

* Nizkoprepustni filter

Napetostni harmonični vir priklopimo na zaporedno vezana upor in kondenzator. Zanima nas napetost na kondenzatorju. Komplexor te napetosti je

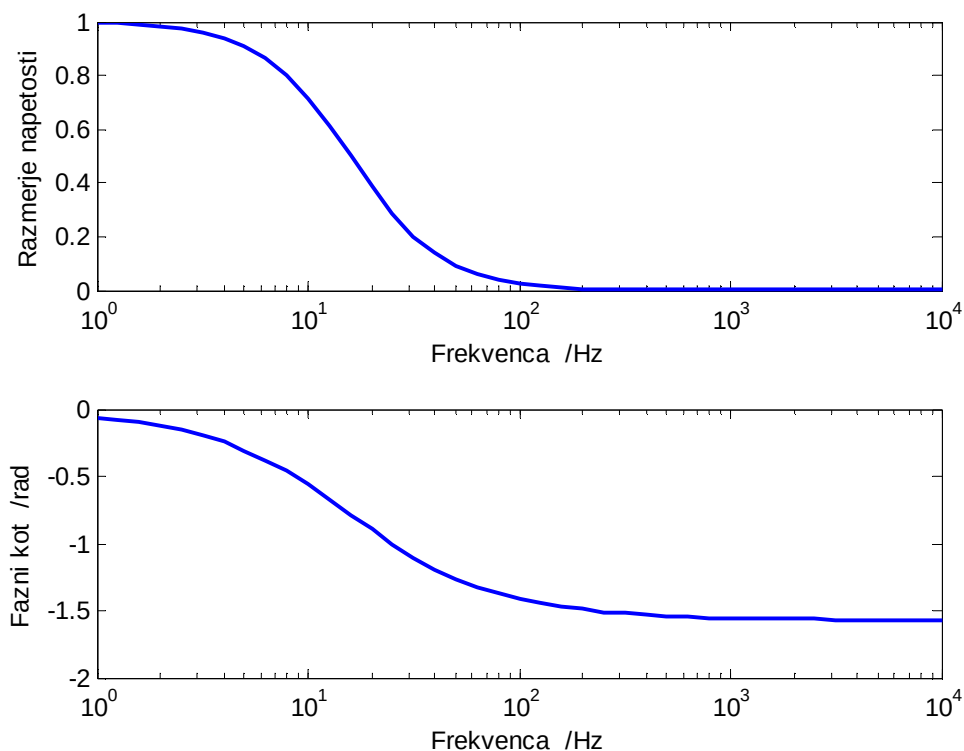
$$\underline{U}_c = \underline{U} \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \underline{U} \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

Razmerje med amplitudama napetosti na kondenzatorju in vhodne napetosti lahko označimo kot ojačanje (ali tudi prenosna funkcija)

$$A = \left| \frac{\underline{U}_c}{\underline{U}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}, \text{ fazni kot med napetostnima signaloma pa je } \varphi = \text{Atan}(-\omega RC).$$

Ojačanje in fazni kot na sliki opisuje zmanjšanje napetosti na kondenzatorju pri višjih frekvencah. To je tudi sicer pričakovano, saj se upornost kondenzatorja pri izmeničnih signalih s frekvenco manjša $\left(\frac{1}{\omega C} \right)$, torej se manjša tudi padec napetosti na njej. Hkrati se

spreminja fazni kot izhodnega signala, ki je v konkretnem primeru enak razliki med faznim kotom napetosti na kondenzatorju in faznim kotom vhodnega napetostnega signala. Ta je pri nizkih frekvencah enak nič, saj je tedaj na kondenzatorju praktično vsa vhodna napetost. Pri visokih frekvencah pa bo praktično vsa napetost na upor, le majhen del pa na kondenzatorju.



SLIKA: Zgoraj: razmerje napetosti na kondenzatorju in na vhodu kot funkcija frekvence. Spodaj: fazni kot kot funkcija frekvence.

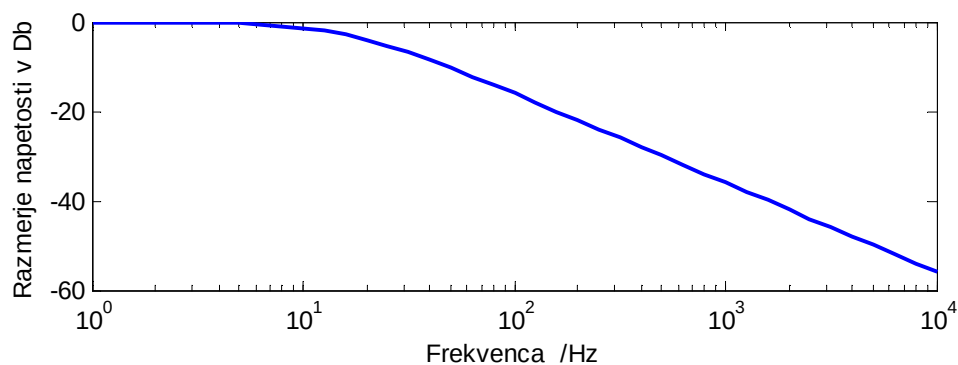
To, da je napetost na kondenzatorju pri višjih frekvencah zelo nizka, lahko smatramo kot primer preprostega nizkofrekvenčnega (prepustnega) RC filtra (sita), ki »ohrani« nizkofrekvenčne signale, visokofrekvenčne pa zmanjša oz. »izloči«.

Običajno določimo frekvenco, pri kateri se začne napetost bistveno zmanjševati pri vrednosti $U_C = U / \sqrt{2} = 0,707 \cdot U$. To imenujemo tudi **mejna frekvenca** f_0 :

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega_0 RC)^2}} \Rightarrow 2 = 1 + (2\pi f_0 RC)^2 \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

Pogosto uporabimo logaritemsko merilo za prikaz »ojačanja« filtra in sicer kot

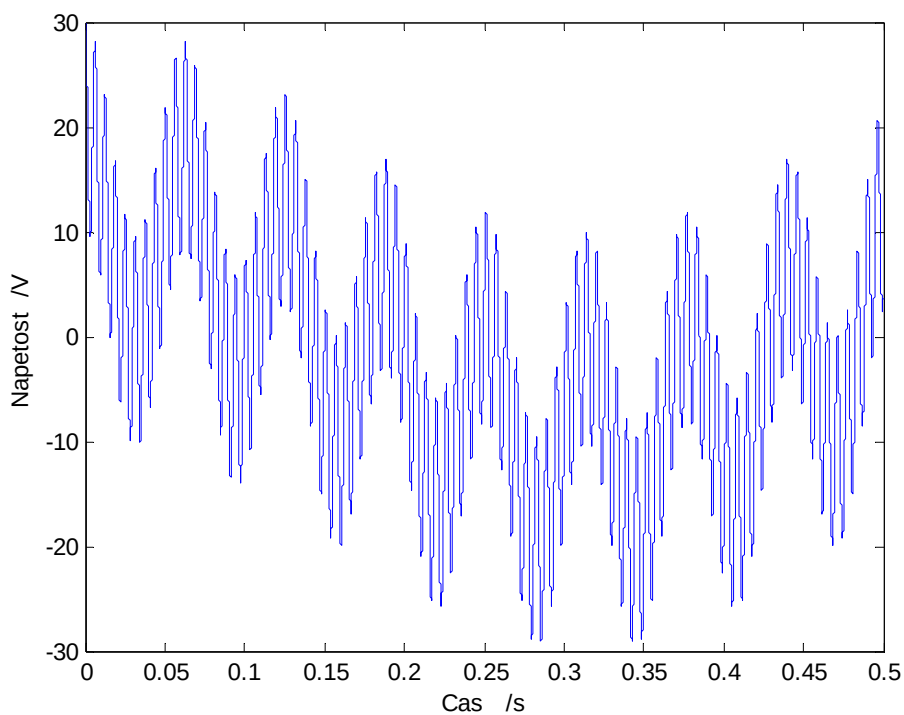
$A_{db} = 20 \log(A)$. Pri ojačanju ena je logaritem enak nič, pri mejni frekvenci pa je ojačanje enako $20 \log(0.707) \cong -3 \text{ dB}$.



SLIKA: Prikaz razmerja napetosti v decibelih. Bodejev graf.

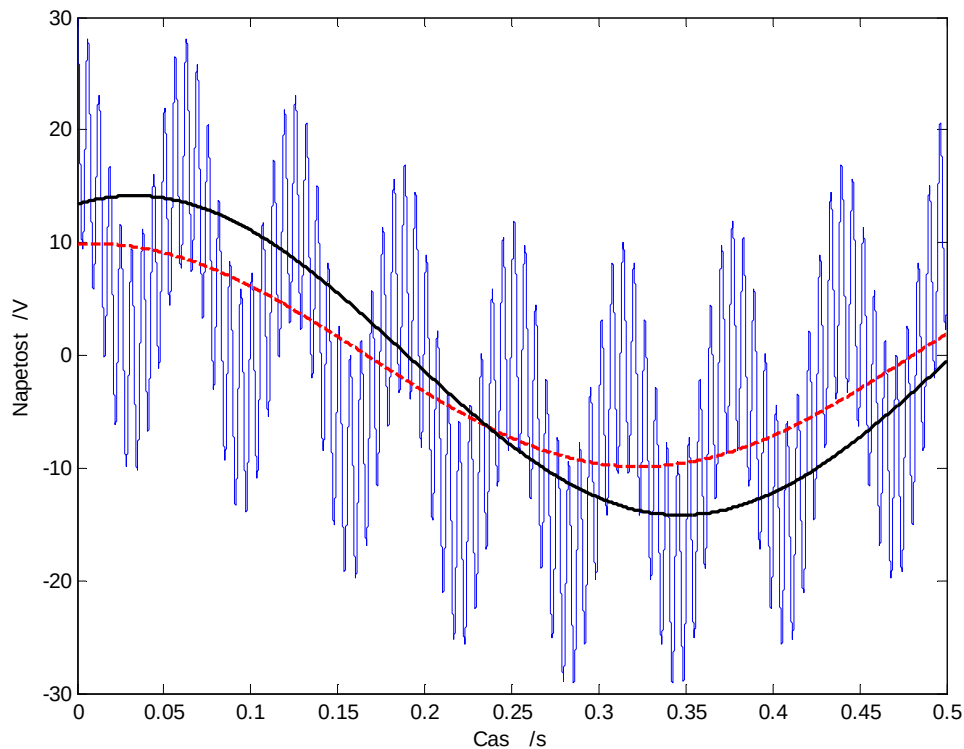
Poglejmo si preprost primer, ko imamo na vходу zaporednega RC vezja napetostni signal sestavljen iz treh frekvenc: $u(t) = U_1 \cos(\omega_1 t) + U_2 \cos(\omega_2 t) + U_3 \cos(\omega_3 t)$. Vzemimo, da so vse amplitude enake 10 V, frekvence pa so $\omega_1 = 10 \text{ s}^{-1}$, $\omega_2 = 10^2 \text{ s}^{-2}$, $\omega_3 = 10^3 \text{ s}^{-3}$. Vzemimo še $R = 1 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ }\mu\text{F}$.

Vhodni signal vidimo na sliki



SLIKA: Primer vhodnega signala, sestavljenega iz treh signalov različnih frekvenc in enakih amplitud (10 V).

Ta signal »spustimo« skozi RC filter in opazujemo napetost na kondenzatorju¹. Ta je prikazana skupaj z nizkofrekvenčnim signalom na sliki.



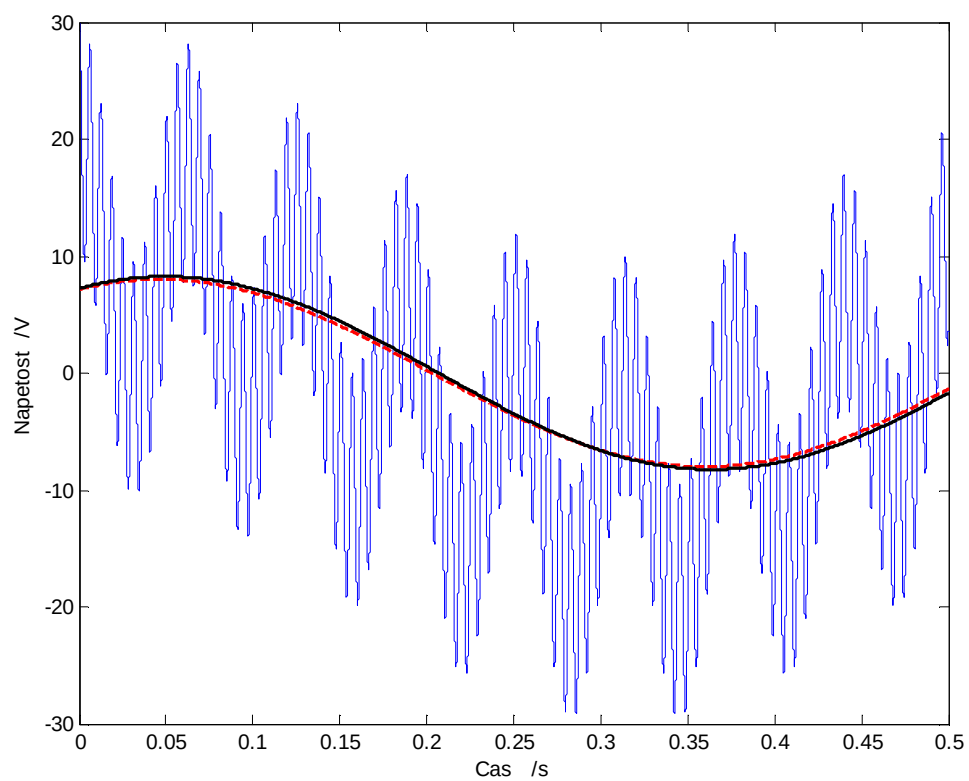
SLIKA: Vhodni signal (modra črta), ki vključuje signal nizke frekvence (rdeča črta). Izhodna napetost na kondenzatorju pri filteru z $R = 1 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ }\mu\text{F}$ (črna črta).

Vidimo, da že preprosti RC filter lepo prepusti signal nizke frekvence in mnogo manj komponent visokih frekvenc. V primerjavi z delom vhodnega signala nizke frekvence pa lahko ugotovimo, da izhodni signal ni popolnoma identičen nizkofrekvenčnemu, pač pa ima nekoliko drugačno fazo in tudi amplitudo. To bi lahko pričakovali glede na frekvenčno odvisnost faze in ojačanja.

Pri tem nismo imeli mejne frekvence optimalno nastavljene, saj je bila približno

$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \approx 16 \text{ Hz}$. Če povečamo upornost na $5 \text{ k}\Omega$, dobimo mejno frekvenco 3 Hz , ki lepo ohrani nizkofrekvenčni signal in ga tudi mnogo manj »premakne v fazi«.

¹ Za izračun določimo kompleksor izhodne napetosti (na kondenzatorju) za vsako frekvenco posebej, kompleksorje pretvorimo v časovni signal in časovne signale seštejemo. Zaradi različnih frekvenc signalov ne smemo seštevati posameznih kompleksorjev izhodnih signalov, pač pa jih moramo najprej pretvoriti v časovni prostor.



SLIKA: Vhodni signal (modra črta), ki vključuje signal nizke frekvence (rdeča črta). Izhodna napetost na kondenzatorju pri filtru z $R = 5 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ }\mu\text{F}$ (črna črta).