

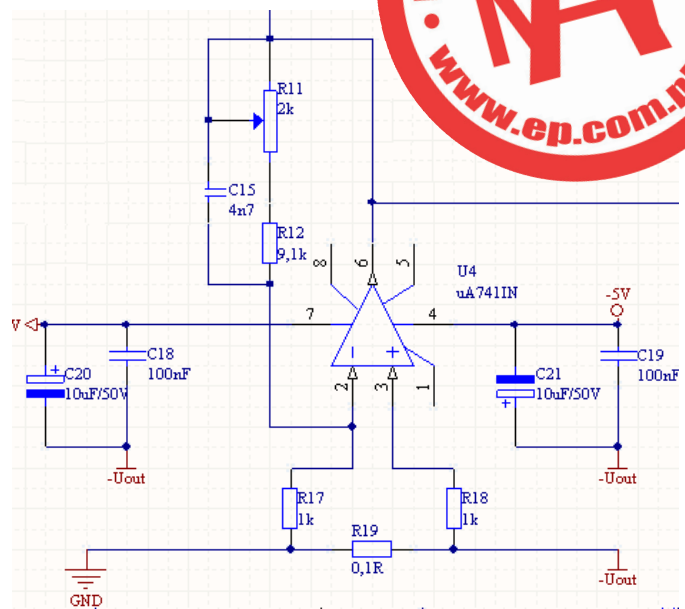
# AD8217, czyli jak mierzyć natężenie prądu

*W ramach Klubu Aplikantów Próbek jest dostępny ciekawy układ scalony AD8217 służący do budowania obwodów pomiarowych prądu. W artykule zaprezentowano sposób jego prawidłowego użycia.*

Elektronik często napotyka konieczność pomiaru wielkości elektrycznych. Typowo dysponuje przeznaczonym do tego multimetrem, który co najmniej mierzy napięcie stałe i przemienne, natężenie prądu stałego i przemienne oraz rezystancję. Podstawowym jest pomiar napięcia stałego. Aby był prawidłowy, miernik musi się charakteryzować małym błędem wynikającym z jego właściwości i budowy. Musi przy tym charakteryzować dużą opornością wewnętrzną wyrażaną w jednostce oporności na jeden Volt. Obecnie w miernikach cyfrowych ta oporność jest bardzo duża i wynosi np. 10 M $\Omega$ /V. Ten parametr nie ma większego znaczenia, gdy mierzymy napięcie w obwodzie o małej rezystancji wewnętrznej, na przykład – napięcie źródła zasilania. Jeżeli jednak dołączamy woltomierz równolegle do rezystora o oporności kilkuset k $\Omega$  w obwodzie dzielnika polaryzacji bazy tranzystora, to zbyt mała oporność wejściowa woltomierza spowoduje znaczącą zmianę w rozkładzie napięcia w obwodzie i taki pomiar będzie niewiarygodny. Z takim problemem trzeba było zmagać się stosując multimetry analogowe bez wzmacniacza pomiarowego. Rezystancja dobrego miernika wynosiła ok. 20 k $\Omega$ /V, a gorszych jeszcze mniej.

Ostatnim warunkiem poprawnego pomiaru napięcia jest także dobranie zakresu pomiarowego, by mierzone wartości były jak najbliżej końca zakresu. Jeżeli mierzymy na przykład 3 V, to w miarę możliwości trzeba wybrać zakres 4 V, a nie 40 V. Jest to o tyle istotne, że rozdzielczość pomiaru mierników cyfrowych stwarza złudzenie, że pomiar jest dokładny, bo na zakresie 40 V możemy zmierzyć napięcie z rozdzielczością np. 10 mV.

