

ĆWICZENIE NR 1

„WYŁĄCZANIE PRĄDU STAŁEGO PRZEZ STYCZNIKI”

Autor: mgr inż. Tadeusz Daszczyński

Mail: daszczyt@ee.pw.edu.pl

SPIS TREŚCI

1. Cel ćwiczenia	2
2. Wstęp teoretyczny.....	2
2.1. Styczniki	2
2.2. Elektryczny łuk prądu stałego	5
2.3. Wyłączanie prądu stałego	8
3. Przebieg ćwiczenia	14
4. Przykładowe pytania	15
5. Sprawozdanie	15
6. Bibliografia	16

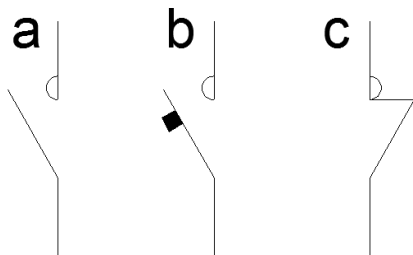
1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z procesami załączania i wyłączenia prądu stałego, procesami zachodzącymi w przestrzeni międzystykowej oraz budową i działaniem styczników. W ramach ćwiczenia zostanie przedstawiony i wyjaśniony wpływ indukcyjności na procesy łączeniowe.

2. Wstęp teoretyczny

2.1. Styczniki

Według normy PN-EN 60947-1:2010 „Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa – Część 1: Postanowienia ogólne” *stycznik jest określany jako łącznik mechanizmowy przestawiany w inny sposób niż ręcznie, o tylko jednym położeniu spoczynkowym styków ruchomych, zdolny do załączania, przewodzenia i wyłączania prądów w normalnych warunkach pracy obwodu, także przy przeciążeniach mogących powstać w roboczych warunkach pracy. Posiada więc zdolności łączeniowe charakterystyczne dla rozłącznika.*



Rys. 1. Symbol graficzny stycznika: a – stycznik zwierny (w stanie niewzbudzonym zestyk otwarty), b – stycznik o wyzwaniu samoczynnym, c - stycznik rozwierny (w stanie niewzbudzonym zestyk zamknięty).

Wytwórca aparatury elektrycznej ustala i podaje wielkości i cechy znamionowe aparatów charakteryzujące urządzenie ze względu na jego przeznaczenie i zdolność do pracy w określonych warunkach pracy. Wartościami znamionowymi są takie wartości wielkości używane do opisu technicznego, które odpowiadają określonemu zbiorowi warunków pracy dla podzespołu, urządzenia, wyposażenia lub układu. Powinny być one dostępne na tabliczce znamionowej aparatu. Pozostałe wartości (np. nie liczbowe) powinna zawierać dokumentacja techniczna (informacyjna) – karta katalogowa. Wielkościami znamionowymi stycznika są:

- *Znamionowe napięcie izolacji stycznika U_{ni}* – poziom izolacji torów głównych w stosunku do konstrukcji wsporczej, torów głównych między sobą i w stosunku do torów pomocniczych oraz poziom izolacji przerwy biegunowej w każdym torze głównym. Oznacza to iż znamionowe napięcie sieci nie może przekraczać wartości U_{ni} stycznika pracującego w tej sieci.

- *Rodzaj prądu torów głównych stycznika* – określa stosowalność aparatu w sieciach prądu przemiennego lub stałego.

- *Kategoria użytkowania styczników* – określa podstawowe najczęstsze przeznaczenie styczników. W tabeli nr 1 przedstawiono kategorie użytkowania styczników ze względu na charakter obciążeń.

Rodzaj prądu	Charakterystyka odbiornika Zastosowanie stycznika do łączenia:	a	b	c	d	e	f	g
Prąd przemienny	- obciążeń małoindukcyjnych i nieindukcyjnych - pieców oporowych - przeciętej sieci przemysłowej	AC1	AC1	AC1	AC1	AC1	AC1	A1
	- silników pierścieniowych - rozruch, hamowanie przeciwprądem - silników klatkowych - rozruch przełącznikiem Y/Δ	AC2	AC2	AC2	AC2	AC2	AC2	A2
	- silników synchronicznych - rozruch przełącznikiem Y/Δ i autotransformatorowy		AC3					
	- silników pierścieniowych - rozruch, wyłączanie bez hamowania przeciwprądem		AC2	AC2	AC2	AC2	AC2	A2
	- silników klatkowych - rozruch bezpośredni, wyłączanie przy pełnej prędkości obrotowej - j.w. + rozruch przełącznikiem Y/Δ	AC3	AC3	AC3	AC3	AC3	AC3	A3
	- silników synchronicznych - rozruch bezpośredni, wyłączanie przy pełnej prędkości obrotowej	AC2						
	- silników synchronicznych - rozruch bezpośredni, wyłączanie przy pełnej prędkości obrotowej	AC3						
- silników indukcyjnych klatkowych - rozruch bezpośredni, impulsowanie, rewersowanie - j.w. + wyłączanie przy zahamowanym lub wolno wirującym silniku	AC4	AC4	AC4	AC4	AC4	AC4	AC4	A4
Rodzaj prądu	Charakterystyka odbiornika Zastosowanie stycznika do łączenia:	a	d	e	f	g	h	
Prąd stały	- obciążeń małoindukcyjnych - pieców oporowych i rezystorów	DC1	DC1	DC1	DC1	D1	DC1t	
	- silników bocznikowych - rozruch, wyłączanie przy znamionowej prędkości obrotowej	DC2	DC2	DC2	DC2		DC2t	
	- silników bocznikowych - rozruch, impulsowanie, rewersowanie	DC3	DC3	DC3	DC3		DC3t	
	- silników szeregowych - wyłączanie przy pełnej prędkości obrotowej	DC4	DC4	DC4	DC4		DC4t	
	- silników szeregowych - rozruch, impulsowanie, rewersowanie	DC5	DC+	DC5	DC5		DC5t	
	- rozruch i wyłączanie wirujących silników					D2		
	- rozruch i wyłączanie zahamowanych i wolno wirujących silników					D3		

