

ДОКУМЕНТАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

„ ПРОГРАМСКО И ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ ВИРТУАЛНЕ ИНСТРУМЕНТАЦИЈЕ ЗА МЕРЕЊЕ ОТПОРА РЕЗАЊА ПРИ БУШЕЊУ “

M 85 –prototip, nove metode, softver, instrument, nove genske probe, mikroorganizmi i sl.

Аутори техничког решења

- Проф. др Павел Ковач, дипл. инж. маш.
- Проф. др Марин Гостимировић, дипл. инж. маш.
- Доц. др Миленко Секулић, дипл. инж. маш.
- Борислав Савковић, дипл. инж. маш.

Наручилац техничког решења

- Пројекат ТР-14206 (Истраживање и примена високопродуктивних поступака обраде)

Корисник техничког решења

- Депарتمان за производно машинство, Факултет техничких наука - Нови Сад

Година када је техничко решење урађено

- 2010

Област технике на коју се техничко решење односи

- Машинство, Резање материјала



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централa: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndeana@uns.ac.rs

Сертификован
систем
квалитета



Наш број: _____
Ваш број: _____
Датум: 2010-04-29

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 7. редовној седници одржаној дана 28.04.2010. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 13. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње

На основу извештаја рецензената прихвата се техничко решење категорије М85 (Прототип, нова метода, софтвер, стандардизовани или атестиран инструмент, нова генетска проба, микроорганизми) под називом:

„Програмско и техничко решење виртуелне инструментације за мерење отпора резањем при чеоном глодању“

Аутори техничког решења: Павел Ковач, Марин Гостимировић, Миленко Секулић, Борислав Савковић.

Ово техничко решење је резултат пројекта по јавном позиву Министарства за науку и технолошки развој ТР 14206.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник



Декан

Проф. др Илија Ћосић

MIŠLJENJE RECENZENTA

Tehničko rešenje pod nazivom:

PROGRAMSKO I TEHNIČKO REŠENJE VIRTUALNE INSTRUMENTACIJE ZA MERENJE OTPORA REZANJA PRI ČEONOM GLODANJU

Urađeno je u skladu sa zahtevima koji su definisani u Pravilniku o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučno-istraživačkih rezultata- „Službeni glasnik RS 28/2008“. Rešenje sadrži 44 strane, 20 slika i 1 tabelu.

Sadržaj navedenog tehničkog rešenja je prikazan kroz sledeća poglavlja:

1. AKVIZICIJA PODATAKA PRIMENOM VIRTUALNE INSTRUMENTACIJE....
 - 1.1 UVOD U AKVIZICIJU PODATAKA
 - 1.2 HARDVERSKA STRUKTURA SISTEMA ZA AKVIZICIJU PODATAKA POMOĆU PC-ja.....
 - 1.2.1 Vrste informacionih sistema za akviziciju podataka
 - 1.2.2 Izbor informacionog sistema za akviziciju podataka
 - 1.3 PROGRAMSKA PODRŠKA SISTEMU ZA AKVIZICIJU PODATAKA.....
 - 1.3.1 Odnos fleksibilnosti i jednostavnosti pri radu sa različitim vrstama softvera za akviziciju.....
 - 1.3.2 Koncept grafičkog programiranja.....
 - 1.4 VIRTUALNA INSTRUMENTACIJA
 - 1.4.1 Softver virtualne instrumentacije
 - 1.4.2 Razvoj virtualnog instrumenta primenom GUI.....
 - 1.5 LabVIEW PROGRAMSKI PAKET
 - 1.5.1 LabVIEW okruženje.....
 - 1.5.2 Izgradnja front panela.....
 - 1.5.3 Izgradnja blok dijagrama.....
2. RAZVOJ MERO-AKVIZICIJSKOG SISTEMA ZA MERENJE OTPORA REZANJA PRI ČEONOM GLODANJU.....
 - 2.1 SENZOR „KISTLER“ 9271A
 - 2.2 POJAČIVAČ-PRETVARAČ „KISTLER“ 5001.....
 - 2.3 PRIKLJUČNI PANEL ED429-UP
 - 2.4 AKVIZICIONI MODUL ED428.....
 - 2.5 VIRTUALNI INSTRUMENT
 - 2.5.1 Izgled front panela i uputstvo za upotrebu VI
 - 2.5.2 Funkcije blok dijagrama i njihovo povezivanje
3. PRIMER PRIMENE RAZVIJENOG VIRTUALNOG INSTRUMENTA ZA MERENJE OTPORA REZANJA PRI ČEONOM GLODANJU OKALJENIH ČELIKA.....
4. LITERATURA

Prvo poglavlje (Akvizicija podataka primenom virtualne instrumentacije) prikazuje osnove akvizicije podataka, a zatim i uvod u razvoj sistema za akviziciju podataka. Posebna pažnja je posvećena programskoj podršci ovim sistemima. U nastavku je prikazana i hardverska struktura sistema za akviziciju podataka pomoću PC. Zatim sledi detaljan prikaz virtualne instrumentacije, sa posebnim osvrtom na primenjen softver i koncept grafičkog programiranja. Na kraju je dat kratak opis programskog paketa LabVIEW koji je osnova za projektovanje front panela i blok dijagrama VI.

Drugo poglavlje (Razvoj merno-akvizicijskog sistema za merenje otpora rezanja pri čeonom glodanju) obuhvata razvoj merno-akvizicijskog sistema za merenje tri ortogonalne komponente otpora rezanja pri čeonom glodanju. U nastavku se nalazi prikaz globalne šeme sistema, kao i opis pojedinih delova istog sa njihovim povezivanjem u celinu i obuhvata senzor pojačivač, priključni panel i akvizicioni modul. Na taj način korisnik lako može da savlada proceduru merenja sa virtualnom instrumentacijom. Na kraju se nalazi detaljan izgled front panela VI, kao i blok dijagrama sa njegovim funkcijama.

U poglavlju tri (Primer primene razvijenog virtualnog instrumenta za merenje otpora rezanja pri čeonom glodanju okljenih čelika) daje se kratak opis eksperimentalnih ispitivanja sa uslovima pri eksperimentalnim ispitivanjima. U njemu je takođe dat i detalj iz laboratorije koji pokazuje mašinu alatku i pojedine elemente merno-akvizicijskog sistema. U okviru ovog poglavlja prikazan je i dijagram izmerenih otpora rezanja okaljenog čelika za izabrane uslove pri obradi.

Tehničko rešenje pod nazivom „**PROGRAMSKO I TEHNIČKO REŠENJE VIRTUALNE INSTRUMENTACIJE ZA MERENJE OTPORA REZANJA PRI ČEONOM GLODANJU**“ realizovano kao rezultat projekta **TR-14206** ISTRAŽIVANJE I PRIMENA VISOKOPRODUKTIVNIH POSTUPAKA OBRADE predstavlja vrlo efikasnu aplikaciju koja omogućava nesmetan rad korisniku koji se bavi monitoringom procesa obrade. Uz primenom PC i grafičkog okruženja korisnik nemora da poseduje posebnu stručnost. Razvijeni VI može istovremeno da snima i prikazuje eksperimentalne rezultate, a zatim omogućuje njihovu dalju efikasnu obradu u windows okruženju. Navedeno tehničko rešenje predstavlja značajno i vrlo efikasno poboljšanje procesa akvizicije podataka pri merenju otpora rezanja pri čeonom glodanju, pa ga sa zedovoljstvom preporučujem Nastavno-naučnom veću Departmana za proizvodno mašinstvo i Nastavno-naučnom veću Fakulteta tehničkih nauka da ga prihvati.

U Novom Sadu, 22.04.2010.

RECENZENT:



Prof. dr Janko Hodolić
Fakultet tehničkih nauka
Trg D Obradovića 6, Novi Sad

MIŠLJENJE RECENZENTA

Tehničko rešenje pod nazivom:

PROGRAMSKO I TEHNIČKO REŠENJE VIRTUALNE INSTRUMENTACIJE ZA MERENJE OTPORA REZANJA PRI ČEONOM GLODANJU

Urađeno je u skladu sa zahtevima koji su definisani u *Pravilniku o postupku i načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučno-istraživačkih rezultata*- „Službeni glasnik RS 28/2008“. Rešenje sadrži 44 strane, 20 slika i 1 tabelu.

Sadržaj rešenja je prikazan kroz sledeće celine:

1. AKVIZICIJA PODATAKA PRIMENOM VIRTUALNE INSTRUMENTACIJE....
 - 1.1 UVOD U AKVIZICIJU PODATAKA
 - 1.2 HARDVERSKA STRUKTURA SISTEMA ZA AKVIZICIJU PODATAKA POMOĆU PC-ja.....
 - 1.2.1 Vrste informacionih sistema za akviziciju podataka
 - 1.2.2 Izbor informacionog sistema za akviziciju podataka
 - 1.3 PROGRAMSKA PODRŠKA SISTEMU ZA AKVIZICIJU PODATAKA.....
 - 1.3.1 Odnos fleksibilnosti i jednostavnosti pri radu sa različitim vrstama softvera za akviziciju.....
 - 1.3.2 Koncept grafičkog programiranja.....
 - 1.4 VIRTUALNA INSTRUMENTACIJA
 - 1.4.1 Softver virtualne instrumentacije
 - 1.4.2 Razvoj virtualnog instrumenta primenom GUI
 - 1.5 LabVIEW PROGRAMSKI PAKET
 - 1.5.1 LabVIEW okruženje
 - 1.5.2 Izgradnja front panela.....
 - 1.5.3 Izgradnja blok dijagrama.....
2. RAZVOJ MERO-AKVIZICIJSKOG SISTEMA ZA MERENJE OTPORA REZANJA PRI ČEONOM GLODANJU.....
 - 2.1 SENZOR „KISTLER“ 9271A
 - 2.2 POJAČIVAČ-PRETVARAČ „KISTLER“ 5001
 - 2.3 PRIKLJUČNI PANEL ED429-UP
 - 2.4 AKVIZICIONI MODUL ED428
 - 2.5 VIRTUALNI INSTRUMENT
 - 2.5.1 Izgled front panela i uputstvo za upotrebu VI.....
 - 2.5.2 Funkcije blok dijagrama i njihovo povezivanje

3. PRIMER PRIMENE RAZVIJENOG VIRTUALNOG INSTRUMENTA ZA MERENJE OTPORA REZANJA PRI ČEONOM GLODANJU OKALJENIH ČELIKA
4. LITERATURA

U *prvom poglavlju* date su osnove akvizicije podataka, kao i uvod u razvoj sistema za akviziciju podataka. Posebna pažnja je posvećena programskoj podršci ovim sistemima. Dat je detaljan prikaz virtuelne instrumentacije, sa posebnim osvrtom na softver i koncept grafičkog programiranja, sa kratkim opis programskog paketa LabVIEW.

Drugo poglavlje obuhvata razvoj merno-akvizicijskog sistema za merenje otpora rezanja pri čeonom glodanju. Dat je prikaz globalne šeme sistema, kao i opis pojedinih delova istog sa njihovim povezivanjem u celinu. Posebna pažnja je posvećena razvijenom virtuelnom instrumentu za merenje otpora rezanja. Dat je detaljan izgled front panela VI, kao i blok dijagrama sa njegovim funkcijama.

Poglavlje tri daje kratak opis eksperimentalnih ispitivanja i uslova pri eksperimentalnim ispitivanjima koji su obuhvatali: mašinu alatku, rezni alat, materijal obratka i režim obrade. U njemu je dat i detalj iz laboratorije koji pokazuje mašinu alatku i pojedine elemente merno-akvizicijskog sistema. U okviru ovog poglavlja prikazan je i dijagram izmerenih otpora rezanja za određeni režim obrade.

Tehničko rešenje pod nazivom „PROGRAMSKO I TEHNIČKO REŠENJE VIRTUALNE INSTRUMENTACIJE ZA MERENJE OTPORA REZANJA PRI ČEONOM GLODANJU“ predstavlja efikasnu aplikaciju akvizicionog sistema baziranog na PC-ju i zbog svog grafičkog okruženja omogućava nesmetan rad operateru koji se bavi nadgledanjem procesa, ne zahtevajući od njega da ima neku posebnu stručnost. Ravijeni VI može istovremeno da snima i prikazuje eksperimentalne rezultate, pri tome štedeći vreme i laboratorijske resurse. Navedeno tehničko rešenje predstavlja poboljšanje procesa akvizicije podataka, odnosno merenja otpora rezanja pri čeonom glodanju, te stoga preporučujem Nastavno-naučnom veću Departmana za proizvodno mašinstvo i Nastavno-naučnom veću Fakulteta tehničkih nauka da ga prihvati.

U Beogradu, 19.04.2010.

RECENZENT:



Doc. dr Radovan Puzović
Mašinski fakultet u Beogradu
Kraljice Marije 16, 11120 Beograd
e-mail: rpuzovic@mas.bg.ac.rs



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
Departman za proizvodno mašinstvo
Novi Sad



PROGRAMSKO I TEHNIČKO REŠENJE VIRTUALNE INSTRUMENTACIJE ZA MERENJE OTPORA REZANJA PRI ČEONOM GLODANJU

Autori: Prof. dr Pavel Kovač, dipl. inž. maš.
Prof. dr Marin Gostimirović, dipl. inž. maš.
Doc. dr Milenko Sekulić, dipl. inž. maš.
Borislav Savković, dipl. inž. maš.

Novi Sad, 2010.

SADRŽAJ:

1.	AKVIZICIJA PODATAKA PRIMENOM VIRTUALNE INSTRUMENTACIJE .	3
1.1	UVOD U AKVIZICIJU PODATAKA.....	4
1.2	HARDVERSKA STRUKTURA SISTEMA ZA AKVIZICIJU PODATAKA POMOĆU PC-ja	7
1.2.1	<i>Vrste informacionih sistema za akviziciju podataka</i>	8
1.2.2	<i>Izbor informacionog sistema za akviziciju podataka</i>	10
1.3	PROGRAMSKA PODRŠKA SISTEMU ZA AKVIZICIJU PODATAKA	11
1.3.1	<i>Odnos fleksibilnosti i jednostavnosti pri radu sa različitim vrstama softvera za akviziciju</i>	12
1.3.2	<i>Koncept grafičkog programiranja</i>	14
1.4	VIRTUALNA INSTRUMENTACIJA.....	15
1.4.1	<i>Softver virtualne instrumentacije</i>	16
1.4.2	<i>Razvoj virtualnog instrumenta primenom GUI</i>	17
1.5	LabVIEW PROGRAMSKI PAKET.....	18
1.5.1	<i>LabVIEW okruženje</i>	19
1.5.2	<i>Izgradnja front panela</i>	20
1.5.3	<i>Izgradnja blok dijagrama</i>	21
2.	RAZVOJ MERNO-AKVIZICIJSKOG SISTEMA ZA MERENJE OTPORA REZANJA PRI ČEONOM GLODANJU	22
2.1	SENZOR „KISTLER“ 9271A.....	24
2.2	POJAČIVAČ-PRETVARAČ „KISTLER“ 5001	25
2.3	PRIKLJUČNI PANEL ED429-UP.....	26
2.4	AKVIZICIONI MODUL ED428	28
2.5	VIRTUALNI INSTRUMENT.....	31
2.5.1	<i>Izgled front panela i uputstvo za upotrebu VI</i>	31
2.5.2	<i>Funkcije blok dijagrama i njihovo povezivanje</i>	34
3.	PRIMER PRIMENE RAZVIJENOG VIRTUALNOG INSTRUMENTA ZA MERENJE OTPORA REZANJA PRI ČEONOM GLODANJU OKALJENIH ČELIKA	41
4.	LITERATURA.....	44

1. AKVIZICIJA PODATAKA PRIMENOM VIRTUALNE INSTRUMENTACIJE

Akvizicija (*Acquisition*) označava pojam sticanja, prikupljanja ili akumuliranja nečega. Pojam akvizicije podataka – DA (Data Acquisition) mogao bi se definisati kao aktivnost prikupljanja podataka o pojavi događaju ili procesu koji se nadgleda i analizira u cilju njegovog upoznavanja. Merenje je nastalo kao rezultat potrebe za kvantitativnim karakterisanjem prirodnih pojava, a direktno je rezultat opažanja i potrebe za poređenjima.

U anglosaksonskoj literaturi preovlađuje mišljenje da je do kvalitativne promene na relaciji posmatranje – merenje došlo u 17. veku kada je Frensis Bekon (francuski filozof) rekao da se “bez mogućnosti ostvarenja kvantitativnih merenja, nauka neće razvijati”.

