

SREĆKO ZRILIĆ, dipl.ing.
 Institut "Mihailo Pupin"
 Beograd, Volgina 15

STARENJE NISKOFREKVENTNIH KRISTALNIH JEDINKI

AGING OF LOW FREQUENCY CRYSTAL UNITS

SADRŽAJ: U ovom radu prikazuje se priroda starenja niskofrekventnih kristalnih jedinica, zavisnost starenja od spoljnjih i unutrašnjih efekata, tehnološka rešenja minimizacije starenja i metod merenja.

SUMMARY: In this paper are presented nature of aging low frequency crystal units, depends of outlet and inlet effects technological solves of aging reduction and corresponding method of measuring.

1. UVOD

Pojam promene rezonantne frekvencije kristalnih jedinica sa vremenom naziva se starenje. Starenje kristalnih jedinica potiče od oksidacije, hemijske sorpcije, stresova, relaksacije, adsorpcije, desorpcije, difuzije i.t.d. Generalno, ove uzroke starenja možemo svrstati u relaksaciju i masorpciju.

Da bi smo dobili pravu sliku o uticaju ova dva pojma na starenje, korisno je posmatrati jedinku kao složeni rezonator koji se sastoji od kvarcne pločice, elektroda i montažne strukture.

Rezonantna frekvencija ovog složenog rezonatora menja se sa bilo kojim od parametara koji odredjuju rezonanciju sistema, kao što su gustina, raspodela mase, konstanti elastičnosti i.t.d.

Polazeći od tvrdnje da napon na elektrodi ili montažnoj strukturi se sprežu sa naponom u pločici, i dalje, da taj napon direktno utiče na frekvenciju, možemo pisati

$$\frac{df}{f} = \frac{df}{f(0)} + b \cdot \ln(1 + t/t_0) \dots\dots\dots(1)$$

gde su df/f , b i t_0 konstante.

Do iste formule se dolazi ako se predpostavi da je promena frekvencije sa vremenom uzrokovano promenom mase, gde konstante, naravno imaju druga fizička značenja.

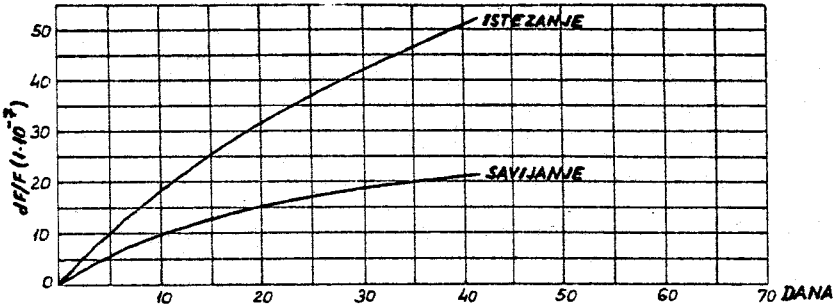
Oba navedena pojma i tumačenja daju promenu frekvencije sa vremenom po logaritamskoj zavisnosti.

2. STARENJE NISKOFREKVENTNIH KRISTALNIH JEDINKE

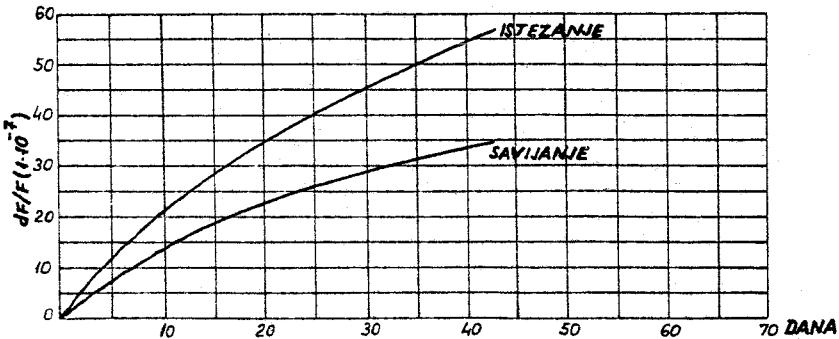
Starenje niskofrekventnih (u daljem tekstu NF) kristalnih jedinaka objašnjava se pojavom slabljenja mehaničkih napona sa vremenom, indukovanih u montažnoj strukturi u toku proizvodnje ili mehaničkim ili termičkim šokom uradjene kristalne jedinice. Kod NF kristalnih jedinaka, promena mase ima sekundarni karakter. Najveći deo tog napona, koji se javlja u montažnoj strukturi izaziva promenu mehaničke sile na površini pločice, a takođe i rezonantnih parametara koji direktno utiču na razdešavanje sistema. Promena mase kog parametra žičanog izvoda uzrokuje razdešavanje celog sistema. Neka ispitivanja su pokazala da se primenom sile od 5gr na žičani izvod menja rezonantna frekvencija $1-2 \cdot 10^6$.

