

マイコンによる制御システムの実現

実験の概要

- ・この課題は、Z80制御用マイコンあるいはパソコンを用いて計算機制御システムを実現するもので、これまでに諸君らが与えられてきた情報工学実験とは趣がやや異なる。
- ・グループに編成された諸君らが主体となって、実験や講義、過去の生活過程で体験したであろう知識・技術を駆使し、互いに相談をし、時には調査・研究しながら、『課題に沿った具体的な計算機制御システム』を企画・立案し、これを実現させるものである。
- ・従って、諸君らは課題のシナリオライターとシナリオを演じる配役となる。指導者は、諸君等のテーマを実現に向かわせるための環境整備や進行係としての脇役である。これをよく理解して実施することが大事である。

スケジュール

①4回で完了する予定である。

②初回目

- ・何を課題として創作するかを企画立案し、イメージ化を図る。
- ・イメージをもとに使用設計を書く。
- ・電子部品、工作材料、電子工作機器、計測機器、計算機、工作工具類、電源などを洗い出して点検する。
※ 不足する電子部品、工作材料や機器具等がある場合には指導者に相談すること。

③2回目より製作に取り掛かる。

執 筆：長岡敏彦 名古屋大学工学部・工学研究科技術部計測・制御技術系技術長(技術専門官)
(Ver.1.1:1995.02, Ver.1.2:1996.05, Ver.2:1997.08 , Ver.2.1:1999.09)

目次

	頁
1. 目的	1
1.1 設備ならびに材料	1
1.2 製作に関する留意事項	1
1.3 創作課題の報告書の書き方	2
2 参考回路	2
2.1 直流モータの制御回路	2
2.1.1 DCモータのON/OPFと正転/逆転	3
2.1.2 DCモータの速度制御回路	4
(1)D/Aコンバータによる速度制御	4
(2)DCモータのPWM制御	5
2.1.3 サーボモータ制御回路	7
2.2 光センサ	8
2.2.1 フォトトランジスタとフォトダイオード	8
2.2.2 反射型センサ	9
2.2.3 光センサの応用	10
(1)光の明暗を検出する回路例	10
(2)フォトレフレクタのパルス変調	10
(3)カラーセンサ	11
<動作原理>	
(4)ログアンプ	12
(5)ログアンプの回路例	13
(6)カラーセンサの初期値設定と色識別のルーチンの例	14
2.3 超音波センサ	14
2.3.1 超音波センサの動作原理	15
2.3.2 超音波センサ回路	15
(1)発振回路、(2)受信回路	15
(3)電源電圧	16
(4)調整	16
送信ユニットの調整	16
受信ユニットの調整	17
(5)距離測定のプログラム例	17
2.4 電圧変換の方法	18
2.5 リレー	18
2.6 温度センサ	19
(1)IC化温度センサ	20
2.7 ひずみゲージ	21
2.8 コンパレータ(電圧比較器)	23
2.9 PC-9801のマウスインターフェース	24
3. 参考資料	25

マイコンによる制御システムの実現

1. 目的

「創作課題は」、これまで実施してきた実験、講義、演習とは趣を大幅に換えたもので、グループ単位で行動し、実験や講義などで学んだ知識・技術を活用し、足りないところは図書館などに出向いて調査して「マイコンで制御する機械、玩具、計測機器」のような「マイコンによる制御システム」を実現するものである。

従って、個々のアイデアを呈示し、これを下敷きに、グループ内で話し合っ具体的テーマを設定する。それを基にシステムの仕様を決め、システムの機構、制御回路、制御プログラムを製作して、一つのまとまった作品を製作するのである。ようは、諸君らが自らに課したテーマを、チームワークで自主的に解決していく性格のものである。

1. 1 設備ならびに材料

学生実験室に備えられているパソコン、Z-80制御用マイコン、ROMライター、言語(BASIC/C/Z-80アセンブラ)、工作機械/測定装置/電子回路工具/電子部品類/参考資料、図書などを使用して製作をおこなう。これ以外のものは実験担当者に相談すること。大学の中央図書館、情報工学科の図書室等も利用せよ。

1. 2 製作に関する留意事項

創作課題の製作は、以下に上げた項目をよく読み、それに従って実施すること。

- ①マイクロコンピュータ実験2に記した「回路製作における安全上の注意事項」と「回路の作成行程と注意事項」を熟読して創作課題に取り組み。
- ②創作課題は、得てして大きなシステムになり勝ち。時間内で製作できる作品にすること。
- ③ガタイの大きな作品はできる限り製作しない（作品の置場所に困る）。
- ④ジャンク部品や板切れ、ペットボトル、発砲ポリスチロールなどの廃品なども用いて省資源につとめよ。
- ⑤金をかけて創ればとか、あまりにも受けに走り過ぎたり、安易な方法をとらないように心がけること。
- ⑥作品の企画設計ができれば、実験指導者に説明し、判断をおおぎ、OKが出たら製作に入ること。
OKが出なかったり、もう少し検討せよとの指示が出されることもある。
- ⑦電子部品、工作パーツ、塗料、その他、一般的な消耗品類は、出きる限り大学で用意するが、創作課題という性格上、諸君の製作する作品を事前に予期できない。
それ故、諸君等がアメ横やホームセンターなどで購入するなどして材料を用意する場合もある。
- ⑧電子部品、工作パーツなどに関しては、なにがしかの自己負担があることも承知しておくこと。

1. 3 創作課題の報告書の書き方

- ① 作品のタイトル
- ② グループのメンバー名と任務分担など
- ③ 企画段階の説明：製作された作品が決まるまでの検討状況、決定した作品のイメージ（スケッチ）など。
- ④ 製作した作品の特徴など
- ⑤ 作品（システム）の設計仕様など
 - 作品のシステム全体像が把握できるように簡単なイラストかスケッチを添付すること。
 - ハードウェア
 - メカニカル：メカの構成図を付け、寸法、材料、組立方などの説明を加える。
 - 電子回路：回路図を付け、信号線などのコネクション関係がわかるように説明を加える。
 - ソフトウェア：プログラムやフローチャートをつけ、その動作説明をする。
 - 外装に関する説明
 - 製作した作品のコスト（開発コスト：製作に要した時間、材料費、人件費など）
 - セールスポイント
 - 問題点（改良すべきところなど）
 - その他
- ⑥ 作品の動作方法
 - ゲーム機械システムなどは遊び方、計測機器システムなどは使い方を説明する。
- ⑦ 考 察：必ず記すこと
- ⑧ 感 想：必ず記すこと

【課題1】 CPUの開発の歴史について調べ、自分なりに思うところを考察せよ。

2. 参考回路

いくつかの回路とそのマイコン制御方法を例示しておくので必要ならば参考にせよ。ただし、この回路例は基本的なものであるから、諸君等の求めているものにピッタリ合致しないであろう。利用する場合は、よく吟味して用いることである。わからないことがあれば図書館などに出向いて参考文献などを調べて対処せよ。

2. 1 直流モータの制御回路

直流(DC)モータは制御の容易さと高性能化により様々な製品に組み込まれている。DCモータの基本的な接続図と特性は一般的に図1のようになる。回転数 N はモータに印加される電圧に比例する。よってDCモータの制御はモータへの供給電圧を変化させればよいことが理解できるであろう。DCモータを安定かつ希望の回転数に制御する方法は何種類か考案され、その技術も確立されている。基本的な方法を紹介しておく。

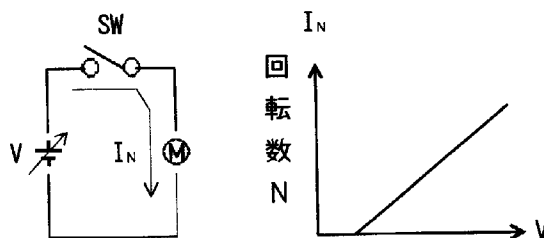


図1 DCモータの基本接続と電圧と回転数の関係

2. 1. 1 DCモータのON/OFFと正転/逆転

図2にトランジスタ・スイッチングを用いて小型DCモータのON/OFFと正転/逆転の制御をする模式的な回路をあげ、表1に動作に関する真理表を示す。ノイズ対策を考慮した正逆転回路例を図3に示す。図2と図3の回路は、+2 ~ 3V程度のマブチモータを回すことができる。ON/OFF信号a1、a2は計算機から入力する。

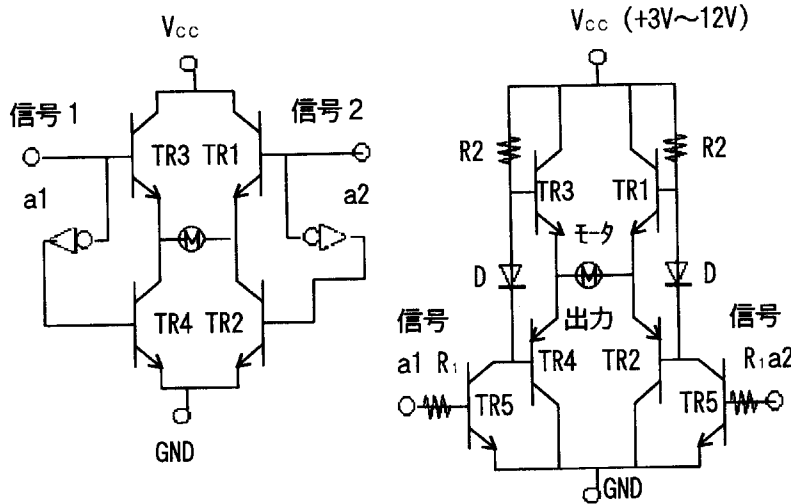
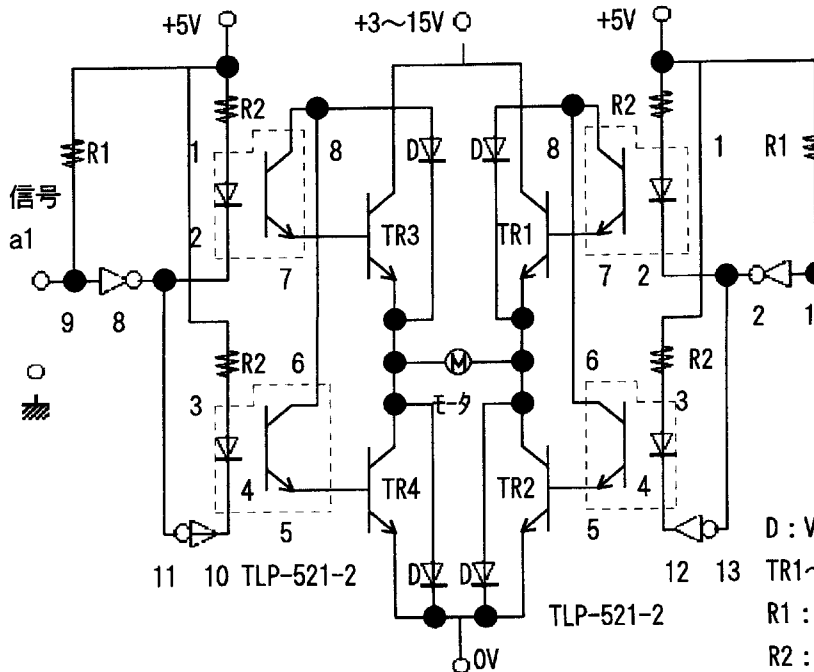


表1 回路動作の真理値表

a1	a2	TR1	TR2	TR3	TR4	モ-タ状態
0	0	OFF	ON	OFF	ON	停止
0	1	ON	OFF	OFF	ON	正転
1	0	OFF	ON	ON	OFF	逆転
1	1	ON	OFF	ON	OFF	停止

TR3(TR1)とTR4(TR2)を同タイプのものとするときは図2のようにインバータを挿入して使う。

図2 DCモータのON/OFF/正逆転制御



- TR1(TR3): 2SD560 (NPN \times 17 $^\circ$)
 - TR2(TR4): 2SA1012 (PNP \times 17 $^\circ$)
 - TR5 : 2SC1815 (NPN \times 17 $^\circ$)
 - D : 整流ダイオード
 - R1 : 680 Ω 1/4W
 - R2 : 390 Ω 1/4W
- ① $R_1 + \alpha = 2R_2$ (出力電圧最大)
 $R_1 \gg R_2$ (出力電圧低下)
 $R_1 \ll R_2$ (出力電圧低下)
- V_{cc} の電圧によって R_1, R_2 は①の比で替えること

回路部品

- D : VO-6C (\times 14 $^\circ$ T)
- TR1~TR4 : 2SC790
- R1 : 3.3K Ω
- R2 : 330 Ω
- 74LS04
- TLP-521-2 (ホトカプラ)

