

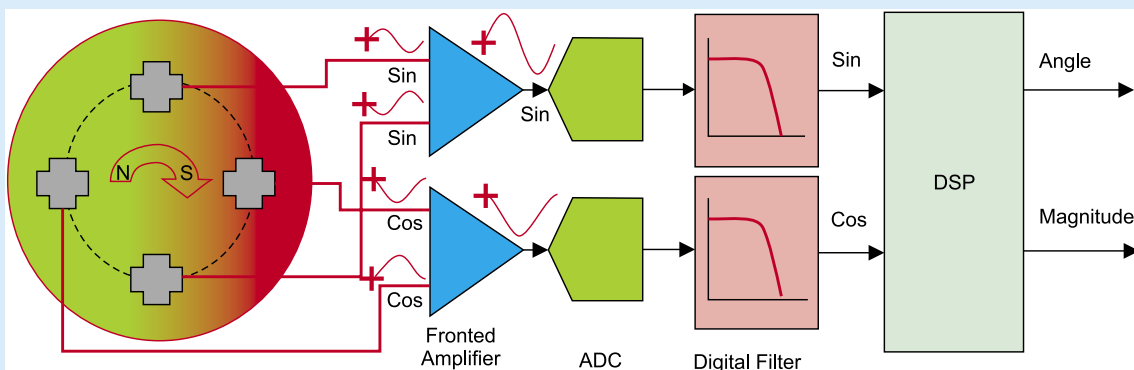
Fotografia 1. Czujnik AS5048 z magnesem

Obsługa enkodera AS5048 we Flowcode

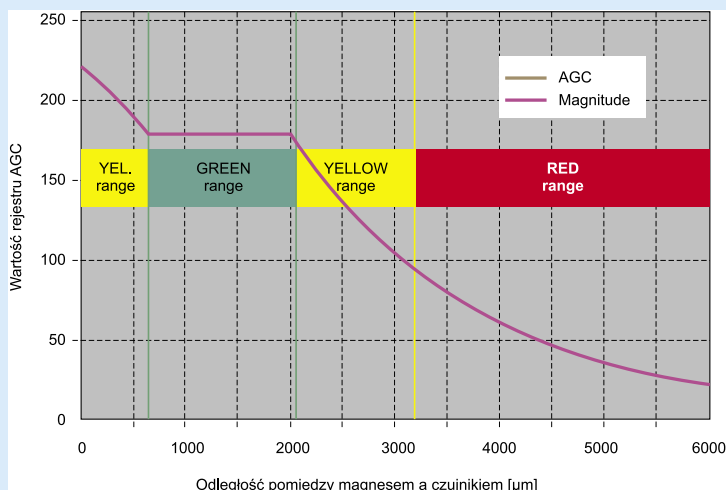
Czujniki położenia są szeroko wykorzystywane w systemach automatyki, aparaturze medycznej robotyce itp. Jest to element, który przetwarza przemieszczenie na wielkość elektryczną lub w bardziej rozbudowanych konstrukcjach – na wielkość cyfrową. Najbardziej popularne sensory to czujniki liniowe i obrotowe. Te pierwsze wykrywają i mierzą przesunięcie liniowe, a drugie kąt obrotu.

Układ scalony AS5048 jest czujnikiem mierzącym kąt obrotu z bardzo dużą dokładnością, wynoszącą $0,05^\circ$ w zakresie $0...360^\circ$. Nie jest to kompletny czujnik wyposażony w obudowę z łożyskowaną osią, ale układ scalony będący zasadniczym elementem do budowy takiego czujnika. Do kompletu jest potrzebny magnes obracający się w osi prostopadłej do górnej płaszczyzny układu. Zestaw ewaluacyjny używany w tym artykule pokazano na fotografii 1.

