

Az együttfutásról általában és konkrétan

Regály Gyula okl. villamosmérnök, HA5HU, ha5hu@ha5.hu

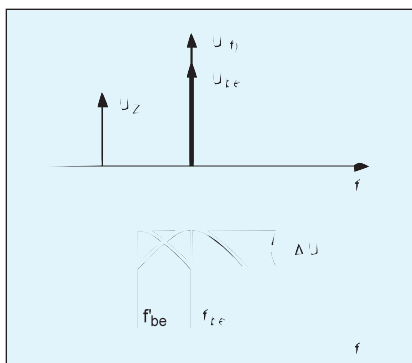
Az együttfutás problémájáról az [1] az alábbiakat írja: „Ha a szuperkészülék bizonyos frekvenciasávban kell hangolni, akkor szükséges a bemenőkört és az oszcillátorkört együtt hangolni, valamint szükséges, hogy a létrejött középfrekvencia a teljes frekvencia sávban állandó értékű legyen.” Szükséges ez azért, mert a vett jel értéke mindig az oszcillátor frekvenciájától függ. Amennyiben a teljes sáv hangolása folyamán a különbségi frekvencia nem azonos, az azt jelenti, hogy a bemenőkör félrehangolódása következtében érzékenységsökkenés keletkezik, valamint az elhangolódás irányában a szelektivitás csökken.

Az érzékenység csökkenését és a zavaró jel megjelenését szemléletesen az 1. ábra mutatja.

Látható, hogy az elhangolódás (f_{be}) miatt, az ideális esettől – amikor $f_{be} = f_{oszc} - f_{kf} - \Delta U$ értékkel csökken a vevőbe jutó jel. A vevőbe jutó jel csillapítása az alábbi összefüggés szerint számítható [2]:

$$a_{(f)} = \frac{1}{\sqrt{1 + (Q_t \cdot \eta)^2}}$$

Tehát az együttfutási hiba egyértelműen meghatározza a bemeneten levő rezgőkör (ill. többkörös sávszűrő esetén a sávszűrő együttfutó rezgőkörei) jóságának maximális értékét, ezzel a szuperheterodin vevő bemenetének jóságát is. Sok szakirodalom részletesen taglalja a bemenőkör tulajdonságait, erre most itt nem kívánok kitérni. A bemenőkör és az oszcillátorkör együttes hangolása nem jelent gondot (kettősforgó), azonban azt biztosítani, hogy a létrejött középfrekvencia a teljes frekvenciasávban állandó értékű legyen, nem könnyű. (Az egész



1. ábra

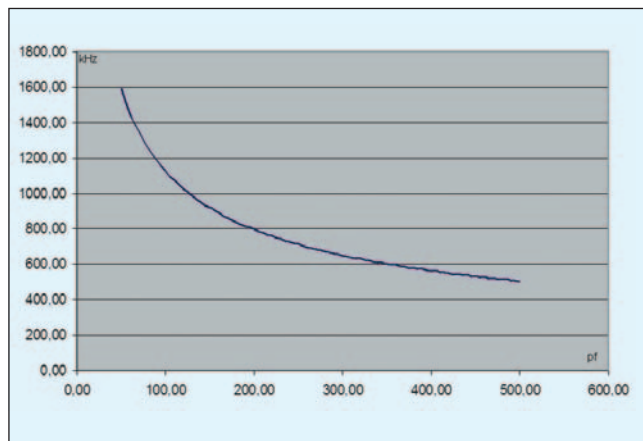
probléma tulajdonképpen ebből adódik, hogy a két rezgőkör sávátfogása nem azonos, így a hangolás során a rezonanciafrekvenciájuk különbsége sem lehet a teljes hangolási tartományban állandó.) Az alábbiakban részletezett kiegyenlítési módszerekkel a sávon belül két vagy három vételi frekvencián a két kör együttfutása eleget tesz az $f_{kf} = f_{oszc} - f_{be}$ feltételnek, a sáv további tartományában legnagyobb eltérések abszolút értéke elvileg egyenlő, ill. más megfontolás szerint a vételi frekvenciától függő eltérést mutat. (Meg-

jegyzem, hogy korábban például a drága katonai vevőkészülékekben különböző felépítésű ravasz kompenzáló mechanikai rendszer beépítésével, rengeteg élő munkával, nagy türelemmel a teljes sávban tudták biztosítani a megfelelő együttfutást, de ez nem a jelen cikk témája. – A szerkesztő.) Mielőtt tovább mennénk a megoldás felé, tegyünk két megkötést:

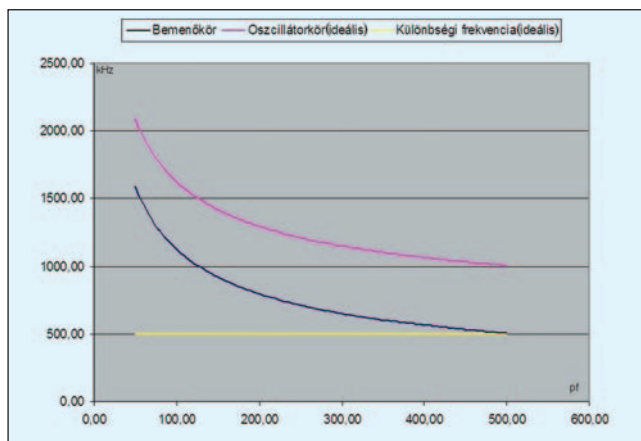
1. Az oszcillátorkör és a bemenőkör hangolását, azonos mértékű kapacitás-átfogással rendelkező, „kettősforgóval” valósítjuk meg.
2. A középfrekvenciát felső keveréssel állítjuk elő.

Közelítsük meg a problémát egy konkrét példán keresztül.

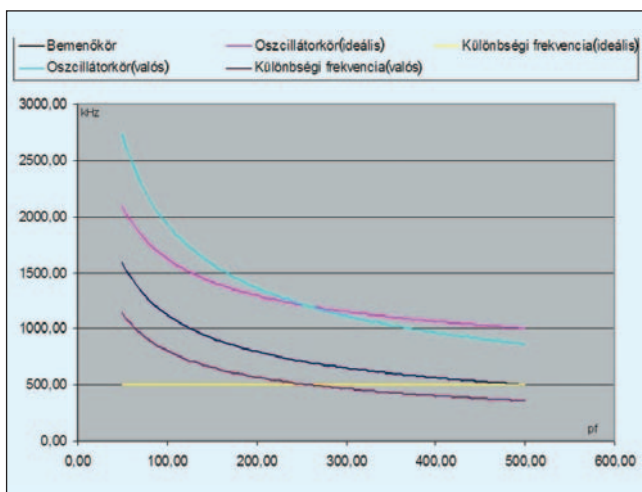
- Adott egy kettős forgókondenzátor, melynek mindkét szegmensére érvényes, hogy $C_{min} = 50 \text{ pF}$ $C_{max} = 500 \text{ pF}$,
- A vételi frekvenciatartomány alsó határa, $f_{min} = 503,2 \text{ kHz}$,
- A vételi frekvenciatartomány felső határa, $f_{max} = 1591,5 \text{ kHz}$,



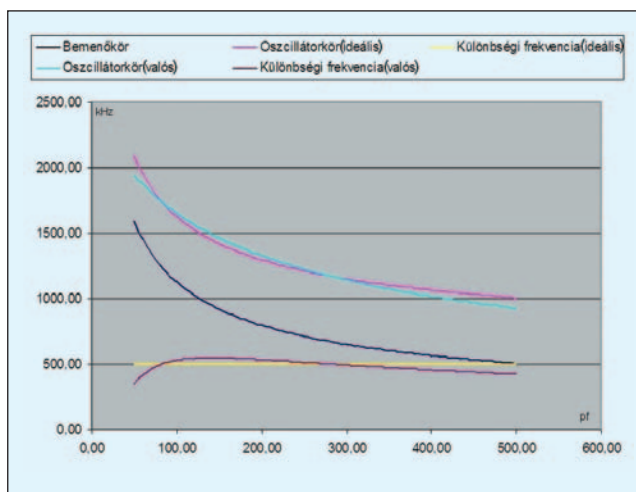
2. ábra



3. ábra



4. ábra



5. ábra

A felvett adatokból adódik, hogy a bemenőkör induktivitásának értéke 200 uH, a középfrekvenciát pedig $f_{kf} = 500$ kHz-re választjuk.

