



# Regulator temperatury Termostat dla każdego



## Do czego to służy?

Zgodnie ze swą nazwą układ przeznaczony jest do utrzymywania stałej temperatury. Jego działanie polega na okresowym włączeniu grzałki lub pieca, by temperatura nie przekraczała poza ustalony wąski zakres.

Zakres regulacji temperatury sięga  $-20...+150^{\circ}\text{C}$ . Zastosowany element wykonawczy w postaci przekaźnika pozwala sterować obciążeniami o mocy do 3,5kW.

Ten prosty, a jednocześnie bardzo funkcjonalny układ znajdzie szereg zastosowań praktycznych. Opisywany regulator dobrze nadaje się do zastosowań domowych (łazienki, garaże, inkubatory), a nawet przemysłowych (termostaty, piece, rozmaite linie technologiczne i przemysłowe).

Z jego budową, uruchomieniem i regulacją nie powinien mieć żadnych problemów nawet początkujący elektronik – na stopień trudności wskazuje jedna gwiazdka.

Przedstawiony materiał przyda się także bardziej zaawansowanemu – przeanalizowanie szczegółów budowy układu pomoże we własnym zakresie budować podobne regulatory i dostosować je do indywidualnych potrzeb.

## Jak to działa?

Schemat ideowy układu pokazany jest na rysunku 1. Układ elektroniczny jest zasilany z sieci za pośrednictwem transformatora TR1 i klasycznego zasilacza ze stabilizatorem U2. Napięcie zasilania wynosi 12V. Właściwości cieplne stabilizatorów rodziny 78XX są na tyle dobre, że napięcie

wyjściowe można śmiało wykorzystywać w typowych zastosowaniach także jako napięcie odniesienia (wzorcowe). Tak jest i w tym układzie. Kto chciałby uzyskać większą precyzję, może zastosować stabilizator LM317 (dodając dwa rezystory), ale w żadnym wypadku nie jest to konieczne.

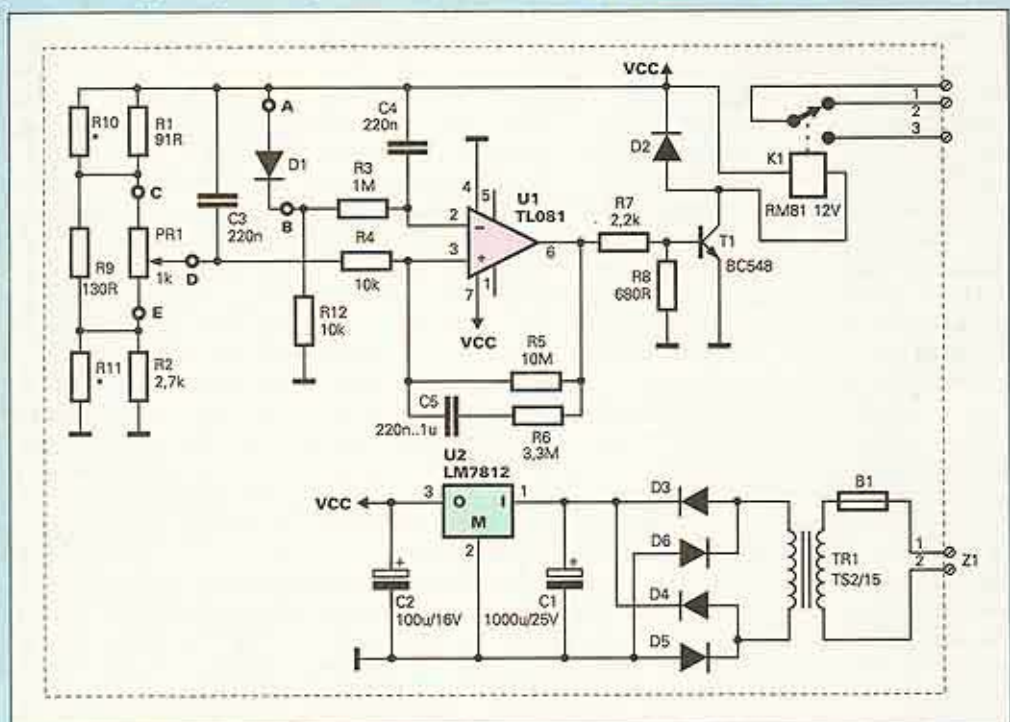
Czujnikiem temperatury jest najwyklesza dioda krzemowa D1. Jak wiadomo, napięcie przewodzenia diody (każdego złącza p-n) przy stałym prądzie maleje wraz ze wzrostem temperatury. Współczynnik zmian wynosi  $-2...-2,2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ .

Zarówno współczynnik ten, jak i wartość napięcia (np. w temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$ ) nie są sta-

łe. Występuje duży rozrzut między typami diod (tranzystorów), a nawet poszczególnymi egzemplarzami tego samego typu. Jest to znaczącą wadą przy wykorzystywaniu złącza p-n w termometrze, który ma dokładnie wskazywać wartość aktualnej temperatury. Nie jest jednak żadną wadą w opisywanym prostym regulatorze. Ewentualne rozrzuty spowodują co najwyżej przesunięcie skali o  $2...3^{\circ}\text{C}$ , co nie ma praktycznego znaczenia.

Zależne od temperatury napięcie na diodzie D1 jest porównywane z napięciem odniesienia, uzyskiwanym z suwaka potencjometru PR1.

Rys. 1 Schemat ideowy



Porównania dokonuje wzmacniacz operacyjny U1. Jest to popularna kostka TL081, której wejścia mogą pracować przy napięciach bliskich dodatniego napięcia zasilania.

Zanim napięcia z potencjometru i czujnika temperatury dostaną się na wejścia kostki U1 są „czyszczone” za pomocą C3 oraz R3C4. Chodzi o usunięcie ewentualnych zakłóceń impulsowych, jakie będą indukowane w przewodach. Przewody prowadzące do potencjometru będą krótkie, a wartość PR1 niezbyt duża, dlatego w tym obwodzie nie należy się spodziewać większych zakłóceń. Gorzej w obwodzie czujnika temperatury. Dioda D1 na pewno będzie dołączona za pomocą dłuższego, być może nawet kilkumetrowego przewodu. W takim przewodzie mogą się indukować spore zakłócenia. Usunie je obwód R3C4 o stałej czasowej aż 220ms.

Niemniej jednak, jeśli przewód prowadzący do czujnika ma być dłuższy niż powiedzmy 20cm, w celu zmniejszenia podatności na zakłócenia należy połączenie wykonać dwużyłową skrętką albo jeszcze lepiej przewodem ekranowanym (ekran dołączyć do punktu A).

Wzmacniacz operacyjny U1 pracuje tu jako komparator i na jego wyjściu występuje tylko jeden z dwóch stanów. Gdy napięcie wyjściowe jest bliskie napięciu zasilania, tranzystor T1 przewodzi i uruchamia przełącznik K1. Dzielnik rezystorowy R7, R8 jest potrzebny, by skutecznie wyłączyć tranzystor i przełącznik, gdy napięcie wyjściowe U1 jest bliskie masy – w rzeczywistości może wynieść wtedy nawet ponad 1V.

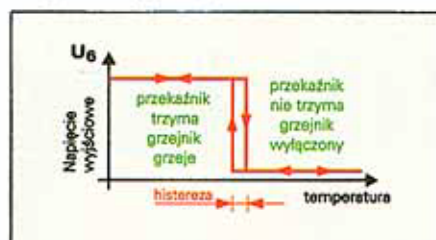
Generalna zasada działania jest bardzo prosta. Gdy jest zimno, napięcie na nóżce 2 kostki U1 mierzone względem masy jest wyższe niż napięcie na nóżce 3. W rezultacie na wyjściu, czyli nóżce 6, napięcie jest zbliżone do plusa zasilania – przełącznik pracuje a dołączony grzejnik grzeje.

Gdy temperatura rośnie, zmniejsza się spadek napięcia na diodzie, czyli napięcie na wejściu „ujemnym” wzmacniacza operacyjnego (n. 2 U1) mierzone względem masy rośnie. Gdy stanie się większe od napięcia na wejściu „dodatnim” (n. 3 U1), stan wyjścia (n. 6 U1) zmieni się – napięcie to spadnie i przełącznik puści. Grzejnik przestanie grzać.

