

Michał SZLAFEREK*
Joanna PARZYCH*

UKŁADY CHŁODZENIA DIOD I MATRYC LED

Niniejsza praca zawiera przegląd obecnie stosowanych układów chłodzenia diod i matryc LED. Zaprezentowano, zarówno najprostsze sposoby odprowadzania ciepła, z których korzysta się przy najprostszymi diodach LED małej mocy, jak i bardziej skomplikowane systemy wykorzystywane do chłodzenia diod LED mocy i matryc LED. Przedstawiono wybrane rodzaje pasywnych oraz aktywnych układów chłodzenia oraz omówiono ich parametry i właściwości. Zwrócono również uwagę na wpływ wybranych czynników na pracę, zarówno diod i matryc LED, jak i samego systemu chłodzącego. Ponadto pokrótce omówiono programy komputerowe wykorzystywane do projektowania i obliczeń przy konstruowaniu układów chłodzenia.

SŁOWA KLUCZOWE: dioda LED, matryca LED, układy chłodzenia

1. WPROWADZENIE

Diody elektroluminescencyjne stosowane są obecnie w wielu dziedzinach, poczynając od zastosowań oświetleniowych, poprzez telekomunikację, optoelektronikę, badania spektro- i fotometryczne, aż do aparatury medycznej. Obejmują one, zarówno zastosowania w systemach przemysłowych, jak i w urządzeniach wykorzystywanych w codziennym życiu. Wzrost liczby obszarów aplikacyjnych diod LED jest związany z ciągłym polepszaniem ich parametrów optycznych, elektrycznych i użytkowych. Wraz z rozwojem technologii LED zauważono, że kluczowym parametrem mającym wpływ na wydajność i prawidłową długotrwałą pracę diody jest temperatura. Diody LED o dużych mocach wydzielają podczas swojej pracy dużo ciepła, które negatywnie wpływa na ich pracę. Zbyt wysoka temperatura diody (temperatura złącza p-n) powoduje ogólne pogorszenie się jej parametrów, a także prowadzi do szybszego zużycia, a nawet do uszkodzenia. Miniaturyzacja diod LED, która jest jednym z efektów postępu technologicznego, powoduje problemy związane z odprowadzaniem ciepła z tak małej powierzchni oraz olśnienia spowodowane zbyt dużą luminancją. Z tego powodu bardzo istotną rolę w pracy diod LED odgrywają układy chłodzenia, specjalnie projektowane i wytwarzane tak, aby utrzymać optymalną temperaturę pracy diody LED.

* Politechnika Poznańska.

2. UKŁADY CHŁODZENIA DIOD I MATRYC LED

Przeciętnie dioda LED przetwarza około 35% dostarczonej energii elektrycznej na energię promieniowania świetlnego, a pozostałe 65% zamieniane jest na energię cieplną. Dotychczas, udało się wyprodukować diody LED osiągające zewnętrzną sprawność kwantową nawet do 60%. Jednak w dalszym ciągu prawie połowa energii elektrycznej jest przetwarzana na ciepło. Tę energię cieplną trzeba odebrać, aby złącze diody nie przekroczyło maksymalnej ustalonej temperatury T_j [°C]. Przekroczenie wartości tej temperatury choćby o 10°C może skrócić czas żywotności nawet o połowę, co jest poważną wadą. Ponadto temperatura złącza diody ma także znaczący wpływ na parametry świetlne takie, jak temperatura barwowa światła emitowanego przez diodę LED. Jest to szczególnie istotne w przypadku diod lub matryc LED światła białego, w których ważna jest stałość parametrów [2].

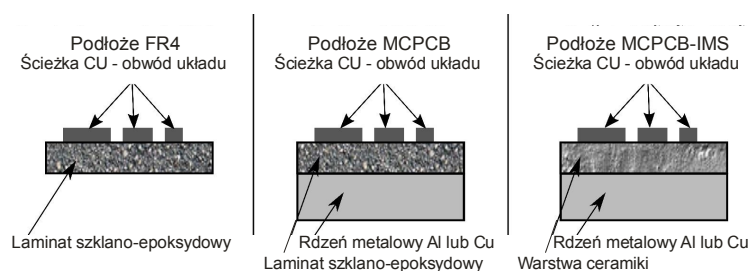
Innym zjawiskiem, które może powodować zakłócenia jest tzw. dryf temperaturowy. Ciągła zmiana temperatury złącza diody nie tylko oddziałuje na wartość temperatury barwowej, lecz także na wartości strumienia świetlnego oraz szerokości pasma diody LED. Zmiany tych parametrów są niedopuszczalne w urządzeniach pomiarowych, w których na podstawie wartości strumienia świetlnego, określonej długości fali lub szerokości pasma promieniowania świetlnego dokonuje się precyzyjnych pomiarów.

Jak widać stosowanie odpowiednich układów chłodzenia jest konieczne dla zachowania poprawnej pracy diody i jej parametrów. Ich zadaniem jest odbieranie energii cieplnej wydzielanej przez diodę LED oraz stabilizacja temperatury złącza na zadanym przez producenta poziomie. W celu uzyskania stałej temperatury, a co za tym idzie, stałych parametrów świetlnych stosuje się najróżniejsze rodzaje układów chłodzenia. Począwszy od najprostszycych stanowiących jeden element wykonany z odpowiedniego stopu metalu po skomplikowane układy wykorzystujące układy z cieczą czy wentylatory.

