

## JEDNA IMPLEMENTACIJA IEEE 488 USB KONTROLERA

### ONE IMPLEMENTATION OF IEEE 488 USB CONTROLLER

Srdan Ajkalo, Ognjen Bjelica, *Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo*  
E-mail: srdjan.ajkalo@etf.unssa.rs.ba, ognjenbjelica@gmail.com

**Kratak sadržaj** – U ovom radu predložena je jedna implementacija IEEE 488 USB kontrolera za upravljanje mjernom instrumentacijom bazirana na 8-bitnom mikrokontroleru opšte namjene. Opisani su algoritam IEEE 488 kontrolera i razvijena korisnička aplikacija za kontrolu i akviziciju podataka mjerenja. Predmetni kontroler praktično je realizovan u Laboratoriji za embedded sisteme Elektrotehničkog fakulteta u Istočnom Sarajevu.

**Abstract** – In this paper, one implementation of IEEE 488 USB controller for managing measurement instrumentation based on 8-bit general purpose microcontroller is proposed. IEEE 488 Controller algorithm and developed custom user application for control and measurement data acquisition is described. The controller is practically realized in the Embedded systems laboratory at the Faculty of Electrical Engineering in East Sarajevo.

#### 1. UVOD

Za potrebe povezivanja i upravljanja radom svojih programabilnih instrumenata, Hewlett-Packard (HP) je kasnih sedamdesetih godina razvio tzv. HP-IB (*HP Interface Bus*). Uvođenjem digitalnih kontrolera i programabilne mjerne instrumentacije, javila se potreba za standardizovanim, brzim interfejsom za ostvarenje komunikacije između kontrolera i instrumenata različitih proizvođača. 1975. godine, IEEE objavljuje ANSI/IEEE standard 488-1975 (*IEEE Standard Digital Interface for Programmable Instruments*) koji je sadržao električne, mehaničke i funkcionalne specifikacije interfejs sistema. Poznat je još i kao *General Purpose Interface Bus* (GPIB) i *IEEE 488 Bus*. Do danas je GPIB našao upotrebu u brojnim mjernim sistemima širom svijeta, a neke kompanije, kao što je *National Instruments*, svoj uspjeh izgradile su upravo na njemu.

Kako sintaksa i konvencije u vezi formata podataka originalnog IEEE 488 nisu bile definisane, zbog potrebe povećanja kompatibilnosti, podesivosti, pouzdanosti i efikasnosti mjernih sistema, standard je dalje razvijan. Definisanjem zajedničkog seta instrukcija programskog kôda, formata podataka, protokola i zajedničkih komandi IEEE 488 interfejsa nastaje IEEE 488.2 standard, dok IEEE 488 postaje IEEE 488.1. Dalja poboljšanja ovog standarda, 1990. godine, rezultirala su uvođenjem standardnih komandi programabilne instrumentacije (*Standard Commands for Programmable Instrumentation* – SCPI) kojim se definišu standardne komande koje moraju posjedovati instrumenti jedne klase u cilju kompatibilnosti mjernih sistema sa SCPI instrumentima različitih proizvođača.

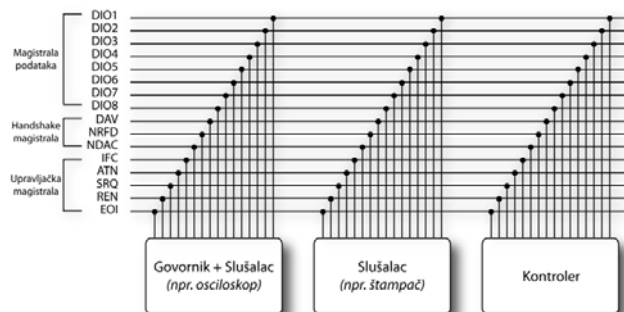
GPIB je digitalni 8-bitni paralelni interfejs za komunikaciju. Sastoji se od ukupno 24 linije – 5 linija upravljačke magistrale, 3 linije *handshake* magistrale, 8 dvosmjernih linija za podatke, dok su preostale linije

rezervisane za mase. Brzina prenosa podataka je 1 MB/s (kod *High Speed 488* protokola – HS 488, može ići i do 7,2 MB/s koji se sreće kod nekih proizvođača GPIB kontrolera kao što je *National Instruments (NI)*, ali će o tome biti više riječi u nastavku rada).

