

Chłodzenie komponentów elektronicznych

Rozgrzewanie się komponentów elektronicznych jest zjawiskiem towarzyszącym przepływowi prądu. Nadmierna temperatura skraca czas funkcjonowania kondensatorów i innych komponentów pogarszając trwałość i niezawodność urządzenia. Ponadto, zmienia właściwości komponentów półprzewodnikowych zmuszając konstruktorów urządzeń do opracowywania specjalnych obwodów kompensujących zmiany temperatury. Dlatego projektant urządzenia nie może lekceważyć zagadnień związanych z chłodzeniem – często będą one miały znaczny wpływ na wygląd opracowywanego produktu.

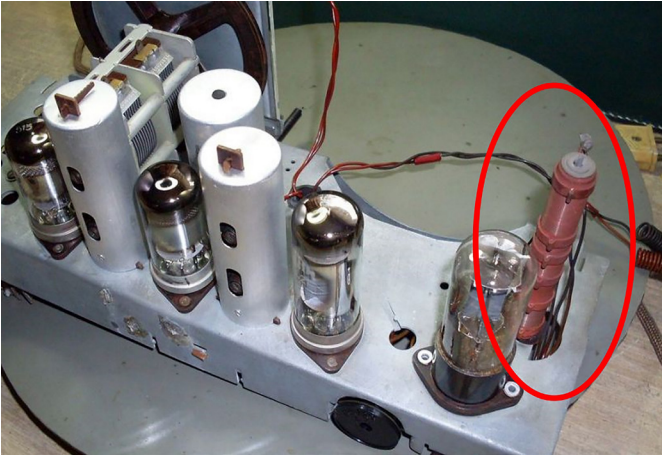
Jeśli nie chcemy mieć problemu z koniecznością rozpraszania ciepła komponentów, to trzeba tak dobrać parametry ich pracy, aby straty mocy były jak najmniejsze. Niestety, czasami pomimo wysiłku nic nie się zrobić, ponieważ straty energii podczas przełączania lub przewodzenia prądu występują zawsze i nie da się ich uniknąć, a można jedynie zmniejszyć odpowiednio dobierając częstotliwość taktowania, napięcie zasilające itd.

Nie można powiedzieć, że problem strat mocy narodził się wraz z wynalezieniem tranzystora lub diody. Znacznie wcześniej wynaleziono rezystor lub lampę. Ten pierwszy często był używany w obwodzie zasilania jako tzw. słupek redukcyjny (nazywany tak zapewne ze względu na zwykle pionową pozycję montażu). Wykonywano w ten sposób rodzaj taniego „transformatora”, na którym tracono niemiłosiernie wielkie ilości energii. Dlatego ten „słupek” był wykonywany w postaci rdzenia ceramicznego, na którym nawijano drut oporowy. Taki rezystor, odpowiednio zamontowany na metalowym chassis, mógł rozgrzewać się nawet do ponad dwustu stopni Celsjusza bez groźby uszkodzenia. Przykład takiego opornika redukującego napięcie zastosowanego w starym, polskim odbiorniku lampowym Pionier pokazano na **fotografii 1**. Wydaje się, że powodem jego stosowania była nie tyle chęć zmarnowania energii, ile braki materiałowe w powojennej Polsce (produkcję tego odbiornika uruchomiono w Zakładach Radiowych „Diora” już w 1948 roku). Z drugiej strony, dzięki takiemu rozwiązaniu odbiornik mógł korzystać z sieci zasilającej prądem stałym lub prądem przemiennym.

Niestety, podwyższona temperatura w otoczeniu komponentu elektronicznego obniża jego trwałość. Dotyczy to zwłaszcza takich komponentów, jak kondensatory elektrolityczne. Wielu serwisantom sprzętu dobrze znane jest zjawisko utraty parametrów przez pojemności stosowane np. w zasilaczu impulsowym. Dlatego rozpraszanie ciepła strat ma szczególne znaczenie dla trwałości i niezawodności konstruowanych przez nas produktów.

Radiatory

Jedną z najprostszych i najbardziej naturalnych metod rozpraszania ciepła jest zwiększenie powierzchni, za której pomocą zostanie ono przekazane do otoczenia – w tym celu stosuje się różnorodne radiatory. Zastosowanie radiatora jest jedną z najłatwiejszych w użyciu i jednocześnie najtańszych metod, dlatego też radiatory są powszechnie i często stosowane w wielu urządzeniach elektronicznych. Są one wykonywane z różnych materiałów, najczęściej z mającego niewielką rezystancję termiczną i względnie niedrogiego aluminium, rzadziej z mosiądzem lub miedzi. Radiatory mają różne kształty, chociaż prawie zawsze dąży się do tego, aby powierzchnia czynna radiatora, za której pomocą może przekazywać ciepło do otoczenia, była jak największa. Ogromne znaczenie ma też powierzchnia styku radiatora z chłodzonym komponentem – rezystancja termiczna styku musi być jak najmniejsza i dlatego w celu jej obniżenia używa się specjalnych past i podkładek. Stawia się im specjalne



Fotografia 1. Radioodbiornik „Pionier” Zakładów Radiowych Diara. Kolorem czerwonym zaznaczono „stuspek redukcyjny”

wymagania, ponieważ nie mogą one zmieniać swoich właściwości fizycznych (np. pasta nie może wypływać spod komponentu) w całym zakresie temperatury komponentu. Podobnie podkładki i tuleje, których zadaniem jest galwaniczne odizolowanie radiatora od komponentu.

