

# Aktivní filtry

## 1. Zadání:

A. Na realizovaných invertujících filtrech 1.řádu s OZ:

- a) Dolní propust
- b) Horní propust
- c) Pásmová propust

B. Změřte:

- a) Amplitudovou frekvenční charakteristiku napěťového přenosu  $A_{\text{udB}} = f(f)$ .
- b) Fázovou frekvenční charakteristiku  $\varphi = f(f)$
- c) Určete skutečné mezní kmitočty  $f_{\text{dD}}, f_{\text{hH}}, f_{\text{dP}}, f_{\text{hP}}$
- d) Určete skutečnou vstupní impedanci filtrů  $Z_{\text{vst}}$  při  $f = \dots\dots\dots$  kHz

Ze změřených charakteristik a parametrů vypočtete hodnoty součástek zapojení a porovnejte je se skutečně realizovanými hodnotami.

Příslušné vztahy pro výpočet parametrů si odvodí studenti podle návodu sami v rámci domácí přípravy.

## Literatura:

Kabeš, K.: OZ v automatizační technice. SNTL, Praha 1989  
Katalog Tesla (konstrukční)

## 2. Popis měřeného předmětu:

Zde se uvedou konkrétní zapojení filtrů.

## 3. Teoretický rozbor:

### a) měřeného předmětu

*Aktivní filtry* jsou určeny k potlačení nebo naopak k zvýraznění určité části frekvenčního spektra signálu. Aktivní filtry jsou tvořeny zesilovači s odporově kapacitní zpětnovazební sítí.

Podle pásma přenášených frekvencí rozlišujeme:

- dolní propusti
- horní propusti
- pásmové propusti a zadržče

### Dolní propust

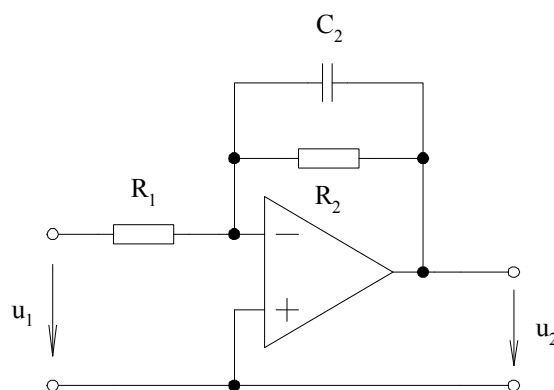
Přenos dolní propusti je v normovaném tvaru určen:

$$F_d(p) = \frac{A_0}{\prod_{i=1}^k (1 + a_i P_D + b_i P_D^2)} \quad (1)$$

kde  $P_D = j \cdot \omega / \omega_d$  a  $\omega_d$  je mezní úhlová frekvence filtru, při které klesne přenos filtru o - 3 dB vzhledem k ss zesílení  $A_0$ .

Řád filtru  $n$  je určen nejvyšším exponentem operátoru  $p = j \cdot \omega$ . Řád filtru přibližně určuje pokles amplitudové frekvenční charakteristiky o -  $n \cdot 20$  dB/ dek změny frekvence v oblasti frekvencí  $f > f_d$ .

*Invertující dolní propust 1. řádu s OZ* - využívá invertujícího zapojení OZ.



Obr. 14

Napětový přenos dolní propusti odvodíme pomocí vztahu pro napětový přenos invertujícího zesilovače s OZ s impedancí  $Z_1$  ve vstupu a impedancí  $Z_2$  ve zpětné vazbě.

Napětový přenos v normovaném tvaru s využitím operátoru  $p = j \cdot \omega$  :

$$F_d(p) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + p \cdot C_2 R_2}$$

V souhlasu se vztahem (1):

$$\begin{aligned} A_0 &= -R_2/R_1 & a_1 &= 1 & b_1 &= 0 & \omega_d &= 1/R_2 C_2 \\ |A_0| &= R_2/R_1 & & & & & f_d &= 1/2\pi R_2 C_2 \end{aligned}$$

Vstupní impedance je rovna impedanci  $Z_1$  v invertujícím vstupu OZ.

Fázová frekvenční charakteristika je závislost  $\arctg$  poměru imaginární a reálné části napětového přenosu na frekvenci :  $\varphi_d = 180^\circ - \arctg \omega/\omega_d$

Při určování parametrů dolní propusti doporučuji tento postup:

Ze změřené hodnoty  $Z_{vst}$  určíme  $R_1$ , z něho pomocí  $A_{umax}$   $R_2$ , z hodnoty  $R_2$  a změřené dolní mezní frekvence  $f_d$  vypočteme nakonec  $C_2$ .