#### 2. GPIB I POVEZIVANJE INSTRUMENTACIJE

GPIB karakterišu sljedeće osobine:

- maksimalni broj sastavnih jedinica u mjernom sistemu je 15;
- način povezivanja putem magistrale pasivnim kablovima za spajanje;
- maksimalna dužina interfejsnih kablova 20 m;
- prenos podataka je asinhroni, bajt serijski bit paralelni, u obliku poruka;
- brzina saobraćaja od 1 MB/s;
- nivoi signala odgovaraju TTL-u (negativna logika):



Slika 1. *Govornik – slušalac – kontroler model i sprezanje na GPIB magistralu*

Uređaj na IEEE 488 magistrali može imati jednu od tri funkcije:

- govornik (*talker*) – ukoliko je adresiran interfejsnom porukom, može generisati i predavati različite podatke

magistrali; u mjernom sistemu, samo jedan uređaj može biti u aktivnom stanju govornika u jednom trenutku;

- slušalac (*listener*) – ukoliko je adresiran interfejsnom porukom, može primiti različite podatke sa magistrale; u mjernom sistemu, više uređaja može biti u aktivnom stanju slušaoca u jednom trenutku;
- kontroler (*controller*) – selektivno obraćanje drugim uređajima u mjernom sistemu; dodjeljuje uloge govornika i slušaoca i predaje interfejsne poruke svim ili samo adresiranim uređajima u sistemu; kontroler može biti u svom osnovnom módu rada, ali i u módu govornika ili slušaoca.

Jedan uređaj može imati mogućnost da radi u sva tri stanja, ali samo jedno od stanja može biti aktivno u određenom trenutku. Koji će od uređaja na magistrali biti aktivan, kao i u kom modu rada će se nalaziti, određuje kontroler slanjem interfejsne komande uređaju.

Magistrala GPIB interfejsa sastoji se od sljedećih 16 signalnih linija – 8 linija magistrale podataka, 3 linije *handshake* magistrale i 5 linija upravljačke magistrale.

Dvosmjerna magistrala podataka (*Data Bus*) prenosi poruke u bajt serijskom bit paralelnom asinhronom modu. Poruke mogu biti adrese, programski podaci, mjerni podaci ili različite komande i mogu poticati od bilo kog mjernog sredstva na magistrali i biti usmjereni ka bilo kom drugom mjernom sredstvu na istoj magistrali. Kako jedna linija 8-bitne magistrale podataka (od DIO1 do DIO8) služi za kontrolu prenosa, moguće je ostvariti  $2^7=128$  kombinacija. Od tog broja kombinacija, 10 je predviđeno za označavanje cifara od 0 do 9, 52 kombinacije za velika i mala slova, a ostale kombinacije za matematičke i znakove interpunkcije.

Kod paralelnih interfejsa, kakva je sprega kontrolera sa sporijim uređajem (u ovom slučaju mjernim instrumentom kao jedinicom mjernog sistema) putem GPIB magistrale, potrebno je uvesti neki vid signalizacije koji će na određeni način, sa jedne strane, ukazati kada su podaci na izlazu kontrolera raspoloživi/validni, a sa druge strane, kada je sporiji uređaj spreman da prihvati novi podatak. Da bi se ostvarila korektna razmjena podataka između uređaja koriste se *handshake* signali. Signalne linije *handshake* magistrale (*Data Transfer Control Bus*) su sljedeće:

- DAV (*Data Valid*) – određuje da li je informacija na magistrali podataka važeća i prihvatljiva;
- NRFD (*Not Ready For Data*) – signalna linija je aktivna sve dok bar jedan slušalac nije spreman za prijem podataka i
- NDAC (*No Data Accepted*) – signalna linija je aktivna sve dok bar jedan slušalac nije primio podatak.

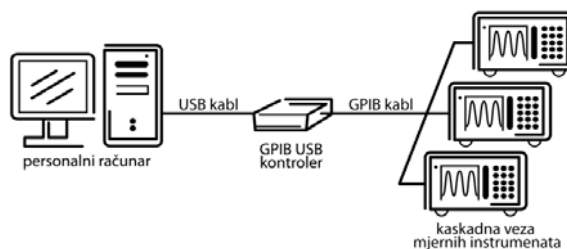
Signalima na upravljačkoj magistrali (*General Control Bus*) upravlja se stanjem mjernog sistema resetovanjem svih sredstava u početno stanje, izdavanjem signala upozorenja, odgovaranjem na zahtjeve za uslugom, postavljanjem instrumenta u daljinski módu rada, te označavanjem

posljednjeg bajta podataka. Simboli i funkcije ovih pet signalnih linija upravljačke magistrale su, kako je ranije navedeno, respektivno:

- IFC (*InterFace Clear*),
- ATN (*ATteNtion*),
- SRQ (*Service ReQuest*),
- REN (*Remote ENabled*) i
- EOI (*End Or Identify*).

Putem GPIB interfejsa je, u skladu sa IEEE 488 odnosno IEEE 488.2 standardima, moguće povezati bilo koji GPIB programabilni mjerni instrument sa personalnim računarom u svrhu kontrole instrumenta i akvizicije podataka mjerenja.

Potreba za praktičnom realizacijom mjernog sistema sa proširenim i poboljšanim mjernim karakteristikama i mogućnostima u našim laboratorijama, u kojima su još uvijek u upotrebi stari, ali ipak kvalitetni i funkcionalni mjerni instrumenti dobrih mjernih karakteristika, je veoma velika. Naime, povezivanjem ovih mjernih instrumenata sa personalnim računarom uz odgovarajuću programsku podršku, moguće je povećati njihovu upotrebnu vrijednost, a njihove osobine približiti znatno skupljim mjernim instrumentima novije generacije.



Slika 2. Povezivanje personalnog računara sa mjernom instrumentacijom putem GPIB kontrolera

Realizacija grafičkog korisničkog interfejsa (eng. *Graphical User Interface – GUI*) programabilnih instrumenata na PC-ju ostvariva je na mnogo načina, na primjer, korišćenjem *NI LabView*, *NI LabWindows/CVI*, *MathWorks MATLAB*, *Agilent VEE*, kao i uvijek dostupna direktna izrada GUI u nekom od razvojnih okruženja poput *Visual Studio .NET*, *Delphi*, i sl. Izbor razvojnog okruženja tako ponajviše zavisi od afiniteta projektanta i same cijene paketa. U ovom radu biće dat pregled razvijene *Windows* korisničke aplikacije realizovane u *VB .NET* za upravljanje i akviziciju putem GPIB kontrolera, kao i programski dio za prezentaciju podataka mjerenja realizovan u *MATLAB-u* na primjeru *Hewlett-Packard 54501A* programabilnog digitalnog osciloskopa.

### 3. GPIB KONTROLER

Dostupni komercijalni GPIB kontroleri nude, kako je to u Tabeli 1. prikazano, povezivanje do maksimalno 15 mjernih instrumenata, kako stoji u [1] i [2], što najčešće nije ograničavajući faktor. Iako je ovo ograničenje vezano za sami IEEE 488 standard, ono se može izbjeći, što je pokazano u narednom paragrafu.

