

Półprzewodnikowe czujniki przyspieszenia, część 1

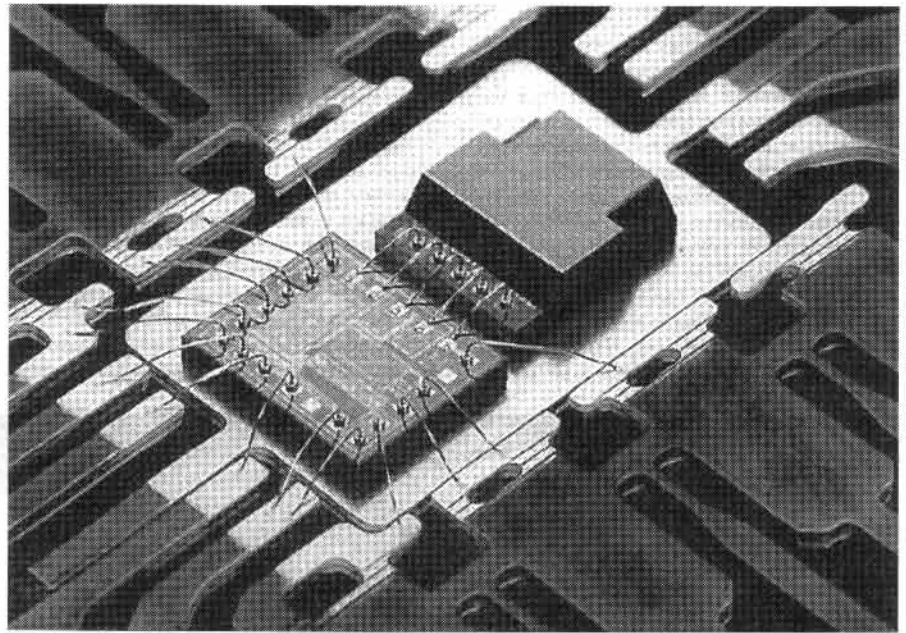
Współczesne samochody coraz częściej są wyposażane w poduszkę powietrzną, jeden z najistotniejszych elementów zwiększających bezpieczeństwo osób podróżujących.

„Airbagi” wyzwalane są coraz doskonalszymi czujnikami elektronicznymi, które niemal całkowicie wyparły dotychczas stosowane skomplikowane układy mechaniczne.

W artykule przedstawiamy podstawowe trendy panujące na rynku półprzewodnikowych czujników przyspieszenia, a także ich budowę i zasadę działania.

Trend w tej dziedzinie zwiększania bezpieczeństwa podróżowania, przesuwają się w kierunku wyrafinowanych systemów sterowania, w których istotną rolę odgrywa „inteligentne” posługiwanie się energią. W systemach tego rodzaju, po wykryciu uderzenia poduszki powietrznej są napełniane ze zmienną i regulowaną szybkością, co powoduje, że siła wywierana przez nie na pasażera jest kontrolowana. Zależnie od takich czynników jak szybkość pojazdu, siła kolizji i masa pasażera, poduszka powietrzna może być napełniana z odpowiednią szybkością.

Rosnące użycie tanich, ale wysokiej jakości przyspieszeniomierzy zrewolucjonizowało konstrukcje poduszki powietrznej i umożliwiło opracowanie kolejnej generacji przyspieszeniomierzy, w tym czujników szybkości zbaczania i prędkości obrotowej.

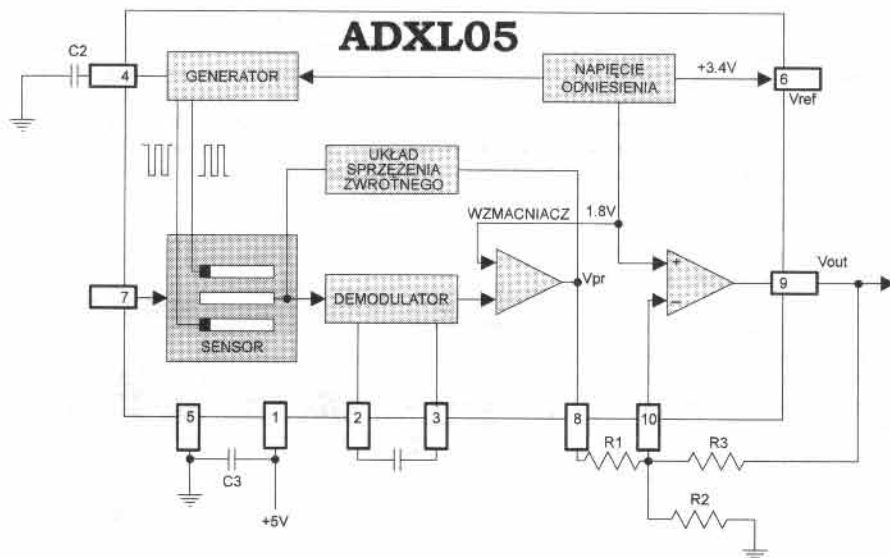


Pojawiają się także różnorodne nowe zastosowania tych czujników, jak systemy nawigacyjne dla pojazdów i systemy kontroli ich dynamiki.

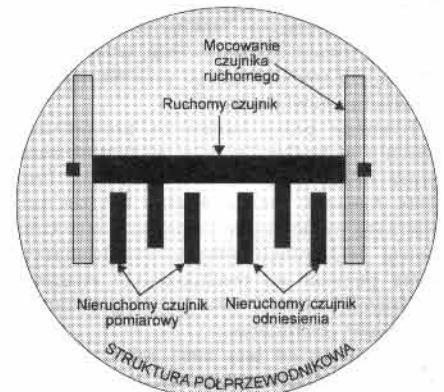
Amerykańska firma Analog Devices wypuściła swój pierwszy przyspieszeniomierz do poduszek powietrznych w roku 1993. Układ ten, o zakresie pomiarowym do 50g (g-przyspieszenie ziemskie), typu ADXL50, jest obecnie stosowany w systemach poduszki powietrznej w samochodach General Motors i wielu innych światowych producentów. Sygnał dostarczany przez najnowszy przyspieszeniomierz tej firmy, oznaczony ADLX05, jest dziesięciokrotnie dokład-

niejszy od sygnału generowanego przez układ ADXL50.

Jest to układ pojemnościowy o zakresie do 5g, potrafiący wykryć niewielkie zmiany przyspieszenia z rozdzielczością 0,005g w zakresie od 0g do $\pm 5g$ całej skali. Przyspieszeniomierz ten składa się z maleńkiego czujnika, oraz modulatora, demodulatora, źródła napięcia wzorcowego, układu kształtowania i wzmacniania sygnału, układu samotestującego na polecenie z zewnątrz, umieszczonych na jednej płytce krzemowej. Jego budowę przedstawia rys. 1. Układ ADLX05 został opracowany specjalnie do stosowania w pojazdach, urządzeniach przemysłowych i powszechnego użytku, w których są potrzebne pomiary pochyleń, bezwładności, uderzeń, drgań, prędkości i przyspieszenia. Dostarcza on stałoprądowego sygnału proporcjonalnego do przyspieszenia.



Rys. 1. Budowa układu ADXL05.



Rys. 2. Sposób umocowania masy grawitacyjnej czujnika przyspieszenia.

Jest on zasilany napięciem stałym + 5V i dostarcza sygnału skalowalnego przez użytkownika o czułości do 1V/g i o przeciętnej liniowości 0,3% pełnej skali. W zastosowaniach motoryzacyjnych działa w szerokim zakresie temperatur od - 40 C. do + 105 C. Jest umieszczony w hermetycznej 10-końcówkowej metalowej obudowie TO-100.

Wyjątkową cechą tego układu jest możliwość wykorzystania sygnałów grawitacyjnych do orientacji w przestrzeni. Przy pomocy trzech przyspieszeniomierzy tego typu można wykonywać bezwładnościowe pomiary prędkości i pozycji. Takich pomiarów nie da się dokonywać przy pomocy czujników piezorezystywnych, generują one bowiem jedynie sygnały zmiennoprądowe. W ADLX05 stosuje się także nową technikę, zwaną „folded beam” (pręta złożonego), pozwalającą na mocowanie masy sejsmicznej w dwóch, a nie w czterech punktach (rys. 2). Technika ta znacznie redukuje naprę-

landii pracują obecnie nad opanowaniem technologii 0,6µm. Następnym krokiem ma być opracowanie stopni polikrzemowych do wykonania systemu mikroelektromechanicznego (MEMs), który będzie mógł zostać implementowany w układach produkowanych w technologii 3µm. Technologia ta zostanie ostatecznie użyta do poszerzenia oferty firmy w dziedzinie urządzeń i czujników nawigacyjnych.

Głównym celem badań jest zapewnienie przenośności konstrukcji, tak aby ten sam czujnik mógł zostać implementowany w układzie, niezależnie od użytego w produkcji procesu CMOS. Analog Devices opracowuje także system nawigacyjny, wykorzystujący czujnik bezwładnościowy o sześciu stopniach swobody. Urządzenie to będzie wymagało trzech przyspieszeniomierzy na osiach x, y i z oraz trzech czujników prędkości kątowej lub żyroskopów. Obliczeniowy system kierowania, będący sposobem oceny pozycji pojazdu na podstawie uprzed-

przez technologie czujników ciśnienia. Powrócono do nich, przy opracowywaniu rozwiniętych układów czujnikowych, nie tylko wykrywających uderzenie, ale mierzących także rzeczywiste przyspieszenie. Dzięki decyzji utworzenia w Motoroli we wrześniu 1994 Wydziału Czujników, obecnie firma uzupełniła po blisko 10-letnim zastoju swoje zasoby technologiczne, oraz wyspecjalizowanego i umotywowanego personelu, aby móc dokonać istotnego wkładu w dziedzinie przyspieszeniomierzy samochodowych.

Na rys. 3 przedstawiona jest budowa wewnętrzna układu przyspieszeniomierza opracowanego przez Motorolę, o zakresie pomiarowym ± 40 g. Jest on przeznaczony do systemu hamującego czołowej poduszki powietrznej i został specjalnie opracowany z myślą o wzrastających wymaganiach stawianych czujnikom tego typu. Jest on klasyfikowany w grupie czujników pojemnościowych, z pojemnościową masą sejsmiczną zawieszoną pomiędzy dwoma płytkami.



żenia w przyspieszeniomierzu i umożliwiła zatrzymanie pręta w razie przekroczenia zakresu. Analog Devices spodziewa się zastosowania przyspieszeniomierza ADLX05 w systemach sterujących czołowej poduszki powietrznej, w co najmniej siedmiu różnych samochodach w 1996 i 1997.

Oprócz przyspieszeniomierza ADLX05, Analog Devices prowadzi badania i prace rozwojowe nad układami nowej generacji, w tym nad czułym przyspieszeniomierzem o zakresie 2g, czujnikami szybkości zbaczania i prędkości obrotowej. Mogą one być wykorzystane w systemach czołowych i bocznych poduszek powietrznych, oraz do kontroli dynamiki hamowania, toru, zawieszenia, jak również całego pojazdu oraz do systemów nawigacyjnych.

Poważne prace badawcze prowadzone obecnie w Analog Devices, są finansowane przez ARPA (ang. Advanced Research Projects Agency). Firmie Analog Devices powierzono opracowanie za ponad 5 mln USD nowej technologii przyspieszeniomierzy, która pozwoli na produkowanie znacznie czulszych, bardziej precyzyjnych i „inteligentnych” czujników.

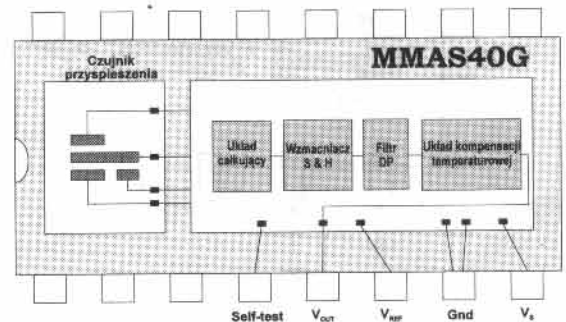
Poczynając od lata 1993 roku, program badawczy doprowadził do opracowania technologii procesu CMOS 1µm, gdy w produkcji ADXL05 stosuje się dotychczas proces CMOS 3-4µm. Laboratoria firmy w Ir-

landii ustalanej pozycji i przebytej drogi, będzie również potrzebny, aby w czasie poruszania się pojazdu nie zgubił połączenia satelitarne GPS (ang. Global Positioning System).

Żyroskopy prędkości kątowej są także udoskonalane, co już wkrótce powinno zaowocować ich pełną implementacją w półprzewodniku. Jeżeli wszystko będzie biegło zgodnie z planem, to seryjna produkcja czujników tego typu powinna ruszyć w 1996. Oprócz tego, czujniki prędkości kątowej powinny pojawić się w zastosowaniach samochodowych w roku 1998. Jednak z powodu stosunkowo powolnej chłonności rynku samochodowego na nowe technologie oraz wysokich początkowo cen czujników, czujniki prędkości kątowej mogą pojawić się wcześniej w produktach powszechnego użytku (zabawki i gry).

Inna z firm próbująca swoich sił w dziedzinie przyspieszeniomierzy - Motorola, ma szczególne możliwości kooperacyjne co daje jej dostęp do wielu różnych technologii, jak mikroobróbka krzemu, zaawansowanej technologii stosowanej w układach analogowych, zasilania i mikroprocesorowych. Rozwój tych technologii był wspomagany

Układ został zaprojektowany jako uniwersalny i jest dostępny w dwóch orientacjach. Struktura jest umieszczona w taniej, dwurzędowej, 16-końcówkowej, plastikowej obudowie. Wyprowadzka dostępne dla użytkownika to zasilanie, masa, wyjście i auto-test, a pozostałe zostały zarezerwowane przez producenta dla kalibracji. Układ jest regulowany fabrycznie za pomocą wewnętrznego EEPROMu. W celu redukcji kosztów jest on kodowany w czasie kalibracji na stoliku wytrząsarki, na zakończenie czego w EPROMie jest wpisywany bit blokady. Uniemożliwia on przypadkowe przeprogramowanie w czasie dostawy lub użytkownika, pomimo dostępności wyprowadzeń na zewnątrz układu.



Rys. 3. Budowa układu MMA40G firmy Motorola.



W czujniku mieści się czterobiegunowy przełączany filtr pojemnościowy, będący filtrem dolnoprzepustowym, odcinającym sygnały o częstotliwości powyżej 300Hz. Jest to doskonałe rozwiązanie, ponieważ wszystkie najbardziej niszczące wibracje cechuje niska częstotliwość drgań. Przyspieszeniometer ten jest całkowicie niezależnym układem, i nie wymaga stosowania praktycznie żadnych elementów zewnętrznych. Układ Motoroli charakteryzuje się szeregiem unikalnych cech. Jedną z nich jest wewnętrzny kalibrowany auto-test, działający na zasadzie fizycznego wprawiania w ruch masy sejsmicznej układu zamiast sprawdzania jego połączeń w podstawie. Może on na przykład być wykonywany przy każdym uruchomieniu samochodu. W razie wykrycia jakiegokolwiek niesprawności, kierowcy jest sygnalizowana konieczność poddania systemu poduszki powietrznej samochodu, kontroli specjalistycznego serwisu. Auto-test oferuje wielu producentów, ale Motorola robi krok dalej dodając kalibrację. Odbiorcy zapewnia to zwiększenie bezpieczeństwa, a producentowi istotne obniżenie kosztów i skrócenie czasu produkcji, przez eliminację konieczności wytrząsania każdego wyprodukowanego układu.

Istotną cechą tego przyspieszeniometera jest to, że komórka g zostaje uszczelniona na poziomie struktury półprzewodnikowej jeszcze w czasie produkcji w czystej komorze. Proces ten, zwany techniką mikromontażu płytka - płytka, zapobiega przedostawaniu się do układu zanieczyszczeń w czasie końcowych operacji produkcyjnych, obejmujących cięcie, mikromontaż płytki, montaż wyprowadzeń i zatapianie w obudowie. Gdyby przyspieszeniometer nie był uszczelniany na poziomie struktury półprzewodnikowej, ryzyko dostania się przypadkowych cząstek do komórki g byłoby większe. Cząstka taka mogłaby zakleszczyć się pomiędzy płytką a masą sejsmiczną, blokując jej działanie. Użyta do uszczelniania komórki g technika mikromontażu płytka - płytka eliminuje to ryzyko i umożliwia zamykanie układu w dwurzędowej 16-końcówkowej plastikowej obudowie. Konstrukcja przyspieszeniometera $\pm 40g$ jest gotowa i są już

próbne egzemplarze. Układ zostanie oficjalnie udostępniony w ilościach handlowych we wrześniu 1995.

Wkrótce pojawią się dwie dalsze wersje układu, o różnych zakresach pomiarowych - $\pm 2g$ i $\pm 250g$. W zakresie dużych wartości

g spodziewany jest szereg odmian od 200g do 500g. Pierwsza wersja czujnika $\pm 250g$ będzie stosowana głównie do bocznych poduszek powietrznych. Układy o małej wartości g są przeznaczone do stosowania jako czujniki przyspieszeń bocznych w systemach kontroli zawieszenia pojazdu. Oba układy, o małym i o dużym g, różnią się drobnymi zmianami w komórkach pomiarowych, a ich EPROMy są inaczej zaprogramowane. Próbne egzemplarze obydwu wersji układów są w chwili obecnej dostępne.

Następnym krokiem Motoroli będzie jednoosiowy czujnik prędkości zbaczania czyli czujnik obrotu, znany też pod nazwą żyroskopu. Układ ten będzie wykorzystywany w razie niestabilności samochodu, na przykład na lodzie, albo w gwałtownym skręcie, do przetwarzania danych służących do usztywniania systemu zawieszenia samochodu w celu lepszego jego dopasowania do warunków jazdy. Firma zorganizowała zespół, który obecnie pracuje nad tym zadaniem. Opracowywana jest konstrukcja i są badane różne warianty produkcyjne. Podjęto również prace nad wieloosiową wersją tego czujnika, który mógłby przewidywać koziółkowanie samochodu.

RW