

ま え が き

私（濱口）は機械（メカ）屋である。昔から、見えない電気（エレキ）と見えない化学変化が大嫌いな人が機械工学科に進学するようである。私は大学の機械工学科においてメカトロニクス演習を担当し教えている。学生に聞いてみたら、いまでもその傾向は変わらないようで、機械工学科の大半の学生は、「電気と化学は嫌いである」と答えた。私もその一人であり、見えないくせにビリビリする電気と、見えないくせに六角形をしていると教えられるベンゼン環は大嫌いである。それに比べてメカは見えるし、一目見れば動きを理解できるので心地よい。

ところが、メカとエレキは切っても切れない関係にある。特に社会に出てエンジニアになると、「私はメカ屋だからエレキのことはわからない」では済まなくなるのだ。世の中のほとんどの機械は電気で動いているし、電気でコントロールされているからである。

実は中学校で習うオームの法則と、若干の基本的な概念を理解しておけば、電気回路や電子回路のことはある程度はわかるのである。エレキ屋が暗黙知（暗黙の了解）として口に出さない、いやそれを暗黙知とも思っていないで無意識に理解しているからこそエレキ屋が口に出さないことを、きっちり表に出して説明すればメカ屋にも電気のことわかるようになるのである。

例えば、「電気には電圧と電流があってそれらが相互に関係し合うからややこしくてイヤだ!」とメカ屋は感じている。実はつぎのことを理解していればそんなに毛嫌いの必要はない。回路には演算（計算）するための電圧信号回路と、電力を供給するためのパワー回路がある。これらをメカ屋は、電気は電気とひとくくりにするからわかりにくいのである。

電圧信号回路では、文字どおり電圧値で演算をするので、大きな電流は不要なので流さない。流さないからこそ電流を考える必要はない。電圧だけを考え

ておけばメカトロニクスで扱う回路ぐらいは十分設計できる。

一方、モータを回転させるための回路の最終段には、大電流を流すパワー回路が必要である。なぜなら、モータの仕事は演算することではなくて、外に向かって機械的の仕事をするからである。機械的の仕事をするからこそ、仕事に必要なエネルギーとなる大きな電流を流さなければならない。このパワー回路で重要なことは流す電流である。ほとんど電流のことだけを考えておけばよい。その電流を流すために、オームの法則に従った電圧を印加するだけの話である。難しい話をすれば、過渡特性といった話も出てくるが、初心者はそこまで理解する必要はない。

また、例えば電気工学という類の授業では、モータやスピーカなどのコイルといえば交流電圧や交流電流の式が登場し、高周波における特性や、電磁気学的な電気と磁気の相互作用が議論されてメカ屋はうんざりする。たしかにそのとおりであるが、その前に「コイルというのは、単なるグルグル巻きのエナメル線である」ことを忘れてはならない。つまり、抵抗を示す素子はどこにもないので直流抵抗は数オームしかない。このモータのような抵抗の小さい素子を、大電流を流せない電圧信号回路用の非力な電源に接続したら、あっというまに電源がギブアップする。

さらに、例えばコンデンサといえば、電気工学ではやはり周波数特性が議論される。その前に、「コンデンサというのは、周波数によって抵抗値が変化する可変抵抗である。低周波では絶縁体に近く、高周波ではツウツウになる」と理解しておけば、多くの回路図の中でのコンデンサの役割を理解できる。詳細な定量的設計のときだけ数式を使って計算すればよい。

以上を読んだだけでも、少し気持ちが楽になったメカ屋もいるであろう。こんな風にエレキ屋が持っている暗黙知を表出することで、メカ屋でも回路図を読める、回路図を描けるようになることを目的として本書を執筆した。日本中のメカ屋がエレキアレルギーを克服し、自信を持ってエレキ屋と議論するようになることを切に願っている。がんばれ！メカ屋！

2014年3月

純然たるメカ屋 濱口 哲也

目 次

1. 電子回路の重要な基礎知識

| | |
|-------------------------------|----|
| 1.1 電子回路の基礎 | 1 |
| 1.1.1 回路 | 1 |
| 1.1.2 オームの法則 | 2 |
| 1.1.3 キルヒホッフの法則 | 4 |
| 1.1.4 電力エネルギー | 5 |
| 1.1.5 抵抗における電力消費 | 5 |
| 1.1.6 他の回路との接続 | 6 |
| 1.2 グラウンド | 7 |
| 1.3 等価回路と内部抵抗 | 9 |
| 1.4 等価回路を使った計算 | 11 |
| 1.5 交流電圧（電流）の表し方 | 13 |
| 1.6 回路図 | 16 |
| 1.6.1 回路図は図面ではない | 16 |
| 1.6.2 左から入って右から出る回路図 | 17 |
| 1.6.3 電子回路のグラウンドは地面とはつながっていない | 18 |
| 演習問題 | 20 |

