

Elektró 7

7. Aktív szűrők műveleti erősítővel: RC alaptagok, sáváteresztő(Sallen-Key), sávzáró(kettős T, Wien-Robinson)

-Azok a négy pólusokat nevezzük szűrőnek, amelyek frekvenciafüggő átviteli tulajdonságokkal rendelkeznek. A szűrők feladata áteresztetni a kívánt frekvenciatartományba eső jeleket, a többit pedig csillapítani

-aktív szűrőkapcsolások: ellenállásokat, kondenzátorokat és aktív áramköri elemeket tartalmaz.

-aktív szűrők alkalmazása nagyon előnyös kisfrekvenciás tartományban. Kisfrekvencián 1kHz, a passzív szűrők méretezése nagyon nagy értékű induktivitásokat feltételez, amelyek elkészítése csak szélsőséges gyakorlati jellemzők mellett lehetséges: nagyon nagy mértéket és nagyon kicsi jósági tényező.

-felső frekvencia határuk megközelítőleg 1MHz

szűrőkkel szemben támasztott legfontosabb gyakorlati követelmények:

-minnél egyenletesebb átvitel az áteresztő sávban

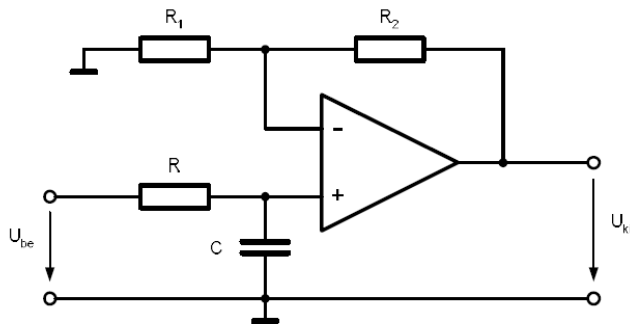
-minél meredekebb vágás a záró tartományban

-a fázistolás az áteresztő tartományban a frekvencia lineáris függvénye legyen

aluláteresztő, feluláteresztő, sávzáró, sáváteresztő szűrők

-alkalmazási területek: tápegységek kimeneti feszültségének szűrése (aluláteresztő), hangszínszabályozók (alul és feluláteresztők), vevőkészülékek bemenő köre(sávszűrő), hangolt erősítők (sávszűrők), oszcillátorok (sávszűrők)

Aktív alul áteresztő szűrők:



4.1 ábra Aluláteresztő szűrő alapkapcsolás

-R1 és R2 meghatározza az erősítést, az RC pedig a passzív alul áteresztő szűrő
A C kondenzátoron eső bemeneti feszültség értéke:

$$u_c = \frac{X_C}{R + X_C} \cdot u_{be} = \frac{\frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}}{R + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}} \cdot u_{be} = \frac{1}{1 + j \cdot \omega \cdot R \cdot C} \cdot u_{be}$$

Másfelől, a műveleti erősítő visszacsatolt erősítése:

$$A_{uvo} = \frac{u_{ki}}{u_c} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

A két egyenletből következik:

$$A_{uv} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{1}{1 + j \cdot \omega \cdot R \cdot C}$$

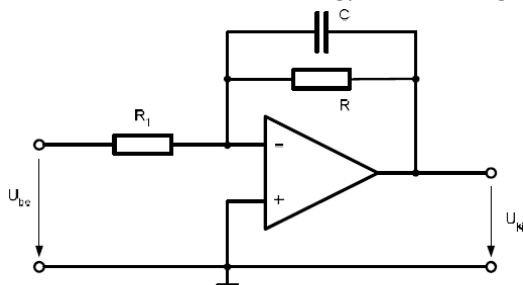
Az aluláteresztő szűrő által beiktatott egyetlen töréspont (elsőfokú szűrő) frekvenciája:

$$\omega_0 = \frac{1}{R \cdot C} \quad \Rightarrow \quad f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Az áteresztési tartományban a szűrő aktív jellegét bizonyítja, hogy az erősítés nagysága:

$$A_{uv} = A_{uvo} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Elsőfokú alul áteresztő szűrő gyakorlati megvalósítása:



4.2 ábra Elsőfokú aluláteresztő szűrő kapcsolás

-invertáló elsőfokú aktív alul áteresztő szűrő, a bemeneten nem alkalmazunk csatoló-kondenzátort, így az alsó határfrekvencia 0 Hz.

