

Elektroniczny termometr z czujnikiem Pt100

Projekt 040



Dzięki zastosowaniu, w prezentowanym mierniku, profesjonalnego czujnika temperatury Pt100 zarówno zakresy pomiarowe, jak i dokładność pomiaru spełnia wymagania także bardziej wymagających Czytelników.

Trochę teorii

Rozważając możliwość budowy termometru z czujnikiem platynowym, stanąłem przed problemem linearyzacji czujnika temperatury typ Pt100.

Specjalizowane układy scalone przeznaczone do tego celu okazały się bardzo drogie i trudno dostępne, a rozwiązanie zaproponowane przez Piotra Góreckiego w artykule „Termometr z czujnikiem platynowym Pt100”, opublikowanym w EP 7/94, nawet nie przyszło mi do głowy.

Zainspirował mnie natomiast schemat termometru zamieszczony w książce panów Z. Kulki, A. Libury i M. Nadachowskiego pt. „Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe” (opublikowany również w EP2/97). Przy uważnej lekturze wspomnianej

książki natrafiłem na rozdział opisujący przetworniki o charakterystyce nieliniowej, a zwłaszcza o sposobie zamiany charakterystyki przetwornika z liniowej na nieliniową poprzez sumowanie napięcia odniesienia z częścią napięcia przetwarzanego. Znajdąc wartości rezystancji czujnika Pt100 dla różnych temperatur (zawiera je polska norma PN-83M53852) i zakładając stabilizację prądu płynącego przez czujnik na poziomie 1mA, wyliczyłem wartości napięcia odniesienia dla konkretnych temperatur, przy których wskazania termometru byłyby poprawne.

Itak, wskazanie przetwornika ICL 7106 (układ Us1) opisane jest wzorem:

wskazanie wyświetlacza = $1000 \cdot U_{IN} / U_{REF}$,
gdzie: U_{IN} - napięcie wejściowe pomiędzy końcówkami INHI i INLO;
 U_{REF} - napięcie odniesienia pomiędzy końcówkami RHI i RLO.

Po przekształceniu możemy łatwo obliczyć napięcia odniesienia dla różnych temperatur:

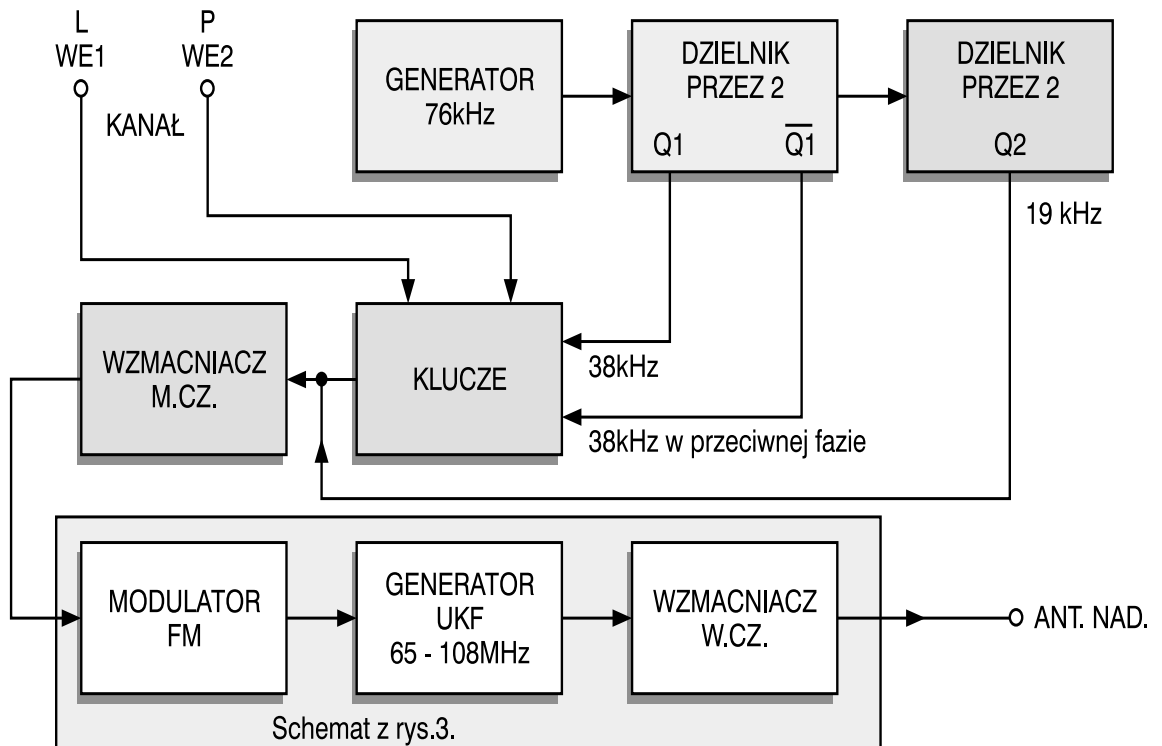
$$U_{REF} = 1000 \cdot U_{IN} / \text{wskazania wyświetlacza}$$

