

Komora termiczna



Różne urządzenia elektroniczne muszą długo i niezawodnie funkcjonować oraz utrzymywać wymagane parametry w różnych warunkach pracy. Profesjonaliści testują opracowane układy w komorach klimatycznych. Komora klimatyczna oprócz regulacji temperatury ma także możliwość regulacji wilgotności, dzięki czemu można symulować najróżniejsze warunki, jak choćby tropikalne czy polarne. Komora klimatyczna może być dowolnie programowana, żeby warunki zmieniały się w czasie według wymaganej normami procedury testowej. Działanie i parametry urządzenia mogą być sprawdzane na bieżąco, w czasie zjawisk klimatycznych, a w niektórych przypadkach urządzenie jest poddane cyklowi zmian klimatycznych i testowane dopiero po zakończeniu takich prób. Szczegółowe procedury testowe zależne są od przeznaczenia badanych urządzeń i związanych z nimi norm. Najostrzejsze wymagania stawiane są urządzeniom do celów militarnych, medycznych, lotniczych, itp. i w takich przypadkach kontrola działania i stałości parametrów z wykorzystaniem komory klimatycznej jest zwykle konieczna. Urządzenia do mniej odpowiedzialnych zastosowań nie muszą być sprawdzane w komorach klimatycznych. W wielu wypadkach trzeba albo po prostu warto sprawdzić tylko działanie w różnych temperaturach. Wtedy można wykorzystać prostsze urządzenia, jakim jest komora termiczna. Komora termiczna umożliwia jedynie regulację temperatury, a wilgotność wynika z aktualnej zawartości pary wodnej i z temperatury.

Poniższy artykuł zawiera opis prostej komory termicznej. Zasadniczo dobra komora termiczna powinna umożliwić sprawdzanie, jak zmieniają się parametry urządzeń elektronicznych przy zmianach temperatury co najmniej w zakresie od -20°C do $+120^{\circ}\text{C}$, a na-

wet od -55°C do $+150^{\circ}\text{C}$. W praktyce nie ma takiej potrzeby. Do testów układów w podwyższonej temperaturze nie tylko hobbysty wykorzystują najzwyklejszą suszarkę do włosów, rzadziej piekarnik elektryczny. W praktyce okazuje się, że najtrudniej jest zbadać zachowanie układu w niskich temperaturach. Domowa lodówka nie zawsze rozwiązuje problem.

Przedstawiony układ umożliwia testowanie niewielkich układów w niskich temperaturach. Będzie także inspiracją dla innych, specyficznych opracowań. W prezentowanym modelu zrezygnowałem z możliwości pracy w podwyższonych temperaturach. Model jest więc ostatecznie komorą chłodniczą.

Plany wykonania komory termicznej pojawiły się ładnych kilka lat temu, w roku 1995, gdy nie istniała jeszcze Elektronika dla Wszystkich i gdy pisałem cykl artykułów do Elektroniki Praktycznej na temat modułów Peltiera. Później temat elementów Peltiera pojawił się w EdW jako projekt Chłodziarka do piwa (6/1997) oraz w Klubie Konstruktorów (7, 8/1997). Kilka lat temu zacząłem eksperymenty z chłodziarką i komorą termiczną. Okazało się, że kluczowe znaczenie ma skuteczne odbieranie ciepła z modułu Peltiera; powstały próbne modele, w tym model z chłodziarką wodną. Inne bieżące prace odsunęły jednak ten ciekawy temat na dalszy plan i dopiero teraz zmbilibizowałem się, by zaprezentować przykładowe proste, może trochę zaskakujące rozwiązanie.

Moduły Peltiera

Aby zrozumieć działanie oraz właściwości i ograniczenia opisywanej komory termicznej koniecznie należy przypomnieć kluczowe informacje o elementach Peltiera. Podstawą jest tu zjawisko, które odkrył w 1834 francuski uczyony Jean C. A. Peltier. Stwier-

dził on, że złącze dwóch różnych metali może wydzielać albo pochłaniać ciepło, zależnie od kierunku przepływu prądu. Nie znaczy to, że ciepło powstaje bądź znika, niezgodnie z zasadami zachowania energii. Można powiedzieć, że moduł Peltiera transportuje ciepło.

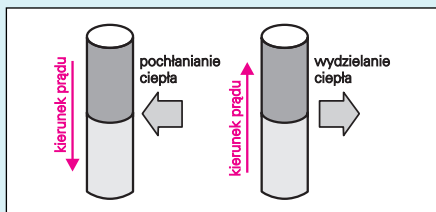
Zjawisko Peltiera związane jest z budową materiałów, tworzących złącze. Jak wiadomo, w sumie za przewodnictwo prądu odpowiadają elektrony zawarte w najwyższym paśmie energetycznym materiału, czy jak kiedyś mówiono, elektrony z najwyższej orbity czy powłoki. W każdym razie elektron na orbicie (w paśmie) ma jakąś energię, zależną od odległości od jądra. Czym wyższa orbita (pasmo), tym energia elektronu jest większa. Elektron przechodząc z orbity wyższej na niższą, oddaje energię. Wykorzystujemy to zjawisko choćby w diodach LED i laserowych, gdzie energia oddawana przez poszczególne elektrony ma postać kwantów światła – promieniowania o określonej częstotliwości (i długości fali). Z kolei, aby elektron przeszedł z niższej orbity (pasma) na wyższą, trzeba mu dostarczyć odpowiednią porcję energii.

