

Streszczenie rozprawy doktorskiej „Analiza przebiegów w powłokach kabli 110 kV w liniach ze specjalnym uziemieniem żył powrotnych i określenie zasad doboru ograniczników przebiegów”

Biorąc pod uwagę zwiększające się zapotrzebowanie na energię elektryczną, linie kablowe wysokich napięć muszą sprostać wymaganiom związanym z wielkością przesyłu mocy i redukcją strat przesyłowych, to umożliwia zastosowanie specjalnego uziemienia żył powrotnych, które stanowi podstawę współczesnych rozwiązań projektowych linii kablowych. Przy zastosowaniu specjalnego uziemienia żył powrotnych w miejscach, w których ekran metaliczny nie został uziemiony, istnieje zagrożenie narażenia osłony zewnętrznej kabla i przekładek izolacyjnych muf na przebiegi, które przy otwartym końcu linii ulegają podwojeniu i mogą doprowadzić do uszkodzeń. Z tego względu, w celu ochrony od przebiegów należy instalować ograniczniki przebiegów tzw. SVL (ang. *Sheath Voltage Limiter*). Ograniczniki te mają za zadanie ochronę osłon kabli przed przebiegami o charakterze udarowym (przebiegi atmosferyczne/piorunowe, łączeniowe), ale nie są w stanie chronić przed przebiegami o częstotliwości sieciowej, tj. przebiegami dorywczymi.

Doświadczenia eksploatacyjne wyraźnie wskazują, że wiele z dotychczasowych metod obliczeniowych, na bazie których wyznacza się poszczególne stany pracy i parametry systemu kablowego, z zastosowaniem specjalnego uziemienia żył powrotnych, nie pozwala na prawidłowy dobór ograniczników przebiegów SVL. Dochodzi do wielu awarii związanych z uszkodzeniami SVL, w niektórych przypadkach bardzo spektakularnych – wybuchów skrzynek, w których ograniczniki są zainstalowane, jako skutek narażenia na oddziaływanie przebiegów dorywczych.

Aktualnie nie ma standardu, zarówno w Polsce jak i na świecie, który kompleksowo przedstawiałby wytyczne projektowania i budowy linii kablowych, jak również ich eksploatacji przy zastosowaniu specjalnego uziemienia żył powrotnych, przede wszystkim w aspekcie koordynacji izolacji. Dlatego, w celu zapewnienia bezawaryjnej i bezpiecznej pracy linii kablowych WN, istnieje konieczność opracowania dla inżynierów i projektantów jasnych i precyzyjnych wytycznych, niezbędnych do przeprowadzenia dogłębnej analizy systemów kablowych ze specjalnym uziemieniem żył powrotnych. Przedmiotowe analizy mogą być wykonane przy pomocy technik komputerowych, a wyniki posłużą do poprawnego wyznaczenia parametrów technicznych urządzeń do ochrony osłon kabli zainstalowanych w różnych układach i konfiguracjach.

We wstępie rozprawy, w oparciu o literaturę i doświadczenia autora podjęto próbę uporządkowania istniejącej wiedzy dotyczącej linii kablowych ze specjalnym uziemieniem żył powrotnych, głównie w zakresie sposobu przeprowadzenia analizy przebiegów (stanów przejściowych) oraz modelowania komputerowego linii kablowych wysokich napięć.

W rozdziale 2 sprecyzowano cel rozprawy, jako określenie wytycznych niezbędnych do modelowania i analizy systemów kablowych ze specjalnym uziemieniem żył powrotnych w zakresie wyznaczenia, z zastosowaniem technik komputerowych, wartości spodziewanych

maksymalnych przepięć dorywczych. Ponadto przedstawiono zakres pracy, zagadnienia do rozwiązania w problemie badawczym, a także sformułowano tezę rozprawy.

Przegląd literatury zawiera rozdział 3, w którym dogłębnie przeanalizowano ograniczenia aktualnych metod obliczeniowych i ich potencjalny wpływ na błędne wymiarowanie ograniczników przepięć SVL. Ponadto, w rozdziale tym zweryfikowano możliwości modelowania komputerowego linii kablowych z pomocą oprogramowania typu EMTP (ang. *ElectroMagnetic Transient Program*).

W rozdziale 4 opisano niezbędne, kluczowe wg autora rozprawy pod względem modelowania cyfrowego, opisy poszczególnych elementów składających się na system kablowy, konfigurowany przy zastosowaniu wysokonapięciowych kabli jednożyłowych. Zebrane i opisane informacje stanowią wynik dogłębnej analizy literaturowej oraz wiedzy pozyskanej w ramach kilkunastoletniej praktyki zawodowej autora, jako projektanta linii dystrybucyjnych i przesyłowych wysokich napięć.

Autorski proces doboru parametrów ograniczników przepięć zawarto w rozdziale 5 rozprawy. W ramach tego procesu, jako podstawowego elementu analizy przepięć w powłokach kabli 110 kV w liniach ze specjalnym uziemieniem żył powrotnych, autor opracował precyzyjne wytyczne, które są niezbędne do modelowania i analizy zjawisk występujących w systemach kablowych.

W rozdziale 6 rozprawy zawarto autorską analizę optymalnego wyboru modeli cyfrowych poszczególnych elementów systemu kablowego do przeprowadzenia symulacji oraz kompleksową procedurę wyboru konkretnego ogranicznika przepięć pracującego jako SVL w oparciu o przeprowadzone obliczenia i wyniki symulacji.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz zaprezentowanych w rozdziale 7 wykazano przydatność zaproponowanego w rozprawie procesu modelowania i symulacji systemów kablowych w celu poprawnego doboru parametrów elektrycznych ograniczników przepięć SVL oraz przedstawiono ograniczenia powszechnie wykorzystywanych analitycznych metod obliczeniowych pozwalających na wyznaczenie napięć indukowanych w powłokach kabli i ich potencjalny wpływ na błędny dobór ograniczników przepięć SVL.

