Paper No. T43, pp. 1-10

M.Š.JOVANOVIĆ
Elektrotehnički fakultet Beograd

MERENJE PORASTA TEMPERATURE POLUPROVODNIKA SNAGE, U RADU, POMOĆU ANALOGNOG MERNOG PRETVARAČA

1. Uvod

Jedan od najvažnijih uslova za kvalitetan i bezbedan rad poluprovodnika snage uopšte, a posebno onih, čijim se radom upravlja, jeste da se porast temperature poluprovodničkog sloja, pločice, prouzrokovan elektroenergetskim gubicima, održava u dozvoljenim granicama. Ukoliko se to uspešno ne ostvari, dolazi do promena nekih važnijih karakteristika kao na primer: povećava se vreme komutacije, ili se pak gubi sposobnost upravljanja a može da se desi, kao krajnja posledica, da dodje i do trajnog oštećenja poluprovodnika.

Da bi se sve to izbeglo, preduzimaju se razne mere, koje se ogledaju u prvom redu u pravilnom izboru tipa i veličine polu provodnika snage za pretpostavljene radne uslove, a zatim u pravilnom izboru načina hladjenja i tipa zaštite.

Činjenica da jedan poluprovodnik ne pokazuje posledice nedozvoljenog porasta temperature još uvek nedokazuje da su preduzete mere odgovarajuće, jer obezbedjenje od posledica nedozvo-

ljenog porasta temperature, predimenzionisavanjem poluprovodnika, nije uspešno sprovedena mera, posmatrajući sa ekonomske tačke gledišta. Nažalost, vrlo veliki broj slučajeva u praksi je baš takav.

Jedini egzaktan način za ocenu sprovedenih mera u cilju zaštite od nedozvoljenog porasta temperature jeste: provera njene vrednosti merenjem na samom poluprovodniku, kada se on nalazi u radu, u uslovima identičnim onima koji se očekuju. Kako se to izvodi biće tema ovoga referata.

2. Toplotne osobine poluprovodnika snage

Kod poluprovodnika snage elektroenergetski gubici se javljaju u glavnom u električnom kolu anoda-katoda i lokalizovani su na relativno malom prostoru, u poluprovodničkoj pločici i oko nje; zbog čega je konstrukcija poluprovodnika snage specifična, podredjena pre svega zahtevu da se ovi gubici u vidu toplote odvedu u okolinu uz što manji temperaturni gradijent. U tom cilju se kod jednostrano hladjenih poluprovodnika izradjuje masivna anoda, koja dobro provodi toplotu a na njenom kraju se postavlja i hladnjak, pomoću koga se ova toplota prenosi u okolinu. Kod dvostrano hladjenih poluprovodnika anoda i katoda su ravnopravne u pogledu odvodjenja toplote, i zbog toga se na kraju obe postavlja hladnjak sa istom namenom.

Zbog male dimenzije poluprovodničke pločice, razlike temperature unutar nje se mogu zanemariti, pa se ona može, i zbog svojih dimenzija u odnosu na ostale konstruktivne delove i zbog ove

razlike temperature posmatrati kao površina, a ne kao sloj. Sa te površine toplota se prenosi kroz konstruktivne delove preko anode ili anode i katode i hladnjaka do okoline. Ostvareni temperaturni gradijent zavisi od otpora koji se suprostavlja prenosu toplote, toplotnih otpora. Konstrukcijom je obezbedjeno da su ovi otpori mali.

Ako se odredjivanju toplotnih osobina poluprovodnika snage pristupi na način, da se on posmatra kao jedan toplotni sistem, gde se kao uzrok poremećaja javljaju elektroenergetski gubici q_j, a posledica porast temperature poluprovodničke pločice u odnosu na okolinu ϑ_{jo}, moguće je analizom prenosa toplote dokazati da je prenosna funkcija takvog sistema:

$$W^T_{(p)} = \frac{\mathcal{L}[\vartheta_{jo}]}{\mathcal{L}[q_j]} \cong \sum_{k=1}^{n} \frac{R^T_k}{p\ \tau^T_k+1} \qquad (2.1)$$

gde su:

$R^T_k[\frac{^oC}{W}]$ - toplotni otpor

$\tau^T_k[S]$ - vremenska konstanta

Tranzijentna funkcija takvog sistema ima dimenziju toplotnog otpora i odredjena je funkcijom oblika:

$$r^T \cong \sum_{k=1}^{n} R^T_k\ f_k(t) \qquad (2.2)$$

Funkcija $f_k(t)$ zavisi od osobine ulazne funkcije, i za funkciju osobine jedinične funkcije, ima analitički izraz:

$$f_k(t) = 1 - e^{\tau_k} \qquad (2.3)$$

Grafik tranzijentne funkcije, odnosno tranzijentnog toplotnog otpora, daje se kao tehnički podatak u katalozima za poluprovodnike snage. Neki proizvodjači umesto ovoga grafika daju podatke o vrednostima (R_k^T, τ_k^T) koji mogu da se odrede za svaki poluprovodnik snage merenjem i izračunavanjem.

3. Toplotne osobine poluprovodnika snage iskazane kroz električnu analogiju

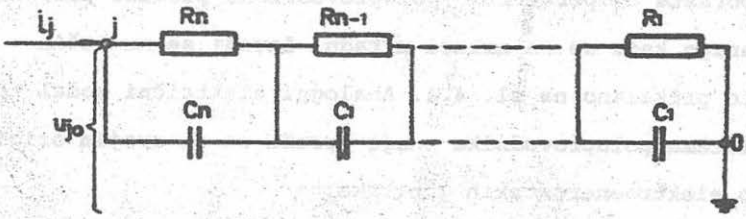
Polazeći od poznate činjenice da postoji analogija izmedju toplotnih i električnih pojava, moguće je stvoriti električni sistem, električnu mrežu sastavljenu od R i C elemenata, koji je analogan toplotnom iz poglavlja 2. Na sl. 3.1. data je jedna takva mreža, gde je struja u tački j: i_j analogna elektroenergetskim gubicima, a razlika potencijala izmedju tačaka j i 0: u_{jo} porastu temperature poluprovodničke pločice u odnosu na okolinu. Ovaj električni sistem po analognoj definiciji, ima prenosnu funkciju oblika:

$$W^e_{(p)} = \frac{\mathcal{L}[u_{jo}]}{\mathcal{L}[i_j]} = \sum_{k=1}^{n} \frac{R_k^e}{p\tau_k^e+1} \qquad (3.1)$$

gde su:

$R_k^e[\frac{V}{A}]$ - električni otpori

$\tau_k^e[S]$ - vremenske konstante



Sl. 31

Da bi analogne električne pojave bile proporcionalne i jednovremene sa toplotnim, potrebno je zadovoljiti sledeće uslove:

$$R_k^e = K_R\, R_k^T \quad , \quad \tau_k^e = \tau_k^T \tag{3.2}$$

Zadovoljavanjem ovih uslova električnu mrežu sa sl. 3.1. moguće je koristiti, kao analogni merni pretvarač, za indirektno merenje porasta temperature u poluprovodničkoj pločici, kada se na njenom ulazu pojavi strujni signal proporcionalan elektroenergetskim gubicima,

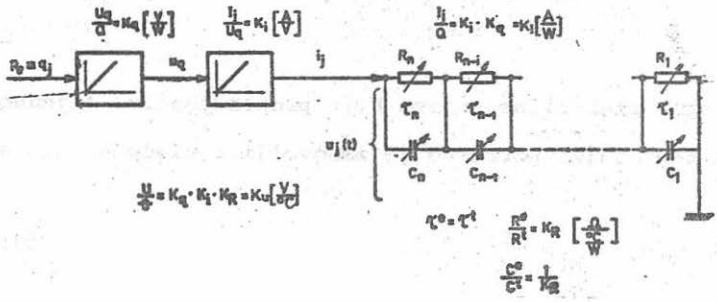
$$i_j = K_I\, q_j \tag{3.3}$$

U tom slučaju traženi porast temperature je proporcionalan potencijalnoj razlici izmedju tačaka j i 0, u_{jo}

$$\vartheta_{jo} = \frac{1}{K_u}\, u_{jo} \qquad\qquad K_u = K_I\, K_R$$

4. Fizička realizacija indirektnog merenja porasta temperature u poluprovodničkoj pločici

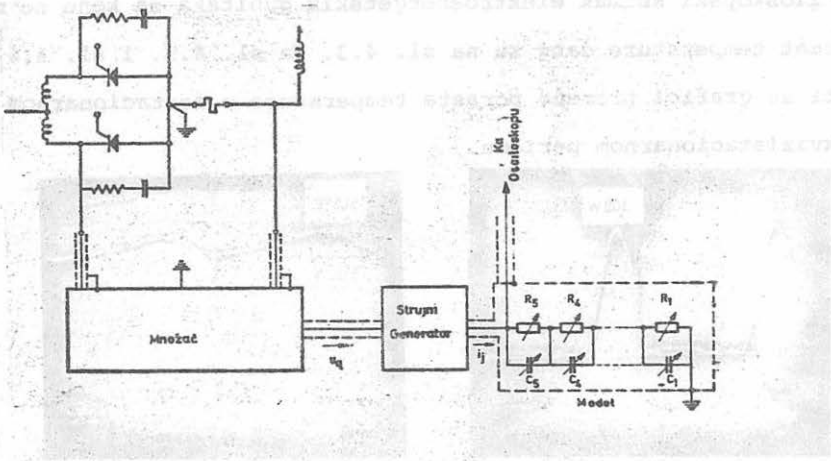
Merenje porasta temperature poluprovodničke pločice poluprovodnika snage kada se on nalazi u radu, izvodi se na način kako je to prikazano na sl. 4.1. Analogni električni model toplotnog sistema poluprovodnika snage spreže se sa svojim originalom preko elektroenergetskih gubitaka.



Sl. 4.1

Na slici 4.2. prikazana je električna šema mernog postupka kod jednog t i r i s t o r a (W 809 Z) koji radi kao deo generatora srednje učestanosti (2 kHz) za napajanje jedne indukcione peći.

Toplotne osobine ovoga t i r i s t o r a opisane su podacima u tablici 4.I.



Sl. 4.2

Prema raspoloživim R i C elementima usvojene su sledeće vrednosti za koeficijente proporcionalnosti:

$$K_R = 0{,}8 \cdot 10^6 \left[\frac{\frac{\Omega}{°C}}{W}\right] \qquad K_I = 0{,}225 \cdot 10^{-6} \left[\frac{A}{W}\right] \tag{4.1}$$

Uz pomoć ovih koeficijenata proračunate su analogne vrednosti R_k^e i τ_k^e koje su date u istoj tablici.

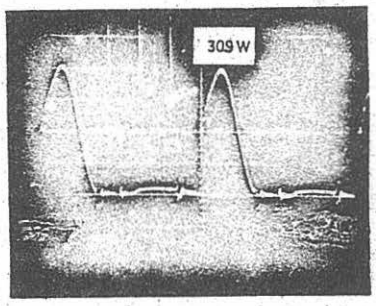
K	thermal			electric		
	R_k^t (°C/W)	τ_k^t (sec)	C_k^t JOUL/°C	R_k^e Ω	τ_k^e (sec)	C_k^e [F]
1	0.055	3.8000	69.1000	$44{,}0 \cdot 10^3$	3.8000	$86.50 \cdot 10^{-6}$
2	0.081	0.6200	7.6500	$64{,}8 \cdot 10^3$	0.6200	$9.60 \cdot 10^{-6}$
3	0.100	0.0600	0.6000	$80{,}0 \cdot 10^3$	0.0600	$0.75 \cdot 10^{-6}$
4	0.060	0.0030	0.0500	$48{,}0 \cdot 10^3$	0.0500	$0.0625 \cdot 10^{-6}$
5	0.067	0.0005	0.0075	$53{,}6 \cdot 10^3$	0.0075	$0.00945 \cdot 10^{-6}$

$$\frac{1}{K_I} = 4.44 \cdot 10^5 \left[\frac{W}{A}\right]; \quad \frac{1}{K_u} = 5.55 \left[\frac{°C}{V}\right]$$

$$K_R = \frac{R^e}{R^t} = 0{,}8 \cdot 10^6 \left[\frac{\frac{\Omega}{°C}}{W}\right]; \quad \tau^e = \tau^t$$

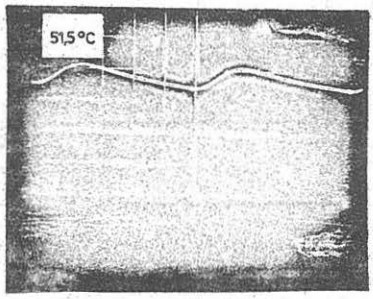
Tab. 4I

Osciloskopski snimak elektroenergetskih gubitaka za koje se meri porast temperature dati su na sl. 4.3. Na sl. 4.5. i sl. 4.4. dati su grafici promene porasta temperature u nestacionarnom i kvazistacionarnom periodu.



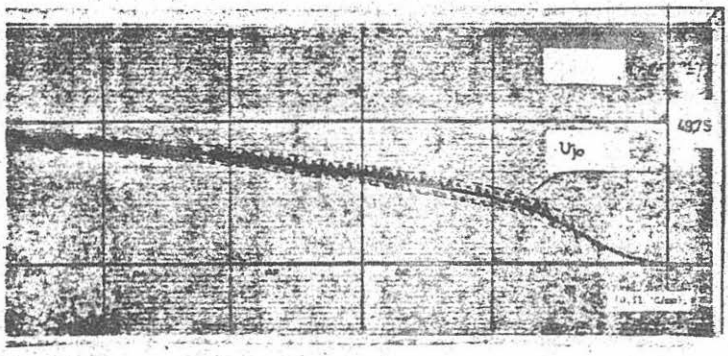
t—100 ms/pod

SL.4.3



t—100 ms/pod.

SL.4.4



SL. 4.5

Na osnovu rezultata dobijenih merenjem ustanovljeno je da se u kvazistacionarnom periodu temperatura poluprovodničke pločice menja u granicama:

Θ_j max = 51,5[°C]

Θ_j min = 48[°C]

5. Zaključak

Opisana metoda merenja porasta temperature poluprovodničke pločice, kod poluprovodnika snage dok se on nalazi u radu je pouzdana i za inženjere konstruktore korisna metoda. Pomoću nje je moguće proveriti da li su proračuni u toku izvodjenja nekog uredjaja adekvatni a primenjeni postupak hladjenja odgovarajući. Ona omogućava da se na vreme, još za vreme probnoga rada, uoče svi propusti, i da tako u eksploatacionom radu bude što manje poteškoća.

Literatura

1. M.Jovanović, J.Vroman
   "Measuring the crystal temperature of a thyristor in normal working conditions" Revue "E" 1969 No.6
2. M.Jovanović
   "Thyristor temperature variotion analysis for characteristic quasi-stationery cinditions, using the mathematical model of thyristor as a thermal system"
   Publikacije Energetskog otseka Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu 1971, No.39