

Paweł SOWA

Instytut Elektroenergetyki
i Sterowania Układów
Politechniki Śląskiej

WPLYW NIEJEDNOCZESNOŚCI ZWARĆ WIELOFAZOWYCH NA SKŁADOWE SWOBODNE WYSOKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę oraz wyniki analizy przebiegów przejściowych podczas niejednoczesnych zwarć wielofazowych, ze szczególnym uwzględnieniem składowych swobodnych wysokiej częstotliwości. Przedstawiono zależności częstotliwości i amplitudy składowych swobodnych wysokiej częstotliwości od długości linii, mocy zwarciowej systemu, wartości kąta fazowego napięcia w momencie powstania zakłócenia.

1. WSTĘP

Aktualnie stosowane metody analizy parametrów pracy systemu elektroenergetycznego podczas zwarć wielofazowych zakładają z reguły jednoczesność występowania poszczególnych etapów zakłócenia. Na wynikach tej analizy opiera się dobór zarówno elementów układów elektroenergetycznych, jak i parametrów automatyki zakłóceńowej.

W rzeczywistości zwarcia te mają charakter niejednoczesny. Dotychczasowe badania wpływu niejednoczesności na przebiegi prądów zwarciowych wykazały - z uwagi na stosowane modele i metody obliczeniowe - jedynie istotny wpływ niejednoczesności na wartość składowej nieokresowej prądu zwarcia.

W ostatnich czasach wzrasta zainteresowanie składowymi swobodnymi wysokiej częstotliwości, występującymi w przebiegach przejściowych podczas stanów zakłóceńowych [3,4]. Wyniki badań spotkały się z zainteresowaniem ośrodków naukowych, zajmujących się zagadnieniami automatyki elektroenergetycznej, przy czym jedne z nich zakładają wykorzystanie składowych swobodnych do identyfikacji sygnałów zakłóceńowych, inne natomiast opowiadają się za dążeniem do ich eliminacji z sygnałów wejściowych układów automatyki.

Dotychczasowe badania wpływu niejednoczesności [5] na przebiegi prądów zwarciowych dotyczyły zwarć w układach jednostronnie zasilanych. W badaniach tych posługiwano się najczęściej modelem fizycznym układu lub oscylogramami otrzymanymi podczas prób w laboratoriach. Wyniki badań wykazały wzrost składowej nieokresowej w prądzie zwarciowym w stosunku do maksymal-

nie możliwej składowej występującej podczas zwarć jednoczesnych. Badania składowych swobodnych wysokiej częstotliwości były dotychczas prowadzone tylko przy założeniu jednoczesności zakłóceń.

Jedną z przyczyn nieuwzględnienia dotychczas niejednoczesności zakłóceń w badaniach składowych swobodnych wysokiej częstotliwości prądu i napięcia były trudności w znalezieniu odpowiedniej metody analizy.

W artykule przedstawiono wyniki badań [1,2] przeprowadzonych przy wykorzystaniu metody bezpośredniego modelowania z wykorzystaniem teorii grafów przepływu sygnałów. Obliczenia wykonano na maszynie analogowej ze sterowaniem logicznym ADT-3000.

2. METODA ANALIZY

Metoda bezpośredniego sekwencyjnego modelowania trójfazowego zastosowana do analizy zakłóceń niejednoczesnych pozwoliła - jak wykazały wyniki badań - szybko i stosunkowo dokładnie określić wpływ niejednoczesności zakłóceń oraz parametrów i konfiguracji układu na przebiegi przejściowe towarzyszące zakłóceniom. Bazę do sporządzenia grafów przepływu sygnałów wykorzystanych w tej metodzie stanowiły schematy zastępcze badanych układów. Na rysunku 1 przedstawiono graf przepływu sygnałów, odpowiadający schematowi zastępczemu układu dwustronnie zasilanego. Graf ten przewiduje zmiany jego struktury odpowiednio do rodzaju zwarcia. Kombinacja struktur elementarnych grafów odpowiada automatycznej zmianie połączeń elementów operacyjnych maszyny analogowej.

