

# 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の藤田達夫前社長、牛来辰巳社長と中俣寛編集第一部長に、衷心より感謝の意を表する。

1983年9月

羽 鳥 孝 三

# 目 次

---



## 電気回路と回路素子

---

1.1 電圧, 電流とその波形 .....	1
1.2 回路素子と電力 .....	4
1.2.1 オームの法則, 抵抗とコンダクタンス .....	5
1.2.2 コンデンサの電荷とキャパシタンス .....	8
1.2.3 コイルの磁束とインダクタンス .....	11
1.2.4 結合したコイルの相互インダクタンスと変成器 .....	14
1.2.5 電圧源と電流源 .....	15
1.2.6 電力とエネルギー .....	20
1.3 回路素子と回路の分類 .....	23
演習問題 .....	28



## グラフ理論と回路の方程式

---

2.1 グラフ理論の基礎 .....	29
2.1.1 グラフと接続行列 .....	30
2.1.2 木, 補木とカットセット行列, タイセット行列 .....	32
2.2 キルヒホッフの法則と回路素子の接続 .....	38
2.2.1 キルヒホッフの電流法則 .....	39
2.2.2 キルヒホッフの電圧法則 .....	42
2.2.3 回路素子の接続 .....	45
2.3 回路の方程式と双対性 .....	51
2.3.1 カットセット方程式 .....	53

2.3.2	タイセツト方程式	58
2.3.3	混合方程式と状態方程式	61
2.3.4	$n$ 端子対回路のインピーダンス行列とアドミタンス行列	66
2.3.5	双対性と平面回路	68
	演習問題	71



## 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	73
3.1.1	RC直列回路のステップ応答	74
3.1.2	RL直列回路のステップ応答	76
3.1.3	時定数	77
3.1.4	RC直列回路とRL直列回路のパルス応答	80
3.1.5	RLC直列回路の過渡現象	83
3.1.6	電荷および磁束の時間的連続性と初期値	91
3.2	フーリエ級数, フーリエ変換と時間域解析	94
3.2.1	フーリエ級数と周期波の時間域解析	94
3.2.2	フーリエ変換と非周期波の時間域解析	98
3.3	ラプラス変換と過渡解析	102
3.3.1	ラプラス変換とその公式	102
3.3.2	ラプラス変換による過渡解析	113
3.4	インピーダンスと複素周波数	120
3.4.1	インピーダンス, アドミタンス, 伝達関数と回路網関数	120
3.4.2	複素周波数と固有周波数	121
	演習問題	123



## 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	126
4.1.1	実効値とフェーザ	127
4.1.2	インピーダンスとアドミタンス	129



4.1.3 誘導性と容量性 .....	132
4.1.4 直列接続と並列接続 .....	134
4.1.5 電圧と電流の位相関係 .....	137
4.2 交流の電力 .....	139
4.2.1 有効電力, 皮相電力と力率 .....	140
4.2.2 無効電力と複素電力 .....	141
4.3 交流の基本回路 .....	146
4.3.1 RC 回路と RL 回路 .....	146
4.3.2 コイルの $Q$ とコンデンサの $\tan \delta$ .....	149
4.3.3 共振回路 .....	151
4.3.4 その他の回路 .....	157
演習問題 .....	160

## 付 録

A. 行列と行列式 .....	162
A.1 行 列 .....	162
A.2 行列の相等と和, 差, 積 .....	163
A.3 転置行列 .....	166
A.4 行列式 .....	167
A.5 逆行列 .....	168
A.6 連立1次方程式 .....	169
A.7 行列の階数とベクトルの一次従属, 一次独立 .....	169
A.8 固有値と固有ベクトル .....	170
B. 双曲線関数 .....	172
B.1 定 義 .....	172
B.2 三角関数との関係 .....	173
B.3 重要公式 .....	173
C. 周期波形とそのフーリエ級数 .....	175
D. ラプラス変換の公式 .....	176
E. 非正弦波交流 .....	178
E.1 実効値とひずみ率 .....	178
E.2 電 力 .....	179
F. 複素数と複素関数 .....	180

F.1 複素数	.....	180
F.2 複素関数	.....	182

演習問題解答

参考文献

索引

# 「基礎電気回路(2)」主要目次

## 5. 変成器と理想変成器

- 5.1 相互インダクタンスと変成器
- 5.2 密結合変成器と理想変成器
- 5.3 変成器の等価回路

## 6. 回路に関する法則と定理

- 6.1 重ね合わせの理
- 6.2 等価電源定理
- 6.3 補償定理
- 6.4 テレヘンの定理と可逆定理
- 6.5 最大電力供給の法則
- 6.6 3端子回路の等価と $\Upsilon$ - $\Delta$ 変換

