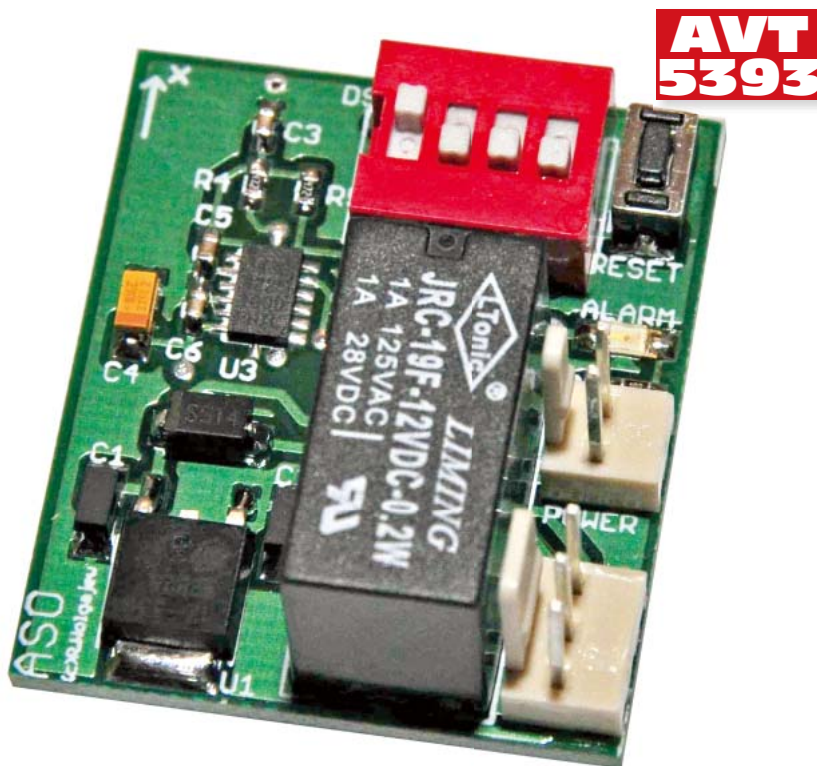


ASO

Automatyczny system ostrzegania

W nowoczesnych samochodach jest montowane urządzenie, które automatycznie załącza światła awaryjne podczas gwałtownego hamowania. Dodatkowo do świateł stop ostrzegają one kierowców pojazdów jadących za nami, że coś wydarzyło się na drodze i że także oni powinni rozpocząć hamowanie. Opisywane urządzenie umożliwia wyposażenie w tę funkcjonalność również starszych pojazdów.

Rekomendacje: docelowo urządzenie jest przeznaczone do załączania świateł awaryjnych, ale może też służyć do załączania innych systemów zabezpieczających np. przed upadkiem.



Jednym z głównych a zarazem pierwszych, popularnych zastosowań technologii MEMS jest pomiar przyspieszenia oraz ciśnienia. Systemy oparte o przetworniki MEMS są dla przykładu szeroko stosowane w motoryzacji (w układach detekcji kolizji), jak również w elektronice użytkowej (czujniki położenia i przyspieszenia stosowane w telefonach komórkowych czy konsolach gier). Nic nie stoi jednak na przeszkodzie by nowoczesny element MEMS zastosować w rozwiązaniu „domowym”, budując urządzenie, które swoją funkcjonalnością naśladuje rozwiązania profesjonalne. Mam tutaj na myśli system, który jest montowany w niektórych samochodach mający na celu automatyczne włączenie świateł awaryjnych podczas awaryjnego hamowania pojazdu. Dzięki wykorzystaniu technologii MEMS oraz gotowych rozwiązań w postaci scalonych czujników przyspieszenia (tzw. akcelerometrów), system taki możemy zbudować angażując minimum środków sprzętowych. Przykładem tego typu rozwiązania jest opisywany w artykule Automatyczny System Ostrzegania, którego schemat pokazano na rysunku 1.

