

5 Czujniki pomiarowe (sensory) i układy wykonawcze (efektory)

5.1 Funkcje, interfejsy

Funkcje:

- Czujniki pomiarowe umożliwiają pobieranie informacji o otoczeniu.
- Układy wykonawcze umożliwiają oddziaływanie na otoczenie

Interfejsy proste:

Wyjścia z czujników pomiarowych dołączamy do:

- wejścia dwustanowe napięciowe (np. 0-5V)
- wejścia analogowe napięciowe (np. 0-5V)
- wejścia analogowe prądowe – standard automatyki 4-20 mA
- długość impulsu
- częstotliwość (np. pomiar prędkości obrotowej)

Układy wykonawcze dołączamy do:

- wyjścia dwustanowe
- szerokość impulsu
- wyjścia analogowe

Złożone układy pomiarowe i wykonawcze:

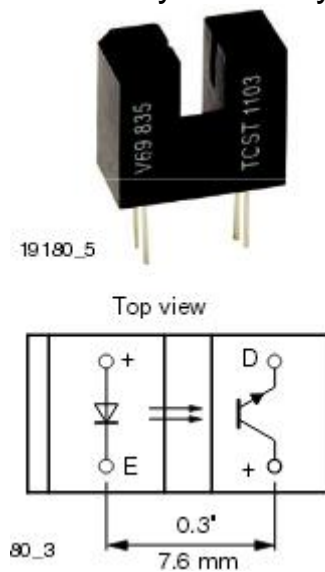
- komunikacja poprzez interfejs I2C -(np. pomiar temperatury, ciśnienia, wyświetlacze LED)
- komunikacja poprzez interfejs SPI – (np. kamera)
- komunikacja poprzez interfejs RS232 / RS485 – (np. wyświetlacz LCD, czytnik kart)
- komunikacja poprzez interfejs USB
- komunikacja poprzez interfejs TCP/IP

5.2 Czujniki pomiarowe

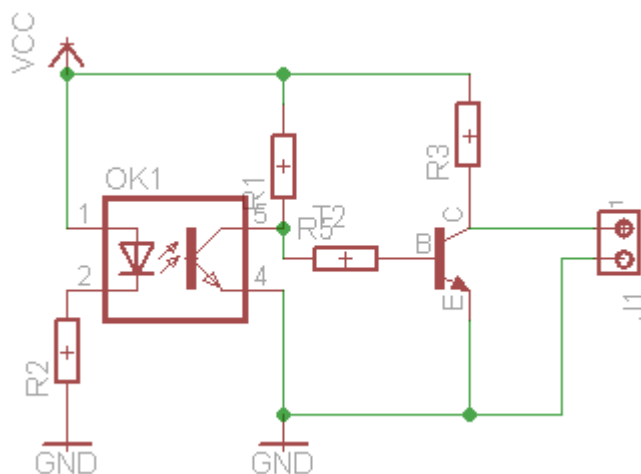
5.2.1 Czujnik położenia

Istnieje wiele rodzajów czujników położenia. Najprostszy to czujnik obecności.

Zadaniem czujnika obecności jest wykrycie czy pewien obiekt znajduje się w określonym miejscu. Zasada działania opiera się na zasłonięciu źródła światła (diody podczerwonej) co wykrywane jest przez fototranzystor. Przykładem jest układ TCST 1103.

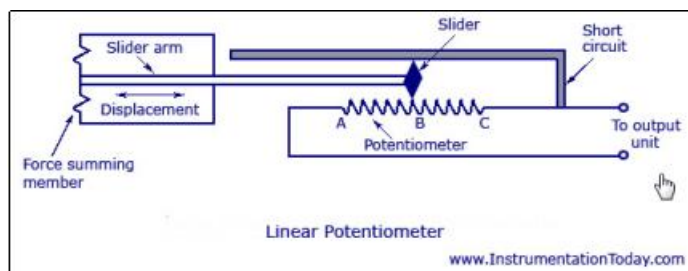


Rys. 5-1 Układ TCST 1103 wg. Vishay Semiconductors



Rys. 5-2 Układ pracy czujnika położenia

Czujnik obecności może być podłączony wg. powyższego schematu do wejść cyfrowych karty pcm3718.



Rys. 5-1 Potencjometryczny czujnik położenia

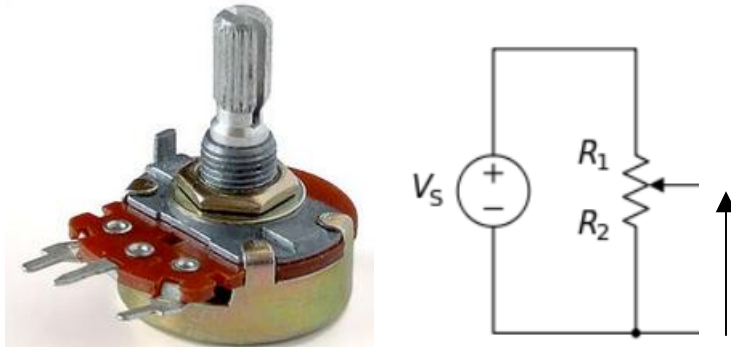
Pomiar kąta obrotu

Stosowane są następujące przetworniki kąta obrotu:

- Potencjometr
- Enkoder absolutny
- Optyczne przetworniki impulsowe

Potencjometr

Układ z wyjściem analogowym. Napięcie wyjściowe proporcjonalne do kąta obrotu.

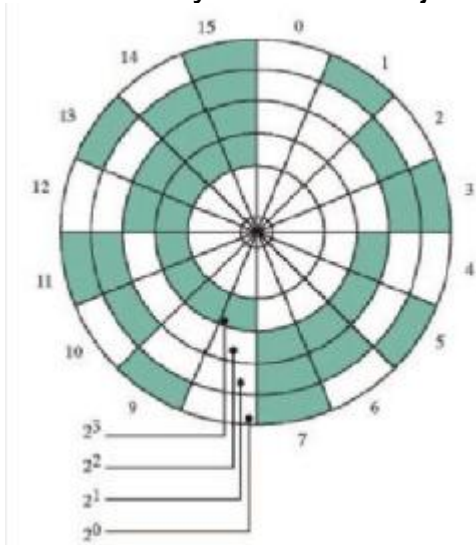


Rys. 5-2 Potencjometr jako czujnik kąta obrotu

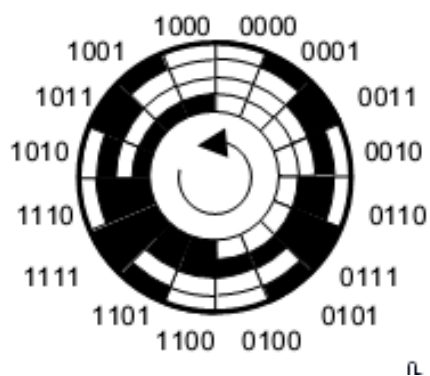
Enkoder absolutny

Enkoder absolutny jest to cyfrowy kąta obrotu podający kąt (w odniesieniu do ustalonego położenia) i zachowujący wskazanie nawet jeżeli nastąpi obrót przetwornika przy braku zasilania. Rozdzielczość zwykle nie większa niż 12 bitów. Może być stosowany:

- kod naturalny
- kod Graya - dwie kolejne pozycje różnią się jednym bitem.



