

Kristalni filtri za opseg frekvencija 150-170MHz

Dragi Dujković, Irini Reljin, Lenkica Grubišić, Snežana Dedić-Nešić, Ana Gavrovska

Apstrakt—Tehnologija izrade filtera zasnovanih na kristalima kvarca je i dalje zahtevan tehnološki postupak iako je imao svoj maksimum osamdesetih godina prošlog veka. Međutim, i danas se koriste ove komponente u savremenim telekomunikacijama, naročito digitalnim, i to tamo gde je veoma bitno imati kvalitetne uređaje za prijem, predaju i prenos signala. Uslovi rada filtera i uređaja u koji su ugrađeni, pored električnih zahtevaju i dobre klimomehaničke radne karakteristike koje su definisane zahtevima korisnika. U radu su opisani kristalni filtri propusnici opsega, namenjeni za rad u spoljnim uslovima pri visokim frekvencijama, i to u opsegu od 150 do 170 MHz.

Ključne reči—Kristali, filtriranje, projektovanje, kućište, tehničke karakteristike.

I. UVOD

Kristalni filtri koji se implementiraju u uređaje za razne civilne i vojne namene, često imaju strogo definisane zahteve vezane za električne karakteristike, ali i za takozvane klimomehaničke karakteristike pri kojima su iskazani uslovi funkcionisanja filtra pri specifičnim uslovima namene (ovo je uobičajeno za uređaje koji se koriste van zaštite prostorija, tj. u spoljnim i terenskim uslovima rada).

U radu je opisan razvoj novih tipova kristalnih filtera propusnika opsega učestanosti na frekvencijama od 150 do 170MHz prema specifikacijama definisanim od strane korisnika. Specifikacija filtra obuhvata električne karakteristike koje definišu tok amplitudske karakteristike i klimomehaničke karakteristike koje definišu zahteve u pogledu vibracija, udara i temperature za rad filtra u specifičnim uslovima.

Razmatrani su izazovi ostvarivanja što većeg slabljenja u nepropusnom opsegu filtra i što manjeg slabljenja u propusnom opsegu filtra. Paralelno sa rešavanjem ovih problema odvijao se razvoj kristalnih jedinki u cilju ostvarivanja svih parametara koje je projekat filtra odredio a posebno ostvarivanja njihovog što većeg Q -faktora i što većeg faktora potiskivanja neželjenih rezonancija.

Takođe je urađena i analiza svih elemenata koji se u filter ugrađuju i ispitan njihov uticaj na osetljivost filtra u pogledu funkcionisanja u radnom temperaturnom opsegu i pri

Dragi Dujković – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: dragi@ef.bg.ac.rs).

Irini Reljin – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: dragi@ef.bg.ac.rs).

Lenkica Grubišić – Institut Mihajlo Pupin, Volgina 15, 11060 Beograd, Srbija (e-mail: lenka@piezo.imp.bg.ac.rs).

Snežana Dedić-Nešić – Institut Mihajlo Pupin, Volgina 15, 11060 Beograd, Srbija (e-mail: snezanadn@gmail.com).

Ana Gavrovska – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: dragi@ef.bg.ac.rs).

ekstremnim zadatim uslovima rada [1-4].

Rad je organizovan na sledeći način. U drugoj glavi dat je kratak osvrt na potrebe za realizacijom ovakvih filtera. Treća glava je posvećena projektovanju filtera. Kristalne jedinke su opisane, kao i sama realizacija u glavi četiri. U petom poglavlju se nalazi zaključak.

II. POTREBA ZA REALIZACIJOM FILTERA KONKRETNIH KARAKTERISTIKA

Zahtevane električne karakteristike filtera su direktno vezane za namenu uređaja, a ta namena određuje tok amplitudske i fazne karakteristike u propusnom opsegu, centralnu frekvenciju filtra, širinu propusnog opsega i selektivnost.

U zavisnosti od toga u kakvim će uslovima uređaj funkcionisati zahtev za specifikaciju pored standardnih električnih karakteristika ima i zahteve koji se odnose na vibracije, udare, potrebe, temperaturu, pritisak, vlagu (tzv. klimomehaničke uslove rada) ali i mnoge druge specifične zahteve.

Ovakvi kristalni filtri za specijalne namene, koji se prema zadatoj specifikaciji ne mogu pronaći u katalogima proizvođača, zahtevaju razvoj uz odgovarajući projekat filtra prema postavljenim zahtevima.