-ha a C kondenzátoron keresztül a nagyfrekvenciás jeleket visszacsatoljuk, mivel a kondenzátornak nagyobb frekvenciákon kicsi az ellenállása. Mivel az erősítőknek erősítő hatása van, így a kapcsolás aktív

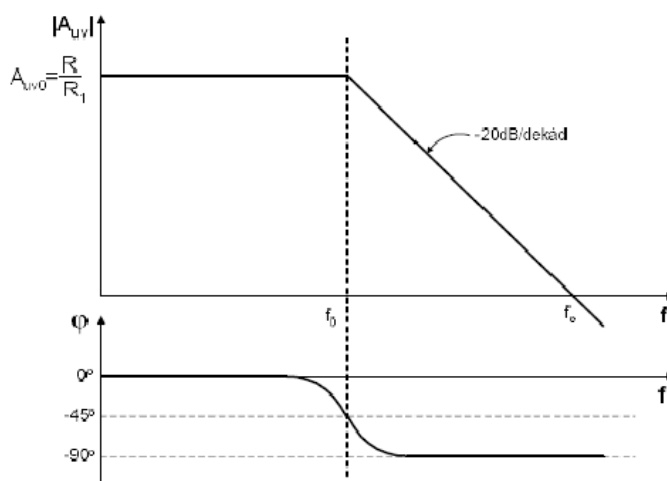
Komplex számok alkalmazásával:

$$A_{uv} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{Z_v}{Z_s} = -\frac{R \times \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}}{R_1} = \frac{R}{1 + j \cdot \omega \cdot R \cdot C} = -\frac{R}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + j \cdot \omega \cdot R \cdot C}$$

ahol Z_v a visszacsatoló soros impedancia és Z_s a bemeneti soros impedancia.

Az áramkör átviteli jelleggörbáját a 4.3 ábra szemlélteti. Megfigyelhető, hogy a kimeneti feszültség, a töréspont frekvenciáját túllépve, -20dB/dekád meredekséggel csökken. Az áteresztési

tartományban a az erősítés nagysága: $A_{uv} = -\frac{R}{R_1}$



4.3. ábra Elsőfokú aluláteresztő szűrő átviteli jelleggörbéje

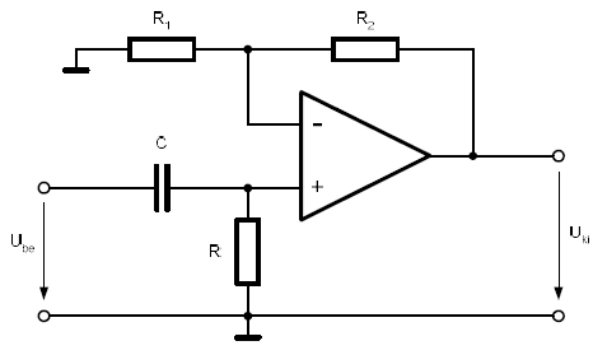
Az aluláteresztő szűrő által beiktatott töréspont frekvenciája:

$$\omega_0 = \frac{1}{R \cdot C} \quad \Rightarrow \quad f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

-a fázistolás kis frekvenciákon 0, töréspontnál -45, nagyfrekvencián pedig -90 hez közelít

-ha a szűrő záró tartományi csillapítása nem elég, akkor több szűrőáramkört kapcsolhatunk sorba, így a csillapítási karakterisztika sokkal meredekebb lesz.