## 7. 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
- 7.2 2種素子回路

## 8. 2端子対回路と伝送回路

- 8.1 2端子対回路の諸行列
- 8.2 2端子対回路の接続
- 8.3 対称2端子対回路
- 8.4 入力インピーダンスと反射係数
- 8.5 伝送量と伝送回路

## 9. 能動回路と非可逆回路

- 9.1 従属電源と能動回路
- 9.2 負性抵抗と能動回路
- 9.3 理想ジャイレータと非可逆回路

## 10. 伝送線路と分布定数回路

- 10.1 伝送線路と無損失線路
- 10.2 入射波, 反射波, 定在波とスミス図表
- 10.3 有限長線路の2端子対回路表示
- 10.4 分布定数回路理論の基礎
- 10.5 無損失線路の過渡現象と伝搬波形
- 10.6 RC線路の電圧波と電流波

## 11. 多線条線路と多相交流

- 11.1 多線条線路と多線条回路
- 11.2 多相交流と三相交流回路



## 電気回路と回路素子

電気回路は、よく知られているように、抵抗や電池などの回路素子が、接続されたものである。電池には電圧があり、回路には電流が流れる。1.1では、電気回路の基礎になる電圧、電流およびその波形について述べる。

電気回路の理論では、回路素子の性質を、理想化して、計算しやすい式で表現することが多い。線形とか時不変とかいわれるのは、理想化された性質である。1.2では、各種の回路素子の性質について述べる。すなわち、オームの法則と抵抗およびコンダクタンス、コンデンサの電荷とキャパシタンス、コイルの磁束とインダクタンス、結合したコイルの相互インダクタンスと変成器、および電圧源と電流源について説明し、これらの回路素子における電力とエネルギーの式を示す。

1.3では、回路素子と回路を分類し、本書で主として取り扱う線形・時不変・受動・可逆・集中定数回路とは、どのようなものかを明らかにする。

### 1.1 電圧、電流とその波形

懐中電灯は、よく知られているように、豆電球、乾電池およびスイッチからなっていて、スイッチを閉じると、豆電球のフィラメントが発熱して、明るく光る。これは、スイッチを閉じることによって、豆電球と乾電池を接続する道ができ、電池の電圧<sup>†</sup> (voltage) がフィラメントの抵抗 (resistance) に加えられて、電流 (current) が流れるからである。このように、電流の流れる道を、

<sup>†</sup> 電池が発生する電圧を、起電力という。1.2.5参照。

電気回路 (electric circuit) または回路 (circuit) という。電圧の単位はボルト (volt, 略して V), 電流の単位はアンペア (ampere, 略して A), 抵抗の単位はオーム (ohm, 略して  $\Omega$ ) である。

V, A および  $\Omega$  は, 実用単位であって, それぞれ, 電圧, 電流および抵抗の研究分野で功績のあった Volta, Ampère および Ohm の名前をとって, 1881年, パリにおける第1回国際電気会議で定められた。イタリアの Alessandro Volta (1745~1827年) は, 1799年, 電堆 (でんつい) と呼ばれる電池を発明し, 人工的な電流を連続して流すのに成功した。フランスの André Marie Ampère (1775~1836年) は, 1820年, 電流の方向とその電流によって生じる磁界の方向との関係を示す右ねじの法則を発見し, また, 電流による力学の理論を発表した。ドイツの George Simon Ohm (1789~1854年) は, 1826年, 電圧と抵抗に流れる電流との関係を表すオームの法則を発見したが, これは綿密な実験によるものであって, しかも, 抵抗の概念は Ohm が考えたものであり, また, 電池に内部抵抗のあることも, Ohm の発見である。この電圧, 電流および抵抗という概念を基礎にして, 電気回路の学問が起こったのである。

抵抗は物質固有の性質であるが, 回路部品の抵抗器 (resistor) も, 普通は抵抗と呼ばれている。電圧の記号は,  $v$  または  $V$  であるが, 電池の電圧には  $E$  を用い,  $E$  [V] の電池を, 電池  $E$  と表す。電流の記号は  $i$  または  $I$  であり, 抵抗の記号は  $r$  または  $R$  であって,  $R$  [ $\Omega$ ] の抵抗器を, 抵抗  $R$  と表す。また, 電池  $E$ , 抵抗  $R$  およびスイッチ  $S$  は, 図 1.1 のように示される。この図は, 電池  $E$  と抵抗  $R$  をスイッチ  $S$  で接続した回路を示す。一般に, このような図を, 回路図 (circuit diagram) という。

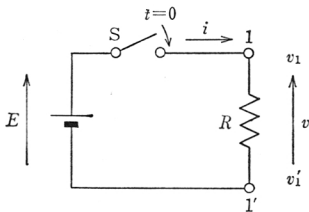


図 1.1 回路図

図 1.1 の回路図において, 抵抗  $R$  の両端の点 1 と 1' は, 電流  $i$  が流入および流出する点であって, このような点を端子 (terminal) という。また, 端子 1 と 1' のように同じ電流が流入および流出する 1 対の端子を, 端子対 (terminal pair) またはポート (port) と呼び,

