

家庭用電気機器の電子化の現状について

Status quo of the Semiconductorized electric housewares.

木 下 邦 夫

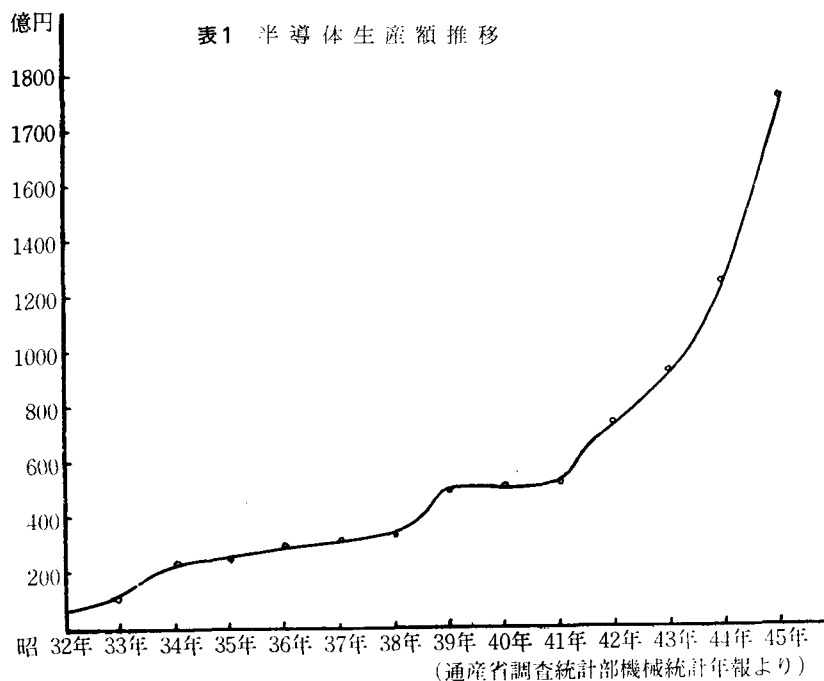
1. 概 要

W. Shockley, W. H. Brattain, J. A. Baker のノーベル賞受賞の契機となった、点接触トランジスタ (PointContact Transistor) は、現在のエレクトロニクス時代を開いた最初の結晶増幅器 (半導体増幅器) であった。

註 1948年、アメリカ、Physical Review Letterに“The Transistor, A Semi-conductor Triode”として発表された。

すでに世界の商品となったトランジスタラジオをはじめ、テレビ、ステレオなどの視聴覚機器は、従来の真空管方式を駆逐してトランジスタ化され、所謂ソリッドステート方式が定着した。

トランジスタの研究から端を発した半導体への探究は、家庭用電気機器の電子化の道を大き



家庭用電気機器の電子化の現状について

く開いたサイリスタを誕生させた。半導体製造工業は、最近に於ては15社を数え、量産態勢は軌道にのっている。それに伴って半導体素子の価格も数年前の価格比で約 $\frac{1}{4}$ に低下し、技術の進歩と共に、信頼性も飛躍的に増大した。

家庭用電気機器の電子化は、サイリスタを中心として、スイッチ、電動機制御、温度制御の分野で進められている。

2. 電子化の背景

エレクトロニクス（Electronics）という言葉は、第2次世界戦争中、無線兵器を総称して兵士たちの間で言われていたという。雑誌エレクトロニクスは、1930年にアメリカで創刊されていた。

1950年、アメリカ通信学会（Institute of Radio Engineering）は、エレクトロニクスを「電子装置とその応用に関する科学、技術分野をいう、ここで、電子装置とは、真空、ガス体または半導体の電子の移動を利用したものである」と定義している。

電子は、19世紀末から20世紀のはじめ頃、放射線や陰極線の本性と作用の実験的探究の過程に於いて発見され、それまで、物質の究極的要素であって分割不能であるとされていた化学的原子の構成要素であることが明らかになり、原子が構造をもつことが確認され、物質観にコペルニクスの転回をもたらした。原子内の電子の挙動については、ニュートン力学の立場における因果律の関係が否定され、新しい理論が追求せられた。

1925年からその翌年にかけて、W. Heisenberg、及び E. Schrödinger によって、ニュートン力学及びマクスウェルの電磁気学の立場を離れて、量子力学の理論体系が成立し、原子及び電子の運動の解析に立ち向うための偉大なる武器を提供した。

新しい物質観にしたがって、量子力学的立場から物質を探究する科学が発展し、その系列の一つから固体電子工学が形成されてきた。トランジスタやサイリスタなどの半導体回路素子の開発は、固体電子工学の記念碑的な成果といえる。

家庭用電気機器の電子化の中心的役割を荷うものは、サイリスタである。

サイリスタは、1957年、アメリカ、General Electric 社より S.C.R (Silicon Controlled Rectifier) という商品名で発表され、I.E.C (International Electrotechnical Commission) では、サイリスタ (thiristor) という名称が正式に採用された。

サイリスタは、純粋半導体シリコンを基体にして、3価の元素 (In, Ga, B, Al) を拡散させたP型半導体と、5価の元素 (P, As, Sb) を拡散させたN型半導体を、P.N.P.N. といったように接合した4層構造の半導体回路素子の総称で、陽極、陰極及びゲート電極の3極をもち、ゲートと陰極間に電子を注入する（電流を流す）ことで、陽極と陰極間が導通状態とな

家庭用電気機器の電子化の現状について

るスイッチ機能をもつもので、交流電力の制御分野に新しい時代を展開した。

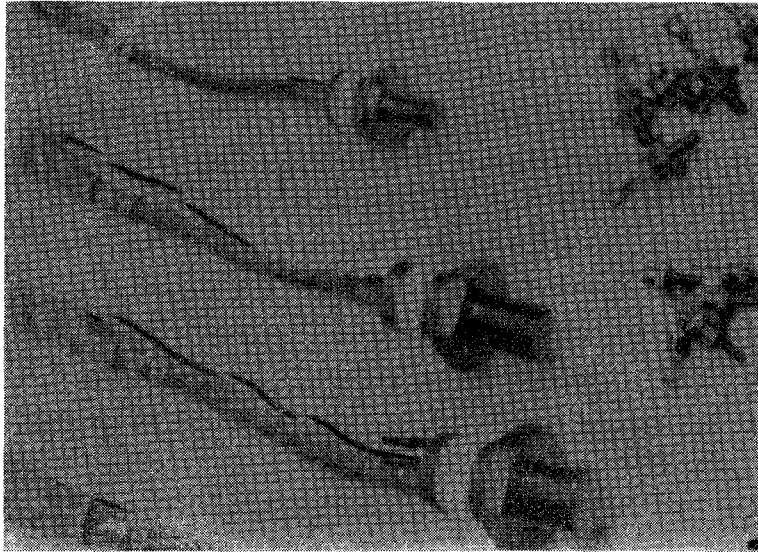


図1 サイリスタ

3. 電子化の方向とメリット

(1) 電子化洗たく機

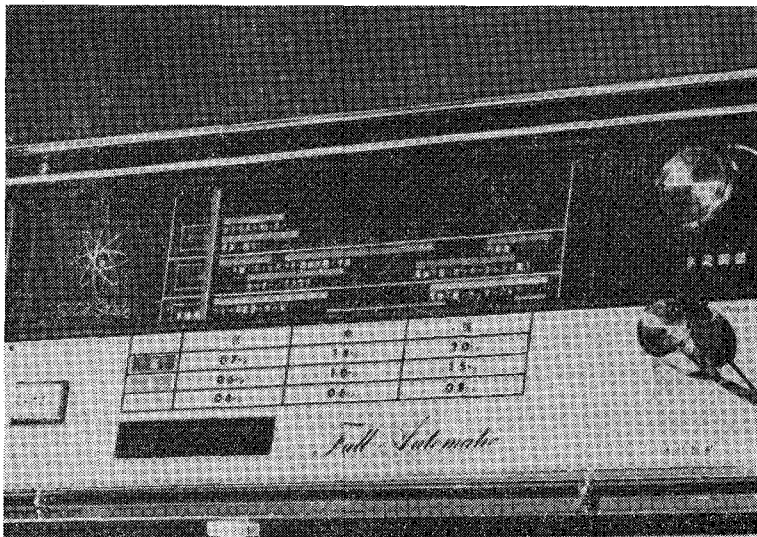


図2 電子化洗たく機 (制御パネル)

家庭用電気機器の電子化の現状について

電気洗たく機の動力源である単相誘導電動機は、電源周波数と極数で定まる回転数附近で回転する定速度電動機である。従って、昭和26年頃の初期的洗たく機から最近まで、洗たく機用電動機は、単速度回転のものが用いられてきた。

その後、化学繊維工業のめざましい進歩と共に、新しい繊維製品が衣生活の多様化傾向に拍車をかけ、弱水流から強水流に至る、多段的水流撰択の機能が要求されるようになった。

4段選択水流型は、昭和44年頃、各メーカーから相ついで市販された。この方式は、極数変換切換えが可能な特殊単相誘導電動機を動力源に採用している。

現用洗たく機の主流である渦巻き電気洗たく機について言えば、単速度型では、パルセータ (Pulsator) の回転数が400rpm 前後であるのに対して、4段選択水流型では、一般に200rpm ~400rpm 前後の2スピードになっていて、パルセータの形状にくふうを加えて、その回転方向を反転させることで4段階に水流を選択できる機構になっている。この方式では、ふり洗いの可能な程度の弱水流を期待できないので、電動機回転数のさらに広範囲な制御、殊に低速域にて安定なトルク (Torque) を出す方式が必要であった。

この要求を満たす方式が、サイリスタによる交流位相制御方式の導入である。

電動機の発生トルクは、電動機入力電圧の2乗に比例するので、入力電圧を変えることで発生トルクを変え、したがって、回転数を変えることができる。しかし、電気洗たく機の場合は、被洗物の運動により反抗トルクが可成りの幅をもって変動する。電動機の発生トルクと反抗トルクと釣合った点で回転数が安定するので、電気洗たく機の場合は、回転数が変動して、たゞ入力電圧を変えただけでは実用にならない。

サイリスタによる交流位相制御方式では、電動機の回転軸に直結された速度発電機で、回転数に対応した信号電圧を発生し、その信号電圧が位相制御信号回路にフィードバック (feedback) され、ダイヤルなどで設定された回転数に対応した指令電圧発生回路から取り出された指令電圧と比較され、その差に応じてサイリスタのゲートに信号電流が供給されて、サイリスタの導通状態を制御する。

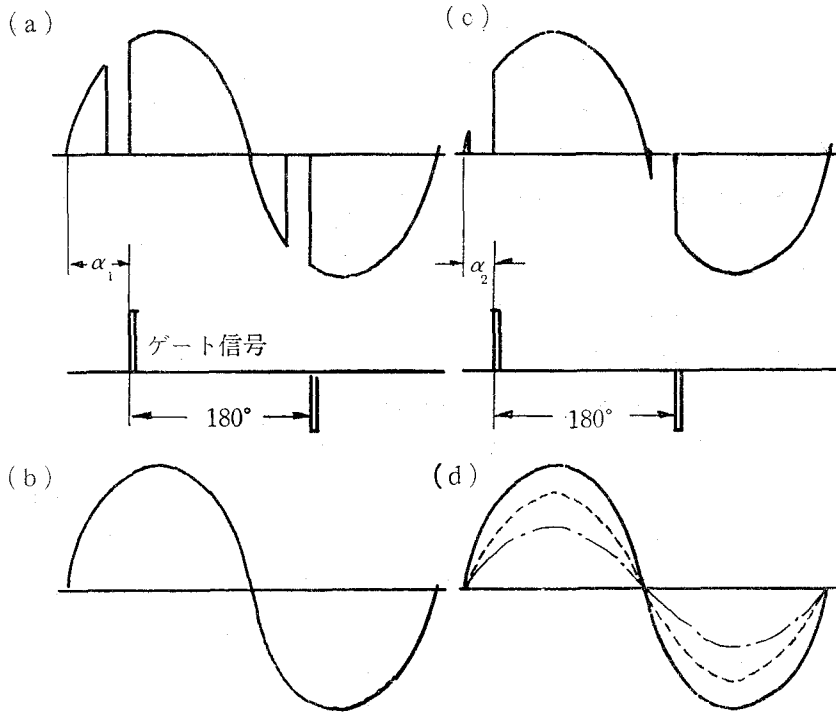
この方式で、入力電圧が回転数の増減にしたがって、自動的に減増され、回転数の変動が抑制される。

入力電圧の制御を、抵抗リアクトル (reactor) などを電動機の外部回路に接続して行なう振幅制御方式は、扇風機などの風量調節に現用されているが、電気洗たく機のように、被洗物の洗たく運動による反抗トルクが変動する機種では、入力電圧を低下させたとき、回転数の変動がはげしく実用的でない。

電子化洗たく機は、パルセータの回転数を、ふり洗い程度の水流ができる130 rpm から460 rpm くらいまで、丁度テレビやラジオの音量を変えるように、つまみ操作で無段変速が可能になった。したがって、とくに型くずれや布縮み、ほつれ、洗いたみのおそれのある薄物でも機械洗いが支障なく行なわれる。

この機種には、日立、ペアソリッドステート PS-250M、三洋 SW-1600、ナショナル N-7200がある。

家庭用電気機器の電子化の現状について



(a) (c) 位相制御による電圧波形
(b) 交流電圧波形
(d) 振幅制御による電圧波形

図3 交流電圧の制御

(2) 電子化扇風機

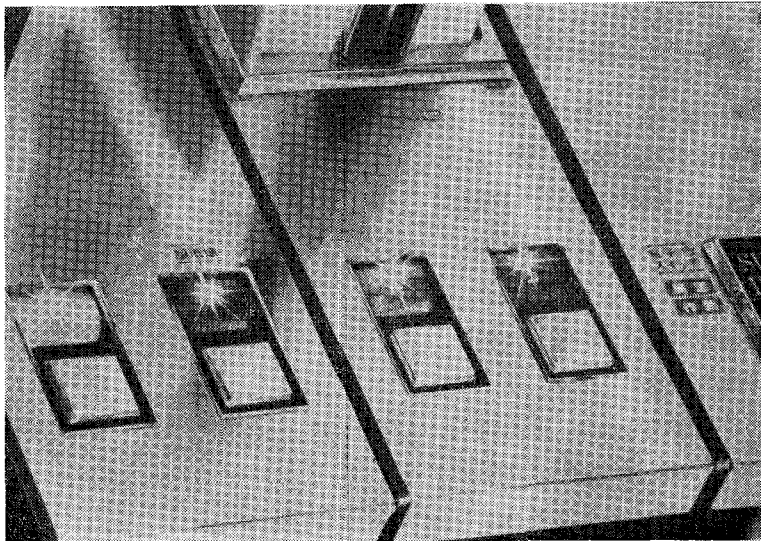


図4 電子化扇風機

扇風機は、電気洗たく機と同様に、単相誘導電動機を用いているが、電子化の方向としては、サイリスタのスイッチング特性の応用と前述の交流位相制御方式による回転数の制御がある。前者の方式のものでは、ナショナル電子ストップ扇、三菱電子コンパクトの系列の機種があり、後者の方式としては、富士電子扇「エレクトロク」、東芝電子扇、SF-30S、H-30EFなどがある。いずれの方式も昭和40年頃商品化が実現し、流通市場にある。

(2)ー1 電子スイッチ式扇風機

扇風機のガードに人が触れると、回転が停止する安全装置、アンテナ板（スイッチプレート）に軽く触れるだけで回転の起動、変速ができる機種は、この系列のものである。押すとか回すといった従来のスイッチのイメージを全く変えてしまうもので、使う楽しさとか夢がそこにあり、その意味で画期的であり、製品に新しい付加価値を創造したといえる。これまで用いられている押ボタン式、ピアノタッチ式或はロータリースイッチ式にくらべて、機械的な衝撃が加わらないので、寿命は10倍以上になるといわれる。

人が触れることでサイリスタの制御回路のトランジスタが動作状態になり、トランジスタのエミッタ回路より増幅された信号電流でサイリスタのゲートを制御し、サイリスタを導通状態におく。したがって、サイリスタと直列に電動機を接続しておくと、スイッチオンが可能になる。あるいは、サイリスタと直列に、ロータリーステップリレーを接続し、サイリスタ導通時にリレーが励磁されて、電動機のフィールドコイルの各スピードタップを切り換えて、変速、停止ができる。

(2)ー2 位相制御方式電子扇風機

扇風機の風速制御は、電動機のフィールドコイルの内部接続変更もしくは外部回路リアクトルを接続して行なう、電動機の入力電圧の振幅制御が一般的であったが、この方式では、最高回転数の50~60%くらいしか減速できず、しかも、段階的の変速である。サイリスタによる位相制御方式は、最高回転数の約30%（約500rpm）程度まで減速を可能にした。これは超微風の創造であり、無段変速にもなし得るので

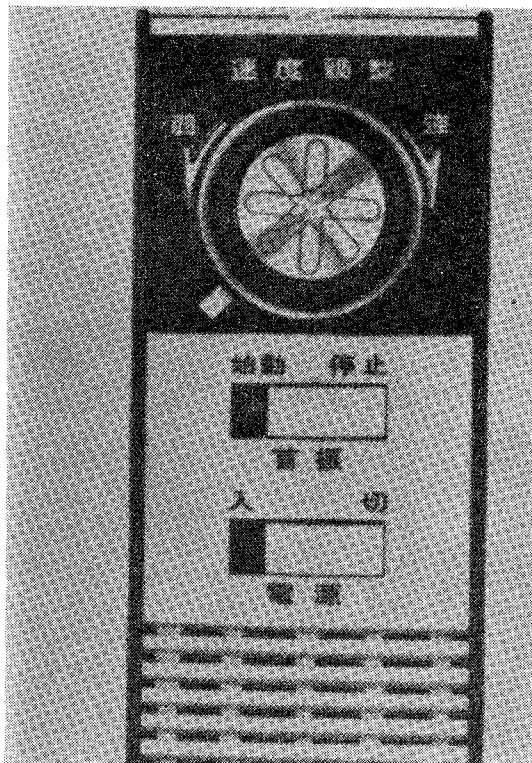


図5 制御パネル（電子扇風機）

扇風機の使用の範囲を広げた。

扇風機の場合は、電気洗たく機と違って、フィードバック制御を必要としないので、装置がコンパクトにまとめられる。

(3) 電子化冷蔵庫

電気冷蔵庫は、冷凍サイクルに冷媒 (Dichlorodifluoromethane) を封入し、その冷媒を電動圧縮機のポンプ作用で循環をさせ、冷却機能を維持するものであるが、庫内温度の制御は、電動圧縮機のON、OFF制御で行なっている。

電動圧縮機のON、OFFは、庫内の温度変化を機械的变化に変換してスイッチを作動させる機械的サーモスタットで行なっていたが、電子化冷蔵庫は、このサーモスタットの代わりに、サーミスタとトランジスタを組み合わせた制御回路を導入した。

サーミスタ (thermistor) は、1946年アメリカ、ベル研究所、J. A. Becker の発明によるもので、温度変化に敏感に対応して電気抵抗が大きく変化する (温度が上昇すると抵抗が減少する) 感温半導体回路素子である。

冷凍室、冷蔵室の温度がどちらか一方でも設定温度より上昇すると、冷凍室、冷蔵室にそれぞれ設置してあるサーミスタの抵抗値が減少し、制御回路のトランジスタが動作状態になってリレーを励磁し、圧縮機を起動する。

機械的サーモスタットでは動作回数が50万回くらいで寿命を終えていたが、電子化によって寿命が推測不可能なほどのびて、温度制御部分の故障率が急速に低下した。

冷凍室、冷蔵室の着霜は、冷却機能を低下させるが、除霜検知も電子化された。除霜検知カウンタ (計数器) が冷蔵庫ドアの開閉回数30回で、内蔵しているパルス発生回路を働かせ、発生したパルスで除霜制御回路のトランジスタを動作状態において、その結果、霜取りリレーを励磁、圧縮機停止と同時に霜取りヒータを作動させている。除霜終了は、除霜終了検知サーミスタを冷凍室、冷蔵室に併置して、制御回路を経て霜取りリレーの励磁を解放して行なっている。この方式の機種には、三洋SR-120X型がある。

(4) 電子化ルームクーラ

ルームクーラで電子化されている部分は、室内空気循環用の送風機電動機と圧縮機のON、OFF制御である。これらの電動機には、単相誘導電動機が用いられている。

従来のルームクーラは、送風機電動機については、単速度のものか或は電動機入力電圧を振幅制御によって、2段乃至3段階に変速する方法があったが、サイリスタによる位相制御を導入することで無段変速ができ、またサーミスタで室内温度を検知させることで、室内温度に対応して自動的に、送風機電動機の回転数を制御することも可能になった。従って、従来のように室温の変化を人体に感ずることも少なく、冷房温度に応じた適度の冷風循環が得られ、かつ運転に伴う騒音が軽減されている。圧縮機のON、OFF制御は、前述の電子化冷蔵庫と同じ

方法が採用されている。

シャープSFN-22SIはこの方式の機種で、昭和43年頃に登場している。

(5) 電子化掃除機

電気掃除機は、その機能の点から高速、高トルク特性の単相整流子電動機を動力源としている。従来の方式では、20,000rpm、出力500~600W程度の単速度、単出力であるため、洋服、カーテン、テーブルクロス或はビニール上敷のようなものの吸じんは、吸じん力が過大であるため不可能であった。サイリスタを用いた位相制御方式を導入することで、出力を100Wから550Wくらいまでの範囲で、従って回転数を無段階に選択することができ、掃除機の使用範囲が拡大された。

掃除対象によって操作つまみを設定することで、制御回路から信号を取り出し、サイリスタのゲートに与え、位相制御をさせている。

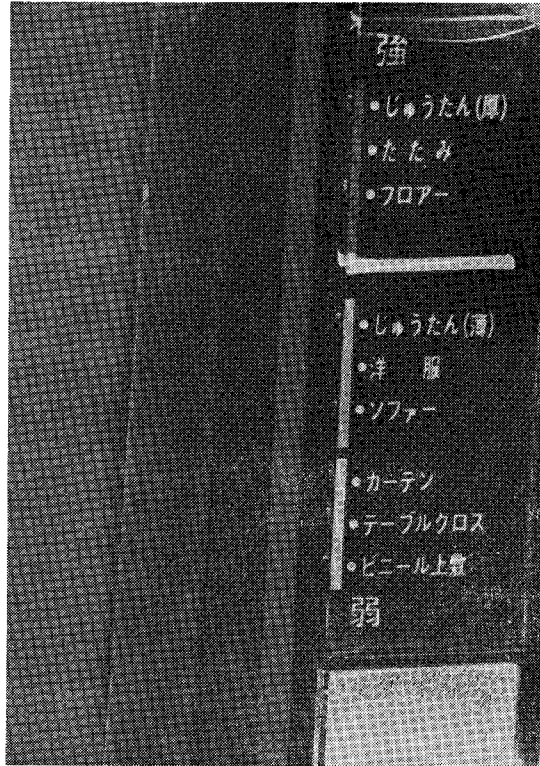


図6 電子化掃除機の操作部分

この方式の機種には、ナショナルMC-1150型、MC-8500型がある。

(6) 電子化ミキサー

ミキサーは単相整流子電動機を用いている。回転数の制御は、これまで、電動機のフィールドコイルを分割してタップを出す方法と、電動機の外部にタップを備えたりアクトルを接続する方法であった。いずれの方法も、電動機の入力電圧を振幅制御によって行なうもので、制御範囲は、段階的に6,000~10,500rpm程度に過ぎなかった。

電子化ミキサーが登場しはじめたのは、昭和44年頃であった。この方式のミキサーは、電子化掃除機と同じような制御方式で、あわだてたり、ゆっくりかき回すに適した2,500rpmくらいから粉碎に必要な9,000rpmくらいまでの無段変速を実現し、調理への応用の範囲を拡大した。

富士 JC 900-M90, ナショナルMJ-120,

東芝 JC 4,000Wは電子化ミキサーである。

家庭用電気機器の電子化の現状について

ミシン頭部にある速度設定つまみを回して或る速度に設定すると、制御器のペダルの踏み込み量に応じて、回転数の変化のしかたが変わる。例えば低速にセットすると、いっぱい踏み込んでも回転数はあまり大きくならない。この方式のメリットは次のようである。

- ④ 100 rpm 以下の低速でも安定した運転ができるので、1針縫いとか刺しゅう縫いといったような細かな縫制には都合がよい、抵抗加減式では、低速にしようとして、制御器の踏み込み量を小さくすると、急に回転が停止してしまっ、いったん停止した状態からふたたび回転させるためには、制御器の踏み込み加減を深くする必要があり、したがって回転数が急に上昇してしまうという欠点があった。
- ⑤ 布地の枚数（重ねた状態）の変動による回転数の変動が比較的小さい。
- ⑥ 制御器は、抵抗加減式と違って、電動機の電流がそのまま流れない回路方式であるから、温度上昇がなく、長時間の使用に耐える。

フクスケFZ-115ソリッドステートはこの方式の機種である。

(8) 電子化就寝用暖房器

電気毛布や電気あんかのような就寝用暖房器具の温度制御は、バイメタルの周辺温度の変化によるバイメタルの変形を利用して、スイッチを機械的に制御するバイメタル式サーモスタットが用いられているが、室温の変化やふとんの厚みなどに影響され、また、ダイヤルで設定した温度に対して、動作温度幅を $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内に保つことが困難であった。

温度制御を電子化することで、これらの欠点が改善され、さらに、機械的の接点がないので信頼性が向上した。

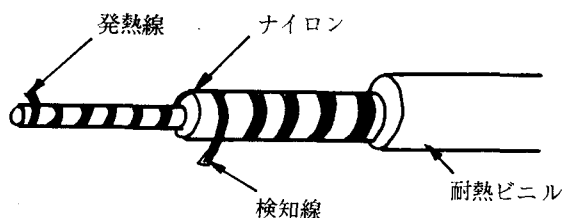


図9 毛布用ヒータ

電子化毛布は、温度検知線で毛布自体の温度を検知し、検知線の温度による抵抗値の変化を制御回路から信号電流として取り出し、サイリスタのゲートに流して、サイリスタを導通或は阻止状態にして、ヒータ電流のON、OFFをさせている。

電子化あんかは、ヒータにチタン酸バリウム系半導体が用いられ、半導体自体が、発熱体と温度制御素子を兼ねている。

この半導体は、一定温度に達すると急激に抵抗が増加する独特な抵抗温度特性をもち、ヒータ電流を制御することが可能である。

家庭用電気機器の電子化の現状について

電子化毛布 ナショナル DB-107, 東 芝 CB-500,
三 菱 SK-500, サンヨー BK-700S
電子化あなか 東 芝 AP-65

(9) 照明の電子化

電子化の方向としては、調光のサイリスタ化とサイリスタを用いた新しいけい光燈スタータの実現がある。

(9)-1 調光のサイリスタ化

フェードイン (fade in) やフェードアウト (fade out) は、ステージ照明で一般によく知られているが、サイリスタの量産によるコスト低下によって、家庭に於ける室内照明の調光が可能になった。従来のオートトランス方式などでは、調光装置を小型に構成することが不可能であり、接触子などの機械的部分の消耗や保守などの管理上の煩わしさがあった。

つまみ操作で、明るさを自由に、連続的に制御ができ、明るさを減少させると電力消費も少なくてすみ、テレビ、ステレオの視聴やくつろぎの部屋の雰囲気づくりに用途が開けている。

調光回路は、白熱電燈の場合と安定器を必要とするけい光燈の場合とは違っているが、原理的には次のようになる。

調光のための操作つまみ (可変抵抗器と連動している) の回転位置によって位相角が設定され、制御回路から位相角だけ遅れて発生するゲート信号を取り出して、サイリスタのゲートに加え、サイリスタを導通させて点燈させている。位相角が大きいほど、電燈に流れる電流は小さく、明るさが減少する。(第3図参照)

(9)-2 サイリスタスタータ

けい光燈は、電源電圧をそのままランプ両端に加えても点燈しないので、自動スイッチとして働らくグロースタータや手動スイッチで、安定器に電磁誘導作用による高電圧を瞬間的に発生させ、その電圧と電源電圧を重畳させてランプに加え点燈させている。しかし、グロースタータは機械的の接点を有し、使用と共に消耗していくので、管理上手数を要し、スイッチオンから点燈まで若干時間的遅れがある。手動スイッチは、操作上の煩わしがある。

1964年、アメリカ、G.E.社がゲート電極をもたない2極構造のサイリスタ、S.S.S型 (Silicon Symmetrical Switch) を公表した。このサイリスタは、一定の電圧で導通状態になり、電流が或る一定の電流以下になると導通状態から阻止状態に移行する。

サイリスタスタータは、1969年、松下電器がS.S.S型の高速度スイッチング特性に着目して、けい光燈点燈回路に応用したものである。

このS.S.Sの制御回路をランプの両端のフィラメントに直列に接続し、S.S.Sが導通状態のとき、フィラメント予熱、安定器による高電圧発生が行なわれ、瞬間的に点燈させる。

家庭用電気機器の電子化の現状について

瞬時に点燈させる方法には、所謂、ラピッドスタート方式があるが、特殊な大型安定器と特殊構造のランプを必要とする。サイリスタスタータはこれらの欠点を改良した。

4. む す び

家庭用電気機器の電子化は、ここ数年の間に、サイリスタを中心として急速に展開した。

しかし、電子化された機種の中には、先験試行的に製作され、普及を見ないまま、生産が手控えられたり、開発されたばかりで実用化の準備段階のものがある。前者の例としては、電子化洗たく機（ナショナルN-3200ソリッドステート）、電子化冷蔵庫（三洋SR-120X）などがあり、後者には、サイリスタスタータがある。

一般に、家庭用電気機器は、他の産業用機械と比較して、常に巨大な潜在需要に備えて、生産スケールを大きくし、生産コストの低下、品質の向上をはかっている。したがって、或る機種が商業ベースにのっている間は、量産ラインからおろさない企業事情が存在する。電子化洗たく機、電子化冷蔵庫などは、そのような事情が顕著にあらわれているものと思われる。

アメリカにおいては、全家庭用電気製品の総生産額に対する電子化率は、G.E社 Maier 氏の試算によれば50%に達している、我が国では、各機種別の生産台数や総額については、企業機密に属し、資料は公表されていないが、はるかに低い数字であることが推測される。

最近、生活水準の向上に伴ってより高級なものが歓迎される下地が培養されつつあるので、電子化機器の普及は、ゆるやかにではあるが進展していくものと思われる。

(昭和四十七年九月三十日受理)

(短大・講師家政学科)