

Passzív szűrők

Fajtái

Frekvenciamenet szerint:

- aluláteresztő,
- feluláteresztő,
- sáváteresztő,
- sávzáró,
- rezgőkör

Megvalósítás szerint:

- szűrőáramkörök
- szilárdtest szűrők

Előnyök:

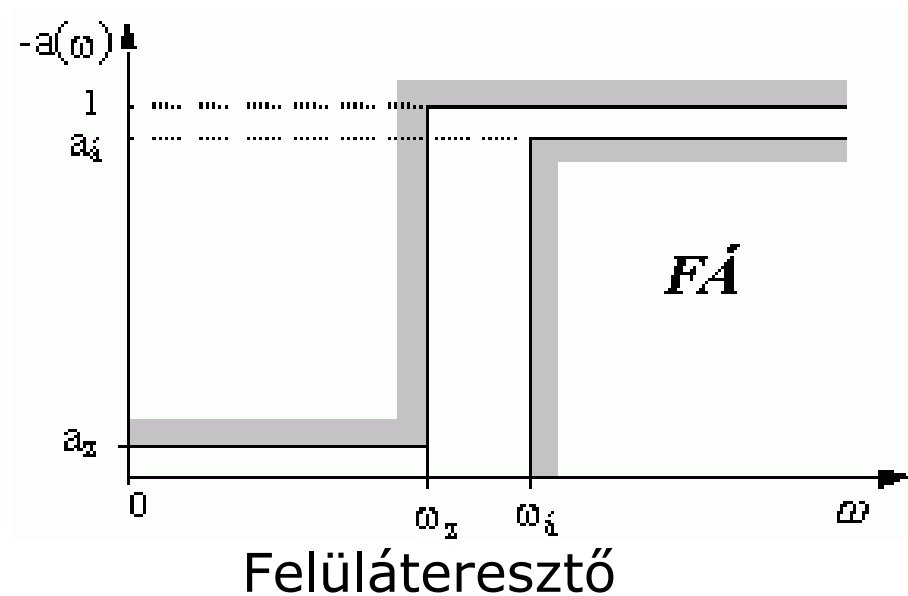
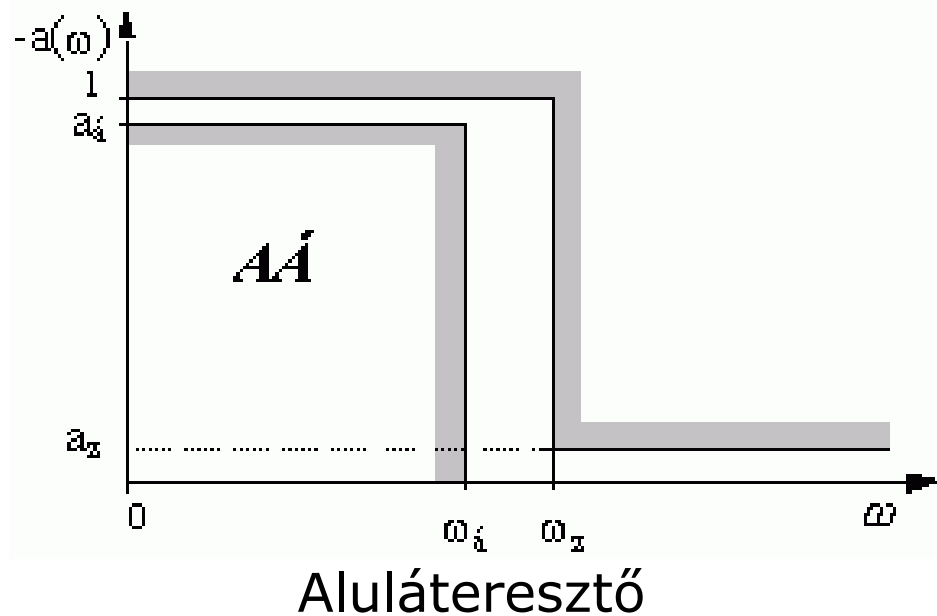
- nem kell tápfeszültség,
- mindkét irányba átviszi a jelet,
- egyenfeszültséget is átviszi (távtáplálás)

Alkalmazási területek:

- tápegységek kimeneti feszültségének szűrése (aluláteresztő).
- hangszínszabályozók (alul- és feluláteresztő).
- vevőkészülékek bemenő köre (sávszűrő).
- vevőkészülékek KF erősítője (sávszűrő).
- hangolt (szelektív) erősítők (sávszűrő).
- LC, RC oszcillátorok (sávszűrő).

Specifikáció

Lépcsős toleranciasémával:



$a_{\hat{a}}$ – áteresztőtartomány maximális csillapítása

a_z – zárótartomány minimális csillapítása

$\omega_{\hat{a}}$ – áteresztőtartomány határa

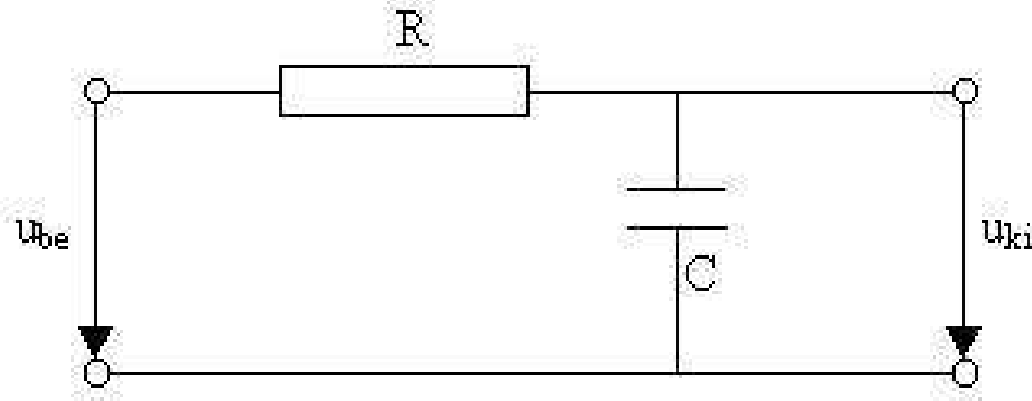
ω_z – zárótartomány határa

Lehetővé teszi szűrőáramkörök tervezésekor az átviteli karakterisztika megvalósítását közelítő függvényekkel.

Szűrőáramkörök

RC szűrőáramkörök

Aluláteresztő szűrő



Az átviteli tényező:

$$A = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

Az átviteli tényező abszolút értéke:

$$|A| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}}$$

A fázistolás:

$$\varphi = -\arctg(\omega RC)$$

A határfrekvencia (vágási frekvencia):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

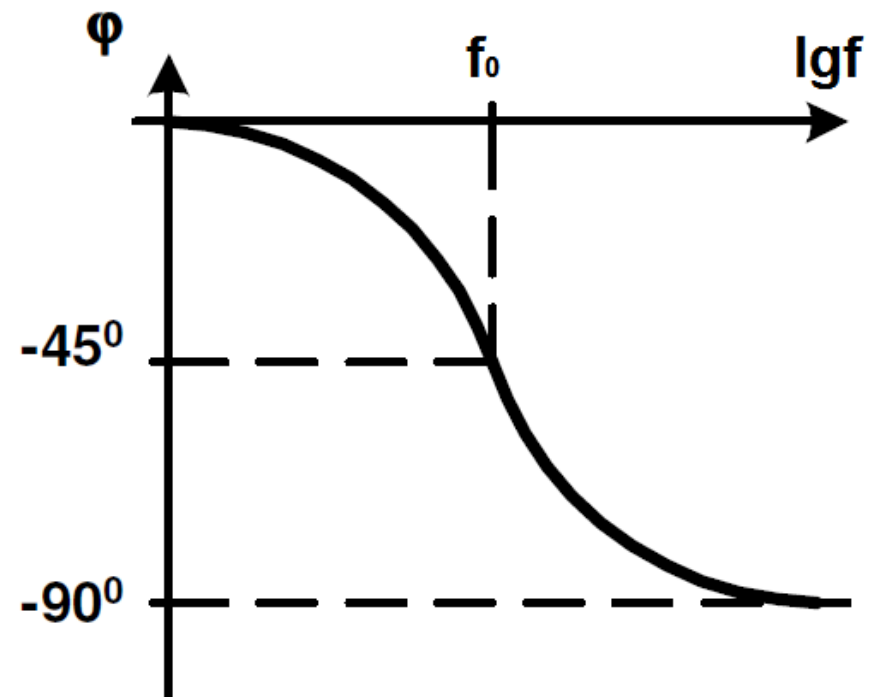
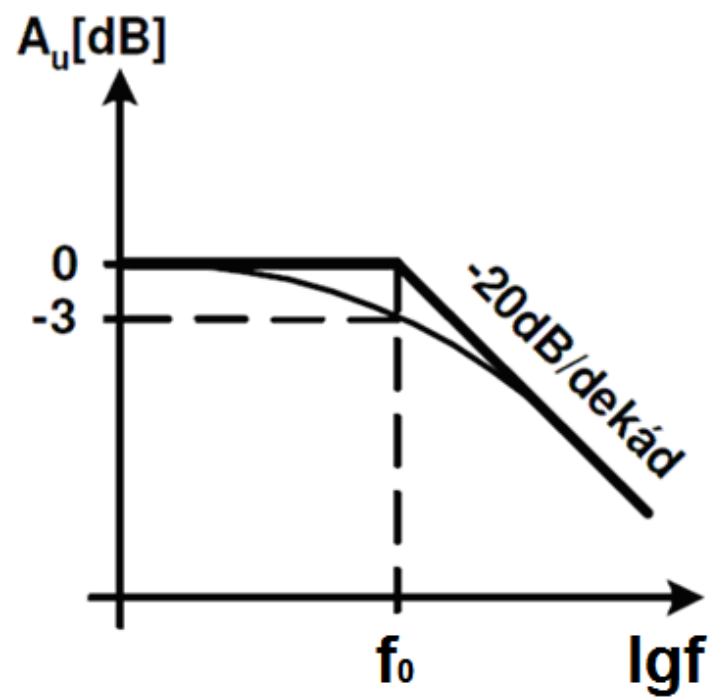
Ha $f \ll f_0$ $u_{ki} = u_{be}$

Ha $f = f_0$, $u_{ki} = u_{be} / \sqrt{2}$

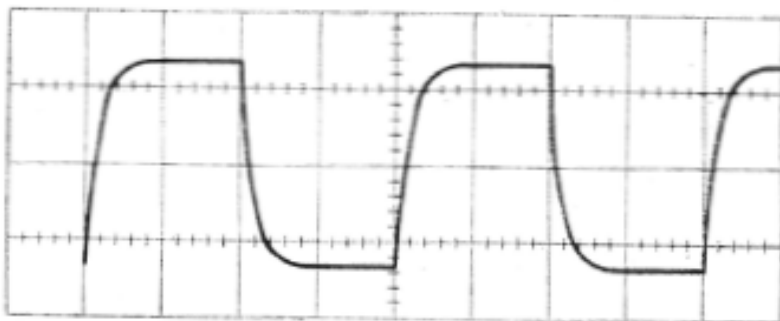
Ha $f \gg f_0 \Rightarrow |A| \approx \frac{1}{\omega RC}$ $u_{ki} = \frac{1}{RC} \int u_{be} dt$

(integráló áramkör)

