

Vplyv okolitej teploty na elektrickú pevnosť elektricky izolovanej tepelnej trubice.

A. Čaja¹, P. Nemeč¹, M. Malcho¹

¹ Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta, ŽU v Žiline,
Univerzitná 8215/1, Žilina

E-mail : alexander.caja@fstroj.uniza.sk, patrik.nemec@fstroj.uniza.sk, milan.malcho@fstroj.uniza.sk

Anotácia:

V súčasnej dobe, objemová koncentrácia elektronických súčiastok v ich miniaturizácii na rôzne typy mikročipov a zvýšenie ich výkonnosti vyvoláva problém chladenia takýchto prvkov, vzhľadom k rastúcej hustote tepelného toku tepelných strát. Dodržiavanie bezpečnej prevádzkovej teploty aktívneho polovodičového prvku veľmi úzko súvisí so spoľahlivosťou a trvanlivosťou nielen komponentov, ale aj celého zariadenia. Často je tiež nutné elektricky izolovať jednotku zo strany chladnejšieho vzduchu. Požiadavka na chladenie prirodzenou konvekciou je typické pre aplikácie s vysokou prevádzkovou spoľahlivosťou. Pre spoľahlivosť systému pre odstránenie zvýšenej tepelnej straty, je nutné minimalizovať potrebu využívať mechanicky alebo elektricky poháňané prvky, ako sú obehové čerpadlá alebo ventilátory. Doterajšie skúsenosti s aplikáciou tepelných trubíc v špecifických systémoch sa zdá byť najvhodnejším spôsobom chladenia. Tepelné trubice sa najčastejšie vyrábajú z kovových materiálov a teda sú elektricky vodivé. Úlohou experimentu bolo zistiť, aký má vplyv vonkajšia teplota na priereznosť elektrického prúdu pri použití tepelnej trubice, ktorá má výparnú a kondenzačnú časť oddelenú nevodivým materiálom. Nutnou podmienkou bolo preto aj použitie pracovnej látky, ktorá je taktiež elektricky nevodivá. Pre tento experiment bol použitý Fluorinert FC 72. FC-72 je čistá, bezfarebná, plne fluorizovaná kvapalina. Tak ako ďalšie fluorinertné kvapaliny, je FC-72 tepelne a chemicky stabilný, kompatibilný s kovmi a plastmi, nehorľavý, prakticky netoxický. Táto unikátna kombinácia vlastností robí FC-72 ideálnym pre mnoho elektronických aplikácií, lebo je aj výborný izolant. Využitie by malo byť obmedzené na uzavreté systémy pretože fluórované kvapaliny majú veľmi vysoký potenciál globálneho otepľovania a dlhú životnosť v atmosfére.

Abstract

At present, the volume concentration of electronic components in their miniaturization to different types of microchips and increasing their performance raises the problem of cooling such elements due to the increasing density of heat flow of heat loss. Compliance with safe operating temperature of active semiconductor element is very closely related to the reliability and durability not only components, but also the entire device. Often it is also necessary to electrically isolate the unit from the side of the cooler air. Cooling demand by natural convection is typical for applications with high operating reliability. To the reliability of the system for removing heat loss increased, it is necessary to minimize need to use the mechanically or electrically powered elements, such as circulation pumps or fans. Experience to date with applications of heat pipe in specific systems appears to be the most appropriate method of cooling. Heat pipes are most often made of metallic materials, and thus, are electrically conductive. The task of the experiment was to find out what is the effect on the ambient temperature vigorousness electricity using a heat pipe. Heat pipe must be evaporating part and condensation part a separate non-conductive material. A necessary condition was also the use of working fluid, which is also electrically non-conductive. For this experiment was used Fluorinert FC-72 is clear, colorless, liquid fully fluoridated. Like other fluorinertné liquid FC-72 is thermally and chemically stable, compatible with metals and plastics, non-flammable, virtually non-toxic. This unique combination of properties makes the FC-72 ideal for many electronic applications, because it is also an excellent insulator. Use should be restricted to closed systems because fluorinated fluids have very high global warming potential and longevity in the atmosphere.

ÚVOD

Riešenie problematiky chladenia je v súčasnej dobe stále náročnejšie, a to najmä pokiaľ ide o chladenie elektrických a elektronických zariadení. Ich výkonové parametre sa stále zvyšujú, znižuje sa ich veľkosť, a tým sa vytvárajú stále náročnejšie požiadavky na chladenie. Preto sa stále vyvíjajú nové typy chladenia. Jedným z možných spôsobov chladenia sa ukázalo použitie tepelných trubíc rôznych konštrukcií. Ako sa vyvíjajú elektronické

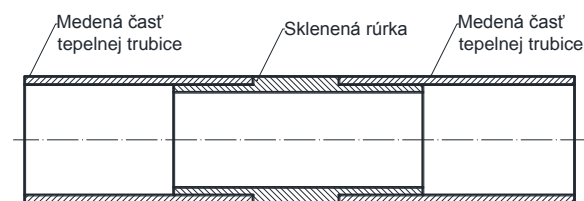
zariadenia, tak sa vyvíjajú aj tepelné trubice. Tie sa používajú hlavne na odvádzanie tepla zo zdroja tepla na miesto s nižšou teplotou, kde sa teplo odovzdáva do okolitého prostredia.

Tepelná trubica je hermeticky uzavreté zariadenie, v ktorom sa nachádza pracovné médium (voda, alkohol, freón, ortuť, amoniak, hélium, etanol, toluén, sodík...) pri určitom pracovnom tlaku. Delí sa na tri časti - výparná, kondenzačná a adiabatická (izotermická) časť. Teplo dodávané do výparnej časti tepelnej trubice spôsobuje, že pracovné médium, v kvapalnej

fáze, vplyvom vysokej teploty a zodpovedajúcemu tlaku sa začne odparovať. Para prúdi stredom tepelnej trubice do kondenzačnej časti, kde skondenzuje na kvapalinu a odovzdá latentné teplo. Skondenzovaná kvapalina sa vracia do výparnej časti vplyvom gravitačnej, kapilárnej alebo odstredivej sily, v závislosti od typu tepelnej trubice. Tým sa vytvorí uzavretý cyklus pracovného média v spojení s prenosom tepla. Tým, že tepelná trubica je zhotovená z jedného kusu materiálu, stáva sa nielen vodičom tepla, ale aj elektrického prúdu. V prípade, že je výparná časť pod elektrickým prúdom a nie je oddelená elektricky izolačným materiálom od zvyšku, je elektricky vodivá aj kondenzačná časť s chladivom. To je nežiaduce vzhľadom na bezpečnosť pri práci. Okrem materiálu môže byť elektrický prúd vedený aj pracovnou látkou. [1], [2], [4]

MODEL EXPERIMENTÁLNEJ TEPELNEJ TRUBICE SO SKLENENOU RÚRKOU

Pre meranie elektrickej pevnosti tepelnej trubice bolo zostrojené experimentálne zariadenie znázornené na obrázku č. 1. Je to medená v podstate gravitačná tepelná trubica, kde je výparná a kondenzačná časť oddelená sklenenou rúrkou s dĺžkou L , ktorá slúži ako elektrický izolant. Experimentálna tepelná trubica a schéma merania elektrickej pevnosti je zobrazené na obrázku č. 2.



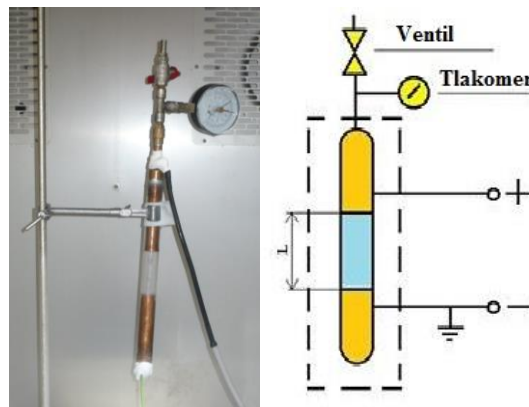
Obr. 1: Obr. 1: Náčrt tepelnej trubice pre meranie elektrickej priereznosti

Ako pracovné médium bol použitý Fluorinert FC-72. Fluorinert FC-72 je číra, bezfarebná, plne fluorizovaná kvapalina. Rovnako ako ostatné fluorinertné kvapaliny, FC-72 je tepelne a chemicky stabilný, kompatibilný s kovmi a plastmi, nehorľavý, prakticky netoxický. Táto jedinečná kombinácia vlastností robí z FC-72 ideálnu látku pre mnoho elektronických aplikácií, pretože je tiež vynikajúci izolant. [2], [3]

Fluorinert nedráždi oči ani pokožku. Vykazuje tiež veľmi nízku subchronickú toxicitu pri vdýchnutí. Fluorinert má nulový potenciál poškodzovania ozónovej vrstvy a neprispieva k prízemnému smogu. FC-72, plne fluórovany uhlíkovodík má však vysoký potenciál voči globálneho otepľovaniu a dlhú životnosť v atmosfére, preto sa odporúča jeho použitie v uzavretých systémoch a len v malých objemových množstvách.

Pre oddelenie dvoch medených častí bola použitá sklenená rúrka z borosilikátového skla. Tepelná

rozťažnosť takéhoto skla je $3,3 \times 10^{-6}$ m/m.K, čo je 5x menej ako tepelná rozťažnosť medi. Preto boli spoje medzi sklenenou trubicou a medenou rúrkou vyplnené silikónom, ktorý tento rozdiel dokázal svojou pružnosťou eliminovať. Pre sériovú výrobu ale bude potrebné zvoliť inú kombináciu materiálov s menším rozdielom tepelných rozťažností, alebo vhodnejší spojovací materiál. Na experimentálne účely to bolo dostatočné.



Obr. 2: Obr. 2: Tepelná trubica a schéma pripojenia na merací zdroj

MERANIE ELEKTRICKEJ PEVNOSTI

Jednotlivé merania sa uskutočnili v termostatickej komore BINDER – obrázok č. 3, ktorá umožňuje reguláciu teploty vnútorného prostredia v rozsahu -40°C až $+180^{\circ}\text{C}$. V praxi ani nemá význam skúmať nižšie teploty, pretože pre aplikácie v stredo európskych klimatických podmienkach nedochádza k poklesu teplôt pod túto hranicu. Pre reguláciu napätia bol použitý napájací zdroj HT 55 - I, s prevádzkovým rozsahom 0 až 60 kV. V termostatickej komore boli stanovené podmienky, ako je teplota a vlhkosť. Zistilo sa, že so zvyšujúcou sa teplotou v tomto prípade vlhkosť rástla. Teploty boli odstupňované po 10°C a zatiaľ sa uvažovalo len o záporných hodnotách. Pripravujú sa však aj ďalšie merania s menšími krokmi, ale väčším rozsahom, vzhľadom na to, že dochádza k postupnému otepľovaniu a teda aj zmene klimatických podmienok.



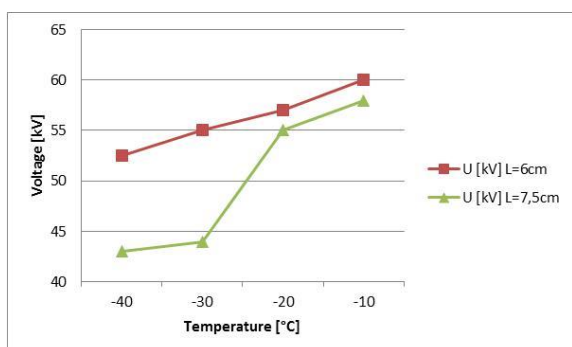
Obr. 3: Obr. 3: Skúšanie v termostatickej komore

VÝSLEDKY MERANIA ELEKTRICKEJ PEVNOSTI TEPELNEJ TRUBICE S RÔZNOU DĹŽKOU SKLENENEJ TRUBICE

Pre porovnanie vplyvu dĺžky sklenenej trubice na elektrickú pevnosť tepelnej trubice boli vykonané merania pre dve rôzne dĺžky sklenenej trubice a to $L = 6 \text{ cm}$ a $L = 7,5 \text{ cm}$. Pre väčšiu prehľadnosť sú výsledky prezentované v grafe.

Tab. 1: Výsledky meraní elektrického prierazu tepelnou trubicou so sklenenou rúrkou.

| t_p [°C] | p [kPa] | | U [kV] | |
|------------|---------|---------|--------|---------|
| | L=6cm | L=7,5cm | L=6cm | L=7,5cm |
| -40 | 32 | 30 | 52,5 | 43 |
| -30 | 32 | 30 | 55 | 44 |
| -20 | 32 | 30 | 57 | 55 |
| -10 | 35 | 30 | 60 | 58 |



Obr. 4: Obr. 4: Graf hodnôt prierazného napätia pre rôzne dĺžky sklenenej rúrky.

Pri dosiahnutí prierazného napätia a po niekoľkých iskrových výbojoch dochádzalo k prerušeniu elektrického prúdu. Tento jav môže spôsobovať zvýšenie tlaku v tepelnej trubici alebo vznik nových chemických väzieb v sýtych parách Fluorinertu FC72.



Obr. 5: Obr. 5: Vizualizácia prierazného napätia

Z grafu vyplýva, že čím bola nižšia teplota okolia, tým bolo potrebné aj nižšie napätie v tepelnej trubici na vytvorenie iskry. Zaujímavosťou je, že pri teplotách -20°C až -10°C je rozdiel vplyvom zmeny dĺžky elektród iba minimálny, ale so znižujúcou sa teplotou sa zväčšuje aj rozdiel veľkosti prierazného napätia.

ZÁVER

Úlohou experimentu bola kvantifikácia vplyvu okolitej teploty na elektrickú pevnosť izolovanej tepelnej trubice. Elektrická pevnosť pár Fluorinertu FC 72 bola overená na gravitačnej tepelnej trubici, ktorá je zobrazená na obrázku č. 2 spolu so schémou zapojenia. Overenie elektrickej pevnosti bolo vykonané na dvoch typoch gravitačnej tepelnej trubici, z dôvodu porovnania rôznych dĺžok, s galvanickým oddelením pre elektrickú silu. Výsledky meraní sú uvedené v tabuľke 1 a obrázku č 4.

Na základe dosiahnutých výsledkov z experimentu možno konštatovať, že tepelná trubica je vhodným zariadením na odvod stratového tepla z výkonných elektronických a elektrických súčiastok, ktoré tiež pracujú s vysokým napätím elektrickej práce. Izolovaná tepelná trubica umožňuje odstránenie veľkej hustoty tepelnou toku, ale zároveň sú tieto prvky bezpečne elektricky izolované od vonkajších častí v akejkolvek prevádzkovej teplote.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol v rámci projektu APVV – 0557 – 10.

LITERATURA

- [1] P. NEMEC, M. MALCHO, J. JANDAČKA: Experimental measurement and mathematical calculation evaporator temperature of closed loop thermosyphon, AIP conference proceedings (2013) ISSN 0094-243X
- [2] P. NEMEC ET AL.: Performance parameters of closed loop thermosyphon, Communications: scientific letters of the University of Žilina (2012) ISSN 1335-4205
- [3] P. NEMEC ET AL.: Mathematical model for heat transfer limitation of heat pipe. Mathematical and Computing Modelling (2013) ISSN 0895-7177
- [4] H. Pen ET AL.: Study on heat transfer performance of an aluminium flat plate heat pipe with fins in vapor chambre, Nanjing, China (2013)
- [5] J.A. Weibel ET AL.: Recent advances in vapor chamber transport characterization for high-heat-flux applications, West Lafayette (2013)