

ツェナーダイオードの保護回路への応用

石橋 泰雄・市川 初男・関 口 豊

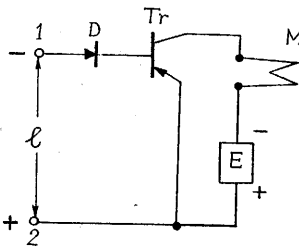
従来、工場などで使用していた継電器は、だいたい誘導型のもので、振動の多い現場で電動機個々に取りつけて保護する目的には適さなかったが、産業の近代化に伴い、不平衡負荷、欠相、および負荷の種類により過負荷のとき、瞬時にまたはある一定時間経過後継電器を動作させて電動機を保護したいとの種々の要求より、ツェナーダイオードの特性を利用して個々の要求を満たし、かつ回路を現場において、大きい温度変化に際しても安定した動作をする保護回路を試作した。

1. 緒 言

産業の近代化に伴い微小電流で継電器を動作させたい場合がしばしば起こるが、一般に数 mA といった微小電流で直接継電器を動作させるのは困難である。かかる場合にも継電器を確実に動作させる目的でツェナーダイオードとトランジスタとを合わせ用いて増幅とスイッチの働きをさせた回路を試作し、かつこれを使った応用の数例を紹介する。

2. 回路の動作原理および応用例

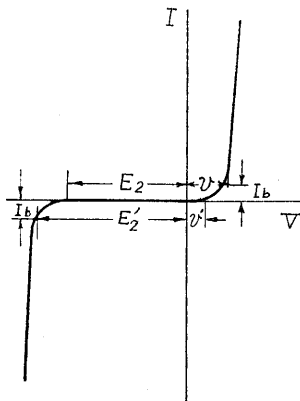
定電圧ダイオード D 、トランジスタ T_r 、継電器付勢コイル M 、および直流電源 E を第1図のように接続する。



第1図 基本回路

いま入力端子 1, 2 間に直流電圧 (ゲート電圧と称す) e が図のように加わり、この値が第2図の定電圧ダイオード D の特性に示すようなツェナー電圧値 E_2 以下ならば D に

はツェナー電流は流れず、したがってトランジスタ T_r はカットオフ状態にあり、コレクタ回路には逆方向飽和電流 I_{ceo} のみであるが、第3図に示すように時間 t_1 において入力電圧 e が第2図の E_2' 以上となると、ツェナー電流 I_b (トランジスタ T_r のベース電流) が流れ、したがって T_r にはこのベース電流に相応したコレクタ電流 I_c が流れ M を付勢し継電器は動作するが、 e が E_2 以下となれば再び I_c は I_{ceo} のみとなり継電器はリセットする。



第2図 定電圧ダイオード特性図

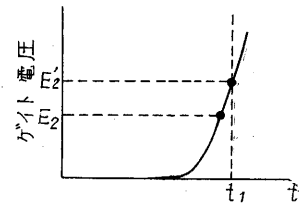
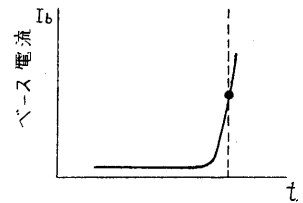
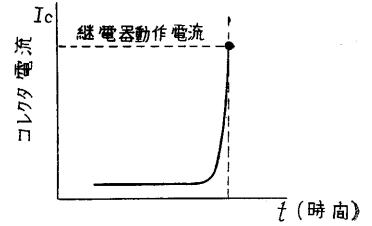
トする。

また入力が低レベルのものにあつては、第2図の特性の順方向を使用し (普通の定電圧ダイオードでは約 0.5 V) v' 以下ではカットオフ v にてベース電流 I_b が流れ、継電器を動作させることもできる。この補助回路を使用することにより、入力数 m W で継電器または直接電磁スイッチを動作させることができる。

