

卒業研究報告

題目

道路工事用の信号機的设计

指導教員

原 央 教授

報告者

学籍番号: 1030167

秋田 啓志

平成 15 年 2 月 3 日

高知工科大学 電子・光システム工学科

目次

1 序	2
1 - 1 目的	
1 - 2 本報告の構成	
2 工事用信号機の動作と設計	3
2 - 1 車を認識	
2 - 2 情報を処理	
2 - 3 信号を変化	
3 評価	21
3 - 1 車を認識する回路の評価	
3 - 2 情報を処理する回路の評価	
3 - 3 信号を変化させる回路の評価	
4 まとめ	33
5 謝辞	
6 参考文献	

1 序

1 - 1 目的

パソコンや携帯電話など今日の社会では欠かすことのできないものであり、それらの装置や機器の中心部ではデジタル回路により膨大な量の情報処理や計算が行われている。

デジタル回路の重要性は今後ますます増す。デジタル回路については、その基礎を大学の授業で学んだ。また、その知識をさらに深めるために、卒業研究で1つの製品を実際に設計、製作することを試みた。

デジタル回路を実際に設計、製作することで、計算や論理だけでは気が付かない、実際行動によって初めて気が付く多くのことがあるはずである。

このようにデジタル回路に関して知識を具体化的なものにし、今後の過程への対応力を養うために、最初から仕様を考えて設計、製作を進めるための具体例を選んだ。

設計、製作目標としては、道路工事の時によく見られる臨時の信号機を取り上げた。

1 - 2 本報告の構成

2章では、工事用信号機の動きをまとめ、その動作を行う回路を計算、論理上で設計する。工事用信号機をその動作別に3つのブロックに分け、ブロックごとに設計を行う。

3章でそのブロックごと、もしくはさらに分割したものを、汎用ロジック IC を使用して実際に製作し、正しく動作をするか調べる。正しく動作しない場合、原因を探し、回路を修正する。

4章で今回の卒業研究で得た知識について簡単にまとめる。

2 工事中信号機の動作

多くの信号機では、信号の色はある一定の時間たつと変化する仕組みになっている。よく車の行き来する道なら問題はないが、夜などほとんど車の来ない状態の時には、周りには自分の車しかいないのに赤信号によって車を止めなくてはならないことになってしまう。

それで次のような動きをする工事中信号機を考えた。

- ・ 双方に車の通過が多い場合、信号の変化は基本的には車の通過する台数によって制御する。
- ・ 一方の信号が青から赤に変化しようとする時、相手側で車が待っていないければ青を継続する。
- ・ その時に相手側に車が来たらすぐ赤に変化する。

工事中の信号機なので信号の色は赤と青のみ、信号機は工事側にある2台として述べる。

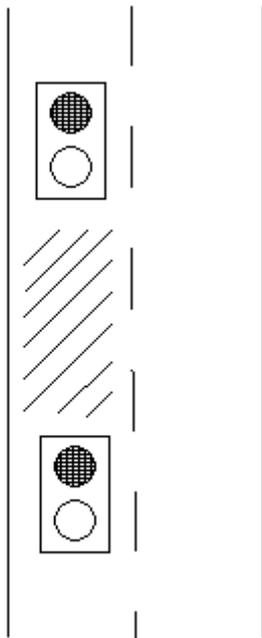


図 2 . 1 工事中信号機

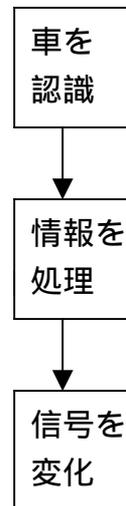


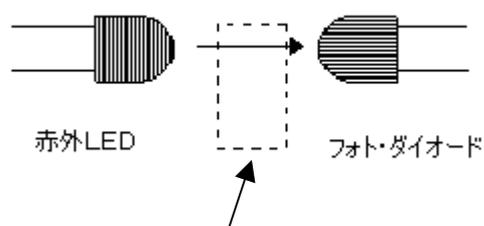
図 2 . 2 工事中信号機の動作

信号機の動作を、図 2 . 2 に示す 3 つに分け、それぞれについて以下に説明していく。

2 - 1 車を認識

信号を変える条件を車の台数や到着によるものとしたから、車を認識する機能を持つものがまず必要になる。フォト・インタラプタの仕組みを利用することにした。

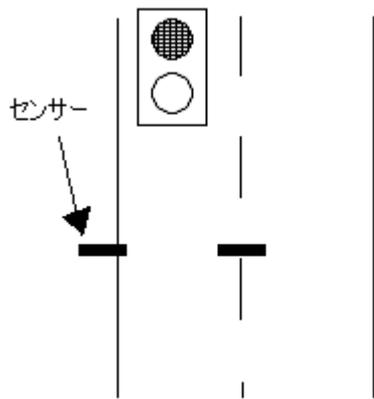
フォト・インタラプタとは
フォト・ダイオードと呼ばれる光が入ると電流が流れるセンサーと、赤外LEDと呼ばれる人間の目では確認できない赤外光をだすLEDの組み合わせたものである。



ここに物がくると、光がさえぎられ
フォト・ダイオードに電流が流れなくなる。

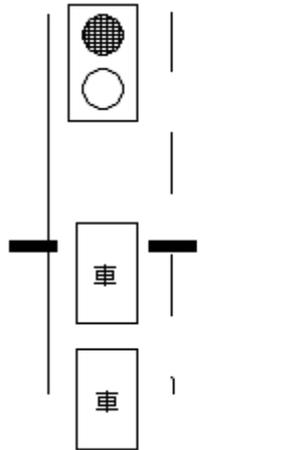
図 2 . 3 フォト・インタラプタの構成

赤信号で車が止まったときに光をさえぎるような位置にフォト・ダイオードを設置する。光がさえぎられなかったら0を出力して、光がさえぎられると1を出力する回路を設計することで 出力の波形で車の到着の状況を把握することができる。



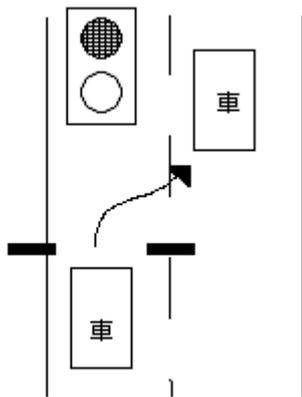
- 車がない時 -

出力波形は常に 0



- 赤信号待ち -

出力波形は常に 1



- 青信号で車が通過 -

出力波形はパルス波形



図 2 . 4 出力波形とその時の状況

以上の主旨にそった回路を、湯山俊夫著『デジタル回路の設計、製作』より引用した。その図を下に示す。

(電源電圧の値やトランジスタの種類が湯山俊夫著『デジタル回路の設計、製作』とは異なる。)

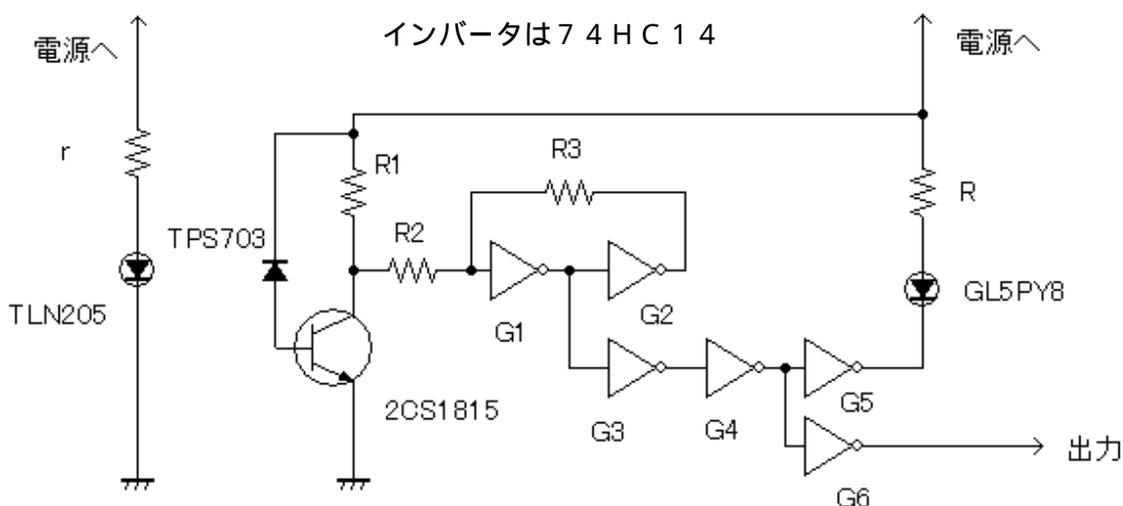


図 2 . 5 車認識部の回路

詳細を下に説明する。

上の LED TLN205 は赤外 LED である。抵抗 r は赤外 LED に電流を流しすぎて破壊することを防ぐ保護抵抗である。

『光デバイス規格表』に TNL205 の与える電流の適正值は 50 mA、電圧を 1.9V 使うと説明されているので、電源電圧を 5V として、

抵抗にかかる電圧は

$$5 - 1.9 = 3$$

抵抗と LED に流れる電流は 50 mA であるから

$$3 / 0.05 = 60$$

より r は 60 の抵抗になる。

60 の抵抗が手元になかったので 68 を使用することにした。

TPS703はフォト・ダイオードである。



図2.6 TPS703の動き

スイッチのような働きをする。

光がさえぎられている時も実際には電流が流れるが、最大で30nAと小さいのでスイッチはOFFと考えられる。

TPS703に光が入るとスイッチがONとなり、トランジスタ2CS1815のベース電流が流れる。

2SC1815はnpn型のバイポーラトランジスタである。バイポーラトランジスタは、ベースに電流が流れると、コレクタ - エミッタ間に電流が流れ始めるという性質をもっている。コレクタ - エミッタ間に電流が流れるの状態をON状態、ベースに電流が流れなくてコレクタ - エミッタ間に電流が流れない状態をOFF状態という。