Można to zilustrować prostym przykładem piłki na schodach w dwukondygnacyjnym mieszkaniu. Piłka może spaść z wyższego piętra na niższe i przy okazji oddać część swej energii, na przykład tłukąc kosztowny wazon stojący w korytarzu na parterze. Piłka sama nie wskoczy na piętro, trzeba dostarczyć jej energii, na przykład precyzyjnym kopnięciem, najlepiej nie za silnym i nie za słabym.

Analogicznie jest z elektronami odpowiedzialnymi za zjawisko Peltiera. Przypuśćmy, że mamy dwa przewodniki, w których swobodne elektrony znajdują się na orbitach (w pasmach) o różnej energii, co wynika

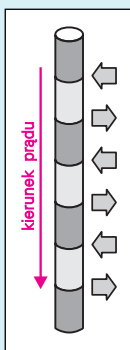
z właściwości użytych materiałów. Jeśli przez złącze z takich dwóch materiałów popłynie prąd stały, a więc elektrony będą się poruszać w jednym kierunku, to zależnie od kierunku prądu złącze będzie albo wydzielacz ciepła, albo pochłaniacz ciepła. Obrazowo przedstawia to **rysunek 1**.

Rys. 1



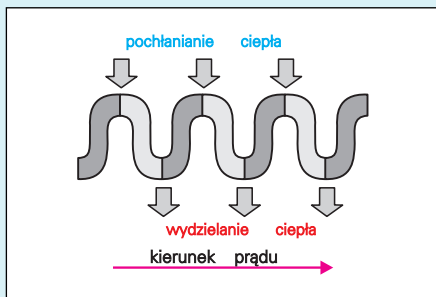
Jak widać, w takim złączu kierunek prądu będzie decydował o tym, czy ciepło jest pochłaniane, czy wydzielane.

Opisana prosta zasada nie mówi jednak całej prawdy o rzeczywistych elementach Peltiera, a może nawet wprowadzić w błąd. Po pierwsze, ciepło nie ginie bezpowrotnie w tajemniczych okolicznościach. Pochłonięte ciepło, które przecież jest formą energii, nie znika, tylko pochłonięte w jednym miejscu, zostaje oddane gdzie indziej. Po drugie, nie można ot tak po prostu pochłaniać dużych ilości ciepła na pojedynczym złączu, bo pojedyncze złącze jest stosunkowo mało wydajne. Aby uzyskać znaczną wydajność procesu, należy zastosować wiele takich złączy. Z kilku względów zestaw takich złączy należy połączyć szeregowo. Sytuację ilustruje **rysunek 2**. Porównanie z rysunkiem 1 pokazuje natychmiast, że w takim dziwnym tworze jednocześnie co drugie złącze chłodzi, a co drugie grzeje. Ciepło pobierane w złączach „chłodzących” jest oddawane w sąsiednich złączach „grzejących”. **Rysunek 2** potwierdza opinię, że nie ma nic za darmo, i że zasada zachowania energii jest zachowana – ciepło nie ginie i nie pojawia się znikąd. Aby praktycznie wykorzystać taki zestaw, należy złącza rozmieścić na zasadzie pokazanej na **rysunku 3**. Wtedy jedna strona zestawu będzie pochła-



Rys. 2

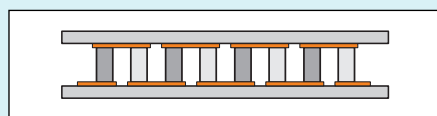
Rys. 3



niać, a druga oddawać ciepło. **Rysunek 3** pokazuje zasadę działania modułu Peltiera i udowadnia, że wcale nie chodzi o element pochłaniający ciepło, tylko o element transportujący ciepło, rodzaj pompy cieplnej „napędzanej” prądem.

