

8. 論理回路

1610581 堀田 大地

2018/5/17

1 目的

トランジスタ,IC 等の半導体素子の発展と共に機械システムへのエレクトロニクスの導入が進み,今やエレクトロニクスと関わりのない機械システムは考えられなくなった.特にコンピュータを始め,その周辺機器,各種情報機器,NC 工作機械,家電製品等にはデジタル回路が多用されている.そこで,実際に広く利用されているデジタル用 IC を用いて,デジタル回路,特に論理回路の基礎的事項について実験し,デジタル IC の使い方,動作,設計法について理解する.

2 方法

3 実験項目

3.1 ゲート回路

6 種類のゲート回路についての素子名称,動作表,回路の読み方,真理値表,論理式を表 4.1 に示した.

3.2 2 入力 EX-OR ゲート

3.2.1 EX-OR の機能

回路図を図 1,動作表,真理値表を表 1,2,論理式を(1)に示した.

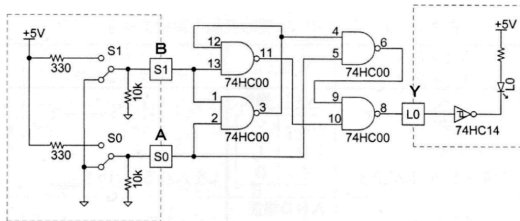


図1 NAND 素子 4 個を用いた EX-OR 機能の論理式

$$Y = A \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B = A \oplus B \quad (1)$$

3.2.2 考察

実験では, S_0 と S_1 のうち 1 方がオンの状態でのみ,LED が光っていたことので,動作を確認でき

表 1 EX-OR の回路の動作表. 入力 of H はスイッチ ON, 出力 of H は LED の点灯を表す

	入力		出力
接続端子	S_0	S_1	L_0
端子名	A	B	Y
電圧	L	L	L
	L	H	H
	H	L	H
	H	H	L

表 2 EX-OR 機能の真理値表

	入力		出力
端子名	A	B	Y
真理値	0	0	0
	0	1	1
	1	0	1
	1	1	0

た. また,LED の光り方により,回路の機能は理解できた.

3.2.3 課題

実験で用いた回路を正論理/負論理の NAND 素子を使って書き換えた回路を図に示した. この課題では,図の回路の出力 Y が EX-OR 機能であることを示した. C, \bar{D}, \bar{E} での論理式を次式 (2)-(5) に示した.

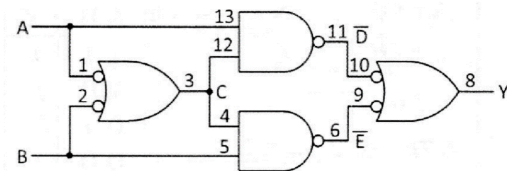


図 2 正論理/負論理の NAND 素子を使って作った EX-OR 回路

$$C = \bar{A} + \bar{B} \quad (2)$$

$$\bar{D} = A \cdot C = A \cdot (\bar{A} + \bar{B}) = A \cdot \bar{B} \quad (3)$$

$$\overline{E} = B \cdot C = B \cdot (\overline{A} + \overline{B}) = \overline{A} \cdot B \quad (4)$$

$$Y = \overline{D} + \overline{E} = A \cdot \overline{B} + \overline{A} \cdot B = A \oplus B \quad (5)$$

よって, (5) より, 図が EX-OR 機能であることが示された.

3.3 デコーダとエンコーダ

3.3.1 デコーダの機能

デコーダ回路は, 2 桁の 2 進数スイッチを使って入力し, 10 進数の 0 から 3 を表す LED に "1(H)" を出力する. すなわち対応する LED が点灯する回路である. 回路図を図 3, デコーダの動作表, 真理値表を表 3, 4 に示した.

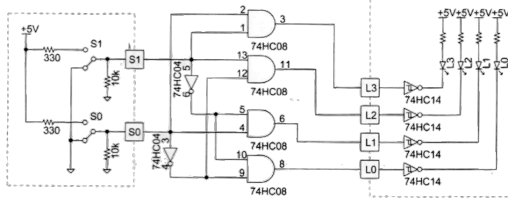


図 3 2 入力 4 出力デコーダの回路図

表 3 デコーダの動作表. 入力の H はスイッチ ON, 出力の H は LED の点灯を表す.

