

Tehnička škola Ruđera Boškovića	
Elektronička instrumentacija	
Ime i prezime	Obrazovni odjel
Ime i prezime partnera	Nadnevak
Opaska	Ocjena

## SELEKTIVNI VOLTMETAR

Prilikom iskazivanju frekvencije signala misli se na njegovu osnovnu frekvenciju  $f_0$ . Međutim, većina signala (npr. pravokutni, trokutasti, muzički tonovi i ostali) sastavljena je i od drugih frekvencije koje se nazivaju harmonici. Obično su harmonici višekratnici osnovne frekvencije  $f_0$  pa se i nazivaju viši harmonici.

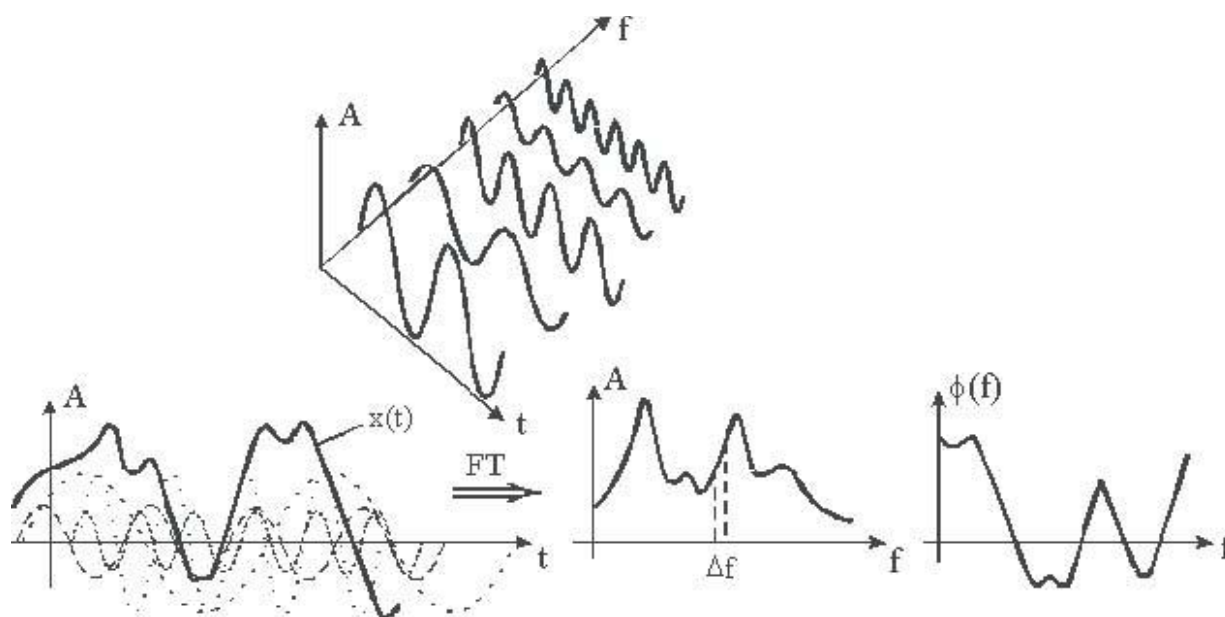
Raspored ovih harmonika određuje valni oblik signala određene frekvencije različitog od sinusnog signala te izobličenje (distorziju) signala D.

Bilo koji periodički signal se može prikazati harmoničkim redom:

$$y(t) = U_0 + \sum_{k=0}^N U_k \sin(2\pi f_k t + \varphi_k)$$

gdje je  $U_0$  istosmjerna komponenta signala, a  $U_k$  i  $\varphi_k$  su amplituda i fazni pomak  $k$ -tog harmonika. Svaki član reda se može izračunati pomoću integralnog računa Fourierove transformacije ukoliko je poznat eksplicitni matematički oblik signala.