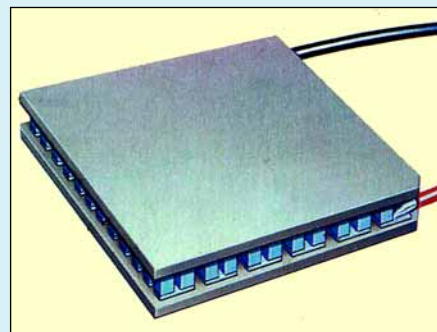
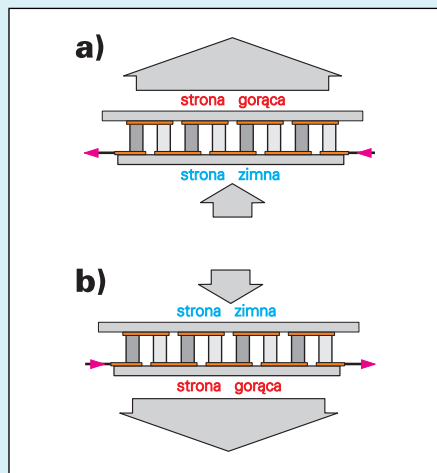
Warto pamiętać, że pod względem elektrycznym elementy są umieszczone szeregowo, ale pod względem cieplnym – równoległe, co zwiększa możliwości transportu ciepła.

W rzeczywistym ogniwie poszczególne elementy mają postać kolumnenek czy prostopadłościanów i są rozmieszczone nieco inaczej, niż pokazuje **rysunek 3**. Sąsiednie elementy z odmiennego materiału nie stykają się bezpośrednio, tylko za pośrednictwem miedzianych styków. Obecność miedzi i nieco inne ukształtowanie elementów czynnych niczego nie zmienia. Przekrój modułu Peltiera pokazany jest na **rysunku 4**. **Rysunek 5** pokazuje działanie przy różnych kierunkach prądu. Zależnie od kierunku prądu, jedną ze stron nazywamy stroną zimną – tu moduł pochłania ciepło. Druga strona to strona gorąca – tu moduł wydzielą ciepło. Typowy moduł Peltiera to dwie ceramiczne płytki, pomiędzy którymi umieszczono kilkanaście do kilkuset prostopadłościennych kolumnenek wykonanych ze specjalnego stopu. Wiele małych kolumnenek połączonych elektrycznie w szereg umieszczonych jest między dwiema (zwykle kwadratowymi) płytkami ceramicznymi, pełniącymi rolę szkieletu mechanicznego. Płytki te muszą też pełnić rolę izolatora elektrycznego i elementu dobrze przewodzącego ciepło. Najczęściej wykonane są z tlenku glinu (Al_2O_3), materiału, który jako izolator ma wyjątkowo dobre właściwości elektryczne i jednocześnie znakomicie przewodzi ciepło, a do tego ma dobre właściwości mechanicz-



Rys. 4

Rys. 5

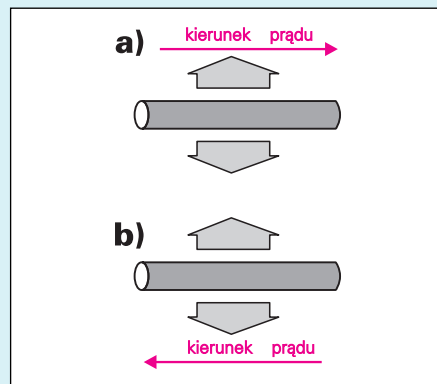


Fot. 1

ne: jest twardy i niezbyt kruchy. **Fotografia 1** pokazuje moduł Peltiera o wymiarach 40x40x3,8mm.

Niewątpliwie zdolność do transportu ciepła zależy w jakiś sposób od wymiarów i liczby kolumnenek. Ale zależy też od natężenia prądu: czym większy prąd, tym większy transport ciepła. Prądu nie można jednak zwiększać dowolnie, ponieważ w grę wchodzi poważny problem wynikający ze znanego zjawiska Joule’a. Zjawisko Joule’a (dżuła) to po prostu wydzielanie się ciepła w przewodniku, w którym płynie prąd. Tym razem kierunek prądu nie ma znaczenia, co ilustruje **rysunek 6**. A przecież każdy przewodnik ma jakiś opór – rezystancję. Prąd płynący przez rezystancję wywołuje zamianę mocy elektrycznej na ciepło. Zależność tę określa znany wzór:

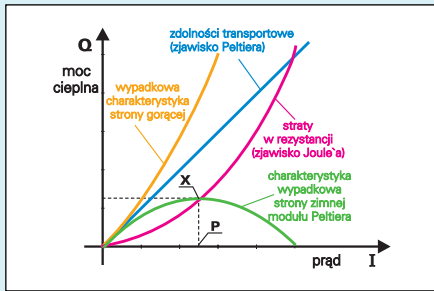
$$P = I^2R$$



Rys. 6

Już ten wzór pokazuje, że straty ciepłne są wprost proporcjonalne do drugiej potęgi prądu. Tymczasem transport ciepła wskutek zjawiska Peltiera rośnie liniowo ze wzrostem prądu. Jeśli zaznaczylibyśmy na **rysunku**, jak przy wzroście prądu zmienia się zdolność transportu ciepła oraz straty mocy wynikające ze zjawiska Joule’a, otrzymamy wykresy, jak na **rysunku 7**. Niebieską linią zaznaczyliśmy zdolności transportowe, a czerwona linia pokazuje wydzielanie się ciepła w rezystancji modułu. Problem polega na tym, że moduł musi przepompować nie tylko ciepło ze strony zimnej na gorącą, ale też musi wypompować na stronę gorącą ciepło Joule’a, wydzielane

