

Czas łukowy wyłącznika wynosi $t_a = T t_{aN} = 20 \cdot 2,5$
ms = 50 ms.

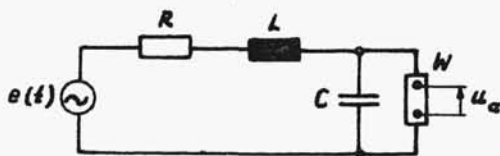
Przykład 2.8

Wyznaczyć czas łukowy wyłącznika prądu stałego wyłączającego obwód o parametrach $E = 3000$ V, $R = 0,6 \Omega$, $L = 15$ mH, jeżeli wyłączanie prądu rozpoczęło się od wartości $i_a = 0,8 I_w$, a charakterystyka dynamiczna łuku ma kształt linii prostej osiagającej w punkcie $i_a = 0$ $u_{ag} = 2,5 E$, a dla $i_a = 0,8 I_w$ $u_a = 200$ V.

2.3. Wyłączanie prądu zmiennego

2.3.1. Warunki wyłączania prądu zmiennego

Analizę zjawisk występujących podczas wyłączania prądu zmiennego rozpatrzmy na przykładzie jednofazowego obwodu zastępczego przedstawionego na rys.2.10. W obwodzie prądu zmiennego

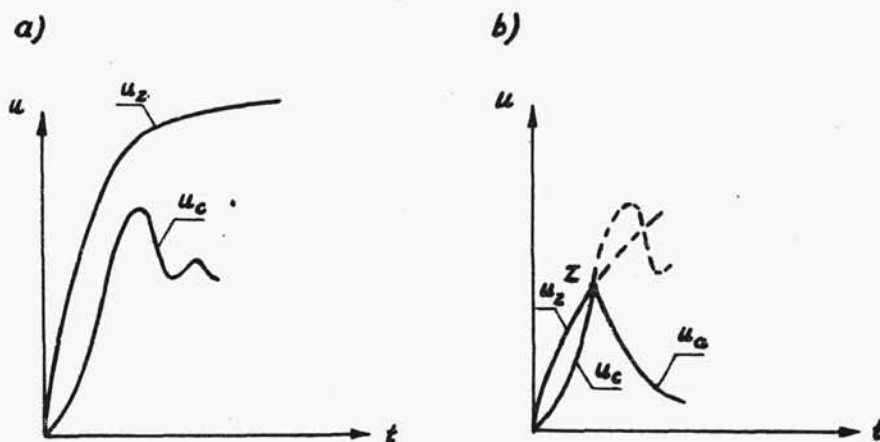


Rys.2.10. Schemat zastępczy wyłączanego jednofazowego obwodu prądu zmiennego: $e(t)$ - napięcie źródła o przebiegu sinusoidalnym; L , R , C - parametry zastępcze wyłączanego obwodu, W - wyłącznik obwodu

ogólny warunek wyłączania sformułowany jako konieczność sprowadzenia prądu do wartości zero jest realizowany bez udziału wyłącznika przez okresową zmienną SEM źródła, która wymusza przejście składowej okresowej prądu w obwodzie przez wartość zerową dwa razy w ciągu okresu. Speł-

nienie warunku osiągnięcia przez prąd wartości zero nie jest jednakże warunkiem wystarczającym do wyłączenia obwodu. Szybkość zmian prądu w pobliżu przejścia przez zero jest - szczególnie dla prądów zwarciovych - tak duża, że zmiany temperatury oraz koncentracji ładunków wskutek histerezy kanału łukowego nie nadążają za zmianami prądu. Wobec tego kanał po-
łukowy posiada z chwilą zgaśnięcia łuku (tj. osiągnięcia wartości zerowej prądu łuku) określoną przewodność elektryczną, co stwarza możliwość ponownego zapłonu wyładowania łukowego. Z chwilą zgaśnięcia łuku napięcie źródła zaczyna przeładowy-

wać pojemność C obwodu zastępczego (rys.2.10), zwartą przez łuk wyłącznika W do momentu gaśnięcia łuku. Powoduje to powstanie między zaciskami wyłącznika W (jak również pojemności C) przejściowego przebiegu napięcia, nazywanego ogólnie napięciem powrotnym. Napięcie to, o ile wytrzymałość kanału połukowego nie będzie dostatecznie duża może spowodować ponowny zapłon łuku. Aby zapewnić wyłączenie obwodu należy zatem w wyłączniku stworzyć takie warunki, aby napięcie zapłonowe będące miarą wytrzymałości kanału połukowego wzrastało szybciej niż napięcie powrotne. Ilustruje to rys.2.11. Na rys.2.11a przedstawiono przypadek dostatecznie szybkiego wzrostu wytrzymałości przerwy zapewniający definitywne wyłączenie obwodu,

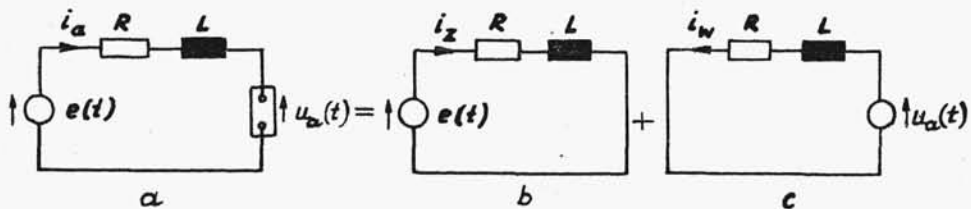


Rys.2.11. Przebiegi napięcia zapłonu kanału połukowego (wytrzymałości powrotnej) oraz napięcia powrotnego przy wyłączaniu prądu zmiennego: a - bez zapłonu powrotnego, b - z zapłonem powrotnym. u_z - napięcie zapłonu, u_p - napięcie powrotne, u_a - napięcie łuku, Z - punkt zapłonu powrotnego

podczas gdy dla przypadku wg 2.11b napięcie powrotne spowodowało przebicie kanału połukowego i zapłon wyładowania łukowego. Wzrost wytrzymałości przerwy połukowej w wyłączniku osiąga się na drodze dostatecznie intensywnego odprowadzania mocy (chłodzenia) z kanału połukowego. Z punktu widzenia odprowadzania mocy z kanału połukowego najcięższe warunki będą występowały podczas wyłączania prądów zwarcia, gdyż energia nagromadzona w kanale łukowym będzie w tych przypadkach największa.

Porównując warunki wyłącznika prądu stałego i zmiennego można stwierdzić, że w drugim przypadku nie występuje konieczność podwyższania napięcia łuku, jak to miało miejsce podczas wyłączania prądu stałego. W związku z tym w wielu konstrukcjach wyłączników prądu zmiennego wysokiego napięcia (wyłączniki cieczerwowe, pneumatyczne) podczas wyłączania zarówno prądów roboczych jak i zwarciovych, napięcie łuku utrzymywane jest na możliwie niskim poziomie wynoszącym zaledwie kilka procent napięcia znamionowego. Małe wartości napięcia łuku nie powodują odkształceń przebiegu prądu, w związku z czym zgaśnięcie łuku występuje praktycznie przy naturalnym przejściu prądu przez zero. Istnieją jednakże rozwiązania łączników (wyłączniki magnetyczne, bezpieczniki), w których wyłączenie odbywa się przy wysokim napięciu łuku przekraczającym niekiedy napięcie znamionowe. W tym przypadku obserwuje się już znaczny wpływ napięcia łuku na przebieg prądu, który ulega odkształceniu od przebiegu wymuszonego przez źródło, a jednocześnie chwila przejścia prądu przez zero ulega przesunięciu w stosunku do przejścia naturalnego.

Wpływ napięcia łuku na przebieg prądu można wyznaczyć stosując metodę superpozycji. Przedstawiony na rys.2.12 obwód można przedstawić w postaci sumy dwóch obwodów z których pierwszy jest obwodem zawierającym jedynie SEM źródła napięcia,



Rys.2.12. Przekształcenie obwodu w celu wyznaczenia prądu wstępnego (wykorzystując zasadę zastępowania spadków napięć przez źródła napięcia oraz metodę superpozycji)

czyli obwodem zwarciovym, a w drugim jako źródło napięcia występuje jedynie napięcie łuku.

Dla tak przekształconego obwodu można napisać równanie na chwilową wartość prądu łuku

$$i_a = i_z + i_w, \quad (2.7)$$

gdzie i_a - rzeczywisty prąd łuku płynący w obwodzie z rys. 2.12a,

i_z - prąd wymuszony przez SEM źródła napięcia tzn. prąd, jaki płynąłby w obwodzie, gdyby $u_a = 0$ (prąd zwarciový) z rys. 2.12b,

i_w - umyślony prąd płynący pod wpływem napięcia łuku, czyli tzw. prąd wsteczny z rys. 2.12c.

Dla sinusoidalnie zmiennego prądu zwarciového równanie 2.7 przyjmie postać

$$i_a = I_m \sin(\omega t - \theta) - \omega I_m \int_0^t \frac{u_a}{E_m} dt, \quad (2.8)$$

przy czym składowa prądu wstecznego

$$i_w = -\omega I_m \int_0^t \frac{u_a}{E_m} dt, \quad (2.9)$$

gdzie θ - faza prądu wolnego utraty styczności styków wyłącznika,

t - czas liczony od chwili utraty styczności styków wyłącznika.

W przypadkach kiedy prąd zwarciový posiada również składową nieokresową, wówczas od chwili utraty styczności styków wyłącznika w gałęzi wyłącznika występują trzy składowe prądu:

- a) składowa okresowa prądu zwarciového,
- b) składowa nieokresowa prądu zwarciového,
- c) składowa prądu wstecznego.

Wzór 2.8 pozwala określić rzeczywisty przebieg prądu na podstawie znajomości napięcia łuku i parametry wyłączanego obwodu. Ilustruje to następujący przykład.

Przykład 2.9

Wykreślić przebieg prądu łuku podczas wyłączania zwarcia w jednofazowym obwodzie prądu zmiennego o następujących parametrach: $U_n \approx 6$ kV, $X = 4,35 \Omega$, jeżeli faza prądu w chwili utraty styczności styków (odniesiona do przejścia prądu przez zero) wynosiła $\theta = 30^\circ$, a przebieg napięcia łuku daje się

do naturalnego przejścia prądu przez zero przebiegu wymuszonego jedynie przez SEM źródła.

Przykład 2.10

Wykreślić przebieg prądu łuku przy wyłączaniu zwartego obwodu jednofazowego prądu zmiennego o parametrach $U_n = 10$ kV, $L = 20$ mH, jeżeli faza prądu w chwili utraty styczności styków w wyłączniku wynosiła $\theta = 45^\circ$, a przebieg napięcia łuku daje się wyrazić równaniem $u_a = 2 \cdot 10^7 \frac{V}{s^2} t^2$. Należy przyjąć, że wyłączanie następuje przy pierwszym przejściu prądu przez zero.

2.3.2. Napięcia powrotne

Przebieg napięcia powrotnego występującego na stykach wyłącznika przerywającego obwód prądu zmiennego zawiera zazwyczaj dwie składowe^{x)}:

- a) składową główną tj. wymuszoną przez źródło napięcia,
- b) składową przejściową (swobodną).

Składowa główna napięcia powrotnego zmienia się z częstotliwością źródła, a jej wartość początkowa (wyznaczona dla chwili zgaszenia łuku przy naturalnym przejściu prądu przez zero) wyraża się wzorem

$$U_{co} = k_z E_m \sin \varphi, \quad (2.10)$$

gdzie E_m - maksymalna wartość napięcia źródła,

k_z - współczynnik zależny od rodzaju zwarcia,

φ - kąt przesunięcia między prądem a napięciem.

Dla obwodu jednofazowego $k_z^I = 1,0$ dla obwodu trójfazowego przy zwarcu trójfazowym współczynnik ten ma inną wartość dla poszczególnych wyłączanych faz. W obwodzie trójfazowym, prądy

^{x)} Jest to tzw. napięcie powrotne konwencjonalne niezmodyfikowane tzn. występujące w obwodzie, w którym prąd zawiera jedynie niezanikającą składową okresową prądu zwarciovego, a wpływ wyłącznika na przebieg napięcia powrotnego jest pomijalny (wyłącznik α o napięciu łuku $u_a = 0$, a tym samym o prądzie wstecznym $i_w = 0$)