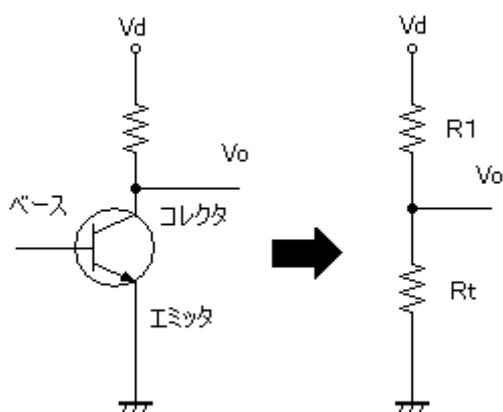


図2.7 ONとOFF

ON状態ではコレクタ - エミッタ間の抵抗は小さく、OFF状態では抵抗が大きい。

図2.7の右側の回路でVoに出る電圧はコレクタ - エミッタ間を抵抗をRtとあらわすと

$$V_o = V_d \frac{R_t}{R_t + R_1} \dots (1)$$

となる。

ON状態は $R_t = 0$ と考え(1)に代入すると $V_o = 0 (L)$ になり、
OFF状態は $R_t = \infty$ と考え(1)に代入すると $V_o = V_d (H)$ になる。

図 2 . 5 のインバータ G1 の入力信号と車認識部の回路の出力信号とは論理上同じデジタル信号である。(インバータ G1 の入力信号が H なら出力の信号は H。)

つまり、フォト・ダイオードが光を受けると、出力は L
 光がさえぎられると、出力は H
 という回路である。

バイポーラトランジスタの出力 (図 2 . 7 の V_o) は安定した値を出さないことがよくある。一般に雑音による影響が多い。G1、G2、R2、R3 で構成された回路は、その波形整形のためのものでシュミットインバータと呼ばれるものである。

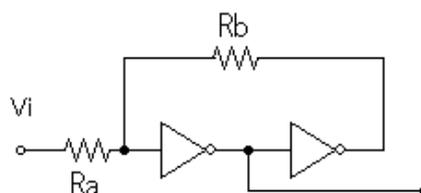


図 2 . 8 シュミットインバータ

図 2 . 5 の G3 と G4 は論理的に見ると NOT と NOT の直列であるからなくても良いと考えないだろうか。これは製作をする時の技術でデジタル信号の遅れを防ぐ機能をもっている。

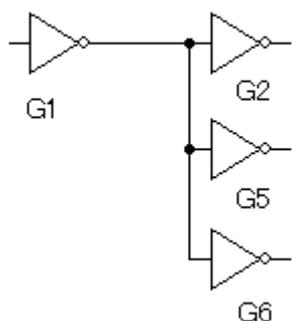


図 2 . 9 並列につなぎすぎると

図 2 . 9 は、図 2 . 5 の回路で G3 と G4 を除いた回路である。インバータ G1 内は PMOS あるいは NMOS が導通することにより出力を変化させる。MOS が導通しチャネルが出来る原理はコンデンサーの充電と同じである。図 2 . 9 では G1 の出力が 6 つのコンデンサーを充電する形になり、出力に時間がかかってしまう恐れがある。

当然、インバータが多ければ多いほど時間がかかる。G3、G4 を挿入し G5 と G6 への充電を電源電圧から行う仕組みである。

GL5PY8 はフォト・インタラプタの動作を目視できるためにつけた確認用の LED である

フォト・ダイオードが光を受けると 点灯

光をさえぎられていると 消える 動作をする。

抵抗 R も赤外 LED の時と同様に求める。

GL5PY8 は 10 mA が適正の電流値、電圧は 1.9 V (2) と説明されていた。

$(5 - 2) / 10 \text{ m} = 300$ より 300 を使用する。

この車認識回路の出力だが、バイポーラトランジスタの出力があまりにも乱雑な場合、シュミットでも波形整形時が困難な時がある。その場合は出力にさらに CR 回路によるチャタリング除去を行うことにする。

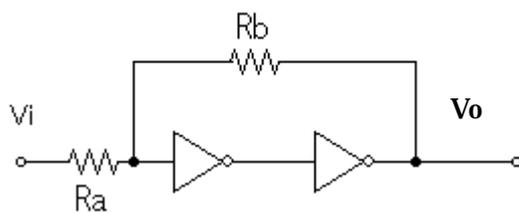


図 2 . 1 0 シュミットゲート

Vi が L から H に変わる時、抵抗 Ra と Rb によって、スレッシュヨルド電圧の値を Vi が少し超えた時にインバータが作動し、Vi が H から L に変わる時はスレッシュヨルド電圧の値より Vi が少し低い

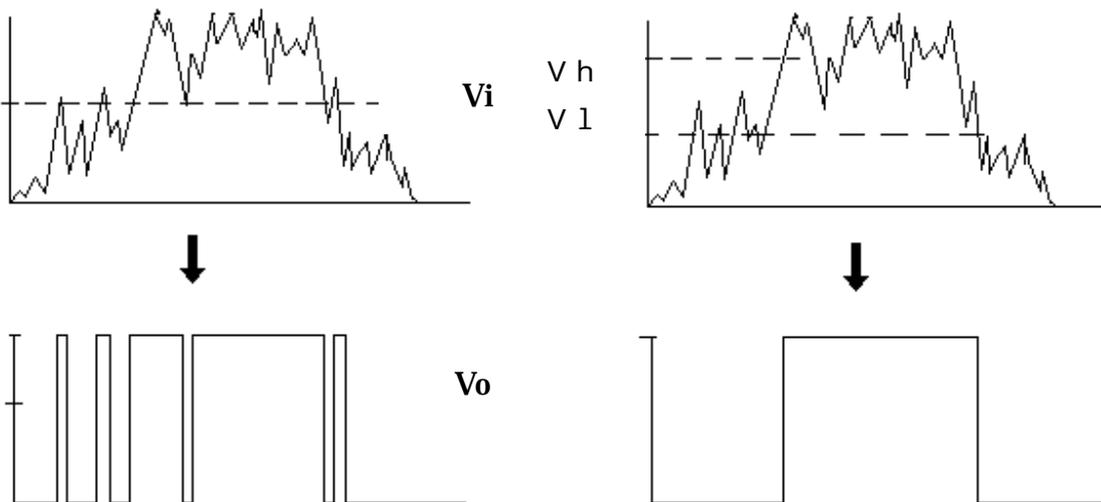


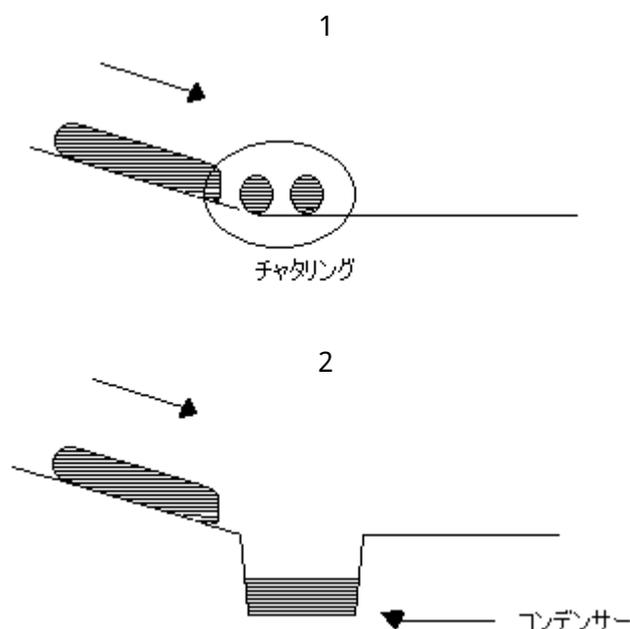
図 2 . 1 1 シュミットインバータによる波形整形の説明

図2.11の左側は図2.10の回路で抵抗を入れてない場合の入出力波形である。入力波形内にある点線はスレッシュホールド電圧の値である。

右側がシュミットインバータでの入出力波形である。同じ入力信号を与えている。入力波形内にある点線は上側がLからHになる時のスレッシュホールド電圧 (V_h)、下側がHからLになる時のスレッシュホールド電圧 (V_l) を表す。

CR によるチャタリングの除去はコンデンサーの電荷を蓄え電荷が貯まりきってから電流を流さなくなる性質を利用したものである。

例をあげる。



横じま模様で示しているのは水のようなものだとおっ
ていただきたい。
水のようなものは入力デー
タである。途中で止まるこ
とはなく常に右方向(出力)
に進むとする。

1 がコンデンサーを使用
しない時の回路の例えであ
る。このままではデータの
とびとびの部分がそのまま
出力方向に出てしまう。

図2.12 CRのチャタリング防止の例え

2 はコンデンサーを使用した回路の例えである。へこんでいる部分がコンデンサーを意味する。へこんでいる部分に入った水は、貯まりきると右側に水を流し始める。貯まりきらない状態で入力がなくなると入っていた水は徐々に消えていくとする。

ただし、CRによるチャタリング除去はデータの伝達の早さが遅れる、といったデメリットがある

2 - 2 情報を処理

信号機の色が変わる条件をあげ、条件が満たされたら信号変化のデジタル信号を出す回路の設計をする。

- 信号機の色を変える条件 -

ある台数が通過すれば信号の色を変えることにした。

- ・具体的には15台とする。

しかしこのままでは片方側の車の数が多く、もう片方の車の数が少ない時、数の多い側の車は滅多にこない車を15台見るまで赤信号待ちをくらってしまうことになる。

この問題は車が、センサーを横切ってある程度の時間が過ぎても車が来なければ信号の色を変える、という動作を付け加えることで解決できる。

- ・具体的な時間は30秒とする。

しかしさらに問題があることが分かった。

もし車が29秒間隔で15台来た場合に

$$14 \times 29 = 406$$

$$406 \text{ 秒} \quad 6 \text{ 分} 46 \text{ 秒}$$

と長い時間の信号待ちになってしまう。

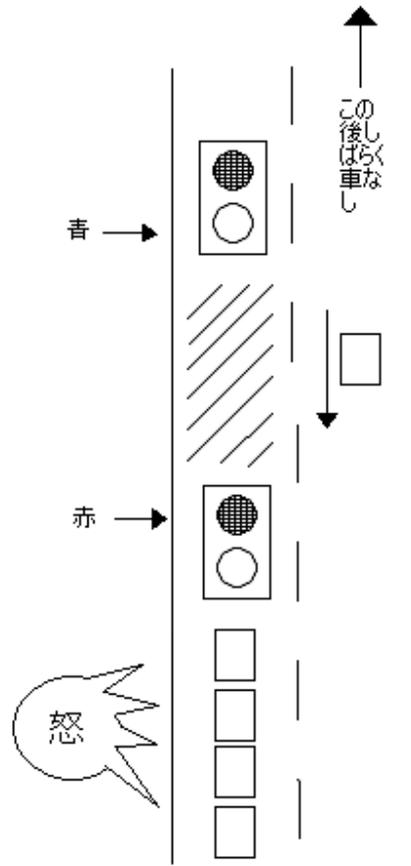


図2.13 車の通過数に差がある場合の欠点

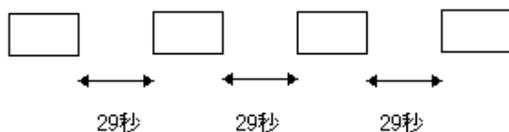


図2.14 車の間隔が長い時

この問題は

- (1) 車がセンサーを横切って10秒経ったらそれを記憶さる。
- (2) 10～30の間に車が来たら、車の間隔を測る時計はリセットされるが、10秒経ったという記憶はリセットせず、再び10秒経ったら無条件で信号の色を変える、
という方法で解決できる。

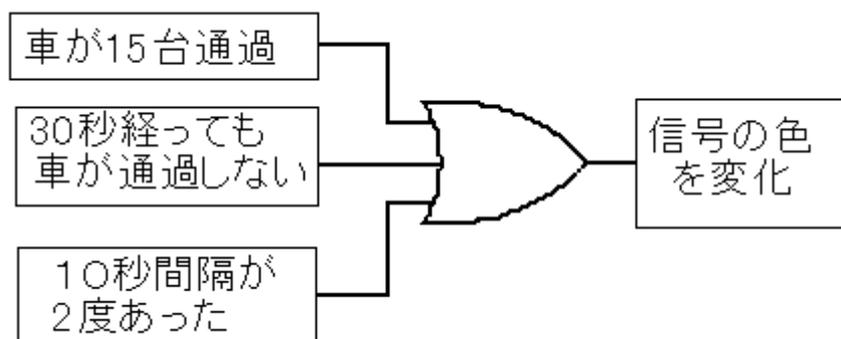


図2.15 信号変化の条件

- 車が15台通過 -

この動作は16進カウンターによって処理する。
74HC161というICを使用することにした。
クロックの立ち上がりを与えるたびに0、1、2、...と2進数の値で出力していき、カウント15の次は0に戻る動作、リセットをする。その間、RippleCarryという出力端子がHの出力を出す。このRippleCarryの信号を、Hが入れば信号の色を変化させる動作をする回路の入力になるようにする。

センサーの出力は車が通過していると信号を出すから、それをカウンターのクロック入力端子につなぐ。ただし車が通過するということは、車認識回路の出力が1から0になることで、この74HC161はクロックの立ち上がりを数えるポジティブエッジトリガーなので車認識回路の出力をNOTで反転させたものをクロック端子に入れなければならない。

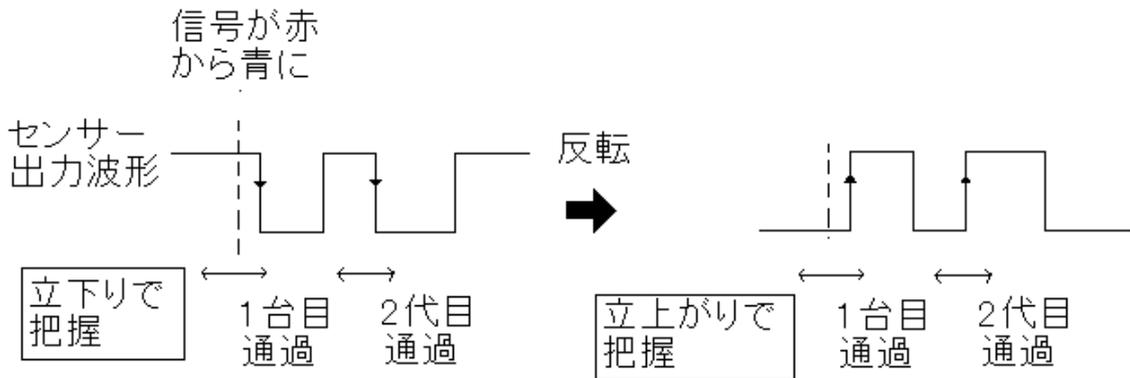


図 2 . 1 6 反転の理由

- 30 秒経っても車が通過しない -

30 秒経っても車が通過しないことを知るためには、車が車認識回路を通り過ぎてからの時間を計る必要がある。30 進カウンターに周期が 1 秒のクロック信号を与え、車が車認識回路を通り過ぎたら時間を計り始め、30 カウント時に信号変化のデジタル信号を出す、そして 30 秒経つまでに車が来ると、計測をリセットする動作の回路が必要である。

少しややこしいように思えるが、カウンターの CLEAR 信号を上手に使えるば簡単に製作できる。CLEAR 信号を入れっぱなしにすると、その間カウンターはカウント動作をしないことを利用する。

周期 1 秒のクロックを常に入れ、センサー出力を反転し CLEAR 端子に入れるだけでよい。(CLEAR がアクティブ L の時。アクティブ H ならセンサー出力そのまま。)

* 非同期クリアの場合のみ *

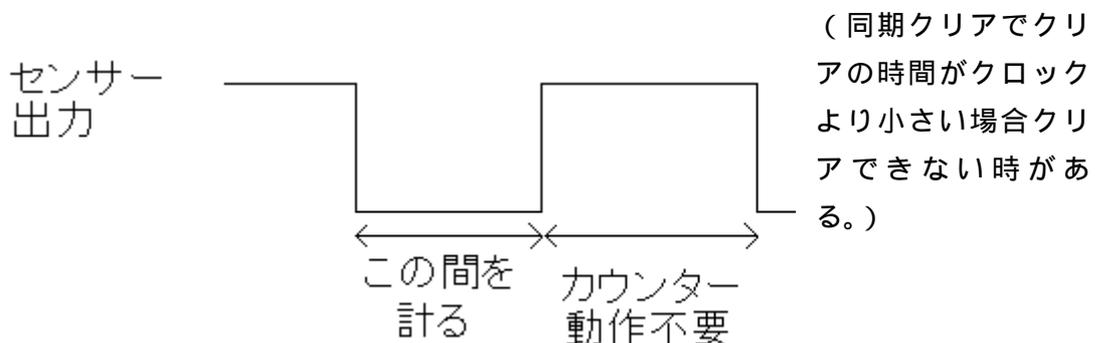


図 2 . 1 7 CLEAR 信号を利用

30進カウンタは、10進カウンタと3進カウンタの組み合わせで設計した。10進カウンタは専用のIC、74HC160を使用し、3進カウンタはDフリップフロップの組み合わせで設計した。

デジタル回路の勉強として、または回路を作る際の慣れなどを考えると前述の16進カウンタや10進カウンタをF・Fの組み合わせで作るべきなのかもしれないが、使用するICの数が増え製作に時間がかかってしまうため専用のICを使用することにした。

