

令和元年6月20日現在

機関番号：52201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16310

研究課題名(和文) 電磁界可視化教材とPDCA式実験による実践的高周波回路設計者育成プログラムの開発

研究課題名(英文) Development of training program for high-frequency circuit designers based on visualization of electromagnetic field and experiment using PDCA cycle

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)：近年、高周波信号を用いる無線通信機器の普及にともない、高周波を扱える回路設計技術者の効果的な育成方法の実現が課題となっている。本研究では、電磁界可視化教材とPDCA方式を導入した実験方法を用いた高周波回路設計者の育成方法を開発した。具体的には、電磁界可視化教材については、インピーダンス整合設計や部品間の電磁干渉の理解を支援する教材を実現した。PDCA式の実験方法については、チップ部品と伝送線路を活用したインピーダンス変成器に関する内容にすることで、高周波等価回路の理解と活用、電磁干渉を考慮した設計、およびインピーダンス整合設計の習得に適した方法が実現できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スマートフォン等の普及により無線通信は社会の基盤技術となっている。また、通信の大容量化、高速化及び多様化が急速に進んでおり、今後も更なる技術の発展が期待されている。これらの無線通信の多くは周波数がメガヘルツ～ギガヘルツの高周波信号を扱うため、そのハードウェア回路設計においては、高周波回路設計技術者の育成が非常に重要で切迫した課題である。本研究では、高周波回路設計者が必要とする基礎知識の習得に適した技術者育成方法として、電磁界可視化教材を開発するとともに、回路・電磁界シミュレータを併用した手法を導入したPDCA式の実験方法を開発した。

研究成果の概要(英文)：Recently, there are a lot of wireless communication systems using high-frequency signals. Therefore, an effective training method for high-frequency circuit designers is important for our society. In this study, educational materials based on visualization of electromagnetic field and a method of experiment using plan-do-check-action (PDCA) cycle were developed. Specifically, the educational materials for learning impedance matching and electromagnetic interference between components are realized. The method of experiment using PDCA cycle which relates to an impedance transformer using a chip component and a transmission line is also developed. This method is suitable for learning high-frequency equivalent circuit, impedance matching, and design method for considering electromagnetic interference.

研究分野：高周波回路

キーワード：高周波回路 シミュレータ 電磁界可視化 PDCA 技術者育成

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

無線通信技術はスマートフォンに代表されるように社会の基盤技術であり、今後も更なる発展が期待される。これらの無線通信の多くは周波数がメガヘルツ～ギガヘルツの高周波信号を扱うため、そのハードウェア回路設計においては、高周波回路が設計できる能力が必要になる。しかしながら、高周波信号を扱うには、低周波での回路設計の知識に加えて、最低限でも(1)高周波等価回路の理解と活用、(2)電磁干渉を考慮した設計、および(3)インピーダンス整合設計、の知識や経験が必要であるため、高周波回路設計技術者の育成は非常に難しい課題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、(1)“電磁界可視化”の効果を取り入れた教材、(2)回路・電磁界シミュレータを併用した設計方法を導入した Plan Do Check Action (PDCA) 式実験、を用いた実践的高周波回路設計者の育成手法を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、上記の研究目的を達成するため、以下のような方法で研究を行った。

(1) “電磁界可視化”の効果を取り入れた教材

3次元電磁界シミュレータで伝送線路や小型チップ部品のモデリングを行い、隣接して部品を配置した場合の電磁干渉を可視化することで、部品間の電磁干渉の影響を理解するために適した教材を実現する。また、インピーダンス整合の状態と不整合の状態における電磁界分布を可視化することで、インピーダンス整合の理解を支援する教材を構築する。開発した教材を講義で活用することで、その効果を確認するとともに、教材の完成度を高める。

(2) PDCA 式の実験プログラム

限られた実験時間内で PDCA サイクルで実施でき、回路・電磁界シミュレータを併用した高周波回路の設計法の学習に適した実験プログラムを構築する。また、(1)で開発した教材を活用して効果的に知識を習得できる実験プログラムを実現する。開発した実験プログラムを学生実験で活用することで、その効果を確認するとともに、手法の完成度を高める。

4. 研究成果

(1) “電磁界可視化”の効果を取り入れた教材

電磁界シミュレーションを活用し、隣接して配置した部品間の電磁干渉による影響やインピーダンス整合設計を理解することを支援するための教材を開発した。チップインダクタ間の電磁干渉を理解するための教材ではプリント基板上で2台のインダクタを直列に接続するモデルを用いることで、学習しやすい教材を実現した。本モデルでは、部品実装の影響がない状態では、インダクタンスは、2台のインダクタのインダクタンス値を加算した値となるが、実装方法によって生じる部品間の電磁干渉でインダクタンスが変化する。この変化の原因は、電磁界分布を可視化することで明確になる。具体的には、図1に示すように、プリント基板上で2台のインダクタを接続したモデルと、その周波数特性および電磁界分布を電磁界シミュレータで解析した結果からなる教材である。なお、チップインダクタは部品の内部構造を含めたモデルを作製し、使用している。部品配置を変えた Case A と Case B でインダクタンスに差異が生じていることが確認できる。また、部品をより隣接して配置した Case B における A-A' 部の断面での磁界分布および B-B' 部の断面での電界分布より、2台のインダクタの電磁干渉が視覚においても確認できる教材が実現できた。さらに、1/4 波長伝送線路を活用したインピーダンス変成器を題材に、負荷を変化させたときの電磁界分布をアニメーション化することでインピーダンス整合設計の理解を支援する教材も作製した。

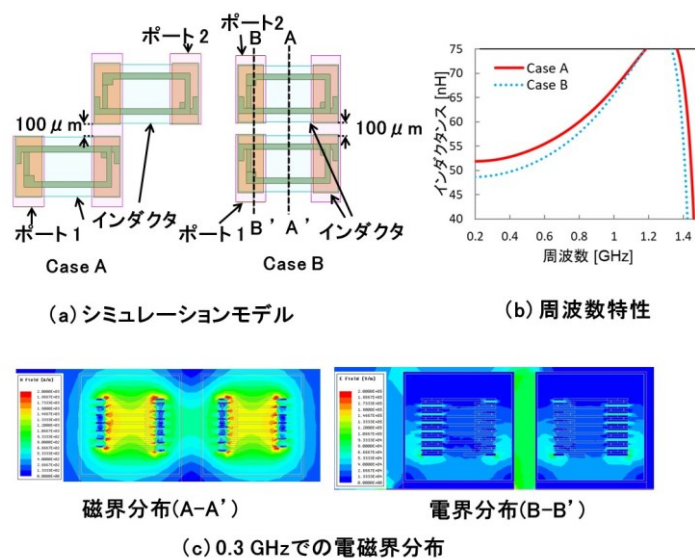


図1 開発したチップインダクタに関する電磁界可視化教材

(2) PDCA 式の実験プログラム

チップ部品と伝送線路の活用方法の習得に適し、かつ設計的な要素を含めた高周波回路に関する実験プログラムを開発した。具体的には、インピーダンス変成器に関する実験であり、1 GHz で 100 Ω を 50 Ω に変換する内容とした。また、実験時間は 1 週あたり 270 分の実験を 3 週間行うことを想定した。この実験プログラムは、(1) 1/4 波長伝送線路を活用したインピーダンス変成器の設計、(2) 伝送線路とチップ部品を用いた小型インピーダンス変成器の設計・試作・測定、で構成される。(1)の実験課題は、多くの文献に設計法が記載されている基本的な方法である。この課題を通して、伝送線路理論を確認するとともに、回路シミュレータおよび電磁界シミュレータの使用方法を習得する。

(2)の実験では、(1)で習得したシミュレータの使用方法を活用して、回路・電磁界シミュレータを併用した設計方法を習得する。具体的には、伝送線路の S パラメータを電磁界シミュレータで解析し、回路シミュレータに取り込むことで、回路全体のシミュレーションを行う。また、設計の結果を踏まえて、試作および測定を行い、性能を確認する。

この実験課題は学習者が小型化手法の工夫を検討できる課題であり、PDCA サイクルを導入し、1 回目の結果を踏まえて、2 回目の実験内容を計画し、設計・試作・測定を実施することで、深い考察が可能となる。一例として、伝送線路の長さを 1/8 波長に設定した小型インピーダンス変成器の設計例を図 2 に示す。図 2(a)に示すように、電気長 θ_1 を 45° (@1 GHz) に設定し伝送線路理論を活用して設計すると、インダクタンス L_1 は 4.59 nH となり、特性インピーダンス Z_{c1} は 57.74 Ω となる。マイクロストリップラインの部分は電磁界シミュレータを活用することで、折り曲げ部の構造や線路間の電磁干渉を含めたシミュレーションが可能になる。また、チップ部品の S パラメータと組み合わせて回路シミュレータ上でシミュレートすることで、より高精度なシミュレーションが可能になる。図 2(c)に示した実測値において、チップ部品の自己共振周波数の影響で 6 GHz 付近で減衰極が発生していることが確認できる。自己共振周波数を考慮したインダクタの等価回路を活用し、考察することで高周波等価回路についての学習も可能となる。また、1/4 波長伝送線路を活用したインピーダンス変成器の負荷を変化させたときの電磁界分布を可視化したアニメーションを本実験と組み合わせることで、試作実験とともに、視覚でインピーダンス整合を確認することが可能になる。以上のように、(1)高周波等価回路の理解と活用、(2)電磁干渉を考慮した設計、および(3)インピーダンス整合設計の習得に適した実験プログラムが構築できた。また、他の実験プログラムとして、伝送線路型のフィルタを題材とした方法も検討し、この実験方法についても PDCA 方式で実施できることを確認した。

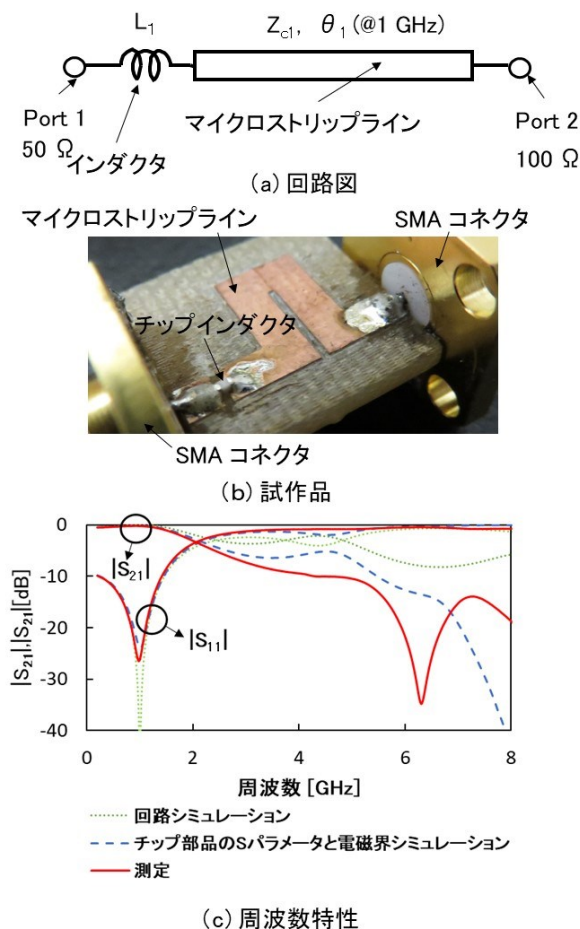


図 2 開発した実験プログラム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 6 件)

- ① 大島心平, 渡邊優貴, “シールドケース及び実装部品が積層インダクタに与える影響の基礎検討—技術者教育用の教材開発を想定して—,” 超高速・高周波エレクトロニクス実装研究会 平成 29 年度第 2 回公開研究会論文集, Vol.17, No.2, pp.1-2, 2018 年.

- ② 大島心平, “技術者教育のための積層インダクタに関する電磁界可視化を用いた教材の基礎検討,” 2018年電子情報通信学会総合大会, D-15-16 2018年.
- ③ 大島心平, “チップ部品を用いた高周波回路に関する学生実験の基礎検討,” 第24回高専シンポジウム, I-20, 2019年.
- ④ 小島大智, 大島心平, “小型積層チップインダクタの部品配置とその電気特性に関する一検討,” 平成30年度第9回電気学会栃木・群馬支所合同研究発表会, pp.112-113, 2019年.
- ⑤ 布施晴輝, 大島心平, “高周波増幅器に関する教材開発の基礎検討,” 平成30年度第9回電気学会栃木・群馬支所合同研究発表会, pp.18-19, 2019年.
- ⑥ 大島心平, “高周波回路に関する回路・電磁界シミュレータを活用した学生実験の一検討,” 平成31年電気学会全国大会, 1-017, 2019年.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

研究代表者氏名: 大島 心平

ローマ字氏名: Oshima Shinpei

所属研究機関名: 小山工業高等専門学校

部局名: 電気電子創造工学科

職名: 准教授

研究者番号 (8桁): 60608230