

## VAŽNEJŠI ELEKTRONSKI SESTAVI STIKALNIH PRETVORNIKOV

Ferjan Borut  
ISKRA-AVTOMATIKA, TOZD RAZVOJNI INSTITUT

### IZVLEČEK

Enostavna analiza stikalnih pretvornikov v referatu kaže na nujnost nekaterih elektronskih sestavov v modernih napajanjih za elektroniko.

Članek obravnava širinsko modulirani regulator, nekatera važna zaščitna vezja ter avtomatiko pri delovanju večjega števila pretvornikov v sistemu.

### SOME IMPORTANT COMPONENTS IN SWITCH MODE POWER SUPPLY

A simple analysis of SMPS shows the necessity of some electronic components in modern power electronic.

This paper deals with analysis of pulse width modulator, sensing and protecting circuit and automatic power switch on-off when we are working with two or more power supplies.

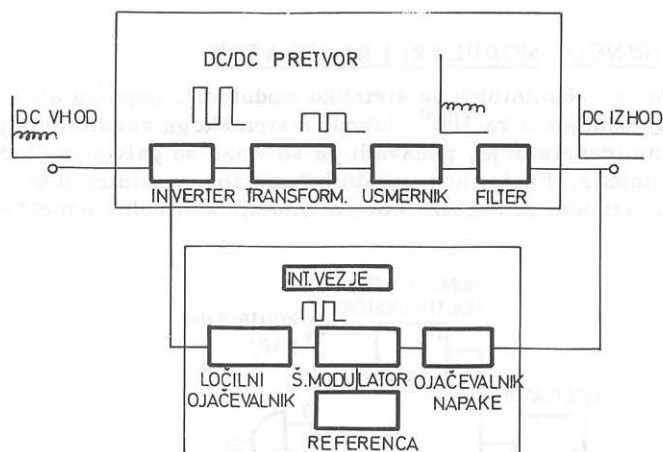
### UVOD

Stikalni pretvornik v primerjavi s serijskim predstavlja manjšo, lažjo ter predvsem ekonomičnejšo varianto napajanja v elektroniki.

Pri močeh 100 + 200W je stikalni pretvornik manjši, lažji ter dela v bistveno večjim izkoristkom kot serijski pretvornik. Seveda pa je istočasno tudi bolj kompleksen prav zaradi impulzno širinske modulacije, ki predstavlja regulacijo v tem pretvorniku. Izkoristek stikalnega pretvornika je nekje med 60% in 90%, cena od moči 200W naprej je nižja kot pri serijskih pretvornikih, teža in volumen pa precej manjša. Pretvorna frekvenca je med 1 KHz in 300 KHz. Prav zaradi visoke frekvence povzročajo stikalni pretvorniki radijske motnje. Odziv na spremembo bremena ali vhodne napetosti je reda nekaj ms.

### STIKALNI PRETVORNIK

Osnovna pretvorna shema stikalnega pretvornika je prikazana na sliki 1.



Slika 1

Vhodno enosmerno napetost tranzistorji razsekajo s pretvorno frekvenco. Feritni transformator galvansko loči ter pretvori razsekano napetost, ki se še usmeri ter filtrira. Tako se dobi drug enosmeren napetostni nivo, ki predstavlja v DC/DC pretvorniku izhodno napetost. Spremembe vhodne napetosti in bremena na izhodu pretvornika, bi spreminjale tudi izhodno napetost. Da se to ne dogaja, poskrbi stikalni regulator, ki je v pretvorniku vključen v napetostno povratno zanko. S stikalnim regulatorjem reguliramo, oz. stabiliziramo izhodno napetost, tako, da spreminjamo širino impulzov stikalnih tranzistorjev. S spreminjanjem širine impulzov reguliramo pretok energije iz vhoda na izhod. Izhodna napetost ostane konstantna kljub spreminjanju vhodne napetosti če je izpolnjenja relacija:

$$\delta_{\min} V_{i \max} = \delta_{\max} V_{i \min} = \text{konst.},$$

to pomeni, da je produkt minimalne širine impulza in maksimalne vhodne napetosti enak produktu maksimalne širine impulza in minimalne vhodne napetosti.  $\delta$  pomeni širino impulza. Maksimalen  $\delta$  je 0,5, kar pomeni čas prevajanja enega stikalnega tranzistorja. Drug stikalni tranzistor prevaja v ostali polovici polperioda. Zaradi varnosti je maksimalni  $\delta = 0,45$ .

