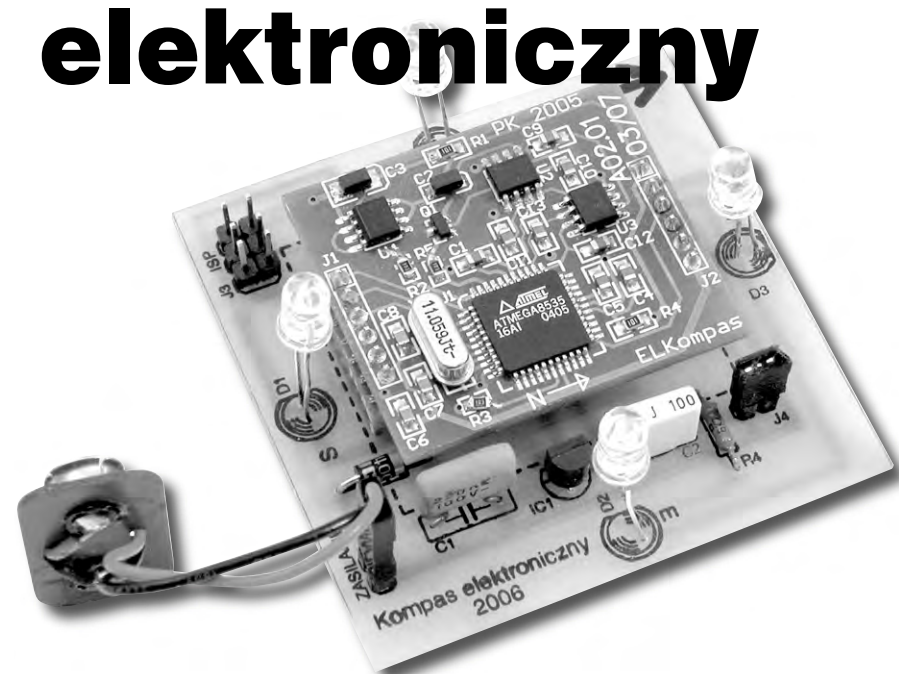


# Kompas elektroniczny AVT-986

Tradycyjne kompasy kojarzą się nam z okrągłą, wyskalowaną tarczą (tzw. różą kompasową) i obracającą się na jej tle igłą magnetyczną. Jakkolwiek takie urządzenia są wciąż bardzo popularne, elektroników z pewnością bardziej zainteresuje możliwość zbudowania własnego urządzenia elektronicznego spełniającego podobną funkcję.

## Rekomendacje:

wprawdzie wędrować „na azymut” z opisywanym kompasem się nie da, ze względu na zbyt małą jego dokładność, jednak projekt może stanowić ciekawą inspirację do własnych prób wykonania przyrządu nadającego się do zastosowań „outdoor”.



W artykule zamieszczamy opis projektu kompasu elektronicznego z czujnikiem pola magnetycznego. W celu minimalizacji kosztów zastosowano pewne uproszczenia konstrukcji. Jest to więc kompas o niskiej rozdzielczości, określanej niekiedy jako 8-segmentowy, przeznaczony do wykorzystania jako wskaźnik jednego z ośmiu kierunków, tj. czterech kierunków głównych: północy (N), południa (S), wschodu (E) i zachodu (W) oraz czterech kierunków pośrednich (NE, NW, SE, SW).

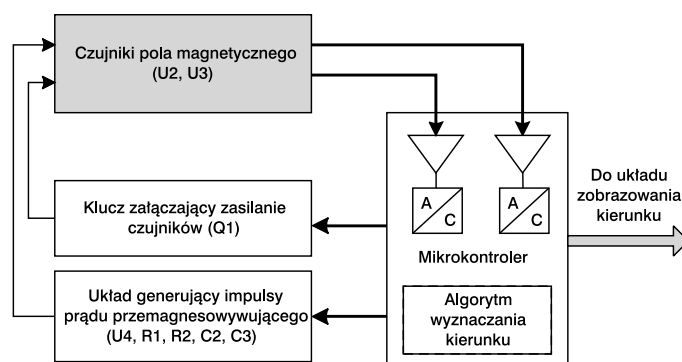
## Budowa kompasu

Schemat blokowy kompasu elektronicznego został przedstawiony na rys. 1. Można w nim wyróżnić cztery bloki: mikrokontroler, czujniki pola magnetycznego, klucz załączający zasilanie czujników oraz układ generujący impulsy prądu przemagnesowującego czujniki.

Na rys. 2 pokazano schemat ideowy kompasu. Mikrokontroler serii AVR ATmega8535 (U1) pełni rolę układu sterująco-obliczeniowego. Sygnał z pierwszego czujnika magnetycznego (U2) podawany jest na wejście ADC0 i ADC1 przetwornika analogowo-cyfrowego mi-

krokontrolera, a z drugiego czujnika (U3) na ADC2 i ADC3. Kondensatory C10...C13 wraz z rezystancjami wewnętrznymi czujników pełnią rolę filtrów dolnoprzepustowych. Przetwornik A/C pracuje w multiplexowanym trybie 2-kanalowym z wejściami symetrycznymi. Napięcie wejściowe przed poddaniem przetwarzaniu A/C jest wzmacniane 200 razy przez wewnętrzny (wbudowany w mikrokontroler) wzmacniacz różnicowy. Napięciem odniesienia dla przetwornika A/C jest wewnętrzne źródło  $V_{REF} = 2,56 \text{ V}$ . Zakres przetwarzania przetwornika A/C dla każdego kanału wynosi  $-V_{REF}/G \dots V_{REF}/G$  (gdzie  $G$  jest wzmocnieniem wewnętrznego wzmacniacza różnicowego), czyli  $-12,8 \text{ mV} \dots +12,8 \text{ mV}$ .

