

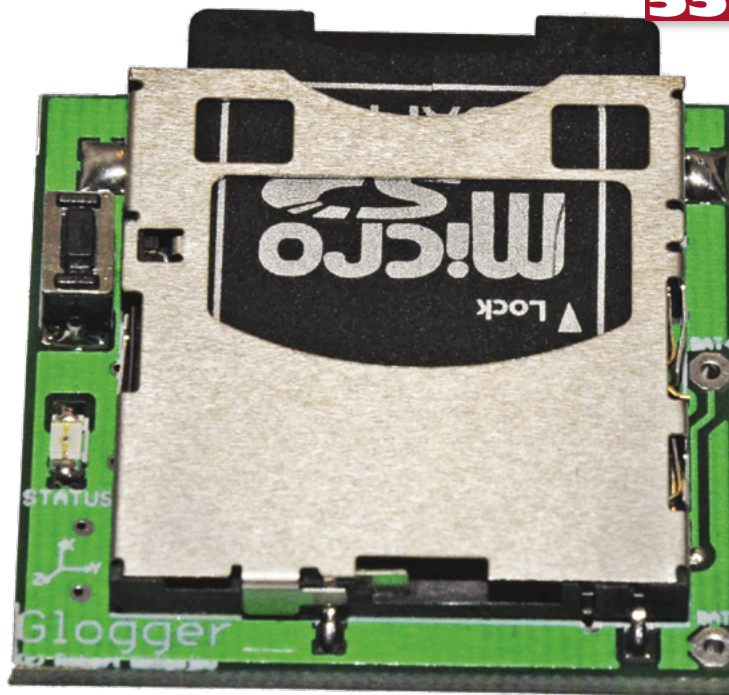
gLogger

3-osiovy rejestrator przyspieszenia

**AVT
5387**

Współcześnie dołączenie do mikrokontrolera AVR karty pamięci SD i układu do pomiaru przyspieszenia nie stanowi problemu. Przykładem takiego połączenia jest prezentowany gLogger – energooszczędny system do rejestrowania przyspieszenia statycznego (siły przyciągania ziemskiego) i dynamicznego, rejestrujący wartości przyspieszenia w trzech osiach na wbudowanej karcie pamięci SD.

Rekomendacje: miernik może przydać się w układach nawigacji inercyjnej lub pasjonatom motoryzacji, do pomiaru przyspieszenia pojazdu.



Jeszcze do niedawna budowa systemu do pomiaru nieelektrycznych wielkości fizycznych pozostawała w sferze marzeń, głównie za sprawą niezbędnego wyposażenia, bez którego nie sposób było wykonać precyzyjne elementy układów pomiarowych. Na szczęście, rozwój technologii MEMS i jej ekspansja na coraz to nowe płaszczyzny zastosowań (kompleksowe systemy pomiarowe, przetworniki audio, kompletne medyczne systemy diagnostyczne) zrewolucjonizował tę gałąź elektroniki, co umożliwiło z kolei implementację tego typu pomiarów na prostych platformach sprzętowych.

Schemat proponowanego rozwiązania rejestratora przyspieszenia pokazano na **rysunku 1**. Jego „sercem” jest mikrokontroler ATmega32A taktowany za pomocą wewnętrznego oscylatora (8 MHz). Ten układ realizuje obsługę scalonego, 3-osioowego czujnika przyspieszenia ADXL343 z użyciem sprzętowego interfejsu szeregowego TWI (kompatybilnego z I²C). Karta pamięci SD jest obsługiwana za pomocą sprzętowego interfejsu SPI oraz nieskomplikowanego interfejsu użytkownika złożonego z jednej diody LED i jednego przycisku typu microswitch.

Akcelerometr ADXL343

Pomiar przyspieszenia jest możliwy dzięki zastosowaniu scalonego akcelerometru 3-osioowego ADXL343 z wyjściem cyfrowym. Akcelerometr jest elementem o doskonałych parametrach elektrycznych. Ponadto, dzięki wyposażeniu go w interfejsy I²C oraz SPI, jego dołączenie do systemu pomiarowego jest bardzo

łatwe. Dzięki bogatemu wyposażeniu czujnika nie ma potrzeby stosowania wysokostabilnych przetworników A/C w celu uzyskania wartości pomiarowych.

