

REZONANTNA FREKVENCIJA PIEZO ULTRAZVUČNIH APARATA

1. Uvod

Preko 30 godina u stomatologiji se koriste ultrazvučni, piezokeramički transdudtori tipa Langevin iz razloga strogo kontrolisanih i pouzdanih vibracija. Zbog svojih adaptivnih dimenzija i male težine intezivna primena je bila u oblasti prevencije parodontopatije korišćenjem piezo ultrazvučnih aparata za uklanjanje supra i subgingivalnog kamenca (Kavitron, Scaler i dr.). Vibracije koje ovi aparati proizvode prenose se na radni nastavak čime se, putem efekta kavitacije omogućuje uklanjanje kako mekih, tako i čvrstih zubnih naslaga. Da bi piezokeramički transdudktor imao efikasne vibracije za ovu namenu, odabran je rad na rezonantnim frekvencijama u opsegu 28 – 36 kHz. Izbor radne frekvencije prepuštena je proizvođačima aparata, povezana sa konstruktivnim detaljima samog transdudtora. Povećanje efikasnosti aparata ostvareno je različitim, usavršenim elektronskim sistemima kontrole poznatim po sledećim nazivima: AUTOTUNIG, PUSH-PULL, FEEDBACK i VCO sistem o čemu će biti kasnije reči.

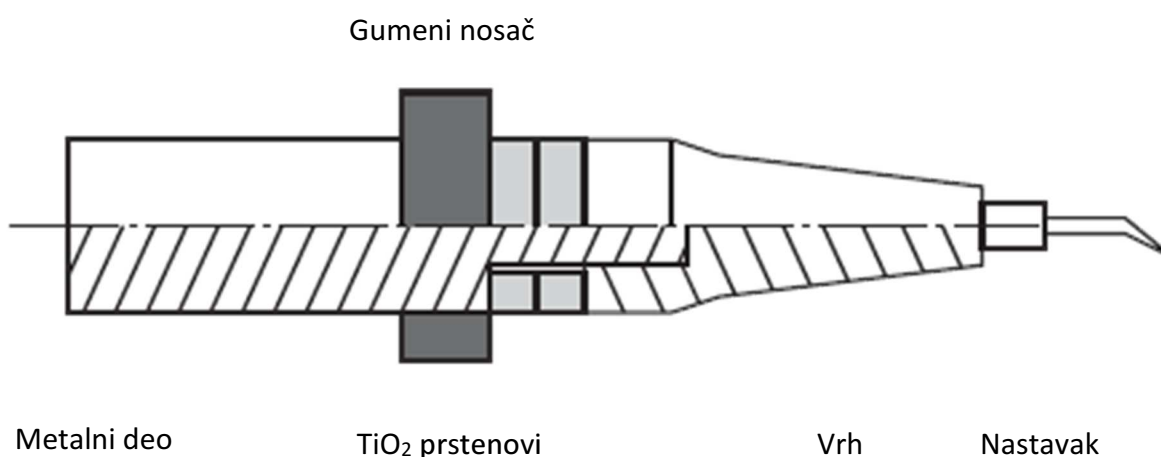
Piezotransdudktor proizvodi dovoljno jake mehaničke vibracije kada se pobudjuje relativno visokim električnim naizmeničnim naponom vršne vrednosti do 400V, definisane frekvencije. Ukoliko je pobudna frekvencija različita od rezonantne frekvencije, amplituda vibracija se drastično smanjuje. Iz tog razloga primena navedenih upravljačkih sistema dobija na značaju. Osim toga, opterećenje radnog nastavka u takodje dovodi do smanjenja amplitude vibracija. U mehaničkom smislu sam transdudktor predstavlja fizičko, metalno telo, koje svojim oblikom i masom, zajedno sa TiO_2 prstenovima, biva podvrgnuto mehaničkim oscilacijama, pa iz tog razloga ima sopstvenu rezonantnu frekvenciju. U ovom radu izneće se neka praktična upoznavanja sa konstrukcijom piezo transdudtora uz naglašeni značaj rezonantne frekvencije za rad aparata za uklanjanje zubnih naslaga.

