



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

НОВИ САД

Департман за енергетику, електронику и телекомуникације

Одсек за микрорачунарску електронику

ДИПЛОМСКИ – МАСТЕР РАД

Кандидат: Јаничић Владан

Број индекса: Е11173

Тема рада: Једно рјешење програмске подршке за руковање мјерно-аквизиционим и контролним уређајима у систему аутоматског испитивања

Ментор рада: проф. Др. Никола Теслић

Нови Сад, Фебруар 2011.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР :	
Идентификациони број, ИБР :	
Тип документације, ТД :	Монографска документација
Тип записа, ТЗ :	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР :	Дипломски – мастер рад
Аутор, АУ :	Јаничић Владан
Ментор, МН :	проф. Др. Никола Теслић
Наслов рада, НР :	Једно рјешење програмске подршке за руковање мјерно-аквизиционим и контролним уређајима у систему аутоматског испитивања
Језик публикације, ЈП :	Српски / латиница
Језик извода, ЈИ :	Српски
Земља публиковања, ЗП :	Република Србија
Уже географско подручје, УГП :	Војводина
Година, ГО :	2011
Издавач, ИЗ :	Ауторски репринт
Место и адреса, МА :	Нови Сад; трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, ФО : (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	10/46/12/2/39/0/0
Научна област, НО :	Електротехника и рачунарство
Научна дисциплина, НД :	Рачунарска техника
Предметна одредница/Кључне речи, ПО :	Аутоматско испитивање, Функционално испитивање, SCPI, Преса са игличастим конекторима, RT Executor
УДК	
Чува се, ЧУ :	У библиотеци Факултета техничких наука, Нови Сад
Важна напомена, ВН :	
Извод, ИЗ :	У овом раду је представљен систем аутоматског испитивања за даљински управљач са радио-фреквенцијским примопредајником. Посебан акценат је стављен на израду програмске подршке за уређаје који чине систем аутоматског испитивања. На крају рада је описана функционалност система кроз приказ тока процеса аутоматског испитивања.
Датум прихватања теме, ДП :	
Датум одбране, ДО :	04.02.2011
Чланови комисије, КО :	Председник: др Небојша Пјевалица
	Члан: др Михајло Катона
	Члан, ментор: др Никола Теслић
	Потпис ментора



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Textual printed material
Contents code, CC :	Master Thesis
Author, AU :	Janičić Vladan
Mentor, MN :	Nikola Teslić, PhD
Title, TI :	Solution of the drivers for handling measuring, acquiring and controlling devices in the automatic testing system
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	Vojvodina
Publication year, PY :	2011
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Novi Sad, Dositeja Obradovica sq. 6
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	10/46/12/2/39/0/0
Scientific field, SF :	Electrical Engineering
Scientific discipline, SD :	Computer Engineering, Engineering of Computer Based Systems
Subject/Key words, S/KW :	Automatic testing, Functional testing, SCPI, Bed of nails press, RT Executor
UC	
Holding data, HD :	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia
Note, N :	
Abstract, AB :	This paper presents an automatic test system for the remote controller with radio-frequency transmitter. Special emphasis is placed on making drivers for devices that make up a system of automatic testing. At the end of the paper the operation of the system is described through a presentation of the automatic test process flow.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	
Defended on, DE :	04.02.2011
Defended Board, DB :	President: Nebojša Pjevalica, PhD
	Member: Mihajlo Katona, PhD
	Member, Mentor: Nikola Teslić, PhD
	Menthor's sign

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Automatsko ispitivanje kao dio procesa proizvodnje	1
2.1 Vrste automatskog ispitivanja	1
2.2 Specifičnost izabranog načina ispitivanja	4
3. Ispitivana jedinica	6
3.1 Koraci u automatskom ispitivanju	8
3.1.1 Ispitivanje napajanja	8
3.1.2 Ispitivanje stabilisanog napona linearnog regulatora	8
3.1.3 Unos koda u programsku memoriju mikrokontrolera	8
3.1.4 Ispitivanje komunikacije.....	8
3.1.5 Analiziranje dobijene poruke.....	8
3.2 Zahtjevi za sistem za ispitivanje.....	9
4. Konceptija rješenja sistema za ispitivanje.....	10
4.1 Uređaj za povezivanje IJ sa mjerno-akvizicionom i opremom za programiranje..	10
4.2 Mreža prekidača	11
4.3 Uređaji korišćeni u ispitivanju	12
4.3.1 Mjerno-akviziciona oprema.....	13
4.3.2 Uređaji za napajanje	13
4.3.3 Programator	13
4.3.4 RF primopredajnik.....	13
4.4 Personalni računar sa aplikacijom za upravljanje izvođenjem ispitivanja.....	13
5. Opis sistema za ispitivanje.....	14
5.1 Presa sa igličastim konektorima.....	16

5.2	Računarom upravljiva ploča releja.....	16
5.3	Računarom upravljiv naponski izvor	18
5.4	Računarom upravljiv osciloskop.....	19
5.5	Programator – Texas Instruments SmartRF05EB.....	20
5.6	RF Primopredajnik	22
6.	Programska podrška za kontrolu uređaja.....	24
6.1	RS-232.....	24
6.2	IEEE488.2	26
6.3	Programska podrška za matricu releja	28
6.4	Programska podrška za Texas Instruments SmartRF05EB kao programator	29
6.5	Programska podrška za radio frekvencijski primopredajnik sa CC2531 mikrokontrolerom	30
7.	Programska podrška za ispitivanje	32
7.1	Opis programske podrške za ispitivanje.....	32
7.2	Opis funkcija realizovanih u svakom uređaju realizovanom u RT Executoru-u ..	34
7.3	Zadavanje koraka u ispitivanju	35
7.4	Realizacija upravljačke sprege za uređaje.....	37
8.	Proces ispitivanja	39
8.1	Rezultati ispitivanja.....	42
9.	Zaključak	44
9.1	Pravci daljeg razvoja	45
10.	Literatura.....	46

SPISAK SLIKA

Slika 2.1 Automatska optička inspekcija PCB-a	2
Slika 2.2 Fotografija integrisanog kola sa BGA konektorom napravljena X zracima.....	2
Slika 2.3 Primjer ispitivanja nožica integrisanog kola Flying probe metodom	3
Slika 2.4 Izgled PCB-a po ostvarenom kontaktu sa igličastim konektorima.....	4
Slika 3.1 Šematski prikaz strukture ispitivane jedinice	6
Slika 3.2 Izgled daljinskog upravljača sa RF primopredajnikom	7
Slika 3.3 Izgled PCB-a daljinskog upravljača sa markiranim tačkama predviđenim za kontakt sa opremom za ispitivanje	7
Slika 4.1 Konceptijska šema sistema	10
Slika 4.2 Izgled igličastih konektora.....	11
Slika 4.3 Konceptijska šema prekidačke mreže	12
Slika 5.1 Blok šema sistema za ispitivanje	15
Slika 5.2 Checksum TR-5-400-QC presa	16
Slika 5.3 Slika ploče releja u kućištu	17
Slika 5.4 Principska šema realizovane fizičke arhitekture CPLD uređaja.....	18
Slika 5.5 Laboratorijski naponski izvor Agilent E3631A.....	19
Slika 5.6 Osciloskop Agilent 54622D.....	20
Slika 5.7 SmartRF05 Razvojna ploča	21
Slika 5.8 Arhitektura razvojne ploče SmartRF05	21
Slika 5.9 SmartRF05EB: Raspored signala na konektoru za programiranje	22
Slika 5.10 Pretvarač nivoa signala konektora ispitivane jedinice	22
Slika 5.11 CC2531 USB RF primopredajnik.....	23
Slika 5.12 Izgled kompletnog sistema za ispitivanje	23

Slika 6.1 Deveto-pinski žensko-ženski konektor korošćen za povezivanje osciloskopa i računara	24
Slika 6.2 Izgled konektora specificiranog u RS-232 standardu	25
Slika 6.3 Izgled stabla komandi po SCPI standardi	27
Slika 6.4 Kompletno stablo komandi uređaja Agilent 54622D [10].....	28
Slika 6.5 Usmjerenost standardnih tokova prije a) i poslije b) preusmjeravanja klasom StreamWriter	30
Slika 7.1 Izgled dijela test_env.ini datoteke	33
Slika 7.2 Slika pokrenutog RT Executor-a sa prisutnim device-ovima	34
Slika 7.3 Segment koda sa koracima ispitivanja.....	36
Slika 7.4 Hijerarhijski prikaz RT Executor aplikacije sa .dll datotekama korišćenim u ispitivanju.....	38
Slika 7.5 Uprošćeni algoritam funkcionisanja drajverskih datoteka.....	38
Slika 8.1 Postavljanje panela na presu sa igličastim konektorima.....	39
Slika 8.2 Spuštanje poluge prese.....	40
Slika 8.3 Početak ispitivanja – unos bar koda panela	40
Slika 8.4 Tok ispitivanja	41
Slika 8.5 Vizuelni prikaz rezultata ispitivanja	41
Slika 8.6 Rezultati ispitivanja prikazani u alatu Microsoft Office Excel 2003.....	42
Slika 8.7 Izgled tekstualne datoteke sa “sirovim” podacima ispitivanja	43

SPISAK TABELA

Tabela 6.1 RS-232: Imena signala koje provodi svaka od provodnih parica.....	25
Tabela 9.1 Trajanje pojedinih koraka u ručnom i automatsko ispitivanju	44

SKRAĆENICE

RF	- <i>Radio Frequency</i> , Radio frekvencija
IJ	- Ispitivana jedinica
PCB	- <i>Printed Circuit Board</i> , Štampana elektronska ploča
AOI	- <i>Automated Optical Inspection</i> , Automatizovana optička inspekcija
AXI	- <i>Automated X ray inspection</i> , Automatizovana inspekcija X zracima
BGA	- <i>Ball-Grid Array</i> , Integrirano kolo za mrežom konektora na donjoj strani
I²C	- <i>Inter-Integrated Circuit</i> , Komunikacioni protokol povezivanja integriranih kola
ASCII	- <i>American Standard Code for Information Interchange</i> , Američki standardni kod za razmjenu informacija
IEEE	- <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> , Institut elektro i elektronskih inženjera
SCPI	- <i>Standard Commands for Programmable Instrumentation</i> , Standardne komande za programabilnu instrumentaciju
GPIO	- <i>General Purpose Interface Bus</i> , Spojna magistrala opšte namjene
LAN	- <i>Local area network</i> , Mreža lokalnog područja
DLL	- <i>Dynamic-link library</i> , Datoteka sa dinamičkim povezivanjem
SPI	- <i>Serial Peripheral Interface</i> , Serijska periferna međusprega

1. Uvod

U radu je opisano jedno rješenje sistema za automatsko ispitivanje elektronskih ploča, sa akcentom na izradu upravljačke sprege u okviru programske podrške za ispitivanje (RT Executor) i upoznavanje sa kontrolnom programskom podrškom za upravljanje uređajima korišćenim u procesu testiranja.

Preduzeće koje teži da izađe na tržište elektronskih uređaja se suočava sa izborom: kupiti gotov testni sistem ili razvijati sopstveni.

Gotovi sistemi za ispitivanje poznatih proizvođača spadaju u vrlo skupu opremu sa cijenama koje se kreću od 50.000\$ pa do 500.000\$ zavisno od kapaciteta, nivoa složenosti i kvaliteta. Ovakva akvizicija bi predstavljala veliko opterećenje za preduzeće i prihvatljiva je samo velikim kompanijama. Manje kompanije koje teže da se probiju na tržište su prinuđene da nađu druge puteve za sprovođenje ispitivanja.

Zadatak ovog diplomskog je da se isprojektuje sistem za automatizovano izvršavanje ispitivanja upotrebom uređaja dostupnih u preduzeću, sa personalnim računarom kao kontrolnim uređajem kao i izrada programske podrške za upotrebljene uređaje u okviru alata RT Executor.

Rad je podijeljen u devet poglavlja.

- Drugo poglavlje se bavi automatskim ispitivanjem kao dijelom procesa proizvodnje.
- Treće poglavlje opisuje uređaj koji se podvrgava ispitivanju.
- Četvrto poglavlje prikazuje koncepciju sistema za ispitivanje pomenutog uređaja.
- Peto poglavlje opisuje realizaciju prethodno pomenute koncepcije sistema za ispitivanje,
- Šesto poglavlje se bavi programskom podrškom za upravljanje digitalno upravljivim uređajima koji čine sistem automatskog ispitivanja.

- Sedmo poglavlje je posvećeno realizaciji upravljačkih datoteka za upravljanje digitalno upravljivim uređajima pomenutim u petom poglavlju u programskom paketu RT Executor kao i opisu same aplikacije RT Executor.
- Osmo poglavlje prikazuje tok procesa ispitivanja
- Deveto poglavlje je zaključak master rada
- Deseto poglavlje je korišćena literatura

2. Automatsko ispitivanje kao dio procesa proizvodnje

Automatsko ispitivanje PCB predstavlja nezaobilazni dio procesa proizvodnje. Otkrivanje grešaka nastalih u proizvodnji ne smije oduzeti previše vremena i sredstava jer se time smanjuje produktivnost i konkurentnost. U današnje vrijeme kada se životni ciklus jednog elektronskog uređaja mjeri mjesecima, trajanje testiranja ne smije značajno produžiti vrijeme izlaska uređaja na tržište[1].

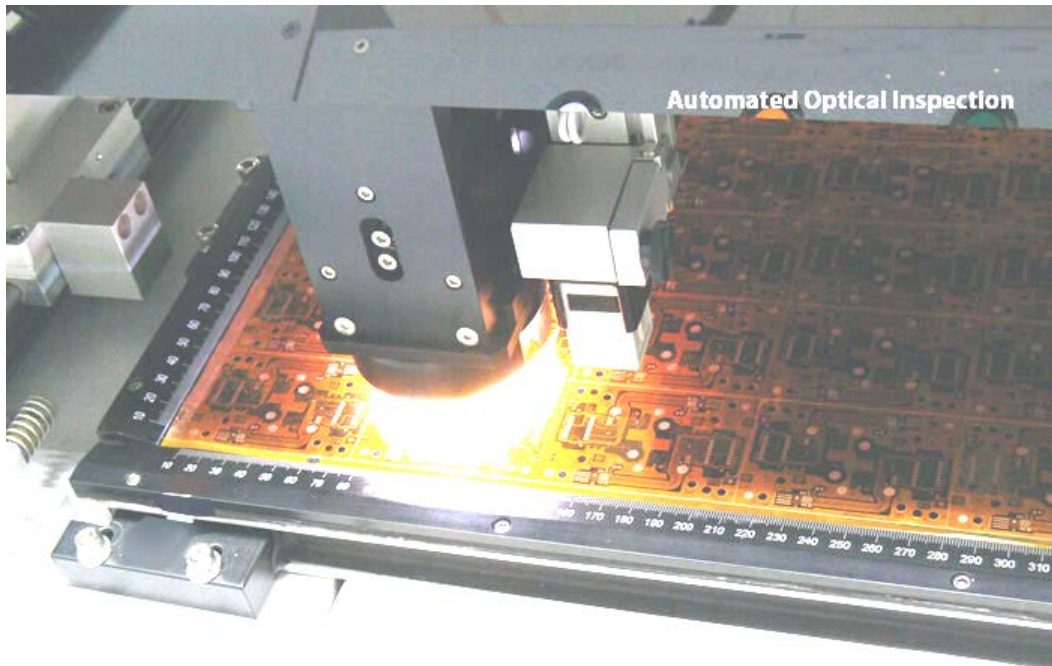
Automatizacija ispitivanja predstavlja upotrebu programske podrške za kontrolu izvođenja koraka ispitivanja, poređenje dobijenih rezultata sa predviđenim, postavljanje preduslova ispitivanja i druge funkcije kontrole ispitivanja i izvještavanja o testiranju. Obično automatizacija ispitivanja predstavlja automatizaciju manualnih koraka koji se već upotrebljavaju za ispitivanje.

2.1 Vrste automatskog ispitivanja

Kod proizvodnje PCB glavne vrste automatskog ispitivanja su ispitivanje u kolu (In-circuit testing), optičko ispitivanje (AOI –Automated Optical Inspection), ispitivanje X zracima (AXI – Automated X ray inspection), ispitivanje sa ivice (Boundary scan) i funkcionalno ispitivanje (Functional testing)[2][3].