Podstawowym elementem układu jest obszar czujników Hall'a wykonana w technologii CMOS. Obszar sensora Hall'a umieszczony w centralnej części obudowy układu mierzy natężenie pola magnetycznego. Do konwersji natężenia pola w funkcji obrotu magnesu nad czujnikiem jest używany 14-bitowy przetwornik A/C. Daje to rozdzielczość pomiaru $360^\circ/16384=0,02197^\circ$, ale jak już wspominałem, producent deklaruje dokładność $0,05^\circ$.



Rysunek 2. Zasada pomiaru obrotu i natężenia pola magnetycznego



Rysunek 3. Zależność pomiędzy natężeniem pola (magnitude) a działaniem AGC

Sensor pozycji jest zbudowany z 4 czujników rozmieszczonych na obwodzie koła co 90° (rysunek 2). Jeżeli magnes jest w położeniu prostopadłym do czujnika i nie obraca się (jest zablokowany) to zmiana natężenia pola magnetycznego spowodowana zmianą odległości powierzchni obudowy od magnesu nie wpływa na pomiar kąta obrotu. Jest to ważna cecha tego układu, bo dopuszcza zmiany natężenia pola wynikające z ruchu magnesu równoległe do osi obrotu (ruch pionowy) oraz – co również ważne – ze zmiany temperatury. W praktyce, pole magnetyczne może być niezbyt silne lub podlegać czasowym fluktuacjom. Może to wynikać ze zbyt dużej szczeliny pomiędzy czujnikiem i magnesem lub ze złej jakości materiału, z którego jest wykonany magnes. Zwiększa się wtedy szum na wyjściu wzmacniaczy pomiarowych i co z tym idzie – wynik pomiaru będzie obciążony większym jitterem. Żeby układ mógł wyrównać zmiany sygnału elektrycznego na wyjściu wzmacniaczy pomiarowych wynikające ze zmian natężenia pola magnetycznego, wprowadzono układ automatycznej regulacji wzmacnienia AGC stabilizujący poziom sygnału na wyjściu wzmacniaczy pomiarowych.

Wartość proporcjonalna do wzmacnienia pracującego układu AGC jest dostępna w jednym z rejestrów enkodera. Firmware może go odczytywać i ewentualnie reagować przy zbyt

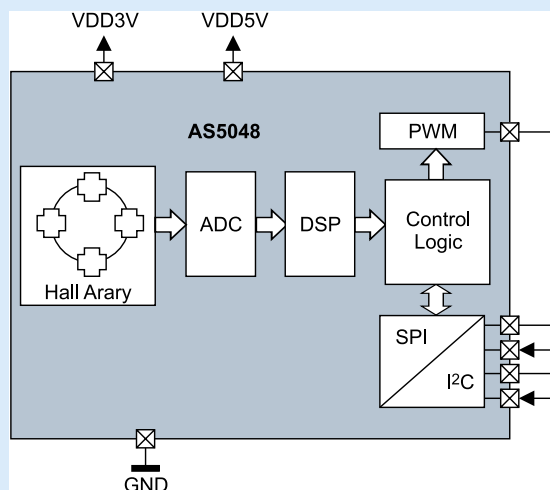
dużym wzmacnieniu. Poziom natężenia pola można też odczytywać bezpośrednio z rejestru o nazwie *Magnitude*. Zależność pomiędzy działaniem automatyki a odczytywanym poziomem pola magnetycznego przedstawia **rysunek 3**. Natężenie pola zmienia się w funkcji odległości czujnika od magnesu. Poziomy fragment sygnału odpowiadającego natężeniu pola jest wynikiem pracy automatyki wzmacnienia AGC.

Schemat blokowy układu czujnika pokazano na **rysunku 4**. Sygnał elektryczny z obszaru czujników Hall'a jest konwertowany na postać cyfrową. Sygnał cyfrowy z wyjścia przetworników poddaje się obróbce sygnałowej przez wbudowany procesor DSP. Blok CRDC oblicza kąt oraz wielkość sygnału pochodzącego z czujnika pola magnetycznego.

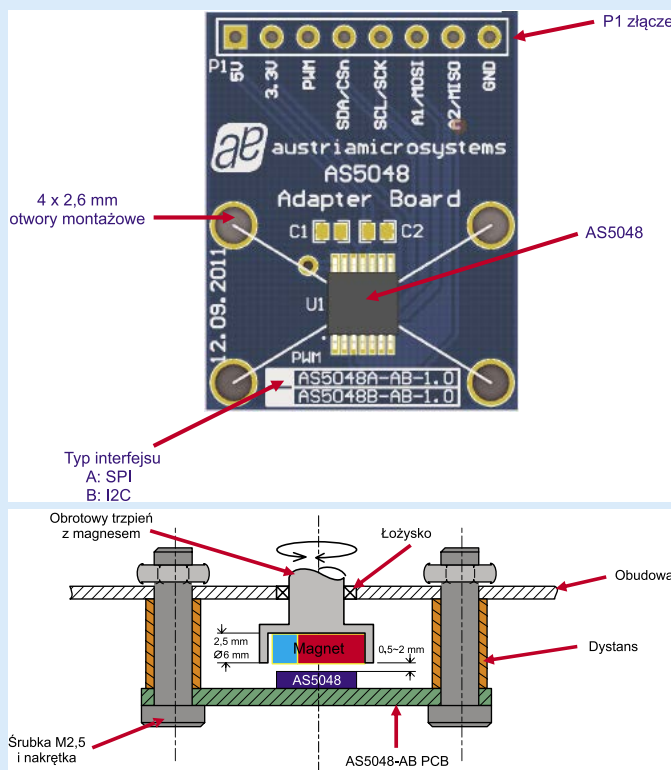
Producent układu oferuje gotowy moduł, który umożliwia testowanie czujnika. Moduł składa się z płytki drukowanej z układem AS5048 i „mechanizmu” pozwalającego na obracanie magnesu w osi prostopadłej do górnej płaszczyzny układu scalonego. Konstrukcja mechaniczna kompletnego testowego czujnika została pokazana na **rysunku 5**. Oczywiście, tak nieskomplikowany mechanizm nie będzie nadawał się do wykorzystania w pomiarach bardzo precyzyjnych ruchów, ale do testowania jest zupełnie wystarczający.

Cyfrową informację o kącie obrotu można odczytywać z układu za pomocą interfejsu SPI lub I²C. Dodatkowo jest dostępne wyjście sygnału PWM o rozdzielczości 12-bitowej. Współczynnik wypełnienia tego sygnału jest proporcjonalny do kąta obrotu.

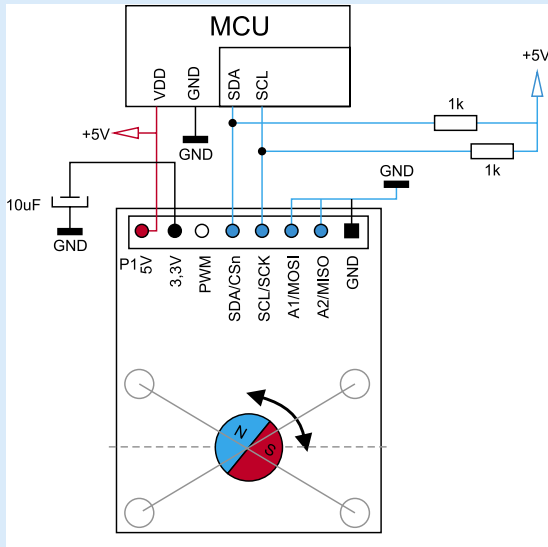
Rodzaj interfejsu komunikacyjnego jest wybierany na etapie wyboru układu scalonego. Wersja AS5048A ma



