

PRORAČUN I GRADNJA KVARCNOG FILTRA

Za CW, ili SSB propusne opsege opisaćemo proračun kvarcnog filtra sa 3, 4, 6, ili 8 kvarcna kristala. U obzir mogu doći kristali kakvi se upotrebljavaju u radio-telefonima. Za proračun filtra nisu potrebne karakteristike kvarca, dovoljno je znati njegovu frekvenciju oscilovanja. Prvo se sa 2 kvarca napravi jedan probni, tzv. test-filtar, kome se izmeri propusni opseg, na temelju čega se vrši dalji proračun.

Malo o teoriji filtarskih kola

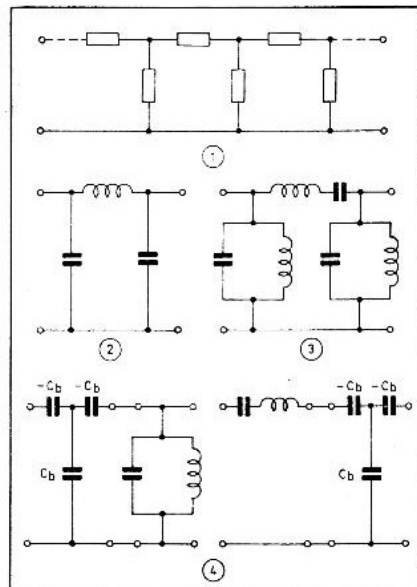
Filtarsko kolo zadrži između ulaznih i izlaznih priključaka niz uzdužnih i poprečnih impedansi, prema sl. 1. Na sl. 2 vidimo jednostavni filtarski propusnik niskih frekvencija. Iz dva paralelna i jednog rednog oscilatornog kola, vezana prema sl. 3, dobijamo filtarski propusnik opsega. Matematičkim putem se može dokazati, da se dodavanjem jednog impedansnog invertora kapacitivnosti C_b , susedno paralelno oscilatorno kolo može pretvoriti u redno oscilatorno kolo, prema sl. 4, sa invertorom sa desne strane.

Ako se filtru opsega sa sl. 3 sa leve strane doda impedansni inverter kapacitivnosti C_b , a sa desne, impedansni inverter kapacitivnosti C_c , dobija se propusni filtarski opseg prikazan na sl. 5, iste propusne karakteristike. U električnom pogledu neće se ništa izmeniti, ako se filtru sa sl. 5 sa leve strane na ulazu veže radna kapacitivnost C_c i $-C_c$, a na izlazu, $-C_b$ i C_b , (sl. 6). Na sl. 6 su još 3 uzdužne grane sa induktivnošću L_s i kapacitivnostima C_a , C_b i C_c uokvirene.

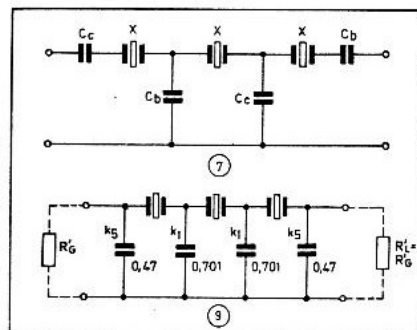
Znamo da kvarcni kristal ima u blizini redne rezonancije malu impedansu, kada možemo zanemariti i uticaj paralelne kapacitivnosti kvarca. Zbog velikog Q-faktora kvarca može se zanemariti i štetni uticaj otpornosti kvarca. Pod tim uslovima dobijamo ekvivalentnu šemu kvarca kao jedno redno oscilatorno kolo sastavljeno iz induktivnosti L_s i kapacitivnosti C_s .

Na sl. 6 možemo 3 kapacitivnosti C_a , C_b i C_c zameniti sa jednom kapacitivnošću C_s , za koju važi odnos:

Velimir MESAROS, dipl. inž.