Aktív felül áteresztő szűrő



4.4 ábra Felüláteresztő szűrő alapkapsolás

Az R ellenálláson eső bemeneti feszültség értéke:

$$u_R = \frac{R}{R + X_C} \cdot u_{be} = \frac{R}{R + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}} \cdot u_{be} = \frac{j \cdot \omega \cdot R \cdot C}{1 + j \cdot \omega \cdot R \cdot C} \cdot u_{be}$$

Másfelől, a műveleti erősítő visszacsatolt erősítése:

$$A_{inv} = \frac{u_{ki}}{u_C} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

A két egyenletből következik:

$$A_{inv} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{j \cdot \omega \cdot R \cdot C}{1 + j \cdot \omega \cdot R \cdot C}$$

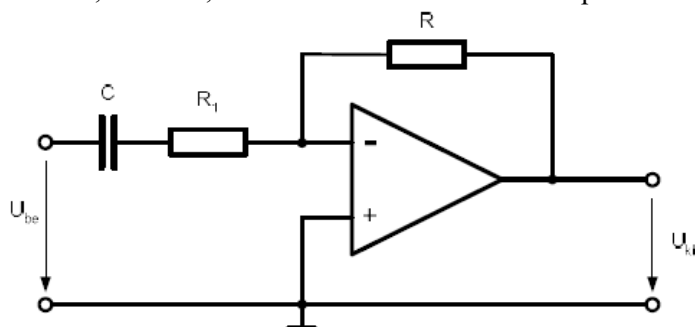
Az felüláteresztő szűrő által beiktatott egyetlen töréspont (elsőfokú szűrő) frekvenciája:

$$\omega_0 = \frac{1}{R \cdot C} \quad \Rightarrow \quad f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Az áteresztési tartományban a szűrő aktív jellegét bizonyítja, hogy az erősítés nagysága:

$$A_{inv} = A_{inv} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

-elsőfokú, inveráló, felüláteresztő szűrőáramkör kapcsolás:



4.5 ábra Elsőfokú fázisfordító felüláteresztő szűrő kapcsolás

A felüláteresztő szűrő átviteli függvénye:

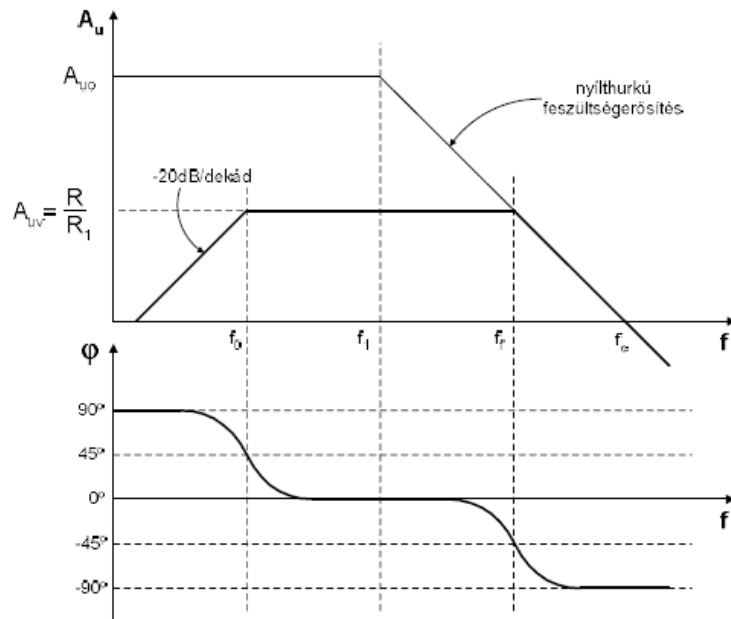
$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{Z_v}{Z_s} = -\frac{R}{\sqrt{R_1^2 + X_C^2}}$$

Komplex számok alkalmazásával:

$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{Z_v}{Z_s} = -\frac{R}{R_1 + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}} = -\frac{R}{R_1} \cdot \frac{j \cdot \omega \cdot C \cdot R_1}{1 + j \cdot \omega \cdot C \cdot R_1}$$

A szűrő törésponti frekvenciáját a soros elemek határozzák meg:

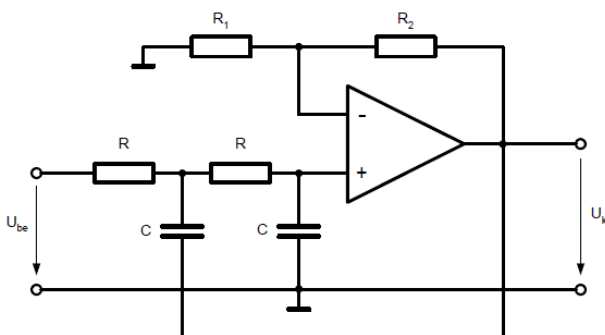
$$\omega_0 = \frac{1}{R_1 \cdot C} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot C}$$



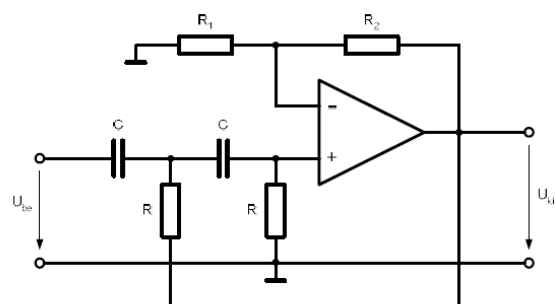
4.6 ábra Elsőfokú felüláteresztő szűrő átviteli jelleggörbéje

-gyakorlatban igen hajlamosak a begerjedésre vagy kiemelésre az áteresztőtartományban. A meredekség itt is javítható, több szűrő egymás után kapcsolásával

Másodfokú

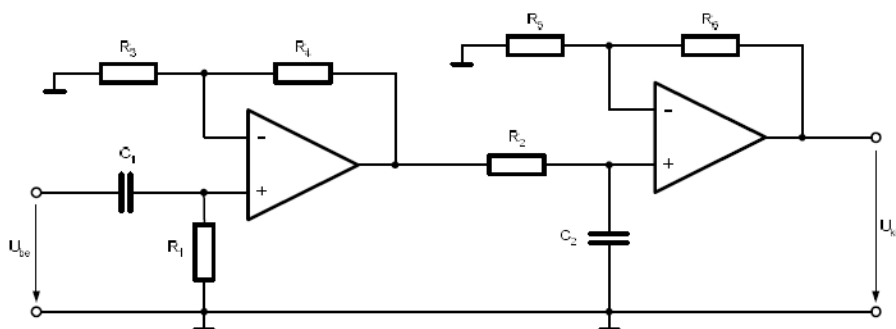


4.8 ábra Másodfokú aluláteresztő aktív szűrőkapcsolás



4.9 ábra Másodfokú felüláteresztő aktív szűrőkapcsolás

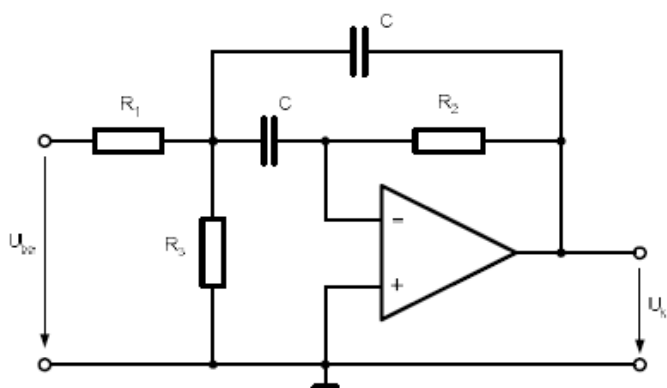
Aktív sávszűrő:



4.10 ábra Sávszűrő alapkapsolás

Az alsó és felső töréspont frekvenciái:

$$f_a = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot C_1} \quad \text{és} \quad f_f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot C_2}$$



