

TRANZISTORSKI ČOPER ZA REGULACIJU BROJA OBRTAJA  
JEDNOSMERNOG MOTORA ZA ELEKTROVILJUŠKAR

Milan S. Adžić \*

TRANSISTOR CHOPPER FOR SPEED CONTROL OF DC MOTOR  
FOR ELECTRICAL VEHICLE

Rezime

U članku je prikazano jedno rešenje tranzistorskog čopera za regulaciju broja obrtaja serijskog jednosmernog motora za elektroviljuškar. Poseban akcent je dat na opis upravljačko regulacione elektronike odnosno njenih funkcija. Analiziran je rad elektronskog kola za stvaranje impulsa promenljive frekvencije i širine. Razmatranje osnovnih funkcija i elektronskih kola ilustrovano je rezultatima ispitivanja na realizovanom uređaju.

Synopsis

This article describes an solution of transistor choppers for speed control of DC series motor for electrical vehicle. A description of the basic functions has been given which are solved with the help of control electronics. Special analysis has been provided regarding pulse formation with variable frequency and width. The basis functions and electronic circuits are illustrated with results of tests on the constructed device.

1. UVOD

U području napajanja vučnih motora vozila na jednosmernu struju čoper je našao široko područje primene. On se koristi kako u akumulatorskim vozilima, tako i u vozilima napajanim šinskim i trolnim vodom. U području malih snaga električni prekidači u čoperima se izvode sa tranzistorima a u području velikih snaga sa tiristorima. Pri tome granice primene tranzistora pomeraju se prema velikim snagama, tako da istiskuju tiristore. Ovo se naročito odnosi na čopere za akumulatorska vozila, kod kojih su po pravilu i priključni naponi nižih vrednosti.

U članku je opisano novo rešenje tranzistorskog čopera za regulaciju broja obrtaja serijskog jednosmernog motora za elektroviljuškar, priključnog napona 24V, nominalne struje 80A / 150 A za 3 minuta /.

Primenjena rešenja obezbedila su čoperu sledeće prednosti :

- Kontinualno podešavanje brzine pedalom za vožnju, praktično od mirovanja do pune brzine.
- Obezbeđena mogućnost protivstrujnog kočenja.
- Podešljiva strujna granica.
- Podešljiva struja kočenja.
- Ugrađena termička zaštita za redukciju strujne granice.

---

\* SEVER, Istraživačko razvojni centar ERA  
Magnetna polja 6, 24 000 SUBOTICA

- Ugrađena zaštita od dubokog pražnjenja akumulatorskih baterija.
- Meki start sa podešljivim trajanjem.
- Podešavanje prema uglu zakretanja pedale.
- Upravljanje promenom trajanja i frekvencije impulsa.
- Bezstrujno uključivanje i isključivanje sklopki.
- Automatsko upravljanje sklopkama za šentiranje energetskog tranzistora i pobude.

## 2. UPRAVLJAČKI DEO ČOPERA

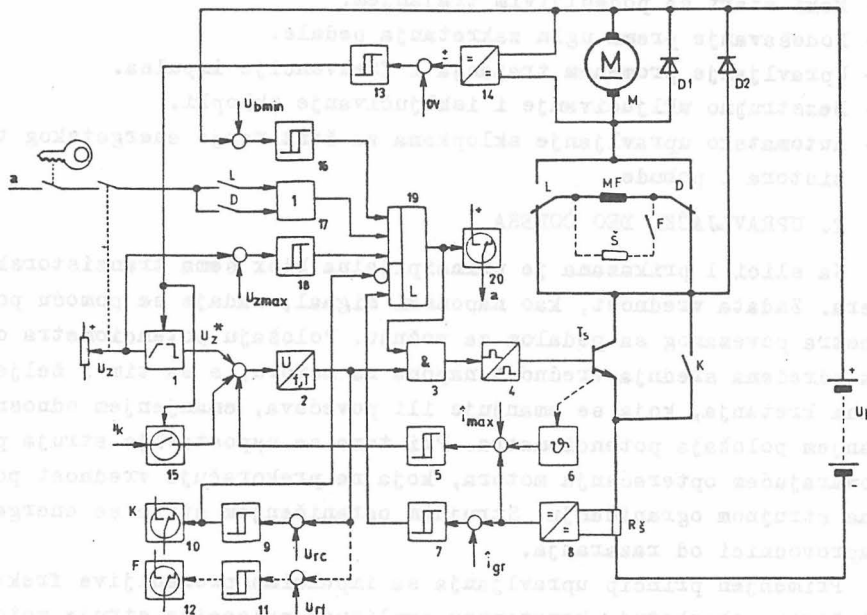
Na slici 1 prikazana je principijelna blok šema tranzistorskog čopera. Zadata vrednost, kao naponski signal, zadaje se pomoću potenciometra povezanog sa pedalom za vožnju. Položaju potenciometra odgovara određena srednja vrednost napona na motoru, a sa tim i željena brzina kretanja, koja se smanjuje ili povećava, smanjenjem odnosno povećanjem položaja potenciometra. Pri tome se uspostavlja struja prema odgovarajućem opterećenju motora, koja ne prekoračuje vrednost podešenu na strujnom ograničenju. Strujnim ograničenjem štite se energetski poluprovodnici od razaranja.

