

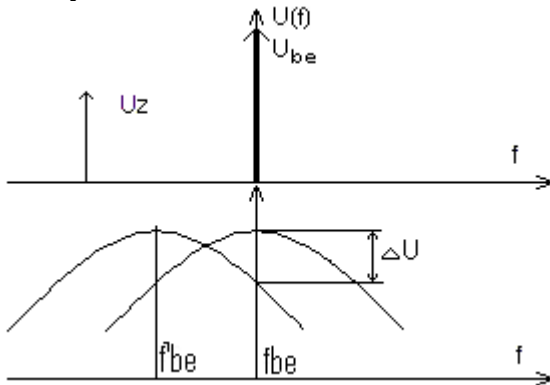
Az együttfutásról általában, és konkrétan.

Az együttfutás problémájáról a „Meinke-Gundlach” Rádiótechnikai Kézikönyv az alábbiakat írja:

”Ha a szuperkészüléket bizonyos sávban 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 bemenő kör félrehangolódása következtében érzékenység csökkenés keletkezik, valamint az elhangolódás irányában szelektivitás lecsökken.

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



[3.]

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:  $a_{(f)} = \frac{1}{\sqrt{1+(Q,\eta)^2}}$  [3.] Tehát az együttfutási hiba egyértelműen

maghatározza a bemeneten lévő rezgőkör jóságának maximális értékét, ami egy szuperheterodin vevőkészülék jóságát meghatározza. Sok szakirodalom részletesen taglalja a bemenő kör tulajdonságait, erre most itt nem kívánok kitérni.

A bemenő kör és az oszcillátor kör együttes hangolása nem jelent gondot (kettősforgó), azonban, azt biztosítani, hogy a létrejött középfrekvencia a teljes frekvencia sávban állandó értékű legyen nem könnyű. Nézzük meg, hogy mi az oka ennek. Tételezzük fel, hogy a hangoló kapacitásunk olyan, hogy a változtatása folyamán lineáris frekvencia menetet ad.

A gondot az okozza, hogy az oszcillátor kör relatív frekvencia változása, felső keverés esetében kisebb, míg alsó keverés esetében nagyobb, mint a bemenőkör relatív frekvencia változása.

Mielőtt tovább mennénk a megoldás felé, tegyünk két megkötést:

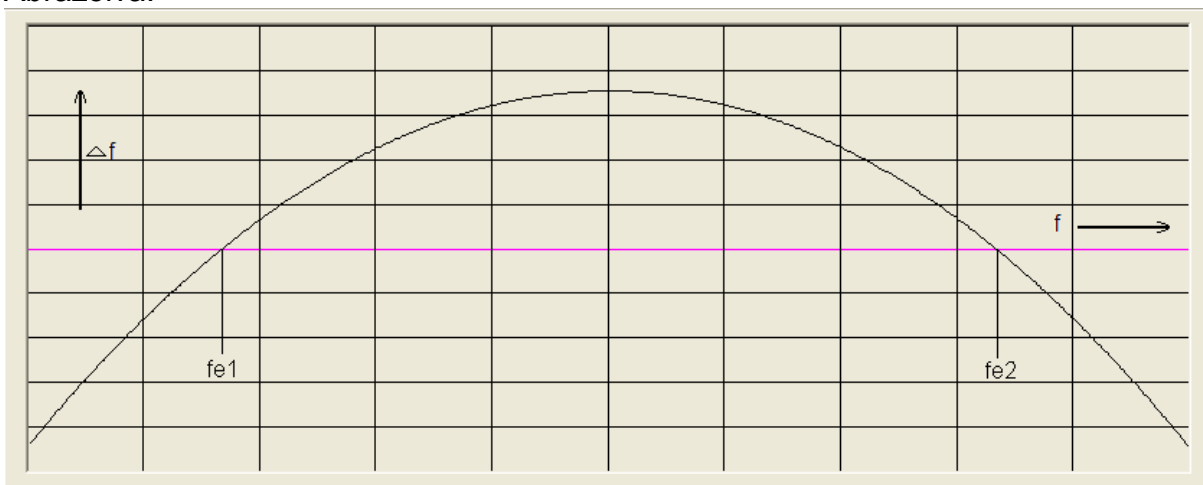
1. Az oszcillátor kör és a bemenő kör hangolását, azonos mértékű kapacitás átfogással rendelkező, "kettősforgóval" valósítjuk meg.
2. A középfrekvenciát felső keveréssel állítjuk elő.

