

Ogniwa Peltiera, część 2



Dotychczas rozważaliśmy sytuacje, gdy ciepło jest przenoszone z obszaru o temperaturze niższej do obszaru o temperaturze wyższej, a moduł Peltiera spełnia rolę chłodziarki.

Równie dobrze ogniwa termoelektryczne mogą służyć jako grzejniki - górna dopuszczalna temperatura pracy ograniczona jest jednak punktem mięknięcia lutu użytego do wykonania wewnętrznych połączeń - zwykle jest to ok. +130°C.

Często zapomina się o możliwości transportu ciepła od obszaru o temperaturze wyższej do niższej (!). A na co komu takie dziwactwo? Przecież ciepło i tak będzie przepływać! W takim zastosowaniu ogniwo termoelektryczne nazywane jest rurą cieplną (ang. heat pipe) i ma zastosowanie np. do wspomagania chłodzenia elementów półprzewodnikowych w niektórych wzmacniaczach klasy A w sprzeczce High End.

Odpowiednie zależności dla rury cieplnej wyrażają wzory:

$$e) Q_c = am \cdot T_c \cdot I + 0,5 \cdot R_m \cdot I^2 + km \cdot DT$$

$$f) Q_h = am \cdot T_h \cdot I - 0,5 \cdot R_m \cdot I^2 + km \cdot DT$$

$$g) U = I \cdot R_m - am \cdot DT$$

W porównaniu z wzorami a)...d) zmieniły się tylko niektóre znaki.

Może niektórzy bardziej dociekliwi Czytelnicy postawili już sobie pytanie, czy ogniwo termoelektryczne może pracować jako źródło prądu. Oczywiście, że może! Wystarczy spełnić warunek, aby dwie strony baterii Peltiera miały różne temperatury. Następuje wtedy bezpośrednia zamiana energii cieplnej na elektryczną. Zastosowanie do tego celu popularnych modułów, przeznaczonych przede wszystkim do chłodziarek, nie jest jednak korzystne. Do wytwarzania prądu używa się innych materiałów pracujących w dużo wyższych temperaturach, a jako źródła ciepła stosowane są materiały radioaktywne, inna jest też konstrukcja mechaniczna. Jednak używając typowych

modułów również można uzyskać pewną znaczącą moc.

Uzyskane napięcie wynosi oczywiście:

$$U = am \cdot DT$$

A uzyskana moc na zewnętrznym obciążeniu r:

$$P = (am \cdot DT / (R_m + r))^2 \cdot r$$

Zarówno napięcie jak i moc uzyskana z jednego ogniwa są niewielkie, tak więc aby uzyskać sensowne ilości energii wiele ogniw trzeba połączyć w baterię. Przykładowo przy temperaturach $T_h = +125^\circ\text{C}$ i $T_c = +25^\circ\text{C}$ aby uzyskać moc 10W należałoby użyć około 400 ogniw; taki moduł (bateria) musiałby mieć powierzchnię ok. 15 x 15cm. Sprawność przetwarzania energii cieplnej na elektryczną wyniosłaby 2...3%. Nie jest to więc dla hobbyistów godne uwagi źródło energii. W pewnych przypadkach może być jednak użyteczne, przypomnijmy tylko, że ogniwo termoelektryczne (termopara) występuje w obwodach zabezpieczenia wszystkich domowych pieców (kotłów) gazowych. Wytwarzany prąd przepływając przez uzwojenie elektrozaworu utrzymuje go w stanie otwartym. Zgaśnięcie płomienia pilotującego (tzw. świeczki) powoduje zamknięcie elektrozaworu.

W tym miejscu warto się chwilę zastanowić nad wpływem wymiarów geometrycznych ogniwa na parametry. Jeśli zastosowalibyśmy długie ramiona ogniwa, to korzystnie zmniejszyłoby ilość ciepła przewodzenia ($km \cdot DT$) przepływającą przez ramiona z końca gorącego na zimny. Z drugiej strony wydłużanie ramion spowoduje wzrost rezystancji, czyli wzrost strat przy przepływie prądu przez termoelement ($R_m \cdot I^2$). Istnieje więc optymalny stosunek powierzchni przekroju ramion do ich długości. W gotowych modułach Peltiera konstruktorzy już to obliczyli, gdybyśmy kiedyś chcieli eksperymentować z metalowymi termoparami, to wspomnianą zależność trzeba wziąć pod uwagę.

Jak się okazuje, pojedynczy moduł może wytworzyć różnicę temperatur co najwyżej rzędu sześćdziesięciu...siedemdziesięciu stopni. Jeśli jednak umieścimy moduły jeden na drugim, to wypadkowa różnica temperatur będzie zdecydowanie większa. Dlaczego jednak

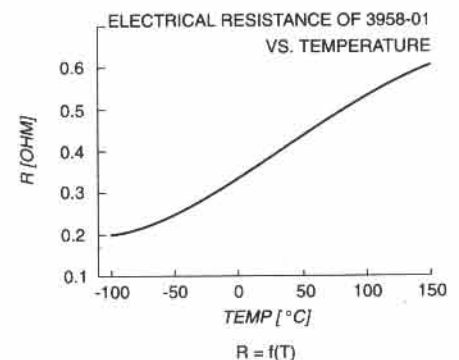
taki wielostopniowy moduł ma kształt piramidy? Ponieważ stopień następny musi przenieść nie tylko Q_c stopnia poprzedniego, ale $Q_h = Q_c + P$ stopnia poprzedniego. Osiągane w modułach wielostopniowych temperatury są rzeczywiście niskie, za to moce chłodzenia Q_c są niewielkie. Przykładowo przy pomocy modułów sześciostopniowych można osiągnąć temperatury rzędu $-80...-110^\circ\text{C}$.

W dotychczasowych rozważaniach mało miejsca poświęciliśmy izolacji cieplnej. Jeśli chcemy skutecznie chłodzić jakiś obiekt, to musi on być dobrze izolowany od otoczenia. Izolacja strony zimnej gra decydującą rolę właśnie przy modułach wielostopniowych. Dlatego często stosuje się tu pracę w próżni, osiągając dużo lepsze wyniki niż w powietrzu.

Gdzie w praktyce stosuje się moduły Peltiera?

Jedno- i wielostopniowe moduły są używane w laboratoriach w procesach wymagających precyzyjnej regulacji temperatury. Służą do budowy komór klimatycznych. Znajdują swoje miejsce w medycynie przy analizach tkanek, w niektórych rodzajach terapii (hipotermia). Z użyciem elementów Peltiera budowane są urządzenia służące jako wzorce temperatury o dokładności lepszej niż $0,01^\circ\text{C}$. W zastosowaniach domowych spotyka się przenośne lodówki samochodowe, schładzarki do piwa (!), wina, termostaty do akwarium.

W elektronice użytkowej „Peltier” mają zastosowanie do chłodzenia elementów półprzewodnikowych w niektórych wzmacniaczach najwyższej klasy. Ciekawym przykładem jest też detektor promieniowa-



Rys. 9.

nia podczerwonego. Jak wiadomo detektory promieniowania podczerwonego ze względu na szumy powinny pracować w niskich temperaturach. Skutecznym sposobem zapewniającym temperatury elementu czynnego rzędu $-30...-80^{\circ}\text{C}$ jest użycie wielostopniowego modułu termoelektrycznego. W ten sposób wykonuje się miniaturowe detektory o objętości rzędu kilku, kilkunastu cm^3 . Dostarczana do termoelementu moc elektryczna wynosi $0,5...3\text{W}$.

Parametry podawane w katalogach

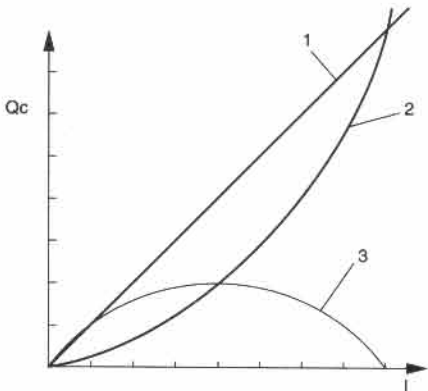
Wracamy teraz do niezbędnych obliczeń. I wreszcie stopniowo przedstawimy sens parametrów i wykresów katalogowych. Do analizy potrzebne będą podane wcześniej wzory a)...d).

Moc chłodzenia

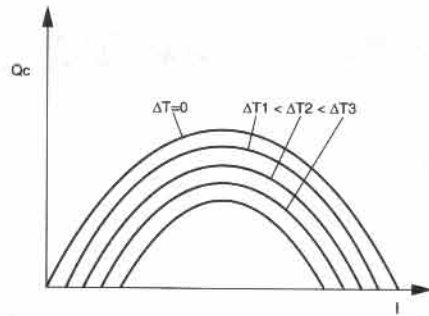
Patrząc na zależność a) zastanówmy się w jakich warunkach moduł termoelektryczny może na stronie zimnej pochłonąć największą ilość ciepła:

$$a) Q_c = am \cdot T_c \cdot I - 0,5 \cdot R_m \cdot I^2 - km \cdot DT$$

Założmy najpierw w pierwszym zgrubnym przybliżeniu, że am i km są stałe. Ze wzrostem prądu rośnie pierwszy składnik równania, przy małych prądach drugi składnik jest mniejszy od pierwszego, jednak rośnie on z kwadratem prądu, więc dla pewnego prądu oba składniki będą miały równe wartości. Pokazuje to **rysunek 10** uwzględniający tylko dwa pierwsze składniki wzoru a). Linia 1 reprezentuje pierwszy składnik równania a), linia 2 - drugi, natomiast linia 3 przedstawia złożenie poprzednich, czyli zależność mocy pochłanianej na stronie zimnej od płynącego prądu. Na razie pominęliśmy trzeci składnik wzoru a). Zauważmy jednak, iż przy zerowej różnicy tem-



Rys. 10.



Rys. 11.

peratur, trzeciego składnika po prostu nie ma: $km \cdot 0 = 0$. **Rysunek 10** przedstawia więc charakterystykę termoelementu przy zerowej różnicy temperatur strony zimnej i gorącej - taką sytuację można sobie wyobrazić gdybyśmy umieścili moduł np. między dwoma dużymi zbiornikami wody o jednakowej temperaturze. Sytuacja taka ma także miejsce w praktycznych układach - mianowicie w momencie włączania zasilania.

Jak by nie było wartość Q_{cmax} przy $DT = 0$ jest podstawowym parametrem modułu podawanym w katalogach.

Jak widać z **rysunku 10** (krzywa 3), wiąże się z tym jakaś maksymalna wartość prądu I_{max} .

Po zróżniczkowaniu wyrażenia a) względem prądu i przyrównaniu go do zera otrzymamy prostą zależność... z której dla potrzeb praktycznych niewiele wynika:

$$I_{max} = am \cdot T_c / R$$

Chociaż dla każdego typu termoelementu producent podaje prąd maksymalny, to jak się przekonamy, praca przy tej maksymalnej wartości prądu najczęściej nie jest najkorzystniejsza. W każdym razie tego prądu przekroczyć nam nie wolno.

Powróćmy teraz do trzeciego składnika równania a):

$$km \cdot DT$$

Według wzoru nie zależy on od prądu. Co prawda w rzeczywistości uzyskana różnica temperatur DT związana jest przecież z prądem, ale zakładamy, co zresztą może być prawdą, że różnica temperatur DT jest ustalona, np. przy umieszczeniu termoelementu między dwoma wielkimi zbiornikami wody - tym razem o różnych temperaturach. Na naszym **rysunku 10** trzeci składnik przedstawiałaby poziomą prostą umieszczoną na stosownej wysokości - ilość ciepła przepływająca wskutek przewodzenia przez moduł ze strony gorącej na zimną w sumie nie zależy bezpośrednio od płynącego prądu. Ponieważ trzeci składnik rośnie

stosownie do różnicy temperatur strony gorącej i zimnej, na **rysunku 11** pokazano rodzinę charakterystyk pokazujących zależność interesującej nas użytecznej mocy chłodzenia od prądu, gdy DT jest parametrem. I takie wykresy możemy znaleźć w katalogach firmowych.

W naszych rozważaniach „zapomnieliśmy” jednak o pewnym istotnym czynniku:

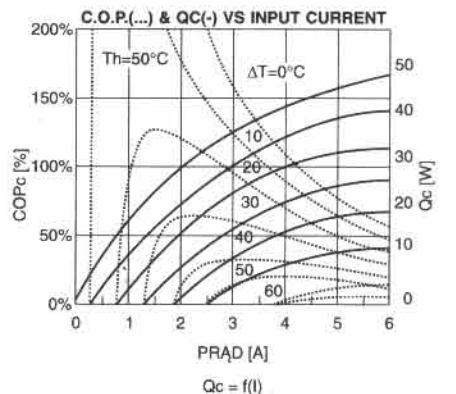
w pierwszym składniku wzoru a): $am \cdot T_c \cdot I$ nie uwzględniliśmy wpływu T_c ! **Rysunek 11** przedstawia więc charakterystykę modułu dla jednej, konkretnej temperatury. Ale której strony? Wyglądałoby, że dla strony zimnej, bo we wzorze mamy T_c ; ponieważ jednak mamy ustalone wartości DT , korzystniej jest odnieść wszystko do temperatury T_h . Jest to bardziej przydatne do praktycznych obliczeń, bo najczęściej zakładamy (i łatwiej możemy kontrolować) właśnie T_h , czyli w praktyce temperaturę radiatora umieszczonego na gorącej stronie modułu.

I wreszcie doszliśmy do czegoś praktycznego - takie właśnie wykresy odniesione do temperatury T_h znajdziemy w wielu katalogach. Wykres z **rysunku 12** pochodzi z katalogu jednej z firm i dotyczy 127-elementowego modułu o wymiarach $41,5 \times 41,5 \times 3,81\text{mm}$.

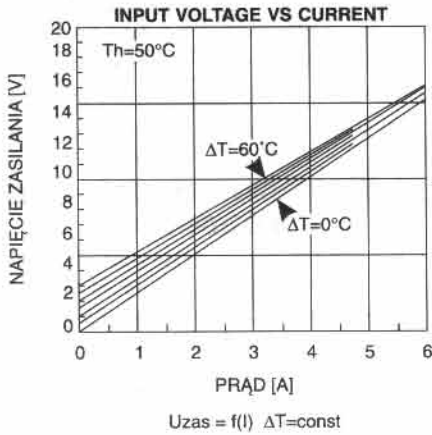
W karcie katalogowej tego modułu znajdujemy jeszcze następujące dane dla $T_h = 50^{\circ}\text{C}$:

- prąd maksymalny: 6A,
- napięcie nominalne (przy I_{max}): 15,4V,
- moc pompowana Q_c : 50W lub więcej,
- maksymalna temperatura pracy: $+150^{\circ}\text{C}$.

Gdy pracujemy w wyższych temperaturach bezwzględnych, wtedy moduł ma lepsze możliwości pochłaniania ciepła - ale nie jest to zależność liniowa, bo am też zależy od temperatury. Moc chłodzenia



Rys. 12.



Rys. 13.

zwiększa się ze wzrostem temperatury bezwzględnej osiągając maksimum przy T_h wynoszącej ok. $+100^\circ\text{C}$.

Jak zaznaczyć na wykresie wpływ tej temperatury bezwzględnej? Nie bardzo można to „wcisnąć” do rysunku 11 czy 12 - trzeba narysować nowe charakterystyki podobne jak rys. 11, 12 tylko dla innych temperatur T_h .

Temperatura minimalna

Przy projektowaniu chłodziarki na pewno będzie nas interesować temperatura minimalna, jaką będzie można osiągnąć. Można ją wstępnie określić z charakterystyk takich jak na rysunkach 11, 12 pod warunkiem, że znamy współczynnik przewodzenia ciepła k całej obudowy naszej chłodziarki. W teoretycznym przypadku gdyby obudowa miała idealną izolację (zerowa wymiana ciepła z otoczeniem), to osiągnęlibyśmy wspomnianą już wcześniej największą dla danego modułu różnicę temperatur. Jest to zresztą kolejny parametr podawany w katalogach, niezależnie od wielkości (wymiarów) modułu wynosi zwykle około 6°C .

W warunkach rzeczywistych zawsze jakaś ilość ciepła będzie przenikać do wnętrza naszej lodówki. Ciepło to musi zostać „wypompowane” przez nasz termoelement. Możemy tu mówić o pewnej mocy strat obudowy:

$$Q = k_1 \cdot \Delta T$$

gdzie k_1 - współczynnik przewodności cieplnej obudowy, ΔT to tym razem różnica temperatur otoczenia i wnętrza lodówki.

Dla pewnej temperatury wewnątrz lodówki ustali się równowaga: ilość ciepła napływająca do wnętrza, przechodząca przez izolację będzie równa ilości ciepła wy-

pompowanego. Na pewno więc w praktyce nigdy nie osiągniemy maksymalnej katalogowej różnicy ΔT_{max} .

Napięcie i prąd pracy

Ze wzoru d) wynika, iż przy stałym prądzie ze wzrostem różnicy temperatur napięcie na module będzie rosło o napięcie Seebecka - pokazuje to rysunek 13 (dotyczący tego samego wyrobu co rysunek 12). Gdy natomiast napięcie zasilające będzie stałe, ze wzrostem różnicy temperatur prąd będzie się nieco zmniejszał.

Moc i sprawność

Moc oddawana na gorącej stronie termoelementu jest sumą mocy chłodzenia Q_c i dostarczonej mocy elektrycznej P . Sprawność grzania (COPh) jest więc na pewno większa niż 100%.

Co ciekawe również sprawność chłodzenia przy mniejszych prądach przekracza 100% - odpowiednie krzywe zaznaczone są na rysunku 12 linią przerywaną.

A teraz rozpatrzmy przykład pokazujący sposób korzystania z materiałów katalogowych i zobaczymy występujące ograniczenia.

Przykład 1

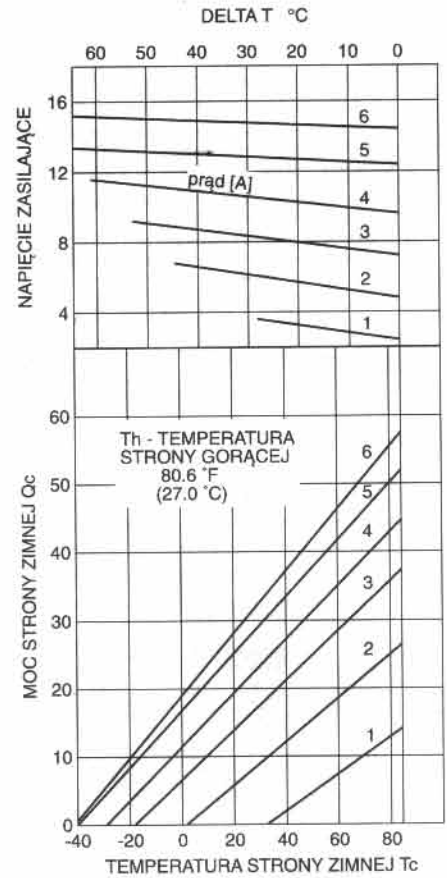
Załóżmy, że chcemy zrobić maszynkę do lodów z wykorzystaniem modułów Peltiera. Przypuśćmy, że dla w miarę szybkiego schłodzenia niewielkiej ilości produktów potrzebna jest moc chłodzenia $Q_c = 30\text{W}$. Musimy osiągnąć temperaturę, powiedzmy, $T_c = -5^\circ\text{C}$, przy spodziewanej temperaturze otoczenia latem $T_{\text{amb}} = +30^\circ\text{C}$.

Wspomniany przed chwilą moduł ma prąd maksymalny 6A. Maksymalna temperatura strony gorącej (zewnątrznego radiatora) nie może przekroczyć $T_h = +50^\circ\text{C}$.

Planujemy zastosować radiator z profilu aluminiowego pracujący z naturalnym chłodzeniem.

Z rysunku 13 odczytujemy spodziewane przy różnicy temperatur 55°C i prądzie 6A napięcie pracy: około 15V. Daje to moc elektryczną 90W.

Z rysunku 12 dotyczącego właśnie $T_h = +50^\circ\text{C}$ odczytujemy (na prawej skali), że przy prądzie 6A i różnicy temperatur 55°C moc Q_c wynosi poniżej 10W! Musielibyśmy więc użyć co najmniej 4...5 modułów! Zauważmy też, iż sprawność chłodzenia COPc (odczytana na lewej skali) wyniesie tylko kilka procent. Przy wymaganej mocy



Rys. 14a.

chłodzenia $Q_c = 30\text{W}$, moc strat wyniesie więc około 400W! Przy założonych temperaturach T_h i T_{amb} wymagałoby to użycia radiatora o rezystancji termicznej co najwyżej:

$$R_{\text{thra}} = (50^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) / 400\text{W} = 0,05\text{K/W}$$

Jest to wartość nierealnie mała dla radiatora o chłodzeniu naturalnym (patrz Notatnik praktyka EP 5/94, 6/94).

Wniosek?

Przy powyższych założeniach nie da się zbudować maszynki do lodów!

Czy jest jakieś wyjście? Przede wszystkim należałoby obniżyć T_h . Można np. wziąć pod uwagę chłodzenie zimną wodą o temperaturze $+12...15^\circ\text{C}$ z sieci wodociągowej i zastosować chłodnicę wodną. Zmniejszy się wtedy wymagana różnica temperatur ΔT , zwiększy się współczynnik sprawności. Rysunek 12 nie będzie już przydatny, bo dotyczy temperatury $T_h = +50^\circ\text{C}$, dla niższej temperatury T_h krzywe przedstawiające zależność mocy Q_c od prądu I będą jednak niestety przebiegać trochę niżej. Dla nowych warunków należałoby znów przeprowadzić stosowne obliczenia i określić realność projektu.

Piotr Górecki, AVT