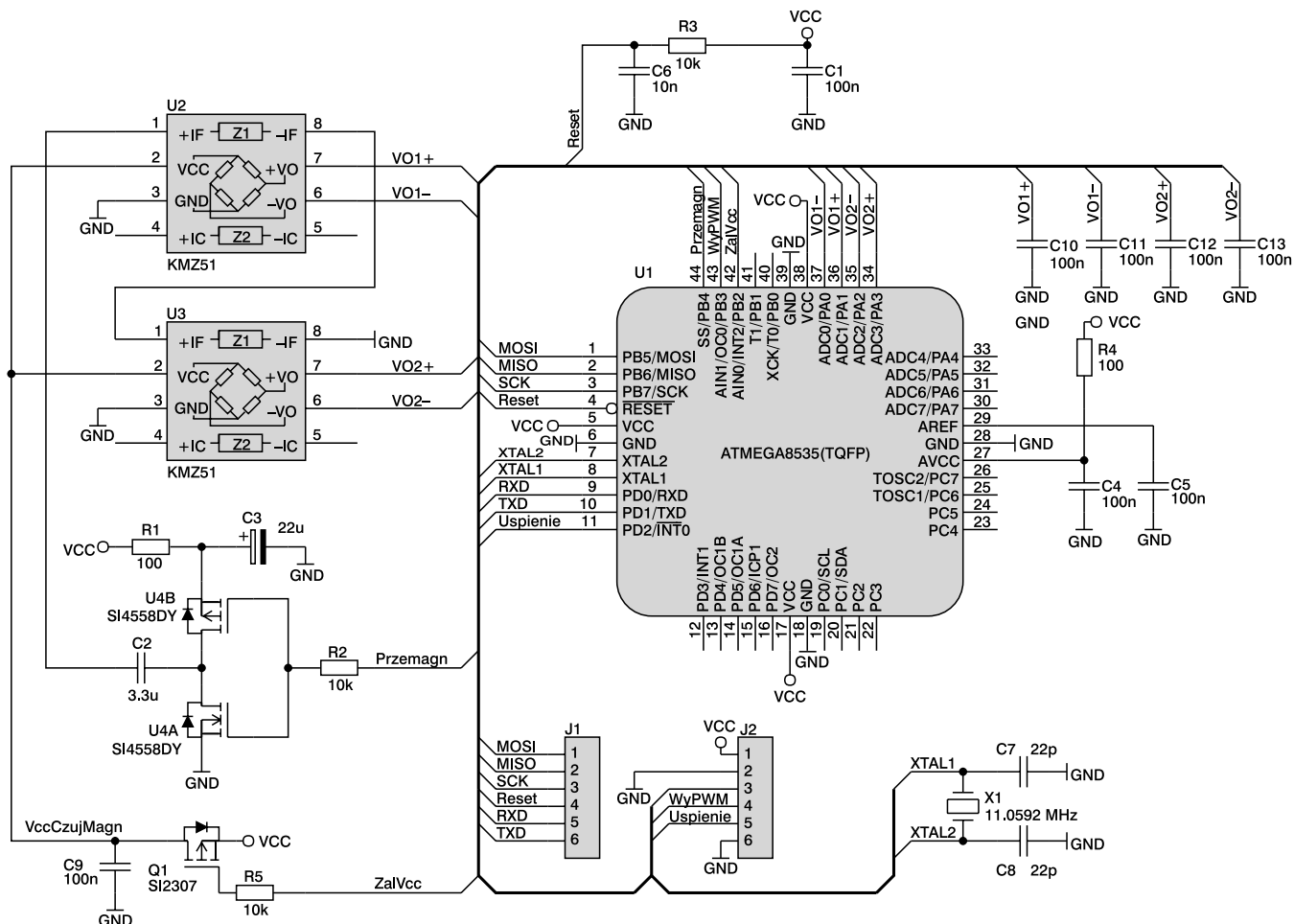
W celu oszczędzania energii, zasilanie czujników pola magnetycznego jest wyłączane na czas, kiedy mikrokontroler pozostaje w trybie uśpienia. W tym celu zastosowano klucz tranzystorowy zbudowany w oparciu o tranzystor MOSFET SI-



Rys. 1. Schemat blokowy kompasu elektronicznego

### PODSTAWOWE PARAMETRY

- Płytko o wymiarach 40x35 mm (moduł kompasu), 60x60 mm (płytko zobrazowania kierunku)
- Zasilanie 7...15 V
- Wskazywane kierunki: N, W, S, E, NW, SW, SE, NE
- Sygnalizacja kierunku: 4 diody LED



