Časové konstanty a filtry

Pro každý periodický elektrický biosignál existuje určité frekvenční pásmo, které je pro něj specifické a ve kterém je obvykle snímán a vyhodnocován. To znamená, že takový signál má frekvenční spektrum omezené konečnými hodnotami, tedy že lze takový signál rozložit na součet konečného počtu harmonických funkcí, aniž by došlo ke ztrátě informace nesené signálem. Šum chápaný jako nežádoucí příměs k užitečnému signálu vede obvykle k horšímu zpracování a interpretaci signálu. Z využitím znalostí o frekvenčním spektru signálu a šumu lze nežádoucí šum potlačit a tím v ideálním případě zlepšit kvalitu celkového signálu.

Kmitočtové filtry

Kmitočtové filtry jsou filtry, které potlačují část frekvenčního spektra procházejícího signálu. V ideálním případě by nežádoucí část spektra zcela potlačil a žádoucí zcela neovlivnil, ale tohoto stavu nelze dosáhnout.

Přenos filtru

K matematickému popisu chování filtru lze použít jeho **přenos**. Přenos filtru A je definován následujícím způsobem:

$$A = \frac{U_2}{U_1}$$

kde U_1 je napětí na vstupu filtru a U_2 je odpovídající napětí na výstupu filtru. Za předpokladu, že je daný filtr lineární ve smyslu nezávislosti parametrů filtru na napětí na vstupu, lze myšlenkově položit napětí na vstupu rovno jedné a takový přenos popíše chování filtru při každém napětí. Z poněkud složitější teorie plyne, že z předpokladu linearity filtru lze pro jakýkoliv periodický signál zjistit jeho změnu po průchodu filtrem tak, že se sečnou odezvy na jednotlivé harmonické. Z toho důvodu je užitečné používat přenos jako funkci frekvence:

$$A(f) = \frac{u_2(t)}{u_1(t)}$$

kde $u_1(t)$ je napětí na vstupu (harmonické s frekvencí f, jednotkovou amplitudou a nulovým fázovým posunem) a $u_2(t)$ je napětí na výstupu (u lineárního filtru je harmonické s frekvencí f). V technické praxi je třeba zohlednit ještě fázový posun, což se nejčastěji realizuje pomocí komplexních fázorů.

Typy kmitočnových filtrů

Dolnofrekvenční propust

Dolnofrekvenční propust (dolní propust) propouští, tj. nepotlačí, pouze ty frekvence ve spektru signálu, které jsou nižší než **mezní frekvence** f_0. Naopak frekvence, které jsou vyšší než f_0, nepropustí. Pro přenos ideálního filtru typu dolní propust by mělo platit:

$$A(f) = \begin{cases} 1, & f \leq f_0 \\ 0, & f > f_0 \end{cases}$$

Hornofrekvenční propust

Hornofrekvenční propust (horní propust) je vlastně doplňkem k filtru typu doplní propust. Ideální přenosová funkce je:

$$A(f) = \begin{cases} 0, & f \leq f_0 \\ 1, & f > f_0 \end{cases}$$

Pásmová propust

Pásmová propust propouští pouze takové frekvenční složky signálu, které se nacházejí mezi mezními frekvencemi (ve frekvenčním pásmu), ostatní frekvence odfiltrovává. Mezní frekvence se označují f_1 a f_2. Pro ideální přenos filtru typu pásmová propust platí:

$$A(f) = \begin{cases} 1, & f_1 \leq f \leq f_2 \\ 0, & \mathbf{jinak} \end{cases}$$

Pásmová zádrž

U pásmové zádrže (výřezový filtr, notch filtr) se jedná o přesný opak pásmové propustě. Propouští vše kromě pásma nacházejícího se mezi mezními frekvencemi f_1 a f_2.

$$A(f) = \begin{cases} 0, & f_1 \leq f \leq f_2 \\ 1, & \text{jinak} \end{cases}$$

Realizace filtrů

Vlastní filtry mohou být realizovány několika způsoby:

- pasivní elektrické filtry,
- aktivní elektrické filtry,
- číslicové filtry.

Pasivní elektrické filtry jsou nejjednodušším způsobem realizace filtrů. Jedná se o sérioparalelní zapojení kondenzátorů, odporů a v některých aplikacích i cívek. Filtr je snadné popsat metodami z elementární analýzy elektrických obvodů a obvykle je snadné jej navrhnout. Nevýhodou je, že se jen obtížně realizují skutečně kvalitní filtry a že na takovém filtru je vždy přenos menší než jedna, tj. signál je vždy více nebo méně tlumen.

Aktivní elektrické filtry jsou tvořeny pasivními filtry doplněnými o aktivní prvky, v obvyklých aplikacích o operační zesilovače. V takových filtrech již může být využito například zpětné vazby, filtry mohou pracovat s mnohem slabšími signály a může být dosaženo mnohem lepší kvality filtru. Na druhou stranu filtry vyžadují kvalitní napájení, obvykle symetrické, jejich návrh je obtížnější a hůře se realizují aktivní filtry pro velmi vysoké frekvence.

Číslicové filtry jsou založeny na digitalizaci signálu a na následném zpracování spektra digitalizovaného signálu matematickými operacemi v počítači. Výhodou je, že je možné takto realizovat i filtry, které by nebylo možné prakticky i principiálně sestrojit, nevýhodou je limitace analogově digitálního převodu.

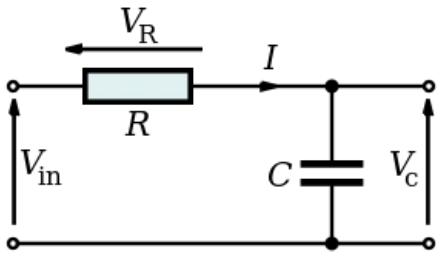
V praxi se používají všechny tři skupiny filtrů v součinnosti podle konkrétní technické úlohy.