Jak wspomniano, stosując przekładki i pasty wykonane z różnych materiałów termoprzewodzących dąży się do tego, aby uzyskać jak najlepszy kontakt obudowy elementu chłodzonego do radiatora i aby rezystancja termiczna pomiędzy radiatorem, a elementem chłodzonym była jak najmniejsza. Zwykle po takich czynnościach mieści się ona w przedziale 0,1...1 °K/W. Rezystancja termiczna pomiędzy radiatorem a powietrzem jest zwykle wielokrotnie niższa, niż rezystancja termiczna pomiędzy obudową elementu a powietrzem (typowe wartości to 2...20 K/W). Na wartość rezystancji termicznej wpływa wiele czynników, z których najbardziej istotne to kolor i powierzchnia radiatora, ruch czynnika chłodzącego wokół niego (najczęściej powietrza) oraz temperatura samego radiatora, ponieważ paradoksalnie radiator mający wyższą temperaturę ma mniejszą rezystancję termiczną.

Radiator jest modelowany w postaci obwodu RC, w którym pojemności odpowiada ciężar radiatora, a rezystancji elektrycznej – rezystancja termiczna. Zapewne czujemy intuicyjnie, że radiatory mające duży ciężar mają też większą pojemność termiczną (wyobraźmy sobie np. topienie metalowego bloku – im jest on większy, tym więcej energii będziemy musieli dostarczyć do jego stopienia). Najbardziej istotnym parametrem radiatora jest jego rezystancja termiczna. Jest to wielkość fizyczna reprezentująca opór, jaki stawia dana substancja transportowaniu energii cieplnej pomiędzy dwoma punktami. Jeśli kilka elementów przewodzących ciepło styka się ze sobą, to zachowują się analogicznie, jak zwykłe rezystory, a więc ich rezystancje termiczne mogą sumować się, jak



Fotografia 2. Zastosowanie obudowy jako radiatora w przykładowym module zasilającym

przyłączeniu szeregowym lub odwrotności ich rezystancji termicznych, jak przyłączeniu równoległym. Rezystancję termiczną ciała wyraża się za pomocą jednostki [K/W], w postaci ilorazu różnicy temperatur pomiędzy dwoma punktami i mocy, która tę różnicę temperatur wywołała.

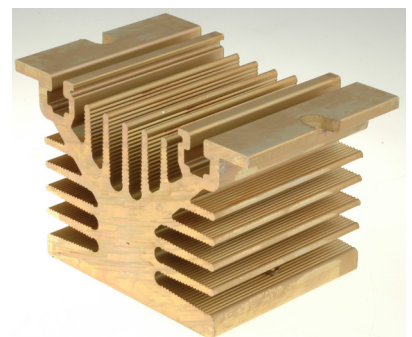
Niezmiernie ważny dla skuteczności odprowadzania ciepła jest ruch czynnika chłodzącego wokół radiatora. W większości aplikacji jest nim powietrze, którego ruch może być wymuszony (za pomocą wentylatora lub dmuchawy) lub odbywać się konwekcyjnie. W tym wypadku obudowa musi mieć odpowiednie otwory wentylacyjne umożliwiające swobodny (albo wymuszony) przepływ powietrza. Niekiedy dla takich potrzeb wykonuje się specjalne kanały wentylacyjne i montuje je wewnątrz urządzenia. Ma to tę zaletę, że przepływające powietrze nie będzie osadzało kurzu na komponentach – dostanie się on jedynie na powierzchnie chłodzone.

W niektórych urządzeniach, gdy moc odprowadzana przez radiator jest bardzo duża, jako czynnik chłodzący stosuje się ciecz – jej obieg również może być wymuszony, na przykład za pomocą pompy.

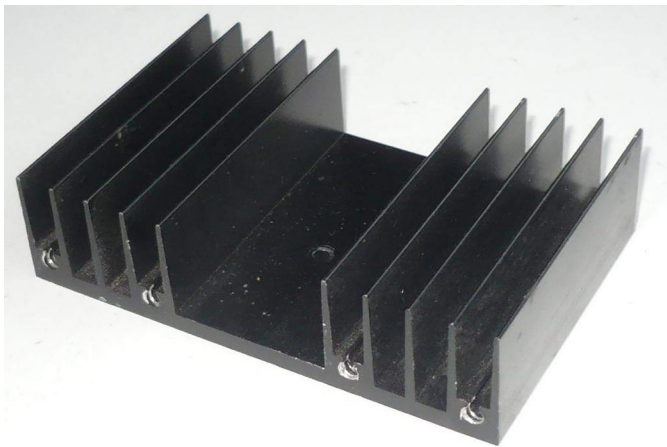
Najprostsze radiatory są w postaci odpowiednio ukształtowanego kawałka blachy aluminiowej lub – rzadziej – mosiężnej, lub miedzianej. Zwykle są one stosowane dla komponentów o niewielkiej skali integracji, które wydzielają małą moc lub mogą pracować w podwyższonej temperaturze. Wraz ze wzrostem ilości mocy traconej stosuje się radiatory o bardziej skomplikowanych kształtach, mające wiele żeberek, tłoczone lub odlewane z aluminium lub jego stopów. Aby poprawić właściwości radiatora, często stosuje się aluminium oksydowane (czernione) lub eloksalowane (anodowane), którego powierzchnia ma lepsze zdolności emisyjne w zakresie promieniowania podczerwonego. W niektórych urządzeniach jako radiator wykorzystuje się jego obudowę. W takim wypadku jest ona wykonana z aluminium, czasami z ożebrowaniem, i może być zanurzona w cieczy lub owiewana przez powietrze (**fotografia 2**).