Ebben az esetben a bemenőkör frekvenciamenete a kapacitásváltozás függvényében a 2. ábra szerint alakul. Az ideális együttfutást a 3. ábra szemlélteti.

A középfrekvencia értékét első keveréssel állítjuk elő, így az oszcillátorkör frekvenciájának magasabbnak kell lennie a venni kívánt jel frekvenciájánál. Ezt úgy érhetjük el, hogy az oszcillátorkör induktivitását kisebb értékre vesszük fel, mint a bemenőkörét. Legyen az oszcillátorkör induktivitása 68 uH. Így tehát a frekvenciamenete a 4. ábra szerinti lesz.

Látható, hogy ez a megoldás csak egyetlen vételi frekvenciánál adja ki az f_{kf} -et, azaz csak egy pontban valósul meg az együttfutás. Ahhoz, hogy az eltérés mértékét csökkentjük, az oszcillátorkör átfogását csökkenteni kell. Ezt úgy érhetjük el, hogy a hangolókapacitással párhuzamosan kötünk egy kondenzátort. Legyen ennek az értéke 82 pF. A módosított frekvenciamenete a 5. ábra mutatja; a fenti gondolatmenettel sikerült a kétpontos együttfutást megvalósítani.

A szakirodalom, a probléma megoldására, két-, vagy hárompontos együttfutás megvalósítását javasolja, a következő megfontolások szerint. Amennyiben a bemenőkör frekvenciaátfogása kicsi, úgy

elégendő a kétpontos együttfutás kialakítása. Ez az eset RH és URH vevőknel fordul elő, míg a közép- és hosszuhullámú rádióvevő-készülékeknél a hárompontos együttfutást kell megvalósítani, hogy a bemenőkör (v. jobb vevőkben a három-, esetleg több szegmens forgó esetén a bemeneti sávszűrő) hangolása megfelelő legyen.

Mindkét megoldásnak az a lényege, hogy olyan matematikai egyenleteket adnak az együttfutási pontok helyének meghatározására, amelyek kielégítik azt a feltételt, hogy megvalósításuk esetén az előállított középfrekvencia eltérése az elméleti értéktől hozzávetőlegesen azonos és a legkisebb mértékű.

Kétpontos együttfutás

A 6. ábra a jellegzetes kétpontos együttfutási görbét mutatja. A kétpontos együttfutás kiegyenlítő frekvenciái az [1] szerint:

$$f_{e1} = f_{\min} + \frac{1}{6} \cdot (f_{\max} - f_{\min}),$$

$$f_{e2} = f_{\max} - \frac{1}{6} \cdot (f_{\max} - f_{\min}).$$

Vizsgáljuk meg, hogy milyen műszaki/matematikai megfontolások eredménye lehet a fenti két összefüggés, miután a hivatkozott irodalomban semmilyen utalás nincs erre! Kétpontos együttfutásról lévén szó, adódik, hogy egy másodfokú polinommal közelít-