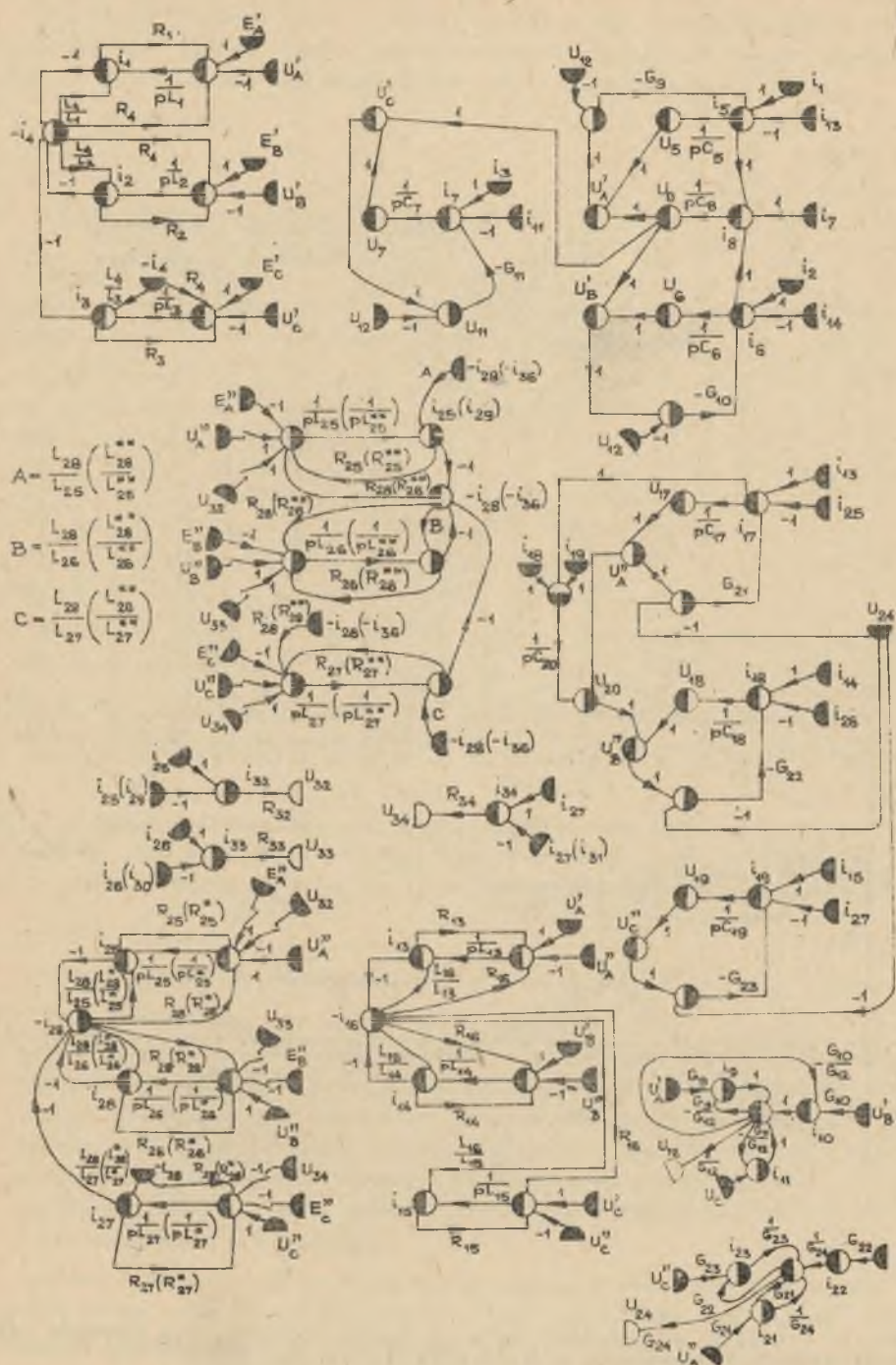
3. WPLYW NIEJEDNOCZESNOŚCI NA PRZEBIEG PRĄDÓW I NAPIĘĆ PODCZAS ZWARĆ WIELOFAZOWYCH

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że niejednoczesność zakłóceń zwarciovych ma istotny wpływ na amplitudę i częstotliwość składowych swobodnych wysokiej częstotliwości. Głównymi czynnikami decydującymi o amplitudzie składowych są - rodzaj zwarcia i kąt początkowy napięcia.

