

Chłodzenie podzespołów elektronicznych

Odprowadzanie ciepła jest jednym z ważniejszych problemów elektroniki opartej na elementach półprzewodnikowych i jednym z czynników ograniczających jej rozwój. Każdy podzespół elektroniczny można scharakteryzować za pomocą krzywej opisującej prawdopodobieństwo jego uszkodzenia w czasie pracy w konkretnej temperaturze. Zadaniem projektanta systemu jest zapewnienie dla każdego z tych podzespołów odpowiednio niskiego prawdopodobieństwa uszkodzenia, skutkującego wymaganą niezawodnością całego urządzenia.

Do najbardziej popularnych sposobów odprowadzania ciepła z podzespołów i systemów elektronicznych należą: radiatory, moduły Peltiera oraz wentylatory.

Radiatory

Radiatory, albo rozpraszacze ciepła, są najczęściej stosowanym i jednocześnie najprostszym sposobem na poprawę odprowadzania ciepła z podzespołów elektronicznych.

Radiator można modelować jako obwód RC, w którym pojemności odpowiada masa radiatora, a rezystancji elektrycznej – rezystancja termiczna. Rezystancja termiczna jest kluczowym parametrem radiatora, który jest obliczany przy doborze radiatora do konkretnego zastosowania. Na wartość tego parametru wpływa wiele czynników, z których najistotniejsze to: wielkość powierzchni radiatora i jego kształt, kolor powierzchni, ruch powietrza wokół i temperatura radiatora. Zaskoczenie może wywołać zwłaszcza ostatni z wymienionych czynników – jak się jednak okazuje, radiator pracujący w wyższej temperaturze ma mniejszą rezystancję termiczną. Ogromne znaczenie ma też ruch

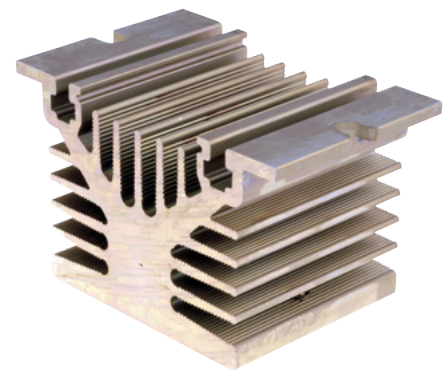
powietrza, często zapewniany poprzez zastosowanie dodatkowego wentylatora lub przynajmniej przez odpowiednie ustawienie przestrzenne radiatora. Dalsze obniżenie rezystancji termicznej daje też zastosowanie pasty termoprzewodzącej. Typowe wartości rezystancji termicznej, na przykładzie produktów Fischer Elektronik, dostępnych w ofercie TME, to od 123 do 0,7 K/W.

W najprostszych rozwiązaniach jako radiator jest używany kawałek blachy aluminiowej, rzadziej – mosiężnej lub miedzianej. Wraz ze wzrostem ilości ciepła odprowadzanego stosuje się radiatory o bardziej wyrafinowanych kształtach, odlewane lub prasowane, najczęściej wykonywane z aluminium lub jego stopów. Dodatkową poprawę właściwości radiatora uzyskuje się stosując aluminium czernione (oksydowane) lub anodowane (eloksalowane), którego powierzchnia ma lepsze zdolności emisji promieniowania podczerwonego. Największą popularnością cieszą się radiatory o kształtach oznaczanych Y, U, H oraz żeberkowe, których przykłady z oferty TME są przedstawione na fotografiach 1...4. Wiele radiatorów jest przystosowanych do obudów danego typu np. SOT-32

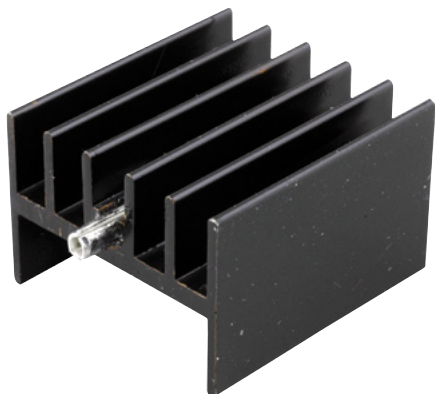
Dodatkowe informacje:
 Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o.
 Grupa: Złącza, ul. Ustronna 41, 90-951 Łódź,
 tel. 42-645-55-38, faks 42-645-55-00
 e-mail: zlacza@tme.pl, www.tme.eu

lub TO-220, albo przeznaczonych dla konkretnych podzespołów, takich jak przekaźniki, rezystory czy diody.