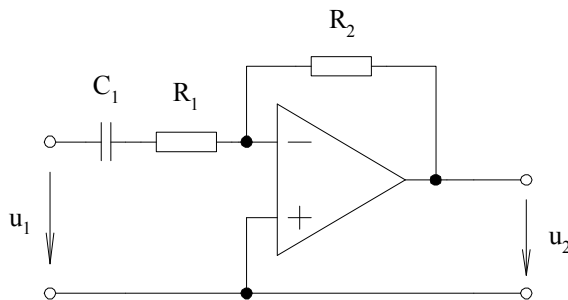
## Horní propust

Přenos horní propusti je v normovaném tvaru určen:

$$F_h(p) = \frac{A_\infty}{\prod_{i=1}^k \left(1 + \frac{a_i}{P_H} + \frac{b_i}{P_H^2}\right)} \quad (2)$$

kde  $P_H = j\omega/\omega_h$  a  $\omega_h$  je mezní úhlová frekvence filtru, při které klesne přenos filtru o - 3 dB vzhledem k přenosu při vysokých frekvencích  $A_\infty$  ( $f \gg f_h$ )

### Invertující horní propust 1. řádu s OZ



Obr. 15

Napětový přenos horní propusti odvodíme opět pomocí vztahu pro napětový přenos invertujícího zesilovače s OZ s impedancí  $Z_1$  ve vstupu a impedancí  $Z_2$  ve zpětné vazbě.

Napětový přenos v normovaném tvaru s využitím operátoru  $p = j \cdot \omega$  :

$$F_h(p) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{p \cdot C_1 R_1}}$$

V souhlasu se vztahem (2):

$$\begin{aligned} A_\infty &= -R_2/R_1 & a_1 &= 1 & b_1 &= 0 & \omega_h &= 1/R_1 C_1 & f_h &= 1/2\pi R_1 C_1 \\ |A_\infty| &= R_2/R_1 & & & & & & & & \end{aligned}$$

Vstupní impedance je rovna impedanci  $Z_1$  v invertujícím vstupu OZ.

Fázová frekvenční charakteristika je závislost  $\arctg$  poměru imaginární a reálné části napět'ového přenosu na frekvenci :  $\varphi_h = 180^\circ + \arctg \omega_h/\omega$

Při určování parametrů horní propusti doporučuji tento postup:

Ze změřené hodnoty  $Z_{vst}$ , požadované  $f$  a změřené  $f_h$  určíme  $R_1$ , z něho pomocí  $f_h$   $C_1$ , z hodnoty  $R_1$  a změřené maximální hodnoty napět'ového přenosu  $A_{umax}$  vypočteme nakonec  $R_2$ .

## Pásmová propust

Vlastnosti pásmových filtrů jsou určeny dolní a horní mezní frekvencí  $f_{dp}$  a  $f_{hp}$ , při kterých se přenosy filtrů liší o -3 dB vzhledem k přenosu filtrů při střední frekvenci  $\omega_s$ . Ta je určena geometrickým průměrem

$$\omega_s = \sqrt{\omega_{dp} \cdot \omega_{hp}}$$

Jsou-li obě frekvence shodné, tj.  $f_{dp} = f_{hp}$  jedná se o úzkopásmový filtr.

Činitel jakosti pásmové propusti  $Q$  je definován

$$Q = \frac{\omega_s}{\Delta\omega} = \frac{f_s}{\Delta f}$$

kde  $\Delta\omega$  je šířka pásma filtru.

Pásmovou propust lze realizovat např. zapojením dolní propusti a horní propusti do kaskády. Kaskáda složená z těchto filtrů 1. řádu má přenosovou funkci:

$$F_p(p) = \frac{A_0 \cdot A_\infty}{(1 + a_{1D} P_D) \cdot (1 + \frac{a_{1H}}{P_H})} = \frac{\frac{A_0 \cdot A_\infty}{a_{1H}} \cdot P_H}{(1 + a_{1D} \cdot P_D) \cdot (1 + \frac{P_H}{a_{1H}})} \quad (3)$$

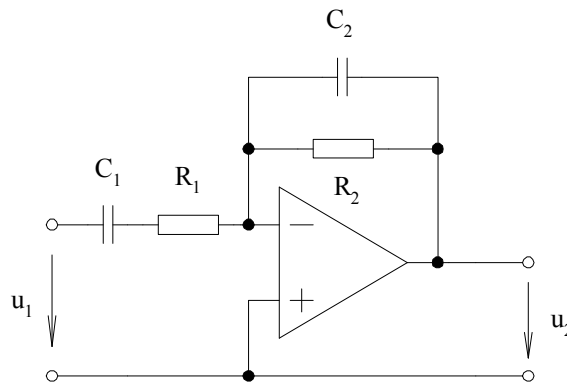
Pro úzkopásmový filtr ( $f_d = f_h$ ,  $P_D = P_H = P$ ) můžeme psát:

$$F_p(p) = \frac{\alpha \cdot P}{1 + \beta \cdot P + \gamma \cdot P^2} \quad \text{kde} \quad \alpha = \frac{A_0 \cdot A_\infty}{a_{1H}} \quad \beta = a_{1D} + \frac{1}{a_{1H}} \quad \gamma = \frac{a_{1D}}{a_{1H}}$$

