



Politechnika Wroclawska

---

Ćwiczenie 4

Wydział

Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

LABORATORIUM  
PODSTAW ELEKTROTECHNIKI

Badanie silnika indukcyjnego klatkowego

Opracował: Grzegorz Wiśniewski

## **Zagadnienia do przygotowania**

- Rodzaje silników asynchronicznych indukcyjnych.
- Budowa i zasada działania silnika indukcyjnego klatkowego.
- Metody rozruchu silników indukcyjnych.
- Sposoby sterowania pracą silnika indukcyjnego.
- Podstawowe charakterystyki silnika.

## **Literatura**

- [1] B. Karolewski, Z. Okraszewski, A. Szymański „Elektrotechnika Ćwiczenia laboratoryjne dla wydziałów nieelektrycznych. Skrypt PWr
- [2] Bogdan Miedziński „ELEKTROTECHNIKA Podstawy i instalacje elektryczne”  
wydawnictwo WNT

Celem ćwiczenia jest poznanie budowy, zasady działania i właściwości ruchowych silnika asynchronicznego klatkowego oraz wyznaczenie jego podstawowych charakterystyk. Program ćwiczenia obejmuje:

- a) zmontowanie układu zgodnie ze schematem,
- b) dokonanie rozruchu,
- c) zdjęcie podstawowych charakterystyk silnika.

## 1. Wprowadzenie

### 1.1. Zasada działania silnika asynchronicznego

Stojan trójfazowego silnika asynchronicznego ma trzy niezależne uzwojenia, których osie magnetyczne są przesunięte geometrycznie względem siebie o kąt  $120^\circ$ .

Po zasileniu prądem trójfazowym wytwarzają one wirujące pole magnetyczne, przemieszczające się w przestrzeni z prędkością synchroniczną:

$$n_s = \frac{60f}{p} \quad (1.1)$$

Gdzie:  $f$  - częstotliwość prądu stojana,  
 $p$  - liczba par biegunów.

W polu wirującym, które wytworzone jest przez stojan silnika, znajduje się wirnik. Uzwojenia wirnika (w przypadku silnika klatkowego) tworzą charakterystyczną klatkę. Klatka ta to nieizolowane pręty miedziane lub aluminiowe, umieszczone w żłobkach wirnika. Pręty te są zwarte na obu końcach (stąd nazwa silnik klatkowy). Nieruchome uzwojenia wirnika (pręty) są przecinane przez pole wirujące z prędkością synchroniczną  $n_s$ . W chwili rozruchu, wytwarzana jest w nich siła elektromotoryczna równa:

$$E = Bln_s \quad (1.2)$$

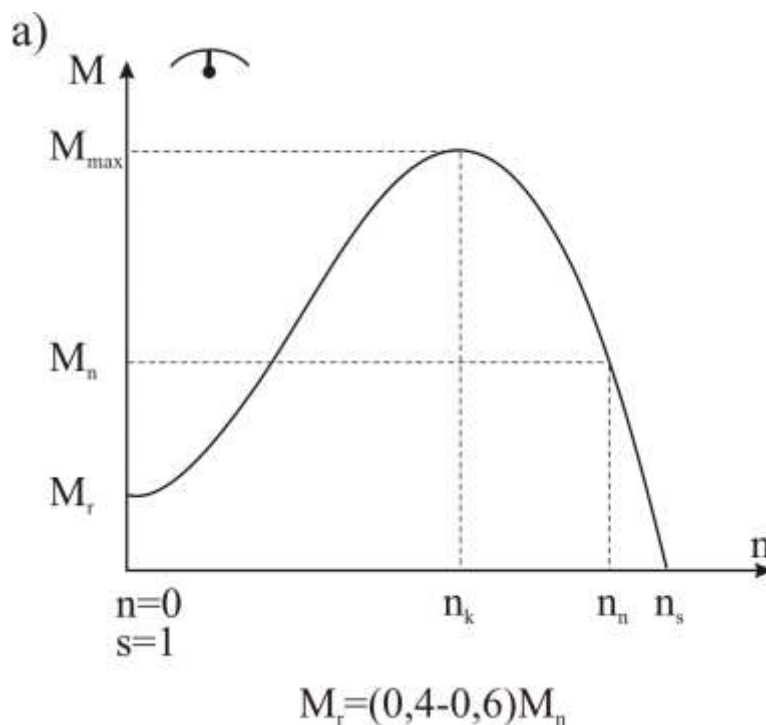
Przepływ prądu w prętach wirnika związany jest z pojawiającą się siłą elektromotoryczną. Zależność tą można opisać zgodnie z regułą lewej dłoni. Siła  $F$  jest proporcjonalna do indukcji wirującego pola magnetycznego  $B$ , długości prętów  $l$  oraz wielkości prądu  $I$  płynącego w prętach wirnika. [2]