$n$  個の端子対をもつ回路を,  $n$  端子対回路 ( $n$ -terminal-pair circuit) または  $n$  ポート回路 ( $n$ -port circuit) という<sup>†</sup>。抵抗  $R$  の端子対 1, 1' の間の電圧  $v$  は, 端子電圧 (terminal

<sup>†</sup>  $n$  端子対網 ( $n$ -terminal-pair network) または  $n$  ポート網 ( $n$ -port network) ともいう。

2.3.4 参照。1 端子対回路と 2 端子対回路については, それぞれ 7 章と 8 章で述べる。

voltage) と呼ばれ, 端子 1 の電位 (potential)  $v_1$  から端子 1' の電位  $v_1'$  を引いた差, すなわち電位差 (potential difference) であって,

$$v = v_1 - v_1' \quad [\text{V}] \quad (1.1)$$

である. 電圧の向きは, 図のように, 矢印で示され, 矢の頭のほうが電位が高い. 電池の場合, 陽極の電位が陰極よりも高いので, 電池の電圧  $E$  の向きは, 図のようになる. 電池の陽極からは, 正の電荷 (charge) が流れ出る. 電流は電荷の流れである. それで, 図のように, 正の電荷の流れる向きに, 矢印を書き, これを電流の向きとする†. 電流  $i$  が抵抗  $R$  の中を矢印の向きに流れて, 電位が  $v_1$  から  $v_1'$  へ降下し, したがって, 電圧が  $v$  だけ降下するから, 抵抗  $R$  の端子電圧  $v$  を, 電圧降下 (voltage drop) ともいう. 図からわかるように, 電流  $i$  の向きは, 電池の電圧  $E$  と同じであるが, 抵抗  $R$  の端子電圧, すなわち電圧降下  $v$  の向きとは逆である††. これは, 電流  $i$  が回路を一方方向に流れるのに対して, 電圧  $E$  と  $v$  は, 端子 1' の電位を基準にした端子 1 の電位だからである. また, この場合, 電池の電圧  $E$  と抵抗の端子電圧  $v$  は, 等しくて,

$$v = E \quad [\text{V}] \quad (1.2)$$

である.

図 1.1 のように, 電池と抵抗が接続された回路に流れる電流は, スイッチを閉じた瞬間から直流 (direct current, 略して DC) であると考えられがちである. しかし, 直流は, 厳密にいうと, 図 1.2 (a) のように, 無限の過去から無限の未来まで大きさが一定で, 時間的に変化しない, 理想的なものである. 図 1.1 の回路の場合, スイッチ  $S$  を閉じた時刻  $t=0$  に, 電池の電圧  $E$  が抵抗  $R$  に加わって, 電流  $i$  と抵抗  $R$  の端子電圧  $v$  が, (b) のように, 階段関数 (step function), すなわちステップ (step) の形になる. ただし, スイッチを閉じてから, かなり時間がたてば, 電流と抵抗の端子電圧を, 実用上, 直流として取り扱ってさしつかえない. このように, 電圧と電流は, 一般に, 時

† 実際は, 主として, 電子が移動する. 電子の電荷は負である. したがって, 電流の方向は, 電子の移動方向とは逆である.

†† この電流の向きと電圧の向きとの関係は, 電圧と電流が時間的に変化しても, 各時刻において成り立つ.

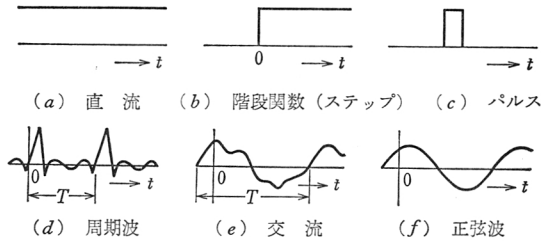


図 1.2 各種の波形

間的に変化するので、時間の関数と考えられ、 $v(t)$  および  $i(t)$  と表される。また、時間的に変化する量を、図で示して、波形 (wave form) という。波形には種々のものが考えられる。

(c) の波形は、パルス (pulse) と呼ばれ、古くは、モールス電信符号にみられるが、最近では、パルス通信や電子計算機などで用いられる。(d) の波形は、一定の時間間隔、すなわち周期 (period)  $T$  で同じ波形が繰り返されるので、周期波 (periodic wave) と呼ばれ、電気工学ばかりでなく、脳波や心電図などの生理現象にもみられる。(e) の波形のように、周期波において、正の部分の面積と負の部分の面積が等しく、1 周期の時間で積分すると 0 になるものは、交流 (alternating current, 略して AC) と呼ばれ、電気工学ばかりでなく、すべての振動波形にみられる。(f) の波形は、正弦波 (sinusoidal wave) であって、交流のもっとも単純なものである。3.2 で述べるように、時間的に変化する波形は、すべて正弦波交流を基礎にしていると考えられるので、電気回路では、正弦波交流は重要な波形である。正弦波交流を、略して交流ということもある。正弦波交流の電圧と電流を取り扱う電気回路の理論は、交流理論 (alternating current theory) と呼ばれるが、これについては、4 章で詳しく述べる。