Akcelerometr ma możliwość elastycznego konfigurowania. Charakteryzuje się następującymi wybranymi parametrami użytkowymi:

- pomiar przyspieszenia statycznego oraz dynamicznego w 3 osiach z maksymalną rozdzielczością 13-bitów,
- rozdzielczość jest konfigurowalna (3,9 mg/LSB), dzięki czemu akcelerometr może być z powodzeniem stosowany w układach pomiaru nachylenia,
- szeroki zakres napięcia zasilającego: 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 pomiaru: 0,10...3200 Hz,
- mały pobór prądu: 0,04–0,15 mA,
- wbudowane, konfigurowalne mechanizmy obsługi zdarzeń, takich jak: stuknięcie (*tap*), podwójne stuknięcie (*double tap*), bezruch, ruch (aktywność), spadek swobodny,
- 2 niezależne, konfigurowalne wyrowadzenia przerwań sprzętowych generowanych przy wystąpieniu zdarzeń,
- wbudowany bufor FIFO o pojemności 32 pomiarów (32×6 bajtów),
- wbudowany tryb samokontroli (*selftest*) pozwalający na sprawdzenie funkcjonalności

W ofercie AVT* AVT-5387 A

Podstawowe informacje:

- Napięcie zasilania: 3,3 V DC.
- Prąd obciążenia (stan bezczynności/zapis na kartę SD/inicjalizacja): 700 μA/25 mA/34 mA (zależny od rodzaju i producenta karty pamięci).
- Zakres pomiarowy: ±16g.
- Rozdzielczość pomiaru przyspieszenia: 13 bitów (3,9 mg/LSB).
- Błąd liniowości: 0,5%.
- Dokładność pomiaru przyspieszenia: 1%.
- Interwał pomiarowy: 80 ms.

Dodatkowe materiały na CD/FTP:

<ftp://ep.com.pl>, user: 63048, pass: 632vme5

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

Projekty pokrewne na CD/FTP:

(wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)
AVT-5244 GPS-owy rejestrator trasy (EP 7/2010)
AVT-5223 Kieszonkowy akcelerometr (EP 2/2010)
Projekt 132 Miernik przyspieszenia (EP 8/2005)
--- Elektroniczny miernik przyspieszenia (EP 8/1998)

