

# Przetworniki CDC (2)

## Zastosowanie w układach czujnikowych

część pierwsza tego artykułu dostępna jest na CD 

W EP 3/2009 opisaliśmy podstawy funkcjonowania przetwornika pojemność-cyfra. Teraz prezentujemy praktycznie zastosowania przetworników CDC w konstrukcji różnych układów czujnikowych. Opisane rozwiązania układowe wykorzystują układy scalone firmy Analog Devices typu AD7745/46 i AD7150/52.

### AD7150

AD7150, którego schemat blokowy przedstawiono na rys. 1, produkowany przez firmę Analog Devices, to 2-kanalowy przetwornik CDC ogólnego przeznaczenia. Układ dostarcza kompletne rozwiązanie przetwarzania sygnałów dla czujników zblizeniowych, przy jednoczesnym bardzo małym poborze energii oraz szybkiej odpowiedzi czasowej. Rozwiązaniem alternatywnym jest AD7151, z pojedynczym kanałem wejściowym.

Układy wykorzystują technologię przetwarzania pojemność – cyfra na bazie modulatora sigma – delta, oferując właściwości ważne dla prawdziwych czujników, tj. bardzo dobrą czułość oraz wzmocnioną odporność na pasywność pojemności uziemienia i prądy upływu.

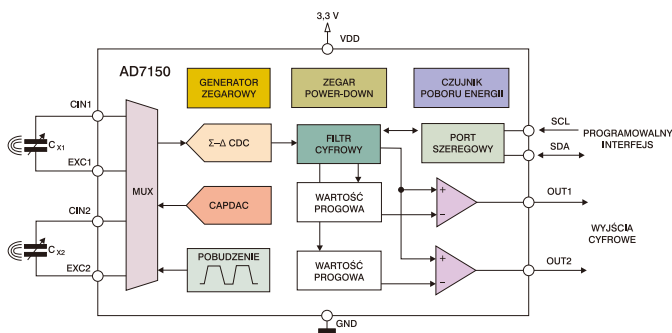
Oba układy mają wbudowany algorytm adaptacyjny wyrównywania wartości progowej, dla każdej zmiany czujnika pojemności odpowiednio do zmian otoczenia, np. wilgotność oraz temperatura, lub odpowiednio do zmian wartości dielektrycznej materiału.

Domyślnie, układ pracuje samodzielnie, używając stałych ustawień od razu po włączeniu zasilania, wskazując detekcję na dwóch cyfrowych wyjściach. Alternatywnie, AD7150 może być podłączony do mikrokontrolera przez szeregowy interfejs I<sup>2</sup>C. Za pomocą tego interfejsu można zapisywać i odczytywać stan wewnętrznych rejestrów, a przez to programować nastawy użytkownika, lub pobierać informacje o stanie układu.

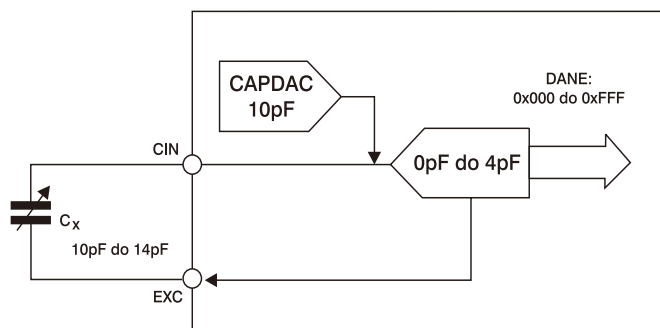
Rdzeniem układu AD7150 (rys. 1) jest wysokiej klasy przetwornik pojemność – cyfra (CDC), pozwalający na podłączenie bezpośrednio do wejść CIN1 i CIN2 czujnika pojemności. Komparatory zawarte w przetworniku porównują rezultaty uzyskane dzięki modulacji  $\Sigma$ - $\Delta$  z wartościami progowymi, które mogą przyjmować wartości stałe, bądź regulowane, dzięki zaimplementowaniu adaptacyjnego algorytmu wyrównywania wartości progowej. W ten sposób, wyjścia układu wskazują zmiany na wejściu z czujnika pojemności.

