

R a d i a t o r y w sprężeniu elektronicznym

Podczas pracy każdego elementu i urządzenia elektronicznego wydzielają się ciepło. Ciepło to musi być odprowadzone do otoczenia - w przeciwnym wypadku temperatura nadmiernie wzrośnie i spowoduje uszkodzenie elementu(-ów).

Konstruktor powinien tak dobrać radiator i warunki chłodzenia, żeby nie przegrzać elementu. Może wprawdzie dobrać radiator "na oko", ale taka metoda daje zadowalające rezultaty jedynie w przypadku doświadczonych konstruktorów. Parametry radiatora można także obliczyć. Zagadnienie nie jest trudne. Wystarczy poznać podstawowe zależności i wzory. Wszystkie niezbędne informacje przedstawio-

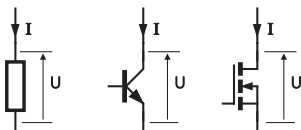
no w poniższym artykule. Proces obliczania radiatora można podzielić na trzy główne części:

1. Obliczenie mocy strat cieplnych elementu.
2. Obliczenie wymaganej rezystancji termicznej radiatora.
3. Dobór kształtu i wielkości radiatora oraz warunków chłodzenia.

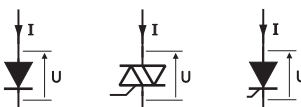
1. Moc strat cieplnych

W elemencie, przez który przepływa prąd, i na którym występuje napięcie, wydzielają się ciepło. Energia elektryczna zamienia się w ciepło. Wydzielana moc strat cieplnych wyraża się prostym wzorem

$$P = U \cdot I$$



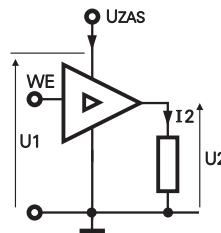
Rys 1.



Rys 2.



Najprostszą sprawą jest w przypadkach pokazanych na rysunku 1, gdy wystarczy zmierzyć wartości płynącego prądu (stałego) i napięcia (stałego) na elemencie. Podobnie można obliczyć moc strat w przypadkach pokazanych na rysunku 2, jednak generalnie w przypadku odkształconych przebiegów zmiennych trzeba stosować mierniki wartości skutecznej (tzw. True RMS), ponieważ popularne tanie multimetry nie zapewniają wtedy wystarczającej dokładności pomiarów. W przypadku pracy im-

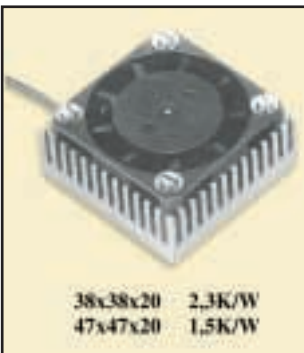
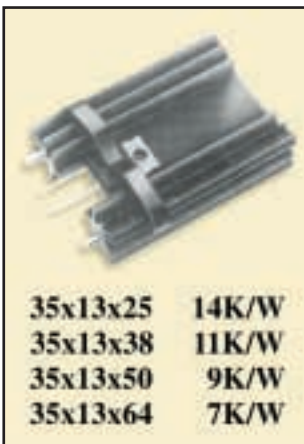


Rys 3.

pulsowej (np. w przetwornicach impulsowych), do obliczeń trzeba użyć nie tylko wartości napięcia nasycenia oraz czasów, ale także uwzględnić straty przełączania - temat ten wykracza jednak poza ramy niniejszego artykułu. Nieco trudniejsze jest też oblicza-

nie strat w przypadku scalonego wzmacniacza mocy - zobacz rysunek 3. Tu moc strat nie jest iloczynem napięcia zasilającego U_I i (tętniącego) prądu zasilania I_I

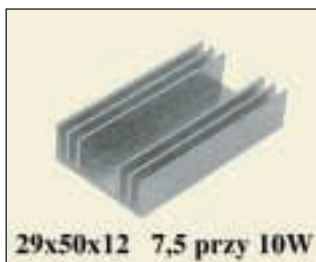
$$P_{zas} = U_I \cdot I_I$$



Owszem, tyle wzmacniacz pobiera ze źródła zasilania, ale znaczną część tej mocy oddaje do głośnika. Moc oddawana do głośnika to (w przybliżeniu)

$$P_{wy} = U_2 \cdot I_2$$

gdzie U_2 , I_2 to napięcie i prąd zmienny o częstotliwościach akustycznych.



