

# Sensor AFE

## Nowe typy interfejsów do czujników analogowych

*Konstruktorzy systemów zbudowanych z użyciem czujników analogowych często mają do czynienia z koniecznością zamiany sygnału analogowego na cyfrowy. Typowo, większość z nich buduje ścieżkę sygnału analogowego za pomocą komponentów dyskretnych i rozwiązań opracowywanych specjalnie na potrzeby danej aplikacji.*

*To tradycyjne podejście może zająć tygodnie a nawet miesiące.*

*Nowe układy scalone firmy Texas Instruments przeznaczone do interfejsów czujników analogowych pozwalają na znacznie upraszczając sposób ich dołączenia a dodatkowo mają szereg cech trudnych do implementacji techniką dyskretną.*

Po wykonaniu projektu toru analogowego dla sygnału z czujnika konstruktor musi wykonać i przetestować prototyp obwodu, co zwykle wymaga kilku dodatkowych tygodni. Na koniec tego typowego procesu tworzenia nowego urządzenia konstruktor nadal jest zajęty – tworzy algorytmny systemowe zabezpieczając się przed zróżnicowaniem produktów.

Współcześnie w celu wykonania toru analogowego jego konstruktor może wybrać łatwe rozwiązanie wykorzystujące układy scalone. Umożliwia ono skrócenie do niezbędnego minimum czasu potrzebnego na opracowanie toru analogowego i pozwala na skupienie się na implementowaniu własności intelektualnej w gotowym produkcie.

Nowa rodzina układów scalonych firmy Texas Instruments nazywana Sensor Analog Front End (Sensor AFE) umożliwia łatwe sprostanie wyzwaniom konstrukcyjnym stawianym przez tor sygnału analogowego. Należy jednak zwrócić uwagę, że nowe układy scalone nie rozwiązują wszystkich problemów wynikających ze stosowaniu każdego rodzaju sensorów. Nie jest to ani praktyczne, ani możliwe do wykonania. Pozwalają one na zbudowanie aplikacji z użyciem konkretnego sensora. Jako przykład może posłużyć zdalny termometr z interfejsem pętli prądowej 4...20 mA, który jest stosowany w wielu instalacjach przemysłowych. Aplikacja sensora temperatury, bez względu na jego rodzaj, wymaga układu interfejsowego, który będzie zużywał jak najmniej energii. W tym zastosowaniu parametry techniczne, takie jak pasmo przenoszenia, czas pomiaru i szumy nie są krytyczne. Odpowiednim dla tej aplikacji będzie rozwiązanie zapewniające zmienną prędkość próbkowania 1...20 próbek na sekundę i szumy na poziomie  $7 \mu V_{RMS}$ , natomiast kluczowe jest zużycie prądu, które powinno być jak najmniejsze, tak aby w pętli prądowej, przy użyciu wielu zasilanych z niej urządzeń, sumaryczny prąd nie przekraczał 4 mA. Niejako na przeciwnym

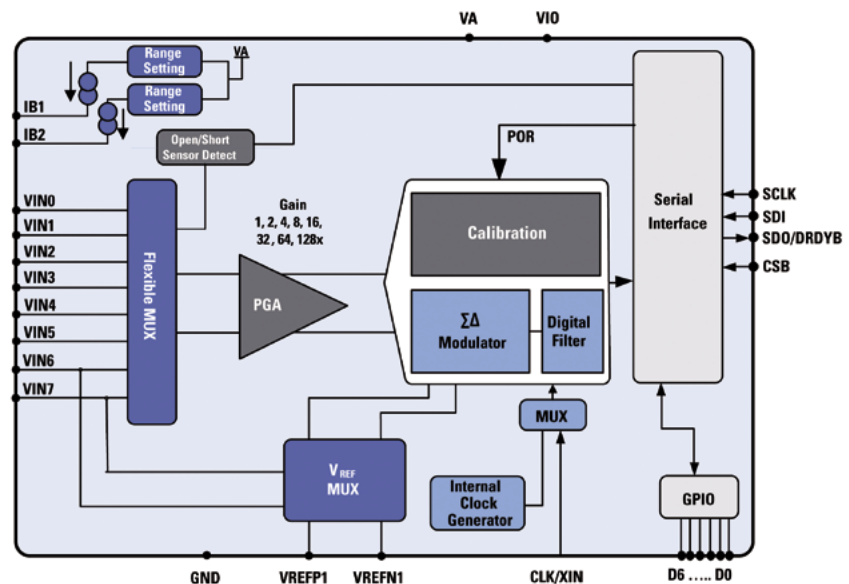
bieganie są aplikacje ważące, w których ciężar przemieszczającego się obiektu musi być mierzony bardzo szybko, natomiast pobór prądu nie jest parametrem krytycznym. Wymaga to zastosowania rozwiązania o prędkości próbkowania sygnału z czujnika rzędu 4 kps. Jednocześnie szeroki, wejściowy zakres dynamiki aplikacji wagi wymaga zapewnienia szumów na poziomie co najwyżej  $15 nV_{RMS}$ .