Prema P. Sidenhemu [Popović,1,06] postoje tri tumačenja postupka merenja: popularno, matematičko i informacijsko. Prema popularnoj definiciji, merenje je kvantitativno određivanje vrednosti merene fizičke veličine, poređenjem sa unapred određenom vrednošću te iste veličine, koja je prihvaćena kao jedinica. Matematičku predstavu merenja je postavio L. Finkelstein koji smatra da je merenja postupak kojim se svojstvu neke manifestacije objekta pridružuju objektiv brojevi, na takav način, da opisuju tu manifestaciju. Prema informacijskoj predstavi, merenje se tumači kao tok informacija, a svaki istraživački proces i objekat, izvor su beskonačno mnogo latentnih informacija. Za merenje je osnova merni senzor, koji se posmatra kao informacijski filter koji omogućuje razlikovanje korisnih informacija.

Svako merenje sa sobom unosi nesigurnost, odnosno postoji odstupanje izmerene veličine u odnosu na tačnu vrednost. S obzirom na ovu neminovnost potrebno je znati i alternativne metode merenja koje će u slučaju da je osnovna metoda nesigurna, poboljšati merenje. Za svaku metodu merenja je potrebno proceniti nesigurnost, uzimajući u obzir tačnost svakog predviđenog mernog sredstva.

Koncept merenja se poslednjih godina menja najviše zbog vrlo brzog razvoja računarstva i elektronske tehnologije. Cena računara i elektronskih komponenti se smanjuje nepredvidljivom brzinom zbog proizvodnje vrlo velikog broja komponenti, minijaturizacije i napretka tehnoloških postupaka proizvodnje. Računar se relativno jednostavno povezuje u merni sistem primenom odgovarajućeg interfejsa i analogno-digitalnog konvertora koji električne analogne veličine pretvara u brojeve pogodne za prikazivanje, upoređivanje i dalju obradu rezultata na računaru. Računarska merenja su

danas integrisana i u specijalizovane instrumente, pa tako danas naprimer i Tectronix i Hewlett Packard proizvode skoro sve specijalizovane instrumente kao digitalne instrumente, sa mogućnošću prikazivanja u digitalnom ili kvazi-analognom obliku [Popović,1,06]. Ovaj računarski koncept merenja omogućuje razvoj novih instrumenata za sasvim specijalizovane namene.

1.1 UVOD U AKVIZICIJU PODATAKA

Intenzivni razvoj PC računara kao i raznih izuzetno pouzdanih, tačnih i pristupačnih hardverskih dodataka, modula i kartica u poslednjih nekoliko godina uslovili su da merni sistemi bazirani na PC računarima preuzimaju primat nad skupom i specijalizovanom mernom opremom. Uz nižu cenu i bržu samoisplativost ostvaruje se veća proizvodnost, bolji kvalitet obrade, veća tačnost obrade itd.

Sistemi za merenje i obradu podataka bazirani na PC računarima danas se upotrebljavaju za automatizaciju mernih sistema kako u laboratorijskim tako i industrijskim uslovima. Upotrebom PC sistema za merenje dobijaju se uređaji visoke inteligencije sa poboljšanim upravljačkim karakteristikama i višim nivoom fleksibilnosti. Zbog obilja kvalitetnih programskih sistema, koje nude mnoge kompanije širom sveta, lako se prilagođavaju korisničkim zahtevima i koriste praktično bez hardverskog i softverskog obrazovanja.

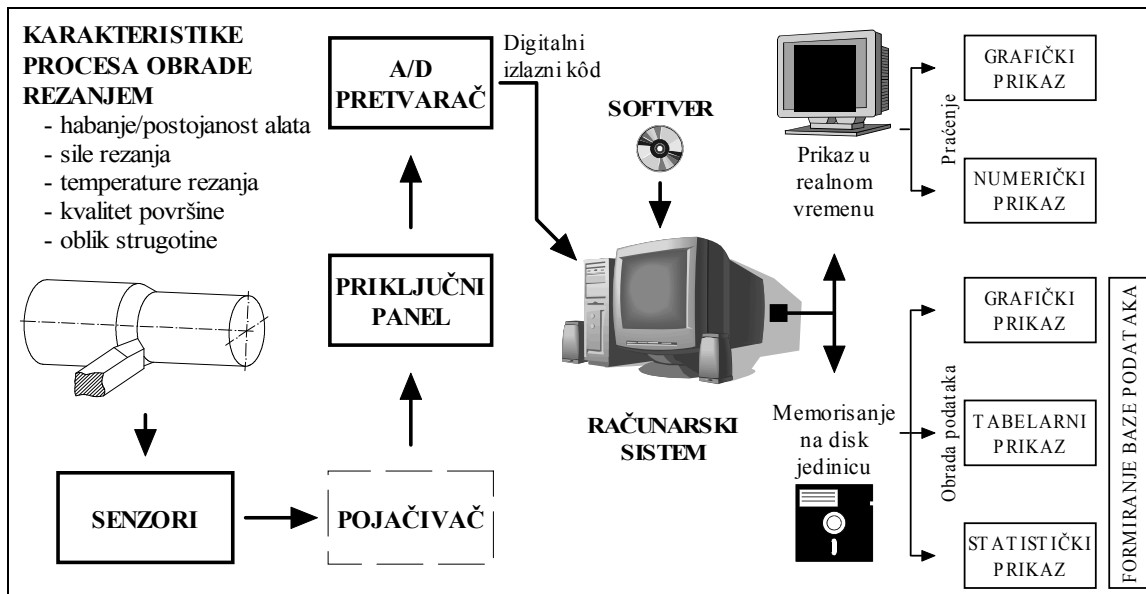
Pojava PC računara i A/D pretvarača izazvala je značajne promene i u području istraživanja tehnologije obrade rezanjem. Ove promene se odnose pre svega na znatno kvalitetnije prihvatanje i obradu signala koji se dobijaju na izlazu mernih instrumenata za sile, temperature, pomeranja i dr. Ranije su za to korišćeni analogni merni signali, a za registrovanje rezultata merenja uglavnom su korišćeni pisači ili oscilografi. Nakon toga sledila bi obrada tih zapisa, pa su u tom komplikovanom i vremenski dugom postupku nastajale značajne greške koje je bilo moguće samo pretpostaviti, ali ne i tačno odrediti.

Spektar primene sistema za akviziciju podataka je veoma širok. Ovde su navedene samo neke od mogućih primena [Electronic,1,06]:

- industrijska i laboratorijska akvizicija podataka
- automatsko beleženje i očitavanje podataka
- automatsko testiranje proizvoda i kontrola kvaliteta
- robotika i numeričko upravljanje
- računarsko upravljanje hemijskim i tehnološkim procesima
- programabilni kontroleri bazirani na PC računarima
- dijagnostički i medicinski uređaji
- testiranje motora i konstrukcije u avio i automobliskoj industriji
- formiranje i upravljanje bazama podataka
- računarom integrisana proizvodnja
- nadgledanje i analiza rada, pojava i događaja i dr.

Ovi uređaji se dakle mogu primeniti u mnogim delatnostima razvoja, proizvodnje, kontrole kvaliteta i procesa upravljanja.

Primer funkcionalne strukture sistema za akviziciju podataka u procesima obrade skidanjem materijala prikazan je na slici 1.



Slika 1. Sistem za akviziciju podataka pomoću PC računara [Milikić,1,99]

U prošlosti su u merenjima korišćene razne mehaničke i optičke metode, da bi danas električna energija postala dominantan i gotovo isključiv nosilac signala. Primenom elektronske i računarske tehnologije došlo se do merno-akvizicionih sistema velike osetljivosti, male potrošnje, velike brzine rada, visoke pouzdanosti, velike fleksibilnosti i sa mogućnošću prenosa podataka.

Instrumentacija za merenje se razvijala kako u pogledu funkcionalnosti i fleksibilnosti, tako i sa stanovišta stepena integrisanosti u sisteme za akviziciju podataka i upravljanje. Elementi akvizicionih sistema prve generacije bili su uređaji analognog tipa. Ovim uređajima rukuje se ručno, preko prednje ploče. Rezultati merenja kod ovakvog tipa uređaja se beleže se ručno. Korisniku nije data fleksibilnost u upravljanju instrumentom, niti mogućnost promene mernih funkcija. Teškoće u memorisanju rezultata predstavljaju osnovnu slabost analogne tehnike. Osnovni problemi vezani za analogne merno-akvizicione sisteme odnose se na prisustvo šuma i drifta¹, teškoće povezane sa pamćenjem rezultata merenja, nestabilnost i veliku potrošnju.

Digitalni merno-akvizicioni sistemi praktično su neosetljivi na šum i drift. Obezbeđuju jednostavan prenos podataka, jednostavno se ostvaruje galvanska izolacija, imaju široke mogućnosti digitalne obrade signala, a mogućnost programiranja čini ih posebno superiornim u odnosu na analogne sisteme.

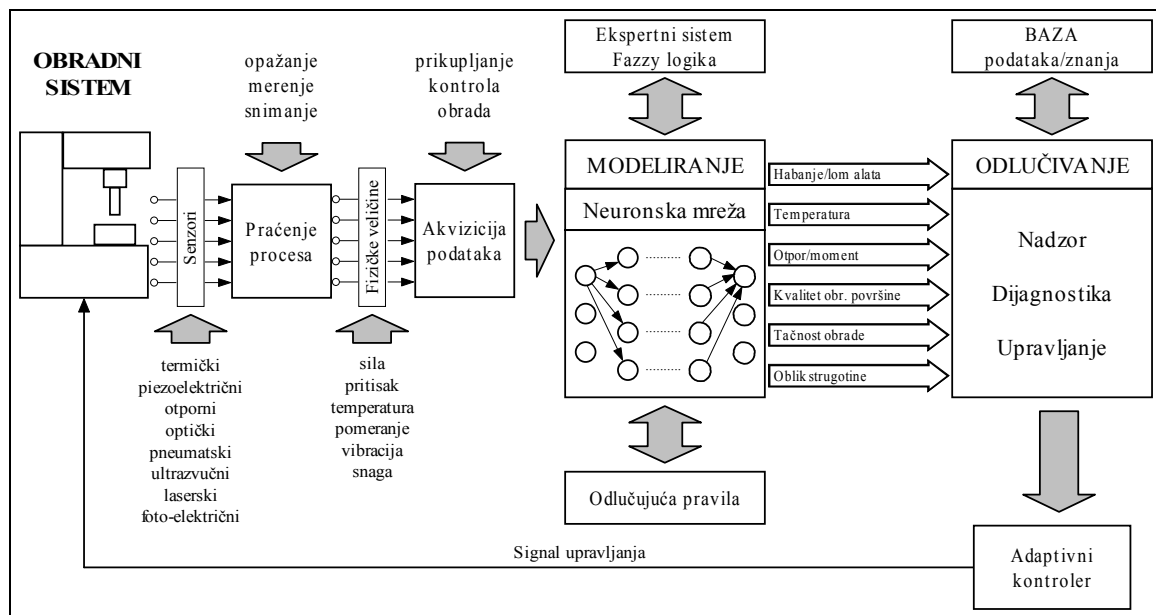
¹ Drift predstavlja vremenski i temperaturno zavisno pomeranje nule u odnosu na referentnu mernu tačku sistema.

Zahvaljujući primeni mikroprocesora u velikoj meri menja se koncepcija mernog pretvarača ili zasebnog programabilnog instrumenta. Elementi merno-akvizicionih sistema na bazi mikroprocesora pružaju mogućnost složene obrade podataka i komunikacije sa nadređenim računarom. Osnovne prednosti uvođenja digitalne i mikroračunarske tehnike ogledaju se u sledećem:

- Sve komponente u digitalnom sistemu obrađuju podatke u digitalnom, najčešće binarnom formatu. Drift i šum praktično gube značaj.
- Prenos digitalnih podataka je jednostavan. Povećanjem kompleksnosti digitalnog sistema ne gubi se na kvalitetu digitalnih podataka, što nije slučaj kod analognih sistema.
- Za digitalnu obradu binarnih podataka na raspolaganju stoji veliki broj elektronskih komponenti, uključujući i kompleksne funkcije. Zahvaljujući drastičnom padu cena, mikroprocesorske komponente koriste se masovno kao i sve druge korisničke komponente.

Mogućnost programiranja funkcija digitalnih merno-akvizicionih sistema daje im veliku prednost u odnosu na analogne.

Sistemi za akviziciju podataka čine sastavni deo sistema za monitoring i upravljanje procesom obrade, slika 2.



Slika 2. Monitoring i upravljanje procesom obrade [Lazić,2,02]

1.2 HARDVERSKA STRUKTURA SISTEMA ZA AKVIZICIJU PODATAKA POMOĆU PC-ja

Osnovu PC računara čini sistemska (matična) ploča. Sistemska ploča predstavlja štampano kolo na kome se nalazi procesor, memorija, konektori za jedinice funkcionalne namene i interfejsi za povezivanje perifernih uređaja.

Za povezivanje perifernih ulazno/izlaznih adaptera i kartica uglavnom se koriste ISA (*Industry Standard Architecture Bus*) i PCI (*Peripheral Component Interconnect*) magistrale. PCI magistrale su novije generacije i omogućuju brzi prenos podataka obzirom da se prenos podataka odvija neposredno uz procesorsku magistralu.

U principu, sprezanje procesa sa računarom i realizacija ulaznih i izlaznih zadataka zahtevaju poznavanje karakteristika kako merne opreme i aktuatora, sa jedne strane, tako i odgovarajućih kola za spregu sa računarom sa druge strane. U početnim fazama projektovanja i razvoja sistema za rad u realnom vremenu, formiranje odgovarajućeg softvera (a nekad i segmenata hardvera) činilo je sastavni deo projektovanja. Vremenom, proizvođači merne i računarske opreme ugradili su niz standardizovanih funkcija u samu opremu, tako da se danas sprezanje može ostvariti direktnim povezivanjem komponenti.

Merna oprema i izvršni organi priključeni na proces ili postrojenje mogu biti veoma raznovrsni. Uprkos tome, kao zajednička karakteristika javlja se činjenica da se pomoću te opreme vrši konverzija fizičkih veličina (temperature, protoka, pritiska itd.) u električne signale ili obratno. U principu merenje bilo koje fizičke veličine obavlja se tako što se uz pomoć odgovarajućeg instrumenta proizvodi električni signal čiji je napon ili struja srazmerna fizičkoj veličini koja se meri. Isto tako upravljanje, odnosno pogon izvršnih organa vrši se pomoću električnog signala koji prouzrokuje da izvršni organ proizvede neku željenu akciju.

Sprezanje merne opreme i izvršnih organa sa računarom zahteva da se obavi još jedna konverzija i to električnih signala u digitalne veličine, predstavljene u formi niza bitova ili obratno. Očigledno je da, s obzirom na raznovrsnost opreme ne bi bilo ekonomično ni efikasno ako bi se za svaki pojedinačni merni uređaj ili izvršni organ razvijao poseban sistem za spregu sa računarom. U rešavanju ovog problema došlo se do standardizacije procesne opreme u smislu preciziranja tipa i vrste električnog signala koji oni generišu (merna oprema) ili primaju (izvršni organi). Za ovako standardizovane signale razvijeni su odgovarajući portovi i kola za spregu sa računarom.

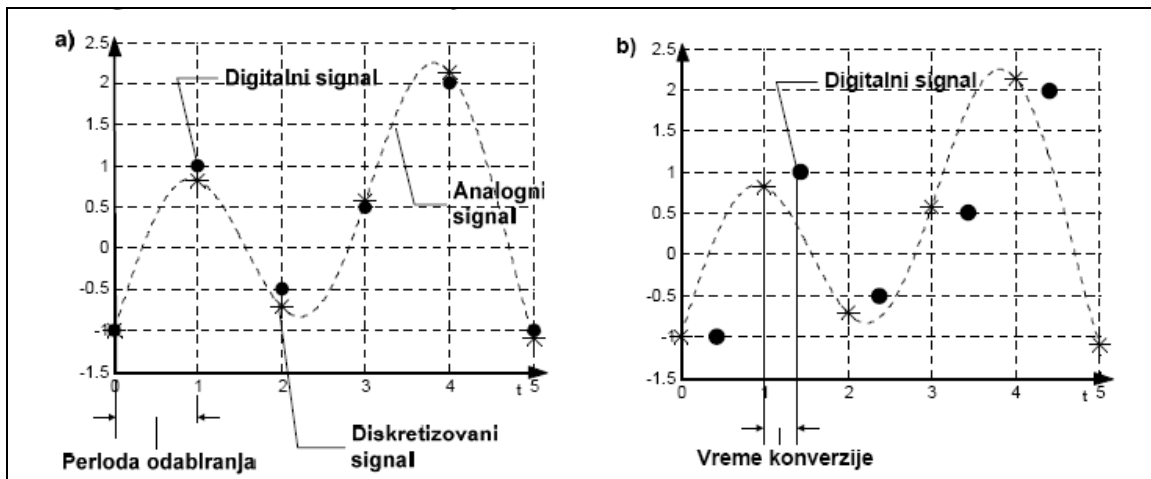
Električni signali koji se proizvode ili primaju pripadaju jednoj od četiri kategorije: digitalne veličine, impulsi i povorke impulsa, analogne veličine i telemetrijske veličine. Za problematiku ovog rada najinteresantnije su analogne veličine.

