

1. Opisz funkcje aparatów elektrycznych.

Łączniki: wyłącznik, rozłącznik stycznik, odłącznik, bezpiecznik – funkcje łączeniowe

Aparaty pomiarowe: przekładniki (prądowe, napięciowe), dzielniki, boczniki – funkcje pomiarowe

Odgromniki – funkcje ochronne przeciwprzepięciowe

Dławiki – funkcje ograniczania prądów zwarciovych

Inne (aparaty rozruchowe) – funkcje rozruchowe silników

2. Wymień i zdefiniuj podstawowe parametry znamionowe (lub narażenia prądowe i napięciowe) aparatów elektrycznych.

Zaleca się, aby wspólne dane znamionowe aparatury rozdzielczej i sterowniczej oraz związanych z nią napędów i wyposażenia pomocniczego były wybrane z następujących danych:

- a) napięcie znamionowe (U_r)
- b) poziom znamionowy izolacji
- c) częstotliwość znamionowa (f_r)
- d) prąd znamionowy ciągły (I_r)
- e) prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymywany (I_k)
- f) prąd znamionowy szczytowy wytrzymywany (I_p)
- g) czas znamionowy trwania zwarcia (t_k)
- h) napięcie znamionowe zasilania napędów i obwodów pomocniczych (U_a)
- i) częstotliwość znamionowa zasilania napędów i obwodów pomocniczych
- j) ciśnienie znamionowe zasilania sprężonym gazem dla izolacji lub napędu.

Napięcie znamionowe (U_r)

Napięcie znamionowe wskazuje górną granicę największej wartości napięcia sieci, do której jest przeznaczona aparatura rozdzielcza i sterownicza. Znormalizowane wartości napięć znamionowych podano poniżej:

Zakres I dla napięć znamionowych do 245 kV włącznie

Szereg I 3,6 kV – 7,2 kV – 12 kV – 17,5 kV – 24 kV – 36 kV – 52 kV – 72,5 kV – 100 kV – 123 kV – 145 kV – 170 kV – 245 kV.

Szereg II (wynikający z bieżącej praktyki Ameryki Północnej): 4,76 kV – 8,25 kV – 15 kV – 25,8 kV – 38 kV – 48,3 kV – 72,5 kV.

Zakres II dla napięć znamionowych powyżej 245 kV

300 kV – 362 kV – 420 kV – 550 kV – 800 kV.

Częstotliwość znamionowa (f_r)

Znormalizowanymi wartościami częstotliwości znamionowej są 16 2/3 Hz, 25 Hz, 50 Hz oraz 60 Hz.

Prąd znamionowy ciągły (I_r)

Prąd znamionowy ciągły aparatury rozdzielczej i sterowniczej jest to wartość skuteczna prądu, który ta aparatura może przewodzić w sposób ciągły w określonych warunkach użytkowania i działania.

Wartości prądów znamionowych ciągłych należy wybierać z szeregu R10, podanego w IEC 60059.

UWAGA 1 Szereg R10 obejmuje liczby 1 – 1,25 – 1,6 – 2 – 2,5 – 3,15 – 4 – 5 – 6,3 – 8 oraz ich 10^n -krotności.

UWAGA 2 Prądy znamionowe dla warunków pracy krótkotrwałej lub nieciągłej są przedmiotem uzgodnienia między producentem i użytkownikiem.

Przyrost temperatury

Przyrost temperatury dowolnej części aparatury rozdzielczej i sterowniczej w temperaturze otoczenia nie przekraczającej 40 °C, w warunkach określonych w rozdziałach dotyczących badań, nie powinien przekraczać granic przyrostu temperatury podanych w tablicy 3.

Prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymywany (I_k)

Wartość skuteczna prądu, który aparatura rozdzielcza i sterownicza może przewodzić w stanie zamknięcia w ciągu określonego krótkiego czasu oraz w przypisanych warunkach zachowania się i użytkowania.

Znormalizowana wartość prądu znamionowego krótkotrwałego wytrzymywanego powinna być wybrana z szeregu R10 podanego w IEC 59 i powinna być równa danym znamionowym określonym dla warunków zwarcio-
wych, przepisany na aparaturze rozdzielczej i sterowniczej.

UWAGA – Szereg R10 obejmuje liczby 1 – 1,25 – 1,6 – 2 – 2,5 – 3,15 – 4 – 5 – 6,3 – 8 oraz ich 10^n -krotności.

Prąd znamionowy szczytowy wytrzymywany (I_p)

Prąd szczytowy wytrzymywany związany z pierwszą większą półfalą prądu znamionowego krótkotrwałego wytrzymywanego, który aparatura rozdzielcza i sterownicza może przewodzić w stanie zamknięcia w przepisanych warunkach zachowania się i użytkowania.

Prąd znamionowy szczytowy wytrzymywany powinien odpowiadać częstotliwości znamionowej. Dla częstotliwości znamionowej 50 Hz i mniejszej jest on równy 2,5-krotnemu prądowi znamionowemu krótkotrwałemu wytrzymywanemu, a dla częstotliwości znamionowej 60 Hz jest równy 2,6-krotnemu prądowi znamionowemu krótkotrwałemu wytrzymywanemu.

UWAGA – Wartości większe niż 2,5- lub 2,6-krotne prądy znamionowe krótkotrwałe wytrzymywane mogą być wymagane ze względu na parametry sieci.

Czas znamionowy trwania zwarcia (t_k)

Okres, w którym aparatura rozdzielcza i sterownicza w stanie zamknięcia może przewodzić prąd równy jej znamionowemu prądowi krótkotrwałemu wytrzymywanemu.

Znormalizowaną wartością znamionowego czasu trwania zwarcia jest 1 s.

Jeżeli jest to konieczne, może być wybrana wartość mniejsza lub większa niż 1 s. Zalecanymi wartościami są 0,5 s, 2 s oraz 3 s.

Napięcie znamionowe zasilania napędów oraz obwodów pomocniczych i sterowniczych (U_a)

Napięcie stałe

V
24
48*
60
110* lub 125
220 lub 250

Napięcie przemienne

Sieci trójfazowe, trójprzewodowe lub czteroprzewodowe V	Sieci jednofazowe trójprzewodowe V	Sieci jednofazowe dwuprzewodowe V
–	120/240	120
–120/208 (220/380)	–	120 (220)
230/400 (240/415)	–	230 (240)
277/480	–	277
347/600	–	347

Zestyki pomocnicze i sterownicze

Prąd stały				
Klasa	Prąd znamionowy ciągły	Prąd znamionowy krótkotrwały wytrzymywany	Zdolność wyłączania	
			$\leq 48 \text{ V}$	$110 \text{ V} \leq U_a \leq 250 \text{ V}$
1	10 A	100 A/30 ms		440 W
2	2 A	100 A/30 ms		22 W
3	200 mA	1 A/30 ms	50 mA	

Urządzenia blokujące

Urządzenia blokujące pomiędzy różnymi komponentami wyposażenia mogą być wymagane ze względu na bezpieczeństwo i prawidłowość działania (np. pomiędzy łącznikiem a zespolonym uziemnikiem).

Takie urządzenia blokujące powinny być zastosowane na podstawie uzgodnienia między producentem i użytkownikiem.

Łączniki, których nieprawidłowe przestawienie może spowodować szkody lub które są stosowane do zapewnienia odstępów izolacyjnych, powinny być wyposażone w urządzenia do zamykania zgodnie z wymaganiem podanym producentowi (np. zastosowanie klódek).

Urządzenie blokujące jest układem wieloelementowym (może zawierać części mechaniczne, kable, styczniki, cewki, itd.). Każdy element należy traktować jako część wyposażenia pomocniczego lub sterowniczego (patrz 5.4).

Wskazywanie stanu

Jednoznaczne i niezawodne wskazywanie stanu zestyków obwodu głównego powinno być zastosowane, gdy zestyki są niewidoczne. Powinno być możliwe łatwe sprawdzenie stanu zestyków na podstawie obserwacji wskaźnika stanu podczas przestawienia w miejscu zainstalowania aparatu.

Stopnie ochrony zapewniane przez obudowy

Stopnie ochrony	Ochrona przed wchodzeniem obcych ciał stałych	Ochrona przed dostępem do części niebezpiecznych
IP1XB	Obiekty o średnicy 50 mm oraz większej	Dostęp palcem (palec probierczy o średnicy 12 mm, długości 80 mm)
IP2X	Obiekty o średnicy 12,5 mm oraz większej	Dostęp palcem (palec probierczy o średnicy 12 mm, długości 80 mm)
IP2XC	Obiekty o średnicy 12,5 mm oraz większej	Dostęp narzędziem (pręt probierczy o średnicy 2,5 mm, długości 100 mm)
IP2XD	Obiekty o średnicy 12,5 mm oraz większej	Dostęp drutem (drut probierczy o średnicy 1,0 mm, długości 100 mm)
IP3X	Obiekty o średnicy 2,5 mm oraz większej	Dostęp narzędziem (pręt probierczy o średnicy 2,5 mm, długości 100 mm)
IP3XD	Obiekty o średnicy 2,5 mm oraz większej	Dostęp drutem (drut probierczy o średnicy 1,0 mm, długości 100 mm)
IP4X	Obiekty o średnicy 1,0 mm oraz większej	Dostęp drutem (drut probierczy o średnicy 1,0 mm, długości 100 mm)
IP5X	Pył Wnikanie pyłu nie jest całkowicie uniemożliwione, nie wnika on jednak w takich ilościach lub w takie miejsca, aby wpływać na zadowalające działanie aparatu albo pogarszać bezpieczeństwo.	Dostęp drutem (drut probierczy o średnicy 1,0 mm, długości 100 mm)

3.Opisz normalne warunki pracy aparatów elektrycznych.

3.1. Aparatura wewnętrzna:

- a) Temperatura otoczenia nie przekracza 40 °C, a jej wartość średnia, mierzona w okresie 24 h, nie przekracza 35 °C.