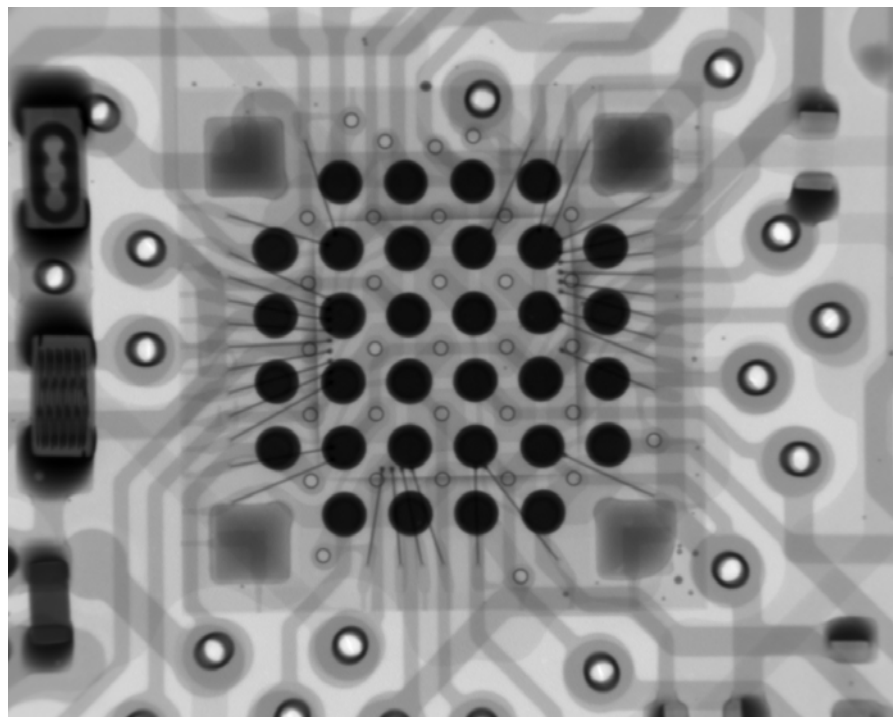
Automatska optička inspekcija se obavlja tako što kamera pravi fotografije proizvedene ploče a zatim je upoređuje sa fotografijom referentne ploče. Na ovaj način se mogu detektovati ogrebotine, nedostajuće, pogrešne ili pogrešno okrenute komponente, višak ili nedostatak lema. Ispitivanje pomoću X zraka se zasniva na sličnom principu, samo što se umjesto vidljive

svjetlosti koriste X zraci. Ova vrsta inspekcije pored pomenutih mogućnosti otkriva i nedostatke štampane ploče nedostupne običnoj kameri. Naročito je zanimljiva upotreba ove vrste ispitivanja kod ploča koje sadrže integrisano kolo sa BGA (Ball-Grid Array) konektorom, jer su njihovi priključci ispod integrisanog kola i nijesu vidljive golim okom.



Slika 2.1 Automatska optička inspekcija PCB-a

Na slici 2.1 je prikazana aparatura za AOI sa automatizovanom kamerom koja prelazi preko PCB-a tražeći defekte

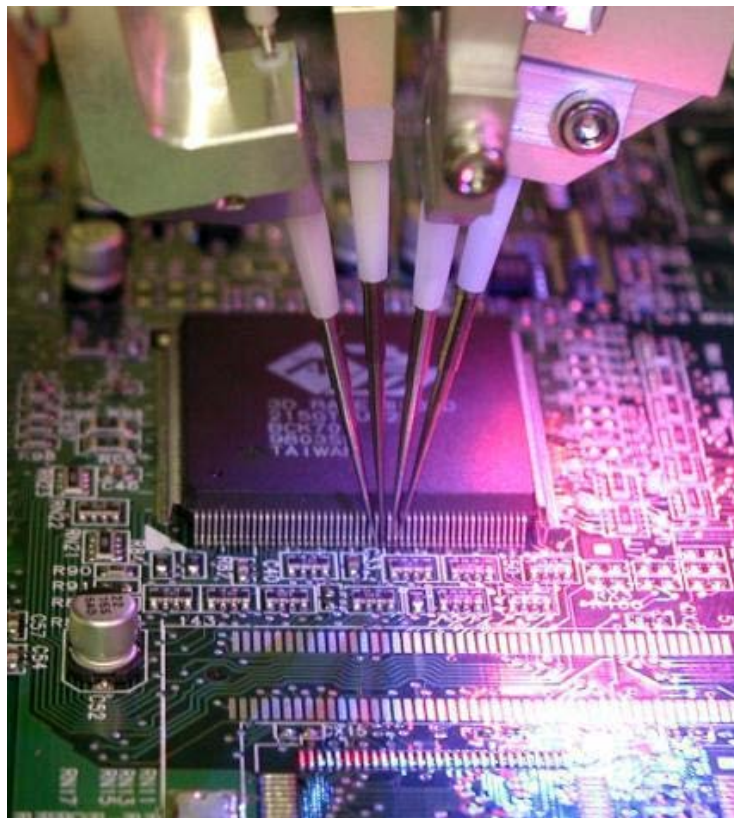


Slika 2.2 Fotografija integrisanog kola sa BGA konektorom napravljena X zracima

Na slici 2.2 je prikazana slika integrisanog kola sa BGA konektorima koji se nalaze ispod njega i nijesu dostupni običnoj optičkoj inspekciji. Konektori ove vrste postaju vidljivi samo inspekcijom X zracima

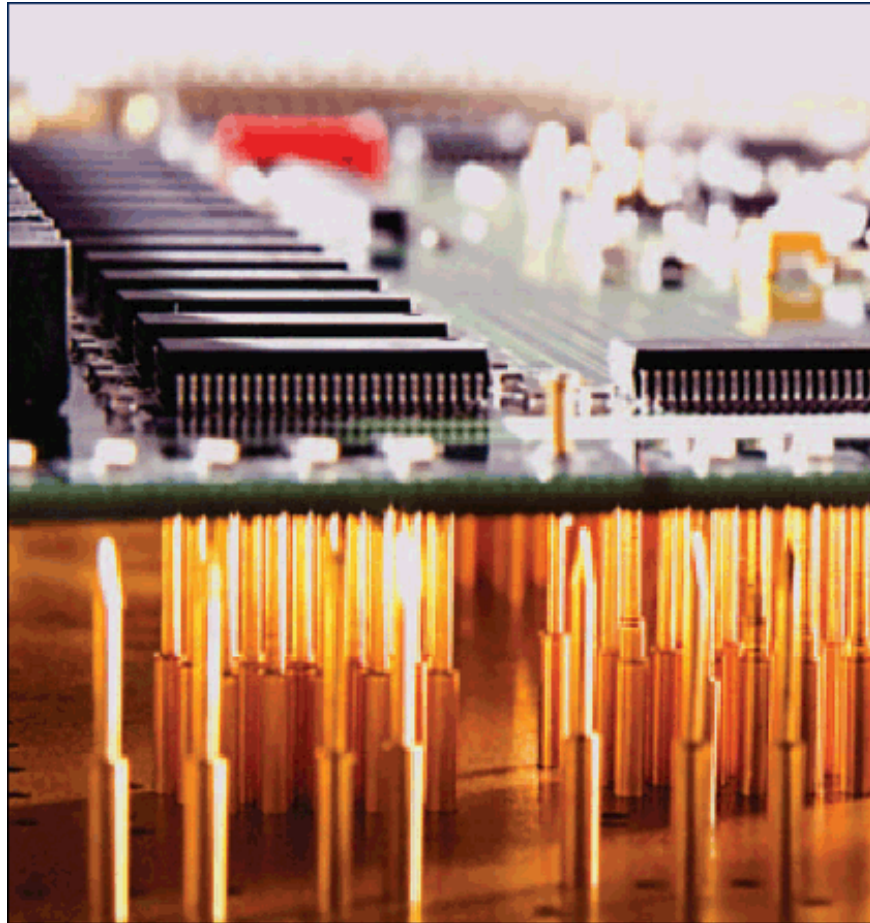
Ispitivanje sa ivice (Boundary scan) je predmet standarda IEEE 1149.1 **Standard Test Access Port and Boundary-Scan Architecture**, poznato je i pod nazivom **Joint Test Action Group (JTAG)**. Ovaj standard se danas masovno koristi za portove za ispitivanje integrisanih kola. Pomoću ovog načina ispitivanja moguće je spolja pristupiti određenim dijelovima ili čitavoj štampanoj ploči i predstavlja osnovni način ispitivanja ugniježđenih računarskih sistema.

Ispitivanje u kolu (In-circuit testing) je ispitivanje na principu bijele kutije gdje se PCB-ovi ispituju uz pomoć električnih sonda. Ovim ispitivanjem se provjeravaju otvoreni i kratki spojevi, otpornost, kapacitivnost i slične osnovne veličine koje ukazuju na to da li je uređaj pravilno izrađen. Ispitivanje u kolu može biti izvršeno uz pomoć fiksature sa igličastim konektorima (Bed-of-nails fixture) ili uz pomoć postavke sistema bez prese npr. tehnikom Leteće Sonde (eng. Flying probe).



Slika 2.3 Primjer ispitivanja nožica integrisanog kola Flying probe metodom

Na slici 2.3 je prikazan primjer primjene Flying probe u uređaju proizvođača Takaya gdje se četiri sonde brzo kreću po ploči, ostvaruju kontakt za određenim komponentama i obavljaju In-circuit ispitivanje.



Slika 2.4 Izgled PCB-a po ostvarenom kontaktu sa igličastim konektorima

Češće korišćena metoda In-circuit ispitivanja je ispitivanje upotrebom Bed-of-nails fiksature. U ovoj metodi PCB se dovodi u kontakt sa igličastim konektorima (Slika 2.4) koristeći Bed-of-nails fiksaturu. Fiksatura ima dva zadatka:

- a) Da omogući precizno pozicioniranje PCB-a tako da igličasti konektori pogode predviđene tačke za ispitivanje (eng Test points)
- b) Da omogući pritisak dovoljan da se sabiju opruge igličastih konektora i time obezbjedi kvalitetna galvanska veza između konektora i tačaka za ispitivanje.

Funkcionalno ispitivanje je ispitivanje na principu crne kutije koje se obavlja pred isporuku uređaja. Ono obično predstavlja niz koraka ispitivanja koji se izvršavaju na gotovom proizvodu i provjeravaju njegovu funkcionalnost; svaki od koraka rezultuje sa prošao (pass) ili pao (failed) rezultatom. U principu nema stepena uspješnosti ili neuspješnosti koraka.

2.2 Specifičnost izabranog načina ispitivanja

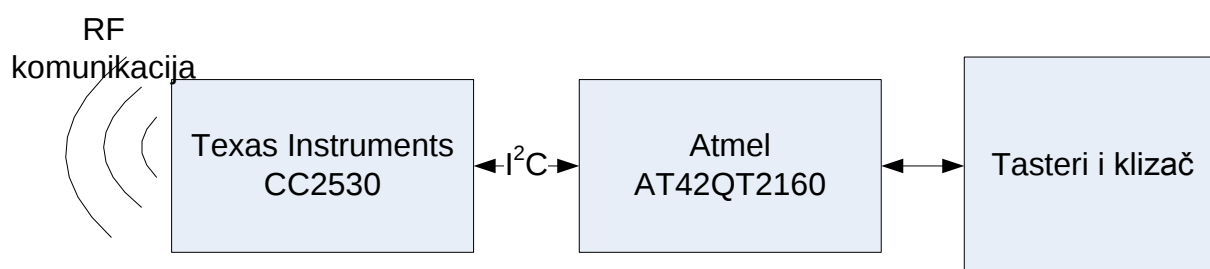
Od strane prijektanata uređaja koji se ispituje odlučeno je da IJ (Ispitivana jedinica) bude ispitivana kombinacijom dvije posljednje metode. Za pristupanje električnim kontaktima se koristi fiksatura sa igličastim konektorima, jer omogućava da se odjednom na nju postavi više

uređaja koji će potom jedan za drugim biti ispitani. Pored ove prednosti igličasti konektori na fiksaturi mogu podnijeti daleko više spajanja i razdvajanja (oko 1.000.000) sa IJ – om nego bilo koji drugi standardni konektor. Preko 6 tačaka za ispitivanje (test points) se vrše funkcionalno ispitivanje ali i mjerenje napona na jednoj od tih tačaka što izlazi iz okvira ispitivanja po principu crne kutije i ulazi u domen ispitivanja po principu bijele kutije.

Ocijenjeno je da će ovakav hibridni pristup omogućiti ispitivanje u optimalnom broju koraka i sa dovoljnim brojem korisnih podataka iz kojih je kasnije moguće obezbijediti uputstva za popravku uređaja koji ne prođu ispitivanje.

3. Ispitivana jedinica

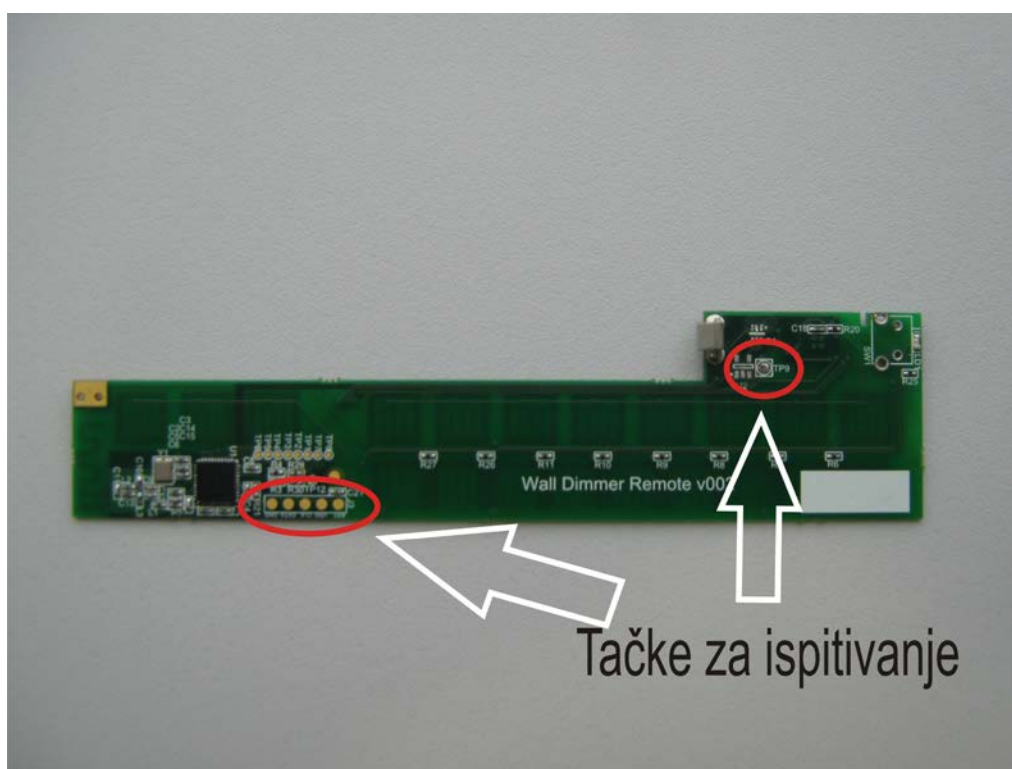
Uređaj koji se podvrgava ispitivanju je daljinski upravljač sa RF primopredajnikom predstavljen na Slici 3.1. Zasnovan je na Texas Instruments CC2530 mikrokontroleru. Na daljinskom upravljaču se nalazi jedanaest tastera i klizač zasnovani na Atmel-ovoj Qmatrix tehnologiji kapacitivnih senzora dodira. Za akviziciju sa senzora koristi se Atmel AT42QT2160 senzorsko integrisano kolo koje može da se spregne sa najviše šesnaest tastera i jednim klizačem. Komunikacija između mikrokontrolera i senzorskog integrisanog kola odvija se putem I²C (Inter-Integrated Circuit) magistrale.



Slika 3.1 Šematski prikaz strukture ispitivane jedinice



Slika 3.2 Izgled daljinskog upravljača sa RF primopredajnikom



Slika 3.3 Izgled PCB-a daljinskog upravljača sa markiranim tačkama predviđenim za kontakt sa opremom za ispitivanje

3.1 Koraci u automatskom ispitivanju

U saradnji sa projektantima uređaja koji se podvrgava ispitivanju je definisani skup koraka koji je dovoljan da se potvrdi funkcionalnost proizvedenog uređaja.

U nastavku slijedi pregled realizovanih koraka u ispitivanju sa načinom realizacije i objašnjenjima.

3.1.1 Ispitivanje napajanja

IJ se dovodi pod napon napajanja sa naponskog izvora, ukoliko struja napajanja izađe iz, od strane projekatanta utvrđenog opsega, IJ nije zadovoljila uslove ispitivanja. Velika struja ukazuje na postojanje kratkog spoja ili neispravnog rada elektronike na IJ tako da troši isuviše veliku struju. Isuviše mala struja ukazuje na postojanje otvorenog kola, koji opet može biti posledica lošeg lemljenja ili greške u povezivanju opreme za ispitivanje.

3.1.2 Ispitivanje stabilisanog napona linearnog regulatora

Linearni regulator stabilise napon za rad Atmel AT42QT2160 i tom naponu se može pristupiti na tački 1.8V. Osciloskop se preko jednog releja spaja sa zadatom tačkom, a zatim se mjeri stabilisani napon.

3.1.3 Unos koda u programsku memoriju mikrokontrolera

Programator se dovodi u galvansku vezu sa mikrokontrolerom CC2530 na IJ. Potom se pokreće aplikacija za unos koda, koja vraća poruke o uspješnosti unosa koda.

3.1.4 Ispitivanje komunikacije

RF primopredajnik sa USB spregom ka personalnom računaru čeka poruku sa IJ. Ukoliko poruka stigne, to znači da RF komunikacioni dio IJ ispravno funkcioniše.

3.1.5 Analiziranje dobijene poruke

Mikrokontroler CC2530 je isprogramiran da po programiranju pozove Atmel AT42QT2160 koji provjerava naponske nivoe na svojim ulazima koji odgovaraju određenim kapacitivnim senzorima i zatim prosleđuje podatke o ispravnosti prema CC2530. CC2530 pakuje podatke u poruku adresiranu na RF primopredajnik na računaru. Analizom poruke se saznaje o ispravnosti kapacitivnih senzora na IJ.