Bardzo ciekawą grupę rozwiązań stanowią radiatory elastyczne. Firma Chromerics ma w ofercie dwie rodziny takich produktów: wykonane w postaci cienkiej (0,178 mm) folii miedzianej, w pełni plastyczne radiatory T-Wing oraz grubsze (1,6 mm), wykonane z tlenku glinu radiatory C-Wing, wyposażone w skrzydełka, które użytkownik może wyginać wg potrzeb. Takie radiatory są wygodne w montażu – mają formę naklejek z warstwą kleju silikonowego przykrytą łatwą do zerwania folią zabezpieczającą i pozwalają na obniżenie temperatury układu, do którego są przyklejone, typowo o 10...20°C. Innym, ciekawym rozwiązaniem są zaprojektowane przez firmę OKI przy współpracy z firmą



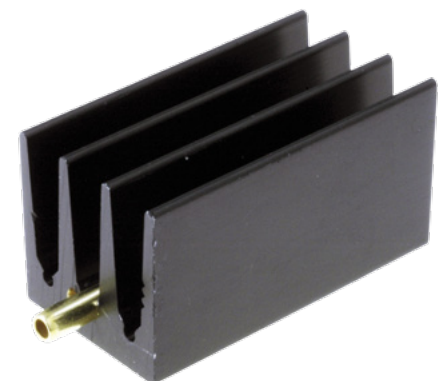
Fotografia 3. Radiator typu Y firmy Anly Electronics (model HS-060-50)



Fotografia 1. Radiator typu H firmy Stencold (model HS-123-25)



Fotografia 2. Radiator typu U firmy Stencold (model D02PA)



Fotografia 4. Radiator żeberkowy firmy Fischer Elektronik (model SK 437 30 STS)

Ceramic radiatory Stick-it Flexible. Są wykonane z płynnego materiału ceramicznego Cerac α , który cechuje się dużą sprawnością emisji ciepła w postaci promieniowania podczerwonego. Mają postać naklejek albo w elastycznych, albo utwardzonych za pomocą podłoża aluminiowego.

Kilkaset modeli radiatorów w różnych wykonaniach – w tym ponad 150 przeznaczonych dla diod LED – ma w swojej ofercie firma TME. Są wśród nich radiatory odlewane i prasowane, wykonane w większości z aluminium lub miedzi, o rezystancjach termicznych 0,36...123 K/W, wytwarzane przez takie firmy, jak m.in. Fischer Elektronik, Stonecold, Anly Electronics i Kunze.

Proces doboru radiatora był wielokrotnie przedstawiany w różnych publikacjach, także na łamach EP i EDW. Szczegółowe przedstawienie tego tematu można znaleźć w cyklu czterech artykułów opublikowanych w Elektronice Praktycznej 3, 4, 5, i 6 z 1994 roku, dostępnych np. w internetowym archiwum EP.

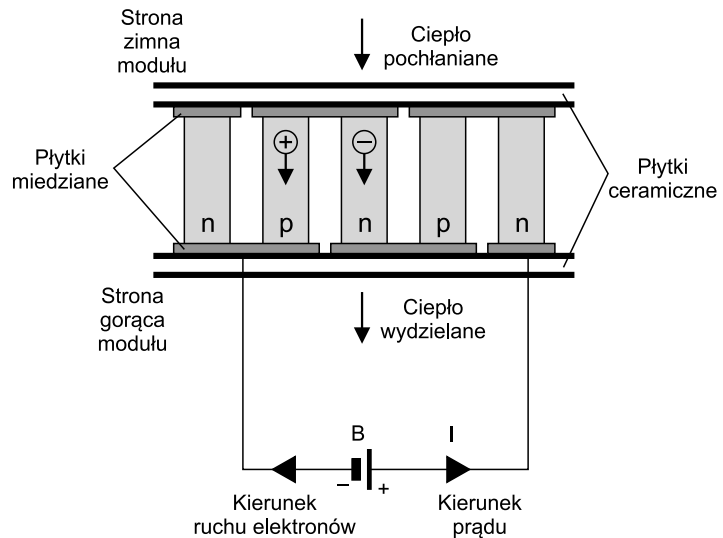
Ogniwa Peltiera

Ogniwo Peltiera jest jednym z kilku urządzeń wykorzystujących zaobserwowany po raz pierwszy w 1834 roku efekt Peltiera. Polega on na wydzielaniu ciepła przez złącze dwóch metali przy wymuszeniu przepływu prądu przez to złącze w określonym kierunku i pochłanianiu ciepła przez to złącze przy przepływie prądu w kierunku przeciwnym. Ogniwo Peltiera jest więc pompą transportującą ciepło w kierunku zależnym od kierunku przepływającego przez nie prądu. Obecnie w miejsce metalu wykorzystuje się cechujący się większą sprawnością półprzewodnik – tellurek bizmutu domieszkowany antymonem i selenem.

