

Biharmonikus rendszerű rádiófrekvenciás erősítők

ETO: 621.375.023

A nagyteljesítményű középhullámú adóberendezések használata elsődrendűvé teszi a hatások kérdését. Ezt a következő szempontok indokolják:

- az üzemköltség, mivel az adó energiafogyasztása az egész üzemköltség nagyon jelentős része,
- a hűtőmű egyszerűsége, mivel a nagyobb hatások kisebb disszipációt jelent.

Az RF végfokozat hatásokának szerepéről az egész adóberendezés hatásokában a Híradástechnika egy előző cikke foglalkozott [1], melyben kimutatták, hogy döntő szerepe van.

Ez a dolgozat az RF végfokozat hatások növelésének egyik módját tárgyalja, amely egyre jobban terjed az A3 üzemmódú adókban.

Megjegyezzük, hogy a biharmonikus erősítők alapelve nem új, de feledésbe merült, és napjainkban „ismét felfedezték”.

Természetesen egy ilyen rövid leírás csak a fizikai elveket és szempontokat tárgyalhatja, a konkrét méretezéssel egy későbbi cikkben kívánunk foglalkozni.

A leírt rendszerről egy kisteljesítményű modell áraport építettünk a BME Mikrohullámú Híradástechnika és Adástechnika ágazatos hallgatók mérése számára. A modelláramkör igazolta az elvi megfontolásokat.

Kellemes kötelességem köszönetet mondani dr. Gschwindt András adjunktusnak a sok elvi és gyakorlati tanácsért, amellyel munkámat segítette és Ijjas Gábor oki. villamosmérnöknek, aki a modelláramkört tervezte és készítette.

1. A „C” osztályú erősítő hatások növelésének korlátjai

A szokásos „C” osztályú erősítő felépítése és jelalak ábrái láthatók az 1. ábrán.

A jelalakok rendre: rácshfeszültség, anódáram, rácshfeszültség és anóddisszipáció pillanatnyi értéke.

Az ábrán szereplő egyéb jelölések:

- θ az anódáram folyási szöge,
- $\varphi = \omega t$, ahol ω körfrekvencia, t idő.

A veszteségi teljesítmény a pillanatnyi disszipáció átlaga. Az ábrából láthatjuk, hogy azért nagy ez az átlag, mert a pillanatnyi disszipációnak nagy csúcsai vannak. Más szóval az anódfeszültség már nagy amikor az anódáram még nagy. A disszipációcsúcs

a folyási szög csökkentésével tetszőlegesen javítható, de túl kicsi folyási szögeknél erősen lecsökken a csőből kivethető hasznos teljesítmény adott katódáram mellett.

Az anódhatások számszerűen a következő képletből számítható:

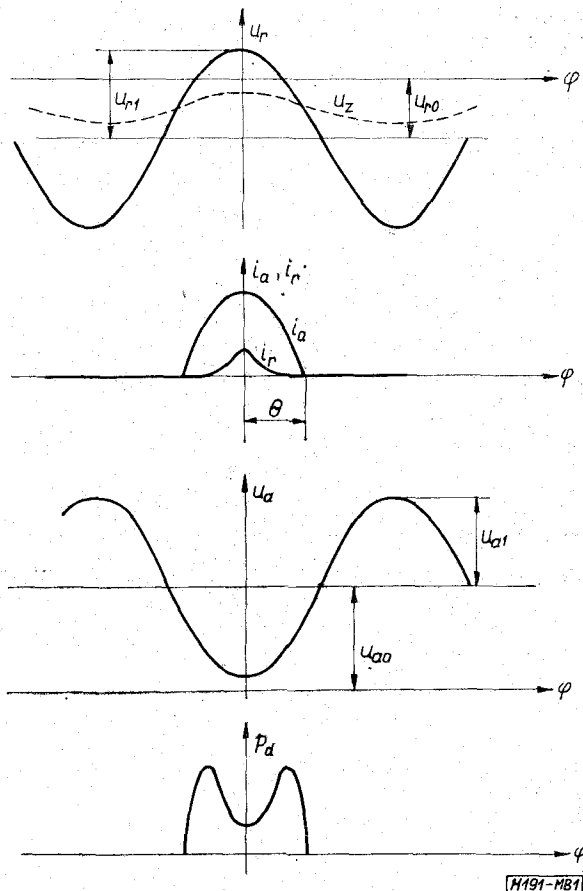
$$\eta_a = \frac{1}{2} j b$$

ahol

$$b = \frac{U_{a1}}{U_{a0}}$$
 feszültség kivezérlési tényező,

$$j = \frac{I_{a1}}{I_{a0}}$$
 áramkivezérlési tényező.

b a csőre adott érték, j pedig a folyási szög csökkentésével növelhető, de a folyási szög, mint említettük, nem csökkenthető tetszőlegesen.