A szakirodalom, a probléma megoldására, két és hárompontos együttfutás megvalósítását javasolja, a következő megfontolások szerint. Amennyiben a bemenő kör frekvencia átfogása kicsi úgy elegendő a kétpontos együttfutás kialakítása. Ez az eset RH és URH rádióknál fordul elő, míg a közép és hosszuhullámú rádióvevő-készülékeknél a hárompontos együttfutást kell megvalósítani, hogy a bemenő kör kellő szelektivitással rendelkezzen.

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, a névleges, vagy az elméleti értéktől, hozzávetőlegesen azonos és a legkisebb mértékű.

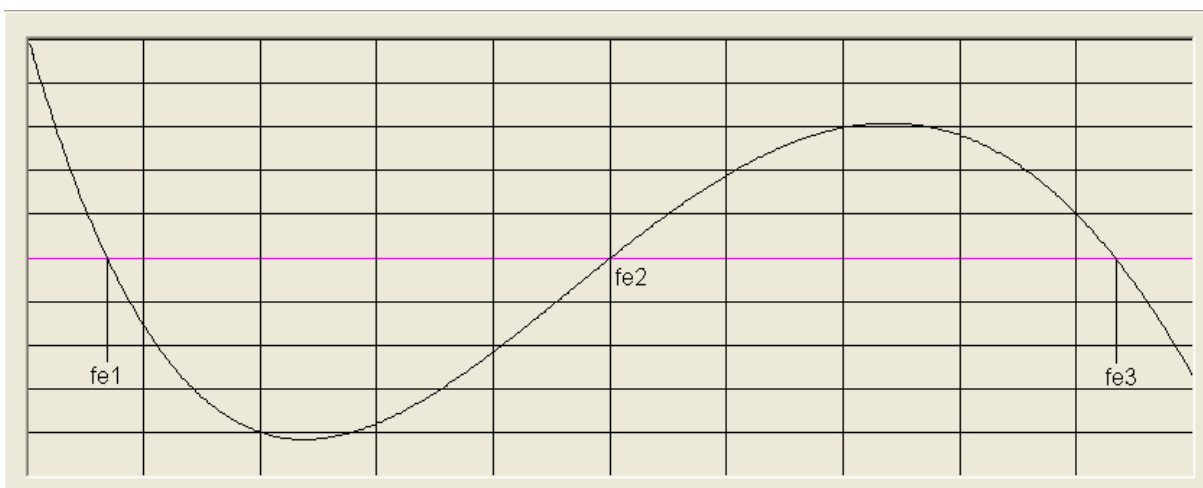
Ábrázolva:



Kétpontos együttfutás kiegyenlítési frekvenciái:

$$f_{e1} = f_{\min} + \frac{1}{6}(f_{\max} - f_{\min}) \quad f_{e2} = f_{\max} - \frac{1}{6}(f_{\max} - f_{\min}) \quad (1) [1.]$$

Fogadjuk el ezt a végképletet, majd később a függelékben megvizsgáljuk az összefüggés helyességét.



A hárompontos együttfutásnál két lehetőség van.

Az egyik megoldás olyan kiegyenlítési frekvenciákat ad meg, amely azt eredményezi, hogy az együttfutási hiba abszolút értéke állandó, míg a másik megoldás olyan kiegyenlítési frekvenciákat ad meg ahol az együttfutási hiba 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.

$$f_{e2} = \frac{f_{\max} + f_{\min}}{2} \quad f_{e1} = f_{e2} - \frac{f_{\max} - f_{\min}}{4} \sqrt{3} \quad f_{e3} = f_{e2} + \frac{f_{\max} - f_{\min}}{4} \sqrt{3} \quad (2) [2,3.]$$

A hárompontos együttfutás kiegyenlítési frekvenciái, amikor a relatív hiba állandó

$$f_{e2} = \sqrt{f_{\min} * f_{\max}} \quad f_{e1} = f_{\min} + \frac{f_2 - f_{\min}}{10} \quad f_{e3} = f_{\max} + \frac{f_{\max} - f_2}{6} \quad (3) [2,3]$$

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, -azért mert elsősorban

rádióamatőröknek kívánok ezzel segítséget nyújtani, akik viszonylag keskeny sávú hangolással dolgoznak- de lépéseiben igaz ez az eljárás a hárompontos kiegyenlítés esetén is, amelyet szélessávú hangolás esetén érdemes használni.