Największą popularnością cieszą się radiatory żeberkowe oraz o kształtach oznaczanych literami Y, U, H. Przykładowe radiatory o tych kształtach pokazano na **fotografiach 3...5**. Wiele z gotowych, dostępnych w handlu radiatorów, jest przystosowanych do konkretnego typu obudowy, np. TO-220, albo przeznaczonych do podzespołów konkretnego typu, takich jak tyrystory, diody prostownicze, triaki, tranzystory mocy i inne. Gdy radiator nie mieści się w obudowie, na przykład ma wymiary ograniczone przez możliwość montażu na standardowej płycie głównej komputera, to można zastosować tzw. ciepłowody mogące jednocześnie pełnić rolę elementów mocujących dodatkowy radiator. Przykład takiego rozwiązania zastosowanego w karcie graficznej Radeon 9000XT pokazano na **fotografii 6**.

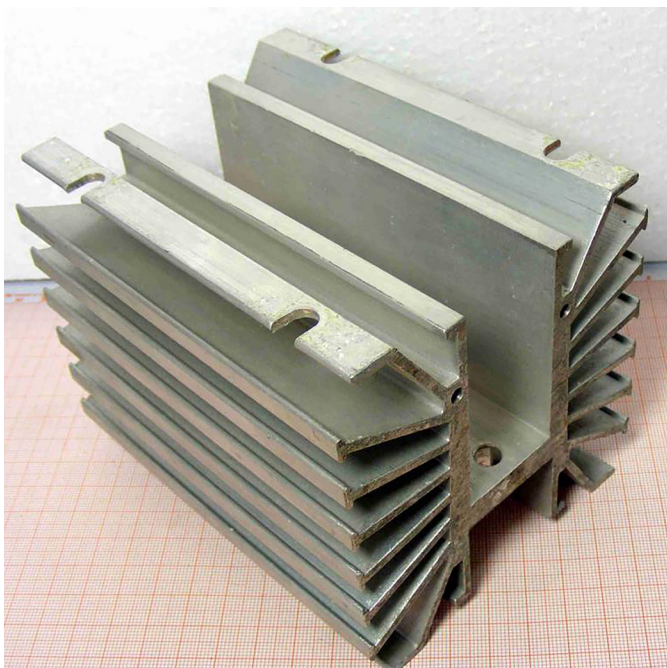
Współcześnie radiatory nie są wykonywane jedynie w formie kształtek z bloków metalowych. Dla przykładu, ciekawą grupę rozwiązań stanowią radiatory elastyczne firmy Chomerics, która ma w ofercie dwie rodziny takich produktów: wykonane w postaci cienkiej folii miedzianej plastyczne radiatory T-Wing oraz grubsze, wykonane z tlenku glinu radiatory C-Wing, wyposażone w skrzydełka, które użytkownik może wyginać stosownie do swoich potrzeb. Takie radiatory są wygodne w montażu, ponieważ mają postać 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 K. Innym, ciekawym rozwiązaniem są zaprojektowane przez firmę OKI przy współpracy z firmą Ceramission radiatory Stick-it Flexible. Są one wykonane z płynnego materiału ceramicznego Cerac, który charakteryzuje się dużą sprawnością przy emisji ciepła w postaci promieniowania



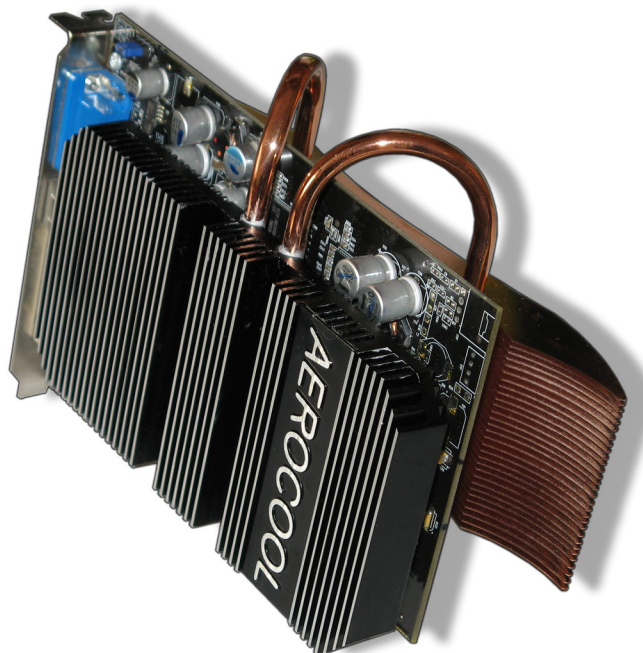
Fotografia 3. Radiator typu „Y” firmy Anly Electronics (model HS-060-50)



