デジタルエンジニア入門講座

デジタル回路の基礎

NO.1 デジタル回路の基礎（1）

執筆/東京理科大学工学部電気工学科　教授　生駒　英明

コガク

目 次

第3週
集積化デジタル回路の基礎（1）

第4週
集積化デジタル回路の基礎（2）

第1週 デジタル回路の基本的な事柄および論理（ブール）代数

第1週のポイント

デジタル回路の基本概念，記数法や符号系などの基本的な事柄や最も基本的な論理回路NOT, NAND, NORなどについて，さらには基礎となる各種論理演算のルールである論理（ブール）代数について学びます。

1.1　デジタル回路の基本的な事柄と論理（ブール）代数

1.1.1　デジタル回路とは？　その特徴および必要性

電子回路にはアナログ回路とデジタル回路の2種類があります。あるいは情報（信号）の処理の方式にアナログ方式とデジタル方式があるといっても良いでしょう。すなわちアナログとデジタルの違いは情報を処理する方式にあります。一般に，アナログ方式では全ての情報（または信号）を連続的な値のままいろいろな処理（例えば，増幅，変調など）を行います。これに対してデジタルでは情報（信号）をいくつかの飛び飛びの値（離散値）に直して処理（加算，乗算など）を行います。このとき何個の離散的な信号を用いてもよいのですが，現在ほとんどの場合用いられているデジタル系は2つの信号，すなわち，“0”信号と“1”信号を用いています。これを2値論理と呼びます（この際，“論理回路”と“デジタル回路”はほぼ同じ意味と考えてかまいません）。このほかにもっと多くの離散的な信号を用いる多値論理（例えば“－1”，“0”，“1”信号を用いる3値論理など）も検討されていますが，まだほとんど実用にはなっていません（上の例でいえば，アナログ方式における増幅はデジタル方式では加算に対応すると考えればよいでしょう）。

2値論理において2つの信号を区別するには，異なった2つの回路の状態があればよいのです。例えばある端子に電圧が加わっているか，いないかで“0”と“1“を区別することができ，電圧の大きさは何ボルトであっても原理的にはかまいません。このほか例えばコンデンサ（キャパシタ）に電荷が蓄積されているか，いないかによっても2つの信号を区別できます。この場合にも電荷の大きさは別に何クーロンであってもかまいません（実例はあとで解説します）。

2値論理では2つしか信号の種類がないので，通常，私たちが行っている10進法の四則演算は全て数値を2進法の数値に直して行う必要があります。コンピュータも全て2進法を用いて計算を行います。

このようにデジタル方式またはデジタル回路を用いた情報処理は，一般的にアナログ方式よりも簡単です。さらにあとで詳しく述べるように非常に複雑なデジタル・シス

テムも，全て極めて簡単な少数種類（2～3種類）の基本デジタル回路を用いて組み立てることができるというのもデジタル方式の大きな特徴です。したがってこのような基本デジタル回路の構成・動作などを充分に理解しておけば，あとは論理演算のルール（論理またはブール代数）などに基づいて論理設計を行い，システムを組むことができます（ただし，アナログを用いたほうが簡単または便利な回路機能もあり，アナログ回路もきわめて重要であることはいうまでもありません）。

以上のような理由により，最近ではいろいろな分野でデジタル化が進行しています。少し昔では，一般的にコンピュータ，OA 機器などに代表される産業分野ではデジタルが主流，TV，ビデオ，オーディオなどの民生分野はアナログが主流でしたが，近年，これらの家電用機器のデジタル化が進み，デジタル技術の重要性はますます増大しています。

1.1.2　記数法および 2 進数

（1）　2 進法による数の表現法

私たちが通常用いる四則演算は 10 進法に基づいています。10 進法では，例えば 145 という数字は，

$$145_{10} = 1 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 5 \times 10^0$$

ということを意味しています。ここで左辺の 145_{10} の添字 10 は 10 進法による表現を意味しており，このときの 10 を基数といいます。10 進法では 0 から 9 までの数字が用いられます。

これに対してデジタル回路で用いる 2 進法では 2 が基数となり，2 進法で表現された数を 2 進数（バイナリー）といいます。簡単な例をあげると，例えば 10 進法の 0，1 は 2 進法でもそれぞれ 0，1 で表します。また 2 は 10，4 は 2^2 であるから 100（$= 10^2$）で表されます。同様に 8（$= 2^3$）は 1000（$= 10^3$），16（$= 2^4$）は 10000（10^4）となります。また一般的な例として，例えば上の 145_{10} は 2 進法を用いると次のように表されます。

$$145_{10} = 1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 10010001_2$$

ここで最右辺の添字2は2進法による表現であることを示します。ここで最右辺が145の 2 進法による表現です。このとき，各桁は 2^7，2^6，2^5，2^4，2^3，2^2，2^1，および 2^0 の重みを持っているといいます。またこのような2進法で表現した数の桁数をビット数といいます。上の例では 8 ビットになります。**表 1.1** に 2 進数の 2^n の重みと呼び名を示します。呼び名で 1K，4K はそれぞれ 10 進数の 1024，4096 に対応します。

表1.1　2進数の重み表

2^n	10進数	2^n	10進数	呼び名
2^0	1	2^{11}	2048	2K
2^1	2	2^{12}	4096	4K
2^2	4	2^{13}	8192	8K
2^3	8	2^{14}	16384	16K
2^4	16	2^{15}	32768	32K
2^5	32	2^{16}	65536	64K
2^6	64	2^{17}	131072	128K
2^7	128	2^{18}	262144	256K
2^8	256	2^{19}	524288	512K
2^9	512	2^{20}	1048576	1M
2^{10}	1024			

2進法で表現した数は上の例でもわかるように桁数が大きくなります。このとき最も大きい重みを表す最上位桁をMSB（most significant bit），最も小さい重みを表す最下位桁をLSB（least significant bit）と呼ぶことがあります。

第2分冊で述べるようにマイクロコンピュータ（マイコン）またはマイクロプロセッサは一度に計算できる桁数によって，4ビット，8ビット，16ビットなどの種類があります。4ビットのマイコンで8桁の計算をするときは上位桁の4ビットの計算をまず行い，その後，下位の4ビットの計算を行います。

デジタル回路では一般に2進法で計算を行いますが，2進法では桁数が大きくなって計算が面倒になるので，ときには8進法および16進法を用いることがあります。これらを用いると上の145_{10}は次のように表されます。

$$145_{10} = 2 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 1 \times 8^0 = 221_8$$

および，

$$145_{10} = 9 \times 16^1 + 1 \times 16^0 = 91_{16}$$

となります。これらの数はそれぞれ8進数（オクタル数）および16進数（ヘキサ・デシマル数）と呼ばれます。

（2）　正負符号の表現法

10進法では正負を表すのに，数値の前に＋または－をつけて表せば良いのですが，2進法では0と1しか用いられないのでこれができません。そこで次の2つの方法で正負を表します。

①　2進数の最上位ビットの上にさらに1ビット設け，これが0なら正数，1ならば負

数を表すとします。例えば上の145_{10}の例でいうと，＋ 145_{10} は 010010001，－ 145_{10} は 110010001 となります。このような表現法を符号付2進法といいます。

②　負数をそれに対応する正数の２ の補数で表します。ただしこのとき正数は上の①のように最上位ビットの上に0を付けて表します。この考え方は以下のように考えると分りやすいでしょう。まず 10 進法で，例えば 5 桁の自動車の距離計を 0.0003 から逆回転させたとすると，その目盛は，0.0003, 0.0002, 0.0001, 0.0000, 9.9999, 9.9998，9.9997，9.9996 と変化します。これで 9.9999 を－1, 9.9998 を－2, 9.9997 を－3, 9.9996 を－ 4 という具合に対応させればよいのです。

2 進法では 2 が 00010（最上位桁（MSB）の 0 は正数を表す）, 1 は 00001, 0 は 00000 ですから，上の 10 進法の場合と対応させると，－ 1 は 11111，－ 2 はそれから 2 進法で 1 を引いて，11110，－ 3 はさらに 1 を引いて，11101，－ 4 は 11100，さらに－ 5 は 11011 という具合になります。**表 1.2** に符号付2進法の場合および正負を2の補数で表す場合の 10 進法での各数の 2 進法による表現を示しました。この表から，2 の補数で表す場合でも最上位桁（MSB）が 0 なら正数，1 なら負数であることが分ります。

表1.2　正負の表現法（2種類）

10進数	符号付2進法	2の補数による表現
11	0 1011	0 1011
10	0 1010	0 1010
9	0 1001	0 1001
8	0 1000	0 1000
7	0 0111	0 0111
6	0 0110	0 0110
5	0 0101	0 0101
4	0 0100	0 0100
3	0 0011	0 0011
2	0 0010	0 0010
1	0 0001	0 0001
0	0 0000	0 0000
−1	1 0001	1 1111
−2	1 0010	1 1110
−3	1 0011	1 1101
−4	1 0100	1 1100
−5	1 0101	1 1011
−6	1 0110	1 1010
−7	1 0111	1 1001
−8	1 1000	1 1000
−9	1 1001	1 0111
−10	1 1010	1 0110
−11	1 1011	1 0101

次に任意の正数に対応する負数の２ の補数による表現を求めるのは次のようにすればよいことになります。

(a) まずその正数を 2 進数で表し，

(b) 次にこの 2 進数の各桁の 1 を 0 に，0 を 1 に反転させ，

(c) 最後に最下位桁（LSB）に 1 を加えます。

上の例で上げた＋ 145_{10} は 010010001_2 であるので（最上位の 0 は正の符号），－ 145 はつぎのようになります。