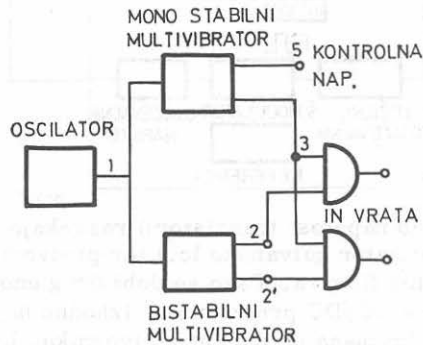
$\delta_{\text{low}}$	$\delta_{\min} \text{ at } V_{i \max}$	$\delta_{\max} \text{ at } V_{i \min}$
0,1	0,29	0,45
$V_0$ -nastavitev	$V_0$ -stabilizacija	

Slika 2

Na sliki 2 je narisana diagram spreminjanja  $\delta$  pri spreminjanju vhodne napetosti. Močno izvlečen del črte predstavlja spremembo  $\delta$ , oziroma širine impulzov pri ustrezni spremembi vhodne napetosti.

### ŠIRINSKO MODULARNI REGULATOR

Naloga regulatorja je širinska modulacija impulza ali dveh impulzov fazno premaknjenih za  $180^\circ$ . Izhod iz širinskega regulatorja poganja lahko stikalne tranzistorje, ponavadi pa so vmes še galvansko ločilne in ojačevalne stopnje. Frekvenco izhodnih impulzov regulatorja določa oscilator. Širino izhodnega impulza določa zunanja kontrolna napetost.



Slika 3

Slika 3 kaže preprost impulzni regulator. Oscilator (1) daje krmilni signal bistabilnemu multivibratorju in monostabilnemu multivibratorju. Na izhodu bistabilnega multivibratorja (2 in 2') dobimo  $180^\circ$  fazno premaknjena impulza. Izhod monostabilnega multivibratorja (3) širinsko moduliramo s kontrolno napetostjo. Izhode (3 in 2, 2') peljemo na elektronska IN vrata, ki spustijo impulze bistabilnega multivibratorja samo takrat, ko to dovoljuje monostabilni multivibrator. Na ta način dobimo izhodno modulirane širinske impulze.

V napajalnem sistemu je regulator vključen v povratno zanko, v kateri je tudi napetostni ojačevalnik napake. Ojačevalnik napake daje na svojem izhodu kontrolno napetost in s tem spreminja širino izhodnih impulzov. Če pretvornik na izhodu dvigne napetost, ojačevalnik napake deluje tako, da s kontrolno napetostjo zmanjša širino impulzov preklopnih tranzistorjev in s tem drži izhodno napetost konstantno.

To je le enostaven shematski primer impulzno širinske regulacije. Zahteva nekaj elektronskih vezij, ki danes obstajajo že integrirana v eno samo LSI integrirano enoto. To je tudi smiselno, saj je tako povečana zanesljivost, enostavnost, kvaliteta, cena pa je nižja. Veliki proizvajalci elektronskih sestavov že nekaj let proizvajajo integrirane regulatorje, ki vsebujejo vsa zgoraj opisana elektronska vezja.

Majhna primerjava integriranih regulatorjev: Silicon General je že leta 1976 poslal na tržišče integrirano vezje, ki izpolnjuje vse zahtevane pogoje za stikalne pretvornike.

SG 1524J integrirani regulator vsebuje napetostno frekvenco, ojačevalnik napake, oscilator, impulzno širinski modulator, bistabilni multivibrator, tokovni ojačevalnik - omejevalec, hitri izklopnik ter dvojni izhodni ojačevalnik. Maksimalna tokova izhodnih tranzistorjev sta 100 mA, napajalna napetost integriranega vezja je 40V, maksimalna frekvenca oscilatorja je 100 kHz. Funkcijo monostabilnega multivibratorja prevzame impulzni komparator, z ALI vrati pa dosežemo pravilno impulzno širinsko selekcijo, ki ju ojačujeta končna tranzistorja v regulatorskem integriranem vezju.

