

Zespół Szkół Technicznych im. J. i J. Śniadeckich w Grudziądzu



Laboratorium Elektryczne – Pracownia Maszyn
Elektrycznych

Instrukcja Laboratoryjna: Układy rozruchowe silników 3-fazowych.

Opracował: mgr inż. Marcin Jabłoński

(2014/2015)

Zakres ćwiczenia:

Ćwiczenie polega na zapoznaniu się z podstawowymi układami rozruchowymi silników 3-fazowych. Układy rozruchowe oparte są na stycznikach zamontowanych na tablicy z szynami TH-35 (euro szyna) lub w rozdzielnicach natynkowych. Jako obiekt sterowany w przypadku układów załącz – wyłącz (0-1) i lewo – prawo (L-P) stosowany będzie silnik 3-fazowy o mocy 0,55kW a przypadku układu gwiazda – trójkąt (Y - Δ) układ 6 żarówek .

1. Przygotowanie teoretyczne do zajęć w laboratorium elektrycznym:

Silniki elektryczne - stanowią najliczniejszą grupę maszyn elektrycznych; szeroko stosowanych w przemyśle, komunikacji i transporcie, rolnictwie, a także w napędach urządzeń gospodarstwa domowego. Silniki elektryczne prądu przemiennego są obecnie największą grupą odbiorników energii elektrycznej w świecie.

Ze względu na rodzaj prądu i zasadę działania maszyny elektryczne dzieli się na:

- maszyny prądu przemiennego:
 - maszyny synchroniczne,
 - maszyny asynchroniczne (indukcyjne),
- maszyny komutatorowe prądu przemiennego,
- maszyny prądu stałego.

Każda z maszyn prądu przemiennego może być zarówno 1- fazową jak i 3 - fazową.

1.1. Rodzaje maszyn asynchronicznych

Maszyny indukcyjne (asynchroniczne) wirujące, można podzielić:

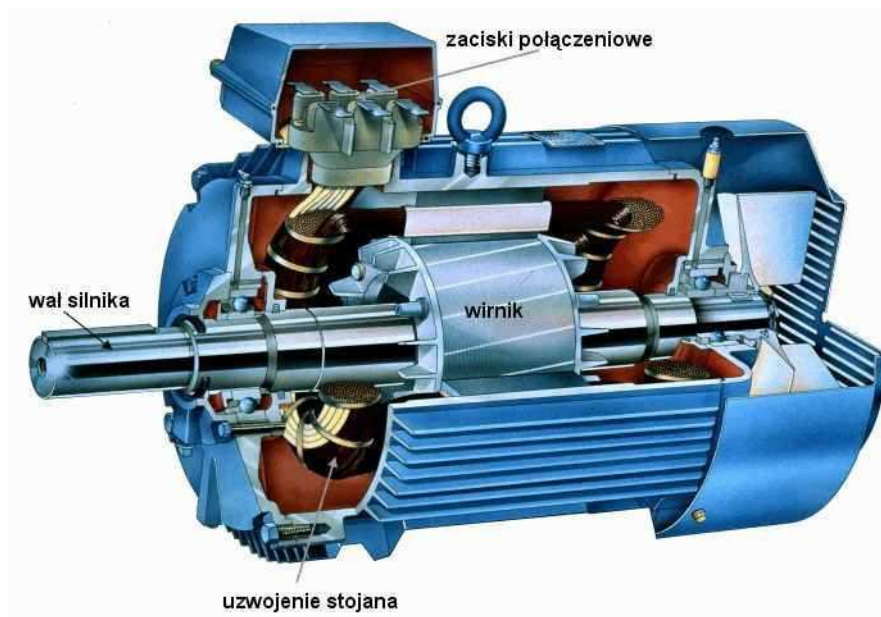
- ze względu na sposób wykonania obwodów elektrycznych wirnika:
 - o maszyny o wirniku pierścieniowym z uzwojeniem symetrycznym wielofazowym, połączonym za pomocą pierścieni ślizgowych, np. z rozrusznikiem lub ze źródłem zasilania;
 - o maszyny o wirniku klatkowym, w którym obwody elektryczne wielofazowe wykonane są z połączonych prętów oraz pierścieni odlewanych lub spawanych;
 - o maszyny o wirniku pierścieniowo - klatkowym, z uzwojeniem fazowym przyłączonym do pierścieni ślizgowych oraz uzwojeniem klatkowym (stosowane jako silniki o mocy większej niż 1 MW)
- ze względu na zakres parametrów znamionowych:
 - o niskiego napięcia - o mocy nie większej niż 300 kW,
 - o wysokiego napięcia - o mocy nie mniejszej niż 160 kW,
 - o o częstotliwości 50 - 60 Hz, lub o częstotliwości zwiększonej,
 - o o częstotliwości do 3500 Hz - silniki do technologii wysokoobrotowej.
- ze względu na sposób zasilania:
 - o maszyny indukcyjne jednofazowe - o mocy do 2 kW;
 - o maszyny indukcyjne dwufazowe - stosowane jako silniki wykonawcze w grupie maszynowych elementów automatyki;

- o maszyny indukcyjne trójfazowe - najpowszechniej stosowane;
 - o maszyny indukcyjne o liczbie faz większej niż 3, stosowane w wielofazowych układach przekształtnikowych.
- ze względu na rodzaj ruchu:
 - o maszyny indukcyjne wirujące;
 - o maszyny indukcyjne liniowe.
- ze względu na sposób przystosowania do warunków środowiskowych i napędowych, o określonym:
 - o stopniu ochrony,
 - o rodzaju wykonania,
 - o układzie chłodzenia.
- Silniki indukcyjne o ruchu innym niż obrotowy stosowane są jako silniki: liniowe, oscylacyjne, wahadłowe, lub o stojanie innym niż cylindryczny, np. łukowym, do napędu pieców obrotowych w cementowniach.