Minimalna temperatura otoczenia wynosi -5 °C dla klasy „minus 5, warunki wewnętrzne”, -15 °C dla klasy „minus 15, warunki wewnętrzne” oraz -25 °C dla klasy „minus 25, warunki wewnętrzne”.

- b) Wpływ promieniowania słonecznego może być pominięty.
- c) Wysokość nad poziomem morza nie przekracza 1000 m.
- d) Powietrze otaczające nie jest w sposób znaczący zanieczyszczone przez pyły, dym, powodujące korozję i/lub palne gazy, pary albo sól.
- e) Warunki określające wilgotność są następujące:
- średnia wartość wilgotności względnej, mierzona w okresie 24 h, nie przekracza 95 %;
 - średnia wartość ciśnienia pary wodnej, w okresie 24 h, nie przekracza 2,2 kPa;
 - średnia wartość wilgotności względnej, w okresie jednego miesiąca, nie przekracza 90 %;
 - średnia wartość ciśnienia pary wodnej, w okresie jednego miesiąca, nie przekracza 1,8 kPa.

W tych warunkach kondensacja może wystąpić sporadycznie.

- f) Wibracja spowodowana przyczynami zewnętrznymi w stosunku do aparatury rozdzielczej i sterowniczej lub trzęsienia ziemi, są pomijalne.
- g) Zakłócenia elektromagnetyczne indukowane w interfejsach obwodu wtórnego w wyniku połączeń w obwodzie wysokiego napięcia nie przekraczają wartości 1,6 kV sygnału wspólnego dla normalnej klasy odporności EMC i 0,8 kV sygnału wspólnego dla obniżonej klasy odporności EMC.

3.2. Aparatura napowietrzna:

- a) Temperatura otoczenia nie przekracza 40 °C, a jej wartość średnia, mierzona w okresie 24 h, nie przekracza 35 °C.

Minimalna temperatura otoczenia wynosi -10 °C dla klasy „minus 10, warunki napowietrzne”, -25 °C dla klasy „minus 25, warunki napowietrzne” oraz -40 °C dla klasy „minus 40, warunki napowietrzne”.

Zaleca się, aby gwałtowne zmiany temperatury były brane pod uwagę

- b) Promieniowanie słoneczne do poziomu 1 000 W/m² (w południe dnia pogodnego) powinno być uwzględniane.
- c) Wysokość nad poziomem morza nie przekracza 1 000 m.
- d) Powietrze otaczające może być zanieczyszczone przez pyły, dym, gaz powodujący korozję, pary albo sól. Zanieczyszczenie nie przekracza II poziomu zanieczyszczeń – średniego wg tablicy 1 w IEC 60815.
- e) Warstwa lodu nie przekracza 1 mm dla klasy 1, 10 mm dla klasy 10 oraz 20 mm dla klasy 20.
- f) Prędkość wiatru nie przekracza 34 m/s (co odpowiada 700 Pa na powierzchniach cylindrycznych).
- g) Należy brać pod uwagę występowanie kondensacji lub opadów.
- h) Wibracja spowodowana przyczynami zewnętrznymi w stosunku do aparatury rozdzielczej i sterowniczej lub trzęsienia ziemi są pomijalne.
- i) Zakłócenia elektromagnetyczne indukowane w interfejsach obwodu wtórnego w wyniku łączeń w obwodzie wysokiego napięcia nie przekraczają wartości 1,6 kV sygnału wspólnego dla normalnej klasy odporności EMC i 0,8 kV sygnału wspólnego dla obniżonej klasy odporności EMC.

Wysokość nad poziomem morza

Dla instalacji na wysokości nad poziomem morza większej niż 1000 m, poziom izolacji dla izolacji zewnętrznej w znormalizowanych warunkach atmosferycznych powinien być określony przez pomnożenie wymaganych dla miejscowych warunków pracy napięć wytrzymaływanych przez współczynnik K_a , przyjmowany zgodnie z rysunkiem

w której

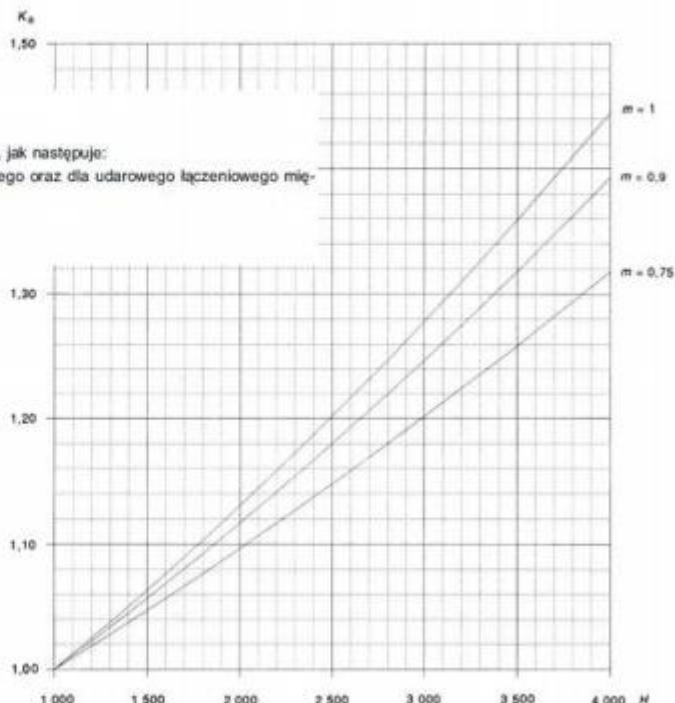
H jest wysokością nad poziomem morza w metrach;

m jest przyjmowane jako parametr, dla uproszczenia o ustalonej wartości, jak następuje:

$m = 1$ dla napięć o częstotliwości sieciowej, udarowego piorunowego oraz dla udarowego łączeniowego międzyfazowego

$m = 0,9$ dla napięcia udarowego łączeniowego wzdłużnego

$m = 0,75$ dla napięcia udarowego łączeniowego doziemnego.



Temperatura i wilgotność

-50 °C oraz +40 °C w klimatach bardzo zimnych;

-5 °C oraz +50 °C w klimatach bardzo gorących.

WS.1) Maksymalna temperatura otoczenia (wg PN-EN 62271-1:2009 [N.1])	+40°C
WS.2) Średnia temperatura otoczenia mierzona w okresie 24 h nie przekracza (wg PN-EN 62271-1:2009 [N.1]):	35°C
WS.3) Minimalna temperatura otoczenia (wg PN-EN 62271-1:2009E [N.1] i PSE-SF KSE2.2/2005v2 [SPSE.3])	-5°C
WS.4) Wysokość nad poziomem morza (wg PN-EN 62271-1:2009 [N.1])	≤ 1 000 m
WS.5) Średnia wartość wilgotności względnej mierzona w ciągu 24 h (wg PN-EN 62271-1:2009 [N.1])	< 95 %
WS.6) Średnia wartość wilgotności względnej mierzona w ciągu miesiąca (wg PN-EN 62271-1:2009 [N.1])	< 90 %
WS.7) Średnia wartość ciśnienia pary wodnej mierzona w ciągu 24 h (wg PN-EN 62271-1:2009 [N.1])	< 2,2 kPa
WS.8) Średnia wartość ciśnienia pary wodnej mierzona w ciągu miesiąca (wg PN-EN 62271-1:2009 [N.1])	< 1,8 kPa
WS.9) Ciśnienie atmosferyczne (wg PN-EN 60721-3-4:2002 [N.12]):	700 – 1060 hPa
WS.10) Poziom zabrudzenia (IEC 60815 [N.11]):	d (III) silny
WS.11) Aktywność sejsmiczna (wg. IEC 60721-2-6)	≤ 0,2 g

4. Omów źródła ciepła w aparatach elektrycznych.

- Tory prądowe na skutek nagrzewania Joule’a, magnetycznego oraz nagrzewania promieniowaniem słonecznym. Straty ciepłne w torach prądowych zależą od powierzchni przewodzenia ciepła, współczynnika przewodności cieplnej środowiska przewodzącego ciepło oraz od gradientu temperatury (zmiana wartości temperatury na zmianę długości szynoprzewodu). Ciepło propagowane jest poprzez unoszenie oraz promieniowanie
- Zestyki (połączenia) występujące w torach. Straty ciepłne w zestykach zależą od wielu czynników – materiału styków, siły docisku, grubości i struktury warstw nalotowych, obciążenia prądowego i mogą się zmieniać w szerokich granicach.
- Osłony (okapturzenia) elektrycznie przewodzące, stanowiące źródło strat ciepłnych od przepływu prądów wirowych.
- Elementy ferromagnetyczne, np. rdzenie transformatorów, przekładników, magnetowody elektromagnesów – znajdujące się w zmiennym polu magnetycznym.
- Układy izolacyjne obciążone znaczną stratnością, np. zestarzone układy izolacyjne papierowo - olejowe.
- Źródła zewnętrzne wywierające istotny wpływ na stopień nagrzania urządzeń elektroenergetycznych – promieniowanie słoneczne lub sąsiadujące z urządzeniem techniczne źródło ciepła (piece, grzejniki, itp.).

