

## は し が き

---

電気回路は、電磁気学とともに、電気工学の基礎であって、電気工学、電子工学、通信工学、情報工学および制御工学などの学生が、最初に講義を受ける専門科目である。オームの法則は、すでに中学理科で習っている。そのほかの理論式も、高校数学の学力があれば、たいてい理解できる。したがって、電気回路は、4年制大学の学生ばかりでなく、短期大学や工業高等専門学校 of 学生にとっても、親しみやすい学問であろう。高校で習っていない数学は、本書の本文の中と付録で、必要な知識を与えてある。

著者の学生時代には、電気回路の科目は、交流理論と過渡現象論とに分かれていて、非正弦波形の電圧と電流を解析する過渡現象論は、正弦波交流の電圧と電流を取り扱う交流理論の後に、講義を受けた。しかし、電子計算機やパルス通信が発達した今日では、電気回路の学習においても、パルスなどの非正弦波形に、早くなじむことが望ましい。また、交流理論では、インピーダンスが重要であるが、インピーダンスは、過渡現象の解析に用いられるラプラス変換を、電圧と電流に適用し、その比で定義されるものであって、その変数  $s = \sigma + j\omega$  が  $s = j\omega$  になったのが、交流理論のインピーダンスなのである。このような見地から、本書では、「3. 回路の過渡現象と時間域解析」を、「4. 正弦波交流回路」の前に、記述した。また、過渡現象は、回路の微分方程式を解くことによって、明らかになるが、回路の方程式は、キルヒホッフの電流法則と電圧法則に基づいている。キルヒホッフは、これらの法則を導く際に、回路を点と線の集まり、すなわちグラフと考えた。したがって、本書では、3章の前、すなわち「1. 電気回路と回路素子」のつぎに、「2. グラフ理論と回路の方程式」を記述した。

「基礎電気回路(1)」は、この1章から4章までによって構成されている。また、「基礎電気回路(2)」は、つぎの5章から11章までによって構成され

ている。すなわち、「5. 変成器と理想変成器」および「6. 回路に関する法則と定理」は、電気回路の基礎として重要であり、「7. 1端子対回路と正実関数」および「8. 2端子対回路と伝送回路」は、電子工学と通信工学で、必要な知識である。さらに、「9. 能動回路と非可逆回路」は、電子回路の基礎であり、「10. 伝送線路と分布定数回路」は、伝送工学と電力送電の基礎であって、「11. 多線条線路と多相交流」は、電力工学ばかりでなく、通信工学においても重要である。

本書は、もともと、1冊の教科書になるように書かれたものであるが、原稿の枚数が予定を超過したので、コロナ社と相談の結果、2分冊になった。したがって、1章から11章まで互いに関連がある。それは、式の誘導に現れているが、脚注にも示されている。

本書は、大学講義シリーズの中で、石井順也著「回路理論」および古賀利郎著「伝送回路」と、電気回路を分担したものであるが、本書だけでも電気回路の1年間の教科書にできるように考慮されている。電気回路の高度な知識は、石井、古賀両先生の著書によって、学んでほしい。

ぜひ覚えてほしい術語、法則および定理などは、太文字で示したが、ざっと読み過ぎしたり、後回しにしてもよい部分は、小さい活字で書いた。また、巻末の参考文献は、本書の執筆にあたって、著者が参考にしたものであるが、とくに参照した文献の番号とその参照ページは、本文の脚注に記した。

電気回路は、演習問題を解くことによって、本当に理解できる。各章の演習問題には、少し難解なものもあるが、巻末の解答に、ヒントと略解を与えたので、よく学習してほしい。

最後に、本書を著述する機会を与えられた東京工業大学岸源也教授、原稿を精読されてご教示を賜った北海道大学永井信夫教授と新潟大学仙石正和助教授および遅筆の著者に原稿の超過と2分冊を許容されたコロナ社に対し衷心より感謝の意を表する。

1985年4月

羽 鳥 孝 三

# 目 次

---



## 変成器と理想変成器

---

|  |    |
|--|----|
| 5.1 相互インダクタンスと変成器 .....                | 2  |
| 5.1.1 相互インダクタンスの正負 .....               | 2  |
| 5.1.2 結合したコイルの極性と変成器の回路表示 .....        | 3  |
| 5.2 密結合変成器と理想変成器 .....                 | 5  |
| 5.2.1 結合係数と密結合変成器 .....                | 5  |
| 5.2.2 理想変成器 .....                      | 7  |
| 5.2.3 理想変成器によるインピーダンスの換算 .....         | 8  |
| 5.2.4 密結合変成器と理想変成器との関係 .....           | 10 |
| 5.2.5 理想変成器網とハイブリッドコイル .....           | 11 |
| 5.2.6 理想変成器を含む回路の方程式 .....             | 13 |
| 5.3 変成器の等価回路 .....                     | 14 |
| 5.3.1 変成器のT形等価回路 .....                 | 14 |
| 5.3.2 理想変成器とインダクタンスとからなる変成器の等価回路 ..... | 16 |
| 5.3.3 変成器の入力インピーダンスと実際の変成器 .....       | 18 |
| 5.3.4 結合した2個の直列接続コイルの全インダクタンス .....    | 18 |
| 5.3.5 オートトランス .....                    | 19 |
| 演習問題 .....                             | 20 |



## 回路に関する法則と定理

---

|                     |    |
|---------------------|----|
| 6.1 重ね合わせの理 .....   | 22 |
| 6.2 等価電源定理 .....    | 24 |
| 6.2.1 等価電圧源定理 ..... | 24 |

|   |    |
|---|----|
| 6.2.2 等価電流源定理 .....                             | 26 |
| 6.2.3 等価電源定理 .....                              | 27 |
| 6.3 補償定理 .....                                  | 28 |
| 6.4 テレヘンの定理と可逆定理 .....                          | 30 |
| 6.4.1 テレヘンの定理と電力保存の法則 .....                     | 30 |
| 6.4.2 可逆定理 .....                                | 32 |
| 6.5 最大電力供給の法則 .....                             | 34 |
| 6.5.1 $R, X$ ともに可変の場合 .....                     | 35 |
| 6.5.2 $X/R$ 一定, $ Z $ 可変の場合 .....               | 36 |
| 6.6 3端子回路の等価と $Y$ - $\Delta$ 変換 .....           | 38 |
| 6.6.1 3端子回路の等価 .....                            | 38 |
| 6.6.2 $Y$ - $\Delta$ 変換 ( $T$ - $\pi$ 変換) ..... | 40 |
| 演習問題 .....                                      | 41 |



