

氏 名	遠 藤 勲
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 7 年 2 月 8 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 50 年 3 月 茨城大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了
学 位 論 文 題 目	集中・分布定数混在回路の等価変換理論とその応用に 関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 米山 務 東北大学教授 西関 隆夫 東北大学教授 澤谷 邦男 東北大学教授 根元 義章 (情報研)

論 文 内 容 要 旨

現在の高度情報化社会において情報伝達手段の高速、大容量化は重要な課題であり、情報伝送機器の小型、軽量化と信号伝送系の周波数帯域の広帯域化が望まれている。取り扱う信号の周波数が高くなるに従って波長は短くなり、伝送機器に使用される電気回路素子の物理的な大きさは無視できなくなる。このため通常のインダクタンス、キャパシタンスなどは巻線の分布キャパシタンスやリード線のインダクタンスの影響により集中定数素子としては取り扱えなくなってくる。したがって小型、広帯域特性が要求される伝送回路の構成要素としては、集中定数素子だけではなく分布定数素子が広く使われている。

この分布定数素子には、その特性インピーダンス分布が線路の長さ方向に一様な均一分布定数線路を用いたものと、特性インピーダンス分布が長さ方向に滑らかに変化する不均一分布定数線路を用いたものがある。この中で均一分布定数線路を構成素子とする回路の解析、合成理論は、集中定数回路理論とほぼ同様の体系化がなされている。しかし不均一分布定数線路はその伝送特性が優れていることから広く使われているにもかかわらず、その解析、合成理論は十分に完成されているとはいえない。

そこで本論文の前半においては不均一分布定数線路の集中・分布定数混在等価回路表現に基づく解析手法の一般論の確立を目的としている。また後半では不均一分布定数線路を構成素子とした伝送回路の新たな設計法の確立を目的としている。

本論文第 2 章は、不均一線路の新しい解析手法の基礎になる、集中定数 2 端子対回路と分布定数

線路の縦続接続回路における等価変換の一般理論を確立することを目的としている。このため集中定数2端子対回路のうち、複素周波数平面上で実軸と虚軸の両者に関して対称な複素共役対をなす4個の複素伝送零点を持つ、集中定数ダーリントンD区間と分布定数線路の縦続接続回路における等価変換を求めている。ダーリントンD区間と分布定数線路の縦続接続回路において、入力側にある集中定数D区間は等価変換によって出力側に移すことができる。等価変換後の回路は特性インピーダンス分布の変化した分布定数線路と集中定数D区間の縦続接続回路となる。この等価変換によって得られる新たな不均一線路は、集中・分布定数混在等価回路で表現することができる。したがってこの不均一線路の伝送特性は等価回路から求められる回路行列で厳密に評価することができ、電信方程式を解く必要がなくなる。本章で確立した集中定数D区間と分布定数線路の縦続接続回路における等価変換は、D区間がより簡単な非相反区間の4段縦続接続回路に分解されることを利用して導出している。すなわち1つの非相反区間と分布定数線路の縦続接続回路における等価変換公式を求めて、この等価変換を4回繰返し適用することによってD区間の等価変換公式を導いている。

第3章は集中定数2端子対回路と分布定数線路の縦続接続回路における等価変換の一般論を一つの定理にまとめることを目的としている。本章で等価変換の対象としている2端子対回路は任意のリアクタンス2端子対回路である。このリアクタンス2端子対回路は、一般に複素周波数平面上で無限遠点、原点、虚軸上、実軸上、および複素数となる伝送零点を持っている。この中で複素数の伝送零点を持つ回路がD区間であり、その他の区間はD区間の特別な場合として導くことができる。これによりD区間と分布定数線路の縦続接続回路の等価変換の特別な場合として、従来から得られているいくつかの重要な等価変換が導かれることが示されている。具体的には(1)集中定数ブルーン区間、(2)C区間、これらの縮退した区間である(3)並列共振回路のA区間、(4)単一のキャパシタンスのA区間、(5)直列共振回路のB区間、(6)単一のインダクタンスのB区間、および(7)集中定数E区間のそれぞれと分布定数線路の縦続接続回路の等価変換を導く手順が示されている。特に(4)のキャパシタンスA区間、(6)のインダクタンスB区間と均一線路の等価変換からはそれぞれ放物線線路及び逆放物線線路といわれる不均一線路が得られる。このように従来個々に導かれていた等価変換が統一的にD区間の等価変換から導き出されることから、本論文で確立したD区間の等価変換はきわめて一般的な変換であることを明らかにしている。

また本章においては以上の結果を1つの定理としてまとめその証明を述べている。すなわち本論文で取り扱った2端子対回路はダーリントンのD区間を初めとして、上記の(1)~(7)の区間の全ては分布定数線路との縦続接続回路における等価変換の前後で回路構造が変化することはなく、また伝送零点の位置も変化しない。またこれらの伝送零点は複素周波数平面上有限の位置にあり、無限遠点にはない。そこで回路網理論における縦続合成法の定理である「正実リアクタンス行列はD区間、ブルーン区間、C区間、A区間およびB区間といわれる2端子対回路のいくつかの縦続接続回路として実現できる」を用いて、集中定数2端子対回路と分布定数線路の縦続接続回路における等価変換に関する次のような定理を導いている。すなわち「与えられたリアクタンス2端子対回路が無限遠点の伝送零点を持たないならば、この2端子対回路と分布定数線路の縦続接続回路は、等価変換され特性インピーダンス分布が変化した分布定数線路と変換された2端子対回路と等価になる」を

導出している。

本論文第4章では不均一線路を用いた伝送回路の新たな設計法の確立を目指している。ここでは不均一線路の集中・分布定数混在等価変換を利用した複素インピーダンスの変換、整合回路の設計法を示している。具体的には無損失の放物線線路および逆放物線線路を用いた集中インピーダンス負荷の変換と整合に関する理論と実験結果について述べている。RC直列回路やRL並列回路は高周波伝送回路における入力インピーダンスの第1近似として使われることがあるが、このような複素インピーダンスに対するインピーダンス変換、整合回路の設計法は純抵抗負荷に対する場合とは異なり簡単ではない。しかし本論文で取り扱っている放物線線路を用いれば、集中RC直列インピーダンスのレベルを下げることができ、また双対の場合として逆放物線線路を用いればRL並列アドミタンスのレベルを下げるができることが明らかになっている。

このインピーダンス変換動作の解析と伝送特性の評価は、本論文で得られた放物線線路および逆放物線線路の集中・分布定数混在等価回路を使うことによって厳密かつ容易に行うことができ、また設計手法も見通しの良いものとなっている。例えば集中RC直列インピーダンスの変換について述べると、反射係数平面上で、正規化抵抗 $1[\Omega]$ の円から離れたところにおいて整合の取りにくい部分にある負荷インピーダンスの周波数軌跡は、適切な放物線線路を使うことによりその実部が基準抵抗 $1[\Omega]$ となるように変換できることが明らかになった。また放物線線路によるインピーダンス変換後、入力側で集中リアクタンスによって共振させ一点の周波数で完全に整合を取った場合には、負荷の抵抗分が大きく整合の悪い負荷の方がインピーダンス変換後は回路の選択度 Q が低下する。このとき放物線線路を用いれば集中RC直列インピーダンスのレベルを下げるができ、双対の場合である逆放物線線路を用いればRL並列アドミタンスのレベルを下げるができることを明らかにしている。また（逆）放物線線路の長さを $1/4$ 波長として、不均一線路の等価回路中に現れる理想変成器と $1/4$ 波長変成器の動作を同時に使うことにより、RC直列インピーダンスのレベルを上げ、RL並列アドミタンスのレベルを上げることができることも明らかにしている。

次に放物線線路を用いたインピーダンス変換の実験結果について述べている。集中RC直列インピーダンスを放物線線路で変換する実験を行ったが、理論と実験は比較的良く一致している。これにより放物線線路がインピーダンス変換、整合回路に有効に利用可能であることが明らかになったと共に理論の正当性が確認された。

第5章では不均一線路を用いた理想変成器のない準広帯域整合回路の設計理論の確立を目指している。複素インピーダンス負荷に対する広帯域整合理論では負荷の定数と、必要とする伝送特性から定められる最大利得を得ようとする、回路中に理想変成器が現れてくることが多い。通常、理想変成器の実現は困難であるから伝送回路中にはその使用を避けることが求められる。そこで本章では、放物線線路のインピーダンス変換作用は、その等価回路中に現れてくる理想変成器が主な役割を果たしていることに着目して、放物線線路によって負荷インピーダンスを前もって変換する手法を提案している。本手法の特徴は、従来の広帯域整合回路の設計のように整合回路に課される利得-帯域幅の条件を満足するために回路内に理想変成器を入れるのではなく、放物線線路によって負荷のインピーダンスレベルを変え利得-帯域幅の条件を理想変成器の不要なものに変えるところ

にある。従来の手法によっても整合回路の構造の一部として見かけ上理想変成器を結合コイルとして除去できる場合がある。しかし本手法によって実現困難な理想変成器の使用を整合回路の合成以前に避けることができることが明らかになり、準広帯域整合回路の有力な設計法を導いたことになる。本手法で広帯域整合回路を設計すると、理想変成器を用いた場合に比べて利得の低下を招くことがあるが、それが実用上容認できる場合には有効な方法である。本来広帯域整合回路とは、最大の帯域幅で最大利得を追求するものであるから、本手法はこれと区別して「準広帯域整合回路」と名付けている。

以上要するに本論文では、集中定数2端子対回路と分布定数線路の縦続接続回路における等価変換に基づく不均一分布定数線路の新しい解析手法の一般論を確立している。等価変換によって新たに得られる不均一分布定数線路は、集中・分布定数混在回路によって等価回路表現することができ、その伝送特性は等価回路から求められる回路行列を使って厳密に解析できることを示している。また不均一線路を利用した複素インピーダンスの変換、整合回路の設計においては従来にはない「不均一分布定数線路を用いた集中定数複素インピーダンスの変換と整合」という分野において、不均一線路の等価回路表現を利用した見通しが良くかつ厳密な新しい設計手法を提案した。具体的には、放物線線路を用いた複素インピーダンスの整合回路と、理想変成器を用いない準広帯域整合回路の設計法を提案している。

審査結果の要旨

小型、軽量で広帯域周波数特性が期待できる伝送機器として不均一分布定数線路は重要であり、その新たな解析手法として集中・分布定数混在回路における等価変換則を利用する方法が最近注目されている。著者は、この解析手法の最も一般的な場合として、集中定数2端子対回路と分布定数線路の縦続接続からなる集中・分布定数混在回路について等価変換則を導出し、不均一分布定数線路の解析手法に対し理論的基礎を与えている。また、導出した等価変換則の応用についても考究し、不均一分布定数線路を用いたインピーダンス変換法や整合法を提案するとともに、理想変成器を必要としない準広帯域整合回路の設計法を確立している。本論文はこれらの成果をとりまとめたもので全編6章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では集中定数2端子対回路の最も一般的な形であるダーリントンD区間と分布定数線路が縦続接続されている集中・分布定数混在回路における等価変換則について検討している。問題を不均一分布定数線路の微小区間における等価変換則に還元して考察することにより、入力端のダーリントンD区間を出力端に移動できることを示し、さらにこの移動によって生ずる不均一分布定数線路について特性インピーダンスの表示式を導出している。これは不均一分布定数線路の解析手法に対し理論的基礎を与えるもので、高く評価できる。

第3章では、第2章で得られた等価変換則を用いることにより、従来個別に論じられていた種々の集中・分布定数混在回路が統一的に考察できることを示し、不均一分布定数線路に関する理論の体系化を図っている。

第4章では、集中・分布定数混在回路に現れる形式的な負値のリアクタンス素子を積極的に利用することにより、新しいインピーダンス変換や整合が可能になることを明らかにし、具体的な回路の設計法を与え、実験的にもその動作原理を確認している。これは従来インピーダンス整合が困難であると考えられていた場合にも容易に適用できる優れた方法である。

第5章では、実用性の高い放物線線路を用いた準広帯域整合について考察している。等価変換則に現れる負値のリアクタンス素子と理想変成器の不要な準広帯域整合回路が実現できることを示しているが、これは有用な成果である。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、集中・分布定数混在回路における等価変換則を利用した不均一分布定数線路の新しい解析手法について理論的基礎を与えるとともに、その応用として不均一分布定数線路によるインピーダンス変換法や整合法について考察し、実用性の高い設計手法を確立したものであり、回路網工学及び情報通信工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。