

# Uniwersalny termostat

W artykule przedstawiamy układ uniwersalnego termostatu, przeznaczony do precyzyjnego sterowania elektrycznymi grzejnikami urządzeń domowych, ogrodniczych i fotograficznych, do akwariów i wielu innych.

Obciążalność styków zastosowanego przekaźnika może wynosić do 13A przy napięciu zasilania 240V, co pozwala sterować obciążenia o mocy do ok. 3kW.



Regulacja temperatury jest jedną z dziedzin naszego życia, w której elektronika znacznie przewyższa swoich elektromechanicznych konkurentów. W systemach ogrzewania, które do regulacji temperatury nie wymagają wielkiej precyzji, często są używane mechaniczne styki bimetaliczne. Na przykład w tropikalnych akwariach do monitorowania temperatury wody zazwyczaj stosuje się zanurzeniowy czujnik bimetaliczny, jest on bowiem tani i dostatecznie niezawodny. Jednak jego regulacja wstępna sprowadza się do metody prób i błędów, ponieważ nie jest on w ogóle wykalibrowany i jedynym sposobem jego kontroli jest obserwacja (cały czas z nadzieją że rybki się z tym godzą).

W innych domowych zastosowaniach styk bimetaliczny może wchodzić w skład typowego termostatu do centralnego ogrzewania, zamrażarki lub piecyka elektrycznego. W przypadku wentylatora lub wykorzystywania ogrzewania konwektorowego, regulator może być wykalibrowany w dowolnej podziałce, ale zawsze jest pewien zakres „przecignięcia”, gdyż temperatura musi osiągnąć maksimum zanim bimetaliczny styk wyłączy grzejnik. Następnie temperatura musi spaść do bardzo niskiego poziomu, zanim grzejnik zostanie ponownie włączony. Przy

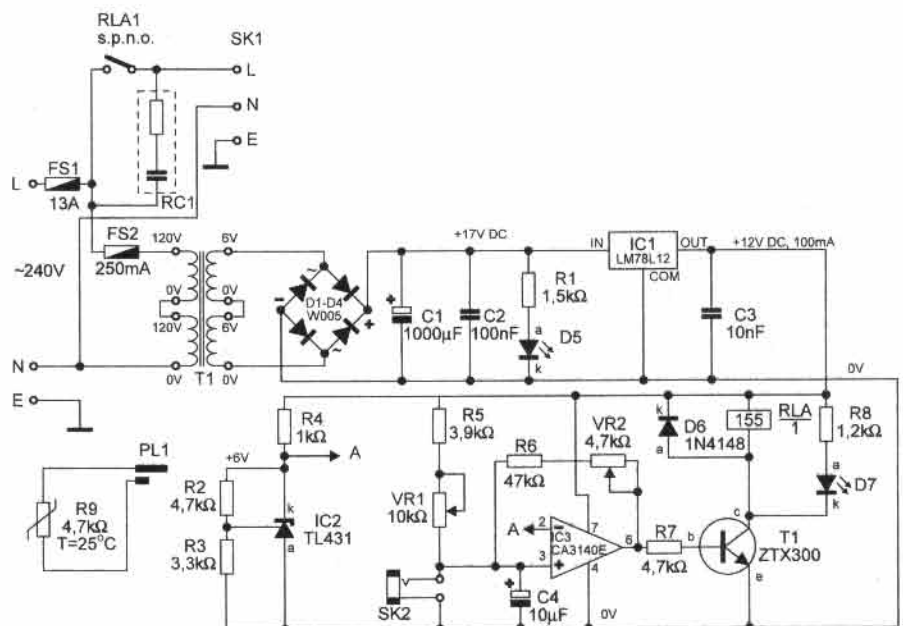
dobieraniu regulacji trzeba więc raczej myśleć o temperaturze minimalnej, nie zwracając uwagi na dokuczliwe przegrzania, zanim bimetaliczny termostat wyłączy palnik.