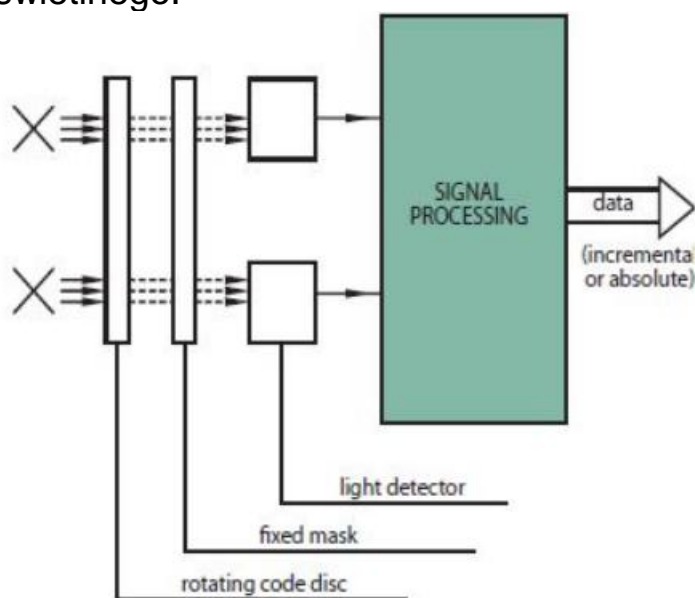
Rys. 5-3 Koder absolutny 4 bitowy w naturalnym kodzie binarnym



Rys. 5-4 Tarcza kodowa z 4 bitowym kodem Graya

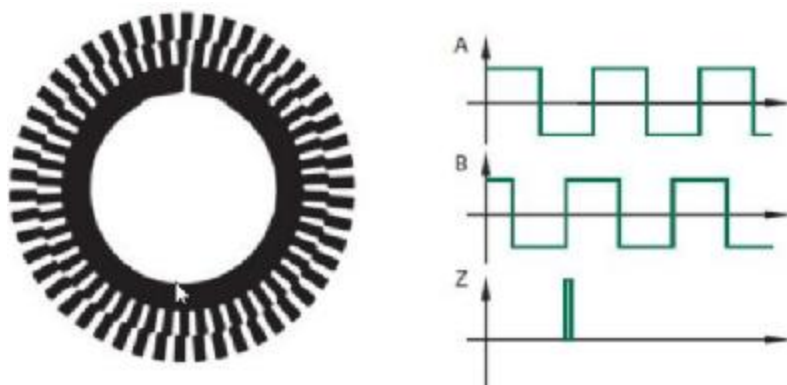
Przetworniki kodowo impulsowe

Składają się z tarczy kodującej, oświetlacza i detektora strumienia świetlnego.



Rys. 5-5 Przetwornik kodowo impulsowy wg. <http://www.powerguru.org/angular-position-sensors-shaft-angle-transducer/>

Przetworniki tego typu pozwalają na określenie pozycji względnej przez zliczanie impulsów.



Rys. 5-6 Tarcze kodowe w przetworniku kodowo impulsowym,
<http://www.powerguru.org/angular-position-sensors-shaft-angle-transducer/>

Generowane są trzy sygnały: A,B,Z

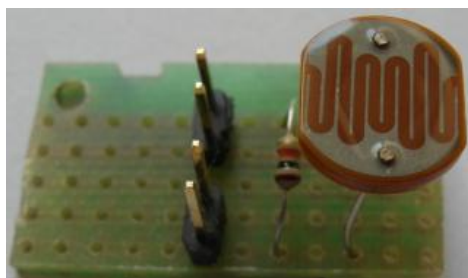
- Sygnał A - n impulsów na obrót
- Sygnał B - n impulsów na obrót, przesunięcie o 90 stopni
- Sygnał Z - jeden impuls na obrót, początek (zero)

Za pomocą enkodera możemy określić:

- Położenie kątowe, poprzez zliczanie impulsów A lub począwszy od impulsu Z
- Kierunek obrotu, poprzez porównanie impulsów A i B

5.2.2 Czujnik oświetlenia na fotorezystorze

Fotorezystor (fotoopornik) jest przyrządem półprzewodnikowym który zmienia swą rezystancję w zależności od padającego na niego promieniowania. Zachowanie jego nie zależy od kierunku przepływu prądu. Jego wartość zależy od natężenia oświetlenia. Zaletą fotorezystora jest prostota, wadą zaś wrażliwość na temperaturę i znaczna bezwładność.



Fotografia 5-1 Fotorezystor w układzie dzielnika napięcia

Najważniejsze parametry fotorezystora to:

- Rezystancja ciemna R_d – rezystancja gdy element jest zaciemniony
- Czułość widmowa – zależność rezystancji od oświetlenia
- Zakres widmowy – zakres długości fali przy której czułość nie spada więcej niż 10% wartości maksymalnej
- Współczynnik n – stosunek rezystancji ciemnej R_d do rezystancji R_{50} przy oświetleniu 50 luksów $n = R_d / R_{50}$.

Podstawowe układy pracy fotorezystora.



Rys. 5-3 Układy pracy fotorezystora

Fotorezystor R_f jest elementem dzielnika napięciowego zasilanego napięciem U_{in} . Szeregowo z fotorezystorem dołączony jest stały rezystor R a U_{out} jest napięciem wyjściowym dołączonym do przetwornika analogowo cyfrowego.

- W układzie I $U_{out} = R \cdot U_{in} / (R + R_f)$.
- W układzie II $U_{out} = R_f \cdot U_{in} / (R + R_f)$.

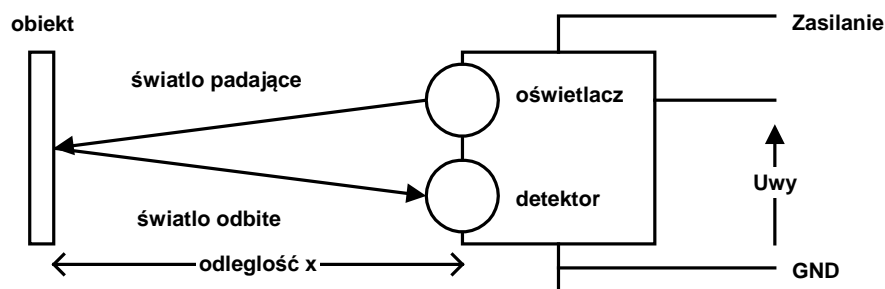
Doboru rezystancji R dokonać można rozwiązując układ równań dla różnych wartości rezystancji R_f . Należy zmierzyć rezystancję ciemną R_d i

rezystancję R_{\max} odpowiadającą maksymalnemu oświetleniu. Należy założyć że prąd płynący przez rezystory nie może być zbyt duży bo spowoduje nagrzewanie fotorezystora i nadmierny pobór mocy. W praktyce przyjmuje się R równe około $10\text{ k}\Omega$.

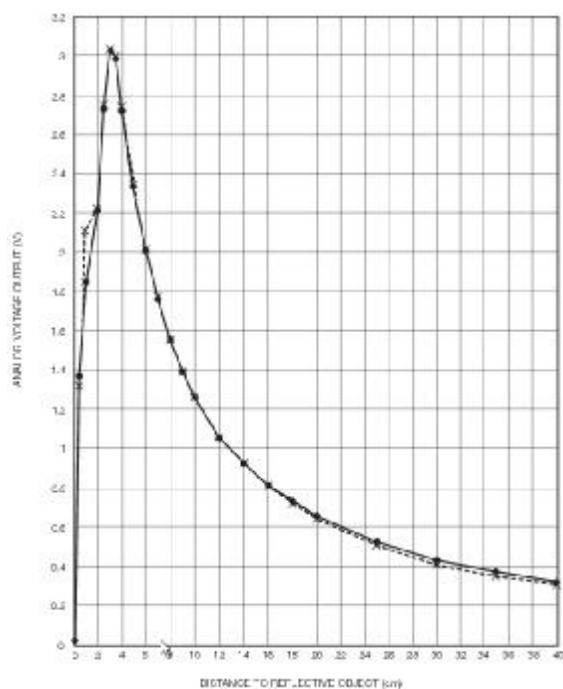
- Przy braku oświetlenia napięcie U_{out} wynosiło - 0.85V
- Przy oświetleniu pełnym U_{out} wynosiło - 4.86 V .

5.2.3 Czujnik odległość na podczerwień z wyjściem analogowym

Do określania odległości wykorzystuje się pomiar siły światła odbitego od obiektu. Urządzenie składa się z oświetlającej diody LED pracującej w podczerwieni i detektora mierzącego natężenie światła odbitego. Pomiar polega na wykorzystaniu zależności natężenia odbitego światła od odległości od obiektu.

