

PETAR MILJANIĆ

REGULACIJA NAPONA NEZAVISNOG
KRATKOSPAJAJUĆEG INVERTORA

SADRŽAJ

Opisan je jedan način regulisanja napona nezavisnog kratkospajajućeg invertora. Uočena su bitna zbivanja u regulacionom krugu i postavljen matematički model. Data su uputstva za sastavljanje programa za stoni digitalni kalkulator pomoću koga se može uspešno proučavati dinamika regulacije napona i rešavati ostali problemi pri projektovanju.

UVOD

Invertori, kao i drugi tiristorski uređaji, spadaju u grupu električnih kola promenljivih struktura. Kod invertora do periodičnih promena struktura dolazi pod dejstvom regulatora čiji impulsi pale tiristore, kao i usled nagle promene provodnosti dioda pri promeni polariteta napona. Postoje mnogi teorijski radovi o analizi i sintezi dinamike kola promenljivih struktura, međjutim, i pored izvrsnih matematičkih studija, praktično upotrebljive analitičke metode analize i sinteze mogu se primeniti samo za doista vrlo jednostavna kola.

Kratkospajajući invertorski most, sa filtrima i diodama za povraćaj energije, isuviše je složen sistem tako da autor zasada nije uspeo da primeni poznatu teoriju kola promenljivih struktura. S obzirom na potrebu da reši postavljeni inžinjerski zadatak, opredelio se na primenu digitalne računске tehnike, koja je pogodna za proučavanje kola promenljive strukture.

Dr. Petar Miljanić, elektrotehnički inženjer, redovni profesor Mašinskog fakulteta u Beogradu, viši savetnik Elektrotehničkog instituta "Nikola Tesla", dopisni član Srpske akademije nauka i umetnosti.

PRILAZ

U invertoru se dešava više dinamičkih pojava od kojih se neke odigravaju u kraćim vremenskim intervalima, a druge u znatno dužim. Tako na primer, komutacioni procesi pri gašenju i paljenju tiristora se mere mikrosekundama, a dinamika promene izlaznog napona milisekundama. Necelishodno je na računaru jednovremeno proučavati obe pojave, one se mogu, bez većih grešaka, odvojeno izučavati. Da se od današnjih invertora ne zahteva velika brzina reagovanja i regulacija napona bi se mogla izučavati odvojeno od osnovnih oscilacija naizmeničnog napona. Medjutim, kako su vremenske konstante u regulatoru reda veličine periode naizmeničnog napona, to nije moguće. Na osnovu izloženog, u ovom radu o regulaciji napona, neće se uzimati u razmatranje komutacija tiristora, ali će se pri proučavanju dinamike regulacionog kola uzeti u obzir sve prelazne pojave koje nastaju usled periodičnih promena strukture energetskog kola.

UPROŠĆEN FIZIČKI MODEL

Detaljan opis rada nezavisnog kratkospajajućeg invertora izložen je u radu na Savetovanju o energetskoj elektronici, Beograd, 20-22 juni, 1973. Zbog toga će se ovde poći od ekvivalentnog, nešto uprošćenog kola, u kome su prikazani svi bitni elementi koji učestvuju u regulaciji napona. Takođe, i elektronski regulator napona biće prikazan uprošćeno, oslobođen svih nebitnih detalja (sl.1).

Kod kratkospajajućeg nezavisnog invertora efektivna vrednost napona na izlazu, za odnos transformacije 1, približno je data obrascem

$$U = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \frac{E}{\cos \frac{\beta}{2} \cos \phi} \quad (1)$$

gde su:

