

博士論文要旨

論文題名：ハイブリッド電磁界解析法を用いた二層材料の複素誘電率評価法

立命館大学大学院理工学研究科
電子システム専攻博士課程後期課程

モハマド シャイフル ビン アブドル カリム
MOHAMAD Shaiful Bin Abdul Karim

二層材料の複素誘電率を広帯域にわたって測定できる材料評価法を確立した。この評価法は従来の導波管法と異なり、伝送線路理論に代わり、ハイブリッド電磁界解析法に基づいており、被測定試料を導波管断面全体に装荷する必要が無い。このため、被測定試料の大きさを、材料の誘電率や損失に合わせて調整でき、高損失材料の評価も可能である。また、試料の装荷位置と導波管断面内の電磁界の偏りを効果的に利用することにより、二層材料を分割することなく各層の複素誘電率を同時に、効率よく測定することが可能である。この測定法の基礎のハイブリッド電磁界解析法は、近似を含まず、汎用なもので、層状試料を導波管断面内の種々の位置、方向に装荷した構造について、高精度に複素透過係数を求めることができる。また、有限要素法に比べ、はるかに少ない計算時間（一万分の一）とメモリー容量（七千分の一）で処理できる。この電磁界解析により算出される複素透過係数を用いて、二層材料の各層の複素誘電率を定める材料評価アルゴリズムを開発した。この材料評価法では、同一の被測定試料を導波管内の二つの異なる位置に装荷し、それぞれの複素透過係数を測定する。初めに、一つの位置に装荷された二層試料について、一層の複素誘電率のみを変化させ、計算により得られる複素透過係数を実測の複素透過係数にフィッティングする。次に、他の装荷位置について、もう一方の層の複素誘電率を変化させ、複素透過係数をフィッティングする。この二つの過程を、二層試料両層の複素誘電率の収束解が得られるまで繰り返す。種々の材料について、市販有限要素法シミュレータ等を用い複素透過係数を算出した。この値を仮想測定値として、本材料評価アルゴリズムにより複素誘電率を再現した。これにより、この材料評価アルゴリズムが、初期値変動に対し優れたロバスト性を有し、初期推定値が-50%から+110%ずれていても正確な材料評価が可能であることを確認した。さらに、初期推定値のずれが大きな場合でも、数回の繰り返して収束する効率的なものである。また、誤差評価の結果、被測定試料の装荷位置および寸法変動による誤差が小さいことも確認した。X帯の導波管をベクトルネットワークアナライザと組み合わせた試料測定装置を開発し、市販の試料を用いた実測を行い、X帯周波数全体にわたり、誘電率が精度よく評価できることを確認した。さらに、この材料評価法は、試料の装荷、非装荷時の複素透過係数の差を用い、透過係数の絶対値を必要としないため、面倒で、誤差を生じやすいネットワークアナライザの校正が不要であり、この評価法が簡便、効率的、実用的であることを実際の測定により確認した。

Abstract of Doctoral Thesis

Title : Determination of Complex Permittivities of Two-layer Materials Based on Hybrid Electromagnetic Methods

Doctoral Program in Advanced Electrical, Electronic and Computer Systems
Graduate School of Science and Engineering
Ritsumeikan University

モハマド シャイフル ビン アブドル カリム
MOHAMAD Shaiful Bin Abdul Karim

An accurate and efficient frequency-dependent measurement method is proposed to determine the individual complex permittivities of two-layer materials based on a hybrid electromagnetic method. The sample under test fills only a part of the waveguide cross-section, thus the size of sample is adjusted according to sample loss and precise machining of the sample is not required. In this method, the inhomogeneous field distribution of the waveguide mode is utilized advantageously and the unknown complex permittivity of each layer can be determined simultaneously by measuring the complex transmission parameters of two different locations and/or orientations of the two-layer sample. The formulation of the hybrid electromagnetic method does not include any approximation for simplification. Hence, the numerical method is highly-versatile and is able to compute the complex transmission parameters accurately for sample loaded in various locations and orientations. The method affords about 10000 times faster computation time and 7000 times lower CPU memory compared to finite element method. An effective iterative algorithm is developed based on this accurate electromagnetic analysis to determine the complex permittivities of layers from measurement of complex transmission parameters. Virtual measured complex transmission parameters are created by using a commercial simulator and the complex permittivities of various tested materials are evaluated by using the iterative algorithm. These virtual experiments demonstrate the accuracy, versatility, efficiency and robustness of the present method. Also, virtual experiments show that the errors due to the uncertainties during material evaluation such as deviation in sample location, length and thickness are less influenced. A real experiment is performed to evaluate the complex permittivities of two-layer sample including a high-loss layer over the X-band frequencies. The actual measurement shows the accuracy of the present method and also demonstrates that the present method is calibration-independent.