Barierą wykorzystania ogniwa Peltiera jest wydzielające się w nich, rosnące z kwadratem natężenia prądu – a więc szybciej niż pożądaną przepływ ciepła związany z efektem Peltiera – ciepło Joule'a. Wynika ono z przepływu prądu przez nośnik, w tym wypadku półprzewodnik. Wykorzystywane w praktyce moduły Peltiera (**fotografia 5**) składają się z wielu pojedynczych ogniw połączonych kaskadowo, co pozwala osiągnąć pożądaną sprawność bez konieczności radykalnego zwiększenia prądu. Pojedyncze



Fotografia 5. Moduł Peltiera Stonecold PM-40X40-53



Rysunek 6. Zasada działania modułów Peltiera [EdW 7/97]

Tabela 1. Parametry wybranych modułów Peltiera

| Model | Wymiary [mm] | U maks. [V] | I maks. [A] | Rezystancja [Ω] | Różnica temperatur [°C] | Moc ciepła odprowadzanego [W] |
|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| PM-15X15-9.5 | 15×15×3,7 | 2,0 | 8,5 | 0,24 | 68 | 9,5 |
| PM-30X30-36 | 30×30×3,3 | 14,6 | 4,3 | 3,1 | 68 | 36 |
| PM-40X40-53 | 40×40×3,8 | 14,9 | 6,4 | 1,98 | 68 | 53 |
| PM-40X40-89 | 40×40×3,3 | 15,8 | 10,5 | 1,08 | 67 | 89 |
| PM-62X62-267 | 62×62×4,8 | 16,2 | 30,7 | 0,27 | 68 | 267 |

ogniwa montowane są pomiędzy parą płytek ceramicznych i łączone ścieżkami miedzianymi (**rysunek 6**).

Jednym z najważniejszych parametrów modułów Peltiera jest prąd maksymalny, przy którym następuje zrównanie ciepła Joule'a z ciepłem przepompowywanym wskutek efektu Peltiera. Wartość tego parametru, podobnie jak większości innych ważnych parametrów użytkowych, silnie zależy od wymiarów modułu. Dla przykładu, zestawienie parametrów (maksymalnego napięcia i prądu pracy, rezystancji, maksymalnej różnicy temperatur i mocy odprowadzanego ciepła) kilku modułów firmy Stonecold dostępnych za pośrednictwem TME zamieszczono w **tabeli 1**.

Do zalet modułów Peltiera można zaliczyć wytrzymałość mechaniczną, uzyskiwaną dzięki sztywnej konstrukcji bez elementów ruchomych, niewielkie rozmiary, dużą żywotność (np. firma Stonecold podaje 200 tys. godzin) oraz dodatkową izolację elektryczną dzięki płytkom ceramicznym. Istnieje też możliwość łączenia modułów w stosy w celu poprawienia wydajności. Z racji dużej gęstości oddawanej energii termicznej moduły Peltiera stosuje się zwykle wraz z radiatorami i pastą termoprzewodzącą. Wadą ogniwa Peltiera jest konieczność ich zasilania oraz odprowadzania ciepła za pomocą dodatkowych radiatorów i/lub wentylatorów.

W ofercie firmy TME można znaleźć kilka modeli modułów Peltiera, w większości

produkcji firmy Stonecold, a także duży wybór past i klejów termoprzewodzących różnych producentów. Podobnie jak w wypadku radiatorów, temat doboru modułu Peltiera był omawiany w EP, w Notatniku Praktyka opublikowanym w numerach 1, 2 i 3 z 1996 roku.

Wentylatory

Z powodu generowanego hałasu i relatywnie skomplikowanej konstrukcji mechanicznej, skutkującej potencjalną zawodnością, wentylatory bywają traktowane jako ostateczność przy wyborze rozwiązania obniżającego temperaturę. Nie da się jednak umniejszyć ich roli w dzisiejszym sprzęcie elektronicznym, gdyż często są konieczne nie tylko jako samodzielne systemy chłodzące, ale też jako uzupełnienie radiatorów i modułów Peltiera.

