

RAZVOJ ELEKTROPNEUMATSKOG GENERATORA KOMPRESIONIH MEHANIČKIH TALASA

DEVELOPMENT OF ELECTROPNEUMATIC GENERATOR OF COMPRESSIONAL MECHANICAL WAVES

Nikola Ristić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MEHATRONIKA

Kratka sadržaj – U radu je razmotren razvijeni elektropneumatski sistem namenjen za generisanje kompresionih mehaničkih talasa. Generisanje talasnog polja zasnovano je na principu mehanike sudara čvrstih tela.

Ključne reči: *Elektropneumatika, kompresioni mehanički talasi*

Abstract – This paper presents a developed electro-pneumatic system designed for generating compressional mechanical waves. Wave field generation is based on the mechanical principle of collision of two solid bodies.

Keywords: *Electropneumatics, compressional mechanical waves*

1. UVOD

Elektropneumatska automatizacija procesa predstavlja jedan od najprimenjenijih načina za ostvarivanje željenog rada automatskih sistema. U opštem slučaju, izvršni organ koristi vazduh pod pritiskom kao energetski izvor za postizanje potrebnog funkcionisanja, dok se njegovo upravljanje vrši upotrebom razvodnog ventila koji menja svoja stanja posredstvom elektromehaničkog mehanizma.

Tema ovog rada je razvoj elektropneumatskog izvršnog organa koji generiše kompresione mehaničke talase, kao i korisnički interfejs koji je namenjen za njegovo upravljanje. Postoji mogućnost da se ovakav sistem primeni u domenu medicine koja se bavi fizikalnom terapijom telesnih povreda [1], ali su za to potrebna dodatna ispitivanja koja prevazilaze okvire ovog istraživanja.

2. MEHANIČKI TALASI

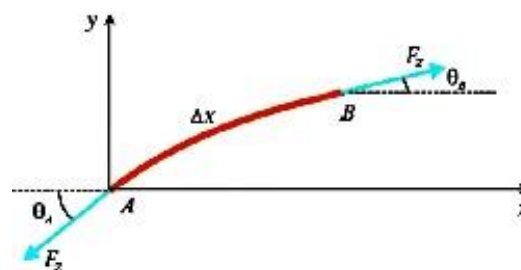
Oscilovanje čestice oko svog ravnotežnog položaja u neprekidnoj elastičnoj sredini, pri čemu se energija oscilovanja prenosi sa jedne na drugu česticu, naziva se mehanički talas. Oni se dele na kompresione (longitudinalne) i savijajuće (transverzalne) [2].

Jednačina koja opisuje vezu brzine mehaničkog talasa sa vremenskom i prostornom promenom njegove elongacije, naziva se talasna jednačina.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dragan Šešlija, red. prof.

Na slici 1, prikazan je jedan delić dužine žice Δx koji je zategnut silom zatezanja F_z , pri čemu krajevi tog delića zaklapaju uglove θ_A i θ_B sa x osom.



Slika 1 – Delić žice pobuđen na oscilacije

Pod pretpostavkom da se oscilacije dešavaju samo u y pravcu, talasna jednačina žice pobuđene na oscilacije glasi:

$$u^2 \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} \quad (1)$$

gde je t vreme, a u predstavlja brzinu prostiranja talasa.

Progresija longitudinalnih talasa manifestuje se kao promena pritiska sredine kroz koju se prostiru [3]. Prema tome, postoji još jedna forma talasne jednačine koja opisuje njihove karakteristike:

$$u^2 \frac{\partial^2 p(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 p(x, t)}{\partial t^2} \quad (2)$$

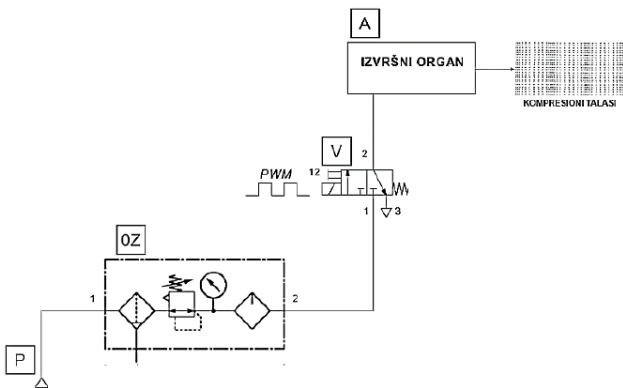
pri čemu je $p(x, t)$ pritisak.