Ključne reči: Langevin transdudktor, kontakti model, rezonantna frekvencija

2. Langevin piezotransduktor

Piezotransduktor tipa Langevin, pronadjen 1922. godine od strane Pola Langevina, doživio je svoju široku primenu zbog velike efikasnosti u konverziji energije, najpre kod uređaja za čišćenje a zatim u izradi sonarnih sistema. Izradjen je od najmanje 2 para keramičkih TiO_2 prstena, koji su longitudinalno suprotno polarizovani radi sabiranja parcijalnih amplituda. Prstenovi su mehanički serijski povezani a električno se nalaze u paralelnom spoju iz proizvodnih razloga. Mehanička veza je izvedena u obliku sendviča između dva cilindrična dela od nerđajućeg čelika ili bronz, radi prenosa vibracija. Ovi metalni delovi transduktora su pritegnuti elastičnim zavrtanjem da bi keramički prstenovi bili osigurani od prenaprezanja i ujedno da bi se veličinom momenta zatezanja ostvarilo podešavanje željene rezonantne frekvencije. Slika 1 prikazuje strukturu ultrazvučnog piezotransduktora.

Piezokeramički prstenovi se preko svojih elektroda povezuju na elektronski generator radi dovoda pobudnog, sinusoidalnog napona rezonantne frekvencije. Na ovaj način delovanjem piezoelektričnog efekta nastaju longitudinalne mehaničke vibracije sa amplitudom reda 10 -100 μm .



Slika 1: Struktura piezotransduktora

3. Aparat za uklanjanje zubnih naslaga

Aparat za uklanjanje zubnih naslaga, sastoji se od:

- ❖ drške, prikazane na Slici 2 ,
- ❖ pobudnog električnog generatora i ,
- ❖ sistema za kontrolisanu irigaciju vodom

Ultrazvučni transduktor se postavlja u centralni deo drške aparata i kroz njega prolazi voda a na drugom kraju se zavrće tzv. nastavak. Valjkasto telo transduktora izradjeno od nerđajućeg čelika ili bronz, obuhvaćeno je prstenom od elastične gume radi efikasnijeg prenosa mehaničkih vibracija. Dakle, masa tela transduktora zajedno sa nastavkom definišu sopstvenu, prirodnu, mehaničku rezonanciju na frekvenciji :

$$f \text{ [Hz]} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m_t + m_n}} \dots\dots\dots (1)$$

gde je k – koeficijent elastičnosti gumenog nosača, $\frac{N}{m}$
 $m_t + m_n$ ekvivalentna masa transduktora sa nastavkom, kg

Poznavanjem svih navedenih elemenata moguće je projektovati sopstvenu frekvenciju oscilovanja, koja će u daljem postupku predstavljati osnovu za definisanje radne frekvencije i konstrukcije električnog oscilatora za pobudu piezo transduktora.



Slika 2 : Drška ultrazvučnog aparata

Kada nastavak aparata dođe u dodir sa nekom materijalnom sredinom (na pr. zubom ili metalom) neminovno dolazi do promene frekvencije transduktora i amplitude oscilovanja.

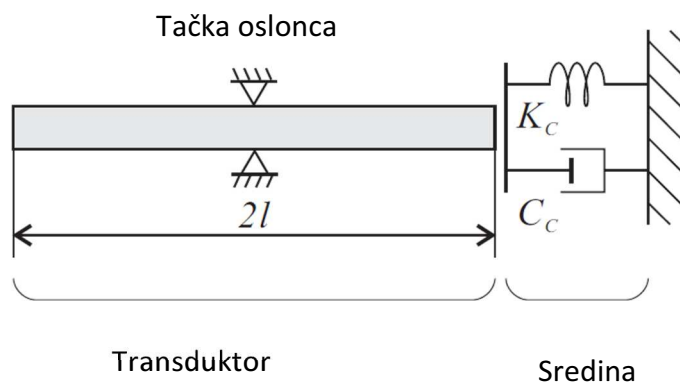
Zavisno od vrste sredine promena frekvencije može da bude iznad ili ispod radne frekvencije, što zavisi od gustine i koeficijenta prigušenja te sredine.

To je opisano na modelu prikazanom na Slici 3 .

Pošto se ovde radi o prostom harmonijskom kretanju [4] , prirodna frekvencija može predstavljati u sledećem obliku :

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{l}{m} \left(\frac{A \cdot E}{l} + K_c \right) - 2 \left(\frac{C_c}{2m} \right)^2} \dots\dots\dots (2)$$

gde je f – frekvencija, m - ekvivalentna masa transduktora , A - poprečni presek transduktora, E - modul elastičnosti materijala transduktora, l - polovina dužine transduktora , K_c - gustina sredine i C_c - koeficijent prigušenja sredine. Iz jednačine (2) se može zaključiti da su kombinacija koeficijenta prigušenja i gustina glavni faktori u veličini poremećaja prirodne, tj. sopstvene rezonantne frekvencije.