Gdy temperatura opadnie, spadek napięcia na D1 wzrośnie, czyli napięcie na nóżce 2 względem masy spadnie a przełącznik znów zadziała i włączy grzejnik.

Ponieważ jednak zmiany temperatury z zasady są powolne, układ porównujący musi być wyposażony w obwody zapewniające histerezę. W prezentowanym regulatorze są to elementy R4, R5, R6, C5. Histereza, nawet niewielka, skutecznie zapobiegne drganiom i niestabilności, związanymi z niewielkimi składowymi zmiennymi, jakie jednak niechybnie przedostaną się na wejścia kostki U1. Chodzi przede wszystkim o brum sieci 50Hz.

Obecność histerezy oznacza także, że przełącznik zostanie włączony przy temperaturze T, a puści przy temperaturze nieco wyższej – ilustruje to rysunek 2.



Rys. 2 Histereza

Wielkość tej różnicy temperatur, czyli histerezy, zależy od stosunku R5/R4. Zmniejszanie R5 (a także zwiększanie R4) zwiększa histerezę. Przy podanych wartościach R4, R5 histereza wynosi około 5°C, co w większości przypadków jest optymalną wartością. W razie potrzeby, histerezę można zmienić, najlepiej przez zmianę wartości R4 w zakresie 1kΩ...47kΩ.

Nie należy nadmiernie zmniejszać histerezy, ponieważ spowoduje to niestabilną pracę układu przełączającego. Właśnie taki błąd popełniają początkujący. Na papierze wszystko działa doskonale, a po zmontowaniu układu okazuje się, że w temperaturach w pobliżu progu przełączania przełącznik zaczyna brzęczeć albo wielokrotnie włącza się i wyłącza w krótkim czasie. Powoduje to szybkie wypalanie styków i uszkodzenie przełącznika, a czasem nawet kolejnych elementów (styczników, ewentualnych silników wentylatorów czy pomp). W tego typu regulatorach histereza jest wręcz konieczna. Nie może być zbyt duża, 10 czy 20 stopni, bo przekreśli to sens stosowania regulatora. Ale nie może być zbyt mała (ułamek stopnia), bo w granicach progu przełączania wystąpi niestabilność związana z obecnością nieodłącznych szumów i brumu sieciowego. Niedoświadczonym wydaje się, że występujące tu napięcia z czujnika D1 i potencjometru PR1 są „czyste”. W rzeczywistości te napięcia zawierają jakąś niewielką składową zmienną (szumy, brum, zakłócenia impulsowe), której kondensatory C3 i C4 nie są w stanie całkowicie wyeliminować. Gdy „śmieci” te mają amplitudę, przypuśćmy 4mV, układ porównujący traktuje je jak wahania temperatury w granicach 2 stopni Celsjusza. Te „śmieci” dają o sobie znać tylko w pobliżu progu przełączania - spowodują przypadkowe przełączenie, a nawet brzęczenie z częstotliwością 50Hz, gdy napięcia stałe z diody (punktu B) i potencjometru (punktu D) będą równe z dokładnością 2mV.

Aby uniknąć kłopotów, wystarczy zastosować układ przełączający, który będzie miał histerezę napięciową większą niż 4mV. W prezentowanym układzie realizuje to obwód z rezystorami R5, R4. Przy podanych

wartościach (10MΩ, 10kΩ) i zmianach na wyjściu rzędu 10V, zmiany napięcia na nóżce 3 (i tym samym histereza) będą wynosić około 10mV, co odpowiada mniej więcej 5°C. W praktyce oznacza to, że jeśli grzejnik zostanie wyłączony w temperaturze na przykład 27°, to jego włączenie nastąpi dopiero po zmniejszeniu temperatury do 22°.

