

Ćwiczenie 6

BADANIE PRĄDNIC TACHOMETRYCZNYCH

Cel ćwiczenia:

Poznanie budowy i zasady działania oraz podstawowych charakterystyk prądnic tachometrycznych. Zbadanie wpływu obciążenia na ich kształt charakterystyki napięcia wyjściowego w funkcji prędkości obrotowe

6.1. Wiadomości ogólne.

Prądnice tachometryczne są przetwornikami mechaniczno-elektrycznymi służącymi do przetwarzania ruchu obrotowego na sygnał elektryczny, proporcjonalny do prędkości obrotowej. Sygnał ten w postaci napięcia może być wykorzystany do pomiaru prędkości obrotowej lub drogi, albo może być doprowadzony do wejścia układu regulatora lub sprzężeń zwrotnych w układach regulacji. Prądnice o dużej dokładności mogą być stosowane również do różniczkowania, ponieważ prędkość obrotowa jest proporcjonalna do pierwszej pochodnej kąta obrotu, lub w urządzeniach liczących.

Podstawowym wymaganiem, jakie stawia się prądnicom tachometrycznym, jest proporcjonalność napięcia wyjściowego do prędkości obrotowej wału, czyli charakterystyka $U = f(n)$ powinna być liniowa niezależnie od zmian temperatury, obciążenia i innych zakłóceń. Ponadto:

- amplituda napięcia wyjściowego nie powinna zależeć od kierunku wirowania,
- napięcie wyjściowe nie powinno zawierać składowych zniekształcających jego przebieg (wyższych harmonicznych, pulsacji itp.) lub zmieniających jego fazę,
- czułość prądnicy powinna być możliwie duża,
- prądnica powinna mieć małą bezwładność, prostą obsługę, pewne działanie, małe gabaryty i małą masę.

W rzeczywistości wymagania powyższe nie mogą być spełnione w sposób idealny. Uchyby prądnicy tachometrycznej zależne są nie tylko od typu i prawidłowego obliczenia, lecz w dużej mierze od użytych materiałów, dokładności wykonania, montażu i sposobu połączenia z wałem napędowym. Wymagana dokładność prądnic jest zależna od ich zastosowania. Przy pracy prądnic w charakterze członu różniczkującego lub w urządzeniach liczących wymagany uchyb jest rzędu dziesiątych, a nawet setnych części procentu. Najczęściej stosowane w praktyce są prądnice tachometryczne prądu stałego lub prądu przemiennego, synchroniczne i asynchroniczne.

6.1.1. Prądnic tachometryczna prądu stałego.

Prądnice tachometryczne prądu stałego mogą mieć wzbudzenie obce lub wzbudzenie o magnesach trwałych. W niniejszym ćwiczeniu będzie badana prądnic o wzbudzeniu o magnesach trwałych, której zaletą jest to, że niepotrzebne jest dodatkowe źródło wzbudzenia. Siła elektromotoryczna powstająca w uzwojeniu twornika jest proporcjonalna do prędkości obrotowej i strumienia

$$E = c * \Phi * n$$

Jeżeli strumień $\Phi = \text{const}$, to

$$E = c' * n$$

Przy obciążeniu prądnicy napięcie wyjściowe zmniejsza się o spadek napięcia na rezystancji całkowitej twornika

$$U = E - I * R_{tc}$$

gdzie: I - prąd obciążenia,

R_{tc} - całkowita rezystancja obwodu twornika.

Uwzględniając, że $I = \frac{U}{R_{ob}}$

gdzie R_{ob} oznacza rezystancję obciążenia, otrzymamy

$$U = \frac{E}{1 + \frac{R_{tc}}{R_{ob}}} = \frac{c' * n}{1 + \frac{R_{tc}}{R_{ob}}}$$