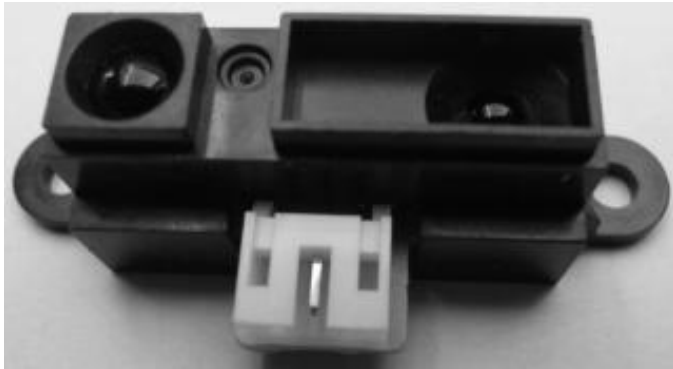


Rys. 5-4 Zasada działania czujnika odległości na podczerwień
W czujniku istnieje zależność $U_{wy} = f(x)$ pomiędzy odległością a napięciem wyjściowym. Zależność ta zwykle nie jest ani liniowa ani nawet monotoniczna.



Rys. 5-7 Zależność napięcia wyjściowego od odległości dla czujnika SHARP GP2Y0A41SK0F

Przykładem takiego urządzenia jest czujnik SHARP GP2Y0A41SK0F.



Fotografia 5-2 Wygląd czujnika SHARP GP2Y0A41SK0F

Czujnik ten zasilany jest napięciem 0.3 – 7V i wykorzystuje długość fali $\lambda=870\text{nm}$. Posiada on trzy łączówki: zasilanie, napięcie wyjściowe i ziemia co pokazuje poniższa tabela.

Numer złącza	Symbol	Opis	Typowa wartość	Kolor przewodu
1	Uwy	Napięcie wyjściowe	0-Vcc	Żółty
2	GND	Ziemia	0	Czarny
3	Vcc	Zasilanie	3-5 V	Czerwony

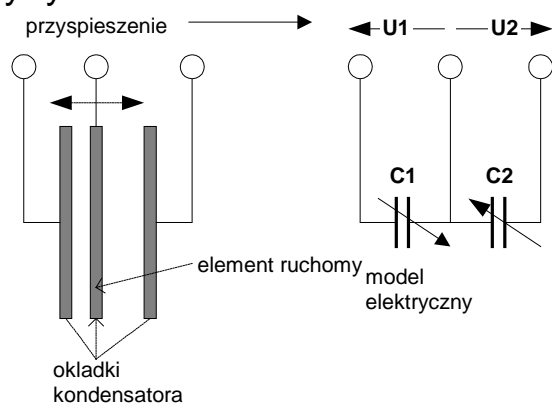
Tabela 5-1 Opis łączówek czujnika odległości GP2Y0A41SK

Według danych katalogowych zakres pomiaru wynosi od 4 do 30 cm ale w praktyce jest on większy (do 70-100 cm).

5.3 Czujnik przyspieszenia

Czujnik przyspieszenia – akcelerometr, mierzy przyspieszenie w określonym kierunku. Mierzone jest przyspieszenie statyczne (ziemskie) i dynamiczne. Często w jednym urządzeniu zintegrowane są trzy czujniki mierzące przyspieszenie w trzech kierunkach X,Y,Z. Jako że mierzone jest przyspieszenie ziemskie akcelerometr pozwala na określenie orientacji urządzenia względem pionu. Pomiar może odbywać się na różnych zasadach ale najczęściej wykorzystywane są czujniki pojemnościowe i piezoelektryczne. Czujniki przyspieszenia używane są w urządzeniach mobilnych np. telefonach (do określenia położenia urządzenia), w robotyce do wykrywania ruchu, stałych dyskach (do wykrywania upadku), nawigacji (krokومتر), elektronice samochodowej (pasy bezpieczeństwa) i innych urządzeniach.

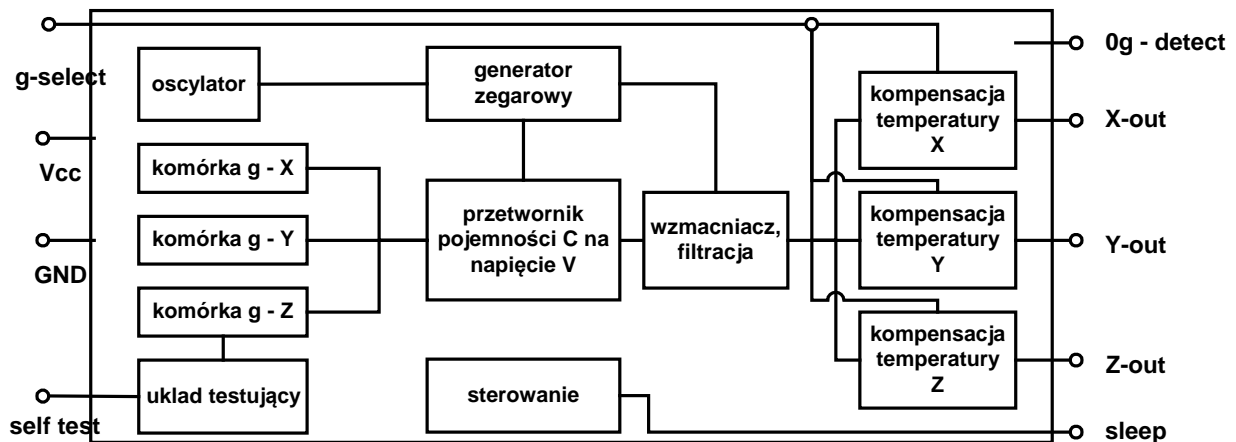
Przykładem akcelerometru jest czujnik MMA7361L firmy Freescale Semiconductor opisany w posiada trzy zintegrowane czujniki mierzące przyspieszenia w prostopadłych wzajemnie osiach X,Y,Z, wykrywanie stanu zerowego przyspieszenia (upadek), dwa zakresy czułości oraz układ samo testowania. Układ wykorzystuje zjawisko zmiany pojemności pomiędzy okładkami kondensatora utworzonego z kilku warstw materiału o różnych elektrycznych i mechanicznych własnościach co pokazuje poniższy rysunek.



Rys. 5-5 Zasada działania akcelerometru pojemnościowego

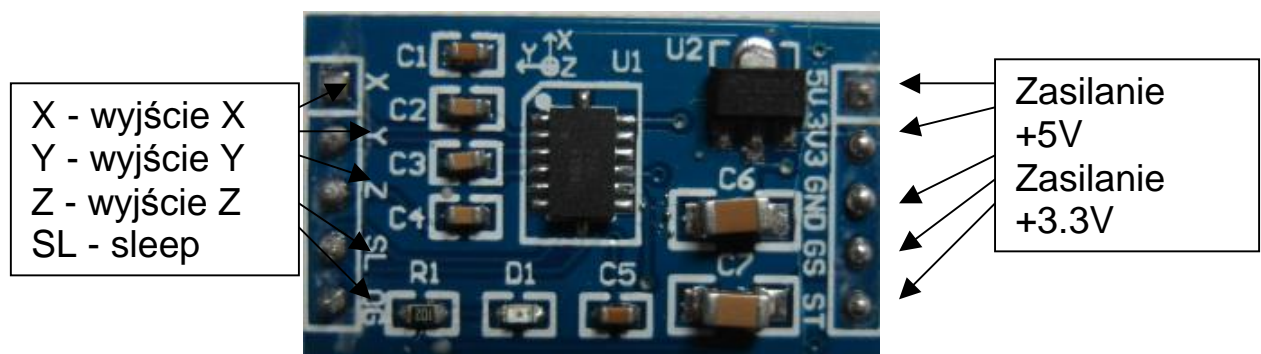
Układ składa się z elementu ruchomego umieszczonego pomiędzy nieruchomymi okładkami kondensatora. Pod wpływem przyspieszenia, dzięki swojej masie, przemieszcza się on w przeciwnym do wektora przyspieszenia kierunku przez co odległości pomiędzy pojemności elementem środkowym a skrajnymi ulegają zmianie. Zatem i pojemności C1 i C2 pomiędzy okładkami takiego podwójnego kondensatora ulegają zmianie. Wpływa to na zmianę stosunku napięć U1 i U2 co może być wykryte przez odpowiednie układy elektroniczne. Układ tworzy tak zwaną komórkę G (ang. g-cell). Układ składa się z trzech takich komórek

zorientowanych w wzajemnie prostopadłych kierunkach X,Y,Z tworzących kartezjański układ współrzędnych.



