

## **EMSIM 1.1. – PROGRAM ZA SIMULACIJU STARTA ASINHRONOG MOTORA**

## **EMSIM 1.1. – PROGRAM FOR SIMULATION OF INDUCTION MOTOR STARTING**

Petar Matić, *Elektrotehnički fakultet u Banjoj Luci*, Banjaluka, RS, BiH  
Miloš Milanković, *Viša elektrotehnička škola u Beogradu*, Beograd, SiCG  
Boris Mandić, *BSM Software*, Novi Sad, SiCG

**Sadržaj** - U radu je opisan program EMSIM 1.1. koji je napisan i razvijen na Elektrotehničkom fakultetu u Banjoj Luci na odsjeku za Elektroenergetiku. Program služi za simulaciju prelaznog procesa starta asinhronog motora. Prvenstvena namjena programa je u nastavnom procesu na katedri za Elektroenergetiku. Program objedinjuje tačnost modela motora u MATLAB-u i jednostavnost pri izmjeni parametara simulacije i grafičke predstave dobijenih rezultata zahvaljujući interfejsu napisanom u Visual Basic-u.

**Abstract** – In the paper program EMSIM 1.1, developed on the Power Engineering Departement of the Faculty of Electrical Engineering in Banjaluka, is described. Program is assigned for simulation of starting process of induction motor. Program is used for teaching purposes on the Department for Power Engineering. Accuracy of Matlab model and easy of use is achieved due to the interface made in Visual Basic

### **1. UVOD**

Informacione tehnologije su široko rasprostranjene u svim segmentima elektroenergetike. Postoji veliki broj profesionalnih programskih paketa namijenjenih svim oblastima i aktivnostima u elektroenergetici, kao što su proračuni, dimenzionisanje, optimizacija, modelovanje, upravljanje, nadzor itd. /1/. Pored profesionalnih programa, postoji i niz efektnih programa namijenjenih edukaciji. Edukativni softver treba da pomogne razumijevanju rada dijelova elektroenergetskog sistema i sistema kao cjeline, principa rada električnih mašina, analizi prelaznih pojava itd.

Studenti Elektroenergetskog odsjeka na Elektrotehničkom fakultetu u Banjoj Luci, u zavisnosti od usmjerenja, osposobljavaju se za korišćenje odgovarajućih profesionalnih paketa, a pored njih, tokom studiranja, koriste i niz ilustrativnih programa kao pomoć prilikom usvajanja gradiva. Danas postoji veliki broj relativno jednostavnih programa koji pomažu u razumijevanju i vizuelizaciji principa rada mašina, prikaza simetričnih komponenti, tokova snaga, kvaliteta električne energije, harmonijskih komponenti /npr. 2, 3, 4/. Ovi programi mogu se naći i na internetu, a često se mogu i besplatno dobiti. Problem direktnog korišćenja ovih programa je u tome što se nema uvid u matematičke modele na kojima je zasnovan njihov rad, kao i što ne postoji mogućnost prilagođavanja sopstvenim potrebama i uvođenja značajnijih izmjena. Katedra za Elektroenergetiku Elektrotehničkog fakulteta u Banjoj Luci uključila se u ove aktivnosti, te je osmišljen programski paket EMSIM namijenjen obuci studenata nižih godina elektroenergetike na predmetu Električne mašine. Programski paket treba da, pored vizuelizacije i jednostavne upotrebe, bude zasnovan na što tačnijim modelima mašina, te da sadrži potrebna teorijska objašnjenja za sve vrste električnih mašina. Sam rad sa programom treba da bude jednostavan, kako bi studenti mogli da se u potpunosti posvete samom problemu, a ne učenju programa. Do sada je razvijen jedan dio tog programa, EMSIM 1.1., koji obuhvata simulaciju prelaznog procesa starta trofaznog asinhronog motora.

### **2. EMSIM 1.1. – OSNOVNE KARAKTERISTIKE**

Prilikom pisanja programa postavljeni su sljedeći zahtjevi:

- na što tačniji način formirati model asinhronog motora, i dobijene diferencijalne jednačine rješavati odgovarajućom numeričkom metodom. Potrebno je obuhvatiti najznačajnije slučajeve opterećenja: konstantno, linearno i kvadratno zavisno sa brzinom;
- napraviti *user friendly* korisnički interfejs, podržavajući način na koji se pišu i koriste standardne Windows aplikacije. Na takav način omogućiti jednostavan rad korisnicima koji se prvi put sreću sa problemom simuliranja prelaznih procesa na računaru;
- dobijene rezultate predstaviti grafički, omogućiti snimanje i štampanje rezultata, kao i pomoć tokom rada.

