MOLNÁR BÉLA
BME Mikrohullámú Híradástechnikai Tanszék

Amplitúdómodulált adóberendezések eredő hatásfokának meghatározása

ETO 621.376.2:621.396.712.017.8

Napjainkban a középhullámú műsorszórásban egyre nagyobb teljesítményű berendezéseket használnak. A néhány száz kW-os adóteljesítmény már kicsinek számít.

A növekvő adóteljesítmény előtérbe helyezte és egyre élesebben veti fel az adóberendezések eredő hatásfokának kérdését. Ennek vizsgálata a gyártó és üzemeltető szempontjából egyaránt fontos.

Az adóberendezés hatásfoka a moduláló jel amplitúdójától és az alakjától függ. Vizsgálójelnek egy állandó amplitúdójú szinuszhullámot szoktak használni.

Két különböző áramköri megoldást használó adóberendezés hatásfokának összehasonlításakor attól függően ítéljük jobbnak az egyik vagy a másik berendezést, hogy milyen modulációs mélységnél mért hatásfokadatokat vetünk össze. Rendszerint a teljes kimodulálásnál mért hatásfokot tekintik az összehasonlítás alapjának. Ez azonban több szempontból is rossz:

— a tényleges moduláló programnak viszonylag kicsi az átlagos modulációs mélysége, így a teljes kimodulálásnál mért adatokból rossz becslést kapunk a berendezés tényleges üzemi jellemzőire;
— mivel az, hogy milyen modulációs mélységnél kapjuk a legjobb hatásfokot, befolyásolható az áramköri paraméterekkel, a teljes kimodulálást alapul vevő szemlélet helytelenül arra ösztönzi a gyártókat, hogy olyan megoldásokat keressenek, ahol a teljes kivezérlésnél optimális a hatásfok.

Nem lenne helyes az sem, ha az átlagos modulációs mélységnél mért hatásfokot tekintenénk eredő hatásfoknak, mivel ekkor egyáltalán nem vennénk figyelembe nagy kivezérlésnél a hatásfok alakulását.

A következőkben a hangjellel modulált AM-adók eredő hatásfokának meghatározásához egy egyszerű kifejezést javasolunk. A javasolt egyenlet levezetése kissé hosszadalmas, ezért a levezetés részleteit a függelékekben találjuk meg. A függelékeket úgy szerkesztettük meg, hogy azok önállóan is olvashatók legyenek.

Az eredő hatásfok definíciója:

$$\eta_e=\frac{\overline{P_h(m)}}{\overline{P_0(m)}} \tag{1}$$

ahol a fölülhúzás az átlagolást jelenti.

m a pillanatnyi modulációs mélység,

P_h az adó kimeneti teljesítménye (hasznos teljesítmény),

P_0 a tápegységből felvett teljesítmény.

Az eredő hatásfok amplitúdómodulált adók esetén a következő egyenletből határozható meg:

$$\frac{1}{\eta_e}=\frac{1}{1+\overline{m^2}}\left[\overline{\frac{1+m^2}{\eta(m)}}\right] \tag{2}$$

ahol: $\eta(m)$ az adóberendezés hatásfoka akkor, ha 1:1 kitöltési tényezőjű négyszögjellel modulálunk, amelynek a modulációs mélysége: m.

Ez az egyenlet az eredő hatásfok legáltalánosabb kifejezése, levezetését az *A* függelék tartalmazza.

A moduláló programjel statisztikus tulajdonságai az átlagoláson keresztül érvényesülnek az alapegyenletben.

A további számításokban feltételeztük, hogy a moduláló jel az idő felében gamma eloszlással közelíthető. Ez reprezentálja a zenei programot. A műsoridő másik felében a beszédjel modulál, amiről feltételeztük, hogy kétoldalas exponenciális eloszlással közelíthető, továbbá aktivitási tényezője: 50%. Feltételeztük még, hogy a fenti moduláló jel legfeljebb az idő 1%-ában hoz létre túlmodulálást. A feltételezett jel részletes leírása a *B* függelékben található.

