



Higrometr elektroniczny



Pomiar na drodze elektronicznej wielkości nieelektrycznych budzi zainteresowanie wielu Czytelników EdW, jednak uzależniony jest od dostępnych czujników. Jedną z interesujących, ale trudnych do pomiaru wielkości nieelektrycznych, jest wilgotność powietrza. Przeszkodą są głównie wysokie ceny czujników wilgotności. Od pewnego czasu dobrze znana Czytelnikom EdW firma wysyłkowa Conrad Electronic ma w swojej ofercie niedrogi czujnik wilgotności, który może być podstawą niezmiernie interesujących eksperymentów, a przy uwzględnieniu specyficznych cech może także posłużyć do budowy mierników i regulatorów wilgotności. Czujnik ten oferowany jest także w polskiej wersji katalogu Conrada.

Na bazie tego czujnika powstał nieskomplikowany układ do pomiaru wilgotności. Wskaźnikiem jest linijka zawierająca diodę LED. Zasadniczo jest to układ przeznaczony do eksperymentów, niemniej przy właściwej kalibracji może z powodzeniem służyć do pomiaru wilgotności, nie tylko w warunkach domowych.

Czujnik

Podstawą konstrukcji jest polimerowy czujnik wilgotności oznaczony HS15. Na fotografii 1 pokazane są w skali 2:1 czujniki (niebieskie prostopadłościany) zamontowane na małych płytkach drukowanych – takie właśnie elementy można zakupić w firmie Conrad. Obecność na płytce diody i rezystora nie ma znaczenia – w większości zastosowań wykorzystywany będzie sam czujnik, ewentualnie z dodanym szeregowym rezystorem ograniczającym (1...2,2k Ω).

Dostępne w literaturze informacje na temat tego interesującego elementu są bardzo

skąpe. Czujnik przeznaczony jest do stosowania w regulatorach wilgotności, nawilżaczach, suszarniach, systemach wentylacyjnych, klimatyzatorach, itp.

Wiadomo, że jest to czujnik polimerowy, a więc materiałem aktywnym jest rodzaj tworzywa sztucznego. Wilgotność wpływa silnie na oporność tego tworzywa, a konkretnie przy wzroście wilgotności oporność maleje. W zasadzie należałoby mówić o impedancji, bo czujnik zawsze pracuje z sygnałami zmiennymi. Można przyjąć, że chodzi o zmiany rezystancji, choć przy bliższym zbadaniu okazało się, iż czujnik wykazuje obecność niewielkiej składowej reaktancyjnej.

Od lat znane są czujniki wilgotności zawierające grzałkę, czy wymagające innego rodzaju odświeżania. Prezentowany czujnik nie wymaga żadnych dodatkowych zabiegów

czy obwodów sterujących. Ma tylko dwie końcówki. W sumie można uznać, że jest to rezystor, którego oporność zależy od wilgotności względnej powietrza.

Podstawowe parametry zawarte są w tabeli 1.

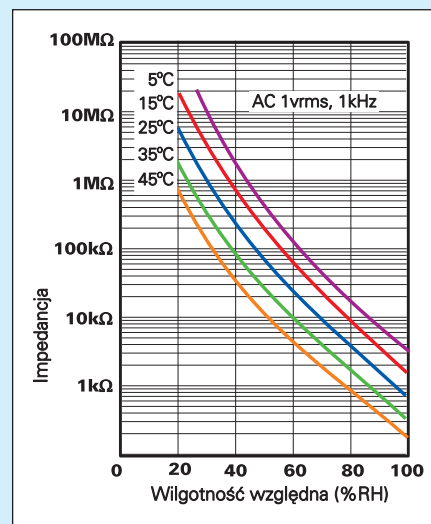
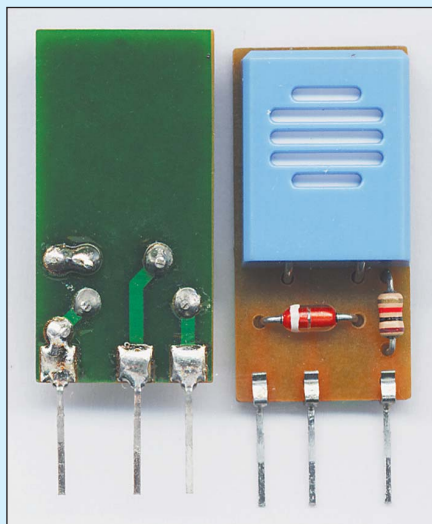
Ze względu na wykorzystany materiał czynny, czujnik musi pracować przy napięciu

