

デジタル論理回路実験

I. 目的

ある論理操作が論理真理値表によって与えられた場合、論理式を導き、それを簡単化、変形し、用意された論理回路の組み合わせによって、その論理操作を実現するための手続きを、実験を通じて習得する。

II. 組み合わせ論理回路

出力が外からの入力関数として与えられ、入力が時間に関して定常であれば、出力も時間に無関係となるような論理回路を**組み合わせ論理回路**と言う。すなわち、論理式で表現すれば、入力 X_i ($i=1,2,\dots,n$) に対して出力 Y は

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

となる。

これに対し、論理回路の中には、入力が一定でも、出力が時間とともに変化するようなものがある。このような回路は、フィードバックを内部に持つようなものがあって、出力は外部入力関数であると同時に、内部状態すなわちフィードバック入力の関数でもある。このような回路を順序回路という。

II-1 基本論理

(a) 論理積(AND)



$$X = A \cdot B$$

A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	1	1
1	0	0

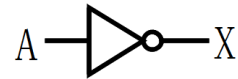
(b) 論理和(OR)



$$X = A + B$$

A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	1	1
1	0	1

(c) 否定(NOT)



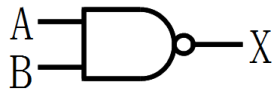
$$X = \overline{A}$$

A	X
0	1
1	0

ここでは、論理積、論理和、否定を基本としたが、実際には、論理積は論理和と否定で、論理和は論理積と否定であらわすことができる。従って、AND と NOT を組み合わせた NAND、または OR と NOT を組み合わせた NOR のいずれか一方だけの組み合わせですべての組み合わせ論理を表すことができる。

TTL IC は構造上 NAND または NOR が作り易いので、多くの論理回路は NAND または NOR で構成される。

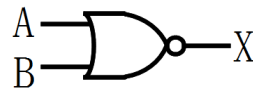
(d) NAND



$$X = \overline{A \cdot B}$$

A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	1	0
1	0	1

(e) NOR



$$X = \overline{A + B}$$

A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	1	0
1	0	0

Ⅱ-2 論理式の変形

(a) 1 変数に関する公式

- ① $A + A = A$
- ② $A \cdot A = A$
- ③ $A + \overline{A} = 1$
- ④ $A \cdot \overline{A} = 0$
- ⑤ $\overline{(\overline{A})} = A$
- ⑥ $A + 0 = A$
- ⑦ $A + 1 = 1$
- ⑧ $A \cdot 0 = 0$
- ⑨ $A \cdot 1 = A$

(b) 2 個以上の変数に関する公式

- ⑩ $A + B = B + A$ (交換の法則)
- ⑪ $A \cdot B = B \cdot A$ (")
- ⑫ $(A + B) + C = A + (B + C)$ (結合の法則)
- ⑬ $(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$ (")
- ⑭ $(A + B) \cdot (A + C) = A + (B \cdot C)$ (分配の法則)
- ⑮ $A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$ (")
- ⑯ $A \cdot (A + B) = A$
- ⑰ $A + A \cdot B = A$
- ⑱ $A \cdot (\overline{A} + B) = A \cdot B$
- ⑲ $A + \overline{A} \cdot B = A + B$
- ⑳ $(A + B) \cdot (\overline{A} + C) = A \cdot C + \overline{A} \cdot B$
- ㉑ $(A + B) \cdot (C + D) = A \cdot C + A \cdot D + B \cdot C + B \cdot D$
- ㉒ $A \cdot B + C \cdot D = (A + C) \cdot (A + D) \cdot (B + C) \cdot (B + D)$

(c) ド・モルガンの定理

*多変数の場合

$$\overline{f(A, B, \dots, N, +, \cdot)} = f(\overline{A}, \overline{B}, \dots, \overline{N}, \cdot, +) \quad (23)$$

*2変数の場合

$$\overline{(A + B)} = \overline{A} \cdot \overline{B} \quad (24)$$

$$\overline{(A \cdot B)} = \overline{A} + \overline{B} \quad (25)$$

Ⅱ-3 標準形(canonical form)

4変数の論理真理値表を次のように与えた場合、加法標準形の論理式は(26)式、乗法標準形の論理式は(27)式となる。

A	B	C	D	f
0	0	0	0	1 (a)
0	0	0	1	1 (b)
0	0	1	1	1 (c)
0	0	1	0	0 (A)
0	1	1	0	0 (B)
0	1	1	1	1 (d)
0	1	0	1	0 (C)
0	1	0	0	0 (D)
1	1	0	0	0 (E)
1	1	0	1	1 (e)
1	1	1	1	1 (f)
1	1	1	0	0 (F)
1	0	1	0	0 (G)
1	0	1	1	0 (H)
1	0	0	1	0 (I)
1	0	0	0	0 (J)

加法標準形(disjunctive canonical form)の論理式

$$f = \overline{A} \overline{B} \overline{C} \overline{D} + \overline{A} \overline{B} \overline{C} D + \overline{A} \overline{B} C \overline{D} + \overline{A} \overline{B} C D + \overline{A} B \overline{C} \overline{D} + \overline{A} B \overline{C} D \quad (26)$$

乗法標準形(conjunctive canonical form)の論理式

$$\begin{aligned}
 f = & \underbrace{(A+B+\bar{C}+D)}_{(A)} \cdot \underbrace{(A+\bar{B}+\bar{C}+D)}_{(B)} \cdot \underbrace{(A+\bar{B}+C+\bar{D})}_{(C)} \cdot \underbrace{(A+\bar{B}+C+D)}_{(D)} \\
 & \cdot \underbrace{(\bar{A}+\bar{B}+C+D)}_{(E)} \cdot \underbrace{(\bar{A}+\bar{B}+\bar{C}+D)}_{(F)} \cdot \underbrace{(\bar{A}+B+\bar{C}+D)}_{(G)} \cdot \underbrace{(\bar{A}+B+\bar{C}+\bar{D})}_{(H)} \\
 & \cdot \underbrace{(\bar{A}+B+C+\bar{D})}_{(I)} \cdot \underbrace{(\bar{A}+B+C+D)}_{(J)}
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

Ⅱ-4 74 シリーズ IC

本実験で使用する 74 シリーズ IC 7400(Quad 2 Input NAND)と 7404(Hex Inverters) の内部構成を下図に示す。Vcc は電源のプラス、GND はマイナスに接続する。

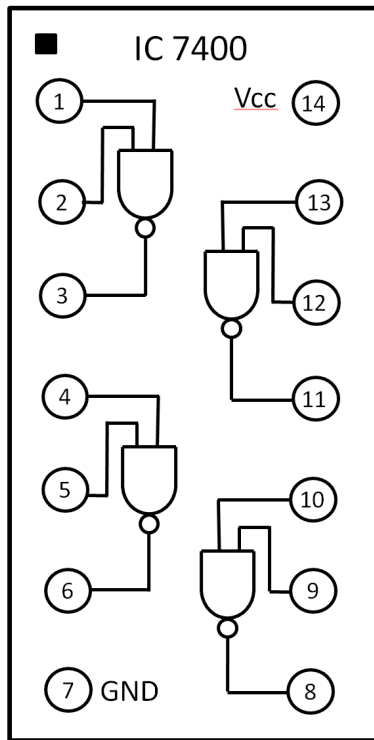


図 2-1 7400

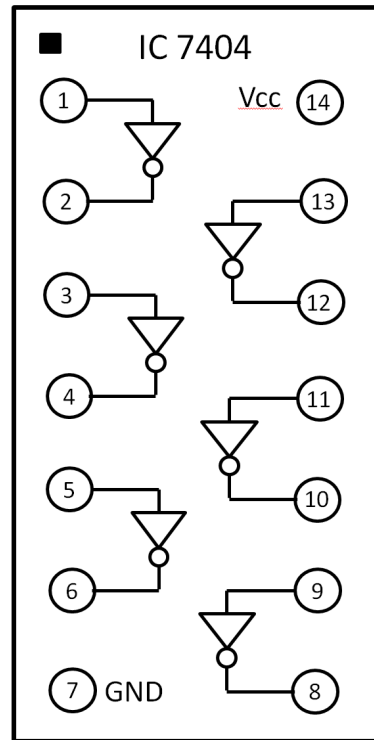


図 2-2 7404

問題演習

1. 論理回路の簡単化

問題 1-1 下記の論理式について、カルノー図を作成して、式を簡単化せよ。

$$f = \bar{A} \cdot \bar{B} + A \cdot B + A \cdot \bar{B}$$

[解答欄]

	A	0	1
B	/		
0			
1			

問題1-1 カルノー図

問題 1-2 下記の論理式について、カルノー図を作成して、式を簡単化せよ。

$$f = \bar{A} \cdot \bar{B} + A \cdot \bar{B}$$

[解答欄]

	A	0	1
B	/		
0			
1			

問題1-2 カルノー図

2. 論理式と論理回路

問題 2-1 下記の論理式を、AND, OR, NOT の論理記号を用いて、論理回路を図示せよ。

$$f = A + \bar{B}$$

[解答欄]

問題 2-2 下記の論理式を、AND, OR, NOT の論理記号を用いて、論理回路を図示せよ。

$$f = \bar{A} \cdot \bar{B} + A \cdot B + A \cdot \bar{B}$$

[解答欄]

問題 2-3 下記の論理式を、AND, OR, NOT の論理記号を用いて、論理回路を図示せよ。

$$f = \bar{A} \cdot \bar{B} + A \cdot \bar{B}$$

[解答欄]

問題 2-4 下記の論理式を、2入力NAND の論理記号を2個のみを用いて、論理回路を図示せよ。

$$f = \overline{A \cdot B \cdot C}$$

[解答欄]

問題 2-5 下記の論理式を、2入力のNAND の論理記号を3個のみを用いて、論理回路を図示せよ。

$$f = \overline{A \cdot B \cdot C}$$

[解答欄]

問題 2-6 下記の論理式を、2入力NAND の論理記号を4個のみを用いて、論理回路を図示せよ。

$$f = \overline{A \cdot B \cdot C}$$

[解答欄]