Jeśli komuś zależy na znacznie mniejszej histerezie, czyli chce utrzymywać temperaturę z większą dokładnością, może zmniejszyć histerezę, zmniejszając R4 nawet do 1kΩ, ale powinien jednocześnie zadbać o zredukowanie brumu i zakłóceń przez zwiększenie C3, C4 i stosowanie kabla ekranowanego do czujnika D1. W takim właśnie przypadku bardzo ważną rolę odegra obwód R6C5 - obwód ten radykalnie poprawia działanie układu, skutecznie zapobiegając brzęczeniu przełącznika i zbyt częstym przełączeniom. Zrozumienie jego roli nie jest trudne – jest to dodatkowy obwód histerezy, czynny tylko przez czas (roz)ładowania kondensatora C5. W momencie zmiany stanu na wyjściu wzmacniacza operacyjnego kondensator C5 musi się albo naładować (gdy stan zmienia się z wysokiego na niski a przełącznik puszcza), albo rozładować (gdy przełącznik łapie). Droga prądu (roz)ładowania to między innymi suwak PR1, R4, C5, R6. Wartość prądu i tym samym czas (roz)ładowania określa przede wszystkim duża rezystancja R6. Prąd ten płynie również przez rezystor R4 i wywołuje na nim spadek napięcia. Spadek ten dodaje się bądź odejmuje od napięcia z suwaka PR1, co daje dodatkowy efekt histerezy – wzmacnia to głębokość histerezy wynikającej z obecności R5. Różnica polega tylko na tym, że obwód z R5 jest czynny zawsze, a obwód z R6C5 działa tylko w czasie (roz)ładowania kondensatora C5.

Przykładowo, gdy przełącznik puszcza, opadające zbocze na wyjściu U1 powoduje ładowanie kondensatora i obniżenie się napięcia na wejściu nieodwracającym (nóżka 3). Ponieważ na pewien czas napięcie na nóżce 3 jest obniżone, ewentualne śmieci o niewielkiej amplitudzie (szumy, brum), przechodzące mimo wszystko na nóżkę 2, nie powodują przełączenia. Przełącznik w sposób pewny zostaje przełączony na czas wyznaczony głównie przez stałą czasową R6C5. Gdy kondensator C5 już się naładuje i prąd przestanie przepływać, układ będzie znów miał niewielką histerezę wyznaczoną przez R5. Jeśli wtedy pojawi się większe zakłócenie i spowoduje przełączenie, napięcie na wyjściu U1 gwałtownie wzrośnie a kondensator C5 znacznie się rozładuje. Napięcie na nóżce 3 tym razem zostanie „podciągnięte do góry” a układ niejako zatrzaśnie się w tym stanie na czas wyznaczony przez R6C5.

Oznacza to, że w zasadzie można zrezygnować ze „stałej histerezy” i usunąć rezy-

stor R5, a wykorzystać jedynie obwód R6C5. W zakresie progu przełączania przekaźnik będzie po prostu regulamie łapał i puszczał w rytmie wyznaczonym przez R6C5. Taki sposób działania przypomina pracę tak zwanego regulatora proporcjonalnego.

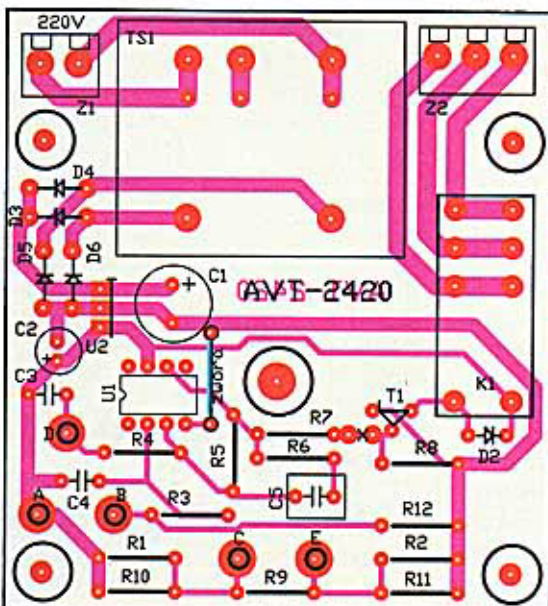
Oczywiście częste przełączanie nie jest zdrowe dla przekaźnika, którego styki mają ograniczoną trwałość i stopniowo ulegają wypaleniu. Dlatego w układach, gdzie histereza ma być mała (duża dokładność regulacji temperatury), warto radykalnie zwiększyć pojemność C5 (kondensator ten może być dobrze zaformowanym elektrolitem, włączonym biegunem dodatnim w stronę R4, a ujemnym w stronę R6).

