

Podstawy elektrotechniki i mechatroniki

Elementy stykowych układów sterowania elektrycznego

Najważniejsze elementy składowe elektrycznego sterowania stykowego to łączniki, elementy wtykowe, połączenia przewodowe i przyrządy wskazujące (rys. 1). Schematy połączeń służą do przejrzystego przedstawienia elektrycznego układu sterowania. Przedstawia się na nich funkcje składowych elementów poprzez znormalizowane oznaczenia zwane symbolami graficznymi. Symbole przedstawiają element w stanie nie wzbudzonym (nie wystartowanym). Zestyki przełączające uruchamia się ręcznie, mechanicznie (krzywkami i zderzakami) lub zdalnie. Sterowanie zdalne odbywa się przeważnie z wykorzystaniem siły elektromagnetycznej, tak jak to ma miejsce w przekątnikach, stycznikach lub w zespołach do przełączania krokowego (programatorach stykowych).

Łączniki uruchamiane ręcznie dzieli się na łączniki przyciskowe, przełączne i zamkowe (typu stacyjka z kluczykiem).



Rys. 1. Przyciski i przełączniki

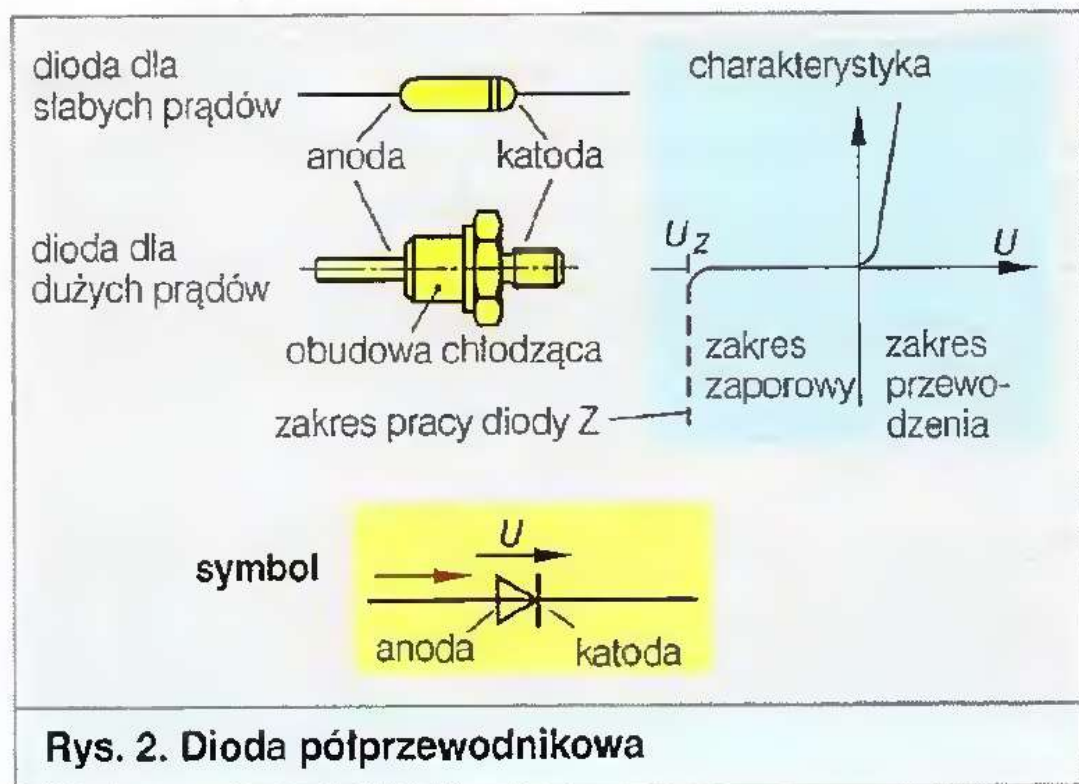
Elementy elektronicznych układów sterowania

Elementy półprzewodnikowe, takie jak diody, tranzystory, tyrystory i układy scalone (IC), są najważniejszymi składnikami budowy układów elektronicznych.

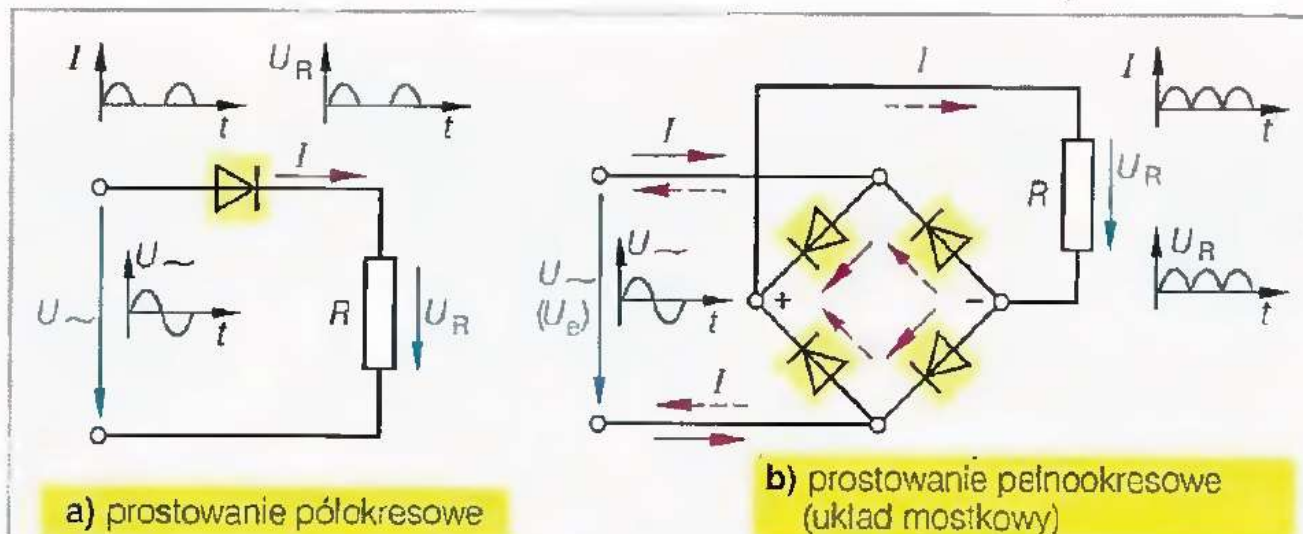
Diody półprzewodnikowe

Diody półprzewodnikowe są elementami układów elektronicznych posiadającymi dwa doprowadzenia (końcówki) i na ogół przejścia typu PN (**rys. 2**). W kierunku ostrza strzałki dioda przepuszcza prąd i nie przepuszcza w kierunku przeciwnym. Działa podobnie jak zawór zwrotny. Jeżeli przekroczy się maksymalne napięcie zaporowe U_Z , dioda zostaje zniszczona. Są jednak diody Z (diody Zenera), które specjalnie pracują w kierunku zaporowym U_Z . Dioda Zenera w obszarze pracy generuje napięcie U_Z niezależne od prądu I . Tę właściwość wykorzystuje się przy tworzeniu źródeł napięcia niezależnych od obciążenia prądowego. Jeżeli np. diodę Z ($U_Z = 12\text{ V}$) w kierunku zaporowym podłączy się do źródła o zmieniającym się napięciu, np. pomiędzy 12 V a 15 V, to spadek napięcia na diodzie będzie stały i wyniesie 12 V.

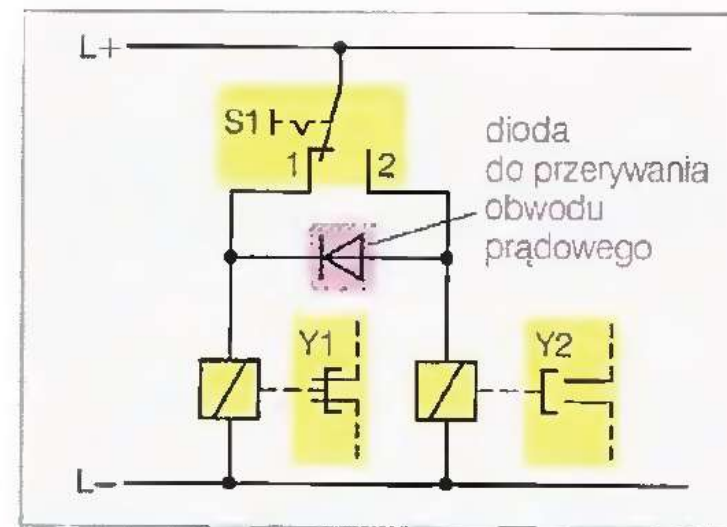
Diody stosuje się do prostowania prądu przemiennego, ustalania wartości (modułu), odsprężenia i realizacji działań dwuwartościowych (logicznych) na sygnałach elektrycznych.



W układach prostowniczych rozróżnia się prostowniki półokresowe i pełnookresowe. Dioda przedstawiona na rys. 1a na następnej stronie przewodzi tylko wówczas, gdy przyłożone napięcie przemienne jest dodatnie. Przy ujemnym napięciu prąd nie płynie. Wartość tego prądu jest wartością średnią z dodatniego półokresu zmian prądu przemiennego.



Rys. 1. Układy prostownicze



Rys. 2. Sterowanie z diodą odsprężającą

Układem mostkowym z czterema diodami osiągamy to, że przez opór odbiornika R płynie prąd I zawsze w jednym kierunku, niezależnie od tego czy napięcie przemienne jest dodatnie (kierunek prądu $\rightarrow$), czy ujemne (kierunek prądu $- \rightarrow$) (rys. 1b).

Układ ten nadaje się również do określania wartości bezwzględnej sygnału elektrycznego, ponieważ napięcie na oporze R odpowiada modułowi napięcia wejściowego U_e . ($U_R = |U_e|$); tzn. jest ono zawsze dodatnie i ma ten sam moduł co napięcie wejściowe.

