

Kontynuujemy trzyczęściowy artykuł o radiatorach. W drugiej części omawiamy rezystancję cieplną obudowa-radiator.



Radiatory część 2

R_{thcr}

Termiczna rezystancja styku obudowa - radiator zależy od wielu czynników. Wymieńmy tylko wielkość powierzchni styku, jej gładkość, czystość, stopień utlenienia, siłę docisku i rodzaj stosowanych smarów i przekładek.

Tutaj użytkownik ma już dużo do zrobienia. Przede wszystkim aluminiowe kształtowniki nie mają dokładnie gładkiej powierzchni. Po wywierceniu i nagwintowaniu (z użyciem denaturatu) niezbędnych otworów zawsze należy bardzo drobnym pilnikiem lub na płaskiej oselce dokładnie wyrównać i oczyścić z tlenków miejsce zamocowania przyrządów półprzewodnikowych. Minimalne nawet nierówności i obecność cienkiej nawet warstewki powietrza czy tlenków znacznie zwiększają rezystancję termiczną styku. Należy pamiętać, że aluminium bardzo szybko się utlenia tworząc na powierzchni w ciągu kilku sekund cieniutką szczelną warstwę tlenku (która zresztą nie pozwala na utlenienie warstw położonych głębiej). Stosując radiatory anodowane na czarno też trzeba oczyścić powierzchnię styku „do żywego aluminium“.

Drugą zasadą jest stosowanie zawsze smaru przewodzącego ciepło lub innych podobnych środków. Ma to na celu wypełnienie mikroskopijnych nawet nierówności stykających się powierzchni. Najpopularniejsze smary produkowane na bazie oleju silikonowego mają jednak pewną istotną wadę. W podwyższonej temperaturze parują one pomału i z czasem we wnętrzu obudowy na powierzchni innych, chłodniejszych elementów osiada cienka i, co najgorsze, lepka warstewka smaru. **Przy montażu zaleca się więc dokładne dozowanie i usuwanie nadmiaru pasty silikonowej.** Producenci wzbogacając swą ofertę wprowadzili pasty bezsilikonowe nie mające opisanej wady.

Najpopularniejszy smar produkcji krajowej (dostępna na rynku pasta silikonowa) wystarczająco spełnia swoje zadanie - pracuje w temperaturach - 40°C...+200°C.

W zachodnich katalogach występuje kilka rodzajów smarów radiatorowych: silikonowe i bezsilikonowe, przewodzące i nie przewodzące prądu elektrycznego. Wartość konduktywności cieplnej (przewodności właściwej) dla takich smarów wynosi $\gamma_{th} = 0,8...1,5W/mK$ (gdzie m to metr a nie mili), co jest wartością około 20 razy lepszą od przewodności powietrza.

Oprócz polepszenia przewodnictwa cieplnego smar chroni przed procesami korozyjnymi, jakie mogłyby z upływem czasu zachodzić na styku obudowa - radiator.

Z uwagi na opisane wady smarów i kłopoty przy montażu pojawiły się elastyczne przekładki wykonane z różnych materiałów nazywanych potocznie gumą lub folią silikonową (ang. silicon rubber). Takie elastyczne przekładki nie wymagają oczywiście stosowania smaru.

Spotyka się również specjalne przewodzące kleje do bezpośredniego przyklejania elementu do radiatora.

Omówmy jeszcze zagadnienie przekładek izolacyjnych.

W wielu urządzeniach zachodzi konieczność odizolowania obudowy ele-

mentu półprzewodnikowego od radiatora.

Większość elastycznych przekładek, ale powiedzmy wyraźnie: nie wszystkie, ma dobre własności izolacyjne (elektryczne) i galwanicznie oddziela przyrząd półprzewodnikowy od radiatora. Według pewnego katalogu dla folii silikonowej wzmocnionej włóknem szklanym (tabela 2, poz. 9, 10) wytrzymałość elektryczna wynosi przy grubości 0,18mm 4kV, a przy 0,23mm 5kV. Spotyka się też sztywne przekładki typowo izolacyjne, wymagające stosowania smaru. Np. dla przekładek z tlenku glinu Al_2O_3 wytrzymałość na przebicie wynosi 20kV/mm.

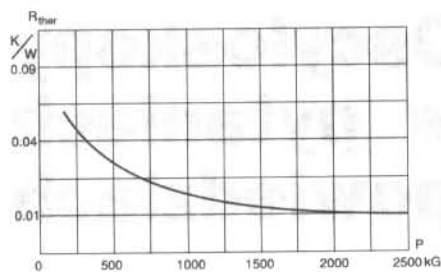
Klasyycznym materiałem na przekładki izolacyjne jest mika. Mika, mając znakomite własności izolacyjne (2,5kV przy 0,05mm), daje się łatwo obrabiać - można ją ciąć nożem i wiercić w niej otwory. Daje się łatwo łupać na cienkie warstwy. Stosując przekładki mikowe należy zawsze używać smaru.