## 1 端子対回路と正実関数

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 7.1 1端子対回路のイミタンスと正実関数 .....   | 45 |
| 7.1.1 ブルーンの定理と正実関数 .....      | 45 |
| 7.1.2 正実関数の基本的性質 .....        | 47 |
| 7.1.3 正実関数の $s$ の虚軸上の性質 ..... | 48 |
| 7.2 2種素子回路 .....              | 53 |
| 7.2.1 リアクタンス関数とリアクタンス回路 ..... | 53 |
| 7.2.2 $RC$ 回路と $RL$ 回路 .....  | 61 |
| 演習問題 .....                    | 69 |



## 2 端子対回路と伝送回路

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 8.1 2端子対回路の諸行列 .....            | 72 |
| 8.1.1 インピーダンス行列 ( $Z$ 行列) ..... | 72 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 8.1.2 | アドミタンス行列 ( $Y$ 行列).....                     | 74  |
| 8.1.3 | ハイブリッド行列 ( $H$ 行列と $G$ 行列).....             | 76  |
| 8.1.4 | 縦続行列 ( $F$ 行列と $\overleftarrow{F}$ 行列)..... | 77  |
| 8.1.5 | 散乱行列 ( $S$ 行列).....                         | 80  |
| 8.1.6 | 諸行列の関係 .....                                | 81  |
| 8.2   | 2端子対回路の接続.....                              | 82  |
| 8.2.1 | 直列接続 .....                                  | 82  |
| 8.2.2 | 並列接続 .....                                  | 83  |
| 8.2.3 | 直並列接続と並直列接続 .....                           | 84  |
| 8.2.4 | 縦続接続 .....                                  | 85  |
| 8.3   | 対称2端子対回路.....                               | 86  |
| 8.3.1 | 対称ラチス回路との等価 .....                           | 86  |
| 8.3.2 | 二等分定理 .....                                 | 87  |
| 8.3.3 | リーガ回路とヤウマン回路 .....                          | 88  |
| 8.4   | 入力インピーダンスと反射係数 .....                        | 89  |
| 8.4.1 | 入力インピーダンス .....                             | 90  |
| 8.4.2 | 反射係数と有界関数 .....                             | 90  |
| 8.4.3 | 1次関数と円線図 .....                              | 91  |
| 8.5   | 伝送量と伝送回路.....                               | 94  |
| 8.5.1 | 伝送量とデシベル .....                              | 94  |
| 8.5.2 | 動作パラメータと影像パラメータ .....                       | 95  |
| 8.5.3 | フィルタ .....                                  | 98  |
| 8.5.4 | 減衰器と等化器 .....                               | 107 |
|       | 演習問題 .....                                  | 111 |



|       |                      |     |
|-------|----------------------|-----|
| 9.1   | 従属電源と能動回路.....       | 115 |
| 9.1.1 | 従属電源 .....           | 115 |
| 9.1.2 | 従属電源を含む能動回路 .....    | 116 |
| 9.2   | 負性抵抗と能動回路.....       | 118 |
| 9.3   | 理想ジャイレータと非可逆回路 ..... | 120 |

|       |               |     |
|-------|---------------|-----|
| 9.3.1 | 理想ジャイレータとその性質 | 120 |
| 9.3.2 | 一方向回路とサーキュレータ | 121 |
|       | 演習問題          | 122 |



## 伝送線路と分布定数回路

|        |                        |     |
|--------|------------------------|-----|
| 10.1   | 伝送線路と無損失線路             | 125 |
| 10.1.1 | 電圧波、電流波と伝搬定数、特性インピーダンス | 125 |
| 10.1.2 | 無ひずみ線路と無ひずみ条件          | 129 |
| 10.1.3 | 無損失線路                  | 130 |
| 10.2   | 入射波、反射波、定在波とスミス図表      | 132 |
| 10.2.1 | 入射波、反射波と反射係数           | 132 |
| 10.2.2 | 定在波と定在波比               | 135 |
| 10.2.3 | スミス図表とその使用法            | 136 |
| 10.2.4 | 無損失線路上の定在波とスミス図表       | 140 |
| 10.3   | 有限長線路の2端子対回路表示         | 142 |
| 10.3.1 | 入力インピーダンスと2端子対回路表示     | 142 |
| 10.3.2 | 位置角                    | 145 |
| 10.4   | 分布定数回路理論の基礎            | 145 |
| 10.4.1 | リチャーズ変数と短絡素子、開放素子      | 146 |
| 10.4.2 | 単位素子とリチャーズの定理          | 148 |
| 10.4.3 | 等価変換と基本回路              | 149 |
| 10.4.4 | インピーダンス変成器             | 151 |
| 10.5   | 無損失線路の過渡現象と伝搬波形        | 151 |
| 10.5.1 | 無損失線路の過渡現象             | 151 |
| 10.5.2 | 無損失線路の伝搬波形             | 155 |
| 10.6   | RC線路の電圧波と電流波           | 156 |
| 10.6.1 | 半無限長RC線路にステップ電圧を加えた場合  | 157 |
| 10.6.2 | 有限長RC線路にステップ電圧を加えた場合   | 158 |
|        | 演習問題                   | 161 |



## 多線条線路と多相交流

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 11.1 多線条線路と多線条回路                   | 164 |
| 11.1.1 無損失多線条線路と基本モード              | 164 |
| 11.1.2 対称無損失多線条線路の基本モードとその変換行列     | 170 |
| 11.1.3 対称無損失多線条線路の特性インピーダンスと等価回路表示 | 181 |
| 11.1.4 多線条回路の基礎                    | 189 |
| 11.2 多相交流と三相交流回路                   | 202 |
| 11.2.1 多相交流と三相交流                   | 202 |
| 11.2.2 対称三相交流回路                    | 208 |
| 11.2.3 非対称三相交流回路                   | 215 |
| 11.2.4 対称座標法                       | 220 |
| 演習問題                               | 228 |

## 付 録

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| G. スミス図表                           | 230 |
| H. 分布定数回路, 多線条回路の基本回路とその等価変換       | 231 |
| I. 行列と行列の対角化                       | 234 |
| I.1 共役転置行列とエルミート行列                 | 234 |
| I.2 ユニタリ行列, 直交行列とアダマール行列           | 234 |
| I.3 固有値と固有ベクトルおよび行列の対角化            | 237 |
| J. 対称無損失多線条線路の行列 $L, C$ の対角化と基本モード | 241 |
| J.1 行列 $L, C$ の固有値と固有ベクトル          | 241 |
| J.2 行列 $L, C$ の対角化と基本モード           | 243 |
| 演習問題解答                             | 249 |
| 参 考 文 献                            | 270 |
| あ と が き                            | 273 |
| 索 引                                | 274 |