**Adott a vételi frekvencia tartomány,  $f_{\min}$  és  $f_{\max}$ .**

**Adott a kondenzátor  $C_{h\_min}$  és  $C_{h\_max}$  értéke.**

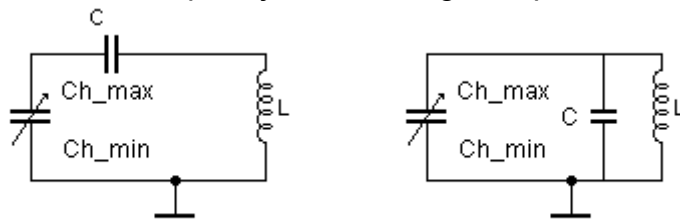
**Adott a  $f_{kf}$  értéke.**

Első lépés, hogy a frekvenciaátfogást összhangba hozzuk a kapacitás átfogással.

$$C_{\text{átf}} = \frac{C_{\text{max}}}{C_{\text{min}}} = f_{\text{átf}}^2$$

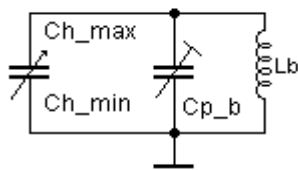
A legtöbb esetben ez a két érték nem egyezik ezért a hangoló kapacitást, egy kondenzátorral kell kiegészíteni.

A fenti összefüggést ki lehet fejteni úgy, hogy a hangoló kondenzátorral sorba vagy párhuzamosan kapcsoljuk a szükséges kapacitás átfogást biztosító kondenzátort. ( C )



A két lehetőség közül a párhuzamos kondenzátoros megoldást választottam, habár az irodalom a soros megoldást tartja üdvöztetőnek, de ennél a kapcsolásnál megítélésem szerint jobban tartható a szórt kapacitás.

A bemenő kört az alábbiak szerint számítjuk:



1. A fenti értékekből kiszámítjuk a frekvencia átfogást.  $f_{\text{átf}} = \frac{f_{\text{max}}}{f_{\text{min}}}$  (4)

2. Ennek ismeretében meghatározzuk a szükséges kapacitás átfogást.

$$C_{\text{átf}} = \frac{C_{\text{max}}}{C_{\text{min}}} = f_{\text{átf}}^2$$
 (5)

3. Kibővítjük az egyenletet a  $C_{p\_b}$  kapacitással,  $f_{\text{átf}}^2 = \frac{C_{h\_max} + C_{p\_b}}{C_{h\_min} + C_{p\_b}}$ , majd rendezzük az

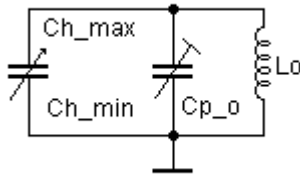
egyenletet.  $C_{p\_b} = \frac{C_{h\_max} - (f_{\text{átf}}^2 * C_{h\_min})}{f_{\text{átf}}^2 - 1}$  (6)

4. Az  $L_b$  értékét a Thomson képlettel számoljuk ki.

$$L_b = \frac{1}{4 * \pi^2 * f_{\text{min}}^2 * (C_{p\_b} + C_{h\_max})}$$
 (7)

Ezzel a bemenő kör számítását befejeztük.

Az oszcillátor kör számítása.



1. Határozzuk meg az (1) összefüggésekből az  $f_{e1}$  és az  $f_{e2}$  értékét.
2. Thomson képlettel határozzuk meg a bemeneti fokozat felhasználásával az  $f_{e1}$  és  $f_{e2}$  frekvenciákhoz tartozó hangoló kapacitás értékét, majd vonjuk ki belőle a  $C_{tb}$  értékét. Így megkapjuk azt a két kapacitás értéket ( $C_{e1}$  és  $C_{e2}$ ), amiből a továbbiakban ki tudjuk számolni az együttfutást biztosító  $C_{p_o}$  értéket. Adott két egyenletünk, és két ismeretlenünk van.