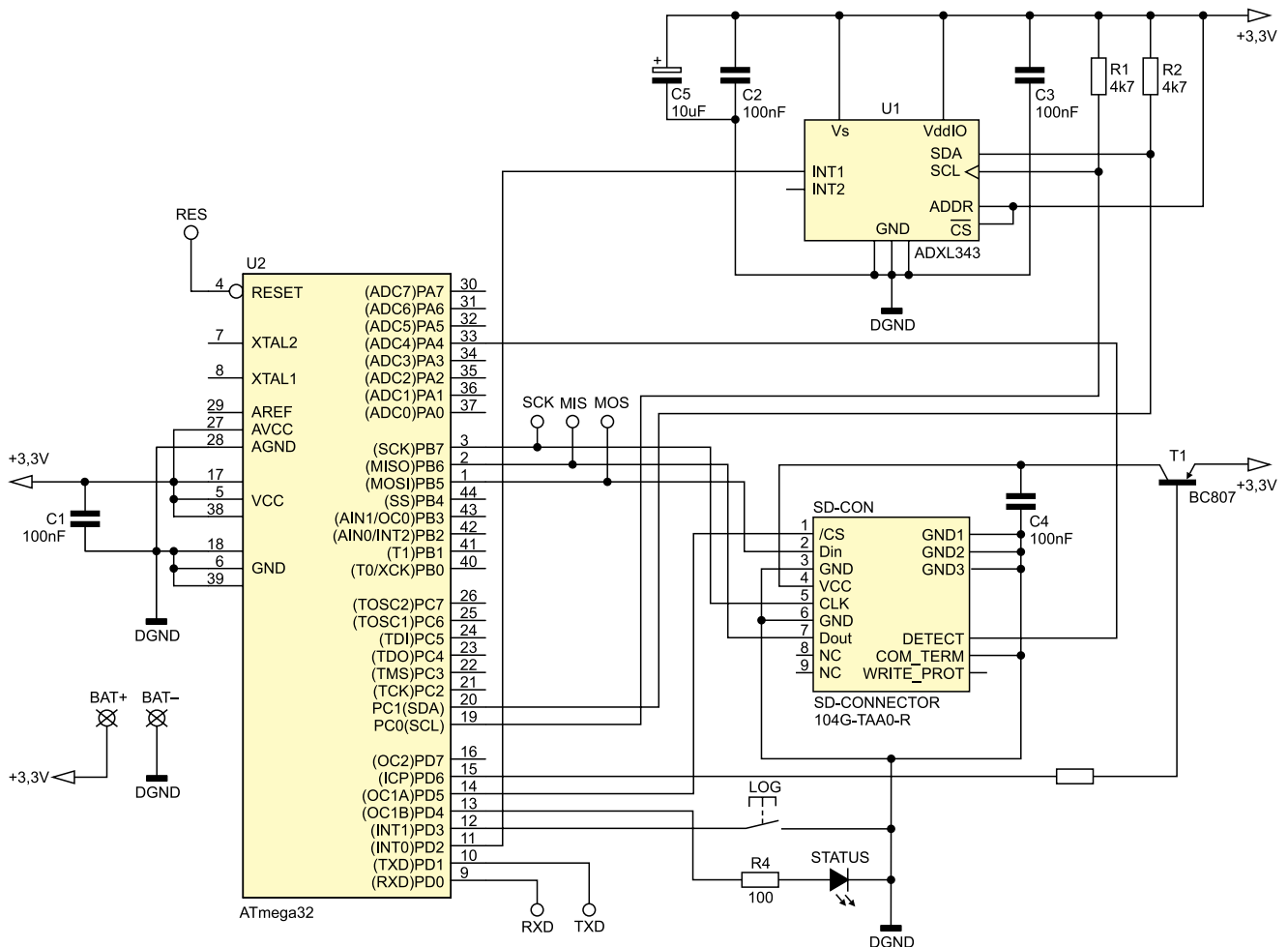
* Uwaga:

Zestawy AVT mogą występować w następujących wersjach:
AVT xxxx UK to zaprogramowany układ. Tylko i wyłącznie. Bez elementów dodatkowych.
AVT xxxx A płytką drukowaną PCB (lub płytki drukowane, jeśli w opisie wyraźnie zaznaczono), bez elementów dodatkowych.
AVT xxxx A+ płytką drukowaną i zaprogramowany układ (czyli połączenie wersji A i wersji UK) bez elementów dodatkowych.
AVT xxxx B płytką drukowaną (lub płytki) oraz komplet elementów wymienionych w załączniku pdf
AVT xxxx C to nic innego jak zmontowany zestaw B, czyli elementy wstawiane 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 CD 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>

struktury elektronicznej i mechanicznej akcelerometru,

- możliwość automatycznej kompensacji offsetu pomiarowego.

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



Rysunek 1. Schemat ideowy układu gLogger

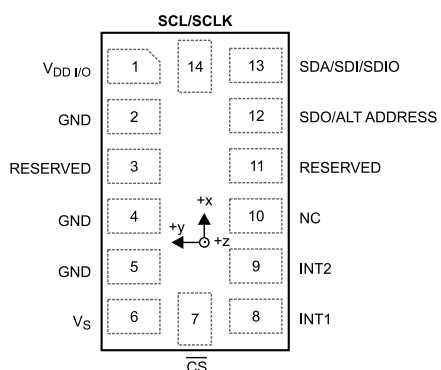
Na **rysunku 3** przedstawiono odpowiedź układu ADXL343 w zależności od położenia jego obudowy w stosunku do współrzędnych XYZ. Już z pobieżnej lektury wymienionych parametrów użytkowych wynika, że producent akcelerometru wyposażył go w wiele przydatnych, przemysłowych rozwiązań sprzętowych i funkcjonalnych. Pozwalają one na łatwe użycie sensora w docelowym systemie mikroprocesorowym i zapewniają elastyczność aplikacji. Jednym z takich rozwiązań jest możliwość generowania przerwań sprzętowych po wystąpieniu zaprogramowanego zdarzenia. Istnieje przy tym możliwość wyboru wyprowadzenia akcelerometru, które ma być użyte do sygnalizowania