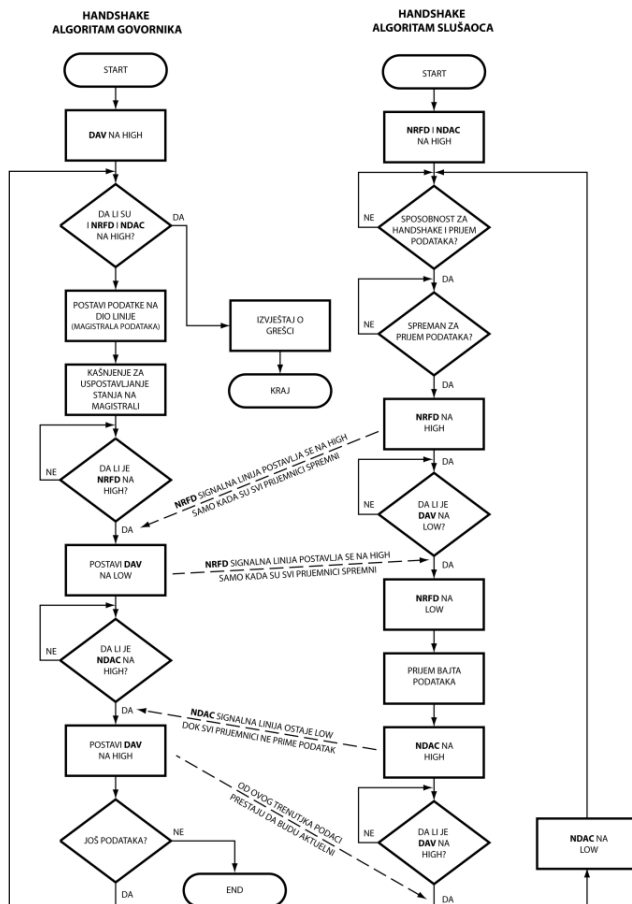
Svaki uređaj na magistrali posjeduje svoju jedinstvenu adresu u opsegu od  $0x00$  do  $0x20$ . Ovo ograničenje postavljeno je samim standardom za određivanje móda rada uređaja na

Proizvođač	Ines	National Instruments	QUANCOM	Agilent	Adlink
Model	GPIO-USB-2	GPIO-USB-HS	USB-GPIO-1	82357B	USB-3488A
Brzina prenosa*	Standardna brzina prenosa veća od 1MB/s	IEEE 488.1 brzina prenosa do 1.8 MB/s (standardno) i 7.2 MB/s (po HS488)	nije posebno naznačeno	Standardna brzina prenosa veća od 1,5MB/s	Standardna brzina prenosa od 1,2MB/s
Maksimalan broj uređaja	15	14	15	14	14
Onboard GPIO ASIC Chip	i72110	TNT5004	uPD7210	nije posebno naznačeno	nije posebno naznačeno
Cijena	798,00 €	529,00 €	498,00 €	395,00 €	360,00 €

Tabela 1. Uporedne karakteristike komercijalnih GPIO kontrolera

magistrali – kontrolni bitovi na petoj i šestoj poziciji osmobarne magistrale podataka određuju mod rada instrumenta kao slušaoca ili govornika, respektivno. Ukoliko se kontroler postavi na adresu  $0x00$ , što je i najčešće korišćena adresa za GPIO kontroler, opseg dostupnih adresa za mjerne instrumente smanjuje se za jedan. Kako korišćena mjerna instrumentacija nudi opseg adresa od  $0x00$  do  $0x1E$ , da se ne bi izgubila adresa iz ponuđenog opsega dovoljno je postaviti GPIO kontroler na adresu  $0x1F$ , pa tako puni opseg od 31 adrese može biti asociiran mjernoj instrumentaciji. Iako postoji kao realna mogućnost, ovaj metod nije u skladu sa IEEE 488 standardom što je već ranije u tekstu naglašeno, pa u ostatku rada neće biti primjenjivan.

