



Edward STAWOWY

Energoprojekt – Kraków SA

Ferrorezonans w przekładnikach napięciowych 220 kV

Streszczenie. W rozdzielni 220 kV zaobserwowano stan, kiedy napięcie na fragmencie szyn zbiorczych, w dwóch fazach przekraczało ponad dwukrotnie wartość znamionową. Miało to miejsce w chwili, kiedy ta część rozdzielni była wyłączona. Zaszło podejrzenie, że powodem tego był ferorezonans. Przy użyciu programu EMTP sprawdzono, czy zaistniała sytuacja ruchowa mogła doprowadzić do wzbudzenia ferorezonansu. Wykonane obliczenia potwierdziły taką możliwość.

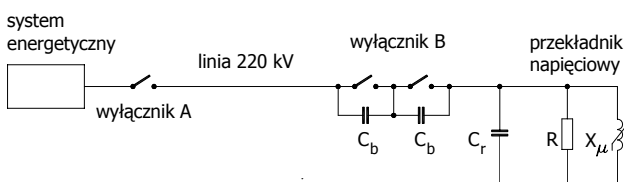
Abstract. (Ferroresonance in 220 kV voltage transformers). It was observed in 220 kV switchyard that voltage level on two phases of the part of bus bars exceeded over twice nominal value. It occurred at the time when this particular part of bus bar was switched off. It was suspected that it happened as a result of ferroresonance. It was checked using EMTP programme if such situation could induce ferroresonance. Calculations confirmed such possibility.

Słowa kluczowe: przekładniki napięciowe, ferorezonans.

Keywords: voltage transformers, ferroresonance.

Wstęp

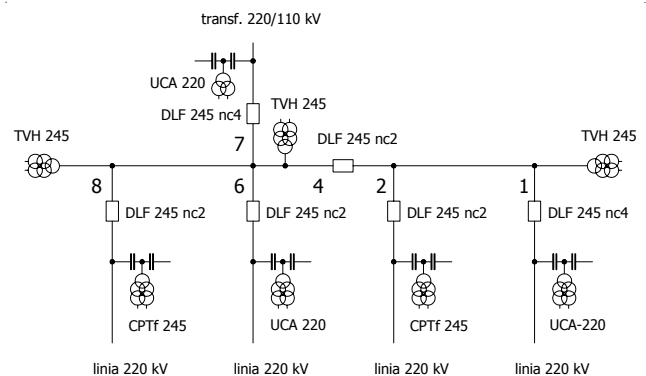
W rozdzielni 220 kV zaobserwowano i zarejestrowano stan, kiedy napięcie na fragmencie szyn zbiorczych, w dwu fazach przekraczało ponad dwukrotnie wartość znamionową. Miało to miejsce w czasie, kiedy ta część rozdzielni pozbawiona była zasilania. Zaszło podejrzenie, że powodem tego był ferorezonans. Zjawisko ferorezonansu występuje w układach, gdzie pracują połączone elementy, z których jeden ma charakter pojemnościowy a drugi indukcyjny o charakterze nieliniowym. Ta nieliniowość powodowana jest obecnością stalowego rdzenia. W stanach ustalonych ich reaktancje mogą się znacznie różnić, ale kiedy element indukcyjny wchodzi w stan nasycenia magnetycznego, jego reaktancja maleje wielokrotnie i może być porównywalna z reaktancją elementu pojemnościowego. Układ elektryczny osiąga wtedy stan bliski rezonansu. W omawianym przypadku elementem indukcyjnym jest uzwojenie przekładnika napięciowego, a pojemnościowym są kondensatory sterujące, bocznikujące zestyki główne otwartego wyłącznika. Schematycznie przedstawiono to na przykładzie wyłącznika liniowego (wyłącznik B) na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat fragmentu rozdzielni 220 kV zawierający elementy istotne z punktu widzenia wystąpienia zjawiska ferorezonansu, C_b – kondensatory sterujące wyłącznika, C_r – wypadkowa pojemność, na którą składają się: pojemność fragmentu szyn zbiorczych i aparatury zainstalowanej w tej części rozdzielni (w tym pojemność uzwojeń przekładnika, R – rezystancja reprezentująca straty w żelazie przekładnika, X_μ – element reprezentujący indukcyjność magnesującą

Rozdzielnia 220 kV

Omawiana rozdzielnia jest jednoszynowa, podłużnie sekcjonowana. W obu sekcjach szyn zbiorczych i w polu sprzęgła zainstalowane są indukcyjne przekładniki napięciowe. W polach liniowych i transformatorowych są przekładniki pojemnościowe. Uproszczony schemat rozdzielni przedstawiony jest na rysunku 2.

