



LABORATORIUM
POMIARU WIELKOŚCI NIEELEKTRYCZNYCH
METODAMI ELEKTRYCZNYMI

POMIARY
PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ

POMIAR PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie najczęściej stosowanych metod pomiaru prędkości obrotowej, zakresu ich stosowania i specyfiki.

Podstawy teoretyczne

1.1 Klasyfikacja metod pomiaru prędkości obrotowej

Prędkość obrotowa określana jest jako liczba obrotów w jednostce czasu. Najczęściej na jednostkę czasu przyjmuje się minutę. W układzie SI nie występuje wielkość - prędkość obrotowa $n\left[\frac{obr}{min}\right]$, lecz zdefiniowana jest prędkość kątowa $\omega\left[\frac{rad}{s}\right]$. Między tymi wielkościami istnieje związek

$$n = \frac{60}{2\pi}\,\omega \tag{1}$$

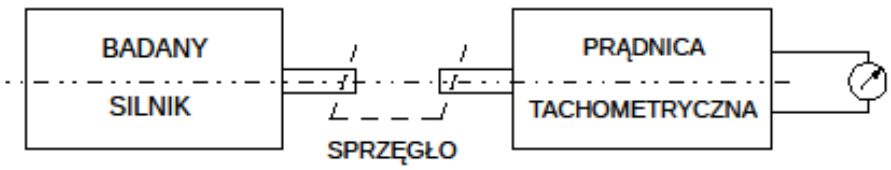
Elektryczne metody pomiaru prędkości obrotowej można podzielić na trzy grupy:

1. Metody polegające na przetwarzaniu prędkości obrotowej n, w analogowy sygnał elektryczny, najczęściej napięciowy u = g(n). W metodach tych, jako czujnik prędkości obrotowej wykorzystuje się prądnice tachometryczne prądu stałego i zmiennego oraz mostki tachometryczne.
2. Metody polegające na przetwarzaniu prędkości obrotowej w częstotliwość impulsów f=g(n). W metodach tych jako czujniki prędkości wykorzystuję się najczęściej czujniki fotoelektryczne, indukcyjne i pojemnościowe.
3. Metody stroboskopowe, wykorzystujące metody stroboskopowe, polegające na pozornej zmianie rzeczywistego ruchu w taki sposób, że przedmioty ruchome oświetlone światłem okresowo zmiennym, wydają się nieruchome lub poruszające się z prędkością inną niż rzeczywista.

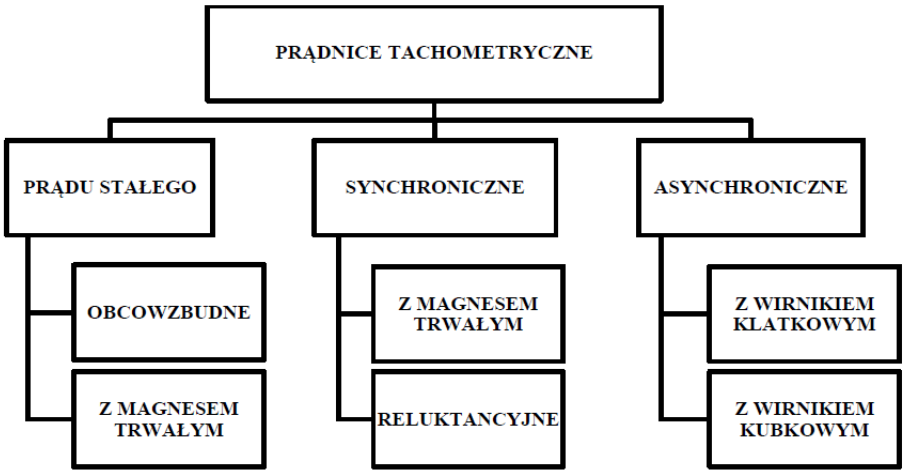
Metody częstotliwościowe i stroboskopowe nadają się szczególnie do pomiarów prędkości obrotowej małych maszyn i urządzeń, gdyż czujnik nie wprowadza dodatkowego obciążenia.

1.2 Prądnice tachometryczne

Prądnicą tachometryczną nazywa się maszynę elektryczną małej mocy, służącą do przetwarzania prędkości obrotowej w proporcjonalny sygnał elektryczny. Dla wykorzystania prądnicy tachometrycznej jako czujnika prędkości obrotowej, należy ją zamocować na wale badanej maszyny (rys. 1). W charakterze prądnic tachometrycznych są stosowane maszyny o różnych konstrukcjach i zasadach działania. Klasyfikacje prądnic tachometrycznych przedstawiona na rys. 2.



Rys. 1. Schemat pomiaru prędkości obrotowej prądnicą tachometryczną.



Rys. 2. Klasyfikacja prądnic tachometrycznych.

Prądnice tachometryczne prądu stałego budowane są jako obcowzbudne (rys. 3. a) lub ze wzbudzeniem magnesami stałymi (rys. 3. b). Napięcie wyjściowe prądnicy ma przebieg pulsujący i zawiera składową zmienna o małej częstotliwości, wywołaną niesymetrią magnetyczną i mechaniczną stojana i wirnika, oraz składową zmienną o dużej częstotliwości, skokowymi zmianami indukcji w pobliżu zębów. Uzwojenie prądnicy tachometrycznej umieszczone jest na wirniku, uzwojenie wzbudzające (lub magnesy stałe) w stojanie. Napięcie wyjściowe odprowadza się przez komutator i szczotki, odgrywające jednocześnie rolę prostowników. Zmiana kierunków obrotu prądnicy powoduje zmianę biegunowości napięcia wyjściowego. Charakterystyka przetwarzania prądnicy tachometrycznej prądu stałego w stanie jałowym E=f(n) przy I_w=const. i I=0 jest liniowa i można ją wyrazić równaniem

