

PELTIEROVY ČLÁNKY PRO VÝROBU ELEKTRICKÉ ENERGIE

Marian Brázdil

VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, Technická 2896/2, 616 69 Brno
email: brazdil@fme.vutbr.cz

V posledních letech dochází k vzestupu zájmu o termoelektrické aplikace a výrobu elektřiny na základě termoelektrických jevů. Předkládaný text se zabývá popisem termoelektrických článků, nazývaných někdy jako Peltierovy články, principy na kterých je přímá přeměna energie postavena a problémy které za provozu nastávají. V závěru práce je nastíněna konstrukce termoelektrického generátoru, vyvíjeného na Energetickém ústavu FSI VUT v Brně.

Klíčová slova: Peltierovy články, termoelektrické moduly, termoelektrický generátor, odpadní teplo

ÚVOD

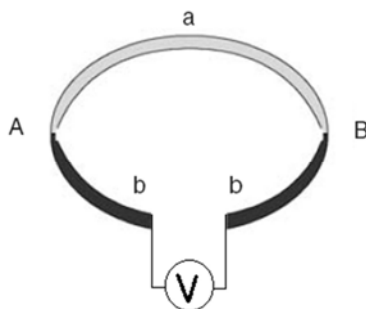
Peltierovy články umožňují přeměnu tepla v elektřinu a naopak. Články nebo zařízení využívající těchto článků pro výrobu elektrické energie se označují jako termoelektrické generátory. Výhodou těchto zařízení je provoz bez chemických látek a pohyblivých částí, jejich jednoduchost, spolehlivost a dlouhá životnost. Vzhledem k nízké účinnosti termoelektrické přeměny (resp. termoelektrických materiálů) jsou možnosti využití těchto systémů omezené. Samostatně pracují jako zdroje elektrické energie a spotřebovávají pro provoz ušlechtilá primární paliva ve specifických případech: v odlehlých, těžko přístupných nebo nebezpečných oblastech. V souvislosti se vzrůstajícími cenami paliv a požadavky minimalizace následků průmyslové výroby na životní prostředí se však objevily snahy využívat termoelektřiny vyrobené z odpadního tepla jako zdroje elektrické energie [1]. Bude-li termoelektrický systém pro svůj provoz využívat odpadní energie, jeho nízká účinnost nemusí být kritická. V mnoha případech je to způsob jak získat vysoce jakostní elektrickou energii, jejíž získání by s konvenčními způsoby přeměny bylo jen obtížně realizovatelné nebo zcela nerealizovatelné.

TERMOELEKTRICKÉ JEVY

Termoelektrické jevy jsou jedny z nejstarších jevů pozorovaných v pevných látkách.

Seebeckův jev

Seebeckův jev, který umožňuje přeměnu tepla v elektřinu, bývá často objasňován na dvojici vodičů nebo polovodičů (Obr.1). Budou-li dva různé elektricky vodivé materiály (a,b) spojeny a mezi jejich spoji (A,B) bude udržován gradient teploty, bude v obvodu generováno malé elektrické napětí. Toto napětí, označované jako Seebeckovo napětí, je přímo úměrné rozdílu teplot. Jev je možné sledovat i na osamoceném vodiči. Konstantou úměrnosti je tzv. Seebeckův koeficient α , který je materiálovou vlastností daných vodičů. Pro dosažení většího termoelektrického napětí se ve dvojicích kombinují materiály s pokud možno co největším kladným a záporným Seebeckovým koeficientem. Tohoto jevu je využíváno při výrobě elektrické energie [1].



Obr. 1 Vzniklá termoelektrická dvojice [1].

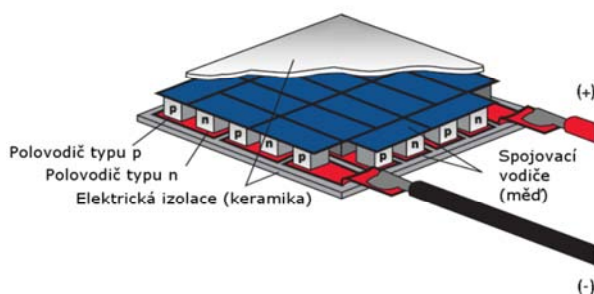
Peltierův jev

Opačným jevem k Seebeckovu jevu je Peltierův jev, který nastává při průchodu elektrického proudu takto složeným obvodem. V závislosti na směru průchodu proudu se teplo na spojích vodičů uvolňuje nebo pohlcuje. Jev je výsledkem změny entropie nosičů náboje při průchodu spojem. Využití nachází převážně v chladicí technice [1].

