

URZĄDZENIA ELEKTRYCZNE – LABORATORIUM

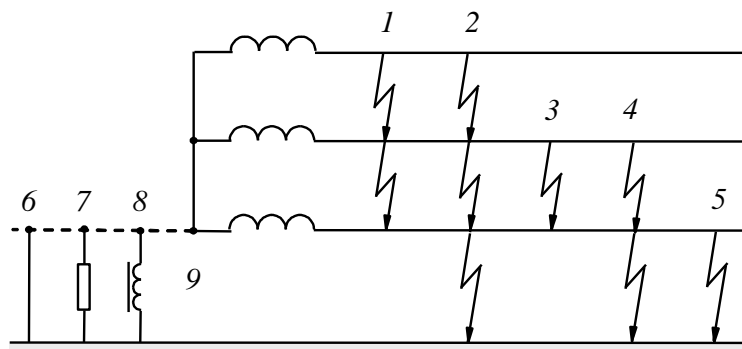
Ćwiczenie 7.

Zwarcia w sieciach niskiego napięcia - wiadomości podstawowe

Zwarcie jest to (przypadkowe lub celowe) połączenie bezpośrednie lub przez łuk elektryczny, między dwoma lub więcej niż dwoma punktami obwodu elektrycznego, które w normalnych warunkach mają różne napięcia. Zwarcie może obejmować wszystkie fazy (tory prądowe) układu elektroenergetycznego lub tylko niektóre z nich (Rys. 1). Zwarcie może być z udziałem ziemi lub bez. Znaczenie tego udziału zależy od sposobu połączenia punktu neutralnego sieci z ziemią.

Rozróżnia się następujące rodzaje zwarć:

- trójfazowe,
- trójfazowe doziemne,
- dwufazowe,
- dwufazowe doziemne,
- jednofazowe.



Rys. 1. Rodzaje zwarć: 1 - trójfazowe, 2 - trójfazowe doziemne, 3 - dwufazowe, 4 - dwufazowe doziemne, 5 - jednofazowe; w sieci z punktem neutralnym: skutecznie uziemionym (6), uziemionym przez opornik (7) lub dławik (8), izolowanym (9)

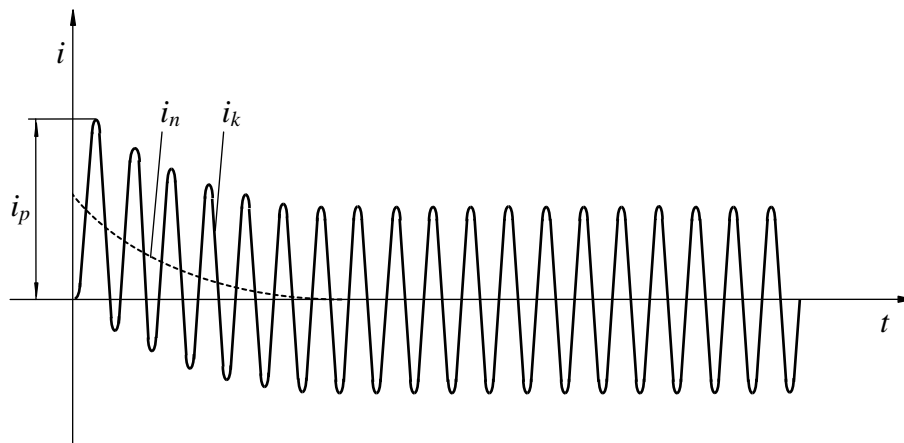
Zwarcia mogą być spowodowane: przepięciami atmosferycznymi i łączeniowymi, uszkodzeniami elementów konstrukcyjnych i izolacyjnych linii napowietrznych i kablowych, zetknięciem przewodów z obiektami przewodzącymi, błędnymi operacjami w stacjach elektroenergetycznych itp.

