

طراحی مبدل خنک کننده با استفاده از المانهای نیمه‌هادی مبتنی بر اثر

پلیتر

امین انیس¹. محمد شاری². بهزاد قلی پور³. داوود مختاری⁴

شرکت پتروشیمی فن‌آوران اداره تعمیرات واحد ابزار دقیق

Anis.3659@gmail.com

چکیده:

در این مقاله نتایج پژوهشی مربوط به طراحی و ساخت مبدل خنک‌کننده با استفاده از المان نیمه‌هادی TEC (Thermoelectric Cooling) ارائه شده است. این سیستم بر اساس خنک‌کنندگی ترموالکتریکی مواد با اثر پلیتر (Peltier) طراحی و ساخته شده است. سیستم ساخته شده نیاز به کمپرسور ندارد و بدون نیاز به مبرد، خنک‌کنندگی را انجام می‌دهد، بنابراین علاوه بر جلوگیری از انتشار مبردهای آلاینده در محیط زیست به کاهش مصرف انرژی نیز کمک می‌کند. امروزه با مشکلات عدیده‌ای که جامعه بشری با محیط زیست دارد، پرداختن به علومی که به نحوی در جایگزینی انرژی‌های مضر محیط زیست مفید باشند امری مطلوب محسوب می‌شود. با استفاده از مجموعه‌ای از این مبدلها و سری کردن آنها می‌توان اختلاف دمای یک محفظه یا یک کابین را کاهش داد. که بیشتر در این طرح هدف، کاهش دمای محفظه کابینهای سیستمهای کنترل ابزار دقیق بوده است. این سیستمها بسیار نسبت به دما حساس بوده و افزایش دما خسارات زیادی را می‌تواند به سیستم وارد نموده و بعضا باعث توقف تولید می‌شود. در این مبدل دمای محیط از 27.6 سانتیگراد به 3.4 سانتیگراد کاهش داده شد که معادل 24.2 درجه کاهش دما می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: المان نیمه‌هادی، اثر پلیتر، سیستم خنک‌کننده، سیستمهای کنترل ابزار دقیق، اثرسیک (Seebeck)

-
- 1- مهندس امین انیس، سرپرست شیفت تعمیرات واحد ابزار دقیق شرکت فن‌آوران
 - 2- مهندس محمد شاری، رئیس اداره توسعه و پژوهش شرکت فن‌آوران
 - 3- مهندس بهزاد قلی پور، رئیس اداره تعمیرات شرکت فن‌آوران
 - 4- مهندس داوود مختاری رئیس اداره ابزار دقیق شرکت فن‌آوران

1- مقدمه

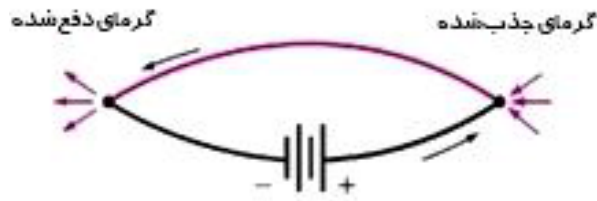
تمامی سیستمهای معمول خنک‌کننده با تکیه بر سیال عامل کار می‌کنند و معمولاً از مبردهای شیمیایی، گازها یا آب برای گرمایش یا سرمایش محیط بهره می‌برند. چرخه‌های ترمو دینامیکی سیستمهای خنک‌کننده معمول عبارتند از: چرخه تراکمی که در آن ماده مبرد به تناوب تبخیر و چگالیده می‌شود، چرخه گازی که در آن ماده مبرد در تمام مراحل در فاز گاز باقی میماند، چرخه تبرید جذبی که در آن ماده مبرد قبل از تراکم در مایعی حل می‌شود و نهایتاً چهارمین نوع سیستم مبدل نوع ترمو الکتریکی است که ماده مبرد در آن استفاده نمی‌شود بلکه عبور جریان الکتریکی از دو ماده غیرهمجنس، گرما و سرما تولید می‌کند. سیستمهای تنظیم‌کننده دما و شرایط محیطی نظیر خنک‌کننده‌ها یا تهویه مطبوع به طور معمول از سیستمهای کنترل مکانیکی، الکترومکانیکی، الکتریکی و سیالی مانند کمپرسورها، تبخیر کننده‌ها، کندانسورها و فن‌ها برای تامین سرمایش یا گرمایش استفاده می‌کنند. این سیستمها علاوه بر پیچیدگی اجرا، نیازمند فضای زیاد و تعمیر و نگهداری منظم می‌باشند. المانهای ترموالکتریکی توانایی تامین قابلیت‌های مشابه را بدون نیاز به قطعات و فضای زیاد را دارند به طور کلی آثار ترمو الکتریک به تبدیل مستقیم اختلاف دما به ولتاژ الکتریکی و بالعکس آن برمی‌گردد. وقتی اختلاف دمایی مابین سطوح المان ترموالکتریک بوجود آید ولتاژی تولید می‌کند. وقتی ولتاژی به ترمینالهای المان ترموالکتریک اعمال شود میان سطوح آن اختلاف دما ایجاد می‌شود در مقیاس اتمی، اعمال گرادیان دمایی سبب حمل شارژ در ماده برای نفوذ از طرف داغ به طرف سرد می‌شود [1]. مبدل ترموالکتریکی با توجه به ساختار و سیستم عملکرد آن دارای مزایای زیر می‌باشد:

- 1- چون در این سیستم از مبردهای سی. اف. سی (CFC) که به صورت بالقوه برای محیط زیست مضر هستند استفاده نمی‌شود، پس مزایای محیط زیست و ایمنی دارد.
- 2- نیاز به تعمیر و نگهداری آن تقریباً نزدیک به صفر است و برای قطعات حساس به ارتعاش مکانیکی گزینه ایده‌آلی محسوب میشود.
- 3- برای تولید در اندازه‌های کوچک و سبک مناسب است.
- 4- طول عمری طولانی دارد، متوسط ساعت خرابی آن بیش از یکصد هزار ساعت برآورد شده است.

در حال حاضر مبدلهای ترموالکتریک کاربردهای زیادی دارند. چندین شرکت نمونه‌هایی از المانهای پلیتر جهت کاربردهای مختلف تولید می‌کنند. در طراحی این مبدل با توجه به وابستگی ظرفیت خنک‌کنندگی المان ترموالکتریک به دفع هوای گرم طرف داغ قطعه، از سیستم خنک‌کنندگی جریان هوا با استفاده از یک فن استفاده شده است. بدیهی است در صورت توسعه مبدل در ابعاد بزرگتر میتوان از سیستم خنک‌کنندگی رادیاتور آب با فن استفاده کرد که راندمان سیستم را افزایش می‌دهد.

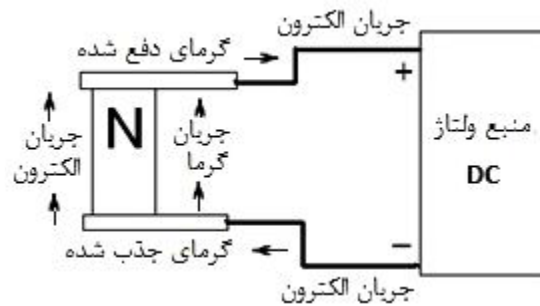
2- مفاهیم فیزیکی مبدلهای ترموالکتریک

فرایند ترموالکتریک براساس دو اصل شناخته شده اثر سیبک و اثر پلیر کار می‌کند. در سال 1821م، فیزیکدان آلمانی به نام توماس جوهان سیبک، دریافت که اگر مطابق (شکل 1) حلقه‌ای از دو سیم غیرهمجنس وجود داشته باشد و یکی از نقاط اتصال حرارت داده شود در مدار جریان الکتریکی برقرار می‌شود.