Problemu wypalania styków można uniknąć stosując w roli elementu wykonawczego triak i optotriak zamiast przekaźnika. W prezentowanym prostym układzie nie przewidziano takiej opcji. Praktyka pokazuje, że 16-ampereowy przekaźnik lepiej nadaje się do urządzeń pracujących dorywczo (termostat w łazience, grzejnik w garażu).

### Montaż i uruchomienie

W urządzeniu występują napięcia groźne dla życia i zdrowia. Osoby niepełnoletnie mogą wykonać i uruchomić układ jedynie pod opieką wykwalifikowanych osób dorosłych.

Rys. 3 Schemat montażowy



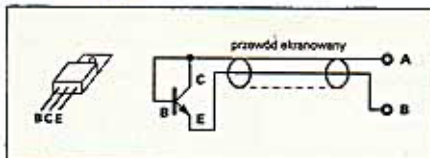
Regulator można zmontować na płytce drukowanej, schemat montażowy pokazano na rysunku 3. Montaż nie powinien sprawić trudności nawet początkującym. Kolejność montażu nie jest istotna, jednak lepiej zacząć od elementów najmniejszych: zwoy, diod oraz rezystorów i kolejno montować coraz większe. Potencjometr i diodę pomiarową należy dołączyć przewodami. Jeśli regulator miałby pracować w trudnych warunkach klimatycznych, płytkę należy starannie zabezpieczyć lakierem izolacyjnym. W takim wypadku nie należy stosować podstawkę, a układ U1 włożyć wprost w płytkę.

Układ bezbłędnie zmontowany ze sprawnych elementów nie wymaga uruchamiania i od razu będzie pracował poprawnie. Część Czytelników zechce metodą eksperymentalną zawęzić zakres regulacji pamiętając, że zmniejszanie R9 zmniejsza ten zakres, a zmniejszanie R1 i R10 przesuwają całą skalę w stronę wyższych temperatur.

Obudowę można dobrać we własnym zakresie, przestrzegając obowiązujących przepisów bezpieczeństwa. Przewidziane otwory pasują do niewielkiej obudowy KM-42.

W każdym przypadku czujnik temperatury nie powinien być montowany wewnątrz obudowy, bo będzie próbował stabilizować temperaturę wewnątrz niej.

Rys. 4 Podłączenie czujnika tranzystrowego

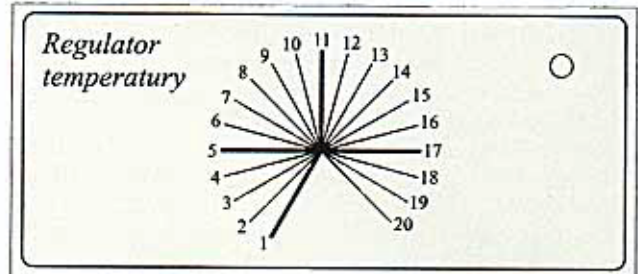


Na płytce drukowanej przewidziano miejsce na złącza śrubowe ARK, które pozwolą łatwo dołączyć napięcie zasilające 220V i obciążenie. Dołączając obciążenie, można wykorzystać styki bierno. Wtedy obciążenie, na przykład w postaci wentylatora, będzie włączane, gdy temperatura wzrośnie.

Zamiast diody pomiarowej D1 można wykorzystać dowolny tranzystor. W niektórych sytuacjach sensowne okaże się użycie tranzystora mocy NPN. Kolektor takiego tranzystora jest połączony z wkładką radiatorową, co zapewni znakomity kontakt termiczny. W takim przypadku trzeba połączyć tranzystor według rysunku 4. Jak widać, ko-

lektor połączony jest z ekranem i plusem zasilania układu.