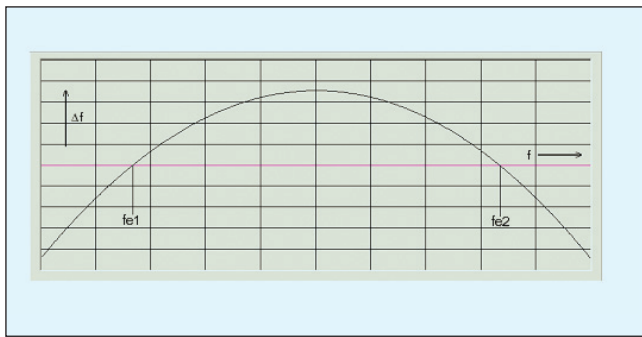
sük az együttfutási görbét. Azonban a polinom együtthatóitól függ, hogy az együttfutási görbe milyen alakú lesz. Célunk az, hogy a hiba abszolút értéke azonos legyen, és a legkisebb értéket vegye fel. Ezt a feltételt a másodfokú Csebisev-polinom elégíti ki.

A másodfokú Csebisev-polinom $y = 2x^2 - 1$ alakú, és az értelmezési tartománya: $x = (-1, 1)$.

Látható, hogy az egyenlet a két szélső értéknél $y = 1$, míg az értelmezési tartomány közepén $y = -1$ értéket vesz fel, tehát teljesül az a feltétel, hogy a hiba abszolút értéke állandó.

Ábrázoljuk a frekvenciaátfogást 0 és 1 között! Ebben az esetben az $f_{\min} = 0, f_{\max} = 1$ lesz. A Csebisev-polinom értelmezési tartományát függvénytranszformációval helyezzük át az $x = (0, 1)$ értelmezési tartományba! Első lépésként vegyük fel az $x = (-0,5, 0,5)$ értelmezési tartományt úgy, hogy a módosított függvény értékkészlete megegyezzen az eredeti függvény értékkészletével. Ekkor a polinom a következőképpen módosul $y = 8x^2 - 1$. Már nem kell más tennünk, mint a parabola tengelyét az $x = 0$ helyről az $x = (0, 5)$ helyre eltolni. Egy parabola szimmetriatengelyét az $x = -b/2a$ összefüggés adja meg. Behelyettesítve kapjuk, hogy az egyenlet $b = -8$ értékkel bővül, tehát a polinom a következő alakot veszi fel: $y = 8x^2 - 8x + 1$ (7. ábra).

Kiszámolva a polinom gyökeit, a következő értékeket kapjuk: $X_1 = 0,1464, X_2 = 0,8535$.



6. ábra

A két gyöktértékből egy K konstans képezzünk: $K = 1/X_1 = 1/0,1464 = 6,83 = 1/(1-X_2) = 1/0,1464 = 6,83$.
Tehát a korrekt összefüggések:

$$f_{e1} = f_{\min} + \frac{1}{6,83} \cdot (f_{\max} - f_{\min}),$$

$$f_{e2} = f_{\max} - \frac{1}{6,83} \cdot (f_{\max} - f_{\min}).$$

Ezzel pontosítottuk az [1]-ben található összefüggést.

Azért csak nem hagyott nyugodni, hogy hogyan kerültek az eredeti közlemény végképleteinek nevezőjébe a 6-os értékek, és úgy gondolom, megoldottam a rejtélyt. Szinuszfüggvényből kiindulva, néhány soros levezetés után nekem is 6 jött ki, így feltehetőleg az idézett fejezet szerzője is szinuszos közelítést használt.

Hárompontos együttfutás

A hárompontos együttfutásra (8. ábra) a szakirodalom kétféle módszert javasol. Az egyik megoldás olyan kiegyenlítési frekvenci-

ákat ad meg, amely azt eredményezi, hogy az együttfutási hiba abszolút, míg a másik megoldás olyanokat, ahol annak relatív értéke állandó. Mit is jelent ez? Miután a bemeneti rezgőkör jósági tényezője az elhangolás függvényében változik, ezért a sáv vége felé engedményeket lehet tenni az elhangolódás mértékére.

