

## は し が き

---

信号処理技術の発達により，伝送回路はアナログ通信からデジタル通信にわたり多様な形態で使用されている．大学の専門課程における1ないし2単位の講義で，これらを網羅するのは到底不可能なことである．単なる知識の修得ではなく，将来関連分野での仕事において，自ら考え応用する力を身につけることが学習の目的であるとするならば，むしろ典型的な回路のモデルに限定して，基礎的概念を把握し，工学の本質である合成 (synthesis) に関する基本的な考え方を体得するほうが本筋であると思われる．古くさいようであるが，いわゆる回路網理論は，体系的にも一応まとまっており，上述の目的にかなったものであることに異論はないであろう．

本書では，大学の教養課程において修得される程度の数学的知識を予想して，時間的に不変な線形回路の基礎的取り扱いから，フィルタおよび等化器の設計理論にいたる回路合成論の骨組みを示すことを主眼としている．叙述については，多くの例題を設け，基礎的概念の説明および論理の展開にできるだけ曖昧さがないように努力したつもりである．

本書の内容は，初学者にとっても自習が可能であるように，self-containedなものとした．このため紙数が本文について190ページ近くなったが，教科書として用いる場合は，学習の進度に応じて，適宜に取捨し短縮することができる．たとえば，交流回路理論の履習を終わった段階では，第4章の途中 (p. 60) あるいは第5章 (p. 74) から始めればよい．第8章のうち，8.4節以降 (p. 131~140) は，最近の結果をとり入れた advanced course 向きの内容であって，学部の講義では削除すべきであろう．また，第11章のうち11.4.4項以降 (p. 171~177) および第12章 (p. 180~184) は，適宜に取捨してもさしきわらない．以上により，大学高学年向きの1ないし2学期，あるいは大学院修士課程における教科書として適当な内容となるであろう．

本書を草するにあたり、九州大学大野克郎教授の回路合成に関する透徹した考え方に裨益を蒙ったことを記し、深甚の謝意を表したい。また、本著述は東京工業大学岸源也教授のおすすめによるものである。この機会に謝意を表したい。なお、本書の刊行に際し、コロナ社の皆様、特に編集担当の阿部悠治氏には終始ご尽力をいただいた。ここに感謝の微意を表したい。本書は、公務繁忙のさなかに、浅学をも顧みずに執筆したため、著者の思わぬ独断やいたらないところが多々あるかと思われる。ご寛恕を賜われれば幸いである。

1978 年 4 月

古 賀 利 郎

## 本書で用いられている単位，用語等に関する注意

---

- i) 物理量を表す単位系として国際単位系(SI)を用いた。本書に関しては，従来の MKS 単位系とほとんど同じで，例外として p. III における磁束密度  $B$  [T] (テスラ, [Wb/m<sup>2</sup>]), 力 [N] (ニュートン, [kg m/s<sup>2</sup>]) に注意すればよい。なお，抵抗 [ $\Omega$ ] の逆数はコンダクタンス [S] (ジーメンズ, [ $\mathcal{U}$ ]) である。
- ii) 回路に関する用語は，現在でも完全には確定していないが，一応学術用語集 (電気工学編) あるいは学会での慣用に従った。最近，1 端子対網，2 端子対網， $n$  端子対網をそれぞれ簡単に 1 ポート，2 ポート， $n$  ポートと呼ぶ例もある。なお，p. 43 の“双対”の発音は“そうつい”である。
- iii) 欧米人名は片仮名でだいたい慣用に従って表しているが，学会でも必ずしも統一されていない。たとえば，Brune をブルーネ，Tellegen (オランダ) をテレゲンと書く著者もある。
- iv) 駆動点インピーダンス (アドミタンス) および開放インピーダンス (アドミタンス) 行列の元素を表すのに，第 3 章ではそれぞれアルファベット小文字  $z_i(y_i)$  および  $z_{ik}(y_{ik})$  などを用いているが，第 4 章以降では，紛れるおそれがないので，それぞれ大文字  $Z_i(Y_i)$  および  $Z_{ik}(Y_{ik})$  などを用いた。
- v) ベクトル，行列，関数を表すのに種類の異なる多くの文字を当てているが，ギリシア小文字  $\gamma$  (ガンマ)， $\xi$  (グザイ)， $\eta$  (エータ)， $\varphi$  (ファイ)， $\psi$  (プサイ)， $\nu$  (ニュー) およびギリシア大文字  $\Gamma$  (ガンマ)， $\Omega$  (オメガ) を幾つかの箇所で使用している。