Dokazano je da brzina starenja kristalnih jedinaka direktno zavisi od odnosa mase montirajućeg sistema i mase pločice. To je pokazano na DT pločici i ide u prilog teoriji da je glavni razlog starenja slabljenje mehaničkih napona u montažnoj strukturi ili relaksacija sistema. To je, takođe pokazano na NT i X rezonatorima. Važno je istaći da je starenje za DT i NT tipove manje nego za sličan tip CT i pravougaoni X element za isti odnos mase montažnog sistema i mase pločice. Da bi objasnili ovu pojavu i zadržali hipotezu da je relaksacija glavni uzrok starenja, dolazimo do zaključka da je uticaj montažnog sistema različit za razne tipove oscilovanja. Kvadratni DT tip, koji osciluje "smičući po širini" i NT tip, koji osciluje "savijajući po dužini i širini" izazivaju rotacioni tip kretanja u odnosu na žičani izvod u tački spoja izvoda i pločice. S druge strane, X element, koji osciluje "istezanjem po dužini" izaziva naizmenično silu istežanja i sabijanja u tački spoja. Kvadratni CT izaziva dve naizmenične sile istežanja i međusobno su pod uglom 90° . Zbog toga je uticaj montažnog sistema na performanse rezonatora veći na jedinice koje proizvode naizmenično istežanje i sabijanje prema tački spoja, a u pravcu debljine vibratora, nego na jedinice koje proizvode rotacioni tip kretanja.

Na slici 1. date su krive starenja kristalne jedinice 5⁰X tipa kad radi kontinualno "istežući po dužini" i kad osciluje u toku merenja "savijajući po dužini i širini" na drugom harmoniku, a slika 2. prikazuje krive starenja druge kristalne jedinice 5⁰X tipa kad osciluje kontinualno "savijajući po dužini i širini" drugi harmonik, i kad osciluje u toku merenja na "istezanje po dužini". Sa slika se vidi da je starenje veće u slučaju "istezanja po dužini", što ide u prilog teoriji da montažna struktura različito utiče na različite tipove oscilovanja.

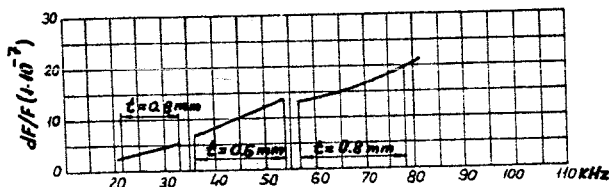
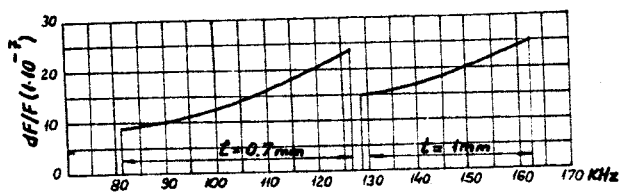


Slika 1 - Starenje 5⁰X tipa pri kontinualnom oscilovanju na "istezanje po dužini" i diskretno oscilovanje "savijanje po dužini i širini".



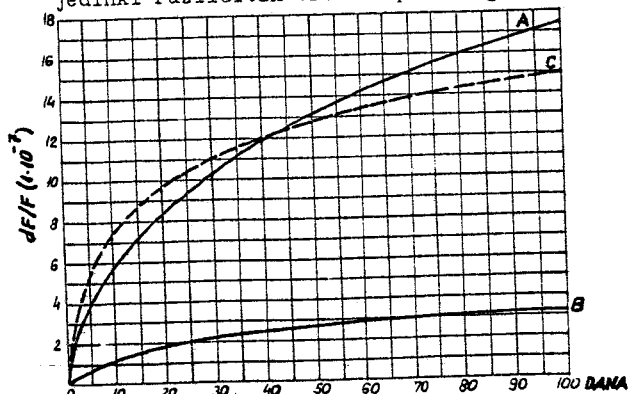
Slika 2. - Starenje 5⁰X tipa pri kontinualnom oscilovanju na "savijanje po dužini i širini" i diskretno oscilovanje na "istezanje po dužini".