Az eredő hatásfok általános kifejezésének és a programjel statisztikájának felhasználásával a *C* függelékben részletezett módon levezethető a következő egyszerű kifejezés:

$$\frac{1}{\eta_e}=\frac{0{,}519}{\eta(0\%)}+\frac{0{,}26}{\eta(20\%)}+\frac{0{,}112}{\eta(40\%)}+ +\frac{0{,}0541}{\eta(60\%)}+\frac{0{,}0278}{\eta(80\%)}+\frac{0{,}0276}{\eta(100\%)} \tag{3}$$

ahol: $\eta(0\%)$ moduláció nélkül mért hatásfok,
$\eta(20\%)$ 20%-os négyszögmodulációhoz tartozó hatásfok,
$\eta(40\%)$ 40%-os négyszögmodulációhoz tartozó hatásfok ... és így tovább.

A (3) egyenlet levezetésénél a megadott pontok között lineáris interpolációt alkalmaztunk.

Az η mérésénél a következő nehézségek lépnek fel:

— a négyszögjel jobban igénybe veszi az adót, mint a szokásos szinuszhullámú vizsgálójel;
— a négyszögjel olyan meredek éleket tartalmaz, amelyek a tényleges programjelben nincsenek. Ezért a négyszögjeles mérésnél olyan dinamikus veszteségeket is figyelembe veszünk, amelyek a

Beérkezett: 1978. V. 10.

programjellel történő moduláció esetén nem jelentkeznek;

- az AM adók nagy részét nem tervezték impulzusátvitelre, ezért a négyszögjelet csak nagy torzítással viszik át.

A fentiekből levonhatjuk azt a következtetést, hogy η-át gyakorlatilag nem tudjuk méréssel meghatározni. Jól használható viszont a (3) kifejezés az elméleti számításoknál, ugyanis elméletileg sokkal könnyebb meghatározni a hatásfokot, ha négyszögjellel modulálunk, mint más jelalak esetén. Az elvi számításnál a mérést korlátozó okokat egyszerűen figyelmen kívül hagyhatjuk.

A gyakorlati mérés szinuszjellel történik. A szinuszhullámú modulációnál mérhető hatásfokadatokból a *D* függelékben vezettük le az eredő hatásfok kifejezését.

A levezetésben az eredő hatásfok általános kifejezésén kívül a (3) egyenletet is felhasználtuk. A levezetés végeredménye:

$$\frac{1}{\eta_e}=\frac{0{,}387}{\eta_s(0\%)}+\frac{0{,}266}{\eta_s(20\%)}+\frac{0{,}154}{\eta_s(40\%)}+$$
$$+\frac{0{,}0941}{\eta_s(60\%)}+\frac{0{,}0195}{\eta_s(80\%)}+\frac{0{,}0793}{\eta_s(100\%)} \qquad (4)$$

ahol: η_s az adott modulációs mélységű szinuszos modulációhoz tartozó hatásfok.

A gyakorlatban $\eta_s(100\%)$ helyére a megengedett maximális modulációs mélységhez tartozó hatásfokadatot kell behelyettesíteni.

A szerző javasolja, hogy a jövőben a (4) kifejezéssel megadott hatásfokot tekintsék az amplitúdómodulált adóberendezés „eredő hatásfok"-ának.

A függelék

Az eredő hatásfok elméleti meghatározása

Az amplitúdómodulált adóberendezést moduláló hangjel sztohasztikus folyamat. Feltételezzük, hogy ez a folyamat ergodikus, ami azt jelenti, hogy a halmaz és időátlag 1 valószínűséggel azonos.

Mivel a kétféle átlag azonos, a továbbiakban egyszerűen csak átlagról beszélünk, amit föléhúzással fogunk jelölni.

Az eredő hatásfok:

$$\eta_e=\frac{\overline{P_h(m)}}{\overline{P_0(m)}} \qquad (A-1)$$

ahol P_h az egy rádiófrekvenciás (RF) periódusra átlagolt hasznos (kimeneti) teljesítmény,
P_0 az egy RF periódusra átlagolt felvett teljesítmény,
m a pillanatnyi modulációs index.

A hasznos teljesítmény

$$P_h=P_v(1+\mathrm{m})^2 \qquad (A-2)$$

ahol P_v a vivőteljesítmény.

A hasznos teljesítmény átlaga:

$$\overline{P_h}=\overline{P_v(1+\mathrm{m})^2}=\overline{P_v(1+2\mathrm{m}+\mathrm{m}^2)}=P_v(1+\overline{\mathrm{m}^2}) \qquad (A-3)$$

ahol felhasználtuk, hogy az átlagképzés lineáris művelet, valamint azt, hogy az adóban nincs egyenszint-átvitel, ezért a modulációs index átlaga zérus.