w rezystancji modułu. Czym większy prąd, tym szybciej rosną straty w rezystancji i tym mniej „ciepła zewnętrznego” przepompowuje moduł. Na rysunku 7 zazaczyłem punkt P. Przy takim prądzie cała moc pompowania ciepła (zjawisko Peltiera) zostanie wykorzystana do usunięcia ciepła Joule’a z wnętrza modułu i moduł ten nie będzie w ogóle pełnił przewidzianej roli – nie będzie pochłaniał ciepła na stronie zimnej.



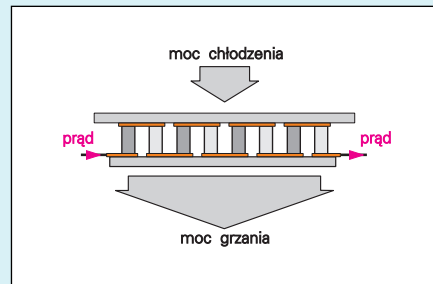
Rys. 7

Oznacza to, że moduł Peltiera miałby charakterystykę „niebieską” tylko wtedy, jeśli nie występowałyby w nim straty mocy Joule’a w postaci ciepła. Byłoby to znakomita pompa cieplna: na stronie gorącej wydzieliłoby się dokładnie tyle ciepła, ile pobrane zostało na stronie zimnej. Na rysunku 7 zielonym kolorem zazaczyłem wypadkową charakterystykę chłodzenia modułu, otrzymaną z odjęcia od charakterystyki transportowej (niebieskiej) ciepła Joule’a (czerwona). Krzywa zielona to charakterystyka rzeczywistego modułu. Pokazuje ona, że nie można nadmiernie zwiększać wartości prądu pracy modułu. W zależności od wielkości, materiału i proporcji wymiarów elementarnych kolumniek istnieje jakaś wartość prądu optymalnego I_{opt} , przy którym moduł transportuje najwięcej ciepła ze strony zimnej na gorącą – na rysunku 7 wyznacza to punkt X. I tej wartości prądu nie należy w żadnym wypadku przekraczać – niekiedy z innych względów warto nawet pracować przy nieco niższej wartości prądu.

Przy okazji warto zwrócić uwagę, że zielona krzywa na rysunku 7 pokazuje zdolność chłodzenia strony zimnej w funkcji prądu. Jest to więc charakterystyka strony zimnej i powstaje przez odjęcie charakterystyk niebieskiej i czerwonej. Charakterystyka strony gorącej będzie inna: tu wydzieli się zarówno transportowane ciepło, jak i ciepło Joule’a. Charakterystyka strony gorącej powstanie przez zsumowanie charakterystyk niebieskiej i czerwonej. Na rysunku 7 jest to krzywa pomarańczowa.

Charakterystyki zielona i pomarańczowa dobitnie świadczą, że moc wydzielana na stronie gorącej będzie dużo większa niż moc chłodzenia - przy prądzie I_{opt} 3-krotnie. Ilustruje to **rysunek 8**. W praktyce oznacza to, że jeśli chcemy zbudować chłodziarkę, musi-

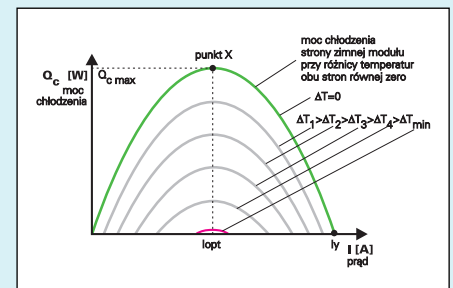
my skutecznie odebrać te duże ilości ciepła ze strony gorącej. Ale moduły Peltiera (i inne układy o podobnym działaniu) mogą też pełnić inne role: mogą służyć do ogrzewania. Nazywane są pompami cieplnymi, i o dziwo, uzyskują sprawność powyżej 100%. Znowu nie jest to zaprzeczenie zasady zachowania energii – na stronie gorącej uzyskujemy nie tylko doprowadzoną moc elektryczną, ale też moc przepompowaną ze strony gorącej. Takie systemy są już wykorzystywane, ale na razie koszt ich zainstalowania nie rekompensuje podwyższonej sprawności.



