

Politechnika Lubelska

Wydział Elektrotechniki i Informatyki

Katedra Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń

Laboratorium Sieci Elektroenergetycznych

Ćwiczenie nr 4

Analiza zwarć symetrycznych w sieci elektroenergetycznej

Cel ćwiczenia:

Wyznaczanie prądów zwarciovych w sieciach elektroenergetycznych. Pomiary prądów zwarcia symetrycznego na analizatorze prądu stałego.

1 Podstawy teoretyczne [2]

1.1 Zalecenia normatywne

1.1.1 Wiadomości wstępne

Analiza zjawisk towarzyszących zwarciom jest złożona i wymaga tworzenia opisu matematycznego elektromagnetycznych stanów nieustalonych zachodzącego w maszynach elektrycznych. Z drugiej strony wiele decyzji technicznych dotyczących sieci elektroenergetycznych podejmowanych w codziennej praktyce eksploatacyjnej i projektowej musi uwzględniać wartości prądów zwarcia i innych związanych z nimi wielkości. Stąd też konieczność opracowania uproszczonych metod prowadzenia obliczeń zwarciovych i traktowania ich jako swoistego inżynierskiego standardu. Powinny być to uproszczenia na tyle istotne, aby dzięki nim ilościowa analiza stanu zwarcia ograniczyła się do analizy stanu quasi-ustalonego, którym jest najczęściej stan podprzejściowy w chwili $t=0$. Wielkości charakteryzujące dynamikę zjawisk zwarciovych powinny być wyznaczone na tej podstawie przy wykorzystaniu pomocniczych wskaźników i współczynników. Podejście takie stosowane jest w elektroenergetyce od kilkudziesięciu lat. W celu wyeliminowania dowolności i niejednoznaczności we wprowadzanych założeniach upraszczających oraz w celu ujednolicenia interpretacji wyników, metody obliczeń zwarciovych są przedmiotem uregulowań zawartych w aktach normatywnych, zwanych potocznie „normami zwarciovymi”. Pomimo, że w tym zakresie opracowano wiele różnych dokumentów, ich podstawy teoretyczne są podobne. Twierdzeniem z zakresu teorii obwodów, leżącym u podstaw norm zwarciovych, jest *twierdzenie Thevenina*. Poszczególne normy różnią się między sobą szczegółami, dzięki którym tak uproszczony model stanu zwarcia wystarczająco dokładnie (w opinii autorów danej normy) odwzorowuje charakterystyczne cechy zwarcia w sieci rzeczywistej.

1.1.2 Obliczenia według normy PN-74/E-05002

„Stara norma” nosi tytuł „Dobór aparatów wysokonapięciowych na warunki zwarciove”, tak więc metoda wyznaczania wielkości zwarciovych jest tylko jednym z poruszanych w niej problemów.

Szczegółowy opis metody obliczania prądów zwarciovych zawiera załącznik 1 do omawianej normy. Czynnością wstępną jest budowa schematów zastępczych analizowanego systemu dla składowych symetrycznych. Rodzaj schematów (zgodny, przeciwny i zerowy) powinien być dostosowany do rodzaju rozpatrywanego zwarcia (np. dla zwarcia trójfazowego wystarczający jest schemat zgodny, dla zwarcia z ziemią konieczne są wszystkie trzy schematy). W budowie schematów zastępczych omawiana norma dopuszcza stosowanie uproszczeń – pomijanie pojemności w schematach linii, impedancji magnesowania w schematach transformatorów, przyjmowanie współczynników sprowadzania napięć na podstawie napięć znamionowych sieci, przyjmowanie identyczności schematu zgodnego i przeciwnego systemu, pomijanie lub zastępowanie impedancjami zwarciovymi jego fragmentów nie mających istotnego wpływu na wartość prądów zwarcia. Szereg sformułowań związanych z dopuszczalnymi uproszczeniami ma charakter fakultatywny – liczący może z nich skorzystać, ale w sytuacjach gdzie wiedza inżynierska i doświadczenie podpowiadają konieczność zastosowania modeli o większej dokładności, norma tego nie zabrania. Można powiedzieć, że jest ona przeznaczona dla osób posiadających już w tym zakresie pewne umiejętności. Drugą czynnością jest wyznaczenie (dowolną metodą przekształcania obwodów liniowych) zastępczych impedancji zwarciovych widzianych w węźle odpowiadającym miejscu zwarcia \underline{Z}_1 , \underline{Z}_2 , \underline{Z}_0 . Kolejne dwie, najważniejsze operacje obliczeniowe to wyznaczenie składowej zgodnej prądu początkowego w miejscu zwarcia oraz na jej podstawie prądu początkowego, który w tej normie oznaczany jest symbolem I_p .

Nie opisując zatem szczegółowo normy, z uwagi na spotykane w praktyce częste pytania o relacje między wielkościami w niej zawartymi a omawianymi w dokumencie IEC 60909, warto zapoznać Czytelnika z nazewnictwem i symbolami tych wielkości wprowadzonymi przez te obydwa dokumenty – przedstawia je tabl. 1.

Tablica 1. Zestawienie najważniejszych wielkości zwarciovych i symboli używanych do ich opisu wg normy IEC 60909 oraz wg dotychczas obowiązującej normy zwarcioviej PN-74/E-05002

Wielkość zwarciovia	Oznaczenie wg IEC 60909	Oznaczenie wg PN-74/E-05002
Prąd początkowy	I_K''	I_P
Prąd udarowy	i_p	i_u
Współczynnik udaru	χ	k_u
Prąd wyłączeniowy symetryczny	I_b^1	I_{ws}
Współczynnik zanikania składowej okresowej	μ	k_{ws}
Prąd nieokresowy	i_{dc}	i_{nok}
Ciepłny prąd zastępczy	I_{th}	I_{tz}
Prąd wyłączeniowy niesymetryczny	$I_{b \text{ asym}}$	I_{wns}
Moc zwarciovia obliczeniowa	S_K''	S_z
Czas trwania zwarcia	T_K^2	t_z

1.1.3 Ogólna charakterystyka normy IEC 60909

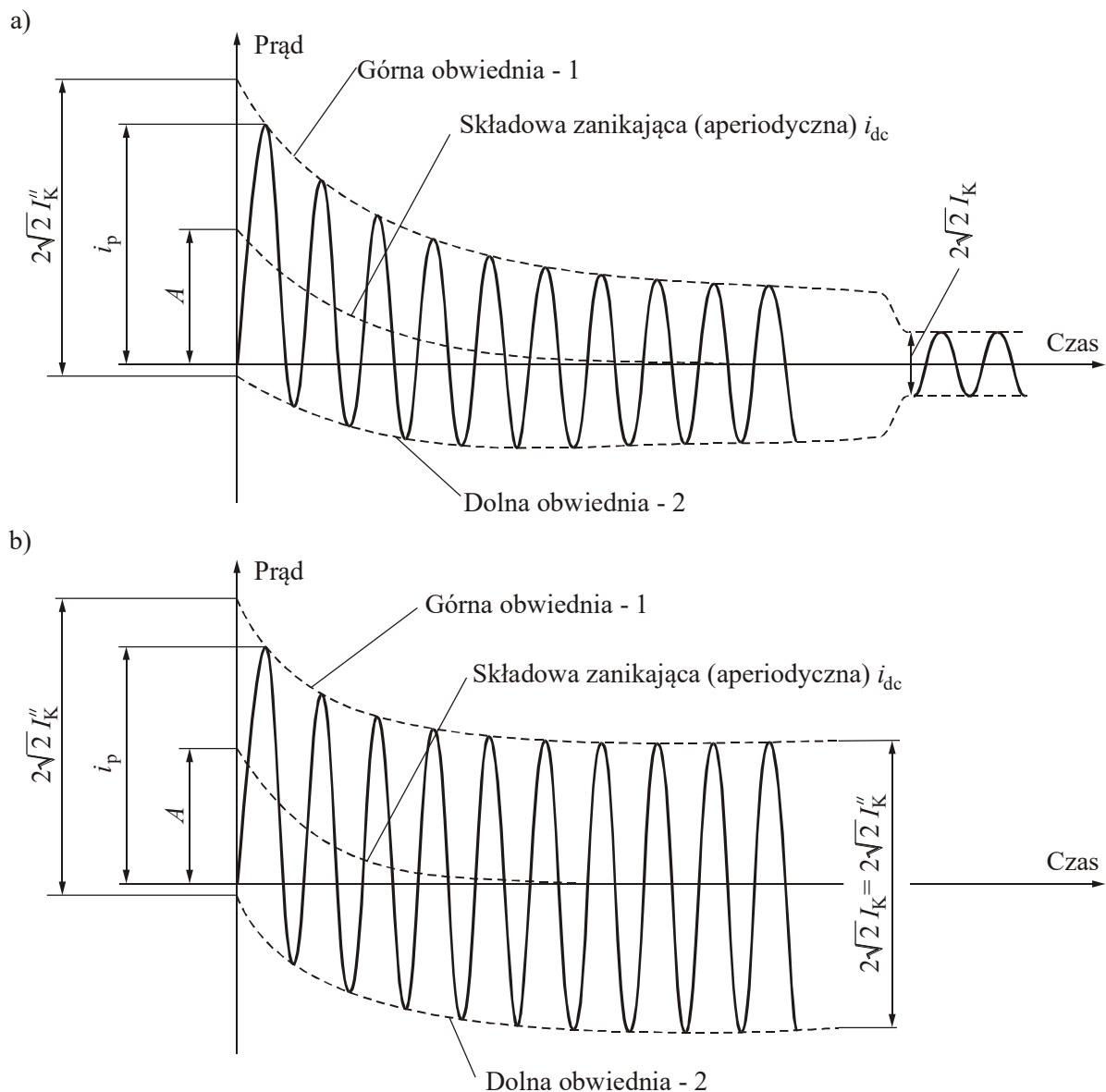
Podstawowe definicje, symbole i założenia

Na podstawie normy IEC 60909 mogą być wyznaczane prądy zwarcia w sieciach wysokiego i niskiego napięcia. Dokładność obliczeń gwarantuje możliwość ich wykorzystania w praktyce inżynierskiej. Norma nie wyklucza stosowania innych metod obliczeniowych, o ile uzyskane dzięki nim wyniki będą wiązały się z błędem nie większym niż wprowadzony przez metodę w niej opisaną. Podstawowe definicje i pojęcia przedstawione w rozdz. 1 normy IEC 60909 nie różnią się istotnie od wprowadzonych w normie PN-74/E-05002. Symbole wielkości zwarciovych są specyficzną kompilacją języka angielskiego i niemieckiego, co czasami sprawia trudności w określeniu znaczenia takiego symbolu. Przykładowo, podstawowym symbolem wielkości zwarcioviej wykorzystywanym jako dolny indeks, także jako oznaczenie miejsca i rodzaju zwarcia jest litera K, co pochodzi od niemieckiego słowa *Kurzschluss* – czyli zwarcie. Z kolei parametry znamionowe elementów systemu (prąd znamionowy,

¹ w tekście zastosowano indeks dolny B rezerwując indeks b dla wielkości bazowych jednostek względnych

² z uwagi na jednolite oznaczenie czasu symbolem t autorzy stosowali w niniejszej książce oznaczenie t_K

napiecie znamionowe) oznacza się indeksem r (np. I_r , U_r) od angielskiego przymiotnika *rated* – czyli nominalny.



Rys. 1. Przebiegi wielkości zwarciovych wraz z oznaczeniami wprowadzonymi w normie IEC 60909; a) zwarcie w pobliżu generatora, b) zwarcie odległe od generatora, oznaczenia: I_K'' – prąd zwarciovych początkowy, i_p – prąd udarowy, I_K – ustalony prąd zwarciovych, i_{dc} – składowa nieokresowa zanikająca prądu zwarciovych, A – wartość początkowa składowej nieokresowej, 1 – obwiednia górna, 2 – obwiednia dolna

Sens najważniejszych wielkości zwarciovych wprowadzonych w normie widoczny jest na rys. 1. W przypadku a) zwarcie ma miejsce w pobliżu generatora (widoczne zanikanie składowej okresowej), w przypadku b) jest to zwarcie odległe (zanikanie składowej okresowej nie występuje). W normie podkreśla się, że rozpatrywane zwarcia mają charakter modelowy – traktuje się je jako całkowicie bezimpedancyjne (pomija się rezystancję łuku elektrycznego w miejscu zwarcia), zwarcia wielofazowe traktowane są jako jednoczesne (nie

jest to zgodne z rzeczywistością).

Podstawowy wzór służący do obliczeń symetrycznego, początkowego prądu zwarcia trójfazowego ma postać

$$I_K'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_K^2 + X_K^2}} = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_K} \quad (1)$$

w którym: $cU_n / \sqrt{3}$ - napięcie źródła zastępczego; Z_K – zastępcza impedancja zwarcia (domyślnie dla sieci składowej symetrycznej zgodnej).

Stałą c dobiera się w zależności od napięcia znamionowego sieci, w której rozważa się zwarcie oraz od tego czy chodzi o maksymalny czy minimalny prąd zwarcia. Szczegóły związane z doбором przedstawia tabl. 2.

Tablica 2. Dobór współczynnika c zastępczego źródła napięciowego

Napięcie znamionowe U_n	Współczynnik napięciowy c do obliczania	
	maksymalnego prądu zwarcia	minimalnego prądu zwarcia
Niskie napięcie (100÷1000)		
a) 230/400 V	1,00	0,95
b) inne napięcia	1,05	1,00
Średnie napięcie (1÷35) kV	1,10	1,00
Wysokie napięcie >35 kV	1,10	1,00

W celu wyznaczenia maksymalnych wartości prądów zwarcia (oprócz różnic w doborze stałej c) obliczenia powinno się prowadzić dla konfiguracji systemu innych niż obliczenia prowadzone w celu wyznaczenia wartości minimalnych. Norma IEC 60909 zaleca również aby rezystancje odcinków linii w pierwszym przypadku były wyznaczane dla temperatury 20° C, a w drugim dla temperatury osiągniętej pod koniec stanu zwarcia (chodzi o większą wartość tej rezystancji, a tym samym o mniejszą wartość prądu). Na podstawie wartości prądu początkowego I_K'' , którą w najprostszym przypadku wylicza się na podstawie wzoru (1), wyznaczone są pozostałe wielkości charakteryzujące przebieg prądu zwarcia. Szczegóły związane z tymi obliczeniami przedstawiono w pkt. 5.

2 Analizator prądu stałego

Najprostszym urządzeniem pozwalającym na zamodelowanie sieci elektroenergetycznej i wykonanie pomiarów na modelu jest analizator sieciowy rezystancyjny. Pierwsza konstrukcja analizatora rezystancyjnego była wykonana w 1916r., a impedancyjnego w 1929r. w USA.

Pierwsze konstrukcje analizatorów rezystancyjnych w Polsce powstały w 1949r. w Instytucie Elektrotechniki, zaś analizatora impedancyjnego w 1951r. w Politechnice Wrocławskiej, a następnie w Politechnice Warszawskiej. Jak zostało wspomniane na analizatorze odwzorowuje się w odpowiedniej skali jej parametry tworząc schemat sieci z odbiorami, źródłami i liniami przesyłowymi, które przedstawiają sieć o skończonej liczbie węzłów i oczek sieciowych. Do obliczania rozptywu prądów w takiej sieci, jej elementy składowe są charakteryzowane przez podanie wartości wielkości tych elementów. Napięcie jest wielkością podstawową charakteryzującą źródła /teoretycznie o nieskończonej mocy/.

Rezystancja charakteryzuje gałęzie, prąd – odbiory sieci.

Obliczenie rozptywu prądów polega na znalezieniu prądów płynących we wszystkich gałęziach sieci.

- w sieci kablowej niskiego napięcia, dla której reaktancje gałęzi są pomijalnie małe w stosunku do rezystancji,
- w sieciach o wyższym napięciu znamionowym i większych przekrojach przewodów, dla której rezystancje gałęzi R są pomijalnie małe wobec reaktancji $R \leq 0,3X$,
- w sieci o jednym napięciu znamionowym, której gałęzie mają zbliżony stosunek R/X .

Analizatory rezystancyjne służą również do badania przepływu cieczy, wymiany ciepła, rozkładu temperatur itp.

2.1 Wybór skali odwzorowania

W sieciach prądu stałego występuje tylko jeden rodzaj oporu – rezystancja $/R/$, za pomocą którego można odwzorować układ sieci zakładając, że układ jest jednorodny i napięcia są w fazie z prądami lub przeciwfazie. Do odwzorowania takiego układu sieci należy wybrać trzy skale odwzorowania, dla trzech wielkości występujących w sieci. Skale te są od siebie wzajemnie zależne i nie można wszystkich trzech obierać dowolnie.

Zasadnicze równanie odwzorowania można wyprowadzić w oparciu o prawo Ohma dla sieci rzeczywistej i sieci analizatorowej.

Oznacza się:

w sieci rzeczywistej

U – napięcie

I – natężenie prądu

Z – impedancja

$Z_{\%}$ - impedancja względna w procentach

Z_p – impedancja podstawowa

w sieci analizatorowej

- U_a

- I_a

- R_a

- $R_{a\%}$

- R_{ap}

P_p – moc podstawowa

- P_{ap}

Umieszczając we wzorach powyższe oznaczenia możemy napisać:

dla sieci rzeczywistej	dla sieci analizatorowej
$I = \frac{U_f}{Z}$	$I_a = \frac{U_a}{Z_a}$
$Z_{\%} = \frac{Z}{Z_p} * 100\%$	$R_{a\%} = \frac{R_a}{R_{ap}} * 100\%$
$Z = \frac{Z_{\%} * Z_p}{100}$	$R_a = \frac{R_{a\%} * R_{ap}}{100}$

Po podstawieniu tych wielkości do równań /1/ otrzyma się:

$$I = \frac{U_f * 100}{Z_{\%} * Z_p} \quad 2.1$$

$$I_a = \frac{U_a * 100}{R_{a\%} * R_{ap}} \quad 2.2$$

Przy założeniu, że napięcie podstawowe jest napięciem międzyfazowym

$$U_p = U = \sqrt{3} * U_f$$

$$U_{ap} = \sqrt{3} * U_a$$

i po wprowadzeniu tych wartości do równań /2/ otrzyma się:

$$I = \frac{U_p * 100}{\sqrt{3} * Z_{\%} * Z_p} \quad I_a = \frac{U_{ap} * 100}{\sqrt{3} * R_{a\%} * R_{ap}}$$

ponieważ

$$I_p = \frac{U_p}{\sqrt{3} * Z_p} \quad I_{ap} = \frac{U_{ap}}{\sqrt{3} * R_{ap}}$$

dlatego

$$I = \frac{I_p * 100}{Z_{\%}} \quad I_a = \frac{I_{ap} * 100}{R_{a\%}}$$

Ze stosunku prądu w sieci rzeczywistej do prądu w sieci analizatorowej otrzyma się:

$$\frac{I}{I_a} = \frac{I_p * 100 * R_{a\%}}{Z_{\%} * I_{ap} * 100} = \frac{R_{a\%}}{Z_{\%}} * \frac{I_p}{I_{ap}}$$

Oznaczając stosunek oporów względnych C_R

$$C_R = \frac{R_{a\%}}{Z_{\%}} \quad 2.3$$

otrzyma się obecnie dwa równania odwzorowania

$$R_{a\%} = C_R * Z_{\%}$$

równanie odwzorowania oporów, oraz

$$\frac{I}{I_a} = C_R * \frac{I_p}{I_{ap}} \quad 2.4$$

równanie odwzorowania prądów.

Współczynnik C_R należy przyjmować o takiej wartości, aby wszystkie rezystancje względne analizatora mieściły się w granicach możliwych do odwzorowania na analizatorze.

Skalę prądową C_I określić można z równania /2.4

$$I = \frac{I_p}{I_{ap}} * C_R * I_a = C_I * I_a \quad 2.5$$

gdzie skala prądowa:

$$C_I = C_R * \frac{I_p}{I_{ap}}$$

Jest to skala bezpośrednia. W niektórych przypadkach wskazane jest posługiwanie się skalą pośrednią, na przykład przy określaniu mocy.

$$P = \sqrt{3} * U_p * I$$

Podstawiając I określone równaniem /5/, otrzyma się:

$$P = \sqrt{3} * U_p * \frac{I_p}{I_{ap}} * C_R * I_a$$

ale

$$\sqrt{3} * U_p * I_p = P_p$$

stąd

$$P = \frac{P_p}{I_{ap}} * C_R * I_a = C_p * I_a \quad 2.6$$

gdzie skala mocowa pośrednia wynosi

$$C_p = \frac{P_p}{I_{ap}} * C_R$$

Należy jeszcze przeanalizować skalę napięciową, którą będziemy utożsamiać ze skalą spadków napięć. Stratę napięcia w sieci rzeczywistej można wyrazić ogólną zależnością:

$$\delta U = I * Z_S \quad 2.7$$

/We wzorze I może być prądem o charakterze czynnym, biernym, pozornym lub sztucznie dobranym w zależności od metody odwzorowania, podobnie Z_S /.

Spadek napięcia w sieci analizatorowej, na elemencie R_{as} , odpowiadającemu oporności Z_s , wyniesie:

$$\Delta U_a = I_a * R_{as}$$

Z dzielenia powyższych równań przez siebie przy wyrażeniu oporów Z_s o R_{as} w procentach odpowiednich wielkości podstawowych otrzyma się:

$$\frac{\delta U}{\Delta U_a} = \frac{I * Z_{\%S} * Z_p}{I_a * R_{a\%s} * R_{ap}}$$

stąd po uwzględnieniu wyrażenia /5/

$$\frac{U}{U_a} = \frac{I_p * I_a * Z_p}{I_{ap} * I_a * R_{ap}} * \frac{Z_{\%s}}{R_{a\%s}} \quad 2.8$$

Nakładając współczynnik odwzorowania oporów wzdłużnych

$$\frac{R_{a\%}}{Z_{\%s}} = C_s \quad 2.9$$

oraz pamiętając, że

$$I_p * Z_p = \frac{U_p}{\sqrt{3}}$$

$$I_{ap} * R_{ap} = \frac{U_{ap}}{\sqrt{3}}$$

otrzymuje się trzecie równanie odwzorowania

$$\frac{\delta U}{\Delta U_a} = \frac{U_f}{U_a} = \frac{C_R}{C_S} * \frac{U_p}{U_{ap}} \quad 2.10$$

równanie odwzorowania napięć.

Z tego równania można określić skalę napięciową

$$\delta U = \frac{C_R}{C_S} * \frac{U_P}{U_{ap}} * \Delta U_a = C_u * \Delta U_a \quad 2.11$$

gdzie skala napięciowa bezpośrednia

$$C_u = \frac{C_R}{C_S} * \frac{U_p}{U_{ap}}$$

Jeżeli pomiaru spadku napięcia w sieci analizatorowej nie dokonuje się w woltach, lecz przy

pomocy kompensującego miernika napięcia, w procentach napięcia zasilania analizatora, wówczas do wzoru /2.11/ należy wprowadzić następujące wyrażenia:

$$\delta U = \frac{\delta U_{\%} * U_n}{100 * \sqrt{3}} \qquad \Delta U_a = \frac{\Delta U_{a\%} * U_a}{100}$$

$$\frac{\delta U_{\%} * U_n}{100 * \sqrt{3}} = \frac{C_R * U_p}{C_S * U_{ap}} = \frac{\Delta U_{a\%} * U_a}{100}$$

po przekształceniu

$$\delta U_{\%} = \frac{C_R}{C_S} * \frac{U_p}{U_n} * \frac{\sqrt{3} * U_a}{U_{ap}} * \Delta U_{a\%} \qquad 2.12$$

po wprowadzeniu współczynników

$$k_1 = \frac{U_p}{U_n} \qquad \text{oraz} \qquad k_2 = \frac{\sqrt{3} * U_a}{U_{ap}}$$

otrzymamy ostatecznie

$$\delta U_{\%} = k_1 * k_2 * \frac{C_R}{C_S} * \Delta U_{a\%} \qquad 2.13$$

W przypadku gdy $k_1 = k_2 = 1$

$$\delta U_{\%} = \frac{C_R}{C_S} * \Delta U_{a\%}$$

3 Opis analizatora

Analizator jest przeznaczony do pomiaru wartości prądów zwarciovych jakie będą płynęły w sieci rozdzielczej danego zakładu przemysłowego. Jako podstawowe parametry analizatora przejęte zostały napięcie i rezystancja.

$$RA = 1000 = 100\%$$

$$UA = 2V = 100\%$$

$$I_A = \frac{U_A}{R_A} = 2mA$$

Część elementów została zamodelowana na stałe, są to: linie zasilające, transformatory, generatory i dławiki.

Pozostałe elementy będące odplywami od rozdzielni głównej należy wyznaczyć w jednostkach względnych przyjmując za wartości podstawowe $S_P = 39,69 \text{ MVA}$, $U_P = 1,05 U_n$.

Linie kablowe zasilające oddziałowe rozdzielnice przedstawione zostały na analizatorze za

pomocą jednego opornika dekadowego /dwu, lub trójdekadowego/. Opornik dwudekadowy posiada zakres nastawianej rezystancji od 18 – 23,9% co 0,1%, natomiast trójdekadowy od 10% - 49,9% co 0,1%; każdy rezystor stały oraz dekadowe posiadają w szereg włączone boczniki o rezystancji 2 /0,2%/. Końce boczników są wyprowadzone do gniazd wtyczkowych telefonicznych na płycie analizatora; rezystancji bocznika w trakcie modelowania nie należy uwzględniać. Pomiar rozptyłu prądów zwarciovych odbywa się za pomocą amperomierzy przyłączonych do odpowiednich zacisków analizatora i wtyczki telefonicznej. Zasilanie analizatora jest realizowane poprzez przyłączenie do zacisków U_A zasilacza stabilizowanego.

4 Pomiary wykonywane na analizatorze

Badany w laboratorium analizator umożliwia pomiar prądu w miejscu zwarcia (miliamperomierz A_Z) oraz prądów płynących w stanie zwarcia w poszczególnych elementach sieci: liniach, transformatorach, generatorach, dławikach (miliamperomierz A_R). Jako modelowane miejsce zwarcia może być wybrany każdy punkt na płycie czołowej analizatora, w którym znajduje się gniazdo typu "radiowego". Punkty takie (oznaczone literą z) odpowiadają w sieci rzeczywistej szynom wszystkich rozdzielni badanego zakładu przemysłowego t.j. rozdzielni o napięciu 220,30 i 6 kV. Włączenie wtyczki radiowej do tak oznaczonego gniazda powoduje zamknięcie źródła zasilającego analizator przez układ rezystorów modelujących sieć i miliamperomierz A_Z . Prąd zwarciovowy płynący w sieci rzeczywistej, a mówiąc dokładniej składowa okresowa początkowego prądu zwarcia (oznaczenie I_p wg PN/E-5002) może być wyznaczona ze wzoru;

$$I_K'' = \frac{i_Z}{i_p} * [I] * \frac{1}{g} [kA] \quad 4.1$$

gdzie: $g = 1$ dla zwarcia na szynach 6 kV

$g = 30/6$ dla zwarcia na szynach 30 kV

$g = 220/6$ dla zwarcia na szynach 220 kV

i_Z - prąd mierzony przez miliamperomierz A_Z

i_p - prąd podstawowy analizatora (2 mA)

$[I]$ - prąd podstawowy sieci rzeczywistej (3,64 kA) wynikający z mocy podstawowej $[S] = 39.69$ MVA i napięcia podstawowego $[U] = 6,3$ kV

Pomiary prądów płynących w stanie zwarcia w liniach i transformatorach odbywają się wg innej zasady. Miejscami pomiarów są umieszczone na płycie czołowej analizatora gniazda

typu "telefonicznego" (oznaczone literą P). Wtyczka telefoniczna wetknięta do takiego gniazda powoduje bocznikowanie rezystora o rezystancji $R_B = 2$ poprzez rezystancję miliamperomierza. Tak więc prąd zwarciaowy płynący przez element sieci rzeczywistej wyznacza się ze wzoru:

$$I_{Ku}'' = \frac{i_{pu}}{i_p} * [I] * \frac{1}{9} * a_B [kA] \quad 4.2$$

gdzie: i_{pu} – prąd zmierzony miliamperomierzem A_p

a_B – stała przeliczeniowa uwzględniająca rezystancję wewnętrzną miliamperomierza (R_w) wyznaczona ze wzoru:

$$a_B = \frac{R_b + R_w}{R_b} \quad 4.3$$

Dla zakresów miliamperomierza wykorzystywanych w pomiarach t.j. 150, 75, 30, 15, 7,5 mA, stałe a_B wynoszą odpowiednio: 1.08 , 1.15 , 1.65 , 1.76 , 2.53.

Wyznaczone pomiarowo składowe okresowe początkowych prądów zwarcia odpowiadające sieci rzeczywistej (po przeliczeniu wg (4.1) i (4.2) pozwalają na obliczenie innych wielkości zwarciaowych określonych w PN/E - 5002 t.j. prądów udarowych, prądów wyłączeniowych I_{wg} , prądów zastępczych t_z sekundowych itp.

5 Przebieg ćwiczenia

Dla sieci zakładu przemysłowego pracującej w układzie zamodelowanym na płycie czołowej przez prowadzącego ćwiczenia należy:

- A. odwzorować zamodelowany przez prowadzącego układ sieci, zapisać potrzebne do obliczeń zwarciaowych dane znamionowe elementów sieci ;
- B. obliczyć w jednostkach względnych (dla $[U]=6,3$ kV i $[S] = 36,69$ MVA) reaktancje tych elementów sieci, które są zamodelowane na stałe;
- C. zgodnie z techniką przeprowadzania pomiarów opisaną w p. 4 należy zmierzyć składowe okresowe początkowego prądu zwarcia w punktach R-1-220, R-2-220, R-1, R-2, R-3, RG1, RG2, RG3 oraz dodatkowo w punktach wskazanych przez prowadzącego ćwiczenia. Dla tych miejsc należy wyznaczyć także tzw. "rozpływy pierwszego rzędu" tzn. prądy płynące w elementach sieci połączonych bezpośrednio z miejscem, w którym wystąpiło zwarcie. Wyniki pomiarów należy wpisać do tab.1.
Uwaga: dla miliamperomierza A_R może zachodzić kolejność zmiany biegunowości;
- D. wartości prądów zmierzone na modelu sieci należy przeliczyć wg (4.1) i (4.2) oraz

zapisać w tablicy 2 identycznej pod względem układu z tab. 1;

- E. dla podanych przez prowadzącego ćwiczenia punktów sieci należy określić prąd I_K oraz prądy udziałowe metodą rachunkową.

Sprawozdanie powinno zawierać schemat badanej sieci, tab. 1 i tab. 2 obliczenia reaktancji sieci, obliczenia wykonywane w p. d oraz porównanie wyników otrzymanych metodą pomiarową i obliczeniową.

6 Literatura

1. Kacejko P., Machowski J.: Zwarcia w sieciach elektroenergetycznych. Podstawy obliczeń. WNT, Warszawa 1993.
2. Kacejko P., Machowski J.: Zwarcia w systemach elektroenergetycznych. WNT 2002.
3. Strojny J., Strzałka J.: Zbiór zadań z sieci elektrycznych. Część II. Wyd. AGH, Kraków 2000.

Tablica 1

[illegible]