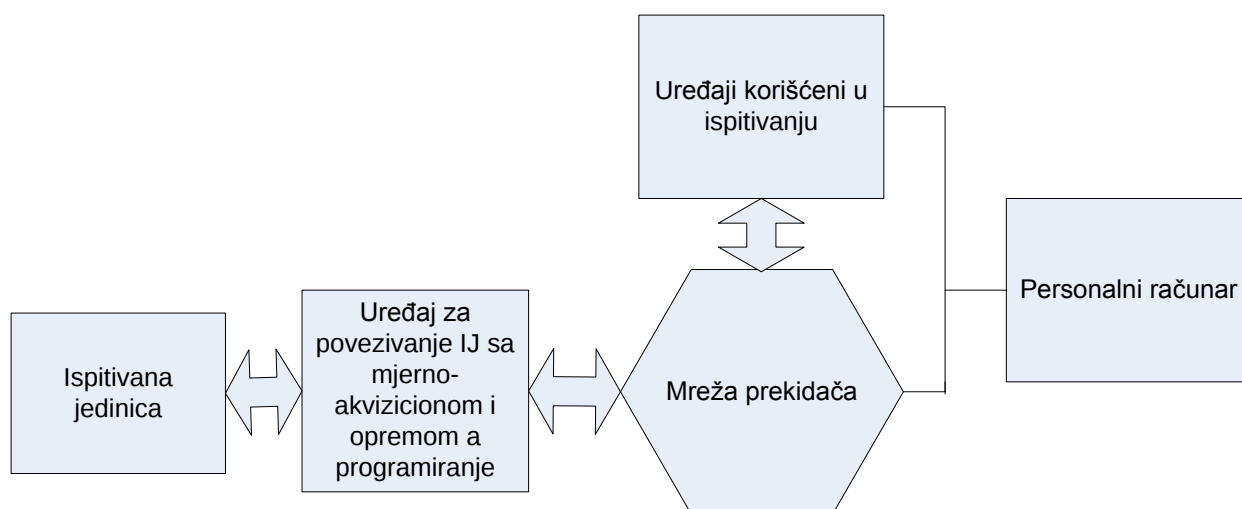
3.2 Zahtjevi za sistem za ispitivanje

Svi gore pomenuti koraci u ispitivanju moraju biti automatizovani i, po pokretanju sistema, moraju slijediti jedan za drugim, bez upliva čovjeka. Rezultati mjerenja, podaci o uspješnosti programiranja mikrokontrolera i podaci u i o primljenim ili neprimljenim RF porukama moraju biti upoređeni sa zahtjevanim vrijednostima i posle upoređivanja moraju biti generisane vrijednost Prošao(eng. Pass) ili Pao(eng. Failed), a svi podaci moraju biti arhivirani za neke buduće analize.

U narednim poglavljima je opisana realizacija sistema koji zadovoljava pomenute zahtjeve.

4. Konceptija rješenja sistema za ispitivanje

U cilju zadovoljenja zahtjeva zadatih od strane projekatata IJ - ispitivane jedinice osmišljen je sistem za ispitivanje sa strukturom koja će biti objašnjena u ovom poglavlju.



Slika 4.1 Konceptijska šema sistema

4.1 Uređaj za povezivanje IJ sa mjerno-akvizicionom i opremom za programiranje

Objašnjenje koncepta počinjemo od uređaja za povezivanje IJ sa mjernom opremom. Ovaj uređaj mora da zadovolji sledeće uslove:

- Uređaj mora da podržava pričvršćivanje većeg broja IJ
- Konektori na uređaju moraju biti u stanju da izdrže veliki broj povezivanja sa IJ bez gubitka ili degradiranja funkcije

- Postavljanje IJ na konektore mora biti lako i intuitivno
- Uređaj treba da bude prilagodljiv ispitivanju različitih vrsta PCB-ova.

Imajući na umu ove zahtjeve odlučeno je da se kao uređaj za pričvršćivanje i povezivanje IJ sa mjerno-akvizicionom opremom koristi fiksatura sa igličastim konektorima (eng. Bed of nails). Kao što je prikazano na Slici 2.4 na površini fiksature ove vrste se nalaze igličasti konektori sa oprugama (eng. Pogo pins) na koje se postavlja PCB i preciznim pozicioniranjem, koje se obezbjeđuje vodičama, ostvaruje kontakt sa predviđenim tačkama na IJ. Igličasti konektori mogu da izdrže do 1.000.000 spajanja i razdvajanja i po ovoj osobini daleko prevazilaze sve standardne konektore u svakodnevnoj upotrebi. Površina fiksature može da primi onoliki broj IJ koliko joj to površina i maksimalna sila pritiska koju može da proizvede dozvoljavaju. Potrebnu silu pritiska određuje broj igličastih konektora koje treba sabiti i time ostvariti kvalitetan galvanski kontakt. Na Slici 3.2 se vidi izgled igličastih konektora sa zlatnožutom čaurom u kojoj se nalazi opruga koja potiskuje klip sa, u ovom slučaju, glavom u obliku kupe. Glava igličastih konektora može imati različite oblike (ravni, kupasti, zašiljeni, zaobljeni, u obliku krune sa 4, 6, 9 pera i td.).



Slika 4.2 Izgled igličastih konektora

4.2 Mreža prekidača

Mreža prekidača ima ulogu da omogućiti da mali broj mjerno-akvizicionih i uređaja za programiranje bude sekvencijalno povezivan na veći broj IJ koje se nalaze na fiksaturi sa igličastim konektorima.

Ovaj uređaj mora da zadovolji sledeće uslove:

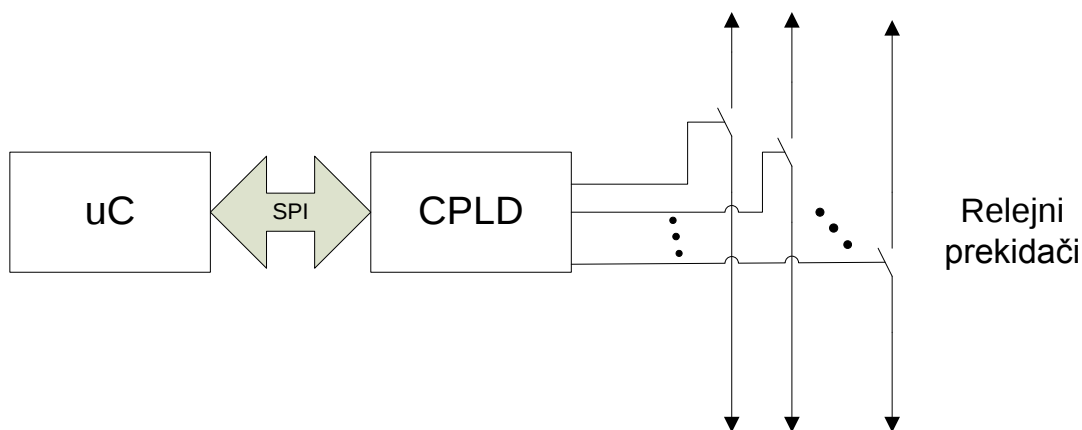
- Potrebno je da uređaj bude u stanju da signale iz opreme vodi ka IJ i sa IJ ka mjernoj opremi sa što manjim izobličenjem

- Potrebno je da uređaj bude u stanju da što veći broj ulaza poveže sa što većim brojem izlaza (idealno da odnos bude N:N, npr. 100:100)
- Potrebno je da uređaj bude digitalno upravljiv, kako bi mogao da se poveže u sistem automatskog ispitivanja.

Od prekidačkih elemenata jedino elektromehanički releji su pogodni za ovu vrstu upotrebe. Oni imaju malu serijsku otpornost i male parazitne kapacitivnosti, provode bez izobličenja signale visokih napona (npr. mrežni napon 230V) kao i visoke frekvencije (npr. signal programatora).

Postoji problem kod realizacije poslednjeg zahtjeva jer su elektromehanički releji relativno glomazne prekidačke komponente i napraviti uređaj u kome bi bilo koji od 100 ulaza imao isto toliko ulaza bi zahtjevalo postavljanje po 100 releja za svaki ulaz a to bi rezultovalo matricom 100x100 releja ogromnih dimenzija. Po ovom pitanju je napravljen kompromis pa su ulazi i izlazi vezani 1:1, tako da ih povezuje jedan relej. Ulazi se dalje spajaju u grupe prema vrsti signala koji provode (npr. 13 ulaza se vežu u jednu tačku na signal uzemljenja-GND).

Digitalna upravljivost se realizuje pravljenjem uređaja oko mikrokontrolera koji je zadužen za komunikaciju sa personalnim računarom. Mikrokontroleri u principu nemaju veliki broj izlaza preko kojih se mogu kontrolisati prekidači, pa se u tu svrhu koristi neki uređaj sa velikim brojem izlaza, u ovom slučaju CPLD uređaj (eng. Complex Programmable Logical Device). Ovaj uređaj se u VHDL programskom jeziku programira da vrši određenu funkciju, u ovom slučaju da održava serijsku komunikaciju sa mikrokontrolerom preko SPI protokola i da na osnovu dobijene poruke pali ili gasi jedan od releja.



Slika 4.3 Konceptijska šema prekidačke mreže

4.3 Uređaji korišćeni u ispitivanju

Uređaji korišćeni u ispitivanju obuhvataju pomoću personalnog računara upravljive mjerno-akvizicione instrumente, uređaje za napajanje, uređaje za programiranje i uređaje za RF

primopredaju. Ovaj skup uređaja je predviđen da bude proširiv na sve one vrste uređaja koje neko buduće ispitivanje bude zahtjevalo.

4.3.1 Mjerno-akviziciona oprema

Mjerno-akviziciona oprema, pored mogućnosti da mjeri potrebne veličine, mora zadovoljavati sledeća dva ključna kriterijuma:

- a) Digitalna upravljivost
- b) Garantovana preciznost mjerenja

Imajući ova dva zahtjeva u vidu odlučeno je da bude upotrebljen digitalno upravljivi osciloskop. Većina digitalno upravljivih osciloskopa posjeduje širok dijapazon mogućnosti mjerenja parametara napona sa zadovoljavajućom preciznošću.

4.3.2 Uređaji za napajanje

Potrebe ispitivanja u ovom radu su takve da je neophodno ispitivanoj jedinici dovoditi napone reda 1V sa strujama reda desetine mA. Iste struje je neophodno i mjeriti. Ove uslove zadovoljava digitalno upravljiv laboratorijski naponski izvor.

4.3.3 Programator

Za programiranje mikrokontrolera na IJ uzima se programator koji proizvođač nudi za datu seriju mikrokontrolera.

4.3.4 RF primopredajnik

Za prijem radio frekvencijskih poruka sa IJ koristi se RF primopredajnik sa atestiranom prijemnom antenom i provjereno dobrih karakteristika.

4.4 Personalni računar sa aplikacijom za upravljanje izvođenjem ispitivanja

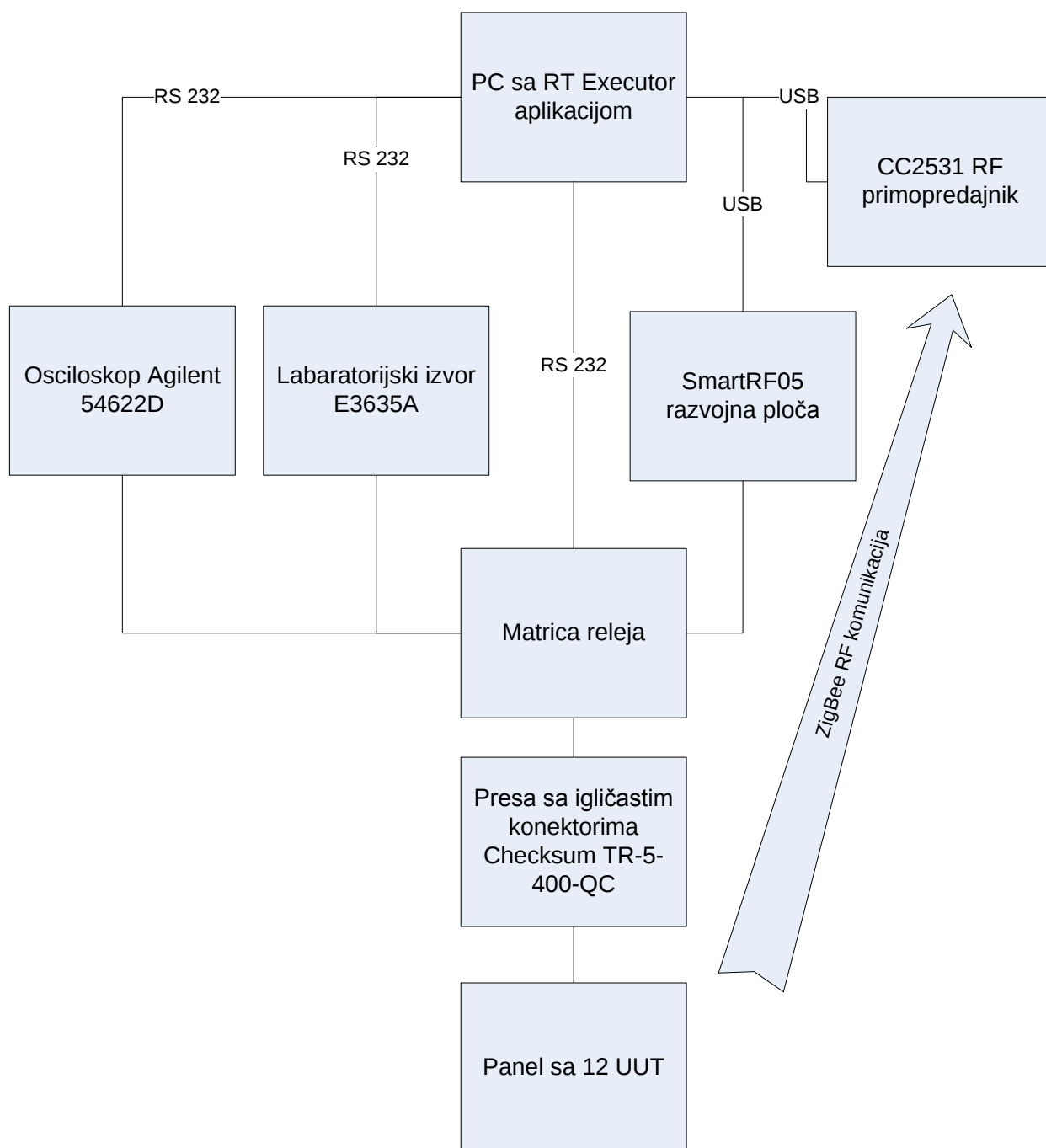
Za upravljanje svim ovim digitalno upravljivim uređajima koristi se personalni računar, sa aplikacijom za upravljanje izvođenjem ispitivanja. Personalni računar mora posjedovati fizičke mogućnosti komunikacije sa svim pomenutim uređajima dok aplikacija mora omogućiti kontrolu nad svim pomenutim digitalno upravljivim uređajima i omogućiti sekvencijalno izvođenje koraka ispitivanja.

5. Opis sistema za ispitivanje

Gore koncipirani sistem za ispitivanje je sastavljen od sledećih konkretnih elemenata:

- presa sa igličastim konektorima (eng. bed-of-nails) Checksum TR-5-400-QC
- računarom upravljiva ploča releja razvijena u firmi
- računarom upravljiv naponski izvor sa mjerenjem struje Agilent E3631A
- računarom upravljiv osciloskop Agilent 54622D
- Texas Instruments SmartRF05EB kao programator
- CC2531 USB RF primopredajnik
- bar kod čitač
- personalni računar sa aplikacijom za automatsko ispitivanje

Blok šema sistema za ispitivanje je data na Sl. 3. Presa fizički povezuje ispitivane jedinice, u ovom slučaju daljinske upravljače, sa uređajima sistema za ispitivanje. Povezivanje je ostvareno pomoću specijalnih sonda koje presa precizno pozicionira na ispitne tačke štampane ploče ispitivane jedinice. U cilju ubrzavanja procesa ispitivanja na presu se istovremeno postavlja više ispitnih jedinica, a pošto je moguće ispitivanje samo jedne ispitivane jedinice u jednom trenutku, neophodno je preusmjeriti ispitni signal na onu jedinicu koja se ispituje. To omogućava ploča sa relejima. Za napajanje ispitnih jedinica koristi se naponski izvor sa mjerenjem struje. U sistemu je prisutan programator koji se koristi za upisivanje softvera na mikrokontroler ispitivane jedinice, kao i RF primopredajnik za komunikaciju sa ispitnom jedinicom. Za očitavanje serijskog broja ispitivane jedinice prije početka ispitivanja koristi se bar kod čitač. Svi koraci ispitivanja su unaprijed definisani i njih automatski izvršava specijalizovana aplikacija koja se pokreće sa računara koji je dio sistema za ispitivanje.



Slika 5.1 Blok šema sistema za ispitivanje

5.1 Presa sa igličastim konektorima

Presa sa igličastim konektorima (Slika 5.2) je centralni uređaj sistema za ispitivanje. Ona posjeduje pouzdan mehanizam za precizno pozicioniranje sonde sa ugrađenom oprugom (engl. pogo pins) na ispitne tačke na štampanoj ploči ispitivane jedinice.



