

氏 名 (本 籍)	長 沢 庸 二 (兵 庫 県)
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 1 4 0 号
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 4 3 年 3 月 2 6 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 角 写 像 法 に よ る 伝 送 回 路 の 設 計 に 関 す る 研 究
論 文 審 査 委 員	(主 査) 教 授 佐 藤 利 三 郎 教 授 喜 安 善 市 教 授 大 泉 充 郎 助 教 授 斎 藤 伸 自

論 文 内 容 要 旨

§ 1 緒 論

本論文では伝送回路としてフィルタの問題をとり上げる。フィルタの設計は、O. Zobel により定K型フィルタが考案されて以来、種々な方法が発表され現在に到っている。現在はほとんどの場合動作量より設計が為されている。

フィルタの設計は基本回路として低域通過型のを考え、各種の特性の回路に対しては周波数変換により設計を行う為、帯域フィルタ等ではその特性が低域通過フィルタにより既に決定されており、複雑な特性を有するものに対しては適當でない。

以上の点から帯域通過型フィルタについて次の諸点について考察を行った。

(1) リアクタンス変換により低域フィルタより得た帯域通過フィルタの通過域、阻止域限界周

波数の間に存在する関係を崩し任意に通過帯域，阻止帯域をとること。

(2) 上下阻止域の最小減衰量を任意にとること。

(3) 狭帯域帯域通過フィルタで，阻止域のうち片方の特性をそれ程要求しない場合。

これらの解析は全て等角写像法により，減衰量のみに着目している。

§ 2 動作伝送量と等角写像

回路網の動作伝送係数を $S_B(s)$ ，特性関数を $\varphi(s)$ とすれば，リアクタンス回路網においては

$$S_B(s) \cdot S_B(-s) = 1 + \varphi(s) \cdot \varphi(-s) \quad (2-1)$$

なる関係が存在しており $S_B(s)$ を与えると一意的に $\varphi(s)$ が決定される。またこの逆も成立する。

回路網を減衰量のみに着目すれば (2-1) 式より，動作減衰量 $\alpha(s)$ は $S_B(s)$ の実数部，即ち，

$$\alpha^2(s) = S_B(s) \cdot S_B(-s) \quad (2-2)$$

で与えられる。従って与えられた $\alpha(s)$ の特性を近似することは $|\varphi(s)|$ を近似的に求めることに帰着される。

回路網をリアクタンス回路として構成する場合，特性関数 $\varphi(s)$ に要求される条件は，特性関数の零点および極が全て虚軸上に存在することである。

以上より今後は特性関数 $|\varphi(s)|$ ，あるいは $\varphi^2(s)$ に着目して，それに等角写像をほどこす。

§ 3 非対称な減衰域を有する帯域通過フィルタの設計理論

基本回路としてインダクタンス L 1 箇よりなる回路を考える。特性関数 $\varphi(p)$ は，

$$\varphi(p) = \frac{1}{2} LP \quad (3-1)$$

で与えられる。 p 平面を基準として図 3-1 に示す一連の写像を行う。

$$W = -j \int_0^{jp} \frac{dp}{\sqrt{(1-p^2)(1-k^2p^2)}} \quad (3-2)$$

p 平面は W 平面に対し多価に対応する。 p 平面で n 葉のリーマン面を考慮して W' 平面を得る。

$$X = -j \sin \left[j \frac{K(h')}{K(k')} W', h \right] \quad (3-3)$$

$$\frac{K(h)}{K(h')} = n \cdot \frac{K(k)}{K(k')} \quad (3-4)$$

X平面のi番目の極に着目しX'平面へ写像する。

$$X' = \frac{-j(A + \bar{\lambda}B - 2\lambda)X - (A - B\bar{\lambda} + 2C\bar{\lambda})}{(A\bar{\lambda} + B - 2)X + j(A\bar{\lambda} - B + 2C)} \quad (3-5)$$

$$A = X_{pi} - X_{pi+1}, B = X_{pi} + X_{pi+1}$$

$$C = X_{pi} \cdot X_{pi+1}, \bar{\lambda} = 1/\lambda$$

これよりS'平面は

$$S' = j \sin \left[\frac{K(\eta')}{2K(\lambda)} (S + jK(\lambda)), \eta \right], \frac{2K(\eta)}{K(\eta')} = \frac{K(\lambda')}{K(\lambda)}$$