## 1.2 回路素子と電力

抵抗や電池は、回路を構成する要素であるから、回路素子 (circuit element) または素子 (element) と呼ばれる。回路素子には、抵抗のほかにも、コイル、コンデンサ、変成

器などがあり、電池のほかにも、各種の電圧源と電流源がある。実際の抵抗、コイルおよびコンデンサの値は、電圧や電流によって異なることがあり、また時間的に変化することもある。しかし、実用的には、多くの場合、これらの回路素子の値は、一定不変なことが望ましい。この一定不変の性質は、線形時不変と呼ばれ、理想化されたものである。電気回路においては、理論が単純になることもあって、理想化された線形時不変の回路素子を取り扱うことが多い。また、電源にも、理想化された電圧源と電流源が考えられる。回路素子の端子電圧と電流の積は、電力であって、その時間積分はエネルギーである。電力とエネルギーも、回路素子によって、その性質が異なる。1.2では、これらの回路素子およびその電力とエネルギーについて述べる。

### 1.2.1 オームの法則、抵抗とコンダクタンス

図 1.1 の回路において、スイッチ S を閉じると、 $R[\Omega]$  の抵抗に電流  $i(t)$  [A] が流れ、抵抗  $R$  の端子電圧は、 $v(t)$  [V] になる。この場合、オームの法則 (Ohm's law) の式は†、

$$\left. \begin{aligned} v(t) &= Ri(t) \quad [V], & [V] &= [\Omega A] \\ i(t) &= \frac{v(t)}{R} \quad [A], & [A] &= \left[ \frac{V}{\Omega} \right] \\ R &= \frac{v(t)}{i(t)} \quad [\Omega], & [\Omega] &= \left[ \frac{V}{A} \right] \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

である。この式は、抵抗  $R$  が電圧と電流によって変化しないならば、抵抗の端子電圧  $v(t)$  が電流  $i(t)$  に比例することを表している。Ohm は、直流の場合に、オームの法則を実験的に見いだしたが、電圧と電流が時間的に変化しても、式 (1.3) のように、オームの法則は成り立つ。

抵抗は、もともと物質固有の性質である。抵抗器の抵抗は、温度変化が少ないならば、ほぼ一定で、電圧と電流によっても、ほとんど変化しないように作られる。しかし、抵抗は、一般に、温度が変わると変化するのが普通である。その変化の割合を、抵抗の温度係数 (temperature coefficient) という。金属などの導体 (conductor) の抵抗は、温度が上がると増えるので、正の温度係数をもつ。半導体 (semiconductor) や電解質 (electrolyte) の抵抗は、温度が上がると減るので、負の温度係数をもつ。1.2.2 で述べるコンデンサ、1.2.3 で述べ

† 1.2.5 参照。



るコイルおよび 1.2.4 で述べる変成器も、回路部品であって、これらの値も、やはり正あるいは負の温度係数をもつ。また、抵抗が電圧と電流によって変化しない場合、その抵抗は線形 (linear) であるという。これに対して、抵抗が電圧あるいは電流によって変化する場合、その抵抗は非線形 (nonlinear) であるという。

線形抵抗 (linear resistance) の場合、電流  $i$  とその抵抗の端子電圧  $v$  との関係

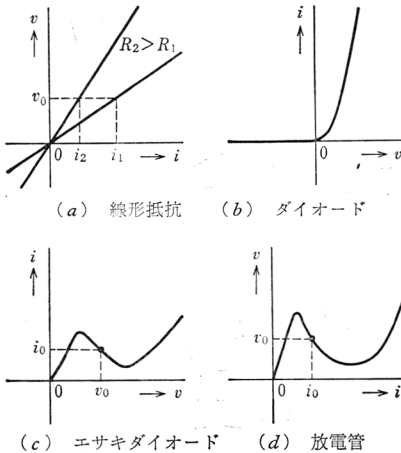


図 1.3 線形抵抗と非線形抵抗

係を图示すると、図 1.3 (a) のように、原点を通る直線になり、その傾斜は正である。この傾斜が、オームの法則の式 (1.3) の比例係数  $R$ 、すなわち線形抵抗であるから、線形抵抗は正である。(a) の電圧と電流のように、一般に、二つの量の関係を表す直線または曲線を、特性 (characteristic) と名づける。また、(a) では、抵抗  $R_1$  の特性と  $R_1$  より大きな抵抗  $R_2$  の特性とを比較し

