

3. Badanie roboczej zdolności łączenia

Ćwiczenie 3.1. Badanie roboczej zdolności łączenia stycznika

1. O b j a ś n i e n i a w s t ę p n e d o ć w i c z e - n i a

1.1. Stany nieustalone występujące przy łączeniu silników indukcyjnych

Zagadnienie łączenia silników indukcyjnych posiada znaczenie podstawowe dla badania rozłączników n.n., w szczególności styczników elektromagnetycznych. Silniki te bowiem, z uwagi na ich ogromne i rosnące rozpowszechnienie stanowią podstawową grupę odbiorników przemysłowych niskiego napięcia.

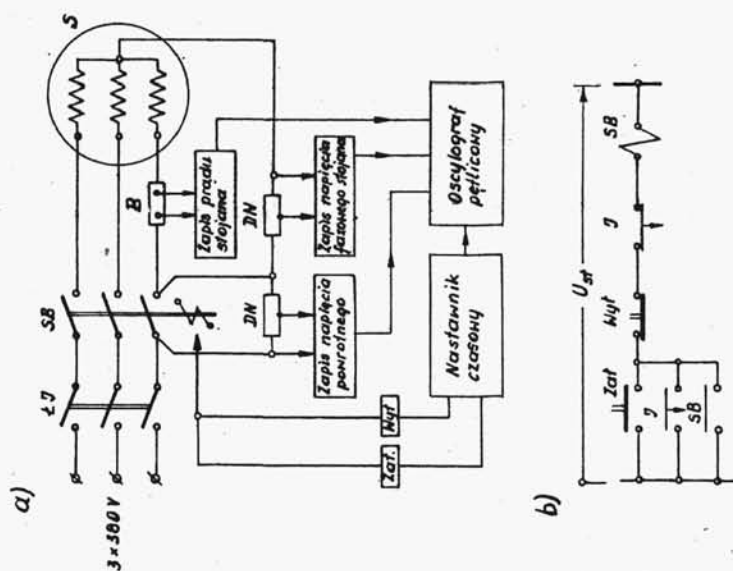
Prześledzimy obecnie pokrótce procesy przejściowe zachodzące przy łączeniu tych silników. Na wstępie weźmy pod uwagę układ z rys.109, służący w niniejszym zespole ćwiczeń dla przeprowadzania badań łączeniowych stycznika w obwodzie silnika indukcyjnego. Zdjęty w tym układzie przykładowy oscylogram wyłączania silnika nie obciążonego pokazany jest na rys.110. Na oscylogramie tym zapisane zostały następujące przebiegi:

a. Napięcie fazowe U_s stojana łączonego silnika. Do momentu utraty styczności styków stycznika (a) napięcie to jest równe fazowemu napięciu sieci. Po otwarciu stycznika napięcie to nie staje się od razu równe zeru, a zbliża się stopniowo do tej wartości.

b. Napięcie między stykami otwierającego się stycznika U_k przedstawia sobą w zakresie a - b (b - chwila czasowa zgaszenia łuku) napięcie łuku. Bezpośrednio po zgaszeniu łuku napięcie to osiąga wartość rzędu 10 V, narastając w dalszym ciągu stopniowo do wartości napięcia fazowego sieci.

c. Prąd stojana i_s ma wartość nie modyfikowaną procesem łączeniowym do czasu jego przerwania, następującego w czasie kilku ms od momentu utraty styczności styków stycznika.

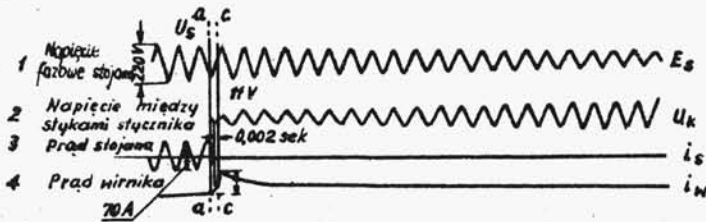
d. Prąd wirnika i_w do chwili utraty styczności styków stycznika zmienia się sinusoidalnie (sinusoidea niskiej częstotliwości wyznaczonej poślizgiem silnika). W czasie wyłączania prąd ten gwałtownie przyrasta - po czym wykładniczo maleje do zera.



Rys. 109. Układ dla przeprowadzania badań łączeniowych stycznika w obwodzie silnika indukcyjnego. a - schemat układu, b - schemat rozwinięty sterowania stycznika badanego, c - diagramy programu: 1) dla próby wyłączenia, 2) dla próby załączenia, 3) dla próby załączenia powrotnego. Oznaczenia: IJ - łącznik izolacyjny, SB - stycznik badany, B i DN - bocznik i dzielnik napięcia, J - styk impulsujący nastawnika czasowego, t_w - czas wyprzedzenia startu zapisu osc., t_n - czas przerwy bezprądowej.

Uwaga: odcinki pogrubione na diagramach programu oznaczają czasy własne.

Przebiegi powyższe, wzajemnie powiązane, wyjaśnić można następująco:



Rys.110. Przykład oscylogramu z próby wyłączania silnika indukcyjnego nieobciążonego

W przyłączonym do sieci silniku asynchronicznym napięcie sieci (prąd stojana) jest źródłem strumienia magnetycznego pola wirującego Φ .

Odłączenie stojana silnika od sieci nie powoduje jednakże natychmiastowego zaniknięcia strumienia Φ , bowiem w uzwojeniu wirnika przy odłączaniu silnika od sieci pojawia się prąd (i_w), starający się zgodnie z prawem Lenz'a podtrzymać dotychczasową wartość strumienia Φ . Strumień od prądu i_w nieruchomy względem wirnika (tj. wirujący wraz z nim) wzbudza w uzwojeniu stojana zmienną, tłumioną z powodu zanikania prądu i_w siłę elektromotoryczną E_s . Ta właśnie SEM E_s zapisywana jest wraz z przebiegiem napięcia fazowego U_s (1) licząc od chwili czasowej b zgaszenia łuku (rys.110).

W chwili czasowej b wartość chwilowa \hat{E}_s jest bliska wartości napięcia sieci \hat{U} i przeciwnie do niego skierowana. Między stykami stycznika, odłączającego od sieci uzwojenie stojana silnika panuje napięcie

$$\hat{U}_k = \hat{U} + \hat{E}_s.$$

Wektor napięcia sieci pozostaje stały co do wielkości i zwrotu. Wektor siły elektromotorycznej \hat{E}_s natomiast zmienia z czasem swoją fazę względem \hat{U} , a wartość jego maleje z powodu zanikania prądu wirnika i_w i zmniejszania się prędkości wirowania zatrzymującego się wirnika.

Ilustrację do powyższego stanowi rys.111. W momencie 1 bezpośrednio po wyłączeniu wektory \hat{U} i \hat{E} przesunięte względem siebie o $\sim 180^\circ$ różnią się mało co do wartości. Wtedy też zgodnie z przeprowadzonymi badaniami (L 1) przy $U = 380$ V otrzymujemy napięcie U_k jako różnicę wielkości skalarnych (w przybliżeniu)

$$U_k = U - E_s \cong 11 \text{ V}.$$

W dalszym przebiegu wektor \hat{E}_s zajmuje na wykresie z rys. 111 położenia 2,3,4.... zmieniając fazę względem \hat{U} i zmniejszając swoją wartość.

W przeciwnym do pierwszego położeniu 7 wektory \hat{U} i \hat{E}_s przyjmują ten sam zwrot - napięcie U_k przekroczy wtedy o wartość E_s napięcie sieci tj.

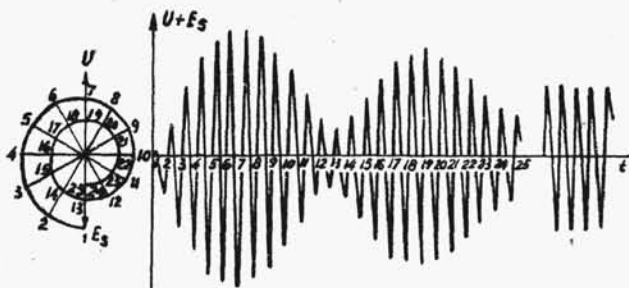
$$U_k = U + E_s.$$

W dalszym przebiegu zjawiska gra

się powtarza przy malejącej wartości E_s . Przebieg U_k w funkcji t (rys.111) charakteryzuje się w rezultacie występowaniem minimum i maksimum krzywej obwiedniej o malejących z czasem różnicach między wartościami ekstremalnymi.

Przy wyłączaniu obciążonego silnika indukcyjnego przebieg zjawiska jest podobny - z tym tylko, że w miarę wzrostu obciążenia skraca się czas zanikania siły elektromotorycznej E_s w wyniku hamującego oddziaływania, przyłożonego do silnika momentu obciążenia. W wyniku tego, skróceniu - względem stanu przy wyłączaniu biegu jałowego - ulegają czasy między występowaniem kolejnych minimum przebiegu napięcia U_k i czas trwania całego przebiegu przejściowego. Nie wykazuje natomiast wzrostu wartość początkowa składowej podstawowej (o częstotliwości napięcia sieci) napięcia powrotnego.

Charakter opisywanego zjawiska ulega istotniejszej zmianie przy wyłączaniu silnika przy znacznej wartości poślizgu - tj. przy włączonej w obwód wirnika pierścieniowego silnika indukcyjnego dodatkowej oporności czynnej (np. przy wyłączaniu silnika przed zakończeniem jego rozruchu). Maleje wtedy stała czasowa L/R obwodu wirnika i skraca się proces zanikania prądu przejściowego wirnika i_w . Przy rosnącym poślizgu napięcie powrotne między stykami stycznika osiąga wartość ustaloną w ciągu kilku



Rys.111. Wykres wyjaśniający przebieg czasowy napięcia między stykami stycznika przy wyłączaniu silnika indukcyjnego pierścieniowego U_k

półokresów bez obserwowanego w poprzednich przypadkach falistego przebiegu przejściowego. Wartość początkowa składowej podstawowej napięcia powrotnego przy poślizgu do 80% nie przekracza 50 V.

Analogicznie przebiega również rozpatrywany proces przy wyłączaniu biegnących jałowo i obciążonych silników indukcyjnych z wirnikiem zwartym. Wtedy również mamy do czynienia z małą wartością stałej czasu obwodu wirnika (małe L) - a w efekcie ze skróceniem czasu trwania przebiegu przejściowego, brakiem falistości obwiedni przebiegu $u_k = f(t)$, małą wartością początkową składowej podstawowej napięcia powrotnego.

W sposób zasadniczy warunki pracy stycznika pogarszają się przy wyłączaniu silnika zahamowanego. W tym przypadku szczególnego znaczenia nabiera rozróżnianie silników indukcyjnych z wirnikiem zwartym i pierścieniowych. W pierwszym przypadku wyłącza się pełny prąd rozruchowy silnika ($\sim 6 \div 7 J_n$) przy niskiej wartości $\cos \varphi$, w drugim istnieje możliwość ograniczania prądu wyłączeniowego i podwyższenia wartości $\cos \varphi$ drogą wtrącenia oporników (hamowanie przeciwwprądem).

W obydwu przypadkach nie występuje wobec zahamowania wirnika siła elektromotoryczna E_g , składowa podstawowa napięcia powrotnego jest bezpośrednio napięciem sieci.

Ze szczególnie dużymi wartościami prądów przy załączaniu silników indukcyjnych można się liczyć w następujących stanach ich pracy:

- przy powtórnym załączeniu jeszcze wirującego silnika,
- przy nawrocie jeszcze wirującego silnika,
- przy zwarcie uzwojenia stojana silnika odłączonego od sieci.

Występujące wtedy wartości prądów mogą w pewnych szczególnych przypadkach znacznie (np. 3-krotnie) przekroczyć wartości prądu rozruchowego silników.

Przy powtórnym załączeniu silnika w momencie występowania maksimum U_k (poz. 7 rys.111), znajdzie się on pod napięciem $U + E_g$, które znacznie przekracza wartość napięcia sieci. W wyniku tego pojawi się przy takim powtórnym załączeniu udar prądowy o wartości znacznie przekraczającej prąd rozruchowy sil-

nika włączanego ze stanu spoczynkowego. Oczywiście przy powtór-
nym załączaniu w momencie występowania minimum U_k prąd rozru-
chu zostanie zmniejszony w porównaniu z normalnym prądem roz-
ruchowym.

Przy nawrocie silnika wobec zmieniania dla zmiany kierun-
ku wirowania silnika kierunku wirowania pola mogą wystąpić uda-
ry prądowe przy załączaniu w węzłach przebiegu napięcia $U_k =$
 $= f(t)$.

Do odnotowania pozostaje wreszcie przypadek zwarcia uzwo-
jenia stojana silnika odłączonego od sieci - kiedy to silnik
staje się, jak wiadomo z teorii zwarć - źródłem prądu zawie-
rającego tylko bardzo szybko zanikające składowe przejściowe.

1.2. Układy zastępcze dla przeprowadzania badań roboczej zdolności łączenia styczników

Badania łączeniowe przeprowadzane w obwodach silników in-
dukcyjnych wykazały istnienie bardzo dużej różnorodności wystę-
pujących tu warunków probierczych. Stąd najwłaściwszą metodą
badania łączników przeznaczonych do łączenia silników induk-
cyjnych byłoby przeprowadzanie tych badań właśnie w obwodzie
takich silników, do łączenia których są one przeznaczone.

Takie stawianie sprawy z kolei napotyka duże trudności
techniczne przy realizacji stacji prób z silnikami. Stąd powsta-
je problem możliwości przeprowadzania badań tego typu w ukła-
dach zastępczych RL, które z określoną wiernością odtwarzały-
by warunki rzeczywistego (silnikowego) obwodu probierczego.
Układy zastępcze nie są dotąd jednolicie opracowane w przepi-
sach normalizacyjnych poszczególnych państw. Zwrócimy obecnie
na wstępie uwagę na wymagania w tym względzie reprezentatyw-
nych przepisów niemieckich i francuskich (I 4,5).

Wg przepisów niemieckich układ zastępczy (przykładowo dla
jednej fazy) ma budowę pokazaną na rys.112a.

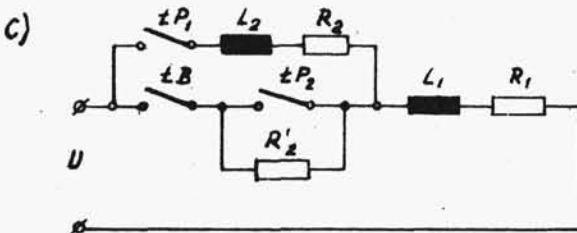
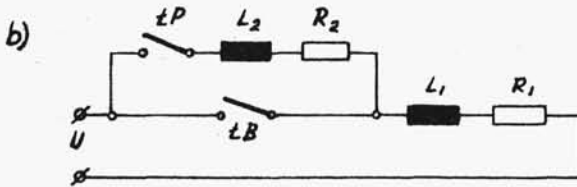
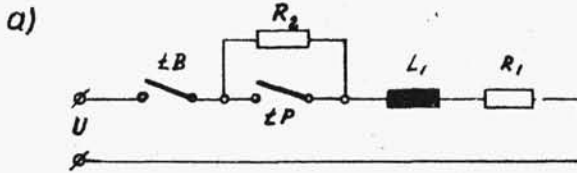
Cykl łączeniowy w tym układzie ma przebieg następujący:

a) zamknięcie łącznika pomocniczego (EP), co oznacza zwar-
cie opornika R_2 ;

b) zamknięcie łącznika badanego (EB), który załącza prąd
probierczy o wartości:

$$J_{\text{zał}} = \frac{U}{R_1 + j\omega L_1} \quad \text{przy } \cos \varphi = \cos \left(\arctg \frac{\omega L_1}{R_1} \right);$$

c) otwarcie wyłącznika ŁP, co oznacza wprowadzenie do obwodu opornika R_2 ;



Rys.112. Układy zastępcze dla przeprowadzania badań łączalności roboczej łączników roboczych: a - układ wg VDE (L 4), b - układ wg UTE (L 5), c - układ wg (L 2)

d) otwarcie łącznika badanego, który wyłącza prąd probierczy o wartości

$$J_{\text{wył}} = \frac{U}{R_1 + R_2 + j\omega L_1}$$

przy $\cos \varphi =$

$$= \cos \left(\arctg \frac{\omega L_1}{R_1 + R_2} \right)$$

oraz przy napięciu powrotnym równym U .

Układ powyższy pozwala na zróżnicowanie wartości prądu i współczynnika mocy obwodu przy załączaniu i wyłączaniu obwodu probierczego, podobnie jak to ma miejsce przy łączeniu rzeczywistego silnika indukcyjnego.

Układ ten natomiast wo-

bec wyłączania przy pełnej wartości napięcia nie odwzorowuje warunków wyłączania silników indukcyjnych niezahamowanych.

Ten ostatni moment został uwzględniony w przepisach francuskich (rys.112b).

Cykl łączeniowy w tym układzie ma przebieg następujący:

a) zamknięcie łącznika badanego (ŁB), który załącza prąd probierczy o wartości

$$J_{\text{zał}} = \frac{U}{R_1 + j\omega L_1} \quad \text{przy } \cos \varphi = \cos \arctg \frac{\omega L_1}{R};$$

b) zamknięcie łącznika pomocniczego (ŁP), co powoduje zbrocznikowanie przerwy łącznika badanego opornością $R_2 + j\omega L_2$;

c) otwarcie łącznika badanego, który wyłącza wartość prądu probierczego niezmienną względem stanu przy załączaniu:

$$J_{wył} = \frac{U}{R_1 + j\omega L_1},$$

przy napięciu powrotnym

$$U_p = \frac{U}{(R_1 + j\omega L_1)(R_2 + j\omega L_2)} (R_2 + j\omega L_2)$$

i równym przy spełnieniu warunku $\frac{L_1}{R_1} = \frac{L_2}{R_2}$

$$U_p = U \frac{R_2}{R_1 + R_2};$$

d) otwarcie łącznika pomocniczego.

Zalety obydwu powyższych układów można wykorzystać zgodnie z propozycją (L 2) w układzie z rys. 112c sumującym elementy składowe układu "francuskiego" i "niemieckiego". Za cenę dodatkowych nakładów można uzyskać tutaj zróżnicowanie wartości prądów załączeniowego i wyłączeniowego oraz obniżenie wartości napięcia powrotnego.

Zdawać sobie jednak należy sprawę, że nie można załatwić badania różnych typów łączników roboczych (styczników) sformułowaniem wymagań, dotyczących jednej tylko postaci zastępczego obwodu probierczego. Różnorodne, zreferowane uprzednio krótko, przypadki warunków łączeniowych, występujące przy łączeniu silników indukcyjnych, wymagają wstępnego podziału silnikowych łączników roboczych na pewne klasy. Klasy te wynikają z wyodrębnionych grup zastosowań silników indukcyjnych.

Dla ilustracji przytaczamy klasyfikację styczników podaną w normie międzynarodowej (L 6) - tablica 9.

W powyższej normie tak sklasyfikowanym grupom styczników przypisano wymagania probiercze dotyczące ich roboczej zdolności łączenia w granicach trwałości łączeniowej i zdolności łączenia w warunkach przejściowych obwodu (tablica 10). Rozróżnienie dwóch rodzajów łączalności polega na tym, że przez łą-

czalność roboczą w granicach trwałości łączeniowej rozumiemy łączalność w warunkach znamionowej pracy łączonego odbiornika, natomiast przez łączalność w warunkach przejściowych obwodu rozumiemy łączalność w warunkach występujących sporadycznie w czasie pracy odbiornika, lecz nie mających charakteru zakłócenia. Mogą to być krótkotrwałe dopuszczalne przeciążenia, zahamowanie wirnika silnika przy rozruchu itp.

Przy omawianym sformułowaniu wymagań, dotyczących obwodów probierczych mamy do czynienia z koniecznością ich różnorodnego kształtowania w celu spełnienia przepisowych wymagań. Przykładowo dla grupy styczników AC₃ obwód do badania roboczej zdolności łączenia w granicach trwałości łączeniowej będzie w zasadzie analogiczny do układu z rys.112c.

Tablica 9

Znormalizowane kategorie użytkowania rozłączników
(wg projektu PN-63/E-06150)

Rodzaj prądu	Oznaczenie kategorii	Rodzaj odbiornika i charakter pracy
1	2	3
zmienny	AC ₁	Obciążenie nieindukcyjne lub mało-indukcyjne, piece oporowe, przeciętna sieć przemysłowa
	AC ₂	Silniki indukcyjne pierścieniowe, rozruch; hamowanie przeciwprądem. Silniki indukcyjne klatkowe przy zastosowaniu rozruchu przełącznikiem gwiazda-trójkąt
	AC ₃	Silniki indukcyjne klatkowe, rozruch bezpośredni, wyłączanie silnika przy pełnej prędkości obrotowej
	AC ₄	Silniki indukcyjne klatkowe, rozruch bezpośredni, impulsowanie (1), praca nawrotna (rewersowanie -2)
stały	DC ₁	Obciążenie nieindukcyjne lub mało-indukcyjne, piece oporowe, przeciętna sieć przemysłowa
	DC ₂	Rozruch silników bocznikowych, wyłączanie silnika przy pełnej prędkości obrotowej
	DC ₃	Rozruch silników bocznikowych, impulsowanie,rewersowanie
	DC ₄	Rozruch silników szeregowych, wyłączanie silnika przy pełnej prędkości obrotowej
	DC ₅	Rozruch silników szeregowych, impulsowanie,rewersowanie

U w a g a 1: Przez impulsowanie rozumie się jednorazowe lub wielokrotne krótkotrwałe uruchamianie silnika w celu używania niewielkich ruchów napędzanego urządzenia.

U w a g a 2: Przez rewersowanie rozumie się szybkie zatrzymywanie albo i nawrót silnika w ruchu przez przełączanie jego zasilania na przeciwny kierunek wirowania.

U w a g a 3: Znormalizowane kategorie użytkowania nie obejmują łączenia kondensatorów ani grup żarówek o włóknie metalowym. Użycie rozłączników do pracy w tych warunkach wymaga uzgodnienia z ich wytwórcą.

Tablica 10a

Zdolności łączenia zwykle rozłączników manewrowych (wg projektu PN-63/E-06150)

Kategoria użytkowa- nia	Prąd zmienny ¹⁾					Prąd stały					
		AC ₁	AC ₂	AC ₃	AC ₄		DC ₁	DC ₂	DC ₃	DC ₄	DC ₅
Załączanie	J	J _e	2,5J _e	6J _e	6J _e	J	J _e	2,5J _e	2,5J _e	2,5J _e	2,5J _e
	U	U _e	U _e	U _e	U _e	U	U _e	U _e	U _e	U _e	U _e
	cosφ ²⁾	0,95	0,65	0,35	0,35	L/R [ms] ³⁾	1	2	2	7,5	7,5
Wyłączenie	J	J _e	2,5J _e	J _e	6J _e	J	J _e	J _e	2,5J _e	J _e	2,5J _e
	U _r	U _e	U _e	0,17U _e	U _e	U _r	U _e	0,10U _e	U _e	0,30U _e	U _e
	cosφ ²⁾	0,95	0,65	0,35	0,35	L/R [ms] ³⁾	1	7,5	2	10	7,5

J_e - znamionowy prąd manewrowy,

J - prąd załączeniowy lub wyłączeniowy,

U_e - znamionowe napięcie manewrowe,

U_r - napięcie powrotne,

U - napięcie załączeniowe;

1) - wartości prądów załączeniowych w przypadku prądu zmiennego wyrażone są wartościami skutecznymi, lecz szczytowe wartości prądu asymetrycznego mogą być większe, odpowiednio do współczynnika mocy torów prądowych,

2) - tolerancja dla cos φ: ± 0,05,

3) - tolerancja dla L/R : ± 15%.

Tablica 10b

Zdolności łączenia docierowe rozłączników manewrowych (wg projektu PN-63/E-06150)

Kategoria użytkowa- nia		Prąd zmienny ¹⁾				Prąd stały					
		AC ₁	AC ₂	AC ₃	AC ₄		DC ₁	DC ₂	DC ₃	DC ₄	DC ₅
Załącz- anie	J	-	4J _e	10J _e ⁴⁾ 8J _e ⁵⁾	12J _e ⁴⁾ 10J _e ⁵⁾	J	-	4J _e	4J _e	4J _e	4J _e
	U	-	1,1U _e	1,1U _e	1,1U _e	U	-	1,1U _e	1,1U _e	1,1U _e	1,1U _e
	cosφ ²⁾		0,65	0,35	0,35	L/R ³⁾ [ms]	-	2,5	2,5	15	15
Wyłącz- anie	J	-	4J _e	8J _e ⁴⁾ 6J _e ⁵⁾	10J _e ⁴⁾ 8J _e ⁵⁾	J	-	4J _e	4J _e	4J _e	4J _e
	U _r	-	1,1U _e	1,1U _e	1,1U _e	U _r	-	1,1U _e	1,1U _e	1,1U _e	1,1U _e
	cosφ ²⁾		0,65	0,35	0,35	L/R ³⁾ [ms]	-	2,5	2,5	15	15

J_e - znamionowy prąd manewrowy,

U - napięcie załączeniowe,

U_e - znamionowe napięcie manewrowe,

U_r - napięcie powrotne,

J - prąd załączeniowy lub załączeniowy;

1) - wartości prądów załączeniowych w przypadku prądu zmiennego wyrażone są wartościami skutecznymi, lecz szczytowe wartości prądu asymetrycznego mogą być większe, odpowiednio do współczynnika mocy torów prądowych,

2) - tolerancja dla cos φ : ± 0,05,

3) - tolerancja dla L/R : ± 15%,

4) - dla wartości znamionowego prądu manewrowego mniejszych lub równych 100 A,

5) - dla wartości znamionowego prądu manewrowego powyżej 100 A.

Wykaz literatury

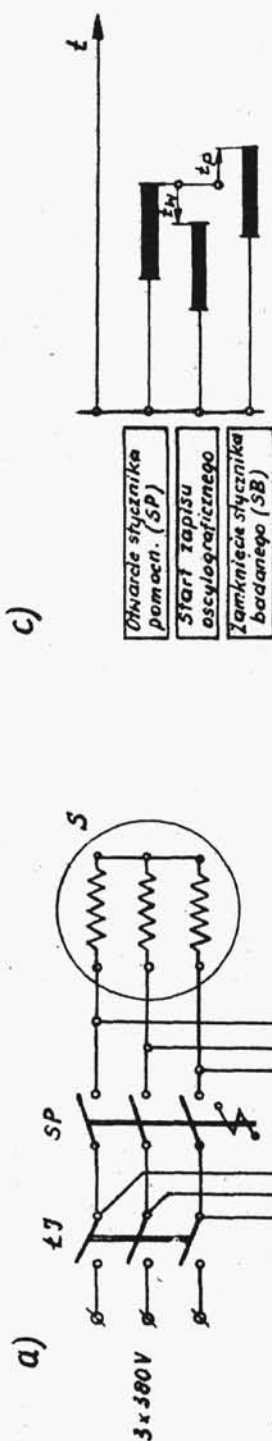
1. Брон О.Б.: Электрическая дуга в аппаратах управления, Г.Э.И. Москва - Ленинград 1954.
2. Woynarowski Z.: Łączniki przemysłowe. Robocza zdolność łączenia w świetle przepisów i norm. Przegląd Elektrotechniczny 1957, z.11, s.492-497.
3. Łączniki o obciążalności znam. 25 A i powyżej na znam. napięcia robocze do 1000 V prądu zmiennego i do 3000 V prądu stałego (projekt normy państwowej).
4. VDE-0660/52. Regeln für Schaltgeräte bis 1000 V Wechselspannung (für Steuerschalter bis 10 kV Wechselspannung) und 3000 V Gleichspannung.
5. UTE 45-1, 1944. Règles d'établissement du gros appareillage pour des tensions inférieures à 4500 V en courant continu et à 1000 V en courant alternatif.
6. IEC 17 B(c.o)16 - Draft recommendations for low-voltage switchgear and controlgear.

2. P o m i a r y

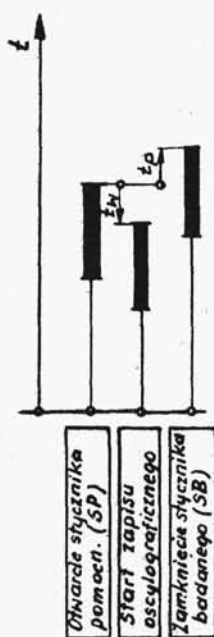
Badania łączalności roboczej styczników wchodzą w zakres "Laboratorium II Aparatów Elektrycznych" obejmującego ćwiczenia bardziej samodzielne i trudniejsze w odróżnieniu od łatwiejszego zestawu ćwiczeń Laboratorium I. W związku z powyższym tematyka niniejszego ćwiczenia może być dzielona na różne zestawy badań laboratoryjnych, w zależności od aktualnych możliwości technicznych laboratorium Katedry.

Przykładowo zestawienie tej tematyki podać można w postaci następującej:

- a) badanie wyłączania silnika indukcyjnego niezahamowanego i zahamowanego,
- b) badanie załączania silnika indukcyjnego
 - przy normalnym rozruchu,
 - przy załączaniu powtórny,
 - przy nawrocie,
 - przy zwieraniu silnika.



c)



Rys. 113. Układy dla przeprowadzania badań łączeniowych stycznika w obwodzie silnika indukcyjnego: a - schemat układu dla badania pracy stycznika (SB) przy pracy nawrotnej silnika, b - schemat układu dla badania pracy stycznika (SB) przy zwarciu silnika odłączonego od sieci, c - diagram programu dla przypadku a i b. Oznaczenia jak na rys. 109.

Badania takie obejmować będą przede wszystkim łączenie silników indukcyjnych pierścieniowych i zwartych. W mniejszym zakresie badania te mogą objąć również łączenie silników prądu stałego. Dla podstawowych rodzajów badań silników indukcyjnych podane zostały na rys. 109, 113 schematy układów probierczych i diagramy związanych programów sterowania. Bliższe informacje dotyczące układów probierczych, obwodów pomiarowych, sposobu wykonywania badań podawane będą osobno przy przeprowadzaniu ćwiczeń. Protokół i sposób opracowania wyników wykonywane będą analogicznie jak dla innych ćwiczeń.

Ćwiczenie 3.2. Wyznaczanie charakterystyki czasowo-prądowej bezpiecznika instalacyjnego w zakresie prądów przeciążeniowych

1. O b j a ś n i e n i a w s t ę p n e d o ć w i c z e n i a

Jedną z zasadniczych zależności charakteryzujących wkładki bezpiecznikowe n.n. jest charakterystyka prądowo-czasowa, określająca zależność czasu przedłukowego od prądu płynącego przez bezpiecznik. Za czas przedłukowy bezpiecznika uważa się czas, który upływa od chwili załączenia obwodu do momentu powstania łuku. Prąd płynący przez wkładkę podawany jest w wartościach skutecznych, przy czym w zakresie prądów zwarciovych określa się wartość skuteczną prądu spodziewanego (a nie prądu ograniczonego przez bezpiecznik). Jednocześnie, w celu zapewnienia jednoznaczności charakterystyk, prąd probierczy w zakresie zwarciovym powinien być symetryczny (tzn. bez składowej nieokresowej).

Charakterystyki $t_p = f(I)$ wyznacza się doświadczalnie i przedstawia wykreślnie w prostokątnym układzie współrzędnych, odkładając wartości prądu wzdłuż osi odciętych, a wartości czasu wzdłuż osi rzędnych. Z uwagi na dużą rozpiętość wartości czasu i prądu, w obu osiach stosuje się zwykle podziałkę logarytmiczną.

W praktyce, wartości czasu przedłukowego dla tej samej wartości prądu probierczego wykazywać mogą pewne rozrzuty, co powoduje, że charakterystyka jest zwykle przedstawiana w postaci pasma ograniczonego od góry krzywą największych, a od dołu