

Ilija KNEŽEVIĆ

Pomorski fakultet

ilijak@ucg.ac.me

Mentor: prof. dr Tatijane Dlabač

PRIMJENA KONCEPTA VIRTUELNE INSTRUMENTACIJE U MJERENJU PROCESNIH VELIČINA

UDK 621.317

Sažetak: U radu su dati jednostavni primjeri laboratorijskih vježbi koje predstavljaju unapređenje praktične nastave u okviru predmeta Brodska mjerenja na Pomorskom fakultetu Kotor. Prikazane su šeme veze i eksperimentalna postavka za četiri laboratorijske vježbe koje se odnose na: mjerenje napona, mjerenje jačine struje, mjerenje temperature pomoću termopara i mjerenje mase sa prethodnom kalibracijom mjerne ćelije, kao i simulacija kontrole nivoa tečnosti u brodskom tanku. Kreirane laboratorijske vježbe prikazane u ovome radu će doprinijeti boljem razumijevanju savremenih metoda mjerenja procesnih veličina i ovladavanju praktičnim znanjima, neophodnim u procesu obrazovanja u pomorstvu.

Ključne riječi: virtuelna instrumentacija, procesna mjerenja, softver LabVIEW

UVOD

Na brodu se za potrebe vođenja brodskih procesa i samog broda vrši mjerenje velikog broja fizičkih veličina (procesnih veličina) koje su neelektrične prirode. Među tim mjerenjima posebno mjesto pripada mjerenjima temperature, pritiska, protoka i nivoa. U nešto manjem obimu mjere se pomjeraj, položaj, brzina, ubrzanje, masa, težina, gustina, sila, moment, vlažnost, pH vrijednost, razni oblici energija i drugo [1]. Zbog važnosti mjerenja procesnih veličina postoji stalna potreba za unapređenjem tehnologija za njihovo mjerenje.

Da bi se primijenio koncept virtuelne instrumentacije, neophodno je istraživanje usmjeriti ka sistemima za akviziciju podataka, odnosno istražiti vrste i princip rada akvizicionih kartica, tehnike povezivanja akvizicionih sistema i slično, kao i princip rada senzora i njihovu kalibraciju. Da bi se mogli realizovati virtuelni instrumenti neophodno je istražiti kako osnovne, tako i napredne funkcije u okviru *LabVIEW* softvera koji je upravo i kreiran za ovu namjenu. Primjena koncepta virtuelne instrumentacije u procesu mjerenja, koja podrazumijeva korišćenje senzora (mjernih pretvarača), akvizicionih kartica i računara sa odgovarajućim softverom, omogućava da se mjerenja vrše tačno, pouzdano i bez korišćenja skupih mjernih instrumenata [2].

Autori [2] definišu virtuelnu instrumentaciju kao metodologiju za projektovanje mjernih instrumenata koja koristi standardni računar opšte namjene, specijalne hardverske uređaje za prikupljanje podataka i digitalnu konverziju signala, kao i kompjuterske programe koji obezbjeđuju prikupljanje, prikaz i obradu signala na računaru. Ova univerzalnost uvodi jedno osnovno svojstvo virtuelnog instrumenta, omogućavajući korisniku da modifikuje funkcije po želji kako bi odgovarao širokom spektru aplikacija.

Pregledi literature pokazuju da je *LabVIEW* jedan od primarnih softvera u dizajniranju aplikacija i analitičkih rješenja u raznim oblastima inženjerske tehnologije i obrazovanja, kao što su biomedicinsko inženjerstvo [3], elektrotehnika [4]–[6], hemija i hemijsko inženjerstvo [7], fizika [8], mašinstvo [9], i druge.

Temperatura je jedna od najznačajnijih fizičkih veličina koja se mjeri. Uprkos sve većem broju temperaturnih senzora, termopar ostaje najčešće korišćeni senzor za mjerenje temperature zbog niske cijene, širokog opsega mjerenja, jednostavnosti i lake primjene [10], [11], kao i zbog široke primjene u elektrotehnici [12]–[14]. Autori [15] su predstavili jednostavan pristup kompezaciji hladnog spoja termopara, kada je tip termopara nepoznat. Primjenom ovog pristupa snimljena je naponsko-temperaturna karakteristika termopara, dobijena karakteristika je upoređena sa standardnim karakteristikama i određen je tip termopara. Rješenja koje se predlažu u radovima [16]–[21] za mjerenje temperature korišćenjem sistema za akviziciju podataka, softvera *LabVIEW* i termopara, nudi modernu alternativu tradicionalnim sistemima mjerenja.

Masa opisuje količinu materije koju tijelo sadrži. Mjerne ćelije su najčešći instrument koji se koristi za mjerenje mase, posebno u industrijskim primjenama. U radu [22] se predstavlja virtuelni instrument za mjerenje opterećenja. Ovaj virtuelni instrument je korišćen za kalibraciju mjerne ćelije i za mjernje mase.

Virtuelna instrumentacija ima veliku ulogu u nastavnom procesu [23]–[27], u različitim oblastima nauke: matematike, fizike, hemije, biologije i druge, poboljšava istraživanja i uvećava baze znanja u drugim oblastima [28]. Unapređuje učenje u laboratoriji, smanjuje troškove laboratorijske opreme i omogućuje pristup skupim laboratorijama preko interneta [37], [38]. Sa aspekta učenja na daljinu [29]–[31], virtuelna instrumentacija može biti korišćena da poboljša inženjerske kurseve, a najvažnija korist je činjenica da se može iskoristiti sa ciljem da simulira fizički fenomen, da generiše signal i javlja u realnom vremenu [32]–[34].

Rad se sastoji od pet poglavlja. U Uvodu je dat motiv istraživanja i pregled literature. Drugo poglavlje objašnjava koncept virtuelne instrumentacije. Treće poglavlje obuhvata senzore za mjerenje procesnih veličina. Četvrto poglavlje se fokusira na akviziciju podataka i *LabVIEW* programski paket. Peto poglavlje prikazuje primjere virtuelnih instrumenata za simulaciju i mjerenja. Zaključak analizira istraživanje i daje smjernice za buduća istraživanja. Spisak literature je na dat kraju rada.

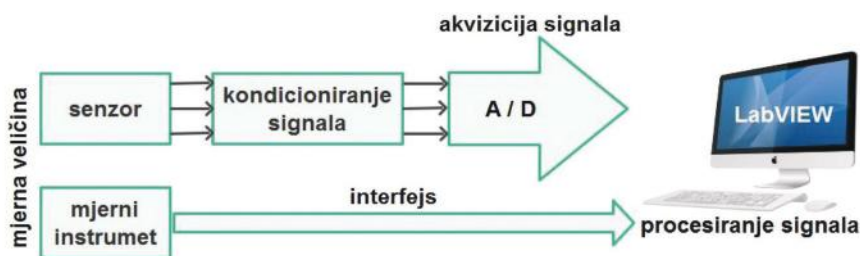
VIRTUELNA INSTRUMENTACIJA

Virtuelna instrumentacija kombinuje glavne komercijalne tehnologije, kao što je računar, sa fleksibilnim softverom i širokim spektrom mjernog i kontrolnog hardvera, tako da inženjeri i naučnici mogu da kreiraju korisnički definisane sisteme koji zadovoljavaju njihove tačne potrebe primjene. Dakle, virtuelna instrumentacija se odnosi na korišćenje računara i radnih stanica opšte namjene, u kombinaciji sa hardverskim uređajima za prikupljanje podataka i softverom za virtuelnu instrumentaciju, za konstruisanje integrisanog instrumentacionog sistema [10], [48]. U takvom sistemu, hardverski uređaji za prikupljanje podataka se koriste za ugradnju raznih senzora. Rad senzora kontroliše kompjuterski softver a izlaz uređaja za prikupljanje podataka (akvizicionih kartica) se prikazuje na ekranu računara [2], [35], [36].

Kreirane aplikacije virtuelnih instrumenata obično prate redosljed operacija tokom eksperimenta mjerenja, kao u nastavku [36], [37]:

- 1) prijedlog fizičko-matematičkog modela posmatranog procesa,
- 2) pretvaranje izmjerenih vrijednosti u električne veličine,
- 3) kondicioniranje signala (linearizacija, pojačanje, filtriranje, itd.),
- 4) akvizicija podataka (multipleksiranje i analogno/digitalna konverzija),
- 5) obrada podataka, i
- 6) prezentacija rezultata.

Blok dijagram mjerno-akvizicionog sistema baziranog na PC računaru je dat na Slici 1. Senzorski modul detektuje fizički signal i transformiše ga u električni oblik, vrši se kondicioniranje signala, a zatim se pretvara u digitalni oblik i moguće je vršiti dalju obradu.



Slika 1: Blok dijagram mjerno-akvizicionog sistema baziranog na PC računaru [36], [37]

Tradicionalni instrumenti kao što su osciloskopi i generatori talasnih oblika su veoma moćni, skupi i dizajnirani da obavljaju jedan ili više specifičnih zadataka koje je definisao proizvođač, s tim da ih korisnik uglavnom ne može proširiti ili izmijeniti. Za izradu ovih instrumenata mora se razviti posebna tehnologija i skupe komponente, što ih čini veoma skupim i sporim za prilagođavanje [2].

Virtuelni instrument (VI) je definisan kao industrijski standardni računar opremljen aplikativnim softverom prilagođenim korisniku, isplativim hardverom i upravljačkim softverom koji zajedno obavljaju funkcije tradicionalnih instru-

menata. Dobio je naziv virtuelni instrument jer simulirana fizičke instrumente. Softver virtuelne instrumentacije zasnovan na zahtjevima korisnika definiše funkcionalnost hardvera za mjerenje i kontrolu opšte namjene. Sa virtuelnim instrumentima, inženjeri i naučnici smanjuju vrijeme razvoja, dizajniraju proizvode višeg kvaliteta i smanjuju troškove dizajna [36].