W zachodnich katalogach występują też przekładki izolacyjne jedностronnie samoprzylepne.

Wielu wytwórców oferuje także

Tab. 2.

Lp.	Rodzaj obudowy	R_{thcr} [k/W]	
		bez smaru	ze smarem
1	TO-126 bez przekładki	1,0...2,0	0,3...1,3
2	TO-126 + mika 0,05mm	4,3...6,0	2,5...3,3
3	TO-220 bez przekładki	1,2...2,0	0,1...1,0
4	TO-220 + mika 0,05mm	3,0...3,4	0,58...1,6
5	TO-220 + mika 0,075...0,1mm	4,0...6,0	1,7...2,5
6	TO-220 wewnątrz izolowany		2,1
7	TO-3 bez przekładki	0,3...0,5	0,1
8	TO-3 + mika 0,05...0,1mm	1,2...1,5	0,3...0,7
9	TO-3 + guma silikonowa 0,18mm	0,33	
10	TO-3 + guma silikonowa 0,23mm	0,5	
11	TO-3 + tlenek glinu 3mm		0,5
12	TOP-3 bez przekładki	0,5...0,9	0,1...0,3
13	TOP-3 + mika 0,05mm...0,1mm	2,0...3,0	0,5...0,8
14	SOT-93 bez przekładki		0,4
15	SOT-93 + mika 0,05...0,1mm		1,0...1,5
16	SOT-93 wewnątrz izolowany		1,1



Rys. 3.

elementy (tranzystory, tyrystory, triaki), w których półprzewodnikowa struktura jest fabrycznie wewnątrz obudowy izolowana galwanicznie od metalowej wkładki radiatorowej (metalowej obudowy), co nie znaczy, że nie wymagają one przekładek lub smaru dla zmniejszenia rezystancji styku. Przy ich stosowaniu należy jednak dokładnie sprawdzić ich katalogową rezystancję R_{thcr} , ponieważ jest ona znacznie większa niż w obudowach standardowych. W wielu wypadkach korzystniejsze może okazać się użycie elementu w takiej izolowanej obudowie, a to dzięki uniknięciu kłopotów z przekładką, izolowaniem śruby itp.

Omawiając przekładki izolacyjne mamy na uwadze oddzielenie galwaniczne elementów układu o różnych potencjałach, zamontowanych na wspólnym radiatorze, lub półprzewodników w wewnętrznych obwodach wysokonapięciowych. Przy galwanicznej separacji od sieci 220V obowiązują dodatkowe wymagania bezpieczeństwa, których tu nie omawiamy.

Niezależnie od stosowanych środków musimy mieć świadomość, że nigdy nie osiągniemy zerowej rezystancji termicznej styku obudowa-radiator; a sugerują to niektóre publikacje amatorskie. Dla małych mocy może to nie mieć znaczenia, gdy jednak chcemy „wydusić” z elementu jak największą moc, rezystancji R_{thcr} nie wolno lekceważyć. Na **rysunku 3** pokazano zależność rezystancji R_{thcr} od siły docisku dla diod i tyrystorów mocy o prądach rzędu kilkuset amperów (średnica obudowy - kilka cm). Zauważmy, że znikomą rezystancję 0,01K/W uzyskujemy dopiero dla elementów w dużej obudowie (wielka powierzchnia styku), zamontowanych w dużym bloku radiatorowym przy zastosowaniu smaru i bardzo dużej sile docisku (tysiące kilogramów).

W jednostkowych konstrukcjach amatorskich należy z zasady stosować połączenia śrubowe (M3, niekiedy M4). Ponieważ elastyczne przekładki nie są powszechnie dostępne hobbisci długo jeszcze stosować będą płátky miki odzyskiwane z różnego rodzaju

grzejników. Praktyka pokazuje, że lepiej wiercić otwór w grubszym płátku miki, a dopiero później ostrym nożem rozdzielać na jak najcieńsze warstewki. Stosując mikę zawsze należy używać smaru i nie można dopuścić do powstania pęcherzyków powietrza w warstewce smaru. Konieczne jest zatem solidne dokręcenie i zabezpieczenie połączenia śrubowego.