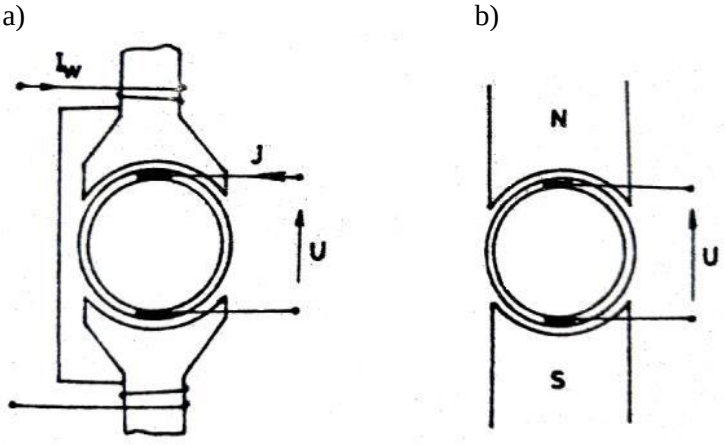
$$E = k\,\phi\,n \tag{2}$$

gdzie:

k - współczynnik proporcjonalności dla danej maszyny, zależny od liczby par biegunów i liczby czynnych przewodów w wirniku,

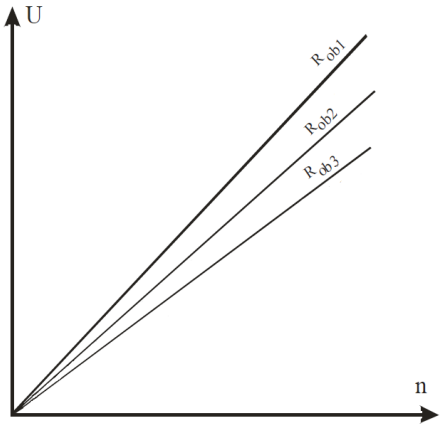
φ - strumień magnetyczny w szczelinie wywołany uzwojeniem wzbudzenia lub magnesami,

n - prędkość obrotowa $\left[\frac{obr}{min}\right]$.



Rys. 3. Prądnice tachometryczne prądu stałego: a) obcowzbudna, b) z magnesem stałym.

W stanie obciążenia prądnicy napięcie wyjściowe ulega zmniejszeniu w skutek spadku napięcia na rezystancji twornika, na szczotkach - w skutek zmniejszenia strumienia w szczelinie, spowodowanego przepływem prądu w tworniku. Oddziaływanie twornika powoduje nieliniowość charakterystyki przetwarzania prądnicy.



Rys. 4. Charakterystyki przetwarzania U=f(n) prądnicy tachometrycznej prądu stałego dla różnych obciążeń, gdzie $R_{ob1} > R_{ob2} > R_{ob3}$.

Na rys. 4. pokazano typową charakterystykę przetwarzania prądnicy tachometrycznej prądu stałego dla różnych obciążeń. Typowe prądnice tachometryczne prądu stałego mają moc rzędu kilku watów, napięcie wyjściowe od kilku do kilkuset woltów i przystosowane są do pomiaru prędkości obrotowych od kilkuset do kilku tysięcy obr/min.

Podstawowymi źródłami błędów prądnic tachometrycznych prądu stałego są:
- zmiana prądu wzbudzenia (wymagane stabilizowane zasilanie) i zmiana indukcji magnesów w upływem czasu,
- wpływ temperatury na rezystancje uzwojeń i właściwości magnesu,
- pulsacje mało i wieloczęstotliwościowe,
- nieliniowość charakterystyki wywołana oddziaływaniem twornika,
- zmiana obciążenia,
- zużycie szczotek.

Prądnice tachometryczne budowane są synchroniczne budowane są z nieruchomym uzwojeniem i ruchomym magnesem (rys. 5. a) lub z nieruchomym uzwojeniem i magnesem, a ruchomym rdzeniem ferromagnetycznym, zmieniającym okresowo reluktancje szczeliny (rys. 5. b). W obu przypadkach w szczelinie powstaje zmienne w czasie pole magnetyczne, indukujące w uzwojenie siłę elektromotoryczną okresowo zmienną. Wartość tej siły elektromotorycznej określa zależność

$$E = 4{,}44 \cdot k_1 \cdot \frac{p \cdot n}{60} z \cdot \phi \tag{3}$$

gdzie:

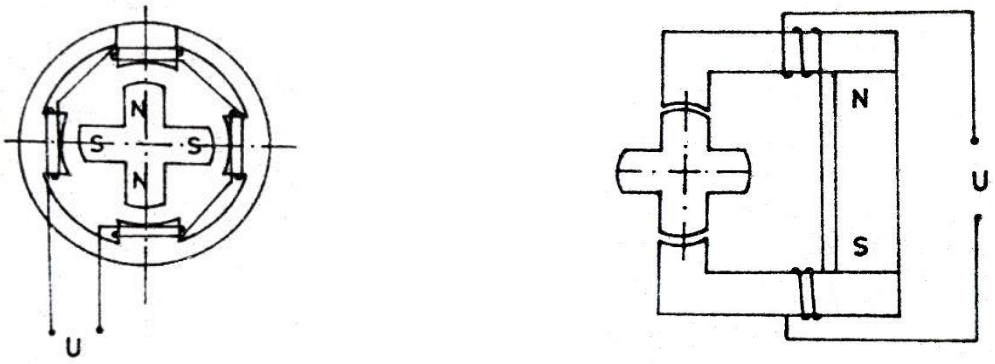
k_1 - współczynnik uzwojenia,
z - liczba zwojów,
p - liczba par biegunów,
n - prędkość obrotowa obr/min,
ϕ - strumień magnetyczny,

jest wiec proporcjonalna do prędkości obrotowej wirnika.

Częstotliwość wytwarzanej siły elektromotorycznej (SEM) zmienia się również proporcjonalnie do prędkości wirowania rdzenia zgodnie z zależnością

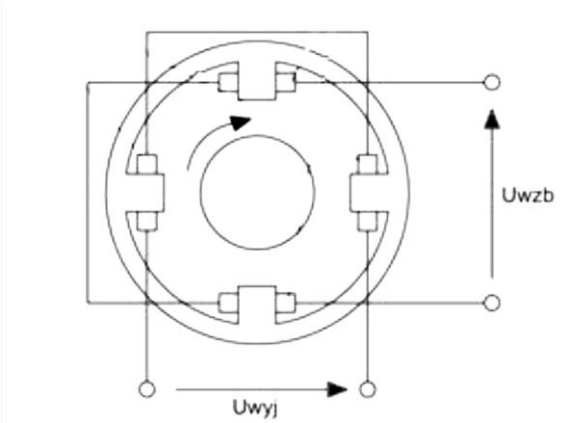
$$f = \frac{p \cdot n}{60} [Hz] \tag{4}$$

a) b)



Rys. 5. Prądnice tachometryczne synchroniczne: a) z ruchomym magnesem, b) z ruchomym rdzeniem ferromagnetycznym.