$$(f_{e1} + f_{kf})^2 = \frac{1}{4\pi^2 * L * (C_{e1} + C_{p_o})} \quad (f_{e2} + f_{kf})^2 = \frac{1}{4\pi^2 * L * (C_{e2} + C_{p_o})} \quad (8)$$

$$\text{Átalakítva kapjuk, hogy } \frac{(f_{e2} + f_{kf})^2}{(f_{e1} + f_{kf})^2} = K = \frac{C_{e1} + C_{p_o}}{C_{e2} + C_{p_o}}. \quad (9)$$

$$\text{Rendezve. } C_{p_o} = \frac{C_{e1} - (K * C_{e2})}{K - 1} \quad (10)$$

Ezek után már csak az induktivitás értékét kell kiszámolni és azzal be is fejeztük egy szuperheterodin vevő bemenő és oszcillátor fokozatának a méretezését.

$$L_o = \frac{1}{4 * \pi^2 * f_{\min}^2 * (C_{p_o} + C_{h_{\max}})} \quad (11)$$

Nincs más hátra, mint a hangoló kapacitást felosztjuk  $n$  részre és rendre kiszámítjuk az  $f_{be}$  és  $f_{oszc}$  értékeket, majd ezek ismeretében kiszámoljuk az egyes hangoló kapacitás értékhez tartozó eltérést.  $\Delta f = (f_{oszc} - f_{kf}) - f_{be}$ . A kapott eredményt a vételi frekvencia függvényében ábrázoljuk.

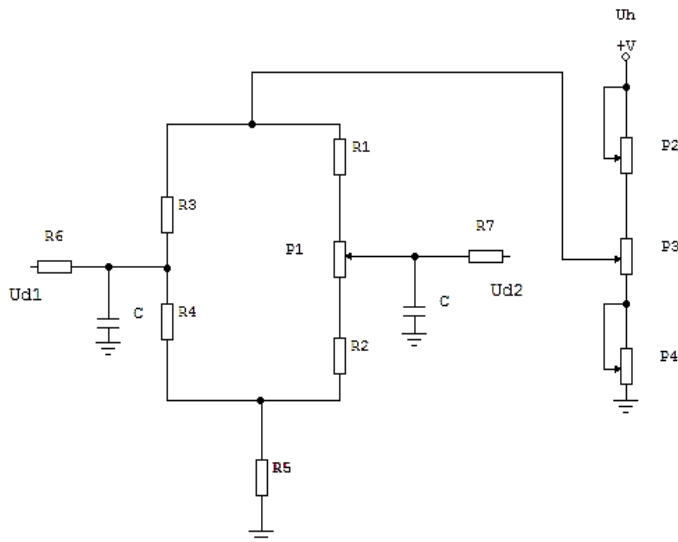
Az eljárás, papír és ceruzával eltart egy darabig, ezért gondoltam, hogy egy programot írok a számítás és az ábrázolás gyorsítására.

A program letölthető a honlapról.

Nézzük a megvalósítást.

Ma már, mechanikus forgókondenzátor csak elvétve található, ezért a hangolás megoldását varikap diódával oldjuk meg. A varikap gyártása bizonyos szórással történik, ez azt jelenti, hogy azonos hangoló feszültség esetén eltérő kapacitás értéket kapunk, ezért a két diódát egy ellenállás hálózattal fedésbe kell hozni.

Ritkán találni katalógus adatot arról, hogy a gyártás során, milyen szórással tudják a varikap diódát gyártani, ezért tételezzük fel, hogy a szórás 10% értékű. A diódákat az alábbi ellenállás hálózattal hozzuk fedésbe.



[3.]

Kössük meg a peremfeltételeket:

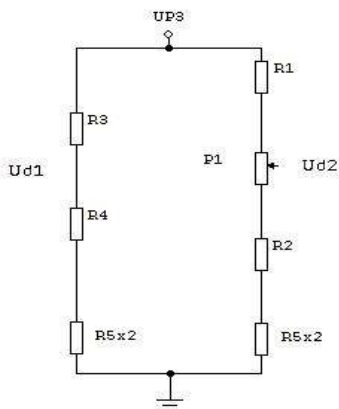
$$1. R_3=R_4, R_1=R_2, P_1=R_1+R_2, R_3+R_4=R_1+P_1+R_2$$

[3.]

2. Az  $R_7$ ,  $R_6$  ellenállások értéke legyen 100Kohm, tehetjük ezt azért, mert a diódán folyó visszáram értéke elhanyagolható.

3. A hídáramkör ne terhelje a  $P_3$  potenciométert.

**Alakítsuk át a kapcsolást, az egyszerű számítás érdekében, mert az eredeti leírásban, nagyon bonyolult eljárás után jutnak eredményre.**



Az  $\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = 0,9$  és  $1,1$  értéket vehet fel, mivel a dióda tűrését 10%-ra vettük fel.