Zakres temperatur pracy	0...+50°C
Zakres pomiarowy:	
HS12P	20...90%RH (bez wykraplania)
HS15P	20...100%RH
Impedancja przy 50%RH 25°C	30...90k Ω (\pm 5%RH)
Napięcie pracy	AC 1Vsk max
Zakres częstotliwości pracy	50Hz...1kHz
Pobór mocy	0,3mW

Tabela 1

Rys. 1 Charakterystyka czujnika wilgotności

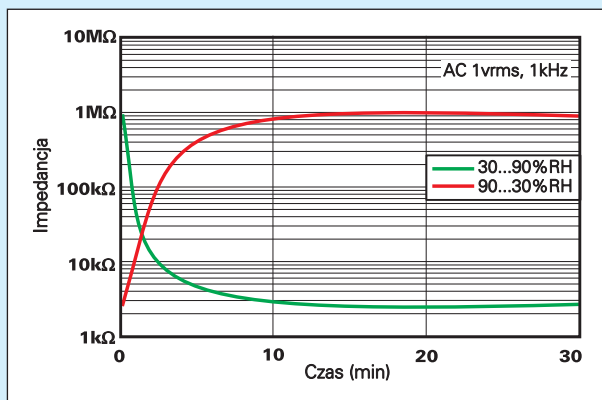
Fot. 1 Czujniki HSI5



zmiennym - nie wolno nań podawać napięć stałych. Wersja HS15P w jasnej, niebieskiej obudowie może wprawdzie mierzyć wilgotność do 100%, czyli także w warunkach wykrapłania się wody, jednak nie jest dopuszczalne zanurzanie czujnika w płynach (co zresztą nie ma sensu).

Charakterystyka ilustrująca zależność rezystancji od wilgotności względnej (RH – relative humidity) pokazana jest na **rysunku 1**. Zależność jest w przybliżeniu logarytmiczna, jednak, co jest zdecydowanie niekorzystne, silnie zależy od temperatury. **Rysunek 2** pokazuje charakterystykę dynamiczną – szybkość zmian impedancji przy gwałtownej zmianie wilgotności.

Rys. 2 Charakterystyka dynamiczna czujnika wilgotności



Według informacji producenta stabilność parametrów danego egzemplarza jest dobra, jednak trzeba liczyć się ze znacznymi rozrzutami oporności pomiędzy egzemplarzami.

Opis układu

Rysunek 3 pokazuje przykładowy schemat blokowy prostego miernika wilgotności, a zarazem ilustruje działanie opisanego dalej modułu pomiarowego. Przebieg zmienny z generatora podawany jest na wzmacniacz odwracający. Czujnik wilgotności włączony jest na wejściu i zgodnie z zaleceniami z katalogu, występuje na nim przebieg przemienny, bez składowej stałej. Jeśli wilgotność

wzrasta, rezystancja czujnika maleje i amplituda przebiegu zmiennego na wyjściu wzmacniacza operacyjnego wzrasta. Wskaźnik pokazuje większą wilgotność.