端子名	入力		出力			
	S_1	S_0	L_0	L_1	L_2	L_3
電圧	L	L	H	L	L	L
	L	H	L	H	L	L
	H	L	L	L	H	L
	H	H	L	L	L	H

表 4 デコーダの真理値表. 入力の上位ビット, 下位ビットを S_1, S_0 , 出力を $L_x (x=0-3)$ が表す.

端子名	入力		出力			
	S_1	S_0	L_0	L_1	L_2	L_3
電圧	0	0	1	0	0	0
	0	1	0	1	0	0
	1	0	0	0	1	0
	1	1	0	0	0	1

3.3.2 考察

改めてこの回路の入力と出力の関係が「解説」であることを考察する. S_0, S_1 の 2 入力 4 通りの組み合わせから, 4 つの出力が生まれる構造があり, 出力結果を見るだけで, 入力の信号がわかる. つまり, このことから, 入力と出力の関係が「解説」であると言える.

3.3.3 課題

エンコーダは 10 進数を 2 進数に変換する回路である. この課題では, 10 進数から 0 から 3 をそれぞれに対応する 4 つのスイッチ (S_0, S_1, S_2, S_3) を使って入力し, 2 つの LED (L_0, L_1) を使って 2 ビットの 2 進数を出力するエンコーダ回路を設計し作成した. まず, エンコーダの真理値表を表 5 に, 論理式を (6), (7) に, 回路図を図 4 に示した.

表 5 エンコーダの真理値表

端子名	入力				出力	
	S_0	S_1	S_2	S_3	L_1	L_0
真理値	1	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	1
	0	0	1	0	1	0
	0	0	0	1	1	1

$$L_0 = S_1 + S_3 \quad (6)$$

$$L_1 = S_2 + S_3 \quad (7)$$

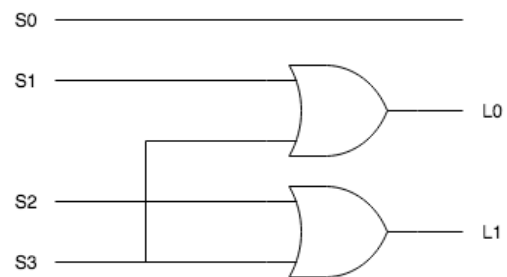


図 4 4 入力 2 出力エンコーダの回路図

3.4 加算回路

3.4.1 加算回路の機能

ハーフ・アダーは, 2 進数の足し算, つまり 2 つの入力 A と B を加算し, その和 S(Sum) と桁上げ

表 6 ハーフ・アダーの真理値表

	入力		出力	
			和	桁上げ
端子名	A	B	S	C
真理値	0	0	0	0
	0	1	1	0
	1	0	1	0
	1	1	0	1

C(Carry) を出力する。ハーフ・アダーの真理値表, 動作表を表 6,7 に, 回路図を図 5 に, 動作確認表を表 7 に, 論理式を (8),(9) に示した。

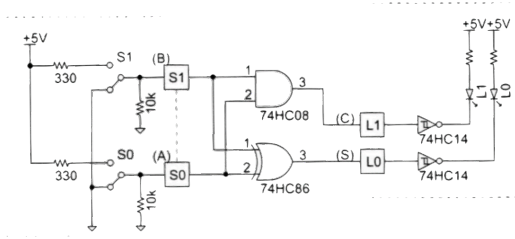


図 5 ハーフ・アダーの回路図

表 7 ハーフ・アダーの動作表

	入力		出力	
			和	桁上げ
接続端子	S_0	S_1	L_0	L_1
端子名	A	B	S	C
電圧	L	L	L	L
	L	H	H	L
	H	L	H	L
	H	H	L	H

$$S = A \oplus B \quad (8)$$

$$C = A \cdot B \quad (9)$$

3.4.2 考察

和 S が EX-OR, 桁上げ C が AND となっており, $A = B = 1$ の時に, $S = 0, C = 1$ となり, 桁上げが行えた。

3.4.3 課題

コンピュータの内部では, 複数桁同士の 2 進数の加算が行われている。この課題では, そのような計算を実現させるために, 2 桁の 2 進数の A_0, A_1 と B_0, B_1 との加算を行う回路を作成した。

- 機能説明 2 桁 2 進数の計算が行える。そのために, 1 桁目の加算を行い, 次に 2 桁目の加算を実現させるために, 1 桁目はハーフ・アダー, 2 桁目は下位からの桁上げを考慮して入力できる全加算器を使った。
- フル・アダーの回路設計フル・アダーの真理値表を表 8 に, 論理式を (10),(11) に, 回路図を図 6 に示した。