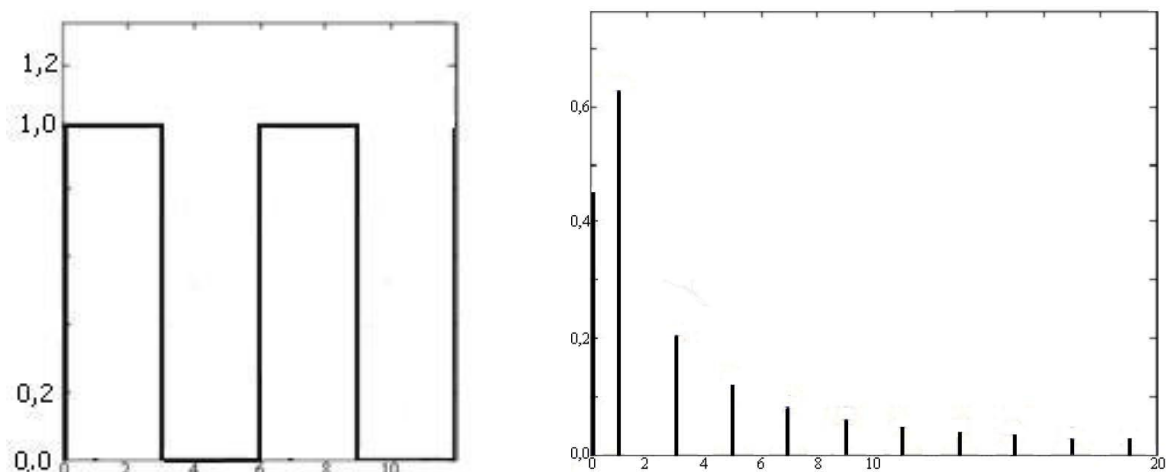
Ilustrativni primjer periodičkog signala  $x(t)$  njegovih harmonika te njegovog amplitudnog i faznog spektra prikazan je na slici 1.



Slika 1 Periodičkog signala  $x(t)$ , njegovi harmonici te, amplitudni i fazni spektra

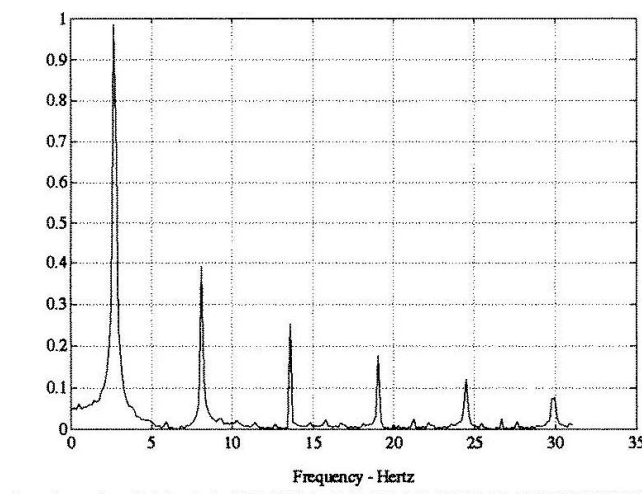
Ukoliko se za primjer promotri pravokutni signal sa slike 2. istosmjerna komponenta tog signala iznosi  $U_0 = 0,5 \text{ V}$ , a spektar se sastoji samo od neparnih harmoničkih komponenta signala frekvencija  $f_0, 3f_0, 5f_0, 7f_0, \dots$  čije su amplitude:

$$U_1 = \frac{2}{\pi}; \quad U_3 = \frac{2}{3\pi}; \quad U_5 = \frac{2}{5\pi}; \quad U_7 = \frac{2}{7\pi}; \dots \dots U_k = \frac{2}{k\pi} \quad (k = \text{neparni cijeli broj})$$



