

Visokokvalitetna ultratanka mikrominijatura kvarcna kristalna jedinka AT-reza na osnovnom modu frekvencije 63 MHz

Dragi Dujković
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički
fakultet
Beograd, Srbija
dragi@etf.bg.ac.rs

Lenkica Grubišić
Piezotehnologije
Institut Mihajlo Pupin
Beograd, Srbija
lenkica.grubisic@gmail.com

Ana Gavrovska
Katedra za telekomunikacije
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički
fakultet
Beograd Srbija
anaga777@etf.bg.ac.rs

Aleksandar Rakić
Katedra za signale i sisteme
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički
fakultet
Beograd Srbija
rakic@etf.bg.ac.rs

Ivan Popović
Katedra za elektroniku
Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički
fakultet
Beograd Srbija
popvici@etf.bg.ac.rs

Abstract— U radu je opisan postupak razvoja jedinki kristala kvarca namenjenih za upotrebu u visokostabilnim filterima, koji rade na frekvenciji 63 MHz. Prilikom projektovanja filtra, naročita pažnja se posvećuje izboru kristalnih jedinki koje se koriste u rezonatorima. Ekstremno visoki zahtevi koji se postavljaju pred filtre, u pogledu propusnog opsega, podešenosti frekvencije i u pogledu neželjenih rezonancija, mogu se ostvariti jedino primenom kristalnih jedinki najvišeg kvaliteta. Dodatni zahtevi se postavljaju pred tehnologiju mehaničke obrade kristalne jedinke, uključujući sečenje, izbor materijala za elektrode, način nanošenja elektroda i način postavljanja jedinice u kućište. Svi ovi zahtevi imaju pretežan uticaj na elektromehaničke karakteristike kristalne jedinice, što definiše njen kvalitet kao komponente za primenu u oscilatorima i filterima.

Cljučne reči— Kristali, filtriranje, neželjene rezonancije, frekvencija

I. UVOD

Na osnovu novih visokokvalitetnih, ultratankih mikrominijaturnih kvarcnih jedinki sa osnovnom frekvencijom od 63 MHz, realizovan je novi tip kristalnog filtra sa posebnim zahtevima u pogledu intermodulacionih izobličenja i linearosti fazne karakteristike.

Proračunom filtra definisani su elementi ekvivalentne električne mreže i tehnički zahtevi za kristalne jedinice, koji obuhvataju:

- dozvoljeni nivo neželjenih rezonancija, što je naročito važno za propusni opseg od 400 kHz;
- frekvencije kristalnih jedinki;
- dozvoljeno odstupanje frekvencije kristala na sobnoj temperaturi i u radnom temperaturnom opsegu;
- vrednosti parametara kristalne jedinice;
- serijsku i paralelnu kapacitivnost;

- faktor dobrote kristala.

Poseban zahtev odnosi se na intermodulaciju kristalnih jedinki. Za ispunjenje ovog zahteva primenjene su nove metode u realizaciji kristalnih jedinki koje omogućavaju poboljšanje ove karakteristike i ostvarenje zadatih performansi.

Na kvarcne pločice primenjen je novi tehnološki postupak kombinovanog poliranja kao i iscrtavanja pločica cementom u cilju potiskivanja sporednih rezonancija.

Uvedeno je pranje naparenih jedinki mekom četkicom, što je obezbedilo i najstrože zahteve za intermodulaciju ($IM3 > 80\text{dB}$). Takođe, obezbeđena je uža tolerancija ugla pod kojim se seče kvarc.

Izvršena je analiza tehnološkog postupka montaže, cementiranja i zatvaranja posle čega je usledio odabir držača AT-pločice radi obezbeđivanja strogog zahteva za faktor dobrote kristala [1] – [9].

II. ELEKTRIČNI MODEL KRISTALA

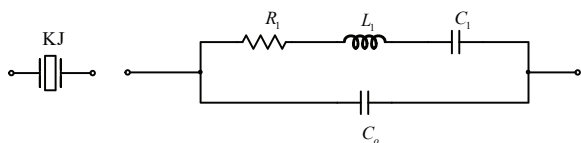
A. Kristalna jedinka i električni model

Kristalna jedinka (KJ) je osnovni element svih kristalnih komponenata (oscilatori, filteri, jedinice za kašnjenje i senzori zasnovani na KJ), i zato ima presudan uticaj na njihov kvalitet, odnosno kristalna jedinka najznačajnije određuje njihove osobine. Dobro definisan zahtev za projektovanje i realizaciju kristalnih oscilatora i filtera je osnov za izbor odgovarajuće kristalne jedinice.