Tabela 1. Kategorie użytkowania styczników ze względu na charakter obciążeń.

- *Wytrzymałość zwarciowa* – określa się ją za pomocą dwóch wartości: *znamionowy prąd n-sekundowy* (wartość skuteczna prądu krótkotrwałego *n*-sekundowego, który płynąc *n*-sekund przez tor prądowy stycznika nie spowoduje nadmiernego nagrzania aparatu i uszkodzenia aparatu) i *prąd szczytowy* (szczytowa

wartość prądu zwarciovego, którą stycznik wytrzymuje bez uszkodzeń w stanie zamknięcia).

- Czasy własne otwierania i zamykania, czas wyłączenia – charakteryzują współdziałanie zestyków pomocniczych z zestykami głównymi i między sobą. Określają możliwości stosowania aparatu w różnych układach.

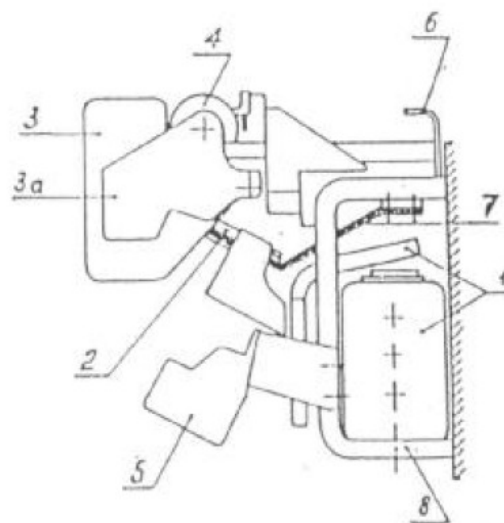
Stycznik dodatkowo może być wyposażony w *zestyki pomocnicze*, określane wielkościami: liczbą i rodzaj zestyków, rodzaj prądu, prąd cieplny ciągły (skuteczna wartość prądu, który przepływając dowolnie długo przez tor prądowy stycznika nie spowoduje przekroczenia ustalonych w normach przyrostów temperatur elementów stycznika), prąd i napięcie łączeniowe, kategoria użytkowania, trwałość łączeniowa, wytrzymałość zwarciova jako prąd szczytowy.

Styk ruchomy, sprzężony z mechanizmem napędowym stycznika, wraz ze stykiem nieruchomym tworzą zestyk łączeniowy. Dodatkowo jeden z zestyków posiada zawsze sprężynę stykową, służącą do wywierania docisku zestykowego wstępnego (bezpośrednio po zetknięciu się styków) i roboczego (w stanie ustalonym zamknięcia). Występują dwa położenia wymuszone styku ruchomego – zwarte (zamknięty w położeniu wymuszonym) i rozzerne (otwarty w położeniu wymuszonym).

Jako aparat elektryczny stycznik służy głównie do łączenia silników w warunkach roboczych. Stycznik może wykonać pracę przepustową – przewodząc prąd elektryczny lub manewrową, załączając i wyłączając prąd w warunkach roboczych.

W ćwiczeniu wykorzystuje się jednobiegunowy stycznik prądu stałego typu SE-310 i SE-410. Budowa aparatu została przedstawiona na rys. 2.

Rys 2. Budowa jednobiegunowego stycznika prądu stałego typu SE: 1 – elektromagnes napędowy, 2 – styk ruchomy, 3 – komora gaszeniowa z obrysem 3a elektromagnesu wydmuchowego, 4 – cewka szeregowego elektromagnesu wydmuchowego, 5 – przełącznik obwodów wtórnych, 6 – zaciski przyłączeniowe toru prądowego głównego, 7 – połączenie podatne styku ruchomego, 8 – podstawa.



