氏　名（本籍）	ね　もと　よし　あき 根　元　義　章　（宮城県）
学位の種類	工　学　博　士
学位記番号	工　博　第　383　号
学位授与年月日	昭和48年3月27日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 （博士課程）電気及通信工学専攻
学位論文題目	**等長および不等長分布定数回路の構成に関する研究**
論文審査委員	（主査） 教授　佐藤利三郎　教　授　大泉　充郎 教授　斎藤　伸自　助教授　池田　哲夫

論　文　内　容　要　旨

第1章　緒　　論

最近の社会の急激な発展につれ情報量は著しく増加しそれに伴い通信に供される周波数帯域は広く情報量の伝送はより高速度となってきている。その結果，通信機器において同軸線路等を回路素子とする分布定数回路を使用する必要にせまられている。分布定数回路は回路素子とする一様伝送線路（以下，u.e.と称する。）の相違により次の二通りがある。第一は回路を構成するu.e.の電気長が全て等しい場合であり本論文では等長分布定数回路と称し，第二は回路を構成しているu.e.の電気長が異なる場合で本論文では不等長分布定数回路と称する。等長分布定数回路の回路理論的取り扱いは有名なRichards の周波数変換（$p=j\tan\beta\ell$）を行うことにより集中定数回路理論とほぼ同様に取り扱われていることは周知である。不等長分布定数回路の回路理論的取り扱いは相異なる電気長ごとにRichardsの周波数変換を施し多変数正実

関数の概念で取り扱われている。一方，実際問題として分布定数回路ではu.e.を二端子素子として回路に直列に用いる直列素子は不平衡伝送，輻射の原因等の理由で多くは用いられず，u.e.が縦続に接続される縦続素子あるいはu.e.が二端子素子として並列に用いられる並列素子が縦続に接続されて回路が成り立つ場合が大部分と言える。この種の回路解析および構成においては縦続行列が便利かつ有意義である。また回路構成の手法は入力端より回路素子を決定し，特に分布定数回路特有の縦続素子の引き抜きについてはRichards の操作により行われる。このRichards の操作では構成上の数値誤差が累積し出力端に近づくほど精度が低下する欠点を有する。

本論文は等長および不等長分布定数回路を取り扱い，特に縦続素子からのみなる棒状回路を対象とし，応用として縦続素子と並列素子からなる回路を扱い，この種の回路の取り扱いに有用な縦続行列の性質を明らかにし，更に構成問題においてはRichards の操作によらない構成法，構成順序を入力端と限定しない方法および数値誤差の累積のない構成法について考察を行ったものである。

第 2 章　縦続型分布定数回路の縦続行列のもつ規則性

本章はまずu.e.の縦続行列について述べ，更に分布定数回路の回路理論的取り扱いの基本について述べている。分布定数回路では縦続行列が有意義であるが実際に縦続行列の各要素を求める場合は回路次数をnとするとき（n−1）回の2次の行列の積の演算が必要である。そこで次に棒状回路の縦続行列の性質について検討し規則性を明らかにした。この規則性に従えば，棒状回路の縦続行列の各要素は煩雑な行列の積の演算を行うことなしに直接，機械的に求めることができる。また棒状回路のu.e.の接続点に並列素子が接続される単純枝回路および縦続型分布定数回路の縦続行列の各要素は並列素子を等価縦続素子と置換した等価棒状回路を考え，棒状回路の縦続行列の規則性に若干の操作を加えれば行列の積の演算を行うことなしに直接，機械的に求められることを示している。

第 3 章　棒状回路の縦続行列の規則性に基づいた構成法

棒状回路の縦続行列は第2章で述べた規則性を有する。本章はこの規則性を用いて等長棒状回路と各変数について一次の不等長棒状回路の構成について述べている。

等長棒状回路として実現できる縦続行列または駆動点イミタンスが与えられ回路を構成する方法は入力端のu.e.の特性インピーダンスを決定し回路関数の分母子から（$1-p^2$）の因数を約分し順次この操作を繰り返して終了する。等長棒状回路として実現できる縦続行列が与えられるとき縦続行列の次数は回路を構成しているu.e.数を決定し，その各係数は各u.e.の特性インピ