A felvett teljesítmény:

$$P_0=\frac{P_h(m)}{\eta_p(m)} \qquad (A-4)$$

ahol η_p az adott modulációs mélységhez tartozó pillanatnyi hatásfok.

A felvett átlagteljesítmény:

$$\overline{P_0}=\overline{\left[\frac{P_h(m)}{\eta_p(m)}\right]} \qquad (A-5)$$

Az (A—2) kifejezés figyelembevételével:

$$\overline{P_0}=P_v\,\overline{\left[\frac{(1+\mathrm{m})^2}{\eta_p(m)}\right]} \qquad (A-6)$$

Az eredő hatásfokot (A—3) és (A—6) egyenletek (A—1)-be helyettesítéssel kaphatjuk meg:

$$\eta_e=\frac{\overline{P_h}}{\overline{P_0}}=\frac{1+\overline{m^2}}{\overline{\left[\frac{(1+m)^2}{\eta_p(\mathrm{m})}\right]}} \qquad (A-7)$$

Átalakítva:

$$\frac{1+\overline{\mathrm{m}^2}}{\eta_e}=\overline{\left[\frac{(1+\mathrm{m})^2}{\eta_p(\mathrm{m})}\right]} \qquad (A-8)$$

Nézzük meg az eredő hatásfokot, ha a modulációs mélység csak két értéket vehet fel egyenlő valószínűséggel.

Tehát:

$$m=\begin{cases}+M & \frac{1}{2}\ \text{valószínűséggel}\\ -M & \frac{1}{2}\ \text{valószínűséggel}\end{cases}$$

Az átlagképzés ebben az esetben nagyon egyszerű:

$$\overline{y(\mathrm{m})}=\frac{1}{2}\left[y(M)+y(-M)\right] \qquad (A-9)$$

ahol $y(\mathrm{m})$ a modulációs index tetszőleges függvénye.

Ennél a jelnél az eredő hatásfokra az $\eta(M)$ jelölést használjuk. (A—9) és (A—8) felhasználásával:

$$\frac{1+M^2}{\eta(M)}=\frac{1}{2}\left[\frac{(1+M)^2}{\eta_p(M)}+\frac{(1-M)^2}{\eta_p(-M)}\right] \qquad (A-10)$$

Térjünk vissza az eredő hatásfok általános (A—8) kifejezéséhez. Feltételezzük, hogy a modulációs index eloszlása szimmetrikus és ekkor:

$$\overline{y(m)}=\overline{y(-m)} \qquad (A-11)$$

Az átlag a következőképpen is kifejezhető (A—11) alapján:

$$\overline{y(m)}=\frac{1}{2}\,\overline{[y(\mathrm{m})+y(-\mathrm{m})]} \qquad (A-12)$$

Alkalmazzuk (A—12)-t (A—8) egyenlet jobb oldalára:

$$\frac{1+\overline{m^2}}{\eta_e}=\frac{1}{2}\left[\frac{(1+m)^2}{\eta_p(m)}+\frac{(1-m)^2}{\eta_p(-m)}\right] \quad (A-13)$$

A jobb oldalon az átlag alatti kifejezés

$$M=m$$

helyettesítéssel azonos (A—10) jobb oldalával, tehát:

$$\frac{1+\overline{m^2}}{\eta_e}=\overline{\left[\frac{1+m^2}{\eta(m)}\right]} \quad (A-14)$$

B függelék

A programjel leírása

Az előzőekben levezetett hatásfok-kifejezés átlagolást tartalmaz, aminek az elvégzéséhez szükségünk lesz a programjel sűrűségfüggvényére.

A programjel beszéd és zene részekből áll. A további számításainkban feltételezzük, hogy a beszéd—zene arány 1:1. A beszédidő egy részében a jel nagysága elhanyagolhatóan kicsi. Az aktív időben a jelet jó közelítéssel kétoldalas gamma eloszlásúnak tekintjük. Az aktív idő és a teljes beszédidő arányát kifejező aktivitási tényezőről feltételezzük, hogy értéke 0,5.

A kétoldalas gamma eloszlás sűrűségfüggvénye:

$$f(x)=\frac{1}{2\beta^\alpha\Gamma(\alpha)}|x|^{\alpha-1}e^{-\frac{|x|}{\beta}} \quad (B-1)$$

ahol α és β az eloszlás állandói

$\Gamma(\alpha)$ a gamma függvény, amelynek definíciója:

$$\Gamma(\alpha)=\int_0^\infty x^{\alpha-1}e^{-x}\,dx \quad (B-2)$$

Az abszolútérték-átlag és a négyzetátlag az eloszlás paramétereivel kifejezve:

$$\overline{|y|}=\beta\alpha \quad (B-3)$$

$$\overline{y^2}=\beta^2\alpha(\alpha+1) \quad (B-4)$$

ahol y-nal jelöltük a valószínűségi változót.