Moc strat ciepłych jest różnicą mocy zasilania i mocy wyjściowej doprowadzonej do głośnika

$$P = P_{zas} - P_{wy}$$

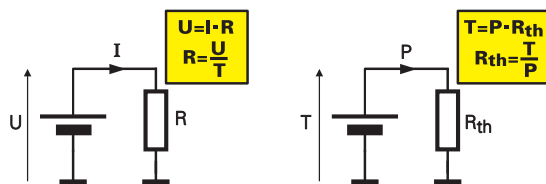
W praktyce obliczenie rzeczywistej mocy strat wydzielającej się we wzmacniaczu podczas normalnej pracy nie jest takie łatwe, ponieważ rzeczywiste sygnały akustyczne są mieszaniną przebiegów o zmieniających się częstotliwościach i amplitudach. Czasem podaje się lub przyjmuje sprawność wzmacniacza, która dla typowych układów scalonych i typowych wzmacniaczy tranzystorowych klasy AB wynosi 50...75%. W pierwszym przybliżeniu można przyjąć, że sprawność typowego wzmacniacza mocy audio wynosi 66%, co znaczy, że około 2/3 mocy P_{zas} zamienia się na moc wyjściową P_{wy} , a 1/3 to moc strat ciepłych. Inaczej mówiąc, moc strat jest połową mniejsza od mocy wyjściowej. Przykładowo dla wzmacniacza o mocy wyjściowej 60W można przyjąć moc strat równą 30W.

W katalogach często podaje się moc strat scalonego wzmacniacza przy maksymalnym ciągłym wysterowaniu przebiegiem sinusoidalnym, różnych napięciach zasilania i danej rezystancji głośnika (4Ω, 8Ω). Taką podaną moc strat można przyjąć do dalszych obliczeń, ale w rzeczywistych warunkach średnia moc strat będzie trochę mniejsza, ponieważ w rzeczywistych sygnałach audio występują okresy ciszy.

Po określeniu mocy strat można przejść do dalszych obliczeń.

2. Rezystancje termiczne

Ciepło związane z mocą strat, wydzielające się w aktywnej strukturze tranzystora, diody, układu scalonego czy innego elementu trzeba odprowadzić do otoczenia. Przepływ ciepła rządzią bardzo proste zależności, które można nazwać termicznym prawem Ohma. Sprawy te były dokładnie omówione w EdW 7/98...9/98. Teraz tylko krótkie przypomnienie: w obwodzie elektrycznym jest źródło napięcia o napięciu U ; w obwodzie termicznym jest źródło ciepła o jakiejś temperaturze T . W obwodzie elektrycznym występuje przepływ prądu I przez rezystancję R ; w obwodzie cieplnym występuje przepływ mocy cieplnej

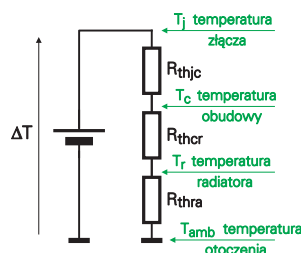


Rys. 4 Analogia obwodu elektrycznego i termicznego

P przez rezystancję termiczną obwodu R_{th} , wyrażaną w kelwinach na wat (K/W) lub stopniach Celsjusza na wat (°C/W). Ilustruje to **rysunek 4**, na którym podano też odpowiednie wzory.

W przypadku tranzystorów i układów scalonych małej mocy, w katalogach podaje się wartość wypadkowej rezystancji termicznej R_{thja} (między złączem a otoczeniem). Spotykane wartości R_{thja} takich elementów zawierają się mniej więcej w zakresie 600K/W...100K/W. W praktyce umożliwia to rozproszenie w typowych warunkach pracy 0,1...1W mocy strat. Przeciętny tranzystor mocy w obudowie TO-220 bez radiatora ma rezystancję termiczną R_{thja} około 80...90K/W, co umożliwia rozproszenie co najwyżej 1,5W mocy! Jeśli możliwości tranzystora mocy wykorzystane mają być w pełni, konieczne jest zastosowanie zewnętrznego radiatora. W takim przypadku całkowita rezystancja termiczna R_{thja} składa się z trzech oddzielnych składników, jak pokazuje **rysunek 5**.

