

## TRANZISTORSKI SERVOREGULATOR ZA ENOSMERNE MOTORJE S TRAJNIMI MAGNETI

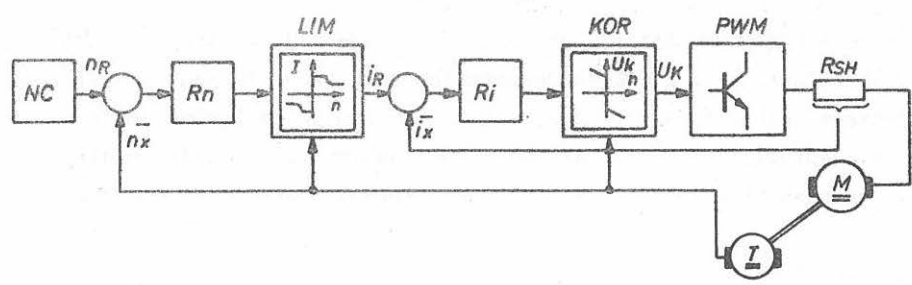
IZVLEČEK: Tranzistorski servoregulator SR-Tr 20/40 je namenjen za napajanje enosmernih servomotorjev s trajnimi magneti pri najzahtevnejših aplikacijah z numeričnimi krmilji na obdelovalnih strojih, robotih in v procesni industriji. Uporabljamo ga povsod tam, kjer se zahteva 4Q obratovanje, ekstremna dinamika, majhna sledilna napaka pozicioniranja, veliko območje regulacije, dober faktor oblike toka in miren tek motorja.

ABSTRACT: Transistor regulator for the direct servomotors with permanent magnets  
Transistor servoregulator SR-Tr 20/40 is designed for power supply of D.C. servo motors with permanent magnets at most demanding applications with numerical controls on machine tools, robots and in processing industry. It is used in all applications where the 4Q mode of operation is required as well as extreme dynamics, small tracing error at positioning, large regulation area, good current form factor and smooth motor motion even at minimum rotary speeds and a complete motor efficiency.

### 1. UVOD:

Tranzistorski servo regulator je zgrajen za uporabo v numeričnih krmiljih v skladu z IEC standardom - publikacija 550 z naslovom: "Vmesnik med numeričnim krmiljem in industrijskimi stroji". Omogoča popolno 4Q obratovanje in s tem pospeševalne in zaviralne momente na osi motorja v obeh smereh vrtenja. Limita toka, ki jo vsebuje tranzistorski servo regulator, zavisi od vrtilne hitrosti, kar omogoča maksimalno izkoriščenost motorja pri pospeševanju in zaviranju.

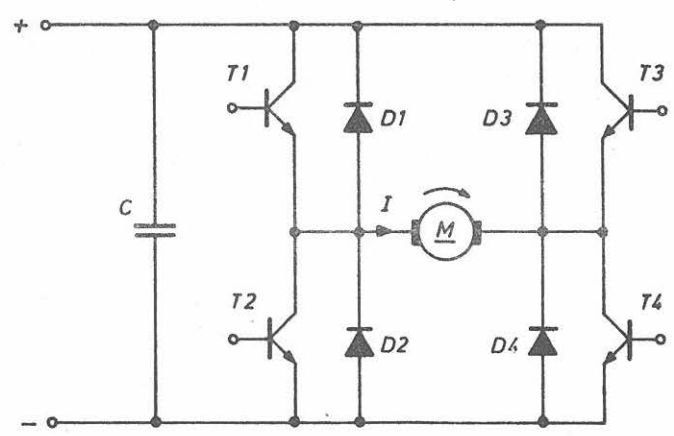
Kot lahko vidimo iz osnovne blokovne sheme servo pogona s tranzistorskim servo regulatorjem na sl. 1 je uporabljena kaskadna regulacija, ki se sestoji iz nadrejenega regulacijskega kroga vrtljajev in podrejenega regulacijskega kroga toka, katerega želena vrednost omejuje limita toka LIM v odvisnosti od trenutne vrednosti vrtilne hitrosti. Regulacijski krog toka vsebuje še korekcijski člen KOR, ki odpravi vpliv mrtvega časa tranzistorskega mostiča (reda 35,  $\mu$ s) in tako ohrani enako dinamiko v celotnem področju regulacije.



- |                                 |                                      |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| NC - numerično krmilje          | PWM - tranzistorski močnostni mostič |
| Rn - regulator vrtilne hitrosti | Rsh - shunt                          |
| LIM - limita toka               | M - motor                            |
| Ri - regulator toka             | T - tahogenerator                    |
| KOR - korekcijski člen          |                                      |

Sl. 1 Osnovna blokovna shema servo pogona s tranzistorskim servo regulatorjem

Blok PWM predstavlja pulzno širinsko moduliran močnostni tranzistorski mostič, ki se sestoji iz štirih močnostnih darlington tranzistorjev (sl. 2.).

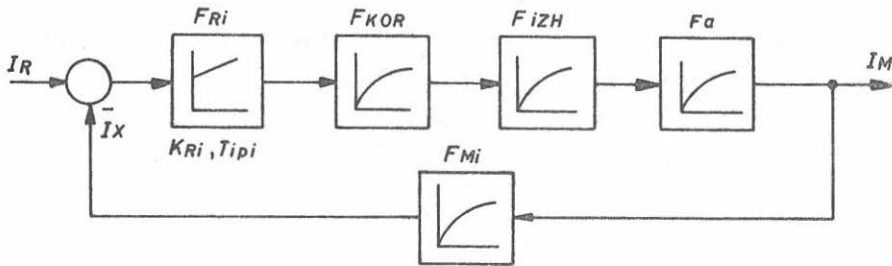


Sl. 2

Krmiljenje močnostnega tranzistorja je izvedeno s posebnim elektronskim vezjem, ki je rezultat raziskovalnega dela ISKRE in je patentno zaščiteno. (Patent NO 1778/82). Informacije o dejanskem stanju toka dobimo z dveh shuntov in jo nato obdelamo s posebnim vezjem, ki obenem zagotavlja delovanje kratkostične zaščite tudi v primeru direktnega kratkega stika na sponkah tranzistorskega servoregulatorja. (Dana je patentna zahteva).

## 2. Optimiranje regulatorja toka

Nadomestno shemo tokovnega regulacijskega kroga vidimo na sl. 3.



$I_R$  - želena vrednost toka

$I_X$  - dejanska vrednost toka

$F_{Ri}$  - regulator toka

$F_{KOR}$  - korekcijski člen

$F_{izh}$  - izhodna stopnja

$F_a$  - armatura

$F_{MI}$  - merilnik toka

Sl. 3. Nadomestna shema tokovnega regulacijskega kroga

Korekcijski člen  $F_{KOR}$  je podan kot člen prvega reda, čeprav je v resnici nelinearen člen, ki ima pri majhnih vhodnih vrednostih veliko ojačanje in pri velikih vrednostih ojačanje ena. Ker pa ima ravno obratno statično karakteristiko kot izhodna stopnja s pulzno širinskim modulatorjem PWM, smo obe funkciji upoštevali kot člen prvega reda s prenosno funkcijo

$$F_{KOR} = \frac{1}{1 + p T_{KOR}} ; T_{KOR} \approx 120 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

Izhodna stopnja je sestavljena iz pulznoširinskega modulatorja in močnostnih stikalnih tranzistorjev. Frekvenca odpiranja tranzistorjev je konstantna in znaša 2 KHz tako, da traja ena perioda 500  $\mu$ s. To je mrtvi čas v sistemu. Prenosna funkcija je torej člen z mrtvim časom, ki pa ga aproksimiramo s členom prvega reda s srednjim mrtvim časom 250  $\mu$ s

$$F_{izh} = K_{izh} \frac{1}{1 + p T_{izh}}$$

- 1)  $K_{izh}$  - ojačanje izhodne stopnje  
 $T_{izh}$  - nadomestna časovna konstanta izhodne stopnje

V prenosni funkciji armature motorja moramo upoštevati dinamično upornost rotorja, ki

ji je potrebno dodati še upornost dovodnih žic in notranjo upornost izvora. Pri induktivnosti pa moramo upoštevati še dodatno induktivnost zvezano v serijo z motorjem.

$$R_a = R_{MD} + R_{izh} + R_{\check{z}} \quad 2)$$

$R_{MD}$  - dinamična upornost motorja

$R_{izh}$  - upornost izhodne stopnje

$R_{\check{z}}$  - upornost dovodnih žic

$$L_R = L_M + L_D \quad 3)$$

$L_M$  - induktivnost motorja

$L_D$  - dodatna induktivnost

Prenosna funkcija armature:

$$F_a = \frac{1}{1 + p \frac{L_a}{R_a}} \quad 4)$$

Merilnik toka pa ima prenosno funkcijo:

$$F_{MI} = \frac{K_{MI}}{1 + pT_{MI}} \quad 5)$$

Ko imamo določene vse člene v regulacijski verigi, lahko določimo parametre tokovnega PI regulatorja. Kot najbolj ustrezen kriterij se je izkazal optimum iznosa.

### 3. Optimiranje regulatorja vrtljajev

Tudi regulator vrtljajev je PI regulator in le v izjemnih primerih PID regulator. Parametre PI regulatorja najlažje določimo na osnovi kritičnega ojačanja in kritične frekvence (sl. 4).

$$K_{Rn} = 0,31 K_{RK} \quad 6)$$

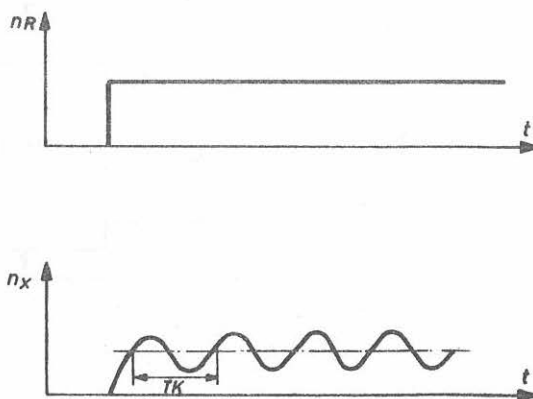
$K_{Rn}$  - ojačanje regulatorja vrtljajev

$$T_{ip} = 2,5 T_K \quad T_K = \frac{1}{f_K} \quad 7)$$

$K_{RK}$  - kritično ojačanje

$T_{ip}$  - časovna konstanta PI regulatorja

$f_K$  - kritična frekvenca



Sl. 4

Tako izbrani parametri zagotavljajo odziv z dušenjem  $Z = 0,5$  do  $0,7$  glede na člen II. reda, ki je primeren za numerično krmilje z vgrajenim digitalnim regulatorjem lege s proporcionalnim (P) značajem.

Če optimiramo pogon za samostojno delovanje brez pozicijske zanke, lahko optimiramo po priporočilih po ZIEGLERJU in NICHOLSU:

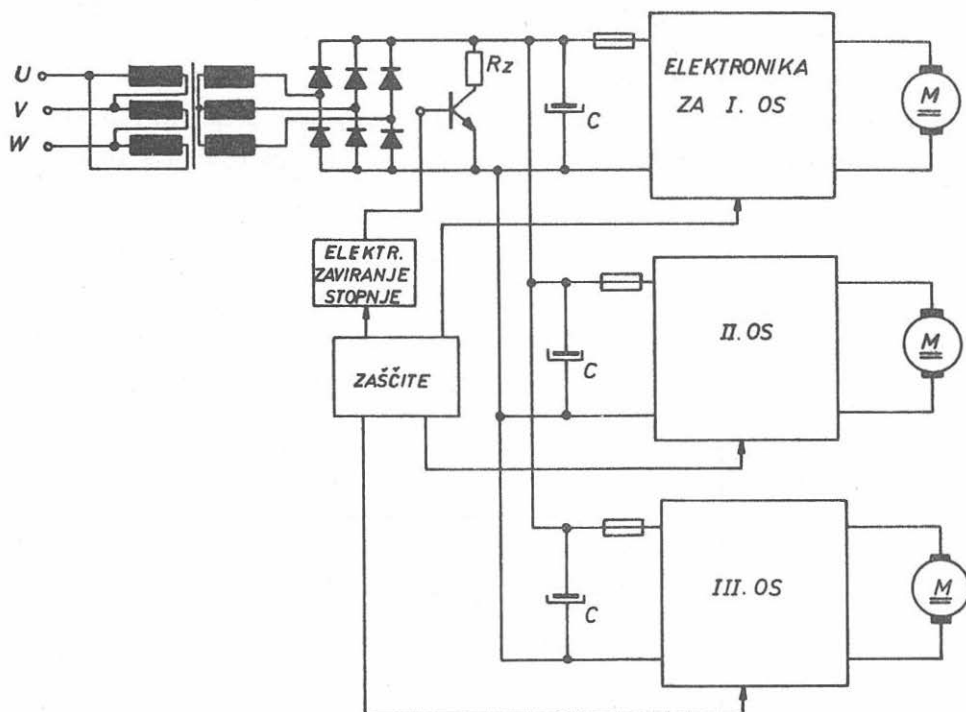
$$K_R = 0,45 K_{RK} \quad 8)$$

$$T_{ip} = 0,85 T_K \quad 9)$$

Pri tem je dušenje prehodnega pojava  $Z = 0,2$  do  $0,3$  glede na člen II reda.

