

Pasívne prvky

Zadanie:

1.
 - a) Určte typy predložených rezistorov a kondenzátorov a vypíšte z katalógu ich základné parametre.
 - b) Zmerajte hodnoty odporu rezistorov a hodnotu kapacity kondenzátorov.
 - c) Vypočítajte relatívnu odchýlku medzi nameranými hodnotami a hodnotami získanými z katalógu. Sú namerané hodnoty predložených súčiastok v tolerancii uvádzanej výrobcom?
2.
 - a) Pomocou LC metra HM 8018 zmerajte $tg \delta$ predložených kondenzátorov.
 - b) Vypočítajte kvalitu meraných kondenzátorov.
 - c) Usporiadajte kondenzátory podľa veľkosti kvality. Sú výsledky merania v súlade s teoretickými predpokladmi? Zdôvodnite.
3.
 - a) Odmerajte indukčnosť predloženej cievky.
 - b) Vypočítajte činiteľ kvality predloženej cievky. Do akej kategórie by ste zaradili meranú cievku z hľadiska veľkosti činiteľa kvality?
4.
 - a) Navrhnite dolnopriepustný alebo hornopriepustný filter použitím dvojice R_x a C_y z predložených súčiastok.
 - b) Vypočítajte časovú konštantu a medznú frekvenciu zvoleného zapojenia.
 - c) Určte pomocou osciloskopu fázový posun a veľkosť poklesu amplitúdy výstupného signálu v prípade medznej frekvencie.
 - d) Zmerajte amplitúdovú logaritmickú frekvenčnú charakteristiku. Namerané hodnoty vyneste do grafu.
 - e) Vysvetlite zapojenie a činnosť tohto filtra, graficky popíšte jeho odozvu v časovej i frekvenčnej oblasti.
5.
 - a) Dolnopriepustný filter sa nazýva i integračný, teda integruje vstupný signál a hornopriepustný filter sa nazýva i derivačný, teda derivuje vstupný signál. Zistite typ výstupného signálu navrhnutého filtra ak je vstupný signál sínus, obdĺžnik, trojuholník.

Štúdijná literatúra: návody na cvičenia, skriptá : Žiška, M. - Stuchlíková, L.: Elektronické prvky, str.34-48, 18-20, 9-13

Podklady k realizácii úloh zadania

K bodu 1:

Z katalógových hodnôt (rezistor: typ, dovolená odchýlka - tolerancia, menovité zaťaženie, menovitá hodnota; kondenzátor: typ, dovolená odchýlka - tolerancia, prevádzkové napätie, stratový činiteľ $\text{tg}\delta$, menovitá hodnota) a z nameraných hodnôt zostavte tabuľku hodnôt, v ktorej uveďte i vypočítané relatívne odchýlky

$$\delta = \frac{|x_{\text{katal}} - x_{\text{namer}}|}{x_{\text{katal}}} \cdot 100$$

Poznámka: časť parametrov (v niektorých prípadoch i všetky požadované parametre) môžete odčítať priamo z označenia na súčiastke.

v percentách medzi nameranou a menovitou hodnotou predloženej súčiastky.

K bodu 2:

Pre výpočet kvality Q platí vzťah

$$Q = 1/\text{tg}\delta$$

Stratový činiteľ určite z nameraných hodnôt na L-C metri HM 8018:

v prípade kondenzátora z vodivosti G a kapacity C $\text{tg}\delta = G/\omega C$. Pričom $\omega = 2\pi f_{\text{mer}}$

Pri meraní na L-C metri HM 8018 sa meracia frekvencia f_{mer} automaticky prepína nasledovne:

pre rozsahy **2, 20, 200 $\mu\text{F}/\text{H}$** má meracia frekvencia veľkosť $f_{\text{mer}} = 160 \text{ Hz}$

pre rozsahy **20, 200 nF/mH** má meracia frekvencia veľkosť $f_{\text{mer}} = 1,6 \text{ kHz}$

pre rozsahy **200, 2000 $\text{pF}/\mu\text{H}$** má meracia frekvencia veľkosť $f_{\text{mer}} = 16 \text{ kHz}$

!!! meracia frekvencia f_{mer} musí byť rovnaká pri meraní G a C v prípade určovania $\text{tg}\delta$ kondenzátora.!!!

