

氏 名	こ ばやし くに かつ 小 林 邦 勝
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 61 年 4 月 9 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 46 年 3 月 山形大学大学院工学研究科電気工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	放物線形不均一分布定数線路の解析に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 斎藤 伸自 東北大学教授 西田 茂穂 東北大学教授 中鉢 憲賢 東北大学助教授 根元 義章

## 論 文 内 容 要 旨

本論文では、伝送回路素子として優れた特性をもつ不均一線路の解析手法の拡張をはかる立場から、いままでに取扱われていない放物線形不均一線路及び放物線形不均一結合線路について、その統一的な解析手法の確立をはかることを目的としている。

具体的には、従来までの電信方程式の解を求める解析法に加えて、集中・分布混在回路に等価変換を施して不均一線路を導出し、その等価変換の関係から不均一線路の等価回路を求める新たな解析手法を導入し、この2つの方法で不均一線路と不均一結合線路の解析を行っている。

本論文は7章より構成され、各章の概要は次のようである。

第1章は緒論である。

第2章では、放物線形不均一線路の基本となる放物線線路を取りあげ、2つの解析手法を用いてその等価回路を導出している。

基本となる解析手法の一つは、放物線線路の電信方程式の解から縦続行列を求め、これを縦続分解することにより等価回路を求める方法である。電信方程式の解は $\pm \frac{1}{2}$ 次と $\pm \frac{3}{2}$ 次のベッセル関数で与えられ、縦続行列は $j\beta l$ と $j \tan \beta l$ の関数として求まる。この縦続行列の縦続分解により集中リアクタンス素子、均一線路及び理想変成器からなる等価回路が導出される。

もう一つの解析手法は、黒田の変換を無限回適用した極限として得られる等価変換を利用する方法である。この等価変換を集中リアクタンス素子と均一線路からなる回路に適用すると、変換後の

回路として放物線線路と集中リアクタンス素子及び理想変成器の継続接続された回路が得られる。放物線線路の等価回路はこの等価変換を利用して求めることができる。当然のこととして、この2つの解析手法で得られる等価回路は一致する。

解析の結果から、放物線線路は均一線路に高々2個の集中リアクタンス素子と理想変成器を接続するだけで表現される。つまり、放物線線路の等価回路は最小数の集中リアクタンス素子と、不均一線路のうちで最も簡単な均一線路で構成されており、集中・分布混在回路の最も単純な構成である。この意味で、放物線線路は不均一線路の中の基本素子の一つであるといえる。

ただ、負の値をとる集中リアクタンス素子が等価回路に含まれるが、等価回路全体は正実性が保たれている。また、形式的には高域通過形の回路表示であるが、負値の集中リアクタンス素子により回路全体では直流の通る低域通過特性をもつものである。

電信方程式の厳密解が関数的に得られる不均一線路の種類は限られているのに対して、集中定数素子と均一線路からなる集中・分布混在回路に等価変換を施して不均一線路を導出する方法は、いろいろな形状の回路に適用することができ、不均一線路の新しい有力な解析方法である。

第3章では、第2章で用いる等価変換の手法をより一般的な場合に拡張し、これを利用することで特性イミタンス分布が距離 $x$ の有理関数で表わされる擬放物線形線路の等価回路が導出でき、解析できることを示している。

まず、第2章で述べた等価変換の拡張として、一個の集中リアクタンス素子と不均一線路の縦続接続で構成される回路の等価変換を導出し、等価変換前と変換後の回路の素子値の関係を積分を利用した簡便な形で与える。また、等価変換により得られる不均一線路の等価回路の電圧、電流が不均一線路の電信方程式を満足することを示す。

次に、この等価変換の手法を $n$ 個の集中リアクタンス素子と不均一線路の縦続接続で構成される回路に適用し、擬放物線形線路の等価回路を導出している。この擬放物線形線路の場合、電信方程式の解を直接求めることは極めて複雑であり、現在まで明らかでなかったが、等価変換を適用する方法によれば容易に等価回路を求めることができ、解析が可能になる。この場合も、得られた擬放物線形線路の等価回路における電圧、電流が電信方程式を満足することを示す。

第4章では不均一分布結合2本線路の解析を行い、その等価回路を導出する。放物線結合2本線路は、擬放物線形線路で放物線線路が基本であったのと同様に、擬放物線形結合2本線路の基本となるものである。

結合回路は独立な伝送モードごとの回路にモード分解を行うことにより、結合のない回路と同様な取扱いを行うことができることから、放物線結合2本線路の等価回路を求めるにあたっては、まず、結合回路のモード分解とその逆の操作である独立な伝送モードの重ね合せに関して述べる。次に、第2章で示した、黒田の変換を無限に適用した極限として得られる等価変換を独立な伝送モードごとの集中・分布混在回路に各々施し、それらを重ね合わせるにより放物線結合2本線路が得られることを示す。このことは放物線結合2本線路の等価回路が得られることであり、従来解析が困難であった不均一結合線路を厳密な意味で解析できることを示している。即ち、独立伝送モードの重ね合せと集中・分布混在回路の等価変換を利用することは、不均一結合線路の有力な解析手法

であるといえる。

本方法で得られる放物線結合 2 本線路は 2 本の線路の変化する割合が異なるが、この特別な場合として、両方のテーパが等しい放物線結合 2 本線路や、一方の線路のみが距離  $x$  の 2 乗関数で変化し、他方は一定となる不均一結合 2 本線路も得られることを示す。これらは放物線線路の等価回路における集中リアクタンス素子にある特別な値を与えた時に得られる。

本章で取り扱った形状の結合 2 本線路は従来検討されていなかったが、その等価回路を考えると応用面で興味のある特別な場合なども容易に導くことができ、等価変換と独立モードの重ね合わせを用いた等価回路表現は非常に有意義である。

第 5 章では、第 4 章で示す均一な結合 2 本線路と結合のある集中リアクタンス素子からなる回路における等価変換を、より一般的な場合に拡張する。即ち、等価変換を利用し、特性インピーダンス分布が距離  $x$  の有理関数で表わされる擬放物線形結合 2 本線路の等価回路を求める。

初めに、均一線路に並列集中インダクタと直列集中キャパシタを接続した独立な伝送モードごとの回路に第 2 章、第 3 章で示す等価変換を各々適用し、それを重ね合わせるにより特性インピーダンスが距離  $x$  に沿って減少する擬放物線形結合 2 本線路とその等価回路を求める。次に、初めの回路における並列集中インダクタと直列集中キャパシタの順番を入れ換えた回路に同様な操作を施すことにより、特性アドミタンス分布が減少する擬放物線形結合 2 本線路とその等価回路を求める。

これらの等価回路における集中リアクタンス素子にある特定の値を与えることにより、種々の不均一結合 2 本線路が得られる。応用面で特に興味があるのは、一方の不均一線路のテーパが減少するのに対して、もう一方の不均一線路のテーパは逆に増加する不均一結合 2 本線路である。

ここで取り扱う不均一結合 2 本線路は、形状が考えづらいことや電信方程式の解を求めることがきわめて難しい等の理由で、従来検討されていなかった。しかし、等価変換を行って等価回路を導出する方法を利用することで、初めて解析が可能となる。また、本解析法は、得られた等価回路の集中リアクタンス素子に特定な値を与えることにより、種々の不均一結合 2 本線路が求まる、応用面での見通しもよくなる等の利点をもつものである。

第 6 章では、擬放物線形線路や放物線結合 2 本線路の伝送機器への応用例として、インピーダンス変成器を設計する。この擬放物線形線路を用いた場合の電圧定在波比の周波数特性は、従来から広帯域な特性をもつとして知られている指数線路の特性よりも整合域におけるリップルの値を小さくすることができ、その結果として非常に広帯域な特性となることを示す。

次に、第 2 章で求めた放物線線路と直列集中キャパシタからなる回路で高域フィルタの設計を行う。この設計法の特長は、放物線線路を用いることにより、均一線路と直列集中キャパシタで構成される回路よりも、集中キャパシタの数を減らすことができる点にある。

更に、第 4 章で求めた放物線結合 2 本線路を用いて低域フィルタの設計を行う。この放物線結合 2 本線路を用いた場合には、線路テーパを変えることにより減衰極の位置を可変にすることができるため、均一な結合 2 本線路を用いた回路の特性よりも立ち上が特性を鋭くすることができ、また、小形化をはかることができた。

また、設計された回路をトリ・プレート線路で実現し、その伝送特性を求め、理論値との比較を

行う。

第7章は結論である。

以上が本論文の概要である。

以上の要約にも述べたように，放物線形不均一線路及び放物線形結合線路の集中・分布混在回路で表現される等価回路を導出することができ，本論文で目的としたこれら不均一線路，不均一結合線路の解析は目的を達成することができた。

本論文で示した集中・分布混在回路の等価変換を利用し等価回路を導出する方法は，電信方程式を解く方法と同様に，不均一線路の有力な解析手法である。第2章では放物線線路の等価回路の導出に利用したが，第3章で示したように，これを利用することでこれまで電信方程式から求めることのできなかった擬放物線形線路の回路関数を容易に求めることが可能となった。このことは，擬放物線形線路の電信方程式と同形の微分方程式の解を与えたことを意味し，数学的にも興味のあることである。また，この解析手法は他の特性インピーダンス分布を有する不均一線路の等価回路の導出に適用することが可能である。

次に，放物線形結合線路の等価回路の導出には，結合回路における独立伝送モードの分解及び重ね合せの手法と，集中・分布混在回路における等価変換を利用する。導出された不均一結合線路の特性インピーダンス分布は距離  $x$  の有理関数として表わされるが，得られた等価回路における素子値にある特別な値を与えると，種々の形態の不均一結合線路を得ることができる。元来，不均一結合線路は線路の形状が考えづらい点や，電信方程式の解を求めることが難しい等の理由であまり検討されていなかったが，本論文の手法により多くの不均一結合線路の回路関数が明確になり，これらの応用面を検討しうる段階となってきた。また，本論文で示した不均一結合線路の解析手法は他の特性インピーダンス分布を有する不均一結合線路にも適用し得るものである。

更に，擬放物線形線路及び結合線路の伝送機器としての有用性を示す目的で，これらを用いたインピーダンス変成器及びフィルタの設計法を示した。これらのことは，放物線形不均一線路及び不均一結合線路の解析が実施し得て，はじめて判明したことである。

以上，本論文では放物線形不均一線路の統一的な解析手法を明らかにし，解析結果を利用して，この種の不均一線路の伝送機器としての有用性を示し，不均一線路の一分野を確立した。

## 審査結果の要旨

伝搬方向に沿って特性インピーダンスが連続的に変化する不均一線路は、小形で実用的な伝送回路として広く用いられている。しかし、電信方程式から解析的な解が得られるのは特殊な形状の不均一線路に限られ、伝送回路としての利用もまだ十分でない。また不均一結合二本線路も優れた伝送回路として期待されながら、解析が厄介なために、未開発のままになっている。著者は不均一線路の解析手法の拡張をはかる立場から、これまでに扱われていなかった放物線形線路及び放物線形結合二本線路の統一的な解析について研究を行った。本論文はその成果をまとめたもので全編7章より成る。

第1章は緒論である。

第2章では、まず放物線線路の電信方程式の解から縦続行列を求め、その縦続分解によって等価回路を求めている。次いで、均一線路と集中定数素子から成る回路の等価変換によって、放物線線路と集中定数素子で構成される回路を求め、これから放物線線路の等価回路を導いている。結果として、不均一線路が集中・分布混在回路で表現できることを初めて示したもので、有用な知見である。

第3章では、第2章の等価変換を拡張し、放物線線路と集中定数素子からなる回路の等価変換によって、新たな擬放物線形線路の等価回路が得られることを示している。

第4章では、結合二本線路でのモード分解と重ね合せ、及び集中・分布混在回路の等価変換を利用して、放物線結合二本線路の等価回路を求め、4ポートとしての回路関数を与えている。これは、不均一結合線路の解析も特定の条件で容易に行えることを示したもので、重要な成果の一つである。

第5章では、放物線結合二本線路と集中定数4ポートからなる回路の等価変換を利用して、擬放物線形結合二本線路の解析を行っている。

第6章では、放物線線路を用いたインピーダンス変成器、高域フィルタ、放物線結合二本線路を用いた低域フィルタを設計し、試作実験によって、いずれも優れた伝送特性をもつことを確かめている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、放物線形不均一線路及び放物線形不均一結合線路の統一的な解析手法を明らかにするとともに、これらの線路が伝送機器として有用であることを示し、不均一線路の解析、設計に新しい知見を与えたもので、通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。