

Michał SZLAFEREK*
Joanna PARZYCH*

OGNIWA PELTIERA W UKŁADACH CHŁODZENIA DIOD I MATRYC LED

Układy chłodzenia diod i matryc LED stanowią obszerną grupę urządzeń i rozwiązań, która stale się powiększa z uwagi na ciągły rozwój w dziedzinie elektroluminescencyjnych źródeł promieniowania. Wraz z polepszaniem parametrów diod i matryc LED rosną też wymagania odnośnie ich układów chłodzenia. W układach tych występują wszystkie znane systemy używane do schładzania urządzeń elektronicznych: od najprostszych pasywnych (radiatory) do skomplikowanych kombinacji w aktywnych układach chłodzenia (wentylatorowe, cieczowe) oraz specjalne układy chłodzenia wykorzystujące np. ogniwa Peltiera. W niniejszym artykule skupiono się właśnie na zastosowaniu ogniw Peltiera w układach chłodzenia diod i matryc LED. Przedstawiono budowę, zasadę działania, rodzaje i parametry tych ogniw. Omówiono wybrane systemy chłodzenia oparte na ogniwach Peltiera oraz przeanalizowano wady i zalety takiego rozwiązania.

SŁOWA KLUCZOWE: ogniwo Peltiera, dioda LED

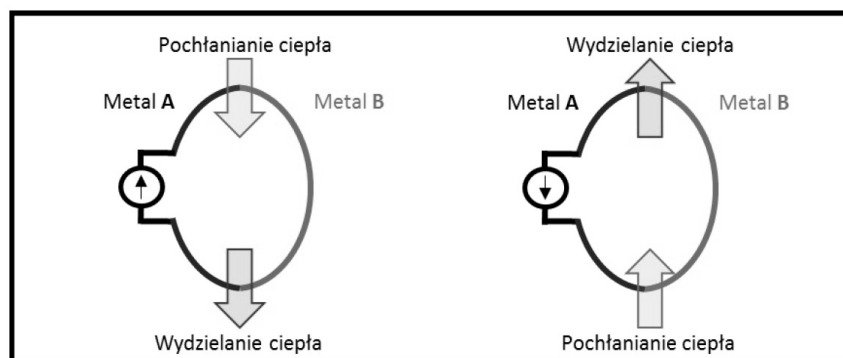
1. WPROWADZENIE

Układy chłodzenia wykorzystujące ogniwa Peltiera należą do grupy układów chłodzenia, których zasada działania opiera się głównie o zjawisko termoelektryczne. Zjawisko to zostało odkryte już w 1834 roku przez J. Ch. Peltiera i występuje w przypadku połączenia minimum dwóch różnych metali lub półprzewodników, przez które zostaje przepuszczony prąd stały. Wówczas jeden ze styków materiałów nagrzewa się i wydzielą ciepło, natomiast drugi styk ochładza się i pochłania energię cieplną z otoczenia. W przypadku zmiany kierunku płynącego przez ten obwód prądu sytuacja ulegnie odwróceniu – styk, który się wcześniej nagrzewał teraz będzie się ochładzał, a styk oddający ciepło będzie je pobierał (rys. 1) [6, 15].

W trakcie omawiania zjawiska Peltiera nie można pominąć zjawiska, które jest jego odwrotnością, czyli zjawiska Seebecka, polegającego na wytworzeniu się siły elektromotorycznej w układzie, w którym gdy styki połączenia dwóch

* Politechnika Poznańska.

różnych metali będą znajdującą się w obszarach o różnej temperaturze oraz zjawisk Thomsona i Joule'a, dotyczących pochłaniania i wydzielania energii cieplnej przez przewodnik, w którym występuje gradient temperatury i przez który płynie prąd elektryczny.



Rys. 1. Zależność między działaniem ogniwa Peltiera a zmianą kierunku płynącego prądu [6, 15]

Elementy termoelektryczne wykorzystuje się jako pompy ciepła i elementy chłodzące. W tej drugiej aplikacji ogniwa Peltiera stosuje się m.in. do: chłodzenia fotodiod w systemach do komunikacji optycznej, laserach światłowodowych i wzmacniaczach, redukcji ciepła cewkach superprzewodzących, chłodzenia diod laserowych i diod LED, regulacji temperatury podczas testów struktur półprzewodnikowych oraz jako zamiennik generatora termoelektrycznego [1, 3–5, 9, 11, 12, 14].