شکل 1- نمایی شماتیک از اثر سیبک

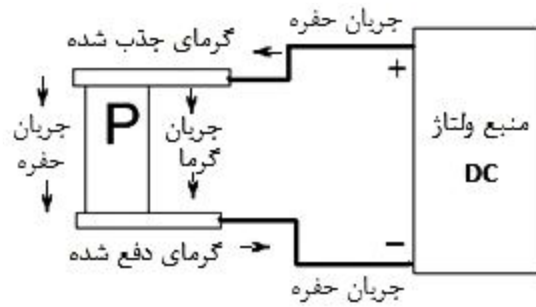
مولدهای ترموالکتریک المانهای حالت جامدی هستند که مطابق آنچه در فیزیک معروف به اثر سیبک است عمل می‌کنند. (شکل 2).



شکل 2- تولید قدرت الکتریکی با استفاده از اثر سیبک

این دستگاهها وقتی اختلاف دمایی در امتداد دو سمت آن بوجود آید ، قدرت الکتریکی تولید می‌کنند. قدرت الکتریکی توسط شار حرارتی در امتداد مجموعه تولید می‌شود بازدهی معمول المانهای سیبک 5 الی 8 درصد می‌باشد. مولدهای ترموالکتریک با اختلاف دما کار می‌کنند و بزرگترین اختلاف دمای میان طرف سرد و گرم با توجه به محدودیتهای فیزیکی، بیشترین مقدار قدرت را تولید می‌کند. در استفاده از چنین سیستمهایی تلاشهای زیادی روی مدیریت حرارتی، به طور ویژه طرح دفع گرما از طرف سرد باید بکارگرفته شود. کارایی مولد ترموالکتریک ساخته شده به امکان تامین دمای ثابت طرف داغ به طرف سرد و دفع شارگرمای به محیط و مقدار قدرت خالص تولید بستگی دارد. [2]

سیزده سال پس از سیبک، فیزیکدان فرانسوی به نام پلیترمشاهده کرد که وقتی جریان کمی از اتصال دوسیم غیرهمجنس عبور کند اختلاف دما پدید می‌آید(شکل 3).

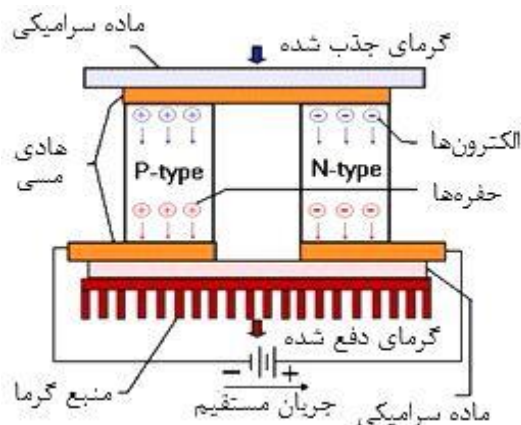


3- سرمایش با استفاده از اثر پلیرتر

بنابراین اثر پلیرتر یک اثر برگشت پذیر است. این اثر با اعمال ولتاژ مابین دو الکتروند متصل به یک نمونه از ماده نیمه رسانا با نتیجه سرمایش یک طرف و گرمایش طرف دیگر بوجود می آید. وقتی انتقال گرما از یک محیط به محیط دیگر ضروری باشد اثر پلیرتر می تواند مفید واقع شود. در اثر عبور جریان DC از طریق مولد ترموالکتریک به منظور انتقال گرما و ایجاد یک اختلاف دما در امتداد سطوح سرامیک موجب می شود یک طرف از مجموعه ترموالکتریکی سرد شود، در حالی که طرف دیگر داغ می شود. یک خنک کننده ترموالکتریک تک مرحله ای استاندارد می تواند اختلاف دمایی به اندازه 70 درجه سانتی گراد ایجاد کند و پیشرفت روشهای ساخت مواد نیمه هادی مدرن، محدودیت المانهای خنک کننده ترموالکتریکی را از میان برداشته است [4].

