

# STRESZCZENIE

## **Analiza szybkich zjawisk przejściowych w wybranych topologiach uzwojeń transformatorów energetycznych**

Transformatory energetyczne są narażone na oddziaływanie szybkozmiennych przepięć w warunkach eksploatacji oraz w czasie prób odbiorczych. Ich przebiegi stanowią źródło przepięć wewnętrznych w uzwojeniach oraz narażają układy izolacyjne transformatorów. Ze względu na budowę i wynikający z niej schemat zastępczy  $RLC$  uzwojenia, przepięcia wewnętrzne mogą mieć odmienny charakter niż napięcie wymuszające, a w pewnych przypadkach mogą być wzmacniane w wyniku zjawiska rezonansu. Odpowiedź uzwojenia na pojawiające się przepięcie jest uzależniona od sprzężeń pojemnościowych i indukcyjnych jego części składowych, zatem uzwojenia o różnej konstrukcji zachowują się odmiennie w czasie oddziaływania przepięć. Narażenia przepięciowe izolacji uzwojeń są w uzależnione od nieliniowości początkowego rozkładu napięcia wzdłuż uzwojenia, który wynika ze stosunku pojemności doziemnych i szeregowych uzwojenia. W praktyce poprawę tego rozkładu uzyskuje się stosując przeplatanie zwojów w cewkach, stosowanie ekranów elektrostatycznych lub wplatanie specjalnych zwojów ekranujących pomiędzy zwoje robocze uzwojenia. Metody te mają różną skuteczność w poprawie odporności uzwojenia na pojawiające się przepięcia, zatem wybór odpowiedniego sposobu poprawy początkowego rozkładu napięcia powinien być poprzedzony wnikliwą analizą w przypadku każdego transformatora.

Problematyka niniejszej pracy doktorskiej dotyczy analizy zjawisk przepięciowych w różnych topologiach uzwojeń transformatorów energetycznych. Zakres pracy obejmował badania eksperymentalne rozkładów przepięć prowadzone na rzeczywistych uzwojeniach transformatorów oraz symulacje numeryczne rozkładu pola elektrostatycznego w modelach uzwojeń o konstrukcji warstwowej oraz cewkowej. Analizy wyników badań eksperymentalnych obejmowały pomiary rozkładów przepięć w uzwojeniach przy wymuszeniach szybkozmiennych oraz wyznaczenie pseudo-początkowych rozkładów napięcia w uzwojeniach i rozkładów przepięć maksymalnych. W przypadku uzwojenia warstwowego badano m.in. wpływ obecności lub braku ekranów oraz ich polaryzacji względem uzwojenia na rozkłady przepięć maksymalnych. Analiza symulacyjna dotyczyła wpływu konstrukcji uzwojeń na kształty początkowych rozkładów potencjału elektrostatycznego oraz wynikających z nich narażeń izolacji. Analizowano zmianę tych narażeń wynikającą ze zmian konstrukcyjnych w uzwojeniu, polegających na zastosowaniu ekranów, pierścieni ekwipotencjalnych oraz różnych metod przeplatania zwojów w cewkach.

Przeprowadzone badania eksperymentalne, symulacje numeryczne i analizy pozwoliły na wyciągnięcie praktycznych wniosków oraz sformułowanie zaleceń konstrukcyjnych, które mogą być użyteczne w procesie projektowania i obliczania transformatorów energetycznych oraz w celu doskonalenia konstrukcji transformatora pod kątem poprawy odporności przepięciowej.

*Bartłomiej Adamczyk*  
20.06.2023

# ABSTRACT

## **Analysis of fast transient phenomena in selected winding patterns of power transformers**

Power transformers are subjected to surge overvoltages in exploitation and during routine tests. When the surge waveform reaches the transformer terminals, it can generate overvoltages of high magnitude inside the windings, which in effect can lead to failure of the winding insulation. The amplitude of the internal overvoltages is dependent on the parameters of the surge voltage (duration, wave shape, steepness etc.) approaching to the transformer terminals and the design of the windings. The transient response of the winding to fast transient voltage is mainly affected by capacitive and inductive couplings of the windings, which are dependent on the physical arrangement of turns, discs or layers in the windings and grounded elements inside the transformer tank, therefore various winding designs perform differently when surge voltage is applied to their terminals. The transformer winding insulation stresses are dependent also on the nonlinearity of so called initial voltage distribution, determined by the ratio of the ground and series capacitances of the winding. This initial distribution can be improved by increasing the series, or decreasing the ground capacitance of the winding, which can be obtained in various ways: e.g. by interleaving turns within winding discs, application of shielding wires between regular turns, using electrostatic shields or increasing distance to grounded parts of the transformer. Depending on the method selected for improving the initial voltage distribution, its influence on the overvoltage stresses of the transformer insulation is different, therefore the selection of the method should be done carefully and individually for each transformer.

The aim of the dissertation was to analyze fast transient phenomena in selected patterns of power transformer windings. The scope of the thesis included experimental and simulation study of transient stresses in the windings of disc and layer design. The experimental part was based on the analysis of measurements results of overvoltages distribution in real full-scale transformer windings. The pseudo-initial and maximal voltage distributions have been evaluated based on experimental data. The experimental part related to layer winding included analysis of the influence of presence and polarity of electrostatic shields against winding on the corresponding insulation threat. The simulation part of the thesis was based on calculation of electrostatic field distribution in the layer and the disc winding models. The research was focused on analysis of the impact of placement and polarity of the electrostatic shields in the layer winding, and various methods of interleaving turns and presence of the electrostatic shielding ring in the disc winding, on the initial distribution of electrostatic potential along the winding.

The performed experimental and simulation studies and analyses allowed to formulate conclusions of practical importance and design recommendations that could be useful for improving the power transformer winding designs in terms of fast transients vulnerability.

*Bartłomiej Ademański*  
20.06.2023