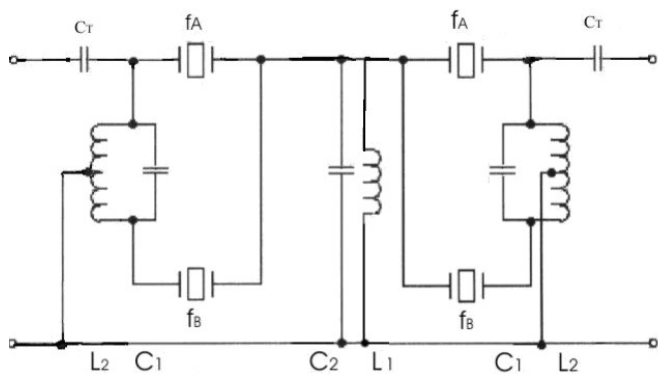
U celom svetu postoji samo nekoliko proizvođača koji mogu realizovati kristalne filtre na osnovu specifičnih zahteva korisnika. To zahteva razvoj novih tehnoloških postupaka pri proizvodnji, kao i projektovanje filtera i njihovih komponenata. Zbog toga se većina proizvođača bavi proizvodnjom katalogskih tipova filtera sa standardnim karakteristikama i komponentama [4–10].

III. PROJEKTOVANJE FILTERA

Urađen je projekat filtra čija je lista tehničkih zahteva data u tabeli 1. Na osnovu definisanih zahteva u pogledu toka amplitudske karakteristike u propusnom i nepropusnom opsegu određen je red filtra i mreža koja obezbeđuje ispunjavanje postavljenih zahteva (videti sliku 1). Pri proračunu filtra se mora voditi računa o tolerancijama elemenata koji se ugrađuju u filter, da bi on mogao ispuniti tražene karakteristike.

Prema predviđenim gubicima u mreži, urađen je proračun filtra, određena električna šema i definisani zahtevi vezani za kristalne jedinke. Projektom filtra su tačno definisani svi zahtevi koji se odnose na parametre kristalnih jedinki, njihove vrednosti i tolerancije. Definisani su i zahtevi u pogledu frekvencija kristala, serijske i paralelne kapacitivnosti kristala i podešenosti frekvencije na sobnoj temperaturi. Takođe su definisane i maksimalna dozvoljena odstupanja frekvencija kristala u radnom temperaturnom

opsegu filtra. Na osnovu zahteva za ispunjavanje klimomehaničkih uslova rada odabran je i tip kućišta kristalnih jedincki.



Sl. 1. Električna šema kristalnog filtra 156.800 MHz.

Prema definisanim zahtevima sadržanim u specifikaciji filtra (Tabela I) urađen je projekat filtra 4-og reda uz Chebyshev aproksimaciju. Razvijene su mikrominijaturne kristalne jedincke AT-reza sa malim odstupanjem frekvencije u širokom temperaturnom opsegu koje ispunjavaju postavljene zahteve u pogledu položaja i potisnutosti sporednih rezonancija i u pogledu zahtevanih klimomehaničkih karakteristika.

Proračunom filtra osim kristalnih jedincki određuju se i vrednosti ostalih komponenata, kao što su kalemovi i kondenzatori kao i njihov raspored na štampanoj ploči.

Treba imati u vidu da filtri rade na visokim frekvencijama gde prisustvo parazitnih kapacitivnosti značajno utiče na karakteristike filtara, tako da je raspored komponenata od izuzetnog značaja u rešavanju problema selektivnosti i slabljenja u nepropusnom opsegu filtra [1-5].

Da bi izmerili amplitudne i fazne karakteristike, za merenja je korišćen realizovani kristalni filter centralne frekvencije 156.800 MHz. Ovaj filter ima relativno slabljenje u propusnom opsegu +/- 7.5 kHz manje od 3dB. Izvan frekventnog opsega +/-60 kHz slabljenje je veće od 40 dB . U širem opsegu frekvencija, do +/- 50 MHz, relativno slabljenje je veće od 40 dB.

Minimalno pogonsko slabljenje filtra je manje od 6 dB. Talasnost u propusnom opsegu je manja od 1 dB. Ulazna i izlazna otpornost filtra iznose 50 Ω.

Radni temperaturni opseg filtra je -20° C do +70 °C. Temperaturni opseg skladištenja (opseg temperatura u kojima filter neće promeniti karakteristike dok se čuva u skladištu) je -40 °C do +85 °C. Filter je smešten u kućište dimenzija (61×26.2×26.2) mm.

Filter takođe mora da ispuni posebne zahteve vezane za vibracije, udare i temperaturu, tj. da zadovolji zahteve za klimomehaničke karakteristike rada. Detalji svih tehničkih karakteristika filtra su dati u Tabeli I.