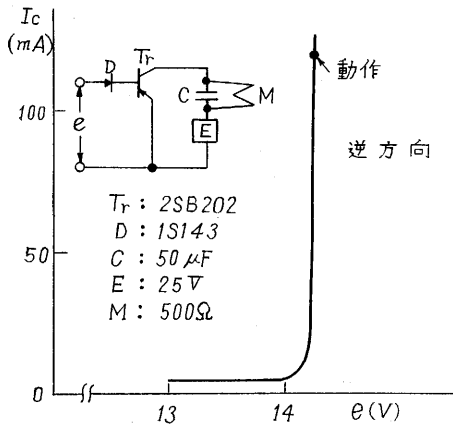
本回路の特徴は定電圧ダイオードの特性を利用してトランジスタと組み合わせ用い

ることにより、シリコン制御整流器 (以下 S.C.R. とする) と同じ動作をさせるが、S.C.R. と異なる点は、S.C.R. では、いったんゲート電流が流れ陽陰極間が導通状態となると、ゲート電流が零になっても陽陰極間は導通状態を持続するが、本回路では入力電圧がツェナー電圧値以下になると再びコレクタ回路が非導通状態となることである。この動作例を第4図(a), (b)に示す。

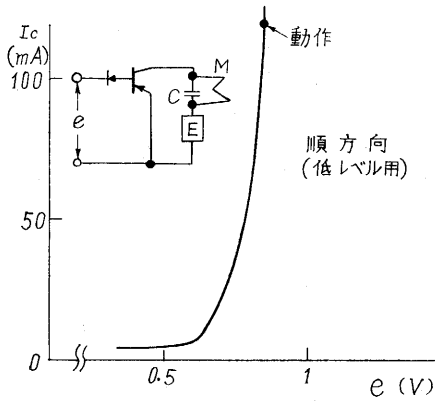
以下本回路を利用した保護継電器回路について述べる。最近の事業場では電気機器が故障したさい変電室の保護装置によってその系統のき電をしゃ断したのでは他の稼働中の生産に影響し、また多数の機器を並列運転している状態では、故障の性質によっては選別できず、機器を破損している例も多いので、故障機器のみを個別的



第3図 スイッチ特性



(a) スイッチ特性実例

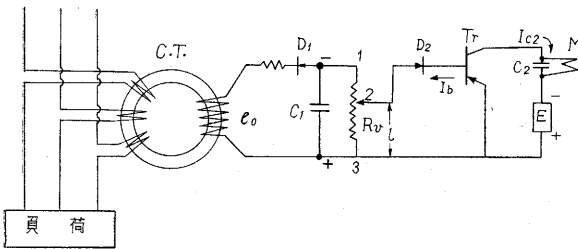


(b) スイッチ特性実例

第 4 図

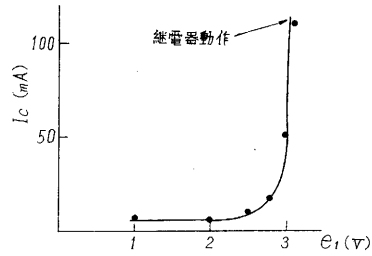
に選択しゃ断（電磁スイッチにより）したい希望があるが、従来の誘導型継電器では、特に振動を伴う現場に向かず、小型、軽量しかも簡単に各機器に取り付けられる保護装置が望まれている。そこで第 1 図の回路におおの目的に応じた検出回路を付加することにより目的にかなった保護装置が得られる。

第 5 図は 3 相交り電線の不平衡を検出し、その不平衡率の大きさにより選択しゃ断する回路である。



- D_1 : 整流用ダイオード 1N39
- D_2 : 定電圧ダイオード RD6
- T_r : トランジスタ 2SB202
- C_1, C_2 : 蓄電器 50 μ
- M : 継電器付勢コイル 500 Ω
- R_0 : 可変抵抗 50 k Ω
- C.T.: 不平衡検出用変流器
- E : 直流電源 25 V

(a) 不平衡検出用回路



1 次 電 流			2次電圧 V
I_1 (U 相)	I_2 (V 相)	I_3 (W 相)	
0.5	0.5	0.5	0
0.8	0.5	0.5	4.2
0.8	0.8	0.5	4.1