Pasivní elektrické filtry

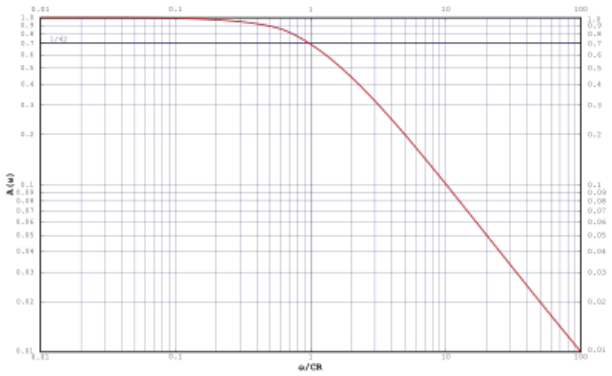
Základními prvky pro pasivní elektrické prvky jsou kapacitor (C), induktor (L) a rezistor (R), v praxi realizované kondenzátorem, cívkou a odporem. Základními bloky jsou články tvořené dvojicí prvů spojených sériově případně paralelně. Rozeznáváme tedy sériové a paralelní články RC, RL a LC. Z prvků RC a RL lze realizovat filtry typu horní resp. doplní propust, z prvků LC lze realizovat pásmovou propust a pásmovou zádrž.

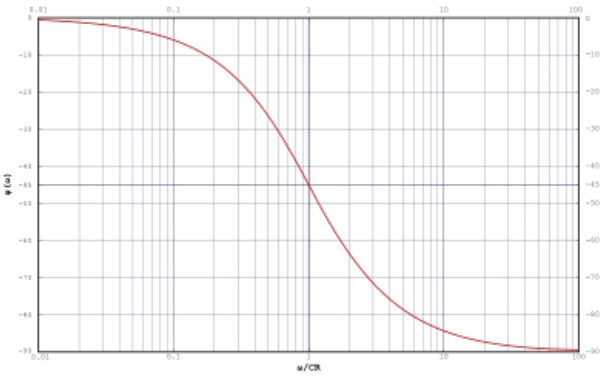
Dolní propust realizovaná sériovým RC článkem

Elektrické schéma filtru typu dolní propust je na následujícím obrázku:



Přenosová funkce tohoto filtru je složitější, protože poměr elektrického odporu rezistoru a kapacitance kapacitoru se nemění v závislosti na frekvenci skokově. Navíc dochází k fázovému posunu. Přenosová charakteristika pro amplitudu a pro fázi jsou na následujících obrázcích:





V amplitudové charakteristice lze (obecně) definovat několik významných hodnot charakterizujících filtr. **Mezní frekvence** je určena jako taková hodnota frekvence, při které klesne přenos o 3&dB. Další významnou hodnotou je **rychlost poklesu** přenosu v pravé části grafu, nazývaná obvykle **strmost**. Čím je tento pokles větší, tím je filtr kvalitnější, protože lépe odděluje frekvence, které má propustit, od frekvencí, které má potlačit. Strmost je pro určitý typ filtru konstantní bez ohledu na konkrétní hodnoty použitých prvků, vlastně jde o vlastnost

matematického popisu. Zde se hovoří o **řádu filtru**, čím je filtr komplikovanější do zapojení a tedy i komplikovanější popis, tím může být filtr vyššího řádu. Matematicky je vlastně řád filtru počet tzv. pólů včetně násobnosti přenosové funkce filtru, tedy RC filtr je filtr 1. řádu.

RC článek má definovanou **časovou konstantu** τ. Ta souvisí s chováním RC článku jako tzv. integračního článku, tedy prakticky především s nabíjením kapacitoru C při skokové změně napětí na vstupu článku. Protože ideálního kapacitoru po exponenciále a teoreticky se k ustálené hodnotě blíží pouze asymptoticky v, je rychlost nabíjení definována jako dosažení jisté hodnoty, která odpovídá 63 % ustálené hodnoty. Tato volba je dána teoretickými východisky, díky které se časová konstanta určí velmi snadno jako:

$$\tau = RC$$

Takto zvolená časová konstanta navíc souvisí s mezní frekvencí:

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

Tedy mezní frekvence je určena vztahem:

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

Horní propust realizovaná sériovým RC článkem

Realizace horní propusti je podobná jako realizace dolní propusti, pouze se ze v zapojení prohodí pozice rezistoru a kapacitoru. Vlastnosti takového filtru jsou podobné.

Pásmové propusti a zádrže

Pasivní filtry typu pásmová propust nebo zádrž se obvykle realizují pomocí induktoru a kapacitoru, obvykle ve spojení s rezistorem. Obvykle jde o využití toho, že spojením induktoru a kapacitoru vznikne rezonanční obvod, který má při rezonanční frekvenci maximum impedance resp. admitance.

Odkazy

Související články

- Biosignály z pohledu biofyziky
- Frekvenční a výkonové spektrum
- Organismus jako přenosová soustava biosignálů
- Obraz jako biosignál
- Snímače a převodníky biosignálů

Literatura

- NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, et al. *Medicínská biofyzika.* 1. vydání. Praha : Grada, 2005. 524 s. s. 422-435. ISBN 80-247-1152-4.

- Petr Heřman: Biosignály z pohledu biofyziky
- ORSÁG, Petr a Josef PUNČOCHÁŘ. *Teoretická elektrotechnika II* [online] . 1. vydání. Ostrava : FEI VŠB-TUO, 2011. 308 s. Dostupné také z <http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/teoreticka_elektrotechnika.pdf>. [[Special:BookSources/.|ISBN .]].