Na slici 3. prikazana je brzina starenja 5⁰X i NT kristalne jedinice u zavisnosti od frekvencije. Pošto je montažni sistem približno isti za sve frekvencije unutar svake grupe, ova slika pokazuje da ako odnos mase montažnog sistema i mase pločice raste, brzina starenja raste.



Slika 3. - Krive starenje kristalnih jedinki
gore: X tipa,
dole: NT tipa.

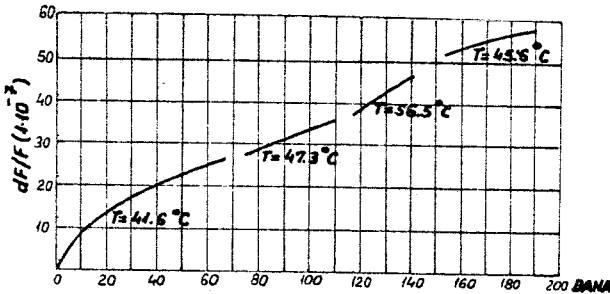
U diskusiji o brzini starenja NF kristalnih jedinki, pažnja se mora obratiti na prvi dan starenja (dan podvrgavanja testiranju kristalne jedinke). Ukoliko ovaj termin (vreme od zatvaranja do prvog dana starenja) nije isto za sve jedinke gubi se mogućnost međusobnog poredjenja ovih jedinki. Poželjno je prvi dan starenja odabrati kasnije. Slika 4. prikazuje starenje kristalnih jedinki različitih vremena početnog starenja.



Slika 4. - Krive starenja kristalne jedinke 500KHz SL tipa
A)-4 dana posle zatvaranja,
B)-30 dana posle zatvaranja,
C)-prvi dan starenja posle zatvaranja.

Na slici 4. se jasno vidi da je veoma bitno, kod kristalnih jedin-
ki nije se starenje poredi, da im vreme od momenta zatvaranja
do momenta testiranja bude isto.

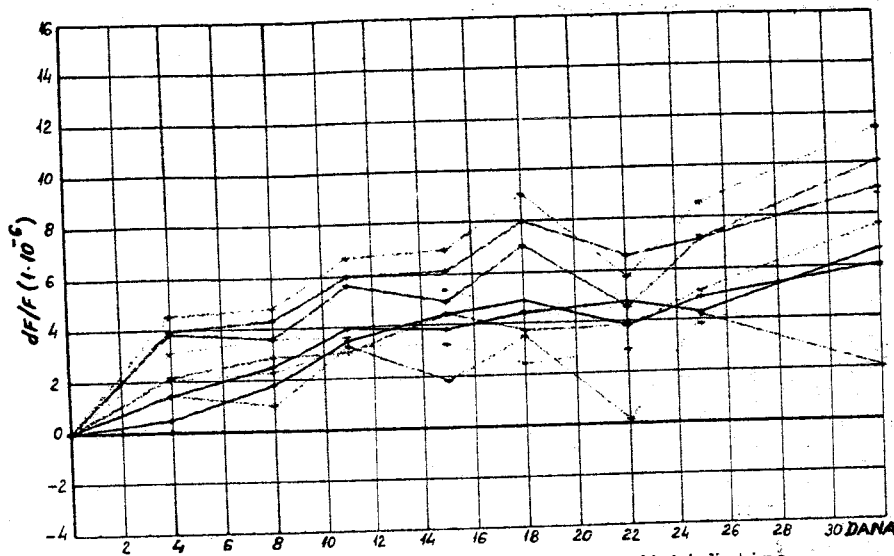
Temperatura, na kojoj se vrši testiranje, je takodje vrlo važan
parametar u otkrivanju karakteristika starenja. To je ilustrova-
no na slici 5., koja predstavlja promenu frekvencije kristalne
jedinke od 550 kHz SL tipa, koja je podvrgnuta na starenje na
4 različite temperature. Brzina starenja raste sa porastom temp-
erature testiranja može da se zaključi sa slike.



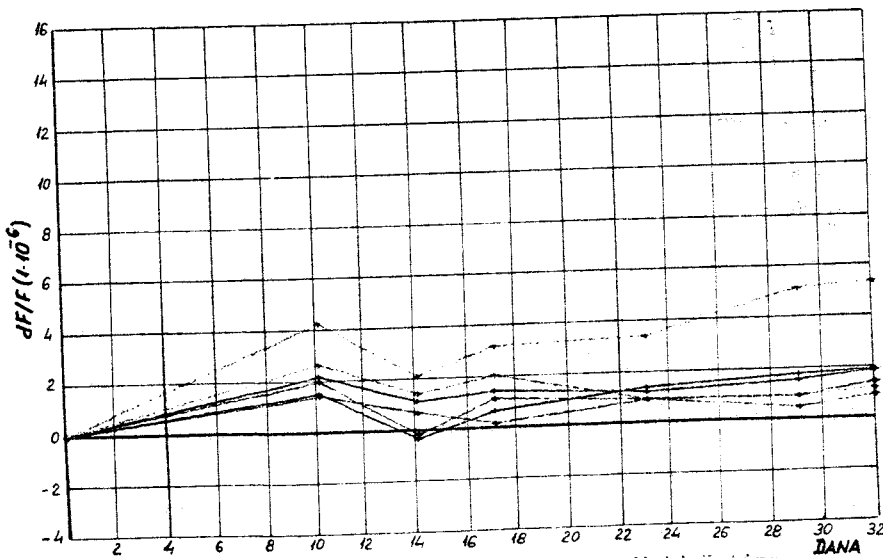
Slika 5. - Uticaj temperature na starenje kristalne jedinke od
500 kHz SL tipa.

Na osnovu do sada izloženih rezultata ispitivanja, nameću se
konstruktivno-tehnološka rešenja da bi se postiglo što manje
starenje:

- 1) Prilikom konstruisanja kristalne jedinke potrebno se
rukovoditi principom izbora
 - vibratora što je moguće veće mase,
 - minimalne dužine i prečnika žičanih izvoda,
 - štampanih veza.
- 2) U tehnološkom smislu potrebno je predvideti
 - što finiju mehaničku obradu vibratorske pločice,
 - neparavanje elektroda zlatom,
 - ugradnja što manjeg spota i nanošenje što manje
količine kalaja na spot,
 - podešavanje kristalne jedinke sa što manjom
površinom vibratora,
 - žarenje kristalne jedinke pre zatvaranja,
 - zatvaranje u vakuumu,
 - cikliranje kristalnih jedinki,
 - održavanje visokog stepena čistoće na svim
tehnološkim nivoima.



Slika 6. - Rezultati starenja kristalnih jedinki X tipa
frekvencije 84 kHz

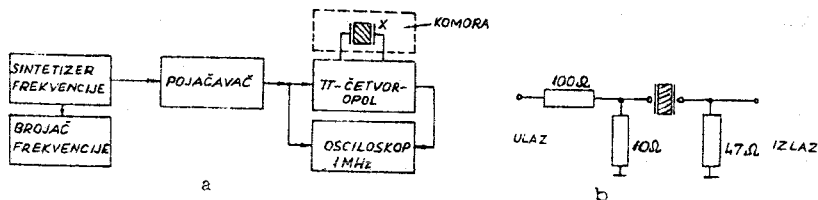


Slika 7. - Rezultati starenja kristalnih jedinki K tipa
frekvencije od 80 - 100 kHz

Držeći se gore navedenih mera, proizvedene su kristalne jedinke frekvencija od 40 - 150 kHz X tipa. Slika 6. prikazuje starenje kristalnih jedinki kod kojih nije izvršeno temperaturno cikliranje posle proizvodnje, a slika 7. prikazuje starenje kristalnih jedinki kod kojih je izvršeno cikliranje. Kod obe grupe prvi dan testiranja je uzet treći dan posle zatvaranja, odnosno cikliranja. Testiranje je izvršeno 32 dana pri temperaturi $+85^{\circ}\text{C}$. Kristalne jedinke nisu oscilovale izuzev u trenucima merenja. Merna pobuda je iznosila 0,02 V. Potrebno je napomenuti da se očekuje brže starenje kad kristalna jedinica funkcioniše kontinualno za vreme testiranja, posebno kad se pobuđuje većom snagom. Sa slika 6. i 7. evidentan je uticaj temperaturnog cikliranja na smanjenje brzine starenja. Posebno je uočljivo da je tok promene u pravcu porasta frekvencije što je pravilo (sem retkih izuzetaka) za sve NF kristalne jedinke.

3. MERNA METODA

Merna blok šema zajedno sa električnom šemom Pi-četvoropola data je na slici 8.



Slika 8. - a) blok šema merne metode
 b) električna šema Pi-četvoropola.

Pi-četvoropol je konstruisan tako da može da obezbedi deset puta manju pobudu od minimalnog napona sintetisajzera. Minimalna pobuda se bira zbog toga da bi radna tačka kristalne jedinke bila u domenu minimalne promene frekvencije sa pobudom, odnosno sa otpornošću (otpornost kristalne jedinke se takodje menja sa vremenom). Istovremeno, prilikom konstruisanja četvoropola, vodilo se računa da njegov izlazni napon bude dovoljno indikativan.

Metoda merenja frekvencije kristalnih jedinki je u skladu sa standardom JUS BR9.010 "Merenje jedinki kristala kvarca metodom maksimalne transmisije u Pi-četvoropolu".

Na temperaturi $+85^{\circ}\text{C}$ temperaturno-frekventne karakteristike NF kristalnih jedinki su, nažalost, veoma strme, pa je neophodna što je moguće veća stabilnost temperature komore (min. $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$).

Velika osetljivost indikatora, rezolucija brojača učestanosti 0,01 Hz, njegova tačnost veća za jedan red veličine, stabilnost napona generatora (sintetajzera) i konstantnost uslova merenja se podrazumevaju.

Merne rezultate moguće je interpolisati jednačinom 1; na osnovu toga možemo saznati o vremenu smirivanja starenja, ispravnosti primene tehnologije u proizvodnji, i.t.d.

4. ZAKLJUČAK

Testiranje kristalnih jedinki na starenje korisno je zbog provera tehnološkog nivoa izrade, a precizno testiranje i njeno usaglašavanje sa jednim od svetskih standarda, zbog poredjenja tog nivoa sa nivoom tehnologije u svetu.

Poštujući konstruktivno-tehnološke principe navedena u ovom radu a naročito ona vezana za redukciju mehaničkih napona u montažnoj strukturi (žarenje, temp. cikliranje, i.t.d.), koji su od dominantnog uticaja na brzinu starenja kristalne jedinke, moguće je ukupno ubrzano starenje na $+85^{\circ}\text{C}$ za mesec dana držati u granicama od $\pm 5 \cdot 10^{-6}$.

Dalji rad iz ove oblasti sastojaće se u primeni tehnoloških mera u strožijem smislu, a naročito u primeni temp. cikliranja radi svodjenja ukupnog ubrzanog starenja u granice $\pm 2 \cdot 10^{-6}$.

Takodje, dalji rad će se sastojati u detaljnijem ispitivanju ostalih tipova NF kristalnih jedinki i uspostavljanju preciznije korelacije između pogonskog i ubrzanog starenja, što se, ovde, pod pogonskim starenjem podrazumeva promena frekvencije sa vremenom pri kontinualnom funkcionisanju na sobnoj temperaturi. Time bi se mogao dati relativno brz odgovor kako će se kristalna jedinka ponašati u primeni u nekom dužem vremenskom periodu.

5. LITERATURA

1. A.W.WARNER, D.B.FRASER, and C.D.STOCKBRIDGE: "Fundamental Studies of Aging in Quartz Resonators", IEE TRANSACTIONS OFF SONICS AND ULTRASONICS, jun 1965.,pp 52.-59.
2. J.H.Armstrong, P.R.Blomster and J.L.Hokanson: "Aging Characteristics of Quartz Resonators", PROCEEDINGS OF THE 20th ANNUAL SYMPOSIUM ON FREQUENCY CONTROL, 1966.,pp 192 - 199.
3. Byrne R.J. and Reynolds R.L.: "Design and Performance of a New Series of Cold Welded Crystal Unit Enclosures", PROCEEDINGS OF 18th ANNUAL SYMPOSIUM ON FREQUENCY CONTROL, May 1964.