KJ su mehanički rezonatori koji osciluju na sopstvenoj rezonantnoj frekvenciji, koja je definisana njihovim dinamičkim karakteristikama.

KJ su mehanički rezonatori koji osciluju na sopstvenoj rezonantnoj frekvenciji, koja je definisana njihovim dinamičkim karakteristikama. Dinamičke karakteristike KJ mogu se prikazati odgovarajućim električnim ekvivalentnim

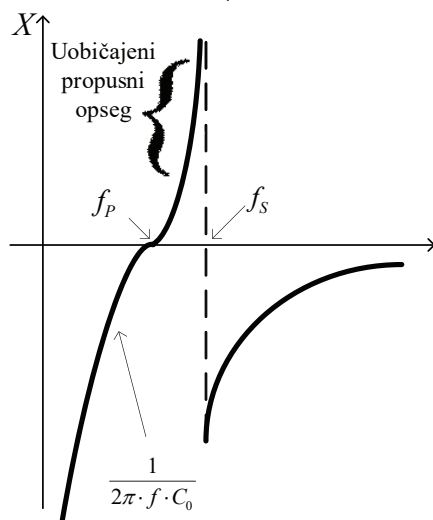
parametrima, koje vidimo na ekvivalentnoj šemi (C_l , R_l , L_l), prikazanoj na Sl.1.



Sl. 1 Grafički prikaz ekvivalentnog kola

Na osnovu prikazane ekvivalentne šeme i njenih parametara, lako se određuje rezonantna frekvencija oscilovanja projektovane kristalne jedinice, koja odgovara njenoj serijskoj rezonantnoj frekvenciji

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \cdot C_1}} \quad (1)$$



Sl. 2 Grafički prikaz reaktanse kola

Na Sl. 2 prikazana je reaktansa ekvivalentnog kola, pri čemu je antirezonantna (paralelna) frekvencija izražena sledećom relacijom:

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_1 + C_0}{L_1 C_1 C_0}} \cong f_s (1 + C_1 / 2C_0) \quad (2)$$

B. Parametri modela kristalne jedinice

Kapacitivnost C_0 potiče od parazitnih kapacitivnosti elektroda na samoj kvarcnoj pločici, delova kućišta kristalne jedinice, kao i njenih priključaka. Parametri L_l i C_l predstavljaju električne ekvivalente mehaničkih osobina kristalne jedinice.

Ovi parametri zavise od izbora kućišta, dimenzija kristalne jedinice, kao i od tehnoloških procesa koji se koriste u njenoj proizvodnji. Zbog toga je neophodno da se izbor kristalne jedinice, njene dimenzije i svi relevantni tehnološki postupci uzmu u obzir već u fazi projektovanja.

C. Projektovanje kristalne jedinice

Projektovanje i proizvodnja kristalnih jedinki predstavljaju složen konstruktivno-tehnološki proces. Svi mehanički i

hemijski postupci koji se primenjuju tokom obrade kvarcne kristalne pločice narušavaju strukturu kvarca, koja prirodno teži stanju ravnoteže.

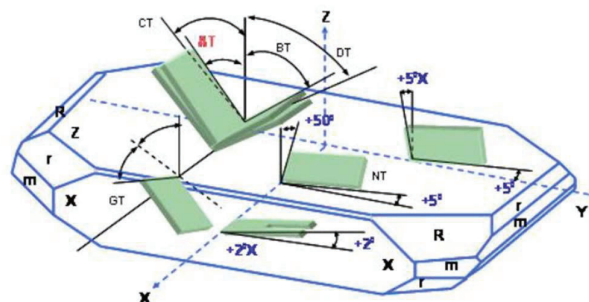
Sve ove promene prenose se na kvarcni rezonator i utiču na njegove fizičke karakteristike — poput elastičnih osobina, gustine i raspodele mase — čime se menja i rezonantna frekvencija, kao i aktivnost kristalne jedinice. Zbog toga je neophodno da se u fazi projektovanja i realizacije kristalne jedinice predvide i eliminišu svi neželjeni efekti ovih promena [1]-[18].