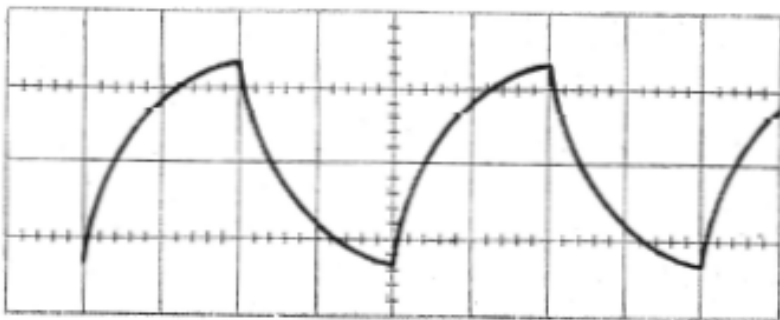
Bode diagram



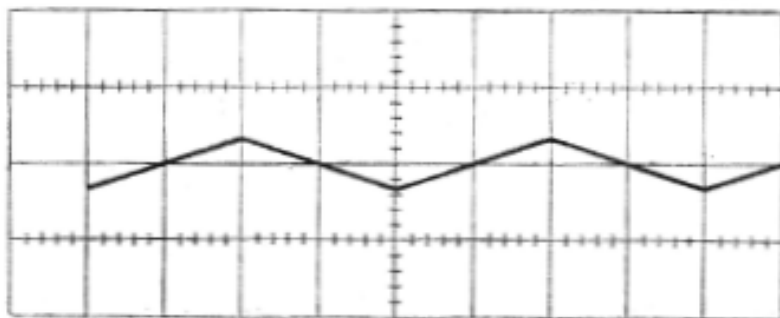
Válasz négyszögjelre



2.9. ábra. $f = \frac{1}{10} f_h$



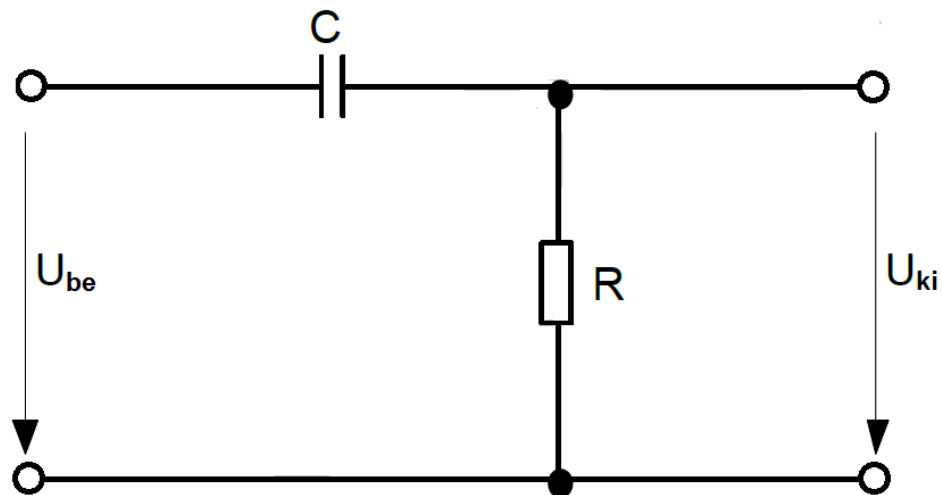
2.10. ábra. $f = f_h$



2.11. ábra. $f = 10 f_h$

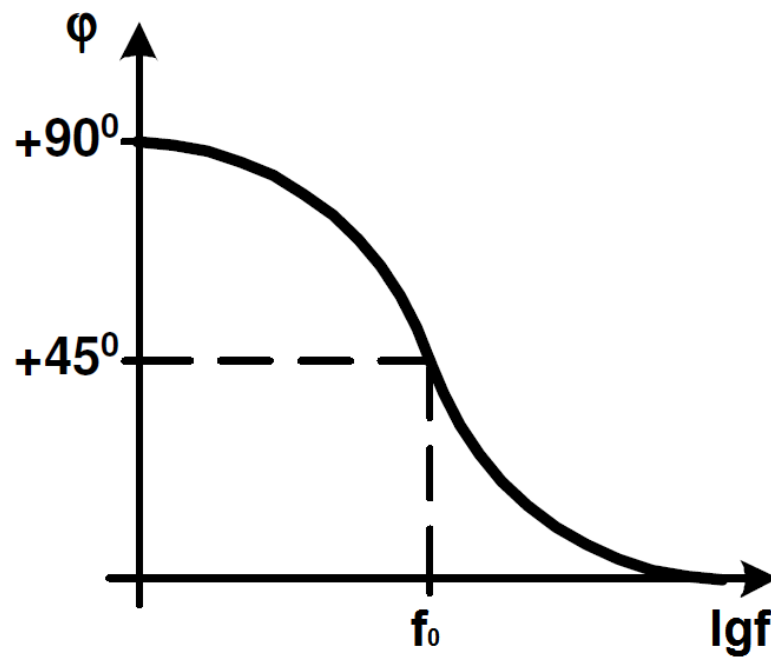
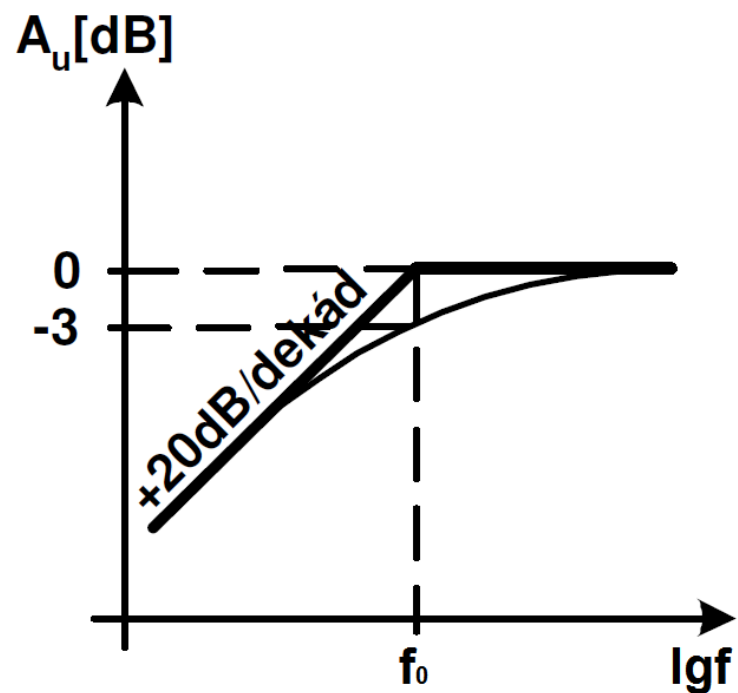
Integráló áramkör

Felüláteresztő szűrő

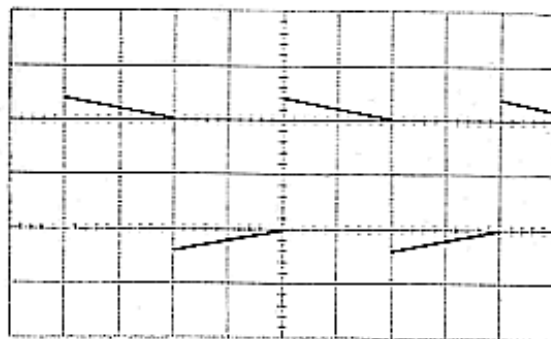


$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

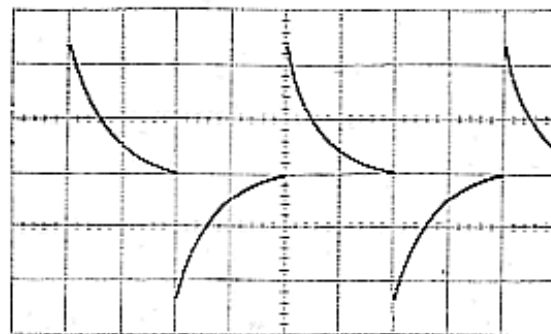
Bode diagram



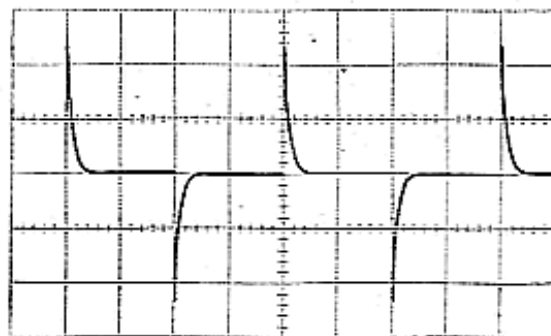
Válasz négyszögjelre



2.4. ábra. $f=10f_c$



2.5. ábra. $f=f_c$



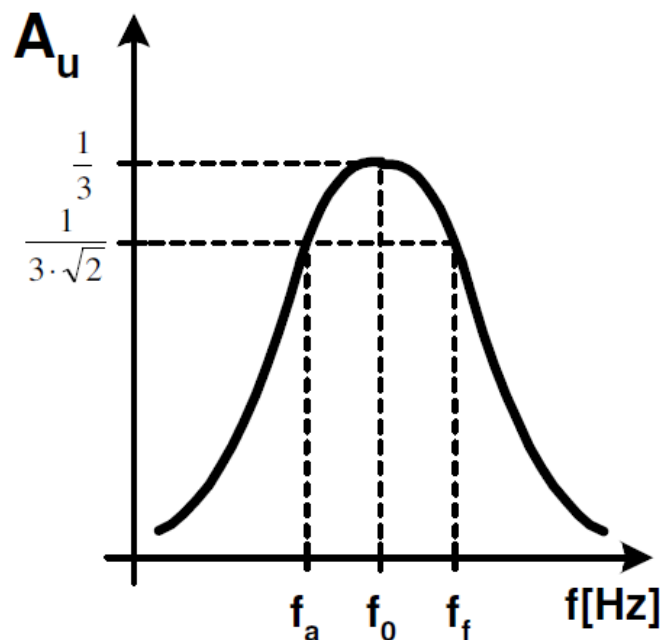
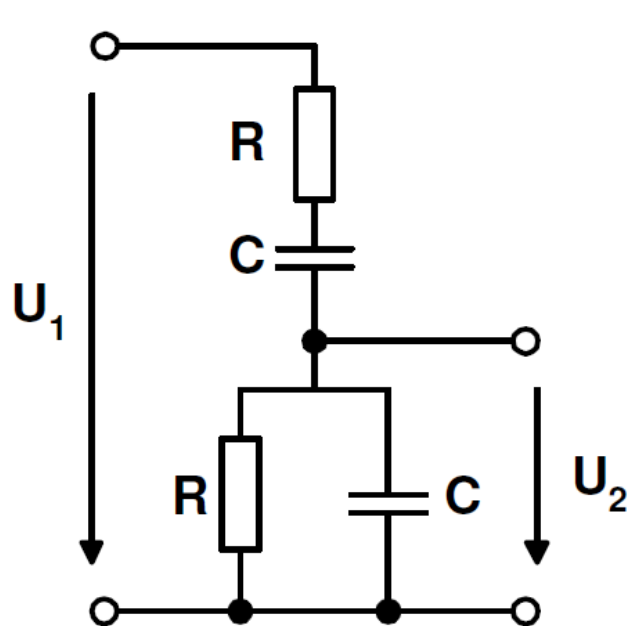
2.6. ábra. $f=\frac{1}{10}f_c$

Differenciáló áramkör

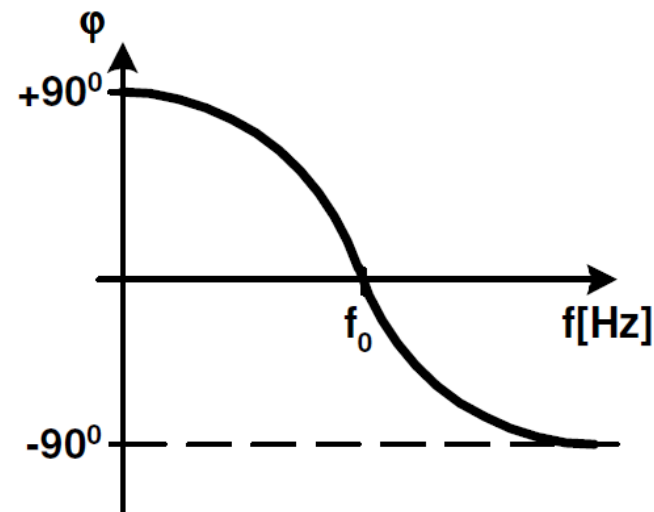
Sáváteresztő szűrő

Wien-osztó

Sávszűrőt kapunk, ha egy felül- és egy aluláteresztő szűrőt sorba kapcsolunk. Kimeneti feszültsége kis- és nagyfrekvencián nulla.