図3(a) DCモータのON/OFF/正逆転制御

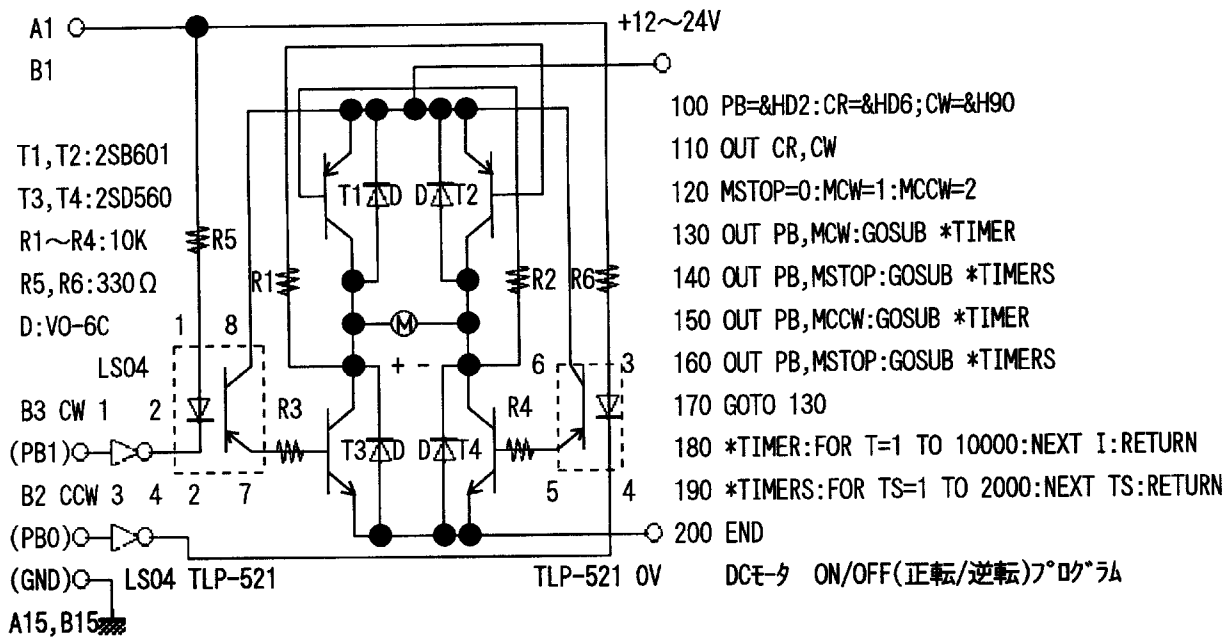


図3(b) DCモータ正転/逆転インターフェース回路

2. 1. 2 DCモータの速度制御回路

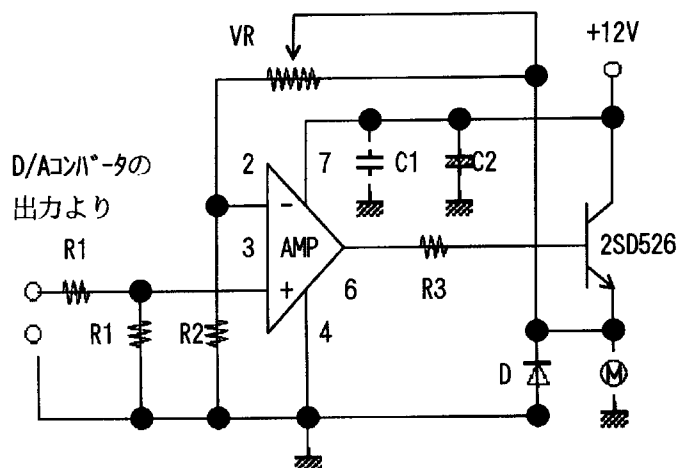
(1) D/Aコンバータによる速度制御

D/Aコンバータからのアナログ電圧によって、DCモータの回転を制御する方法を紹介する。図4がそれである。モータの規格に応じてトランジスタや電源を決定する。OPアンプは単一電源のTL091を使った。モータへ加わる電圧はOPアンプへの入力電圧に比例して高くなる（D/Aコンバータの出力電圧を少し増幅してモータに加えていることと同じである）。

制御プログラムは、D/Aコンバータへのデジタル値を変化させるだけで事足りる但し、この回路はフィードバックがないので、負荷が変動した場合には回転数を一定に保つことができない。

回転数を一定に保つには、例えばタコゼネレータ（発電機）等の回転検出器を付加して、この出力をA/Dコンバータに入力する。この値をプログラムで比較し、規定のデジタル値になるようにD/Aコンバータの出力を変化させる。

DCモータ制御回路への供給電圧が12Vの場合、OPアンプへの入力電圧がマイコン実験2の図32のD/Aコンバータの最大出力(デジタル値255₍₁₀₎)、アナログ出力2.54Vで6V~7.2V程度)になるように



R1:22KΩ, R2:22KΩ, R3:220Ω, C1:0.1μF, C2:10μF(電解)
 D:VO-6C(ダイオード)、AMP:TL091、M:モータ

図4 D/AコンバータによるDCモータ回転速度制御回路

100K Ω の可変抵抗を調節する。なお、電源電圧を8V~10V位にすればパワートランジスタの負荷は軽くなる。

いま、一例として PC-9801 のプリンタのコネクタに D/A コンバータを接続、この D/A コンバータに DC モータ回転速度制御回路を接続する。そしてモータと電源を接続した後に、パソコンからダイレクモードで

表2 D/Aコンバータによるモータの制御プログラム

OUT &H40, 255

30 FOR D=0 TO 255

を出力して前述の調整をおこなう。モータ両端の電圧が 6V 程度に調節できないときは OP アンプの2ピンとアースの間に入れてあるR2(22K Ω) 抵抗を調節する(モータ両端の電圧が低すぎるときは抵抗値を減らし、高いときは抵抗値をあげる)。

40 OUT &h40,D

50 LOCATE 20,10

60 PRINT D

70 FOR T=1 TO 20

80 NEXT T

90 NEXT D

100 OUT &H40,0

110 FOR T=1 TO 500

120 NEXT T

130 GOTO 30

表2にサンプルプログラムを例示しておく。

D/A 変換器を Z80 制御用マイコンの 8255 のポートあるいはPC-9801 の拡張 I/O 用の 8255 に図4の制御回路を接続してDC モータの回転制御がおこなえる。

この回路は、D/A コンバータがなくても固定電源で回転数の制御ができる。そのためには OP アンプの入力へ最大 3V 位の電圧を可変抵抗を通して加えれば抵抗の変化によってモータの回転数は滑らかに変化する。

この回路では、DC モータへ加える電圧を変化させて速度制御をおこなっていた。電源からの供給電圧は一定であるので、モータへの電圧を差し引いた分がトランジスタで吸収され、半分以上の電力がトランジスタで消費されてしまう。特に低速で負荷が重くなると消費電力がさらに大きくなって非常に効率が悪くなる。

(2) DCモータのPWM制御

DC モータの回転速度制御を電圧の変化でおこなわずに、図5のように高速パルスを加え、DC モータの速度制御はこのパルスのデューティを変化させておこなう方法がある。これを PWM(Pulse Width Modulation:パルス幅変調)制御と呼ぶ。

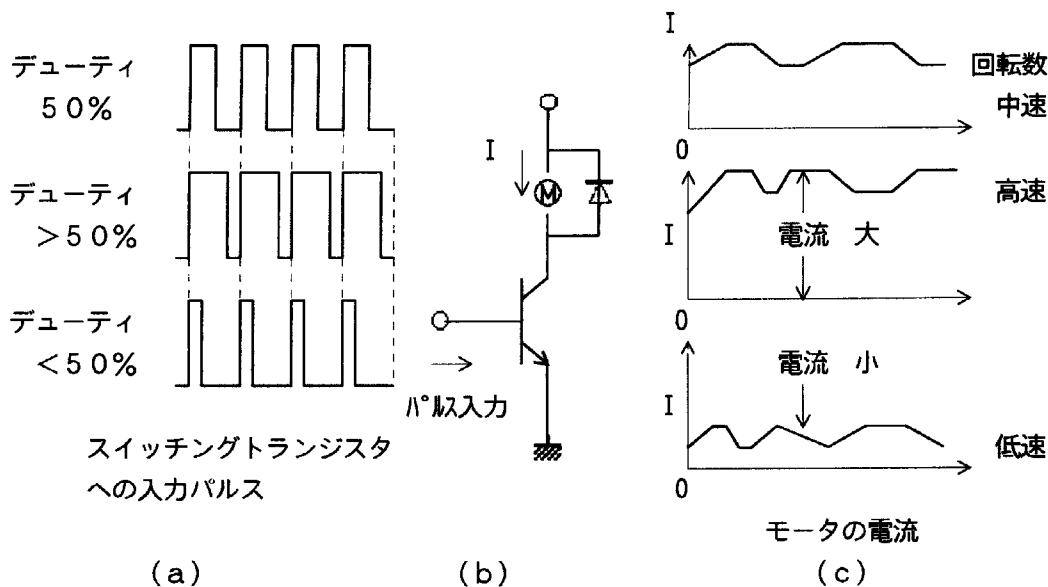


図5 DCモータのPWM速度制御

図6は、図5(b)の回路を抵抗R、インダクタンスLとの直列回路で示した等価回路である。インダクタンスが存在する回路に電流を流すと急に流れることはできない。電流を遮断した場合、その瞬間にインダクタンスに大きな逆起電力が発生する。このとき回路にダイオードが挿入されていなければ、この逆起電力によってスイッチングのトランジスタを破壊するおそれがある。ダイオードが入れておくと、発生した逆起電力はダイオードを通して流れ、モータ自身の電流となる(図5(c))。このようにモータの時間定数 $T(=L/R)$ より周期の短いパルスを加えることによって効率よくモータの回転速度制御ができる。具体的には、この高速パルスパソコンによって作り、かつデューティ比を変化させて、前述の図2および図3の回路に与えてやれば、効率よくDCモータの回転速度制御ができる。この際、モータのインダクタンス $L(H:ハンリ)$ が不明ならば、デューティ比50%のパルスを作り、モータにそれをモータに加えて様子を調べればよい。

表3にDCモータがなめらかに回転する値を調べるためのプログラムを示す。必要ならば実験的に調べよ。

[調整のおこない方]

例えば、表3のプログラムのDATA1 DATA2に100を与えてみてモータの回転の具合を調べ、次にDATA1のみに10を与えてみたり、さらにDATA1に10を、DATA2に50を与えてみたりしてモータが滑らかに回転するところを見つけてやればよい。表4にPWM制御プログラム例をあげておく。

表4 DCモータのPWM制御プログラム例

ORG 9000H	9020 061E	LWAIT: LD B,30			
0082 PBD: EQU 82H	9022 CD2890	LW1: CALL SWAIT			
0083 PBC: EQU 83H	9025 10FB	DJNZ LW1			
9000 3ECF	LD A,OCFH	9027 C9	RET		
9002 D383	OUT (PBC),A		;		
9004 3E00	LD A,0	9028 0E05	SWAIT: LD C,5		
9006 D383	OUT (PBC),A	902A 0D	SW1: DEC C		
	;	902B 20FD	JR NZ,SW1		
9008 3E01	L1: LD A,1	902D C9	RET		
900A D382	OUT (PBD),A				
900C CD1890	CALL WAIT	WAIT	LWAIT	電流	
900F 3E00	LD A,0	(ON時間)	(OFF時間)	(A)	
9011 D382	OUT (PBD),A	20	20	0.5	
9013 CD2090	CALL LWAIT	10	30	0.3	
9016 18F0	JR L1	:	:	:	
	;	2	38	0.1	ここで最低
9018 060A	WAIT: LD B,10	30	10	0.4	これ以下では停止
901A CD2890	W1: CALL SWAIT				
901D 10FB	DJNZ W1				
901F C9	RET				

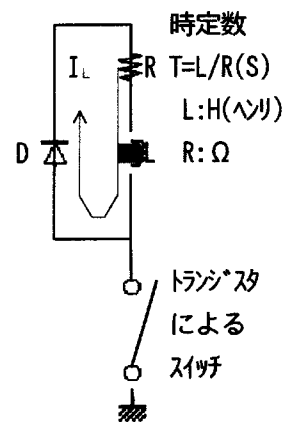


図6 モータの等価回路

表3. モータの滑らかな回転を得るためのルーチン

```

WAIT :LD B,DATA1
W1 :LD C,DATA2
W2 :DEC C
JR NZ,W2
DJNZ W1
RET

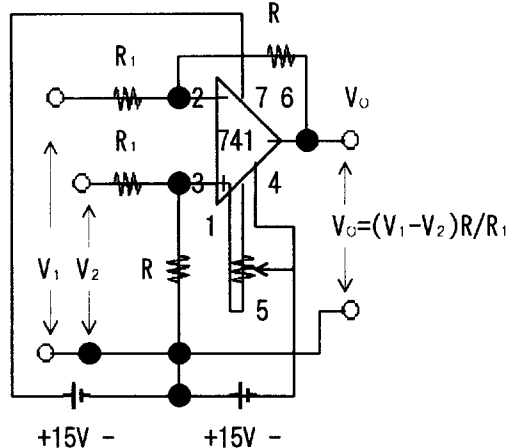
```


