

MIODRAG MILJKOVIĆ, dipl.ing.
 SREČKO ZRLIĆ, dipl.ing.
 Institut "Mihailo Pupin"
 Beograd, Volgina 15

NISKOFREKVENTNE JEDINKE KRISTALA KVARCA IZDRŽLJIVE NA VIBRACIJE

VIBRATION RESISTANT LOW FREQUENCY CRYSTAL UNITS

SADRŽAJ: U radu su date jednačine rezonantnih frekvencija nesimetričnog sistema za vešanje kvarcnih rezonatora CT, DT i SL tipa. Pokazano je na primeru jedinke 500 kHz kako su odstranjene rezonantne frekvencije van opsega 10-2000 Hz.

SUMMARY: The purpose of this paper is to present a set of resonance frequency equations of an asymmetric supporting system of CT, DT and SL type quartz resonators. The redesign of a 500 kHz unit with all resonance frequencies outside the range 10-2000 Hz is shown.

1. UVOD

Jedinka kristala kvarca sastavljena je od sledeća četiri dela: rezonatorske pločice, sistema žica za vezu pločice sa držačem, samog držača i poklopca kojim se cela konstrukcija izoluje od okoline. Sistem za vezu pločice sa držačem treba da je tako izveden da što manje utiče na amplitudu oscilacija rezonatora. To se najlakše postiže ako je sistem veoma elastičan, pa svojom krutošću ne sprečava mehaničke oscilacije rezonatora, što je jedan od uslova za obezbedjenje povoljnog Q-faktora jedinke. Sa druge strane zahtevi za mehaničkom izdržljivošću kristalne jedinke na uticaje udara, potresa, vibracija mogu da nametnu upravo suprotan pristup tj. da sistem za vezu bude što čvršći. Očigledno je da se pravo rešenje nalazi u kompromisu između ova dva prilaza.

Dok se konstrukcije otporne na udare i potrese najčešće izvode tako da se kru-

tost povećava sve do potrebnog i dozvoljenog nivoa, konstrukcije otporne na uticaje vibracija postavljaju teže probleme. Ovo potiče naročito zbog pojave sopstvenih rezonantnih frekvencija pločica i sistema za vešanje i naravno zbog potrebe da se pravilnim dimenzionisanjem ove rezonancije uklone van frekventnog opsega vibracija. U ovom radu pokazano je kako je izvršena analiza konstrukcije kristalnih jedinki tipa CT, DT i SL u frekventnom opsegu 450 kHz do 1000 kHz sa gledišta sopstvene rezonancije sistema vešanja.

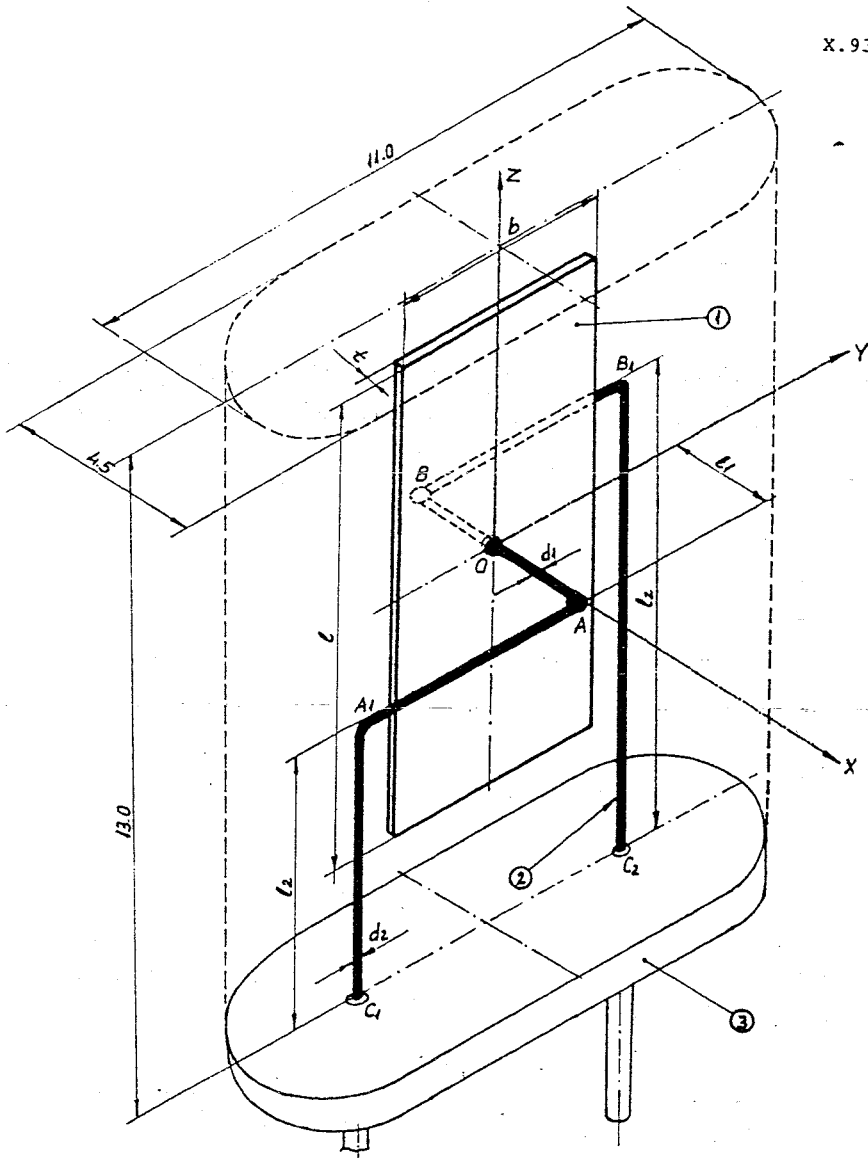
2. REZONANTNE FREKVENCIJE SISTEMA ZA VEŠANJE