Čitav niz merenja odvija se na taj način što se pomoću mernih instrumenata i pretvarača dobija naponski ili strujni signal, proporcionalan veličini koja se meri. Zajednička karakteristika signala u oba slučaja je da su kontinualni. Potrebno je istaći da se termin "analogni" za kontinualne signale koristi zato što je reč o kontinualnim električnim signalima čija je promena analogna odgovarajućih fizičkih veličina.

Dalje konvertovanje ove veličine u digitalnu formu zahteva dve operacije:

- Odabiranje, diskretizaciju signala po vremenu sa nekom utvrđenom periodom odabiranja.

- Kvantizaciju, diskretizaciju signala po nivou, odnosno određivanje one diskretne veličine, u nizu dozvoljenih diskretnih vrednosti, koja je najbliža vrednosti signala u trenutku odabiranja.



Slika 3. Analogno-digitalna konverzija signala [Popović,2,06]

a) odabiranje i kvantizacija u idealnom slučaju

b) praktična realizacija odabiranja i kvantizacije pomoću A/D konvertora

U idealnom slučaju ovaj proces bi trebalo da se odvija na način prikazan na slici 3. U praktičnoj realizaciji, međutim situacija je nešto drugačija. Naime, proces diskretizacije i kvantizacije se odvija pomoću analogno-digitalnog konvertora, kome je potrebno izvesno vreme da bi izvršio proces konverzije. Zbog toga se digitalna vrednost signala dobija sa izvesnim zakašnjenjem.

1.2.1 Vrste informacionih sistema za akviziciju podataka

Postoje tri osnovne vrste uređaja (hardverskih dodataka) za monitoring, akviziciju podataka i upravljanje baziranih na PC računarima.

1.2.1.1 Spoljašnji sistem

Spoljašnji sistemi podrazumevaju priključenje posebnog uređaja na PC računar. Ti uređaji mogu se povezati sa računarom uz:

□ serijski port

Uređaji se povezuju preko jeftinih serijskih veza – USB (*Universal Serial Bus*), ali čiji je prenos vrlo spor jer koristi jednu liniju za prenos podataka. Ovaj uslov može znatno ograničiti performanse sistema. Radi povećanja sigurnosti prenosa podataka pribegava se smanjenju brzine uzorkovanja ili primeni uređaja, tzv. “bafera”, koji najpre prikupljaju i potom prenose podatke u računar.

❑ **paralelni port**

Uređaji povezani preko paralelnih linkova postižu velike brzine prenosa (nekoliko stotina kHz) koristeći više linija za prenos podataka ili DMA sistem (specijalizovani hardver koji služi za prenos podataka bez posredstva procesora). Nedostatak im je što eksterni uređaj za akviziciju podataka ne može da bude daleko od računara (najviše nekoliko metara).

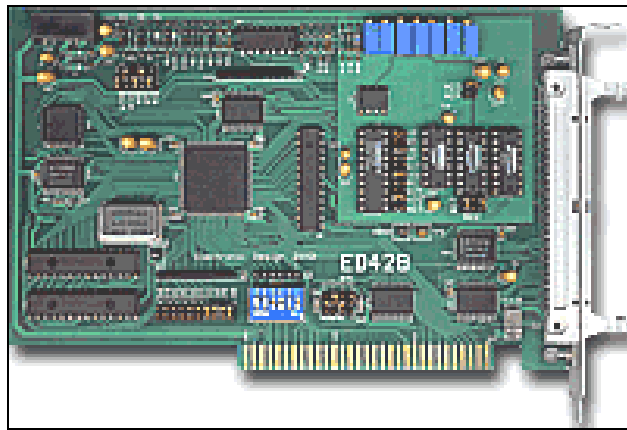
❑ **produženi bas računara**

Uređaji povezani direktno na bas računara imaju vrlo veliku brzinu prenosa podataka, velike mogućnosti proširenja i visoki komfor u radu. Mogu da se konfigurišu za veliki broj ulazno/izlaznih kanala (više stotina) koji su uz to manje kontaminirani smetnjama računara.

1.2.1.2 Modulni sistem

Modulni sistemi su podsistemi na štampanim pločama koji se direktno priključuju na bas-slot PC računara. Obično zauzimaju jedno ili dva priključna mesta (slota) i omogućuju veliku brzinu prenosa, jer direktno komuniciraju sa sistemskim basom. Spadaju u jeftinije varijante informacionih sistema za monitoring, akviziciju podataka i upravljanje, mada poseduju performanse kompletnog sistema.

Najveći nedostaci modulnog sistema su velika kontaminacija smetnjama iz računara i u nekom slučajevima fiksna hardverska konfiguracija.



Slika 4. Modulni sistem za monitoring i upravljanje [Electronic,1,06]

1.2.1.3 Integrirani sistem

Integrirani sistemi, pored uređaja za monitoring, akviziciju podataka i upravljanje, u istom kućištu sadrže i specijalno dizajniran PC računar. Dobre osobine ovih sistema su: kompaktnost, kvalitet, profesionalnost, velika otpornost na spoljne (elektromagnetne, radio i sl.) smetnje, mogućnost proširenja itd. Najčešće ovi sistemi dolaze do korisnika potpuno spremni za primenu (puna hardverska i softverska opremljenost), tj. treba samo priključiti senzore i sistem je spreman za rad. Jedini nedostatak, mada samo na prvi pogled, je njihova relativno visoka cena.



Slika 5. Integrirani sistem za monitoring i upravljanje [Electronic,1,06]

1.2.2 Izbor informacionog sistema za akviziciju podataka

Prilikom izbora, pre svega, treba uzeti u obzir sve uticaje sredine koji mogu da poremete rad sistema za monitoring i upravljanje i samog računara. Neki od tih uticaja su: dugi provodnici, slabi signali, prisustvo jakih smetnji, prelazne pojave, statička pražnjenja naelektrisanja, ekstremne temperature itd. Treba takođe obratiti pažnju i na nekoliko hardversko-softverskih karakteristika:

- ❑ **rezolucija sistema**
Osetljivost sistema i tačnost rezultata zavisi od rezolucije konvertora. U primeni su konvertori rezolucije od 8 do 16 bita. 16-bitni konvertori su najveće tačnosti, imaju visoku cenu koštanja, ali im je manja brzina uzorkovanja. Najčešći u primeni su 12-bitni konvertori, koji imaju prihvatljivu cenu i veliku brzinu uzorkovanja. Međutim, povećanjem samo rezolucije neće se povećati tačnost sistema, ako ostali elementi, kao pojačivač, kola za uzorkovanje i dr. ne mogu da podrže tu tačnost.
- ❑ **tačnost i greška sistema**
Definiše ukupnu grešku pri svakom čitanju.
- ❑ **brzina uzorkovanja**
Današnji komercijalni sistemi za monitoring i upravljanje bazirani na PC računarima mogu da obrađuju i milione uzoraka u sekundi.
- ❑ **opseg ulaznih signala**
Klasični sistemi za monitoring i upravljanje rade samo sa naponskim signalima visokog nivoa (npr. od 2-10V). Da bi se mogli prihvatiti slabi signali, kao npr. nivo termonapona (od 0 do 50mV), potrebno je predhodno signal pojačati na potreban nivo.

❑ ***karakteristike izlaznog sistema***

Kod upravljačkih sistema, pored ulaznih analognih signala (A/D) neophodno je sagledati i analogni izlaz (D/A). Većina analognih izlaza su naponski signali, ali različitog opsega, rezolucije i brzine. Za naponske izlazne signale sa 12-bitnom rezolucijom, uz uslov da ne dođe do gubitka, najveća dužina provodnika može biti od 3÷10 m.

❑ ***vremenska kola***

Sistemi za monitoring i upravljanje često moraju da koriste generatore takta koji mogu da rade kao impulsni generatori ili brojači impulsa u realnom vremenu.

❑ ***uobličavanje signala***

U industrijskim sistemima analogni signali treba da budu zaštićeni od unutrašnjih i spoljašnjih smetnji. U tu svrhu koriste se oklopljeni provodnici zaštićeni od izvora smetnji kao što su elektromotori, transformatori, grejači i sl. i priključni paneli za uobličavanje signala koji obezbeđuju pravilno prihvatanje ulaznih kablova, visoki stepen izolacije, pojačanje i filtriranja, čime se omogućuje razlikovanje signala od šuma.

❑ ***programski paketi***

Za efikasno korišćenje informacionog sistema za monitoring i upravljanje neophodan je adekvatan softver.

Odluku o tome koji će se sistem za akviziciju podataka biti odabran, ipak treba doneti tako da bude usklađen odnos cena/performance.

1.3 PROGRAMSKA PODRŠKA SISTEMU ZA AKVIZICIJU PODATAKA

Savremeni sistem za akviziciju podataka ne može se zamisliti bez primene odgovarajuće softverske podrške. Paralelno sa razvojem hardvera razvijaju se i softverski alati i okruženja za realizaciju akvizicionih i upravljačkih sistema baziranih na PC računaru. Za realizaciju i formiranje softvera za akvizicione sisteme bazirane na PC računarima u načelu postoje tri načina:

❑ ***programiranje na nivou hardvera***

Pod programiranjem na nivou hardvera podrazumeva se izrada programa za akviziciju podataka na taj način što se iz osnova gradi kako korisnički interfejs, tako i komunikacija sa samim hardverom. To je najteži i najduži način izrade softvera, jer zahteva programiranje svih specifikacija hardverskih komponenti, koje može obezbediti samo proizvođač date opreme, ali i poznavanje programskih jezika niskog nivoa (*assembler*). Ovaj način izrade programa se primenjuje samo u izuzetnim slučajevima kada je potrebno ostvariti neke specifične funkcije pri merenju i obradi podataka i zbog toga se retko kada i sreće.

❑ **programiranje na nivou softverskih drajvera**

Pod programiranjem na nivou softverskih drajvera smatra se izrada programa, na taj način što se programira samo korisnički interfejs i funkcije za obradu podataka, dok se za komunikaciju računarskog sistema sa hardverom za akviziciju koriste drajveri koje uz opremu isporučuje sam proizvođač. Ovaj način stvaranja programa se mnogo češće sreće, jer omogućava korisnicima izradu sopstvenih aplikacija za akviziciju podataka, čime su zadovoljeni i specifični zahtevi koji se postavljaju u zadacima merenja i obrade podataka. Iznad aplikacije nije složena i potrebno je poznavati osnove programiranja u nekim od popularnih jezika visokog nivoa (*Delphi, C++, Visual Basic, Pascal...*).

❑ **programiranje gotovim programskim paketima**

Za ovaj tip stvaranja softverskih podloga nije potrebno znanje programiranja na višim programskim jezicima, osim u slučajevima kada gotovi paketi sadrže sopstveni skript jezik, koji obično predstavlja “dijalekt” nekog od popularnih programskih jezika. Glavna odlika ovako stvorenih aplikacija je da su pouzdane i da se brzo i jednostavno stvaraju, ali istovremeno korisnika ograničavaju na krug ugrađenih funkcija, koje ipak u velikom broju slučajeva zadovoljavaju prosečne potrebe. Uz pomoć raspoloživih elemenata korisnik preko blok šeme, koja predstavlja izvršni program, realizuje akvizicioni sistem. Na raspolaganju stoje biblioteke za upravljanje akvizicionim hardverom, digitalnu obradu signala i druge funkcije. Tipičan primer softvera za virtuelnu instrumentaciju je *LabVIEW* američke kompanije *National Instruments*. Ovaj programski paket podržava hardver za akviziciju signala, prenos podataka i upravljanje koje takođe proizvodi *National Instruments*. Međutim veliki broj drugih proizvođača hardvera uz svoje proizvode nudi i softverski interfejs za *LabVIEW*, tako da ovaj programski paket predstavlja, na neki način, standard u oblasti softvera za virtuelnu instrumentaciju. Kao primer gotovih paketa mogu se spomenuti još i: *DSPlay*, *DASYLab*, *DAXpert*, *ComponentWorks*, *Labtech Notebook*, *Labtech Control*, *Labtech Acquire*, *LabWindows/CVI*, *Visual Desinger* itd.

Osim izrade softvera pomoću pomenuta tri načina moguće je na tržištu naći i gotove softverske alate za akviziciju podataka, koje se mogu podeliti u sledeće kategorije:

- programi koji ne zahtevaju programiranje – ključ u ruke (*turnkey software*)
- biblioteke podprograma i rutina (*language interface software*)
- dodatni alati za akviziciju (*add-on tools software*)
- programi u izvornom kôdu (*source code software*)

1.3.1 Odnos fleksibilnosti i jednostavnosti pri radu sa različitim vrstama softvera za akviziciju

Programski paketi koji ne zahtevaju programiranje najjednostavniji su za upotrebu i gotovo da ne zahtevaju prethodno podešavanje. Ova vrsta programa optimizirana je samo za jednu određenu, specifičnu primenu. Softver ovog tipa obično raspolaže grafičkim interfejsom za podešavanje parametara. Pomoću programskih paketa

bez programiranja uspešno se emuliraju zasebni instrumenti, a za određenu primenu nisu potrebni drugi programi, osim naravno, operativnog sistema.

Rutine i funkcijski pozivi za akviziciju, organizovani u vidu biblioteka, mogu se pozvati preko standardnih programskih jezika (Pascal, Visual Basic i C++). Za razliku od prethodno pomenutih programskih paketa koji su prilagođeni korisnicima od kojih se ne zahteva znanje programiranja, korišćenje rutina i funkcionalnih poziva podrazumeva poznavanje programiranja u određenom programskom jeziku. Korisnik mora napisati osnovni program za akviziciju i povezati ga sa odgovarajućim rutinama i funkcijama. Prema tome pre dobijanja izvršne verzije kôda, treba izvršiti kompilaciju i linkovanje sa bibliotekama podprograma koji se koriste. Ovi podprogrami napravljeni su na dovoljno visokom nivou te se programer oslobađa programiranja na nivou registara hardvera. Kada se korišćenjem rutina i funkcionalnih poziva za akviziciju dođe do podataka i kada se oni smeste u memoriju, programer može, korišćenjem sopstvenog iskustva ili korišćenjem programa za analizu ili grafičku prezentaciju, vršiti dalju obradu podataka i prikaz rezultata. Programer mora raspolagati odgovarajućim kompajlerom i kao što je već napomenuto, dobro poznavati programski jezik u kome su date funkcije i rutine za akviziciju.

Dodatni alati za akviziciju koriste se za povezivanje softvera za akviziciju sa drugim programima, kao što je Microsoft Excel, a koje korisnik dobro poznaje i često koristi. Prednost ovakvog načina rada ogleda se u velikoj efikasnosti jer se korisnik oslanja na okruženje koje mu je dobro poznato. Tako, na primer, postoje dodatni alati uz pomoć kojih se podaci sa seriskog interfejsa nekog uređaja mogu prebaciti u mnoge DOS ili Windows programe.

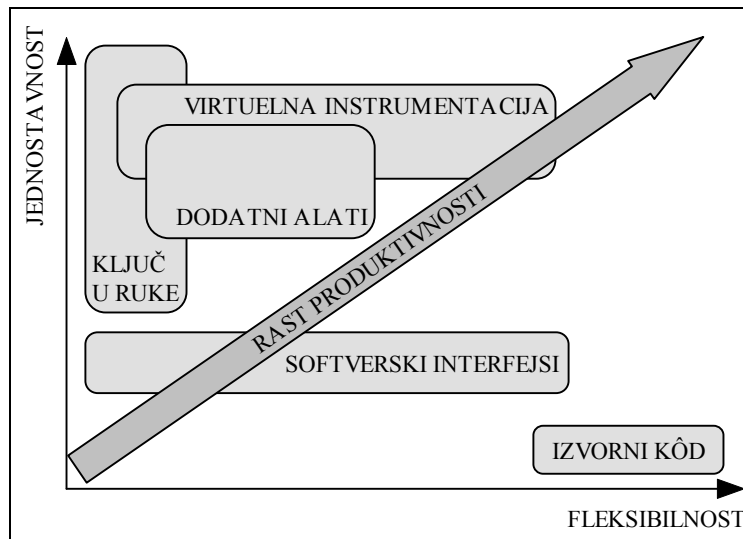
Programi u izvornom kôdu, najčešće pisani u C++ jeziku, daju se u obliku fajla koji korisnik može kompilirati u svoj program. Na taj način dolazi se do kompletnog programa preko koga se ostvaruje zadata akvizicija i obrada podataka. Izvorni kôd često služi i kao dobra osnova ili primer programeru šta sve treba uraditi da bi se određeni hardver programirao do nivoa registara. Ovakav pristup predstavlja svakako najkompleksniji i najsporiji način za rešavanje problema obezbeđenja programske podrške za akvizicije sisteme. Dobra strana ovakvog pristupa ogleda se u smanjenju ukupne veličine programa, a često i u povećanju brzine izvršenja programa.

Na slici 6. ilustrovan je odnos različitih tipova softvera za akviziciju, obradu i prezentaciju podataka sa stanovišta fleksibilnosti i jednostavnosti u radu, odnosno efikasnosti ili povećanja produktivnosti kao rezultirajućeg kriterijuma pri izboru softvera za konkretnu primenu.

Najpraktičnije okruženje dobija se pri korišćenju nekog od gotovih programskih paketa, koji u sebi sadrže veliki broj ugrađenih funkcija za prikupljanje podataka, njihovu obradu i prezentaciju. Savremeni integrisani programski sistemi za akviziciju podataka obezbeđuju direktnu upotrebu uz mogućnost eventualne modifikacije programa potrebama korisnika. Navedeni softver između ostalog omogućuje:

- akviziciju podataka u normalnom i modu velike brzine
- merenje, kontrolu i nadzor
- upravljanje sa otvorenom i zatvorenom petljim
- formiranje i upravljanje bazom podataka

- nezavisnu konfiguraciju ulaznih kanala (brzinu uzrokovanja, faktor skaliranja, metod startovanja, vreme trajanja itd.)
- analizu i matematičku obradu izmerenih podataka
- prikazivanje podataka u realnom vremenu
- memorisanje podataka
- rad sa direktnim pristupom memoriji DMA
- prikazivanje podataka u više prozorskih prikaza
- štampanje odgovarajućih izveštaja (grafici, tabele, funkcije...)



Slika 6. Odnos fleksibilnosti i jednostavnosti u radu za različite vrste softvera za akviziciju podataka [Drndarević, 1, 99]

1.3.2 Koncept grafičkog programiranja

Grafičko programiranje predstavlja najefikasniju tehniku za realizaciju programa PC baziranog akvizicionog sistema. Savremeni programski alati zasnovani na konceptu grafičkog programiranja pružaju mogućnost razvoja programa za akviziciju podataka i upravljanje, analizu podataka i prezentaciju. Razvojna okruženja za grafičko programiranje obezbeđuju najkraći put u razvoju instrumentacionog sistema uz očuvanje visokih performansi sistema do kojih se može doći korišćenjem klasičnih programskih jezika. Korišćenjem modularnosti i hijerarhijske strukture moguće je brzo testiranje i modifikacija grafičkog programa.

Grafički korisnički interfejs – GUI virtuelnog instrumenta predstavlja softversku zamenu za prednji panel klasičnog instrumenta. Pomoću njega se obezbeđuje interakcija između korisnika i aplikacije. Iz tog razloga dizajnu GUI treba posvetiti posebnu pažnju.

Osnovni ciljevi kojima treba težiti pri izradi GUI su da on bude:

- jednostavan za upotrebu

- intuitivan, jednostavan za učenje
- atraktivan, produktivan

Radi lakog praćenja pojedinih dešavanja u procesu potrebno je obezbediti što kvalitetniji prikaz procesa. Potrebno je da korisnik lako prepozna fizičko značenje pojedinih prikazanih podataka, a i da sa lakoćom pronađe podatak koji traži. Da bi se to obezbedilo obično se podaci prikazuju u formi koja je bliska korisniku (u obliku koji je na neki način sličan načinu prikazivanja realnih fizičkih instrumenata). Dobar efekat se postiže ako je na monitoru na neki način prikazan sam sistem (na primer šema sistema), a na tom prikazu su na pogodna mesta postavljeni instrumenti odnosno po potrebi i komande.

Kvalitet GUI može se ceniti preko produktivnosti i satisfakcije korisnika. Pod produktivnošću se podrazumeva brzina izvršenja određenih akcija, brzina izbora opcija i jednostavnost za učenje i pamćenje. Sa tim u vezi, mogu se uočiti osnovne razlike između aplikacija namenjenih za rad pod DOS, odnosno Windows operativnom sistemom. Aktiviranje komandi pod Windows operativnom sistemom svodi se na primenu principa prepoznavanja, dok je za rad po DOS operativnim sistemom korisnik u situaciji da se priseća neophodnih akcija. Korisnikova satisfakcija zavisi od više faktora, prvenstveno od jednostavnosti aplikacije za upotrebu, atraktivnosti, osećaja napredovanja u primeni i dr.

1.4 VIRTUALNA INSTRUMENTACIJA

Virtualna instrumentacija-VI predstavlja metodologiju za projektovanje instrumenata, koja koristi standardni PC računar, specijalne hardverske komponente za akviziciju i digitalnu konverziju signala i računarske programe koji omogućavaju prikupljanje, obradu i prikaz signala na računaru. To je spoj hardverskih i softverskih elemenata kojima se ostvaruje funkcija klasičnog instrumenta. VI omogućava objedinjavanje različitih tipova instrumenata u jedan instrument – PC računar.

Oni kao takvi uzimaju prednosti i dobiti iz savremene tehnologije ugrađene u personalne računare. Prednosti u tehnologiji i performansama, koje su brze u zatvaranju praznine između pojedinačnih instrumenata i personalnih računara, uključuju moćne procesore kao što je Pentium 4 i operativne sisteme i tehnologije kao što su Microsoft Windows XP, NET i Apple MAC OS X. Klasični instrumenti su često neprenosivi zbog svoje veličine, u odnosu na virtuelne instrumente koji mogu da rade na notebook računarima što uključuje njihovu prenosivu prirodu.

Primenom virtualnog instrumenta, vrše se merenja i automatizuju se sistemi koji tačno odgovaraju njihovim potrebama, umesto da budu ograničeni klasičnim instrumentima i fiksnim funkcijama. Virtuelni instrument se može prilagoditi potrebama, odnosno, ne mora se menjati celi uređaj upravo zbog aplikativnog softvera instaliranog na personalnom računaru i širokog opsega dostupnog blokovski zamenljivog hardvera. U tabeli 1. prikazana je uporedna analiza klasične i virtuelne instrumentacije.

Tabela 1. Uporedna analiza klasične i virtualne instrumentacije [Drndarević,1,99]

KLASIČNI INSTRUMENT	VIRTUALNI INSTRUMENT
Funkcije definiše proizvođač	Funkcije definiše korisnik
Hardver dominantan	Softver dominantan
Visoka cena	Niska cena
Zatvorena arhitektura, zasebno kućište, ograničene mogućnosti povezivanja	Otvorena arhitektura, mogućnost povezivanja
Visoki troškovi razvoja i održavanja	Softver minimizira troškove razvoja i održavanja

1.4.1 Softver virtualne instrumentacije

Softver je najvažnija komponenta virtualnog instrumenta. Sa pravim softverskim alatom, mogu se uspešno kreirati sopstvene aplikacije projektujući i ugrađujući šablone koje zahtevaju određeni procesi. Takođe, mogu se kreirati odgovarajući korisnički interfejsi koji najbolje odgovaraju svrsi aplikacije i onima koji će direktno komunicirati sa njim. Funkcije softvera prostiru se, od programskih drajvera za upravljanje specifičnim hardverom ili uređajem, do aplikativnih programskih paketa za razvoj kompletnih sistema. Kvalitet i fleksibilnost softvera koji se koristi u razvoju određenog instrumentacionog sistema u velikoj meri definiše njegov ukupan kvalitet i upotrebljivost.

Okruženje za razvoj softvera virtuelne instrumentacije treba da bude tako koncipirano da zadovoljava sledeće zahteve:

1. **Upravljanje akvizicijom.** Upravljanje akvizicijom podrazumeva obezbeđenje kompletnog upravljanja A/D konverzijom ili drugim funkcijama preko kojih se vrši akvizicija signala, kako bi se na najbolji način iskoristile karakteristike određenog hardvera. Na ovaj način se dobija jednostavna procedura rekonfiguracije sistema uz minimalne intervencije korisnika u slučaju da se jedan hardver zameni drugim i omogućava korišćenje najpogodnijeg hardvera za određenu primenu, a da se pri tom značajnije ne menja procedura rada.
2. **Prikaz signala.** Mogućnost prikaza prikupljenih signala kao trenutna ocena rezultata merenja veoma je značajna. Najpogodniji način prikaza je u obliku oscilograma ili histograma.
3. **Obrada signala.** Merni algoritam uz pomoć koga se, na bazi digitalne obrade, dolazi do korisnih informacija iz prikupljenih signala predstavlja centralni deo svakog virtuelnog instrumenta. Takođe, virtuelni instrument mora raspolagati bibliotekom rutina koje bi omogućile najčešća merenja kao što su perioda, učestanost ili efektivna vrednost u vremenskom domenu, odnosno spektralna analiza u frekvencijskom domenu. Istovremeno, program mora raspolagati mogućnostima pozivanja i izvršavanja specifičnih rutina koje se ne nalaze u bibliotekama programa, kao i pristup ovih rutina prikupljenim podacima.

4. **Prikaz i memorisanje rezultata.** Rezultate merenja treba prikazati tako da korisnik može trenutno raspoznati i razumeti potrebne informacije. Za isticanje rezultata merenja može se koristiti tekst, grafika i boje.
5. **Pomoć.** Jedna od osnovnih osobina virtuelne instrumentacije je jednostavan rad i pomoć koju korisnik ima tokom procesa merenja. U tom smislu sve procedure treba da su jasne i očigledne, a program treba da obezbedi korisniku pomoć u radu.

1.4.2 Razvoj virtualnog instrumenta primenom GUI

Grafički korisnički interfejs GUI virtuelnog instrumenta predstavlja softversku zamenu za prednji panel klasičnog instrumenta uz pomoć koga se obezbeđuje interakcija između korisnika i aplikacije. Pri izradi GUI bi trebalo voditi računa da on bude jednostavan za upotrebu, produktivan, atraktivan i jednostavan za učenje. U cilju dobijanja što boljeg kvaliteta GUI, interfejs se proverava od strane reprezentativne grupe korisnika, jer upravo korisnik daje ocenu kvaliteta aplikacije. Korisnikov prvi utisak je veoma značajan za celokupan odnos prema instrumentu, odnosno merno-informacionom sistemu.

Elementi grafičkog dizajna koji su od značaja za izradu GUI su:

- vidljivost
- povratna sprega
- mapiranje

Vidljivost omogućava korisniku da brzo i jednostavno razume ceo sistem. Dobrom vidljivošću se povećava produktivnost aplikacije.

Povratna sprega je mera koliko brzo i lako korisnik može da detektuje rezultat svoje akcije.

Mapiranje definiše vezu željene funkcije i akcije koju bi korisnik trebalo preduzeti da bi se funkcija ostvarila. Osnovni element mapiranja je jednostavnost koja se postiže poštovanjem sledećih pravila: ekran je popunjen do 25%, ne prikazivati nevažne detalje, gornji desni ugao ekrana je naslabije pokriven korisnikovom pažnjom, na ekranu prikazivati samo one podatke koji se menjaju, statičke podatke prikazivati na prozoru u pozadini.

Za smanjenje mogućnosti pravljenja grešaka u radu bi trebalo da budu uključene mogućnosti kontrole grešaka i potvrđivanja određene akcije. Pomoć koja je ugrađena u aplikaciju je *Inline help* koja se pojavljuje neposredno ispod ikone preko koje se prelazi mišem ili u dnu ekrana u obliku poruke. *Online help* se dobija na zahtev korisnika i služi da detaljnije objasni način korišćenja neke komande ili akcije.

1.5 LabVIEW PROGRAMSKI PAKET

LabVIEW je softver za virtualnu instrumentaciju čiji je proizvođač američka kompanija *National Instruments*. Proizvođači ga svrstavaju u programske jezika opšte namene (kao C++ i Visual Basic) sa ekstenzivnim bibliotekama i funkcijama za bilo koje namene. Ipak treba napomenuti da on služi prvenstveno za akviziciju, obradu podataka i upravljanje.

LabVIEW je grafički orjentisan programski jezik koji koristi ikonice umesto linija teksta za kreiranje aplikacija. Za razliku od programskih jezika baziranih na tekstu, gde instrukcije određuju izvršenje programa, LabVIEW koristi programiranje toka podataka gde podaci određuju izvršenje. Programski paket LabVIEW omogućava realizaciju kompletnog merno-akvizicijskog sistema, od prihvata signala sa hardvera do analize i prezentacije podataka. Radi obrade i analize podataka LabVIEW ima ugrađeno više stotina funkcija.

LabVIEW programi se nazivaju virtuelni instrumenti zato što njihovo pojavljivanje i operacije imitiraju fizičke instrumente kao što su osciloskopi i multimetri. Svaki VI koristi funkcije koje manipulišu ulazom od korisničkog interfejsa ili drugih izvora i prikazuju te informacije ili ih prosleđuju do drugih fajlova ili drugih računara.

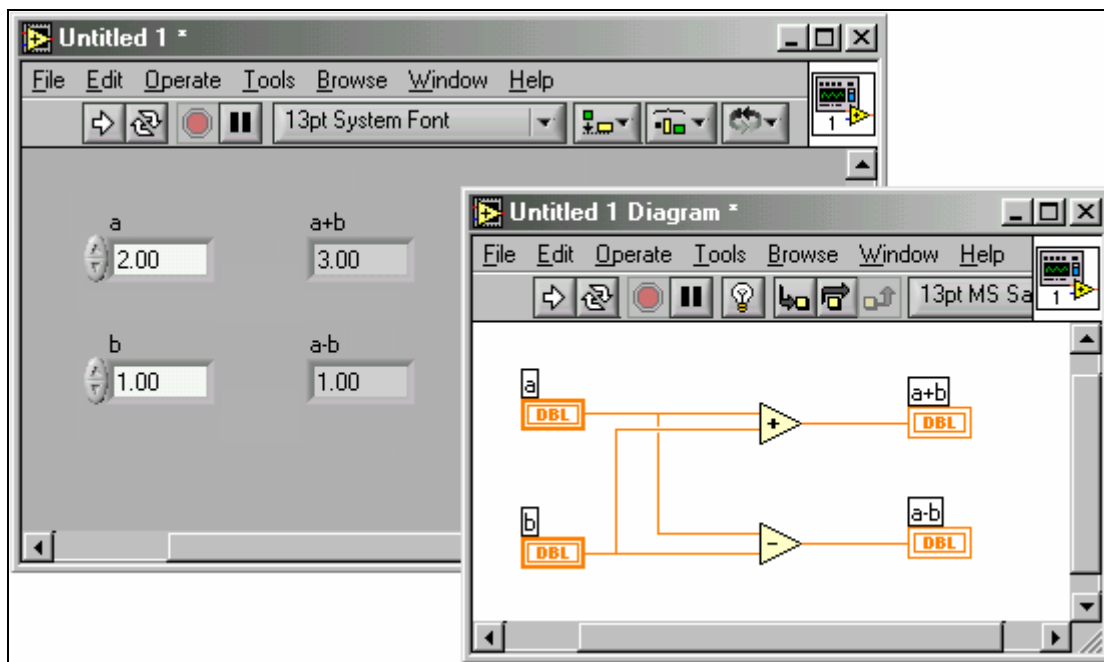
LabVIEW radi pod operativnom sistemima Windows, Macintosh, Sun i Unix. Kako proizvođači napominju VI su potpuno nezavisni od platforme. U razvoju tehničkog rešenja je korišćena verzija LabVIEW 6.0 za Windows.

VI sadrži sledeće tri komponente:

- Prednja ploča (*front panel*) – služi kao grafički korisnički interfejs.
- Blok dijagram (*block diagram*) – sadrži grafički izvorni kôd VI, koji definiše njegovu funkcionalnost.
- Ikonica i konektor (*icon and connector pane*) – identifikuje VI tako da on može da se koristi u drugom VI. VI u drugom VI se naziva subVI. SubVI odgovara podprogramu u tekstualno orjentisanim programskim jezicima.

LabVIEW je organizovan hijerarhijski i modularno. Time je obezbeđen koncept modularnog programiranja. Projekat se deli na skup zadataka, koji se dalje mogu deliti na podzadatke, sve dok kompleksan projekat ne postane skup jednostavnih zadataka. Rešavanje podzadataka vrši se kreiranjem odgovarajućih VI ili subVI. Glavni program ili rešenje kompletnog zadatka predstavlja skup subVI koji obavljaju pojedinačne funkcije.

Na slici 7. je dat primer izgleda front panela i blok dijagrama jednostavnog programa koji na osnovu unetih vrednosti (a i b) izračunava zbir i razliku unetih brojeva.



Slika 7. Primer front panela i blok dijagrama koji izračunavaju zbir i razliku dva broja [Rodić,1,04]

1.5.1 LabVIEW okruženje

LabVIEW okruženje sastoji se od palete alata, kontrola i funkcija. Palete služe da bi se kreirali front panel i blok dijagram, kao i za modifikovanje objekata koji su već postavljeni.

