

(z)mierz, co chcesz

Półprzewodnikowe czujniki z oferty firmy STMicroelectronics



Współczesna elektronika mikrokontrolerami stoi, ale bez różnego rodzaju czujników nie miałyby one za bardzo co robić. Pomysłowość fizyków oraz technologów zajmujących się półprzewodnikami umożliwiła wykorzystanie odpowiednio przygotowanych struktur krzemowych do pomiaru nie tylko temperatury, ale także ciśnienia, wilgotności, przyspieszenia, wykrywania kierunku i prędkości ruchu, natężenia światła, oraz bezstykowego wykrywania zbliżania się monitorowanych obiektów i budowania bezstykowych klawiatur. Łatwo zauważyć, że bez tak szerokiej gamy czujników elektronika nie rozpanoszyłaby się tak skutecznie, jak to widać choćby za oknem...

Zaawansowanie technologiczne firmy STMicroelectronics było jednym z powodów skupienia się jej przede wszystkim na czujnikach MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems), których produkcja na masową skalę jest nadal zadaniem o wysokim stopniu trudności.

Drugą grupą czujników, których produkcję rozwija firma STMicroelectronics, są układy do pomiaru temperatury, zarówno analogowe, jak i zintegrowane z przetwornikami A/C, dzięki którym wynik pomiaru temperatury może być odczytany przez mikrokontroler w postaci skwantyzowanej.

Ostatnią grupą czujników leżących w obszarze najsilniejszych zainteresowań firmy STMicroelectronics są układy do obsługi klawiatur bezstykowych z serii S-Touch, których ewolucji już kilkakrotnie poświęciliśmy w EP artykule.

MEMS: żyroskopy, czujniki przyspieszenia, kompasy...

W ostatnich miesiącach oferta czujników wykonanych w technologii MEMS, produkowanych przez STMicroelectronics, uległa

Dodatkowe informacje:
O układach prezentowanych w artykule są dostępne pod adresem www.st.com/sensors

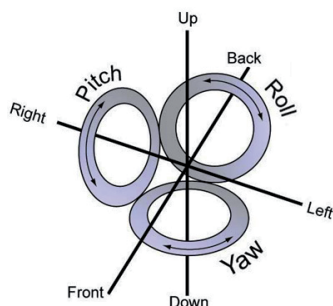
szybkemu poszerzeniu: obok klasycznych, wieloosiowych akcelerometrów znalazły się w niej także żyroskopy, czujniki położenia z wyjściami dyskretnymi (z niezrozumiałych dla mnie przyczyn nazywane „czujnikami funkcjonalnymi”), a także zintegrowane czujniki: geomagnetyczny (LSM303DLH) oraz LSM320HAY30, w którym zintegrowano 2 żyroskopy i 3 akcelerometry.

Zestawienie podstawowych cech i parametrów akcelerometrów produkowanych przez firmę STMicroelectronics znajduje się w **tab. 1**, w **tab. 2** zestawiono najważniejsze cechy i parametry żyroskopów. Obydwa rodzaje układów są dostępne w wersjach dwu- lub trzyosiowych.

Do aplikacji wymagających jednoczesnego pomiaru przyspieszenia (w trzech osiach) i prędkości obrotowej (w dwóch kierunkach) opracowano układy LSM320HAY30. Czujniki przyspieszenia mają zakresy pomiarowe od ± 2 do ± 8 g, natomiast żyroskopy

Tab. 1. Zestawienie podstawowych cech i parametrów akcelerometrów produkowanych przez firmę STMicroelectronics

