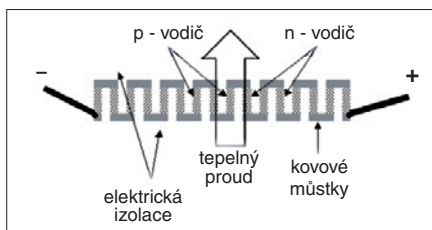


Význam termoelektrických generátorů rychle roste

Ing. Karel Kabeš

Zásoby fosilních zdrojů energií ve světě trvale klesají. Přesné prognózy jsou obtížné, ale nyní se všeobecně vychází z předpokladu, že zásoby ropy stačí krýt současnou světovou potřebu ještě asi 50 let. Proto je stále větší důraz kladen na lepší využití obnovitelných energií a na zavedení opatření směřujících ke snížení spotřeby energie. Často se proto nabízí otázka: Jak je možné fosilní zdroje energií využívat lépe než dosud? Mnoho technických procesů však využívá z vložené energie sotva jednu třetinu. Zbytek se ztrácí jako odpadní teplo. To by se mělo v budoucnu změnit. Na celém světě pracují vědci na tom, aby bylo



Obr. Polovodičový TEG složený z většího počtu základních článků v sérii (zdroj: Wikipedia.de)

nevyužitě odpadní teplo automobilů, strojů, elektráren apod. účelně využíváno, a tím se snížila spotřeba primární energie. V energetice se již např. s výhodou využívá odpadní teplo při kogenerační výrobě tepla a elektřiny, v budovách se začíná stále více využívat teplo z ohřátého vzduchu (např. švýcarská obec Uitikon využívá odpadní teplo výpočetního střediska IBM k ohřevu vody pro místní kryté lázně) apod. Z odpadního tepla je ale také možné přímo vyrábět elektrický proud. Experti v tomto případě hovoří o tzv. sklízení energie (*energy harvesting*). Umožňují to termoelektrické generátory, zkráceně označované TEG.

Termoelektrické generátory

Funkce termoelektrických generátorů je založena na fyzikálním jevu známém jako Seebeckův jev, který popisuje vznik elektrického napětí mezi dvěma konci vodiče s rozdílnou teplotou. TEG tedy využívají rozdíl teplot pro přímou přeměnu tepelné energie na elektrickou. Vzniklé napětí je velmi malé a pohybuje se v řádu několika mikrovoltů na stupeň Celsia podle použitého materiálu a teplotního rozdílu. Větší napětí vzniká u polovodičového materiálu, který se i vhodněji zpracovává. Zjednodušené uspořádání polovodičového TEG složeného pro získání vyš-

šího napětí z většího počtu základních článků v sérii je na připojeném obrázku [4].

Pro použití v praxi je však důležitá účinnost termoelektrického generátoru. Ještě před několika lety měly TEG účinnost jen několik procent, takže k získávání většího množství energie nebyly vhodné. Účinnost TEG závisí na fyzikálních vlastnostech použitého termoelektrického materiálu, které lze souhrnně vyjádřit činitelem termoelektrické jakosti [1].

$$ZT = \left(\frac{G \cdot S_k^2}{\lambda} \right) \cdot T$$

Hodnota ZT závisí na Seebeckově koeficientu (S_k), který je specifickou konstantou pro každý materiál, na elektrické vodivosti (G) a tepelné vodivosti (λ) materiálu a je největší při teplotě $T = 300 \text{ K}$ ($27 \text{ }^\circ\text{C}$). Při této teplotě je činitel termoelektrické jakosti ZT běžných materiálů přibližně 1, což je příliš málo na to, aby se využívání odpadního tepla ekonomicky vyplatilo. Na celém světě proto odborníci pracovali na vývoji termoelektrických materiálů s vyšší hodnotou ZT . Takový materiál musí mít vedle velkého Seebeckova koeficientu malou tepelnou vodivost (tedy pokud možno špatně vést teplo) a současně velkou elektrickou vodivost (tedy pokud možno dobře vést elektrický proud).

