

Paweł SOWA

Instytut Elektroenergetyki
i Sterowania Układów
Politechniki Śląskiej

Claus HAASE

Szkoła Inżynierska w Żytawie (NRD)
(Ingenieurhochschule Zittau)

SYMULACJA ZJAWISK PRZEJŚCIOWYCH DLA LINII PRZESYŁOWYCH ZA POMOCĄ HYBRYDOWEGO MODELU FIZYCZNEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono hybrydowy model fizyczny wykorzystywany w analizie przebiegów przejściowych prądów i napięć w liniach przesyłowych o dużej długości. W modelu tym przyjęto układ dwustronnie zasilany z dokładnym odwzorowaniem linii przesyłowej. Modelowanie analogowe lub hybrydowe może być zastąpione całkowicie przez symulację cyfrową kosztem wygody oraz czasu obliczeń. Zastosowanie kombinacji modelu hybrydowo-fizycznego stanowi doskonale narzędzie obliczeniowe. Materiał zaprezentowany w artykule może być informacją o możliwościach modelu fizyczno-hybrydowego dla analizy zjawisk w układzie elektroenergetycznym. Główną korzyścią modelu jest otrzymywanie wyników prądu i napięcia w czasie rzeczywistym. Można je przechowywać w pamięci lub bezpośrednio wykorzystywać przy badaniu zabezpieczeń przełącznikowych.

1. Wprowadzenie

Dokładna znajomość parametrów składowych swobodnych prądów i napięć może ułatwić prace związane z zastosowaniem programowanych urządzeń cyfrowych w technice zabezpieczeń cyfrowych. Algorytmy dla zabezpieczeń cyfrowych przewidują analogową względnie cyfrową filtrację składowych swobodnych prądów i napięć. Istnieje też tendencja wykorzystywania składowych swobodnych jako kryterium lokalizacji miejsca zwarcia. Zarówno dla zwolenników jednej jak i drugiej tendencji w traktowaniu tych składowych niezbędna jest znajomość tak amplitud, jak i zakresu spodziewanych częstotliwości składowych swobodnych w. cz.

Badania analityczne tych składowych prowadzone są aktualnie w szerokim zakresie, przy czym nie istnieją powszechnie przyjęte metody prowadzenia tych obliczeń. W ośrodkach obliczeniowych Europy Zachodniej oraz Ameryki Północnej konkurują ze sobą dwie metody:

- szybkie dyskretne przekształcenie Fouriera (FDTP),
- program obliczania elektromagnetycznych przebiegów przejściowych (EMTP).

Fonadto wiele ośrodków posiada własne metody oraz programy obliczeń mniej lub więcej zbliżone do obu podanych. Oprócz metod wykorzystujących maszyny cyfrowe stosowane są jeszcze metody analogowe, posiadające tę zaletę, że w stosunkowo krótkim czasie można uzyskać wyniki dla szerokiego zakresu parametrów. Wadą tych metod jest mała dokładność. Linie modelowane są za pomocą parametrów skupionych w postaci łańcucha trójfazowych czwórników elementarnych. Zwiększenie dokładności wymaga większej liczby czwórników, co wiąże się z koniecznością stosowania maszyn analogowych o odpowiednio dużej pojemności. Stąd w dotychczasowych badaniach wykorzystujących metody analogowe ograniczano analizę do linii krótkich. W badaniach przeprowadzanych na maszynie hybrydowo-analogowej ADT-3000 uzyskano stosunkowo dużą dokładność otrzymywanych wyników obliczeń prądów i napięć dla zwarć w liniach o długości 50 km [1].

Problem dokładnego określenia amplitud i częstotliwości składowych swobodnych w. cz. nabiera szczególnego znaczenia dla zwarć powstających na końcu bardzo długich linii, kiedy to można się spodziewać składowych o częstotliwościach szczególnie niskich.

Od kilku lat istnieje w Szkole Inżynierskiej w Żytawie model fizyczny układu elektroenergetycznego, na którym można między innymi prowadzić obliczenia stanów przejściowych dla bardzo długich linii [2].

W artykule przedstawiono opis modelu oraz możliwości symulacji przebiegów czasowych prądów i napięć podczas zakłóceń w systemie elektroenergetycznym.

2. Opis hybrydowego modelu fizycznego

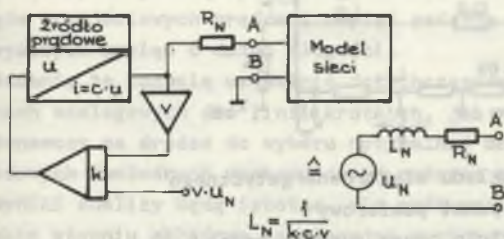
Za pomocą omawianego modelu istnieje możliwość przeprowadzania obliczeń przebiegów dynamicznych oraz statycznych w układach liniowych. Modelowanie procesów dynamicznych odbywa się za pomocą układu hybrydowego złożonego z maszyny analogowej oraz modelu fizycznego sieci. Dopasowaniu obydwu modeli służą specjalne sterowalne źródła prądowe i napięciowe oraz wzmacniacze od-sprzęgające.

Odwzorowanie procesów łączeniowych i zakłóceńiowych odbywa się za pomocą elektronicznych programowanych modeli wyłączników. Modelowanie procesów statycznych odbywa się przeważnie na analizatorze sieciowym, który może być sprzężony zarówno z maszyną analogową, jak i cyfrową. Sterowanie procesem obliczeniowym może odbywać się z maszyny cyfrowej.

3. Modelowanie elementów układu elektroenergetycznego

Modele generatorów odwzorowane zostały za pomocą reaktancji podprześciowych z wykorzystaniem maszyny analogowej. Realizacja źródła zasilania (generator-transformator lub system zasilający) za pomocą modelu fizycznego nie

byłaby możliwa z uwagi na dużą wartość stosunku X/R . Reaktancja odwzorowana jest na modelu analogowym przy wykorzystaniu specjalnych źródeł prądowych,



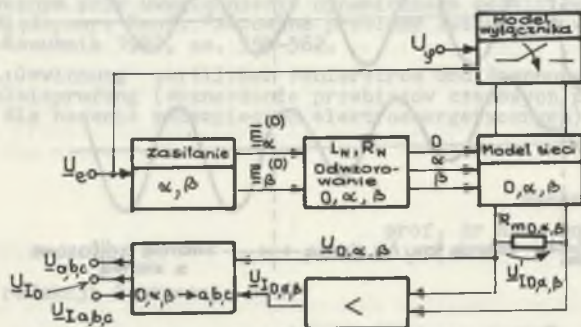
Rys. 1. Odwzorowanie układu zasilania

Fig. 1. The supply systems representation

co pokazano na rys. 1. Modelowanie linii przesyłowej odbywa się na modelu fizycznym jako łańcuch czwórników typu π , przy czym możliwa jest regulacja odcinka długości linii przypadającej na jeden czwórnik.

Do analizy obliczeniowej problemu poruszanego w artykule przyjęto długość odcinka linii $\Delta l = 5$ km. Wybór chwili zwarcia jest dowolny.

Za pomocą programowanego modelu wyłącznika można wybierać zarówno kąt fazowy napięcia fazy zwieranej w zakresie do 180° , jak również czasy opóźnienia zwierania kolejnych faz (w przypadku zwarcń niejednoczesnych).



Rys. 2. Schemat blokowy hybrydowego modelu fizycznego

R_N, L_N - parametry systemu zasilającego,

R_m - oporność pomiarowa

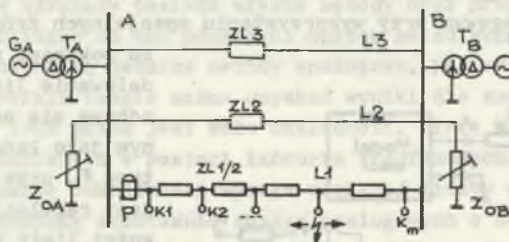
Fig. 2. Physical-Hybrid model blok diagram

R_N, L_N - parameter of supply system

R_m - measurement resistance

Na rys. 2 przedstawiono schemat blokowy procesu modelowania. Jak widać, model sieci odwzorowany jest za pomocą składowych $\alpha, \beta, 0$, przy czym na wyjściu odbywa się transformacja składowych $\alpha, \beta, 0$ na składowe fazowe a, b, c .

Do wstępnego przykładu obliczeniowego wybrano niejednoczesne zwarcie dwufazowe, gdy na początku powstaje zwarcie jednofazowe z ziemią, zaś po opóźnieniu czasowym Δt nastąpiło zwarcie trójfazowe z ziemią. Badania przepro-

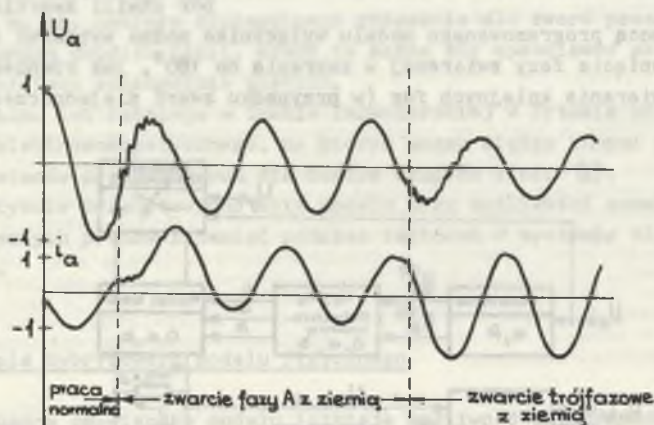


Rys. 3. Model układu elektroenergetycznego

P - punkt pomiarowy

Fig. 3. Electric power systems model

P - test point



Rys. 4. Typowy przebieg przejściowy prądu i napięcia

Fig. 4. Typical current and voltage transient

wadzone w układzie, którego strukturę podano na rys. 3, zaś przykładowe przebiegi przejściowe prądu i napięcia fazy a w punkcie pomiarowym P pokazano na rys. 4. Obliczenia wykonano dla zwarcia w środku linii przesyłowej o następujących danych:

$$U_N = 380 \text{ kV,}$$

$$l = 300 \text{ km,}$$

$$Z_1 = 0,03 + j0,26 \Omega,$$

$$Z_0 = 0,14 + j0,92 \Omega,$$

$$C_1 = 14 \text{ nF/km,}$$

$$C_0 = 6 \text{ nF/km.}$$

4. Uwagi końcowe

W artykule podano informacje o prowadzonych w Szkole Inżynierskiej w Żywocie (NRD) za pomocą hybrydowego modelu - badaniach obliczeniowych przebiegów przejściowych prądów i napięć podczas zwarc w liniach przesyłowych najwyższych napięć o dużej długości.

Badania te pozwolą uzupełnić dotychczasowe obliczenia prowadzone na maszynach analogowych dla linii krótkich, jak również stanowić będą element porównawczy na drodze do wyboru optymalnej metody oraz narzędzia obliczeń składowych swobodnych występujących podczas zwarc w systemie.

Wyniki analizy będą istotne dla prób znalezienia odpowiedzi na pytanie: w jakim stopniu składowe oscylacyjne występujące podczas zwarc w liniach o dużej długości mogą zakłócić pracę nowoczesnych urządzeń elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej.

LITERATURA

- [1] Sowa P.: Hybrydowa symulacja zwarc niejednoczesnych w systemie elektroenergetycznym przy uwzględnieniu dynamicznego modelu łuku elektrycznego. IV Międzynar. Konf. "Aktualne problemy automatyki w energetyce". Gliwice-Kozubnik 1985, ss. 350-362.
- [2] Haase C.: Gewinnung zeitlicher Fehlerstrom und Spannungsverlaufe zur Schutzrelaisprüfung (Wyznaczenie przebiegów czasowych prądów i napięć zwarcia dla badania zabezpieczeń elektroenergetycznych), jw., s. 516-526.

Recenzent:

prof. dr hab. inż. Zbigniew Ciok

Wpłynęło do redakcji 5 stycznia 1987

СИМУЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ГИБРИДНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Резюме

В статье описывается гибридная физическая модель используемая в анализе переходных процессов токов и напряжений для линии большой длины. В этой модели принимается двусторонне питаемая система с точки отображением линии передачи. Аналоговое или гибридное моделирование может быть полностью заменено цифровым моделированием за цену удобства и времени расчёта. Применение комбинации гибридно-физической модели составляет отличный расчётный инструмент. Материал представлен в статье может дать информацию о возможностях гибридно-физической модели для анализа процессов в системе. Главной

достопримечательностью модели является получение результатов тока и напряжения в реальном времени. Эти результаты можно хранить в памяти или прямо использовать при исследовании релейной защиты.

PHYSICAL-HYBRID SIMULATION OF TRANSIENT PHENOMENA ON LONG-DISTANCE TRANSMISSION LINE

Summary

This paper presents a physical-hybrid model for the solution of transient currents and voltages in a long-distance transmission line. A double-ended system is considered in which transmission line is accurately represented. While it is clear that all analog or hybrid computer simulation may be readily converted to an all-digital simulation, in this cases convenience and computation time must be sacrificed. Clearly, the combination of the hybrid computer and physical model, forms an extremely powerful tool. The material presented in this paper should enable an informed evaluation of the capabilities of this physical-hybrid simulation in the analysis of power system problems. The main advantage of this modes is the results of current and voltage in real time. They can be stored or directly applied to test the protection relays.

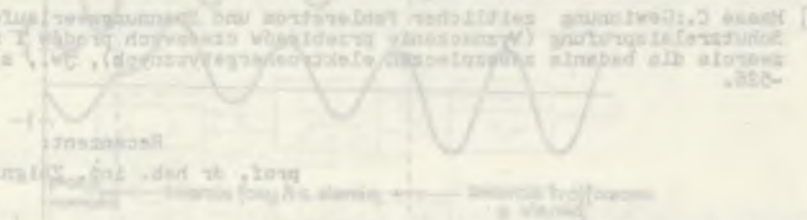


Рис. 1. Волна напряжения на линии.