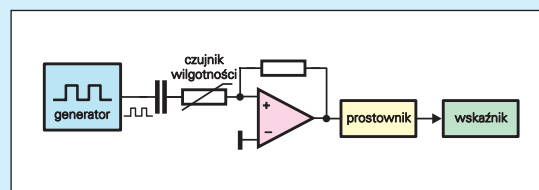
Zasada działania takiego miernika jest wprawdzie bardzo prosta, jednak przy praktycznej realizacji należałoby uwzględnić dodatkowe okoliczności. Jak jednak widać na rysunku 1, charakterystyka czujnika wilgotności silnie zależy od temperatury. Przy zmianie temperatury o 20°C oporność czujnika maleje kilkakrotnie. Szczegółowy opis występujących tu zależności byłby skomplikowany – dalsze informacje podano w końcowej części artykułu.

W każdym razie aby wyeliminować lub choćby zmniejszyć tę niekorzystną zależność, w proponowanym układzie zastosowano dwustopniową kompensację wpływu temperatury. Do kompensacji służą dwa termistory. Jeden z nich uzależnia od temperatury amplitudę przebiegu podawanego na czujnik, drugi umieszczony jest w pętli sprzężenia zwrotnego wzmacniacza operacyjnego. Zastosowano właśnie termistory, ponieważ wśród dostępnych elementów pomiarowych właśnie one mają największy współczynnik zmian termicznych.

Schemat ideowy proponowanego układu pokazany jest na **rysunku 4**.

Układ zasilany jest napięciem stałym nie mniejszym niż 14,5V. Obecność diody D1

Rys. 3 Zasada pomiaru



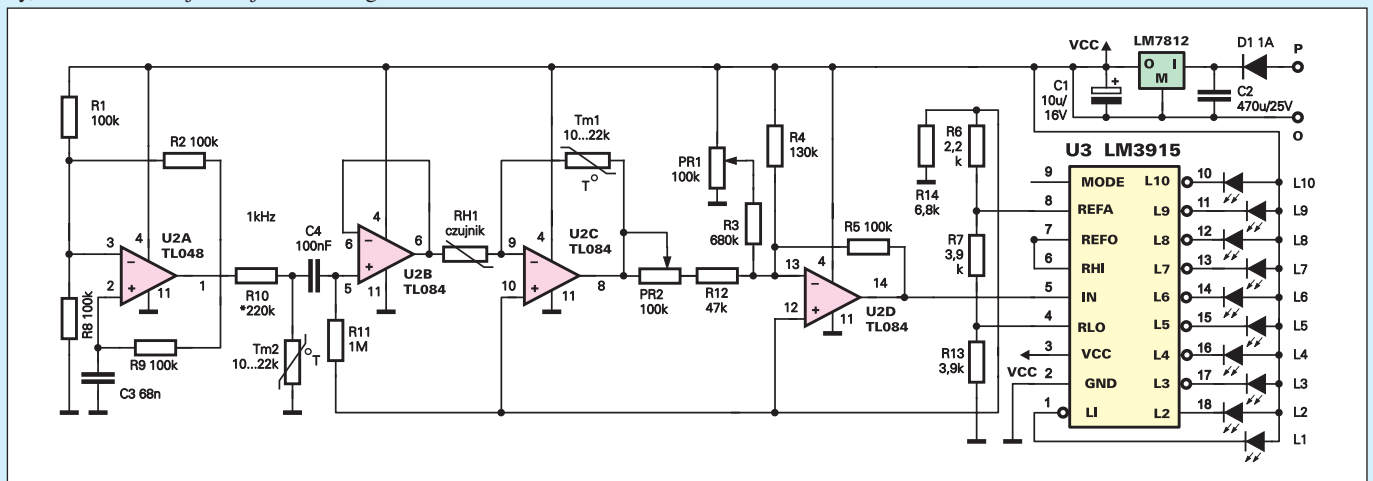
i stosunkowo dużego kondensatora C2 umożliwia też zasilanie napięciem zmiennym, nie mniejszym niż 12VAC.