K bodu 3:

Indukčnosť cievky L určte meraním na L-C metri HM 8018

Pre výpočet kvality Q cievky platí vzťah

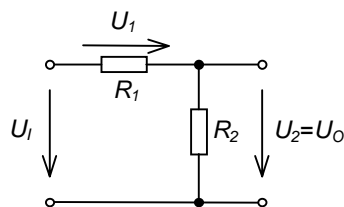
$$Q = 1/\text{tg}\delta$$

Stratový činiteľ cievky určite z nameraných hodnôt na L-C metri HM 8018 zo sériového odporu R_S a indukčnosti L $\text{tg}\delta = R_S/\omega L$. Pričom $\omega = 2\pi f_{\text{mer}}$ (pre f_{mer} platí uvedené v poznámkach k bodu 2)

!!! v prípade určovania $\text{tg}\delta$ cievky meracia frekvencia f_{mer} musí byť rovnaká pri meraní R_S aj L !!!

K bodu 4 a 5:

Odporový napäťový delič



Obr. 1. Odporový napäťový delič¹

Základná myšlienka napäťového odporového deliča spočíva v sériovom zapojení dvoch alebo viacerých rezistorov v elektrickom obvode. Po pripojení zdroja napätia sa uzatvára prúdová slučka, začína tiecť elektrický prúd cez rezistory a dochádza k rozloženiu napätia zdroja na jednotlivých rezistoroch.

Ak máme jednoduchý napäťový delič, pozostávajúci z dvoch sériovo zapojených rezistorov R_1 a R_2 (Obr. 1), a privedieme napätie U_I na vstup, potom prúd I pretekajúci obvodom je daný Ohmovým

¹ V obrázkoch a v texte označujeme veličiny viažuce sa na vstup indexom I (Input) a veličiny viažuce sa na výstup indexom O (Output).

$$\text{zákonom } I = \frac{U_I}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

Prúd I , tečúci cez obvod vyvolá na rezistoroch úbytky napätia opäť dané Ohmovým zákonom

$$U_1 = R_1 I \quad U_2 = R_2 I \quad (2)$$

Je zrejmé, že pritom súčet oboch napätí musí dať celkové pripojené napätie

$$U_I = U_1 + U_2 \quad (3)$$

Výstupné napätie z deliča U_O je napätie na druhom rezistore R_2 , preto ich stotožníme $U_O \equiv U_2$. Pomer výstupného a vstupného napätia, hovorí o prenose obvodu (prenosovej funkcii), získame zo vzťahov (**Error! Reference source not found.**) a (**Error! Reference source not found.**).

$$\frac{U_O}{U_I} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4)$$

Znamená to, že na výstupe deliča je pomerná, $(R_2/(R_1+R_2))$ -tá časť vstupného napätia. Uvedené úvahy platia nielen pre jednosmerné, statické ale aj pre striedavé prúdy a napätia. V obecnom prípade, pri uvažovaní napät'ového deliča, treba nahradiť odpory reaktanciami komplexných impedancií, respektíve inými, zložitejšími vzťahmi.

Dolnopriepustný frekvenčný RC filter

Dolnopriepustný frekvenčný filter je elektrický obvod, ktorý prepúšťa signál nižších frekvencií bez zmeny a vyššie frekvencie utlmuje a fázovo oneskoruje.

Zapojenie a princíp činnosti

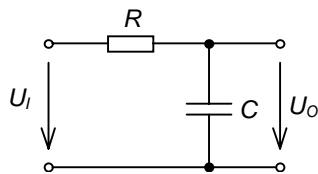


Schéma obvodu jednoduchého dolnopriepustného RC filtra je znázornená na obr. 2. Rezistor a kondenzátor sú zapojené v sérii, pričom výstupné napätie je napätie na kondenzátore C . Zapojenie pracuje ako frekvenčne závislý napät'ový delič.

Obr. 2. Schéma zapojenia jednoduchého dolnopriepustného frekvenčného RC filtra

Frekvenčná charakteristika

Prenosová funkcia filtra bude komplexná, a môžeme ju vyjadriť

$$A_U = \frac{U_O}{U_I} = \frac{1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (5)$$

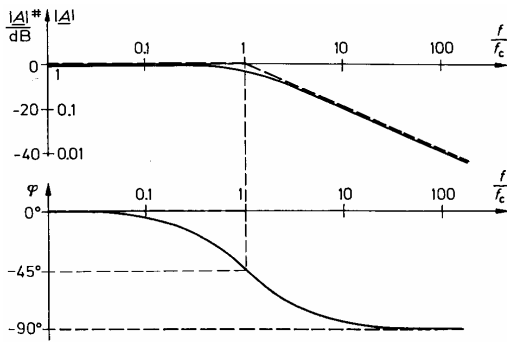
Rozkladom komplexného zlomku na amplitúdu a fázový posuv dostaneme

$$|A| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}, \quad \varphi = -\arctan(\omega RC) \quad (6)$$