III. OSNOVI PROJEKTOVANJA KRISTALNE JEDINKE

Za postizanje odgovarajućeg kvaliteta kristalne jedinice (KJ), od presudne je važnosti pažljivo projektovanje, kako same jedinice, tako i svakog pojedinačnog koraka njenog tehnološkog procesa. Osnovni koraci u procesu projektovanja obuhvataju:

- definisanje skupa ključnih parametara koji utiču na projektovanje KJ,
- određivanje dimenzija kristalne jedinice i odabir odgovarajućeg kućišta,
- izbor i projektovanje faza proizvodnog procesa,
- realizaciju proizvodnje i merenje parametara gotovih kristalnih jedinki.

Prva i osnovna karakteristika kristalne jedinice jeste način sečenja u odnosu na pravce kristalne rešetke (Sl. 3). Stoga je od suštinskog značaja najpre definisati tip reza koji će se koristiti, u skladu sa zahtevima projektovanog filtra i njegovim predviđenim karakteristikama.

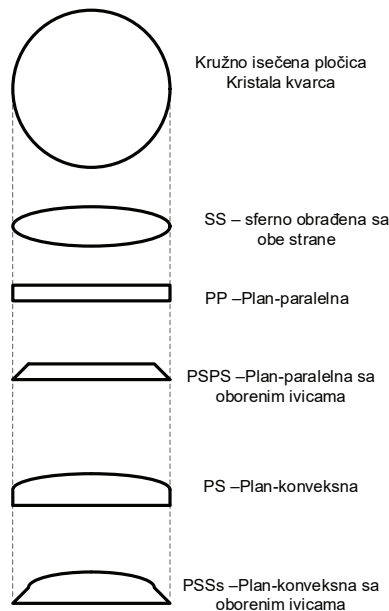


Sl. 3 Tipični rezovi kristalne jedinice u kristalu kvarca

Nakon procesa sečenja, kristalne jedinice (KJ) imaju oblik planparalelnih kvadratnih pločica koje još uvek nemaju odgovarajuću formu niti dovoljan kvalitet za ugradnju u nosač. Sledeći korak je njihovo glačanje i poliranje, što predstavlja izuzetno važnu fazu, jer direktno utiče na konačni kvalitet kristalne pločice [3].

Jedna od ključnih osobina projektovanja KJ jeste način oblikovanja same pločice. Ovaj proces se realizuje pomoću specijalizovane mašine — rundirke, koja kružnim sečenjem oblikuje pločice u željeni profil. Nakon rundiranja, neophodno je pažljivo isplanirati i ostale korake u procesu oblikovanja, koji zavise od konkretnih zahteva korisnika. Tipični oblici obrađenih kristalnih jedinki prikazani su na Sl. 4.

Izbor i projektovanje odgovarajućeg oblika značajno utiču kako na radne karakteristike jedinice, tako i na cenu njene izrade. Pločica nakon kružne obrade može ostati planparalelna (PP), imati sferno oblikovane površine (SS), biti u kombinovanom obliku planparalelnosti sa zakošenim ivicama (PSPS), i slično. U konkretnom slučaju, za projektovani filter korišćena je planparalelna kristalna jedinica.



Sl. 4 Tipični rezovi kristalne jedinice u kristalu kvarca

IV. REALIZACIJA MIKROMINIJATURNIH KRISTALNIH JEDINKI

A. Zahtevane tehničke karakteristike filtra

Za primenu u visokokvalitetnim kristalnim filterima namenjenim specijalnim aplikacijama, realizovane su ultratanke mikrominijature kvarene kristalne jedinice na osnovnom overtone, projektovane za sledeće karakteristike propusnog filtra:

1. Rezonantna frekvencija je 63MHz.
2. Podešenost rezonantne frekvencije na referentnoj temperaturi (25°C): ± 10 ppm.
3. Radni temperaturni opseg: od -55°C +90°C.
4. Odstupanje frekvencije u radnom temperaturnom opsegu: ± 20 ppm.
5. Parazitska (sopstvena) kapacitivnost: $C_0 = 1\text{pF} \pm 5\%$.
6. Dinamička kapacitivnost: $C_1 = 3,6\text{fF} \pm 10\%$.
7. Q -faktor > 60000 .
8. Neželjene rezonancije: udaljene više od 400 kHz od osnovne frekvencije, bez prisustva sporednih rezonantnih frekvencija
9. Intermodulaciono izobličenje (trećeg reda): $IM_3 > 80 \text{ dB}/IM_3 > 80\text{dB}$.
10. Starenje kristalne jedinice: bolje od $\pm 1 \times 10^{-6}/\text{god}$.