表 8 フル・アダーの真理値表

	入力			出力	
				和	桁上げ
端子名	A	B	C_{in}	S	C_{out}
電圧	0	0	0	0	0
	0	1	0	1	0
	1	0	0	1	0
	1	1	0	0	1
	0	0	1	1	0
	0	1	1	0	1
	1	0	1	0	1
	1	1	1	1	1

$$S = \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C}_{in} + A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}_{in} + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C_{in} + A \cdot B \cdot C_{in} \\ = (A \oplus B) \oplus C_{in} \quad (10)$$

$$C_{out} = A \cdot B \cdot \bar{C}_{in} + \bar{A} \cdot B \cdot C_{in} + A \cdot \bar{B} \cdot C_{in} + A \cdot B \cdot C_{in} \\ = A \cdot B + (A \oplus B) \cdot C_{in} \quad (11)$$

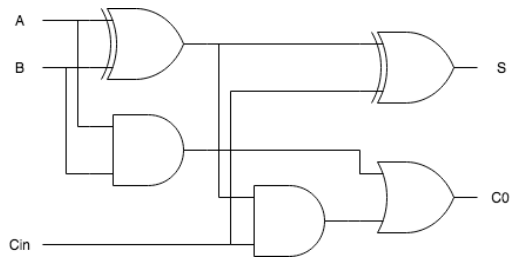


図6 フル・アダーの回路図

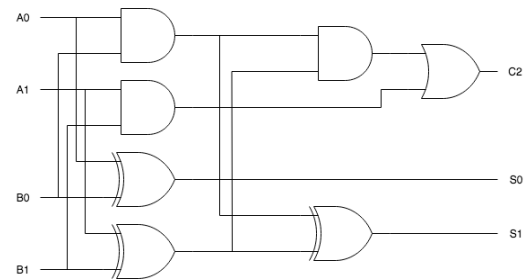


図7 2桁の2進数の加算回路図

3. 2桁の2進数の加算回路の設計真理値表を表9に, 論理式を(12)-(14)に, 回路図を図7に示した.

表9 2桁の2進数の加算回路の真理値表

端子名 真理値	入力				出力		
	A ₁	A ₀	B ₁	B ₀	C ₂	S ₁	S ₀
	0	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0	1
	1	0	0	0	0	1	0
	1	1	0	0	0	1	1
	0	0	0	1	0	0	1
	0	1	0	1	0	1	0
	1	0	0	1	0	1	1
	1	1	0	1	1	0	0
	0	0	1	0	0	1	0
	0	1	1	0	0	1	1
	1	0	1	0	1	0	0
	1	1	1	0	1	0	1
	0	0	1	1	0	1	1
	0	1	1	1	1	0	0
	1	0	1	1	1	0	1
	1	1	1	1	1	1	0

$$S_0 = A_0 \oplus B_0 \quad (12)$$

$$S_1 = A_0 \cdot (A_1 \oplus B_1 \oplus B_0) + \overline{A_0} \cdot (A_1 \oplus B_1) \quad (13)$$

$$C_2 = A_0 \cdot B_0(A_1 \oplus B_1) + A_1 \cdot B_1 \quad (14)$$

3.5 順序回路

順序回路とは, 組み合わせ回路の時刻 $t+1$ の時の出力 Y_{t+1} が, 時刻 t のときの出力 Y_t を含む入力条件によって決まる $Y_{t+1} = f(Y_t, A, B, C...)$ で表すことのできる回路である.

3.5.1 D ラッチ回路

1. 基本動作
2. 考察

3.5.2 フリップフロップ回路

1. J-K フリップフロップ回路 (74HC112)
 - (a) 基本動作
 - (b) 実験
 - (c) 考察
2. D フリップフロップ回路 (74HC74) を用いた 1/2 分周器
 - (a) 基本動作
 - (b) 実験
 - (c) 考察

3.6 カウンタ回路

3.6.1 非同期 16 進カウンタ回路

1. 基本動作
2. 実験
3. 考察

4 感想

参考文献

- [1] CT-311S 実習セット (デジタル編) 学習の手引き, サンハヤト株式会社
- [2] 最新 74 シリーズ IC 規格票, CQ 出版社

- [3] 猪飼國夫, 本多中二共著, 定本 デジタルシステムの設計, CQ 出版社