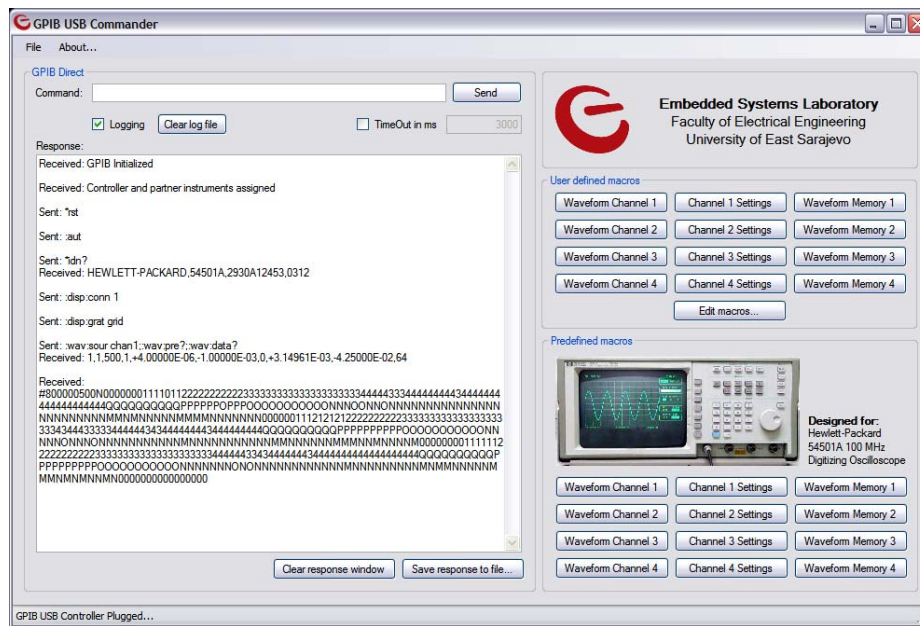
Na slici 3. dat je *handshake* algoritam za komunikaciju slušaoca i govornika na GPIO magistrali. Algoritam je implementiran na 8-bitnom mikrokontroleru *Microchip PIC18F4550*. Ovaj mikrokontroler posjeduje *USB device* interfejs, koji je iskorišćen za povezivanje GPIO kontrolera sa personalnim računarom. Ostvarena je HID USB komunikacija koja ima limit od 512 kbps (veličina bafera od 64 B i prenos svakih 1 ms) prenosa podataka što predstavlja manji nedostatak razvijenog GPIO kontrolera, ali samo pri određenim primjenama. Pa ipak, brzine koje predstavljaju proizvođači komercijalnih GPIO kontrolera, koje su date u Tabeli 1, nisu korektne. Ako se, na primjer, uzme u obzir realizacija *National Instruments* GPIO-USB-HS kontrolera, komunikacija između NI TNT5004-AB GPIO-RS232 transivera i *Cypressovog* CY7C68013A PSoC ograničena je brzinom USART-a GPIO transivera koja iznosi 115 kBauda. Na ovaj način, stvara se usko grlo upravo pri ovoj komunikaciji, tako da se prikazana brzina odnosi na komunikaciju između PSoC-a i računara, a ne na stvarnu brzinu interfejsa u globalu. Uslovni nedostatak realizovanog GPIO kontrolera, može se otkloniti (što će biti tema neke od narednih revizija projekta) izborom drugačijeg interfejsa između PC-a i GPIO kontrolera. Za te potrebe je u fazi razvoja 10Mbps *Ethernet* komunikacija MCU sistema sa oscilatorom od 40 MHz, što omogućava puno iskorišćenje SPI interfejsa pri komunikaciji mikrokontrolera sa *Ethernet* kontrolerom. Na ovaj način se premašuje brzina samog GPIO interfejsa, pa GPIO kontrolerski sistem ne predstavlja usko grlo u komunikaciji mjerne instrumentacije sa personalnim računarom. Ipak, najčešće primjene poput akvizicije podataka mjerenja iz statičkog RAM-a mjernog instrumenta kao i upravljanje samim mjernim instrumentom u potpunosti su zadovoljene i postojećim rješenjem.



Slika 3. Handshake sekvence govornika i slušaoca

Realizovani GPIO kontroler je je *plug-and-play* interfejs koji operativni sistem automatski prepoznaje i konfiguriše. Koristi *Windows* generički HID drajver i kao takav može da radi na bilo kojoj *Windows* platformi bez prethodne instalacije. Ova osobina ide u prilog jednostavnosti korišćenja i prenosivosti predmetnog kontrolera. Kako se napaja direktno iz USB porta personalnog računara, kontroler ne zahtjeva eksterno napajanje.