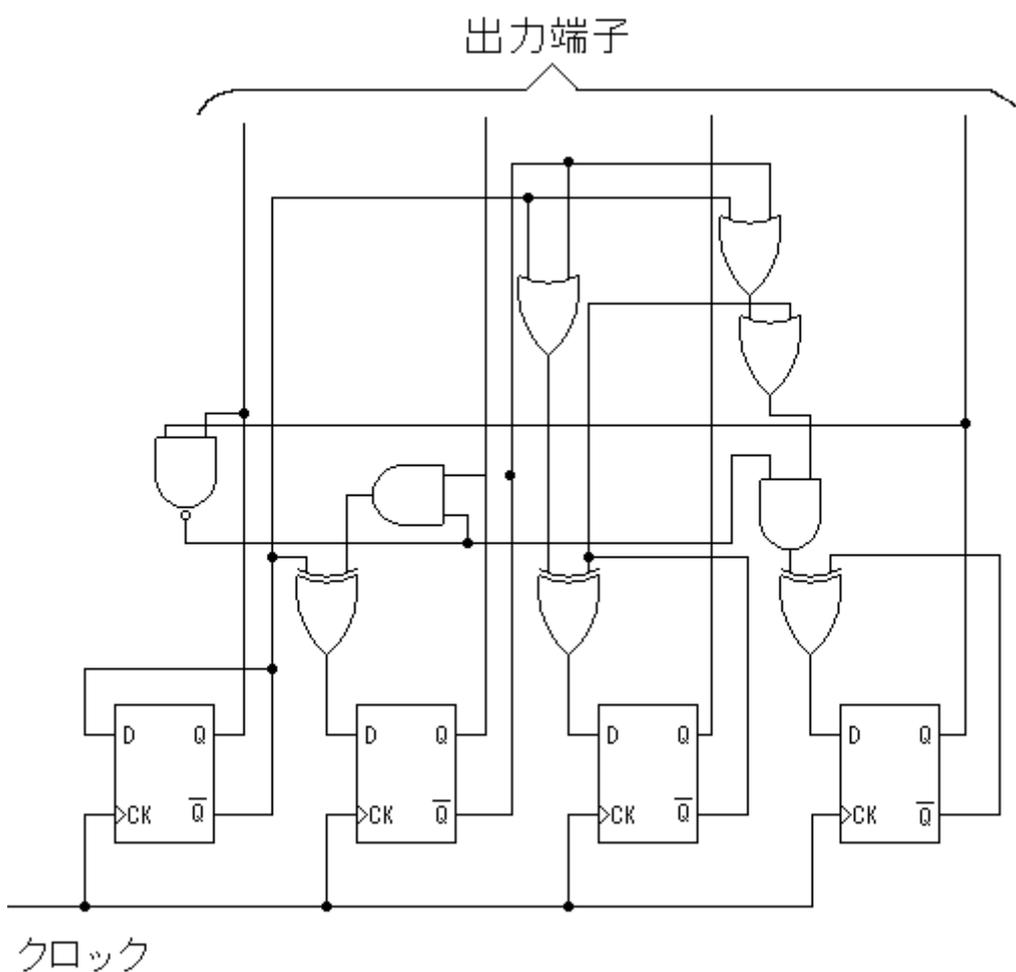


図2.18 Dフリップフロップによる10進カウンタ

74HC160を使うと、この図2.18のDフリップフロップによる10進カウンタがIC1個で収まる。

実際に設計した30進カウンタの回路を図2.19に示す。

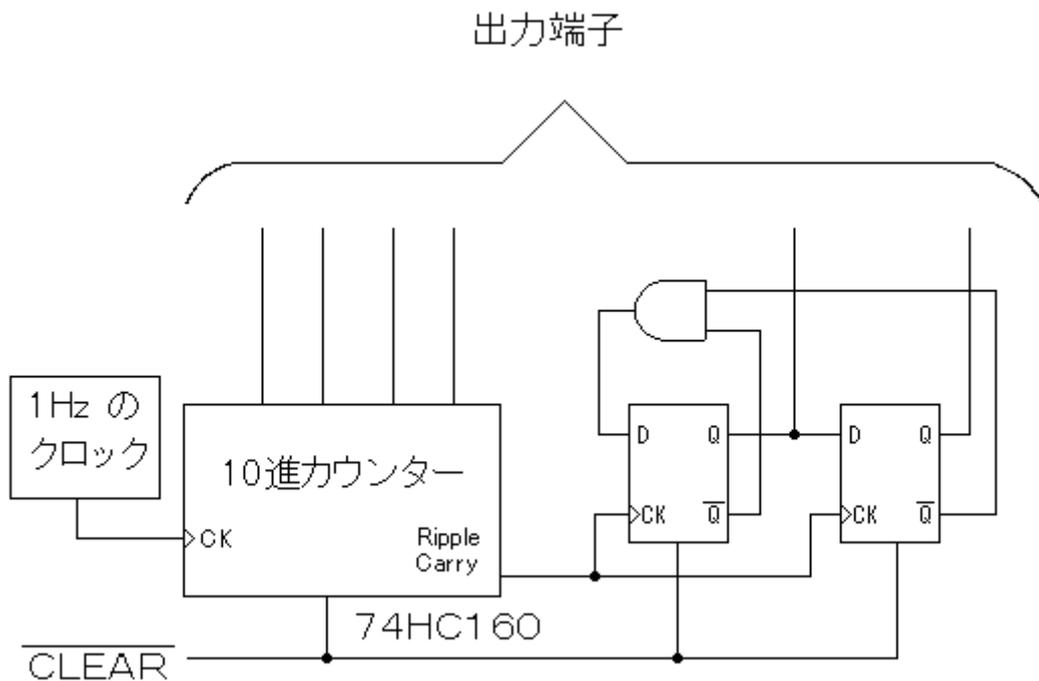


図 2 . 1 9 30進カウンタ

この回路で30秒経った時に信号変化のデジタル信号を出すためには、カウント29をNANDによりデコードし、それをポジティブエッジトリガのD-FFのクロック端子につなぐ。そうすると30秒経った時、D-FFの出力がHを出すのでこれを信号変化のデジタル信号とする。

1 Hz のクロックはC-MOS インバータ 3 段回路によって作る。

C-MOS インバータ 3 段回路

コンデンサーの充電と放電の繰り返しと、インバータの特性によるクロック生成回路である。

$C_t=1\mu$ $R_t=560k$ $R_s=10k$ で約 1 Hz のクロックを出す。

周期を T とすると

$$T=-C_tR_t \left[\ln \left(\frac{V_t}{V_d + V_t} \right) + \ln \left(\frac{V_d - V_t}{2V_d - V_t} \right) \right]$$

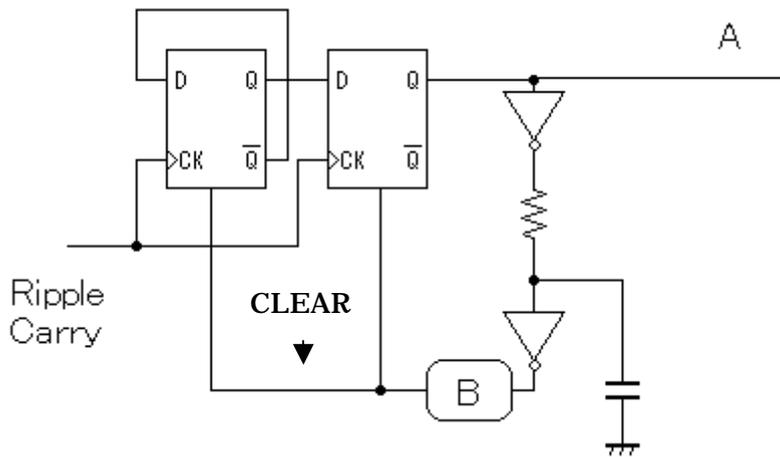
V_t : インバータのスレッシュホールド電圧
 V_d : 電源電圧
 R_s : 保護抵抗

- 10秒間隔が2度あった -

10秒間隔があったことは、上の30進カウンターのRipple Carry端子をD-FF作った3進カウンターのクロックに入れることで処理できる。

そしてカウント2をデコードさせる。ここではさっきとは少し違った方法でデコードすることにした。

2つのD-FFをつなぐ。図2.20での右側のD-FFの出力QがHになると信号変化のデジタル信号を出し、CRのディレイにより遅れたHがF.F.をリセットする。



BにはF.FのClearがアクティブLならNOTを入れる。または \bar{Q} 端子にCRをつける。
Aは信号変化のデジタル信号。

図2.20 10秒間隔が2度あるかを調べる回路

この回路を渋滞防止回路と呼ぶことにする。

CRによるディレイ

AとBは論理では同じ値だが、抵抗とコンデンサーによりAが $0.7 \times R \times C$ 秒遅れBに出る。

工事用信号機の情報を処理する部分のブロック図を下に示す。

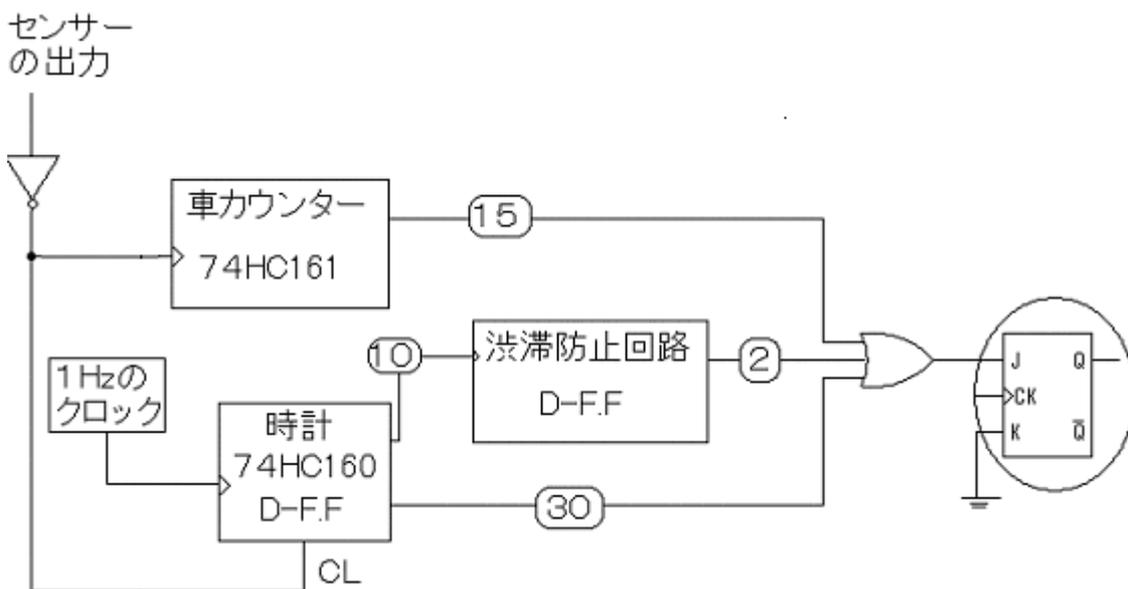


図 2 . 2 1 情報処理部分のブロック図

丸で囲んである JK-F.F は 1 度でも J に H が入れば Clear が入力されるまで H を出し続ける動作である。次の項目で説明する。

工事用信号機では車認識回路を 2 個使用している。情報を処理する回路へのデジタル信号には、どちらの回路の出力を取り出すのかを判断し、選んだ方の信号を、情報を処理する回路へ伝える動作が必要である。

ここで述べてきたように、情報を処理する回路に必要なデジタル信号は、信号機の色が青で車が通過している側のデジタル信号である。このため信号機の色が青であることを示す信号をデータ選択線にしたマルチプレクサを使うことにした。