PELTIEROVY ČLÁNKY

Konstrukce termoelektrických článků

Termoelektrické články se skládají z množství dvojic, které jsou tvořeny polovodičovými elementy (sloupky) typu p a n. Dvojice jsou spojeny elektricky do série, z hlediska tepelného toku paralelně a umístěny mezi dvěma keramickými deskami (Obr. 2). Desky zajišťují elektrickou izolaci od okolí a poskytují článku potřebnou pevnost. Sloupky mají charakteristickou geometrii, která zajišťuje vysoký Seebeckův koeficient [1].



Obr. 2 Konstrukce termoelektrického modulu [2].

Podle způsobu využití je možné rozdělit termoelektrické články na články chladicí (Obr. 3) a články generátorové (Obr.4). Chladicí články využívají Peltierova jevu. Uplatnění nachází v přenosných chladicích zařízeních, v avionice, používají se při teplotní stabilizaci polovodičových součástek apod. Články pro výrobu elektrické energie využívají Seebeckova jevu. Přestože jsou jevy Seebeckův a Peltierův jevy komplementární, jsou mezi články rozdíly a není žádoucí je zaměňovat. Výrobci optimalizují články pro konkrétní aplikace.

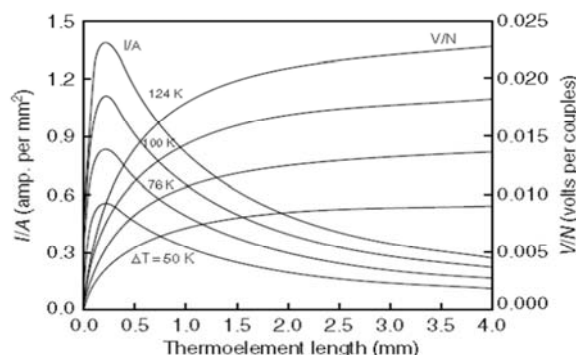


Obr. 3 Vícestupňový chladicí (Peltierův) článek [3].



Obr. 4 Generátorový termoelektrický článek [4].

Plocha a délka polovodičových sloupků má vliv na výsledné výkonové parametry. Obr. 5 ukazuje velikost proudu vztahujícího se na plochu termoelektrického materiálu a velikost napětí vzhledem k počtu termoelektrických dvojic pro různé délky termoelementů a teplotní rozdíly. Zatímco pro generátorové moduly jsou typické krátké sloupky, pro chladicí moduly sloupky dlouhé.



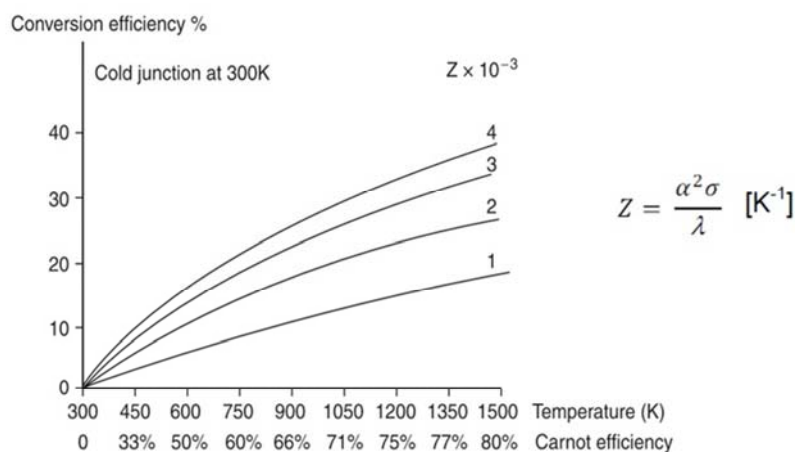
Obr. 5 Závislost výkonových parametrů článků na jeho geometrii [1].

V ČR se běžně mezi články nerozlišuje a všechny bývají souhrnně označovány jako Peltierovy články. Korektní by bylo takto označovat pouze články chladicí, tedy ty které bývají založené na teluridu bismutitém a pracují v rozsahu teplot přibližně -70°C až 230°C .

Výkon a účinnost generátorových článků

Průchodem tepelného toku článkem vzniká na jeho vodičích napětí a je-li článek připojen k zátěži, může generovat malý elektrický výkon. Výkon produkovaný jedním článkem je závislý na počtu termoelektrických dvojic, jejich provedení, vlastnostech použitého polovodičového materiálu, na přechodových odporech a dosaženém teplotním rozdílu mezi tzv. studenou a teplou stranou článku. Účinnost je závislá na teplotním rozdílu, na průměrné teplotě při které zařízení pracuje a na výkonnosti použitého materiálu. Se vzrůstající teplotou teplé strany účinnost narůstá (Obr.6) [1].

Největšího výkonu a účinnosti termoelektrické přeměny je v současnosti dosaženo při použití silně dopovaných polovodičových materiálů [5]. Obecně platí, že pro termoelektricky dobré materiály je charakteristický velký Seebeckův koeficient α , malá tepelná vodivost λ a vysoká elektrická vodivost σ . Malá tepelná vodivost pomáhá udržet teplo v oblasti přechodu a vysoká elektrická vodivost minimalizuje Joulovy ztráty. Tyto požadavky na vlastnosti materiálů byly vtěleny do veličiny nazývané koeficient termoelektrické účinnosti Z [6], [7]. U běžně dostupných termoelektrických materiálů se účinnost pohybuje v řádu jednotek procent. V budoucnu je očekáváno nalezení lepších termoelektrických materiálů a následné zvýšení účinnosti.



Obr. 6 Účinnost přeměny v závislosti na použitém termoelektrickém materiálu a pracovní teplotě [1].

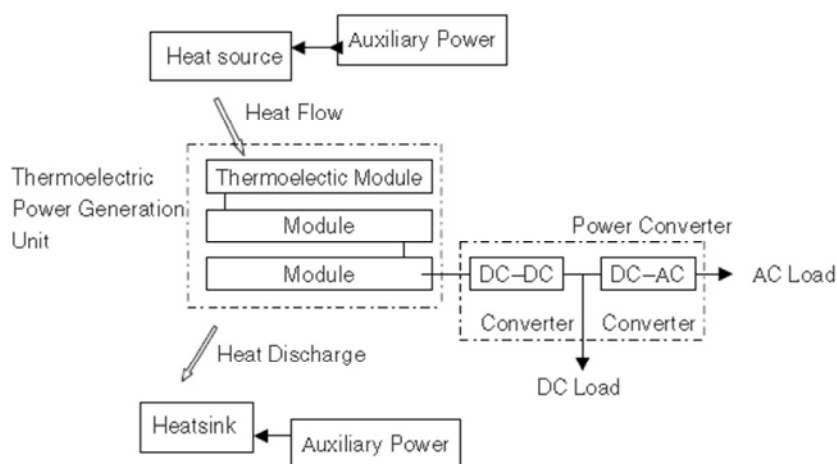
Závislost napětí a výkonu článků na teplotě je nevýhodná z hlediska škálování výkonu. V rozsáhlých termoelektrických celcích znesnadňuje propojování článků a vytváří nezanedbatelné ztráty výstupního výkonu.

TERMOELEKTRICKÉ GENERÁTORY

Nejmenší mikrogenerátory tvořené miniaturními termoelektrickými poli integrovanými do polovodičových čipů mohou mít výkon v řádu μW . S výkony v řádu desítek kW a více se mezi největší termoelektrické generátory řadí generátory poháněné jaderným reaktorem zkonstruované v projektu SP-100 [6].

Konstrukce termoelektrických generátorů

Termoelektrické generátory se skládají z jednoho nebo více termoelektrických článků, výměníků zajišťujících přívod a odvod tepla a měničů elektrické energie (Obr. 7). Zdrojem energie pro generátor může být například teplo spalin vzniklých spalováním fosilních paliv nebo odpadů, odpadní teplo chladících vod v technologických zařízeních, teplo vznikající při radioaktivní přeměně (radioizotopové termoelektrické generátory používané u vesmírných sond) nebo jakékoli jiné zdroje tepla o potřebných parametrech.



Obr. 7 Součásti termoelektrického systému [1].

Transformace elektrické energie

Termoelektrické články lze charakterizovat jako zdroje napětí s vnitřním odporem. Vnitřní odpor článku souvisí s termoelektrickými vlastnostmi použitého polovodičového materiálu a mění se s teplotou. Protože odpor článků je nezanedbatelný, se vzrůstajícím odběrem proudu bude i větší část dostupného výkonu ztracena v článku. Největšího výkonu bude dosaženo v případě, kdy odpor zátěže se bude rovnat vnitřnímu odporu článku [8]. Při připojení zátěže s jiným vnitřním odporem bude docházet ke ztrátám. Přímé spojení generátorového článku, resp. generátoru k zátěži by tedy nebylo účelné. Pro napájení spotřebičů navíc požadujeme stálé napětí.