# 目 次

---



## 時間的に不変な線形回路の一般的取り扱い

---

1.1 線形回路における励振と応答	1
1.2 正弦波交流励振に対する定常的応答	2
1.3 インピーダンスおよびアドミタンス	9
1.4 複素周波数領域における表示	12
演習問題	17



## 電 気 回 路

---

2.1 回路素子	18
2.1.1 電流, 電圧および瞬時電力	18
2.1.2 2端子素子	19
2.1.3 変成器	20
2.1.4 密結合変成器と理想変成器	21
2.1.5 素子における電力と受動性	22
2.1.6 電圧源および電流源	23
2.2 回路の構造とキルヒホッフの法則	23
2.2.1 回路のグラフによる表現	23
2.2.2 枝電流と枝電圧	26
2.2.3 キルヒホッフの法則	26
2.3 グラフの行列による表現	27
2.3.1 接続行列	27
2.3.2 基本閉路行列	28

2.3.3 基本カットセット行列 .....	29
2.4 キルヒホッフの法則の行列による表現 .....	31
2.4.1 第1法則の表現 .....	31
2.4.2 第2法則の表現 .....	33
2.5 回路の方程式 .....	33
2.5.1 閉路方程式 .....	33
2.5.2 節点方程式 .....	37
演習問題 .....	38

## 3

## 電気回路の基本的性質

3.1 回路網のインピーダンスおよびアドミタンス .....	39
3.1.1 1端子対網 .....	40
3.1.2 2端子対網 .....	41
3.2 回路における双対性 .....	43
3.3 直並列回路および逆回路 .....	44
3.3.1 直列および並列接続 .....	44
3.3.2 はしご形回路 .....	45
3.3.3 逆回路 .....	45
3.4 2端子対網の直列および並列接続 .....	46
3.5 テレヘンの定理と相反定理 .....	47
3.6 回路の受動性 .....	49
3.7 テブナンの定理と電源の等価性 .....	51
3.8 補償定理 .....	52
3.9 二等分定理 .....	53
演習問題 .....	55

## 4

## 回路網の諸表現

4.1 線形関係の表現について .....	57
-----------------------	----

4.2 電圧, 電流による2端子対網の表現	59
4.2.1 縦続行列	59
4.2.2 ハイブリッド行列	60
4.3 波の概念による回路の表現	60
4.3.1 無損失一様分布定数線路上の電圧, 電流について	61
4.3.2 入射波, 反射波による回路の表現	65
4.3.3 反射係数	67
4.3.4 2端子対網のS行列	67
4.3.5 回路における電力	70
演習問題	72



## イミタンスおよび反射係数の性質

5.1 正実関数とその基本的性質	74
5.1.1 正実関数の定義	74
5.1.2 正実関数の性質	75
5.2 UBR関数とその性質	80
5.2.1 UBR関数の定義	80
5.2.2 UBR関数の性質	81
5.2.3 正実関数に対する必要十分条件	82
演習問題	83



## リアクタンス1端子対網および 2種素子1端子対網の合成

6.1 リアクタンス1端子対網の合成	85
6.1.1 正実奇関数	85
6.1.2 部分分数形合成	87
6.1.3 正実奇関数の極と零点との関係	88
6.1.4 連分数形合成	89
6.2 2種素子回路の合成	91
演習問題	93



## リアクタンス 2 端子対網の合成

7.1	正実行列とリアクタンス行列	95
7.2	リアクタンス 2 端子対網の合成	97
7.3	リアクタンス 2 端子対網の $S$ 行列による取り扱い	100
7.3.1	UBR 行列およびパラユニタリ行列	100
7.3.2	リアクタンス 2 端子対網に対する実現条件	102
7.4	全域通過回路網	104
7.4.1	定入力インピーダンス回路	104
7.4.2	全域通過回路網	106
7.5	リアクタンス 2 端子対網の $S$ 行列の標準形とイミタンス行列	107
7.5.1	パラユニタリ行列の標準形	107
7.5.2	標準形の導出	107
7.5.3	イミタンス行列	109
7.6	非相反素子を含むリアクタンス 2 端子対網	110
7.6.1	理想ジャイレータ	110
7.6.2	非相反無損失 2 端子対網のイミタンス行列	112
	演習問題	114