Sam układ pomiarowy zasilany jest napięciem 12V ze stabilizatora U1. Do wyświetlania wyniku służy linijka diod LED L1...L10, sterowana przez „logarytmiczny” wskaźnik LM3915 pracujący w trybie punktowym. Kostka LM3915 pełni też dodatkową rolę – napięcie stałe z nóżek 6, 7 wykorzystywane jest jako napięcie odniesienia, a właściwie jako potencjał sztucznej masy dla całego układu pomiarowego. Przy podanych wartościach R6, R7, R13, napięcie między „prawdziwą” masą, czyli punktem O, a sztuczną masą wynosi około 6,8V.

Napięcie na nóżce 8 nie gra tu istotnej roli, ponieważ jest to jedynie wejście sterujące wewnętrzznego źródła napięcia wzorcowego. Istotne jest natomiast napięcie na nóżce 4, która jest wyprowadzeniem wewnętrznej drabinki rezystorów ustalających progi zaświecania kolejnych diod LED. Drugi koniec tej drabinki (n. 6) jest dołączony do sztucznej masy (zwarte nóżki 6 i 7). Napięcie na nóżce 4 wynosi nieco ponad 3V względem „prawdziwej” masy (nóżki 2 U3). Dokładna wartość tego napięcia nie jest krytyczna. Istotne jest to, że przy napięciach wejściowych na nóżce 5 w granicach 0...3V nie będzie świecić żadna dioda. W zakresie napięć wyznaczonych przez potencjały nóżek 4 i 6 zaświecać się będą kolejno diody L1...L10. Przy napięciu wejściowym wyższym od napięcia sztucznej masy świecić się będą wszystkie lampki.

Wzmacniacz U2A pracuje jako generator przebiegu prostokątnego o częstotliwości około 1kHz i amplitudzie prawie 10Vpp. Częstotliwość nie jest krytyczna, można ją zmniejszyć, nawet do 50Hz, przez zwiększenie R9 lub C3. Elementy R10, Tm2 tworzą dzielnik napięcia

Rys. 4 Schemat ideowy



o współczynnika podziału zależnym od temperatury. To jest pierwszy stopień kompensacji temperaturowej układu. Przebieg o amplitudzie rzędu 1Vpp jest podawany na bufor z kostką U2B. Należy zauważyć, że dzięki rezystorowi R11, na wejściach i wyjściu wzmacniacza U2B potencjał jest równy potencjałowi sztucznej masy. To samo dotyczy wzmacniaczy U2C, U2D, które pracują jako typowe wzmacniacze odwracające.

Dzięki takiej konfiguracji na czujniku wilgotności oznaczonym RH1 występuje tylko niewielki sygnał zmienny, a napięcie stałe jest równe zeru.

Niewielki sygnał z wyjścia kostki U2B jest wzmacniany lub osłabiany we wzmacniaczu U2C, zależnie od chwilowych rezystancji czujnika RH1 i termistora Tm1. Na wyjściu wzmacniacza U2C (nóżka 8) występuje sygnał w przybliżeniu prostokątny, a jego amplituda zależy od wilgotności powietrza.

Sygnał ten jest podawany na kolejny wzmacniacz U2D. Wzmocnienie jest wyznaczone przez stosunek R5 do R12+PR2 i może być zmieniane z pewnych granicach za pomocą PR2. Rezystor R4 wprowadza znaczne przesunięcie napięcia wyjściowego kostki U2D, przez co sygnał na wyjściu U2D na pewno nie jest symetryczny względem masy. Potencjometr PR1 i rezystor R3 pozwalają dokładnie ustawić wartość tego przesunięcia. Przyjmijmy na razie, że za pomocą PR1 zostanie ustawione spoczynkowe napięcie na wyjściu kostki U2D, czyli napięcie wejściowe kostki U3, równe napięciu na nóżce 4 kostki U4. Wtedy w stanie spoczynkowym nie świeciłaby żadna dioda. Wzrost napięcia na wejściu U3 (n. 5) powodowałby zaświecanie kolejnych diod.