Senzori

Mjerni pretvarač ili transmiter je uređaj pomoću kojeg se vrši pretvaranje signala jedne fizičke veličine najčešće neelektrične u odgovarajući signal druge fizičke veličine-električne. Mjerni pretvarači se odlikuju ulaznim karakteristikama, prenosnim i izlaznim karakteristikama. Američki nacionalni institut za standarde (ANSI) MC6.1 definiše pretvarač kao „uređaj koji obezbjeđuje upotrebljiv izlaz kao odgovor na određenu mjerenu veličinu“. Izlaz je definisan kao „električna veličina“, a mjerna veličina je „fizička veličina, svojstvo ili stanje koje se mjeri“. Međutim, naučna literatura generalno nije usvojila ANSI definicije, tako da je trenutno „senzor“ najčešće korišćeni termin [1], [38].

Riječ senzor potiče od latinske riječi „sensus“ koja znači „osjećanje“ i predstavlja dio mjernog sistema. Senzor je uređaj pomoću kojeg se fizička pojava pretvara u električni signal. U tom smislu, senzori karakterišu dio interfejsa između fizičkog svijeta i svijeta električnih uređaja kao što su računari. Koristi neki fizički fenomen da osjeti promjenljivu koja se mjeri. Pretvarač ili aktuator koji preostaje na drugom dijelu interfejsa konvertuje dobijenu informaciju (električni signal) u signal koji se može detektovati (fizičke pojave). Senzor karakteriše niz parametara kao što je osjetljivost, linearnost, šum, rezolucija, selektivnost i opseg. Neelektrične ulazne promjenljive koje se mjere pretvaraju se u električni izlazni signal u senzorskom elementu prema prirodnim naučnim zakonima [1], [2], [38], [39].

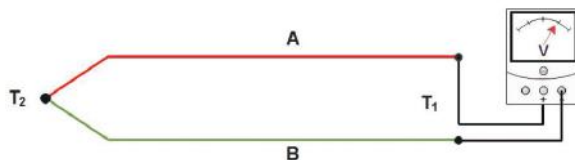
Najčešće praćene procesne mjerne veličine su temperatura, pritisak protok i nivo. Mjerenje neelektričnih veličina podrazumjeva korišćenje odgovarajućeg osjetljivog elementa-senzora pomoću koga se vrši kvalitativno i kvantativno određivanje fizičke veličine. Senzori indetifikovanja fizičke veličine mogu biti veoma složene prirode. Klasifikacije senzora kreću se od veoma jednostavnih do složenih.

Primjena senzora za mjerenje temperature

Od praistorije ljudi su svjesni toplote i pokušavaju da procijene njen intenzitet mjerenjem temperature. Možda najjednostavniji, i svakako najšire korišćeni, fizički fenomen za detekciju temperature je toplotna ekspanzija. Ovo čini osnovu termometara tečnosti u staklu. Za električnu transdukciju koriste se različite metode senzora. Među njima su: otporni, termoelektrični, poluprovodni, optički, akustični i piezoelektrični detektori. Za mjerenje temperature senzor mora biti termički spojen sa objektom. Spoj može biti fizički (kontakt) ili daljinski (beskontakt), ali termalna sprega uvijek mora biti uspostavljena da bi senzor proizveo mjerljiv električni odgovor. Svi temperaturni senzori se mogu podijeliti u dvije klase: ap-

solutni senzori i relativni senzori. Primjeri apsolutnih senzora su termistori i RTD, dok je primjer za relativni senzor termopar [1], [2].

Postoji mnogo različitih tipova temperaturnih senzora, ali termopar je onaj koji se najčešće koristi jer je jeftin, ima veliki mjerni opseg, jednostavan za ugradnju i rukovanje. Termoparovi (engl. *thermocouples*) predstavljaju posebnu familiju temperaturnih senzora baziranih na termoelektričnom efektu. Godine 1821, Thomas Johann Seebeck je otkrio da se električna energija može proizvesti na primjeru dva različita metala temperatura T_1 i T_2 koja su spojena u jednoj tački [1], [23], prikazano na Slici 2.



Slika 2: Termoelektrično kolo

Termopar je pasivni senzor, što znači da generiše napon kao odgovor na temperaturu i ne zahtjeva nikakvu spoljašnju snagu pobude. Drugim riječima, termoelement je direktan pretvarač toplotne energije u električnu energiju i pošto je senzor za generisanje napona, ponekad se termopar naziva „termičkom baterijom“.

Otpornički termometri (eng. *Resistance Thermometer Devices* – RTD) rade na principu zavisnosti otpornosti od temperature [1], [2]. Električna otpornost čistih metala je pozitivan, raste linearno sa temperaturom. Kako temperatura raste, električna otpornost metala se povećava, kako temperatura pada, električna otpornost se smanjuje. RTD koriste ovu karakteristiku kao osnovu za mjerenje temperature. Osjetljivi dio RTD-a, koji se zove element, je kalem od žice malog prečnika, visoke čistoće, obično napravljen od platine, bakra ili nikla. Platina je uobičajen izbor za RTD senzore jer je poznata po svojoj dugotrajnoj stabilnosti tokom vremena na visokim temperaturama. Platina je bolji izbor od bakra ili nikla jer je hemijski inertna, dobro podnosi oksidaciju, a radi i u većem temperaturnom opsegu [1], [2], [38]. Godine 1887. Hugh Callendar je objavio rad [40] gdje je opisao kako se praktično koriste temperaturni senzori od platine.

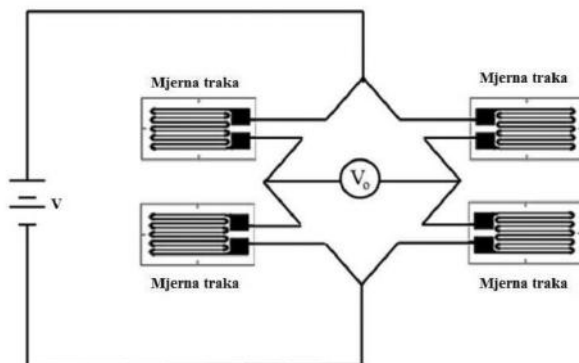
Osnovni nedostatak RTD senzora temperature je mali temperaturni koeficijent otpornosti. Poluprovodnički senzori poznati pod imenom termistori (eng. *Thermally Sensitive Resistor*), imaju znatno veći temperaturni koeficijent od RTD otpornika, ali nažalost i mnogo izraženu nelinearnost. Najčešće se koriste materijali u obliku smješe sulfida, selenida ili oksida metala, kao što su magnezijum, nikl, koblat, bakar, gvožđe. Sa gledišta statičkih karakteristika poznate su dvije vrste termistora: termistori sa pozitivnim temperaturnim koeficijentom prikazan i termistori sa negativnim temperaturnim koeficijentom. Najčešće su u upotrebi NTC termistori, kod njih vrijednost otpornosti opada sa porastom temperature. Mjerni opseg PTC termistora je mali, ali im je osjetljivost oko 10 puta veća nego kod NTC termistora [2].

Primjena senzora za mjerenje sile

Masa opisuje količinu materije koju tijelo sadrži. Senzori sile se mogu podijeliti u dvije klase: kvantitativne i kvalitativne. Kvantitativni senzor zapravo mjeri silu i predstavlja njenu vrijednost u smislu električnog signala. Primjeri ovih senzora su mjerne trake (engl. *strain gauge*) i mjerne ćelije koje se koriste zajedno sa odgovarajućim kolima interfejsa. Kvalitativni senzori su granični uređaji koji se ne bave dobrom tačnošću prikaza vrijednosti sile. Njihova funkcija je samo da pokažu da li je primijenjena dovoljno jaka sila ili ne. To jest, izlazni signal pokazuje kada veličina sile pređe unaprijed određeni nivo praga. Najpopularniji elementi korišćeni u mjerenju sile su metalne i poluprovodničke mjerne trake. Prvi mjerni mostovi su rađeni na bazi tanke otporne žice, a danas se proizvode od tankog filma, folije ili poluprovodnika [23], [38].

Mjerna traka je otpornik koji se koristi za mjerenje naprezanja na predmetu. Kada se na predmet primjeni spoljna sila dolazi do deformacije oblika predmeta. Kada se predmet deformiše u granicama elastičnosti, ili postaje sve uži i duži ili postaje kraći i širi. Kao rezultat toga, dolazi do promjene otpornosti kraja na kraj. Mjerenjem promjene otpornosti predmeta može se izračunati količina indukovano napona. Prilikom primjene mjernih traka neophodno je voditi računa o uticaju promjene temperature na tačnost mjerenja. Mjerni most može biti sa jednom aktivnom trakom, sa dvije aktivne trake i sa četiri aktivne trake.

Kada je mjerac nenapregnut, most je uravnotežen, a voltmetar pokazuje nultu vrijednost. Kako dolazi do promjene otpornosti mjeraca naprezanja, most postaje neuravnotežen i indukuje napon koji se prikazuje na voltmetru (Slika 3). Izlazni napon sa mosta može se dodatno pojačati diferencijalnim pojačavačem.