1.2. Budowa maszyn asynchronicznych

Maszyna indukcyjna [2] składa się z dwóch części (rys. 1):

- nieruchomej w kształcie walca, zwanej stojanem,
- części ruchomej zwanej wirnikiem, także w kształcie walca.

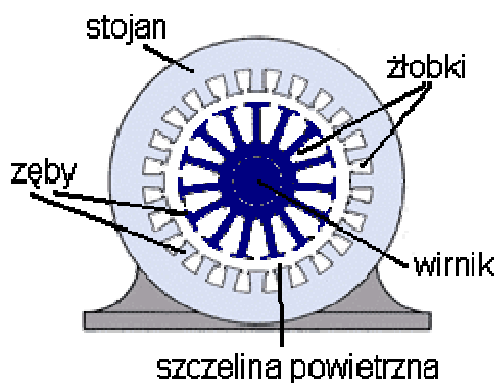


Rys. 1. Silnik indukcyjny [3]

Obwód magnetyczny maszyny asynchronicznej stanowią rdzenie stojana i wirnika wykonane w formie pakietu z blach odizolowanych od siebie o ok. 0,5 mm (rys. 2). Stojan i wirnik są oddzielone od siebie szczeliną powietrzną o grubości rzędu kilku dziesiątych mm w małych maszynach.

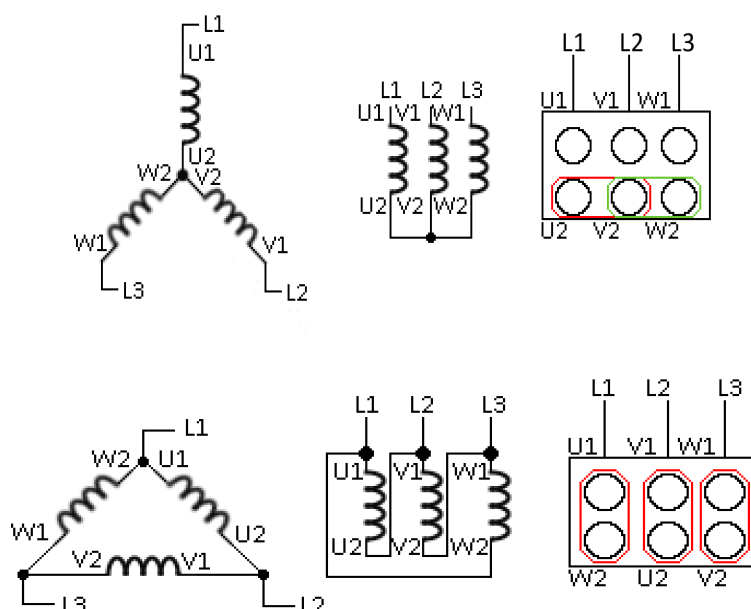
Na całym obwodzie rdzenia stojana i wirnika wycina się rowki o specjalnym kształcie, zwane żłobkami, w których umieszcza się uzwojenie (rys. 2).

Rdzeń stojana umieszcza się w kadłubie maszyny, natomiast rdzeń wirnika - w maszynach małej mocy na wale, natomiast w maszynach o dużych mocach na piaście.



Rys. 2. Budowa silnika indukcyjnego [3]

Uzwojenia stojana silnika trójfazowego składa się z trzech oddzielnych uzwojeń zwanych fazami, które w czasie pracy są połączone w gwiazdę lub w trójkąt (rys. 3).



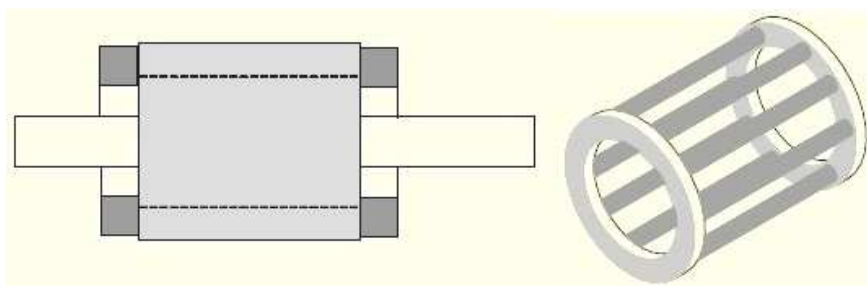
Rys. 3. Połączenia uzwojeń silnika: górny w gwiazdę, dolny w trójkąt

Uzwojenia stojanów wykonuje się z izolowanego drutu nawojowego, dodatkowo impregnowanego i usztywnionego. Uzwojenia są odizolowane od rdzenia izolacją żłobkową, zabezpieczone przed wypadaniem ze żłobka za pomocą klinów.

W praktyce maszyny asynchroniczne stosowane są jako silniki o uzwojeniu klatkowym (zwartym) lub pierścieniowe.

