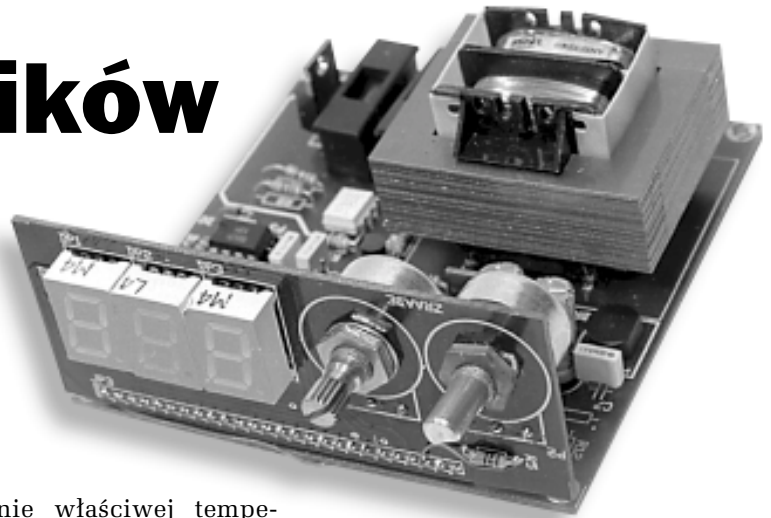


Uniwersalny regulator temperatury dla fotografików

kit AVT-427



Kontynuujemy cykl opisów układów dedykowanych fotografikom amatorom, którzy wbrew naszym obawom bynajmniej nie wymarli, ale mają się dobrze i interesują się przeznaczonymi dla nich konstrukcjami elektronicznymi.

Dostali już od EP opis konstrukcji zegara ciemniowego, lampy ciemniowej, a teraz przyszła pora na stabilizator temperatury kąpeli używanych podczas obróbki materiałów zarówno negatywowych, jak i pozytywowych.

Zachowanie właściwej temperatury kąpeli fotochemicznych, a w szczególności wywoływacza, jest dla prawidłowego przeprowadzenia obróbki materiału fotograficznego sprawą najwyższej wagi. Ważna jest nie tylko wartość temperatury, ale także jej powtarzalność przez dłuższy czas. Bez stosowania odpowiednich układów elektronicznych zapewnienie właściwych warunków pracy w ciemni jest więc absolutnie niemożliwe.

Proponowany układ nazwalibyśmy „regulatorem temperatury dla fotografików“, bo takie jest jego podstawowe przeznaczenie. Nie oznacza to jednak, że naszego układu nie można zastosować do regulacji temperatury w akwarium czy w pomieszczeniach mieszkalnych, nie mówiąc o zastosowaniach przemysłowych. Proponowany układ może znaleźć zastosowanie wszędzie tam, gdzie do ogrzewania wykorzystuje się grzałki lub piecyki elektryczne.

Układ łączy w sobie precyzyjny termometr ze stabilizatorem temperatury o bardzo dobrych parametrach. A więc właściwie są to dwa urządzenia: termometr i termostat. Rozwiązanie takie pozwala uniknąć wielu problemów, takich jak np. tworzenie precyzyjnej skali do termostatu. Jak dotąd było to zadanie bardzo trudne: jeżeli zastosowaliśmy potencjometr jednoobrotowy, to wykonanie do niego skali o zakresie np. 50°C było praktycznie niemożliwe i taki