Rys. 5-6 Uproszczony schemat akcelerometru MMA7361L

Składa się on z trzech komórek G podłączonych do przetwornika pojemność – napięcie, układów filtrujących i wzmacniających układów sterujących i kompensacji temperatury. Układ powinien być zasilany napięciem 2.2 – 3.6 V. Posiada on wyjścia typu analogowego, napięcia wyjściowe X-out, Y-out, Z-out są proporcjonalne do przyspieszenia w danym kierunku. Dla przyspieszenia 0g napięcie wyjściowe wynosi 1.65V. Zmiany napięcia są uzależnione od wybranego zakresu pomiarowego, do dyspozycji są dwa zakresy pomiarowe $\pm 1.5g$ i $\pm 6g$ które wybierane są zewnętrznym sygnałem g-select (0 zakres $\pm 1.5g$ 1 zakres $\pm 6g$). Czułość układu wynosi 800 mV/g dla zakresu 1.5g. Układ posiada system wykrywania swobodnego spadku, gdy przyspieszenia we wszystkich kierunkach wynoszą 0g, aktywowane jest wtedy wyjście 0g-detect. W oparciu o układ MMA7361L zbudowano moduł akcelerometru (LC Technology). Moduł zawiera regulator napięcia z 5V do 3,3V, diodę sygnalizacyjną i wyprowadzenia



Rys. 5-7 Moduł akcelerometru z układem MMA7361L

Oznaczenie	Ang.	Typ	Opis
X	Xout	wy analog.	Napięcie wyjściowe osi X
Y	Yout	wy analog.	Napięcie wyjściowe osi Y
Z	Zout	wy analog.	Napięcie wyjściowe osi Z
SL	Sleep control	wejście	Gdy podany poziom wysoki – układ pracuje, gdy podany poziom niski – układ uśpiony
0G	0 g	wyjście	Gdy wykryto spadek swobodny generowany jest poziom wysoki
5V	-	-	Zasilanie 5V
3V3	-	-	Zasilanie 3.3V
GND	Ground	-	Ziemia
GS	Range select	wejście	Gdy poziom niski – zakres pomiarowy $\pm 1.6g$, gdy poziom wysoki - zakres pomiarowy $\pm 6g$.
ST	Self test	wejście	Gdy poziom wysoki - ryb samo testowania

Tabela 5-2 Opis sygnałów wyjściowych akcelerometru

Położenie osi Z w stopniach względem poziomu		Położenie opis	Napięcie Zout
0	-	Poziomo, układem do góry	2.30 V
90	Ⓜ	Prostopadle do podłogi	1.53 V
180	-	Poziomo, układem w dół	0.70 V
270	↵	Prostopadle do podłogi	1.53 V

Tabela 5-3 Zależność napięcia wyjściowego akcelerometru od usytuowania względem poziomu dla osi Z

Układ akcelerometru może być wykorzystany do określenia orientacji urządzenia względem poziomu (lub pionu) w trzech osiach X,Y,Z.

5.4 Sonar

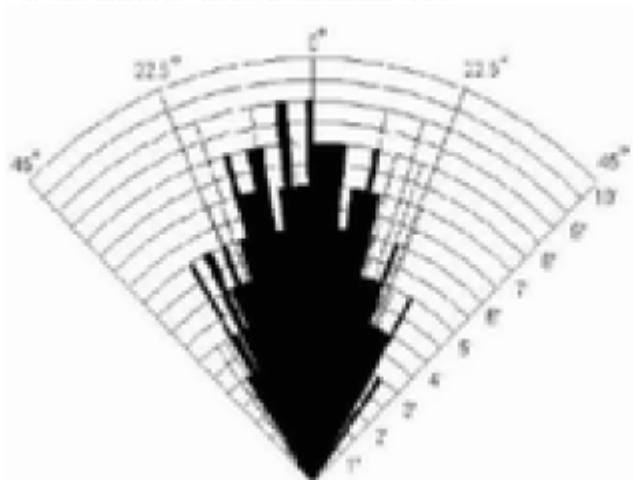
Moduł HC-SR04 jest ultradźwiękowym sensorem służącym do wyznaczania odległości do przedmiotu w zakresie od 2 cm do 4.5 m.



Fotografia 5-1 Moduł HC-SR04

Właściwości modułu podaje poniższa specyfikacja.

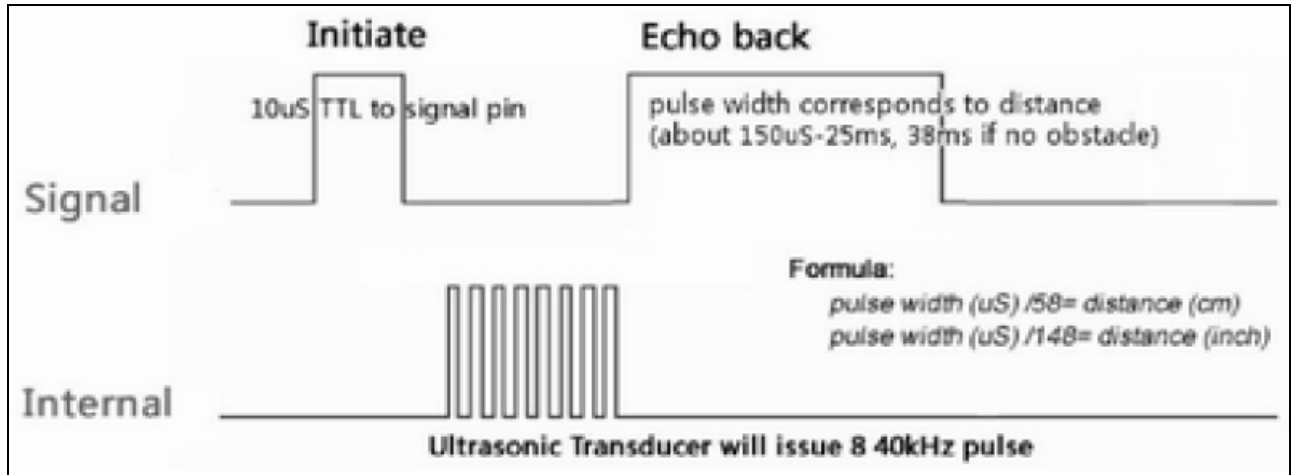
- Power Supply :+5V DC
- Quiescent Current : <2mA
- Working Curmt: 15mA
- Effectual Angle: <15°
- Ranging Distance : 2cm – 400 cm/1" - 13ft
- Resolution : 0.3 cm
- Measuring Angle: 30 degree
- Trigger Input Pulse width: 10uS
- Dimension: 45mm x 20mm x 15mm



Opis połączeń:

Trig - wyzwalamie (wejście)	- połączyć do D10
Echo - wyjście echa	- połączyć do DO0
GND - ziemia	- połączyć do GND
VCC - 5V	- połączyć do VCC

Aby wystartować pomiar należy do wejścia Trig podać impuls długości min 10 us. Następnie na wyjściu Echo należy zmierzyć czas pomiędzy zboczem narastającym a opadającym jak pokazuje poniższy rysunek. Odległość w centymetrach wylicza się dzieląc długość impulsu w mikrosekundach przez 58.



Rys. 5-1 Pomiar odległości za pomocą czujnika HC-SR04

```
// Karta PCM 3718H - ultradzw. czujnika odleglosci HC-SR04
// Podlaczenie czujnika:
// CZUJNIK -- KARTA -----
// TRIG      P2_0      OUTPUT
// ECHO      P1_0      INPUT
// VCC       +5V
// GND       GND
// -----
int main(int argc, char *argv[]) {
    int i, chn, kroki,cnt = 0;
    unsigned char val;
    uint64_t start,stop,cps,czas_imp, biez,rozn;
    struct timespec res;
    double msec;
    kroki = 9999;
    ThreadCtl( _NTO_TCTL_IO, 0 );
    base = mmap_device_io(16,ADRB);
    cps = SYSPAGE_ENTRY(qtime)->cycles_per_sec;
    if(clock_getres(CLOCK_REALTIME,&res) == -1) {
        perror("getres");
        return EXIT_FAILURE;
    }
    printf("Cykli na sek %ld rozdzielczosc zegara %ld %ld nanosek\n", cps, res.tv_sec,
        res.tv_nsec);

    // Wyzwolenie ----
    dout(2,0xFF);
    usleep(10);
    dout(2,0x00);
    cnt = 0;
    start = ClockCycles();
    do {
        val = dinp(1);
        val = val & 0x01;
        tab[cnt] = val;
        cnt++;
        if(cnt == SIZE) {
            printf("Koniec \n"); return 0;
        }
    } while(cnt< kroki);
    stop = ClockCycles();
}
```