5. Co to jest zestyk/rezystancja styku.

Zestyk jest to część toru prądowego, w którym przepływ prądu umożliwiony jest dzięki styczności dwóch styków. Zestyki dzielimy na dwie kategorie: nierozłączne i rozłączne (łączeniowe). Następnie zestyki nierozłączne można podzielić na ruchome oraz nieruchome, natomiast zestyki rozłączne dzielimy na podstawowe i opalne.

$$R = R_{tp} + R_p + R_{nal}$$

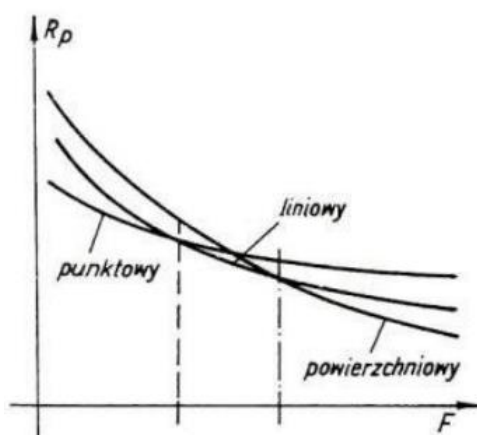
$$R_{tp} = \rho \frac{l}{S}$$

$$R_p = \frac{\rho}{2r_p}$$

$$R_{nal} = \frac{1}{n} R'_{nal}$$

$$R'_{nal} = \frac{2S_{nal}}{\pi r_p^2}$$

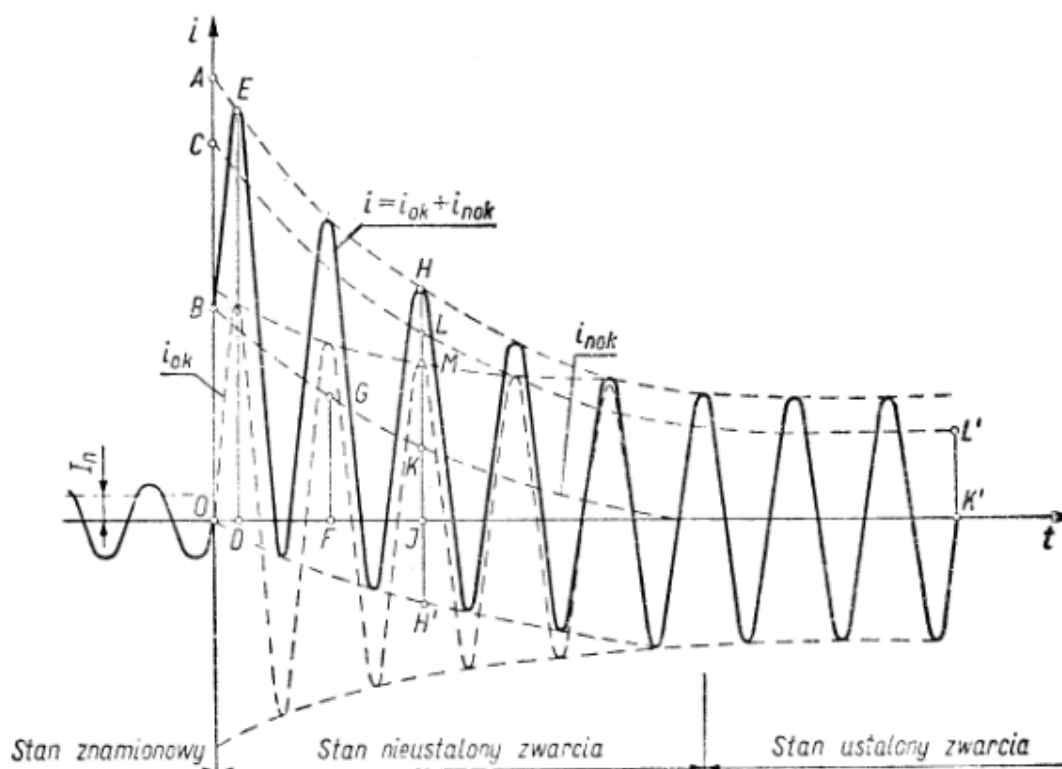
R_{tp} - rezystancja toru prądowego; R_p – rezystancja przewężenia przekroju dla przepływu prądu; R_{nal} – rezystancja warstw zewnętrznych (naltowych) występujących na powierzchniach styków



6. Narysuj przebieg prądu zwarcowego (zaznacz parametry znamionowe)

3.2. Przebieg prądu zwarcowego [2]

W przebiegu prądu zwarcowego rozróżnić można dwa stany: nieustalony — trwający kilka sekund i ustalony trwający po tym. okresie. Wyłączenie prądu zwarcowego następuje najczęściej po czasie nie dłuższym niż 2s, najbardziej więc interesujący jest. stan nieustalony prądu zwarcowego.



Rys. 3.1. Przebieg prądu zwarcowego w funkcji czasu

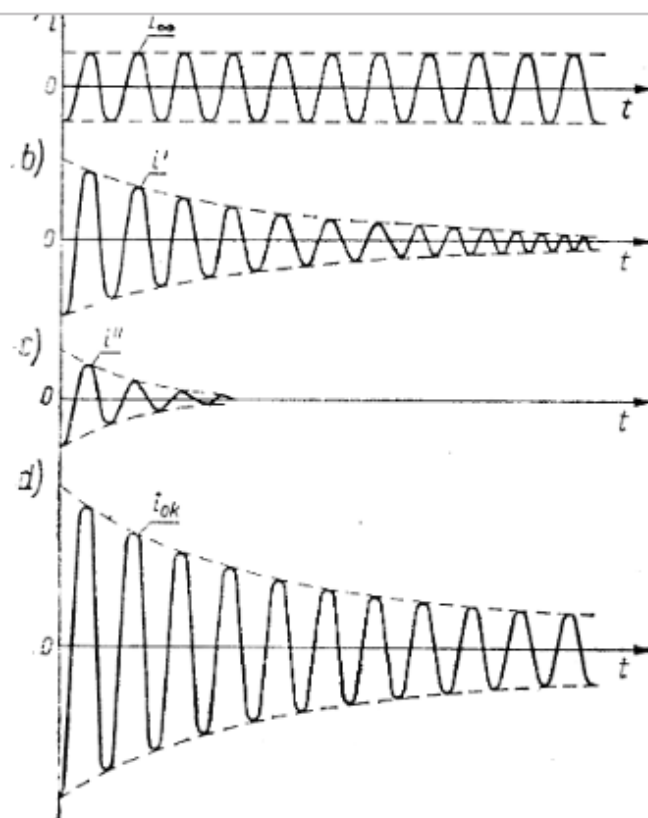
W prądzie zwarciovym w stanie nieustalonym rozróżnić można dwie składowe: składową okresową i_{ok} oraz składową nieokresową i_{nok} . Na rysunku 13.2 pokazano przebieg prądu zwarciovego w funkcji czasu. Widać na nim rozdzielenie całkowitego prądu zwarciovego i na dwie składowe.

Składowa okresowa i_{ok} prądu zwarciovego jest z kolei sumą trzech prądów (rys. 3.2.)

Ćwiczenie S 4

POMIAR PRĄDÓW I NAPIĘĆ W SIECI ŚREDNIEGO NAPIĘCIA PRZY ZWARCIACH 1-FAZOWYCH Z ZIEMIĄ

- składowej ustalonej i_{∞}
- składowej przejściowej głównej i'
- składowej przejściowej wstępnej i'' .



Rys. 3.2. Prądy składowe składowej okresowej i_{0k} .

Istnienie składowych przejściowych wynika ze sprzężenia magnetycznego uzwojeń generatora. Nagła zmiana prądu wywołuje w uzwojeniu wzbudzającym i tłumiącym przepływ dodatkowych prądów, które indukują w tworniku zanikające składowe. Składowa przejściowa główna i' wytwarzana przez oddziaływanie uzwojenia wzbudzającego zanika w ciągu kilku sekund. Składowa przejściowa wstępna i'' jest wynikiem oddziaływania uzwojeń tłumiących i płynie przez czas zaledwie kilkunastu setnych sekundy.

7. Warunek wyłączenia prądu przemiennego

Ogólnie warunek skutecznego zgaszenia łuku prądu przemiennego można sformułować jako: przed przejściem prądu łuku przez naturalne zero należy intensywnie odbierać ciepło z kanału łukowego, po przejściu przez naturalne zero (zgaszenie łuku) należy zapewnić skuteczną dejonizację kanału połukowego, w celu uzyskania odpowiedniego napięcia zapłonu.

Przewodność kanału w chwili przechodzenia prądu łuku przez zero może być pewną miarą charakteryzującą skuteczność chłodzenia kanału łukowego. Zależy ona od:

- skuteczności odbioru mocy z kanału łukowego (im większy odbiór, tym przewodność mniejsza),
- wartości składowej czasowej łuku (im mniejsza składowa czasowa, tym przewodność mniejsza),

- wartości prądu wyłączeniowego (im mniejszy prąd wyłączeniowy, tym przewodność mniejsza),
- długości kanału łukowego (im dłuższy kanał, tym przewodność mniejsza).

Od wymienionych wyżej czynników zależy także szybkość narastania napięcia zapłonowego przerwy.

Skuteczne wyłączenie nastąpi wtedy, gdy przerwa międzystykowa wytrzyma bez ponownego zapłonu narastające na niej napięcie powrotne. Napięcie powrotne można zdefiniować jako różnicę napięć: na zacisku bieguna łącznika od strony źródła prądu i na zacisku bieguna od strony zwarcia. Napięcie to wywoływane jest przez stan nieustalony po wyłączeniu prądu oraz jest jednym z parametrów istotnych do doboru łączników do odpowiedniego rodzaju pracy.

W obwodach zasilających silniki indukcyjne (stanowisko laboratoryjne) przebiegi napięć na odbiorniku (wyjściu łącznika) wyglądają jak na rysunkach 7.8 i 7.9 (stan jałowy i zwarcia).

8. Warunek wyłączenia prądu stałego (charakterystyka dynamiczna łuku)

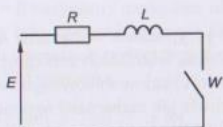
$$\begin{aligned} i_a(t_{zw}) &= 0 \\ \left(\frac{di_a}{dt} \right)_{t_{zw}} &< 0 \end{aligned} \quad (5.6)$$

gdzie t_{zw} – czas łukowy wyłączenia.