O ile napięcie możemy mierzyć bezpośrednio, to z pomiarem natężenia prądu nie jest tak łatwo. Przepływ prądu stałego jest definiowany, jako przepływ ładunku elektrycznego w jednostce czasu. Nie ma łatwych w użyciu metod pozwalających na taki bezpośredni



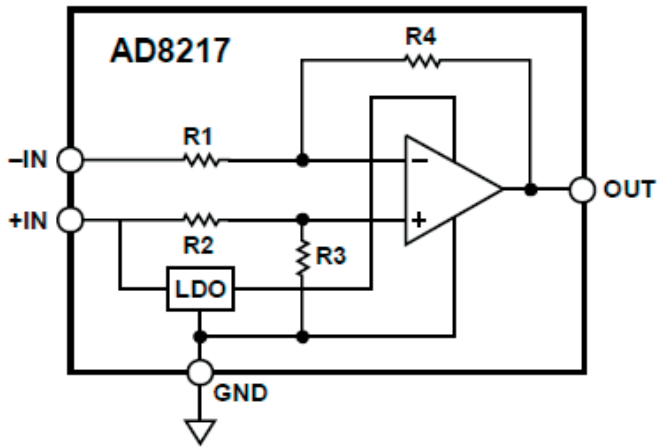
Rysunek 1. Pomiar prądu w zasilaczu warsztatowym

pomiar i dlatego prąd mierzy się metodą techniczną poprzez pomiar spadku napięcia na wtrąconym w szereg rezystorze pomiarowym.

Rezystor pomiarowy powinien mieć tak małą rezystancję, jak to tylko możliwe. Ponieważ w trakcie pomiaru jest on włączany w mierzony obwód, to obniża napięcie wejściowe i powoduje zmianę rozprywu prądu. W efekcie może spowodować, że układ w trakcie pomiaru nie działa tak, jak w rzeczywistości. Mała rezystancja opornika pomiarowego minimalizuje błędy metody pomiaru, ale z drugiej strony bardzo trudno jest zmierzyć nieduże napięcie.

Zgodnie z prawem Ohma, przy znanej rezystancji R prąd będzie równy  $I=U/R$ . Załóżmy, że będziemy mierzyli prąd o maksymalnej wartości 3 A, a rezystor pomiarowy będzie miał oporność 0,1  $\Omega$ . Maksymalny spadek napięcia  $U=3 A \times 0,1 \Omega = 0,3 V$ . Z jednej strony, 300 mV spadku na wyjściu to całkiem sporo, ale z drugiej nie da się dokładnie zmierzyć tego napięcia np. za pomocą przetwornika A/C





Rysunek 2. Schemat blokowy AD8217

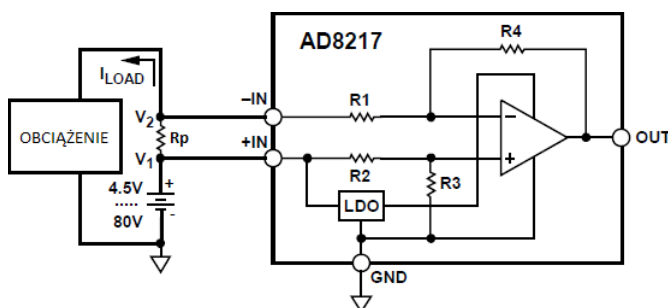
wbudowanego w mikrokontroler o zakresie napięcia wejściowego 0...3,3 V. Jeśli napięcie referencyjne przetwornika A/C wynosi 3,3 V, to 300 mV na wejściu daje ok. 10% całego zakresu pomiarowego, a jak wspominałem, trzeba dążyć do tego, aby napięcie mierzone było bliższe końca zakresu pomiarowego. Aby to osiągnąć, trzeba napięcie spadku na rezystorze pomiarowym wzmocnić – w rozpatrywanym tu wypadku – aż 10-krotnie.

