

Moc i ciepło w układach elektronicznych

PODSTAWY PROJEKTOWANIA
mgr inż. Andrzej Korcała

Cel chłodzenia układów elektronicznych

Głównym celem odprowadzania ciepła w układach elektronicznych jest utrzymanie temperatury jego złącz poniżej temperatury maksymalnej !

Etapy projektowania układu odprowadzania ciepła

1. Zapoznanie się z danymi technicznymi wykorzystywanych elementów elektronicznych (katalogi, dane zamieszczane w internecie).
2. Znając maksymalną moc wydzielaną w elementach określamy dopuszczalną temp. jego złącz.
3. Szacujemy maksymalną temp. otoczenia pracy urządzenia.
4. Dobieramy radiator(y) o takiej powierzchni rozpraszania ciepła, aby temp. złącz była znacznie mniejsza od maksymalnej podawanej przez producenta.

Uwaga ! Projektując radiator zachowaj duży margines bezpieczeństwa!
Czas bezawaryjnej pracy elementu gwałtownie maleje, gdy temp. złącz zbliża się do maksymalnej dopuszczalnej wartości lub gdy ją przekracza!

Rezystancja cieplna R_{th}

$$R_{th} = \Delta T_{\eta} \cdot P_o$$

ΔT_{η} - przyrost temperatury w stopniach

P_o - moc odprowadzana w watach

Całkowita rezystancja kilku elementów przewodzących ciepło połączonych szeregowo jest równa sumie rezystancji cieplnych poszczególnych złącz.

Całkowita rezystancja cieplna

Całkowita rezystancja cieplna między złączami elementu chłodzonego radiatorem, a otoczeniem wynosi:

$$\mathbf{R_{ht} = R_{thj-c} + R_{thc-s} + R_{ths-a}}$$

gdzie: $\mathbf{R_{thj-c}}$ - rezystancja cieplna złącze-obudowa
 $\mathbf{R_{thc-s}}$ - rezystancja cieplna obudowa-radiator
 $\mathbf{R_{ths-a}}$ - rezystancja cieplna radiator-otoczenie

Temperatura złącza wynosi:

$$\mathbf{T_j = T_a + (R_{thj-c} + R_{thc-s} + R_{ths-a}) * P}$$

gdzie: $\mathbf{P}$ - moc wydzielana w elemencie

Przykład

Założenia:

- moc wydzielana w tranzystorze 20W przy pełnym obciążeniu
- maksymalna temperatura otoczenia 50°C
- temp. złącz tranzystora < 150°C (dopuszczalna 200°C)
- rezyst. cieplna między złączem a obudową $R_{thj-c}=1,5^{\circ}\text{C/W}$ (dane katalogowe)
- między tranzystorem a radiatorem umieszczamy przekładkę izolacyjną. Wszystkie szczeliny wypełniamy smarem przewodzącym ciepło $R_{thc-s} \cong 0,3^{\circ}\text{C/W}$

Rozwiązanie:

Wybieramy radiator typu 641 o rezyst. cieplnej $R_{ths-a}=2,3^{\circ}\text{C/W}$

Całkowita rezyst. cieplna (między złączem a otoczeniem) wyniesie:

$$R_{thj-a} = R_{thj-c} + R_{thc-s} + R_{ths-a} = 1,5 + 0,3 + 2,3 = 4,1 [^{\circ}\text{C/W}]$$

Dla 20W mocy wydzielanej w tranzystorze temp. jego złącz wyniesie 132°C ($T_j = T_a + (R_{thj-c} + R_{thc-s} + R_{ths-a}) * P$)

Odprowadzanie ciepła w układach scalonych

Odprowadzanie ciepła

Problemy związane z odprowadzaniem ciepła z układu scalonego występują najczęściej:

- we wzmacniaczach mocy małej częstotliwości,
- w scalonych stabilizatorach napięcia
- w procesorach.

Proporcjonalnie do mocy wydzielanej wzrasta temperatura wewnętrzna struktury układu, zwana dalej przez analogię do zjawisk występujących w tranzystorach **temperaturą złącza**.

Zależność temperatury złącza układu scalonego od mocy traconej opisuje następująca zależność:

$$t_j = t_a + R_{th(j-a)} * P_d$$

gdzie:

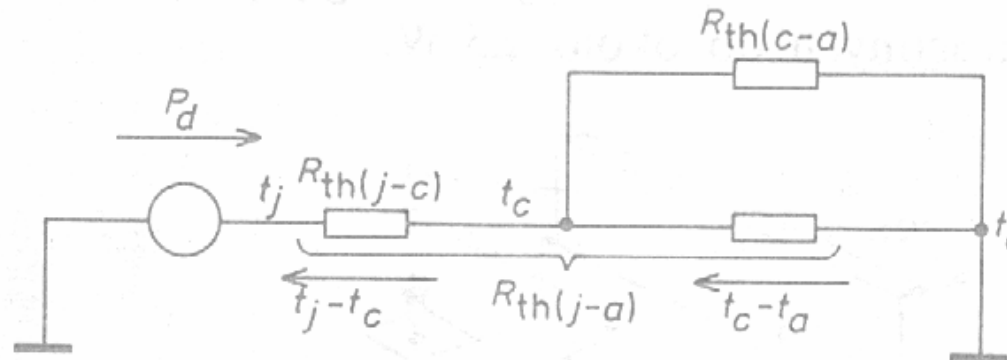
- | | |
|---------------|--|
| t_j | - temperatura złącza, |
| T_a | - temperatura otoczenia, |
| $R_{th(j-a)}$ | - rezystancja cieplna układu scalonego, |
| P_d | - moc elektryczna tracona w układzie scalonym. |