IV. PRISTUP ZASNOVAN NA KRISTALNIM JEDINKAMA I REALIZOVANI KRISTALNI FILTER

Kristalne jedincke (KJ) su planparalelne, prečnika $\Phi=5$ mm. Upotrebljena je elektroda $d=0.79$ mm. Planparalelne KJ su sečene u obliku kruga tako da su im bočne strane paralelne

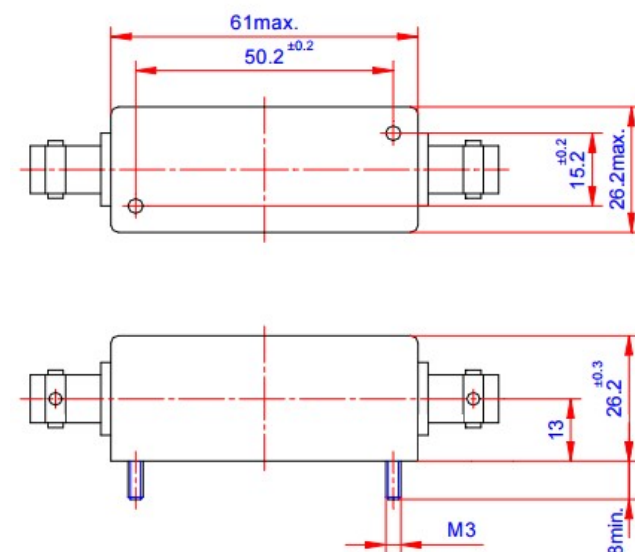
[10]. Kao elektrodni materijal korišćen je aluminijum. U proizvodnji se mora voditi računa o planparalelnosti radi ostvarenja zahteva vezanih za položaj i potisnutost sporednih rezonancija.

Za nosač kristalne jedincke upotrebljen je držač sa petljicama da bi se obezbedili najpovoljniji rezultati vezani za zahteve na otpornost rada kristalne jedincke pri uticaju vibracija i mehaničkih udara.

Na slici 2 prikazan je realizovani filter. Filter je smešten u standardno G10BNC kućište koje je prikazano na slici 3.



Sl. 2. Realizovani kristalni filter.



Sl. 3. Kućište G10 BNC.

Rezultati ispitivanja filtara na sobnoj temperaturi i u radnom temperaturnom opsegu od -40°C do +85°C pokazuju da filtri ispunjavaju zahteve navedene u listi tehničkih podataka.

Rezultati merenja amplitudske karakteristike filtra na sobnoj temperaturi prikazani su u dijagramima na slici 4.

Na filterima je sprovedeno merenje električnih karakteristika i testiranje prema zadatim uslovima. Konačni rezultati merenja pokazali su da su karakteristike realizovanih filtara u skladu sa zahtevima definisanim listom tehničkih podataka i da primenjeni tehnološki postupak daje visokokvalitetan filter koji se može koristiti i u posebnim klimatskim i mehaničkim uslovima [4-8].

Lista tehničkih podataka za kristalne filtre 150-170 MHz je sledeća:

1. Kućište CW-HC-45
2. Q-faktor > 60000
3. dinamička kapacitivnost $C_I = 0.85 \text{ mpF} \pm 10\%$
4. paralelna kapacitivnost $C_o = 0.6 \text{ pF} \pm 5\%$
5. dinamička otpornost $R_I < 220 \Omega$

6. podešenost $df/f = \pm 5 \text{ ppm}$
7. odstupanje $df/f = \pm 20 \text{ ppm}$
8. starenje $df/f = 1 \text{ ppm/god}$
9. radni temperaturni opseg $-20 \div +70^\circ \text{C}$
10. neželjene rezonancije A. $f_0 + 50 \text{ kHz} - \text{bez } f_n$
B. $f_n > 30 \text{ dB}$ za $f_0 \pm 1 \text{ MHz}$

Tabela I Tehničke karakteristike filtera

| | |
|---|---|
| Centralna frekvencija(CF) | 150 - 170 MHz |
| Širina propusnog opsega na 3 dB | +/- 7.5 kHz |
| Talasnost u propusnom opsegu | 1 dB max u opsegu +/- 7.5 kHz |
| Širina nepropusnog opsega na 40 dB | +/- 60 kHz max |
| Relativno slabljenje u nepropusnom opsegu | 40 dB min za +/- 50 MHz |
| Minimalno pogonsko slabljenje | 6 dB max |
| Ulazna impedansa | 50 Ω |
| Izlazna impedansa | 50 Ω |
| Dozvoljeni nivo neželjenih rezonancija | 10 dB min |
| Radni temperaturni opseg | -20°C до $+70^\circ \text{C}$ |
| Temperaturni opseg skladištenja | -40°C до $+85^\circ \text{C}$ |
| Vibracije sinusne | 10 do 2000 Hz 30 g |
| Udari | 100 g 6 ms |
| Termički šok 5 ciklusa | -55°C do $+125^\circ \text{C}$ |