W podsumowaniu rozdziału 7 wskazano propozycję wykonania dodatkowych przyszłych niezbędnych badań, w celu opracowania nowych metod analitycznych, które mogłyby być pozbawione wad i ograniczeń aktualnych metod obliczeniowych w odniesieniu do opisu matematycznego obwodu ziemnopowrotnego linii kablowych z zastosowanym specjalnym uziemieniem żył powrotnych, który stanowi podstawę do wyznaczenia sumarycznej wielkości prądu uziomowego oraz wartości wzrostu lokalnego potencjału ziemi w sytuacji analizy zwarcia jednofazowego oraz dwufazowego z ziemią. Wpływa to w zasadniczym stopniu na wartość napięcia odkładającego się na zaciskach ograniczników przepięć.

Natomiast w ostatnim rozdziale rozprawy zaprezentowano wnioski z przeprowadzonych analiz i ocenę stopnia osiągnięcia zakładanego w tezie rozprawy celu badań, które pozwalają na stwierdzenie, że teza postawiona w rozdziale 2 została udowodniona.

„Sheath overvoltage analysis of 110 kV cable systems with special bonding and determination of rules for sheath voltage limiters selection”

Abstract:

Taking into account increasing demand for electrical power consumption, high voltage underground cable lines need to cope with requirements for high power transfer and reduction of losses, this is achieved by special bonding method, which is now fundamental method for implementation when designing high voltage cable line. When special bonding is introduced to the design of high voltage cable system, in location where sheaths are not earthed, there is a risk of exposing outersheath of the cable and cable joints to overvoltages, which when reaching an open end of the circuit, may double the amplitude and cause cable system to fail. To overcome this, in that particular locations, there is a need to install Sheath Voltage Limiters (SVL), which are protecting parts of the cable system from fast front overvoltages (lighting and switching surges), but are not able to protect the system from slow front overvoltages, videlicet induced power frequency overvoltages.

Operation experience very clearly indicates that many existing calculation methods, on basis of which one can determine operation areas as well as cable system electrical parameters with special bonding, are not accurate enough to carefully and with high degree of certainty choosing correct parameters of SVL's. There are many failures of high voltage cable systems which especially refer to SVL's wrong selection. In some cases these are extremely spectacular failures, which results into explosion of link boxes, where SVL's are installed, as a follow-up of the slow front overvoltage.

As for now there is no comprehensive standard neither international nor polish, which could in full-scale describe requirements and guidelines for designing, building and maintaining high voltage cable lines with special bonding, primarily in the aspect of voltage coordination. Thus, to assure failure-free and safe operation of high voltage cable lines, there is a necessity to develop for engineers and electrical system designers clear and precise guidelines, which are required to perform in-depth cable system analysis. These analysis may be done using special software tools, where results may be used for accurate determination of technical parameters of overvoltage protectors in cable system in various arrangements and configurations.

In the introduction part of the thesis relying on references and expertise of the author an attempt for organizing actual knowledge about overvoltage analysis of high voltage cable lines with special bonding as well as cable system computer modelling is presented.

Chapter 2 describes the goal of the thesis, as a determination of guidelines and methods which are required for cable system computer modelling and overvoltage analysis. Furthermore full scope of the thesis is described, research issues are indicated and hypothesis is formulated.

Overview of the bibliography is described in chapter 3, in which limitations of actual calculation methods is extensively analyzed and influence on wrong electrical parameters determination of SVL's pinpointed. Moreover current abilities of high voltage cable computer modelling is verified for use in Electro Magnetic Transient Program (EMTP).

Chapter 4 describes imperative, crucial according to the author's recommendations, descriptions of each main high voltage cable system part in terms of design the cable system and its computer modelling, provided that single core cables are used. Summarized information in this chapter are the result of in-depth bibliography analysis as well as author's technical expertise gathered during his work as professional high voltage transmission and distribution lines designer.

Proposed by author process of selection of the parameters of SVL's is described in chapter 5 of the thesis. Within this process, as a fundamental part of overvoltage analysis of high voltage cable system with special bonding, precise guidelines, which are required for modeling the cable system and carry out the analysis.

Chapter 6 includes developed by author detail analysis of choosing the correct digital and mathematical model of each main component of cable system with special bonding in terms of running overvoltage simulations in EMTP as well as comprehensive process of selection correct SVL device on basis of calculations and EMTP simulation results.

On the basis of the results from calculations and EMTP simulations performed by author and described in chapter 7, suitability of proposed methods for EMTP modelling and running overvoltage simulations for proper selection of SVL's parameters are demonstrated. Furthermore limitations of current analytical formulas and methods of calculation of induced voltages in cable sheaths which lead to wrong selection of SVL's are indicated.

In the summary of chapter 7 suggestions are described for additional future research areas in the field of new analytical methods to be developed for comprehensive analysis of high voltage cable systems with special bonding, which could avoid drawbacks and limitations of actual methods especially within mathematical description of earth return path, which is fundamental for correct earth current distribution and Earth Potential Rise (EPR) calculations in case of line to earth short circuit. This substantially affect the value of the voltage across SVL's terminals.

Whereas the last chapter of the thesis comprises conclusions from the research and evaluation of the extend of assumed objectives accomplishment, which allow to affirm that hypothesis stated in chapter 2 has been proven.