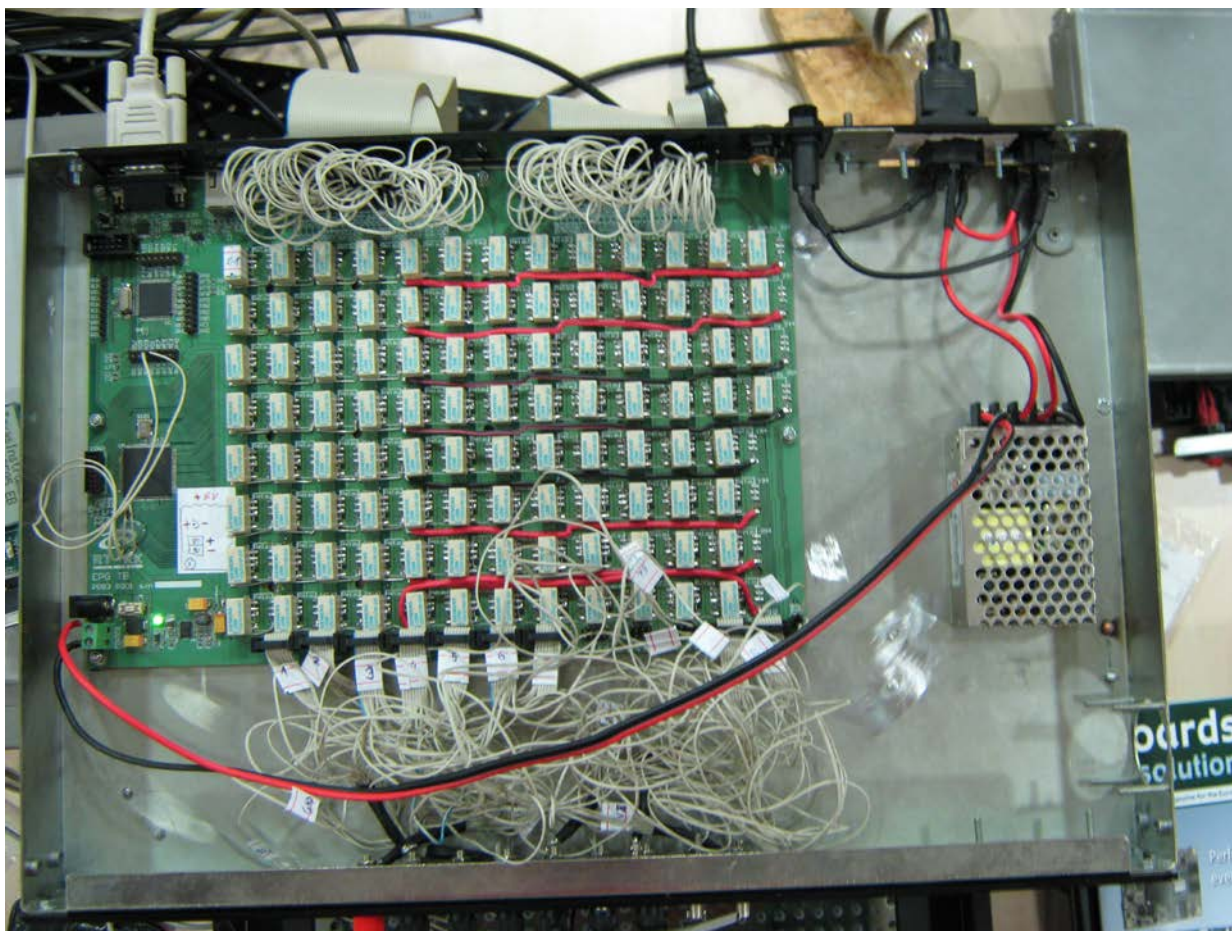
Slika 5.2 Checksum TR-5-400-QC presa

Postoje prese sa mehaničkim, elektro-mehaničkim, vakumskim i pneumatskim mehanizmom pričvršćivanja sonde, a ključni faktor za odabir mehanizma je ukupan broj testnih tačaka na ispitnim jedinicama koje su postavljene na presu. U ovom sistemu za ispitivanje koristi se mehanička presa Checksum TR-5-400-QC. Podržava ispitivanje pomoću najviše 400 sonde, a maksimalna površina štampane ploče koja može da se ispituje je 300 mm x 216 mm. Glavna prednost u odnosu na druge prese je mala cijena i mali troškovi prilagođavanja sistema za ispitivanje druge ispitivane jedinice. Koriste se sonde sa vrhom u obliku krune promjera 56 mila[4].

5.2 Računarom upravljiva ploča releja

Sve ispitivane jedinice koje se u jednom trenutku nalaze na presi su paralelno povezane na preostale uređaje sistema za ispitivanje. Kako u jednom trenutku moguće ispitivati smo jednu ispitnu jedinicu, neophodno je u sistem uvesti uređaj sa prekidačkim elementima koji omogućuju

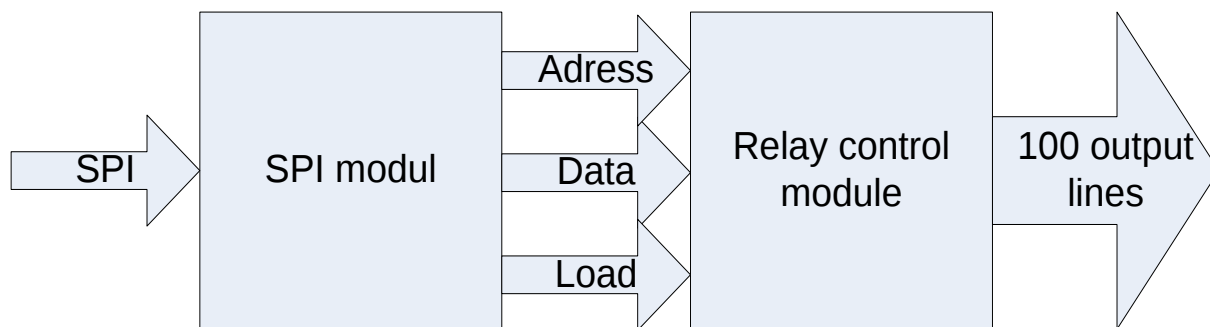
biranje pojedinačnih ispitnih jedinica. Za tu namjenu isprojektovana je ploča sa sto prekidačkih elemenata.



Slika 5.3 Slika ploče releja u kućištu

Iako to nije bilo potrebno za ispitivanja daljinskih upravljača, pri izboru prekidačkih elemenata bilo je neophodno obezbjediti da oni mogu da provode i visokonaponske naizmjenične signale, da bi se ploča sa reljima mogla iskoristiti za eventualno ispitivanje viskokonaponskih uređaja. Kao prekidački elementi uzeti su releji P2 V23079-D1001-B301 proizvođača Siemens. To su DPDT (engl. Double Pole Double Throw) releji koji mogu da izdrže maksimalnu konstantnu struju od 2A ili 5A u prekidačkom impulsnom režimu, te maksimalan napon od 250V u AC i 220V u DC režimu. Na ploči se nalazi mikrokontroler PIC18F97J60-X/PF koji matricom od 100 releja, zbog nedovoljnog broja pinova upravlja preko Xilinx CoolRunner-II XCR3512XL CPLD (engl. Complex programmable logic device) kola. Mikrokontroler upravlja CPLD kolom putem SPI (engl. Serial Peripheral Interface) sprege. Šema povezivanja releja sa mikrokontrolerom posredstvom CPLD kola prikazano je na Slici 4.3. Pločom je moguće upravljati pomoću računara putem RS 232 ili Ethernet sprege.

CPLD uređaj je isprogramiran da implementira dva modula: SPI (Serial Peripheral Interface) modul i Modul za pokretanje releja.



Slika 5.4 Principialna šema realizovane fizičke arhitekture CPLD uređaja

SPI modul ima zadatak da primi poruku napisanu po SPI standardu a poslatu od mikrokontrolera, da iz nje izdvoji adresu releja koji je potrebno uključiti (adresa u rasponu od 0 do 99), da izdvoji da li je relej sa datom adresom potrebno uključiti ili isključiti a zatim to proslijedi Modulu za kontrolu releja i da mu preko signala *Load* naredi da promijenjeno stanje prenese na izlazne linije i da ih drži do sledeće promijene signala *Load*.

Modul za kontrolu releja posjeduje registarske banke u kojima čuva stanje svojih 100 izlaza. Stanje izlaza na određenoj adresi (od 0 do 99) se mijenja na promijenu signala *Load*.

5.3 Računárom upravljiv naponski izvor

Za napajanje ispitnih jedinica koristi se Agilent E3631A naponski izvor (Slika 5.4) sa mogućnosti mjerenja struje. On posjeduje tri kanala:

Kanal 1: 0 to 6 V, 0 do 5 A

Kanal 2: 0 to +25 V, 0 do 1 A

Kanal 3: 0 to -25 V, 0 do 1 A.

Ovaj naponski izvor je računárom upravljiv putem GPIB (engl. General Purpose Interface Bus) ili RS-232 sprege, a programira se koristeći SCPI (engl. Standard Commands for Programmable Instruments) komande.

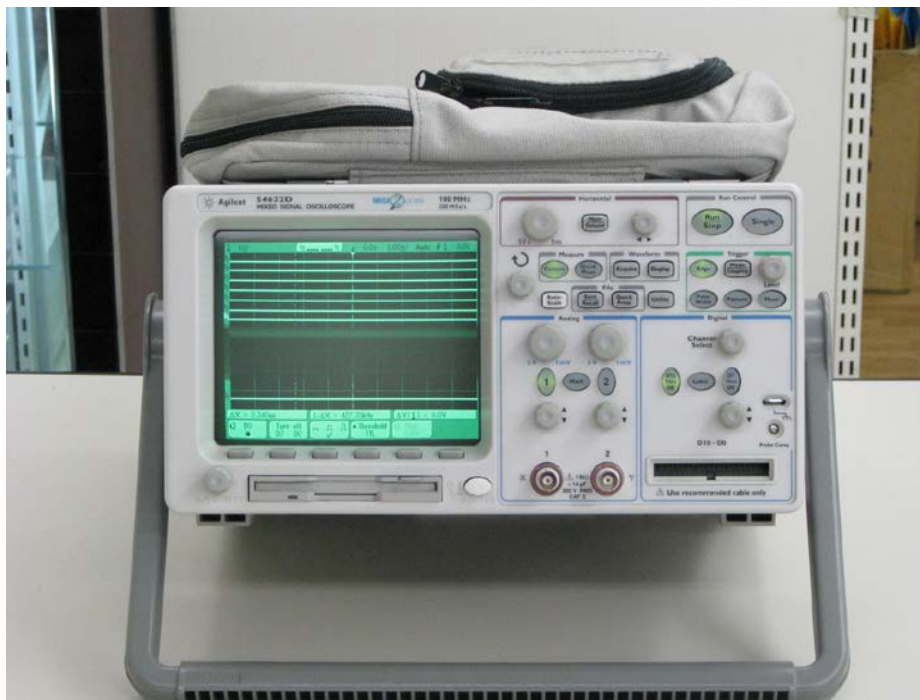


Slika 5.5 Laboratorijski naponski izvor Agilent E3631A

5.4 Računarom upravljiv osciloskop

Za ispitivanja napona na lokalnom stabilizatoru napona dalinskog upravljača koristi se dvokanalni osciloskop Agilent 54622D (Slika 5.5). Mjeri se srednja vrijednost signala, a radi što preciznijeg mjerenja potrebno je koristiti funkcije za skaliranje signala po vremenskoj i naponskoj osi. Ovaj osciloskop je računarom upravljiv putem GPIB (engl. General Purpose Interface Bus) ili RS-232 sprege.

Osciloskop omogućava mjerenja raznih parametara napona kao što su maksimalna, minimalna vrijednost, njihova razlika (Peak-to-peak), srednja vrijednost napona, efektivna vrijednost, frekvencija kao i snimanje talasnog oblika napona. Osciloskop u ispitivanju goremopenutog daljinca ima marginalnu ulogu, ali je jako bitan činilac kao faktor prilagodljivosti sistema drugim uređajima. Njegova sposobnost da, uz upotrebu odgovarajućih sondi, mjeri napone do 600V dozvoljava njegovu upotrebu kao i čitavog sistema u ispitivanju uređaja koji rade na mrežnom naponu. Zbog visoke unutrašnje otpornosti ($\sim 1\text{M}\Omega$) osciloskop veoma malo utiče na mjereni napon i dozvoljava mjerenja čija je preciznost iznad potreba funkcionalnog ispitivanja[6].



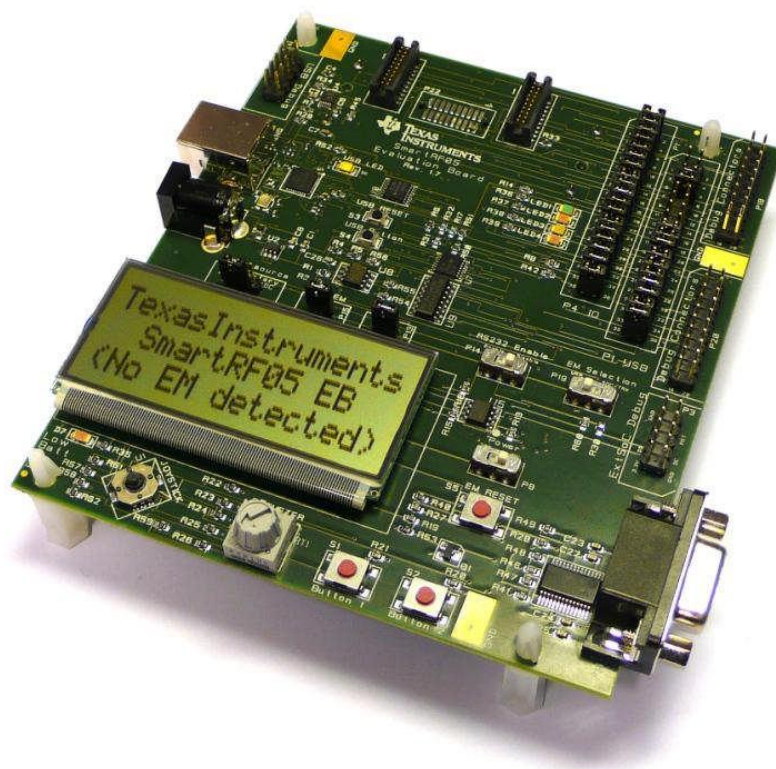
Slika 5.6 Osciloskop Agilent 54622D

5.5 Programator – Texas Instruments SmartRF05EB

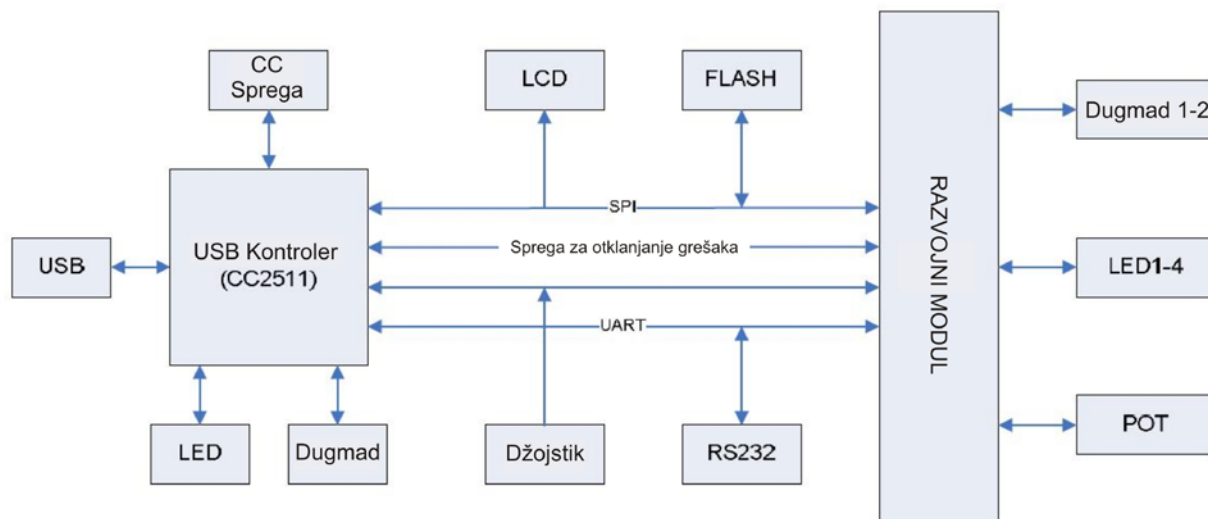
Za potrebe programiranja ispitnih jedinica koristi se Texas Instruments SmartRF 05 razvojna ploča (engl. Evaluation Board). SmartRF 05 razvojna ploča sadrži [7]:

- serijski LCD sa 3 x 16 karaktera
- USB 2.0 spregu
- UART (engl. Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)
- LED diode
- serijsku fleš memoriju
- potencijometar
- džojstik
- tasteri

Razvojna ploča je platforma za RF razvojni modul (engl. Evaluation Module) sa kojim zajedno čini razvojni sistem.

