

## SPEEDLAB – LABORATORIJA ZA ELEKTRONIKU NOVE GENERACIJE

Marko Dimitrijević, Miona Andrejević – Stošović  
Elektronski fakultet, Niš

**Sadržaj** – Razvoj elektronike, koji je naročito ekspanzivan poslednje dve decenije, dovodi do potrebe za permanentnim obrazovanjem i obukom. Sa druge strane, proces u oblasti prirodnih i tehničkih nauka, posebno u elektronici, nezamisliv je bez praktičnog, laboratorijskog rada. Obrazovanje je postala kritičan faktor za postizanje velike produktivnosti i kvaliteta proizvoda i usluga.

SpeedLab predstavlja novu e-learning platformu za proces obrazovanja u elektronici koja će pružiti mogućnost pristupa laboratoriji preko Interneta u cilju izvođenja konkretnih eksperimenata. Platforma će predstavljati infrastrukturu pomoću koje će biti moguće deliti laboratorijske resurse između laboratorija koje su geografski udaljene, pružajući mogućnost izvođenja eksperimenata korišćenjem instrumenata i opreme druge laboratorije. U poređenju sa postojećim konceptima, platforma će imati povećane performanse i mehanizme bezbednosti obezbeđene putem korisničkog servisa (User-management Platform – UMP) i izvršne platforme (Execution Platform – ExP).

### 1. UVOD

Virtuelna instrument je usvojeni termin koji obuhvata integraciju hardvera i softvera u procesima merenja, akvizicije, obrade i prezentacije dobijenih podataka.

Primena virtuelnih instrumenata ima rastući trend u tehnici i nauci zbog kompleksnosti inženjerskih poslova, potrebe za velikim brojem specijalizovanih i skupih instrumenata i softvera, potrebe za visokokvalifikovanim ljudima za rad sa tim instrumentima kao i organizovanja podele rada sa instrumentima i softverom. Koncept se može primeniti u procesu obrazovanja, u delu koji se odnosi na praktičan, laboratorijski rad. Virtuelni instrument je složen hardversko-sofverski sistem. Njegova funkcija je identična funkciji klasičnog instrumenta, razlika je prisutna u prezentaciji rezultata merenja.

Fizički, odnosno hardverska komponenta ovakvog sistema čini računar sa odgovarajućom mernom, akvizicionom i dodatnom opremom. Intenzivna ekspanzija personalnih računara je omogućila razvoj uređaja za akviziciju i obradu podataka sa odgovarajućim interfejsom za računar. Veliki broj klasičnih mernih uređaja takođe poseduje interfejs za povezivanje sa računarem. Ovi uređaji se mogu povezati eksterno preko sirijskog RS232/RS422/RS485 interfejsa, paralelnog interfejsa, ili preko brzih USB 1.1/2.0 i Ethernet interfejsa. Ethernet interfejs je naročito pogodan, jer pruža mogućnost povezivanja velikog broja različitih uređaja i računara u heterogenu mrežu. Komunikacija sa uređajima se realizuje preko standardnih OSI i TCP/IP modela. Ovakva realizacija osim skalabilnosti omogućava i povećanje distance između uređaja i korisnika. Ukoliko se kao infrastruktura koristi Internet, fizičke granice praktično i ne postoje.

Softversku komponentu sistema čine drajveri za rad sa uređajem i softver višeg nivoa za akviziciju i obradu podataka – aplikacija virtuelnog instrumenta. Često u literaturi termin virtuelni instrument predstavlja sinonim za aplikaciju virtuelnog instrumenta. Funkcija aplikacije je definisanje

signala koji se generišu, obrada podataka dobijenih akvizicijom i njihovo prezentovanje. Obrada podataka obuhvata različite funkcije kao što je analiza u vremenskom i frekvencijskom domenu, različita izračunavanja fizičkih veličina koja se posredno mere pretvaranjem u električne, itd. Aplikacije virtuelnih instrumenata mogu se realizovati kao *multithread* aplikacije, klijent/server ili *web* aplikacije, postoji i mogućnost njihovog pisanja u obliku sistemskog servisa. Omogućena je i jednostavna prezentacija i razmena podataka u obliku standardnih i široko rasprostranjenih formata.