Slika 3: Pun mjerni most sa mjernim trakama [41]

Primjena senzora za mjerenje nivoa

Postoji mnogo različitih metoda za mjerenje nivoa tečnosti. Mjerenje nivoa tečnosti se vrši da bi se utvrdila količina tečnosti koja se nalazi u tanku. Nivo tečnosti utiče na pritisak i brzinu protoka u tanku i stoga njegovo mjerenje i/ili kontrola postaje veoma važno u različitim procesima koji se sreću u savremenim proizvod-

nim pogonima. Uređaji za mjerenje nivoa treba da imaju lak pristup za pregled, održavanje i zamjenu, nazivamo ih nivometrima [38].

Osnovna svrha mjerenja nivoa je mjerenje i regulacija količine materijala u skladištu za teret ili tanku kako bi se obezbijedio normalan tok tehnološkog procesa kao što je zaštita od prekida ili zaštita od izlivanja. Brodovi imaju različite tankove kao dio svoje strukture. Upotreba može varirati od svrhe balasta do zadržavanja mulja. Svi ovi tankovi čuvaju određene tečnosti čiji nivo (količinu) treba svakodnevno mjeriti i provjeravati. Ako se to ne radi, to će rezultirati ogromnom devastacijom, u rasponu od incidenta zagađenja do problema sa stabilnošću.

Neke metode pomoću kojih se direktno pokazuje stvarni nivo tečnosti su pomoću jednostavnog mehaničkog uređaja. Plovak djeluje kao primarni pretvarač koji pretvara varijaciju nivoa tečnosti u odgovarajući pomjeraj. To pomjeranje registruje sekundarni pretvarač, kao što je tip otpornosti potencijometrijskog uređaja, induktivni tip *LVDT*-a (engl. *Linear Variable Differential Transformer*), itd. Pomjeranje plovka pokreće krak koji uzrokuje da se klizač pomjera preko otpornog elementa reostata. Otpornost kola se mijenja i ova promjena otpornosti je direktno proporcionalna nivou tečnosti u rezervoaru [1], [38].

Kapacitivni senzori nivoa prave se kao pločasti ili cilindrični kondenzatori. Jednostavan kondenzator se sastoji od dvije elektrodne ploče razdvojene malom debljinom izolatora (koji može biti čvrst, tečan, gasovit ili vakuum) koji se naziva dielektrik. Promjena nivoa tečnosti izaziva varijaciju u dielektriku između dvije ploče, što zauzvrat izaziva odgovarajuću promjenu u vrijednosti kapacitivnosti kondenzatora. Zbog toga se takav mjerač naziva i dielektrični mjerač nivoa.

Ultrazvučni nivometri su beskontaktni nivometri predviđeni za mjerenje nivoa tamo gdje nije pogodno ostvariti fizički kontakt sa sadržajem rezervoara (tanka) zbog temperature, pritiska, agresivnosti materijala, itd. Zvučni talasi su usmjereni ka slobodnoj površini tečnosti koja se ispituje iz ultrazvučnog predajnika. Ovi talasi se reflektuju od površine tečnosti i prima ih prijemnik. U ovoj tehnici, varijacije nivoa tečnosti se prilično precizno određuju otkrivanjem ukupnog vremena potrebnog talasu da putuje do površine tečnosti, a zatim nazad do prijemnika. Ultrazvučne impulse emituje piezoelektrični pretvarač. Pretvarač (eng. *transducer*) istovremeno vrši funkciju predajnika i prijemnika impulsa. Emitovani talas nailaskom na nivo biva raspršen, dio zračenja se vraća do izvora koji sada igra ulogu prijemnika [38].

Akvizicija podataka i LabVIEW programski paket

Sistemi za prikupljanje podataka (engl. *DAQ – data acquisition*) prikupljaju izuzetno precizne, ponovljive, pouzdane podatke i podatke bez grešaka pod uslovom da su povezani i da rade u skladu sa preporukama proizvođača. Upravljanje akvizicionim karticama se vrši pomoću programskog paketa *LabVIEW*. *DAQ* kartice sadrže različite opcije analognih i digitalnih ulaza i izlaza [42].

U većini aplikacija, sistem za prikupljanje podataka je dizajniran ne samo da prikuplja podatke, već i da djeluje na njih. Kontrola je proces kojim se digitalni kontrolni signali sa hardvera dovode u format signala za upotrebu od strane kon-

trolnih uređaja kao što su aktuatori i releji. Osnovni elementi sistema za prikupljanje podataka su sljedeći [42]: senzori i pretvarači, kondicioniranje signala, *DAQ hardver*, *PC* (operativni sistem), *DAQ softver*.

Električni signali koje generišu pretvarači često moraju da se konvertuju u oblik koji je prihvatljiv za *DAQ hardver*, posebno *A/D pretvarač* koji konvertuje podatke signala u potreban digitalni format. Pored toga, mnogi pretvarači zahtijevaju neki oblik pobude ili premošćavanja za pravilan i tačan rad. Kondicioniranje signala uključuje: filtriranje, pojačanje, linearizacija, izolacija, i pobuda. Kada je šum istog ili većeg reda veličine od zahtjevanog signala, šum se prvo mora filtrirati. Oprema za kondicioniranje signala često sadrži niskopropusne filtere dizajnirane da eliminišu šum visoke frekvencije koji može dovesti do netačnih podataka.

LabVIEW (engl. *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) je grafičko programsko okruženje koje se široko koristi u industriji za akviziciju podataka, mjerenje signala i zadatke automatizacije, kao i u istraživačkim laboratorijama. Godine 1986. firma *National Instruments* predstavila je programski paket *LabVIEW* za *Macintosh*. On je privlačio inženjere i naučnike koji su tražili produktivan, moćan softver za upotrebu u aplikacijama testiranja, kontrole i dizajna raznih virtuelnih instrumentata. Danas je *LabVIEW* preferirano grafičko razvojno okruženje za hiljade inženjera i naučnika. Sa pravim softverskim alatom, inženjeri i naučnici mogu efikasno kreirati sopstvene aplikacije, tako što će dizajnirati i integrisati rutine koje zahtijevaju određeni procesi [2], [43].

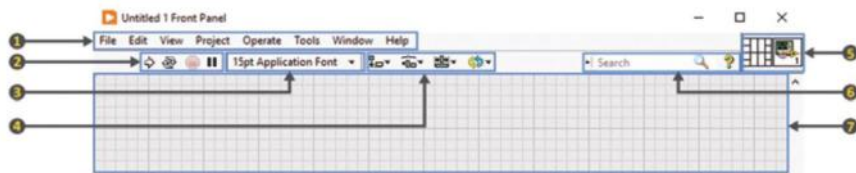
Posjeduje bogatu biblioteku kontrola i indikatora kao što su termometri, horizontalne i vertikalne skale, grafici, digitalni displeji, prekidači i dr., a moguće je kreirati kontrole po svojoj želji ili izmjene postojećih kontrola. Sa softverom *LabVIEW* korisnik može da dizajnira prilagođene virtuelne instrumente kreiranjem grafičkog korisničkog interfejsa na ekranu računara preko kojeg se može vršiti [35]: upravljanje programom instrumentacije, kontrola izabranog hardvera, analizirata dobijenih podatka i prikazivanje rezultata.

Iako *LabVIEW* pruža alate potrebne za većinu aplikacija, *LabVIEW* je takođe otvoreno razvojno okruženje. Grafički korisnički interfejsi (engl. *Graphical user interface* – GUI) takođe su igrali vitalnu ulogu u razvoju VI. Grafičko programiranje je lakše za korišćenje od tradicionalnog tekstualnog programiranja, i daje vizuelno orijentisan pristup porogramiranju. Glavna prednost tekstualnih jezika poput C, C++ ili Java je u tome što imaju brže vrijeme izvršavanja grafičkog pristupa i bolje performanse od grafičkih programa [2], [44]

Programski paket *LabVIEW* sa svim funkcijama ima iste konstrukcije koje imaju tradicionalni jezici, kao što su promjenljive, tipovi podataka, objekti, strukture petlje i sekvenciranja. VI ima tri glavne komponente, a to su: prednji panel, blok dijagram i ikona/konektor.

Prednji panel je interaktivni korisnički interfejs izgrađen sa kontrolama i indikatorima. Prednji panel je prozor kroz koji korisnik komunicira sa programom. Ulazni podaci u program koji se izvršava se unose preko prednjeg panela, a izlaz se takođe može vidjeti na prednjem panelu, što ga čini nezamjenljivim. Sadrži dugmad, grafikone i razne druge kontrole (koje su korisnički ulazi) i indikatore (koji su programski izlazi). Kontrole su ulazi koji se koriste za simulaciju ulaznih

uređaja instrumenta i snabdjevanje podacima blok dijagramu VI, a indikatori su izlazi, displeji koji se koriste za simulaciju izlaznih uređaja instrumenta i prikaz podataka koje blok dijagram dobija ili generiše. Prednji panel (Slika 4) je prilagođen da oponaša kontrolne table tradicionalnih instrumenata, kreira prilagođene test panele ili vizuelno predstavlja kontrolu i rad procesa [44], [45].



Slika 4: Prednji panel različite opcije (odjeljci) [45]

Kada se kreira novi VI, on će se pojaviti sa nekim unaprijed određenim odjeljcima kao što je prikazano na Slici 5.1, gdje su brojevima od 1 do 7 označeni respektivno [45]: 1 – Meni ovaj odjeljak se sastoji od drugih pododjeljaka: *File*, *Edit*, *View*, *Project*, *Operate*, *Tools*, *Window*, i *Help*. 2 – Izvršenje programa (eng. *Program execution*), 3 – Osobine fontova (eng. *Font properties*), 4 – Organizacija objekta (eng. *Object organization*), 5 – VI ikona i konektor, 6 – Traka za pomoć (eng. *Help bar*), 7 – Radni prostor (eng. *Workspace*).

