

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：52201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K02917

研究課題名(和文) 実地経験の『可視化』と『代替』を実現する3次元回路設計学習システムの開発

研究課題名(英文) Development of three-dimensional circuit design learning system realizing visualization and alternative of actual experiences

研究代表者

大島 心平 (Oshima, Shinpei)

小山工業高等専門学校・電気電子創造工学科・准教授

研究者番号：60608230

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高周波回路技術者の効果的な育成方法の構築を目指し、試作実験の代替を実現する3次元回路設計に関する学習システムを開発した。具体的には、電磁界シミュレーション技術を応用し、様々な素子値のチップインダクタ及びキャパシタをプリント基板に実装した3次元回路構造の電気特性を短い時間で高精度に予測可能とするとともに、回路構造上の電磁界分布を可視化して設計実習に活用できる疑似実験環境を構築した。また、提案システムを用いた学習を支援するe-learning教材を開発するとともに、それらの手法を用いた実験プログラムを実現した。さらに、手法を実際に教育実践に適用し、その効果を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

無線通信技術は社会の基盤技術であるとともに、今後最も成長が期待される分野の一つである。一方、この分野の製品開発を支えるギガヘルツ帯の信号を扱える回路技術者の育成には、長い実地経験を必要とし、効果的な育成方法が未確立であった。本研究では、育成期間の短縮と知識の効果的な習得を支援する一手法として、高精度なシミュレーション技術を活用した新規の育成法を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：A learning system for three-dimensional circuit design is developed to cultivate high frequency circuit designers effectively. The system provides electromagnetic simulation with three-dimensional models of chip inductors and capacitors. It calculates the characteristics of circuits using various chip inductors and capacitors for a short time. Visualized electromagnetic fields can be utilized to design high-frequency circuits in the system. We also develop e-learning materials and an experimental program based on the system. The effectiveness of the method is verified through educational practice.

研究分野：高周波回路

キーワード：高周波回路 学習システム 疑似実験環境 技術者育成 電磁界シミュレーション e-learning

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

無線通信技術は社会の基盤技術であるとともに、今後最も成長が期待される分野の一つである。一方、この分野の製品開発を支えるギガヘルツ帯の信号を扱える回路技術者の育成には、長い実地経験を必要とし、効果的な育成方法が未確立であることが、この分野の更なる発展において大きな障害の一つとなっていた。

2. 研究の目的

本研究では短時間で効果的に高周波回路設計の知識を習得できる3次元回路設計学習システムを開発することを目的とする。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するために、コンピュータ上で高周波回路の設計経験を効果的かつ短時間で積むことが可能な仮想的な回路試作環境を提供する学習システムを実現する。また、学習を支援するe-learning教材や提案システムを用いた教育実践の方法を構築する。

4. 研究成果

コンピュータ上での仮想的な回路試作環境である学習システムを実現するため、3次元電磁界シミュレーションに適用可能なチップ部品の内部構造まで含めたモデルを構築した。このチップ部品のモデルのデータ群である部品ライブラリについては、手作業で実装可能な形状である $1.0 \times 0.5 \times 0.5 \text{ mm}^3$ 形状を想定して作製した。キャパシタについては、 0.3 pF から 5.1 pF の範囲で21種類のモデルを作製し、インダクタは、 0.5 nH から 7.5 nH の範囲で27種類のモデルを作ることで、様々な素子値の部品を活用可能とした。これらの部品ライブラリは1GHzにおいて高い近似精度で製品の素子値を再現する条件で作製しており、製品と同様に自己共振周波数も有している。図1に構築した学習システムを示す。空気やチップ部品の内部構造を含めた高精度なシミュレーションが可能となる。

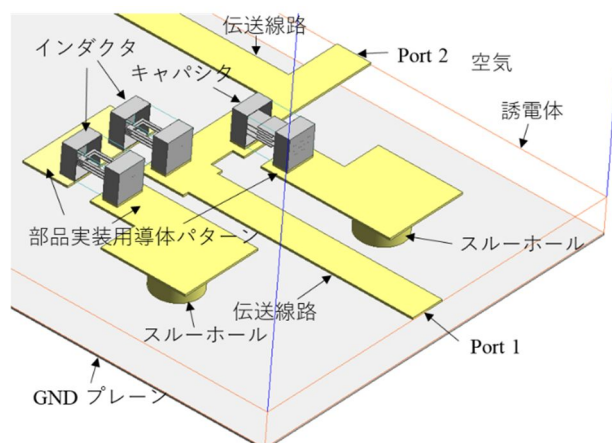


図1 学習システム(疑似実験環境)