przerwania (INT1 lub INT2) oraz określenia jego poziomu aktywnego (niski lub wysoki). Do zdarzeń, które mogą generować przerwania należą:

- gotowość danych pomiarowych (*DATA_READY*),
- pojedyncze stuknięcie (*TAP*), przy czym odpowiednie rejestry przechowują informację na temat osi, dla której wykryto wystąpienie zdarzenia,
- zdarzenie podwójnego stuknięcia (*DOUBLE_TAP*) z danymi jak wyżej,

- 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 (jeśli jest używany) jest równa zdefiniowanej wartości.

Wszystkie zdarzenia, poza zdarzeniem *DATA_READY*, mają dodatkowe, związane z nimi rejestry konfiguracyjne, dzięki którym



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

można określić parametry zdarzenia. Ponadto, dzięki wbudowanemu buforowi danych FIFO (możliwość pracy w trybach Bypass, FIFO, Stream i Trigger) oraz mechanizmowi *WATER-MARK*, możliwe stało się odciążenie procesora z ciągłego nadzorowania stanu ADXL343, zaoszczędzenie mocy obliczeniowej i ograniczenie liczby przesyłanych danych.

Zasada działania

Akcelerometr ADXL343 jest obsługiwany przy użyciu wbudowanego w mikrokontroler ATmega32 interfejsu TWI pracującego z częstotliwością sygnału zegarowego 200 kHz. Tuż po włączeniu zasilania akcelerometr zostaje skon-

figurowany do pracy z częstotliwością wykonywania pomiarów równą 12,5 Hz, jest wybierany zakres pomiaru 16g, pełna rozdzielczość pomiarowa (13-bitów) oraz aktywowane przetrwanie od zdarzenia DATA_READY (gotowość danych pomiarowych) z aktywnym poziomem niskim (co oznacza, iż w stanie bezczynności na wyjściu INT1 akcelerometru występuje poziom wysoki). Następnie akcelerometr jest wprowadzany w tryb Standby (nie wykonuje pomiarów, pobór prądu rzędu 0,1 µA), oczekując na rozkaz inicjujący pomiar.

Mikrokontroler, po przeprowadzeniu niezbędnych czynności dotyczących obsługi karty pamięci SD, konfiguruje własne przerwania

zewnętrzne INT0 i INT1 jako przerwanie wyzwalane poziomem niskim, zezwala na obsługę przerwania INT1 (odpowiedzialnego za obsługę przycisku LOG) oraz przechodzi w tryb PowerDown (pobór prądu rzędu 0,4 µA), z którego może zostać wybudzony poprzez obsługę przycisku LOG (na tę chwilę). Następnie, każde ściśnięcie przycisku LOG wybudza mikrokontroler ze stanu PowerDown i powoduje wykonanie procedury obsługi przerwania INT1, w której następuje aktywacja/deaktywacja procesu pomiarowego i ponowne uśpienie mikrokontrolera (już w pętli głównej programu obsługi).