Rysunek 5 pokazuje projekt skali regulatora. Nie jest ona opisana konkretnymi wartościami, ze względu na rozrzut parametrów użytych elementów oraz ewentualne dostosowanie dla własnych potrzeb. Rysunek ten w formacie CorelDraw w wersji 5.0 dostępny jest także na stronie internetowej EdW.

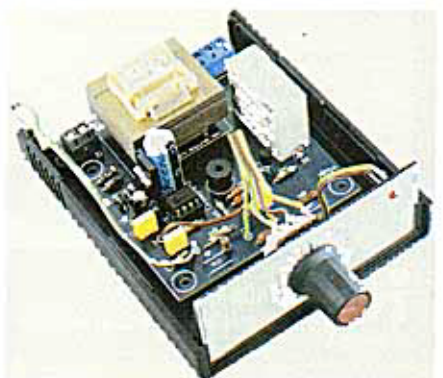


Rys. 5 Przykładowa skala

### Możliwości zmian

Proponowany prosty układ nie ma kontrolki informującej o stanie przekaźnika. Kto chce, może ją bez trudu dodać. Może to być dioda LED włączona w szereg z rezystorem R7, przy czym wartość R7 można zmniejszyć do 1kΩ, by uzyskać większą jasność. Na płytce przewidziano w tym celu otwory; trzeba jednak przeciąć ścieżkę w punkcie oznaczonym X. Można też włączyć diodę LED oraz szeregowy rezystor 680Ω...2,2kΩ równoległe do cewki przekaźnika.

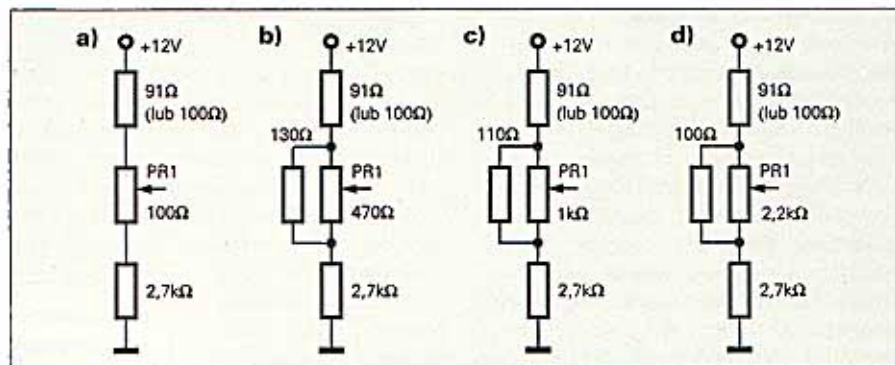
Jak wspomniano, rezystory R1, R2 i dodatkowe R9, R10, R11 wyznaczają zakres regulowanych temperatur. Te trzy dodatkowe rezystory pozwolą w razie potrzeby precyzyjnie dostosować zakres regulacji temperatury do specyficznych potrzeb.



W typowych zastosowaniach nie trzeba ich wszystkich stosować. Rysunek 6a pokazuje podstawowy obwód przy wykorzystaniu potencjometru PR1 o rezystancji 100Ω. Jak widać, umożliwia on zmianę napięcia na suwaku potencjometru w zakresie 378mV...792mV. Tak szeroki zakres regulacji, uwzględniający tolerancje i rozrzuty użytych elementów, na pewno wystarczy, by zapewnić regulację, w całym zakresie spodziewanych temperatur. W praktyce zamiast potencjometru 100Ω stosowane będą znacznie popularniejsze potencjometry o wartościach 1kΩ albo 470Ω i 2,2kΩ. Aby zachować podany zakres regulacji, należy wtedy włączyć jako R9 odpowiedni potencjometr według rysunków 6b...6d.

Uzyskany zakres regulacji temperatury będzie bardzo szeroki, zdecydowanie szerszy niż wspomniane -20...+150°C. Niektórzy Czytelnicy zechcą z pewnością zmniejszyć zakres regulacji, na przykład do 0...+30°C.