構築したこの学習システムでは、チップ部品を含めて回路全体の電磁界分布を可視化して、設計や考察に活用することが可能となるとともに、回路の一部分のみの特性を容易に確認することが可能となった。開発したシステムを活用して、学習を円滑に進めるためのe-learning教材を構築した。この教材は24本の短い動画からなり、提案システムの基本的な操作方法、部品ライブラリの活用方法、電磁界を可視化して考察に活用する方法、回路の一部を抜き出して性能を確認する方法、スミスチャートを用いた寄生成分の評価方法、基礎知識の確認用の動画等で構成される。この教材開発によって、教育実践を実施する際には、学習者はイヤホンを使って、e-learning教材を視聴しながら円滑に実験を進めることが可能になる。

さらに、提案システムとe-learning教材を用いて限られた学生実験の時間内で実施可能な実験プログラムを構築した。具体的には、伝送線路理論の基礎を習得した高専の専攻科1年生を対象に270分の実験を3週間実施する形態を想定した。1週目では基礎実験として、伝送線路、チップ部品、共振器、インピーダンス変成器について、提案システムとe-learning教材を組み合わせ学習する。通常の試作に基づいた実験方法で、これらのテーマを270分で実施することは極めて困難であるが、疑似的な実験を活用することで、時間を大幅に圧縮することが可能となる。次に2,3週目を活用して、応用的な要素を含む回路の設計実習を実施する。この課題は実践での設計に近い状況を実現するため、コンテス

ト方式で実施する。設計課題は、フィルタ機能とインピーダンス変換機能を複合した回路を採用した。具体的には、1 GHz で 100 Ω の負荷を 50 Ω に変換し、3.0 ~ 3.5 GHz で可能な限り大きな減衰量を確保する回路を小型形状で実現する課題とした。また、小型で減衰特性が良好な回路を優れた設計として評価するとともに、設計の工夫を促すためチップ部品の使用台数を 1 台に限定する。図 2 に一設計例とその特性を示す。キャパシタについては、伝送線路理論を用いて導体パターンで実現している。なお、試作品の測定において、測定器と接続するために SMA コネクタが必要となるが、コネクタの特性については、測定器のポート・エクステンション機能を用いて補正している。提案システムを用いた特性の予測は、CPU が Intel Core i9-10900、メモリが 32 GB のコンピュータで、8 分程度で計算可能である。一般に高周波回路においては、理想素子を用いた回路シミュレーションでは高精度に性能が予測できないため、特性の調整のために複数回の試作実験を行い、3 次元回路構造を設計する。提案システムで、3 次元回路構造設計を代替して実施することで、設計実習の時間を大幅に圧縮することが可能となる。

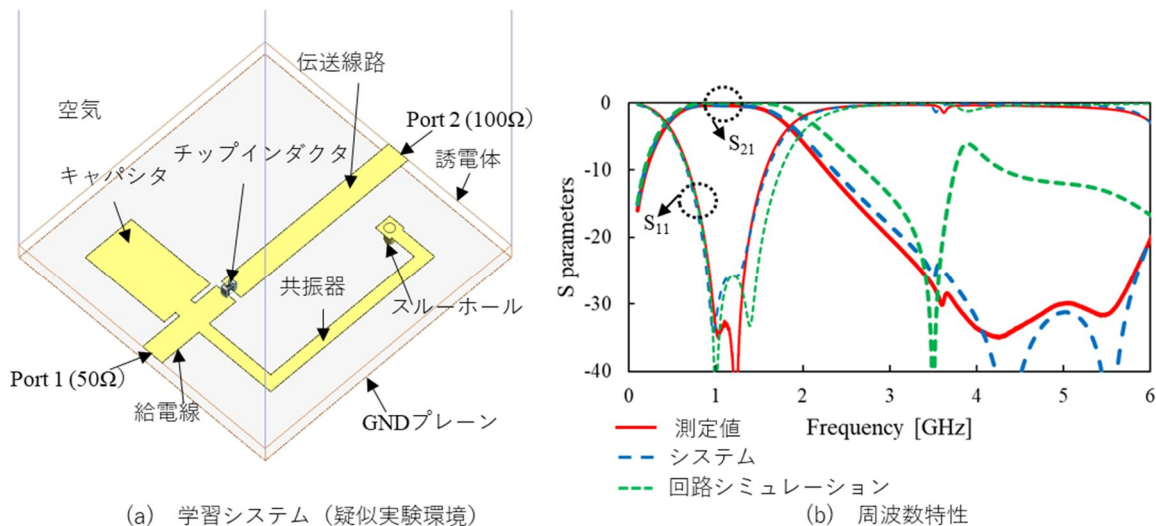


図 2 設計例とその周波数特性

提案実験プログラムでは回路形状の小型化を検討する必要がある。図 3 に小型化のためキャパシタを形成する導体パターンを伝送線路部に隣接して配置した場合の周波数特性と 3.381GHz での電界分布を示す。なお、キャパシタを形成する導体パターンは、図 2 の構造と同等の容量を実現する形状に伝送線路理論を用いて設計している。隣接して配置した結果、3.381GHz 近傍で減衰特性が大きく劣化していることが確認できる。また、電界分布より、キャパシタ部の縁端で伝送線路部との不要な干渉が顕著に発生していることが確認できる。このように、本システムではチップ部品を含む回路全体の電磁界を可視化することが可能であり、特性が劣化する原因の考察に電磁界分布を活用することができる。

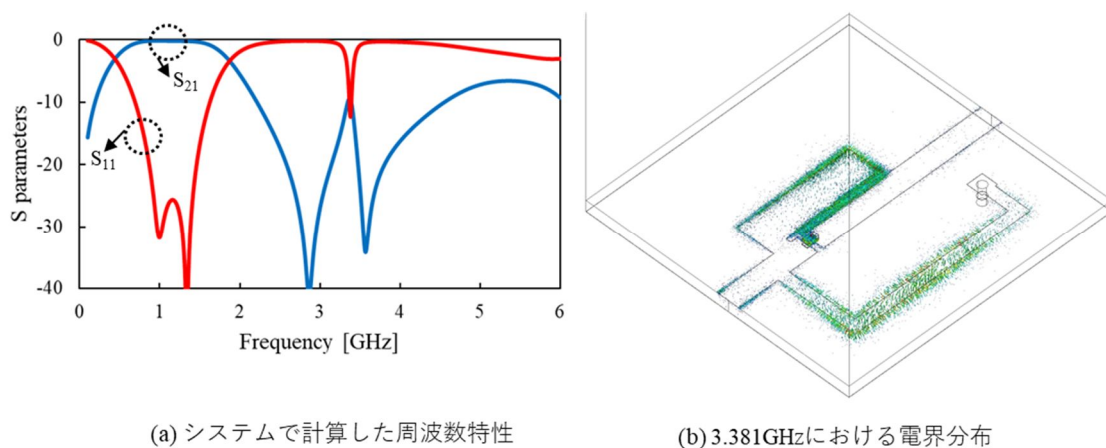


図 3 提案システムを活用した特性劣化の考察

提案する学習システムと実験プログラムを導入し 16 名の学生に教育を行った。結果、従来の実験科目ではチップ部品の活用法とインピーダンス変成器のみの実施であったが、提案手法の導入により、同じ期間で応用的な複合回路の設計まで含めた実施が可能となった。また、実験後のアンケート結果から、分布定数回路、チップ部品の高周波帯での活用方法、高周波帯での寄生成分の影響の理解に関して、すべての学習者から知識の理解に提案システムは「大いに役立った」もしくは「役に立った」との回答を得ることができた。さらに、提案する学習システムで教育を実施した複数名の学生が、学会が主催する大学生及び大学院生を想定した高周波の回路設計コンペティションで入賞することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 大島 心平, 天野 理音, 羽山 徹彩	4. 巻 Vol.144, No.8
2. 論文標題 高精度なシミュレーションを用いた高周波回路に関する学生実験の開発	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 未定(採録確定)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大島 心平, 天野 理音, 羽山 徹彩
2. 発表標題 3次元回路設計学習システムを活用した学生実験の一検討
3. 学会等名 令和6年電気学会全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 大島 心平, 羽山 徹彩
2. 発表標題 高周波回路設計実習への適用を想定した疑似実験システムの動作検証
3. 学会等名 電気学会 教育フロンティア研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 大島 心平, 羽山 徹彩
2. 発表標題 3次元回路設計学習システムの基礎検討
3. 学会等名 令和5年電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 齋藤 涼太, 大島 心平
2. 発表標題 疑似実験システムを活用した共振器直結型 BPF の設計に関する一検討
3. 学会等名 令和4年度(第13回) 電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 近藤 瑛爽, 大島 心平
2. 発表標題 チップ部品を用いたダイプレクサの高精度設計に関する基礎検討
3. 学会等名 令和4年度(第13回) 電気学会東京支部栃木・群馬支所合同研究発表会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>国際的な回路設計コンペティションでの学生の活躍について https://www.oyama-ct.ac.jp/college/kairo20221215/ 回路設計コンペティションでの学生の活躍について https://www.oyama-ct.ac.jp/college/202402091347/</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	羽山 徹彩 (Hayama Tessai) (00432138)	長岡技術科学大学・工学研究科・教授 (13102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------