Układy scalone z rodziny Sensor AFE są podzielone w zależności od rodzaju zastosowania lub sensora. Są one zoptymalizowane dla poszczególnych rodzin czujników, takich jak czujniki temperatury lub tensometry. Dzięki takiemu nie trzeba przeszukiwać obszernej dokumentacji, aby wybrać odpowiedni komponent, a firma Texas Instruments może zaoferować konstruktorom łatwą w użyciu alternatywę dla typowego, długiego cyklu opracowywania i wykonywania torów z komponentów dyskretnych.

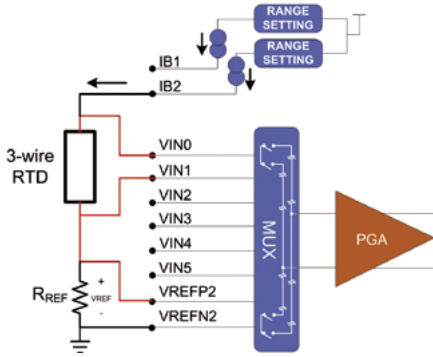
Oprócz umożliwienia dołączenia sensora analogowego, nowe układy interfejsowe mają

szereg bloków funkcjonalnych parametryzowanych za pomocą interfejsu SPI lub I<sup>2</sup>C. Dzięki tej możliwości łatwo można zmieniać sposób pracy interfejsu w trakcie jego działania, co daje możliwość wykonania specyficznej aplikacji danego czujnika np. o zmiennym zakresie dynamiki. Jako przykład może posłużyć termopara mierząca temperaturę w szerokim zakresie. W praktyce oznacza to, że napięcie wyjściowe termopary ulega bardzo dużym zmianom uzależnionym od temperatury mierzonej. W takiej sytuacji jest korzystnie, aby aplikacja miała możliwość dynamicznej regulacji wzmocnienia sygnału. Umożliwia to pierwszy z układów z rodziny Sensor AFE – LMP90100 (rysunek 1), który jest przeznaczony do precyzyjnych aplikacji czujników z nadajnikiem pętli prądowej. W układzie LMP90100 zamontowano precyzyjny wzmacniacz operacyjny o wzmocnieniu programowanym w zakresie 1...128. Wybranie większego wzmocnienia pozwala na lepsze wykorzystanie wejściowego zakresu dynamiki zintegrowanego, 24-bitowego przetwornika A/C typu sigma – delta i skutkuje lepszą całkowitą sprawnością systemu i dokładnością pomiarową.

Inną opcją, która jest programowalna w LMP90100, jest konfiguracja wejściowa. Dla przykładu, różne czujniki temperatury mają różne wymagania odnośnie do sposobu ich włączenia. Dlatego układ LMP90100 ma programowalny multiplexer wejściowy (MUX), który pozwala na utworzenie dowolnej konfiguracji połączeń 8 dostępnych wejść (rysunek 2). Inne nastawy dostępne progra-