Fotografia 4. Radiator typu „U”



Fotografia 5. Radiator typu „H”



Fotografia 6. Radiator z ciepłowodami zastosowany na karcie graficznej Radeon 9000XT

podczerwonego. Mają postać elastycznych naklejek utwardzonych za pomocą podłoża aluminiowego.

Ze względu na rosnące ceny surowców dąży się do zastępowania droższych metali (np. miedzi) przez tańsze (np. aluminium) lub materiałów ceramicznych. Z drugiej strony, nowoczesne podzespoły elektroniczne są coraz mniejsze i coraz bardziej energooszczędne, a pobierana przez nie moc jest ograniczana do niezbędnego minimum. Ten trend powoduje, że obecnie producenci radiatorów sprzedają coraz więcej niewielkich radiatorów, które są stosowane przede wszystkim w urządzeniach powszechnego użytku oraz bardzo dużych, dla urządzeń energetycznych dużej mocy. Jednak w tym drugim wypadku, pomimo trudności technicznych, coraz częściej jest stosowana metoda chłodzenia z wymuszonym obiegiem cieczy chłodzącej.

Oferta radiatorów jest ogromna, a ich producenci stale zaskakują nowymi pomysłami. Są to rozwiązania raczej niszowe, przeznaczone do zastosowania np. w sprzęcie komputerowym, a ich przydatność w elektronice profesjonalnej jest raczej niewielka ze względu na wysoki koszt. Dlatego nadal w zastosowaniach profesjonalnych dominują tradycyjne elementy profilowane, ponieważ ewentualna korzyść jest zbyt droga dla produkcji masowej.

Wielu producentów radiatorów oferuje radiatory o specyficznych kształtach, czasami mających za zadanie jedynie wyróżnienie jego oferty i trudno znaleźć merytoryczne argumenty, które by wykazywały przewagę danego kształtu żeberek nad innymi. Dawniej za nowość uznawano radiatory szpilkowe, jednak raczej nie można stwierdzić, że ich opracowanie cokolwiek zmieniło na rynku radiatorów. Mam wrażenie, że wiele radiatorów – zwłaszcza w komputerach PC – jest wykonywanych bardziej „dla oka”, w formie, która ma zachęcić do ich zakupu zwolenników gadżetów. Przykłady takich rozwiązań pokazano na **fotografii 7** i **fotografii 8**. Mają one po prostu dobrze prezentować się, co dla niektórych urządzeń również może mieć bardzo duże znaczenie. Za tą tezę przemawia fakt, że cały czas na rynku dostępne są profile aluminiowe produkowane przez polskiego producenta – Grupę Kęty. Nie zmieniły one swojej formy od przynajmniej 30 lat, a może i dłużej. Na **rysunku 9** pokazano stronę zaczerpniętą z katalogu firmy Grupa Kęty, na której są pokazane wspomniane kształtki. Przeglądając jednak wspomniany katalog trzeba stwierdzić, że to maleńki ułamek oferty firmy, która rozwija się zupełnie w innym kierunku.

Wentylatory

Wentylator (**fotografia 10**) i dmuchawa (**fotografia 11**) są pompami powietrza i dlatego do opisu ich pracy będą miały zastosowanie te same parametry, które charakteryzują pracę każdej pompy. W wentylatorze lub dmuchawie ruch obrotowy silnika za pomocą śmigła jest zamieniany na ruch postępowy powietrza. Podstawowa różnica

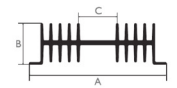
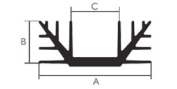
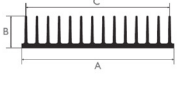
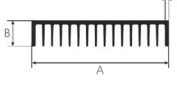
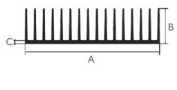


Fotografia 7. Przykładowy radiator z wentylatorem przeznaczony do chłodzenia procesora w komputerze PC. Produkt firmy Zalman