Aktywacja procesu pomiarowego polega na zezwoleniu na przerwanie INT0 oraz wy-

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

```

;Ta procedura zachodzi, gdy akcelerometr ma gotowy komplet danych do odczytania - wtedy zeruje wyprowadzenie INT1
;i utrzymuje ten poziom do czasu odczytania wszystkich danych. Odczytanie danych z pamięci akcelerometru powoduje
ustawienie wyprowadzenia INT1.
;Zmienne przyspieszenia (13 bitów): S X11...X8| X7...X0 -> zakres +- 4095 -> 3.9g/LSB
Read acceleration:
    Twcr = &B10100100 ,Wysłanie START: TWINT=1, TWSTA=1, TWEN=1
;Czekamy, aż interfejs TWI wykona Start i ustawi flagę TWINT
    Bitwait Twcr.twint , Set
;Do rejestru danych TWI wpisujemy adres akcelerometru w trybie zapisu
    Twdr = Accel write_addr
    Twcr = &B10000100
;Inicjujemy proces wysłania bajta danych: TWINT=1, TWSTA=0, TWEN=1. ;Czekamy, aż TWI wyśle Adres i ustawi flagę TWINT
    Bitwait Twcr.twint , Set
;Do rejestru danych TWI wpisujemy adres rejestru X0
    Twdr = Data_x0_reg
;Inicjujemy proces wysłania bajta danych: TWINT=1, TWSTA=0, TWEN=1
    Twcr = &B10000100
;Czekamy, aż interfejs TWI wyśle Adres i ustawi flagę TWINT
    Bitwait Twcr.twint , Set
;Inicjujemy wysłanie sygnału RESTART: TWINT=1, TWSTA=1, TWEN=1
    Twcr = &B10100100
;Czekamy, aż interfejs TWI wykona Start i ustawi flagę TWINT
    Bitwait Twcr.twint , Set
;Do rejestru danych TWI wpisujemy adres akcelerometru w trybie odczytu
    Twdr = Accel read_addr
;Inicjujemy wysłanie bajta: TWINT=1, TWEN=1, TWSTA=0
    Twcr = &B10000100
;Czekamy, aż TWI wyśle Adres i ustawi flagę TWINT
    Bitwait Twcr.twint , Set
;Inicjujemy odbiór bajta - potwierdzamy ACK
    Twcr = &B11000100
;Czekamy na odbiór bajtu sygnalizowany flagą TWINT
    Bitwait Twcr.twint , Set
    Byte0 = Twdr ,X0
;Inicjujemy odbiór bajta - potwierdzamy ACK
    Twcr = &B11000100
;Czekamy na odbiór bajtu sygnalizowany flagą TWINT
    Bitwait Twcr.twint , Set
    Acc_x = Twdr And &B00011111 ,X1
    Shift Acc_x , Left , 8
;13-bitowa wartość przyspieszenia w osi X w kodzie U2
    Acc_x = Acc_x Or Byte0
;Inicjujemy odbiór bajtu - potwierdzamy ACK
    Twcr = &B11000100
;Czekamy na odbiór bajtu sygnalizowany ustawieniem TWINT
    Bitwait Twcr.twint , Set
    Byte0 = Twdr ,Y0
;Inicjujemy odbiór bajta - potwierdzamy ACK
    Twcr = &B11000100
;Czekamy na odbiór bajtu sygnalizowany ustawieniem TWINT
    Bitwait Twcr.twint , Set
    Acc_y = Twdr And &B00011111 ,Y1
    Shift Acc_y , Left , 8
;13-bitowa wartość przyspieszenia w osi Y w kodzie U2
    Acc_y = Acc_y Or Byte0
;Inicjujemy odbiór bajtu - potwierdzamy ACK
    Twcr = &B11000100
;Czekamy na odbiór bajtu sygnalizowany ustawieniem TWINT
    Bitwait Twcr.twint , Set
    Byte0 = Twdr ,Z0
;Inicjujemy odbiór bajtu - bez potwierdzania, bo to ostatni bajt
    Twcr = &B10000100
    Bitwait Twcr.twint , Set
    Acc_z = Twdr And &B00011111 ,Z1
    Shift Acc_z , Left , 8
;13-bitowa wartość przyspieszenia w osi Z w kodzie U2
    Acc_z = Acc_z Or Byte0
;Wysłanie sygnału Stop: TWINT=1, TWSTO=1 i TWEN=1
    Twcr = &B10010100
;Konwersja na tekst
    Strvalue = Str(acc_x) + ", " + Str(acc_y) + ", " + Str(acc_z)
;Zapamiętanie danych na karcie SD - wartości przyspieszeń w kodzie U2
;Konwersja na kod dziesiętny i mnożenie przez 3,9mg
    Open „log.txt” For Append As #1 ,Otwieramy plik
    Print #1 , Strvalue
    Close #1 ,Zamykamy plik
Return
    
```