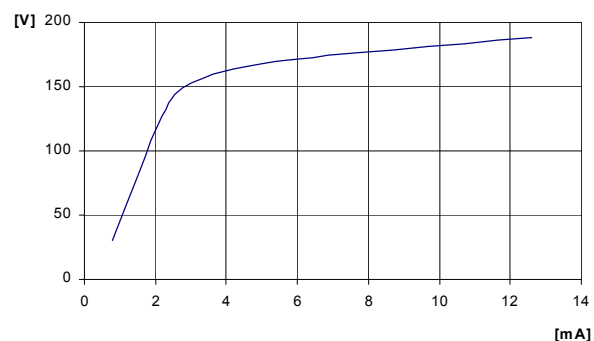


Rys. 2. Schemat rozdzielni 220 kV

Najważniejsze elementy rozdzielni z punktu widzenia zjawiska ferorezonansu to:

Przekładniki napięciowe – indukcyjne, produkcji Magrini Galileo, typ TVH245, przekładnia znamionowa 220: $\sqrt{3}$ kV/100: $\sqrt{3}$ V, poziom izolacji 395/950 kV. Charakterystyka $U = f(i)$ (krzywa magnesowania) przekładnika przedstawiono jest na rysunku 3. Do wykonania obliczeń, przekładniki modelowano tak jak transformatory, z odwzorowaniem wszystkich elementów podłużnych i poprzecznych.

Wyłączniki – DLF 245nc2 – dwukomorowe, z kondensatorami sterującymi o pojemności 2600 pF, oraz czterokomorowe DLF 245 nc4 – z kondensatorami sterującymi o pojemności 1100 pF.

