

kit  
2908  
AVT

# Termohigrostat



Jeśli chcemy znać temperaturę i wilgotność powietrza, sięgamy po termohigrometr, czyli termometr i higrometr w jednym. W handlu można spotkać wiele tego typu urządzeń, często o niezbyt dobrych parametrach, ale za to w przystępnej cenie. Zazwyczaj posiadają one duży czytelny wyświetlacz ciekłokrystaliczny i zasilane są z niewielkich baterii guzikowych.

Tytułowy termohigrostat to coś więcej niż termohigrometr. Składa się z termostatu i higrostatu, czyli oprócz pomiaru temperatury i wilgotności umożliwia także regulację tychże wielkości. Za jego pomocą możemy utrzymywać temperaturę i wilgotność powietrza na zadanym poziomie.

Prezentowany termohigrostat polecam wszystkim tym, którzy poszukują urządzenia do pomiaru i/lub regulacji temperatury i wilgotności. Wykorzystanie nowoczesnego cyfrowego czujnika SHT11 daje pewność dokładnego pomiaru, czego nie można powiedzieć o tanich niemarkowych produktach. Czujniki z serii SHTxx znajdują zastosowanie m.in. w profesjonalnym sprzęcie przeznaczonym dla przemysłu, gdzie jakość pomiaru stawiana jest na pierwszym miejscu.

Właściwości termohigrostatu:

- pomiar oraz regulacja temperatury w zakresie od -40 do 123°C z rozdzielczością 0,1°C,
- dokładność pomiaru temperatury:  $\pm 0,4^\circ\text{C}$ ,
- pomiar oraz regulacja wilgotności w zakresie od 0 do 100% z rozdzielczością 0,1%,
- dokładność pomiaru wilgotności:  $\pm 3\%$ ,
- wyświetlanie temperatury punktu rosy,
- częstość odświeżania pomiarów:  $\sim 1/\text{s}$ ,
- opcja automatycznego załączania wewnętrznej grzałki czujnika po przekroczeniu wilgotności zadanej,
- płynna regulacja jasności podświetlenia wyświetlacza,

- obciążalność wyjść wykonawczych regulatorów: 10A, 250VAC,
- zasilanie: 12VDC, 300mA.

## Opis układu

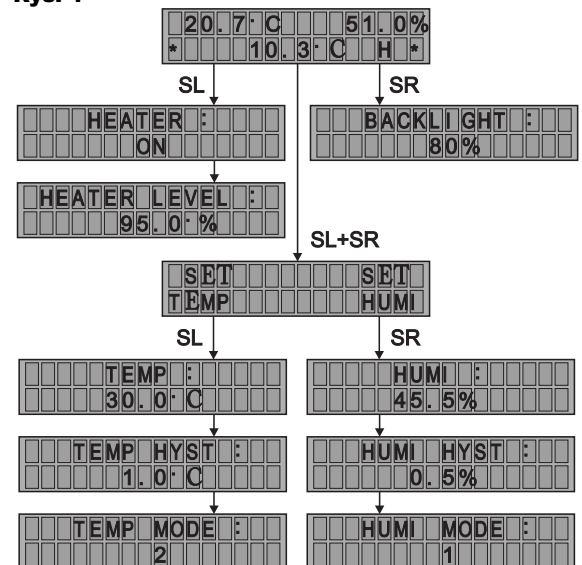
Podczas pracy termohigrostatu na górnym wierszu ekranu wyświetlacza widoczna jest temperatura oraz wilgotność – **rysunek 1**. Dolny wiersz przedstawia temperaturę punktu rosy oraz trzy symbole informujące o stanie przekaźników i stanie wewnętrznej grzałki czujnika. Symbol gwiazdki pojawia się pod wynikiem temperatury, jeśli przekaźnik termostatu został załączony. Podobnie, gwiazdka pod wynikiem wilgotności oznacza załączony przekaźnik higrostatu. Czujnik SHT11 ma wewnątrz swej struktury miniaturową grzałkę, którą można wykorzystać do kilku ciekawych zadań. Jeśli jest włączona, to na wyświetlaczu pojawia się litera H.