# 「基礎電気回路(1)」主要目次

## 1. 電気回路と回路素子

- 1.1 電圧, 電流とその波形
- 1.2 回路素子と電力
- 1.3 回路素子と回路の分類

## 2. グラフ理論と回路の方程式

- 2.1 グラフ理論の基礎
- 2.2 キルヒホッフの法則と回路素子の接続
- 2.3 回路の方程式と双対性

## 3. 回路の過渡現象と時間域解析

- 3.1 線形集中定数回路の過渡現象
- 3.2 フーリエ級数, フーリエ変換と時間域解析
- 3.3 ラプラス変換と過渡解析
- 3.4 インピーダンスと複素周波数

## 4. 正弦波交流回路

- 4.1 正弦波の電圧, 電流とインピーダンス
- 4.2 交流の電力
- 4.3 交流の基本回路

## 付 録

- A. 行列と行列式
- B. 双曲線関数
- C. 周期波形とそのフーリエ級数
- D. ラプラス変換の公式
- E. 非正弦波交流
- F. 複素数と複素関数





## 変成器と理想変成器

変成器の基礎については、1.2.4で述べ、その電力についても、1.2.6で考察した。この章では、さらに詳しく、変成器について述べ、また、理想変成器の特質を明らかにする。

5.1では、相互インダクタンス  $M$  と変成器の回路表示について述べる。すなわち、相互インダクタンス  $M$  の正負の決め方を示し、結合したコイルの極性と  $M$  の符号との関係を明らかにして、変成器を回路表示する。

5.2では、密結合変成器と理想変成器の性質について述べる。まず、結合係数  $k$  を定義し、 $|k|$  が 1、すなわち  $L_1 L_2 = M^2$  の変成器は密結合変成器であることを述べ、その電圧比は巻数比になることを示す。つぎに、 $n:1$  の理想変成器は、電圧比が  $n:1$  で、電流比が  $1:-n$  の理想化された回路素子と定義し、受動可逆素子であって無損失な伝送回路であることを示し、その入力インピーダンスは負荷インピーダンスの  $n^2$  倍であり、したがって、2次側の短絡、開放は1次側からみても短絡、開放であり、2次側のインピーダンスは  $n^2$  倍されて1次側に換算されることを明らかにする。また、もし密結合変成器の励磁電流を0にできると、理想変成器が実現されることを示し、理想変成器網の電圧および電流の条件式を与え、理想ハイブリッドコイルの性質を明らかにし、さらに、理想変成器を含む回路の方程式について述べる。

5.3では、変成器がいろいろの等価回路で示されることを述べる。まず、T形等価回路を示し、理想変成器とインダクタンスとからなる種々の等価回路を与える。つぎに、変成器の入力インピーダンスの式を導き、実際の変成器について述べ、結合した2個の直列接続コイルの全インダクタンスの式を示し、さらに、オートトランスの等価回路を導く。

理想変成器は、理想化されたものであるが、それに近い働きをする変成器は、可聴周波数からマイクロ波にいたるまで、実用されている。また、変成器の等価回路に、理想変成器を含むものがあるばかりでなく、機械振動回路やマイクロ波回路の等価回路にも、理想変成器を含むものがあるので、理想変成器は重要である。

### 5.1 相互インダクタンスと変成器

図 5.1 のように、結合した 2 個のコイルをもつ変成器の場合、式 (1.23)、(1.24) で示したように、

$$\left. \begin{aligned} \phi_1 &= L_1 i_1 + M i_2 \\ \phi_2 &= M i_1 + L_2 i_2 \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \\ v_2 &= M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

が成り立つ。この式の相互インダクタンス  $M$  は、式 (1.49) で述べたように、正でも負でもよい。

#### 5.1.1 相互インダクタンスの正負

相互インダクタンス  $M$  の正負は、つぎのようにして決める。図 5.1 の変成器の場合、

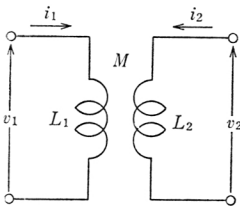


図 5.1 変成器

2 次コイルの電流  $i_2$  による磁束の中で、1 次コイルに鎖交する磁束  $M i_2$  が、1 次コイルの電流  $i_1$  による磁束  $L_1 i_1$  に加わって、1 次コイルの全磁束  $\phi_1$  を増やすとき、 $M$  は正であり、減らすとき、 $M$  は負である。したがって、 $i_2$  による相互誘導起電力  $M di_2/dt$  が、 $i_1$  による電

圧降下  $L_1 di_1/dt$  に加わって、1 次コイルの端子電圧  $v_1$  を増やすとき、 $M$  は正であり、減らすとき、 $M$  は負である。1 次コイルと 2 次コイルの立場を逆にしても、 $M$  の正負は変わらない。

**例題 5.1** 図 5.2 (a) のように、3 個のコイルが結合しているとき、相互

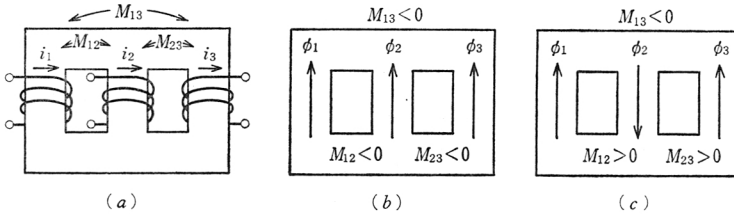


図 5.2 相互インダクタンスの正負

インダクタンス  $M_{12}$ ,  $M_{13}$ ,  $M_{23}$  の正負の組み合わせは、何とおりあるか。

解  $i_1, i_2, i_3$  による磁束  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  は、(b) に示された向きするとき、互いに弱め合うので、 $M_{12}, M_{13}, M_{23}$  は、すべて負である。これに対して、(c) に示されたように、一つの磁束  $\phi_2$  の向きを逆にすると、 $\phi_1$  と  $\phi_2$  が互いに強め合い、 $\phi_2$  と  $\phi_3$  も互いに強め合うので、 $M_{12}$  と  $M_{23}$  は正になるが、 $M_{13}$  は負のままである。したがって、(a) のように配置された3個のコイルの相互インダクタンス、 $M_{12}, M_{13}, M_{23}$  の正負の組み合わせは、三つとも負の場合と、二つが正で一つが負の場合の、二とおりである。

