

**PRIMENA SENZORA U OKVIRU SHM KONCEPTA KROZ REŠENJE KREIRANO
POMOĆU LABVIEW PROGRAMSKOG OKRUŽENJA****APPLICATION OF SENSORS WITHIN THE SHM CONCEPT THROUGH A SOLUTION
CREATED USING THE LABVIEW SOFTWARE ENVIRONMENT**Borislav Trbović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je opisan značaj primene senzora u mernim uređajima kroz primer jedne bitne oblasti u građevinarstvu poznate pod nazivom „Praćenje stanja građevinskih konstrukcija“ (eng. *Structural health monitoring - SHM*). Takođe, opisan je i sistem koji je realizovan sa ciljem da obezbedi neophodna merenja. Merene su vibracije, uz ređe praćenje temperature. Postoji i mogućnost alarmiranja korisnika u slučaju kritičnih vibracija, filtracija podataka, računanje FFT-a, snimanje dobijenih rezultata, njihovo otvaranje i obrada u nekom od drugih softverskih paketa. Sistem je realizovan unutar LabVIEW programskog okruženja. Višeosni akcelerometar PCB-356A32 je senzor zadužen za merenje vibracija, dok je termopar tipa K korišten kao senzor temperature.

Ključne reči: *Senzori, SHM, LabVIEW, Akcelerometar, Termopar*

Abstract – *The paper presents the importance of using sensors inside measurement devices though the example of their usage within one very important area in constructions known as Structural health monitoring – SHM. Also, the paper presents a system created with the aim to be used to measure significant values inside SHM. It provides measurements like vibration with rarely temperature monitoring. Alarming of the user in case of critical vibrations is possible also, filtering of previous read results, calculating FFT, saving results, their opening or processing inside other softwares. This device is created inside LabVIEW. Triaxial accelerometer PCB-356A32 is a sensor in charge of measuring temperature, while thermocouple acts as temperature sensor.*

Keywords: *Sensors, SHM, LabVIEW, Accelerometer, Thermocouple*

1. UVOD

Razvoj elektronike i elektronskih komponenata omogućio je i konstrukciju mnogih naprednih uređaja koji koriste značajan broj elektronskih komponenata. Ugrubo, konstrukcija elektronskih uređaja izgleda tako što grupa senzora prikuplja željene podatke koje zatim šalje ka mikrokontroleru. Mikrokontroler obrađuje te podatke nakon čega ih šalje ka aktuatorima, uređajima koji izvršavaju tačno definisan zadatak na osnovu instrukcije koja im je poslata.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Jovan Bajić, vanr. prof.

Podaci ne moraju biti poslani aktuatorima, oni mogu biti prikazani na displeju ili prosleđeni za obradu unutar nekih drugih softverskih alata.

Dakle, senzori imaju veoma značajnu ulogu u ovakvim procesima. To su komponente koje pretvaraju neku od fizičkih veličina u električni signal, nakon čega je te podatke moguće dalje koristiti.

Tema ovog rada je upravo značaj senzora prilikom prikupljanja podataka na primeru njihove upotrebe u okviru SHM koncepta kroz primer realizacije sistema zaduženog za merenje vibracija i temperature. Zadatak je realizovan pomoću LabVIEW platforme za dizajn sistema upotrebom vizuelnog programskog jezika, uz pomoć cDAQ-9178. Za izradu sistema korištene su napredne opcije koje nam LabVIEW nudi.

Neke od korištenih naprednijih struktura su: *Queue, Notifier, Global Variables, FGV, User event* i sl., za očitavanje/upis podataka korištena je DAQmx metodologija, a rezultati merenja upisuju se u TDMS datoteke koje mogu biti pregledane unutar kreiranog grafičkog okruženja ili unutar nekih drugih softverskih alata kao što je to npr. *MS Excel*.