Primenjen princip upravljanja sa impulsima promenljive frekvencije i širine obezbeđuje konstantnu amplitudu pulzacija struje motora, odnosno minimalnu vrednost frekventno zavisnih gubitaka [2]. Pri tome napon motora može se podesiti u granicama približno od 0% do 100%. Rad čopera ilustrovan je slikom 2 na procesu zaletanja motora.

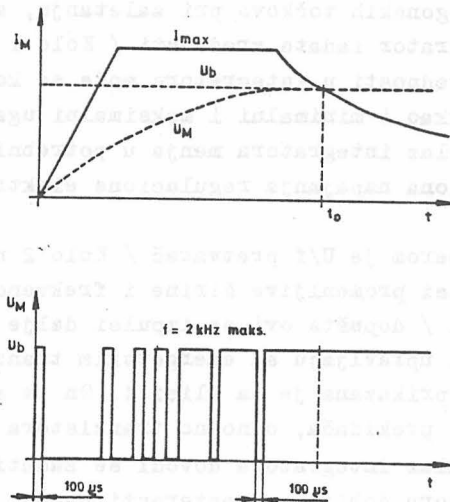
Da bi se sprečilo klizanje pogonskih točkova pri zaletanju, zadata vrednost propušta se kroz integrator zadate vrednosti / Kolo 1 na slici 1 /. Vreme porasta zadate vrednosti u integratoru može se kontinualno podešavati potenciometrom, kao i minimalni i maksimalni ugao potenciometra pedale za koji se izlaz integratora menja u potrebnim granicama, od nule do polovine napona napajanja regulacione elektronike / Slika 3 /.

Centralni deo upravljanja čoperom je U/f pretvarač / Kolo 2 na slici 1 /, u kom se stvaraju impulsi promenljive širine i frekvencije. Ako kolo za blokadu / 3 na slici 1 / dopušta ovi se impulsi dalje pojačavaju / U kolu 4 na slici 1 / i upravljaju sa energetskim tranzistorom čopera. Šema U/f pretvarača prikazana je na slici 4. On se sastoji od integratora, komparatora i prekidača, odnosno tranzistora kojim upravlja komparator [3]. Na ulaz integratora dovodi se zadati referentni napon. Na izlazu integratora dobija se testerasti napon, a na izlazu komparatora pravougaoni.

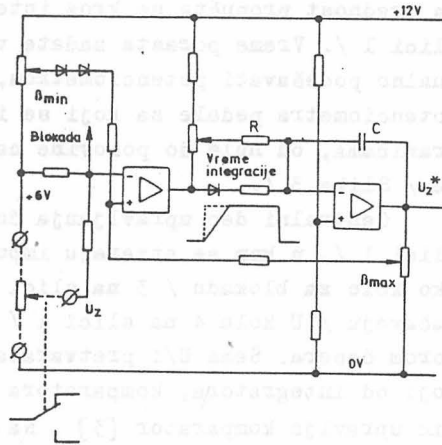
Frekvencija impulsa na izlazu U/f pretvarača određena je sledećim relacijama :



Slika 1. Principijelna blok šema tranzistorskog čopera.



Slika 2. Uz princip rada čopera.