Sl. 1, 2, 3 i 4



Sl. 7 i 9

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_a} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{C_c}$$

Prema tome možemo uokvirena oscilatorna kola sa sl. 6 da zameniti

mo sa 3 kvarcna kristala, što je prikazano na sl. 7. Tako smo došli do filtra sa 3 kvarcna kristala.

Na sl. 7 i 11 prikazani su kvarcni filtri sa seriskom završnom kapacitivnošću. Kako su kod seriske veze sa sl. 7 redno vezani, na ulazu generator unutrašnje otpornosti R_G sa C_c , odnosno otpornost potrošača R_L sa C_b , moguće je odgovarajućom transformacijom dobiti filtarski kao što je to prikazano na sl. 9. Ovde je ulazna/izlazna kapacitivnost paralelno priključena ulazu, odnosno izlazu. Transformacija se vrši sledećim obrascima:

$$R'_G = R_G \left(1 + \frac{1}{k_{sl}^2} \right), k_{sl} = \frac{k_{sl}}{1 + k_{sl}^2}$$

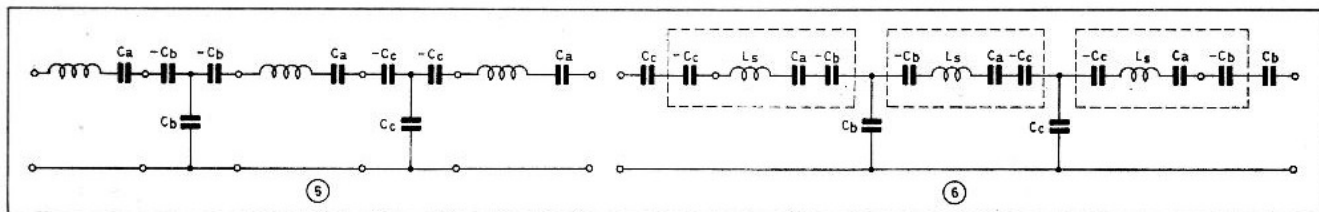
Koeficijenti k_{sl} , za pojedine tipove filtara se uzimaju prema sl. 11. U praksi je obično $R_G = R_L$, a čitav proračun se sprovodi uz pretpostavku da je filtarski zatvoren čisto omskim otpornostima R_i .

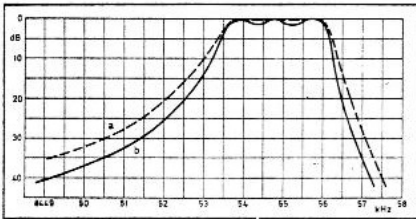
Kod svakog filtra opsega, kao što pokazuju propusne krive na sl. 8 i sl. 10, postepeno se prelazi iz nepropusnog u propusni opseg. Za FM i AM prijemnike bi bila idealna četvrtasta karakteristika. Ukoliko filtarski ima manji broj oscilatornih kola, propusna kriva (karakteristika) odstupa više od idealnog oblika. Najbolje približavanje idealnom (četvrtastom) obliku postižemo, ako se u propusnom opsegu dozvoli izvesna talasnost (vidi sl. 10), tako da visina svih bregova bude jednaka dubinama svih dolina u talasnom delu. Filtri takvih karakteristika nazivaju se Čebišev-filtri.

Ukoliko filtarski nema talasnost u propusnom opsegu, tj. ako je u propusnom opsegu ravna karakteristika, imamo Batervort-filtarski (Butterworth), čija kriva je prikazana na sl. 8 tačkasto. Vidimo da Čebišev-filtarski ima strmiju karakteristiku.