Rys. 8

Dotychczasowe rozważania nie pokazują wszystkich ograniczeń związanych z wykorzystaniem modułów Peltiera do budowy tytułowej komory termicznej. Zielona charakterystyka z rysunku 7 dotyczy sytuacji w pewnym sensie sztucznej, gdy temperatura z obu stron modułu jest jednakowa. W praktyce taka sytuacja panuje tylko przez krótką chwilę po włączeniu prądu. Temperatury z obu stron są jednakowe i moduł w miarę skutecznie transportuje ciepło z jednej strony na drugą. W miarę pracy modułu w systemie chłodziarki lub właśnie komory termicznej na stronie zimnej temperatura obniża się, a temperatura strony gorącej wzrasta wskutek nieidealnego odbierania żeń ciepła. To oczywiście, że podczas pracy modułu, pomiędzy stroną gorącą i zimną wytwarza się jakaś różnica temperatur. I tu daje o sobie znać kolejne szkodliwe zjawisko. Kolumnienki modułu zbudowane są ze stopu przewodzącego ciepło. Tym razem chodzi o najzwyczajniejsze przewodzenie ciepła w materiałach, zachodzące wszędzie tam, gdzie występują różnice czy inaczej gradient temperatury. Zjawisko to daje o sobie znać dopiero po wytworzeniu różnicy temperatur między stroną zimną i gorącą i niewątpliwie też jest zjawiskiem szkodliwym. Czym większa różnica temperatur między oboma stronami, tym większy szkodliwy przepływ ciepła w „niewłaściwą” stronę. Wcześniej stwierdziliśmy, że moduł musi wypompować szkodliwe ciepło Joule’a, powstające w rezystancji wskutek strat. Teraz okazuje się, że moduł musi też przeciwstawić się nieuchronnej tendencji do wyrównywania temperatur między stronami wskutek „zwyčajnego” przewodzenia ciepła (zwłaszcza przez kolumnienki modułu).

Ogranicza to jego możliwości. **Rysunek 9** pokazuje nieco uproszczone charakterystyki przykładowego modułu. Pierwotna zielona krzywa z rysunku 7 to krzywa górna, dotycząca zerowej różnicy temperatur między stronami modułu. Niższe, szare krzywe dotyczą coraz większych różnic temperatur. Dolna, czerwona wskazuje, że przy dużej różnicy temperatur obu stron zdolności transportowe są bliskie zera. Oznacza to, że dany moduł Peltiera nawet w najlepszych warunkach nie jest w stanie wytworzyć większej różnicy temperatur. Dla każdego modułu w katalogu podaje się tę największą możliwą do osiągnięcia **różnicę temperatur** – zazwyczaj wynosi ona 60...70°C. Dla modułów użytych w modelu różnica ta wynosi według danych katalogowych około 67°C. Wydawałoby się, że da to znakomite parametry: jeśli strona gorąca będzie skutecznie chłodzona wodą z kranu o temperaturze około +12°C, temperatura strony zimnej powinna wynieść -55°C. W rzeczywistości takiej temperatury osiągnąć się nie da. Po pierwsze, w praktyce nie uda się idealnie odebrać ciepła ze strony gorącej, by miała ona tylko +12°C, jak chodząca ją woda. Po drugie, jak wskazuje rysunek 9, przy maksymalnej różnicy temperatur moc chłodzenia jest... równa zero. Tymczasem w praktycznej realizacji nie uda się idealnie zaizolować cieplnie chłodzonej komory testowej. Moduł podczas pracy stale będzie musiał wypompowywać z komory pewną ilość ciepła, napływającego przez niedoskonałą izolację i ciepła wydzielanego w układzie elektronicznym testowanym w komorze.



Rys. 9

Kluczowym elementem w komorze chłodzącej jest jeden lub kilka modułów Peltiera. Minimalna uzyskiwana temperatura zależy od konstrukcji komory, jej izolacji cieplnej oraz od skuteczności odbierania ciepła ze strony gorącej. Wcześniejsze próby wykazały, że jedynym skutecznym sposobem, umożliwiającym uzyskanie temperatur znacznie poniżej zera jest wykorzystanie chłodzenia wodnego. Jakiekolwiek klasyczne radiatory, nawet z wymuszonym obiegiem powietrza za pomocą wentylatorów, dają nieporównanie gorsze wyniki. W praktyce największym problemem przy wykonywaniu komory opisanego typu będzie wykonanie wymiennika ciepła, wewnątrz którego ma przepływać zimna woda z kranu.

I właśnie nie część elektroniczna, tylko wymiennik ciepła oraz staranność wykonania izolacji cieplnej zadecydują o końcowym efekcie.

Opis układu

W modelu pokazanym na fotografiach pracują dwa moduły Peltiera o wymiarach 40x40x3,8mm produkcji rosyjskiej, pochodzące z warszawskiej firmy Semicon. Połączone są one szeregowo, a więc ich napięcie pracy wynosi około 24V.

W najprostszym przypadku komorę chłodzącą można wykonać bez jakichkolwiek układów automatyki. Napięcie zasilające moduły powinno być dobrze filtrowane (tętnienia poniżej 10%), ale nie musi być stabilizowane. Trzeba zapewnić możliwość regulacji prądu, na przykład skokowo według **rysunku 10**. Wartość rezystancji ograniczającej Rx trzeba dobrać, by prąd nie przekroczył dopuszczalnej dla zastosowanych modułów wartości 6A i by uzyskać jak najniższą temperaturę.