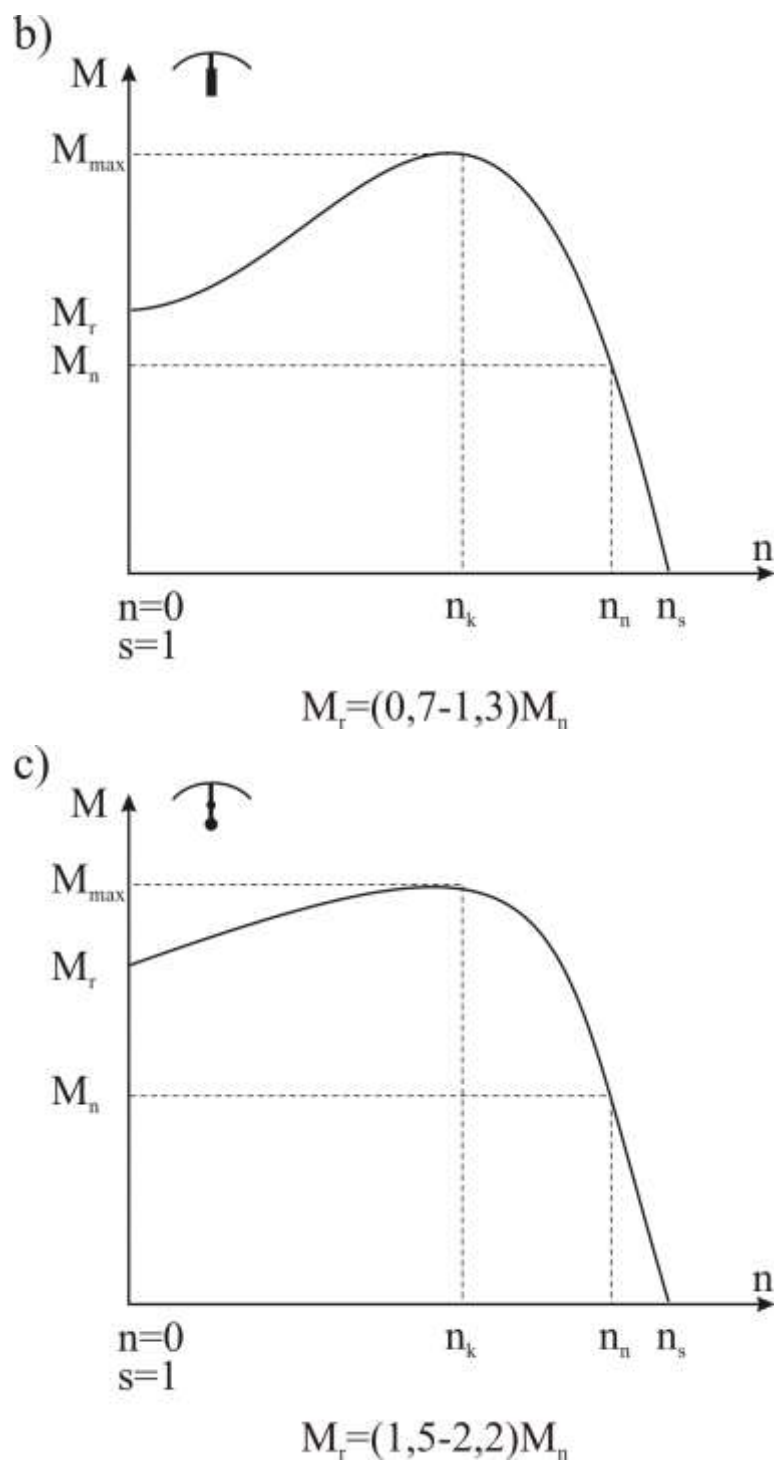
$$F=BI_w l, \quad (1.3)$$

Wynikająca z równania siła  $F$  powoduje powstanie momentu elektromagnetycznego  $M$ , który dla zatrzymanego wirnika ( $n=0$ ) będzie momentem rozruchowym  $M_r$ . Po rozruchu wirnik zaczyna się obracać i wraz z wzrostem obrotów maleje prędkość z jaką pole wirujące przecina pręty jego uzwojenia. „Doganiając” w ten sposób pole obserwujemy zmniejszanie się wartości siły elektromotorycznej, jak i zmniejszenie wartości prądu wirnika. Wytwarzając w ten sposób coraz mniejszy strumień magnetyczny, słabiej oddziałuje na pole wirujące. Efektem tego zjawiska jest mniejszy pobór prądu z sieci przez stojan silnika. Przyjmuje się, że w momencie rozruchu prąd ten jest bardzo duży i osiąga 4-6-krotną wartość prądu znamionowego. Dla silników asynchronicznych tak duże wartości prądu rozruchowego nie wpływają znacząco na moment rozruchowy  $M_r$ . Moment ten jest niewielki, ponieważ na jego wartość wpływa wartość współczynnika mocy silnika, a ona w chwili rozruchu jest bardzo mała ( $\cos \varphi_r = 0,05-0,15$ ).

Poprawa charakterystyki mechanicznej silnika może się odbywać jedynie poprzez zwiększenie momentu rozruchowego. Natomiast zwiększenie momentu rozruchowego jest możliwe poprzez specjalne zmiany konstrukcyjne, dlatego skonstruowano silniki głębokożłobkowe i dwukłatkowe (rys. 1.1).