となる。従ってS'平面における零点及び極はX'平面の零点および極を $X'_{0\nu}$ 、 $X'_{p\nu}$ とすれば

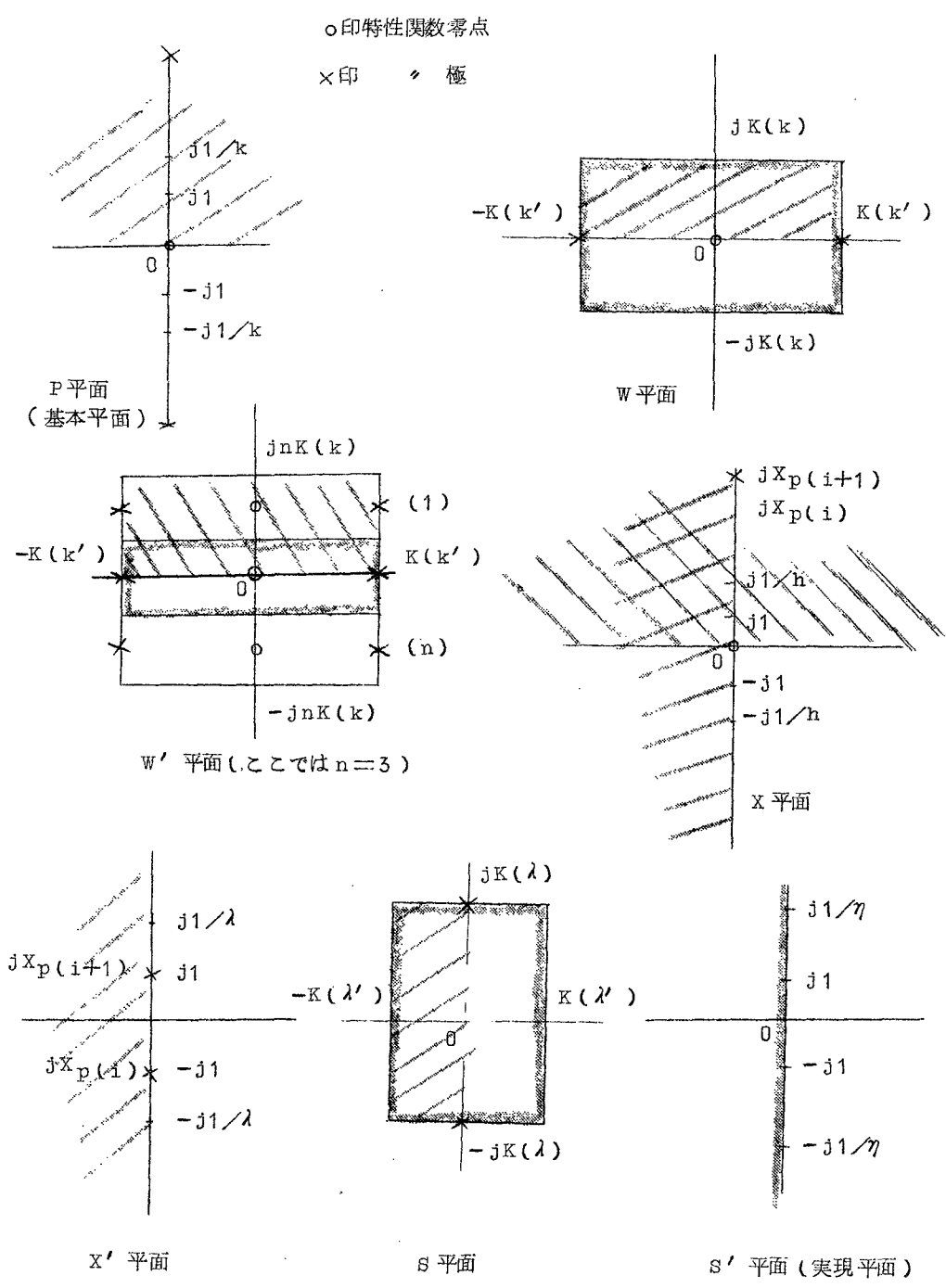
$$S'_{0\nu} = j \sin \left[j \frac{K(\eta')}{2K(\lambda)} \left\{ K(\lambda) - \int_0^{jX'_{0\nu}} \frac{dx'}{\sqrt{(1-x'^2)(1-\lambda^2 x'^2)}} \right\}, \eta \right] \quad (3-6)$$

と与えられる。但し第2象限のみであって他の象限は虚軸および実軸に対し対称である。

ここで得たS'平面は実現平面である。減衰特性の特徴をまとめると次の諸点が掲げられる。

- (1) 通過域、阻止域ともに水平波状近似。
- (2) 上、下阻止域ともに最小減衰量は等しい。
- (3) 通過域、阻止域の限界周波数は任意に選べる。
- (4) 上、下阻止域の減衰極の数が異なる。
- (5) 特性関数の零点及び極は全て虚軸上に存在するからリアクタンス回路として構成できる。

本論文においては段数n、低域側阻止域の減衰極の数iおよび各帯域の限界周波数の関係を $\alpha_{max} = 0.1 \text{ dB}$, 0.05 dB , $\alpha_{min} = 30 \text{ dB}$, 40 dB , 50 dB の場合に対して計算結果を示し、併せて設計例も示してある。



[図 3 - 1]

§ 4 非対称な減衰量を有する帯域フィルタの設計理論

図4-1(a)に示す様に特性関数の零点及び極を実軸上原点对称な点に配置された場合、それぞれ対応するもの同志の位数が等しいとすれば虚軸上はポテンシャル的に考えれば零電位となる。逆に零点及び極を同様に虚軸上に配置すれば実軸上の電位は零電位となる。従って図4-1(b)に示す如き零点及び極の分布が得られたとすれば、阻止域で最少減衰量の異なる回路の合成が可能となる。

§ 3と同様の基本回路より出発し、(3-3)式に対応して

$$\left. \begin{aligned} Z'_1 &= \operatorname{sn} \left[j \frac{K(h'_1)}{K(k'_1)} \cdot W_1, h_1 \right], n_1 \frac{K(k_1)}{K(k'_1)} = \frac{K(h_1)}{K(h'_1)} \\ Z''_1 &= \frac{1 + \sqrt{h_1}}{1 - \sqrt{h_1}} \frac{\sqrt{h_1 Z'_1 - 1}}{\sqrt{h_1 Z'_1 + 1}} \end{aligned} \right\} \quad (4-1)$$

同様に

$$Z''_2 = j \frac{1 + \sqrt{h_2}}{1 - \sqrt{h_2}} \frac{\sqrt{h_2 Z'_2 - 1}}{\sqrt{h_2 Z'_2 + 1}} \quad (4-2)$$

となり、 Z''_1 および Z''_2 はそれぞれ実軸および虚軸上の零点および極の分布を与えており両者の平面を重ねる事により図4-1(b)で示す零点及び極の分布が得られる。(図4-2 t 平面)
ここで得た平面に更に写像変換をほどこすと次の様になる。

$$\omega = \int_0^t \frac{dt}{\sqrt{(1-t^2)(1-\lambda^2 t^2)}}, \quad \lambda = \left(\frac{1 - \sqrt{h_1}}{1 + \sqrt{h_1}} \right)^2 \quad (4-3)$$

$$\omega' = \frac{K(\lambda')}{I(0,1)} \int_0^X \frac{X^2 - \frac{1}{\mu_2^2}}{\sqrt{(X^2-1)(X^2 - \frac{1}{\mu_1^2})(X^2 - \frac{1}{\mu_3^2})(X^2 - \frac{1}{\mu_4^2})}} dx \quad (4-4)$$

$$I(X_1, X_2) = \int_{X_1}^{X_2} \left| \frac{X^2 - \frac{1}{\mu_2^2}}{\sqrt{(X^2-1)(X^2 - \frac{1}{\mu_1^2})(X^2 - \frac{1}{\mu_3^2})(X^2 - \frac{1}{\mu_4^2})}} \right| dx \quad (4-5)$$

ここで μ_i の間には次の関係がある。

$$\frac{K(\lambda)}{K(\lambda')} = \frac{I(1, \frac{1}{\mu_1})}{I(0, 1)}, I(\frac{1}{\mu_3}, \frac{1}{\mu_4}) = I(1, \frac{1}{\mu_1}) \quad (4-6)$$

$$\frac{I(\frac{1}{\mu_1}, \frac{1}{\mu_2})}{I(0, 1)} = 1 - \frac{F(\frac{1}{\sqrt{2}}, \lambda')}{K(\lambda')}, I(\frac{1}{\mu_2}, \frac{1}{\mu_3}) = I(\frac{1}{\mu_1}, \frac{1}{\mu_2})$$

X 平面に一次変換をほどこして X' 平面とし、更に 2 乗一次変換により実現平面としての S 平面を得る。ここで得た (4-5) 式は高次ア-ベル積分であるから、(4-6) 式の条件を満足する μ_i の決定は実際に数値積分により近似計算を行わなければならない。

この設計法の特徴は

- (1) 阻止域では上、下とも水平波状近似。
- (2) 上、下阻止域の最小減衰量は異なる。
- (3) 通過域は波状近似であるが水平性無し。
- (4) それぞれの帯域で限界周波数は任意にとることができる。

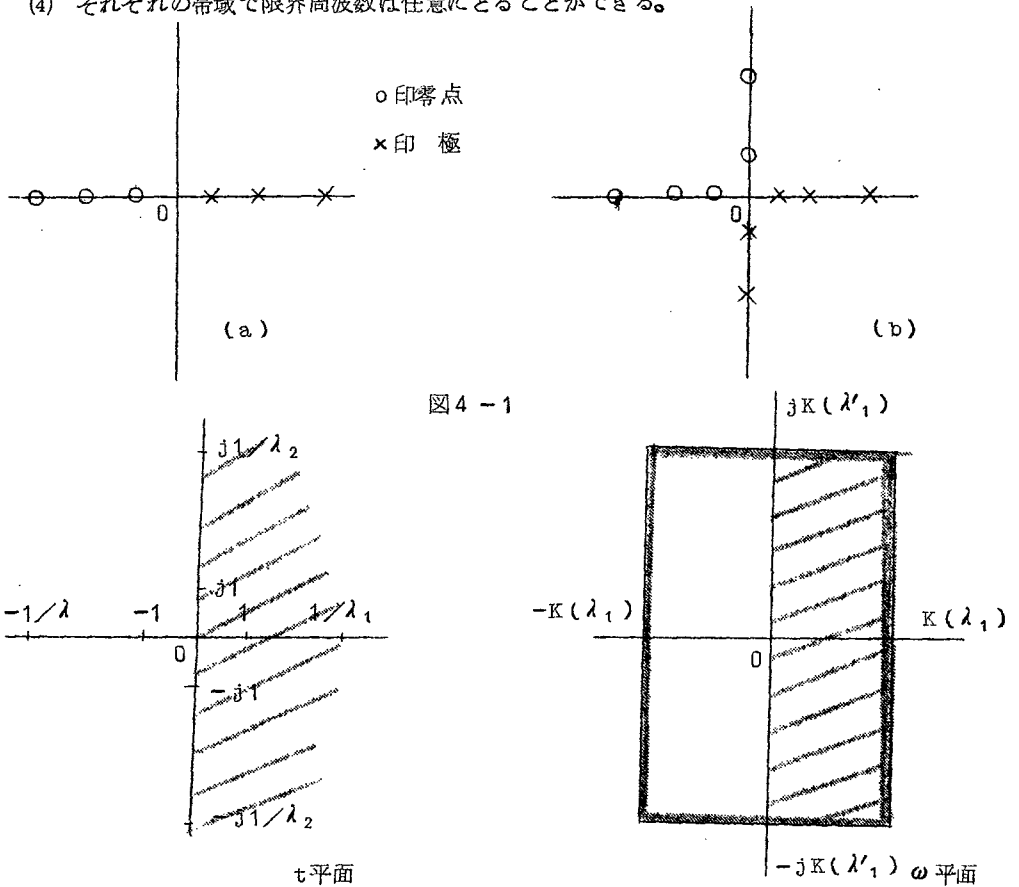


図4-1

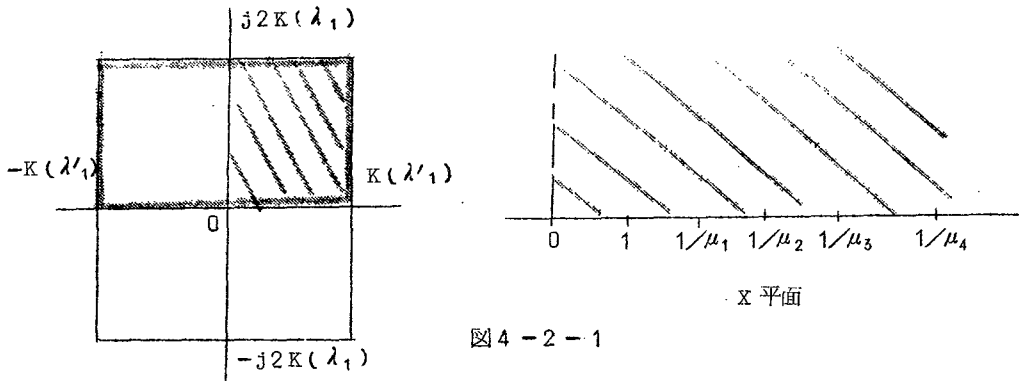


图 4-2-1

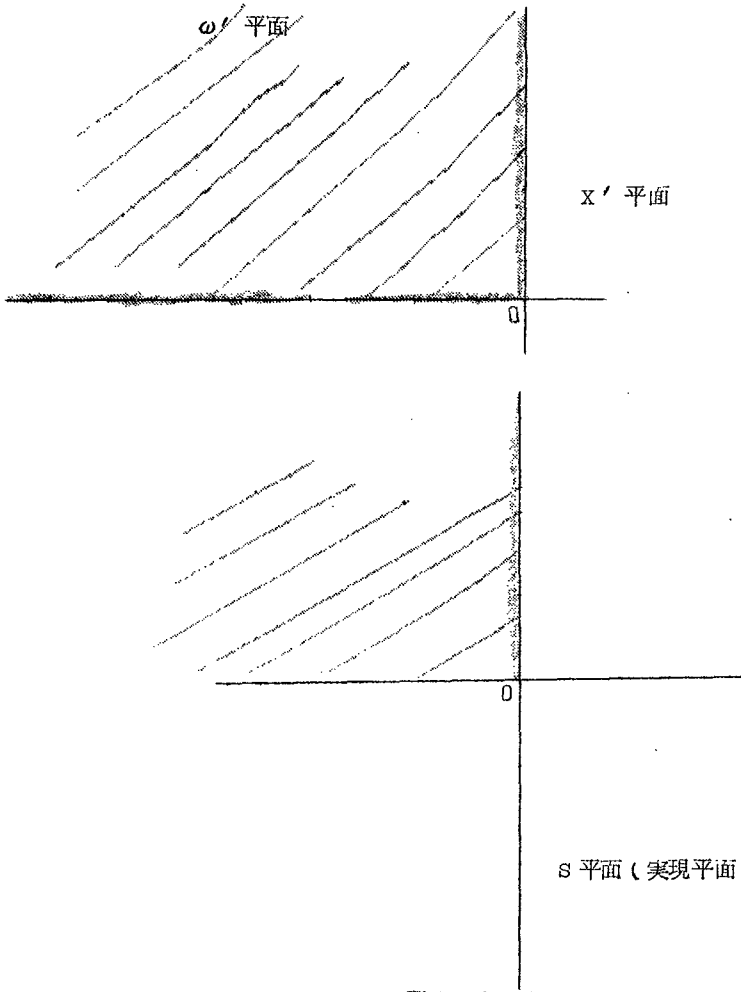


图 4-2-2

§ 5 特殊な非対称フィルタ

ここで対象とする特性は図5-1に示す如きものである。即ち、比帯域が狭く、上、下阻止域のうち片側のみを考慮すればよい場合について考える。図5-1に示す減衰特性を低域通過の特性より写像変換により求める。これは単なる一次変換により得られるが、変換式は

$$s = \frac{b}{p+a} + c$$

の形で与えられ、このままでは低域通過フィルタの構成素子であるインダクタンス、キャパシタンスに対して変換をほどかせば、 $\pm jR$ (R は正の定数)なる形の素子が現れ、物理的に実現出来ないわけであるが、ここで最初の仮定である、比帯域が小さいことを考慮し、近似的に $jR \doteq j\omega \cdot \frac{R}{\omega_0}$ (ω_0 : 帯域中心周波数)、 $-jR \doteq 1/[j\omega \cdot (\frac{1}{\omega_0 R})]$ と置くことができる。

以上の方法に従えば、図5-1に示す如き特性を有するフィルタの設計は、低域フィルタの設計がほぼ完成されている現在、非常に有効に回路設計が行なえる。

本論においては設計例と共に実験結果も示し理論値によく一致する結果を得ている。

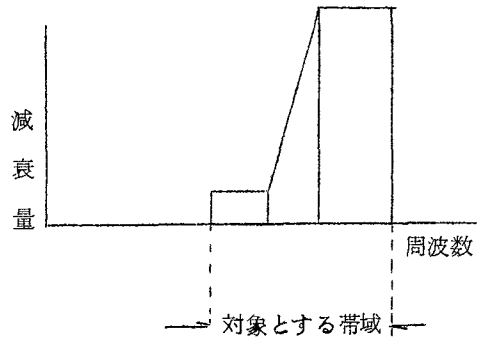


図5-1

§ 6 結 論

この研究はリアクタンス変換(現在多く用いられている周波数変換)では得ることのできない非対称帯域フィルタの関数論的設計法を確立した。非対称な減衰域を有する帯域フィルタの設計理論では、第1種ダ円積分とヤコビの sn 関数の組合せにより設計ができ、この結果を設計用チャートとして一部はグラフに示した。

非対称な減衰量ものは最も一般的な要求であり、本設計法は、複雑な仕様に対する一つの方法で与えている。

特にフィルタを狭帯域に限る場合は、その特殊性により近似設計が行える。今までは、かかる仕様に対してはCut and Try による場合が多かったが、本方法によれば低域フィルタより直接設計が可能である。本法は特にVHFあるいはUHF帯域での設計に際しては有効な方法となろう。

謝

辞

本研究を進めるにあたり、常に御指導いただいた佐藤利三郎教授に衷心より感謝致します。また有益な御助言をいただいた喜安善市教授、大泉充郎教授、斎藤伸自助教授に心よりお礼申し上げます。更に御討論下さいました池田哲夫助教授に心よりお礼申し上げます。

文

献

渡部“ろ波器のチェビシェフ近似理論”信学誌Vol.43, No.3, 昭31年
菅田, 橘“非対称帯域フィルタの一設計法”電三連合大会; 昭31年
喜安他“現代応用数学講座(回路網理論)”, 岩波, 1957年

審査結果の要旨

通信工学における基礎学としての伝送回路学の研究は、古くから多くの研究がなされ幾多の成果がもたらされ、回路解析は勿論、特性を与え、それを満足する回路合成に至るまで理論が体系化されてきている。しかし帯域通過形の伝送回路の合成については解決されていない問題が多い。

著者は伝送回路の研究に等角写像法による手法を用い、設計に必要な動作伝送係数を導く理論研究を行ない、帯域通過形伝送回路の設計に必要な図表、計算法などの多くの成果を得た。本論文はそれらをまとめたもので6章よりなっている。

第1章では、本研究の意義および歴史的背景について述べている。

第2章では、伝送回路の特性を与える動作伝送係数を、簡単な基本回路の動作伝送係数を等角写像変換することによって求められることを一般論として述べ、関連する二三の定理が記述されている。

第3章では、上阻止域と下阻止域の最小減衰量が等しいが、上下限界周波数が自由に選定出来る帯域通過形伝送回路の動作伝送係数を等角写像法により求める理論を述べ、電子計算機により必要な設計例により従来の設計に比し有利であることを述べている。

第4章では、上下阻止域の最小減衰量が等しくなく、上下限界周波数が自由に選定出来る、より一般的な帯域通過形伝送回路の動作伝送係数を、等角写像法により導出する理論を述べ、電子計算機を用いて詳細な検討を行なっている。その結果、与えられた特性を満足する回路の合成の基礎を確立することが出来た。これは著者の独創であって、回路設計に貢献するところ少なくない。

第5章では、これらの考え方を分布定数回路合成に拡張し、従来つぎはぎの手法で行なってきた、狭い帯域に使用する分布定数回路設計に一つの新しい理論を確立し、設計と実験により充分実用性のあることを述べている。

第6章は結言である。

以上要するに、本論文は帯域通過形伝送回路の合成に当って、等角写像法を用いて研究を行ない、従来より、より広範囲に適用出来る設計理論を確立し、設計、試作、実験によりその実用性を明確に示したもので、通信工学上寄与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。