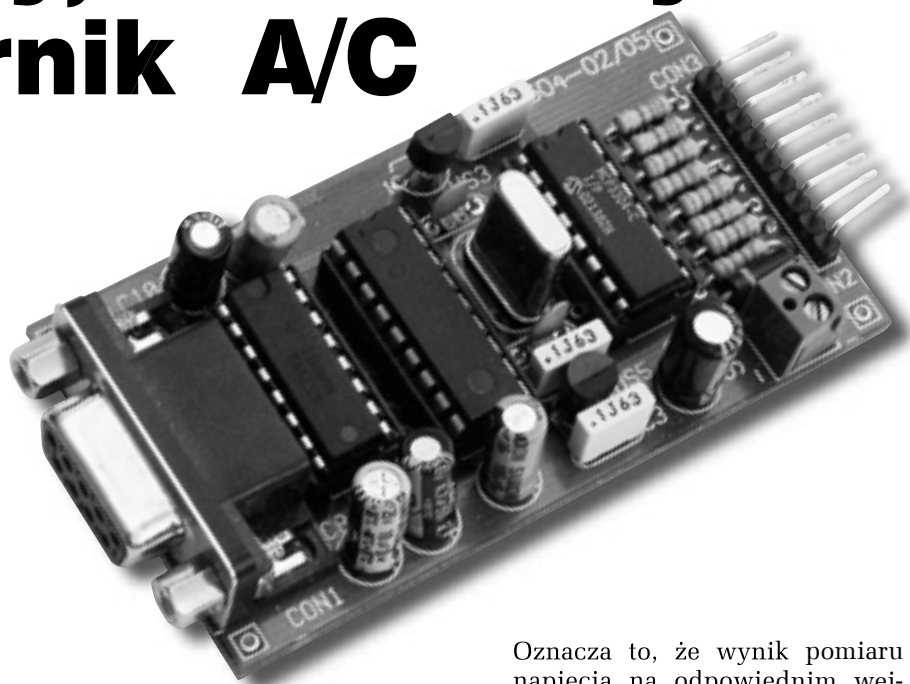


# 13-bitowy, różnicowy przetwornik A/C

## AVT-587

*Potrzeba integracji świata analogowego ze światem cyfrowym staje się coraz silniejsza. Niezbędnym elementem do tego celu są przetworniki – jedne zamieniają sygnał analogowy na cyfrowy, inne zaś odwrotnie. Umożliwiają one przetwarzanie sygnału analogowego na drodze cyfrowej. O tym, jakie daje to korzyści, przekonujemy się na co dzień słuchając muzyki, oglądając telewizję, robiąc zdjęcia i w wielu innych przypadkach.*

**Rekomendacje:** układ może być atrakcyjnym uzupełnieniem wyposażenia domowego sprzętu pomiarowego, pozwalającym na wykonywanie (z wysoką rozdzielczością) pomiarów napięć lub prądów za pomocą komputera PC.



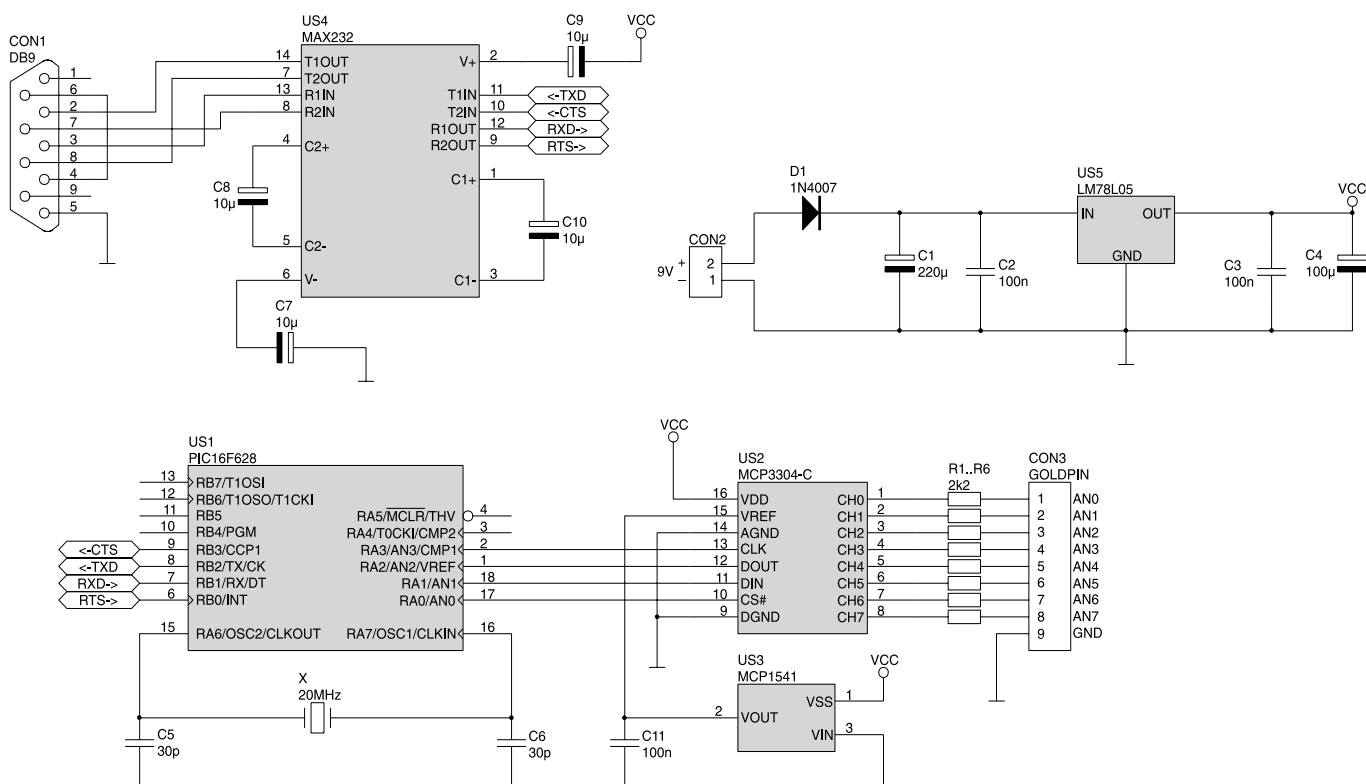
W niniejszym artykule skupimy uwagę na przetworniku analogowo-cyfrowym, dzięki któremu można zamieniać sygnały analogowe (napięcie, prąd, temperatura, itp.) na postać dyskretną (cyfrową). Sygnał analogowy przetworzony do postaci cyfrowej można swobodnie przekształcać i korygować w sposób całkowicie programowy. Jedną z ważniejszych zalet w dobie łączności internetowej jest możliwość przesyłania tak próbkowanego sygnału analogowego na duże odległości. W przypadku sygnału analogowego w czystej postaci jest to zadanie bardzo utrudnione, często wręcz niemożliwe.

Przedstawiony poniżej układ przetwornika A/C posiada osiem wejść pomiarowych o rozdzielczości 13 bitów. Uzyskane próbki mogą zatem mieć 8192 poziomy odpowiadające wartości napięcia wejściowego w chwili próbkowania. Pomimo takiej rozdzielczości, faktyczna liczba próbek wynosi 4096. Spowodowane to jest tym, że przetwornik może pracować w dwóch trybach:

- w pierwszej konfiguracji wszystkie wejścia są osobnymi wejściami przetwornika A/C i wartość podanego napięcia jest reprezentowana poprzez jeden z 4096 stanów.
- druga konfiguracja odpowiada pracy w trybie różnicowym.

Oznacza to, że wynik pomiaru napięcia na odpowiednim wejściu nie odpowiada faktycznemu napięciu, lecz jest różnicą napięcia pomiędzy sąsiednimi wejściami analogowymi (0-1, 2-3, 4-5 i 6-7). W ten sposób można skonfigurować maksymalnie cztery wejścia różnicowe.

Zasadę działania wejścia różnicowego można porównać do wejścia wzmacniacza operacyjnego. Jedno wejście może być traktowane jako proste nieodwracające (+), a drugie jako zanegowane odwracające (-). W przypadku takiej konfiguracji, pomimo tego, że napięcie wejściowe przetwornika musi zawierać się w przedziale od 0 do 5 V, to wynik konwersji przetwornika może być liczbą ujemną. Wynika to z faktu, że podanie na wejście (+) napięcia o potencjale wyższym niż napięcie na wejściu (-) da wynik dodatni. Jeśli napięcia na wejściu (+) będzie miało potencjał niższy niż napięcie na wejściu (-), wynik będzie ujemny. Informacja o polaryzacji napięcia jest podawana na trzynastym bicie wyniku przetwarzania, który w trybie różnicowym może przyjmować wartość 0 lub 1, natomiast w trybie prostym zawsze będzie miał wartość 0. Tryb różnicowy można wykorzystać, na przykład do pomiaru prądu, włączając pomiędzy wejścia różnicowe rezystor pomiarowy, na którym będzie mierzony



Rys. 1. Schemat elektryczny przetwornika A/C

spadek napięcia. Taki układ będzie uwzględniał kierunek płynącego prądu.

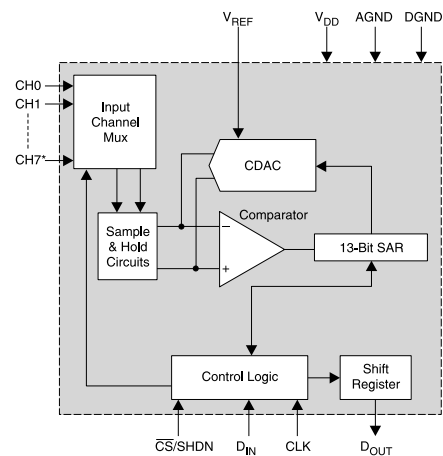
Komunikacja z przetwornikiem odbywa się poprzez port szeregowy z prędkością 115,2 kb/s. Proces pomiaru rozpoczyna się od wysłania przez komputer komendy podającej numer kanału oraz określającej tryb pomiaru (prosty lub różnicowy). Następnie wykonywany jest pomiar ze wskazanego wejścia, po czym zwracana zostaje wartość zmierzzonego napięcia. Wynik może być podany w jednym z trzech formatów: binarnym (2 bajty, na przykład „01C2”), hexadecymalnym (4 znaki ASCII, np. „0F5A”) lub dziesiętnym (5 znaków ASCII z kropką dziesiętną, np. „3.257”). Zastosowane źródło napięcia odniesienia o wartości 4,096 V umożliwia pomiar napięcia przez przetwornik w zakresie od 0 do 4,096 V z rozdzielczością 1 mV. Dzięki temu uzyskuje się wynik bezpośrednio w miliwoltach i nie są potrzebne dodatkowe operacje matematyczne. Wyboru formatu wysyłania danych przez przetwornik dokonuje się poprzez wysłanie odpowiednich komend, przy czym rozróżniane są dwa ich rodzaje: stałe i tymczasowe.

Wysłanie komendy stałej powoduje wybranie formatu wysyłania z jednoczesnym wpisem do pamięci EEPROM mikrokontrolera, co spowoduje, że wybrany format będzie stosowany do następnej zmiany, nawet po wyłączeniu zasilania. Komenda tymczasowa umożliwia zmianę formatu wysyłania danych, który będzie obowiązywał do jego kolejnej zmiany lub wyłączenia zasilania.

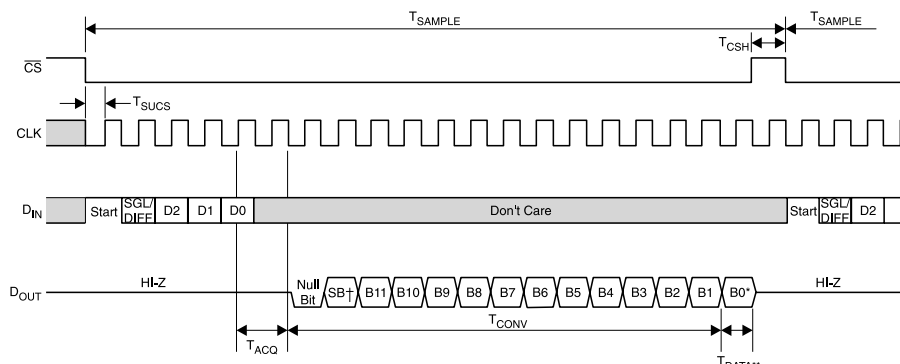
### Budowa

Schemat elektryczny przetwornika A/C jest przedstawiony na rys. 1. Głównym elementem jest mikrokontroler. Jest on odpowiedzialny za komunikację pomiędzy komputerem a przetwornikiem A/C. Aby umożliwić transmisję szeregową z prędkością 115,2 kb/s, mikrokontroler pracuje z zewnętrznym 20 MHz rezonatorem kwarcowym. Tak duża częstotliwość wpływa korzystnie na szybkość odpowiedzi przetwornika na wydaną przez komputer komendę. Jako układ dopasowujący poziomy napięć sygnałów RS232 i TTL został zastosowany układ MAX232 (US4). Oprócz linii transmisyjnych (RXD i TXD) podłączone zostały także linie sterujące przepływem da-

nych (CTS i RTS). W układzie jest wykorzystywana jednak tylko linia CTS, która służy do informowania komputera o gotowości przetwornika do odbioru danych. Gotowość komputera nie jest sprawdzana i przyjmowane jest, że jest on gotowy zawsze. Przy sprzętowym sterowaniu przepływem danych, do przetwornika można wysłać kolejno wiele poleceń wykonania pomiaru bez obawy, że polecenia te nie zostaną wykonane na skutek zajętości mikrokontrolera lub wykonywania pomiaru przez przetwornik



Rys. 2. Budowa wewnętrzna układu MCP3304



Rys. 3. Przebiegi czasowe podczas komunikacji z układem MCP3304

A/C. Najważniejszym elementem z punktu widzenia pomiaru napięcia jest układ US2. Jest to 8-kanalowy przetwornik A/C z interfejsem SPI. Jego budowa wewnętrzna jest przedstawiona na rys. 2. Komunikacja odbywa się poprzez czteroprzewodową magistralę, z wykorzystaniem sygnału !CS, który wybiera dany układ (jeśli podłączonych jest kilka do jednej magistrali) i jednocześnie przełącza układ MCP3304 w stan aktywności lub czuwania. W stanie aktywnym przetwornik A/C pobiera prąd o wartości około 450  $\mu\text{A}$ , natomiast w stanie czuwania maksymalnie 1  $\mu\text{A}$ . Przebiegi czasowe podczas komunikacji z przetwornikiem są przedstawione na rys. 3. Jako źródło napięcia odniesienia zastosowano układ MCP1541, dostarczający precyzyjnego napięcia o wartości 4,096 V. Sygnały wejść analogowych zostały wyprowadzone poprzez rezystory R1..R8 do złącza CON3. Rezystory te ograniczają prąd i służą jako zabezpieczenie w przypadku podania na wejście przetwornika napięcia wyższego niż 5 V, a także napięcia ujemnego. W przypadku pojawienia się napięcia przekraczającego podany zakres, wewnętrzne diody zawarte w układzie MCP3304 zwierają to napięcie do plusa zasilania lub do masy (w zależności od polaryzacji), a nadmiar jest odkładany na rezystorach R1..R8.

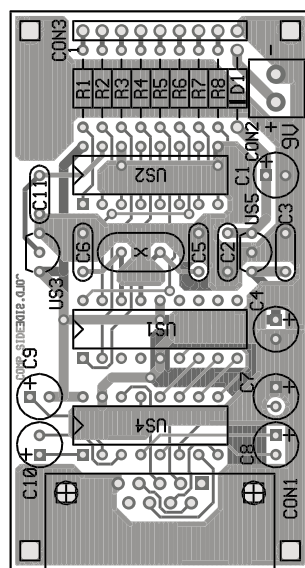
Cały układ jest zasilany napięciem o wartości 5 V, które jest uzyskiwane z wyjścia stabilizatora LM78L05. Kondensatory C1..C4 wygładzają otrzymane napięcie, natomiast dioda D1 zabezpiecza układ przed odwrotną polaryzacją napięcia zasilania.

## Montaż

Układ przetwornika został zamontowany na płytce, której rozmieszczenie elementów jest przedstawione na rys. 4. Montaż należy rozpocząć od wlutowania rezystorów, następnie podstawek pod układy scalone. Teraz można wlutować kondensatory oraz złącza. Po zamontowaniu całego układu należy podłączyć go poprzez złącze CON1 z portem szeregowym komputera, a do złącza CON2 dołączyć napięcie zasilania o wartości około 9 V i wydajności prądowej równej około 100 mA.

## Obsługa

Ze względu na złożoność realizowanych funkcji, zrezygnowano z obsługi za pomocą znaków ASCII. W takim przypadku komendy musiałyby się składać z dwóch lub trzech znaków, co znacznie by ograniczyło szybkość komunikacji z przetwornikiem A/C. Jednobyjto-



Rys. 4. Schemat montażowy płytki drukowanej

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

R1..R8: 2,2k $\Omega$ 

### Kondensatory

C1: 220 $\mu\text{F}/16\text{V}$ 

C2, C3: 100nF

C4: 100 $\mu\text{F}/16\text{V}$ 

C5, C6: 30pF

C7..C10: 10 $\mu\text{F}/16\text{V}$ 

C11: 100nF

### Półprzewodniki

D1: 1N4007

US1: PIC16F628-20MHz zaprogramowany

US2: MCP3304-C

US3: MCP1541

US4: MAX232

US5: LM78L05

### Różne

CON1: DB9 żeńskie

CON2: ARK2 3,5mm

CON3: Goldpin 1x9 męski

X: Kwarc 20MHz

Podstawka DIP18, DIP16 – 2szt.

wa komenda wywołania pomiaru podzielona jest na dwie części: pierwsza część (starsza tetradą) określa numer pierwszego kanału pomiarowego, natomiast druga (młodsza tetradą) określa numer drugiego kanału. Tak skonstruowane polecenie pozwala w jednym bajcie określić, z którego wejścia należy wykonać pomiar oraz czy pomiar ma pochodzić z podanego kanału, czy ma to być pomiar

Tab. 1. Spis komend realizujących pomiar napięcia

L.p.	Komenda(hex)	Wynik
1	0x00	Kanał 0
2	0x01	Kanał (1+0)
3	0x10	Kanał (1-0)
4	0x11	Kanał 1
5	0x22	Kanał 2
6	0x23	Kanał (3+2)
7	0x32	Kanał (3-2)
8	0x33	Kanał 3
9	0x44	Kanał 4
10	0x45	Kanał (5+4)
11	0x54	Kanał (5-4)
12	0x66	Kanał 6
14	0x67	Kanał (7+6)
15	0x76	Kanał (7-6)
16	0x77	Kanał 7

**Tab. 2. Zestawienie komend ustawiania formatu wysyłanych danych**

L.p.	Komenda (hex)	Działanie
1	0xff	Ustawienie formatu dziesiętnego i zapis do EEPROM-u
2	0xfe	Ustawienie formatu hexadecymalnego i zapis do EEPROM-u
3	0xfd	Ustawienie formatu binarnego i zapis do EEPROM-u
4	0xef	Ustawienie formatu dziesiętnego bez zapisu do EEPROM-u
5	0xee	Ustawienie formatu hexadecymalnego bez zapisu do EEPROM-u
6	0xed	Ustawienie formatu binarnego bez zapisu do EEPROM-u

różnicowy dwóch kanałów. Jeżeli obydwa podane kanały są jednakowe, to pomiar jest wykonywany w trybie prostym dla podanego kanału. Jeżeli podane kanały będą inne, to pomiar będzie wykonany w trybie różnicowym. W zależności od kolejności kanałów wynik będzie sumą lub różnicą pomiędzy kanałami pomiarowymi. Należy zwrócić uwagę na to, że pomiar różnicowy może być wykonany tylko pomiędzy sąsiednimi kanałami. Nie jest możliwy pomiar napięcia pomiędzy kanałem, na przykład 1 i 5 (komenda 0x15(hex)). Jako odniesienie

zawsze jest brana starsza tetrada komendy, dlatego dla podanego przykładu zostanie wykonany pomiar pomiędzy kanałem 1 i 0, czyli taki, jakby była podana komenda 0x10(hex). Spis wszystkich komend znajduje się w **tab. 1**.

Oprócz poleceń wykonania pomiaru mikrokontroler rozpoznaje komendy związane ze sposobem wysyłania wyników pomiarów. Zestawienie tych komend znajduje się w **tab. 2**. Komendy ze starszą tetradą równą „f” powodują zapis podanego formatu do pamięci EEPROM, natomiast bajt ze starszą tetradą równą „e” powodują zapis formatu

do pamięci RAM. Po wyłączeniu zasilania format danych zostanie przywrócony z pamięci EEPROM. Po każdej zmianie formatu przetwornik jest natychmiast gotowy do pracy i wysyła wartości napięcia według zdefiniowanego formatu.

Do sprawdzenia działania przetwornika można wykorzystać dowolny terminal, na przykład Hyperterminal dla Windows. W zaprogramowanym mikrokontrolerze domyślnie ustawiony jest format dziesiętny, a działanie przetwornika można sprawdzić poprzez wysłanie cyfry „3”. Spowoduje to zwrot wartości napięcia z kanału o numerze 3, ponieważ cyfra „3” w kodzie ASCII odpowiada wartości 0x33(hex), czyli jest zinterpretowana jako komenda pomiaru z kanału numer 3.

**Krzysztof Pławiuk, EP**  
**krzysztof.plawsiuk@ep.com.pl**

*Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: **pcb.ep.com.pl** oraz na płycie CD-EP9/2004B w katalogu PCB.*