Obe závislosti sú znázornené na obr. 3. Amplitúdová charakteristika za vyznačuje tým, že smerom k nižším frekvenciám sa prenos blíži k jednej (0 dB)³ a smerom k vyšším frekvenciám sa prenos utlmuje o 6 dB na oktávu⁴, čo je 20 dB / dekádu, t.j. pri desať násobnom zvýšení frekvencie desať násobný útlm amplitúdy.

³ dB – decibel je bezrozmerná logaritmickej jednotka používaná na vyjadrenie pomeru dvoch hodnôt veličín. Platí $\text{dB} = 20 \log(U_O/U_I)$

⁴ Oktáva zodpovedá dvojnásobku frekvencie



Obr. 3. Frekvenčná závislosť amplitúdy a fázy dolnopriepustného RC filtra.

Charakteristickou frekvenciou f_c tejto závislosti je **medzná frekvencia**, pri ktorej dochádza k poklesu amplitúdy o **3 dB** ($-3 \text{ dB} \cong -1/\sqrt{2}$). Dosadením tohto útlmu amplitúdy do predchádzajúceho vzťahu získame hodnotu medznej frekvencie $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ (7)

Fázový posuv pri medznej frekvencii v prípade dolnopriepustného frekvenčného filtra je **-45°**.

Časová odozva

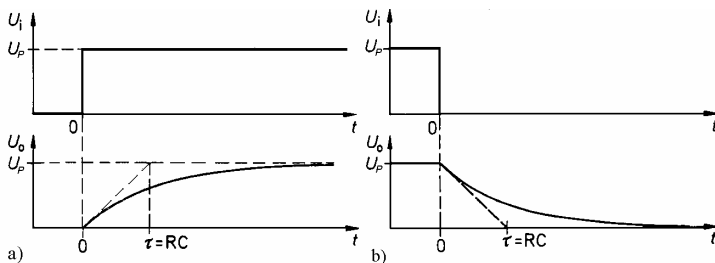
Ak budeme sledovať správanie sa obvodu v časovej oblasti, bude nás zaujímať odozva na napät'ový skok, t.j. časový priebeh napätia na výstupe po privedení napät'ového skoku na vstup. Z teórie obvodov vieme, že odozva na napät'ový skok z 0 V na napätie impulzu U_P bude

$$U_0(t) = U_P \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \right) \quad (8)$$

a opačne, z napätia U_P na napätie 0 V bude $U_0(t) = U_P \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)$ (9)

Tieto závislosti výstupného napätia sú znázornené na obr. 4 spolu s budiacimi priebehmi vstupných napätí. Odozva má exponenciálny charakter s **časovou konštantou** $\tau = RC$ (10)

Časová konštanta je čas, ktorý uplynie od príchodu impulzu na vstup po zmenu hodnoty napätia na výstupe na $1/e$ násobok hodnoty napätia impulzu⁵. Súčin RC teda charakterizuje rýchlosť odozvy obvodu.



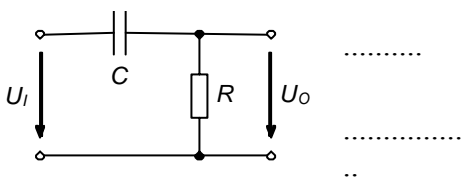
Obr. 4. Znázornenie odozvy dolnopriepustného RC filtra na napät'ový skok.

O dolnopriepustnom filtre sa hovorí aj ako o integračnom obvode, resp. obvode ktorý spriemerňuje vstupné hodnoty napätia.

Hornopriepustný frekvenčný RC filter

Hornopriepustný frekvenčný filter je elektrický obvod, ktorý prepúšťa signál vyšších frekvencií bez zmeny a nižšie frekvencie utlmuje a fázovo predbieha.

