

Streszczenie

Polowa analiza rozplywu prądów przesunięcia dielektrycznego w wysokoczęstotliwościowych układach z polem elektromagnetycznym

W rozprawie omówiono współcześnie stosowane metody polowe oraz sformułowania wykorzystywane do analizy układów z polem elektromagnetycznym EM wyższych częstotliwości z uwzględnieniem wpływu prądów wirowych, prądów przesunięcia dielektrycznego, a także nasycenia rdzenia na wypadkowy rozkład pola EM. Sporządzony został przegląd literatury dotyczący wyników najnowszych badań nad materiałami ferromagnetycznymi i wpływie wzrostu częstotliwości pola elektromagnetycznego na właściwości materiałowe badanych ferrytów. Autor pracy przedstawił uzasadnienie podjęcia badań nad wyżej wymienionym tematem, a także sformułował tezę i wyjaśnił cel pracy. W pierwszej rozprawie omówione zostały najczęściej stosowane metody do analizy układów z polem elektromagnetycznym tj.: Metoda Elementów Skończonych MES, Metoda Różnic Skończonych (z ang. *Finite Difference Time Domain* FDTD), a także metody quasi statyczne oraz metoda całkowa FIT (z ang. *Finite Integral Technique*). W kolejnej części pracy omówione zostało szczegółowo zastosowanie w pracy wielostopniowe ujęcie Metody Elementów Skończonych. Autor przedstawił podział, różnice oraz korelacje pomiędzy elementami poszczególnych stopni tj.: elementami węzłowymi, krawędziowymi oraz ściankowymi. W następnym etapie pracy zaprezentowane oraz wyjaśnione zostały rodzaje analiz wykorzystujących MES tj.: analizy w dziedzinie czasu, w dziedzinie częstotliwości oraz w dziedzinie częstotliwości i czasu. Ostatnia z analiz nazywana również metodą HBFEM (z ang. *Harmonic Balance Finite Element Method*) wykorzystana została przez Autora pracy do stworzenia oprogramowania będącego przedmiotem niniejszej pracy. W głównej części rozprawy przedstawiony został stworzony przez Autora algorytm służący do analizy układów z polem elektromagnetycznym. Omówiony został zarówno algorytm typu 2D HBFEM dla układów osiowo-symetrycznych jak i algorytm 3D HBFEM dla układów nieposiadających symetrii osiowej. Wykorzystując oprogramowanie autorskie przeprowadzone zostały obliczenia symulacyjne, których wyniki oraz wykorzystane zasoby porównane zostały z danymi uzyskanymi w profesjonalnym oprogramowaniu COMSOL Multiphysics.

Słowa kluczowe:

Analiza MES, Metoda Elementów Skończonych, modele polowe, prądy przesunięcia dielektrycznego, metoda bilansu harmonicznego, analiza częstotliwościowo-czasowa, rdzenie ferrytowe, przetworniki elektromagnetyczne.

Abstract

Field analysis of distribution of displacement currents in high-frequency circuits with electromagnetic field

The dissertation discusses contemporary field methods and formulations used for the analysis of systems with higher-frequency electromagnetic fields EM with contribution of the influence of eddy currents, dielectric displacement currents as well as core saturation on the EM field distribution. A literature review has been prepared including the latest research on ferromagnetic materials and the impact of increasing electromagnetic field frequencies on the material properties of the studied ferrites. The Author justifies the need for research on the aforementioned topic, formulates a thesis, and explains the goal of the work. In the first part of the dissertation, the most commonly used methods for electromagnetic system fields analyzes are discussed, namely: the Finite Element Method (FEM), the Finite Difference Time Domain (FDTD) method as well as quasi-static methods, and the Finite Integral Technique (FIT) method. The next section presents a detailed discussion of the multi-stage approach applied in the work within the Finite Element Method framework. The Author introduces the classification, differences, and correlations between the elements of individual degrees, such as nodal, edge, and facet elements. In the following stage, various types of analyses utilizing FEM are explained, including time-domain analysis, frequency-domain analysis, and frequency-time domain analysis. The last mentioned analysis, also known as the Harmonic Balance Finite Element Method (HBFEM), was employed by the Author to create the software that is the subject of this dissertation. The main part of the work presents an algorithm developed by the Author for the analysis of systems with electromagnetic fields. Both a 2D HBFEM algorithm for axisymmetric systems and a 3D HBFEM algorithm for non-axisymmetric systems are discussed. Using the Author's self-developed software, simulation calculations are performed, and their results as well as utilized computational resources are compared with data obtained by means of the professional software COMSOL Multiphysics.

Keywords:

FEM analysis, Finite Element Method, field models, displacement currents, Harmonic Balance Method, frequency-time domain analysis, ferrite cores, electromagnetic converters.