Jest to możliwe i w sumie łatwe - trzeba po prostu dodać rezystory R9, R10. Choć ze względu na znaczny rozrzut parametrów stosowanych czujników nie jest możliwe podanie recepty na obliczanie rezystorów, można to zrobić metodą prób i błędów według zasady:



### ZMNIJSZANIE R9 ZMNIJSZA ZAKRES REGULACJI DOKONYWANY ZA POMOCĄ POTENCJOMETRU PR1, A ZMNIJSZANIE R1 ORAZ R10 PRZESUWA SKALĘ W STRONĘ WYŻSZYCH TEMPERATUR.

Kto chciałby zamiast prób przeprowadzić wstępne obliczenia rezystorów, może skorzystać z następujących wskazówek:

- Ze względu na to, że R11 ma wartość znacznie większą od R1, R9, R10, zazwyczaj nie zajdzie potrzeba stosowania R11.

- W pierwszej kolejności należy dobrać R9, by uzyskać na potencjometrze PR1 napięcie odpowiadające potrzebnemu zakresowi regu-

Rys. 6 Dobieranie zakresu regulacji wersji podstawowej

lacji. Napięcie to powinno wynosić (2,2mV \* zakres), czyli dla podanego zakresu 0...30°C około 2,2mV/°C \* 30°C = 66mV. Oznacza to, że przy prądzie płynącym przez R2 wynoszącym niecałe 4,3mA, R9 będzie mieć małą wartość, w tym wypadku około 15Ω.

Mając ustalony zakres regulacji, należy dobrać R1 i ewentualnie R10. Wzory pomogą jedynie obliczyć przybliżone wartości. Zakładając na przykład, że przy prądzie diody pomiarowej nieco ponad 1mA (R12) napięcie na niej w temperaturze 0°C wyniesie 660mV, można obliczyć, że wypadkowa wartość R1 i R10 wyniesie około 130...140Ω (594mV / 4,3mA). W praktyce należałoby zastosować R1 o wartości

Piotr Górecki

## Wykaz elementów

### Rezystory

R1	.....	91Ω
R2	.....	2,7kΩ
R3	.....	1MΩ
R4	.....	10kΩ
R5	.....	10MΩ
R6	.....	3,3MΩ
R7	.....	2,2kΩ
R8	.....	680Ω
R9	.....	130Ω
R10, R11	.....	* (patrz tekst)
R12	.....	10kΩ
PR1	.....	potencjometr 1kΩ

### Kondensatory

C1	.....	1000µF/25V
C2	.....	100µF/16V
C3, C4	.....	220nF
C5	.....	220nF...1µF

### Półprzewodniki

D1, D2	.....	1N4148
D3-D6	.....	1N4001
T1	.....	BC548
U1	.....	TL081
U2	.....	LM7812

### Pozostałe

K1	.....	RM81 12V
TR1	.....	transformator TS2/15
Z1	.....	ARK2
Z2	.....	ARK3
Płytką drukowaną		
Obudowa KM42		

**Uwaga! Rezystory R10, R11 nie wchodzi w skład zestawu AVT-2420.**

**Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2420**

REKLAMA · REKLAMA · REKLAMA · REKLAMA



**Renomowany producent przemysłowych drukarek INK-JET oferuje wysokiej klasy elementy automatyki:**

**miniaturowe przetwornice DC/DC do bezpośredniego montażu na płytce**  
do zastosowań w obwodach zasilania układów cyfrowych i analogowych



napięcie wyjściowe pojedyncze lub podwójne  
galwaniczna separacja wejście - wyjście  
galwaniczna separacja wyjść  
współpraca przetwornic szeregową lub równoległą  
odporne na zwarcie

**aktywny detektor podczerwieni**  
do zastosowań w układach automatyki i zabezpieczeń



małe wymiary budowy (M18x1)  
duża odporność na zakłócenia  
wbudowany wskaźnik zadziałania  
wyjście odporne na zwarcie  
wykonania PNP, NPN



**INTRON ELEKTRONIK**  
Przedsiębiorstwo Zagraniczne

ul. Tamogajska 11/13  
50-512 Wrocław  
tel. (071) 67 04 11  
fax (071) 73 32 69