Należy jednak pamiętać, że na wejście pomiarowe kostki U3 (nóżka 5) podawany jest sygnał... prostokątny. W module nie zastosowano bowiem żadnego prostownika, a mimo wszystko wskazania są prawidłowe. Rzecz w tym, że ujemne połówki przebiegu zmiennego leżą poniżej napięcia na nóżce 4, a więc w tym czasie żadna z diod nie świeci. Podczas dodatnich połówek przebiegu zaświecana jest jedna z diod, odpowiadająca amplitudzie przebiegu zmiennego. Dzięki takiemu rozwiązaniu udało się radykalnie uprościć układ. Trzeba jednak wziąć pod uwagę, że diody świecą tylko przez 50% czasu, więc dla zwiększenia ich jasności przewidziano dodatkowy rezystor R14, pozwalający dobrać jasność LED-ów, bez zmiany omawianych wcześniej progów napięciowych.

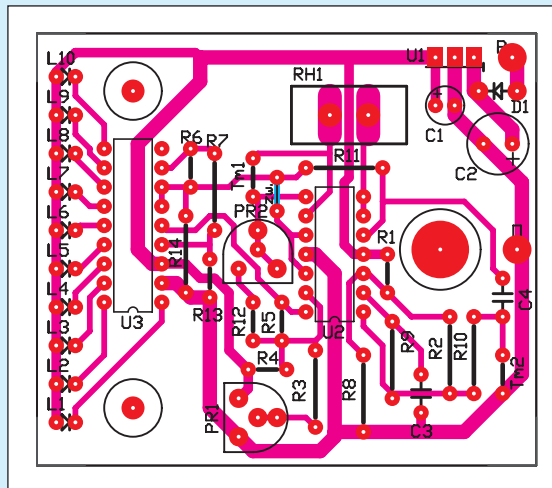
Ponieważ charakterystyka wskazań układu LM3915 jest logarytmiczna, skala wskaźnika jest w miarę liniowa – w miarę, bo zależność oporności czujnika od wilgotności względnej nie jest ściśle logarytmiczna.

Montaż i uruchomienie

Stopień trudności projektu określają dwie gwiazdki. Niemniej montaż, a nawet uruchomienie jest bardzo proste i poradzi sobie z tym nawet słabo zaawansowany elektronik. W wersji podstawowej do kalibracji nie jest nawet potrzebny żaden przyrząd pomiarowy, nawet woltomierz. Układ będzie działał i pokazywał zmiany wilgotności.

Budowy takiej podstawowej wersji może podjąć się niemal każdy.

Układ należy zmontować w klasyczny sposób na płytce pokazanej na **rysunku 5**. Warto zacząć od elementów najmniejszych: zwór i rezystorów, i kolejno montować coraz większe. Pomocą będzie też fotografia modelu (płytką z rysunku 5 różni się drobnymi szczegółami od pierwszego modelu z fotografii – rezystor R14 został dolutowany od druku). Z montażem czujnika też nie będzie kłopotów – należy wykorzystać dwie nóżki – trzecia, dołączona tylko do diody pozostaje wolna.



Rys. 5 Schemat montażowy

Wartość rezystora R14 można zmieniać, zależnie od efektywności zastosowanych diod LED.

Uwaga! Podczas montażu nie lutować rezystora R12! Zostanie on wlutowany po regulacji potencjometru P1.

Po zmontowaniu układu (bez R12) należy sprawdzić, czy napięcie zasilające na wyjściu stabilizatora rzeczywiście wynosi $12V \pm 5\%$. Jeśli tak, należy ustawić PR1 na granicy zaświecania pierwszej diody LED L1. Następnie, po odłączeniu zasilania, należy wlutować R12 i ustawić PR2 w środkowym położeniu. Wskazanie linijki świetlnej będzie zależało od aktualnej wilgotności. Aby sprawdzić jego działanie, trzeba delikatnie chuchać na niebieski czujnik wilgotności. Po kilkunastu sekundach wskazanie linijki świetlnej powinno wzrosnąć.