Poslije inicijalizacije portova mikrokontrolera i USB HID modula za komunikaciju sa personalnim računarom,



Slika 4. GUI aplikacija – GPIB USB Commander

inicijalizuje se i GPIB magistrala i dodjeljuje adresa GPIB kontrolera na magistrali. U okviru ove programske rutine postavljaju se i adrese partnerskih instrumenata na magistrali. Nakon toga, kontroler se postavlja u môd govornika i resetuje interfejs setovanjem *IFC* signalne linije (*InterFace Clear*). Adresirani instrument iz adresne liste postavlja se u daljinski môd rada (setovanjem signalne linije *REN* – *Remote ENable*) i na magistralu podataka šalje se interfejsna komanda *DCL* (*Device Clear* – *0x14*).

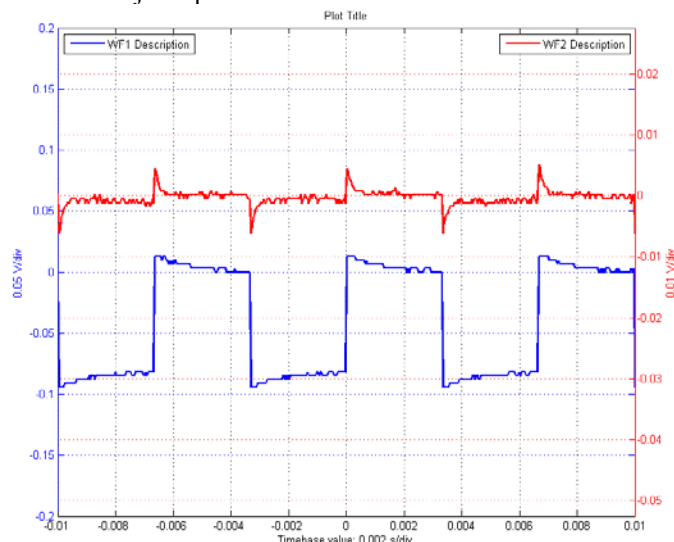
Nakon toga, moguće je pristupiti korisničkom podešavanju GPIB kontrolera i instrumenata mjernog sistema, upravljanju instrumentima i akviziciji podataka mjerenja. Ovo je omogućeno razvijenom GUI aplikacijom (*GPIB USB Commander*) čiji izgled je dat na slici 4. Kao ekperimentalni primjer aplikacija je prilagođena HP 54501A digitalnom programabilnom osciloskopu. Na slici se može vidjeti i način slanja komandi instrumentu i odgovori instrumenta na upite (*Query* komande) koji se prikazuju u tekst okviru *Response*. Pored direktnog slanja komandi koje kontroler po protokolu prosljeđuje instrumentu, realizovano je i nekoliko korisnih dodataka – logovanje komandi i upita zajedno sa odgovorima instrumenta i kontrolera, podešavanja vremena nakon kog kontroler izlazi iz môda slušaoca pri *Query* komandi (*TimeOut*), predefinisani i korisnički definisani makroi, baza unijetih komandi od strane korisnika sa *Auto Complete/Suggest* opcijom, snimanje prikupljenih podataka u fajlove, i dr. Implementirane opcije čak i premašuju ono što u svojim modulima za direktnu komunikaciju sa instrumentima nude velike kompanije, npr. *National Instruments* i *Agilent*. Mogućnosti daljeg proširenja su praktično neograničene, bilo da se radi o poboljšanju korisničkog interfejsa ili povećanju funkcionalnosti instrumenta novim potrebnim funkcijama

Po unosu komande ili upita koji se želi proslijediti mjernom instrumentu, poruke se dijele na pakete veličine 64 bajta u kojima se nalazi i kontrolno zaglavlje. Veličina paketa ograničena je USB HID baferom, što je napomenuto ranije. Po prihvatanju paketa, kontroler procesira sadržaj paketa,