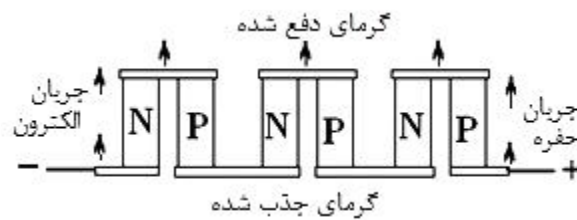
3- ساختار مبدل ترموالکتریک

مبدل ترموالکتریک از دو المان نیمه هادی تشکیل شده است که به صورت متراکم از تعداد زیادی الکترون نوع n و تعداد محدودی الکترون نوع p که در طرف مخالف همدیگر مرتب شده اند، تشکیل شده است. این مواد مخالف روی سطوح سرد و داغ در امتداد مواد رسانا نظیر مس، همانطور که در (شکل 4) نشان داده شده است، قرار گرفته اند.



شکل 4- نحوه عملکرد مبدل ترموالکتریک

در طرف سرد، گرما توسط الکترونی‌هایی که از المان نیمه رسانای نوع p با انرژی کم به نوع n با انرژی زیاد عبور می‌کند، جذب می‌شود. در طرف داغ انرژی از طریق حرکت الکترونها از سطح انرژی بیشتر در المان نیمه رسانای نوع n به سطح انرژی کمتر در نوع p به چاه حرارتی انتقال داده می‌شود. منبع قدرت DC انرژی مورد نیاز حرکت الکترونها در درون سیستم را تامین می‌کند [5]. نیمه رساناهایی که امروزه بیشتر در ساخت این مجموعه‌ها استفاده می‌شوند تلورید بیسموت (Bi_2Te_3) می‌باشد. سایر موادی که جهت ساخت ترموالکتریک استفاده می‌شوند عبارتند از: تلورید سرب (PbTe)، سیلیکون ژرمانیوم (SiGe) است. بیشترین کارایی زمانی بدست می‌آید که یک نیمه رسانای نوع n و یک نیمه رسانای نوع p از نظر الکتریکی با هم سری و از نظر گرمایی موازی باشند. (شکل 5).



5- مجموعه المانهای ترموالکتریکی به صورت سری

4- طراحی مبدل خنک‌کننده ترموالکتریکی

برای طراحی مبدل خنک‌کننده موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

- 1- تعیین دمای طرح
- 2- تعیین قدرت لازم و تعداد المانهای خنک‌کننده مورد نیاز
- 3- طراحی و یا انتخاب دمنده و یا مبدل مناسب حرارتی
- 4- تعیین منبع تغذیه با ولتاژی و جریان لازم

در این مقاله با استفاده از یک مبدل خنک‌کننده، طرح پایه یک سیستم جدید جهت خنک کردن پنلهای سیستمهای کنترل ابزار دقیق ارایه شده است. این پنلها به دلیل وجود کارتهای الکترونیکی و مصرف جریان الکتریکی گرم می‌شوند. تنها عامل انتقال گرمای این کارتها یک عدد فن تعبیه شده در پانل می‌باشد که در فصول گرم سال جوابگو نیست و افزایش دمای کارت باعث سوختن کارت و توقف تولید می‌شود. به منظور طراحی یک سیستم مبدل خنک‌کننده ترموالکتریک تجاری، پارامترهای آن برای طراحی استفاده می‌شود. مشخصات و پارامترهای انتخاب شده برای مبدل ترمو الکتریکی مدل انتخابی TEC1-12715 می‌باشد، که در (جدول 1) آمده است. نقش اصلی خنک‌کنندگی را المان ترموالکتریک انجام می‌دهد. سیستم انتقال حرارت از نوع انتقال جریان هوایی می‌باشد و برای دفع گرما از قسمت گرم المان از یک هیت‌سینک به همراه فن مربوطه جهت انتقال حرارت به بیرون فضا استفاده شده است. هر چه انتقال گرما بهتر و بیشتر از سمت گرم المان حرارتی صورت پذیرد راندمان خنک‌کنندگی المان بیشتر می‌شود. (شکل 6) شمای کلی مبدل را نشان می‌دهد. برای انتقال سرما نیز از یک هیت‌سینک کوچکتر استفاده شده است. جهت انتقال گرما از

قسمت گرم المان می توان از روش هوا به مایع نیز استفاده کرد که نیازمند رادیاتور می باشد. ولتاژ مورد نیاز مبدل خنک کننده 12 ولت و جریان نامی مورد نیاز 15 آمپر می باشد، ولی در عمل شدت جریان مصرفی 4 آمپر می باشد. توان مصرفی المان کننده از رابطه زیر بدست می آید [3]:

$$P = V \times I$$

که با قراردادن مقادیر جریان و ولتاژ مصرفی، مقدار توان مصرفی مبدل 48 وات می باشد.

جدول 1- مشخصات المان حرارتی TEC1-12715

NO	Item	Symbol	Parameter
1	Max Operating Temperature	T	<90 ^{0C}
2	Max Cooling Water	Q _{max}	136 ^{0C}
3	Temp Difference Max	Delta T	70 ^{0C}
4	Input Voltage	V _{max}	15.4v
5	Max Current	I _{max}	15A
6	Resistance	R	0.75Ω
7	Dimensions	40*40*0.3	mm

شکل (6) شمای کلی مبدل خنک کننده را نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می کنید دمای سمت سرد به 3.4 سانتیگراد رسیده است.



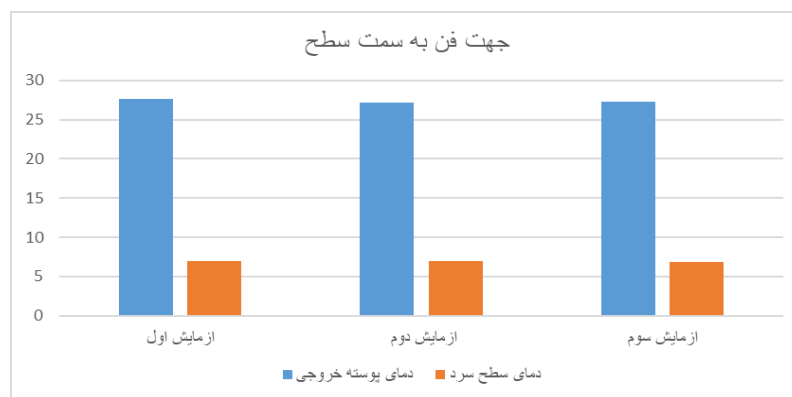
شکل 6- شمای کلی مبدل خنک کننده

جدول شماره 2 نتایج اندازه‌گیری سمت گرم و سرد مبدل را با گذشت زمان نشان می‌دهد.

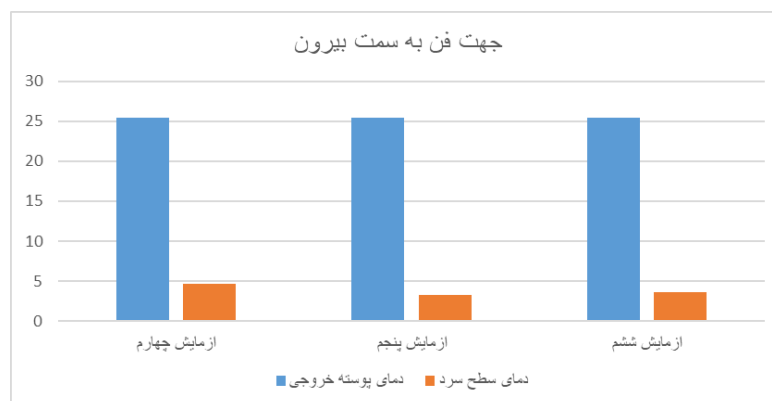
جدول 2- نتایج اندازه‌گیری دمای سطح سرد و سطح خارجی

	دمای پوسته خروجی	دمای سطح سرد
آزمایش اول	27.6	7
آزمایش دوم	27.2	7
آزمایش سوم	27.3	6.9
آزمایش چهارم	25.4	4.6
آزمایش پنجم	25.4	3.3
آزمایش ششم	25.4	3.6

نمودار 1 و 2 اثر تغییرات جهت فن را نشان می‌دهد. همانگونه که پیشتر گفته شد نحوه انتقال حرارت قسمت گرم در افزایش راندمان سیستم بسیار موثر است که در نمودار به وضوح مشخص است که تغییر جهت فن در قسمت گرم به سمت بیرون مبدل باعث کاهش دمای بیشتر سمت سرد و افزایش راندمان مبدل می‌شود.