5.1.2 結合したコイルの極性と変成器の回路表示

図 5.1, すなわち図 5.3 (a) の変成器は、(b) のようにも回路表示され、結合したコイルの極性を、 $\bullet$  印で示すことがある。

「結合したコイルの極性は、電流がコイルの $\bullet$ 印の側から入るとき、正であり、 $\bullet$ 印の反対側から入るとき、負である」と約束する。

いま、(b) の変成器の回路表示に $\bullet$ 印で示されている結合したコイルの極

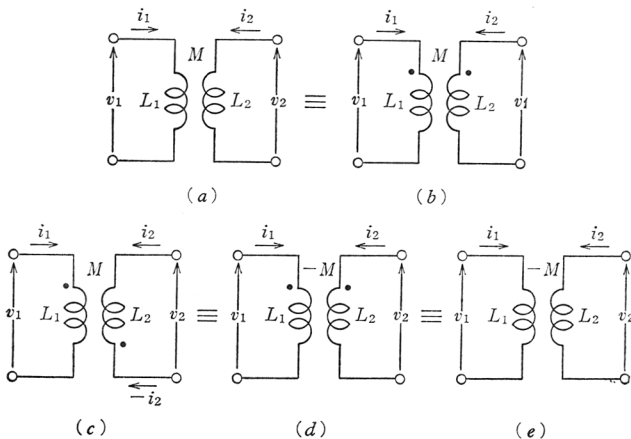


図 5.3 結合したコイルの極性と変成器の回路表示

性と式 (5.2) の第1式の中の相互誘導起電力  $Mdi_2/dt$  の符号との関係について考えよう。この場合、 $i_2$  が2次コイルの・印の側から入っているので、2次コイルの極性は正である。また、 $i_1$  が1次コイルの・印の側から入っているので、1次コイルの極性も正である。したがって、 $\oplus \times \oplus = \oplus$  となり、 $Mdi_2/dt$  は  $L_1di_1/dt$  と同符号になって、式 (5.2) の第1式が導かれる。もちろん、式 (5.2) は (KVL-3) の式であるから、 $v_1, i_1, v_2, i_2$  の向きに注意して、左辺の電圧源の電圧が右辺の電圧降下の和に等しくなるように、式を立てなければならない。これに対して、(c) の回路表示のように、2次コイルの・印だけをそのコイルの反対側に移すと、 $i_2$  が2次コイルの・印の反対側から入るので、2次コイルの極性だけが負になる。したがって、 $\ominus \times \oplus = \ominus$  となり、 $Mdi_2/dt$  は  $L_1di_1/dt$  と異符号になって、つぎの式 (5.3) が導かれる。

$$v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} \quad (5.3)$$

$$= L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{d(-i_2)}{dt} \quad (5.4)$$

式 (5.3) は、相互インダクタンス  $M$  が負になったことを意味するわけではなくて、(c) に示されたように、 $-i_2$  が2次コイルの・印の側から入っていることを意味する。すなわち、式 (5.4) が本来の式なのである。式 (5.3)、(5.4) においても、 $M$  は正でも負でもよい。したがって、結合したコイルの極性は、相互インダクタンスの正負と無関係であることに、注意してもらいたい。もし、1次コイルの極性も2次コイルの極性も負の場合、 $\ominus \times \ominus = \oplus$  となり、 $Mdi_2/dt$  は  $L_1di_1/dt$  と同符号になる。

式 (5.2) の第2式についても、同様に考えると、(c) の回路表示の場合、

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} \\ v_2 &= -M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (5.5)$$

となる。しかし、この式は、(d) の回路表示のように、1次コイルの極性も2次コイルの極性も正で、相互インダクタンスが  $-M$  の場合と、同じ式であ

る。したがって、(c) の回路表示と (d) の回路表示は、同じ変成器を表し、さらに、この変成器は、●印を付けずに、(e) のようにも示される。

**例題 5.2** 図 5.4 に示された、3 個の結合したコイルをもつ回路について、閉路方程式を導け。

**解** 閉路電流  $i_1, i_2, i_3$  の流れる三つの閉路について、前述のように、自己インダクタンス  $L_1, L_2, L_3$  をもつ 3 個の結合したコイルの極性を与え、相互インダクタンス  $M_{12}, M_{23}, M_{13}$  による誘導起電力の符号を定めると、(KVL-3) により、つぎの閉路方程式が導かれる†。

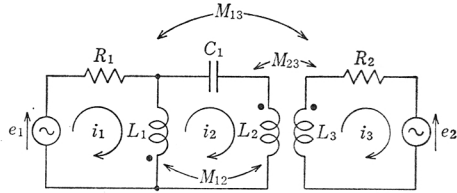


図 5.4 3 個の結合したコイルをもつ回路

$$\begin{aligned}
 e_1 &= R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - (L_1 + M_{12}) \frac{di_2}{dt} + M_{13} \frac{di_3}{dt} \\
 0 &= -(L_1 + M_{12}) \frac{di_1}{dt} + (L_1 + L_2 + 2M_{12}) \frac{di_2}{dt} \\
 &\quad + \frac{1}{C_1} \int i_2 dt - M_{13} \frac{di_3}{dt} - M_{23} \frac{di_3}{dt} \\
 -e_2 &= M_{13} \frac{di_1}{dt} - M_{13} \frac{di_2}{dt} - M_{23} \frac{di_2}{dt} + R_2 i_3 + L_3 \frac{di_3}{dt}
 \end{aligned}$$

## 5.2 密結合変成器と理想変成器

### 5.2.1 結合係数と密結合変成器

式 (1.49) で示したように、 $M$  は正でも負でもよくて、

$$L_1 L_2 \geq M^2 \tag{5.6}$$

であるから、

$$M = k \sqrt{L_1 L_2} \tag{5.7}$$

とおき、 $k$  を結合係数 (coupling coefficient) という。

$$|k| \leq 1 \tag{5.8}$$

であるが、

$$|k| = 1 \tag{5.9}$$

† 閉路方程式については、式 (2.101) 参照。

の変成器は、密結合変成器 (close-coupled transformer) と名づけられている。この場合、式 (5.7), (5.9) から、

$$L_1 L_2 = M^2 \quad (5.10)$$

$$\frac{L_1}{M} = \frac{M}{L_2} \quad (5.11)$$

となるので、

$$L_1 \geq |M| \quad \text{とすると} \quad L_2 \leq |M|, \quad \frac{L_1}{|M|} = \frac{|M|}{L_2} \geq 1 \quad (5.12)$$

$$L_1 \leq |M| \quad \text{とすると} \quad L_2 \geq |M|, \quad \frac{L_1}{|M|} = \frac{|M|}{L_2} \leq 1 \quad (5.13)$$