Slika 2 Pravokutni valni oblik signal i njegov amplitudni spektar

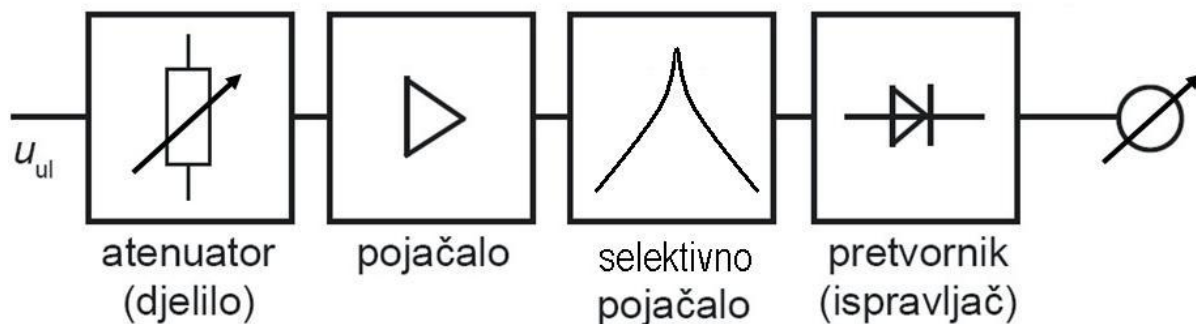
Prikaz spektra pravokutnog signala na zaslonu analizatora spektra prikazan je na slici 3.



Slika 3

U slučaju stvarnog elektroničkog periodičkog signala harmonici signala mjere se selektivnim voltmetrima koji su zapravo selektivno pojačalo s ugrađenim pojasnopojasnim filterom. Prema blok shemi sa slike 4.

Nakon prilagodbe signala na selektivno pojačalo propuštaju se harmonici signala, jedan po jedan, na indikator gdje se mjere njihove efektivne vrijednosti. Da bi se mogla prilagoditi frekvencija propuštanja selektivnog pojačala frekvenciji ulaznog signala selektivno pojačalo ima obično promjenjive kondenzatore za ugađanje frekvencije.



Slika 4

### Selektivno pojačalo:

U niskofrekvencijskom opsegu frekvencija (do 100 kHz) selektivno je pojačalo najlakše izvesti kao aktivni pojasnopropusni filter pomoću operacijskog pojačala i odgovarajuće RC mreže. Frekvencijska karakteristika tog filtra imati će s obzirom na središnju frekvenciju simetričan iznos gušenja preme višim i nižim frekvencijama kao što je prikazano na slici. 5.

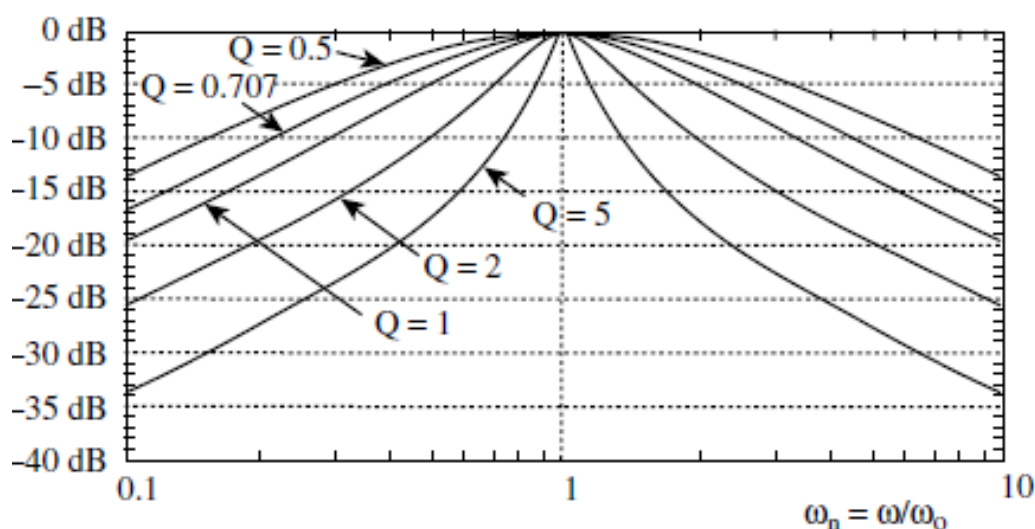
Selektivnost fakvog filtra je određena faktorom dobrote Q prema definiciji:

$$Q = \frac{f_0}{f_g - f_d} = \frac{f_0}{\Delta f}$$

Gdje je  $f_0$  središnja frekvencija filtra pri kojoj je gušenje filtra najmanje a  $f_g$  i  $f_d$  gornja i donja granična frekvencija filtra odnosno  $\Delta f$  je propusni opseg filtra.