Firma TME ma w swojej ofercie kilkadziesiąt modeli wentylatorów zasilanych prądem stałym lub przemiennym wytwarzanych przez sprawdzonych producentów. Z szerokiej gamy wentylatorów firmy Sunon, o wymiarach zaczynających się od 17 mm×17 mm×3 mm (**fotografia 7**) można bez problemu wybrać wentylator do chłodzenia nie tylko urządzeń, ale nawet pojedynczych komponentów. Z kolei wśród produktów firm Fulltech i Papst oferowanych przez TME można znaleźć urządzenia mogące posłużyć do odprowadzania ciepła z obudowy całego systemu.



Fotografia 7. Najmniejszy z dostępnych za pośrednictwem TME wentylatorów Sunon (model UF3H3-700)

Wentylatory i dmuchawy są pompami powietrza i opisuje się je za pomocą tych samych parametrów, co inne pompy. Kluczowe znaczenie mają tu ciśnienie różnicowe, czyli różnica ciśnień statycznych na wlocie i wylocie, opisująca zdolność wentylatora do pracy „przeciwno” dużemu ciśnieniu oraz przepływ (wydatek/wydajność), który charakteryzuje ilość powietrza, jaką wentylator może przepompować w jednostce czasu. Parametry te zależą od konstrukcji śmigła, a w szczególności od kąta natarcia jego łopatek, czyli kąta jaki tworzy cięciwa łopatek śmigła ze względnym kierunkiem ruchu powietrza. Im większy jest kąt natarcia łopatek, tym jest większe ciśnienie różnicowe (statyczne) i mniejszy przepływ po obu stronach łopatek śmigła. Większość dostępnych na rynku wentylatorów ma śmigła o stałym kącie natarcia, a przy tym stałą, stabilizowaną prędkość obrotową, co skutkuje konkretną wydajnością dla określonej różnicy ciśnień. Parametry te są więc wymienne – przy dużym ciśnieniu wentylatory osiągają słabsze przepływy i odwrotnie. Bardzo popularną i wygodną formą przedstawiania właściwości wentylatorów jest tzw. krzywa pracy (rysunek 8), obrazująca zależność ciśnienia statycznego od przepływu. Za jej pomocą wybiera się punkt pracy wentylatora.

Analizę krzywej przeprowadza się od prawej do lewej – od największego przepływu do punktu odcięcia. Odpowiada to przejściu od maksymalnej energii kinetycznej do maksymalnej energii potencjalnej, a pole powierzchni pod krzywą odpowiada za energię dostarczaną do wentylatora.

Opisywane wielkości często podawane są w dosyć nietypowych jednostkach. Ciśnienie bywa wyrażany w calach lub milimetrach słupa wody, natomiast wydajność w CFM, czyli stopach sześciennych na minutę (Cubic Feet per Minute). Jednostki te są jednak liniowo związane z jednostkami układu SI. Bardzo istotny użytkowo jest też poziom hałasu generowany przez pracujący wentylator, który w zależności od modelu

może się wahać od kilkunastu do ponad siedemdziesięciu decybeli A.

Opis procesu doboru wentylatora na przykładzie wykorzystania dokumentacji dystrybuowanej przez TME firmy Sunon oraz większą ilość szczegółów dotyczących wentylatorów można znaleźć w artykule „Chłodzenie urządzeń” opublikowanym w Elektronice Praktycznej 4/2009. Szczegółowe parametry wszystkich wentylatorów z oferty TME są dostępne na stronie internetowej www.tme.eu.

Materiał obudowy

Istotną rolę w odprowadzaniu ciepła od układów elektronicznych pełni obudowa. Szczególnie interesujące są tutaj obudowy przyrządów półprzewodnikowych średniej i dużej mocy oraz układów scalonych.

Przyrządy średniej i dużej mocy bywają kojarzone z obudowami metalowymi, choć współczesne przyrządy dużej mocy są jednak umieszczane w hermetycznych obudowach z tworzywa sztucznego (z żywic epoksydowych), co widać na przykładach produktów takich firm, jak: Vishay, Ixys czy International Rectifier, dostępnych w ofercie TME. Warto też wspomnieć o produktach niemieckiej firmy Semikron. Oferuje ona przyrządy dużej mocy w sprawdzonych obudowach, takich jak Semipack, Semitrans czy Semipont, ale też wyposaża nowe modele (SKiPack, Semitop, MiniSKiP) w różne ulepszenia, np. umieszczenie podłoża DCB, na którym wykonany jest układ wprost na radiatorze (bez typowej płytki miedzianej) czy wewnętrzne sprężyny dociskające układ do radiatora. Moduły tyrystorowe oraz mostki prostownicze i tranzystory w obudowach Se-

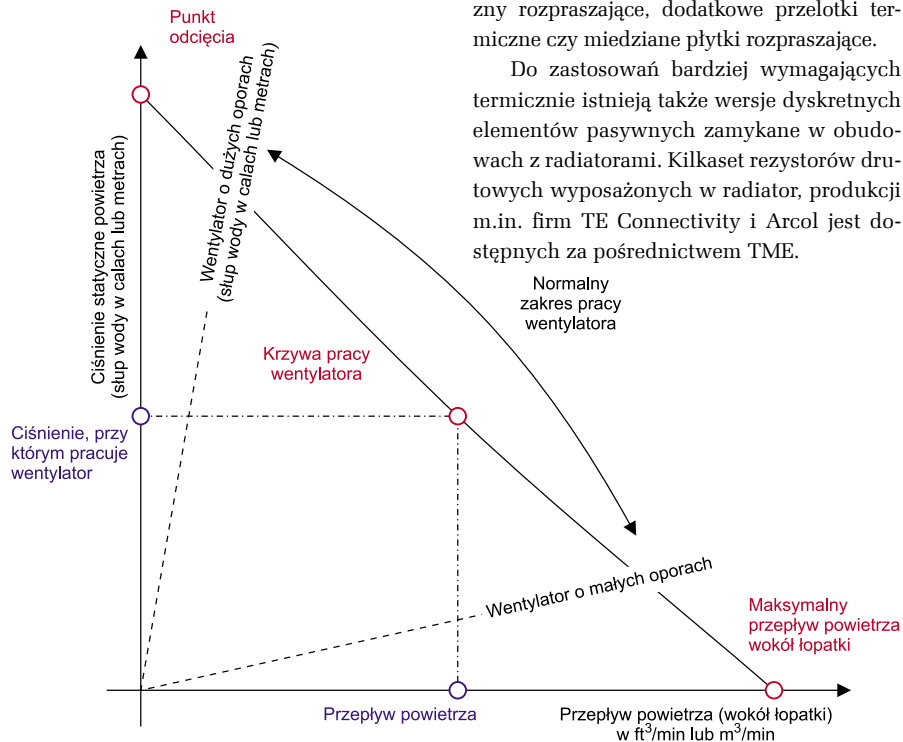


Fotografia 9. Mostek prostowniczy SEMIKRON SKD110/16 w obudowie SEMIPONT4

mipack, Semitop i Semipont firmy Semikron są dostępne za pośrednictwem TME.

Technologie produkcji obudów układów scalonych można podzielić zasadniczo na cztery podstawowe kategorie: plastik odlewany, ceramika tłoczona, laminaty ceramiczne oraz laminaty plastikowe. Piątą technologią są hermetyczne obudowy metalowe, używane jednak głównie w najbardziej wymagających zastosowaniach np. militarnych, drogie i rzadko występujące w sprzęcie konsumpcyjnym. Przewodność termiczna materiałów ceramicznych opartych o glin jest o rząd wielkości lepsza niż plastików. Dodatkową poprawę parametrów termicznych obudów ceramicznych przynosi wykorzystanie węgla krzemowego oraz ceramiki AlN oraz zastosowanie płytki rozpraszającej ciepło. Obudowy plastikowe mogą konkurować z ceramicznymi tylko jeśli są wyposażone w dodatkowe ulepszenia, takie jak: dodatkowe kulki odprowadzające ciepło (w obudowach BGA), wewnętrzne płaszczyzny rozpraszające, dodatkowe przelotki termiczne czy miedziane płytki rozpraszające.

Do zastosowań bardziej wymagających termicznie istnieją także wersje dyskretnych elementów pasywnych zamykane w obudowach z radiatorami. Kilkaset rezystorów drutowych wyposażonych w radiator, produkcji m.in. firm TE Connectivity i Arcol jest dostępnych za pośrednictwem TME.



Rysunek 8. Krzywa pracy wentylatora