

日立軽工業用サイリスタとその応用

Hitachi Thyristors for Light Industry Use and Their Applications

佐々木 威* 和 島 幸一*
Takeshi Sasaki Kōichi Wajima

横山 謙二郎** 杉 山 巖***
Kenjiro Yokoyama Iwao Sugiyama

要 旨

家庭電気品を中心とした軽工業を主用途として日立軽工業用サイリスタシリーズの素子が開発されてきた。これは電流 20 A 以下で、100 V 回路用、200 V 回路用が主である。素子構造および製法に特別な検討が加えられるとともに量産によりいちじるしく低価格となっている。また信頼性確保のため大電力用と同様な配慮が払われ品質管理も十分に行なわれて、素子の期待不良率は $10^{-8}/\text{h}$ 台である。

これらの素子を用いた制御回路のうち主として小形誘導電動機を制御した例として速度制御、制動、ファンモータ制御およびガンタイプオイルバーナの制御について述べた。

1. 緒 言

近年、半導体素子の設計、製造技術の進歩は目ざましく、サイリスタにおいても素子性能の向上、コストダウンに伴いその応用範囲はますます増大し、電力用のみならず家庭電気品を含む一般軽工業への伸びもいちじるしい。これら一般工業用サイリスタに要求される点は、(1) 使いやすさ (2) 高信頼性 (3) 低価格、といったことがらであろう。

日立製作所では電力用素子とともに特に一般軽工業用向けとして低価格、高信頼性のサイリスタの開発、改良を鋭意推進してきた。シリコン制御整流素子(SCR)のほかに、交流制御整流素子(FLS)⁽¹⁾についても他社に先がけて 5 A 級の素子を世に送り、20 A 級の素子、200 V 回路用の素子を量産するにいたった。またトリガー用パルス素子(BIAC)も量産している。これら素子はさきに述べた軽工業用向けとして要求される条件をすべて満足するものである。

すでに調光装置、温度コントローラ、小形電動機速度制御など多くの用途に着実に実績を上げている。これら素子の適切な応用により装置の小形軽量化、信頼性の向上、保守の簡便化に大きく寄与することができる。

本報告では日立軽工業用サイリスタシリーズとして量産されている素子の特長を紹介し、応用例と回路につきのべる。

2. 日立軽工業用サイリスタシリーズ

2.1 シリコン制御整流素子(SCR)

電流容量 0.5 A, 1 A, 5 A, 16 A が主であり、それぞれ 100 V 回路用 (C クラス)、200 V 回路用 (E クラス) がある。5 A 以上の素子では圧入形、はんだ付け形、6 角スタット付きといずれの利用も可能であり適用にあたっては装置に最も適した取付寸法の素子を選べばよい。表 1 は素子形式と定格に関する一覧表を⁽²⁾、図 1 は素子の外観を示したものである。

2.2 シリコン交流制御整流素子(FLS)

SCR と同じく 0.5 A, 1 A, 5 A, 16 A があり、10 A,

25 A の素子も量産にはいった。それぞれ 100 V 回路用、200 V 回路用がある。パッケージは写真でわかるように SCR と同様である。

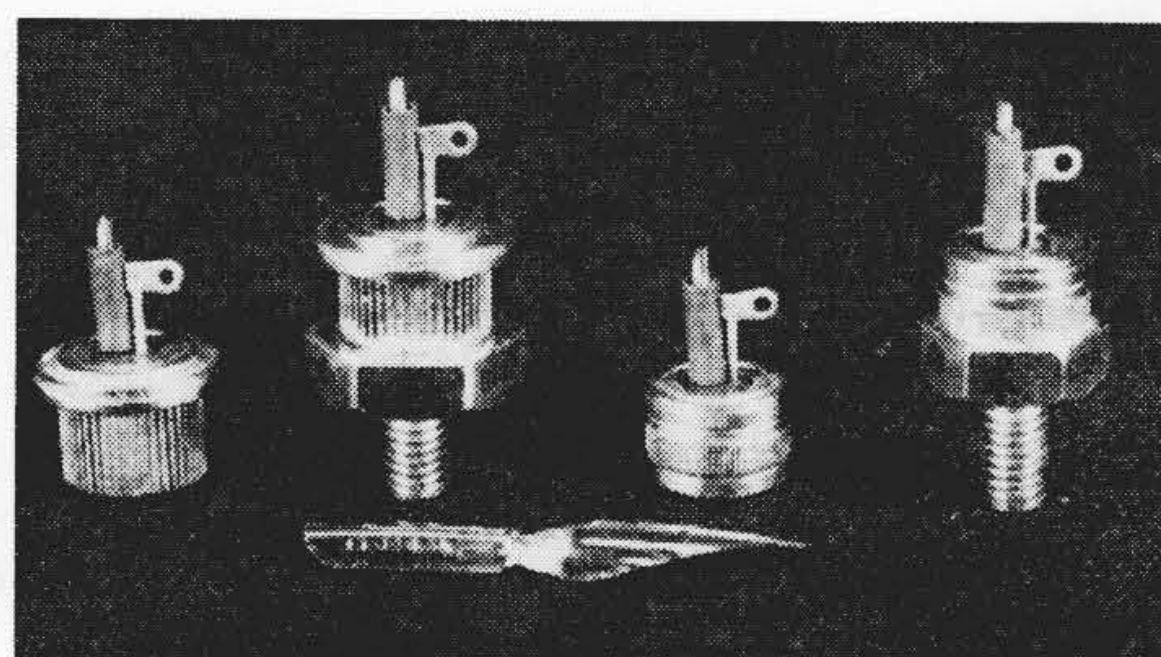
表 2 は素子一覧表を、図 2 は素子外観を示したものである。

2.3 シリコンパルス素子(BIAC)

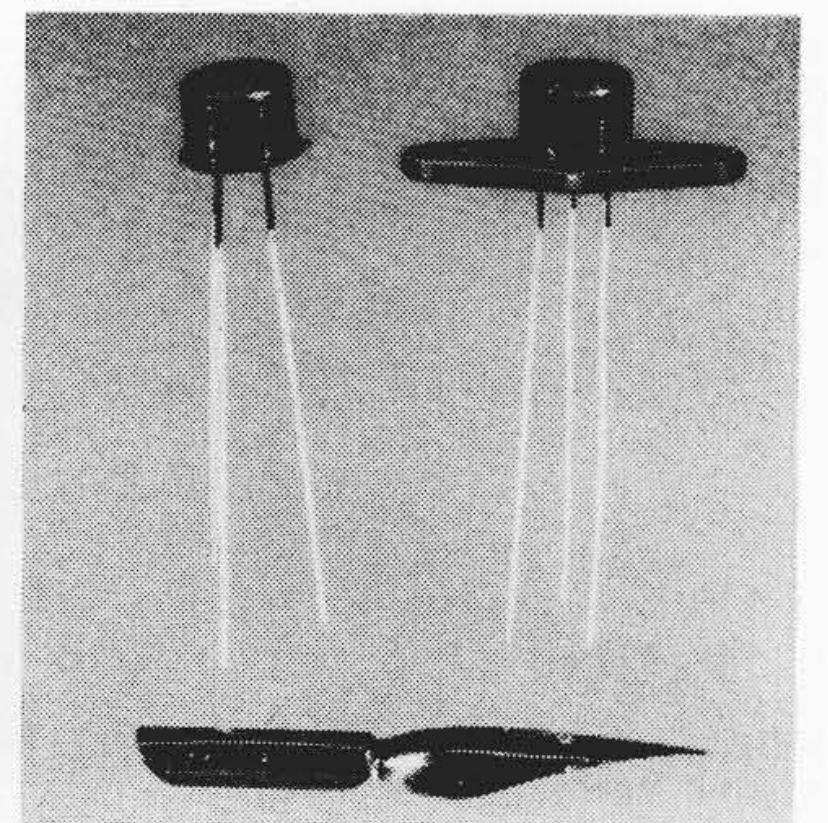
SCR, FLS と組み合わせて使用されるが、これの適用に便利なよ

表 1 日立軽工業 SCR

形 式	定格尖頭 逆耐電圧 (V)	定格過渡 尖頭逆耐 電圧 (V)	定格順 阻止電圧 (V)	定格平均 順電流 (A)	点 弧 ゲート 電 圧 (V)	点 弧 ゲート 電 流 (mA)	動作温度 (°C)	備 考
CV 03 E	200 400	300 500	200 400	0.5	0.8	1.0	-45~ 125	
CV 01 E	200 400	300 500	200 400	1	0.8	1.0	-45~ 125	
CT 02/03 E	200 400	300 500	200 400	5	0.2~ 1.5	0.2~ 25	-25~ 100	CT02 M6スタットつき CT03 プレス、はんだ づけ形
CR 01/02 E	200 400	300 500	200 400	16	0.5~ 25	0.5~ 25	-2.5~ 100	CR01 M6スタットつき CR02 プレス、はんだ づけ形

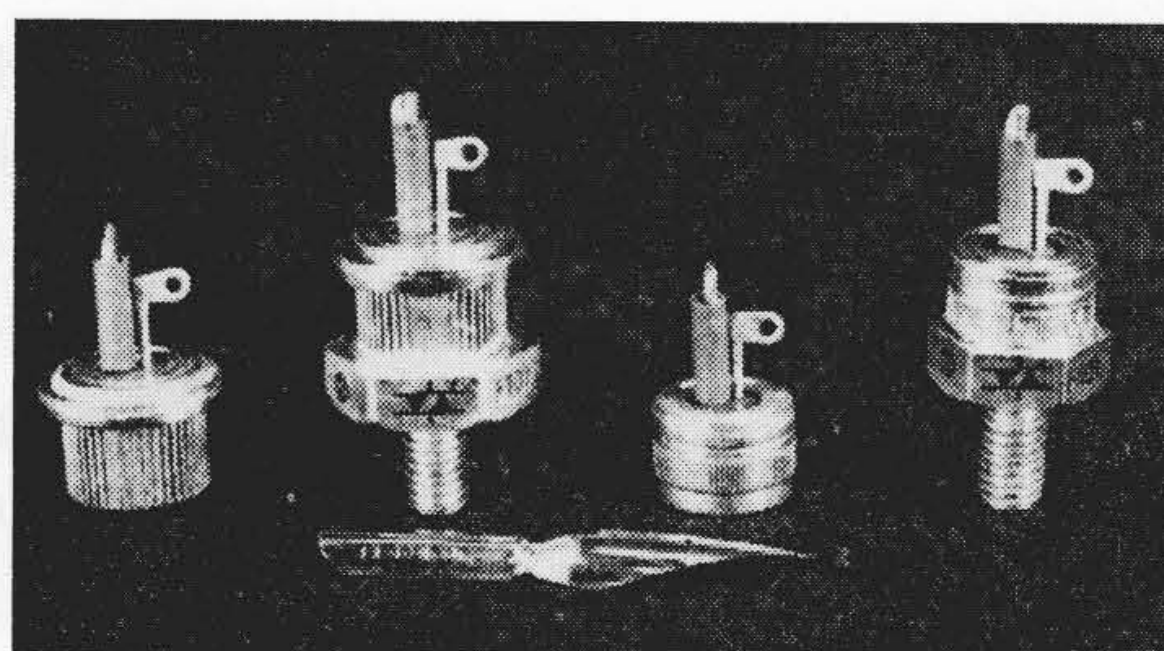


(A) 左より CT03, CT02, CR02, CR01

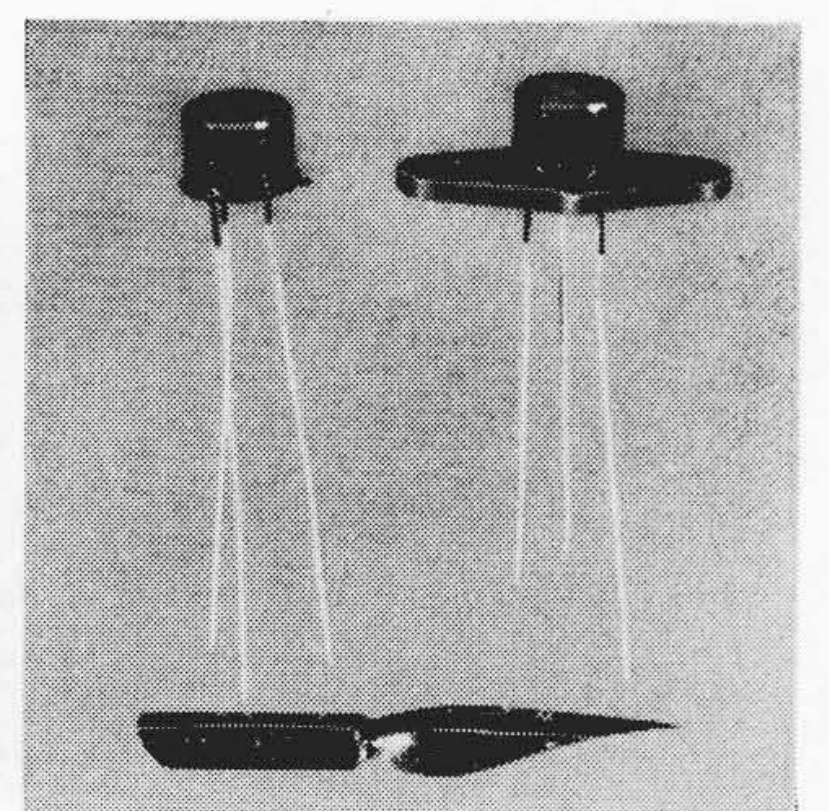


(B) 左より CV03, CV01

図 1 S C R



(A) 左より FT02, FT01, FR02, FR01



(B) 左より FV03, FV01

図 2 F L S

* 日立製作所日立工場

** 日立製作所日立研究所

*** 日立製作所多賀工場

表 2 日立 軽工業 FLS

形 式	定格尖頭耐電圧 (V)	定格電流 (Arms)	点弧ゲート電圧 (V)	点弧ゲート電流 (mA)	動作温度 (℃)	備 考
FV03 C	200	0.5	0.1~2	0.3~30	-45~125	
FV01 C	200	1	0.1~2	0.3~30	-45~125	
FT C 01/02 E	200 400	5	0.2~3	0.5~50	-25~100	01はM6スットつき 02はプレス,はんだづけ形
FS C 01/02 E	200 400	10	0.2~3	0.5~50	-25~100	
FR C 01/02 E	200 400	16	0.2~3	0.5~50	-25~100	
FQ C 01/02 E	200 400	25	0.2~3	0.5~50	-25~100	

表 3 日立 B I A C

形 式	ブレイクオーバー電圧 (V)	(1) 最小尖頭出力電圧 (V)	(2) 最大尖頭電流 (A)	動作温度 (℃)	備 考
TA01	A 20~28	3	2	-25~100	
	B 28~36				
	C 36~44				
TA02/03	A 20~28	3	2	-25~100	
	B 28~36				
	C 36~44				

- (1) 0.1 μ F のコンデンサより 20 Ω の負荷を通して放電させた場合
(2) 10 μ S 幅パルスを 120 c/s くりかえし 通電の場合

うにブレイクオーバー電圧を3段階に級分けしている。また一方向にのみパルス発生を保証するTA02, TA03形素子もある。表3は素子一覧表、図3は素子外観である。

3. 軽工業用素子の特長

サイリスタの利用にあたってはその一般的な動作原理⁽²⁾を了解することとともに個々の素子の特長をよく知ることが必要である。よって次に日立軽工業サイリスタシリーズ素子の特長を述べる。

3.1 素子特性

これら素子は家電を中心とした一般軽工業を主たる用途と考えるとの基本方針で設計されており、低価格の妨げになるような過剰品質は極力回避している。

まず電圧はCクラス 100 V 回路用, Eクラス 200 V 回路用を中心としておりこれ以上の高電圧は考慮されていない。高電圧素子は特殊用途をのぞいて必要性は少ないし, 高耐圧化にはよく知られているようにシリコン端面の成形などにいちじるしいコスト高を招くからである。

整流作用, スイッチング作用を有するシリコン薄片と電気および熱をとりだすケースとの接着はいわゆるソフト溶ダが用いられている。したがって素子は熱疲労に対しては本質的には劣っている。これに対して最大定格電流をたかだか 25 A 級におさえること, および最高動作温度を 100℃ と低く規定することにより実用上の問題はない。すなわち熱疲労にいたる繰返し回数 N は次式で示される。

$$N = \frac{C}{A(\Delta T)^2}$$

C : 定 数
 A : 接 着 面 積
 ΔT : 温 度 変 化 幅

接着面積小さく, 温度変化幅も低く押えられているからこれによって普通の電力用素子と同程度の長寿命が得られるのである。1A 級については接着面積も小さいので接着はソフト溶ダでなく最高動作温度は 125℃ となっている。

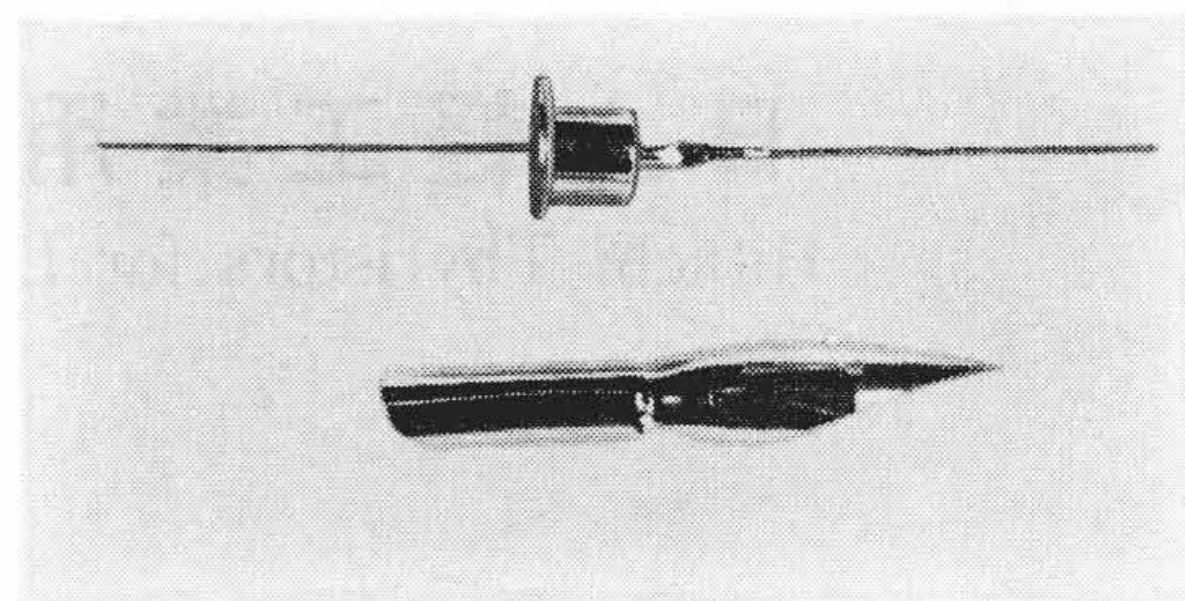


図 3 B I A C

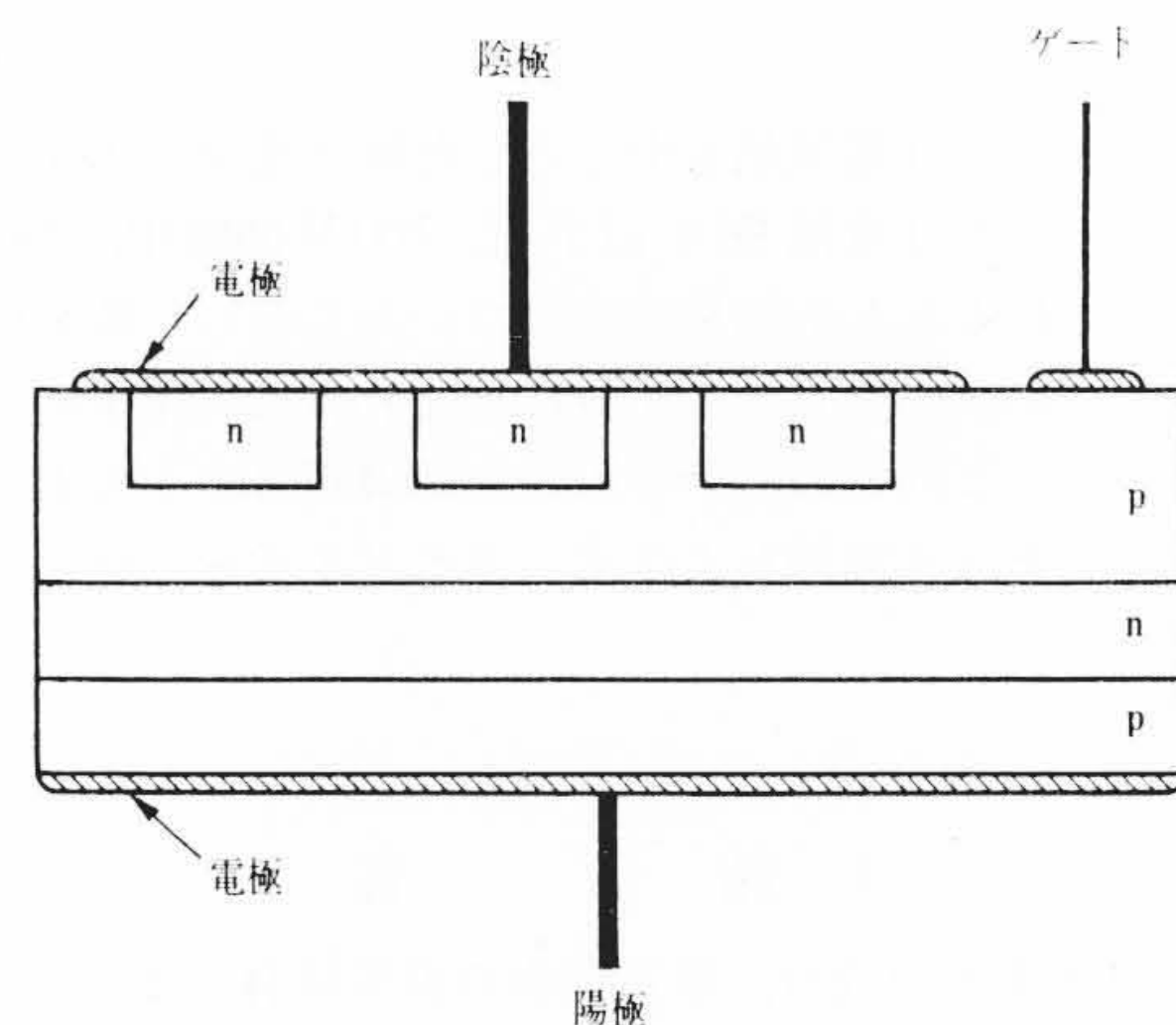


図 4 ショーテッドエミッタ構造の pnpn 接合

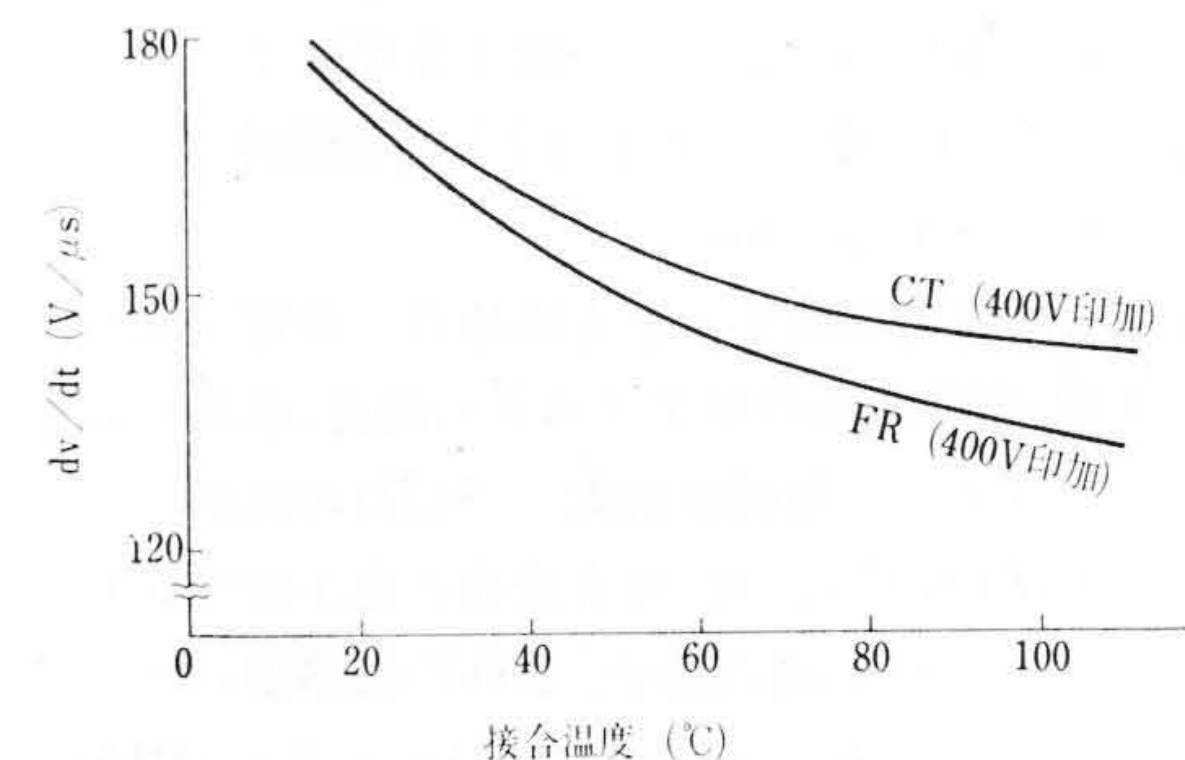


図 5 軽工業用素子 dv/dt 特性

3.2 素子の動特性

ゲート特性, スイッチング特性に関しては通常の素子に劣る点はまったくない。むしろ接合にショーテッドエミッタ方式を採用した結果, 従来の電力用 SCR に比べ動特性ははるかに改善されている。これは図4に示すように SCR または FLS のエミッタとベース間が電極によって短絡されるような構造であり, ベースの電流がエミッタへゆかず直接電極へ流れるため, これによる余分なキャリアの注入が生ぜず特性の改善が得られるものである。図5は SCR, FLS の代表的な素子の dv/dt ターンオンに関するデータを示したものである。

3.3 素子の量産性

素子の価格は量産効果のみならず, 量産に適し, かつ素子の機能をそこなわない程度に単純化した構造を積極的に採用することによりいちじるしく低下した。

素子の製法にも次のような検討が加えられている。

(1) 拡 散

SCR は pnpn の 4 層, FLS は pnpnp の 5 層よりなっているがこれを 1 回の拡散で同時に形成する方式を確立した。素子の特性に大きな影響を与える各層の厚み, 不純物濃度分布を精密にコントロールしてバラツキの少ない良質な接合が安価に得られるようになった。

(2) ペ レ ッ ト

pnpn などの接合を有するペレットの形状を角形とした。通常

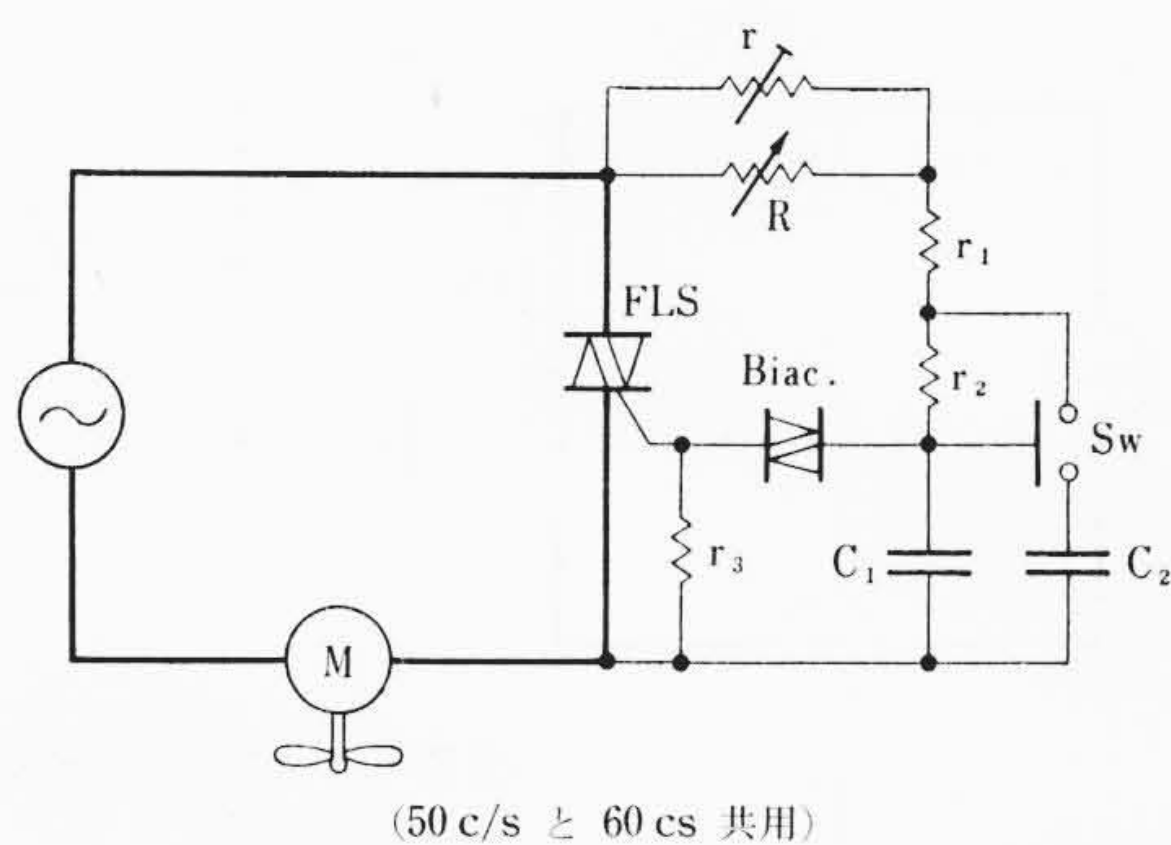


図6 FLS と Biac によるファンモータ制御回路

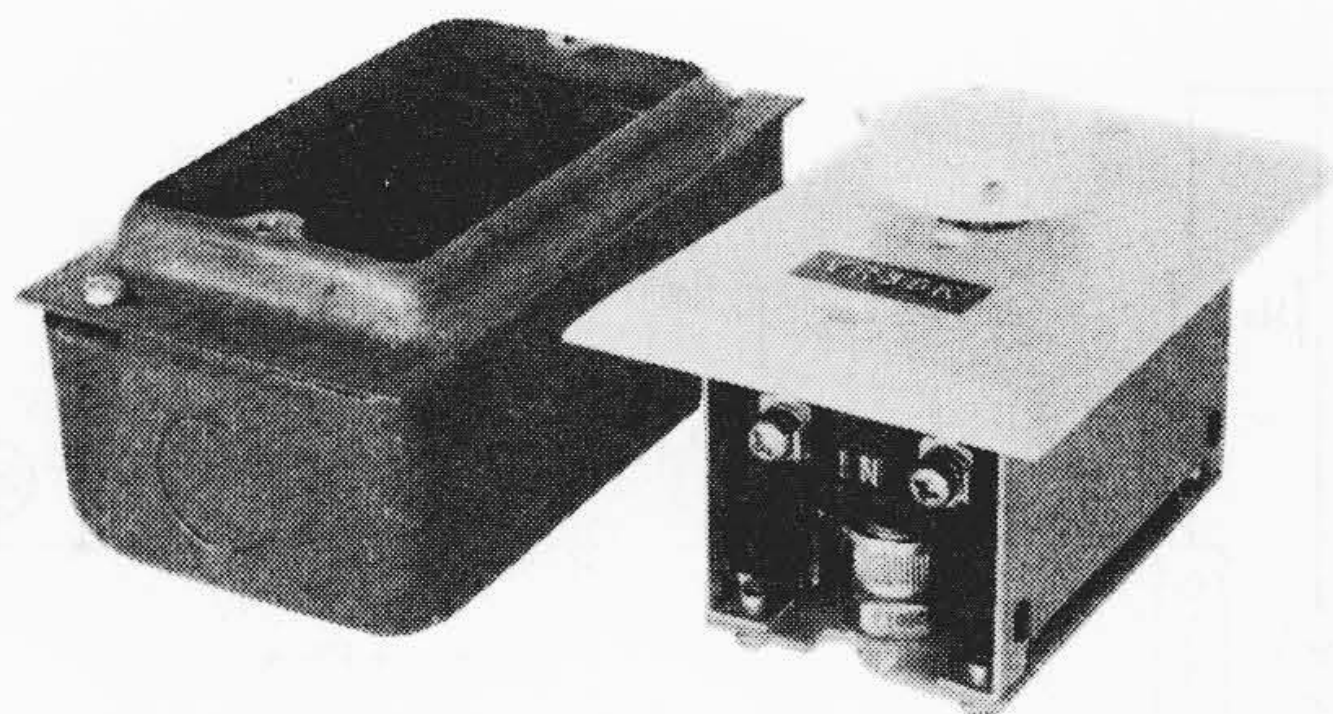


図7 FLS と Biac によるファンモータ制御装置

電力用の素子ではこれは丸形である。丸形のほうが高耐圧素子に適しているが、角形のほうが1枚のシリコン板よりたくさんのペレットを得る利点がある。角ペレットでも電圧400Vに対し十分な信頼性を有することが確認されている。

(3) じか付け方式

シリコンとケースの熱膨張係数の差による応力を低減するためシリコン上下にタングステンまたはモリブデンの板をはさむことが通常行なわれているが、素子構造に検討を加えシリコンを直接ケースへはんだ付けする方式を確立した。16A級以上の素子はシリコン、ケース間に電極をそう入しているが上部は直接接着である。

3.4 素子の信頼性

軽工業用向け素子は前述のようにコストダウンのため種々の特色ある製法、構造がとられているが、今までたびたび強調したように信頼性に関してはまったく従来までの電力用素子と変わるところがない。素子劣化による不良率は $10^{-8}/h$ を期待する。カタログまたはSCR便覧に記載された注意事項が守られねばならないのはもちろんである。

信頼性確保について次のことが実施されている。

(1) 品質管理

原料の品質を認定するための受入れ試験をきびしく行なっている。組立て工程途中から素子特性を厳密に検査し、半製品の状態で少しでも不良のきざしあるものは除去している。

(2) 構造、製法

接合の表面は元来不安定であり素子劣化のたいはんは表面劣化であった。これに対し電力用素子と同じ特殊な表面不活性化処理をほどこし、封入ふん囲気を制御し完全なハーメチック構造を採用した。これにより表面劣化の問題はまったくなくなった。

低温時の熱ひずみ、外部からの機械的ひずみに対して16A級の大形素子にはシリコンと熱膨張係数の同等な電極をはさんでいる。10A以下の素子に対しても各部の関係寸法を押えてこれらのひずみに対し十分な安全をみこんでいる。

各部の接着が不完全な場合通電中の過熱で劣化することがあったがこれについては素子年数について熱抵抗の自動測定を行ない不良品を出荷せぬよう管理している。

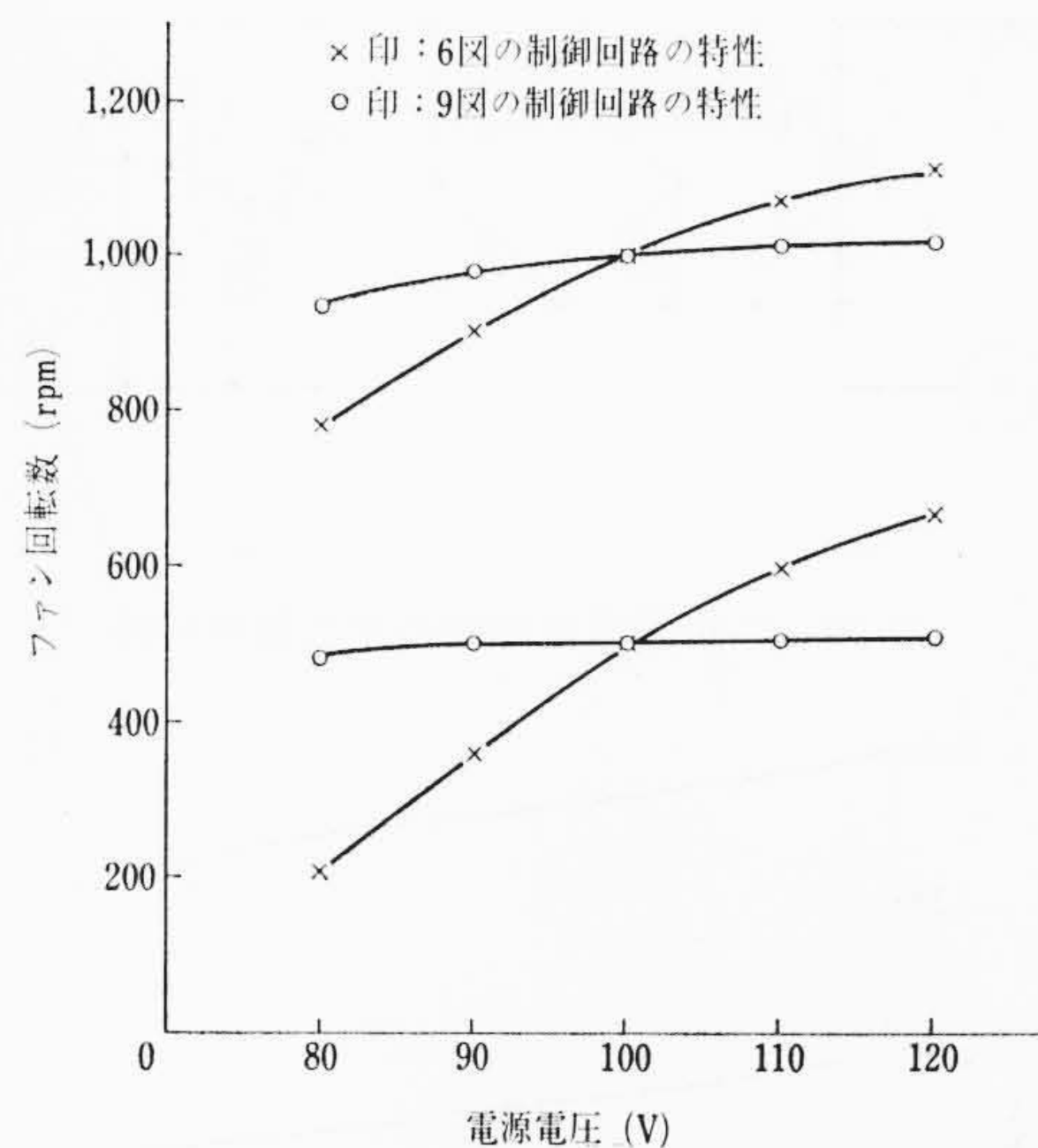


図8 ファンモータ制御回路の電源電圧変動の影響

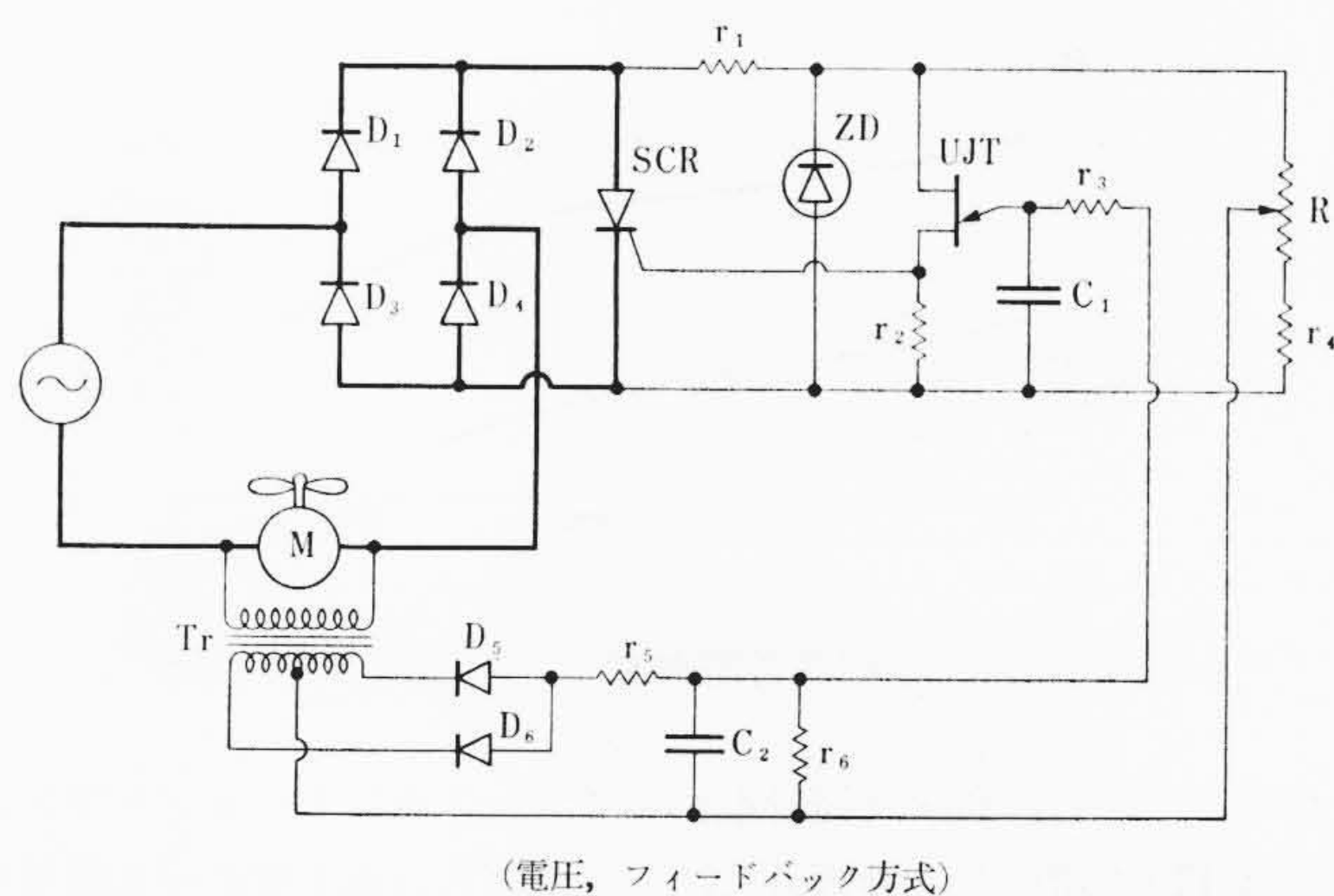


図9 SCR と UJT によるファンモータ制御回路

そのほか数工程にわたるデバッグを行ない初期不良の徹底的排除を行なっている。

(3) ロット品質判定

製造ロットごとに日立独特の加速寿命試験を行ない、ロットの品質を早期適確に判定し不良ロットを排除している。また作業改善にはすべて長期寿命試験で信頼性を確認したのち量産移行がなされている。

4. 応 用

小容量のSCRやFLSを用いた制御回路の中で、主として小形の単相誘導電動機を制御した例について述べる。

4.1 ファンモータの制御

FLSと(BIAC)によるファンモータの制御回路は図6のようになり、制御装置の外観は図7である。ファンの回転数は可変抵抗Rによって変えることができる。スイッチSwは50 c/sと、60 c/sで切替える。すなわち、50 c/s地区で使用するときには、Swを閉じ、60 c/s地区で使用するときにはSwを開くことによって、可変抵抗Rに対するファンの回転数の関係が、50 c/sと60 c/sではほぼ一致するようになっている。また半固定抵抗rを調整することにより、BIACのブレークオーバー電圧のバラツキによる出力特性の差を補正している。この制御回路の電源電圧変動の影響は図8に示すように比較的大きい。

電源電圧の変動に対し安定な回路として図9の回路を使用することができる。この回路ではパワーの制御にSCRと4個のダイオードを使用しているが、この部分をFLSに置き換えることができる。

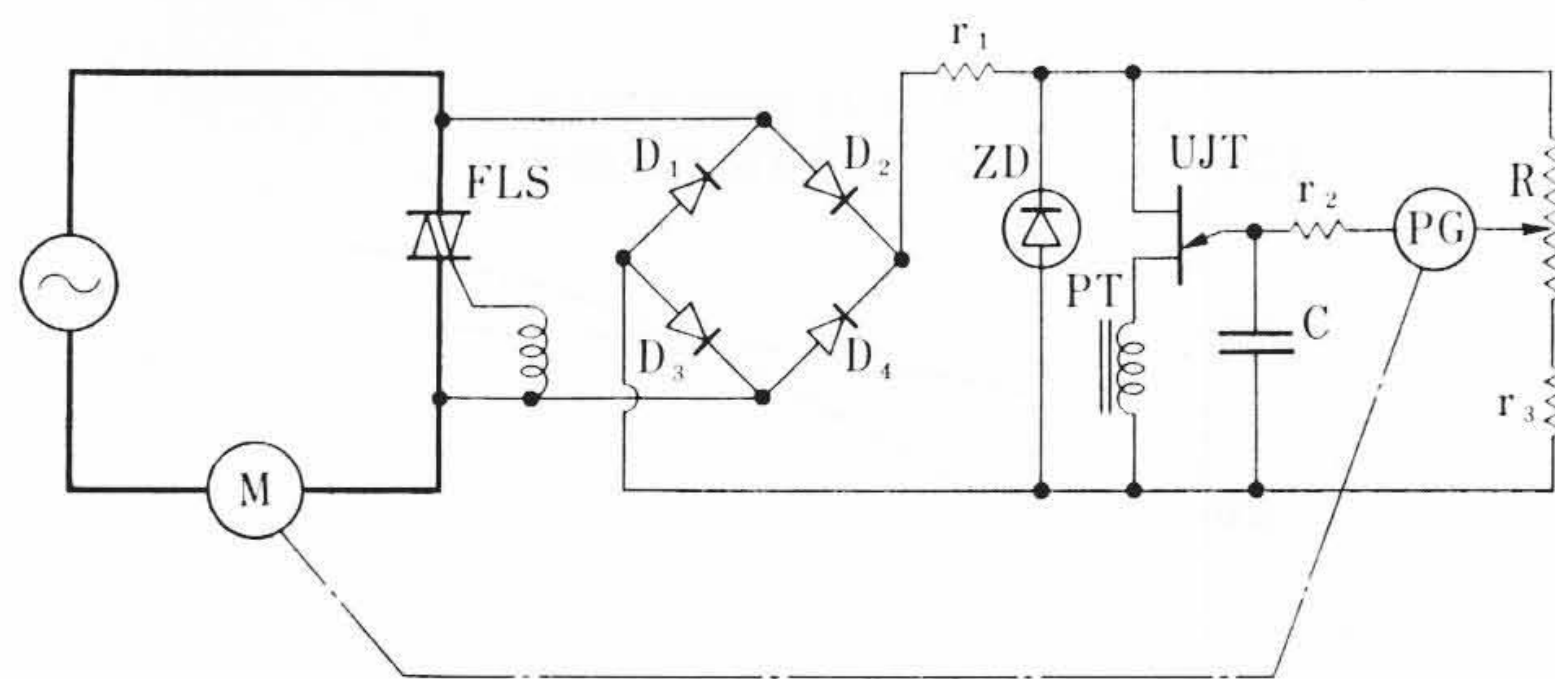


図10 単相誘導電動機速度制御回路

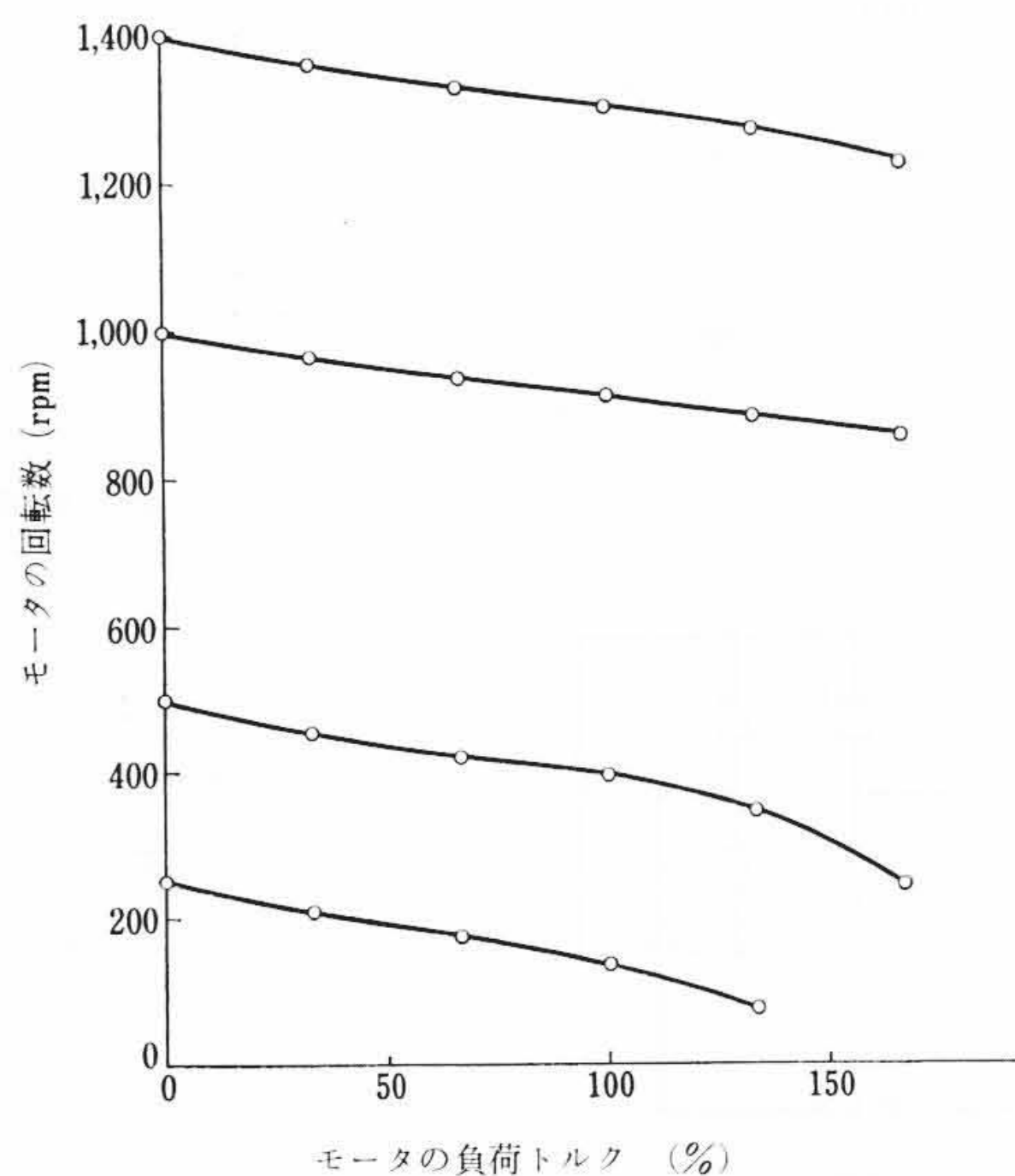


図11 単相誘導電動機速度制御特性

またゲート信号の位相制御回路にはユニジャンクショントランジスタ(UJT)を用いた。制御方式はモータの入力電圧をゲート信号の位相制御回路にフィードバックしている。

ファンの特性は回転数とトルクが一義的に決まるから、モータの入力電圧を制御することは、すなわち回転数を制御することになる。

指令電圧としては定電圧ダイオードで安定化した可変電圧を用いているため電源電圧変動の影響は小さくなる。図8に電源電圧変動の影響の特性を示す。前述の図6の制御回路の特性と比較すると大幅に改善されていることがわかる。すなわち、約500 rpmの低い回転数では電源電圧が $\pm 10V$ の変動に対して回転数は $\pm 10\text{rpm}$ の変動である。高い回転数では低い場合よりも電源電圧変動の影響が大きくなっているが、これは回転数が高くなるほどゲート信号の変化に対するモータ入力電圧の変化分が小さくなるためである。すなわち閉回路のゲインが小さくなるためである。

このように、モータの入力電圧をフィードバックすることによって安定にファンモータの回転数を制御することができる。

4.2 単相誘導電動機速度制御

回転数に対してトルクが任意の値になる負荷をモータに接続した場合の制御回路は図10のようになる。制御方式はモータの回転数を速度発電機PGを通してUJT位相制御回路にフィードバックしている。モータの回転数を設定するための指令電圧は可変抵抗Rによって変えることができる。Rの両端の電圧は定電圧ダイオードによって安定しているため、指令電圧すなわちモータの回転数は電源電圧変動または周波数の変化に対して安定である。

コンデンサランモータを制御する場合、負荷トルクに対する各回転数の変化を示すと図11のようになる。すなわち、無負荷の回転数と100%負荷のときの回転数の差はいずれも100 rpm以下になっており、負荷トルクに対して安定な、ほぼ定回転数特性を得ることができた。回転数の可変範囲は最高の定格回転数から、ほぼ0近

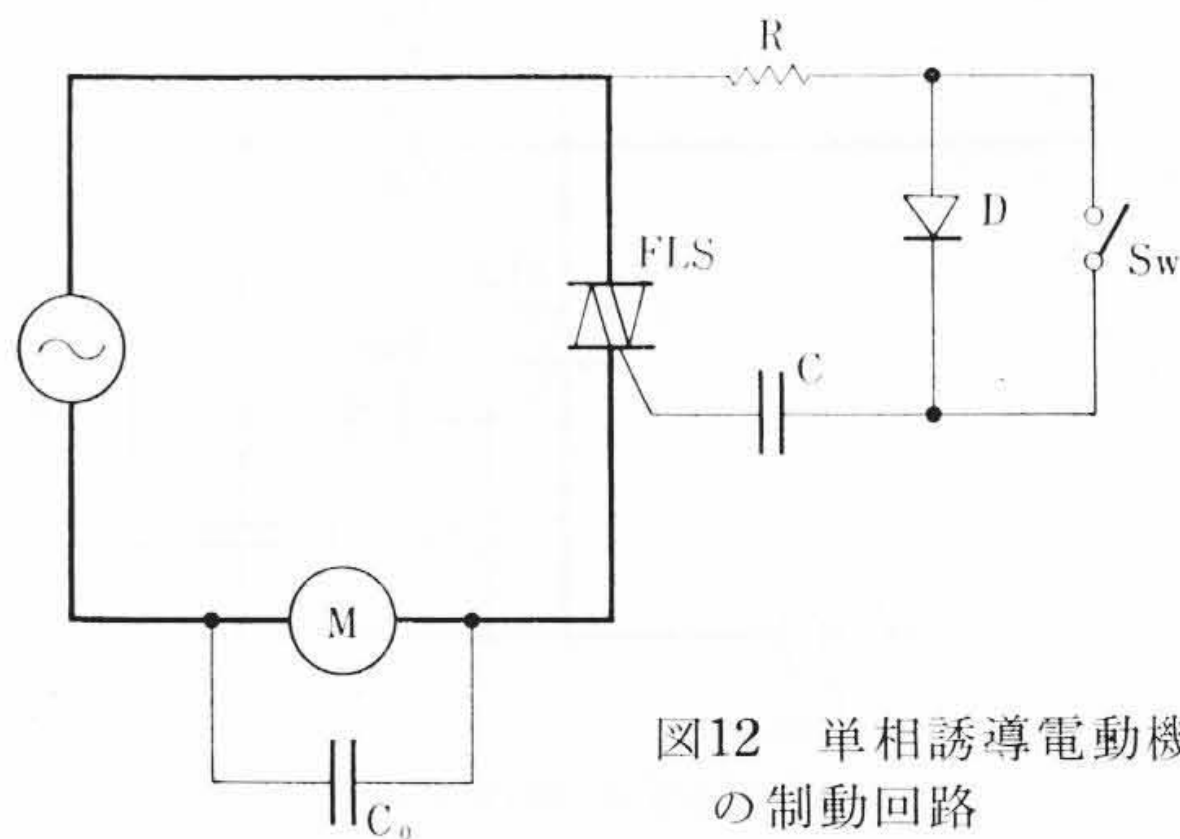


図12 単相誘導電動機の制動回路

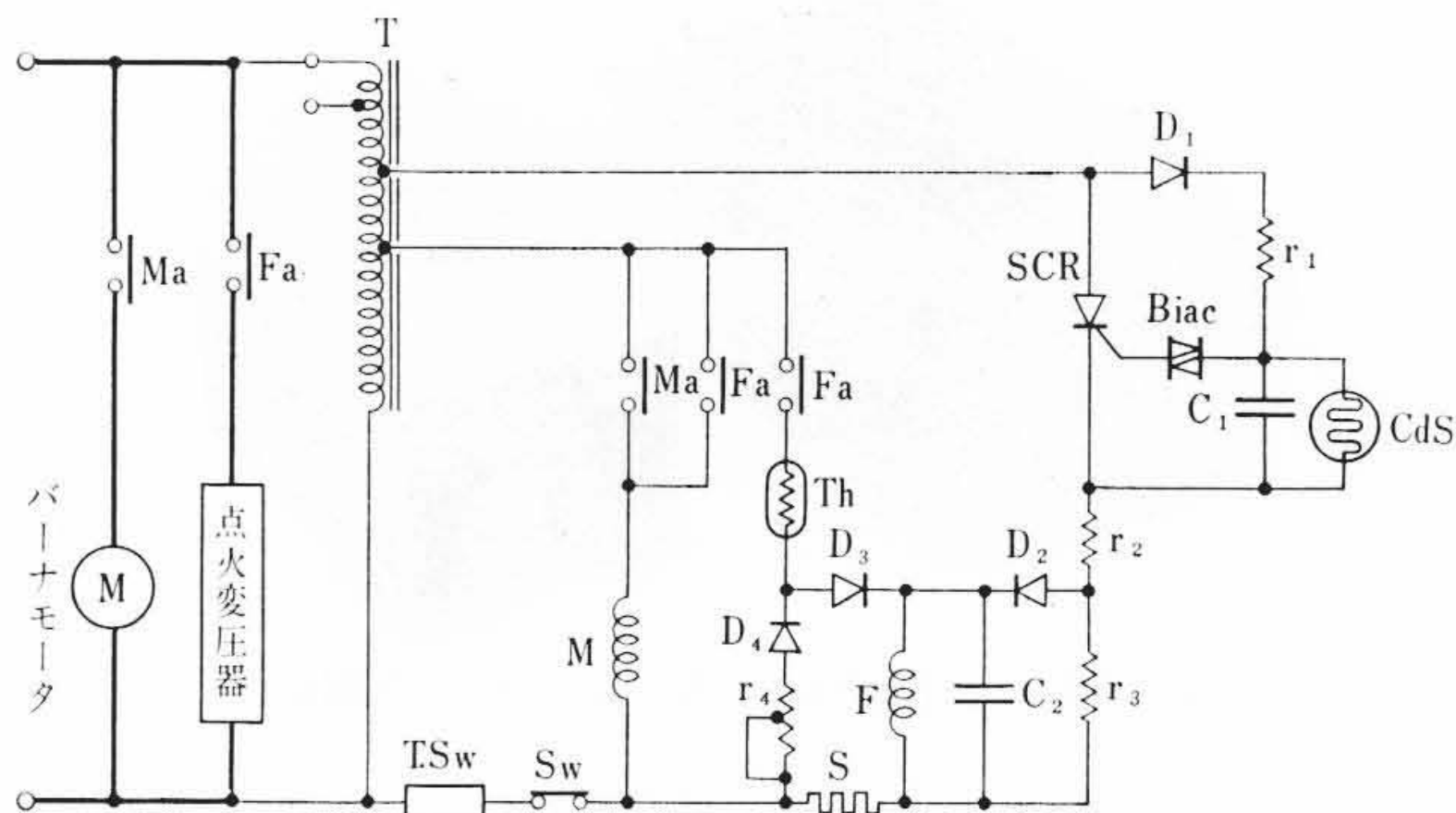


図13 ガンタイプオイルバーナ制御回路

くまで可能である。ただし、回転数が低くなるほど、負荷をとった場合にモータの損失が増加し温度上昇が過大になるので、回転数の使用範囲とモータの温度上昇を同時に考慮する必要がある。

図10の制御回路は部品数が少ないので小形な装置にまとめることができ、また遠隔操作が可能である。

4.3 単相誘導電動機の制動

単相誘導電動機を急速に停止させる場合、FLSを使用して直流制動をかけることが容易である。

FLSを使用した制動回路を図12に示す。回路の動作はSwを閉じるとFLSのゲートには半サイクルごとにR、CおよびSwを通してゲート電流が流れるため、FLSは半サイクルごとに導通し、モータには交流が印加されて正常に回転する。

停止の場合にはSwを開く。するとFLSのゲートにはダイオードDおよびR、Cを通して一方向のみのゲート電流が流れるため、FLSは半サイクルのみ導通し、他の半サイクルは遮断状態になる。そのためモータには平滑コンデンサC₀を介して直流が印加され、直流制動が作用して急速に減速する。

ところでFLSのゲートに流れる一方向のゲート電流はCを充電するから、Cの充電電圧は1サイクルごとに大きくなる。逆にゲート電流は小さくなってゆき、ついにはFLSを点弧できなくなって、FLSは遮断する。このように直流制動はSwを開いてからある時間後に自動的に切りはなされて、直流制動によるモータの過熱を防止することができる。直流制動の印加時間はRおよびCの値によって調整することができる。

4.4 ガンタイプオイルバーナの制御

オイルバーナの制御回路に要求される性能の一つに燃焼中なんらかの原因で炎が消えた場合に自動的に点火変圧器が動作して再燃焼させなければならないが、このときの動作時間を短くする必要がある。これまでの制御装置には電磁リレーあるいは電子管などが使用されていたが、SCRなどを使用することによって、動作時間を短くし、信頼度を高め、また小形にすることができた。

御制回路は図13であり、SCRとBIACを使用した。制御装置を

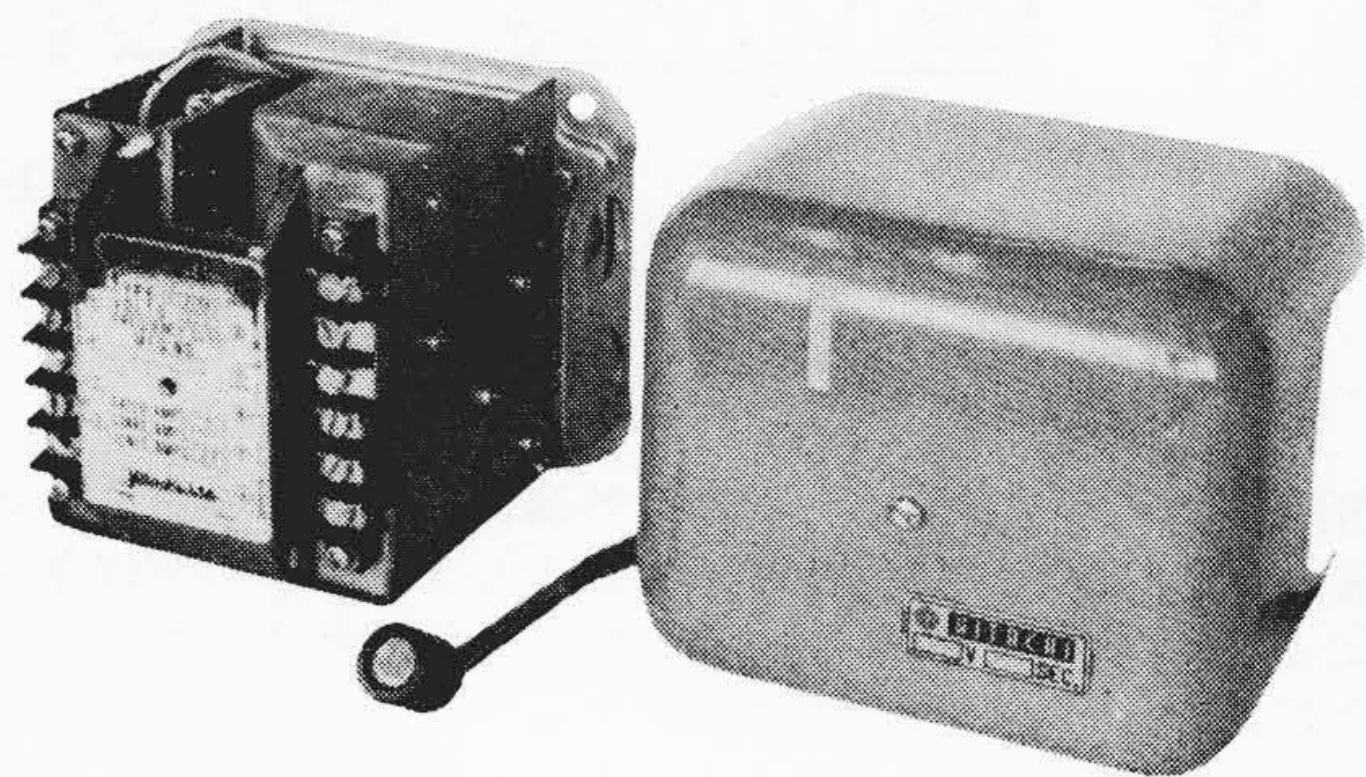


図 14 ガンタイプオイルバーナ制御装置

図 14 に示す。

バーナが燃焼しているかどうか、すなわち炎の有無を硫化カドミウムセル CdS で検出している。燃焼しているときは CdS の抵抗は小さくゲート回路が働かないが、炎が消えると CdS の抵抗は高くなるのでゲート回路が働き、SCR が導通して点火変圧器を動作させる。このときの動作時間は 0.4 秒である。

4.5 その他の応用

前節まではおもに単相誘導電動機の各種の制御とオイルバーナの制御について述べた。そのほかにも直流モータ、整流子モータの速

度制御、あるいは調光装置、温度調整などに小容量の SCR または FLS を使用することができるので、今後の家庭電気品、業務用機器、または小形産業機械の制御に広く使用されていくものと思う。

5. 結 言

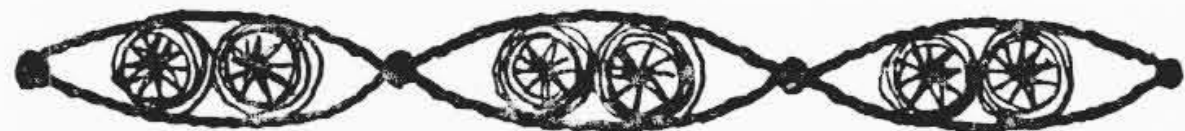
日立製作所において特に軽工業用として開発した SCR, FLS, BIAC について素子の特長、応用について述べた。

素子の特性と応用とは表裏一体であり、素子の向上によりその応用はますます広範囲となり、応用面から素子への要求が素子の性能を高めることになる。特に発展途上にある製品についてしかりであり今後とも需要先のかたがたとの連絡を密にし改善をはかってゆきたい。

終わりにご指導をたまわっている日立製作所日立工場毛利部長、浅野課長、守田課長、持永課長、日立研究所岩田主任研究員、大岡主任研究員、小川主任研究員に深く感謝するものである。

参 考 文 献

- (1) 守田ほか：日立評論 47, 1040(昭 40-6)
- (2) 日立素子総覧
- (3) Gentry, et al.: Semiconductor Controlled Rectifiers, Prentice-Hall, Inc. (1964)
- (4) 日立シリコン制御整流素子便覧



特 許 の 紹 介



特許 第 459393 号 (特公 昭 40-11145)

沢 田 良 嘉・佐 藤 敦
竹 本 猛 夫・金 子 洋 一

超 高 周 波 電 子 管

従来の超高周波電子管においては電子ビームエネルギーを高周波エネルギーに変換する出力変換能率がきわめて低い。また従来のものは電子ビームが高周波と相互作用した後、残りの電子ビームのもつエネルギーを集電極において熱に変換し、空冷または液冷により放散するようにした構成であるため高周波加熱源として用いた場合もその効率は低いものである。

この発明はかかる点を改善したもので、高周波エネルギーに変換された後の電子ビームの運動エネルギーを熱に変換し、高周波エネルギーと熱に変換された運動エネルギーとをともに利用するものである。すなわち図において集電極を高融点材料で形成するとともに熱容量を小さくし、さらに管壁の内面を鏡面となし、集電極からの熱線を多重反射により外部に放散させるとともに、熱線透過窓にレンズ作用をもたせて被加熱体に放射するように構成してある。したがって本発明の電子管を出力空洞から外部回路を通して照射口より

被加熱体に照射するような高周波加熱装置として用いる場合においては補助的加熱源として有効であり、全体としての出力変換能率をきわめて大きくすることができる。

(米田)

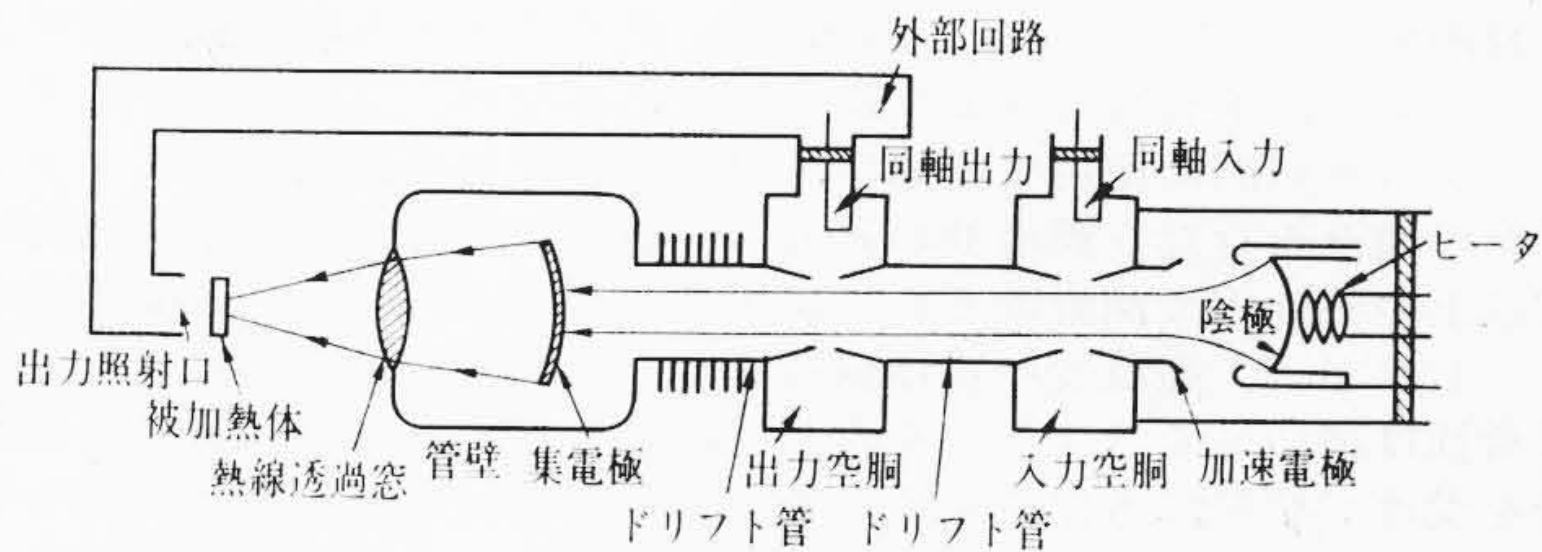
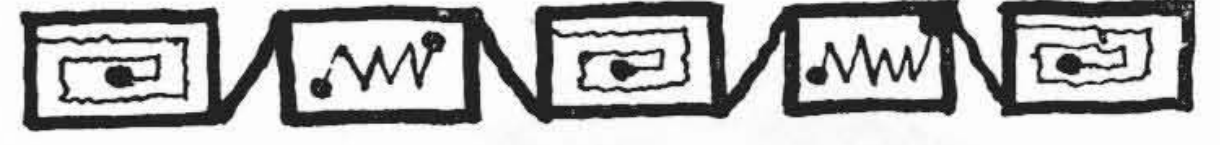


図 1



特 許 の 紹 介



特許 第448616号 (特公昭39-24255)

古 谷 福 松

気 - 液 熱 交 換 器

この発明は管の外側に気体を流通させ、管の内側に液体を流通させて気-液の熱交換を行なわせるようにした気-液熱交換器において、焼結金属を素材とした伝熱体をチューブに接着して気体側の伝熱表面積を増大させるとともに表面伝熱係数を大きくした高効率の気-液熱交換器に関するものである。

図示の実施例において、1は球状金属粒子を型内に充てんし焼結炉内において加熱焼結したいわゆる焼結金属よりなる伝熱体、2は伝熱体1内に嵌挿(かんそう)されたチューブで、チューブ2と伝熱体1とは金属ろう3で接着されている。こうしてチューブ2内側に

被加熱液体を流通させ、チューブ2外側に図示矢印の方向に加熱気体を流通させると、加熱気体は伝熱体1の金属粒子の空げきを混乱流となって流通し、伝熱体1に熱を伝え、伝熱体1の熱は金属ろう3を介してチューブ2に伝達され、チューブ2内の被加熱液体は加熱される。したがって従来のフィンチューブなどによって得られる伝熱表面積の数倍の伝熱表面積を得ることができるとともに表面伝熱係数を大きくすることができ、高効率の気-液交換器を得ることができる。なお伝熱体1の形状は焼結金属によって成形されるので、必要に応じてあらゆる形状にすることができる。(松島)

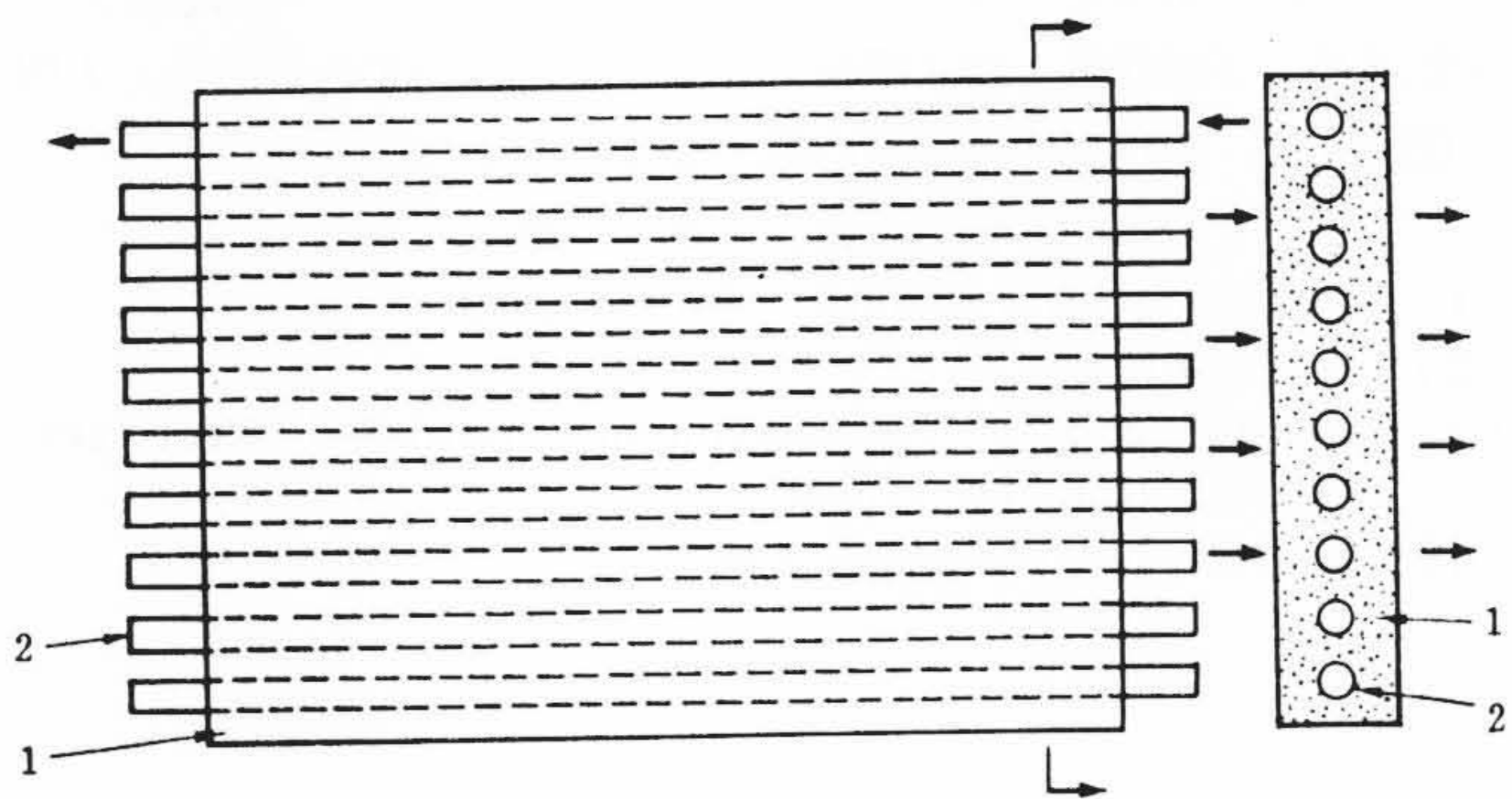


図 1

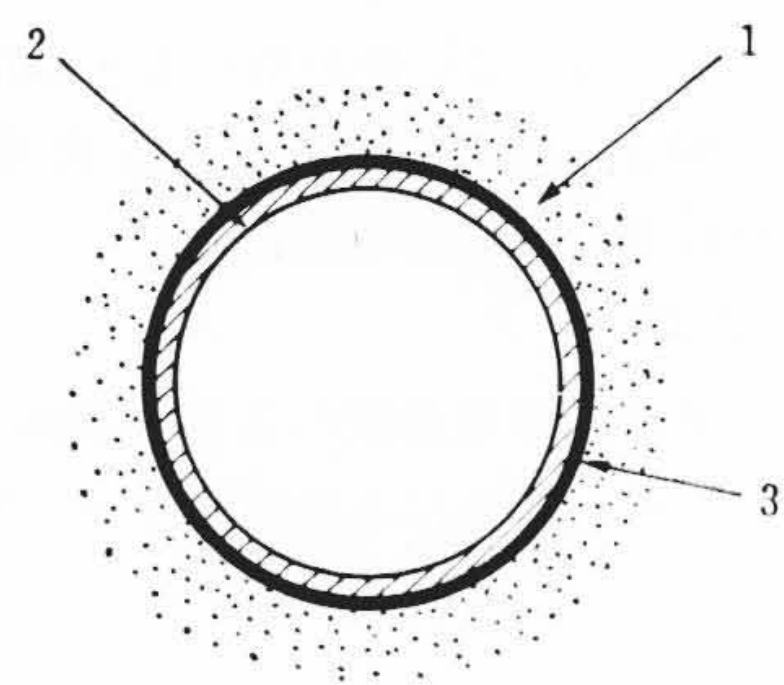


図 2



新 案 の 紹 介



登録実用新案 第795121号 (実公昭40-24056)

松 島 宰・井 上 貞 敏
村 岡 忠 雄

ダ イ ア フ ラ ム ポ ン プ

一般のダイヤフラムポンプにおいては、プランジャの往復運動を作動油を介してダイヤフラムに伝え、ダイヤフラムの往復運動によってポンプ作用を行なうようになっているため、プランジャとダイヤフラムとの間に使用する油は圧力伝達を行なう作動油と、プランジャの潤滑を行なう潤滑油の両方の性質を必要とするが、現在200℃以上の条件下で潤滑油として使用できる油はほとんど見当らない。したがって高温の液体輸送を行なう場合には、この作動油兼潤滑油は薄いダイヤフラムを介して伝達される高温の液体の熱影響を受けて早期に劣化されるため、短期間でたびたび油の交換を行なう必要があり、化学プラントなどに必要とする連続運転を行なうことができない。

この考案はプランジャをはめ合わせたシリンダとダイヤフラムに接する油室とを、内部をたわみ部材により2室に区分した隔離装置を介して連結し、上記シリンダ側および油室側にそれぞれ潤滑油兼作動油および耐熱性の作動油を封入して、高温の液体輸送に際し長期間の連続運転を可能にしたものである。

プランジャ1が往復運動すると、潤滑油兼作動油を介してペローズ9が伸縮され、ペローズ9の伸縮により作動油を介してダイヤフラム3を往復運動せしめ、吸入弁6より液室5内に輸送液を吸込み吐出弁7より吐出すポンプ作用により液の輸送が行なわれる。この場合ダイヤフラム3を介して高温輸送液の熱影響を受ける油室4内には作動油としての性質のみを有する耐熱性の作動油を封入しておくことにより、シリンダ2内の潤滑油兼作動油とはペローズ9により隔離されているため、潤滑油兼作動油への熱影響は小さく、潤滑油兼作動油の劣化を防止して長期間の連続運転を行なうことができる。輸送液の温度が非常に高い場合には、必要に応じて隔離装置

8外周に冷却用ジャケット12を設けることにより、潤滑油兼作動油への熱影響を完全に防止することができる。(松島)

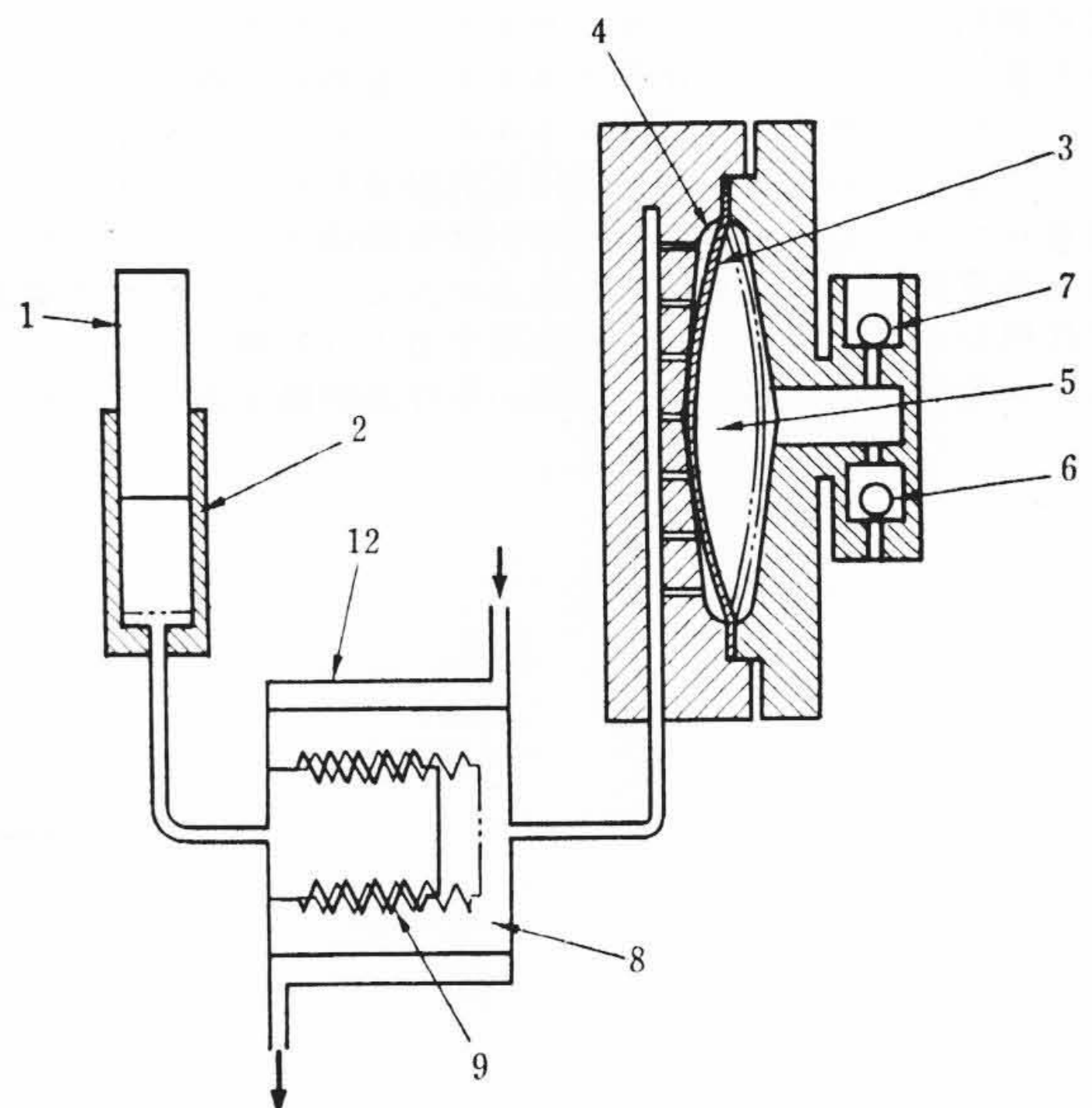


図 1