Da se ostvari dobra selektivnost pojasnopropusnog filtra faktor dobrote mora biti puno veći od 1. ( $Q \gg 1$ ). Time će i točnost mjerenja pojedinog harmonika povećati.

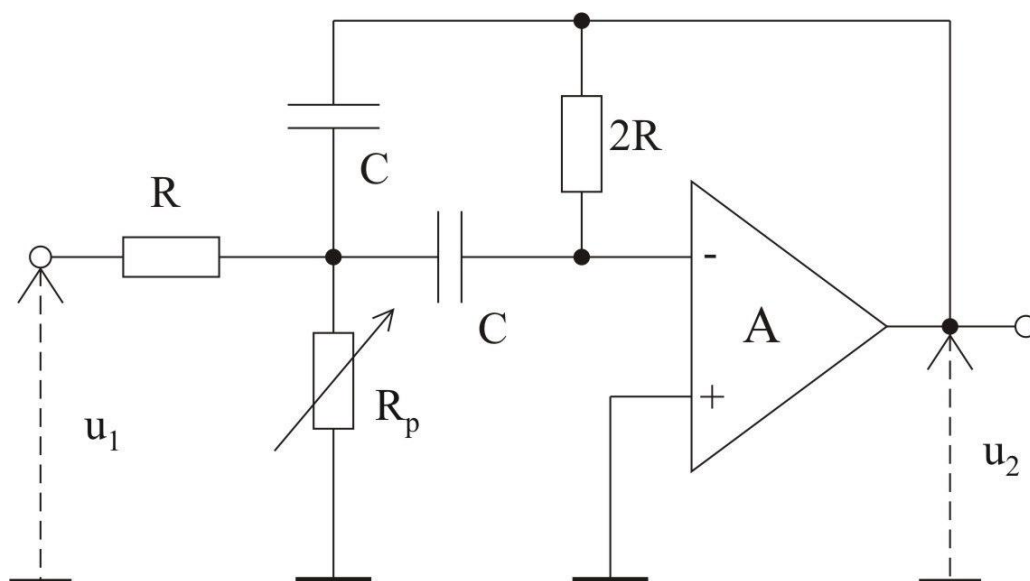
Realizacija filtara s faktorom dobrote većim od 100 je pravi konstrukcijski izazov jer zahtjeva konstrukciju filtra s nakoliko operacijskih pojačala i njihovih RC mreža kole moraju biti optimalno ugođene da bi se ostvarila željena selektivnost.



Slika 5

## Aktivni pojasnopropusni filter 2. Reda

Najjednostavniji selektivni filter moguće je realizirati prema shemi sa slike 6.



Slika 6

Taj se spoj zove aktivni pojasnopropusni filter 2. reda s višestrukom povratnom vezom jer ima dvije RC mreže i neovisni otpornok  $R_p$  za podešavanje faktora dobrote  $Q$ . (engl.- second order multiple feedback bandpass filter).

Filtiri 2. reda su građevni blokovi selektivnog pojačala čija složenost ovisi o selektivnosti. S takvom mrežom nije moguće ostvariti faktor dobrote veći od 20 pa ako se traži npr. selektivno pojačalo velike selektivnosti ( $Q \approx 100$ ) tada je potrebno spojiti nekoliko sekcija 2. reda kaskadno i sve elemente optimalno ugoditi. (za  $Q \approx 100$  mora se upotrijebiti 4 ili 5 ovakvih sekcija i red filtra postaje tada 8. odnosno 10.).