włączeniu zasilania, rejestracja danych jest nieaktywna. Należy podkreślić, że przed każdym wyłączeniem zasilania wspomniana rejestracja **musi być zatrzymana** by nie doszło do sytuacji, gdy w trakcie zapisu danych na kartę dojdzie do odłączenia zasilania układu, co może spowodować uszkodzenie plików.

Dla ograniczenia poboru mocy program obsługi wyłącza komparator analogowy i Watchdog. Za pomocą fuse bitów są wyłączane Brown-out detector i On-chip Debug System. Na **rysunku 4** pokazano diagram funkcjonalny obrazujący konstrukcję programu obsługi urządzenia oraz zastosowane mechanizmy programowe.

Uważny Czytelnik zauważy z pewnością, iż korzystając z przewidzianej, programowej możliwości sterowania zasilaniem karty SD (tranzystor T1 i rezystor R3) można byłoby jeszcze bardziej ograniczyć zużycie prądu podczas uspiania mikrokontrolera poprzez wyłączanie zasilania tejże karty w tym stanie pracy urządzenia (tak jak ma to miejsce podczas problemów z inicjalizacją jej sterownika). Z jednej strony jest to bardzo dobry pomysł z drugiej zaś tego typu rozwiązanie wydłużyłoby znacznie czas obsługi przerwania INT0 (a więc czas wybudzenia), gdyż po włączeniu zasilania karty należałoby każdorazowo inicjalizować jej sterownik, a trzeba wiedzieć, iż właśnie podczas inicjalizacji sterownika układy interfejsowe karty pobierają największy prąd. Biorąc to wszystko pod uwagę, zrezygnowano z rozwiązania tego typu pozostawiając zasilanie karty SD włączone na stałe. Inną sprawą jest, iż każdorazowa inicjalizacja sterownika karty SD zabierając cenny czas procedury INT0 nie pozwoliłaby na tak dużą częstość pomiarów przyspieszenia.