2. STRUCTURAL HEALTH MONITORING (SHM)

Širom sveta uočavaju se razna građevinska i arhitektonska „čuda“, a sve je češća pojava utrkivanja u izgradnji što lepših, komplikovanijih ili izazovnijih građevina. Građevine ni ne moraju biti atraktivne i izazovne, mogu to biti i obične stambene zgrade, međutim akcenat je na komplikovanijim inženjerskim projektima gde su dobar dizajn, kvalitet, izgradnja i trajna sigurnost ciljevi građevinskog inženjerstva.

Neispravne konstrukcije mogu dovesti do ozbiljnih posledica ako infrastruktura nije dobra. Na primeru nuklearnih elektrana ili cevovoda može se zaključiti da, u slučaju neadekvatne infrastrukture, može doći do gubitka ljudskih života ili ekoloških zagađenja koja mogu imati veoma ozbiljne posledice. Pored toga, propast pojedinih građevinskih poduhvata mogu dovesti i do velikih finansijskih gubitaka.

Međutim, nije samo loše planiranje i projektovanje novih građevina jedina stvar o kojoj je potrebno povesti računa, propast istorijski značajnih spomenika i građevina predstavlja nenadoknadiv kulturni gubitak.

Najsigurnije i najdugovečnije strukture su one kojima se dobro upravlja, gde merenje i praćenje imaju suštinsku ulogu tokom pomenutog upravljanja.

Structural Health Monitoring – *SHM* sinonim je za neophodna merenja i posmatranja koja nam omogućavaju praćenja u pomenutim upravljanjima. *SHM* predstavlja proces praćenja ili procene stanja konstrukcije kako bi se prikupile informacije o njenom trenutnom stanju praćenjem parametara kao što su vibracije, naprezanje, stres i drugi fizički fenomeni, reakcije i uslovi.

SHM ima za cilj da obezbedi tačne i blagovremene informacije o stanju konstrukcije. Informacije dobijene ovakvim praćenjem generalno se koriste za planiranje i projektovanje održavanja, povećanje bezbednosti, verifikovanje hipoteza, smanjenje neizvesnosti i proširenje znanja o strukturi koja se prati [1].

3. POSTUPAK MERENJA

Sistem za merenje je realizovan upotrebom *cDAQ-9178* pričvršćenog na istom postolju sa *NI DSA Demobox*. *NI DSA Demobox* je uređaj za simulaciju zvučnih signala i signala vibracija. Na njemu su pričvršćeni senzori za očitavanje vibracija i ventilator.

Merenja su vršena tako što se preko modula povezanog na *cDAQ*, uz pomoć *DAQmx* metodologije, na ventilator upisuje pobudni napon čime se ventilator pokreće simulirajući time vibracije. Senzori očitavaju vibracije koje se *DAQmx* metodologijom prikupljaju na računaru gde se vrše proračuni i proveravaju rezultati.



Slika 1. Izgled sistema: *cDAQ-9178* (iznad) i *DSA Demobox* (ispod)

Ventilatoru se, preko korisničkog interfejsa, zadaje oblik, amplituda i frekvencija signala koji ga pobuđuje. Iz pročitanih vibracija, proračunavanjem *FFT* (eng. *Fast Fourier transform* – brza Furijeova transformacija), dobija se frekvencija okretanja ventilatora, čime se i testiraju dobijeni proračuni.

Takođe, vrši se i filtracija vibracija. Moguća je upotreba niskopropusnog, visokopropusnog filtra, filtra propusnika i filtra nepropusnika opsega.

4. LabVIEW

LabVIEW predstavlja integrisano razvojno okruženje dizajnirano sa ciljem da ubrza produktivnost inženjera. Neke od prednosti prilikom upotrebe *LabVIEW*-a su te da je on integrisan unutar *National Instruments (NI)* i srodnih platformi, zatim omogućava kreiranje korisničkog interfejsa, a sve to uz pomoć grafičkog programiranja. Karakteriše ga upotreba standardnih petlji i struktura, kao

i u ostalim programskim jezicima, uz upotrebu standardnih tipova podataka. Omogućen je i rad sa nizovima (*1D* i *2D*) i upis/čitavanje fajlova.