## 受動 1 端子対網および

## リアクタンス 2 端子対網の縦続形合成

8.1	相反リアクタンス 2 端子対網の抵抗終端による 受動 1 端子対網の合成	116
8.2	リアクタンス 2 端子対網の伝送零点	119
8.2.1	伝送零点の定義	119
8.2.2	伝送零点の分類	120
8.2.3	入力インピーダンスと伝送零点との関係	125
8.3	受動 1 端子対網の縦続形合成	126
8.4	擬正実関数	131
8.4.1	定義および基本的性質	131

8.4.2 擬正実関数の基本的性質	132
8.4.3 擬正実関数の分解	135
8.5 ブルーン区間の導出	137
8.5.1 虚軸上に伝送零点をもつ場合	137
8.5.2 実軸上に伝送零点をもつ場合	138
8.6 ダーリントン区間の導出	138
8.7 ブルーンの合成方法	140
演習問題	141



## 2 端子対網の諸伝送係数

9.1 2 端子対網の伝送係数	142
9.2 諸伝送係数	143
9.2.1 電流伝送係数 $T_i$	143
9.2.2 短絡伝送係数 $T_{is}$	144
9.2.3 電圧伝送係数 $T_v$	144
9.2.4 開放伝送係数 $T_{vJ}$	145
9.2.5 動作伝送係数 $T_B$	145
9.2.6 反響伝送係数 $T_E$	146
9.3 ヒルベルト変換およびボードの関係	146
9.3.1 ヒルベルト変換	147
9.3.2 ボードの関係式	148
演習問題	150



## 与えられた伝送係数 あるいは減衰特性の実現

10.1 電流および電圧伝送係数	151
10.1.1 伝送係数に対する実現条件	151
10.1.2 減衰特性に対する実現条件	154
10.2 動作伝送係数	155
10.2.1 動作伝送係数に対する実現条件	155
10.2.2 動作減衰特性に対する実現条件	156

演習問題	158
------	-----



## リアクタンスフィルタの設計概論

11.1	フィルタとその分類	159
11.2	フィルタの設計	160
11.2.1	フィルタ設計上の問題	161
11.2.2	周波数変換	162
11.3	関数の近似について	164
11.4	フィルタの特性近似の例	165
11.4.1	パタワース特性	166
11.4.2	チェビシェフ近似	167
11.4.3	無極形通過域チェビシェフ特性	167
11.4.4	有極形通過域チェビシェフ特性	171
11.4.5	通過域, 減衰域連立チェビシェフ特性	173
11.5	損失の影響について	177



## 減衰および位相等化器の設計概論

12.1	減衰等化器	180
12.2	位相等化器および群遅延等化器	182

付録



定理 8.8 および系の証明 ..... 185

付録



定理 8.2 および系の証明 ..... 187

演習問題解答

参考文献

索引



## 時間的に不変な線形回路の一般的取り扱い

時間的に不変な素子を用いて組み立てられた回路について，状態を表す物理量の間に関係が存在するとき，励振とそれに対する回路の応答との関係について述べる．特に，正弦波交流励振に対する回路の定常的応答を求めるいわゆる交流回路の計算の原理を明らかにし，インピーダンスやアドミタンスが普遍的な概念であることに触れ，複素周波数領域における回路の取り扱いの基礎を与える．

### 1.1 線形回路における励振と応答

一つの回路があって暗箱 (black box) に納められているとしよう．暗箱には入力および出力端子があって，入力端子より励振することができ，励振に対する回路の応答は出力端子において観測できるとする．上記の関係は，図 1.1 のように概念的な図で表される．図中の矢印は入力と出力とを明示するためのものである．

暗箱の中身に関する知識は，励振と応答との関係を調べるにより得られる．励振と応答は時間  $t$  の関数で，それぞれを  $f(t)$ ,  $g(t)$  あるいは  $f, g$  で表す． $f$  と  $g$  とは原因と結果との関係にあり，いわゆる因果関係 (causality) を満たす．すなわち，時間的に励振より先に応答が現れることはない．