となる。したがって、たとえば、式 (5.12) の  $M$  が正の場合を考えると、式 (5.1) の中で示された磁束、 $L_1 i_1$ ,  $M i_1$ ,  $L_2 i_2$ ,  $M i_2$ ,  $\phi_1$ ,  $\phi_2$  は、

$$\frac{L_1 i_1}{M i_1} = \frac{M i_2}{L_2 i_2} = \frac{L_1 i_1 + M i_2}{M i_1 + L_2 i_2} = \frac{\phi_1}{\phi_2} \geq 1 \quad (5.14)$$

となり、1次コイルの全磁束  $\phi_1$  と2次コイルの全磁束  $\phi_2$  は、図 5.5 に示し

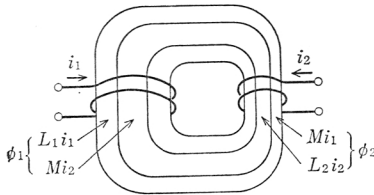


図 5.5 密結合変成器の磁束

たように、互いに他のコイルに鎖交して、磁束の漏れが生じない。この状態を、密結合 (close coupling) というのである。

透磁率の大きな磁心を用いると、ほとんどすべての磁束が、磁心の中だけ

を通り、磁束の漏れはごく少ない。このような磁心を用いた変成器は、密結合変成器として実用され、0.98 ~ 0.99 の結合係数も実現されている。

密結合変成器においては、式 (5.11) が成り立つので、式 (5.2) から、

$$v_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} = \frac{L_1}{M} \left( M \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt} \right) = \frac{L_1}{M} v_2 \quad (5.15)$$

となり、1次電圧  $v_1$  と2次電圧  $v_2$  は、比例するので、

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{L_1}{M} = \frac{M}{L_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \frac{n_1}{n_2} = n = \frac{n}{1} \quad (5.16)$$

と表すことができる。いま、1次コイルと2次コイルが、同じ円形断面の磁心

# 索引

## 【A】

アダマール行列 173, 177, 237  
 アドミタンス行列 34, 74  
 アドミタンス線図 92  
 アナログ回路 118  
 アンダーソンブリッジ 43  
 $\alpha\beta 0$  座標 223  
 a 相, b 相, c 相の起電力 205  
 a 相, b 相, c 相の Y 電流 205

## 【B】

パワーワース特性 103  
 バートレットの二等分定理 87  
 ベース接地 117  
 ベース抵抗 117  
 微分器 118  
 ボード形可変等化器 110  
 棒状回路 149, 151  
 部分分数展開 49  
 分布インダクタンス  
     126, 165, 173  
 分布インダクタンス行列 166  
 分布キャパシタンス  
     126, 165, 173  
 分布キャパシタンス行列 166  
 分布定数フィルタ 99, 146, 150  
 分布定数回路理論 146  
 分布定数回路, 多線条回路の基  
     本回路とその等価回路 231  
 分離 198  
 分離度 200  
 分離端 200  
 分路素子 74, 79  
 ブラックボックス 186  
 ブロンドルの定理 219

ブルーン区間 104, 150, 232, 233  
 ブルーンの定理 46  
 ブーシュロの回路 41  
 Bell 95  
 Bode 110  
 Brune 45

## 【C】

Campbell 98  
 Cauer 57, 98

## 【D】

ダブルレットアンテナ 161  
 だ円関数 (ヤコビの) 103  
 ダーリントンC区間 232, 233  
 デシベル (dB) 95  
 電界効果トランジスタ  
     (FET) 116  
 電機子巻線 226  
 電圧伝送係数 96  
 電圧波 126  
 電圧反射係数 133  
 電圧変換行列 168, 173  
 電圧変成比行列 187  
 電圧制御電圧源 (VCVS) 115  
 電圧制御電流源 (VCCS) 115  
 電圧線図 93  
 電圧定在波比 (VSWR) 136  
 電圧増幅率 117  
 電源側 137  
 電位分布 182  
 伝搬方程式 126, 127, 166, 167  
 伝搬モード 124, 125  
 伝搬定数 127  
 電流伝送係数 96  
 電流波 126

電流反射係数 133  
 電流変換行列 168, 173  
 電流変成比行列 187  
 電流制御電圧源 (CCVS) 115  
 電流制御電流源 (CCCS) 116  
 電流線図 93  
 電流増幅率 117  
 電力分配比 199  
 電力分配器 199, 201  
 電力合成器 199  
 電力保存の法則 31, 168, 222  
 電力会社 204, 208  
 電力ケーブル 181  
 電力等分配 201  
 電信方程式 126  
 伝送回路 94  
 伝送係数 94  
 伝送零点 148  
 伝送量 94  
 伝送線路 124, 125  
 伝送線路の過渡現象 151  
 伝達関数 70, 94, 118  
 $\Delta$  電圧 205  
 $\Delta$  電流 205, 211  
 $\Delta$  形電源 204  
 $\Delta$  結線 40, 204  
 $\Delta$  起電力 205  
 $\Delta \rightarrow Y$  変換の公式 40  
 デジタルフィルタ 99  
 独立電源 115  
 動作伝送係数 70, 96  
 動作減衰量 96  
 動作位相量 109  
 動作パラメータ 97  
 動作パラメータフィルタ  
     98, 102  
 同相 13  
 同軸ケーブル 124, 131