Przykład 5-1 Testowanie działania sonaru

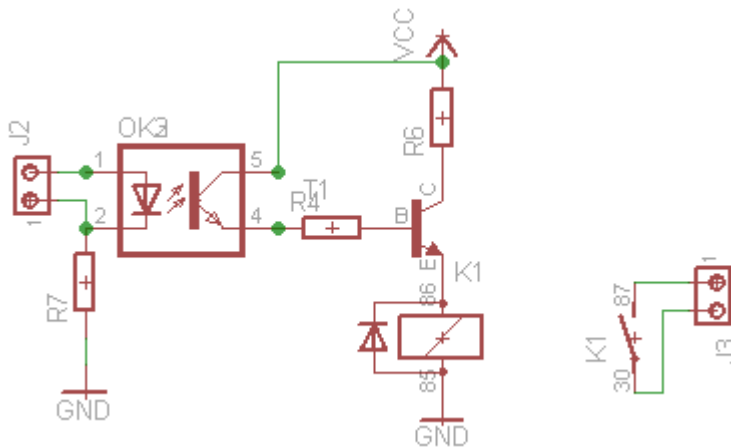
5.5 Układy wykonawcze

5.5.1 Układ przekaźnikowy z optoizolacją

Do załączania odbiorników mocy podłączonych do sieci prądu zmiennego należy stosować przekaźniki z optoizolacją.



Rys. 5-2 Moduł przekaźnika z optoizolacją 2578AY



Rys. 5-3 Moduł przekaźnika z optoizolacją – schemat


```

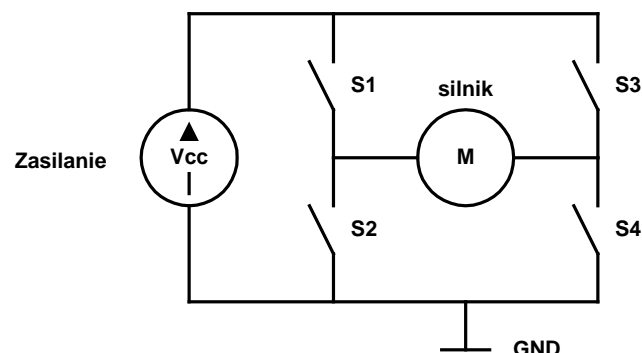
do {
    for(j=0; j<4; j++) {
        val = aread(&chn);
        printf(" %d - %d ",chn,val);
        if(chn == 0) {
            wskaznik(val/16);
            if(val < tmin) { // Grzanie -----
                dout(2,0x01);
            }
            if(val > tmax) { // Grzanie -----
                dout(2,0x02);
            }
        }
    }
}

```

Rys. 5-4 Fragment programu regulacji temperatury (reg. trójstawna)

5.5.2 Mostek H - sterowanie silnikiem szczotkowym prądu stałego

Mostek H (ang. *H-Bridge*) to układ elektroniczny umożliwiający sterowanie silnikiem prądu stałego i silnikiem krokowym. Układ umożliwia zmianę kierunku obrotów, rozpędzanie i hamowanie silnika. Podstawowy schemat dany jest poniżej.



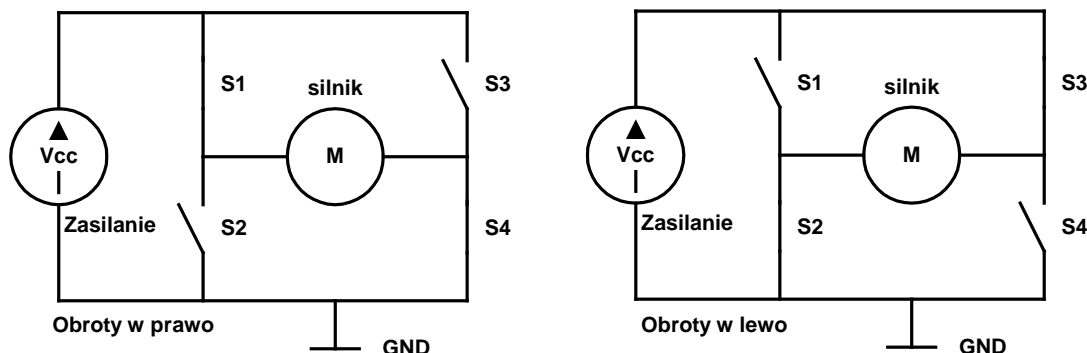
Rys. 5-5 Podłączenie silnika M poprzez mostek H

Mostek H w ogólności używany jest do zmiany kierunku obrotów silnika, ale może być także użyty do jego hamowania.

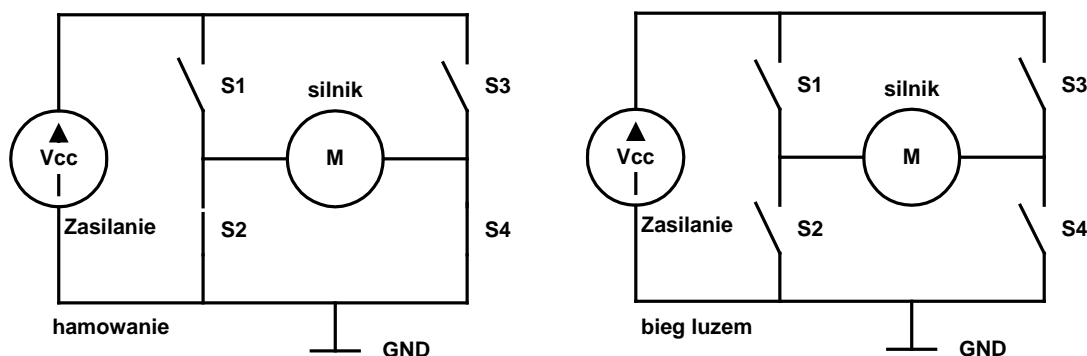
S1	S2	S3	S4	Akcja
1	0	0	1	Silnik obraca się w prawo
0	1	1	0	Silnik obraca się w lewo
0	0	0	0	Silnik nie podłączony, bieg luzem
0	1	0	1	Silnik hamuje
1	0	1	0	Silnik hamuje
1	1	0	0	Zwarcie

0 0 1 1 Zwarcie
 1 1 1 1 Zwarcie

Tab. 5-1 Sterowanie silnikiem w zależności od stanu wyłączników S1,S2,S3,S4



Rys. 5-6 Podstawowe konfiguracje pracy: obroty w prawo i lewo

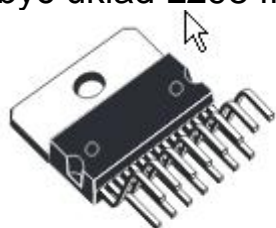


Rys. 5-7 Podstawowe konfiguracje pracy: hamowanie i bieg luzem

Mostek H może być zrealizowany na:

- Przełącznikach
- Tranzystorach bipolarnych
- Tranzystorach MOS

Zwykle realizowany jest w postaci układu scalonego. Przykładem może być układ L298 firmy STI



Multiwatt15

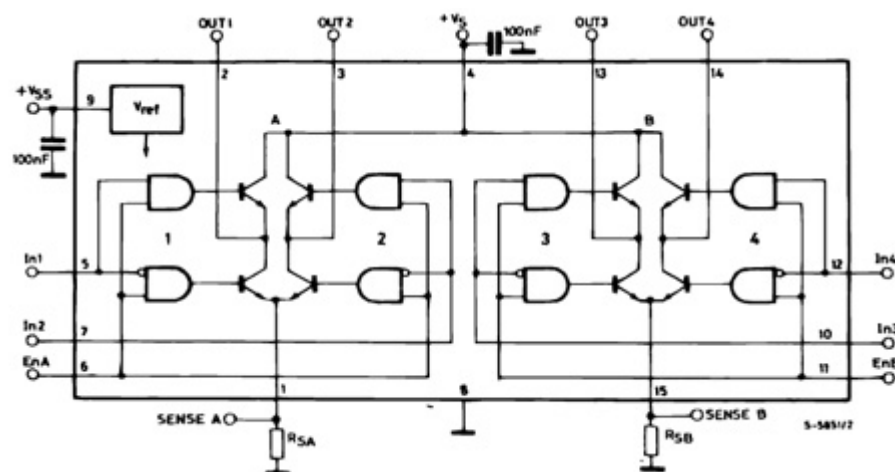


PowerSO20

	Symbol	Wartość	Jednostka
Napięcie zasilania	Vs	50	Volt
Napięcie zasilania logiki	Vss	7	Volt