A modulációs mélység mindig kisebb 1-nél.

$$m\leqq i \quad (B-5)$$

Az eredeti valószínűségi változó (a stúdióból az adóhoz érkező programjel) túl nagy értékeit az adó limiterei eltávolítják. Az adó gyorslimiterét ideális vágónak tekintjük, tehát:

$$m=\begin{cases}+1 & \text{ha} \quad \xi>1\\ \xi & \text{ha} \quad |\xi|\leqq 1\\ -1 & \text{ha} \quad \xi<-1\end{cases} \quad (B-6)$$

Feltételezzük, hogy az adót úgy szintezték, hogy a gyorslimiter az idő 1%-ában vág, ami matematikailag azt jelenti, hogy:

$$P(|\xi|>1)=\frac{1}{100}. \quad (B-7)$$

Ebből a feltételből már meghatározhatók az eloszlás paraméterei. Jó minőségű mikrofon esetén a beszédjel eloszlása $\alpha=0{,}5$ paraméterű gamma eloszlást követ.

A sűrűségfüggvényt (B—2)-ből kapjuk $\alpha=0{,}5$ helyettesítéssel:

$$f(x)=\frac{1}{2\sqrt{\pi\beta}}\frac{1}{\sqrt{x}}e^{-\frac{|x|}{\beta}} \quad (B-8)$$

Mivel az eloszlás szimmetrikus:

$$P(|\xi|>1)=2P(\xi>1)=2\int_1^\infty f(x)\,dx \quad (B-9)$$

Behelyettesítve (B—8)-at

$$P(|\xi|>1)=\frac{1}{\sqrt{\pi\beta}}\int_1^\infty \frac{1}{\sqrt{x}}e^{-\frac{x}{\beta}}\,dx \quad (B-10)$$

amely a

$$\frac{x}{\beta}=\frac{z}{2} \quad (B-11)$$

helyettesítéssel a következő alakba írható:

$$P(|\xi|>1)=\int_{\frac{2}{\beta}}^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi z}}e^{-\frac{z}{2}}\,dz \quad (B-12)$$

A fenti kifejezés megegyezik a matematikai statisztikában kiterjedten használt χ^2 eloszlással, ha a szabadságfok 1. Tehát

$$P(|\xi|>1)=P\left(\chi^2>\frac{2}{\beta}\right) \quad (B-13)$$

Mivel a beszéd csak az idő felében aktív, az eredő 1%-os túllépéséhez az aktív időre vonatkoztatott 2%-os túllépés tartozik. A chi-négyzet táblázatban azt találjuk, hogy 1 szabadságfok esetén

$$P(\chi^2>5{,}412)=0{,}02 \quad (B-14)$$

amelyet (B—13)-mal összevetve:

$$\beta=0{,}3695 \quad (B-15)$$

m eloszlása a (B—6) egyenlettel definiált vágás miatt nem egyezik meg teljesen az eredeti gamma eloszlással, de a momentumok értékét ez a kismértékű vágás gyakorlatilag nem befolyásolja. Így felhasználva (B—13)-at és (B—4)-et

$$\overline{m^2_{\text{beszéd}}}\approx\frac{1}{2}\overline{\xi^2}=\frac{1}{2}\beta^2\alpha(\alpha+1)=0{,}0512 \quad (B-16)$$

$$\overline{|m_{\text{beszéd}}|}\approx\overline{|\xi|}=\frac{1}{2}\beta\alpha=0{,}0924 \quad (B-17)$$

Az $\frac{1}{2}$-es szorzótényező azért szerepel az előbbi képletekben, mert a beszéd csak az idő felében aktív, tehát a teljes időre vett átlag az aktív időre vett átlag fele lett.