Predstavljanje podataka je najčešće u grafičkom obliku, funkcijama i kontrolama grafičkog interfejsa koje svojim izgledom podsećaju na realne merne instrumente. Interfejs je interaktivan i ima dvosmernu funkciju: osim predstavljanja pruža mogućnost kontrole procesa merenja, definisanjem parametara signala koji se generišu (talasni oblik, amplituda, frekvencija, faza, modulacija,...) ili čak definisanjem topologije mernog kola primenom matrica prekidača.

Ponudeni su različiti razvojni alati i okruženja za realizaciju aplikacija virtuelnih instrumenata. Ovi alati mogu biti dodaci za već postojeća okruženja za razvoj softvera ili kao posebni alati za ovu namenu (LabVIEW). Posebni alati za razvoj aplikacija virtuelnih instrumenata omogućuju intuitivan i jednostavan razvoj bez potrebe za naprednim programerskim znanjem. Razvoj aplikacija je na taj način omogućen izvođaču merenja, omogućujući posebnu fleksibilnost. Virtuelni instrumenti realizovani na taj način mogu imati opštu namenu ili biti specijalizovani, namenjeni za konkretna merenja.

Pomenuti koncept primene virtuelnih instrumenata pruža mnogobrojne prednosti u odnosu na klasične metode merenja. Dodatna obrada podataka, povezivanje sa bazama podataka, izvođenje procesa merenja sa velike distance kroz *web* interfejs su samo neke mogućnosti. Najznačajnija prednost je vizuelizacija podataka. Mogućnost vizuelne analize i prezentacije podataka predstavlja najbrži put da se sagleda celokupna situacija, uoče problemi i pronađu odgovarajuća rešenja. Rečju, vizuelizacijom se uvećava preglednost i efikasnost.

Sve pomenute prednosti prirodno sugerišu primenu virtuelnih instrumenata u procesu učenja. Okruženje u kome se ovaj proces odvija je računarska infrastruktura, te ovakva edukativna metodologija predstavlja *e-learning*. U procesu učenja tehničkih i prirodnih nauka, neizbežan je eksperimentalni rad u cilju razumevanja teorije, tako da *e-learning* dugo nije pružao dovoljan kvalitet. Jedan od načina da se prevaziđe ovaj nedostatak je upotreba simulatora kao jezgra edukativnog softvera [1, 2]. Drugi pristup ovom problemu je realizacija računarom integrisane laboratorije [3, 4, 5]. Ovakav pristup objedinjuje dobre strane vizuelizacije i prednosti koje ima realan proces merenja.

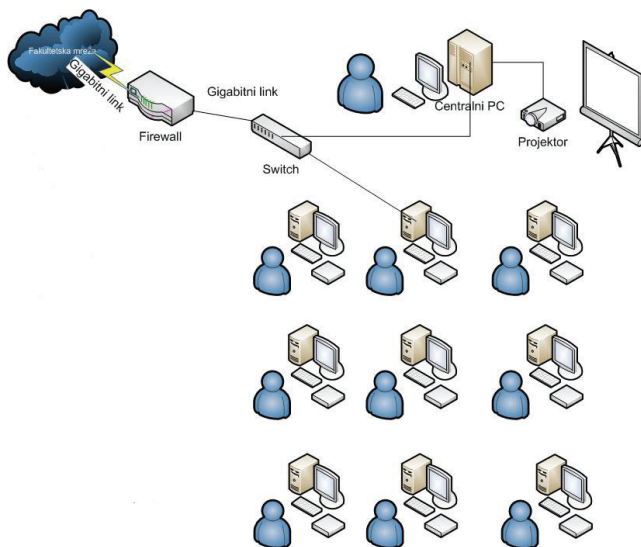
### 2. RAČUNAROM INTEGRISANA LABORATORIJA