Warunki z nierówności (5.5) 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. 5.6), przebieg prądu po załączeniu można opisać wzorem:

$$i = \frac{E}{R} (1 - e^{-t/T}) = I_m (1 - e^{-t/T}) \quad (5.7)$$



Rys. 5.6. Schemat zastępczy obwodu szeregowego RL, zasilanego napięciem stałym

Z równania (5.7) można wyznaczyć przebieg prądu załączanego (rys. 5.7). Wartość prądu po jednej stałej czasowej można określić jako:

$$i|_{t=T} = 0,632 I_m \quad (5.8)$$

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

$$i|_{t=4T} = 0,98 I_m \quad (5.9)$$

Stałą czasową T można obliczyć jako:

$$T = \frac{L}{R} \quad (5.10)$$

Rys. 5.7. Przebieg prądu stałego przy załączaniu

Otwarcie wyłącznika W z obwodu z rys. 5.6 może nastąpić wskutek sytuacji awaryjnej, np. zwarcia. Z uwagi na czas własny wyłącznika, wyłączenie może nastąpić przy ustalonej wartości prądu zwarciovego lub przed ustaleniem się prądu zwarciovego. Styczniki lub wyłączniki prądu stałego wyłączają przeważnie 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.

Załóżmy że mamy obwód z rys. 5.6 oraz:

- wyłącznik W w stanie zamkniętym nie ma wpływu na przebieg prądu zwarciovego,
- czas własny wyłącznika W jest długi,
- warunki chłodzenia łuku są określone i stałe,
- styki wyłącznika W rozchodzą się z nieskończoną 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. 4.6 otrzymujemy:

$$E = Ri_a + L \frac{di_a}{dt} + u_a \quad (5.11)$$

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

Częścią równania (5.11), która pokazuje zmianę prądu łuku, jest napięcie na indukcyjności, wyrażone jako $L \frac{di_a}{dt}$, które przyjmuje wartość:

$$L \frac{di_a}{dt} \Big|_{t=0}^{t=t_{zw}} = E - Ri_a - u_a \quad (5.12)$$

Aby spełnić ogólny warunek wyłączania, że prąd łuku musi być malejący by zejść do zera, różniczka cząstkowa $L \frac{di_a}{dt}$ powinna przyjmować wartości mniejsze od zera. Otrzymujemy więc nierówność:

$$E - Ri_a - u_a < 0 \quad (5.13)$$

Napięcie redukujące prąd w obwodzie powinno zatem spełniać nierówność:

$$\Delta u \Big|_{i_a=i_w}^{i_a=0} = [u_a - (E - Ri_a)] \Big|_{i_a=i_w}^{i_a=0} > 0 \quad (5.14)$$

Powyższa nierówność (5.14) określa **warunek dynamiczny** wyłączania prądu stałego. Warunek ten zostanie spełniony, jeżeli przebieg charakterystyki statycznej będzie spełniał nierówność:

$$u_{av} \Big|_{i_a=i_w}^{i_a=0} > (E - Ri_a) \Big|_{i_a=i_w}^{i_a=0} \quad (5.15)$$

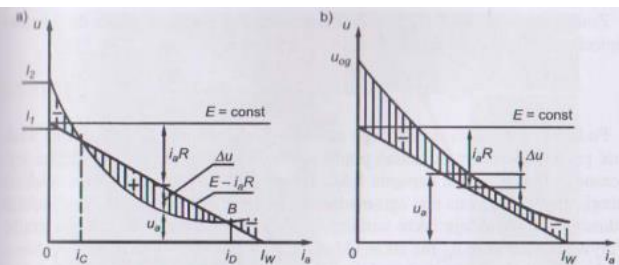
Nierówność (5.15) określa konieczny i wystarczający **warunek statyczny** wyłączania prądu stałego.

Wyłączenie obwodu prądu stałego jest możliwe ($i_a = \text{const}$), jeżeli charakterystyka statyczna łuku $u_{av} = f(i_a)$ posiada dla każdej wartości prądu i_a , wartości większe, niż charakterystyka zewnętrzna obwodu $E - Ri_a = f(i_a)$. Dzięki temu zostanie spełniona nierówność (5.14) oraz w obwodzie powstanie dodatnie napięcie redukujące w całym obwodzie.

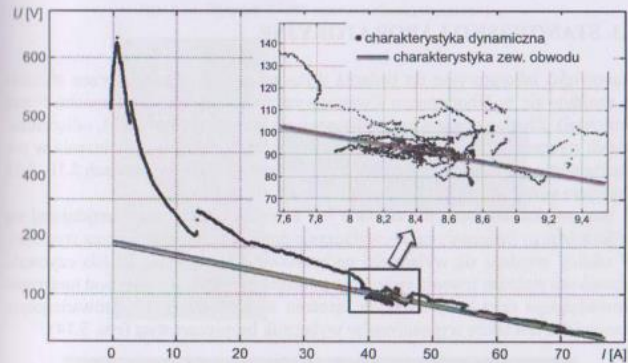
Może dojść do sytuacji, w której charakterystyka statyczna łuku ma przebieg jak na rys. 5.8a. Wówczas nie nastąpi wyłączenie. Założony warunek wyłączania byłby spełniony w przedziale $I_w - i_D$, w którym prąd łuku malełby z określoną prędkością decydującą o przebiegu charakterystyki dynamicznej w tym przedziale:

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{(E - Ri_a) - u_a}{L} \quad (5.16)$$

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 ($i_a = i_{a1}$):



Rys. 5.8. Ilustracja graficzna wyłączania prądu stałego



Rys. 5.9. Charakterystyka dynamiczna i zewnętrzna obwodu dla próby ze stanem równowagi statycznej

Moc łuku wyłączeniowego wyniesie w powyższym przypadku:

$$P_a(t) = u_a(t)i_a(t) = Ei_a(t) - Ri_a^2(t) - i_a(t)L \frac{di_a}{dt} \quad (5.18)$$

18. Warunek wyłączenia prądu DC



- prąd musi cały czas maleć

$$E = Ri + L \frac{di}{dt} + u_a$$

$$i = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

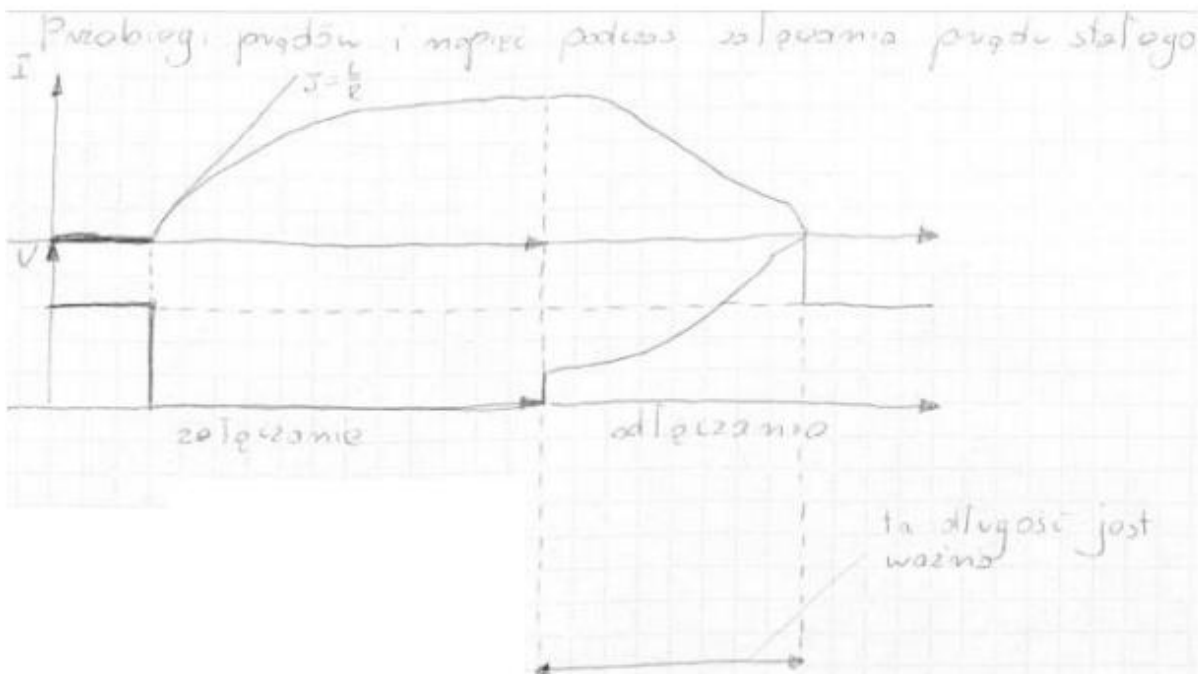
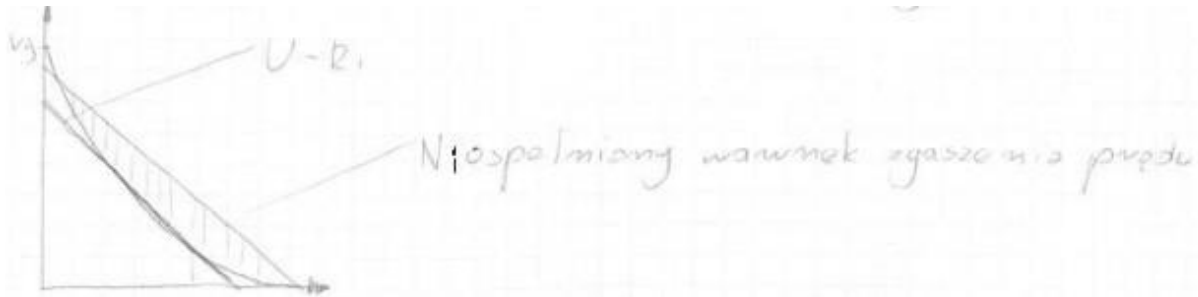
- aby prąd ciągle malał