2.1. Pasywne układy chłodzenia diod i matryc LED

Wbrew ogólnie przyjętemu pogładowi diody LED nagrzewają się w stopniu podobnym do tradycyjnych żarówek. Gęstość prądu przepływająca przez złącze p-n diody może wynosić nawet kilka tysięcy A/cm², a samo złącze ma często rozmiar zaledwie kilku mm². Zatem praktycznie zawsze wymagane jest zastosowanie jakiegoś systemu służącego do odprowadzania ciepła. Wyjątek stanowią diody LED małej mocy, w których płyną niskie prądy nie powodując tym samym nadmiernego nagrzewania się złącza p-n. W takim wypadku nie potrzeba stosować układów chłodzenia, ponieważ tę rolę spełnia powietrze otaczające diodę.

W zależności od podłoża diody, energia cieplna będzie lepiej lub gorzej przekazywana, dlatego podłoże powinno być wykonane z materiałów o wysokiej wartości przewodnictwa cieplnego, a wartość rezystancji termicznej pomiędzy chipem diody LED a podłożem powinna być jak najniższa. Istotna jest również wielkość podłoża: im więcej ciepła wydziela dioda LED, tym większe musi być podłoże, aby umożliwić przyłączenie odpowiedniej wielkości aktywnego lub pasywnego układu chłodzenia. Podłoża, na których montowane są diody LED mocy można podzielić na trzy podstawowe rodzaje: metalowo-dielektryczne, metalowo-ceramiczne oraz epoksydowo-szklane. Standardowym podłożem epoksydowo-szklanym jest FR-4 (Flame Retardant) [19]. Jednak posiada ono najłabsze właściwości pod względem odprowadzania ciepła, dlatego stosuje się je w mniej wymagających aplikacjach LED. Najczęściej używanymi obecnie podłożami do diod LED mocy są podłoża MCPCB (Metal Core Printed Circuit Board). Do tej grupy zalicza się zarówno podłoża metalowo-dielektryczne, jak i metalowo-ceramiczne (rys. 1).



Rys. 1. Stosowane podłoża diod LED mocy [1]

Diody oraz matryce LED średnich i dużych mocy wymagają zastosowania specjalnych układów chłodzenia [2]. Do pasywnych układów chłodzenia czyli systemów, w których obieg ciepła nie jest wymuszony, zaliczamy przede wszystkim różnego typu radiatory, elementy wykonane przeważnie z jednego kawałka materiału charakteryzującego się dobrą wartością przewodnictwa cieplnego oraz możliwie małą wartością rezystancji cieplnej. Do produkcji radiatorów najczęściej wykorzystywanymi materiałami są miedź oraz duraluminium. Miedź jako dobry przewodnik ciepła charakteryzuje się przewodnością cieplną właściwą na poziomie 395 [W/m·K], natomiast duraluminium (przewodność cieplna równa 165 [W/m·K]) wykorzystuje się w celu znacznego ograniczenia kosztów produkcji radiatorów. W specjalnych zastosowaniach wykorzystywane są także radiatory miedziano-aluminiowe lub też radiatory wykonane z innych stopów metali np. mosiądzu.

W celu zwiększenia efektywności rozpraszania energii cieplnej, zwiększa się powierzchnię styku radiator - powietrze, nadając specjalny kształt radiatorowi. Radiatory konstruuje się z prętów, żeber lub finów, powoduje to nie tylko po-

prawę rozpraszania ciepła w powietrzu, ale również znaczące oszczędności w ilości zużywanego materiału, co przekłada się na koszty produkcji i na wagę radiatora (istotne w aplikacjach mobilnych np. wysokiej mocy latarka LED).

Głównym parametrem charakteryzującym radiator jest ich rezystancja termiczna R_{TH} [K/W] [21], określająca opór termiczny stawiany przez radiator między dwoma najbardziej oddalonymi punktami (1). Znając R_{TH} można w dobrym przybliżeniu dobrać radiator z katalogów udostępnianych przez producentów radiatorów.

$$R_{TH} = \frac{\Delta T}{P} = \frac{T_1 - T_2}{P} \quad (1)$$

gdzie: P to moc wydzielana na złączu diody (moc rozpraszana), a ΔT – przyrost temperatury, T_1 – temperatura złącza diody, T_2 – temperatura otoczenia.

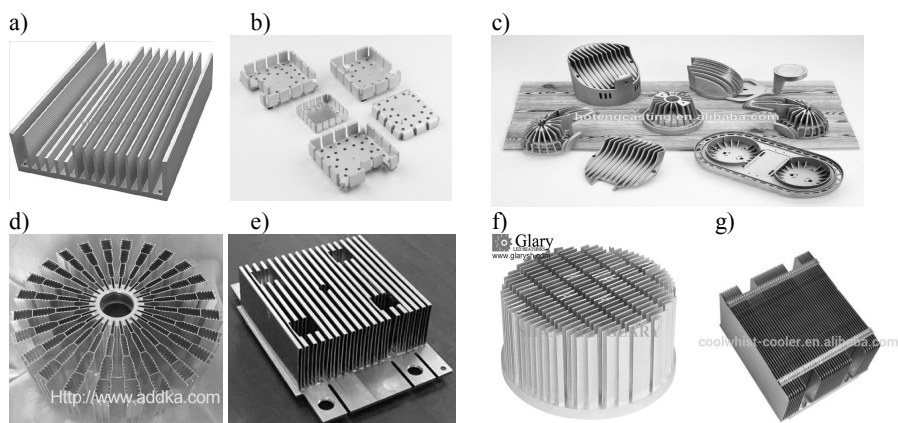
Obecnie produkowanych jest wiele rodzajów radiatorów. Jednym z istotnych czynników, jakie mają wpływ na jakość radiatora, jest sposób jego produkcji, od którego najczęściej biorą swoją nazwę (rys. 2) [22, 29]:

- a) radiatorzy tłoczone ($R_{TH} = (0,08 - 15)$ K/W),
- b) radiatorzy prasowane ($R_{TH} = (1 - 100)$ K/W),
- c) radiatorzy odlewane ($R_{TH} = (1,5 - 25)$ K/W),
- d) radiatorzy blaszkowo-spajane; z ożebrowaniem spajaniem ($R_{TH} = (0,01 - 2)$ K/W),
- e) radiatorzy z ożebrowaniem składanym ($R_{TH} = (0,02 - 0,8)$ K/W),
- f) radiatorzy wykuwane ($R_{TH} = (1,5 - 25)$ K/W),
- g) radiatorzy z ożebrowaniem skrawanym ($R_{TH} = (0,2 - 0,8)$ K/W).