Zbudowanie wzmacniacza napięcia stałego nie jest trudne. Można do tego celu wykorzystać wzmacniacz operacyjny pracujący w konfiguracji wzmacniacza nieodwracającego. Taki układ pomiarowy zastosowałem w publikowanym na łamach EP zasilaczu warsztatowym. Fragment schematu zasilacza odpowiedzialny za pomiar prądu pokazano na **rysunku 1**. W tym obwodzie wzmocnienie układu mierzącego spadek na rezystorze pomiarowym zmienia się za pomocą dzielnika złożonego z 2 rezystorów: R17 i sumy rezystancji R11+R12. Wzmocnienie napięciowe wzmacniacza nieodwracającego jest wyliczane z zależności  $ku = 1 + (R11 + R12) / R17$ . Jeżeli dobierzemy rezystory, aby  $R11 + R12 / R17$  było równe 9, to wzmocnienie całego układu będzie równe 10 V/V. Wtedy dla maksymalnego prądu 3 A napięcie wyjściowe z układu pomiaru prądu będzie równe 3 V. Dokładne ustalenie wzmocnienia jest możliwe dzięki zastosowaniu wieloobrotowego potencjometru R11. Pozwala to również na skorygowanie wzmocnienia wynikające z niedokładności rezystancji użytego rezystora pomiarowego R19.

Układ z rys. 1 ma jednak pewną wadę. Rezystor pomiarowy musi być włączony pomiędzy ujemny biegun zasilania a masę mierzonego obwodu (tzw. konfiguracja pomiarowa *low side*). Dla wielu zastosowań takie rozwiązanie, w którym w obwodzie masy występuje spadek napięcia może być trudne do przyjęcia i dlatego lepszym rozwiązaniem jest pomiar natężenia prądu od strony „plusa” zasilania (*high side*). Do takich pomiarów został zaprojektowany specjalny, wysokonapięciowy wzmacniacz pomiarowy AD8217, produkowany przez firmę Analog Devices.

Układ AD8217 ma bardzo dobre parametry:

- Zakres napięcia pracy: 4,5...80 V.
- Zakres temperaturowy pracy: -40...+125°C.



Rysunek 3. Układ pomiarowy (źródło: nota katalogowa)

- Dryft temperaturowy:  $\pm 100$  nV/°C.
- Dryft wzmocnienia:  $\pm 5$  ppm/°C.
- Offset:  $\pm 100$   $\mu$ V/°C.
- CMMR: 100 dB.
- Wzmocnienie: 20 V/V z błędem  $\pm 0,35\%$ .

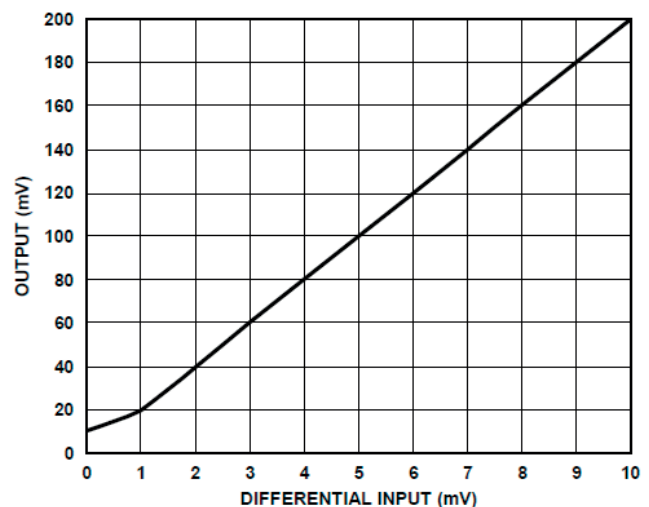
Schemat blokowy układu AD8217 pokazano na **rysunku 2**. Przypomina on układ pomiarowy z rys. 1. Wzmacniane napięcie jest podawane na wyprowadzenia +IN i -IN, a wzmocnienie układu jest wyznaczane przez stosunek rezystorów R4 i R1. Zasada pomiaru jest dokładnie taka sama. Układ mierzy i wzmacnia napięcie odkładane na szeregowym rezystorze pomiarowym. Końce tego rezystora są łączone z wyprowadzeniami +IN i -IN – **rysunek 3**. Rezystor pomiarowy Rp jest włączony w dodatniej gałęzi układu zasilania. Napięcie ze źródła zasilania jest podawane na wejście +IN. Jednocześnie to wejście jest doprowadzeniem zasilania poprzez wbudowany stabilizator LDO. Pozwala to na mierzenie spadku napięcia na rezystorze pomiarowym w bardzo szerokim zakresie, a napięcie na wyjściu OUT jest pozbawione składowej stałej i równe  $V_{OUT} = (R4/R1) \times (V1 - V2)$ , gdzie V1-V2 jest napięciem na rezystorze pomiarowym.