このプログラムでは WAIT と LWAIT の Bレジスタに入れるデータ比を変えれば、モータへのパルスのデューティが変化する。

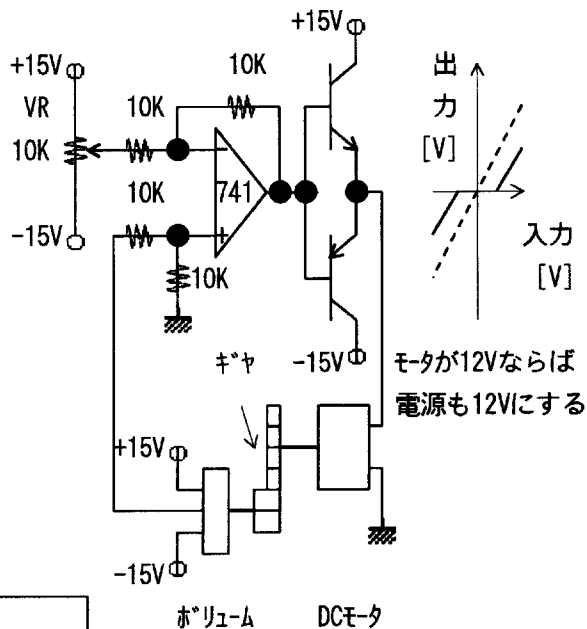
2. 1. 3 サーボモータ制御回路

オペアンプの差動増幅回路とポテンシオメータ（精密級可変抵抗器：位置決めに用いたりする）とDCモータを組み合わせるとサーボモータ制御回路を構成する。

(1) オペアンプの差動増幅器



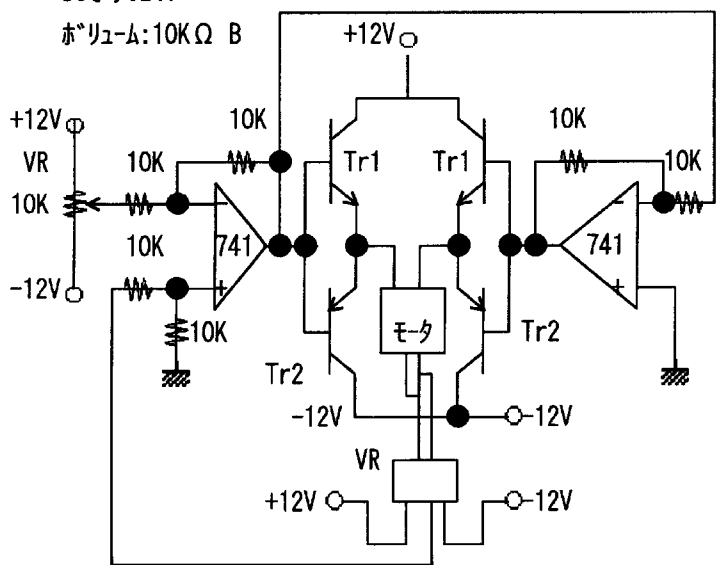
(2) サーボアンプによるDCモータ制御の例1



(3) サーボアンプによるDCモータ制御の例2

DCモータ: 24V

ホリウム: 10KΩ B



OPアンプの電源回路は回路図の中にかかない。実体配線図を作るときは電源まわりも書込むこと。

2.2 光センサ

フォトセンサには、可視光線や赤外線領域で動作するものなど多くの種類がある。受光素子と発光素子とを組み合わせたフォトカップラ、フォトアイレータなどもある。既にマイコン実験1でCdSセルやホトトランジスタをスイッチに使う方法を述べた。ここでは小型・安価で入手しやすいホトセンサを例にあげて紹介する。

2.2.1 フォトトランジスタとフォトダイオード

受光素子にTPS601A、発光素子にTLN101Aを取り上げて透過型センサとして利用する簡単な例をあげておく。

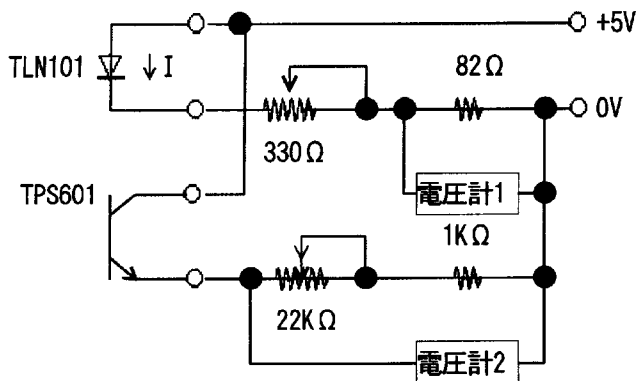
表5 フォトダイオードとフォトトランジスタの特性

フォト トランジスタ	Light Current		Dark Current		Collector Emitter Voltage $V_{CE0}(V)$	PAIR EMITTER DEVICE NO.		
	$E(mW/cm^2)$	I_L	$V_{CE}(V)$	I_D				
TPS601A	0.1	200 (MIN.60)	30	10	40	TLN101A, TLN108 TLN201		
TPS603	0.1	10 (MIN.1.5)	10	10	20	TLN103, TLN109		
フォト ダイオード	Radiant Power		Radiant Intensity		Forward Voltage			
	$I_F(mA)$	$P_o(mW)$	$I_F(mA)$	$I_E(mW/sr)$	$I_F(mA)$	$V_F(V)$		
TLN101A	メタル GaAs	50	1.8	50	15	50	1.3	TPS601A, TPS604 TPS614, TPS708
TLN103	セラミックス GaAs	20	2.5	20	1.2	10	1.15	TPS603

図7に 発光素子TLN101と受光素子TPS601を使った透過型センサとしての実験回路を示す。TLN101には一定電流 ($I(mA)=30$ または 40)を流し、TPS601の出力電圧がP I OなどのI/Oポートを直接ドライブできる電圧(2から3V程度)になるように $22k\Omega$ 可変抵抗($22k$ 可変+ $1k$)を調整する。

フォトトランジスタの出力を増幅する場合はもっと低い電圧でもよいので到達距離はもう少し伸びる。LEDの方もパルスドライブとしてピーク電流を上げればさらに距離が伸びる。

フォトトランジスタの出力をP I Oなどのポートに加えて使う(Lレベル: 光の遮断)。



DC電圧計1: LEDへの電流測定

DC電圧計2: 出力電圧測定

(注)電圧計はいずれも10Vレンジ

$R2=22k$ 可変+ $1k$

図7 透過型センサとしての実験回路

2.2.2 反射型センサ

透過型センサの光源として用いた TLN101A は光の放射角が狭いので反射型センサの光源光源に用いるのは不向きである。もう少し光の放射角の広い TLN103 を用いるとよいであろう。

反射型のセンサには、発光ダイオードとフォトトランジスタを一つのパッケージにしたフォトフレクタや反射型フォトマイクロセンサがある。

フォトフレクタとして ON2160 を、反射型のフォトマイクロセンサとして EE-SB5-B(プリント基板用)、EE-SB5(半田付け用)、EE-SF5(B)が安価で入手し易いので一例としてあげておく。

これらの素子は、図7の実験回路を使って、大まかなデータを調べることができる。

反射型フォトマイクロセンサ EE-SB5-B $I_F=40mA$

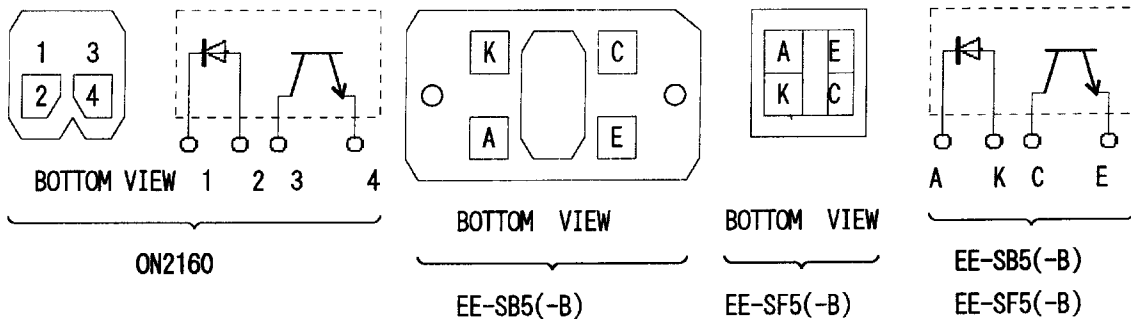
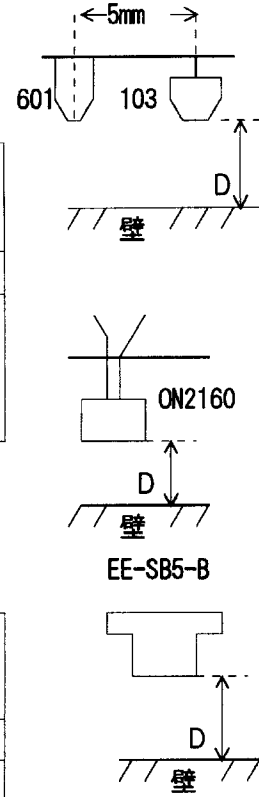
R2	壁までの距離 D					
	3mm	4mm	5mm	7mm	8mm	10mm
22K Ω	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.2
10K Ω	4.8	4.8	4.6	3.6	3.0	2.2
5K Ω	3.6	3.0	2.6	2.2	1.7	1.2
1K Ω	0.8	0.7	0.7	0.5	0.4	0.3

発光素子 : TLN103
受光素子 : TPS601B
TLN103 $I_F=20mA$

R2	壁までの距離 D			
	2mm	3mm	4mm	5mm
22K Ω	0.9	0.75	0.6	0.5
10K Ω	0.6	0.5	0.4	0.35
5K Ω	0.35	0.3	0.25	0.2

$I_F=40mA$ の場合
22K Ω 2.4 2.4 2.0 1.8
フォトフレクタ ON2130 $I_F=40mA$

R2	壁までの距離 D			
	2mm	3mm	4mm	5mm
22K Ω	3.2	2.4	1.7	1.0
(白壁)	4.6	4.6	3.5	2.6
10K Ω	2.2	1.4	0.8	0.6
5K Ω	1.0	0.5	0.4	0.25



$T_a=25^\circ C$ ON2160の絶対最大定格

入力発光ダイオード	逆方向電圧 V_R	3 V
	順方向電流 I_F	50 mA
	許容損失 P_D	75 mW
出力フォトトランジスタ	コレクタ電流 I_C	20 mA
	コレクタ・エミッタ電圧 V_{CE0}	30 V
	エミッタ・コレクタ電圧 V_{ECO}	5 V
	コレクタ損失 P_C	50 mW

ON2160の電氣的特性

		条件	最小	標準	最大
入力特性	順方向電圧 V_F	$I_F=50mA$		1.2	1.5 V
	逆方向電流 I_R	$V_2=3V$		0.01	10 μA
	端子間容量 C_t	$V_R=0$ $f=1MHz$		30	pF
出力特性	コレクタ遮断電流 I_{CBO}	$V_{CE}=10V$			200nA
伝達特性	コレクタ出力電流 I_C	条件 $V_{CC}=5V, I_F=10mA, R_L=100\Omega$ $d=1mm$ で		最小90 μA	最大1100 μA

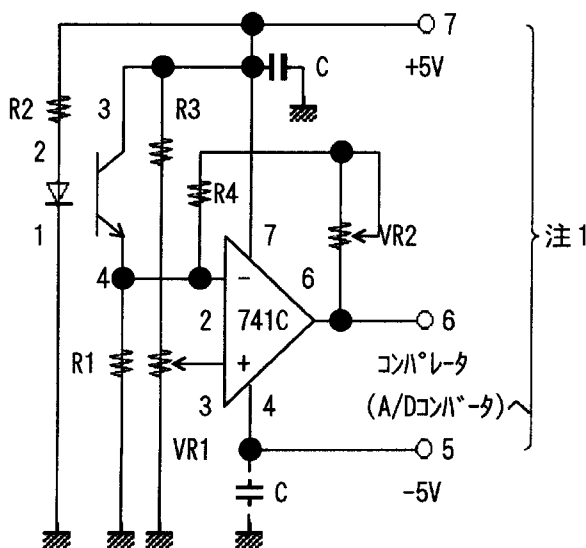
2.2.3 光センサの応用

図7の回路では光の反射の有無を検出するだけのものではあったが、ここでは ON2160 を用いて光の明暗を検出する回路例を紹介する。

(1) 光の明暗を検出する回路例

図8は、ON2160 の反射出力をオペアンプを介して取り出す回路である。図9は動作を示すものである。トランジスタ(TR)への入射光によってエミッタ電流が変化し、抵抗 R_E の両端の電圧は白紙で約4V、黒い紙で約0.2V程度の電圧が得られるはずである。

VR_1 と VR_2 を調整して、オペアンプの出力電圧 V_0 が白で0.5V、黒で4Vになるように調整する。反射光/出力電圧の特性はリニアにならないので、これをコンパレータかソフトウェアで補正する。できれば、フォトレフレクタと画面の距離を約2~4mmにとって、画面の上を移動させればオペアンプの出力電圧が反射光の明暗(強弱)によって変化するはずである。オペアンプからの出力をA/Dコンバータあるいはコンパレータに入力してデジタル信号に変換し、これを8255のポートあるいはマイコン実験2で例示したようにプリンタポートに接続すればZ80制御用マイコンやパソコンにデータを取り込むことができる。



注1：図27のコンパレータへ
 $R_1:10K\Omega$, $R_2=220\Omega$, $R_3:5K\Omega$, $R_4:4.7K\Omega$
 $C:0.01\mu F$ (セラミック), $VR_1:4.7K\Omega$, $VR_2:10K\Omega$