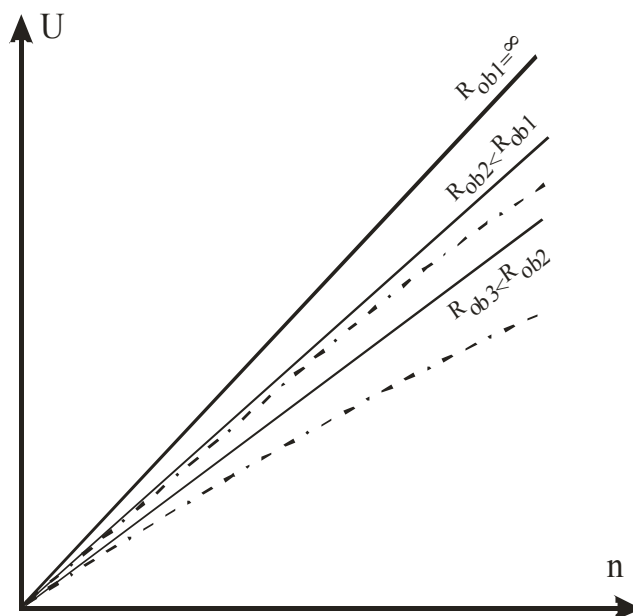
Jeżeli R_{tc} i R_{ob} są stałe, to

$$U = c'' * n$$

gdzie $c'' = \frac{c'}{1 + \frac{R_{tc}}{R_{ob}}}$

Napięcie wyjściowe zależne jest od rezystancji obciążenia. Im rezystancja ta jest większa, tym charakterystyka prądnicy jest bardziej zbliżona do charakterystyki przy biegu jałowym $R_{ob} = \infty$. Przy poczynionych założeniach *stałości strumienia i rezystancji obciążenia*, charakterystyki są liniowe niezależnie od wartości stosunku $\frac{R_{tc}}{R_{ob}}$ (rys. 6.1).

W rzeczywistości jednak w prądnic tachometrycznej założenia te nie zawsze są spełnione. Przy obciążaniu maszyny powstaje oddziaływanie twornika, które może spowodować zmniejszenie strumienia. Wskutek tego napięcie wyjściowe będzie zależne nie tylko od prędkości obrotowej, lecz także od obciążenia.



Rys. 6.1. Zależność $U=f(n)$ dla różnych obciążeń prądnicy tachometrycznej prądu stałego.

Ponadto rezystancja obwodu twornika nie jest stała, gdyż zawiera w sobie rezystancję przejścia między szczotkami a komutatorem, która zmniejsza się ze wzrostem prądu obciążenia. Oddziaływanie twornika może więc spowodować odchylenie charakterystyki $U=f(n)$ od linii prostej (linie przerywane na rys.6.1) i rośnie ze wzrostem obciążenia i obrotów. Prądnice tachometryczne najczęściej pracują przy niewielkim obciążeniu (duża rezystancja odbiornika), a więc i nienasyconych biegunach, oddziaływanie twornika praktycznie nie występuje.

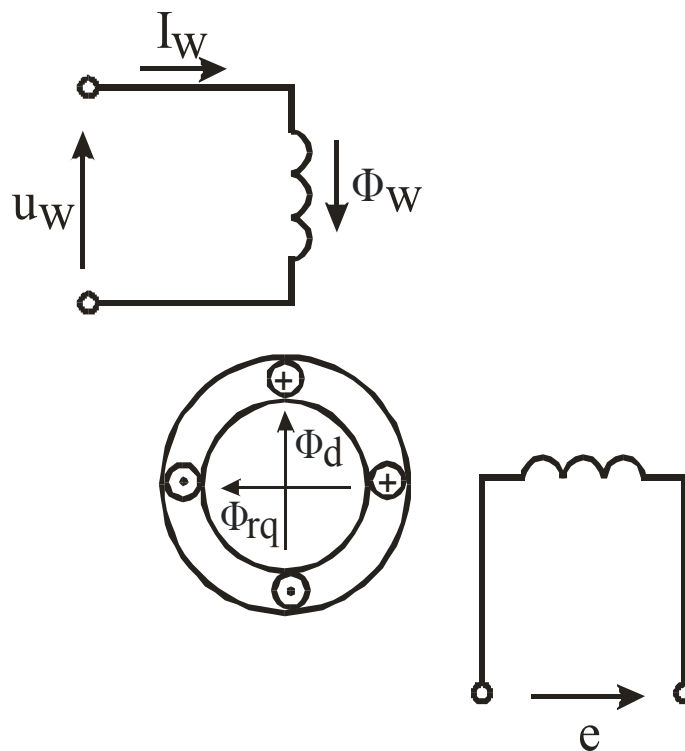
Rezystancja przejścia między szczotkami i komutatorem daje pewną *strefę nieczułości*. W zakresie od zera do pewnej prędkości, przy której napięcie wyjściowe jest równe spadkowi napięcia na rezystancji przejścia, na wyjściu prądnicy nie mamy żadnego napięcia. Strefa ta jest tym mniejsza, im większe jest obciążenie, ale wtedy rośnie oddziaływanie twornika prowadzące do obniżenia charakterystyki $U=f(n)$ dla dużych n .