A peremfeltételekből adódik, hogy mindkét ágban azonos értékű áram folyik, jelöljük  $I$ -vel. Ekkor írhatjuk, hogy

$$1,1U_{d1} = (P_1 + R_2 + 2R_5) * I \tag{12}$$

$$0,9U_{d1} = (R_2 + 2R_5) * I$$

Az alsó egyenletet szorozzuk be a két feszültség hányadosával, azaz 1,22-vel -végtelen tizedes lenne a helyes érték-, kapjuk, hogy

$$1,1U_{d1} = (P_1 + R_2 + 2R_5) * I \tag{13}$$

$$1,1U_{d1} = (R_2 + 2R_5) * I * 1,22$$

Miután  $P_1=2R_2$  írhatjuk, hogy

$$3R_2 + 2R_5 = 1,22R_2 + 2,44R_5$$

$$\text{Kifejtve } 1,78R_2 = 0,44R_5$$

$$\text{Ebből } R_5 = 4R_2$$

(14)

Figyelembe véve a peremfeltételek 3. pontját,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $P_1$  legyen 10KOhm értékű, míg  $R_1, R_2$  legyen 5KOhm értékű és  $R_5$  legyen 20KOhm értékű, a  $P_2, P_3, P_4$  jelölésű potenciométereket 1Kohm értékűre választom.

Az eredő hálózat feszültségosztása:

$$U_{d1} = \frac{U_{P3}}{0.833}$$

(15)

### Függelék.

Abban az esetben, amikor a szuperheterodin elven működő rádiót kívánunk építeni, akkor biztosítanunk kell, hogy a rezgőkörök rezonanciafrekvenciája különböző módon változzanak, miközben a hangoló elemek azonos módon változnak, ezért egymástól eltérő kialakítású rezgőköröket kell használni.

Amennyiben kapacitásváltoztatással oldjuk meg a hangolást, és felső keverést választunk, úgy az oszcillátor kör induktivitását le kell csökkenteni a bemenő körhöz képest.

$$\text{A bemenő kör rezonancia frekvenciája } f_{be} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (16) \quad [2.]$$

$$\text{Az oszcillátor kör rezonancia frekvenciája } f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_o C}} \quad (17) \quad [2.]$$

Változtassuk meg az oszcillátor kör gyök alatti értékét, -az oszcillátor kör induktivitása kisebb, mert magasabb frekvencián megy-,

$$\text{ebben az esetben, írhatjuk, hogy } f_o = \frac{\sqrt{K}}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (18) \quad [2.]$$

$$\text{Mivel az oszcillátor frekvencia, } f_{kf} \text{ értékkel magasabb, így } \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} + f_{kf} = \frac{\sqrt{K}}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Határozzuk meg a  $\sqrt{K}$  értékét.

$$\text{Tehát } \omega_{be} + \omega_{kf} = \omega_{be} \sqrt{K}, \text{ rendezve az egyenletet kapjuk, hogy } \sqrt{K} = \frac{f_{kf}}{f_{be}} + 1 \quad (19) \quad [2.]$$

A kapacitás és az induktivitás értékéből kiszámoljuk a frekvenciát, majd az  $f_{kf}$  értékét

felvéve, minden egyes frekvencia értékre meghatározzuk a  $\sqrt{K}$  értékét.