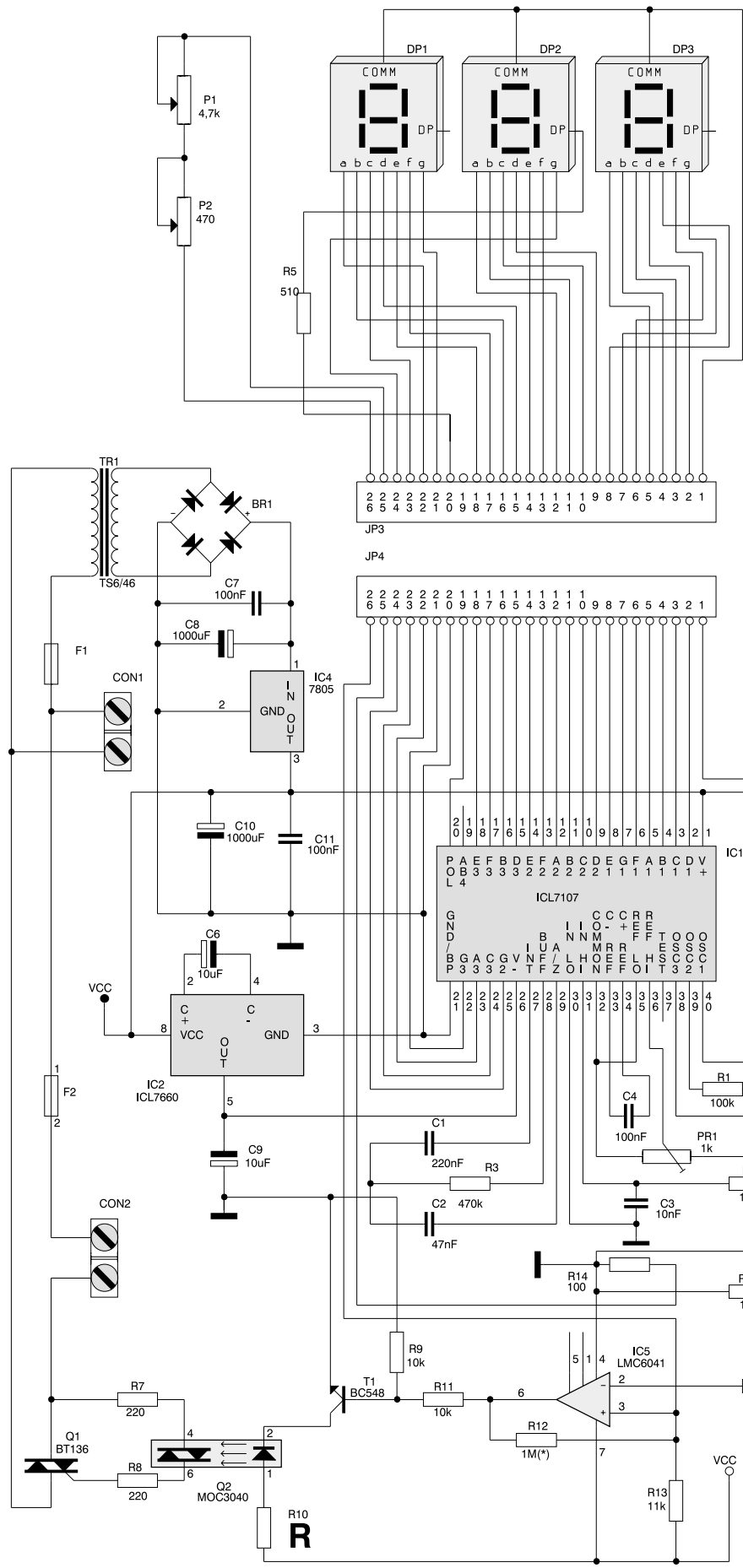
regulator musiałby w założeniu być obciążony dużym błędem stabilizowanej temperatury. Zastosowanie potencjometrów wieloobrotowych z wbudowaną skalą poprawiało wprawdzie precyzję działania termostatu, ale znacznie komplikowało posługiwanie się nim. W naszym układzie możemy bezpośrednio odczytać z wyświetlacza wartość stabilizowanej temperatury i ewentualnie ją skorygować.

Układ zaprojektowany został z zastosowaniem wyłącznie tanich i łatwo dostępnych w handlu elementów. Jego cena nie będzie wysoka, a i wykonanie nie przysporzy kłopotów nawet średnio zaawansowanym w sztuce konstruktorskiej Czytelnikom. Wielkie znaczenie ma fakt, że układ nie wymaga jakiegokolwiek, zwykle kłopotliwej kalibracji, z wyjątkiem ustawienia napięcia odniesienia miliwoltomierza.