Innym problemem związanym z termostatami elektromechanicznymi jest ich skłonność do oscylowania w pobliżu temperatury progowej, wywołującego brzęczenie i iskrzenie styków przez sekundę lub dwie w trakcie ich przełączania. Czasem bimetal jest wyposażany w magnes, który przy-

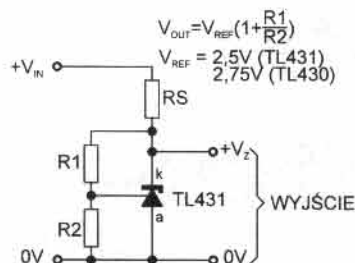
spieszając ruch styku w czasie przełączania zapobiega temu efektowi. Cechą charakterystyczną większości rozwiązań mechanicznych jest ich stosunkowo niewielka trwałość.

## Zastosowania

Wszystkie wymienione niedogodności można bardzo łatwo pokonać za pomocą termostatu elektronicznego, takiego jak niżej opisany. Ten uniwersalny układ można dostosować do rozmaitych specyficznych wymagań. Został on



Rys. 1. Schemat elektryczny termostatu.



Rys. 2. Schemat podłączenia stabilizatora TL 431.

zaprojektowany jako układ bezpieczny i niezawodny, mając na uwadze minimalizację kosztów.

Zależnie od zastosowanego rodzaju czujnika temperatury, może on być sterowany temperaturą powietrza lub temperaturą cieczy. Nadaje się on doskonale do:

- \* domowych piecyków i centralnego ogrzewania,
- \* celów ogrodniczych (ogrzewania szklarni, dojrzewalni i szkółek),
- \* ciemni fotograficznej (ogrzewania kąpieli, kontroli procesu wywoływania),
- \* produkcji płyt drukowanych, kontroli procesu trawienia,
- \* ogrzewania akwariów tropikalnych,
- \* domowego browarnictwa, kontroli procesu fermentacji.

Dodatkową zaletą układu jest opcjonalna regulacja zakresu histerezy. Pozwala ona użytkownikowi dobrać różnicę pomiędzy maksymalną i minimalną temperaturą przełączania, decydującą o dokładności regulowanej temperatury. Oznacza to, że zakres działania termostatu może być poszerzany albo zawężony, co pozwala na kompensację bezwładności termicznej systemu grzewczego. W razie potrzeby regulacja histerezy może zostać zaniechana.

### Opis układu

Schemat elektryczny uniwersalnego termostatu jest pokazany na rys. 1. Jest to prosty układ, którego głównym elementem jest wzmacniacz operacyjny IC3 w układzie przerzutnika Schmitta (dwustanowy z dwuprogową histerezą). Jest on zasilany przez zasilacz sieciowy 12V. Regulowany stabilizator IC2 dostarcza napięcia odniesienia wzmacniaczowi operacyjnemu, który porównuje z nim sygnał czujnika temperatury i steruje przekaźnikiem dużej mocy, służącym do włączania

i wyłączania obciążenia (grzejnika).

Czujnikiem temperatury termostatu jest termistor R9. Ze względów oszczędnościowych wybrano tańszy termistor perełkowy. Dokładniejszy termistor ze szklaną perełką jest droższy i znacznie delikatniejszy. Współczynnik temperaturowy termistora jest ujemny, co oznacza, że jego oporność maleje ze wzrostem temperatury. Kondensator C4 służy do eliminacji zakłóceń, które mogłyby indukować się w przewodzie czujnika. W zależności od sposobu montażu termistora może on służyć jako czujnik temperatury cieczy lub powietrza, co zostanie omówione w dalszej części artykułu.

Termistor R9 wraz z potencjometrem regulacji temperatury VR1 i rezystorem R5 wchodzi w skład dzielnika, z którym jest połączone nieodwracające (+) wejście wzmacniacza operacyjnego IC3. Gdy rośnie temperatura termistora, jego oporność maleje, a zatem maleje także napięcie wejścia (+) wzmacniacza.

Wzmacniacz operacyjny wzmacnia różnicę napięć wejścia (+) i wejścia odwracającego (-) (odpowiednio końcówki 3 i 2). Gdy napięcie wejścia (+) jest wyższe niż napięcie wejścia (-), to stan na wyjściu wzmacniacza ma poziom wysoki (zbliżony do wartości napięcia zasilania). W przeciwnym razie stan wyjścia jest niski.