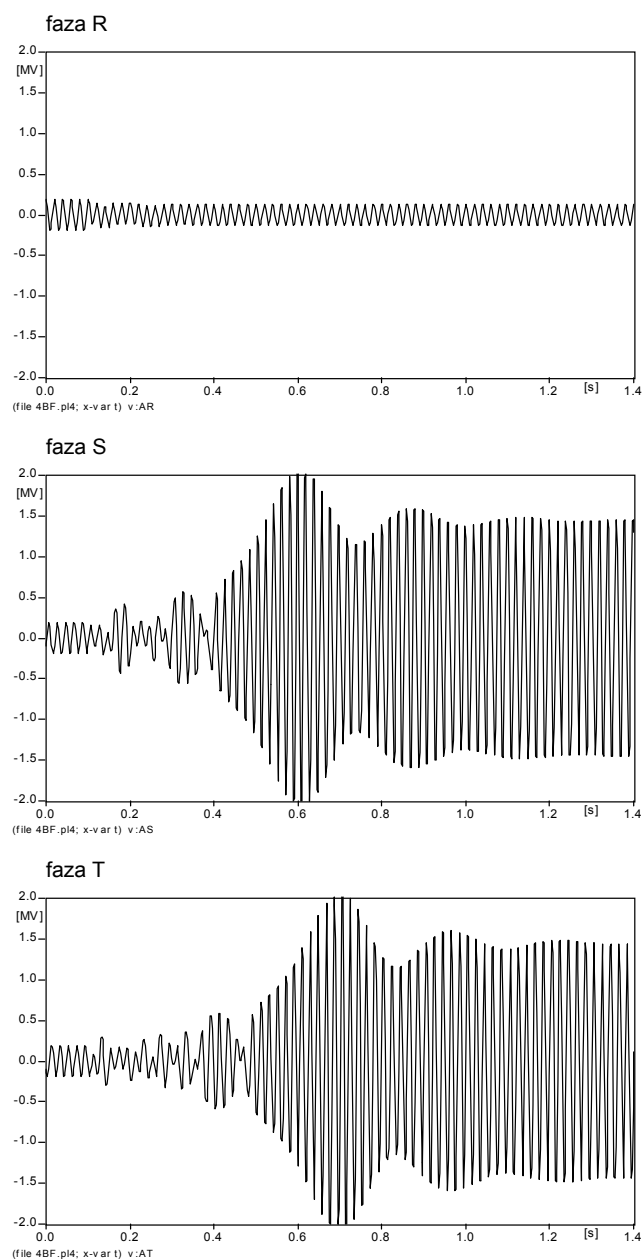


Rys. 3. Charakterystyka prądowo-napięciowa przekładnika napięciowego

Przebieg i wyniki obliczeń

Obliczenia wykonano przy zastosowaniu programu EMTP, pozwalającego na odwzorowanie elementów o parametrach nieliniowych. Zbadano szereg sytuacji prowadzących do stanów, w których przekładnik napięciowy może być połączony z siecią będącą pod napięciem tylko poprzez kondensatory sterujące jednego lub kilku wyłączników. Na przykład, jeśli do wyizolowanego wcześniej fragmentu szyn zbiorczych z przekładnikiem napięciowym przyłącza się pierwszą linię. Inny przykład - po zadziałaniu lokalnej rezerwy wyłącznikowej szyny zbiorcze jednej sekcji rozdzielni są pozbawione zasilania, ale wychodzące z rozdzielni linie są nadal pod napięciem i poprzez ww. kondensatory napięcie jest podawane na szyny i przekładniki napięciowe.

Z punktu widzenia sposobu zainicjowania oscylacji, wyodrębniono trzy stany ruchowe, które prowadzą do pojawiania się w uzwojeniach strony pierwotnej prądów, których wartość znacznie odbiega od ustalonych (znamionowych).



Rys. 4. Wartości napięć na zaciskach uzwojeń pierwotnych przekładnika - otwarcie wyłącznika nastąpiło po 0,104 s od początku symulacji.

1. Załączenie linii 220 kV

W wyniku zamknięcia wyłącznika na początku linii 220 kV (wyłącznik A - rys. 1), na końcu nieobciążonej linii pojawia się krótkotrwałe przebiegi napięcia, a po kilku okresach napięcie ustala się na poziomie roboczym. Jeśli za drugim wyłącznikiem liniowym (wyłącznik B), znajduje się sekcja szyn zbiorczych, do której przyłączony jest tylko przekładnik napięciowy, to napięcie z końca linii podawane jest na ten przekładnik tylko poprzez kondensatory sterujące wyłącznika B.

W omawianej rozdzielni taki przypadek ma miejsce na przykład wtedy, kiedy otwarte są wyłączniki i odłączniki w polach nr 2 i 4 (rys. 2), a w polu nr 1 otwarty wyłącznik, ale zamknięty odłącznik liniowy i podane jest napięcie z drugiego końca linii. Pomimo, że przekładnik nie ma galwanicznego połączenia z siecią energetyczną będącą pod napięciem - w rzadkich przypadkach (dla bardzo małych wartości C_r - rys. 1) - w uzwojeniach przekładnika wzbudzają się oscylacje o częstotliwości 50 Hz, prowadzące do powstania napięcia na jego zaciskach o wartości około 1000 kV i przepływu prądu w uzwojeniach pierwotnych o wartości kilkuset mA.

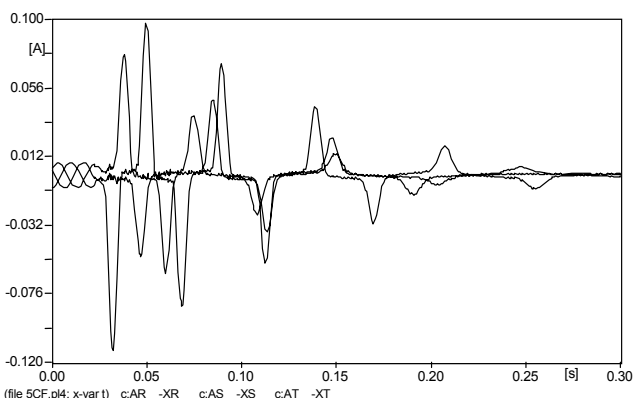
2. Otwarcie wyłącznika liniowego

W stanie ustalonym obydwa wyłączniki (A i B - rys. 1) są zamknięte, potem następuje otwarcie tylko wyłącznika na końcu linii (B) - nieobciążona linia pozostaje pod napięciem. Strumień magnetyczny wytworzony w rdzeniu przekładnika w stanie ustalonym sprawia, że znacznie łatwiej (dla większej rozpiętości wartości C_r - rys. 1) jest teraz wzbudzić oscylacje w obwodzie przekładnika.