W tym przypadku całkowita rezystancja termiczna R_{thja} składa się z trzech oddzielnych składników, jak pokazuje **rysunek 5**.



Rys. 5 Obwód termiczny w przypadku zastosowania radiatora

Na swej drodze ze złącza do otoczenia ciepło musi przejść przez:

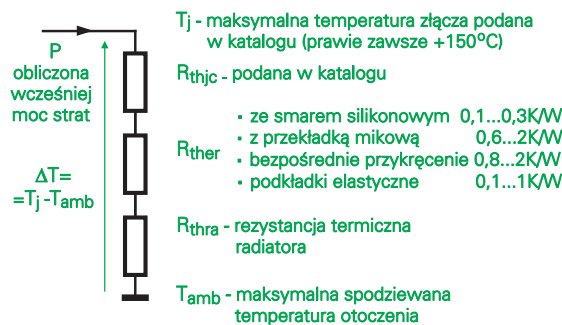
- rezystancję termiczną złącze-obudowa (R_{thjc} , junction, złącze - case, obudowa),
- rezystancję termiczną obudowa-radiator (R_{thcr}),
- rezystancję termiczną radiator-otoczenie (R_{thra} , ambient, otoczenie).

termicznej radiatora. Wszystkie inne parametry albo są podane w katalogach, albo należy je przyjąć według planowanych warunków pracy. Moc strat została już obliczona w poprzednim kroku. Maksymalna dopuszczalna temperatura złącza to zwykle +150°C. Do obliczeń należy jednak podstawić nie T_j , tylko różnicę $T_j - T_{amb}$, gdzie T_{amb} to najwyższa spodziewana temperatura otoczenia w czasie pracy urządzenia. Wartość R_{thjc} należy odszukać w karcie katalogowej danego elementu - może wynosić od 0,3K/W do kilku K/W. Wartość R_{thcr} zależy od sposobu mocowania elementu na radiatorze. Bezpośrednie przykręcenie elementu do radiatora daje rezystancję R_{thcr}



rzędu 0,8...2K/W. Zastosowanie smaru silikonowego pozwala zmniejszyć ją nawet do 0,1...0,3K/W. Zastosowanie izolacyjnej podkładki mikowej o grubości 0,05mm (posmarowanej z dwóch stron pastą silikonową) daje rezystancję (0,6...2K/W, zależnie od grubości miki i powierzchni styku). Podkładka nie posmarowana ma rezystancję 1,0...4K/W. Znacznie lepsze może być zastosowanie elastycznych przekładek (także rodzaj silikonu), które w zależności od wykonania (grubość i materiału) mogą zarówno

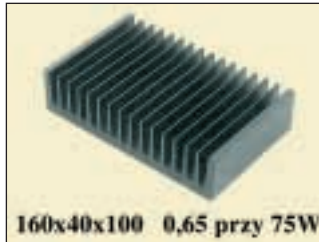
Rysunek 6 (oraz zdrowy rozsądek) wskazują, że celem opisywanej teraz procedury jest obliczenie wartości rezystancji R_{thra} , czyli właśnie rezystancji



Rys. 6 Parametry potrzebne do obliczeń

stanowią izolację galwaniczną, jak i zmniejszać rezystancję cieplną. Cieniutkie przekładki elastyczne mają podobnie dobre właściwości jak cienka warstwa pasty silikonowej. Grubsze zapewniają izolację galwaniczną, a rezystancja termiczna jest mniejsza od tej z posmarowanych przekładek mikowych.

Mając powyższe dane, można obliczyć rezystancję radiatora. Najpierw jednak należy określić



wymaganą (maksymalną) całkowitą rezystancję termiczną

$$R_{thja} = (T_j - T_{amb}) / P$$

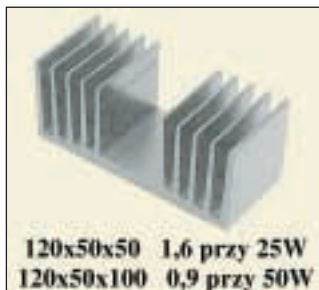
Następnie

$$R_{thra} = R_{thja} - (R_{thjc} + R_{thcr})$$

Mając R_{thra} należy dokonać wyboru radiatora.

