

Zanim zbudujesz wagę elektroniczną

Zestaw ewaluacyjny dla przetwornika A/C ADS1232

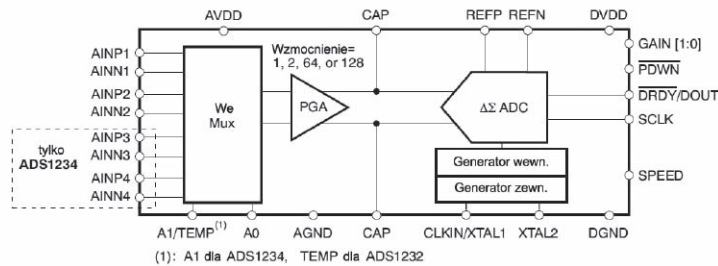
Najczęściej wykorzystywanymi w wagach elektronicznych elementami zamieniającymi siłę na wartość elektryczną są tensometry. Pracują zwykle w konfiguracji mostkowej i dostarczają napięcie pomiarowe o bardzo małej wartości rzędu kilku, kilkunastu miliwoltów. Narzuca to określone wymagania dla toru pomiarowego, szczególnie dla przetwornika A/C. Idealnym rozwiązaniem dla wag jest układ ADS1232 integrujący w sobie niemal całkowitą część analogową urządzenia.

Technika cyfrowa wsparta bogactwem sensorów różnych wielkości fizycznych umożliwia stosunkowo łatwe budowanie mierników takich parametrów jak: siła, ciśnienie, ciężar, przemieszczenie itp. W takich zastosowaniach nie ma potrzeby śrubowania częstotliwości próbkowania sygnału, dużo ważniejsza jest dokładność i rozdzielczość pomiaru, odporność na szumy i wszelkiego rodzaju dryfty. Do takiej grupy aparatury pomiarowej produkowane są specjalne przetworniki analogowo-cyfrowe odpowiednio optymalizowane pod kątem zastosowań. Przykładem może być przetwornik ADS1232 firmy Texas Instruments.

Elektroniczna szalka

ADS1232 i ADS1234 to 24-bitowe przetworniki A/C (odpowiednio 2- i 4-wejściowe) dedykowane do takich urządzeń jak wagi, sterowniki przemysłowe, mierniki ciśnienia

itp. Schemat blokowy tych układów przedstawiono na rys. 1. W artykule ograniczymy się do opisu układu ADS1232, gdyż dla niego jest przeznaczony zestaw ewaluacyjny, który trafił do redakcyjnych testów. Oprócz głównego bloku, jakim jest precyzyjny przetwornik delta-sigma z wewnętrznym generatorem, w strukturze zawarto również kompletny układ akwizycji danych z niskoszumowym wzmacniaczem o programowalnym wzmocnieniu (PGA). Wzmocnienie to może być równe: 1, 2, 64 lub 128 V/V, co przekłada się na wejściowe pełne zakresy pracy równe odpowiednio: $\pm 2,5$ V, $\pm 1,25$ V, ± 39 mV i ± 19 mV. Dzięki wewnętrznemu multiplexerowi możliwe jest przełączanie dwóch kanałów pomiarowych z wejściami różnicowymi. Z uwagi na zakres zastosowań przewidziano również możliwość pomiaru temperatury poprzez wbudowany czujnik.



Rys. 1. Schemat blokowy przetworników ADS1232 i ADS1234

Tab. 1. Parametry określające własności szumowe i dynamiczne przetwornika ADS1232

Wzmocnienie	Szum RMS	Szum pp	ENOB (RMS)	Noise-free
$A_{VDD}=5\text{ V}, V_{REF}=5\text{ V}, \text{Data Rate}=10\text{ Sa/s}$				
1	420 nV	1,79 μV	23,5	21,4
2	270 nV	900 nV	23,1	21,4
64	19 nV	125 nV	22,0	19,2
128	17 nV	110 nV	21,1	18,4
$A_{VDD}=5\text{ V}, V_{REF}=5\text{ V}, \text{Data Rate}=80\text{ Sa/s}$				
1	1,36 μV	8,3 μV	21,8	19,2
2	850 nV	5,5 μV	21,5	18,8
64	48 nV	307 nV	20,6	18
128	44 nV	247 nV	19,7	17,2
$A_{VDD}=3\text{ V}, V_{REF}=3\text{ V}, \text{Data Rate}=10\text{ Sa/s}$				
1	450 nV	2,8 μV	22,6	20
2	325 nV	1,8 μV	22,1	19,7
64	20 nV	130 nV	21,2	18,5
128	18 nV	115 nV	20,3	17,6
$A_{VDD}=3\text{ V}, V_{REF}=3\text{ V}, \text{Data Rate}=80\text{ Sa/s}$				
1	2,2 μV	12 μV	20,4	17,9
2	1,2 μV	6,8 μV	20,2	17,8
64	54 nV	340 nV	19,7	17,1
128	48 nV	254 nV	18,9	16,5