B. Tehničke mogućnosti

Realizovane mikrominijature kristalne jedinice, namenjene ugradnji u kristalne filtre za specijalne namene, obezbeđuju postizanje zahtevanih električnih karakteristika, kao i pouzdano funkcionisanje u ekstremnim uslovima rada, unutar širokog temperaturnog opsega.

Tehnološki postupak primenjen u izradi ovih kvarenih jedinica može se uspešno integrisati u proizvodne procese različitih tipova kristalnih jedinica, koje zahtevaju strogo definisane električne karakteristike, sa posebnim akcentom na visoku otpornost na intermodulaciona izobličenja.

C. Tehnologija izrade ultratankih mikrominijature kvarenih kristalnih jedinica

U okviru projekta razvoja mikrominijature kristalnih jedinica AT-reza, realizovane su jedinice koje zadovoljavaju specifične zahteve u pogledu položaja i potisnutosti sporednih rezonancija, visokog stepena otpornosti na intermodulaciona izobličenja, kao i minimalnog odstupanja rezonantne frekvencije u širokom temperaturnom opsegu.

Pored toga, uspešno su postignute ciljane vrednosti ključnih parametara kristalne jedinice, uključujući serijsku i paralelnu kapacitivnost, kao i visoku vrednost faktora dobrote (Q -faktora) kristala.

Kristalna jedinica direktno utiče na karakteristike filtera, pa od njenog izbora zavisi da li će realizovani filter ispuniti postavljene zahteve. Na osnovu proračuna filtera, definisani su tačni zahtevi koje kristalne jedinice treba da zadovolje.

Lista tehnoloških podataka za kristale osnovne učestanosti frekvencije $f_0 = 63\text{MHz}$:

1. Tip kućišta: CW-HC-45/U
2. Frekvencijski opseg: $f_a = 62636.231 \text{ kHz}$
 $f_b = 63090.267 \text{ kHz}$
3. Faktor dobrote (Q): > 60000
4. Dinamička kapacitivnost (C_1): $3,6 \text{ pF} \pm 10\%$
5. Paralelna kapacitivnost (C_0): $1,0 \text{ pF} \pm 5\%$
6. Dinamička otpornost (R_1): $< 15 \Omega$
7. Podešenost frekvencije $df/f = \pm 10 \text{ ppm}$
8. Odstupanje frekvencije u temperaturnom opsegu:
 $df/f = \pm 20 \text{ ppm}$
9. Starenje KJ: $df/f = 1 \text{ ppm/god}$
10. radni temperaturni opseg: $-55^\circ\text{C} \div +90^\circ\text{C}$
11. Intermodulaciono izobličenje (IM_3) $> 80\text{dB}$
12. Neželjene rezonancije A. $f_0 + 400\text{kHz}$ bez sporednih učestanosti f_n
B. $f_0 + 1\text{MHz} - f_n > 40\text{dB}$
(potisnuta sporedna rezonancija)

U projektu mikrominijature kristalnih jedinica, osnovne učestanosti 63 MHz, vodilo se računa o prečniku elektrode ($d = 0,69 - 0,74 \text{ mm}$) i debljini nanetog filma ($t = 1000 \text{ Å}$; $1 \text{ Å} = 10^{-10}$

m, jedinica koja se koristi za veoma male dimenzije u hemiji i tehnologiji) zbog zahteva za položaj i potisnutost sporednih rezonancija. Pošto su u pitanju tanki filmovi, kao elektrodni materijal korišćen je aluminijum.

Podešavanje frekvencije realizovano je hemijskim putem – pomoću soda tretmana za pomeranje ka višim frekvencijama, odnosno anodne oksidacije za pomeranje ka nižim frekvencijama, uz formiranje stabilnog oksidnog sloja Al_2O_3 . Sve kristalne jedinice su, nakon grupnog naparavanja i cementiranja, ostavljene da odstoje na vazduhu 24 sata radi formiranja stabilnog prirodnog oksidnog sloja.

Kvarcne pločice su planparalelne (PP), prečnika $\Phi = 5$ mm, i izrađene su od kvarca sa faktorom dobrote $Q > 1,8 \times 10^6$, bez strukturnih defekata i grešaka u pakovanju. Kristalne jedinice montirane su u hladno zavarene (cold-weld) držače tipa HC45/U.