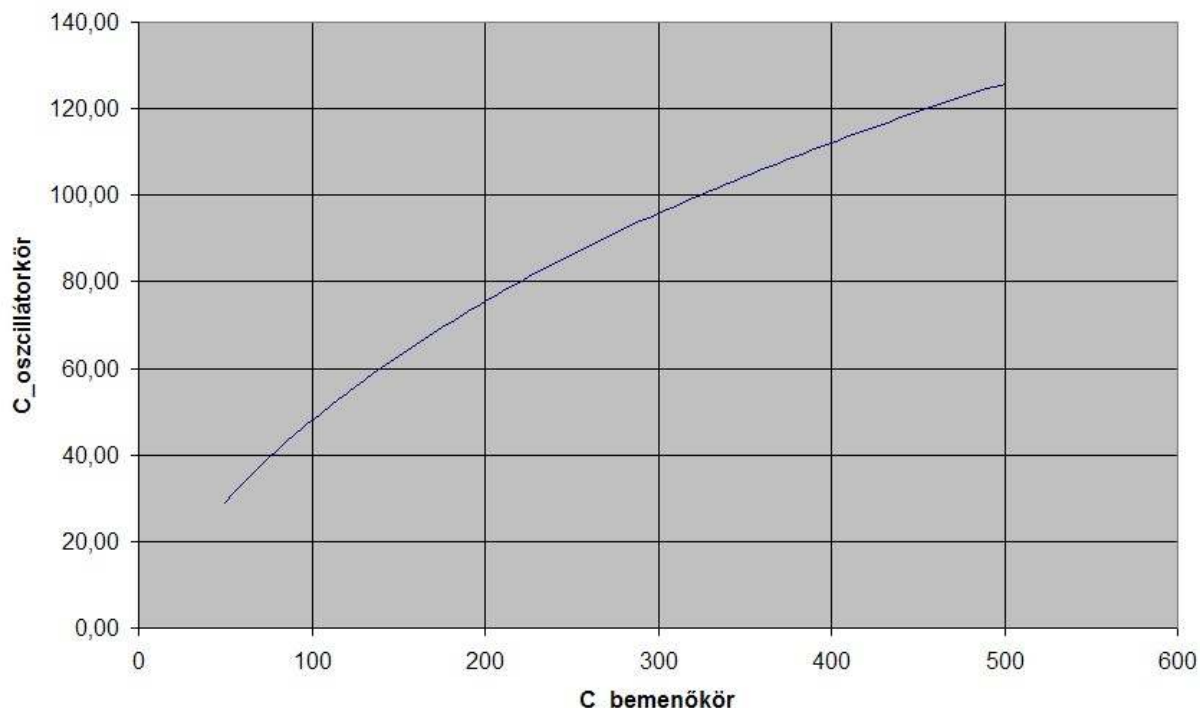
Ezek után nincs más dolgunk, mint a  $C$  értékét szorozzuk a  $K$  értékével és ekkor megkapjuk azokat a kapacitás értékeket amellyel az oszcillátor frekvencia pontosan  $f_{kf}$

értékkel magasabb mint a bemenő kör frekvenciája.

Nézzük meg, hogy miként lehet kialakítani a kívánt (elméleti) frekvencia menetet.

Ábrázoljuk a módosított kapacitás értéket, a bemenő kör kapacitás-értékének függvényében.

## Együttfutás



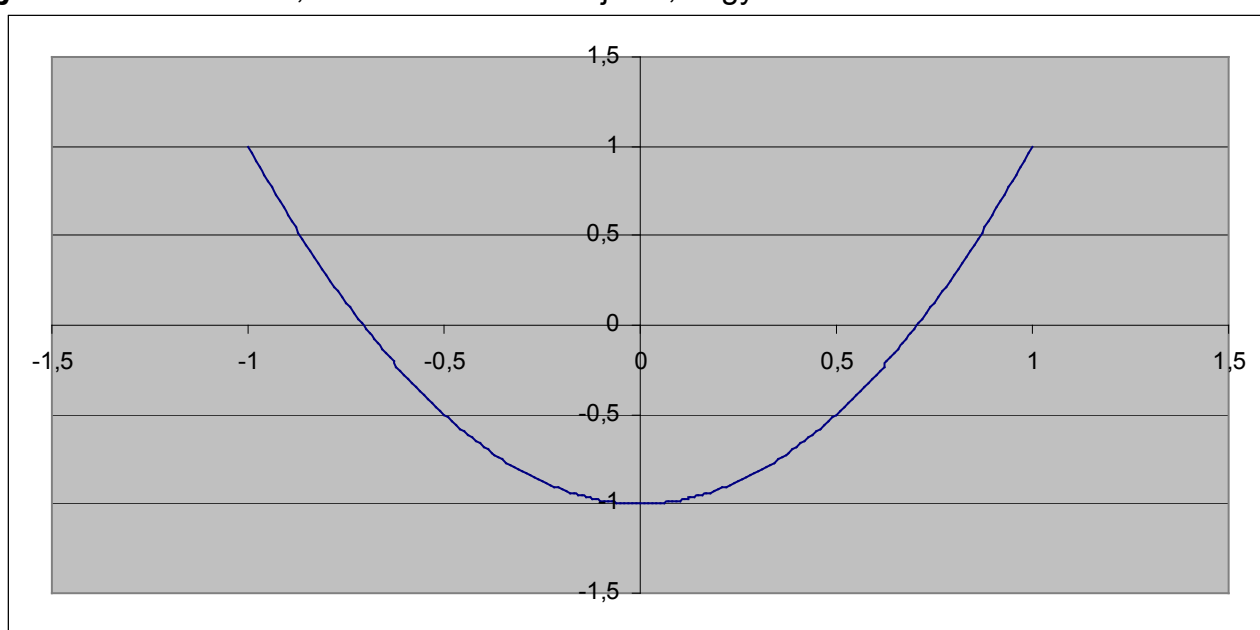
Látható, hogy az eredeti kapacitás értékeket jelentősen torzítani kell, hogy az együttfutás megvalósuljon. A diagramból rendkívül nehézkes eljárással lehet csak az együttfutási pontokat meghatározni, ezért egy más megközelítéssel keressük a megoldást.