Slika 3: Model kontakta

Od strane japanskih stručnjaka na Saitama Univerzitetu [1] iznosi se podatak da pozitivnu promenu, u funkciji od kontaktnog opterećenja, daju tvrdi materijali kao što je čelik, aluminijum i akrilat (max +400Hz), dok guma i silikon daju negativan rezultat (do -200Hz).

Interesantno je takođe, da je po istom modelu ispitivan karijesom oštećen i zdrav zub, tako da su rezultati promene frekvencije reda (+100Hz) i (+400Hz), respektivno.

Svi ovi podaci su od važnosti kod definisanja sistema za kontrolu stabilnosti radne frekvencije i održanja amplitude vibracija kod aparata za uklanjanje zubnih naslaga.

4. Kontrola rada aparata

Da bi aparati za uklanjanje zubnih naslaga bili što više prilagodjeni nastalim potrebama stomatološke prakse i doprineli povećanju efikasnosti u radu, u konstrukciju elektronskog ultrazvučnog generatora se ugradjuju različite sofisticirane elektronske kontrole upravljanja poznate pod opšte prihvaćenim nazivima:

- ❖ **AUTOTUNING SYSTEM** (Sistem automatskog podešavanja) obezbedjuje stabilnost radne frekvencije u opsegu 26 - 33 kHz, nezavisno od mase nastavka ili njegovog opterećenja [2]
- ❖ **PUSH-PULL** sistem daje kontrolisanu vrednost amplitude oscilovanja piezo transduktora u uslovima promenljivog opterećenja kod uklanjanja zubnih naslaga. Ovaj sistem štiti uređaj u slučaju gubitka mehaničke veze drške sa nastavkom.
- ❖ **FEEDBACK PRINCIPE** (Princip povratne sprege) daje kontrolisano održanje zadate vibracione snage, tako da se i sa minimalnim lateralnim pritiskom dobija veća preciznost u radu i veći komfor stomatologa.
- ❖ **VCO** (Naponski kontrolisani oscilator) preko kontrole promene električne karakteristike transduktora (fazne admitanse) utiče na promenu rezonantne frekvencije. Dodatno, ovim sistemom je moguće, pri kontaktu sa oštećenim zubom, a preko veličine promene rezonantne frekvencije, doći i do dijagnoze koja ukazuje na stepen njegovog oštećenja.

Najčešće korišćeni sistem je *AUTOTUNING SISTEM* pošto se praktično ustanovilo da je kontrola frekvencije najefikasnija za rad aparata. Iz prakse je poznato da neki od proizvođača, u cilju većeg komercijalnog efekta, proizvode aparate sa veoma uskim

opsegom frekvencija na pr. 28-32 kHz, kako bi time podstakli kupovinu samo sopstvenih nastavaka, koje izrađuju u uzanim, masenim tolerancijama (na pr. 1,15 -1,18 gr.), dajući im posebne forme i prateće oznake.

5. Empirijska formula

Proračun rezonantne frekvencije piezotransduktora prema relaciji (1) je veoma jednostavan postupak, kada su svi elementi poznati. Međutim, kada se radi o oštećenju transduktora ili nastavka (oštećenje tela, lom navojnog dela ili nastavka) praktično je veoma teško, čak i približno odrediti koeficijent elastičnosti gumenog nosača i iz toga dobiti vrednost rezonantne frekvencije, koju treba zadovoljiti prilikom sanacije oštećenja.

Da bi se odredio ovaj koeficijent, poznata amplituda piezo oscilovanja od 10 do 100µm uz pretpostavku ostvarenja najvećeg opterećenja nastavka od 0,5N, nisu dovoljni za praktična izračunavanja. Zato se kod određivanja rezonantne frekvencije može koristiti izvedena empirijska formula :

$$f [kHz] = \frac{1}{2\pi} \frac{10^3}{\sqrt{m_t + m_n}} \dots\dots\dots (3)$$

- gde je - m_t - masa tela transduktora, gr
 - m_n - masa nastavka ,gr

Radi provere praktičnosti empirijske formule (3), od strane autora su izvršena precizna merenja masa trenutno raspoloživih piezo transduktora i prosečnih masa nastavaka različitih proizvođača a dobijene vrednosti frekvencija su prikazane u tabeli 1 :

Tabela 1.

	PROIZVOĐAČ	Masa		Rez. frekvencija, (kHz)
		Telo transduktora (m_t), gr	Nastavak (m_n), gr	
1.	Satelec	28,52	0,90	29,31
2.	W&H	25,88	1,09	30,66
3.	EMS	30,10	0,85	28,59
4.	KaVo	29,20	1,18	28,85
5.	Mectron	28,10	1,25	29,39
6.	Sirona	30,09	0,95	28,54
7.	NSK	29,10	1,10	29,06

Upoređenjem sa tehničkim karakteristikama aparata može se zaključiti da se proračun po empirijskoj formuli slaže u dobroj meri.

Izvedena empirijska formula (3) dalje omogućuje analizu uticaja promene mase nastavka na rezonantnu frekvenciju, jer se isti oštećuje i troši u radu i mora se blagovremeno zameniti.

U vezi toga, je poznato da neki proizvođači aparata daju veoma uputne i slikovite kartice-komparatere sa granicma istrošenosti pojedinih nastavaka za smanjenu efikasnosti čak do 50%.

Zato je interesantno da razmotrimo na pr. istrošenost nastavaka uz pretpostavku smanjene mase za samo 10% od svoje početne vrednosti. Korišćenjem empirijske formule (3) dobićemo izračunate vrednosti povećane rezonantne frekvencije $+\Delta f(-10\%)$ u Hz, za sve navedene nastavke u tabeli 2.

Tabela 2

	PROIZVOĐAČ	Promena frekvencije $+\Delta f(-10\%)$, Hz
1.	Satelec	80
2.	W&H	71
3.	EMS	32
4.	KaVo	53
5.	Mectron	21
6.	Sirona	50
7.	NSK	82

Na osnovu izračunatih vrednosti prikazanih u Tabeli 2 može se videti da su promene frekvencije reda 21-82 Hz u poredjenju sa prosečnom radnom frekvencijom (oko 30.000Hz) zanemarljivo male ($\leq 0,25\%$), da bi to izazvalo tako veliko smanjenje efikasnosti. Slobodno se može reći da pomenuto smanjenje efikasnost na pr. od 50 % ne može da potiče samo zbog smanjenja mase, već se mora odnositi i na druge razloge, kao što su: promena oblika, lom vrha, manja oštrina ivica nastavka i dr.

Neosporno je da dominantniji uticaj na promenu rezonantne frekvencije mora da ima masa tela transduktora, jer je za oko 20 puta veća od mase nastavka, kao što je dato u Tabeli 1. Zato se kod popravke oštećenja tela transduktora ili ugradnje adaptera za prihvat nastavka [3], mora mnogo više posvetiti pažnja zadovoljenju prvobitne ekvivalentne mase u cilju održanja približno iste rezonantne frekvencije.

Mera i vrednost smanjenja efikasnosti još uvek nije dovoljno istražena i potvrđena u praksi, pa se pre može smatrati da predstavlja stvar marketinga tog proizvođača u cilju bolje prodaje sopstvenih, kavitronskih nastavaka. Naime, poznato je da cena originalnih nastavaka dosta visoka u poredjenju sa kopijama ili tzv „klonovima“ i da u toj oblasti ima dosta problema.

6. Zaključak

Ukazano je na značaj rezonantne frekvencije piezo transduktora kod aparata za uklanjanje zubnih naslaga, koja može biti narušena u praksi. Održanje stabilnosti rezonantne frekvencije i amplitude oscilacija je veoma važan faktor za rad stomatologa sa pacijentima u delu veće komfornosti i manjih trauma u procesu prevencije. Osim teorijskog objašnjenja promene oscilacija piezo transduktora u kontaktu sa drugim materijalima, data je i početna, praktična matematička analiza uticaja smanjenja težine nastavaka na promenu radne frekvencije za nekoliko poznatih proizvođača aparata.

7. Literatura

1. Yuitaka Maruyama, Masaya Takasaki and Takesi Mizuno
Graduate School of Science & Engineering, Saitama University, Japan
2. Hayashi, S, Method of tracking of resonance and antiresonance of piezoelectric resonator,
IEEE Transactions on Ultrasonic, Ferroelectric and Frequency Control, Vol.38, No, pp231-236.
3. Alan Edel, Julian Edel,
Ultrasonic dental unit with applicable handpiece, EP 1747766A1, Deldent Ltd, England
4. Eugenija Mihail, Ivana Ljuboja (2013) Oscilacije i periodično kretanje
Znanje .org