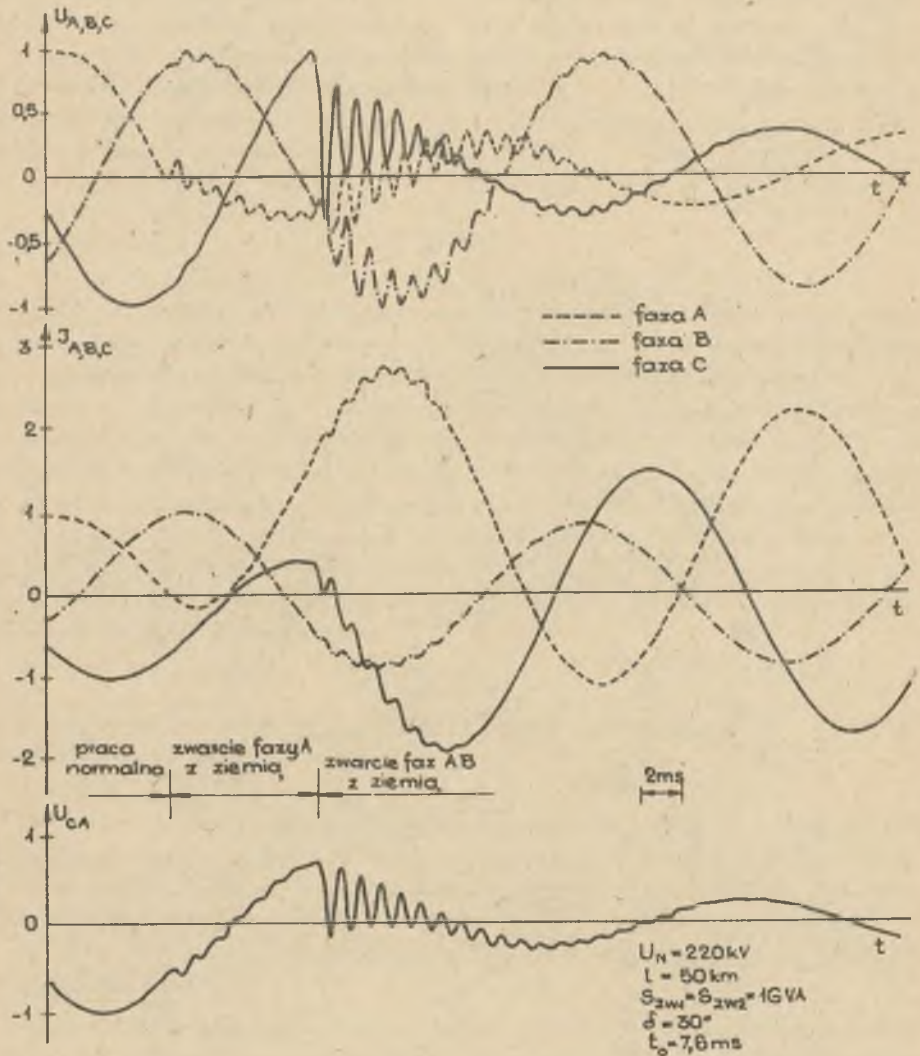
Przy zwarciu niejednoczesnym dwufazowym z ziemią opóźnienie zwierania drugiej fazy powoduje:

- zmianę kątów początkowych napięcia międzyfazowego faz zwartych, przy których występują maksymalne amplitudy oraz kątów, przy których składowe nie występują,
- wzrost maksymalnie możliwej amplitudy składowych.

Na rysunku 2 podano przykładowe przebiegi przejściowe napięć i prądów fazowych oraz napięcia międzyprzewodowego faz zwartych podczas niejednoczesnego zwarcia dwufazowego z ziemią.



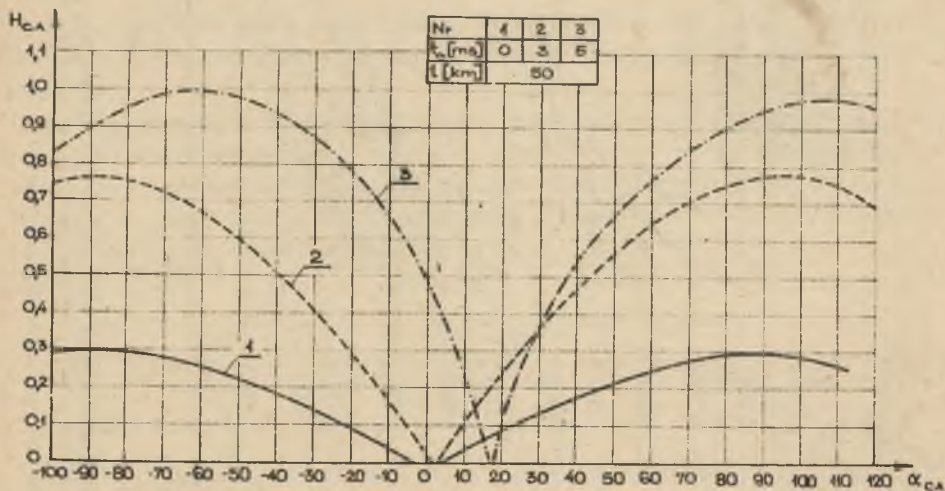
Rys. 1. Graf przepływu sygnałów dla układu dwustronnie zasilanego



Rys. 2. Przebiegi przejściowe napięć i prądów fazowych oraz napięcia międzyprzewodowe faz zwartych podczas niejednoczesnego zwarcia faz A i C z ziemią w układzie dwustronnie zasilanym

Na rys. 3 przedstawiono przebiegi wartości amplitud składowych swobodnych wysokiej częstotliwości dla określonych czasów opóźnienia zwierania drugiej fazy podczas niejednoczesnego zwarcia dwufazowego z ziemią.

H_{CA} – stosunek amplitudy składowej swobodnej wysokiej częstotliwości w napięciu międzyprzewodowym faz dotkniętych zwarem do amplitudy napięcia znamionowego międzyprzewodowego

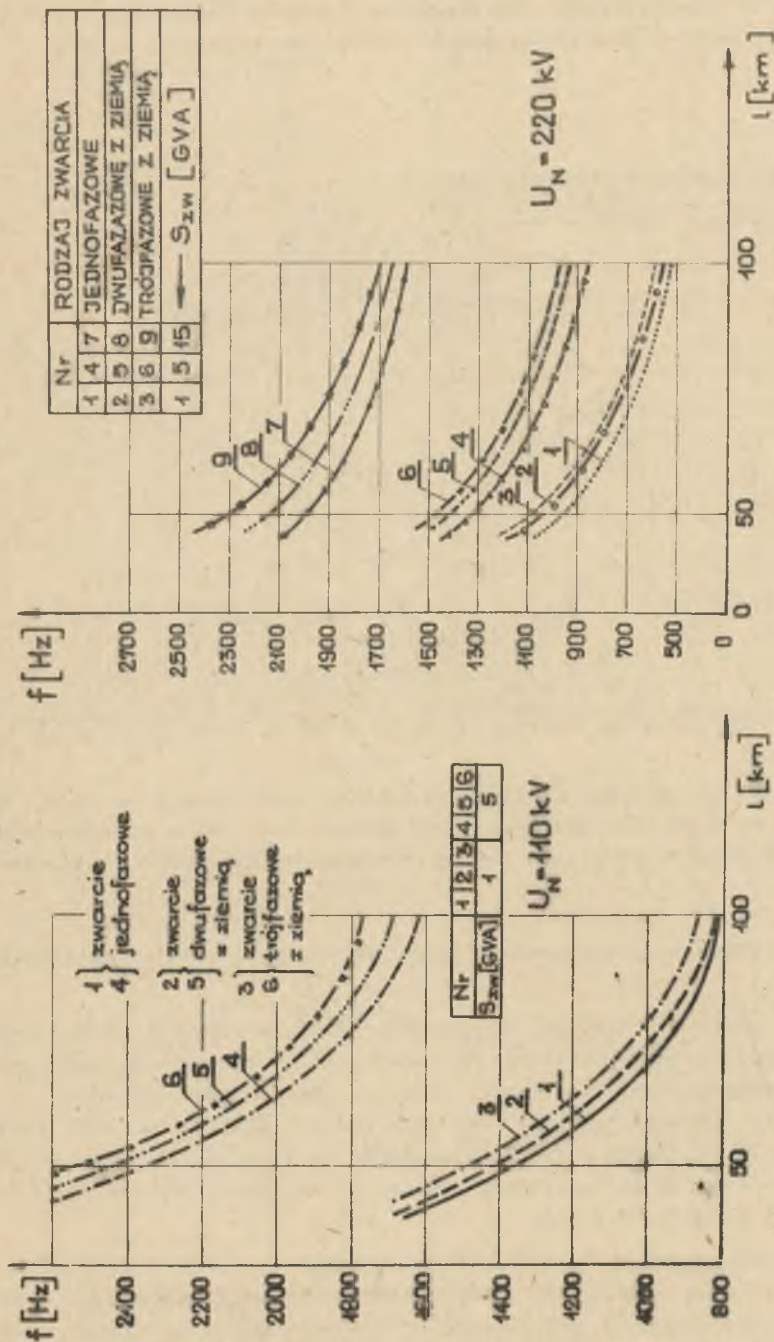


Rys. 3. Przebiegi wartości amplitud składowych swobodnych w napięciu U_{CA} w funkcji jego kąta fazowego α_{CA} , przy zwarciu faz CA z ziemią dla podanych czasów opóźnienia t_0 w układzie jednostronnie zasilanym

W wyniku badań niejednoczesnych zwarć trójfazowych z ziemią stwierdzono:

- wzrost maksymalnej amplitudy składowych pojawiających się w fazie zwieranej z opóźnieniem, w stosunku do maksymalnie możliwej amplitudy składowych występujących w tej fazie, podczas zwarcia jednoczesnego,
- zmianę kąta fazowego napięcia fazy zwieranej z opóźnieniem, przy którym składowe nie występują w stosunku do kąta, przy którym składowe zanikają podczas zwarcia jednoczesnego. Zmiana kątów odnosi się również do maksymalnych wartości amplitud.

Zarówno przy zwarciu dwufazowym z ziemią, jak i zwarciu trójfazowym z ziemią ze wzrostem długości linii oraz mocy zwarciowej podsystemów zasilających maleje amplituda składowych.



Rys. 4. Wykresy częstotliwości pierwszej składowej swobodnej występującej w przebiegach przejściowych faz zwartych podczas zwarcia z udziałem ziemi na końcu linii przesyłowej w zależności od jej długości a - dla układu 110 kV, b - dla układu 220 kV

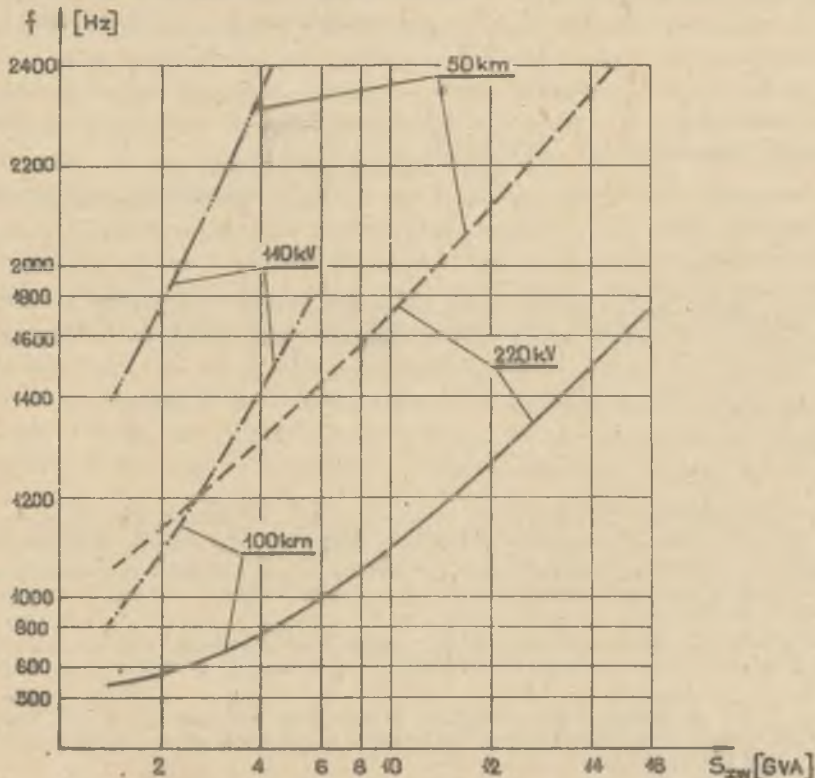
Wpływ niejednoczesności na amplitudę składowych swobodnych wysokiej częstotliwości – tak wyraźny przy zwarcia z udziałem ziemi – jest dla zwarcia trójfazowego bez udziału ziemi bardzo mały.

Czynnikami decydującymi o wartości częstotliwości składowych swobodnych wysokiej częstotliwości są:

- rodzaj zwarcia,
- miejsce zwarcia,
- długość linii,
- moc zwarcia podsystemów zasilających.

Przeprowadzona analiza wykazała, że każdemu etapowi zwarcia niejednoczesnego odpowiada częstotliwość składowych występujących dla konkretnego zwarcia.

Na rys. 4 podano wykresy zależności częstotliwości składowych od długości linii, przy zwarcia z udziałem ziemi na jej końcu, dla różnych mocy zwarcia podsystemów zasilających. Na rys. 5 przedstawiono wykresy zależności częstotliwości składowych od mocy zwarcia przy różnych długościach linii dla zwarc bez udziału ziemi.



Rys. 5. Wykresy częstotliwości pierwszej składowej swobodnej występującej w przebiegach przejściowych faz zwartych podczas zwarc dwufazowych i trójfazowych na końcu linii przesyłowej w zależności od mocy zwarcia podsystemu zasilającego

Wyniki badań dotyczących wpływu niejednoczesności na składowe nieokresowe prądu zwarciovego zostaną przedstawione w odrębnym opracowaniu.

4. UWAGI KOŃCOWE

- a. Podczas badań zakłóceń wielofazowych należy uwzględnić niejednoczesność zwierania poszczególnych faz. Wynika to z faktu wyraźnej różnicy amplitud i częstotliwości składowych w przebiegach przejściowych, występujących podczas zwarc niejednoczesnych i jednoczesnych. Wielkość tej różnicy zależna jest od rodzaju zwarcia oraz konfiguracji układu.
- b. Dla zwarc wielofazowych, z udziałem ziemi, niejednoczesność powoduje zmianę wartości amplitudy składowych swobodnych wysokiej częstotliwości. Dla układów jednostronnie zasilanych wartości amplitud składowych swobodnych przy badanych zwarciach niejednoczesnych były nawet pięciokrotnie większe w porównaniu do zwarc jednoczesnych. W układzie dwustronnie zasilanym o poziomie napięcia 110 kV wzrost ten osiągał trzykrotną wartość amplitudy.
- c. Podczas niejednoczesnych zwarc wielofazowych z udziałem ziemi składowe swobodne wysokiej częstotliwości posiadają częstotliwości różne dla każdego rodzaju zwarcia. Zmiana rodzaju zwarcia powoduje zmianę częstotliwości składowych. Dla zwarcia trójfazowego oraz dwufazowego bez udziału ziemi częstotliwości składowych są identyczne.
- d. Przedstawione powyżej wnioski oraz wyniki badań podane w pracy mogą zostać wykorzystane dla potrzeb konstrukcji i eksploatacji układów automatyki zabezpieczeniowej i łączeniowej. Dotyczyć to będzie zarówno przy padków, gdy przebiegi przejściowe będą wykorzystywane do identyfikacji i lokalizacji zakłóceń, jak również gdy dążyć będzie się do ich eliminacji.

LITERATURA

- [1] Sowa P.: Przebiegi przejściowe podczas zakłóceń niejednoczesnych w wybranych układach elektroenergetycznych (praca doktorska). Gliwice 1979.
- [2] Lawera E., Sowa P.: Metody analizy złożonych zakłóceń niejednoczesnych w układach elektroenergetycznych, Prace IEiSU Politechniki Śląskiej, Gliwice 1978.
- [3] Boonyubool C.: Power transmission system fault simulation analysis and location. Ph. Dissertation Univerity of Missouri - Columbia, August 1968.
- [4] Johns A.T., Agganual R.K.: Digital simulation of faulted E.H.V. Transmission lines with particular reference to very high-speed protection. Proc. IEE Nr 4, 1976.

- [5] Ciok Z.: Zwarcia niejednoczesne w obwodach trójfazowych. Przegląd Elektrotechniczny 12/1962.

Wpłynęło do Redakcji dnia 20.VI.1980 r. Recenzent:

Doc. dr hab. inż. Tadeusz Łobos

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОВРЕМЕННОСТИ МНОГОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМКНУТИЙ
НА СВОБОДНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Р е з ю м е

В статье представлен метод, а также результаты переходных процессов во время неодновременных многофазных коротких замыканий, обращая особенно внимание на свободные составляющие высокой частоты. Представлены зависимости частоты и амплитуды свободных составляющих высокой частоты от длины, мощности короткого замыкания системы, значения угла, определяющего фазу напряжения в моменте возникновения возмущения.

INFLUENCE NON-SIMULTANEOUS PHASE FAULTS ON HIGH
FREQUENCY FREE COMPONENTS

S u m m a r y

In the paper an analysis of the results of transient phenomena associated with nonsimultaneous phase faults is described. Special attention is paid to the high frequency free components. The dependencies of the frequency and magnitude of the high-frequency free components on the transmission line length, the short circuit level, and the phase angle value of the voltage at the beginning of the transient process are also given.