Do sada smo pretpostavljali da je ulaz i izlaz filtra zatvoren omskom završnom otpornošću R_i . Kod VF filtra je često završnoj otpornosti R_i paralelno vezana neka kapacitivnost koja potiče od raznih priključnih veza. Uticaj parazitarne kapacitivnosti može se smanjiti, ako se u filtru smanjuju redne kapacitivnosti. Između kapacitivnosti C i završne otpornosti R_i postoji sledeća veza:

Sl. 5 i 6 — Postupak transformacije filtarskog kola





Sl. 8

$$C = \frac{k \cdot 10^6}{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot R_t} \quad (1)$$

gde je C kapacitivnost sprege filtra u pF, f_0 rezonantna frekvencija filtra u MHz, R_t završna otpornost filtra u omima i k koeficijent kapacitivnosti (normirana kapacitivnost), čija vrednost zavisi od broja n kristala u filtru. Na sl. 11 date su izračunate vrednosti za k za razne slučajeve filtra sa 2, 3, 4, 6 i 8 kristala sa seriskom završnom kapacitivnošću.

Praktično dimenzionisanje filtra — Primeri filtra sa sl. 11 izvedeni su sa seriskom završnom kapacitivnošću. Umesto vrednosti serijskih i paralelnih kondenzatora dati su njihovi koeficijenti k. Iz jednačine (1) dobijemo vrednosti za kondenza-

tore ako se usvoji vrednost za R_t kod poznate rezonantne frekvencije kvarca f_0 . Tako, na primer, za filter sa $n=4$ kvarca, pri usvojenom $R_t=641$ oma i rezonantnoj frekvenciji kvarca $f_0=8454$ kHz, dobijemo sledeće vrednosti:

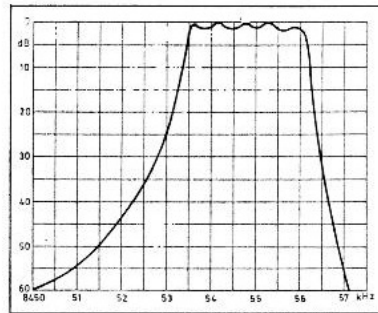
$$C_{s1} = \frac{k_{s1} \cdot 10^6}{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot R_t} = \frac{0,827 \cdot 10^6}{6,28 \cdot 8,454 \cdot 641} = 24,3 \text{ pF,}$$

$$C_1 = \frac{0,712 \cdot 10^6}{6,28 \cdot 8,454 \cdot 641} = 21 \text{ pF,}$$

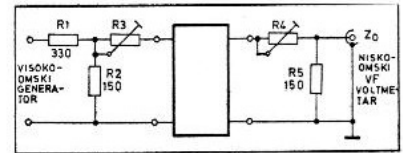
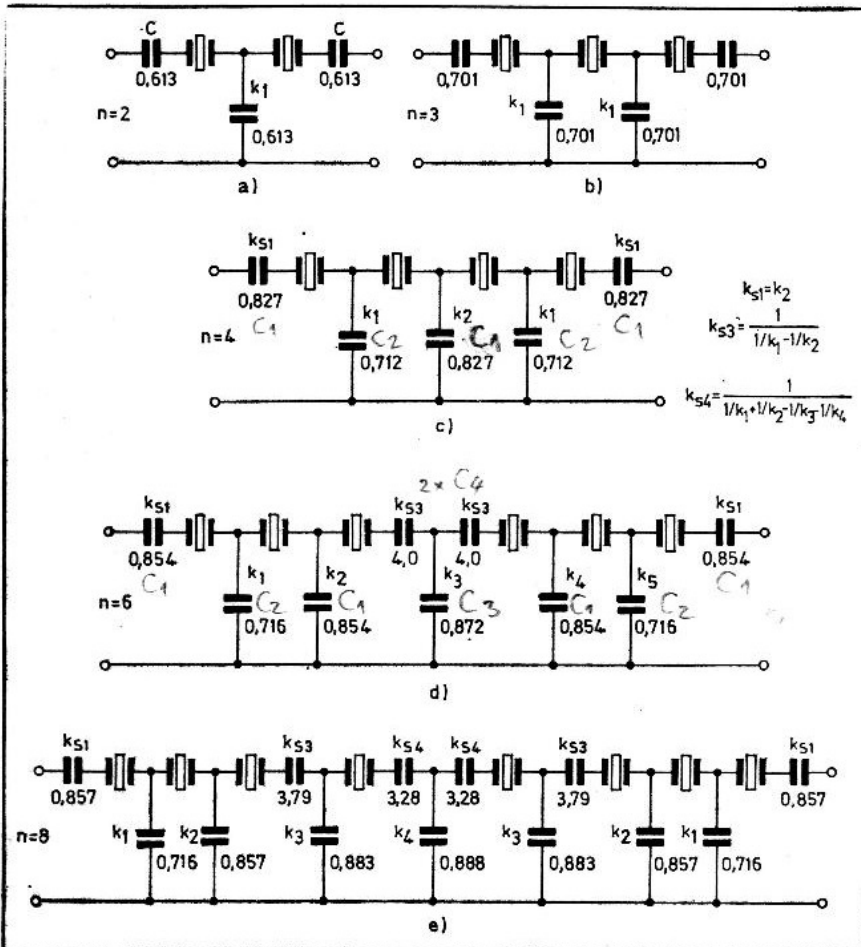
$$C_2 = C_{s1} = 24,3 \text{ pF.}$$