(C.T. の不平衡データ)

(b) (a) の動作例

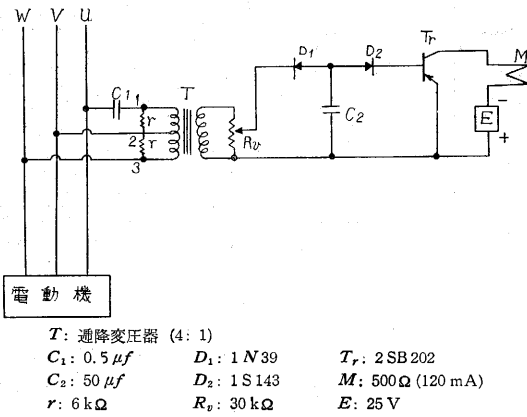
第 5 図

電器 C_1 には図示のような極性の直流電圧が充電され、可変抵抗 1.3 間に表われる。これをあらかじめ動作希望値に 2, 3 をセットしておけば 2, 3 間の電圧がツェナー電圧値以上になるとトランジスタ T_r は導通状態となり継電器は動作する。 R_0 は感度調整用可変抵抗この回路ではなるべく磁気飽和しにくい C.T. を設計しなければならぬ。動作例を第 5 図(b)に示す。

第 6 図(a)は 3 相 3 線式のき電線においてき電線の断線、電力フェーズの溶断などによって起こる欠相時に負荷の電動機へのき電を直ちにしゃ断し、保護する欠相検出用継電器の補助回路で(b)はそのベクトル図である。

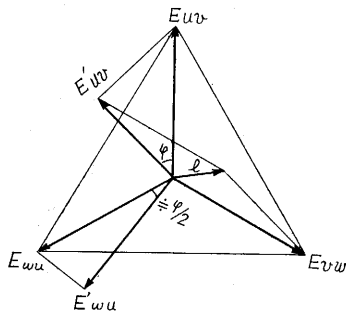
UV および W なるき電線が正常に負荷にき電しているとき UV, VW および WU の線間電圧をそれぞれ E_{uv}, E_{vw} , および E_{wu} とすれば各ベクトルは(b)のようにそれぞれ相等しく 120° の位相差を有する。いま任意の線間、たとえば UV 間に蓄電器 C, 抵抗器 r を直列に接続し、その端子を 1, 2 とす。また端子 2 と W 間に同じ値の抵抗器 r をつなぎその端子を 3 とする。正常にき電しているとき、1, 2 間の電圧 E'_{uv} は C と r の値によって定まる位相 ϕ だけ E_{uv} より進んでいる。したがって 1, 3 間の電圧を e とすれば e は E_{vw} と E'_{uv} のベクトル和である。いま電源側において W が断線すれば e は E'_{uv} となる。同様に VU が断線すれば e はそれぞれ E'_{wu} (C と $2r$ による移相した電圧) E_{vw} となる。したがって正常時は各欠相時の e よりはるかに小なるように C, r にて移相回路を設計すれば正常時と欠相時との e の値に大きな差異を生じ、これを過降変圧器 T を経て適当な値にし第 4 図(a)と同様に継電器補助回路に導く。またベクトル図より判るように各線の断

C.T. の 1 次側が平衡していれば 2 次の出力電圧はほとんど零であるが 1 次が不平衡となるとある範囲内ではこれにやや比例した出力電圧 e_0 が表われる。これを整流器 D_1 を経て整流すると、蓄



- T: 通降変圧器 (4: 1)
- C₁: 0.5 μf
- C₂: 50 μf
- r: 6 kΩ
- D₁: 1N39
- D₂: 1S143
- R_v: 30 kΩ
- T_r: 2SB202
- M: 500Ω (120 mA)
- E: 25 V

(a) 欠相検出継電器回路



(b) 検出部ベクトル図

第6図

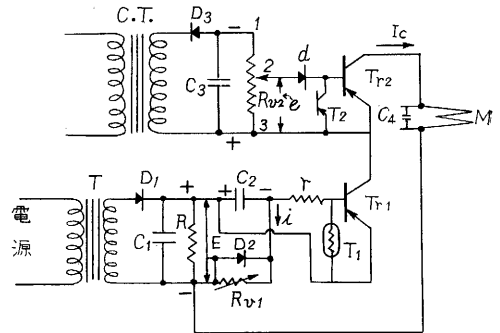
第1表 欠相検出電圧

	正常	U断	V断	W断
1.3 間電圧	70	215	170	140
2次電圧	17	55	43	37

いったん電圧を低くした後検出，移相回路を設けてよい。実施例としてこの検出回路用にとくに変圧器は作成してないので欠相時の各検出電圧は差異はあるが動作は確実にすることを確かめた（2の点と変圧器中点とは接がず）。この検出電圧の動作例を第1表に示す。また移相回路の蓄電器Cの替りにLでもよいが，周波数が低い鉄心を要し，容積も大きく，かつ費用も大となるので適さない。

以上一般的保護装置の応用例を示したが，電動機の保護装置としては過電流継電器が一番使用される。これは電動機へのスイッチ投入後定常運転状態に達するまでの時間は電動機の容量，およびこれに接する負荷の種類により異なるが，（数秒～百秒）この間は継電を動作させず，定常状態になってからの過電流で動作させるためには，ある遅延回路を設ける必要がある。この遅延時間はCR 時定数回路を使用するもダイオードを合わせ用いることにより，継電器動作後直ちに蓄電器を放電させ新たな時定数回路を形成するので，電動機運転中のイ

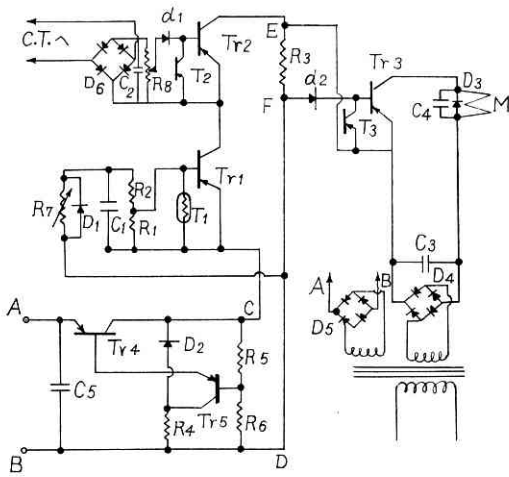
ンチングも遅延回路に影響しない。第7図の下の部分のトランジスタ (Tr1) 回路は遅延回路に属し，上の部分のトランジスタ (Tr2) 回路は過電流検出動作回路をなしている。電動機にスイッチを入れると同時に交流電源より



第7図 遅延時間の付過電流継電器補助回路

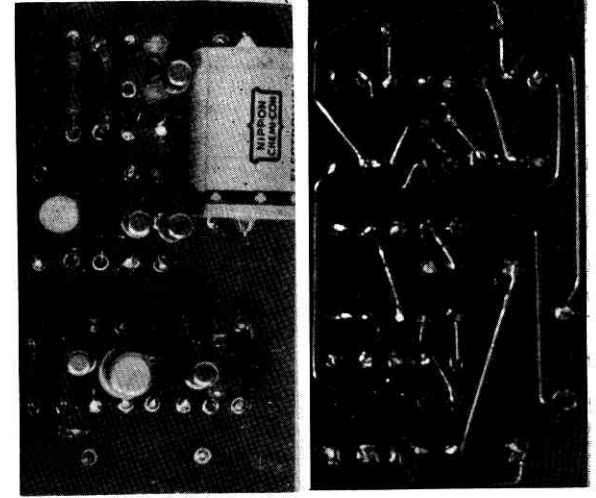
変圧器 T を経てダイオード D₁ 蓄電器 C₁ にて整流回路をなし，図のような極性の直流電圧 E が抵抗器 R の両端子に加わる。この電圧は蓄電器 C₂ と逆方向抵抗の高いダイオード D₂ および可変抵抗 R_{v1} との並列接続による回路との直列に接続された回路を経て充電電流 i にて C₂ を充電し (D₂, R_{v1} による合成抵抗と C₂ の容量で定まる時定数)，したがってトランジスタ Tr₁ のベース電極には C₂ の端子間の電圧をほぼ抵抗値 r (抵抗器 r) で除したベース電流が流れ，このベース電流の大小により Tr₁ のコレクタ抵抗を減ずる。すなわち所要のベース電流が流れるまでのある遅延時間後 Tr₁ 回路は導通状態となる。よって R_{v1} の値を選定することにより D₂, R_{v1} の合成抵抗値が変わり電動機が定常状態に到るまでの時間に希望の遅延時間を選定できる。一方この時電動機電流が規定値よりある割合だけ増大すると，変流器 C.T. の2次にはこれに応じた電圧が誘起する。これをダイオード D₃，蓄電器 C₃ を経て整流すると可変抵抗器 R_{v2} の両端 1, 3 には図のような極性の電圧が加わる。また定電圧ダイオード d，トランジスタ Tr₂ が図のように接続されており 2, 3 間の電圧 e が d のツェナー電圧値以上となると，Tr₂ のベース電極にベース電流が流れ Tr₂ も導通状態となるので，Tr₁, Tr₂ の回路はともに導通状態となり，コレクタ電流 I_c は C₁ の+側より Tr₁, Tr₂，継電器付勢コイル M を経て C₁ の一側に帰る回路を流れ，継電器は動作する。

よって R_{v2} の可動接点 2 の位置を変えることにより過電流の感度調整をすることができる。継電器動作後き電線より電動機が切り離されると，T の1次側は開路となるので，C₁ は新たに充電されず，遅延回路の C₂ は R, D₂ の順方向を経て瞬時に放電し，新たなもとの時定数による遅延回路を形成する。これは継電器の連動接点を利用して C₂ の両端を終端する回路にくらべ，並列接点の近接に伴う閃絡，蓄電器 C₂ の保護の点からも有利で



(a)

A-B, C-D : d_1, d_2 (定電圧ダイオード) : RD9
 定電圧回路
 D_1 : 2GJ4A, D_2 1N92, D_3 1S34
 T_1 : バリスター V1
 T_2, T_3 : 2SB115, D_4, D_5, D_6 : セレン整流器
 C_1, C_5 : 500 μ f, C_2, C_4 : 50 μ f



(b)

C_5 : 200 μ f
 T_{r1}, T_{r2} : 2SB115
 T_{r3} : 2SB202
 T_{r4} : 2SB63
 T_{r5} : 2SB54
 C.T. : 欠相, 過電流検出用
 M : 340 Ω 50 mA
 R_1 : 4 k Ω R_2 : 30 k Ω
 R_3 : 10 k Ω R_4 : 1 k Ω
 R_5 : 2k Ω R_6 : 200
 R_7 : 250 k Ω R_8 : 10 k Ω

第 8 図 過電流継電器の (遅延時間付) 試作回路

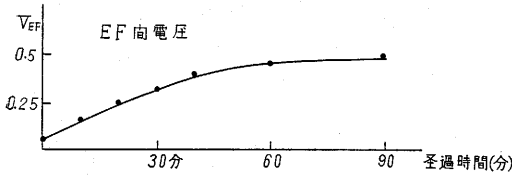
ある。また実際事業場などでは負荷の変動により電源電圧の変動もさげられず、とくに本回路のように CR 時定数回路を使用するとき電源電圧の変動は直接遅延時間に影響し、たとえば電圧が下がれば遅延時間が当然大きくなる。したがって電圧変動のさげられぬ場所では遅延回路には定電圧回路を付加する。以上保護回路の応用例につき述べたが本回路を実際に使用するに当たり誤動作となる所は継電器を動作させる電流 I_c を流すためのベース電流には足りず、さりとてカットオフ状態ではない第 2 図の ($E'_z \sim E_z$) のいわゆる裾をひく部分におかれるような負荷電流であったときは当然トランジスタ T_{r2} が加熱する。しかしこれは C_3 の容量を十分大きくとり、ベース電流 I_b を十分流せるようにし、またエミッターベース間にトランジスタ T_2 のベース・エミッタを図のように接続するか、またはダイオードを 2 個接続することにより I_{ceo} を僅少にしてスイッチ特性を良くするとともに温度補償を行なわせた。また T_{r1} 回路にバリスタ T_1 を挿入して同じく温度補償を行なわせ、その結果カットオフ時の電流と動作電流との比が非常に大きくなり、しかも第 8 図の動作例ではゲートの E, F 間の電圧が 8V に対し約 0.1V の裾ひきで動作した。第 8 図の (a) はこれらの諸点を考慮した試作回路例で (b) はその実体写真である。