Paleta alata je dostupna na front panelu i blok dijagramu. Alat je specijalni operativni mod kursora miša. Kad je selektovan alat, ikonica kursora se menja u ikonicu alata. Alati se koriste za modifikaciju objekata na prednjoj ploči i blok dijagramu i operacije nad objektima. Za prikazivanje palete alata treba selektovati **Window » Show Tools Palette**. Paleta alata se može postaviti bilo gde na ekran.



Slika 8. Paleta Alata

Paleta kontrola služi za kreiranje objekata *front panel*-a i dostupna je samo u okviru front panela. Za prikaz palete kontrola potrebno je selektovati **Window » Show Controls Palette** ili kliknuti desnim klikom na radni prostor front panela za prikazivanje palete kontrola. Paleta kontrola se može postaviti bilo gde na površinu ekrana.

Na slici 9. dat je izgled palete kontrola. Podpalete koje su sastavni deo palete kontrola su: *Numeric, Boolean, String & Path, Array & Cluster, List & Table, Graph, Ring & Enum, I/O, Refnum, Dialog Controls, Classic Controls, ActiveX i Decorations*. Neke od ovde navedenih paleta sadrže svoje podpalete.

Paleta funkcija služi za kreiranje terminala, čvorova, veza i struktura na blok dijagramu. Paleta funkcija je dostupna samo u okviru blok dijagrama. Za prikaz palete funkcija potrebno je selektovati **Window » Show Function Palette** ili kliknuti desnim klikom na radni prostor blok dijagrama za prikazivanje palete funkcija. Paleta funkcija se može postaviti bilo gde na površinu ekrana.

Na slici 10. prikazan je izgled palete funkcija. Podpalete koje su sastavni deo palete funkcija su: *Structures, Numeric, Boolean, String, Array, Cluster, Comparison, Time & Dialog, File I/O, Data Acquisition, Waveform, Analyze, Instrument I/O, Motion & Vision, Mathematics, Communication, Application Control, Graphics & Sound, Tutorial, Report Generation, Advanced*. Neke od ovih paleta sadrže svoje podpalete.



Slika 9. Paleta Kontrola



Slika 10. Paleta Funkcija

1.5.2 Izgradnja front panela

Front panel je grafički korisnički interfejs VI. Front panel je poželjno kreirati tako da potencijalni korisnici mogu lakše da utvrde koju akciju da preduzmu. Takođe je veoma korisno ako front panel na neki način ima izgled sličan instrumentima ili uređajima koje simulira. Obično se prvo kreira front panel pa tek onda blok dijagram.

Front panel se gradi sa kontrolama i indikatorima, koji su interaktivni ulazni i izlazni terminali VI. Kontrole su prekidači, dugmad, tipke i drugi ulazni uređaji. Indikatori su grafici, LED diode i drugi displeji. Kontrole simuliraju instrumentalne ulazne uređaje i prosleđuju podatke blok dijagramu VI. Indikatori simuliraju

instrumentalne izlazne uređaje i prikazuju podatke koje blok dijagram sadrži ili generiše. Detaljan prikaz konfiguracije objekata front panela i mogućih operacija sa njima dat je u radu [Rodić, 1, 04] i ovde neće biti opširnije razmatran.

1.5.3 Izgradnja blok dijagrama

Pošto je izgrađen front panel, dodaje se kôd korišćenjem funkcija koje su grafički predstavljene, radi kontrole objekata na front panelu. Blok dijagram sadrži ovaj grafički izvorni kôd i on prosleđuje komande virtuelnom instrumentu. Blok dijagram predstavlja grafički metod rešavanja postavljenog zadatka izrade programa.

Objekti front panela pojavljuju se kao terminali na blok dijagramu. Ako se klikne dvostrukim klikom na terminal blok dijagrama pojaviće se objekat na front panelu koji odgovara datom terminalu. Ne mogu se izbrisati terminali sa blok dijagrama. Njih je moguće izbrisati samo ako se izbriše odgovarajuća kontrola ili indikator sa front panela.

Objekti blok dijagrama su terminali, čvorovi i funkcije. Blok dijagram se gradi spajanjem objekata vezama.

Detaljan prikaz konfiguracije objekata front panela i mogućih operacija sa njima, kao i svih objekata blok dijagrama detaljno je prikazan u radu [Rodić, 1, 04].

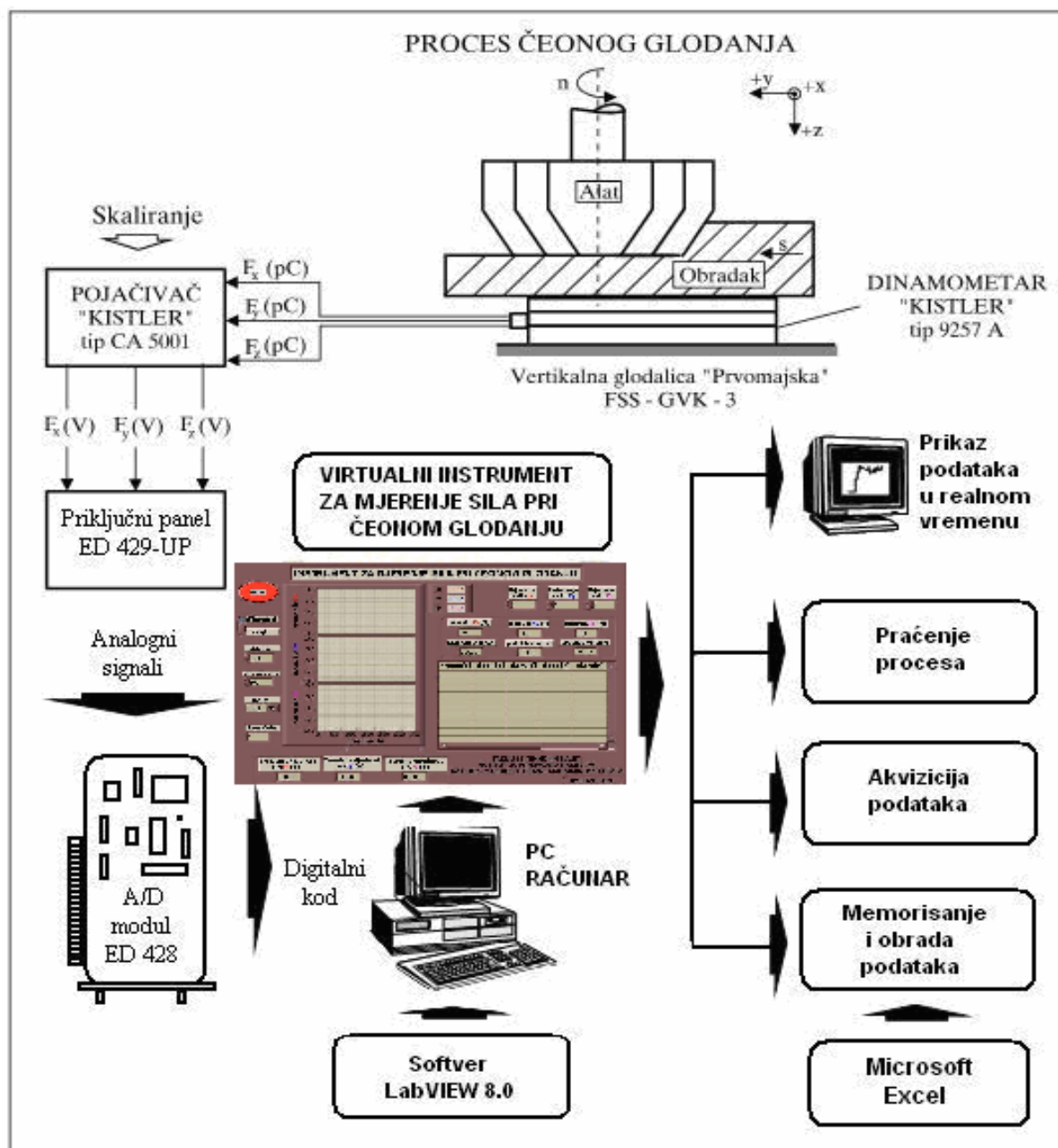
2. RAZVOJ MERNO-AKVIZICIJSKOG SISTEMA ZA MERENJE OTPORA REZANJA PRI ČEONOM GLODANJU

Na slici 11. prikazan je model merno-akvizicijskog sistema za merenje otpora rezanja pri čeonom glodanju. Postavljeni sistem karakterišu sledeće celine:

- Proces glodanja (mašina alatka),
- Senzor mernog signala (dinamometar),
- Obrada mernog signala,
- Priključni panel za povezivanje akvizicionog modula sa realnim procesom
- Akvizicioni modul,
- Računarski sistem,
- Programska (softverska) podrška sistemu,
- Virtualna instrumentacija za akviziciju, prikaz u realnom vremenu, memorisanje i obradu podataka.

Pri razvoju sistema postavljeni su sledeći zahtevi:

- Angažovanje postojećih laboratorijskih resursa i njihova kompatibilnost,
- Obezbeđenje visoke efikasnosti i tačnosti dobijenih rezultata merenja,
- Racionalno korišćenje vremenskih resursa laboratorije,
- Jednostavnost upotrebe, zasnovana na PC korisničkom interfejsu,
- Laka prenosivost sistema (sa jedne mašine alatke na drugu),
- Fleksibilnost i brza promena performansi sistema,
- Upotreba programskog alata koji će olakšati upotrebu računara u akviziciji, analizi i obradi podataka,
- Lako programiranje instrumenata, reprogramiranje i nadogradnja postojećih instrumenata, bez potrebe za velikim iskustvom u programiranju i korišćenju programskih jezika,
- Pozdano i relativno brzo oblikovanje kompletnog programskog rešenja za interni multitasking, od prikupljanja podataka sa akvizicionog hardvera do njihove obrade, vizuelnog predstavljanja i eventualnog prosleđivanja na periferne module.



Slika 11. Model merno-akvizicijskog sistema za merenje otpora rezanja pri čeonom glodanju

2.1 SENZOR „KISTLER“ 9271A

Da bi se ostvarilo merenje sila rezanja u tri ortogonalna pravca x, y i z neophodno je posedovati odgovarajući senzor odnosno dinamometar. U tu svrhu korišćen je trokomponentni dinamometar firme “KISTLER” tip 9257A. Navedeni dinamometar radi na piezoelektričnom principu. To podrazumeva pojavu piezoelektriciteta na površini kristalnih pločica ugrađenih u telo dinamometra kada na isti deluju sile pritiska ili istezanja. Generisana količina elektriciteta je proporcionalna sili opterećenja.

Osnovne karakteristike korišćenog dinamometra su sledeće:

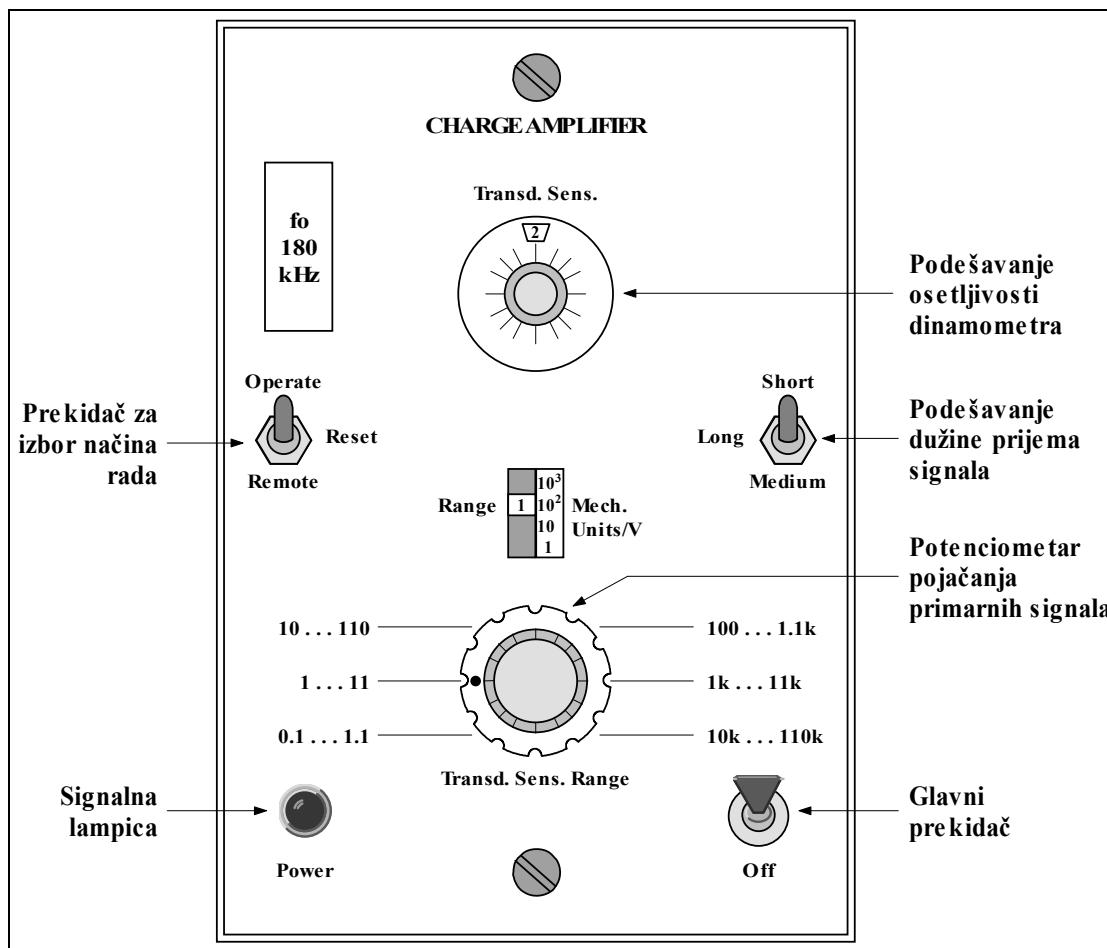
- Maksimalno merno područje, uz mogućnost preopterećenja do 50 % :
 - $F_x = \pm 5000 \text{ N}$
 - $F_y = \pm 5000 \text{ N}$
 - $F_z = \pm 10000 \text{ N}$
- Osetljivost:
 - 7,5 pC / N za sile F_x i F_y
 - 3,5 pC / N za silu F_z
- * Inertnost $\pm 1\%$
- * Histerezis 2 %



Slika 12. Dinamometar „KISTLER“ 9257A

2.2 POJAČIVAČ-PRETVARAČ „KISTLER“ 5001

Električni naboj (naelektrisanje) koji stvara dinamometar se posredstvom pojačivača-pretvarača naboja pretvara u analogni napon koji se može precizno registrovati i dalje obrađivati. Kao pojačivač-pretvarač naboja koristi se pojačalo “KISTLER”-5001 čija je prednja strana prikazana na slici 13.



Slika 13. Šema podešavanja na pojačalu “KISTLER”-5001

Pri obradi signala pojačalo koristi faktor skaliranja (RANGE) za otpore rezanja da bi signali, koji se prosleđuju ka A/D konvertoru, bili u V. Prekidačem za izbor načina rada selektuje se početak prijema signala kao i poništavanje već registrovanih. Ukoliko se odabere opcija REMOTE dobija se mogućnost daljinskog upravljanja početka prijema i poništavanja već izmerenih vrednosti signala. Potenciometrom za regulisanje dužine prijema signala određuje se da li će merni signal biti dug (opcije LONG), kratak (opcija SHORT) ili srednje dužine (opcija MEDIUM). LONG se koristi za prijem signala koji vremenski relativno duže traju, a SHORT za prijem signala trenutnog karaktera. MEDIUM se koristi za signale koji su po vremenu trajanja između ova dva ekstrema.