Približno enako popolno je tudi Motorolino integrirano regulatorsko vezje MC 3420, ki vsebuje simetrični oscilator - nastavljivost frekvence 2 kHz - 100 kHz, impulzno širinski modulator, napetostno referenco, komparator "mrtvega časa", hitri izklopnik, možnost simetriziranja izhodnih impulzov, maksimalni tok izhodnih tranzistorjev je 50 mA, zaščita pred sočasnima impulzoma pri obremenitvi in mehak start.

#### NAPETOSTNO OJAČANJE STIKALNEGA REGULATORJA

Slika 4 in slika 4-a kažeta integrirano vezje MC 3420 ter pripadajoče impulzne oblike. Oscilator daje na izhodu simetrično trikotno napetost, ki je omejena z dvema enosmernima nivojema. Vc je kontrolna napetost, ki regulira izhod tako, da kljub spremembam vhodne napetosti in bremena drži izhod napajalnika konstanten. Višina nivoja kontrolne napetosti določa širino izhodnega impulza, kar se vidi v spodnjih dveh vrsticah (Pin 11 in Pin 13). Spodnji enosmerni nivo določa mrtvi čas, to je zaščita pred istočasnim impulzom obeh izhodov. Če gre konstantna napetost čez vrh trikotne oscilatorjeve napetosti impulza sploh ni, oziroma se je skrčil na minimum, če pa nivo konstantne napetosti pade pod spodnji varnostni omejitveni nivo, so izhodni impulzi maksimalno odprti.

Izhodno napetost stikalnega pretvornika kaže formula:

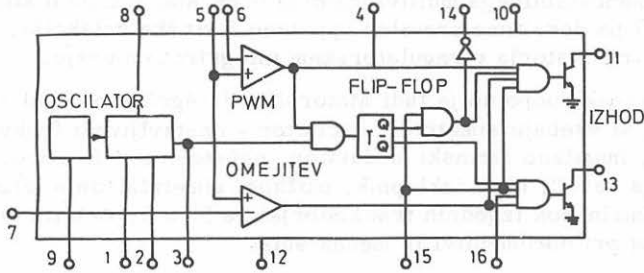
$$V_o = \frac{T_{on}}{T}$$

Trikotna izhodna napetost oscilatorja s kontrolno napetostjo določa širino impulza, oziroma čas, ko je preklopni tranzistor odprt ( $T_{on}$ ). Maksimalna višina trikotne napetosti je  $V_t$ , če je kontrolna napetost višja ali enaka  $V_t$  je  $T_{on} = 0$ , če pa je nivo kontrolne napetosti na dnu trikotne oscilatorjeve napetosti, takrat je širina izhodnega impulza tranzistorja maksimalna  $T_{on} = T$ ,

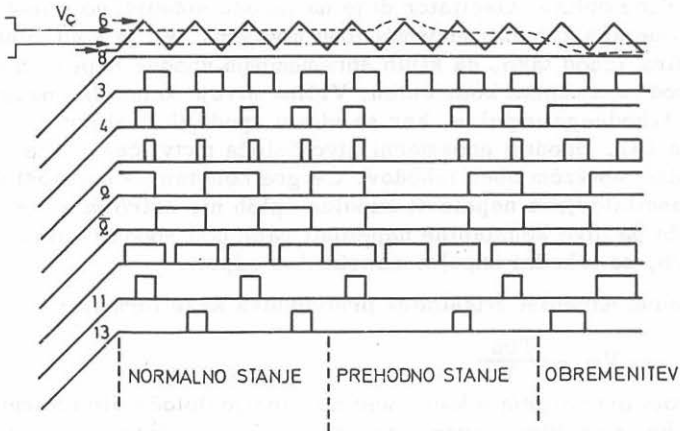
$$\frac{T_{on}}{V_c} = \frac{T}{V_t}$$

Napetostni ojačevalnik napake ojačuje razliko med referenčno napetostjo in potenciometriško deljeno izhodno napetostjo. Izhodna napetost ojačevalnika napake je kontrolna napetost  $V_c$ . Na vhodu komparatorja se primerja trikotna napetost oscilatorja ter kontrola napetost ojačevalnika napake. Izhod komparatorja že določa širino končnega impulza. Napetostna povratna zanka stabilizira izhodno napetost tako, da stalno primerja vhodno napetost z

referenco ter ob spremembah vhodne napetosti spreminja širino impulzov, s tem pa prenešeno energijo tako, da je izhodna napetost konstantna.



Slika 4



Slika 4a

Izračun napetostnega ojačanja stikalnega regulatorja:

$V_o$	izhodna napetost pretvornika
$V_{in}$	vhodna napetost pretvornika
$f$	pretvorna frekvenca
$T$	$\frac{1}{f}$

$V_c$	kontrolna napetost
$V_t$	maksimum trikotne oscilatorjeve napetosti
$T_{on}$	čas, ko je izhodni preklopni tranzistor odprt
$A_t$	ojačanje odprte zanke
$A_1$	ojačanje napetostnega ojačevalnika

$$V_o = V_{in} \frac{T_{on}}{T} \quad \text{izhodna napetost}$$

$$\frac{V_o}{T_{on}} = \frac{V_{in}}{T}$$

$$\frac{V_o}{V_c} = \frac{V_o}{T_{on}} \frac{T_{on}}{V_c} = \frac{V_{in}}{T} \frac{T}{V_t} = \frac{V_{in}}{V_t} \quad \text{razmerja sprememb}$$

$$\frac{V_o}{V_c} = \frac{V_{in}}{V_t}$$

Potrebno ojačanje odprte zanke:

$$A_t = A_1 \frac{V_{in}}{V_t} \quad A_1 \text{ je ojačanje napetostnega ojačevalnika napake}$$

$$\Delta V_o = \frac{T_{on}}{T} V_{in} - \Delta V_o A_1 \frac{V_{in}}{V_t} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2}$$

$\frac{R_2}{R_1+R_2}$  predstavlja potenciometri delilnik.

$$V_o \left( 1 + \frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot \frac{V_m}{V_t} \cdot A_1 \right) = \frac{T_{on}}{T} \Delta \cdot V_{in}$$

$$\Delta V_o = \frac{\Delta V_{in} \frac{T_{on}}{T}}{1 + A_1 \frac{V_{in}}{V_t} \frac{R_2}{R_1+R_2}}$$

obe strani enačbe se deli z  $V_o = V_{in} \frac{T_{on}}{T}$

$$\frac{\Delta V_o}{V_t} = \frac{\Delta V_{in}}{V_{in}} \cdot \frac{1}{1 + A_1 \frac{V_{in}}{V_t} \frac{R_2}{R_1+R_2}}$$

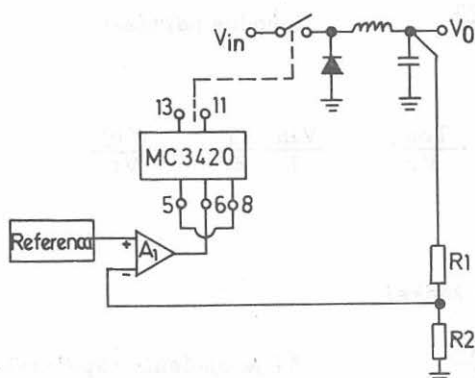
Enačba pove, da je procentualna sprememba izhodne napetosti enaka procentualni spremembi vhodne napetosti, deljeni s faktorjem

$$1 + A_1 \frac{V_{in}}{V_t} \frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot$$

Faktor  $1 + A_1 \frac{V_{in}}{V_t} \frac{R_2}{R_1+R_2}$  oziroma  $A_1 \frac{V_{in}}{V_t} \frac{R_2}{R_1+R_2}$

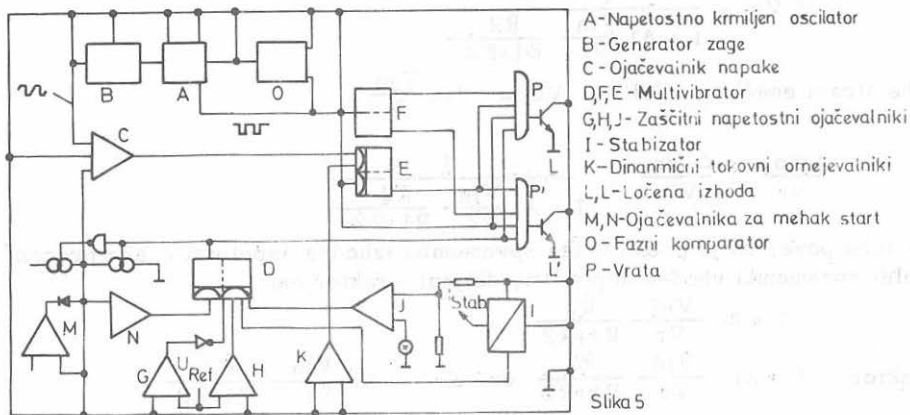
pove potrebno ojačanje za stabilizacijo izhodne napetosti ob spremembi vhodne napetosti.

Slika 4-b kaže vključitev integriranega vezja MC 3420 v napetostno povratno zanko.



Slika 4b

Motorolni mlajši pretvornik TL 494/ TL 495 je le izpopolnjena verzija MC 3420. V vezju sta dva operacijska ojačevalnika in možnost priključitve integriranega vezja na višje napajalne napetosti. Nekoliko drugačno in bolj popolno pa je Siemensovo integrirano vezje TDA 4700 in TDA 4718. Novosti pri TDA4700 in TDA 4718: oscilator deluje od 40 do 250 KHz, kar kaže možnosti delovanja pretvornika na višjih pretvornih frekvencah, kompenzacija vhodne valovitosti s pomočjo VCO (napetostno kontrolirani oscilator), podnapetostni in prenapetostni komparator ter dinamični tokovni omejevalnik. Slika 5 kaže blok smeho in impulzne diagrame integriranega vezja TDA 4700.



Slika 5

## ZAŠČITE

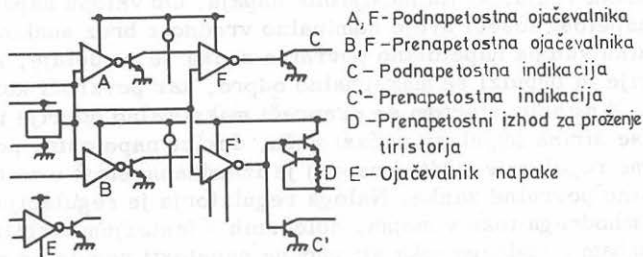
Zaščite v stikalnih pretvornikih se delijo na zaščite, ki ščitijo pretvornik in zaščite, ki ščitijo in nadzorujejo napajanje elektronskih vezij. Izhod pretvornika mora biti v času delovanja v svojem tolerančnem področju, ki je določen s faktorjem stabilizacije. Širše tolerančno področje omejuje zaščita. Kakršen koli pobeg izhodne napajalne napetosti lahko poškoduje elektronska vezja, ki jih napajalnik napaja. Ob vklopu napajalnika mora izhodna napetost doseči svojo nominalno vrednost brez sunkov ali prenihajev. V trenutku vklopa napetostno povratna zanka še ne deluje, zato ni nikakršne regulacije in impulzi se maksimalno odpro, kar povzroči konico v izhodni napetosti. Z mehkim startom se prepreči maksimalno odprtje impulzov. Ob vklopu se širina impulzov počasi večja, dokler napetostno povratna zanka ne prevzame regulacije. Odtod naprej je izhodnanapetost v mejah stabilizacije napetostno povratne zanke. Naloga regulatorja je regulacija izhodne napetosti in izhodnega toka v mejah, določenih s faktorjem stabilizacije. Hitrim spremembam izhodnega toka ali vhodne napetosti regulator ne more slediti (nagla obremenitev ali razbremenitev), kar povzroča konico v izhodni napetosti. Zaščitni vezje, ki nadzira izhodno napetost lahko v določenem tolerančnem področju dovoljuje prenapetost in podnapetost, če pa napetostne konice presežejo tolerančna nivoja, mora čim hitreje posredovati in to tako, da izklopi napajalnik. Vsaka prenapetostna konica, ki preseže določen nivo lahko izključi napajalnik. Pri podnapetostni zaščiti ni tako strogih zahtev, vendar naj bi vseeno registrirala vsaj nek podnapetostni nivo.

Za nadzor izhodne napetosti obstojajo LSI integrirana vezja, ki popolnoma nadzorujejo izhodno napetost in s tem ščitijo občutljiva elektronska vezja pred prenapetostno konico ali pred okvaro regulatorja. Vezja so narejena tako, da v napajalniku vključujejo tiristor, ki v izhodnem ali vhodnem tokokrogu povzroči kratek stik in s tem izključi napajalnik. Napajalnik mora tako vsebovati tokovno zaščito v izhodu ali pa varovalko v vhodnem tokokrogu. V primeru podnapetosti se dogaja isto, ali pa se samo signalizira prenska napetost. Nekatera zaščitna vezja dovoljujejo časovno toleranco prenapetosti, to pomeni, da zaščitna vezja posredujejo šele po naprej določenem času. S tem se je možno izogniti izklopu napajalnika, kljub napetostni konici na izhodu, ki ni škodljiva napajanemu vezju. Na ta način je preprečen nepotreben izklop. Zaščitno vezje proži tiristor, ki kratko stakne izhod napajalnika, to pomeni, da mora imeti napajalnik tokovno omejitev. Izhodna napetost naj bi čim hitreje padla na OV. To je potrebno, saj počasno drsenje izhodne napetosti pri majhni obremenitvi lahko škodljivo vpliva na nekatera vezja, ki jih napaja. Pri izklopu naj bi izhodna napetost čim hitreje dosegla OV, zato tiristor v izhodnem tokokrogu lahko istočasno pomeni tudi rešitev hitrega praznjenja izhodnih kondenzatorjev. Komparatorji v zaščitnih vezjih delujejo s histerezo, tako so preprečene oscilacije pri prenapetostnem preklopu. Zaščitna vezja vsebujejo tudi spomin (LATCH), ki je ponavadi realiziran s še enim tiristorjem ali bistabilnim multivibratorjem tako, da vhodna napetostna konica, ki ni v dovoljenem tolerančnem področju sigurno izklopi

napajalnik, saj si spominsko vezje zapomni previsoko napetost, čeprav ta hitro pade v tolerančno področje, na ta način se sigurno izklopi napajalnik.

Slika 6 shematsko kaže kompletno nadzorno integrirano vezje.

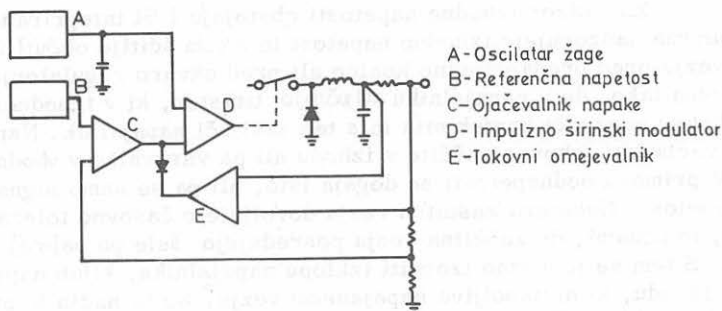
Vsebuje prenapetostno zaščito in signalizacijo, podnapetostno signalizacijo ter analogno ojačevalno vezje, ki lahko služi kot analogna tokovna omejitev. Obe zaščiti imata možnost delovanja z zakasnitvijo.



Slika 6

### LISTNA ZAŠČITNA VEZJA NAPAVALNIKA

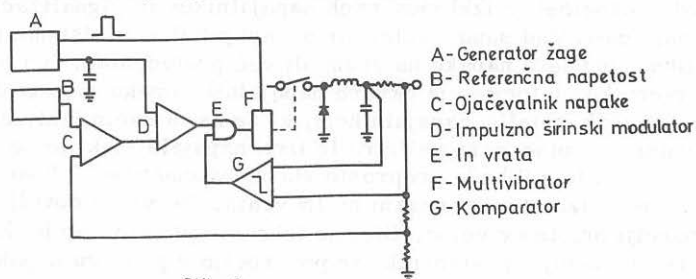
Tokovna zaščita naj bi ščitila napajalnik pred prevelikim izhodnim tokom, Slika 7 in slika 7-a kažeta bremensko regulacijo z analognim tokovnim omejevalcem.