Odprowadzanie ciepła

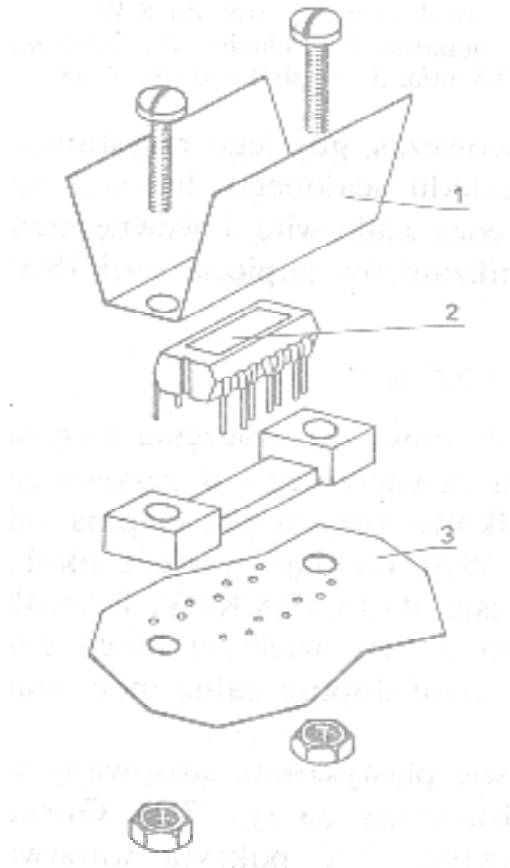
Powyższa zależność obowiązuje w warunkach ustalonych, tj. takich, w których moc strat nie zmienia się w czasie lub zmienia się bardzo wolno.

Rezystancja cieplna jest współczynnikiem proporcjonalności pomiędzy przyrostem temperatury złącza a wydzielaną mocą elektryczną.

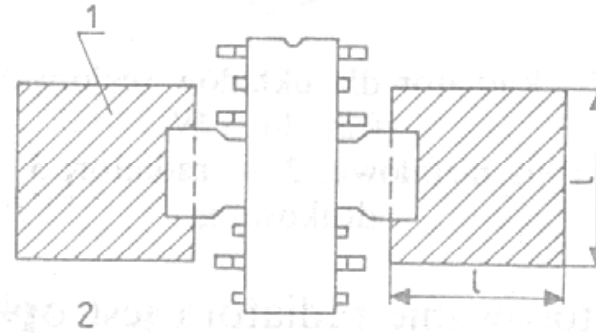
Przez analogię z układem elektrycznym przyjmuje się cieplny schemat zastępczy zjawisk zachodzących w układzie scalonym w postaci przedstawionej na rys. 1



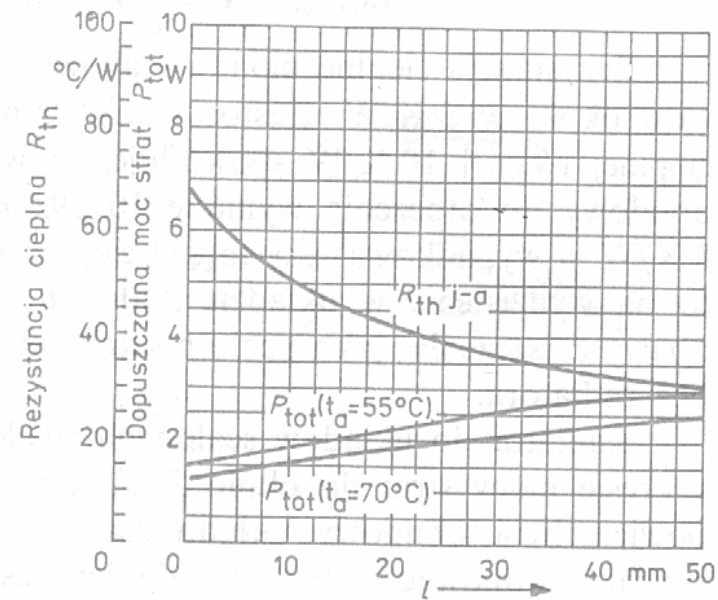
Rys. 1 Ciepły schemat zastępczy układu scalonego.



Radiator dla układów scalonych
o mocy strat do 2W



Wykorzystanie warstwy miedzi na płytce drukowanej
do odprowadzania ciepła



Zależność rezystancji cieplnej radiatora „drukowanego” od
jego powierzchni

Układy scalone, w których moc tracona nie przekracza 0,5..0,7 W, są na ogół tak konstruowane, że nie wymagają stosowania radiatorów. Problem stosowania zewnętrznego radiatora pojawia się dopiero we wzmacniaczach o mocy wyjściowej od około 1,5W.

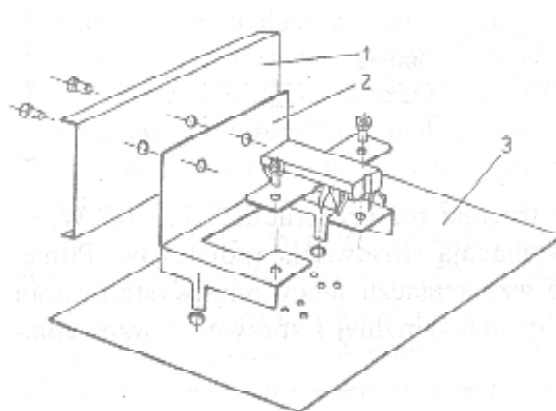
W scalonych stabilizatorach napięcia maksymalna moc strat określa się jako iloczyn maksymalnego prądu wyjściowego stabilizatora i różnicy napięć pomiędzy jego wejściem i wyjściem.

Scalone stabilizatory napięcia w obudowach metalowych mogą pracować bez radiatora w zakresie mocy traconych do około 2,5W.

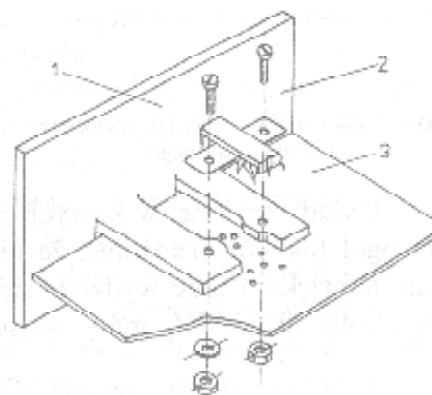
1- korpus met.

2- radiator

3- płytka druk.



Radiator o mocy strat do 5W



Radiator o mocy strat do 8W

1- radiator

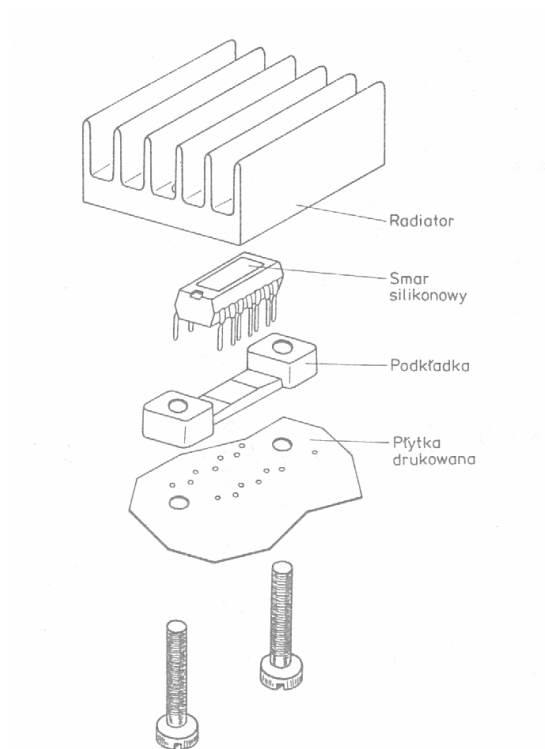
2- blacha Al.

3- płytka druk.

Stosowanie radiatora jest opłacalne tylko wówczas, gdy jego rezystancja cieplna jest mniejsza od rezystancji cieplnej układu scalonego, liczonej od obudowy do otoczenia, czyli od różnicy pomiędzy całkowitą i wewnętrzną rezystancją cieplną; np. rezystancje cieplne stabilizatorów napięcia serii 7800 wynoszą:

$$R_{th(j-a)}=45K/W \text{ i } R_{th(j-c)}= 5,5 K/W$$

Rezystancja cieplna układu scalonego od obudowy do otoczenia wynosi więc około 39,5 K/W. Zastosowanie radiatora zewnętrznego o rezystancji cieplnej równej 10 K/W spowoduje, że wypadkowa rezystancja cieplna od obudowy do otoczenia wyniesie $10 \cdot 39,5 / (10 + 39,5)$, co daje wartość około 8 K/W, a wypadkowa rezystancja cieplna wyniesie około 13,5 K/W. Pozwoli to na wydzielenie w układzie scalonym ponad 3 razy większej mocy bez obawy zniszczenia; jako poziom odniesienia przyjęto dopuszczalną moc strat bez radiatora.



Rys. Sposób montażu radiatora dla układów scalonych np. TDA 2020

Rys. Radiatory tranzystorów mocy I-IERC

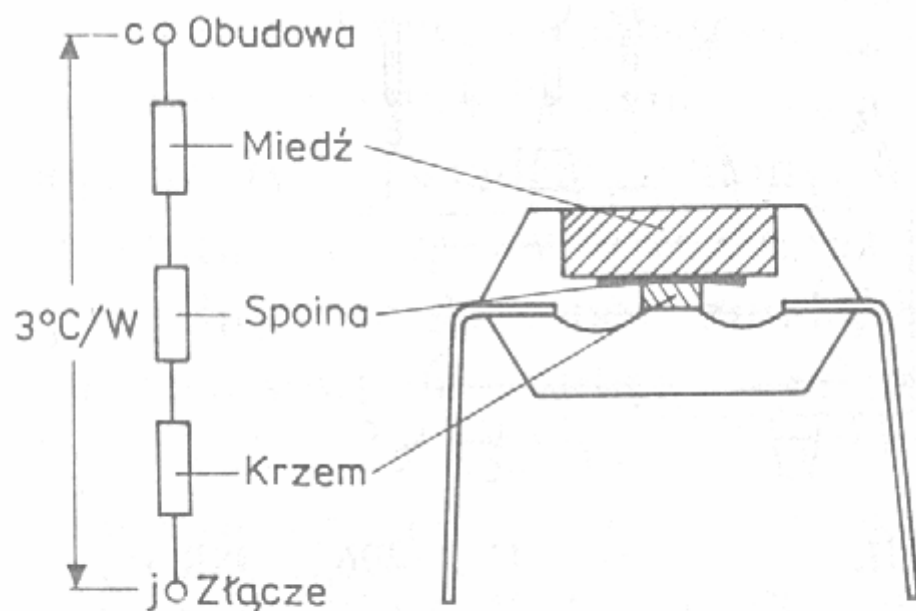
Kształt radiatora	Oznaczenia	Rezystancja termiczna [°C/W] dla $\Delta T = T_{\text{radiatora}} - T_{\text{otoczenia}}$		
		$\Delta T = 25^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = 50^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = 75^{\circ}\text{C}$
	ITXBF-032 0258	70	70	70
	IPA2 T 6107	30 22	27 18	16
	IE1000-03 T 6401 W 401	3,5	3,1	2,8
	IE2000-06 T 6421 W 421	1,3	1,1	1,0
	T 5169 W 641	2,6	2,2	1,9

TABLICA 6.1. WYBRANE BIPOLARNE TRANZYSTORY MOCY

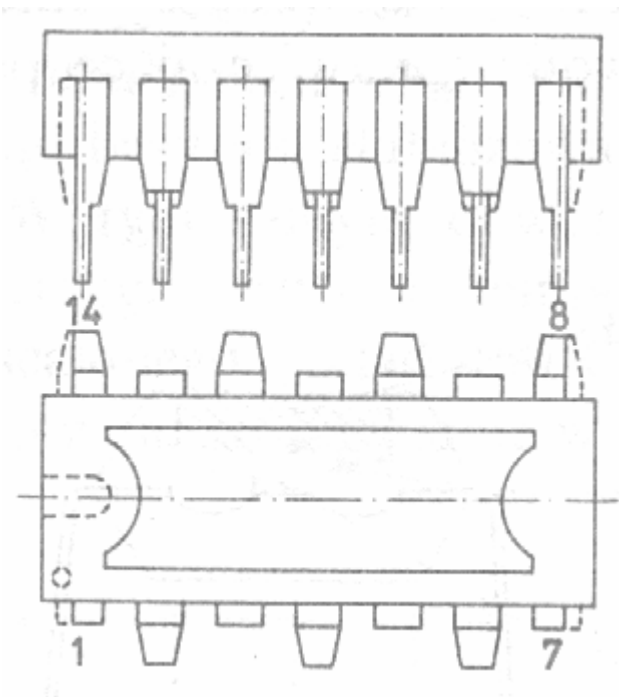
n-p-n	p-n-p	Obu- dowa ^{a)}	U_{CEsat} max [V]	I_C max [A]	h_{FE} dla typ	I_T [A]	f_T min [MHz]	$C_{in}^{b)}$ typ [pF]	P_{Diss} ($T_c = 25^\circ\text{C}$) [W]	R_{thJA} [°C/W]	T_J max [°C]	Uwagi
<i>Zwykły tranzystor mocy: $U_{CEsat} = 0,4 \text{ V}$ (typ); $U_{BEP} = 0,8 \text{ V}$ (typ)</i>												
2N5191	2N5194	A	60	4	100	0,2	2	80	40	3,1	150	tani, ogólnego przeznaczenia
2N5979	2N5976	B	80	5	50	0,5	2	60	70	1,8	150	
2N3055	MJ2955	TO-3	60	15	50	2	2,5	125	115	1,5	200	obudowa metalowa, standard przemysłowy
MJE3055	MJE2955	B	60	10	50	2	2,5	125	90	1,4	150	obudowa plastikowa, standard przemysłowy
2N5886	2N5884	TO-3	80	25	50	10	4	400	200	0,9	200	
2N5686	2N5684	TO-3	80	50	30	25	2	700	300	0,6	200	do zastosowań o rzeczywiście dużej mocy
2N6338	2N6437	TO-3	100	25	50	8	40	200	200	0,9	200	polecany do stopni wyjściowych wzmacniaczy akustycznych
2N6275	2N6379	TO-3	120	50	50	20	30	400	250	0,7	200	polecany do stopni wyjściowych wzmacniaczy akustycznych
<i>Darlington mocy: $U_{CEsat} = 0,8 \text{ V}$ (typ); $U_{BEP} = 1,4 \text{ V}$ (typ)</i>												
2N6038	2N6035	A	60	4	2000	2	—	30	40	3,1	150	tani
2N6044	2N6041	B	80	8	2500	4	4	80	75	1,7	150	
2N6059	2N6052	TO-3	100	12	3500	5	4	100	150	1,2	200	
2N6284	2N6287	TO-3	100	20	3000	10	4	150	160	1,1	200	duża wartość prądu

^{a)} A: mała plastikowa obudowa mocy (TO-126); B: duża plastikowa obudowa mocy (TO-127); ^{b)} $C_{in}(n-p-n)$ dla $U_{CE} = 10 \text{ V}$; $C_{in}(p-n-p) \approx 2C_{in}(n-p-n)$

Jednym ze sposobów zmniejszenia rezystancji cieplnej układu scalonego jest zastosowanie **wewnętrznego radiatora** (Rys.). Pozwala to na zmniejszenie wewnętrznej rezystancji cieplnej do około 35K/W i zwiększenie dopuszczalnej mocy strat do około 1,5W (przy nie zmienionej rezystancji cieplnej obudowa/otoczenie równej ok.. 25K/W).



Rys. Konstrukcja układu scalonego w obudowie o rezystancji cieplnej 3 K/W

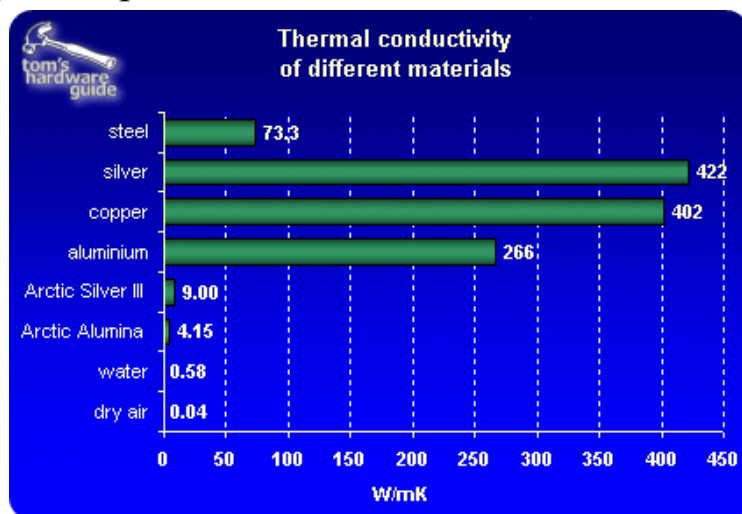


Chłodzenie wymuszone – materiały i konstrukcje

RADIATOR

Podstawą każdego układu chłodzenia (coolera) jest radiator, czyli blok materiału termoprzewodzącego. Najczęściej stosowanym materiałem do produkcji radiatorów jest aluminium. Jako metal lekki, tani i dość dobrze przewodzący ciepło, nie jest jednak najlepiej pasującym materiałem do produkcji współczesnych radiatorów ze względu na to, że ma on obecnie groźnych konkurentów : miedź, złoto i srebro - które coraz częściej możemy spotkać zamiast aluminium.

Wybrane przewodności termiczne :



ŻYWOTNOŚĆ WENTYLATORÓW	
Tulejowe	30.000 godzin
Kulkowe (1x)	50.000 godzin
Kulkowe (2x)	70.000 godzin

WENTYLATOR

Kolejnym elementem składowym coolerów jest oczywiście wentylator, bez którego ciepło gromadzone w radiatorze, byłoby odprowadzane do powietrza bardzo wolno. Idealny wentylator powinien cechować się dużą przepływnością powietrza, a za razem jak najcichszą pracą, co waży na komforcie naszej pracy z komputerem.

Chłodzenie wymuszone – materiały i konstrukcje

Rozróżniamy dwa popularne typy wentylatorów: kulkowe oraz tulejowe, ostatnio jednak coraz popularniejsze stają się wentylatory magnetyczne PWM (Pulse-Width Modulation)

Wentylatory tulejowe powoli odchodzą w niepamięć, jednak ich całkowity zanik nie jest jeszcze możliwy, głównie ze względu na niskie koszty ich produkcji.

Wentylatory kulkowe, jedno-łożyskowe są obecnie najbardziej popularne gdyż są w miarę tanie, dość niezawodne i znacznie przewyższają żywotnością wentylatory tulejowe.

Konstrukcje układów chłodzenia wymuszonego:



"Water Cooling" - chłodzenie wodne

- "WC" nie oznacza "Water Closet", lecz "Water Cooling" - chłodzenie wodne
- Zalety: bezgłośna praca
- Wady: znaczne koszty instalacji, poważne konsekwencje w wypadku awarii

Budowa i zasada działania WC

Na procesorze zamiast typowego coolera zaپیty jest **blok wodny**, czyli spory kawał miedzi z wlotem i odprowadzeniem wody, posiadający wewnątrz system kanalików. Wpływająca do bloku chłodna woda stopniowo pochłania ciepło emitowane przez rozgrzany procesor, po czym wypływa na zewnątrz. Płynąc dalej dostaje się do wymiennika ciepła, który ma za zadanie obniżyć jej temperaturę jak najszybciej i w jak największym stopniu.

a)



b)



c)

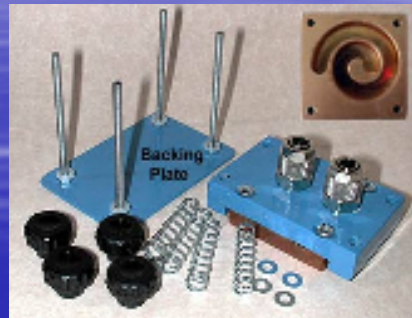


Podstawowe elementy systemu chłodzenia WC:

- a) blok wodny
- b) wymiennik ciepła
- c) pompa wodna

"Water Cooling" - chłodzenie wodne

Przykłady rozwiązań: bloki wodne



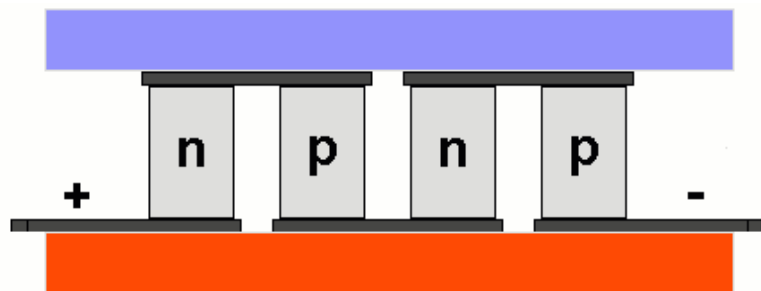
"Water Cooling" - chłodzenie wodne

- chłodnice

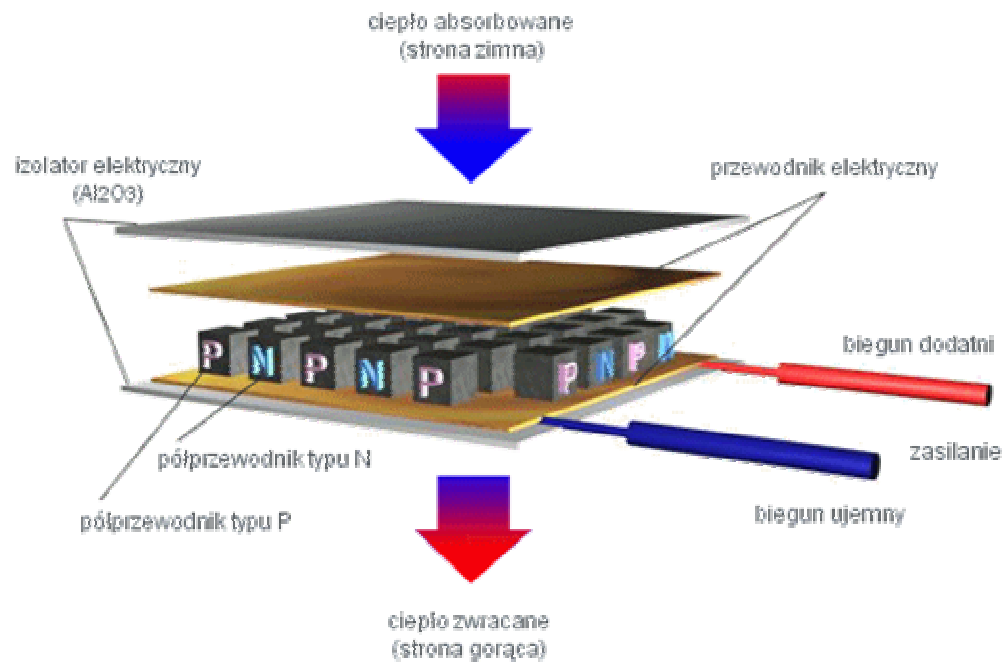


Ogniwo Peltiera

- Jean Charles Peltier - (1785-1845) - fizyk francuski, badacz zjawisk termoelektrycznych i elektromagnetycznych oraz elektryczności atmosferycznej i jej związku z powstaniem opadów. Był konstruktorem elektrycznych przyrządów pomiarowych. Odkrył zjawiska wydzielania lub pochłaniania ciepła podczas przepływu prądu przez styk dwóch różnych przewodników (tzw. zjawisko Peltiera). Zjawisko to przejawia się wydzielaniem lub pochłanianiem ciepła na granicy dwóch różnych metali lub półprzewodników w trakcie przepływu prądu elektrycznego.
- Współczesne ogniwo Peltiera, jak oficjalnie nazywa się płytkę Peltiera, to dwie cienkie płytki z termoprzewodzącego materiału izolacyjnego (ceramika tlenków glinu), pomiędzy którymi zrealizowano szeregowy stos elementarnych półprzewodników, naprzemiennie typu "p" i "n".



- Skutkiem ubocznym wydajnego chłodzenia za pomocą ogniwa Peltiera może być gromadzenie się pary kondensacyjnej, co grozi korozją i zwarciem. Dlatego ogniwo, procesor i gniazdo procesora należy odpowiednio uszczelnić. W tym celu używa się np. masy silikonowej. Masą silikonową wypełnia się również otwór gniazda procesora, a całe gniazdo zabezpiecza np. pianką neoprenową. Boczne otwory gniazda procesora również zabezpiecza się masą silikonową. Spodnią stronę płyty głównej przyska się np. pianką uretanową. W ten sposób odcina się dostęp powietrza z otoczenia do zimnych elementów procesora i płyty głównej.



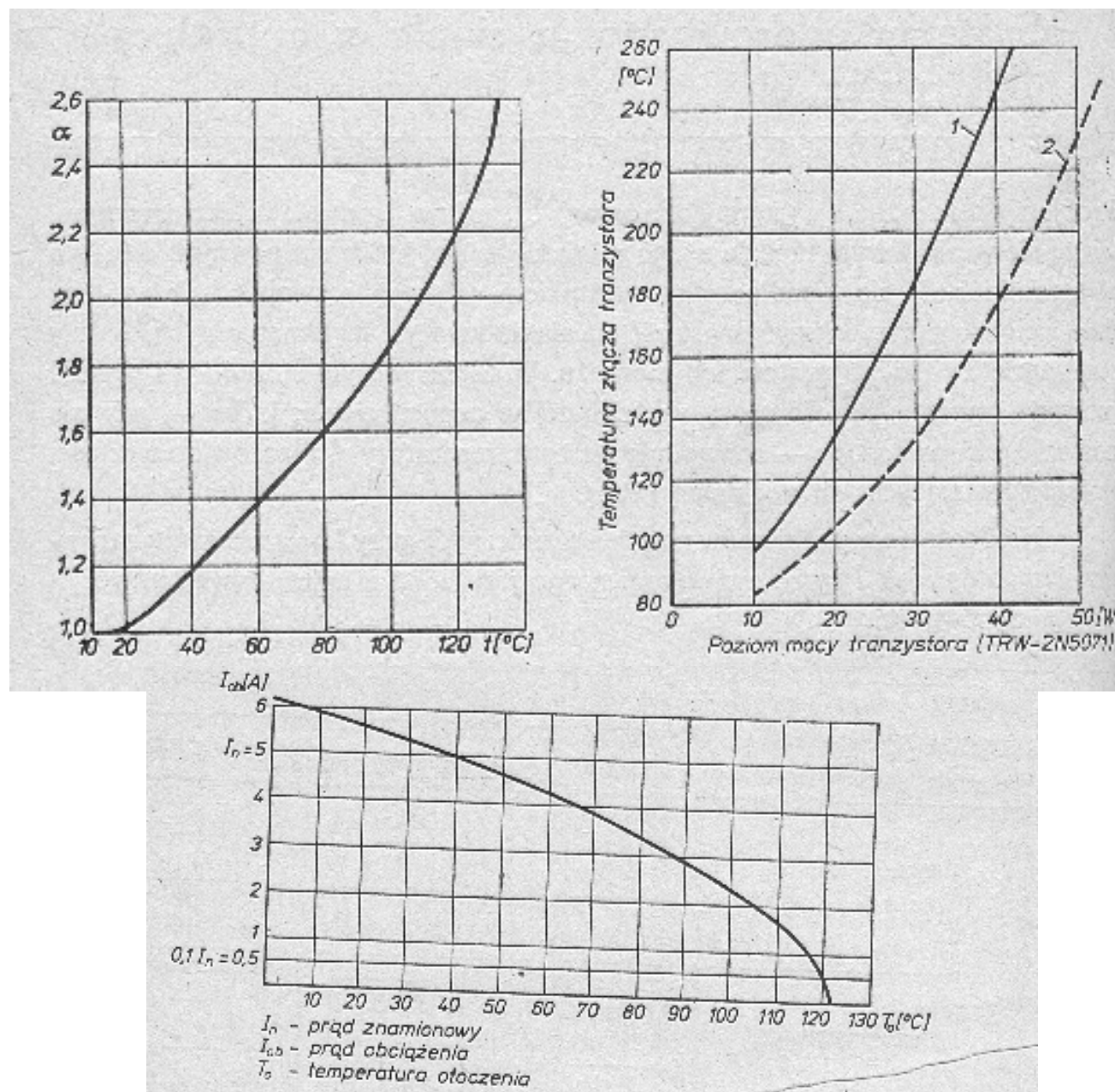
Systemy odprowadzania ciepła z aparatury elektronicznej

- Problemy termiczne, występujące coraz ostrzej w sprzęcie elektronicznym, wiążą się w pierwszym rzędzie z jego miniaturyzacją, która dla pewnych dziedzin elektroniki stała się nieodłącznym warunkiem dalszego rozwoju i tak np. aby dziesięciokrotnie zwiększyć szybkość działania komputerów, należy stukrotnie zwiększyć gęstość ich montażu. W takim samym stopniu jak gęstość montażu wzrasta gęstość mocy wydzielanej w postaci ciepła, które — gdy nie zostanie odprowadzone — spowoduje wzrost temperatury elementów do wartości uniemożliwiających ich normalną pracę.
- Niedocenianie problemów narażeń termicznych przy konstruowaniu zarówno elementów, jak i sprzętu elektronicznego jest jedną z najczęstszych przyczyn jego niesprawności.

