

平成 30 年 1 月 10 日

電気・電子情報工学専攻	学籍番号	第 113442 号	指導教員	大平 孝
氏名	山田 恭平			上原 秀幸

## 論文内容の要旨 (博士)

博士学位論文名	非ユークリッド幾何学を用いたリアクタンス回路の特性の表現
---------	------------------------------

(要旨 1,200 字程度)

回路を利用するあらゆるアプリケーションにおいて、インピーダンス変換は必須の要素である。特に、回路応用の代表例である通信や、近年実用化が進んでいる無線給電、高周波パワーエレクトロニクスなど、幅広い領域で用いられているのが、キャパシタとインダクタを組み合わせた集中定数回路によるインピーダンス変換である。本論文では、このような、インピーダンス変換を意図したリアクタンス回路（以降、インピーダンス変換回路）を取り扱い、この特性が非ユークリッド幾何学を援用することで視覚的に表現できることを明らかにした。加えて、インピーダンス変換回路の特性が幾何学的に表現できるという結果に基づき、変換回路の特性を最適化する設計方法と、そのような設計を視覚的に行える、新しい図表を提案した。

従来より、インピーダンス変換回路の設計にはスミスチャートが用いられてきた。スミスチャートの使用により、リアクタンス素子を追加することによるインピーダンスの変化を視覚的に表現でき、回路設計の問題を、スミスチャート上の2点間を結ぶパス（区分的に滑らかな曲線）を探すという幾何学的な問題に置き換えることができる。本論文では、この回路設計と幾何学との対応をさらに推し進め、少なくとも、1. 回路に蓄積されたエネルギー; 2. 回路で発生する損失; 3. 素子値の微小な変動が回路の入力インピーダンスの変動として現れる度合い、すなわち製作誤差に対する耐性; 4. 同じく周波数の微小な変動に対する入力インピーダンスの変動耐性 の四つの特性が、スミスチャート上の「パスの長さ」と比例することを明らかにした。ただし、ここでいうパスの長さとは、ポアンカレ計量と呼ばれる、2次元可微分多様体上で定義される量に基づいて計られた、双曲幾何学的な長さである。

この結果を用い、上記の四つの特性の最適化（蓄積エネルギーと損失の最小化、および素子値と周波数の変動に対する耐性の最大化）に関する問題を、スミスチャート上のパスの長さを最小化する問題に置き換え、この問題に対する解法を与えた。解法は、微分幾何学に基づくものである。上記の可微分多様体の概念を用いて、インピーダンスやアドミタンス、反射係数といった、一般的な回路パラメータとは異なる新しい表現である、 $rg$ 局所座標系を提案した。また、 $rg$ 局所座標系に基づく新しい図表である、両対数 $rg$ 平面を提案した。両対数 $rg$ 平面の利点は、リアクタンスの追加によるインピーダンスの動きや、長さが最短となるパスが、すべて直線で表される点である。これにより、スミスチャート上の最適なパスを探す問題は、両対数 $rg$ 平面上の2点を直線で結ぶ問題に置き換わり、ほとんど直感だけを頼りに、最適な回路構成を選択することが可能になる。

Date of Submission: January 10, 2018

Department of Electrical and Electronics Information Engineering	Student ID Number	D113442	Supervisors	Takashi Ohira
Applicant's name	Kyohei Yamada		Hideyuki Uehara	

## Abstract (Doctor)

Title of Thesis	Representation of Performance of Reactance Circuits Based on Non-Euclidean Geometry
-----------------	---

Approx. 800 words

Impedance Transformation is a ubiquitous concept used in almost all applications of circuits. Especially in variety of fields including communication, emerging wireless powering and high-frequency power conversion, impedance transformation by reactance circuit, a lumped-element circuit with inductors and capacitors, is a basic technique. This paper deals with such impedance transformation oriented reactance circuits and shows that the performance of reactance circuits has a visual representation based on non-Euclidean geometry. By utilizing this visual representation, this paper also shows a new design method to maximize the reactance circuits' performance, as well as a new graphical chart for the optimization.

In a conventional design of reactance circuits, Smith chart is used as a basic tool. Smith chart visualizes the change of an impedance by insertion of reactive elements as a path on a chart, and then such a circuitual problem that finding a circuit topology is replaced by such a geometric problem that finding a path connecting two points which correspond to original and transformed impedances. This paper pushes on with this graphical representation, and shows that not only topologies, but also the performance of reactive circuits is represented visually as the length of a path measured by the Poincaré metric. It is shown that at least following four (and possibly more) kinds of performance are proportionate to the path length: Stored energy in the circuit; dissipative power loss measured in dB or Np; sensitivity of the input impedance fluctuation to the small error of circuit parameters such as inductance or capacitance; and to the small fluctuation of the working frequency.

Besides the graphical representation, we also give a solution for the minimization problem of the path length, namely maximization of the performance of reactance circuits. Our solution is given based on two concepts, one of which is the graphical representation, and the other is a novel local coordinate system named rg-local coordinate system. Projecting the rg-local coordinate system onto a plane, we obtain the rg-plane as an alternative of the Smith chart. Then the path minimization is performed on the rg-plane instead of the Smith chart. The benefit of the rg-plane is that reactance circuit is represented as a combination of orthogonal line segment, so the calculation of path length gets much easier than that on the Smith chart. The conditions for the shortest path is clarified, and the way how to find a path satisfying the conditions is also given.