Typ	Obudowa	Osie czułości	Zakres pomiarowy [g]	Wyjście	Zasilanie [V]	Rozdzielczość pomiaru [b]	Pa-smo [Hz]
AIS226DS	S016	X, Y	$\pm 2, \pm 6$	Cyfrowe	3,3	14	640
AIS326DQ	QFPN28	X, Y, Z	$\pm 2, \pm 6$	Cyfrowe	3,3	12	640
LIS202DL	LGA14	X, Y	$\pm 2, \pm 8$	Cyfrowe	3,3	8	200
LIS244AL	LLGA16	X, Y	± 2	Analogowe	3,3	–	2000
LIS244ALH	LLGA16L	X, Y	$\pm 2, \pm 6$	Analogowe	3,3	–	2000
LIS2L02AL	LGA8L	X, Y	± 2	Analogowe	5	–	2000
LIS2L06AL	LGA8L	X, Y	$\pm 2, \pm 6$	Analogowe	5	–	2000
LIS302DL	LGA14L	X, Y, Z	$\pm 2, \pm 8$	Cyfrowe	3,3	8	200
LIS302DLH	LGA14	X, Y, Z	$\pm 2, \pm 4, \pm 8$	Cyfrowe	3,3	12	500
LIS302SG	LGA14	X, Y, Z	± 2	Analogowe	3,3	–	2000
LIS331AL	LLGA16	X, Y, Z	± 2	Analogowe	3,3	–	2000
LIS331DL	LLGA16L	X, Y, Z	$\pm 2, \pm 8$	Cyfrowe	3,3	8	200
LIS331DLF	LLGA16L	X, Y, Z	$\pm 2, \pm 4, \pm 8$	Cyfrowe	3,3	6	200
LIS331DLH	LLGA16L	X, Y, Z	$\pm 2, \pm 4, \pm 8$	Cyfrowe	3,3	12	500
LIS331DLM	LLGA16L	X, Y, Z	$\pm 2, \pm 4, \pm 8$	Cyfrowe	3,3	8	200
LIS331HH	LLGA16L	X, Y, Z	$\pm 6, \pm 12, \pm 24$	Cyfrowe	3,3	12	500
LIS332AR	LLGA16L	X, Y, Z	± 2	Analogowe	3,3	–	2000
LIS332AX	LLGA16L	X, Y, Z	± 2	Analogowe	3,3	–	2000
LIS33DE	LLGA16L	X, Y, Z	$\pm 2, \pm 4, \pm 8$	Cyfrowe	3,3	–	200
LIS344AL	LLGA16L	X, Y, Z	$\pm 3,5$	Analogowe	3,3	–	2000
LIS344ALH	LLGA16L	X, Y, Z	$\pm 2, \pm 6$	Analogowe	3,3	–	1,8
LIS352AR	LGA14L	X, Y, Z	± 2	Analogowe	3,3	–	2000
LIS352AX	LGA14L	X, Y, Z	± 2	Analogowe	3,3	–	2000
LIS35DE	LGA14L	X, Y, Z	$\pm 2, \pm 8$	Cyfrowe	3,6	–	200
LIS3L02AL	LGA8L	X, Y, Z	± 2	Analogowe	3,3	–	1500
LIS3L02AQ3	QFPN44	X, Y, Z	$\pm 2, \pm 6$	Analogowe	3,3	–	1500
LIS3L06AL	LGA8L	X, Y, Z	$\pm 2, \pm 6$	Analogowe	3,3	–	1500
LIS3LV02DL	LGA16	X, Y, Z	$\pm 2, \pm 6$	Cyfrowe	3,3	12	640
LIS3LV02DQ	QFPN28	X, Y, Z	$\pm 2, \pm 6$	Cyfrowe	3,3	12	640



Rys. 1. Definicje kierunków osi obrotu przyjęte w żyroskopach MEMS

$\pm 300/\pm 1200$ dps (*degrees per second*). Zdigitalizowane wartości przyspieszeń można odczytać w postaci 16-bitowych ramek poprzez interfejs I²C lub SPI, a prędkość obrotowa (ruchy *pitch* oraz *yaw* – rys. 1) jest konwertowana do postaci napięcia.