Po tej prostej regulacji przyrząd jest gotowy do pracy. Ze względu na rozrzuty parametrów czujnika i termistorów trudno mówić, że przyrząd jest precyzyjnie skalibro-

wany. Zamiast szukać komory klimatycznej, należy raczej obserwować wskazania zbudowanego przyrządu i porównać je z klasycznym higrometrem domowym.

Potencjometr PR2 reguluje wzmocnienie sygnału i ma wpływ na zakres wskazań. Po pewnym czasie użytkowania można przeprowadzić regulację PR2, by krańcowe zmiany wilgotności w mieszkaniu powodowały zmiany w zakresie wszystkich dziesięciu diod linijki.

Jak wspomniano na wstępie, opisany moduł jest doskonałą podstawą do eksperymentów. Będzie też dobrze pełnić funkcję miernika wilgotności (higrometru), o ile tylko zmiany temperatury otoczenia nie będą zbyt duże. Można też na jego bazie wykonać regulatory wilgotności, wykorzystując pseudocyfrowe sygnały sterujące diody LED L1...L10. To już nie jest jednak zadanie dla początkujących.

Tylko dla dociekliwych

Dociekliwym eksperymentatorom, którzy na pewno zechcą wykorzystać ten interesujący element w różnych własnych konstrukcjach należy przypomnieć, że

napięcie zmienne na czujniku RH1 nie powinno być większe niż 1Vrms, czyli w przypadku przebiegu prostokątnego 2Vpp.

Wypadałoby też w ogólnym zarysie przypomnieć, co to jest wilgotność powietrza. Jak wiadomo w powietrzu zawarta jest też para wodna. Ogólnie biorąc, wilgotność wskazuje na jej zawartość. Tej pary nie może być w powietrzu zbyt dużo. Istnieje górna granica. Co ważne, ilość pary wodnej, jaka może być zawarta w powietrzu silnie zależy od temperatury. Czym wyższa tempera-

tura, tym więcej pary może być w powietrzu. I na odwrót.

Przypuśćmy, że w jakiejś dość wysokiej temperaturze w powietrzu zawarta jest maksymalna ilość pary wodnej. Po zmniejszeniu temperatury część tej pary z pewnością wykropli się w postaci rosy. Często obserwujemy to zjawisko w postaci mgły, deszczu i kropelek rosy, zwłaszcza na zimnych powierzchniach.

Ilościową zawartość pary wodnej w powietrzu określa tak zwana **wilgotność bezwzględna**. Natomiast **wilgotność względna** to, najogólniej biorąc, parametr uwzględniający wpływ temperatury. Jeśli przy stałej zawartości wody w powietrzu temperatura spada, wtedy wilgotność względna rośnie, a wilgotność bezwzględna pozostaje ta sama.

Pierwszy rzut oka na rysunek 1 może stwarzać wrażenie, iż czujnik HS15 z natury jest czujnikiem wilgotności bezwzględnej. Bliższa analiza zaprzecza temu. Przy niezmiennych zawartości pary i przy wzroście temperatury wilgotność względna zmniejsza się, natomiast

wilgotność bezwzględna pozostaje stała. Gdyby HS15 był czujnikiem wilgotności bezwzględnej, to przy stałej zawartości pary w powietrzu rezystancja czujnika też powinna być stała, niezależna od temperatury.

Dwie gwiazdki „wyceniające” stopień trudności wskazują głównie na fakt, że ze względu na właściwości czujnika precyzyjna kalibracja układu nie jest łatwa. Dokładna kalibracja wymagałaby porównania z wzorcowym higrometrem przy różnej wilgotności i w różnych temperaturach, co wymaga skorzystania z komory klimatycznej i jest nieosiągalne dla ogromnej większości Czytelników.

W praktyce okaże się, że uzyskanie idealnej precyzji jest trudne, wręcz niemożliwe. Jeśli ktoś chciałby wykonać przyrząd pokazujący dokładną wartość wilgotności względnej w szerokim zakresie temperatur, musiałby dodatkowo sprawdzić i indywidualnie dobrać elementy obwodów kompensacji temperatury. W opisie układu wspomniano, iż dwa termistory kompensują wpływ temperatury na czujnik wilgotności. Przyjrzyjmy się temu bliżej.

Jak wiadomo rezystancja termistora NTC zmniejsza się z temperaturą. Nie jest to jednak zależność liniowa. Przybliżoną zależność wyraża wzór $R = A e^{B/T}$ gdzie A i B to stałe, charakterystyczne dla danego termistora, e – podstawa logarytmów naturalnych, T – temperatura bezwzględna w °K.

W uproszczeniu można przyjąć, że A to rezystancja charakterystyczna (ale nie ta podawana w katalogach), natomiast B to współczynnik termiczny, wyrażony w °K.

W praktyce, aby obliczyć rezystancję danego termistora w dowolnej temperaturze T trzeba znać jego rezystancję R_n w temperaturze odniesienia T_0 (zwykle +20°C lub +25°C) oraz współczynnik B, podane w katalogu. Należy wykorzystać wzór:

$$R_T = R_n e^{(B/T - B/T_0)}$$

nie zapominając podać temperaturę w w kelwinach, a nie stopniach Celsjusza.

Wartość współczynnika B termistorów zawiera się w granicach 2000K...4000K, zwykle około 3600...4000K.

Załóżmy, że termistor do kompensacji higrometru ma współczynnik B równy 3700 i rezystancję nominalną 22kΩ w temperaturze +25°C. Obliczmy rezystancję dla temperatur +15°C oraz +35°C.

$$\text{Dla } 15^\circ\text{C} \text{ czyli } 288\text{K:}$$

$$R_{15} = 22\text{k}\Omega e^{(3700/288 - 3700/298)}$$

$$R_{15} = 22\text{k}\Omega e^{(12,848 - 12,416)}$$

$$R_{15} = 22\text{k}\Omega e^{0,4311}$$

$$R_{15} = 22\text{k}\Omega * 1,539$$

$$R_{15} = 33,86\text{k}\Omega$$

$$\text{Dla } 35^\circ\text{C}, \text{ czyli } 308\text{K:}$$

$$R_{35} = 22\text{k}\Omega e^{(3700/308 - 3700/298)}$$

$$R_{35} = 22\text{k}\Omega e^{(12,013 - 12,416)}$$

$$R_{35} = 22\text{k}\Omega e^{-0,40313}$$

$$R_{35} = 22\text{k}\Omega * 0,66823$$

$$R_{35} = 14,70\text{k}\Omega$$

Jak widać, rezystancja termistora przy spadku temperatury do +15°C wzrosła do około 154% wartości nominalnej, natomiast przy wzroście do +35°C zmniejszy się do około 67% wartości znamionowej. Rzut oka na rysunek 1 przekonuje, iż jeden termistor nie skompensuje w pełni zmian cieplnych czujnika wilgotności. Przy niezmienniej wilgotności względnej, przykładowo 60%RH, czujnik wilgotności przy wzroście temperatury o 10 stopni zmniejszy swą rezystancję około dwukrotnie (nieco więcej). Natomiast przy spadku temperatury o 10 stopni, rezystancja zwiększy się mniej więcej 2,5-krotnie.

Aby w pełni skompensować czujnik wilgotności pod względem termicznym, należy zastosować skuteczniejszą kompensację, na przykład z wykorzystaniem dwóch termistorów, a wtedy z pomnożenia dwóch współczynników uzyska się znacznie lepsze wyniki.

$$1,539^2 \approx 2,37$$

$$0,668^2 \approx 0,446$$

co jest bardzo zbliżone do potrzeb. Aby uzyskać dobrą kompensację, należałoby zastosować termistory o znanym, dokładnie określonym współczynniku B. Być może okaże się, że do kompensacji wpływu temperatury jeden termistor to za mało, a dwa za dużo. Wtedy trzeba byłoby zastosować dodatkowe dzielniki, by uzyskać potrzebny wypadkowy współczynnik cieplny. To na pewno nie jest zadanie dla początkujących.