2. リレーを用いたモータ駆動回路

| | |
|---------------|----|
| 2.1 スイッチ | 21 |
| 2.1.1 スイッチの状態 | 21 |

| iv | 目 | 次 |
|--------|----------------|----|
| 2.1.2 | スイッチの種類 | 22 |
| 2.1.3 | スイッチの定格 | 22 |
| 2.2 | リレー | 25 |
| 2.2.1 | リレーの構造 | 25 |
| 2.2.2 | コイル | 27 |
| 2.2.3 | コイルの逆起電力 | 28 |
| 2.2.4 | コイルオフ時の誘導起電力 | 29 |
| 2.2.5 | ショートブレーキ | 31 |
| 2.2.6 | リレー使用上の注意 | 31 |
| 2.2.7 | リレーの定格 | 33 |
| 2.2.8 | サージ吸収用ダイオードの選定 | 36 |
| 2.2.9 | ラッチングリレー | 37 |
| 2.2.10 | DCモータの正転・逆転回路 | 38 |
| 2.2.11 | してはいけない接続 | 39 |
| 2.2.12 | モータ負荷 | 40 |
| 2.3 | モータ周りの配線 | 41 |
| 2.3.1 | AWG と sq | 41 |
| 2.3.2 | プリント基板 | 42 |
| | 演習問題 | 43 |

3. DCモータ

| | | |
|-------|-------------|----|
| 3.1 | 電気と磁気 | 44 |
| 3.1.1 | 電気とは何か | 44 |
| 3.1.2 | クーロン力と電界 | 47 |
| 3.1.3 | 磁気とは何か | 50 |
| 3.1.4 | 磁気に関するクーロン力 | 52 |
| 3.1.5 | 電気と磁気の関係 | 53 |
| 3.2 | 電動機を回す基本法則 | 54 |
| 3.2.1 | 電磁力 | 56 |
| 3.2.2 | 電磁誘導 | 57 |

| | |
|-----------------------|----|
| 3.2.3 電動機と発電機 | 58 |
| 3.3 直流機の動作原理 | 59 |
| 3.3.1 クリップモータはなぜ回るか | 59 |
| 3.3.2 直流機の基本回路 | 60 |
| 3.4 直流機の等価回路 | 63 |
| 3.5 電力と機械出力 | 64 |
| 3.6 DC モータが生じるトルク | 65 |
| 3.7 直流機の起電力 | 67 |
| 3.8 DC モータの理論特性 | 69 |
| 3.8.1 速度特性 | 69 |
| 3.8.2 トルク特性 | 70 |
| 3.8.3 速度-トルク特性 | 70 |
| 3.8.4 DC モータの始動電流 | 71 |
| 3.9 実際の電動機 (RS-540SH) | 71 |
| 演習問題 | 74 |

4. メカトロニクス電子回路の半導体素子

| | |
|---------------------|----|
| 4.1 半導体と pn 接合 | 75 |
| 4.1.1 真性半導体 | 75 |
| 4.1.2 不純物半導体 | 77 |
| 4.1.3 pn 接合 (ダイオード) | 77 |
| 4.1.4 ツェナーダイオード | 80 |
| 4.1.5 LED | 81 |
| 4.2 半導体スイッチ | 83 |
| 4.2.1 ダイオード | 83 |
| 4.2.2 トランジスタ | 85 |
| 4.2.3 MOSFET | 89 |
| 4.2.4 IGBT | 92 |
| 演習問題 | 95 |

5. センサを用いたモータ回路

| | |
|----------------------------|-----|
| 5.1 温度センサを用いたファンコントロール回路 | 96 |
| 5.1.1 温度センサ | 97 |
| 5.1.2 オペアンプ | 97 |
| 5.1.3 受動素子 | 105 |
| 5.1.4 コンパレータ | 114 |
| 5.1.5 トランジスタによるモータドライブ | 119 |
| 5.1.6 MOSFETによるモータドライブ | 123 |
| 5.2 ノイズの影響を受けなくするために | 125 |
| 5.2.1 電圧信号回路とパワー回路 | 125 |
| 5.2.2 アナログ回路とデジタル回路 | 126 |
| 5.2.3 パーツと基板の配線 | 128 |
| 5.2.4 フォトカプラによる回路のアイソレーション | 129 |
| 演習問題 | 131 |

6. 電源回路

| | |
|--------------------|-----|
| 6.1 電源とは | 133 |
| 6.1.1 電圧源 | 133 |
| 6.1.2 なぜ商用電源は交流か | 133 |
| 6.2 直流電源回路 | 136 |
| 6.2.1 整流回路の動作 | 136 |
| 6.2.2 直流電源回路の設計 | 140 |
| 6.2.3 スイッチングレギュレータ | 148 |
| 演習問題 | 151 |