Napięcie sterujące	V_i, V_{en}	-0.3 do 7	Volt
Prąd wyjściowy	I_o	2-3	A
Rozpraszana moc	P_{tot}	50	W

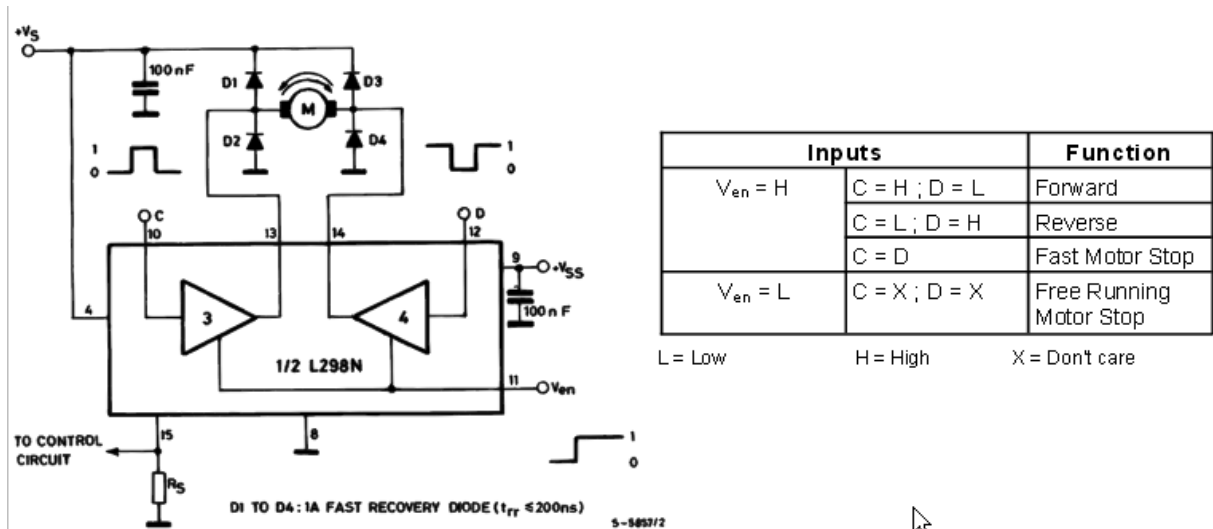
Tab. 5-2 Podstawowe parametry układu L298



Rys. 5-8 Schemat układu L298

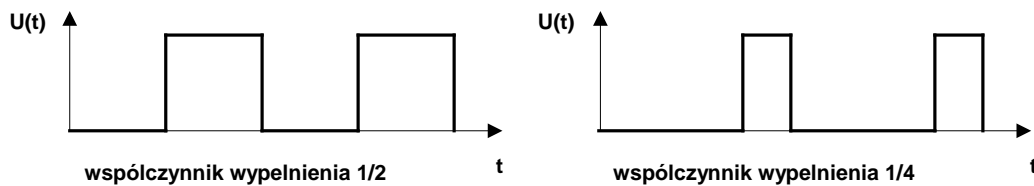
Name	Function
Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
V_s	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
GND	Ground.
VSS	Supply Voltage for the Logic Blocks. A 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
N.C.	Not Connected

Tab. 5-3 Opis wyprowadzeń układu L298



Rys. 5-9 Podłączenie silnika prądu stałego za pomocą układu L298

Sterowanie mocą – wejście V enable – zmienny współczynnik wypełnienia impulsu.



Rys. 5-10 Sterowanie mocą silnika poprzez zmianę współczynnika wypełnienia sygnału Enable.

Sprężenie zwrotne – spadek napięcia na rezystorze R5 (rezystor należy zainstalować). Spadek napięcia proporcjonalny do prądu a więc do mocy.

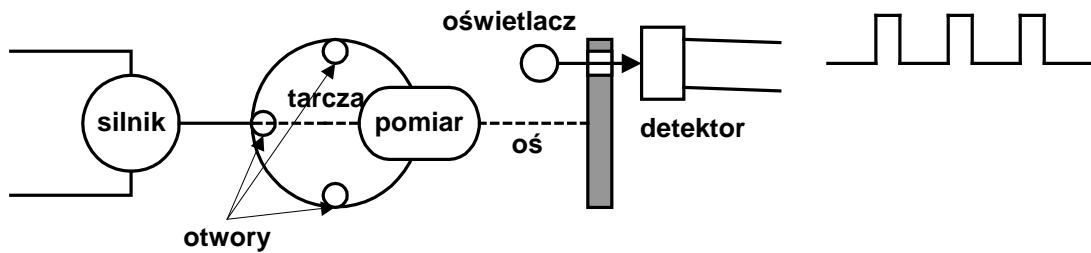
Sterowaniu może podlegać:

- Prędkość obrotowa
- Moment obrotowy (proporcjonalny do prądu silnika)
- Położenie układu wykonawczego

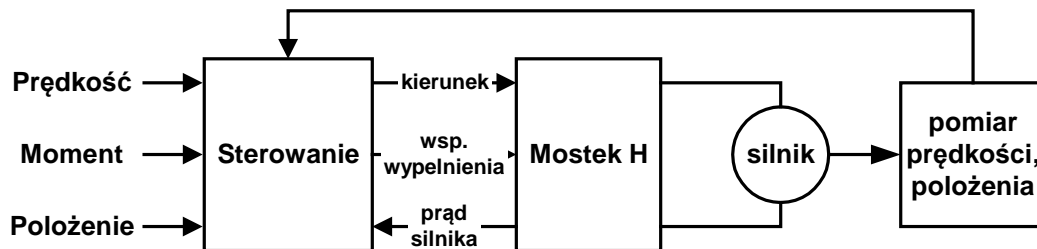
W sterowaniu silnikiem szczotkowym należy zastosować sprzężenie zwrotne.

Pomiar prędkości obrotowej:

- Prądnicza tachometryczna
- Układy optyczne, tarcza z otworami i czujnik położenia
- Układy elektromagnetyczne – czujniki pojemnościowe, indukcyjności, czujniki natężenia pola magnetycznego (czujniki Halla)



Rys. 5-11 Pomiar prędkości obrotowej za pomocą tarczy z otworami

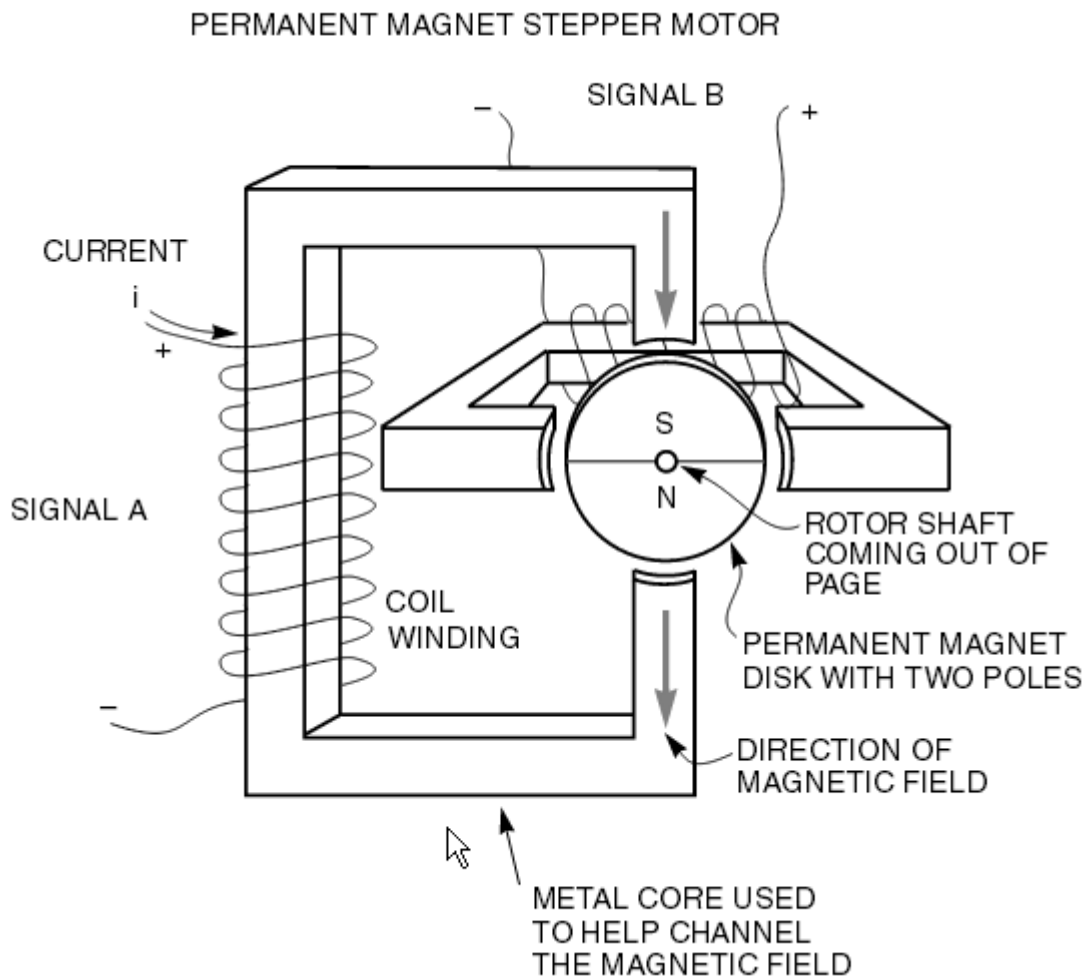


Rys. 5-12 Sterowanie silnikiem szczotkowym ze sprzężeniem zwrotnym

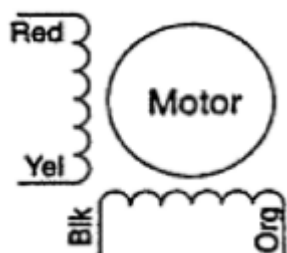
5.6 Silniki krokowe

Wyróżnia się dwa typy silników krokowych:

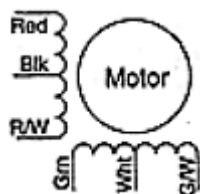
- Z magnesem trwałym (ang. *permanent-magnet (PM)*) – oddziaływanie pomiędzy elektromagnesem a magnesem trwałym
- Ze zmienną reluktancją (ang. *Variable-reluctance (VR)*) - oddziaływanie pomiędzy elektromagnesami, brak magnesu trwałego.



Rys. 5-13 Silnik krokowy dwufazowy z magnesem trwałym



Rys. 5-14 Silnik krokowy 2 fazowy z uzwojeniem prostym (unifilarnym)

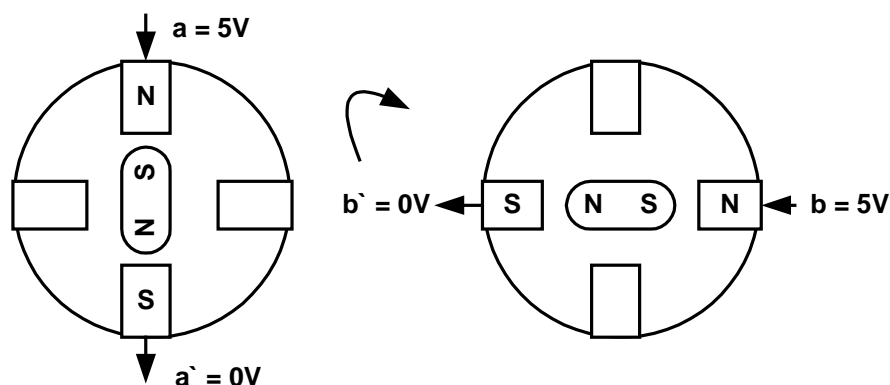


Rys. 5-15 Silnik krokowy 2 fazowy z uzwojeniem podwójnym bifilarnym

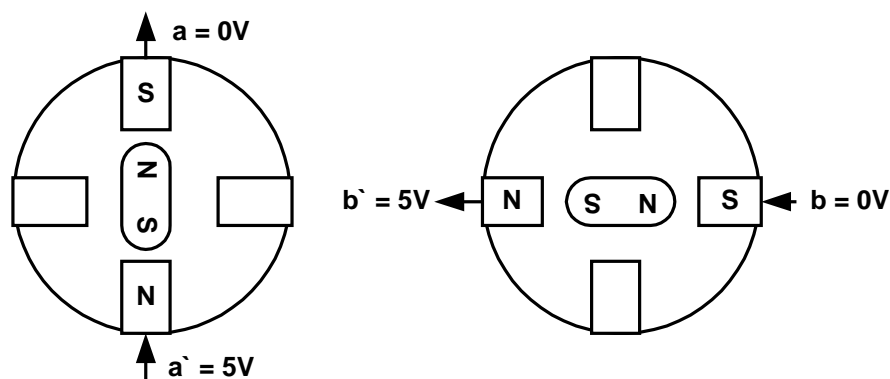
Silniki z uzwojeniem bifilarnym są prostsze do sterowania – do zmiany kierunku wystarczy przełączyć jeden przewód.

Sterowanie może być:

- Pełno krokowe - jeden krok odpowiada obrotowi o 90 stopni
- Pół krokowe - jeden krok odpowiada obrotowi o 45 stopni



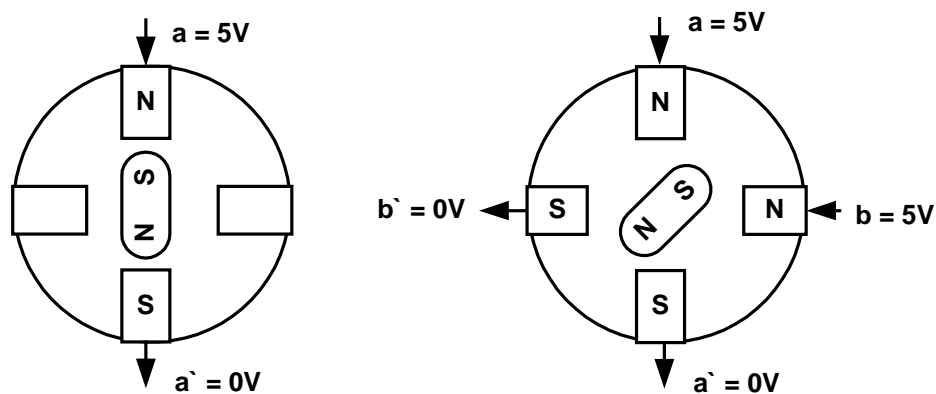
Rys. 5-16 Pozycja 0 stopni i 90 stopni



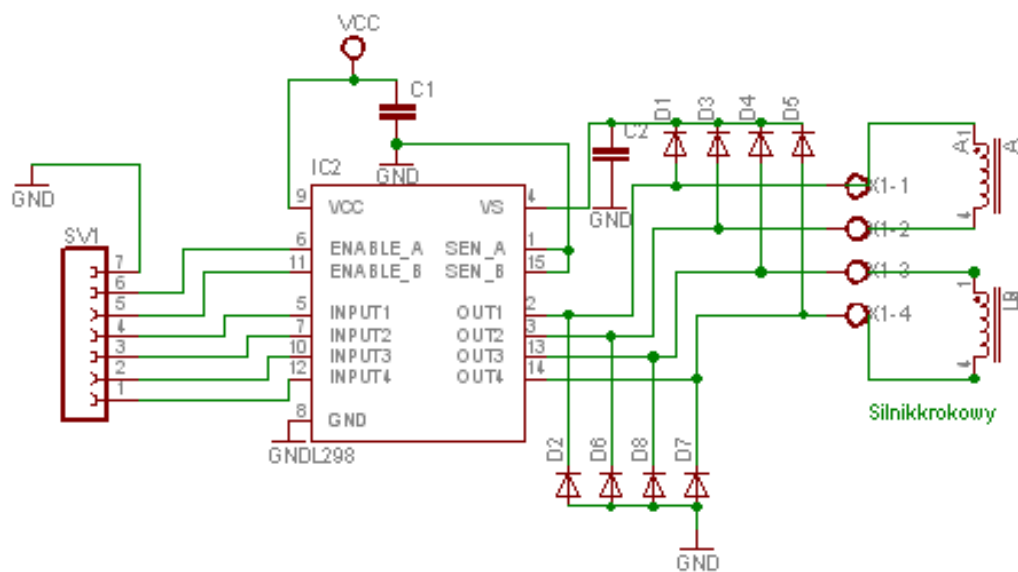
Rys. 5-17 Pozycja 180 stopni i 270 stopni

	0	90	270	360
a	5V	0	0	0
a'	0	0	5V	0
b	0	5V	0	0
b'	0	0	0	5V

Tab. 5-4 Sterowanie silnikiem krokowym (pełne kroki)



Rys. 5-18 Sterowanie silnikiem krokowym – pół kroku, Pozycja 0 stopni i 45 stopni



Rys. 5-19 Układ sterowania silnikiem krokowym 2 fazowym

	0	90	270	360
In1	1	0	0	0
In2	0	0	1	0
In3	0	1	0	0
In4	0	0	0	1
Enable 1	1	1	1	1
Enable 2	1	1	1	1

Tab. 5-5 Sterowanie silnikiem krokowym dwufazowym (pełne kroki) za pomocą układu L298

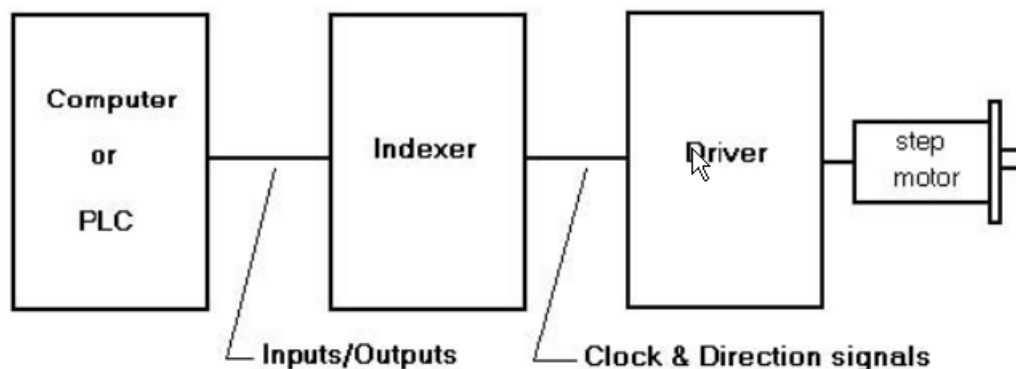
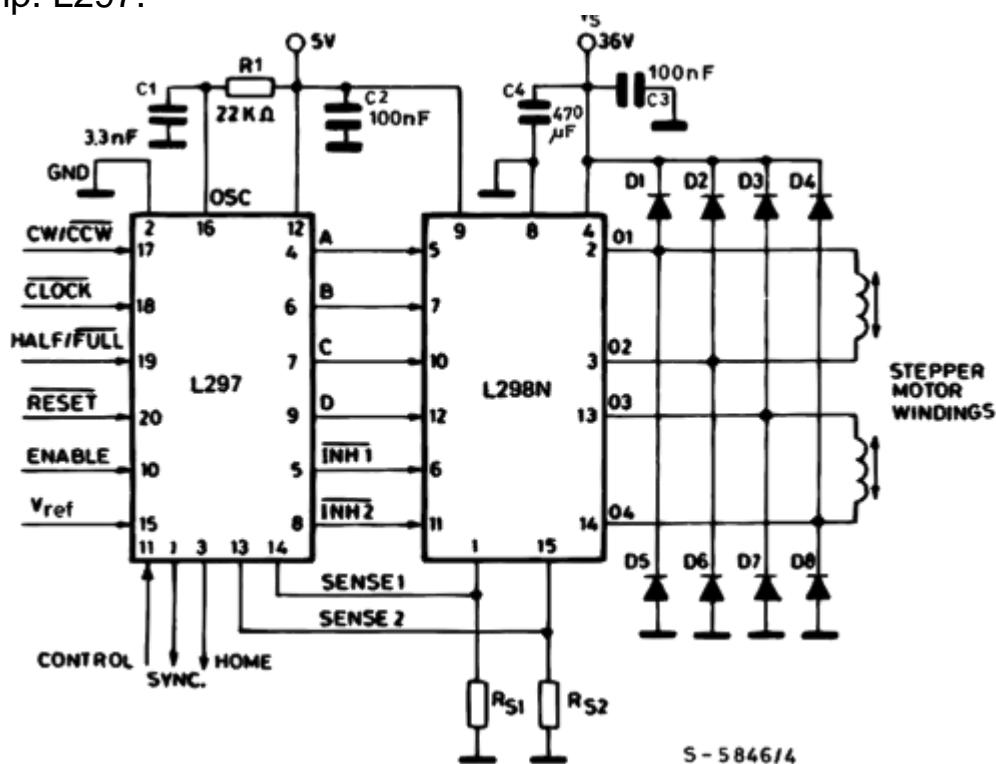


Figure 8: Typical Step Motor System

Istnieją specjalne układy scalone do sterowania silnikami krokowymi jak np. L297.



Rys. 5-20 Sterowanie 2 fazowego silnika krokowego za pomocą układu L298 i L297

CW/CCW	Kierunek obrotu (clockwise/ contra clockwise)
--------	---

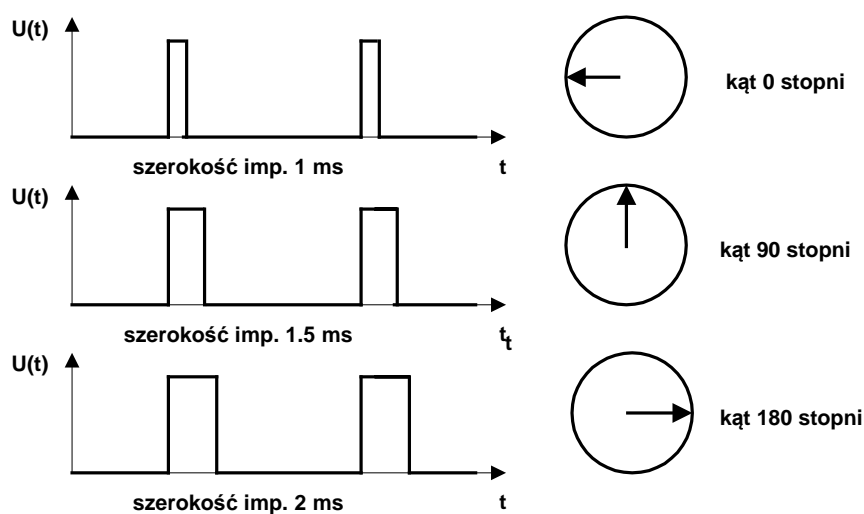
CLOCK	Impuls (zbocze opadające) powoduje wykonanie jednego kroku silnika
HALF/FULL	Pół obrotu lub pełny obrót
ENABLE	Gdy LOW układ zablokowany
Vref	Napięcie odniesienia do pomiaru prądu

Tab. 5-6 Sterowanie układem L297

5.7 Serwomechanizmy

Serwomechanizm jest układem wykonawczym w postaci obrotowego ramienia, zakres obrotów może być różny w zależności od wersji np. 0-180 stopni czy 0-360 stopni. Typowy serwowmotor jest sterowany przez trzy wejścia: GND, Vcc i sterowanie.

Kąt obrotu serwomechanizmu uzależniony jest od szerokości impulsu podawanego na wejście sterujące. Impulsy wysyłane są co 20 ms a szerokość impulsu sterującego wynosi pomiędzy 1 a 2 ms. Impuls szerokości 1 ms odpowiada kątowi obrotu 0 stopni a 2 ms 180 stopni. Zwykle impuls szerokości 1.5 ms odpowiada środkowej pozycji ramienia.



Rys. 5-21 Zależność kąta obrotu ramienia od szerokości impulsu dla serwomechanizmu.

Literatura

- [1] STI - Nota aplikacyjna układu L298 DUAL FULL-BRIDGE DRIVER,
- [2] Freescale Semiconductor Application Note Quick Start for Beginners to Drive a Stepper Motor
http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/app_note/AN2974.pdf