Slika 7

Pod nazivno obremenitvijo napetostna povratna zanka preko širinskega modulatorja maksimalno odpre impulze. Z uvedbo še ene povratne zanke dosežemo tokovno regulacijo. Tokovni operacijski ojačevalnik s svojim izhodom seže prav v isto točko impulzno širinskega modulatorja kot napetostni ojačevalnik in tudi deluje na enak način. Ko čez shunt teče večji tok od nazivnega, napetost na shuntu tokovnega ojačevalca zmanjša širino impulzov pulzno širinskega modulatorja in s tem stabilizira izhodni tok.

Analogna tokovna zaščita nima najbolj idealne strmine, predvsem zaradi premajhnega ojačanja tokovnega ojačevalnika. Večje ojačanje bi pomagalo k boljši tokovni stabilizaciji, povečala pa bi se nevarnost oscilacij v prehodu med napetostno in tokovno stabilizacijo. Z digitalno tokovno omejitvijo dobimo dosti bolj idealno tokovno karakteristiko. Princip digitalne tokovne omejitve: Napetost merilnega shunta v izhodnem tokokrogu napajalnika peljemo na komparator. Izhod komparatorja pa že direktno zapira izhodne impulze. Samo vezje ni tako preprosto, potrebujemo tudi realizacijo elektronskega spomina. V impulzu tok preseže dovoljeno vrednost, določeno s shuntom preko komparatorja in spomina omeji širino impulzov preklopnih tranzistorjev na minimum in tako uspešneje tokovno regulira. Slika 8 shematsko ponazarja princip digitalne tokovne omejitve.



Slika 8

Prenapetostna in podnapetostna vhodna zaščita ni tako pomembna kot izhodne zaščite. Modernejša integrirana LSI impulzno širinska regulatorska vezja vsebujejo komparatorje, oziroma ojačevalnike prav v ta namen. Vsekakor je kontrola podnapetosti vhodne napetosti potrebna za normalno delovanje pretvornika. V slučaju podnapetosti naj bi se pretvornik izklopil. Regulacija teh vezij ponavadi ni zahtevna. Uporablja se diskriminator s histerezo. Na ta način se dobi okno v vhodni napetosti, kjer naj napajalnik deluje.

Dodatna zaščita na vnosu je še zaščita pred napačno priključitvijo vhodne napetosti. Ponavadi se ta zaščita izvede z močnostno diodo, priključeno preko varovalke paralelno vhodni napetosti. V primeru zamenjave polaritete pregori varovalka.

#### AVTOMATIKA VKLOPA IN IZKLOPA TER SIGNALIZACIJA VEČJEGA ŠTEVILA NAPAJALNIKOV

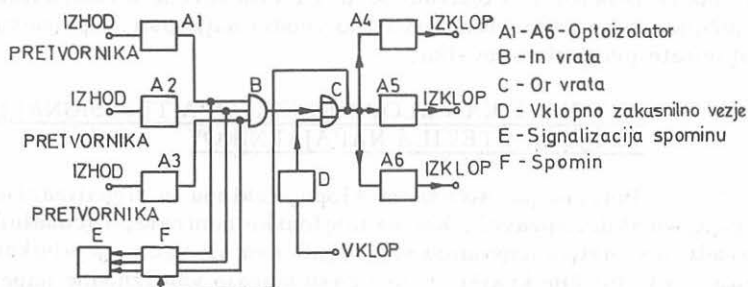
Potreba po istočasnem vklopu, izklopu in signalizaciji se pojavlja v elektronskih napravah, kot so telefonske centrale, računalniki, itd. Ponavadi je v sistem napajanja vključenih dva ali več napajalnikov. Vkllop sistema naj bi bil čim krajši. V tem času morajo vse izhodne napetosti doseči svoje nazivne vrednosti, oziroma morajo biti v tolerancah, ki jih dovoljuje avtomatika. Če se pojavi napaka tako, da napajalnik ni vpostavljal določene

izhodne napetosti, se izklopijo vsi napajalniki, signalizirajo pa naj se napajalniki, ki so povzročili napako.