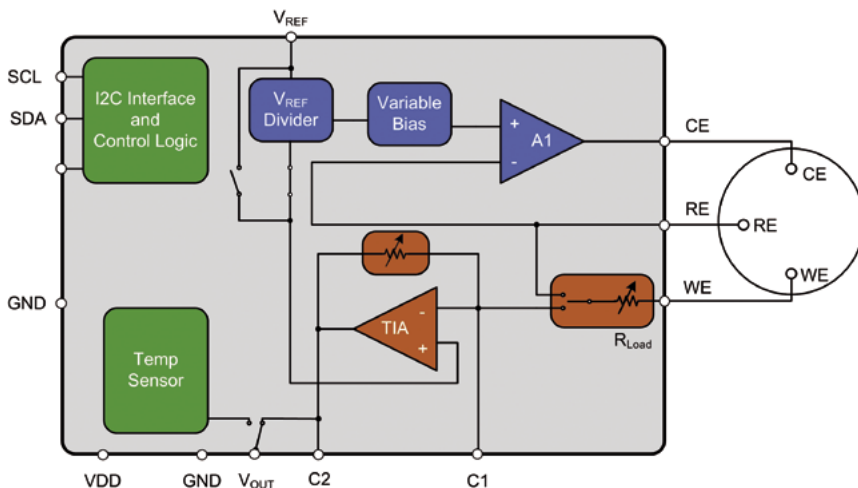
Rysunek 1: Układ typu LMP90100 przeznaczony do nadajnika sygnału z sensora



Rysunek 2: 3-przewodowa konfiguracja układu LMP90100 dla czujnika RTD

mowo zawierają programowalne źródła prądowe, opcjonalne użycie wielu napięć odniesienia i regulowaną prędkość próbkowania.

Układy z rodziny Sensor AFE zawierają moduł diagnostyczny, który testuje poprawność funkcjonowania współpracującego z nimi czujnika. Jest to bardzo cenne w aplikacjach, w których sensor jest oddalony o setki lub tysiące metrów od kontrolera centralnego monitorującego jego stan. W aplikacjach, takich jak instalacje przetwarzania żywności pewne procesy muszą przebiegać w specyficznej temperaturze lub poziomie ciśnienia i są to parametry krytyczne dla tych procesów, gwarantujące odpowiednią jakość produktu końcowego. Dlatego kontroler centralny musi okresowo monitorować stan czujników, aby uzyskać gwarancję, że otrzymywane dane procesowe są dokładne. Dlatego układ LMP90100 jest wyposażony w źródła prądowe, które można włączyć w celach diagnostycznych. Jeśli dany czujnik jest odłączony lub uszkodzony, a jego obwód jest rozarty, to doprowadzenie do niego źródła prądowego spowoduje dołączenie „wiszącego” doprowadzenia węzła wejściowego do napięcia dodatniego, na skutek czego zostanie ustawiona flaga informująca o otwarciu obwodu. Jeśli sensor jest zwarty, to źródło prądowe wytworzy sygnał o niskiej amplitudzie, który jest porównywany z poziomem zaprogramowanym przez użytkownika, służącym jako poziom

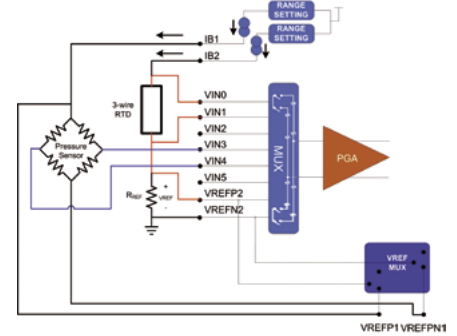


Rysunek 3: Współpraca LMP91000 z czujnikiem gazu toksycznego

odniesienia przy testowaniu zwarcia lub sytuacji bliskiej zwarcia. Dzięki tym progom jest możliwe również wykrycie tych czujników, które są wyeksploatowane i mogą wkrótce ulec uszkodzeniu.

Inną techniką diagnostyki sensorów jest zmiana warunków pracy czujnika i monitorowanie odpowiedzi wyjściowej. Na przykład, układ LMP91000 może współpracować z czujnikiem gazów trujących (rysunek 3). Układ ten ma możliwość zmiany napięcia polaryzacji wstępnej czujnika gazu. Wywiera ona wpływ na czułość czujnika. Dzięki modyfikacji czułości, kontroler centralny może wykryć czy zmiana na wyjściu czujnika jest adekwatna do zmiany napięcia polaryzacji wstępnej. Przy wykorzystaniu tego sposobu diagnostyki staje się możliwe wykrycie czujników, które są zużyte i bliskie uszkodzenia oraz ich wymiana przed spowodowaniem uszkodzenia lub straty materialnej. Opcje, takie jak diagnostyka sensora i testowanie jego stanu pozwalają konstruktorowi systemu wczesną diagnostykę i uniknięcie problemów tworzonych przez aplikację, zanim te wystąpią.

Inną opcją niezbędną w niektórych aplikacjach są liczne tryby oszczędzania energii oraz kalibracja ciągła wykonywana w tle, dostępne w niektórych z układów z rodziny Sensor AFE. Te pierwsze są najbardziej użyteczne w aplikacjach urządzeń przenośnych oraz nadajników pracujących w pętlach 4...20 mA. Na przykład, LMP91000 jest przeznaczony do użycia w przenośnych detektorach gazów toksycznych. Ze względu na specyfikę czujnika gazu (długi czas wymagany na „rozgrzanie się”), napięcie zasilania nie jest od niego odłączane pomimo wyłączenia samego przyrządu pomiarowego. Dlatego w takim przyrządzie jest konieczne zaimplementowanie różnych trybów pracy. Wspomniany LMP91000 ma różne tryby pracy doskonale dopasowane do wymagań takich przyrządów pomiarowych. Są wśród nich tryb normalny, w którym jest monitorowany czujnik gazu a pobór prądu wynosi 10  $\mu$ A oraz tryb wyłączenia, w którym czujnik jest nadal wstępnie zasilony, ale nie



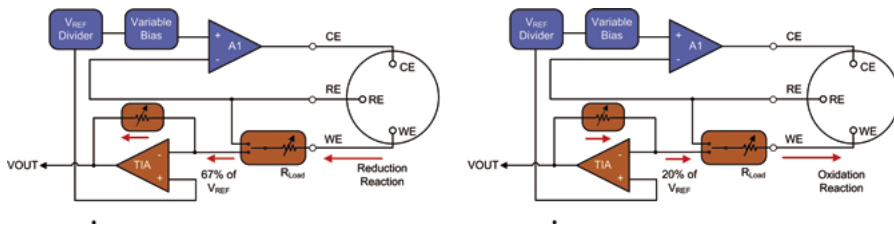
Rysunek 4: Aplikacja czujnika ciśnienia skompensowana temperaturowo

są wykonywane żadne pomiary i pobór prądu wynosi zaledwie 6  $\mu$ A. Tryby te pozwalają na szybkie włączenie się urządzenia w czasie kilku – kilkunastu sekund zamiast godzin.

Również nadajniki sensorów z interfejsem pętli prądowej muszą oszczędzać energię, ponieważ są one zasilane bezpośrednio z pętli, a całkowity pobór prądu przez pętlę musi być mniejszy niż 4 mA. Dla ograniczenia poboru prądu należy wybrać optymalną prędkość próbkowania dla sensora. Jeśli jeden z sensorów musi być np. próbkowany z prędkością 1 sps, inny wymaga wielu prędkości próbkowania, a jeszcze inny 200 sps, to układ LMP90100 pozwala każdemu kanałowi ścieżki sygnałowej na pracę z prędkością próbkowania niezależną od innych. Dodatkowo, niepotrzebne bloki funkcjonalne, takie jak wewnętrzne generatory zegarowe i źródła prądowe mogą być wyłączone, aby jeszcze bardziej zmniejszyć pobór prądu.

Układy z rodziny Sensor AFE mają szereg zalet bardzo przydatnych w aplikacjach, w których wiele parametrów musi być kontrolowanych w tym samym czasie. Na przykład, zastosowanie układu LMP90100 w urządzeniu monitorującym ciśnienie w szerokim zakresie temperatury ma kilka cech, które decydujących o przewadze rozwiązania z jego użyciem. Pierwsza i najważniejsza z nich jest taka, że dzięki multiplexerowi wejściowemu LMP90100 może odbierać sygnały z kilku czujników, podczas gdy rozwiązanie dyskretne zwykle wymaga zbudowania odseparowanych ścieżek sygnałowych dla każdego z czujników (rysunek 4). Przy pomiarach wykonywanych za pomocą kilku różnych sensorów, konstruktor stanie przed wyzwaniem związanym z poziomami sygnałów uzyskiwanych na wyjściach każdego z czujników. Na przykład, czujnik ciśnienia może mieć maksymalne napięcie wyjściowe rzędu 20 mV, natomiast czujnik temperatury rzędu kilku V. Ten problem jest łatwo rozwiązać z użyciem LMP90100, wykorzystując wbudowany wzmacniacz o programowanym wzmocnieniu w zakresie 1...128 z krokiem 2 $\times$  (co 6 dB).

Dodatkowe wymagania aplikacji zawierają wstępne zasilanie czujnika i dostarcze-



Rysunek 5. Układ scalony LMP91000 ma możliwość pracy z czujnikami wykorzystującymi różne reakcje chemiczne

nie napięcia odniesienia dla przetwornika A/C. W wypadku LMP91000, wbudowane źródła prądowe mogą być używane zarówno do wstępnej polaryzacji czujnika, jak i jako źródła napięcia odniesienia, a wbudowany multiplexer umożliwia wybór pomiędzy dwoma różnymi napięciami odniesienia dla 24-bitowego przetwornika A/C. W wypadku rozwiązania dyskretnego, do zasilania sensora oraz zapewnienia napięcia odniesienia dla A/C jest wymagany zewnętrzny obwód. Multiplexowanie napięcia odniesienia pozwala na wykonanie pomiaru porównawczego, w którym napięcie odniesienia A/C jest zależne od wstępnej polaryzacji sensora, zapewniając dobrą jakość pomiaru w środowisku zakłóconym. Jest to osiągalne także za pomocą komponentów dyskretnych, ale wymaga dodatkowej przestrzeni na płytce drukowanej i użycia kilku linii GPIO mikrokontrolera sterującego.

Na koniec, ponieważ pomiary są wykonywane w szerokim zakresie temperatury, typowe rozwiązanie ścieżki sygnałowej będzie wymagało skalibrowania toru w całym tym zakresie. W wypadku LMP91000 cały tor, począwszy od wejścia czujnika a skończywszy na wejściu mikrokontrolera, jest skompensowany i ma jedynie minimalny dryft temperatury lub natomiast nie ma dryftu wynikającego ze starzenia się komponentów. Oznacza to, że wzmocnienie, offset oraz zmiany parametrów komponentów elektronicznych w ścieżce sygnału analogowego nie muszą być monitorowane i korygowane za pomocą oprogramowania.

Inną aplikacją wielosensorową, w której AFE udowadnia przewagę nad typowym rozwiązaniem jest detektor gazów toksycznych, który wykrywa obecność kilku gazów za pomocą tego samego przyrządu. Niektóre czujniki gazów wykorzystują reakcję utleniania się w obecności danego gazu, natomiast inne wykorzystują zjawisko redukcji. Typowe rozwiązanie dla takiej aplikacji czujnikowej wymagałoby możliwości regulowania napięcia polaryzacji wstępnej wzmacniacza transimpedancynego (TIA), który byłby stosowany do mierzenia prądu płynącego przez czujnik. Dla reakcji redukcji, w której prąd wypływa z elektrody roboczej sensora (WE), napięcie polaryzacji wstępnej musi mieć potencjał dodatni w celu zabezpieczenia wyjścia TIA przed „zatrzęsnięciem się” w okolicach po-

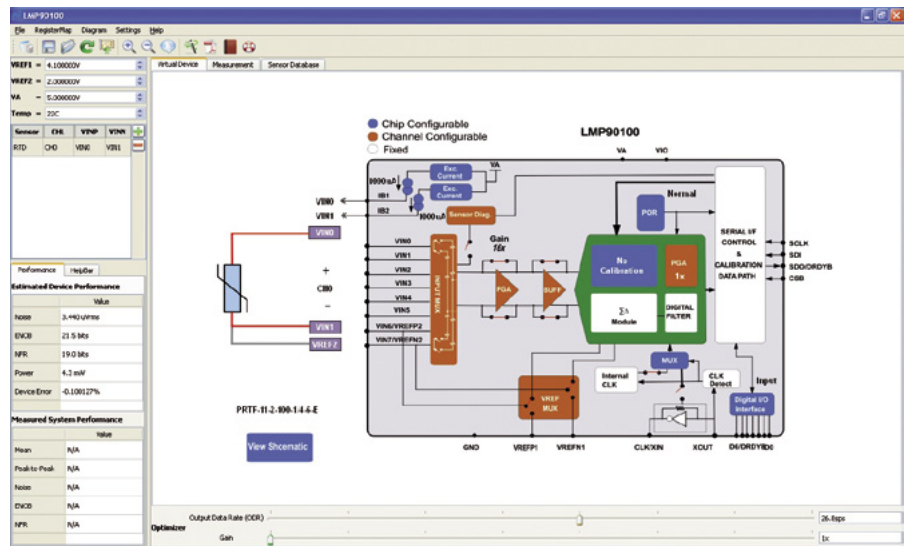
tencjału masy, podczas gdy prąd mierzony rośnie.

Dla reakcji utleniania prąd wpływa do sensora i jest podawany na elektrodę roboczą WE, więc napięcie polaryzacji musi być ustawione blisko napięcia masy, aby zabezpieczyć wyjście TIA przed nasyceniem się w pobliżu dodatniego napięcia zasilania. To zabezpieczenie można w obwodzie zbudowanym z elementów dyskretnych wykonać na kilka sposobów. Jednym z nich jest zastosowanie bipolarnego źródła zasilania, które pozwala TIA na zwrot w przeciwnym kierunku, z wejściami TIA dołączonymi do potencjału zbliżonego do potencjału masy. Innym rozwiązaniem

jest zastosowanie zewnętrznego przetwornika A/C lub przełącznika analogowego do zmiany napięcia polaryzacji wstępnej z bliskiego potencjału masy do bliskiego potencjału dodatniego zasilania sensora gazu.

Rozwiązaniem alternatywnym jest LMP91000, który ma programowalne źródło napięcia polaryzacji wejść TIA. Pozwala to na pracę z oboma typami reakcji chemicznej przy pojedynczym napięciu zasilania (rysunek 5).

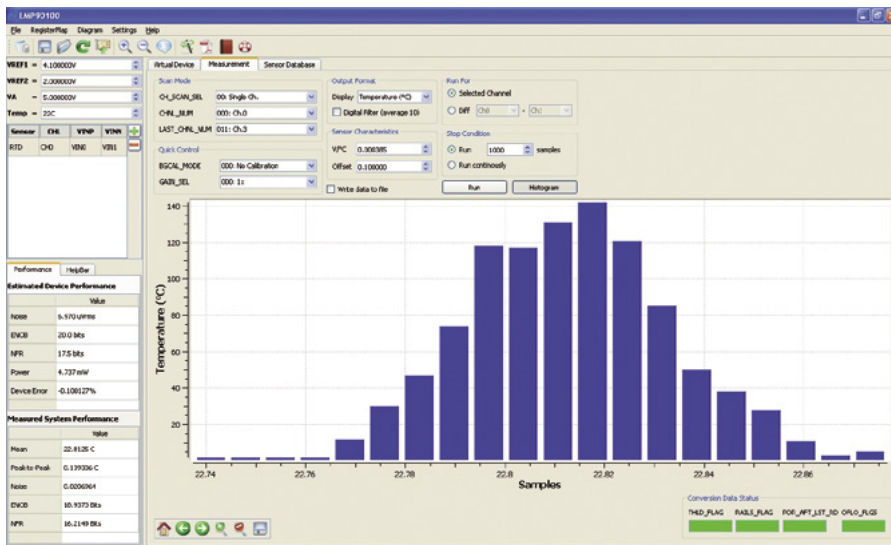
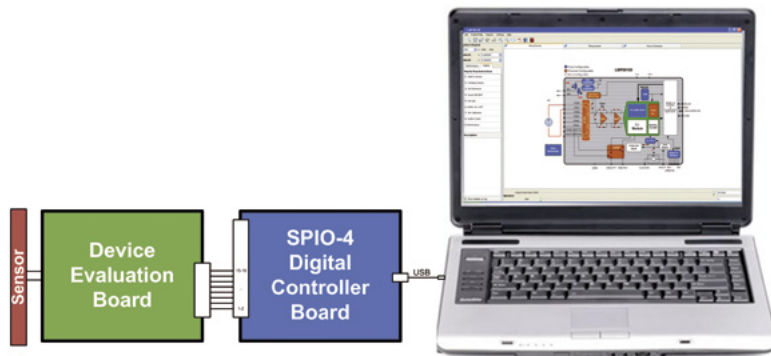
Innym wyzwaniem stawianym przez czujniki gazów toksycznych jest dynamika mierzonego prądu. Niektóre czujniki gazów mają maksymalny prąd wyjściowy 600  $\mu$ A i czułość 10 nA/ppm, podczas gdy inne mają maksymalny prąd wyjściowy 10  $\mu$ A i czułość 1 nA/ppm. W celu zapewnienia odpowiedniej rozdzielczości pomiarowej w szerokim zakresie prądu, rozwiązanie dyskretnie mogłoby zawierać A/C o dużej rozdzielczości 16 lub 24 bitów, zamiast typowo stosowanego, taniego przetwornika 12-bitowego. Zapewniłoby ono wymaganą rozdzielczość w całym zakresie prądu, jednak jego wadą jest wysoki koszt zakupu przetwornika A/C. Inną możliwością



Part Number	Manufacturer	Class	zance_at_OC_C	ror_at_OC_C	number_of_Wire_28	Min_Temp_C	Max_Temp_C	Length_in	Slope	Offset	
PTCT-0-130	Omega	E	100	+/-0.12	3	0.00395	-200	260	24	0.000395	0.1
PT19-10-0-180-L	Omega	E	100	+/-0.12	3	0.00395	-58	260	6	0.000395	0.1
PT-20-0-100-L-H	Omega	A	100	+/-0.06	3	0.00395	-58	260	2	0.000395	0.1
PTC0-10-0-130	Omega	A	100	+/-0.06	3	0.00395	-58	260	6	0.000395	0.1
PT19-10-0-180-L	Omega	E	100	+/-0.12	3	0.00395	-58	500	12	0.000395	0.1
PT-10-0-100-L-H	Omega	A	100	+/-0.06	3	0.00395	-58	260	6, 12, 15, 24	0.000395	0.1
PT19-11-0-180-L	Omega	E	100	+/-0.12	3	0.00395	-58	260	6	0.000395	0.1

Rysunek 6. Przegląd możliwości układu AFE oraz wybór rodzaju sensora





Rysunek 7. Opracowywanie systemu pomiarowego oraz pomiary

byłoby zastosowanie przełącznika analogowego w celu zmiany wzmocnienia TIA za pomocą przełączania rezystorów o różnych wartościach włączonych w pętlę sprzężenia zwrotnego. To pozwoliłoby na użycie 12-bitowego A/C, którego zakres dynamiki byłby lepiej wykorzystany zapewniając wymaganą jakość pomiaru. W układzie LMP91000 zastosowano programowalny rezystor sprzężenia zwrotnego o zakresie zmian rezystancji 2...375 kΩ z opcjonalnie dołączanym rezystorem zewnętrznym.

Jako ostatnie pozostało wymaganie aplikacji odnośnie do kontroli potencjału pomiędzy elektrodą roboczą WE i odniesienia RE czujnika gazu. Niektóre sensory, takie jak węglowo – tlenkowe wymagają, aby elektrody RE i WE miały ten sam potencjał. Inne, jak czujniki gazu na bazie tlenku azotu wymagają napięcia dodatniego pomiędzy elektrodami, a jeszcze inne napięcia o polaryzacji przeciwnej. Rozwiązanie dyskretnie może wykorzystywać przełącznik analogowy, kilka napięć odniesienia lub/i kilka przetworników. W układzie LMP91000 zastosowano źródło programowalnego napięcia polaryzacji wstępnej w zakresie  $-24\% \dots +24\%$  napięcia  $V_{REF}$ .

Dla każdego układu z rodziny Sensor AFE są dostępne narzędzia programowe oraz sprzętowe. Za ich pomocą konstruktor może sprawdzić, w jaki sposób dany układ współpracuje z sensorem. Narzędzia programowe zawierają również podane w przystępnej formie informacje nt. układów z rodziny Sensor AFE. Po uruchomieniu programu, otwiera się indeks kreatora, który pozwala na wyświetlenie krótkiego filmu związanego z danym układem, aplikacją sensora oraz zawiera instruktaż dotyczący oprogramowania (rysunek 6).

Po zapoznaniu się z prezentacjami lub ich pominięciu, jest wyświetlana baza czujników, a użytkownik ma możliwość wyboru sensora z bazy w celu wykonania automatycznej konfiguracji układu AFE. Dla przykładu, w przypadku LMP90100 konstruktor może wybrać spośród: czujników temperatury (termopary, RTD, termistory oraz czujniki analogowe), czujników ciśnienia oraz tensometrów. Jeśli dany sensor nie jest dostępny w bazie, użytkownik ma możliwość ręcznego dopisania go do bazy i użycia w swoim projekcie. Po odnalezieniu lub wprowadzeniu czujnika, układ AFE jest automatycznie konfigurowany.

Następnie jest pokazywany schemat blokowy, na którym można sprawdzić, w jaki sposób został skonfigurowany układ AFE. Pasek pomocy przeprowadza użytkownika poprzez bloki programowalne układu AFE, ich opisy są dostępne po najechaniu kursorem nad dany blok.

Dodatkowo do opcji automatycznego programowania AFE dla wybranego sensora, oprogramowanie podaje spodziewaną dokładność pomiarów dla danej konfiguracji. Jeśli parametry konfiguracji, takie jak wzmocnienie czy prędkość próbkowania zostaną zmienione, tabela parametrów zostaje zaktualizowana automatycznie. Narzędzie programowe daje konstruktorowi systemu możliwość wirtualnego sprawdzenia, czy wybrany komponent spełnia jego wymagania bez konieczności czytania obszernych danych katalogowych.

Jeśli konstruktor systemu chce zapoznać się z kolejnymi możliwościami AFE, może dokupić zestawy ewaluacyjne zawierające odpowiedni sprzęt i oprogramowanie. W czasie kilku sekund wszystkie konfiguracje mogą być łatwo przetransferowane do płytki ewaluacyjnej za pomocą urządzenia SPIO-4 z interfejsem USB (rysunek 7). Używając płytki ewaluacyjnej konstruktor może również porównywać rzeczywiste wyniki pomiarów z tymi spodziewanymi.

Jako że niektóre AFE, takie jak LMP90100 mają kilka wejść, w tym samym czasie może być monitorowanych kilka sensorów. Konstruktor systemu ma możliwość wyboru parametrów np. wyników pomiarów w wartościach napięcia mierzonego, liczb z przetwornika A/C lub po przeliczeniu w jednostkach takich jak stopnie Celsjusza czy Farenheita. Dla wszystkich zebranych danych można wykonać obliczenia statystyczne. Dane mogą być wyświetlane w domenie czasu, na ekranie emulowanego oscyloskopu lub w formie histogramu. Narzędzia deweloperskie są kolejną wspaniałym sposobem, w który układy scalone z rodziny System AFE dają konstruktorowi systemu możliwość łatwego ukończenia interfejsu sprzętowego.

Opisane wcześniej opcje programowalne dają konstruktorowi interfejsu szereg możliwości niedostępnych w typowych rozwiązaniach. Niezależnie od tego, czy jesteś zaawansowanym konstruktorem obwodów analogowych czy nowicjuszem, układy z rodziny Sensor AFE czynią konstruowanie łatwym i skracają czas do wprowadzenia wyrobu na rynek.

**Chuck Sins**  
Strategic Applications Engineer  
Texas Instruments