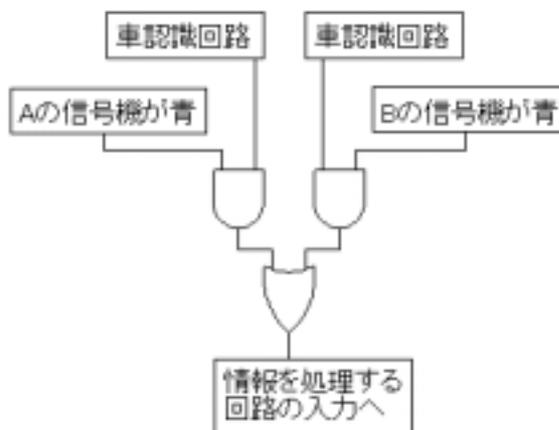


図 2 . 2 2 車認識回路の選択

2 - 3 信号を変化

前に述べた情報を処理する回路からの出力（以降、信号変化と呼ぶ）を、信号を変化する回路に入力する。相手側の車認識回路の H が来れば信号機の色を変えるように設計する。すなわち、相手側の信号機前で車が待っていないければ、信号機の色を変化させないような回路にしなければならない。

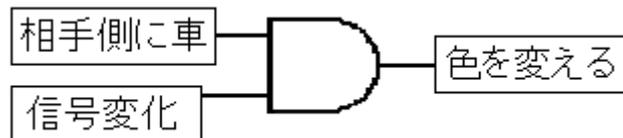


図 2 . 2 3 色を変える条件

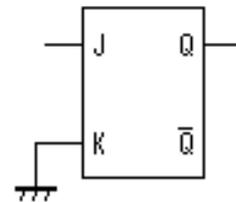
赤信号待ちの車がない時、『相手側に車』が L 出力である。信号変化のデジタル信号は相手側の車認識回路から H が来るまで流れつづけさせることで

- (1) 信号を変化させようとするとき赤信号待ちの車がなければ色を変え
- (2) その状態の時、車が来ると色を変える
- (3) という条件を満たす。

しかし、この図 2 . 2 1 の色を変えようとする 3 つの信号は情報を処理する回路からの出力である。情報を処理する回路からの出力はカウンターのリセット同士の OR をとったものである。つまり、このデジタル信号は、リセット信号を用いているため少しの間 H 出力をして L に戻ってしまう。このため図 2 . 2 3 のように直接、AND をとることができない。

これらの課題は JK - F . F を用いる回路により解決できる。

JK - F . F の K の入力端子をアースにつなぐ。（常に L を入力）こうした場合、J に 1 度でも H が入ると、その後 J の入力が L であろうが H であろうが、出力 Q は Clear をしない限り H を出し続ける。



信号機の色は赤と緑の LED (GL 5 PY 8 と GL5PYG 8) で表し、ともに点灯しないように片方に NOT をつけ並列につなぐ。

片方の JK-F.F の出力が L から H になった時というのは、対応する信号機が青から赤になる時のことである。その時、もう一方の JK-F.F の出力は H を出力している。(相手側の信号機が赤色) その相手側の JK-F.F をリセットするため、出力を相手の JK-F.F の Clear 端子につないでいる。そのままではなく、CR により 10 秒ずらしてリセットすることにより、信号が色を変化さすときの条件 < 双方をいったん赤にする > を満たすことになる。

黒矢印で示した NOR は、この回路に電源電圧を入れた直後の時のみ動作する。回路に電源電圧が入ってない時では、すべての端子が L 状態になっている。電源電圧を入れたすぐ後は、両方の JK-F.F が L を出力、つまり両方の信号機が青を表示してしまうことになる。信号機が両方青というのは絶対あってはならないことなのでこの回路 (NOR) をつける。

赤だった信号が青になった時に情報を処理する回路のリセットを行うよう、2 つの JK-F.F の出力の AND をとり、その出力を Clear 端子につなぐ。

3 評価

3 - 1 車認識回路の評価

図 2 . 5 を、汎用ロジック IC 等を使用して製作した。
IC による車認識回路図を下に示す。

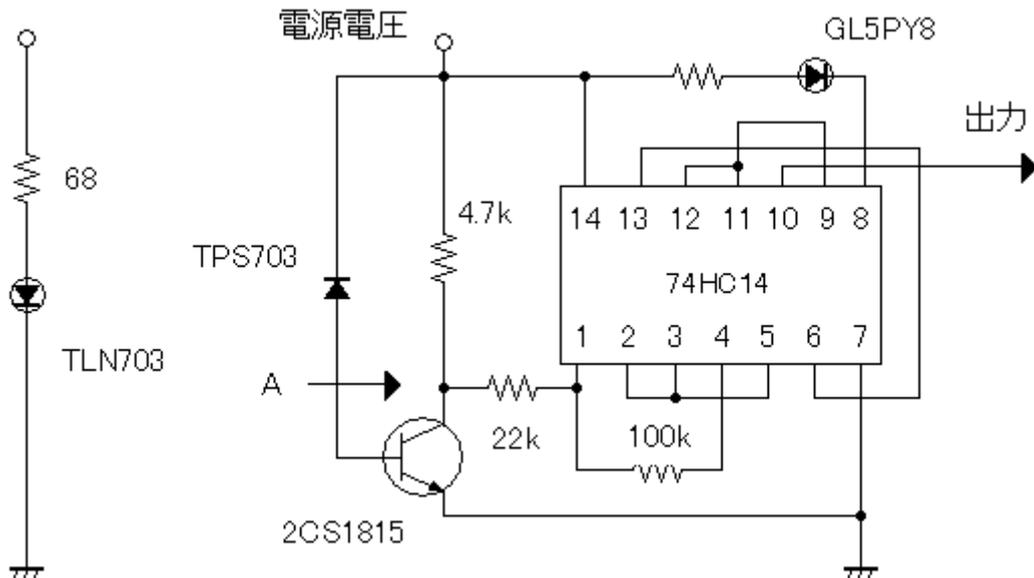


図 3 . 1 IC による図 2 . 5 の表現

実際に製作したものは誤動作を起こした。確認用 LED が、フォト.ダイオードが光を受けようがさえぎられようが点灯しない、というケースがほとんどであった。

この図 3 . 1 の回路は、湯山俊夫著『デジタル回路の設計、製作』より引用したものであるが、違う抵抗や電源電圧の値、素子を使用したので、そこに原因があるかを調べた。

湯山俊夫著『デジタル回路の設計、製作』の回路図との違う点

- ・ 確認用 LED が TLR 1 0 2 A に対し、GL 5 PY 8 を使用
- ・ バイポーラトランジスタが 2 CS 1 0 0 0 に対し、2 CS 1 8 1 5 を使用
- ・ 電源電圧が 6 V に対し、5 V を使用

確認用 LED の保護抵抗は前述の計算で 300 とした。湯山俊夫著『デジタル回路の設計、製作』では、使用している LED は TLR102A で、電源電圧 6V を使用し、保護抵抗は 2.2k を使用していた。TLR102A は 20mA が適正であり、計算で保護抵抗の値を求めると

$$(6 - 2) / 20\text{m} = 200$$

より 200

と、使用している抵抗の値より小さい値である。2.2k を使用しているのは CMOS に大きな電流を流し、IC を破壊しないために大きな値の抵抗にしているのがあった。

これを参考にし、確認用 LED の保護抵抗値を変えることにした。

湯山俊夫著『デジタル回路の設計、製作』では、保護抵抗 2.2k であるから、流れる電流を x として式を立てると

$$(6 - 2) / x = 2.2\text{k}$$

x 1.8m

より 1.8mA が流れていることになる。この値は通常の CMOS のシンク電流より小さく理解できる。そこで 1.8mA を取り、GL5PY8 の保護抵抗を求める。

$$(5 - 2) / 1.8\text{m} = 1.5\text{k}$$

より、1.5k になおした。

1.5k に変え、もう 1 度回路を組んだが、動作しなかった。保護抵抗 300 を使ったことによる IC の破壊のために、回路が誤動作することとはなかった。

次にバイポーラトランジスタの出力について調べてみた。

2CS1815とTPS703を右の図3.2のようにつなぎ赤外LEDの光をあてた時と、光をあてなかった時の V_o の電圧値を測定した。

すると、光をあてたときの電圧 V_o が2.3Vであった。

車認識回路では、光があたった時の V_o はLになる必要があったが、この2.3VではHととられてしまう可能性が高い。

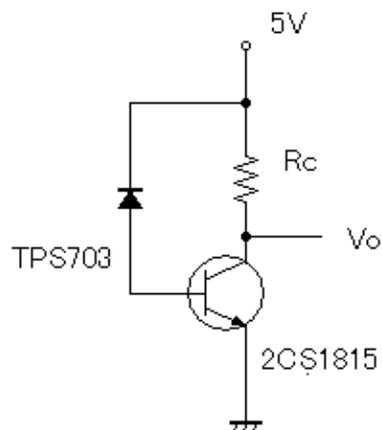


図3.2 2CS1815の測定

74HC14では V_h 2.5 V_l 1.8
 さらに車認識回路では、22k と100k の抵抗により
 V_h 3、 V_l 1 (図2.11参照)

抵抗 R_c の値が適正ではなかったのである。

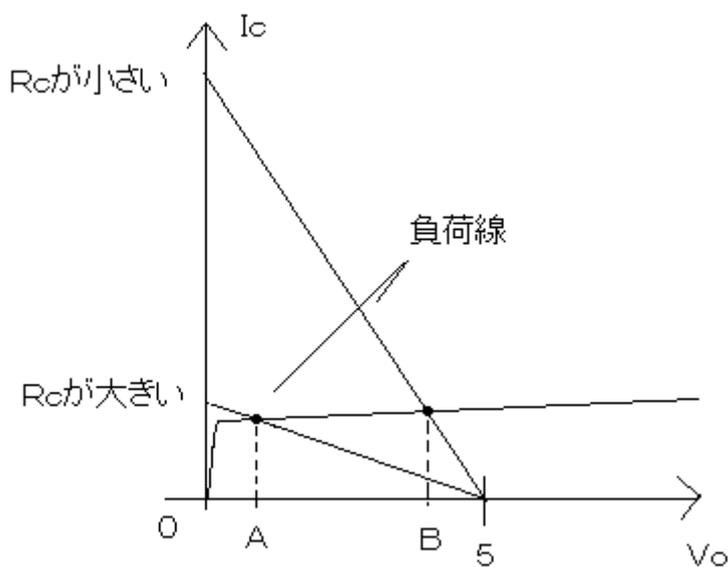


図3.3 抵抗 R_c の適正值

図3.3のように R_c が小さいと、出力の値がインバータにHと判断されてしまう。

R_c を4.7より大きな値にしなくてはならなかったのである。 R_c を色々な値にして測定してみた。

$R_c = 22k$ の時

$V_o = 1.7$

$R_c = 47k$ の時

$V_o = 0.8$

$R_c = 68k$ の時

$V_o = 0.5$

湯山俊夫著『デジタル回路の設計、製作』の図に4.7kを使用していたので、4.7kの抵抗を使ったが、おそらくタイピングミスで47kが4.7kになっていたので誤動作したものだと思われる。