7. DC モータのデジタルコントロール

| | |
|----------------------------------|-----|
| 7.1 PIC マイコン | 153 |
| 7.1.1 PIC16F1938 | 153 |
| 7.1.2 A-D コンバータ | 154 |
| 7.1.3 逐次比較形 A-D コンバータ | 156 |
| 7.1.4 D-A コンバータ | 158 |
| 7.2 PWM による DC モータのスピードコントロール | 159 |
| 7.3 H ブリッジ回路を用いたモータ正逆転コントロール | 160 |
| 7.3.1 H ブリッジ回路の動作 | 160 |
| 7.3.2 n チャネル MOSFET による H ブリッジ回路 | 162 |
| 7.3.3 PIC マイコンと H ブリッジ回路のインタフェース | 165 |
| 7.3.4 PIC マイコンによる PWM 信号の発生 | 167 |
| 7.3.5 PIC マイコンのプログラム | 170 |
| 演習問題 | 174 |
| | |
| 引用・参考文献 | 175 |
| 演習問題解答 | 176 |
| あとがき | 182 |
| 索引 | 183 |

1 電子回路の重要な基礎知識

メカトロニクス機器では、センサを使って何かを計測し、その計測値を基にモータをコントロールする。本書の目的は、読者にモータをコントロールする電子回路を設計できるようになってもらうことにある。1章では、目標達成のための第一歩となる基礎知識を確認しよう。

1.1 電子回路の基礎

1.1.1 回路

「『電気』が流れる」と一般的にはいわれる。しかし「電気」はいろいろな意味を持つ用語である。工学的には、回路の中を流れるものを**電流**と呼ぶ。「電気が流れる」ではなく「電流が流れる」といい表す。

では、電流が流れる「回路」とは何であろうか。

回路とは文字どおり、^{みち}回る路である。電流が回る路である。英語では circuit である。レース場のサーキットである。同じところをぐるぐる回るコースである。電流は、回路の中をぐるぐると回っている (図 1.1)。

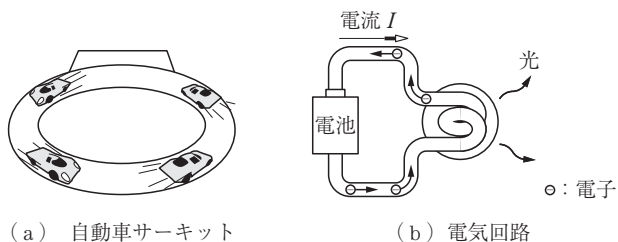


図 1.1 電流はサーキットを回っている

電池にはプラスとマイナスがあり、その間に電球をつなげば光る。電池と電球と電線とで、一周できる回路ができるからである。回路がとぎれば、電流は流れない。スイッチを開けば回路がとぎれて電流が流れなくなる。

電源コンセントにもコンピュータの電源コネクタにも、2本の線を接続する。2本の線が100Vの商用電源（交流）につながっているか、直流電源のプラスとマイナスにつながっているかは異なるが、2本の線がつながっている点では同じである。2本の線をつながなければ、一周する回路が完成しない。

なお、直流は英語の direct current の頭文字を取って DC、交流は alternative current の頭文字より AC と表記する。

1.1.2 オームの法則

電流は文字どおり「流れ」である。電線の中では、「電流」と呼ばれる仮想的な「もの」が流れる。

実際には、電線の中では電子が移動する（図 1.2）。しかし電子は、それぞれを観測すればランダムな動きをしている。その電子が平均的にどちらかに移動すれば電流が流れることになる。ただし電流の向きは、電子の平均移動方向とは逆と定められている。

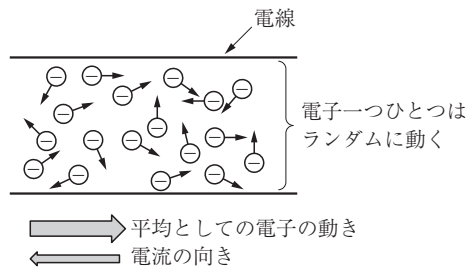


図 1.2 電子の動きと電流

仮想的に電線を水道管と考え、中には「電流」なる水流があると考えよう（図 1.3）。

蛇口をひねれば水が出る。これは高い位置にある水に働く重力（あるいは水



図 1.3 電圧を水圧で考える

道局のポンプ) によって、水道管内の水に圧力（水圧）が加えられているからである。水タンクの高さが高ければ、あるいはポンプの発生する圧力が高ければ、管の中の水に加わる圧力はそれだけ高くなる。圧力が高ければ、それだけ水を押し流そうとする力も強くなる。反対に水圧がなければ、蛇口をひねっても水は出ない。