Osobina longitudinalnih talasa da se manifestuju kao prostorna promena pritiska je od velikog značaja za analizu njihovih karakteristika. Takođe, pojednostavljuje proces merenja njihovih svojstva. Kada se kompresiono talasno polje meri u jednoj fiksnoj tački prostora (što je u praksi skoro uvek slučaj pošto je takva tačka definisana položajem senzora kojim se registruje stanje u polju), talasni pritisak se svodi samo na vremensku funkciju $p(t)$. Merni instrument koji je namenjen za merenje takve promene pritiska je mikrofoni.

3. PRINCIP RADA ELEKTROPNEUMATSKOG GENERATORA KOMPRESIONIH TALASA

Elektropneumatski procesi bez povratne sprege najčešće se sastoje od jednog ili više izvršnih organa koji koriste isključivo vazduh pod pritiskom kao izvor energije, dok se za razvodne ventile koji upravljaju njima koristi i

električna energija. U sistemu koji se izučava u ovom radu, električni signal kojim se upravlja elektromagnetnim ventilom je u obliku impulsno širinske modulacije. Na taj način se na njegovom izlazu formira pneumatski PWM signal kojim se upravlja aktuatom. Elektropneumatska šema sistema predstavljena je na slici 2.



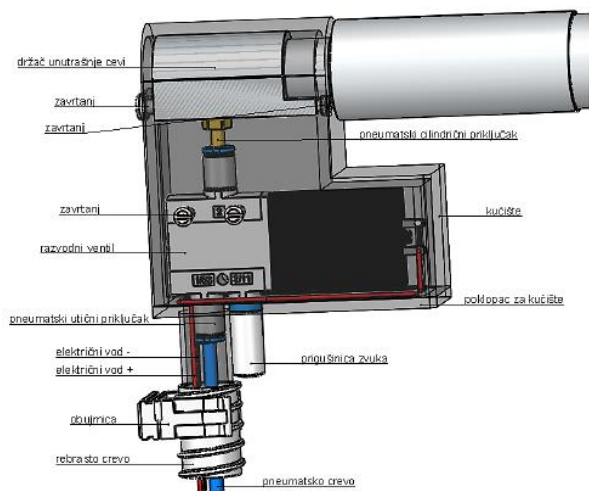
Slika 2 – Elektropneumatska šema sistema

Namena aktuatora je pretvaranje ulazne pneumatske energije u polje kompresionih mehaničkih talasa na svom izlazu. Isti se može videti na slici 3.

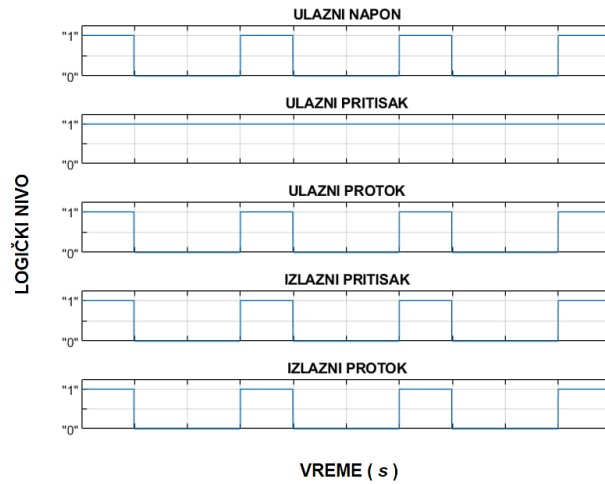


Slika 3 – Izvršni organ

Primenjeni elektromagnetni ventil u sistemu je 3/2 normalno zatvoreni monostabilni električno aktivirani razvodnik kompanije FESTO sa oznakom MHE2-MS1H-3/2G-M7. Integrisan je u aktuator kao što se može uočiti na slici 4, a na slici 5 prikazani su njegovi ulazni i izlazni signali za vreme radnog režima izvršnog organa.



Slika 4 – Prikaz integracije razvodnog ventila u izvršni organ



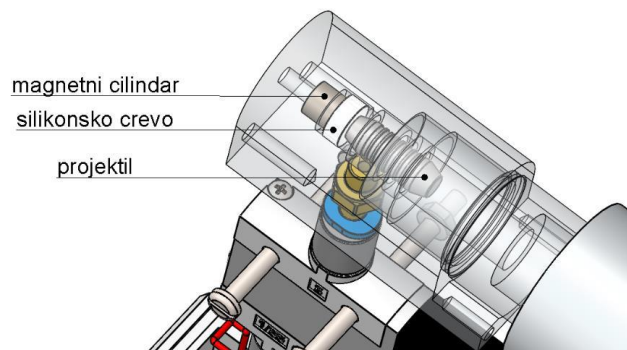
Slika 5 - Signali razvodnog ventila za vreme radnog režima izvršnog organa

Generisanje talasnog polja posredstvom primenjenog aktuatora zasnovano je na principu mehanike sudara čvrstih tela. U sudaru učestvuju projektil (metak) i membrana (sonda, talasovod) koji se mogu videti na slici 6.