Poštujući zahtjeve koji su postavljeni prije pisanja programa, odlučeno je da se program realizuje iz dva dijela. Model asinhronog motora je napisan u formi jednačina prostora stanja, uzimajući u obzir postupke koje se tipično koriste prilikom modelovanja prelaznih procesa u električnim mašinama. Za rješavanje dobijenih jednačina korišten je programski paket Matlab /5/, koji na osnovu zadatih parametara motora rješava diferencijalne jednačine stanja numeričkom metodom. Odabrana je metoda *Runge-Kutta* čiji se korak simulacije i trajanje mogu mijenjati. Da bi se unos podataka i grafička predstava rezultata omogućila na što jednostavniji način, korisnički interfejs je napisan u *Visual Basic*-u 6.0. Veza između ova dva dijela programa omogućena je preko *Active X* kontrola, koje se izvršavaju u pozadini tokom rada simulacije /6/.

Ovakvom organizacijom programa korisnik jednostavno i intuitivno može da mijenja parametre motora i simulacije, prikazuje, štampa i snima dobijene rezultate, a model motora napisan u *Matlab*-u objezbeđuje zadovoljavajuću tačnost.

Zahvaljujući ovakvoj organizaciji programa, jednostavno se mogu modelovati drugačiji prelazni procesi asinhronih mašina, kao i sam program proširiti tako da obuhvati proučavanje drugih vrsta mašina.

### 3. MATEMATIČKI MODEL ASINHRONOG MOTORA

Kao matematička osnova programa korišten je standardni matematički model trofaznog asinhronog motora u stojećem sistemu osa. Ovaj model dobija se uvođenjem uobičajenih idealizacija, i njegova tačnost je odgovarajuća za većinu primjena /7/.

$$\underline{u}_s = R_s \underline{i}_s + \frac{d\Psi_s}{dt}, \quad (1)$$

$$0 = R_r \underline{i}_r + \frac{d\Psi_r}{dt} - j\omega \underline{\Psi}_r, \quad (2)$$

$$\underline{\Psi}_s = L_s \underline{i}_s + M \underline{i}_r, \quad (3)$$

$$\underline{\Psi}_r = L_r \underline{i}_r + M \underline{i}_s, \quad (4)$$

$$m_e = \frac{3P}{2} (\underline{\Psi}_s \times \underline{i}_s), \quad (5)$$

gdje su  $\underline{u}_{s,r} = u_{\alpha,r} + ju_{\beta,r}$ ,  $\underline{i}_{s,r} = i_{\alpha,r} + ji_{\beta,r}$ ,  $\underline{\Psi}_{s,r} = \Psi_{\alpha,r} + j\Psi_{\beta,r}$  polifazori napona, struja i flukseva statora i rotora,  $\omega_m$  brzina obrtanja vratila motora,  $\omega = P\omega_m$  brzina obrtanja svedena na jedan par polova  $P$ ,  $L_s$ ,  $L_r$  i  $M$  induktivnosti statora i rotora i međusobna induktivnost, a  $m_e$  je razvijeni elektromagnetni moment.

Mehanički podsistem modelovan je Njutnovom jednačinom kretanja

$$J \frac{d\omega}{dt} = m_e - m_{opt}, \quad (6)$$

gdje je  $J$  moment inercije, a moment opterećenja  $m_{opt}$  zadaje se kao funkcija sa konstantnim, linearnim i kvadratnim članom brzine:

$$m_{opt} = m_{const} + k_1 \omega_m + k_2 \omega_m^2. \quad (7)$$

Prelazak iz originalnog (faznog) domena sa efektivnim vrijednostima odgovarajućih veličina u stacionarni koordinatni sistem i obrnuto, omogućen je poznatim matricama  $C$  transformacije /7/.