W prezentowanym modelu zastosowany jest elektroniczny sterownik modułu z czujnikiem temperatury. Pełny schemat ideowy sterownika pokazany jest na **rysunku 11**.

Układ jest zasilany napięciem stabilizowanym przez stabilizator 7809 (U3).

Czujnikiem temperatury jest popularny układ LM335 (D2), natomiast jeszcze bardziej popularna kostka TL431 jest źródłem napięcia wzorcowego.

Jak wiadomo, napięcie na czujniku LM335 jest proporcjonalne do temperatury bezwzględnej, wyrażonej w kelwinach (ze współczynnikiem 10mV/K). Napięcie to podane z punktu A na wtórnik U1A dostępne jest w punkcie D jako **rzeczywista wartość temperatury** czujnika i wnętrza komory.

Potencjometr P1 pozwala ustawić potrzebną temperaturę w szerokim zakresie od -20°C do około +150°C. Napięcie w punkcie E odpowiada wartości **nastawionej temperatury**.

Napięcia w punktach D, E odpowiadają temperaturom bezwzględnym (temperatura w kelwinach pomnożona przez 10mV). Przykładowo temperaturze +20°C odpowiada napięcie 2,93V, a temperaturze 0°C – napięcie 2,73V. Aby odczytać temperaturę w skali Celsjusza, należy wprowadzić przesunięcie o te 2,73V (teoretycznie 2,7315V). Służy temu dzielnik R6, R12 i wtórnik U1C. Za pomocą potencjometru montażowego PR1 należy tak ustawić napięcie stabilizacji układu U4, żeby w punkcie C uzyskać napięcie 2,73V, odpowiadające temperaturze 0°C.

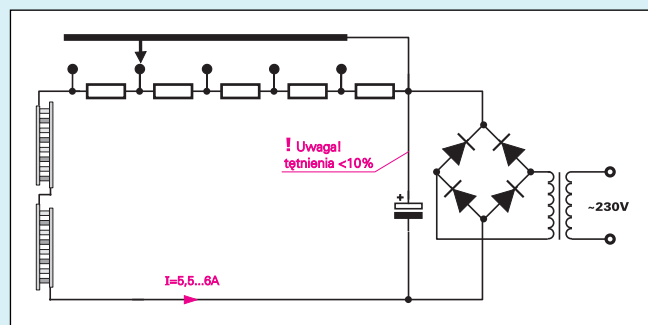
Jak widać na schemacie, do punktu C dołączony jest woltomierz, którego drugi zacisk przełącznik S1 łączy albo z punktem D, albo E. Pozwala odczytać zarówno aktualną temperaturę wnętrza komory (D), jak też wartość ustawioną (E).

Rezystor R13 i potencjometr PR2 pozwalają ustawić dolną granicę regulacji temperatury. Dodatkowo wykorzystany jest tu wzmacniacz U1D – w punkcie C występuje napięcie odpowiadające minimalnej temperaturze ustawianej potencjometrem P1. Potencjometrem PR2 należy ustawić w punkcie B napięcie równe 2,53V, co odpowiada temperaturze -20°C. Punkt B będzie wykorzystywany bardzo rzadko.

Górna granica regulacji temperatury wyznaczoną jest głównie przez wartość R6. Przy podanych na schemacie wartościach elementów ta górna granica wynosi około +150°C. Kto chciałby ją obniżyć, może zmniejszyć wartość R6 i ewentualnie skorygować wartości R5, R11, R13, żeby w punkcie C uzyskać 2,73V, a w punkcie B 2,53V.