2. OGNIWA PELTIERA

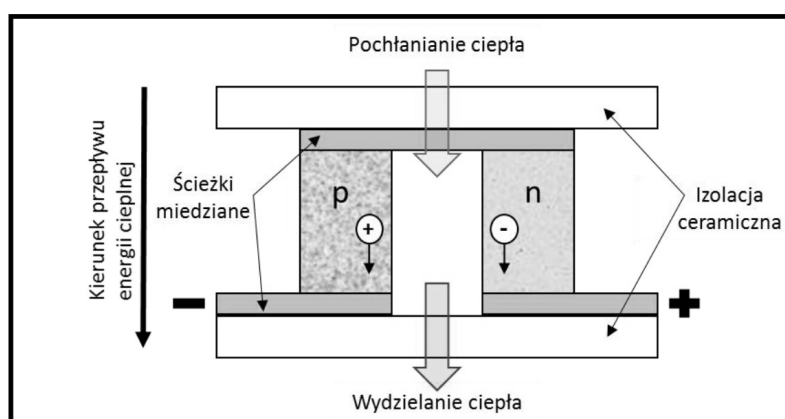
2.1. Budowa i zasada działania ogniw Peltiera

Pierwsze ogniwa lub inaczej moduły Peltiera zbudowane były z miedzi i bizmutu, a ich zdolność do odprowadzania ciepła była bardzo mała. Obecnie ogniwa Peltiera są półprzewodnikami wykonanymi z odpowiednio domieszkowanego tellurku bizmutu. Półprzewodniki typu n i typu p połączone szeregowo za pomocą miedzianych blaszek tworzą obwód elektryczny w kształcie zygzaka. Wyprowadzenia dwóch końców tego obwodu stanowią punkty, do których podłączane jest zasilanie. Natomiast w celu wzmocnienia całej konstrukcji i odizolowania pod względem elektrycznym, spód i wierzch obwodu pokrywany jest sztywnymi płytkami wykonanymi z materiału o jak najmniejszej rezystancji termicznej. Najczęściej wykorzystywanym materiałem jest ceramika w postaci tlenków glinu (rys. 2) [2, 3].



Rys. 2. Budowa ogniwa Peltiera [2]

Działanie ogniwa Peltiera opiera się na wykorzystaniu relacji dwóch półprzewodników różnych typów. Półprzewodniki typu n posiadają nadmiar elektronów w górnym poziomie energetycznym, podczas gdy półprzewodniki typu p mają ich niedobór. Prowadzi to do tego, że gdy elektrony o niższej energii z półprzewodnika typu p przechodzą do półprzewodnika typu n, to pobierają energię cieplną, aby wejść na wyższy poziom energetyczny. W przypadku zmiany kierunku prądu, elektrony będą schodziły na niższy poziom energetyczny, wydzielając nadwyżkę energii w postaci ciepła (rys. 3). Zatem ogniwo Peltiera pełni funkcję pompy cieplnej, która jest sterowana za pomocą prądu elektrycznego. Można dzięki temu zmieniać kierunek, w jakim energia cieplna ma przepływać. Jednak najważniejszą cechą ogniwa jest możliwość precyzyjnej kontroli wartości pochłanianej energii cieplnej poprzez regulacji wartości prądu zasilania [2, 3, 6].



Rys. 3. Zasada działania ogniwa Peltiera [7, 10, 15]

2.2. Parametry ogniwi Peltiera

Układy chłodzenia wykorzystujące ogniwa Peltiera podlegają takim samym wymogom oraz tak samo się je charakteryzuje jak wszystkie układy chłodzenia dedykowane do diod i matryc LED. Jednak w przypadku tego typu urządzeń podawany jest trochę inny zbiór parametrów. Dodatkowo podawane przez producentów wartości parametrów są zgodne i prawdziwe wtedy, gdy strona gorąca ogniwa (strona wydzielająca ciepło) będzie miała przyjętą temperaturę $T_h = 300\text{K}$. Do podstawowych parametrów charakteryzujących ogniwa Peltiera można zaliczyć:

- $U_{\text{Plt,max}}$ – wartość napięcia, które spowoduje przepływ prądu o wartości $I_{\text{Plt,max}}$ dla zerowej mocy cieplnej do odprowadzenia $Q_c = 0$,
- $I_{\text{Plt,max}}$ – wartość prądu, który płynąc przez ogniwo (przy $T_h = 300\text{K}$) wywoła maksymalną różnicę temperatur pomiędzy stroną zimną a gorącą,
- $Q_{c,\text{max}}$ – wartość maksymalnej mocy, która jest możliwa do odprowadzenia ze strony zimnej przy maksymalnej wartości prądu $I_{\text{Plt,max}}$ i zerowej różnicy temperatur $\Delta T_{\text{Plt,max}}$,
- $\Delta T_{\text{Plt,max}}$ – wartość maksymalnej możliwej do uzyskania różnicy temperatur dla zerowej mocy odprowadzanej $Q_c = 0$ (przy $T_h = 300\text{K}$).

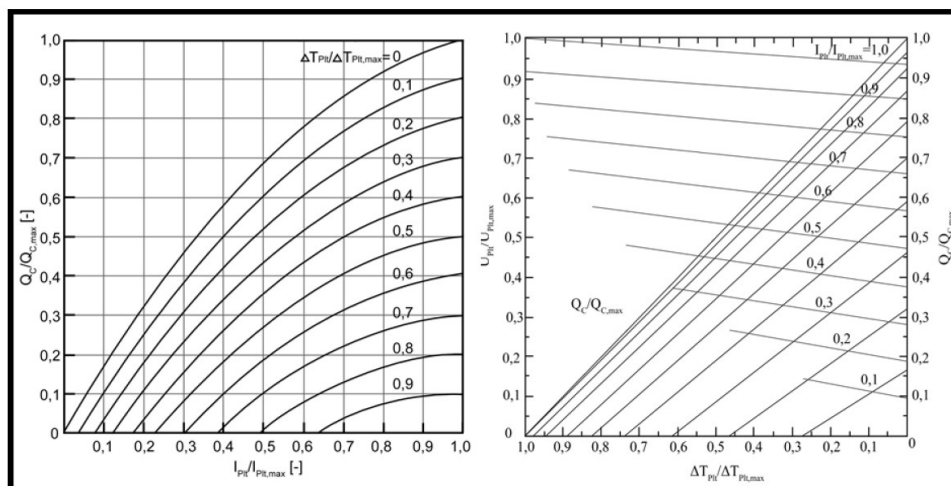
Oprócz opisanych parametrów podaje się też wymiary geometryczne, a czasami także liczbę kolumn, z jakich zbudowane jest dane ogniwo. Kolumnę stanowi pojedynczy kawałek półprzewodnika użytego do budowy (np. pokazany na rysunku 3 fragment ogniwa składa się z dwóch kolumn). Znajomość liczby kolumn jest potrzebna w przypadku, gdy chcemy dokładniej zbadać dane ogniwo. Iloraz wysokości kolumny L [m] i powierzchnię jej przekroju poprzecznego A [m²] to współczynnik geometrii pojedynczej kolumny $G = A/L$ [m], który razem z liczbą kolumn N odpowiada za wartość maksymalnej mocy do odprowadzenia $Q_{c,\text{max}}$. Jednak dla potrzeb konstruowania układu wystarczy przede wszystkim znajomość podstawowych parametrów, w tym także wymiarów geometrycznych. Często właśnie wymiary ogniwa są decydujące, jeśli chodzi o ich dobór. Standardowe i powszechnie dostępne w sprzedaży ogniwa Peltiera oferowane są w szerokim zakresie parametrów, których wartości pokazano w tabeli 1 [7, 8].

Tabela 1. Zakresy parametrów ogniwi Peltiera w wykonaniu standardowym [7, 8]

Wymiar geometryczny a x b x h [mm]	$Q_{c,\text{max}}$ [W]	$I_{\text{Plt,max}}$ [A]	$U_{\text{Plt,max}}$ [V]	$\Delta T_{\text{Plt,max}}$ [°C]	N
min 1 x 1 x 0,9	0,11	0,55	0,25	69	2
max 62 x 62 x 5	400	60	33	78	391

Ze względu na mnogość parametrów i możliwych ich kombinacji w celu lepszego przedstawienia możliwości danego ogniwa producenci często dołączają do

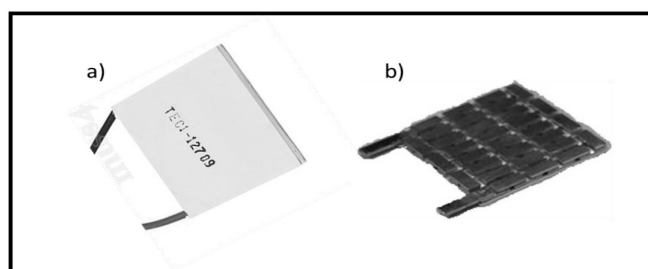
danych katalogowych dwie ogólne charakterystyki, których przykłady zaprezentowano na rysunku 4.



Rys. 4. Przykłady charakterystyk ogólnych ogniw Peltiera [6, 15]

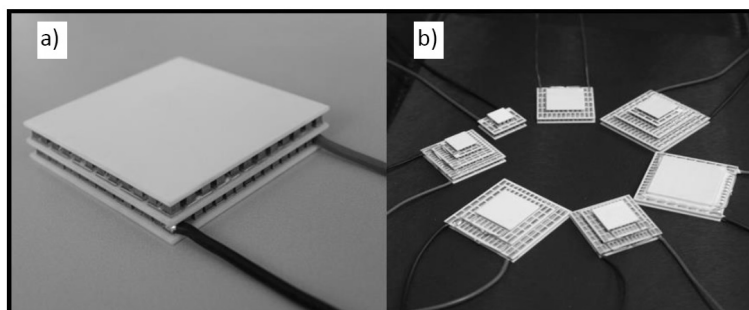
2.3. Rodzaje ogniw Peltiera

Oprócz standardowych pojedynczych ogniw Peltiera produkuje się również, przeważnie na zamówienie, ogniwa bez usztywniających płytek ceramicznych. Pozwala to zmniejszyć rezystancję cieplną między ogniwem a elementem chłodzonym. Jednak należy wtedy zastosować odpowiedni materiał izolujący, który zapobiegnie zwarciu obwodu elektrycznego ogniwa. Ponadto ogniwa w takim wykonaniu są bardzo delikatne i podatne na uszkodzenia mechaniczne, z tego względu montaż powinien być już uwzględniony na etapie projektowania całego układu chłodzenia (rys. 5).

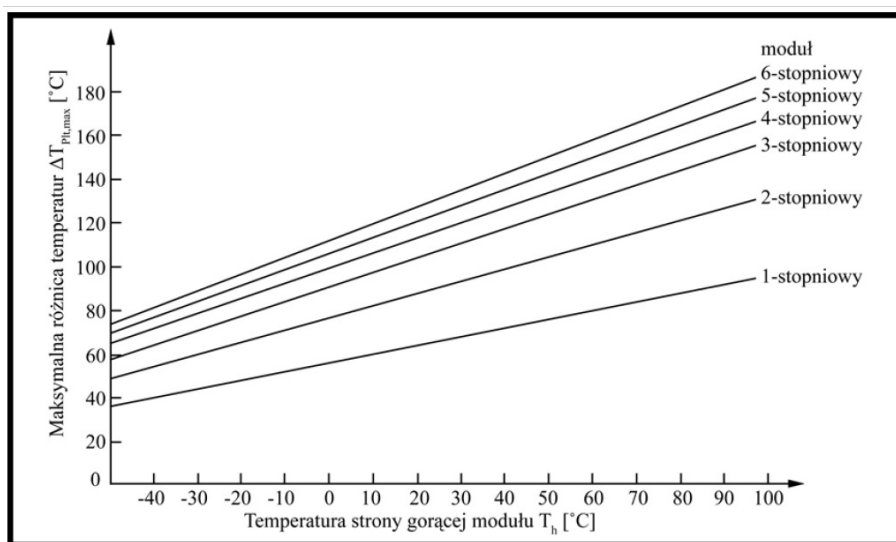


Rys. 5. Przykładowe pojedyncze ogniwa Peltiera: a) wykonanie standardowe, b) wykonanie specjalne bez ceramicznych płytek usztywniających [16, 18]

W związku z zapotrzebowaniem, oprócz pojedynczych czyli jednostopniowych ogniw Peltiera, produkowane są także ogniwa wielostopniowe, które ze względu na konstrukcję dzieli się na schodkowe i proste (rys. 6). Ogniwa wielostopniowe schodkowe umożliwiają zamocowanie ogniwa o dużej mocy do elementu o małej powierzchni np. dioda LED dużej mocy. Pod względem właściwości termicznych są to połączone szeregowo pojedyncze ogniwa, natomiast pod względem elektrycznym są połączone równolegle. Z tego powodu parametrem, który przede wszystkim ulega zmianie jest maksymalna różnica temperatur $\Delta T_{\text{Plt,max}}$ pomiędzy skrajnymi powierzchniami ogniwa (rys. 7) [15].



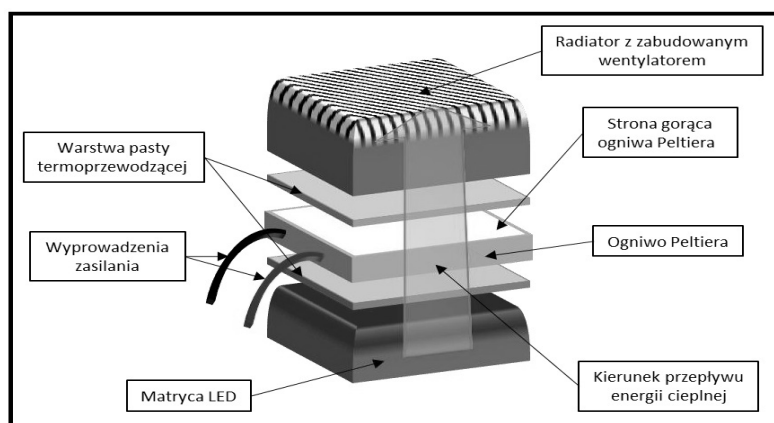
Rys. 6. Przykładowe wielostopniowe ogniwa Peltiera: a) proste, b) schodkowe [17]



Rys. 7. Charakterystyka wielostopniowego ogniwa Peltiera przedstawiająca maksymalne teoretyczne różnice temperatur $\Delta T_{\text{Plt,max}}$ dla poszczególnych stopni w funkcji temperatury strony gorącej T_h tego ogniwa [6, 15]

3. WYBRANE SYSTEMY CHŁODZENIA DIOD I MATRYC LED OPARTE NA OGNIWACH PELTIERA

Układ chłodzenia zbudowany z pojedynczego jednostopniowego ogniwa Peltiera oraz z radiatora jest najprostszym układem chłodzenia wykorzystującym ogniwa termoelektryczne. Najczęściej jednak tego typu układy wyposażane są w wentylator, które ma za zadanie schładzać radiator. Taki układ chłodzenia może być użyty do chłodzenia np. niewielkiej matrycy LED. W takim przypadku ogniwo Peltiera jest mocowane stroną pochłaniającą energię cieplną (stroną zimną) w odpowiednim miejscu na matrycy LED. Oczywiście w celu zmniejszenia wartości rezystancji termicznej oraz minimalizacji zjawiska uskoku temperaturowego ogniwo termoelektryczne pokrywane jest z obu stron pastą termoprzewodzącą. Następnie do strony wydzielającej energię cieplną ogniwa (strony gorącej) jest montowany radiator wraz z wentylatorem. Mają one za zadanie rozpraszać energię cieplną wydzielaną przez ogniwo Peltiera oraz zapewniać mu odpowiednie warunki pracy (rys. 8).

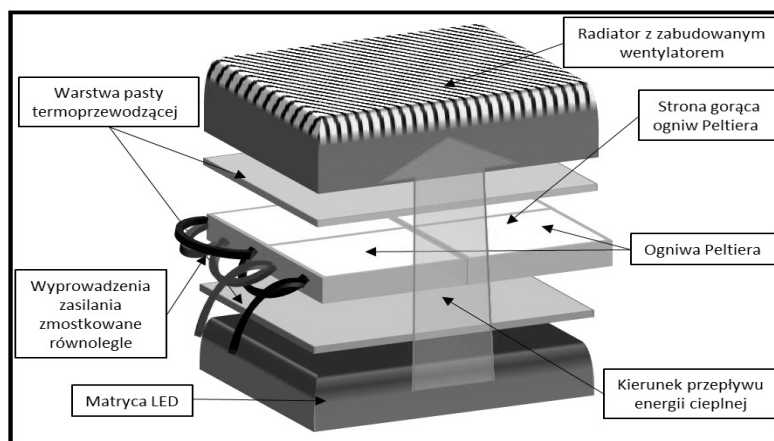


Rys. 8. Schemat układu chłodzenia z pojedynczym jednostopniowym ogniwem Peltiera [15]

Dla matryc LED dużych mocy stosuje się układy chłodzenia z kilkoma jednostopniowymi ogniwami Peltiera lub z jednym wielostopniowym. O wyborze typu ogniwa do danego zastosowania, decydują konkretne wymagania i warunki dotyczące danej matrycy. W przypadku, gdy mamy do czynienia z matrycą LED o dużej powierzchni (np. duża lampa składająca się z wielu pojedynczych diod elektroluminescencyjnych dużej mocy) to stosuje się kilka ogniw jednostopniowych. Budowa takiego układu jest podobna do tego z rysunku 8, z tą różnicą, że zamiast jednego ogniwa zamocowane jest kilka ogniw obok siebie (rys. 9). Ponadto, rozmieszczone są w taki sposób, aby pokryć cały obszar matrycy, na którym wydzielana jest energia cieplna. Niezwykle ważne przy tym jest, aby nie było

pustych przestrzeni wypełnionych powietrzem, ponieważ wtedy ciepło nie będzie prawidłowo odprowadzane przez ogniwa. Powstające w ten sposób „bańki” gorącego powietrza, nie dość, że zmniejsząby efektywność całego układu chłodzenia to jeszcze mogłyby się przyczynić do zbytniego nagrzania matrycy, co w skrajnym przypadku mogłoby prowadzić do jej uszkodzenia.

W omawianym przypadku ogniwa termoelektryczne pod względem termicznym, są połączone równoległe. Oznacza to, że wartość maksymalnej mocy $Q_{c,max}$ całego układu nie przekroczy wartości tego samego parametru dla pojedynczego ogniwa użytego do budowy. Również pod względem elektrycznym ogniwa występuje połączenie równoległe, co wymusza zastosowanie źródła zasilania o większej wydajności prądowej, ponieważ trzeba dostarczyć, w tym przypadku 4 razy większą wartość prądu przy takiej samej wartości napięcia zasilania.

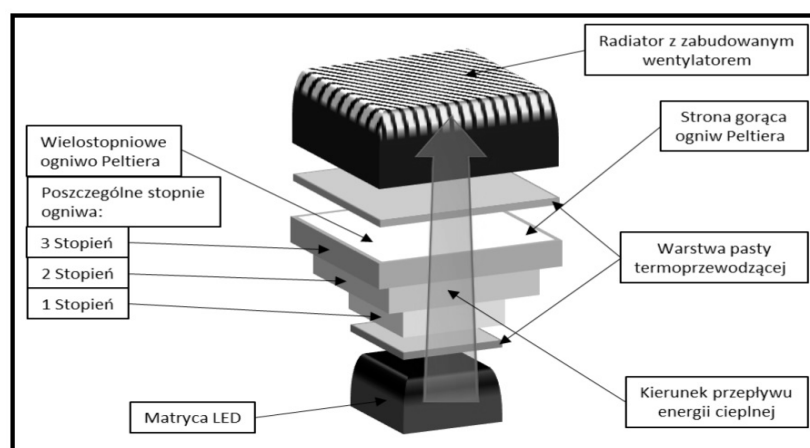


Rys. 9. Schemat układu chłodzenia matrycy LED z wykorzystaniem 4 jednostopniowych pojedynczych ogniw Peltiera [15]

W przypadku budowy układów chłodzenia dla elementów o większych powierzchniach docelowo powinno się stosować ogniwa o odpowiednio większych rozmiarach, aby możliwie jak najbardziej ograniczyć ich liczbę. Takie działanie pozwala zmniejszyć liczbę połączeń termicznych całego układu chłodzenia, co poprawia jego wydajność, ponieważ moc cieplna nie przepływa („nie ucieka”) połączeniami między ogniwami, lecz odpowiednim torem cieplnym. W związku z tym faktem oraz z rosnącym z roku na rok zapotrzebowaniem produkowane są ogniwa o coraz większych powierzchniach, co pozwala na dobranie odpowiedniego ogniwa do danej aplikacji.

Kolejną odmianą jest układ chłodzenia oparty na ogniwach termoelektrycznych, przeznaczony dla matrycy LED dużej mocy o małych gabarytach. Coraz większy postęp w dziedzinie zwiększania wydajności i mocy matryc LED

z jednoczesnym zmniejszaniem ich rozmiarów niesie za sobą problem odbierania dużej energii cieplnej ze stosunkowo małych powierzchni. Właśnie w takich przypadkach znajdują zastosowanie wielostopniowe ogniwa termoelektryczne. W zależności od potrzeby można wykorzystać ogniwa wielostopniowe proste, gdy pozwalają na gabaryty danego urządzenia. Jednak w przypadku bardzo małych elementów, które mają być chłodzone, pomocne są układy chłodzenia zawierające w swej budowie wielostopniowe ogniwa schodkowe. Pozwalają one w efektywny sposób odprowadzać duże ilości ciepła oraz zmniejszać straty ciepłone wywołane większą liczbą połączeń w przypadku zastosowania innego rozwiązania (rys. 10).



Rys. 10. Schemat układu chłodzenia z wielostopniowym schodkowym ogniwem Peltiera przeznaczonym dla matrycy LED dużej mocy o małych rozmiarach [15]

Zaletą zastosowania schodkowego ogniwa Peltiera jest zmniejszenie do minimum wzdłużnych oporów cieplnych. Fabrycznie produkowane wielostopniowe ogniwa schodkowe, jak również wielostopniowe ogniwa proste są pod tym względem zoptymalizowane. Ponadto wielostopniowe ogniwa są znacznie łatwiejsze w użyciu niż zastosowanie kilku ogniw pojedynczych. Mają mniej wyprowadzeń przewodów do zasilania. W tym przypadku są tylko dwa przewody, więc nie ma potrzeby robienia mostków lub podłączania przewodów każdego ogniwa osobno do źródła zasilania. Wszystkie połączenia elektryczne między poszczególnymi stopniami są wewnątrz ogniwa. Dodatkowo w wielostopniowych ogniwach termoelektrycznych można zmniejszyć liczbę płytek ceramicznych, co ma niewątpliwy wpływ na wysokość całego ogniwa. Dzięki temu produkowane są ogniwa o mniejszych wymiarach, które mimo to nie posiadają gorszych parametrów.

Oczywiście rozpatrywane układy chłodzenia oparte na ogniwach Peltiera mogą pracować i często pracują z innymi układami chłodzenia. Często ogniwa termoelektryczne są łączone np. z wodnymi układami chłodzenia. Pomaga to zwiększyć różnicę temperatur pomiędzy stronami ogniwa, ale również znacznie komplikuje cały układ, co sprawia, że jest on używany w sprzęcie specjalistycznym.

4. ZALETY I WADY STOSOWANIA OGNIW PELTIERA W SYSTEMACH CHŁODZENIA DIOD I MATRYC LED

Do głównych zalet stosowania ogniw termoelektrycznych w układach chłodzenia diod i matryc LED należy brak elementów ruchomych oraz wysoka żywotność (nawet 200 tys. h), która często przewyższa pozostałe elementy użyte w danym układzie. Warto także zaznaczyć sztywną i odporną mechanicznie konstrukcję, cicha pracę, małe rozmiary i wagę oraz możliwość pracy w każdej pozycji [2, 3, 13].

Jednak głównym powodem ich stosowania jest możliwość osiągnięcia wysokiej wartości mocy odprowadzania energii cieplnej (różnica między gorącą i zimną stroną ogniwa to zwykle 70°C), a także możliwość stabilnego utrzymywania stałej temperatury, przez co są bardziej wydajne niż pasywne układy chłodzenia. Ta właściwość jest niezmiernie ważna zwłaszcza w matrycach LED, gdzie zmiana i wahania temperatury mają wymierny wpływ na jakość emitowanego światła. Jest to możliwe, ponieważ ogniwa Peltiera są elastyczne pod względem sterowania. Ilość odprowadzanego ciepła jest regulowana przez dobór odpowiedniej wartości prądu zasilania, dzięki czemu ogniwa Peltiera mogą pracować w szerokim zakresie mocy. To znacznie ułatwia dopasowanie ich do danego układu chłodzenia, a także pozwala na pracę w układach o zmiennej temperaturze, gdzie wymagana jest zmiana wydajności chłodzenia [2, 3].

Dodatkowo ogniwa termoelektryczne pracują na napięciu zbliżonym do napięcia zasilania matryc LED, co pozwala zastosować jedno wspólne źródło zasilania. Mogą również być zasilane obniżonym napięciem, dzięki czemu mogą wykorzystywać źródła baterii i tym samym funkcjonować w różnych aplikacjach przenośnych.

Natomiast do głównych wad wykorzystania ogniw termoelektrycznych zalicza się konieczność dostarczenia dodatkowego zasilania, często o znacznych wartościach prądu, co może czasami wiązać się z koniecznością zastosowania większego pod względem mocy źródła zasilania lub dołożenie dodatkowego źródła. Ponadto różnica między oboma końcami ogniwa zależy nie tylko od wartości prądu zasilania, ale również od temperatury otoczenia i wilgotności powietrza. W niskich temperaturach pojawia się zjawisko kondensacji również zależne od wilgotności powietrza i środowiska pracy [2, 3, 13].

Ogniwa Peltiera do poprawnego działania muszą mieć zapewnione wydajne chłodzenie strony gorącej. Dlatego nie stanowią one osobnych i autonomicznych układów chłodzenia, lecz pracują w połączeniu z radiatorami czy wentylatorami. Z powodu poziomu ich skomplikowania, wykorzystuje się je głównie w urządzeniach wymagających precyzyjnego i wydajnego chłodzenia [2, 7].

5. PODSUMOWANIE

Diody elektroluminescencyjne, zarówno te najprostsze, zawierające pojedynczy chip, jak i bardziej skomplikowane diody mocy czy całe matryce LED, wymagają odpowiedniego chłodzenia, aby zachować trwałość i właściwe parametry. Wśród aktywnych układów chłodzenia dedykowanych LEDom, wyróżniają się ogniwa Peltiera. Z uwagi na takie ich cechy, jak niezawodność, trwałość, bezgłośna praca, odporną konstrukcję, a w szczególności, możliwość regulacji ilości odprowadzanego ciepła oraz dopasowania pod względem zasilania, ogniwa Peltiera są dobrym rozwiązaniem w kontroli temperatury w układach z diodami LED, zwłaszcza w specjalistycznych systemach i badaniach naukowych wymagających precyzyjnego i wydajnego chłodzenia niezależnie od ponoszonych kosztów.