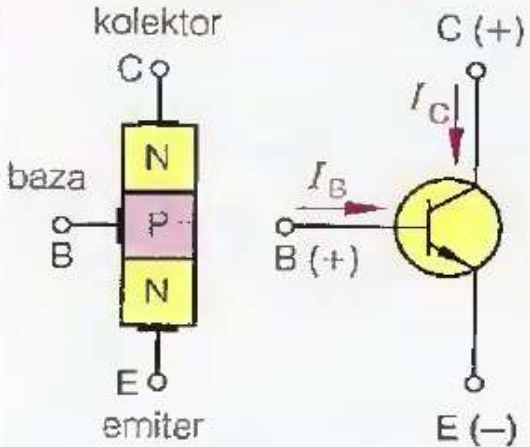
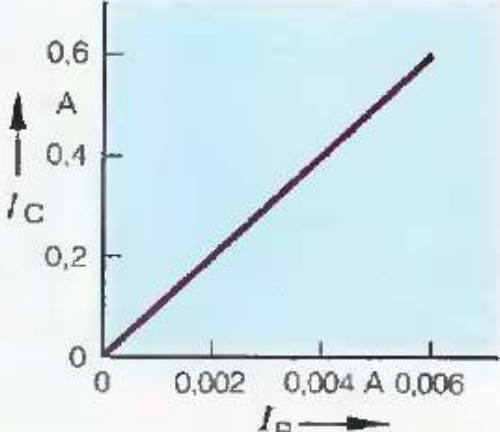
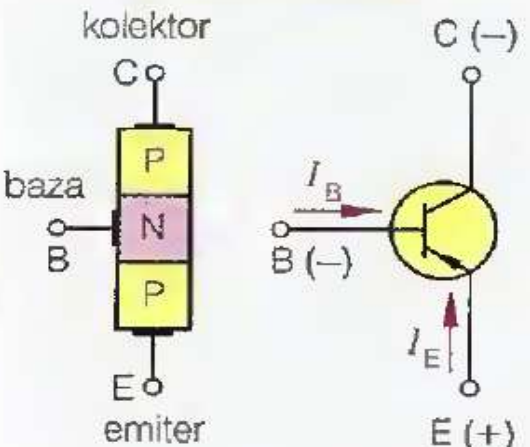
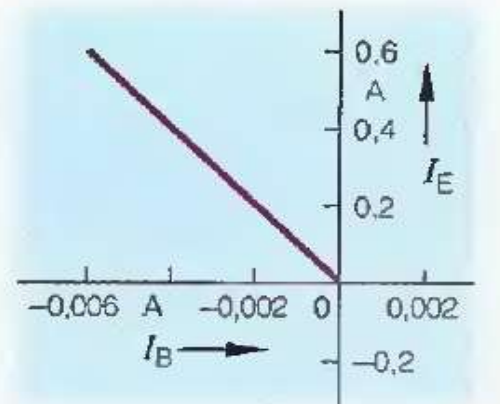
Za pomocą diod można urządzenia elektryczne odłączać od obwodu prądowego (odsprężać), można również na sygnałach elektrycznych wykonywać działania logiczne.

Tranzystory

Tranzystory składają się z trzech warstw półprzewodnikowych o kolejności warstw: P, N, P (tranzystor p-n-p) lub N, P, N (tranzystor n-p-n). Do każdej warstwy jest dołączona elektroda (tabl. 1).

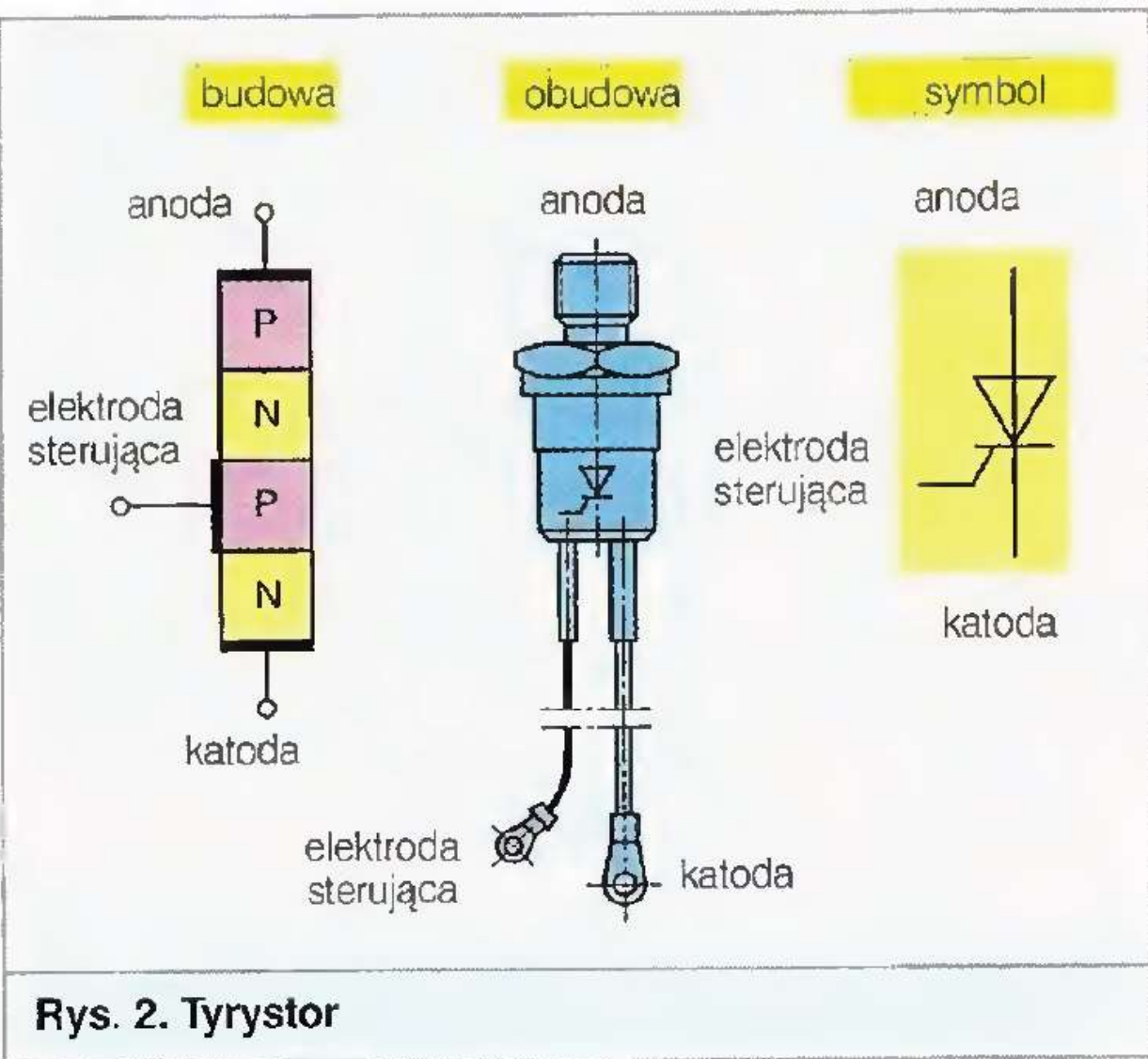
Elektrody warstw zewnętrznych nazywają się emiter (E) i kolektor (C). Warstwa środkowa nazywa się bazą (B). Za pomocą elektrody bazy można sterować prądem płynącym od emitera do kolektora (przy tranzystorach p-n-p), względnie od kolektora do emitera (przy tranzystorach n-p-n).

Jeżeli między bazą a emiternie ma napięcia sterującego, to złącze emiter – kolektor nie przewodzi prądu, ponieważ złącze PN ciągle pracuje w kierunku zaporowym. Prąd bazowy likwiduje zjawisko nieprzewodzenia w złączu PN i prąd może płynąć między kolektorem a emiternie. Prąd sterujący I_B jest mniejszy od prądu sterowanego I_C (względnie $-I_C$), np. sto razy, co pozwala przy pomocy tranzystorów w prosty sposób budować elektroniczne wzmacniacze o małej mocy wejściowej i dużej mocy wyjściowej.

Tabl. 1. Tranzystory	
budowa i symbol	charakterystyka prądowa
tranzystor n-p-n 	 wzmocnienie prądowe np. 100
tranzystor p-n-p 	 wzmocnienie prądowe, np. 100