Wejście (-) jest bezpośrednio połączone ze źródłem wzorcowym IC2, regulowanym równoległym stabilizatorem napięcia TL431, dostarczającym dokładnie 6V (połowy napięcia zasilania).

Jest to bardzo poręczny stabilizator, jego układ połączeń w obwodzie stabilizacji jest pokazany na rys. 2. Stabilność tego źródła jest bardzo istotna dla poprawnej pracy termostatu.

Wewnętrzne napięcie odniesienia wzorca, mierzone pomiędzy wyprowadzeniami anody i ref, wynosi 2,5V. Dzielnik R1-R2 służy do wyznaczenia napięcia stabilizatora. Standardowo przez dzielnik płynie 1mA a przez sam stabilizator 5mA. Wzór umożliwiający obliczenie wartości rezystancji rezystorów dzielnika jest

następujący:

$$V_z = V_{ref}(1 + R1/R2)$$

Dla otrzymania napięcia stabilizowanego o wartości 6V po rozwiązaniu równania otrzymuje się  $R1 = 4,7k\Omega$  i  $R2 = 3,3k\Omega$ .

Jest jeszcze potrzebny rezystor szeregowy Rs, którego oporność oblicza się w taki sam sposób, jak dla zwykłej diody Zenera. Przy założeniu 12V napięcia zasilania i 6V napięcia Zenera, oraz całkowitym prądzie 6mA (1mA + 5mA) przepływającym przez rezystor, oporność rezystora Rs wynosi 1kΩ.

### Histereza komparatora pomiarowego

Układ jest bardzo czuły, co może być wadą, ponieważ wzmacniacz operacyjny wzmacnia najmniejsze różnice napięć pomiędzy wejściami i od razu przełącza wyjście w stan wysoki lub niski. Przy stosunkowo wolno zmieniającym się sygnale wejściowym zdarza się często, że układ zaczyna oscylować w pobliżu punktu przełączania. Jest to bardzo niekorzystne przy przełączaniu obciążenia sieciowego. Efekt ten może zostać przezwyciężony przez skonfigurowanie układu wzmacniacza w przerzutnik Schmitta. W tym celu został wprowadzony obwód dodatniego sprzężenia zwrotnego VR2 i R6. Dzięki temu powstały dwa poziomy przerzuty, górny i dolny, a ich niewielka różnica nazywa się histerezą. Teraz układ nie może już oscylować w okolicy temperatury progowej. Temperatura musi osiągnąć określony poziom, aby grzejnik został wyłączony, a przed ponownym włączeniem musi się obniżyć poniżej poziomu włączenia. Możliwość doboru histerezy pozwala kształtować charakterystykę regulacji termostatu i kompensować przerzuty temperatury.

Układ jest zasilany za pośrednictwem transformatora T1, który obniża napięcie do 12VAC, prostowanego następnie przez mostek prostowniczy i wygładzanego przez kondensator C1. Otrzymane napięcie około 17VDC jest doprowadzone do standardowego trójkońcówkowego stabilizatora IC1 o stałym napięciu 12V i wydajności 100mA. LED D5 włączona przed stabilizatorem sygnalizuje działanie termostatu.

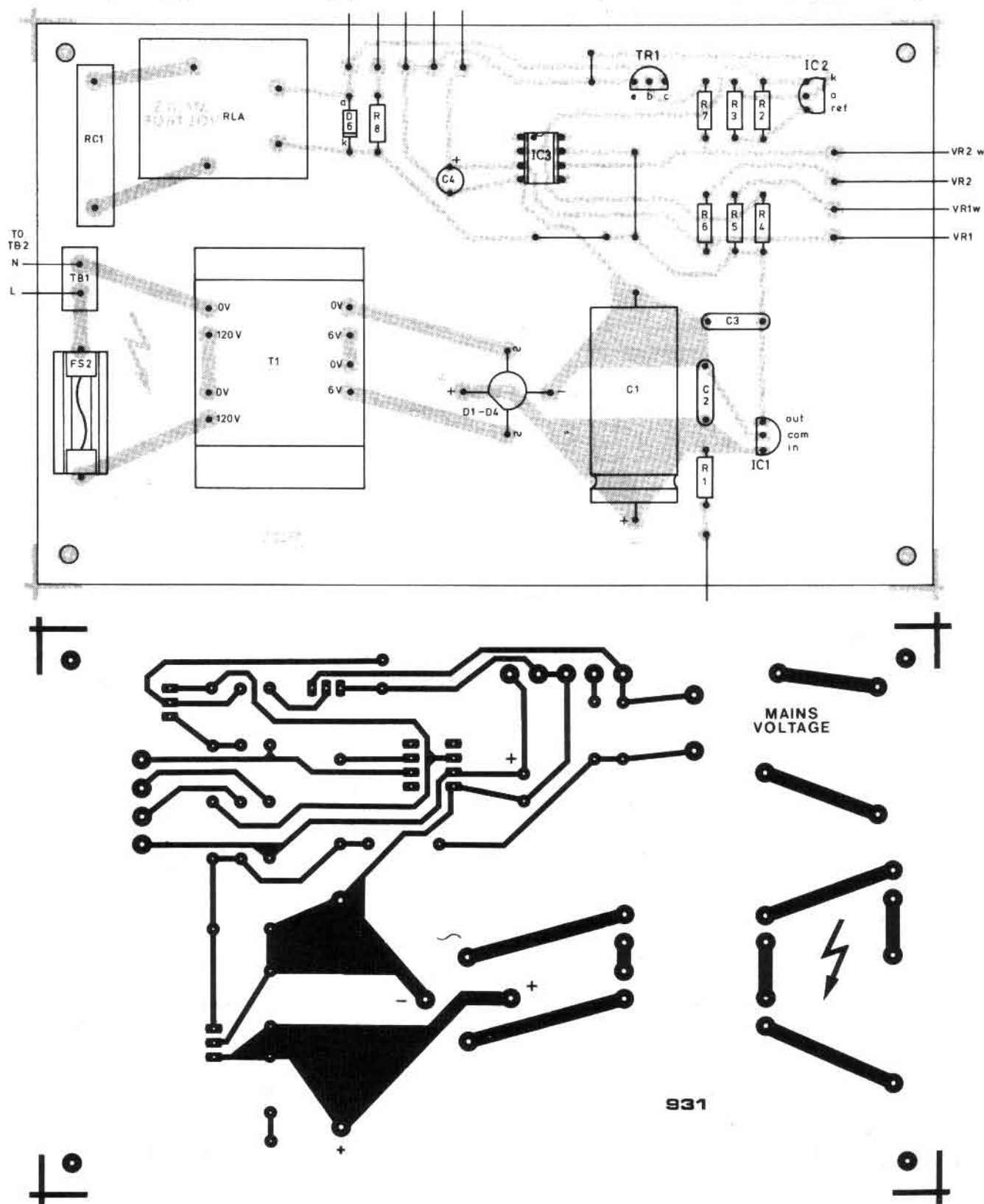
### Montaż i uruchomienie

Dla prostoty wykonania układ został zaprojektowany na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 160mm x 100mm. Można użyć gotowej płytki albo wykonać ją samemu, posługując się wzor-

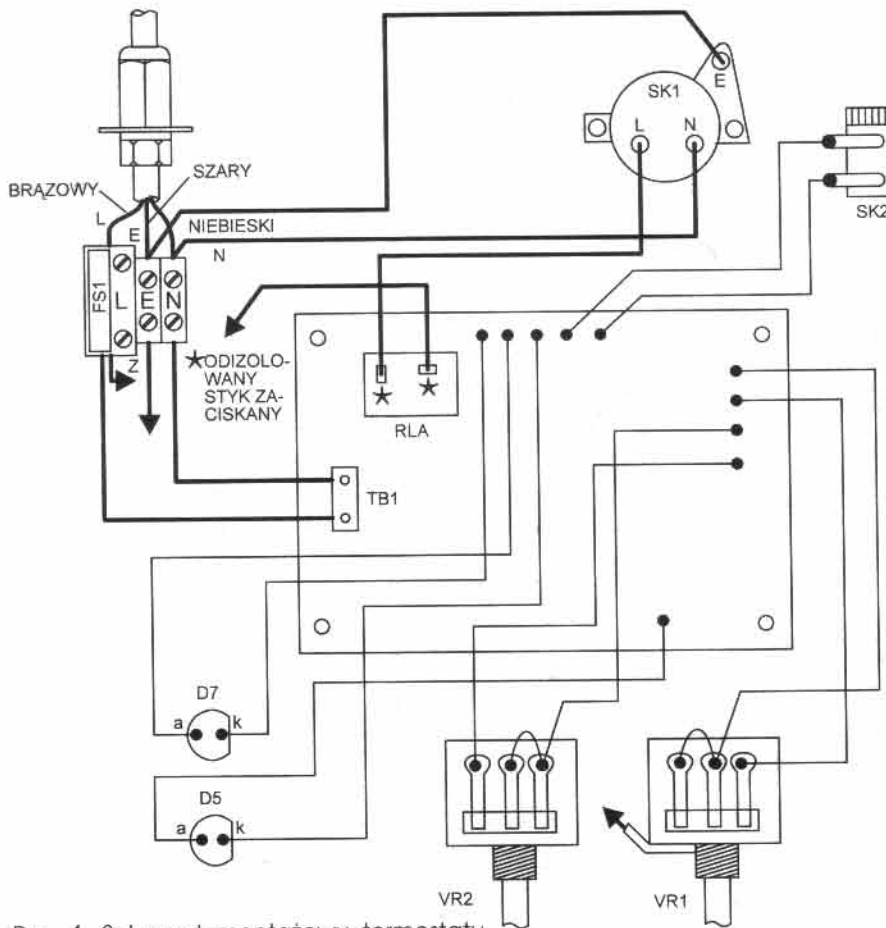
rem mozaiki ścieżek płytki z rys. 3. Rozmieszczenie elementów na płytce, za wyjątkiem wmontowanych w płytę czołową, jest także pokazane na rys. 3. Cztery otwory  $\phi$  3mm służą do umocowania płytki w obudowie. Otwory te

przed zmontowaniem układu mogą posłużyć jako szablon do wywiercenia otworów mocujących w obudowie. Podczas montażu elektrycznego należy stosować się do ogólnie przyjętych zasad.

Zastosowany w urządzeniu



Rys. 3. Płytką drukowaną termostatu.



Rys. 4. Schemat montażowy termostatu

przełącznik jest bardzo interesującym podzespołem, ponieważ pomimo że jest przeznaczony do montażu na płytce drukowanej, to styki dużej mocy są dostępne zarówno od góry, jak i przez płytkę. Oznacza to, że pełny prąd obciążenia 13A nie musi płynąć przez płytkę i może być doprowadzony przewodami o odpowiednim przekroju bezpośrednio do nożowych wyprowadzeń styków w obudowie przełącznika. Styki te mają także wyprowadzenia lutowane do płytki drukowanej, wzmacniające połączenie przełącznika z płytką i umożliwiające przyłączenie obwodu gaszącego RC1.

Sieć doprowadza się do płytki za pośrednictwem dwuzaciskowego złącza TB1. Przewodzi ono jedynie niewielki prąd zasilania samego termostatu. Bezpiecznik FS2 jest umieszczony w umocowanym do płytki uchwycie z pokrywką ochronną.

Na zakończenie montażu płytkę można wykończyć spryskując ją od strony miedzi ochronnym lakierem do druku. Nie będzie to

przeszkodą przy lutowaniu przewodów doprowadzających.

Końcową fazą montażu jest okablowanie. Nie wolno przy tym zapominać o użyciu przewodów odpowiedniego przekroju do połączeń przeznaczonych do pełnego obciążenia 13A. Kompletny schemat połączeń wewnętrznych termostatu jest pokazany na rys. 4.

Doprowadzenie napięcia sieci do zacisków TB1 należy wykonać zwykłym przewodem sieciowym 6A. Połączenia przez które płynie prąd obciążenia, łączące sieć ze stykami przełącznika i wyjściowym gniazdkiem sieciowym, muszą być wykonane przewodem sieciowym 13A (zob. rys. 4). Styki przełącznika są wyprowadzone złączami nożowymi typu samochodowego. Przewody łączące się z przełącznikiem muszą zatem zostać zakończone odpowiednimi zaciskami końcówkami. Powinny one zostać zabezpieczone przed przypadkowym zwarcie specjalnymi izolatorami albo koszulką termokurczliwą. Należy użyć przewodów w kolorach przyjętej konwencji, brązowego dla fazy i niebieskiego

dla zera.

Przed włączeniem napięcia trzeba dokładnie sprawdzić, czy wszystkie połączenia są zgodne ze schematem, następnie włączyć termostat i ustawić potencjometry w środkowym położeniu.

Najlepszym chyba wstępnym testem po zmontowaniu układu jest próba warsztatowa przy pomocy zasilacza warsztatowego. Jeżeli dysponuje się takim, należy doprowadzić do kondensatora wyglądającego C1 napięcie 15V do 17V, pamiętając o właściwej polaryzacji. Nie ma potrzeby przyłączania do gniazdka wyjściowego żadnego obciążenia ani grzejnika.

Poprawne działanie można potwierdzić kilkoma szybkimi pomiarami napięcia względem masy. W prototypie napięcie na wyjściu stabilizatora wynosiło 12,09V, a na końcówce 2 wzorca napięcia IC3 5,98V. Należy sprawdzić, czy pokręcanie potencjometrami wywołuje włączenie i wyłączenie przełącznika.

Podgrzanie czujnika suszarką do włosów także powinno spowodować włączenie przełącznika. Za pomocą zamrażającego aerozolu można także ochłodzić czujnik (choćby środek użyty przez autora zniszczył lakier ochronny termistora!).

Teraz dla uniknięcia ewentualnego przypadkowego porażenia należy zamknąć obudowę i włączyć wtyczkę do sieci w miarę możliwości za pośrednictwem bezpiecznika automatycznego. Po włączeniu wyłącznika powinna zaświecić się LED D5, a w wyniku pokręcania potencjometru regulacji temperatury powinny dać się słyszeć stuki przełącznika. W celu przeprowadzenia końcowej próby trzeba włączyć do gniazdka wyjściowego odpowiednie obciążenie i sprawdzić czy działa, gdy przełącznik jest włączony.

### Kalibracja

Zależnie od potrzeby pokrętko regulacji temperatury może zostać wykalibrowane, albo wystarczy zadowolić się podziałką względną. Do sterowania na przykład grzejnikami do użytku domowego zupełnie wystarczy podziałka od 1 do 10, której nastawy dobiera się doświadczalnie. W razie potrzeby kalibracji termostatu trzeba