**Vklop:** Ob vklopu naj bi napajalniki v čim krajšem času, brez prenehajev, dosegli nazivni izhodni napetostni nivo. Avtomatika nadzira vklop tako, da dopušča napajalnikom določen čas, v katerem morajo doseči nazivne vrednosti. Če eden ali več napajalnikov ne doseže predpisanih nivojev, avtomatika izklopi vse napajalnike ter signalizira tistega, ki ni dovolil vklopa sistema. Če je vklop sistema uspel, avtomatika sedaj nadzira delovanje napajanja. Če katerikoli napajalnik izpade zaradi okvare ali kakšnih drugih motenj, avtomatika izklopi vse napajalnike ter signalizira povzročitelja. Avtomatika prav tako posreduje v primeru preniske ali previsoke vhodne napetosti z izklopom vseh napajalnikov in signalizacijo napake vhodne napetosti. Med samim delovanjem napajalnikov v sistemu je važno, da avtomatika v primeru napake na enem ali več pretvornikih čim hitreje izklopi vse pretvornike. Informacija okvare napajalnika preko avtomatike povzroči simulacijo napak ostalim napajalnikom, ki se na ta način izključijo. S pomočjo spomina se vpiše in signalizira le tisti napajalnik, ki je povzročil okvaro.

Slika 9 kaže preprosto shemo avtomatike. Izhodi pretvornikov so preko opto izolatorjev vezani na IN vrata. OR vrata dovoljujejo vklopni informaciji pristop v vezje. Sledijo izhodni opto izolatorji, ki s svojimi izhodi sežejo nazaj v pretvornik ter povzročijo v primeru napake izklop.

**Vklop sistema:** Zakasnilno vezje ob vklopu počaka toliko časa, da vsi pretvorniki, če niso v okvari, vspostavijo izhodno napetost. Zakasnitev je fiksna. V času zakasnitve vklopni impulz prisili napajalnike, da startajo. Če je vklop uspel, se je s tem formiral stopničasti impulz na izhodu IN vrat, ki je prevzel vlogo vklopnega zakasnilnega impulza, ki po preteku časa zakasnitve izgine. Avtomatika je s tem nadzirala vklop sistema. Če eden ali več pretvornikov ni vspostavil svoje nazivne izhodne napetosti, s tem ni formiral stopničasti impulz na izhodu IN vrat, tako da po preteku zakasnitve avtomatika izklopi vse napajalnike. Spomin takoj registrira nepravilna stanja na izhodih pokvarjenih pretvornikov ter s pomočjo signalizacije pokaže, kateri pretvorniki so povzročili izklop celotnega sistema.



Slika 9

## ZAKLJUČEK

Podan pregled z opisom impulzno širinskega modulatorja, nekaterih zaščit in avtomatike kaže današnje stanje v pretvorni tehniki pri frekvenci 20 kHz + 50 kHz. Razvojna pot kaže na visoko stopnjo minjaterizacije (LSI) ter s tem povečanje zanesljivosti, nižje cene ob vse boljših lastnostih integriranih vezij. Prehod k še večjim pretvornim frekvencam prinaša nove možnosti in seveda tudi probleme. Pretvorni princip ostaja še naprej enak, le da se vse dogaja precej hitreje, kar pa zahteva boljše tranzistorje (MOS FET), diode ter magnetne materiale. Problem radiofrekvenčnih motenj vsekakor zahteva zahtevnejše filtre, kar pa eni strani spet povečuje velikost pretvornika. Zaščite dobivajo vse pomembnejšo vlogo ob še bolj zahtevnih pogojih.

## LITERATURA:

1. I., II. International Powerconversion Conference  
1979, 1980
2. A.I. Pressman            Switching and Linear Power Supply  
Hayden Book Company
3.                            The Switch Mode Series  
Motorola Inc., 1980
4.                            Silicon General - product catalog, 1980
5.                            Ferranti Semiconductors,  
Ferranti Electronic Components, 1978
6.                            Properties of d.c. - to - d.c. Converters for  
Switched Mode Power Supplies,  
Philips, Bulletin 472, 1975
7.                            Power Supply Control Circuits, Texas  
Instruments, Bulletin CL 366, 1978