図8 光の明暗を検出する回路

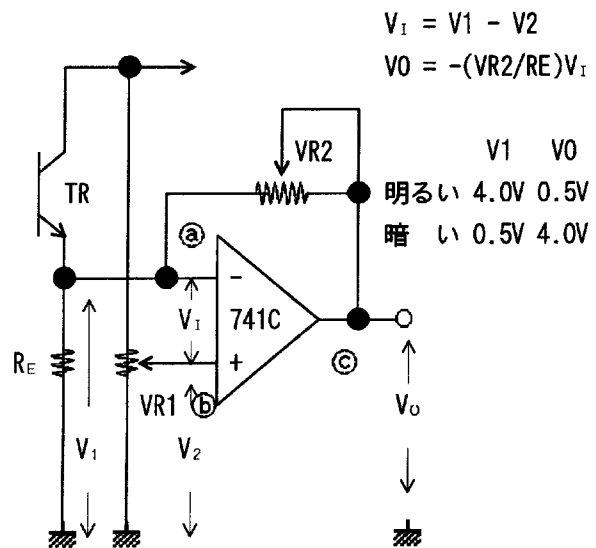


図9 図8の動作説明回路

(2) フォトレフレクタのパルス変調

発光ダイオードに一定電流を流して光センサの光源とする方法には、次の2つの欠点がある。

- ① 常時電流を流しているため規格以上の電流が流せないため発光能力が低い。
- ② フォトトランジスタも直流動作となり、光源以外の外乱光の影響を受けやすい。

[2つの欠点に対処方法]

- ・発光源のドライブをパルス点灯にすることで規格以上の電流が流せるようになる。
- ・受光回路として交流増幅器を使うと連続した外乱光の影響を軽減できる。

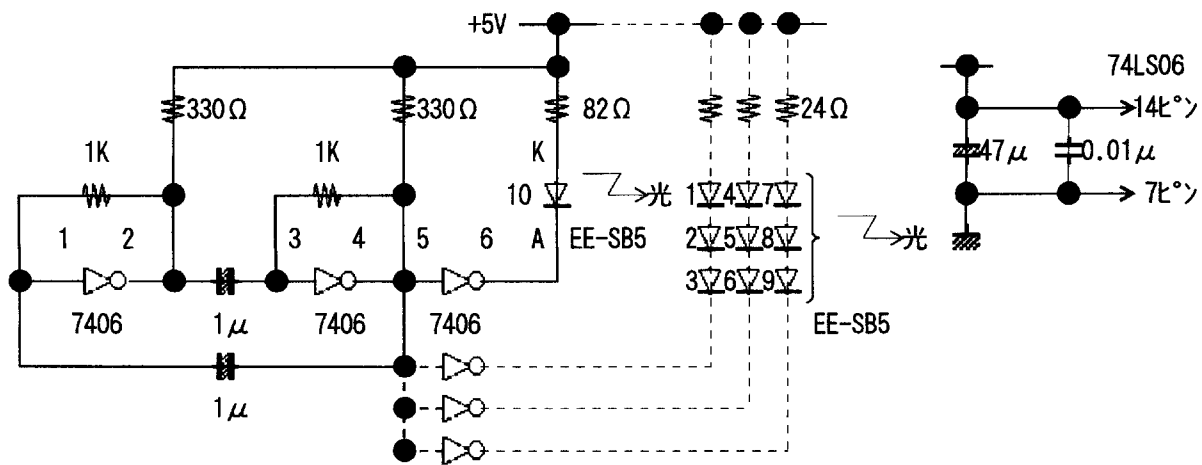
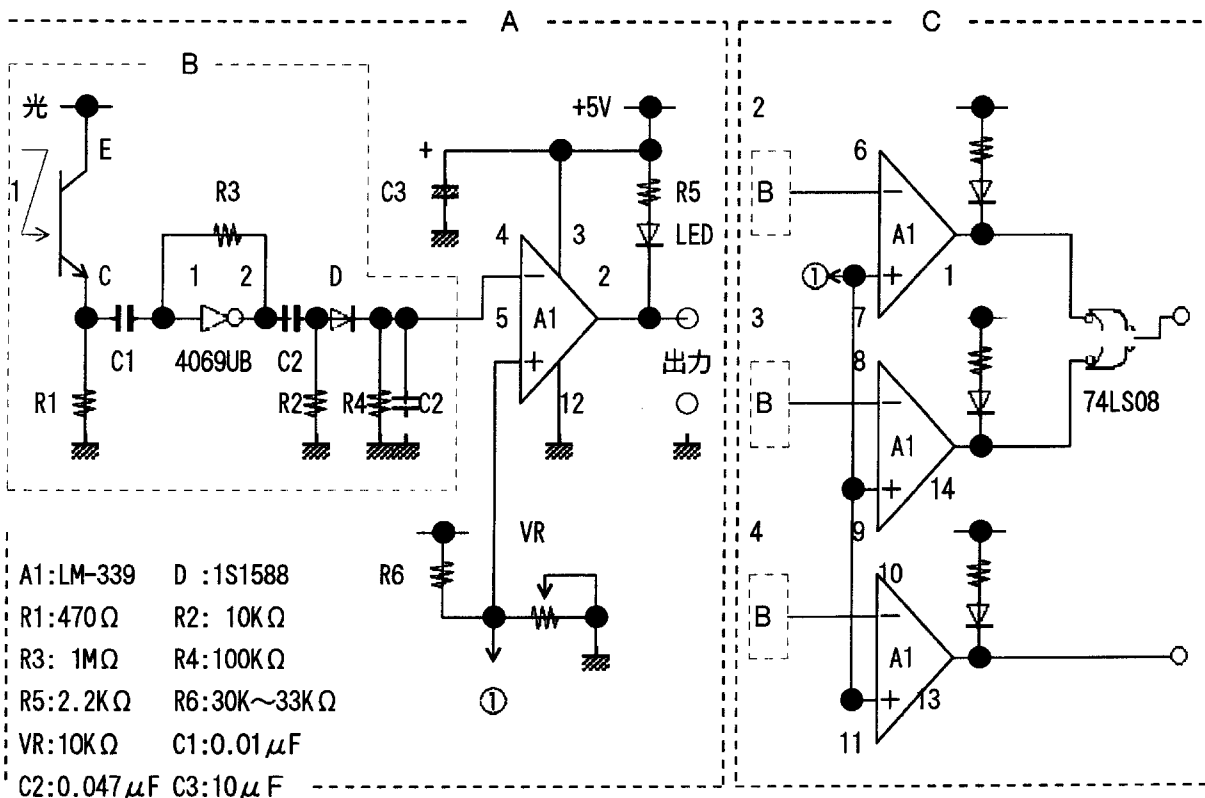


図10 センサLED発光回路



★ 発光回路数と同数だけBの回路を作ってCのように接続する。①同士も接続する。

図11 受光回路部

(3) カラーセンサ

例として P0-151 というカラーセンサを取り上げて説明する。2個のフォトダイオードが図12のように組み合わさった構造をしている。従って端子は3本である。

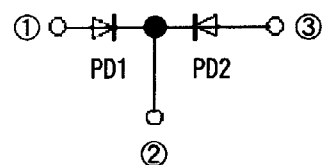


図12 カラーセンサの模式図

[動作原理]

カラーセンサの内部構造を模式的にあらわしたものが図13である。表面に近い部分のPN接合フォトダイオードPD1の感度は短い波長まで感じる。奥の方のPN接合のフォトダイオードPD2は、PD1がフィルタになって短い波長の光は減衰してしまう。このため相対的に長い波長の方が感度がよくなっている(図14)

PD1とPD2の出力比が色に対する出力となる。このカラーセンサの場合、波長に対する電流比が約2000倍位にわたって変化する。これをそのまま増幅しては取り扱いにくいので電流比を対数圧縮して使用する。常用対数を用いれば、電流比2000は $\log 2000 \approx 3.3$ となる。これは約3倍の変化比であるのでA/Dコンバータを通して計算機で処理するのに適した値である。図15はカラーセンサ信号(電流)を処理する対数圧縮増幅器の構成図である。

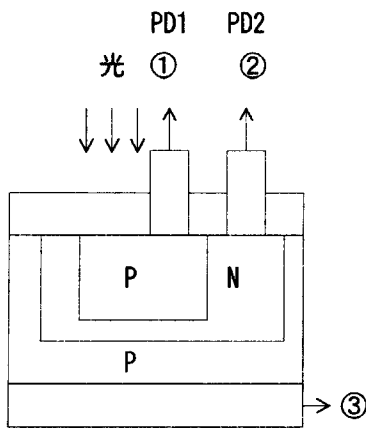


図13 カラーセンサの模式図

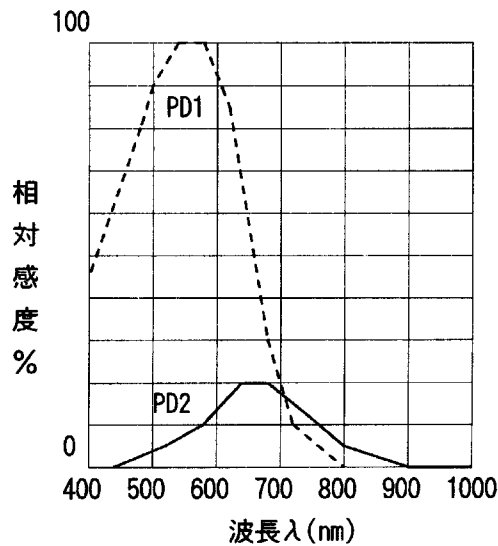
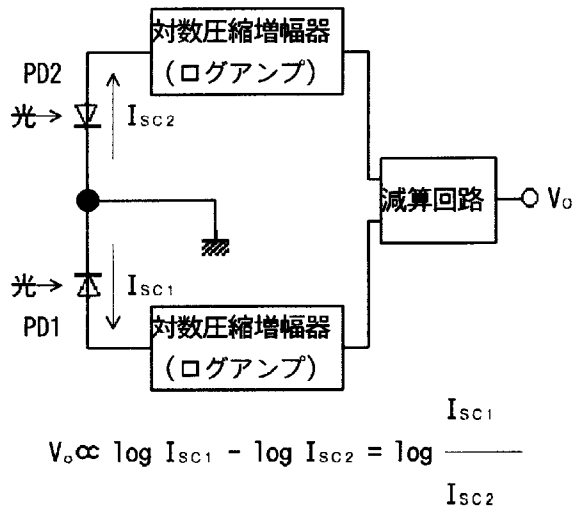


図14 PD-151の分光感度特性

(4) ログアンプ

ログアンプ(対数圧縮増幅器)は、入力電流の対数に比例した出力電圧が得られる回路である。ログアンプの原理を図16に示して簡単な説明を加える。OPアンプの負帰還抵抗に、抵抗値が対数変化するダイオードを使用する。これによって入力信号電流が小さいときにはダイオードの抵抗が高くなって大きな増幅度が得られる。逆に入力信号電流が大きくなるとダイオードの抵抗が下がって、負帰還抵抗が減少し増幅度が小さくなる。

市販のカラーセンサ用ログアンプの一例としてICL-8048をあげておく。



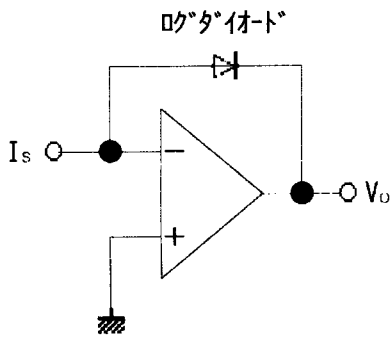


図16 ログアンプの原理

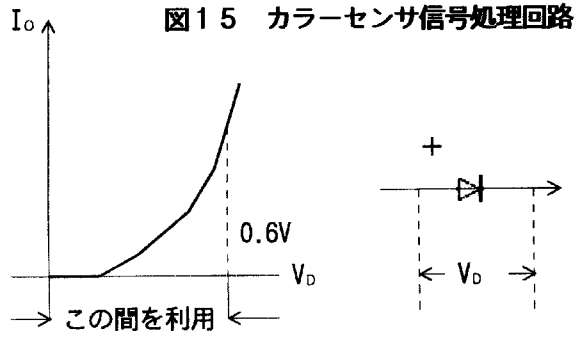


図15 カラーセンサ信号処理回路

図17 ダイオードの特性

(5) ログアンプの回路例

小信号のトランジスタ 2SC1815(2SC1000でも可)と単一電源のOPアンプ TL081を使ったログアンプの回路例を図18に示した。

これにカラーセンサなどの対数的な信号(電流型)を入力して用いればよいであろう。

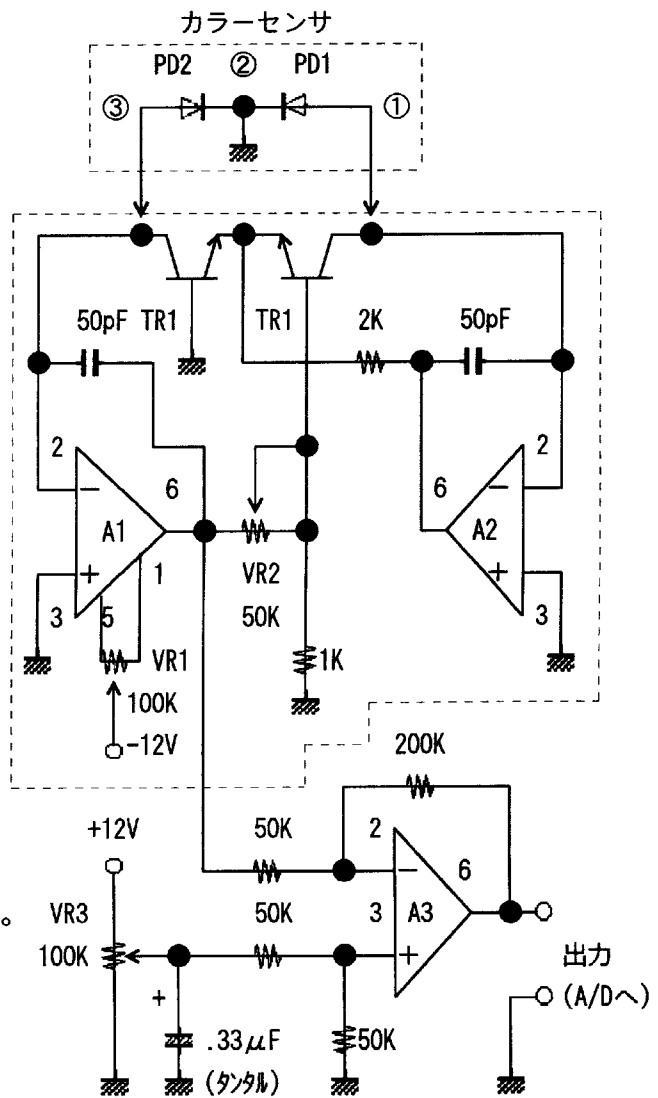
このログアンプは色による出力電圧の変化が少ない(感度不足)のでA3のOPアンプに利得を持たせた。またVR3の可変抵抗によって出力電圧の基準レベルが調整できる。

[ログアンプの底を10にセットする方法]

- ① カラーセンサの代わりに図19のように抵抗を接続する。
- ② 1KΩの両端の電圧が1.15VになるようにVRを調整した後、OPアンプA1の6ピン(出力)とアース感が0VになるようVR1を調整する。
- ③ 次にPD1側の1MΩを100KΩに変え、OPアンプA1の6ピン(出力)が1VになるようにVR2を調整する。

以上で、ログアンプの底が10にセットされた。

- ④ 調整抵抗を取り外して、カラーセンサを取り付ける。
- ⑤ 次に、VR3を調整して青色で0V程度になるように調整する。



(注)VRは半固定抵抗

図18 ログアンプ回路例

表5 出力電圧の目安

色	波長(nm)	出力電圧(V)
青	450~500	0.05
緑	500~570	0.50
白		0.70
黒		1.10
黄	570~590	1.20
ピンク		1.25
橙	590~610	1.65
赤	610~700	2.00

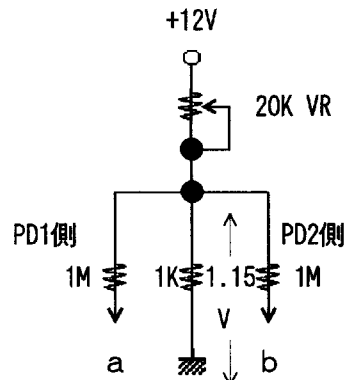


図19 ログアンプの調整回路

(6) カラーセンサの初期値設定と色識別のルーチンの例

プログラムをスタートするときに黄色の色紙を用いて、A/Dコンバータの出力を基準値として記憶させる。

初期値設定ルーチン カラーセンスルーチン

BRIT

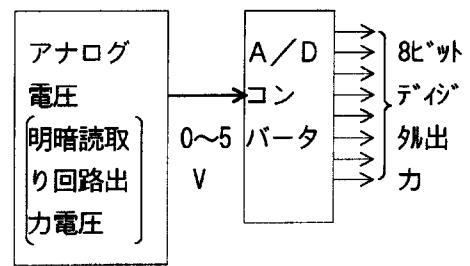
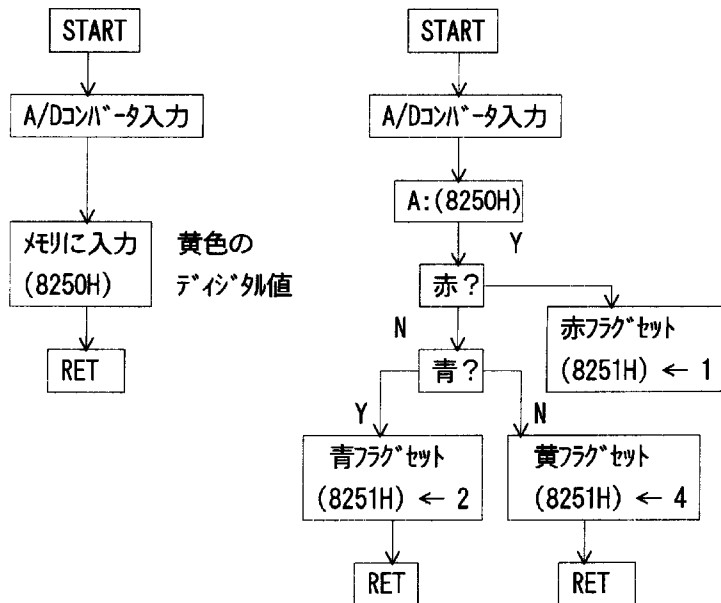


図20 アナログ電圧をデジタル信号に変換

2.3 超音波センサ

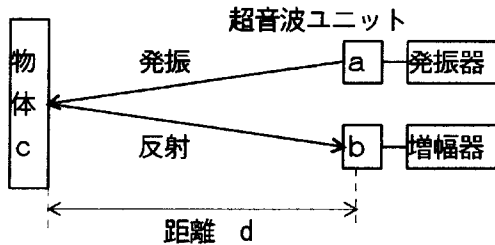
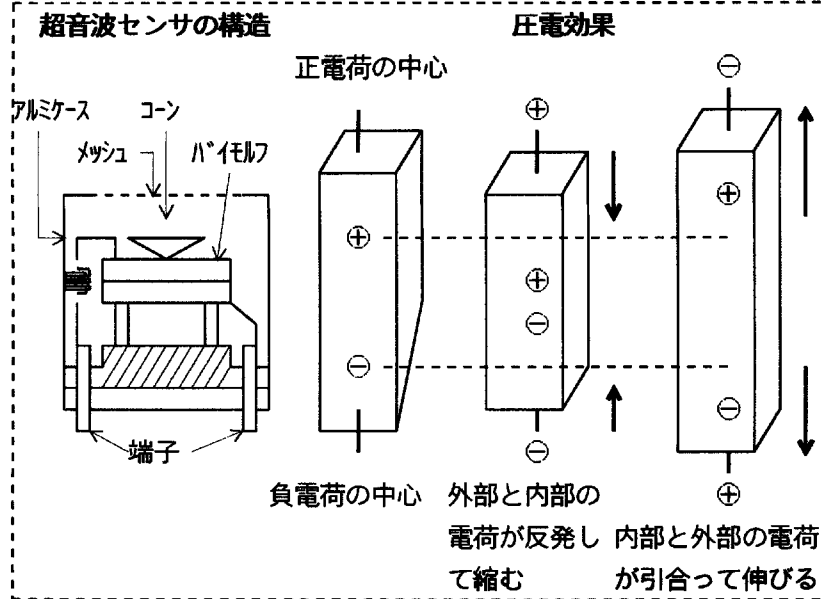
超音波は空気、液体、個体の中を伝搬し、物体にあると反射する特徴を持っている。超音波センサは、超音波を発射して物体からの反射波を検出するようにしたものである。これによって位置、距離、障害物などを感知することができる。応用例としては、テレビ、エアコン、その他の電子機器のリモートコントロール、盗難防止器、液面レベル計、距離計、数量カウント検出、超音波診断装置、CT（超音波診断装置とコンピュータ画像処理システムを組合わせた装置）などさまざまなものがあげられる。

一般に市販されていて入手しやすい超音波センサとしては MA23L3、MA40L1R/S、MA40L2R/S、MA40S2R/S、

MA40A5R/S、MA40E1R/Sなどがある(R:受信器、Sは発振器)。周波数特性や指向性、電気音響特性などの詳細はメーカーのデータブックを参照のこと。

2. 3. 1 超音波センサの動作原理

超音波センサは圧電効果を現す素子(セラミック素子など)を利用して作られている。たとえばバイモルフ振動と呼ぶ圧電セラミックス2枚を分極方向を逆にして貼り合わせ、これに電圧を加えると一方は伸び、他方は縮む。この時加える電圧の極性を逆にするると伸び縮が逆になる。この現象を利用して屈曲振動をさせて超音波は発生させている。受信素子も同様の構造をしており、超音波による振動をバイモルフ振動子が受けると振動を起こして電圧を発生する。図21に超音波センサの簡略的な動作原理を示す。



- ① aの発信器より超音波を発振する。
- ② cの物体で反射する。
- ③ bの受信器で反射波を受信する。
- ④ 発振してから受信したときまでの時間の1/2が物体までの距離になる。
- ⑤ 超音波の速度は音速と同じで約340m/秒

図21 超音波センサの動作原理

2. 3. 2 超音波センサ回路

超音波の発振方法には連続した発振電圧を超音波ユニットに加える方法と衝撃波を加えてユニットの共振現象を利用する方法とがある。送信部と受信部は別々に組み立てる方が利用面からみて都合がよい。

(1) 発振回路

図22は連続波を加える方式のものである。4011B(C-MOS)によるマルチバイブレータで40kHzのパルスをつかって、4049Bのドライブ回路に加えている。超音波を常に発振させておき、NANDゲートの入力を「L」レベルにすることで4049Bに信号が行かないようにして発振停止としている。このようにC-MOSを使うと電源電圧を高くでき、高出力が容易に得られる。8255からの出力で超音波の発振制御を行うため、電圧のレベル変換が必要である。これはトランジスタで実現する。トランジスタのベースがLのとき発振し、Hのときコレクタ電流が流れてコレクタがLとなり発振が停止する。

(2) 受信回路

超音波の受信部に用いているMA40A5Rは50db以上の利得が必要である。このためOPアンプで2段増幅し、その後で整流してからコンパレータ回路に加える(1段増幅でも何とか動作する)。

(3) 調整

送信ユニットの調整

- ① 4011B の 10番ピンにオシロスコープを接続する。
- ② 電源を接続し、+12V を加える。
- ③ 配線に誤りがなければ矩形波がオシロスコープに表示される。
- ④ オシロスコープの波形を観測しながら10K Ω のVRを回して、周期が25 μ Sになるように調整する。
- ⑤ オシロスコープを超音波ユニットに接続する。このとき40KHZの矩形波が出ていれば動作は正常である。
- ⑥ 2SC1815のベースに +5V(又は+12V)を加える。このとき出力が停止すれば送信部ユニットは完成である。

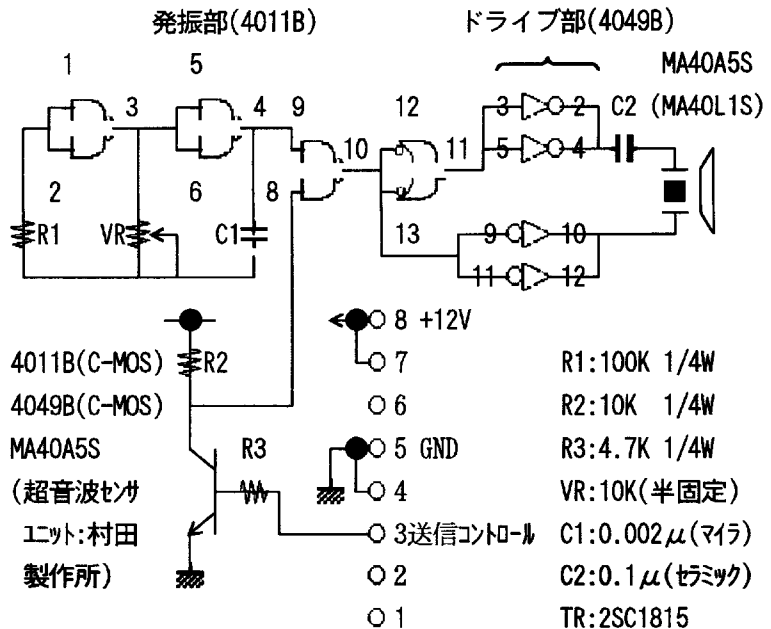
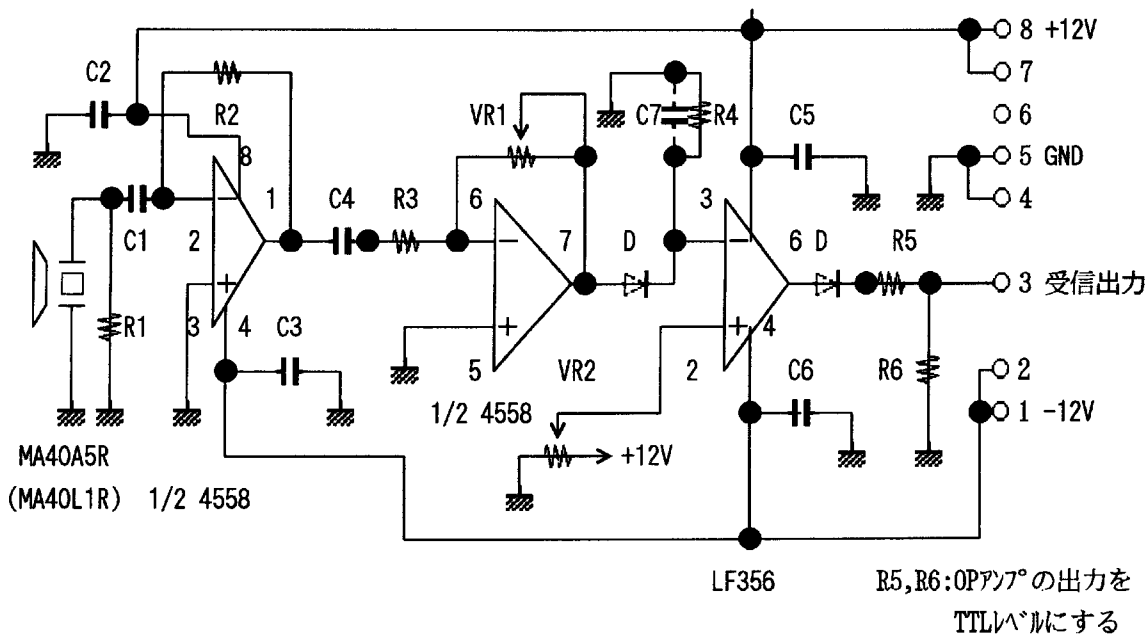


図2.2a 超音波センサ送信部



C1~C6: 0.1 μ F(セラミック), C7: 0.01 μ F(セラミック), D: 1S1588, VR1:100K(B型半固定), VR2:10K(B型半固定)
R1,R5:4.7K 1/4W, R2:470K 1/4W, R3,R4:10K 1/4W, R6:3.3K 1/4W, 4558(OPアンプ), LF356(OPアンプ)
MA40A5R(超音波センサユニット:村田製作所)

図2.2b 超音波センサ受信部

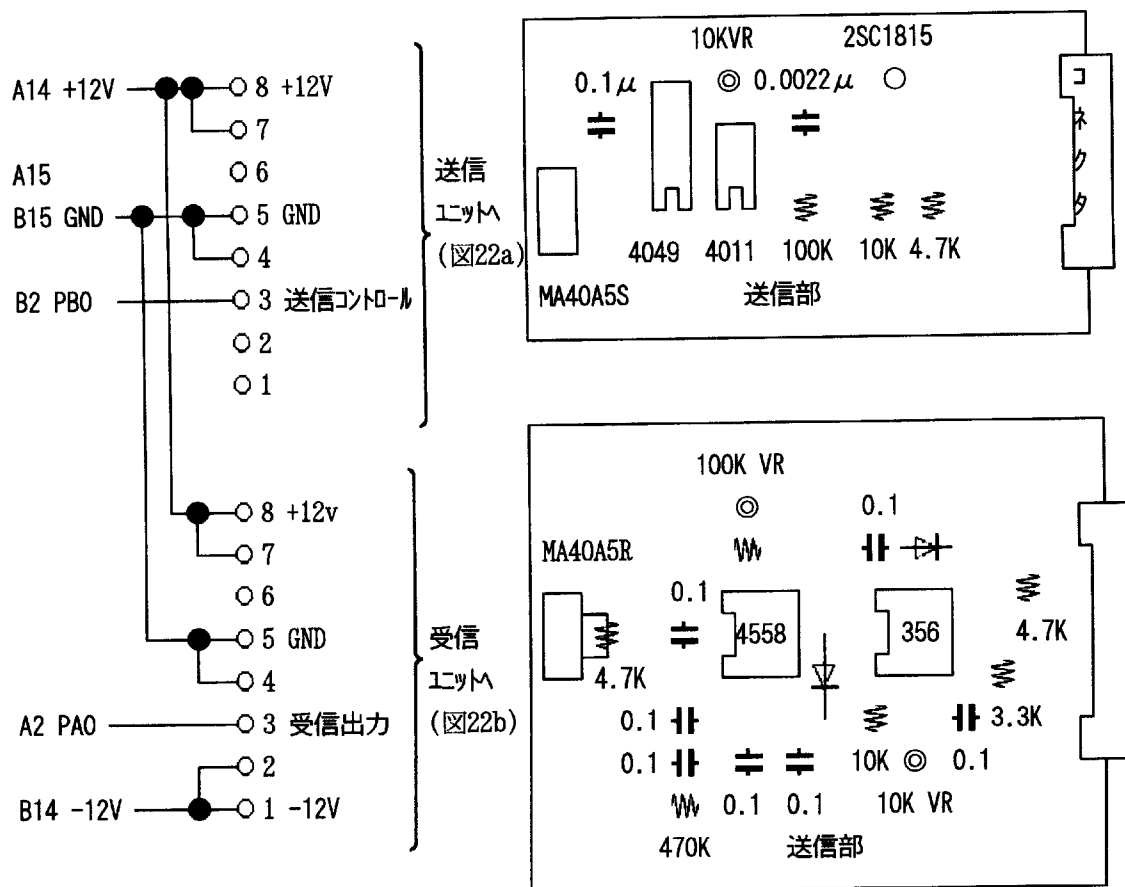


図 2 2 C 超音波センサコネクタ回路と部品の配置例

受信ユニットの調整

- ① 4558の 1番ピンにオシロスコープを接続する。送信部を動作させない状態の時はノイズ波形が出ている。
- ② 送信部を動作させ、反射波を受信（入力）する。この時、40KHzの信号が出ていればOKである。
- ③ 次に、4558の 7番ピンにオシロスコープを接続する。
- ④ 100KΩの VR1を回して、送信部からの回り込みが起きないようにゲイン調整をする。
- ⑤ 出力端子に直流電圧計かオシロスコープをDCレンジにして接続する。
- ⑥ そして、反射の無い状態で出力電圧が0Vになるように10KΩのVR2を調整する。
この状態で反射波があると出力は約4Vになる。

※ 最高感度に調整すると測定物体が平らな場合は約2m、人体の場合は約1m程度まで感知できる。

(5) 距離測定のプログラム例

N88-BASIC(86)および Turbo C を用いたプログラム例を以下にあげておく。

```

100 ' REIDAI
110 WIDTH 40,20
120 PA=$HD0:PB=&HD2
130 CR=&HD6:CW=&H90
/* REIDAI */
#include <stdio.h>
#include <dos.h>
#include <conio.h>
while(d == 0){
d=inportb(PA) & 1;
gotoxy(30,8);

```

```

140 TRANSM=0:SSTOP=1
150 OUT CR,CW
160 OUT PB,TRANSM
170 D=INP(PA)
180 IF D AND 1 THEN 220
190 LOCATE 16,8
200 PRINT "non":BEEP 0
210 GOTO 170
220 LOCATE 14,8
230 PRINT "HAN-NOU-ARI !!!":BEEP 1
240 K$=INKEY$
250 IF K$="" THEN 240
260 BEEP 0
270 END

```

```

#define PA 0xd0
#define PB 0xd2
#define CR 0xd6
#define CW 0x90
#define TRANSM 0x00
#define SSTOP 0x01
main()
{
  unsigned char d;
  outportb(CR,CW);
  clrscr();
  textmode(VL4020);
  outportb(PB,TRANSM);
  d = inportb(PA) & 1;
  puts("NON");
  beep(0);
}
while(!kbhit()){
  gotoxy(26,8);
  puts("HAN-NOU-ARI!!!");
  beep(1000);
}
textmode(VL8025);

```

2.4 電圧変換の方法

電圧変換の方法には DC-DC コンバータやトランジスタを用いて行う方法がある。図 2.3 に DC-DC コンバータを用いた回路例とトランジスタによる TTL レベルと C-MOS レベルの変換回路例をあげておく。

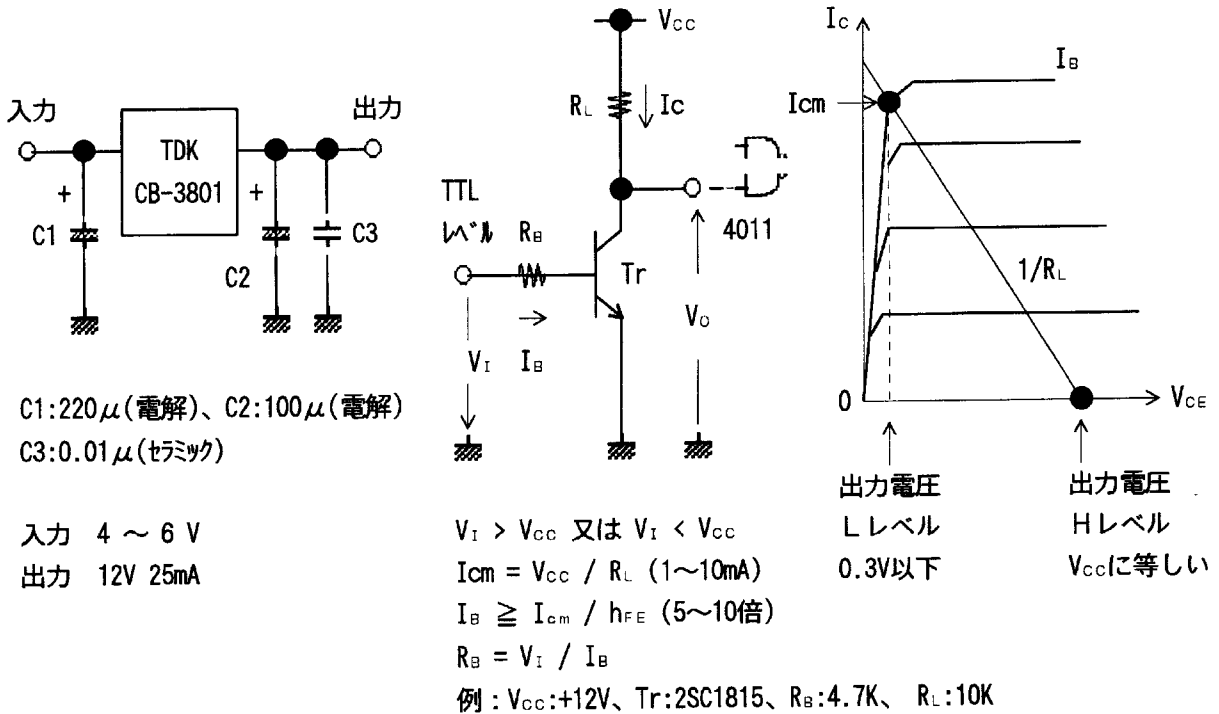


図 2.3 電圧変換回路例

2.5 リレー

リレーの構造は図 2.4 のようであり、リレー内部のコイルに通電すると、鉄芯が電磁石となり鉄片が鉄心に吸いつけられて接点と鉄片が導通するようになる。リレーは構造が簡単であり、一次側と二次側が完全に絶縁されているので様々な分野で利用されている。但し、機械接点のため接点間でアークが発生して接点が溶着したり、アークノイズや機械振動によりチャタリングノイズが発生する欠点がある。

リレーを選定する場合には、少なくとも一次側定格電圧と二次側の定格接点電圧、電流を考慮する必要がある。また、弱電の電子回路でリレーを多く使うような場合には制御電流の少ないものを選定するとよい。

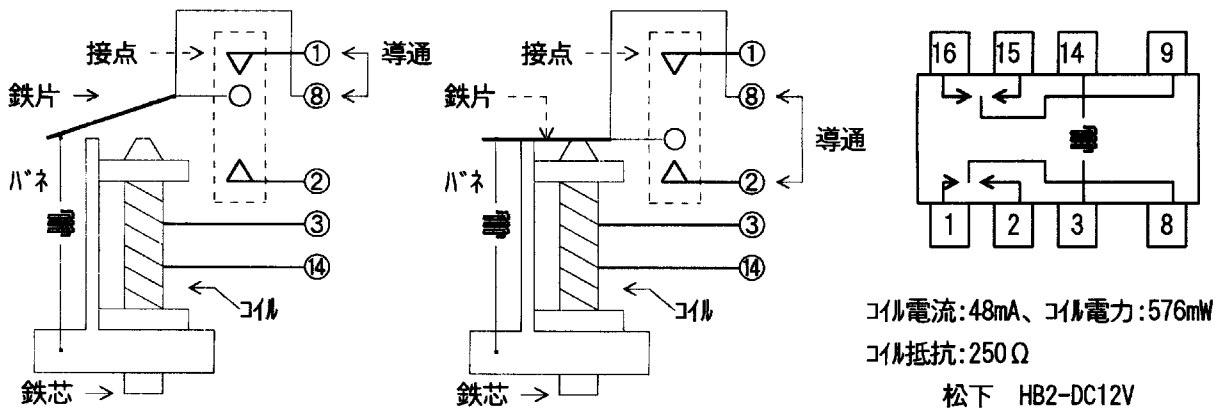
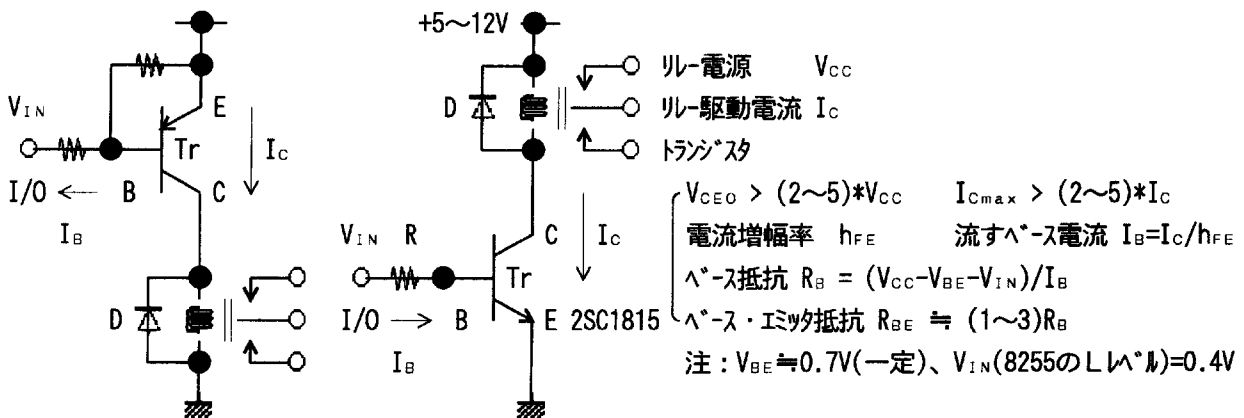