W dokładnych prądnicach tachometrycznych materiały na szczotki i komutator dobiera się tak, aby rezystancja przejścia była minimalna.

6.1.2. Prądnicą tachometryczną asynchroniczną dwufazową (indukcyjną).

Prądnicę tachometryczną asynchroniczną podobnie jak i silniki dwufazowe wykonawcze mogą mieć wirniki klatkowe lub kubkowe. Badaną prądnicą będzie prądnicą kubkowa, której uzwojenia wzbudzenia i uzwojenia robocze są przesunięte w przestrzeni o kąt 90° elektrycznych i połączone w układzie mostkowym.

Jeżeli uzwojenie wzbudzenia nieruchomej maszyny przyłączone jest do sieci prądu przemiennego, to prąd i_w przepływający przez to uzwojenie wywołuje strumień pulsujący Φ_w (rys.6.2). Oś magnetyczna (podłużna) tego strumienia jest zgodna z osią uzwojenia.



Rys.6.2. Schemat prądnic tachometrycznej z wirnikiem kubkowym.

Pulsujący strumień Φ_w indukuje w wirniku SEM transformacji e_{tr} . Pod jej wpływem w wirniku kubkowym płynie prąd i_{tr} , który - jak w transformatorze - wytwarza w osi podłużnej strumień Φ_d skierowany przeciwnie do strumienia wzbudzenia Φ_w . Siła elektromotoryczna

transformacji nie zależy od prędkości obrotowej wirnika, a tylko od strumienia wypadkowego Φ_d , w osi podłużnej i częstotliwości.

W uzwojeniu drugiej fazy (roboczym) nie powstaje żadna SEM, gdyż jest ono umieszczone pod kątem 90° względem osi uzwojenia wzbudzenia i nie jest sprzężone ze strumieniem podłużnym Φ_d . Gdy wirnik obraca się, oprócz SEM transformacji indukowana jest SEM rotacji e_r , która spowoduje przepływ prądu i_{rq} w wirniku, a ten z kolei wytworzy strumień Φ_{rq} w osi poprzecznej. SEM rotacji przy stałym napięciu wzbudzenia i częstotliwości jest proporcjonalna do prędkości obrotowej. Jej częstotliwość jest taka sama jak częstotliwość napięcia zasilania.

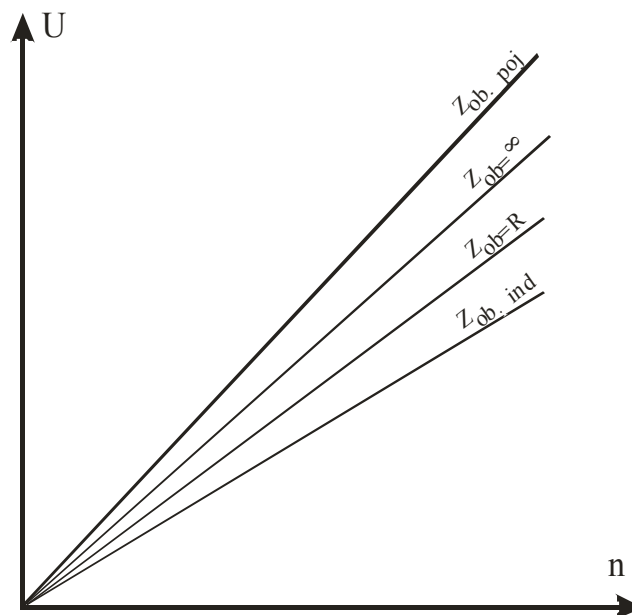
Tak więc prąd poprzeczny i_{rq} i strumień poprzeczny Φ_{rq} , a tym samym i SEM e indukowana w uzwojeniu fazy roboczej przez strumień Φ_{rq} są proporcjonalne do prędkości obrotowej. Strumień ten nie indukuje SEM w uzwojeniu wzbudzenia, gdyż oś uzwojenia tej fazy jest przesunięta względem strumienia Φ_{rq} o kąt 90° .