V. ZAKLJUČAK

Pored proračuna i realizacije kristalnog filtra, razvijena je i nova kristalna jedinka. Ovakvi kristalni filtri predstavljaju novi proizvod, jer su u njemu korišćene nove tehnologije i nove komponente. Ovi proizvodi imaju širok dijapazon primena i veliku upotrebnu vrednost i ističu se svojom cenom i svojim kvalitetom, tako da su konkurentni ne samo na domaćem tržištu već i u celom svetu. Navedene karakteristike i konkurentnost na svetskom tržištu daju perspektivu razvoju novih elektronskih sklopova i proizvoda na bazi kristalne jedinice.

U daljem razvoju ovih i sličnih uređaja treba ići na usvajanje novih tehnologija izrade kristalnih jedinki i upotrebe novih i kvalitetnijih komponenti u kolu elektronskih sklopova novih uređaja [4-8].

ZAHVALNICA

Istraživanja opisana u ovom radu su delimično finansirana od strane Ministarstva za obrazovanje i nauku Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Snežana Dedić-Nešić "Prilog projektovanju kristalnih filtera sa linearnom faznom karakteristikom" Magistarska teza, Elektrotehnički fakultet Beograd, 1991.
- [2] A.I.Zverev: "Handbook of Filter Synthesis" John Wiley and Sons, Inc, 1967
- [3] H. J. Blinckhoff, A. I. Zverev "Filtering in the Time and Frequency Domains" John Wiley and Sons, Inc, 1976
- [4] D. S. Humpherys "The Analysis, Design and Synthesis of Electrical Filters" Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1970
- [5] Snežana Dedić-Nešić, Dragi Dujković, Lenkica Grubišić, Irini Reljin, Branimir Reljin "Novi visokokvalitetni 90.1105 MHz filtri za komunikacije u rudnicima" ETRAN, 2010
- [6] Dragi Dujković, Branimir Reljin, Snežana Dedić-Nešić, Lenkica Grubišić, Dubravka Jevtić, "Novi kristalnih filter F121" ETRAN, 2012

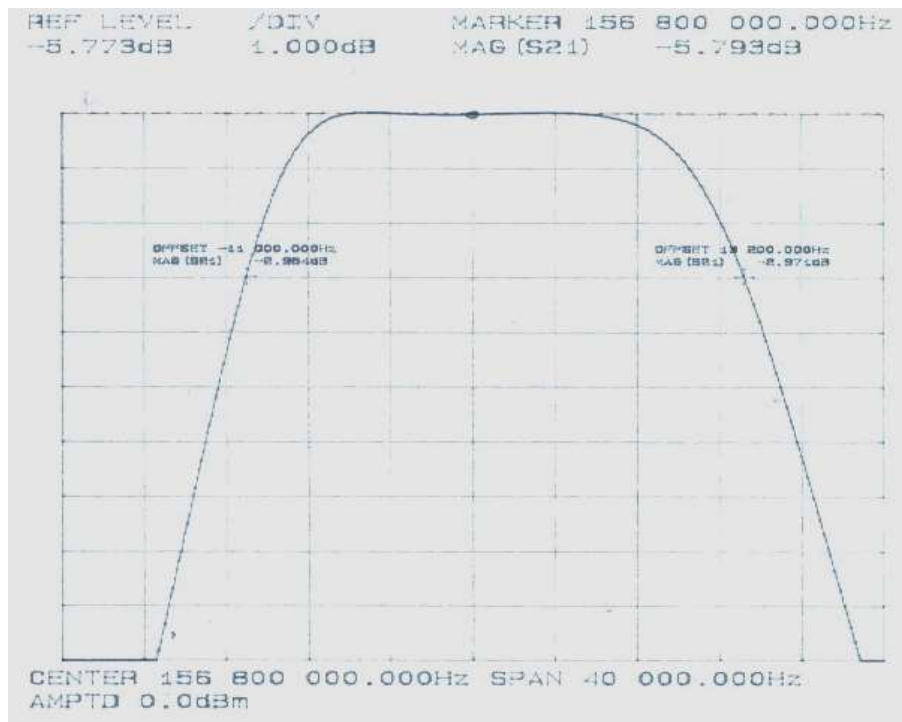
- [7] D. M. Dujković, S. Dedić-Nešić, L. Grubišić, A. Gavrovska, and I. Reljin, "High-quality crystal filter: Design and realization," Telfor J., vol. 5, no. 2, pp. 118-122, 2013.
- [8] D. M. Dujković, S. Dedić-Nešić, L. Grubišić, M. Paskaš, and I. Reljin, "Matched Crystal Filters" Telfor Proceedings, pp. 481-484, Belgrade 2014.
- [9] D. M. Dujković, S. Dedić-Nešić, L. Grubišić, M. Paskaš, and I. Reljin, "A Novel 76.8375 MHz Crystal Filter Based on Third Overtone Crystal Units", Telfor Proceedings, pp. 177-181, Belgrade 2020.
- [10] L. Grubišić, S. Dedić-Nešić, D. M. Dujković, B. Reljin, "Novi tip kristalne jedinice za filtre namenjene za rad u posebnim klimo mehaničkim uslovima", ETRAN, 2012, EK2.6-1-4, Banja Vrućica 2011.