izdvaja kontrolne bitove za podešavanje nekih parametara kontrolera (npr. *TimeOut*) i prosljeđuje komandu adresiranom instrumentu po *handshake* sekvenci koja je ranije opisana. Neki proizvođači komercijalnih GPIB kontrolera razdvajaju môdove rada svojih interfejsnih kartica na môd kontrolera i môd uređaja (*device*) [6]. To je praksa i nekih drugih proizvođača kao što je *National Instruments*. Da bi kontroler mogao da prihvati odgovor instrumenta u korisničkoj aplikaciji za direktnu kontrolu instrumenta (NI) postoje razdvojene interfejsne naredbe za upis komande ili upita i čitanje odgovora. Na ovaj način, korisnička greška uslijed nepravilnog unosa upita, može dovesti do neželjenog gubitka vremena u komunikaciji između kontrolera i korisničke aplikacije. Iz svih ovih razloga, ove môdove kontrolera ne bi trebalo razdvajati. Stoga je u algoritmu realizovanog GPIB kontrolera implemetirano prepoznavanje pojedinačnih i sukcesivno zadatih upita, nakon kojih se kontroler automatski postavlja u môd slušaoca i prihvata odgovor na upit prozvanog mjernog instrumenta. Ova opcija omogućila je da se u potpunosti iskoriste principi programiranja programabilnih mjernih instrumenata koji dozvoljavaju razdvajanje komandi u *program message unit*-e pomoću znaka tačka-zarez (;), a sam mikrokontroler ima dovoljno resursa da ove operacije razdvajanja i procesiranja tekstualnih nizova komandi uradi *u hodu*.

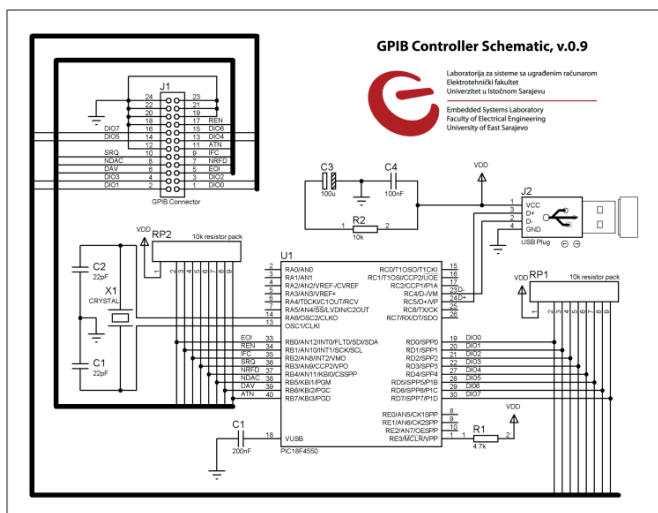
Dio GUI-a za prezentaciju podataka mjerenja realizovan je kao zasebna izvršna MATLAB aplikacija. Zasniva se na MATLAB funkciji *line* koja nudi znatan broj opcija, od kojih treba napomenuti one koje omogućavaju kontrolu koordinatnih osa, tj. njihove pozicije, podioka i izgleda. To je rezultovalo mogućnošću prikaza dva talasna oblika u veoma preglednoj formi – pripadajuće ose vertikalnih osjetljivosti pojedinačnih signala smještene su na lijevu, odnosno desnu stranu grafika, sa odgovarajućom podjelom, različitim vrijednostima i različitim bojom (plava i crvena) što je prikazano na slici 6. Razvojno okruženje MATLAB i ova forma prikaza izabrani su iz razloga jednostavnosti i upotrebljivosti. MATLAB nudi mogućnosti dalje obrade dobijenih podataka mjerenja, a direktno upravljanje mjernim

sistemom iz MATLAB-a putem GPIB kontrolera može biti omogućeno dodavanjem nekog USB-RS232 transivera, poput *Future Technologies (FT) FT232R*. Tako se pristup kontroleru, uz manje izmjene, može realizovati preko virtuelnog COM porta za koji proizvođač (FT) nudi odgovarajuće drajvere za razne operative sisteme (*MS Windows, MS Windows CE, Linux, MacOS*). Takođe, moguće je povezivanje mjernog sistema sa *NI LabVIEW* putem D2XX drajvera, direktno preko USB interfejsa korišćenjem DLL funkcijskih poziva.