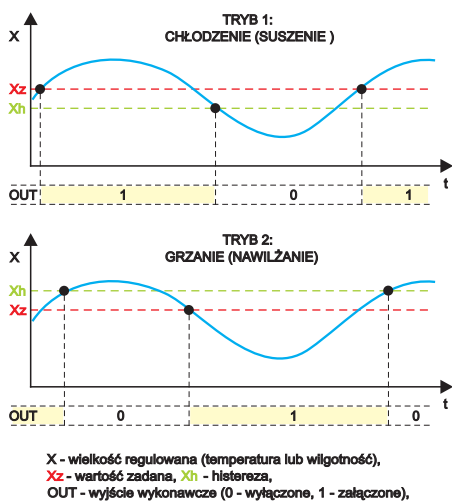
Obsługa termohigrostatu odbywa się za pomocą dwóch klawiszy: lewy SL i prawy SR. Dłuższe wciśnięcie obydwu klawiszy uaktywnia menu wyboru regulatora – termostatu lub higrostatu. Z tego poziomu klawiszem SL uruchamiamy menu nastaw termostatu, a klawiszem SR – menu nastaw higrostatu. Jeśli nie podejmiemy decyzji, to po krótkim czasie nastąpi automatyczny powrót do głównego ekranu danych. Menu nastaw regulatora składa się z trzech, automatycznie następujących po sobie ekranów. W pierwszym zadajemy temperaturę (wilgotność), w drugim histerezę, a w trzecim tryb pracy. W menu nastaw trybu pracy 0 oznacza regulator wyłączony, 1 – tryb chłodzenia (suszenia), 2 – tryb grzania (nawilżania).

Menu regulacji podświetlenia oraz menu dla wewnętrznej grzałki czujnika uruchamiamy z poziomu głównego ekranu. Menu podświetlenia uaktywniamy poprzez dłuższe wciśnięcie klawisza SR, a menu grzałki – poprzez dłuższe wciśnięcie klawisza SL. Oprócz trwałego włączenia i wyłączenia grzałki, istnieje tu także możliwość zdefiniowania wilgotności, przy której ma nastąpić jej załączenie. Wszystkie nastawy wykonujemy klawiszami SL i SR. Lewym zmniejszamy, a prawym zwiększamy zawartości komórek, natomiast zerowanie możliwe jest po równoczesnym wciśnięciu obydwu klawiszy. Dłuższe wciśnięcie klawisza powoduje szybsze przewijanie modyfikowanej zmiennej. Wprowadzone nastawy są na bieżąco zachowywane w nieulotnej pamięci EEPROM, dzięki czemu nie ma obawy o ich utratę po zaniku napięcia zasilania.

Sposób działania regulatora (termostatu lub higrostatu) w zależności od wybranego trybu

Rys. 1





Rys. 2

pracy wyjaśniają dwa wykresy z rysunku 2. Niebieska krzywa reprezentuje zmiany wielkości regulowanej X (temperatury lub wilgotności) w czasie. Pod każdym z wykresów znajduje się obszar przedstawiający stan wyjścia wykonawczego regulatora. Tryb pracy dobieramy w zależności od rodzaju urządzenia, jakim ma sterować regulator. Dla termostatu będzie to urządzenie chłodzące lub grzejące, a dla higrostatu – suszące lub nawilżające. Jeśli dla przykładu temperatura obiektu regulowanego ma tendencję spadkową, to do wyjścia wykonawczego podłączamy grzałkę i w menu wybieramy tryb drugi. Przykładem może być ogrzewanie pomieszczenia. W przypadku tendencji wzrostowej, do wyjścia wykonawczego podłączamy np. wentylator i wybieramy tryb pierwszy – chłodzenie.