電源電圧の変動に対して定電圧回路入力電圧 AB 間が 20V~30V に対しこの出力は 16V を保持したので遅延時間も電圧変動に左右されず、また T_r 2SB202 の継電器付勢コイル回路の電源には十分大きい容量 (500 μ F)

を入れることにより、低電圧における動作電流を補正しえたので、電源電圧 (交流) が約二割の変動に対しても遅延時間も正しく、かつ継電器が動作することが確かめられた。また半導体を使用した回路の温度特性については継電器回路は場合により比較的高温の場所に設置される所も多いので定量的ではないが参考までに 50°C の槽に約 6 時間入れその経過を調べてみたが C.T. よりのゲイト回路には T_2 , T_{r1} 回路には T_1 を入れることにより温度補償しえた。2SB115 を使用した回路の負荷抵抗 R_3 (10 k Ω) の端子電圧を監視することにより I_{ceo} の推移を調べ、50°C でも動作することを確かめ一応 50°C 付近までは使用可能と推定できた。第 9 図は第 8 図の EF 間の電圧の 50°C における経過時間の推移を示す。かつ 1 時間後の各部の変化は第 2 表の通りである。第 10 図は第 8 図のような起動時とはかぎらず、C.T. に過電流に応じた検出電圧がある一定時間誘起したときのみ動作するのを目的とした過電流保護回路であり、遅延時間、その他回路の根本となる点は第 7, 8 図と同じである。

3. 結 言

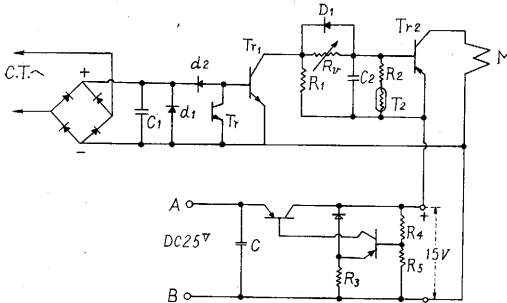
以上ツェナダイオードの特性を利用して、トランジスタと組み合わせ用いて電気機器への保護継電器の補助回路を試作したが、これらは小型軽量で第 8 図の電子回路部分は寸法 5×9 cm で、とくに高温の場所に使用する際は、この電子回路部分のみはプラグイン式として、自由にさし替えることにすれば継電器の保守も簡単になるわけであるが、今後温度の高い場所での寿命試験、多くの実験例を重ねることにより改良すべき点もあると思う。



第9図 恒温槽における時間特性

第2表

	V_{EF} (EF 間)	V_{CD} (CD 間)	I_c 継電器コイル電流
0	0.08 V	16 V	60 μ A
1時間得	0.48	17	1 mA



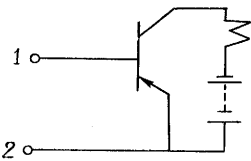
第10図

最後に本試作研究の場を与えて下さった本所高木昇教授に感謝の意を表わすとともに、製作その他の点でお世話いただいた幹電機製作所尾上・道添両氏に謝意を述べらる。
(1962年5月12日受理)