電流も同じである。電池または発電機によって電線の中の電子に圧力が加えられたときに電流が流れる。この電流を流そうとする圧力を**電圧**と呼ぶ。電圧が高いほど、電流を流そうとして強い力が加わる。しかし電圧が加わっていないければ、電流を押し流す力も加わらないから電流は流れない。

ところで、水量は毎分 $x [l]$ のように、パイプの断面（あるいは蛇口）を通過した時間当たり体積として表す。電流も同じである。電線のある断面を通過した電子の数で表す。しかし電子の数は超大なので、1秒当り 1C （クーロン）の電荷量、すなわち 6.241×10^{18} ($=1/1.602 \times 10^{-19}$) 個の電子が通過する大きさを単位として、 1A （アンペア）と表す。

また電圧 V は、 1Ω （オーム）の抵抗 R に 1A の電流 I が流れているとき、抵抗の両端の電圧が 1V （ボルト）と定義される。あるいは、電気的な圧力（電圧）が 1V あれば、 1Ω の抵抗に 1A の電流を流せる、と考えてもよい。式で記せば

$$V [\text{V}] = I [\text{A}] \times R [\Omega] \quad (1.1)$$

である。この式は中学校で習った**オームの法則**である。

1.1.3 キルヒホッフの法則

さて、蛇口から流れ出た水は容器にたまるが、電線から電流は流れ出ない（流れ出るときは漏電や放電と呼ばれる事故が起こっている！）。電流は回路の中を回り続けている。

したがって電池や発電機などの電源から流れ出る電流の大きさと、電源に戻る電流の大きさは等しい（図 1.4）。さらに考えれば分岐がない回路では、どの位置で計測しても、電流の大きさは同じである。これを**キルヒホッフの電流則^{†1}**と呼ぶ。

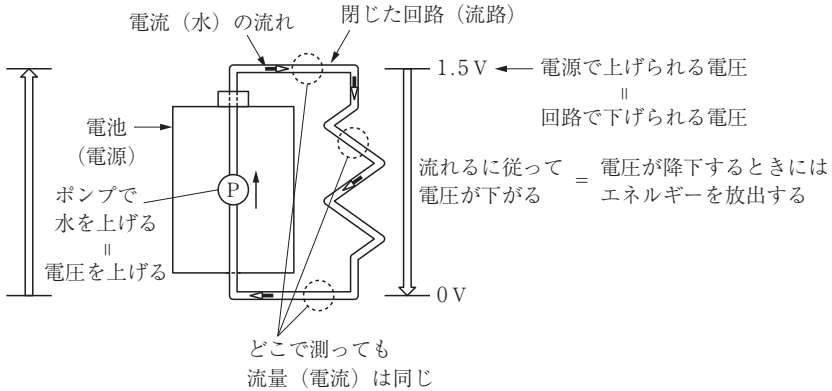


図 1.4 電流と電圧

また、回路の中に電源があるとき、電源で電流に加えられる圧力（電圧）と、周りの回路で下げられる圧力（電圧）の大きさは等しくなる。これを**キルヒホッフの電圧則^{†2}**と呼ぶ。

キルヒホッフの法則は、回路を流れる電流や、回路の中の電圧を計算する基礎となる。

†1 キルヒホッフの第1法則とも呼ばれる。正確には「電気回路の中の任意の節点（回路がつながる点）において、流れ込む電流と流れ出す電流の和は等しい」。回路がつながる点において成立する法則であるから、回路がつながる点以外、つまり電線でも成立する。

†2 キルヒホッフの第2法則とも呼ばれる。正確には「電気回路に任意の閉路をとり、電圧の向きを一方向にとったとき、閉路に沿った各素子の電圧の和は0」である。

1.1.4 電力エネルギー

水が高いところから低いところへ落下する間に位置エネルギーを放出するように、電流もまた、電源を出てから電圧が下がるにつれてエネルギーを放出する。

電圧 V [V] が抵抗 R [Ω] に加えられたとき、電流 I [A] が流れる。 I が t 秒間流れたときのエネルギー（ジュール熱） W [J] は

$$W \text{ [J]} = V \text{ [V]} \times I \text{ [A]} \times t \text{ [s]} \quad (1.2)$$

となる。電流 I [A] は1秒当りの電荷 Q [C] の移動量として定義されているから

$$Q \text{ [C]} = I \text{ [A]} \times t \text{ [s]} \quad (1.3)$$

$$W \text{ [J]} = V \text{ [V]} \times Q \text{ [C]} \quad (1.4)$$

である。式 (1.2) または式 (1.4) で表されるエネルギーを**電力エネルギー（電力量）**という。

1秒当りの電力量は

$$P \text{ [W]} = V \text{ [V]} \times I \text{ [A]} \quad (1.5)$$

で定義され、**電力**という。

式 (1.5) を式 (1.2) に代入すると、電力量の単位 J（ジュール）は $W \cdot s$ （ワット・秒）と等しいことがわかる。どちらも単位として使用されている。