M191-MB1

1. ábra

2. A hatásfoknövelés elvi megoldása

Mint láttuk, a rossz hatásfok oka a feszültség megnövekedése az anódáram folyása alatt. Kézenfekvő a megoldás: ne szinuszos anódfeszültséget használjunk, hanem olyan torz jelalakot, amely az anódáram folyása alatt a csőre adott minimális anódfeszültséget biztosítja. Ilyen pl. a 2. ábrán látható jelalak.

A hatásfok ebben az esetben:

$$\eta_a = \frac{P_h}{P_\delta} = \frac{P_\delta - P_d}{P_\delta} = \frac{U_{a0}I_{a0} - U_{a\min}I_{a0}}{U_{a0}I_{a0}} = b$$

A jelölések:

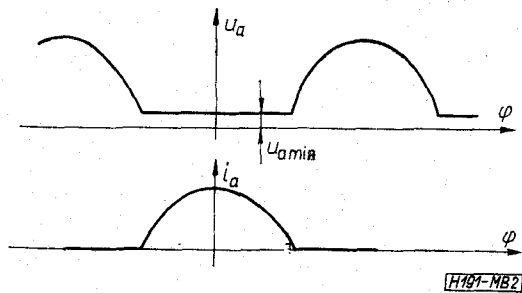
- P_h hasznos teljesítmény,
- P_δ összes teljesítmény,
- P_d disszipált teljesítmény.

Tehát a hatásfok nagyon jó érték, mivel a „C” osztályú erősítő hatásfok képletében a b szorzóként szereplő $j/2$ -es faktor mindig kisebb az egység-nél.

Ebben az esetben a cső, mint vezérelt kapcsoló működik. Az ilyen rendszerű erősítőket „D” osztályú erősítőknek nevezzük.

Nagyteljesítményű középhullámú RF végfokozatokban a „D” osztályú erősítőket nem lehet megvalósítani, mert ebben a frekvenciasávban a nagyteljesítményű kapcsolóáramkörök nem realizálhatók.

A „D” osztályú erősítő anódfeszültsége elvileg végtelen sok felharmonikusot tartalmaz.



2. ábra

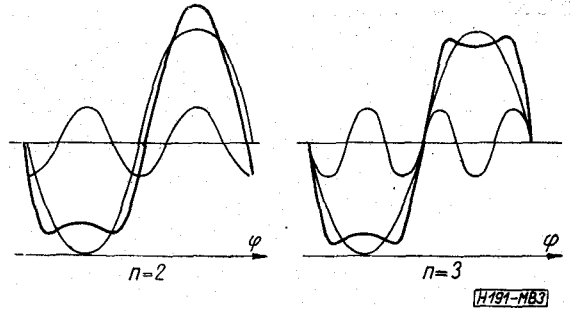
Ha az anódfeszültség szükséges jelalakját csak közelítjük az alapon kívüli egy hármonikus felhasználásával, biharmonikus erősítőről beszélünk.

Megjegyezzük, hogy az angol nyelvű irodalomban a „D” osztályú és a biharmonikus erősítőt gyakran egyaránt „D” osztályúnak nevezik.

3. Biharmonikus erősítő

A biharmonikus erősítő anódkörébeu lévő jelalakot láthatjuk a 3. ábrán, ha az alkalmazott felharmonikus rendszáma kettő vagy három.

Elvileg bármelyik felharmonikus felhasználható, de a gyakorlatban csak a harmadikat használják. A második azért célszerűtlen, mert, mint az ábrán is láthatjuk, megnöveli a cső feszültség igénybevéte-



3. ábra

lét. A második felharmonikusnál fellépő egyéb nehézségre még visszatérünk a későbbiekben.

A harmadiknál magasabb felharmonikusok nagyfrekvenciás problémákat vetnek fel és a hatásfoknövelő hatásuk is kisebb.

