

Jan POPCZYK, Kurt ŻMUDA

Instytut Elektroenergetyki
i Sterowania Układów
Politechniki Śląskiej

ZAKŁÓCENIA JEDNOCZESNE W LINIACH 2-TOROWYCH ORAZ SPOSOBY OGRANICZENIA ICH LICZBY

Streszczenie. W artykule rozpatrzono przyczyny zakłóceń jednoczesnych w liniach 2-torowych 110-220 kV oraz wyznaczono wartości wskaźników charakteryzujących ich liczbę. Zwrócono uwagę na zależność liczby zakłóceń jednoczesnych od konstrukcji linii oraz stopnia zanieczyszczenia atmosfery. Poprzez analizę mechanizmu powstania głównych typów zakłóceń jednoczesnych określono sposoby ograniczenia ich liczby.

1. Wstęp

Jednoczesne zakłócenia w pracy torów obniżają wartość użytkową linii 2-torowych, które pod względem kosztów budowy, zajętego terenu itp. stanowią rozwiązanie korzystniejsze od dwóch linii 1-torowych. Dotychczas zagadnienie zakłóceń jednoczesnych w liniach 2-torowych rozpatrywane było jedynie z punktu widzenia potrzeb obliczeń niezawodności pracy systemu elektroenergetycznego [1, 2, 3, 5]. W związku z tym ograniczano się do ilościowego ujęcia zakłóceń jednoczesnych, bez specjalnego wnikania w ich przyczyny. W artykule czynnik w postaci przyczyn zakłóceń wysunięto na plan pierwszy, w związku z rozpatrywaniem zagadnienia od strony wpływu konstrukcji linii i warunków zewnętrznych na liczbę zakłóceń jednoczesnych. Oprócz tego w artykule uściślono sposób obliczania liczby zakłóceń jednoczesnych poprzez wprowadzenie współzależności związanej z mechanizmem występowania zakłóceń zabrudzeniowych.

2. Ogólna charakterystyka zakłóceń jednoczesnych

Liczbę jednoczesnych wyłączeń torów linii proponuje się obliczać z przybliżonego wzoru (podobne wzory, nie zawierające jednak ostatniego członku, podano m.in. w pracach [2, 5])

$$N_j = zN^2 \frac{2t_z}{T} + 2Nk_k + 2Nk_w \quad (1)$$

gdzie:

- N - liczba zakłóceń trwałych jednego toru danej linii w ciągu roku,
- t_z - średni czas trwania zakłócenia trwałego jednego toru linii,
- z - współczynnik związany ze zmiennością intensywności zakłóceń w ciągu roku,
- k_k - współczynnik związany z współzależnością konstrukcyjną torów,
- k_w - współczynnik związany z innymi formami współzależności zakłóceń,
- $T = 8760$ h.

W powyższej zależności nie ujęto, jako niezależnych od konstrukcji linii, zakłóceń wynikających z zawodnego (nieskutecznego) i zbędnego (niepotrzebnego) działania zabezpieczeń jak również przypadków nałożenia się zakłóceń na remont planowy drugiego toru.

Pierwszy człon wzoru (1) określa liczbę jednoczesnych zakłóceń niezależnych z uwzględnieniem zmienności intensywności zakłóceń. Zakłócenia jednoczesne tego typu mają miejsce zarówno w liniach 2-torowych jak również w dwóch dowolnych liniach, nawet terenowo odległych (lecz wtedy wartość współczynnika z będzie mniejsza). Drugi człon wzoru (1), odnoszący się w zasadzie tylko do linii 2-torowych, ujmuje przypadki zaistnienia wspólnego czynnika zakłócającego na obu torach, czy to z uwagi na wspólne niektóre elementy konstrukcyjne, czy też ze względu na przestrzenne zbliżenie torów. Ostatni człon wzoru (1), wyrażający inne (oprócz konstrukcyjnych) formy współzależności zakłóceń, związany jest głównie z faktem, że momenty wystąpienia niektórych typów zakłóceń (szczególnie zabrudzeniowych) są z sobą skorelowane. Oprócz tego składnik ten wyraża również współzależność zakłóceń związaną ze zmianą warunków obciążeniowych po wyłączeniu jednego toru linii. Dla linii (torów) odległych terenowo oraz elektrycznie można przyjąć $k_w \cong 0$.