Na sl. 1. prikazano je konstruktivno rešenje koje je analizirano. Konstrukcija se primenjuje za kućišta tipa 13 i 05 po JUS-u odnosno HC-18 i HC-25 po MIL-u. Na slici je sa 1 obeležen rezonator, dužine l , širine b i debljine t sa 2 žičani sistem za vešanje čije su dužine l_1 i l_2 a prečnici d_1 i d_2 i sa 3 držač konstrukcije. Poklopac kao nebitan element naznačen isprekidanom linijom. Tačke oslonca obeležene su sa 0, A, B, C_1 i C_2 .

Kada se ova konstrukcija podvrgne vibracijama može se javiti nekoliko tipova oscilacija rezonatora sa sistemom za vešanje, čije rezonantne frekvencije zavise od dimenzija rezonatora i dimenzija i krutosti žičanog nosača 2. Posmatranjem konstrukcije sa sl. 1. zaključuje se da se može javiti sledećih pet tipova oscilacija.

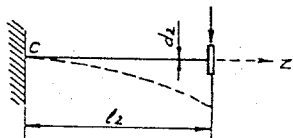
Tip	Oznaka	Opis kretanja
1	f_s	Savijanje u pravcu X-ose oko tačke C
2	f_z	Translacija u pravcu Z-ose, tačke oslonca AB
3	f_{x0}	Torzija oko X-ose, tačke oslonca AB
4	f_{y0}	Uvijanje oko Y-ose, tačke oslonca AB
5	f_{z0}	Uvijanje oko Z-ose, tačke oslonca AB

Svi navedeni tipovi oscilacija potvrđeni su i eksperimentalno u frekventnom opsegu 10-2000 Hz.



Sl. 1. Konstrukcija kristalnih jedinica CT, DT i SL tipa u frekventnom opsegu 450 kHz do 1000 kHz u kućištu 13. Dimenzije kućišta: visina (Z-osa) 13 mm, širina (Y-osa) 11 mm, debljina (X-osa) 4.5 mm

Jednačine za rezonantne frekvencije izvedene su iz rešenja diferencijalnih jednačina kretanja koja odgovaraju navedenim tipovima oscilacija. Primenjen je standardni postupak iz mehanike uz uvodjenje nekih uprošćenja koja olakšavaju analizu. Na osnovu ovih radova imamo sledeće obrasce za rezonantne frekvencije.

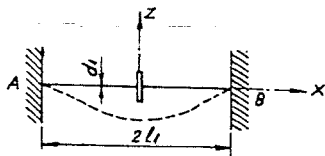
(1) Savijanje oko tačke C

$$f_s = 0,086 \cdot d_2^2 \cdot \sqrt{\frac{E_2}{m l_2^3}} \dots \quad (1)$$

E_2 - modul elastičnosti žice l_2

m - masa rezonatora

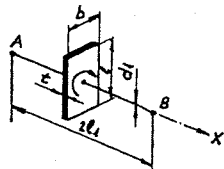
Kod izvodjenja jednačine za f_s tačke C_1 i C_2 su poklopljene tj. uzeto je da je $OA = OB = 0$, ali su pri tome zadržane dve opruge dužine l_2 paralelno vezane što udvostručava krutost sistema.

(2) Translacija u pravcu Z-ose

$$f_z = 0,173 \cdot d_1^2 \cdot \sqrt{\frac{E_1}{m l_1^3}} \dots \quad (2)$$

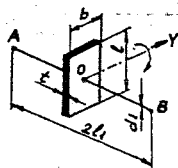
E_1 - modul elastičnosti žice l_1

Kod izvodjenja ove jednačine tačke A i B su posmatrane kao krute tačke vešanja uz pretpostavku da se kretanje ne prenosi na deo žice AA_1 i BB_1 .

(3) Uvijanje oko X-ose (žica trpi torziju)

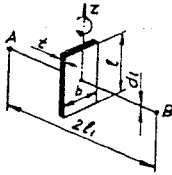
$$f_{xo} = 0,244 \cdot d_1^2 \cdot \sqrt{\frac{G_1}{m l_1 \cdot (l_1^2 + b^2)}} \quad (3)$$

G_1 - modul torzije žice l_1

(4) Uvijanje oko Y-ose

$$f_{yo} = 0,345 \cdot \frac{d_1^2}{l_1} \cdot \sqrt{\frac{E_1}{m \cdot l_1}} \quad (4)$$

uz uslov $l \ll 1$

(5) Uvijanje oko Z-ose

$$f_{zo} = 0,345 \cdot \frac{d^2}{b} \cdot \frac{1}{m \cdot l_1} \sqrt{\frac{E_1}{m \cdot l_1}}$$

uz uslov $t \ll b$ 3. PRIMENA JEDNAČINA REZONANTNIH FREKVENCIJA

Najviši stepen strogosti, kod ispitivanja izdržljivosti elektronskih komponenata na uticaje vibracija, zahteva da se u frekventnom opsegu 10 do 2000 Hz ne smeju javiti sopstvene rezonancije. Ukoliko su one neizbežne, onda se komponenta posebno ispituje na izdržljivost na toj frekvenciji. Eksperimentom je pokazano da amplituda vibracija kvarcne pločice sa sl. 1. u rezonanciji tipa (1) n-primer može da bude i do 15 puta veća od amplitude kojom se jedinka ispituje, što dovodi do loma žice u tačkama C_1 i C_2 i oštećenja pločice pri vrhu, zbog njenog udaranja o unutrašnje zidove poklopca. Pomeranje rezonantnih frekvencija van opsega vibracija je jedini način da se jedinka sačuva od uništenja. Na osnovu posmatranja ovih pojava uočeno je da kod uobičajenih konstrukcija sa sl. 1. rezonantne frekvencije leže u opsegu viših frekvencija pa se nameće zaključak da je lakše pomeriti ih van opsega 10–2000 Hz njihovim povećanjem iznad 2000 Hz no silaziti ispod 10 Hz. Iz jednačina rezonantnih frekvencija (1) do (5) može se zaključiti da su one više ako su:

- prečnici žica d_1 i d_2 - veći
- dužine žica l_1 i l_2 - manji
- masa pločice m - manja
- oblik pločice - kvadrat ($b = l$)
- moduli E i G - veći

Ovaj pregled upućuje na to kako treba modifikovati jednu konstrukciju ukoliko se neka od rezonantnih frekvencija nadje u nedozvoljenom frekventnom opsegu.

Opseg mogućih dimenzija l , b , t , l_1 , d_1 , l_2 i d_2 u frekventnom opsegu 450 kHz do

1000 kHz je srazmerno velik tako da bi jedna kompletna analiza, koja bi pokazala sve opsege mogućih rezonantnih frekvencija sistema vešanja, bila vrlo složena. Umesto toga, prihvatljivije je da se, za svaki konkretan slučaj, nadje odgovarajuće rešenje. Primena ove metode prikazaće se na jednom tipu kristalne jedinice frekvencije 500 kHz.

U narednoj tabeli dati su konstruktivni i električni parametri jedinice pre (A) i posle njene rekonstrukcije (B).

	Tip sečenja	Dimenzije pločice pločice (mm)			Dimenzije sistema za vešanje (mm)				Masa m (kg)	Otpornost Ohm
		l	b	t	l ₁	d ₁	l ₂	d ₂		
A	SL	9,11	3,73	0,29	1,0	0,11	5,0	0,25	2,6 · 10 ⁻⁵	1000
B	DT	4,15	4,15	0,29	1,0	0,11	2,5	0,43	1,3 · 10 ⁻⁵	4000

Tip A, iako veoma prihvatljiv zbog male ekvivalentne otpornosti R₁, nije mogao biti usvojen zbog veoma izraženih rezonantnih frekvencija

$$f_s = 320 \text{ Hz i } f_{y0} = 830 \text{ Hz}$$

koje su, usled zamora materijala, u veoma kratkom vremenu, dovodile do prekida u tačkama C₁ i C₂ odnosno A, B ili O. Iz tih razloga bilo je potrebno izmenom dimenzija, rezonantne frekvencije pomeriti iznad 2000 Hz. To se postiže ako se f_s poveća najmanje 6,25 puta, a frekvencija f_{y0} najmanje 2,4 puta.

Ako sa f' označimo frekvenciju pre rekonstrukcije a sa f'' posle, onda, na osnovu obrasca (1), imamo

$$\frac{f_s''}{f_s'} = \left(\frac{d_2'}{d_2''}\right)^2 \cdot \left(\frac{l_2'}{l_2''}\right)^{1,5} \cdot \left(\frac{\epsilon_2'}{\epsilon_2''}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{m'}{m''}\right)^{0,5}$$

Kada zamenimo odgovarajuće vrednosti iz tabele, uz napomenu da je kod žice l₂ upotrebljen isti materijal što daje E₂ⁿ = E₁ⁿ, imamo

$$\frac{f_s''}{f_s'} = \left(\frac{0,43}{0,25}\right)^2 \cdot \left(\frac{5}{2,5}\right)^{1,5} \cdot \left(\frac{2,6}{1,3}\right)^{0,5} = 11,8 > 6,25$$

pa je nova rezonantna frekvencija pomerena daleko iznad 2000 Hz.

Na isti način, na osnovu obrasca (4), imamo

$$\frac{f_{y_0}''}{f_{y_0}'^2} = \left(\frac{d_1''}{d_1'}\right)^2 \cdot \left(\frac{\ell_1'}{\ell_1''}\right)^{0,5} \cdot \frac{\ell_1'}{\ell_1''} \cdot \left(\frac{m_1'}{m_1''}\right)^{0,5} \cdot \left(\frac{E_1''}{E_1'}\right)^{0,5}$$

Pošto je zadržano $d'' = d'$, $\ell_1'' = \ell_1'$ i $E_1'' = E_1'$ imamo

$$\frac{f_{y_0}''}{f_{y_0}'^2} = \frac{9,11}{4,15} \cdot \left(\frac{2,6}{1,3}\right)^{0,5} = 3,4 > 2,4$$

pa je i rezonantna frekvencija f_{y_0} pomerena iznad 2000 Hz.

Merenja su i potvrdila ove pretpostavke.

Ostale rezonantne frekvencije su već kod tipa SL bile iznad 2000 Hz. Tako imamo, primenom obrazaca (2), (3) i (5) uz $E_1 = 12 \cdot 10^{10}$ N/m $G_1 = 5 \cdot 10^{10}$ N/m za materijal fosfor-bronza,

$$f_z = 4500 \text{ Hz} \quad f_{x_0} = 13100 \text{ Hz} \quad f_{z_0} = 2400 \text{ Hz}$$

Merenjem iste nisu mogle biti detektovane zbog ograničenog opsega merne opreme. Kod konstrukcije sa DT rezonatorom ove frekvencije bi bile još više.

4. ZAKLJUČAK

Izvedene jednačine za rezonantne frekvencije datog sistema vešanja niskofrekventnog kvarc rezonatora omogućuju da se u svakom konkretnom slučaju, kada se desi da se jedna ili više rezonantnih frekvencija nadje u nedozvoljenom frekventnom opsegu, izmenom dimenzija i materijala sistema za vešanje kao i dimenzija rezonatora, postigne da se neželjene rezonancije potisnu van frekventnog opsega koji je od interesa. Ovi obrasci mogu se primeniti i za veoma raširene jedinke X-tipa u opsegu 50–200 kHz. Takodje, sličan metod analize može se primeniti i na jedinke AT tipa u opsegu 1–175 MHz.

5. LITERATURA

1. J. M. Wolfskill: "Ruggedization of low frequency crystal units" Proc ASFC, 19 pg 211.
2. Lj. Radosavljević: "Teorija oscilacija" 1981.
3. I. Hlitičijev, V. Vrečko: "Otpornost materijala", Beograd, TK, 1962.