Slika 6 – Projektil i membrana

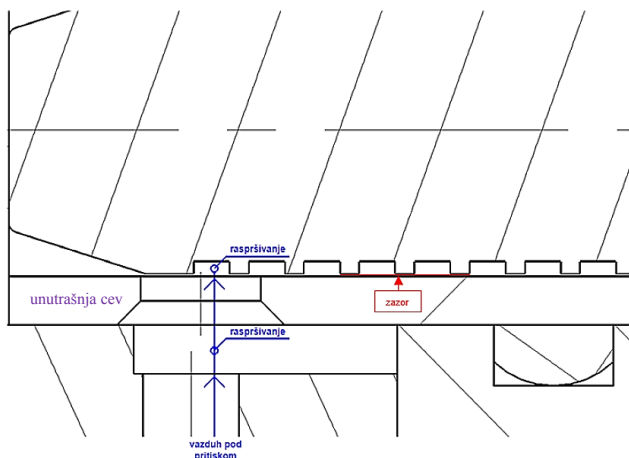
U početnom položaju, projektil se nalazi u stanju mirovanja kao što je prikazano na slici 7. Sa slike je uklonjena unutrašnja cev u kojoj se nalazi zbog preglednosti. Može se primetiti da metak dodiruje silikonsko crevo svojom čeonom površinom. U takvoj poziciji nalazi se usled dejstva privlačne sile magnetnog cilindra.



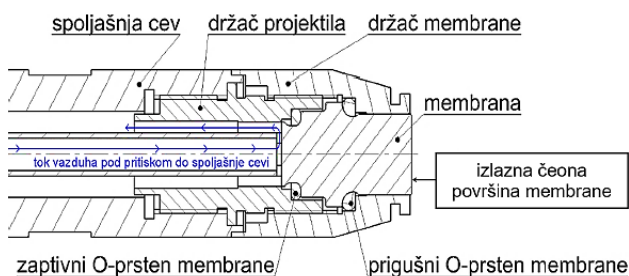
Slika 7 – početni položaj projektila

Polarizacijom električnih vodova razvodnog ventila, vazduh pod pritiskom na izlazu pneumatskog cilindričnog priključka prolazi kroz otvor držača unutrašnje cevi. Tada, sila pneumatskog pritiska savladava silu magnetnog cilindra i ubrzava (pogoni) projektil. Međutim, vazduh pod

pritiskom se takođe prostire kroz unutrašnju cev prolazeći kroz zazor između cevi i projektila koji se može uočiti na slici 8. Isti se akumulira u komori spoljašnje cevi kao što se može videti na slici 9.

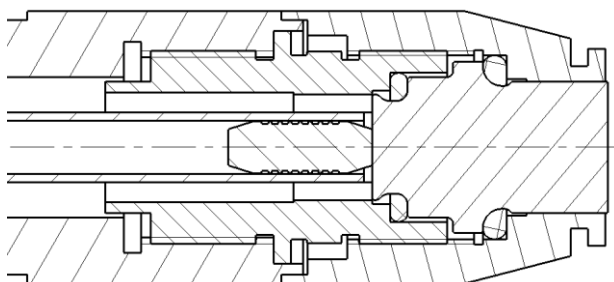


Slika 8 - Protok vazduha pod pritiskom do projektila



Slika 9 - Tok vazduha pod pritiskom do spoljašnje cevi

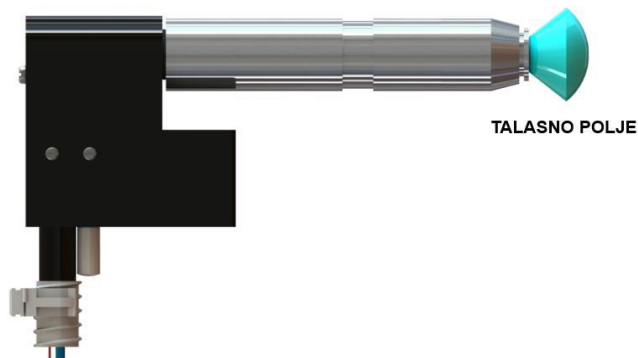
Ubrzani projektil se kreće prema membrani dok se isti ne sudare kao na slici 10. Takav tip sudara naziva se centralni čeon [4].