Zapojenie a princíp činnosti



Obr. 5. Schéma obvodu najjednoduchšieho hornopriepustného RC filtra. Kondenzátor a rezistor sú zapojené v sérii, pričom výstupné napätie je napätie na rezistore R . Zapojenie pracuje ako frekvenčne závislý napät'ový delič

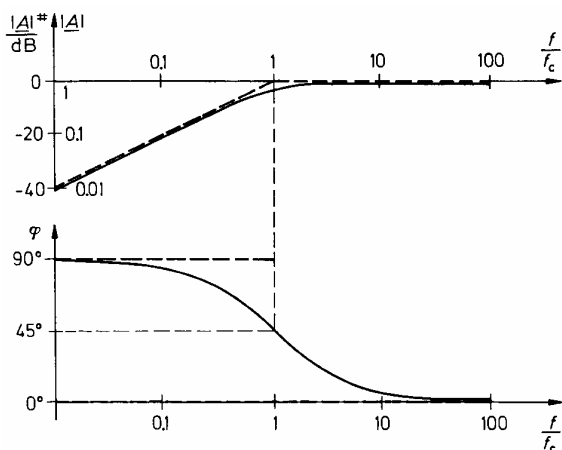
⁵ e je základ prirodzeného logaritmu

.Frekvenčná charakteristika

Prenosová funkcia bude komplexná $A_U = \frac{U_O}{U_I} = \frac{R}{R + 1/j\omega C} = \frac{1}{1 + 1/j\omega RC}$ (11)

Rozkladom na amplitúdu a fázový posuv dostaneme

$$|A| = \frac{1}{\sqrt{1 + (1/\omega RC)^2}}, \quad \varphi = \arctan\left(\frac{1}{\omega RC}\right) \quad (12)$$



Obe závislosti sú znázornené na obr. 6. Amplitúdová charakteristika hornopriepustného RC filtra za vyznačuje tým, že smerom k vyšším frekvenciám sa prenos blíži k jednej (0 dB) a smerom k nižším frekvenciám sa prenos utlmuje o 6 dB na oktávu, čo je 20 dB na dekádu (frekvenčný rád).

Obr. 6. Frekvenčná závislosť amplitúdy a fázy hornopriepustného RC filtra.

Opäť dosadením tohto útlmu amplitúdy do predchádzajúceho vzťahu získame hodnotu medznej

frekvencie $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ (13)

Fázový posuv hornopriepustného frekvenčného filtra pri medznej frekvencii je $+45^\circ$.

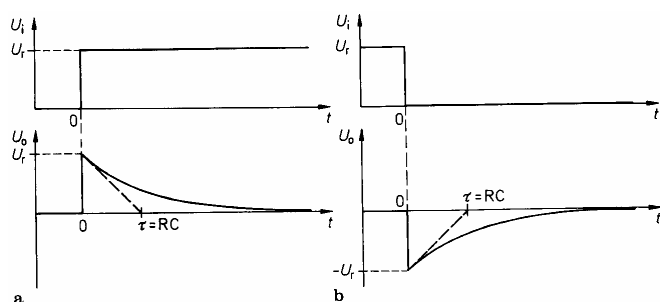
Časová odozva

V časovej oblasti bude odozva na napät'ový skok mierne odlišná ako u integračného člena. Privedením napät'ového skoku na vstup je prakticky okamžite zmenené aj výstupné napätie rovnako ako vstupné napätie. Dôvodom je kondenzátor, ktorého reaktancia pre rýchle zmeny je veľmi malá a prakticky predstavuje skrat. Zmenou napätia na výstupnej svorke začne pretekať elektrický prúd rezistorom R , ktorý nabíja, resp. vybíja samotný kondenzátor C . Z teórie obvodov máme zmenu výstupného napätia po počiatocnom napät'ovom skoku

$$U_0(t) = U_{P0} \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \quad (14)$$

kde U_{P0} je napätie impulzového skoku. Tieto závislosti výstupného napätia sú znázornené na obr. 7 spolu s budiacimi priebehmi vstupných napätí.

Odozva má exponenciálny charakter s časovou konštantou $\tau = RC$ (15)

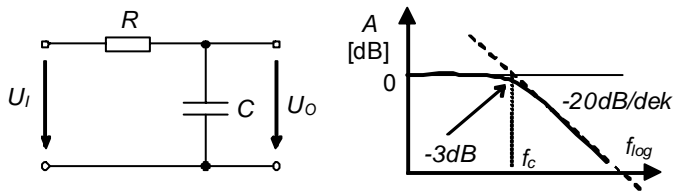


O hornopriepustnom filtre sa hovorí aj ako o derivačnom obvode. Hornopriepustný filter sa často používa ako väzbový člen dvoch nasledujúcich zosilňovacích stupňov, kde oddeľuje jednosmerné napät'ové a prúdové pomery a striedavé prepúšť'a.