Np. dla temperatury -150°C rezystancja czujnika wynosi $39,71\Omega$, a więc napięcie pomiędzy końcówkami INLO i INHI (patrz schemat) wyniesie $-60,29\text{mV}$. Po podstawieniu otrzymujemy:

$$U_{REF}(-150^{\circ}\text{C}) = 1000 \cdot (-60,29)\text{mV} / (-150) = 401,93\text{mV}$$

$$\text{a dla temperatury } +400^{\circ}\text{C}: U_{REF}(+400^{\circ}\text{C}) = 1000 \cdot 147,04 / 400 = 367,6\text{mV}$$

Następnym krokiem było wyliczenie wartości napię-



Rys. 1.

Schemat z rys.3.

cia ustawionego na potencjometrze P2 (patrz schemat z rys. 1) oraz współczynnika podziału napięcia na czujniku Pt100, aby po odjęciu go od napięcia ustawionego na potencjometrze P2 otrzymać pożądaną zmianę charakterystyki przetwarzania układu ICL 7106. Napięcie na potencjometrze P2 jest stałe dla wszystkich temperatur i możemy je wyliczyć ze wzoru:

$$U_{P2} = (U_{Pt100} \cdot x) + U_{REF}$$
 gdzie: U_{P2} - napięcie ustawione na potencjometrze P2; U_{Pt100} - napięcie na czujniku Pt100; x - współczynnik podziału napięcia na czujniku Pt100.

Po podstawieniu dla temperatur -150°C i +400°C otrzymujemy:

-150°C $U_{P2} = 39,71x + 401,93$ [mV]
 +400°C $U_{P2} = 247,04x + 367,160$ [mV]

Skoro U_{P2} jest zawsze takie samo, otrzymujemy:
 $247,04x + 367,16 = 39,71x + 401,93$
 $247,04x - 39,71x = 401,93 - 367,16$
 $x \approx 0,165$.

Podstawiając do wzoru otrzymujemy napięcie ustalone na P2:

$$U_{P2} = (39,71 \cdot 0,165) + 401,93 = 408,48$$
 [mV].

Przyjęte założenia oraz powyższe przykłady tylko w przybliżeniu linearyzują układ czujnik - przetwornik.

Niemniej jednak, po przeliczeniu dla różnych temperatur okazało się, że w zakresie temperatur od -150°C do +550°C proponowany układ daje teoretycznie błąd wskazań mniejszy niż 1°C, a w zakresie do 250°C nawet 0,2°. Cierpliwych zachęcam do obliczeń.

Opis układu

Układ elektroniczny termometru nie jest skomplikowany (rys. 1). Zawiera pięć układów scalonych, kilkanaście rezystorów, kilka kondensatorów, dwa potencjometry i wyświetlacz ciekłokrystaliczny. Układ scalony US1 to popularny przetwornik pracujący w klasycznym układzie publikowanym wielokrotnie na łamach różnych czasopism i nie wymaga specjalnych objaśnień. Wzmacniacz operacyjny US3 to układ scalony LM308 w konfiguracji stabilizatora prądu płynącego przez czujnik Pt100. Rezystory P1, R6, R10, R13 ustalają prąd pomiarowy na około 1mA. Wartość

taka jest kompromisem pomiędzy czułością przetwornika a zasilaniem z baterii.

Potencjometrem P1 ustawia się napięcie na końcówce INLO tak, aby przy rezystancji czujnika wynoszącej 100Ω (0°C) wskazanie na wyświetlaczu wynosiło dokładnie 00.0°C.

Poprzez rezystor R5 napięcie z czujnika jest doprowadzone do końcówki INHI układu US1. Napięcie to w zależności od temperatury może przyjmować wartości dodatnie lub ujemne względem końcówki INLO.

Kondensator C4 włączony pomiędzy te końcówki filtruje napięcie wejściowe.

Wzmacniacz operacyjny US4 jest odpowiedzialny za kształtowanie charakterystyki przetwarzania. Do wejścia nieodwracającego tego układu jest podane napięcie z suwaka potencjometru P2, od którego odejmowana jest poprzez wejście odwracające część napięcia z czujnika pomiarowego. Z wyjścia tego układu, poprzez dzielnik napięcia oraz klucze analogowe K1 i K2 układu US5, sterowana jest końcówka RHI układu US1. I tak, ze wzrostem rezystancji (temperatury) czujnika pomiarowego wzmacniacz operacyjny US4 LM 308 powoduje obniżanie się napięcia odniesienia, przez co zmienia się charakterystyka przetwarzania, kompensując tym samym nieliniowość czujnika. Bramki B1 i B2, sterowane wyłącznikiem, załączają klucze analogowe K1 i K2, które załączają na przemian pełne napięcie z wyjścia US4, bądź jego dziesiątą część. Rozwiązanie to ma na celu zwiększenie rozdzielczości pomiaru w zakresie temperatur do 200°C. Dodatkowa bramka B1, poprzez bramkę B3, załącza także punkt dziesiątny na wyświetlaczu przy pomiarze o wyższej rozdzielczości. Rezystory R1, R2, R3, tranzystor T1 i bramka B4 tworzą układ sygnalizujący na wyświetlaczu rozładowanie baterii zasilającej.

Montaż i uruchomienie

Montaż termometru rozpoczynamy od lutowania przyczynkami od rezystorów, kondensatorów, potencjometrów. W następnej kolejności wlotujemy tranzystor i diodę,

okablowanie do wyłącznika zasilania, przełącznika rozdzielczości, gniazda czujnika oraz zacisku baterii 9V. Przewody gniazda i zacisku baterii przewlekamy przez otwory w płytce drukowanej aby zapobiec oberwaniu się ich przy spoinach.

Uwaga: przewody gniazda czujnika, przy wykorzystaniu zaproponowanej płytki, lutujemy od strony druku pod układem US3.

Teraz możemy wlotować wzmacniacze operacyjne i układy CMOS. W ostatniej kolejności montujemy przetwornik US1, a nad nim wyświetlacz.

Układ scalony powinien być maksymalnie dociśnięty do płytki. Pomiędzy nim a montowanym nad nim wyświetlaczem powinna pozostać minimalna wolna przestrzeń. W przeciwnym razie na wyświetlaczu moglibyśmy zobaczyć odcisnięte krawędzie obudowy układu. Jeżeli układ został zmontowany ze sprawnych elementów, to jego uruchomienie go nie będzie trudne.

W pierwszej kolejności sprawdzamy czy na płycie nie ma „mostków z cyny”. Jeżeli ich nie zauważymy, to podłączamy zasilanie. Sprawdzamy pobór prądu z baterii bez podłączonego czujnika - powinien wynosić ok. 2,3..2,5mA. Na wyświetlaczu powinny ukazać się segmenty B4 i C4 (najstarsza jedyńka). Przełącznikiem W2 sprawdzamy czy pojawia się przed najmłodszą cyfrą punkt dziesiątny. Zwierając na chwilę wyprowadzenie 37 (TEST) US1 z „plusem“ baterii, sprawdzamy czy są wyświetlane wszystkie segmenty.

Uwaga: dla układu 7106 podczas testu wyświetlacza, do segmentów jest doprowadzane napięcie stałe, które może uszkodzić wyświetlacz, jeżeli taki stan potrwa kilka minut.

Jeżeli wszystko jest w porządku, możemy sprawdzić wartość prądu płynącego przez czujnik Pt100 - powinien on wynosić ok. 0,9..1,1mA, a tym samym prąd zasilania powinien wzrosnąć do ok. 3,5mA.

Na wyświetlaczu ukażą się przypadkowe wskazania, które powinny się zmieniać w czasie regulacji potencjometrami P1 i P2. Jeżeli

WYKAZ ELEMENTÓW

- Rezystory**
 P1: 2kΩ hlfr.
 P2: 2kΩ hlfr.
 R1: 180kΩ 5%
 R2, R3, R4, R5: 1MΩ 5%
 R6, R7, R8: 10kΩ 1%
 R9: 16,5kΩ 1%
 R10: 619Ω 1%
 R11: 61,9kΩ 1%
 R12: 100kΩ 1%
 R13: 32,4kΩ 1%
 R14: 9,09kΩ 1%
 R15: 1kΩ 1%
 R16: 100kΩ 5%
 R17: 27kΩ 5%
- Kondensatory**
 C1, C2, C3: 100pF ceramiczny
 C4, C5: 10nF ceramiczny
 C6: 100nF
 C7: 470nF
 C8: 220nF
- Półprzewodniki**
 D1: 1N4148
 T1: BC238C
 US1: ICL7106
 US2: CN4136R
 US3, US4: LM308
 US5: CD 4066
 US6: CD 4070
- Różne**
 G1: gniazdo DIN
 W1: WS 946.11.3.01
 W2: WS 946.11.3.01

wszystkie nasze zabiegi wypadły pomyślnie, to możemy przystąpić do skalowania termometru.

Uwaga: skalowanie powinniśmy przeprowadzić razem z przewodem, do którego podłączony będzie czujnik. W ten sposób przy skalowaniu uwzględnimy również rezystancje tych przewodów.

Do skalowania potrzebne będą dwa rezystory o rezystancji 100Ω, ich tolerancja powinna być lepsza od 0,1%, co pozwoli nam uzyskać dużą dokładność regulacji. Mogą też być użyte specjalne rezystory przeznaczone do sprawdzania fabrycznych mierników temperatury. Ostatecznie możemy posłużyć się dobrym multimetrem cyfrowym (np. Metex 4650 na zakresie 2mA ma rezystancję wejściową 100Ω).

W pierwszej kolejności podłączamy do przewodów rezystor 100Ω (lub rezystor do sprawdzania mierników albo multimetr). Należy zadbać o to, by połączenia były pewne i miały jak naj-

mniejszą rezystancję. Potencjometrem P1 ustawiamy na wyświetlaczu wartość 00,0 przy pomiarze o podwyższonej rozdzielczości. Następnie włączamy w obwód drugi rezystor i jeżeli jest to także 100 Ω , to ustawiamy potencjometrem P2 wskazanie 267 - koniecznie na niższej rozdzielczości. Operację tę powtarzamy kilkakrotnie, aby mieć pewność. Do sprawdzania mierników ustawiamy wartość odczytaną z tego rezystora. Jeżeli dysponujemy tylko multimetrem, zawieramy przewody i ustawiamy potencjometrem P2 wartość - 245 na wyświetlaczu. Ten ostatni sposób nie jest zbyt dokład-

ny, ale jeżeli nie są stawiane duże wymagania - jest w zupełności wystarczający.

Pozostaje nam jeszcze sprawdzić, czy wskazania termometru przy niższej i wyższej rozdzielczości są takie same. Jeżeli się różnią, to równolegle do rezystora R14 dolutowujemy rezystor o rezystancji od 620k Ω do 1,5M Ω dobrany w ten sposób, aby wskazania pokrywały się na obu zakresach.

Możemy też, jeśli dysponujemy regulowanym zasilaczem, sprawdzić sygnalizację rozładowania baterii. Literki BA na wyświetlaczu powinny się włączyć przy napięciu 8V do 8,5V.

Uwagi końcowe

Chociaż proponowany układ pracuje z zasilaniem bateryjnym, można wykonać go z powodzeniem jako zasilany z sieci, stosując jako przetworniki pomiarowe układy ICL 7107 lub ICL 7135. Mamy wtedy możliwość zwiększenia prądu płynącego przez czujnik Pt100. Nie zalecam jednak zwiększenia tego prądu powyżej 10mA - istnieje bowiem niebezpieczeństwo samonagrzewania się czujnika pod wpływem płynącego prądu.

Dziwić może też zastosowanie wyświetlacza CN4136R firmy Unitra-Dolam z Wrocławia, nie mają-

cego swoich odpowiedników w handlu, jednak pod koniec lat osiemdziesiątych zdobycie zachodnich wyświetlaczy nastęrczało sporo trudności. Po przeprojektowaniu płytki można zastosować dowolny wyświetlacz 3,5-cyfrowy. Oryginalne termometry, budowane przez kilka lat, pracują z czujnikami firmy Czaki Thermoproduct z Raszyna, jako przenośne mierniki do doraźnej kontroli temperatury.

Osoby zainteresowane informuję, że posiadam częściowo uzbrojone płytki termometrów. Wykaz elementów prześlę na życzenie.

Roman Mania