2.3 PRIKLJUČNI PANEL ED429-UP

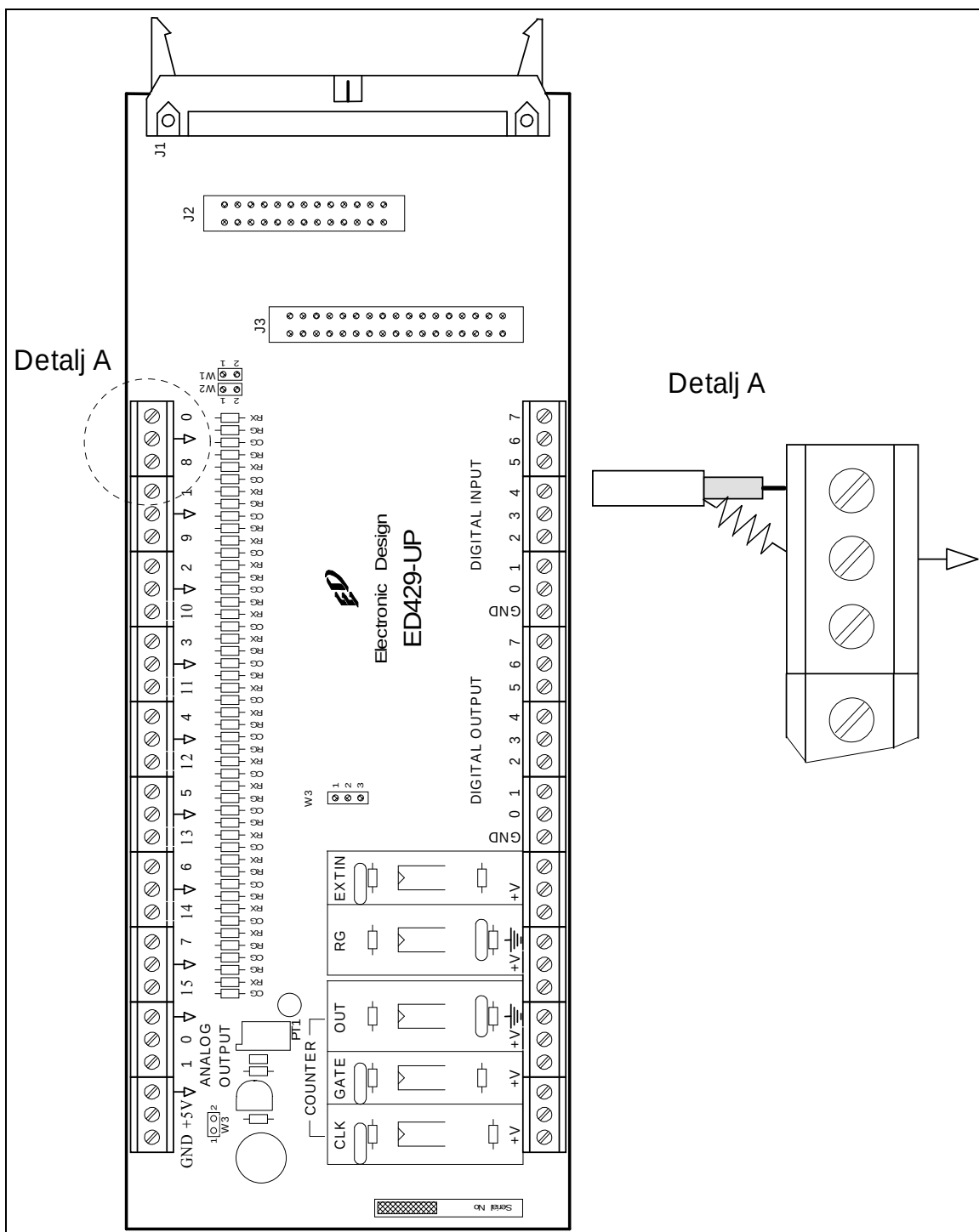
Univerzalni priključni panel ED429-UP (proizvod firme "Electronic Design") se koristi za povezivanje višefunkcionalnog akvizicionog modula ED428 sa realnim procesom, odnosno kondicioniranju mernih signala i olakšanom priključenju signalnih linija na modul. Panel takođe omogućava proširenje priključnih mogućnosti modula, povezivanjem sa drugim ED-ovim priključnim panelima. Panel se može ugraditi u standardno kućište širine 19" koje nosi oznaku ED1820-BOX. U ovo kućište može da se ugradi do 4 priključna panela, dok se u kućište oznake ED1810-BOX može ugraditi do 2 priključna panela.

Priključni panel ED429-UP omogućava olakšano priključenje signalnih ulaznih linija, pomoću kojih akvizicioni modul ED428 komunicira sa spoljnim okruženjem. Na ED429-UP se može priključiti 16 nesimetričnih ili 8 diferencijalnih analognih ulaznih signala, 2 analogna izlazna upravljačka kanala, 8 digitalnih ulaza, 8 digitalnih izlaza, optički izolovani signali za brojač i generator frekvencije, kao i eksterni signal za start A/D konverzije na modulu ED428. Na panelu se nalazi prostor za uobličavanje signala, za svaki ulazni analogni kanal, u koji se mogu postaviti odgovarajući elementi za filtriranje, delitelj napona, ograničivač amplitude signala i sl., u skladu sa zahtevima korisnika. Spoljne signalne linije se priključuju na panel preko priključnih klemata sa vijcima, koje su postavljene duž ivice panela.

Univerzalni priključni panel ED429-UP se povezuje sa akvizicionim modulom ED428 pomoću 50-žilnog flet-kabla, oznake ED429-1C, posredstvom 34-pinskog konektora J1. Dužina kabla je ograničena na 2 m, da se ne bi uvećala greška pri merenju. Panel ED429-UP omogućava povezivanje akvizicionog modula ED428 i na analogni priključni panel sa galvanski izolovanim ulazima, oznake ED1778-AP. Povezivanje se vrši pomoću 26-žilnog flet-kabla ED429-2C, posredstvom konektora J2. Takođe, modul ED428 je moguće povezati i na digitalne priključne panele, međusobnim povezivanjem panela ED429-UP sa odgovarajućim digitalnim panelom pomoću 34-žilnog flet-kabla ED429-3C, posredstvom konektora J3.

Šematski prikaz izgleda univerzalnog priključnog panela ED429-UP dat je na slici 14. Detaljem "A" je prikazan način povezivanja priključnog kabla kada je kartica konfigurisana za analogni nesimetrični ulaz. Centralna žica kabla je vezana za brojnu oznaku odgovarajućeg kanala (u datom slučaju 0), a upletena žica se vezuje na priključnu klemu sa zajedničkom masom (srednji vijak). Kanal za obrtni moment može biti i na bilo kom drugom priključku.

Inače, svakom nesimetričnom analognom ulaznom kanalu pripada po dva priključka: jedan, koji je označen rednim brojem 0÷15, i drugi, zajednički priključak za masu za po dva kanala, označen simbolom za masu, bez brojne oznake. Priključci za diferencijalne analogne signale se sastoje od parova nesimetričnih kanala. Svakom diferencijalnom kanalu na panelu pripada tri vijčana priključka. Diferencijalni kanali se formiraju od parova priključaka numerisanih sa "0" i "8", zatim "1" i "9", i tako redom. Priključak sa nižim brojem u svakom diferencijalnom paru je pozitivan ulaz. Između svakog para, nalazi se zajednički vijčani priključak, označen simbolom uzemljenja, koji se koristi kod nesimetričnih priključenja ulaza.



Slika 14. Šema univerzalnog priključnog panela ED429-UP [Electronic,1,97]

2.4 AKVIZICIONI MODUL ED428

ED428 (proizvod firme "Electronic Design") je ekonomičan višefunkcionalni modul namenjen za:

- akviziciju podataka
- testiranje
- merenje
- procesno upravljanje

Interfejs ima sve važne funkcije savremenog akvizicionog sistema: analogne ulaze i izlaze, digitalne ulaze i izlaze, generatore frekvencije, kolo za uzorkovanje signala, programabilni pojačivač, kaunter/tajmer. Podržan je simultani ili sinhroni A/D i D/A DMA prenos podataka, što nije uobičajeno za proizvode sa niskom cenom.

DMA je način prenosa podataka, pri kojem procesor računara ne izvršava instrukcije za prenos podataka. Na primer, kada PC koristi DMA da prikupi analogne ulazne podatke sa sistema za akviziciju, procesor istovremeno može da izvršava neku drugu aplikaciju, kao što je procesiranje slike ili sl. DMA ostvaruje ovu funkciju tako što koristi "mrtvo vreme" na ISA basu (na koji je uključen akvizicioni modul) da bi izvršio transfer podataka. Drugim rečima, kada procesor ne pristupa akvizicionom modulu, bas može da prenosi podatke sa kartice direktno u memoriju računara.

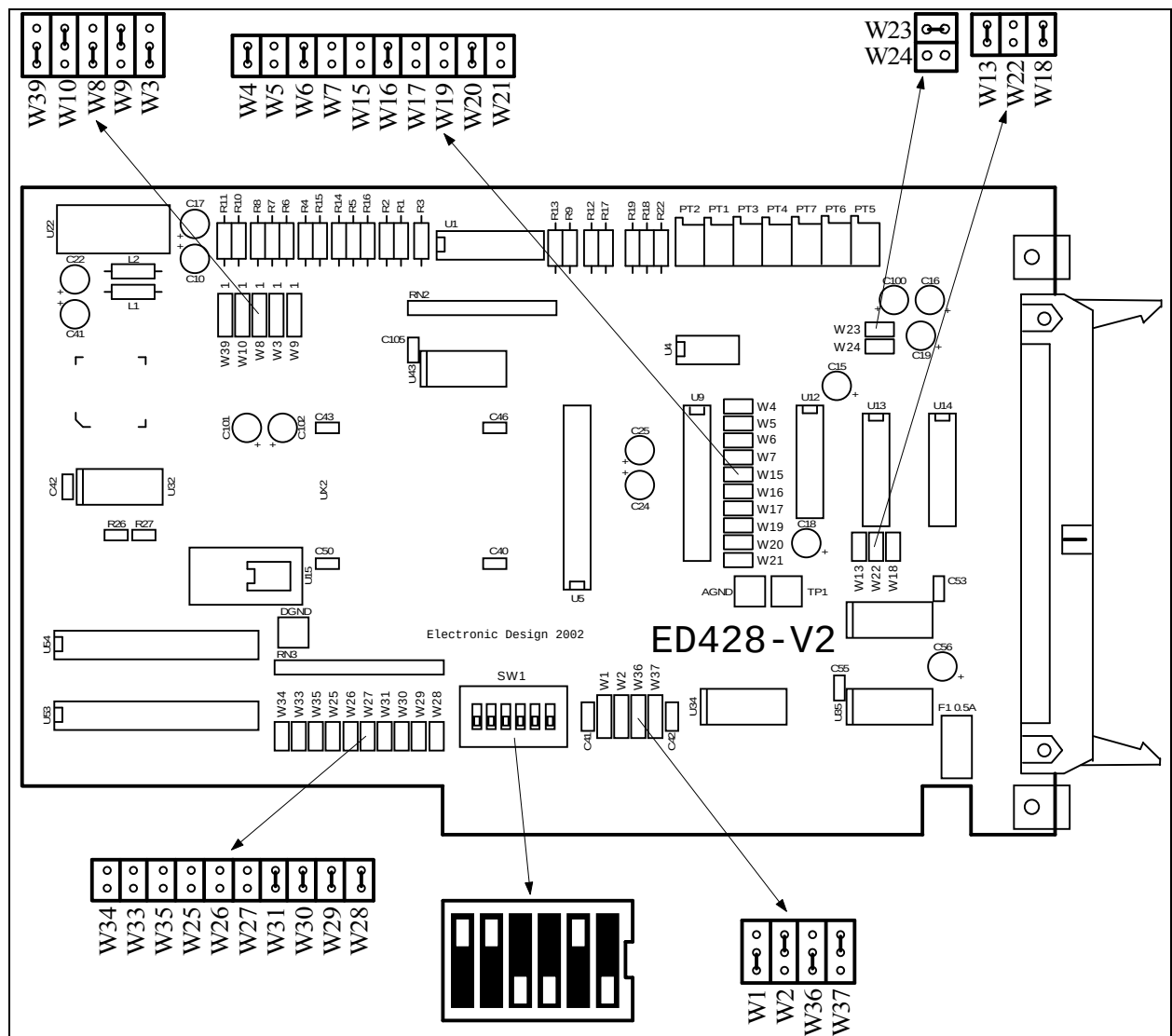
Pošto u DMA transferu procesor nije angažovan u aktuelni prenos podataka između akvizicionog modula i memorije računara, on je slobodan za rad na drugim poslovima u sistemu. Jedan primer je upisivanje podataka u fajl na disku za trajno čuvanje podataka, za vreme dok se naredni podaci prikupljaju sa akvizicionog modula. Drugi primer može biti grafičko prikazivanje prethodno prikupljenih podataka, za vreme dok se prikuplja sledeća količina podataka. U sistemima u kojima akvizicija podataka ili izlaz moraju biti izvršavani istovremeno sa nekim drugim procesiranjem, DMA može biti mnogo jednostavniji način prenosa podataka nego programirani I/O (pri kojem procesor izvršava instrukcije za prenos podataka, kao deo programa koji takođe prikazuje ili arhivira podatke), ili interapt gde procesor periodično zaustavlja izvršenje programa koji prikazuje ili arhivira podatke, i prenosi nove podatke pod kontrolom procesora. Dakle, podaci mogu biti prenešeni mnogo brže DMA prenosom nego kod programiranih I/O transfera, pošto prenos može da se obavi onda kada hardver odredi da je podatak spreman, umesto da program određuje trenutak kada je transfer moguć.

Sistem prati dijagnostički softver i softverski drajveri koji olakšavaju razvoj aplikacija u DOS i Windows okruženju, u programskim jezicima visokog nivoa C/C++, Pascal i Visual Basic. Takođe, za ovaj modul su na raspolaganju savremeni programski paketi za intuitivno grafičko programiranje i razvoj aplikacija, kao npr. LabVIEW.

Akvizicioni modul ED428 može da se konfiguriše sa 16 nesimetričnih ili 8 diferencijalnih ulaznih kanala. Ugrađen je niskošumni instrumentacioni, diferencijalni pojačivač PGA. Pojačanje svakog kanala postavlja se softverski, za odgovarajuće naponske opsege. Vrednosti pojačanja su 1, 10 i 100 puta. Ulazni opsezi su od 0-5V, 0-10V, $\pm 5V$ i $\pm 10V$. Analogni ulazi su zaštićeni do naponskog nivoa od $\pm 35V$ sa napajanjem, odnosno do $\pm 20V$ bez napajanja modula.

ED428 ima jedan 16-bitni kaunter/tajmer opšte namene sa *clock* i *gate* ulazima. On može da se programira za 6 modova rada. Kaunter broji impulse TTL nivoa do frekvencije od 8 MHz. Ako se ne koristi kao brojač, može se upotrebiti kao preskaler (programabilni delitelj) za generator frekvencije, za vrlo male brzine uzorkovanja.

Modul ima dva 16-bitna generatora frekvencije (pejsera), jedan za uzorkovanje analognih ulaza, a drugi za analogne izlaze. Vremenska baza oba generatora dobija se iz 8 MHz kristalnog oscilatora, koji se nalazi na modulu. Opseg frekvencija kreće se od 122 Hz do 4 MHz. Kaunter opšte namene može da se iskoristi kao 16-bitni preskaler za oba generatora, i može da proširi opseg frekvencija od 0.0018 Hz do 2 MHz.



Slika 15. Šema akvizicione kartice ED428 [Intelligent,1,97]

Na slici 15. je data šema kartice ED428. Položaj kratkospojnika je takav da kartica služi za 16 nesimetričnih kanala i ulazni opseg $\pm 10V$.

U nastavku su date potrebni položaji kratkospojnika za različite konfiguracije merenja pomoću kartice. Tamnije su obeleženi položaji kratkospojnika kako su oni postavljeni fabrički.

NAPOMENA:

Konfiguracija kartice je data prema literaturi [Intelligent,1,97], koja pripada kartici sa oznakom PCI-20428W, ali pošto je kartica ED428 pravljena na osnovu pomenute kartice može se smatrati da je ovde izloženo konfigurisanje odgovarajuće.

Kao što je već ranije napomenuto kartica može da se konfiguriše da joj analogni ulazni kanali budu nesimetrični (SE) ili diferencijalni (DIFF).

Kratkospojnik	SE	DIFF
W13	IN	OUT
W18	IN	OUT
W22	OUT	IN
W23	IN	OUT
W24	OUT	IN
W31	IN	OUT

Takođe se mogu podesiti ulazni opsezi napona pomenutih kanala prema sledećoj tabeli.

Kratkospojnik	$\pm 10V$	$\pm 5V$	$0 \div 10V$	$0 \div 5V$
W4	IN	OUT	OUT	OUT
W5	OUT	IN	IN	IN
W6	IN	OUT	OUT	OUT
W7	OUT	IN	IN	IN
W15	OUT	OUT	IN	OUT
W16	IN	IN	OUT	OUT
W17	OUT	OUT	OUT	IN
W19	OUT	IN	IN	OUT
W20	IN	OUT	OUT	OUT
W21	OUT	OUT	OUT	IN

Da bi se instalirao modul ED428 neophodno je da prethodno već bude instaliran softverski paket LabVIEW. Pre same ugradnje kartice neophodno je selektovati baznu adresu (*base address*). Za ovo služe prekidači DIP prekidači. Oni su na slici 6.5 označeni sa SW1. Prekidači mogu formirati vrednosti od 000 (Hex) do 3E0 (Hex). Fabrički je bazna adresa podešena na 320. Ukoliko je neophodno menjati baznu adresu preporučuje se da ona bude između 100 (Hex) do 3E0 (Hex).

2.5 VIRTUALNI INSTRUMENT

Virtualni instrument za merenje otpora rezanja pri čeonom glodanju razvijen je primenom softvera za grafičko programiranje LabVIEW, o kome je bilo reči u poglavlju 1.5.