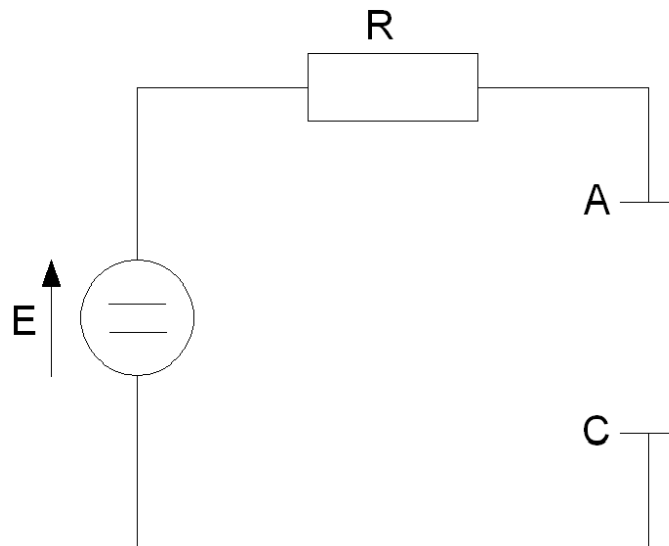
2.2. Elektryczny łuk prądu stałego

Przy wyłączaniu obwodu zawierającego SEM, w chwili rozejścia się styków oraz przy odpowiednich poziomach prądów i napięć, pojawia się łuk elektryczny. Zjawiska zachodzące między elektrodami po przyłożeniu do nich pewnego napięcia zależą od:

- rodzaju i ciśnienia gazu w przerwie międzyelektrodowej,
- czynników zewnętrznych (jonizatory i dejonizatory),
- wielkości i zmienności w czasie przyłożonego napięcia,
- materiału i kształtu elektrod,
- pewnych sprzężeń pojemnościowych posiadających wpływ na rozkład pola między elektrodami.

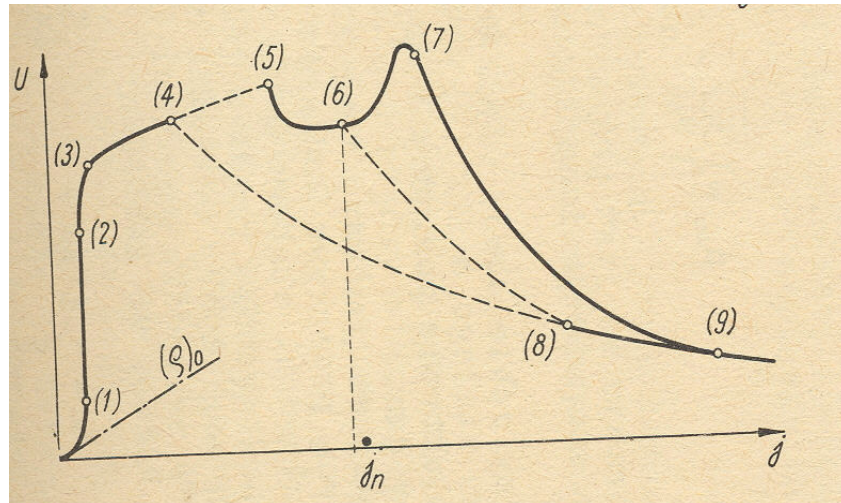
Wskutek różnego rodzaju promieniowania (np. radioaktywne, kosmiczne, itp.) pewna ilość cząstek gazu może ulegać jonizacji zapewniając stały przyrost koncentracji par ładunków. Jednocześnie wraz z jonizacją gazu zachodzi także łączenie się różnoimiennych ładunków (rekombinacja), co powoduje pewien ubytek ładunków. Dzięki tym dwóm zjawiskom otrzymujemy ściśle określony stopień jonizacji gazu.

Rozpatrując obwód z rys. 3, pole pomiędzy elektrodami A i K jest przyczyną przepływu ładunków. Ładunki dodatnie podążają do katody w kierunku spadku potencjału, natomiast elektrony w kierunku dodatnim gradientu potencjału.



Rys. 3. Obwód prądu stałego - źródło E, rezystancja R oraz dwie elektrody A i C.

Zmieniając napięcie pomiędzy elektrodami dostatecznie wolno, aby dla każdej wartości pomiarowej ustaliła się koncentracja ładunków, można wykreślić statyczną charakterystykę napięciowo-prądową wyładowań (rys. 4).



Rys. 4. Charakterystyka statyczna wyładowań w gazie.

Pod wpływem pola potencjalnego elektrod odpywają ładunki i zmienia się stan koncentracji par ładunków:

$$n_{\infty} = \sqrt{\frac{q}{\alpha_R}} \quad (1)$$

Gdzie: q – przyrost koncentracji par ładunków wskutek jonizacji naturalnej, α_R – współczynnik rekombinacji.