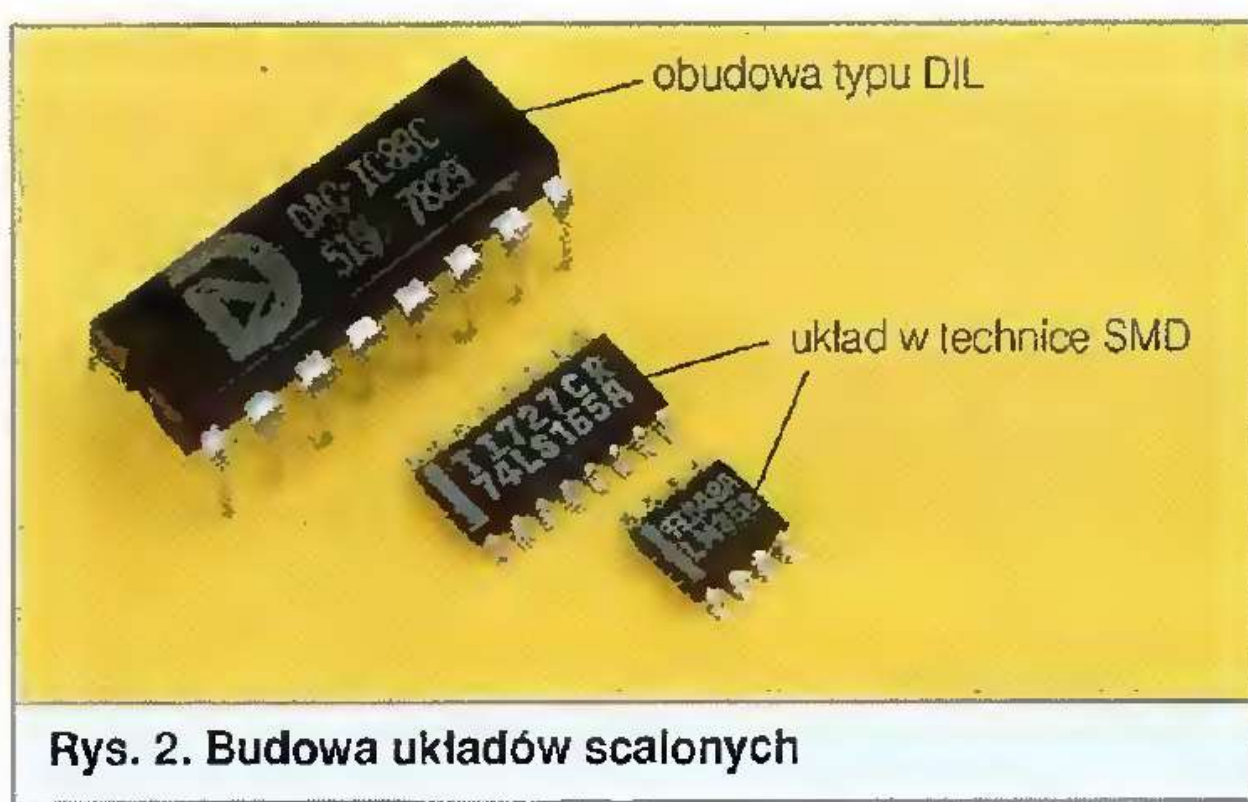
Tyrystor jest sterowalnym prostownikiem półprzewodnikowym z kilkoma warstwami P i N (rys. 2). W stanie niewysterowania tyrystor nie przewodzi w żadnym kierunku. Zadziałanie impulsu prądowego na elektrodzie sterującej powoduje, że tyrystor przewodzi, gdy między anodą i katodą jest dodatnie napięcie (prąd płynie od anody do katody). Z chwilą gdy prąd staje się zerowy, tyrystor przestaje przewodzić i pozostaje w stanie nieprzewodzącym, aż zostanie ponownie „pobudzony” impulsem sterującym.

Za pomocą tyrystorów można budować sterowalne źródła stałoprądowe (wzmacniacze prądu stałego dla napędów elektrycznych).



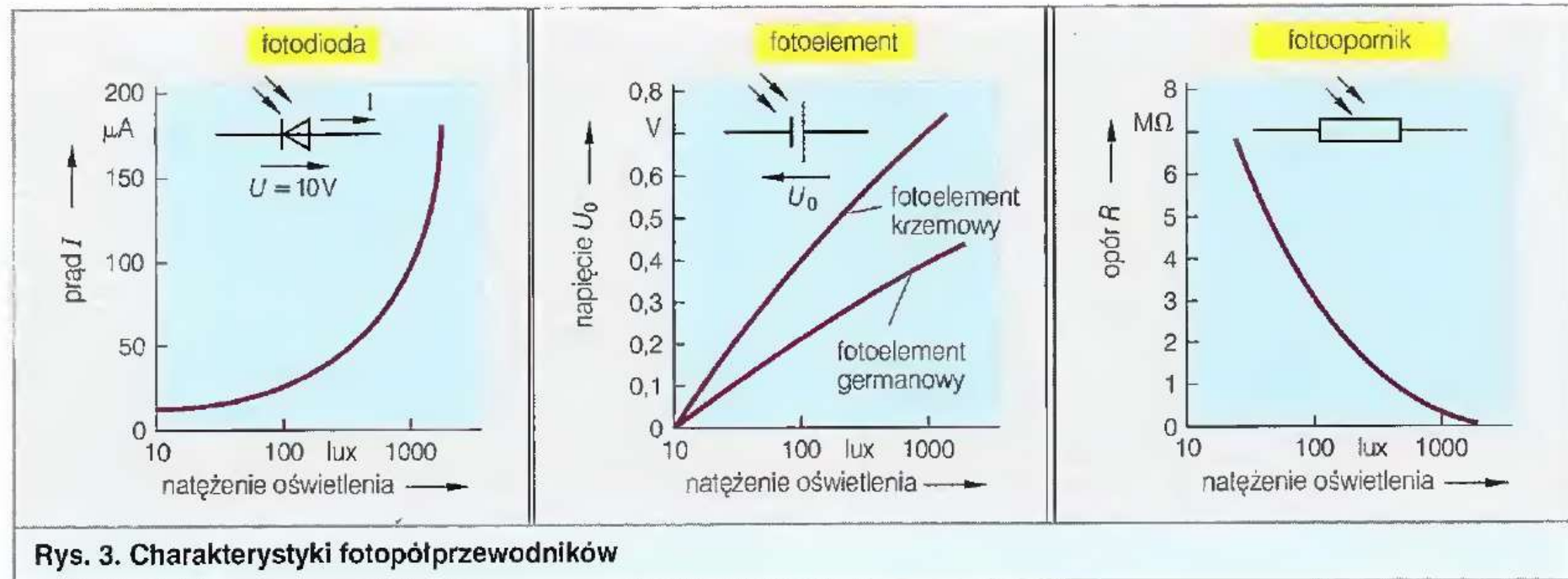
Układy scalone (IC). Układy scalone (ang. *Integrated Circuit*) zawierają na małej płytce krzemowej znaczną liczbę złącz PN. W ten sposób na bardzo małej przestrzeni gromadzi się i łączy w gotowe układy wiele diod i tranzystorów, a także oporników i kondensatorów. Obwody przełączające w technice scalonej umieszcza się w obudowach różnej wielkości, na ogół są to obudowy typu **DIL** (ang. *Dual in Line*) z 14 lub 16 przylączkami (nóżkami). Szczególnie mało miejsca zajmują obwody wykonane w technice **SMD** (ang. *Surface Mounted Device* = obwód do powierzchniowego montażu) (rys. 2)

Układy scalone mogą zawierać kompletne układy wzmacniające, np. wzmacniacze operacyjne, cyfrowe elementy liczące, pamięci cyfrowe i elementy cyfrowych układów sterowania.



Rys. 2. Budowa układów scalonych

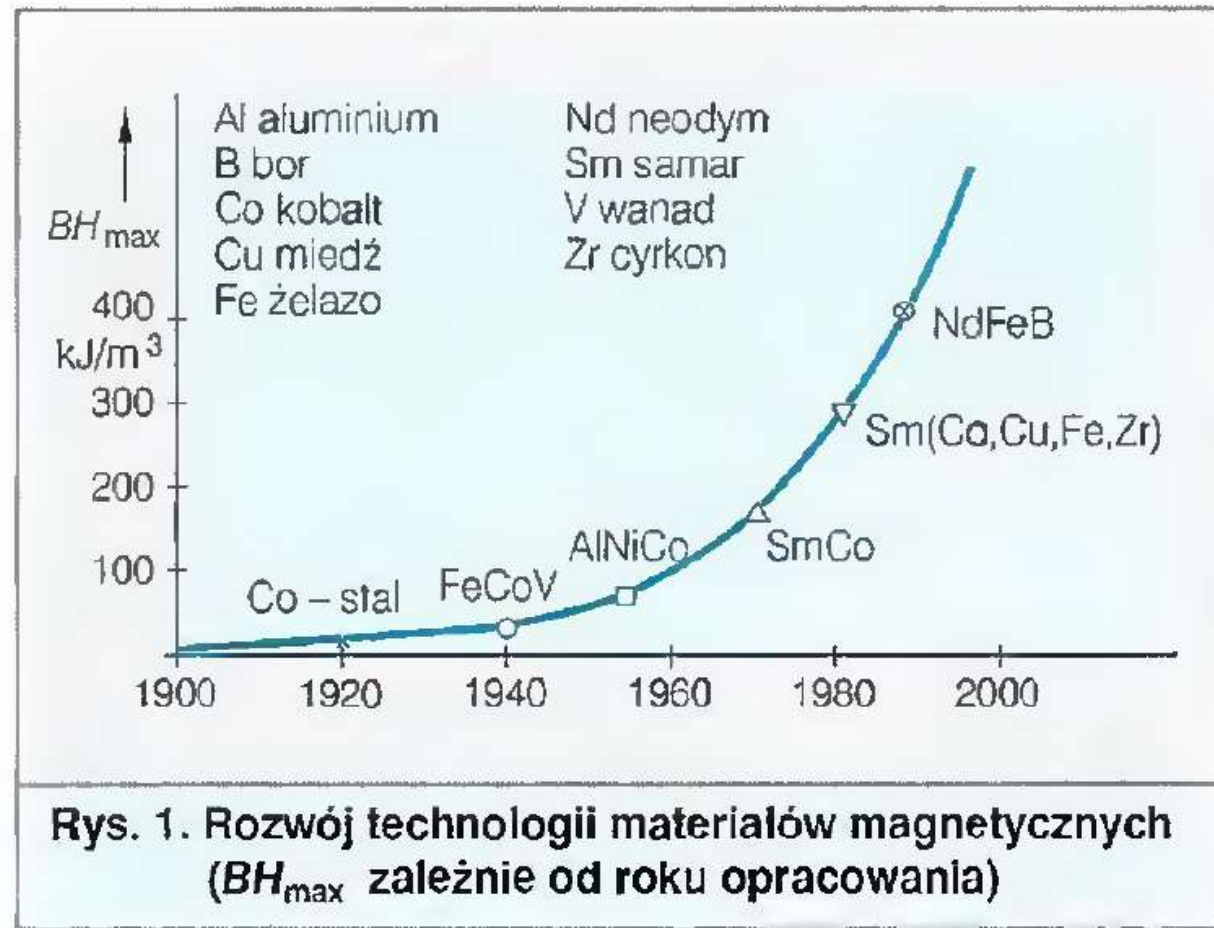
Fotodioda pracuje w kierunku zaporowym (rys. 3). Prąd zaporowy I zmienia się przy oświetlaniu w zakresie od kilku μA do kilkuset μA . Budowa **fotoelementu** jest podobna do budowy diody. Przy naświetlaniu powstaje między półprzewodnikiem N a półprzewodnikiem P przy elementach germanowych napięcie do 0,3 V, a przy elementach krzemowych napięcie do 0,7 V. Zatem fotoelement podczas naświetlania staje się źródłem napięcia. Oporność **fotoopornika** zmienia się w szerokim zakresie od kilku $\text{M}\Omega$ do kilku Ω . **Fototranzystory i fototyristory** przy naświetlaniu przewodzą prąd. Przełączanie (wzbudzenie) elementu następuje na skutek działania strumienia świetlnego – zamiast impulsu na elektrodzie sterującej. Fotoelektroniczne półprzewodniki znajdują zastosowanie w wielu urządzeniach sterujących, np. w łączach optycznych i przy cyfrowym pomiarze przemieszczeń.