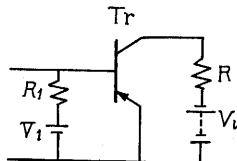
付記

トランジスタのスイッチング特性の向上と温度補償とをする一方法

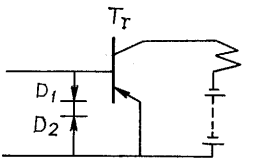
付第1図のようにエミッタ接地のトランジスタ回路においてベース電流0のときのコレクタ電流 I_{CBO} とすれ



付第1図



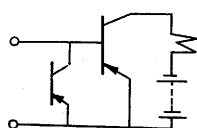
付第2図



付第3図

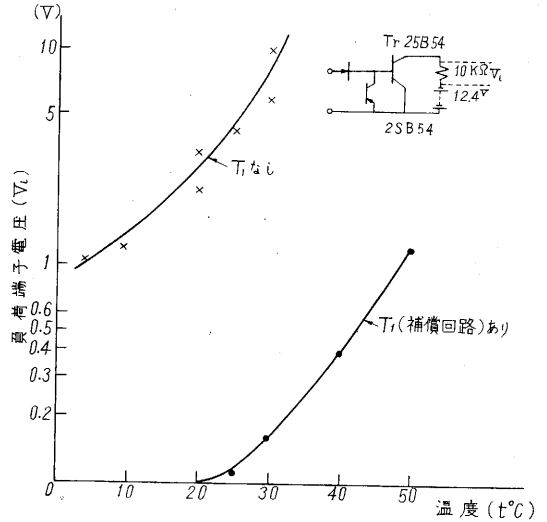
D_1, D_2 : 1N92
 T_r : 2SB54
 E : 15V
 D_1, D_2 あり $I_c = 10 \mu A (I_b = 0)$
 D_1, D_2 なし $I_c = 500 \mu A (I_b = 0)$
 (ベース開放)
 $I_{C0} = 7 \mu A$

ば、 I_0 はベース・コレクタ逆方向飽和電流 I_{C0} にくらべ非常に大きく約 $\alpha/1-\alpha$ 倍になるが、このままで前述のような継電器コイルに付勢電流を流すためのス

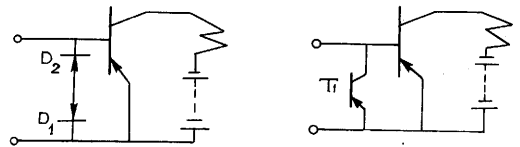


付第4図

イッチとして動作させるとき、周囲温度の上昇に伴い I_{CBO} は急増し、このため誤動作の原因となるため、 I_{CBO} をできるだけ小さく、 I_{C0} に近づけたい。トランジスタパルス回路では、たとえば付第2図のように入力回路に抵抗 R_1 、電池 V_1 を挿入して、カットオフ時にベースに逆バイアスを与えて I_{CBO} を小さくしているが筆者らは



付第5図



付第6図

この要素を加味し、しかも温度補償を十分行なわせるよう、付第3図のようにダイオード2個をそれぞれ逆極になるよう接続してベース・エミッタ入力回路に挿入し、これら半導体の非直線性を利用して D_1 にて付2図の R_1 を D_2 にて同じく V_1 に相応した働きをさせ実効的にベース・エミッタ間の電圧を低くしてカットオフ時のコレクタ電流 I_{CBO} を I_{C0} に近づけた。この数値例を参考までに同図に示した。また D_1, D_2 の合成抵抗が温度上昇とともに指数函数的に減少するので、温度上昇に伴う I_{CBO} の増加を抑制する。このダイオード2個使用する替わりに、トランジスタ T_1 をベース開放にして第4図のように接続しても同じ理由で、目的が達せられる。しかも一般に簡易である。付第5図は各温度における第4図の I_{CBO} の変化をコレクタの負荷抵抗の端子電圧で測定した結果である。

以上ダイオード2個、またはトランジスタを第6図のような極性でも同じく使用できる。以上は直流の継電器用のスイッチとして比較的低速のスイッチングに使用したものである。