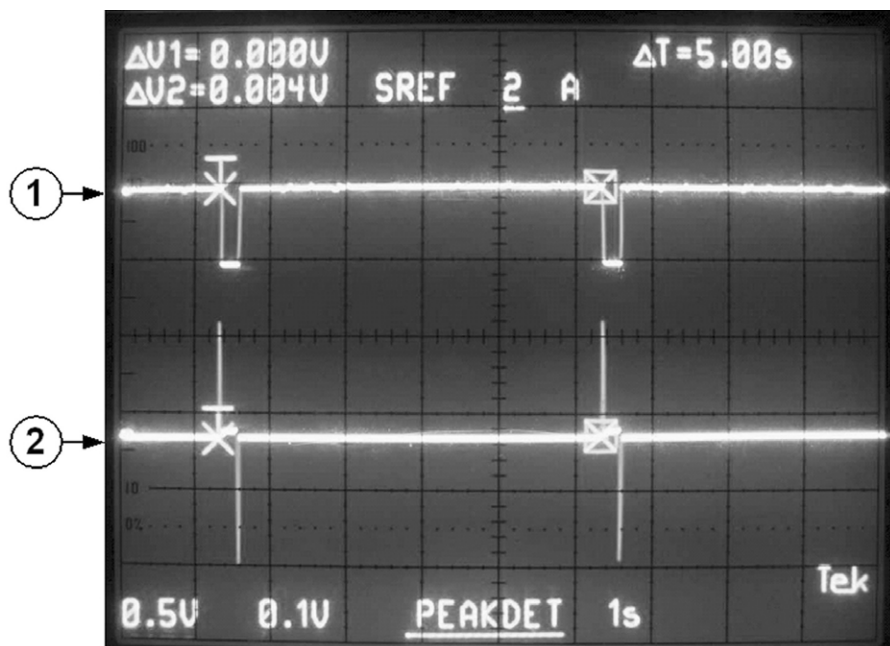
Rys. 2. Schemat ideowy kompasu elektronicznego

2307 (Q1). Zastosowanie tranzystora MOSFET umożliwia napięciowe sterowanie pracą klucza wprost z linii PB.2. Pojawienie się logicznego stanu niskiego na tej linii załącza zasilanie czujników.

Eliminacja napięcia offsetu czujników magnetycznych wymaga ich okresowego przemagnesowywania. W tym celu czujniki zostały wyposażone przez producenta w specjalne cewki przemagnesowujące (o rezystancji ok. 2 Ω), przez które należy wymusić przepływ prądu przemagnesowującego  $I_p$  – w dwóch kierunkach – o wartości (uwaga!) ok. 1 A. Oczywiście nie chodzi tu o zapewnienie ciągłego przepływu prądu o tej wartości (co doprowadziłoby do bardzo szybkiego zużycia baterii), ale o wymuszenie krótkotrwałych impulsów prądu, generowanych z małą częstotliwością, dzięki czemu średnia wartość prądu pobieranego z układu zasilania jest bardzo mała. Konieczne jest, aby prąd ten był dwukierunkowy, zastosowano więc specjalny układ (U4, R1, R2, C2, C3) generujący jego dodatnie i ujem-

ne impulsy. Układ ten jest sterowany z linii PB.4 mikrokontrolera. Kondensator C3 pełni rolę magazynu

energii. W momencie pojawienia się stanu niskiego na linii PB.4 zostaje wysterowany tranzystor U4B



Rys. 3. Przebiegi czasowe napięcia na linii PB.4, sterującego generatorem impulsów prądu przemagnesowującego (1) oraz napięcia na cewkach przemagnesowujących czujników pola magnetycznego (2)

**WYKAZ ELEMENTÓW**

**Moduł kompasu**

**Rezystory**

R1, R4: 100 Ω (0805)  
R2, R3, R5: 10 kΩ (0805)

**Kondensatory**

C1, C4, C5, C9, C10, C11, C12, C13: 100 nF (0805)  
C6: 10 nF (0805)  
C7, C8: 22 pF (0805)  
C3: 22 μF/16 V (3528)  
C2: 3,3 μF/16 V (3216)

**Półprzewodniki**

U1: ATmega8535 (TQFP44)  
U2, U3: KMZ51 (SO8-150)  
U4: SI4558DY (SO8-150)  
Q1: SI2307 (SOT23)

**Inne**

X1: kwarc 11,0592 MHz  
J1, J2: goldpin 6 męski

**Wyświetlacz**

**Rezystory**

R1, R2, R3, R4: 330 Ω

**Kondensatory**

C1, C2: 220 nF

**Półprzewodniki**

D1, D2, D3, D4: diody LED 5 mm  
D5: 1N4001

**Inne**

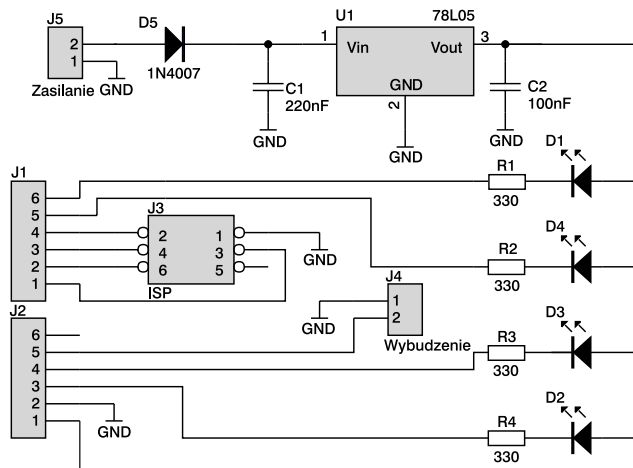
J1, J2: goldpin 6 żeński  
J3: goldpin 2x3 męski  
J4, J5: goldpin 2 męski

(i jednocześnie zatkany tranzystor U4A). Kondensator C3 rozładowuje się wówczas powodując przepływ dodatniego impulsu prądu przez cewki przemagnesowujące. Sytuacja taka trwa do momentu naładowania się kondensatora C2. W chwili pojawienia się wysokiego stanu na linii PB.4 zostaje otwarty tranzystor U4A (i jednocześnie zatkany tranzystor U4B) powodując rozładowanie się kondensatora C2 i przepływ prądu przemagnesowującego w przeciwnym kierunku. Generacja impulsów przemagnesowujących odbywa się z okresem 5 sekund.

Na rys. 3 zostały przedstawione oscylogramy napięcia na linii PB.4 – sterującego pracą układu (1) oraz napięcia na cewkach przemagnesowujących (2), wykonane oscyloskopem Tektronix 2230.

Moduł kompasu posiada dwa sześciostykowe złącza typu goldpin – J1 i J2. Na złączu J1 zostały wyprowadzone linie interfejsu ISP (J1 – 1...3) służące do programowa-

nia mikrokontrolera w systemie. Dodatkowo na złączu tym dostępny jest sygnał zerowania mikrokontrolera (J1 – 4) oraz linie portu transmisji szeregowej (J1 – 5 Rx/D, 6 Tx/D) – niewykorzystywane aktualnie w pracy kompasu (mogą być wykorzystane w przyszłych rozwiązaniach, np. do współpracy z innymi systemami). Na złączu J2 dostępne są linie zasilania (VCC +5 V: J2 – 1, masa: J2 – 6) oraz linia „Uśpienie” (J2 – 5) połączona

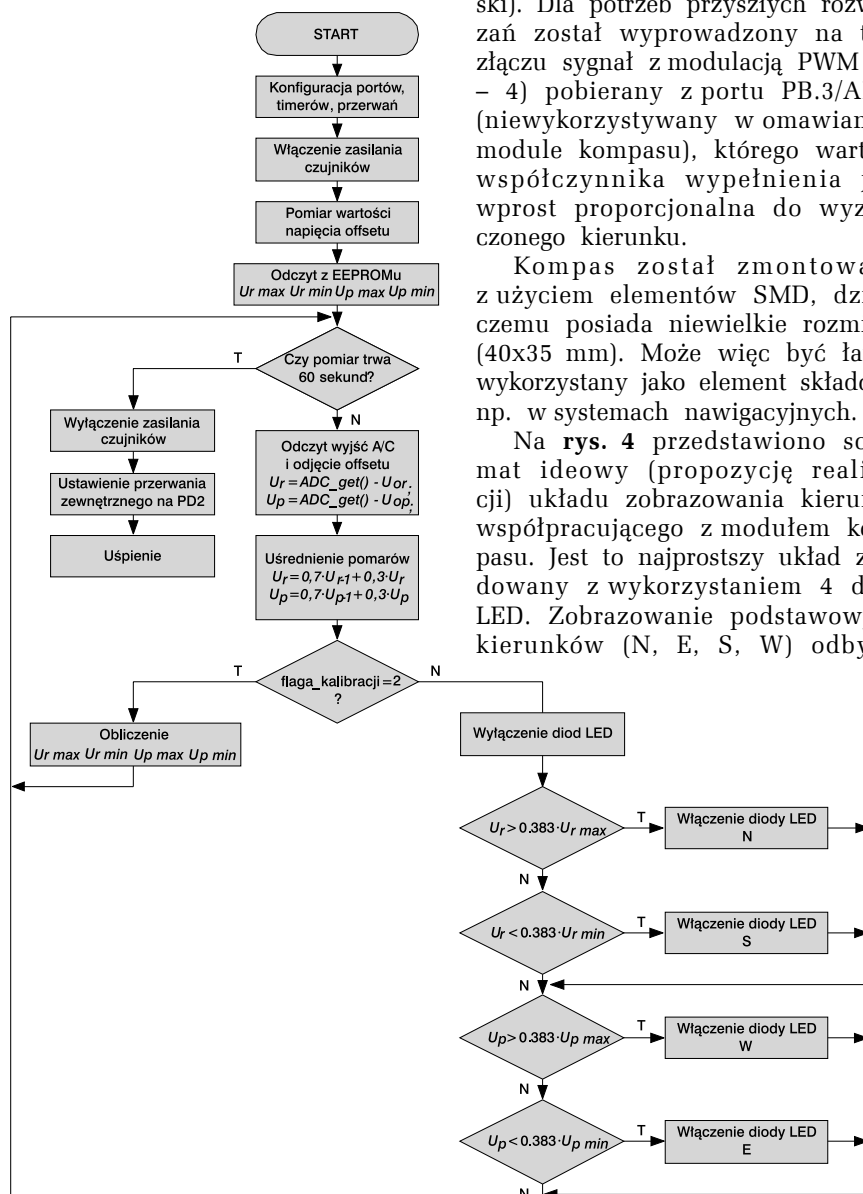


Rys. 4. Schemat ideowy układu zobrazowania kierunku

z portem PD.2/INT0 i wykorzystywana do wybudzenia mikrokontrolera ze stanu uśpienia (aktywny stan niski). Dla potrzeb przyszłych rozwiązań został wyprowadzony na tym złączu sygnał z modulacją PWM (J2 – 4) pobierany z portu PB.3/AIN1 (niewykorzystywany w omawianym module kompasu), którego wartość współczynnika wypełnienia jest wprost proporcjonalna do wyznaczonego kierunku.

Kompas został zmontowany z użyciem elementów SMD, dzięki czemu posiada niewielkie rozmiary (40x35 mm). Może więc być łatwo wykorzystany jako element składowy np. w systemach nawigacyjnych.

Na rys. 4 przedstawiono schemat ideowy (propozycję realizacji) układu zobrazowania kierunku współpracującego z modułem kompasu. Jest to najprostszy układ zbudowany z wykorzystaniem 4 diod LED. Zobrazowanie podstawowych kierunków (N, E, S, W) odbywa



Rys. 5. Algorytm głównej części programu

się poprzez zapalanie jednej diody, natomiast dla zobrazowania kierunków pośrednich (NE, SE, SW, NW) zapalane są jednocześnie dwie diody. Układ ten jest połączony z modułem kompasu poprzez złącza J1 i J2. Do sterowania diodami LED zostały wykorzystane linie PD.0, PD.1, PC.3 i PC.4 mikrokontrolera. Dzięki temu, że porty układu ATmega8535 posiadają wydajność prądową równą 20 mA, diody te mogą być sterowane z nich w sposób bezpośredni (bez pośrednictwa buforów prądowych). Złącze J3 (ISP) jest wykorzystywane do programowania kompasu. Do złącza J4 podłączono przycisk, którego naciśnięcie powoduje wyprowadzenie mikrokontrolera ze stanu uśpienia, umożliwiając wyświetlenie wyznaczonego kierunku. Układ może być zasilany napięciem od +7 V do +15 V doprowadzonym do złącza J5, np. z baterii 9-woltowej 6F22.

### Oprogramowanie kompasu

W układzie kompasu elektronicznego zastosowano odpowiednio oprogramowany mikrokontroler ATmega8535, który jest odpowiedzialny za wykonywanie pomiarów napięcia z czujników magnetorezystancyjnych, określanie azymutu i odpowiednie wysterowanie wskaźnika diodowego. Dzięki zastosowaniu mikrokontrolera układ może być łatwo dostosowany do własnych potrzeb poprzez wymianę oprogramowania. Algorytm głównej części obecnej wersji programu mikrokontrolera przedstawiono na rys. 5.

Rozpoczęcie wykonywania programu następuje po włączeniu zasilania układu lub po wyjściu mikrokontrolera ze stanu uśpienia. Stan uśpienia jest wykorzystywany w celu oszczędności energii. Po przeprowadzeniu niezbędnych procedur inicjujących, program wchodzi w nieskończoną pętlę, w której są wykonywane odczyty napięć z obu czujników magnetorezystancyjnych. Następnie przeprowadzana jest korekcja offsetu występującego w zmierzonych napięciach, uśrednianie wyników pomiarów i sterowanie diodami świecącymi LED w celu zobrazowania ustalonego azymutu. Rozpoznanie kierunku osi kompasu odbywa się poprzez sprawdzenie czterech warunków. Spełnienie danego warunku powoduje włączenie odpowiadającej mu diody LED.

#### List. 1. Główna część programu

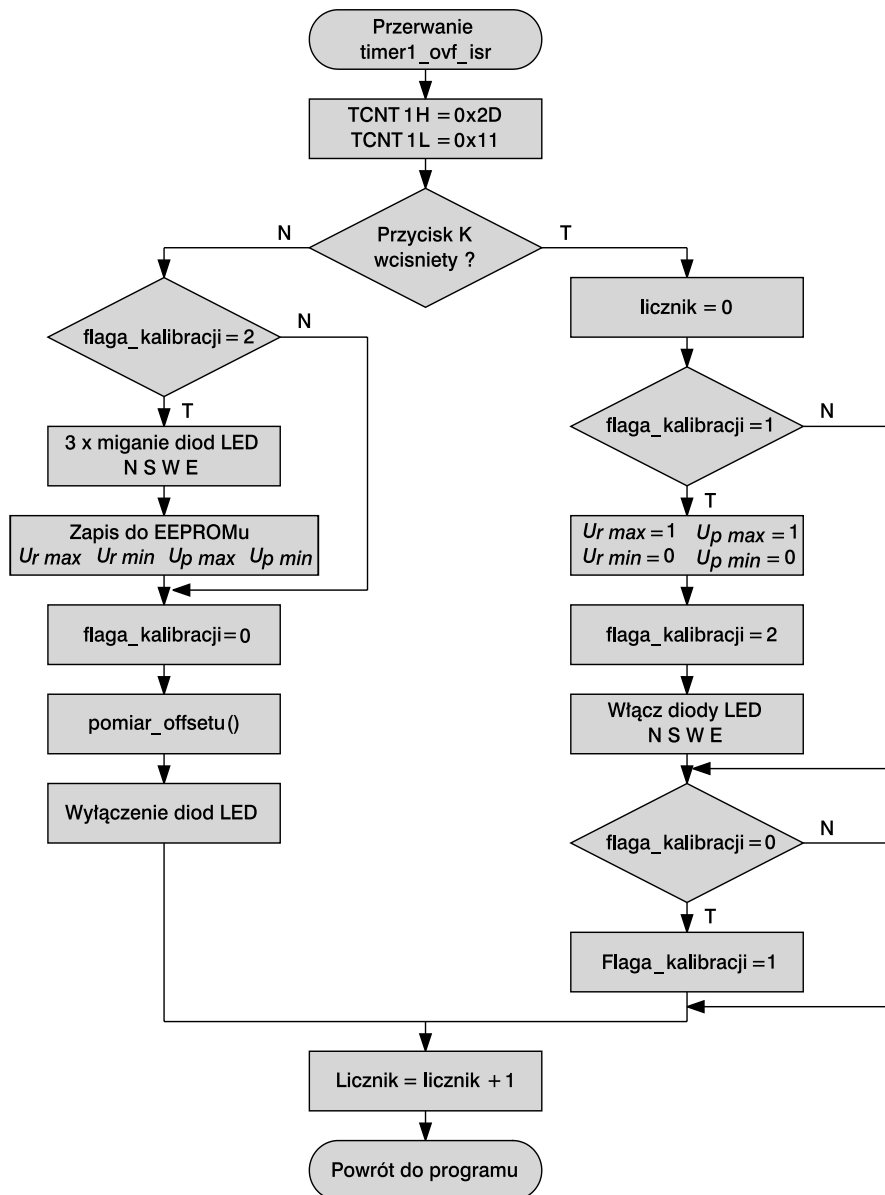
```
void main(void)
{
    licznik=0; flaga_kalibracji=0; Urr=0; Upp=0;
    init_devices();
    włącz_vcc //włącz zasilanie czujników
    set_przemagn //przemagnesuj czujniki
    pomiar_offsetu(); //pierwszy pomiar offsetu
    EEPROM_READ(100,Upmax); //odczytanie danych kalibracji z pamięci
    EEPROM_READ(200,Upmin);
    EEPROM_READ(300,Urmax);
    EEPROM_READ(400,Urmin);

    while (1)
    {
        if (licznik>czas) //jeśli czas przekroczony -> usypianie kompasu
        {
            wyłącz_vcc //wyłącz zasilanie czujników
            zgas //wyłącz diody LED
            CLI();
            GICR = 0x40; //ustaw tryb linii I/O PD2 na przerwanie
            SEI();
            bit_set(MCUCR,SE); //zezwól na wejście w tryb sleep
            asm("SLEEP"); //uśpij procesor
        }
        ADC_ch(kanal_r); //ustaw kanał ADC czujnika R
        Ur=ADC_get(); //pomiar napięcia czujnika R
        Ur=ADC_get();
        ADC_ch(kanal_p); //ustaw kanał ADC czujnika P
        Up=ADC_get(); //pomiar napięcia czujnika P
        Up=ADC_get();
        Ur=Ur-Uor; //Odjęcie offsetu od pomiarów
        Up=Up-Uop;
        Ur=0.3*Ur+0.7*Urr; //uśrednianie
        Up=0.3*Up+0.7*Upp;
        Urr=Ur; Upp=Up; //zapamiętanie starych pomiarów
        Ur=-Ur; Up=-Up; //zmiana znaków - ch-ka ujemna

        if (flaga_kalibracji==2) //wejście w tryb kalibracji
        {
            if (Up>Upmax) {Upmax=Up;} //poszuk. wart. max i min napięć czujników
            if (Up<Upmin) {Upmin=Up;}
            if (Ur>Urmax) {Urmax=Ur;}
            if (Ur<Urmin) {Urmin=Ur;}
        }
        else //tryb normalnej pracy - określanie azymutu
        {
            CLI();
            zgas //wyłączenie diod LED i określenie kierunku
            if (Ur > 0.383*Urmax) {set_N}
            else if (Ur < 0.383*Urmin) {set_S}
            if (Up > 0.383*Upmax) {set_W}
            else if (Up < 0.383*Upmin) {set_E}
            SEI();
        }
    }
}
```

#### List. 2. Funkcja obsługi przerwania timer1\_ovf\_isr

```
#pragma interrupt_handler timer1_ovf_isr:10
void timer1_ovf_isr(void)
{
    TCNT1H = 0x2D;
    TCNT1L = 0x11;
    if (wej_K==0) //jeśli przycisk naciśnięty
    {
        licznik=0;
        if (flaga_kalibracji==1) //przycisk naciśnięty w poprzednim wywołaniu
        {
            Upmax=1; Upmin=0;
            Urmax=1; Urmin=0;
            flaga_kalibracji=2;
            zapal
        }
        if (flaga_kalibracji==0) //pierwsze naciśnięcie przycisku
        {flaga_kalibracji=1;}
    }
    else
    {
        if (flaga_kalibracji==2) //wyjście z trybu kalibracji
        {
            migaj //migaj diodami LED
            EEPROM_WRITE(100,Upmax); //zapis danych do EEPROMu
            EEPROM_WRITE(200,Upmin);
            EEPROM_WRITE(300,Urmax);
            EEPROM_WRITE(400,Urmin);
        }
        flaga_kalibracji=0; //ustaw flagę normalnej pracy
        pomiar_offsetu();
        zgas //wyłącz wszystkie diody LED
    }
    licznik=licznik+1;
}
```