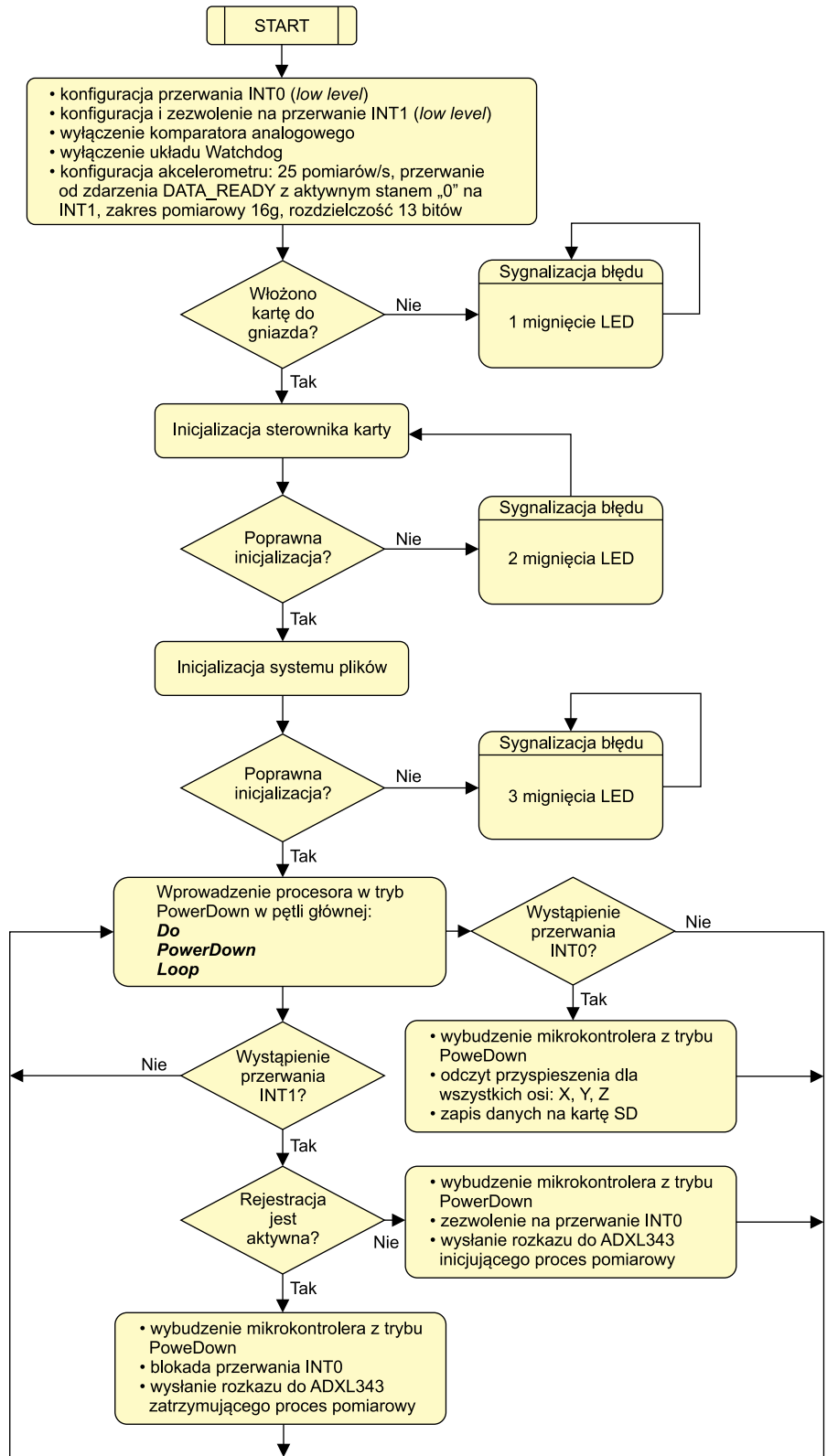
Montaż

Schemat montażowy rejestratora pokazano na **rysunku 5**. Rejestrator ma zwartą, niewielką konstrukcję wykonaną z użyciem elementów SMD. Są one montowane na obu warstwach płytki. Z uwagi na dość kłopotliwą w montażu obudowę akcelerometru (typu LGA-14), trzeba zastosować stację lutowniczą na gorące powietrze oraz odpowiednie topniki.

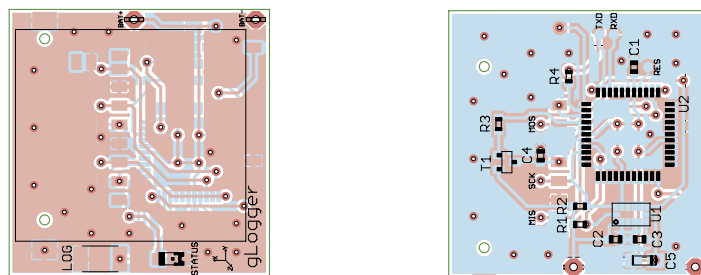
Montaż rozpoczynamy od wlutowania wszystkich elementów biernych, następnie półprzewodnikowych. Na samym końcu montujemy elementy mechaniczne. Należy uważać, by nie uszkodzić termicznie komponentów, zwłaszcza półprzewodnikowych.

Poprawnie zmontowany układ powinien działać po włączeniu zasilania. Należy zwrócić szczególną uwagę na polaryzację źródła zasilania, ponieważ urządzenie nie zostało zabezpieczone przed przypadkowym odwróceniem polaryzacji.

Robert Wołgajew, EP



Rysunek 4. Diagram funkcjonalny programu obsługi gLoggera



Rysunek 5. Schemat montażowy gLoggera