Równie interesującym opracowaniem jest „kompasowy” czujnik LSM303DLH, w którym zintegrowano trzyosiowy czujnik przyspieszenia oraz 3-kanałowy czujnik pola magnetycznego. Taka konstrukcja pozwala stosować go w urządzeniach, w których konieczne jest wykrywanie ruchu urządzenia i jego kierunku względem bieguna Ziemi. Zakres pomiarowy czujników przyspieszenia wynosi od ± 2 do ± 8 g, a czujników pola magnetycznego od $\pm 1,3$ do $\pm 8,1$ gaussa, co umożliwia dość dokładne pomiary ziemskiego pola magnetycznego, którego natężenie mieści się w przedziale od 0,3 do 0,6 gaussa w zależności od punktu pomiaru. Dane z kanałów: akcelerometrycznego i magnetycznego, są konwertowane do postaci 16-bitowych próbek, których wartości mogą być odczytane za pomocą dwóch (niezależnych dla każdego kanału) interfejsów SPI/I²C.



Czujniki temperatury...

...znajdujące się w ofercie STMicroelectronics trudno zakwalifikować do rynkowej awangardy (produkowane są nadal „klasyki” w postaci analogowych układów LM334/335, co dowodzi ich niezwykłej żywotności), ale do każdej typowej aplikacji można znaleźć odpowiedni czujnik. Jak można zauważyć w zestawieniu przedstawionym w **tab. 3**, producent oferuje kilka wersji cyfrowych czujników temperatury zintegrowanych z programowanym termostatem, zgodnych ze standardem przemysłowym LM75. Układy te różnią się między sobą rozdzielczością wbudowanego przetwornika A/C, dokładnością pomiarów i poborem mocy, dzięki czemu można dobrać wersję spełniającą wymogi aplikacji docelowej.

Jedynym w ofercie STMicroelectronics analogowym czujnikiem temperatury z wyjściem napięciowym jest STLM20, za którego pomocą można mierzyć temperatury w zakresie od -55 do $+130^{\circ}\text{C}$. Pozostałe czujniki temperatury (STTS2002 i obydwie wersje STTS424) są przeznaczone do stosowania w modułach pamięci używanych we współczesnych PC, zgodnie ze standardem JEDEC JC42.4. W układach STT2002 oraz STTS424E02 wraz z czujnikiem temperatury zintegrowano także pamięci EEPROM służące do przechowywania danych konfiguracyjnych dla modułu pamięci.

S-Touch: klawiatura bez jednego styku!

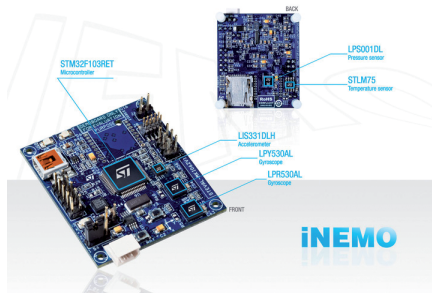
Rozwiązania wdrożone przez firmę STMicroelectronics w scalonych kontrolerach klawiatur bezstykowych są odporne na



Dodatkowe informacje

o zestawach ewaluacyjnych oferowanych przez firmę STMicroelectronics są dostępne pod adresem www.st.com/evalboards

zalanania pól czujnikowych, zakłócenia elektromagnetyczne, można je łatwo dostosować do zmieniających się kształtów i powierzchni pól czujnikowych. Kalibracja czujników odbywa się na drodze programowej (jest do tego potrzebny zewnętrzny mikrokontroler), nie ma konieczności stosowania zewnętrznych elementów RC tworzących obwód odniesienia dla pól czujnikowych.



Fot. 2. Wygląd zestawu iNEMO i rozmieszczenie jego najważniejszych elementów

Obecnie w ofercie STMicroelectronics jest dostępnych siedem typów układów spełniających funkcję wielowięściowych kontrolerów klawiatur bezstykowych, zintegrowanych z ekspanderami I/O: produkowane od dłuższego czasu STMPE821 i STMPE1208S, nowsze układy STMPE321, STMPE16M31 oraz STMPE24M31, a także dwie „gorące” nowości: STMPE16M31PX oraz STMPE24M31PX – odpowiedniki układów STMPExxM31, ale wyposażone w dodatkowe czujniki odległości palca użytkownika od sensora pojemnościowego. Zestawienie podstawowych cech i możliwości tych układów znajduje się w **tab. 1**.