1.1.5 抵抗における電力消費

図 1.5 のように抵抗 R が電源に接続されているとき、抵抗 R での電力消費 P は、式 (1.5) にオームの法則の式 (1.1) を代入して

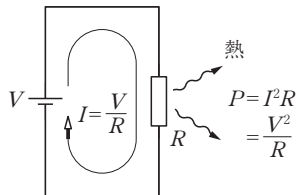


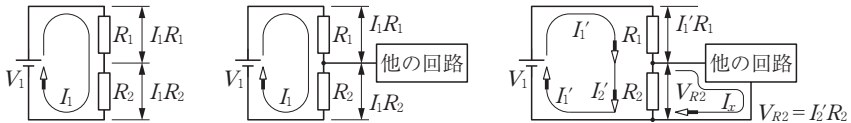
図 1.5 抵抗によるエネルギー消費

$$P [W] = I^2 [A^2] \times R [\Omega] = \frac{V^2 [V^2]}{R [\Omega]} \quad (1.6)$$

となる。この抵抗 R での電力消費はそのまま熱となる。

1.1.6 他の回路との接続

図 1.6 (a) は抵抗の直列回路である。回路には電流 I_1 が流れるが、キルヒホッフの電流則で表されるとおり、抵抗 R_1 にも R_2 にも同じ I_1 が流れる。このとき、抵抗 R_1 、 R_2 の電圧は $I_1 \times R_1$ 、 $I_1 \times R_2$ である。抵抗に電流が流れると必ず電圧は降下する。あるいは、抵抗の両端に電圧があるから抵抗に電流が流れると考えてもよい。オームの法則である。



(a) 直列回路

(b) 1本のラインで接続

(c) 2本のラインで接続

図 1.6 直列回路と他の回路の接続

この回路に他の回路をつないだ状態を考えてみよう。まず、1本のライン(電線)で他の回路と接続した図 1.6 (b) ではどうなるであろうか。

残念ながら、分岐が1本だけでは電流は流れない。一周できるコースがなければ、電流はサーキットを走り回れない。すなわち、この分岐から他の回路へは電流が流れない。したがって、図 1.6 (b) の I_1 は図 (a) の I_1 と同じである。

では、図 1.6 (c) ではどうなるであろうか。 R_1 を流れた電流は R_2 にも他の回路にも流れる。このとき V_1 から流れる電流 I_1' は、図 1.6 (b) の I_1 ではない。

この場合、 R_1 の両端の電圧 V_{R1} を計測すると

$$V_{R1} = I_1' R_1 [V] \quad (1.7)$$

である。 I_1' は R_2 に流れる電流 I_2' と他の回路を流れる I_x に分かれる。 R_2 の両端の電圧 V_{R2} は

$$V_{R2} = I_2' R_2 = V_1 - V_{R1} \quad [\text{V}] \quad (1.8)$$

であり、他の回路に流れる I_x は

$$I_x = I_1' - I_2' \quad [\text{A}] \quad (1.9)$$

と求められる。

1.2 グラウンド

水道の蛇口から水を流し出すための水圧は、蛇口の水位を基準として給水タンク水面の水位が、蛇口から相対的にどれだけ高いかという両者の水位の差で決まる。これが蛇口に向かって水を流すための水圧である。標高 3 000 m の高い位置にある蛇口が、位置エネルギー 0 の絶対基準である地球の中心からどれだけ離れているか、という絶対的な水位は実用上不要である。

電圧にも同じことがいえる。水位の差を水圧と呼ぶように、電位[†]の差を電圧と呼ぶ。電位の差であるから、「ある 1 点の電圧」というのは不正確で、「ある 1 点と基準点との電位差」というのが正確な表現である。したがって電圧を測るときは、1 点だけでは測れない。必ず 2 本の測定用端子を用いなければ測れないのである (図 1.7)。

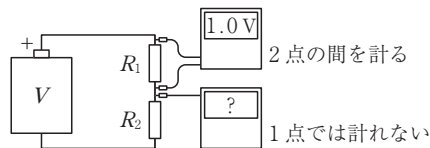


図 1.7 電圧は 2 点の間を測る

電子回路では設計者が任意の点、つまり、どこかを勝手に 0 V と定める (図 1.8)。どこを 0 V としてもよい。この 0 V のラインを**グラウンド** (ground) (あるいは**アース** (earth)) と呼び、GND または G と表記、あるいは GND 記号を用いて示す。回路を考えやすくするため、通常は、電源 (電池) のマイナス側