ーダンスを決定することになる。縦続行列の各要素の各係数には第２章で示した規則性があるがこの規則性は必要十分条件であることが示せ，規則性によって回路を構成するu.e.の特性インピーダンスと与えられる縦続行列の各要素のpについてのベキ乗の各係数との間に行列で表現できる連立方程式が得られる。等長棒状回路は構成しているu.e.の特性インピーダンスが決定できれば実現できることから，前述の連立方程式においてu.e.の特性インピーダンスを未知数としたときそれが求められれば良いことになる。結局は入力端初段のu.e.の特性インピーダンスを初期値として行列演算を行えば各u.e.の特性インピーダンスは決定されることを示している。更に行列の性質より駆動点イミタンスからの構成に拡張されることを示している。本方法は与えられる回路関数の係数に着目しu.e.の特性インピーダンスを求めるもので従来の（$1-p^2$）の約分が不必要な演算の容易な構成法である。

不等長棒状回路の構成は与えられる回路関数から入力端のu.e.の変数と特性インピーダンスを決定しRichards－Saitoの操作で順次u.e.の引き抜きを行い終了する。不等長棒状回路の縦続行列の各要素は変数も規則性に従うことから等長棒状回路に比べ制限のあるものと言える。この相違点により行列の連立方程式の解法による手法での構成は困難であるが逆に各変数に関して一次の不等長棒状回路では規則性により特徴のある構成法が得られることを述べている。まず縦続行列の規則性が必要十分条件であることを示し，与えられる縦続行列の各要素の変数について一次の項に着目すれば回路を構成しているu.e.の変数と特性インピーダンスが判明し，２次の項の係数を比較することによりu.e.の配列が定まり構成が終了することを示している。この方法は数値誤差の累積なしに構成できるものである。

第４章　棒状回路の縦続行列の縦続分解

本章では等長棒状回路の構成問題において従来の入力端から回路素子を決定する方法と異なり，等長棒状回路として実現できる縦続行列が与えられるとき，これを二つの指定する任意な次数を有する等長棒状回路の縦続行列の積の形に表わす縦続分解を述べている。等長棒状回路では伝送関数の絶対値の二乗が$p=\pm 1$にそれぞれ回路次数と同数の極をもつ。従って縦続分解はこの多位の極を適当な方法によって二つに配分することを意味する。ここでは与えられる縦続行列を縦続分解するのに必要十分な基本関係式を示し，この基本式における極の議論を$p=\pm 1$における零点の議論に帰着させている。この$p=\pm 1$における零点の条件と等価な条件として基本関係式を零点の次数により定まる回数だけpについて微分し$p=\pm 1$を代入し得られる行列の連立方程式を考える。この連立方程式において$p=1$と$p=-1$を代入した方程式が等価であることが示せ，独立な方程式として$p=1$を代入した方程式と$p=-1$を代入した方程式の和を考える。このように変形して得られる連立方程式は与えられる縦続行列から定められる係数行列と求めるべ

き縦続分解後の縦続行列の係数行列から成り立つ。従ってこの連立方程式から分解後の縦続行列の係数行列を求めることが縦続分解の手法となる。またこの行列の連立方程式は行列の性質を考えることにより連立一次方程式に変形される。また連立一次方程式の元は縦続分解の次数により定まるものであり，更に連立一次方程式は一意解をもつことを示している。この一意解は求めるべき縦続分解後の棒状回路の縦続行列の係数であることから縦続分解の手法は指定される縦続分解の次数によって定まる元の連立一次方程式を与えられる棒状回路の縦続行列から作成しその一意解を求めることになることを示している。縦続分解による回路構成はその構成の性質上，構成による数値誤差を均等化する，取り扱う回路関数を最初からかなり低次のものとすることができる，構成順番を入力端からと限定しない等の特徴をもつ新らしい構成法である。

第５章　縦続分解理論の応用

本章では第４章に示した等長棒状回路の縦続行列の縦続分解の手法と結果を等長棒状回路の入力端から任意な順番に存在するu.e.の特性インピーダンスを決定する問題と等長単純開放枝回路の縦続行列の縦続分解の問題に応用している。

等長棒状回路の構成は前述のように回路を構成しているu.e.の特性インピーダンスを求めることである。u.e.の特性インピーダンスを決定する方法は縦続分解の構成により入力端から順に構成すると言う制限はなくなる。更にここでは縦続行列のもつ規則性を合せて考えることにより容易に決定できることを示している。すなわち，入力端より任意段のu.e.の特性インピーダンスは高々４個の行列式を求めれば決定できることを述べている。この方法では縦続行列の要素全てが必要ではなく偶関数の要素と奇関数の要素の組み合せで一意に決定できるものである。

等長単純開放枝回路は棒状回路と異なり，$p=\infty$に減衰極をもつ回路である。また黒田の等価変換により並列素子の移動が行え実現できる回路は一意でない。従って単純開放枝回路の等価回路として棒状回路部分と梯子型リアクタンス四端子回路との縦続接続した回路が得られる。棒状回路の縦続行列の縦続分解の手法を単純開放枝回路の縦続行列に用いると縦続素子の伝送関数の絶対値の二乗の$p=\pm 1$の極に注目し議論を展開することから単純開放枝回路を棒状回路部分と梯子型リアクタンス四端子回路部分に縦続分解する手法が得られることを示している。結局は単純枝回路に存在する縦続素子数によって定まる元の連立一次方程式を与えられる縦続行列から作成しその一意解を求めれば棒状回路部分の縦続行列の各要素の各係数が得られ単純開放枝回路の縦続分解が行えることを示している。

第６章　結　　論

本論文は棒状回路，単純開放枝回路を主な対象とし回路理論的取り扱いにおいて有用な縦続行

列の内容についてまず検討し，規則性を示した。この規則性に従えば従来必要であった煩雑な行列の積の演算を行わずに直接，機械的に縦続行列の各要素を求めることができる。またこの規則性は回路を構成するｕ.ｅ.の接続関係を含んだ形の必要十分条件であり種々の用い方が考えられる。規則性を用いての棒状回路の構成法は従来の方法より演算の容易なものとして得られた。また等長棒状回路の新らしい構成法である縦続分解について論じその手法を示した。この方法は数値誤差の均等化，構成順番を入力端と限定しない等の特徴を有する構成法である。更に縦続分解の手法は等長棒状回路の任意な順番にあるｕ.ｅ.の決定および単純開放枝回路の縦続分解に応用できることを示した。

終りに本研究を行うにあたり御指導御鞭撻を頂いた佐藤利三郎教授に深謝します。また御検討，適切なる御助言を頂いた大泉充郎教授，斎藤伸自教授に深謝します。さらに日頃，御討論，御助言を頂いた池田哲夫助教授はじめ佐藤研究室諸学兄に深謝します。

審査結果の要旨

電気通信工学の分野における回路網理論の発達は著しいものがある。特に分布定数回路ではRichards の定理に基礎を置くことにより，集中定数回路理論と類似の方法で解析，合成が行なわれ，主として本邦で理論体系が確立されてきた。しかしこの理論は回路を構成する伝送線路素子の電気長がすべて等しい回路網を対象としたもので，伝送線路素子の長さが等長ではない回路網に対する理論は未だ確立されていない。

著者はこの点に着目し，回路を構成している素子の電気的な長さが異なる分布定数回路について，諸性質を厳密に検討し，その性質を利用しての回路合成法の研究を行なった。本論文はそれらの研究成果をとりまとめたもので，全編6章からなっている。

第1章は緒論で，本研究の背景および論文の概要を述べている。

第2章では，縦続に接続された分布定数回路の縦続行列のもつ規則性について述べている。この結果，煩雑な行列の演算を行なうことなく，より簡単に縦続行列を求める方法を示している。また，2，3の特定の回路例について，その縦続行列のもつ必要充分条件を明らかにし，与えられた縦続行列が回路として合成可能かどうかの判定条件を示している。

第3章では，前述の規則性を用いて，与えられた縦続行列または入力インピーダンスからRichards の方法を用いることなく回路を合成する理論を述べている。また数値例を示してその有効性を明らかにしている。この方法は，計算機を用いて解析するのに有用であり，応用の広いものである。

第4章では，等長素子の棒状回路の縦続行列を，2個の縦続行列の積の形に分解する手法について述べている。これは従来のRichards の構成法とは異なったものである。すなわち，回路関数の零点に着目して微分することにより，結局連立一次方程式を解くことに帰着させる手法である。

第5章では，第4章の手法を利用して，任意の部分回路の線路素子を決定する問題に適用し，それらの計算を計算機を用いて行なう際の計算誤差などについて述べている。これは回路設計における数値誤差の均等化に有効であるほか，回路合成に1つの手段を提供したものである。

第6章は結論である。

以上要するに，本論文は等長，不等長分布定数回路理論をその回路関数の規則性を基礎として，解析ならびに合成に関する諸特性を明らかにし，従来のRichards の方法とは異なった，より広い立場から分布定数回路理論を拡張し，計算機を用いた回路合成への有効な手段を提供したもので，電気通信工学に資するところ少なくない。

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。