Aby uzyskać dokładne wzmocnienie 20 V/V, tolerancja wykonania rezystorów R4 (1,5 M $\Omega$ ) i R1 (75 k $\Omega$ ) wynosi 0,01%. Układ AD8217 będzie z dużym prawdopodobieństwem wykorzystany w cyfrowych układach pomiarowych. Jeżeli napięcie spadku na rezystorze pomiarowym będzie odpowiednio duże, to na wyjściu OUT może występować napięcie powyżej +5 V. Aby zabezpieczyć przed zniszczeniem wejście przetwornika A/C połączonego z wyjściem OUT, ograniczono napięcie wyjściowe do wartości +5,6 V. W aplikacjach wykorzystujących przetworniki A/C wbudowane w mikrokontrolery zasilane napięciem +3,3 V trzeba dodatkowo ograniczyć to napięcie używając dzielnika rezystancyjnego lub tak dobrać rezystor pomiarowy Rp do zakresu pomiarowego prądu, aby napięcie na wyjściu nie przekroczyło dopuszczalnego napięcia na wejściu analogowym mikrokontrolera.

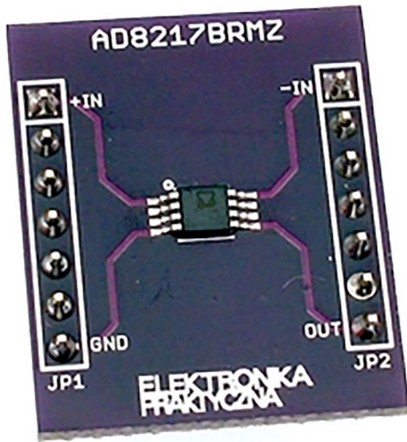
Dokładny pomiar prądu wymaga precyzyjnego wzmacniacza operacyjnego. Układ AD8217 charakteryzuje się bardzo dobrą liniowością praktycznie w całym zakresie napięcia wejściowego, co pokazano na **rysunku 4**.

### Testy praktyczne

W ramach programu KAP (Klub Aplikantów Próbek) można nieodpłatnie otrzymać gotowe moduły z układem AD8217. Taki moduł to niewielka płytka drukowana z przylutowanym układem scalonym wzmacniacza. Na krawędziach płytki umieszczono styki w postaci listwy goldpinów. Do styków dołączono wyprowadzenia układu (**rysunek 5**).



Rysunek 4. Zależność napięcia wyjściowego od napięcia wejściowego (źródło: nota katalogowa)



Fotografia 5. Moduł z układem AD8217

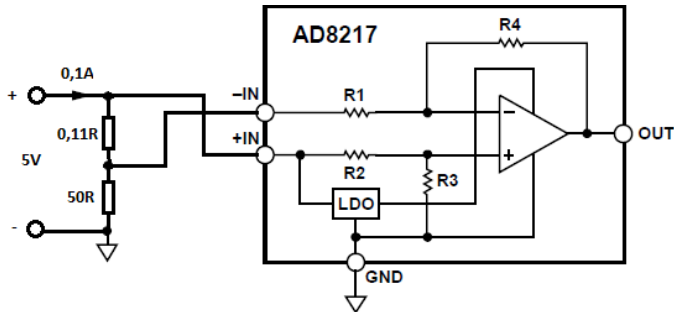
Testowanie rozpocząłem od rezystora pomiarowego. W założeniu miał to być opornik o rezystancji 0,1 Ω. Ponieważ nie miałem takiego, to połączyłem równolegle dwa rezystory o rezystancji 0,22 Ω, czyli Rp miał rezystancję o wartości 0,11 Ω. Rezystor połączono szeregowo z rezystorem o rezystancji 50 Ω i dołączono do zasilacza o ustawionym napięciu 5 V, tak jak to zostało pokazane na rysunku 6.

Ten obwód uzupełnimy teraz o cyfrowy układ pomiarowy, który będzie konwertował za pomocą przetwornika A/C napięcie z wyjścia OUT, a następnie wykona niezbędne obliczenia i na koniec wyświetli wynik na wyświetlaczu. Do odczytania i wyświetlenia wyniku użyłem modułu Nucleo z mikrokontrolerem STM32F401RET6. Wyjście układu AD8217 OUT (rysunek 6) połączyłem z wejściem A0 (PA\_0). Wynik pomiaru jest wyświetlany na małym wyświetlaczu graficznym OLED. Komunikacja pomiędzy mikrokontrolerem, a wyświetlaczem odbywa się za pomocą interfejsu I<sup>2</sup>C. Do napisania krótkiego programu testowego użyłem wirtualnego kompilatora **mbed** wspierającego moduł Nucleo. To wsparcie powoduje, że nie trzeba samodzielnie konfigurować bloków funkcjonalnych: przetwornika A/C i interfejsu I<sup>2</sup>C. Dzięki temu zaoszczędziłem mnóstwo czasu. Program odczytuje wartość napięcia z przetwornika, oblicza na tej podstawie natężenie prądu w mA i wyświetla wynik na wyświetlaczu.

Wróćmy teraz do naszego układu pomiarowego i obliczeń. Przez rezystor pomiarowy Rp w układzie z rys. 6 płynie prąd równy  $5\text{ V}/50,1\ \Omega = 99,8\ \text{mA} \approx 100\ \text{mA}$ . Spadek na rezystorze pomiarowym jest równy  $0,11\ \Omega \times 0,1\ \text{A} = 0,011\ \text{V} = 11\ \text{mV}$ . Tyle obliczenia – zmierzony w praktyce spadek napięcia był równy 11,27 mV. Napięcie zmierzone na wyjściu OUT to  $11,27\ \text{mV} \times 20\ \text{V/V} = 225,4\ \text{mV}$ . Założymy, że mikrokontroler będzie zasilany napięciem +3,3 V i napięcie zasilania będzie jednocześnie napięciem referencyjnym przetwornika. Przetwornik mikrokontrolera ma rozdzielczość 12 bitów. Przed obliczeniem współczynnika do zamiany spadku napięcia na ekwiwalent natężenia prądu musimy wiedzieć o jednym. Jak wspomniałem, przetwornik ma rozdzielczość 12 bitów. Liczba odczytana z jego rejestrów zmienia się od 0 do 4095. Do odczytania liczby użyłem funkcji `read_u16()` kompilatora mbed. Jednak ta funkcja zwraca znormalizowaną wartość 16-bitową, czyli niezależnie od rozdzielczości przetwornika wartość na wyjściu zmienia się od 0 do 65535. Oznacza to, że dla napięcia wejściowego +3,3 V równego wartości napięcia referencyjnego funkcja zwróci same jedynki, czyli liczbę 65535. Z prostego układu dwóch równań z jedna niewiadomą wychodzi, że dla 100 mA i równoważnemu temu prądowi napięciu 225 mV na wyjściu z przetwornika odczytamy 4468. Aby odpowiadała ona prądowi wyskalowanemu w miliamperach, trzeba ją podzielić przez 44,68. Program amperomierza pokazano na listingu 1.

Definicja `AnalogIn ain(A0)` konfiguruje przetwornik i określa, z którego wejścia będzie wykonywany pomiar (A0). Po zainicjowaniu wyświetlacza w nieskończonej pętli co 1 sekundę jest wykonywany pomiar prądu. Funkcja `read_u16` odczytuje wartość z przetwornika i normalizuje ją do liczby 16-bitowej. Potem jest dzielona przez

```
Listing 1. Program amperomierza
#include „mbed.h”
AnalogIn ain(A0);
char buf_c[100];
float Cu;
int main(void)
{
    Init_Lcd();
    wait(0.1);
    OledCls();
    OledTxt („TEST AD8217”, 3,0);
    while(1)
    {
        Cu=ain.read_u16();
        Cu=(double)Cu/44.68;
        sprintf(buf_c, „I=%3.1fmA”, Cu);
        OledTxtRam(buf_c, 3,3);
        wait(1);
    }
}
```



Rysunek 6. Schemat układu testowego

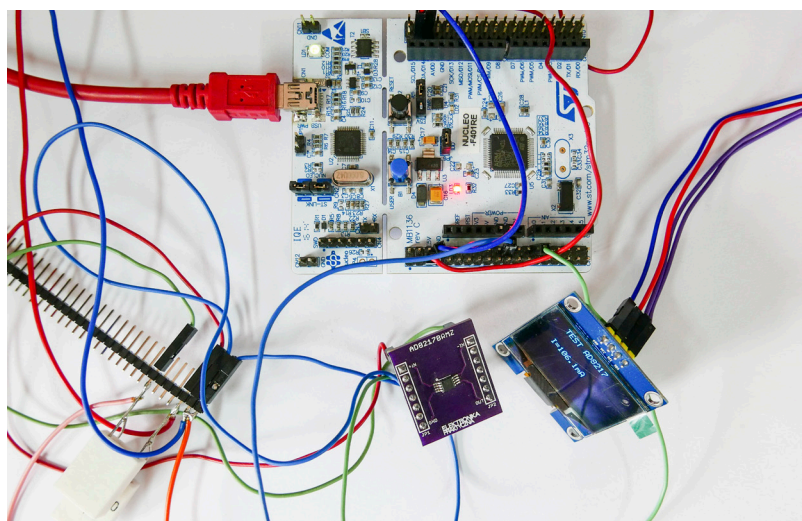
44,68. Konwersja zmiennoprzecinkowej wartości prądu umieszczonej w zmiennej `Cu` na ciąg znaków ASCII jest wykonywana za pomocą funkcji standardowej `sprintf`.

Urządzenie testowe zmontowano „na pająka” i połączony za pomocą kabli z końcówkami do goldpinów (fotografia 7). Po zmontowaniu okazało się, że wszystko działa zgodnie z założeniami. W trakcie testów podnosiłem stopniowo napięcie z zasilacza. Przy stałym obciążeniu 50 Ω rósł mierzony prąd i był on prawidłowo mierzony.

### Podsumowanie

Układ scalony AD8217 jest przykładem komponentu, który pomaga konstruktorowi w rozwiązaniu kilku istotnych problemów z dziedziny techniki analogowej. Pozostaje jedynie właściwe dobranie rezystora pomiarowego i „obrobienie” napięcia z wyprowadzenia OUT, aby wynik pomiaru był prezentowany w jednostkach prądu. Dużą zaletą jest możliwość pomiaru prądu w dodatniej gałęzi zasilania. Jest też wada takiego rozwiązania – minimalne napięcie zasilające równe +4,5 V. Nie można tego układu użyć na przykład w zasilaczu warsztatowym, w którym minimalne napięcie zasilania jest niższe od +4,5 V.

Tomasz Jabłoński, EP



Rysunek 7. Układ testowy

Cyfrowa stacja lutownicza  
**PACE ST-50**

**PACE**<sup>®</sup>  
paceworldwide.com



Sprawdź szczegóły oferty na naszej stronie internetowej skanując QR CODE

 **INTELLIHEAT**

**990 PLN\***  
netto

\*Cena ważna do wyczerpania zapasów

- Najbardziej zaawansowana stacja lutownicza nowej generacji
- Mikroprocesorowe sterowanie
- Groty zintegrowane z elementem grzejnym
- IntelliHeat - obsługa ręczek z różnymi technologiami grzania
- Funkcje Auto-Set Back i Auto Off
- Ustawienia chronione hasłem

 **RENEX**<sup>®</sup>

Al. Kazimierza Wielkiego 6E  
87-800 Włocławek, Poland

T: +48 54 231 10 05  
T: +48 54 411 25 56

office@renex.com.pl  
[www.renex.com.pl](http://www.renex.com.pl)