Schemat ideowy termohigrostatu przedstawia rysunek 3. Główną pracę wykonuje mikrokontroler ATmega8, pobudzany do życia wewnętrznym oscylatorem 8MHz. Mikrokontroler ten okazał się wręcz idealny pod względem wielkości pamięci FLASH, która niemal w całości została wykorzystana. Znaczną jej część zjadły procedury dla czujnika SHT11, tj. linearyzacja i obliczanie punktu rosy. Program został napisany w języku C przy użyciu darmowego kompilatora AVR-GCC. Kod źródłowy można pobrać z Elportalu.

Wyświetlacz alfanumeryczny pracuje w oszczędnym trybie 4-bitowym z magistralą 6-przewodową. Potencjometr PR1 służy do regulacji kontrastu. Wyprowadzenie R/W zostało na stałe zwarte do masy, więc nie istnieje możliwość odczytu danych z wyświetlacza. Dla programisty oznacza to, że nie da się sprawdzać stanu flagi zajętości, każdorazowo po przesłaniu nowej danej do wyświetlacza. Tę małą niedogodność w pełni rewanżuje fakt zaoszczędzenia jednego przewodu, którego nie trzeba łączyć z mikrokontrolerem. Jasność podświetlania wyświetlacza jest płynnie regulowana za pomocą sprzętowego PWM mikrokontrolera. Maksymalne wypełnienie sygnału ograniczone zostało do ok. 80%, co w menu nastaw odpowiada jasności równej 100%. Dzięki temu maksymalny prąd pobierany przez podświetlanie jest mniejszy bez widocznego zmniejszenia maksymalnej jasności podświetlania. Sygnał PWM poprzez rezystor R3 trafia na bazę tranzystora T3. W kolektorze znajduje się dodatkowy rezystor ograniczający R4, który w zasadzie można zastąpić zworką, bo przecież ogranicza on

niepotrzebnie maksymalną jasność podświetlania. Wyobraźmy sobie jednak sytuację, w której mikrokontroler niespodziewanie „zawisł” i ustawił logiczną jedynkę na wyprowadzeniu PB1. W tym momencie podświetlanie może zostać uszkodzone i raczej nikłe są szanse, że uratuje je niewielka rezystancja kolektor-emiter tranzystora T3. Warto więc zabezpieczyć się na taki wypadek i zastosować rezystor R4.

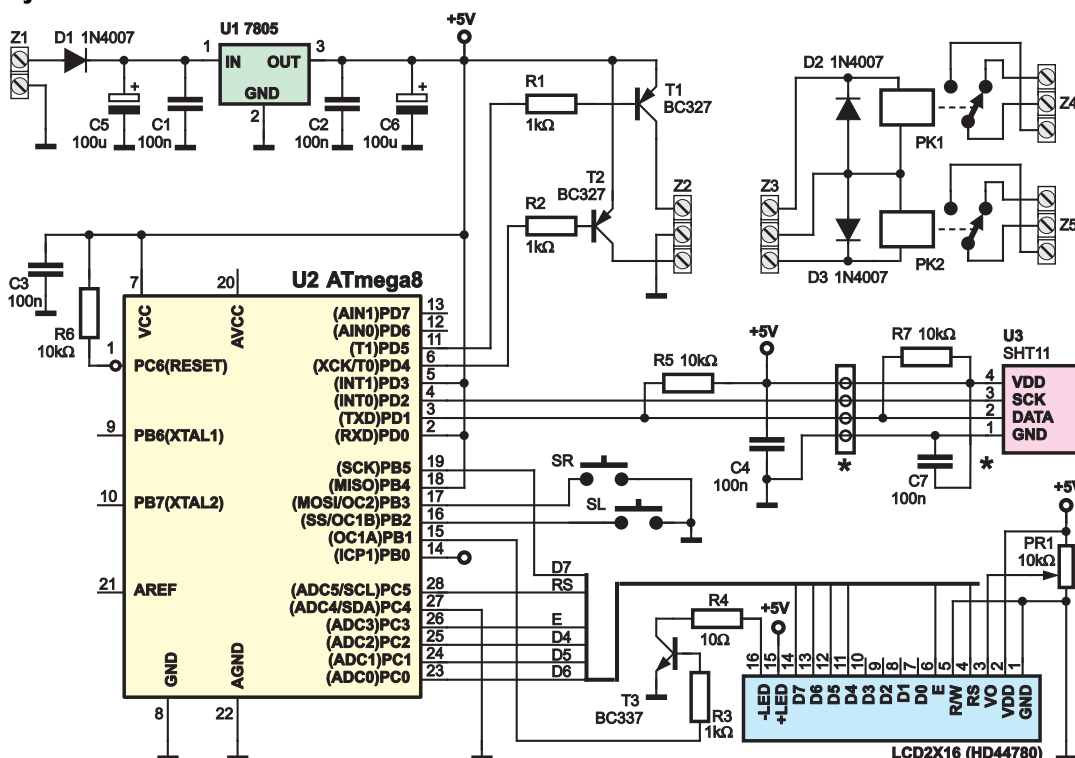
Mikrokontroler komunikuje się z czujnikiem SHT11 za pomocą dwuprzewodowej magistrali szeregowej. Protokół transmisji przypomina standard I<sup>2</sup>C ale nie jest z nim kompatybilny. Dwukierunkowa linia danych – DATA – wymaga podciągania do plusa dodatkowym rezystorem R7. Jego zadaniem jest wymuszanie stanu wysokiego na linii w przerwach między stanem niskim ustawianym przez czujnik (odbiór danych) lub mikrokontroler (wysyłanie komend). Podczas odbioru danych wejście 3 (PD1) mikrokontrolera znajduje się w stanie wysokiej impedancji. Jednokierunkową linią SCK przesyłany jest sygnał zegarowy, synchronizujący przebieg transmisji.