W miarę zwiększania się natężenia pola, zwiększa się liczba przepływających do elektrod ładunków, aż do momentu gdy liczba wszystkich generowanych par ładunków będzie przepływała do elektrod. Wystąpi prąd nasycenia, którego gęstość nie wzrasta wraz ze wzrostem natężenia pola (odcinek 1-2). Dalszy wzrost pola będzie wówczas jedynie zwiększał prędkość ładunków, czyli ich energię kinetyczną. W punkcie 2 elektron osiąga energię kinetyczną równą energii jonizacji i następują pierwsze wyładowania Townsenda. Zakładając że na pewnej drodze przebiegający elektron o prędkości v_{ek} spowoduje jonizację α – cząsteczek gazu, wówczas przyrost par ładunków wskutek elektronowej jonizacji zderzeniowej α w czasie dt wyniesie:

$$\left(\frac{dn}{dt} \right)_K = \alpha n_e \quad (2)$$

Gdzie: α – pierwszy współczynnik jonizacji zderzeniowej Townsenda, n_e – koncentracja elektronów.

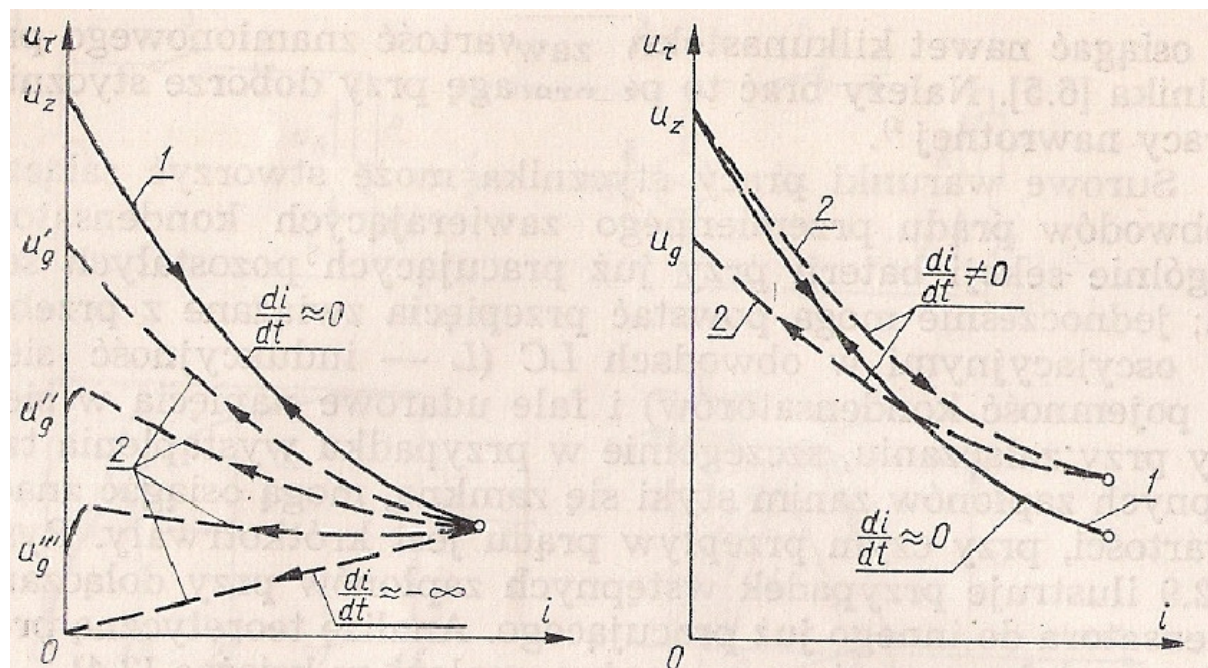
Zagięcie krzywej (rys. 4) w punkcie 3 przypisywane jest jonizacji zderzeniowej, zjawiskom przy katodzie, elektronowej emisji wtórnej katody oraz elektronowej fotoemisji katody. Przebieg na odcinku 3-4 określany jest za pomocą drugiego współczynnika Townsenda. Przy poziomie napięcia określonym w punkcie 4 nastąpi

zapłon wyładowań samoistnych, których rozwój jest uzależniony od parametrów obwodu oraz stanu gazu. Wyładowania Townsenda (niewidoczne) przechodząc pod wpływem przyłożonego napięcia do wyładowań samoistnych mogą się różnorodnie rozwijać:

- 1) Za pośrednictwem wyładowań warstwowych świetlących (4-5-6), które nagle (6-8) lub stopniowo (6-7) przeradzają się w wyładowanie łukowe (punkt 9)
- 2) Bezpośrednio (4-8) w wyładowanie łukowe (punkt 9)