W aplikacjach z diodami lub modułami LED możemy obecnie spotkać radiatorzy wykonane praktycznie za pomocą każdej z wyżej wymienionych metod produkcji. Jednak najczęściej dedykowanymi radiatorami do zastosowań z diodami LED są radiatorzy tłoczone i odlewane. Radiatorzy tłoczone ze względu na swoją uniwersalność (po wybraniu profilu o właściwym przekroju poprzecznym docina się go na odpowiednią długość). Natomiast radiatorzy odlewane często występują w ofertach z uwagi na większe dopasowanie do danego typu matrycy lub pojedynczej diody LED. Nierzadko radiatorzy wykonywane tą metodą pełnią nie tylko funkcję układu chłodzenia, ale także obudowy, do której wystarczy dołączyć źródło światła LED i przewody zasilające. Umożliwiają również uzyskanie kształtów zgodnych z najnowszymi trendami rynku oświetleniowego. Pozostałe rodzaje radiatorów wykorzystywane są w węższym zakresie, często w zastosowaniach specjalnych np. lekkie radiatorzy blaszkowe znajdują zastosowanie w lotnictwie.

Dodatkowym sposobem na polepszenie właściwości termicznych radiatora, jest tzw. czernienie, którego celem jest wytworzenie cienkiej warstwy na powierzchni radiatora. Warstwa ta pełni rolę powłoki ochronnej i antykorozyjnej, ale przede wszystkim znacząco poprawia zdolność emisji promieniowania pod-

czerwonego przez powierzchnię radiatora. W zależności od rodzaju radiatora, który jest czerniony, można uzyskać zmniejszenie wartości rezystancji termicznej od ok. 10 do 40%.



Rys. 2. Przykłady produkowanych obecnie radiatorów: a) wykonanych metodą tłoczenia, b) wykonanych metodą prasowania, c) odlewanych, d) blaszkowo-spajanych, e) z ożebrowaniem składanym, f) wykuwanych, g) z ożebrowaniem skrawanym [12, 14, 16, 17, 24, 25, 34]

Inny sposób na zwiększenie wydajności termicznej układu, to zmniejszenie termicznego oporu kontaktowego, powstającego na styku dioda – radiator. W wyniku niedoskonałości i nierówności powierzchni obu elementów zmniejsza się powierzchnia styku między nimi, a pusta przestrzeń zostaje wypełniona powietrzem, które ma większy opór cieplny. Niedoskonałe przyleganie powierzchni diody i radiatora jest również przyczyną występowania zjawiska uskoku temperatury, które świadczy o tym, że nie całe ciepło powstałe na złączu diody jest przekazywane do radiatora. Uskok temperatury jest składową zależną od: gładkości powierzchni, siły nacisku radiatora na diodę oraz od właściwości termicznych czynnika pomiędzy elementami [4].

Wyprodukowanie diod oraz radiatorów o idealnie płaskich powierzchniach byłoby zarówno bardzo drogie, jaki i trudne do osiągnięcia w produkcji. Z tego względu powierzchnie są tylko wstępnie szlifowane, a rolę wypełniacza pustych przestrzeni oraz termicznego łącznika między diodą LED a układem chłodzenia pełnią pasty, kleje oraz podkładki termoprzewodzące. W zależności od składników, z jakich są wykonane, wartość ich przewodności cieplnej zmienia się w przedziale od 0,17 do 17 W/m·K [10]. Przy ich stosowaniu ważna jest również siła, z jaką są dociskane oraz grubość warstwy. Ściśnięty z nieodpowiednią siłą (przez moduł LED i radiator) materiał termoprzewodzący nie będzie dobrze przekazywał energii cieplnej [3].

Do diod LED małej mocy wybiera się materiały o niskiej wartości przewodności cieplnej ($0,17 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) np. cienkie błony klejowe, a do diod wyższych mocy używa się specjalnie dopasowanych do kształtu modułu diody podkładek termoprzewodzących, charakteryzujących się przewodnością cieplną osiągającą wartość nawet $4,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Natomiast w przypadku najbardziej wymagających układów LED wykorzystuje się podkładki termoprzewodzące o przewodności cieplnej osiągającej wartość nawet $17 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ lub podkładki kompozytowe zawierające ceramikę lub grafit.