3. Zakłócenia jednoczesne niezależne

Zagadnienie obliczania liczby jednoczesnych zakłóceń niezależnych zostało rozpatrzone m.in. w pracach [2, 3]. Jak wykazano w pracy [2], wystarczającą dokładność obliczeń dla linii pracujących w krajowych warunkach klimatyczno-zabrudzeniowych zapewnia prosty dwustanowy model zmienności pogody, w którym jako umowny stan złej pogody przyjęto burze z wykładaniami atmosferycznymi oraz okresy mgieł, natomiast jako stan dobrej pogody pozostałe warunki atmosferyczne. Zależność na współczynnik z , podana w pracy [2], została otrzymana przy założeniu wykładniczych rozkładów czasu między kolejnymi zakłóceniami, czasu trwania zakłóceń oraz czasu trwania pojedynczych okresów złej i dobrej pogody.

Podstawowym czynnikiem decydującym o liczbie zakłóceń jednoczesnych niezależnych jest stosunek intensywności zakłóceń dla okresów złej pogody (N_{zp}) i dobrej (N_{dp}). Na podstawie wyników pracy [6] oraz innych prac określono orientacyjne wartości tego stosunku jak również czasy trwania zakłóceń dla linii 2-torowych 110-220 kV (tabl. 1). Odpowiadające temu wartości współczynnika z , obliczone ze wzoru podanego w pracy [2], zamieszczono w tabl. 1.

W przypadku bardzo uproszczonego potraktowania zagadnienia obliczania liczby jednoczesnych zakłóceń niezależnych, przy pominięciu rozkładu czasu trwania zakłóceń itp., można korzystać z zależności

$$z = \frac{\delta + (1 - \delta) \frac{N_{zp}}{N_{dp}}}{\left[\delta + \frac{N_{zp}}{N_{dp}} (1 - \delta) \right]^2} \quad (2)$$

gdzie δ jest względnym czasem trwania dobrej pogody.

Tablica 1

Skrajne wartości współczynnika z dla linii 2-torowych 110-220 kV

Napięcie znamionowe	Liczba przewodów odgr. i stopień zaniecz. atmosfery	$\frac{N_{zp}}{N_{dp}}$	t_z [h]	z
110 kV	2 p.odgr., mały	50	4 - 6	5
	1 p. odgr., duży	150		10
220 kV	2 p.odgr., mały	30	6 - 8	3
	1 p.odgr., duży	100		7

Otrzymane ze wzoru (2) wartości współczynnika z są jednak znacznie wyższe od podanych w tabl. 1 (ok. 2-krotnie dla wchodzących w rachubę intensywności zakłóceń).

4. Zakłócenia jednoczesne współzależne

W tabl. 2 zawarto wyniki obszernych badań statystycznych [6] niezawodności pracy linii 2-torowych 110-220 kV w 4 Okręgach Energetycznych (bez ZEOW i ZEOC) za okres ok. 5 lat. Łączna długość torów badanych linii wynosiła 2900 km (110 kV) i 1500 km (220 kV).

Podana w poz. 1 tabl. 2 liczba zakłóceń pierwotnych określa całkowitą liczbę zakłóceń na obu torach z pominięciem jednoczesnych wyłączeń drugiego toru linii. Jako zakłócenia jednoczesne wynikające ze współzależności konstrukcyjnej torów (poz. 2) przyjęto zakłócenia, które wystąpiły w

tym samym momencie czasowym oraz te spośród przesuniętych w czasie zakłóceń jednoczesnych, dla których okoliczności wskazywały na ich związek z przestrzennym zbliżeniem torów. Dla pozostałych zakłóceń jednoczesnych (poz. 3) nie określono liczby zakłóceń przemijających, ponieważ często występują one seryjnie w krótkich odstępach czasu, a nie mamy podstaw do stwierdzenia, czy jest to jedno lub kilka różnych zakłóceń.