A modulációs mélység sűrűségfüggvénye beszédjel esetén:

$$f_{\text{beszéd}}(x)=\frac{1}{2}\,\delta(x)+\frac{1}{200}\,\delta(x-1)+\frac{1}{200}\,\delta(x+1)+$$

$$+\begin{cases}\dfrac{1}{4\sqrt{\pi\beta x}}\,e^{-\frac{|x|}{\beta}} & \text{ha}\quad |x|\leqq 1\\ 0 & \text{ha}\quad |x|>1\end{cases}\qquad (B-18)$$

Ahol a három Dirac δ-val vettük figyelembe, hogy a beszédjel esetén a modulációs mélység véges valószínűséggel vesz fel három diszkrét értéket $P(m=0)$-$=50\%$; $P(m=1)=0{,}5\%$; $P(m=-1)=-0{,}5\%$.

Zene esetén az eloszlás a Laplace (kétoldalas exponenciális) eloszlással közelíthető. Sűrűségfüggvénye:

$$f(x)=\frac{\lambda}{2}\,e^{-\lambda|x|}\qquad (B-19)$$

A túllépés valószínűsége

$$P(|\xi|>1)=2\int_1^\infty f(x)\,dx=2\int_1^\infty \frac{\lambda}{2}\,e^{-\lambda x}\,dx=e^{-\lambda}\qquad (B-20)$$

Tehát:

$$e^{-\lambda}=\frac{1}{100}\qquad (B-21)$$

$$\lambda=4{,}605\qquad (B-22)$$

Mivel a Laplace-eloszlás a gamma eloszlás speciális esete (ha a gamma eloszlás paraméterei: $\alpha=1$ és $\alpha=1/\lambda$), a momentumok meghatározására itt is használhatjuk a 3.3 és 3.4 összefüggéseket. A végeredmény:

$$\overline{m^2_{\text{zene}}}=0{,}0943\qquad (B-23)$$

$$\overline{|m_{\text{zene}}|}=0{,}217\qquad (B-24)$$

A modulációs mélység sűrűségfüggvénye zene esetén:

$$f_{\text{zene}}(x)=\frac{1}{200}\,\delta(x-1)+\frac{1}{200}\,\delta(x+1)+$$

$$+\begin{cases}\dfrac{\lambda}{2}\,e^{-\lambda|x|} & \text{ha}\quad |x|\leqq 1\\ 0 & \text{ha}\quad |x|>1\end{cases}\qquad (B-25)$$

Mivel feltevésünk szerint a programjelben a zene is és a beszéd is 50%-os valószínűséggel fordul elő, az eredő sűrűségfüggvény a beszéd és zene sűrűségfüggvényeinek számtani közepe

$$f(x)=\frac{1}{2}\,[f_{\text{beszéd}}(x)+f_{\text{zene}}(x)]\qquad (B-26)$$

$$f(x)=\frac{1}{4}\,\delta(x)+\frac{1}{200}\,\delta(x-1)+\frac{1}{200}\,\delta(x+1)+$$

$$+\begin{cases}\dfrac{\lambda}{4}\,e^{-\lambda|x|}+\dfrac{1}{8\sqrt{\pi\beta x}}\,e^{-\frac{|x|}{\beta}} & \text{ha}\quad |x|\leqq 1\\ 0 & \text{ha}\quad |x|>1\end{cases}\qquad (B-27)$$

C függelék

Az eredő hatásfok meghatározása a négyszögmodulációhoz tartozó hatásfokfüggvényből

Mint már az A függelékben levezettük, az eredő hatásfok általános kifejezése:

$$\frac{1+\overline{m^2}}{\eta_e}=\overline{\left[\frac{1+m^2}{\eta(m)}\right]}\qquad (C-1)$$

Átvive a bal oldal számlálóját a jobb oldalra:

$$\frac{1}{\eta_e}=\frac{1}{1+\overline{m^2}}\,\overline{\left[\frac{1+m^2}{\eta(m)}\right]}\qquad (C-2)$$

Egyelőre tételezzük fel, hogy ismerjük az $\eta(m)$ függvényt. Ennek a függvénynek néhány konkrét pontjából akarjuk meghatározni közelítően az eredő hatásfokot. (C–2) kifejezés lineáris az $1/\eta(m)$ függvényre nézve, tehát erre a függvényre érvényes a szuperpozíció tétele. A továbbiakban feltesszük $\eta(m)$ függvényt 20%-os lépésközönként ismerjük, a közbenső értékeket pedig lineárisan közelítjük.