### 3. ORGANIZACIJA PROGRAMA

Glavni program napisan je u *Visual Basic*-u, a potprogram za numeričko rješavanje matematičkog modela (1-7) nazvan *asinh1.m* je napisan u *Matlab*-u. Nakon što se unesu (ili učitaju snimljeni) parametri motora, opterećenja i koraka simulacije, korisnik pokreće simulaciju. Program tada prvo snima parametre simulacije u fajl *par.m*, a odmah nakon toga, pomoću *Active X* kontrole poziva *Matlab*, učitava parametre, pokreće program *asinh1.m*, i nakon završene simulacije snima vektor izlaznih veličina u fajl *simout.dat*. *Active X* kontrole upravljaju procesom razmjene podataka i komunikacije između glavnog programa i *Matlab*-a, kao i kontrolom grešaka u radu. Za grafičku predstavu dobijenih rezultata takođe se pomoću *Active X* kontrola koristi *Matlab*-ov *engine*, odnosno njegove rutine za crtanje grafika. Korisnik izbornom opcije za prikaz rezultata pokreće kontrole crtanja i na ekranu dobija tražene rezultate. Samo pisanje *Active X* kontrola prepušteno je profesionalnom programeru i one su realizovane u programskom jeziku *C++*.

### 4. INSTALACIJA PROGRAMA

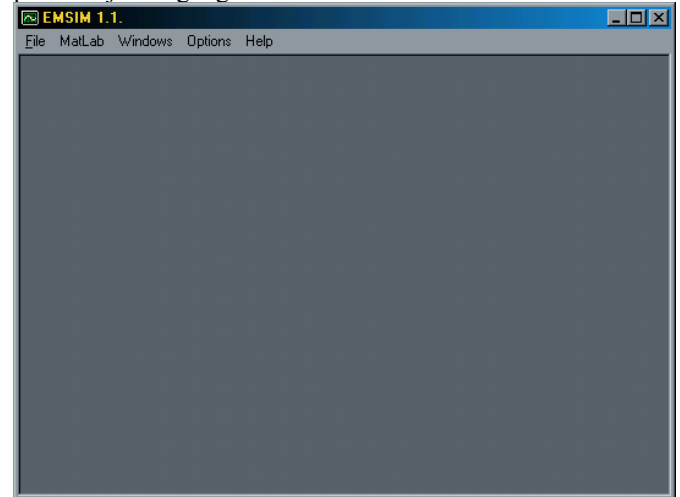
Program se dostavlja na dvije diskete i instalira se kao standardna *Windows* aplikacija. Softverski zahtjevi su operativni sistem *Windows 9x* ili *Windows XP* i instalisan *Matlab 5.2* ili noviji. Zbog različitog funkcionisanja *Active X*

kontrola postoje različite verzije programa *EMSIM 1.1* u zavisnosti od verzije operativnog sistema i verzije *Matlab-a*. Minimalni hardverski zahtjevi su *Pentium II* na 300 MHz, sa 64 MB RAM memorije i slobodnih 4 MB prostora na hard disku.

Nakon instalacije programa pojavljuje se ikona *EMSIM* na *Desktop*-u kao i u *Start Meny*-ju. Sama instalacija traje par minuta.

### 5. RAD SA PROGRAMOM

Nakon instalacije programa, potrebno je pokrenuti program *EMSIM 1.1* preko *Start Meny*-ja, ili dvostrukim klikom na ikonicu na *Desktop*-u. Na ekranu se pojavljuje prozor sljedećeg izgleda:



Sl. 1. Osnovni prozor programa *EMSIM 1.1*.

Opcije koje su na raspolaganju su:

**FILE** – kojom se kao i kod svake *Windows* aplikacije upravlja glavnim programom. Podopcije su: kreiranje novog simulacionog fajla (**NEW**) otvaranje fajla (**OPEN**), snimanje (**SAVE**), štampanje parametara simulacije (**PRINT**) i izlaz iz programa (**EXIT**);

**MATLAB** – ima opcije pokretanja simulacije (**START**) i prikaza dobijenih rezultata (**GRAPH**);

**WINDOW** – biranje aktivnog prozora;

**OPTIONS** – Ova opcija postoji samo u verziji za *Windows 98* i *Matlab 5.2*. Kod prvog pokretanja programa potrebno je odrediti putanju do *MATLAB BIN* direktorijuma kako bi program znao gdje da smješta potprograme napisane u *Matlab*-u;

**HELP** – pomoć prilikom rada sa programom, napisana u paketu *Help Scribble*, i koja se koristi kao i pomoć svake druge *Windows* aplikacije.