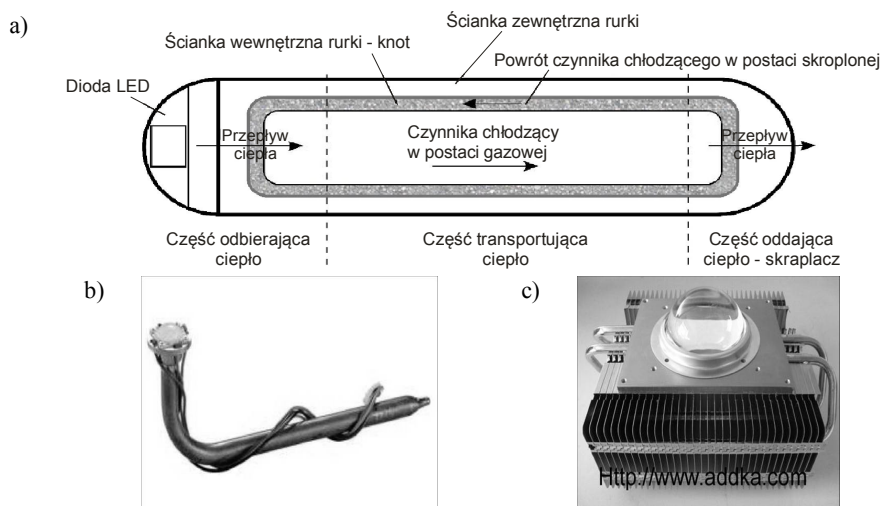
Niewątpliwie zaletą pasywnych radiatorowych układów chłodzenia jest ich trwałość, ponieważ nie zawierają żadnych ruchomych elementów, które mogłyby ulec uszkodzeniu oraz nie wymagają dodatkowego zasilania energią elektryczną. Jednak wiąże się to koniecznością zastosowania odpowiedniej wielkości radiatora, który nieraz przewyższa ceną sam układ diody LED oraz powoduje zwiększenie wielkości całego źródła światła. Obecnie pasywne układy chłodzenia są bardzo popularne w zastosowaniach oświetleniowych, gdzie radiatory przeważnie pełnią rolę obudowy oraz gdzie liczy się prostota budowy i niezawodność.

Ciekawym rodzajem pasywnych układów chłodzenia diod LED są rury cieplne, zwane także ciepłowodami. Mają postać rurki wypełnionej specjalnym czynnikiem chłodzącym. Jeden koniec rurki jest przymocowany do źródła ciepła, czyli do diody LED, a drugi służy do odprowadzania ciepła i w zależności od potrzeby może być przyłączony do radiatora. Czynnik znajdujący się wewnątrz rurki pod wpływem temperatury paruje i przemieszcza się do końca rurki o niższej temperaturze, gdzie ulega skraplaniu. W wyniku skraplania czynnik się ochładza i przepływa z powrotem do gorącego końca rurki. W powtarzającym się procesie następuje wymiana ciepła między czynnikiem a diodą LED (rys. 3a).

Parametry cieplne ciepłowodów zależą w głównej mierze od czynnika, jaki się znajduje wewnątrz oraz materiału, z jakiego jest wykonany knot. Ważnym kryterium przy doborze rury cieplnej do chłodzenia diod i matryc LED jest temperatura wrzenia czynnika chłodzącego zawierająca się w granicach zakresu temperatury pracy układu LED oraz określenie użytecznego zakresu temperatury, w którym czynnik będzie odpowiednio odprowadzał ciepło. Jako czynniki chłodzące do diod LED stosuje się Pentan, Metanol, Flutec PP2.

Jedną z możliwości, jakie oferują tylko rury cieplne, jest odprowadzanie ciepła na dalszą odległość. Jest to oczywista zaleta, w przypadku, gdy chłodzony układ nie może być obudowany radiatorem. Ponadto rury cieplne charakteryzują się małą wartością rezystancji termicznej oraz dużą gęstością strumienia ciepła, który mogą przekazać ($500 - 700 \text{ W/cm}^2$ w zakresie temperatur od 20 do 230°C). Natomiast wadą ciepłowodów jest potrzeba doboru takiego materiału wewnętrznych ścianek rurki i czynnika, aby nie zachodziły między nimi niekontrolowane reakcje chemiczne prowadzące do utraty właściwości termicz-

nych lub do uszkodzenia układu. Ponadto rury ciepłne są mniej odporne od radiatorów na uszkodzenia mechaniczne, a czynnik może wydostać się na zewnątrz i zalać chłodzony układ elektroniczny.



Rys. 3. Układ chłodzenia diody LED wykorzystujący rurę ciepłą: a) budowa układu, b) pojedyncza rura ciepła; c) zespół rur ciepłych połączonych z radiatorem [5, 7, 15]

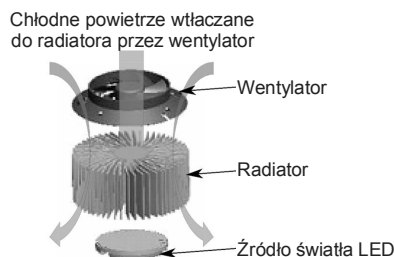
Rury ciepłne wykorzystywane w układach chłodzenia źródeł światła LED możemy znaleźć w dwojakiej formie: w postaci pojedynczej rurki ciepłnej, (chłodzenie pojedynczej diody LED) lub w postaci rozbudowanego systemu składającego się przynajmniej z kilku rurek ciepłych, do których dołączony jest często radiator (chłodzenie matrycy LED) (rys. 3b, c).

2.2. Aktywne układy chłodzenia

Z powodu ograniczonych parametrów cieplnych pasywnych układów chłodzenia oraz ciągłego wzrostu mocy diod LED zaczęto stosować aktywne układy chłodzenia. Ich charakterystyczną cechą jest celowo wymuszany przepływ energii cieplnej przy użyciu różnych urządzeń. Z tego względu można wydzielić trzy podstawowe grupy takich układów: wentylatorowe układy chłodzenia, cieczowe układy chłodzenia oraz układy chłodzenia z wykorzystaniem innych urządzeń.

W wentylatorowych układach chłodzenia elementem wymuszającym zwiększony przepływ energii cieplnej jest wentylator, który zawsze pracuje wspólnie z radiatorem zamontowanym na chłodzonej matrycy lub diodzie LED, tworząc tzw. cooler [27]. Wentylator zamontowany na radiatorze wdmuchuje chłodne powietrze z otoczenia do ożebrowania radiatora, przyspieszając proces chłodze-

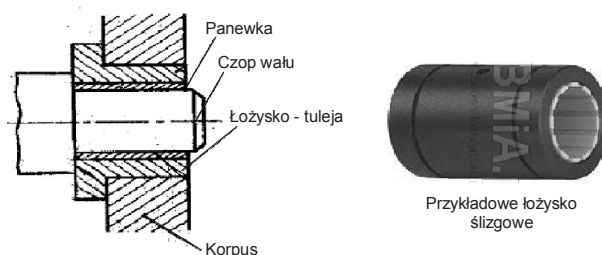
nia (rys. 4). Jego zastosowanie pozwala zwiększyć wydajność odprowadzania ciepła nawet czterokrotnie, w porównaniu do układu z takim samym radiatorem, ale bez wentylatora [33].



Rys. 4. Budowa wentylatorowego układu chłodzenia [9, 33]

Ze względu na budowę samego wentylatora można wyróżnić trzy rodzaje: wentylatory tulejowe, kulkowe oraz magnetyczne. Podział ten wynika z rodzaju zastosowanego łożyska, które służy do stabilizacji osi napędowej silnika elektrycznego oraz zamocowanego na niej wiatraka, a także decyduje m.in. o żywotności całego wentylatora:

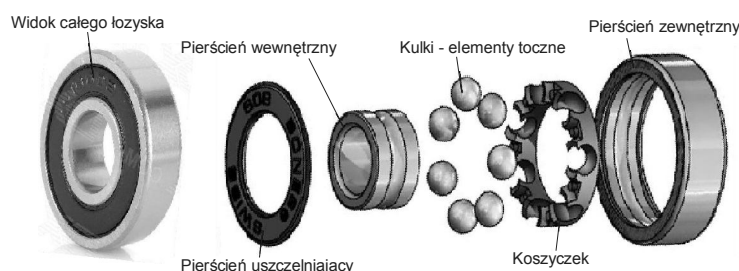
- a) wentylatory tulejowe – wyposażone w łożyska tulejowe (ślizgowe) o trwałości rzędu 30 000 h (przy temperaturze pracy 60°C); składają się z panewki, w której bezpośrednio lub też pośrednio poprzez tuleję zamocowany jest czop wału silnika elektrycznego napędzającego wiatrak (rys. 5) [18]; proste pod względem budowy i tanie w produkcji; przy małych prędkościach odznaczają się cichą pracą; prawidłowa praca takiego łożyska jest zależna od występującej w nim siły tarcia - istotna jest pozycja pracy, a nagła awaria natychmiastowo unieruchamia wentylator;



Rys. 5. Budowa łożyska tulejowego (ślizgowego) wraz z przykładowym zdjęciem [11, 13, 23]

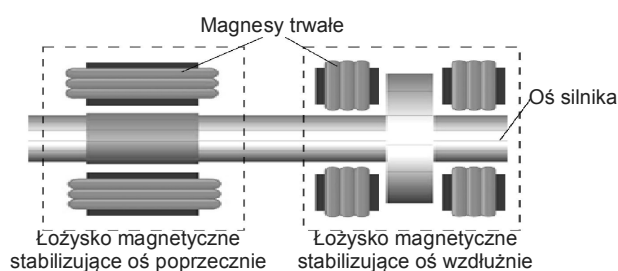
- b) wentylatory kulkowe – wyposażone w łożyska kulkowe, które należą do grupy łożysk tocznych (rys. 6); składają się z dwóch pierścieni (zewnętrznego, montowanego do obudowy urządzenia i wewnętrznego z umieszczonym w nim czopie wałka silnika elektrycznego), między którymi znajdują się

elementy toczne (kulki pokryte smarem z koszyczkami trzymającymi je w odpowiednim położeniu); czas pracy łożysk kulkowych dochodzi do 54 000 h w temperaturze pracy 60°C (zastosowanie podwójnych łożysk kulkowych wydłuża bezawaryjną pracę do 70 000 h) [26]; cicha praca także przy większych prędkościach obrotowych; usterkę łożyska poprzedza wyraźne zwiększenie głośności jego pracy;



Rys. 6. Budowa łożyska kulkowego (tocznego) wraz z przykładowym zdjęciem [8]

- c) wentylatory magnetyczne - składa się z odpowiednio rozmieszczonych magnesów trwałych wokół osi silnika, które utrzymują ją w prawidłowej pozycji (rys. 7); brak kontaktu mechanicznego między osią silnika a pierścieniem łożyska oraz sił tarcia podczas ruchu, dzięki wykorzystaniu zjawiska lewitacji magnetycznej; samocentrowanie się osi, pozwala na bezpieczną pracę w różnych położeniach wentylatora; osiągają żywotność sięgającą nawet 70 000 h (przy temperaturze pracy 60°C); brak mechanicznego zużycia elementów, bardzo cicha praca, bezawaryjność i brak potrzeby konserwacji.



Rys. 7. Budowa łożyska magnetycznego stabilizującego oś silnika wentylatora [6]

Wśród parametrów opisujących wentylatory wyróżniamy: żywotność łożyska, wydajność przepływu powietrza (wartość przepływu powietrza V [m³/h] lub CFM - *Cubic Feet per Minute*), prędkość strumienia powietrza v [m/s] tłoczonego przez wentylator (zależy od wydajności i wymiarów), głośność pracy i parametry elektryczne dotyczące układu napędowego. Układy wentylatorowe

przeważnie zawsze są łączone z radiatorami, dlatego producenci radiatorów często podają zbiór wartości rezystancji termicznych odpowiednich dla danych wartości przepływu powietrza lub prędkości powietrza.

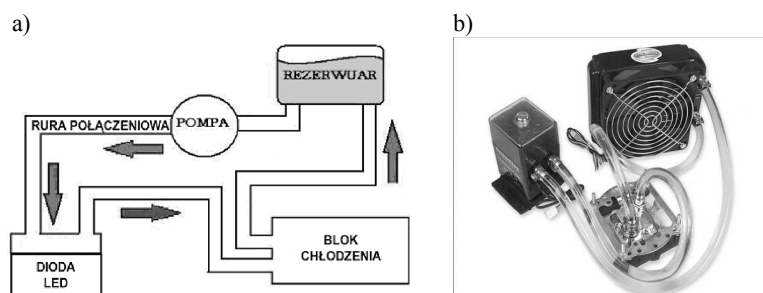
Dzięki zastosowaniu wentylatorów i wymuszonego obiegu powietrza można efektywnie zmniejszyć wartość rezystancji termicznej i pozytywnie wpłynąć na wartość impedancji termicznej całego układu. Im wyższa wartość prędkości strumienia powietrza, tym mniejsza wartość rezystancji termicznej radiatora, oraz lepsza pod względem chłodzenia jest charakterystyka jego impedancji termicznej. Zaletą stosowania wentylatorów jest możliwość zmieniania i polepszania w razie potrzeby parametrów cieplnych układu chłodzenia. Natomiast wadą jest konieczność dostarczenia do układu dodatkowego zasilania, co komplikuje cały układ chłodzenia, ma wymierny wpływ na wzrost kosztów jego produkcji oraz zwiększa go o kolejny element, który może ulec uszkodzeniu. Z tego powodu producenci źródeł światła LED i wentylatorów konstruują urządzenia tak, aby mogły być zasilane z jednego źródła. Standardowe wartości napięć zasilania wentylatorów dedykowanych do diod LED to 5 i 12 VDC. Jednak dostępne są też wentylatory o wyższych wartościach napięć 24 i 48 VDC oraz wentylatory napędzane silnikami elektrycznymi na napięcie 230 VAC.

Cieczowe układy chłodzenia bazują na specjalnej cieczy, której zadaniem jest płynne odprowadzanie energii cieplnej. Nagrzana ciecz jest przepompowywana do bloku chłodzenia, gdzie jest schładzana, a następnie znowu przepompowywana w kierunku chłodzonego urządzenia. Z uwagi na znacząco większą gęstość cieczy w porównaniu z powietrzem, uzyskuje się dużo większą zdolność do transportowania ciepła.

Budowa cieczowych układów chłodzenia jest podobna do opisywanych wcześniej rur cieplnych, różni się obecnością pompy wymuszającej obieg cieczy (rys. 8a). Jako podstawowe elementy budowy układu chłodzenia tego typu należy wyróżnić: blok chłodzenia (wymiennik ciepła), rezerwuar na ciecz, rury połączeniowe, pompę wymuszającą obieg cieczy oraz ciecz chłodzącą [26]. W zależności od konstrukcji blok chłodzenia jest wypełniony większą lub mniejszą liczbą kanalików z płynem. Natomiast ciecz chłodząca musi spełniać szereg warunków: cechować się dobrym przewodnictwem cieplnym, nie może wchodzić w reakcje chemiczne z materiałem, z którego zbudowany jest układ, powinna chronić układ przed korozją elektrolityczną, nie powinien przewodzić prądu elektrycznego oraz nie stanowić środowiska odpowiedniego dla rozwoju mikroorganizmów. Ważnymi aspektami zastosowania płynu są także: potrzeba jego regularnej wymiany (przeważnie co 2 lata), ponieważ po pewnym czasie traci on swoje właściwości odpowiadające za transport energii cieplnej oraz zapewnienie szczelności całego układu, aby nie nastąpił wyciek płynu chłodzącego.

Elementem cieczowego układu chłodzenia, dzięki któremu jest on aktywnym układem chłodzenia, jest pompa cieczy. Najczęściej jest ona napędzana silnikiem elektrycznym prądu stałego i musi zapewniać odpowiednią prędkość przepływu płynu, aby efektywnie odprowadzać ciepło. Ponadto tego typu układy chłodzenia są często dodatkowo wyposażone w wentylator, który jest zamocowany bezpośrednio na bloku chłodzenia w celu poprawy wydajności całego układu (rys. 8b).

Z powodu dużej liczby elementów i dosyć wysokiego stopnia skomplikowania cieczowe układy chłodzenia są rzadko stosowane do odprowadzania ciepła w aplikacjach LED, gdyż nie spełniają wymogów bezawaryjności i określonej żywotności. Pomimo to, często są wykorzystywane na stanowiskach badawczych i laboratoryjnych przy testowaniu nowych źródeł światła LED, gdzie przede wszystkim ważne są właściwości danego układu chłodzenia, a żywotność i koszty eksploatacji są sprawą drugorzędną.

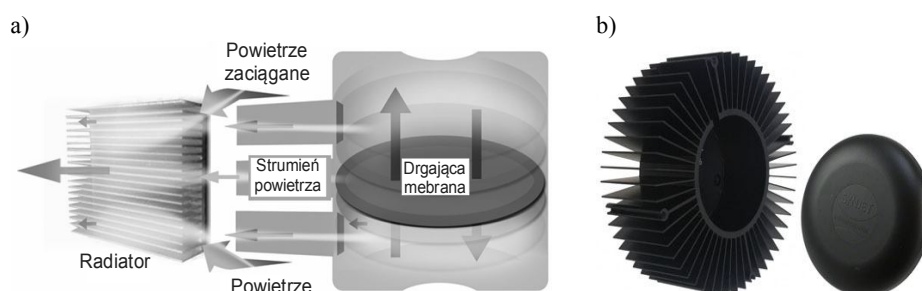


Rys. 8. Cieczowy układ chłodzenia: a) schemat układu; b) przykładowy układ z wentylatorami umieszczonymi na bloku chłodzenia [30, 31]

Przykładem układu chłodzenia z wykorzystaniem innych urządzeń niż wentylator czy cieczowy układ chłodzenia jest produkt Cruz 160 LED firmy Horn [30] – wentylator membranowy. W oprawie kubelkowej mieści się moduł LED dużej mocy, zintegrowany z aktywnym układem chłodzenia, w którym zamiast tradycyjnego wentylatora użyto wentylatora membranowego. Membrana wentylatora pod wpływem drgań wytwarza strumieniowy ruch powietrza, który przepływa przez radiator schładzając go (rys. 9a). Ruch membrany wywołuje zmiana pola elektromagnetycznego pod wpływem przepływu prądu przez cewkę membrany. Przyłożenie napięcia o odpowiedniej częstotliwości powoduje żądane drgania membrany. Podobną technologię prezentuje firma Nuventix, która z kolei oferuje rozwiązania gotowych modułów chłodzenia dla diod LED.

Zaletą tego typu rozwiązania jest brak mechanicznych elementów ciernych (łożyska), które mogłyby ulec zużyciu (żywotność na poziomie 100 000 h). Ponadto wentylatory membranowe charakteryzują się cichą pracą oraz mniejszym zapotrzebowaniem na energię elektryczną niż klasyczne wentylatory, a także

oferują możliwość regulacji mocy odprowadzania energii cieplnej z chłodzonego układu (niezbędne w źródłach świetlnych o zmiennych trybach pracy). W sprzedaży oferowanych jest już wiele układów chłodzenia wykorzystujących wentylatory membranowe, a skala ich zastosowania w układach chłodzenia diod elektroluminescencyjnych stale rośnie (rys. 9b).



Rys. 9. Układ chłodzenia z wentylatorem membranowym: a) schemat układu; b) przykładowy wentylatory membranowe z dedykowanym radiatorem [20, 21]

3. OPROGRAMOWANIE WYKORZYSTYWANE W PROJEKTOWANIU UKŁADÓW CHŁODZENIA

Każdy projekt układu odprowadzania ciepła zawiera następujące etapy: zapoznanie z danymi technicznymi elementów elektronicznych wchodzących w skład chłodzonego systemu, określenie dopuszczalnej temperatury złąc układu, oszacowanie maksymalnej temperatury otoczenia pracy i, ostatecznie, dobór odpowiedniego radiatora, wentylatora lub bardziej złożonego systemu chłodzenia. W przypadku prostych konstrukcji, problem sprowadza się do obliczenia rezystancji cieplnej R_{TH} i dobrania radiatora o odpowiedniej powierzchni rozpraszania ciepła. Natomiast w bardziej skomplikowanych układach, np. matryca LED – radiator – wentylator, do obliczeń przydają się różnego rodzaju programy.

Programy do modelowania 3D takie, jak Flux 3D, CATIA czy programy z rodziny CAD, ułatwiają projektowanie i optymalizację parametrów radiatorów. Jedne umożliwiają tylko tworzenie modeli 3D, w innych (np. Flux 3D) można przeprowadzać dodatkowo symulacje. Wykonanie pełnych symulacji termicznych projektowanych układów jest możliwe w dedykowanych do tego programach. Przykładowo, program Solid Work Flow Simulation umożliwia ocenę właściwości termicznych komponentów oraz wymogów związanych z chłodzeniem oraz symulację obiegu energii cieplnej w układach chłodzenia z radiatorem, wentylatorem i/lub ciepłowodem w celu optymalizacji zarządzania temperaturą w obudowach urządzeń elektronicznych (w całym projektowanym systemie). Z kolei program COMSOL Multiphysics pozwala przeprowadzić np. symulację właściwości radiatora w zakresie rozpraszania ciepła w zależności od jego kształtu i wymiarów.

4. PODSUMOWANIE

Wzrost wymogów dotyczących układów chłodzenia źródeł światła LED pociągnął za sobą wprowadzenie wielu nowych technologii. Niektóre z nich zostały specjalnie opracowane i dostosowane do współpracy z aplikacjami LED. Przykładem mogą być wentylatory membranowe, czy specjalne łożyska magnetyczne, które mają za zadanie nie tylko zmniejszyć poziom emitowanego hałasu, ale także znacznie wydłużyć żywotność całego urządzenia. Ponadto z powodu nieustannej miniaturyzacji układy chłodzenia również muszą ulec zmniejszeniu. Z tego względu powstają nowe urządzenia i technologie, które pomagają spełniać te oczekiwania. Można tutaj wymienić obudowy i radiatory projektowane specjalnie pod względem dobrego odprowadzania energii cieplnej, a także pod względem dopasowania do danego źródła światła LED.

We wszystkich rodzajach układów chłodzenia, zarówno pasywnych, jak i aktywnych, niezmiernie ważne są wszelkie połączenia termiczne. Właśnie od jakości tych połączeń zależy poprawna praca, a także prawidłowa praca danego układu chłodzenia. Dlatego w celu eliminowania negatywnego wpływu oporów cieplnych połączeń stosowane są najróżniejsze sposoby. Począwszy od szlifowania powierzchni elementów układu po stosowanie specjalnych past, klejów i taśm termoprzewodzących. Ponadto wydzielanie energii cieplnej przez złącza danego źródła światła LED powinno zostać uwzględnione już podczas projektowania takiego źródła. Środkiem zaradczym, w tym wypadku, powinno być zastosowanie odpowiedniego podłoża, które będzie w stanie przekazać całą energię cieplną do montowanego w późniejszym etapie układu chłodzenia.

Podsumowując układy chłodzenia są niezbędnym elementem diod i matryc LED dużych mocy. Ich stosowanie, nie tylko wpływa na jakość i stabilność parametrów optycznych, ale przyczynia się znacząco do wydłużenia czasu bezawaryjnej pracy diody lub matrycy LED. Obecnie produkowane są wentylatory, radiatory, a nawet kompletne gotowe zestawy dedykowane do diod i matryc LED. Można zauważyć, że powstał nowy oddzielny rynek sprzedaży, który oferuje różnego rodzaju elementy i urządzenia dedykowane do układów chłodzenia źródeł światła LED.

LITERATURA

- [1] Domaracki A., Materiały z izolowanym podłożem metalowym, Napędy i Sterowanie, nr 3/2014, s. 144-149 (in Polish).
- [2] Dziuban M., Dłaczego trzeba chłodzić diody LED?, Elektronika praktyczna, nr 3/2015, s. 70-71 (in Polish).
- [3] Górecki P., Notatnik praktyka. Radiatory część 2, Elektronika praktyczna, nr 4/1994, s. 24-25 (in Polish).
- [4] Hering M.: Termokinetyka dla Elektryków, WNT Warszawa 1980 (in Polish).

- [5] Skrzypczak P., Analiza układów chłodzenia diod elektroluminescencyjnych dużej mocy z wykorzystaniem ogniwi Peltiera. Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 2012 (in Polish).
- [6] Tomczuk B., Zimon J., Łożysko magnetyczne jako ekologiczny element napędu. Analiza pola i weryfikacja pomiarowa, Chemia. Dydaktyka. Ekologia. Metrologia, nr 1-2/2005, s. 65-69 (in Polish).
- [7] Wiśniewski S., Wiśniewski T.S.: Wymiana ciepła, WNT Warszawa 2000 (in Polish).
- Zasoby internetowe [Dostęp: 2015-12-20]:
- [8] <http://bonesbearings.com/support/maintenance/>
- [9] <http://elektronikab2b.pl/technika/19825-aktywne-chlodzenie-dla-led-duzej-mocy#.VnTrsxBljIV>
- [10] <http://ep.com.pl/files/11022.pdf>
- [11] [http://kpt.wm.am.gdynia.pl/doc/PKM_I_w06_\(lozyskowanie\).pdf](http://kpt.wm.am.gdynia.pl/doc/PKM_I_w06_(lozyskowanie).pdf)
- [12] <http://resource.led-purchase.com/upload/m/20120808/09560219.jpg>
- [13] <http://technikagim5.republika.pl/technika%20temat2.htm>
- [14] <http://www.addka.com/Honeycomb-LED-Heat-Pipe-Heat-Sink-53.html>
- [15] <http://www.addka.com/upload/photo/0338945363579732b1af0a2addbd77f.jpg>
- [16] http://www.alibaba.com/product-detail/Die-casting-aluminum-led-flood-light_60178493477.html
- [17] http://www.alibaba.com/product-detail/SKIVED-FIN-copper-heatsink_1906090081.html
- [18] http://www.chwastyk.pwsz.nysa.pl/pliki/PI_sem03/PPI-lozyska_toczne_i_slizgowe.ppt
- [19] http://www.cofan-pcb.com/download/CofanUSA-SuperPillar_ori.pdf
- [20] <http://www.crazy-leds.com/en/shop/product/holographic-series-1-led-grow-light/>
- [21] <http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2012/oct/cooling-solutions-for-led-lighting>
- [22] http://www.dsod.p.lodz.pl/materials/KSE_cz2_A00.pdf
- [23] <http://www.ebmia.pl/liniowe-lozysko-slizgowe-rjum01-p-42623.html>
- [24] <http://www.ecvv.com/product/4379000.html>
- [25] <http://www.electronics-cooling.com/2005/11/cooling-solutions-in-the-past-decade/>
- [26] <http://www.fizyka.umk.pl/~korcala/Cieplo.pdf>
- [27] http://www.grupabs.pl/pliki/Programowanie/UTK/Wyk%B3ady/Wyk%B3ad_19/
- [28] http://www.nmbtc.com/fans/white-papers/fans_ball_vs_sleeve/
- [29] http://www.qats.com/Download/Qpedia_Nov10_HS_manuf_technologies1.ashx
- [30] http://www.syscooling.com/products/Water_Cooling_Kits/48.html
- [31] http://www.techworks.pl/poradnik,233,26,2,Przewodnik_po_chlodzeniu_ciecza.html
- [32] http://www.thornlighting.pl/PDB/Ressource/teaser/PL/TLG_Cruz_LED.pdf
- [33] http://www.tme.eu/u/biblioteka/moduly_chlodzace_sunon_pl.pdf
- [34] <https://rutronik-tec.com/assmann-wsw-presents-new-stamped-cpu-heat-sink/>

SYSTEMS OF COOLING THE LEDs AND LED MATRICES

This work contains a review of currently applied systems of cooling the LEDs and LED matrices. The simplest as well as more sophisticated cooling systems are presented. Parameters and properties of the selected kinds of passive and active cooling systems are described. Influence of some factors on the operation of the LEDs and on their cooling system has been taken into consideration. Moreover, computer programs to be used for the design these systems are briefly presented.

(Received: 10. 02. 2016, revised: 7. 03. 2016)