

UNIwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Instytut Eksploatacji Maszyn i Transportu
ZAKŁAD STEROWANIA



ELEKTROTECHNIKA I ELEKTRONIKA

Ćwiczenie: **E20**

BADANIE UKŁADU LEONARDA

Piotr Kolber, Daniel Perczyński
Bydgoszcz 2011

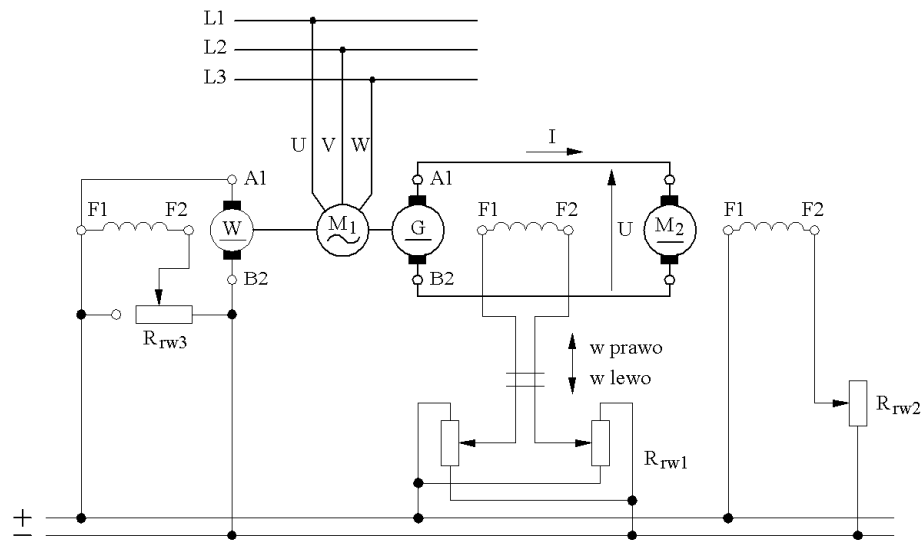
1. Wprowadzenie

Układ Leonarda jest ważnym i często stosowanym układem napędowym. Układ ten znajduje zastosowanie w napędach dużej mocy (np. maszyny wyciągowe w kopalniach, napęd główny okrętów, napęd walcarek i zgniataczy w hutnictwie), jak i małej mocy (niektóre napędy mechanizmów obrabiarek, w przemyśle papierniczym, dźwignice, dźwigi osobowe o wysokim standardzie jazdy). Układ Leonarda umożliwia uzyskanie płynnego sterowania prędkością obrotową w szerokim zakresie. Układ ten posiada następujące zalety:

- szeroki zakres płynnej regulacji prędkości obrotowej,
- duża stateczność pracy układu,
- układ może być nawrotny,
- możliwe jest hamowanie elektryczne z odzyskiwaniem energii.

2. Budowa

Układ Leonarda, przedstawiony na rys.1, składa się najczęściej z czterech maszyn: dowolnego silnika napędowego, najczęściej trójfazowego silnika prądu przemiennego (M_1), prądnicy prądu stałego o wzbudzeniu obcym (G), obcowzbudnego silnika prądu stałego (M_2) oraz osadzonej na wspólnym wale z maszyną M_1 wzbudnicy W. Wzbudnicę W można pominąć w przypadku, gdy istnieje sieć napięcia stałego. Moc znamionowa maszyn wchodzących w skład układu Leonarda, oprócz wzbudnicy W, powinna być równa mocy znamionowej silnika roboczego M_2 .



Rys.1. Schemat układu Leonarda.

3. Zasada działania

Zasada działania układu Leonarda polega na tym, że silnik napędowy (M_1) napędza ze stałą prędkością obrotową (lub zmieniającą się w niewielkim zakresie) prądnicę G oraz wzbudnicę W. Dokonując regulacji prądu wzbudzenia prądnicy sterującej za pomocą regulatora R_{rw1} możemy zmieniać w sposób ciągły wartość napięcia U na jej zaciskach, a zarazem napięcie przekazywane na zaciski silnika roboczego M_2 . Zmianie napięcia U odpowiada zmiana prędkości obrotowej silnika roboczego w zakresie od $n=0$ do $n=n_n$. Regulacja taka jest ekonomiczna, albowiem polega wyłącznie na regulacji prądu wzbudzenia prądnicy sterującej.

Regulację prędkości obrotowej silnika roboczego w zakresie od n_n do n_{max} , czyli większej niż ta, która występuje przy napięciu znamionowym i znamionowym wzbudzeniu silnika, uzyskuje się poprzez zmniejszenie prądu wzbudzenia silnika roboczego (regulator R_{rw2}).

4. Charakterystyki mechaniczne układu Leonarda.

Z równania charakterystyki mechanicznej silnika obcowzbudnego

$$n = \frac{U - R_t \cdot I_t}{c_E \cdot \Phi} \quad (1)$$

gdzie:

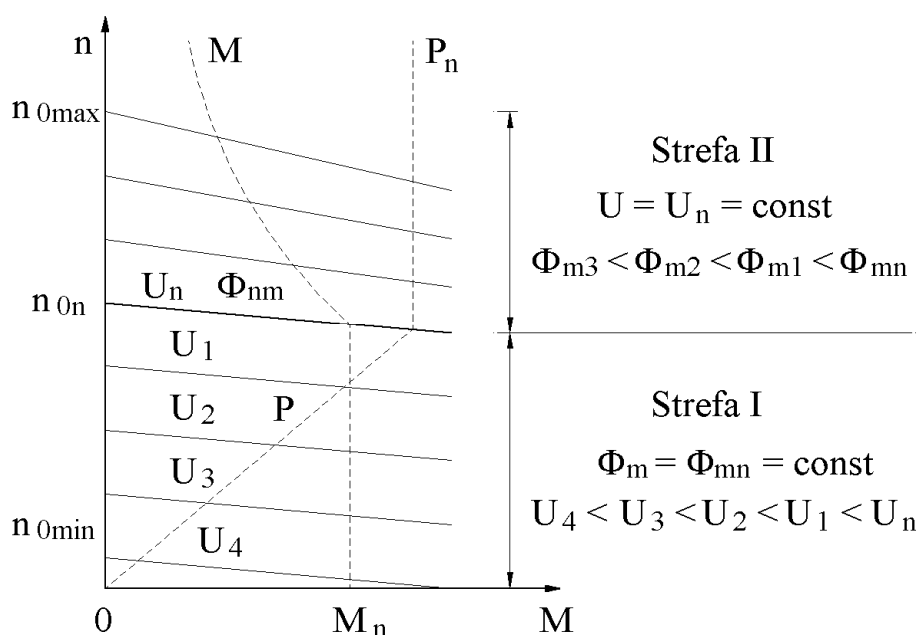
R_t – rezystancja obwodu twornika [Ω],

I_t – prąd płynący w uzwojeniu twornika [A],

c_E – stała konstrukcyjna maszyny,

Φ - strumień uzwojenia wzbudzenia [Wb]

wynika, że wartość prędkości obrotowej silnika M_2 jest w przybliżeniu proporcjonalna do napięcia na jego zaciskach. Wzrostowi napięcia twornika towarzyszy zwiększenie się prędkości obrotowej silnika. Ponieważ nachylenie charakterystyki mechanicznej silnika nie zależy od napięcia (1), lecz od strumienia wzbudzenia, charakterystyki mechaniczne silnika przy różnych wartościach napięć doprowadzonych do obwodu twornika, będą względem siebie równoległe – rys.2.



Rys.2. Charakterystyki mechaniczne układu Leonarda

Ponieważ w strefie I regulacja prędkości obrotowej odbywa się przy stałym strumieniu wzbudzenia maszyny M_2 ($\Phi_n = \text{const}$) oraz stałej wartości prądu twornika $I_t = I_n$:

$$M_n = c_M \Phi_n I_n \quad (2)$$

gdzie:

c_M – stała konstrukcyjna maszyny,

moment obrotowy jakim można obciążyć silnik ma wartość stałą i równą momentowi znamionowemu maszyny. Moc oddawana przez silnik przedstawiona zależnością (3)

$$P = M\omega = \frac{2\pi}{60} Mn \quad (3)$$

jest proporcjonalna do prędkości obrotowej maszyny.

Regulacja prędkości obrotowej silnika M_2 w strefie II odbywa się przy stałym napięciu zasilania twornika ($U=U_n$), stałej wartości prądu płynącego w obwodzie twornika $I_r=I_n$ oraz zmiennej wartości strumienia wzbudzenia maszyny $\Phi < \Phi_n = \text{var}$. Wobec powyższego moc oddawana przez silnik:

$$P = U_n I_n = P_n = \text{const} \quad (4)$$

jest stała. Natomiast wartość momentu obrotowego wyznaczona z zależności (5)

$$M = 9,55 \frac{P}{n} \quad (5)$$

maleje proporcjonalnie do prędkości obrotowej wirnika. Na rys.2. linią przerywaną zaznaczono graniczne wartości mocy i momentu obrotowego dla obu stref regulacji. Natomiast zmiany wartości charakterystyki naturalnej $n=f(M)$ ($U=U_n$, $\Phi=\Phi_n=\text{const}$) przedstawiono linią pogrubioną.

Najważniejszymi ograniczeniami zakresu sterowania prędkością obrotową w układzie Leonarda są:

- graniczna maksymalna prędkość obrotowa silnika jest ograniczona warunkami komutacji (zwiększone iskrzenie pod szczotkami przy znacznej prędkości obrotowej),
- przy małych prędkościach obrotowych (w przypadku silników z chłodzeniem własnym) pogarszają się warunki chłodzenia, co zmusza do ograniczenia mocy oddawanej na wale przez silnik.

5. Rozruch, hamowanie i nawrót układu Leonarda.

Rozruch silnika M_2 w układzie Leonarda przeprowadza się przez stopniowe zwiększanie prądu wzbudzenia prądnicy G, przy (**wcześniej nastawionej**) znamionowej wartości prądu wzbudzenia silnika. Dokonując analizy zależności (1) opisującej charakterystykę mechaniczną silnika M_2 przy $\Phi \rightarrow 0$:

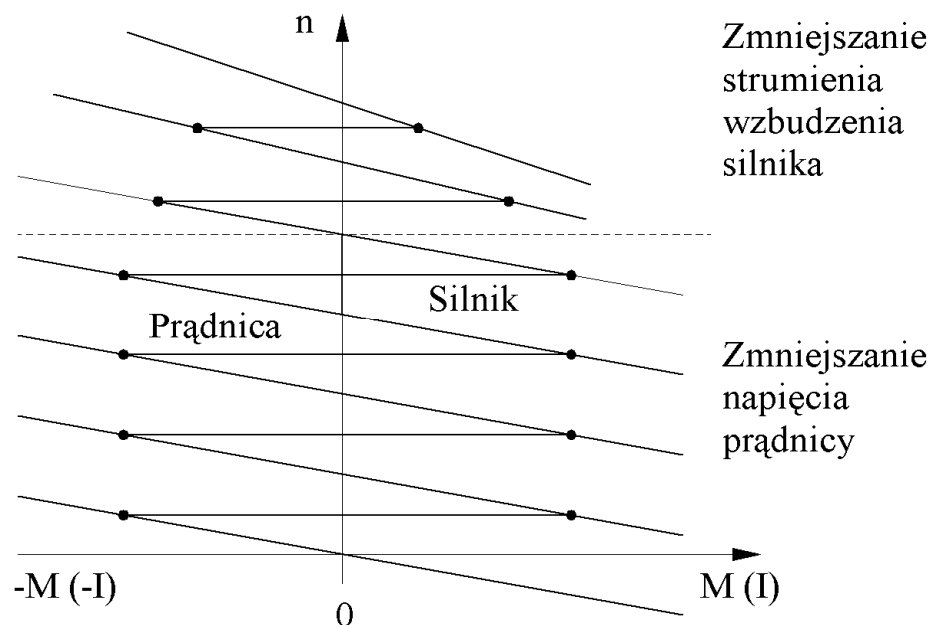
$$\lim_{\Phi \rightarrow 0} \frac{U - R_t \cdot I_t}{c_E \cdot \Phi} = +\infty \quad (6)$$

możemy stwierdzić, że pominięcie wcześniejszego zasilenia obwodu wzbudzenia maszyny może doprowadzić do jej „rozbiegania”, czyli do osiągnięcia przez jej wirnik bardzo dużej wartości prędkości obrotowej. Taki stan pracy silnika może doprowadzić do jego uszkodzenia.

W celu zahamowania silnika w układzie Leonarda można zastosować jedną z trzech metod hamowania [1] tj.:

- hamowanie odzyskowe,
- hamowanie dynamiczne,
- hamowanie przeciwwądem.

Podstawowym rodzajem hamowania w układzie Leonarda jest hamowanie odzyskowe. W przypadku pracy silnika w strefie II ($\Phi < \Phi_n$) hamowanie realizowane jest przez zwiększanie wartości prądu wzbudzenia silnika. Wzrostowi wartości strumienia magnetycznego towarzyszy wzrost sem (rozdział 3) i staje się chwilowo większa od napięcia na zaciskach prądnicy. Prąd w obwodzie głównym zmienia więc kierunek na przeciwny, co wskazuje na to, że obydwie maszyny zmieniają się rolami. Silnik staje się prądnicą, a prądnica silnikiem, który napędza silnik asynchroniczny (M_1) i powoduje zwrot energii do sieci prądu przemiennego. Z chwilą uzyskania przez silnik wartości znamionowej strumienia magnetycznego hamowanie w II strefie się kończy. W I strefie charakterystyki mechanicznej hamowanie realizuje się zmniejszając wartość prądu wzbudzenia prądnicy G. Wskutek zmniejszenia wartości strumienia wzbudzenia prądnicy maleje wytwarzana przez tą maszynę sem. Następuje chwilowe odwrócenie kierunku prądu w obwodzie głównym i proces hamowania odbywa się analogicznie jak opisany wcześniej. Stopniowe zmniejszanie napięcia prowadzi do całkowitego zatrzymania silnika. Przebieg hamowania w układzie Leonarda przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Proces hamowania w I i II strefie silnika (M_2) układu Leonarda.

Nawrót w układzie Leonarda realizuje się poprzez zmianę biegunowości napięcia przyłożonego do uzwojenia wzbudzenia prądniccy G.

6. Sposób przeprowadzenia badań

Celem badań jest zapoznanie się z budową, zasadą działania oraz wyznaczenie podstawowych charakterystyk układu Leonarda.

6.1. Stanowisko badawcze

Układ Leonarda zastosowany w badaniach zbudowany jest z silnika asynchronicznego klatkowego typu SZJe44b-R napędzającego obcowzbudną prądnicę typu PZOb54a, która zasila silnik napędowy (Leonarda) typu PZOb44a. Obciążanie silnika napędowego jest realizowane przez obcowzbudną prądnicę prądu stałego typu PZOb44b zasilającą odbiorniki rezystancyjne. Zmiany obciążenia silnika dokonuje się poprzez włączanie i wyłączanie sekcji elementów odbiornika zasilanych przez prądnicę obciążającą. Uzwojenia wzbudzenia prądnic oraz silnika PZOb44a są zasilane z lokalnej sieci prądu stałego. Regulacja prądów wzbudzenia wszystkich maszyn prądu stałego odbywa się za pomocą regulatorów typu APX4.

6.2. Opis realizacji badań

Przed przystąpieniem do badań należy dokładnie zapoznać się z instrukcją. Instrukcja zawiera opis następujących czynności:

- 1) oględziny i czynności wstępne,
- 2) pomiar rezystancji uzwojeń wzbudzenia,
- 3) wyznaczenie charakterystyk mechanicznych,
- 4) analizę wyników i wnioski.

6.2.1. Oględziny i czynności wstępne

- 1) Dokonać oględzin maszyn użytych w badaniach.

Podczas oględzin należy sprawdzić stan stanowiska badawczego, jego budowę, treść tabliczek znamionowych, schematowych i oznaczeniowych; jakość zacisków (także obecność zacisków ochronnych), stan przewodów łączeniowych oraz ich rozmieszczenie.

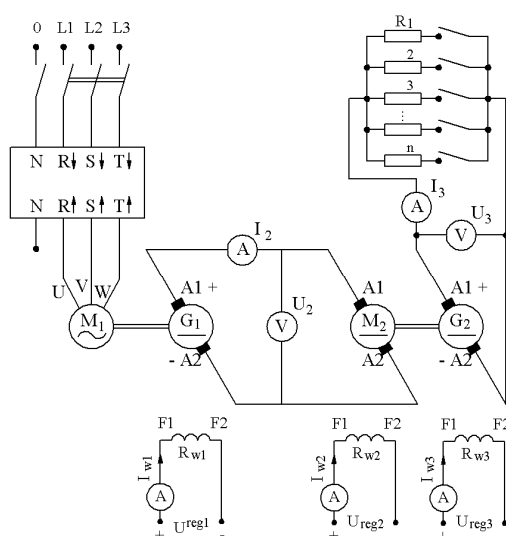
- 2) Zanotować dane z tabliczek znamionowych wszystkich użytych w badaniach maszyn.

6.2.2. Pomiar rezystancji uzwojeń wzbudzenia

Pomiar wykonuje się w stanach zimnych maszyn. Metodę wykonywania pomiaru opisano w rozdziale 3 punkt 3.3.

6.2.3. Wyznaczenie charakterystyk mechanicznych

W celu wyznaczenia charakterystyk mechanicznych należy połączyć układ pomiarowy przedstawiony na rys.4.



Rys.4. Układ pomiarowy do wyznaczenia charakterystyk mechanicznych

Kolejne czynności wykonać jak poniżej:

- a. za pomocą regulatora APX4-2 dokonać ustawienia znamionowej wartości prądu I_{w2} płynącego w uzwojeniu wzbudzenia silnika M_2 ,
- b. przy użyciu przełącznika gwiazda/trójkąt uruchomić silnik napędzający M_1 , a następnie poprzez regulację prądu wzbudzenia I_{w1} prądnicy G_1 ustalić na uzwojeniu twornika silnika M_2 napięcie znamionowe,
- c. podczas badań należy wyznaczyć:
 - charakterystykę naturalną przy $U_2=U_n$ i $I_{w2}=I_{wn}$,
 - charakterystykę sztuczną dla $U_2=0,8U_n$ i $I_{w2}=I_{wn}$,
 - charakterystykę sztuczną przy $U_2=U_n$ i $I_{w2}=0,8I_{wn}$,
- d. obciążenie silnika M_2 zmieniać poprzez włączanie i wyłączanie sekcji obciążeniowych zasilanych przez prądnicę obciążającą G_2 (uprzednio należy poprzez zmianę prądu wzbudzenia I_{w3} ustalić napięcie znamionowe na zaciskach prądnicy),

Wyniki pomiarów i obliczeń notować w tabelicy 1.

Tablica 1. Wyniki pomiarów i obliczeń badanych charakterystyk

L.p	Pomiary								Obliczenia					
	I_{w1}	P	U_2	I_2	I_{w2}	U_3	I_3	n	P_s	P_p	M	η_s	η_u	P_w
	[A]	[W]	[A]	[A]	[A]	[V]	[A]	[obr./min]	[W]	[W]	[Nm]	[-]	[-]	[W]
1														
2														
3														

Do obliczeń wykorzystać następujące wzory:

$$P_s = U_2 I_2 + I_{w2}^2 R_{w2} \quad \text{- moc pobrana przez silnik } M_2 \quad (7)$$

$$P_p = U_3 I_3 \quad \text{- moc oddana przez prądnicę } G_2 \quad (8)$$

$$\eta_s = \frac{P_p}{P_s} \quad \text{- sprawność silnika Leonarda} \quad (9)$$

$$P_w = P_s \eta_s \quad \text{- moc na wale silnika } M_2 \quad (10)$$

$$\eta_u = \frac{P_w}{P + I_{w1}^2 R_{w1} + I_{w2}^2 R_{w2}} \quad \text{- sprawność układu Leonarda} \quad (11)$$

$$M = 9,55 \frac{P_w}{n} \quad \text{- moment na wale silnika } M_2 \quad (12)$$

e. na podstawie pomiarów i obliczeń wykreślić:

- charakterystyki mechaniczne $n = f(M)$: naturalną i sztuczne
- charakterystyki sprawności $\eta_s, \eta_u = f(M)$ dla $U_2 = U_n$ i $I_{w2} = I_{wn2}$

Sprawozdanie powinno zawierać: dane znamionowe prądnicy, schematy obwodów pomiarowych, tablice pomiarowe z wynikami obliczeń, wzory z przykładami obliczeń, wykresy charakterystyk, teoretyczne uzasadnienie ich kształtów oraz wnioski.

Literatura

1. Z. Gogolewski: „Napęd elektryczny”. Wydawnictwa Naukowo Techniczne Warszawa 1961.
2. P. Hempowicz i inni: „Elektronika i elektrotechnika dla nieelektryków”, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 1999.
3. A.M. Plamitzer: „Maszyny elektryczne”, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 1976.
4. F. Przeździecki „ Elektrotechnika i Elektronika”, PWN Warszawa 1986.