よって抵抗4.7kを68kに変えてみた。また、ONしている時、OFFしている時の2CS1815の出力を測定した結果、インバータがシュミットインバータである必要がないので74HC04を使用した。

そして、動作確認を行うと目的通り、光を受ければLを、光がさえぎられるとHを出力する動作をした。訂正後の回路図を下に示す。

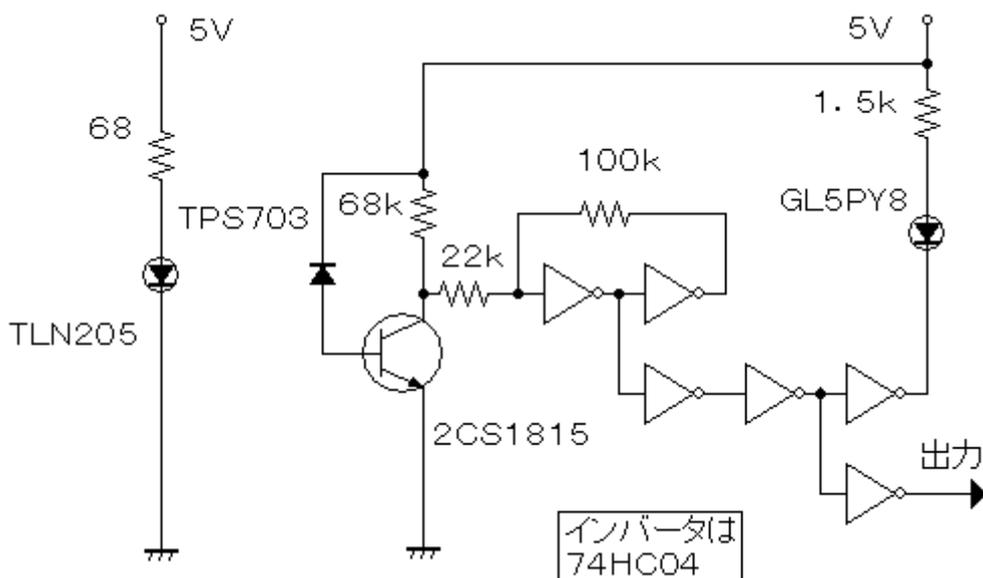


図3.4 訂正後の車認識部の回路

3 - 2 情報を処理する回路の評価

ICによる情報処理部分の回路を下に示す。

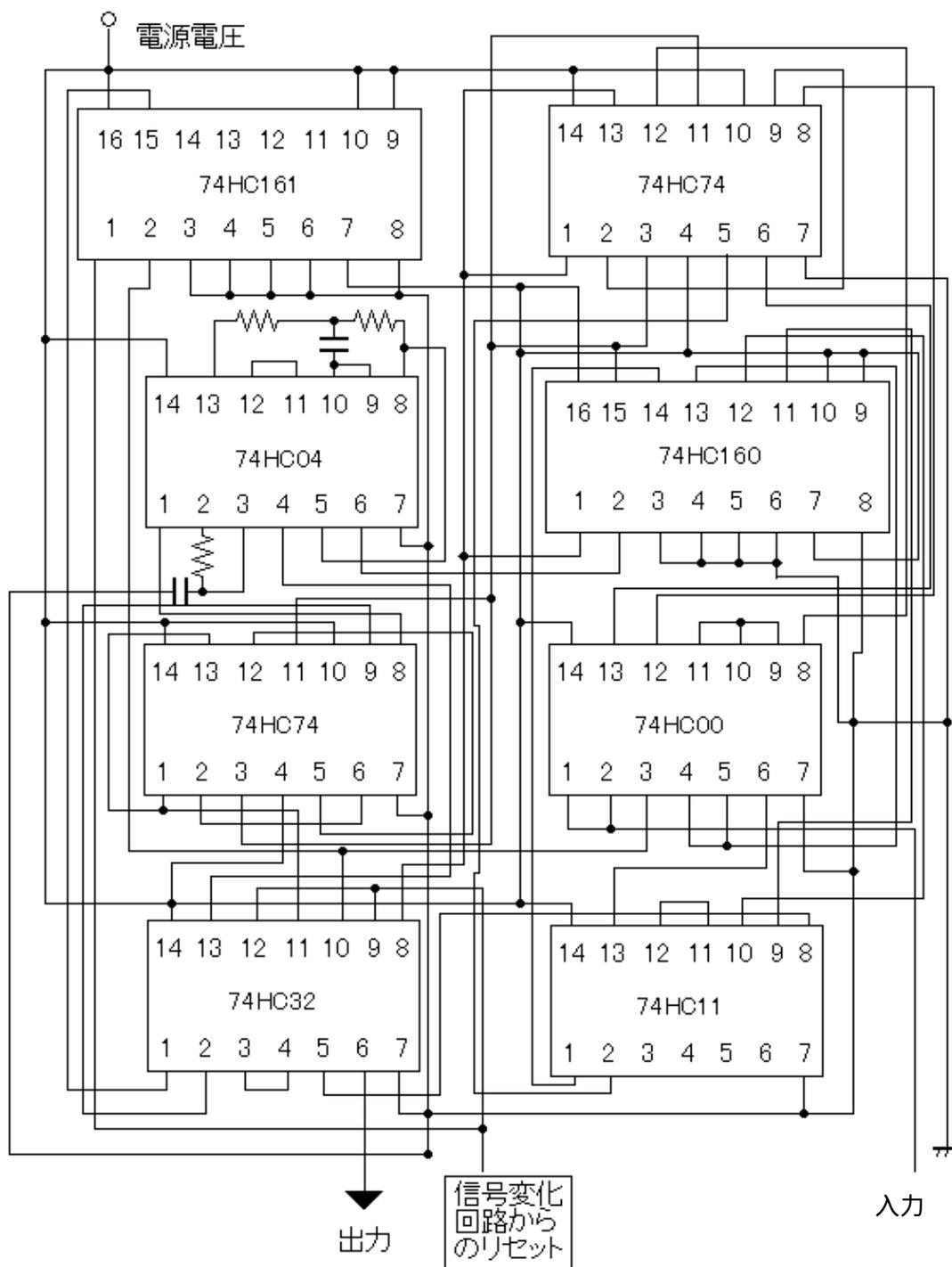


図3.5 ICによる図2.20の表現

30秒経っても車が通過しない時に出力をHにする、としていたがCRによる発振回路の周期が不安定であること、ICの数が増えるなどの理由より、29秒で出力を出す回路にした。

入力を次の3つのパターンに分け動作確認を行った。

- ・ 短い間隔の車が15台通過
- ・ 10秒以上間隔のあいた車が通過
- ・ 1台通過して30秒車が来ない

短い間隔で車が15台通過する場合の動作だが、ファンクションジェネレータより、1Hzで0Vと5Vを振幅するパルス電圧をあたえることで動作確認を行った。結果は正常に動作した。

10秒以上間隔のあいた車が通過場合の動作は、周波数を70mHzにし、(周期約15s)動作確認を行った。この場合も正常に動作した。

1台通過して30秒車が来ない場合の動作は、誤動作を起こした。30秒経つ前に出力が出てしまう、という動作だった。

これは相当な初歩的なミスであった。渋滞防止回路はいわゆる2進カウンタであり、10進カウンタが10をカウントする時Ripple Carry端子よりクロックの立上がりを得ている。

渋滞防止回路が2をカウントするのと、30進カウンタが30をカウントするのは当然、渋滞防止回路の2カウントが先である。それらのORを出力としているのだから、30秒経つ前に出力が出てしまうことになった。

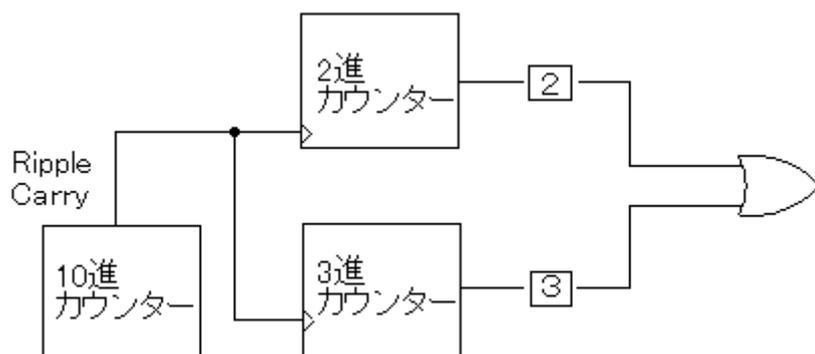
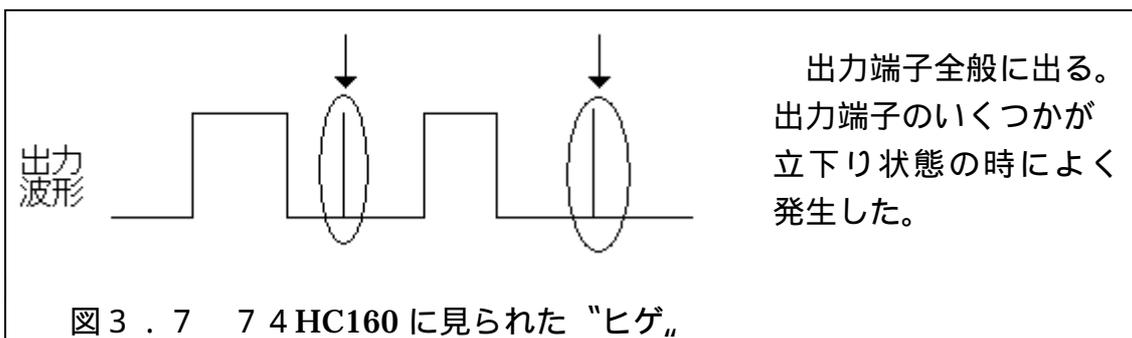


図3.6 30カウント出力がでない理由

しかし、それだけが原因ではないことが分かった。同研究室の先輩や、矢野先生の下で実験をしている3年の学生から聞くことなどで分かったのだが、10進カウンターのIC、74HC160の出力端子は、“ヒゲ”と呼ばれる不規則な出力を出し、回路を誤作動させることがある。74HC160だけの測定では“ヒゲ”は発生しないが、他のICと組み合わせた場合によく発生する。



10進カウンターをヒゲの起きないICで製作し、それによる30進カウンターで、カウント10をデコードしたものを渋滞防止回路のクロックに入れることで、30秒経つ前に出力が出てしまうという問題は解決できる。

動作確認に時間がかかる、回路の規模が大きくなるなどの理由より、車を待つ時間30秒を20秒にし、回路を訂正した。訂正した回路図を下に示す。

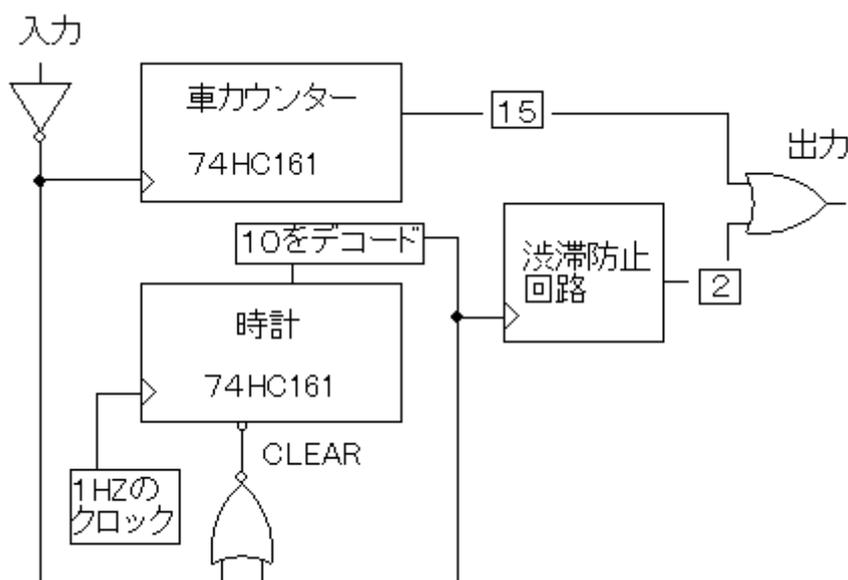


図3.8 訂正後の情報を処理する回路

3 - 3 信号を変化させる回路の評価

図 2 . 2 4 を汎用ロジック IC を用いて製作した。

図 2 . 2 4 では OR 1 個、NOR 1 個を使用している。IC の数を減らすため、OR を NOR+NOR の形にして製作した。

さらに、2 入力 AND は、情報を処理する回路のリセットのためのものであったが、情報を処理する回路のリセットはアクティブ L であったため 2 入力 NAND に変えて、製作を行った。

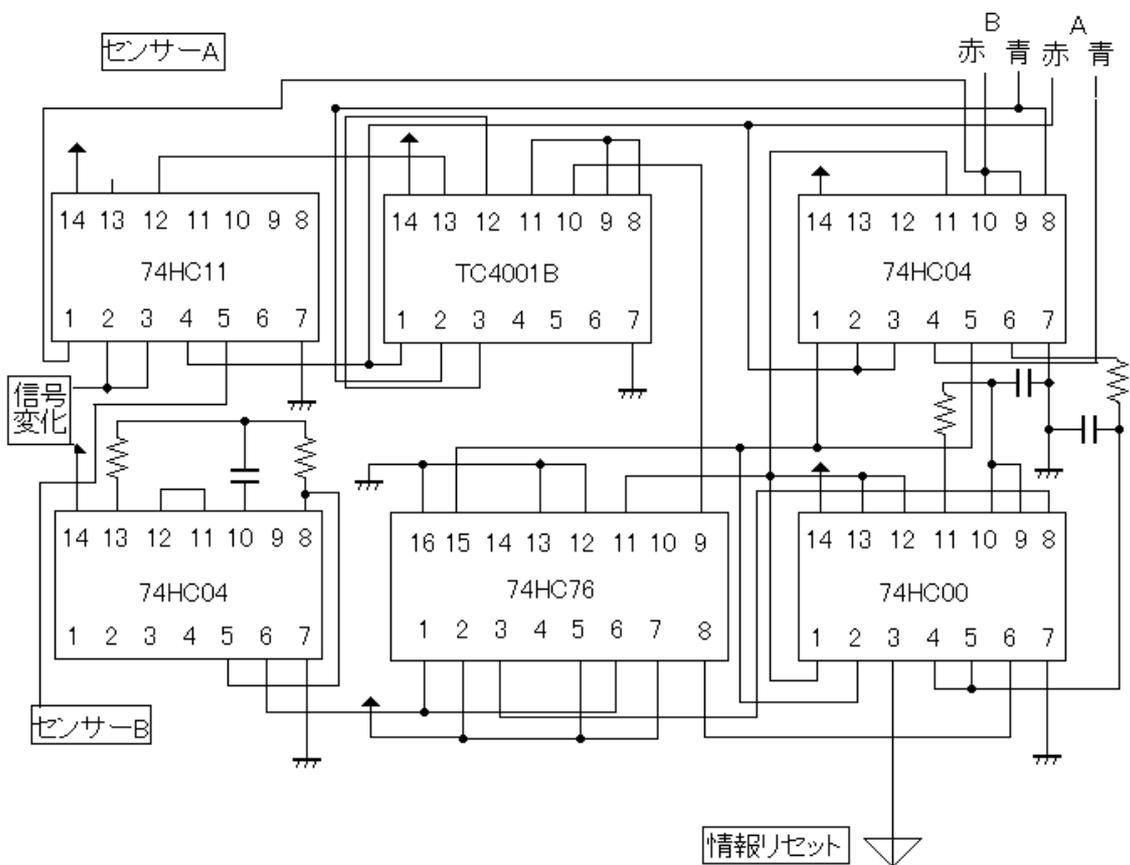


図 3 . 1 0 IC による図 2 . 2 2 の表現

左下の 74HC04 では、JK-F.F を動かすために必要なクロックを作るための回路で CMOS インバータ 3 段発振回路である。周期が 1 秒を超えるような遅いクロックでない限り、動作的に問題にならないため、手元の素子で作りやすかった周期 1 m s のクロックを作った。($C_t=10000\text{ p}$ $R_t=56\text{ k}$ $R_s=10\text{ k}$ 2 - 2 参照)。74HC00 の上にある CR は 7 秒ほど遅らせるためのディレイ回路で、使用した素子の値は抵抗 470 k 、コンデンサー 22 $\mu\text{ F}$ である。

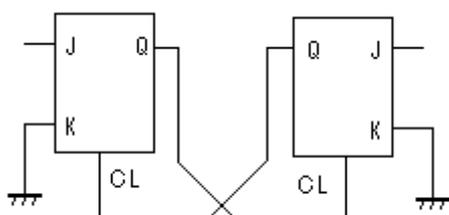
回路を実際に組んで動きを確かめると、全く信号が変化しないことが分かった。オシロスコープにより IC のピンを調べ、原因を探していると JK-F.F が動作していないことが原因だと分かった。

動作しない原因は設計の誤りによるものであった。原因を下に示す。

図 2 . 2 4 で 2 つの JK-F.F の Clear 信号は、相手の JK-F.F の出力によるものであった。2 つの JK-F.F の出力は排他的な関係で、信号変化のデジタル信号が来れば互いの値が変わるようにしているつもりだった。

実際には信号変化のデジタル信号が来ても値を変えていなかった。

JK-F.F をリセットする時、Clear 信号が流れっぱなしになってしまい、JK-F.F が動作をしないことが原因であった。



いったんどちらかの Q が H を出すと、Clear 信号を流しっぱなしになり、変化を全くしなくなる。

図 3 . 1 1 JK-F.F が動作しない理由

Clear 端子に入れるデジタル信号の波形は、カウンターの Ripple Carry 出力の波形のようにはなくてはならない。

そこで次のような回路を考えた。

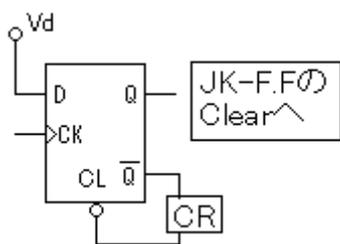


図 3 . 1 2

図 3.10 を動作させるための回路

双方の JK-F.F の出力を、ポジティブエッジトリガの D-F.F の入力端子に入れ、D-F.F の出力 Q を相手側の JK-F.F の Clear 端子に入れる。D は常に H を入力する。

D-F.F の出力 \bar{Q} は初期状態で H である。CK が立ち上がると L になり、Clear により初期状態に戻り再び H になる。CR により Q より遅れてリセットしているので、遅らした時間だけ Q が H 出力をすることでカウンターの Ripple Carry のような波形を出すことが可能になる。

動作確認で希望の波形が得られたのでこの図3.11を使用する。
訂正した回路を下に示す。

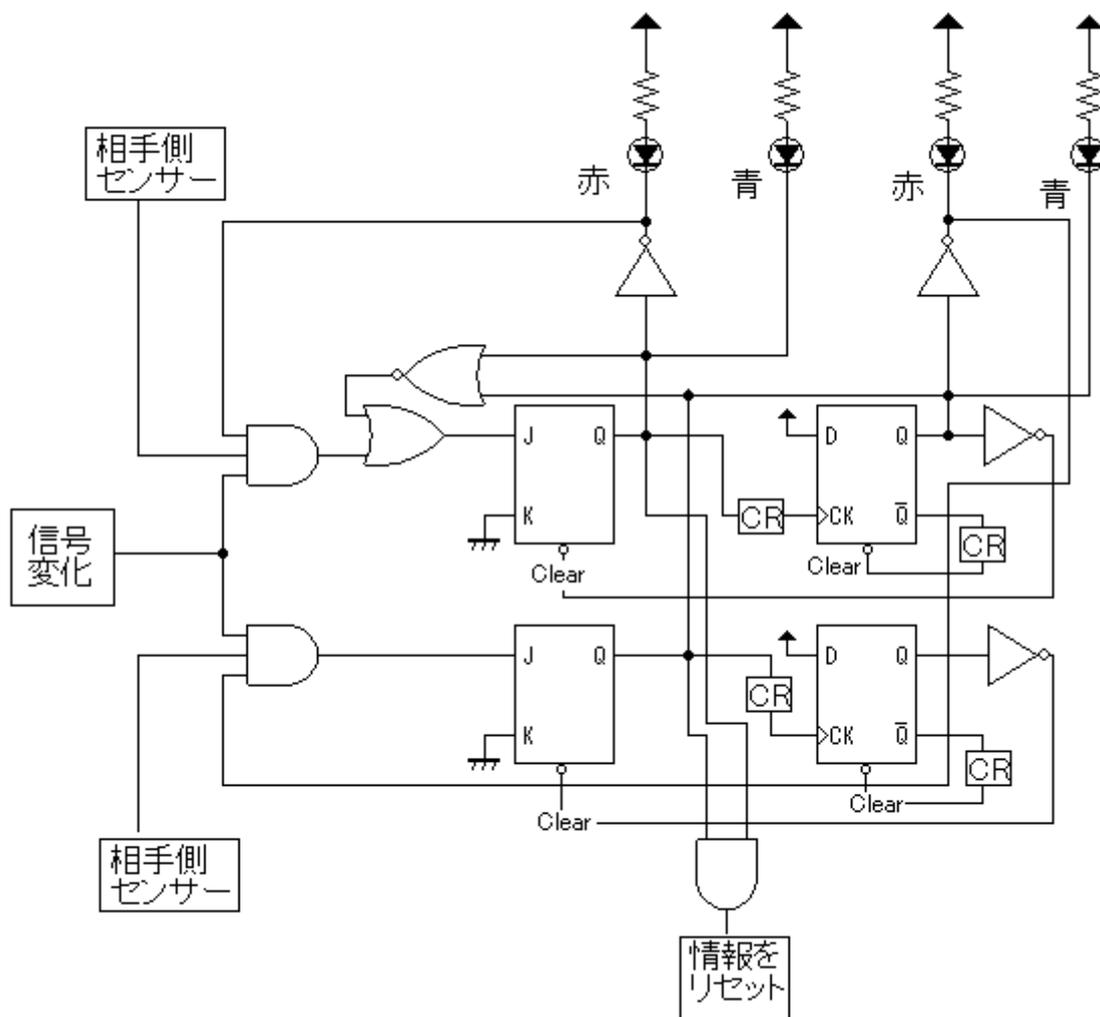


図3.13 訂正後の信号変化回路

JK-F.Fの出力QからD-F.FのClear端子へのCRによるディレイ時間は
前途と同じく7秒くらいとする 抵抗470k、コンデンサー22μF
より約7.2sのディレイとする $\dots 0.7 \times 470k \times 22\mu = 7.2$

D-F.Fの出力 \bar{Q} からClear端子へのCRによるディレイ時間は
信号変化の間の時間より十分に小さい値であればいいので、1秒とする。
抵抗1M、コンデンサー1μF
より約0.7sのディレイとする $\dots 0.7 \times 1M \times 1\mu = 0.7$

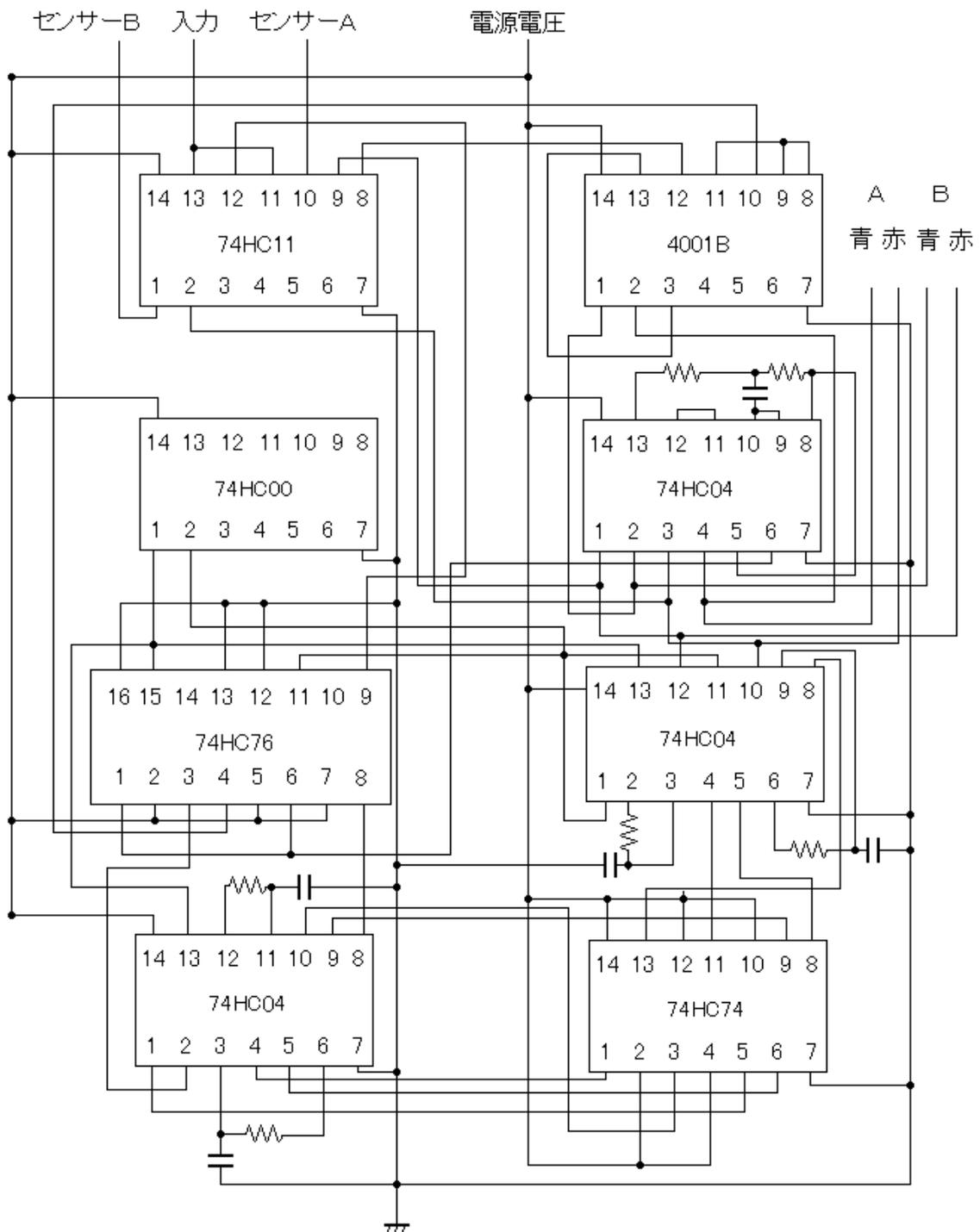


図 3 . 1 4 ICによる図 3 . 1 2 の回路

4 まとめ

計算や論理上で考えて作った回路を実際に製作すると、1つとして目的の動作を行わなかった。使用する IC の論理的な動作だけでなく、特性を十分に理解することが大事なことを知った。

(1) 動作<機能>を考えて、(2) まず論理的な設計をし、(3) それを回路に直し、(4) さらにそれを具体的な部品を用いて実現し、(5) 目的の動作をするかのテスト、(6) 不具合点を見つけての修正など一連の作業を通して、貴重な経験をした。また、動作だけを追求するのではなく、物を破壊しないための工夫、技術や、雑音などに対応する技術など、井の中の蛙程度ではあるだろうが多くのことを知り身に付けることができた。

5 謝辞

「反省文を書きなさい」「やる気がないなら帰いなさい」といったと言葉をよく耳にした学生生活を送ってきた私が、駄作とはいえ、この卒業論文を仕上げることができたのは、私に力を貸してくれた先生方、先輩や友人のお陰だと心から思っています。特に原央教授には、あきれくらい基礎を理解していない私に、親切に指導していただいたこと、とても感謝しています。また、輪講時に丁寧にご指導していただいた矢野政顕教授、橘昌良助教授の助けがなければ、この報告書は存在していなかったと確実に断言できます。同研究室の先輩、新妻さん、柏田さん、友人の窪田君は自分の行動を中止してまで、私の卒業研究を助けてくれました。また、橘研究室の所谷氏の卒業研究への意気込みは、こちらまで影響を受けるほどで多少、助けになりました。皆様、本当にありがとうございました。

6 参考文献

- | | |
|--------------------------|-----------|
| 湯山 俊夫著：デジタル IC 回路の設計 | CQ出版社 |
| 湯山 俊夫著：デジタル回路の設計・製作 | CQ出版社 |
| 白土 義男著：たのしくできるデジタル回路の実験 | 東京電機大学出版局 |
| 鈴木美朗志著：たのしくできるセンサ回路と制御実験 | 東京電機大学出版局 |
| 中村 次男著：デジタル回路設計法 | 日本理工出版会 |
| 藤井 信生著：なっとくする電子回路 | 講談社 |