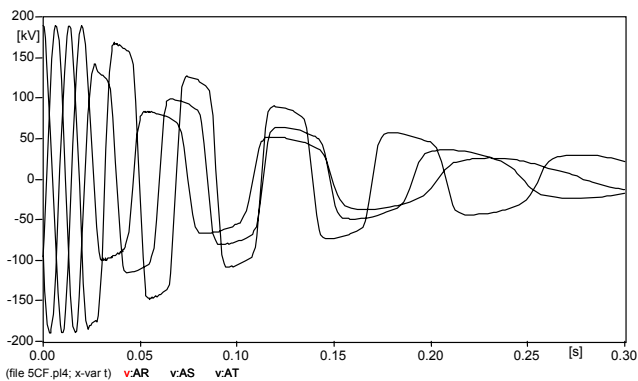
Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe przebiegi napięć na zaciskach trzech faz przekładnika. Prądy w fazach S i T osiągnęły wtedy wartości do 1000 mA.

3. Obustronne wyłączenie linii 220 kV

W stanie ustalonym wyłączniki A i B (rys. 1) są zamknięte, potem następuje ich równoczesne otwarcie. Na pojemnościach doziemnych przewodów roboczych wyłączonej linii utrzymuje się napięcie stałe. Tuż po wyłączeniu linii w uzwojeniach przekładnika płyną prądy znacznie większe od znamionowych, jednak ich wartości są szybko tłumione, a częstotliwość oscylacji wyraźnie maleje. Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono przykładowe przebiegi prądów i napięć.



Rys. 5. Wartości prądów w uzwojeniach strony pierwotnej przekładnika - otwarcie wyłącznika nastąpiło po 0,022 s od początku symulacji.



Rys. 6. Wartości napięć na zaciskach uzwojeń pierwotnych przekładnika - otwarcie wyłącznika nastąpiło po 0,022 s od początku symulacji.

Napięcia na zaciskach przekładników wyliczone w omówionych wyżej stanach 1 i 2 są groźne dla izolacji, podobnie jak wartości prądów są groźne dla ich uzwojeń. Tylko w stanie 3, choć chwilowe wartości prądów znacznie przekraczają wartości znamionowe, zanikają one na tyle szybko, że nie powinny stanowić zagrożenia dla trwałości urządzenia.

Podsumowanie

Wykonane obliczenia wykazały, że dla każdego z trzech indukcyjnych przekładników napięciowych zainstalowanych w omawianej rozdzielni 220 kV może zaistnieć stan ruchu prowadzący do powstania zjawiska ferorezonansu. Wyliczone wtedy w kilku przypadkach wartości ustalonego napięcia, które może się pojawić na zaciskach przekładnika przekraczają dopuszczalne krótkotrwałe napięcie o częstotliwości roboczej wynoszące 395 kV, a prądy płynące wtedy przez uzwojenie pierwotne przekładnika mogą wynieść kilkadziesiąt do kilkuset miliamperów. Obie te wartości stanowią zagrożenie dla trwałości przekładników.

LITERATURA

- [1] Mazuś J., Stachowski W., Wieczorek G., Eksperymentalne badania ferorezonansu w układzie wyłącznik – przekładnik napięciowy 110 kV, *Energetyka*, (1984), nr 11, 485-488.
- [2] Florkowski M., Luto M., Nowak W., Piasecki W., Ferorezonans z udziałem przekładników napięciowych w sieci średniego napięcia, *Przegląd Elektrotechniczny*, Konferencje 1'2003, 78-81

Autor: inż. Edward Stawowy, Energoprojekt-Kraków SA, ul. Mazowiecka 21, 30-019 Kraków, E-mail: e.stawowy@ep.krakow.pl;