3. Właściwości radiatorów

Jak się można spodziewać, rolę radiatora może pełnić każdy metalowy przedmiot. Rezystancja termiczna takiego radiatora zależy od wielu czynników. Przekazywanie ciepła z radiatora do otoczenia następuje dzięki:



- przewodzeniu ciepła przez powietrze,

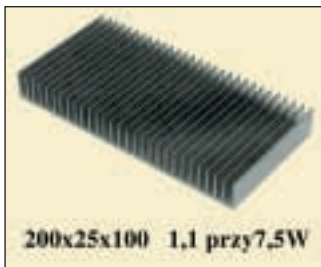
- konwekcji, czyli unoszeniu ciepła w związku z ruchem powietrza,

- promieniowaniu (podczerwonymu).

Już to wskazuje, że na rezystancję termiczną radiatora mają wpływ liczne czynniki. Najważniejsze z nich to:

1. wielkość powierzchni radiatora,
2. kształt radiatora,
3. kolor powierzchni,
4. ruch powietrza,
5. temperatura radiatora.

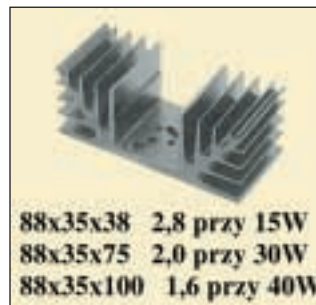
Zaskoczeniem może być fakt, że rezystancja termiczna radiatora zależy od jego temperatury. Ten sam radiator w wyższej temperaturze będzie miał mniejszą rezystancję termiczną choćby dlatego, że odda więcej ciepła wskutek promieniowania. Ogromny wpływ na rezystancję termiczną radiatora ma także ruch powietrza. Duże znaczenie ma więc zapewnienie odpowiedniej cyrkulacji powietrza wewnątrz obudowy. Jeśli podgrzane przez radiator powietrze (łżejsze od zimnego) nie będzie mogło swobodnie wydostać się z obudowy, to możliwości radiatora nie będą wykorzystane. W skraj-



nym przypadku wskutek wzrostu temperatury wewnątrz źle wentylowanej obudowy nastąpi przegrzanie i uszkodzenie elementu. Z drugiej strony zastosowanie wymuszonego ruchu powietrza (wentylator) pozwala zmniejszyć rezystancję termiczną nawet kilkakrotnie!

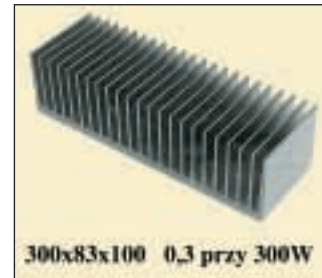
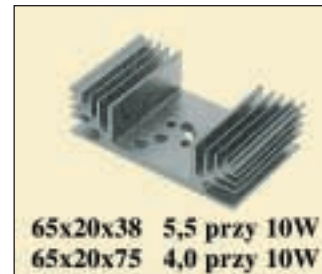
Informacje te wskazują, że **wartość rezystancji termicznej radiatora R_{thra} nie jest stała i zależy od warunków pracy**. Jest to bardzo zła wiadomość dla wszystkich, którzy szukają w tym artykule dokładnych recept. Celem artykułu nie jest ani podanie wartości R_{thra} dla konkretnych radiatorów, ani nawet

podanie jednoznacznych, precyzyjnych przepisów na projektowanie radiatorów o wymaganej rezystancji termicznej. Dokładne obliczenie rezystancji danego radiatora (z dokładnością 5%) jest wprawdzie wykonalne, ale ponieważ w grę wchodzi szereg czynników, w tym problem wentylowania obudowy, wymagałoby znajomości wielu dodatkowych parametrów, a obliczenia byłyby skomplikowane. Można więc przyjąć, że **w warunkach amatorskich obliczenie dokładnej wartości R_{thra} jest praktycznie niemożliwe**. Podawane w katalogach, obliczane różnymi sposobami oraz odczytywane z wykresów wartości R_{thra} radiatorów są z ko-



nieczności **przybliżone** bądź dotyczą jakichś konkretnych warunków pracy. W skrajnych warunkach rezystancja termiczna takiego radiatora może być radykalnie mniejsza (bardzo dobra cyrkulacja powietrza lub wentylator) lub znacząco większa (źle wentylowana obudowa).