Elektryczne urządzenia wykonawcze

Do najważniejszych elektrycznych urządzeń wykonawczych należą **silniki prądu przemiennego, silniki prądu stałego i silniki krokowe**.

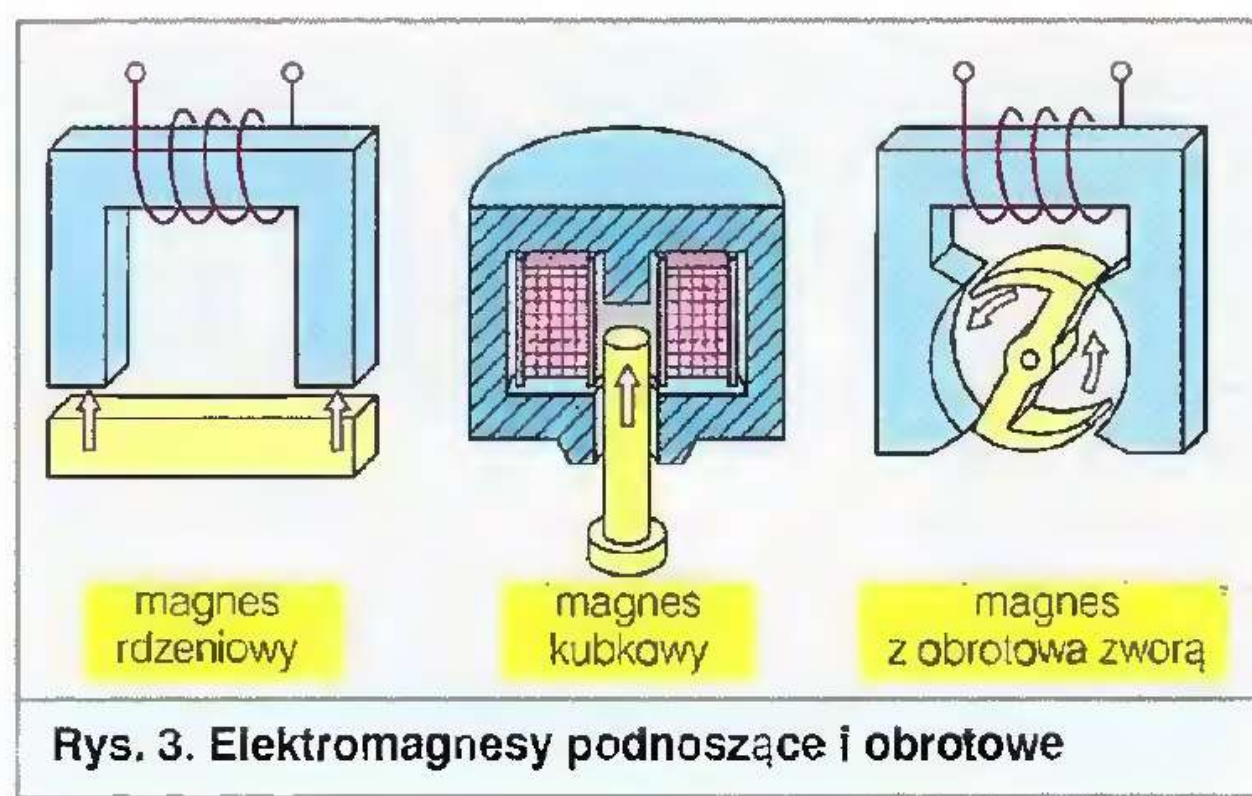
Ich działanie jest oparte na zjawisku wywierania przez pole magnetyczne siły na przewód, przez który płynie prąd. Pole magnetyczne jest wytwarzane przez elektromagnesy lub magnesy stałe (trwałe). Oprócz tego istnieją urządzenia wykonawcze oparte na zjawiskach piezoelektrycznym, magnetostrykcji i wykorzystującym zachowania „metali z pamięcią” (*Memory Metal*).



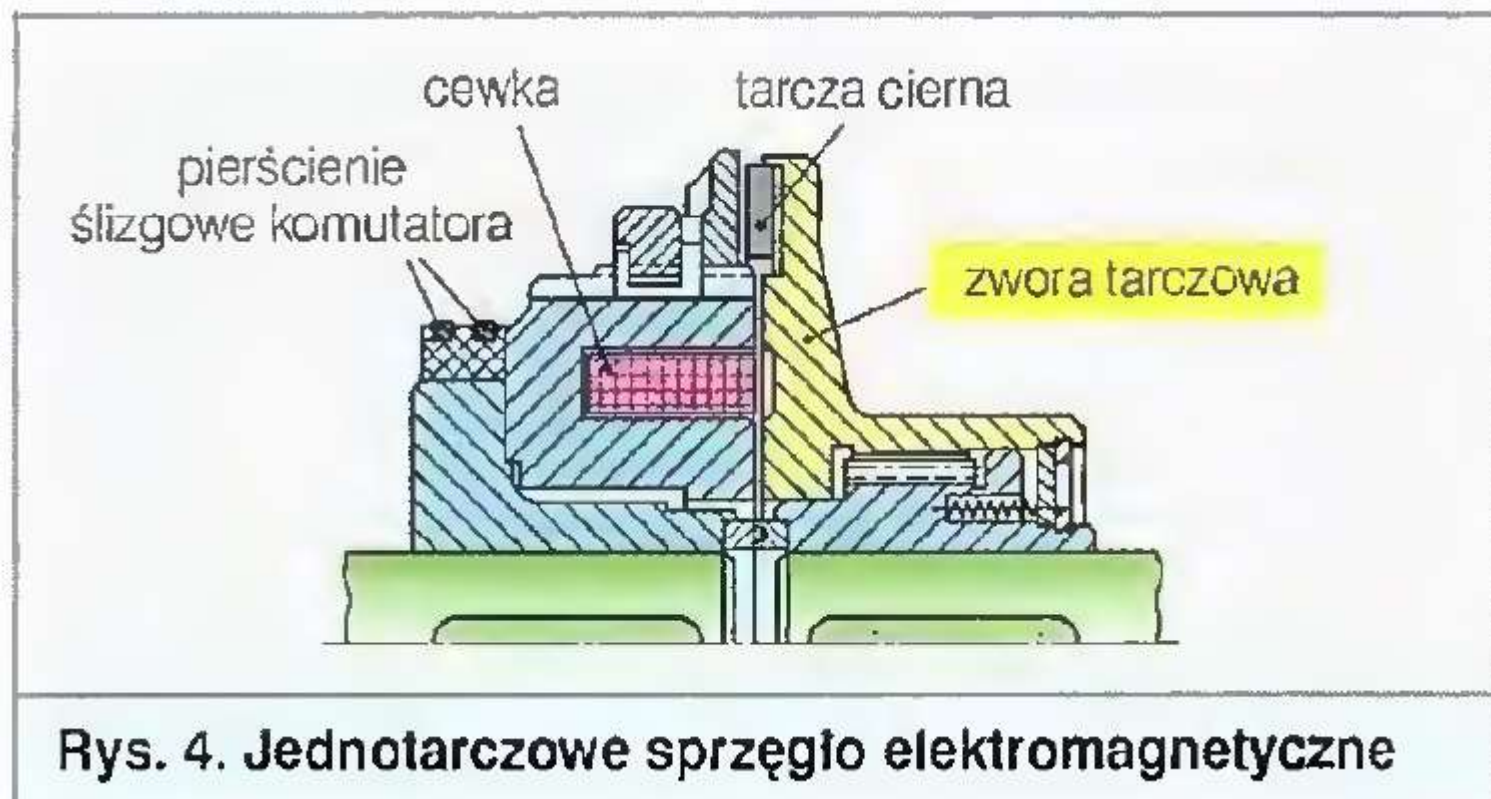
Elektromagnesy i sprzęgła elektromagnetyczne

Urządzenia wykonawcze zbudowane na bazie elektromagnesów składają się z cewki z żelaznym rdzeniem i **ruchomego żelaznego rdzenia** zwanego **zworą**. Przepływ prądu przez cewkę powoduje przyciąganie zwory. Zwora ustawia się tak, aby istniał najmniejszy opór magnetyczny dla linii strumienia magnetycznego. Rozróżnia się **elektromagnesy podnoszące** z przesuwającą się zworą i **elektromagnesy obrotowe** ze zworą obrotową (rys. 3).

Ruchoma zwora ustawia się tak, aby opór magnetyczny był jak najmniejszy.



Sprzęgła elektromagnetyczne stosuje się do zdalnego lub samoczynnego przełączania lub hamowania przekładni. Wśród sprzęgieł elektromagnetycznych rozróżnia się sprzęgła jednotarczowe (**rys. 4**), wielopłytkowe, proszkowe i zębate.