Izborom opcije **FILE/OPEN** može se otvoriti fajl sa parametrima (koji je u formatu sa *EMSIM* ekstenzijom \*.pib), i parametri se mogu mijenjati. Izgled ekrana za unos parametara prikazan je na Sl. 2.

Naponi napajanja se zadaju kao efektivne vrijednosti, dok su parametri motora vrijednosti parametara sa ekvivalentne šeme asinhronog motora. Moment opterećenja može imati sva tri člana u izrazu (7), ili samo neki od njih.

Nakon što su podešeni parametri motora, opterećenja i simulacije, potrebno je izabrati opciju **MATLAB/START**, kojom se pokreće simulacija. Vrijeme trajanja simulacije zavisi od verzije *Matlab-a*, snage računara i odabranih parametara simulacije. Program u pozadini pokreće *Matlab*, što se može primijetiti na *System Tray*-u, ali korisnik nema mogućnost da ometa rad simulacije.

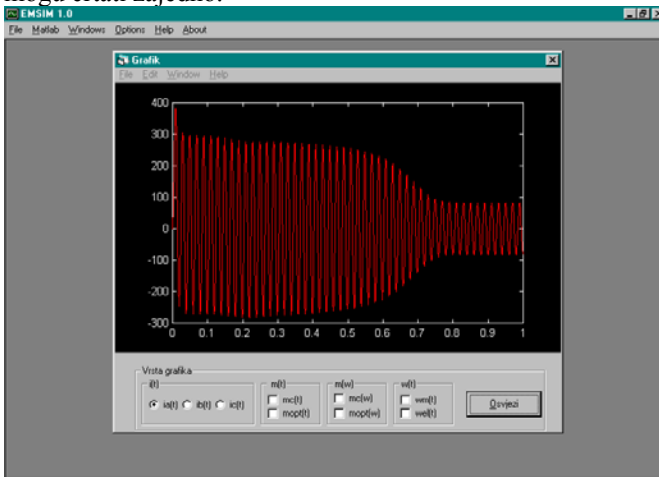


Sl. 2. Prozor za unos parametara motora, opterećenja i simulacije

Primijećeno je da je trajanje simulacije kraće nego kada bi se program pokretao direktno iz *Matlab*-a. Nakon što se završi simulacija, program obavještava korisnika o njenom završetku, te opcija za crtanje grafika postaje aktivna.

Izborom opcije MATLAB/GRAFIK otvara se prozor za prikaz rezultata. Ukoliko u međuvremenu dođe do izmjene parametara motora, program obavještava korisnika da je potrebno da ponovo pokrene simulaciju prije nego što nastavi sa crtanjem grafika. Time je omogućeno da trenutni rezultati simulacije odgovaraju aktualnim parametrima.

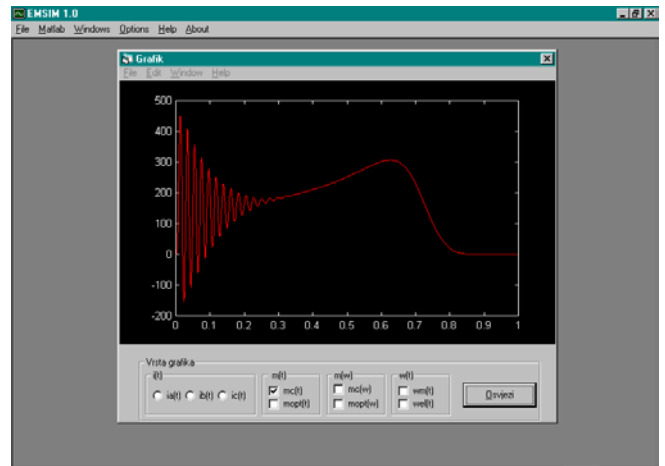
Na Sl.3 prikazan je prozor za prikazivanje rezultata simulacije. On sadrži opcije za snimanje i štampanje rezultata. Program *EMSIM 1.1* omogućava prikaz zavisnosti faznih vrijednosti struja od vremena, momenta konverzije i momenta opterećenja u zavisnosti od vremena ili brzine, te zavisnost mehaničke i električne brzine obrtanja od vremena. Da bi dobijeni grafik bio pregledniji, onemogućeno je da se sve tri fazne struje crtaju istovremeno, dok se ostale veličine (moment konverzije i moment opterećenja, kao i brzine) mogu crtati zajedno.