Charakterystyka statyczna łuku stanowi część charakterystyki statycznej wyładowań $U=f(i)$ w zakresie dużych prądów. W zależności od przebiegu wyładowań samoistnych charakterystyka statyczna może mieć różny przebieg, jednak z uwagi na występowanie wyładowań początkowych przy bardzo małych wartościach prądu zazwyczaj posługujemy się przebiegiem uproszczonym (rys. 5). Napięcie u_z przy prądzie $i=0$ nazywamy napięciem zapłonu. Statyczną charakterystyką łuku nazywamy taką zależność napięcia łuku $u_{as}=f(i_a)$ przy stałej długości l_a i w określonych warunkach zewnętrznych, przy której dla każdej pary wartości $u_a(i_a)$ spełniony jest warunek:

$$\left(\frac{dn}{dt}\right)_{(i_a)s} = \left(\frac{dn}{dt}\right)_K + \left(\frac{dn}{dt}\right)_T + \left(\frac{dn}{dt}\right)_R + \left(\frac{dn}{dt}\right)_D = 0 \quad (3)$$



Rys. 5. Charakterystyki łuku prądu stałego: 1 – statyczna, 2 – dynamiczna.

Wyraz $\left(\frac{dn}{dt}\right)_K$ jest pomijalny z uwagi na małą wartość K . Wyrazy: $\left(\frac{dn}{dt}\right)_T$ określa przyrost koncentracji par ładunków wskutek jonizacji cieplnej, $\left(\frac{dn}{dt}\right)_R$ określa przyrost koncentracji par ładunków wskutek rekombinacji objętościowej, $\left(\frac{dn}{dt}\right)_D$ określa przyrost koncentracji par ładunków wskutek dyfuzji ambipolarnej i w niewymuszonym ośrodku jest pomijalny.

Przy szybkich zmianach prądu stan koncentracji, temperatura, ciepło i średnica łuku nie odpowiadają chwilowym wartościom prądu obserwowanego w stanie ustalonym. Otrzymujemy wtedy nieskończoną liczbę dynamicznych charakterystyk napięciowo prądowych $u_a=f(i_a)$. Przebieg charakterystyki dynamicznej zależy także od prędkości zmian prądu. Im szybsze są zmiany prądu, tym niżej leży charakterystyka dynamiczna poniżej charakterystyki statycznej. Przy malejącym prądzie, napięcie u_a w chwili $i_a = 0$ nazywa się napięciem gaszenia łuku u_g .

2.3. Wyłączanie prądu stałego

Praktycznie we wszystkich przypadkach wyłączania obwodów silnopiędowych powstaje łuk elektryczny. Istotą wszelakich zabiegów konstruktorów aparatów elektrycznych, w szczególności układów stykowo-gaszeniowych, jest takie projektowanie urządzeń, aby możliwie jak najbardziej ograniczyć skutki działania tego łuku (nagrzewanie komór i styków, zużycie materiału styków). Podstawowymi zabiegami są skrócenie czasu palenia się łuku i zmniejszanie wydzielanej w łuku energii. Prąd stały w sposób naturalny nie przechodzi przez zero i jego wyłączenie wymaga pewnych zabiegów wymuszających przejście do wartości zerowej.

Ogólny warunek wyłączania prądu o wartości początkowej I_w można określić jako:

$$I_w \rightarrow i(t) = i_a(t) \rightarrow 0 \quad (4)$$

Gdzie i_a – chwilowa wartość prądu łuku.

Funkcja $i_a(t)$ powinna być malejąca, ale przebieg może posiadać różnoraki:

- bez punktów przegięcia – warunek wyłączenia możemy określić jako:

$$\left. \frac{di_a}{dt} \right|_{i_a=I_w}^{i_a=0} < 0 \quad (5)$$

- posiada zwykle punkty przegięcia ($\frac{d^2 i_a}{dt^2} = 0$ oraz $\frac{d^3 i_a}{dt^3} \neq 0$) – ogólny warunek wyłączenia określa się jako:

$$i_a(t_{aw}) = 0$$

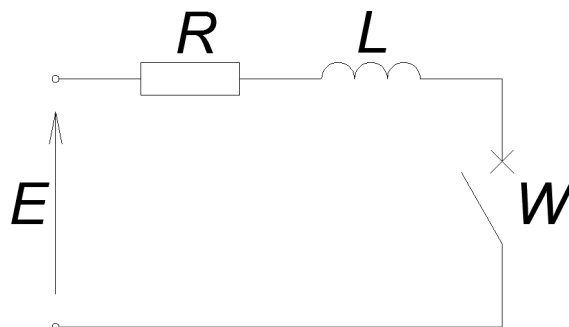
$$\left(\frac{di_a}{dt} \right)_{i_a(t_{aw})} < 0 \quad (6)$$

Gdzie t_{aw} – czas łukowy wyłączenia.

Warunki z nierówności (5) nazywa się dynamicznymi warunkami wyłączenia. Są one konieczne, lecz nie zawsze wystarczające do wyłączenia prądu.

Z uwagi na charakter ćwiczenia przedstawione zostanie i omówione dokładniej wyłączenie prądu stałego przez zwiększanie rezystancji łuku. Analizując układ szeregowy RL (rys. 6) przebieg prądu po załączeniu można opisać wzorem:

$$i = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-t/T} \right) = I_m \left(1 - e^{-t/T} \right) \quad (7)$$



Rys. 6. Schemat zastępczy obwodu szeregowego RL, zasilanego napięciem stałym.

Z równania (7) można wyznaczyć przebieg prądu załączanego (rys. 7). Wartość prądu po jednej stałej czasowej można określić jako:

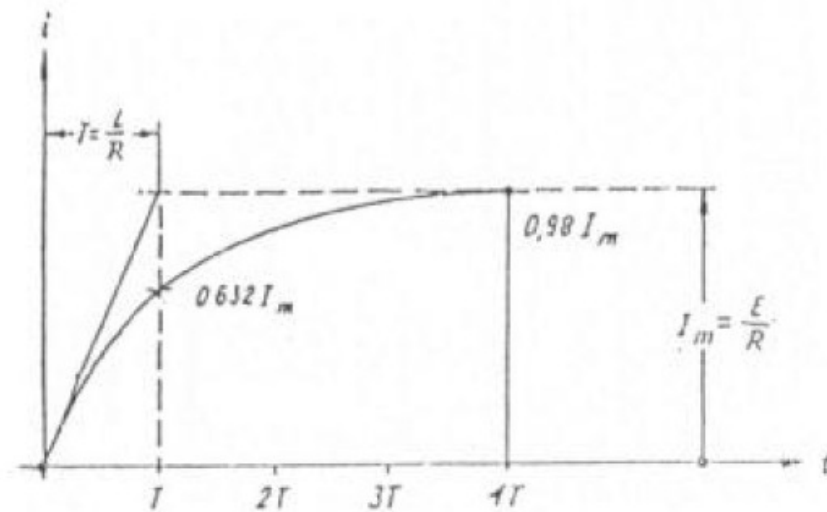
$$i|_{t=T} = 0,632 \cdot I_m \quad (8)$$

Po czasie równym czterem stałym czasowym T, prąd praktycznie osiąga wartość ustaloną:

$$i|_{t=4T} = 0,98 \cdot I_m \quad (9)$$

Stałą czasową T można obliczyć jako:

$$T = \frac{L}{R} \quad (10)$$



Rys. 7. Przebieg prądu stałego przy załączeniu.

Otwarcie wyłącznika W z obwodu z rys. 6 może nastąpić w skutek sytuacji awaryjnej, np. zwarcia. Z uwagi na czas własny wyłącznika, wyłączenie może nastąpić przy ustalonej wartości prądu zwarciego lub przed ustaleniem się prądu zwarciego. Stycznik lub wyłącznik prądu stałego mają możliwość tylko wyłączenia po ustaleniu się prądu. Zastosowanie bezpiecznika topikowego lub wyłącznika szybkiego umożliwia uzyskanie wyłączenia przed ustaleniem się prądu. Niezależnie do tego kiedy nastąpi wyłączenie, zadaniem aparatu elektrycznego jest sprowadzenie prądu do zera.

Założmy że mamy obwód z rys. 6 oraz:

- wyłącznik W w stanie zamkniętym nie ma wpływu na przebieg prądu zwarciego,
- czas własny wyłącznika W jest długi,
- warunki chłodzenia łuku są określone i stałe,
- styki wyłącznika W rozchodzą się z nieskończenie dużą prędkością na określoną odległość s ,
- brak oddziaływania zewnętrznego pola magnetycznego i pola temperaturowego na łuk (długość łuku równa jest s i jest stała).

Uwzględniając powyższe założenia oraz korzystając z II prawa Kirchhoffa dla obwodu z rys. 6 otrzymujemy:

$$E = Ri_a + L \frac{di_a}{dt} + u_a \quad (11)$$

Gdzie i_a – prąd łuku, u_a – napięcie łuku między stykami łącznika W .