Računarom integrisana laboratorija za elektroniku je prvenstveno edukativni sistem. Prednosti koncepta primene virtuelnih instrumenata su iskorišćene za izvođenje laboratorijskih

vežbi iz elektronike na osnovnim studijama. Osnovni cilj je maksimalno uprošćavanje procesa merenja i stavljanje u prvi plan rezultata merenja, odnosno zaključaka koji iz tih merenja proističu, dok je sama tehnika merenja stavljena u drugi plan. Pri tome je ostvaren kompromis između jednostavnosti merenja sa jedne, interakcije sa realnim fizičkim objektima koji se analiziraju – elektronskim komponentama i kolima, kao i njihove percepcije, sa druge strane. Ovo ujedno predstavlja i najznačajniju prednost u odnosu na rešenja sa primenom simulatora. Omogućen je i praktično neograničen broj varijacija merenja sa različitim tipovima komponenti, vrednostima elemenata kola i uslovima merenja, što je u slučaju simulacije teško ostvarljivo uglavnom zbog neadekvatnosti modela kada se radi o konkretnoj komponenti koja se meri.

Drugi cilj je zaštita kola, komponenti i instrumenata od nopreznog rukovanja. Odgovarajuće zaštitne mere su implementirane na softverskom nivou u okviru svakog pojedinačnog virtuelnog instrumenta. Akvizicione kartice imaju realizovanu zaštitu na hardverskom nivou.

Treći cilj je personalizacija i individualizacija. Virtuelni instrumenti omogućavaju i samostalni laboratorijski rad bez velike intervencije nastavnika ili demonstratora. Uloga asistenta je kontrola procesa merenja i laboratorijskog rada, kao i provera znanja i spremnosti studenata za laboratorijski rad.



Slika 1. Infrastruktura laboratorije

Računari na kojima se izvode vežbe su povezani u jedinstvenu mrežu. Mrežna infrastruktura omogućava centralizovanu administraciju, kontrolu izvođenja vežbi (identifikacija i autorizacija), testiranje pripremljenosti i evidenciju prisutnosti. U ovakvom okruženju je omogućen i koncept učenja na daljinu (Sl. 1).

Integrirana laboratorija obuhvata veliki broj instrumenata realizovanih upotrebom akvizicione kartice i odgovarajućeg softvera. Pored osnovnih mernih instrumenata kao što su ampermetara i voltmetar, realizovani su virtuelni instrumenti koji imaju karakter trase karakteristika poluprovodničkih i nelinearnih komponenti, trase prenosnih karakteristika kola, osciloskopa, frekvencijskog analizatora, spektralnog analizatora i frekvenmetra.

Izvođenje vežbi se svodi na pokretanje odgovarajućeg programa – virtuelnog instrumenta, kontrolu procesa merenja i arhiviranje rezultata merenja. Sve prethodno pomenute akcije izvode studenti jednostavnim manipulacijama u grafičkom okruženju.

Laboratorijski rad je podeljen u tri ciklusa. Prvim ciklusom je obuhvaćeno određivanje statičkih i dinamičkih para-

metara poluprovodničkih i nelinearnih komponenti. Drugi ciklus obuhvata određivanje amplitudske karakteristike pojačavača sa bipolarnim tranzistorom i FET-ovima, dvostepenog i diferencijalnog pojačavača. U trećem ciklusu analiziraju se specifična elektronska kola – operacioni pojačavač, oscilator, pojačavač snage, usmerač i stabilizator. Razvoj laboratorije se ovde ne završava; budući smer razvoja je realizacija virtuelnih instrumenata za testiranje i dijagnostiku kola.