ていて、同じ電圧  $v_0$  に対して、抵抗  $R_1$  の電流  $i_1$  より、抵抗  $R_2$  の電流  $i_2$  のほうが小さい。したがって、抵抗が大きいと、電流が小さいことがわかる。このように、抵抗は、電流に抵抗して電流を流しづらくする性質を意味する。

つぎに、非線形抵抗 (nonlinear resistance) の例を示そう。(b) は、普通のダイオード (diode) の特性であって、原点の近くで、傾斜が大きく変化し、非線形性が著しい。また、正の電圧では、大きな電流が流れるが、負の電圧では、わずかしき電流が流れない。このダイオードの一方通過性を利用したのが、整流器 (rectifier) であって、交流を実用的な直流に直すのに用いられる。(c) はエサキダイオード (Esaki diode)、すなわちトンネルダイオード (tunnel diode) の特性であり、(d) は放電管 (discharge tube) の特性である。どちらの特性も、傾斜が大きく変化し、非線形性が著しい。(c) のエサキダイオ

# 索引

## 【A】

アドミタンス 53, 120, 129  
アドミタンス行列 67  
アンダシュート 88  
アンペア [A] 2  
A 行列 64, 119, 122  
Ampère 2

## 【B】

バイアス 7  
バイアス電源 26  
倍率器 48  
バール [var] 143  
ベクトル電力 144  
微分回路 83  
微分抵抗 7  
ボルト [V] 2  
ボルトアンペア [VA] 140  
部分グラフ 33  
分布定数回路 25  
分布定数線路 25  
分布定数素子 25  
分路素子 157  
分流器 51

## 【C】

Coulomb 9

## 【D】

第1種初期値 93, 105, 106  
第2種初期値 93, 105, 106  
第2調波 96  
第3調波 96

第 $n$ 調波 96  
ダイオード 6  
電圧 1  
電圧分割比 48  
電圧源 15  
電圧源を殺す 20  
電圧源を考慮した基本タイセツト系の KVL 45  
電圧計 48  
電圧降下 3  
電圧の波 24, 25  
電圧の向き 3  
電圧制御形 7  
電源 16  
電源を殺す 20  
電位 3  
電位差 3  
電荷 3, 9  
電荷保存の法則 40  
電荷の時間的連続性 91  
電界 9, 23  
電解質 5  
電気回路 2  
電力 20, 139  
電力量 21  
電流 1  
電流分割比 50  
電流源 16  
電流源を考慮した基本カットセツト系の KCL 42  
電流源を殺す 20  
電流計 41, 51  
電流の波 24, 25  
電流の向き 3  
電流の連続性 40  
電流制御形 7  
電子 3  
電子回路 7

伝達アドミタンス 100, 121  
伝達インピーダンス 121  
伝達関数 102, 121  
電池 2, 17  
電磁エネルギー 22  
電磁波 24  
——の速度 24  
電磁誘導 9, 24  
導電率 7  
独立電圧源 16  
独立電源 16  
独立電流源 16  
独立な枝電圧 51, 52  
独立な枝電流 51, 53  
動作点 7  
同相 137  
同相成分 142, 143  
導体 5  
同調回路 154  
同調曲線 152  
同軸ケーブル 25  
同次方程式 74  
デルタ関数 100

## 【E】

枝 30  
——の向き 30, 39  
枝アドミタンス 53  
枝アドミタンス行列 53  
枝電圧 39  
——の向き 39  
枝電圧ベクトル 44  
枝電流 38  
——の向き 39  
枝電流ベクトル 41  
枝インピーダンス 58  
枝インピーダンス行列 58

エネルギー 21  
 エネルギー保存の法則 43  
 エサキダイオード 6  
 Euler 30

## 【F】

Faraday 9

## 【G】

減衰振動 88  
 原点 122, 182  
 逆行列 56, 60, 68, 168  
 行 31, 162  
 行ベクトル 41, 162  
 行列 31, 162  
 行列式 56, 60, 68, 167  
 グラフ 30  
 グラフ理論 30  
 GCL 並列回路 49, 156  
 —の方程式 49  
 GOL 45

## 【H】

波形 4  
 半導体 5  
 半値幅 154  
 はしご形回路 157  
 発振 26  
 波長 24, 25  
 平均電力 127, 179  
 平行2線式の通信線 25  
 平衡条件(ホイートストンブリッ  
 ヅの) 57  
 —(交流ブリッジの) 159  
 平面グラフ 69  
 平面回路 69  
 並列 18  
 並列共振 156  
 並列共振回路 156  
 並列接続 48, 135  
 閉路 30  
 —の向き 30