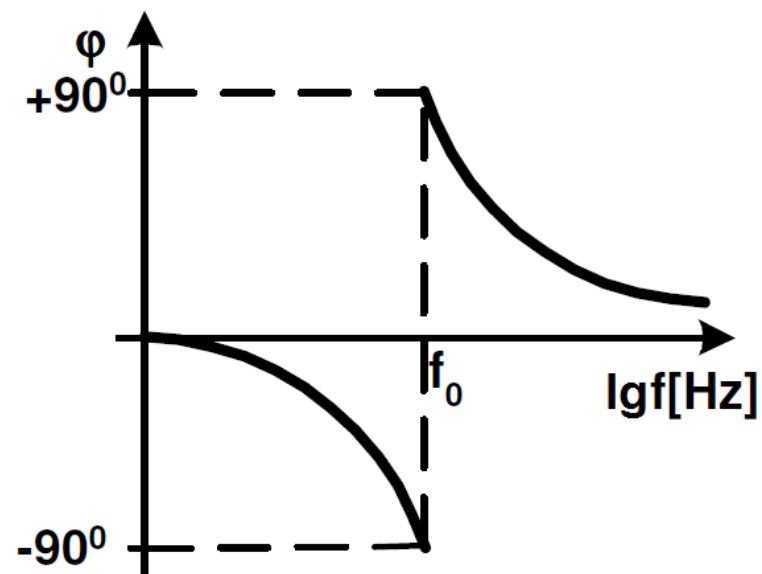
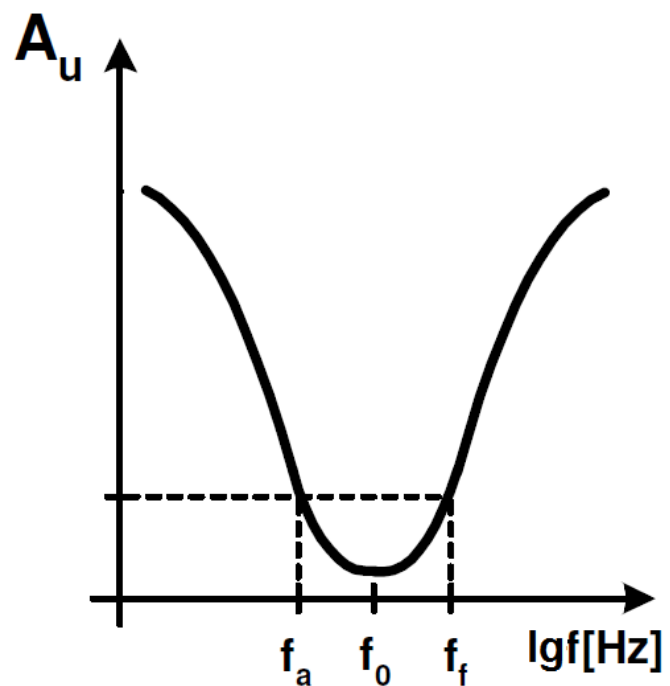
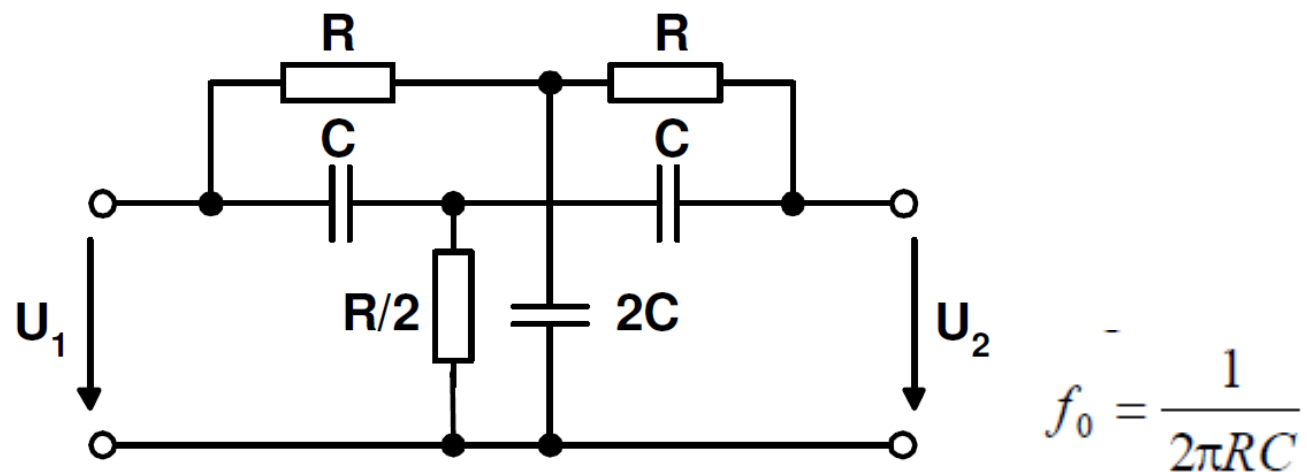


$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

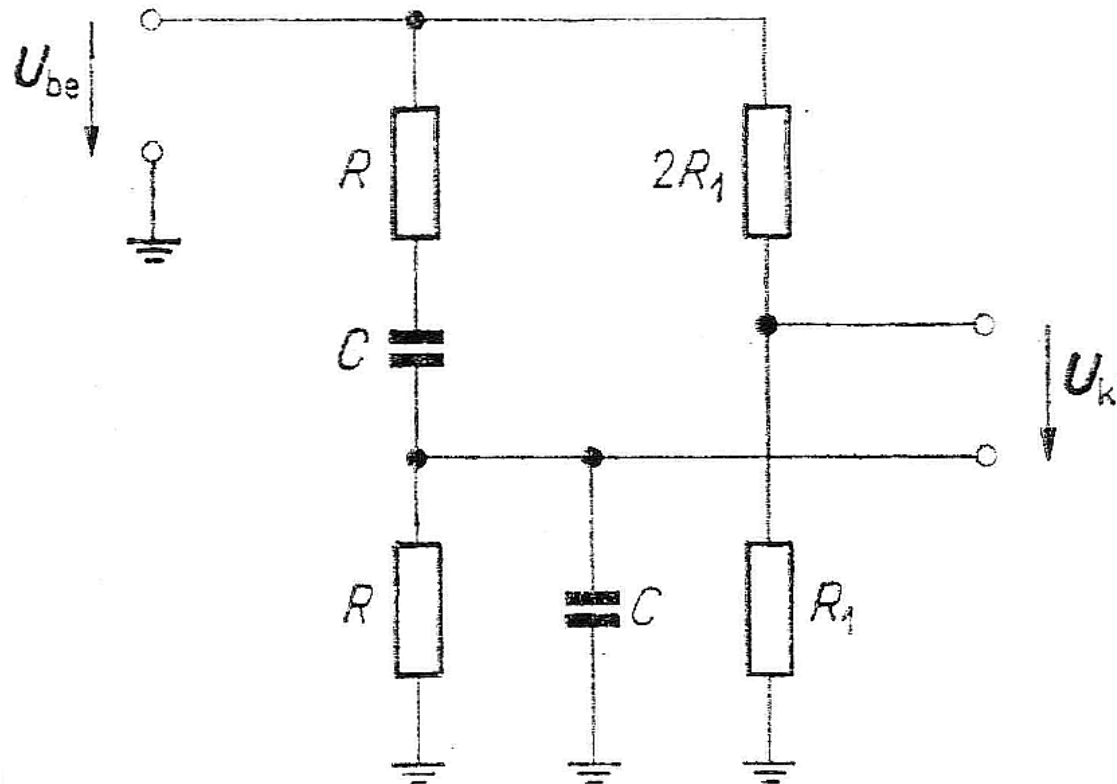


Sávzáró szűrő

Kettős T-tag



Wien-Robinson híd

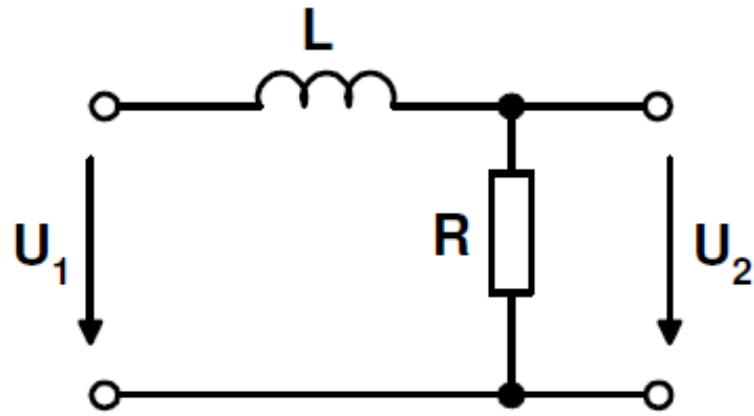


$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

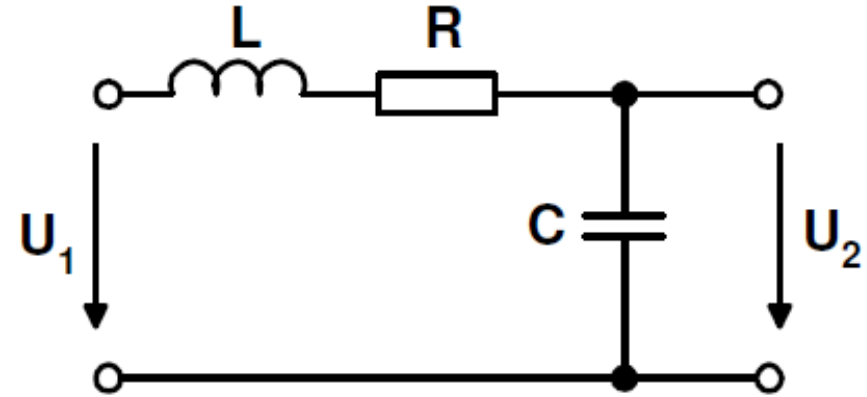
Az átviteli tényező és a fázistolás frekvencia függése hasonló, mint a kettős T-tagnál.

