

# 家庭用電気品における半導体の応用

## Semiconductor Control for Household Electric Appliances

Since the success of quantity production of inexpensive resin-molded semiconductors, thyristor control has become a regular specification for electric blankets, and the adoption of semiconductor control in other home appliances is expected to be realized in the near future.

Problems concerning semiconductor control are discussed along with the characteristics and performance of a control circuit developed by Hitachi for use with motors, heaters, refrigerators, and room air conditioners.

横山謙二郎\* *Kenjiro Yokoyama*

藤本 亮一\*\* *Ryôichi Fujimoto*

飯塚喜久雄\*\*\* *Kikuo Iizuka*

稲野藤三郎\*\*\*\* *Tôzaburô Inano*

### 1 緒 言

半導体素子、なかでもサイリスタを家庭用電気品に応用して新たな機能を持たせたり、また性能の向上を図ろうとする試みは十年以前から行なわれてきたが、初期の段階では素子の価格が高価なため、単にそれらの可能性を追求しただけで商品化するまでは至らなかった<sup>(1)</sup>。昭和42~43年ごろから、素子の開発も家庭用電気品を対象にした小容量サイリスタに指向するようになり、素子の価格も低下し始めると、サイリスタを応用した家庭用電気品が各社よりあいついで発表されるようになった<sup>(2)(3)</sup>。しかし、数アンペア以上の機器に応用すると依然として高価になり、短期間のうちに市場より姿を消した。その中で2A以下の電気毛布は、継続して商品化され、現在では完全にサイリスタを用いた制御方式に置き換えられている<sup>(4)</sup>。

ところが、最近では再びサイリスタおよびその他の半導体素子で制御した家庭用電気品が市場に現われるようになった。

これらの傾向からみて、今後さらに素子の価格の低下が見込まれることから、数アンペア以上の家庭用電気品へも大量

に半導体素子が使用されることが期待される。

ここでは、日立製作所から商品化された半導体応用の家庭用電気品について概要を述べることにする。

### 2 制御の種類

家庭用電気品を制御する場合の制御の種類には次の3種類がある。

- (1) 位相制御による電圧制御
- (2) ON-OFF制御による電圧制御
- (3) インピーダンス制御による電圧制御

(1),(2)のパワー制御素子としては、一方向性サイリスタ(SCR)、または両方向性サイリスタ(FLS)が用いられ、基本回路は図1のようになる。いずれも交流電圧の制御であるから、一般に、主回路およびゲート回路の構成が簡単になること、また低価格が期待できることから、SCRよりもFLSのほうが有利である。しかし、機器の容量が小さい場合には、交流電圧の半波を制御すればよいので、SCRのほうが

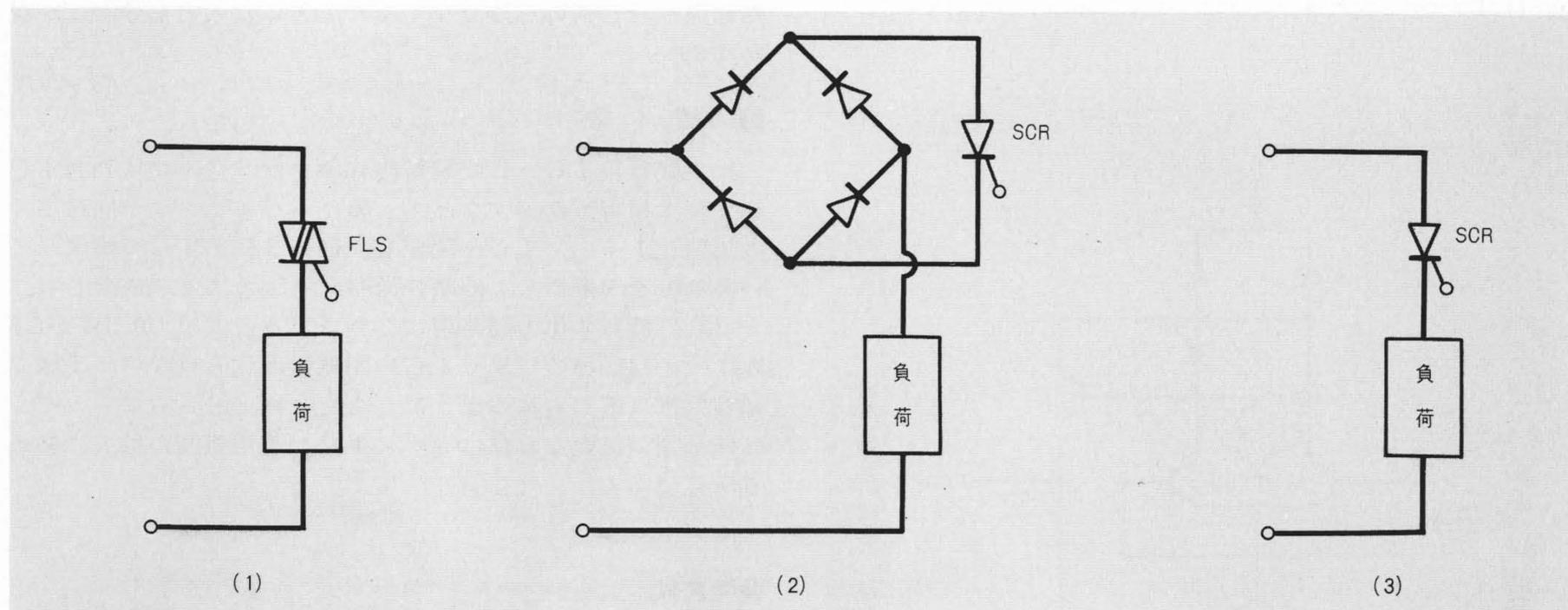


図1 サイリスタを用いた制御回路 位相制御およびON-OFF制御に用いられる。

Fig. 1 Thyristor Control Circuits

\*日立製作所家電研究所

\*\*日立製作所栃木工場

\*\*\*日立製作所多賀工場

\*\*\*\*日立熱器具株式会社

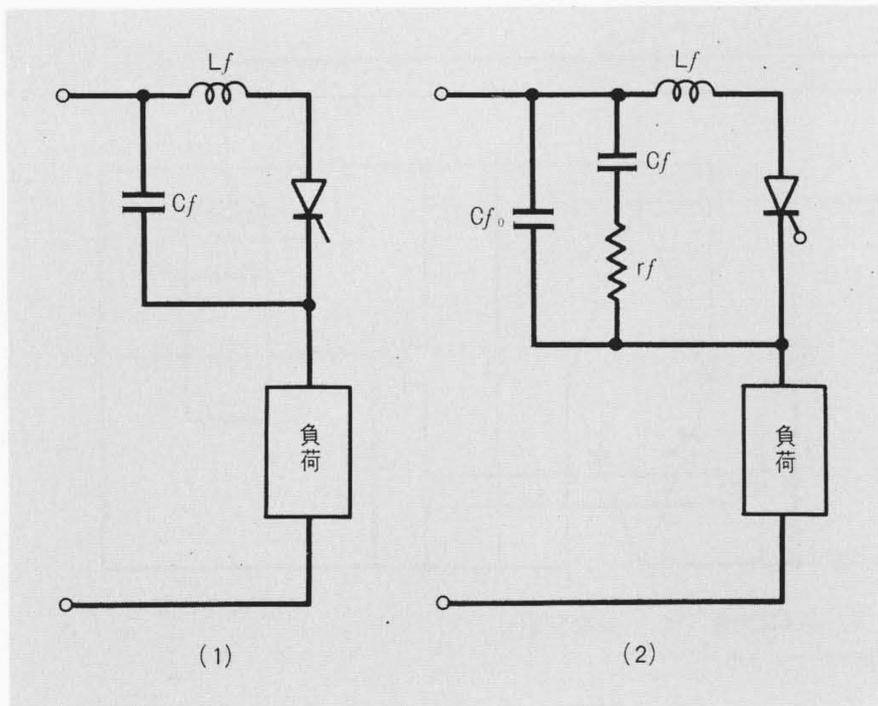


図2 高周波雑音フィルタ 負荷により(1)のフィルタでは、 $L_f$ 、 $C_f$ による振動でサイリスタ電流が断続することがある。その場合には(2)を用いる。

Fig. 2 Filters to Radio Frequency Noises

有利になることもある。

位相制御は、サイリスタの点弧位相を制御することにより、機器の電圧を連続的に変えることができ、モータの回転数制御および電熱器具の温度調節、照明器具の調光などに用いられる。一方、位相制御された電圧には多くの高調波が含まれるため、モータを制御する場合には、高調波による磁気音が増加し、モータの振動および騒音が増加する。そのため、扇風機やルームエアコンのように騒音レベルを低くしなければならぬ機器の制御には不適當である。

また、位相制御では、サイリスタのスイッチング動作が毎サイクル行なわれるため、中波帯の放送受信機に障害を及ぼす高周波雑音が発生するので、その対策に留意しなければならない。図2は高周波雑音防止用フィルタの構成であり、図3は、フィルタを付けたときと、付けない場合の線間雑音電圧である。これらの雑音電圧は機器の種類にはほとんど無関係である。また、輻(ふく)射される雑音に対して、これらのフィルタの効果は少ないが、雑音源より0.5~1m以上離れると、ほとんど障害がなくなる。

ON-OFF制御は、サイリスタのゲート信号を1サイクルよりも長い間隔で断続し、機器の電圧を制御する。ON期間のデューティを変えることにより、機器の平均入力を制御する。ON-OFF制御は、電熱器具の温度調節、または冷蔵庫、ルームエアコンなどの圧縮機用モータの断続による温度制御など、一般に制御対象の時定数の大きい機器の制御に用いられる。

また、ON-OFF制御は、周期が長ければ、高周波雑音障害の問題もなくなる。

インピーダンス制御にはパワートランジスタが用いられる。主回路は図1のSCRをトランジスタに置き換えた回路になる。トランジスタのベース電流の大きさを変えることにより、コレクタ、エミッタ間の電圧降下、すなわち、インピーダンスを変えて、機器の電圧を制御する。制御された機器の電圧波形は、位相制御の場合と異なり、波形ひずみが少ないので、この方式の制御をモータに適用しても、振動および騒音は、ほとんど増加せず、低騒音のままモータの回転数を制御できる。また、トランジスタから高周波雑音は発生しない。

しかし、機器の電圧を低くするとトランジスタの電圧が大

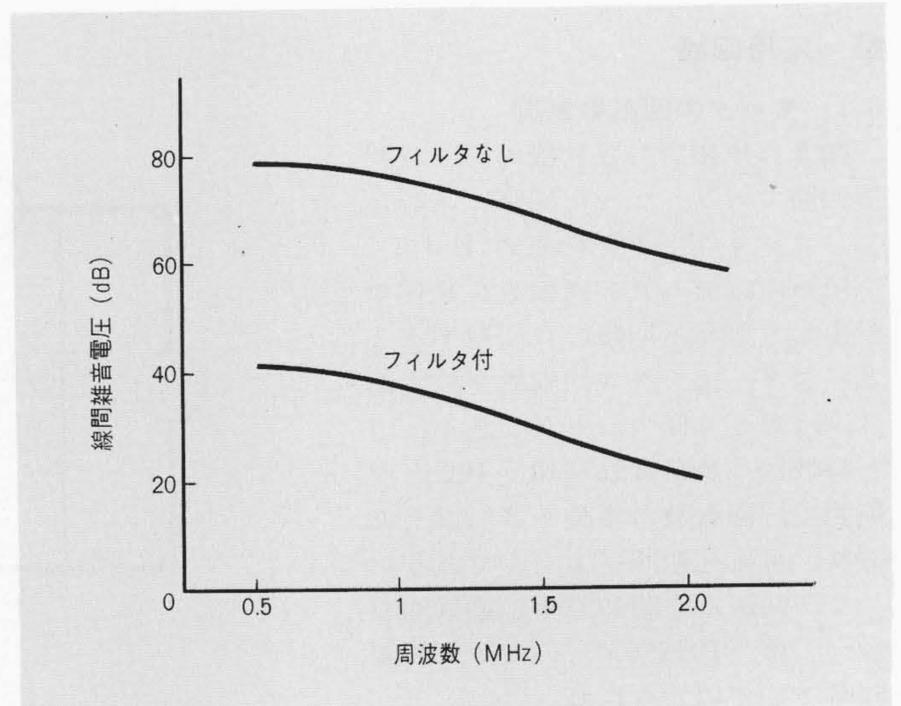


図3 線間雑音電圧 フィルタを付けると40dB以下になり、障害がほとんどないことを示す。

Fig. 3 Radio Frequency Noise Level on the Lines

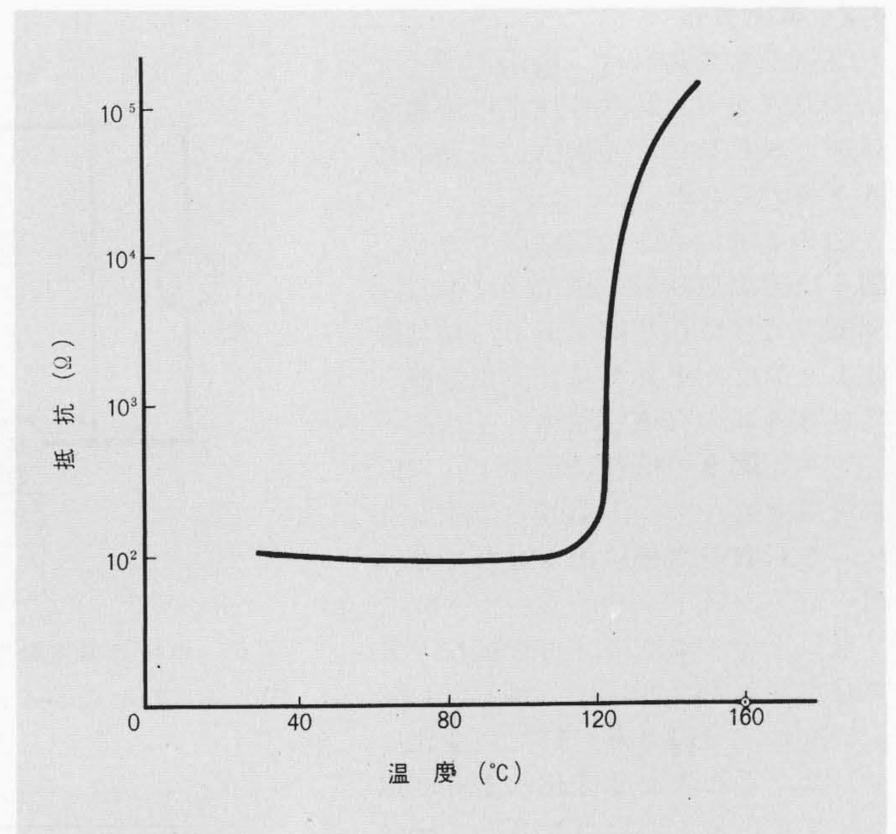


図4 正特性サーミスタの特性 約120°Cで抵抗が急変することを示す。

Fig. 4 The Characteristics of the Positive Temperature Coefficient Thermistor

きくなり、トランジスタの損失が増加するので、あまり容量の大きいモータの制御には不適當である。

そのほか、インピーダンス制御としては、自己加熱した正特性サーミスタ(PTC)を熱源として温度調節を行なう方法がある。

PTCの温度に対する抵抗の特性は図4のように、ある温度以上になると、PTC自体の抵抗が急増する。PTCに一定の電圧を印加して自己加熱させる場合、急変点以上の温度になろうとすると、抵抗が増加して消費電力が低下し、温度上昇を押える。このようにして、PTCの温度は一定に保たれる。

### 3 応用回路

#### 3.1 モータの回転数制御

図5は単相誘導電動機の回転数制御回路であり、ゲート回路にユニジャンクショントランジスタ(UJT)を用いた。モータの回転数をPGで検出し、ゲート回路に負帰還することにより、モータの回転数を設定値にはほぼ等しく保つことができる。

特性は、負荷変動が10~100%の範囲で、回転数の変動が3%以下であり、可変速範囲は1:1/3である。

この回路は、昭和42年に電気洗濯(たく)機(PS250M)のモータ制御回路として用いられた。

図6は、点線内のゲート回路をハイブリッドICにした場合の回路であり、特性は図5の回路と同じである。現在、小形単相モータの回転数制御回路として使用されている。

#### 3.2 電気毛布

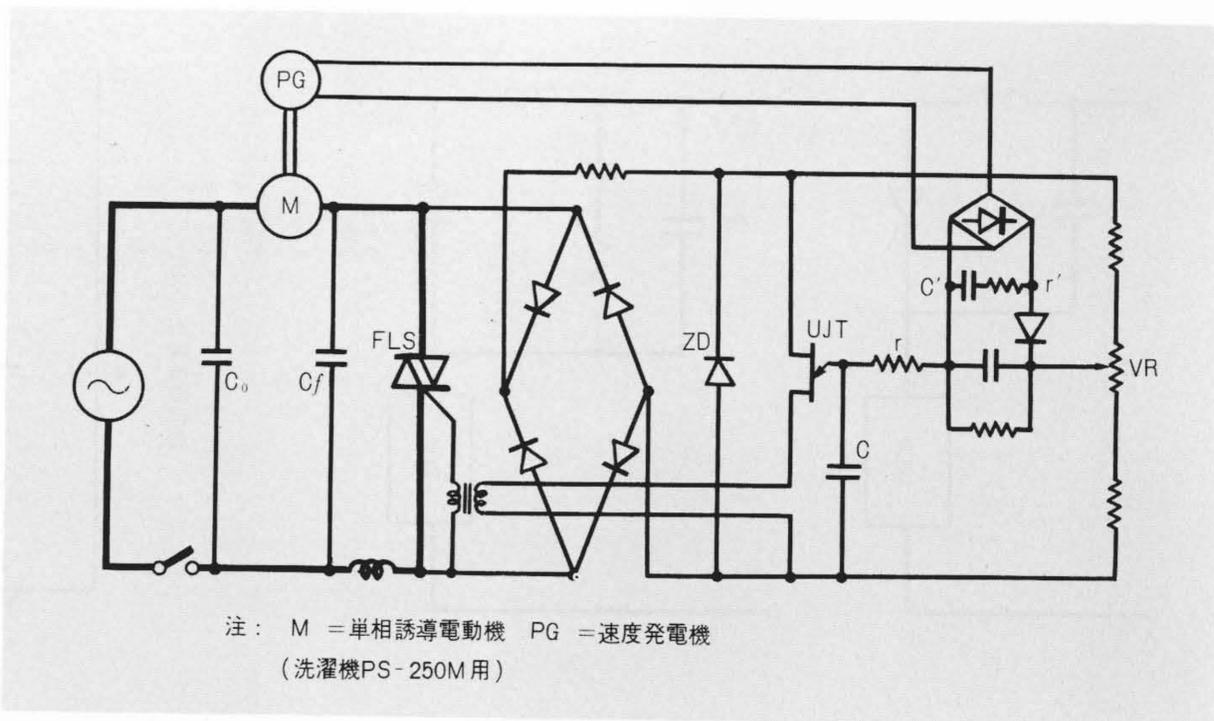
電気毛布の制御は、従来のバイメタル方式から、特殊な構造の感温発熱線とSCRによる制御に全面的に置き換えられた。

図7は電気毛布の回路図であり、図8は感温発熱線の構造図である。制御方式は位相制御である。発熱線により温度が上昇すると、信号線と発熱線間の有機感温体のインピーダンスが図9の特性に示すように低下するため、ゲート信号の位相が遅れ、SCRの点弧位相が遅れて発熱線の電圧が低下する。このようにして電気毛布の温度は、可変抵抗VRで設定された温度に保たれる。

特性は、室温が5~15°Cの変化に対して、毛布の温度変化は1.5度以下、またふとんの厚さが3~7cmの範囲の温度変化は2度以下である。

電気毛布は、睡眠中人体に直接接触するため、すべての故障に対してフェールセーフになっていなければならない。

万一、SCRが短絡した場合には、抵抗R<sub>0</sub>を通して電流ヒューズに大きな電流が流れてヒューズを溶断して異常加熱から保護する。また、発熱線が局部的に加熱し、感温体が溶融して信号線と発熱線が短絡したという想定に対しては、抵抗r<sub>H</sub>にD<sub>1</sub>を通して流れる電流により、温度ヒューズが加熱されて溶断し、電源からしゃ断される。そのほかの部品の故障の場合には、上記のいずれかの故障電流が流れるため、いずれかのヒューズ



注: M = 単相誘導電動機 PG = 速度発電機 (洗濯機PS-250M用)

図5 単相誘導電動機の回転数制御回路(1) 簡単な回路ではあるが、高性能である。  
Fig. 5 The Speed Regulation Circuit of the Single Phase Induction Motor (1)

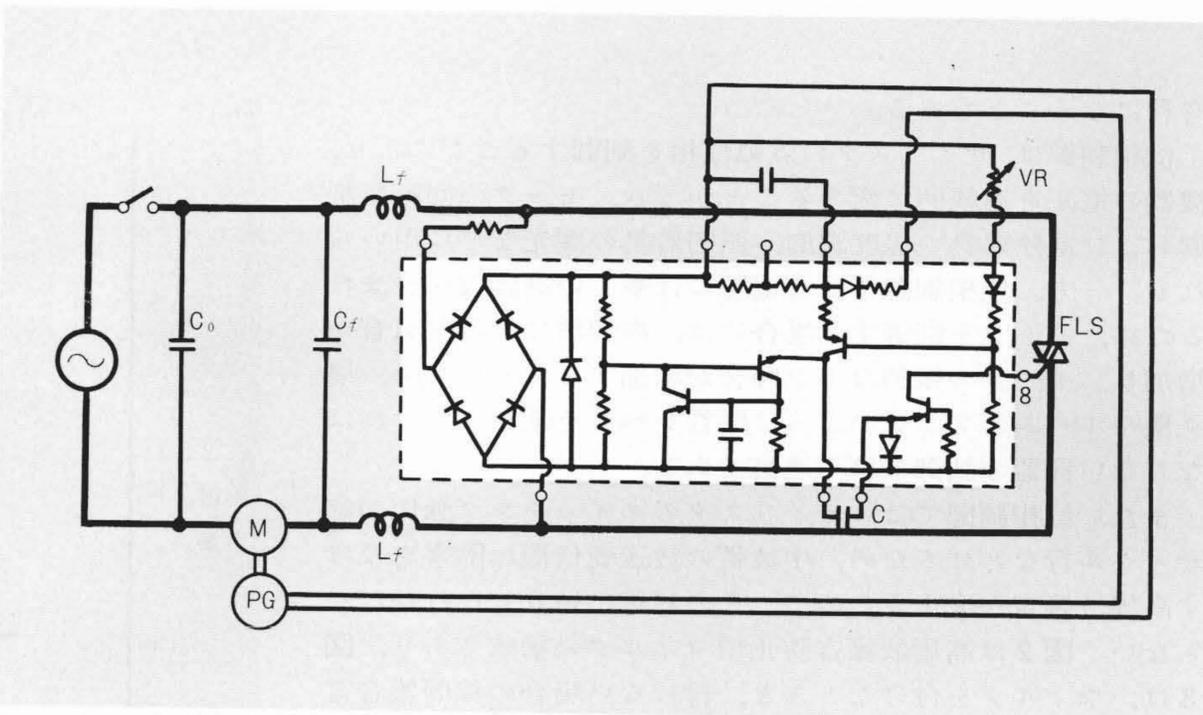


図6 単相誘導電動機の回転数制御回路(2) 線線間がハイブリッドICである。  
Fig. 6 The Speed Regulation Circuit of the Single Phase Induction Motor (2)

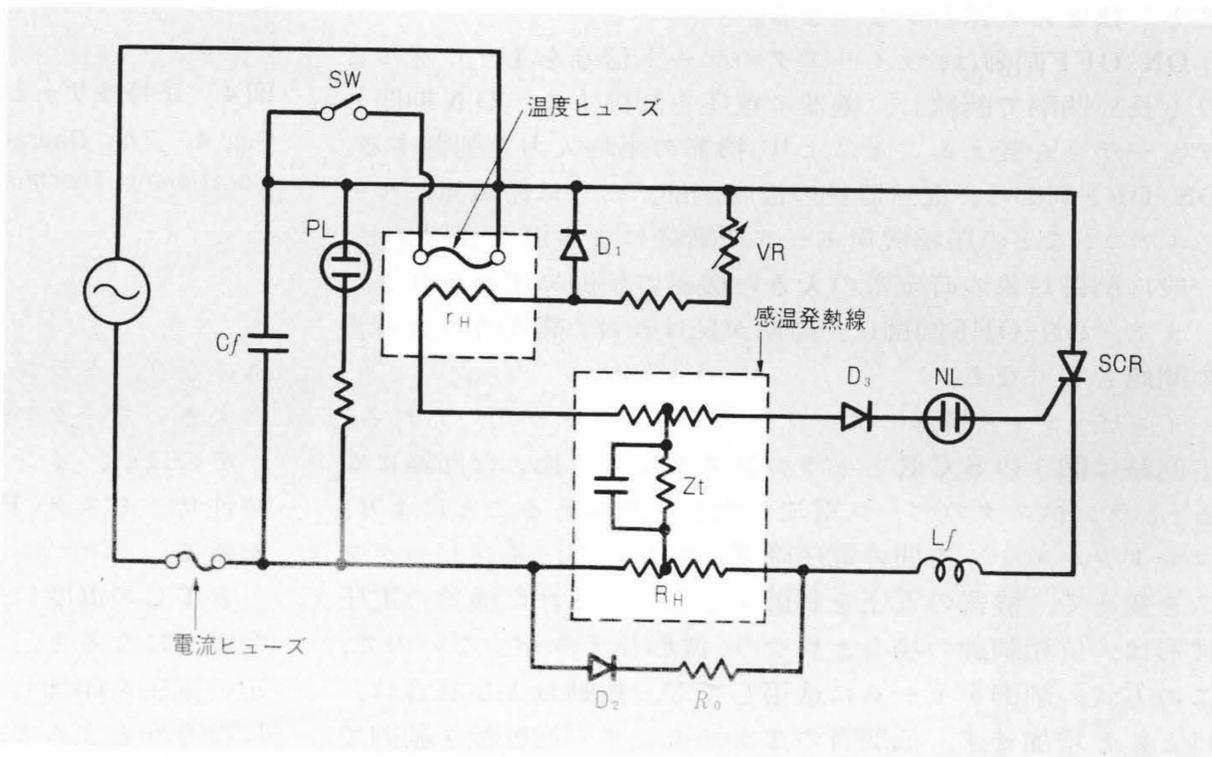


図7 電気毛布の制御回路 フェールセーフになっている。  
Fig. 7 The Control Circuit of the Electric Blanket

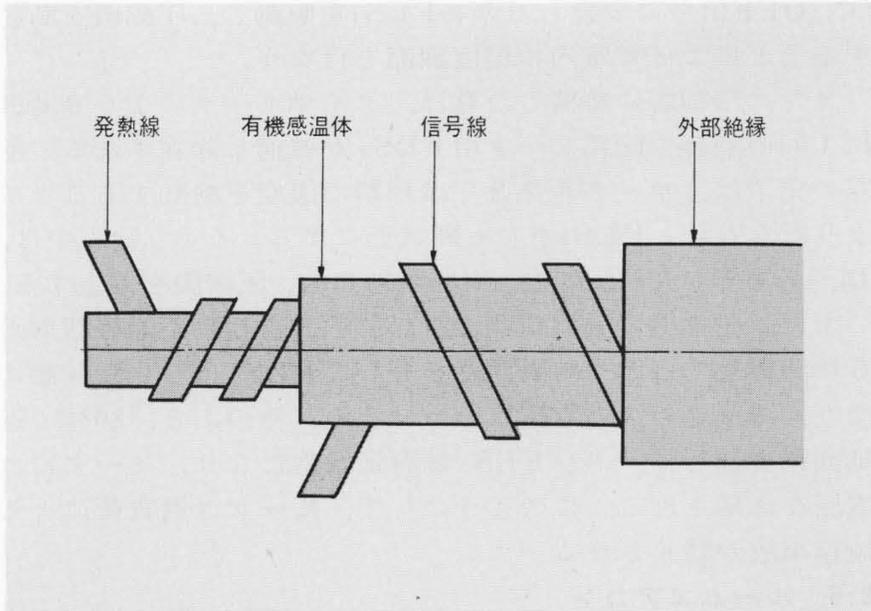


図8 電気毛布感温発熱線の構造 有機感温体の温度によりインピーダンスが変化する特性を利用して、SCRのゲート信号を制御する。

Fig. 8 The Construction of the Electric Blanket Wire

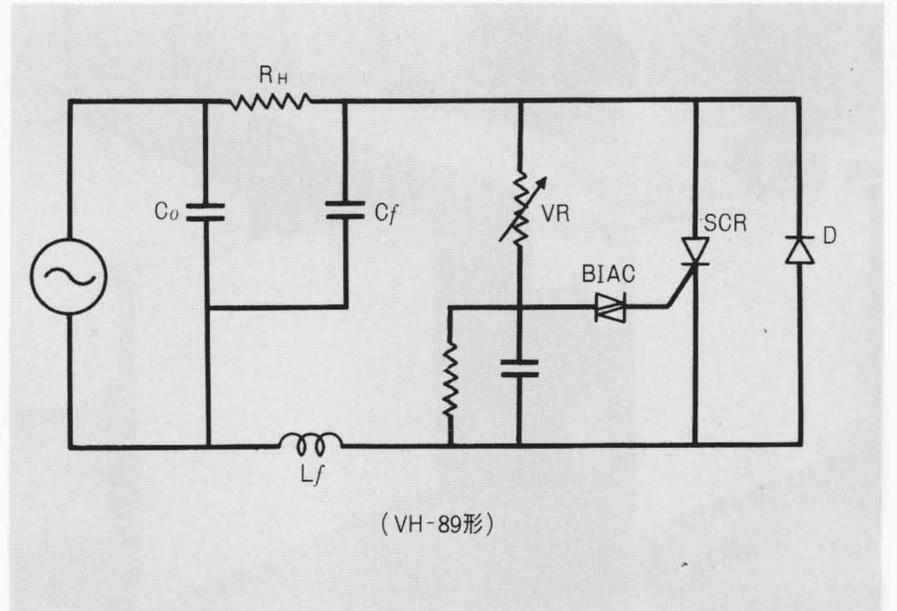


図10 電気ストーブの制御回路 50~100%の範囲を調節するため、SCRとダイオードの逆並列回路になっている。

Fig. 10 The Control Circuit of the Electric Stove

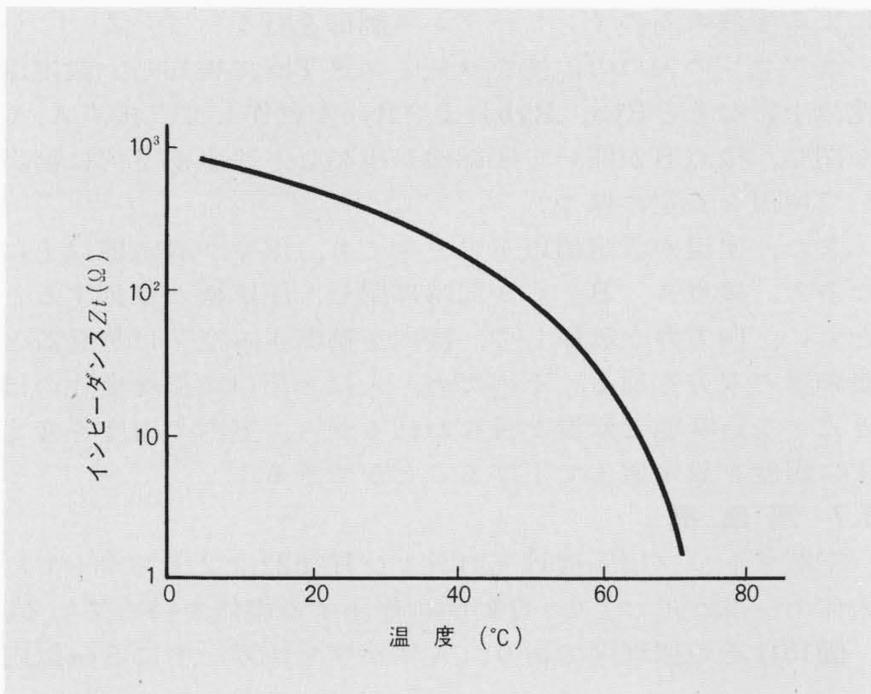


図9 感温体の特性 温度によるインピーダンスの変化が大きいことを示す。

Fig. 9 The Characteristics of the Temperature Sensing Material

ーズが溶断するようになっている。

このように、日立電気毛布は完全にフェールセーフになっており、安心して使用することができる。

### 3.3 電気ストーブ

電気ストーブは、発熱量が50%以下になると、ヒータは赤熱せず、輻射効率が急減するため、採暖効率は急低下する。そのため、発熱量の可変範囲は50~100%でよい。

図10は、VH-89形電気ストーブ用として開発した回路であり、SCRとダイオードを逆並列接続し、半波のみSCRで制御されている。

### 3.4 パネルヒータ

従来のパネルヒータは、熱源にシーズヒータを使用したオイル式や、面状発熱体を使用した乾式のものであったが、パネル表面温度の立上りが遅いという欠点があった。

日立パネルヒータVM-1000形は熱源にPTCを使用しており、その回路図は図11に示すとおりである。1個あたり75WのPTC12個を使用し、定常時の消費電力は900Wであるが起動時はPTC自体の温度が低く、PTCの抵抗が小さいので、約130%の電力が供給される。そのため、パネルの表面

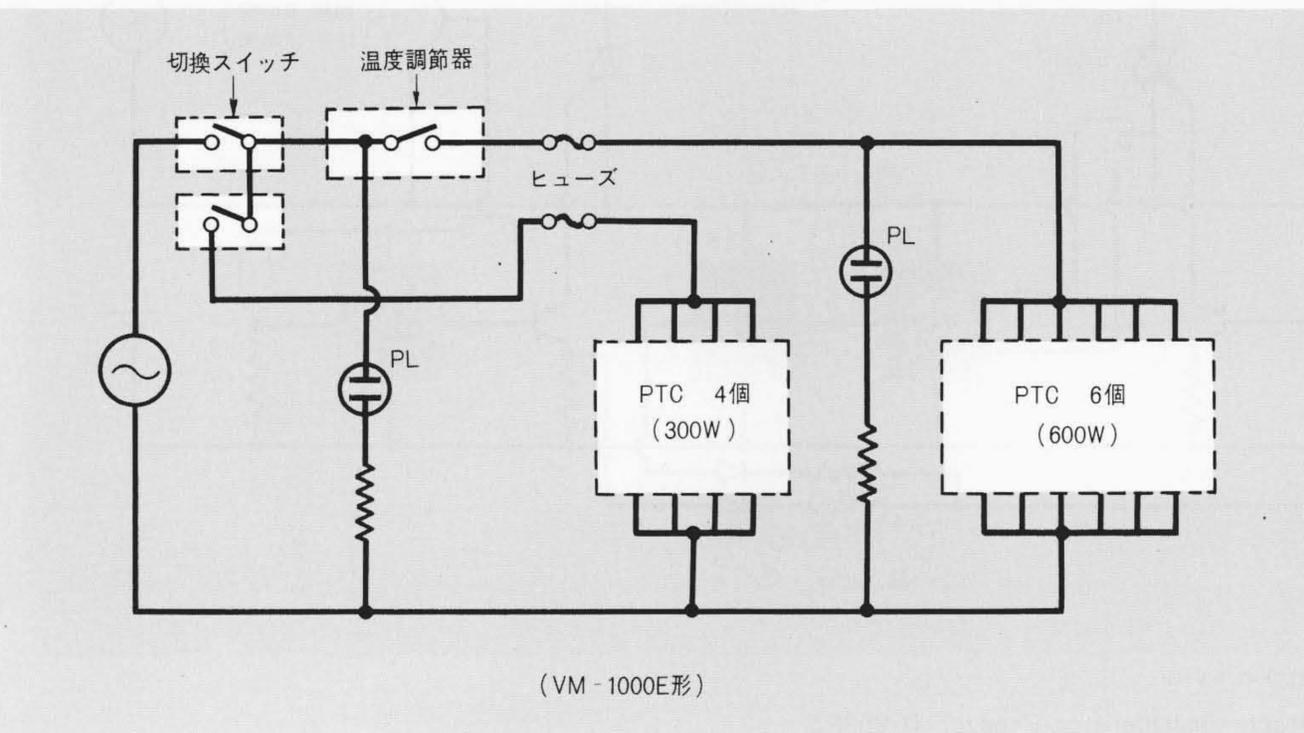


図11 パネルヒータの回路図 バイメタル温度調節器を併用し、温度の設定値を変えることができる。

Fig. 11 The Circuit of the Panel Heater

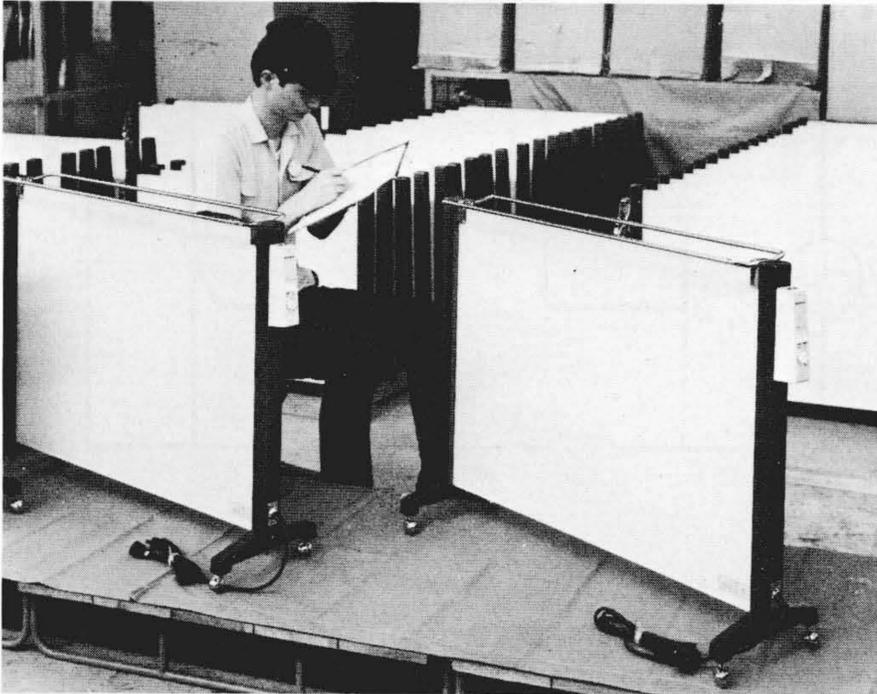


図12 パネルヒータVM-1000E 12個のPTCが内蔵されている。

Fig. 12 The Photograph of the Hitachi Panel Heater VM-1000E

温度の立上りが速くなる。

また、PTC自身の温度制御性により、パネルヒータを誤って毛布などでおおっても、温度が異常に上昇することがなく、安全である。

PTCのみによる温度調節では、常に一定の温度になるため、VM-1000E形はバイメタル温度調節器を併用することにより、温度を可変することができるようになっている。図12はVM-1000形の外觀である。

### 3.5 冷凍冷蔵庫

図13は2ドア・ホワイトフリーザ形冷凍冷蔵庫R-202FS形の制御回路の構成図である。

圧縮機モータは、FLS<sub>1</sub>によるON-OFF制御である。サーミスタ1で庫内の温度を検知して増幅し、シュミット回路で

ON-OFF信号に変換したのちFLS<sub>1</sub>を駆動し、圧縮機を断続することによって庫内の温度調節を行なう。

また、冷却器に蓄積した霜は、タイマモータにより8時間に1回の割合で除霜ヒータ用FLS<sub>2</sub>が導通し除霜される。除霜の完了は、サーミスタ2で冷却器の温度を検知することにより行なわれ、FLS<sub>2</sub>をしゃ断状態にする。なお、除霜中は、D<sub>1</sub>、r<sub>1</sub>を介してFLS<sub>1</sub>をしゃ断状態にし、圧縮機を停止する。

また、圧縮機の過負荷により、モータの起動不能の状態が5秒間継続すると、時限回路を介してFLS<sub>1</sub>はしゃ断状態になり、モータの入力電圧はゼロになる。そのあと、80秒の遅延回路を通して、再びFLS<sub>1</sub>は導通状態になり、モータには電圧が印加される。このようにして、モータは過負荷による焼損事故が防止される。

### 3.6 ルームエアコン

図14は、ルームエアコンRA-225DS形の制御回路の構成図である。圧縮機用モータの容量が大きいため、ON-OFF制御用にFLSを使用すると高価になるので、電磁リレーRycを使用している。また、ファンモータは小容量であるから、トランジスタTRとダイオードDを逆並列にし、トランジスタによる半波のみのインピーダンス制御を行なっている。

エアコンの入口の温度をサーミスタTh<sub>1</sub>で検知し、設定温度以上になるとRya、RybおよびRycが動作して、接点A、Cが閉じ、接点Bが開いて圧縮機が駆動し、冷気が室内に循環して室温を一定に保つ。

また、室温が設定値以下のときでも、湿度が設定値以上になると、接点A、B、Cが同時に閉じ、圧縮機が駆動するとともに、四方弁が動作して、機内を循環する空気は蒸発器と凝縮器の双方を通る。そのため、入口と出口で温度変化のほとんどない状態で除湿が行なわれるから、室内の温度を変えずに湿度を設定値まで下げることができる。

### 3.7 扇風機

空間ストップ扇風機H-621およびH-622はファンガードに人体の一部が近づくと、自動的に停止する機能を持っている。

図15はその原理図であり、人体がファンガードに5cm以内

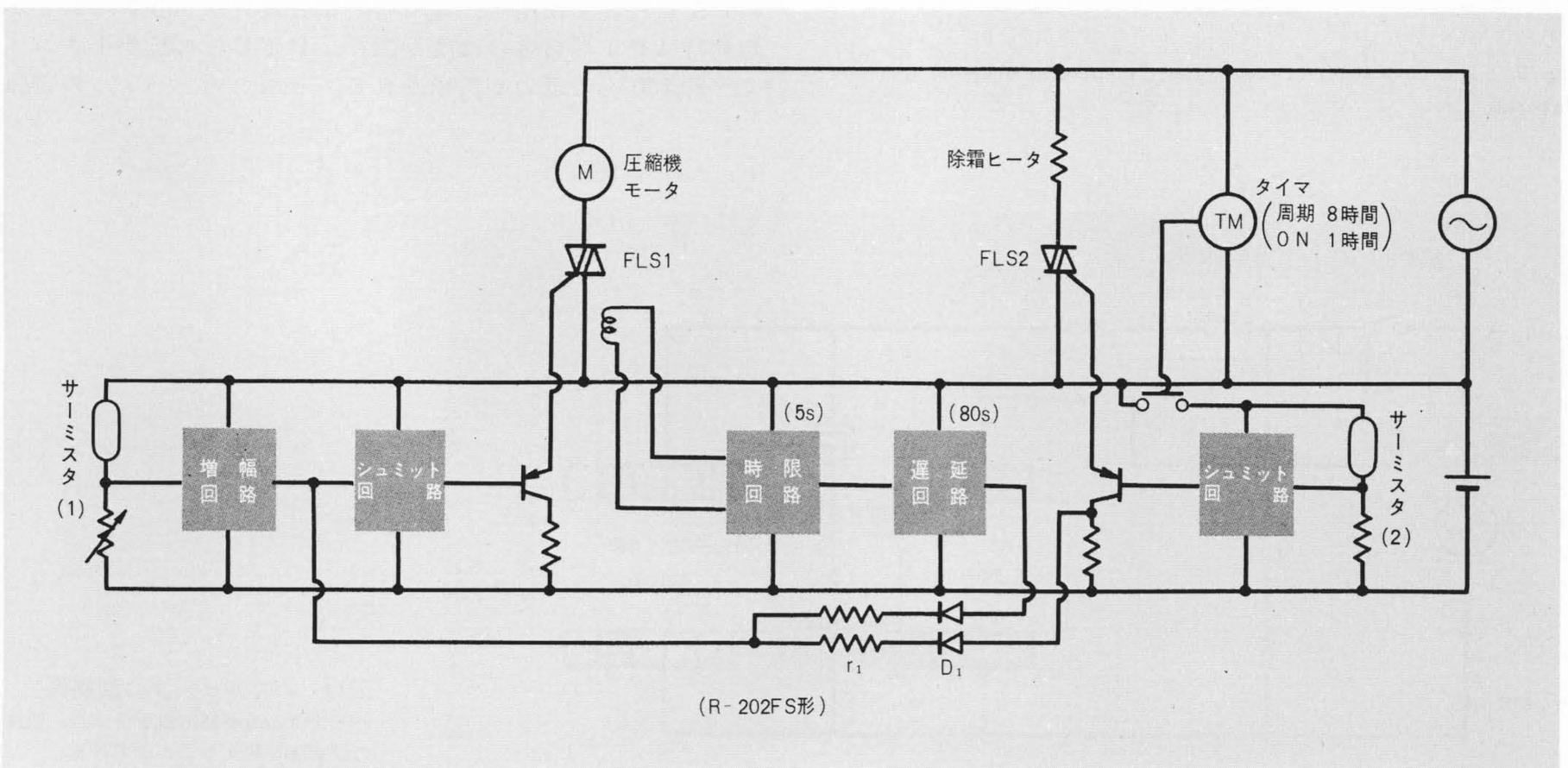


図13 冷凍冷蔵庫の制御回路 無接点化されている。

Fig. 13 The Control Circuit of the Hitachi Refrigerator-Freezer R-202FS

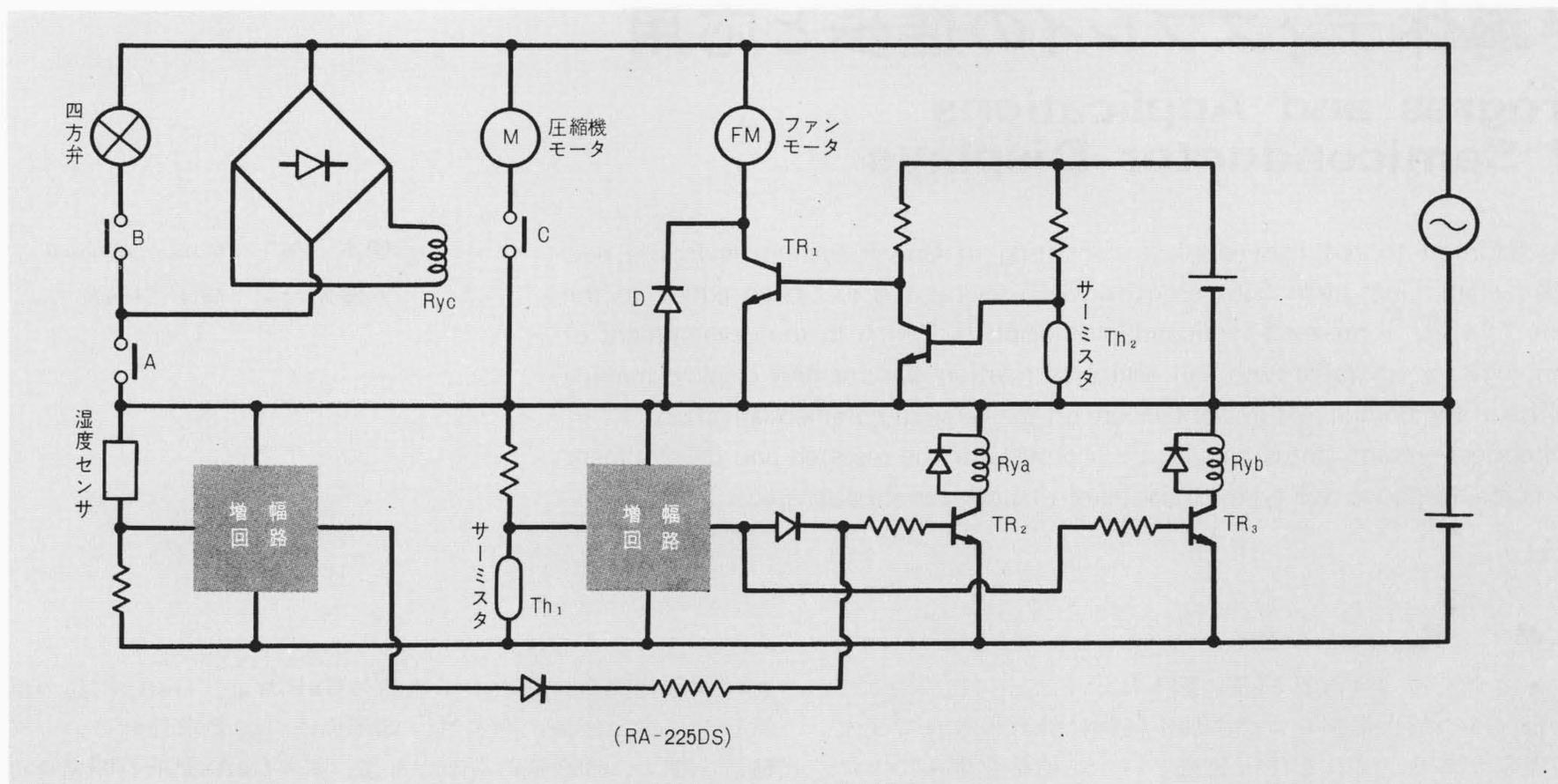


図14 ルームエアコンの制御回路 冷房運転のほか、低温高湿のときは除湿のみの運転に自動的に切り換えられる。

Fig. 14 The Control Circuit of the Hitachi Room Air Conditioner RA-225DS

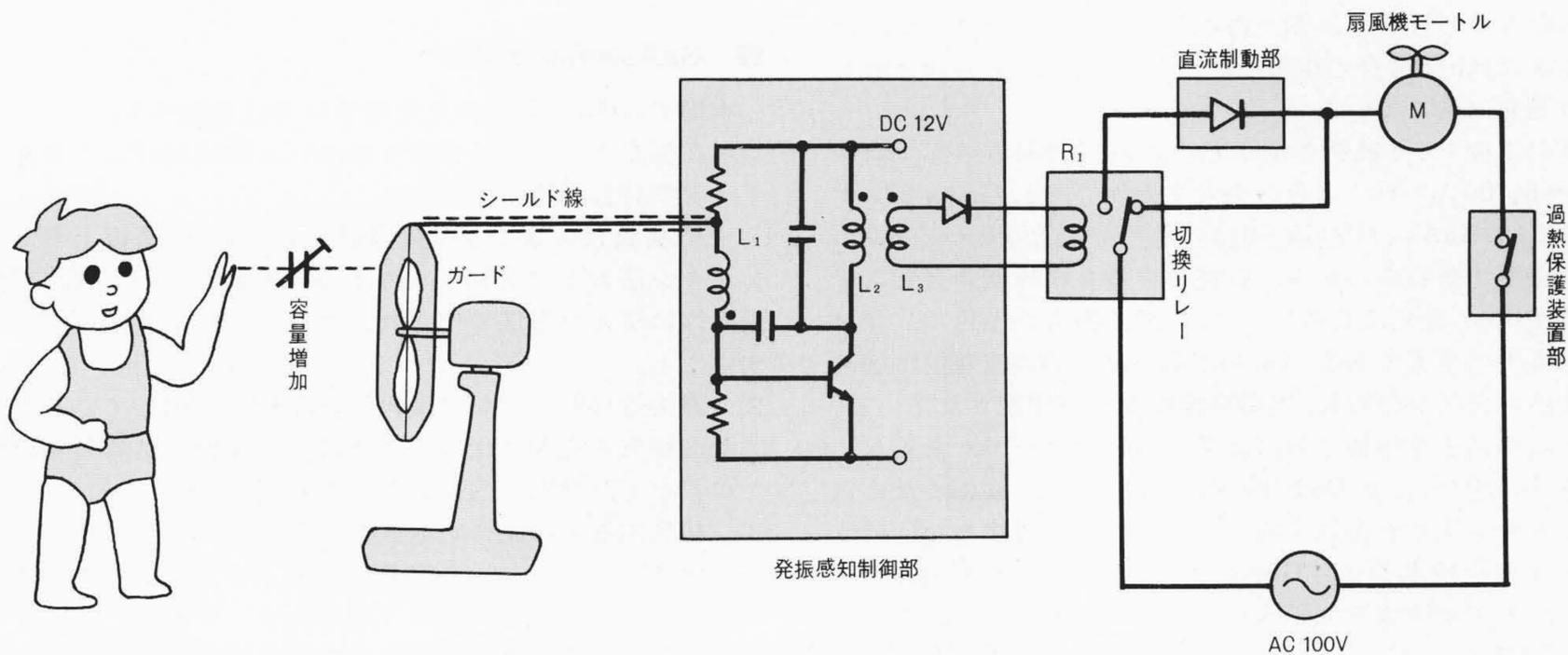


図15 空間ストップ扇風機の説明図 ファンガードに5 cm以内に接近すると、ファンは自動的に停止する。

Fig. 15 The Explanative Figure of the No-Touch Auto Stop Electric Fan

に近づくと、ガードの対地静電容量が数ピコファラッド増加する。このため、 $L_1$ 、 $L_2$ の結合インピーダンスが減少し、発振回路は発振を開始する。発振出力により、リレー  $Ry$  が動作し、接点が切り換えられ、モータには直流が印加されて急速に停止する。人体が遠ざかると、回路の発振が止まり、再びモータは回転を開始する。

#### 4 結 言

最近の家庭用電気品に使用された半導体応用回路を概観して、今後、新たな機能部品および各種のセンサ回路の開発とともに、制御回路もさらに多様化し、家庭用電気品の機能お

よび性能の向上がいつそう進められるものと思われる。

#### 参考文献

- (1) 佐々木ほか：「日立軽工業用サイリスタとその応用」, 日立評論 48, 1235 (昭45-10)
- (2) 横山ほか：「家庭電気品へのサイリスタの応用」, 日立評論 52, 281 (昭45-3)
- (3) 久保倉ほか：「ソリッドステート速度制御洗濯機」, 日立評論 50, 815 (昭43-9)
- (4) 直井ほか：「毛布内部温度検知方式電気毛布の開発」, 日立評論 51, 1128 (昭44-12)