### Invertující pásmová propust 1. řádu s OZ

Vznikne složením invertující DP a HP. Pro dosažení dostatečného přenosu v propustné oblasti je nutné, aby platilo:

$$f_{dDP} > f_{hHP} \quad \text{potom} \quad f_{dP} = f_{hH} \quad f_{hP} = f_{dD}$$



Obr. 16

Napět'ový přenos pásmové propusti odvodíme opět pomocí vztahu pro napět'ový přenos invertujícího zesilovače s OZ s impedancí  $Z_1$  ve vstupu a impedancí  $Z_2$  ve zpětné vazbě. Napět'ový přenos v normovaném tvaru s využitím operátoru  $p = j \cdot \omega$  :

$$F_p(p) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{pC_1R_1}{(1+pC_2R_2) \cdot (1+pC_1R_1)} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{pC_1R_1}\right) \cdot (1+pC_2R_2)}$$

Pásmová propust je invertující

V souhlasu se vztahem (3):

$$\frac{A_0 \cdot A_\infty}{a_{1H}} = -\frac{R_2}{R_1} \quad |A_0 \cdot A_\infty| = \frac{R_2}{R_1} \quad a_{1D} = 1 \quad a_{1H} = 1$$

$$\omega_{hP} = \frac{1}{R_2 C_2} \quad a \quad C_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{hP} \cdot R_2} \quad \omega_{dP} = \frac{1}{R_1 C_1} \quad a \quad C_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{dP} \cdot R_1}$$

Pro  $R_2 = R_1$  platí:

$$F_p(p) = -F_d(p) \cdot F_h(p)$$

Vstupní impedance je rovna impedanci  $Z_1$  v invertujícím vstupu OZ.

Fázová frekvenční charakteristika je závislost arctg poměru imaginární a reálné části napět'ového přenosu na frekvenci :

$$\varphi_p = 180^\circ - \arctg(-\omega_{hH}/\omega) - \arctg(\omega/\omega_{dD})$$

$$\varphi_p = 180^\circ + \arctg(\omega_{hH}/\omega) - \arctg(\omega/\omega_{dD})$$

$$\varphi_p = 180^\circ \quad \arctg(\omega_{hH}/\omega) = \arctg(\omega/\omega_{dD})$$

$$\omega_{hH}/\omega = \omega/\omega_{dD}$$

$$\omega^2 = \omega_{dD} \cdot \omega_{hH}$$

$$\omega = \sqrt{\omega_{dD} \cdot \omega_{hH}} = \omega_s$$

$$\omega = \sqrt{\omega_{hP} \cdot \omega_{dP}}$$

Při určování parametrů pásmové propusti doporučuji tento postup:

Ze změřené hodnoty  $Z_{vst}$ , požadované  $f$  a změřené  $f_{dP}$  určíme  $R_1$ , z něho pomocí  $f_{dP}$   $C_1$ , z hodnoty  $R_1$  a změřené maximální hodnoty napět'ového přenosu  $A_{umax}$  vypočteme  $R_2$  a nakonec z  $R_2$  a změřené  $f_{hP}$   $C_2$ .

Předností aktivních filtrů 1. řádu je jejich principiální jednoduchost, nevýhodou je malá strmost frekvenční charakteristiky 20 dB/dek, která je použitelná jen pro málo náročné aplikace. U invertujících zapojení je navíc přímá souvislost mezi přenosem filtru a jeho časovou konstantou.

## b) měřicí metody

Vstupní impedanci filtrů určíme nejlépe pomocí vhodné varianty Ohmovy metody. Fázový posuv mezi výstupním a vstupním napětím filtru změříme metodou elipsy nebo číslicově pomocí univerzálního čítače. Měření fázového posunu pomocí univerzálního čítače

$$\varphi = \frac{t}{T} \cdot 360 = t \cdot f \cdot 360$$

se provede následujícím způsobem. Vstupní signál filtru přivedeme do kanálu B čítače, výstupní signál do kanálu A a zvolíme funkci měření časového intervalu  $t_{AB}$ . Čítač bude ukazovat délku časového intervalu  $t$  mezi průchodem obou signálů napět'ovou úrovní, kterou musíme nastavit v obou kanálech stejně. Fázový posun ve  $^{\circ}$  pak vypočítáme pomocí trojčlenky podle vztahu

Před měřením musíme nastavit stejnou spouštěcí úroveň v kanálu A i B, což se provede přivedením totožného signálu nízké frekvence do obou kanálů a nastavení točíttek pro volbu úrovně spouštění do takové polohy, aby displej ukazoval nulovou hodnotu časového intervalu  $t$ . Nejlépe je toto provést na nulovou hodnotu úrovně spouštění.