Zmiana kierunków obrotów wirnika nie wywołuje zmiany fazy napięcia. Sygnałem wyjściowym prądnicy tachometrycznej synchronicznej jest najczęściej, uprzednio wyprostowane napięcie stałe, rzadziej częstotliwość. W pierwszym przypadku pewne trudności nastręcza eliminacja wpływu zmian częstotliwości, na dokładność przetwarzania napięcia zmiennego w stałe. Rezystancja wyjściowa tachometrycznych prądnic synchronicznych jest mała, co pozwala na uzyskanie stosunkowo dużych mocy, rzędu kilku dziesięciu do kilkuset watów. Do zalet należy również niski koszt budowy. Dokładność prądnic tachometrycznych synchronicznych jest mniejsza niż prądnic tachometrycznych prądu stałego.



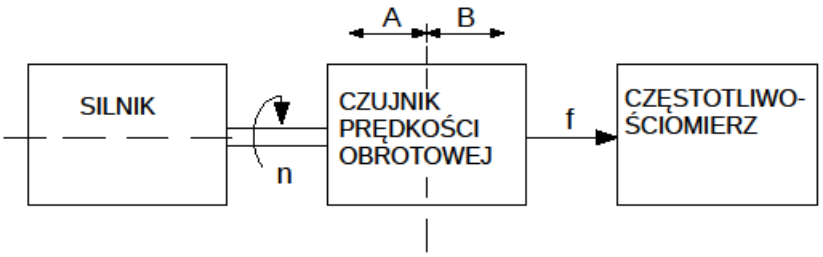
Rys. 6. Asynchroniczna prądnica tachometryczna.

Prądnice tachometryczne asynchroniczne, w budowie nie różnią się od silników asynchronicznych o wirniku klatkowym lub kubkowym (rys. 6). Dwie pary uzwojeń na stojanie są przesunięte względem siebie o 90° w przestrzeni. Jedna para uzwojeń jest zasilana prądem przemiennym (uzwojenie wzbudzenia). Zmienne pole magnetyczne wytwarzane przez uzwojenie wzbudzenia indukuje w wirniku prądy wirowe. Jeżeli wirnik jest nieruchomy to pole magnetyczne prądów wirowych jest prostopadłe do uzwojenia z_s i napięcie w min nie indukuje się. Obracanie się wirnika powoduje powstanie składowej pola magnetycznego, skojarzonej z uzwojeniem z_s. Napięcie indukujące się w tym uzwojeniu ma częstotliwość prądu wzbudzenia, a jego amplituda jest proporcjonalna do prędkości obrotowej wirnika. Zmiana kierunku obrotu powoduje zmianę fazy napięcia wyjściowego na przeciwną.

Asynchroniczne prądnice tachometryczne mają niewielką moc wyjściową, rzędu ułamka wata do pojedynczych watów.

1.3 Metoda przetwarzania prędkości obrotowej w częstotliwość

Schemat układu pomiarowego z przetwarzaniem prędkości obrotowej w częstotliwość został przedstawiony na rys. 7. Układ zawiera dwa podstawowe człony: czujnika prędkości obrotowej, przetwarzający prędkość obrotową w sygnał elektryczny, o częstotliwości proporcjonalnej do mierzonej prędkości oraz częstotliwościomierza. Przedstawimy zasady najczęściej używanych czujników n/f.



Rys. 7. Schemat układu pomiarowego z przetwarzaniem prędkości obrotowej w częstotliwość.

a) Czujnik indukcyjny.

W działaniu indukcyjnego czujnika prędkości obrotowej, wykorzystuje się indukowanie zmiennej siły elektromotorycznej w cewce, przy zmianie oporu obwodu magnetycznego. Czujnik ten składa się z obwodu magnetycznego z magnesem trwałym, z cewki nawiniętej na nabiegunniku oraz ze stalowej tarczy ferromagnetycznej, z wyfrezowanymi na obwodzie ząbkami (rys. 8). Jest to czujnik reluktancyjny. Przesunięcie jednego zęba, w pobliżu nabiegunników czujnika, powoduje wzrost, a następnie zmniejszenie strumienia magnetycznego, a tym samym zaindukowanie w cewce jednego okresu napięcia przemiennego. Jeżeli tarcza ma m zębów na obwodzie, to podczas jednego obrotu tarczy, w cewce indukuje się m okresów napięcia. Jeżeli tarcza wiruje z prędkością n obrotów na minutę, to częstotliwość indukowanego napięcia wynosi

$$f = \frac{m \cdot n}{60} \tag{5}$$

W celu uniknięcia przeliczeń, przy stosowaniu częstościomierza, jako miernika prędkości obrotowej, stosuje się 60 zębów na terczy czujnika, wtedy zależność (5) ma postać

$$f=n \tag{6}$$

Charakterystyki typowe dla czujnika reaktancyjnego przedstawiono na rys. 8. b), c).

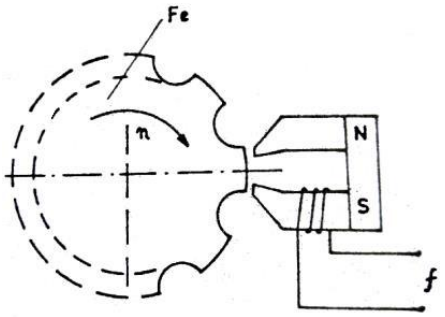
W czujniku indukcyjnym elementem wirującym może być również magnes trwały; wirując indukuje on napięcie w nieruchomej cewce. Tak więc prądnice tachometryczne synchroniczne są również czujnikami prędkości obrotowej o wyjściu częstotliwościowym. Częstotliwości indukowanej siły elektromotorycznej, w cewce takiej prądnicy, określa zależność

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \tag{7}$$

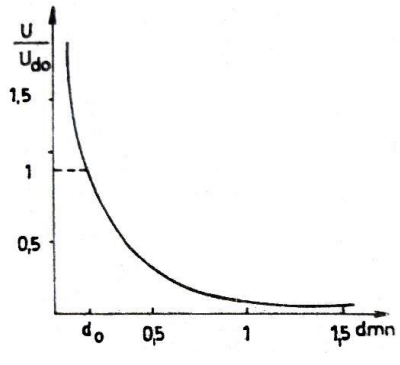
gdzie:

p- liczba par biegunów magnetycznych prądnicy.