Jest to system mikroprocesorowy, złożony dosłownie z kilku elementów, którego sercem jest mikrokontroler ATtiny2313 taktowany wewnętrznym, wysokostabilnym oscylatorem RC o częstotliwości 8 MHz. Mikrokontroler

jest odpowiedzialny za realizację całej założonej funkcjonalności. Elementem pomiarowym jest scalony, 3-osiowy akcelerometr z wyjściem cyfrowym ADXL343 produkowany przez firmę Analog Devices. Komunikacja z nim jest możliwa poprzez jeden z dwóch interfejsów: I²C lub SPI. Chociaż implementacja tego typu elementu w docelowym systemie pomiarowym jest stosunkowo łatwa (nie zachodzi potrzeba stosowania wysokostabilnych przetworników pomiarowych A/C w celu uzyskania wartości pomiarowych), a możliwości konfiguracyjne ogromne, aby w pełni zrozumieć zasadę działania prezentowanego układu jest konieczne poznanie możliwości wspomnianego akcelerometru.

Układ ADXL343 charakteryzuje się następującymi wybranymi cechami użytkowymi:

- pomiar przyspieszenia statycznego/dynamicznego w 3 osiach z maksymalną, konfigurowalną rozdzielczością 13-bitów (3,9 mg/LSB),
- szeroki zakres napięcia zasilania: 2,0...3,6 V (interfejs I/O układu od 1,7 V),
- konfigurowalny zakres pomiarowy: ±2,0 g/4,0 g/8,0 g/16,0 g,
- szeroki zakres częstotliwości pomiarów (*data rate*): 0,10...3200 Hz,
- mały pobór prądu w trybach obniżonego poboru mocy oraz w trybie pomiaru: 0,04...0,15 mA,

W ofercie AVT*

AVT-5393 A AVT-5393 B
AVT-5393 UK

Podstawowe informacje:

- Napięcie zasilania: 10...14 V.
- Maksymalny prąd obciążenia (przełącznik wyłączony/załączony): 7 mA/34 mA.
- Zakres pomiarowy: ± 8 g.
- Próg zadziałania układu: 0...7,5 g.
- Rozdzielczość progów zadziałania: 0,5 g.
- Rozdzielczość pomiaru przyspieszenia: 12 bitów (3,9 mg/LSB).
- Błąd liniowości: 0,5%.
- Dokładność pomiaru przyspieszenia: 1%.
- Interwał pomiarowy: 40 ms.

Dodatkowe materiały na CD/FTP:

<ftp://ep.com.pl>, user: 75282, pass: 852sjb64

- wzory płytek PCB
- karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w Wykazie elementów kolorem czerwonym

Projekt pokrowe na CD/FTP:

(wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)

AVT-5387 gLogger - 3-osiowy rejestrator przyspieszenia (EP 3/2013)

AVT-5223 Kieszonkowy akcelerometr (EP 2/2010)

Projekt132 Miernik przyspieszenia (EP 8/2005)