E - jednosmerni napon napajanja

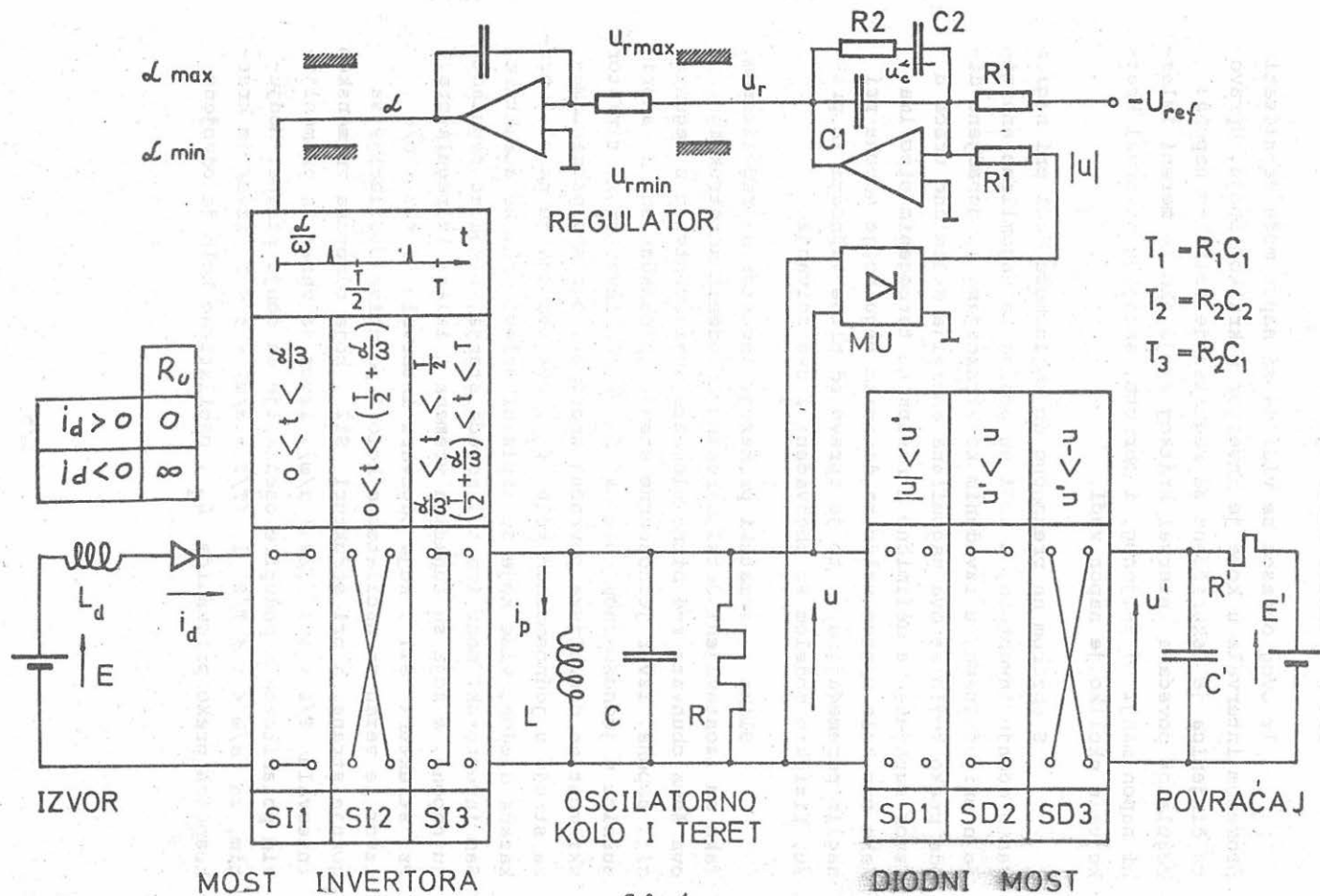
β - ugao kratke veze

$\cos \phi$ - faktor snage

Iz ovog obrasca se vidi da se napon može regulisati promenom intervala u kome je inverter u kratkom spoju. Upravo ta činjenica je iskorišćena za regulisanje izlaznog napona: regulator povećava interval kratkog spoja ako je mereni izlazni napon manji od željenog, i obrnuto, smanjuje interval kratke veze ukoliko je napon veći.

S obzirom na prenapone do kojih može doći pri naglom rasterećenju invertora, a koji su posledica nagomilane energije u prigušnicama, u izvedenim konstrukcijama su ugrađene diode preko kojih se ova nagomilana energija delimično vraća u izvor napajanja a delimično i rasipa na termogenim otporima. Kako ovo kolo znatno utiče na dinamiku regulacije napona pri naglim poremećajima, a to je upravo od bitne važnosti za praksu, fizičkim modelom su obuhvaćena i ova zbivanja.