A hatásfok a „C” osztályú erősítőknél megszo-

$$\eta_a = \frac{1}{2} j b_1$$

kozottához hasonlóan számítható: A különbség az, hogy a feszültség kivezérési tényező helyett a nála nagyobb alapharmonikusra értelmezett feszültség kivezérési tényezővel kell számolnunk.

Vezessük be a megfelelő harmonikusra értelmezett relatív amplitúdót a_n -et:

$$a_n = \frac{U_{an}}{U_{a1}}$$

b_1 -nek a_n függvényében maximuma van, amit az 1. táblázat mutat [2].

1. táblázat

n	a_{opt}	$\frac{b_1 \text{ max}}{b}$
2	$\frac{\sqrt{2}}{4}$	$\sqrt{2}$
3	$\frac{1}{6}$	$\sqrt{\frac{4}{3}}$

A megfelelő harmonikusnak, mint láthatjuk a 3. ábrán, az alappal ellenfázisban kell lenni. A harmonikus feszültséget az anódkörben elhelyezett megfelelő harmonikusra hangolt párhuzamos rezgőkörrel hozhatjuk létre.

Mivel az anódkör az alapra is és kiválasztott felharmonikusra is ohmos, ellenfázisú feszültség csak akkor jöhet létre, ha az anódáram megfelelő felharmonikusa is ellenfázisú az áram alapharmonikusával.

A „C” osztályú erősítő anódáramának Fourier-komponenseit, mint ismeretes a folyási szögfüggvények adják meg.

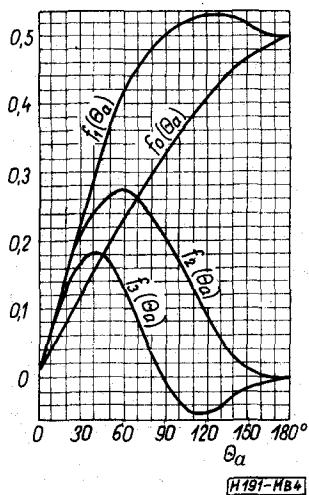
$$I_{an} = I_{acs} f_n(\theta)$$

ahol

I_{an} az anódáram n -ik felharmonikusa,

I_{acs} az anód csúcsáram.

A folyási szögfüggvények menetét a 4. ábrán láthatjuk.



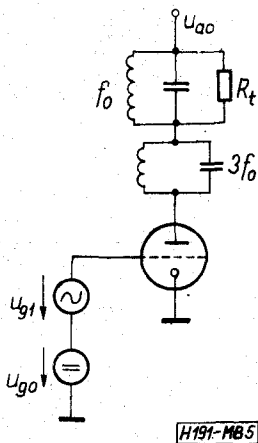
4. ábra

Az ábrából látható, hogy az alappal ellentétes fázisa csak a harmadik felharmonikusnak van a $90^\circ < \theta < 180^\circ$ tartományban.

Az „AB” osztályú beállítás valóban alkalmas a biharmonikus üzemre, azonban hatásfoka a biharmonikus üzem miatt bekövetkező javulás után is elég alacsony. Kb. annyi, mint egy 75° -os folyási szöggel üzemelő „C” osztályú erősítőnek. A nagy kivethető teljesítmény miatt üzemé mégis előnyös lehet [2].

Az „AB” osztályú biharmonikus erősítő elvi kapcsolási rajzát az 5. ábra mutatja.

Önként adódik a gondolat, hogy a megfelelő fázisú anódáramot a vezérlő feszültség torzításával állítsuk



5. ábra

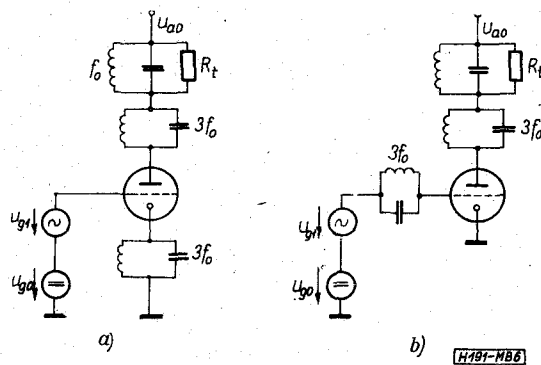
kört. Ezen a rezgőkörön a rács-, illetve katódáram hozza létre a vezérlőjel torzítását okozó harmonikus jelet. Az ilyen rendszer további előnye a katód csúcsáram csökkenés.