Rys. 6. Algorytm procedury wywoływanej w przerwaniu timer1\_ovf\_isr

**List. 3. Funkcja realizująca pomiar offsetu**

```

void pomiar_offsetu()
{
    int Unr, Unp, Upr, Upp, n;

    Uor=0; Uop=0; n=0;
    while (n < 11) //Wyk. 10 pomiarów i uśrednij
    {
        n=n+1;
        clr_przemagn //Przemagn.=0 - ch-ka dodatnia
        waitms(10);
        ADC_ch(kanal_r);
        Upr=ADC_get();
        Upr=ADC_get();
        ADC_ch(kanal_p);
        Upp=ADC_get();
        Upp=ADC_get();
        set_przemagn //Przemagn.=1 - ch-ka ujemna
        waitms(10);
        ADC_ch(kanal_r);
        Unr=ADC_get();
        Unr=ADC_get();
        ADC_ch(kanal_p);
        Unp=ADC_get();
        Unp=ADC_get();
        Uor=Uor+(Upr+Unr)/2;
        Uop=Uop+(Upp+Unp)/2;
    }
    Uor=Uor/n; //Obl. offsetu dla czujników R i P
    Uop=Uop/n;
}
    
```

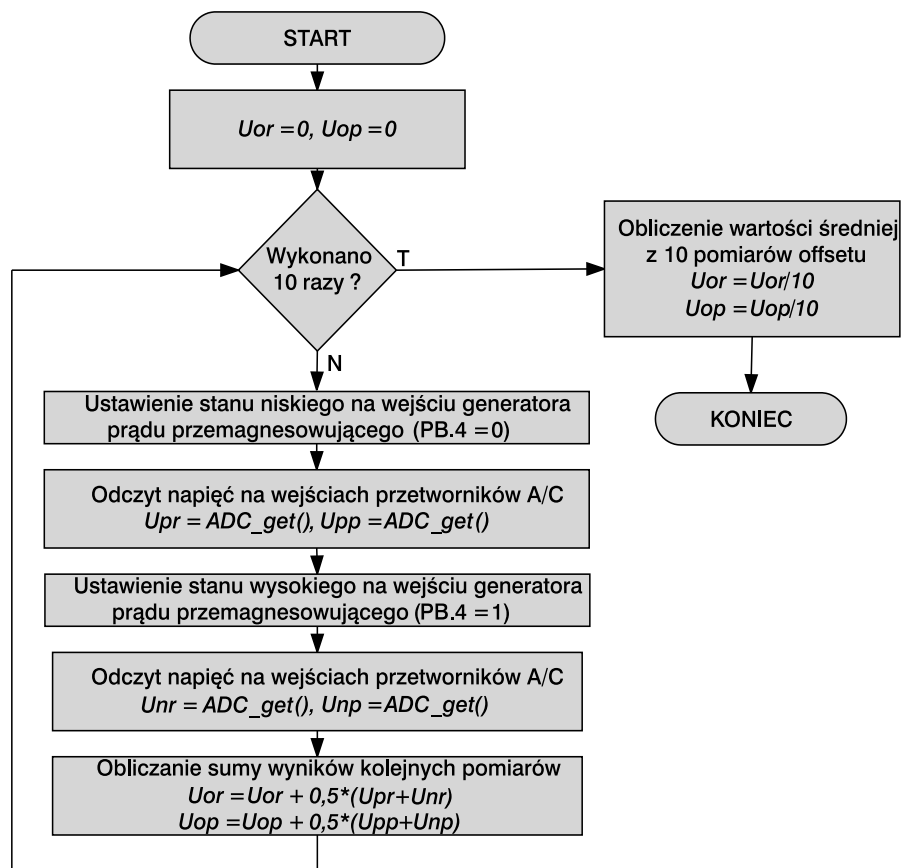
Pętla główna programu jest wykonywana przez około 60 sekund. Po upływie tego czasu procesor przechodzi w stan uśpienia. Wybudzenie procesora jest realizowane przy użyciu zewnętrznego przerwania INTO reagującego na poziom niski.

Jeśli przycisk włączający kompas został przytrzymany dostatecznie długo, przez około 5...10 sekund, program wchodzi w tryb kalibracji i pozostaje w nim dopóki przycisk jest wciśnięty, a po zwolnieniu jeszcze przez około 5 sekund.

Przez cały czas pozostawania kompasu w tym trybie świecą wszystkie diody LED. W czasie trwania kalibracji należy przynajmniej raz obrócić kompas w płaszczyźnie poziomej o kąt pełny (360°). Program mierzy wówczas i zapamiętuje w pamięci EEPROM maksymalne i minimalne wartości napięć wyjściowych z czujników magnetorezystancyjnych. Zakończenie trybu kalibracji jest sygnalizowane 3-krotnymi krótkimi mignięciami wszystkich diod świecących LED. Właściwe przeprowadzenie kalibracji eliminuje błędy kompasu spowodowane niejednakową czułością obu czujników pola magnetycznego. Główną część programu mikrokontrolera przedstawiono na **list. 1**.