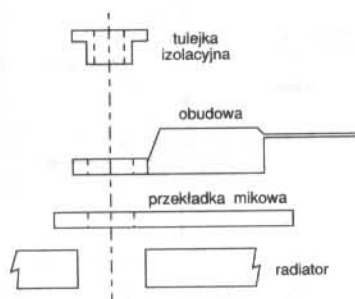
Przy stosowaniu przekładki izolacyjnej często największy kłopot polega na odizolowaniu śruby (śrub) od metalowego korpusu elementu. Fachowym rozwiązaniem jest zastosowanie specjalnej tulejki izolacyjnej z podtoczeniem, jak to pokazano na **rysunku 4**. Śruba jest wtedy na potencjale radiatora. Poniważ tulejki nie są powszechnie dostępne, amatorzy ratują się półśrodkami takimi jak zwykłe podkładki z materiałów izolacyjnych i koszulki (np. termokurczliwe) zakładane na śrubę.

Przy montażu ze śrubą, a bez przekładki izolacyjnej, niezbędne jest mimo wszystko użycie zwykłych podkładek o możliwie dużej średnicy, a to w celu uniknięcia odkształcenia obudowy, czy radiatora w pobliżu otworu (wkłęsnięcia) i przez to znaczne zmniejszenia rzeczywistej powierzchni styku.

Zwiększenie siły docisku jest korzystne; nie można jednak „przedobrzyć”, bo doprowadzi to do przecięcia delikatnej podkładki izolacyjnej, powstania niekorzystnych naprężeń w strukturze półprzewodnika, a nawet trwałego odkształcenia obudowy i uszkodzenia elementu.

W wielu konstrukcjach fabrycznych stosuje się ze względu na łatwiejszy montaż (często np. w aparaturze powszechnego użytku) docisk elementu do radiatora za pomocą sprężystej obejmy - klipsu. Rezystancja styku jest wtedy kilkanaście do stu procent większa niż ze śrubą ze względu na małą siłę docisku.

Praktyków interesuje realna wartość R_{thcr} , z jaką trzeba się liczyć przy stosowaniu typowych obudów i spo-



Rys. 4.

sobów montażu. I tu zaczyna się problem. Dane podawane przez różne poważne firmy niejednokrotnie wzajemnie sobie zaprzeczają. Pozwólmy sobie w tym miejscu na małą dygresję. Teoretyk będzie uparcie szukał dokładnej odpowiedzi i dopytywał się o nieistotne szczegóły. Praktyk spróbuje spojrzeć inaczej. Zapyta o spodziewane wartości skrajne, zastanowi się czy w konkretnych warunkach może liczyć na jakąś rezerwę, spróbuje oszacować wpływ ewentualnych błędów na wynik końcowy. Podobną sytuację mieliśmy przy omawianiu transformatorów, gdzie podawana moc znamionowa często niewiele ma wspólnego z użyteczną mocą wyjściową uzyskaną w konkretnym zastosowaniu.

Tym bardziej przy obliczaniu radiatorów (a jest to zagadnienie daleko bardziej złożone z uwagi na dużo większą ilość zmiennych) trzeba mieć świadomość przybliżonego charakteru uzyskanego wyniku. Ponieważ naszym celem jest utrzymanie temperatury struktury poniżej T_{jmax} , najsensowniejsze byłoby zmierzenie temperatury samego kryształu półprzewodnika (w rzeczywistości występują różnice temperatury w różnych punktach struktury i znów mówimy o jakiejś średniej temperaturze złącza). Pomiarem temperatury pracujących złącz zajmujemy się w przyszłości, a teraz przejdźmy do danych przedstawionych w tabeli. **Tabela 2** zawiera wartości R_{thcr} dla najpopularniejszych obudów. Tabela ta powstała na podstawie danych uzyskanych z firm Philips, Motorola, Thomson i Toshiba. Ponieważ firmy stosują odmienne metody pomiaru, uzyskane wyniki znacznie się różnią. W tabeli podaliśmy wartości największe i najmniejsze. Zauważmy, że analogiczne dane w niektórych przypadkach różnią się niekiedy o rząd wielkości! Przy opracowaniu tego materiału celowo nie wyciągnęliśmy wartości średnich, chcemy bowiem pokazać obraz tego ciekawego zagadnienia, wylaniający się z dostępnej literatury fachowej. Nie będziemy przeprowadzać szczegółowej analizy zawartych w tablicy danych - każdy Czytelnik zrobi to sam. W każdym razie wyciągnięte wnioski pozwolą przyjmować do obliczeń realistyczne wartości R_{thcr} .

Za miesiąc, w następnym odcinku Notatnika, omówimy rezystancję R_{thra} i przedstawimy najtrudniejszą część zagadnienia - praktyczny dobór konkretnego radiatora. Planujemy też przybliżenie Czytelnikom pojęcia przejściowej (dynamicznej) impedancji termicznej.

Piotr Górecki, AVT