Slika 3. Integrator zadate vrednosti.

$$f = 4 \cdot f_{\max} \cdot d \cdot (1 - d) \quad /1/$$

$$f_{\max} = \frac{U}{16 \cdot U_H \cdot R \cdot C} \quad /2/$$

gde je :

$f_{\max}$  = maksimalna frekvencija,

$d$  = faktor ispunje  $U_M/U_b$ ,

$U$  = napon napajanja regulacione elektronike,

$U_H$  = napon histereze komparatora i

$R \cdot C$  = vremenska konstanta integratora.

Pri tome valovitost struje motora određena je relacijom :

$$\Delta I = \frac{U_b}{4 \cdot L_M \cdot f_{\max}} \quad /3/$$

gde je :

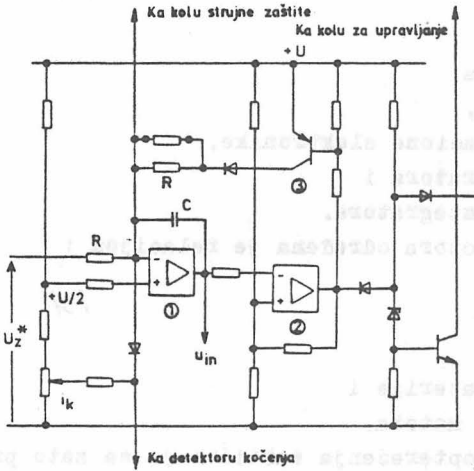
$U_b$  = napon akumulatorske baterije i

$L_M$  = induktivnost namotaja motora.

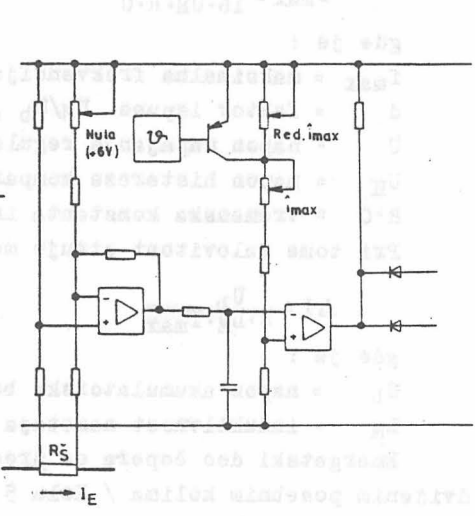
Energetski deo čopera od preopterećenja zaštićen je sa zato predviđenim posebnim kolima / Kola 5, 6, 7 i 8 na slici 1 /. U njima se vrši pojačanje napona sa šenta za merenje i njegovo upoređenje sa dve granične vrednosti. U trenutku kada trenutna vrednost struje dostiže veću vrednost od maksimalne, uticajem na  $U/f$  pretvarač trenutno se prekida pobuda energetskog tranzistora i on se gasi. Za slučaj zaštite od kratkog spoja ili kvara predviđena je i detekcija višeg nivoa granične struje od prethodnog. Detekcija ovog višeg nivoa struje deluje preko posebne logike na isključenje uređaja. Sem toga u rashladno telo energetskih poluprovodnika ugrađen je NTC otpornik za merenje temperature. Pri dostizanju dozvoljene temperature, radi zaštite od preopterećenja automatski se smanjuje veličina maksimalne struje motora na nižu vrednost. Na slici 5 posebno je data šema kola za strujno ograničenje.

Posle završenog procesa pokretanja posebna elektronika / Kola 9 i 10 na slici 1 /, pri dovoljno velikom faktoru ispunje, odnosno dostizanju punog napona motora, uključuje sklopnik za premošćenje, koji kratko spaja energetski poluprovodnik. Pri tome struja motora može da naraste proizvoljno iznad graničnih nivoa, a da ne dođe do isključenja uređaja. Ovo obezbeđuje i savlađivanje velikih uspona, kod kojih maksimalno podešena struja motora nije dovoljna da ubrza vozilo. Sličnim kolom za detekciju nivoa faktora ispunje uključuje se i otpor za šentiranje, odnosno slabljenje pobude / Kola 11 i 12 na slici 1 /.

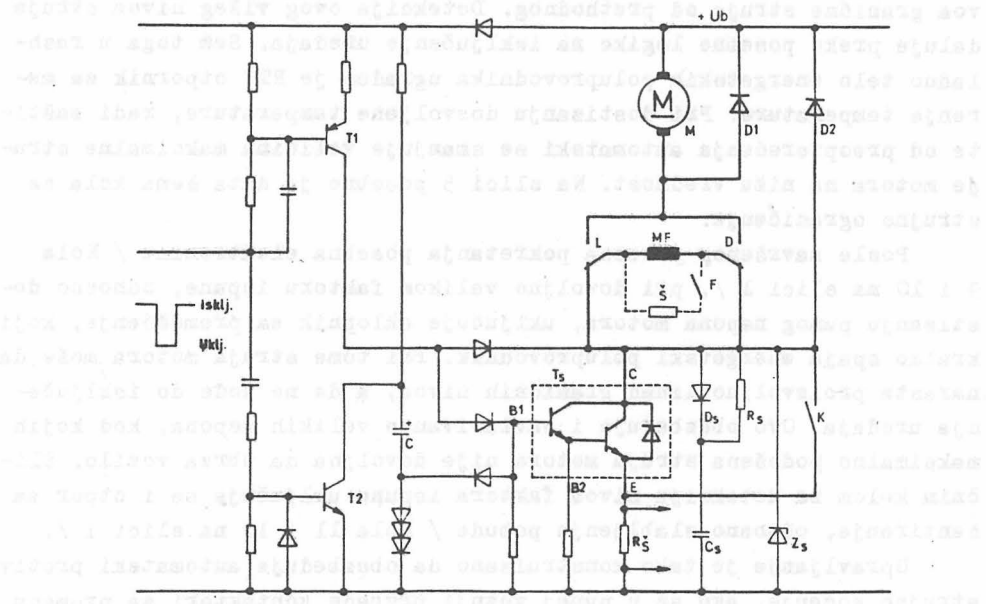
Upravljanje je tako konstruisano da obezbeđuje automatski protiv strujno kočenje, ako se u punoj vožnji prebace kontaktori za promenu smeru struje kroz pobudni namotaj, a papučica ostavi pritisnuta [2] .



Slika 4. U/f pretvarač.



Slika 5. Kolo strujne zaštite.



Slika 6. Energetsko kolo čopera sa kolom za upravljanje.

Zbog promene smera struje kroz pobudni namotaj, indukovana elektromotorna sila u rotoru menja smer, što se detektuje odgovarajućim komparatorom / 13 i 14 na slici 1 /. Za vreme kočenja komparator blokira integrator zadate vrednosti, a na ulaz U/f pretvarača dovodi fiksno podešenu vrednost struje kočenja / Kolo 15 na slici 1 /, koja ne zavisi od toga koliko je pritisnuta papučica. Ako se kad se motor zaustavi papučica ne otpusti, motor će se po rampi zaleteti u suprotnom smeru.

Sem pomenute zaštite od prevelike struje kratkog spoja, u upravljačku elektroniku ugrađene su još zaštita od podnapona, zaštita od prekida potencijometra i kontrola uključenosti sklopki / Kola 16, 17 i 18 na slici 1 /. Zaštite preko zajedničke logike / 19 i 20 slika 1 /, ne dozvoljavaju uključenje čopera sve dok je neka od njih aktivirana.

### 3. ENERGETSKI DEO SA KOLOM ZA UPRAVLJANJE

Na slici 6 prikazana je šema energetskog dela čopera sa kolom za upravljanje. Kao prekidački element iskorišćen je bipolarni Darling-ton tranzistor, zaštićen odgovarajućim RCD kolom za prigušenje. Energetski deo sem toga sadrži zamajne diode i sklopnu i zaštitnu opremu.

Kolo za upravljanje obezbeđuje pozitivnu i negativnu baznu struju, iako se napaja samo iz jednog izvora za napajanje. Negativnu baznu struju obezbeđuje kapacitet, koji se puni i tokom faze vođenja i tokom faze blokiranja. Time je ostvarena mogućnost ostvarenja vrlo velikih faktora ispune.

### 4. ISPITIVANJE ČOPERA

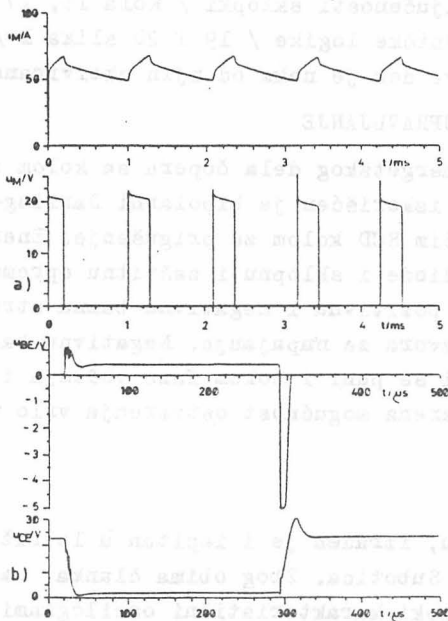
Prototip čopera opisan u članku, izrađen je i ispitan u Istraživačko razvojnom centru ERA u Severu Subotica. Zbog obima članka, na slikama 7, 8 i 9 prikazani su samo neki karakteristični oscilogrami napona i struja, mereni na prototipu, radi ilustracije. Na slici 7 prikazani su struja i napon motora i prekidačkog energetskog tranzistora. Na slici 8 prikazan je proces zaletanja motora. Na slici 9 prikazan je napon na izlazu integratora U/f pretvarača i struje motora za razne položaje papučice. Jasno se uočava da se talasnost struje motora održava konstantnom bez obzira na njen položaj.

### 5. ZAKLJUČAK

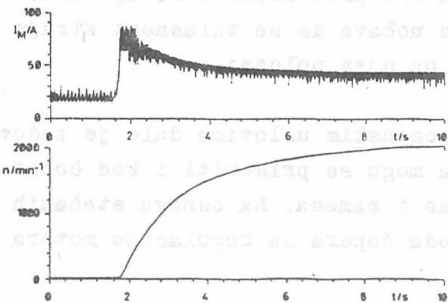
Ispitivanje opisanog čopera u pogonskim uslovima dalo je zadovoljavajuće rezultate. Opisana rešenja mogu se primeniti i kod čopera drugih vrednosti napona i struja, kao i namena. Na osnovu stečenih iskustva izvršiće se dalji razvoj reda čopera za regulaciju motora pogona i pumpi elektroviljuškara.

6. LITERATURA

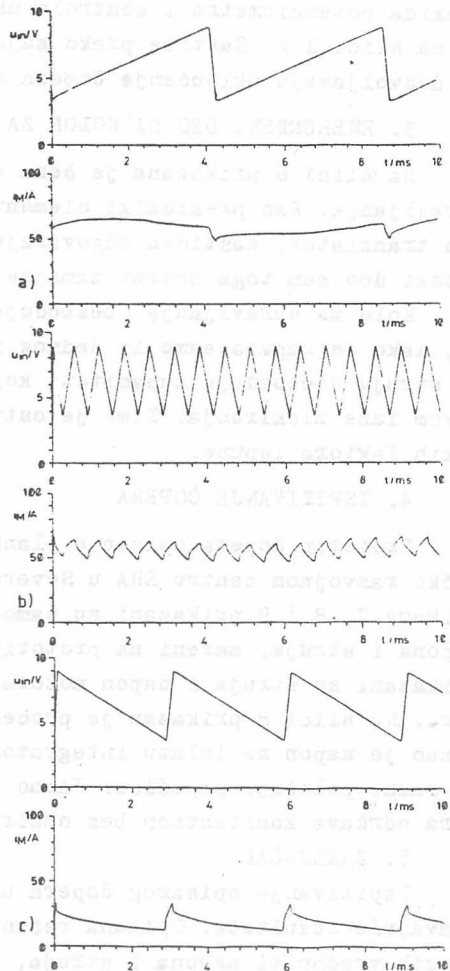
- [1] Đ. Panjević, S. Mitrović: "Jedno rešenje upravljачke elektronike čopera za elektroviljuškar"; Zbornik V savetovanja EE, Ljubljana 1984.
- [2] R. Čeluska, B. Vladimir: "Tranzistorski 4-kvadrantni čoper za upravljanje brzinom vozila sa serijskim istosmjernim motorom"; Zbornik V savetovanja EE, Ljubljana, s. 131...139.
- [3] B. V. Pavlov: "Poluprovodnikovie preobrazovateli v autonomom elektroprivođe postojanova toka"; Energija, Moskva 1984.



Slika 7. Karakteristični talasni oblici u čoperu:  
 a) Struja i napon motora.  
 b) Jedan sklopni ciklus tranzistora.



Slika 8. Struja i broj obrtaja motora pri polasku.



Slika 9. Napon integratora i struja motora za različite položaje papučiće:

- a) Maksimalan
- b) Srednji
- c) Minimalan