Analizując dane zawarte w poz. 1 i 2 tabl. 2, można stwierdzić, że częstość występowania zakłóceń jednoczesnych związanych ze współzależnością konstrukcyjną torów jest różna dla różnych typów zakłóceń. Dla całości zakłóceń burzowych wynosi ona ok. 0,15 (dla zakłóceń trwałych ok. 0,08), natomiast dla zakłóceń innych typów w obu przypadkach ok. 0,06. Kwestia istotności powyższych różnic została zweryfikowana testem niezależności χ^2 , przy wykorzystaniu danych dla zakłóceń trwałych i przemijających łącznie zawartych w tabl. 2. Otrzymana wartość statystyki $\chi^2 = 13,81$ jest znacznie większa od krytycznej wartości $\chi^2_{0,05} = 5,99$, co oznacza, że róż-

Tablica 2

Statystyka zakłóceń w badanym zbiorze 2-torowych linii 110-220 kV^{x)}

Rodzaj zakłóceń	trwale	trwale i przemijaj.
1. Liczba zakłóceń pierwotnych	337 (408)	622 (930)
W tym spowodowanych:		
- wył. atm.	91	219
- zabrudzeniem izolacji	114	201
- innymi przyczynami	132	202
2. Liczba zakłóceń jednoczesnych wynikających ze współzależności konstrukcyjnej torów	26 (26)	65 (82)
W tym spowodowanych:		
- wył. atm.	9	38
- zabrudzeniem izolacji	5	12
- innymi przyczynami	12	15
3. Liczba pozostałych zakłóceń jednoczesnych	22 (23)	
W tym spowodowanych:		
- wył. atm.	-	
- zabrudzeniem izolacji	20	
- innymi przyczynami	2	

x) W nawiasach podano łączną liczbę zakłóceń, o znanych i nieznanach przyczynach.

nice te są statystycznie istotne. Przyczyn fizykalnych tego zjawiska należy szukać w mechanizmie powstawania zakłóceń burzowych oraz zakłóceń pozostałych. Jednoczesne zakłócenia burzowe wynikają głównie z istnienia wspólnych elementów konstrukcyjnych linii (słupy, przewody odgromowe), natomiast pozostałe zakłócenia z przestrzennego zbliżenia torów.

Oprócz powyższego rozpatrzono sprawę wpływu liczby linek odgromowych na częstość występowania jednoczesnych zakłóceń burzowych. W tym celu sporządzono statystykę zakłóceń burzowych trwałych i przemijających łącznie w liniach z 1 i 2 przewodami odgromowymi (tabl. 3). Stosując jak poprzednio test niezależności χ^2 , otrzymano wartość statystyki $\chi^2 = 0,04$, znacznie mniejszą od krytycznej wartości $\chi_{0,05}^2 = 3,84$. Tak więc nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o niezależności częstości występowania jednoczesnych zakłóceń burzowych od liczby przewodów odgromowych. Biorąc to pod uwagę, jak również uwzględniając niezbyt duże różnice w częstości występowania trwałych zakłóceń jednoczesnych różnego typu, można dla ogółu linii 2-torowych danego napięcia przyjąć jedną wartość współczynnika k_k (tabl. 4).

Przy założeniu niezależności zakłóceń spodziewana liczba zakłóceń jednoczesnych w i -tej linii w okresie t_i lat wynosi

$$n_{ji} = z \frac{n_i^2}{t_i} \cdot \frac{t}{2T} \quad (3)$$

gdzie n_i stanowi liczbę zakłóceń w okresie t_i na obu torach linii z wyłączeniem zakłóceń jednoczesnych wynikających ze współzależności konstrukcyjnej torów. Dla zbioru linii o zbliżonym stosunku N_{zp}/N_{dp} całkowita liczba niezależnych zakłóceń jednoczesnych jest określona wzorem

$$n_j = z \frac{t}{2T} \sum \frac{n_i^2}{t_i} \quad (4)$$

Tablica 3

Liczba przewodów odgromowych	1	2
Liczba zakłóceń jednoczesnych	15	23
Liczba zakłóceń pierwotnych	83	136

Wykorzystując zależność (4), obliczono, że w badanym zbiorze linii 110-220 kV [6] podzielonym na 5 podzbiorów pod względem napięcia, liczby przewodów odgromowych oraz stopnia zanieczyszczenia atmosfery, oczekiwana liczba niezależnych zakłóceń jednoczesnych powinna wynosić 2-3 zakłóceń. Z drugiej strony, gdyby całość zakłóceń podanych w poz. 3 tabl. 2 potraktować jako zakłócenia niezależne z przekształconej zależności (4) otrzymuje się wartości współczynnika z przeciętnie biorąc ok. 10-krotnie wię-

sze od obliczonych w sposób podany w p. 3. Wyniki tych dwóch przeliczeń świadczą wyraźnie o współzależności między zakłóceniami.

Istnieją podstawy, aby sądzić, że stwierdzona współzależność wynika głównie z mechanizmu powstawania zakłóceń zabrudzeniowych. Oba torzy linii pracują w identycznych warunkach zabrudzeniowych i atmosferycznych, stąd procesy rozwoju i moment wystąpienia przeskoaku zabrudzeniowego na izolacji obu torów są z sobą skorelowane. W przeciwieństwie do tego np. dla okresów burzowych wystąpienie zakłócenia na jednym z torów nie wpływa praktycznie na ocenę prawdopodobieństwa wystąpienia oddzielnego (przesuniętego w czasie) zakłócenia burzowego na drugim torze, są to więc zdarzenia losowe niezależne.

Wartość współczynnika k_w obliczono z liczby zakłóceń jednoczesnych podanych w poz. 3 tabl. 2 pomniejszanej o oczekiwaną liczbę zakłóceń jednoczesnych niezależnych. Należy zaznaczyć, że otrzymana wartość k_w (tabl. 4) odpowiada udziałowi zakłóceń zabrudzeniowych rzędu 35% w ogólnej awaryjności linii. Przy zmniejszeniu tego udziału należy się spodziewać w przybliżeniu proporcjonalnego obniżenia liczby zakłóceń jednoczesnych, a więc także współczynnika k_w .

Tablica 4

Stwierdzone wartości współczynnika k_k i k_w

Typ linii	k_k	k_w
110 kV	0,07	0,05
220 kV	0,06	0,05

5. Sposoby ograniczenia liczby zakłóceń jednoczesnych

Jak wynika z przeprowadzonej analizy, ok. 80-90% jednoczesnych wyłączeń torów jest powodowanych wyładowaniami atmosferycznymi oraz zanieczyszczeniem atmosfery, na te więc czynniki należy zwrócić największą uwagę w poszukiwaniach sposobów ograniczenia liczby zakłóceń jednoczesnych.

W publikacji [4] rozpatrzono mechanizm występowania jednoczesnych zakłóceń burzowych. Stosując metodę fal wędrownych oraz modelowania statystycznego, pokazano na przykładzie linii 220 kV (pionowy układ przewodów, 1 przewód odgromowy dający kąt ochrony 40° , średnia rezystancja uziemień 28Ω), że jednoczesne wyłączenia torów mogą występować przy uderzeniach pioruna w dowolny element linii, przy czym decydujące znaczenie mają uderzenia w słup lub w linkę odgromową w pobliżu słupa (ok. 80% zakłóceń jednoczesnych). Kolejność, w jakiej występują przeskoaki odwrotne na poszczególnych fazach obu torów, zależy głównie od 3 czynników: potencjału poszczególnych poprzeczek, chwilowej wartości napięcia roboczego i współczynnika sprzężenia między daną fazą a przewodami odgromowymi (oraz prze-

wodami roboczymi, na których już wystąpił przeskok odwrotny). Najważniejsze są dwa ostatnie czynniki, stąd w analizowanej linii pierwszy przeskok odwrotny najczęściej zachodził na dolnej fazie (w ok. 60% przypadków). Po wystąpieniu pierwszego przeskoku współczynnik sprzężenia w większym stopniu rośnie dla pozostałych faz danego toru, stąd następny przeskok odwrotny najczęściej (w ok. 85% przypadków) występował na drugim torze.

Ograniczenie liczby jednoczesnych zakłóceń burzowych można uzyskać przede wszystkim tradycyjnymi sposobami, ograniczającymi liczbę zakłóceń burzowych pierwotnych, a więc poprzez obniżenie rezystancji uziemień, stosowanie dwóch przewodów odgromowych zamiast jednego itp. Niekonwencjonalne sposoby mają na celu wymuszenie odpowiedniej kolejności występowania przeskoków odwrotnych. W tym celu można zastosować m.in. odpowiedni układ przewodów lub zróżnicowaną izolację torów linii. Za szczególnie korzystny układ przewodów uważa się [4] podwójny układ płaski, w którym przeskoki odwrotne zachodzą głównie na dolnym torze, ponieważ współczynniki sprzężenia dla faz górnego toru są większe a ponadto silnie rosną po kolejnych przeskokach na izolacji dolnego toru.

Liczbę zakłóceń jednoczesnych zabrudzeniowych można ograniczyć przez zmniejszenie globalnej liczby zakłóceń zabrudzeniowych. Wymaga to ustalenia zwiększonych wymagań odnośnie odporności izolacji linii 2-torowych na zabrudzenia. Ponieważ zwiększonej odporności zabrudzeniowej towarzyszy zazwyczaj zwiększona wytrzymałość udarowa izolacji, dałoby to również zmniejszenie liczby jednoczesnych zakłóceń burzowych.

6. Wnioski

1) Liczba zakłóceń jednoczesnych zarówno niezależnych jak i współzależnych w liniach 2-torowych jest uzależniona od rozwiązania konstrukcyjnego linii (głównie ochrony odgromowej) oraz warunków zabrudzeniowych, w jakich pracuje linia.

2) Współzależność zakłóceń w liniach 2-torowych wynika nie tylko ze współzależności konstrukcyjnej torów, lecz również ze współzależności zakłóceń typu zabrudzeniowego.

3) Obniżenie liczby zakłóceń jednoczesnych można uzyskać m.in. poprzez ustalenie zwiększonych wymagań odnośnie doboru izolacji linii 2-torowych na warunki zabrudzeniowe.

LITERATURA

- [1] Bogucka S., Goc W., Bargiel J.: Współczynniki współzależności zakłóceń w układzie sieciowym. Zesz.Nauk.Pol.Śląskiej "Elektryka", 1973 z. 37.

- [2] Kula M.: Uwzględnienie wpływu zmienności pogody w obliczeniach niezawodności złożonych układów sieciowych. Zesz.Nauk.Pol.Śląskiej "Elektryka", 1970 z. 28.
- [3] Rudakowa R.M., Sysojewa E.W.: Uczeń efektu grupowości powięzdzienij WL pri rasczjetach nadzieźnosti. Elektr.Stancii, 1971 nr 3.
- [4] Sargent M.A., Darveniza M.: Lightning performance of double-circuit transmission lines. IEEE PAS, 1970 nr 5.
- [5] Sozański J.: Niezawodność urządzeń i układów elektroenergetycznych. PWN. Warszawa 1974.
- [6] Żmuda K.: Analiza przyczyn awaryjności linii 2-torowych 110-220 kV w kraju. Oprac. IEiSU Pol.Śląskiej, Gliwice 1975 r.

Przyjęto do druku w kwietniu 1976 r.

ОДНОВРЕМЕННЫЕ ПОМЕХИ В ДВУХЦЕПНЫХ ЛИНИЯХ И СПОСОБЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ИХ ЧИСЛА

Резюме

В статье изложены результаты статистических исследований одновременных помех в двухцепных линиях 110-220 кВ. Обращено внимание на зависимость числа этих помех от конструкции линии и степени загрязнения воздуха. Определены способы ограничения числа одновременных помех.

OUTAGE RATES ON DOUBLE-CIRCUIT TRANSMISSION LINES AND THE METHODS OF LIMITATION OF THEIR NUMBER

Summary

In the article the results of statistic investigations of the simultaneous outage rates on 110-220 kV double-circuit transmission lines have been given. It has also been shown that the number of outages depends on line construction as well as air pollution. The methods of limitation of the number of simultaneous outages have been determined.