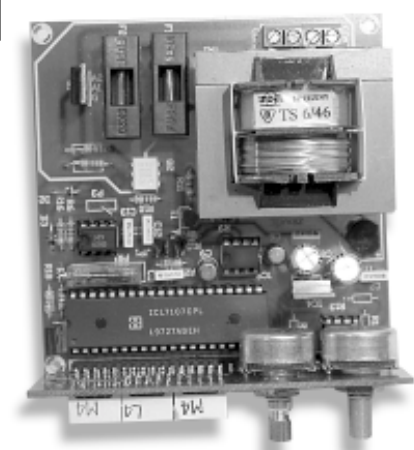
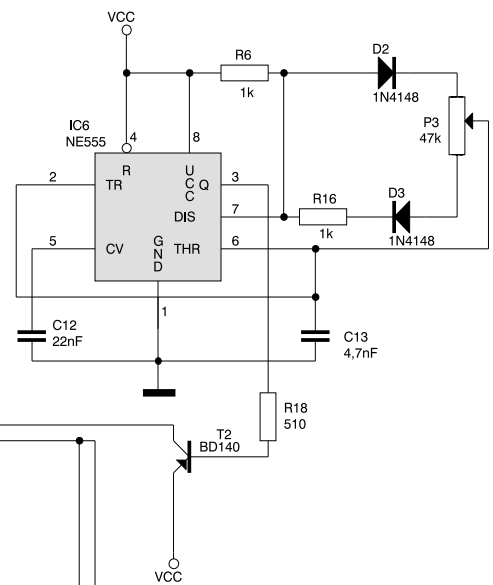
Opis działania układu

Schemat elektryczny termostatu został przedstawiony na **rys. 1**. Układ możemy podzielić na pięć podstawowych bloków funkcjonalnych:

1. Blok wzmacniacza błędów termostatu zrealizowany na układzie LMC6041 (IC5).
2. Układ pomiarowy termometru zbudowany z wykorzystaniem ICL7107.
3. Układ wykonawczy termostatu



składający się z triaka Q1 i sterującego nim optotriaka Q2.
 4. Układ regulujący jasność świecenia wyświetlaczy LED, niezbędny przy pracy w ciemni fotograficznej, zrealizowany na układzie NE555 (IC6).
 5. Blok zasilający dostarczający napięcie dodatnie (IC4) i ujemne względem masy (IC2).
 Dzięki zastosowaniu w układzie nowoczesnego, precyzyjnego scalonego czujnika temperatury typu LM35, układ termostatu został uproszczony do minimum. Minęły już czasy, kiedy do budowy ter-



Rys. 1. Schemat elektryczny układu.

mometrów i termostatów używało się w charakterze czujników termistorów lub diod krzemowych włączonych w kierunku przewodzenia. Pierwsze z nich miały bardzo nieliniowe charakterystyki, co bardzo komplikowało budowę układu i powodowało konieczność przeprowadzania uciążliwej regulacji. Spadek napięcia na diodzie krzemowej jest wprawdzie liniowy w funkcji temperatury, ale o małym nachyleniu i trzeba wówczas stosować dodatkowy wzmacniacz i przeprowadzać kalibrację układu w dwóch dokładnie znanych punktach odniesienia, najczęściej temperatury zamrażania i wrzenia wody.

Zastosowanie czujnika LM35 eliminuje wszystkie problemy związane z kalibracją i regulacją przyrządów pomiarowych. Na wyjściu tego niezwykle użytecznego układu występuje napięcie, którego wartość jest proporcjonalna do temperatury otoczenia, przy czym $1^{\circ}\text{C} = 10\text{mV}$. Tak więc, jeżeli na wyjściu LM35 występuje napięcie 200mV to oznacza to, że układ znajduje się w środowisku o temperaturze 20°C . Napięcie 1500mV oznacza maksymalną, dodatnią temperaturę jaką układ może mierzyć, czyli 150°C . Jak z tego wynika, budowa termometru wykorzystującego LM35 jako czujnik temperatury jest zadaniem dziecinnie prostym: wystarczy do jego wyjścia dołączyć miliwoltomierz o zakresie 1999mV i po sprawie!

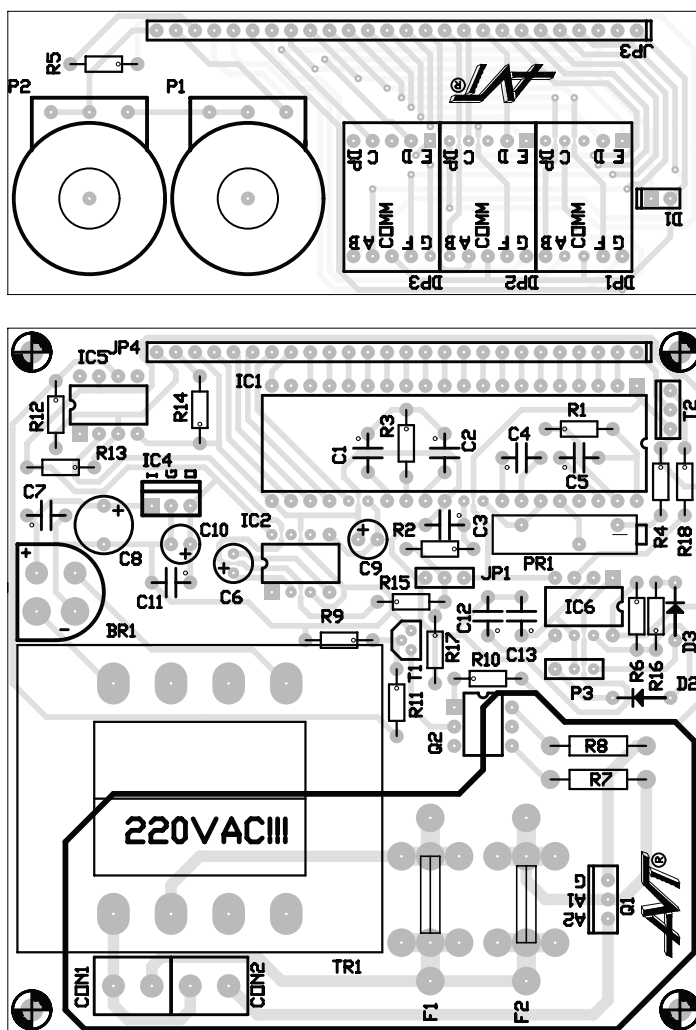
Wyjście czujnika temperatury jest dołączone do wejść dwóch układów: wejścia miliwoltomierza i komparatora napięcia.

Czujnik temperatury został, za pośrednictwem rezystora R15 dołączony także do wejścia 2 komparatora napięcia, zbudowanego na wzmacniaczu operacyjnym LMC6041 (IC5). Cechą charakterystyczną tego wzmacniacza operacyjnego jest to, że umożliwia on pracę z napięciami wejściowymi bliskimi zeru, przy pojedynczym napięciu zasilania. Ta właśnie cecha zadecydowała o zastosowaniu tego elementu: umożliwi on stabilizację temperatur niewiele wyższych niż 0°C . Na drugie wejście komparatora napięcia podawane jest napięcie uzyskiwane z dzielnika napięcia zbudowanego z potencjometrów P1 i P2 oraz

rezystorów R13 i R14. Zastosowanie dwóch potencjometrów zamiast jednego jest kompromisem pomiędzy ceną podzespołów potrzebnych do zbudowania urządzenia, a komfortem jego obsługi. Rozwiązaniem lepszym byłoby z pewnością zastosowanie jednego potencjometru wielobrotowego, tzw. Hellipota.

Cena takiego potencjometru jest bardzo wysoka i dlatego zastosowałem w układzie potencjometr P1 o wartości $4,7\text{k}\Omega$, służący do zgrubnej regulacji napięcia, a tym samym temperatury i P2 przeznaczony do regulacji precyzyjnej. Jeżeli jednak ktoś, nie licząc się z kosztami, chciałby uzyskać większy komfort obsługi termostatu, to może zastąpić te dwa elementy jednym potencjometrem wielobrotowym o wartości $4,7\text{k}\Omega$.

Jeżeli napięcie na wejściu 2 IC5 jest niższe od napięcia na wejściu 3, to na wyjściu wzmacniacza operacyjnego występuje stan niski (o ile można mówić o stanie niskim w kontekście wzmacniacza operacyjnego). Tranzystor T1 nie przewodzi i dioda LED zawarta w strukturze optotriaka nie jest włączona. Zmiana proporcji napięć na wejściach komparatora, wskazująca, że zmierzona temperatura jest niższa od ustawionej, spowoduje pojawienie się „stanu wysokiego“ na wyjściu IC5. Baza tranzystora T1 zostanie spolaryzowana za pośrednictwem rezystora



Rys. 2. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej.

R11 i przez diodę wewnątrz optotriaka popłynie prąd. Spowoduje to włączenie triaka Q1 i tym samym zasilenie urządzenia ogrzewającego.

Zastosowanie optotriaka pozwoliło uniknąć dwóch problemów: odizolowania układu od napięcia sieci energetycznej i eliminację zakłóceń radioelektrycznych, które mogłyby powstawać w momentach włączania i wyłączania grzałek. Pomiedzy diodą nadawczą LED i strukturą optotriaka znajduje się warstwa tworzywa sztucznego o odporności na przebicie napięciem wielu kilowoltów, co gwarantuje nam pełne bezpieczeństwo pracy nawet w wilgotnym pomieszczeniu. Optotriak może włączyć triak jedynie przy napięciu rzędu kilku woltów, co całkowicie eliminuje ewentualne zakłócenia.

Ważną rolę w układzie pełni generator impulsów o zmiennym wypełnieniu, zbudowany z wyko-

rzystaniem, tak przeze mnie lubianego, NE555 (IC6). Podstawowym przeznaczeniem naszego układu jest praca w ciemni fotograficznej, gdzie jak sama nazwa wskazuje, powinno być raczej ciemno. Aby uchronić materiały pozytywowe przed zadymieniem, zastosowaliśmy dwa zabiegi zabezpieczające. Jak stwierdzono, pozytywowe materiały barwne są bardzo mało wrażliwe na światło emitowane przez żółte diody LED i w naszym układzie stosujemy wyświetlacze siedmiosegmentowe o takiej własności barwie świecenia. Wyświetlacze zasilane będą ze źródła prądowego sterowanego z generatora o zmiennym wypełnieniu i podczas pracy w ciemni zasilane będą krótkim impulsami. Występujący przy krótkich czasach naświetlania efekt Schwartzchilda dodatkowo zabezpieczy papier fotograficzny przed naświetleniem.

Z elementami takimi, jak na schemacie generator z IC6 może wytwarzać przebieg o wypełnieniu od 99 do ok. 1%, tak więc wyświetlanie może być płynnie regulowane od prawie pełnej jasności do praktycznie całkowitego wyłączenia.

Pozostała część urządzenia stanowią dwa układy zasilające. Zasilacz główny, dostarczający napięcia stabilizowanego o wartości +5VDC, zbudowany jest z wykorzystaniem popularnego, scalonego stabilizatora napięcia typu 7805. Drugi zasilacz dostarcza napięcia w wartości -5VDC. Napięcie to jest niezbędne do poprawnej pracy ICL7107 i do jego wytworzenia użyto scalonej przetwornicy napięcia ICL7660, która do działania potrzebuje zaledwie jednego elementu zewnętrznego: kondensatora o wartości 10µF - C6.

Układ został zabezpieczony dwoma bezpiecznikami: część „elektroniczna“ urządzenia zabezpiecznikiem F1 o prądzie zadziałania 100mA i bezpiecznikiem F2, zabezpieczającym obwody wykonawcze - grzałki. Wartość tego bezpiecznika zależy od maksymalnej mocy zastosowanych grzałek.

Rezystor R12 jest elementem opcjonalnym, nie zawsze potrzebnym. Wprowadza on do układu komparatora napięcia niewielką histerezę, zabezpieczając go przed wzbudzeniem i zbyt częstym prze-

łączaniem obciążenia. Jednak w większości przypadków bezwładność cieplna grzałek zapewni całkowitą stabilność pracy układu i rezystor R12 możemy pominąć.

Montaż i uruchomienie

Na rys. 2 przedstawiono rozmieszczenie elementów na płycie drukowanej. Płytką bazową, na której zamontowana zostanie większa część elementów, wykonana jest z laminatu jednostronnego, natomiast mniejsza płytką wyświetlaczy z laminatu dwustronnego z metalizacją obwodów. Montaż układu wykonujemy w typowy, wielokrotnie opisywany sposób. Ponieważ szczęśliwie udało mi się uniknąć stosowania jakichkolwiek paskudnych zworek na płycie bazowej, to montaż rozpoczniemy od wlutowania rezystorów, diod i innych elementów o małych gabarytach. Tutaj uwaga: kilka elementów zostało umieszczonych pod układem IC1, toteż stosowanie podstawki pod ten układ jest absolutnie niezbędne, a zalecane w stosunku do innych układów!

Do końcówek lutowniczych potencjometrów P1 i P2 lutujemy krótkie odcinki srebrzanki, przekładamy je przez otwory w punktach lutowniczych na płytce wyświetlaczy i przykręcamy potencjometry do płytki. Dopiero teraz lutujemy ich przedłużone wyprowadzenia do punktów lutowniczych.

Ostatnią czynnością będzie złączenie ze sobą dwóch płytek. Dokonamy tego za pomocą szeregu kątowych goldpinów, co zapewni mocne połączenie i zachowanie kąta prostego pomiędzy płytkami. Jedyną czynnością regulacyjną jaką powinniśmy wykonać będzie ustawienie napięcia 1000mV pomiędzy wyprowadzeniami REF HI i REF LO IC1. Powinniśmy posłużyć się woltmierzem dobrej klasy i delikatnie pokręcając potencjometrem montażowym ustawić wymagane napięcie.

Jedyną kłopotliwą czynnością, jaką będziemy mieli do wykonania, będzie obudowanie czujnika temperatury LM35. Jeżeli nasz układ będziemy wykorzystywać do regulacji temperatury w pomieszczeniach, to czujnik może-

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

PR1: 1kΩ wieloobrotowy potencjometr montażowy
 P1: 4,7kΩ/A potencjometr obrotowy
 P2: 470Ω/A potencjometr obrotowy
 P3: 47kΩ/A potencjometr obrotowy
 R1, R15: 100kΩ
 R2, R12: 1MΩ
 R3: 470kΩ
 R4, R6, R16: 1kΩ
 R5: 510Ω
 R7, R8: 220Ω
 R9, R11, R19: 10kΩ
 R10: 560Ω
 R18: 510Ω
 R13: 11kΩ
 R14: 100Ω

Kondensatory

C1: 220nF
 C2: 47nF
 C3: 10nF
 C4, C7, C11: 100nF
 C5: 100pF
 C6, C9: 10µF/10V
 C8, C10: 1000µF/16V
 C12: 22nF
 C13: 4,7nF

Półprzewodniki

BR1: mostek prostowniczy 1A
 DP1, DP2, DP3: wyświetlacze siedmiosegmentowe, żółte, wsp. anoda (np. SA52-11YWA Kingbright)
 IC1: ICL7107
 IC2: ICL7660
 IC3: LM35C
 IC4: 7805
 IC5: LMC6041
 IC6: NE555
 Q1: BT136
 Q2: MOC3040
 T1: BC548 lub odpowiednik
 T2: BD140 (136, 138)
 D1: patrz tekst
 D2, D3: 1N4148

