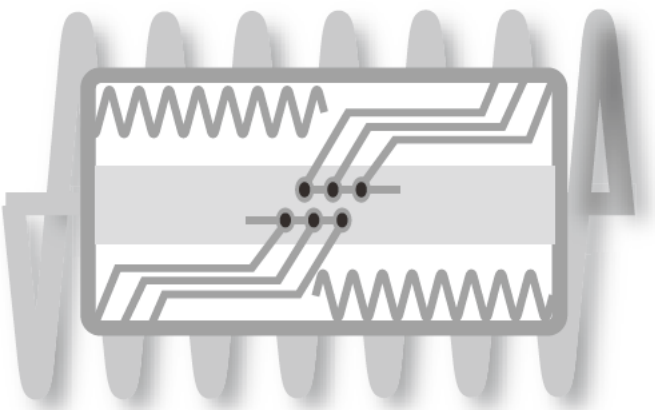
ディジタル技術者のためのアナログ基礎講座

NO1
アナログ回路入門

執筆 / 福岡大学　工学部　電気工学科　准教授　小浜　輝彦



コガク

目　次

第 1 分冊　学習のねらい 1

第 1 週　電気回路の基礎 3
1.1　アナログ回路とは？ 4
1.1.1　アナログとディジタルの違い 4
1.1.2　アナログ回路って何がアナログ？ 5
1.1.3　ディジタル回路とは？ 6
1.1.4　お互いの特徴を生かして共存する 8
1.2　オームの法則 9
1.2.1　もっとも単純でありながら重要な法則 9
1.2.2　直列合成抵抗 10
1.2.3　並列合成抵抗 11
1.3　キルヒホッフの法則 12
1.3.1　キルヒホッフの電圧則 12
1.3.2　キルヒホッフの電流則 13
1.3.3　電圧と電流を求めてみよう 13
1.4　電源と直流，交流 15
1.4.1　電圧源 15
1.4.2　電流源 16
1.4.3　直流と交流 16
1.4.4　交流の周期と位相 17
1.5　回路部品の性質（R，C，L） 19
1.5.1　抵抗（R） 19
1.5.2　コンデンサ（C） 20
1.5.3　インダクタ（コイル）（L） 22
『まとめと練習問題』 24

第 2 週　視野を拡げよう 27
2.1　実効値 28
2.1.1　平均電力で比べる 28
2.2　交流とインピーダンス 31
2.2.1　三角関数ってめんどくさい 31

2.2.2　波をベクトルで表すー違いだけに着目するー 33
2.2.3　複素ベクトルとインピーダンス 34
2.2.4　交流理論（複素ベクトルを使って電流，電圧を求める） 38
2.2.5　周波数で考える 40
2.2.6　時間領域と周波数領域 42
2.3　知っていると便利な法則や考え方 43
2.3.1　インピーダンスの合成 43
2.3.2　分圧，分流の求め方 44
2.3.3　重ね合わせの定理 45
2.3.4　テブナンの定理 48
『まとめと練習問題』 51

第 3 週　半導体の魅力 53
3.1　半導体の基礎（P 形，N 形） 54
3.1.1　シリコン結晶 54
3.1.2　N 形半導体 55
3.1.3　P 形半導体 56
3.2　ダイオード 57
3.3　トランジスタ 60
3.3.1　バイポーラトランジスタ 61
3.3.2　MOSFET 65
3.4　半導体はひねくれ者 69
『まとめと練習問題』 70

第 4 週　電子回路の見方，考え方 73
4.1　非線形特性の憂うつ 74
4.2　折れ線で考える 77
4.3　小信号という考え方 79
4.4　等価回路ってなんだろう？ 81
4.4.1　近似による等価回路 81
4.4.2　条件なし等価回路 82
4.5　近似ってずるい？ 83
『まとめと練習問題』 85

STEP UP 87
参考文献 89
練習問題の解答 90
索　引 97

■ 第 1 週 ■

電気回路の基礎

～電子回路の基本は電気回路から～

【学習のポイント】

この週では，「電気回路の基礎」と題して，アナログ回路の理解に大切な基礎をお話しします。一口にアナログ回路といっても範囲が広いので，この講座では，テレビやステレオなど一般家電製品に使われる電子回路分野のアナログに焦点を当てます。まずは，アナログ回路の意味を明確にしてから学習の土台となる電気回路の基礎を学習しましょう。ここで，最も大事なのが「オームの法則」と「キルヒホッフの法則」です。そして最後に電気回路の基本部品である R，C，L の性質と主な利用目的について学びます。

1.1　アナログ回路とは？

1.1.1　アナログとディジタルの違い

私たちは，普段の生活でなにげなく「アナログ」,「ディジタル」という言葉を耳にし，そして漠然と使っています。その証拠に，「では，アナログとディジタルの違いは何ですか？」と聞かれて即座に答えられる人はどれくらいいるでしょうか。

両者の違いを簡単に表すなら，**アナログは連続であるのに対して，ディジタルは離散です。**例えば，よく言われるのが，**図 1.1** のアナログ時計とディジタル時計です。どちらも時刻を表示する装置ですが，時間という量の表示が連続的であるか離散的であるかで区別されます。アナログ時計は，図 1.1（a）のように時刻を針の角度という連続量で表すのに対して，図 1.1（b）のディジタル時計は，限られた桁の数値を使って時間を飛び飛びに表現します。ここで**連続とは，表示できる値と値の間に必ず値が無数に存在することです。**例えば，図 1.1（a）のアナログ時計では時刻 02 時 00 分と 01 分をそれぞれ針で示すことができます。さらにその間の時刻も針の角度を変えることで無数に細かく表すことができます。これに対して，**離散とは，表現できる値が限定されていてそれ以外の値は存在しないもしくは意味の無いものと捉えることです。**

例えば，図 1.1（b）のディジタル時計で，02 時 00 分や 02 時 01 分は表現できますが，その間の 02 時 00 分 10 秒や 11 秒を表すことはできません。この場合，02 時 00 分 00 秒～ 59 秒までの間，時計の表示は「02 時 00 分」であり，02 時 01 分 00 秒になってはじめて「02 時 01 分」に切り替わります。

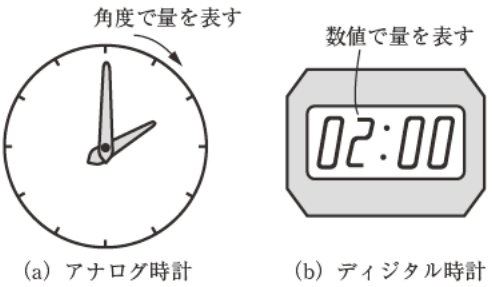


図 1.1　時計

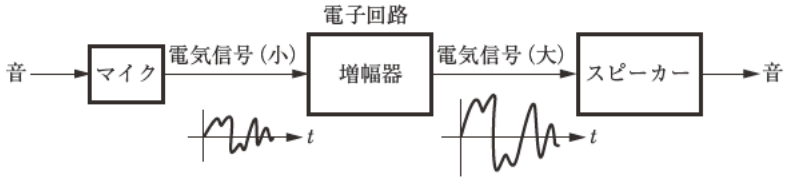
このように表現できる値が制限されていて，値が離散的に変化する量をディジタルといいます。

1.1.2　アナログ回路って何がアナログ？

さて，アナログとは連続量であることをご説明しましたが，ではアナログ「回路」は果たして何が連続なのでしょうか。お分かりでしょうか？

先に答えを申し上げると「扱う信号が連続」ということです。ここで「信号」とは，私たち人間が回路に入力したい情報です。例えば，**図 1.2** の拡声器のようにマイクで拾った音を大きくしたいとします。この際，音という情報がマイクによって電気信号に変換され電子回路に入力されます。入力された電気信号は，増幅器によって大きな電気信号に変換され，これがスピーカーで音になります。この例では，本来，音声が信号ですが，装置の中では電圧に姿を変えます。もともと音は，空気圧の連続的な変化ですから当然マイクで変換された電圧信号も連続となります。**アナログ回路とは，この連続信号をありのまま受け入れて処理する回路**と言ったらよいでしょう。言い換えると，**電圧「波形」に情報を持たせて処理する回路をアナログ回路といいます。**もし，波形が違えば情報も違うことになります。

(a) 拡声器



(b) 拡声器の内部構成

図 1.2　拡声器

アナログ回路の弱点は，**ノイズに弱い**点です。例えば，**図 1.3** のようにアナログ信号を伝送路を経由して送る場合，途中でノイズが混じると波形が変化しますが，残念ながら受信信号を見ただけではノイズと元の信号を区別できません。というのも，アナログ信号の値の取り方は，無限にあるので，そのすべての可能性を信号と考えなければならないからです。したがって，混じったノイズを除去できないのです。一方，アナログ回路の良さは，**リアルタイムで多くの情報を処理できる**点です。無限の表現が可能ということならば，より多くの情報を波形を使って瞬時に伝えることができます。