#### 4. Izvedba regulatorja:

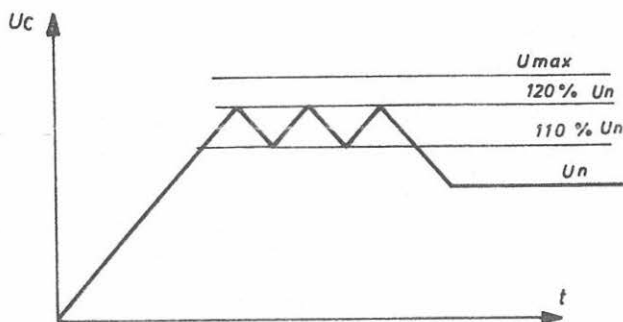
Tranzistorksi servoregulator je zgrajen v izvedbi za eno, dve ali tri osi in je kompaktna celota. Izven samega regulatorja je le močnostni transformator s kontaktorji in stikali. Principielna shema je na sl. 5.



Sl. 5

Regulator ima skupen napajalnik za vse osi, elektronike za posamezne osi pa so v obliki samostojnih modulov. Poleg tega pa ima regulator tudi skupni zaviralni in zaščitni modul. Pri reverziranju in zmanjševanju vrtilne hitrosti motorja se energija rotirajočih mas

vrača v napajalnik in zvišuje napetost na kondenzatorjih C. Če se ta energija pravočasno ne porabi za pospeševanje jo moramo uničiti na zaviralnem uporu  $R_z$ , sicer bi napetost preveč narasla. Zaviralni upor se vklopi, ko napetost na kondenzatorjih naraste za ca 20 %, izklopi pa se ko pade na 110 % nazivne napetosti (sl. 6.).



Sl. 6

Regulator vsebuje tudi naslednje zaščite:

- zaščita pred zemeljskim stikom
- zaščita v primeru izpada vzbujaalne napetosti močnostnih tranzistorjev
- zaščita v primeru izpada napajalne napetosti  $\pm 15$  V
- zaščita pred previsoko napajalno napetostjo  $U_{max}$  (sl. 6)
- $J^2t$  zaščita (ščiti motor in regulator pred preobremenitvijo)

Osnovni tehnični podatki ISKRINEGA tranzistorskega servoregulatorja:

- maksimalna izhodna napetost 220 V = (prazen tek)
- trajni enosmerni tok 20 A
- maksimalni enosmerni tok 40 A  $t = 200$  ms + 3 s
- minimalna induktivnost 5mH
- trajna izhodna moč 4 KW
- impulzna izhodna moč 8 KW
- območje regulacije 1 : 10 000

S tem regulatorjem napajamo naše enosmerne motorje tip MEDX1XX do MEDX3XX. To so servo motorji z majhnim vztrajnostnim momentom in induktivnostjo. S tranzistorskim servo regulatorjem jih tako termično kot dinamično izkoristimo maksimalno. Čas odziva za motor MEDX2XX je ca  $12 + 15$  ms v linearnem delu. Pri tem je mišljen komplet regulacijski čas z iznihavanjem vred.

#### ZAKLJUČEK:

Osnovne prednosti tranzistorskega regulatorja so:

- valovitost bremenskega toka skozi motor ob uporabi tranzistorskega servo regulatorja

je bistveno manjša kot pri tiristorskem regulatorju (in s tem tudi valovitost momenta )

- dinamika tranzistorskega servo regulatorja je mnogo boljša (odziv na spremembo hitrosti in bremena). Manjši je tako regulacijski kot tudi statistični mrtvi čas.
- zaradi manjše valovitosti toka se motor manj segreva, zato lahko motor bolje izkoristimo (večji moment). Predpišemo manjši motor za isti moment.
- obremenjevanje omrežja z jalovo energijo je zanemarljivo
- hitra tokovna limita in zaščita tranzistorjev
- življenska doba ščetk motorja je daljša

Slabše strani tranzistorskega servo regulatorja v primerjavi s tiristorskim so:

- zagonski tok je manjši
- lastna poraba regulatorja je večja, ker je za krmiljenje tranzistorjev potreben stalen tok
- regulator pri zaviranju energijo ne vrača v omrežje, temveč v napajalnik, oziroma jo uničuje ob uporabi dodatnega modula v primeru prevelikega generatorskega delovanja servo motorja
- cena tranzistorskega servo regulatorja je višja.

#### LITERATURA:

1. An engineering handbook by electrocraft corporation DC motors, speed controls, servo systems. Third Edition, 1975
2. Patentna prijava ISKRE pri zveznem zavodu za patente št. 1778/82
3. IEC STANDARD - Publication 550; Vmesniki med numeričnim krmiljem in industrijskimi stroji
4. IEC STANDARD - Publication 146-3; Semiconductor convertors