Blok dijagram sadrži grafički izvorni kod sastavljen od čvorova, terminala i veza. Blok dijagram je stvarni izvršni program. Komponente blok dijagrama su VI nižeg nivoa, ugrađene funkcije, konstante i strukture kontrole izvršavanja programa. Objekti na prednjem panelu se pojavljuju kao terminali na blok dijagramu [44].

PRIMJERI REALIZOVANIH VIRTUELNIH INSTRUMENTATA ZA SIMULACIJU I MJERENJA

Virtuelni instrumenti za simulaciju i mjerenja predstavljeni u ovom poglavlju prikazuju na jednostavan način primjenu virtuelne instrumentacije. Omogućeno je da se na jednostavan način kreiraju virtuelni instrumenti koji omogućavaju mjerenje osnovnih električnih i neelektričnih veličina.

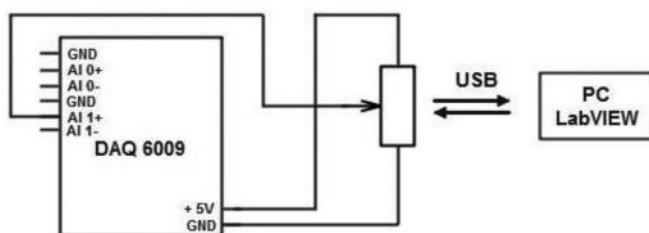
U ovom poglavlju prikazani su rezultati koji su objavljeni u radu [34]. Za realizaciju ovih instrumenata neophodno je imati računar na kojem je instaliran softver *LabVIEW*, izvor napajanja, razne senzore, akvizicione kartice i drugo. Prednost ovakvih VI je jednostavnost hardvera (*DAQ*, senzori, napajanje) i mogućnost pravljenja kreativnih rješenja u programu *LabVIEW*. Sistem za prikupljanje podataka (razne akvizicione kartice) kontrolišu se preko *LabVIEW*-a za generisanje i dobijanje fizičkih signala. Dobijeni rezultati se mogu obraditi na različite načine unutar programskog paketa *LabVIEW*.

U ovom poglavlju prikazana su četiri eksperimenta, od kojih se dva odnose na mjerenje električnih veličina (napona i struje), a dva na mjerenje neelektričnih veličina (temperature i mase). Cilj ovih laboratorijskih vježbi je da se kroz osnovna mjerenja u elektrotehnici, koja podrazumijevaju mjerenje jačine struje i napo-

na, studenti postepeno uvedu u korišćenje virtuelne instrumentacije, povezivanje svih elemenata u mjernom sistemu, a posebno korišćenje akvizicionih kartica i kreiranje virtuelnih instrumenata. Laboratorijska vježba 3 se odnosi na mjerenje temperature. Cilj ove laboratorijske vježbe je da studenti realizuju mjerenje signala sa termopara primjenom mjernog sistema baziranog na PC računaru. Mjerenje mase uključujući i kalibraciju mjerne ćelije je prikazano u laboratorijskoj vježbi 4.

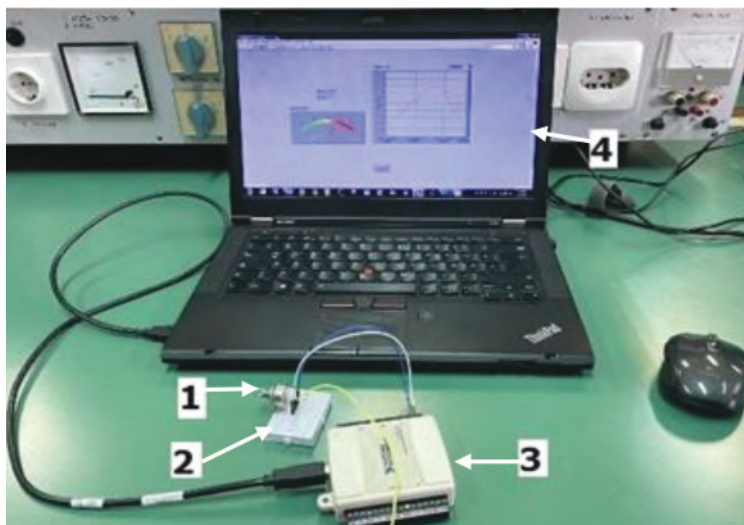
Virtuelni instrument za mjerenje napona

U ovoj sekciji je prikazan je VI koji se odnosi na mjerenje napona. Za realizaciju ove laboratorijske vježbe potreban pribor se sastoji od: akvizicione kartice NI 6009, potencijometra (BK5) i eksperimentalne pločice. Šema veze ove laboratorijske vježbe prikazana je na Slici 5.



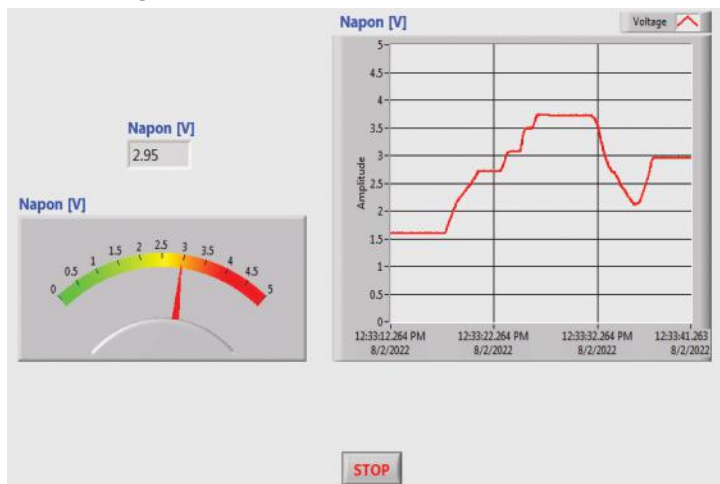
Slika 5: Šema veze laboratorijske vježbe mjerenje napona

Prvo je potrebno akvizicionu karticu NI 6009 preko USB kabela priključiti na računar. Kao što je prikazano na Slici 6 potencijometar se spaja na eksperimentalnu pločicu. Jedan kraj potencijometra se dovodi na digitalni ulaz akvizicione kartice (GND), dok se drugi kraj vodi na digitalni ulaz (+5 V). Srednji izvod potencijometra se vezuje na jedan od analognih ulaza.



Slika 6: Eksperimentalna postavka laboratorijske vježbe mjerenje napona

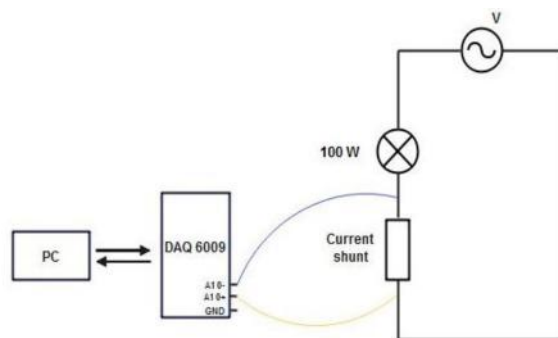
Na Slici 6 su brojevima označeni: 1 – potenciometar; 2 – eksperimentalna pločica; 3 – akviziciona kartica NI 6009, i 4 – računar sa instaliranim softverom *LabVIEW*. Prikaz prednjeg panela laboratorijske vježbe vezane za mjerenje napona u softveru *LabVIEW* prikazan je na Slici 7. Blok dijagram VI za mjerenje napona je dat u Prilogu 1.



Slika 7: Prednji panel virtuelnog instrumenta za mjerenje napona

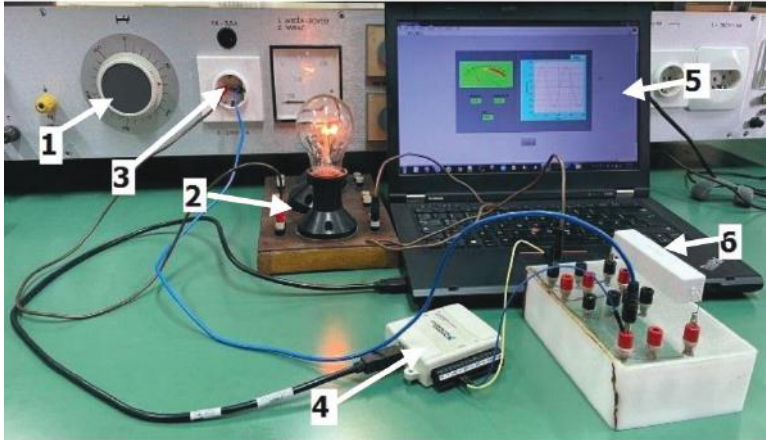
Virtuelni instrument za mjerenje napona

U ovoj sekciji je prikazan VI koji se odnosi na mjerenje jačine struje preko šant otpornika. Za realizaciju ove laboratorijske vježbe potreban pribor je: akviziciona kartica NI 6009, šant otpornik 40W 1 Ω i sijalica snage 100W. Šema veze prikazana je na Slici 8.