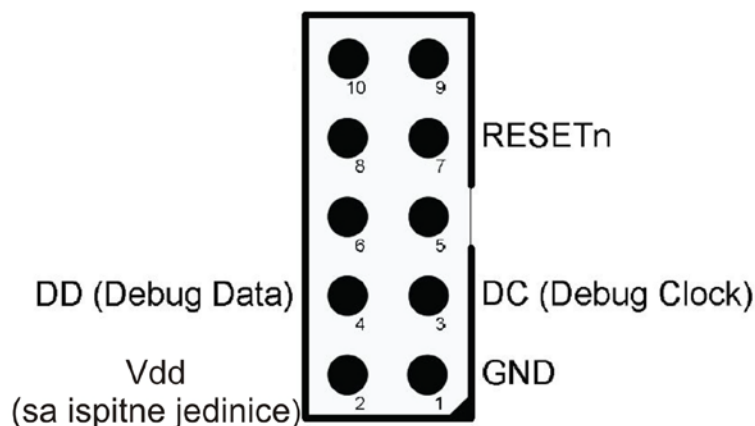


Slika 5.7 SmartRF05 Razvojna ploča



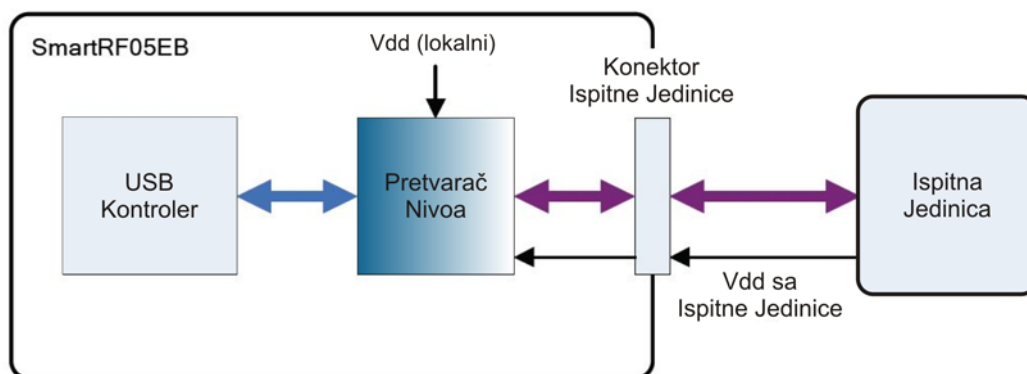
Slika 5.8 Arhitektura razvojne ploče SmartRF05

Ispitivane jedinice se programiraju preko konektora za otklanjanje grešaka i programiranje (P3 ExtSoc Debug). Pinovi ovog konektora su prikazani na Slici



Slika 5.9 SmartRF05EB: Raspored signala na konektoru za programiranje

Na SmartRF05 naponskoj ploči postoji pretvarač naponskog nivoa između unutrašnjih kola i konektora na koji se spaja ispitna jedinica. Da bi komunikacija između ploče i ispitivane jedinice ispravno funkcionisala, na pretvarač naponskog nivoa mora biti doveden napon napajanja ispitivane jedinice koju on koristi kao naponsku referencu za ostale signale (Slika. X). Naponski pretvarač omogućuje da ispitna jedinica bude napajana napnom koji se znatno razlikuje od 3.3V, napona napajanja SmartRF05 razvojne ploče.



Slika 5.10 Pretvarač nivoa signala konektora ispitivane jedinice

5.6 RF Primopredajnik

Za ispitivanje ispravnosti RF komunikacije ispitnih jedinica koristi se Texas Instruments CC2531 USB uređaj (Slika 5.10). Pored ispitivanja RF komunikacije, uređaj služi za prijem informacije o ispravnosti kapacitivnih senzora dodira ispitnih jedinica[8].

CC2531 RF primopredajnik je uređaj koji se preko USB sprege priključuje na računar. Podržava ZigBee/IEEE 802.15.4 standard bežične komunikacije. Ima ugrađene dvije LED diode, dva tastera i konektor koji joj omogućava da se poveže na druge uređaje.



Slika 5.11 CC2531 USB RF primopredajnik



Slika 5.12 Izgled kompletnog sistema za ispitivanje

6. Programska podrška za kontrolu uređaja

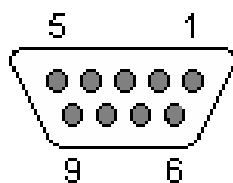
6.1 RS-232

Osciloskop i laboratorijski izvor proizvođača Agilent posjeduju konektore sa 9 iglica specificirane u RS-232 (Recommended Standard - 232) protokolu.

RS-232 je serijski jednostrani (jedna žica provodi signal koji ima visoke i niske nivoe u odnosu na drugu žicu koja je na potencijalu zemlje) binarni protokol za razmjenu signala podataka i kontrolnih signala. Standard definiše električne karakteristike signala i vremena, značenje signala, kao i fizička veličina i raspored pojedinih iglica konektora[9].



Slika 6.1 Deveto-pinski žensko-ženski konektor korošćen za povezivanje osciloskopa i računara



Slika 6.2 Izgled konektora specificiranog u RS-232 standardu

Pin	Ime	RS232	Pravac	Opis
1	(D)CD	CF	←	(Data) Carrier Detect
2	RXD	BB	←	Receive Data
3	TXD	BA	→	Transmit Data
4	DTR	CD	→	Data Terminal Ready
5	GND	AB	—	System Ground
6	DSR	CC	←	Data Set Ready
7	RTS	CA	→	Request to Send
8	CTS	CB	←	Clear to Send
9	RI	CE	←	Ring Indicator

Tabela 6.1 RS-232: Imena signala koje provodi svaka od provodnih parica

Kod RS-232 protokola podaci se šalju kao serije bitova. Standard podržava i sinhroni i asinhroni način prenosa. U ovom slučaju koristi se sinhroni način. RS-232 predstavlja jedan od najstarijih standarda još uvijek u upotrebi. Njegova primjena je počela još kod elektromehaničkih teleprintera 1962 godine. Danas je uglavnom potisnut od strane drugih serijskih protokola (USB i Firewire) ali i dalje zbog svoje jednostavnosti pronalazi primjenu u industrijskim i eksperimentalnim uređajima.

6.2 IEEE488.2

Sintaksa komandi koje prihvataju ovi Agilent-ovi uređaji je u skladu sa IEEE488.2 standardnim digitalnim sprežnim sistemom za programibilnu instrumentaciju[10].

IEEE-488.2 je specifikacija digitalne serijske magistrale kratkog dometa. Kreiran je za upotrebu na automatskoj opremi za ispitivanje krajem 1960-ih, i još uvek je u upotrebi za tu svrhu. IEEE-488 je napravljen kao HP-IB (Hewlett-Packard Interface Bus – Hjuitt-Pakardova spojna magistrala), a obično se naziva GPIB (General Purpose Interface Bus - Spojna magistrala opšte namjene). Pod IEEE-488.2 se podrazumijeva više standarda između ostalog standard o izgledu konektora i standard o sintaksi komandnih poruka Standard Commands for Programmable Instruments (SCPI). U ovom slučaju se primjenjuje standard o sintaksi komandnih poruka, dok je oblik konektora i fizički sloj primopredaje u skladu sa RS -232 standardom.

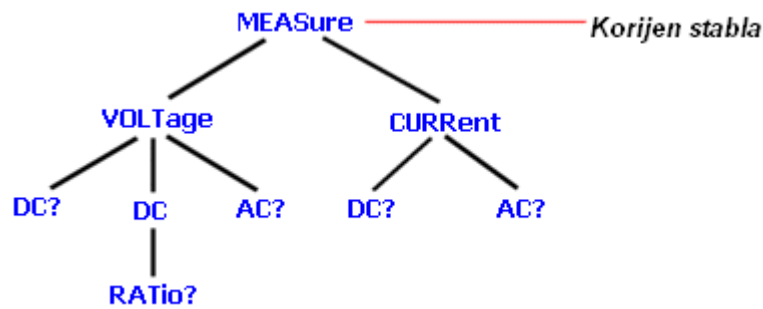
SCPI standard određuje zajedničku sintaksu, komandnu strukturu, i formate podataka, koji se koristiti sa svim instrumentima. Komande u SCPI standardu su napisane u ljudima čitljivom ASCII (American Standard Code for Information Interchange) formatu. Zbog toga komande mogu biti slatke relativno lako iz bilo kog programskog jezika uključujući i C, C++, Basic i slično. Dodatno, SCPI standard je podržan od strane aplikacija za ispitivanje (eng. - Test Application Software) kakav je LabView i HP Vee [4]

Iako je razvijen za GPIB, SCPI standard ne definiše fizički nivo implementacije. SCPI se danas koristi za komunikaciju preko RS-232, USB, LAN i drugih fizičkih nivoa.

Standard uvodi generičke komande (kao što su CONFIGure i MEASure), koje se mogu koristiti sa bilo kojim instrumentom. Ove komande su grupisane u podsisteme.

Komande su ASCII tekstualni nizovi, koji su poslani na instrument preko fizičkog sloja (u ovom slučaju RS-232). Komande su niz od jedne ili više ključnih reči, od kojih mnoge zahtijevaju parametre. U specifikaciji, ključne reči su napisane kao npr. CONFIGure: cela ključna reč može da se koristi, ili može biti skraćena samo na dio sa velikim slovima. Odgovori na upit komande se obično ASCII stringovi. Međutim, za velike nizove podatak podataka, mogu da se koriste binarni formati.

SCPI komande imaju strukturu stabla [11]. Srodne komande su grupisane u grane stabla. Svaka ključna reč u komandi naziva čvor. Prvi čvor se zove korijen.



Slika 6.3 Izgled stabla komandi po SCPI standardi

Komande se formiraju prolazeći stablo nadolje i koristeći (:) kao razdvojn timer. Npr. sljedeće su ispravne komande iz gornjeg stabla:

MEASure:VOLTage:DC?

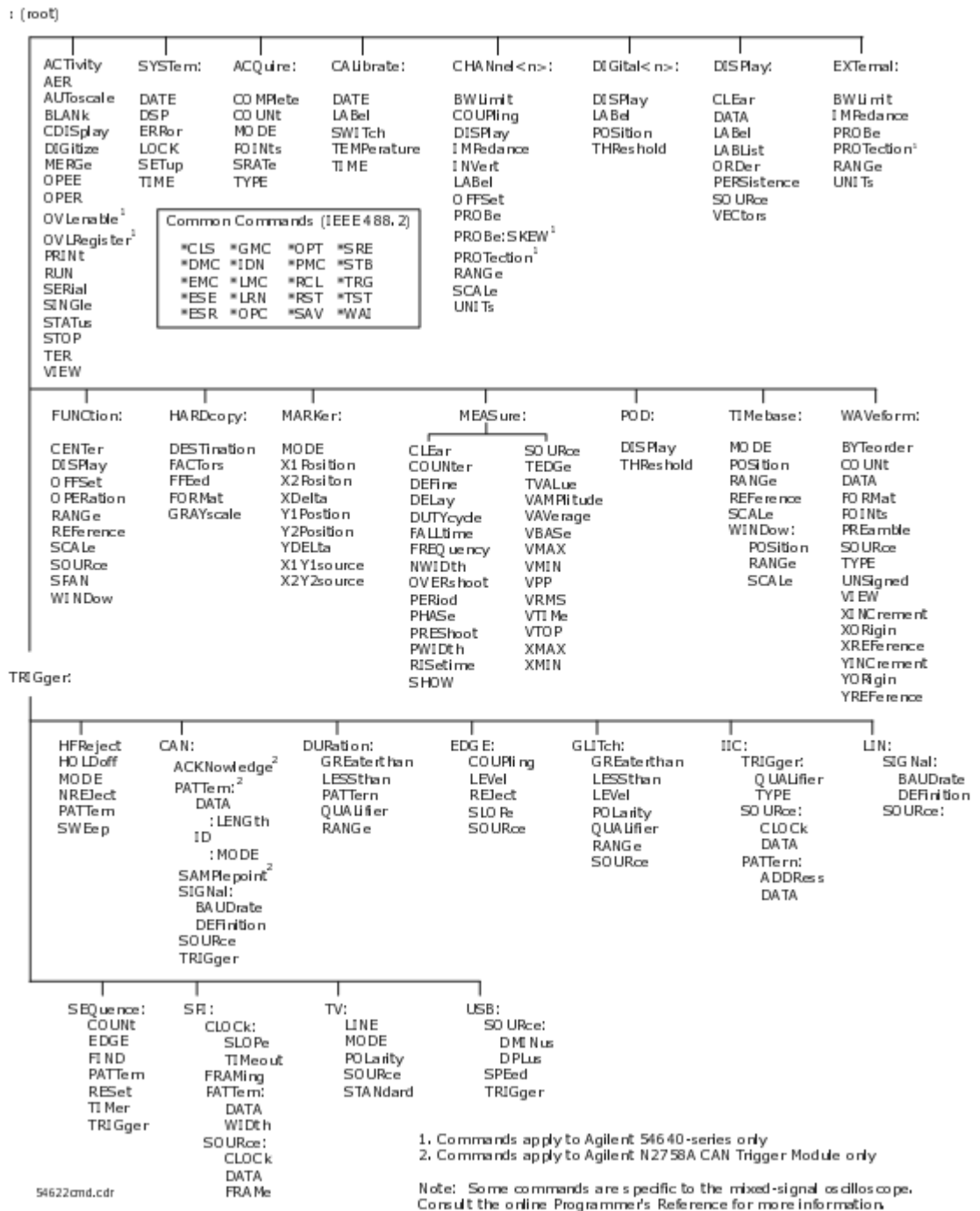
MEASure:VOLTage:DC:RATio?

MEASure:CURRent:AC?

Pored ovog načina formiranja komande, postoje i komande koje su predviđene da budu podržane od svih uređaja koji podliježu pod IEEE 488.2 standard i njihova sintaksa počinje znakom (*). Npr *RST, komanda koja svaki IEEE 488.2 uređaj vraća na početno stanje.

Slika 6.4 prikazuje stablo komandi uređaja Agilent 54622D koje je vrlo razgranato i pokazuje veliki broj namjena za koje se ovaj uređaj može koristiti. Ova činjenica veoma usložnjava izradu programske podrške za ovaj uređaj.

Stablo komandi uređaja Agilent E3635A – laboratorijskog izvora je po strukturi vrlo slično prethodno prikazanom stablu komandi uređaja Agilent 54622D, samo je znatno manje razgranato.



Slika 6.4 Kompletno stablo komandi uređaja Agilent 54622D [10]

6.3 Programska podrška za matricu releja

Na matrici releja je od strane autora ovog rada realizovan jednostavan komunikacioni protokol baziran na RS-232 protokolu kao fizičkom nivou realizacije. Od strane PIC18F97J60 mikrokontrolera na matrici releja, je podržana serijska komunikacija na za to predviđenim pinovima. Serijska komunikacija je podržana i od strane kompajlera za ovu seriju mikrokontrolera - Mikroelektroniknog MikroC Pro kompajlera, a u sklopu biblioteke UART

(universal asynchronous receiver/transmitter). Ova biblioteka sadrži funkcije za inicijalizaciju, čekanje na prispjeće saobraćaja, čitanje sa ulaza i pisanje na isti.

Osnovna funkcija mikrokontrolera PIC18F97J60 jeste da održava komunikaciju sa računarom i da CPLD uređaju proslijeđuje komande koje releje treba uključiti a koje isključiti. Zbog toga je i sintaksa komunikacije vrlo jednostavna.

U slučaju da se želi uključiti neki od 100 releja šalje se komanda RLONXX pri čemu je XX broj releja , od 00 do 99.

U slučaju da se želi isključiti neki od 100 releja šalje se komanda RLOFXX pri čemu je XX broj releja , od 00 do 99.

Postoji i vrlo korisna komanda za isključivanje svih releja: ALOF.

Sve ove komande se završavaju ASCII karakterom 0x0D, Carriage return.

Sve ostale kombinacije karaktera koje stignu preko RS-232 protokola smatraju se nevažecim.