Mint látható a 4. ábrán, a második harmonikus lényegesen nagyobb, mint a harmadik. Ezért fázisának megfordítása igen nagy vezérlőjel torzítást kíván. A nagy jelalaktorzítás csökkenti az áramkivezérlési tényezőt, ezért a hatásfoknövekedés lényegesen kisebb lesz, mint a harmadik harmonikus használatánál.

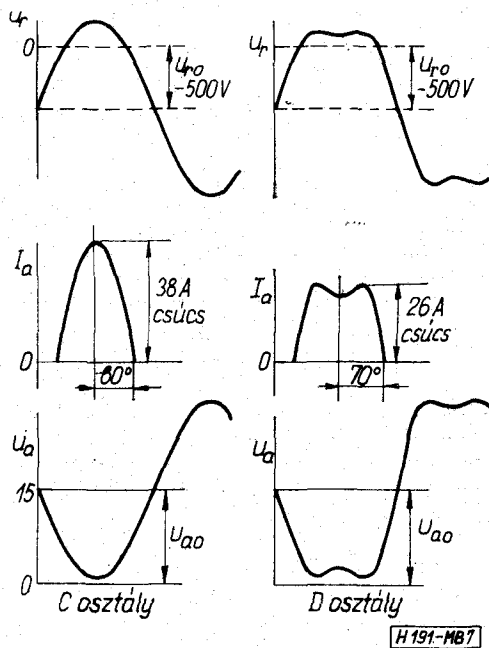
A vezérlőjel torzításhoz elvileg a második és harmadik harmonikus is használható.

Bár az irodalomban rámutatnak a második harmonikus használatának lehetőségére [2], az általunk ismert konkrét megoldásokban a harmadikat használják a vezérlő körben.

A gyakorlatban is használt biharmonikus rendszerek elvi kapcsolási rajza látható a 6a és 6b ábrákon.



6. ábra



7. ábra

elő. A gyakorlatban nem külön generátort használnak erre a célra, hanem a rács- vagy katódkörben elhelyezett megfelelő harmonikusra hangolt rezgőkör

Az a) megoldás előnye, hogy a kapcsolás a harmadik harmonikusra nem gerjedékeny, mert erre nézve mint földelt rácsú kapcsolás működik.

Hátránya, hogy a katódrezgőkört a fűtő és katódáramok bevezetése miatt nehéz kiképezni.

A *b*) megoldás mentes az utóbbi problémától, de a kapcsolás stabilitását nehezebb biztosítani. Ezt a megoldást csak tetródánál használják, a stabilitást pedig széles sávú neutralizációval biztosítják.

Végül a gyakorlatban elérhető nyereség bemutatására egy megépített erősítő adatait mutatja a 2. táblázat a jelalakokat pedig a 7. ábra. Az adatokat [3]-ból vettük át. A táblázat magáért beszél, meggyőzően bizonyítja a rendszer előnyeit.

IRODALOM

- [1] *Dr. Gschwindt A.*: Új irányzatok a középhullámú műsor-szóró adóberendezések tervezésében. Híradástechnika XII. évf. 6. sz.
- [2] *Fuzik N. Sz.*: Bigarmoniceszkie rezsimi nasztroennovo uszilitelja moscsnosztl V. Cs. Radiotechnika t. 25. No. 7. 1970.
- [3] *V. O. Stokes*: Radio Transmitters. RF Power Amplifications. Van Nostrand Reinhold Company, London 1970.

2. táblázat

Cső típusa: 4CX 3500	C osztályú üzem	Biharmonikus üzem
Anód egyenfeszültség	15 kV	15 kV
Segédrács egyenfeszültség	750 V	750 V
Vezérlőrács előfeszültség	-500 V	-500 V
Anód maradékfeszültség	1,2 kV	1,2 kV
Anód váltófeszültség	13,8 kV	13,8 kV
Anód csúcsáram	38 A	26 A
Anód egyenáram	8,4 A	8,1 A
Bemenő teljesítmény	126 kW	121,5 kW
Hasznos teljesítmény	103,5 kW	108 kW
Anód disszipáció	22,5 kW	13,5 kW
Anód hatásfok	82,2 %	88,8 %