A hárompontos együttfutás kiegyenlítési frekvenciái, amikor az *abszolút hiba* állandó [2]:

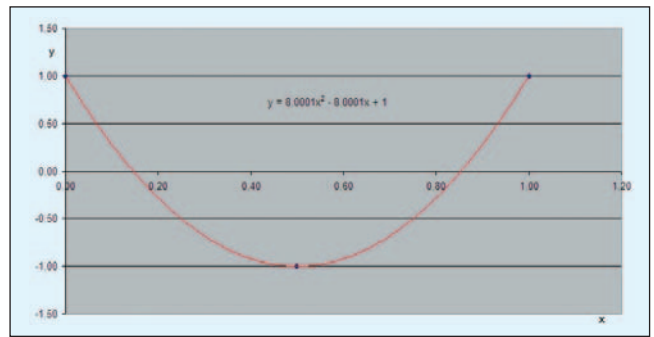
$$f_{e2} = \frac{f_{\max} + f_{\min}}{2},$$

$$f_{e1} = f_{e2} - \frac{f_{\max} - f_{\min}}{4} \cdot \sqrt{3},$$

$$f_{e3} = f_{e2} + \frac{f_{\max} - f_{\min}}{4} \cdot \sqrt{3}.$$

A hárompontos együttfutás kiegyenlítési frekvenciái, amikor a *relatív hiba* állandó [2]:

$$f_{e2} = \sqrt{f_{\min} \cdot f_{\max}},$$



7. ábra

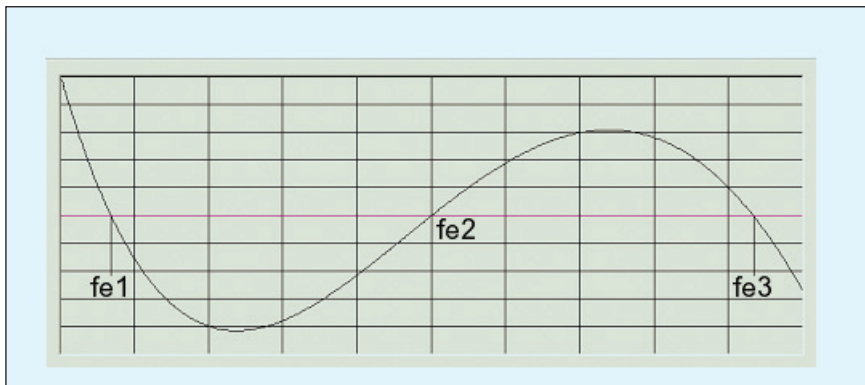
$$f_{e1} = f_{\min} + \frac{f_{e2} - f_{\min}}{10},$$

$$f_{e3} = f_{\max} + \frac{f_{\max} - f_{e2}}{6}.$$

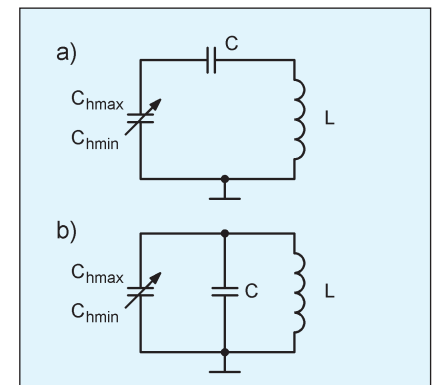
Nézzük meg, hogy miként tudjuk felhasználni az összefüggéseket! Először tekintsük át, hogy milyen adatok állnak a rendelkezésünkre. A megoldás általános jellegű, azonban itt a kétpontos kiegyenlítés számítási módszerét mutatom be. Teszem ezt azért, mert elsősorban rádióamatőröknek kívánok segítséget nyújtani, akik viszonylag keskeny sávú hangolással dolgoznak. Lépéseiben igaz ez az eljárás a hárompontos kiegyenlítés esetén is, amelyet szélessávú hangolás esetén érdemes bevetni. Adottak:

- a vételi frekvenciatartomány (f_{\min} és f_{\max} sávhatárokkal),
- a hangoló kondenzátor C_{\min} és C_{\max} kapacitása,
- az f_{kf} középfrekvencia értéke.

Első lépés, hogy a frekvenciaátfogást összhangba hozzuk a kapacitásátfogással:



8. ábra



9. ábra