Virtuelni instrumenti koji određuju karakteristike poluprovodničkih komponenti – dvopola i četvoropola – imaju karakter trase karakteristika. Pomoću ovih virtuelnih instrumenata razmatraju se karakteristike osnovnih poluprovodničkih elemenata – dioda. Moguće je meriti i upoređivati parametre i karakteristike različitih tipova dioda: silicijumske diode, tunel diode, germanijumske diode, *Schottky* diode, *Zener* diode i LED diode. Mere se naponi i struje na direktno i inverzno polarisanom p-n spoju.

Virtuelni instrumenti – traseri karakteristika omogućavaju određivanje parametra i karakteristika bipolarnog tranzistora, JFET-a i MOSFET-a u aktivnom režimu rada. Ove komponente karakterišu tri terminala – priključaka od kojih se jedan bira za zajednički, tako da se ove komponente analiziraju kao četvoropoli. Analiziraju se u praksi najčešće korišćene konfiguracije aktivnih elemenata, konfiguracija sa zajedničkim emitorom kod bipolarnog tranzistora, odnosno konfiguracija sa zajedničkim sorsom kod JFET i MOSFET tranzistora (Sl. 2). Snimaju se statičke prenosne i izlazne karakteristike ovih tranzistora i određuje uticaj temperature na statičke karakteristike bipolarnog tranzistora, kao i temperaturna stabilizacija radne tačke povezivanjem emitorskog otpornika.

Prilikom određivanja karakteristika i parametara neophodno je istaći razliku između karakteristika koju različite poluprovodničke komponente imaju u odnosu na jednosmerne napone i struje i osobina koje ispoljavaju u odnosu na naizmenične signale malih amplituda, kao i način polarizacije pojedinih poluprovodničkih elemenata.

Virtuelni instrument za analizu dinamičkih karakteristika pojačavača i filtera – amplitude karakteristike – ima karakter skalarnog analizatora mreže.

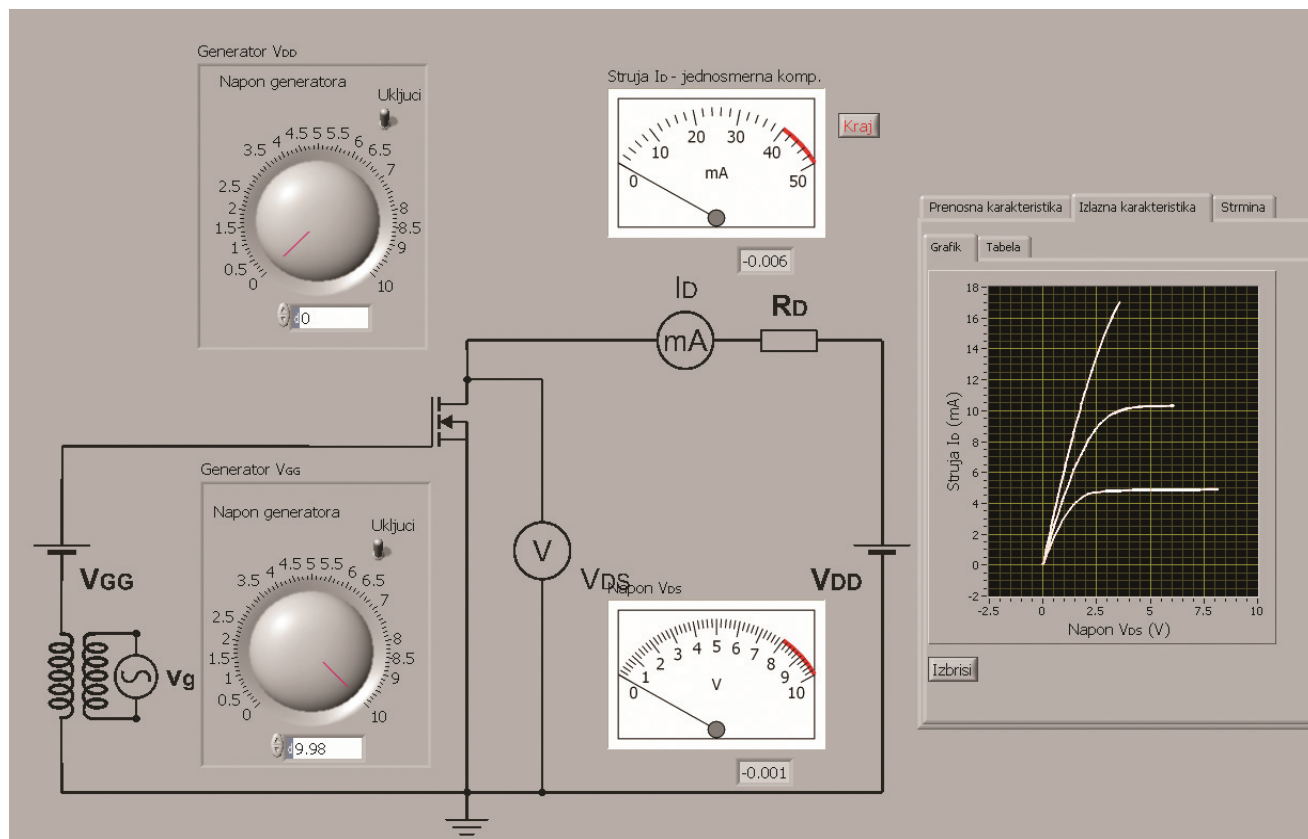
### 3. REALIZACIJA LABORATORIJE

Za realizaciju računom integrisane laboratorije korišćen je akvizicioni modul *National Instruments* USB-6251. Modul ima 16 analognih ulaza brzine uzorkovanja 1,25 MSamp/s rezolucije 16 bita, dva analogna izlaza brzine uzorkovanja 2,8 MSamp/s rezolucije 16 bita, 24 10MHz digitalna I/O kanala i dva 32-bitna 80MHz brojača/tajmera [5]. Ulazna impedansa analognih kanala PCI-6251 kartice je 10 GΩ u odnosu na masu, impedansa analognih izlaza je 0,2 Ω. Strujni ofset analognih ulaza je ±100pA. USB-6251 modul pruža veliku tačnost merenja sa mogućnošću detektovanja promene napona na analognom kanalu od 4μV. Radi smanjenja greške prilikom uzorkovanja i digitalizacije, u karticu JE ugrađeno kolo za temperaturnu stabilizaciju kako bi se eliminisale sistemske greške merenja koje nastaju usled zagrevanja komponenti. Kartica ima mogućnost digitalnog trigerovanja. Digitalni I/O kanali su TTL i CMOS kompatibilni. Analogni izlazi modula su iskorišćeni kao generatori napona napajanja i po budnih signala. Maksimalni jednosmerni izlazni napon koji je moguće generisati je 10 V. Ovaj napon je dovoljan za polarizaciju, napajanje maketa i merenje statičkih karakteristika poluprovodničkih komponenti.

Analogni ulazi modula se mogu povezati na tri načina sa jednim priključkom bez referentne tačke (NRSE – nonreferenced single-ended), sa jednim priključkom i referentnom tačkom (RSE – referenced single-ended) i diferencijalno. U

realizaciji je najčešće korišćen diferencijalni način povezivanja radi eliminacije šuma koji nastaje na liniji razvodni blok – maketa i potiskivanja srednje vrednosti signala. Ovaj šum iako mali, može da utiče na preciznost merenja kod malih veličina (na primer inverzne struje zasićenja silicijumske

diode). Prilikom ovakvog povezivanja ulazni signal se povezuje na pozitivni ulaz instrumentacionog pojačavača na modulu (odnosno pozitivni ulaz jednog analognog kanala), a referentni signal na negativni ulaz.



Slika 2. Virtuelni instrument – merenje izlazne karakteristike MOSFET-a

Softver koji upravlja procesima merenja i prikazuje rezultate je realizovan je u LabVIEW razvojnom okruženju, koje omogućava jednostavnu izradu virtualnih instrumenata. Softverski deo virtualnog instrumenta čine interfejs ka akvizicionoj kartici i korisnički interfejs.

USB-6251 moduli su podržani NI-DAQmx drajverima. Interfejs ka akvizicionoj kartici je baziran na NI-DAQmx drajveru. Sva merenja se obavljaju preko virtualnih kanala, koji predstavljaju skup parametara kao što su ime kanala, fizički kanal, ulazni konektori, tip merenja ili generisanja i skaliranje signala. Virtuelni kanali se mogu konfigurisati globalno na nivou sistema ili programski preko aplikacionog interfejsa. Kod NI-DAQmx drajvera moguće je izvršiti agregaciju više različitih kanala u jedan proces (*task*) koji predstavlja merenje, odnosno generisanje signala (Sl. 3), pri čemu će svi kanali imati isti način akvizicije. Analogno kanalima, procesi se mogu kreirati globalno na nivou sistema, i preko aplikacionog interfejsa iz programa.

Korisnički interfejs sadrži kontrole kojima se upravlja procesom merenja (napon napajanja, frekvencija i amplituda pobudnog napona, itd.) i indikatora sa kojih se očitavaju izmerene vrednosti (Sl. 2).

#### 4. SPEEDAB

Obrazovanje i obuka su kritični faktori za postizanje ciljeva kao što su povećana produktivnost i poboljšanje kvaliteta proizvoda i usluga. Predlog SpeedLab ima za cilj razvoj e-learning platforme čija je primena u nastavi elektronike i elektrotehnike, koja će omogućiti učenicima/studentima

pristup resursima i infrastrukturi laboratorija preko Interneta u cilju izvođenja praktičnih eksperimenata. Platforma će biti spona između više obrazovnih institucija, koje će biti u stanju da dele svoje resurse, pružajući mogućnost korisnicima da koriste instrumente i resurse druge institucije. Platforma se oslanja na već postojeću infrastrukturu, prethodno opisanu računom integrisanu laboratoriju za elektroniku, kao i druga, već postojeća rešenja bazirana kako na virtuelnim instrumentima, tako i na simulaciji.

Platforma koja će omogućiti pristup laboratorijama sa povećanim performansama i visokim stepenom bezbednosti, u poređenju sa već postojećim rešenjima, će obuhvatiti *User-management* platformu (UMP) i *Execution* platformu (ExP), koja uključuje *Evaluation/Assesment* platformu (EP/AP) unapređujući proces ispitivanja i ocenjivanja, kao i bolje upravljanje procesom učenja. Konceptija platforme je usmerena ka podršci dizajniranju i implementaciji laboratorija koje će omogućiti simultani pristup realnim eksperimentima dozvoljavajući rekonfiguraciju u realnom vremenu raznih eksperimenata (kola), istovremeno sprečavajući stvaranje redova čekanja koji mogu nastati kada veći broj korisnika pristupa jednom resursu laboratorije istovremeno.

Prilikom definisanja specifikacija i aktivnosti na realizaciji platforme, vodilo se računa o sledećem:

1. Učenje u tehničkim naukama, bez obzira na nivo obrazovanja, ne može se izvoditi bez eksperimenata,
2. Evolucija Interneta omogućila je stvaranje laboratorija kojima se može pristupati preko weba, smanjujući troškove održavanja i omogućavajući veću utilizaciju opreme i povećani nivo bezbednosti.

3. U klasično realizovanim laboratorijama, pristup laboratoriji spolja radi izvođenja eksperimenta pruža mogućnost jednom korisniku u jednom vremenskom trenutku da koristi resurse, čime se formira red čekanja za izviđenje eksperimenta.
4. Laboratorija treba da obuhvata realne eksperimente – merenja za sve korisnike, omogućujući izbor velikog broja različitih eksperimenata online.
5. Napredak u tehnikama merenja i akvizicije podataka, uključujući module za akviziciju sa računarskim interfejsom omogućio je razvoj virtuelnih instrumenata sa velikim mogućnostima.

Performanse laboratorije su takođe bitan faktor. Jedan od najvažnijih ciljeva je poboljšanje performansi laboratorije u odnosu na već postojeće realizacije. Sa tim ciljem je potrebno realizovati platformu za upravljanje korisničkim pristupom – *user management platform* (UMP). Platforma omogućava realizaciju interfejsa slično interaktivnim web portalima. Simultani pristup velikom broju korisnika će biti moguć, dozvoljavajući izbor resursa i opreme, zadavanje parametara i realizaciju konkretnog eksperimenta. Proces će biti omogućen nograničenom broju korisnika koji neće biti u istom trenutku vezani za fizičke resurse, već će merna kola biti podešena *offline*. Da bi izvršili eksperiment, korisnici prolaze kroz sledeću proceduru: loguju se na web portal, biraju SpeedLab aplikaciju i zakazuju termin, biraju metod izvođenja (merenje, simulacija), postavljaju parametre merenja, izvode pripremu eksperimenta ili startuju ExP platformu za izvođenje eksperimenta. Startovanje ExP platforme će prebaciti aplikaciju u monitoring mod, radi posmatranja izvođenja eksperimenta i prikupljanja podataka.

ExP proverava ispravnost parametara postavljenih od strane korisnika i kontroliše njegove akcije. Na osnovu parametara ExP sprovodi laboratorijsko merenje i vraća rezultate. Paralelno izvršavanje UPM i ExP rutina smanjuje prazan hod korišćenja instrumenata i opreme koji nastaju usled sporog rada korisnika. Vreme zauzeća opreme se time svodi na efektivno vreme rada (ExP), dok se za vreme izvršenja UMP platforme oprema oslobađa za korišćenje drugim korisnicima.

ExP platforma obuhvata i EP/AP platformu za evaluaciju i ocenjivanje rada. EP/AP će automatski ocenjivati ispravnost postavljanja eksperimenta. Funkcija platforme je i zaštita instrumenata i opreme od lošeg vezivanja opreme.

#### 4. LITERATURA

- [1] Bass R. M., "Simulation laboratory for teaching switching power supplies," International Journal of

Electrical Engineering Education, Vol. 34. No. 4., October 1997, pp. 308-315.

- [2] Stefanović D., „Metodologija i alat za proceduralno projektovanje analognih CMOS integrisanih elektronskih kola“, magistarska teza, Elektronski Fakultet u Nišu, jul 2003.
- [3] Dimitrijević M., Litovski V., Jovanović S., „Računarski sistem za izvođenje laboratorijskih vežbi iz elektronike“, Zbornik radova konferencije Indel 2004, ISBN 86-7122-014-1, sveska 1., st.156-160.
- [4] Dimitrijević M., Litovski V., “Computer integrated analogue electronics laboratory for under-graduate teaching,” Proc. of REV 2005 Conference, na CD-u, ISBN 3-89958-137-7.
- [5] Dimitrijević M., Litovski V., “Computer integrated analogue electronics laboratory for under-graduate teaching,” International Journal of Online Engineering iJOE, Vol. 1, No. 2, November 2005, ISSN 1861-2121.

**Abstract** – The development of electronics, especially expansive in last two decades, led to necessity of lifetime learning. In the other hand, the education process in the field of technical and natural sciences, especially electronics, is inconceivable without laboratory practice. The education became critical factor for achieving increased productivity and quality of products and services.

SpeedLab represents new e-learning platform for electronic engineering education which will provide remote access capability over Internet in order to really perform experiments. The platform will encompass infrastructure which will enable sharing of resources between laboratories geographically distant, providing possibility of experiment execution using external resources. In comparison with existing concepts, the platform will aim better performance and security, supported by User-management Platform – UMP and Execution Platform – ExP.

#### **SPEEDLAB – NEXT GENERATION LABORATORY FOR ELECTRONIC**

Marko A. Dimitrijević, Miona Andrejević-Stošović