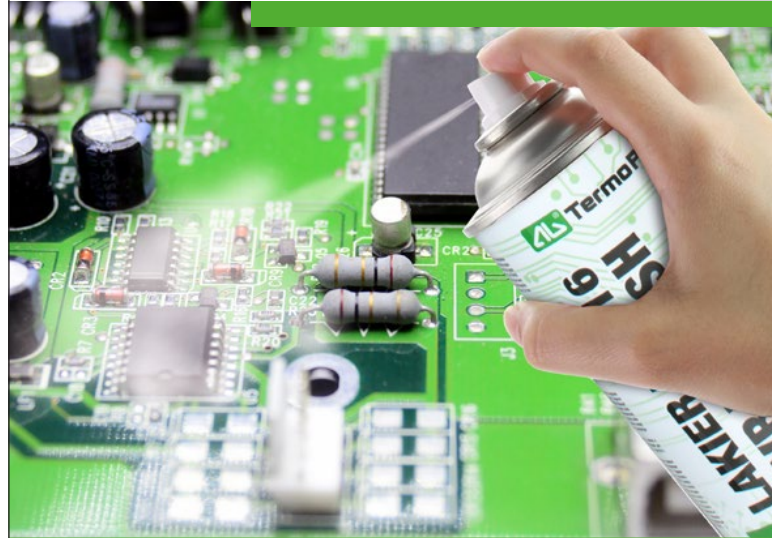


Fotografia 8. Przykładowy radiator z ciepłowodami i ogniwem Peltiera do chłodzenia procesora w komputerze PC. Efektowny, elegancki wygląd, który niekoniecznie ma wpływ wydajność rozwiązania, ale na pewno na jego estetykę. Produkt firmy Zalman

między wentylatorem a dmuchawą polega na sposobie przepływu powietrza i charakterystyce wywieranego ciśnienia. Wentylator przemieszcza powietrze w kierunku, który jest prostopadły do płaszczyzny wirowania śmigła. Może przy tym powodować znaczny jego przepływ, ale słabo radzi sobie przy dużej różnicy ciśnień, wydmuchując powietrze „przeciwko” wysokiemu ciśnieniu. Dmuchawa przemieszcza powietrze w kierunku, który jest równoległy do płaszczyzny wirowania, przy czym w porównaniu z wentylatorem wywołuje ona mniejszy przepływ. Jej zaleta jest taka, że różnica ciśnień może być duża, tzn. dmuchawa, inaczej niż wentylator, może pracować „przeciwko” dużemu ciśnieniu zewnętrznemu. W większości zastosowań wentylator lub dmuchawa pełnią rolę pomocniczą i są stosowane razem z radiatorem ułatwiając oddawanie ciepła do otoczenia. Dzięki ich zastosowaniu radiator może mieć mniejszą powierzchnię, a sprzęt może mieć otwory wentylacyjne wykonane np. z tyłu lub boku obudowy, bez potrzeby uwzględniania naturalnej cyrkulacji powietrza.

7 7.1 radiatory		radiators теплообменники		
	I.p. ref. No. Поз.	nr profilu section number № профиля	wymiar dimension размер. (AxBxCxS)	ciężar weight вес (kg/m)
	I	A4129	120x36x34	3,200
	I	A4240	74x30x32	1,900
	I	A4291	165,5x35x156	5,460
	I	Z5352	188x35x5	0,770
	I	Z6023	190,5x50x5	8,16

Rysunek 9. Strona z katalogu producenta profili aluminiowych Grupa Kęty



ZABEZPIECZANIE PŁYTEK DRUKOWANYCH

Wprowadzenie nowych wyrobów to jedna z form rozwoju naszej firmy. Aby wyjść naprzeciw potrzebom rynku, opracowaliśmy produkty LAKIER PVB 16 i Lakier PVB 60. Są to szybko schnące, przezroczyste powłoki PVB o dobrych właściwościach izolacyjnych, które chronią przed korozją płytki drukowane i inne elementy pracujące w niesprzyjających warunkach atmosferycznych.

Powłoka zapobiega powstawaniu prądów błądzących i zwarć. Tworzy zabezpieczającą i izolującą warstwę chroniącą przed wpływami środowiska takimi jak: wilgoć, utlenianie, pyły, zanieczyszczenia chemiczne.

Preparat dobrze przylega do powierzchni metalowych, plastikowych i drewna, umożliwiała lutowanie przez warstwę lakieru. Zapobiega iskrzeniu i wyładowaniom koronowym, oraz ogranicza przebicia między ścieżkami. Nie zmienia przejrzystości i elastyczności nawet po długim czasie.

Więcej informacji o produkcie na naszej stronie internetowej www.termopasty.pl



Producent: AG TermoPasty Grzegorz Gąsowski
 ul. Harcerska 8, 18-100 Łapy, tel. 85 715 33 28, 85 715 42 43
www.termopasty.pl



Fotografia 10. Przykładowy wentylator



Fotografia 11. Przykładowa dmuchawa



Fotografia 12. Miniaturowy moduł Peltiera o mocy kilku Watt

Najczęściej użytkownik ma do czynienia z wentylatorem w postaci śmigła przymocowanego do rotora silnika wprawiającego je w ruch wirowy. To śmigło jest otoczone niewielką osłoną, która jednocześnie ma na brzegach od dwóch do kilku otworów na śruby mocujące. Można spotkać również specjalne typy wentylatorów, osłonięte rodzajem tuby lub umieszczone wewnątrz kanału nawiewnego. Osłony te, oprócz mechanicznego zabezpieczenia wentylatora, redukują również wiry powstające na krawędziach łopatek śmigła tym samym zmniejszając hałas. Do napędzania wentylatorów i dmuchaw stosowane są silniki indukcyjne zasilane prądem przemiennym lub silniki bezszczotkowe zasilane prądem stałym.