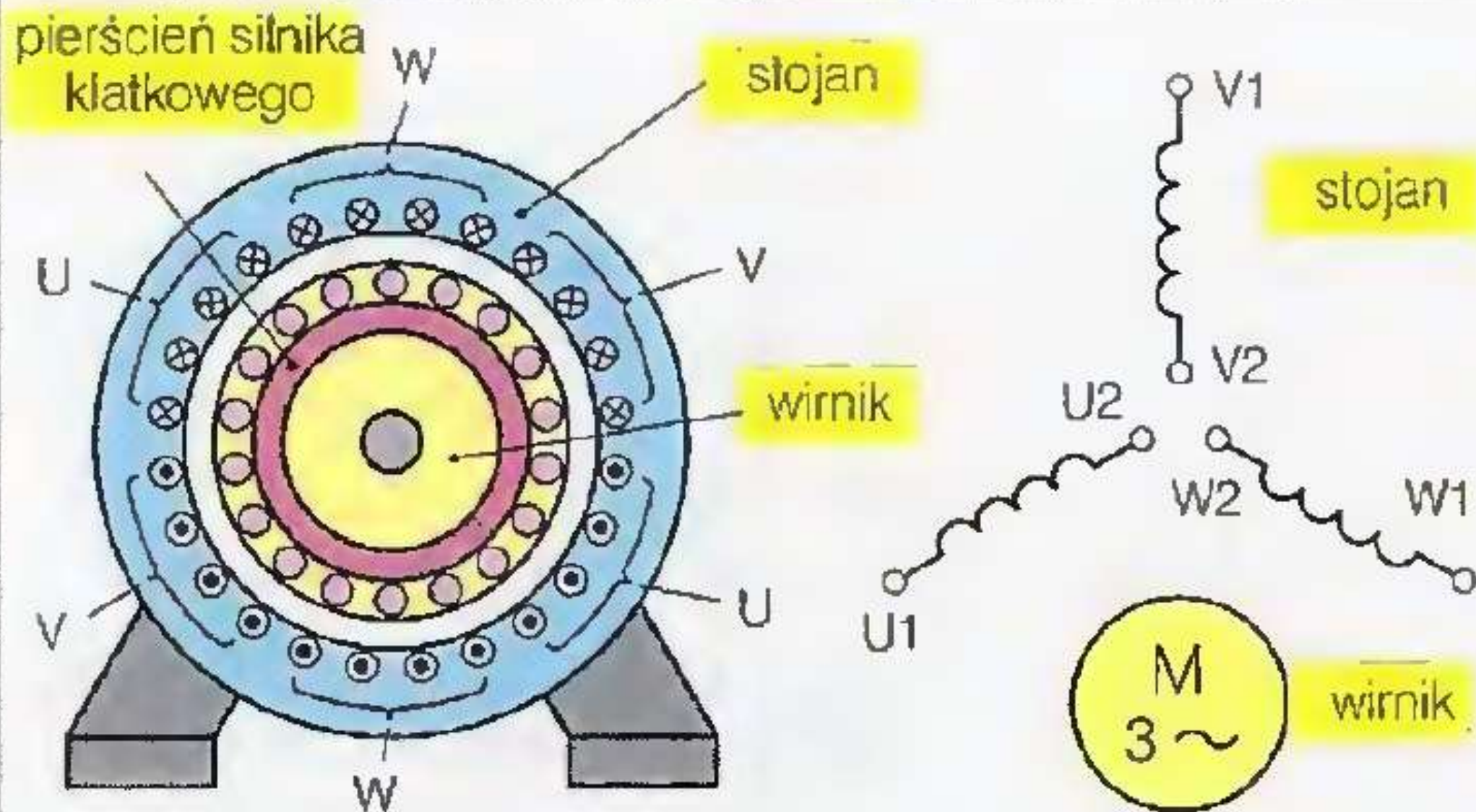
Silniki prądu przemiennego

Najczęściej stosowanym sieciowym silnikiem prądu przemiennego jest **asynchroniczny silnik trójfazowy**¹ (rys. 1).

Silnik asynchroniczny ma prostszą budowę niż silnik prądu stałego ale przy tej samej mocy większe wymiary i ciężar. Składa się z obudowy mieszczącej trójczęściowe uzwojenie stojana z końcówkami U1-U2, V1-V2, W1-W2 i wirnika (rys. 2). Silnik prądu trójfazowego może być włączony bezpośrednio do sieci trójfazowej prądu przemiennego. W zależności od rodzaju wirnika rozróżnia się silniki klatkowe (zwarte) i silniki pierścieniowe (rys. 3)



Rys. 1. Asynchroniczny silnik trójfazowy



Rys. 2. Schemat budowy asynchronicznego silnika

silnik
klatkowy



końcówki
uzwojenia
stojana

silnik
pierścieniowy



końcówki
uzwojenia
wirnika

Rys. 3. Symbole silników

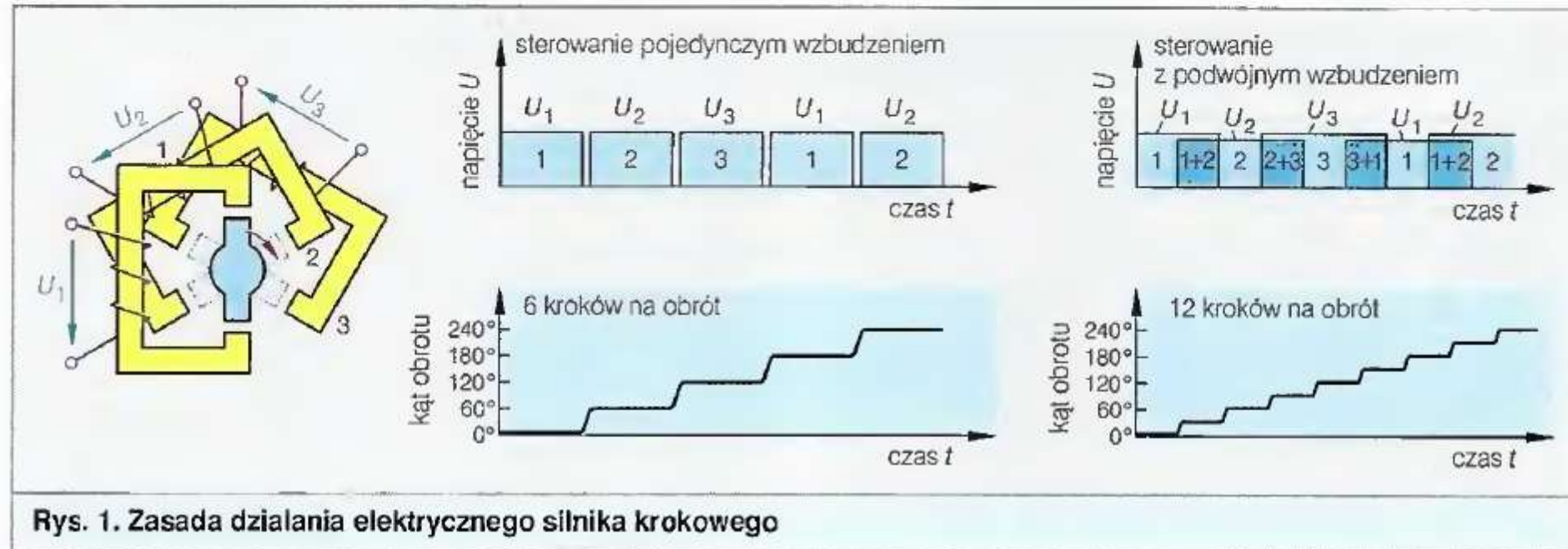
Silniki krokowe

Silniki krokowe stosuje się w napędach pozycjonujących, np. przy ustawianiu głowic zapisujących w drukarkach lub do transportu papieru w pisakach (ploterach).

Silnik krokowy obraca się po każdym impulsie sterującym o jeden krok kątowy.

Zasada działania

Jeżeli prąd będzie przepływał po kolei przez cewki 1, 2, 3, 1, 2, 3..., to wirnik z dwoma występami będzie się ustawiał po kolei w polu magnetycznym każdej cewki (**rys. 1**). Po trzech krokach obróci się o 180° , po sześciu krokach o cały obrót. Jeżeli cewki będą wzbudzane w kolejności 1, 1+2, 2, 2+3, 3 itd., to wówczas, przy podwójnym wzbudzeniu (czyli dwóch cewek), wirnik przyjmie położenie środkowe pomiędzy dwoma biegunami. Teraz do wykonania jednego obrotu potrzeba $2 \cdot 6 = 12$ kroków. Wzbudzanie cewek w kolejności 1, 1+3, 3, 3+2, 2 itd. spowoduje obroty wirnika w przeciwnym kierunku.



Sensoryka

W układach sterowania, regulacji, nadzoru i zabezpieczenia wykorzystuje się różnego rodzaju sensory informujące o przebiegu procesu produkcyjnego i stanie maszyn i urządzeń realizujących proces. W zależności od rodzaju wytwarzanych sygnałów dzieli się sensory na analogowe, binarne i cyfrowe.

Sensory analogowe

Za pomocą sensorów analogowych przetwarzane są wielkości mechaniczne, np. zmiana położenia lub wielkości elektryczne, np. zmiana mocy, na napięciowe lub prądowe sygnały elektryczne.

W wyniku wzorcowania sensory mogą być wykorzystane jako **przetworniki pomiarowe**.