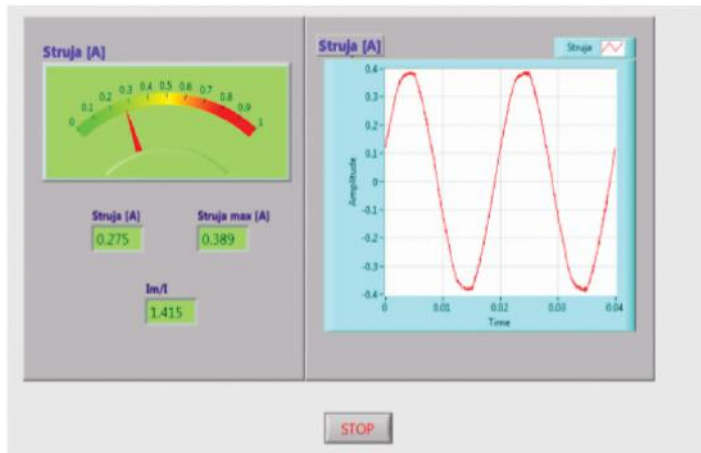
Slika 8: Šema veze laboratorijske vježbe Mjerenje struje

Na rednu vezu sijalice i šant otpornika (male otpornosti) doveden je napon sa autotransformatora. Paralelno sa šantom je vezana akviziciona kartica NI 6009, koja je spojena preko USB kabela sa računarom, kao što je prikazano na Slici 9.



Slika 9: Eksperimentalna postavka mjerno-akvizicionog sistema za mjerenje struje

Na Slici 9 su brojevima označeni: 1 – autotransformator; 2 – tabla sa sijalicom; 3 – utičnica (napajanje); 4 – akviziciona kartica NI 6009; 5 – računar sa instaliranim softverom *LabVIEW*, i 6 – šant. Kreirani program u softveru *LabVIEW* za mjerenje jačine struje prikazan je na Slici 10. Blok dijagram VI za mjerenje struje je dat u Prilogu 2.

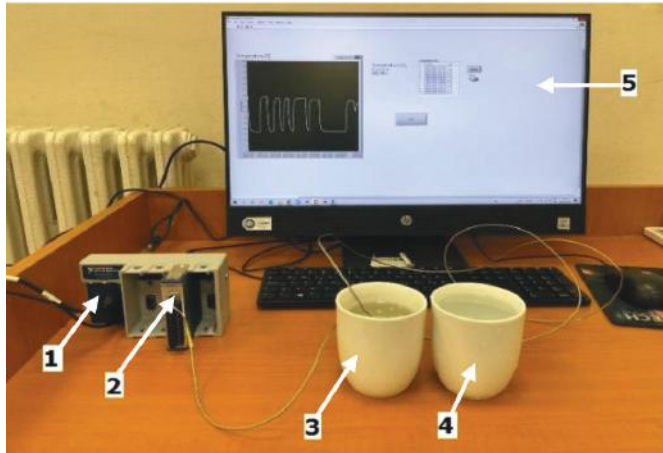


Slika 10: Prednji panel virtuelnog instrumenta za mjerenje struje

Virtuelni instrument za mjerenje temperature

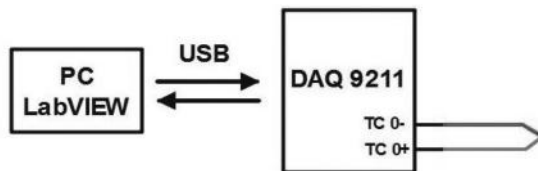
Na brodu se za potrebe vođenja brodskih procesa vrši mjerenje velikog broja neelektričnih veličina među kojima posebno mjesto pripada mjerenju temperature. U ovoj sekciji je prikazan VI koji se odnosi na mjerenje temperature termoparom.

Za realizaciju laboratorijske vježbe mjerenje temperature termoparom potreban je sljedeći pribor: termopar (J tip), akviziciona kartica (NI 9211) zajedno sa kućištem (cDAQ-9174) i dvije posude (sa toplom i sa hladnom vodom), Slika 11.



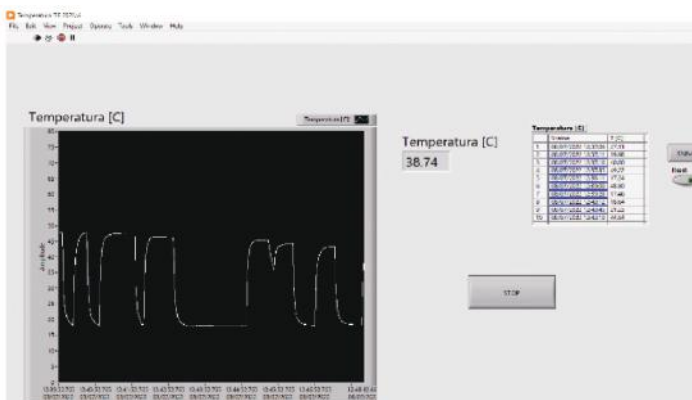
Slika 11: Eksperimentalna postavka mjerno-akvizicionog sistema za temperature

Na Slici 11 su brojevima označeni: 1 – kućište za kartice NI cDAQ-9174; 2 – akviziciona kartica NI 9211; 3 – posuda sa toplom vodom; 4 – posuda sa hladnom vodom, i 5 – računar sa instaliranim softverom *LabVIEW*. Krajevi termopara spajaju se sa akvizicionom karticom NI 9211 kao na Slici 6. 19.



Slika 11: Vezivanje termopara sa akvizicionom karticom

Postupak povećanja i smanjenja temperature, dok se sonda termopara prenosi iz jedne posude u drugu prati se na prednjem panelu, prikazano na Slici 12. Podaci izmjerene temperature se čuvaju u *Excel*-u i moguće je vršiti dalju obradu rezultata. Blok dijagram VI za mjerenje temperature je dat u Prilogu 3.

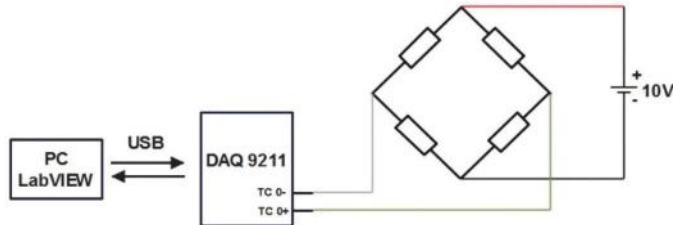


Slika 12: Prednji panel virtuelnog instrumenta za mjerenje temperature

Virtuelni instrument za mjerenje mase

U ovoj sekciji je prikazana laboratorijska vježba koja se odnosi na mjerenje mase, uključujući prethodnu kalibraciju mjerne ćelije.

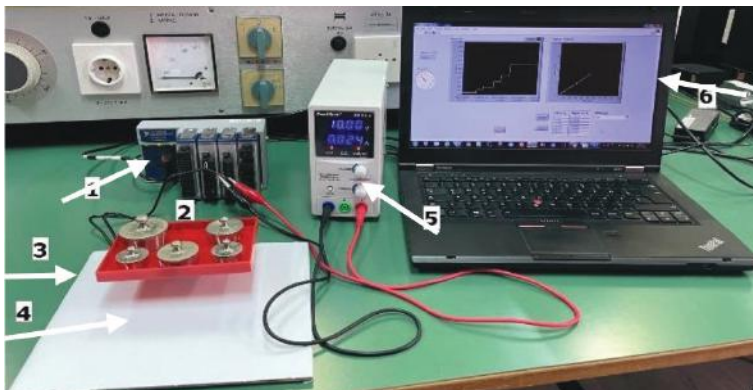
Mjerna ćelija pripada grupi otporničkih senzora za mjerenje opterećenja. Napravljena je od aluminijuma koja je oslabljena na srednjem dijelu, što omogućava elastično savijanje. Sa gornje i donje strane postavljeni su mjerači napreznja. Oni su raspoređeni tako da su dva postavljena pri vrhu otvora mjerne ćelije, a dva pri dnu [22], [34]. Ovaj raspored omogućava povezivanje mjerača napreznja u električno kolo Vitstonovog mosta kao što je prikazano na Slici 13.



Slika 13: Šema veze mjerne ćelije sa akvizicionom karticom

Kada se mjerna ćelija optereti, dolazi do njenog savijanja, odnosno zatezanje mjerača napreznja, što dovodi do promjene njene otpornosti. Prije početka mjerenja mase mjernom ćelijom, potrebno je odrediti njenu karakteristiku, odnosno, zavisnost izlazne od ulazne veličine. Ova karakteristika mjerne ćelije sa mjeračem napreznja predstavlja zavisnost izlaznog napona mjerne ćelije od samog opterećenja. Da bi se odredila ova karakteristika potrebno je izvršiti kalibraciju mjerne ćelije. Ona se vrši mjerenjem izlaznog napona U mjerne ćelije za različite vrijednosti poznate mase m . Na ovaj način se dobija karakteristika mjerne ćelije kao skup tačaka (m, U) .

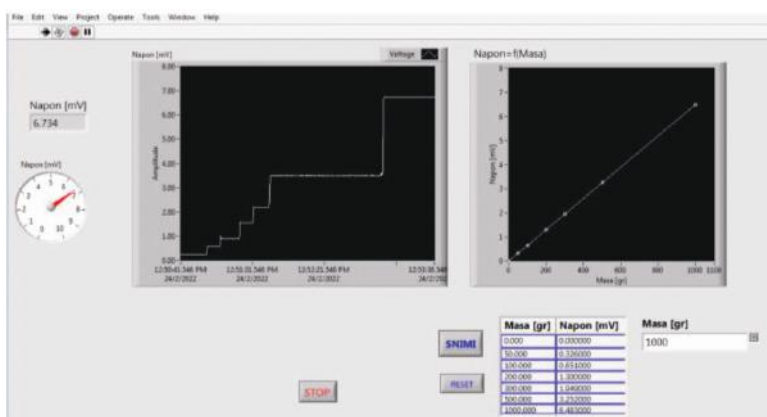
Na Slici 14 prikazana je eksperimentalna postavka sistema za kalibraciju mjerne ćelije. Za realizaciju ovog sistema potreban je sljedeći pribor: mjerna ćelija (CZL608 3 kg), izvor jednosmjernog napona od 10 V, tegovi i akviziciona kartica NI 9211.