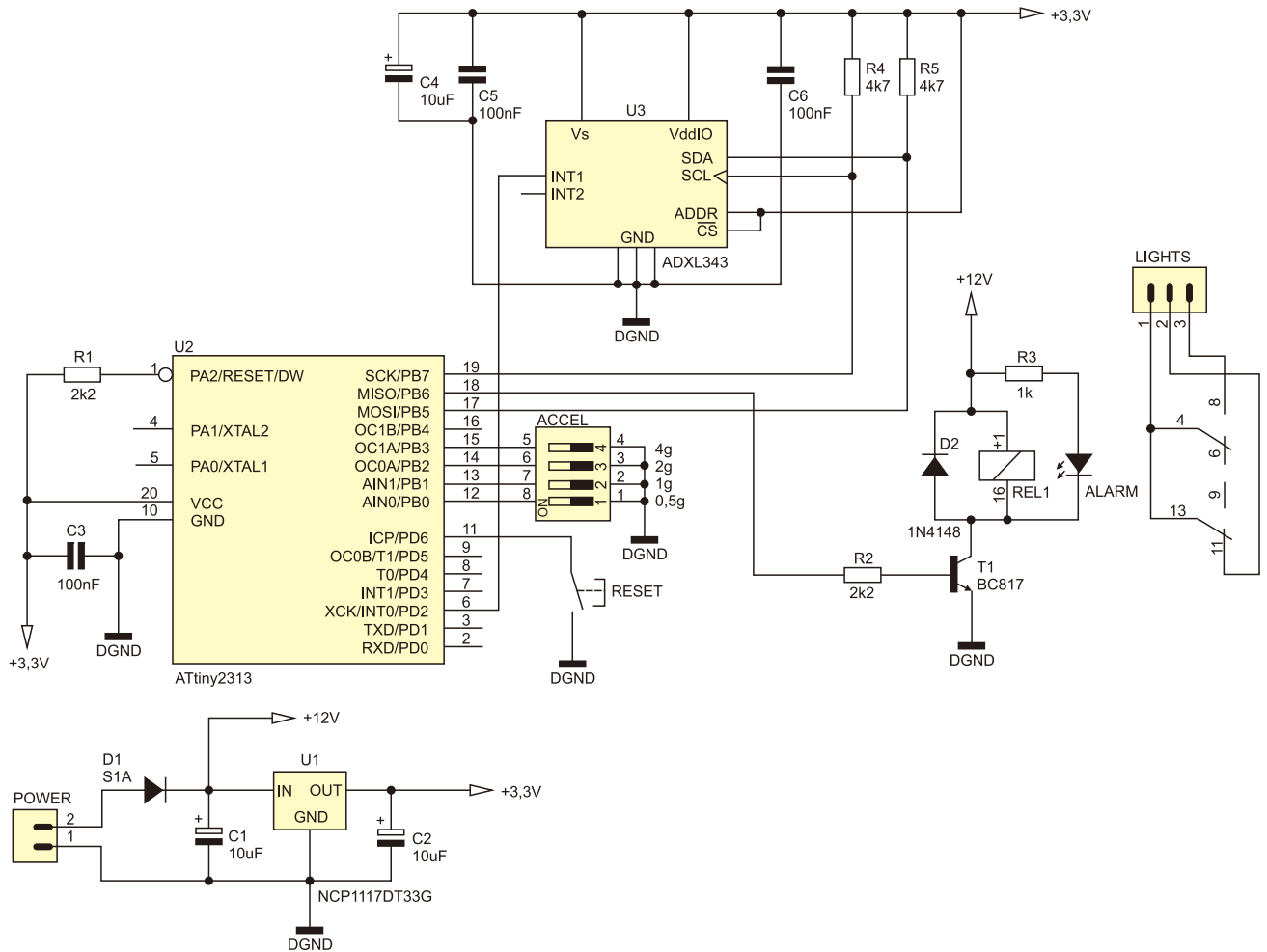
--- Elektroniczny miernik przyspieszenia (EP 8/1998)

* Uwaga:

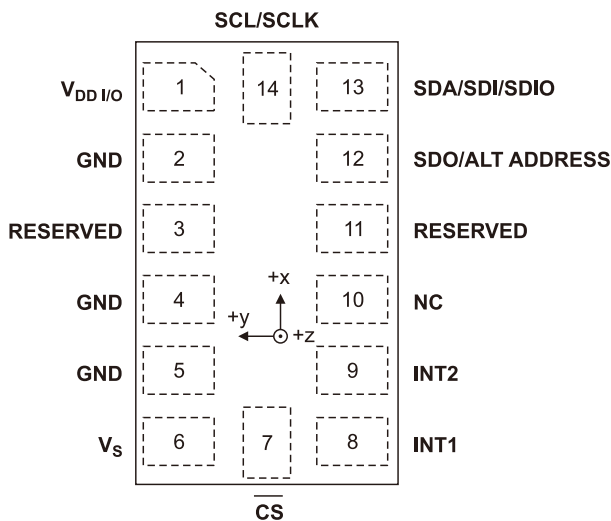
Zestawy AVT mogą występować w następujących wersjach:
AVT xxxx UK to zaprogramowany układ. Tylko i wyłącznie. Bez elementów dodatkowych.
AVT xxxx A płytka drukowana PCB (lub płytki drukowane, jeśli w opisie wyraźnie zaznaczono), bez elementów dodatkowych.
AVT xxxx A+ płytka drukowana i zaprogramowany układ (czyli połączenie wersji A i wersji UK) bez elementów dodatkowych.
AVT xxxx B to nic innego jak zmontowany zestaw B, czyli elementy wylutowane w PCB. Należy mieć na uwadze, że o ile nie zaznaczono wyraźnie w opisie, zestaw ten nie ma obudowy ani elementów dodatkowych, które nie zostały wymienione w załączniku pdf.
AVT xxxx C oprogramowanie (nieczęsto spotykana wersja, lecz jeśli występuje, to niezbędne oprogramowanie można ściągnąć, klikając w link umieszczony w opisie kitu).