Siłę elektromotoryczną w uzwojeniu wyjściowym określa zależność

$$E = 4,44 * f * \Phi_{rq} * z * k = c * \Phi_{rq}$$

a ponieważ strumień Φ_{rq} jest proporcjonalny do prędkości obrotowej n , możemy napisać

$$E = c' * n$$



Rys.6.3. Zależność $U=f(n)$ dla różnych obciążeń prądnicy tachometrycznej prądu przemiennego z wirnikiem kubkowym.

Wynika stąd, że indukowana SEM jest proporcjonalna do prędkości obrotowej, a jej częstotliwość jest równa częstotliwości sieci zasilającej. Teoretycznie zależność $U=f(n)$

(rys.6.3) jest linią prostą, której kąt nachylenia zależy od obciążenia. W rzeczywistości charakterystyki te mogą odbiegać od linii prostej.

Przebiegi $U=f(n)$ można uzasadnić w podobny sposób jak dla prądnicy tachometrycznej synchronicznej. Ze względu na stałą częstotliwość napięcia wyjściowego oraz małą bezwładność wirnika (w przypadku wirnika kubkowego) prądnice te znalazły szerokie zastosowanie między innymi w układach automatyki.

6.1.3. Prądnica tachometryczna synchroniczna o magnesach trwałych.

Prądnica tachometryczna synchroniczna o magnesach trwałych jest to prądnica, w której stały strumień wzbudzenia jest wytwarzany za pomocą magnesu trwałego.

Wirujący magnes indukuje w uzwojeniu twornika umieszczonym na stojanie siłę elektromotoryczną proporcjonalną do prędkości obrotowej. Do zalet tej prądnicy można zaliczyć niewystępowanie styku ślizgowego, jakim są szczotki i komutator. Podstawową zaś wadą jest to, że częstotliwość napięcia wyjściowego jest proporcjonalna do obrotów

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

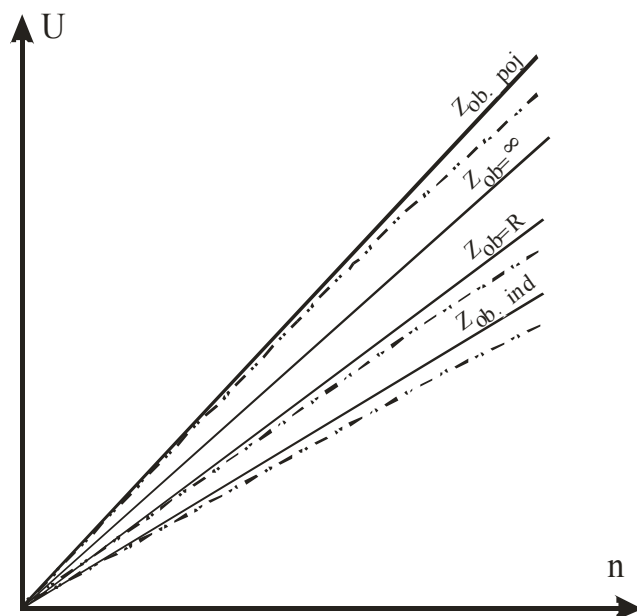
w następstwie czego reaktancja odbiornika i twornika zależy od prędkości obrotowej. Powoduje to nieliniowość charakterystyki $U=f(n)$. Z tych względów prądnice te nie znalazły szerszego zastosowania, a używa się je powszechnie tylko do pomiaru prędkości obrotowej.

Na rys.6.4 przedstawione są charakterystyki $U=f(n)$ dla różnych obciążeń.

W przypadku $Z_{ob}=\infty$ oddziaływanie twornika nie występuje i $U_{wy}=E$.

Dla obciążenia czynnego $Z_{ob}=R$ ($\cos\varphi=1$), oddziaływanie twornika ma charakter podobny jak w maszynie prądu stałego. Oś strumienia oddziaływania twornika jest prostopadła do osi strumienia wzbudzenia. Taki strumień oddziaływania, zwany strumieniem poprzecznego oddziaływania twornika, przy nienasyconym obwodzie powoduje zniekształcenie strumienia wypadkowego, natomiast przy nasyconym obwodzie magnetycznym pociąga za sobą również osłabienie strumienia. Oddziaływanie to powoduje nieliniowość charakterystyk $U=f(n)$. Zmniejszenie jej nachylenia spowodowane jest spadkiem napięcia na impedancji twornika.

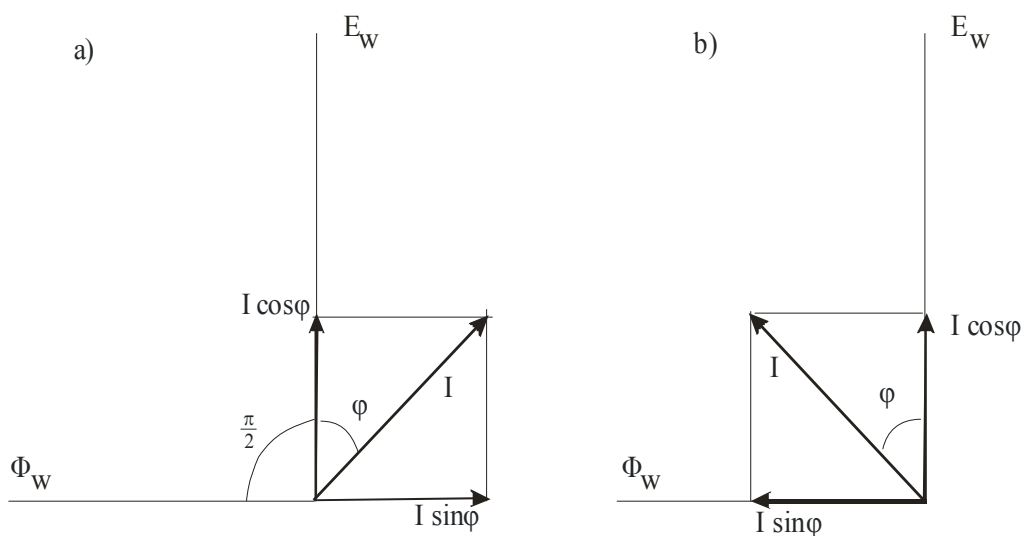
Przy obciążeniu o charakterze indukcyjnym $Z_{ob \text{ ind}}$ ($\cos\varphi_{ind}<1$), prąd opóźnia się w fazie w stosunku do SEM o kąt φ (rys.6.5a).



Rys.6.4. Zależność $U=f(n)$ dla różnych obciążeń prądnicy tachometrycznej synchronicznej o magnesach trwałych

Prąd ten można rozłożyć na dwie składowe:

- czynną $I_r = I \cdot \cos\varphi$ wywołującą przepływ poprzeczny twornika,
- bierną $I_b = I \cdot \sin\varphi$ wywołującą przepływ podłużny, działający w kierunku przeciwnym do przepływu wzbudzenia. Strumień odpowiadający prądowi biernemu $I \cdot \sin\varphi$ jest skierowany przeciwnie do strumienia wzbudzenia Φ_m i dlatego oddziaływanie twornika rozmagnesowuje prądnicę (osłabia strumień wypadkowy).



Rys.6.5. Wykres oddziaływania twornika w prądnicy synchronicznej:
 a) przy obciążeniu o charakterze indukcyjnym;
 b) przy obciążeniu o charakterze pojemnościowym.