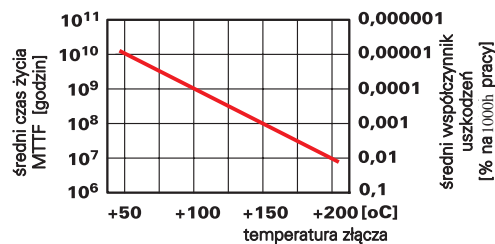
Nie znaczy to jednak, że podawane lub wyliczone wartości są bezwartościowe. Czytelnicy tego artykułu powinni spojrzeć na problem z szerszej perspektywy. Pomogą w tym następujące pytania. Czy radiator może mieć rezystancję termiczną większą, niż wyliczona wcześniej R_{thra} ? Co się stanie, gdy radiator będzie za mały (zbyt duża wartość



R_{thra})? A co się stanie, gdy będzie za duży (wartość R_{thra} mniejsza od wyliczonej)?

Oczywiście, gdy rezystancja R_{thra} będzie za duża, wzrośnie temperatura złącza (struktury). Kluczowe znaczenie ma tylko jeden parametr: temperatura złącza. Dlaczego? Bo temperatura złącza decyduje o **prawdopodobieństwie uszkodzenia**. Wbrew potocznym a fałszywym wyobrażeniom, wzrost temperatury powyżej magicznej granicy $+150^{\circ}\text{C}$ nie spowoduje automatycznego uszkodzenia elementu półprzewodnikowego (niektóre diody mają dopuszczalną temperaturę złącza $+175^{\circ}\text{C}$, a nawet $+200^{\circ}\text{C}$).

Temperatura $+150^{\circ}\text{C}$ została wybrana umownie. Po prostu ze wzrostem temperatury gwałtownie rośnie **prawdopodobieństwo uszkodzenia**. Ilustruje to rysunek 7, gdzie na osi pionowej zaznaczono w skali logarytmicznej przewidywany czas pracy (i odpowiadające temu prawdopodobieństwo uszkodzenia) w funkcji temperatury złącza dla jakiegoś elementu elektronicznego. Jak z tego widać, wzrost temperatu-



Rys. 7 Niezawodność w funkcji temperatury

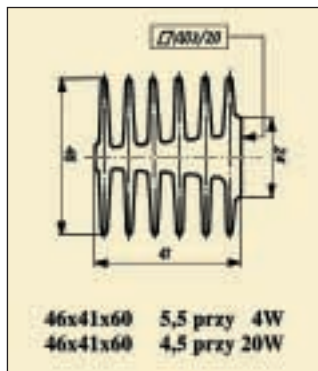
ry złącza mniej więcej o 20°C powoduje dwukrotny wzrost prawdopodobieństwa uszkodzenia. Tak więc, nie ma tu jakiejś granicy, gwałtownego skoku. Trzeba więc było przyjąć umowną temperaturę, w której to prawdopodobieństwo będzie akceptowalnie małe. Wybrano $+150^{\circ}\text{C}$. Po prostu! Przeciętny czas pracy do uszkodzenia (MTTF - Mean Time To Failure) wynosi dla elementu, którego dotyczy rysunek 7, ponad 10000 lat (10^8 godzin), a prawdopodobieństwo uszkodzenia elementu w czasie 1000 godzin pracy wynosi około 0,001%. Wartości te mogą się wydawać niewiarygodnie korzystne, ale trzeba pamiętać, że dotyczą pojedynczego

elementu - gdy takich elementów w urządzeniu jest więcej, prawdopodobieństwo uszkodzenia tego urządzenia radykalnie rośnie. W każdym razie widać, że zwiększenie temperatury o kilka czy kilkanaście stopni ponad katalogowe $+150^{\circ}\text{C}$ nie jest aż takie groźne. Gdyby ustalono, że najwyższa temperatura złącza wynosi $+175^{\circ}\text{C}$, z wyliczeń wychodziłyby większe dopuszczalne wartości Rthra, co oznaczałoby możliwość

stosowania mniejszych radiatorów, ale za to zauważalnie zwiększyłyby się prawdopodobieństwo - właśnie prawdopodobieństwo, a nie pewność uszkodzenia. Gdyby z kolei przyjąć dopuszczalną górną temperaturę złącza powiedzmy $+100^{\circ}\text{C}$, z obliczeń wychodziłyby małe wartości Rthra - musielibyśmy stosować wielkie radiatory, ale

za to ryzyko uszkodzenia byłoby niemal dziesięciokrotnie mniejsze.

Co z tego wynika? Przekroczenie temperatury złącza o 5, 10 czy nawet 20°C nie jest katastrofą. Nie trzeba się więc przesadnie martwić.



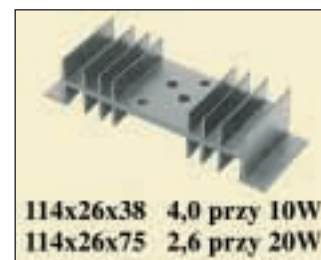
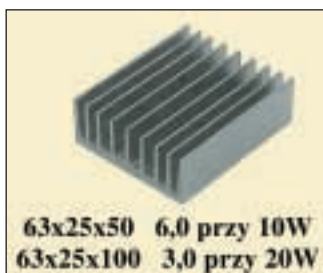
Jak się jeszcze okaże, występuje tu korzystne zjawisko - ze wzrostem temperatury rezystancja Rthra maleje (zwiększone promieniowanie i lepsza konwekcja), a więc

nie jako skompensuje część popełnionego błędu. Nie oznacza to jednak, że warto oszczędzać na radiatorach. Jak udowadnia rysunek 7, zastosowanie radiatora o większych wymiarach i praca w niższej temperaturze złącza znacząco poprawi niezawodność urządzenia. W praktyce okazuje się, że podawane w katalogach

i obliczane wartości Rthra radiatorów wyznaczane są ze znaczącym zapasem, dlatego można je śmiało wykorzystywać jako złoty środek. W urządzeniach, które mają być przede wszystkim niezawodne, warto stosować potężniejsze radiatory. W sytuacjach, gdzie kluczową sprawą są małe wymiary, można dać mniejszy radiator, starannie obliczając lub lepiej mierząc jego parametry.

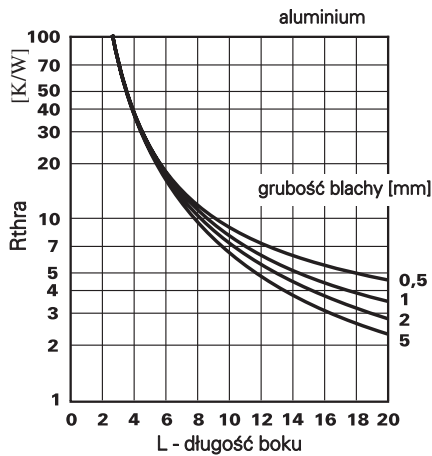
Generalnie należy trzymać się zdrowej reguły, że **lepiej zastosować radiator większy, niż za mały**.

A teraz garść informacji o dostępnych radiatorach i sposobach obliczania rezystancji Rthra.



Przykłady

W praktyce bardzo często w roli radiatora stosowany jest najzwyczajniejszy kawałek blachy aluminiowej, rzadziej mosiężnej lub miedzianej. Blachy stalowej unika się z kilku powodów, ale czasem bywa też stosowana. **Rysunek 8** pozwala szacunkowo określić rezystancję termiczną kwadratowego



Rys. 8 Rezystancja radiatora z blachy (wg ITT)

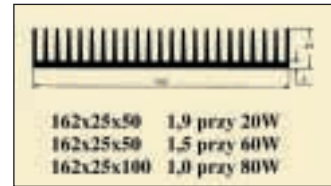
blaszanego radiatora umieszczonego pionowo.

Przy poziomym umieszczeniu blachy rezystancja wzrasta o około 30%. W przypadku blachy miedzianej lub mosiężnej rezystancja termiczna jest mniejsza o ok. 20%, natomiast w przypadku blachy stalowej, o około 20...30% gorsza. Wykres z rysunku 8 jest oparty na danych firmy ITT Intermetall. Wartości obliczone na podstawie rysunku 8 można bez obaw przyjąć do obliczeń - chłodzenie będzie dobre, nawet będzie zapas. Dane innej firmy wskazują, że w rzeczywistych warunkach rezystancja termiczna może być znacznie mniejsza.