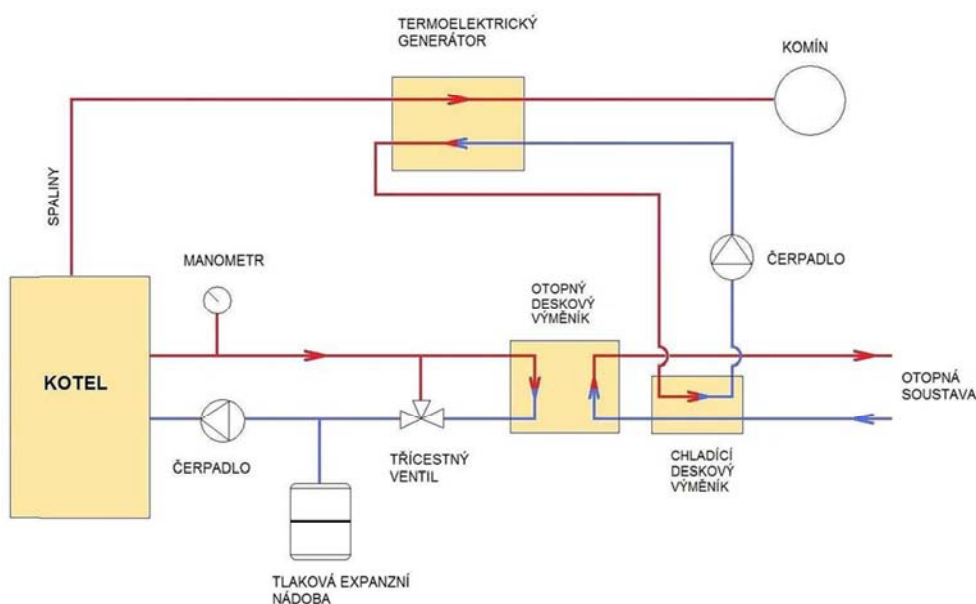
U menších generátorů jsou používány stejnosměrné měniče (DC/DC), rozsáhlé termoelektrické generátory mohou pracovat se střídači (DC/AC). Účelem měničů je transformovat vstupní stejnosměrné napětí na jiné výstupní napětí a přitom získávat z generátoru maximální výkon. V případě, kdy se generátor skládá z jednoho termoelektrického článku a stabilního tepelného zdroje a zátěže, je návrh systému snadný. Většina tepelných zdrojů ovšem stabilních není, dochází ke kolísání teploty [9], [10]. Protože výkon článků je úměrný teplotě, její kolísání a prostorové rozložení má nežádoucí vliv a je potřeba ho potlačit.

Aby nedocházelo ke ztrátám výkonu vlivem spojení se zátěží o jiném vnitřním odporu nebo vlivem teplotních diferencí mezi jednotlivými články, používá se měničů řízených pomocí algoritmu MPPT (Maximum Power Point Tracking – sledování bodu maximálního výkonu) [9], [10].

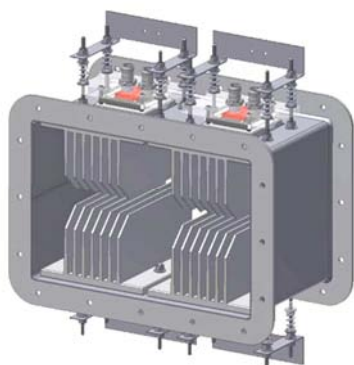
ZKUŠEBNÍ TERMOELEKTRICKÝ GENERÁTOR

Zdrojem tepla pro pokusný termoelektrický generátor vyvíjený na Energetickém ústavu FSI VUT v Brně je teplo spalín odcházejících z automatického teplovodního kotle Verner A251.1 o výkonu 25 kW spalující dřevní peletky. Spojením kotle s termoelektrickým generátorem se z kotle v principu stane kogenerační jednotka. Výstupní elektrický výkon generátoru bude v porovnání s tepelným výkonem kotle velmi malý (nominální elektrický výkon přibližně 100 W). Z pohledu účinnosti kotle by mělo dojít ke zmenšení ztráty fyzickým teplem spalín.