Ako je potreban filter sa paralelnom završnom kapacitivnošću

Sl. 10



Sl. 11 — Električne šeme kvarcnih filtara sa 2, 3, 4, 6 i 8 kristala



Sl. 12

prema sl. 9, dobija k_s vrednosti: 0,47; 0,491; 0,494 i 0,494 ako filter ima $n=3, 4, 6$ i 8 kristala. Vrednosti za ostale koeficijente k_1, k_2, k_3 i k_4 sa sl. 11 ostaju nepromenjene. Završna otpornost R_t povećava se za pojedine slučajeve na: $R_t' = 3,035 \cdot R_t$; $2,462 \cdot R_t$; $2,371 \cdot R_t$ i $2,362 \cdot R_t$ za $n=3, 4, 6, 8$ kvarca.

Određivanje propusne širine B filtra — Filtri dimezionisani prema sl. 11 imaju Čebišev karakter i talasnost od 1 dB. Propusna širina zavisi od L/C odnosa upotrebljenog kvarca i od kapacitivnosti sprege kondenzatora C. Prema jednom predlogu iz članka objavljenom u časopisu »Radio Communication« br. 2/1979, može se merenje L/C kvarca zameniti sa merenjem 3 dB propusne širine B na jednom test filtru sa $n=2$ kvarca. Merenje se izvodi prema sl. 12. Sa R_3 i R_4 podešava se završna otpornost R_t . Treba da je $R_3 = R_t - R_2$ i $R_4 = R_t - Z_0$. Za nuždu možemo za merenje koristiti om-metar, koji se priključuje na ulazne, odnosno izlazne stezaljke i koji treba da pokaže vrednost R_t . Pri tome je ulaz otvoren, a izlaz kratkospojen.

Ako za C izaberemo vrednost od 18 pF, dobijemo iz (1), ako je $f_0=8454$ kHz, $R_t=641$ om. Snimljenu karakteristiku tog test filtra vidimo na sl. 13, a izmerena propusna širina B iznosi 2287 Hz.

Za željenu propusnu širinu filtra B_2 potrebna je kapacitivna sprega C, koja se dobija iz jednačina:

$$C = C_{iz} \cdot \left(\frac{B_{mer}}{B_2} \right)^2 \quad (2)$$

gde je B_{mer} izmerena širina sa dijagrama sa sl. 13, a C_{iz} izabrana kapacitivnost filtra.

Primer proračuna Čebišev-filtra sa 6 kristala — Na raspoloženju su kvarcni kristali $f_0=8454$ kHz. Treba konstruisati filter sa 6 kristala, propusne širine $B=2400$ Hz i talasnosti $t=1$ dB.