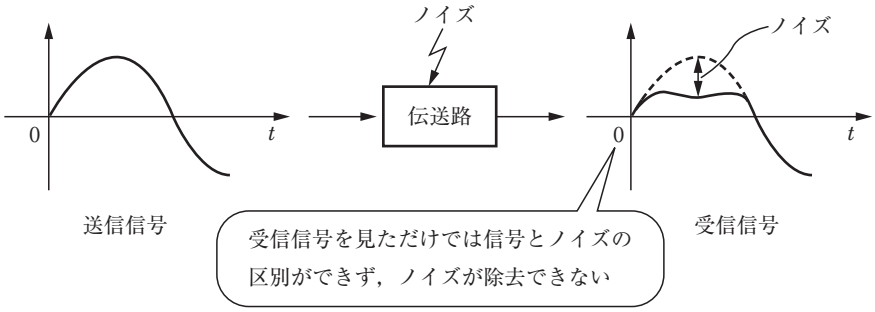


図 1.3　アナログ信号のノイズ

1.1.3　ディジタル回路とは？

では，アナログ回路と比べてディジタル回路は何が違うのでしょうか。ディジタルが離散量であったことを考えると，**ディジタル回路は飛び飛びに変化する離散信号を入力し処理する回路**といえます。例えば，パソコンは典型的なディジタル回路ですが，内部では，信号が**図 1.4** のようにパルス状になっています。このとき大事なのはパルスの形状ではなく，あるタイミングで値を調べたときの高低差がはっきりしているかどうかです。**図 1.5**（a），（b）をご覧下さい。この二つの電圧波形は，波形が違うのでアナログ回路の世界では別信号となりますが，ディジタルの世界では同じです。なぜなら，ディジタル回路では図の矢印のように飛び飛びのタイミングで電圧レベルを読み取り，ある基準電圧と比較して高いか低いかの 2 値判定をするからで

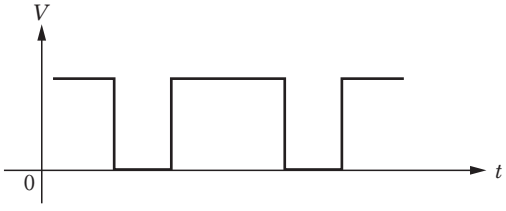


図 1.4　ディジタル信号

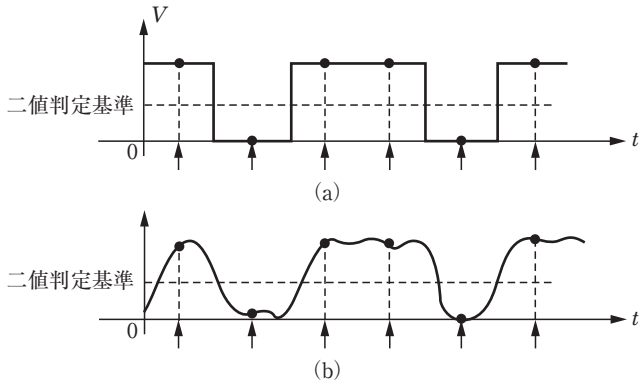


図 1.5　ディジタル信号

す。この結果が同じならディジタル信号として同じといいます。よって，**図 1.6**（a）のディジタル信号が伝送途中のノイズ侵入によって図 1.6（b）のように波形が歪んでも，2 値判定さえ正しくできれば，波形を整形し直して図 1.6（c）のように送信信号を再生することができます。この結果，ノイズを除去することができるので，ノイズの蓄積がなく，それゆえ**ノイズに強い**と言われます。例えば，ディジタル放送テレビは画像信号をディジタル処理するのでノイズの影響を抑えることができ，鮮明な画像を映すことができます。

一方，ディジタル回路の弱点は，アナログ回路と比べて**処理に時間がかかる**ことです。音声のように私たち人間が扱う信号にはアナログが多いのですが，これをディジタル回路で処理するには信号をアナログからディジタルに変換する処理が必要です。この

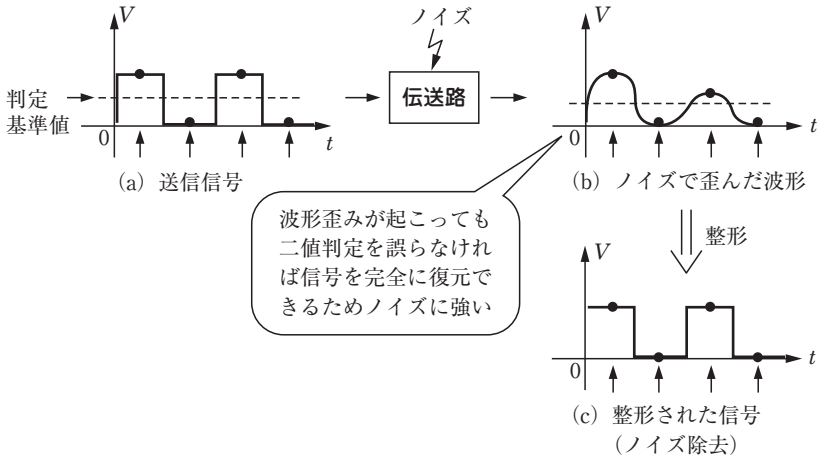


図 1.6　ディジタル信号のノイズ