Obr. 7. Znázornenie odozvy hornopriepustného RC filtra na napät'ový skok.

Zhrnutie:

Z prvkov R a C sa dá zostaviť najjednoduchší frekvenčne závislý štvorpól s vlastnosťami filtra:

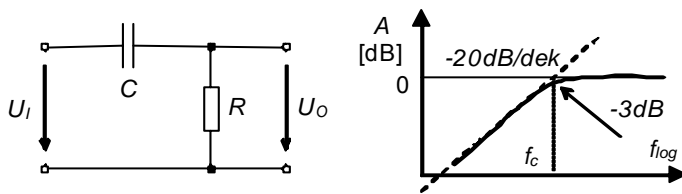


Dolnopriepustný frekvenčný filter je elektrický obvod, ktorý prepúšťa signál nižších frekvencií bez zmeny a vyššie frekvencie utlmuje a fázovo oneskoruje

Obr.8. Schéma zapojenia jednoduchého dolnopriepustného frekvenčného RC filtra a jeho ALFCH (amplitúdová logaritmická frekvenčná charakteristika). Na osi f je logaritmická stupnica.

Charakteristickou frekvenciou f_c tejto závislosti je **medzná frekvencia**, pri ktorej dochádza k poklesu amplitúdy o 3 dB ($-3 \text{ dB} \cong -1/\sqrt{2}$).

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



Hornopriepustný frekvenčný filter je elektrický obvod, ktorý prepúšťa signál vyšších frekvencií bez zmeny a nižšie frekvencie utlmuje a fázovo predbieha.

Obr.9. Schéma zapojenia jednoduchého hornopriepustného frekvenčného RC filtra a jeho ALFCH (amplitúdová logaritmická frekvenčná charakteristika). Na osi f je logaritmická stupnica.

Fázový posuv pri medznej frekvencii v prípade dolnopriepustného frekvenčného filtra je -45° .

Fázový posuv pri medznej frekvencii v prípade hornopriepustného frekvenčného filtra je $+45^\circ$.

Časová konštanta τ [s] je čas, ktorý uplynie od príchodu impulzu na vstup po zmenu hodnoty napätia na výstupe na $1/e$ násobok hodnoty napätia impulzu. Súčin RC teda charakterizuje rýchlosť odozvy obvodu

$$\tau = RC$$

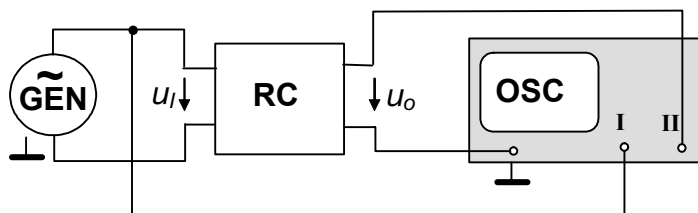
Napät'ové zosilnenie v decibeloch A_U je definované

$$A_U = 20 \cdot \log \frac{U_o}{U_i}$$

pokles o 3 dB predstavuje

pokles amplitúdy na 0,708 pôvodnej hodnoty

Praktické meranie



Obr. 10. Bloková schéma merania

Poznámka: Pozor na prepojenie kostier, navzájom nemôžu byť spojené kostra a živý vodič- hrozí zničenie generátora

- meraním zistíte presné hodnoty prvkov R a C, pre tieto hodnoty vypočítajte τ a f_c
- zostavte z daných prvkov filter DP alebo HP
- meraním zistíte orientačne priebeh ALFCH
- pre pokles -3dB určte presne f_c
- pri f_c zistíte fázový posuv medzi u_i a u_o
- zistíte sklon asymptoty (zmeraním 2-3bodov okrem f_c)
- privedením obdĺžnikového signálu overte vplyv τ na priebeh výstupu

Poznámka: počas merania ALFCH sa udržuje u_i konštantné

- výhodné je merať amplitúdu od mínus do plus maxima, tzv ušš (špička-špička)
- pred meraním prebehnite orientačne celý zmýšľaný rozsah frekvencií a dolad'te napät'ové pomery
- v oblasti 0 dB je vhodné nastaviť si u_o na celú hodnotu, napr. 8 dielikov, aby sa jednoducho dal určiť pokles o 3 db, teda 0,7x8 dielikov je cca 5,6 dielika