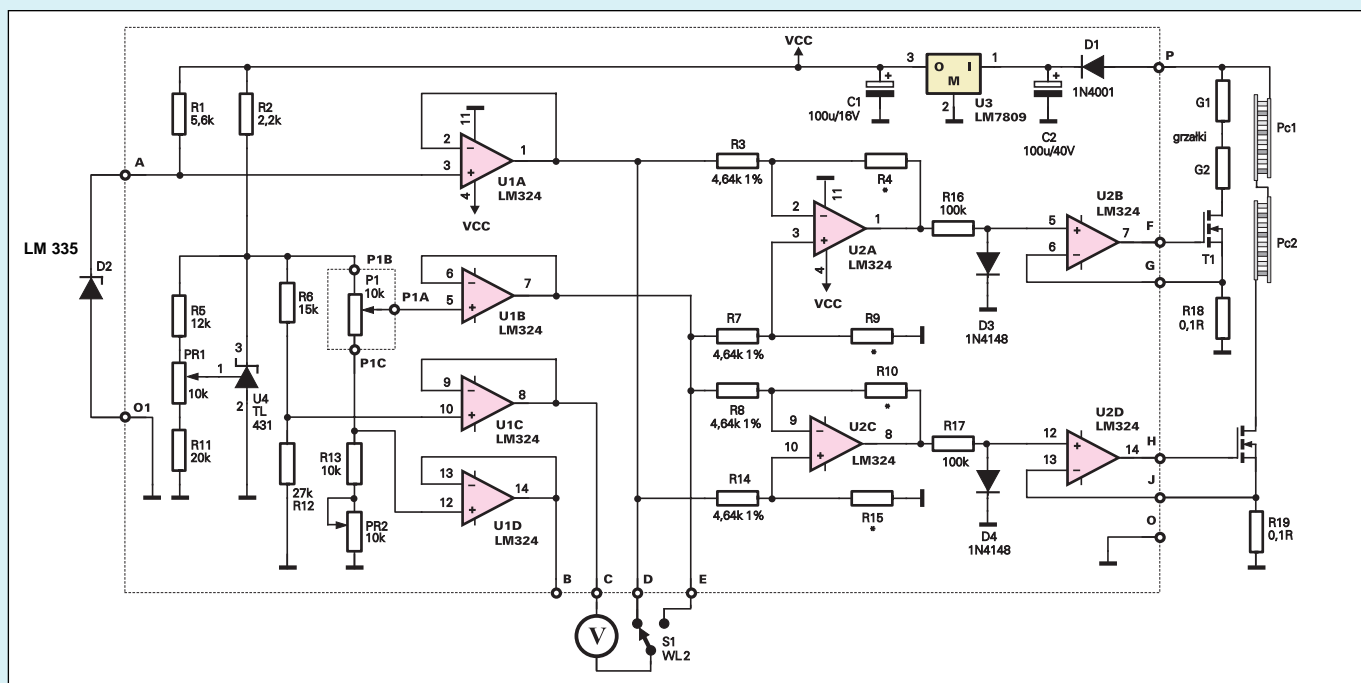
Dzięki zastosowanemu rozwiązaniu, do pomiaru aktualnej i nastawionej temperatury wystarczy jakikolwiek woltomierz o zakresie 2V.

Oprócz obwodów pomiarowych, opisany układ ma także obwody wykonawcze do sterowania modułami Peltiera oraz grzałkami. Dwa wzmacniacze różnicowe U2A, U2C porównują temperaturę nastawioną (napięcie z punktu E) z aktualną temperaturą czujnika (napięcie z punktu D). Wzmacniacze są niemal identyczne, różnią się tylko kierunkiem zmian napięcia wyjściowego. Jeżeli aktualna temperatura jest wyższa od nastawionej, na wyjściu wzmacniacza U2A napięcie jest praktycznie równe zeru. Wzmacniacz U2B dba o to, by na rezystorze kontrolnym



Rys. 10

Rys. 11 Schemat ideowy



R18 napięcie też było równe zeru – tranzystor T1 jest zatkany i grzałki nie pracują.

Jednocześnie na wyjściu wzmacniacza U2C napięcie jest znacznie wyższe od potencjału masy. Rezystor R17 i dioda D4 ograniczają napięcie na wejściu „dodatnim” U1D do wartości około 0,6V. Wzmacniacz U1D otwierając odpowiednio tranzystor T2 dba, żeby takie samo napięcie wystąpiło na R19. Napięcie 0,6V na rezystorze R19 o wartości 0,1 oznacza, że maksymalny prąd płynący przez tranzystor T2 i moduły Peltiera jest ograniczony do około 6A.

Wzmacniacz U1D, tranzystor T2 i rezystor R19 stanowią więc źródło prądowe sterowane napięciem z diody D4. Zastosowanie takiego sterowania prądowego jest korzystne, bo uniezależnia prąd modułów Peltiera zarówno od napięcia zasilania, jak i zmian charakterystyki modułów pod wpływem tzw. zjawiska Seebecka.

Tu należy podkreślić, że typ diody D5 i wartość R17 umożliwiają dość dokładne dobranie optymalnego prądu modułów.

Dociekliwi Czytelnicy mogą się zastanawiać, dlaczego nie wykorzystać modułów Peltiera także do grzania, przez zmianę kierunku prądu. Taka zmiana jest możliwa, należy jednak wziąć pod uwagę, że kolumnienki w modułach Peltiera są montowane z wykorzystaniem stopu lutowniczego o stosunkowo niskiej temperaturze topnienia. Łatwo mogłoby się zdarzyć, by moduł rozgrzał się do temperatury powyżej +200°C, co mogłoby doprowadzić do rozlutowania połączeń i nieodwracalnego uszkodzenia.

Bezpieczniej jest wykorzystać sposób z oddzielnymi grzałkami, którymi mogą być rezystory mocy. A tranzystor T1 można zamontować na metalowej obudowie komory, żeby i on brał udział w podgrzewaniu. W takim przypadku trzeba też zwrócić uwagę na tranzystor T1, żeby nie przekroczyć dopuszczalnej temperatury złącza równej +150°C.