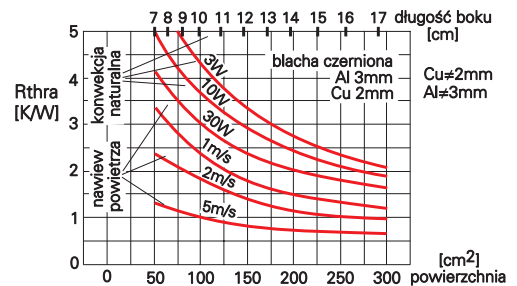
Rysunki 9 i 10 przedstawiają zależność rezystancji termicznej kwadratowego, blaszanego radiatora z blachy aluminiowej o grubości

3mm (lub miedzianej 2mm) czernionej (oksydowanej) i zwykłej, jasnej od powierzchni (długości boku). Nietrudno się zorientować, że dane z rysunku 8 są bardziej pesymistyczne. Rysunki 9 i 10 wskazują pośrednio, jak dużo zależy od temperatury radiatora (mocy traconej) i jak korzystne jest zastosowanie wentylatora.

Dokładniejsza analiza rysunków 9 i 10 przekonuje jednak, że w rzeczywistych warunkach nie zawsze uda się wykorzystać zmniejszenie się rezystancji R_{thra} wynikające ze wzrostu mocy traconej i temperatury. Przykładowo według rysunku 10 kawałek najzwyczajniejszej blachy aluminiowej o wymiarach $10 \times 10 \text{ cm}$ (100 cm^2), przy mocy traconej równej 30W, ma zaskakująco małą rezystancję termiczną - tylko 3,5K/W. Nie znaczy to, że przy współ-



pracy z tranzystorem uda się bezpiecznie stracić te 30W. Łatwo bowiem obliczyć, że przy temperaturze otoczenia $+25^\circ\text{C}$ mocy traconej 30W i rezystancji R_{thra} 3,5K/W ($3,5^\circ\text{C/W}$) temperatura radiatora musiałaby wynosić

$$T_r = 25^\circ\text{C} + (30\text{W} * 3,5\text{K/W}) = +130^\circ\text{C}$$


Rys. 9 Radiatory z blachy czernionej

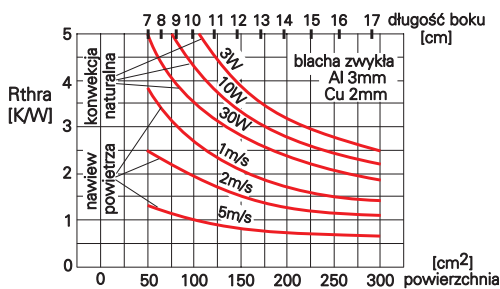
Zakładając, że rezystancja R_{thja} tranzystora wynosi 2K/W (obudowa TO-220), a dzięki zastosowaniu smaru silikonowego $R_{thcr} = 0,2K/W$, temperatura złącza wyniosłaby

$$T_j = T_r + P * (R_{thja} + R_{thcr})$$

$$T_j = 130 + 30 (2,0 + 0,2)$$

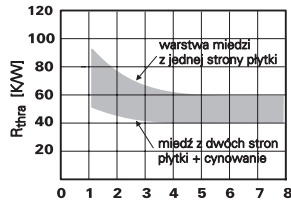
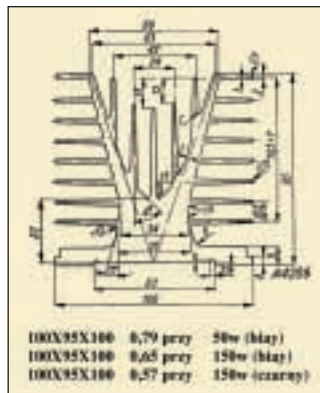
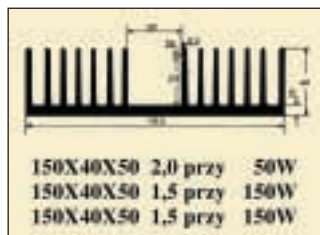
$$= +196^{\circ}C$$

Czyli trochę za dużo, jak na tranzystor. Poza tym do obliczeń należałoby przyjąć wyższą maksymalną temperaturę otoczenia, a nie $+25^{\circ}C$. Trzeba jednak przyznać, że w takich warunkach teoretycznie mogłyby pracować niektóre diody mające dopuszczalną



Rys. 10 Radiatory z blachy białej

temperaturę złącza równą $+200^{\circ}C$. W takim skrajnym przypadku, gdy radiator jest "wyżłowywany" do ostateczności, trzeba jeszcze zwrócić pod uwagę, że wykresy z rysunków 9 i 10 dotyczą blachy umieszczonej pionowo na wolnym powietrzu. Zamknięcie w obudowie niewątpliwie pogorszy sytuację, a 30W mocy to



Rys. 11 Rezystancja radiatora "drukowanego"

niebagatelna ilość ciepła. Nawet gdyby konstruktor zastosował przewodną obudowę, trzeba się liczyć z tym, że po dłuższym czasie eksploatacji na radiatorze osadzi się kurz, który na pewno nie poprawi właściwości cieplnych. A kto zaręczy, że przyszły użytkownik nie postawi urządzenia na boku lub nie przykryje go czymś, utrudniając przepływ powietrza? Kto wykluczy wtedy wzrost temperatury o dalsze kilkadziesiąt,

a nawet 100 stopni?