DM カット 165

Darlington 98

**[E]**

映像アドミタンス 98

映像インピーダンス 97

映像伝送量 97

映像減衰量 97

映像位相量 97

映像パラメータ 98

映像パラメータフィルタ 102

エミッタ接地 117

エミッタ抵抗 117

円線図 92

演算増幅器 118

エルミート行列 172, 234, 240

**[F]**

FET の等価回路 116

$F$  行列 77, 143, 191

$\bar{F}$  行列 78

$F$  パラメータ 78

Foster 54

**[G]**

外部導体 131

ガラーキン法 182

擬似線路 130

減衰域 99

減衰ひずみ 108

減衰極 101, 148, 232, 233

減衰量 94

減衰定数 127

減衰等化器 108, 130

原点 54

偶関数部零点 149

偶モード 13, 173, 183, 244

群速度 129

群遅延 109, 129

逆回路 108

逆相 13, 176, 184, 246

逆相分 221

逆相インピーダンス 227

逆対称回路 79

G 行列 76

**[H]**

ハイブリッド行列 76

ハイブリッド回路 89

ハイブリッドコイル 12

ハイブリッドリング 201

ハイパードミナント行列 166

波形ひずみ 108

半導体中の電荷の移動 160

半波長アンテナ 161

半区間 87

反響伝送係数 96

反響減衰量 96

半無限長線路 134

反射電力 200

反射波 132

反射係数 36, 81, 91, 133

反射係数線図 93

反射損 200

反射・透過量 80

はしご形回路 57

波長 128

ヘビサイドブリッジ 20

平衡伝送状態 13, 174, 183, 245

平衡負荷 208

平衡モード 177, 246

平衡モード I 178, 184, 247

平衡モード II 178, 184, 247

平行 2 線 124, 130

平衡三相方式 208

並列接続(2 端子対回路の) 83

並列 T 形 RC 回路 111

並列誘導 m フィルタ 100

並直列接続 84

変換比 120

変成比 7

変成比行列 12, 186

変成器 2

——の回路表示 3

——の入力インピーダンス

——の T 形等価回路 14

——の等価回路 16

左半面 ( $s$  の) 70

非負値 2 次形式 166

非可逆(性) 116, 120

非可逆回路 32, 121

比較回路 96

被制御電源 115

非対称  $\Delta$ - $\Delta$  回路 217

非対称  $\Upsilon$ - $\Upsilon$  回路 217

非対称三相交流回路 208, 215

非対称多相方式 202

非対称  $\Upsilon$ - $\Delta$  回路 216

非対称  $\Upsilon$ - $\Upsilon$  回路 215

比透磁率 130

必要条件 45

必要十分条件 45

比誘電率 130

帆足-ミルマンの定理 28

方向性 200

方向性結合器 201

星形電圧 205

星形電源 204

星形電流 205

星形カット 164, 179

星形結線 204

星形起電力 205

放射インピーダンス 161

補償定理 28

鳳-テブナンの定理 26, 273

フェーザ図(三相交流の)

208, 210, 211, 220

不平衡伝送状態

13, 174, 183, 245

不平衡率 221

不平衡三相交流回路 215

不変量 168

フィルタ 99

負荷側 137

不均一分布定数線路 124

複合フィルタ 98, 101

副線路 200

負の実軸 ( $s$  の) 62

フォスタ回路 54

フォスタ形回路 61



フォスタ展開 54  
 フルイドマップ 182  
 フルウィッツの多項式 69  
 不整合減衰量 96  
 負性インピーダンス反転器  
 (NIV) 119  
 負性インピーダンス変換器  
 (NIC) 118  
 負性抵抗 118  
 H 行列 76  
 Hパラメータ 77, 117  
 Helmholtz 25

## 【I】

池野ループ 232  
 インピーダンス行列 34, 72  
 インピーダンス変成器 151  
 インピーダンスの反転作用 120  
 インピーダンスの換算 9  
 インピーダンスパラメータ 73  
 インピーダンス整合 134  
 インピーダンス線図 92  
 因数 56  
 位相反転形ハイブリッドリング  
 201  
 位相ひずみ 108  
 位相量 94  
 位相速度 128, 182  
 位相定数 127  
 位相等化器 108  
 一斉モード 177, 184, 246  
 一方向回路 122  
 位置角 145  
 1次インダクタンス 7  
 1次電圧 6  
 1次電流 7  
 一次独立 238, 239, 243  
 1次形 109  
 1次関数 92  
 1次コイル 2  
 1次入力電力 8  
 1端子対回路 45  
 —のイミタンス 45

## 【K】

可逆回路 32, 73, 75, 77, 78  
 可逆性 32  
 可逆素子 8, 34  
 可逆定理 8, 32  
 開放電圧 24, 34, 206  
 開放電圧比 78  
 開放伝達アドミタンス 78  
 開放伝達インピーダンス 73  
 開放インピーダンス 87  
 開放駆動点インピーダンス 73  
 開放2倍長素子 149, 231  
 開放素子 147  
 開放端 142  
 回路の合成 102  
 回路の構成 45, 102  
 回線 181  
 回転子 226  
 回転磁界 202, 224  
 架空の3線式送電線 181  
 隔離(極と零点の) 55  
 関数論的回路網理論 45  
 完全分離 200  
 完全反射 136  
 完全整合 200  
 緩和法 182  
 環状電圧 205  
 環状電源 204  
 環状電流 205  
 環状結線 204  
 環状起電力 205  
 重ね合わせの理 22  
 カッド 124, 164  
 カッドより 181  
 結合度 200  
 結合係数 5  
 結合線路 167  
 結合線路方向性結合器 200  
 結合したコイルの極性 3  
 結合した2個の直列接続コイル  
 のインダクタンス 18  
 結合ストリップ線路

血 流 160  
 基本モード 167, 171, 243  
 基本モード電圧 167  
 基本モード電圧ベクトル 168  
 基本モード電流 167  
 基本モード電流ベクトル 168  
 基本モード変換行列  
 172, 173, 222, 244  
 奇モード 13, 174, 244  
 均一分布定数線路 124  
 交互モード 178, 184, 247  
 高域(通過)フィルタ 99  
 コレクタ抵抗 117  
 交流電動機 202  
 後進波 128  
 公称インピーダンス 99  
 広帯域インピーダンス変成器  
 151  
 固定等化器 110  
 固有ベクトル 172, 237, 241  
 固有電力 36  
 固有周波数 70  
 固有多項式 237  
 固有値 172, 237, 241  
 空間インピーダンス 130  
 クラーク座標 223  
 黒田変換 146, 150  
 黒田変換 HPC 194, 231  
 黒田変換 HPL 194, 231  
 黒田変換 LP 231  
 クロネッカ積 237  
 キャンベルブリッジ 15  
 極 48  
 極の分離 49  
 共通帰線 14, 39  
 共通接地点 14  
 共役行列 234  
 共役整合 36  
 共役転置行列 168, 234  
 虚軸(sの) 46  
 給電線 161  
 K行列 77  
 Kelvin (W. Thomson) 157  
 Kennelly 38

## 【L】

LC フィルタ 98  
LC 回路 53

## 【M】

マイクロ波 13, 195, 200, 201  
巻数 7  
巻数比 7  
松本秋男 98, 146  
松本区間 233  
マジック T 13  
メカニカルフィルタ 99  
右半面 (s) の 46  
密結合 6  
密結合変成器 6  
密結合変成器の等価回路 16  
脈動 (対称三相方式の瞬時電力  
の) 208, 214  
短い伝送線路の近似等価回路  
145  
水橋東作 93  
漏れインダクタンス 17  
漏れコンダクタンス 126  
無限遠点 54  
無限大周波 51  
無反射 134  
無反射終端 135  
無ひずみ線路 129  
無ひずみ条件 129  
無損失線路 130  
—の伝搬波形 156  
—の過渡現象 153  
無損失多線条線路 165  
Mayer 27  
Millmann 28