Wentylatory i dmuchawy są produkowane jako lewoskrętne i prawoskrętne. Przeważnie wentylatory oferowane przez producentów mają minimalne napięcie zasilania ok. 5 V DC, a maksymalne 230 V AC. Te wartości napięcia zasilającego wynikają z wielkości napięć występujących w urządzeniach elektronicznych.

Dla trwałości wentylatora kluczowe znaczenie ma sposób łożyskowania wirnika, ponieważ to jego jakość i trwałość w największym stopniu decydują o czasie funkcjonowania wentylatora w aplikacji. Do aplikacji warto wybierać te wentylatory, które mają łożyskowanie magnetyczne. Różnica pomiędzy rozwiązaniem tradycyjnym, a wspomnianym, polega

na obniżeniu środka ciężkości rotora oraz stabilizację orbity wirnika przez zastosowanie odpowiednio ukształtowanego statora i płytki „lewitującej” w polu magnetycznym magnesu stałego. W ten sposób uzyskuje się redukcję drgań rotora, co przekłada się wprost na znaczną redukcję hałasu i obniżenie poboru energii.

Wentylatory są dostępne w ofercie wielu firm dystrybutorów. „Každá pliszka svůj ogonek chwali” i naprawdę bardzo trudno jest dokonać wyboru. Osobiście, gdy stosowałem wentylatory w aplikacjach, to wybierałem takie od sprawdzonych producentów, czasami jako kryterium stosując poziom generowanego hałasu, a czasami po prostu cenę. Trzeba jednak mieć na uwadze, że awaria wentylatora może mieć bardzo nieprzyjemne następstwa i dlatego nie warto kierować się tylko ceną.

Ogniwa Peltiera

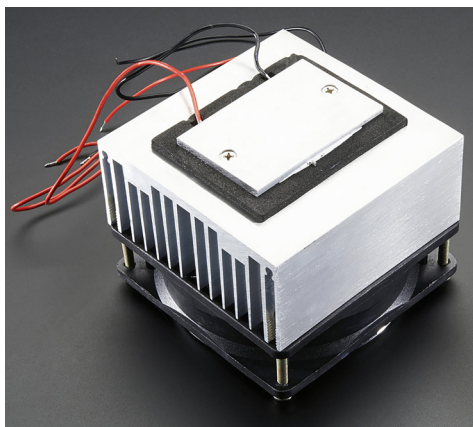
Pokazane na **fotografii 12** przykładowe ogniwo Peltiera jest elementem półprzewodnikowym, wykonanym z dwóch płytek ceramicznych, pomiędzy którymi umieszczono warstwę półprzewodnika. Najciekawszą jego właściwością jest zdolność do transportu ciepła ze strony „cieplej” na „zimną”. Dzięki temu doskonale nadaje się ono do odbierania ciepła z chłodzonych obiektów. Stosując ogniwa Peltiera trzeba zdawać sobie sprawę z tego, że ciepło odebrane z komponentu nie ulegnie „magicznemu” rozproszeniu, nie zostanie zamienione w inny rodzaj energii, ale znowuż – podobnie, jak wentylator lub dmuchawa – ogniwo Peltiera musi współpracować z radiatorem, systemem chłodzenia za pomocą cieczy, więc pełni ono jedynie rolę pomocniczą transportując ciepło ze strony zimnej na ciepłą (**fotografia 13**).

Jako element chłodzący ogniwa Peltiera najczęściej są stosowane w urządzeniach, w których jest konieczne odbieranie dużej mocy cieplnej i zapewnienie odporności na czynniki występujące w środowisku pracy. Ich istotną cechą jest możliwość precyzyjnej regulacji ilości transportowanej energii cieplnej – jest ona zależna od natężenia prądu płynącego przez termoelement, co pozwala na dokładne określenie temperatury chłodzonego obiektu.

Ogniwo Peltiera ułatwia chłodzenie komponentów elektronicznych umieszczonych w zamkniętej szczelnie obudowie, przy wysokiej temperaturze otoczenia i w niekorzystnych warunkach pracy. Ze względu na wysoką cenę, trafiają one przede wszystkim do sprzętu specjalistycznego, systemów telekomunikacyjnych, aparatury badawczo-naukowej oraz sprzętu wojskowego.

Wydajność chłodzenia za pomocą ogniw Peltiera może być łatwo zwiększona poprzez przyłożenie do siebie dwóch lub więcej ogniw stronami: gorącą jednego modułu do zimnej kolejnego. W zależności od liczby połączonych w ten sposób elementów, można uzyskać coraz niższe temperatury. Ze względu na wydzielanie ciepła Joule’a przez każde z ogniw, kolejny poziom musi odprowadzić ciepło przekazywane i wytworzone przez poprzednie poziomy, co wymusza konieczność łączenia ogniw w struktury piramidalne i zastosowanie dodatkowego, wymuszonego chłodzenia.

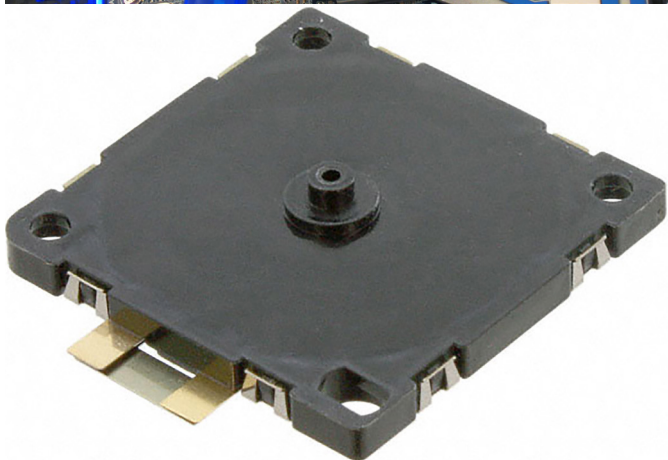
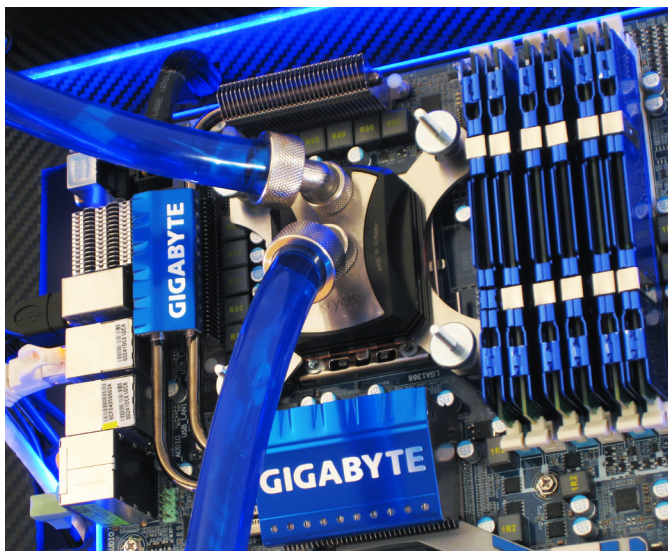
Niestety, wygoda stosowania ogniw Peltiera jest okupiona wysokimi kosztami zakupu i eksploatacji. Spowodowanie transportu ciepła wymaga dostarczenia sporej mocy zasilania, co przy niskim napięciu (zwykle rzędu 12...24 V) wymusza zasilanie dużym prądem i jest sporym problemem, nie tylko ze względu na sposób zasilania, ale również z powodu ciepła Joule’a rosnącego z kwadratem natężenia prądu. Dlatego często ogniwa Peltiera wykonuje się w postaci wielu



Fotografia 13. Przykładowy, kompletny system chłodzenia z ogniwnem Peltiera. Po jego stronie „gorącej” zamontowano wentylator i radiator



Fotografia 14. Przykładowy system chłodzenia za pomocą cieczy. Na fotografii pokazano pompę, wentylator z wymiennikiem ciepła, element chłodzący



Fotografia 15. Miniaturowa, piezoelektryczna pompa powietrza firmy Murata

pojedynczych ogniw połączonych kaskadowo, co umożliwia uzyskanie pożądanej sprawności odprowadzania ciepła bez konieczności podnoszenia natężenia prądu zasilającego. Pojedyncze ogniwa są montowane pomiędzy płytkami z materiału ceramicznego i łączone za pomocą miedzianych ścieżek. Z racji dużej gęstości oddawanej energii termicznej, moduły Peltiera zwykle stosuje się wraz z radiatorami, pastą termoprzewodzącą oraz dodatkowym systemem wymuszonego chłodzenia w postaci wentylatora lub instalacji z cieczą chłodzącą.

Teoretyczne podstawy funkcjonowania ogniwa Peltiera zostały świetnie opisane przez Piotra Góreckiego w trzech kolejnych numerach *Elektroniki Praktycznej*, od 1/1996 do 3/1996. Te artykuły są do pobrania lub przeczytania za darmo, w archiwum EP dostępnym pod adresem <http://www.ep.com.pl>. Ich lektura jest niezbędna przed zakupem ogniwa, ponieważ podano w nich zasady niezbędne dla odpowiedniego „zwymiarowania” ogniwa do systemu.

Zakup ogniwa Peltiera i niezbędnych akcesoriów to niemały wydatek, dlatego należy zwrócić szczególną uwagę na poprawne dobranie wszystkich komponentów. Opisany przez nas regulator prądu ogniwa Peltiera umożliwia osiągnięcie i utrzymanie pożądanej temperatury z zakresu $-20...+50^{\circ}\text{C}$, jednak jest to możliwe pod warunkiem zapewnienia odpowiedniej wydajności całego systemu chłodzenia. Jeśli ogniwo Peltiera nie jest właściwie dobrane, albo system chłodzenia ogniwa nie umożliwi osiągnięcia odpowiedniej różnicy temperatur po stronach zimnej i gorącej, to nie uda się osiągnąć wymaganej wydajności chłodzenia. Poprawne chłodzenie za pomocą ogniwa Peltiera może się udać tylko wtedy, gdy ogniwo jest połączone z odpowiednio wydajnym elementem chłodzącym. Zjawiska zachodzące w module Peltiera mają silny związek z temperaturą, więc parametry użytkowe zależą od warunków pracy. Ten sam moduł, zależnie od zastosowania, może mieć różną efektywność.