Podawana w katalogach 24-bitowa rozdzielczość przetwornika ADS1232 wynika z jego budowy wewnętrznej (długości rejestru), jest to jednak parametr teoretyczny, praktycznie nieosiągalny w układach rzeczywistych. Bardziej miarodajne dla praktyków są takie parametry jak: efektywna liczba bitów (ENOB), efektywna rozdzielczość, odstęp sygnału od szumu i zniekształceń

(S/N+D inne oznaczenie to SINAD) i kod wolny od szumu (noise-free code). Określają one nieco odmienne cechy przetwornika i nie wszystkie są równoważne mimo dużego podobieństwa. Przykładowo, nie wolno mylić efektywnej rozdzielczości z efektywną liczbą bitów. Efektywną liczbę bitów ENOB oblicza się zwykle na drodze analizy FFT, jakiej jest poddawany przetwornik. Podczas

takiego badania do jego wejścia jest doprowadzany sygnał sinusoidalny o amplitudzie odpowiadającej pełnemu zakresowi przetwarzania. Następnie jest obliczany pierwiastek z sumy kwadratów wszystkich produktów wyjściowych, tj. szumów i zniekształceń. Na tej podstawie określa się parametr SINAD, który jak już wiemy jest równy stosunkowi sygnału do obliczonych wyżej szumów i zniekształceń. Dla idealnego przetwornika A/C stosunek sygnału do szumu jest równy $\text{SNR}=6,02+1,76$ dB, z czego wynika, że efektywna liczba bitów wynosi:

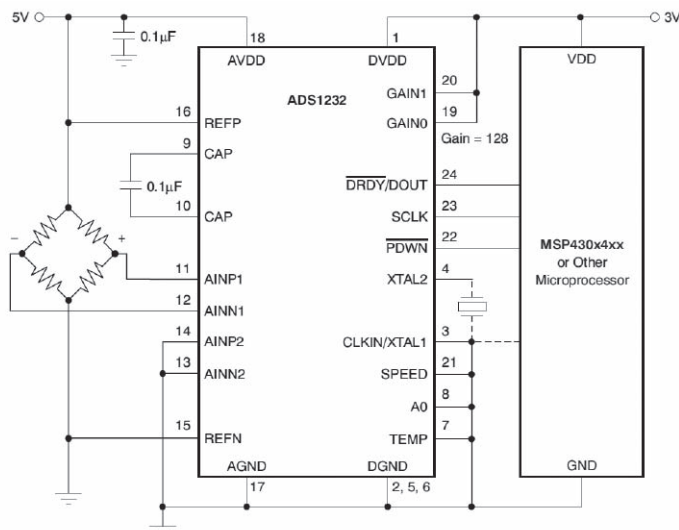
$$\text{ENOB}=(\text{SINAD}[\text{dB}]-1,76)/6,02$$

Jak widać efektywna liczba bitów nie musi być liczbą całkowitą. Obliczenia parametrów SINAD i ENOB uwzględniają nie tylko szum odnoszony do wejścia, ale również szum kwantyzacji pojawiający się na wyjściu wraz ze zniekształceniami wynikającymi z pracy przetwornika. Efektywna rozdzielczość jest natomiast obliczana jako:

Dla porządku musimy jeszcze zdefiniować kod wolny od szumu, który jest określanej jako stosunek 2^N (wartość międzyszczytowa szumu podawana w bitach), gdzie N jest rozdzielczością teoretyczną, dla układu ADS1232 $N=24$.

Niestety powyższych parametrów nie da się określić jednoznacznie, gdyż zależą one od kilku czynników, takich jak: napięcie zasilające, napięcie referencyjne, częstotliwość próbkowania, wzmocnienie. Ze względów marketingowych w opisach ogólnych podawane są tylko wartości dla najlepszego przypadku. Przykładowo, w charakterystyce układu ADS1232 zamieszczonej na pierwszej stronie noty katalogowej znajduje się informacja, że efektywna liczba bitów tego przetwornika może osiągać wartość do 23,5, ale nie jest już napisane, że w najbardziej niekorzystnej konfiguracji jest ona równa tylko 18,9 (wobec teoretycznych 24). W tab. 1 podano wartości określające własności szumowe i dynamiczne przetwornika ADS1232, dla najbardziej typowych konfiguracji.

Przetwornik ADS1232 może być taktowany przebiegiem z generatora zewnętrznego, jak również wewnętrznego, który jest



Rys. 2. Przykładowa aplikacja przetwornika ADS1232

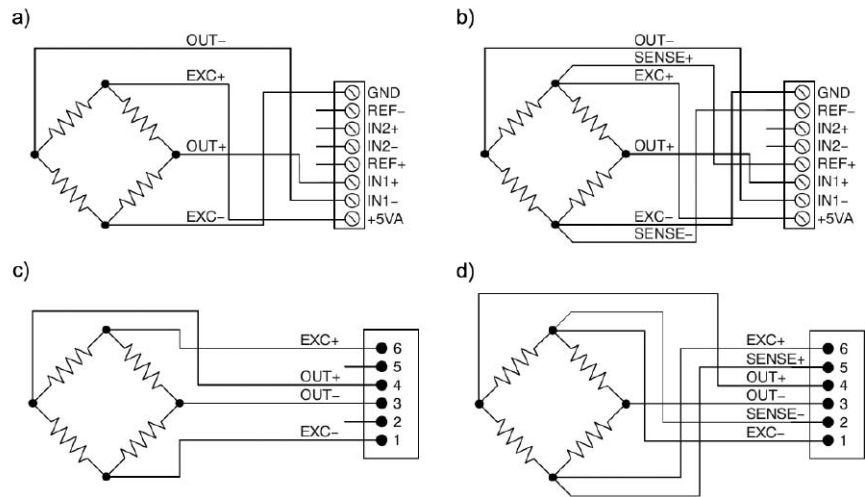
R E K L A M A

o tyle korzystny, że nie wymaga stosowania żadnych elementów dodatkowych. Na żądanie użytkownika może być przeprowadzona kalibracja offsetu. Sterowanie układem jest realizowane wyłącznie za pomocą sygnałów podawanych na przeznaczone do tego celu wyprowadzenia. Przetwornik nie ma ani jednego rejestru konfiguracji. Dane będące wynikiem przetwarzania są odbierane szeregowo z wyjścia DOUT za pośrednictwem zegara SCLK. Układ akwizycji danych z wejściami symetrycznymi doskonale nadaje się do współpracy z czujnikami w konfiguracji mostka, np. tensometrami, ale bez problemu można również dołączać termopary, rezystancyjne czujniki temperatury itp. Przykładową aplikację dla czujnika mostkowego przedstawiono na rys. 2. Przetwornik ADS1232 jest produkowany w obudowie TSSOP-24 (ADS1234 – TSSOP-28) i może pracować w zakresie temperatur od -40 do +105°C.

Zestaw ewaluacyjny dla przetwornika ADS1232

Dostarczany przez TI zestaw ewaluacyjny ADS1232REF został zaprojektowany pod kątem ewentualnych zastosowań zamontowanego na nim przetwornika A/C, jakim jest ADS1232. W komplecie znajduje się ponadto CD-ROM z dokumentacją i programem demonstracyjnym oraz kabel USB. Płytkę jest zasilana napięciem 6...9 VDC, które może pochodzić z zewnętrznego zasilacza lub baterii 9 V, których niestety nie ma w zestawie. Dwa gniazda wejściowe – jedno śrubowe, drugie szpilkowe – pozwalają w wygodny sposób i w dowolnej konfiguracji dołączyć własny tensometr lub inny czujnik pomiarowy. Przykładowe rodzaje połączeń dla czujników mostkowych przedstawiono na rys. 3. Jak widać mogą to być połączenia 4- lub 6-przewodowe. W drugim przypadku uzyskuje się kompensację spadków napięć na przewodach zasilających, a to dzięki użyciu wejść referencyjnych REF+ i REF-. Stosując połączenie 6-przewodowe należy ustawić przełącznik VREF w pozycji EXT.

W programie demonstracyjnym zapisanym w pamięci Flash mikrokontrolera MSP430F449 sterującego przetwornikiem A/C przewidziano trzy tryby pracy. Pierwszy z nich – SCALE – to prosta implementacja wagi elektronicznej wykorzystującej tensometryczny przetwornik siły. W tym trybie dostępne są typowe dla tego rodzaju urządzeń opcje, takie jak: kalibracja, tarowanie, wybór zakresu pomiarowego. Inne parametry, od których zależy sposób działania programu, ustawiane są po wejściu do opcji konfiguracyjnych. Można w nich na przykład wybrać: jednostki (µg, mg, g, kg, lb (funty), st (6,35 kg), oz (uncja)), liczbę uśrednień wyniku końcowego (2...128), prędkość przetwarzania (Slow – $f_{CLK}/61440$, Fast – $f_{CLK}/491520$),



Rys. 3. Schematy połączeń czujników mostkowych z płytką ADS1232REF

masę kalibracyjną (0...99,9 ustawionej jednostki), dokonać kalibracji offsetu i zapisać parametry w pamięci nieulotnej.

Przed rozpoczęciem pomiarów ciężaru należy dołączyć tensometr według jednego z przedstawionych wcześniej schematów, a następnie ustawić optymalne wzmocnienie toru pomiarowego i wybrać jednostkę. Kolejnym krokiem jest kalibracja wagi. Będzie do tego potrzebny ciężar o znanej wartości. Domyślnie jest to 5 kg, ale parametr ten można zmieniać, tym bardziej, że dokładność kalibracji będzie rosła, im bardziej ciężar wzorcowy będzie zbliżony do zakresu pomiarowego wagi. Kalibracja przebiega w dwóch krokach, o czym użytkownik jest informowany odpowiednimi komunikatami pojawiającymi się na wyświetlaczu. Pierwszy z nich: „Remove weight” oznacza, że waga jest tarowana, a więc tensometr powinien znajdować się w położeniu spoczynkowym, bez żadnego obciążenia. Jeśli warunek ten jest spełniony należy nacisnąć przycisk CAL, co spowoduje wykonanie pomiaru zerowego obciążenia i wyświetlenie komunikatu „Place CAL weight”. Teraz tensometr powinien być obciążony wartością wzorcową i po ponownym naciśnięciu przycisku CAL dokonywany jest drugi pomiar, co kończy procedurę kalibracji. Waga jest już gotowa do pracy. Trzeba tylko pamiętać, aby zawsze przed pomiarami ją wytarować, do czego służy przycisk TARE. 24-bitowy przetwornik ADS1232 charakteryzujący się małymi szumami doskonale sprawdza się w podobnych aplikacjach. Można dzięki temu budować przyrządy o dużych zakresach pomiarowych przy zachowaniu dużych rozdzielczości. Wbudowany wzmacniacz PGA upraszcza konstrukcję urządzenia do granic możliwości.

W drugim trybie pracy zestawu ewaluacyjnego – ANALYSIS – użytkownik ma możliwość podglądu na wyświetlaczu wartości mierzonych próbek. Na uwagę zasługują różnorodne formaty prezentowanych

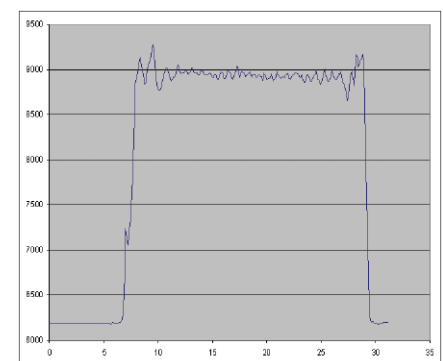
wyników. Mamy więc bezpośrednią wartość próbki w zapisie dziesiętnym lub heksadecymalnym, jak również próbkę przeliczoną na napięcie wejściowe. Wyniki mogą być również poddane uśrednieniu, a także przeliczone na wartości RMS i peak-to-peak. Ciekawą opcją jest szacowanie parametru ENOB, co jest związane z obliczaniem szumu. Pomiar ten wymaga zatem pozostawienia tensometru przez chwilę pod stałym obciążeniem, albo bez obciążenia. Procesor oblicza wartość RMS szumu korzystając z formuły:

Uzyskiwane w czasie testów wyniki potwierdziły wysoką klasę przetwornika.

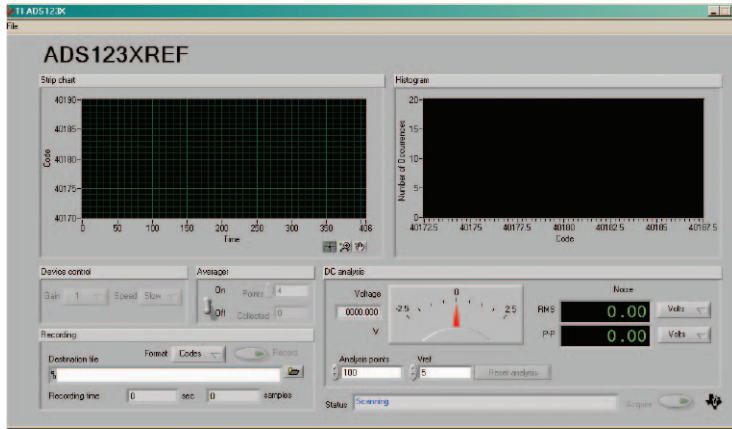
W czasie pomiarów w górnej części wyświetlacza po każdych 8 próbkach wyświetlane są małe punkciki, tworząc coś w rodzaju bargrafu. Dzięki temu użytkownik ma pewność, że układ pomiarowy pracuje prawidłowo.

Współpraca z komputerem

Na płytce ADS1232REF znajduje się gniazdo USB, przewidziane do komunikacji z komputerem i uaktualniania oprogramowania firmowego. Do wymiany danych można wykorzystać program Hyper Terminal lub inny, podobny. Transmisja jest prowadzona znakowo. Wydając polecenia z poziomu terminala konfiguruje się płytkę w całym



Rys. 4. Wykres wykonany w Excelu na podstawie danych odebranych z przetwornika ADS1232



Rys. 5. Okno programu demonstracyjnego

zakresie możliwości, a więc: wybiera się wzmocnienie, kanał pomiarowy, szybkość próbkowania, kalibruje się offset. Można również żądać przesłania pojedynczej danej do komputera, jak również uruchomić ciągłą transmisję. Ze względu na znakowy format, dane takie są bardzo łatwe w obróbce w dowolnym programie (np. w Excelu). Przykład tak uzyskanych wyników przedstawiono na rys. 4. W eksperymencie utrzymywano przez kilka sekund na wyciągniętym ręku ciężar 5 kg, co spowodowało powstanie tzw. tremoru (zwiększającego się drżenia ręki pod wpływem wydzielania się kwasu mlekowego

w mięśniach). Efekt ten jest dobrze widoczny na wykresie.

Na płycie CD-ROM zestawu ewaluacyjnego znajduje się program, przy pomocy którego można komunikować się z mikrokontrolerem w sposób bardziej intuicyjny, niż to opisano wyżej. Wykorzystywany jest do tego wirtualny port szeregowy tworzony podczas instalowania pakietu oprogramowania. Jest to znana użytkownikom popularnych układów FTDI technika komunikacji poprzez UART, ale przy wykorzystaniu interfejsu USB. Firma Texas Instruments zastosowała jednak własne rozwiązanie, jakim jest układ

TUSB3410VF. Na uwagę zasługuje niezależnie od systemu mikroprocesorowego zerowanie interfejsu USB.

Okno programu przedstawiono na rys. 5. Według opisu zamieszczonego w dokumentacji, uruchomiona na komputerze aplikacja skanuje porty komputera w celu wykrycia zestawu i jeśli to nastąpi połączenie zostaje nawiązane. Teraz sterowanie przetwornikiem ADS1232 oraz odbieranie danych jest możliwe poprzez interfejs graficzny. Wyniki są prezentowane w postaci wykresu liniowego lub histogramu w oknach *Strip chart* i *Histogram*. Niestety mimo kilku prób wykonanych w czasie testu zestawu nie udało się uzyskać komunikacji między programem i komputerem. Instalowane było oprogramowanie w wersji z runtime'em Labview.

Mimo niepowodzeń z programem, zestaw ewaluacyjny ADS1232REF w wystarczający sposób pozwolił zapoznać się z możliwościami zainstalowanego w nim przetwornika A/C. Eksperymenty stanowiły potwierdzenie danych katalogowych tego układu. Można go z pewnością polecić inżynierom projektującym wagi elektroniczne, w których nie jest istotna szybkość pomiaru lecz jego dokładność.

Jarosław Doliński, EP
jaroslaw.dolinski@ep.com.pl

R E K L A M A

Altium Designer

**Zostań Pionierem!
Wyrzędź Pozostałych**

Altium oferuje narzędzia, które ułatwiają realizację złożonych projektów urządzeń elektronicznych. Otrzymujesz najnowsze technologie i cały potencjał, abyś mógł swobodnie realizować swoje pomysły.

Teraz oferujemy większe możliwości za niższą cenę. Sprawdź nasze promocje.

