

2進数の加算回路の製作

1年B組 志村 恒太郎

指導教員 米田 隆恒

1. 要約

私は記念すべき第一作の開発を論理回路の加算器にした。しかし、ICを使ったただの加算器を作るのは面白くないので、ICを使わない2進数の加算器の製作に挑戦することにした。今回は、ダイオードとリレーを用いてOR、NOT、ANDの3つの論理回路を利用して、半加算器などを作成し、並べて合体させてICを使わない2進数の加算器を考案し、製作を順調に進めているので紹介する。

キーワード 論理回路、加算器、ダイオード、リレー

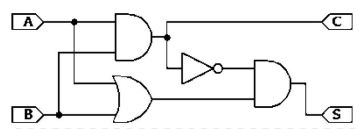
2. 研究の背景と目的

今回は初めての研究なので、基礎的なところから始めていこうと思い、そこで、コンピューターなどの様々なハードウェアの基本となる2進数の研究にすることにした。その中から今回は1番簡単な（と自分としては思っている）加算器を開発することにした。ただ、加算器を作るとき、普通はIC論理回路を使うものだが、簡単すぎて面白くないので、ICを使わずに作ることにした。しかし、それによって思っていた以上にレベルがとて上ってしまった。


3. 研究内容


3.1 論理回路上での加算器

まず、論理回路上での加算器を考える。加算器には全加算器と半加算器がある。全加算器は繰り上りを受け取ることができる加算器で、半加算器は2つの数を加算するだけの加算器である。そのため全加算器は2つの半加算器と1つのOR回路によって成り立っている。



部品

AND... 

OR... 


NOT... 

図1 論理回路で表したときの半加算器 (AとBはそれぞれ入力、Sは答え、Cは繰り上がり)

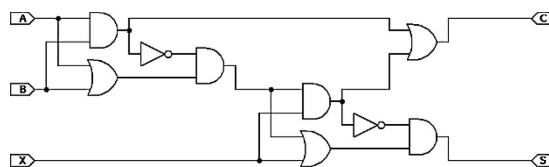


図2 論理回路で表したときの全加算器 (AとBはそれぞれ入力、Xは繰り上りの入力、Sは答え、Cは繰り上がり)

さて、今回の研究ではICを使わずに加算器を作る。図1と図2でも分かるように、AND回路とOR回路とNOT回路から成り立っている。この3つの回路は一般的にIC

として取り扱われている。そのため、「ICを使わずに」となると似たような性質を持つ電子部品を使わなければならない。そこで、ド・モルガンの法則を使い、まず AND 回路を OR 回路と NOT 回路にすることにした。

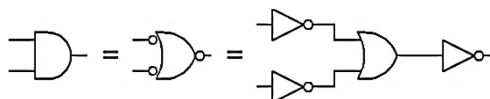


図3 ド・モルガンの法則を利用して AND 回路を OR 回路と NOT 回路に変換する過程

この変換によって、回路を OR 回路と NOT 回路だけにできた。

次に、OR 回路と NOT 回路を IC 以外の電子部品に替える。

● OR 回路

OR 回路の入力と出力を表にまとめる。

A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

表1 OR 回路の入力と出力の関係

このように、A または B のどちらかが 1 になると OR 回路は 1 を出力する。

そこで思いついたのが、入力を出力になぎ、2つの入力が互いに逆流しないようにダイオードをつけることである。このアイデアを回路図にした。

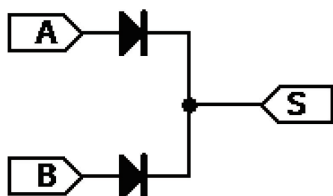


図4 回路図に表した IC を使わない OR 回路

(A と B はそれぞれ入力、S は答え)

これで、OR 回路を IC からダイオード 2 個に替えることができた。なお、ダイオードについては、3.2 で詳しく紹介する。

● NOT 回路

OR 回路と同じく、NOT 回路も入力と出力を表にまとめる。

A	S
0	1
1	0

表2 NOT 回路の入力と出力の関係

このように、0 ならば 1、1 ならば 0 というように、入力の反対を出力する。

そこで、スイッチを簡単に自動で ON/OFF できる電子部品はないか探したところ、リレーという部品を発見した。リレーという電子部品については 3.2 で詳しく紹介する。

このリレーが物理的に NOT 回路の役割を果たす。このアイデアを回路図にした。

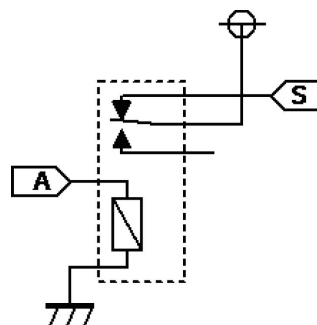


図5 回路図に表した IC を使わない NOT 回路 (A は入力、S は答え)

3.2 使用した電子部品と法則の説明

● ダイオード

ダイオードは、アノードとカソードの 2 つの端子からなる、電流を一方向にしか流さない電子部品である。今回の研究では、この部品を OR 回路 (2 つダイオードを使う) と電流の逆流防止に使用する。



図6 ダイオード

● リレー

リレーは、コイルとスイッチからなる電子部品である。有線電信において、伝送路の電気抵抗によって弱くなった信号を中継するために発明されたものである。今回の研究ではこの部品を NOT 回路の代わりとして利用する。

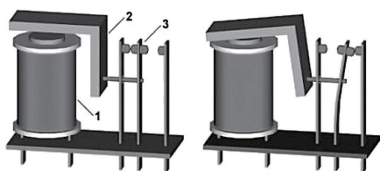


図7 リレーの内部構造

(1はコイル、2はコイルによって動く器械、3はスイッチ。左はコイルに電気が流れていない状態、右はコイルに電気が流れている状態。)

● フォトカプラ

フォトカプラとは、内部で電気信号を光に変換し、再び電気信号へ戻すことによって、電氣的に絶縁しながら信号を伝達する電子部品である。フォトカプラは内部に発光素子と受光素子が収められ、外部からの光を遮断するパッケージに封じ込められた構造になっている。今回の研究では、装置の出力電圧の安定化のために用いる。

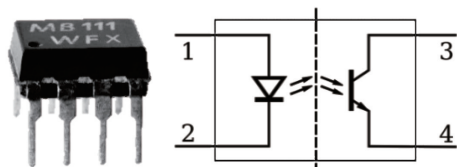


図8 フォトカプラ

(左…外見、右…内部の回路図)

● ド・モルガンの法則

ド・モルガンの法則とは、真・偽を反転させ、論理和・論理積の定義を交換した論理体系が元の論理体系と同一視できることについての法則である。

具体的に数式でこれを表すと、以下のようになる。

$$A \cdot B = \neg (A + B)$$

数式1 ド・モルガンの法則による AND 回路の反転

3.3 加算回路の作成

半加算器・全加算器の作成に必要な AND 回路、OR 回路、NOT 回路をすべて IC 以外の電子部品にできたので、それに基づいて加算回路を作成していく。

3.3.1 論理回路で表した加算回路本体

まずは、3.1 で述べたときの半加算器・全加算器を組み合わせ、加算回路本体を作る。

今回の加算回路は 2 桁+2 桁=3 桁になるように作る。そこで、半加算器と全加算器の組み合わせを簡易的に図に表した。

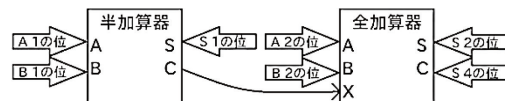


図9 加算器の組み合わせの簡易的な図

(→の矢印…入力、←の矢印…出力、細い矢印…導線)

この組み合わせから考えて、半加算器が 3 つ (全加算器の中には半加算器が 2 つある) と OR 回路が 1 つ必要となる。つまり、半加算器の中には AND が 2 つ、OR が 1 つ、NOT が 1 つあるので表にまとめると次のようになる。

回路	数 (個)
AND	6
OR	4
NOT	3

表3 図9の組み合わせの中にある AND回路と OR回路と NOT回路の数
 ここから AND回路をド・モルガンの法則を利用して OR回路1つと NOT回路3つにする。ただしここで、図1と図3を見なおしてもらいたい。まず、図1を見ると、NOT回路が上のAND回路の出力を反転している。しかし、図3を見ると、AND回路の中で出力の直前にその前のOR回路の出力を反転させている。つまり、図1のNOT回路をそのまま置いておいて加算回路を作ったとき、NOT回路のあとにまたNOT回路がつながっているという現象が起これ、NOT回路が無駄である。そこで、AND回路(OR回路1つとNOT回路3つ)にNAND回路出力をつける。こうすることによってNOT回路を3つも減らすことができた。

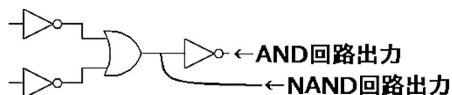


図10 AND回路にNAND回路の出力をつけたときの図

ここでAND回路をOR回路とNOT回路に替えてOR回路とNOT回路だけで図9を作ったときのOR回路とNOT回路の数を表にまとめる。

回路	数 (個)
OR	10
NOT	18

表4 図9の組み合わせの中のAND回路をOR回路とNOT回路に分けて考えたときのOR回路とNOT回路の数

3.3.2 IC以外の部品で表した加算回路本体

3.3.1で図9の組み合わせをOR回路とNOT回路にしたので、次はOR回路とNOT回路をダイオードとリレーに替える。

● OR回路

OR回路はダイオード2つに替えることができる。そのため、OR回路をダイオードに替えた時点でダイオードは20個必要となる。

● NOT回路

NOT回路はリレー1つとGNDから逆流しないようにするためのダイオード1つに替えることができる。そのため、NOT回路をリレーとダイオードに替えたときリレーは18個、ダイオードも18個必要となる。

以上の2つの通りにOR回路とNOT回路をリレーとダイオードに替えたとき、必要となるリレーとダイオードの数は表5の通りである。

電子部品	数 (個)
リレー	18
ダイオード	38

表5 必要となるリレーとダイオードの数

3.3.3 加算回路全体の回路

次に入力装置と出力装置を作成する。

● 入力装置

入力装置はスイッチとLEDのシンプルな設計にした。また、LEDによる電圧降下を補うためにフォトカプラも使うことにした。(フォトカプラについては3.2を参照。)

● 出力装置

出力装置も7セグメントディスプレイ¹を使用せずに LED 3つというシンプルな設計にした。この入力装置と出力装置と加算回路本体をつなげると、下図のようになる。

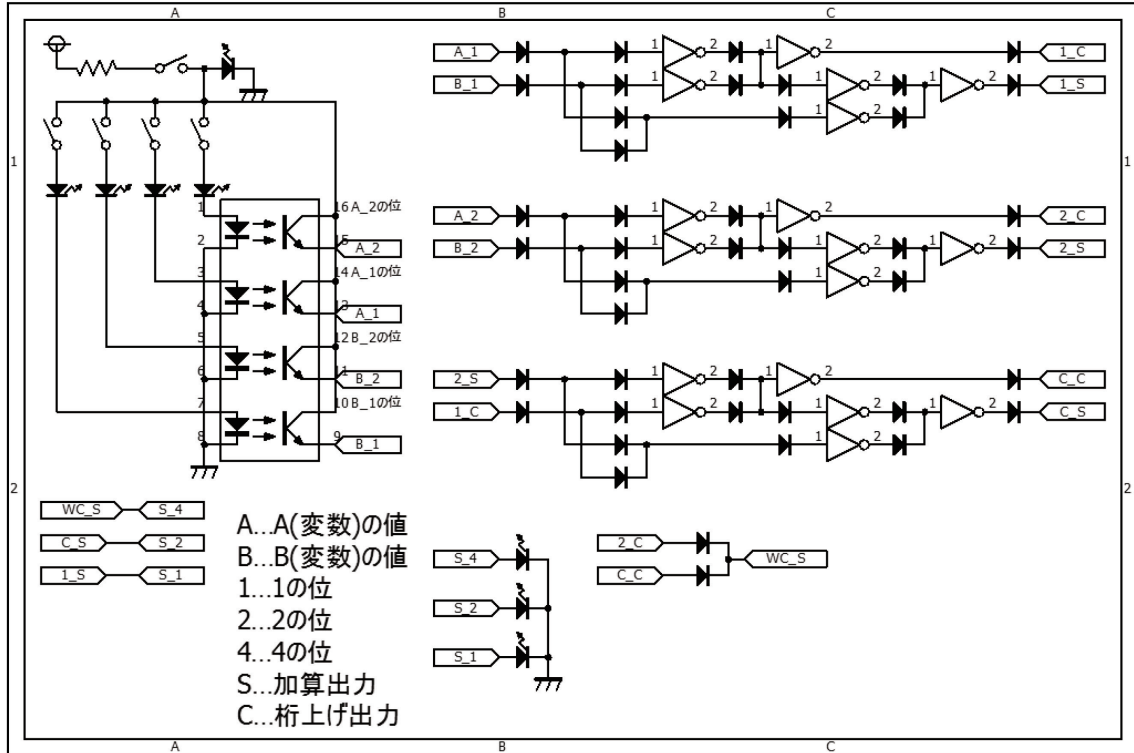


図 11 加算回路全体の回路図 (リレーの部分はややこしくなるため NOT 回路で表記)

¹ 7セグメントディスプレイ

7セグメントディスプレイは、電子的な表示装置の一種であり、十進のアラビア数字を表示することができる。アラビア数字1文字を表現するために、それぞれ個別に点灯・消灯できる7つのセグメントから構成されているためこの名がある。



(この写真は Peter Halasz 氏が撮影したものである)

4. 考察

今回の研究で、IC を使わずに論理回路を作ることが困難ながらできることが分かった。また、この膨大な量の電子部品（実際の IC の中にはほかの電子部品が入っている）を1つの IC にまとめることができることを考え、IC が今の電子回路界でどれだけ重要な役割を果たしているかも分かった。

5. 今後の課題

実はまだ本体の製作が完了していないので、次の論文を書く頃までには完成させたい。また、入力装置や出力装置（こちらは

どちらも完成済み）がよく壊れる原因も調べたい。

あと、少し電気の基礎を誤解していた部分があったのでこれからは気を付けたい。

6. 謝辞

この研究を行うにあたりまして、顧問の米田先生には多大なご指導を賜りました。また、サイエンス研究会の先輩方や、友人にも多くの助言・協力を賜りました。この場を借りて、深く御礼申し上げます。また、御多用とは思われますが、これからもいろいろと御協力お願い申し上げます。

クリエイティブ・コモンズ ライセンスに基づく表示

図番号	著作権保持者
1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11	志村 恒太郎
6	John Maushammer 氏
7	Wikimedia Commons
8 左	André Karwath aka 氏
8 右	このコンテンツはパブリックドメインです

※但し、一部の図には改変・加工・修正が施されています。