

Nekonvenčný spôsob chladenia tranzistorov

M. Smitka¹, A. Čaja¹, M. Malcho¹, J. Jandačka¹

¹ Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta, ŽU v Žiline,
Univerzitná 1, Žilina

E-mail : martin.smita@fstroj.uniza.sk, alexander.caj@fstroj.uniza.sk, milan.malcho@fstroj.uniza.sk,
jozef.jandacka@fstroj.uniza.sk

Anotace:

Díky velkému progresu v elektronickém průmyslu se řízení tepla v elektronických komponentech stává vážným a důležitým problémem. V mnoha případech je přirozená a nucená konvekce často nedostatečná. A právě jednou z možností pro odvod ztrátového tepla z elektronických a elektrických prvků je pomocí tepelné trubice s uzavřenou smyčkou. Tepelná trubice s uzavřenou smyčkou (LHP) je dvoj-fázové zařízení s vysokou tepelnou vodivostí, které využívá tlakový spád v porézní struktuře na cirkulaci pracovní látky. Tato zařízení byly vynalezeny v Rusku začátkem 80. let 20. Století. LHP je složena z výparníku, kondenzátoru, kompenzační komoře (rezervoáru), a parního a kapalného potrubí. Porézní struktura se nachází pouze ve výparníku a určité části kompenzační komory. Použití porézní struktury poskytuje stabilní rozhraní mezi kapalnou a parní fází. Tato práce se zabývá návrhem LHP pro chlazení bipolárního tranzistoru s izolovaným hradlem. Odpařovací část LHP je z měděného potrubí, na kterém je hliníkový blok. Uvnitř výparníku je porézní struktura ze slinutého měděného prášku. Kondenzátor je vyroben jako trubkový výměník. Jako pracovní látka byla použita destilovaná voda. Teploty byly snímány pomocí termočlánků.

Annotation:

Due to the rapid progress in the electronics industry, the thermal management of electronics components becomes an important and serious issue. Natural and forced convection are often deficient. One of the possibilities for dissipation of heat flux is using a loop heat pipe. A loop heat pipe (LHP) is a two-phase device with extremely high effective thermal conductivity that utilizes pressure difference in wick to circulate working fluid. It was invented in Russia in the early 1980's. LHP is composed by an evaporator, a condenser, a compensation chamber (reservoir) and a vapor and liquid lines. Only the evaporator and part of the compensation chamber are equipped with a wick structure. The use of the wick structure in the evaporator provides a stable physical interface between the liquid and the vapor phases in the LHP. This work deals with the design of LHP for cooling of Insulated gate bipolar transistor. The LHP evaporator is made up with copper pipe and alumina saddle. Inside of the evaporator is wick structure and it is made from sintered copper powder. The condenser is made as tube heat exchanger. As a working fluid is used distilled water. The temperatures are measured with the thermocouples.

ÚVOD

Spoľahlivosť všetkých elektronických komponentov klesá so zvyšujúcou sa teplotou. Zvýšená teplota výrazne mení ich parametre (týka sa to predovšetkým polovodičových komponentov, u ktorých sa s teplotou mení prúdový zosilňovací činiteľ). Zvýšená teplota taktiež ovplyvňuje ich životnosť, prípadne pri zvýšení nad určitú (maximálnu) hodnotu môže dôjsť k zničeniu prvku.

Mouromtseff v roku 1942 uviedol v jednom zo svojich článkov, že pri vývoji elektroniky sa častejšie naráža na otázku šírenia tepla než na problém súvisiaci s elektrickou problematikou. Táto problematika platí aj dnes, keď stúpa snaha o čo najväčšiu miniaturizáciu a zložitosť elektronických výrobkov [1].

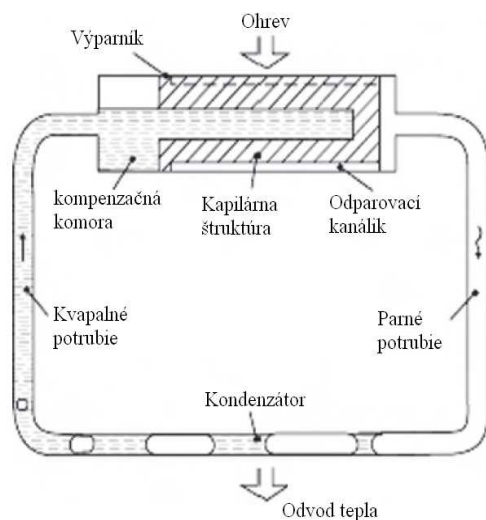
V elektrotechnickom priemysle je súčasťou vývoja miniaturizácia elektronických komponentov, čo vedie k nárastu lokálneho tepla. Zabezpečenie vysokej spoľahlivosti elektronického systému a riadenie jeho teploty sa stáva hlavnou úlohou riešenia daných systémov.

Uvoľnené teplo z elektronických zariadení je možné odvádzať niekoľkými spôsobmi, ktoré sa používajú jednotlivito alebo vo vzájomnej kombinácii. Používané klasické kondukčné alebo konvekčné chladiace systémy sú v mnohých prípadoch nedostatočné, a preto je potrebné použiť nové zariadenia, ktoré by boli schopné odvieť aj vysoké tepelné toky, ktoré sú požadované v niektorých moderných technológiách. Jednou z možností je využitie tepelnej trubice s uzavretou slučkou (loop heat pipe- LHP). Jedná sa o samocirkulačné zariadenia, kde je teplo prenášané na základe zmeny fázy pracovnej látky, ktorej

cirkuláciu zabezpečujú kapilárne sily v poréznej štruktúre. LHP využíva výhody kapilárnych štruktúr s malými priermi pórov spolu s výhodami konvenčných tepelných trubíc. Tieto zariadenia boli vyvinuté v roku 1972 Gerasimovom a Maydanikom v polytechnickom inštitúte na Urale. Vývoj týchto typov tepelných trubíc smeroval hlavne k ich využitiu vo vesmíre, kde mali byť spočiatku využívané pre aplikácie, vyžadujúce vysoké tepelné výkony (0,5 až 24kW). Avšak výhody LHP s použitím malých priemerov potrubí bez kapilárnej štruktúry, viedli k ich využitiu pre chladenie elektronických komponentov [2].

LHP ponúkajú mnoho výhod oproti tradičným tepelným trubiciam ako schopnosť pracovať aj v inej polohe ako zvislej, väčšia flexibilita v obmedzenom priestore či schopnosť prenášať teplo na veľké vzdialenosti bez použitia čerpadla.

Základné časti LHP sú výparník, kondenzátor, parné a kvapalné potrubie a kompenzačná komora. Vo výparnej časti sa nachádza porézna štruktúra. Celé zariadenie je uzavreté a nachádza sa v ňom pracovná látka s požadovaným množstvom. Schému LHP je možné vidieť na Obr 1.



Obr.1: Schéma LHP [3]

ČINNOSŤ LHP

Činnosť LHP možno zhrnúť nasledovne. Pred ohrevom výparníka je pracovné médium vo forme kvapaliny a vyplňa kondenzátor, parné a kvapalné potrubie. Kvapalina vyplňa aj určitú časť výparníka a kompenzačnej nádoby, aby mohlo dôjsť k saturácii pórovitej štruktúry. Pri privedení tepla do výparníka, dochádza k odparovaniu pracovného média. Odparovanie pracovného média prebieha vo výparníku LHP na povrchu kapilárnej štruktúry (vnútorná strana výparníka) v odparovacích kanálikoch. Odtiaľ para prechádza do parného

potrubia s určitou tlakovou stratou. Niektoré LHP majú okrem primárnej kapilárnej štruktúry aj sekundárnu, ktorá zabezpečuje rovnomerné zásobovanie primárnej vrstvy tekutinou. Keďže má pórovitá štruktúra určitý tepelný odpor, teplota a tlak v kompenzačnej komore sú výrazne nižšie ako vo výparníku. Kapilárne sily v kapilárnej štruktúre bránia prúdeniu pár z výparníka do kompenzačnej komory. Vplyvom tlakového spádu medzi výparníkom a kompenzačnou komorou, para prúdi cez parné potrubie do kondenzátora, kde dôjde ku kondenzácii. Následne sa kvapalina vracia cez kvapalné potrubie späť do kompenzačnej komory.

EXPERIMENT

Práca sa zaoberá návrhom LHP a jej využitím na odvod stratového tepla z bipolárneho tranzistora s izolovaným hradlom (IGBT- insulated gate bipolar transistor).

LHP bola vyrobená z medených rúr. Dôležitou časťou LHP je porézna štruktúra, ktorá sa nachádza v jej výparnej časti. Kapilárny tlak v štruktúre poskytuje potrebný tlak na cirkuláciu pracovnej kvapaliny v systéme. Kapilárny tlak ΔP_{kap} , je daný:

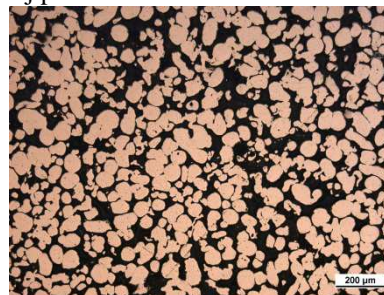
$$\Delta P_{kap} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos\theta}{R} \quad (1)$$

kde σ je povrchové napätie látky, θ je uhol zakrivenia (krajný uhol) a R je polomer pórov. Pre správnu funkčnosť LHP je potrebné zabezpečiť aby celková tlaková strata v systéme bola menšia alebo rovná ako kapilárny tlak v poréznej štruktúre:

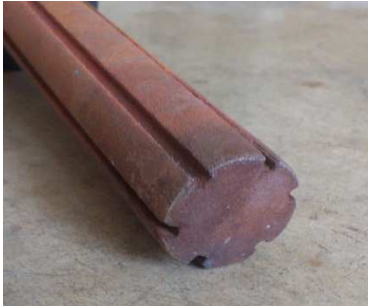
$$\Delta P_{celk} \leq \Delta P_{kap} \quad (2)$$

Výber kapilárnej štruktúry je rozhodujúci pre správny chod zariadenia [4].

Na zhotovenie kapilárnej štruktúry bol použitý medený prášok s veľkosťou zrna 50 μm . Medený prášok sa následne spekal pri teplote 950°C v mufľovej peci.



Obr.2: Rez poréznej štruktúry pod mikroskopom



Obr.3: Porézna štruktúra z spekaného medeného prášku

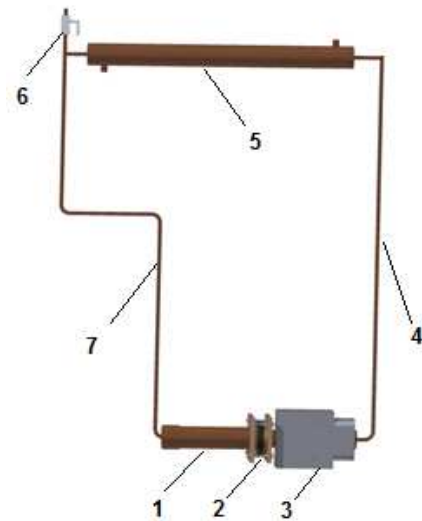
Kondenzačná časť je zhotovená na báze rúrkového výmenníka tepla. Prostredníctvom tohto výmenníka sa teplo odovzdá do chladiacej vody, ktorej teplota je nastavená na 20°C a regulovaná pomocou obehového termostatu.

Po vyhotovení LHP sa na výparnú časť upevní hliníkový blk , na ktorý sa následne uchytí tranzistor. Pre lepší transport tepla sa na spoj medzi tranzistorom a hliníkovým blokom aplikovala teplovodivá pasta. Tranzistor bol následne napojený na zdroj jednosmerného prúdu (Delta power Supply SM120-50), ktorým bol postupne zaťažovaný výkonom až do 450W. Maximálna povolená teplota tranzistoru bola 100°C.

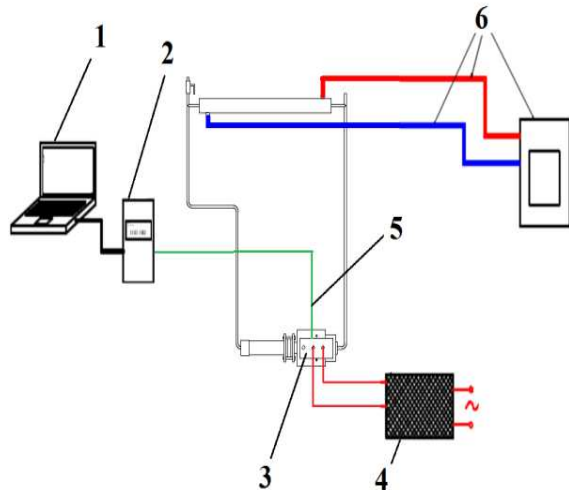
Model LHP je možné vidieť na obr. 4 a schému zapojenia experimentálneho zariadenia na obr.5. Základné parametre LHP sú v Tab 1.

Tab.1 Parametre LHP

LHP výparník	
dĺžka (mm)	130
priemer (mm)	28
Hliníkový blok	
dĺžka/šírka/výška (mm)	118/89/40
Porézna štruktúra	
Materiál	Spekaný medený prášok
Pórovitosť (%)	51
priemer (mm)	26
Kompenzačná komora	
priemer (mm)	35
Dĺžka (mm)	110
Parné potrubie	
priemer/ dĺžka (mm)	6/670
Kvapalné potrubie	
priemer/ dĺžka (mm)	6/820
Kondenzačná časť	
dĺžka (mm)	300
Priemer (mm)	6



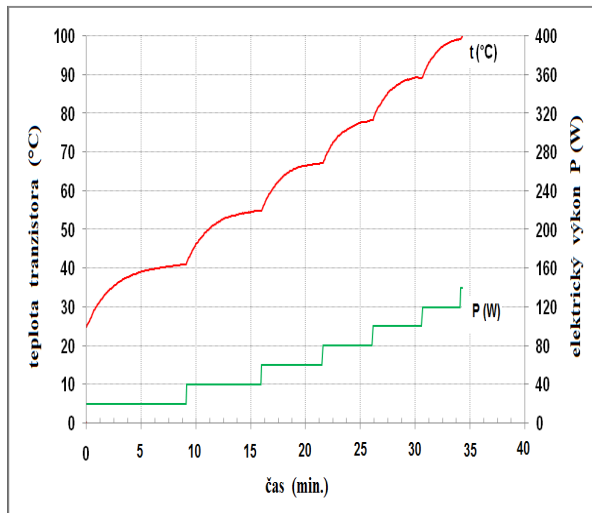
Obr. 4: Model LHP: 1- kompenzačná komora, 2- gumené tesnenie, 3- hliníkový blok (výparník), 4- parné potrubie, 5- kondenzátor, 6- plniaci ventil, 7- kvapalné potrubie



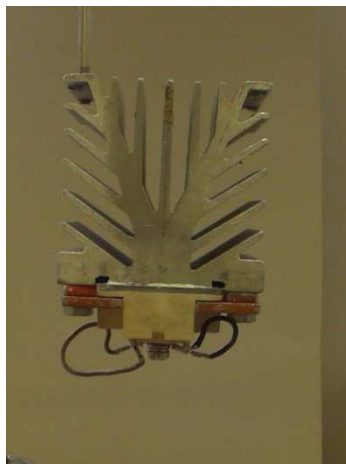
Obr.5: Schéma zapojenia experimentálneho zariadenia: 1-PC, 2- meracia ústredňa, 3-IGBT, 4- zdroj jednosmerného prúdu, 5- termočlánok, 6- termostat

VYHODNOTENIE

Všetky merania boli uskutočnené v laboratóriu pri teplote okolia 21 °C. Tranzistor bol chladený viacerými spôsobmi, ktoré boli následne spracované a vyhodnotené do grafu. Prvým spôsobom chladenia bolo pomocou konvenčného rebrového chladiča. Chladič bol vyrobený z hliníku a upevnený pomocou skrutkových spojov na tranzistor. Pre lepšiu tepelnú vodivosť bola aplikovaná teplovodivá pasta na spoj medzi chladičom a tranzistorom. Chladič je možné vidieť na Obr 6. Tranzistor bol následne postupne zaťažovaný jednosmerným elektrickým prúdom a pomocou termočlánku bola snímaná jeho teplota. Výsledky sú zaznamenané v grafe 1. Z grafu je možné pozorovať, že tranzistor dosiahol maximálnu povolenú teplotu 100 °C už pri záťaži 120 W

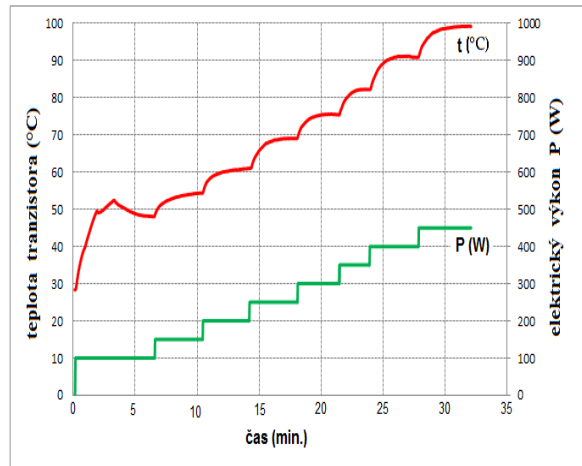


Graf 1: Závislosť teploty tranzistora od záťaže pri chladení konvenčným rebrovým chladičom



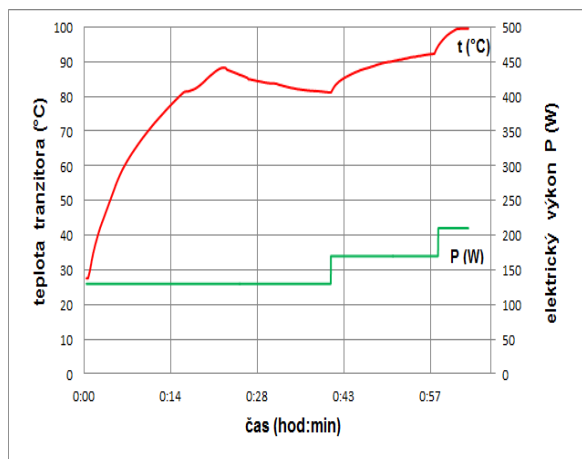
Obr.6: Upevnenie tranzistoru na hliníkový rebrový chladič.

Ďalším spôsobom chladenia tranzistora bolo pomocou, už spomínanej, tepelnej trubice s uzavretou slučkou. LHP bola nastavená do zvislej polohy s výparnou časťou naspodku. Tranzistor sa upevnil na hliníkový blok výparnej časti. Na spoj bola taktiež aplikovaná teplovodivá pasta. Následne bol tranzistor postupne zaťažovaný jednosmerným prúdom, pričom sa zaznamenávala jeho teplota. Závislosť teploty tranzistora od jeho záťaže je možné pozorovať na grafe 2. Z grafu je možné pozorovať, že maximálnu povolenú teplotu dosiahol tranzistor až pri záťaži 450 W čo je niekoľko násobne vyššie ako pri chladení pomocou rebrového chladiča.



Graf 2: Závislosť teploty tranzistora od záťaže pri chladení pomocou LHP (v zvislej polohe LHP)

Ďalšie meranie bolo vykonané tiež s LHP, avšak pri zmenenej polohe. LHP sa nastavila do vodorovnej polohy (výparník a kondenzátor boli v jednej rovine). Priebeh merania bol obdobný ako v predchádzajúcom prípade. Výsledky z merania sú vyhodnotené v grafe 3. Z grafu je možné pozorovať, že chladiaci výkon LHP značne klesol. Tento pokles bol spôsobený okrem iného aj tým, že vo vodorovnej polohe LHP bola cirkulácia pracovnej látky zabezpečená iba kapilárnymi silami. V zvislej polohe bola cirkulácia zabezpečená okrem kapilárných síl aj gravitačnou silou. Tým bolo možné zabezpečiť rýchlejší odvod tepla z výparnej časti LHP.



Graf 3: Závislosť teploty tranzistora od záťaže pri chladení pomocou LHP (vo vodorovnej polohe LHP)

ZÁVER

Jednou z možností chladenia tranzistorov je pomocou LHP. Jedná sa o samocirkulačné chladiace zariadenia, ktoré využívajú fázovú zmenu na transport tepla. Z meraní je možné pozorovať, že oproti konvenčnému spôsobu odvodu tepla z tranzistoru, LHP disponuje omnoho väčším chladiacim výkonom.

Vďaka dobrému chladiacemu výkonu a schopnosťou transportovať teplo na väčšie vzdialenosti je možné použiť LHP na odvod tepla v rôznych oblastiach elektronického a elektrického priemyslu.

LITERATURA

- [1] T.Fukátko and J. Fukátko, *Teplo a chlazení v elektronice*, Praha, BEN, 2006.
- [2] D. Reay and P. Kew, *Heat Pipes-Theory, Design and applications*, Burlington, Elsevier, 2006.
- [3] Yu. F. Maydanik, "Loop heat pipe," *Applied thermal engineering* 25, pp. 635-657, 2005.
- [4] S. Launay, V. Sartre, J. Bonjour, "Parametric analysis of loop heat pipe operation: a literature review," *IJTS*, pp. 622-635, 2006
- [5] P. Nemeč, A. Čaja, R. Lenhard, "Visualization of heat transport in heat pipe using thermocamera," *Archives of thermodynamic*, vol. 31, pp. 125-132, 2010.
- [6] P. Nemeč, M. Malcho, M. Smitka, J. Matušov, "Performance parameters of closed loop thermosyphon," vol. 14, pp. 53-57, 2012.