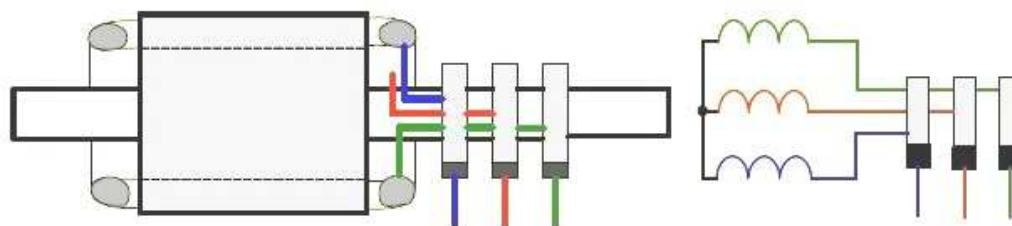
Uzwojenia wirnika klatkowego, mogą być wykonane z nieizolowanych prętów (miedzianych, aluminiowych, itp.) o dużym przekroju, które całkowicie wypełniają żłobki, połączonych po obu stronach wirnika pierścieniami zwierającymi (rys. 4). Obwód magnetyczny wirnika wykonany jest w postaci pakietu blach stalowych z dodatkiem krzemu, wzajemnie odizolowanych,

złożonych jedna na drugą. Obwód elektryczny wirnika jest zawsze zwarty (stąd nazwa silnika). Klatka stanowi wielofazowe uzwojenie wirnika, o liczbie faz równej liczbie prętów, z których jest wykonana.



Rys. 4. Wirnik klatkowy

Uzwojenia wirnika pierścieniowego są wykonane, tak jak w stojanie, z drutu nawojowego. Jeżeli uzwojenie wirnika jest wykonane z drutu nawojowego, to istnieje możliwość przyłączenia do każdej fazy obwodu wirnika dodatkowej rezystancji. Początki poszczególnych faz uzwojenia wirnika silnika pierścieniowego muszą być przyłączone na stałe do pierścieni ślizgowych, osadzonych na wale wirnika (rys. 5) zaś końce poszczególnych faz uzwojenia wirnika są zwarte na wirniku.



Rys. 5. Wirnik pierścieniowy

1.3. Zasada działania maszyn asynchronicznych

Większość znajdujących się w użyciu maszyn indukcyjnych to maszyny trójfazowe. Maszyny te składają się z nieruchomego stojana, w którym umieszczone jest uzwojenie trójfazowe, zasilane z sieci elektroenergetycznej, oraz wirnika klatkowego lub pierścieniowego. Uzwojenie stojana zasilane napięciem trójfazowym wytwarza pole magnetyczne wirujące z prędkością obrotową strumienia magnetycznego zwane prędkością synchroniczną n_s . Prędkość synchroniczna, która zależy od częstotliwości f i liczby par biegunów p uzwojenia zgodnie ze wzorem:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} [\text{obr}/\text{min}] \quad (1)$$

W polu wirującym stojana jest umieszczone jest uzwojenie wirnika. W czasie gdy wirnik jest jeszcze nieruchomy $n = 0$, pole wirujące stojana względem wirnika przecina pręty wirnika, indukując w nich siłę elektromotoryczną (SEM) E_{20} o wartości zadanej wzorem wyrażone w woltach [V]:

$$E_{20} = 4,44 k_{u2} N_2 f_2 \Phi \quad (2)$$

gdzie:

- E_{20} - siła elektromotoryczna indukowana w nieruchomym wirniku,
- k_{u2} - współczynnik uzwojenia wirnika,
- N_2 - liczba zwojów uzwojenia wirnika,
- f_1 - częstotliwość napięcia zasilającego,
- Φ - strumień główny (wirujący).

Strumień wirujący indukuje również siłę elektromotoryczną (SEM) E_1 w uzwojeniu stojana o wartości zadanej poniższą zależnością wyrażone w woltach [V]:

$$E_1 = 4,44k_{u1}N_1f_1 \Phi \quad (3)$$

gdzie:

- k_{u1} - współczynnik uzwojenia stojana,
- N_1 - liczba zwojów uzwojenia stojana.

Pod wpływem indukowanego w zamkniętym uzwojeniu wirnika napięcia E_{20} (SEM), płynie w tym uzwojeniu prąd. Oddziaływanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem powoduje powstanie momentu elektromagnetycznego M . Jeżeli wytworzony moment osiągnie wartość większą niż moment obciążenia (moment hamujący) M_h , pochodzący od napędzanej maszyny roboczej oraz tarcia, to wirnik zaczyna się obracać. Maszyna pracuje jako silnik przetwarzając pobraną energię elektryczną na energię mechaniczną (obrotową). W stanie obciążenia silnika momentem znamionowym wirnik wiruje z prędkością mniejszą od prędkości synchronicznej. Wielkością charakterystyczną dla maszyn indukcyjnych jest poślizg s ; jest stosunek prędkości pola względem wirnika do prędkości synchronicznej, czyli:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (4)$$

Gdy wirnik silnika pozostaje nieruchomy, czyli $n = 0$, to poślizg $s = 1$, a gdy wirnik wiruje synchronicznie ze strumieniem z prędkością $n = n_s$, to poślizg $s = 0$. Prędkość wirowania wirnika jest tym większa, im mniejszy jest poślizg:

$$n = n_1 \cdot (1 - s) \text{ [obr/min]} \quad (5)$$

1.4. Rodzaje pracy w maszynach asynchronicznych

W zależności od parametrów wejściowych jakie przyłożymy do naszej maszyny możemy pracować maszyną asynchroniczną w trzech warunkach pracy (rys.6):

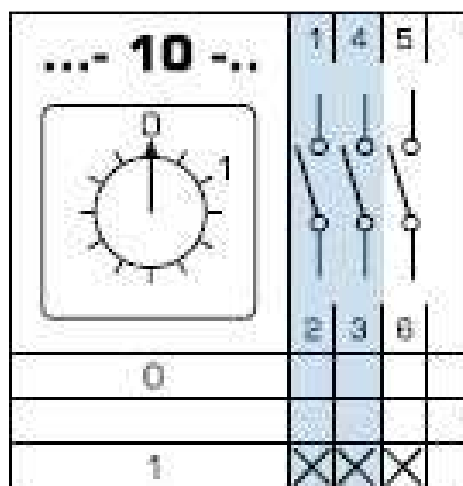
- Praca prądnicowa,
- Praca silnikowa,
- Praca hamulcowa.

2. Układy rozruchowe:

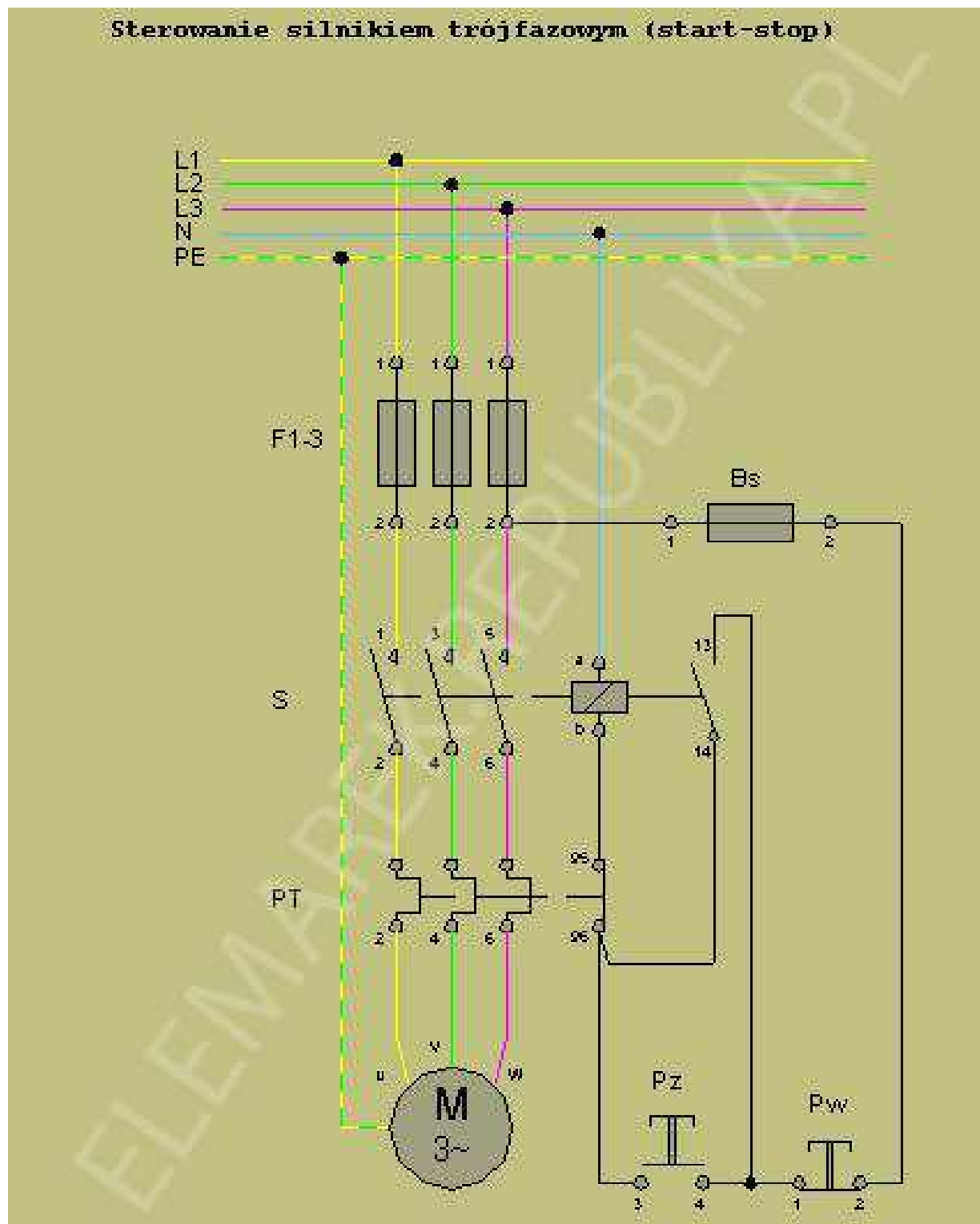
2.1 Rozruch bezpośredni

Rozruch silnika jest możliwy, jeżeli powstający w chwili rozruchu moment elektromagnetyczny jest większy niż moment obciążenia. Najprostszym sposobem dokonania rozruchu silnika indukcyjnego jest podłączenie uzwojeń stojana do 3-fazowego źródła zasilania (w przypadku silnika 3-fazowego). W tym przypadku pobierany prąd rozruchu jest wielokrotnie większy niż prąd znamionowy (nawet do 8-10 razy), co powoduje nagrzewanie się uzwojeń a także może spowodować spadki napięcia sieci zasilającej. Wartość powstającego momentu elektromagnetycznego nie jest zbyt duża, dlatego, aby silnik mógł wystartować nie może być zbyt obciążony. Ze względu na te ograniczenia rozruch bezpośredni stosuje się dla silników o małych mocach (do kilkunastu kW).

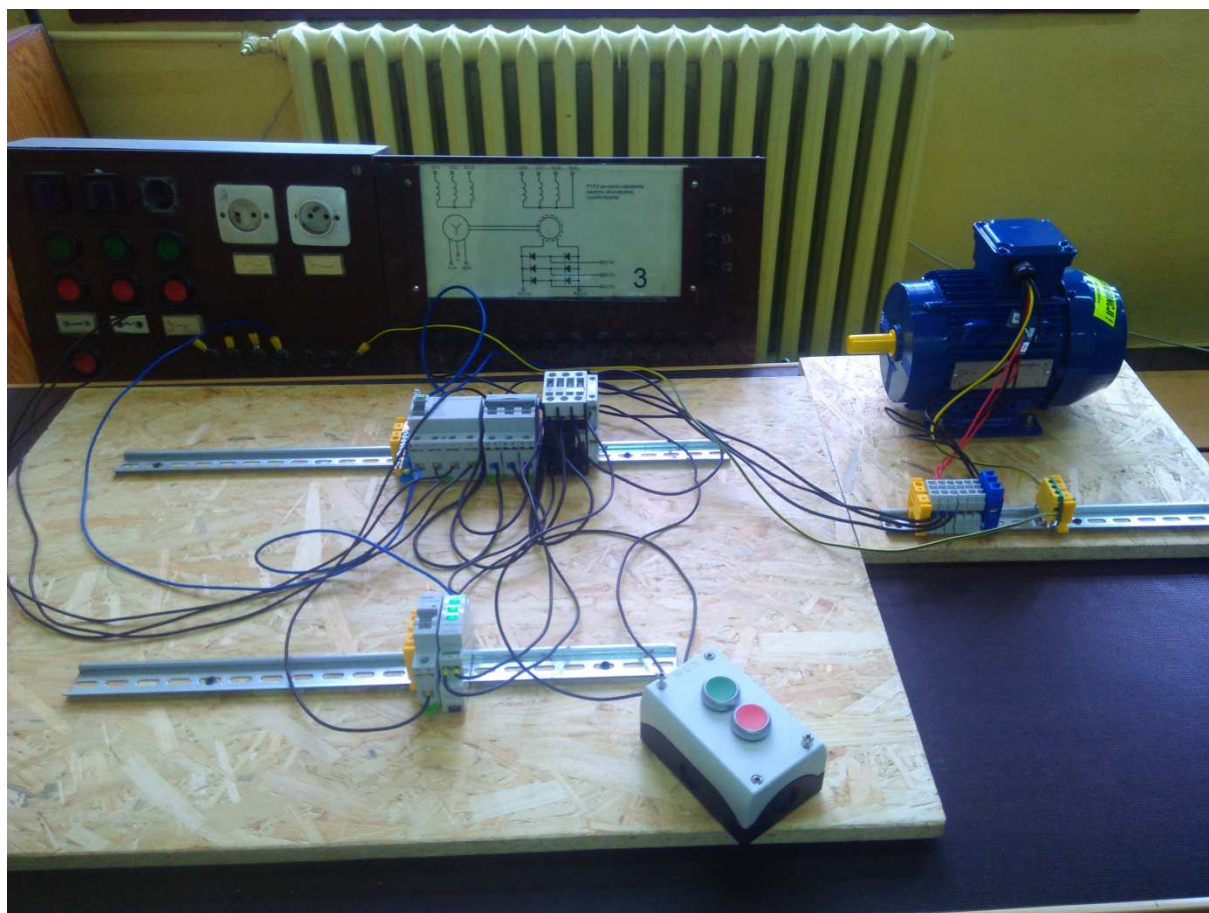
Rozruch bezpośredniego będziemy dokonywać poprzez układ załącz – wyłącz (0-1) i łącznika ręcznego krzywkowego firmy Apator serii 4G10.



Rys. 6. Schemat połączeń łącznika 4G-10-PK



Rys. 7. Schemat układu stycznikowego załącz – wyłącz (0-1)



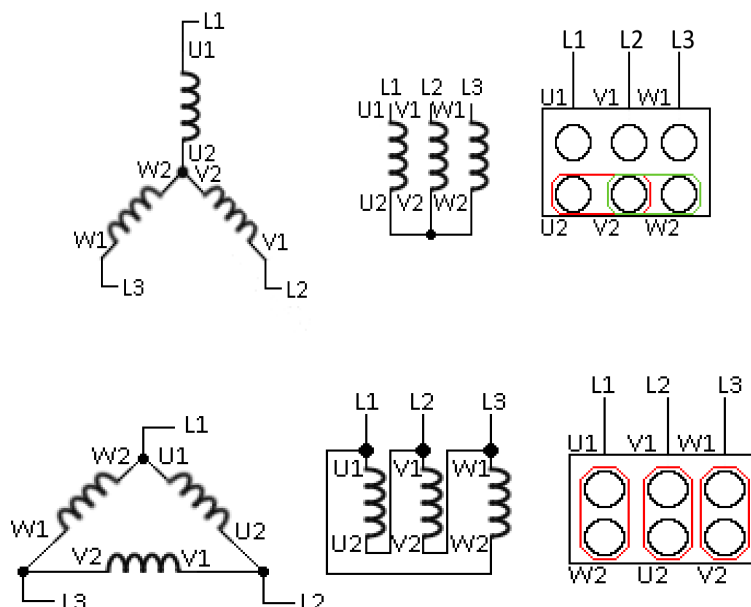
Rys. 8. Fotografia układu załącz – wyłącz

2.2 Rozruch gwiazda – trójkąt

Sposobem na zmniejszenie prądu rozruchowego, jest zastosowanie w celach rozruchowych przełącznika gwiazda – trójkąt lub układu stycznikowego. Rozruch ten jest jednak możliwy tylko dla silników 3-fazowych, które mają wyprowadzone 6 zacisków na tabliczce zaciskowej, umożliwiające odpowiednie podłączenie uzwojeń stojana w gwiazdę lub w trójkąt.

Połączenie w gwiazdę polega na połączeniu końców wszystkich trzech uzwojeń do jednego wspólnego punktu, a pozostałych trzech końców do kolejnych faz sieci zasilającej. W ten sposób każde z uzwojeń stojana podłączone jest jednym końcem do przewodu neutralnego N, a drugim do przewodu fazowego (L1, L2 lub L3). Na każdym z tych uzwojeń występuje zatem napięcie fazowe (czyli

w naszych warunkach wynosi ono 230 V). Zwykle nie stosuje się połączenie punktu wspólnego wszystkich uzwojeń z punktem neutralnym N ponieważ nie jest ono konieczne.



Rys. 9. Połączenia uzwojeń silnika: górny w gwiazdę, dolny w trójkąt

Połączenie w trójkąt polega na połączeniu końca uzwojenia danej fazy z początkami uzwojenia fazy następnej (punkt U2 łączony z V1, V2 z W1 a W2 z U1). Połączone w ten sposób uzwojenia tworzą zamknięty obwód, a jego wygląd przypomina trójkąt. Punkty wspólne uzwojeń łączone są następnie do kolejnych faz sieci zasilającej. W tym połączeniu wcale nie wykorzystuje się punktu neutralnego. Przy połączeniu w trójkąt na każdym z uzwojeń panuje napięcie międzyfazowe (które w naszych warunkach wynosi 400 V).

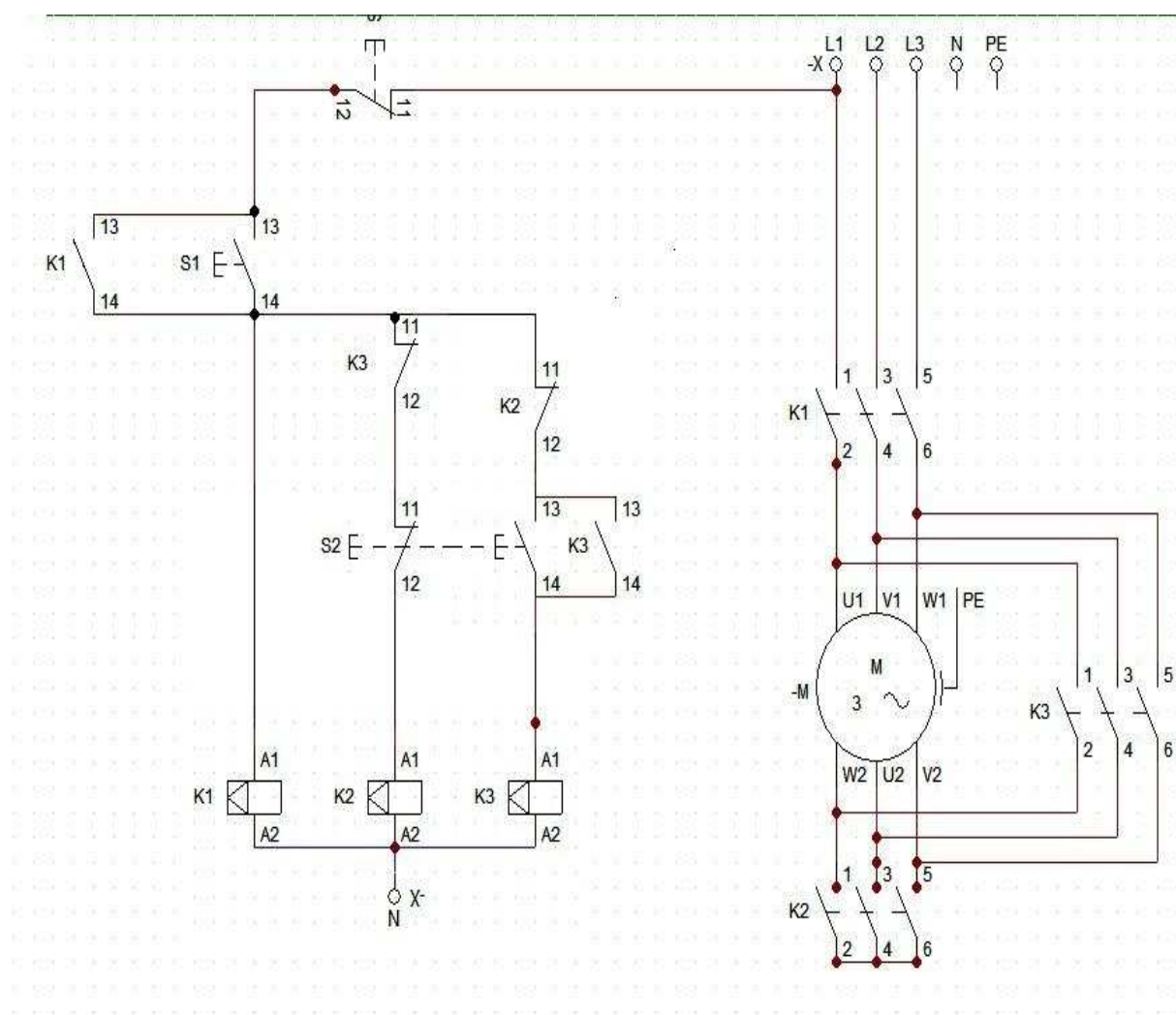
Przy połączeniu uzwojeń silnika w trójkąt, prąd pobierany przez silnik z sieci jest 3-krotnie większy niż prąd pobierany przy połączeniu w gwiazdę. Także moment elektromagnetyczny, a więc i moc silnika w tym przypadku są 3-krotnie większe. Stosując przełącznik gwiazda – trójkąt (rys. 10) możemy wystartować silnik połączony w gwiazdę, przez co będzie mniejszy pobór prądu

z sieci zasilającej, a następnie po osiągnięciu przez silnik odpowiedniej prędkości obrotowej przełączyć uzwojenia stojana w trójkąt, tak, aby silnik mógł zapewnić pożądaną przez nas moc. W starszych rozwiązaniach przełączenie zwykle dokonywane było ręcznie przez operator, obecnie stosuje się specjalizowane do tego celu układy styczników i przekaźników dokonujące automatycznego przełączenia po nastawionym wcześniej czasie.

Rozruchu gwiazda - trójkąt będziemy dokonywać poprzez układ stycznikowy Y - Δ i łącznika ręcznego krzywkowego firmy Apator serii 4G10.



Rys. 10. Schemat połączenia łącznika Apator serii 4G10



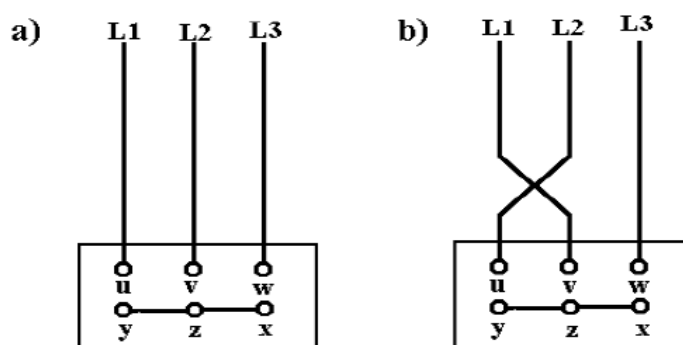
Rys. 11. Schemat układu stycznikowego gwiazda – trójkąt



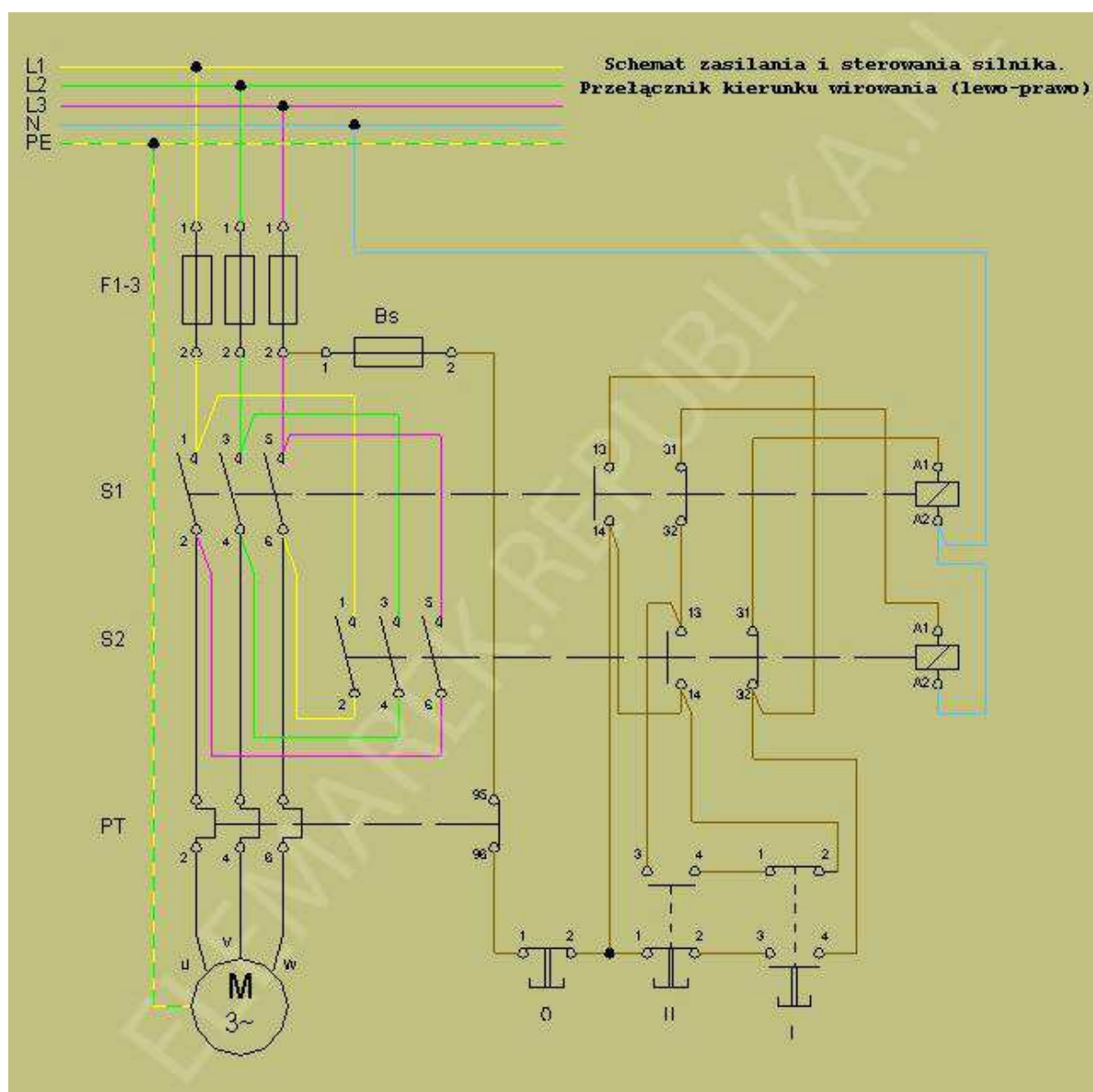
Rys. 12. Fotografia układu gwiazda – trójkąt

2.3. Układu lewo – prawo (L-P)

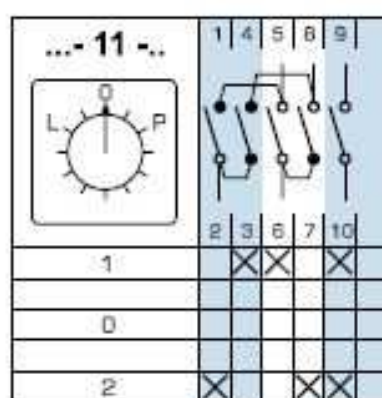
Zmianę obrotów w maszynie asynchronicznej trójfazowej dokonuje się poprzez zmianę kolejności 2 z 3 faz, na przykład zamieniamy kolejnością fazę 1 z fazą 2, jak na schemacie poniżej:



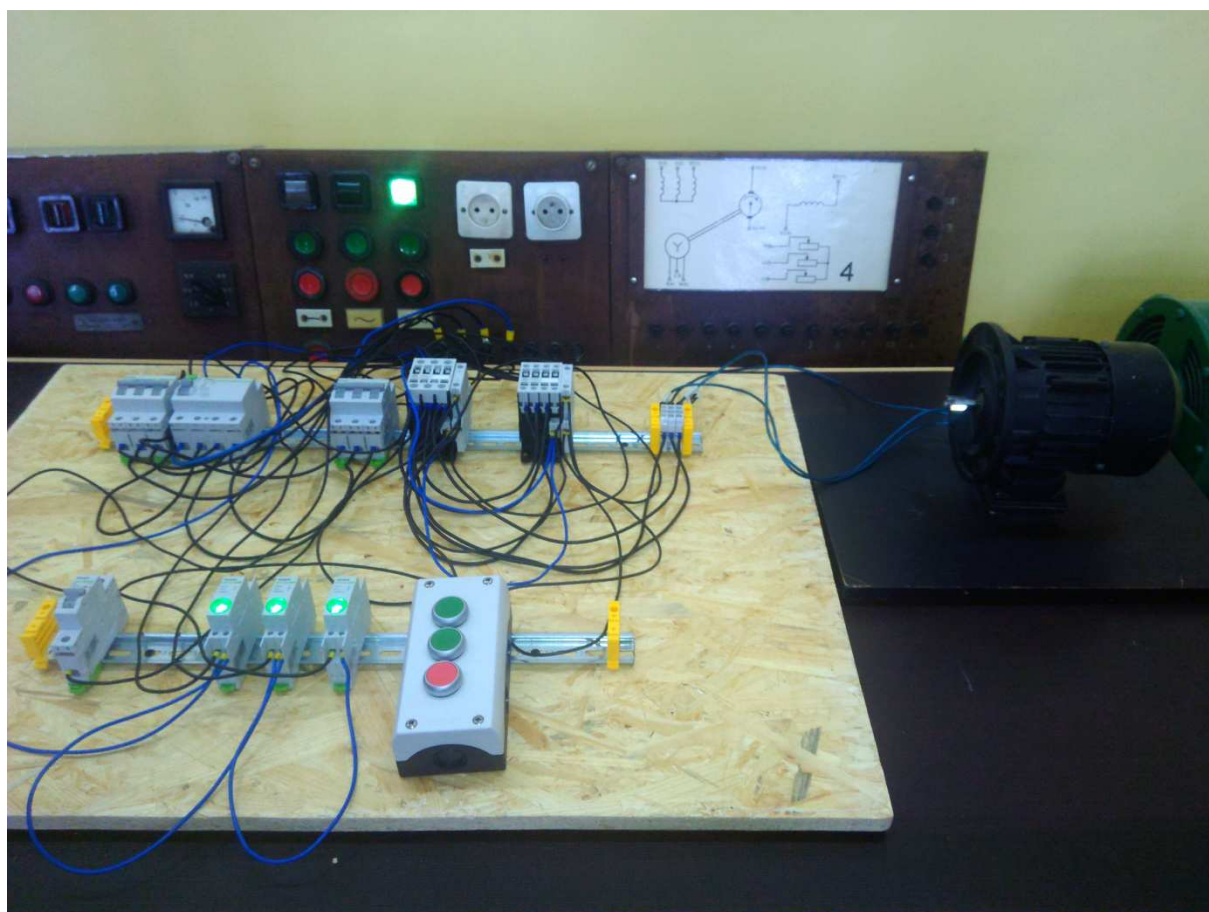
Rys. 13. Schemat ideowy Lewo - Prawo



Rys. 14. Schemat połączeń układu lewo – prawo na stycznikach



Rys. 15. Układ lewo – prawo łącznik 4G10



Rys. 16. Fotografia układu lewo – prawo na stycznikach

3. Przebieg ćwiczenia:

- Dobrać właściwy sprzęt łączeniowy dla poszczególnych ćwiczeń:
 - styczniki,
 - styki pomocnicze,
 - przyciski NO/NC,
 - odpowiednie obudowy (dwu i trój przyciskowe),
 - zabezpieczenia dla układu głównego i sterowania (różnicowo-prądowe, nadmiarowo-prądowe, rozłączniki typ FR, wyłącznik silnikowy, zabezpieczenia termiczne),
 - łączniki krzywkowe odpowiednie dla planowanego układu łączy,
 - płytę montażową / rozdzielnicę,
 - sygnalizację pojawienia się napięcia (lampki kontrolne),
 - zaciski.
- Dobrać właściwe narzędzia:
 - Wkrętaki,
 - Szczypce uniwersalne,
 - Szczypce boczne,
 - Praska - Zaciskarka końcówek tulejowych.
- Przygotować przewody łączeniowe:
 - Obwód główny $2,5 \text{ mm}^2$,
 - Obwód sterowania $1,5 \text{ mm}^2$.
- Wykonać połączenia układów według dostarczonych schematów dla poszczególnych ćwiczeń.
- Sprawdzić układ połączeń i po kontroli przez nauczyciela załączyć.
- Sprawdzić poprawność działania.
- Zmierzyć prędkość obrotową wysterowanego silnika.
- Wykonać sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia.