

## Chladienie elektrostatických meničov tepelnými trubicami

A. Čaja<sup>1</sup>, M. Malcho<sup>1</sup>, J. Jandačka<sup>1</sup>, P. Nemeč<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta, ŽU v Žiline,

Univerzitná 1, Žilina

E-mail : alexander.caja@fstroj.uniza.sk, milan.malcho@fstroj.uniza.sk, jozef.jandacka@fstroj.uniza.sk,

patrik.nemec@fstroj.uniza.sk

### Anotace:

V posledních letech se zaznamenal značný rozmach miniaturizace některých tepelně zatěžovaných zařízení hlavně v elektrotechnickém průmyslu a v mechatronice. Navrhují a vyrábějí se stále složitější a energeticky náročnější zařízení. Na druhé straně je tendence, aby tyto zařízení byli stále menší při zachování původního výkonu, nebo dokonce při jeho zvýšení. Když je zařízení výkonnější, pak má většinou i vyšší tepelný stratový výkon, který je potřebné z důvodu udržení bezpečných pracovních teplot odvést. Příspěvek se věnuje problematice odvodu tepla z elektrostatického měniče pomocí žebrovaného chladiče nebo tepelní trubice. Běžně se pro chlazení elektrostatických součástek využívají různé typy chlazení pomocí žebrovaných chladičů, které využívají princip volné, častěji ale nucené konvekce. Pro dosažení nucené konvekce se využívají různé ventilátory, což má za následek zvýšení rizika poruch, protože tyto zařízení obsahují pohyblivé části. Proto se vyvíjejí takové typy chlazení, které by tyto ventilátory nepotřebovali, ale aby byli dostatečně výkonné na chlazení požadovaných elektrických součástek. Jako perspektivní se jeví použití tepelných trubic. Tepelní trubice je zařízení, které dokáže transportovat teplo od zdroje na místo s nižší teplotou a tam jej odevzdat do okolí přirozenou konvekci přes žebra. Zde v příspěvku je porovnání schopnosti odvádět teplo z elektrostatického měniče třemi různými způsoby při stejných počátečních podmínkách.

### Annotation

In recent years saw a great increase miniaturization of some heat-stressed equipment mainly in electronics and mechatronics. Design and produce a more complex and energy-consuming equipment. On the other hand, there is a tendency that these devices have been getting smaller while retaining full performance, or even while improving performance. When the device is efficient, then the majority even higher heat loss-making power, which is necessary in order to maintain safe operating temperatures due. The paper deals with the problem of heat dissipation of electrostatic converters using a ribbed radiator or heat pipes. Normally for cooling electrostatic devices use different types of cooling using finned heat sinks that use the principle of free or forced convection often. To achieve the forced convection is used by various fans, resulting in increased risk of failure, because these devices have moving parts. Therefore developing such types cooling that these fans not need but to be powerful enough to cool the required electrical components. As a prospective cooling appears use of heat pipes. Heat pipe is a device that can transport heat from the source to a lower temperature and then handed over to the surroundings natural convection through the ribs. Here in the paper is to compare the ability to dissipate heat from electrostatic converters in three different ways at the same initial conditions.

### ÚVOD

Elektrostatický menič, pre ktorý sa skúmal vhodný systém chladienia, je zariadenie slúžiace na zmenu parametrov prúdu a napätia používaný pre železničné vozne. Bežne používané statické meniče sú prevažne chladiené prúdením vzduchu okolo jeho povrchu, pričom dochádza len ku konvektívnemu odvodu tepla. Na zabezpečenie prúdenia vzduchu sa používajú hlavne ventilátory s vhodne tvarovaným oplechovaním. Tým sa však zvyšuje miera poruchovosti a náročnosť na údržbu, keďže ventilátory obsahujú pohyblivé časti, ktoré sa samotnou prevádzkou opotrebovávajú. Z toho dôvodu sa uvažuje o zmene spôsobu chladienia týchto elektrostatických meničov. Ako najlepší spôsob sa javí použitie tepelných trubic. Tepelné trubice pracujú na princípe zmeny skupenstva pracovnej

látky, takže neobsahujú žiadne pohyblivé časti, sú bez údržbové a ich tepelná vodivosť je niekoľkonásobne vyššia ako u kovových materiálov plného prierezu rovnakého priemeru. Ich hlavnou úlohou je odvieť teplo vyprodukované elektrostatickým meničom na miesto s nižšou teplotou okolia, a tam ho prostredníctvom rebrovaného chladiča odovzdať do okolia prirodzenou konvekciou.

Pre získanie predstavy o množstve vyprodukovaného tepla a najmä o spôsobe šírenia tepla v samotnom meniči, a následnom návrhu čo najlepšieho spôsobu chladienia, musel byť elektrostatický menič najprv premeraný z hľadiska tepelných výkonov a strát. Pre meranie týchto tepelných výkonov a strát a taktiež aj samotných systémov chladienia je možné použiť buď originálny elektrostatický menič, ktorý sa používa v praxi, alebo jeho geometricky podobný model. Z dôvodu merania teplôt vo vnútri telesa meniča energie bol pre porovnanie rôznych spôsobov

chladenia vyrobený geometricky zhodný model. V prípade použitia originálneho elektrostatického meniča by bolo nutné vyvŕtať diery pre osadenie termočlánkov do blízkosti vinutí transformátorov. Vzniklo by riziko poškodenia izolácie, prípadne by mohlo dôjsť aj k jej zničeniu a tým aj k zničeniu samotného transformátora. Okrem toho skutočný menič by musel byť napájaný a aj zaťažovaný príliš veľkými prúdmi a napätím. Aj z týchto prevádzkových a bezpečnostných dôvodov sa použil model elektrostatického meniča.

Základ modelu tvorí hliníkový obal, ktorý sa používa pre sériovú výrobu transformátorov elektrostatických meničov. Do obalu sa vložili dva elektroizolačné toroidy, v ktorých boli osadené ohmické odpory a ktoré majú tvar vinutí transformátora.

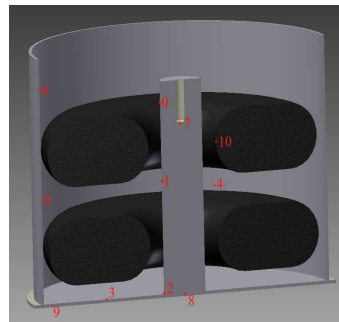


Obr. 1: Umiestnenie transformátora v skrini

Odpory sú zapojené sériovo a ich celkový odpor je  $\sim 10 \Omega$ , čo zodpovedá odporu vinutí v reálnom meniči. Systém odporov generujúcich Jouleovo teplo je napájaný jednosmerným prúdom z regulovaného zdroja napätia. Vychádza sa z predpokladu, že celý elektrický výkon sa zmení na teplo. Na základe tohto predpokladu a známych hodnôt prúdu a napätia sa určil teoretický tepelný výkon modelu, ktorý sa neskôr overil samotným meraním tepelných strát v termostatickej komore.

Okrem odporových toroidov boli do modelu vložené aj snímače teploty - termočlánky. Ich rozmiestnenie bolo volené tak, aby sa s čo najmenším počtom termočlánkov zaznamenali čo najpresnejšie teploty ako na povrchu, tak aj vo vnútri medzi toroidmi či v blízkosti hliníkového trňa. Rozmiestnenie termočlánkov je znázornené na obrázku 2. Priestor medzi toroidmi a obalom bol vyplnený modelárskou hmotou, ktorej tepelné a elektroizolačné vlastnosti boli podobné tepelným a elektroizolačným vlastnostiam výplňovej hmoty používanej v sériovej výrobe.

Úplne prvotný zámer bolo použitie hliníkového trňa umiestneného v strede meniča a upevneného na dno vonkajšieho obalu. Trň mal slúžiť na rýchlejší odvod tepla z vnútra meniča. Tento spôsob sa však nejavil ako dostatočný. Napriek tomu, že trň odvádzal rýchlejšie teplo na povrch, nepostačovalo toto chladenie z dôvodu malej prestupnej plochy a nízkeho súčiniteľa prestupu tepla z vonkajšieho obalu do prostredia.



Obr. 2: Umiestnenie termočlánkov v modeli elektrostatického meniča

## POSTUP PRI MERANÍ TEPLÔT MENIČA V TERMOSTATICKEJ KOMORE

Aby bolo možné posúdiť vlastnosti jednotlivých systémov chladenia statického meniča energie, bolo potrebné zabezpečiť niekoľko teplotných úrovní, pri ktorých by bolo simulované uvoľňovanie stratového tepla konštantného výkonu a určiť rozloženie teplôt v meraných bodoch pri stacionárnom režime. Z tohto dôvodu bol vykonaný celý rad experimentov pri troch rôznych okolitých teplotách a dvoch tepelných výkonoch, generovaných Joulovým teplom simulujúcim stratový výkon 30 a 50 W. Všetky teploty aj tepelný výkon, resp. napätie a elektrický prúd regulovateľného zdroja boli zaznamenávané meracou ústredňou na počítači tak, aby sa mohla dosiahnuť ustálená úroveň jednotlivých teplôt a aby sa systém dostal do termodynamickkej rovnováhy.



Obr. 3: Model elektrostatického meniča bez chladiča



Obr. 4: Model elektrostatického meniča s rebrovaným chladičom



Obr. 5: Model elektrostatického meniča s tepelnou trubicou a rebrovaným chladičom

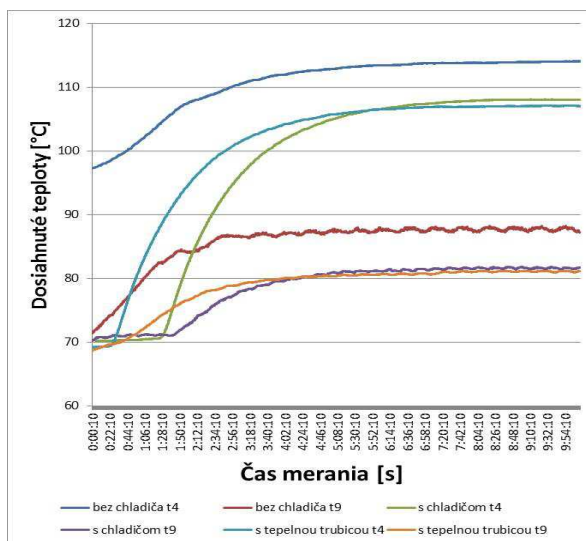
Jednotlivé merania prebiehali pre porovnanie pri troch typoch odvodu tepla – konvekciou z povrchu transformátora, konvekciou z chladiča umiestneného na povrchu a pomocou tepelnej trubice umiestnenej v hliníkovom tŕni transformátora.

Všetky merania sa robili v termostatickej komore, kde sa simulovali tri rôzne teploty, pri dvoch rôznych tepelných výkonoch stratového tepla modelu. Tepelný výkon modelu bol regulovaný zdrojom elektrickej energie na hodnotách 30W a 50W, teploty boli nastavené v komore pomocou termostatu na hladiny 30 °C, 50 °C a 70°C. Pri dvoch rôznych tepelných výkonoch sa meralo preto, lebo v statických meničoch energie sa používajú transformátory rôznych výkonov. Veľkosť skrine, v ktorej bývajú uložené, zostáva rovnaká. Rozsah teplôt bol zvolený na základe skúseností s prevádzkou meničov energie. Pri bežnej prevádzke býva teplota okolia približne 40 °C, ale v prípade, že menič nie je dostatočne ochladzovaný a je plne zaťažovaný, dosahuje teplota prostredia v skrini až 70 °C.

Na transformátore boli celkovo merané teploty v desiatich rôznych bodoch. Pre porovnanie sa však vybrali len dva z nich. Prvý bod charakterizuje miesto s najvyššou nameranou teplotou. Je to kvôli tomu, aby sa zistila intenzita odvodu tepla zo stredu transformátora. Druhý bod charakterizuje miesto na povrchu. Sledovala sa intenzita ochladzovania v závislosti od teploty okolia

## VYHODNOTENIE NAMERANÝCH VELIČÍN

Z obr. č .6 vyplýva, že pri výkone zdroja tepla 30 W a teplote okolia 70 °C sú rozdiely medzi jednotlivými spôsobmi odvodu tepla v stacionárnom stave výrazné, najmä čo sa týka chladenia bez chladiča a zvyšných dvoch typov chladenia, pričom najlepší spôsob chladenia je odvod tepla pomocou tepelnej trubice.



Obr. 6: Porovnanie teplotných priebehov vo zvolených miestach meniča pri jednotlivých spôsoboch chladenia pri tepelnom výkone 30 W a teplote okolia 70 °C

Za ním nasleduje odvod tepla pomocou rebrovaného chladiča so zvislými rebami a najvyšší spád teplôt pre odvod rovnakého chladiaceho výkonu pri rovnakej teplote okolia potrebuje hladký plášť meniča bez rebrovania. Rozdiel teplôt na povrchu i vo vnútri telesa meniča v tomto prípade medzi chladením bez chladiča a zvyšnými typmi chladenia je približne 6-7 °C.

## ZÁVER

Získané výsledky z merania teplotných priebehov v teplotne exponovaných miestach telesa meniča ukázali, že je stále možnosť optimalizácie stavby takýchto zariadení. Nové konštrukcie umožnia odvod tepla produkovaného ako stratový výkon a zabezpečia tak zníženie teplôt, najmä izolácii vinutí v transformátore meniča a prispejú k zvýšeniu spoľahlivosti daného zariadenia.

## POĎAKOVANIE

Tento príspevok vznikol v rámci projektu KEGA-064ŽU-4/2012

## LITERATURA

- [1] P. Nemeč a kol.: Thermal performance measurement of heat pipe, Global journal of technology and optimization - ISSN 2229-8711. - 2011. - Vol. 2, No. 1 (2011)
- [2] P. Nemeč, A. Čaja, M. Malcho: Mathematical model for heat transfer limitations of heat pipe, Mathematical and Computer Modelling. - ISSN 0895-7177. - Vol. 57, Iss. 1-2, (2013)
- [3] P. Nemeč a kol.: Performance parameters of closed loop thermosyphon, Communications : scientific letters of the University of Žilina. - ISSN 1335-4205. - Vol. 14, No. 4a (2012)