Częścią równania (11), która pokazuje zmianę prądu łuku jest różniczka cząstkowa $L \frac{di_a}{dt}$, która przyjmuje wartość:

$$L \frac{di_a}{dt} \Big|_{i_a=0}^{i_a=I_w} = E - Ri_a - u_a \quad (12)$$

Aby spełnić ogólny warunek wyłączenia, różniczka cząstkowa $L \frac{di_a}{dt}$ powinna przyjmować wartości mniejsze od zera. Otrzymujemy więc nierówność:

$$E - Ri_a - u_a < 0 \quad (13)$$

Napięcie redukujące prąd w obwodzie powinno zatem spełniać nierówność:

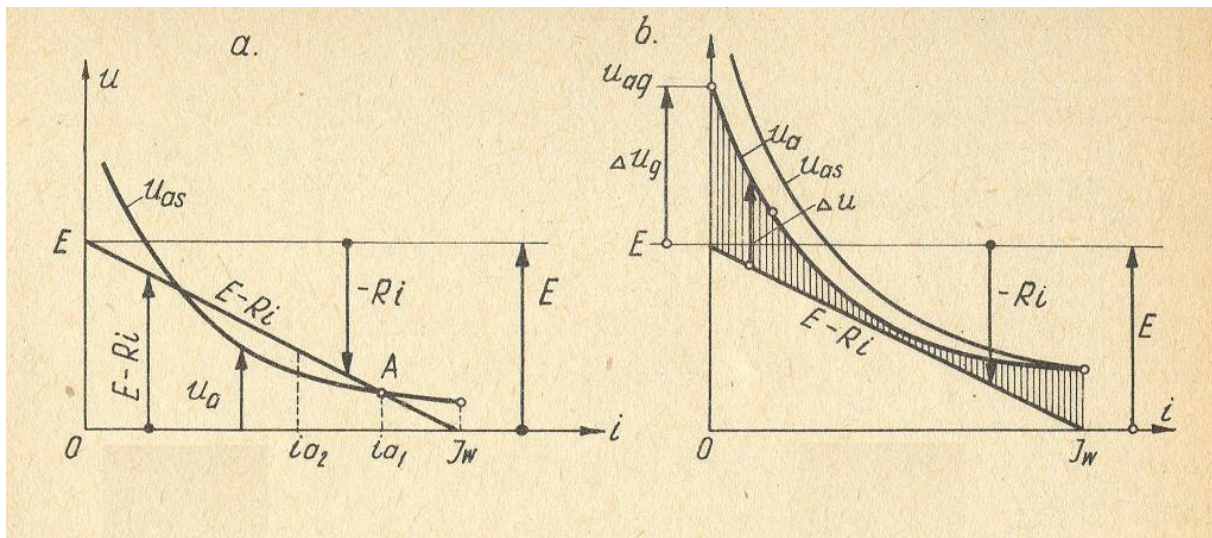
$$\Delta u \Big|_{i_a=I_w}^{i_a=0} = [u_a - (E - Ri_a)] \Big|_{i_a=I_w}^{i_a=0} > 0 \quad (14)$$

Powyższa nierówność (11) określa warunek dynamiczny wyłączenia prądu stałego. Warunek ten ($i_a = \text{const}$) zostanie spełniony jeżeli przebieg charakterystyki statycznej będzie określony nierównością:

$$u_{as} \Big|_{i_a=I_w}^{i_a=0} > (E - Ri_a) \Big|_{i_a=I_w}^{i_a=0} \quad (15)$$

Nierówność (15) określa konieczny i wystarczający warunek statyczny wyłączenia prądu stałego.

Wyłączenie obwodu prądu stałego jest możliwe ($i_a = \text{const}$), jeżeli charakterystyka statyczna łuku $u_{as}=f(i_a)$ posiada dla każdej wartości prądu i_a , wartości większe, niż charakterystyka zewnętrzna obwodu $E - Ri_a=f(i_a)$. Dzięki temu zostanie spełniona nierówność (14) oraz w obwodzie powstanie dodatnie napięcie redukujące w całym obwodzie



Rys. 8. Ilustracja graficzna wyłączenia prądu stałego.

Może dojść do sytuacji, w której charakterystyka statyczna łuku ma przebieg jak na rys. 8a. Wówczas nie nastąpi wyłączenie. Założony warunek wyłączenia byłby spełniony w przedziale $I_w - i_{a1}$, w którym prąd łuku malałby z określoną prędkością decydującą o przebiegu charakterystyki dynamicznej w tym przedziale:

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{(E - Ri_a) - u_a}{L} \quad (16)$$

Prędkość zmian prądu maleje w miarę zbliżania się do charakterystyki zewnętrznej obwodu. W punkcie przecięcia się obu charakterystyk (punkt A) prędkość ta osiąga wartość zero – stan równowagi statycznej, w której brak jest napięcia redukującego, a łuk będzie się utrzymywał trwale ($i_a = i_{a1}$):

$$E = Ri_{a1} + u_{as1} \quad (17)$$

Warunek wyłączenia prądu stałego (15) wymaga aby charakterystyka statyczna łuku nie posiadała punktów wspólnych z charakterystyka zewnętrzną obwodu, a więc nie ma możliwości osiągnięcia równowagi statycznej łuku. Jeśli zapewnimy dostateczny odbiór mocy z łuku warunek ten zostanie spełniony.

