

LABORATORIJSKI UREDAJ ZA MJERENJE TOPLINSKIH I HIDRAULIČKIH KARAKTERISTIKA RASHLADNIH TIJELA ZA HLAĐENJE POLUVODIČKIH VENTILA ULJEM

Damir CRNKOVIĆ, dipl. inž. i Ivan LJUBEJ, inž.⁺

THE LABORATORY DEVICE FOR MEASUREMENT THE THERMAL AND HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF OIL COOLED HEATSINKS OF SEMICONDUCTORS

Sažetak

Uredaj za mjerenje toplinskih i hidrauličkih karakteristika rashladnih tijela za hlađenje poluvodičkih ventila uljem razvijen je i instaliran u Elektrotehničkom institutu "Rade Končar". Poznavanje tih karakteristika omogućava projektantu znatno lakši izbor odgovarajućeg rashladnog tijela za određenu primjenu.

Synopsis

The device for measurement the thermal and hydraulic characteristics of oil cooled heat sinks of semiconductors is developed and installed at Electrotechnical Institute "Rade Končar". Having the characteristics of heat sinks it will be much easier for designer to choose the best sink for particular application.

UVOD

Elektronički uredaji postali su danas sastavni dio života čovjeka, bilo da su ugrađeni u uređaje za svakodnevnu upotrebu ili su sastavni dio velikih industrijskih postrojenja. Princip rada tih uređaja zasniva se na oblikovanju toka električne energije čime se postiže širok spektar izlaznih funkcija. Električna struja pri tom prolazi kroz elemente uređaja od kojih svaki predstavlja određen otpor, za čije je savladavanje potreban dio energije. Taj se dio energije pretvara u toplinu koja uzrokuje povišenje temperature elementa. Opterećenje elementa ograničeno je maksimalnom temperaturom koju element može izdržati i ovisi o efikasnosti hlađenja. Mogućnosti hlađenja su različite, ovisno o vrsti i snazi elementa.

Hlađenje uređaja energetske elektronike predstavlja specifičan problem zbog njihove velike snage, a time i velikih toplinskih gubitaka. Najkritičnije komponente kod takvih uređaja su poluvodički ventili koji su izloženi velikom toplinskom naprezanju zbog niske granične temperature silicija i male površine za odvođenje topline. Intenzitet odvođenja topline s poluvodiča nastoji se povećati dodavanjem rashladnih tijela čiji je zadatak da preuzmu razvijenu toplinu u poluvodičima i predaju je okolini bilo direktno ili preko posrednika (rashladnog medija). Razvoj rashladnih tijela zahtijeva da se nakon proračuna i konstrukcije, njihove toplinske i hidrauličke karakteristike potvrde mjerenjem. U tu svrhu razvijen je niz uređaja za ispitivanje karakteristika rashladnih tijela. U ovom radu opisan je uređaj za ispitivanje rashladnih tijela za hlađenje uljem, prikazan je način mjerenja i dati su rezultati mjerenja na rashladnom tijelu AL-78 u uvjetima dvostranog hlađenja poluvodičkog ventila YSD 35-02 prisilnim strujanjem ulja.

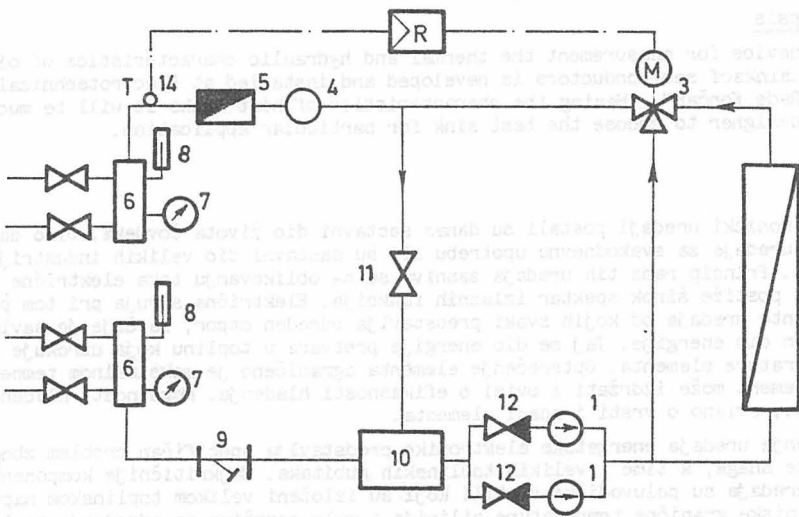
⁺SOUR "RADE KONČAR" - ZAGREB
RO RAZVOJ PROIZVODA I PROIZVODNJE
OOUR ELEKTROTEHNIČKI INSTITUT
41000 ZAGREB, Baštijanova bb

OPIS UREDAJA

Uredaj za mjerenje toplinskih i hidrauličkih karakteristika rashladnih tijela za prisilno hlađenje poluvodiča uljem sastoji se od slijedećih funkcionalnih sklopova:

1. sklop za cirkulaciju i hlađenje ulja
2. sklop za regulaciju temperature i protoka
3. sklop za mjerenje
4. sklop za signalizaciju
5. sklop za zaštitu

Uredaj je shematski prikazan na slici 1.



- 1 - cirkulaciona pumpa
- 2 - izmjenjivač topline s ventilatorom
- 3 - regulacioni ventil
- 4 - kontrolnik protoka
- 5 - mjerac protoka
- 6 - priključna komora
- 7 - manometar
- 8 - termometar
- 9 - hvatač nečistoća
- 10 - ekspanziona posuda
- 11 - ventil za regulaciju protoka
- 12 - nepovratni ventil
- 13 - PI regulator
- 14 - temperaturni osjetnik

Sl. 1. Shema uređaja za mjerenje toplinskih i hidrauličkih karakteristika za prisilno hlađenje poluvodiča uljem

Sklop za cirkulaciju i hlađenje ulja sastoji se od sklopa cijevi s armaturom, cirkulacionih pumpi, izmjenjivača topline i ventilatora, te otvorene ekspanzione posude. Maksimalan protok ulja iznosi 120 l/min, a rashladna snaga 12 kW uz slijedeće uvjete:

- protok zraka 5000 m³/h,
- temperatura ulja na ulazu u izmjenjivač = 63,2 °C topline
- temperatura ulja na izlazu iz izmjenjivača = 60 °C topline
- temperatura zraka na ulazu u izmjenjivač = 30 °C topline

Sklop za regulaciju protoka i temperature sastoji se od ventila za regulaciju protoka, te podsklopa za regulaciju temperature koji sačinjavaju temperaturni osjetnik, PI regulator i troputni regulacioni ventil. Protok je moguće kontinuirano regulirati u području 0 - 120 l/min ručnim pritvaranjem ili otvaranjem ventila za regulaciju. Podsklopom za regulaciju temperature moguće je namještenu temperaturu održavati u granicama ± 1 °C. Signal se s temperaturnog osjetnika preko PI regulatora prenosi na troputni regulacioni ventil u kojem se u potrebnom omjeru miješaju struje ohlađenog i neohlađenog ulja.

Sklop za mjerenje sastoji se od mjerača protoka, te termometara i manometara na priključnim komorama. Način mjerenja opisan je u posebnom poglavlju.

Sklop za signalizaciju služi za kontrolu rada uredaja. Signalizirana su slijedeća stanja:

1. priključak uredaja na mrežu (zeleno svjetlo)
2. uključenje sklopa za terećenje poluvodiča (zeleno svjetlo)
3. kvar uredaja (crveno svjetlo)

Sklop za zaštitu štiti rashladni uredaj, poluvodič i uredaj za terećenje od slijedećih nepravilnosti u radu:

1. pregrijavanja kućišta ispitivanog poluvodiča iznad 105 °C
2. kvara uredaja za terećenje poluvodiča
3. krivog redosljeda uključivanja sklopova
4. nečistoća u rashladnom ulju
5. krivog smjera strujanja rashladnog ulja
6. nestanka protoka rashladnog ulja

MJERENJE

Da bi se rashladnom tijelu odredio toplinski otpor, potrebno je u "točki definicije" izmjeriti temperaturu površine rashladnog tijela koja je u neposrednom dodiru s hlađenim ventilom.

"Točku definicije" toplinskog otpora određuje proizvođač poluvodičkog ventila time što daje podatak u kojoj točki je definiran unutrašnji toplinski otpor poluvodičkog ventila. Točka definicije toplinskog otpora obično se nalazi na polovini radijusa što znači da se temperatura površine rashladnog tijela mjeri točno ispod polovine radijusa ventila. Budući da temperatura rashladnog tijela u svim radijalnim smjerovima nije jednaka, treba mjeriti temperaturu u bar dvije karakteristične točke, a srednja vrijednost je osnova za izračunavanje toplinskog otpora. Temperaturu na površini koja je u dodiru sa poluvodičkim ventilom nije moguće mjeriti. Stoga se u rashladnom tijelu izbuši potreban broj provrta što je moguće bliže površini rashladnog tijela. U provrte se uvuče termopar i pozicionira na željeno mjesto. Između termopara i površine rashladnog tijela nalazi se tanki sloj materijala koji svojim otporom vođenju

toplina uzrokuje pogrešku u mjerenju u negativnom smislu. Zato je potrebno izvršiti pozitivnu korekciju pribrajanjem iznosa K izračunatom toplinskom otporu. Koeficijent K izračunava se prema izrazu:

$$K = \frac{4d}{\pi \lambda D^2} \quad (1)$$

gdje je

d - udaljenost simetrale mjernog provrta od površine rashladnog tijela

D - promjer dosjeda poluvodičkog ventila

λ - koeficijent toplinske vodljivosti materijala iz kojega je rashladno tijelo izrađeno

Izraz za izračunavanje toplinskog otpora je

$$R_{thS-A} = \frac{v_s - v_A}{P_g} + K \quad (2)$$

za slučaj jednostranog hlađenja, a budući da je hlađenje dvostrano, treba koristiti izraz za izračunavanje toplinskog otpora para rashladnih tijela:

$$R_{thS-A(DSC)} = \frac{\frac{1}{2}(v_{sa} - v_{sc}) - v_A}{P_g} + \frac{K}{2} \quad (3)$$

gdje su:

v_{sa} - temperatura rashladnog tijela na anodnoj strani poluvodičkog ventila

v_{sc} - temperatura rashladnog tijela na katodnoj strani poluvodičkog ventila

v_A - temperatura rashladnog ulja na ulazu u rashladno tijelo

P_g - disipacija izmjerena na poluvodičkom ventilu

Na osnovi izmjerenih veličina izračunaju se toplinski otpori za različite protoke rashladnog ulja. Iz dobivenoga se može nacrtati karakteristika toplinskog otpora u ovisnosti o protoku rashladnog ulja određene temperature. Ponovi li se postupak za razne temperature rashladnog ulja dobije se niz karakteristika toplinskog otpora s temperaturom ulja kao parametrom. Rezultat ovakvog postupka mjerenja za rashladno tijelo AL-78 prikazan je na slici 2.

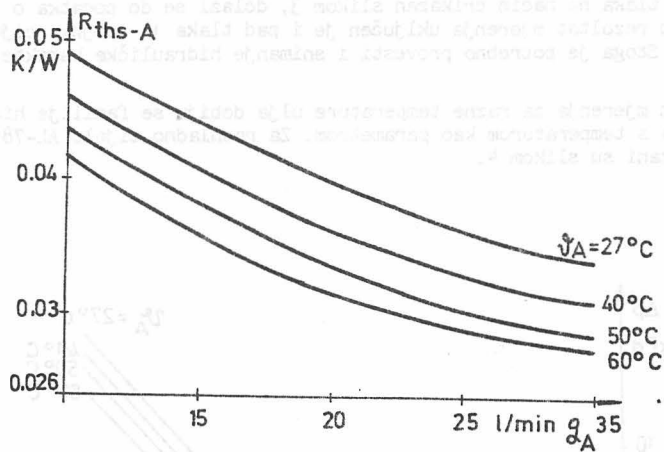
Pad tlaka na rashladnom tijelu je važna karakteristika pri dimenzioniranju nekog rashladnog sistema. Stoga je neophodno izvršiti i snimanje hidrauličke karakteristike rashladnog tijela. Snimanje se obavlja na način prikazan na slici 3.

Protok rashladnog ulja se namješta ručno pomoću regulacionog ventila a mjeri se mjerilačem u sklopu uređaja. Pad tlaka se mjeri U-manometrom sa živom. Iz izmjerene razlike u visini stupca žive prema izrazu (4) izračunava se pad tlaka.

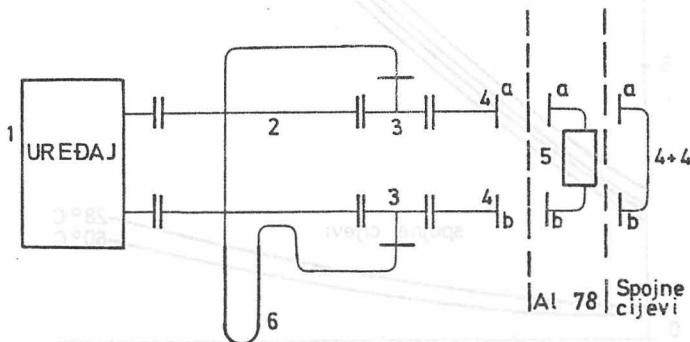
$$\Delta p = (\rho_z - \rho_u) g \Delta h \quad (4)$$

gdje je

- Δp - pad tlaka na krajevima U-manometra
- ρ_z, ρ_u - gustoća žive odnosno ulja
- g - ubrzanje sile teže
- Δh - razlika u visini stupca žive



Sl. 2. Niz karakteristika toplinskog otpora rashladnog tijela AL-78 s temperaturom ulja kao parametrom

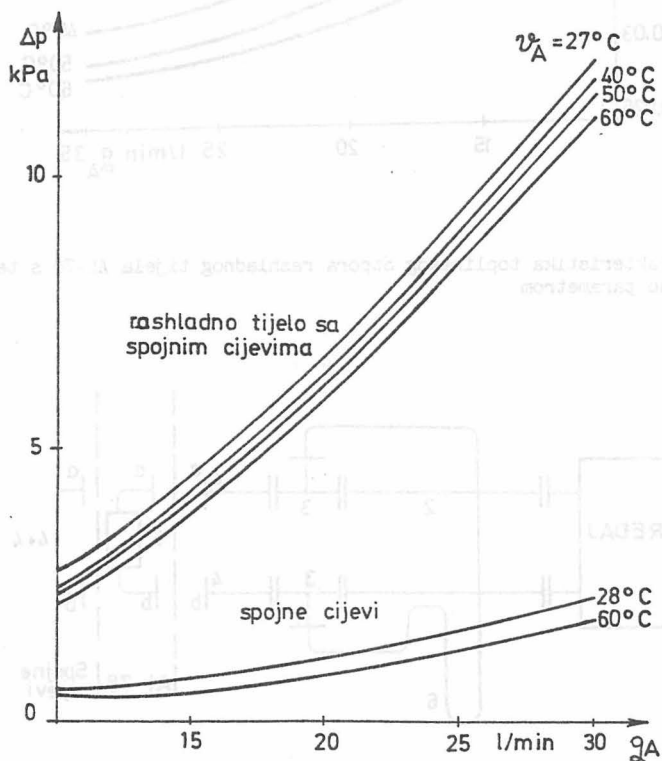


- 1 - uređaj za ispitivanje EE-MTHO 120/U
- 2 - priključne cijevi
- 3 - razdjelnik
- 4 - spojne cijevi
- 5 - rashladno tijelo
- 6 - U manometar sa živom

Sl. 3. Shematski prikaz snimanja hidrauličke karakteristike rashladnog tijela

Mjereći pad tlaka na način prikazan slikom 3, dolazi se do podatka o brutto padu tlaka, tj. u rezultat mjerenja uključen je i pad tlaka u spojnim cijevima (4 - slika 3). Stoga je potrebno provesti i snimanje hidrauličke karakteristike spojnih cijevi.

Ponavljanjem mjerenja za razne temperature ulja dobiju se familije hidrauličkih karakteristika s temperaturom kao parametrom. Za rashladno tijelo AL-78 rezultati snimanja prikazani su slikom 4.



Sl. 4. Hidraulička karakteristika rashladnog tijela AL-78 uz temperaturu ulja kao parametar

Da se smanji mjerna nesigurnost, svako mjerenje provodi se tri puta. Konačni rezultat je srednja vrijednost od 3 izmjerene veličine.

Analizom izmjerenih vrijednosti procijenjeno je da su granice slučajne pogreške $\pm 4\%$ od srednje vrijednosti mjerene veličine.

ZAKLJUČAK

Uredaj za mjerenje toplinskih i hidrauličkih karakteristika rashladnih tijela za hlađenje poluvodiča prisilnom cirkulacijom ulja omogućuje verifikaciju proračunom dobivenih podataka te snimanje toplinskih i hidrauličkih karakteristika rashladnog tijela. Snimljene karakteristike olakšavaju posao projektantu prilikom izbora odgovarajućeg rashladnog tijela.

LITERATURA

1. F. Bošnjaković, "Nauka o toplini - II dio", Tehnička knjiga Zagreb, 1976.
2. M. Brezinščak, "Mjerenje i računanje u tehnici i znanosti", Tehnička knjiga Zagreb, 1970.
3. Reknagel, Šprenger, "Grejanje i klimatizacija", Građevinska knjiga Beograd, 1984.