ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1972

Seria: ELEKTRYKA z. 37 Nr kol. 356

Stanisława Bogucka
Wiesław Goc
Joachim Bargiel

Instytut Elektroenergetyki
i Sterowania Układów

WSPÓŁCZYNNIKI WSPÓŁZALEŻNOŚCI ZAKŁÓCEŃ W UKŁADZIE SIECIOWYM

Streszczenie. W artykule przedstawiono sposoby wyznaczania liczbowych współczynników charakteryzujących rozszerzanie się zakłóceń w systemie 220 kV i 110 kV.

1. Wstęp

W zgromadzonym materiale statystycznym o zakłóceniach w systemie elektroenergetycznym [2], [3] stwierdzono przypadki równoczesnych wyłączeń kilku elementów systemu. Liczba tych równoczesnych wyłączeń nasunęła wątpliwość czy ich zbieżność czasowa ma wyłącznie charakter przypadkowy. Przy założeniu losowości liczba równoczesnych przypadków wyłączeń dwóch elementów wynosiłaby:

$$d_{rn} = z(d_1\, d_2 \frac{t_2}{T} + d_1\, d_2 \frac{t_1}{T}), \tag{1}$$

gdzie d_1, d_2 - liczba zakłóceń na elementach 1 i 2
t_1, t_2 - średni czas trwania jednego zakłócenia
z - współczynnik uwzględniający wpływ pogody [4].

W zebranych danych statystycznych stwierdzono d_r przypadków równoczesnych wyłączeń elementów danego rodzaju. Przy czym $d_r \gg d_{rn}$.

Celem artykułu jest przedstawienie sposobu wyznaczenia wartości liczbowych współczynników charakteryzujących rozszerzenie się zakłóceń w układzie sieciowym i ich określenie, dostosowanych do obliczeń niezawodności metodą podaną w [1].

Wyznaczono następujące współczynniki:

1) współczynnik niewybiorczego działania zabezpieczeń dla dwóch linii sąsiadujących - k_{z2},
2) współczynnik współzależności torów linii dwutorowej - k_b,
3) współczynnik współzależności dwóch systemów szyn zbiorczych rozdzielni dwusystemowych - k_s,
4) współczynnik brakujących działań wyłączników - k_n.

2. Współczynnik niewybiorczego działania zabezpieczeń dla dwóch linii sąsiadujących

W przebadanym materiale statystycznym stwierdzono przypadki równoczesnych wyłączeń dwóch linii sąsiadujących przy zakłóceniach na jednej z linii.

Liczność tych przypadków wyklucza przyjęcie tezy o ich losowości. Postawiono zatem hipotezę, że powstają one w znacznym stopniu w wyniku niewybiorczego działania zabezpieczeń jako nieprzypadkowe przyczyny współzależności zakłóceń (wyłączeń) sąsiadujących (stykających się) ze sobą linii. Przeciętną liczbę takich przypadków dla r-tego węzła, w którym zbiega się n linii, można wyznaczyć:

$$d_r = \sum_{\substack{i=1 \\ j=1 \\ i \neq j}}^{n} 2\, d_i d_j\, z \frac{t}{T} + k_{z2} \sum_{i=1}^{n} d_i\, (n-1), \tag{2}$$

gdzie d_r - liczba zakłóceń równoczesnych dla wszystkich par linii w r-tym węźle

d_i, d_j - liczba zakłóceń na poszczególnych liniach zbiegających się w węźle r-tym

z - współczynnik uwzględniający wpływ pogody na liczbę zakłóceń równoczesnych dwóch elementów.
Wg pracy [3] z=5 dla linii 220 kV i z=8 dla linii 110 kV

t - średni czas trwania zakłócenia

T - rozpatrywany okres (dla którego liczymy) w godz.

k_{z2} - współczynnik niewybiorczego działania zabezpieczeń dla dwóch elementów

n - liczba linii zbiegających się w jednym węźle.

Dla "w" węzłów liczba równoczesnych wyłączeń par linii wyniesie:

$$d_w = \sum_{r=1}^{w} d_r. \tag{3}$$

Wyznaczanie współczynnika k_{z2} z zależności (3) jest bardzo pracochłonne dlatego wprowadzono uproszczenie, bazujące na średniej długości odcinka linii i średniej liczbie linii zbiegających się w jednym węźle. Więc

$$d_{r\acute{s}r} = 2\binom{n}{2} d_{\acute{s}r}^2\, z \frac{t}{T} + k_{z2}\, d_{\acute{s}r}\, n\, (n-1) \tag{4}$$

$$d_{r\acute{s}r} = 2\binom{n}{2} d_{\acute{s}r}^2\, z \frac{t}{T} + k_{z2}\, d_{\acute{s}r}\, 2\binom{n}{2}, \tag{4a}$$

gdzie n - liczba zbiegających się linii w jednym węźle

$d_{śr}$ - liczba zakłóceń na linii średniej długości przyłączonej do danego węzła.

Uproszczenie to jest podyktowane małą licznością danych dla konkretnych linii. W ciągu 10 lat w ZEOPd na liniach jednotorowych 220 kV stwierdzono 158 zakłóceń, w tym 8 jednoczesnych wyłączeń dwóch sąsiadujących odcinków linii. Średnia długość odcinka linii wynosiła 95 km. Z analizy schematów sieci ZEOPd wyznaczono średnią liczbę odcinków linii zbiegających się w jednym węźle - wynosiła ona n=3.

Wyznaczony ze wzoru (4) współczynnik wynosi $k_{z2} = 0,02$.

Podobnie wyznaczono współczynnik k_{z2} dla zbioru linii 110 kV, średnia długość odcinka linii wynosi 50 km i w węźle zbiegają się średnio 4 linie Wyznaczony z wzoru (4) współczynnik wynosi $k_{z2} = 0,03$.

3. Współczynnik współzależności torów linii dwutorowych

Przyczynami równoczesnych nieplanowych wyłączeń dwóch torów linii dwutorowych są, w przeważającej liczbie przypadków, oddziaływania elektryczne i mechaniczne, wynikające ze zbliżenia przestrzennego (wspólna konstrukcja) oraz nieprawidłowego działania zabezpieczeń na końcach linii.

Liczbę tych równoczesnych zakłóceń oblicza się:

$$d_{2i} = \frac{1}{2} d_1^2 \; z \frac{t}{T} + k_b \, d_i, \tag{5}$$

gdzie d_{2i} -liczba równoczesnych zakłóceń dwóch torów linii dwutorowej (z umiejscowieniem defektu pierwotnego na jednym z torów analizowanego i-tego odcinka linii dwutorowej),

d_i - łączna liczba zakłóceń na pierwszym i drugim torze i-tego odcinka linii dwutorowej,

k_b - współczynnik współzależności torów linii dwutorowej.

Współczynnik współzależności torów linii dwutorowej uwzględnia zarówno wpływ współzależności konstrukcyjnej, jak i wpływ nieprawidłowego działania zabezpieczeń. Stąd hipoteza, że $k_b = k_k + k_z$, gdzie k_k jest współczynnikiem współzależności konstrukcyjnej, a k_z jest współczynnikiem nieprawidłowego działania zabezpieczeń.

Dla analizowanego zbioru n-linii dwutorowych otrzymamy:

$$d_2 = \sum_{i=1}^{n} d_{2i} = \frac{zt}{2T} \sum_{i=1}^{n} d_i^2 + k_b \sum_{i=1}^{n} d_i. \tag{6}$$

Z zależności (6) wyznaczamy współczynnik k_b. Współczynnik ten można również wyliczyć, posługując się umyślonym odcinkiem linii dwutorowej o średniej długości.

Wówczas

$$d_{2śr} = \frac{zt}{2T} d_{śr}^2 + k_b d_{śr}, \tag{7}$$

gdzie

$d_{2śr}$ - jak d_{2i}, lecz przypadające na średni odcinek linii dwutorowej
$d_{śr}$ - łączna liczba zakłóceń na obu torach średniego odcinka linii dwutorowej.

W zebranych 67 zakłóceniach, dla 10 odcinków linii dwutorowej o napięciu 220 kV i długości 700 km stwierdzono 8 przypadków równoczesnych wyłączeń obu torów. Na tej podstawie wyznaczono współczynnik $k_b = 0,12$, zaś $k_k \cong k_b - k_z \approx 0,10$.

Podobne obliczenia dla 48 odcinków linii dwutorowych 110 kV o łącznej długości 2850 km dają wartość współczynnika $k_b = 0,13$.

4. Współczynnik współzależności dwóch systemów szyn zbiorczych stacji dwusystemowej

Współczynnik współzależności dwóch systemów szyn zbiorczych rozdzielni dwusystemowej oblicza się podobną metodą jak poprzednio, a mianowicie:

$$d_2 = \sum_{r=1}^{w} d_{2r} = \frac{t_s}{2T} \sum_{r=1}^{w} d_r^2 + k_s \sum_{r=1}^{w} d_r, \tag{8}$$

gdzie

d_{2r} - liczba równoczesnych zakłóceń dwóch systemów szyn zbiorczych rozdzielni dwusystemowej (z umiejscowieniem defektu pierwotnego na jednym z systemów szyn analizowanej r-tej rozdzielni dwusystemowej).

d_r - łączna liczba zakłóceń na obu systemach szyn r-tej rozdzielni dwusystemowej

k_s - współczynnik współzależności dwóch systemów szyn rozdzielni dwusystemowej

t_s - średni czas trwania zakłócenia na jednym systemie szyn

w - liczba analizowanych stacji dwusystemowych.

Z dostateczną dokładnością można wyznaczyć współczynnik k_s, tworząc umyślną rozdzielnię o średniej liczbie pól.

Wówczas

$$d_{2śr} = \frac{zt_s}{2T} d_{śr}^2 + k_s d_{śr}, \tag{9}$$

gdzie

$d_{2śr}$ - liczba równoczesnych zakłóceń dwóch systemów szyn zbiorczych w stacji o średniej ilości pól

$d_{śr}$ - łączna liczba zakłóceń na obu systemach szyn w stacji o średniej liczbie pól.

Współczynnik współzależności k_s wyznaczono dla 32 stacji z dwoma systemami szyn zbiorczych o napięciu 110 kV.
W rozpatrywanym okresie zaobserwowano 150 zakłóceń na poszczególnych systemach szyn w tym 12 zakłóceń na obu systemach szyn.
Współczynnik k_s wynosi $k_s = 0,08$.

5. Współczynnik brakujących działań wyłączników

Analizując pracę danego węzła sieciowego stwierdzamy przerwy w pracy rozdzielni w wyniku zakłóceń na liniach odpływowych. Przyczyną tych przerw są zwarcia na liniach przy jednoczesnym braku działania układu wyłączającego (wyłącznik + zabezpieczenia). Następuje sięc rozszerzenie zakłócenia na szyny zbiorcze badanej rozdzielni, powodujące przerwę zasilania dla wszystkich odbiorców z niej zasilanych. Czas tej przerwy zależy głównie od sprawności obsługi i wyposażenia rozdzielni. Częstość występowania zakłóceń pracy szyn zbiorczych rozdzielni, w wyniku brakujących działań układu wyłączającego, można wyznaczyć z danych statystycznych. W tym celu zdefiniowano współczynnik jako iloraz liczby brakujących działań układu wyłączającego przy zakłóceniach na liniach przyłączonych do danej rozdzielni i liczby zakłóceń na tych liniach.

Wartość liczbowa tak wyznaczonego współczynnika może budzić różne zastrzeżenia, ponieważ będzie ona zależała od sposobu pracy układu. I tak inne wyniki będą, gdy:

a) węzły będą wielokrotnie zasilane i wszystkie linie w układzie stanowią połączenia między tymi węzłami.

W tej sytuacji zwarcie na linii będzie zasilane z obu stron i wymaga równoczesnego działania układu wyłączającego na obu końcach linii. Przy braku działania układu wyłączającego po dowolnej stronie linii prowadzi do wyłączenia szyn zbiorczych po tej stronie. Najczęściej brakujące działania układu wyłączającego dotyczą jednego z dwóch wyłączników na końcach linii, powodując praktycznie wyłączenie jednego z dwóch systemów szyn, do których przyłączona jest linia. Więc współczynnik brakujących działań układu wyłączającego k_u^a wyniesie:

$$k_u^a = \frac{m_a}{2\sum_{i=1}^{n} m_i}, \qquad (10)$$

gdzie

m_a - liczba wyłączeń systemów szyn zbiorczych spowodowana brakiem działania układu wyłączającego na końcach linii,

m_l - liczba zakłóceń na l-tej linii,

b) węzły będą jednokrotnie zasilane (np. z rezerwą jawną lub bez niej) i linie będą odpływami z węzłów.

W tej sytuacji zwarcie na linii zasilane jest tylko z jednej określonej strony linii i powinno być wyłączone przez układ wyłączający znajdujący się na tej samej stronie. A więc wymagana jest potrzeba działania jednego wyłącznika. Brak działania powoduje rozszerzenie się zakłócenia i wyłączenie szyn zbiorczych. Współczynnik brakujących działań układu wyłączającego wyniesie:

$$k_u^b = \frac{m_b}{\sum_{l=1}^{n} m_l}, \tag{11}$$

gdzie

m_b - liczba wyłączeń systemów szyn zbiorczych spowodowana brakiem działania układu wyłączającego na odpływach.

Współczynnik k_u^a i k_u^b będą w zasadzie różne - różnice te wynikać będą z innego rozwiązania układów wyłączających. W rzeczywistości sposób pracy węzłów jest różny i w dłuższym okresie czasu ulega zmianom, wystąpi więc sytuacja pośrednia między a) i b). Współczynniki wyznaczone ze wzorów (10) i (11) można traktować jako wartości graniczne i współczynnik k_u obliczać z danych statystycznych.

$$k_u = (0,5 \div 1)\frac{m}{\sum m_l} \quad ; \text{ przyjęto że } k_u \approx 0,75\frac{m}{\sum m_l}, \tag{12}$$

gdzie

m - liczba wyłączeń systemów szyn spowodowana brakiem działania układów wyłączających na odpływach.

Dla sieci 110 kV zaobserwowano 647 zakłóceń na liniach z czego 26 zakłóceń przeniosło się na szyny zbiorcze rozdzielń w wyniku braku działania układu wyłączającego. Wyliczony ze wzoru (12) współczynnik k_u wyniesie $k_u = 0,03$.

Tablica 1

Współczynniki współzależności zakłóceń dla elementów sieci 220 kV i 110 kV

Lp.	Wyszczególnienie	Linie napowietrzne		Pola w rozdz.	
		220 kV	110 kV	220 kV	110 kV
1	Współczynnik współzależn. torów linii dwutorowej, k_b	0,12	0,13	-	-
2	Współczynnik niewybiorczego działania zabezpieczeń:				
	- dla dwóch elem. sąsiad. k_{z2}	0,02	0,03	-	-
	- dla trzech elem. sąsiad. k_{z3}	0,002	0,002	-	-
3	Współczynnik współzależn. systemów szyn rozdzielni dwusystemowej k_s	-	-	0,05	0,08
4	Współczynnik brakujących działań wyłączników i zabezpieczeń k_u	-	-	0,03	0,03

6. Wnioski

1. Wyznaczenie współczynników charakteryzujących rozprzestrzenianie się zakłóceń wymaga wykonania odrębnych pracochłonnych badań statystycznych [2], [3], ponieważ z dotychczasowych oficjalnych statystyk nie można uzyskać odnośnych wartości.
2. Uzyskane wartości współczynników współzależności (tablica 1) potwierdzają ich dużą rolę przy obliczaniu niezawodności złożonych układów sieciowych, zwłaszcza dla elementów równoległych i dla węzłów sieciowych [1].
3. Poznanie przyczyn współzależności i wartości liczbowych odnośnych współczynników powinno prowadzić do nowych rozwiązań zmniejszających występujące współzależności.

LITERATURA

1. Kula M. Oziemblewski K.: Praktyczna metoda obliczania niezawodności zasilania odbiorców i pracy złożonych układów sieciowych; Materiały Sympozjum Komitetu Energetyki PAN - Jabłonna 29 - 30.XI. 1968 r.
2. Kula M., Kołakowski T.: Analiza przydatności i komletności dostępczych statystyk awaryjności sieci wysokiego napięcia do obliczeń niezawodnościowych złożonych układów sieciowych; Materiały Sympozjum Komitetu Energetyki PAN - Jabłonna 29 - 30.XI,1968 r.
3. Opracowanie studialne zagadnień niezawodności, pkt. 2: Zweryfikowanie danych wyjściowych dla obliczeń ciągłości zasilania węzłów sieciowych 400, 220 i 110 kV; Instytut Energetyki Politechniki Śląskiej 1971 r. (niepublikowane).
4. Kula M. Uwzględnienie wpływu pogody w obliczeniach niezawodności złożonych układów sieciowych; Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka 1970 z 28.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ АВАРИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Р е з ю м е

В статье представлен метод определения коэффициентов развития аварий на основании статистических данных. Эти коэффициенты определены для двухцепной линии электропередачи, для подстанции с двумя системами сборных шин и для нескольких (2 или 3) линии сходящихся в одном узле сети. Результаты приведены в табл. 1.

COEFFICIENTS OF FAULT-PROPAGATION IN POWER TRANSMISSION NETWORKS

S u m m a r y

The paper deals with the statistical analysis of data of fault-propagation in elektrical power networks. The respective coefficiens have been determined for double-circuit transmision lines, for two-system busbars and for groups of two or three lines terminating in a common node. The resultsare shown in table 1.