U realizaciji kristalnih jedinki primenjen je novi tehnološki postupak hemijskog (dubokog) nagrizanja, odnosno poliranja prethodno mehanički obrađenih pločica. S obzirom da dizajn pločice u velikoj meri definiše položaj i nivo sporednih rezonancija, kombinovanjem mehaničkog i hemijskog poliranja ostvaruje se planparalelna površina na željenoj frekvenciji, čime se rešava problem pojave sfernih pločica (koje se javljaju usled prirode mehaničkog poliranja sa cerijum-oksidom).

Ukoliko je pločica temeljno oprana pre hemijskog poliranja i bez nečistoća, njen izgled se ne menja – ostaje planparalelna ako je takva bila. Prednost hemijskog poliranja je i očuvanje ugla sečenja kristala, uz povećanje mehaničke čvrstoće pločice.

U tehnologiji je ostvaren zahtev za niskim intermodulacionim izobličenjima, poboljšanim tehnološkim postupkom pranja kristalnih jedinki u ultrazvučnoj kadi sa alkoholom i mekom četkicom. Osnovni problem u procesu čišćenja je rekontaminacija pločica, naročito u periodima između:

- nanošenja osnovnih i sekundarnih elektroda i
- zatvaranja kristalne jedinice u kućište.

Čiste pločice koje se izlože atmosferi gotovo trenutno bivaju prekrivene filmom adsorbovanih gasova debljine nekoliko monoslojeva. Ako je prisutna i prašina, koja je nosač uljanih filmova, zagađenje postaje značajno. Problem se uspešno rešava ultrazvučnim pranjem uz četkanje, što značajno smanjuje otpornost kristalne jedinice.

Takođe, minimizovan je uticaj ivičnih efekata na jačinu sporednih rezonancija primenom novog tehnološkog postupka iscrtavanja cementom neposredno uz elektrode. Ovaj metod je primenljiv samo za kristalne jedinice frekvencije veće od 30 MHz, pri čemu se narušavanje Q-faktora svodi na maksimalno 15%, što se naknadno kompenzuje zatvaranjem u vakuumu.

Montaža kristalnih jedinki obavljena je u odgovarajuće vakuumske hladno varene kućište CW-HC45/U, koje obezbeđuje visoki faktor dobrote i nizak indeks starenja. Zatvaranje u vakuumu dodatno poboljšava Q-faktor za 15%.

V. OPIS RADNIH PROCESA

A. Sečenje

1. Kristal kvarca – Tip TOYOCOM LO8
2. Ugao sečenja i tolerancija: $\varphi = 35^\circ 20' 00'' \pm 1'$
3. Prečnik pločice $D_1 = 5.0 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$
4. Redosled kružne obrade - Posle II Rō Kontrole
5. Odsecanje - Pravac na osi Z, visina $h = 0,2 \text{ mm}$

B. Glačanje

6. Glačanje I. Abraziv $22 \mu - f/n(8400 \pm 100) \text{ kHz}$
7. I Rō kontrola
8. Glačanje II. Abraziv $12 \mu - f/n(11000 \pm 90) \text{ kHz}$
9. Glačanje III. Abraziv $5 \mu - f/n(27000 \pm 50) \text{ kHz}$
10. II Rō kontrola
11. Glačanje IV. Abraziv $1 \mu - f = (40000 \pm 20) \text{ kHz}$
na osnovnoj frekvenciji
12. Poliranje. Abraziv $CeO_2 - f_i = (4300 \pm 5) \text{ kHz}$
13. Promena debljine mehaničkim poliranjem- $\Delta t = 3 \mu$
14. Planparalelnost (Na ili T1) - Do 1. interferentnog kruga

C. Završna obrada

15. Hemijsko poliranje- $f_1 = (63146 \pm 5) \text{ kHz}$
 $f_2 = (63607 \pm 5) \text{ kHz}$
16. Promena debljine hemijskim poliranjem- $\Delta t = 12 \mu\text{m}$
17. Prečnik elektroda - $d_1 = (0,69/0,74) \text{ mm}$
18. Orijentacija pločice- Paralelno Z osi
19. Ugao dovodnih traka- 180°
20. Oznaka maske i uloška – Fotofabrication 36-180-04
21. Materijal elektroda – Al
22. Snižavanje frekvencije na elektrodama
 $\Delta f_o = (0.13) \times f_o^2 = 515 \text{ kHz}$
23. Nanošenje osnovnih elektroda – $-50 \text{ kHz} \div +70 \text{ kHz}$ u odnosu na $f_o(\text{kHz})$
24. postupak grupnog nanošenja:
- vakuum - bolji od $0,1333 \text{ kPa}$
- Izvor - isparivač
- Uređaj- Edwards (difuziona)
- Temperatura podloge- 25°C
25. Tip kućišta - HC-45/U
26. Tip držača -Hakuto
27. Tip poklopca- Hakuto.
28. Cement -EPOTEK H20E
29. Temperatura i vreme pečenja cementa - 140°C , 2h

30. Postupak završnog podešavanja- hemijsko (soda i anodna oksidacija)
31. Završna frekvencija Tolerancija –
 $f_1=62636,231 \pm 0.63\text{kHz} \times 4$
 $f_2=63090,267 \pm 0.63\text{kHz} \times 2$
32. I stabilizacija posle podešavanja- 1 h na 140°C
33. II stabilizacija pre zatvaranja- 30min na 140°C
32. Postupak zatvaranja - hladno vareno
33. Atmosfera u kućištu - Vakuum 0.1333 kPa
34. III stabilizacija posle zatvaranja - 72h na 120°C
35. Obeležavanje- Boja

I. TEHNOLOŠKI POSTUPAK MEHANIČKE I ZAVRŠNE OBRADJE

Ovde su ukratko opisane karakteristike KJ kao i ostvareni rezultati u razvoju tehnologije izrade visokokvalitetne ultratanke mikro-minijature kvarcne kristalne jedinice AT-reza osnovne učestanosti na frekvenciji od 63MHz.

Najvažniji rezultat u ovom tehnološkom postupku je ostvarivanje željene intermodulacije veće od 80dB ($IM3 > 80\text{dB}$).

A. Kristalna jedinica – karakteristike

1. Starenje $\pm 1 \pm 1 \times 10^{-6}$ godišnje
 $\pm 1 \pm 3 \times 10^{-9}$ dnevno
2. Vrsta kristala kvarca: TOYOCOM LO8:
 $Q = 1,8 \times 10^6 \div 3 \times 10^6$
3. Zatvaranje kućišta: CW
4. Metal film elektroda Al (aluminijum)

B. Postignuti rezultati završne obrade kristalne jedinice

1. Glačanje sa 1 μm abrazivom
2. Mehaničko poliranje:
 - sastav abrazivne suspenzije u zapreminskim delovima komponenata je 1(CeO₂) : 20(H₂O) : 0,5(glicerina 100%) : 0,5(HDK S-15 – pahuljice)
 - Ploče za poliranje su od nerđajućeg čelika sa tvrdom polistirol plastikom debljine 5mm
 - Nosač kvarcnih pločica je *Mular* – nosač od poliestera
 - Pranje ploča za poliranje pomoću abrazivne paste i krpe
 - Provera plan-paralelnosti kvarcnih pločica pomoću interferometra sa TI spektralnom lampom
3. Pranje pločica je u hrom- sumpornoj kiselini
4. Sušenje pločica jedan sat na temperaturi od +140°C u sušnici u teflonskim držačima
5. Hemijsko ploiranje u zasićenom rastvoru amonijum bifluorida sa 2 kapi Zonil-a, na temperaturi od 70°C
6. Pranje u običnoj vodi, zatim u destilovanoj vodi, pa u alkoholu i sušenje 10min na 100°C

7. Pranje pre grupnog naparavanja hrom- sumpornom kiselinom, zatim sušenje jedan sat na temperaturi od +140°C u sušnici u plastičnim držačima i čišćenje pločica u UVOX-u oko 30 minuta
8. Ulaganje pločica u maske za grupno naparavanje
9. Grupno naparavanje u vakuum pumpi EDWARDS, sa filmom od Al, pri vakuumu: 1×10^{-5} Paskala
 - Jonsko čišćenje pločica u pumpi pre metalizacije u vakuumu od 8×10^{-5} Paskala
 - Postizanje vakuuma 1×10^{-5} Paskala
 - Naparavanje Al na prednju stranu pločice na temperaturi od +25°C
 - Otvaranje pumpe zbog okretanja maski
 - Ponovo postizanje vakuuma 1×10^{-5} Paskala
 - Naparavanje Al na drugu stranu na temperaturi od +25°C
10. Cementiranje i završno sušenje u sušnici 2 sata na +145°C
11. Stabilizacija filma na vazduhu 24h na sobnoj temperaturi pri čemu se dešava formiranje stabilnog prirodnog oksidnog sloja
12. Ultrazvučno pranje pločica i posle toga pranje u alkoholu sa četkicom
13. Pojedinačno podešavanje frekvencije iz veće frekvencije pomoću anodne oksidacije ili iz manje frekvencije potapanjem u rastvor sode
14. Merenje impedanse
15. Ponovo stabilizacija na vazduhu u trajanju 24h na sobnoj temperaturi
16. Ultrazvučno pranje pločica i posle toga pranje u alkoholu sa četkicom
17. Finalno podešavanje frekvencije istim postupkom iz tačke 13.
18. Merenje frekvencije i otpornosti pomoću π četvoropola
19. Stabilizacija 1 sat u sušnici na na temperaturi od +140°C
20. Ponovo merenje iz tačke 18
21. Zatvaranje u kućište
 - zagrevanje u sušnici u trajanju od pola sata na +140°C,
 - postavljanje poklopca kućišta u presi
 - CW (cold welt) zatvaranje u vakuumu na 1×10^{-5}
22. Stabilizacija 3 dana na +120 °C
23. Merenje parametara i tehničkih karakteristika u Saunders mernom uređaju

II. ZAKLJUČAK

U radu je opisan razvoj i usvajanje nove tehnologije u procesu proizvodnje kvarcnih kristalnih jedinica SC-reza, namenjenih za upotrebu u kristalnim oscilatorima tipa OCXO (Oven Controlled Crystal Oscillator).

Zbog složenog dizajna i veoma zahtevnog tehnološkog procesa izrade, samo ograničen broj proizvođača u svetu u svom proizvodnom programu poseduje ovu klasu visokostabilnih kristalnih jedinki. Visokostabilni oscilatori, u koje se ove jedinice ugrađuju, imaju značajnu primenu u savremenim telekomunikacionim sistemima, naročito usled pooštrenih zahteva u pogledu stabilnosti i faznog šuma.

Tehnologija izrade visokostabilnih kristalnih jedinki (KJ) sa posebnim zahtevima za niski fazni šum, razvijena je na osnovu postojećih tehnoloških rešenja u Institutu Mihajlo Pupin. Tokom razvoja, bilo je potrebno da se pojedine operacije u potpunosti inoviraju, dok su druge prilagođene specifičnostima SC-reza i zahtevima OCXO primene.

Osnovni cilj istraživanja je realizacija novih oscilatora i filtara baziranih na kvarcnim kristalnim jedinkama. Prva od razvijenih komponenti je kristalna jedinka učestanosti 10 MHz, namenjena OCXO oscilatorima koji se primenjuju u GPS uređajima za sinhronizaciju. Jedinka je projektovana da zadovolji stroge tehničke zahteve, sa posebnim naglaskom na fazni šum u oblasti učestanosti 10 MHz, u skladu sa karakteristikama OCXO oscilatora u koji se ugrađuje.

U okviru ovog rada, obuhvaćen je i razvoj novih filtara, takođe zasnovanih na visokokvalitetnim kristalnim jedinkama, sa ciljem da se ostvare visoke performanse u zahtevnim aplikacijama.

ZAHVALNICA

Istraživanja opisana u ovom radu su finansirana od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije. Broj ugovora 451-03-136/2025-03/200103.

LITERATURA

- [1] Bottom, Virgil E. "A history of the quartz crystal industry in the USA". Proc. 35th Frequency Control Symp., IEEE 1981
- [2] W. S. Cotter, Complete Wireless Design, Second Edition, McGraw-Hill Inc., 2008.
- [3] A. Pavasović: "Kristalni oscilator sa kontrolisanom temperaturom (OCXO) – projekat i performanse", Zbornik radova XXIX konferencije ETRAN-a, Niš, Juni 1985., str. II.157-164
- [4] D. Jevtic, D. Dujkovic, S. Dedic-Nesic, M. Paskas, I. Reljin, "Application of crystal units in digital TV", (in Serbian) Conf. YUINFO 2009, Proceedings CD, Kopaonik, 2009.
- [5] D. Dujković, L. Grubišić, S. Dedić Nešić, A. Gavrovska, I. Reljin: "Proizvodnja jedinki kristala kvarca kompenzovanih na uticaje mehaničkih i termičkih naprezanja", 19. Telekomunikacioni forum, TELFOR, pp. 871-873, Beograd, 2011
- [6] Lenkica Grubišić, Dragi Dujković, Snežana Dedić-Nešić, Irini Reljin, "Novi tip kristalne jedinice za filtre namenjene za rad u posebnim klimo mehaničkim uslovima", ETRAN 2011, pp. EK 2.6-1 – 2.6-4, Beograd, 2011.
- [7] D. Dujković, L. Grubišić, S. Dedić-Nešić, A. Gavrovska, B. Reljin, "Novi tehnološki postupak u proizvodnji kristalnih jedinki SC reza, namenjenih

za visokokvalitetne kristalne oscilatore". 20. Telekomunikacioni forum, TELFOR 2012, pp. 879-882, Beograd, 2012