Źródła ciepła w aparaturze elektronicznej

Praktycznie wszystkie elementy elektroniczne pracują ze stratami mocy. Największe ilości ciepła we współczesnym sprzęcie elektronicznym wydzielają elementy aktywne: tyrystory, diody, tranzystory i układy scalone. Dla praktycznych obliczeń systemu chłodzenia można przyjmować, że w urządzeniach elektronicznych odbiorczych cała moc doprowadzona do urządzenia jest zamieniana na ciepło, w urządzeniach laserowych 98% mocy, a w urządzeniach nadawczych około 75% mocy dostarczonej. Moc wydzielona w postaci ciepła i nie odprowadzona na zewnątrz urządzenia najczęściej prowadzi do wzrostu jego temperatury i przegrzania elementów.

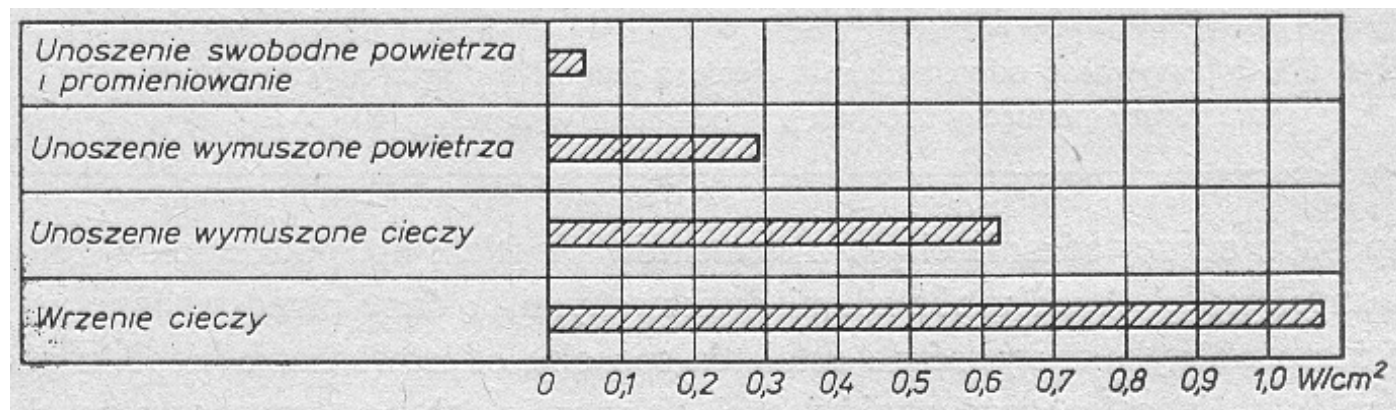
- Jedną z **najczęstszych przyczyn uszkodzeń** aparatury elektronicznej jest **przegrzanie elementów**, bowiem ze wzrostem temperatury rośnie **intensywność uszkodzeń** elementów. Zagadnienie to ilustruje przykładowo rys. x1
- Nie tylko niezawodność i czas życia elementów, ale również właściwości materiałów, wytrzymałość mechaniczna i elektryczna (lepkość, stratność, przenikalność dielektryczna itp.) zależą od temperatury.
- Również **dopuszczalne obciążenie mocą** praktycznie wszystkich elementów jest ograniczone w poważnym stopniu wzrostem temperatury. Przykładem tego może być przedstawiony na rys. x2 wpływ temperatury na poziom mocy tranzystora krzemowego i wpływ temperatury na obciążalność prądową złączy (rys. x3).



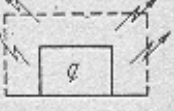
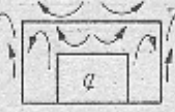
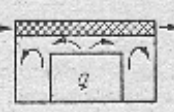
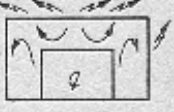
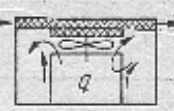
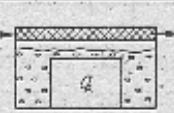
Wybór systemu odprowadzania ciepła

Jednym z podstawowych kryteriów wyboru systemu odprowadzania ciepła jest gęstość mocy wydzielanej w urządzeniu elektronicznym w postaci ciepła, które należy odprowadzić od elementów. Pierwszą więc czynnością powinno być określenie wskaźnika powierzchniowej (q_p) lub objętościowej (q_v) gęstości mocy wydzielanej, a następnie — na podstawie orientacyjnych danych empirycznych przedstawionych na rys. 5.4, 5.5 - wstępny wybór systemu odprowadzania ciepła. Dane przedstawione na rys. 5.4 najlepiej jest wykorzystać do ustalenia sposobu odprowadzania ciepła z elementów płaskich up. podzespołów zmontowanych na płytkach z obwodami drukowanymi, a dane przedstawione na rys.5.5. można wykorzystywać do ustalenia sposobu odprowadzania ciepła z podzespołów trójwymiarowych znajdujących się w zalewach z tworzyw sztucznych.

Rys. 5.4 Intensywność odprowadzania ciepła z powierzchni przy różnicy temperatury pomiędzy powierzchnią a otoczeniem wynoszącej 40°C



Rys.5.4

		Sposób odprowadzania ciepła z zewnętrznych powierzchni obudowy urządzenia elektronicznego		
		Unoszenie swobodne	Unoszenie wymuszone	Promieniowanie
Sposób odprowadzania ciepła wewnątrz obudowy urządzenia elektronicznego	Obudowa otwarta Unoszenie swobodne	 $0,064 \text{ W/cm}^3$	 $0,64 \text{ W/cm}^3$	 $0,096 \text{ W/cm}^3$
	Obudowa zamknięta Unoszenie swobodne	 $0,015 \text{ W/cm}^3$	 $0,064 \text{ W/cm}^3$	 $0,025 \text{ W/cm}^3$
	Obudowa zamknięta Unoszenie wymuszone	 $0,064 \text{ W/cm}^3$	 $0,45 \text{ W/cm}^3$	 $0,096 \text{ W/cm}^3$
	Obudowa zamknięta Wrzenie	 $1,28 \text{ W/cm}^3$	 $2,56 \text{ W/cm}^3$	 $1,92 \text{ W/cm}^3$
	Bez obudowy Przewodzenie	 $0,5 \text{ W/cm}^3$	 1 W/cm^3	 $0,76 \text{ W/cm}^3$

Rys. 5.5. Intensywność odprowadzania ciepła z jednostki objętości przy różnicy temperatury pomiędzy źródłem i otoczeniem wynoszącej 40°C

Wymiana ciepła

Energia cieplna przechodzi z jednego ciała do drugiego, gdy między tymi ciałami istnieje gradient temperatury. Naturalny przepływ tej energii odbywa się przez **przewodzenie, promieniowanie, konwekcje (unoszenie)** lub za pomocą dowolnej kombinacji tych sposobów.

Przewodzenie ciepła

Przewodzenie ciepła jest to wymiana ciepła wewnątrz ciała lub pomiędzy bezpośrednio stykającymi się ciałami. Jest proporcjonalne do różnicy temperatur i odwrotnie proporcjonalne do drogi strumienia cieplnego. Moc przekazywana przez przewodzenie:

$$P_p = \frac{\lambda}{\delta} F \Delta t \quad [W]$$

Gdzie: λ - współczynnik przewodzenia ciepła [W/cm*K]
F – powierzchnia [cm²], przez którą przepływa strumień cieplny, Δt – różnica temperatur, δ – długość drogi strumienia cieplnego [cm],

- Wartości liczbowe współczynnika λ dla niektórych materiałów używanych w konstrukcjach elektronicznych podaje tablica 5.1. Z przytoczonych danych wynika, że metale mają najlepszą przewodność cieplną i ogólnie biorąc jest ona proporcjonalna do ich przewodności elektrycznej, najmniejszą zaś wykazują gazy.
- W celu zapewnienia dobrej przewodności cieplnej, elementy oddające ciepło powinny mieć dobry styk z powierzchniami odbierającymi.
- Powierzchnie te nie powinny być utlenione i pomalowane, powinny być natomiast gładkie, a elementy do nich mocno dociśnięte. Pod wpływem nacisku następuje odkształcenie mikronierówności na stykających się powierzchniach, co powoduje powiększenie powierzchni styku i zmniejszenie oporności cieplnej styku.
- Hermetycznie zamknięte elementy wydzielające ciepło powinny być zalane cieczą izolacyjną (olej, związki fluorowodorowe) lub masą plastyczną, ewentualnie ich obudowy powinny być napełnione gazem o dobrej przewodności (np. wodorem, freonem).

Wartości liczbowe współczynników przewodzenia ciepła

Tablica 5.1

Nazwa materiału	Temperatura [°C]	$\lambda \left[\frac{\text{W}}{\text{cm K}} \right]$
Srebro	0 ÷ 100	3,9 ÷ 4,1
Miedź elektrolityczna	0 ÷ 100	3,8 ÷ 3,9
Złoto		2,9
Ceramika berylowa BeO		1,8 ÷ 2,3
Aluminium	0 ÷ 100	2,1
Magnez		1,7
Duraluminium	0 ÷ 100	1,6 ÷ 1,8
Mosiądz	0 ÷ 100	1 ÷ 1,16
Stal	0 ÷ 100	0,49 ÷ 0,5
Brąz	20	0,42 ÷ 0,83
Lut cynowy LC60		0,38
Kowar		0,19
Ceramika aluminiowa Al ₂ O ₃		0,17 ÷ 0,35
Mika	20	0,0046 ÷ 0,0052
Mikanit	20	0,0021 ÷ 0,0041
Laminat szklano-epoksydowy		0,0017 ÷ 0,018
Smar silikonowy		0,0023
Teflon		0,0025
Epoksyd		0,0046
Tornamid		0,0028
Poliwinył		0,0012
Powietrze	50 ÷ 100	0,00027 ÷ 0,0003

Promieniowanie

Według prawa Stefana-Boltzmann'a każde ciało, którego temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego, promieniuje w otaczającą przestrzeń energię cieplną w ilości proporcjonalnej do czwartego stopnia jego temperatury bezwzględnej.

Przy wymianie ciepła przez promieniowanie zachodzą dwa ściśle ze sobą związane zjawiska: emisja i absorpcja energii cieplnej. Własności emisyjne i absorpcyjne ciał zależą od ich struktury, temperatury i barwy. Na przykład powietrze jest przepuszczalne dla promieni cieplnych, ale obecność pary i dwutlenku węgla zmniejsza przepuszczalność powietrza.

Ciała stałe i ciecze są dla promieniowania cieplnego praktycznie nieprzepuszczalne.

Konwekcja (unoszenie)

Konwekcja może być naturalna (swobodna), gdy cząsteczki płynu o różnych temperaturach, a zatem i różnych gęstościach, są przemieszczane pod działaniem siły ciężkości. Przemieszczając się, zabierają przy tym ciepło od ciała o wyższej temperaturze. W ten sposób powstaje prąd unoszenia. Konwekcja wymuszona zachodzi wtedy, gdy ruch płynu jest spowodowany różnicą ciśnień wytworzonych przez urządzenia mechaniczne (wentylatory, pompy, mieszadła).

Przejmowanie ciepła

Jeżeli ciecz lub ciało stałe styka się z ciałem stałym o innej temperaturze, następuje wymiana ciepła, w której zachodzą jednocześnie dwa zjawiska:

- przewodzenie
- konwekcja

Proces ten nazywamy przejmowaniem ciepła. Przejmowanie ciepła ma bardzo złożony przebieg.