† 3.1.2 項の [3] で詳しく説明する。

索 引

| | | |
|-------------|------------------|----------------------------------|
| 【あ】 | | |
| アイソレーション | 129 | 過電流検出回路 |
| アナログ回路 | 126 | 可変抵抗 |
| アノード | 78 | 【き】 |
| 安全動作領域 | 122 | 機械回転角 |
| アンペア | | 機械出力 |
| ——の周回積分の法則 | 53 | 起磁力 |
| ——の右ねじの法則 | 53 | 起電力 |
| 【い】 | | 逆起電力 |
| 1次巻線 | 141 | 逆電圧 |
| インダクタンス | 27 | 逆並列ダイオード |
| インバータ | 135 | キャパシタンス |
| | | キャリヤ |
| | | 共通端子 |
| 【う】 | | 極数 |
| ウインドウコンパレータ | 117 | 極対数 |
| | | 許容コレクタ損失 |
| 【え】 | | キルヒホッフ |
| エミッタ | 85, 89 | ——の電圧則 |
| | | ——の電流則 |
| 【お】 | | 禁制帯 |
| オープンコレクタ | 116 | 【く】 |
| オペアンプ | 96, 97, 102, 114 | 空乏層 |
| オームの法則 | 2, 3, 6 | グラウンド |
| オルタネート | 22 | 7, 16, 18, 19, 98, 128, 129, 142 |
| オン抵抗 | 91 | クリップモータ |
| 【か】 | | クーロンの法則 |
| 回転トルク | 64 | クーロン力 |
| 回路 | 1 | 【け】 |
| ガウスの定理 | 50 | 軽負荷 |
| 可制御デバイス | 85 | ゲイン |
| カソード | 78 | 99, 101, 104, 105 |
| 片電源 | 97 | ゲート |
| カットイン電圧 | 79 | ゲートドライバ |
| 価電子 | 75 | ゲート漏れ電流 |
| 価電子帯 | 75 | ケミコン |
| | | 112, 144 |
| | | 原子 |
| | | 44 |
| | | 原子核 |
| | | 44 |
| | | 【こ】 |
| | | コイル |
| | | コイル辺 |
| | | 交流電圧源 |
| | | 133 |
| | | コモンモードノイズ |
| | | 150 |
| | | コモンモードフィルタ |
| | | 150 |
| | | コレクタ |
| | | 85, 89 |
| | | コレクタ損失 |
| | | 121 |
| | | コンデンサ |
| | | 109, 112 |
| | | コンパレータ |
| | | 96, 114, 116, 156, 157 |
| | | 【さ】 |
| | | サージ吸収用ダイオード |
| | | 30, 36 |
| | | 参照電圧 |
| | | 96, 97, 115, 117 |
| | | 三相交流 |
| | | 135 |
| | | 三端子レギュレータ |
| | | 140, 145, 147 |
| | | サンプリング |
| | | 154 |
| | | サンプリング間隔 |
| | | 155 |
| | | サンプルホールド |
| | | 156, 157, 158 |
| | | 【し】 |
| | | 磁界 |
| | | 50 |
| | | しきい値 |
| | | 115 |
| | | 磁気飽和現象 |
| | | 141 |
| | | 磁極 |
| | | 51, 53 |
| | | シーケンス |
| | | 151 |
| | | 自己誘導 |
| | | 28 |
| | | 磁束 |
| | | 52 |
| | | 磁束密度 |
| | | 52 |
| | | 実効値 |
| | | 13 |
| | | 始動電流 |
| | | 71 |
| | | 始動トルク |
| | | 41 |