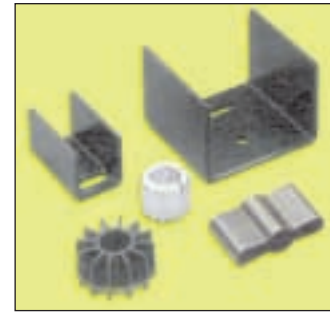
Z takich istotnych względów bezpieczniejsze jest zastosowanie znacznie większego radiatora, czyli oparcie się na ostrożnych danych z rysunku 8.

Wykres dotyczący blachy miedzianej sugeruje możliwość zastosowania w roli radiatora warstwy miedzi na płytce. Radiatory takie są stosowane przede wszyst-

kim w układach z SMD. Rysunek 11 pokazuje, że miedziane pole na płytce może mieć rezystancję R_{thra} rzędu 40...60K/W, co umożliwi rozproszenie do 2...3W mocy strat. Ze względu na małą grubość warstwy miedzi sposobem tym nie da się uzyskać wartości R_{thra} mniejszych niż 40K/W. Należy też pamiętać, że polakierowanie (maskowanie) takiego drukowanego radiatora znacząco pogarsza jego parametry. Powierzchnię miedzi można natomiast pocynować.

Zestawienie rysunków 8...11 nasuwa nieodparty wniosek, że informacja z poszczególnych firm nie pokrywają się ze sobą. Zestawienie to niedwuznacznie wskazuje, że cieniutka warstwa miedzi na płytce ma lepsze właściwości niż tej samej wielkości kawałek blachy wg rysunku, co oczywiście nie jest prawdą. Potwierdza się wniosek, że dane z rysunku 8 pozwalają dobrać radiator ze sporym zapasem.

Rysunki 12 i 13 pozwolą określić rezystancję termiczną radiatorów wykonanych z kształtowników aluminiowych produkcji krajowej. Dane dotyczą radiatorów białych. Te same radiatory o powierzchni czarnej (oksydowanej) będą mieć rezystancję termiczną o 30...45% mniejszą. Oczywiście radiatory powinny być umieszczone tak, by powietrze mogło swobodnie przepływać z dołu do góry między żebrami radiatora. Radiatory z żebrami powinny pracować tylko w takiej pozycji - przy innym



ustawieniu przepływ powietrza będzie bardzo utrudniony i rezystancja R_{thra} znacząco wzrośnie.

Zamieszczone wykresy pozwolą określić R_{thra} jedynie kilku profili. W przypadku innych należy po prostu wybrać profile o zbliżonych wymiarach, kształtach i szacunkowo określić rezystancję posiadanego radiatora porównując z podobnymi. Pomocą będą pozostałe rysunki rozsiane po artykule, na których pokazano kilkanaście typowych radiatorów dostępnych w handlu. Pod każdym rysunkiem podano wymiary w milimetrach oraz rezystancję termiczną R_{thra} w K/W ($^{\circ}C/W$) przy określonej mocy strat.

Informacje przedstawione w artykule całkowicie wystarczą konstruktorowi-hobbyście do oszacowania rezystancji termicznej dowolnego radiatora. Wielu Czytelników zechce je praktycznie wykorzystać. I to naprawdę wystarczy. A dla leniwych, którym nie chce się wykonać opisanych wyliczeń czy rozważań, oraz dla zdeklarowanych praktyków, którzy nie uwierzą, jeśli nie dotkną, opracowany został nieskomplikowany przyrząd, pozwalający nie tylko ocenić rezystancję termiczną radiatora, ale od razu określić moc strat, jaką rozproszy dany radiator w rzeczywistych warunkach pracy.

Przyrząd ten zostanie zaprezentowany w jednym z najbliższych numerów.

Piotr Górecki