Prąd rozruchowy (znacznie przekraczający wartości znamionowe) może okazać się groźny dla silnika ze względu na skutki cieplne, zwłaszcza w przypadku częstych rozruchów silników dużej mocy. Takiemu „ciężkiemu” rozruchowi towarzyszy przeważnie znaczny spadek napięcia w sieci zasilającej to znowu wpływa na przebieg rozruchu, oraz na pracę innych odbiorników. [2]





Rys. 1.1. Charakterystyki mechaniczne silników klatkowych: a) jednoklatkowych, b) głębokożłobkowych, c) dwuklatkowych [1].

Aby uniknąć negatywnego oddziaływania silników dużej mocy (dla rozruchu bezpośredniego są to już silniki o mocy kilkunastu kilowatów) na sieć zasilającą stosuje się zasilanie z osobnego transformatora lub specjalne układy rozruchowe. Jedną z najtańszych i najprostszych stosowanych metod to metoda załączenia silnika z układem gwiazda-trójkąt, umożliwia to trzykrotne zmniejszenie prądu rozruchowego. Z uwagi na duży rozwój techniki

tyrystorowej do rozruchu i płynnego sterowania parametrami silnika stosuje się coraz powszechniej również przetworniki tyrystorowe (częstotliwościowe) zwane popularnie falownikami. Rozwój techniki mikroprocesorowej zaowocował szerokimi możliwościami kształtowania charakterystyki rozruchowej, a układy, które zapewniają takie możliwości to układy popularnie nazywane „soft startem”.

Jednym z charakterystycznych parametrów silników asynchronicznych jest „poślizg” i jest to miara różnicy prędkości między polem wirującym a wirnikiem (stąd nazwa silnik asynchroniczny). Występuje on zawsze po obciążeniu silnika momentem hamującym, równym np. momentowi znamionowemu, prędkość obrotowa wirnika ustali się wówczas na wartości  $n_n < n_s$ .