- [8] Snežana Dedić-Nešić, Lenkica Grubišić, Dragi Dujković, Irini Reljin, Milan Miličević, Ana Gavrovska "Čistoća kvarcnih pločica SC reza namenjenih za oscilator OCXO 10 SC", Conf. ETRAN 2014, Proceedings CD, Vrnjačka Banja 2-5 Juna 2014
- [9] L. Grubišić, S. Dedić Nešić, D. Dujković, B. Reljin, A. Gavrovska, "Definisanje uslova naparavanja elektroda u obliku tankog metalnog filma za novu kristalnu jedinku SC reza", 22. Telekomunikacioni forum TELFOR, pp. 485 - 488, Društvo za telekomunikacije, Beograd, Nov, 2014
- [10] D. M. Dujković, S. Dedić-Nešić, L. Grubišić, M. Paskaš, I. Reljin, "76.8375 MHz Crystal Filters Based on Third Overtone Crystal Units", 20. Telekomunikacioni forum, TELFOR 2012, pp. 879-882, Beograd, 2020.
- [11] E. Rubiola, Phase Noise and Frequency Stability in Oscillators, Cambridge University Press, 2008
- [12] D. Dujković, S. Dedic-Nesic, I. Reljin, "Improving stability and phase noise in OCXO", (in Serbian) Conf. ETRAN 2009, Proceedings CD, Vrnjačka Banja, 2009.
- [13] Dragi M. Dujković, Dubravka R. Jevtić, Snežana Dedić-Nešić, Lenkica Grubišić, Irini Reljin, Branimir Reljin, "High-quality OCXO for Digital TV" Conf. TELSIKS 2009, Proceedings CD, Niš, 2009.
- [14] Dragi Dujković, Snežana Dedić-Nešić, Lenkica Grubišić, Irini Reljin, "Novi pećnicom kompenzovani kristalni oscilator docxo10/p sa performansama visokog kvaliteta", Conf. ETRAN 2010, Proceedings CD, Donji Milanovac, 7-10 Juna 2010
- [15] D. Dujković, S. Dedić Nešić, L. Grubišić, A. Gavrovska, I. Reljin, "High-quality Crystal Filter-Design and Realization", TELFOR JOURNAL, Vol. 5, No. 2, pp. 118 - 122, Nov, 2013
- [16] D. Dujković, I. Reljin, L. Grubišić, S. Dedić-Nešić, A. Gavrovska, "Crystal filters for frequency range 150-170 MHz", ETPAH 2021, pp. 213 - 216, Stanišići Bosna i Hercegovina, Sep, 2021
- [17] D. Dujković, S. Dedić - Nešić, L. Grubišić, I. Reljin, A. Gavrovska, I. Popović, "Kristalni filter 70 MHz sa kontrolisanom faznom karakteristikom", 30th Telecommunications Forum (TELFOR), 2022, pp. 216 - 219, Beograd, Nov, 2022
- [18] D. Dujković, A. Gavrovska, L. Grubišić, S. Dedić - Nešić, I. Reljin, I. Popović, "Kvarcni kristalni filter frekvencije 35.4 MHz zasnovan na trećem overtone", ETRAN 2022, pp. 281 - 285, Novi Pazar, Jun, 2022

ABSTRACT

This paper presents the development of quartz crystal units for high-stability filters operating at 63 MHz. Special emphasis is placed on the selection and processing of crystal resonators, as their quality directly affects filter performance—particularly bandwidth, frequency accuracy, and suppression of spurious responses. The technological aspects of cutting, electrode deposition, and mounting are also considered, as they critically influence the electromechanical characteristics of the crystal, and thus its suitability for precision oscillators and filters.

High-Quality Ultrathin Microminiature AT-Cut Quartz Crystal Unit at Fundamental Frequency of 63 MHz

Dragi Dujković, Ana Gavrovska, Lenkica Grubišić, Ivan Popović, Aleksandar Rakić