Moc łuku wyłączeniowego wyniesie w powyższym przypadku:

$$P_a(t) = u_a(t) \cdot i_a(t) = Ei_a(t) - Ri_a^2(t) - i_a(t)L \frac{di_a}{dt} \quad (18)$$

Energia łuku wyłączeniowego od początku wyłączenia wyniesie:

$$A_a(t) = \int_0^{t_{aw}} P_a(t) dt = E \int_0^{t_{aw}} i_a(t) dt - R \int_0^{t_{aw}} i_a^2(t) dt - L \int_{I_w}^0 i_a(t) di_a \quad (19)$$

Gdzie: I_w – prąd wyłączeniowy dla $t=0$, t_{aw} – czas łukowy.

Zmniejszaniu się prądu i_t do zera towarzyszy wzrost napięcia łuku do wartości napięcia gaśnięcia u_{ag} , które można wyznaczyć jako:

$$u_{ag} = u_t \Big|_{i_t \rightarrow 0} = E - L \left(-\frac{di_t}{dt} \right) = E + L \frac{di_t}{dt} \quad (20)$$

Podczas wyłączania określonego obwodu prądu stałego (dane: E, L i R) wielkość przepięcia zależy od zmian prądu w chwili wyłączenia, indukcyjności wyłączanego obwodu oraz napięcia łuku. Im większa indukcyjność, tym większa energia magnetyczna na niej zgromadzona i większa wartość przepięcia. Większa indukcyjność powoduje także wolniejsze zmniejszanie się wyłączalnego prądu. Wpływ na przepięcie u_{ag} ma także układ gaszeniowy, kiedy intensywniej odbiera ciepło z kanału łukowego, powoduje zwiększenie stromości malenia prądu łuku.

3. Przebieg ćwiczenia

Należy stosować się bezwzględnie do poleceń prowadzącego ćwiczenie. Każdą pierwszą czynnością łączeniową i pomiar wykonuje najpierw prowadzący ćwiczenie i tylko on dopuszcza grupę do wykonywania ćwiczenia.

Grupa ma za zadanie:

- 1) Zapoznać się z układem pomiarowym – narysować układ pomiarowy w protokole, sprawdzić połączenia w stanie beznapięciowym; spisać sensownie tabliczki znamionowe użytych aparatów oraz zapoznać i zidentyfikować spisane wartości; zorientować się jak mierzony jest prąd i napięcie i do którego kanału oscyloskopu przyłączone są odpowiednie pomiary.
- 2) Wykonać pomiary prądu i napięcia dla różnych nastaw indukcyjności – należy bezwzględnie pozostawić nie zmienioną nastawę rezystancji.

Nastawa indukcyjności	Wartość napięcia U [V]	Wartość prądu I [A]	R[Ω]
0			
1			
2			
3			
4			

- 3) Wykonać pomiary załączania prądu w układzie – z użyciem komputera.
- 4) Wykonać pomiary wyłączania prądu w układzie – z użyciem komputera.
- 5) Dyskusja dotycząca otrzymanych wyników.

4. Przykładowe pytania

1. Jakim aparatem elektrycznym jest stycznik i jakimi możliwościami łączeniowym się charakteryzuje?
2. Jakim aparatem elektrycznym jest odłącznik i jakimi możliwościami łączeniowym się charakteryzuje?
3. Jakim aparatem elektrycznym jest rozłącznik i jakimi możliwościami łączeniowym się charakteryzuje?
4. Jakim aparatem elektrycznym jest wyłącznik i jakimi możliwościami łączeniowym się charakteryzuje?
5. Jakie są podstawowe parametry elektryczne styczników?
6. Jakie są metody wyłączania prądu stałego?
7. Czym jest charakterystyka statyczna łuku prądu stałego?
8. Czym jest charakterystyka dynamiczna łuku prądu stałego?
9. Jaki jest wpływ indukcyjności na wyłączanie prądu stałego?
10. Wpływ przepięć na izolację obwodu?

5. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Cel ćwiczenia
2. Krótki, zwięzły, na temat wstęp teoretyczny dotyczący tematu ćwiczenia.
3. Opis badanego układu, rysunek obwodu, dane znamionowe aparatów użytych podczas ćwiczenia, oczekiwane wyniki pomiarów.
4. Otrzymane opisane przebiegi, opis dotyczący otrzymanych wyników.
5. Charakterystyka dynamiczna i zewnętrzna obwodu z opisem.
6. Wnioski

Wszystkie przebiegi należy wykonać z użyciem programu Matlab.

6. Bibliografia

1. Jan Maksymiuk, „Aparaty elektryczne”, WNT 1992
2. Jerzy Kryński, „Elektryczne aparaty rozdzielcze”, PWN 1964
3. Adam Bóbr, Władysław Polowczyk, Jędrzej Tucholski, „Styczniki energoelektryczne”, WNT 1979
4. PN-EN 60947-1:2010 „Aparatura rozdzielcza i sterownicza niskonapięciowa – Część 1: Postanowienia ogólne”
5. Materiały z wykładu.