

Passzív és aktív aluláteresztő szűrők

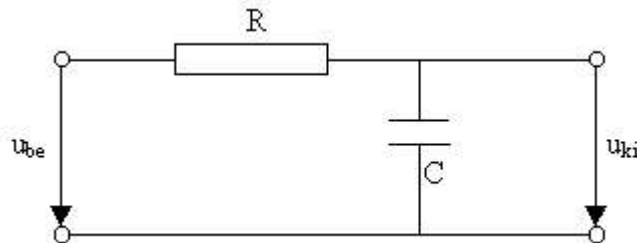
1. A gyakorlat célja:

A Micro-Cap és Filterlab programok segítségével tanulmányozzuk a passzív és aktív aluláteresztő szűrők felépítését, jelátvitelét. A jelátvitel és fázisforgatás frekvencia függőségének tanulmányozása. Szűrőtípusok közti különbségek vizsgálata.

Egy aktív szűrő tervezése és működésének szimulálása.

2. Elméleti bevezető

Az aluláteresztő szűrők olyan áramkörök, melyek a kisfrekvenciájú jeleket változatlanul átengedik, a nagyfrekvenciájú jeleket pedig a frekvencia növekedésével arányosan csillapítja. A legegyszerűbb aluláteresztő szűrő egy ellenállásból és kondenzátorból áll, az 7.1. ábrán feltüntetett kapcsolási módban.



7.1. ábra

Az erősítést megadja:

$$A = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (7.1.)$$

Az erősítés abszolút értékét valamint a fázisforgatást megadja:

$$|A| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}}; \quad \varphi = -\arctg(\omega RC); \quad (7.2.)$$

A határfrekvencia vagy vágási frekvencia:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}; \quad (7.3.)$$

Ha $f \gg f_0 \Rightarrow |A| \approx \frac{1}{\omega RC} \Rightarrow$ az erősítés fordítottan arányos a frekvenciával és $u_{ki} = \frac{1}{RC} \int u_{be} dt \Rightarrow$ integráló áramkörként működik.

Ha $f = f_0$, a kimeneti feszültség u_{ki} , a bemeneti jel u_{be} lineárisan átvitt és integrált részének lineáris kombinációja (összege).

Ha $f \ll f_0$ akkor a kimeneti és bemeneti jel megegyezik $u_{ki} = u_{be}$.

Bevezetjük a következő jelöléseket:

$$p = j\omega; \quad P = pRC; \quad P = \frac{p}{\omega_0} = \frac{j\omega}{\omega_0} = j \frac{f}{f_0}$$

Így a 7.1. képlet a következő képpen alakul:

$$A = \frac{1}{1 + p} \quad (7.4.)$$

Ha az igények meredekebb erősítés csökkenést kívánnak a vágási frekvencia közelében, akkor n aluláteresztő szűrőt kapcsolunk sorba, ekkor az erősítés képlete:

$$A = \frac{1}{(1 + aP)(1 + bP)(1 + cP) \dots} \quad (7.5.)$$

ahol a, b, c.... pozitív valós együtthatók.

Ha azonos vágási frekvenciájú független aluláteresztő szűrőket kapcsolunk sorba akkor a=b=c=..., ami a kritikus csillapításnak felel meg.

Az aluláteresztő szűrő frekvencia menete általában a következő alakú:

$$A = \frac{A_0}{1 + c_1 P + c_2 P^2 + c_3 P^3 + \dots + c_n P^n} \quad (7.6.)$$

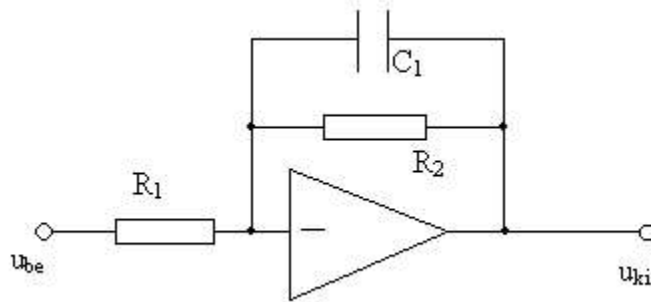
$c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$ pozitív valós együtthatók.

Ilyen frekvenciafüggést passzív RC hálózattal nem lehet megvalósítani, tekercset is tartalmazó vagyis RLC hálózatra van szükség. Az induktivitások megvalósítása nehézségeket okoz, mert kis frekvencián nagy induktivitásra van szükség. Az induktivitások alkalmazását elkerülhetjük, ha aktív alkatrészeket, műveleti erősítőket használunk. Ezek az aktív szűrők. A szűrő típusától függően (Butterworth, Csebisev vagy Bessel) a 7.6. képletben az együtthatóknak különböző értékük van. Ezt az alábbi táblázat adja meg.

7.1.táblázat

n (a szűrő fokszáma)	a ₁	b ₁	b ₂	a szűrő típusa
1	1,352	-	-	Csebisev
2	0,987	-	-	
3	3,48	0,369	1,283	
1	1	-	-	Bessel
2	1,362	-	-	
3	0,756	1	0,477	

A 7.2. ábra egy elsőfokú aluláteresztő szűrőt mutat be, fázisfordító műveleti erősítővel.



7.2. ábra

Az erősítés frekvencia-menete:

$$A = -\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + P\omega_0 R_1 R_2} \quad (7.7.)$$

Méretezéshez felvesszük előre a vágási frekvenciát f_0 az A_0 egyenfeszültségű erősítést és a C_1 kapacitást. Ezt összehasonlítva bármely aluláteresztő szűrő frekvencia menetét megadó egyenlettel:

$$A = \frac{A_0}{(1 + c_1 P + c_2 P^2)(1 + b_1 P + b_2 P^2)} \quad (7.8.)$$

melyben az a_1, a_2, b_1, b_2 szűrőtípustól függően adottak, megkapjuk az ellenállás értékeket ($a_1 = 1$):

$$R_2 = \frac{a_1}{2\pi f_0 C_1}; \quad R_1 = \frac{a_1}{2\pi f_0 C_1 A_0} \quad (7.9.)$$

A szűrőkarakterisztika meredekséget nagyobb fokszámú szűrővel növelhetjük, melynek megvalósítására első és másodfokú szűrőket kapcsoljuk sorba.

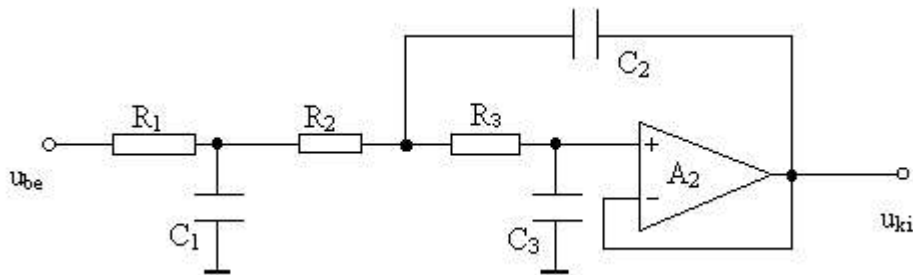
A 7.3. ábra egy harmadfokú Buthrworth-típusú aluláteresztő szűrőt mutat be, melynek határfrekvenciája $f_0=100\text{Hz}$.

7.3. ábra

Előre felvesszük az $R_{11}=R_{21}=R_{22}=10\text{k}\Omega$ értéket, majd meghatározzuk a kapacitások értékeit:

$$\begin{aligned} C_{11} &= \frac{a_1}{2\pi f_0 R} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 10 \cdot 10^3} = 159\text{nF} \\ C_{21} &= \frac{b_2}{\pi f_0 R b_1} = \frac{1}{\pi \cdot 100 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 1} = 318\text{nF} \\ C_{22} &= \frac{b_1}{4\pi f_0 R} = \frac{1}{4\pi \cdot 100 \cdot 10 \cdot 10^3} = 79,6\text{nF} \end{aligned} \quad (7.10.)$$

A 7.4. ábra egy egyszerűsített Buthrworth-típusú szűrőt mutat be, $f_0=100\text{Hz}$, melyben az elsőfokú szűrőt egy passzív aluláteresztő szűrővel cseréltük fel:



7.4. ábra

Az ellenállások és kapacitások értékei:

$R_1=10k$, $R_2=10k$, $R_3=10k$, $C_1=222nF$, $C_2=564nF$, $C_3=32,2nF$.

3. A mérés menete

A *Micro-Cap* szimulációs program segítségével tanulmányozzuk a 7.1, 7.2, 7.3 és 7.4 ábrán feltüntetett aluláteresztő szűrőket. A szűrők már léteznek a program keretén belül, Szűrő1.cir, Szűrő2.cir, Szűrő3.cir és Szűrő4.cir elnevezéssel.

Először a passzív aluláteresztő szűrőt (7.1.ábra, Szűrő1.cir) vizsgáljuk. A bemenetre négyszögjel generátort kapcsolunk (*Pulse Source*, *Model=Square*), melynek frekvenciáját változtatjuk, úgy hogy szűrő vágási frekvenciájához viszonyítva a következő értékeket vegye fel: $f_1 < f_0/10$, $f_2 = f_0$ és $f_3 > 10f_0$. A kimeneti jel formáját vizsgáljuk a három különböző frekvenciájú négyszögjelre.

A négyszögjel periódusát a P_5 paraméter határozza meg. A P_3 és P_4 paraméterek a négyszögjel magas ($\nabla 1 \nabla$) illetve alacsony ($\nabla 0 \nabla$) szintjének idejét adja. Mivel egyforma kitöltési tényezőjű négyszögjellel dolgozunk $P_3 = P_4 = P_5/2$. A szűrőt alkotó ellenállás és kondenzátor értékek meghatározzák a szűrő vágási frekvenciáját (7.3 képlet). Ennek megfelel a $T_0 = 1/f_0$ és ehhez viszonyítva határozzuk meg a négyszögjel periódusát ($T_1 > 10T_0$, $T_1 = T_0$, $T_1 < T_0/10$).

A szűrő viselkedését a megadott bemeneti jelekre a *Transient Analysis*-el végezzük. A *Transient Analysis Limits* ablakban a következő paramétereket kell beállítani:

Time Range – az időintervallum melyben a bemeneti és kimeneti jeleket vizsgáljuk, és egyenlő kell legyen 2-3 bemeneti jel periódus időtartamával.

X Expression = T az idő függvényében ábrázoljuk a mért (szimulált) mennyiségeket.

Y Expression – azokat a pontokat adjuk meg, melyekben a jel formáját vizsgáljuk, ez esetben a szűrő bemenetén és kimenetén a feszültség változást, tehát [v(a) és v(b)].

A kapott kimeneti jelformákat minden esetben lerajzoljuk vagy lementjük.

A passzív szűrő frekvenciamenetének meghatározásához *AC Analysis*-t végzünk. Az *AC Analysis Limits* ablak paraméterei:

Frequency Range – az a frekvencia tartomány melyben a szűrő viselkedését tanulmányozzuk. Először a frekvencia sáv felső, majd alsó határértékét adjuk meg, melyeket vesszővel választunk el.

X Expression = F a frekvencia függvényében ábrázoljuk a mért mennyiségeket.

Y Expression – a szűrő kimeneti jelének amplitudó változását (csillapítást dB-ben) és fázisának változását (fázisforgatást) vizsgáljuk, tehát [db(v(b)) és ph(v(b))].

A jelformákat lementjük, bejelölve az f_0 vágási frekvencián a csillapítás és fázisforgatás értékét.

Hasonló módon járunk el a 7.2. ábrán feltüntetett elsőfokú aktív szűrő esetében is (Szűrő2.cir). A jelformákat lerajzoljuk, vagy lementjük.

A 7.3. ábrán bemutatott harmadfokú Butterworth-típusú szűrő esetében is hasonló módon járunk el (Szűrő4.cir). A kapott jelformákat lementjük.

A 7.1. táblázatban megadott együtthatókkal alakítsuk át a Butterworth-típusú szűrőt Csebisev vagy Bessel típusúra (7.10 képletek), meghagyva a vágási frekvencia értékét ($f_0=100\text{Hz}$). Végezzük el a szimulációt és a jelformákat mentjük le, majd hasonlítsuk össze a Butterworth-típusú szűrő jelformáival!

A *Filterlab* program segítségével hasonlítsuk össze a különböző szűrő típusok áramköri rajzait, frekvenciamenetét ugyanarra a vágási frekvenciára!

Figyeljük meg hogyan módosul a frekvenciamenet, ha változik a szűrő fokszáma ugyanazon szűrő-típus esetén!

A MEGÁLLAPÍTÁSOKAT, KÖVETKEZTETÉSEKET ÍRJUK LE!

4. Kérdések, megjegyzések

- 4.1. Milyen szerepeket töltenek be az aluláteresztő szűrők a mérőműszerekben?
- 4.2. Mi a különbség az aluláteresztő szűrők és feluláteresztő szűrők között?
- 4.3. Hogyan kapunk sávszűrőt és milyen esetben, hol használhatók a mérőműszerekben?
- 4.4. A 7. 3. ábrán aluláteresztő szűrő rajza látható. Rajzoljuk meg az ennek megfelelő feluláteresztő szűrőt!
- 4.5. Hogyan kapunk magassabb fokszámú szűrőt?
- 4.6. Hasonlítsátok össze egy elsőfokú és egy harmadfokú aktív szűrő kapcsolási rajzát és frekvencia menetét!