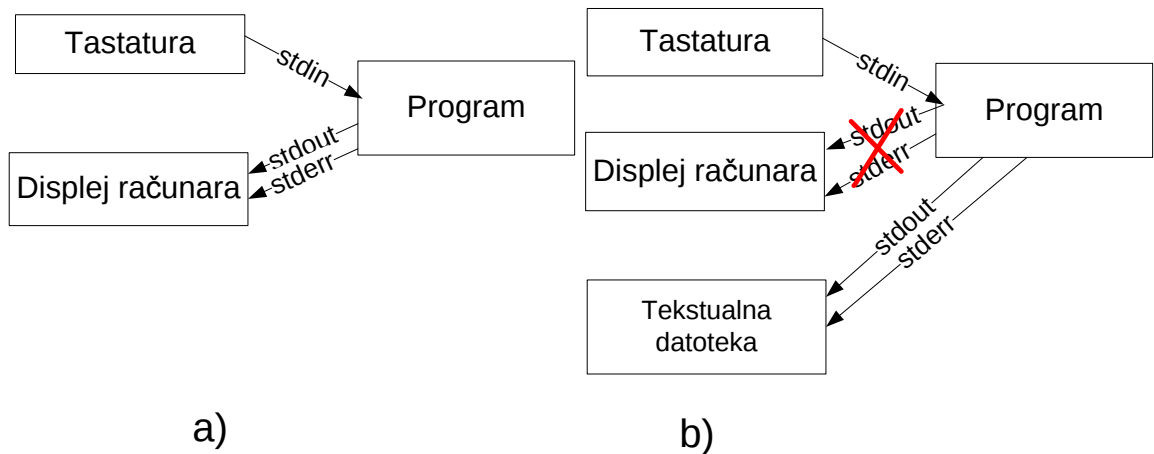
6.4 Programska podrška za Texas Instruments SmartRF05EB kao programator

Texas Instruments SmartRF05 dolazi sa programskom podrškom za Windows. U programsko paketu se između ostalog nalazi i konzolna aplikacija za programiranje uređaja SmartRFProgConsole.exe. Pozivanjem ove aplikacije iz konzole sa odgovarajućim parametrima moguće je unijeti kod u Flash memoriju mikrokontrolera na IJ, takođe je moguće upisati određenu MAC (Media Access Control) adresu u memoriju mikrokontrolera. MAC adresa predstavlja jedinstveni identifikator mrežnog interfejsa koji je dodijeljen od strane proizvođača. Upisivanje MAC adrese je neophodno za izvođenje testa radio komunikacije. Mikrokontroler na IJ po završenom programiranju šalje poruku adresiranu na MAC adresu RF primopredajnika, tako da ni jedan drugi uređaj u dometu antene na IJ ne može protumačiti da je poruka njemu poslata.

SmartRFProgConsole.exe aplikacija je projektovana da podatke o izvršenju procesa programiranja i eventualnim greškama vraća u konzolu. Te podatke je potrebno upisati u određenu tekstualnu datoteku zarad analiziranja i čuvanja. Da bi se postigao pomenuti zadatak korišćene su mogućnosti Microsoft Visual Studio aplikacije, u programskom jeziku C#. U ovom programskom paketu postoji klasa [StreamWriter](#) koja je namjenjena baratanju standardnim tokovima podataka.

U Windows operativnom sistemu postoje tri standardna toka :

- 1) standardni ulazni tok (standard input - stdin); standardno tastatura
- 2) standardni izlazni tok (standard output - stdout); standardno displej računara
- 3) standardni tok za greške (standard error - stderr); standardno displej računara



Slika 6.5 Usmjerenost standardnih tokova prije a) i poslije b) preusmjeravanja klasom StreamWriter

Na gore pomenuti način je formirana aplikacija koja se poziva od strane RT EXECUTOR aplikacije, izvršava programiranje IJ putem SmartRF05 razvojne ploče, smiješta poruke o uspješnosti programiranja u odgovarajuću tekstualnu datoteku za dalju obradu.

6.5 Programska podrška za radio frekvencijski primopredajnik sa CC2531 mikrokontrolerom

RF primopredajnik sa CC2531 mikrokontrolerom posjeduje sopstvenu programsku podršku koja je dostupna na internet sajtu proizvođača Texas Instruments. Po instaliranju programske podrške primopredajnik se prijavljuje kao serijski COM port. Dalje se primopredajnik tretira kao običan serijski ulaz, i obrađuje se kao takav. Poruke koje primopredajnik prima od IJ-e su nizovi od 33 bajta, kao što je prikazano na primjeru:

COM3 traffic: Length 33: FE 1C 44 82 00 00 00 00 03 0A 25 0A 01 00 4B 12 00 FE 02 24 14 00 48 00 EE 08 09 00 00 02 7F FE 4C

Obojeni segmenti predstavljaju korisne informacije koje treba izdvojiti i dalje procesuirati. Prvi segment koji se sastoji od 8 bajtova predstavlja MAC adresu IJ, drugi segment predstavlja kvalitet konekcije, a treći segment, dužine dva bajta, predstavlja ispravnost tastera izrađenih u

Qtouch tehnologiji. Svaki od 16 bita trećeg segmenta predstavlja ispravnost jednog od 16 tastera koje mikrokontroler na IJ sam provjerava posle završenog programiranja.

Ovi segmenti bivaju sačuvani i procesuirani u daljoj obradi podataka pomoću RT EXECUTOR aplikacije.

7. Programska podrška za ispitivanje

RT Executor je u ovom radu korišćen kao programska podrška za automatizaciju ispitivanja.

RT Executor je organizovan tako da se moduli neophodni za nove potrebe automatskog ispitivanja jednostavno implementiraju. To se postiže dodavanjem **.dll** datoteke novog modula u instalacioni direktorijum, [12]. Realizacija modula u RT Executor je namjenjena komunikaciji korisnika sa raznim uređajima koji se koriste pri ispitivaju.

Automatizacija ispitivanja predstavlja upotrebu samostalno izvršavanog programa za kontrolu izvršavanja ispitivanja. Uglavnom se zasniva na automatizovanju već postojećih ručnih (manuelnih) testova. Da bi se koraci ispitivanja prvo napisali a zatim i automatizovali neophodno je prethodno osmisliti njihov cilj i preduslove koje treba ispuniti da bi se ciljno mjerenje odnosno ispitivanje obavilo. Prije samog pisanja testova neophodno je teorijski izučiti ispitivani uređaj kako bi se testovima pokrile sve funkcionalnosti.

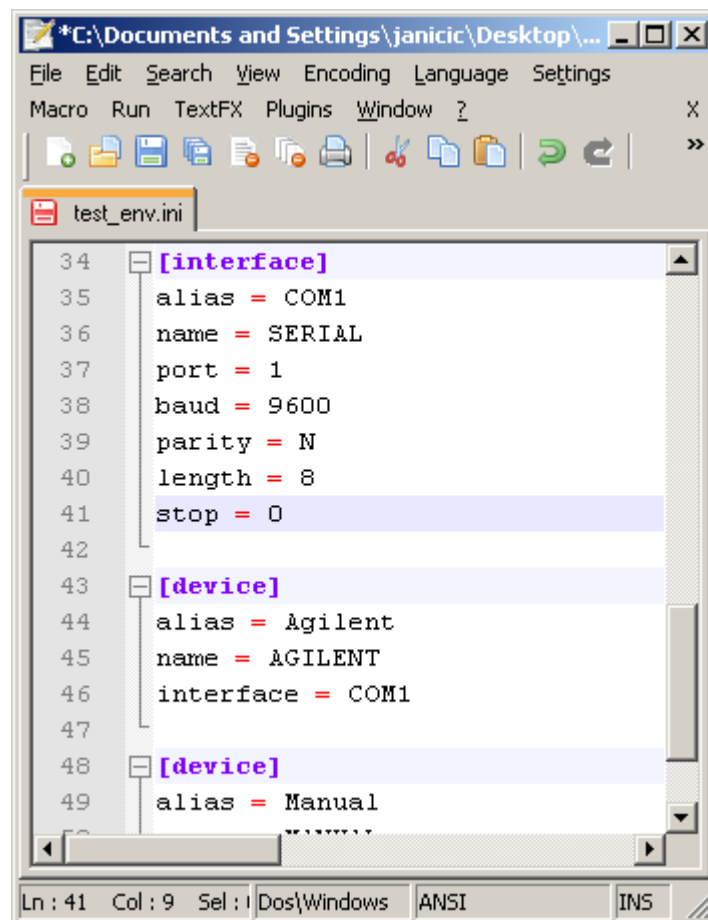
7.1 Opis programske podrške za ispitivanje

RT Executor podržava dva tipa ispitivanja :

- Polu-automatsko : osoba koja obavlja ispitivanje sama odlučuje o tome da li je ispitivanje uspješno ili
- Automatsko : Rezultati ispitivanja se automatski upoređuju sa očekivanim vrijednostima. Nakon izvršavanja takvog ispitivanja obezbjeđena je programska podrška koja će na osnovu rezultata odrediti da li je ispitivanje izvršeno uspješno ili ne (takvo ispitivanje je opisano u ovom radu).

Velika prednost RT Executor-a ogleda se u mogućnosti puštanja velikog broja koraka ispitivanja. Ukoliko je pri prolasku kroz ispitivanje neki korak neuspješno izvršen, moguće je ponoviti njegovo izvršavanje i utvrditi da li je prvobitni izvještaj o neuspješnom izvršavanju tog koraka ispitivanja validan.

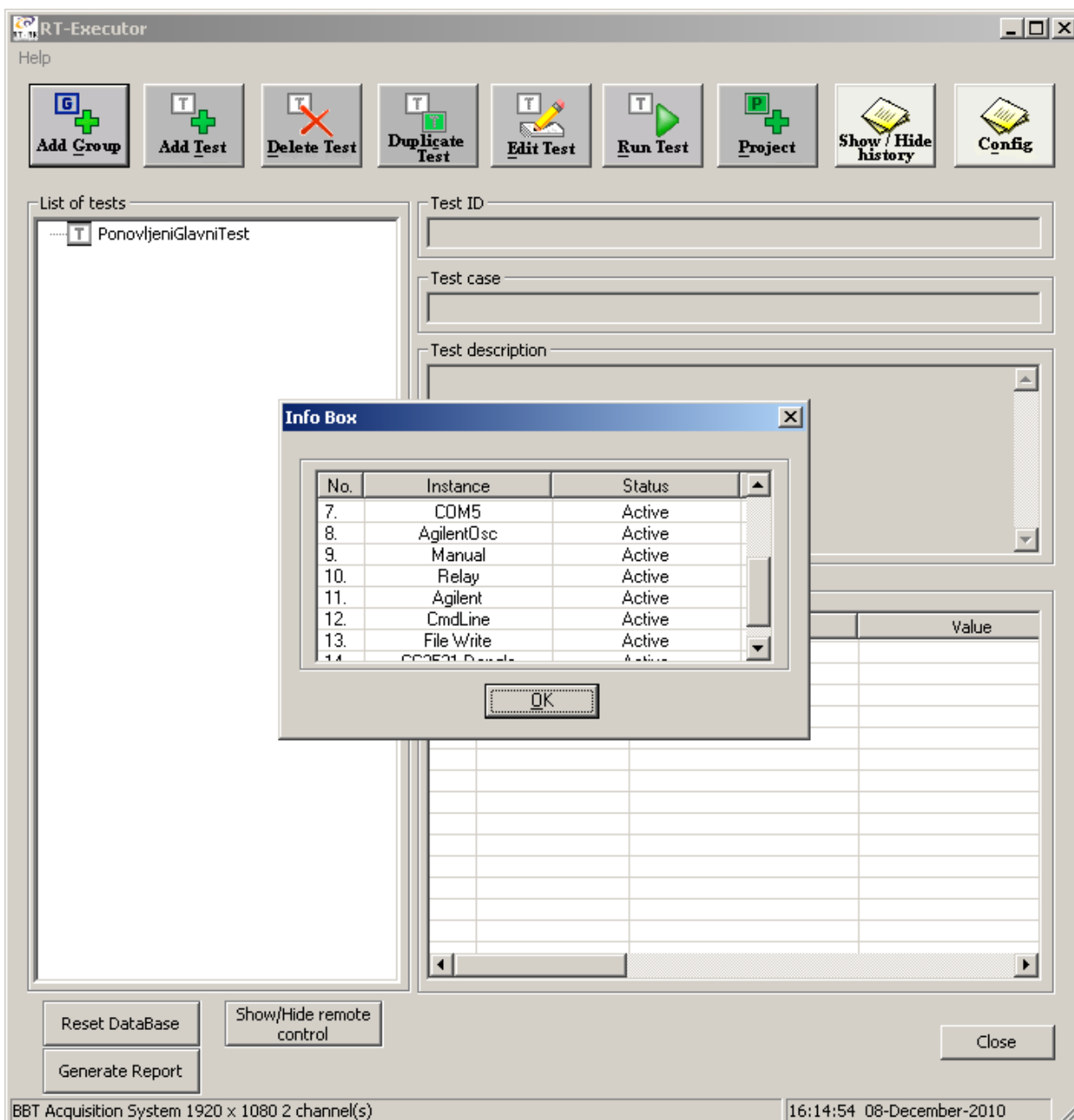
Samo pokretanje programa zahteva prethodnu konfiguraciju, odnosno postavljanje početnih (eng. default) vrijednosti. **Test_env.ini** predstavlja datoteku iz koje se, pri uključivanju RT Executor aplikacije, iščitavaju početne vrijednosti za podešavanje okruženja za ispitivanje. U njoj se nalaze definicije uređaja sa inicijalnim vrijednostima, globalne promenljive koje se koriste prilikom ispitivanja, kao i više instanci jednog uređaja, ukoliko postoji potreba za tim.



Slika 7.1 Izgled dijela test_env.ini datoteke

Nakon otvaranja RT Executor aplikacije pojavljuje se prozor koji sadrži spisak uređaja sa kojima se može rukovati pri ispitivanju. U zavisnosti od toga da li je sa uređajem uspostavljena komunikacija, svaki uređaj može imati dva stanja : aktivan ili neaktivan. U slučaju da je neki uređaj neaktivan RT Executor nastavlja sa izvršavanjem koraka ispitivanja, a koraci u kojima se koristi taj uređaj se preskaču.

Zatim se otvara konfiguracioni prozor u kome se postavljaju putanje do datoteke u kojoj se nalaze testovi, do test_env.ini datoteke i do datoteka u kojima se čuvaju rezultati testova, ako je ispitivanje potpuno automatsko, [12].



Slika 7.2 Slika pokrenutog RT Executor-a sa prisutnim device-ovima

7.2 Opis funkcija realizovanih u svakom uređaju realizovanom u RT Executoru-u

Svaka realizacija programske podrške za uređaj u RT Executor-u podrazumjeva sljedeće procedure:

- Init
- Open
- Read
- Write

- Control
- Close

Svaka procedura implementira određeni deo funkcionalnosti uređaja tako da se može koristiti u RT Executor sistemu.

Funkcija **Init** se izvršava po jednom za svaki uređaj prilikom pokretanja RT Executor aplikacije. Ovo je inicijalna funkcija, koja podešava konstantne parametre uređaja, tako da bi taj dio vezan za uređaj trebao biti realizovan u ovoj funkciji.

Funkcija **Open** sadrži programske instrukcije za otvaranje konekcija koje su neophodne za ispravan rad uređaja.

Funkcija **Close** se poziva kada uređaj više nije potreban tako da se u ovom delu programa zatvaraju uspostavljene konekcije i oslobađaju resursi.

Funkcija **Read** se koristi za očitavanje trenutnih vrijednosti promjenljive datog uređaja.

Funkcija **Write** se koristi za postavljanje vrijednosti promjenljivih i izvršavanje komandi.

Funkcija **Control** se koristi za kontrolisanje uređaja. Poziva se u slučaju manuelnog stopiranja testa i nakon izvršenja svih testova.

Programska podrška (u obliku .dll datoteke) za sve navedene uređaje sadrže sve gore navedene procedure. Kod uređaja kakva je matrica releja koristi se uglavnom funkcija **Write**, jer se samo šalju komande, ne očekuju se povratni podaci. Kod osciloskopa, na primjer, koriste se podjednako funkcije **Read** i **Write** jer se od osciloskopa traži da postavi parametre mjernog okruženja ali i da vrati rezultate mjerenja.

7.3 Zadavanje koraka u ispitivanju

Upravljanje od strane korisnika u okviru programske podrške za ispitivanje zadaje se preko datoteke sa ekstenzijom **.tst**.

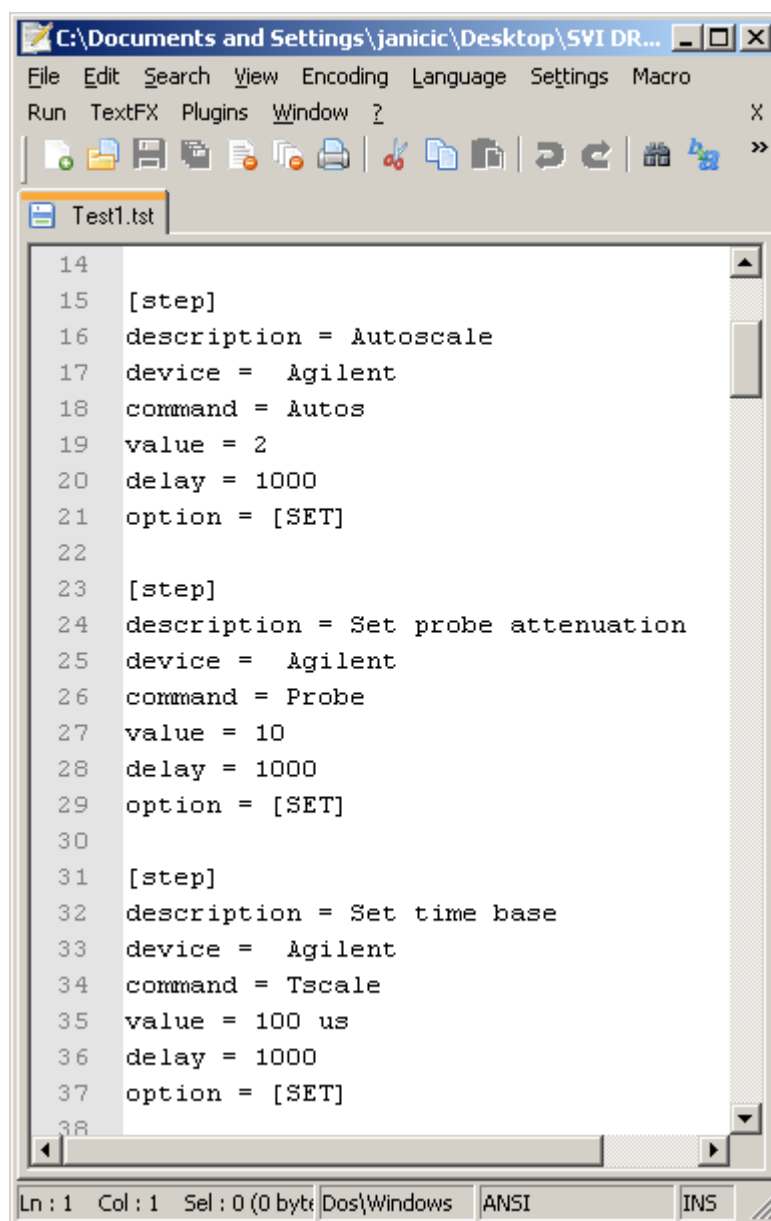
Datoteka *.tst sastoji se iz koraka (eng. Step). U svakom koraku zadati su sljedeći parametri :

- Ime modula koji izvršava operaciju tog koraka
- Ime promjenljive modula nad kojom se obavlja operacija
- Vrijednost (ukoliko se zadaje vrijednost promenljivoj iz modula)
- Vrijeme koje treba da protekne između ovog i narednog koraka
- Komanda [SET] ili [GET] koja se postavlja u zavisnosti od toga da li je potrebno zadati vrijednost navedenoj promjenljivoj ili je očitati

Iz izgleda jednog koraka datoteke koraka za ispitivanje može se zaključiti da se svaki korak odnosi na određeni modul RT Executor-a i parametri koji se obrađuju u tom koraku su zapravo promjenljive tog modula, koji će se u nastavku rada nazivati **uređaj**.

Svaki uređaj RT Executor-a može imati dva stanja : aktivan i neaktivan. Postoje dva načina kako se može provjeriti aktivnost uređaja

- Prilikom pokretanja RT Executor aplikacije pojavljuje se prozor sa spiskom uređaja, na kom uz ime svakog uređaja stoji informacija da li je aktivan ili ne.
- U RT Executor aplikaciji postoji taster *Config* kojim se otvara prozor *Configuration*. On takođe sadrži informacije o statusu svih uređaja, kao i informaciju o putanjama i mogućnost podešavanja putanja, koje je potrebno na ispravan način podesiti da bi se RT Executor aplikacija inicijalizovala sa željenim parametrima.



The screenshot shows a text editor window titled "C:\Documents and Settings\janicic\Desktop\SVI DR...". The window has a menu bar with "File", "Edit", "Search", "View", "Encoding", "Language", "Settings", "Macro", "Run", "TextFX", "Plugins", "Window", and "?". Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main text area contains a code segment for testing steps, with line numbers 14 through 38. The code is as follows:

```
14  
15 [step]  
16 description = Autoscale  
17 device = Agilent  
18 command = Autos  
19 value = 2  
20 delay = 1000  
21 option = [SET]  
22  
23 [step]  
24 description = Set probe attenuation  
25 device = Agilent  
26 command = Probe  
27 value = 10  
28 delay = 1000  
29 option = [SET]  
30  
31 [step]  
32 description = Set time base  
33 device = Agilent  
34 command = Tscale  
35 value = 100 us  
36 delay = 1000  
37 option = [SET]  
38
```

At the bottom of the window, there is a status bar showing "Ln : 1 Col : 1 Sel : 0 (0 byte)" and "Dos\Windows ANSI".

Slika 7.3 Segment koda sa koracima ispitivanja

7.4 Realizacija upravljačke sprege za uređaje

Upravljačke datoteke sa ekstenzijom .dll imaju strukturu objašnjenu u poglavlju 7.2. Unutar svake od navedenih funkcija se realizuje kod koji prevodi komande zadate u datoteci sa koracima ispitivanja (ekstenzija .tst) u nizove ASCII (**American Standard Code for Information Interchange**) karaktera, koje uređaji projektovani po SCPI standardu mogu da prepoznaju i izvrše. Na primjer sledeći segment kod koji od osciloskopa traži da izmjeri maksimalnu vrijednost napona:

```
[step]
description =
device = Agilent
command = MaxV
delay = 2000
option = [GET]
```

potrebno je, da bi bio izvršen od strane osciloskopa, transponovati u sledeći niz karaktera:

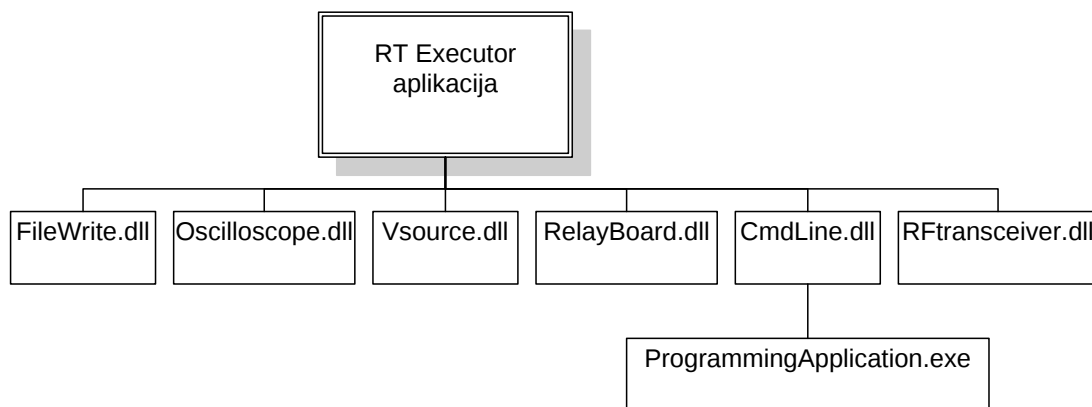
```
:MEASURE:VMAX?\n
```

Navedeni niz karaktera potrebno je poslati osciloskopu, a zatim rezultat mjerenja koji osciloskop šalje nazad računaru sačivati.

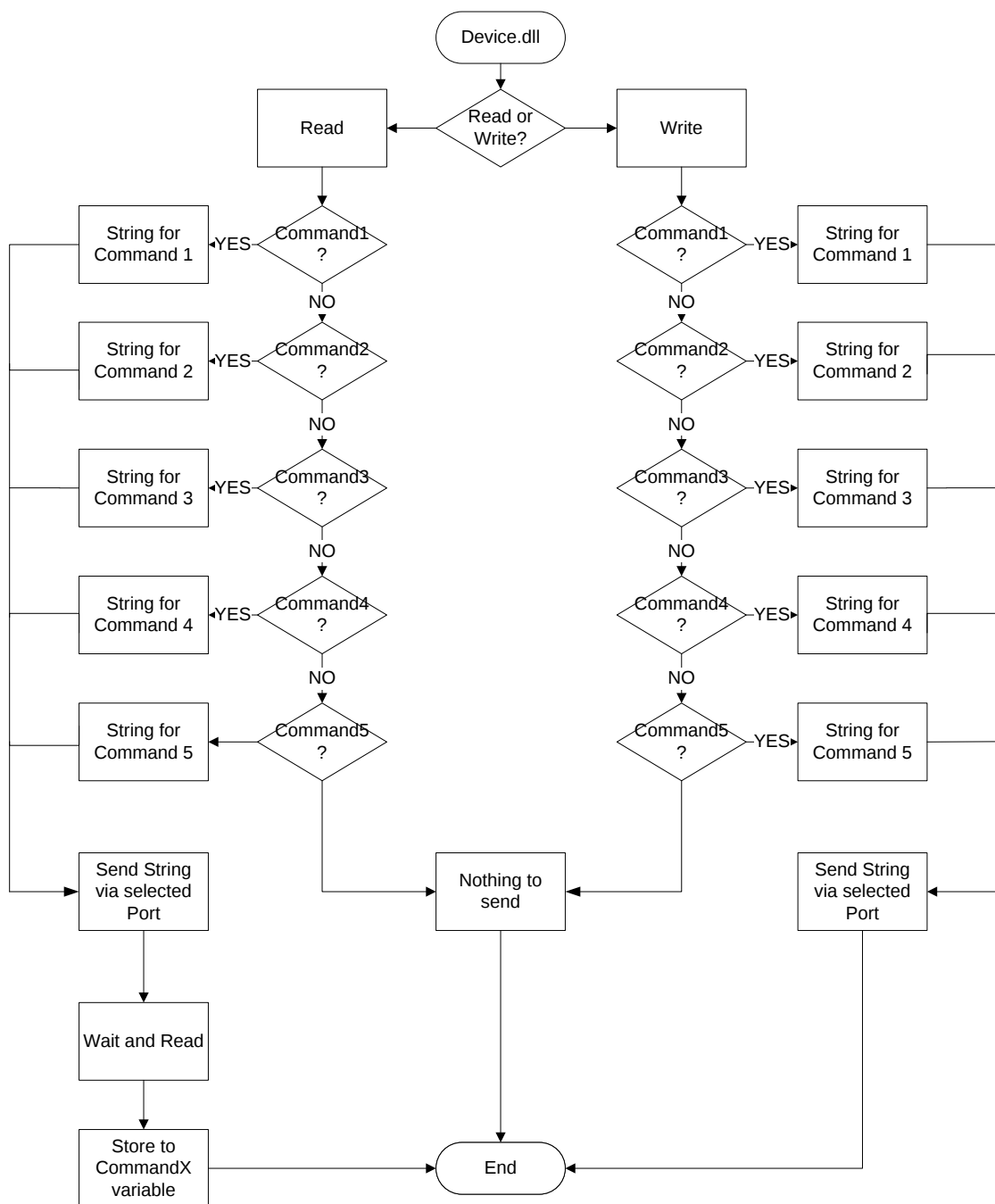
Ovaj primjer demonstrira funkciju programske podrške. Polje **device** govori koju datoteku iz programske podrške je potrebno pozvati. Po pozivanju datoteke, zavisno od toga da li je u polju **option** postavljeno **[GET]** ili **[SET]** pozivaju se funkcije **Read** ili **Write**, respektivno.

Po pozivanju funkcije vrši se obrada komande upisane u polju **command**. Komandom se upisuje ili izčitava istoimena unutrašnja promijenljiva a pri tom seu toku izvršenja komande može a ne mora vršiti komunikacija sa fizičkim uređajem.

Zbog veoma složenog stabla komandi za uređaj Agilent 54622D prikazanom na Slici 6.4 prilikom izrade programske podrške za ovaj uređaj implementirane su funkcionalnosti za koje je procijenjeno da su od interesa za ovaj projekat. Implementacija čitavog stabla komandi u programsku podršku bi rezultovala glomaznim kodom i nepotrebnim gubitkom vremena razvoja.



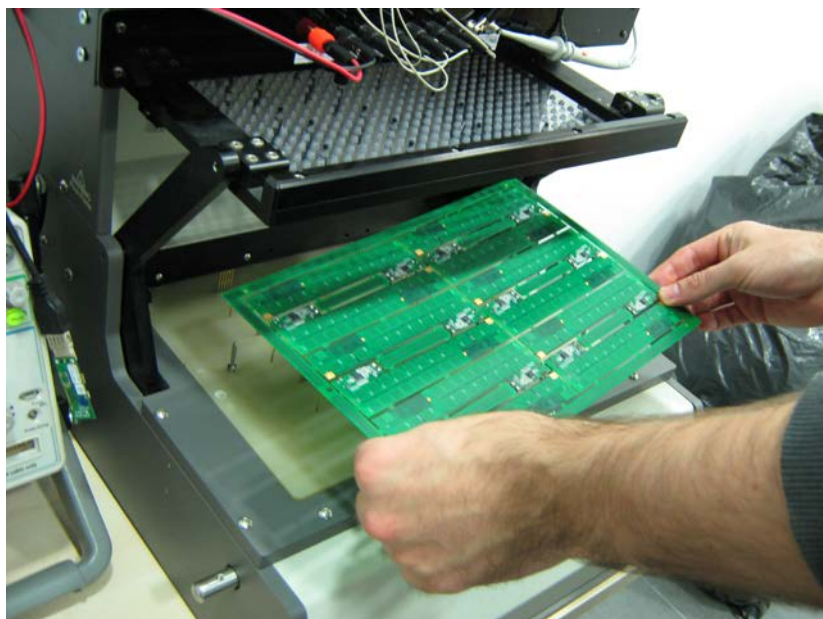
Slika 7.4 Hijerarhijski prikaz RT Executor aplikacije sa .dll datotekama korišćenim u ispitivanju



Slika 7.5 Uprošćeni algoritam funkcionisanja drajverskih datoteka

8. Proces ispitivanja

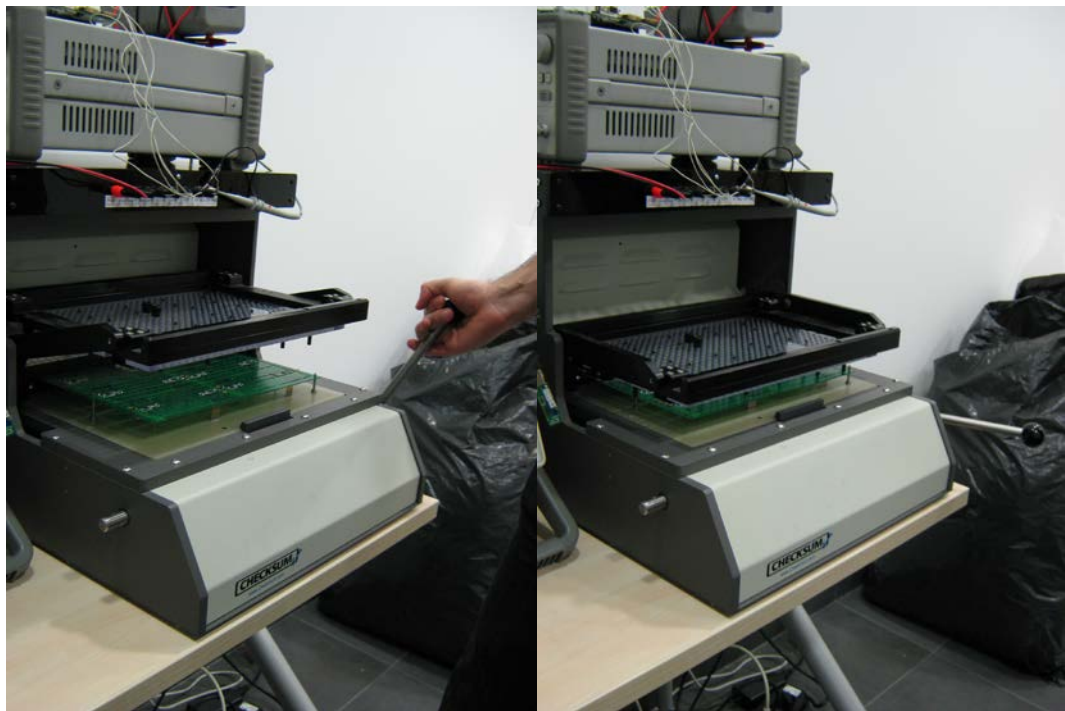
Proces ispitivanja počinje postavljanjem panela koji sadrži 12 PCB daljinskog upravljača za RF primopredjnikom na sonde pričvrćene na presi, kao što je prikazano na slici.



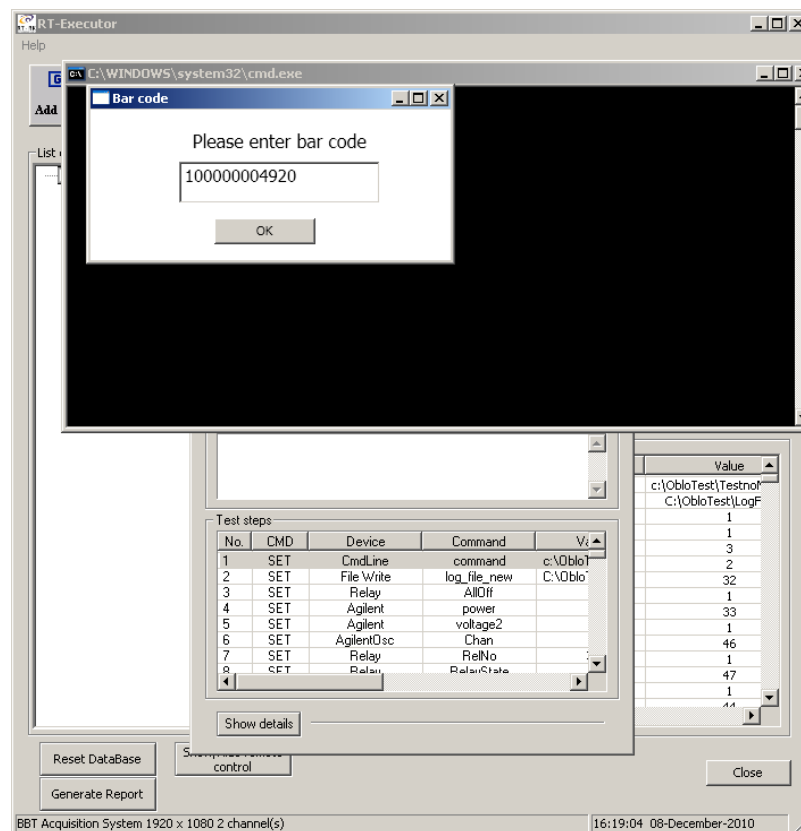
Slika 8.1 Postavljanje panela na presu sa igličastim konektorima

Spuštanjem poluge prese dolazi do kontakta vrhova sonde sa tačkama za ispitivanje. Preko ovih galvanskih kontakata se vrši dalje ispitivanje ispitivane jedinice.

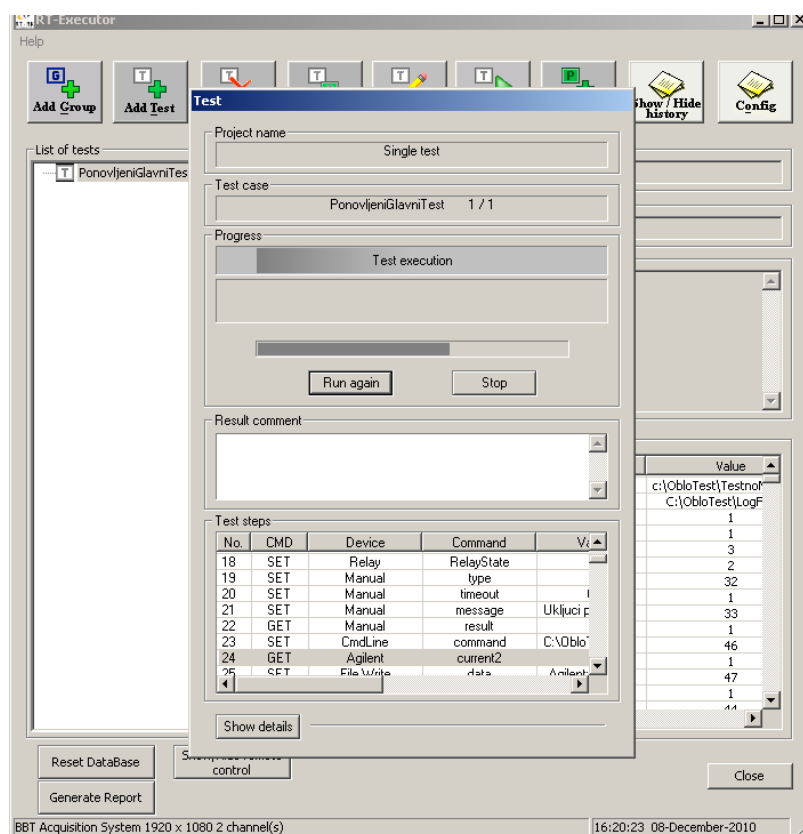
Po završenom postavljanju IJ na presu, pokreće se automatski dio ispitivanja. Na početku automatskog dijela se inicijalizuju svi uređaji. Potom se pokreće lista koraka ispitivanja u datoteci tipa *.tst. Kao što je već pomenuto ova datoteka se sastoji od koraka (eng. Step) od kojih svaki od njih se odnosi na jedan uređaj i pri tom postavlja neku promjenljivu uređaja ili je izčitava.



Slika 8.2 Spuštanje poluge prese

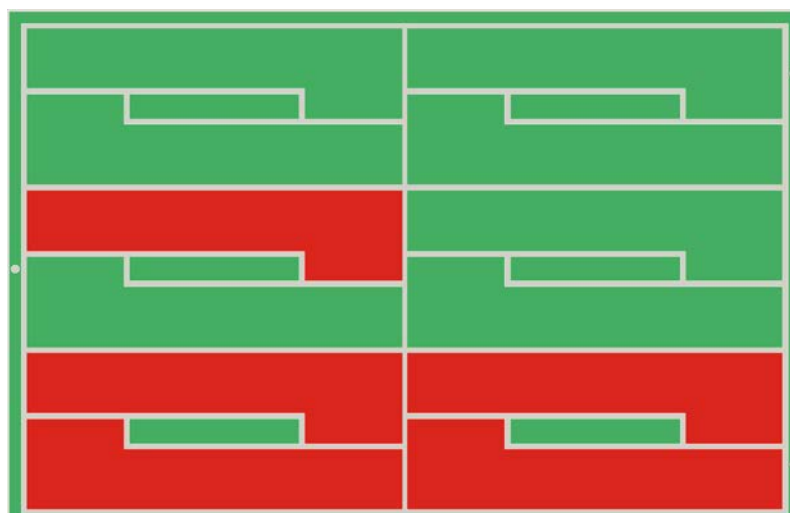


Slika 8.3 Početak ispitivanja – unos bar koda panela



Slika 8.4 Tok ispitivanja

Po pokretanju ispitivanja prvo je potrebno unijeti bar kod panela; pomoću bar kod čitača ili unosenjem putem tastature (Slika 8.3). Potom se, u sledećim koracima automatskog ispitivanja, pokreće podešavanje uređaja za rad. Displej osciloskopa se podešava da bude na ekranu jasno vidljiv signal koji je potrebno mjeriti. Izlaz laboratorijskog naponski izvora se podešava na 3 V, koliko je potrebno za napajanje ispitivane jedinice. Potom se uključuje 6 releja koji zatvaraju provodni put od opreme sistema sa jedne strane ka prvoj ispitivanoj jedinici na drugoj strani.



Slika 8.5 Vizuelni prikaz rezultata ispitivanja

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2		No.	I	1V8	Firmware Upload	Address	LinkQ	Data			
3		1	0.004223	1.83024	Erase, program and verify (CRC) OK	00.12.4B.00.01.0A.2B.12	70	0000		PASSED	
4		2	0.004145	1.82963	Erase, program and verify (CRC) OK	00.12.4B.00.01.0A.2B.1B	6A	0000		PASSED	
5		3	0.003498	2.82838	Erase, program and verify (CRC) OK	00.12.4B.00.01.1B.85.48	75	0000		PASSED	
6		4	0.003437	2.83298	Erase, program and verify (CRC) OK	00.12.4B.00.01.12.0D.67	6A	0000		PASSED	
7		5	0.000783	1.65317	ERROR!					FAILED	
8		6	0.003416	2.83493	Erase, program and verify (CRC) OK	00.12.4B.00.01.12.14.3F	5C	0000		PASSED	
9		7	0.003453	2.82722	Erase, program and verify (CRC) OK	00.12.4B.00.01.1B.84.F3		0000		PASSED	
10		8	0.003544	2.83122	Erase, program and verify (CRC) OK	00.12.4B.00.01.1B.83.A3	70	0000		PASSED	
11		9	0.009412	1.83343	ERROR!					FAILED	
12		10	0.007838	1.82606	ERROR!					FAILED	
13		11	0.004127	1.80813	Erase, program and verify (CRC) OK					FAILED	
14		12	0.004181	1.8313	Erase, program and verify (CRC) OK					FAILED	
15											
16			DATE:	12/08/2010							
17			START TIME:	5:53:04 PM							
18			END TIME:	5:59:30 PM							
19											

Slika 8.6 Rezultati ispitivanja prikazani u alatu Microsoft Office Excel 2003

Podaci koje prikuplja RT Executor bivaju pohranjeni u tekstualnoj datoteci, razdvojeni unaprijed određenim separatorom. U ovom slučaju je za separator su izabrana dva karaktera „;“ da bi se smanjila mogućnost da se u tekstu poruke od nekog od uređaja pojavi isti separator, što bi dovelo do pogrešnog sortiranja podataka u kasnijoj obradi od strane Microsoft Office Excel 2003 alata.

Na Slici 8.5 se vidi vizuelni prikaz koji se generiše po završenom ispitivanju i na kome su crvenom bojom označeni neispravne ispitivane jedinice. Za detaljnije podatke je neophodno otvoriti datoteku za Microsoft Office Excel 2003 sa bar kodom kao imenom. Jedna takva datoteka se vidi na Slici 8.6. Na ovoj slici je moguće vidjeti razloge zašto nijesu prošli ispitivanje svakaod crvenom bojom markiranih ispitivanih jedinica. IJ sa rednim brojem 5 je pala na ispitivanju struje koju vuče iz laboratorijskog naponskog izvora (Kolona C) kao i na unošenju koda u programsku memoriju kontrolera (Kolona E) i na uspostavljanju RF komunikacije (Kolona H). Slično je za ispitivane jedinica sa rednim brojevima od 9 do 12. Svi koraci ispitivanja koji su rezultovali greškom ili vrijednošću izvan opsega su markirani crvenom bojom.

Slika 8.7 prikazuje tekstualnu datoteku koju makro napisan u jeziku Basic koristi kao izvor generisanja datoteke prikazane na Slici. 8.6. Ovu datoteku generiše RT Executor.

8.1 Rezultati ispitivanja

Ovdje prikazani sistem za automatsko ispitivanje je isproban na jednom panelu na kome su postojale ispitivane jedinice sa nedostacima. Sistem je uspio da detektuje sve IJ sa nedostacima i da lice koje vrši ispitivanje obavjesti o tom preko jednostavnog vizuelnog prikaza (Slika 8.5).

Slika 8.6 prikazuje rezultate ispitivanja korišćenjem alata Microsoft Office Excel 2003. Iz priloženog se vidi da je IJ sa rednim brojem 5 pala na ispitivanju struje koju vuče iz naponskog

izvora, a pogledom na vrijednost te struje vidimo da je ona ispod donjeg praga. Ovo upućuje na neispravan rad mikrokontrolera TI CC2530 na IJ. Svi naredni koraci ispitivanja su takođe rezultovali neuspjehom za pomenutu IJ.

IJ sa rednim brojem 9 i 10 takođe nijesu prošle ispitivanje pri čemu kod njih nije uspio unos koda u programsku memoriju. Ovo takođe upućuje na neispravan rad mikrokontrolera TI CC2530, sa nešto različitim simptomima (struja koju uređaj vuče je u dozvoljenom opsegu).

IJ sa rednim brojem 11 i 12 su uspješno isprogramirane ali nijesu uspjele da pošalju poruku RF primopredajniku. Ovo može da ukaže na neispravnost antene na IJ ili na neispravnost mikrokontrolera Atmel AT42QT2160. Vizuelnim pregledom IJ utvrđeno je da nedostaju komponente koje omogućavaju komunikaciju između TI CC2530 i Atmel AT42QT2160 mikrokontrolera.

```

c:\ObloTest\LogFile.txt - Notepad++
File Edit Search View Format Language Settings Macro Run TextFX Plugins Window ?
LogFile.txt
1 0.003534,;2.829630,;
2 Texas Instruments SmartRF Flash Programmer v1.9.0
3 -----
4
5 3165: Modifying flash image with IEEE MAC addr...
6 3165: Erasing entire flash...
7 3165: Programming flash.....
8 3165: Verifying flash (pagewise CRC check).....
9 3165: Erase, program and verify (CRC) OK
10
11 ý,;00124B00010A2B12,;35,;0000,;0.004150,;1.828680,;
12 Texas Instruments SmartRF Flash Programmer v1.9.0
13 -----
14
15 3165: Modifying flash image with IEEE MAC addr...
16 3165: Erasing entire flash...
17 3165: Programming flash.....
18 3165: Verifying flash (pagewise CRC check).....
19 3165: Erase, program and verify (CRC) OK
20
21 ý,;00124B00010A2B1B,;21,;0000,;0.003478,;2.828980,;
22 Texas Instruments SmartRF Flash Programmer v1.9.0
23 -----
24
25 3165: Modifying flash image with IEEE MAC addr...
26 3165: Erasing entire flash...
27 3165: Programming flash.....
28 3165: Verifying flash (pagewise CRC check).....
29 3165: Erase, program and verify (CRC) OK
nb char : 5638 Ln : 11 Col : 52 Sel : 0 Dos\Windows ANSI INS

```

Slika 8.7 Izgled tekstualne datoteke sa “sirovim” podacima ispitivanja

9. Zaključak

Za razvijanje ovdje predstavljenog sistema automatskog ispitivanja pošlo se od prese sa iglicama (Bed of nails) koja preko svojih iglica omogućava jednostavan način električnog povezivanja ispitivane jedinice IJ i opreme za ispitivanje. Oprema za ispitivanje se sastoji od Osciloskopa Agilent 54622D, laboratorijskog izvora Agilent E3635, specijalno razvijene matrice releja, Texas instruments SmartRF05 razvojnog sistema kao programatora, i USB uređaja kao radio primopredajnika. Ova oprema je izabrana da zadovolji potrebe ispitivanja PCB-a daljinskog upravljača sa radio frekvencijskim (RF) primopredajnikom.

Za sve gorepomenute uređaje izrađene su upravljačke biblioteke u okviru programske podrške za ispitivanje RT Executor koji je korišćen kao aplikacija za ispitivanje. Pri realizaciji upravljačkih datoteka vodilo se računa o jednostavnosti i razumljivosti komandi u automatskim testovima, kako bi pisanje (izrada) samog ispitivanja zahtevala što manje vremena.

Korak u ispitivanju (poglavlje)	Ručno ispitivanje	Automatsko ispitivanje
3.1.1	30 sec	2 sec
3.1.2	30 sec	2 sec
3.1.3	2-3 min	10 sec
3.1.4	1-2 min	4-5 sec
3.1.5	1 min	-
Ukupno	Oko 5 min	Oko 20 sec

Tabela 9.1 Trajanje pojedinih koraka u ručnom i automatsko ispitivanju

U Tabeli 9.1 je demonstrirana vremenska ušteda u ispitivanju jednog PCB-a daljinskog upravljača koja se postiže automatskim ispitivanjem nasuprot manuelnom ispitivanju. Prostim

računom se zaključuje da je automatizovanim pristupom moguće ispitati oko 1000 jedinica dnevno od strane jednog lica jednom relativno lakom i nezahtjevnom radnom procedurom.

Realizovani sistem za automatsko ispitivanje je zadovoljio sve postavljene zahtjeve i omogućava vremenski efikasno ispitivanje navedenog uređaja. Sistem je realizovan od gotovih segmenata i njegova ukupna vrijenost je daleko ispod vrijednosti brendiranih sistema sličnih mogućnosti. Takođe, sistem je modularan i moguće je relativno lako dodavati nove mjerne uređaje. Uz manje adaptacije u vidu promjene rasporeda igličastih konektora na fiksaturi i dodavanja dodatnih ploča releja sistem se može prilagoditi širokoj paleti štampanih elektronskih ploča.

U izradi ovog master rada bilo je neophodno izraditi rešenja u sledećim programskim paketima:

- Mikroelektronika MikroC Pro za PIC mikrokontrolere
- Microsoft Visual C++
- Microsoft Visual C#

Takođe je bilo neophodno proučiti način funkcionisanja raznih aplikacija i uređaja (RT executor, osciloskop, laboratorijski izvor, ploča releja i uređaji na njoj (mikrokontroler i CPLD uređaj), SmartRF05 razvojna ploča, RF primopredajnik).

9.1 Pravci daljeg razvoja

Postoji više ideja za unapređenje ovdje prikazanog sistema. Prva ideja je povećanje broja ploča sa relejima što znači povećanje broja prekidača između ispitivane strane i strane koja vrši ispitivanje. Tim unapređenjem bi se povećao broj potencijalni tačaka ispitivanja kao i broj mogućih uređaja za ispitivanje. U planu je i prilagođavanje sistema štampanim elektronskim pločama energetske elektronike. To će zahtijevati prilagođavanje provodnih puteva i prekidača većim strujama.

Za kraj treba reći da je izrađeni sistem visoko modularan i vrlo prilagodljiv i da je moguće dodavanjem novih mjernih uređaja, uređaja za pobuđivanje, komunikacionih i uređaja za programiranje adaptirati sistem širokoj paleti štampanih elektronskih ploča (PCB).

10. Literatura

- [1] Stephen F. Scheiber: Building a Successful Board-Test Strategy,
- [2] Clyde F. Coombs, Jr : PRINTED CIRCUITS HANDBOOK , 2008
- [3] Tim Williams: The Circuit Designer's Companion Second edition , 2005
- [4] Model TR-5-400-QC Mechanical-Advantage Fixture System Instruction manual, CheckSum LLC, 2010
- [5] Agilent 363XA-Series Programmable DC Power Supplies Datasheet, Agilent Technologies, 2004
- [6] Agilent 54621A\22A\24A\41A\42A Oscilloscopes and Agilent 54621D\22D\41D\42D Mixed-Signal Oscilloscopes Users Guide, Agilent Technologies, 2000
- [7] SmartRF05 Evaluation Board User's Guide, Texas instruments Incorporated, 2010
- [8] CC2531 USB Hardware Users Guide
- [9] Wikipedia, the free encyclopedia, <http://www.wikipedia.org/>
- [10] Programmer's Guide for Agilent 54621A/22A/24A/41A/42A Oscilloscopes and Agilent 54621D/22D/41D/42D Mixed-Signal Oscilloscopes, Agilent Technologies, 2000-2002
- [11] http://www.jpacsoft.com/scpi_commands.htm
- [12] Nikola Teslic, Vukota Pekovic, Miodrag Temerinac, Uwe Strohbeck "On the Effectivnees of TV System Validation Based on Black Box Testing Technique," MicronasNIT, Novi Sad Institute of Information Technology Fruskogorska 11, SRB-21000 Novi Sad, Serbia