

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：56203

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750073

研究課題名(和文)RFデザインエンジニア育成プログラムの開発

研究課題名(英文)Development of RF design engineer training program

研究代表者

草間 裕介 (KUSAMA, YUSUKE)

香川高等専門学校・通信ネットワーク工学科・准教授

研究者番号：10398571

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：RFデザインエンジニア育成プログラム開発の一環として以下の成果が得られた。(1)導波管リアクタンス素子の設計・製作と測定について検討した。容量性窓は誘導性窓よりも2倍の精度が要求されることが分かった。(2)マイクロストリップ 1/4基本回路製作に関する実験プログラムを開発した。初学者向けの設計理論から製作上の注意点を明確にした。(3)マイクロストリップ指数テーパインピーダンス変換器の設計・製作における誤差原因を解決した。測定器のダイナミックレンジが重要であることが分かった。(4)2次元FDTD法に着目し、各種アンテナの近傍電磁界分布を計算して視覚化するためのCAE教育プログラムを開発した。

研究成果の概要(英文)：Following results were obtained as a part of the development of RF design engineer development program. (1) Design, fabrication and measuring process of waveguide reactance elements were studied. It was found that the capacitive window requires twice the accuracy of the inductive window. (2) An experiment program for a microstrip quarter wavelength basic circuit fabrication was developed. The design theory and fabrication process necessary for beginners were noted in detail. (3) The cause of the error in the design and fabrication of a microstrip exponential taper impedance transformer was solved. It was found the dynamic range of the measuring instrument was important than the manufacturing error. (4) Focusing on the two-dimensional FDTD method, CAE educational program for computing and visualizing the electromagnetic near field distribution for various antennas were developed.

研究分野：電磁波工学

キーワード：マイクロ波 教育

1. 研究開始当初の背景

携帯電話、無線 LAN、GPS や車載レーダの一般普及により、マイクロ波をターゲットにした製品が非常に身近な存在となっている。マイクロ波を送受信するアンテナや回路を搭載した電子製品設計では、その波長が回路基板寸法と同程度（数十～数センチ程度）になることから、従来のラジオ・テレビで通用した低周波の理論や測定技術がもはや適用できず、これを補うマイクロ波特有の理論体系と測定技術が必要になる。総務省の周波数割り当て方針を見ても、限られた周波数帯域の有効利用と効率的な情報伝送を行うために、キャリア周波数の高周波化は今後さらに加速される見通しである。

優秀なエンジニアとして、マイクロ波に対応した理論と要素技術を備えることは必要不可欠であるが、マイクロ波帯のアンテナや回路設計、いわゆる「RF デザイン」の専門知識と技術を有するエンジニアは慢性的な不足状態にある。この分野は主に米国と欧州に主導を許しながら戦中・戦後急速に発展してきたが、近年では韓国や中国の技術力に対しても日本の優位性が目立たなくなっている。この傾向は海外の権威ある論文誌への日本の採択数を見ても明らかである。今後 RF デザイン技術分野で日本が生き残るためには、優れたセンスと創造性を備えた RF エンジニアを早期かつ多数養成することが必要かつ急務である。独創的な視点で設計を行うことができる RF デザインエンジニアを養成するには、理論と並行してこれを裏付ける実験を体験し、シミュレーターの力を借りながら、知識と技術の双方を相乗的に深めるプロセスが必須である。既存技術の限界を破ることが得意な日本において「ものづくり教育」や「創造性を育む教育」を充実させるため、マイクロ波をターゲットにした RF デザイン分野の人材養成プログラムを導入することが望まれる。

2. 研究の目的

大容量の無線情報通信手段として広く普及している、マイクロ波帯の高周波回路設計やアンテナ設計、いわゆる「RF デザイン (Radio Frequency Design)」には、高い専門知識と実践技術が求められる。このような高度な知識と技術を自在に使いこなすことができる「RF デザインエンジニア」を養成することを目的とする。本校は古くから無線従事者の育成にあたっており、情報通信技術者に必須の専門講義科目を揃えている。この特色を活かした新しい RF デザイン実験プログラムを導入し、「ものづくり教育」や「創造性を育む教育」を充実させる複合効果的なプログラムを構築することを目標にする。このためには、レベルや用途に合わせてカスタマイズできるようなコンテンツ整備が必要になる。

3. 研究の方法

本申請では専門課程の講義科目である電磁気学、電磁波工学、アンテナ工学に該当する実験テーマとして、高専本科5年生、専攻科1年生ならびに2年生をターゲットにした3段階のマイクロ波実験テーマの整備を考えている。これらの実験テーマは、

- (1)高周波インピーダンスの基本概念
- (2)特定の高周波信号のフィルタリング
- (3)空間伝搬による電磁波送受信

というように段階を追った RF 信号処理のベースとなる実験であり、RF デザインエンジニアへのファーストステップとなる。さらに、これら RF 要素技術を理論・実験の両側面から身に付けることで、実践的な共同研究へ学生主体で参加させることができるようになる。図1に RF デザイン実験の分類例を示す。

(1) 平成 26 年度は、高専本科 5 年において「高周波インピーダンス測定と回路素子製作実験」を行う。ここでは、導波管定在波測定器を用いて導波管受動回路素子のインピーダンスを測定し、低周波電気回路におけるインピーダンスとの違いと類似性に対して理解を深めることを目標にする。実験では導波管回路素子の製作技術と測定データの処理能力を養う。さらに、シミュレーションによって定在波パターンを視覚的に捉え、理論と実際の対応を体験する。(2) 平成 27 年度は、専攻科 1 年において「高周波フィルタの設計と製作実験」を行う。ここでは、特定の信号のみを選択するフィルタ回路を製作して周波数特性を観察し、マイクロストリップラインフィルタ製作技術と測定評価の能力を養う。また、シミュレーションによってフィルタの動作原理を視覚的に捉え、理論と実際の対応を体験する。さらに、マイクロ波伝送特性を調べる基本測定器であるネットワークアナライザや信号発生器とスペクトラムアナライザの操作に慣れ、マイクロ波特有の測定原理を理解することを目標にする。(3) 平成 28 年度は、専攻科 2 年において「高周波アンテナの設計と製作実験」を行う。ここでは、UHF や携帯電話用の小型アンテナを製作して指向性や周波数特性を観察する。アンテナや回路のどの部分を調整すると周波数特性が改善されるかをリアルタイムで視覚的に捉え、試行錯誤を繰り返しながら問題

1. Theme

- RF Impedance
- Filters (Active/Passive)
- Divider/Couplers
- Antennae
- Amplifier/Oscillators

2. Structure

- Waveguides
- Planar transmission lines
- Metallic/Conductive wires

3. Methodology

- Fabrication/Measurements
- Simulations
- Theoretical analysis

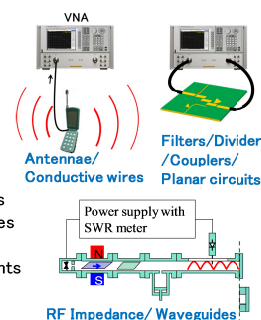


図1 RF デザイン実験の分類例

発見・問題解決の能力を養う。また、シミュレーションによって電流経路や放射電磁波を可視化イメージする能力を養い、自由な発想に基づく設計が可能な RF デザインエンジニアのセンスと創造性を養う手助けをする。

4. 研究成果

RF デザインエンジニア育成プログラム開発の一環として、以下の成果が得られた。

(1) RF デザインエンジニア育成プログラム開発として、導波管リアクタンス素子の設計・製作と測定に関する学生実験の導入について検討した。キャパシタンス製作はリアクタンス製作よりも2倍の精度が要求されることが分かり、研究成果が英文論文 IEICE Electronics Express, Vol.14 (2017), No.7, pp.20160916 に掲載された。図1に製作した導波管誘導性窓の反射特性の一例を示す。

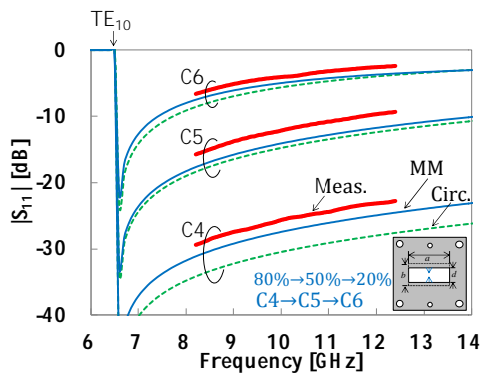


図1 対称性容量性窓の反射特性

(2) マイクロストリップ $\lambda/4$ 基本回路製作に関する実験プログラムを開発した。RF デザイン初学者向けの設計理論から製作上における誤差原因の検討までの研究成果が、電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J99-C, No.12, pp.646-650 (2016) に掲載された。図2に製作した $\lambda/4$ 短絡MSLスタブの反射特性を示す。理論計算、電磁界シミュレーション、測定値は良好に一致することを確認した。

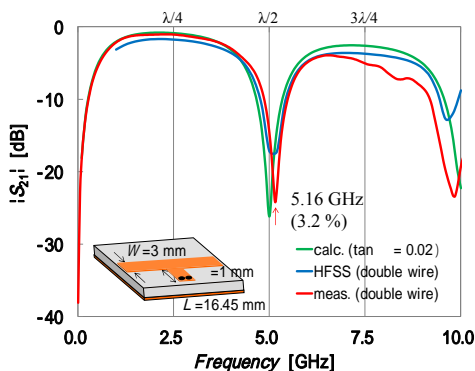


図2 $\lambda/4$ 短絡スタブの反射特性

(3) マイクロストリップ広帯域整合線路設計のために、指数関数テーパインピーダンス変換器に着目し、学生実験導入のために必須であった誤差原因に関する課題を解決し

た。この研究では、製作誤差の問題よりも、測定器のダイナミックレンジが重要であることが分かった。得られた研究成果を電子情報通信学会技術研究報告, MW2016-145, pp.73-78 (2016) で報告した。図3にMSL指数関数テーパ整合線路の反射特性を示す。

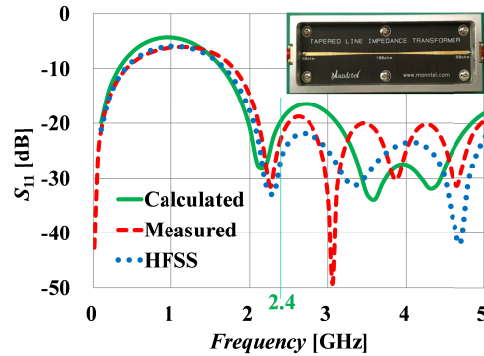


図3 MSL 指数関数テーパ整合線路の反射特性

(4) 電磁界シミュレーションコードを作成する教育プログラムの導入について検討した。計算理論とコード化が容易な2次元FDTD法に着目し、各種アンテナの近傍電磁界分布を学生自ら計算して視覚化するための教育プログラムを開発した。この研究成果を国際会議 International Symposium on Advances in Technology Education, 2016-ISATE-1407, pp.269-274 (2016) で発表した。図3に各種マイクロ波アンテナの近傍電磁界のシミュレーション結果を示す。

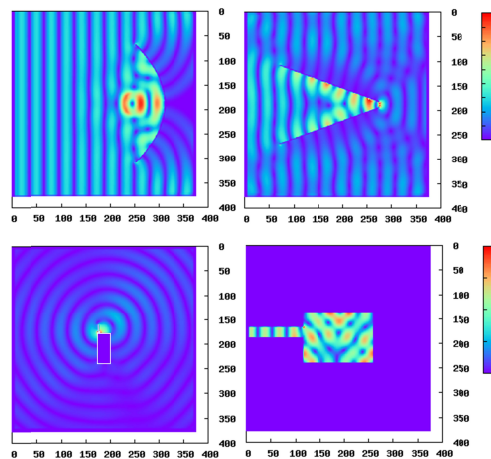


図4 FDTDによる各種マイクロ波アンテナの近傍電磁界シミュレーション結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

草間裕介, 横井雄亮, マイクロストリップライン回路製作実験に関する検討

マイクロ波工学に関する学生実験のために，電子情報通信学会論文誌 C，査読有，Vol.J99-C，No.12，Page.646-650 (2016.12)

Y. Kusama, R. W. Johnston, O. Hashimoto, A Study of Waveguide Reactance Element Designs for Introductory Microwave Experiments, IEICE Electronics Express, 査読有, Vol.14 (2017), No.7, pp.20160916 (DOI:10.1587/elex.14.20160916)

〔学会発表〕(計 13 件)

Y. Kusama, O. Hashimoto, A Study on Design of Waveguide Reactance Element for Introductory Microwave Experiment, Vth International Symposium on Fusion of Science & Technology, 2016-ISFT-243, 査読有, pp.268-274 (2016.1)

Y. Hosokawa, Y. Kusama, A study on the Characteristic Difference of the Tapered Line Impedance Transformer Using an Electromagnetic Field Simulator, International Seminar on Nanoscience, Nanotechnology & Nano engineering, 査読有, NANO-SciTech 2016-014, pp.27-28 (2016.2)

Y. Kusama, R. Johnston, and O. Hashimoto, Educational Training Program for Electromagnetic Field Simulation, International Symposium on Advances in Technology Education, 査読有, 2016-ISATE-1407, pp.269-274 (2016.9)

Y. Kusama, O. Hashimoto, A Study on Development of Experimental Student Program for RF Engineer Training - High-Frequency Impedance Measurement with Waveguide Standing Wave Method -, 電子情報通信学会技術研究報告, ET2014-35, pp.35-40 (2014.9)

細川裕基, 石川翔也, 草間裕介, テーパー線路インピーダンス変換器の製作に関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, EST2015-6, pp.27-32 (2015.5)

草間裕介, 橋本修, 導波管リアクタンス素子の設計に関する一検討 -マイクロ波導入教育実験のために-, 電子情報通信学会技術研究報告, EMCJ2015-66, MW2015-105, EST2015-76, pp.41-46 (2015.10)

横井雄亮, 草間裕介, マイクロストリップライン基本回路製作実験に関する検討 -マイクロ波工学に関する学生実験のために-, 電子情報通信学会技術研究報告, MW2015-139, pp.35-40 (2015.12)

細川裕基, 草間裕介, テーパー線路インピーダンス変換機の特性解析に関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告,

MW2016-145, pp.73-78 (2016.12)

草間裕介, 佐藤将之, 橋本修, 導波管リアクタンス素子の製作と特性測定実験、-マイクロ波工学の学部学生実験のために-, 日本工学教育協会第62回年次大会, 3F07, pp.538-539 (2014.8)

草間裕介, 石川翔也, 横井雄亮, 橋本修, テーパー線路インピーダンス変換器の設計製作実験に関する一検討, 電気関係学会四国支部連合大会, 12-7 (2014.9)

草間裕介, 橋本修, 導波管リアクタンス素子の設計に関する一検討, 電気関係学会四国支部連合大会, 12-9, p.151 (2015.9)

細川裕基, 草間裕介, テーパー線路インピーダンス変換器の設計に関する一検討, 電気関係学会四国支部連合大会, 12-10, p.152 (2015.9)

草間裕介, 横井雄亮, マイクロストリップライン基本回路製作実験に関する一検討, 電子情報通信学会総合大会, C-2-47, p.76 (2016.3)

〔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：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
www.kusamalab.org

6. 研究組織

(1) 研究代表者

草間 裕介 (KUSAMA, Yusuke)
香川高等専門学校・通信ネットワーク工学科・准教授
研究者番号：10398571