図 1.1 暗箱

与えられた回路について、物理的に可能な励振  $f$  を考え、 $f$  が

$$t < t_0 \text{ において } f = 0 \quad (1.1)$$

であるとき、回路の応答が

$$t < t_0 \text{ において } g = 0 \quad (1.2)$$

であるとする。このことを、便宜上、回路は  $t < t_0$  において静止状態にあるという。上の条件のもとで、 $t > t_0$  において、励振  $f(t) \neq 0$  に対し、応答  $g(t)$  は回路の物理的作用によって一意に定まるとする。このことを記号的に

$$g(t) = \mathbf{L}f(t) \quad (1.3)$$

と表すことができる。 $\mathbf{L}$  は上記の物理的作用を表す作用素 (operator) である。数学的には、式 (1.3) は初期条件 (1.1), (1.2) のもとで、 $g(t)$  を未知関数とする回路の方程式の解が、 $f(t)$  に対して一意に定まることを表し、 $\mathbf{L}$  は方程式を解く操作を表す演算子であると解釈される。

**例題 1.1** 励振  $f$  に対する回路の応答  $g$  が、方程式

$$m \frac{dg}{dt} = f$$

に従うとすると、初期条件 (1.1), (1.2) のもとで、 $g$  は

$$g(t) = \frac{1}{m} \int_{t_0}^t f(t) dt$$

となる。この場合、式 (1.3) の作用素  $\mathbf{L}$  は、積分演算子

$$\mathbf{L} = \frac{1}{m} \int_{t_0}^t dt$$

を表す。

次に、時間的に不変な線形回路を特徴づける作用素  $\mathbf{L}$  の性質について述べる。

**[I] 線形性**  $\mathbf{L}$  が次の条件を満たすとき、線形作用素 (linear

operator) という.

i) 任意の定数  $\alpha$  に対して

$$\mathbf{L}\alpha f = \alpha \mathbf{L}f \quad (1.4)$$

ii)  $\mathbf{L}(f_1 + f_2) = \mathbf{L}f_1 + \mathbf{L}f_2$  (1.5)

ii) を重ね合せの理 (principle of superposition) という. ii) は, 励振に関する加算と作用素  $\mathbf{L}$  で表される演算との順序が交換可能であることを意味する.

〔2〕 時間的不変性 条件 (1.1), (1.2) のもとで

$$\mathbf{L}f(t) = g(t) \quad (1.6)$$

であるとき, 任意の  $\tau > 0$  に対して

$$\mathbf{L}f(t - \tau) = g(t - \tau) \quad (1.7)$$

が成り立つならば, 回路は時間的に不変 (time-invariant) であるといわれる. 換言すれば, 式 (1.7) は, 初期時刻を任意にずらして同じ励振を行うとき, 回路が同じに応答することを意味する.

〔3〕 安定性 任意の励振  $f$  について

$$t_0 \leq t < t_1 \quad \text{に対して} \quad f \neq 0 \quad (1.8)$$

$$t_1 \leq t \quad \text{に対して} \quad f = 0 \quad (1.9)$$

であるとする. このとき,  $t \geq t_1$  に対する応答は, 一般に  $g = \mathbf{L}f \neq 0$  であるが

$$t \rightarrow \infty \quad \text{に対し} \quad |g| \rightarrow 0 \quad (1.10)$$

を満たすとき, 回路は安定 (stable) であるという. 励振が 0 であるとき, 非零の応答を, 自由振動 (free oscillation) と呼んでいる.

## 1.2 正弦波交流励振に対する定常的応答

本節では, 時間的に不変な線形回路が周期  $T$  の正弦波交流

$$f(t) = \sqrt{2} |F| \sin(\omega t + \varphi) \quad (\omega = 2\pi/T) \quad (1.11)$$

によって励振される場合について, 回路の応答を調べる. 上式の右辺の係数

$\sqrt{2}$ は、後述するように、 $|F|$ が  $f(t)$  の実効値に等しくなるように、便宜上付け加えられたものである。以下、断わらない限り、回路は時間的に不変な線形回路であるとする。

オイラーの公式

$$e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta \quad (1.12)$$

を用いると

$$\sin \theta = \frac{1}{2j} (e^{j\theta} - e^{-j\theta}) = \text{Im } e^{j\theta} \quad (1.13a)$$

$$\cos \theta = \frac{1}{2} (e^{j\theta} + e^{-j\theta}) = \text{Re } e^{j\theta} = \text{Im } e^{j(\theta + \frac{\pi}{2})} \quad (1.13b)$$