Różne

TR1: transformator sieciowy TS6/46
 CON1, CON2: ARK2
 F1, F2: oprawka bezpiecznika, bezpiecznik 100mA i 4A
 goldpiny kątowe 1x26

my umieścić w jakiegokolwiek małej rurce z dowolnego materiału. Jeżeli jednak zbudowany termostat będzie służył zgodnie z swoim podstawowym przeznaczeniem do

regulacji temperatury wywoływacza, to konieczne będzie umieszczenie czujnika w obudowie odpornej na wpływy agresywnego środowiska chemicznego. Najlepszym rozwiązaniem będzie umieszczenie czujnika wewnątrz rurki ze stali kwasoodpornej, zalanej z obu stron klejem Distal lub podobnym. Rozwiązaniem gorszym, ale łatwiejszym ze względu na dostępność materiałów będzie zastosowanie rurki szklanej, także zalanej żywicą epoksydową.

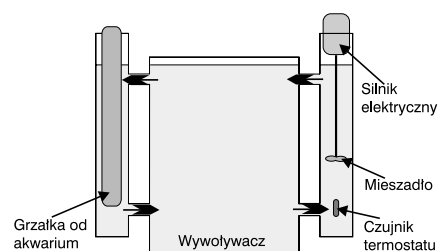
Uważni Czytelnicy z pewnością zauważyli pewne rozbieżności pomiędzy schematem, a rysunkiem przedstawiającym płytkę drukowaną. Na płycie widoczna jest dioda LED, oznaczona jako D1, której próżno szukać na schemacie i w wykazie elementów. Otóż ta dioda, połączona z wyprowadzeniem POL IC1 została dodana jedynie „na wszelki wypadek“, gdyby ktoś chciał zastosować nasz układ do pomiaru temperatur mniejszych od 0°C.

Po zmontowaniu naszego układu możemy go w łatwy i efektywny sposób wypróbować. Jako obciążenie dołączamy żarówkę o mo-

cy np. 100W i umieszczamy czujnik w odległości 10..15 cm od niej. Pokręcając potencjometrami regulacyjnymi powodujemy zapalenie się żarówki, a następnie podwyższamy zadaną temperaturę aż do uzyskania efektu migotania żarówki z częstotliwością ułamków herca. Możemy teraz zobaczyć na wyświetlaczach, jak wielka jest precyzja działania wykonanego układu: temperatura nie powinna się zmieniać o więcej niż 0,1°C!

Moc obciążenia dołączanego do wykonanego układu zależy wyłącznie od typu zastosowanego triaka i w wypadku BT136 wynosi ok. 100W, co do zastosowań w fotografii jest aż nadto wystarczające. Jeżeli jednak chcielibyśmy nasz termostat wykorzystać do celów wymagających większych mocy, to należy ten triak wymienić na inny, o większym dopuszczalnym prądzie i zamocować go na odpowiednim radiatorze.

Niestety, takie doskonałe wyniki osiągamy wyłącznie w warunkach laboratoryjnych, głównie dzięki małej bezwładności cieplnej żarówki. Musimy zdać sobie



Rys. 3. Zalecany sposób włączenia elementów wykonawczych i czujnika.

sprawę z jednego: nasz termostat jest doskonały, ale w wykonaniu praktycznym dokładność stabilizacji temperatury będzie zależać od kilku czynników. Najważniejszymi są: mała bezwładność cieplna zastosowanego źródła ciepła i dobre mieszanie cieczy, której temperaturę chcemy stabilizować. Dawno, dawno temu, kiedy miałem jeszcze czas na spędzanie całych dni w ciemni fotograficznej, zbudowałem sobie prosty tank do obróbki papieru barwnego, który przez kilka lat zapewniał mi doskonałą stabilność temperatury wywoływacza. Szkic tego rozwiązania, pokazany na **rys. 3**, pozostawiam bez komentarza.

Robert Zych, AVT