Układy STMPE12xx wyposażono w 12 linii GPIO z możliwością wykorzystania ich jako wejść dotykowych, układy STMPE-xxM31 i wersje PX w 16/24 takie linie, układ STMPE821 ma 8 linii, a STMPE321 – trzy. Ważną aplikacyjnie cechą układów STMPE-xxM31 jest wyposażenie ich w przelicznik ratiometryczny, dzięki któremu ustalenie położenia nastawników analogowych (suwakowego lub obrotowego) nie wymaga wykonywania skomplikowanych obliczeń (**rys. 2**).

Wszystkie układy wyposażono w interfejsy komunikacyjne I²C, za pomocą których mikrokontroler-host może skonfigurować układy w oczekiwany sposób, poprzez ten interfejs ma także dostęp do linii I/O ekspanderów wbudowanych w te układy. Układy STMPE821 oraz STMPE1218 wyposażono w programowane, 4-kanalowe generatory PWM, których sygnały są dostępne na liniach GPIO0...3. Sygnały wyjściowe tych generatorów można programować w szerokim zakresie: oprócz oczywistej wartości

Tab. 2. Zestawienie podstawowych cech i parametrów żyroskopów produkowanych przez firmę STMicroelectronics

Typ	Obudowa	Czułość na ruchy (rys. 1)	Angular Rate Range (FS) – typ	Wyjście	Zasilanie [V]	Pasma [Hz]
L3G4200D	LGA16	yaw, pitch, roll	2000	Cyfrowe	3,3	–
LISY300AL	LGA28	yaw	300	Analogowe	3,3	88
LPR403AL	LGA28	pitch, roll	30	Analogowe	3,3	140
LPR410AL	LGA28	pitch, roll	100	Analogowe	3,3	140
LPR4150AL	LGA28	pitch, roll	1500	Analogowe	3,3	140
LPR430AL	LGA28	pitch, roll	300	Analogowe	3,3	140
LPR450AL	LGA28	pitch, roll	500	Analogowe	3,3	140
LPR503AL	LGA16L	pitch, roll	30	Analogowe	3,3	140
LPR510AL	LGA16L	pitch, roll	100	Analogowe	3,3	140
LPR5150AL	LGA16L	pitch, roll	1500	Analogowe	3,3	140
LPR530AL	LGA16L	pitch, roll	300	Analogowe	3,3	140
LPR550AL	LGA16L	pitch, roll	500	Analogowe	3,3	140
LPY403AL	LGA28	pitch, yaw	30	Analogowe	3,3	140
LPY410AL	LGA28	pitch, yaw	100	Analogowe	3,3	560
LPY4150AL	LGA28	pitch, yaw	1500	Analogowe	3,3	140
LPY430AL	LGA28	pitch, yaw	300	Analogowe	3,3	140
LPY450AL	LGA28	pitch, yaw	500	Analogowe	3,3	140
LPY503AL	LGA16L	pitch, yaw	30	Analogowe	3,3	140
LPY510AL	LGA16L	pitch, yaw	100	Analogowe	3,3	140
LPY5150AL	LGA16L	pitch, yaw	1500	Analogowe	3,3	140
LPY530AL	LGA16L	pitch, yaw	300	Analogowe	3,3	140
LPY550AL	LGA16L	pitch, yaw	500	Analogowe	3,3	140
LY3100ALH	LGA10	yaw	1000	Analogowe	3,3	140
LY3200ALH	LGA10	yaw	2000	Analogowe	3,3	140
LY330ALH	LGA10	yaw	300	Analogowe	3,3	140
LY503ALH	LGA16L	yaw	30	Analogowe	3,3	140
LY510ALH	LGA16L	yaw	100	Analogowe	3,3	140
LY5150ALH	LGA16L	yaw	1500	Analogowe	3,3	140
LY530AL	LGA16L	yaw	300	Analogowe i cyfrowe	3,3	88
LY530ALH	LGA16L	yaw	300	Analogowe	3,3	140
LY550ALH	LGA16L	yaw	500	Analogowe	3,3	140
LYPR540AH	LGA28	X, Y, Z	–	Analogowe	3,3	140