VI je koncipiran tako da omogućava jednostavno očitavanje vrednosti napona sa dinamometra, koji odgovaraju otporima rezanja, prikaz promene vrednosti na dijagramu i u tabeli, kao i prikaz najvećih vrednosti ovih veličina u jednom merenju.

Na dijagramu su prikazane naponske vrednosti. Ovo je urađeno zato što se na jednom dijagramu prikazuju svi otpori rezanja. U tabeli postoje i kolone za vreme i vrednosti otpora u N. Otpori rezanja imaju i svoje naponske vrednosti u tabeli. Naponske vrednosti su tu samo zbog provere da li je uneto odgovarajuće pojačanje koje je postavljeno i na pojačivaču.

Merenje otpočinje pritiskom na taster RUN (sa tulbara), a završava se pritiskom na dugme STOP. Po završenom merenju generiše se Excel tabelarni fajl koji dalje služi za obradu rezultata merenja. Kolone u ovom fajlu su identične kolonama u tabeli u samoj aplikaciji. Da bi se posle svakog merenja dobio novi fajl potrebno je, u za to predviđeno mesto, uneti putanju novog fajla.

Pre početka novog merenja potrebno je obrisati podatke sa dijagrama i iz tabele koji su ostali od prethodnog merenja.

2.5.1 Izgled front panela i uputstvo za upotrebu VI

Izgled front panela prikazan je na slici 16. On je prilagođen korisniku od koga se ne zahteva gotovo nikakvo poznavanje koncepta grafičkog programiranja u okviru programskog paketa LabVIEW.

U levom gornjem delu prozora se nalazi dugme STOP čija je funkcija već prethodno objašnjena. Važno je reći da se rad VI prekida tek kada se otpusti dugme STOP.

Sledeća kontrola služi da se korisnik, u zavisnosti od načina povezivanja sa priključnim panelom, opredeli za **single ended** (nesimetrični signal) i **differential** (diferencijalni signal). U konkretnom VI senzor je preko pojačivača povezan sa priključnim panelom tako da se dobija nesimetričan signal.

Kontrola „Adresa” sadrži podatak o baznoj adresi (*base address*). Adresa je vezana sa položajem određenih prekidača na akvizicionom modulu. Fabrički je ova adresa postavljena na 320, ali je ipak ovde ostavljena mogućnost da se ta adresa menja.

Kontrola „Broj uzorak” služi da se unese željeni broj uzoraka u sekundi, pri čemu se mora voditi računa o hardverskim resursima. Preporučuje se da ova vrednost ne prelazi 10000 uzoraka, što je za ovaj tip merenja i više nego dovoljno.

Poslednja kontrola koju je neophodno zadati da bi VI mogao biti pušten u rad je „Opseg”. Ponuđene vrednosti su one koje je moguće postaviti i na akvizicionom modulu. Fabrički je ova vrednost na akvizicionom modulu postavljena na ± 10 V, pa je iz tog razloga i na samom VI ova vrednost inicijalno ista. Ukoliko se postavi opseg koji nije u saglasnosti sa onim koji je postavljen na akvizicionom modulu neće moći da se vrši merenje.

Osim gore pomenutih kontrola na samom front panelu postoje još tri kontrole. To su „Pojaćanje za silu Fx”, „Pojaćanje za silu Fy”, i „Pojaćanje za silu Fz”. Vrednosti koje treba uneti su vrednosti pojaćanja koja su podešena na pojaćivaću. Da bi VI funkcionisao ove dve vrednosti nije potrebno zadavati, ali se one ovde nalaze da bi naponske vrednosti za silu i moment, prikazane u tabeli, dobile i svoje odgovarajuće fizičke jedinice. Inicijalno su ove vrednosti postavljene na nulu, odnosno polja su prazna. Na ovaj način je izbegnuta mogućnost greške usled pogrešnog pojaćanja zaostalog iz nekog prethodnog merenja. Ukoliko korisnik zaboravi da unese vrednost pojaćanja u 4., 5 i 6. koloni će se pojaviti samo nule i to će biti jasan signal šta nije u redu.

Kada se VI pokrene njegov prozor menja izgled u RUN-oblik. U toku merenja na dijagramu se vidi promena vrednosti napona otpora rezanja. Pritiskom na dugme STOP merenje se zaustavlja, generiše se tabela na front panelu (sa kolonama za vreme, otpore Fx, Fy i Fz kao naponske veličine i otpore Fx, Fy i Fz u fizičkim jedinicama). Takođe se otvara i okvir za dijalog svojstven Windows operativnom sistemu. U prozoru je potrebno odrediti putanju i uneti ime datoteke koja se generiše. Pored imena datoteke potrebno je uneti i ekstenziju za odgovarajući tip fajla, pa tako datoteka u Excel-u ima ekstenziju .xls

Parovi polja iznad tabele na front panelu „max sila [N]” i „proteklo vreme”, služe da se očitaju najveće vrednosti otpora rezanja, kao i vreme koje je proteklo od početka merenja do pojave najvećih vrednosti. Trenutne naponske vrednosti otpora rezanja koje se nalaze u poljima ispod dijagrama služe za proveru da li se merenje odvija u za to predviđenim granicama. Ukoliko se dogodi da neka od ove tri vrednosti izlazi iz opsega merenja potrebno je prekinuti merenje, a na pojaćivaću uneti manju vrednost pojaćanja. Takođe, ako se primeti da su naponske vrednosti za otpore rezanja male (reda veličine 1 V), preporučljivo je uneti veću vrednost pojaćanja za onu mernu veličinu za koju su dobijene male vrednosti napona.

Polje „Error Code” služi za proveru da li je u toku merenja došlo do neke greške koja je prouzrokovana lošim izborom vrednosti na kontrolama ili lošim povezivanjem određenih funkcija blok dijagrama. Ako se u ovom polju po završenom merenju nalazi vrednost nula to znači da je merenje proteklo bez problema. Ako se nađe vrednost koja je različita od nule onda je došlo do pojave greške. Do kojih je grešaka došlo može se saznati klikom na **Window » Show Error List** ili pritiskom na kombinaciju tastera **Ctrl+L**.

Kada je jedno merenje završeno pre nego što se pristupi sledećem merenju potrebno je obrisati dijagram i isprazniti tabelu. To se radi na sledeći način. Desnim klikom klikne se u polje dijagrama i izabere opcija **Data Operations » Clear Chart**. Da bi se ispraznila tabela klikne se desnim klikom u polje tabele i izabere opciju **Data Operations » Empty Tabele**.

2.5.2 Funkcije blok dijagrama i njihovo povezivanje

Važno je napomenuti da postoje dva različita pristupa prilikom čitanja analognog ulaznog kanala: **simple analog input** i **DMA analog input**. Koji će se pristup koristiti zavisi od hardverskih mogućnosti i od uslova pod kojim se sakupljanje podataka vrši. U konkretnom slučaju korišćen je single analog input jer se radi o merenju koje je vremenski ograničeno (najviše 30-ak sekundi) pa nema potreba da se upotrebljava DMA analog input koji je dosta složeniji i koristi se najčešće kod neprekidnog sakupljanja podataka.

Na slici 17. se vidi izgled blok dijagrama virtuelnog instrumenta sa svim funkcijama i terminalima kao i njihova međusobna povezanost.

Inicijalizacija

Funkcije za inicijalizaciju su funkcije koje moraju da se nađu na blok dijagramu virtuelnog istrumenta. Postoje tri kategorije ovih funkcija:

- **InitSW** inicijalizacija softvera
- **HWInit** inicijalizacija hardvera
- **SWReset** funkcija kojom se otkazuju sve ostale funkcije i memorija računara se oslobađa od Master Link drajvera

Osim gore navedenih funkcija treba pomenuti i još dve kategorije funkcija koje nisu strogo inicijalne funkcije, ali su ipak neophodne da bi program funkcionisao:

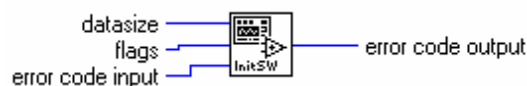
- **IncludeXXX** obezbeđuju podršku za određeni akvizicioni modul
- **SlotAssignIO** određuje broj slota akvizicionog modula

NAPOMENA:

U nastavku je izložen pregled korišćenih funkcija prilikom formiranja block dijagrama. Detaljno su objašnjeni samo oni pojmovi koji su bitni za konkretan virtuelni instrument. Sve što bi potencijalnog korisnika programa LabVIEW moglo da zanima može se naći u obliku Help-a ili u uputstvima koja se instaliraju zajedno sa samim programom, a koja su u PDF formatu.

□ **InitSW**

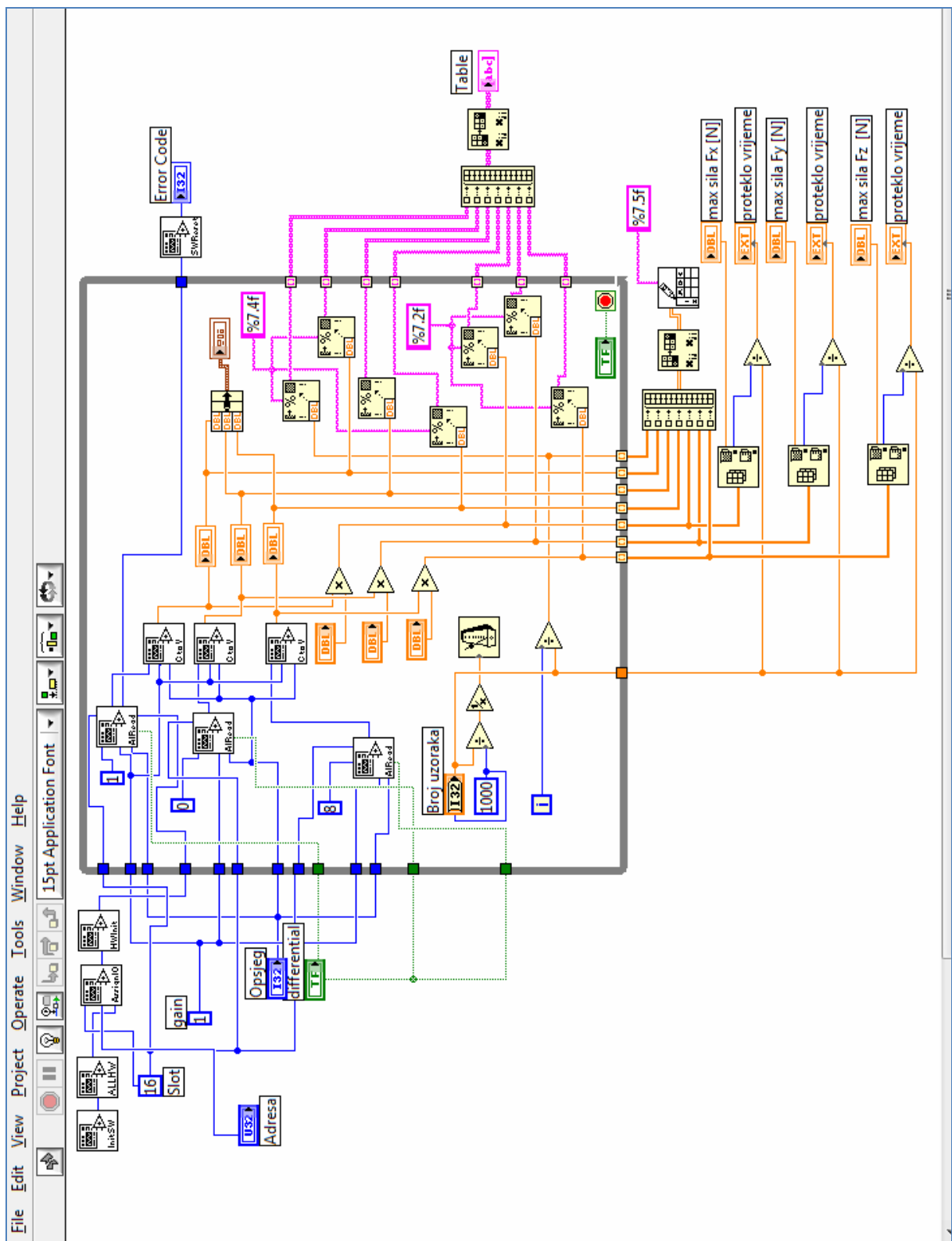
Ova funkcija mora biti prva pozvana od svih Master Link funkcija. Osim što inicira softver funkcija i priprema komunikaciju sa pločom.



Inputs

datasize: Ovaj ulaz se uobičajeno ostavlja nepovezan.

flags: Ovaj ulaz se uobičajeno ostavlja nepovezan.



Slika 17. Izgled blok dijagrama virtualnog instrumenta za merenje otpora rezanja pri čeonom glodanju

❑ ***IncludeALL***

Kao što je već rečeno funkcije ovog karaktera obezbeđuju podršku za određeni akvizicioni modul, ali i za neke specifične tipove operacija.



❑ ***SlotAssignIO***

Funkcija se poziva između funkcija **InitSW** i **HWInit**. Njome se određuje slot na koji je postavljen akvizicioni modul, kao i bazna adresa.



Inputs

slot: Broj ISA slota na koji je postavljen akvizicioni modul ED428. Može se videti prilikom pokretanja programa System Check. U ovom slučaju vrednost koju treba postaviti je 16.

address: Bazna adresa je, kao što je već ranije pomenuto, vrednost koja se određenim prekidačima postavljenim na samom modulu, a mora se poklapati i u samoj aplikaciji. Ovde je korišćena vrednost 320.

❑ ***HWInit***

Funkcija ispituje sve adrese postavljene preko funkcije **SlotAssignIO**. Ako prilikom pretraživanja otkrije adresu funkcija tu adresu postavlja za baznu adresu akvizicionog modula. Funkcija se mora pozvati neposredno posle neophodnih **IncludeXXX** funkcija.



❑ ***SWReset***

Funkcija može biti pozvana bilo kada posle funkcije **InitSW**. Otkazuje sve softverske i hardverske inicijalizacije i oslobađa sisemsku memoriju zauzetu Master Link drajverima.



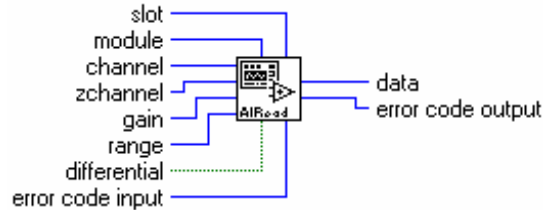
Na izlazu iz ove funkcije, kao poslednje koja se izvršava u blok dijagramu, nalazi se indikator **Error Code** zbog provere da li je došlo do neke greške u programu.

Glavni deo blok dijagrama je **For Loop** struktura i elementi njome obuhvaćeni. U ovom slučaju uslov je zadat direktno u vidu dugmeta STOP na front panelu. Struktura će se izvršavati dok dugme STOP ima vrednost FALSE.

Najbitniji deo strukture For Loop, a time i celog block dijagrama je funkcija **AIRead**. Kao što je ranije rečeno ova funkcija se koristi kod očitavanja analognih vrednosti sa jednog kanala. Kako u ovom slučaju postoje dva nezavisna kanala koja treba čitati (sila i moment) potrebno je imati i dve funkcije AIRead sa odgovarajućim podešavanjima za svaku.

❑ ***AIRead***

Koristi se za čitanje podataka analognog signala sa jednog kanala koji je definisan preko za to predviđenog funkciskog ulaza.



Inputs

slot: Broj ISA slota na koji je postavljen akvizicioni modul. Uzima se vrednost koja je već definisana za funkciju **SlotAssignIO**.

module: Ovaj ulaz se uobičajeno ostavlja nepovezan ili se postavlja vrednost 0 (nula)

channel: Broj kanala sa kojeg se čitaju analogni ulazi. U ovom slučaju kanal za silu ima vrednost 0 (nula), a kanal za moment vrednost 8. (**zchannel:** Ovaj ulaz se uobičajeno ostavlja nepovezan ili se postavlja vrednost na -1)

gain: Predstavlja hardversko pojačanje na akvizicionom modulu. Pošto neke akvizicione kartice imaju mogućnost da budu ujedno i neka vrsta pojačivača ovim ulazom se može zadati neka vrednost različita od 1. Međutim kartica koja je korišćena u ovom slučaju nema tu mogućnost pa vrednost pojačanja mora biti postavljena na 1.

range: Predstavlja opseg kojim se može vršiti merenje. Već je ranije napomenuto da opseg mora biti isti kao i opseg koji je postavljen na kartici putem određenih kratkospojnika. U ovom slučaju taj opseg je fabrički postavljen na ± 10 V i ovde nije menjan.

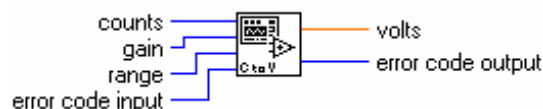
differential: Indikator koji pokazuje da li se radi o single ended (nesimetrični signal) ili differential (diferencijalni signal). Kao što je već ranije rečeno u ovom slučaju koristi se single ended.