Ponadto zawiera AD7150 wyjście pobudzenia oraz CAPDAC dla wejść pojemnościowych, multiplexer, generator zegarowy, zegar trybu obniżonego poboru mocy, układ kontroli napięcia zasilania oraz interfejs I<sup>2</sup>C.

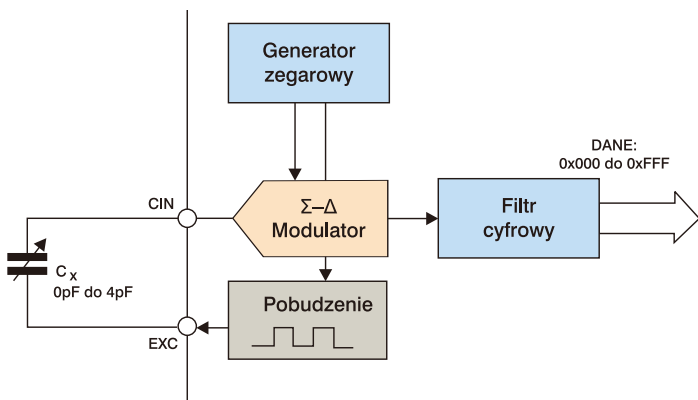
Na rys. 2 przedstawiono uproszczony, funkcjonalny schemat blokowy zaimplementowanego przetwornika pojemność – cyfra. Przetwornik zawiera modulator  $\Sigma$ - $\Delta$  drugiego rzędu z równoważeniem ładunku i filtr cyfrowy trzeciego rzędu. Mierzona pojemność C<sub>x</sub> podłączona jest pomiędzy wyjściem pobudzenia (EXC), oraz wejściem modulatora  $\Sigma$ - $\Delta$  (CIN). Sygnał pobudzenia podawany jest na pojemność C<sub>x</sub> podczas konwersji, modulator w sposób ciągły próbuje ładunek na C<sub>x</sub>. Na wyjściu filtra cyfrowego otrzy-



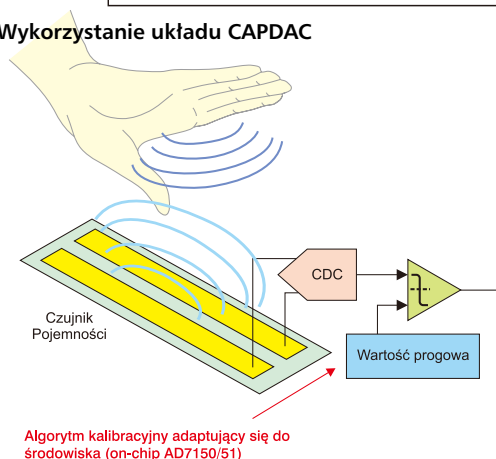
Rys. 1. AD7150 – schemat blokowy



Rys. 3. Wykorzystanie układu CAPDAC



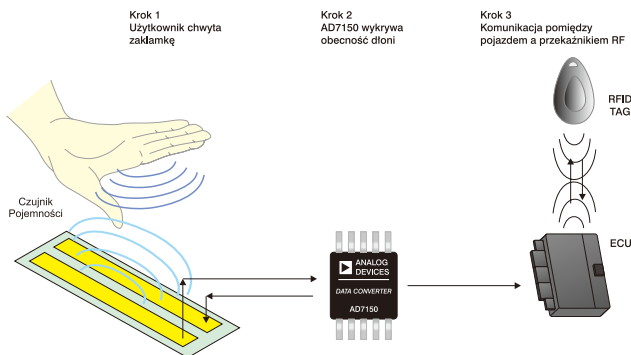
Rys. 2. Uproszczony schemat blokowy przetwornika CDC



Rys. 4. Czujnik zblizeniowy



Fot. 5. Płytkę ewaluacyjną AD7150



Rys. 6. Pasywne, inteligentne wejście – zasada działania

ujemy dane, które są ciągiem zer i jedynek. Informacja mierzona zawarta jest w gęstości zer i jedynek (stosunku zer do jedynek).