$$\frac{di}{dt} < 0$$

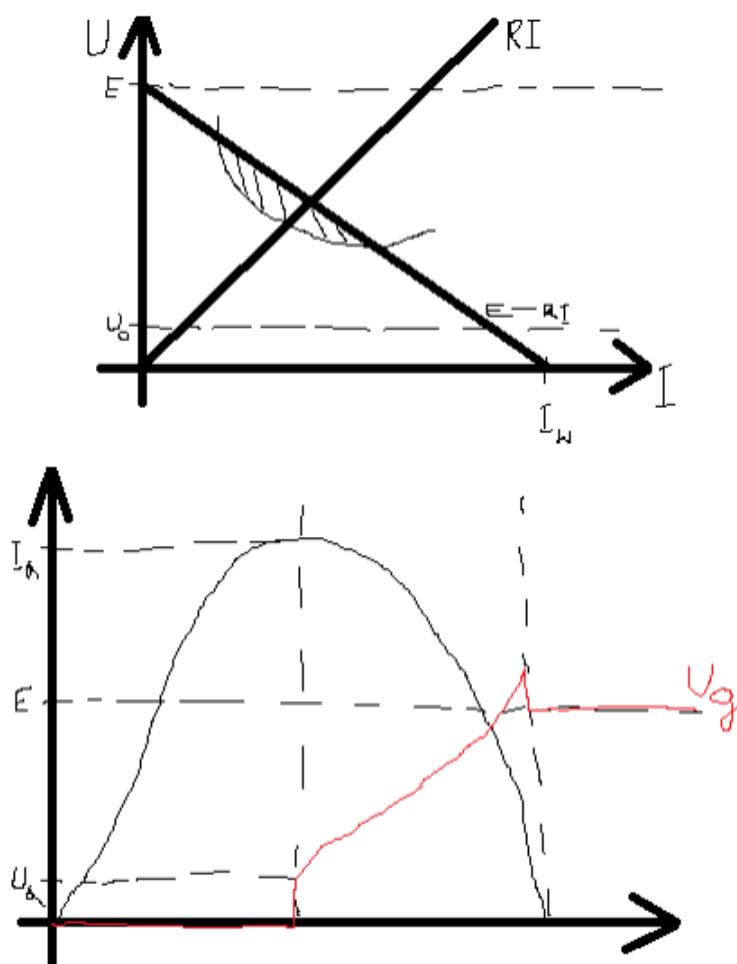
$$E - Ri - u_a = L \frac{di}{dt}$$

$$E - Ri - u_a < 0$$

$E - Ri < u_a$ warunek wyłączenia prądu DC



19. Charakterystyka dynamiczna łuku DC



9. Co to jest napięcie powrotne (rysunek)

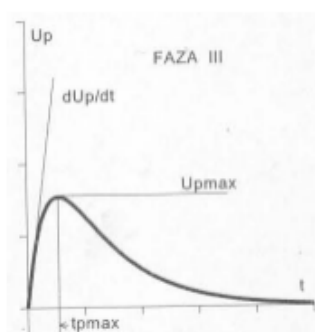
12. Napięcie powrotne

Napięcie wyższe od znamionowego, powstające na stykach rozwartego łącznika podczas przerywania prądu okresowo zmiennego. Przebieg tego napięcia jest sumą od napięcia źródła i przejściowych oscylacji generowanych przez reaktancje obwodu (generatory, transformatory, dławiki, itp.). Napięcie powrotne może ponownie zapalić łuk elektryczny – szybkość narastania napięcia powrotnego ma wpływ na ponowny zapłon, ograniczać je można poprzez podłączenie dodatkowej rezystancji. Napięcie powrotne można zdefiniować jako różnicę napięć: na zacisku bieguna łącznika od strony źródła prądu i na zacisku bieguna od strony zwarcia, bezpośrednio po zgaszeniu łuku. Składa się ze składowej wolno i szybkozmiennej.

U_{pmax} – maksymalna wartość napięcia powrotnego

t_{pmax} – czas osiągnięcia tego maksimum

dU_p/dt – początkowa szybkość narastania napięcia powrotnego



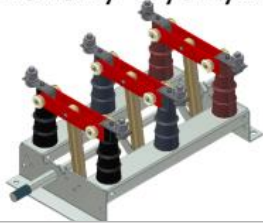
10. Opis budowy, zasady działania i właściwości poszczególnych aparatów elektrycznych (łączniki, przekładniki)

Aparatura rozdzielcza

ODŁĄCZNIK

Łącznik zdolny stworzyć bezpieczną przerwę izolacyjną w stanie otwarcia we wszystkich swoich biegunach.

1. Ilość biegunów
2. Napięcie znamionowe U_n
3. Prąd znamionowy ciągły I_{nc}
4. Prąd znamionowy szczytowy I_{sz}
5. Prąd znamionowy wytrzymywany (1s lub 3s)



Aparatura rozdzielcza

ROZŁĄCZNIK

Łącznik, którego znamionowy prąd wyłączalny nie przekracza umownie 10-krotnej wartości znamionowego prądu ciągłego.

1. Ilość biegunów
2. Napięcie znamionowe U_n
3. Prąd znamionowy ciągły I_{nc}
4. Prąd znamionowy szczytowy I_{sz}
5. Prąd znamionowy wytrzymywany (1s lub 3s)
6. Prąd załączania na zwarcie



Aparatura rozdzielcza



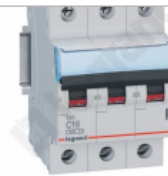
STYCZNIK

Łącznik mechaniczny 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.

1. Ilość biegunów
2. Znamionowe napięcie izolacji stycznika U_{ni}
3. Prąd znamionowy ciągły I_{nc}
4. Prąd znamionowy szczytowy I_{sz}
5. Prąd znamionowy wytrzymywany (1s lub 3s)
6. Kategoria użytkowania styczników
7. Czasy własne otwierania i zamykania, czas wyłączenia

Źródło: Maksymiuk J.: Aparaty elektryczne, katalogautomatyki.pl

Aparatura rozdzielcza



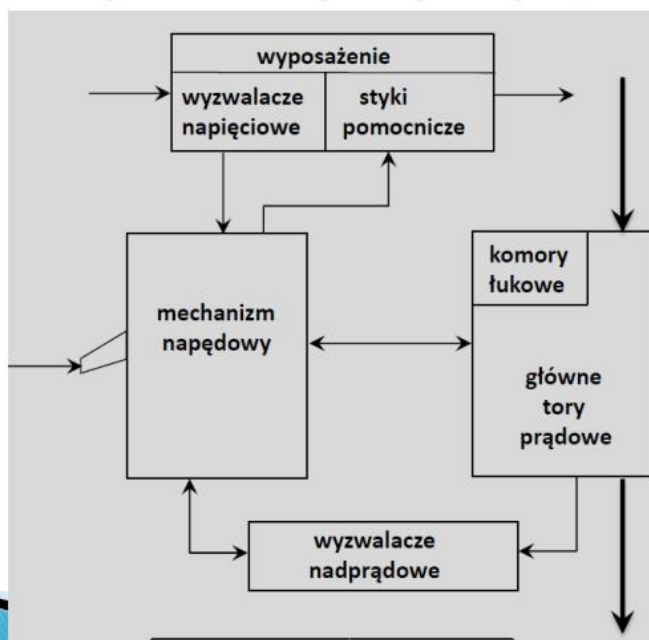
WYŁĄCZNIK

Łącznik zdolny do wyłączania i załączania określonych prądów roboczych i zakłóceńowych, długotrwałego przewodzenia określonych prądów roboczych oraz krótkotrwałego określonych prądów zakłóceńowych.

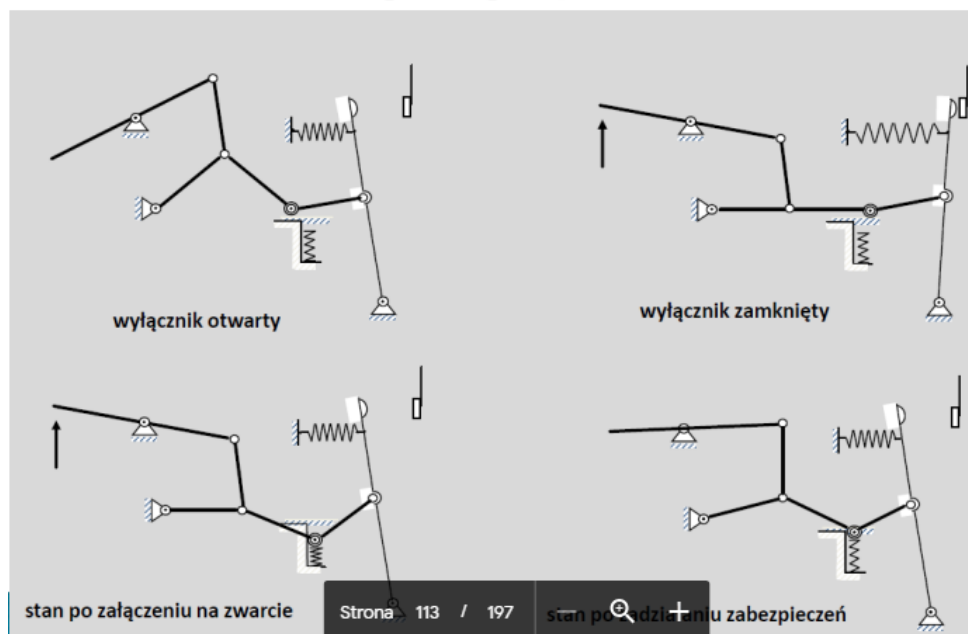
1. Napięcie znamionowe U_n
2. Charakterystyka
3. Znamionowa zwarciowa zdolność łączenia (dla nN: 6kA, 10kA, 16kA, 25kA, 50kA)
4. Napięcie znamionowe wytrzymywane
5. Liczba biegunów
6. Prąd znamionowy: 0,5, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, [A]...
7. Prąd znamionowy wyłączalny (SN)

Źródło: Maksymiuk J.: Aparaty elektryczne, elektro-hurt.pl

Główne podzespoły wyłącznika



Mechanizmy wyłącznika

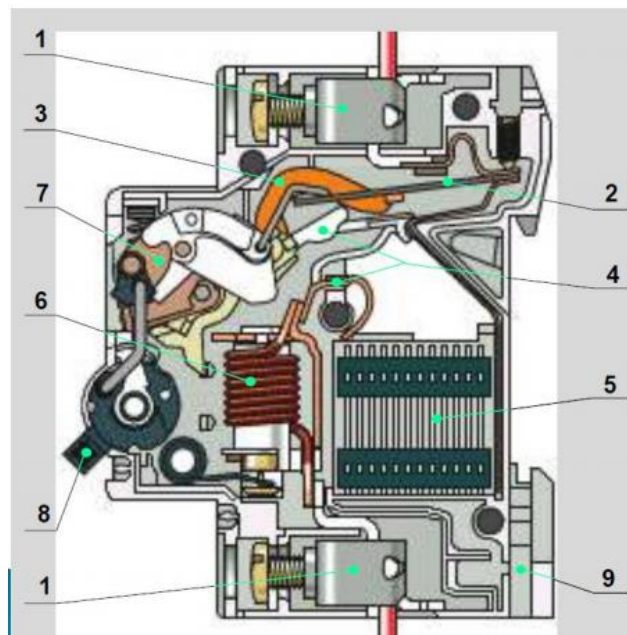


stan po załączeniu na zwarcie

Strona 113 / 197

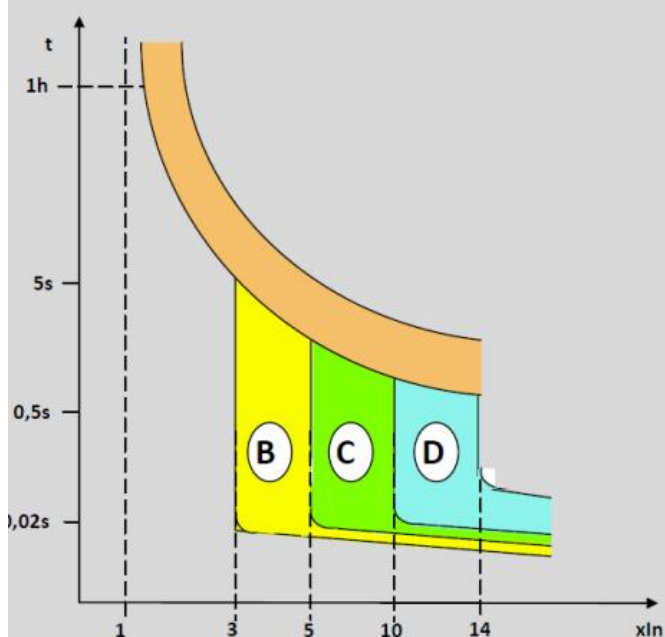
stan po odłączeniu zabezpieczeń

Wyłącznik instalacyjny



- 1 - zacisk przyłączeniowy
- 2 - wyzwalacz termiczny (bimetal)
- 3 - połączenie elastyczne
- 4 - styki główne
- 5 - komora gasząca
- 6 - wyzwalacz elektromagnetyczny
- 7 - mechanizm wyłącznika
- 8 - dźwignia napędowa
- 9 - zatrzask

Wyłącznik instalacyjny



wg PN-IEC-60898

- char. B I_m - 3 do 5 I_n
- char. C I_m - 5 do 10 I_n
- char. D I_m - 10 do 14 I_n

wg PN-EN-60947-2

- char. B I_m - 3,2 do 4,8 I_n
- ($I_m = 4 I_n \pm 20\%$),
- char. C I_m - 7 do 10 I_n
- ($I_m = 8,5 I_n \pm 20\%$),
- char. D I_m - 10 do 14 I_n
- ($I_m = 12 I_n \pm 20\%$),
- char. K I_m - 10 do 14 I_n
- ($I_m = 12 I_n \pm 20\%$),
- char. Z I_m - 2,4 do 3,6 I_n
- ($I_m = 3 I_n \pm 20\%$).

Wyłączniki próżniowe

ZALETY

- Są neutralne dla środowiska
- Szybko odzyskują dużą wytrzymałość napięciową po wyłączeniu prądu
- Wyłączają przy pierwszym przejściu prądu przez zero
- Mają dużą trwałość łączeniową, szczególnie w warunkach zwarciovych
- Krótki skok styków wpływa na stosunkowo małą energię napędu, gabaryty i wagę
- Medium gaszeniowe nie wymaga dodatkowych urządzeń do podtrzymania właściwości izolacyjnych i gaszeniowych.
- Mogą pracować w dowolnej pozycji

WADY

- zrywanie prądów
- występowanie zapłonów



Aparatura rozdzielcza

BEZPIECZNIK

Łącznik bez styku ruchomego, w którym człon łączeniowy zawiera element ulegający zniszczeniu pod działaniem prądu o określonej wartości.

1. Napięcie znamionowe U_n
2. Klasa bezpiecznika
3. Prąd znamionowy ciągły I_{nc}
4. Prąd znamionowy szczytowy I_{sz}
5. Prąd znamionowy wytrzymywany (1s lub 3s)
6. Typoszereg: 6, 10, 16, 20, 25, 32, 35, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 224, 250, 300, 315, 400, 630, ...



Aparatura rozdzielcza

BEZPIECZNIK

KLASA BEZPIECZNIKA – pierwsza litera

- g – Wkładka ogólnego zastosowania, której zdolność wyłączenia jest gwarantowana poczynając od prądu przetapiającego topik w ciągu 1 h, bo to jest sprawdzane w trakcie badań, do znamionowego prądu wyłączalnego. Niskonapięciowa wkładka g jest – praktycznie biorąc – wkładką o pełnozakresowej zdolności wyłączenia, zdolną wyłączyć każdy prąd przetapiający topik.
- a – Wkładka o niepełnozakresowej zdolności wyłączenia, tzn. wkładka, która wyłącza poprawnie prąd zawarty między najmniejszym prądem wyłączalnym a znamionowym prądem wyłączalnym I_{bn} ; nie gwarantuje po-prawnego wyłączenia małych prądów przeciążeniowych i w zasadzie powinien jej towarzyszyć w obwodzie aparat (samoczynny rozłącznik, wyłącznik) przejmujący to zadanie.

Aparatura rozdzielcza

BEZPIECZNIK

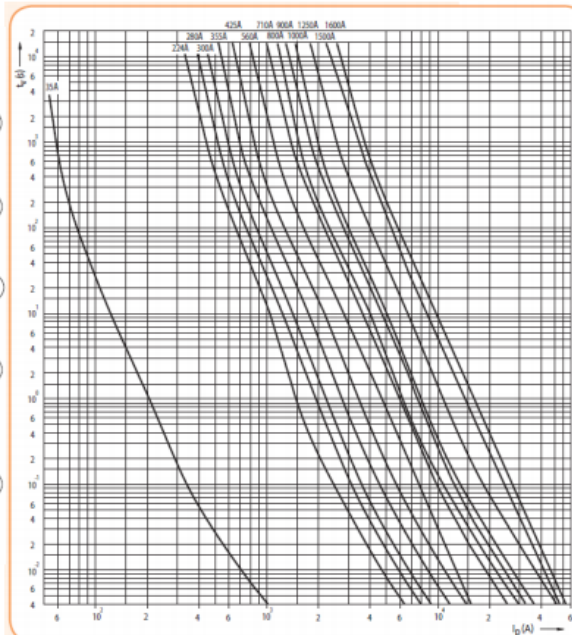
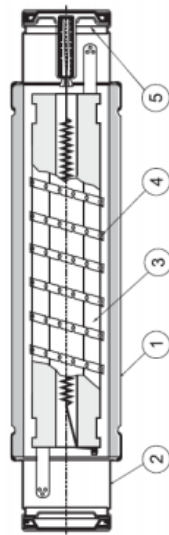
KLASA BEZPIECZNIKA – druga litera

- **G** – Wkładka ogólnego przeznaczenia, do zabezpieczania przewodów, o charakterystyce czasowo-prądowej odpowiadającej dawnym wkładkom zwłocznym.
- **F** – Wkładka o charakterystyce szybkiej, wycofana z normalizacji międzynarodowej IEC oraz europejskiej EN, traktowana jako wykonanie przejściowe. W Polsce wkładki o charakterystyce szybkiej są nadal produkowane w oparciu o dawną Polską Normę PN-87/E-93100/05 bądź zakładowe warunki techniczne.
- **M** – Wkładka do zabezpieczania silników i urządzeń rozdzielczych.
- **R** – Wkładka do zabezpieczania urządzeń półprzewodnikowych.
- **Tr** – Wkładka do zabezpieczania transformatorów.
- **B** – Wkładka do zabezpieczania urządzeń w podziemiach kopalń.
- **L** – Wkładka przeznaczona do ochrony przewodów i kabli.

Aparatura rozdzielcza

BEZPIECZNIK

- 1 – ceramiczny korpus,
- 2 – główki bezpiecznikowe,
- 3 – nośnik topika,
- 4 – topik,
- 5 – system wybijaka



Aparatura rozdzielcza

	BEZPIECZNIK	WYŁĄCZNIK
ZALETY	- niższe koszty inwestycyjne - krótkie czasy wyłączania zwarc, mniejsze energie zwarcia - łatwość stworzenia widocznej przerwy izolacyjnej	- niższe koszty eksploatacyjne - krótsze czasy wyłączania przeciążeń - większa pewność właściwego poziomu zabezpieczeń - krótsze czasy braku zasilania - mniejsze straty mocy
WADY	- brak możliwości zabezpieczenia obwodu neutralnego - możliwość zmiany poziomu zabezpieczenia przez osoby nieświadome lub nieodpowiedzialne - przy bezpiecznikach gwintowych możliwość niedokręcenia - większe wymiary	- dodatkowe koszty przy konieczności stworzenia widocznej przerwy izolacyjnej - konieczna przestrzeń dla wylotu gazów

Zestykowa a energoelektroniczna realizacja funkcji łączeniowych

Stosowanie elementów i podzespołów elektronicznych/ półprzewodnikowych służących realizacji funkcji:

- Sterowniczych
- Sygnalizacyjnych
- Diagnostycznych
- Zabezpieczeniowych

Nie tylko w urządzeniach niskiego napięcia realizuje się obecnie funkcje łączeniowe – również w obwodach głównych – z zastosowaniem różnorodnych półprzewodnikowych elementów energoelektronicznych, w tym .m.in.:

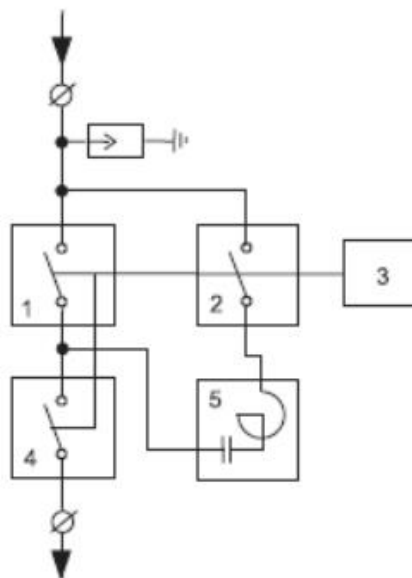
- **Tyrystory** zwykłe oraz tyrystory wyłączane prądem bramki (GTO – ang. *Gate Turn-off Thyristors*) oraz tyrystory tzw. elektrostatyczne (SITh – ang. *Static Induction Thyristors*)
 - Diody
 - Tranzystory bipolarne i polowe.
-

Zestykowa a energoelektroniczna realizacja funkcji łączeniowych

Półprzewodnikowe elementy energoelektroniczne oprócz atrakcyjnych możliwości łączenia bezłukowego – przy względnie wysokich częstotliwościach łączeń, posiadają również istotne wady z punktu widzenia możliwości ich zastosowań jako łączników. Są to:

- Brak przerwy galwanicznej w stanie blokowania (braku przewodzenia) takiego elementu;
- Stosunkowo wysoka wartość rezystancji międzyczaciskowej (struktury takiego elementu) w stanie przewodzenia. W porównaniu z rezystancją zestykową połączeń elementów (styków) metalowych rezystancja ta jest o rzędy wielkości ($10^2 - 10^4$) razy większa, co odpowiednio podnosi poziom strat cieplnych i wynikające stąd konieczne nakłady na środki służące rozpraszaniu tego ciepła
- Nie można przekraczać stosunkowo ściśle określonych granic dopuszczalnych wartości prądu i napięcia, stromości zmian tych wielkości oraz zdolności przejmowania energii. Ta szczególna wrażliwość struktur półprzewodnikowych wymaga niezbędnego stosowania rozbudowanych środków ochrony
 - przed przepięciami oraz przeciwdziałających zbyt szybkim przyrostom w czasie napięcia w postaci iskierników (ochronników) gazowanych, warystorów, diod Zenera, dwójników RC...
 - przed przetężeniami, zwarciami oraz zbyt szybkim przyrastaniem prądu – w postaci szybko działających łączników (bezpieczników) oraz dławików;
 - przed przeciążeniem energetycznym – przede wszystkim w postaci szybko działających łączników – wyłączających lub bocznikujących przepływ prądu zakłóceniewego.

Łączniki hybrydowe



- 1) komora wyłączająca i załączająca prąd główny (próżniowa),
- 2) załącznik przeciwprądu,
- 3) układy napędowe,
- 4) odcinacz obwodu głównego,
- 5) generator przeciwprądu.

Przekładniki:

- Prądowe
- Napięciowe
- Kombinowane
- Indukcyjne (konwencjonalne)
- Optoelektroniczne i elektroniczne

Przekładnik jest to urządzenie energetyczne stosowane w celu zasilania urządzeń pomiarowych lub zabezpieczeniowych

- Montowany jest bezpośrednio na torze prądowym (linia lub szyna)
- Cechą charakterystyczną przekładników jest duża dokładność
- Zapewniają bezpieczną obsługę przyrządów pomiarowych dzięki odizolowaniu obwodów wtórnych od obwodów wysokiego napięcia lub dużego prądu

Przekładnik prądowy: Przekładnik, w którym prąd wtórny, w normalnych warunkach pracy, jest praktycznie proporcjonalny do prądu pierwotnego, a jego faza różni się od fazy prądu pierwotnego o kąt, który jest bliski zeru w przypadku odpowiedniego połączenia.

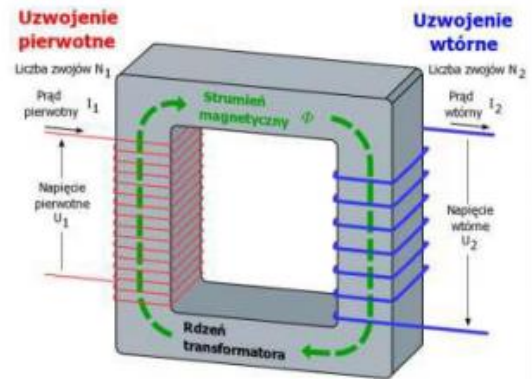
Przekładniki

Przekładnik – przetwornik przeznaczony do zasilania przyrządów pomiarowych, mierników, przekaźników i innych podobnych obwodów.

Prądowy

Transformator jednofazowy małej mocy pracujący w stanie zbliżonym do zwarcia. Uzwojenie wtórne zwykle zwarte jest przez przyrząd pomiarowy.

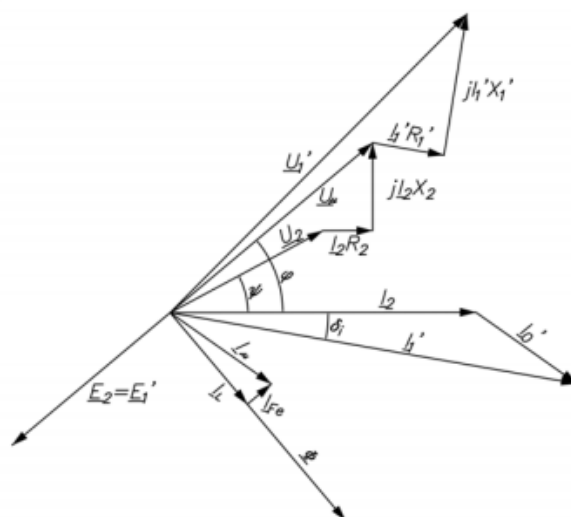
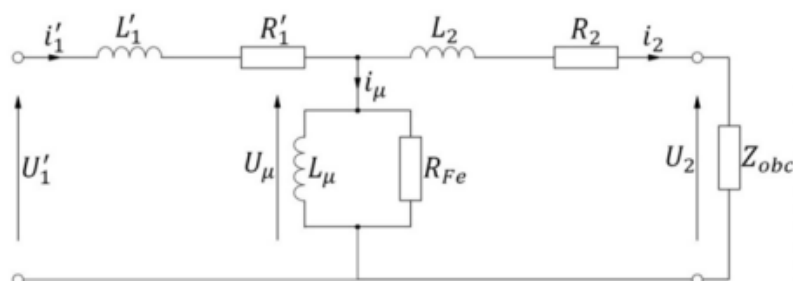
- ▶ znamionowy prąd wtórny: 5 A lub 1 A
- ▶ moc znamionowa: np. 15 VA; 30 VA; 90 VA
- ▶ klasa dokładności: 0,2; 0,5 dla pomiarowych, 5; 10P do zabezpieczeń



Źródło: www.wikipedia.pl

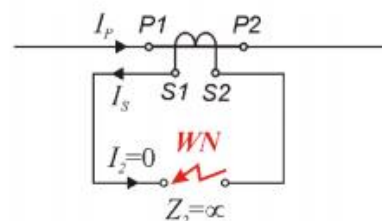
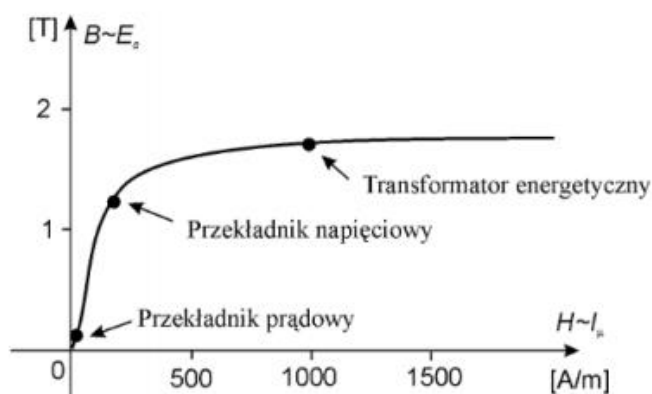
Przekładniki prądowe

Transformator jednofazowy małej mocy pracujący w stanie zbliżonym do zwarcia.



Przekładniki prądowe – dobór do celów pomiarowych

Zabezpieczenie strony wtórnej przekładnika prądowego



W przypadku rozwarcia obwodu wtórnego wtórny przepływ prądu zanika a rdzeń szybko się nasycy. Powoduje to ogromne nagrzewanie się rdzenia oraz dodatkowo powstanie niebezpiecznego napięcia na zaciskach uzwojenia wtórnego. Może to doprowadzić do uszkodzenia izolacji przewodów oraz ogólnie zniszczenia przekładnika.

Napięciowy

Przekładnik napięciowy: transformator jednofazowy małej mocy pracujący w stanie jałowym. Przeznaczony do zasilania przyrządów pomiarowych oraz obwodów zabezpieczeniowych urządzeń elektroenergetycznych o napięciu znamionowym od 7,2 do 52 kV i częstotliwości 50 - 60 Hz przystosowane są najczęściej do pracy w urządzeniach wewnętrznych w warunkach klimatu umiarkowanego i tropikalnego, choć możemy spotkać rozwiązania napowietrzne. Transformator jednofazowy, pracujący w stanie jałowym.

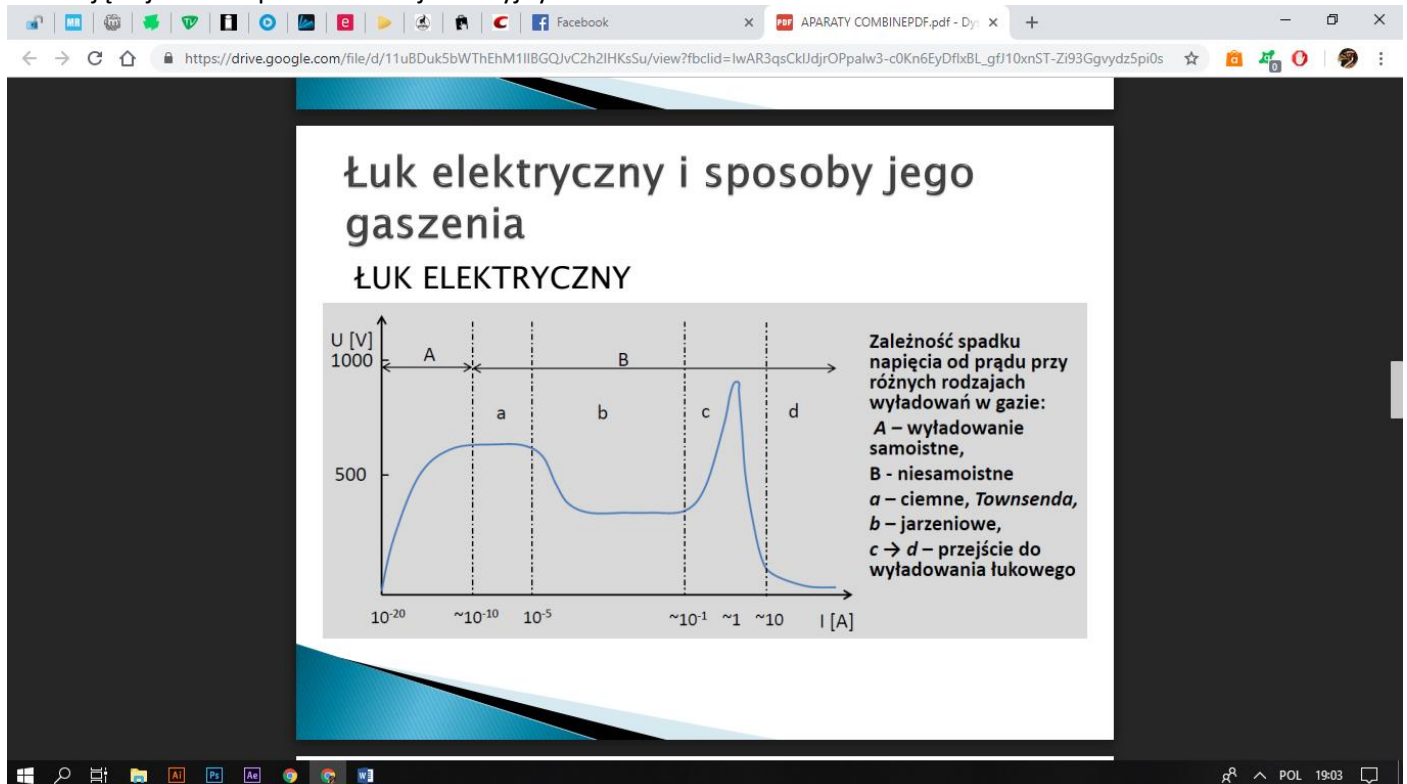
- napięcia wtórne wynosi: $100/\sqrt{3}$ V dla układów 3-fazowych
- 100V dla układów 1-fazowych

11. Co to jest łuk elektryczny.

Łuk elektryczny - zjawisko przepływu prądu elektrycznego między otwartymi zestykami łącznika w powietrzu lub gazie wskutek jonizacji zderzeniowej cząsteczek gazu, wywołanej termoelektronami przyspieszonymi przez pole elektryczne. Towarzyszy mu silne białe światło i wysoka temperatura (ponad 3000°C).

Podczas wyładowania elektrycznego zachodzą procesy prowadzące do emisji promieniowania elektromagnetycznego przez cząsteczki gazu — często w zakresie widzialnym (wzbudzenie cząsteczek, a następnie powrót do niższych stanów energetycznych, jonizacja i w konsekwencji rekombinacja jonów i elektronów).

Procesy jonizacyjne, które występują niezależnie od innych procesów jonizacyjnych nazywa się procesami pierwotnymi. Natomiast te, które dokonują się tylko pod warunkiem występowania innych procesów jonizacyjnych nazywa się procesami wtórnymi. Duży wpływ na zjawisko wyładowań w gazie mają czynniki jonizacyjne, jak i czynniki osłabiające je zwane procesami dejonizacyjnymi.



12. Metody gaszenia łuku prądu przemiennego

Gaszenie łuku AC

Przed przejściem prądu przez „0” należy intensywnie odbierać ciepło z kanału łukowego, a po przejściu przez „0” (wyłączenie) należy zapewnić jak najlepszą możliwość dejonizacji przestrzeni międzystykowej.

Miarą skuteczności chłodzenia kanału łukowego może być przewodność kanału w chwili zera prądu. Jest ona tym mniejsza im:

- Większy odbiór mocy z kanału łukowego
- Mniejsza wartość stałej czasowej łuku
- Mniejszy prąd wyłączeniowy
- Dłuższy kanał łukowy
- Zwiększanie gradientu napięcia łuku (intensyfikacja konwekcji, topiki, gazy o dużej przewodności)

- Zmniejszanie stałej czasowej cieplnej kanału (zmniejszanie średnicy i zwiększanie dyfuzji)
- Powiększanie wytrzymałości elektrycznej (ciśnienie, SF6, próżnia)
- Wydłużanie łuku (pole magnetyczne, ciśnieniowe, konwekcja itd..)

Metody gaszenia:

- Oparte na stosowaniu materiałów stałych
- Oparte na stosowaniu cieczy
- Gazowe (powietrze, SF6)
- Próżniowe

Z uwagi na środowisko:

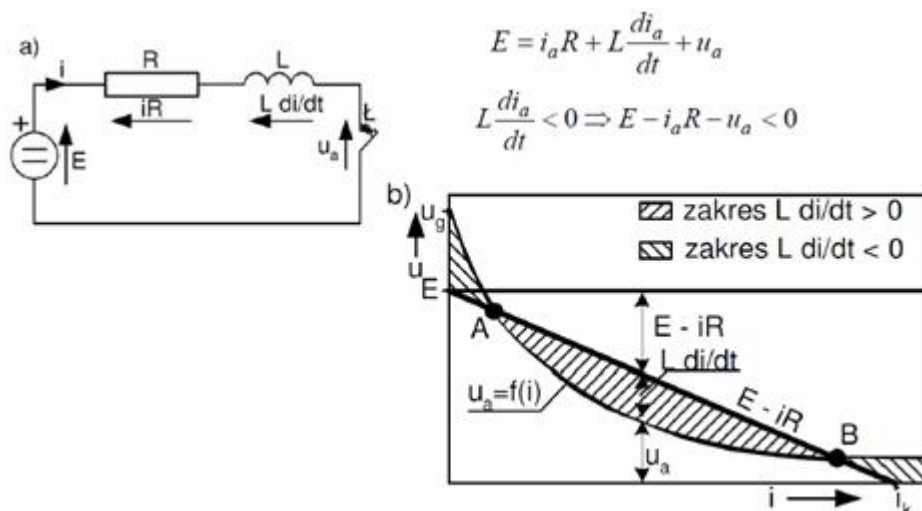
- Wodorowe
- Azotowe
- SF6
- W próżni

13. Metody wyłączania prądu stałego.

W praktycznie wszystkich przypadkach wyłączania prądu stałego pali się łuk elektryczny. Z uwagi na to że prąd stały nie przechodzi naturalnie przez 0 należy wymusić zbliżenie się go do 0 co robi się poprzez:

- zwiększenie rezystancji łuku jako przez jego wydłużenie lub intensywne odbieranie ciepła,
- wydłużanie łuku i intensywne odbieranie ciepła,
- wywołanie oscylacji w układzie drgającym LC obciążenia i reaktancji bocznikującej styki łącznika
- wstrzykiwanie impulsu przeciwnego.

Warunek wyłączenia się prądu stałego przy otwarciu łącznika (odbiór RL)



Warunkiem jest napięcie $E - iR$ wyższe od napięcia łuku u_a

14. Porównaj łącznik stykowy i półprzewodnikowy DC

łącznik stykowy	łącznik półprzewodnikowy
mechaniczne załączanie i rozłączanie - pojawienie się łuku, ryzyko szczytowania zestyków (zespawania)	załączenie realizowane przez zwiększanie przewodności łącznika półprzewodnikowego
złożoność mechaniczna zwiększa zawodność działania	niezawodność łatwiejsza do osiągnięcia
niższa trwałość łączeniowa - wyniszczanie aparatu na skutek obecności łuku	wyższa (praktycznie nieograniczona) trwałość łączeniowa - elektroniczna budowa
znikoma rezystancja międzyczaciskowa	wysoka rezystancja przy przewodzeniu - większe straty cieplne
przerwa galwaniczna przy otwarciu	brak przerwy
	duża wrażliwość na zjawiska występujące przy procesach łączeniowych - złożone środki ochrony

15. Co to jest koordynacja izolacji i w jaki sposób się ją zapewnia

Całokształt przedsięwzięć technicznych służących temu, aby wywołane przebiegami (piorunowymi, łączeniowymi) przeskokami na izolacji lub jej przebiciami – gdy jest ona prawidłowo zwymiarowana – wystąpiły w przerwach do tego przeznaczonych (iskierniki ochronne, ograniczniki przepięć) lub w miejscach, gdzie nie spowodują uszkodzeń ani zakłóceń ruchowych.

W tym celu stosuje się stopniowanie wytrzymałości elektrycznej odpowiednich układów izolacyjnych oraz ogranicza przebiegi do określonego poziomu przez wykorzystanie ograniczników przepięć.

Przy napięciach znamionowych < 300 kV realizuje się koordynację izolacji ze względu na narażenia jej na przebiegi piorunowe, bez uwzględnienia przepięć łączeniowych. Te ostatnie uwzględnia się przy napięciach najwyższych roboczych > 300 kV