Pored pomenutih zajedničkih karakteristika *LabVIEW* sadrži i značajne razlike zbog kojih se njegova upotreba smatra kao prednost.

Kada su strukture u pitanju, izdvaja se tzv. „*Event*“ struktura koja izvršava određeni deo programa u odnosu na događaj koji je unešen od strane korisnika. Od tipova podataka može da se izdvoji „*Waveform*“ tip podatka za opisivanje talasnog oblika. Međutim najznačajnije je tzv. „Modularno programiranje“ kao i mogućnost paralelnog izvršavanja programa. Ovo je moguće upotrebom naprednih mehanizama po kojima je jedinstven.

5. cDAQ-9178 I NJEGOVI MODULI

Nastavak teksta sadrži opis hardverskih komponenata korištenih pri realizaciji ovog sistema. *cDAQ* (eng. *compact Data Acquisition* - kompaktno prikupljanje podataka) kreirana su sa ciljem da se koriste kao prenosni merni sistemi. Karakterišu ih male dimenzije i ideja o ostvarivanju veze sa računaru povezivanjem preko *USB* kabla čime se na jednostavan način pristupa senzorskim merenjima [2]. *cDAQ-9178*, korišteno pri izradi ovog zadatka, sadrži osam slotova za povezivanje modula.

Na slici 2. prikazan je izgled kućišta *cDAQ*. Moduli korišteni za očitavanje neophodnih merenja su:

1. *NI 9211* - modul za termoparove,
2. *NI 9234* - modul za analogne ulaze i
3. *NI 9263* - modul za analogne izlaze.



Slika 2. *cDAQ* kućište (levo) povezano na računar [2]

6. SENZORI

Senzor *PCB-356A32* zadužen je za merenje vibracija. Iako je ovo troosni senzor (može da meri vibracije po *X*, *Y* i *Z* osi), prilikom realizacije ovog zadatka senzori su postavljeni tako da mere pojedinačno vibracije po *X* i po *Y* osi. Osetljivost ovog senzora je 100mV/g , a operativan je u frekvencijskom opsegu od 1 Hz do 4000 Hz [3].

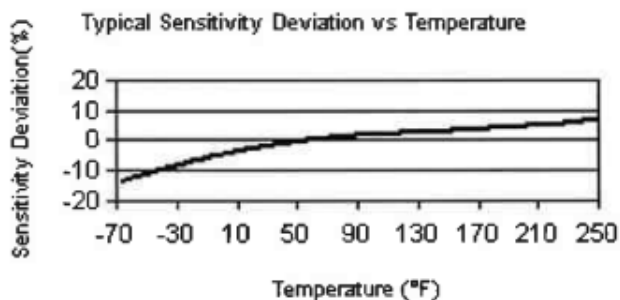
U ovom radu, pored vibracija, obezbeđeno je i merenje temperature. Ovo merenje ima dvojak značaj, pored toga što može biti iskorišteno u okviru *SHM* koncepta, što je bio i cilj.

Temperaturna merenja mogu da se upotrebe i za računanje devijacije osetljivosti senzora vibracije za neočekivano niske/visoke temperature. Osetljivost senzora pri tim temperaturama odstupa $\pm 10\%$ (pogledati sliku 4).



Slika 3. Akcelerometar PCB-356A32 [3]

Za merenje temperature u ovom zadatku zadužen je bio termopar K tipa. Termopar je uređaj koji se sastoji od dva različita provodnika koji zajedno čine električni spoj. Princip rada termopara je taj da on prizvodi napon zavistan od temperature, a ovaj napon može biti konvertovan tako da se pomoću njega izrazi temperatura.

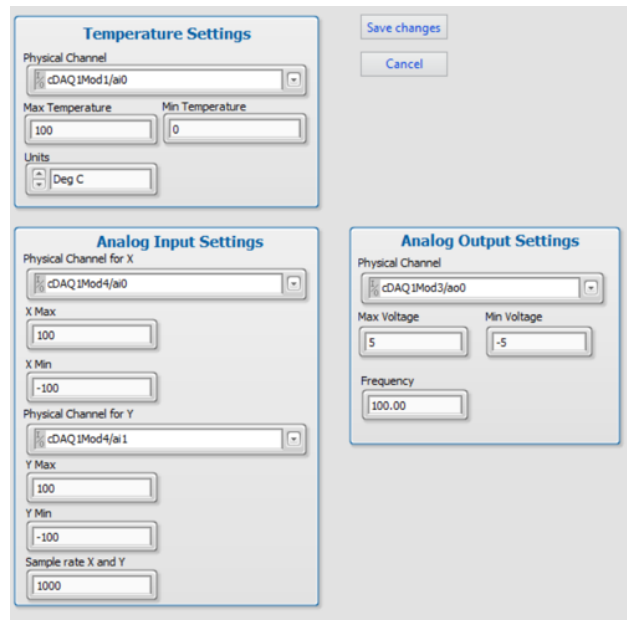


Slika 4. Promena parametara senzora PCB-356A32 sa promenom temperature [3]

7. REALIZACIJA SISTEMA ZA MERENJE

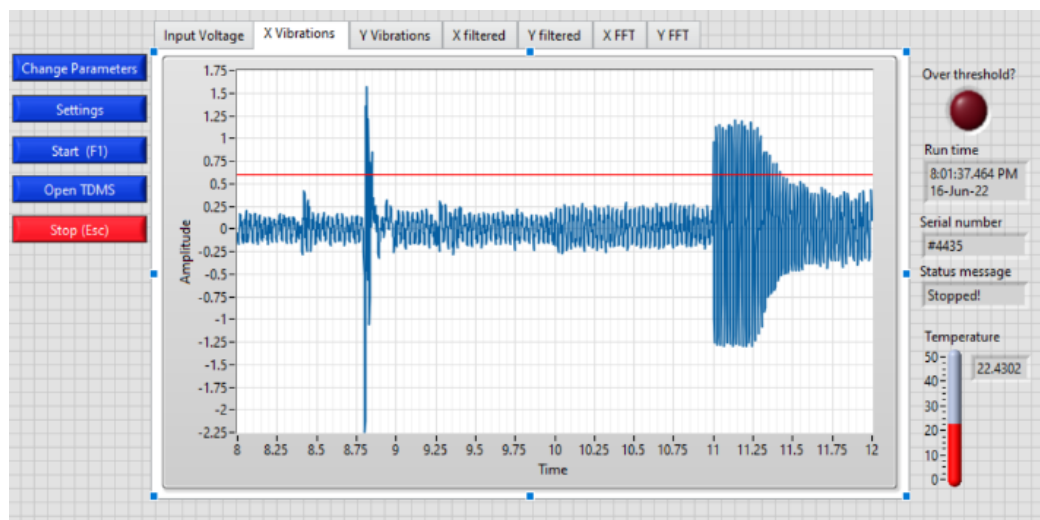
Korisnički interfejs i izgled sistema izgleda kao na slici 6. Na istoj slici može da se vidi i primer merenja koje prikazuje očitane vibracije po X osi, sa zadatim pragom (za način unošenja vrednosti praga pogledati sliku 7). Leva strana korisničkog interfejsa sastoji se od tastera koji služe za pokretanje i zaustavljanje merenja, tastera za podešavanje parametara hardvera (*Change parameters*), tastera za podešavanje parametara merenja (*Settings*) i tastera za otvaranje TDMS datoteka, datoteka unutar kojih se nalaze (prethodno) očitani rezultati. Sa desne strane nalazi se indikacija da li su očitane vibracije prekoračile prag koji je zadat u parametrima testa (vrednosti unutar *X* i *Y* *threshold*),

serijski broj merenja, datum početka poslednjeg merenja i indikacija trenutno izmerene temperature. Slika 5. sadrži prikaz podešavanja parametara hardvera. Moguće je podešavanje temperaturnih očitavanja odabirom kanala, opsega temperature i jedinice merenja. Zatim, podešavanje kanala sa kojih se očitavaju vibracije (unutar *Analog Input Settings* okvira) i kanal, frekvenciju i amplitudu signala za pobuđivanje ventilatora koji se nalazi na ploči.

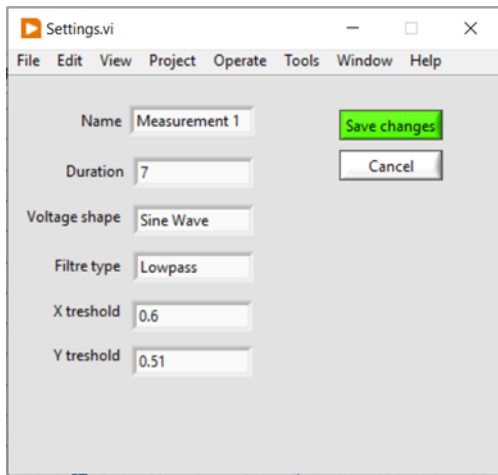


Slika 5. Podešavanje parametara hardvera

Slika 7. sadrži prikaz podešavanja parametara merenja. Ova podešavanja sadrže naziv narednog seta merenja, definisanje dužine merenja u sekundama, definisanje oblika signala za ventilator, tip filtra za filtriranje očitanih vibracija, podešavanje praga kritičnih vibracija koje ne bi smele biti prekoračene po X i Y osi. Na slici 6. prikazan je i primer izmerene temperature, gde se vidi očitana brojana vrednost, a postoji i indikacija u vidu termometra.



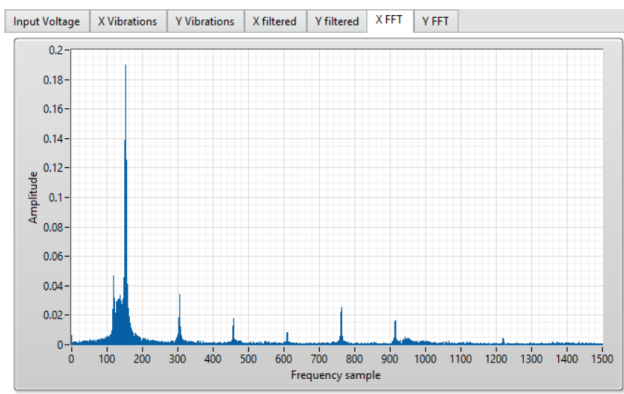
Slika 6. Izgled korisničkog interfejsa sistema, sa prikazom izmerene temperature i vibracija po X osi



Slika 7. Podešavanje parametara merenja

Sa slike 6. vidi se da lampica „Over threshold?“ svetli crveno sto znači da su vibracije iznad kritične vrednosti. U slučaju da su svi odbirci vibracije ispod zadatog praga, lampica svetleli zeleno.

Slika 8. sadrži prikaz *FFT*-a za vibracije sa slike 6. Kako je ventilatoru koji služi za simulaciju vibracija zadata frekvencija od 100Hz (pogledati podešavanja *Analog Output settings* sa slike 5.), može se uočiti da je ta frekvencija dominantna među ostalima, šta je očekivano.