RL és RLC szűrőáramkörök

Aluláteresztő szűrők

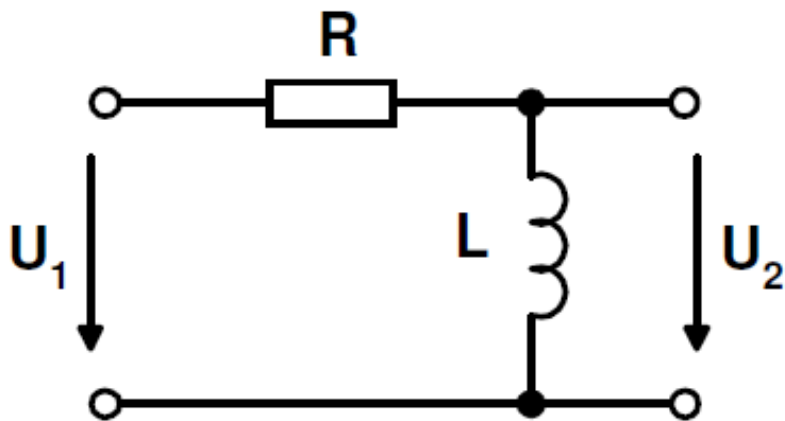


Soros RL tag

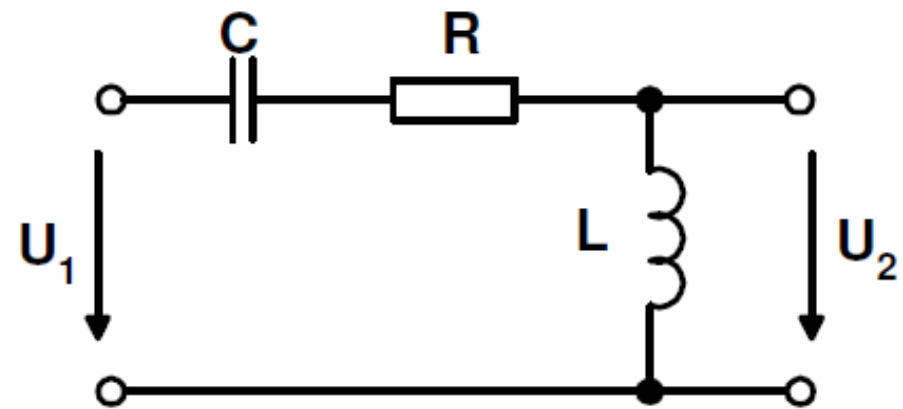


Soros RLC tag

Felüláteresztő szűrők

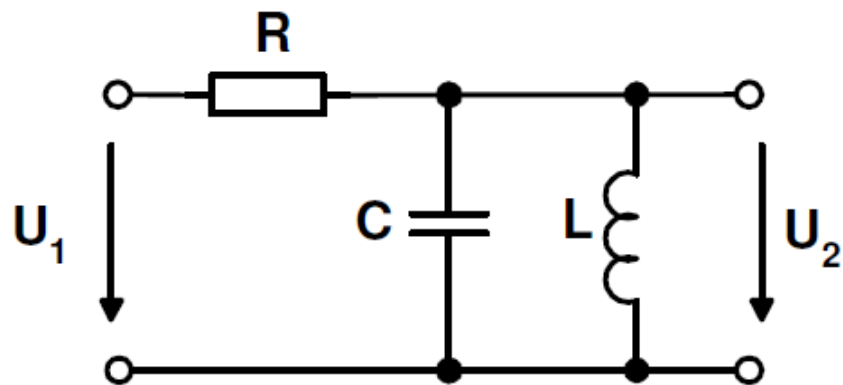


Soros RL tag



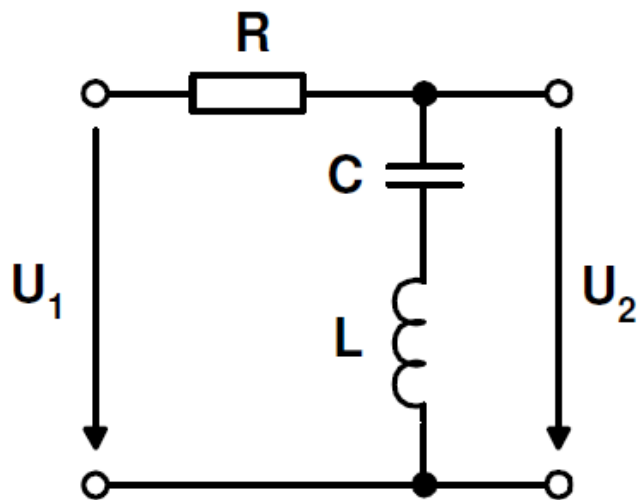
Soros RLC tag

Sáváteresztő szűrő



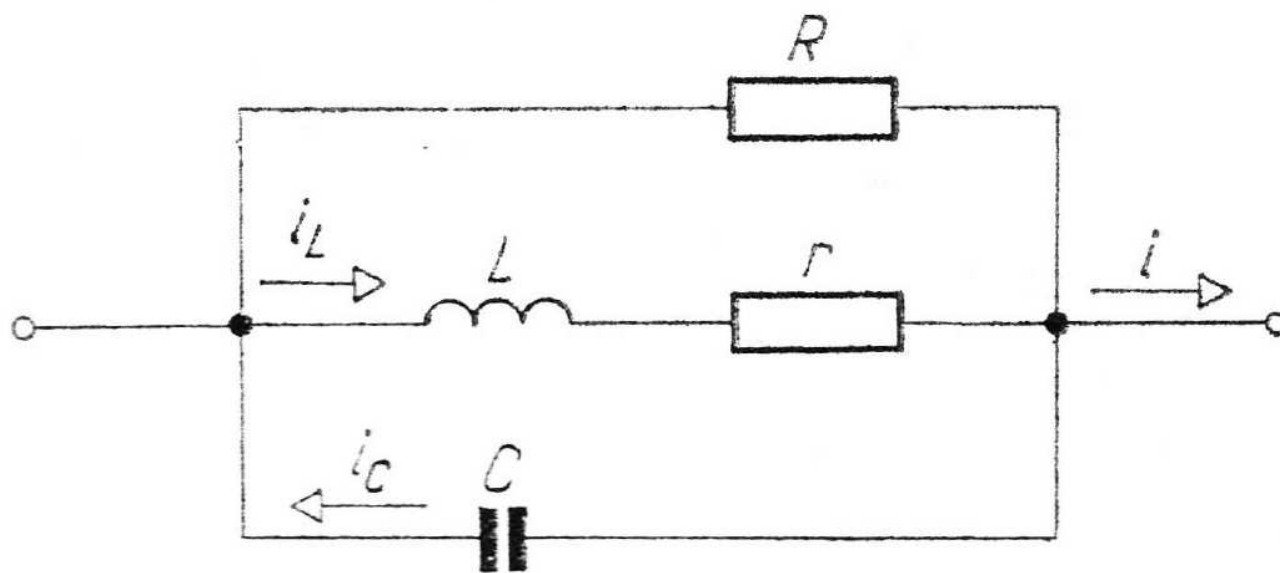
Párhuzamos rezgőkör előtétellenállással

Sávzáró szűrő



Soros rezgőkör előtétellenállással

Rezgőkör



Az ideális (veszteségmentes) rezgőkör rezonanciafrekvenciája:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

A veszteséges rezgőkör rezonanciafrekvenciája:

$$\omega_v = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}.$$

Veszteségi tényező

$$D = r \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}},$$

$$D = \frac{r}{\omega_0 L} + \frac{\omega_0 L}{R}.$$

Jósági tényező:

$$Q = \frac{1}{D},$$

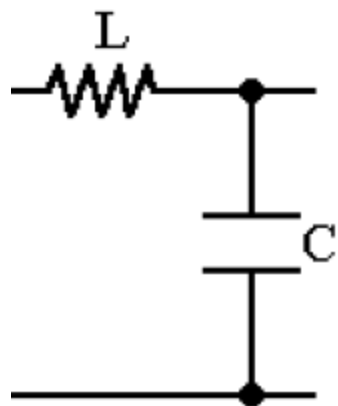
Sávszélesség:

$$B = f_0 D = \frac{f_0}{Q},$$

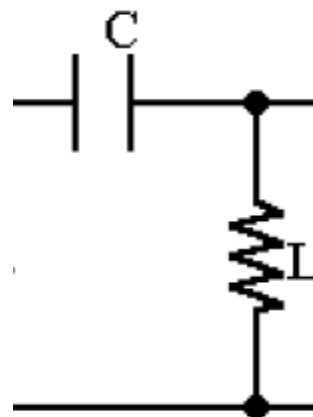
Rezonanciaellenállás:

$$R_0 = \frac{L}{rC + \frac{L}{R}}.$$

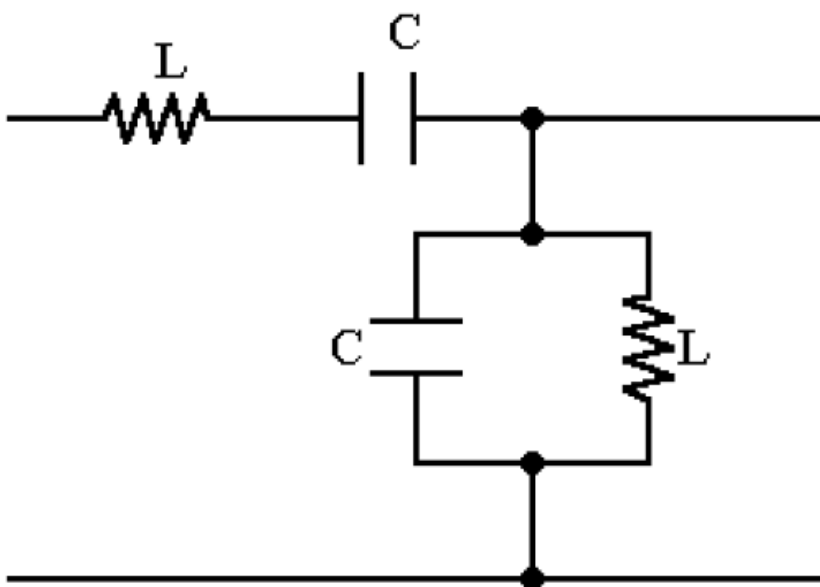
LC szűrők



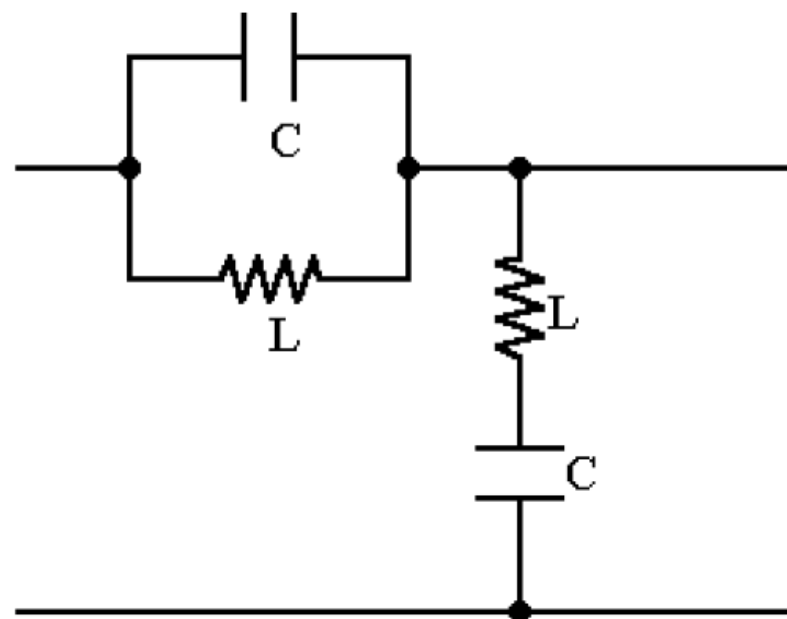
Aluláteresztő



Felüláteresztő



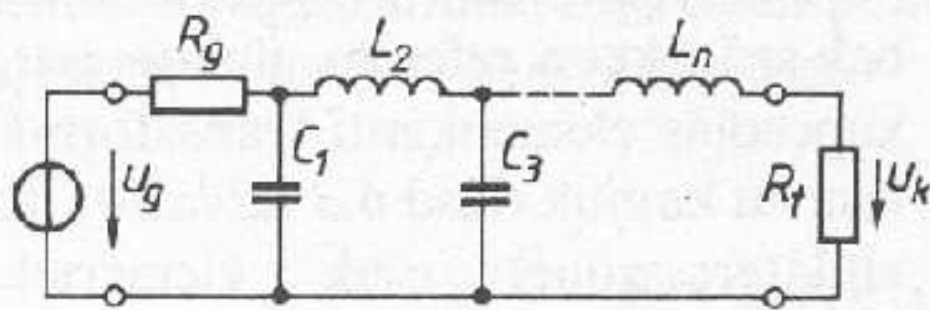
Sáváteresztő



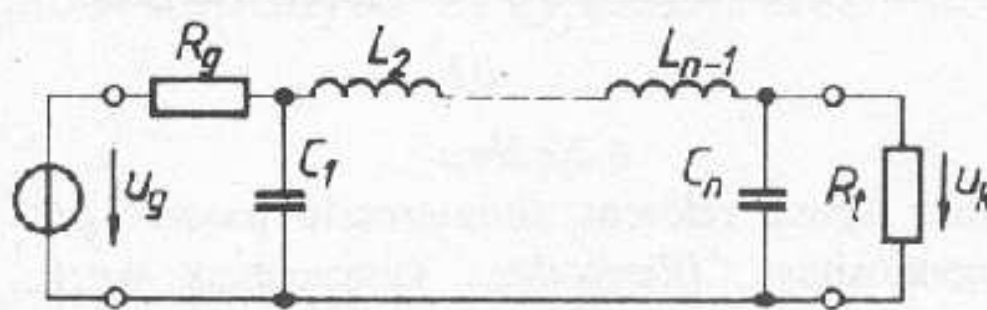
Sávzáró

Felépítés

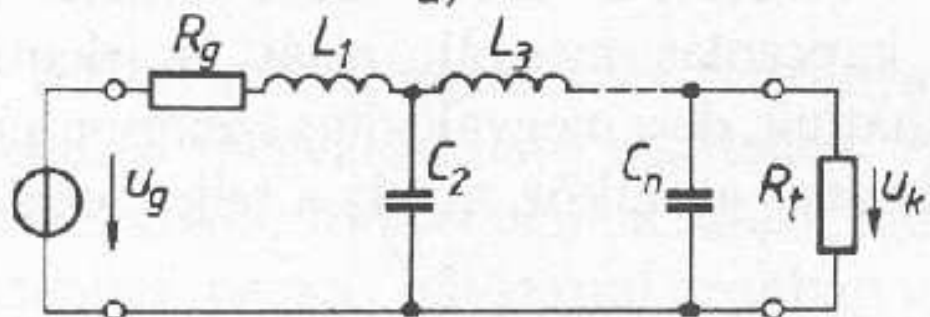
A bonyolultabb (nagy fokszerű) LC szűrők létrakapcsolás alapján épülnek fel.
Fokszám (n): ahány reaktáns alkatrész található bennük.



a)

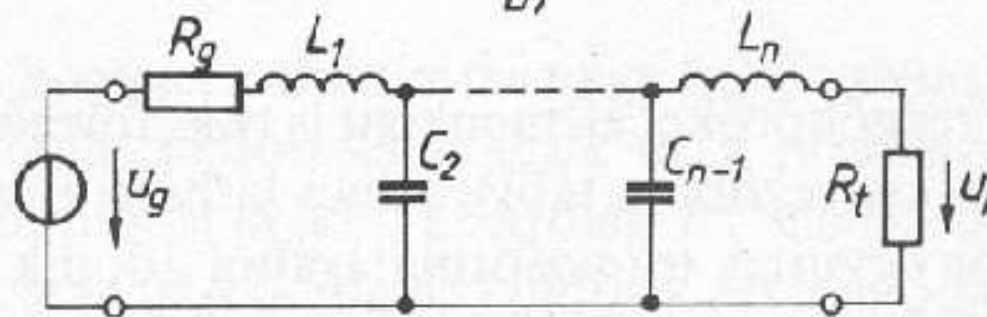


b)



c)

n páros



d)

n páratlan

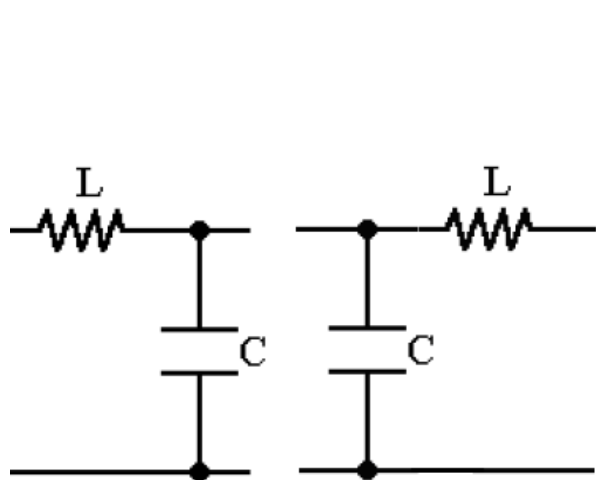
Az átviteli karakterisztika megvalósítása

Az aluláteresztő szűrőt tervezik meg, a kapott paraméterekből a többi szűrő paraméterei is meghatározhatók.

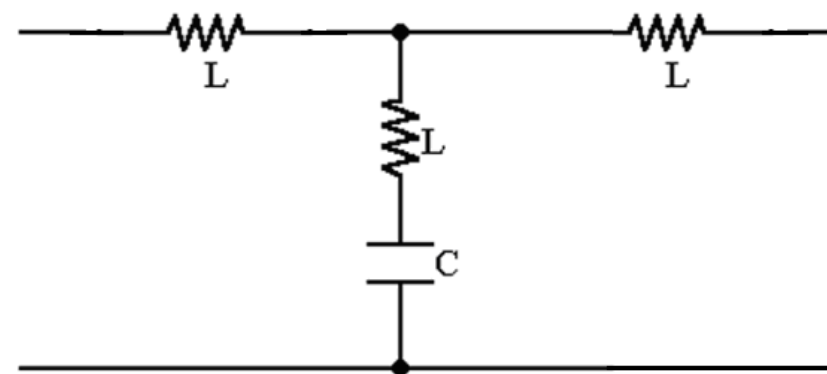
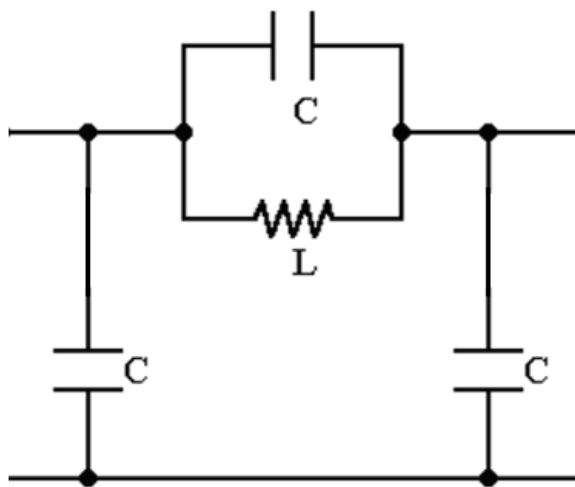
Az aluláteresztő szűrő átviteli karakterisztikájának megvalósítására legelterjedtebb négyféle közelítés:

- Butterworth (maximálisan lapos)
- Csebisev: a zárótartományban monoton
- inverz Csebisev: az áteresztőtartományban monoton
- Cauer (elliptikus): a legmeredekebb levágású