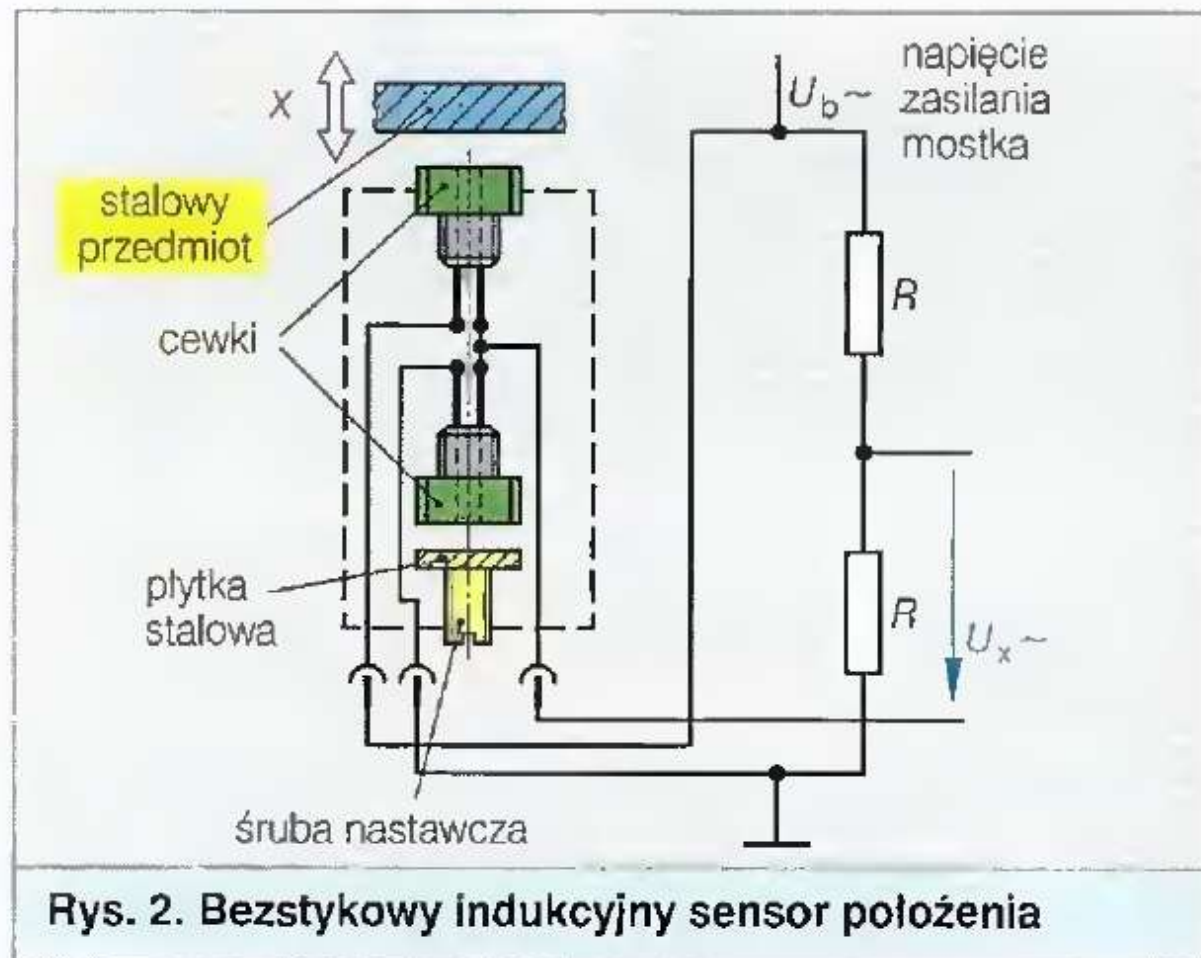
Przez wzorcowanie rozumie się wg normy PN-71/N-02050) ustalenie związku pomiędzy wielkością mierzoną i wskazaniem. Sygnały z przetwornika pomiarowego mogą więc być wyrażane w jednostkach fizycznych, np. w przypadku przetwornika położenia w mm.



Rys. 1. Potencjometr liniowy

Indukcyjne sensory położenia

Działanie tych sensorów polega na zmianie indukcyjności cewki przy zbliżaniu się do ferromagnetycznego przedmiotu, np. stalowego (rys. 2). Druga cewka z płytką stalową służącą do nastawiania, umieszczona we wnętrzu sensora, umożliwia pomiar korzystając z układu mostka pomiarowego prądu przemiennego. Zależność pomiędzy sygnałem wyjściowym sensora i położeniem kontrolowanego przedmiotu jest liniowa tylko dla bardzo małych zmian położenia i zależy od właściwości ferromagnetycznych i kształtu zbliżanego przedmiotu. Zależność ta musi być wyznaczana eksperymentalnie. Czynność ta nazywa się kalibracją. Mierzone odległości – do 1 mm. .



Rys. 2. Bezstykowy indukcyjny sensor położenia

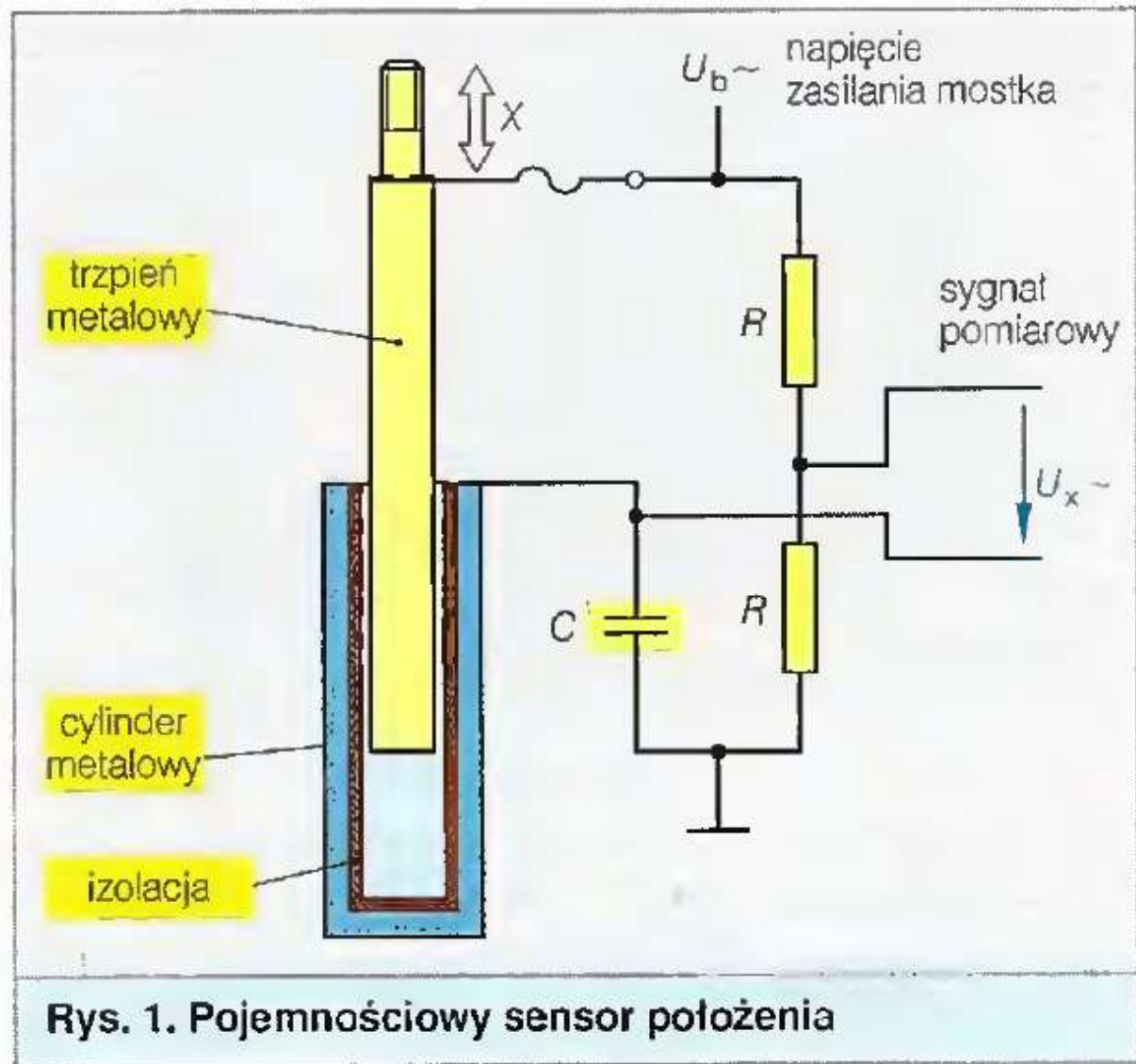
Bezdotykowe indukcyjne sensory położenia są stosowane do pomiarów przemieszczeń ruchomych przedmiotów, np. odchylenia wrzeciona tokarki przy obciążeniu lub do pomiarów szczelin spawalniczych i położenia krawędzi blach przy spawaniu z wykorzystaniem robotów.

Pojemnościowe sensory położenia

Do pomiarów dużych przemieszczeń, w zakresie do 2 m, wykorzystuje się sensory rurowe (rys. 1). Przesuwając w rurze odizolowany od niej trzpień zmienia się pojemność układu dwóch elektrod: rury i trzpienia. Za pomocą mostka pomiarowego prądu przemiennego zmieniająca się pojemność przetwarzana jest na sygnał pomiarowy.

Sensory pojemnościowe znalazły zastosowanie np. do pomiaru położenia stempla tłoczącego w maszynach do odlewania ciśnieniowego.