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! (UK, A, A+, B lub C). <http://sklep.avt.pl>

- rozbudowane mechanizmy kontroli poboru mocy i odpowiednie tryby pracy (w tym tryb Standby 0,1 mA),
- wbudowane, konfigurowalne, przerwanowe mechanizmy obsługi zdarzeń



Rysunek 1. Schemat ideowy układu ASO



Rysunek 2. Wygląd obudowy akcelerometru ADXL343 (widok z góry).

Tabela 1. Opis wyprowadzeń akcelerometru ADXL343		
Pin	Nazwa	Opis
1	VDD I/O	Napięcie zasilania interfejsu I/O akcelerometru
2	GND	Masa
3	RESERVED	Zarezerwowany (nie podłączać)
4	GND	Masa
5	GND	Masa
6	VS	Napięcie zasilania akcelerometru
7	CS	CS dla interfejsu SPI (podłączyć do VS dla interfejsu I ² C)
8	INT1	Wyjście przerwania INT1 (konfigurowalne)
9	INT2	Wyjście przerwania INT2 (konfigurowalne)
10	NC	Niewykorzystane (nie podłączać)
11	RESERVED	Zarezerwowany (nie podłączać)
12	SDO/ALT ADDRESS	SDO dla interfejsu SPI 4-przewodowego lub wybór adresu dla interfejsu I ² C
13	SDA/SDI/SDIO	SDI dla interfejsu SPI 4-przewodowego, SDIO dla interfejsu SPI 3-przewodowego lub SDA dla interfejsu I ² C
14	SCL/SCLK	Sygnal zegarowy dla interfejsu SPI i I ² C

- typu: stuknięcie (*tap*), podwójne stuknięcie (*double tap*), bezruch, ruch (aktywność), swobodny spadek,
- 2 niezależne i w pełni konfigurowalne wyprowadzenia przerwań sprzętowych aktywowane wystąpieniem różnych zdarzeń (w tym zdarzeń j.w.),
- wbudowany bufor FIFO o pojemności 32 pomiary (pomiar to komplet 6 bajtów) z możliwością pracy w 4 trybach pracy,

- wbudowany tryb samokontroli (*selftest*) pozwalający na sprawdzenie funkcjonalności struktury elektronicznej i mechanicznej akcelerometru,
- możliwość automatycznej kompensacji offsetu pomiarowego.

Wygląd obudowy układu pokazano na **rysunku 2**, natomiast w tabeli **tabeli 1** umieszczono opis wyprowadzeń akcelerometru ADXL343.

Już z pobieżnej analizy przedstawionych parametrów użytkowych wynika, że producent akcelerometru wyposażył go w wiele przydatnych, przemyślanych rozwiązań sprzętowych i funkcjonalnych, pozwalających z jednej strony na prostą aplikację w docelowym systemie mikroprocesorowym, a z drugiej strony zapewniając ogromną elastyczność. Jednym z takich rozwiązań sprzętowych jest możliwość generowania

Wykaz elementów

- Rezystory:** (SMD0603)
 R1, R2: 2.2 k...3.3 k
 R3: 1 k...3.3k
 R4, R5: 4.7 kΩ
- Kondensatory:**
 C3, C5, C6: ceramiczny 100 nF (SMD0603)
 C1, C2, C4: tantalowy 10 μF/10V (typ B, EIA 3528-21)
- Półprzewodniki:**
 U1: NCP1117DT33G (obudowa TO252)
 U2: ATtiny2313 (obudowa SO-20)
 U3: ADXL343 (obudowa LGA-14)
 D1: dioda SMD S1A (obudowa DO214AC)
 D2: 1N4148
 ALARM: czerwona dioda LED SMD1206
 T1: BC817 lub podobny (obudowa SOT-23)
- Inne:**
 RESET: microswitch SMD DTSM31
 ACCEL: dipswitch 4-pozycyjny
 LIGHTS: gniazdo męskie 3pin (NSL25-3)
 POWER: gniazdo męskie 2pin (NSL25-2)
 REL1: przekaźnik JRC-27F/012

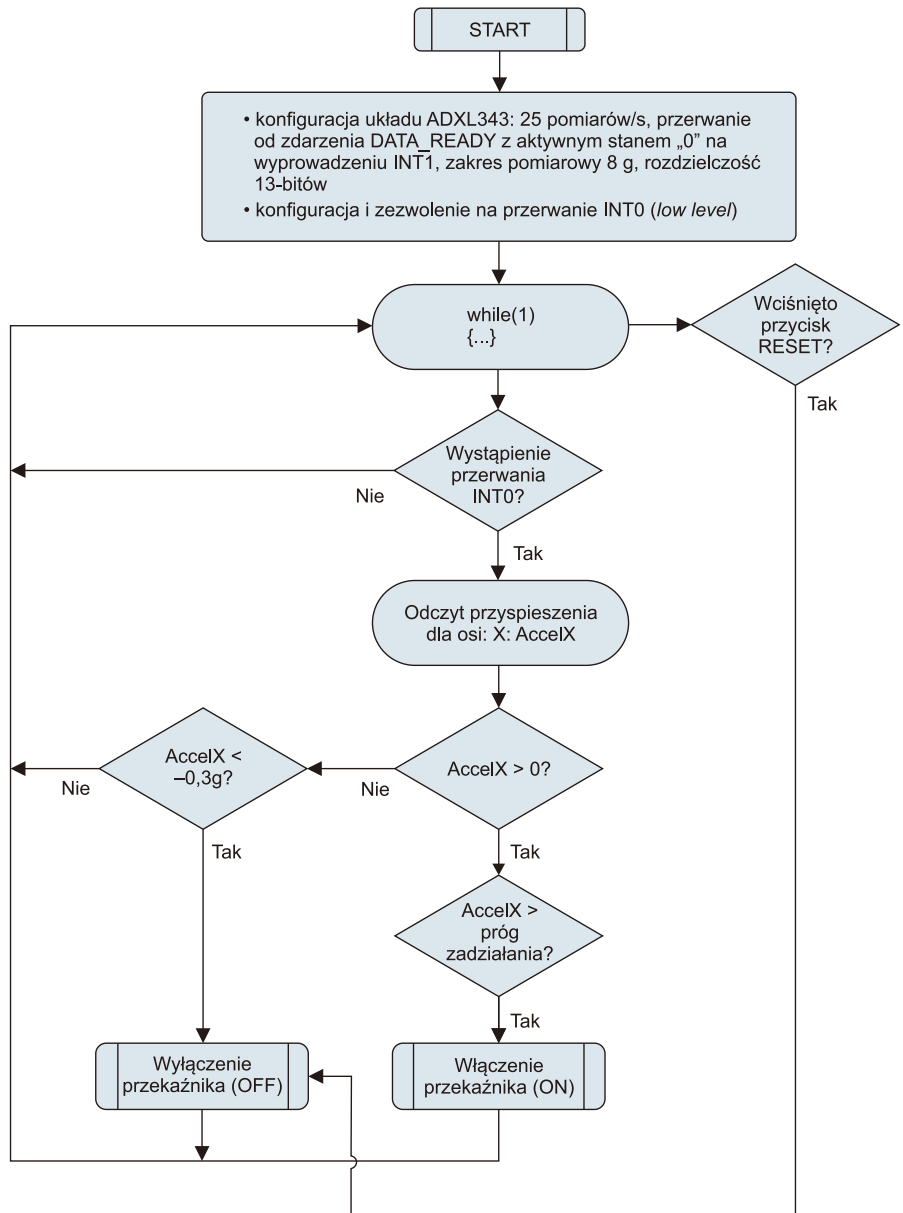
przez akcelerometr przerwać sprzętowych po wystąpieniu pewnych zdarzeń konfigurowalnych, przy czym istnieje możliwość wyboru zarówno wyprowadzenia akcelerometru, które ma być użyte do sygnalizacji wystąpienia zdarzenia (INT1 lub INT2), jak i definicji aktywnego poziomu dla wybranego wyprowadzenia sygnału przerwania (niski lub wysoki). Do zdarzeń, które mogą generować przerwania sprzętowe należą:

- gotowość danych pomiarowych (*DATA_READY*),
- zdarzenie pojedynczego stuknięcia (*TAP*), przy czym odpowiednie rejestry przechowują informację na temat osi, dla której wykryto wystąpienie zdarzenia,
- zdarzenie podwójnego stuknięcia (*DOUBLE_TAP*), przy czym odpowiednie rejestry przechowują informację na temat osi, dla której wykryto wystąpienie zdarzenia,
- ruch urządzenia (*ACTIVITY*),
- bezruch urządzenia (*INACTIVITY*),
- swobodny upadek (*FREE_FALL*),
- zajętość bufora FIFO (*WATERMARK*), które to zdarzenie zachodzi, gdy liczba danych pomiarowych w buforze danych FIFO jest równa wartości zdefiniowanej przez dedykowany rejestr.

Dodatkowo, należy podkreślić, że wszystkie zdarzenia poza zdarzeniem *DATA_READY* mają dodatkowe rejestry konfiguracyjne, dzięki którym możemy określić parametry pracy charakterystyczne dla każdego z nadzorowanych

Ustawienia ważniejszych fusebits:

- CKSEL3...0: 0100
- SUT1...0: 10
- CKDIV8: 1
- CKOPT: 1
- JTAGEN: 1
- BODEN: 1
- SPIEN: 0
- OCDEN: 1
- BOOTSZ: 1

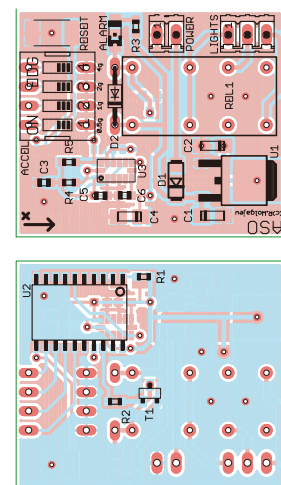


Rysunek 3. Kompletny diagram funkcjonalny programu obsługi układu ASO.

zagadnień, aby sensor generował przerwania w ściśle określonych warunkach pracy. Ponadto, dzięki wbudowanemu buforowi danych FIFO, wyposażonemu w cztery tryby pracy (*Bypass, FIFO, Stream* i *Trigger*) oraz mechanizmowi zdarzenia *WATERMARK* staje się możliwe odciążenie procesora z ciągłego nadzorowania stanu pracy układu ADXL343 i ograniczenie niezbędnej transmisji danych wyłącznie po zajściu wspomnianego zdarzenia. To właśnie ten mechanizm został wykorzystany w programie obsługi prezentowanego urządzenia.

Algorytm działania układu ASO jest następujący: tuż po włączeniu zasilania akcelerometr konfigurowany jest do pracy z częstotliwością wykonywania pomiarów równą 25 Hz, wybierany jest zakres pomiaru 8 g, pełna rozdzielczość pomiarowa (3,9 mg/LSB co daje w tym wypadku 12-bitową wartość przyspieszenia), aktywowane jest przerwanie INT1 od zdarzenia *DATA_READY* (gotowość danych pomiarowych) z aktywnym poziomem niskim (co ozna-

cza, iż w stanie bezczynności wyjście INT1 akcelerometru jest na poziomie wysokim) oraz jest inicjowany proces pomiarowy. Następnie, akty-



Rysunek 4. Schemat montażowy układu ASO

Listing 1. Procedura obsługi przerwania INT0 odpowiedzialna za odczyt danych przyspieszenia

```

/* Poniższa procedura wywoływana jest, gdy akcelerometr ma gotowy komplet
danych do odczytania. Zeruje wtedy wyprowadzenie INT i utrzymuje je do czasu
odczytania z niego wszystkich danych. Odczytanie danych z jego pamięci
powoduje ustawienie tego wyprowadzenia (stan spoczynkowy). Nie używamy bufora
FIFO akcelerometru.
Zmienna AccelX -> S X10...X0 -> zakres +- 2047 -> 3.9g/LSB */

ISR(INT0_vect)
{
  uint16_t AccelX; //Zmierzona wartosc przyspieszenia w osi X
  register uint8_t idx;
  i2cStart();
  //Adres akcelerometru w trybie zapisu
  i2cWriteByte(ACCEL_WRITE_ADDR);
  //Startowy adres rejestru, z którego dane chcemy odczytać - X0
  i2cWriteByte(DATA_X0_REG);
  i2cStart(); //Powtórzony Start
  //Adres akcelerometru w trybie odczytu
  i2cWriteByte(ACCEL_READ_ADDR);
  AccelX = i2cReadByte(ACK); //X0
  AccelX |= ( i2cReadByte(ACK) & 0x0F) << 8); //X1
  //Odczyt 4-ech, pozostałych, nieistotnych bajtów osi Y i Z
  //ostatni odczyt bez potwierdzenia ACK - NACK
  for(idx=0; idx<4; idx++) i2cReadByte(3-idx);
  i2cStop();
  //Odczyt DIPSWITChA - zakres 0...15,
  //(idx << 7) -> zakres 0...1920 (0...7,48g)
  idx = (~PINB) & 0x0F;
  //Sprawdzamy bit znaku przyspieszenia (bit S) - czy
  //wyzerowany (przyspieszenie dodatnie)
  if(!(AccelX & 0x800))
  {
    //Sprawdzamy przekroczenie progu przyspieszenia
    if(AccelX > (idx << 7)) RELAY_ON;
  }
  //Dla przyspieszeń < -0.3g (77x3.9mg) wyłączamy przełącznik
  //(ruszenie pojazdu po nagłym hamowaniu)
  else if(AccelX < 4095-77) RELAY_OFF;
}

```

wowane zostaje przerwanie INT0 mikrokontrolera (od poziomu niskiego), po czym program obsługi urządzenia przechodzi do pętli głównej, w której to sprawdza wyłącznie stan przycisku RESET. Dalsza obsługa transmisji pomiędzy mikrokontrolerem a akcelerometrem (w naszym wypadku dzięki programowej implementacji interfejsu I²C) jest wykonywana w przerwanii INT0 mikrokontrolera, które, jak łatwo się domyślić, jest zgłaszane po każdym cyklu pomiarowym układu ADXL343 zakończonym zgłoszeniem tego faktu poprzez ściągnięcie jego wyprowadzenia oznaczonego INT1 do logicznego „0”, czyli 25 razy na sekundę. Procedura obsługi przerwania INT0 mikrokontrolera odczytuje każdorazowo wszystkie dane pomiarowe (dla osi X, Y i Z) zarejestrowane przez akce-

lerometr i w wypadku, gdy przyspieszenie w osi X jest większe niż próg zadziałania ustawiony za pomocą przełącznika DIP, załącza przełącznik sterujący REL1 oraz zapala diodę sygnalizacyjną ALARM. Jest możliwe ustawienie wartości przyspieszenia w zakresie 0...7,5 g z rozdzielczością 0,5 g, przy czym załączenie odpowiedniej sekcji przełącznika (pozycja ON) powoduje dodanie do wartości progowej odpowiedniej, wynikającej z opisu, wartości przyspieszenia. Wyłączenie przełącznika sterującego następuje po osiągnięciu przez pojazd przyspieszenia około 0,3 g z przeciwnym kierunkiem działania w osi X (czyli po ruszeniu pojazdu następującego po nagłym, awaryjnym hamowaniu) lub po wciśnięciu przycisku RESET. Wartość przyspieszenia, po jakim nastąpi zadziałanie układu

ASO, należy ustalić eksperymentalnie podczas awaryjnego hamowania pojazdu. Przy czym, co oczywiste, należy zachować wszystkie zasady bezpieczeństwa ruchu, a sam proces przeprowadzić na wyłączonym z ruchu odcinku drogi, aby nie stworzyć zagrożenia dla innych użytkowników.

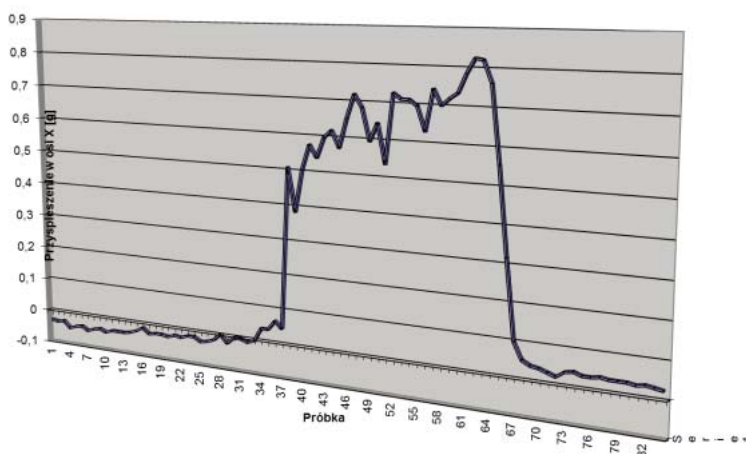
Procedurę obsługi przerwania od wejścia INT0 przedstawiono na **listingu 1**, zaś na **rysunku 3** zaprezentowano kompletny diagram funkcjonalny obrazujący konstrukcję programu obsługi urządzenia oraz zastosowane mechanizmy programowe.

Montaż

Schemat montażowy układu ASO pokazano na **rysunku 4**. Jak widać zaprojektowano bardzo zwartą i niewielką konstrukcję z przewagą elementów SMD umieszczając, na co należy zwrócić szczególną uwagę, poszczególne elementy po obu stronach obwodu drukowanego. Z uwagi na dość kłopotliwą obudowę akcelerometru (typu LGA-14) przy montażu układu ASO najlepiej wyposażyć się w stację lutowniczą typu Hot Air oraz odpowiednie, przeznaczone do tego celu, topniki lutownicze. Jak zwykle, rozpoczynamy od wlotowania wszystkich elementów biernych, następnie montujemy wszelkiego rodzaju półprzewodniki a na końcu elementy mechaniczne oraz elementy do montażu przewlekane. Każdorazowo należy uważać by nie uszkodzić termicznie poszczególnych elementów, zwłaszcza półprzewodników. Poprawnie zmontowany układ powinien działać bezpośrednio po włączeniu zasilania. Styki wykonawcze przełącznika REL1 (złącze LIGHTS) należy, co oczywiste, podłączyć do odpowiednich styków wyłącznika świateł awaryjnych pojazdu. Aby zapewnić prawidłowy pomiar przyspieszeń obwód drukowany układu ASO powinien być solidnie zamontowany w pozycji poziomej i zgodnie z kierunkiem jazdy (kierunek ten zaznaczono przy pomocy symbolu strzałki na warstwie opisowej płytki drukowanej układu). Na **rysunku 5** przedstawiono wykres zależności przyspieszenia (w osi X) w funkcji czasu zarejestrowany podczas hamowania na śliskiej nawierzchni.

Robert Wołgajew, EP

Hamowanie na śliskiej powierzchni



Rysunek 5. Wykres zależności przyspieszenia w funkcji czasu zarejestrowany podczas hamowania na śliskiej powierzchni