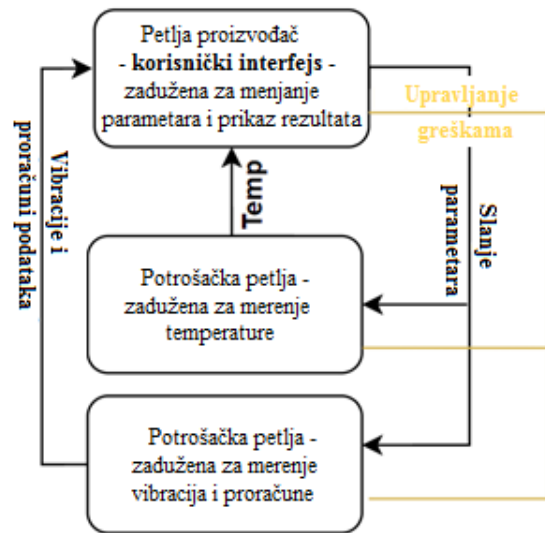


Slika 8. Rezultati *FFT*-a za prikazane X vibracije

8. PRINCIP RADA SISTEMA

Sistem za merenje je realizovan upotrebom tri *while* petlje koje se izvršavaju paralelno, od kojih prva petlja predstavlja petlju korisničkog interfejsa. Ova petlja omogućava promenu parametara, koje zatim prosleđuje petljama za merenje temperature i vibracija. Pored promene i slanja parametara ima zadatak prikaza rezultata u indikatorima i na graficima. Petlja korisničkog interfejsa odlučivanje vrši upotrebom *Event* strukture. Petlje su sinhronizovane i rade u paraleli, a njihovo izvršavanje zaustavlja se upotrebom *Notifier*-a koji čuva vrednost o njihovom pokretanju/zaustavljanju.

Petlja za merenje temperature prihvata ranije definisane parametre temperaturnog merenja (pogledati sliku 5). Temperatura se očitava sa razmakom od jedne sekunde, a rezultat se pamti unutar *FGV*-a (*eng. Functional global variable*), preko koje se šalje korisničkom interfejsu gde se prikazuje.



Slika 9. Algoritam rada sistema za merenje

Petlja za merenje vibracija, prihvata parametre za podešavanje merenja (parametri sa slike 5. i 6.), generiše pobudni napon na ventilatoru, meri vibracije, vrši njihovu filtraciju i računa *FFT*. Sve izmerene i proračunate podatke smešta unutar *Queue*-a, preko kojih ih šalje korisničkom interfejsu za prikaz.

Takođe, upotrebom klastera greške (*eng. error cluster*) obezbeđen je mehanizam uočavanja i otklanjanja grešaka koje se mogu javiti prilikom rada programa.

9. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je sistema koji bi se koristio u okviru *SHM*-a. Ovakva implementacija merodavna je za upotrebu u realnim *SHM* sistemima.

Jedno od mogućih unapređenja ovakvog sistema bila bi upotreba većeg broja senzora. Često su senzori jedne od skupljih komponenata, a kako je ovaj rad raden za potrebe master rada nabavka više različitih senzora predstavljala je ograničenje. Upotrebom većeg broja senzora obezbedila bi se dodatna merenja kao što su vlažnost, pritisak, struktura materijala i sl., a kako trenutno rešenje sadrži dosta neiskorištenog hardverskog prostora povećavanje broja senzora ne bi predstavljalo problem.

10. LITERATURA

- [1] Branko Glišić, Daniele Inaudi, „*Fibre Optic Methods for Structural Health Monitoring*“, Switzerland, John Wiley & Sons, 2007.
- [2] <https://www.ni.com/en-rs/support/model.cdaq-9178.html> (pristupljeno u junu 2022.)
- [3] <https://www.pcb.com/products?m=356A32> (pristupljeno u junu 2022.)

Kratka biografija:



Borislav Trbović rođen je u Somboru 1995. godine. Diplomirao na Fakultetu tehničkih nauka 2018., na departmanu za Energetiku, elektroniku i telekomunikacije, na usmerenju za Primenjenu elektroniku. Master rad na istom usmerenju odbranio je u julu 2022. Kontakt: mborislavsr@gmail.com