Slika 10 – Sudar projektila i membrane

Prilikom sudara, dolazi do lokalne deformacije sonde. Na mikroskopskom nivou, na mestu sudara dešava se odstupanje molekula materijala membrane iz svog ravnotežnog položaja u smeru kretanja projektila prema njoj, usled čega dolazi do prostiranja longitudinalnih talasa kroz nju u istom smeru. Energija deformacije se prenosi na susedne čestice sve dok talas ne stigne do izlazne površine talasovoda. Tada, površinske čestice sonde predaju jedan deo svoje energije molekulima okoline, čime se u toj sredini generišu kompresioni mehanički talasi. Takav izlazni signal može se videti na slici 11.

Povratak izvršnog organa u početno stanje posle sudara podrazumeva vraćanje projektila i membrane u početnu poziciju. Rasterećenje vazdušnog pritiska koji postoji u komorama aktuatora takođe spada u taj proces.



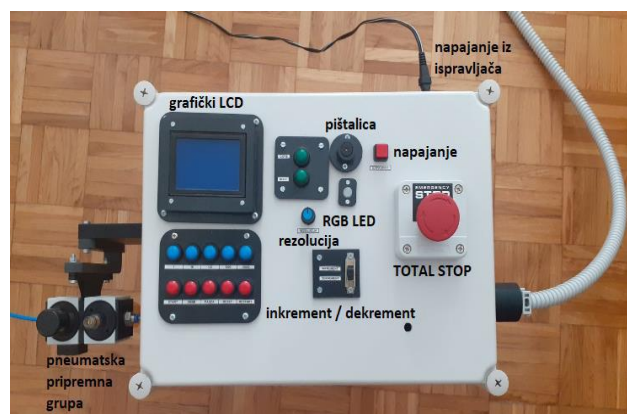
Slika 11 – Izlazno talasno polje aktuatora

Kako na sondu deluju elastične sile dva O-prstena koji je obavijaju, očigledno je da se posle sudara membrana vrati u početni položaj relativno brzo u odnosu na metak. Za razliku od talasovoda, projektil treba da pređe put kroz unutrašnju cev da bi dospao do svoje početne lokacije. Povratak mu omogućava kinetička energija koju ima usled sudara, kao i vazdušni pritisak u komori spoljašnje cevi. Uticaj sile gravitacije zavisi od ugla nagiba aktuatora.

Namena izvršnog organa je generisanje između 2000 i 2200 impulsa kompresionih talasa na svom izlazu za vreme jednog neprekidnog radnog režima. Željena frekvencija kojom se odvijaju ciklusi je između 8 i 10 Hz.

4. UPRAVLJAČKA KUTIJA

Podešavanje karakteristika upravljačkih signala razvodnog ventila omogućeno je posredstvom korisničkog interfejsa koji se sastoji od električnih i pneumatskih komponenti. Interfejs se nalazi na upravljačkoj kutiji koja je prikazana na slici 12. Sve hardverske komponente sa kojima korisnik može direktno interagovati su naznačene, osim tastera zbog preglednosti.

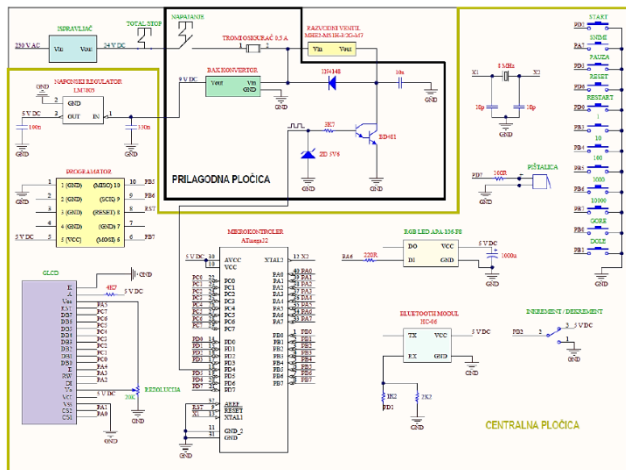


Slika 12 – Upravljačka kutija

Pneumatska pripremna grupa omogućava podešavanje vazdušnog pritiska pomoću kojeg se upravlja izvršnim organom. Predstavlja jedinu neelektričnu celinu sa kojom korisnik može direktno da interaguje.

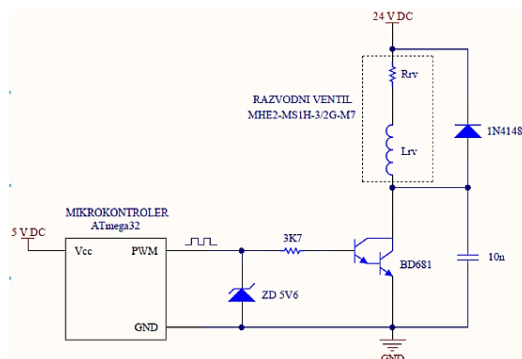
Posredstvom električnih komponenta upravljačke kutije može se podesiti faktor ispune i frekvencija ulaznog električnog PWM signala razvodnog ventila, kao i broj perioda impulsno širinske modulacije koje karakteriše jedan neprekidni radni režim aktuatora. Vrednosti

podešenih parametara mogu se videti na grafičkom displeju. Funkcije električnih komponenti usklađene su posredstvom interne elektronike upravljačke kutije. Ona sadrži mikrokontroler u kojem je implementiran firmver (*firmware*) koji sinhronizuje rad svih električnih periferija sistema. Kompletna električna šema sistema data je na slici 13.



Slika 13 – Električna šema sistema

Električno potkolo namenjeno za upravljanje razvodnim ventilom izdvojeno je na slici 14. Električni model razvodnika predstavljen je rednom vezom otpornika i kalema [5]. Istim se upravlja posredstvom Darlingtonove sprege bipolarnih *NPN* tranzistora koji rade u prekidačkom režimu. Na bazu ulaznog tranzistora dovodi se naponska impulsno širinska modulacija sa izlaznog pina mikrokontrolera. Na taj način ostvaruje se pneumatski *PWM* signal na izlaznomvodu elektromagnetnog ventila kojim se upravlja radom izvršnog organa. S obzirom da su vremena uključenja i isključenja razvodnika veoma slična i kratka, faktor ispunje i perioda *PWM* signala na izlaznom pinu mikrokontrolera su približno ista kao i izlazna pneumatska impulsno širinska modulacija razvodnog ventila. Zener dioda onemogućava pojavu prevelike bazne struje spregnutih tranzistora koja bi mogla da uzrokuje pregrevanje i trajan prekid rada Darlingtonovog spoja.



Slika 14 – Električno potkolo namenjeno za upravljanje razvodnim ventilom

5. PROVERA RADA SISTEMA

Merenje izlaznog signala posredstvom mikrofona nije obavljeno u okviru istraživačkog rada pošto zahteva laboratorijske uslove koji sprečavaju interferenciju

mehaničkih talasa. Međutim, poznato je da se dejstvo kompresionih talasa dovoljno velike amplitude manifestuje u obliku bola lokalne okoline na ljudskom telu (odnosno kože) na koje deluju. Drugim rečima, empirijski se može ustanoviti njihovo postojanje. Prema tome, izvršena je provera rada sistema pri različitim frekvencijama upravljačke impulsno širinske modulacije na osnovu koje je zaključeno postojanje talasnog polja na izlazu sistema.

Karakteristike upravljačkog signala pri kojem je postignuto izlazno talasno polje koje čovek može fizički osetiti date su u tabel 1. Za vreme ispitivanja aktuator je bio u horizontalnom položaju.

redni broj	pneumatski pritisak (bar)	faktor ispunje (%)	frekvencija (Hz)	broj perioda
1.	6	10	8	2000
2.	6	10	9	2000
3.	6	10	10	2000

Tabela 1 - Karakteristike upravljačkog signala pri kojima čovek može fizički osetiti postojanje talasnog polja

6. ZAKLJUČAK

Sudar projektila i membrane predstavlja ključan proces koji se dešava za vreme rada aktuatora. Dalji razvoj sistema mogao bi obuhvatiti analitičke i numeričke procedure kojim bi se matematički modelovale funkcije sila koje utiču na dinamiku sudara projektila i sonde, kao i merenje izlaznog signala posredstvom mikrofona.

7. LITERATURA

- [1] Tanasijan L. (2011), *Terapija udarnim talasima*, diplomski rad, Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet.
- [2] Pavlović Š. Dragana, Mijić M. (2017), *Elektroakustika*, Beograd: Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet.
- [3] Cvetić J. (2003), *Talasi*, Beograd: Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet.
- [4] Belić S. Dragoljub (1994), *Fizika I*, Beograd: Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju.
- [5] Čajetinac S. (2012), *Prilog razvoju modela odlučivanja za izbor elektropneumatskog upravljanja*, doktorska disertacija, Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka.

Kratka biografija

Nikola Ristić rođen je u Novom Sadu 26.02.1995. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronika – Mehatronika, robotika i automatizacija odbranio je 2018.god.
kontakt: nikolaristic30@gmail.com