Mivel $1/\eta_e$ és $1/\eta(m)$ között a kapcsolat lineáris, a hatásfok közelítő kifejezése:

$$\frac{1}{\eta_e}=\sum_{k=0}^{5}a_k\,\frac{1}{\eta(0{,}2k)}\qquad (C-3)$$

Az egyes együtthatókat olyan függvény felhasználásával határozhatjuk meg, amelyek értéke a meghatározandó együttható sorszámának megfelelő helyen egységnyi, a többi diszkrét pontban zérus. A függvények matematikai kifejezése:

$$\frac{1}{\eta_0(m)}=\begin{cases}-5m+1 & \text{ha}\quad 0\leqq m\leqq 0{,}2\\ 0 & \text{ha}\quad 0{,}2\leqq m\leqq 1\end{cases}\qquad (C-4)$$

$$\frac{1}{\eta_k(m)}=$$

$$=\begin{cases}0 & \text{ha}\quad 0\leqq m\leqq 0{,}2k-1\\ 5m-k+1 & \text{ha}\quad 0{,}2k-1\leqq m\leqq 0{,}2k\\ -5m+k+1 & \text{ha}\quad 0{,}2k\leqq m\leqq 0{,}2k+1\\ 0 & \text{ha}\quad 0{,}2k+1\leqq m\leqq 1\end{cases}\qquad (C-5)$$

$$\frac{1}{\eta_5(m)}=\begin{cases}0 & \text{ha}\quad 0\leqq m\leqq 0{,}8\\ 5m-4 & \text{ha}\quad 0{,}8\leqq m\leqq 1\end{cases}\qquad (C-6)$$

Pl. az utolsó együttható:

$$a_5=\frac{1}{1+\overline{m^2_{\text{eff}}}}\cdot(1+m)^2\,\overline{\left[\frac{1}{\eta_5(m)}\right]}\qquad (C-7)$$

Felhasználva a (B–29) kifejezést azt kapjuk, hogy

$$a_5=\frac{1}{1+\overline{m^2_{\text{eff}}}}\,\frac{1}{50}\int_{0{,}8}^{1}(1+x^2)(5x-4)\cdot$$

$$\cdot\left(\frac{\lambda}{2}\,e^{-\lambda x}+\frac{1}{4\sqrt{\pi\beta x}}\,e^{-\frac{x}{\beta}}\right)dx=0{,}0276\qquad (C-8)$$

Az integrálást numerikusan végeztük el a Simpson-féle parabolaformula segítségével 0,01-es lépésközzel. A leírt módon elvégezve a számításokat, a következő végeredményt kapjuk:

$$\frac{1}{\eta_e}=\frac{0{,}519}{\eta(0\%)}+\frac{0{,}26}{\eta(20\%)}+\frac{0{,}112}{\eta(40\%)}+\frac{0{,}0541}{\eta(60\%)}+$$

$$+\frac{0{,}0278}{\eta(80\%)}+\frac{0{,}0276}{\eta(100\%)} \qquad (C-9)$$

D függelék

Az eredő hatásfok meghatározása a szinuszhullámú modulációnál mért hatásfokból

Mint már kifejtettük a gyakorlati mérés elsősorban szinuszjellel történik. A következőkben megkeressük a hatásfok kifejezését szinuszos vizsgálójel feltételezésével.

A szinuszhullám sűrűségfüggvénye, ha M az amplitúdó:

$$f(x)=\begin{cases}\dfrac{1}{\pi\sqrt{M^2-x^2}} & \text{ha} \quad |x|<M\\ 0 & \text{ha} \quad |x|\geqq M\end{cases} \qquad (D-1)$$

A hatásfokot szinuszhullám esetén η_s-el jelöljük. Az általános hatásfok kifejezését felhasználva

$$\frac{1}{\eta_s(M)}=\frac{1}{1+\dfrac{M^2}{2}}\,2\int\limits_0^M\frac{1+x^2}{\eta(x)}\,\frac{1}{\pi\sqrt{M^2-x^2}}\,dx \qquad (D-2)$$

Bevezetve a

$$z=\frac{x}{M} \qquad (D-3)$$

új változót, (D—2) átírható a következő alakba:

$$\frac{1}{\eta_s(M)}=\frac{1}{1+\dfrac{M^2}{2}}\,\frac{2}{\pi}\int\limits_0^1\frac{1+(Mz)^2}{\eta(Mz)}\,\frac{1}{\sqrt{1-z^2}}\,dz \qquad (D-4)$$

A következőkben $\eta_s(M)$ függvényt is csak 20%-os lépésközönként tekintjük adottnak.

Vezessük be a következő jelöléseket:

$$\eta_s^{(k)}=\eta_s(0{,}2k) \qquad (D-5)$$

$$\eta^{(k)}=\eta(0{,}2k) \qquad (D-6)$$

(D—4) szerint $1/\eta_s$ és $1/\eta$ között lineáris a kapcsolat. Ez azt jelenti, hogy $1/\eta_s^{(k)}$ és $1/\eta^{(k)}$ közötti kapcsolat leírható egy lineáris egyenletrendszerrel:

$$\frac{1}{\eta_s^{(0)}}=\frac{1}{\eta^{(0)}}$$

$$\frac{1}{\eta_s^{(1)}}=b_{10}\frac{1}{\eta^{(0)}}+b_{11}\frac{1}{\eta^{(1)}}$$

$$\frac{1}{\eta_s^{(2)}}=b_{20}\frac{1}{\eta^{(0)}}+b_{21}\frac{1}{\eta^{(1)}}+b_{22}\frac{1}{\eta^{(2)}} \qquad (D-7)$$

$$\vdots$$

$$\frac{1}{\eta_s^{(5)}}=b_{50}\frac{1}{\eta^{(0)}}+b_{51}\frac{1}{\eta^{(1)}}+\ldots+b_{55}\frac{1}{\eta^{(5)}}$$

Ahol már figyelembe vettük, hogy $\eta_s(M)$ az η(m) függvénynek csak zérus és M közé eső értékeitől függ.

$\{b_{nk}\}$ mátrixot az a_k együtthatók meghatározásánál használt módszerekkel határozhatjuk meg:

$$b_{nk}=\frac{1}{\eta_s^{(n)}}\Bigg|_{\frac{1}{\eta^{(j)}}=\begin{cases}1 & \text{ha} \quad j=k\\ 0 & \text{ha} \quad j\neq k\end{cases}} \qquad (D-8)$$

Figyelembe véve (D—4) egyenletet

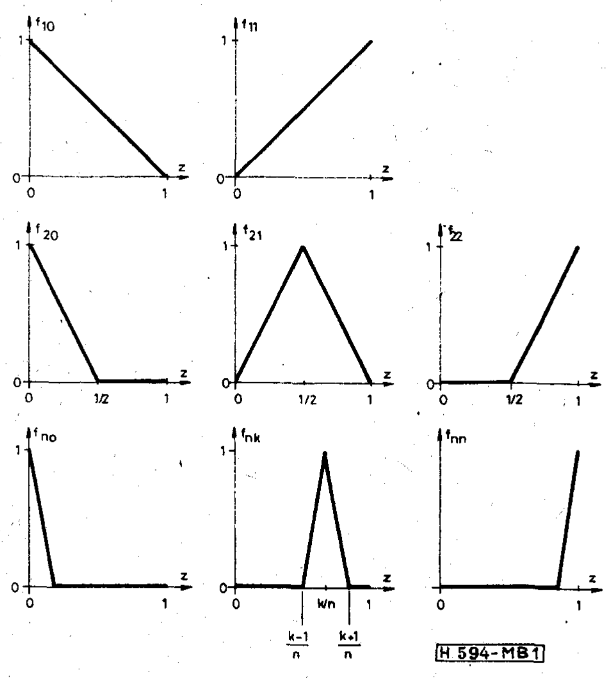
$$b_{nk}=\frac{2}{\pi}\,\frac{1}{1+\dfrac{M^2}{2}}\int\limits_0^1 f_{nk}(z)[1+(Mz)^2]\,\frac{1}{\sqrt{1-z^2}}\,dz \qquad (D-9)$$

Ahol az f_{nk} segédfüggvényeket az 1. ábra mutatja

Pl. a b_{21} mátrixelem:

$$b_{21}=\frac{2}{\pi}\,\frac{1}{1+\dfrac{0.4^2}{2}}\int\limits_0^{\frac{1}{2}} 2z[1+(0{,}4z)^2]\,\frac{1}{\sqrt{1-z^2}}\,dz+$$

$$+\int\limits_{\frac{1}{2}}^1(2-2z)[1+(0{,}4z)^2]\,\frac{1}{\sqrt{1-z^2}}\,dz+=0{,}392. \qquad (D-10)$$



1. ábra

Mivel az $f_{nk}(z)$ függvények szakaszonként lineárisak, az integráljel után harmadfokú polinom adódik a gyökös kifejezés szorzataként, amely zárt alakban integrálható:

$$\int (A_0+A_1z+A_2z^2+A_3z^3)\,\frac{1}{1-z^2}\,dz=$$

$$=A_0\,\text{arsin}\,z-A_1\sqrt{1-z^2}+\frac{A_2}{2}(\text{arsin}\,z-z\sqrt{1-z^2}+$$

$$+\frac{A_3}{3}(1-z^2)^{\frac{3}{2}}-A_3\sqrt{1-z^2}. \qquad \text{(D–11)}$$

A fentiek szerint határoztuk meg az egyes mátrixelemeket. A számítás végeredményét a (D–1) táblázat mutatja.

n \ k	0	1	2	3	4	5
0	1					
1	0,359	0,641				
2	0,152	0,392	0,456			
3	0,0914	0,203	0,313	0,393		
4	0,0610	0,131	0,166	0,279	0,364	
5	0,0429	0,0911	0,109	0,148	0,261	0,348

(D—1) táblázat (b_{nk}) mátrix

A C-függelékben bebizonyítottuk, hogy

$$\frac{1}{\eta_e}=\underline{b}^*\begin{bmatrix}\frac{1}{\eta(0\%)}\\ \frac{1}{\eta(20\%)}\\ \vdots\\ \frac{1}{\eta(100\%)}\end{bmatrix}=\underline{b}^*\underline{\varepsilon}. \qquad \text{(D–12)}$$

A csillag a transzponálást jelenti. A b vektor elemeit a (C—9)-es egyenletből olvashatjuk ki.

A (D—7)-es egyenlet mátrix alakban:

$$\underline{\varepsilon}_s=\underline{\underline{\mathbf{B}}}\underline{\varepsilon}. \qquad \text{(D–13)}$$

Ebből az egyenletből kifejezve az ε vektort és behelyettesítve a (D—12) kifejezésbe az eredő hatásfokra a következőt kapjuk:

$$\frac{1}{\eta_e}=\underline{b}^*\underline{\underline{\mathbf{B}}}^{-1}\underline{\varepsilon}_s. \qquad \text{(D–14)}$$

A numerikus adatok behelyettesítése után a következő végeredményt kapjuk:

$$\frac{1}{\eta_e}=\frac{0{,}387}{\eta_s^{(0)}}+\frac{0{,}266}{\eta_s^{(1)}}+\frac{0{,}154}{\eta_s^{(2)}}+\frac{0{,}0941}{\eta_s^{(3)}}+$$

$$+\frac{0{,}0195}{\eta_s^{(4)}}+\frac{0{,}0793}{\eta_s^{(5)}}. \qquad \text{(D–15)}$$

KÖNYVISMERTETÉS

ZWEI ELEKTRO-EINKAUFSFÜHRER 1978. Verlag W. Sachon, Mindelheim, NSZK, 1978. 6. kiadás.

Ez a kiadvány német, angol, francia és spanyol nyelven kapható. A ZWEI rövidítés: Zentralverband der Elektrotechnischen Industrie E. V. A kiadvány a hannoveri vásárra jelent meg. 12 főrészben, 61 gyártmánycsoport 2730 féle termékét tartalmazza több mint 15 000 gyártónak és forgalmazónak. A könyv 2700 cég és lerakat címét, valamint védjegyét adja meg.

Annak ellenére, hogy a jegyzékek csak az NSZK-ra vonatkoznak és még e tekintetben sem teljesek, mégis igen hasznos e kiadvány mindazoknak, akik nyersanyagok, elektronikai alkatrészek, elektromos berendezések beszerzésével vagy értékesítésével kapcsolatos tevékenységet fejtenek ki.

B. Gy.

Ferenc Kovács: Hochfrequcnzanwendungen von Ilnlbleiter-Bauelementen. Akadémiai Kiadó, Budapest 1978. 476 oldal.

A könyv a szerzőnek „Félvezetők nagyfrekvenciás alkalmazása" címen a Műszaki Könyvkiadónál megjelent művének német nyelvű átdolgozása. Az átdolgozást Dipl.-Ing. Ernst Golpel végezte.

Miután a könyv lapunk olvasói előtt nyilván jól ismert, ez alkalommal csak arra szeretnénk rámutatni, hogy a német kiadás mind nyelvi, mind nyomdatechnikai szempontból kifogástalan. A nyomást az Akadémiai Nyomda végezte.

Ez a könyv az Akadémiai Kiadó és a Franzis-Verlag, München, NSZK közös kiadása.

B. Gy.