Alaptagok

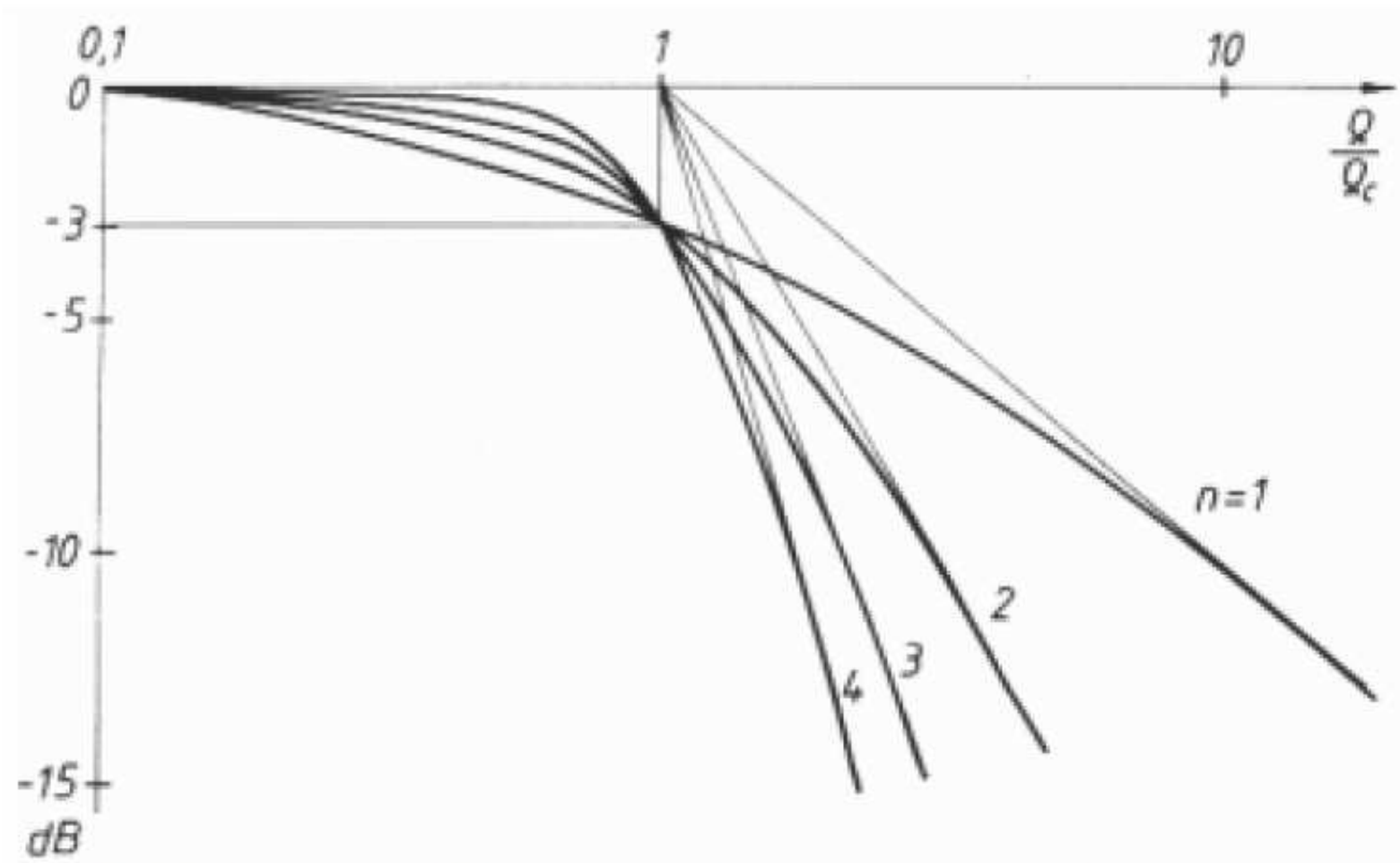


Maxlapos és Csebisev



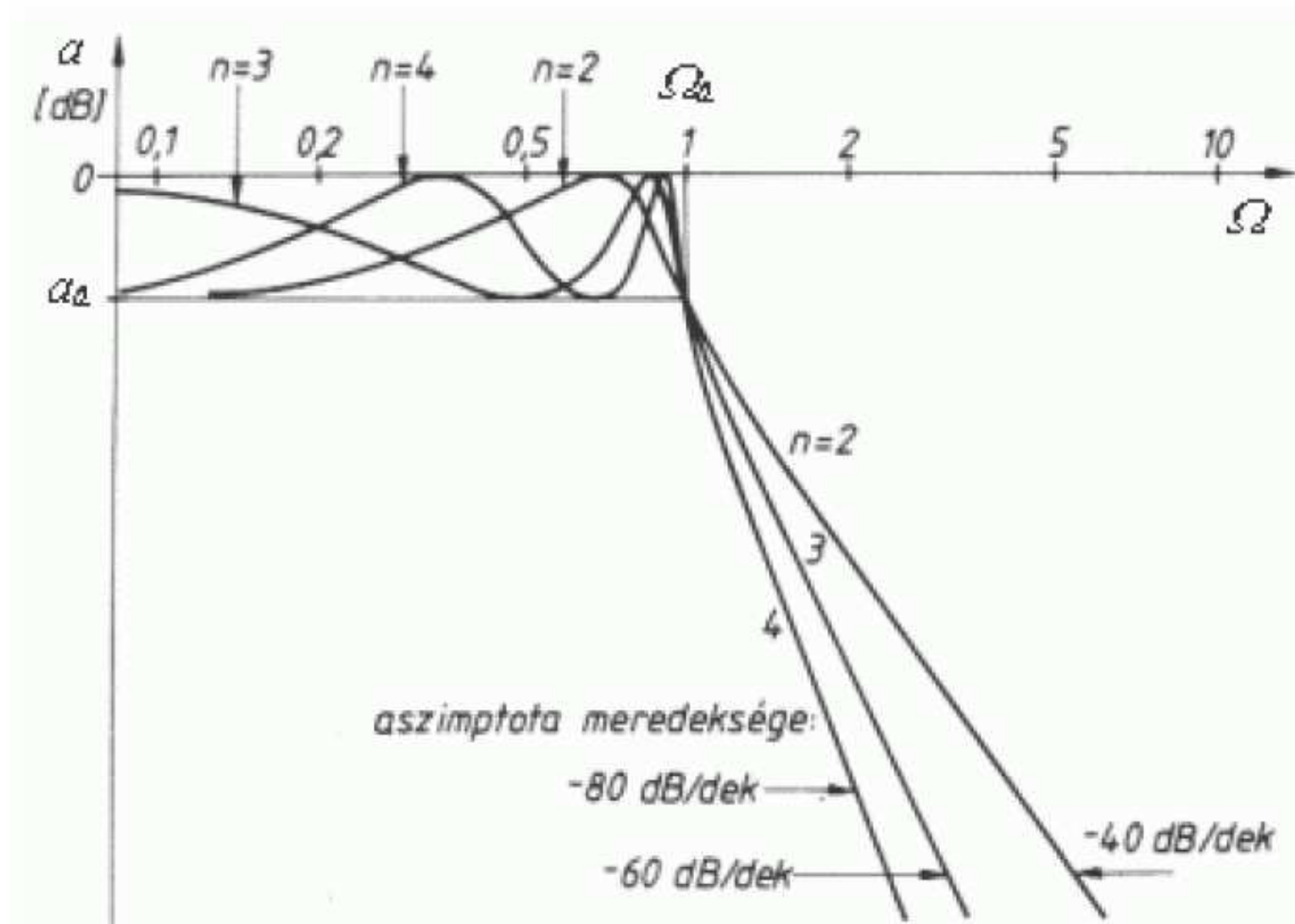
Inverz Csebisev és elliptikus

3.1. Butterworth approximáció



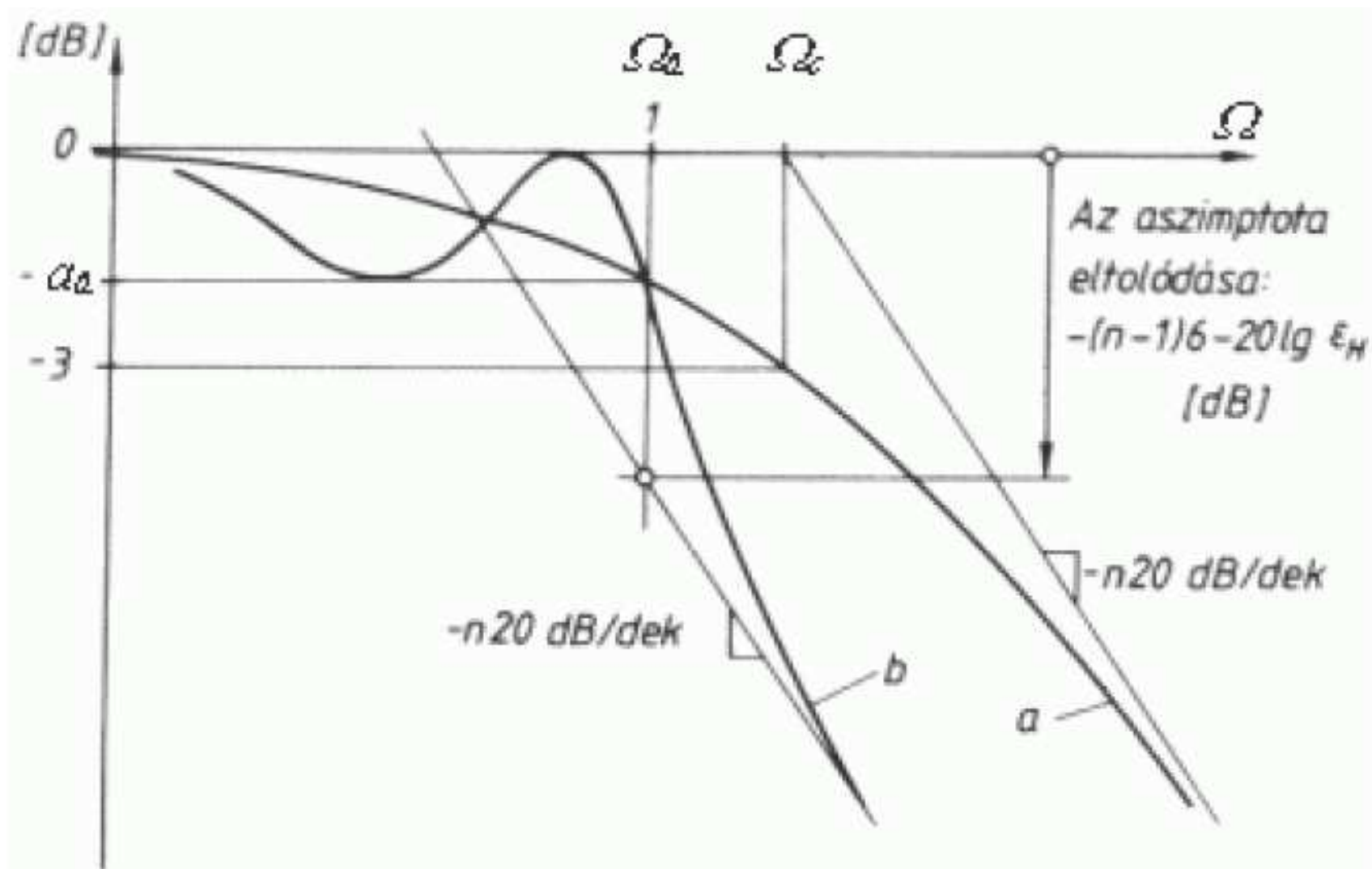
3.1.ábra A különböző fokszerű max. lapos referens aluláteresztők Bode-diagramja

3.2. Csebiseb approximáció



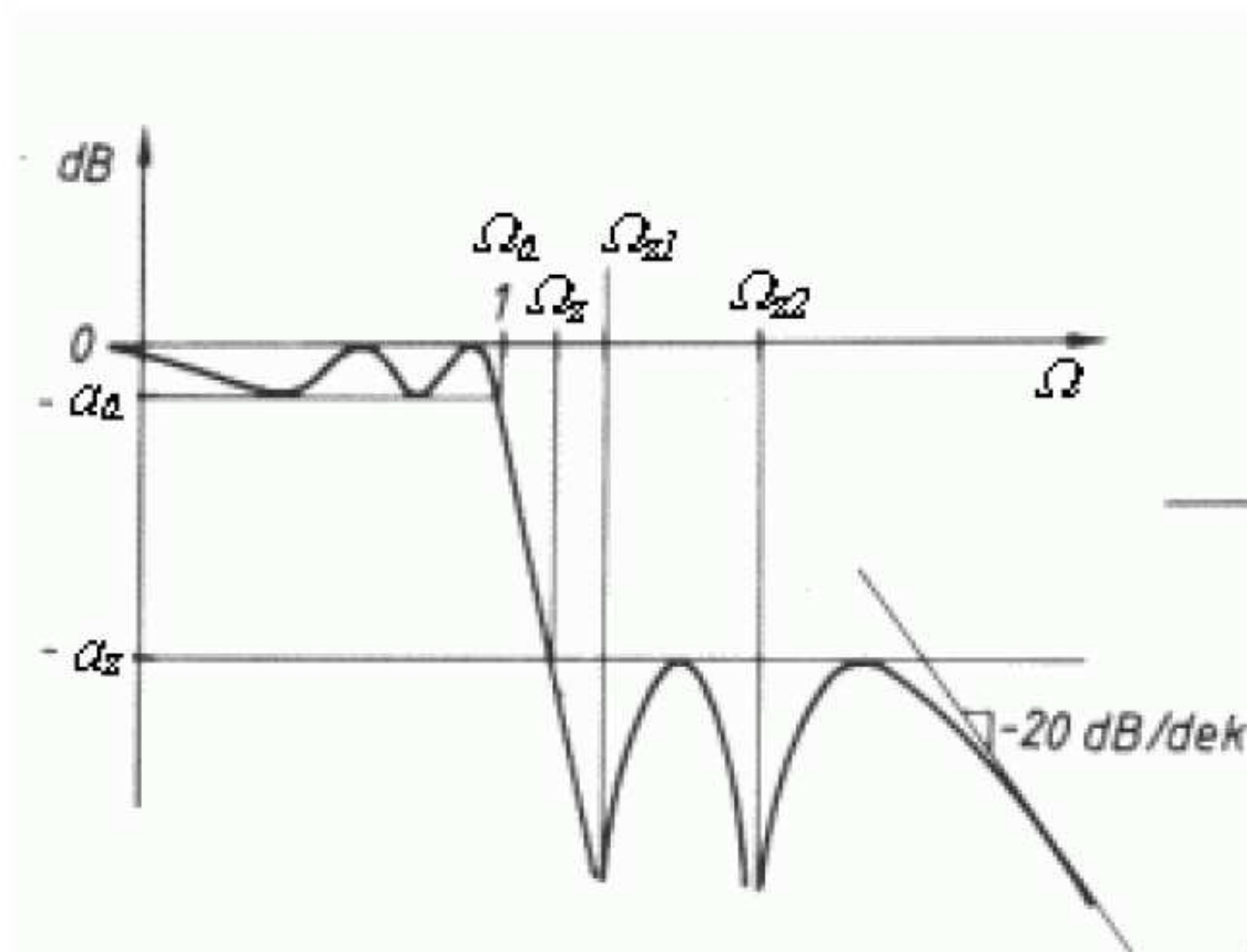
3.3. ábra A Csebisev típusú referens aluláteresztők Bode-diagramja

Butterworth és Csebisev karakterisztikák összehasonlítása



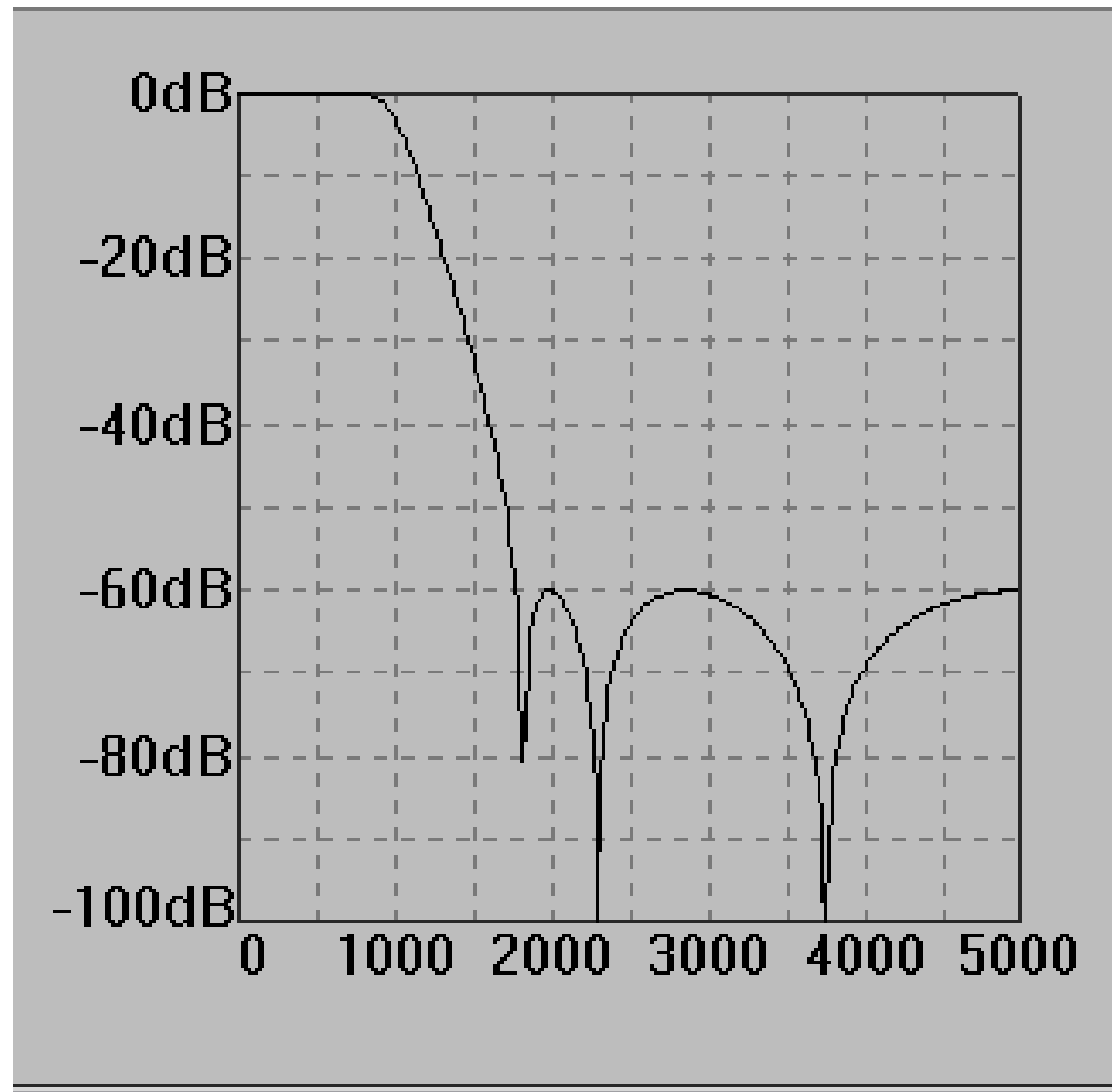
3.4. ábra Azonos foksámú Butterworth (a) és Csebisev (b) összehasonlítása

3.3. Cauer approximáció



3.6. ábra Cauer típusú referens aluláteresztők Bode-diagramja

Inverz Csebisev approximáció



Előnyök

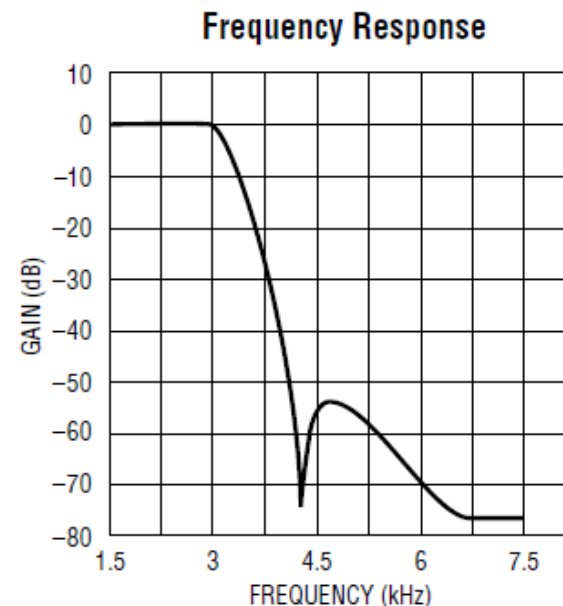
- minimális számú alkatrészből épülnek fel.
- a belső zajuk kicsi.

Hátrányok

- az induktivitások megvalósítása drága,
- viszonylag nagyok a veszteségek,
- nagy a helyigény,
- torzítás,
- érzékeny a mágneses zavaró terekre.

Inkább RC szűrőket alkalmaznak, ill. egyre elterjedtebbek a digitális szűrők.

Példa:



A levágási frekvenciát az órajel frekvenciájával szabályozzák (század része).

Szilárdtest szűrők

Működési elv: elektromos és mechanikai rezgések (hullámok) csatolása. Az elektromos jel mechanikai rezgéssé alakul, majd visszaalakul elektromos jellé.