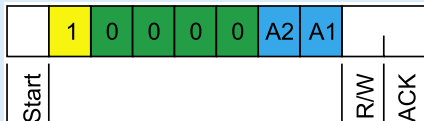
Rysunek 4. Schemat blokowy układu AS5048



Rysunek 5. Budowa modułu testowego dla czujnika AS5048



Rysunek 6. podłączenia modułu do zasilania i sterownika



Rysunek 7. Adres slave

tylko interfejs SPI, a wersja AS5048B tylko interfejs I²C. Sygnał PWM jest dostępny w obu wersjach. Ponieważ w czasie testów dysponowałem tylko układem z interfejsem I²C, to tylko dokładnie opiszę transmisję z wykorzystaniem protokołu I²C.

Interfejs I²C układu AS5048B składa się z linii danych SDA (wyprowadzenie SDA/CSn na płytce testowej) i linii zegarowej SCL (wyprowadzenie SCL/SCK na płyt-

ce testowej). Dodatkowo, są dostępne 2 wyprowadzenia wejść adresowych (A1/MOSI i A2 MISO).

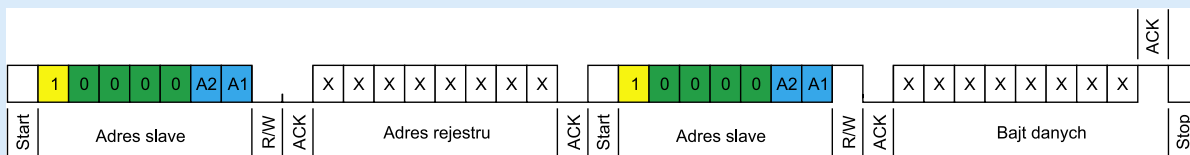
Dwukierunkowe linie SDA i SCL muszą być podciągnięte do plusa zasilania przez rezystory – wymaga tego specyfikacja standardu I²C. Ja zastosowałem 2 rezystory o wartości 2,2 kΩ. Moduł może być zasilany napięciem +3,3 V lub +5 V – służą do tego celu 2 osobne wyprowadzenia napięcia zasilania oznaczone VDD3V i VDD5V. Napięcie +3,3 V dołączamy do wyprowadzenia VDD3V, a wyprowadzenie VDD5V musi być zwarte z VDD3V. Kiedy chcemy zasilać moduł napięciem +5 V, to dołączamy je do VDD5V, a wyprowadzenie VDD3V powinno być zablokowane kondensatorem 10 μF do masy. Nie może pozostać niedołączone, bo powoduje to niestabilności w wewnętrznym napięciu zasilania i w rezultacie zakłócenia fazowe przy pomiarze kąta obrotu. Schemat podłączenia modułu testowego do napięcia zasilania został pokazany na **rysunku 6**.

Wymuszając poziomy logiczne na liniach A1 i A2 można wybrać jeden z 4 dostępnych adresów na magistrali I²C. Umożliwia to podłączenie 4 układów do jednej magistrali. Ponieważ w zaawansowanych układach może to być zbyt mało, to producent układu zastosował nietypowe rozwiązanie polegające na możliwości programowania przez użytkownika 5 starszych bitów adresu slave. Na **rysunku 7** jest pokazany domyślny adres układu dostarczanego przez producenta. Sterowanie funkcjami AS5048B i odczytywanie wyniku odbywa się przez zapisywanie i odczytywanie wewnętrznych rejestrów. Ich zestawienie zostało pokazane na **rysunku 8**.

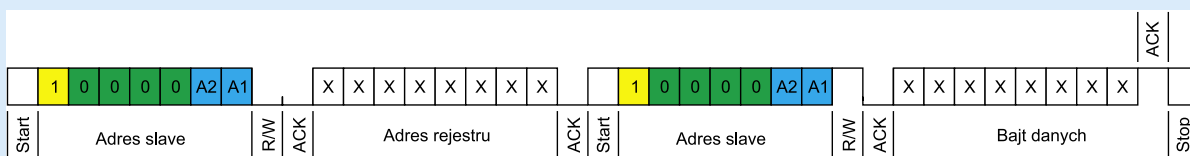
Dostęp do rejestrów odbywa się poprzez osobne sekwencje zapisu i odczytu. Zapis rejestru lub grupy rejestrów o adresach następujących po sobie rozpoczyna się od wysłania sekwencji *Start* i adresu *slave* w wyzerowanym najmłodszym bitem R/W. Potem jest wysyłany 8-bi-

Rejestr	Adres	Dostęp	Bity	Domyślna wartość	opis
Sterowanie OTP	3 dec	Zapis/odczyt	b0 –programing enable b4 – burn	0dec	Rejestr sterujący programowaniem pamięci OTP
Programowanie OTP	21dec	Zapis/odczyt +program	b0:b4 – 5 starszych bitów adresu I2C	10000bin	Rejestr odczytywania i programowania 5 starszych bitów adresu slave
	22dec	Zapis/odczyt +program	8 starszych bitów położenia początkowego	0dec	Rejestr odczytywania i programowania 8 starszych bitów rejestru położenia początkowego
	23dec	Zapis/odczyt +program	6 młodszych bitów położenia początkowego	0dec	Rejestr odczytywania i programowania 6 młodszych bitów rejestru położenia początkowego
Rejestry danych wyjściowych	250dec	Odczyt	8 bitów rejestru AGC	80hex	Rejestr wyjściowy układu AGC 0=Wysokie pole magnetyczne 255=Niskie pole magnetyczne
	251dec	Odczyt	Rejestr diagnostyczny	01hex	Znaczniki diagnostyczne
	252dec	Odczyt	8 starszych bitów rejestru magnitude	0dec	Rejestr 8 starszych bitów 14 bitowego rejestru magnitude
	253dec	Odczyt	6 młodszych bitów rejestru magnitude	0dec	Rejestr 6 młodszych bitów 14 bitowego rejestru magnitude
	254dec	Odczyt	8 starszych bitów rejestru kąta obrotu	0dec	Rejestr 8 starszych bitów 14 bitowego rejestru kąta obrotu
255dec	Odczyt	6 młodszych bitów rejestru magnitude	0dec	Rejestr 6 młodszych bitów 14 bitowego rejestru kąta obrotu	

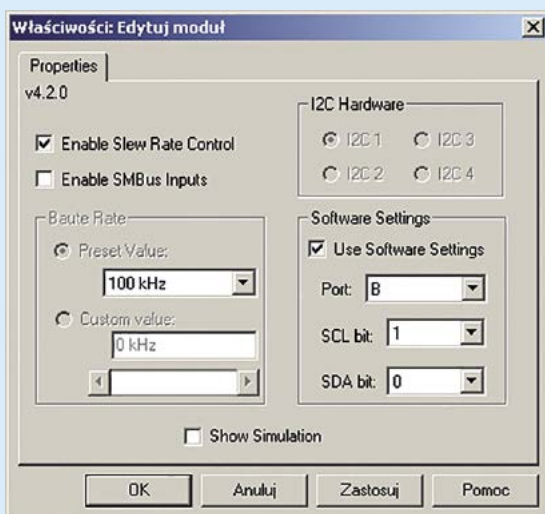
Rysunek 8. Wykaz rejestrów układu



Rysunek 9. Sekwencja zapisu jednego rejestru do układu



Rysunek 10. Sekwencja odczytania jednego bajtu

Rysunek 11. Okno ustawień interfejsu I²C

towy adres pierwszego odczytywanego rejestru. Po nim można wysłać wartość zapisywanego rejestru. Prawidłowe zapisanie jest sygnalizowane bitem ACK ustawianym przez enkoder. Potem można zakończyć zapisywanie przez wysłanie sekwencji *Stop* lub wysłać kolejne bajty, które będą zapisywane pod kolejnymi adresami. Po zakończeniu wysyłania bloku danych trzeba wysłać na magistralę sekwencję *Stop*.

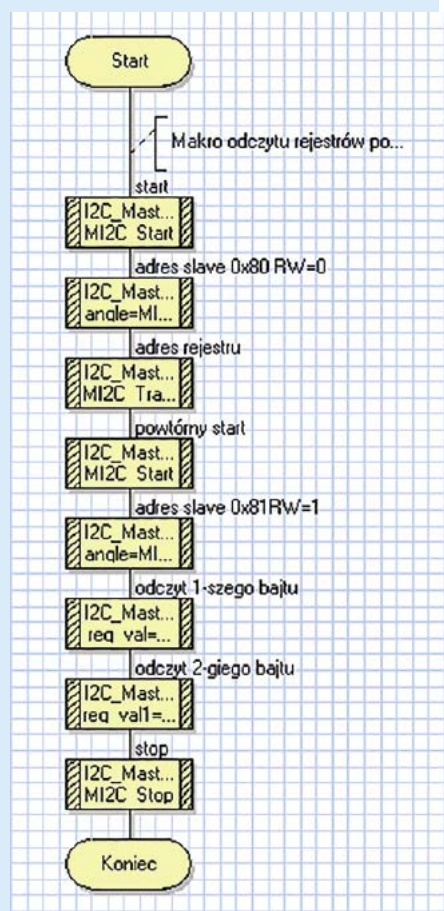
Odczyt rejestru lub grupy rejestrów jest trudniejszy do wykonania. W pierwszej części jest wysyłana sekwencja *Start* i adres *slave* z wyzerowanym bitem R/W, a po nim 8-bitowy adres odczytywanego rejestru. Żeby przestawić magistralę w tryb odczytu danych jest wysyłana powtórnie sekwencja *Start*, a po niej adres *slave* z ustawionym bitem R/W. Teraz wysyłanie sekwencji odczytu powoduje odczytywanie zawartości rejestru lub grupy rejestrów o automatycznie zwiększanych się adresach. Odczytywanie danych kończy się przez wysłanie bitu NACK po ostatnio odczytanym bajcie, a potem wysłanie sekwencji *Stop* (rysunek 10). Sekwencja zapisywania rejestrów są wykorzystywane do zapisywania rejestrów jednorazowego programowania OTP zawierających 5 starszych bitów adresu *slave* i wartość początkową, od której enkoder oblicza kąt obrotu. Ustawienie praktycznie dowolnego adresu *slave* daje możliwość użytkownikowi dołączenie do jednej I²C magistrali 128 enkoderów. Z kolei zaprogramowanie pozycji zerowej daje możliwość swobodnego mechanicznego ustawienia enkodera. Chociaż wydaje się, że tę ostatnią możliwość jest łatwo uzyskać na drodze programowej przez dodanie do wyniku odczytu stałej korekcyjnej.

Kolejne czynności potrzebne do zapisywania rejestrów w pamięci OTP są dokładnie opisane w dokumentacji enkodera. Ponieważ płytką, z którą wykonywałem testy nie była moją własnością, to nie wykonywałem programowania tej pamięci i poprzestałem na próbach z fabrycznymi ustawieniami układu.

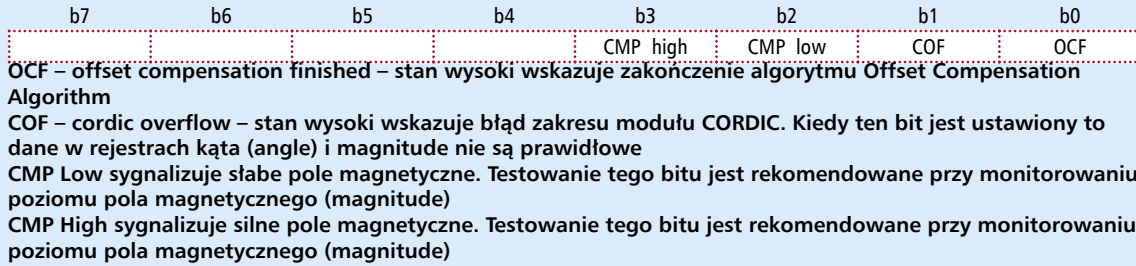
Najważniejszą operacją przy obsłudze enkodera jest odczytywanie 14-bitowego rejestru obrotu – *Angle Register*. W bardziej zaawansowanych aplikacjach można odczytywać rejestry *Magnitude* oraz *AGC* i odpowiednio reagować, gdy poziom pola magnetycznego jest nieodpowiedni.

W czasie testów moduł enkodera został dołączony do wyprowadzeń portów mikrokontrolera PIC18F4550 umieszczonego na module ECIO40P produkowanym przez firmę Matrix (producenta Flowcode). Mikrokontroler z ECIO40P ma fabrycznie zaprogramowany bootloader i może się łączyć z komputerem poprzez interfejs USB. Na płycie instalacyjnej Flowcode jest umieszczony odpowiedni driver i po jego zainstalowaniu można programować pamięć Flash mikrokontrolera bezpośrednio z poziomu Flowcode.

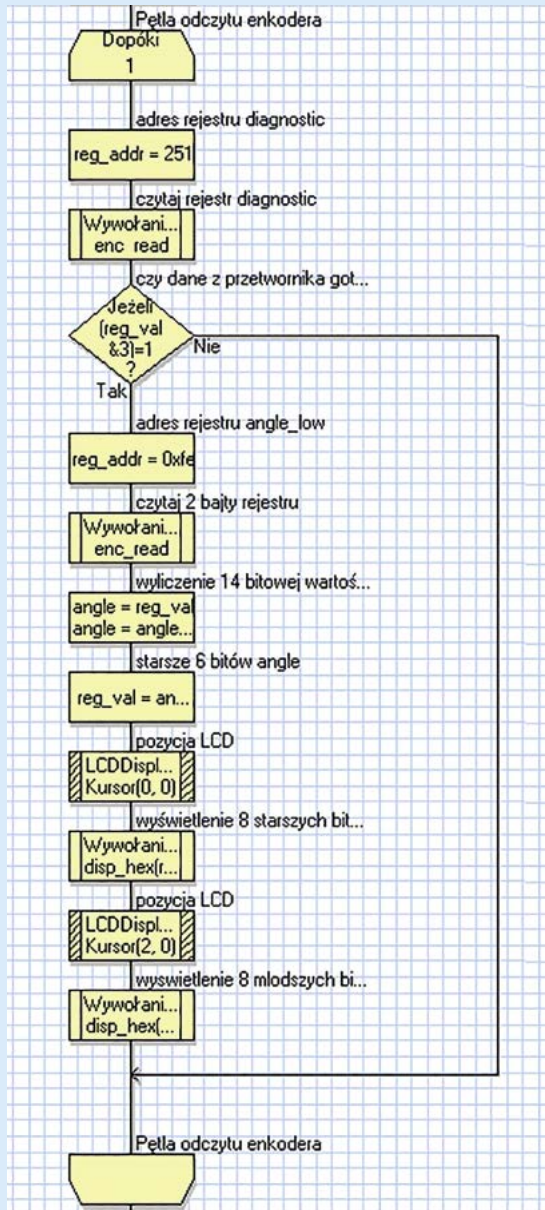
Żeby można było używać makr potrzebnych do obsługi interfejsu I²C, trzeba na panelu umieścić element I²C z menu *Comms*. Wtedy w liście makr komponentu można wybrać funkcje obsługi magistrali I²C. Sam interfejs może korzystać z wbudowanego w mikrokontroler modułu sprzętowego MSSP zaprogramowanego jako I²C master lub może być emulowany programowo. Ja zastosowałem emulację programową przez zaznaczenie okienka *Use Software Settings*. Wyboru dokonuje się



Rysunek 12. Procedura odczytywania 2 rejestrów enkodera



Rysunek 13. Rejestr diagnostyczny



Rysunek 14. Pętla odczytywania rejestru Angle enkodera

klikając prawym klawiszem myszki na oknie komponentu i wybierając z menu *EXT properties* (rysunek 11).

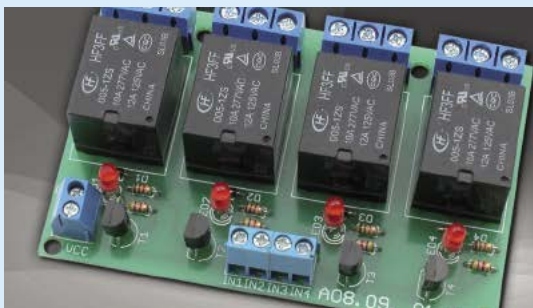
Na **rysunku 12** pokazano makro programowe *enc_read* odczytujące 2 kolejne rejestry. Sekwencja odczytywania jest tak jak na **rysunku 10**. Adres rejestru jest zawarty w zmiennej *reg_addr*. Pierwszy odczytany bajt jest zapisywany do zmiennej *reg_val*, a drugi do zmiennej *reg_val1*.

Żeby przetestować działanie procedur odczytywania rejestrów obrotu do modułu ECIO40P podłączyłem standardowy wyświetlacz LCD i wyświetlałem na nim 14-bitową zawartość rejestru w postaci 4-znakowej liczby w formacie heksadecymalnym. Przy pierwszych próbach odczytywane wartości wyglądały na przypadkowe i zupełnie nie odpowiadały zmianom położenia magnesu nad układem enkodera. Okazało się, że poprawne dane mogą być odczytane z układu tylko wtedy, gdy układy wewnętrzne obrotu poprawnie sygnalizują z czujników Hall'a. Jest to sygnalizowane przez bity rejestru znaczników diagnostycznych o adresie 251 (**rysunek 13**).

Dane z rejestru kąta obrotu można odczytywać, gdy bit OCF jest ustawiony, a bit COF wyzerowany. Dlatego procedura odczytu rejestrów obrotu musi być poprzedzona odczytaniem rejestru diagnostycznego i testowaniem jego zawartości. Ponieważ nie interesują nas bity CMP to są one zamaskowane. Pętla odczytywania rejestru kąta obrotów i wyświetlania jego zawartości została pokazana na **rysunku 14**. W pierwszej kolejności jest czytana zawartość rejestru *Diagnostic* o adresie 251. Potem jest sprawdzany warunek czy OCF=1 i COF=0. Jeżeli nie, to jest ponownie czytana zawartość *Diagnostics*, aż warunek zostanie spełniony. Wtedy odczytywane są 2 kolejne rejestry od adresu 254 (0xFE). Z zawartości tych rejestrów jest „składana” wartość 14-bitowa odpowiadająca kątowi obrotu od wartości zerowej. Potem ta wartość jest konwertowana na znaki ASCII w formacie heksadecymalnym i wyświetlana na wyświetlaczu LCD.

Przedstawiony tutaj program jest typowo testowy, ale łatwo go można zmodyfikować do konkretnego zastosowania. Zawartość rejestru obrotu można wykorzystać w algorytmach sterowania lub przesłać na przykład interfejsem USB do komputera.

Tomasz Jabłoński, EP



Uniwersalny moduł przekaźnikowy AVT 1691

Układ nieskomplikowanego modułu wykonawczego, który umożliwi np. przełączanie napięcia sieci energetycznej sygnałem z większości mikrokontrolerowych urządzeń elektronicznych.

www.sklep.avt.pl