Jeśli izolacją cieplną byłby styropian, trzeba tak umieścić T1 oraz grzałki, żeby po rozgrzaniu nie stopił styropianu. Może trzeba będzie zastosować inny materiał izolacyjny (wełna mineralna, wata szklana).

W prezentowanym modelu nie ma grzałek i obwody ze wzmacniaczami U2A, U2B są niewykorzystane. W ten sposób model jest tylko komorą chłodniczą.

Montaż i uruchomienie

Sternik można zamontować na płycie drukowanej, pokazanej na **rysunku 12**. Opis regulacji PR1, PR2 podany był wcześniej. W prezentowanym modelu komora wykonana jest ze zwykajnego garnka aluminiowego o średnicy 18,5cm i wysokości 12cm. Chłodnica wodna i sternik są zamocowane na dnie garnka, jak pokazują fotografie. Czujnik temperatury umieszczony jest na drucie wewnątrz garnka. Tranzystor T2 został umieszczony na chłodnicy wodnej, co gwarantuje mu znakomite warunki chłodzenia. Mimo wszystko warto zadbać, żeby spadek napięcia na tranzystorze był jak najmniejszy (maksimum kilka woltów). Chodzi o zmniejszenie niepotrzebnych strat ciepłych w tranzy-

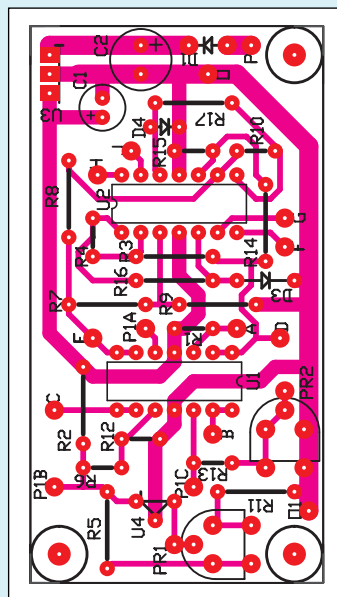
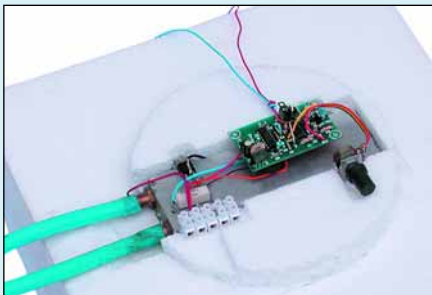
storze T2. Wystarczy dodać dobrany rezystor szeregowy w obwodzie zasilania według wcześniejszego rysunku 10. Przy większych napięciach, na tranzystorze tym zupełnie niepotrzebnie dodatkowo wydzielalaby się duża ilość ciepła, z którego usunięciem musiałaby sobie poradzić chłodnica wodna, tracąc przy tym część swojej wydajności.

Uzyskane parametry komory zależą w największym stopniu od izolacji komory. Warto jak najstaranniej wykonać izolację cieplną. Chodzi nie tylko o izolację od otoczenia, ale co bardzo ważne, także o izolację cieplną w okolicach modułów Peltiera. Istotnym błędem byłby brak izolacji między chłodnicą a komorą, gdzie z konieczności odległości elementów o różnych temperaturach są niewielkie. Jak wskazuje rysunek 9, warto też eksperymentalnie dobrać optymalną wartość prądu, dającą najniższą temperaturę.

W czasie pracy komory przepływ wody chłodzącej musi być taki, żeby wzrost temperatury chłodnicy był możliwie mały.

Na koniec chciałbym serdecznie podziękować **Danielowi Lorezowi** z Warszawy za pomoc w wykonaniu modelu, a konkretnie aluminiowej chłodnicy wodnej.

Piotr Górecki



Rys. 12 Schemat montażowy

Wykaz elementów

Rezystory:

R1	.....	5,6kΩ
R2	.....	2,2kΩ
R3,R7,R8,R14	.....	4,64kΩ 1%
R4,R9,R10,R15	.....	332kΩ 1% (301kΩ...402kΩ 1%)
R5	.....	12kΩ
R6	.....	15kΩ
R11	.....	20kΩ
R12	.....	27kΩ
R13	.....	10kΩ
R16,R17	.....	100kΩ
R18,R19	.....	0,1Ω 5W
P1	.....	10kΩ potencjometr
PR1,PR2	.....	10kΩ PR

Kondensatory:

C1	.....	100µF/16V
C2	.....	100µF/40V

Półprzewodniki:

D1	.....	1N4001
D2	.....	BZX55C5V6
D3,D4	.....	1N4148
T1,T2	.....	BS170
U1,U2	.....	LM324
U3	.....	LM7809
U4	.....	TL431

Inne:

G1,G2	.....	grzałki
Pc1,Pc2	.....	moduły Peltiera
S1	.....	przełącznik

Płytkę montażową jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2654A.