## WYKAZ ELEMENTÓW

## Rezystory

0,25W, 5% warstwowe węglowe, za wyjątkiem R9

R1: 1,5k $\Omega$

R2, R7: 4,7k $\Omega$

R3: 3,3k $\Omega$

R4: 1k $\Omega$

R5: 3,9k $\Omega$

R6: 47k $\Omega$

R8: 1,2k $\Omega$

R9: termistor perelkowy 4,7k $\Omega$ /25C

## Kondensatory

C1: 1000 $\mu$ F/25V, leżący

C2: 100nF, poliestrowy

C3: 10nF, poliestrowy

C4: 10 $\mu$ F/16V, stojący

## Półprzewodniki

D1...D4: W005 50V PIV 1A mostek prostowniczy

D5: czerwona LED 3mm

D6: 1N4148

D7: zielona LED 3mm

TR1: ZTX300, npn

IC1: LM78L12, stabilizator 12V/100mA

IC2: TL431 regulowany wzorec napięcia

IC3: CA3140E wzmacniacz operacyjny CMOS

## Różne

T1: transformator sieciowy do druku 2 x 6V, 3VA

SK1: gniazdko sieciowe 13A do montażu w płycie

SK2: gniazdko "jack" f 3,5mm

RLA: przekaźnik 12V/155W,

jednoobwodowy 30A, do druku

RC1: tłumik do styków sieciowych

FS1: bezpiecznik 13A

FS2: bezpiecznik 250mA

z uchwytem do druku

TB1: 2-stykowe złącze zaciskowe do druku

TB2: uchwyt bezpiecznika do druku

4 plastikowe słupki dystansowe

8-stykowa podstawka do układu scalonego

dławik do kabla sieciowego

3-żyłowy kabel sieciowy 13A

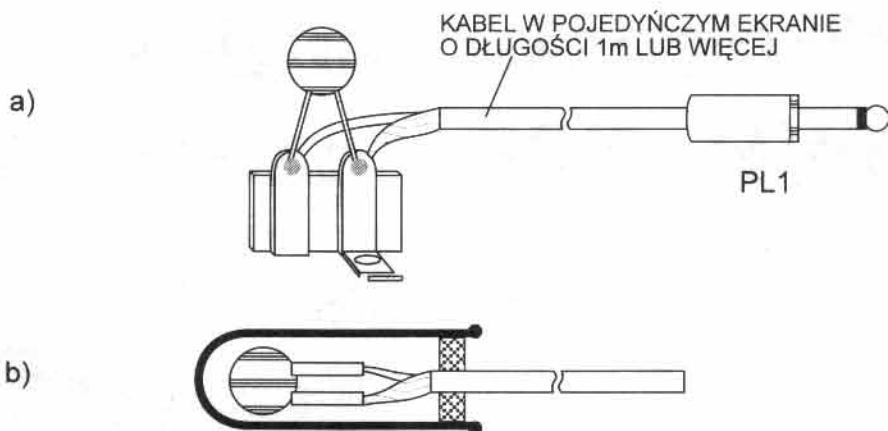
z wtyczką

przewody montażowe

końcówki lutownicze

będzie wycechować termistor podługując się znaną temperaturą.

Do cechowania sondy do cieczy należy przygotować naczynie napełnione wodą z lodem i umieścić w niej sondę oraz termometr. Pokręcając pokrętko regulacji tem-



Rys. 4. Sposób wykonania czujnika pomiarowego.

peratury należy odczytać podziałki, przy których przekaźnik włączy się i wyłączy. Po wykonaniu szeregu takich pomiarów przy różnych temperaturach sporządza się wykres, służący następnie do czytelnego opisu podziałki. Dla uproszczenia można tymczasowo wyłączyć histerezę rozłączając obwód sprzężenia zwrotnego.

Podobnie postępuje się przy cechowaniu sondy powietrznej. Sondę wraz z termometrem umieszcza się w naczyniu z kostkami lodu. Po zanotowaniu danych dla temperatury zerowej, otwiera się naczynie, pozwalając na powolny wzrost temperatury i wykonuje serię kolejnych pomiarów, zapisując podziałki i temperatury włączenia i wyłączenia przekaźnika.

Do kalibracji prototypu użyto termometru cyfrowego, a zakres regulacji temperatury rozciągał się od +2°C do +30°C. Na wykalibrowaniu kończy się wykonanie termostatu, który jest od tej chwili gotowy do użycia.

## Uwagi końcowe

Przygotowując termostat do użytku warto poeksperymentować z lokalizacją sondy w celu uzyskania optymalnych wyników. Wiadomo, że ciepłe powietrze unosi się do góry i rezultatem umieszczenie sondy zbyt nisko będzie przegrzanie pomieszczenia, a umieszczenie jej zbyt wysoko, lub za blisko grzejnika, wywoła przedwczesne wyłączenie grzejnika. Optymalne rezultaty da się uzyskać po przeprowadzeniu kilku prób. Za pomocą regulatora należy też dobrać właściwą histerezę.

Termostat może być używany bez regulatora histerezy VR2, ale dla uniknięcia migotania pewien minimalny zakres histerezy jest konieczny. Zamiast rezystora R6 należy użyć rezystora 220k $\Omega$  i zerwać punkty które łączyły się z potencjometrem VR2. W ten sposób rezystor 220k $\Omega$  stanie się rezystorem sprzężenia zwrotnego.

## Alan Winstanley

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z redakcją miesięcznika „Everyday with Practical Electronics”.