と書ける。ここで、 $\text{Im}$ ,  $\text{Re}$  はそれぞれ複素数の虚部および実部

$$\text{Im } A = \frac{1}{2j} (A - A^*), \quad \text{Re } A = \frac{1}{2} (A + A^*) \quad (1.14)$$

を表し、一種の線形演算子であると考えられる。ただし、肩付き符号  $*$  は複素共役を意味する。

式 (1.12), (1.13a) を用いると、式 (1.11) は、簡単に

$$f(t) = \sqrt{2} \text{Im } F e^{j\omega t} \quad (1.15)$$

と書ける。ここで

$$F = |F| e^{j\varphi} \quad (1.16)$$

と置き、 $F$ を式 (1.11) の複素表示 (complex representation) あるいはフェーザ表示 (phasor representation) という。用語“フェーザ”は複素平面上のベクトルを物理的な (実)ベクトルと区別するためのものである。

次に、励振 (1.11) に対する回路の応答を求める。式 (1.14) に関して述べた  $\text{Im}$  の性質と  $\mathbf{L}$  の線形性により、 $\text{Im}$  と  $\mathbf{L}$  との演算の順序は交換できるので

$$\begin{aligned} g(t) &= \mathbf{L}f(t) \\ &= \mathbf{L}(\sqrt{2} \text{Im } F e^{j\omega t}) \\ &= \sqrt{2} \text{Im } (\mathbf{L}F e^{j\omega t}) \end{aligned} \quad (1.17)$$

と書ける。ここで、式 (1.4), (1.5) ははじめ実数について定義された演算であったが、複素数についてもそのまま拡張できることに注意しよう。

$$\mathbf{L}e^{j\omega t} = g_1(t) \quad (1.18)$$

と書くと、 $g_1$  は角周波数  $\omega$  の複素交流励振  $e^{j\omega t}$  に対する拡張された応答を意味する。物理的には、 $e^{j\omega t}$  および式 (1.18) の虚部が、それぞれ現実の正弦波交流励振および応答を表すと解釈すればよい。

次に、回路は安定であるとする。初期時刻を  $t_0 = -\infty$  と考えれば、任意の有限の時刻  $t$  における応答 (1.18) は一意に定まる。式 (1.18) について、式 (1.6), (1.7) の関係があてはまるので、任意の  $t, \tau$  に対して

$$\begin{aligned} g_1(t - \tau) &= \mathbf{L}e^{j\omega(t-\tau)} \\ &= e^{-j\omega\tau} \mathbf{L}e^{j\omega t} = g_1(t)e^{-j\omega\tau} \end{aligned} \quad (1.19)$$

が成り立つ。上式において  $t = \tau$  と置くことにより

$$g_1(\tau) = H e^{j\omega\tau} \quad (H = g_1(0)) \quad (1.20)$$

あるいは

$$\mathbf{L}e^{j\omega t} = H e^{j\omega t} \quad (1.21)$$

が得られる。

式 (1.21) を式 (1.17) に入れることにより、励振 (1.11) に対する回路の応答は、 $t > -\infty$  に対して

$$\begin{aligned} g(t) &= \mathbf{L}f(t) \\ &= \sqrt{2} \operatorname{Im} (HF e^{j\omega t}) \end{aligned} \quad (1.22a)$$

$$= \sqrt{2} |H| |F| \sin(\omega t + \varphi + \theta) \quad (1.22b)$$

で与えられる。ここで

$$\theta = \arg H \quad (H \text{ の偏角 (argument)}) \quad (1.23)$$

と置いた。式 (1.22a), (1.22b) は、正弦波交流励振 (1.11) に対する回路の応答  $g(t)$  が定常的正弦波交流であり、 $g(t)$  の複素表示が

$$G = HF \quad (1.24)$$

で与えられることを意味する。式 (1.15) に関して説明したことと、式 (1.21) により、 $H$  は角周波数  $\omega$  の正弦波励振  $\sqrt{2} \sin \omega t$  に対する回路の応答の複素表示を意味している。 $H$  は一般に  $j\omega$  の関数であって、伝達関数 (transfer

function) と呼ばれる.

上述においては, 回路の安定性を仮定して式 (1.22b) を導いたが, 回路が安定でない場合でも, いわゆる初期条件の与え方によって, 自由振動には任意性があるので, 自由振動がないと仮定したときの回路の応答, すなわち純然たる強制振動 (forced oscillation) を式 (1.22a), (1.22b) の形で求めることができる.

以上を要約すれば, 角周波数  $\omega$  をもつ任意の正弦波交流励振

$$f(t) = \sqrt{2}|F|\sin(\omega t + \varphi) \quad (t > -\infty) \quad (1.25)$$

に対する時間的に不変な線形回路の定常的応答 (強制振動項)  $g(t)$  を求めることは, 回路の伝達関数  $H(j\omega)$  を求めることに帰せられる. すなわち,  $H(j\omega)$  が既知であれば,  $g(t)$  の複素表示  $G$  は,  $f(t)$  の複素表示  $F = |F|e^{j\varphi}$  を用いて

$$G = HF \quad (1.26)$$

与えられ,  $g(t)$  は,  $t > -\infty$  に対して

$$\begin{aligned} g(t) &= \sqrt{2} \operatorname{Im} G e^{j\omega t} = \sqrt{2} \operatorname{Im} H F e^{j\omega t} \\ &= \sqrt{2} |H| |F| \sin(\omega t + \varphi + \theta) \end{aligned} \quad (1.27)$$

により求められる. ここで

$$\theta = \arg H(j\omega) \quad (1.28)$$

である.

以上がいわゆる交流回路の計算の原理である. 伝達関数  $H(j\omega)$  を回路について具体的に求めるには, 回路の内容に立ち入ることが必要である. このことについては第2章以降で述べる. 広い意味での時間的に不変な線形回路の方程式は必ずしも常微分方程式の形で与えられるとは限らないが,  $f$  と  $g$  との関係が常微分方程式によって与えられるときは, 以下に述べるように  $H(j\omega)$  は容易に求められる.

式 (1.25) の形の関数  $f(t)$  の複素表示  $F$  の偏角  $\varphi$  には,  $f(t)$  の周期性により

$$\varphi = \arg F + 2n\pi \quad (n: \text{整数})$$

# 索引

## 【A】

アドミタンス 9  
アドミタンス行列 42  
網目方程式 36  
暗箱 1  
安定性 3

## 【B】

バタワース特性 165  
ボードの関係式 148  
部分分数形合成 87  
部分グラフ 24  
ブリッジ回路 23  
ブルーン区間の導出 137  
ブルーンの合成方法 140

## 【D】

ダーリントン区間 124  
——の導出 138  
電圧 19  
電圧伝送係数 144  
電圧源 23  
電圧降下 19  
電源の等価性 51  
電流 18  
電流伝送係数 143  
電流源 23  
伝送関数 142  
伝送係数 142  
伝送零点 120

伝送量 142  
伝達関数 5  
電磁形変換器 111  
動作伝送係数 145  
同軸線路 61

## 【E】

枝 23  
枝アドミタンス 34  
枝電圧 26  
枝電流 26  
枝インピーダンス 34  
映像インピーダンス 157  
映像パラメータフィルタ 157  
エルミート行列 71

## 【F】

フェーザ表示 4  
フォスター展開 86

## 【G】

減衰域 159  
減衰極 120  
減衰量 143  
減衰等化器 180  
擬正実関数 131  
——の分解 135  
群遅延等化器 182  
グラフ 23  
逆回路 45

## 【H】

波動方程式 63  
ハイブリッド行列 60  
反響伝送係数 146  
半正値エルミート行列 71  
半正値エルミート形式 71  
半正値行列 97  
半正値2次形式 97  
反射電力 70  
反射波 65  
反射係数 65  
はしご形回路 45  
ハズニー区間 125  
ヘビサイドの展開定理 15  
平均電力 10  
平行2線条線路 61  
平面グラフ 44  
並列接続 44, 47  
閉路 24  
閉路電流 32  
閉路方程式 36  
偏角 5  
非負値エルミート形式 71  
非負値行列 97  
非負値2次形式 97  
非可分グラフ 24  
ヒルベルト変換 147  
補木 25  
補償定理 52  
複素表示 4  
複素周波数領域における表示 14  
フルウィツの多項式 82  
不都合な極 132