LITERATURA

- [1] Andreev S., Bobev S., Aleksandrova M., Videkov V., Programmable setup for Peltier element control with fine smooth regulation of the temperature about testing of semiconductor structures, *Proc. XXV International Scientific Conference Electronics – ET2016, September 12 – 14, 2016*, 12–14 Sept. 2016.
- [2] Bădălan (Drăghici) N., Szasta P., Peltier Elements vs. Heat Sink in Cooling of High Power LEDs, *38th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, 6–10 May 2015.
- [3] Bădălan (Drăghici) N., Svasta P., Marghescu C., Thermal Simulation of Traffic Lights in Extreme Weather Conditions, *IEEE 22nd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, 20–23 Oct. 2016.
- [4] Dilhaire S., Grauby S., Claeys W., Thermoreflectance Calibration Procedure on a Laser Diode: Application to Catastrophic Optical Facet Damage Analysis, *IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS*, Volume 26, Number 7, July 2005.
- [5] Engelmann G., Laumen M., Oberdieck K., De Doncker R.W., Peltier Module based Temperature Control System for Power Semiconductor Characterization, *IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC)*, 25–28 Sept. 2016.
- [6] Goldsmid H.J.: *Introduction to Thermoelectricity*, Springer 2009.
- [7] Górecki P., *Ogniwa Peltiera*, część 1, „Elektronika praktyczna” nr 1/1996, s. 64–66 (in Polish).
- [8] Górecki P., *Ogniwa Peltiera*, część 2, „Elektronika praktyczna” nr 2/1996, s. 16–20 (in Polish).

- [9] Hamabe M., Sasaki A., Kasukabe T., Oue M., Nakamura K., Yamaguchi S., Ninomiya A., Okumura H., Kawamura K., Aoki I., Test of Peltier Current Lead for Cryogen-Free Superconducting Magnet, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Volume 16, Issue 2, 2006.
- [10] Hauser J.: *Elektrotechnika, Podstawy elektrotermii i techniki świetlnej*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2006 (in Polish).
- [11] Ling L., Zhong S., Han Z., Yang N., Sun T., Lin P., A Double Closed-loop Control System for Driving High Brightness LED Applied in Spectral Measurements, *IEEE Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC), 2015 IEEE*, 19–20 Dec. 2015.
- [12] Nesarajah M., Frey G., Thermoelectric Power Generation: Peltier Element versus Thermoelectric Generator (TEC vs. TEG), *IECON 2016 – 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 23–26 Oct. 2016.
- [13] Park J.-S., Huh Ch.-S., A Study on Improved Efficiency and Cooling LED Lighting using a Seebeck Effect, *International Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE) 2012*, 3–5 July 2012.
- [14] Petit S., Ota K., Takamatsu M., Sato N., Mishima N., Oikawa Y., Shiga N., High-speed Opto-electronic VOA with an Integrated Quasi-loss-less Photo-diode and a Temperature Control Module, *Optical Fiber Communication Conference and Exposition and the National Fiber Optic Engineers Conference 2012 (OFC/NFOEC)*, 4–8 March 2012.
- [15] Rowe D.M., *Handbook of Thermoelectronics*, CRC Press, 1995.
- [16] http://www.aliexpress.com/price/thermoelectric-module_price.html
- [17] <http://www.huimao.com/product/product.php?lang=en&class1=20&class2=28>
- [18] <http://www.imexbb.com/thermoelectric-cooling-module-peltier-module-tec-module-11096008.htm>
- [19] <http://www.semicon.com.pl/index/?id=698d51a19d8a121ce581499d7b701668>

PELTIER MODULE IN SYSTEMS OF COOLING THE LEDs AND LED MATRICES

Cooling systems the LEDs and LED matrices constitute the extensive group of devices and solutions, which constantly is growing considering the constant development in the field of electroluminescent radiation sources. Along with improving parameters of LEDs and LED matrices also requirements grow in relation to their cooling systems. All known systems used for cooling electronic devices are appearing in these arrangements: from straightest passive (radiators) to complicated combinations in active cooling systems (fan, heat pump) and special cooling systems using Peltier module. The present article is just concentrated on using Peltier module in cooling systems of LEDs and LED matrices. A structure, principle of operation, types and parameters of these modules were described. Chosen cooling systems based on Peltier modules were discussed as well as an advantages and disadvantages of such a solution was analysed.

(Received: 27. 01. 2017, revised: 16. 02. 2017)