Csatolási mechanizmusok:

piezoelektromos hatás: elektromos polarizáció mechanikai feszültség vagy deformáció hatására;

elektrostrikió: mechanikai deformáció elektromos térerő (feszültség) hatására.

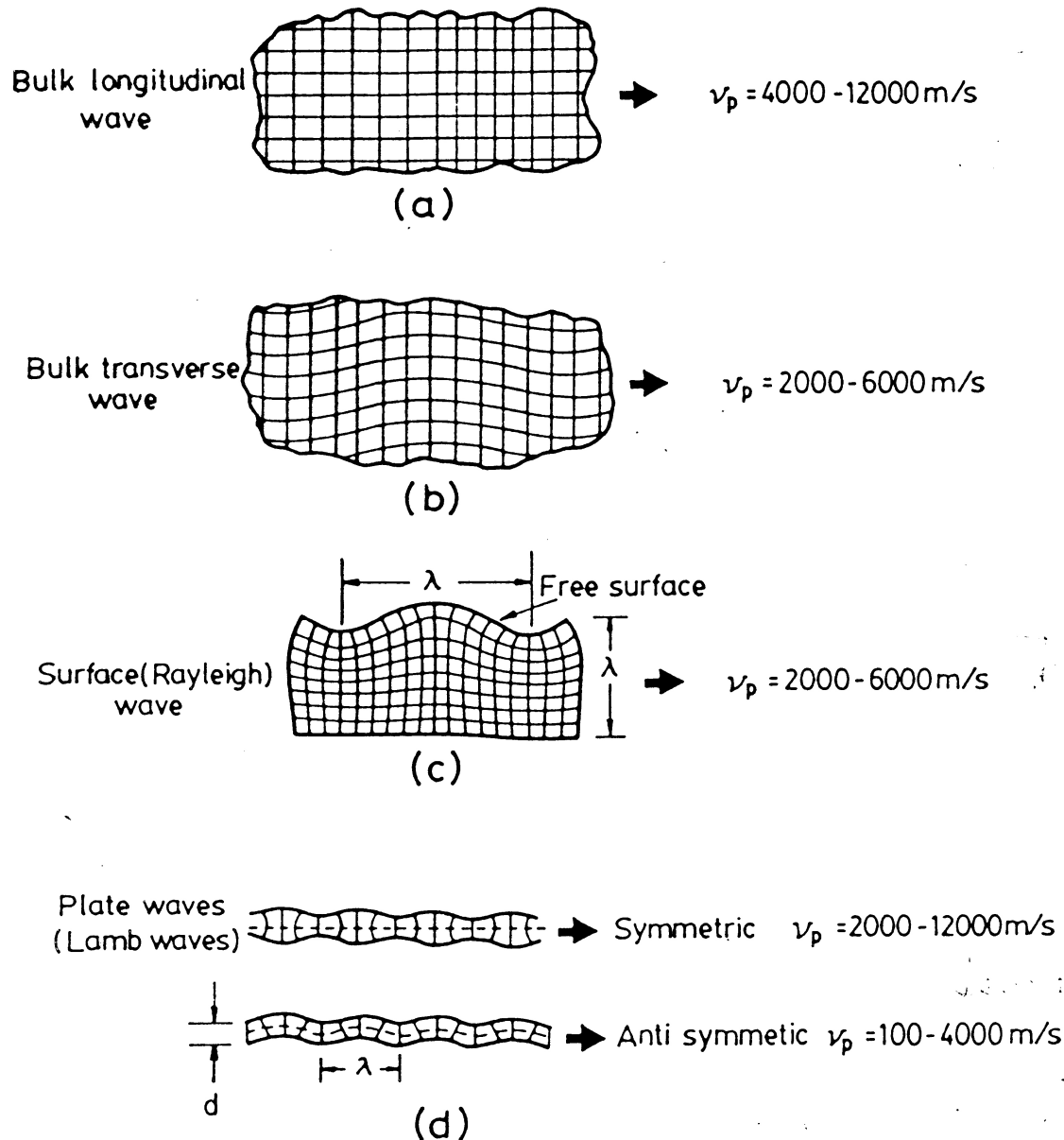
Fontosabb, nagyelektromechanikus csatolási tényezővel (nagy piezoelektromos együtthatóval) rendelkező *kristályok*:

- kvarc (SiO_2),
- lítium-niobát (LiNbO_3).

Alapvető eszközözök:

1. Kvarckristály rezonátor ("rezgő" kvarc).
2. Kvarckristály szűrő.
3. Piezoelektromos hullámszűrő (akusztikus felületi hullámú (AFH) szűrő, surface acoustic wave (SAW) filter).

Rugalmas hullámok és fázissebesség



Atomcsoportok mozgása rugalmas síkhullám terjedésekor.

- Tömbi longitudinális hullám végtelen kiterjedésű anyagban.
- Tömbi transzverzális hullám végtelen kiterjedésű anyagban.
- Felületi akusztikus hullám (Rayleigh-hullám) fél-végtelen kiterjedésű anyagban. A behatolási mélység λ nagyságrendű.
- Lemez-hullámok (Lamb-hullámok), $d < \lambda$.

Kvarckristály rezonátor

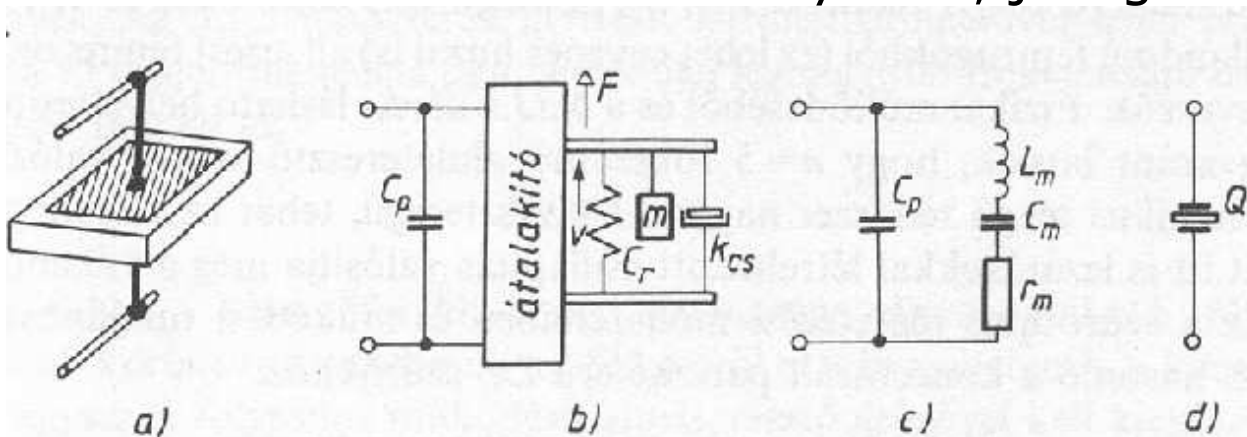
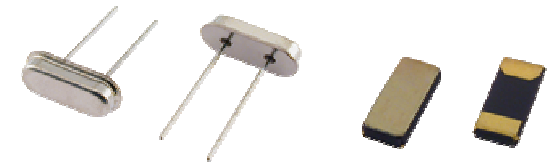
A kvarc rezonátor két szemben lévő lapján fémelektrodával ellátott kvarckristály lapka. Tömbi akusztikus hullámú (bulk acoustic wave, BAW), eszköz. A visszacsatolás a kvarckristályon keresztül történik, elektromechanikus módon. Az alapfrekvencián az akusztikus rezgés fél hullámhossza a kristálylapka vastagságával egyenlő. A d vastagságú kvarckristály mechanikai rezgéseinek alpmódusa a $\lambda/2=d$ feltételből adódik.

A rezgési (rezonancia) frekvencia:

$$f = v_h / \lambda = v_h / (2d)$$

ahol v_h a hangsebesség a kristályban. Kvarcban $v_h \sim 6 \times 10^3$ m/s. $d=1$ mm esetén $f \sim 3$ MHz.

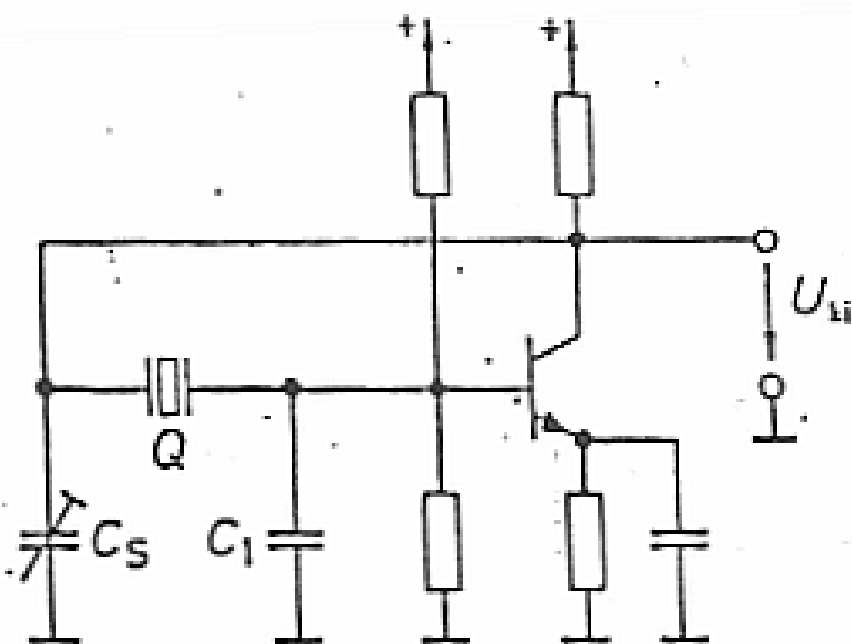
Kvarckristály rezonátorral $\Delta f/f = 10^{-6} - 10^{-10}$ stabilitás érhető el. Rezonanciafrekvencia néhány MHz, jósági tényező > 10000 .



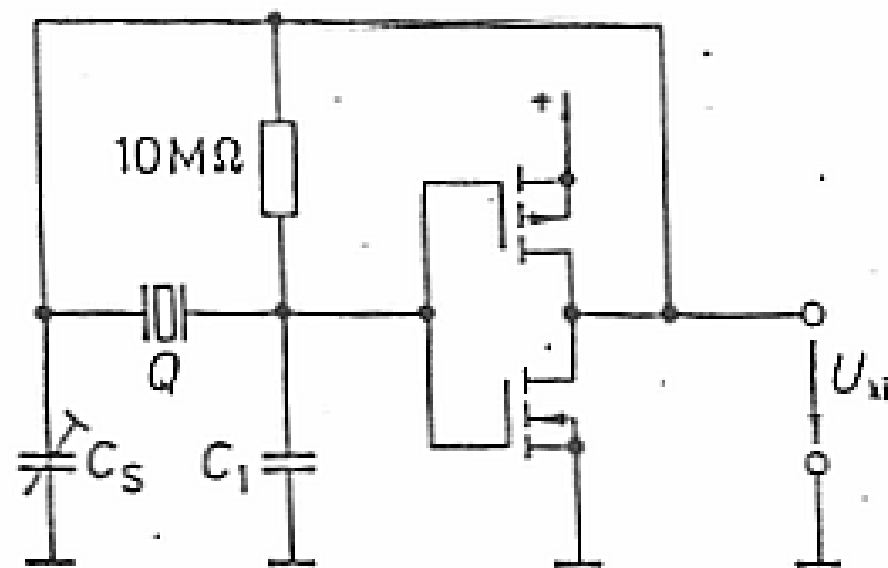
L_m és C_m – a kvarc mechanikai jellemzőit írja le,
 r_m – a veszteségeket reprezentálja,
 C_p – elektródák és kivezetések kapacitása.

