



# Podotykać sobie: 2010

## Pojemnościowe czujniki zbliżeniowe i kontrolery klawiatur pojemnościowych

**TEMAT  
NUMERU**

*Pierwszy przegląd scalonych kontrolerów klawiatur opublikowaliśmy na łamach EP w czerwcu 2008 roku. Zapowiadana wtedy „klawiaturowa rewolucja” nabiera rozpędu chociaż jej kierunki, nieco meandrując, tworzą konstruktorom w roku 2010 nieco inne możliwości niż zapowiadał to rok 2008. Tak czy inaczej czeka nas zmiana przyzwyczajzeń, bowiem mikroswitche i klawiatury trafią do muzeów choćby z tego powodu, że włącznik mechaniczny jest droższy niż kilka mm<sup>2</sup> struktury półprzewodnikowej.*

Współczesne podzespoły elektroniczne zastępują coraz większą liczbę podzespołów elektromechanicznych: w wielu dziedzinach zostały już całkowicie wyeliminowane przekaźniki, styczniki, niegdyś bardzo popularne wychyłowe mierniki, wskaźniki i „wyswietlacze” elektromechaniczne, w większości współczesnych urządzeń zastąpiono mechaniczne włączniki ich zelektronizowanymi wersjami. Podobne rozwiązania zdominowały aplikacje audio i wideo, w których mechanicznego prze-

łącznika kanałów nie ma szansy spotkać od wielu już lat.

Zastępowanie przełączników mechanicznych ich elektronicznymi odpowiednikami pozwala zmniejszyć gabaryty urządzeń, ich trwałość i niezawodność, zwiększa możliwości projektantów obudów, którzy nie muszą się liczyć z ograniczeniami wynikającymi z wymagań rozwiązań mechanicznych, zmniejsza także ryzyko występowania zakłóceń elektromagnetycznych oraz pozwala także obniżyć ceny urządzeń.

Jak już kilkakrotnie wspominaliśmy na łamach EP, producenci urządzeń elektronicznych opracowali wiele różnych sposobów „elektronicznego” zastąpienia tradycyjnych włączników. Krótkie charakterystyki alternatywnych rozwiązań przedstawiono w **tab. 1**. Najkrótsze ich podsumowanie – żadne nie jest doskonałe – nie jest dla praktyków zachęcające, ale wieloletnie eksperymenty prowadzone przez wiele firm doprowadziły do tego, że cechy użytkowe przełączników elektronicznych z sensorami dotykowymi są wystarczające dla wielu otaczających nas aplikacji.

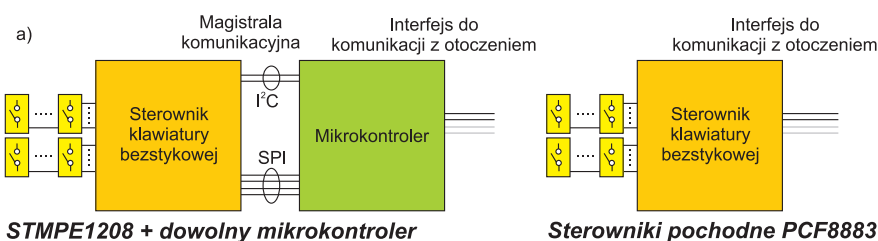
Producenci podzespołów działają dwutorowo, dostarczając na rynek:

- zintegrowane kontrolery pojemnościowych klawiatur i nastawników różnego typu,
- biblioteki programowe dla produkowanych przez siebie mikrokontrolerów, w których w sprytny sposób wykorzysta-

Tab. 1. Zestawienie podstawowych cech systemów detekcji dotyku/zbliżenia, stosowane m.in. w klawiaturach i nastawnikach

Cecha/parametr	Podświetlenie	Mikrofale	RF	Stała dielektryczna	Rezystancja	Pojemność
Zasięg do...	...kilku metrów	...kilku metrów	...kilku centymetrów	...kilku milimetrów	...kilku milimetrów	...kilku milimetrów
Obudowa urządzenia	Przeźroczysta	Nieprzewodząca	Nieprzewodząca	Nieprzewodząca	Przewodząca	Nieprzewodząca
Koszt	Średni	Bardzo wysoki	Wysoki	Wysoki	Niski	Niski
Odporność na zakłócenia środowiskowe	Średnia	Bardzo dobra	Bardzo dobra	Bardzo dobra	Średnia	Dobra
Niezawodność	Średnia	Dobra	Dobra	Dobra	Średnia	Dobra
Najważniejsze zalety	Duży zasięg	Wysoka niezawodność	Wysoka niezawodność	Wysoka precyzja	Niska cena, prostota wykonania	Niska cena, prostota wykonania
Najważniejsze wady	Ograniczenia konstrukcyjne obudowy	Wysoka cena	Wysoka cena	Wysoka cena	Niska trwałość	Konieczność stosowania prekalibracji

Źródła: Cypress Semiconductor, Freescale, NXP i Microchip



STMP1208 + dowolny mikrokontroler

Sterowniki pochodne PCF8883



AVR lub AVR32 + biblioteka Qtouch ST

Rys. 1. Podstawowe konfiguracje systemów z kontrolerami klawiatur i nastawników dotykowych (w artykule skupiamy się na konfiguracjach oznaczonych na rysunku literą a)

no standardowe linie I/O lub wbudowane wyspecjalizowane kontrolery klawiatur pojemnościowych, których użycie

jest równie proste jak popularnych interfejsów typu UART, SPI itp.

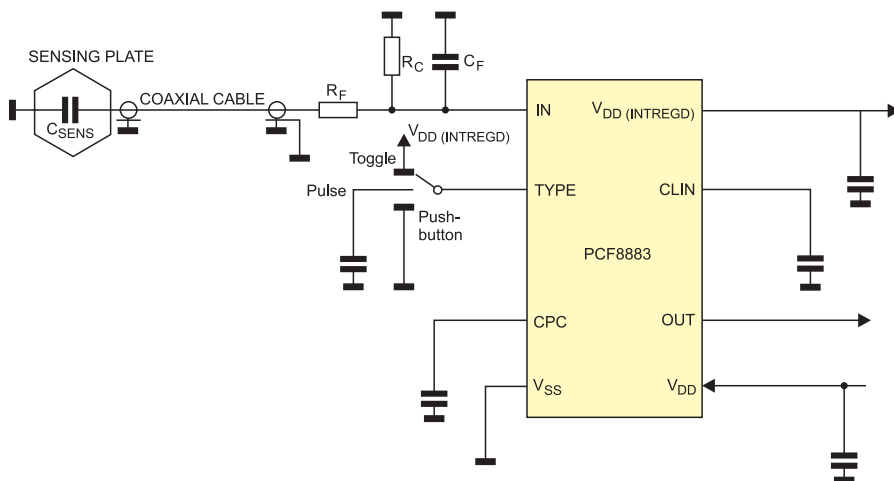
Dobierając do aplikacji konkretny typ sterownika trzeba pamiętać, że sposoby detekcji dotyku stosowane przez producentów są różne (przynajmniej w większości przypadków), co może objawiać się nieco innymi cechami użytkowymi. Niestety, producenci układów dbają o zachowanie tajników „kuchni” dla siebie, czego jedną z (ukrywanych) przyczyn jest fakt, że w większości przypadków oferują technologie kupione od wyspecjalizowanych firm badawczych. Z praktycznego punktu widzenia nie ma to dla

nas specjalnego znaczenia, bowiem oferowane obecnie rozwiązania są bliskie technicznej doskonałości – niektóre technicznie „dojrzewają” blisko 15 lat!

Zacniemy od odświeżonego i uaktualnionego przeglądu jednokładowych, wyspecjalizowanych sterowników klawiatur pojemnościowych (grupa pokazana na rys. 1a) z podziałem na producentów prezentowanych rozwiązań.

### EDISEN z NXP

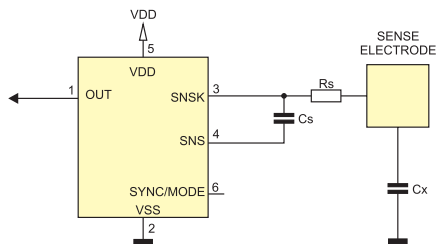
Firma NXP wprowadziła do swojej oferty – opisany przez nas w EP1/2010 – układ scalony PCF8883, który jest jednokanałowym kontrolerem „klawiaty”. „Jednokanałowym” oznacza, że spełnia on funkcję pojedynczego „przycisku” czasowego, mono- lub bistabilnego, można go także wykorzystać jako specyficzny czujnik zbliżeniowy. Schemat aplikacji tego układu pokazano na rys. 2. Przyjazną i odciążającą konstruktora i instalatora cechą systemu detekcji „dotyku” EDISEN zastosowanego w układzie PCF8883 jest wbudowany w niego autokalibrator zapobiegający nieprawidłowemu działaniu układu pod wpływem zmian wilgotności, temperatury i wymiarów lub kształtu czujnika. O dokładności autokalibracji decyduje częstotliwość próbkowania, którą użytkownik może samodzielnie ustalić za pomocą zewnętrznego kondensatora dołączonego do wejścia CLIN układu. Równie istotną w praktyce cechą układu PCF8883 jest niewielki pobór prądu i możliwość zasilania napięciem z szerokiego zakresu od 3 do 9 VDC.



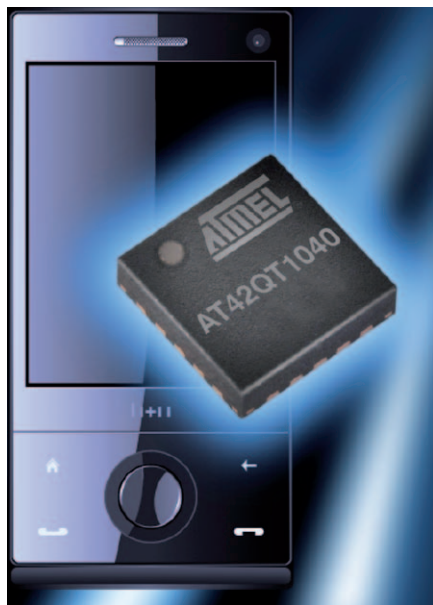
Rys. 2. Schemat aplikacyjny układu PCF8883

### AKS firmy Atmel

Technologia AKS (Adjacent Key Suppression) powstała na bazie opracowań angielskiej firmy Quantum Research Group, która

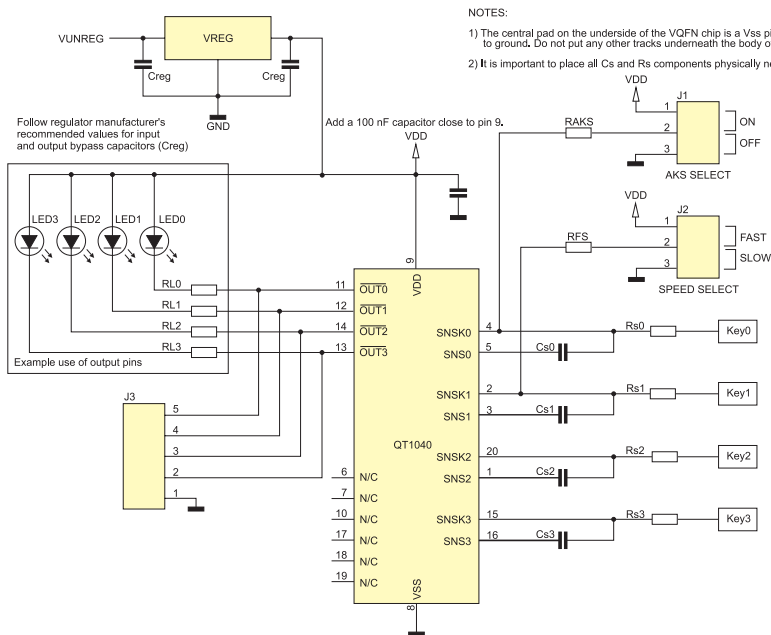


Rys. 3. Schemat aplikacyjny czujnika z rodziny AT42QT101x

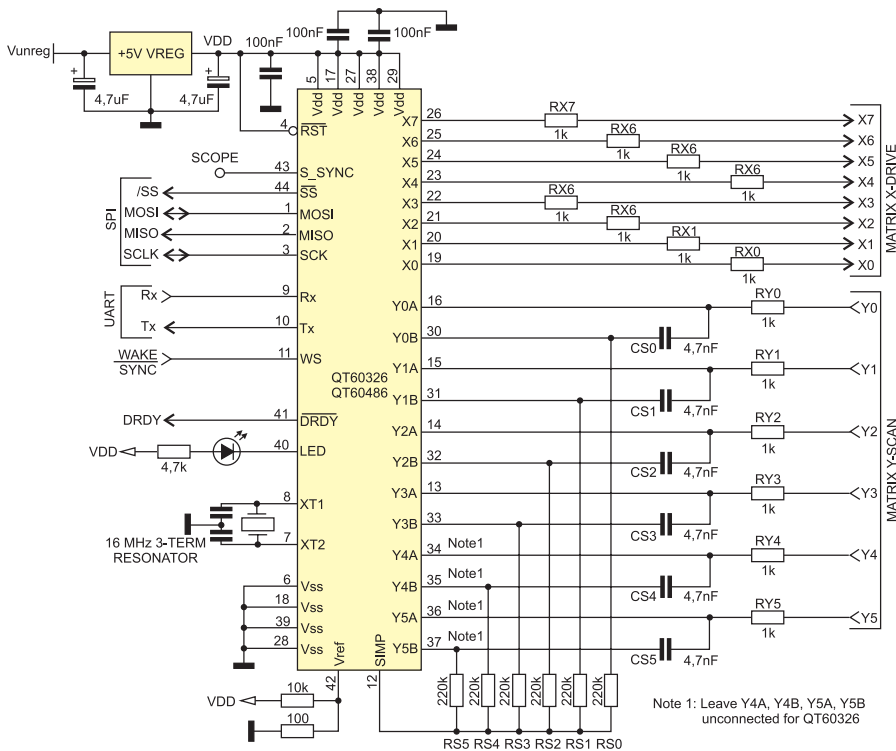


po latach intensywnych badań opracowała i wprowadziła do sprzedaży kilka rodzin scalonych kontrolerów klawiatur pojemnościowych:

- QTouch – do obsługi pojedynczych „przycisków”,
- QMatrix – obsługujących matryce „przycisków”,
- QWheel/QSlide – do obsługi nastawników obrotowych i suwakowych.



Rys. 4. Schemat aplikacyjny układu QT1040



Rys. 5. Schemat aplikacyjny układów QT60326/486

Niektóre z układów opracowanych przez Quantum Research Group są nadal produkowane, Atmel wprowadził do produkcji także kilka nowych, udoskonalonych opracowań, dostosowanych do wymagań współczesnych aplikacji. Sposób działania układów czujnikowych AKS ma zaletę polegającą na ich automatycznej adaptacji do zmieniających się warunków otoczenia (np. wilgotności, zmiany parametrów dielektryka wywołane starzeniem lub zmianami temperatury itp.), co minimalizuje ryzyko fałszywych „wciśnień” lub braku reakcji sterownika na zbliżenie palca do czujnika.

Na rys. 3 pokazano schemat aplikacyjny czujnika z rodziny AT42QT101x, obsługują-

cego pojedynczy przycisk. W zależności od wymagań, układy z tej serii mogą pracować jako przełącznik z ograniczeniem maksymalnego czasu „naciśnięcia” (AT42QT1010), bez takiego ograniczenia (AT42QT1011) oraz przełącznik bistabilny (AT42QT1012).

W ofercie produkcyjnej firmy Atmel są także układy obsługujące małe klawiatury (poniżej 10 „przycisków” – m.in. AT42QT1040, AT42QT1060 oraz układy starszej generacji QT1080/1081, QT100A itp.), klawiatury o większej liczbie „przycisków” (do 48 – QT60486/60326, QT60248, QT60240, QT60168 itp.) oraz układy obsługujące nastawniki suwakowe i obrotowe (AT42QT2160 i QT1106). Niektóre z wymienionych układów wyposażono w dodatkowe bufony wyjściowe, umożliwiające sterowanie np. diod LED (rys. 4).

Sterowniki obsługujące większą liczbę „przycisków” są wyposażone w interfejsy SPI (np. QT60168, QT60248), I2C (m.in. QT60240, QT60160), a nawet UART (np. QT60326, QT60486) – przykładowy schemat aplikacyjny układu QT60326/486 pokazano na rys. 5.

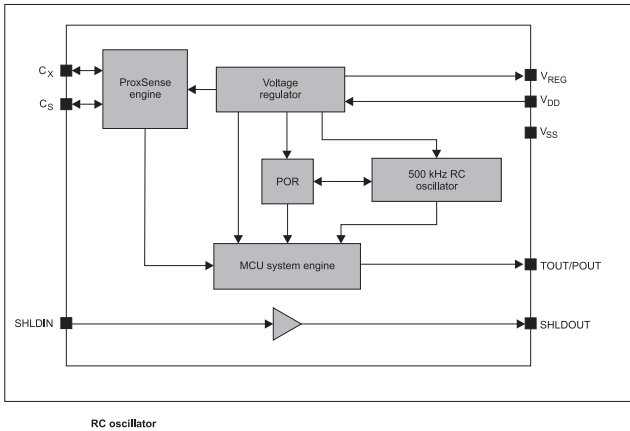
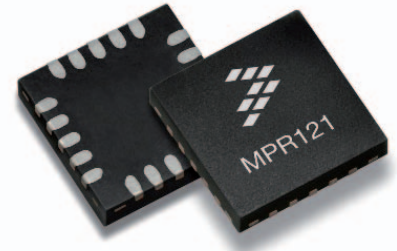
### STouch firmy STMicroelectronics

Firma STMicroelectronics wdraża rodzinę układów interfejsowych, w których zastosowano technologię DigiSensor (w nomenklaturze STMicroelectronics nazwaną S'Touch) opracowaną przez koreańską firmę ATLab.

Obecnie w ofercie STMicroelectronics jest dostępnych sześć układów spełniających rolę wielowyciowych kontrolerów klawiatur bezstykowych zintegrowanych z ekspan-

**Zalety detekcji pojemnościowej**

Pojemnościowe czujniki dotyku mają ogromną zaletę: czujnik klawiatury („przycisk”) może być ukryty pod izolatorem (np. płytą czołową obudowy), a klawiatura i tak będzie działać! Do tego maskownica klawiatury może być jednolita (pozbawiona otworów), co znacznie upraszcza budowę urządzeń z wymaganym wysokim stopniem ochrony. Dodatkowe zalety takich klawiatur to m.in.: odporność na ładunki elektrostatyczne i zmiany temperatur, możliwość zastępowania klawiatur membranowych oraz mikroprzełącznikowych, bez konieczności dokonywania zmian w pozostałej części aplikacji. Jest to więc rewolucyjne zwłaszcza, że dzięki stosunkowo dużej rozdzielczości detekcji można na ich bazie tworzyć nastawniki obsługiwane jak dotykowe potencjometry.



Rys. 6. Schemat blokowy układu STM8T141

derami I/O: produkowane od dłuższego czasu STMPE821 i STMPE1208S, nowsze układy STMPE321, STMPE16M31 i STMPE24M31, a także dwie „gorące” nowości: układy oznaczone symbolami STMPE24M31PX oraz STMPE16M31PX. Dwa ostatnie z wymienionych układów (z sufiksem PX w nazwie) – poza standardowymi funkcjami obsługi nastawników pojemnościowych oraz sterowników LED – wyposażono także w czujniki zbliżeniowe. Układy STMPE12xx wyposażono w 12 linii GPIO z możliwością wykorzystania ich jako wejść dotykowych, układy STMPExxM31 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.

Wszystkie układy wyposażono w interfejsy komunikacyjne I<sup>2</sup>C, 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-kanałowe generatory PWM, których sygnały są dostępne na liniach GPIO0...3. Sygnały wyjściowe tych generatorów można programować w szerokim zakresie: oprócz oczekiwanej wartości współczynnika wypełnienia użytkownik może ustalić także częstotliwość generowanego sygnału, czas narastania i opadania wartości współczynnika PWM oraz czasy włączania i wyłączania sterowanych obciążeń. Znacznie bardziej rozbudowane funkcjonalnie PWM-y zastosowano w najnowszych układach STMPExxM31xx – 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, za co odpowiada kontroler wbudowany w układy.

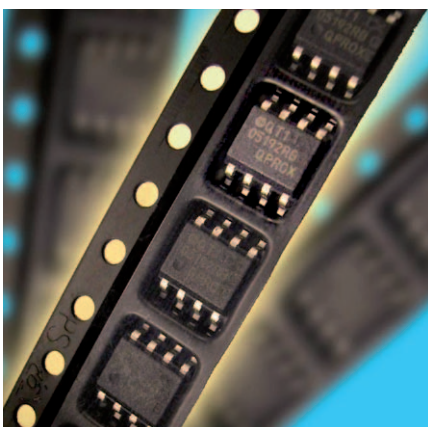
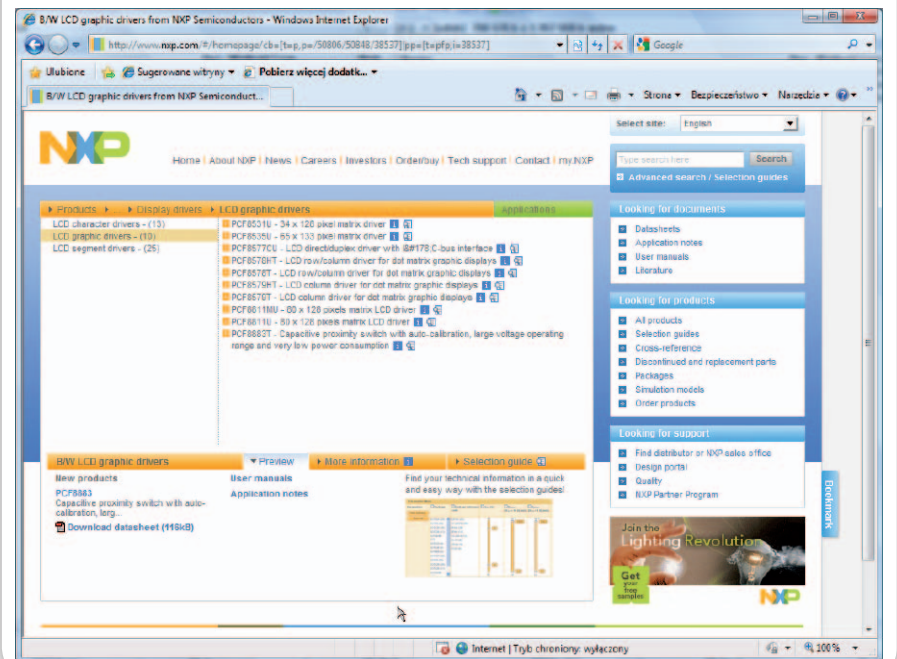
Prezentowane kontrolery wyposażono zaawansowane systemy kalibracji i kompensacji zmian parametrów otoczenia, które umożliwiają m.in. indywidualną konfigurację poszczególnych kanałów czujnikowych, co ułatwia dostosowanie ich czułości do wymagań aplikacji. Są to cztery konfigurowalne mechanizmy:

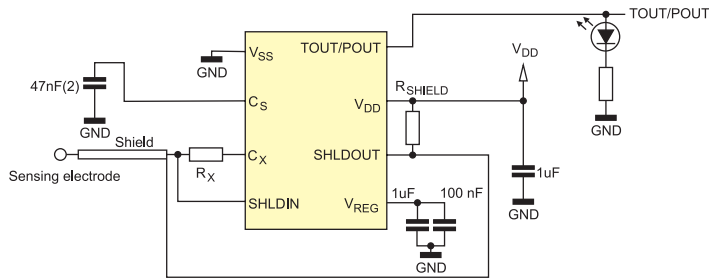
- AFS – *Advanced Data Filtering*,
- ETC – *Environment Tracking Calibration*,
- TVR – *Touch Variance*,
- EVR – *Environmental Variance*.

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 potwierdzania lub sygnalizacji naciśnięcia przycisku. Układy STMPE321 i STMPE821 wyposażono w linie współdzielone, podobnie jak w przypad-

**Z PCF8883 nie tak łatwo**

Ponieważ informacje jakie otrzymaliśmy na temat układu PCF8883 od firmy NXP w grudniu 2009 miały status *Preliminary*, przed przygotowaniem tego artykułu przejrzyliśmy stronę internetową producenta, gdzie okazało się, że PCF8883 został zakwalifikowany do grona *LCD Graphics Drivers* (na rysunku poniżej). Może to nieco utrudnić odnalezienie jego dokumentacji :)





Rys. 7. Podstawowy schemat aplikacyjny układu STM8T141



ku układów STMPExxM31, które w wersji STMPE24 wyposażono w grupę wejść pojemnościowych bez możliwości pracy jako GPIO.

Wszystkie „duże” układy (STMPE12/16/24) wyposażono w wejścia adresowe, za pomocą których można modyfikować ich adresy bazowe na magistrali I<sup>2</sup>C, co pozwala na wygodne tworzenie klawiatur/nastawników o dużej liczbie pól czujnikowych.



Nowością w ofercie STMicroelectronics jest także układ STM8T141 (schemat blokowy pokazano na rys. 6), który jest fabrycznie zaprogramowanym mikrokontrolerem z rodziny STM8 (dostępny w obudowach SO/UFDPFN8). Wyposażono go w pamięć OTP (programowaną z zewnątrz przez użytkownika), która służy do konfiguracji parametrów działania układu, m.in.: częstotliwości próbkowania, trybu oszczędzania energii, konfiguracji detektora zbliżeniowego/detektora



przełożenia palca itp. Układ STM8T141 to funkcjonalny odpowiednik układu PCF8883, przy czym detekcja zbliżenia palca odbywa się programowo z wykorzystaniem algorytmu ProxSense (zawarty w bibliotekach programowych dla mikrokontrolerów STM8/STM32, napiszemy o nich więcej za miesiąc). Podstawowy schemat aplikacyjny układu STM8T141 pokazano na rys. 7.

### Capacitive Touch firmy Freescale

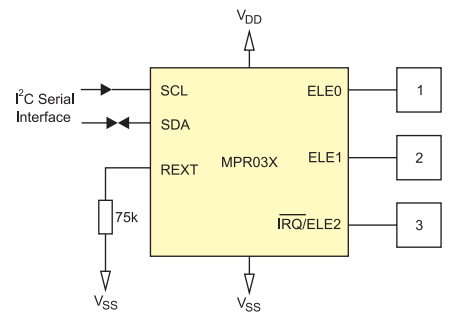
Od kilku lat w ofercie firmy Freescale znajdują się samodzielne kontrolery klawiatur z serii MPR08x. Z otoczeniem współpracując one dzięki wbudowanemu interfejsowi I<sup>2</sup>C i mogą obsługiwać:

- nastawniki obrotowe: MPR083 (8 pozycji),
  - klawiatury: MPR084 (do 20 „przycisków”).
- Nowościami w ofercie produkcyjnej firmy Freescale są:
- układy MPR031/032, przystosowane do obsługi trzech lub dwóch pól „przyciskowych” (rys. 8), komunikujących się z otoczeniem także za pomocą magistrali I<sup>2</sup>C. Jak widać, schemat aplikacyjny tych układów jest niezwykle prosty.
  - układ MPR121, który wyposażono w udoskonalony w stosunku do starszych opracowań detektor zbliżenia palca oraz możliwość sterowania LED (rys. 9). Dzięki wyposażeniu tego układu w zewnętrzną linię adresową, użytkownik może połączyć w jednym systemie do 4 (pomimo tego, że linia adresowa jest tylko jedna!) układów MPR121.

### CapTouchPad firmy ELAN

Elan Microelectronics jest firmą stosunkowo mało znaną na rynku popularnym, ale dobrze zorientowaną w rynkowych trendach, dlatego w jej ofercie produkcyjnej znajdują się dwie grupy kontrolerów klawiatur pojemnościowych, wykonanych na bazie 8-bitowych mikrokontrolerów RISC z fabrycznie zaprogramowaną pamięcią programu:

- kontrolery o wysokiej czułości (rodzina eKT21xx/22xx), przystosowane do obsługi od 2 do 18 pól czujnikowych oraz od 3 do 9 diod LED, a także jeden kontroler (eKT2103) przystosowany do obsługi 256-pozycyjnego slidera lub dwóch sliderów 64-pozycyjnych.



Rys. 8. Podstawowy schemat aplikacyjny układów MPR031/032

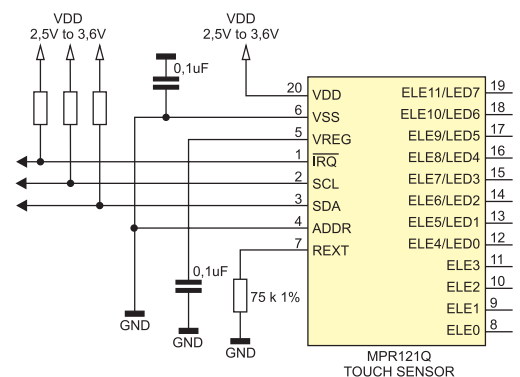
- kontrolery o wysokiej odporności na zakłócenia (rodzina eKT41xx/43xx), przystosowane do obsługi od 6 do 24 pól czujnikowych oraz od 6 do 11 LED. Kontrolery eKT4103 oraz eKT4304 mogą jednocześnie z klawiaturą obsługiwać także 16-pozycyjne slidery.

### Podsumowanie

Układy przedstawione w artykule należą do grupy sprzętowych kontrolerów klawiatur pojemnościowych. Podczas pisania artykułu (początek kwietnia 2010) prezentowane układy znajdowały się w ofertach produkcyjnych, ale ze względu na szybkie zmiany może się okazać, że w międzyczasie niektóre z nich zostały wycofane z produkcji lub zastąpione nowocześniejszymi zamiennikami – należy to brać pod uwagę podczas doboru podzespołów do aplikacji.

Za miesiąc przedstawimy przegląd podobnych rozwiązań realizowanych programowo, w wielu przypadkach na tanich i popularnych mikrokontrolerach z wykorzystaniem dostępnych bezpłatnie bibliotek programowych.

Piotr Zbysinski, EP  
piotr.zbysinski@ep.com.pl



Rys. 9. Podstawowy schemat aplikacyjny układu MPR121