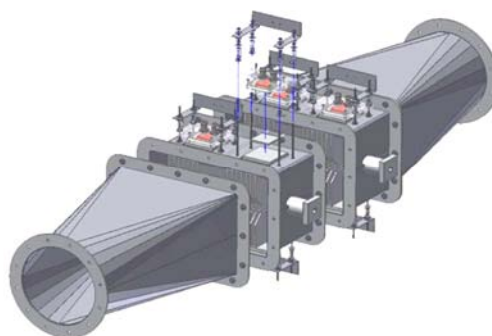
Spaliny odcházející výstupním hrdlem kotle do spalínovodu předávají teplo termoelektrickému generátoru a postupují k ústí komínu. Chlazení generátoru zajišťuje vodní okruh s čerpadlem. Ten přes deskový výměník předává teplo vodě v otopné soustavě (Obr. 8). Na obrázcích 9 a 10 se nachází náhledy navrženého generátoru. Vlastní měření provozních charakteristik bude realizováno v průběhu roku 2012.



Obr. 8 Schéma zapojení zkušebního termoelektrického generátoru.



Obr. 9 Segment termoelektrického generátoru pro teplovodní kotel Verner A251.1.



Obr. 10 Sestava termoelektrického generátoru.

ZÁVĚR

Označení všech termoelektrických článků jako Peltierových článků je do jisté míry zavádějící. Generátorové články používané v termoelektrických systémech jsou schopné využívat tepla odpadních látek. Výkon a účinnost těchto článků jsou závislé na jejich konstrukci, použitých termoelektrických materiálech a pracovních teplotách. Účinnost běžně dostupných článků se pohybuje v řádu procent. Bude-li zdrojem tepla odpadní energie, nemusí být nízká účinnost přeměny kritická. Získání elektrické energie by bylo v mnoha případech ideální, protože je vysoce jakostní a její využití je mnohem větší. Teplotní závislost článků značně komplikuje jejich využití. Pro zajištění maximální výkonnosti je potřeba použít stejnosměrných měničů a vhodných algoritmů pro jejich řízení.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za finanční podpory VUT v Brně v rámci interního grantu BD13101004.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ROWE, D. M. (ed.). *Thermoelectrics handbook : macro to nano*. 1st ed. [Boca Raton] : CRC Press, 2006. 1014 s. ISBN 978-0849322648.
- [2] *Thermoelectric handbook* [online]. Melcor, [cit. 2009-02-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.melcor.com/handbook.html>>
- [3] *Thermoelectric Modules – Two Stage Peltier Coolers* [online]. FerroTec, [cit. 2011-11-01]. Dostupný z WWW: <<http://thermal.ferrotec.com/products/thermal/modules/multiStage/>>
- [4] Marlow Industries, inc. – *Standard generators* [online]. c2008 [cit. 2011-11-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.marlow.com/power-generators/standard-generators/tg12-8-01l.html>>
- [5] JING-FENG, L., WEI-SHU, L., LI-DONG, Z., MIN, Z. *High-performance nanostructured thermoelectric materials*. NPG Asia Mater [online]. 2010, roč. 2. č. 4, s. 152–158. Dostupný z WWW: <<http://www.natureasia.com/asia-materials/review.php?id=800>> . ISSN 1884-4057
- [6] ROWE, D. M. *CRC handbook of thermoelectrics*. 1st ed. CRC Press, 1995. 701 s. ISBN 978-0849301469.
- [7] KARAMAZOV, S. *Interakce bodových poruch ve vybraných krystalech tetradymitové struktury*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, Ústav elektrotechniky a informatiky, 2007. 56 s. ISBN 978-80-7395-012-5.
- [8] *Tellurex - Seebeck FAQ* [online]. c 2010 Tellurex [cit. 2011-03-05]. Frequently asked questions about our power generation technology. Dostupné z WWW: <<http://www.tellurex.com/technology/seebeck-faq.php>>.
- [9] NAGAYOSHI, H., et al. High efficiency maximum power point tracking power conditioner for TEG systems. In *6th European conference on thermoelectrics :July 2 - 4, 2008, Paris, France* [online]. 2008 [cit. 2011-02-21]. Dostupné z WWW: <<http://ect2008.icmpe.cnrs.fr/Contributions/P2-23-Nagayoshi.pdf>>.
- [10] NAGAYOSHI, H.; TOKUMISU, K.; KAJIKAWA, T. Novel maximum power point tracking control system for thermoelectric generator and evaluation of mismatch power loss reduction. In *5th European conference on thermoelectrics : September 10-12, 2007 - Odessa (Ukraine)* [online]. 2007 [cit. 2011-02-21]. Dostupné z WWW: <<http://ect2007.its.org/system/files/u1/pdf/19.pdf>>.