Slika 1 šematski prikazuje inverter sa regulatorom. Iako su izostavljeni detalji realno izvedenih konstrukcija, ova šema obuhvata sve bitne elemente koji učestvuju u regulaciji napona. Izvor jednosmerne struje je označen sa E a prigušnica u jednosmernom kolu sa L_d . Pošto invertorski tiristor-ski most ne dozvoljava povraćaj energije, odnosno promenu smeru struje u jednosmernom kolu i_d , ova osobina je na sl. 1 prikazana diodom, više koje su ispisani uslovi promene strukture. Sam invertorski most ima tri moguća stanja, bitna za regulaciju napona, a koja su funkcija vremena i izlaza iz regulatora. Pri strukturi SI1, koja odgovara intervalu $0 < t < \alpha/\omega$, izvor je vezan za oscilatorno kolo i podupire oscilacije sa gornje strane, a pri strukturi SI2, koja odgovara vremenskom intervalu $T/2 < t < (T/2 + \alpha/\omega)$, izvor je vezan sa promenljivim polaritetom i podupire oscilacije sa donje strane. Međutim, za $\alpha/\omega < t < T/2$ i $(T/2 + \alpha/\omega) < t < T$ izvor je kratkospojen preko prigušnice L_d , oscilatorno kolo je odvojeno



se. 1

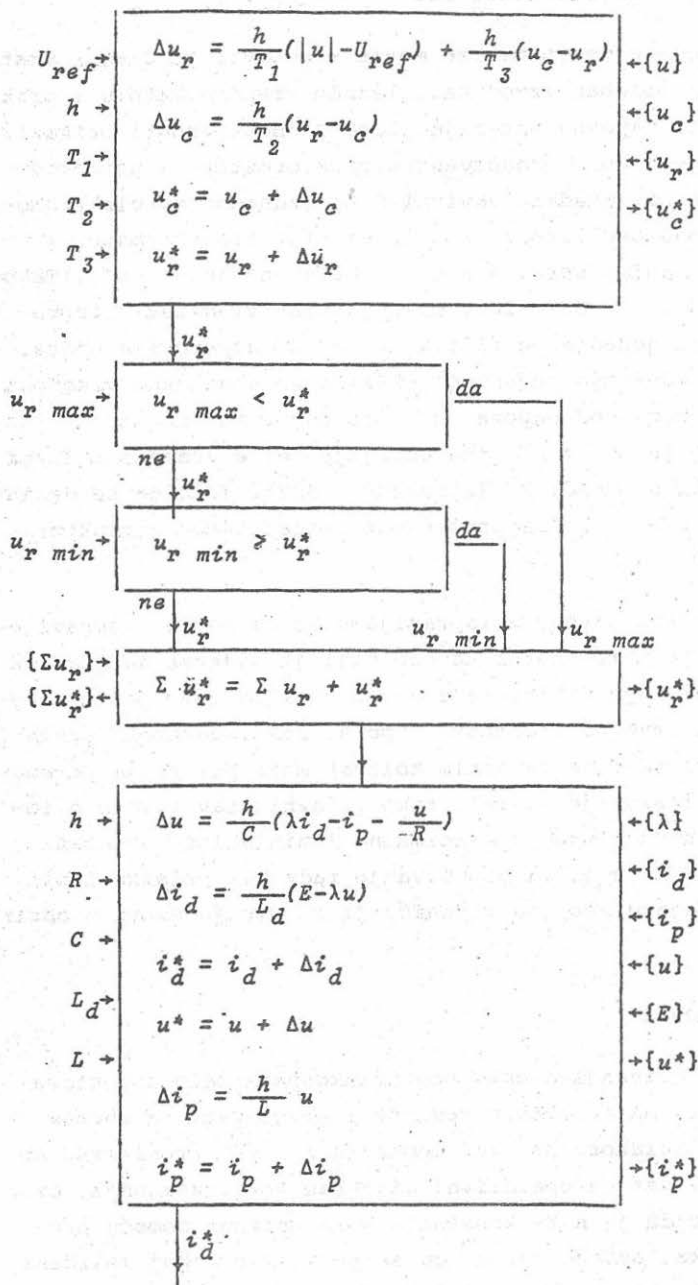
od izvora i slobodno osciluje. (U gornjim nejednačinama je sa α označen ugao invertorskog rada $\alpha = \pi - \beta$).