| | | | | | |
|--------------|--------------|------------|---------------|------------|----------------------|
| 磁 場 | 50 | 速度特性 | 69 | 電 界 | 47 |
| 遮断領域 | 87 | 速度-トルク特性 | 70 | 電界効果トランジスタ | |
| ジャンクション温度 | 125 | ソース | 90 | | 85, 89 |
| 自由電子 | 46, 76 | | | 電解コンデンサ | 112, 144 |
| 重負荷 | 59 | 【た】 | | 電気回路 | 8 |
| 主磁極 | 60 | 耐 圧 | 143 | 電機子 | 60 |
| 受動素子 | 8, 105 | ダイオード | 77, 83, 143 | 電機子抵抗 | 63 |
| ジュール熱 | 5 | ダイオードブリッジ | 144 | 電機子鉄心 | 60 |
| 順電圧 | 78 | 対地ノイズ | 150 | 電機子電流 | 63 |
| 順電流 | 79 | 多数キャリア | 77 | 電機子巻線 | 60 |
| 常開端子 | 22 | 单相交流 | 135 | 電気的特性 | 119, 124 |
| 少数キャリア | 77 | 【ち】 | | 電気力線 | 50 |
| 焼 損 | 70 | チャタリング | 116 | 電 源 | 4, 97, 116, 129, 140 |
| 常閉端子 | 22 | 直流機 | 59 | 電源電圧変動率 | 142, 144, 146 |
| ショートブレーキ | 31, 40 | 直流電圧源 | 133 | 電源トランス | 142 |
| 磁力線 | 52 | 直流電圧変動率 | 139 | 電 子 | 44 |
| 真 空 | | 直流電圧脈動率 | 139 | 電子回路 | 8, 103 |
| ——の透磁率 | 52 | 直流電動機 | 44 | 電磁接触器 | 150 |
| ——の誘電率 | 47 | チョッパコントロール | 160 | 電磁誘導 | 28, 57 |
| 真性半導体 | 75 | 【つ】 | | 電磁力 | 56 |
| 振幅値 | 15 | ツェナー降伏 | 80 | 電 束 | 50 |
| 【す】 | | ツェナーダイオード | 80 | 電束密度 | 50 |
| スイッチ | 21, 22 | ツェナー電圧 | 80 | 伝導帯 | 75 |
| スイッチング周波数 | 160 | 【て】 | | 電 場 | 47 |
| スイッチングレギュレータ | | 低インピーダンス回路 | 11 | 電 流 | 1 |
| | 148 | 定格回転数 | 73 | 電流増幅率 | 86 |
| スロット | 60 | 定格出力 | 73 | 電 力 | 5 |
| 【せ】 | | 定格電圧 | 22, 33, 72 | 電力エネルギー | 5 |
| 正 孔 | 76 | 定格電流 | 22, 33, 73 | 電力量 | 5 |
| 静電気 | 45 | 定格トルク | 41, 73 | 【と】 | |
| 整流作用 | 79 | 抵 抗 | 107 | 等価回路 | 9, 11 |
| 整流子 | 60 | 抵抗値 | 113 | 導 体 | 46 |
| 整流子片 | 61 | 抵抗負荷 | 23 | 動電気 | 45 |
| 積層セラミックコンデンサ | | デジタル回路 | 126 | 突入電流 | 151 |
| | 112 | テブナン等価回路 | 10 | 突入電流抑制抵抗 | 151 |
| 絶縁体 | 46 | デューティ比 | 160, 165, 172 | トランジスタ | 96, 119 |
| 接合部温度 | 147 | テール電流 | 94 | トランス | 133, 141 |
| 絶対最大定格 | 36, 119, 124 | 電 圧 | 3, 49 | トルク | 40 |
| セラミックコンデンサ | 146 | 電圧源 | 9, 133 | トルクコントロール | 69 |
| 線間ノイズ | 150 | 電圧信号回路 | 125, 128 | トルク特性 | 70 |
| 【そ】 | | 電 位 | 49 | ドレイン | 89 |
| 増 幅 | 97 | 電位差 | 49 | 【な】 | |
| 速度コントロール | 69 | 電 荷 | 44, 53 | 内蔵電位 | 78 |
| | | | | 内蔵電界 | 78 |

| | |
|-------------|--------------------|
| 内部抵抗 | 9, 12 |
| 【に】 | |
| 2次巻線 | 141 |
| 入力インピーダンス | 100, 102, 103 |
| 【ね】 | |
| 熱抵抗 | 125, 146 |
| 【の】 | |
| ノイズ | 103, 115, 127, 149 |
| ノーマルモードノイズ | 150 |
| ノーマルモードフィルタ | 150 |
| 【は】 | |
| 配線用遮断器 | 150 |
| バイポーラトランジスタ | 85 |
| パソコン | 98, 112 |
| バーチャルショート | 100 |
| パワー回路 | 11, 119, 125, 128 |
| パワートランジスタ | 86, 119 |
| 半固定抵抗 | 107 |
| 反転層 | 90 |
| 半導体 | 46, 75 |
| バンドギャップ | 76, 82 |
| 【ひ】 | |
| 非可制御デバイス | 84 |
| ピーク繰返し逆電圧 | 143 |
| ピークサージ電流 | 143 |
| ピークピーク値 | 15 |
| ヒステリシス | 116 |
| ビット | 127 |
| ヒートシンク | 122, 125, 146 |
| 標準電圧 | 71 |