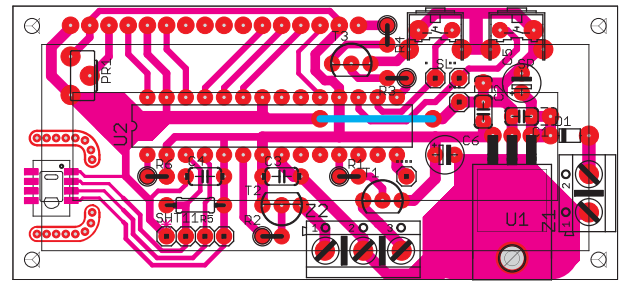
Od regulatora zazwyczaj wymagamy dużej niezawodności. Dotyczy to przede wszystkim sytuacji, w których powierzamy mu ważne zadanie, a jego ewentualna awaria może narazić nas na straty. Przykładem niech będzie regulacja temperatury i wilgotności w inkubatorze czy kłujniku hodowlanym. Sprawa jest tym bardziej poważna, że chodzi o żywe istoty. O tym czy wszystkie zarodki przetrwają, by wyrosnąć później na zdrowe ptaki, decyduje najłabsze ogniwo systemu. Jeśli regulator nie spełni swej funkcji podczas naszej nieobecności, to cała zabawa z hodowlą

skończy się płacem i zgrzaniem zębów. Dlatego musimy mieć pewność, że regulator nie stanie się źródłem przykrych niespodzianek. W tym celu termohigrostat wyposażony został w szereg zabezpieczeń zmniejszających do minimum ryzyko błędnej pracy, są to:

- weryfikacja transmisji między mikrokontrolerem a czujnikiem za pomocą 8-bitowej sumy kontrolnej CRC, wykluczającej możliwość błędnego pomiaru,
- wyświetlanie komunikatów diagnostycznych w przypadku uszkodzenia czujnika, błędu transmisji bądź przerwy przewodu czujnika,
- ochrona przed kondensacją pary wodnej wewnątrz struktury czujnika przy pomiarze wilgotności bliskiej 100%,
- zabezpieczenie przed chwilowym zanikiem lub zaprzęciem napięcia zasilania oraz przed zawieszeniem mikrokontrolera.

