciás terv esetén az ugyanazon RRV első és negyedik RRÁ közötti zavartatás, amely a vonal „cikkakkos” telepítését teszi szükségessé (6). Ebben az esetben $R_M \approx 3R$ mellett a zavaró jel szintjének véletlenszerű időbeni változásának diszperziója lesz a meghatározó. A P_{2M}/P_2 hányados becslésénél első közelítésben a hasznos jel fédingjei elhanyagolhatók, ezért:

$$\frac{P_{2M}(T)}{P_2} = \frac{1}{9} F^2(\varphi_1)F^2(\varphi_2)U_M^2(T), \quad (17)$$

ahol:

$P_{2M}(T)$ a zavaró jel teljesítményének olyan értéke, amelyet az időtartam T százalékában meghalad.

A $P_{2M}(T)/P_2$ értékét valamilyen $P_{2M}(T)/P_2$ megengedett értékkel egyenlőnek tekintve a (17) összefüggésből meghatározzuk a

$$F^2(\varphi_1)F^2(\varphi_2) = \frac{9[P_{2M}(T)/P_2]_{\text{megeng.}}}{U_M^2(T)}. \quad (18)$$

szorzat szükséges értékét.

Ahogy a (7) irodalomból ismeretes, az antennák normalizált iránykarakterisztikái főnyalábban belül jó közelítéssel a következő approximatív összefüggéssel fejezhető ki:

$$F^2(\varphi) = \frac{1}{1 + (\varphi/\varphi_0)^4}, \quad (19)$$

ahol:

φ_0 a főnyaláb szélességének fél értéke a teljesítményszint felénél.

A (18), (19) összefüggések alapján meghatározzuk az első és negyedik RRÁ antennái iránykarakterisztikái maximuma és az őket összekötő vonal közötti szögek szükséges értékét a $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$ feltétel mellett:

$$\varphi = \varphi_0 \sqrt[4]{\frac{U_M(T)}{3P_{2M}(T)/P_2} - 1}. \quad (20)$$

A [6] irodalom alapján $P_{2M}(T)/P_{2M\text{megeng.}} = 10^{-7}$ $F=20\%$ esetén. Becsüljük meg $U_M(20\%)$ értékét normál hosszúságú ($R=50$ km, $R_M=150$ km) rádiószakaszokból felépített RRV és lecsökkentett hosszúságú ($R=15$ km, $R_M=45$ km) rádiószakaszokból felépített RRV esetére. Tétélezzük fel, hogy a vonal sima, gömb alakú földfelszín felett halad, az antennák h magassága pedig úgy van megválasztva, hogy közepes refrakciós feltételek mellett a vevőantenna az első interferencia maximumban helyezkedjen el, vagyis:

$$h = \frac{R^2}{8a_e} + \frac{R\lambda_{RRÁ}}{2}, \quad (21)$$

ahol:

$a_e = 8500$ km, a Föld ekvivalens sugarának értéke közepes refrakciós feltételek mellett.

$R=50$ km és $R_M=3R=150$ km esetén zavaró jel a rádióhullámok távoli trapozsferikus terjedése következtében keletkezik. $U_M(20\%)$ értéke függ az $R_{e,M} = 3R \approx 2\sqrt{2a_e h}$ ekvivalens távolságtól és $R=50$ km esetére a 4–6 GHz-es frekvenciasávban a [6] irodalom szerint:

$$U_M(20\%) = 7,07 \cdot 10^{-3} (-43 \text{ dB}).$$

Ha $R=15$ km, akkor $R_M=3R=45$ km, és a zavaró jel fokozott refrakció esetén alapvetően a rádióhullámok földfelszín körüli diffrakciója miatt keletkezik. Sima, gömb alakú földfelszínre a (21) összefüggéssel meghatározott h értékek és a levegő dielektromos állandója függőleges gradiense statisztikus eloszlásának tipikus jellemzői esetén a [6] irodalomban közölt módszer alapján meghatározzuk a $U_M(20\%) = 0,316$ (-10 dB) értéket a 4–6 GHz frekvenciatartományra.

A (20) összefüggésben figyelembe véve a

$$P_{2M}(20\%)/P_{2M\text{megeng.}} = 10^{-7}$$

relációt, megkapjuk a szögek szükséges értékeit; $\varphi = 1,59\varphi_0$ $R=50$ km esetén és $\varphi = 4,26\varphi_0$ $R=15$ km esetén. Következésképpen, lecsökkentett rádiószakaszok esetén a $P_{2M}(20\%)/P_{2M\text{megeng.}}$ mennyiség értékének megőrzésére a φ szögek szükséges értéke 2,7-szer lesz nagyobb, mint normális hosszúságú rádiószakaszok esetén. Mivel a közölt példában a rádiószakaszok távolsága az eredeti 3,3-d részére csökken, ezért a $[P_{2M}(20\%)/P_{2M\text{megeng.}}]$ hányados szükséges értékét a közbenső RRÁ elhelyezkedésének az első és negyedik RRÁ-n keresztülhaladó nagy körének ívétől való lineáris eltérések megközelítőleg azonos értékek mellett lehet realizálni, mint normális hosszúságú rádiószakaszok esetén.

Szükséges megjegyezni, hogy a közölt példában a hasznos jel fedéngéitől való eltekintés a normális hosszúságú rádiószakaszok esetét tünteti fel kedvezőbbnek.

Természetesen R nagy értékeinél P_2 véletlenszerű időbeni változásai diszperziójának megnövekedése miatt a $[P_{2M}/P_{2M\text{megeng.}}]$ érték túllépésének valószínűségét nemcsak a P_{2M} véletlenszerű megnövekedése, hanem a P_2 véletlenszerű csökkenése együttesen fogják meghatározni.

Befejezés

A fentiekben közölt következtetések azt mutatják, hogy a RRV rádiószakaszai hosszának csökkentése és a rádiórelé berendezések energetikai jellemzőinek a vonal csatornáibann szükséges minőségi jellemzőit biztosító értékekig történő csökkentése esetén lehetséges a RRV és annak frekvenciasávjával egybeeső frekvenciasávokban üzemelő egyéb hírközlő rendszerek közötti EMÖ feltételeinek jelentős javítása a következőképpen:

1. Az RRÁ-knak a geostacionárius MH-kat alkalmazó hírközlő rendszerek fedélzeti vevőberendezéseire gyakorolt zavaró hatásának gyakorlatilag teljes megszüntetése, figyelembe véve a RRV telepítési kialakításának korlátozásait.

2. Az RRÁ-knak az MH-kat alkalmazó hírközlő rendszerek FÁ vevőberendezéseire gyakorolt zavaró hatásának olyan szintig történő jelentős csökkentése, amely összemérhető az FÁ-nak az RRÁ-k vevőberendezéseire gyakorolt zavaró hatásával, figyelembe véve az RRÁ és FÁ frekvencia- és területi szétválasztásának ennek következtében fellépő követelményeit.

3. A területileg szétválasztott RRV–1 közötti kölcsönös zavarok szintjének jelentős csökkentése, ami lehetővé teszi az ugyanazon frekvenciatartományban üzemelő RRV hálózat sűrűségének néhányszoros növelését.

Az EMÖ-feltételei javításának fentiekben ismertetett lehetőségei különösen fontosak a 2–8 GHz frekvenciatartomány ésszerű kihasználása szempontjából, amelyben a rádióhullámok terjedési feltételei a legkedvezőbbek.

I R O D A L O M

- [1] Калинины А. И., Шамшин В. А.: Вопросы оптимизации построения радиорелейных линий. „Электросвязь“, 1978, № 3.
- [2] Регламент радиосвязи. М., „Связь“, 1975.
- [3] CCIR ajánlás 357—2 Genf, 1974.
- [4] CCIR tanulmány 338—2 Genf, 1974.
- [5] Бородин С. В.: Искажения и помехи в многоканальных системах радиосвязи с частотной модуляцией. М., „Связь“, 1976.
- [6] Инженерио-технический справочник по электросвязи. Радиорелейные линии. М., „Связь“, 1971.
- [7] CCIR tanulmány 390—2 Genf, 1974.
- [8] CCIR tanulmány 569 Genf, 1974.