閉路行列 35  
 閉路方程式 59  
 閉路解析 59  
 辺 30  
 変時定理 112  
 偏角 128, 180  
 変成器(変圧器) 15  
 ヘンリー〔H〕 12  
 ヘルツ〔Hz〕 24  
 左半面 122, 180  
 非周期波 98  
 非負 23  
 非負値2次形式 23  
 非可逆回路 27  
 非可逆素子 27  
 非連結グラフ 30  
 非正弦波交流 97, 178  
 非線形 6  
 非線形回路 25  
 非線形素子 25  
 非線形抵抗 6  
 皮相電力 140  
 ヒステリシス 11  
 一筆書き 30  
 比透磁率 13  
 比誘電率 10  
 ひずみ波交流 97  
 ひずみ率 97, 179  
 放電管 6  
 ホイートストンブリッジ 41  
 補解 73  
 補木 33  
 補木インピーダンス積 61  
 飽和(磁心コイルの) 11  
 ファラド〔F〕 9  
 フェライト 11  
 フェーザ 100, 128  
 フェーザ表示 128  
 フェーザ図 134  
 フィルタ 154  
 負荷 141  
 複素電力 144  
 複素形フーリエ級数 96  
 複素角周波数 121  
 複素関数 110, 182

複素数 84, 96, 127, 138, 180  
 複素表示 129  
 複素周波数 121  
 複雑度 66  
 フーリエ逆変換 99  
 フーリエ変換 99  
 フーリエ変換対 99  
 フーリエ係数 95  
 フーリエ級数 95  
 フーリエ積分 99  
 負性抵抗 7  
 Heaviside 125  
 Henry 12  
 Hertz 24

## 【I】

インダクタ 11  
 インダクタンス 12  
 インパルス応答 102  
 インピーダンス 24, 57, 120, 129  
 インピーダンス行列 67  
 イミタンス 120  
 位相 89, 126  
 位相幾何学的自由度 63  
 位相差 89, 126  
 一次独立(ベクトルの)  
 32, 35, 36, 170  
 一般化オームの法則(GOL)  
 45

一般解 73  
 1端子対回路 2  
 IC 69

## 【K】

過減衰 88  
 可逆回路 27  
 可逆素子 27  
 可逆定理 27  
 階段関数 3  
 下位関数 103  
 可変コンデンサ 10  
 可変抵抗器 8  
 開放 19  
 開放伝達インピーダンス 67

開放インピーダンス行列 67  
 開放駆動点インピーダンス 67  
 開放除去 (枝を) 32  
 開放除去 (電流源を) 20  
 回路 2  
 回路部品 2, 6  
 回路解析 54,  
 回路網関数 121  
 回路素子 4, 24  
 回路定数 25  
 回路図 2  
 階数 (行列の) 37, 169  
 階数 (グラフの) 33  
 角周波数 89, 126  
 完全グラフ 70  
 完全バイポータイトグラフ 70  
 重ね合わせ 26  
 過渡現象 73  
 過渡解 73  
 過渡解析 115, 123  
 カットセット 33  
 カットセットアドミタンス行列 54  
 カットセット電流源 42  
 カットセット電流源ベクトル 42  
 カットセット行列 34  
 カットセット方程式 54  
 カットセット解析 54  
 カットセット駆動点インピーダ  
 ンス行列 57  
 カットセットの向き 34  
 既約接続行列 32  
 ケーニヒスベルグの橋の問題 30  
 結合 (コイルの) 15, 53, 58  
 木 33  
 木アドミタンス積 58  
 起電力 (電池の) 15  
 木 枝 33  
 木枝の枝電圧ベクトル 52  
 基本波 96  
 基本カットセット 34  
 基本カットセット行列 34  
 基本カットセット系 34

基本周波数 95  
 基本タイセット 35  
 基本タイセット行列 35  
 基本タイセット系 35  
 キルヒホッフの電圧法則 (KVL) 17, 39, 42  
 キルヒホッフの電流法則 (KCL) 18, 39  
 キルヒホッフの法則 23, 39  
 キロワット時 [kWh] 21  
 基準フェーザ 137  
 基準節点 32  
 コイル 11  
 コンデンサ 8  
 コンダクタンス 7, 132  
 コンダクタンス分 132  
 混合方程式 62  
 混合解析 62  
 混合階数 62  
 混合木 62  
 孤立波 98  
 孤立パルス 99  
 孤立節点 31  
 交流 4  
 交流ブリッジ 158  
 交流理論 4, 125  
 交流抵抗 7  
 光速度 24  
 高速フーリエ変換 (FFT) 101  
 高調波 96  
 固有方程式 119, 122, 171  
 固有周波数 122  
 固有値 123, 170  
 駆動点アドミタンス 121  
 駆動点イミタンス 121  
 駆動点インピーダンス 120  
 駆動点関数 121  
 クラメル公式 57, 60, 169  
 クラトウスキーグラフ 70  
 繰り返す波形 112  
 繰り返すパルス 97  
 クーロンの法則 9  
 クーロン [C] 9  
 空心コイル 11  
 キャパシタ 8