Rys. 3



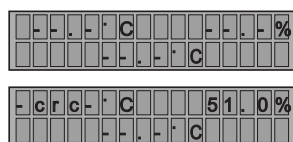


Rys. 5

Pomiar bez sprawdzania sumy kontrolnej CRC jest ryzykowny, zwłaszcza jeśli czujnik pracuje na długim przewodzie. Indukowane zakłócenia mogą powodować przekłamania w transmisji danych. Efektem jest najczęściej „dziwny” wynik pomiaru, zupełnie odbiegający od prawdy. Jeśli zauważymy takie nieprawidłowości, to możemy spróbować je wyeliminować, skracając przewód lub wymieniając go na inny, tj. mniej podatny na zakłócenia (ekranowana skrętka). Gorzej jest, jeśli o istnieniu przekłamań nie mamy pojęcia, bo np. pojawiają się okresowo, najczęściej podczas naszej nieobecności. Pracujący regulator, sterujący np. grzałką, może wówczas „zwariować”, wyrządzając przy tym mniejsze lub większe szkody. Sprawdzanie sumy kontrolnej oraz komunikaty diagnostyczne chronią przed takimi sytuacjami. O ewentualnych przekłamaniami w odczycie temperatury czy wilgotności jesteśmy stale informowani. Zamiast „dziwnego” wyniku pomiaru widzimy odpowiedni do zdarzenia komunikat. **Rysunek 4** przedstawia dwa przykładowe ekrany diagnostyczne. Górny ekran oznacza brak czujnika lub zakłócenie transmisji, natomiast dolny – błędny odczyt temperatury (błąd CRC). Przekłamania transmisji nie zakłócają pracy regulatorów, a w przypadku dłuższego ich występowania (kilka sekund) wyjścia wykonawcze zostają wyłączone.

Przy pomiarze wilgotności bliskiej 100% istnieje ryzyko kondensacji (skraplania) pary wodnej wewnątrz struktury czujnika SHT11. Są dwa rozwiązania tego problemu: unikać wysokich wilgotności lub wykorzystać wbudowaną w czujnik miniaturową grzałkę. Włączenie grzałki powoduje niewielki wzrost temperatury czujnika (5–15°C) i równoczesny spadek wilgotności. Proces ten możemy zautomatyzować w menu nastaw grzałki, gdzie zadajemy próg wilgotności jej załączenia. Oprócz ochrony przed kondensacją grzałka może także posłużyć do celów diagnostycznych. Jeśli po jej włączeniu temperatura czujnika wzrosła, a wilgotność zmalała, to znaczy, że test czujnika przebiegł pomyślnie. Nad prawidłową pracą mikrokontrolera czuwają dwa moduły: watchdog oraz BOD. Choć są one na standardowym wyposażeniu mikrokontrolera ATmega8, to często zapominamy o ich istnieniu. Watchdog

Rys. 4



chroni wykonywany program przed utknięciem w martwej pętli, czyli przed zawieszeniem mikrokontrolera. W takim przypadku wymusza sygnał reset i program zostaje uwolniony, rozpoczynając pracę od nowa. Watchdog skuteczny jest zwłaszcza podczas wykrywania błędów na etapie pisania programu. Choć nie zabezpiecza w 100% przed zawieszeniem, to warto z niego korzystać. Drugi moduł – BOD (ang. Brown Out Detector) potrafi wychwycić spadek napięcia zasilania i przeprowadzić uzdrawiający reset. Konfigurujemy go w oknie fusebitów aplikacji programatora. Mikrokontroler z wyłączonym BOD po zapaści napięcia budzi się często jako zombi – program jest nadal wykonywany, ale w sposób dla nas nieprzewidywalny.

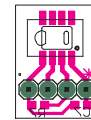
### Montaż i uruchomienie

Wzór płytki drukowanej termohigrostatu znajduje się na **rysunku 5**. Przekładniki wykonawcze zostały umieszczone na osobnej płytce przedstawionej na **rysunku 6**. W ten sposób po odłączeniu przełączników otrzymujemy termohigrometr o niewielkich rozmiarach. Montaż przebiega klasycznie i rozpoczynamy go od wlutowania zworki. Kondensatory C5 i C6 montujemy poziomo. Wyświetlacz przytwierdzamy do płytki za pomocą gniazda i listwy szesnastu goldpinów bądź przy użyciu taśmy 12-żyłowej. Pod mikrokontroler należy zastosować podstawkę. Na płytce nie znalazło się niestety miejsce na wygodne złącze ISP. Mikrokontroler trzeba zaprogramować zewnętrznym programatorem, o chociażby najprostszym szeregowym, wyposażonym w dodatkową podstawkę. Schematy takich programatorów można bez problemu znaleźć w Internecie. Podczas programowania nie wolno zapomnieć o odpowiednim skonfigurowaniu fusebitów mikrokontrolera – **tabela 1**. Zmieniamy tylko te bity, które zostały wymienione w tabeli, pamiętając o tym, że 1 oznacza bit niezaprogramowany, a 0 – zaprogramowany.

Ostatnim etapem montażu jest obsadzenie czujnika SHT11. Do wyboru mamy dwie lokalizacje – płytka główna z **rysunku 5** lub miniaturowa płytka z **rysunku 7**. Pierwszą lokalizację polecam osobom, które chcą otrzymać niewielki, kompaktowy termohigrometr i nie są zainteresowane

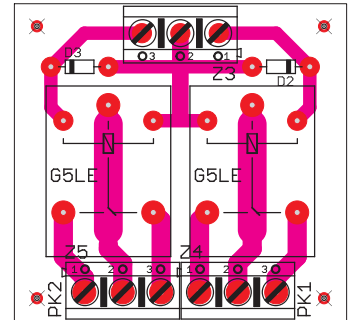
Tabela 1

Bit	Wartość	Opis
CKSEL3..0	0100	Wewnętrzny oscylator 8MHz
BODLEVEL	0	BOD 4,0V
BODEN	0	Włącz BOD



Rys. 7

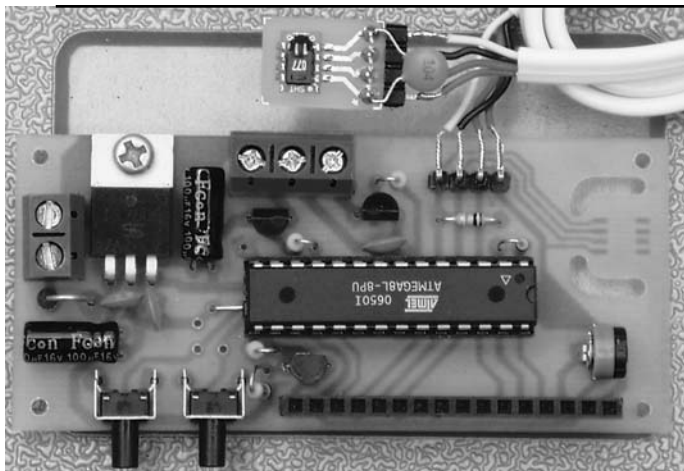
regulatorami (termostatem i higrostatem). W takim



Rys. 6

przypadku płytka z przełącznikami nie jest wykorzystywana. Czujnik SHT11 przystosowany jest do montażu powierzchniowego i na płytce głównej lutujemy go od strony druku. Jeśli ktoś planuje zbudować kompletny termohigrostat, to najlepiej skorzystać z miniaturowej płytki, której wygląd przedstawia rysunek 7. Znajduje się na niej dodatkowe miejsce na dwa elementy SMD: rezystor R7 oraz kondensator C7 – odpowiedniki elementów R5 i C4 z płytki głównej. Rezystor R5 staje się zbędny, natomiast kondensator C4 pozostawiamy. Można też zrobić odwrotnie: nie montować R7 na płytce czujnika, ale wlutować R5 na płytce głównej. Miejsce przyłutowania rezystora podciągającego nie ma znaczenia, najważniejsze jest, aby kondensator odsprężający 100nF znajdował się blisko czujnika. Płytkę czujnika łączymy z płytką główną przewodem czterozylowym np. telefonicznym. Kolejność wyprowadzeń wyznaczają gwiazdki znajdujące na obu płytkach. UWAGA! Błędne podłączenie czujnika SHT11 może spowodować jego nieodwracalne uszkodzenie!

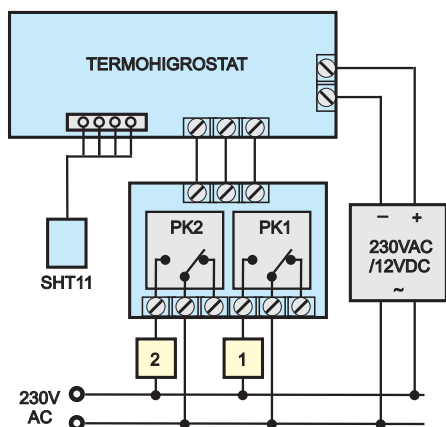
Sposób podłączenia termohigrostatu przedstawia **rysunek 8**. Dla bezpieczeństwa wszelkie połączenia powinny być wykonywane w stanie beznapięciowym. Płytkę główną sprzęgamy z płytką przełączników za pomocą trzech przewodów. Przekładnik wykonawczy higrostatu PK1 oraz przełącznik wykonawczy termostatu PK2 sterują odbiornikami 1 i 2 zasilanymi z sieci prądu przemiennego 230VAC. W obu przypadkach wykorzystany



odbiorniki umieszczamy w miejscu, gdzie ma się odbywać regulacja.

Po podłączeniu zasilania układ działa od razu, jeśli tylko użyte elementy są sprawne, a mikrokontroler zaprogramowany. Konieczne może okazać się wyregulowanie kontrastu wyświetlacza za pomocą potencjometru PR1. Jeśli wszystko działa prawidłowo, to pozostaje już tylko umieścić całość w stosownej obudowie (np. Z109). Także czujnik, jeśli

będzie pracował na przewodzie, warto umieścić w niewielkiej obudowie (np. KM24). Jej ścianki należy wcześniej nawiercić, by zapewnić swobodny przepływ powietrza przez czujnik. Koniec przewodu dobrze jest zaopatrzyć we wtyczkę, a w obudowie termohigrostatu zainstalować pasujące do niej gniazdo (np. wtyk + gniazdo RJ12). Pozwoli to na szybkie odłączenie czujnika bez konieczności użycia lutownicy.



Rys. 8

został zestyk normalnie otwarty przełącznika. W roli odbiorników mogą pracować grzałki, wentylatory, nawilzacze itp. Czujnik oraz

## Wykaz elementów

### Rezystory

R1-R3	1kΩ
R4	10Ω
R5,R6	10kΩ
R7	10kΩ (SMD 0603)

### Kondensatory

C1-C4	100nF ceramiczny
C5,C6	100μF
C7	100nF (SMD 0603)

### Półprzewodniki

D1-D3	1N4007
T1,T2	BC327
T3	BC337
U1	7805
U2	ATmega8
U3	SHT11

### Pozostałe

SL,SR	μswitch kątowy
Z1	złącze śrubowe ARK2
Z2-Z5	złącze śrubowe ARK3
PK1,PK2	przełącznik 5V np. 10A 250VAC
LCD2X16	wyświetlacz alfanumeryczny 2x16 znaków

**Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkodny AVT-2908.**

W miejsce SHT11 można zastosować każdy inny czujnik firmy SENSIRION z rodziny SHT1x lub SHT7x. Są one ze sobą w pełni kompatybilne, ale różnią się dokładnością pomiaru oraz występują w dwóch różnych typach obudów. Najwyższy model – SHT75 – oferuje najlepszą dokładność:  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  dla temperatury i  $\pm 1,8\%$  dla wilgotności.

**Patryk Ziewiec**  
patele@wp.pl