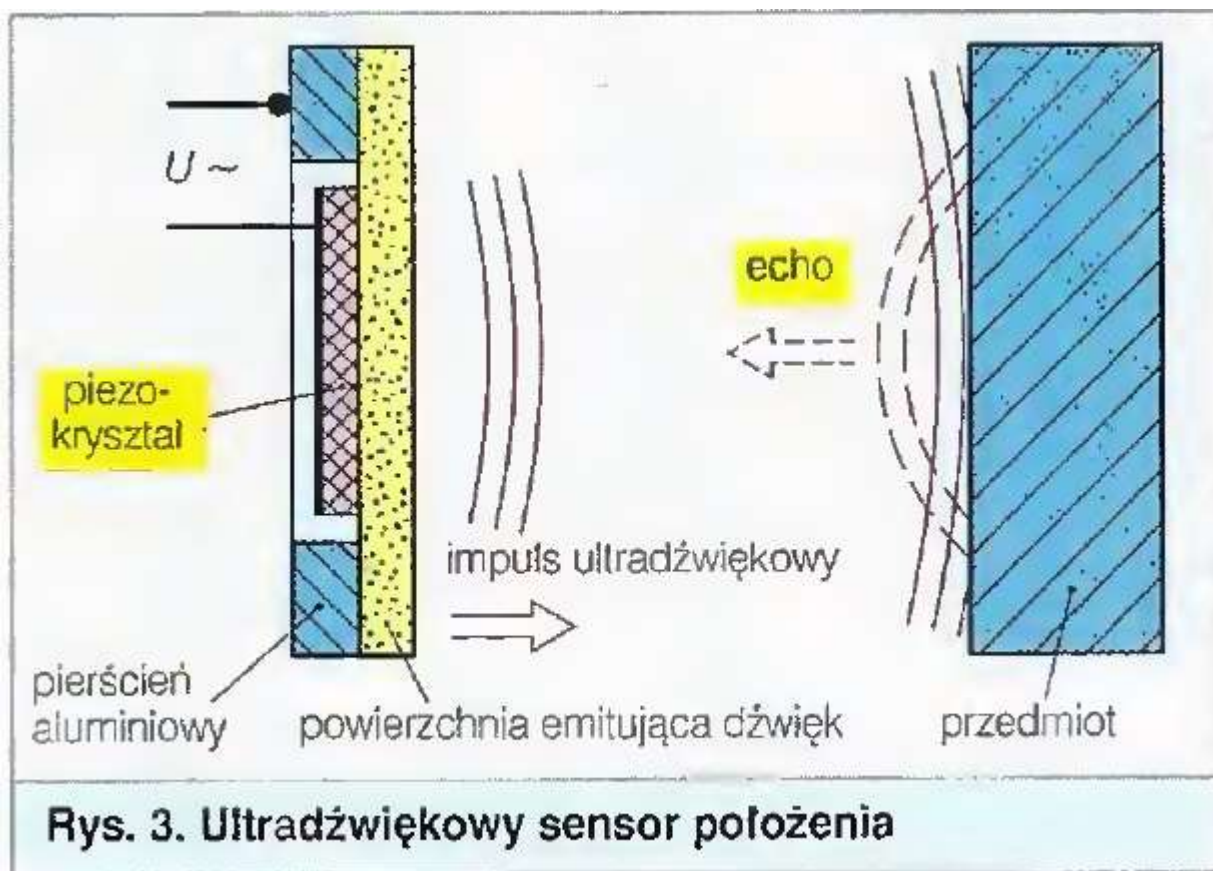
W procesach cięcia laserowego wyznaczana jest odległość pomiędzy dyszą tnącą i detalem za pomocą pomiarów pojemnościowych (rys. 2). Jedną elektrodą jest tu dysza tnąca, drugą – uziemiony detal.



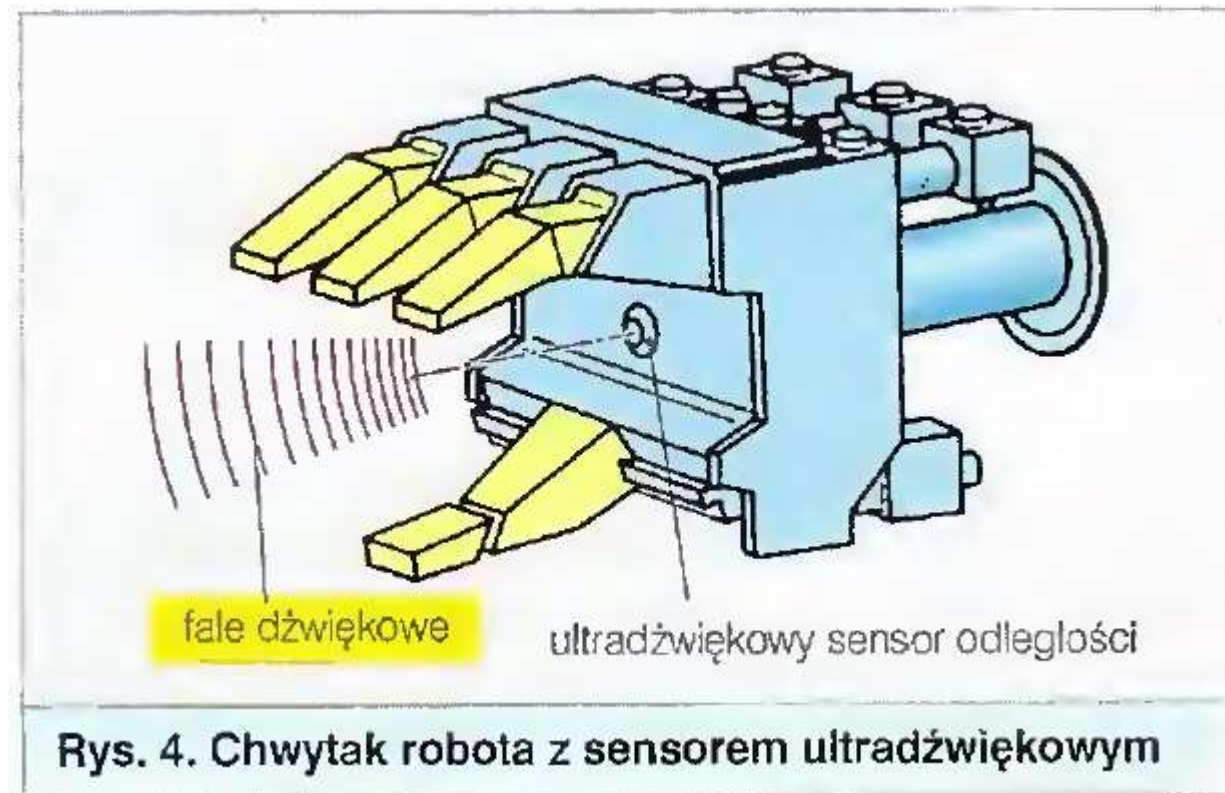
Ultradźwiękowe sensory położenia

Zasada działania tej grupy sensorów polega na pomiarze czasu pomiędzy wysłaniem impulsu ultradźwiękowego w kierunku kontrolowanego przedmiotu i jego powrotu – jako echo – po odbiciu się od jego powierzchni (rys. 3). Nadajnik i odbiornik są albo głośnikiem z małą, metalową membraną, albo piezokryształem.

W pierwszym przypadku częstotliwość ultradźwięków wynosi około 50 kHz, w drugim – około 200 kHz. Ponieważ kolejny impuls ultradźwiękowy może być wysłany dopiero po odbiorze echa, częstotliwość pomiarów zależy od odległości. Przy odległościach do 1 m wynosi ona około 4 pomiary na sekundę i do 10 m około 2 pomiary na sekundę. Dokładność pomiaru położenia przy odległościach do 100 mm wynosi około 0,5 mm i przy odległościach do 1000 mm – około 5 mm. Ponieważ czas przebiegu dźwięku zależy od temperatury powietrza, ciśnienia i wilgotności, pomiary dokładne nie mogą być realizowane.



Ultradźwiękowe sensory położenia stosuje się do automatycznego nastawiania odległości w aparatach fotograficznych i filmowych, do kontroli odległości w pojazdach sterowanych automatycznie, także do wyznaczania wysokości wypełnienia kotłów i silosów. Ultradźwiękowe sensory położenia wbudowane w chwytakach robotów umożliwiają wykrywanie obecności przedmiotów i informowanie o odległości do nich (rys. 4).