Sledeće mesto gde se menja struktura je diodni most priključen na poseban izvod na izlaznom transformatoru i priključen na istu napojnu bateriju. Zbog jednostavnosti prikazivanja na šemi je, umesto označavanja transformatora i njegovog prenosnog odnosa, uvedena ekvivalentna jednosmerna elektromotorna sila koju oscilatorno kolo vidi kroz transformator i most sa dvostranim ispravljanjem i obeležena je sa E' . Takođe su sa R' i C' obeležene ekvivalentne vrednosti otpora i kondenzatora ugrađenog filtra, a sa u' napona iza mosta. Do povraćaja energije neće doći ukoliko je apsolutna vrednost napona $|u'|$ manja od napona u'' , što odgovara strukturi SD1. Medjutim, ako je $u > u'$ deo energije će se vraćati u izvor a deo rasipati u otporu R' (struktura SD2). Isto će se desiti ako je $-u > u'$ samo sa promenjenim polaritetom (struktura SD3).

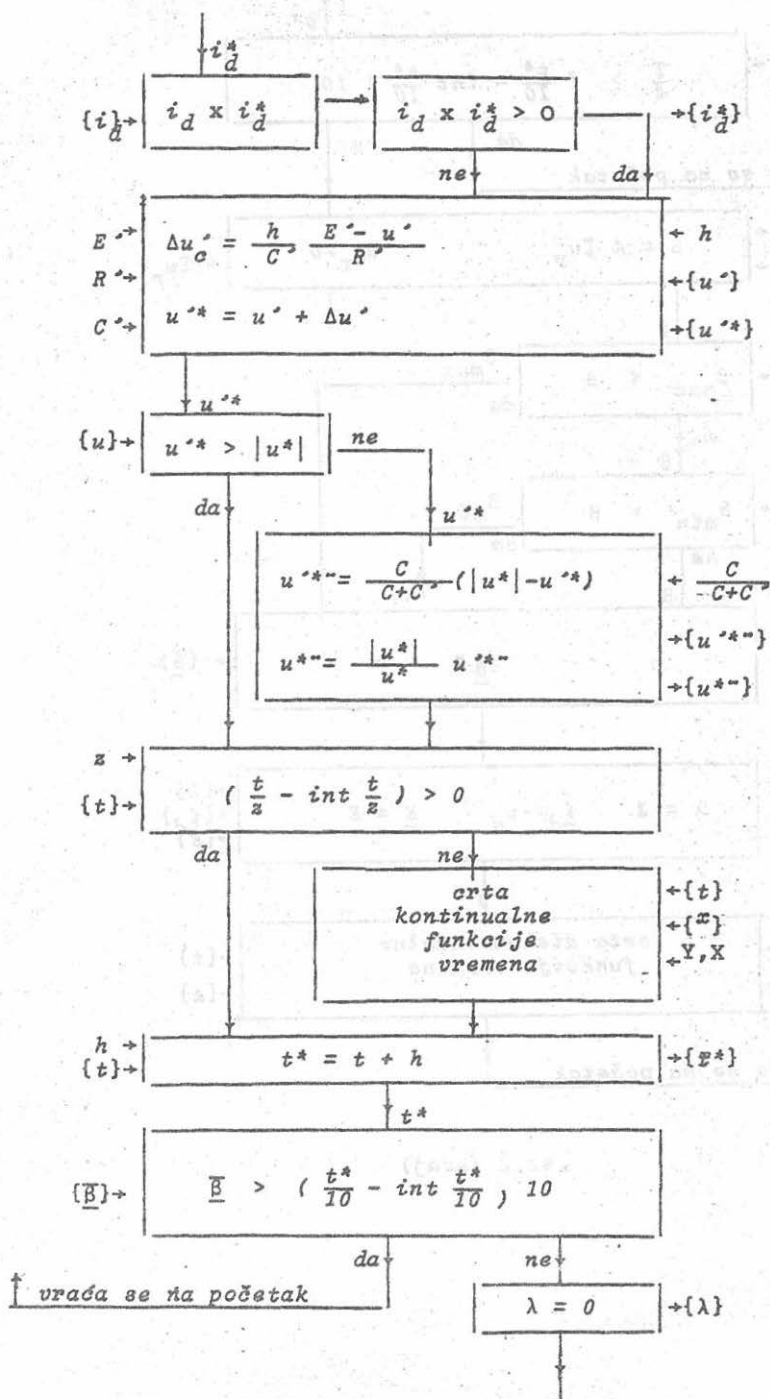
Izlazni napon se ispravlja u malom mernom ispravljaču MI i šalje u regulator napona čiji je zadatak da formira impulse za paljenje tiristora u zavisnosti od odstupanja između željene i stvarne vrednosti napona. Sam regulator (operacioni pojačavači sa integracionim kolima) može pri većim poremećajima ući u zasićenje, a isto tako i fazni stav izlaznih impulsa je ograničen između maksimalne i minimalne vrednosti radi pouzdanosti rada. Za proučavanje rada pri polasku i pri većim poremećajima sva ova ograničenja se moraju uzeti u obzir.

MATEMATIČKI MODEL

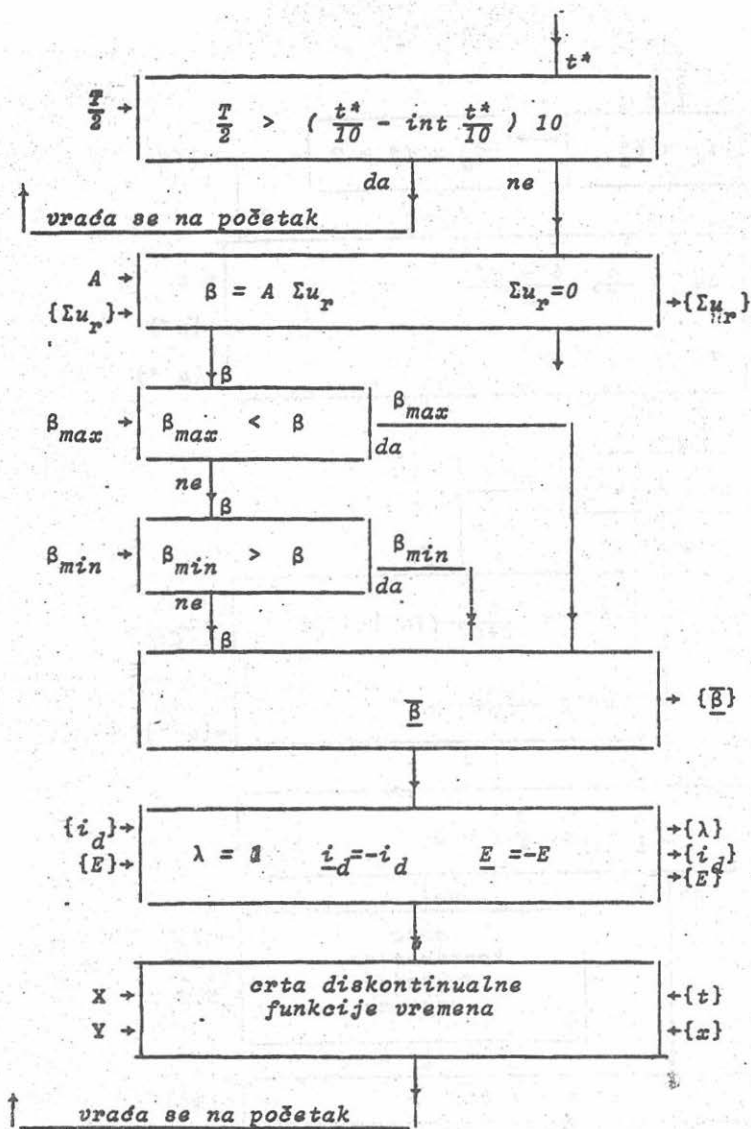
Sva zbivanja nezavisnog kratkospajajućeg invertora se mogu opisati matematičkim modelom i proučavati na stonom digitalnom kalkulatoru sa 11 memorija i 294 programska koraka. Na sl.2 dat je operativni dijagram toka računanja. Oznaka \rightarrow ukazuje da je neka konstanta kola upisana pomoću programskih koraka, oznaka $\rightarrow\{$ } da se podatak o nekoj veličini šalje u memoriju, a oznaka $+{$ } da se podatak uzima iz memo-



sl.2 (prvi list)



sl.2 (drugi list)



sl.2 (kraj)

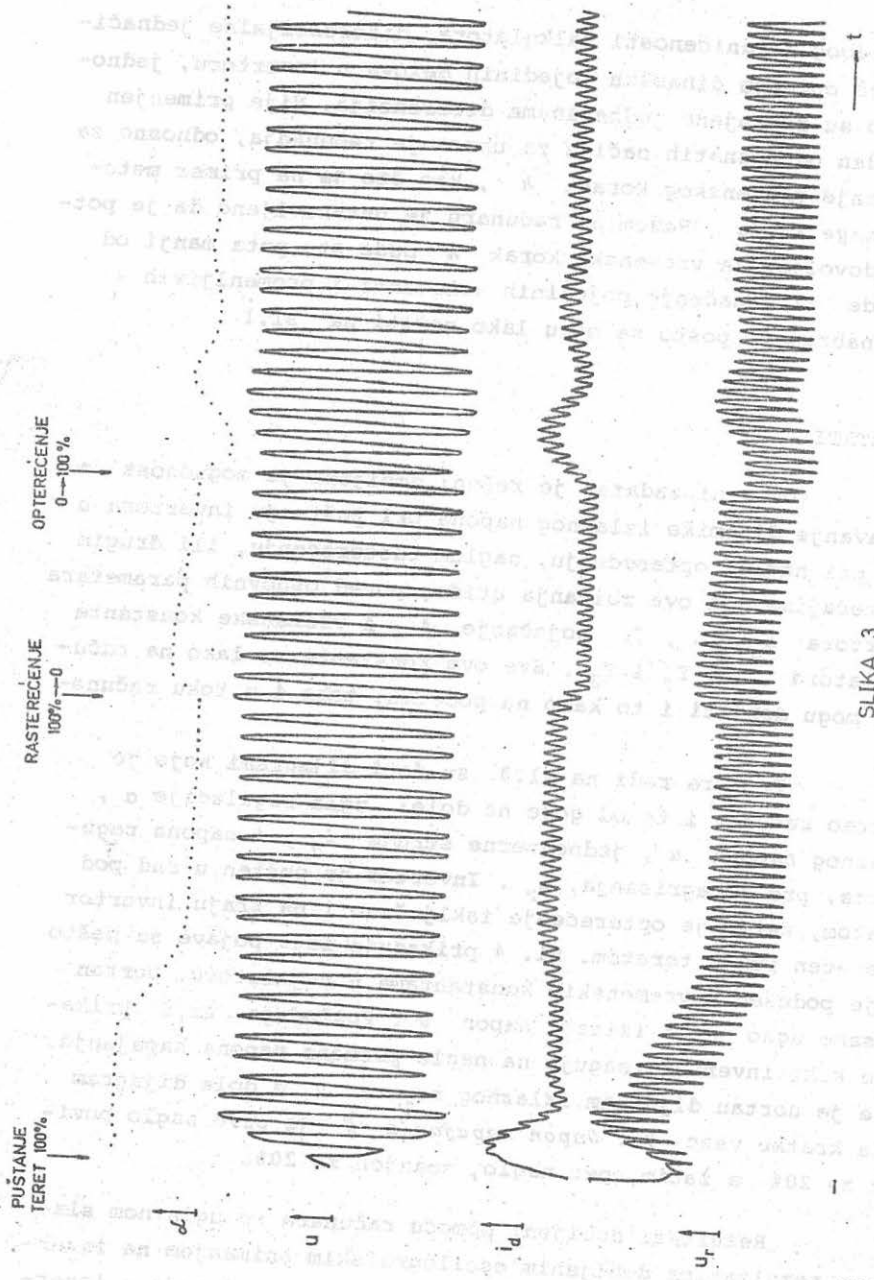
rije. Zbog ograničenosti kalkulatora, diferencijalne jednačine, koje opisuju dinamiku pojedinih delova u invertoru, jednostavno su zamenjene jednačinama diferencijala. Nije primenjen ni jedan od poznatih načina za ubrzanje računanja, odnosno za smanjenje vremenskog koraka h , kao što je na primer metoda *Runge Kutta*. Radom na računaru je ustanovljeno da je potpuno dovoljno da vremenski korak h bude sto puta manji od periode T . Značenje pojedinih konstanti i promenljivih se neće nabrajati pošto se mogu lako uočiti na sl.1.

REZULTATI

Osnovni zadatak je rešen: dobijena je mogućnost za izučavanje dinamike izlaznog napona pri puštanju invertora u rad, pri naglom opterećenju, naglom rasterećenju, ili drugim poremećajima. Na ova zbivanja utiču, pored osnovnih parametara invertora L_d , L , C , pojačanje A , i vremenske konstante regulatora T_1 , T_2 i T_3 . Sve ove konstante se lako na računaru mogu menjati i to kako na početku, tako i u toku računanja.

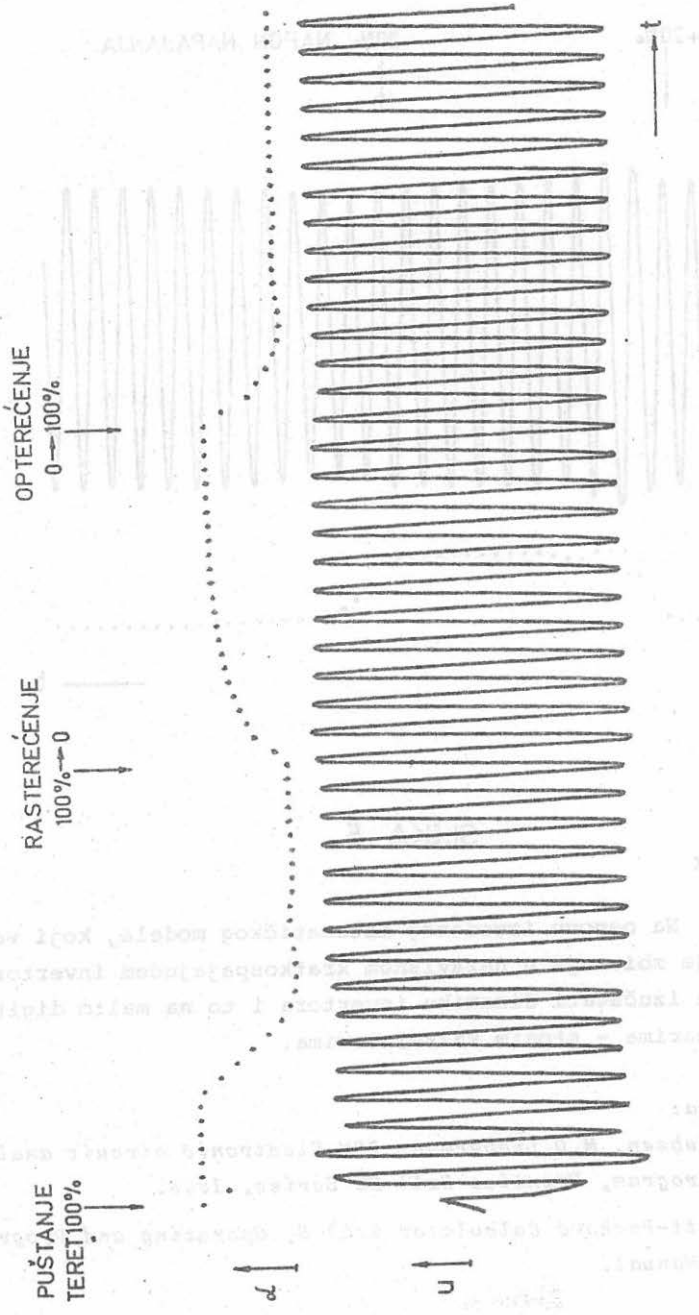
Primeru radi na sl.3 su dati dijagrami koje je nacrtao računar i to od gore na dole: ugla regulacije α , izlaznog napona u , jednosmerne struje i_d , i napona regulatora, pre integrisanja, u_x . Invertor je pušten u rad pod teretom, zatim je opterećenje isključeno i na kraju invertor opterećen punim teretom. Sl. 4 prikazuje iste pojave sa nešto bolje podešenim vremenskim konstantama u regulatoru. Ucrtan je samo ugao α i izlazni napon u . Poslednja sl.5 prikazuje kako invertor reaguje na nagle promene napona napajanja. Gore je ucrtan dijagram izlaznog napona u a dole dijagram ugla kratke veze β . Napon napajanja E je prvo naglo povišen za 20% a zatim, opet naglo, smanjen za 20%.

Rezultati dobijeni pomoću računara se uglavnom slažu sa rezultatima dobijenim oscilografskim snimanjem na invertoru u radu. Ti rezultati su doprineli da se zbivanja u invertoru bolje razumeju, a takodje, i da se bolje podesi njegova dinamika.

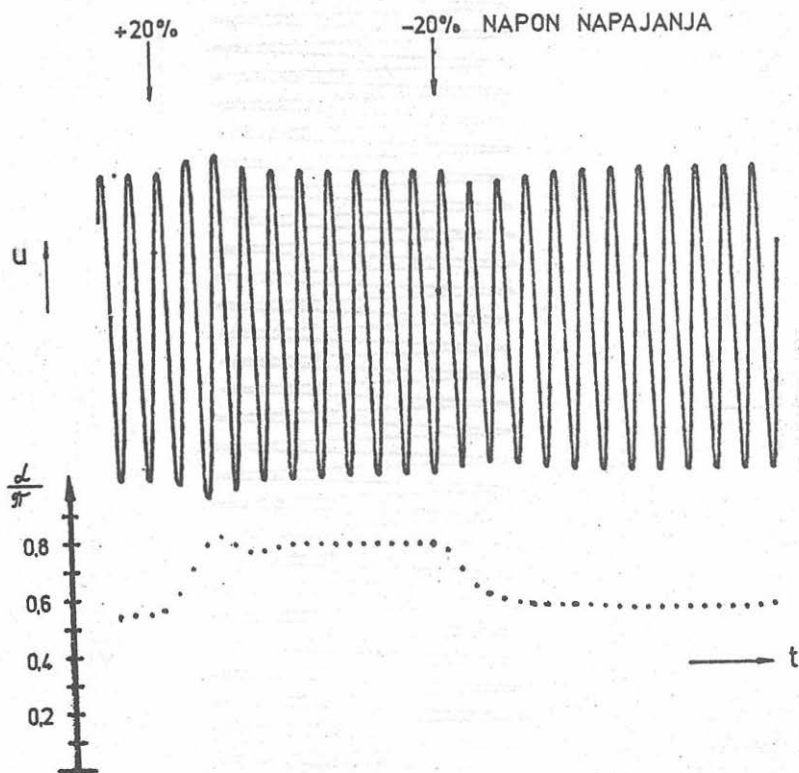


SLIKA 3

F 90



SLIKA 4



SLIKA 5

ZAKLJUČAK

Na osnovu izvedenog matematičkog modela, koji ver-
 no opisuje zbivanja u nezavisnom kratkospajajućem invertoru,
 moguće je izučavati dinamiku invertora i to na malim digital-
 nim računarima - stonim kalkulatorima.

Literatura:

- (1) R.W. Jebsen, M.D. Lieberman: *IBM Electronic circuit analy-
 sis program, Prentice-Hall EE Series, 1968.*
- (2) *Hewlett-Packard Calculator 9100 B, Operating and Program-
 ming Manual.*