Mivel kétpontos együttfutást kívánunk megvalósítani, adódik, hogy egy másodfokú polinommal közelítsük 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  $x=(-1, 1)$  az értelmezési tartománya.

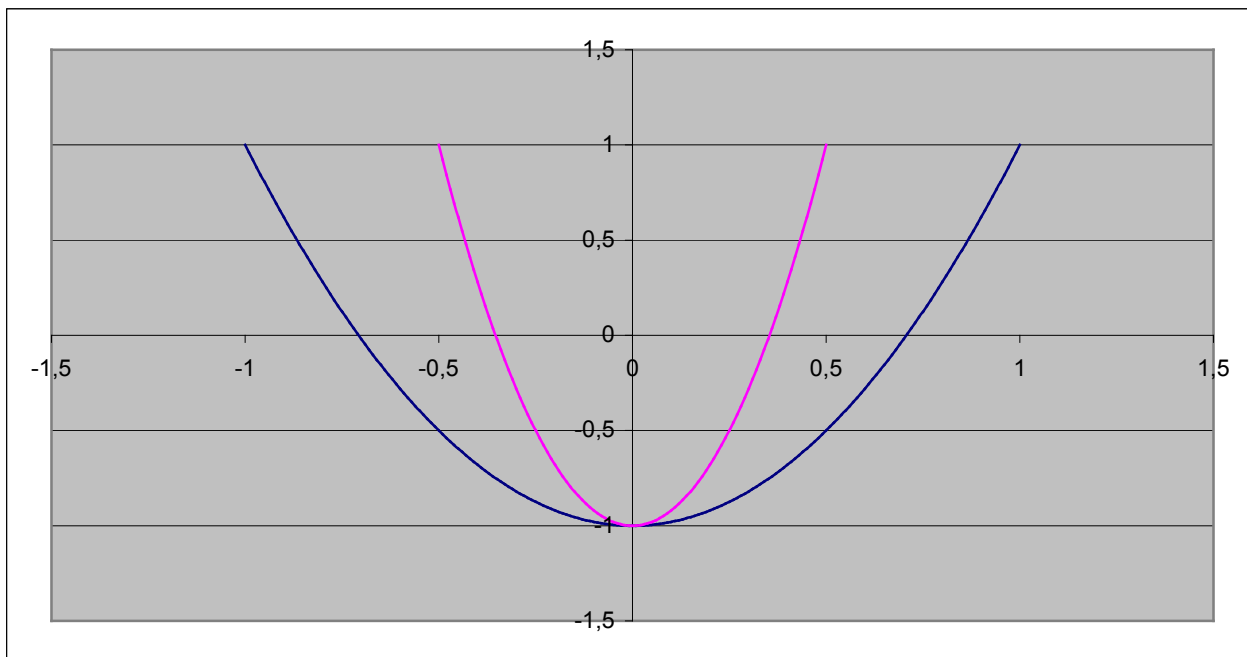
Látható, hogy az egyenlet a két szélső értéknél  $y=1$  míg az értelmezési tartomány közepén

$y=-1$  értéket vesz fel, tehát az a feltétel teljesül, hogy a hiba abszolút értéke állandó.