Outputs

data: Predstavlja vrednost koja se dobija na izlazu iz funkcije. Ova vrednost nije naponska vrednost pa je potrebno upotrebiti funkciju **CountsToVolts**.

❑ ***CountToVolts***

Funkcija koja se koristi da bi vrednosti dobijene na izlazu iz funkcije **AIRead** bile izražene u voltima.



Inputs

counts: Podatak na izlazu iz funkcije **AIRead** koji se reprezentuje kao naponska veličina. Takođe može biti i na izlazu iz funkcije **SSHReadGroup** ili neke funkcije za DMA analog input.

range: Opseg koji se uzima i kao ulazna veličina za funkciju **AIRead**.

gain: Hardversko pojačanje koje se uzima kao ulazna veličina funkcije **AIRead**.

Outputs

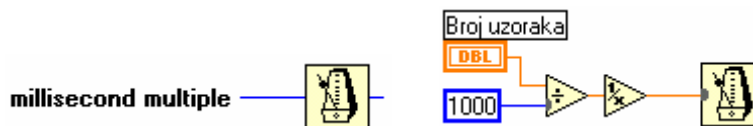
volts: Naponska vrednost u obliku niza očitanih vrednosti sa određenog ulaznog kanala.

Kada se dobiju naponske vrednosti za oba analogna kanala potrebno ih je prikazati na zajedničkom dijagramu. Takođe su ove vrednosti množene sa odgovarajućim pojačanjima da bi kasnije mogle biti prikazane u tabeli u samoj aplikaciji i u tabeli koja se generiše u Excel-u uporedo sa naponskim vrednostima. Pri ovome je korišćena funkcija **Bundle** za prikaz na zajedničkom dijagramu, a funkcija **Multiply** je korišćena za množenje dobijenih vrednosti sa odgovarajućim pojačanjima postavljenim na pojačivaču.

Da bi se mogla zadati vrednost broja uzoraka u sekundi korišćena je funkcija **Wait Until Next ms Multiple**. Preko ove funkcije se zadaje brzina izvršavanja strukture **For Loop**.

❑ ***Wait Until Next ms Multiple***

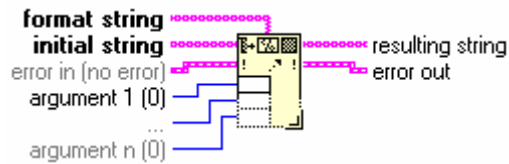
Na ulazu u ovu funkciju je potrebno zadati period između dva uzorka izražen u milisekundama (ms). Da bi se na ulazu u funkciju dobila vrednost u milisekundama broj uzoraka je deljen sa 1000, a zatim je uzeta recipročna vrednost od dobijene.



U tabelama postoji 7 kolona. U prvoj se nalazi vreme izraženo u sekundama, u drugoj, trećoj i četvrtoj naponske vrednosti za otpore rezanja, a u petoj, šestoj i sedmoj fizičke vrednosti otpore rezanja. Da bi se u prvoj koloni dobilo vreme u sekundama i u rastućem poretku (počev od nule) neophodno je podeliti redni broj iteracije “i” sa brojem uzoraka. Tabela koja se nalazi na front panelu prihvata podatke tipa “string” pa je potrebno, uz pomoć funkcije **Format Into String** izraziti podatke u odgovarajućem formatu.

❑ ***Format Into String***

Koristi se da bi se određeni podaci nabrajajućeg tipa ili neke numeričke vrednosti pretvorile u podatak tipa string sa zadatim karakteristikama.



Inputs

format string: Format sadrži podatak o broju cifara koji će svaki broj na izlazu imati, kao i o broju mesta iza decimalnog zareza.

initial string: Inicijalni string definiše podatke o tome šta svaki argument treba da sadrži. Rezultirajući string će imati isti format kao i inicijalni string.

argument: Predstavlja ulazne podatke koje treba obraditi u string. Svaki argument može biti već postojeći string, nabrajajući tip podataka ili numerički podaci, ali ne može se operisati sa nizovima i klasterima.

Outputs

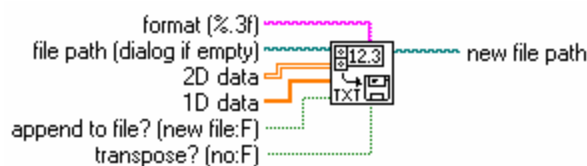
resulting string: Rezultirajući string koji sadrži podatke u formi koja je zadata ulaznim podacima.

Da bi se od numeričkih podataka, odnosno stringova, dobile tabele na front panelu i kao Excel tabela potrebno je koristiti funkciju **Build Array** za formiranje tabele od više redova, a funkcija **Transpose 2D Array** služi za transponovanje tabele koja predstavlja 2-dimenzioni red (koji se dobija na izlazu iz prethodne funkcije).

Za generisanje Excel tabelarnog fajla koristi se funkcija **Write To Spreadsheet File** koja ima niz mogućih podešavanja, ali su na ovom primeru iskorišćena samo ona podešavanja koja su bila neophodna za funkcionisanje aplikacije.

❑ *Write To Spreadsheet File*

Koristi se da bi 1D ili 2D red formirala tekstualna datoteka.



Inputs

format: Preko ovog ulaza se definiše broj cifara i broj mesta iza decimalnog zareza svakog pojedinačnog podatka.

file path: Predstavlja putanju do željene datoteke kao i ime datoteke i njenu ekstenziju. Nije je neophodno zadavati jer se pre generisanja tabele u Excel-u otvara okvir za dijalog pa je moguće uneti i putanju i ime datoteke.

2D data: Ulaz za 2-dimenzione redove (tipa x_{ij}).

1D data: Ulaz za 1-dimenzione redove.

append to file: Kontrola se odnosi na mogućnost da se prilikom merenja podaci dodaju u već postojeću datoteku.

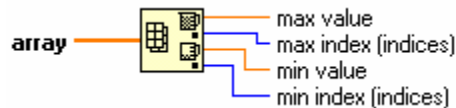
transpose: Kontrola kojom se može transponovati 2D red.

Outputs:

new file path: Indikator koji pokazuje putanju i ime datoteke koja je sačuvana pri poslednjem merenju.

□ ***Array Min & Max***

Funkcija se koristi za određivanje maksimalne i minimalne vrednosti u određenom nizu podataka. U ovom slučaju bitna je samo maksimalna vrednost sile i momenta kao i vreme proteklo do pojavljivanja ovih vrednosti.



Inputs

array: Na ulazu u funkciju nalazi se niz podataka iz kojih treba izvući ekstremne vrednosti.

Outputs

max value & min value: Ekstremne vrednosti niza podataka. Istog su formata kao i niz koji se dovodi na ulazu u funkciju.

max index & min index: Predstavljaju redni broj elementa u nizu sa ekstremnom vrednošću. U ovom slučaju taj redni broj je deljen sa brojem uzoraka u sekundi da bi se dobila vrednost koja predstavlja vreme.

3. PRIMER PRIMENE RAZVIJENOG VIRTUALNOG INSTRUMENTA ZA MERENJE OTPORA REZANJA PRI ČEONOM GLODANJU OKALJENIH ČELIKA

Razvijeni VI testiran je na eksperimentima merenja otpora rezanja pri čeonom glodanju okaljenih čelika. Eksperimentalna ispitivanja su sprovedena na vertikalnoj glodalici „Prvomajska“ FSS-GVK-3 sa sledećim karakteristikama:

- snaga elektromotora za glavno kretanje $P_M = 14$ kW,
- snaga elektromotora za pomoćno kretanje $P_e = 2,2$ kW,
- maksimalni hod stola u pravcu x ose 1120 mm,
- maksimalni hod stola u pravcu y ose 355 mm,
- maksimalni hod stola u pravcu z ose 400 mm,
- raspon brojeva obrtaja od 28 do 1400 (o/min) (18 stepeni),
- raspon brzina pomoćnog kretanja od 16 do 800 (mm/min) (18 stepeni),
- maksimalni dozvoljeni prečnik glodala 315 mm.

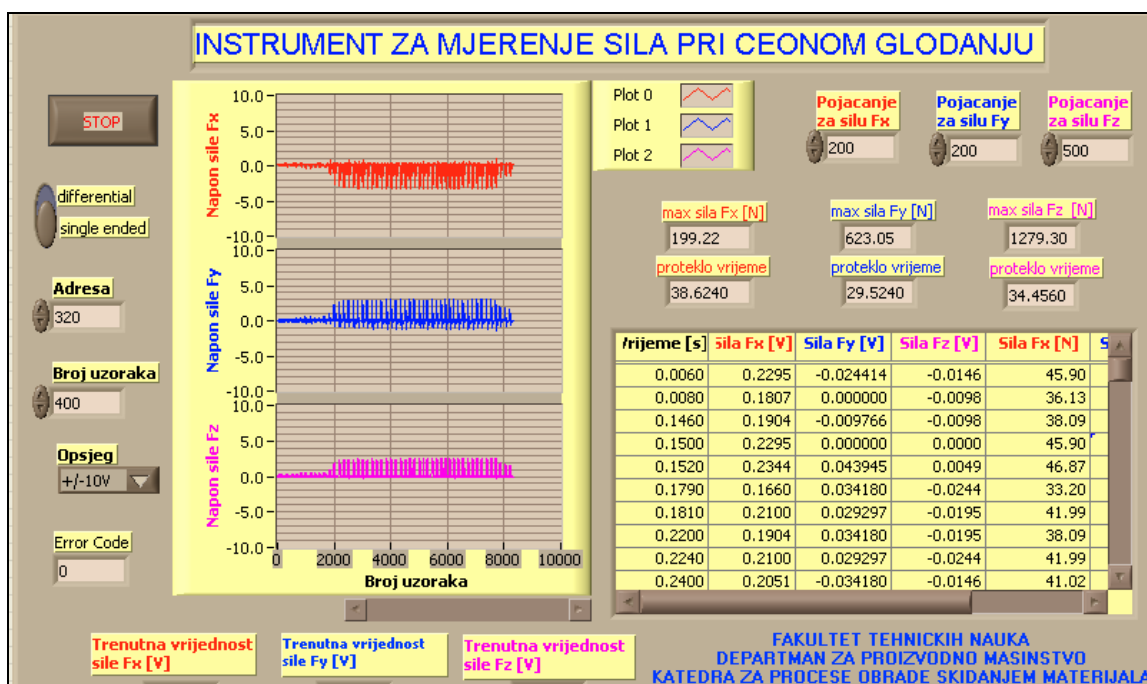
Ova mašina je instalisana na Departmanu za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu, u okviru Laboratorije za procese obrade skidanjem materijala.

Pri ispitivanjima je korišćena glava za glodanje „JUGOALAT“ G717 Ø125 mm sa mehanički pričvrćenim pločicama od tvrdog metala, sledećih karakteristika: $z=8$, napadni ugao $\kappa=75^\circ$, grudni ugao $\gamma=7^\circ$, leđni ugao $\alpha=18^\circ$. Kao rezni materijal korišćene su okretne pločice od tvrdog metala, proizvođača SANDVIK COROMANT. Oznaka pločice je SPKR 12 03 ED R-WH 3040. Ove pločice su namenjene za obradu sivog liva (ISO oznaka K), čelika (ISO oznaka P) i kaljenih materijala (ISO oznaka H). U toku eksperimenta u alat je bila montirana samo jedna rezna pločica.

Materijal obratka je alatni čelik Č3840 (po DIN-u 90MnCrV8, po EN 10027-1 90MnCrV8), tvrdoće 56-57 HRC. Uzorak dimenzija $L \times B \times H = 200 \times 104,7 \times 50$ mm pripremljen je u Fabrici reznog alata u Čačku. Na slici 18. prikazan je detalj istraživačke laboratorije koji pokazuje mašinu alatku i pojedine elemente merno-akvizicijskog sistema, a na slici 19. izgled front panela VI u toku merenja.

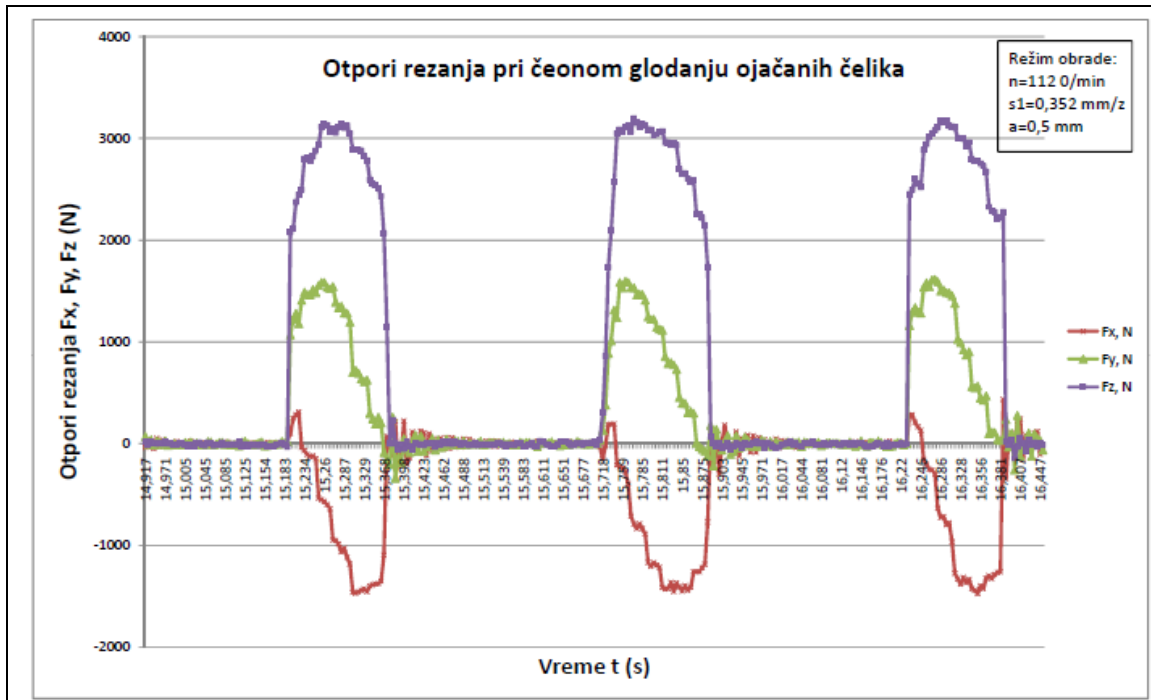


Slika 18. Pogled u istraživačku laboratoriju



Slika 19. Izgled front panela VI u toku merenja otpora rezanja pri čeonom glodanju

Grafički prikaz izmerenih sila rezanja, za tri obrtaja glodala pri čeonom glodanju okaljenog čelika Č3840, dat je na slici 20.



Slika 20. Izmerene sile rezanja pri čeonom glodanju okaljenog čelika Č3840

Razvijeni VI za merenje otpora rezanja pri čeonom glodanju omogućava visoku tačnost i efikasnost dobijenih rezultata, zbog činjenice da je tako koncipiran da omogućava jednostavno očitavanje vrednosti napona sa dinamometra, koji odgovaraju otporima rezanja u tri ortogonalna pravca x,y i z, prikaz promene ovih vrednosti na dijagramu i u tabeli, kao i prikaz najvećih vrednosti ovih veličina u jednom merenju. Dalja obrada tako dobijenih rezultata primenom softvera Microsoft Excel je na taj način znatno olakšana.

4. LITERATURA

- [Drndarević,1,99] Drndarević V.: Akvizicija mernih podataka pomoću personalnog računara, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Beograd, 1999.
- [Electronic,1,06] Electronic Design: www.ed.co.yu, web prezentacija firme Electronic Design
- [Electronic,1,97] Electronic Design, ED429-UP, Univerzalni priključni panel, Beograd, 1997.
- [Intelligent,1,97] Intelligent Instrumentation, Innovative PC Data Acquisition Solutions, PCI-204228W-1A, -2A, -3A Multifunction Boards and Master Link Software Libraries Manual, 1997.
- [Intelligent,1,98] Intelligent Instrumentation, Innovative PC Data Acquisition Solutions, Master Link Software Drivers for National Instruments LabVIEW, Data Acquisition VI Library PCI-20491S-1, User and Reference Manual, 1998.
- [National,1,00] National Instruments, LabVIEW Measurements Manual, July 2000 Edition, Part Number 322662A-01.
- [National,1,98] National Instruments, LabVIEW User Manual, January 1998 Edition, Part Number 320999B-01.
- [National,2,00] National Instruments, Getting Started with LabVIEW, July 2000 Edition, Part Number 321527D-01.
- [Popović,1,06] Popović D., Pejović P.: Električna merenja, beleške za nastavu 2006/07 – deo 1, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2006.