Felépítés, elektromechanikus vázlat, elektromos helyettesítő kép, jelölés

Oszcillátor kapcsolások



Pierce-oszcillátor földelt emitteres
alapkapsolásban



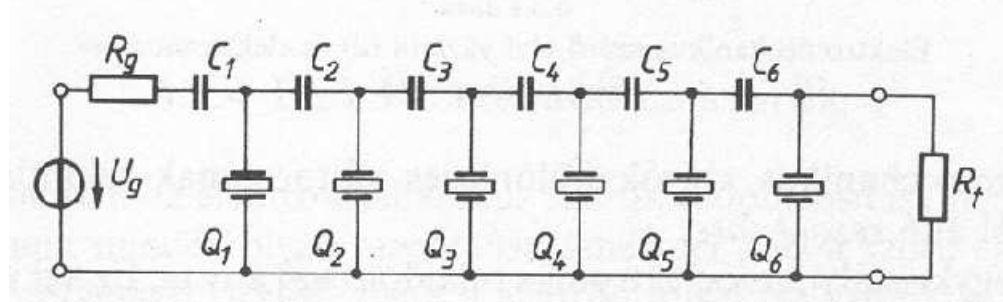
Pierce-oszcillátor CMOS inverterből
kialakított erősítővel

Frekvenciahangolás sorba vagy párhuzamosan kötött forgókondenzátorral. A kvarckristály és a C_1 kondenzátor soros rezgőkört alkotnak. A kvarckristályon és a C_1 kondenzátoron ellenfázisú jel van, így jön létre a pozitív visszacsatolás.

Kvarckristály szűrő

A kvarckristály elektromosan egy nagy jóságú (és nagy frekvenciapontosságú) rezgőkörnek felel meg. Ez alkalmassá teszi sáváteresztő vagy sávzáró szűrők kialakítására.

A kristálysűrőkben több, megfelelő rezonanciára csiszolt kvarckristály összekapcsolásával nagyon pontos frekvenciatartományban működő, kis sáv szélességű sávszűrőt vagy sávzáró szűrőt alakítanak ki.



Hatodfokú sáváteresztő kvarcszűrő

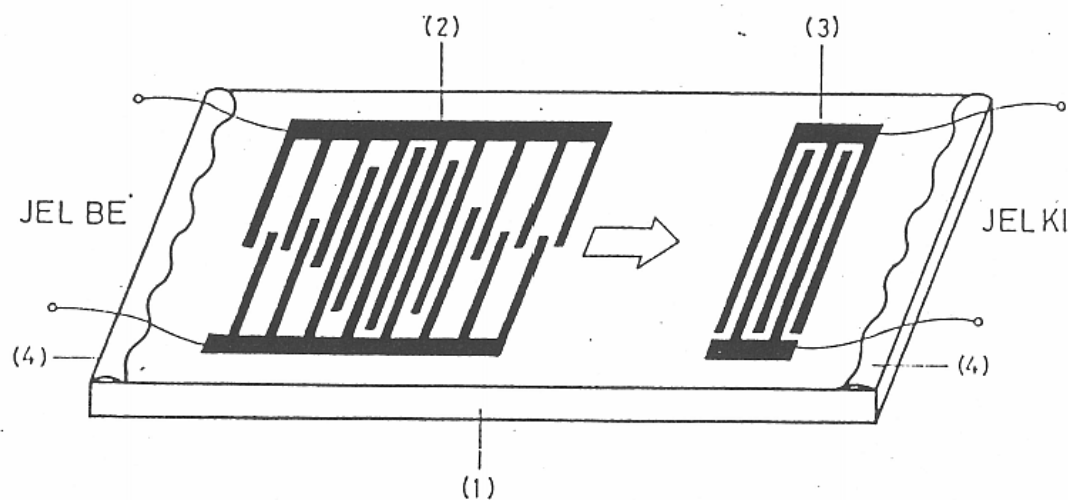


YAESU XF-110CN típusú sáváteresztő kvarcszűrő:
455 kHz frekvencián 250 Hz sáv szélességet biztosít.

Akusztikus felületi hullámú szűrő

Működése az akusztikus felületi hullámok terjedésén alapul. Az elektromos rezgést interdigitális elektródarendszerekkel lehet be- és kicsatolni. Működési frekvenciatartomány néhány MHz-től ~300 MHz-ig.

Sávszűrők kialakítására használják: olcsó, egyszerűen előállítható, megbízható, jó minőségű, hosszú élettartamú szűrők.



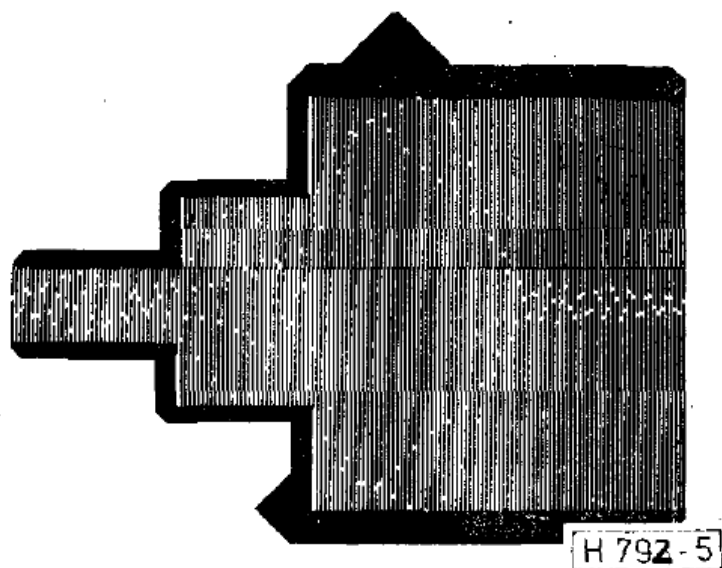
Az akusztikus felületi hullámú TV KF-szűrő elvi felépítése:
(1) piezoelektromos hordozó; (2) bemeneti ID átalakító; (3) kimeneti ID átalakító; (4) hullámmelnyelő közeg



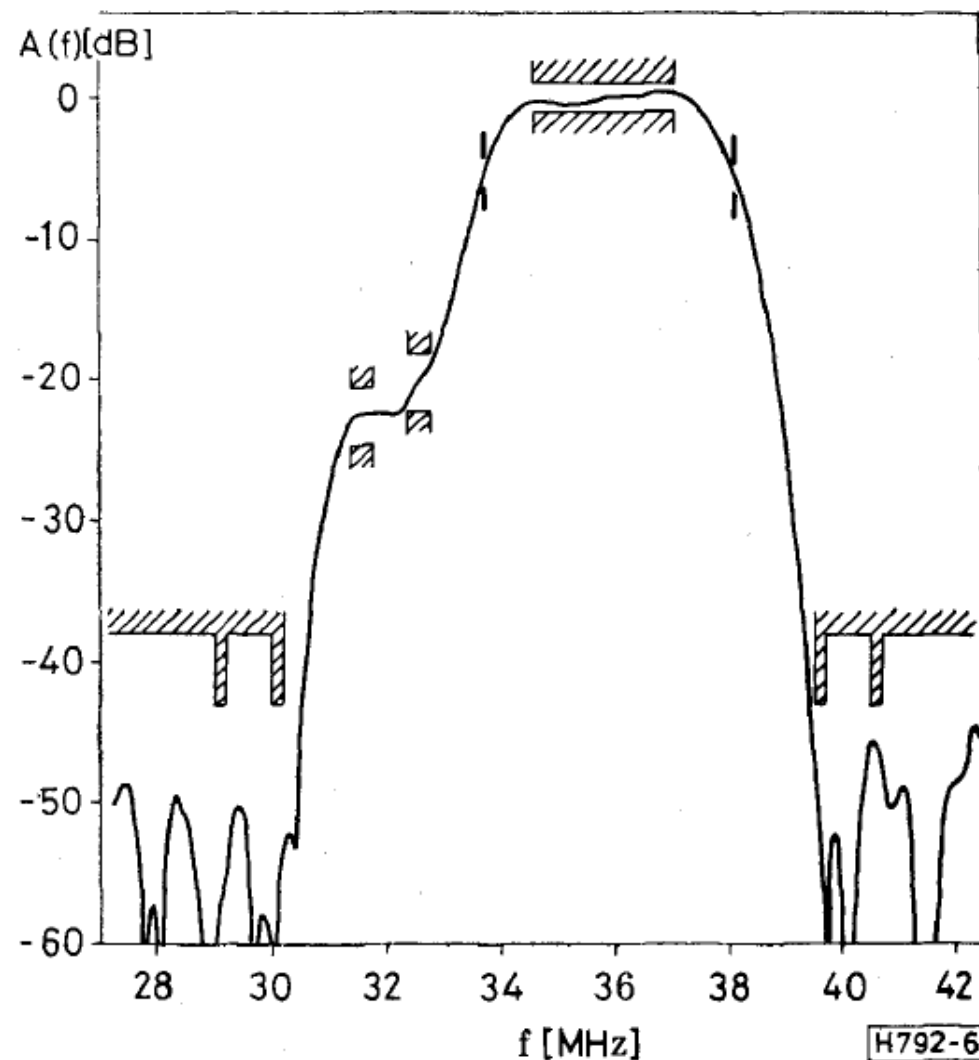
Lítium-niobát TV KF sávszűrő: 34 MHz és 37 MHz között maximum 1,2 dB csillapítás, 30 MHz alatt és 39,5 MHz felett minimum 40 dB.

MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézete

TV KF sávszűrő bemeneti elektródarendszere és átviteli karakterisztikája

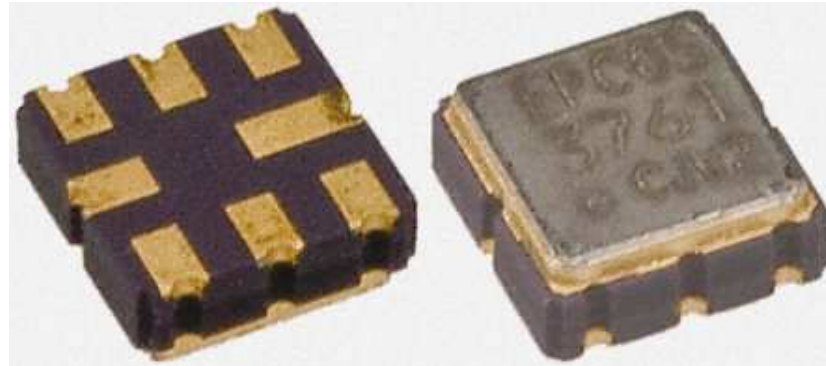


5. ábra. A bemeneti átalakító elektródarendszere nagyobb nagyításban



6. ábra. A szűrő mért relatív amplitúdó-karakterisztikája

Egy mai eszköz



Epcos gyártmányú felületi akusztikus hullámú (SAW) szűrő,
középfrekvencia 315 MHz, sávszélesség 640 kHz, bemeneti ellenállás 50 Ω .
Egységár 314 Ft.

Ellenőrző kérdések

- 1., Milyen frekvenciamenet szerinti szűrőket ismer?
- 2., Milyen előnyeik vannak a passzív analóg szűrőknek?
- 3., Sorolja fel a passzív szűrők néhány alkalmazási példáját!
- 4., Hogy specifikálják a szűrőkkel szembeni követelményeket?
- 5., Mekkora a szűrők fázistolása a határfrekvencián?
- 6., Mekkora a szűrők csillapítása a határfrekvencián?
- 7., Melyik szűrő és milyen feltétellel működik integráló áramkörként?
- 8., Melyik szűrő és milyen feltétellel működik differenciáló áramkörként?
- 9., Milyen szűrőként alkalmazzák a Wien-osztót?
- 10., Milyen RC sávzáró szűrőkapcsolásokat ismer?
- 11., Rajzoljon fel egy RLC sávzáró szűrőt!
- 12., Hogy függ a rezgőkör rezonanciafrekvenciája a veszteségektől?
- 13., Hogy függ a rezgőkör sáv szélessége a veszteségektől?
- 14., Hogy épülnek fel a nagy foksámú LC szűrők?
- 15., Melyek az aluláteresztő LC szűrők átviteli karakterisztikájának legelterjedtebb közelítései?
- 16., Milyen alaptagokat használnak a nagy foksámú LC szűrőkben?
- 17., Milyen előnyeik vannak az LC szűrőknek?
- 18., Milyen hátrányaik vannak az LC szűrőknek?
- 19., Milyen elv alapján működnek a szilárdtest szűrők?
- 20., Melyek a szilárdtest szűrőkben használt csatolási mechanizmusok?

- 21., Melyek a legelterjedtebb piezoelektromos anyagok?
- 22., Melyek az alapvető piezoelektromos elektronikai eszközök?
- 23., Milyen típusú mechanikus hullámok léteznek a szilárd testekben?
- 24., Milyen a kvarckristály rezonátor felépítése?
- 25., Mitől függ a kvarckristály rezonátor rezonanciafrekvenciája?
- 26., Miért használhatók a kvarckristály rezonátorok időmérésre?
- 27., Miből építik fel a kvarckristály szűrőket?
- 28., Milyen az akusztikus felületi hullámú szűrők felépítése?
- 29., Hogy működnek az akusztikus felületi hullámú szűrők?
- 30., Milyen előnyeik vannak az akusztikus felületi hullámú szűrőknek?