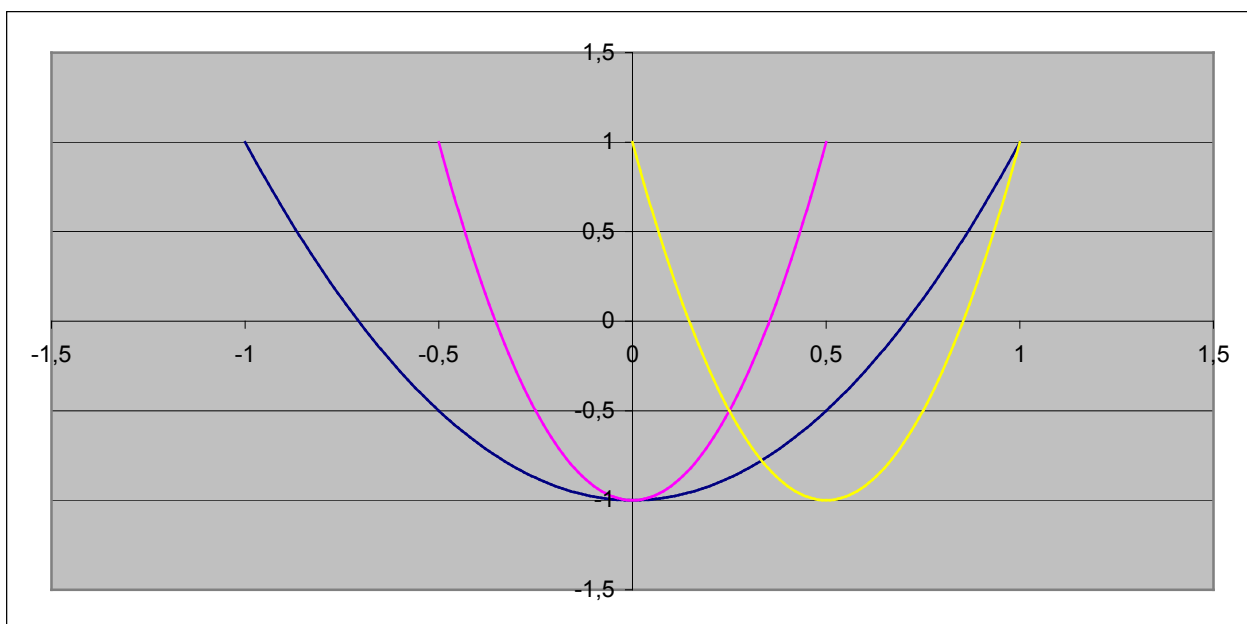


Ábrázoljuk a frekvencia átfogást, 0 és 1 között. Ebben az esetben az  $f_{\min}$  értéke "0" lesz, míg  $f_{\max}$  értéke "1" lesz. A Csebisev polinom értelmezési tartományát függvénytranszformációval helyezzük át az  $x=(0, 1)$  értelmezési tartományba.

Első lépésként vegyük fel az értelmezési tartományt  $x=(-0.5, 0.5)$  érték közé úgy, hogy a módosított függvény értékkészlete megegyezzen az eredeti függvény értékkészletével, ekkor a polinom a következőképpen módosul  $y=8x^2-1$ .



Már nem kell mást tennünk, mint a parabola tengelyét az  $x=0$  helyről az  $x=0,5$  helyre eltolni.



Egy parabola szimmetria tengelyét az  $x = -\frac{b}{2a}$  összefüggés adja meg.

Behelyettesítve kapjuk, hogy az egyenlet  $b = -8$  értékkel bővül.  
Tehát a polinom a következő alakot veszi fel:  $y=8x^2-8x+1$ .

Számoljuk ki a polinom gyökeit.

Kapjuk, hogy  $X_1 = 0,1464$ ,  $X_2 = 0,8535$

A két gyökértékből képezzünk egy konstanszt.

$$\text{Konstans} = \frac{1}{X_1} = \frac{1}{0,1464} = 6,83 = \frac{1}{1 - X_2} = \frac{1}{0,1464} = 6,83$$

Tehát az összefüggés:

$$f_{e1} = f_{\min} + \frac{1}{6,83}(f_{\max} - f_{\min}) \quad f_{e2} = f_{\max} - \frac{1}{6,83}(f_{\max} - f_{\min})$$



Ezzel pontosítottuk és igazoltuk az [1.] irodalomban megadott összefüggést.

Felhasznált irodalom:

[1] Meinke-Gundlach Rádiótechnikai Kézikönyv

[2] Dallos Görgy Rádiótechnika Egyetemi kézirat.

[3] Szabó Csaba Rádióvevőkészülékek Példatár Egyetemi Kézirat.