不都合な零点 131

不都合指数 131

## 【J】

インダクタンス 20

因果関係 1

インピーダンス 9

インピーダンス行列 41

インピーダンス反転器 111

位相量 143

位相速度 65

位相定数 64

位相等化器 182

1端子対網 40

## 【K】

可分グラフ 24

可逆定理 49

開放伝送係数 145

開放インピーダンス行列 41

回路の受動性 49

重ね合せの理 3

カットセット 25

結合係数 21

木 25

基本閉路 28

基本閉路行列 29

基本カットセット 30

基本カットセット行列 30

キルヒホッフの法則 26

規準回路 162

高域通過フィルタ 159

コンダクタンス 10

駆動点アドミタンス 41

駆動点インピーダンス 40

橋絡T形回路 181

強制振動 6

## 【L】

 $L_p$  ノルム 164

## 【M】

道 24

密結合変成器 21

無極形通過域チェビシェフ特性 167

## 【N】

 $2n$  端子網 39

2種素子回路 91

2端子網 40

2端子対網 40

二等分定理 53

ノートの定理 52

 $n$  端子対網 39

入射電力 70

入射波 65

## 【O】

音響回路 11

## 【P】

パラサブユニタリ行列 101

パラサブユニタリ関数 80

パラユニタリ行列 101

——の標準形 107

## 【R】

ラプラス変換 13

ラウス・フルウィッツの判定条件

RC 回路 91

レッヘル線 61

連分数形合成 89

連結グラフ 24

リアクタンス行列 95

リアクタンス1端子対網 85

リアクタンス関数 91

リアクタンス素子 22

力学的回路 11

理想フィルタ 163

理想ジャイレータ 110

理想変成器 21

RL 回路 91

留数 78

## 【S】

最大平坦特性 165

最大値の定理 81

散乱行列 67

正関数 74

正値エルミート行列 71

正値エルミート形式 71

正値行列 97

正値2次形式 97

正実行列 95

正実関数 75

正実奇関数 85

線形作用素 2

線形性 2

節点 23

節点電位 33

節点方程式 38

接続行列 27

S 行列 67

4端子網 40

相互インダクタンス 20

相反定理 49

損失補償 178

損失係数 178

阻止域 159

双対 43

双対グラフ 44

双対命題 43

双対性 43  
 $s$  領域における表示 14  
 シャ断周波数 160  
 周波数変換 163  
 瞬時電力 19  
 集中定数回路 23  
 集中定数素子 23

【 $T$ 】

帯域阻止フィルタ 159  
 帯域通過フィルタ 159  
 短絡アドミタンス行列 42  
 短絡伝送係数 144  
 テブナンの定理 51  
 低域通過フィルタ 159  
 抵抗 20  
 定入力インピーダンス回路

104

定常的応答 6  
 テレヘンの定理 48  
 特性インピーダンス 63  
 通過域, 減衰域連立チェビシェフ特性 173  
 チェビシェフ近似 167  
 チェビシェフノルム 165  
 直並列回路 44  
 直列接続 44, 46

【 $U$ 】

UBR 行列 101  
 UBR 関数 80

【 $Y$ 】

容量 20

誘導 M 形 LPF 157  
 誘導 M 変換パラメータ 157  
 有向グラフ 25  
 有極形通過域チェビシェフ特性 171  
 ユニタリ行列 101

【 $Z$ 】

時間的不変性 3  
 実効値 10  
 自己インダクタンス 20  
 自由振動 3  
 受動性 50  
 受動的 10  
 縦続形合成 126  
 縦続行列 59

—著者略歴—

1953 年 九州大学工学部通信工学科卒業  
1953～60 年 富士通株式会社技術部勤務  
1966 年 工学博士（九州大学）  
1968 年 九州大学教授（工学部情報工学科），現在に至る

伝 送 回 路

Transmission Networks

© Toshiro Koga 1978

1978 年 5 月 20 日 初版第 1 刷発行

1992 年 2 月 25 日 初版第 5 刷発行

検印省略

著 者 古 賀 利 郎  
福岡市東区水谷 1-30-24  
発 行 者 株式会社 コロナ社  
代 表 者 牛来辰巳  
印 刷 所 大 和 製 版

112 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 東京 4-14844・電話 (03) 3941-3131 (代)

ISBN 4-339-00112-0  
Printed in Japan

(清文社印刷，愛千製本所)

無断複写・転載を禁ずる

落丁・乱丁本はお取替えいたします