Sl. 3. Prikaz rezultata simulacije – struja faze “a”

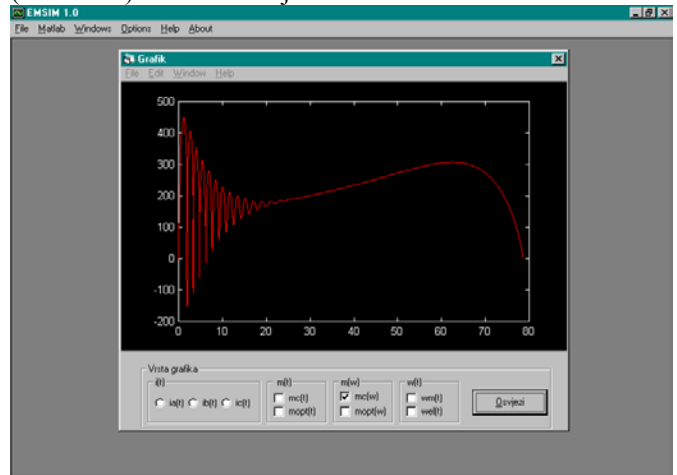
Nakon što se izabere veličina koja se želi prikazati, potrebno je pritisnuti “osvježi”, da bi se ekran osvježio. U novijim varijantama softvera ovo će biti omogućeno automatski.

Na Sl. 4. prikazana je zavisnost momenta motora u funkciji vremena za zadanu simulaciju (parametri simulacije su promijenjeni u odnosu na one sa Sl. 2).

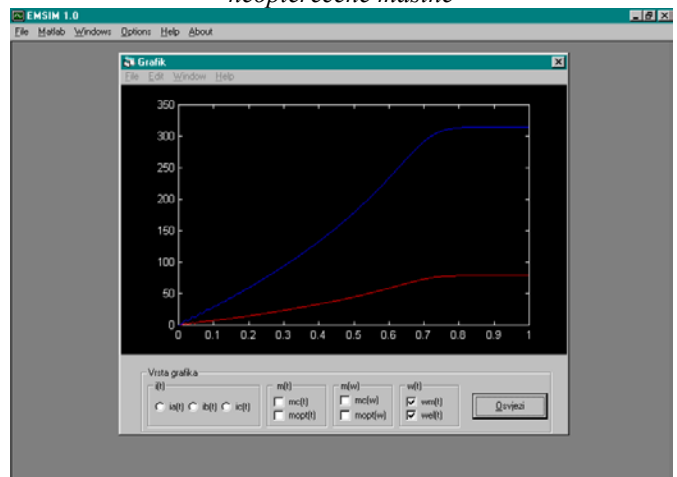


Sl. 4. Moment konverzije motora u funkciji vremena

Na Sl. 5 i 6 prikazane su zavisnosti momenta motora od brzine (dinamička mehanička karakteristika), te zavisnost brzine obrtanja mašine od vremena, kao i zavisnost svedene (električne) brzine obrtanja od vremena.

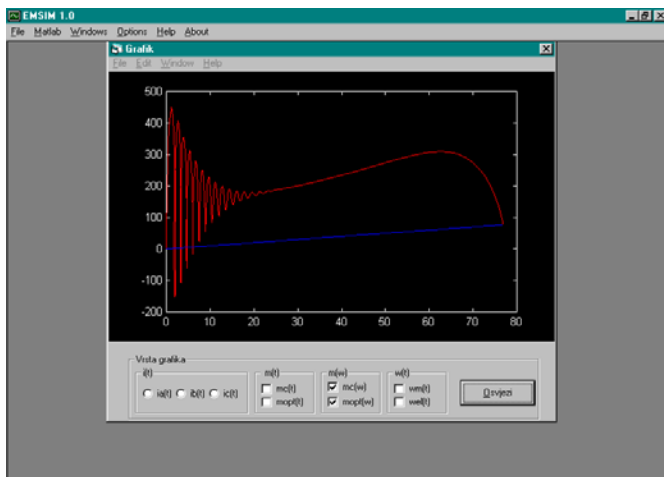


Sl.5. Zavisnost momenta konverzije od brzine obrtanja neopterećene mašine



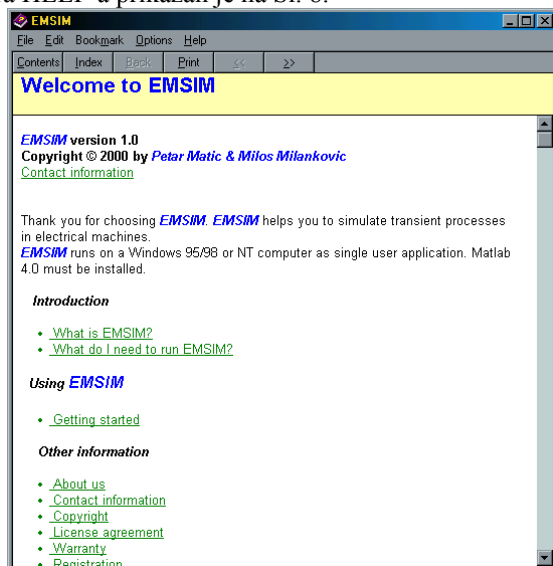
Sl. 6. Zavisnost brzine obrtanja vratila od vremena i zavisnost svedene brzine obrtanja vratila od vremena osmopolne mašine

Na Sl. 7 prikazane su na istom grafiku zavisnosti momenta konverzije od brzine (momentna karakteristika motora) i momenta opterećenja od brzine, za slučaj opterećenja koje linearno zavisi od brzine.



Sl. 7. Istovremeni prikaz momenta motora i momenta opterećenja. Presjek ove dvije karakteristike određuje radnu tačku pogona

Program *EMSIM 1.x* posjeduje svoj HELP, odnosno interaktivnu pomoć tokom rada. Kompletan HELP napisan je pomoću programa *Help Scribble* i ima istu organizaciju kao i pomoć standardne *Windows* aplikacije. Izgled početnog prozora HELP-a prikazan je na Sl. 8.



Sl. 8. HELP prozor

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je program *EMSIM 1.1*, koji je namijenjen za nastavne potrebe pri proučavanju prelaznih procesa prilikom starta asinhronog motora. Program je napisan na Elektrotehničkom fakultetu u Banjoj Luci 2000-te godine, da bi se u više navrata osavremenjavao i prilagođavao novim operativnim sistemima *Windows 2000* i *Windows XP* te novim verzijama *Matlab-a*. U međuvremenu su otklanjane uočene greške i uvođena značajna poboljšanja.

Softver namijenjen za potrebe nastave treba da bude jednostavan da bi ga korisnici koji se prvi put susreću sa posmatranom problematikom što lakše savladali, a da pri tome posjeduje dovoljnu tačnost simulacija i efektan grafički prikaz. Kao i svi edukativni softveri, on se teško može komercijalizovati. U konkretnom pristupu, ovi oprečni zahtjevi ispunjeni su pisanjem korisničkog interfejsa u *Visual Basic-u*, dok je problem numeričkog rješavanja potrebnih jednačina i grafičkog prikaza rezultata prepušten *Matlab-u*. Objedinjavanje ovih dijelova izvršeno je pomoću *Active X* kontrola. Ovako organizovan program omogućava njegovo inkorporiranje u složenije programske pakete znatno lakše nego da je pisan isključivo u *Matlab-u* primjenom novih opcija za kreiranje "maske" za unos podataka.

Razvijeni program može se jednostavno proširiti i na analizu drugačijih prelaznih procesa, kao i analizu rada ostalih vrsta električnih mašina.

## 7. LITERATURA

[1] Miloš Milanković, Nikola Rajaković, Vladimir Krnaiski, Dejan Raca, Petar Matić, Dragoslav Perić, "Projektovanje pomoću računara u elektroenergetici, stanje i perspektive oblasti", *Naučno stručni simpozijum Informacione tehnologije – INFOTEH, Jahorina, 12-14.03.2001.*

[2] Z. Andonov, T. Dimitrov, S. Mircevski, "Program for Soft Start Squirrel Cage Induction Motor Drive Simulation", *X Symposium on Power Electronics EE 99, Novi Sad, 14-16.11.1999.*

[3] [www.machines.cg.ac.yu](http://www.machines.cg.ac.yu)

[4] [www.powerstandards.com](http://www.powerstandards.com)

[5] [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)

[6] E. Smith, V. Whisler, H. Marquis, *Visual Basic 6, Biblija*, prevod, Mikro knjiga, Beograd, 1999.

[7] V. Vučković, *Opšta teorija električnih mašina*, Nauka, Beograd, 1992.