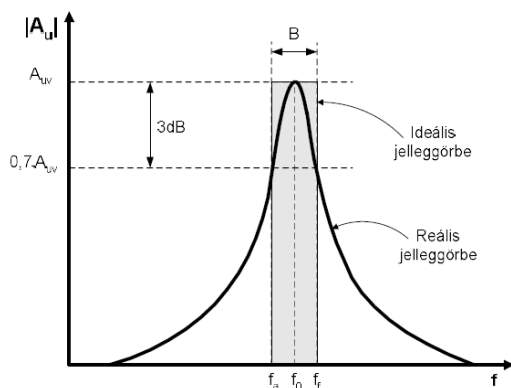
4.11 ábra Többszörös negatív visszacsatolású sávszűrő kapcsolás

Abban az esetben, ha $R_1 = R_2 = \frac{R}{2}$ és $R_3 = 4 \cdot R$, az átviteli függvény a következő alakra egyszerűsíthető:

$$A_{uv} = \frac{u_{id}}{u_{be}} = - \frac{j \cdot \omega \cdot R \cdot C}{1 + \frac{1}{2} \cdot j \cdot \omega \cdot R \cdot C + (j \cdot \omega \cdot R \cdot C)^2}$$

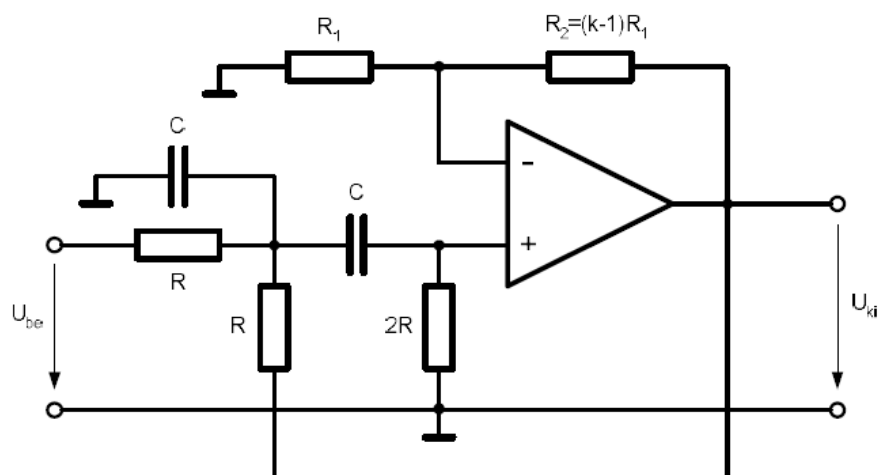
Ebben az esetben a sávközép frekvencia:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$



4.12 ábra Többszörös negatív visszacsatolású sávszűrő átviteli jelleggörbéje

-megfelelő kompenzálás esetén stabil működésű, gerjedésre nem hajlamos
 -két $R/2$ értékű ellenállást együttfutó potenciométerekkel helyettesítve, a sávközép frekvencia közel lineáris változtatása lehetséges, anélkül hogy a szűrő jósági tényezője számottevően változna.



4.13 ábra Egyszeres pozitív visszacsatolású sávszűrő

A sávközép frekvencia értéke:

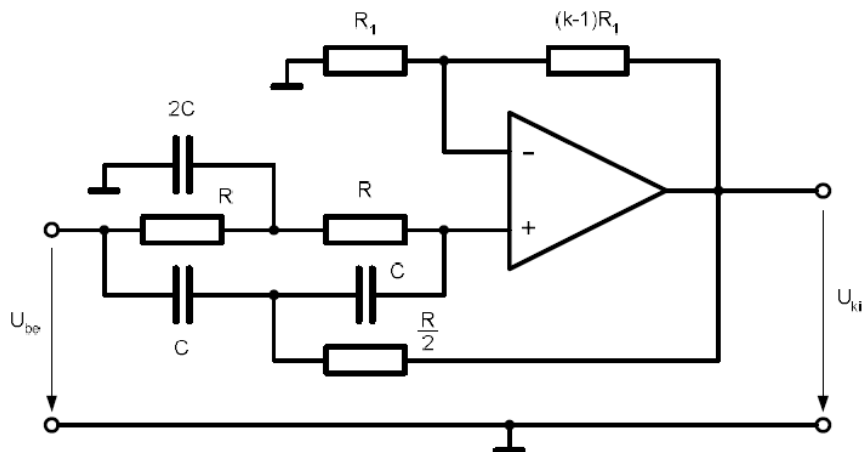
$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Következik, hogy a szűrő erősítése f_0 frekvencián:

$$A_r = \frac{k}{3 - k}$$

Ha $k = 3$, akkor az erősítés végtelen nagy, azaz gerjedés lép fel. A belső k erősítés beállításának pontosságára annál érzékenyebb az áramkör, minél közelebb van k értéke a 3-hoz.

Aktív sávzáró szűrők:

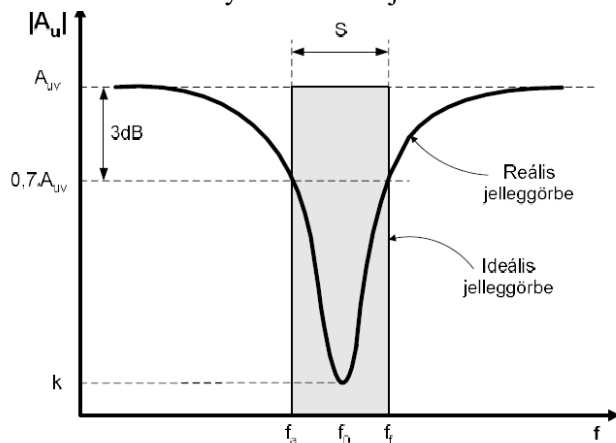


4.14 ábra Aktiv kettős T sávzáró szűrőkapcsolás

-sávközép frekvencia :

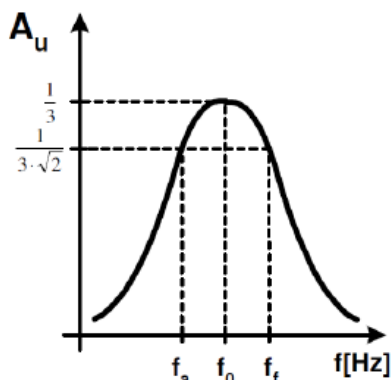
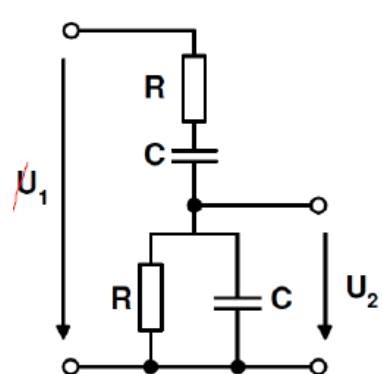
$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

-az átviteli tartományon kívül eső jeleket erősen csillapítja.

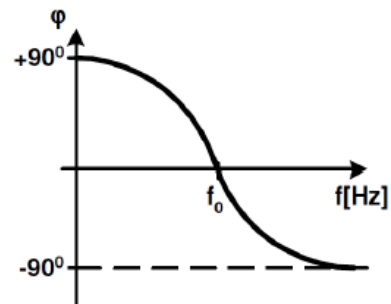


4.15 ábra Sávzáró szűrő átviteli jelleggörbéje

Wien-Robinson sávzáró:

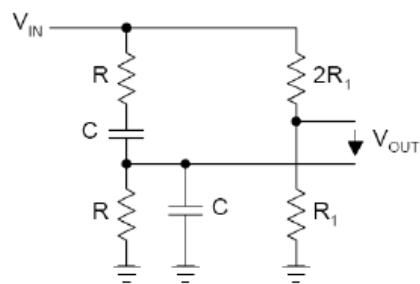


$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$



-akkor kapjuk, ha egy felül és egy alul átersztő szűrőt sorba kapcsolunk.

Wien-Robinson híd (sávzáró szűrő)



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

Passzív

Aktív