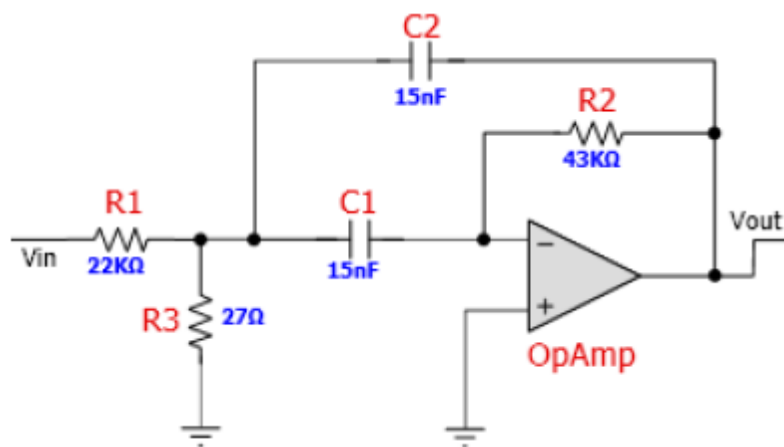
Prema shemi sa slike slijede ovi parametri pojasnopropusnog filtra:

- Pojačanje na  $f_0$        $A = 1$       odnosno gušenje      0 dB
- Faktor dobrote       $Q = \frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{R}{R_p}}$
- Središnja frekvencija       $\omega_0 = \frac{1}{2RC} \sqrt{1 + \frac{R}{R_p}}$

Danas se i najsloženiji analogni filtri mogu projektirati s pomoću softverskih alata FilterPRO (ti.com) ili FilterWIZZARD (analog.com), iako bi se i tada morala prethodno proučiti neka literatura o dizajniranju analognih aktivnih filtara tako da bi projektant između različitih ponuđenih mogućnosti odabrao najbolje rješenje.

Jedno rješenje pomoću FilterPRO prikazano je na slici 7. za sljedeće parametre filtra:

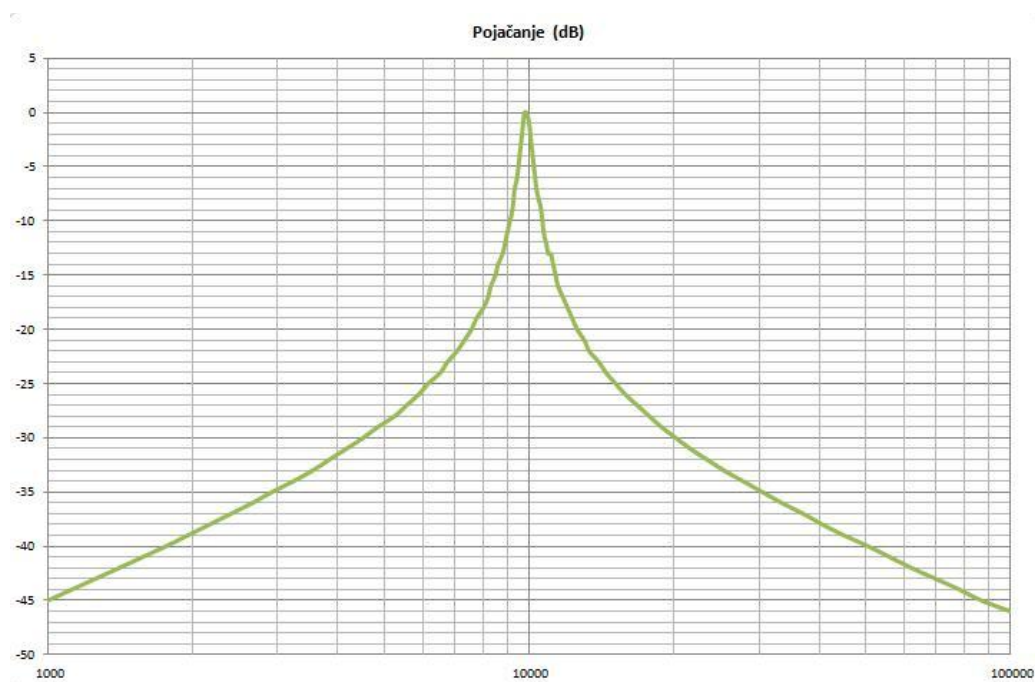
- Pojačanje na  $f_0$        $A = 1$
- Faktor dobrote       $Q = 20$
- Središnja frekvencija       $f_0 = 10 \text{ kHz}$



Slika 7

U programi su odabrane vrijednosti otpora zaokružene na najbližu standardnu vrijednost (E24) i kapaciteta (E12). Operacijsko ojačalo ima ideale parametre a za traženi filter GBW pojačala treba biti 20 MHz.