Slika 6. Prezentacija podataka mjerenja (Waveform DualPlot) – eksportovana MATLAB figura

Još jedna od prednosti u odnosu na komercijalne GPIB kontrolere je cijena. Vrijednost komponenti potrebnih za implementaciju GPIB kontrolera ne premašuje 50 € (desetak procenata cijene komercijalnog kontrolera). Na slici 7. data je električna šema GPIB kontrolera realizovanog u Laboratoriji za embedded sisteme Elektrotehničkog fakulteta u Istočnom Sarajevu. U nedostatku potrebnih IEEE 488 GPIB transiverskih integrisanih kola, na primjer *National Semiconductor DS75160A* za magistralu podataka i *DS75161A* za upravljačku i handshake magistralu koji bi omogućili sprezanje više mjernih instrumenata na GPIB magistralu istovremeno, emuliran je izlaz sa otvorenim kolektorom pomoću pull-up otporničkog niza na način kako je to pokazano na električnoj šemi.



Slika 7. Električna šema GPIB kontrolera

#### 4. ZAKLJUČAK

Značaj primjene računara sa aspekta proširenja mogućnosti postojećih mjernih instrumenata veoma je velika. Jednostavan način povezivanja i upravljanje radom više mjernih instrumenata sa jednog mjesta i korišćenje minimalnog broja resursa (GPIB kontrolerskih kartica i PC-a), u mnogome olakšava rad i nudi brojne mogućnosti. Na taj način, moguće je sa jednog mjesta (računara) upravljati radom više različitih instrumenata, na primjer generatora signala, osciloskopa i ostalih programabilnih instrumenata i izvora jedne laboratorije. Univerzalnost računara je karakteristika koju ne posjeduje nijedno drugo tehničko sredstvo i predstavlja njegovu veliku prednost koja mu omogućava navedene uloge u mjernom procesu. Proširenje memorije za arhiviranje podataka, kao i dalja obrada podataka mjerenja na računaru opšte namjene mogu znatno umanjiti troškove potrebne za opremanje laboratorija.

Iako je u svijetu sve manje nove mjerne instrumentacije koja nudi GPIB kao opciju povezivanja sa personalnim računarom, opravdanost izrade sopstvenog ili korišćenja nekog od komercijalnih GPIB kontrolera je u tome što naše laboratorije pretežno posjeduju mjerne uređaje starije generacije. Ovi mjerni instrumenti su ipak funkcionalni i dobrih mjernih karakteristika. Sa malim ulaganjem, povezivanjem ovih mjernih instrumenata sa personalnim računarom njihovu upotrebnu vrijednost moguće je proširiti novim funkcijama, a njihove osobine približiti znatno skupljim mjernim instrumentima novije generacije.

#### 5. LITERATURA

- [1] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, *IEEE Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation*, ANSI/IEEE Std 488.1-1987
- [2] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, *IEEE Standard Codes, Formats, Protocols, and Common Commands*, ANSI/IEEE Std 488.2-1987
- [3] S. Ajkalo, M. Gazivoda, S. Lubura, M. Šoja, *GPIB i mjerna instrumentacija – kontrola instrumenata, akvizicija i prezentacija podataka mjerenja*, INFOTEH-JAHORINA Vol. 6, Ref. E-VI-19, p. 625-629, March 2007.
- [4] Hewlett-Packard Co., *HP 54501A Digitizing Oscilloscope, Service Manual*, 1989.
- [5] Hewlett-Packard Co., *Programming Reference, HP 54501A Digitizing Oscilloscope*, 1989.
- [6] Prologix, LLC, *GPIB Controller User Manual*, version 6.91, September 2009.
- [7] National Instruments Official Web Page, <http://www.ni.com/>, jun 2009.

S. Ajkalo, O. Bjelica  
 Faculty of Electrical Engineering East Sarajevo  
 E-mail: [srdjan.ajkalo@etf.unssa.rs.ba](mailto:srdjan.ajkalo@etf.unssa.rs.ba),  
[ognjenbjelica@gmail.com](mailto:ognjenbjelica@gmail.com)