Slika 14: Eksperimentalna postavka mjernog sistema za mjerenje mase

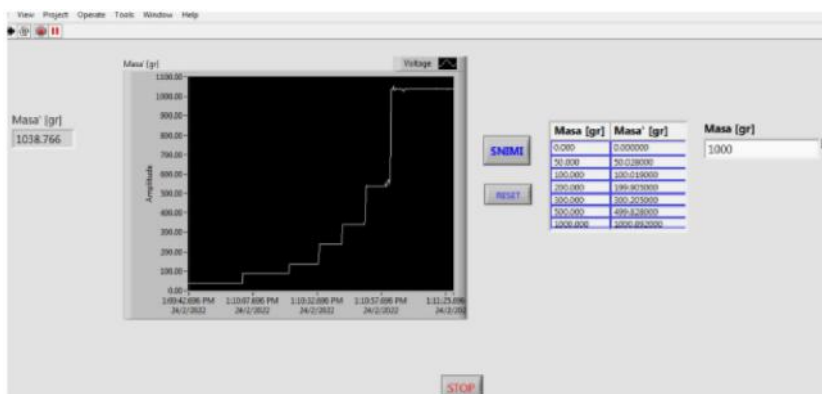
Na Slici 14 su brojevima označeni: 1 – kućište za kartice NI cDAQ-9174; 2 – akviziciona kartica NI 9211; 3 – tegovi 50–500 g; 4 – mjerna ćelija CZL608 3 kg; 5 – izvor jednosmjernog napona, i 6 – računar sa instaliranim softverom *LabVIEW*.

Na Slici 15 je prikazan postupak sprovođenja kalibracije. Početak kalibracija započinje sa mjernom ćelijom bez opterećenja i ovo početno stanje je potrebno snimiti, odnosno izmjeriti izlazni napon. Izlazni napon će biti različit od nule zbog nesavršenosti sistema. Moguće je poništiti ovaj napon softverski. Nakon poništenja potrebno je u prednjem panelu virtuelnog instrumenta zapisati početne vrijednosti u tabeli koje će istovremeno biti prikazane i grafički. Nakon ovog prvog koraka potrebno je dodatno opteretiti mjernu ćeliju za 50 g i sačuvati dobijene rezultate u tabeli. Svako sljedeće opterećenje stavljeno na mjernu ćeliju treba da bude veće od prethodnog, sve dok se ne postigne nominalno opterećenje. Kada se kalibracija završi (klikom na dugme „Stop“) zaustavlja se program za kalibraciju. Blok dijagram VI za kalibraciju mjerne ćelije, kao i mjerenje mase je dat u Prilogu 4.



Slika 15: Prednji panel sistema za kalibraciju mjerne ćelije u softveru LabVIEW

Nakon kalibracije kreirana je aplikacija za mjerenje nepoznatih masa, prikazana na Slici 16.



Slika 16: Prednji panel virtuelnog instrumenta za mjerenje nepoznate mase

Numerički podaci o kalibraciji mjerne ćelije dati su u Tabeli 1. Kalibracija je izvedena za različita opterećenja do 1000 g.

R. br.	Masa [g]	Napon [mV]
1	0	0
2	50	0.326
3	100	0.651
4	200	1.300
5	300	1.949
6	500	3.252
7	1000	6.483

Tabela 1: Numerički podaci o kalibraciji mjerne ćelije

Sa Slike 15 se vidi da je karakteristika mjerne ćelije linearna. Za svako mjerenje se može odrediti koeficijent k , koji predstavlja odnos izmjerenog napona U i zadate mase m , prikazano relacijom (1)

$$k_i = \frac{U_i}{m_i}; i = 1, 2, \dots, 7 \quad (1)$$

Srednja vrijednost ovog koeficijenta može se koristiti kao osjetljivost S mjerne ćelije i računa se pomoću relacije (2)

$$S = \frac{\sum_{i=1}^7 k_i}{7} \approx 2 \left[\frac{mV}{kg} \right] \quad (2)$$

m	m'	$\Delta m = m' - m $	$\delta m = \frac{\Delta m}{m} \cdot 100$ [%]
0	0	0	0
50	50.028	0.028	0.056
100	100.019	0.019	0.019
200	199.905	0.095	0.047
300	300.205	0.205	0.068
500	499.828	0.172	0.034
1000	1000.892	0.892	0.089

Tabela 2: Rezultati mjerenja, apsolutna i relativna greška

Poznato je da osjetljivost zavisi od napona napajanja, u ovom slučaju je napon napajanja 10 V, dok bi za napon od 5 V osjetljivost bila dva puta manja. Pomoću kreiranog programa izvršena su mjerenja sa poznatim masama i dobijena odstupanja su prikazana u Tabeli 2, gdje je: m [g] – poznata masa, m' [g] – izmjerena masa, Δm [g] – apsolutna greška i δm [g] – relativna greška.

ZAKLJUČAK

Koncept virtuelne instrumentacije predstavlja novi pristup u mjernoj tehnici, a odnosi se na prelaz sa tradicionalnih hardverski mjernih uređaja, na moderne softverski orijentisane mjerene sisteme. Virtuelna instrumentacija je termin koji se odnosi na integraciju hardvera i softvera, uključujući mjerenje, prikupljanje podataka (akviziciju), obradu i prikaz dobijenih podataka.

Istraživanje ovog master rada bilo je motivisano nizom problema sa kojima se suočavamo kod tradicionalnih mjerenja. Tradicionalni mjerni instrumenti (multimetar, osciloskop, generator signala, analizator frekventnog spektra i drugo) su veoma snažni i skupocjeni autonomni uređaji, napravljeni od strane proizvođača. Jedan od problema je taj što korisnik generalno, ne može da ih proširi i izmijeni. Imaju definisane ulazne i izlazne signale koji se na njega mogu priključiti, fiksne karakteristike koje se odnose na njegovo korišćenje: raspored i oblik tastera, prekidača, preklopnika opsega i ostalog.

Cilj istraživanja koji je bio u ovom master radu jeste, sa jedne strane da se prikaže koncept virtuelne instrumentacije kroz detaljan opis hardvera i softvera mjernog sistema i uloge pojedinačnih dijelova sistema u procesu mjerenja. Sa druge strane, cilj istraživanja sprovedenih u okviru rada je da se razviju aplikacije u programskom paketu *LabVIEW* za realizaciju mjerenja određenih procesnih veličina, kao i sama mjerenja.

Dakle, realizovani su mjerni sistemi za mjerenje temperature pomoću termoparova, za mjerenje mase opterećenja, uključujući i kalibraciju mjerne ćelije, kao i virtuelni instrument za kontrolu nivoa tečnosti u brodskom tanku. Zbog važnosti mjerenja procesnih veličina u pomorstvu, u školovanju pomoraca je neophodno unaprijediti predmete koji se bave brodskim mjerenjima, kako bi se studenti upoznali sa savremenim metodama mjerenja i kako bi stekli dovoljna znanja i vještine za samostalan rad i buduću karijeru. Ovaj dodatni motiv za pomenuta istraživanja je doveo do realizacije virtuelnih instrumenta, a mjerni sistemi su prikazani u vidu laboratorijskih vježbi koje su namjenjene studentima Pomorskog fakulteta.

Međutim, važno je napomenuti da je realizacija praktične nastave i konkretnih mjerenja na fakultetima često usko povezana sa novčanim sredstvima kojima te ustanove raspolažu za nabavku opreme i osavremenjavanje nastave. Za nabavku akvizicionih kartica, PC računara i druge dodatne opreme neophodno je odvojiti ne mala sredstva što predstavlja izvjesno ograničenje u istraživanjima i praktičnim realizacijama.

Tokom izrade ovog master rada otvorile su se mnoge mogućnosti za buduća istraživanja koja će biti usmjerena ka kreiranju novih virtuelnih instrumenata mjernih sistema. Jedna od ideja koja je razmatrana je i mogućnost postavljanja udaljenih eksperimenata, da bi se omogućila njihova veća dostupnost. Udaljeni eksperimenti bi naročito koristili studentima koji su spriječeni da praktičnu nastavu prate na fakultetu, kao što je slučaj sa studentima aktivnim-pomorcima. Rezultati istraživanja prezentovani u ovom master radu su publikovani na međunarodnoj konferenciji, a procjenjuje se da će biti veoma korisni akademskoj zajednici i to ne samo na Pomorskom fakultetu, već i svim istraživačima koji se bave procesnim mjerenjima.

LITERATURA

- [1] N. Barjamović, *Brodaska mjerenja*. Kotor: Fakultet za pomorstvo, Univerzitet Crne Gore, 2006.
- [2] A. Milovanović, M. Bjekić, and B. Koprivica, *Virtuelna instrumentacija*. Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Univerzitet u Kragujevcu, 2010.
- [3] H. A. Modran, D. Ursuțiu, C. Samoila, and T. Chamunorwa, "Intelligent IoT Biomedical Bluetooth Data Acquisition System," in *New Realities, Mobile Systems and Applications*, M. E. Auer and T. Tsiatsos, Eds., in Lecture Notes in Networks and Systems. Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 970–979. doi: 10.1007/978-3-030-96296-8_88.
- [4] B. Koprivica and A. Milovanovic, "Application of virtual instrumentation in determination of AC magnetic properties of electrical steel sheet under DC-biased magnetization," presented at the International Scientific Conference "UNITECH 2014," Gabrovo, Bulgaria, Nov. 2014.
- [5] B. Koprivica, M. Sucurovic, N. Jevtić, and A. Milovanovic, "Measurement of magnetic flux density of large-diameter multilayer solenoid," presented at the 13th International Conference on Applied Electromagnetics – IIEC 2017, Nis, Serbia, Aug. 2017.
- [6] G. Ramachandiran, J. Kandhasamy, and A. Saminathan, "Virtual Instrumentation in Electrical Engineering Applications," *J. Inst. Eng. India Ser. B*, vol. 101, no. 2, pp. 193–199, Apr. 2020, doi: 10.1007/s40031-020-00437-w.
- [7] E. E. Tereshatov *et al.*, "Compact automated apparatus for rapid astatine recovery from nitric acid media: Design, application, and impurity characterization," *Chemical Engineering Journal*, vol. 442, p. 136176, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.cej.2022.136176.
- [8] C. L. Rat, C. I. Ichim-Burlacu, and C. Panoiu, "Modeling the synchronous permanent magnet generator with RLC load," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 2212, no. 1, p. 012019, Feb. 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2212/1/012019.
- [9] J. W. Frazer, A. Karimi, A. C. Rogers, and T. J. Connolly, "Computer-assisted Laboratory Experience in an Undergraduate Mechanical Engineering Program," presented at the 2002 GSW, Mar. 2022. Accessed: May 24, 2022. [Online]. Available: <https://peer.asee.org/computer-assisted-laboratory-experience-in-an-undergraduate-mechanical-engineering-program>
- [10] J. G. Webster, *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*, 1st edition. Boca Raton, Fla: CRC Press, 1998.
- [11] P. R. N. Childs, J. R. Greenwood, and C. A. Long, "Review of temperature measurement," *Review of Scientific Instruments*, vol. 71, pp. 2959-2978, 2000.
- [12] A. Floriduz, E. Bassi, F. Benzi, G. Secondo, and P. S. Termini, "Wireless temperature sensing in electrical motors with XBee modules," in *2015 IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (WEMDCD)*, Mar. 2015, pp. 304-308. doi: 10.1109/WEMDCD.2015.7194544.

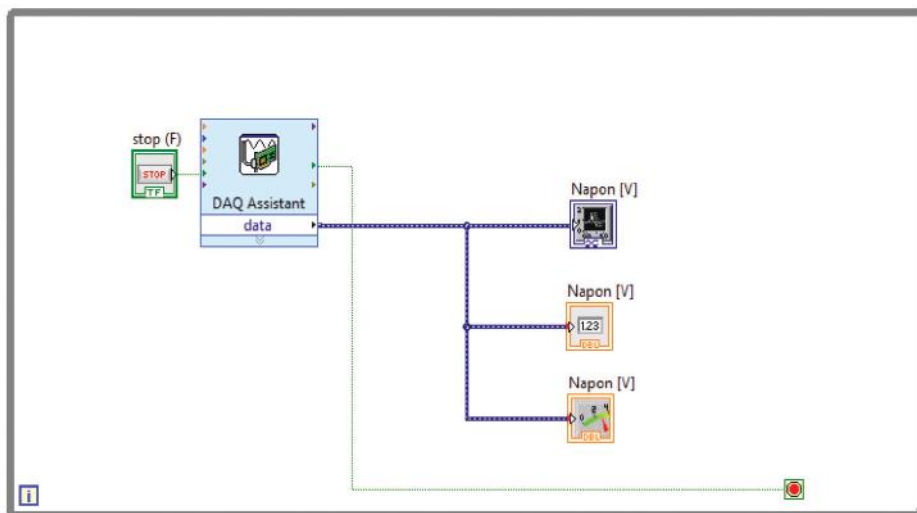
- [13] R. Mocanu and A. Onea, "Determination of stator temperature for thermal protection in a Permanent Magnet Synchronous Machine," in *2017 25th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*, Jul. 2017, pp. 1321-1325. doi: 10.1109/MED.2017.7984301.
- [14] M. Daghrah, Z. D. Wang, Q. Liu, D. Walker, Ch. Krause, and G. Wilson, "Experimental investigation of hot spot factor for assessing hot spot temperature in transformers," in *2016 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)*, Sep. 2016, pp. 948-951. doi: 10.1109/CMD.2016.7757981.
- [15] B. Koprivica, A. Milovanovic, and T. Dlabac, "An approach to cold junction compensation and identification of unknown thermocouple type," *Revue Roumaine des Sciences Techniques - Serie Électrotechnique et Énergétique*, vol. 63, pp. 277-282, Sep. 2018.
- [16] H. Prajapati and N. Deshmukh, "Design and Development of Thin Wire Sensor for Transient Temperature Measurement," *Measurement*, vol. 140, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.measurement.2019.04.020.
- [17] C.-F. Ocoleanu and G. Manolea, "Design of a virtual instrument in LabVIEW for crimped connection temperature measurement," in *2016 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE)*, Oct. 2016, pp. 1-4. doi: 10.1109/ICATE.2016.7754672.
- [18] W. Zhu, J. Liu, H. Yang, and C. Yan, "Design of high precision temperature measurement system based on LabVIEW," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 6, pp. 153-5, 2015.
- [19] H. C. Pacco, "Simulation of temperature control and irrigation time in the production of tulips using Fuzzy logic," *Procedia Computer Science*, vol. 200, pp. 1-12, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.procs.2022.01.199.
- [20] D. Zivanovic and M. Simic, "Two-stage segment linearization as part of the thermocouple measurement chain," *Measurement and Control -London- Institute of Measurement and Control-*, vol. 54, Jan. 2021, doi: 10.1177/0020294020986833.
- [21] R. Niu and J. Ren, "Design of Fuzzy Temperature Control System Based on LabVIEW," *IJEME*, vol. 1, no. 6, pp. 21-27, Dec. 2011, doi: 10.5815/ijeme.2011.06.04.
- [22] S. Milosavljević, A. Milovanovic, and B. Koprivica, "Virtual Instrumentation for Load Cell - Calibration and Measurements," presented at the International Scientific Conference Technics and Informatics in Education, May 2018.
- [23] A. Milovanović and B. Koprivica, *Laboratorijski praktikum iz električnih merenja: Merenje neelektričnih i magnetskih veličina- I deo*. Čačak: Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Univerzitet u Kragujevcu, 2021.
- [24] M. Y. I. Zia and M. Rashid, "A Novel Laboratory Experimental Platform Using LabVIEW and Multisim Environments," in *2021 National Computing Colleges Conference (NCCC)*, Mar. 2021, pp. 1-6. doi: 10.1109/NCCC49330.2021.9428796.
- [25] T. R. Melo, J. S. D. R. Neto, and J. J. Silva, "Integration of Virtual Instrumentation in the Teaching of Data Acquisition and Interface Systems

- Course,” *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, vol. 16, no. 2, pp. 154-160, May 2021, doi: 10.1109/RITA.2021.3089928.
- [26] D. Grimaldi and S. Rapuano, “Hardware and software to design virtual laboratory for education in instrumentation and measurement,” *Measurement*, vol. 42, no. 4, pp. 485-493, May 2009, doi: 10.1016/j.measurement.2008.09.003.
- [27] V. Potkonjak *et al.*, “Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review,” *Computers & Education*, vol. 95, pp. 309–327, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.compedu.2016.02.002.
- [28] L. V. Alexeychik, M. P. Zhokhova, D. V. Mikheev, and M. V. Karpunina, “Electrotechnical Laboratory: From Physical Experiment to Virtual Scenario,” in *2018 IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino)*, Oct. 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/INFORINO.2018.8581853.
- [29] P. Chen, Y. Huang, J. Mou, and P. H. A. J. M. van Gelder, “Probabilistic risk analysis for ship-ship collision: State-of-the-art,” *Safety Science*, vol. 117, pp. 108-122, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.ssci.2019.04.014.
- [30] B. Gergič, D. Hercog, L. Mikola, and V. Matko, “Using the Internet and Virtual Instrumentation to enhance the learning of Electrical Measurements,” Jan. 2004.
- [31] P. Trentsios, M. Wolf, and S. Frerich, “Remote Lab meets Virtual Reality – Enabling immersive access to high tech laboratories from afar,” *Procedia Manufacturing*, vol. 43, pp. 25-31, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.02.104.
- [32] Y. Ugurlu, “Measuring the impact of virtual instrumentation for teaching and research,” in *2011 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Apr. 2011, pp. 152-158. doi: 10.1109/EDUCON.2011.5773129.
- [33] C. Dumitrescu, R. L. Olteanu, L. M. Gorghiu, G. Gorghiu, and G. State, “Using virtual experiments in the teaching process,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 776-779, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.sbspro.2009.01.138.
- [34] I. Knezevic, B. Koprivica, T. Dlabac, N. Marvučić, and A. Milovanovic, “Integration of virtual instrumentation in marine electrical engineering education,” Aug. 2022, pp. 121-128. doi: 10.46793/TIE22.121K.
- [35] S. Sumathi and P. Surekha, *LabVIEW based Advanced Instrumentation Systems*. Springer Berlin, Heidelberg, 2007.
- [36] S. Tumański, *Principles of electrical measurement*. in Series in sensors. New York: Taylor & Francis, 2006.
- [37] N. Miljković, *Metode i instrumentacija za električna merenja*. Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2016.
- [38] M. Popovic, *Senzori i merenja*. Beograd: Zavod za udzbenke i nastavna sredstva, 2004.
- [39] M. J. Usher and D. A. Keating, *Sensors and Transducers*. London: Macmillan Education UK, 1996. doi: 10.1007/978-1-349-13345-1.
- [40] H. L. Callendar, “On the practical measurement of temperature: Experiments

- made at the Cavendish laboratory, Cambridge,” *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. (A.)*, vol. 178, pp. 161–230, 1887, doi: 10.1098/rsta.1887.0006.
- [41] G. Min, S.-W. Oh, Y. Wicaksana, S. Jeon, and S. Cho, “Development of the strain measurement-based impact force sensor and its application to the dynamic Brazilian tension test of the rock,” Sep. 2017.
- [42] H. R. Taylor, *Data Acquisition for Sensor Systems*. Boston, MA: Springer US, 1997. doi: 10.1007/978-1-4757-4905-2.
- [43] T. Bress, *Effective LabVIEW Programming: (*new file uploaded 02/19/15)*. NTS Press, 2013.
- [44] J. Jerome, *Virtual instrumentation using LabVIEW*. PHI Learning Pvt. Ltd., 2010.
- [45] J. C. Rodríguez-Quiñonez and O. Real-Moreno, *Graphical Programming Using LabVIEW™: Fundamentals and advanced techniques*. The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2022.

PRILOZI**Prilog 1** – blok dijagram VI za mjerenje napona

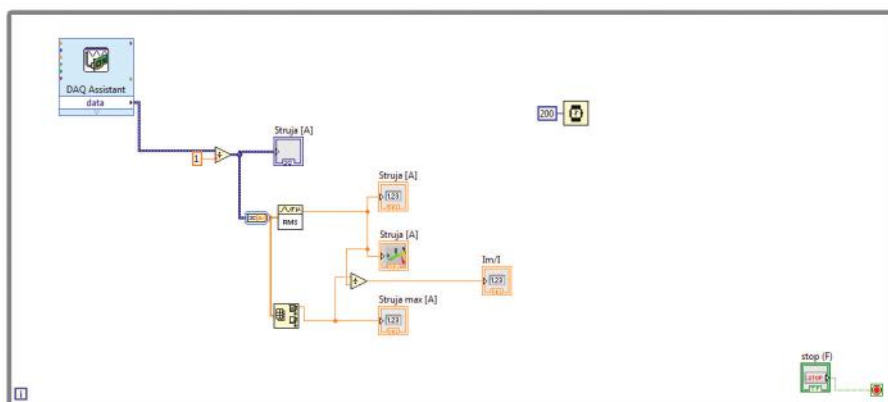
Na Slici 17. je prikazan blok dijagram virtuelnog interumenta za mjerenje napina



Slika 17: Blok dijagram virtuelnog instrumenta za mjerenje napona

Prilog 2 – blok dijagram VI za mjerenje struje

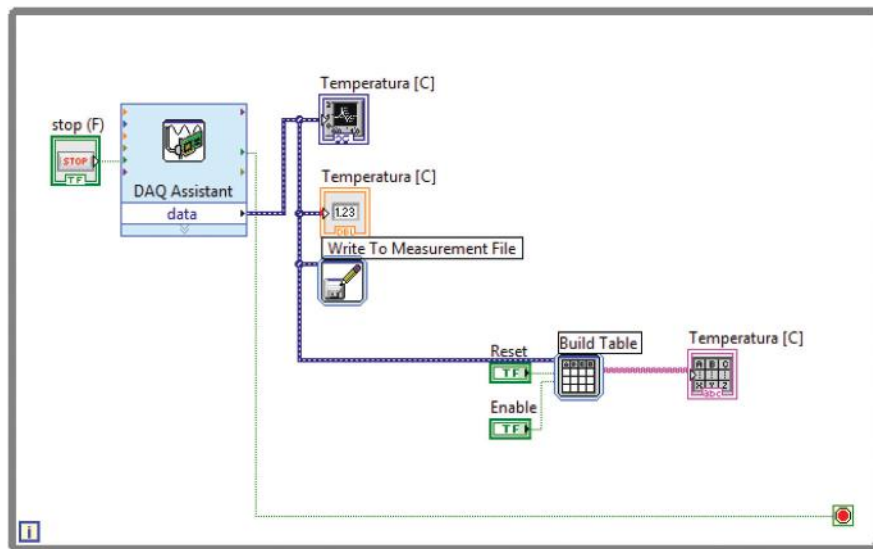
Na Slici 18 je prikazan blok dijagram virtuelnog instrumenta za mjerenje struje.



Slika 18: Blok dijagram virtuelnog instrumenta za mjerenje struje

Prilog 3 – blok dijagram VI za mjerenje temperature

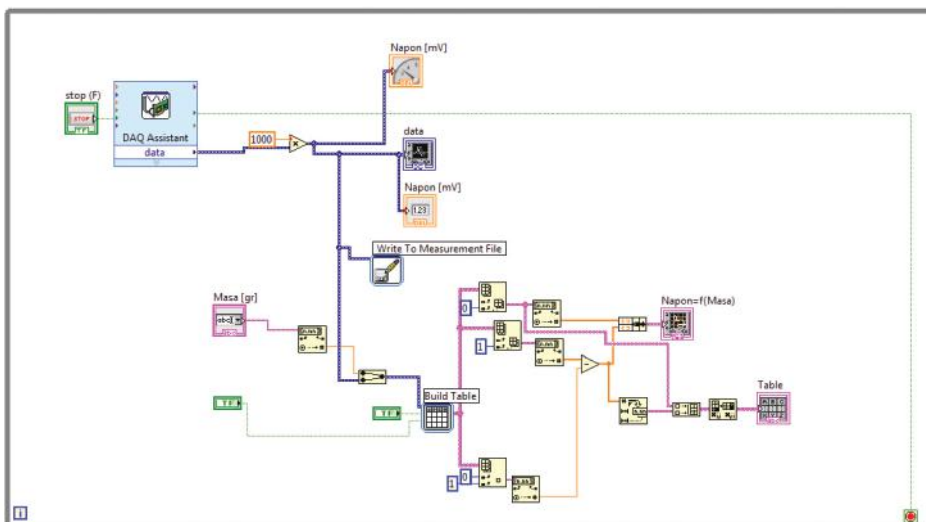
Na Slici 19 je prikazan blok dijagram virtualnog instrumenta za mjerenje temperature.



Slika 19: Blok dijagram virtualnog instrumenta za mjerenje temperature

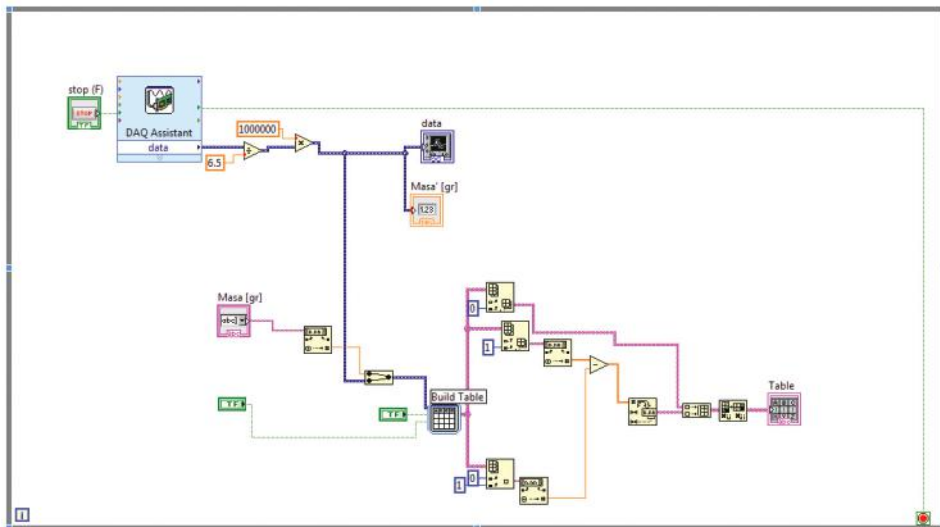
Prilog 4 – blok dijagram VI za kalibraciju mjerene ćelije i mjerenje mase

Na Slici 20 je prikazan blok dijagram virtualnog instrumenta za kalibraciju mjerne ćelije.



Slika 20: Blok dijagram sistema za kalibraciju mjerne ćelije

Na Slici 21 je prikazan blok dijagram virtualnog instrumenta za mjerenje mase.



Slika 21: Blok dijagram virtualnog instrumenta za mjerenje mase

ILIJA KNEŽEVIĆ**APPLICATION OF VIRTUAL INSTRUMENTATION IN PROCESS MEASUREMENTS**

Abstract: The paper gives simple examples of laboratory exercises that represent the improvement of practical teaching within the subject Ship Measurements on the Faculty of Maritime Studies Kotor. Connection diagrams and experimental setup for four laboratory exercises related to voltage measurement, current measurement, temperature measurement using thermocouples and mass measurement with the previous calibration of the measuring cell, as well as the simulation of liquid level control in the ship's tank are shown. The created laboratory exercises shown in this work will contribute to a better understanding of modern methods of measuring process quantities and mastering the practical knowledge necessary for the maritime education process.

Key words: virtual instrumentation, process measurements, LabVIEW software



Pomorski fakultet

ILIJA KNEŽEVIĆ je rođen 29. 7. 1998. godine u Nikšiću gdje je završio osnovnu i srednju školu. Na Pomorskom fakultetu Kotor je 2020. godine završio Studijski program Pomorska elektrotehnika, a oktobra 2022. godine Master studijski program Pomorske nauke. Student je Doktorskih studija Pomorske nauke na istom fakultetu. Bio je angažovan kao demonstrator na oblasti Brodske elektrotehnike i elektronike na

akademske studijskim programima Pomorska elektrotehnika i Brodomašinstvo. Kao autor ili koautor objavio je na međunarodnim naučnim konferencijama 19 radova. Rezultati iz master rada su publikovani na međunarodnoj konferenciji *9th International scientific conference Technics and Informatics in Education – TIE 2022*, od 16. do 18. septembra 2022. godine, Čačak, Srbija.