Płynący w obwodzie prąd zwarciový jest zwykle wielokrotnie większy od prądu występującego w czasie normalnej pracy urządzeń sieciowych. Nie dotyczy to przypadków zwarć jednofazowych w sieciach z punktem neutralnym izolowanym lub uziemionym przez dławik.

Prądy zwarciový, mimo krótkiego czasu przepływu, powodują gwałtowne nagrzewanie przewodów, kabli, uzwojeń maszyn i transformatorów, a także elementów wiodących prąd w urządzeniach stacyjnych. Stwarza to zagrożenie uszkodzenia wszystkich tych elementów i urządzeń. Siły dynamiczne powstające w sąsiadujących przewodach mogą powodować: uszkodzenia izolatorów, wyginanie i łamanie przewodów szynowych sztywnych, uszkodzenia uzwojeń transformatorów i przekładników prądowych.

Zgodnie z normą PN-EN 60909-0:2002 (U) *Prądy zwarciove w sieciach trójfazowych prądu przemiennego. Część 0: Obliczanie prądów*, rozróżnia się:

- sieci, w których składowa przemienna prądu zwarciovego ma stałą amplitudę (zwarcia odległe od generatorów), Rys. 2;
- sieci, w których składowa przemienna prądu zwarciovego ma malejącą amplitudę (zwarcia w pobliżu generatorów). Są to sieci, w których udział maszyny synchronicznej w prądzie zwarciowym początkowym I_k'' przekracza dwukrotnie jej prąd znamionowy lub, w których udział prądu silników synchronicznych i asynchronicznych w prądzie zwarciowym początkowym I_k'' przekracza 5 % jego wartości wyznaczonej bez silników.



Rys. 2. Przebieg prądu zwarciovego przy zwarciu odległym od generatora; i_k – składowa okresowa, i_n – składowa nieokresowa, i_p – prąd udarowy

Do pierwszej grupy można zaliczyć zdecydowaną większość sieci rozdzielczych zasilanych z sieci przesyłowych wysokich i najwyższych napięć. Drugą grupę tworzą sieci rozdzielcze zakładów przemysłowych, zasilane przez własne elektrownie, a także te, do których przyłączona jest duża liczba silników asynchronicznych i synchronicznych.

Oblicza się dwa prądy zwarciove:

- prąd zwarciovy maksymalny, dla doboru urządzeń elektrycznych;
- prąd zwarciovy minimalny, dla doboru bezpieczników i nastaw zabezpieczeń oraz dla sprawdzenia warunków rozruchu silników.

Przy obliczeniach prądów zwarciowych stosuje się następujące uproszczenia:

- liczba obwodów objętych zwarcie nie ulega zmianie podczas jego trwania, tzn. w całym rozpatrywanym przedziale czasu występuje ten sam rodzaj zwarcia;
- transformatory pracują przy swoich przekładniach znamionowych, tzn. przełączniki regulatorów przekładni transformatorów znajdują się w położeniu podstawowym;
- przyjmuje się zerową rezystancję łuku w miejscu zwarcia.

Definicje prądu zwarciovego i jego pochodnych:

Prąd zwarciovy - przetężenie spowodowane zwarcie wywołanym uszkodzeniem lub błędnym połączeniem w obwodzie elektrycznym.

Prąd zwarciovy obliczeniowy - prąd, który płynąłby, gdyby zwarcie zostało zastąpione połączeniem idealnym o pomijalnej impedancji, bez zmiany zasilania.

Prąd zwarciovy okresowy - wartość skuteczna składowej okresowej prądu zwarciovego obliczeniowego.

Prąd zwarciovy początkowy I_k'' - wartość skuteczna składowej okresowej prądu zwarciovego obliczeniowego w chwili powstania zwarcia:

$$I_k'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}|Z_k|}$$

Moc zwarcia obliczeniowa S_k'' - wartość iloczynu trzech składników: prądu zwarciaowego początkowego I_k'' , napięcia znamionowego sieci U_n i współczynnika $\sqrt{3}$:

$$S_k'' = \sqrt{3}I_k''U_n$$

Prąd zwarciaowy nieokresowy - wartość średnia między obwiednią górną i dolną prądu zwarciaowego, malejąca od wartości początkowej do zera.

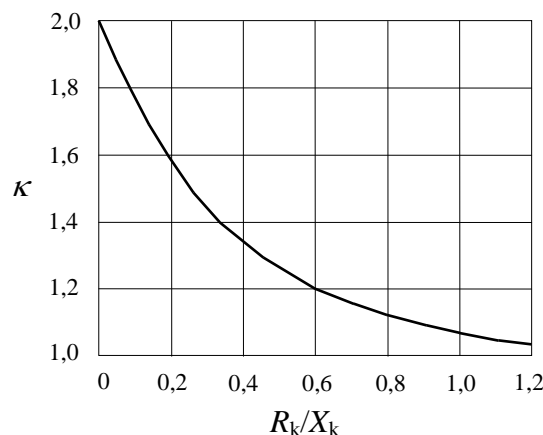
Prąd zwarciaowy udarowy i_p - maksymalna wartość chwilowa obliczeniowego prądu zwarciaowego:

$$i_p = \kappa\sqrt{2}I_k''$$

Współczynnik udaru κ zależy od stosunku R_k/X_k i może być obliczony z zależności przybliżonej:

$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-3R_k/X_k}$$

lub odczytany z wykresu na Rys. 3.



Rys. 3. Zależność współczynnika κ od R_k/X_k wartości

Prąd zwarciaowy wyłączeniowy symetryczny I_b - wartość skuteczna jednego pełnego okresu składowej okresowej obliczeniowego prądu zwarciaowego w chwili rozdzielenia styków pierwszego bieguna łącznika.

Prąd zwarciaowy cieplny I_{th} - ustalona wartość skuteczna prądu zastępczego, który wydzieli w torze prądowym, w czasie trwania zwarcia T_k , taką samą ilość ciepła jak prąd zwarciaowy $i(t)$, zgodnie z zależnością:

$$I_{th}^2 T_k = \int_0^{T_k} i(t)^2 dt$$

Prąd zwarciaowy ustalony I_k - wartość skuteczna prądu zwarciaowego, wyznaczona po minięciu zjawisk przejściowych.

Zastępczy obwód elektryczny - model obwodu zwarciaowego złożony z elementów idealnych służący do wyznaczenia prądu zwarciaowego.

Źródło napięciowe zastępcze $cU_n/\sqrt{3}$ - źródło napięciowe idealne przyłączone w miejscu zwarcia, w schemacie dla składowej symetrycznej zgodnej, pozwalające obliczyć prąd zwarciaowy. Wartości współczynnika c dla sieci o napięciu $U_n = 230/400$ V: $c_{max} = 1$, $c_{min} = 0,95$.

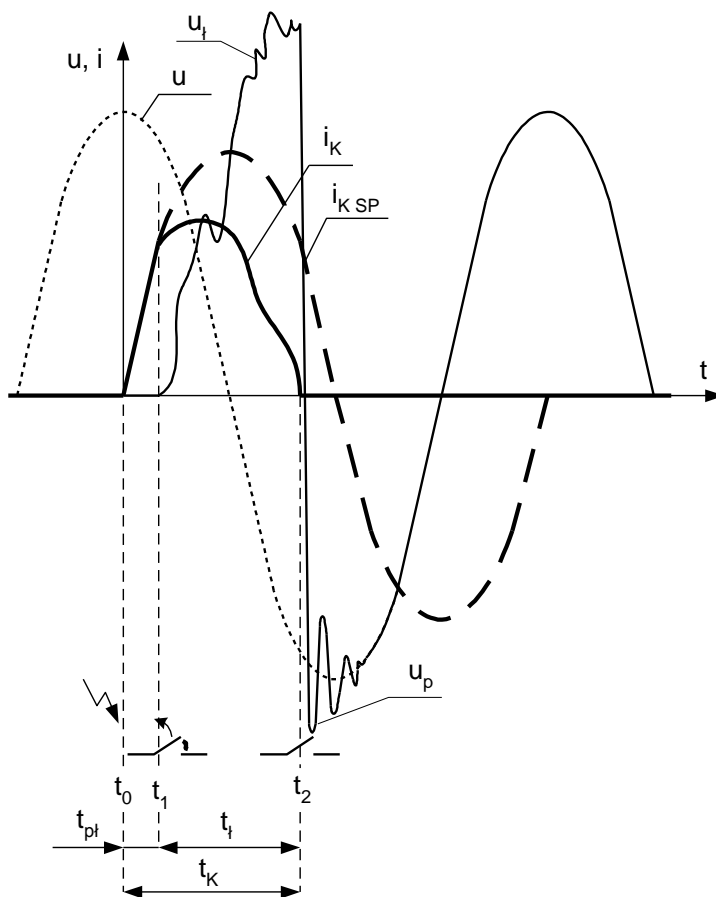
Prąd zwarciaowy cieplny I_{th} - ustalona wartość skuteczna prądu zastępczego, który wydzieli w torze prądowym, w czasie trwania zwarcia T_k , taką samą ilość ciepła jak prąd zwarciaowy $i(t)$, zgodnie z zależnością:

$$I_{th}^2 T_k = \int_0^{T_k} i(t)^2 dt$$

Proces wyłączenia prądu zwarciaowego składa się z: czasu przedłukowego t_{pl} i czasu łukowego t_l (Rys. 4), których suma jest czasem trwania zwarcia T_k . Czas przedłukowy to czas upływający od chwili powstania zwarcia t_0 do chwili rozejścia się styków łącznika t_1 , na który składa się czas zadziałania wyzwalacza zwarciaowego, czas odblokowania zamka i początkowa faza ruchu styków. W bezpieczniku, jest to czas niezbędny do powstania pierwszych punktów stopienia materiału topika i zapłonu łuku.

Czas łukowy to czas, w którym następuje palenie się i gaszenie łuku w wyłączniku bądź w bezpieczniku.

W większości wyłączników niskiego napięcia proces wyłączenia prądu zwarciaowego trwa stosunkowo długo, tj. do kilku półokresów prądu przemiennego o częstotliwości sieciowej. Długi czas łukowy jest niekorzystny dla łącznika i zmniejsza jego możliwości łączeniowe. Czas ten jest znacznie krótszy w wyłącznikach ograniczających oraz w bezpiecznikach, których jedną z zalet jest właściwość ograniczania prądu zwarciaowego. Szereg współcześnie produkowanych, nowoczesnych wyłączników instalacyjnych posiada jednak na tyle szybki mechanizm wyzwalacza i zamka, że wyłączenie prądu zwarciaowego następuje w pierwszym półokresie z widocznym efektem ograniczenia prądu zwarciaowego, Rys. 4.



Rys. 4. Ilustracja przebiegów napięcia i prądu podczas wyłączenia prądu zwarciaowego przez wyłącznik posiadający właściwość ograniczania prądu zwarciaowego; i_k – prąd zwarciaowy wyłączany przez wyłącznik, $i_{k SP}$ – spodziewany prąd zwarcia, u – napięcie źródła zasilania, u_l – napięcie łuku, u_p – napięcie powrotne na stykach łącznika po wyłączeniu prądu zwarciaowego, t_0 – moment powstania zwarcia, t_1 – początkowy moment rozwierania styków wyłącznika, t_2 – moment wyłączenia prądu zwarciaowego, t_{pl} – czas przedłukowy, t_l – czas łukowy, T_k – czas trwania zwarcia.