キャパシタンス 9  
 虚部 127, 180  
 極 110, 184  
 極板 8  
 極木 63  
 強制振動 73  
 共振 151  
 共振電流 152  
 共振曲線 152  
 共振周波数 153  
 共振角周波数 153  
 共振回路のQ 153  
 虚数単位 84, 138, 180  
 共通帰線 32  
 共通接地 32  
 共役複素数 110, 144, 182  
 共役複素極 110  
 強磁性体 11  
 強誘電体 10  
 虚軸 122, 180  
 Kennelly 125  
 Kirchhoff 23, 30

[L]

L形回路 83

[M]

窓 69  
 マイクロ波 25  
 マクスウェルの方程式 24  
 面 69  
 右ねじの法則 2  
 右半面 122, 180  
 道 30  
 道の向き 30  
 モデル 19  
 無限遠点 122, 182  
 無限回路 27  
 無効電力 142  
 無向グラフ 30  
 無効成分 142  
 Maxwell 23, 30  
 (m, n) 行列 32, 162

## 【N】

内部インピーダンス 19  
 内部抵抗 17  
 熱エネルギー 21  
 2-同形グラフ 41  
 2 補木 33  
 2補木インピーダンス積 61  
 2 木 33  
 2木アドミタンス積 58  
 2端子対回路 2  
 2次形式 23  
 のこぎり状波 124  
 能動 26  
 能動回路 26, 27  
 能動素子 26  
 入力 25, 74  
 入力アドミタンス 121  
 入力インピーダンス 120  
 $n$ ポート回路 2  
 $n$ ポート網 2  
 $n$ 端子対回路 2, 66  
 $n$ 端子対網 2

## 【O】

オーバシュート 88  
 遅れ(位相) 137  
 表関数 103  
 オーム [Q] 2  
 オームの法則 2, 5, 17  
 温度係数 5  
 応答 25, 75  
 Ohm 2

## 【P】

パルス 4  
 パルス幅 88  
 パルス入力 80  
 パルス応答 80  
 ポート 2

## 【Q】

Q (コイル, コンデンサの) 150  
 Qメータ 153

## 【R】

ラプラス逆変換 103  
 ラプラス変換 103  
 ラプラス変換対 103  
 ラプラス積分 103  
 ランプ関数 106  
 零度 33  
 零行列 36, 163  
 零周波 97  
 零点 110, 184  
 連結グラフ 30  
 連続スペクトル 99  
 列 31, 162  
 列ベクトル 41, 162  
 リアクタンス 132  
 リアクタンス分 132  
 リアクタンス率 144  
 力率 141  
 力率改善用コンデンサ 148  
 臨界減衰 88  
 リンク 33  
 —の枝電流ベクトル 53  
 理想変成器 (IT) 24  
 理想ジャイレータ (IG) 24  
 留数 110, 185  
 Rayleigh 125  
 RC 発振器 159  
 RC 並列回路 148  
 RC フィルタ 159  
 RC 移相回路 148  
 RC 回路 146  
 RC 直列回路 63, 74, 80, 146  
 RL 並列回路 149  
 RL 回路 146  
 RL 直列回路 63, 76, 80, 149  
 RLC 直列回路 46, 63, 83, 151  
 —の方程式 46

## 【S】

最大値 126  
 サイナ 129  
 最終値定理 107  
 鎖交磁束 11, 14  
 三電圧計法 145  
 3線式の送電線 25  
 サセブタンス 132  
 サセブタンス分 132  
 成分 31  
 静電エネルギー 22  
 正弦波 4, 126  
 正弦波交流 4, 125  
 正行列列 35, 162  
 整流器 6  
 静止状態 73  
 正則行列 56, 60, 68, 167  
 積分回路 83  
 積算電力計 21  
 線形 6  
 線形微分方程式 26, 63, 73  
 線形回路 25  
 線形性 25  
 線形システム 64  
 線形素子 25  
 線形抵抗 6  
 線スペクトル 96  
 選択増幅器 159  
 節点 30  
 節点アドミタンス行列 55  
 節点・枝接続行列 31  
 節点方程式 55  
 節点解析 55  
 節点駆動点インピーダンス行列 57  
 接続行列 31, 32  
 振動減衰 88  
 信号源 19  
 信号発生器 (SG) 152  
 真空管 19, 24  
 振幅 7, 89, 126  
 進相用コンデンサ 148  
 始点 30

自然周波数 122  
 相互インダクタンス 15  
 相互誘導 12, 15  
 双曲線関数 85, 109, 172  
 素子 4  
 双対グラフ 70  
 双対回路 70  
 双対性 69  
 相乗定理 113  
 相似定理 107  
 水晶振動子 24  
 スイッチ 2, 74  
 スペクトル 96  
 進み(位相) 137  
 ステップ 3  
 ステップ応答 75  
 ステップ入力 74  
 ストリップ線路 25  
 数平面 121, 180, 182  
 数球面 122, 182  
 小行列 35, 36, 163  
 初期位相 126  
 初期値 91  
 初期値定理 107  
 初期条件 75  
 周波数 24  
 周波数域 101  
 周波数域解析 97, 123  
 周期 4, 94, 126  
 周期波 4, 94  
 集積回路(IC) 69  
 終点 30  
 集中定数素子 25  
 集中定数回路 25  
 主要部(カットセット行列の)  
 35  
 主要部(タイセット行列の)  
 36  
 瞬時電力 20  
 瞬時値 126  
 s平面 121  
 Siemens 7  
 Steinmetz 125