Z fyzikálního hlediska je to těžko splnitelný požadavek, protože materiály, které dobře vedou proud, jsou většinou také dobrými vodiči tepla, elektrická a tepelná vodivost jsou spolu do jisté míry svázány a nelze je nezávisle na sobě optimalizovat. Proto museli odborníci „vyzrát na přírodu“ a vhodné materiály na atomární úrovni modifikovat tak, aby mohla být při zachování velké elektrické vodivosti uměle snížena jejich schopnost vést teplo, a přitom byla ponechána možnost používat je i při vysokých teplotách. Velké možnosti v tomto směru přinesla na přelomu 20. a 21. století nanotechnologie a používání nanokompozitních polovodičových materiálů. V současnosti nejrozšířenější výrobní postup spočívá v tom, že se nanometricky tenké vrstvy z termoelektricky různě aktivního materiálu kladou na sebe. Styčné plochy, které tím v materiálu vznikají, brání přenosu tepla, ale na přenos proudu vliv nemají, což je pro dosažení velké hodnoty ZT velmi příznivé. Jiný výrobní postup používá místo tenkých vrstev směs termoelektrických materiálů, které ale

netvoří jeden společný krystal, nýbrž se skládají z mnoha slisovaných nanokrystalů. Zároveň velkým, geometricky dobře uspořádaným krystalem může tepelná vlna procházet rychle a neomezeně, v případě mnoha malých krystalů je na jejich styčných plochách zadržována a přenos tepla se zhorší.

Odborníkům Fraunhoferova ústavu pro fyzikální měřicí techniku IPM (*Institut für Physikalische Messtechnik*) ve Freiburgu se podařilo laboratorně vyrobit termoelektrické polovodičové materiály s hodnotou ZT až 3,5 a zvýšit tak účinnost TEG více než třikrát. Rekordních hodnot z laboratoří ovšem zatím v běžné praxi není dosahováno. Ale již od hodnoty $ZT = 1,5$ mají TEG široké hospodářské využití, a kdyby se podařilo činitel termoelektrické jakosti zvýšit na hodnotu 2, současný objem trhu TEG by se mohl až zdesateronásobit. Proto začal nyní světový závod



o to, komu se podaří nové termoelektrické materiály co nejdříve a za přijatelnou cenu zavést ve velkém měřítku do výroby.

Využití odpadního tepla v automobilu

Již několik let odborníci Fraunhoferova ústavu IPM ve Freiburgu nejenom pracují na vývoji termoelektrických materiálů nové generace, ale navrhují i nové moduly a systémy TEG k efektivnímu využití zbytkového tepla [3]. Pro přímou výrobu elektrického proudu by chtěli především využít odpadní teplo vznikající v automobilu, kde se téměř dvě třetiny energie pohonné hmoty ztrácejí jako nevyužitě teplo. Z toho se asi 30 % ztrácí přímo v motorovém bloku a dalších 30 až 35 % odchází ve výfukových plynech. V důsledku toho panují ve výfukovém potrubí vysoké teploty přesahující až $700 \text{ }^\circ\text{C}$, a teplotní rozdíl mezi výfukovou trubicou a vedením chla-

dicí kapaliny tak může činit až několik set stupňů Celsia. Takový teplotní rozdíl je velmi výhodný pro použití termoelektrického generátoru. Odborníci ústavu předpokládají, že výhledově by mohl TEG o výkonu asi 1 kW zajistit napájení trvale rostoucího počtu elektrických spotřebičů ve výbavě moderního automobilu (protiblokovací systém brzd ABS, protipokluzový systém ASR, inteligentní bezpečnostní program ESP, klimatizace aj.), což by umožnilo snížit spotřebu pohonných hmot o 5 až 7 %.