Izkalkulirane vrijednosti pojačanja prebačene u EXCEL i grafički prikazane daju frekvencijsku karakteristiku filtra koja se može vidjeti na slici 8.



Slika 8

Izkalkulirani podaci se jako dobro slažu sa željenom karakteristikom.

Algoritam za izračunavanje pojačanja glasi:

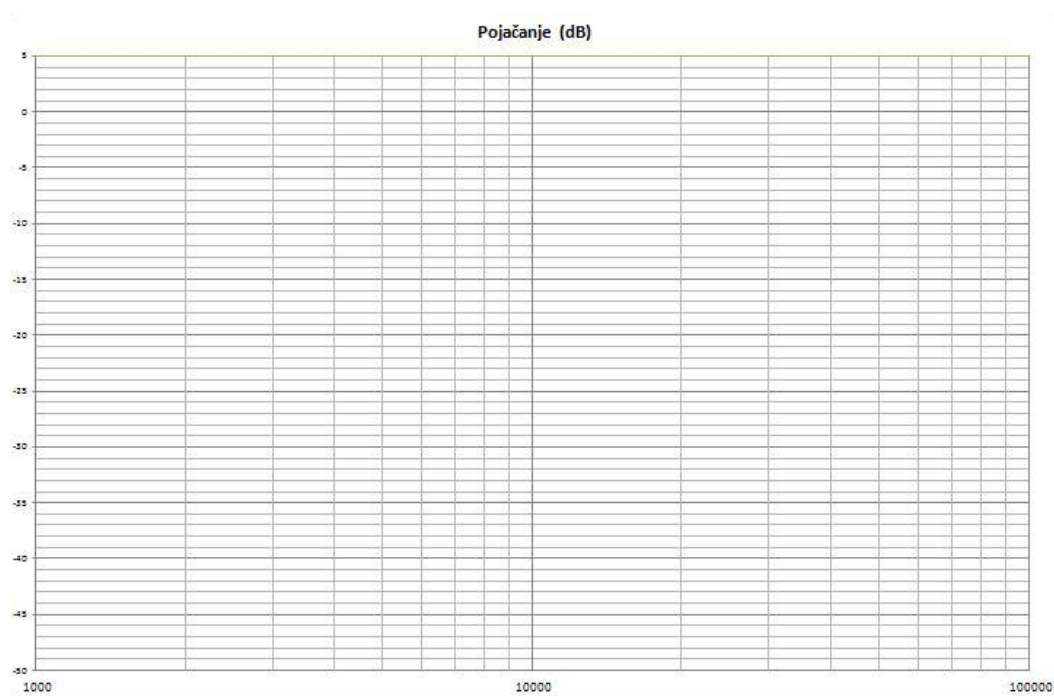
$$A(f) = A_0 \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left( \frac{f^2}{f_0^2} - \frac{f_0^2}{f^2} \right)^2}}$$

**Priprema za vježbu:**

1. Što je selektivni voltmetar. Što je faktor dobrote selektivnog filtera Q?

Odgovor

2. Skicirajte u dijagramu. frekvencijsku karakteristiku frekvencijske selektivnog filtra pojačanja 1, središnje frekvencije 5 kHz i faktora dobrote 14,1.



3. Projektirate elemente filtra prema konfiguraciji sa slike 6. I s parametrima iz zadatka 2 po slijedećem algoritmu:

a. Odaberi C

C = \_\_\_\_\_

b.  $k = \omega_0 C$

k = \_\_\_\_\_

c.  $R = \frac{1}{Ak}$

R = \_\_\_\_\_

d.  $R_p = \frac{1}{(2Q-A)k}$

R<sub>p</sub> = \_\_\_\_\_