Podczas pracy procesora wywoływane jest co 5 sekund przerwanie timera 1, w obsłudze którego wykonywane są operacje przedstawione w algorytmie na **rys. 6**. Procedura obsługi przerwania, wywoływanego przez przepełnienie timera 1, jest odpowiedzialna za uruchomienie pomiaru offsetu w trybie normalnym oraz sprawdzanie czy użytkownik nie wywołuje trybu kalibracji i ewentualne sterowanie jej przebiegiem. Sterowanie trybem kalibracji odbywa się za pomocą zmiennej „flaga\_kalibracji” przyjmującej stany od 0 do 2 (0 – tryb pracy normalnej, 1 – pierwsza detekcja naciśnięcia przycisku, 2 – tryb kalibracji). Ponadto, po zakończeniu kalibracji procedura ta zapisuje jej wyniki do wewnętrznej pamięci EEPROM procesora. Sposób realizacji algorytmu z **rys. 6** przedstawiono na **list. 2**.

Algorytm, według którego odbywa się wyznaczanie offsetu przedstawiono na **rys. 7**. W stanie spoczynku na wyjściu mikrokontrolera PB.4, sterującym cewkami przemagnesowującymi czujników magnetorezystancyjnych jest utrzymywany stan wysoki. Podczas wejścia w procedurę pomiaru offsetu na linii PB.4 jest ustawiany stan niski, który powoduje zadziałanie układu generującego impulsy przemagnesowujące. Charakterystyka czujników staje się wówczas dodatnia (**rys. 6a** zamieszczony w artykule „Jak zbudować kompas elektroniczny z czujnikiem magnetycznym”). Następnie przeprowadzane są pomiary napięcia na wyjściu czujników i następuje kolejne przemagnesowanie, powodujące zmianę charakterystyki czuj-



Rys. 7. Algorytm procedury pomiaru offsetu

ników na ujemną (rys. 6b – cz. 2 artykułu „Jak zbudować kompas elektroniczny z czujnikiem magnetycznym”, EP 5/2007). Po tym przemagnesowaniu, napięcia na wyjściach czujników są ponownie odczytywane. Powyższa procedura jest powtarzana 10-krotnie i w wyniku uśrednienia wyników tych pomiarów jest wyznaczane napięcie offsetu. Fragment programu odpowiadający za pomiar offsetu przedstawiono na list. 3.

### Obsługa kompasu

Obsługa kompasu jest bardzo prosta. W normalnym trybie pracy, w którym urządzenie znajduje się po włączeniu zasilania lub po

wciśnięciu przycisku budzącego go ze stanu uśpienia, można określać azymut różnych obiektów kierując w ich stronę główną oś kompasu. O kierunku, w którym zwrócona jest oś kompasu informują 4 świecące diody LED. Jeśli wskazywany jest jeden z czterech kierunków głównych, tj. północ (N), południe (S), wschód (E) lub zachód (W), świeci tylko jedna dioda LED odpowiadająca temu kierunkowi. Jeśli azymut zostanie przez kompas zaklasyfikowany jako kierunek pośredni, wówczas włączają się dwie diody LED, np. równoczesne świecenie diod oznaczonych jako N i E oznacza, że wskazywany jest kierunek północno-wschodni (NE). Układ automatycz-

nie wyłącza się po upływie około jednej minuty i kompas przechodzi w stan uśpienia. Aby wyprowadzić go z tego stanu należy nacisnąć zastosowany w układzie przycisk.

Przy pierwszym uruchomieniu kompasu wymagana jest jego kalibracja. Przebiega ona zgodnie z wcześniejszym opisem. Należy pamiętać o tym, że niewykonanie pełnego obrotu, pochylanie kompasu w czasie kalibracji lub wykonanie kalibracji w pobliżu obiektów zakłócających pole magnetyczne może spowodować niewłaściwą pracę układu i zwiększone błędy określenia azymutu. Kalibrację układu należy wówczas powtórzyć. Uzyskane podczas kalibracji dane zostają zapisane w pamięci EEPROM i układ jest gotowy do pracy nawet po odłączeniu i ponownym włączeniu zasilania.

Posługując się kompasem należy zwracać uwagę, aby podczas pomiarów był on ustawiony w płaszczyźnie poziomej i znajdował się z dala od obiektów wytwarzających pole magnetyczne (magnesy, głośniki itp.) oraz obiektów wykonanych z materiałów ferromagnetycznych, takich jak karoseria pojazdów, tory kolejowe, słupy metalowe itp. Warto również zwrócić uwagę na tak niewielkie przedmioty jak bateria, z której jest zasilany układ. Umieszczenie baterii w obudowie z materiału ferromagnetycznego w odległości kilku centymetrów od kompasu również spowoduje dodatkowe błędy pomiaru. Jeśli będziemy przestrzegać wymienionych zaleceń, przedstawiony kompas zapewni nam dokładność wystarczającą do wielu prostych zastosowań.

**Piotr Kaniewski**  
[pkaniewski@wat.edu.pl](mailto:pkaniewski@wat.edu.pl)  
**Jakub Kazubek**  
[kazubekk@gmail.com](mailto:kazubekk@gmail.com)  
**Piotr Komur**  
[pkomur@wat.edu.pl](mailto:pkomur@wat.edu.pl)

**PPS10** oscyloskop kieszonkowy 10 MHz

www.sklep.avt.pl  
 tel. 22-5689952

670 zł