Aby określić możliwe do uzyskania efekty, należy przeprowadzić niezbędne obliczenia uwzględniając przy tym konkretne warunki pracy.

Chłodzenie za pomocą cieczy

Wraz ze wzrostem szybkości pracy mikroprocesorów, przede wszystkim producenci płyt głównych do komputerów PC prześcigają się w różnych opracowaniach tego typu (**fotografie 14 i 15**). Podstawową wadą takiego systemu chłodzenia jest konieczność zachowania jego szczelności przy jednoczesnym dopasowaniu do wymiarów obudowy czy urządzenia. Taki komfort mają przede wszystkim konstruktorzy urządzeń wytwarzanych w wielu tysiącach sztuk, gdzie koszty opracowania nie jako „rozkłada się” na poszczególne, wyprodukowane egzemplarze, albo konstruktorzy bardzo drogich urządzeń na przykład znajdujących zastosowanie w energetyce. Za pomocą chłodzenia tego typu można oddzielić odbieranie ciepła od jego rozpraszania. Pozwala to na znaczne odsunięcie od siebie obu tych miejsc i uniknięcie niedogodności związanych z hałasem wytwarzanym przez wentylatory wymuszające przepływ powietrza lub pompę powodującą przepływ cieczy w instalacji. Ale nic za darmo. Owszem, systemy chłodzenia cieczą charakteryzują się największą wydajnością, zwłaszcza przy zastosowaniu nowoczesnych płynów chłodzących na bazie glikoli, ale jednocześnie są rozwiązaniem kłopotliwym i rozbudowanym technicznie, wymagającym okresowej wymiany lub obsługi, a tym samym drożym nie tylko w budowie, ale i w eksploatacji.

Podsumowanie

Postępująca miniaturyzacja urządzeń stawia niemałe wyzwania przed projektantami urządzeń. Ma to duże znaczenie zwłaszcza w wypadku urządzeń przenośnych, ponieważ zwykle w ich obudowach nie ma zbyt wiele miejsca na zamontowanie obszernego radiatora, a trzymanie w rękach gorącego urządzenia nie jest przyjemne z punktu widzenia użytkownika. Dlatego we współczesnym urządzeniu nie wystarczy zastosowanie radiatora, wentylatora lub dmuchawy, ale należy rozwiązywać problemy kompleksowo, odpowiednio dobierając częstotliwość taktowania, wykonując sprawny energetycznie układ zasilania itp. Z drugiej strony, producenci komponentów chłodzących stale zmieniają ofertę dopasowując ją do zmieniającego się rynku. Współcześnie wydaje się, że największa część ich oferty jest związana nie tyle z systemami procesorowymi, ile z oświetleniem LED, gdzie odprowadzanie ciepła z niewielkiej struktury półprzewodnikowej jest naprawdę nie lada wyzwaniem. Opracowuje się też specjalne typy wentylatorów, dmuchaw i pomp powietrza (np. pokazany na **fotografii 15** miniaturowy, piezoelektryczny „wentylator” firmy Murata).

Mimo tego, że konstruktorzy elektronicy raczej unikają stosowania wentylatorów i raczej zastępuje się je systemami chłodzenia pasywnego, to jednak w wielu zastosowaniach trudno zamienić wentylator lub dmuchawę na inny komponent chłodzący za rozsądną cenę. Dlatego rynek pożąda wszystkich opracowań, które podwyższają trwałość komponentów chłodzących. Przykładem są wentylatory z łożyskowaniem magnetycznym lub wersje o podwyższonej szczelności, co ogranicza negatywny wpływ kurzu i zanieczyszczeń na elementy ruchome. Producenci walczą również z hałasem powodowanym przez elementy chłodzące, ponieważ narzekają na niego użytkownicy.

Oferta radiatorów dostosowuje się za zmieniającymi się obudowami komponentów półprzewodnikowych. Oznacza np. opracowanie wersji przeznaczonych dla obudów SMD, radiatorów przyklejanych lub do chłodzenia diod LED. Często jako radiator jest wykorzystywana płytka drukowana, do której komponenty półprzewodnikowe są mocowane za pomocą specjalnego pada termicznego. Taka płytka jest też używana jako element bazowy dla całego urządzenia, co powoduje, że na rynku jest zapotrzebowanie nie tylko na typowe laminaty szklane lub fenolowe, ale również na podłoża ceramiczne lub inne, które pozwalają na skuteczne odprowadzanie i rozpraszanie ciepła np. ze struktur zespołów diod świecących LED o dużej mocy. Rośnie też zapotrzebowanie na inne materiały termoprzewodzące, związane ze specyficznymi aplikacjami, takie jak: kleje, pasty, dwustronne taśmy klejące, podkładki izolujące i inne.

Jacek Bogusz, EP