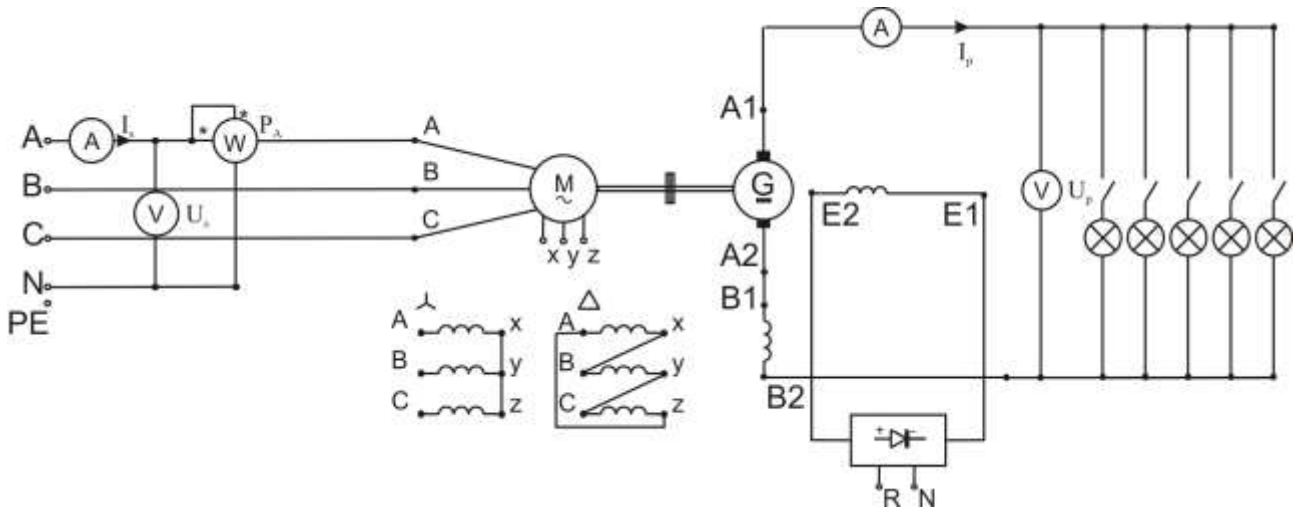
$$s = \frac{n_s - n}{n_s} 100 \quad (1.4)$$

Typowa znamionowa wartość poślizgu silników klatkowych wynosi 1-6%. Gdy nie obciążamy silnika momentem hamującym, czyli w przypadku biegu jałowego poślizg silnika jest bardzo mały, a prędkość obrotowa wirnika niewiele różni się od prędkości pola wirującego. Ze względu na budowę silników tego typu prędkość obrotowa wirnika nigdy, nawet w przypadku braku oporów ruchu, nie może być równa prędkości synchronicznej, ponieważ pręty uzwojenia wirnika nie byłoby przecinane przez linie sił pola magnetycznego stojana. Przypadek taki byłby równoznaczny z sytuacją, w której moment  $M$ , siła elektromotoryczna  $E$  i prąd  $I_w$  byłyby równe zeru.