〔T〕

対角行列 53, 58, 163  
 体積固有抵抗 8  
 タイセット 35  
 タイセット電圧源 45  
 タイセット電圧源ベクトル 45  
 タイセット行列 35  
 タイセット方程式 59  
 タイセットインピーダンス行列  
 59  
 タイセット解析 59  
 タイセット駆動点アドミタンス  
 行列 60  
 タイセットの向き 35  
 対称行列 67, 68, 166  
 多重極 111, 184  
 単位ダブルレット関数 106  
 単位行列 35, 36, 163  
 単位インパルス関数 100, 104  
 単位ステップ関数 104  
 短絡 19  
 短絡アドミタンス行列 67  
 短絡駆動点アドミタンス 67  
 短絡伝達アドミタンス 67  
 短絡除去(電圧源を) 20  
 短絡除去(枝を) 32  
 端子 2  
 端子電圧 2  
 端子対 2  
 単層ソレノイド 13  
 畳み込み積分 113  
 立ち上がり時間 88  
 抵抗 1, 5, 132  
 抵抗分 132  
 抵抗器 2, 5  
 定常解 73  
 定常状態 73  
 展開定理 111  
 転置行列 36, 41, 162, 166  
 遅延時間 88  
 特解 73  
 特性 6  
 特性方程式 75

トンネルダイオード 6  
 トランジスタ 19, 24  
 透磁率 11  
 等価変換(電源の) 18  
 等価変換(直並列回路の) 157  
 等価変換(ZとYの) 135  
 等価回路 18  
 等価リアクタンス 132  
 等価抵抗 132  
 直並列回路 157  
 直交成分 142, 143  
 直列 17  
 直列共振 152  
 直列共振回路 152  
 直列接続 46, 134  
 直列素子 157  
 直流 3  
 頂点 30  
 tan δ (タンデルタ) 151

〔U, V〕

ウェーブ〔Wb〕 11  
 ウィーンブリッジ 159  
 裏関数 103  
 Volta 2

〔W〕

ワット〔W〕 20  
 ワット時〔Wh〕 21  
 Weber 11  
 Wheatstone 41

〔Y〕

容量性 133  
 容量性リアクタンス 133  
 容量性サセプタンス 133  
 誘電率 9  
 誘電正接(tan δ) 151  
 誘電損 151  
 誘電損角 151  
 誘電体 8  
 誘導起電力 12, 15

誘導性 133  
 誘導性リアクタンス 133  
 誘導性サセプタンス 133  
 有限回路 27  
 有効電力 140, 179  
 有向グラフ 30  
 有効成分 142  
 有理関数 109, 184  
 Y 行列 67

---

【Z】

---

絶対値 128, 180  
 時変回路 27  
 時変抵抗 8  
 時変素子 27  
 時不変回路 27  
 時不変素子 27

時不変抵抗 8  
 磁界 11, 23  
 時間域 101  
 時間域解析 97, 123  
 実効電力 140  
 実効値 127, 178  
 実効抵抗 132  
 実効リアクタンス 132  
 自己閉路 30  
 自己インダクタンス 15  
 自己誘導 12  
 ジーメンス [S] 7  
 磁心 11  
 磁心コイル 11  
 磁束 11, 14  
 ——の時間的連続性 92  
 時定数 78

実部 128, 180  
 実有理関数 109, 110  
 実軸 121, 180  
 ジュール [J] 21  
 自由振動 73  
 自乗平均値 (rmsv) 127  
 増幅 26  
 情報 101  
 上位関数 103  
 状態方程式 64, 119  
 状態変数 64  
 状態変数解析 64, 119  
 受動 26  
 受動回路 26  
 受動素子 26  
 従属電源 16, 24  
 Z 行列 67

— 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  
1987 年 北海道工業大学教授  
1995 年 北海道工業大学名誉教授  
2005 年 逝去

基礎電気回路 (1)

Basic Theory of Electric Circuit (1)

© Kozo Hatori 1983

1983 年 11 月 15 日 初版第 1 刷発行

2006 年 8 月 30 日 初版第 9 刷発行

検印省略

著 者 は 羽 鳥 孝 三

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

112-0011 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)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 4-339-00126-0

(清文社印刷, 愛千製本所)

Printed in Japan

無断複写・転載を禁ずる

落丁・乱丁本はお取替いたします