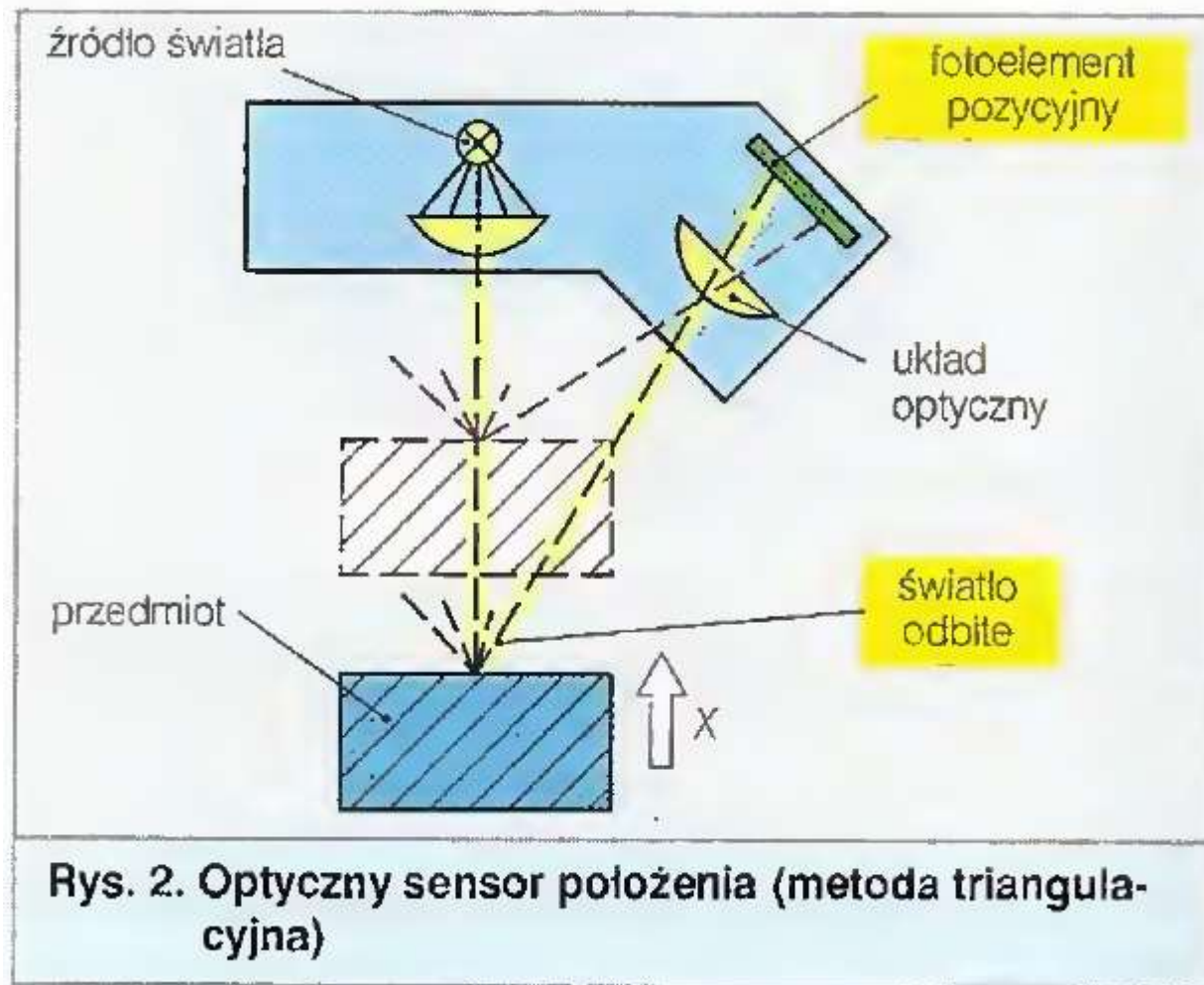


Optyczny sensor położenia

Kiedy strumień światła pada na **fotoelement PSD** (ang. **Position Sensitive Device** = pozycyjnie czuły element), wytwarza on sygnał napięciowy o wartości zależnej od miejsca padania strumienia (**rys. 2**). Stosując ten sensor i metodę triangulacji można bardzo dokładnie, bezdotykowo wyznaczać odległości do przedmiotów.

Optyczne pomiary odchyłek położenia wykonywane są także przy pomocy półprzewodnikowych, fotoczułych płytek, np. kwadratowych o długości krawędzi 15 mm. Mocując taką płytkę na saniach obrabiarki lub robocie i kierując cienki promień lasera na jej środek, można dokładnie wyznaczać odchyłkę trajektorii ruchu – wzdłuż promienia lasera – mierzoną prostopadle do jego osi (**rys. 3**).

Fotoelektroniczne elementy półprzewodnikowe, np. diody, stosuje się do bezdotykowego wyznaczania odległości, pomiaru odchyłek prostoliniowego prowadzenia maszyny wzdłuż promienia lasera oraz do wyznaczania zmian położenia.



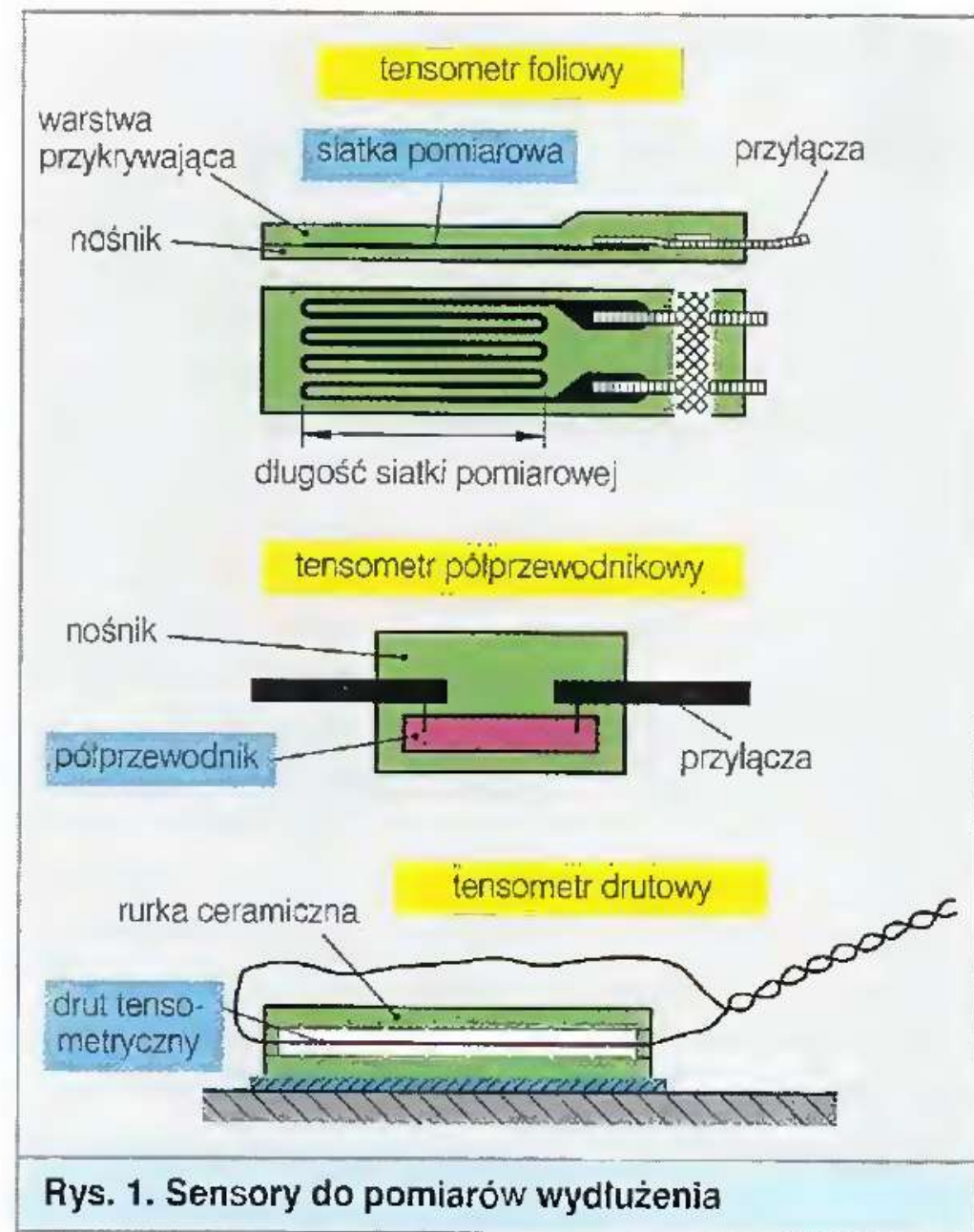


Rys. 3. Wyznaczanie dokładności ruchu robota wzdłuż linii prostej za pomocą fotoelementu PSD

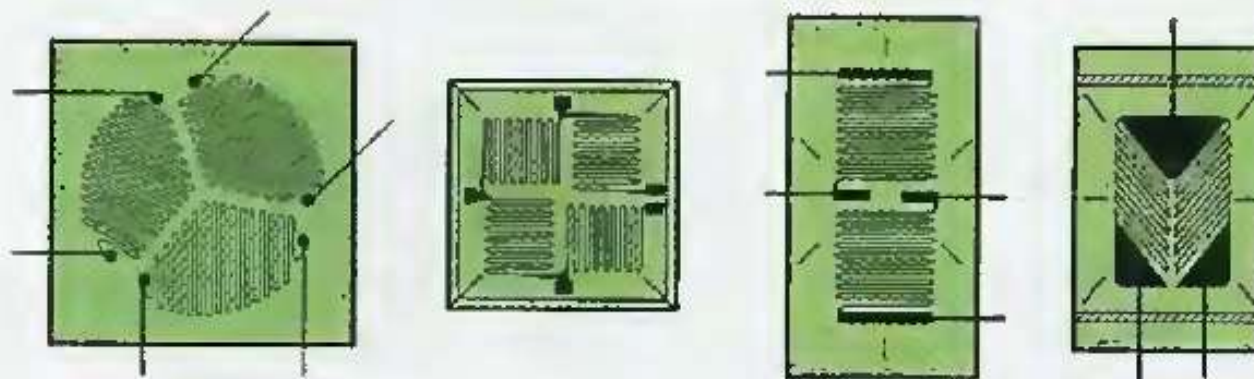
Sensory wydłużenia, siły, momentu obrotowego i ciśnienia

Tensometry

Pomiary wydłużeń, np. w maszynach, dźwigarach mostowych, konstrukcjach stalowych, są dokonywane za pomocą tensometrów foliowych lub drutowych (rys. 1). Celem jest kontrola poszczególnych części konstrukcji przy obciążeniu statycznym oraz wyznaczenie wpływu obciążeń dynamicznych. Występujące przy tym zmiany długości (wydłużenia) są bardzo małe, zwykle tylko $0,1\text{ }\mu\text{m}$... $10\text{ }\mu\text{m}$. Działanie tensometrów polega na zwiększaniu oporności przewodnika, który w wyniku rozciągania wydłuża się i w wyniku tego zmniejsza swój przekrój poprzeczny. Tensometry wytwarzane są zwykle jako tensometry foliowe. Podobnie jak przy wytwarzaniu obwodów drukowanych, nanosi się w procesie galwanicznym na nośnik foliowy metalową siatkę tensometru. Aby zmieścić tensometr w małych gabarytach rzędu kilku mm, ścieżki przewodzące nanoszone na folię wykonane są w kształcie meandra dzięki czemu ich sumaryczna szerokość jest stosunkowo duża – przy dużej, czynnej długości przewodnika w kierunku pomiaru wydłużenia. Zapewnia to odpowiednio duże zmiany oporności przy pomiarze wydłużenia i bardzo małe – przy ewentualnym rozciąganiu poprzecznym folii.



Rys. 1. Sensory do pomiarów wydłużenia



Rys. 2. Wykonania siatek pomiarowych tensometrów foliowych

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon$$

ΔR	zmiana oporności
R	oporność znamionowa
k	współczynnik
Δl	zmiana długości
l	nominalna długość tensometru
ε	wydłużenie