図24 リレーの構造模式図

8255 の I/O の出力電流は、出力ピンH時の流れ出し電流 I_{OH} が 0.4mA、出力ピンL時の流れ込み電流 I_{OL} が 2.5mA であるので、リレーの駆動電流が大きいものでは 8255 の出力ピンでは直接駆動ができない。従ってトランジスタやトランジスタアレイ (TD92064AP, M54563P など) を用いて下図のごとくの回路を使って駆動させる。



2SA720Rの場合

- V_{CC} 5 V
- I_C 100mA
- V_{CE0} 50 V
- I_{Cmax} 500 mA
- h_{FE} 100
- I_B 1 mA
- R_B 3.9KΩ (余裕を見て3.3KΩ)
- R_{BE} 5.6KΩ

2SC1815Yの場合

- ① I_{OH} の出力を 1.5V で 1mA 以上あるとして
- ・ $V_{BE}=0.6V$ とすると R での電圧降下は $1.5-0.6=0.9V$
- ・ I_B を 1mA とすると $R=0.9/(1 \times 10^{-3})=900\Omega$
- 実際には出力電圧はもっと高いので 3.3KΩ とする。
- ・ 2SC1815Y のコレクタ電流 I_C を 100mA 流したときの直流電流増幅率 h_{FE} が 150 以上あると考えられる。
- R : 3.3 KΩ
- D : バックパルス吸収ダイオード VO-6C

図25 リレーの動作回路

2.6 温度センサ

温度は、すべてと言っても過言でないほど自然界の現象に深く関わっている。このため温度センサは、原理的にも作りやすく使用範囲の広いものである。温度センサの一つにセラミック温度センサがある。セラミッ

クスセンサを用いた感温半導体素子には、温度が上昇すると抵抗値が減少する負特性サーミスタ(NTC, Negative Temperature Coefficient Thermistor)と温度上昇に伴って抵抗値が増加する正特性サーミスタ(PTC, Positive Temperature Coefficient Thermistor)がある。その他には熱電対や白金測温抵抗体、I C化温度センサがある。ここではI C化温度センサ、N T CおよびP T Cサーミスタを取り上げる。

(1) I C化温度センサ

I C化温度センサは直線性を有しており、センサからの出力をそのまま温度として読みとることができる。一例としてN S社(ナショナルセミコンダクタ社)のL M 3 3 5を取り上げる。これはツェナーダイオードである。L M 3 3 5は、400 μ A以上の電流を流すことによって温度に比例した電圧効果を示す。

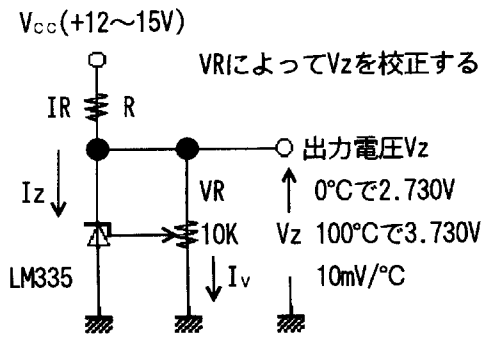
逆電流	15mA	保存温度	T0-46型	-60°C~+180°C	端子温度	T0-46型	300°C	10秒
準電流	10mA		T0-92型	-60°C~+150°C		T0-92型	260°C	10秒
		動作温度		-40°C~+100°C				

	条件	Min	Typ	Max	単位
動作出力電圧	T _c =25°C、I _R =1mA	2.92	2.92	3.04	V
未校正温度誤差	同上		2	6	°C
25°C時校正温度誤差	T _{MIN} ≤ T _c ≤ T _{MAX}		1	2	°C
直線性	I _R =1mA		0.3	15	°C
動作抵抗	同上			0.6	Ω
温度変化対出力電圧				+10	mV/°C
応答時間	静止空气中			80	sec
	流体オイル中			1	sec

L M 3 3 5 に図 2 6 に示すように抵抗 R を介して電圧を加える。そして計算式より R を決定する。L M 3 3 5 の A D J 端子には 10K Ω のトリマ抵抗 R (半固定抵抗)を通して電圧を加え、この抵抗によって出力電圧を校正する。校正法については後述する。校正が済めば L M 3 3 5 は 0°C~100°C まで直線的な出力を示す。

(注) L M 3 3 5 に流す電流は 400 μ A以上で直線的な特性を表すが、400 μ Aぎりぎりになると、直線的な特性からずれることがあるので 1mA程度流すようにした方がよい。ただし、これ以上流すとL M 3 3 5は発熱してしまって正確な温度測定ができなくなる。

温度センサの出力電圧は10mV/°Cであるから、これを10倍増幅して100mV/°Cの出力を得られるようにする。この出力電圧はA/Dコンバータを介してデジタル値に変換してパソコンに入力する。



Rの計算

- ・ Izは400mA以上流す。
- ・ $I_v = V_z / V_R = 3.73 / (10 \times 10^{-3}) = 0.373 \times 10^{-3}$
- ・ $I_R \geq 0.8\text{mA}$
- ・ $R = (V_{cc} - V_z) / (0.8 \times 10^{-3}) = (12 - 3.73) / (0.8 \times 10^{-3}) = 10\text{K}\Omega$ (100°C時)
- ・ Iz は余裕をとって 1mAとすると
 $R = (12 - 2.73) / (1.4 \times 10^{-3}) = 6.6\text{K}\Omega$
 よって $6.6\text{K}\Omega \leq R \leq 10\text{K}\Omega$

図26 LM335温度センサの回路とRの計算方法

2.7 ひずみゲージ

ひずみゲージは、文字どおりひずみを測る抵抗型のセンサで、ひずみ量にその材料の弾性率を掛けると応力になる。ひずみを測れば、そこに働いている応力がわかる。このため橋や建築物などの構造解析のデータを得るために広く使われている。図28に構造を示す。

(1) 測定原理

抵抗率 ρ 、断面積 A 、長さ l とすると、抵抗線の抵抗 R は；

$$R = \rho l / A$$

抵抗 R は長さ l と抵抗率 ρ に比例し、面積に反比例する。

が加わり、長さ Δl だけ伸びたとすると抵抗も ΔR 変化する。

$$\Delta R / R = k \Delta l / l = k \epsilon$$

k : 抵抗材料によって決まるゲージファクタ。

アドバンスの場合 $k=2.0 \sim 2.3$

ひずみゲージの抵抗変化分 ΔR は小さいのでホイートストンブリッジの一辺にひずみゲージを接続して抵抗変化を電圧変化に変換して測る。

(2) ひずみゲージの接続法

1ゲージ法

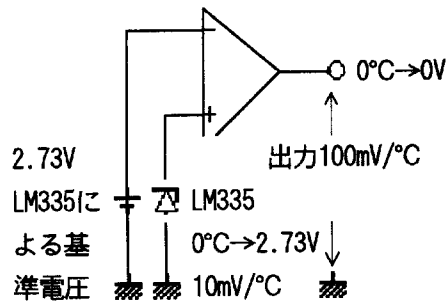
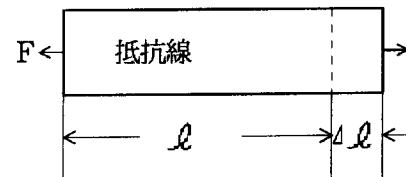
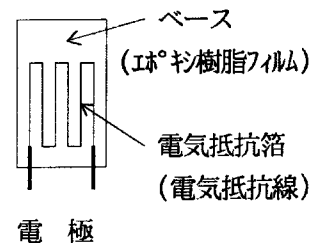


図27 LM335

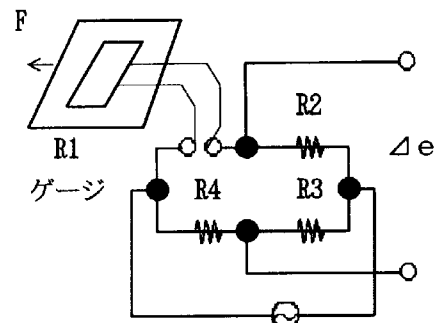
LM335 の0°Cにおける出力電圧は2.730Vであるから右の図のように OPアンプの-入力端子に 2.730Vの基準電圧を加えて、出力電圧が 0°Cで 0V になるようにする。



$$\Delta l / l = \epsilon \text{ (ひずみ: 無次元)}$$

図28 ひずみゲージの構造と

ひずみの表現



$$R1 = R2 = R3 = R4$$

図29 1ゲージ法

ホイートストンブリッジの抵抗 R_1 としてひずみゲージを接続したものを1ゲージ法と呼ぶ(図29)。

$$\Delta e = e/2 \cdot \Delta R / (2R + \Delta R), \quad 2R \gg \Delta R \text{ なら } 2R + \Delta R \approx 2R \text{ とみなし; } \Delta e = e/2 \cdot \Delta R / 2R = e\Delta R / 4R$$

これよりブリッジの出力電圧 Δe はひずみゲージの抵抗変化率 $\Delta R/R$ に比例していることがわかる。

$$\Delta R/R = K \cdot \varepsilon \text{ を代入すると; } \Delta e = (k\varepsilon e) / 4$$

出力電圧 Δe はひずみ ε に比例することがわかる。

2ゲージ法: 図29の R_1 と R_2 にひずみゲージを接続したものを2ゲージ法と呼んでいる。

$$\Delta e = (e/4) \cdot (\Delta R + \Delta R) / R = e/2 \cdot \Delta R / R; \text{ 出力電圧は1ゲージ法のときの2倍になる。}$$

4ゲージ法: 図29の R_1, R_2, R_3, R_4 の全てにひずみゲージを接続して使う方法を4ゲージ法と呼んでいる。

$$\Delta e = e/4 \cdot (\Delta R + \Delta R + \Delta R + \Delta R) / R = e \cdot \Delta R / R; \text{ 出力電圧は1ゲージ法のときの4倍となる。}$$

(3) ひずみゲージアンプ

ひずみゲージの出力電圧は低いので約1000倍程度増幅する。ゲージの抵抗は 120Ω である。ブリッジ接続すると1通路あたり 240Ω となる。ゲージに流せる電流は最大で 20mA である。従ってブリッジ回路に印加できる電圧は 4.8V 以下となる。

図30の回路は、電源を作る回路、500倍の増幅回路、ゼロ調整回路で構成されている。増幅度が大きいのでドリフトが問題になる。OPアンプはドリフトの小さいものを、抵抗は金属皮膜を使うとよい。できれば交流増幅にするとよい。

回路調整

- ①配線ができれば電源を加えて VR1の $10\text{K}\Omega$ を調整してゲージに加わる電圧を 2.4V に調整する。
- ②出力電圧がゼロになるように VR2の $5\text{K}\Omega$ を調整する。
- ③ゲージを引っ張って出力電圧が増加するかを確かめる。

ゲージの接着

- ①ゲージの貼付面をサンドペーパーで研磨する。
- ②アセトン等の溶剤を浸せた綿布で貼付面をこする。
- ③ゲージを張付けるまで手脂やほこりが付着しないようにする。
- ④測定方向とゲージの軸線を合わせて貼る。接着面に気泡や余分の接着剤が付かないようにしっかりと押しつける。
- ⑤接着面が十分乾燥したら材料とゲージ間の絶縁抵抗を測る。 $500\text{M}\Omega$ 以上あればOKである。

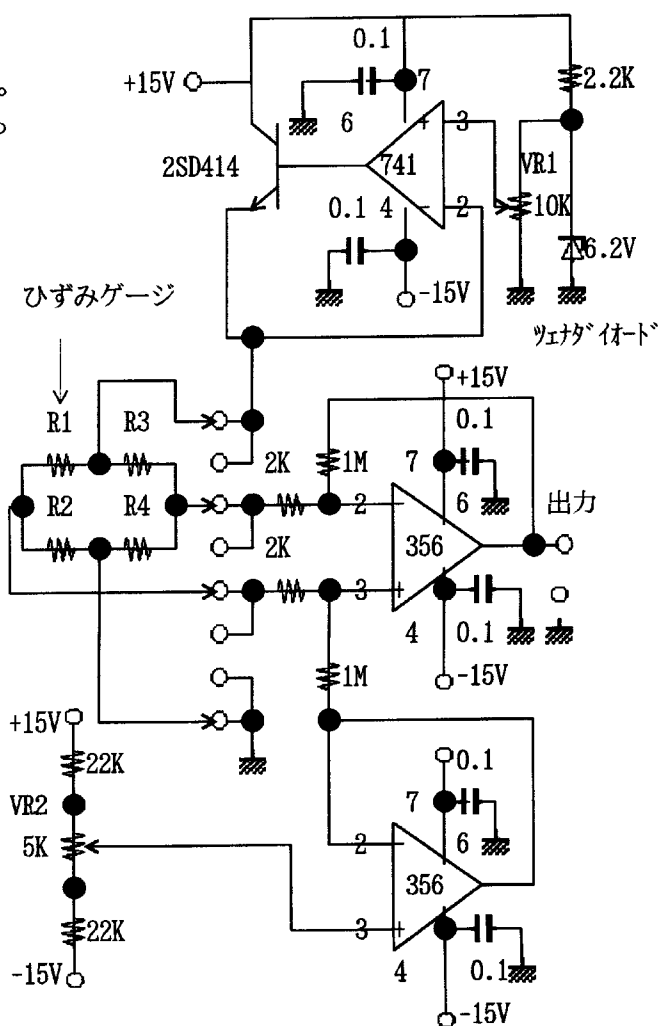


図30 ひずみゲージアンプ

2.8 コンパレータ (電圧比較器)

アナログ信号からデジタル信号に変換する場合、数ビット程度であれば A/D コンバータを使わずにコンパレータでおこなうことができる。コンパレータの動作を図 26 に図示する。

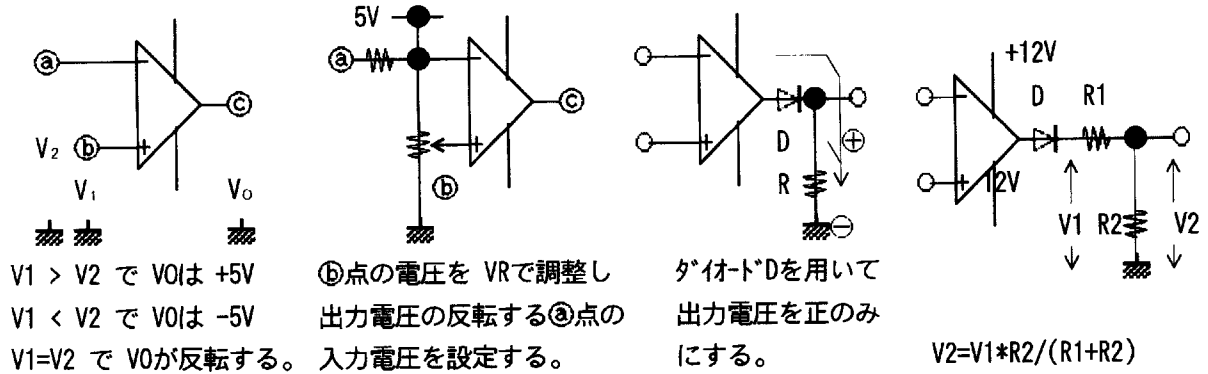


図 26 コンパレータの動作

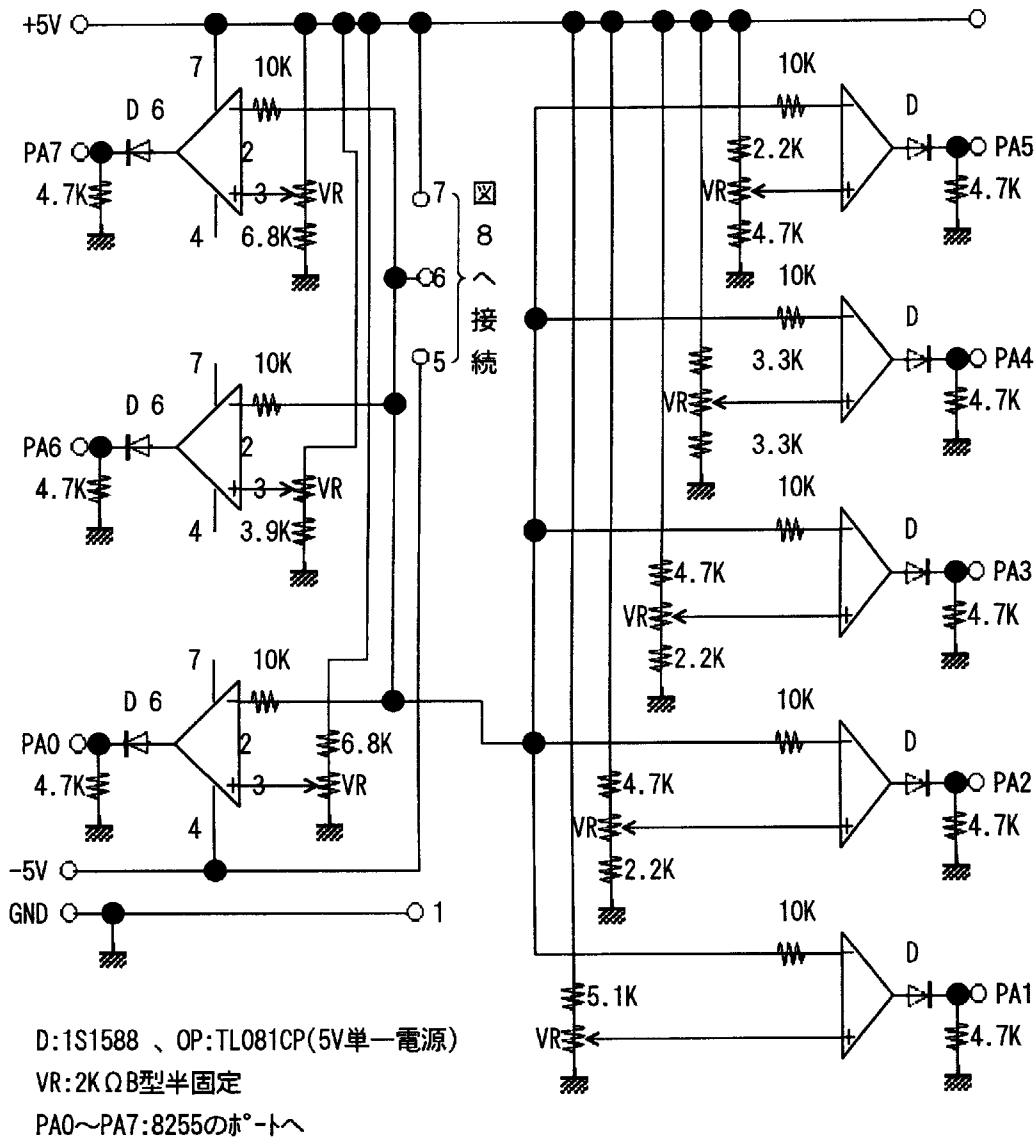


図 27 コンパレータ (A/D コンバータの代用)

2.9 PC-9801のマウスインターフェース

NECのパソコン PC-9801のマウスインターフェースを簡易なデータの入力装置として利用する方法を紹介する。

PC-9801マウス端子規格 (9ピンド-SUB)

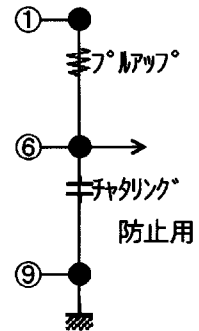
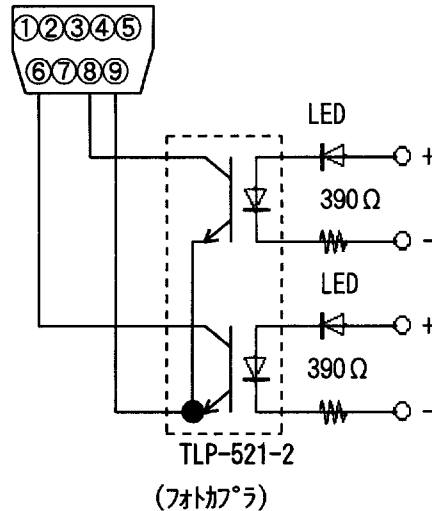
ピン	信号	機能
1	+5V	
2	XA	X方向移動パルス入力 A
3	XB	X方向移動パルス入力 B
4	YA	Y方向移動パルス入力 A
5	YB	Y方向移動パルス入力 B
6	LEFT	キークリック入力(左):接点入力
7	----	
8	RIGHT	キークリック入力(右):接点入力
9	GND	

注)XAとYA:連続パルス入力で、入力したパルスの数を数えることでマウスの移動距離を得ている。

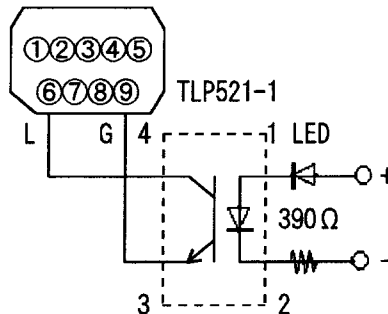
XBとYB:連続パルス入力で、XA、YAによるパルスとの位相のずれ方によりマウスの移動方向を得ている。

I/Oポート: 7FD9番地

これを調べればマウスの状態がわかる。



⑥と⑨を短絡すれば、マウスの左ボタンを押したのと同様



インターフェース回路の点検:

入力側に直流 5VをかけてLEDが点灯するかを調べる。

点灯する : OK

点灯しない: 原因 DC5Vのかけ方が逆。配線の誤り。ハンダつけ不良。

テストプログラム 1

```

100 PORT=&H7FD9          パソコンがリセットされたら
110 PRINT INT(INP(PORT)/128) 直ちに、マウスコネクタを
130 GOTO 100              引き抜くこと。
    
```

☆ プログラムを実行して、マウスインターフェースに直流 5 Vを加えたとき数字が 1 から 0 に変化すれば、マウスインターフェースは完成である。

テストプログラム 2

```

100 CLEAR
110 DIM A$(&HF)
130 J=1
140 FOR I=0 TO 3
150 FOR K=0 TO &HF
160 IF J AND K THEN A$(K)=" 1" +A$(K) ELSE A$(K)=" 0" +A$(K)
    
```

```

170 A$(K)=" "+A$(K)
180 NEXT
190 J=J+J
200 NEXT
210 CLS
220 P=&h7FD9
230 PRINT " b7 b6 b5 b4 b3 b2 b1 b0"
240 B=INP(P):IF B=C THEN 240
250 LACATE 10,10
260 PRINT A$(B&h10)+" "+A$(B MOD &h10);
270 PRINT USING" ###";B;
280 PRINT " &h"+HEX$(B)+" "+CHR$(7);
290 C=B:GOTO 240
300 END

```

3. 参考資料

- 1) 栗山、他：PC-Techknow8800Vol.1、アスキー(1982.12)
- 2) 藤田、他：PC-Techknow9800Vol.1、システムソフト(1988.3)
- 3) アスキー出版局テックライト編、新版PC-9800シリーズ、テクニカルデータブック(1990.4)
- 4) 日本電気(株)：NEC PC-9801 USER'S MANUAL
- 5) 東芝電子事業部/半導体事業部：東芝半導体製品総覧表(平成元年)
- 6) CQ出版：89改訂最新トランジスタ規格表
- 7) CQ出版：89最新マイコン規格表
- 8) CQ出版：89最新TTL IC規格表
- 9) CQ出版：89最新モリシックOPアンプ規格表
- 10) CQ出版：89 C-MOS IC規格表
- 11) CQ出版：89 A/D-D/Aコンバータ規格表
- 12) CQ出版：89最新産業用リニアIC規格表「PART-1」
- 13) エレクトロニクスライフ これでおわかるA-D、D-A変換、日本放送出版協会 (EL 4.1993)
- 14) 清水賢資、曾和将客：トランジスタ回路入門講座5「デジタル回路の考え方」、オーム社、昭和54年
- 15) 海老原、岩佐：ステッピングモータ活用技術、工業調査会(1984)
- 16) 谷腰欣司：CORE BOOKS「DCモータの制御回路設計」、CQ出版社(1985)
- 17) 末松：制御用マイコン入門、オーム社 (昭和58)
- 18) 大久保陽一：機械に知力をつける「制御用マイコン初歩から応用まで」、日刊工業新聞社(昭和60)
- 19) トランジスタ技術 SPECIAL NO. 17 特集OPアンプによる回路設計入門
- 20) トランジスタ技術 SPECIAL NO. 45 特集PC98シリーズのハードとソフト
- 21) 長岡、関川、松原、松井：オートマッピング機能を持つ障害物自動探査機、
嶋田、西田、小田 東海テクニカルシステム研究会・会誌Vol.11(1997.12)
- 22) 長岡、安田、有田、江崎：画像読み取り装置、東海テクニカルシステム研究会・会誌VOL.10(1996.12)
加藤、堀、山内
- 23) 長岡、安田、市川、岩倉：マイコン制御により障害物認知自走マシン「あひる」
清水、橋本、毛受 東海テクニカルシステム研究会・会誌VOL.9(1995.12)
- 24) 長岡、安田、橋本、宅見：マイコン制御による競馬ゲームシステムの製作
早瀬、今村、山上、喜多 東海テクニカルシステム研究会・会誌VOL.8(1994.12)
- 25) 長岡、安田、横井、安藤：創造性を伸ばすメカトロニクス教材開発、日本科学教育学会
第14回年会 課題研究1 T13、PP.19~22(1990.7.30)