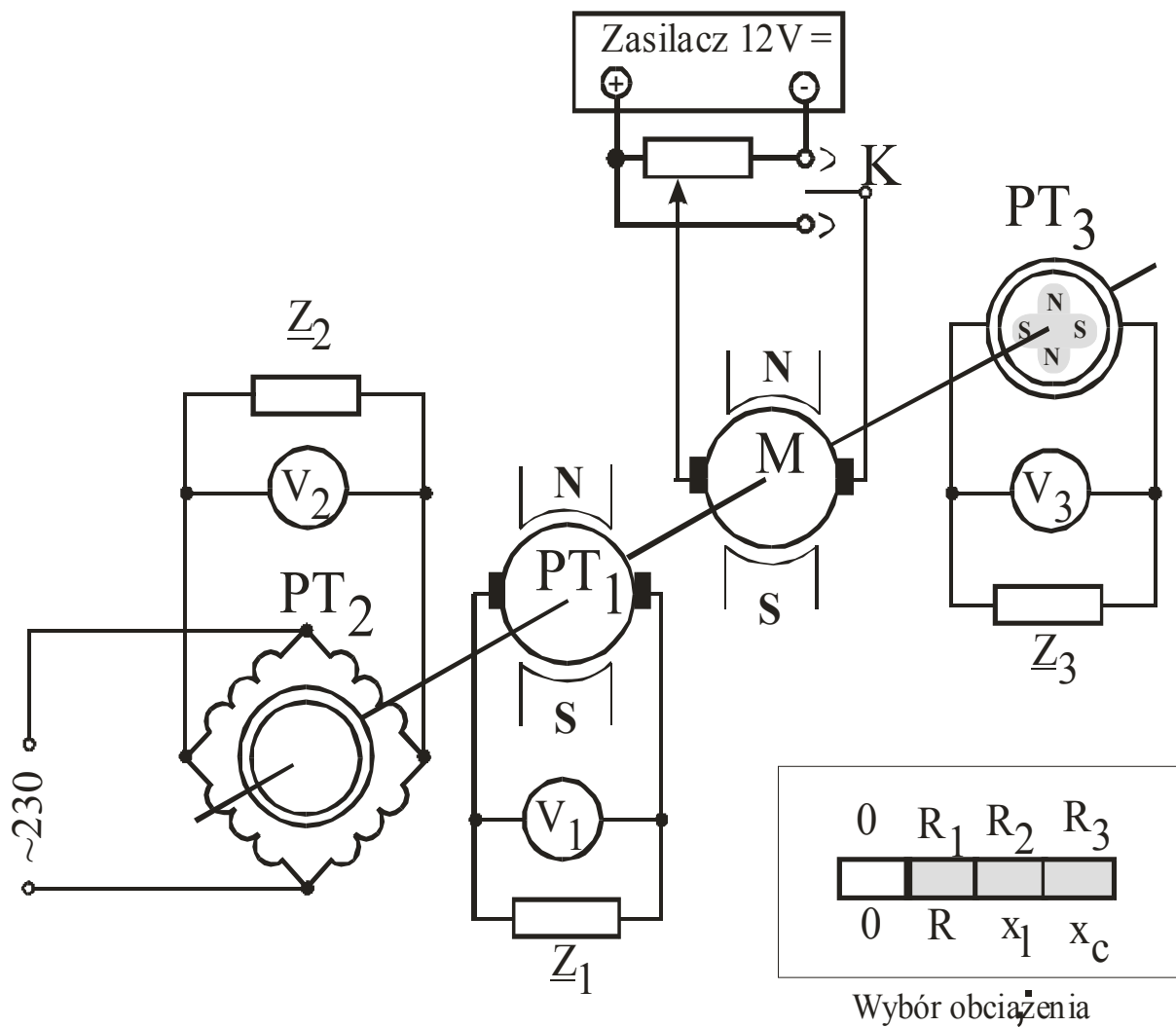
Przy obciążeniu o charakterze pojemnościowym $Z_{ob\ poj}$ ($\cos\phi_{poj}<1$) – rys.6.5b - przeciwnie, podłużny przepływ oddziaływania twornika, odpowiadający składowej biernej $I*\sin\phi$, skierowany jest zgodnie z przepływem wzbudzenia. W tym przypadku oddziaływanie twornika domagnesowuje maszynę (wzmacnia strumień wypadkowy). Napięcie wyjściowe prądnicy tachometrycznej przy obciążeniu o charakterze pojemnościowym może więc być wyższe, zaś przy obciążeniu o charakterze indukcyjnym niższe niż przy $Z_{ob}=\infty$. Przy obciążeniu o charakterze, pojemnościowym napięcie wyjściowe będzie wyższe niż przy $Z_{ob}=R$ wtedy, gdy domagnesowujący strumień oddziaływania wytworzy SEM większą niż wynosi spadek napięcia na impedancji twornika.

6.2. Program ćwiczenia.

Wszystkie trzy badane prądnice tachometryczne prądu stałego o magnesach trwałych, asynchroniczna i synchroniczna, zamontowane są na wspólnej podstawie i sprzęgnięte z silnikiem napędowym. Umożliwia to jednoczesne zdejmowanie charakterystyk wszystkich trzech prądnic.

Prędkość obrotową mierzymy obrotomierzem cyfrowym z czujnikiem fotoelektrycznym i tarczą modulującą z 60 otworami. Schemat układu pomiarowego przedstawiony jest na rys.6.6. Przed przystąpieniem do pomiarów należy uruchomić silnik napędowy M. W tym celu włączamy klucz K w jedno z położeń odpowiadających obrotowi silnika lewo- bądź prawoskrętnie. Przy pomocy potencjometru suwakowego ustawiamy prędkość obrotów wirnika silnika napędzającego jednocześnie trzy badane prądnice tachometryczne. Zmieniając obroty od 0 do $1,2 n_n$ odczytujemy napięcia wyjściowe z poszczególnych prądnic tachometrycznych przy różnych rodzajach obciążenia.

Silnik napędowy M jest silnikiem obcowzbudnym prądu stałego, którego obroty można płynnie regulować napięciem twornika. Twornik silnika zasila się z zasilacza lub innego źródła prądu stałego poprzez włączony potencjometrycznie rezystor.



Rys.6.6. Schemat układu pomiarowego do badania prądnic tachometrycznych;
 PT₁ – prądnica tachometryczna prądu stałego ze wzbudzeniem o magnesach trwałych,
 PT₂ – prądnica tachometryczna asynchroniczna kubkowa,
 PT₃ – prądnica tachometryczna synchroniczna.

6.2.1. Prądnic tachometryczna prądu stałego.

Pomiaru napięcia wyjściowego dokonujemy woltomierzem napięcia stałego V_1 o dużej rezystancji wewnętrznej (najlepiej cyfrowym). Obciążenie prądnicy tachometrycznej zmieniamy przełącznikiem „Wybór obciążenia”. Otrzymane wyniki pomiarów notujemy w tablicy 6.1.

Na podstawie otrzymanych wyników wykreślamy $U_{wy}=f(n)$ przy różnych obciążeniach we wspólnym układzie współrzędnych.

Tabela 6.1

Lp.	n	U_{wy}			
		Wybór obciążenia			
		0	R_1	R_2	R_3
	obr/min	V	V	V	V
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

6.2.2. Prądnica tachometryczna asynchroniczna dwufazowa z wirnikiem kubkowym.

Uzwojenie wzbudzenia jest zasilane przez transformator sieciowy, którego napięcie wtórne jest równe znamionowemu napięciu wzbudzenia prądnicy. Napięcie wyjściowe mierzymy woltomierzem prądu zmiennego V_2 . Obciążenie prądnicy zmieniamy przełącznikiem „Wybór obciążenia”. Otrzymane wyniki notujemy w tabelicy 6.2.

Tabela 6.2

Lp.	n	U_{wy}			
		Wybór obciążenia			
		0	R	X_L	X_C
	obr/min	V	V	V	V
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

Na podstawie wyników zawartych w tabelicy 6.2 wykreślamy zależność $U_{wy}=f(n)$ przy różnych obciążeniach we wspólnym układzie współrzędnych.

6.2.3. Prądnica tachometryczna synchroniczna.

Napięcie wyjściowe mierzymy tym samym woltomierzem lampowym V_L co i w prądniczy asynchronicznej, przełączając przełącznik P z położenia 1 w położenie 2. Obciążenie prądnicy zmieniamy przełącznikiem P_3 .

Wyniki pomiarów notujemy w tablicy 6.3.

Tabela 6.3

Lp.	n	U_{wy}			
		Wybór obciążenia			
		0	R	X_L	X_C
	obr/min	V	V	V	V
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

Na podstawie wyników zawartych w tablicy 6.3 wykreślamy zależność $U_{wy}=f(n)$ przy różnych obciążeniach we wspólnym układzie współrzędnych.