AD7150 zaprojektowano z przeznaczeniem do pływającego czujnika pojemnościowego, zatem obie mierzone pojemności  $C_x$  powinny być odizolowane od masy lub innych węzłów o stałych potencjałach.

**CAPDAC**

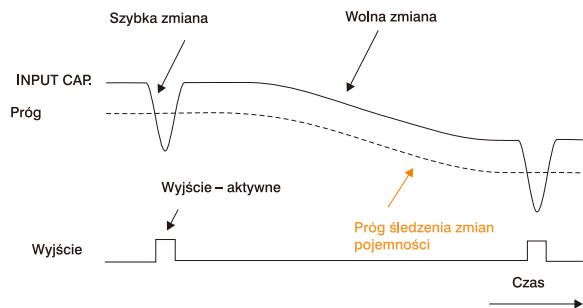
Pełny zakres pomiarowy przetwornika to 0...4 pF. Możliwa jest praca z większymi pojemnościami dołączanymi do wejścia, dzięki wbudowanemu, programowalnemu układowi CAPDAC (rys. 3), przy czym zakres zmian pojemności nie zmienia się, a offset może być równy do 10 pF.

CAPDAC można interpretować jako ujemną pojemność połączoną bezpośrednio z wejściem CIN. CAPDAC ma rozdzielczość 6-bitów. Funkcja przeniesienia CAPDAC jest monotoniczna, dzięki czemu zwiększenie lub zmniejszenie wartości zapisanej w jego rejestrze powoduje proporcjonalną zmianę pojemności dołączanej do wejścia CIN. Na rys. 3 przedstawiono sposób, w jaki należy użyć modułu CAPDAC do zmiany zakresu mierzonych pojemności z 0...4 pF do 10...14 pF.

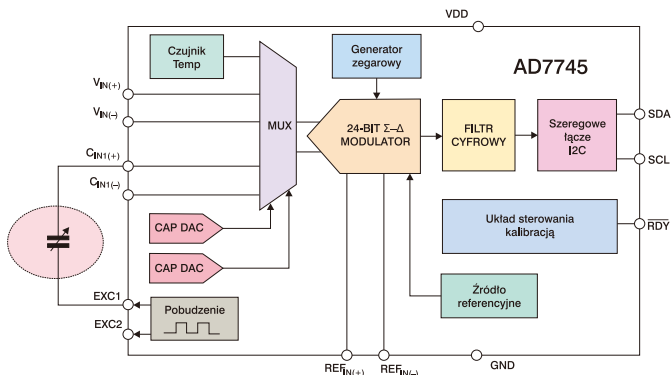
Na rys. 4 przedstawiono ideę działania i implementacji przetwornika CDC oraz umieszczono wzór z zakreślonymi wartościami podlegającymi zmianom na wejściu przetwornika.

Na fot. 5 przedstawiono płytkę ewaluacyjną przeznaczoną do testowania układu. AD7150 bardzo często wykorzystywany jest przez przemysł motoryzacyjny i jest elementem składowym modułu tzw. pasywnego (inteligentnego) wejścia. Przedstawiona płytka montowana jest w klamce samochodu. Kierowca wkładając rękę pod klamkę, wpływa na pojemność między dwiema okładkami na płytce. Dzięki przetwornikowi AD7150 zmiany te są rejestrowane i na wyjściu układu pojawia się sygnał cyfrowy, który zostaje wysyłany do układu ECU (Engine Control Unit). Następnie, ECU komunikuje się z kluczem wyposażonym w układ RFID (Radio Frequency Identification), który to kierowca ma przy sobie, sprawdzając w ten sposób

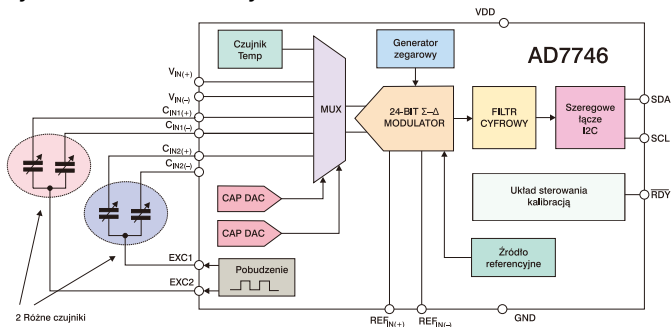
Odpowiedź na zmiany



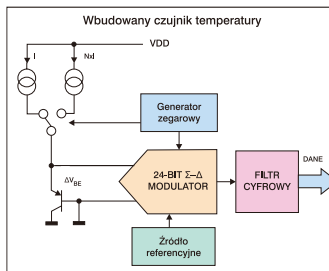
Rys. 7. Adaptacyjna regulacja wartości progowych



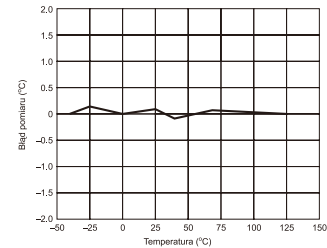
Rys. 8. Schemat blokowy układu AD7745



Rys. 9. Schemat blokowy układu AD7746



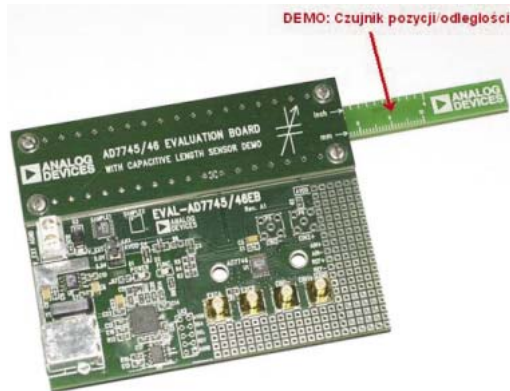
Rys. 10. Wewnętrzny czujnik temperatury



Rys. 11. Błąd bezwzględny wbudowanego czujnika temperatury (AD774x)

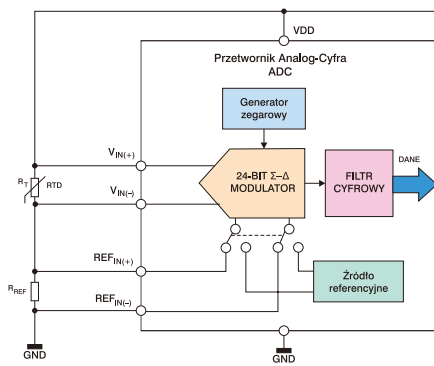
wiarygodność kierowcy. Jeśli proces identyfikacji przebiegł pomyślnie, to sterownik kontroli wtrysku pozwala na uruchomienie silnika samochodu. Cały proces przedstawiono na rys. 6.

Zestaw ewaluacyjny firmy Analog Devices z układem AD7150 umożliwia lepsze poznanie możliwości oraz zasady działania przetwornika.



Fot. 12. AD7745/46 – płytka ewaluacyjna

Dzięki zamieszczonemu oprogramowaniu przeznaczonemu dla środowiska LabView, użytkownik może uzyskać dostęp do ustawień rejestrów układu, śledzić sygnał wyjściowy itd. Do tego celu wystarczająca jest uproszczona wersja LabView, która dostarczana jest wraz z zestawem.