## 【N】

長さ (ベクトルの) 236  
内部導体 131  
内部インピーダンス 206  
内部抵抗 117

内積 236  
ナレータ 114  
ねん架 181  
ネーパ (Np) 94  
熱伝導 160  
1/2 波長線路 142  
二電力計法 219  
二線式回路 13  
2線条線路方向性結合器 200  
二相方式 204  
2種素子回路 53  
2端子対回路 72  
二等分定理 87  
2次電圧 6  
2次電流 7  
2次形 109  
2次インダクタンス 7  
2次コイル 2  
2次入力電力 8  
2重通信 189  
能動 (性) 116, 120  
能動フィルタ 118  
能動回路 116, 118  
ノレータ 114  
ノートの定理 26  
入力電力 200  
入力インピーダンス 90  
入力開放帰還電圧比 77  
入力開放出力アドミタンス 77  
入射波 132  
入射量 80  
NIC 118  
n-p-n 117  
n次元複素数空間 236  
n次元実数空間 236  
Norton 26, 108

## 【O】

オートトランス 19

## 【P】

$\pi$ 形回路 40, 75  
 $\pi$ 形等価回路 75

ポテンシャル場 182  
p-n-p 117  
Pupin 98

## 【R】

ラプラス方程式 182  
零相 176, 184, 246  
零相分 221  
零相電流 222  
零相インピーダンス 227  
零周波 51  
零点 48  
レッヘル線 131  
励磁電流 10  
励磁インダクタンス 17  
連分数展開 57  
直立チェビシェフ特性 103  
リアクタンス変換 105  
リアクタンス回路 53  
リアクタンス関数 53  
リアクタンス定理 56  
リーガ回路 88  
理想ハイブリッドコイル  
12, 188  
理想変成器 (IT) 7, 79, 82, 121  
—の入力インピーダンス  
9  
理想変成器網 12, 186  
理想ジャイレータ (IG) 120  
リチャーズ変数 146, 198  
リチャーズの定理 149  
漏話 181  
 $\sqrt{f}$ 特性 130  
留数 48  
RC 回路 53, 60  
RC 能動フィルタ 99  
RC 線路 156  
RL 回路 53, 64  
Richards 146

## 【S】

最大電力供給の法則 35  
最大平坦特性 103

最小リアクタンス関数 52  
 最小サセプタンス関数 52  
 サーキュレータ 122  
 3dB 方向性結合器 201  
 3dB カプラ 201  
 三角行列 238  
 三巻線変成器 12  
 散乱行列 81  
 3線式送電線 124, 164, 181  
 三相電源 204  
 三相電源の $\Delta \rightarrow Y$ 変換の公式 207  
 三相電源の $Y-\Delta$ 変換の公式 206  
 三相電源の $Y \rightarrow \Delta$ 変換の公式 207  
 三相方式 204  
 三相負荷 205  
 三相交流 40, 176, 202  
 三相交流発電機 205, 226, 229  
 ——の基本式 227  
 三相の等価電圧源定理 205  
 三相の等価電源 205  
 三相三線式 215  
 三相四線式 215  
 3端子回路 38  
 ——の等価 39  
 サレン・キー形能動低域フィルタ 122  
 整合 36, 141  
 制御電源 115  
 星環変換 41  
 正規行列 238  
 正規化(インピーダンスの) 81, 91, 102, 105  
 正規化(周波数の) 102, 105  
 正規直交系 236  
 正相 176, 184, 246  
 正相分 221  
 正相インピーダンス 227  
 正則 48  
 正定値行列 166  
 正実関数 46  
 正実奇関数 53  
 積分器 118

線電流 165, 205, 211  
 線電流ベクトル 165, 167  
 線間電圧 205, 211  
 線間分布キャパシタンス 165  
 線路の共振 142  
 線路の1次定数 126  
 線路の2次定数 127  
 線路の対称性 181  
 線路長 137  
 設計仕様 101  
 接地 181  
 進行波 128  
 真空管の等価回路 116  
 4端子定数 78  
 出力電圧位相差 199  
 出力電力 200  
 出力インピーダンス 90  
 出力端 201  
 出力短絡電流増幅率 77  
 出力短絡入力インピーダンス 76  
 相 204  
 送電系統 181  
 送電線 142, 156  
 送電損失 204  
 送(電)端 142  
 相導線 204  
 相互分布インダクタンス 165  
 相互分布キャパシタンス 165  
 相互インダクタンスの正負 2  
 相互インピーダンスのある $Y$ 形負荷 223  
 相互コンダクタンス 117  
 相互誘導起電力 2  
 相反 32  
 相反回路 79  
 双方向回路 122  
 双1次関数 92  
 相回転 205, 221  
 装荷コイル 98  
 挿入伝送係数 96  
 挿入減衰量 96  
 挿入損 200  
 挿入損失 96  
 阻止域 99

相順 205, 226  
 水晶フィルタ 99  
 スミス図表 93, 137, 138, 230  
 スタブ整合回路 139  
 ストリップ線路 124  
 遮断現象 98  
 遮断角周波数 102, 105  
 遮断周波数 99  
 遮蔽導体 18, 124, 165  
 写像 47  
 小振幅の線形動作 116, 117  
 周波数変換 105  
 シュミットの方法 240  
 主線路 200  
 終端 90  
 終端インピーダンス 90  
 終端開放 141  
 終端短絡 140  
 $S$ パラメータ 81  
 $S$ 行列 81  
 Smith 93

## 【T】

帯域 99  
 帯域阻止フィルタ 99  
 帯域(通過)フィルタ 99  
 対角化 169, 172, 238, 240, 243  
 対称分 221  
 対称ブリッジT回路 88  
 対称 $\Delta$ - $\Delta$ 回路 213  
 対称 $\Delta$ - $Y$ 回路 212  
 対称電源 208, 209  
 対称行列 34, 73, 75  
 対称負荷 208, 210  
 対称負荷の電力の総和 215  
 対称負荷の $\Delta$ 形等価回路 210  
 対称負荷の $Y$ 形等価回路 210  
 対称回路 73, 75, 79  
 対称格子形回路 74  
 対称無損失2線条線路 170, 173, 183, 241, 244  
 対称2線条線路高域フィルタ(HPC) 193

対称 2 線条線路高域フィルタ (HPL) 194  
 対称無損失 2 線条線路の等価回路 190  
 対称無損失 3 線条線路 170, 175, 184, 222, 242, 245  
 対称無損失多線条線路 170, 241  
 対称無損失多線条線路の等価回路表示 185  
 対称無損失 4 線条線路 171, 177, 184, 242, 246  
 対称 2 線条回路 189  
 対称 2 線条線路 HPC 232  
 対称 2 線条線路 HPL 233  
 対称 2 端子対回路 86  
 対称  $n$  相交流起電力 202  
 対称三相方式 202  
 対称三相交流回路 208  
 対称三相交流起電力 202, 209  
 対称ラチス回路 74, 76, 80, 86  
 対称帯域フィルタ 106  
 対称多相方式 202  
 対称  $Y$ - $\Delta$ 回路 212  
 対称  $Y$ - $Y$ 回路 211  
 対称座標法 176, 220  
 対地分布キャパシタンス 165  
 対地電圧 165  
 対地電圧ベクトル 165, 167  
 単位ベクトル 236  
 単位円 93  
 単位素子 (UE) 148  
 単巻変成器 19  
 端子間電圧 39  
 単相交流 202  
 短波送信アンテナ 142  
 短絡電流比 78  
 短絡伝達アドミタンス 75  
 短絡伝達インピーダンス 78  
 短絡インピーダンス 87  
 短絡駆動点アドミタンス 75  
 短絡 2 倍長素子 150, 231  
 短絡素子 147  
 短絡端 142  
 単調減少形 109

単調増加形 109  
 多線条回路 189  
 多線条線路 124, 164  
 多相方式 202  
 多相交流 202  
 多重通信 13  
 テブナンの定理 26  
 低域 (通過) フィルタ 99  
 定  $K$  フィルタ 98, 99  
 定  $K$  区間 101  
 抵抗減衰器 107  
 定入力インピーダンス分波器 108  
 定抵抗ハイブリッド回路 196, 199  
 定抵抗回路 107, 197  
 定抵抗対称 2 線条回路 197  
 定抵抗対称ラチス回路 197  
 定在波 135  
 —の腹 141  
 —の節 141  
 定遅延 109  
 テレビ受信アンテナ 142  
 テレヘンの定理 30  
 テーパ線路 124, 151  
 チェビシェフ多項式 103  
 遅延ひずみ 108  
 遅延等化器 108  
 地回線 179, 185, 248  
 等位相面 128  
 等価電圧源定理 24  
 等価電源定理 27  
 等価電流源定理 26  
 透過係数 81  
 等角写像 92  
 等角写像法 182  
 特性インピーダンス 127, 182  
 特性アドミタンス 144  
 特性の近似 102  
 トムソンの着流曲線 160  
 トムソン線路 156  
 トランスバーサルフィルタ 110  
 トランジスタの等価回路 117  
 凸形 109

等長線路 146  
 透磁率 6  
 対ケーブル 124, 164, 174  
 対ケーブルと星形カッドの等価回路表示 187  
 対より 181  
 通過域 99  
 通過域・域衰域平坦特性 103  
 通過域平坦特性 103  
 通過域下限角周波数 105  
 通過域チェビシェフ特性 103  
 通過域中心角周波数 105  
 通過域上限角周波数 102, 106  
 通信ケーブル 181  
 通信線 142, 156  
 通信用中継器 119  
 直並列接続 84  
 直交 (ベクトルの) 236, 243  
 直交行列 172, 173, 177, 235  
 直交変成器網 186  
 直交系 236  
 直列接続 (2 端子対回路の) 82  
 直列素子 76, 79  
 直列誘導  $m$  フィルタ 100  
 直線位相 109  
 重複度 (固有値の) 239  
 中波放送アンテナ 142  
 中性線 204  
 中性線電流 205, 209  
 中性点 204  
 中心周波数 ( $f_0$ ) 199  
 抽出 (UE を) 149  
 TEM 波 124, 125  
 T形回路 40, 73  
 T形等価回路 73  
 T- $\pi$  変換 41  
 Tellegen 30, 120  
 Thévenin 26

**[U, V, W]**

UE 148  
 VSWR 136  
 Wagner 98, 99

## 【Y】

ヤウマン回路 89  
 1/4 波長インピーダンス変成器 151  
 1/4 波長線路 142  
 1/4 波長周波数 ( $f_0$ ) 147  
 四線式回線 13  
 四相交流 203  
 4重通信 189  
 誘導 m フィルタ 98, 100  
 誘導 m 区間 101  
 有限長線路の等価回路 143  
 有限要素法 182  
 有界実関数 91  
 ユークリッドの互除法 59  
 ユニタリ行列 172, 222, 234, 240  
 ユニタリ変成器網 186  
 有能電力 36  
 有理形関数 154  
 有理関数 46

有理正実関数 47  
 Y 電圧 205, 211  
 Y 電流 205  
 Y形電源 204  
 Y 行列 74, 144, 191  
 Y- $\Delta$ 変換 41  
 Y $\rightarrow$  $\Delta$ 変換の公式 41  
 Y 結線 40, 204  
 Y起電力 205

## 【Z】

全域通過回路 110, 197  
 全域通過関数 110  
 前進波 128  
 自己分布インダクタンス 165  
 自己分布キャパシタンス 165  
 軸対称 2 端子対回路 87  
 磁心 6  
 磁心の損失 18  
 磁束 2  
 磁束の漏れ 6  
 実行列 168, 234

実回線 I 179, 185, 248  
 実回線 II 179, 185, 248  
 実現する (回路を) 45  
 実対称行列 171, 234  
 実有理関数 46  
 随伴行列 234  
 十分条件 45  
 受 (電) 端 142  
 受動素子 8  
 重合フィルタ 98  
 巡回行列 171  
 重信回線 179, 185, 248  
 樹枝状回路 150, 151  
 受端開放 158  
 受端短絡 159  
 従属電源 115  
 縦続行列 77  
 縦続接続 85  
 Z 行列 72, 144, 191  
 Zパラメータ 73  
 Zobel 98

——著者略歴——

1946年 北海道大学工学部電気工学科卒業  
1961年 工学博士（北海道大学）  
1964年 北海道大学教授  
1987年 北海道大学名誉教授  
同 年 北海道工業大学教授  
1995年 北海道工業大学名誉教授

基礎電気回路（2）

Basic Theory of Electric Circuit（2）

© Kozo Hatori 1985

1985年 4月 30日 初版第1刷発行

1997年 6月 10日 初版第6刷発行

検印省略

著 者 は 羽 とり こう ぞう 三  
北海道札幌市中央区南10条西16丁目  
発 行 者 株式会社 コロナ社  
代 表 者 牛 来 辰 巳  
印 刷 所 富士美術印刷株式会社

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 00140-8-14844・電話 (03) 3941-3131 (代)



ISBN 4-339-00127-9

(清文社, 愛千製本所)

Printed in Japan

日本複写センター委託出版物・特別扱い

本書の無断複写は、著作権法上での例外を除き、禁じられています。本書は、日本複写権センターへの特別委託出版物です。本書を複写される場合は、そのつど日本複写権センター(03-3269-5784)を通して当社の許諾を得てください。