نمودار 1- اندازه‌گیری دما با توجه به جهت فن به سطح



نمودار 2- اندازه‌گیری دما با توجه به جهت فن به بیرون

5- نتیجه گیری

در این مقاله مبانی و نتایج طراحی و ساخت یک مبدل خنک کننده پایه جهت استفاده در پانلهای سیستمهای ابزار دقیق ارایه شده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد که می توان بدون نیاز به سیال مبرد از انتشار گازهای آلاینده مبردها در محیط زیست جلوگیری شود. همچنین چون در این سیستم از ماشین آلات دوار استفاده نمی شود پس در مصرف انرژی صرفه جویی می شود و در جایی که به نوبت المانهای مکانیکی حساس می باشد، به راحتی قابل استفاده است. در این مبدل ما توانستیم دمای محیط را از 27.6 درجه سانتی گراد به 3.4 سانتیگراد کاهش دهیم که معادل 24.2 کاهش دما میباشد. نتایج عملی آزمایش در جداول شماره 2 و نمودارهای 1 و 2 آمده است. این نتایج نشان میدهد که نحوه کنترل و دفع گرما از قسمت گرم بسیار مهم است و در بالابردن راندمان سیستم مبدل بسیار موثر است. زمانیکه جهت فن به سمت داخل سطح گرم باشد اختلاف دمای بین سطح سرد و گرم 20.6 سانتیگراد میباشد و زمانیکه جهت فن به سمت بیرون باشد اختلاف دمای بین سطوح کمتر شده و 24.2 سانتیگراد می شود که نشان می دهد اختلاف دمای بین سطوح بیشتر شده و راندمان مبدل افزایش یافته است.

تشکر و قدردانی

با تشکر فراوان از اداره تعمیرات شرکت پتروشیمی فن آوران، جناب آقای مهندس قلی پور و مهندس مختاری و همچنین اداره خدمات فنی و اداره پژوهش و توسعه شرکت پتروشیمی فن آوران، جناب آقای مهندس زارع و مهندس شاری که اینجانب را در انجام آزمایشات و تهیه مقاله یاری نمودند.

مراجع

- [1] Wikipedia, "Thermoelectric effect" , <http://en.wikipedia.org>(accessed Aguste 30,2016)
- [2] Choi Hyeung-Sik, Sangkook Yum, and Kwang-il Whang. "Development of a temperature-controlled car-seat system utilizing thermoelectric device." Applied Theermal Engineering 27 , no. 17(2007):2841-2849
- [3] Kemiklioglu, U., S. Solmaz, Design and analysis of a novel air conditioning system based on thermal electric coolers, OTEKON 2014, 7, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, BURSA, 29-27th MAY 2014.
- [4] Atra, Raghied Mohammed. " Solar water condensation using thermoelectric coolers." The International Journal of Water Resources and Arid Environments 1, no. 2(2011):142-145
- [5] Riffat, Sffa B., And Xiaoli Ma. "Thermoelectric: a review of present and potential applications. " Applied thermal engineering 23, no. 8(2003):913-935
- [6] Yang, Ronggui, Gang Chen, A. Ravi Kumar, G. Jeffry Snyder, and Jean –Pierre Fleurial. "Transient cooling of thermoelectric coolers and its applications for micro device. 9(2005): 1407-1421
- [7] Laird Technologies. Thermoelectric Handbook. <https://www.lairdtech.com>(accessed Aguste 25,2016).
- [8] Tellurex <http://www.tellurex.com> (accessed Aguste 25,2016).
- [9] Hebei Ltd. Electronic Components, Hebei I.T. (Shanghai) Co. Ltd <http://www.hebeiltd.com.cn> Hebei Ltd.