| | |
|------------|----------|
| 【ふ】 | |
| フィードバック | 104, 114 |
| フィルムコンデンサ | 112 |
| フェイルセーフ | 40 |
| フォトカプラ | 129 |
| フォワードコンバータ | 149 |
| 負荷 | 59 |
| 不純物半導体 | 77 |
| 不導体 | 46 |
| ブートストラップ | 163, 164 |
| 不飽和領域 | 87 |
| ブラシ | 61 |
| ブラックボックス | 9 |
| ブリッジ整流回路 | 136 |
| プリント基板 | 42 |
| フルスケール | 154, 155 |
| ブレーカ | 150 |
| ブレークダウン | 80 |
| ブレークダウン電圧 | 80 |
| フレミング | |
| ——の左手の法則 | 56 |
| ——の右手の法則 | 57 |
| 分解能 | 154 |
| 【へ】 | |
| 平滑コンデンサ | 139, 144 |
| 平均順電流 | 143 |
| 並列回路数 | 67 |
| ベース | 85, 89 |
| 変圧器 | 133, 141 |
| 【ほ】 | |
| 放電抵抗 | 151 |
| 飽和状態 | 121 |
| 飽和領域 | 87 |

| | |
|------------|------------|
| ボデイダイオード | 90 |
| ホール | 76 |
| 【ま】 | |
| 每極磁束 | 67 |
| 【も】 | |
| モーメンタリ | 22 |
| 【ゆ】 | |
| 誘導起電力 | 57, 64, 67 |
| 誘導負荷 | 23 |
| 【よ】 | |
| 陽子 | 44 |
| 【ら】 | |
| ラッチングリレー | 37 |
| 【り】 | |
| リセット巻線 | 149 |
| リプル電圧 | 139 |
| 量子化誤差 | 155 |
| 量子化単位 | 154 |
| 両電源 | 97 |
| リレー | 25, 38, 40 |
| 【れ】 | |
| レグ | 160 |
| 【ろ】 | |
| ロジック回路 | 130 |
| 【わ】 | |
| ワイヤードOR | 117 |

【A】

| | |
|-----------|---------------|
| a 接点 | 22 |
| ACラインフィルタ | 150 |
| A-Dコンバータ | 154, 156, 170 |
| AWG | 41 |

【B】

| | |
|-------------|----|
| b 接点 | 22 |
| bottom view | 33 |

【C】

| | |
|------|----|
| c 接点 | 22 |
|------|----|

【D】

| | |
|------------|---|
| D-Aコンバータ | 156, 158 |
| DC-DCコンバータ | 136 |
| DCモータ | 25, 38, 40, 44, 59, 63, 65, 67, 69, 96, 119, 153, 159 |

| | | | | | | |
|--------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|-------------------------|
| | 【F】 | | 【M】 | pn 接合 | 77 | |
| FET | | 85 | MC | 150 | pnp トランジスタ | 88 |
| | 【G】 | | MCCB | 150 | PWM | 153, 159, 162, 167, 173 |
| GND | | 7, 16, 97, 98, 142 | MOSFET | 89, 123, 129, 162 | PWM コントロール | 160 |
| | 【H】 | | 【N】 | | 【R】 | |
| H ブリッジ | | 160, 161, 162 | n 形半導体 | 77 | RS-540SH | 71 |
| | 【I】 | | n チャネル | 90 | 【S】 | |
| IGBT | | 92 | n ベース層 | 93 | sq | 41 |
| | 【L】 | | npn トランジスタ | 85 | 【T】 | |
| LED | | 81 | 【P】 | | top view | 33 |
| | | | p 形半導体 | 77 | | |
| | | | PIC | 153, 165, 167, 169 | | |

— 著者略歴 —

別府 俊幸 (べっぷ としゆき)

1983年 東京理科大学工学部電気工学科卒業
1985年 東京電機大学大学院理工学研究科修士課程修了(システム工学専攻)
1985年 東京女子医科大学日本心臓血圧研究所助手
1995年 博士(医学)(東京女子医科大学)
1998年 博士(工学)(東京電機大学)
1998年 松江工業高等専門学校助教授
2003年 松江工業高等専門学校教授
現在に至る

渡邊 修治 (わたなべ しゅうじ)

1995年 山口大学工学部電気電子工学科卒業
1997年 山口大学大学院理工学研究科博士前期課程修了(電気電子工学専攻)
2003年 山口大学大学院理工学研究科博士後期課程修了(システム工学専攻)
博士(工学)(山口大学)
2009年 松江工業高等専門学校准教授
現在に至る

濱口 哲也 (はまぐち てつや)

1984年 東京大学工学部産業機械工学科卒業
1986年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了(産業機械工学専攻)
1998年 博士(工学)(東京大学)
2002年 東京大学助教授
2007年 東京大学特任教授
現在に至る

メカトロニクス電子回路

Electronic Circuits for Mechatronics Controllers

©Beppu, Watanabe, Hamaguchi 2014

2014年4月28日 初版第1刷発行



検印省略

著者 別府 俊幸
渡邊 修治
濱口 哲也
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 新日本印刷株式会社

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 978-4-339-00862-3 (横尾) (製本:愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします