

TERMOELEKTRIČNI MODULI – FIZIKALNE OSNOVE I SMJERNICE ZA UPORABU

Šumiga I.¹, Grđan M.¹, Huđek J.¹

¹ Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

Sažetak: U članku su opisane fizikalne osnove termoelektričnih modula i materijala za njihovu izradu. Izneseni su problemi pasivnog hlađenja samog modula i primjene poluvodičkih toplinskih crpka s izloženim prednostima upotrebe. Navedene su preporuke za montažu i načini korištenja u svrhu postizanja što veće pouzdanosti i «životnog vijeka» modula.

Ključne riječi: Peltierov članak, termoelektrični modul, toplinska pumpa, pouzdanost

Abstract: This paper describes physical bases of thermoelectrical modules and materials for their production. The problems of module passive cooling and semiconductor thermal pump application with enclosed usage advantages are presented. In order to achieve the higher liability and longer module “lifetime”, mounting and users methods recommendations are listed in this article.

Key words: Peltier article, thermoelectric module, thermal pump, liability

1. UVOD

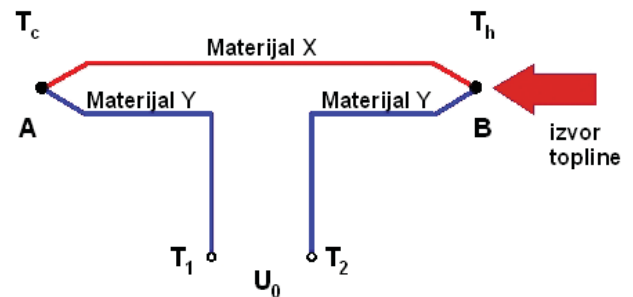
Termoelektrični moduli imaju široku primjenu u funkcijama grijanja i hlađenja, a mogu poslužiti i za generiranje električne energije. U ovom članku su prikazane fizikalne osnove poluvodičkih termoelektričnih modula s naglaskom na pouzdanost, konstrukciju i područja primjene. Najčešće se koriste kao hladnjaci manjih snaga gdje dolaze do izražaja njihove prednosti: nemaju pokretnih dijelova, manji su, lakši i pouzdaniji od kompresorskih.

2. FIZIKALNE OSNOVE TERMOELEKTRIČNIH MODULA

Jedan od načina dobivanja energije koristi se termoelektričnim efektima. Ako metalnu žicu grijemo na jednom kraju, duž žice se stvara temperaturna razlika. Posljedica je narušavanje termodinamičke ravnoteže jer elektroni na toplijem dijelu žice imaju veću energiju od onih na hladnijem, pa dolazi do difuzije elektrona iz toplijeg na hladniji kraj žice tako da nastaje električno polje s pozitivnim polom na toplijem, a negativnim na hladnijem dijelu žice. To električno polje dovodi do ponovne uspostave stanja termodinamičke ravnoteže.

Ako se u strujnom krugu sastavljenom od dva različita metala prema slici 1 zagrijava njihov spoj u točki B,

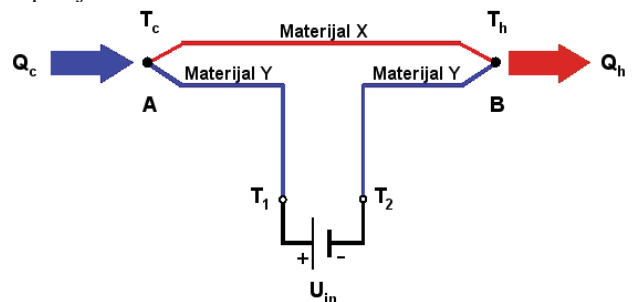
između točaka T_1 i T_2 pojavit će se napon U_0 , poznat kao Seebeckova elektromotorna sila.



Slika 1: Seebeckov efekt

Ako se između točaka T_1 i T_2 spoji otpor, kroz njega će poteći električna struja. Spoj djeluje kao termoelektrični generator napona.

Ako se u istom spoju između točaka T_1 i T_2 spoji napon U_{in} , unutar zatvorene petlje će poteći struja. U točki A na spojištu dvaju metala, kao rezultat toka struje, javlja se efekt hlađenja, a u točki B efekt zagrijavanja (slika 2). Promjenom polariteta napona mijenja se i tok struje. Posljedica je hlađenje u točki B i zagrijavanje u točki A. Ovu pojavu prvi je opisao francuski fizičar Jean Peltier pa se po njemu zove Peltierov efekt.



Slika 2: Peltierov efekt

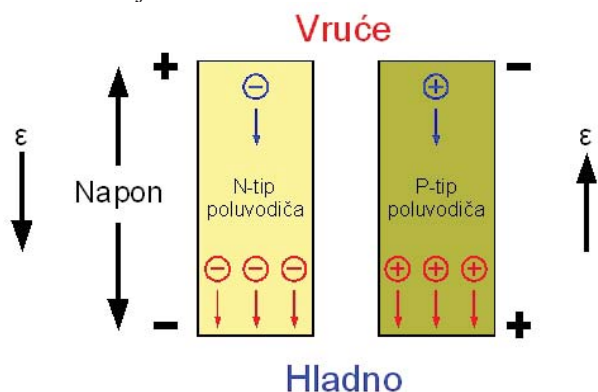
Sredinom 19.st. William Thomson, poznatiji kao Lord Kelvin, iznio je sveobuhvatno objašnjenje Seebeckova i Peltierova efekta i opisao njihovu povezanost.

Na temelju iznesenog može se realizirati termoelektrični generator električne energije ili sklop za grijanje, odnosno hlađenje. Materijali koji pokazuju navedena svojstva nazivaju se termoelektrici[7]. Za praktičnu upotrebu, da bi se pojačalo djelovanje, potrebno je umnožiti osnovni sklop spajanjem više termoelektrika. Paralelni spoj nije dobar jer ne umnožava napon, a zahtijeva veliku struju koja protjecanjem kroz termoelektrik generira Jouleovu toplinu proporcionalnu kvadratu struje, znatno smanjujući efekt hlađenja. Serijski spoj ima veći otpor, a to znači manju

struju i manju Jouleovu toplinu. Metalne žice koje povezuju topli i hladni kraj termoelektrika, i ovdje umanjuju učinak hlađenja, jer same dobro vode toplinu.

Bitan napredak u realizaciji termoelektričnih sklopova donosi upotreba poluvodiča umjesto metala.

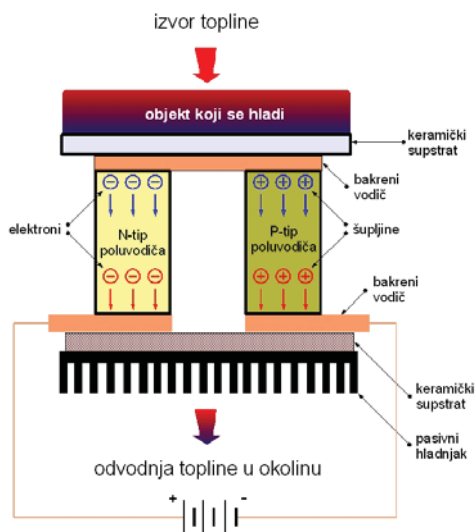
Termoelektrične pojave primijenjene na poluvodič[1] mogu se prikazati prema slici 3. Ako se poluvodič zagrije na jednom kraju, važno je uočiti da poluvodič n-tipa na toplijem kraju ima manje negativnih slobodnih nosilaca elektriciteta, elektrona, nego na hladnijem, kao i metal, dok poluvodič p-tipa ima na toplijem dijelu manje pozitivnih nosilaca elektriciteta, šupljina nego na hladnijem. Zbog toga n-tip poluvodiča na hladnoj strani generira negativni potencijal, a p-tip pozitivni. Korištenjem elektrona i šupljina u vođenju struje kroz poluvodič može se realizirati serijski spoj koji ne umanjuje učinak hlađenja.



Slika 3: Peltierov efekt na poluvodičima

Osnovni modul za grijanje, odnosno hlađenje pomoću poluvodiča, prikazan je na slici 4.

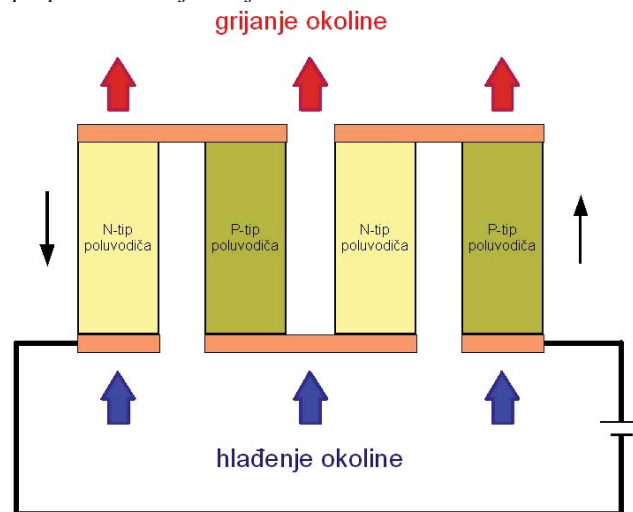
Elektroni se mogu slobodno gibati u bakrenom vodiču. Pri prijelazu iz metala na topliju stranu p-tipa poluvodiča rekombiniraju se sa šupljinama. Kako su elektroni u metalu na višoj energetskej razini od šupljina, da bi popunili prazna mjesta na nižoj energetskej razini u kristalnoj strukturi poluvodiča, gube energiju u obliku topline. Unutar p-tipa poluvodiča struju čine šupljine koje se kreću od hladnijeg prema toplijem kraju. Pri prijelazu iz p-tipa poluvodiča u bakreni vodič na hladnoj strani elektroni trebaju skočiti na višu energetskej razinu.



Slika 4: Modul za grijanje/hlađenje

To je moguće samo tako da apsorbiraju potrebnu količinu energije. Nakon toga se slobodno kreću kroz bakreni vodič na hladnoj strani. Zatim dolaze na spoj metala i poluvodiča na hladnoj strani. Budući da je dno vodljivog pojasa poluvodiča na višoj energetskej razini od Fermijeve energetske razine vodiča, elektroni trebaju apsorbirati energiju dovoljnu da prijeđu u vodljivi pojas poluvodiča n-tipa. Zbog toga je taj dio poluvodiča hladniji. Kroz poluvodič n-tipa elektroni se kreću u vodljivom energetskej pojasu. Na kraju dolaze do drugog spoja metala i poluvodiča. Slobodni elektroni u vodljivom pojasu poluvodiča su na višem energetskej nivou od Fermijeve nivoa metala, pa pri prijelazu u metal gube energiju. Zato se taj dio zagrijava. Da bi dobili bolje hlađenje, na topliju stranu opisanog modula se stavi pasivni hladnjak u svrhu odvođenja topline. Ako se modul koristi za grijanje, potrebno je samo promijeniti smjer struje u krugu promjenom polarizacije napona napajanja. Treba istaknuti da spoj metala i poluvodiča ni na jednom mjestu nije ispravljački.

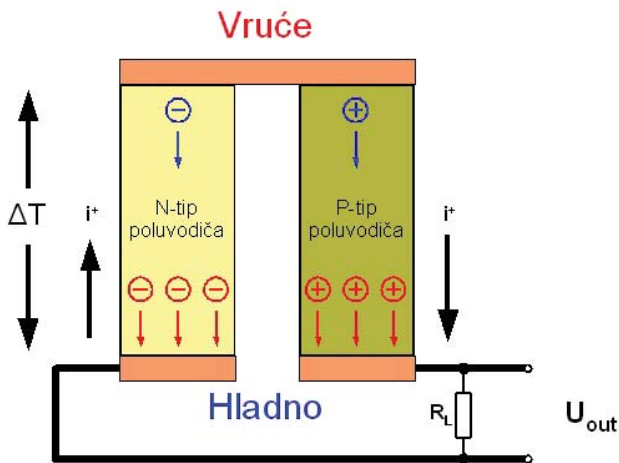
Ako se želi dobiti veće grijanje ili hlađenje, potrebno je više takvih modula spojiti u seriju. Na taj način se dobije Peltierova toplinska crpka – uređaj sastavljen od velikog broja naizmjenično poredanih osnovnih elemenata između dva sloja keramike (slika 5). Toplina se uvijek apsorbira na hladnoj strani p-tipa i n-tipa poluvodiča. Kapacitet grijanja ili hlađenja ovakve toplinske crpke ovisi o geometrijskim dimenzijama, broju parova elemenata p-tipa i n-tipa poluvodiča, svojstvima korištenih materijala, a proporcionalan je struji.



Slika 5: Sastavljanje elemenata

Osnovni modul za termoelektrični generator prikazan je na slici 6.

Ako se uz pomoć metala spoje zajedno topliji krajevi p i n-tipa poluvodiča, a između hladnijih krajeva se spoji električni otpor, napon uzrokovan Seebeckovim efektom će potjerati struju kroz strujni krug. Takav spoj generira snagu na električnom potrošaču. Serijskom vezom više modula mogu se dobiti viši naponi.



Slika 6: Termoelektrični generator (prema [4])

3. MATERIJALI

Za dobivanje što kvalitetnijih opisanih modula potrebno je ispuniti određene zahtjeve u odabiru termoelektričnih materijala. Osnovno je da možemo dobiti dva tipa vodljivosti: elektronsku i šupljinsku. Taj zahtjev ispunjavaju poluvodiči. Važna je i što efikasnija pretvorba električne energije u toplinsku ili obratno, ovisno o vrsti modula. Materijali koji se danas koriste, pružaju otpor prolasku struje, što se manifestira u zagrijavanju materijala (Jouleova toplina). To je najveća smetnja kod modula za hlađenje jer se direktno umanjuje učinak toplinske crpke, a potrebno je da specifična električna vodljivost materijala bude što veća. Kako kristali poluvodiča na jednom kraju trebaju biti topli, a na drugom hladni, toplinska vodljivost im treba biti što manja kako bi se održavao gradijent temperature. Parametar kojim se vrednuje kvaliteta termoelektrika, zove se faktor izvrsnosti (thermoelectric figure of merit), označava se sa ZT i definira izrazom:

$$ZT = \frac{\alpha^2 \sigma}{\kappa} T$$

gdje je:

ZT – faktor izvrsnosti

α – Seebeckov koeficijent

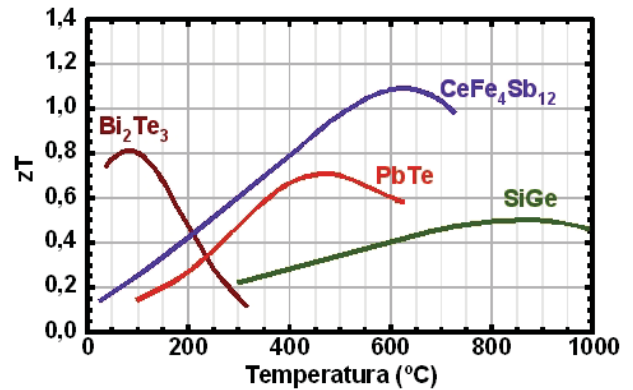
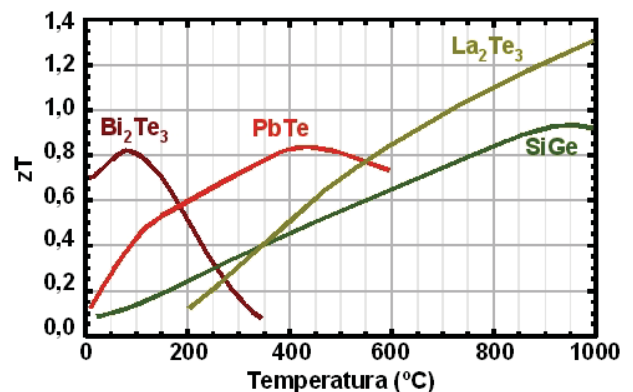
σ – specifična vodljivost materijala

κ – koeficijent toplinske vodljivosti

T - temperatura

Dobri termoelektrični materijali trebaju imati što veći faktor izvrsnosti, a to znači što veću specifičnu električnu vodljivost i što manju toplinsku vodljivost. Problem je u tome što materijali koji imaju dobru električnu vodljivost, imaju i dobru toplinsku vodljivost. Zato se za termoelektrične materijale istražuju one poluvodičke strukture koje pokazuju visoku vodljivost slobodnih nosilaca elektriciteta, a istodobno otežavaju gibanje kvanta toplinske energije, fonona. Do danas su se najboljim pokazali spojevi iz obitelji telurita. U termoelektričnim hladnjacima najviše se koristi legura bizmuta i telurida koja je prikladno dopirana primjesama tako da se dobije visokoa vodljivost p-tip i n-tip poluvodiča bizmut-telurida

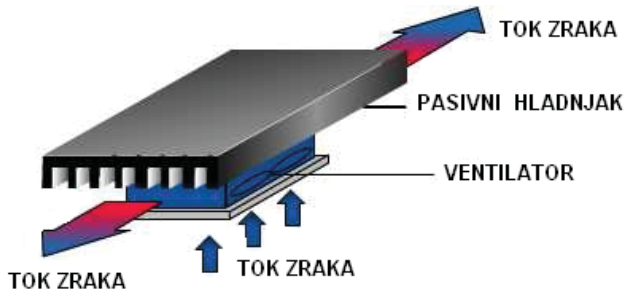
(Bi_2Te_3). Treba istaknuti da ne postoji jedan materijal koji je pogodan za primjenu u svim temperaturnim područjima koja su od interesa. Zato se koriste i drugi materijali, ovisno o primjeni, kao što su: olovo-telurid (PbTe), silicij-germanij (SiGe), bizmut-antimon legure (Bi-Sb). Bizmut-telurid je najpogodniji u temperaturnom području u kojem ima najviše primjena hlađenja i grijanja (slika 7a i slika 7b).

Slika 7a: Faktor izvrsnosti (zT) za poluvodičke materijale p-tipa (prema [10])Slika 7b: Faktor izvrsnosti (zT) za poluvodičke materijale n-tipa (prema [10])

Novu kvalitetu u područje termoelektrične industrije unosi razvoj nanokristalnih struktura poluvodiča. Osnovni element takvih struktura je zasebna cjelina poluvodiča promjera reda veličine 2 do 10 nm i zove se kvantna točka. Termoelektrični modul izgrađen od kvantnih točaka izgleda isto kao i klasični, s razlikom da p-tip i n-tip poluvodiča nisu homogene čvrste ploče, već mreža ogromnog broja kvantnih točaka međusobno povezanih molekularnim vezama. Budući da u ovakvim strukturama dolaze do izražaja zakoni kvantne mehanike, električna i toplinska svojstva im se razlikuju od onih u klasičnim volumnim poluvodičima. Važno je da se mrežom kvantnih točaka može smanjiti toplinska vodljivost i time povećati faktor izvrsnosti te tako više nego dvostruko uvećati granica djelotvornosti termoelektričnih modula.

4. PASIVNI HLADNJACI ZA ODVOĐENJE TOPLINE

Primjenom istosmjernog napajanja na termoelektrični modul, strana koja apsorbira toplinu, hladnija je i na nju se montira objekt hlađenja. Istodobno druga strana disipira toplinu pa je važan sastavni dio takvog sustava, pasivni hladnjak koji se montira na keramičku podlogu (slika 8). Njegova uloga je disipiranje topline crpke i Jouleove topline, generirane zbog električnog otpora modula.



Slika 8: Primjena pasivnog hladnjaka (prema [2])

Idealni hladnjak za odvođenje disipirane topline modula trebao bi biti sposoban apsorbirati neograničenu količinu topline, a da se njegova temperatura ne poveća. Kako to nije moguće u stvarnosti, kod projektiranja treba odabrati hladnjak koji će imati što manji porast temperature tijekom rada uređaja. Za većinu primjena prihvatljiv je porast temperature pasivnog hladnjaka 5 do 10°C iznad temperature okoline.

Djelovanje pasivnog hladnjaka definira se pojmom toplinskog otpora između termoelektričnog modula i hladnjaka (Q_s):

$$Q_s = \frac{T_s - T_a}{Q}$$

gdje je:

Q_s – toplinski otpor u °C/W

T_s – temperatura hladnjaka u °C

T_a – temperatura okoline ili rashladnog sredstva u °C

Q – ulazna toplina u pasivni hladnjak u W

Pri spoju hladnjaka na podlogu najbitnije je da je toplinski otpor što manji. Potrebno je koristiti termičke paste na obje površine (toploj i hladnoj) i paziti da hrapavost dodirne površine hladnjaka bude dovoljno mala kako bi prijanjanje, a time i prijenos topline bio što bolji.

Prema načinu odvođenja topline koriste se pasivni hladnjaci s prirodnom ili prisilnom konvekcijom te hlađeni tekućinom.

Hladnjaci s prirodnom konvekcijom koriste se za toplinske crpke manjih snaga. Toplinski otpor Q_s im je veći od 0.5°C/W, a često prelazi i 10°C/W. Kod montiranja treba paziti na smjer strujanja zraka i eventualne fizičke prepreke koje ometaju protok zraka. Vertikalni položaj poboljšava prirodnu konvekciju, a komponente koje generiraju toplinu u blizini hladnjaka umanjuju efekte hlađenja.

Hladnjaci s prisilnom konvekcijom su značajno učinkovitiji od prethodno opisanih. Uobičajena izvedba se

sastoji od hladnjaka u kombinaciji s ventilatorom koji tjera zrak za hlađenje.

Toplinski otpor prisilnog konekcioniranog sustava tipično je u području od 0.02 do 0.5°C/W.

Hlađeni tekućinom pasivni hladnjaci omogućuju veću toplinsku učinkovitost po jedinici volumena. Ako su optimalno projektirani, mogu imati vrlo mali toplinski otpor, tipično u području od 0.01 do 0.1°C/W.

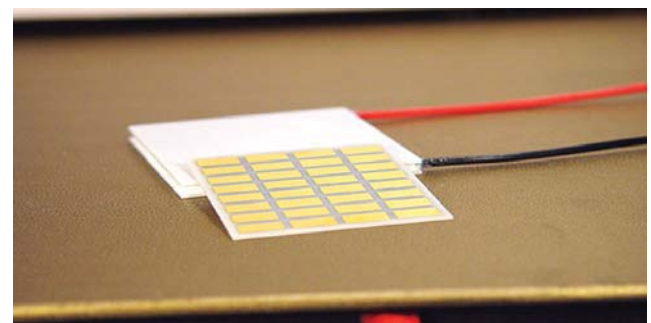
Jednostavniji sustavi hlađeni tekućinom mogu biti izvedeni lemljenjem bakrenih cijevi na ravnu bakrenu površinu ili bušenjem rupa u metalnom bloku kroz koje može teći voda. U bakrenom ili aluminijskom bloku može se razraditi zavojiti kanal koji ima bolje toplinsko djelovanje.

5. POUZDANOST TERMOELEKTRIČNIH MODULA

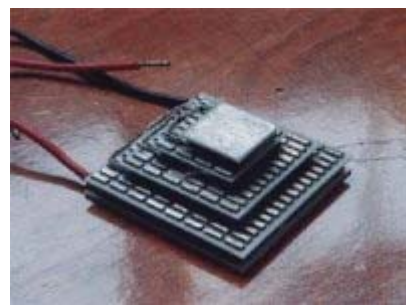
Termoelektrični moduli zbog svoje izvedbe spadaju u visoko pouzdane komponente (slika 9 i slika 10). Postoji mnogo primjera korištenja termomodula dvadeset i više godina. Njihov «životni vijek» često nadmašuje trajanje pridružene opreme. Pouzdanost, vijek trajanja i kvarovi termomodula puno ovise o konkretnoj primjeni. Općenito kod kontinuiranog i jednoličnog hlađenja pouzdanost je jako visoka, dok visoke toplinske oscilacije bitno smanjuju vrijeme trajanja modula.

Intenzitet kvarova može varirati od ekstremno niske do jako visoke vrijednosti, ovisno o načinu sastavljanja modula i montaži, izvoru napajanja, svojstvima temperature i sustavu regulacije.

Ispravna instalacija može značajno smanjiti vjerojatnost od preuranjenih kvarova modula zbog loših tehnika sastavljanja.



Slika 9: Primjer termoelektričnog modula [8]



Slika 10: Primjer višestupanjskog termoelektričnog modula [9]

Moduli imaju relativno veliku mehaničku čvrstoću na pritisak, ali malu posmičnu čvrstoću. Ne smiju služiti u sustavu za glavnu mehaničku potporu. U primjenama gdje su prisutne ozbiljne vibracije i mehanički šokovi, modul se instalira opterećenjem na pritisak, tj. pričvršćuje stezanjem. Pri tome pritisak mora biti dovoljan da ga bočne i poprečne sile ne pomaknu ili olabave. Slaba pritegnutost kod više modula grupiranih u jednu cjelinu za hlađenje smanjuje toplinsko djelovanje i ubrzava kvarove. Moduli složeni u polje trebaju biti iste visine (preporuka tolerancije visine je $\pm 0,025$ mm). Pritisak stezanja mora biti primijenjen ravnomjerno, a uparene površine moraju biti ravne.

Da bi se spriječili lomovi dijelova modula uslijed jakih mehaničkih opterećenja, na površinu modula se ne smiju vezati velike mase koje nisu pričvršćene negdje drugdje. Ako su u sustavu prisutne velike mase, termoelektrični moduli trebaju biti stegnuti između pasivnog hladnjaka i same mase ili ploče na kojoj je smještena velika masa.

Prodor vlage u unutrašnjost termoelektričnog modula smanjuje toplinsko djelovanje i potiče koroziju materijala. Zato treba osigurati brtvljenje vlage između modula, pasivnog hladnjaka i hlađenog objekta.

Moduli koji su izloženi vrlo visokim temperaturama i temperaturnim promjenama, ne smiju se instalirati korištenjem krutih veza (korištenje lema ili epoksida) zbog različitih koeficijenata toplinskog rastezanja komponenti sustava. Kruto povezivanje u kombinaciji s promjenama temperature često dovodi do ranog kvara modula zbog induciranih toplinskih stresova. Čvrsto povezivanje vruće strane modula je općenito manji problem zbog toga jer je temperatura vruće strane relativno konstantna za vrijeme rada. Kada su prisutne značajne oscilacije temperature, module treba montirati stezanjem (pritisak) uz korištenje elastičnih materijala kao što su termo-vodljiva pasta ili folije od grafita i indija. Čvrsto montiranje obje strane modula nije preporučljivo za jedinice koje imaju stranice veće od 15mm.

Metode regulacije temperature također imaju utjecaj na pouzdanost termoelektričnih modula. Za duže trajanje modula linearne ili proporcionalne metode su uvijek bolje od metode uključiti/isključiti (ON/OFF).

Kvarovi termoelektričnih modula mogu se podijeliti u dvije grupe: katastrofalni kvarovi i kvarovi propadanja (degradacije). Kvarovi propadanja su teže uočljivi zbog dugotrajnosti i općenito su uzrokovani promjenama parametara poluvodičkog materijala ili povećanjem električnog kontaktnog otpora.

Dugotrajna izloženost visokim temperaturama mijenja parametre materijala i umanjuje termoelektrični učinak. Toplinsko osciliranje znači periodičko povećanje i smanjenje regulirane temperature, ponekad preko jako širokog temperaturnog područja. Iako nije jasno definirana granica oscilirajućih i neoscilirajućih primjena, toplinskim osciliranjem se smatra rad kada se temperatura redovito i manje-više trajno, kontinuirano povećava i smanjuje tijekom dugog vremenskog perioda rada. Oscilirajuće primjene obično koriste automatsku regulaciju temperaturnih promjena.

Brzina kvara modula u ovoj vrsti primjene je veća, nego kod drugih radnih uvjeta. Osnova za većinu kvarova pri toplinskom osciliranju su neslaganja toplinskih koeficijenata rastezanja različitih komponenata i materijala modula. Ti kvarovi su najčešće katastrofalni, iako se neki mogu otkriti prije nego je nanosena šteta.

Pri toplinskom osciliranju na intenzitet kvara najviše utječu: ukupan broj ciklusa, ukupna promjena temperature za vrijeme ciklusa, gornja granična temperatura ciklusa i brzina promjene temperature.

Najveća pouzdanost i vrijeme trajanja modula su ostvarivi kada je broj ciklusa malen, područje promjena temperature malo, gornja granična temperatura relativno niska i brzina promjene temperature minimalizirana. Važno je primijetiti da je apsolutni vijek trajanja modula najviše ovisan o ukupnom broju ciklusa pa je kod modula koji su izloženi toplinskom osciliranju, bolje srednje vrijeme između kvarova (MTBF) izraziti u broju ciklusa nego u satima.

U primjenama toplinskih oscilacija moduli s većom maksimalnom radnom temperaturom omogućuju značajno već vremensko trajanje, nego oni s nižom nazivnom radnom temperaturom. To vrijedi i kad je gornja temperatura ciklusa bitno ispod maksimalne nazivne temperature modula.

Fizički manji moduli imaju manje elemenata od p-tipa i n-tipa poluvodiča i dužu trajnost u odnosu na module koji imaju veće elemente. Toplinski inducirani mehanički stres je veći u većim modulima jer imaju veći broj elemenata p-tipa i n-tipa poluvodiča, te stoga mnogo više lemnih spojeva koji se mogu zamoriti toplinskim stresom.

Ispitivanjem modula, primjenom dobro kontroliranih toplinskih oscilacija, moguće je identificirati potencijalno neprihvatljive module, smanjiti vjerojatnost kvarova iz područja «dječjih bolesti» i postići jako visoku pouzdanost.

6. PREDNOSTI TERMoeLEKTRIČNIH MODULA I NJIHOVA PRIMJENA

Najveća prednost termomodula je da rade na električnom principu bez pokretnih dijelova što značajno pojednostavljuje održavanje. Ne stvaraju buku ni električni šum tijekom pa se mogu koristiti zajedno s osjetljivim elektroničkim sensorima. U usporedbi s mehaničkim sustavima hlađenja mnogo su manji i lakši te iste snage, a u radu ne koriste nikakve kemikalije ili plinove koji mogu biti štetni za okolinu.

Budući da isti modul može poslužiti za grijanje i hlađenje, ovisno o polaritetu priključenog istosmjernog napona, nema potrebe za odvojenim funkcijama grijanja i hlađenja. Uz odgovarajući regulacijski krug, termomoduli omogućuju regulaciju temperature preciznije od $\pm 0.1^\circ\text{C}$, čak i ispod $\pm 0.001^\circ\text{C}$. Zbog poluvodičke konstrukcije posjeduju vrlo visoku pouzdanost. Tipični vijek trajanja im je veći od 200.000 radnih sati, što je više od 22 godine. Na njihov rad ne utječe položaj i okolina pa se često koriste u zračnom prostoru i bestežinskom stanju. Napajaju se iz istih

mjernih izvora u širokom rasponu ulaznih napona i struja te pulsno-širinskom modulacijom (PWM). Prednost

korištenja PWM je u kvalitetnijoj regulaciji napajanja modula uz manja temperaturna nadvišenja što rezultira većom pouzdanošću i dužim «životnim vijekom». Moduli malih dimenzija mogu se direktno montirati na komponentu ili područje koje treba hladiti, tako da nema nepotrebnog rasipanja energije. Ako su strane termoelektričnog modula na različitim temperaturama, može poslužiti i kao generator električne energije.

Za razliku od pasivnog hladnjaka, Peltierov hladnjak dopušta snižavanje temperature objekta ispod temperature okoline kao i stabiliziranje temperature objekta koji je izložen široko promjenjivim uvjetima okoline. Peltierovi hladnjaci općenito mogu odstranjivati toplinu u području od mW do nekoliko tisuća W. Najviše se koriste moduli do 100 W, a sve više se koriste od 200 do 400 W. Većina jednostupanjskih Peltierovih hladnjaka su sposobni crpiti maksimalno 3 do 6 W/cm² s površine modula. Iako ima primjena hlađenja ispod -100°C, temperaturne razlike najčešće ne prelaze 60°C kroz modul.

Za povećanje cjelokupnih performansi toplinske crpke koriste višestruki moduli. Pri tome slaganje modula jednog na drugog povećava raspon temperature, ali i degradira karakteristike toplinske crpke. Veliki Peltierovi sustavi u području kW izgrađeni su u prošlosti za specijalizirane namjene kao što je hlađenje unutar podmornice i u pružnim vozilima. Sustavi takvog kapaciteta danas se koriste u proizvodnim linijama poluvodiča.

Primjena Peltierova modula pokriva širok spektar ljudskih djelatnosti s različitim tehničkim zahtjevima: vojska, medicina, industrija, telekomunikacije, znanost i potrošačka tehnika. Raspon korištenja uređaja kreće se od različitih vrsta hladnjaka (za laserske diode, laboratorijske instrumente, elektronička kućišta i komponente i dr.), temperaturnih kupka, telekomunikacijske opreme do iznimno profinjenih sustava kontrole temperature i termoelektričnih generatora u raketama i svemirskim vozilima.

Na slici 11 prikazane su dvije temperaturne kupke koje se koriste u laboratoriju za umjeravanje temperature Veleučilišta u Varaždinu, a za grijanje i hlađenje koriste Peltierov modul. Mogu poslužiti kao prijenosni instrumenti ili kao temperaturni kalibratori za umjeravanje termoparova i otporničkih detektora temperature (RDT). Jedna kod temperature okoline 23°C može vršiti kalibraciju od -25°C to 140°C uz rezoluciju 0.1 stupanj i točnost ±0.25°, a druga od 50°C do 650°C uz rezoluciju 0.1 stupanj i točnost ±0.5°C do 400°C, te ±1°C od 400°C do 650°C.



Slika 11: Primjer temperaturnih kupki

7. ZAKLJUČAK

Zbog prednosti primjene termoelektričnih modula u funkcijama grijanja i hlađenja, neprekidno se vrše istraživanja novih materijala i struktura u svrhu dobivanja modula sastavljenih od elemenata koji dobro vode struju, a istodobno su dobri izolatori topline s kojima se može postići veća temperaturna razlika tople i hladne strane. Izbor ovih modula u području manjih snaga daje najoptimalnije rješenje, naročito u primjenama gdje je potrebna precizna regulacija temperature, visoka točnost i pouzdanost predloženog rješenja kao što su temperaturne kupke, jedinice preciznog hlađenja i dr.

8. LITERATURA

- [1] <http://www.tetech.com/>
- [2] <http://www.ferrotec.com/>
- [3] <http://www.melcor.com/>
- [4] <http://www.jpl.nasa.gov/>
- [5] <http://www.hartscientific.com/>
- [6] P. Biljanović: "Poluvodički elektronički elementi", Školska knjiga, Zagreb, 1996.
- [7] A. Bilušić, A. Smontara: "Što su i kako se istražuju termoelektrični materijali?", Stručni skup "20. ljetna škola mladih fizičara", Zbornik radova, Zagreb : Hrvatsko fizikalno društvo, 2004. 2.1-2.5 (stručni rad).
- [8] <http://www.huimao.com>
- [9] <http://www.sintecoptronics.com>
- [10] <http://www.its.caltech.edu/~jsnyder/thermoelectrics/index.htm>

Kontakt:
 mr. sc. Ivan Šumiga, dipl. ing.
 Križanićeva bb, 42000 Varaždin
 Tel: 098/467 761

e-mail: ivan.sumiga@velv.hr,
mladen.grdjan@velv.hr,
josip.hudjek@velv.hr