Svoje úvahy pro názornost doplňují jednoduchým výpočtem. V Německu je v současné době registrováno asi 50 milionů automobilů, které využívají téměř jednu pětinu energie celkem spotřebované v zemi. Podle statistických údajů jezdí německá auta v průměru asi 200 hodin ročně. Kdyby se podařilo pro napájení palubní elektroniky získat v jednom vozidle z odpadního tepla pomocí TEG asi 1 kW elektrické energie, bylo by možné takto za jediný rok ušetřit až 10 TW-h energie. To je pro lepší představu přibližně kapacita elektrárny o výkonu 1 000 MW. Proto je o využití energie z odpadního tepla výfukových plynů v automobilovém průmyslu obrovský zájem. První prototypy termoelektrických generátorů s využitím termoelektrických

materiálů nové generace se chystají pracovníci Fraunhoferova ústavu IPM představit a vyzkoušet v provozu příští rok. Na využití TEG se intenzivně pracuje i na dalších pracovištích v Německu i ve světě.

Například v Německém středisku pro letectví a kosmonautiku DLR jsou v současné době zkoušeny prototypy termoelektrického generátoru pro automobilový průmysl, které používají polovodičový materiál na bázi teluridu vizmutitého (Bi_2Te_3) a jejich elektrický výkon je asi 200 W. To sice odpovídá jenom čtvrtině energetické potřeby dobře vybavených automobilů střední třídy, ale je to obstojný začátek. Americký výrobce automobilů General Motors již má TEG s elektrickým výkonem 270 W a vzhledem k rychlému vývoji nových materiálů očekává, že během několika let bude dosaženo hranice 1 000 W. Z evropských automobilek se na použití TEG připravuje firma BMW v rámci svého programu EfficientDynamics [2], který je v podstatě souborem opatření ke snižování spotřeby energie a omezování škodlivých emisí bez nepopulárního zhoršení dynamiky jízdy. Ve zkušebním voze BMW řady 5 konstruktéři začlenili prototyp TEG do výfukového systému a umístili ho v podlahové části vozu. Průtočné průřezy výfukového potrubí bylo

nutné upravit tak, aby nebyly ovlivněny charakteristiky spalovacího motoru. Konceptně by měl termoelektrický generátor účelně doplnit systém rekuperace, kdy se při brzdění nebo během jízdy setrvačností akumulátor dobíjí elektrickou energií získanou z pohybové energie automobilu.

Termoelektrické generátory mají pro použití v automobilu mnoho výhod: nejsou citlivé na otřesy, jsou bezhlučné a nevádí jim ani velké rozdíly teplot, neprodukují žádné emise. Protože TEG neobsahují žádné mechanické díly, nepotřebují ani údržbu a mají mimořádně dlouhou životnost. To je také hlavní důvod, proč se TEG již více než čtyřicet let používají v radioizotopových generátorech jako zdroje energie pro kosmické sondy a satelity při letu v oblastech, kde není sluneční záření.

Literatura:

- [1] HONSEL, G.: *Wettlauf um Strom aus Wärme*. Spiegel Online Wissenschaft (3. 2. 2008).
- [2] BRISENO, C.: *Ernten statt verschwenden*. Fraunhofer Magazin, 2008, č. 3, s. 16–17.
- [3] BISKUP, P.: *Využití odpadního tepla*. Automobil, 2008, 52, č. 10, s. 72–73.
- [4] Wikipedia (http://de.wikipedia.org/wiki/Thermoelektrischer_Generator).

PODLAHOVÉ SYSTÉMY PUK

- široký výběr provedení pro všechny typy podlahových krytin pro všechny typy podlahových konstrukcí
- nové systémy pro instalaci bez nivelace pro zjednodušení a zrychlení instalace
- kvalitní zpracování a materiály
- zátěžová provedení do 2,5t
- téměř libovolné rozměry krabice
- provedení pro mokrou údržbu
- nerezová i plastová víka

KABELOVÉ NOSNÉ A ÚLOŽNÉ SYSTÉMY PUK

- vysoká pevnost díky speciální perforaci
- kvalitní zpracování
- různé povrchové úpravy
- požárně odolné systémy E30 – E90
- seizmicky odolné systémy
- kompletní příslušenství



SCHMACHTL
ELEKTROTECHNIKA – STROJIRENSTVÍ

SCHMACHTL CZ s. r. o., Vestec 185, 252 42 Jesenice u Prahy, tel.: 244 001 500, fax: 244 910 700, e-mail: office@schmachtl.cz, www.schmachtl.cz