

Thermal modelling and thermal imaging measurements of multilayer structures

¹G. De Mey, ²M. Strąkowska, ²B. Więcek

¹Ghent University, ELIS

²Lodz University of Technology, Institute of Electronics

The tutorial presents thermal modelling of multilayer structures of different geometry in frequency domain. Planar and cylindrical thermal models of multilayer structures are presented. For each layer the models are solved analytically in frequency domain using the Laplace transform. Modeling the multilayer structure allows formulating the set of linear equations with unknown integral constants. As a result, the thermal impedance $Z_{th}(j\omega)$ is calculated. Next, the poles of thermal impedance are estimated using optimization methods, such as: Vector Fitting (VF) Transfer Function Estimation (TFEST) in Matlab. Finally, the distribution of thermal time constants allows evaluating the temperature response $T(t)$ of the modeled structure. The problem of thermal characterization of multilayer structures is an inverse heat transfer problem, which is in general very ill-conditioned one. Modelling in frequency domain allows to achieve short execution time of calculus in contrast to 3D FEM simulations using CAD package. Examples of thermography measurements are discussed using either step-function or periodic excitations. The experiments allow validating the simulation results for both Fourier-Kirchhoff and non-Fourier heat transfer.

Modelowanie termiczne i pomiary termowizyjne struktur wielowarstwowych

W prezentacji przedstawiono podstawy modelowania przepływu ciepła w strukturach wielowarstwowych o różnej geometrii w dziedzinie częstotliwości. Modelowanie w dziedzinie częstotliwości upraszcza obliczenia, często prowadząc do analitycznych rozwiązań postawionego problemu. Omówiono planarne i cylindryczne modele termiczne struktur wielowarstwowych. Dla każdej warstwy model opisano i rozwiązano analitycznie w dziedzinie częstotliwości, stosując transformatę Laplace'a. Stosując to podejście, modelowanie struktur wielowarstwowych pozwala na sformułowanie układu równań liniowych z nieznanymi stałymi całkowania. W rezultacie obliczana jest impedancja cieplna $Z_{th}(j\omega)$, a następnie, za pomocą metod optymalizacyjnych (np. Vector Fitting – VF lub Transfer Function Estimation – TFEST w środowisku MATLAB), estymowane są bieguny impedancji cieplnej. W rezultacie, rozkład stałych czasowych pozwala na wyznaczenie odpowiedzi temperaturowej $T(t)$ modelowanej struktury. Problem charakteryzacji termicznej struktur wielowarstwowych jest odwrotnym problemem wymiany ciepła, który w ogólnym przypadku jest bardzo źle uwarunkowany. Modelowanie w dziedzinie częstotliwości charakteryzuje stosunkowo krótki czas obliczeń w porównaniu z symulacjami 3D MES z wykorzystaniem uniwersalnych pakietów CAD. W prezentacji omówiono przykłady pomiarów termograficznych z zastosowaniem zarówno funkcji skokowej, jak i wymuszeń okresowych. Eksperymenty z kamerą termowizyjną umożliwiają łatwą walidację wyników symulacji przepływu ciepła w strukturach wielowarstwowych.