Rys. 13. Zewnętrzny czujnik temperatury podłączony do zasilania Vdd (AD774x)

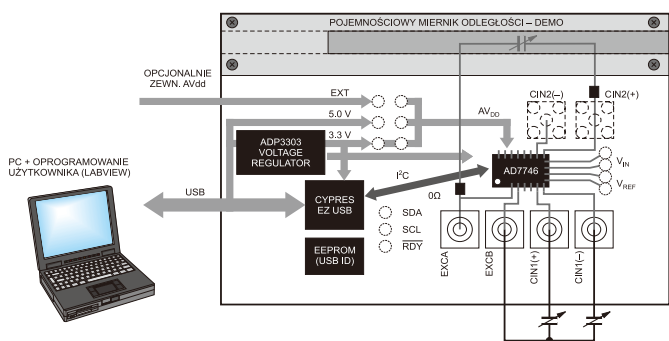
**AD7745/46**

Układy AD7745/46 są wysokiej rozdzielczości przetwornikami pojemność-cyfra (CDC, ang. Capacitance-to-Digital-Converter) o rozdzielczości aż 24 bitów. Mierzona pojemność podłączana jest bezpośrednio do wejścia układu. Układ AD7745 posiada jedno wejście pomiarowe, natomiast AD7746 dwa.

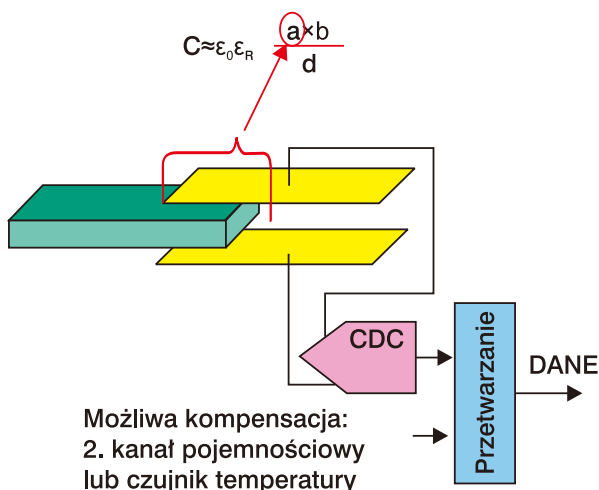
Oba układy przeznaczone są do współpracy z czujnikami pojemności, w których żadna z okładzin nie jest podłączona z masą. Do zastosowań z końcówką uziemioną przeznaczony jest przetwornik AD7747.

Zakres pomiarowy AD7745 jest równy ±4,096 pF, lecz może być przesunięty dzięki zastosowaniu programowanej ujemnej pojemności (CAPDAC). Do dyspozycji są dwa, niezależne moduły CAPDAC: jeden podłączony do wejścia Cin(-), drugi podłączony do wejścia Cin(+). Relacja pomiędzy pojemnością na wejściu do wyjściowego słowa kodowego opisana jest wzorem:  $DANE \approx (C_X - CAPDAC(+)) - (C_Y - CAPDAC(-))$

Oba moduły CAPDAC mają rozdzielczość 7-bitów, monotoniczną funkcję przenoszenia, są wzajemnie skorelowane oraz charakteryzują się tak samo zdefiniowanym współczynnikiem temperaturowym. Moduł CAPDAC nie jest fabrycznie kalibrowany, na co trzeba zwrócić szczególną uwagę

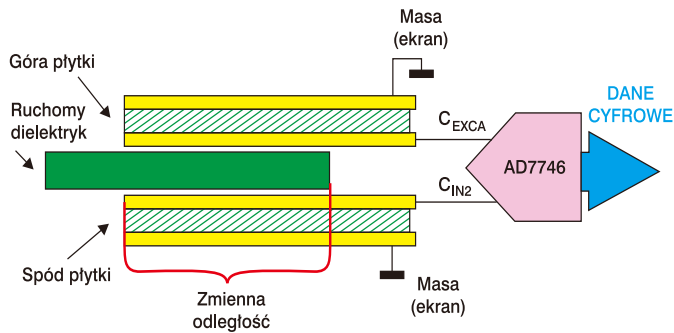


Rys. 14. Płytkę ewaluacyjną z układem AD7745/46



Możliwa kompensacja: 2. kanał pojemnościowy lub czujnik temperatury

Rys. 15. Pomiary odległości oraz położenia z wykorzystaniem przetwornika CDC



Rys. 16. Czujnik położenia z układem AD7745/46

stosując układ. W AD7746 CAPDAC jest dzielony pomiędzy dwa kanały wyjściowe.