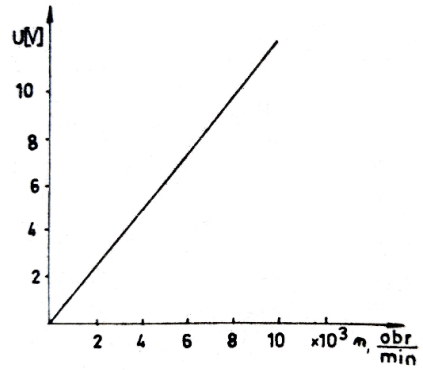
a)



b)



c)



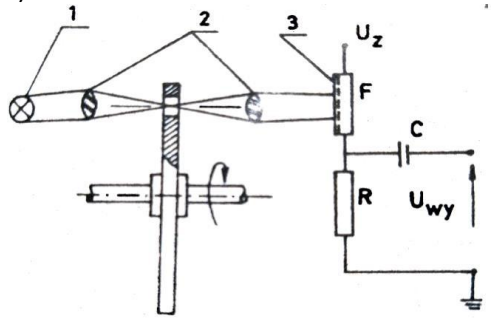
Rys. 8. Reluktancyjny czujnik prędkości obrotowej z częstotliwościowym sygnałem wyjściowym: a) schemat budowy, b) zależność napięcia generowanego w cewce czujnika, od szerokości szczeliny d, d_0 - szczelina początkowa, dla której napięcie wynosi U_{d0}, c) zależność napięcia generowanego w cewce czujnika od prędkości obrotowej tarczy.

b) Czujniki fotoelektryczne

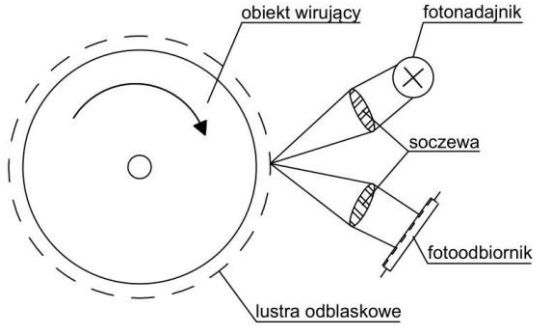
Działanie fotoelektrycznych czujników prędkości obrotowej opiera się na modulacji elementom wirującym stałego strumienia świetlnego, padającego na powierzchnię fotoelementu. Fotoelementem może być fotodioda, fototranzystor lub fotorezystor. Elementem modulującym strumień świetlny jest tarcza np. (aluminiowa) posiadająca m otworów rozmieszczonych równomiernie na okręgu koncentrycznym z osią obrotu zamocowaną na wale mierzonego obiektu. Fotoelement połączony jest szeregowo z rezystancją obciążenia (rys. 9. a). prąd elektryczny płynący przez obciążenie jest funkcją strumienia świetlnego padającego na fotoelement i napięcia zasilania.

W skutek obrotu tarczy następuje modulacja strumienia świetlnego padającego np. z żarówki, diody LED na fotoelement. Napięcie na rezystancji obciążenia jest napięciem pulsującym, o częstotliwości zależnej od prędkości obrotowej tarczy. Częstotliwość pulsacji jest wyrażona taką samą zależnością, jak dla czujnika reluktancyjnego (5).

a)



b)



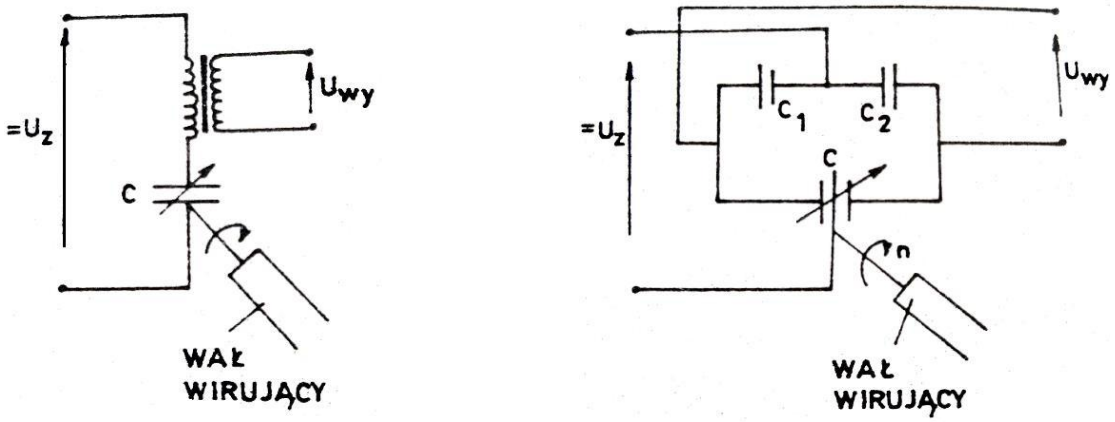
Rys. 9. Zasada działania fotoelektrycznych czujników prędkości obrotowej wykorzystujących: a) przesłanianie strumienia świetlnego, b) odbijanie strumienia świetlnego.

Modulacji oświetlenia fotoelementu można dokonać również wykorzystując odbicie światła, od odpowiednio pomalowanej powierzchni elementu wirującego (rys. 9. b).

c) Czujniki pojemnościowe

Czujniki prędkości obrotowej wykorzystują zmianę pojemności układu elektrod kondensatora, pod wpływem przemieszczenia tych elektrod, wywołanego badanym elementem ruchowym. Wykorzystuje się do tego celu najczęściej obrotowe kondensatory powietrzno, w układzie prostym lub różnicowym.
Obrót elektrody ruchomej kondensatora, sprzęgniętej z obracającym się elementem, powoduje cykliczne zmiany pojemności czujnika. Częstotliwość tych zmian jest proporcjonalna do prędkości obrotowej badanego elementu.

a) b)



Rys. 10. Pojemnościowe czujniki prędkości obrotowej: a) z kondensatorem obrotowym i transformatorem b) z kondensatorem obrotowym różnicowym w układzie mostkowym.

Na rys. 10. przedstawiono schematy czujników pojemnościowych prędkości obrotowej z kondensatorem obrotowym (rys. 10. a) i z kondensatorem obrotowym różnicowym (rys. 10. b). Czujniki zasilane są napięciem stałym. Na wyjściu transformatora (rys 10. a) i na przekątnej pomiarowej mostka (rys. 10. b) otrzymuje się napięcie pulsujące z częstotliwością proporcjonalną do prędkości obrotowej wału.

Do pomiaru prędkości obrotowej elementów w zakrytych korpusach stosuje się czujniki z preparatem promieniotwórczym, a do pomiaru elementów trudno dostępnych lub znajdujących się w środowiskach agresywnych można stosować czujniki ultradźwiękowe.

1.4 Metoda stroboskopowa

Przedmiot znajdujący się w szybkim ruchu okresowym, oglądany nieprzerwanie i oświetlony stałym światłem naturalnym lub sztucznym, daje rozmazany obraz wzrokowy. W takich warunkach, widzimy jedynie smugi torów ruchu i nie możemy rozróżnić szczegółów przedmiotu. Tylko obraz impulsowy, ruchomego przedmiotu może być dobrze widoczny i mieć dużą wartość informacyjna. Aby go uzyskać, należy ruchowy przedmiot oświetlić, okresowym światłem impulsowym lub przy stałym oświetleniu, przesłaniać go periodycznie przed okiem.

Przy odpowiednim stosunku częstotliwości błysków f_0 (lub przesłaniania) do częstotliwości ruchu f_r otrzymuje się nieruchomy obraz pozorny przedmiotu lub wyraźnie widoczny, wolne przesuwający się zgodnie lub przeciwnie, w stosunku do ruchu rzeczywistego. Częstotliwość obrazu pozornego przedmiotu f_p od częstotliwości błysków f_0 i częstotliwości ruchu podaje zależność

$$f_p = f_r - \frac{N}{M} f_0 \tag{8}$$

gdzie:

M - wielokrotność obrazu,
N - powtarzalność obrazu,
M, N - liczby całkowicie nieskracalne.

Znak f_p określa kierunek ruchu pozornego, zgodny ($f_p > 0$), i przeciwny ($f_p < 0$) względem ruchu rzeczywistego.

Obraz pozorny przedmiotu staje się nieruchomy $f_p = 0$ gdy

$$\frac{f_0}{f_r} = \frac{M}{N} \tag{9}$$

A więc pozornie nieruchomy obraz pojedynczy (M = 1) otrzymamy przy

$$\frac{f_0}{f_r} = \frac{1}{N} = 1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5} \ldots \tag{10}$$

Podwójny (M = 2) przy

$$\frac{f_0}{f_r} = \frac{2}{N} = 2, \frac{2}{3}, \frac{2}{5}, \frac{2}{7}, \frac{2}{9} \ldots \tag{11}$$

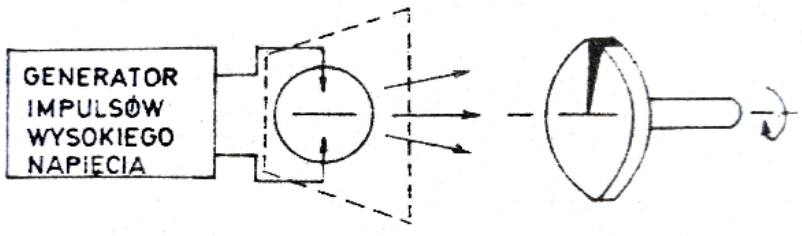
Potrójny (M = 3) przy

$$\frac{f_0}{f_r} = \frac{3}{N} = 3, \frac{3}{2}, \frac{3}{4}, \frac{3}{5}, \frac{3}{7} \ldots \tag{12}$$

Dla dokonania pomiaru prędkości obrotowej elementu wirującego należy na nim umieścić przynajmniej jeden znak wyróżniający widoczny dla obserwatora. Jeżeli podczas wirowania elementu, znak wyróżniający zostanie oświetlony światłem lampy błyskowej stroboskopu (rys. 10), to przy spełnieniu warunku $f_0/f_r = 1$ zaobserwujemy nieruchomy pozorny obraz znaku. Oznacza to, że częstotliwość generatora impulsów błysków stroboskopu jest równa częstotliwości wytwarzanej przez wirujący element. Odczyt szukanej częstotliwości, a więc i prędkości obrotowej, może być dokonany bezpośrednio, ze skali generatora stroboskopu. Nieruchomy pozorny obraz pojedynczego znaku, pojawia się jednak nie tylko przy stosunku częstotliwości błysków ruchu równym 1, zależność (10). Aby uniknąć w pomiarze błędu grubego, należy zwiększać częstotliwość generatora błysków aż do momentu, gdy pojedynczy obraz znaku wyróżniającego pojawi się ostatni raz, natomiast przy zmniejszaniu częstotliwości generatora, obraz nieruchomy pojawi się po raz pierwszy.

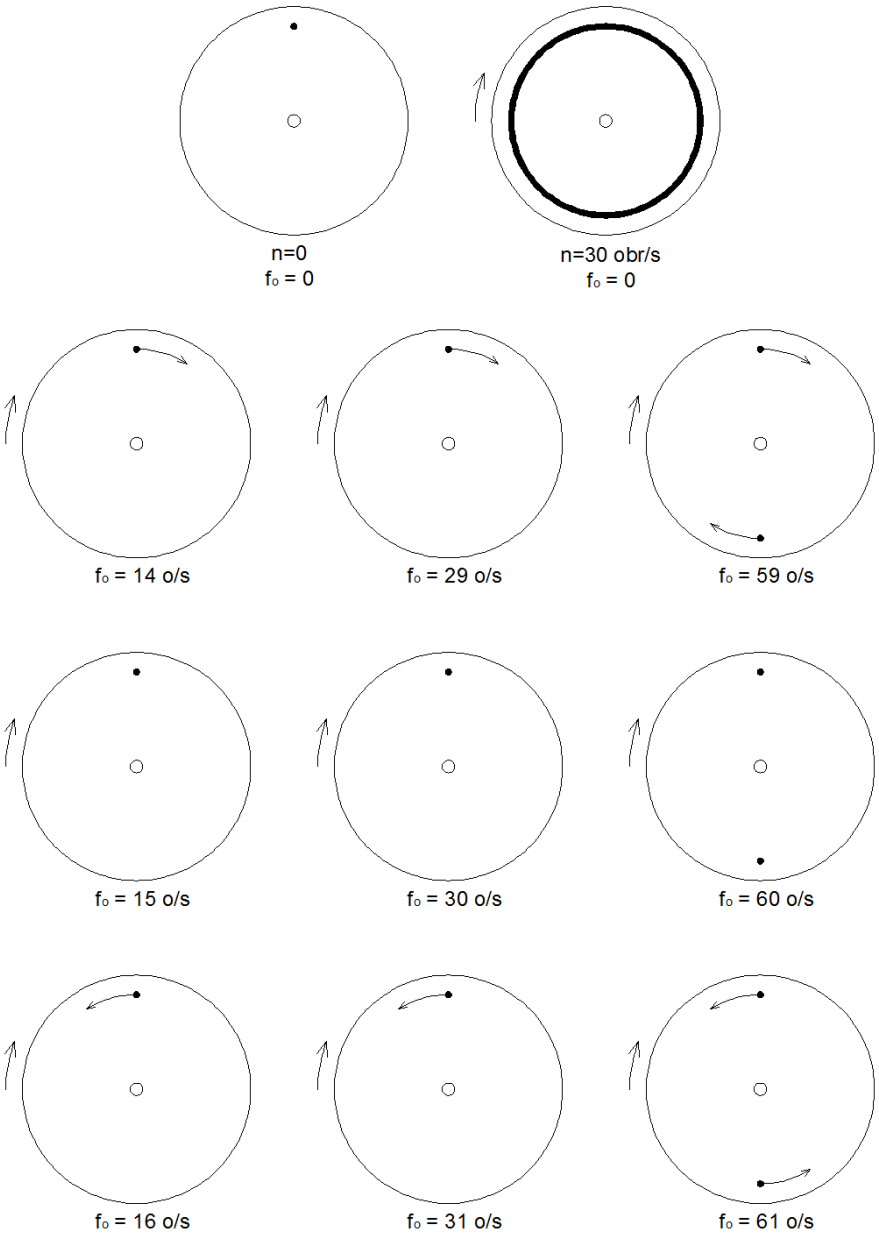
Dla upewnienia się co do ostatecznego wyniku, sprawdzamy czy przy podwójnej częstotliwości stroboskopu $2f_0$, pojawia się obraz podwójny (M=2). Spełnienie tego warunku daje pewność, że $f_0 = f_r$.

Na rys. 11. przedstawiono obraz stroboskopowy punktu wirującego, z prędkością n = 1800 obr/min. przy różnych wartościach częstotliwości błysków f_0.



Rys. 11. Stroboskopowa metoda pomiaru prędkości obrotowej.

Stroboskopowy pomiar prędkości obrotowej z wykorzystaniem pojedynczego znaku, jest niekorzystny przy bardzo małych prędkościach, mniejszych niż częstotliwość migotania (10 obr/s) lub najmniejsza wartość zakresu stroboskopu f_{0min}. Eliminuje się tę niedogodność stosując tzw. podziałówki stroboskopowe. Podziałówkę stanowi zespól symetrycznych względem osi obrotu znaków, jednakowo oddalonych od siebie, umieszczonych na elemencie ruchomym (rys. 13).



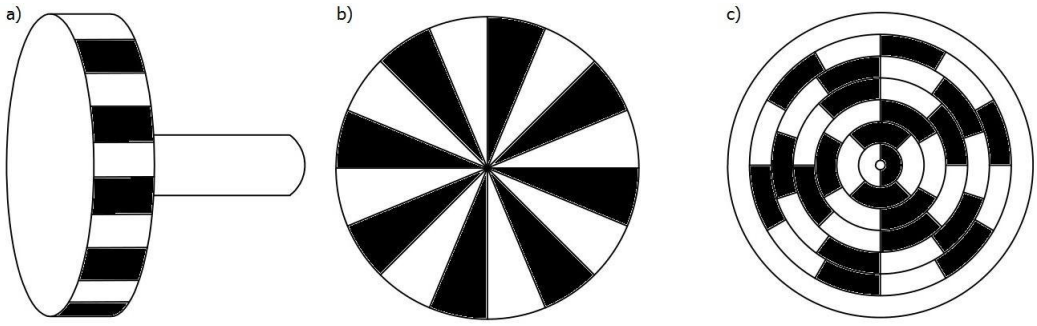
Rys. 12. Obrazy stroboskopowe punktu na wirującym kole, przy różnych częstotliwościach błysków f_0.

Jeżeli liczba elementów podziałówki (par elementów o różnej barwie) wynosi K, to przy prędkości obrotowej r elementu wirującego, częstotliwość wytworzona przez podziałówkę wynosi, $f_M=K\cdot N_r$. Pojedynczy, pozorny obraz podziałówki staje się nieruchomy, przy oświetleniu stroboskopu przy częstotliwości błysków

$$f_0 = \frac{K}{N} N_r \tag{13}$$

Jeżeli podziałówka ma pojedynczy podział (jeden rząd pasków lub wycinków), to wyznaczenie jej prędkości obrotowej przeprowadza się sposobem analogicznym, jak przy pomiarze prędkości obrotowej, z wykorzystanie pojedynczego znaku. Jedynie w przypadkach, gdy znana jest wartość prędkości obrotowej z dokładnością $\pm$40%, wynik daje się uzyskać z pierwszego pozornego znieruchomienia obrazu pojedynczego. W tym przypadku, prędkość obrotową n_r otrzymujemy z zależności (13), przy N = 1.

$$n_r = \frac{f_0}{K} \tag{14}$$



Rys. 13. Podziałówki stroboskopowe: a), b) z pojedynczym podziałem, c) z podziałem wielokrotnym o postępie arytmetycznym.

Często stosowane są tarcze stroboskopowe, które mają podziały stanowiące postęp arytmetyczny, pomnożony przez liczbę całkowitą s. Jeżeli dowolną liczbę postępu arytmetycznego oznaczymy przez r, to k = s · r. Podstawiając to wyrażenie do wzoru (11), otrzymamy związek pomiędzy prędkością obrotowe tarczy n_r a częstotliwością stroboskopu f_0 , przy której ukazuje się pozornie nieruchomy obraz pojedynczy pierścienia o podziale K

$$f_p = \frac{s \cdot r}{N} n_r \tag{15}$$

Jeżeli można utworzyć stały iloraz $\frac{r}{N}$, dla kilku wartości K (np. K=3, 6 i N=1,2), to przy określonej częstotliwości stroboskopu, odpowiednie pierścienie tarczy stają się równocześnie, pozornie nieruchome. Ponieważ powtarzalność obrazu N tworzy taki sam postęp arytmetyczny jak r, wszystkie pierścienie tarczy stroboskopowej będą więc w pozornym bezruchu, przy $f_0 = s \cdot n_r$ co wynika ze wzoru (15).

Jeżeli w wyniku regulacji częstotliwości obrazu f, cała tarcza stroboskopowa stanie się pozornie nieruchoma, to jej prędkość obrotową wyznaczymy z zależności

$$n_r = \frac{f_0}{s} \tag{16}$$

Tarcza stroboskopowa umożliwia więc jednopunktowy pomiar prędkości obrotowej. Częstotliwość stroboskopu, dla pomiarów z tarczą stroboskopową powinna być regulowana, w zakresie zawierającym iloczyn szukanej prędkości obrotowej przez liczbę s.

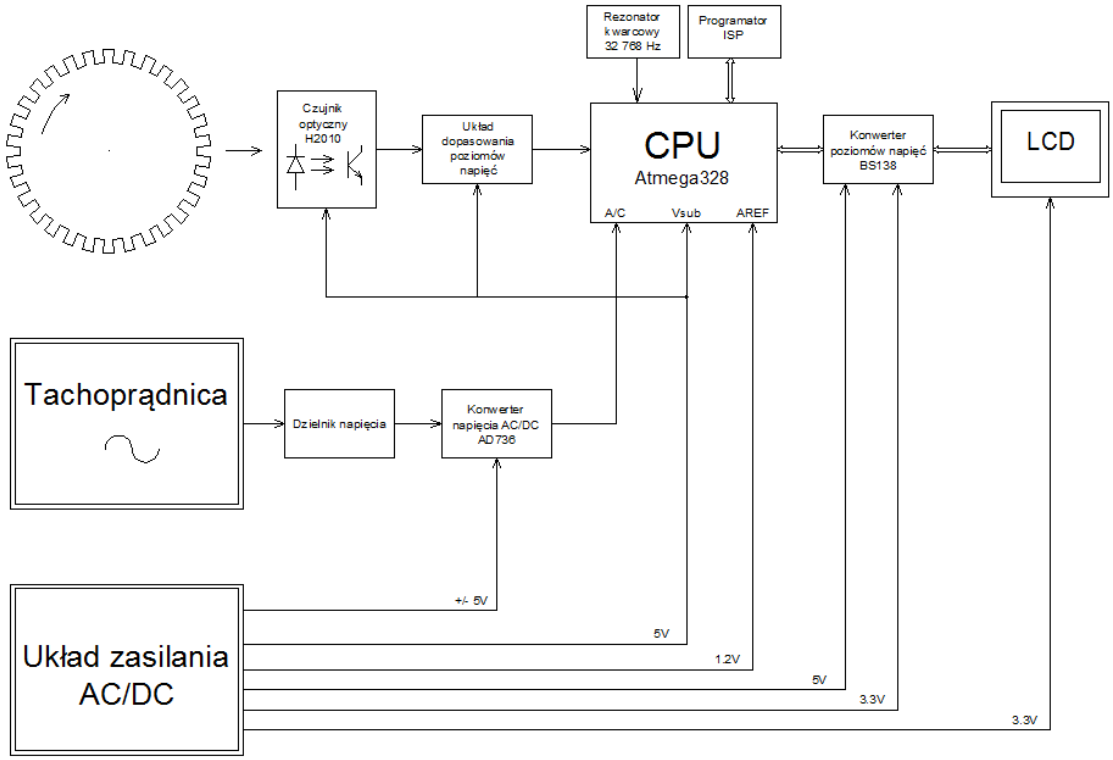
Stroboskopy, według zasady działania, można podzielić na migawkowe i błyskowe.

Stroboskop migawkowy działa na zasadzie impulsowej modulacji światła przez mechaniczną migawkę szczelinową. Migawka ta może być drgająca lub wirująca. Ze względu na siły odśrodkowe i trudności wyważania, przesłona wirująca nie może przekroczyć prędkości obrotowej 8000 obr/min. Przy dużej liczbie szczelin, daje to możliwość pomiaru prędkości obrotowej do 120 000 obr/min. Pomiar wykonuje się przez zsynchronizowanie częstotliwości wytworzonej elementem wirującym, z częstotliwością wirowania migawki. Mechanizm napędowy migawki może być elektryczny lub ręczny. Prędkość obrotową przesłony wirującej mierzy się obrotomierzem mechanicznym lub elektrycznym.