Na test filtru prema sl. 12, sa 2 kristala, izmerili smo najpribližniju širinu $B=2257$ Hz, koju smo dobili pri izabranoj kapacitivnosti $C=18$ pF. U tabeli 1 dati su rezultati merenja za druge izabrane vrednosti C_{iz} . Izmerena talasnost t od 0,9 dB umesto 1 dB dolazi usled malih odstupanja karakteristika upotrebljenih kristala.

Za željenu propusnu širinu $B_2=2400$ Hz treba uzeti prema jednačini (2) na mesto $C=18$ pF, kapacitivnost:

$$B = 18 \left(\frac{2287}{2400} \right)^2 = 16,34 \text{ pF.}$$

Sada će nova završna otpornost filtra biti:

$$R_t = \frac{k \cdot 10^6}{2 \cdot \pi \cdot f_o \cdot C} = \frac{0,613 \cdot 10^6}{6,28 \cdot 8,454 \cdot 16,34} = 706_{\text{ oma.}}$$

Proračunate kapacitivnosti filtra, uzimajući u obzir koeficijente sa sl. 11 (filtar sa 6 kristala), biće sledeće:

$$C_1 = \frac{k_1 \cdot 10^6}{2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot R_s} = \frac{0,716 \cdot 10^6}{6,28 \cdot 8,454 \cdot 706} = 19,1 \text{ pF}$$

$$C_2 = C_{s1} = \frac{k_2 \cdot 10^6}{2 \cdot \pi \cdot f_o \cdot R_t} = \frac{0,854 \cdot 10^6}{6,28 \cdot 8,454 \cdot 706} = 22,7 \text{ pF,}$$

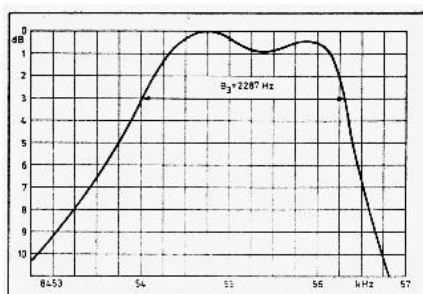
$$C_3 = \frac{k_3 \cdot 10^6}{2 \cdot \pi \cdot f_o \cdot R_t} = \frac{0,872 \cdot 10^6}{6,28 \cdot 8,454 \cdot 706} = 23,2 \text{ pF,}$$

$$C_{s3} = \frac{k_{s3} \cdot 10^6}{6,28 \cdot 8,454 \cdot 706} = 106 \text{ pF.}$$

Rezonantna kriva tog filtra prikazana je na sl. 10. Umesto $B=2400$ Hz, izmereno je $B=2580$ Hz, što se može dozvoliti za amaterske potrebe s obzirom na toleranciju

Tabela 1. Rezultati merenja na test filtru

C_{iz} (pF)	R_t (oma)	f_1 (kHz)	f_2 (kHz)	B (Hz)	t (dB)
15	769	8454,198	8456,742	2544	1,3
18	641	8454,001	8456,288	2287	0,9
22	525	8453,837	8455,912	2075	0,8
27	427	8453,742	8455,611	1869	0,9
33	350	8453,660	8455,333	1673	0,9



Sl. 13

upotrebljenih kondenzatora, koje su uzete iz standardnog niza E12.

Završne primedbe — Kod svih rezonantnih krivi vidimo da je bočni nagib blaži pri nižim, a strmiji pri višim frekvencijama. Veća

strmina kod viših frekvencija dolazi od paralelne kapacitivnosti kvarca, koja je u proračunu bila zane-marena.

Ako se na mesto poprečnih kondenzatora u filtara ugrađuju kristali, može se i pri nižim frekvencijama postići veća strmina rezonantne krive. Druga mogućnost za popravku oblika rezonantne krive leži u primeni fazing filtara vezanih u lanac. Kapacitivnosti fazing kondenzatora treba da budu veće od paralelne kapacitivnosti kvarca.

Literatura:

1. »Funkamateur« 6/1980
2. »Radio Communication« 2/1979