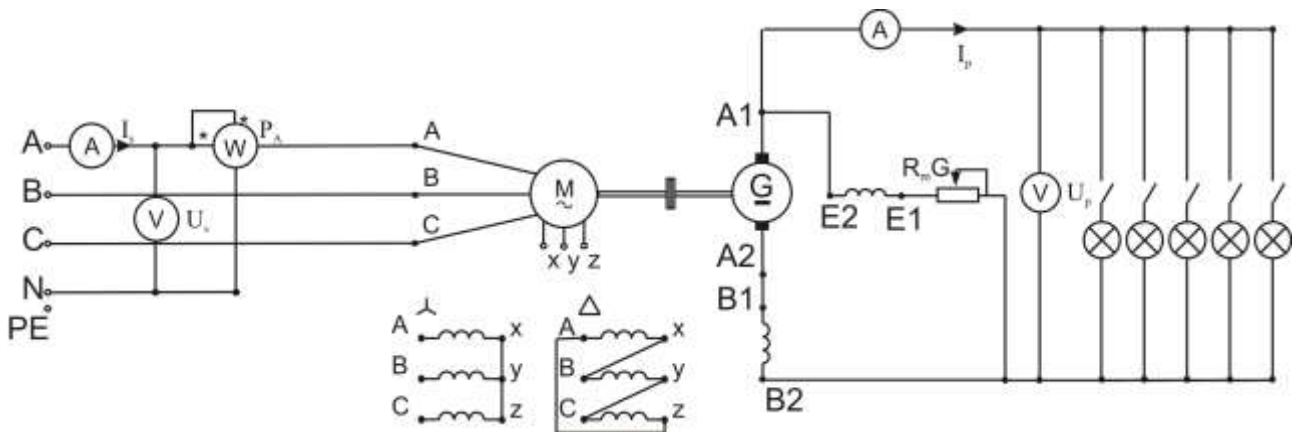
## 1.2. Przebieg ćwiczenia

Po połączeniu uzwojeń silnika (sposób podłączenia uzwojeń i metodę rozruchu wskaże prowadzący), zgodnie ze schematem ideowym (rys. 1.2), silnik  $M$  zasilamy napięciem trójfazowym 380/220V. Podczas prowadzonych pomiarów silnik obciążamy przez obciążenie prądniczy  $G$  żarówkami. Na zaciskach prądniczy należy przez cały czas pomiarów utrzymywać stałą wartość napięcia  $U_p$  (odczytaną z zacisków prądniczy). Regulacja ta odbywa się w zależności od przyjętego schematu połączenia prądniczy (uzwojenia  $E1-E2$ ). W przypadku podłączenia prądniczy obcowzbudnie (a) regulację wykonujemy autotransformatorem (napięcie regulowane) podłączonym do elementu prostowniczego. W przypadku samowzbudnym (b) regulując opornicą  $R_m G$  prąd płynący w obwodzie wzbudzenia prądniczy. W ćwiczeniu odczytujemy dla każdego stopnia obciążenia wartości:  $I_s$ ,  $U_s$ ,  $P$ ,  $I_p$ ,  $U_p$ . Wartości te należy wpisać do tab. 1.1. Prędkość obrotową silnika należy zmierzyć za pomocą przydzielonego tachometru.

a)



b)



Rys. 1.2. Ideowy schemat układu do badania silnika asynchronicznego klatkowego a) obciążenie prądnicą obcowzbudną, b) obciążenie prądnicą samowzbudną.

Tabela 1.1

Lp.:	Liczba żarówek	$U_s$	$I_s$	$P_w$	$P_s$	$U_p$	$I_p$	$P_p$	$\cos\phi_s$	$\eta$	$\eta_s$	$P_p$	$n$	$M$
		[V]	[A]	[W]	[W]	[V]	[A]	[W]	[-]	[-]	[-]	[W]	$\left[ \frac{\text{obr}}{\text{min}} \right]$	[N·m]
1	0													
2	1													
3	...													

Moc oddawana przez silnik  $P = \eta_s P_s$  [W]

gdzie dla obciążenia symetrycznego  $P_s = 3 \cdot P_w$  [W],

współczynnik mocy silnika  $\cos \varphi_s = \frac{P_s}{3U_s I_s}$ ,

moc oddawana przez prądnicę  $P_p = U_p I_p$ ,

sprawność układu prądnica-silnik  $\eta = \frac{P_p}{P_s}$ ,

sprawność silnika i prądnicy (wartości te przyjmuje się jako równe)  $\eta_s = \eta_p = \sqrt{\eta}$ ,

moment silnika  $M = 9,56 \frac{P}{n} [N \cdot m]$

Uwaga

Współczynnik 9,55 wynika z wzoru  $\left[ \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot 60 \right]$ , dlatego obroty  $n$  podajemy w jednostkach  $\left[ \frac{\text{obr}}{\text{min}} \right]$  (RPM- *revolutions per minute* - obroty na minutę).

Na podstawie tabeli 1.1 należy sporządzić wykresy  $n = f(M)$ ,  $\cos \varphi = f(P)$  oraz  $\eta = f(P)$ .

Przyjąć  $\eta_p = \eta_s$  oraz wyznaczyć  $\eta_s = f(P)$ .