ABSTRACT

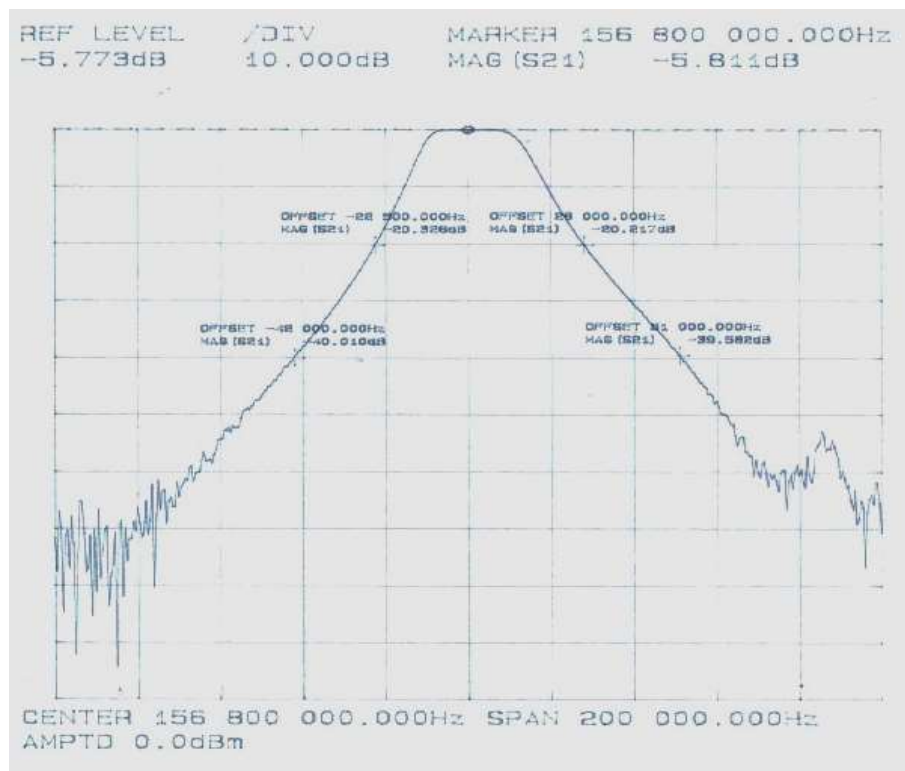
The technology of making filters based on quartz crystals is still a demanding technological process, although it had reached its maximum in the 1980s. However, even today, these components are used in modern telecommunications, especially digital, where it is very important to have high quality devices for receiving, transmitting and signal distribution. The operating conditions of the filters and devices in which they are installed, in addition to electrical ones, require good temperature-mechanical operating characteristics that are defined by the requirements made by users. The paper describes band-pass crystal filters, which are intended for operating in outdoor conditions at high frequencies in the range from 150 to 170MHz.

Crystal filters for frequency range 150-170 MHz

Dragi Dujkovic, Irini Reljin, Lenkica Grubisic, Snežana Dedic-Nesic, Ana Gavrovska



a)



b)

Sl. 4. Rezultati merjenja amplitudske karakteristike filtra 156.800 MHz na sobnoj temperaturi, a) u okviru radnog opsega +/- 7.5 kHz od CF , b) u okviru opsega od +/- 50 MHz od CF