współczynnika wypełnienia użytkownik może ustalić także częstotliwość generowanego sygnału, czas narastania i opadania wartości współczynnika PWM oraz czasu włączania i wyłączania sterowanych obciążeń. Znacznie bardziej rozbudowane funkcjonalnie PWM-y zastosowano w najnowszych układach STMPExxM31 – 8 niezależnie programowanych kontrolerów PWM umożliwia sterowanie do 16 obciążeń, z rozdzielczością 16 kroków. Częstotliwość taktowania PWM wynosi 32 kHz, a użytkownik może zdefiniować czas płynnego narastania/opadania wartości współczynnika PWM (**rys. 3**), za co odpowiada kontroler wbudowany w układy.

Linie GPIO kontrolerów są zabezpieczone przed wyładowaniami ESD, dzięki czemu minimalizowane jest ryzyko uszkodzenia kontrolera podczas dotknięcia pól czujnikowych lub zbliżenia do nich palców.

Prezentowane kontrolery wyposażono w zaawansowane systemy kalibracji i kompensacji zmian parametrów otoczenia, które umożliwiają m.in. indywidualną konfigurację poszczególnych kanałów czujnikowych, co ułatwia dostosowanie ich czułości do wymagań aplikacji. Są to cztery konfigurowalne mechanizmy: AFS (*Advanced Data Filtering*), ETC (*Environment Tracking Calibration*), TVR (*Touch Variance*) oraz EVR (*Environmental Variance*).

Tab. 3. Zestawienie podstawowych cech i parametrów czujników temperatury produkowanych przez firmę STMicroelectronics

Typ	Obudowa	Wyjście	Rozdzielczość [b]	Zasilanie [V]
LM135	TO92	–	–	–
LM234	SO8	–	–	–
LM235	SO8, TO 92	–	–	–
LM334	SO8	–	–	–
LM335	SO8; TO 92	–	–	–
STCN75	MSOP8, TSSOP8, SO8	I ² C/SMbus	9	5
STDS75	MSOP8, TSSOP8, SO8	I ² C/SMbus	12	5
STLM20	SOT323–5, UFDFPN4L	–	–	5
STLM75	MSOP8, TSSOP8, SO8	I ² C/SMbus	9	5
STTS2002	TDFN8	I ² C/SMbus	10	3,3
STTS424	TDFN8	I ² C/SMbus	10	3,3
STTS424E02	TDFN8	I ² C/SMbus	10	3,3
STTS75	MSOP8, TSSOP8, SO8	I ² C/SMbus	12	5

Tab. 4. Zestawienie podstawowych cech i parametrów układów S-Touch

Typ	Obudowa	Liczba "przycisków"	Wheel/Slider	Liczba sterowanych LED	Minimalne napięcie zasilania [V]	Maksymalne napięcie zasilania [V]	Liczba wyjść PWM
STMPE1208S	VFQFPN40	12	+/+	12	2,5	5,5	–
STMPE16M31	VFQFPN32	16	+/+	16	1,65	1,95	16
STMPE24M31	VFQFPN40	24	+/+	16	1,65	1,95	16
STMPE24M31PX	VFQFPN40	24	+/+	16	1,65	1,95	16
STMPE321	VFQFPN12	3	+/+	–	1,65	1,95	–
STMPE821	VFQFPN16	8	+/+	8	2,7	3,6	4

Układy STMPE1208S mają linie czujników dotykowych oddzielone od linii GPIO, wyposażono je także w programowane generatory sygnałów akustycznych, służących do zasilania przetworników piezoceramicznych. Generatory te można wykorzystać np. do akustycznego potwierdzenia lub sygnalizacji naciśnięcia przycisku. Układy STMPE321 i STMPE821 wyposażo-

no w linie współdzielone, podobnie jak w przypadku układów STMPExxM31, które w wersji STMPE24 wyposażono w grupę wejść pojemnościowych bez możliwości pracy jako GPIO.

Podsumowanie

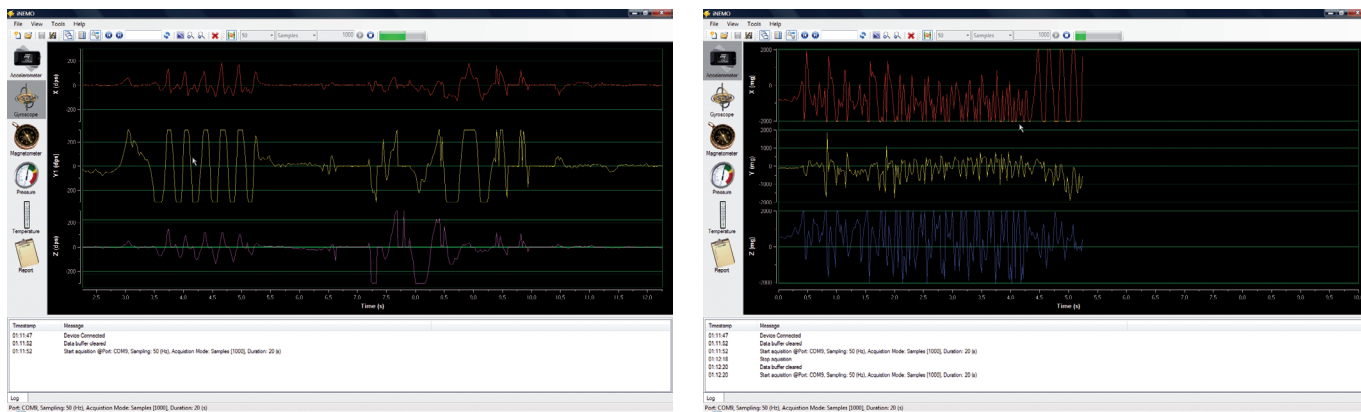
W artykule przedstawiliśmy wycinek oferty „czujnikowej” firmy STMicroelectro-



nics. Łatwo zauważyć, że podstawowym kierunkiem rozwoju tej części oferty są czujniki wykonane w technologii MEMS, których możliwości rosną wraz ze zwiększaniem się ich stopnia integracji. Za przełomowe można uznać najnowsze opracowania producenta: czujniki integrujące kilka funkcji w jednej obudowie, czego najbardziej interesującym – dla fanów nowoczesnej elektroniki – przykładem jest czujnik geomagnetyczny LSM-303DLH.

Z myślą o konstruktorach chcących przetestować możliwości czujników oferowanych przez STMicroelectronics producent opracował efektowny zestaw ewaluacyjny (STEVAL-MKI062V1 – fot. 2) o „kodowej” nazwie iNEMO (od *INertial MOTion*), który w efektownej postaci (zrzuty ekranów z programu obsługującego zestaw pokazano na rys. 3) pokazuje praktyczne możliwości czujników LIS331DLH (akcelerometr), STLM75 (czujnik temperatury), LPS001DL (jeszcze niedostępny oficjalnie czujnik ciśnienia), LPR530AL, LPY530AL (żyroskop). W zestawie zastosowano także czujnik geomagnetyczny firmy Honeywell HMC5843, który w kolejnej wersji zestawu zostanie zapewne zastąpiony przez odpowiednik funkcjonalny z oferty ST. Wszystkie czujniki oraz służący do komunikacji z PC interfejs USB obsługujący mikrokontroler STM32F103, którego oprogramowanie (także w wersji źródłowej) jest dostarczane z zestawem.

Andrzej Gawryluk, EP



Rys. 3. Zrzuty ekranu programu iNEMO Software Tool z przykładowymi wynikami pomiarów