I kolejna sprawa. Nawet gdy uda się za pomocą termistorów precyzyjnie skalibrować przyrząd przy jakiejś wilgotności, nie będzie on tak samo dokładny przy innych wartościach wilgotności. Świadczy o tym charakterystyka z rysunku 1, a konkretnie takt, że charakterystyki dla różnych temperatur nieco się rozbiegają.

A i to jeszcze nie wszystko. Trudno ocenić, jak długo idealnie skompensowany przyrząd będzie dawał prawidłowe wskazania. Producent czujnika nie podaje w karcie katalogowej dokładnych informacji na temat stabilności długoczasowej. W katalogu można jedynie znaleźć zdanie: *Good long term stability.*

Wynika stąd wniosek, że przyczyną trudności z kalibracją są takie, a nie inne charakterystyki czujnika polimerowego. Na szczęście do eksperymentów i zastosowań domowych wysoka precyzja wcale nie jest potrzebna, więc zastosowane proste rozwiązanie układowe okaże się interesujące zarówno dla hobbyistów, jak i dla profesjonalistów. Podobną koncepcję, ale zupełnie inne rozwiązanie układowe opisano w nocie aplikacyjnej National Semiconductor AN-256 (umieszczonej także na stronie internetowej EdW). Materiał tam zawarty pochodzi z roku 1981 i opisuje układ pomiarowy wykorzystujący czujnik polimerowy o podobnym działaniu, ale o znacząco innych parametrach. Zaproponowanego tam rozwiązania nie da się bezpośrednio skopiować, ponieważ

wspomniany czujnik miał współczynnik cieplny wynoszący tylko 0,36%RH/°C, a prezentowany w niniejszym artykule czujnik HS15 ma znacznie większy współczynnik cieplny. Niemniej warto zapoznać się z zaprezentowanym tam rozwiązaniem, choćby z uwagi na wzmacniacz logarytmujący, skompensowany termicznie w niecodzienny sposób.

Dociekliwi Czytelnicy, którzy pomimo opisanych niezbyt korzystnych cech czujnika HS15 zechcą zbudować oparty na nim precyzyjny miernik lub regulator wilgotności, powinni raczej wykorzystać mikroprocesor i po zmierzeniu konkretnego czujnika w różnych warunkach wprowadzić informację o przebiegu charakterystyki i współczynniku korekcji do pamięci systemu.

Czujnik HS15 może też być wykorzystany w układach regulacji wilgotności. Jeśli Czytelnicy EdW byli zainteresowani dalszymi przykładami wykorzystania tego interesującego elementu, prosimy o zgłoszenia w listach oraz w ramach Miniiankiety.

Piotr Górecki

Notę aplikacyjną NS AN-256 można ściągnąć ze strony www.natsemi.com lub ze strony EdW: www.edw.com.pl/library/pliki/nsan256.zip.

Opis regulatora wilgotności z tym czujnikiem był podany w ELV 1/2001 str 82.

Wykaz elementów

Rezystory

R1,R2,R5,R8,R9	.....	100kΩ
R3	.....	680kΩ
R4	.....	130kΩ
R6	.....	2,2kΩ
R7,R13	.....	3,9kΩ
R10	.....	220kΩ
R11	.....	1MΩ
R12	.....	47kΩ
R14	.....	6,8kΩ
PR1,PR2	.....	100kΩ PR miniaturowy
Tm1,Tm2	.....	22kΩ termistor

Kondensatory

C1	.....	10μF/16V
C2	.....	470μF/25V
C3	.....	68nF
C4	.....	100nF

Półprzewodniki

D1	.....	1N4001
L1-L10	.....	LED (3mm czerw.)
U1	.....	LM7812
U2	.....	TL084
U3	.....	LM3915
Inne		
RH1	.....	czujnik HP15S

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2607