Stroboskop błyskowy działa na zasadzie wytwarzania impulsów świetlnych błysków o regulowanej częstotliwości. Podstawowymi blokami stroboskopu błyskowego są: generator sterujący o przestrzennej częstotliwości, generator błysków i lampa błyskowa. Jako lampy błyskowe stroboskopów, stosowane są lampy działające na zasadzie wyładowania w gazie (neonowe, argonowe, kryptonowe, ksenonowe) lub w parach rtęci (lampy rtęciowe). Błyski otrzymywane z lamp tego typu trwają kilka do kilkunastu mikrosekund i mogą być powtarzane z częstotliwością do kilkuset, a nawet kilku tysięcy herców. Górną granicę częstotliwości stroboskopów błyskowych określa, przede wszystkim, bezwładność zastosowanej lampy błyskowej. Błąd pomiaru prędkości obrotowej metodą stroboskopowy zawiera się w przedziale 1 ÷ 3%.

Pomiary

1. Wyznaczyć zależność napięcia wyjściowego prądnicy synchronicznej w funkcji prędkości obrotowej U=f(n), w układzie pomiarowym pokazanym na rys. 14. w zakresie 600÷10 000 obr/min.



Rys. 14. Układ do wyznaczania charakterystyk prądnicy synchronicznej.

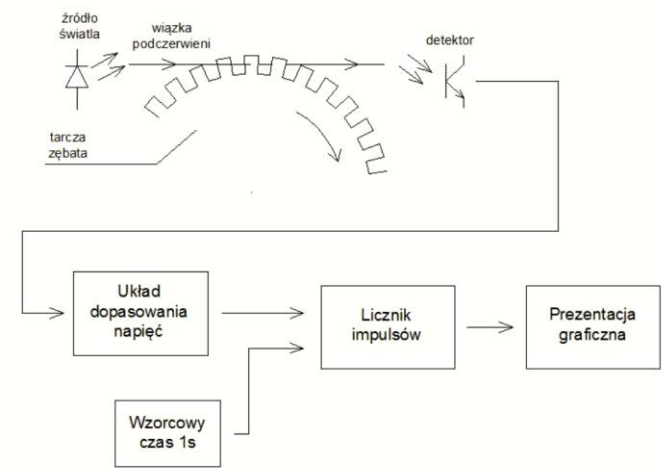
Do zadawania prędkości obrotowej służy silnik jednofazowy prądu przemiennego z regulatorem prędkości obrotów. Jako zadawane wartości prędkości obrotowej, należy przyjąć wskazania fotoelektrycznego cyfrowego miernika prędkości obrotowej (tachometru).

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów, wyznaczyć nieliniowość charakterystyki U = f(n).
Przeprowadzić obserwacje kształtu napięcia z prądnicy, wykorzystując oscyloskop. Wyznaczyć, na tej podstawie, liczbę par biegunów prądnicy.

2. Wyznaczyć wartości prędkości obrotowej, które mogą być zmierzone za pomocą zadanej tarczy stroboskopowej, przy znanym zakresie częstotliwości stroboskopu.
Wykonać pomiary prędkości obrotowej silnika zadanej przez prowadzącego. Sprawdzić prawidłowość wykonanego pomiaru, włączając fotoelektryczny miernik prędkości obrotowej i odczytać jego wskazania, dla ustalonej uprzednio prędkości obrotowej silnika. Określić błąd podstawowy względem pomiarów stroboskopem.

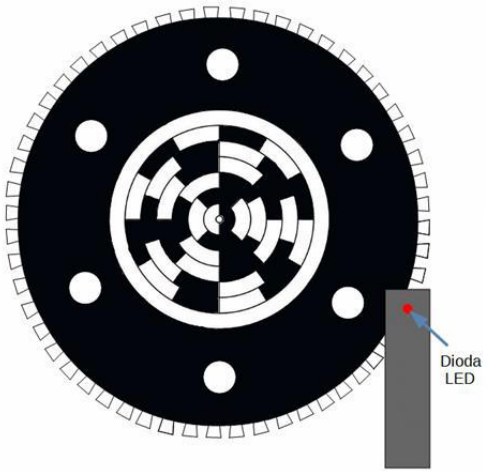
3. Wyznaczyć charakterystyki f=f(n) czujnika prędkości obrotowej: fotoelektrycznego z fotodiodą, fotoelektrycznego mikroprocesorowego z transoptorem, fotoelektrycznego z fototranzystorem, prądnicy tachometrycznej, w zakresie 600 ÷ 10 000 obr/min.

Do zadawania prędkości obrotowej służy silnik prądu przemiennego z regulacją prędkości obrotowej, przy pomocy układu tyrystorowego. Jako zadawane wartości prędkości obrotowej, przyjąć wskazania cyfrowego miernika prędkości obrotowej (tachometru). Na podstawie przeprowadzonych pomiarów, określić nieliniowość wyznaczonych charakterystyk f= f(n) bądź ω_{imp}=f(n), badanych czujników.



Rys. 15. Schemat blokowy układu pomiarowego do wyznaczania charakterystyk czujników fotoelektrycznych.

Zasadę pomiaru zastosowanych czujników fotoelektrycznych zaprezentowano na rys. 15. Kształt tarczy pomiarowej na stanowisku pomiarowym pokazano na rys. 16.



Rys. 16. Tarcza pomiarowa.

Literatura

1. Tumański S.: Technika pomiarowa, WNT, Warszawa, 2016, ebook – 2013;
2. Piotrowski J. (red.): Pomiary. Czujniki i metody pomiarowe wybranych wielkości fizycznych i składu chemicznego, wyd. I, WNT, Warszawa, 2009; wyd. II, PWN, Warszawa, 2017;
3. Zakrzewski J.: Czujniki i przetworniki pomiarowe, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2004;
4. Kampik M., Zakrzewski J: Sensory i przetworniki pomiarowe, wyd. I, Wyd. Politechniki Śląskiej 2013;
5. Miłek M.: Metrologia elektryczna wielkości nieelektrycznych, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra, 2006;
6. Karkowski Z., Nowaczyk J.: Miernictwo cyfrowe. Wrocław: Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej 1975;
7. Kowalewski H.: Elektromechaniczne i magnetyczne elementy automatyki. Warszawa PWN, 1982;
8. Owczarek J., Pochanke A.: Elektryczne maszynowe elementy automatyki. Warszawa, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, 1980;
9. Romer E.: Miernictwo przemysłowe. Warszawa: PWN, 1970;
10. Rutkowski J.: Stroboskopy, Warszawa: WNT, 1967;