3. 論理回路図をデジタル IC を用いて配線する設計図の説明

<デジタル IC の使い方>

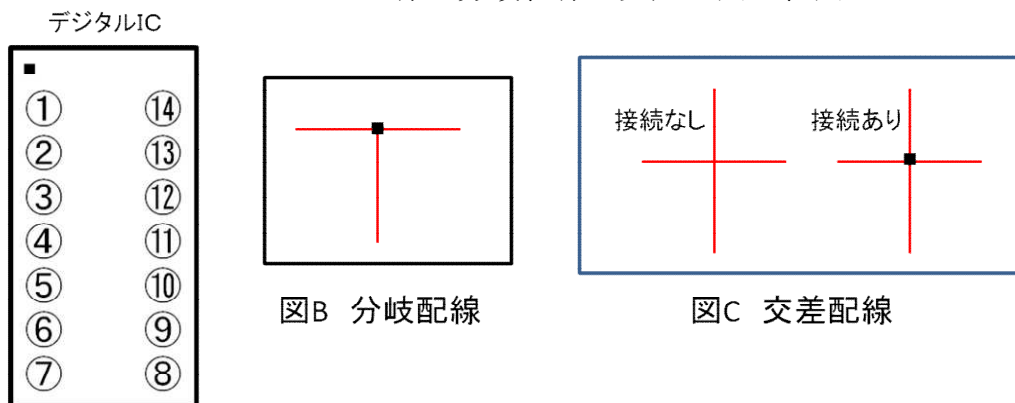
(1) デジタル IC のピン配置

デジタル IC は、ほとんどが、上面から IC をみて、反時計向きにピン番号が付けられている。これを「Top View」と呼ぶ。IC は、切り欠きや丸穴のある短辺を上側にして Top View でピン番号を数えること。(図A 参照)

IC のピンは、電源に接続する「電源ピン: Vcc」と、グランド(アース)に接続する「アースピン: GND」と信号を扱う「信号ピン」からなる。「信号ピン」は信号を受ける入力ピンと、信号を出力する出力ピンからなる。

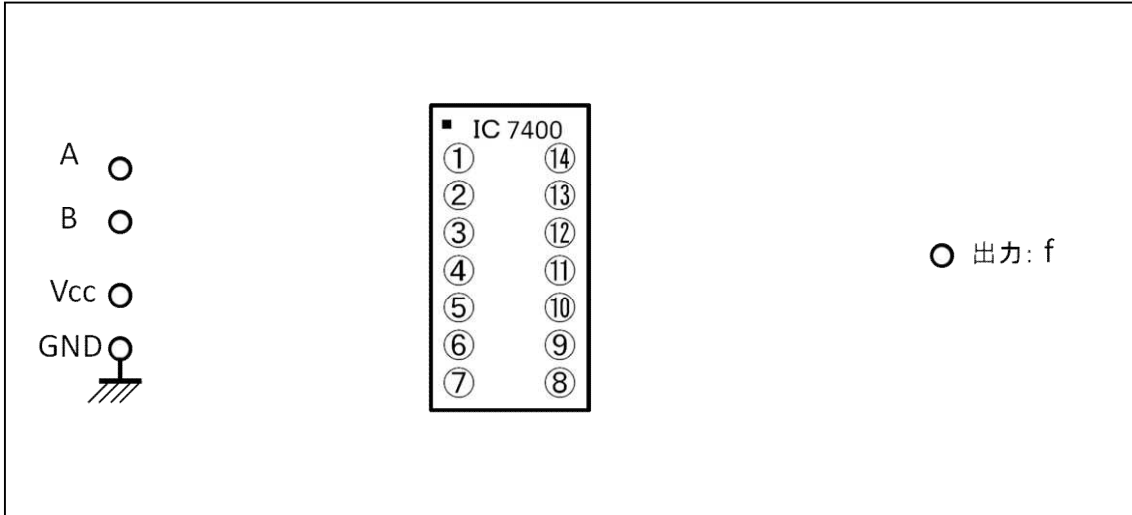
(2) 配線

- ・ GND ピンを 0 [V] 端子に接続する。次に、Vcc ピンを電源端子(5 V)に接続する。
- ・ 配線は水平と垂直の線の使用を心掛け、斜め配線は用いない。また、IC を飛び越える配線を行わない。
- ・ 線の分岐、線の交差は図 B、図 C によること。

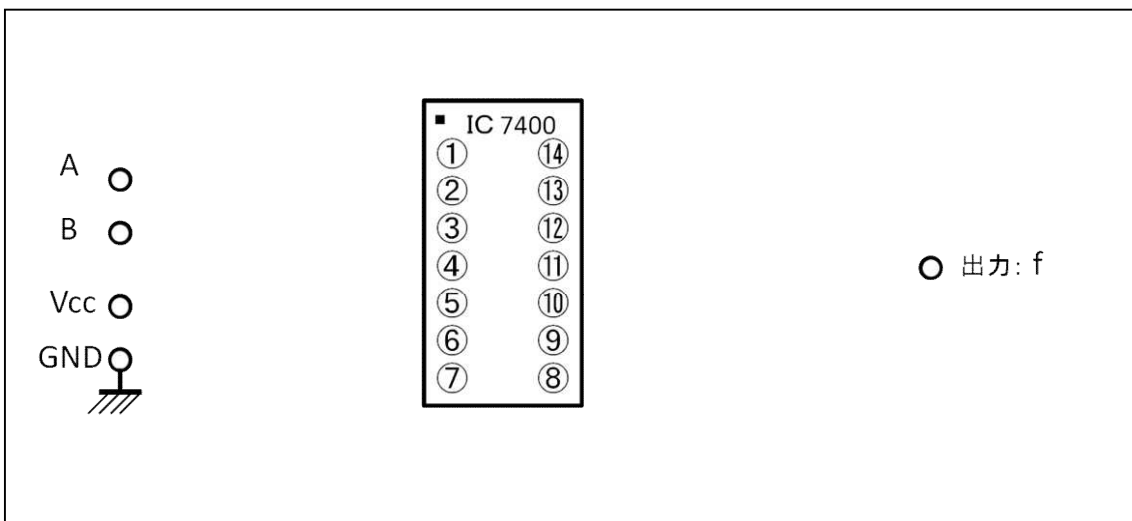


図A デジタル IC の
ピン配置 Top View

問題 3-1 テキスト 4 ページの IC 7400 (NAND) を用いて、 $f = \overline{A \cdot B}$ の配線図を示しなさい。



問題 3-2 テキスト 4 ページの IC 7400 (NAND) を用いて、 $f = A \cdot B$ の配線図を示しなさい



Ⅲ. 実験装置

入力信号生成回路, ブレットボード 1, 接続線(ジャンパー線),
TTL IC (7400, 7404), LED 2, 抵抗器 3,
電池ボックス, 電池

IV. 実験

IV-1 入力信号生成回路

トグルスイッチを上側にすると、入力信号 (AやB) は 1(High)となり LED が点灯する。トグル水位置を下側にすると、入力信号は 0(Low)となり LED は消灯する。

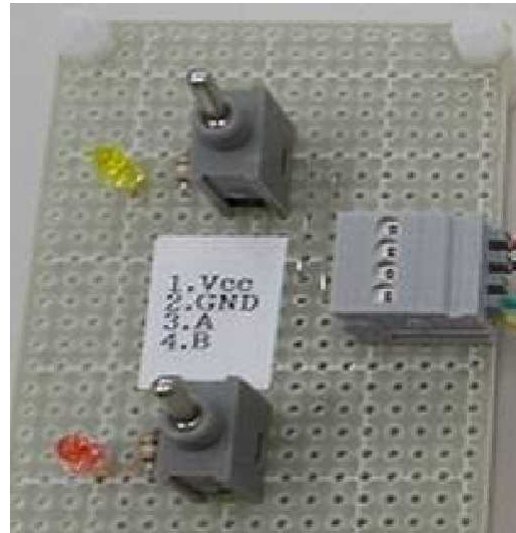
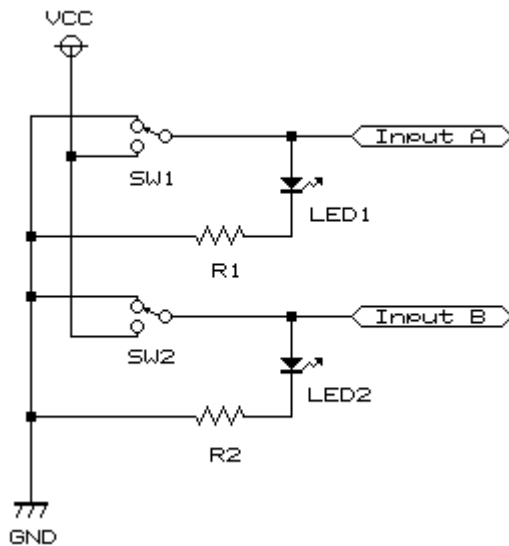


図 4-1-1 入力信号生成回路

※ブレッドボード使用上の注意

- ①縦両側にある 2 列 (赤と青) は内部で繋がっており、赤を電源プラス(VCC)、青を電源マイナス(GND)とする。但し、左側と右側の赤 (または青) はそれぞれ独立しているため、共に用いる場合には、線で結ばなければならない。
- ②a-e 列と f-j 列は、それぞれ各行(1~30)ごとに内部で繋がっている。例えば、a5 と e5 は内部で既に繋がっているが、a5 と g5 は繋がっていない。また、a5 と a6 も繋がっていない。

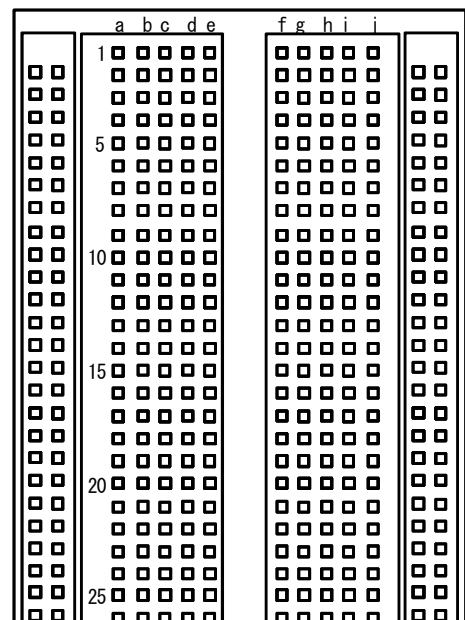


図 4-1-2 ブレッドボード

IV-2 基本論理動作の確認

(1) AND ($X = A \cdot B$) と同じはたらきを持つ回路を NAND と NOT で構成し、その動作を 74 シリーズ IC を用いて確認せよ。

ヒント) $X = A \cdot B = \overline{\overline{A \cdot B}}$ であることを利用して、NAND(7400)を1つ、NOT(7404)を1つ使用する。図 4-2-1 の破線部内に回路を示し、SW1 と SW2 のオン/オフによって LED1, LED2, LED3 がどのように点灯/消灯したかを記録する。



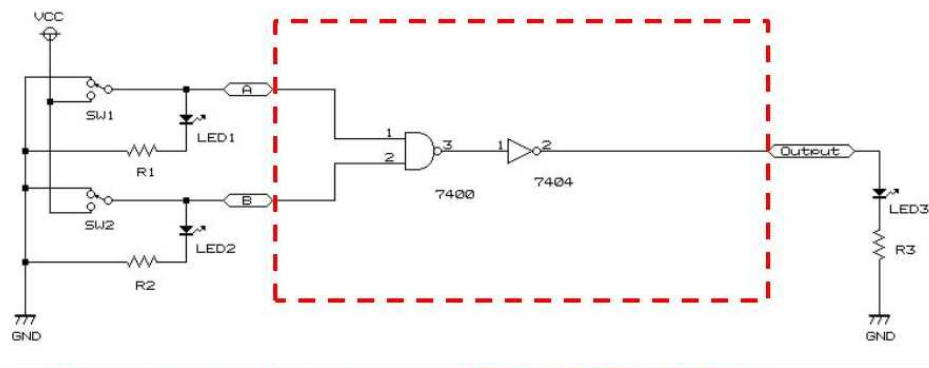
図 4-2-1 NAND と NOT による AND 回路

表 4-2-1 基本論理動作の確認結果(AND)

A (LED1)	B (LED2)	X (LED3)
0 (消灯)	0 (消灯)	
0	1 (点灯)	
1 (点灯)	0	
1	1	

実験の進め方

- ①回路図を描く
例)



※7400(NAND)と7404(NOT)の何処を利用するのか、
ピンの番号を記しておくこと。

図 4-2-2

- ②配付部品を確認する

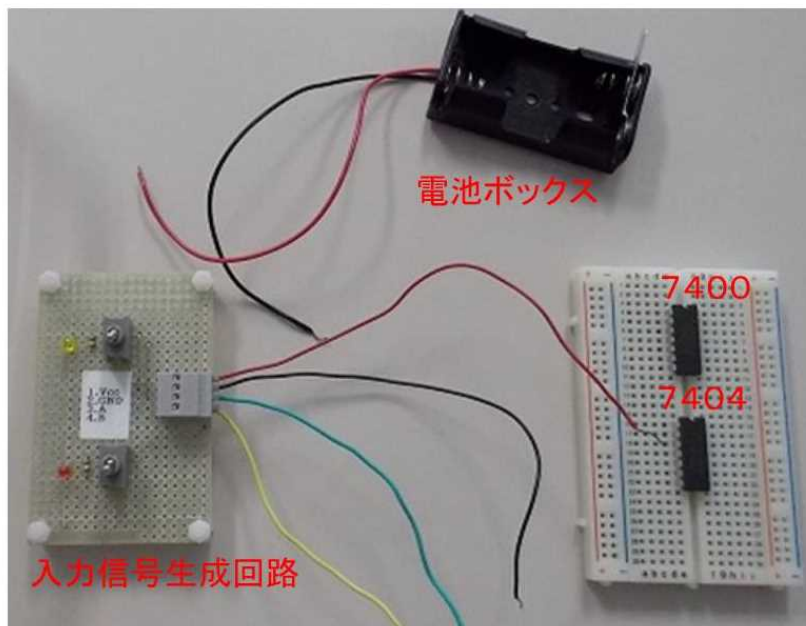


図 4-2-3

③入力信号生成回路と IC の GND, Vcc を接続する

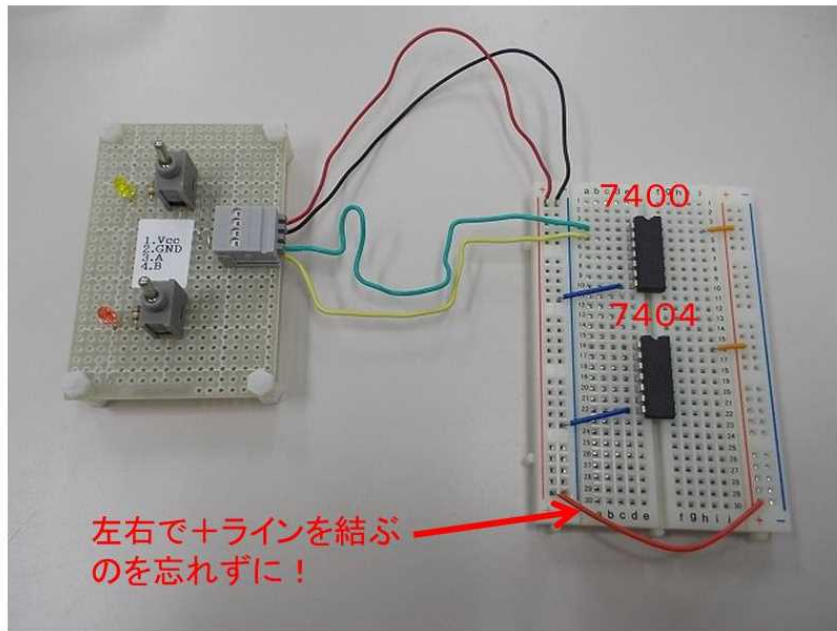


図 4-2-4

④7400(NAND)と 7404(NOT)入力をつなぐ

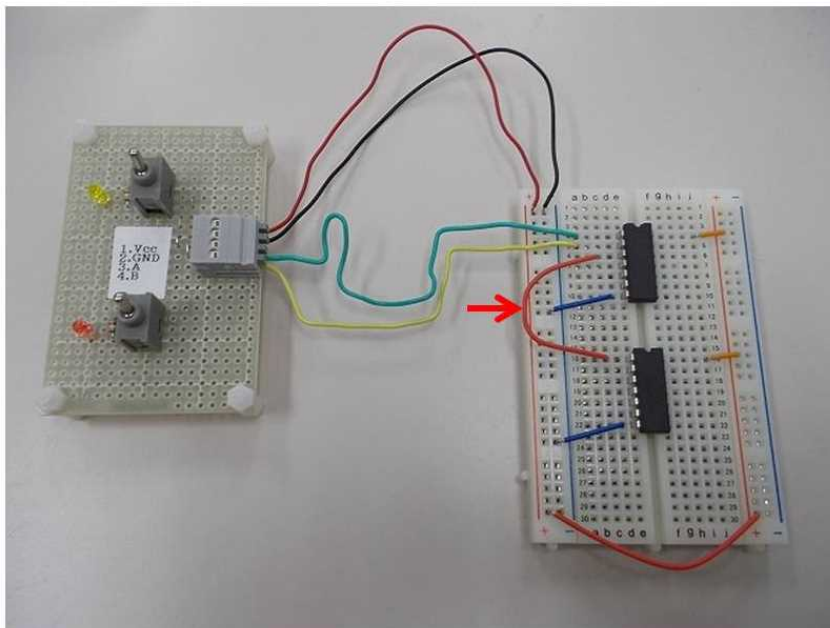


図 4-2-5

⑤7404(NOT)出力と GND の間に LED を付ける

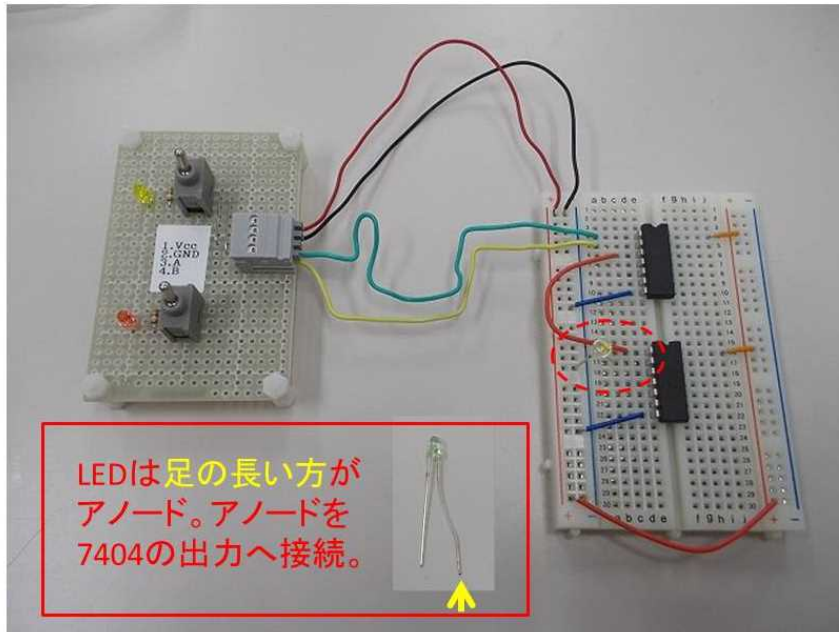


図 4-2-6

⑥電池を接続する。(電池のスイッチはオフの状態に！)

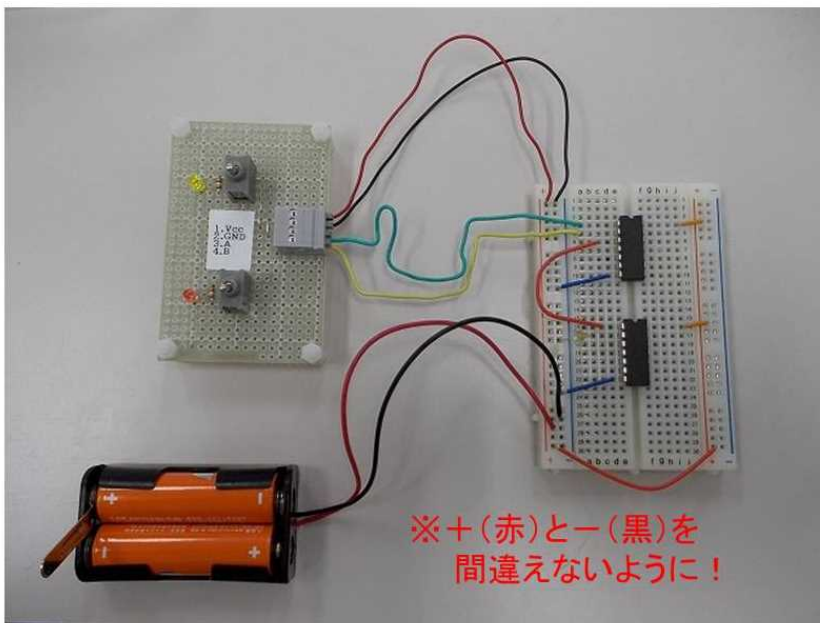


図 4-2-7

⑦電池のスイッチをオンにし、論理動作を確認する

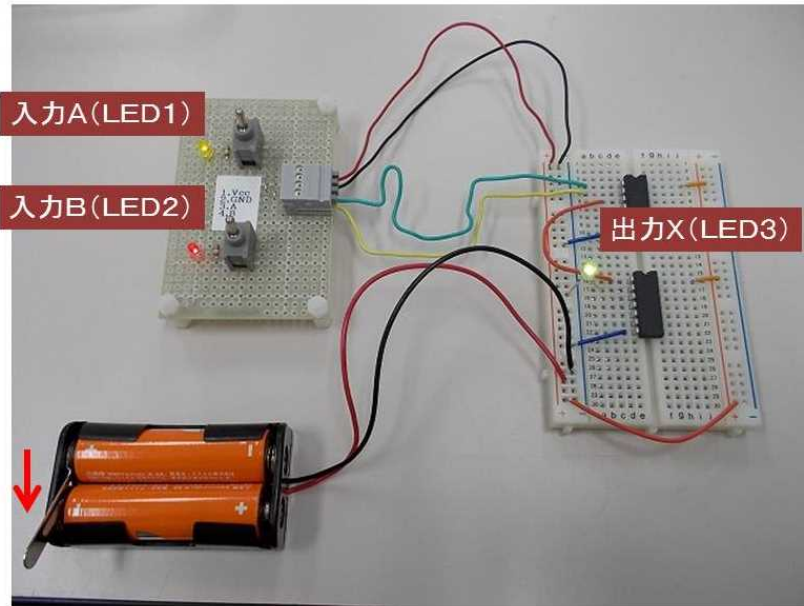


図 4-2-8

⑧結果を表 4-2-1 にまとめ、「AND」になっているかをもう一度確認

⑨電源ボックスのスイッチをオフにする

(Ⅳ-2 基本論理動作の確認の続き)

(3) $OR(X = A + B)$ と同じはたらきを持つ回路を NAND と NOT で構成し、その動作を 74 シリーズ IC を用いて確認せよ。

ヒント) $X = A + B = \overline{\overline{A + B}} = \overline{\overline{A} \cdot \overline{B}}$ (二重否定後にド・モルガンの定理を利用)

であることを利用して NAND を 1 つ、NOT を 2 つ使用する。



図 4-2-9 NAND と NOT による OR 回路

表 4-2-2 基本論理動作の確認結果(OR)

A (LED1)	B (LED2)	X (LED3)
0 (消灯)	0 (消灯)	
0	1 (点灯)	
1 (点灯)	0	
1	1	

※Output を X とする

(4) 以下の EX-OR の真理値表をもとに論理式を導出し、同じはたらきを持つ回路を NAND と NOT で構成せよ。

A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

ヒント) 加法標準形を利用すると、論理式は、

$$X = \bar{A} \cdot B + A \cdot \bar{B}$$
 2)と同様に二重否定後、ド・モルガンの定

理

を利用すると、

$$X = \overline{\overline{A \cdot B + A \cdot B}} = \overline{\overline{A \cdot B} \cdot \overline{A \cdot B}}$$

NAND を 3 つ、NOT を 2 つ使用する。



図 4-2-10 NAND と NOT による EX-OR 回路

IV-3 2進1ビットの半加算器の設計

半加算器(Half Adder,HA)は1ビットの加算を行う回路で下位桁からの桁上げ処理は含まれない。半加算器の入出力関係は図4-3-1のように図示される。

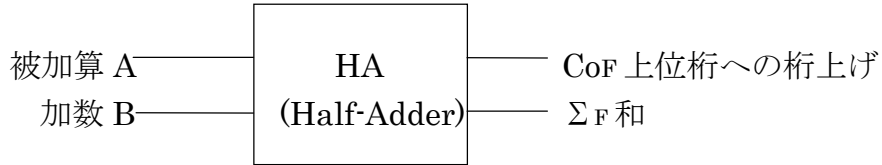


図4-3-1 2進1ビット半加算器のブロック図

(1) 真理値表を完成せよ。

入力		出力	
A	B	CoF	ΣF
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

(2) 真理値表より論理式を導出せよ。

$\Sigma F =$

CoF =

(3) $\Sigma F, CoF$ を求める論理回路を NAND と NOT で構成せよ。

※ ΣF と CoF の出力を確認するため、2つ LED を使用

V. レポート課題

- (1) テキスト 2 ページの「2-2 論理公式において、式⑱と式⑳を証明せよ。
- (2) テキスト 18 ページの「IV-3 2進1ビットの半加算器の設計」の設問(1), (2), (3)の解答を記載せよ。
- (3) 「チャタリング」の意味とその対策について調査し、その内容を説明せよ。
- (4) テキスト 5 ページから 7 ページの問題 1-2, 問題 2-2, 問題 2-4, 問題 2-6 を解答せよ。

VI. 参考文献

- (1) 角山正博, 中島繁雄; デジタル回路の基礎, 森北出版, 2009.
- (2) 田丸啓吉; 論理回路の基礎, 工学図書, 1993.
- (3) 相原恒博, 高松雄三; 論理設計入門, 日新出版, 1990.
- (4) 野崎眞; IC 組合せ論理回路の設計, 日本理工出版会, 1992.

実験レポートの成績評価

	A (配分:10)	B (配分:7)	C (配分:5)	D (配分:0)
体裁 (10点)	表紙があり, 題目, 氏名, 実験日が全て記述されている.	表紙があるが, 題目, 氏名, 実験日のうち1つが記述されていない.	表紙があるが, 題目, 氏名, 実験日のうち2つが記述されていない.	表紙があるが, 題目, 氏名, 実験日が記述されていない.
構成 (10点)	序論・実験方法・結果・考察・参考文献の全て記述されている.	序論・実験方法・結果・考察・参考文献のうち1つが記述されていない.	序論・実験方法・結果・考察・参考文献のうち2つが記述されていない.	序論・実験方法・結果・考察・参考文献のうち3つ以上が記述されていない.
文章 (10点)	誤字脱字がなく, 文章も正しく書かれている.	誤字脱字や, 文章が正しく書かれていないところが数ヶ所ある.	誤字脱字や, 文章が正しく書かれていない箇所が多くある.	誤字脱字や, 文章が正しく書かれていない箇所がかなり多くある.
序論 (10点)	実験の目的とそれを意識した実験の背景が適切に記述されている	実験の目的と実験の背景が記述されているが, その間に関連性に不適切なところが少しある.	実験の目的と実験の背景が記述されているが, 不適切なところがかなりある.	実験の目的と実験の背景のうち, 記述されていないものがある.
実験方法 (10点)	実験方法(実験計画書)が正しく記述されている. 実験器具の名称やメーカーがきちんと記述されてる.	実験方法や実験器具について正しく記述されていないところが数ヶ所ある.	実験方法や実験器具について正しく記述されていないところが多くある.	実験方法や実験器具のうち, 記述されていないものがある.
結果 (25点)	実験結果が正しい書式でグラフや表にまとめられている. 実験結果の要点を文章で正しく記述している. 実験誤差を考慮し, 複数回の実験結果を記述している	実験結果をまとめたグラフや表や要点の記述, 実験誤差が全て記述されているが, 不適切なところが数ヶ所見られる.	実験結果をまとめたグラフや表や要点の記述, 実験誤差が全て記述されているが, 不適切なところが多く見られる.	実験結果をまとめたグラフや表や要点の記述, 実験誤差のうち記述されていないものがある.
考察 (25点)	目的を意識ながら実験結果について科学的な根拠・分析を行い, 論理的に考察している. 問題点がある場合には, 改善策が具体的に記述されている. 課題に対する正しい回答が記述されている.	目的を意識ながら実験結果を考察しているが, 論理的な考察が不十分である. 問題点がある場合の改善策が適切に記述されていない. 課題に対して回答が記述されているが, 不適切なところが数ヶ所見られる.	実験結果を考察しているが, 論理的な考察がないか, 間違っている. 問題点がある場合の改善策が間違っている. 課題に対して回答が記述されているが, 不適切なところが多く見られる.	実験結果を考察していない. 問題点がある場合の改善策が記述されていない. 課題に対して回答が記述されていない.



評点

知能機械・情報通信学系実験 I I 報告書

テーマ名: _____

実験年月日: _____年 _____月 _____日 ()

報告書提出日: _____年 _____月 _____日 ()

班 番 号 : _____

学 籍 番 号 : _____

氏 名 : _____

共同実験者

_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____