Układy mają wbudowany czujnik temperatury o rozdzielczość 0,1°C oraz dokładności ±2°C. Jest to bardzo przydatny, stosowany praktycznie w każdej aplikacji element, ponieważ zauważalny jest bardzo niekorzystny wpływ zmian temperatury otoczenia na mierzoną pojemność. Na rys. 4 można zaobserwować zmiany błędu bezwzględnego wbudowanego w układ AD774x czujnika temperatury, w całym temperaturowym zakresie pracy. Wbudowane źródło referencyjne i generator zegarowy eliminują potrzebę użycia dodatkowych podzespołów w aplikacji. Układy mają standardowe napięcia wejściowe, które w połączeniu z napięciem referencyjnym, pozwalają na łatwe zastosowanie zewnętrznego czujnika temperatury.

Na rys. 14 przedstawiono płytkę ewaluacyjną wykorzystującą przetwornik AD7746. Wsuwając i wysuwając pasek zmienia się pojemność kondensatora (rys. 15). Przetwornik CDC AD7755/46 może w takim przypadku służyć jako miernik położenia/odległości.

Wymagający mogą zastosować zewnętrzny czujnik temperatury, jak również zewnętrzne źródło napięcia referencyjnego (np. AD780).

Podobnie jak poprzednio, do programowania i oceny wykorzystano środowisko LabView. Oprogramowanie przedstawia wartość pojemności w postaci liczby szesnastkowej, w pF, odległość w mm lub calach, oraz wizualnie (szary pasek). Przed każdym pomiarem warto kalibrować przetwornik. W tym celu należy ustawić zielony pasek dielektryczny w pozycji 51 mm (2 cale) i nacisnąć przycisk oznaczony jako „0 mm/0 inch Cal”/ „51mm/2inch Cal”. Oprogramowanie pozwala również ustawić i skalibrować przetwornik ręcznie, ustawiając bity według własnego uznania (rys. 16).

Oprogramowanie pozwala również na analizę wyjściowego słowa kodowego, np. dzięki histogramowi wartości na wyjściu. Częstotliwość odświeżania wyniku można ustawić w granicach 10...90 Hz. Trzeba pamiętać, że zwiększanie częstotliwości odświeżania zwiększa błąd konwersji.

Przetwornik ma cztery tryby pracy:

- Stan pracy ciągłej (Continuous Conversion), w którym układ wielokrotnie wykonuje konwersję dla aktywnych wejść. Jeśli aktywne są dwa wejścia (możliwe tylko dla AD7746), to układ kolejno wykonuje konwersje dla każdego z wejść.
- Konwersja pojedyncza (Single Conversion), podczas której układ wykonuje jedną konwersję dla aktywnego wejścia, a następnie oczekuje na kolejne wyzwolenie pomiaru w stanie wstrzymania. Jeśli aktywne są dwa wejścia, to konwersja wykonywana jest kolejno dla każdego z wejść.
- Stan wstrzymania (Standby Mode, Idle), w którym układ jest zasilany, lecz nie wykonuje żadnej konwersji.
- Stan obniżonego poboru mocy (Power Down), w którym układ jest praktycznie wyłączony, pracuje tylko interfejs cyfrowy.

Odpowiednie tryby pracy załączane są za pomocą odpowiednich nstaw rejestry konfiguracji (Configuration Register). Oprócz wyżej wymienionych, układ ma dwa dodatkowe, specjalne tryby pracy. Są to, pojemnościowa kalibracja offset-u, oraz pojemnościowa lub napięciowa kalibracja wzmacnienia.

Piotr Pietrzyk  
P.Pietrzyk@ieee.org