

点 溶 接 機 用 熱 量 制 御 装 置

Heat Control Device for Spot Welders

藤 原 紀 六* 杉 本 錦 司*
Osamu Fujiwara Kinji Sugimoto

要 旨

抵抗溶接機用制御装置として、溶接機の電源電圧変動や二次インピーダンスなどの変化を補償し、良好な溶接結果を得る目的から、溶接電流 I を検出して

$$\int_0^t I^2 dt = \text{const.}$$

となるよう通電時間 t を制御する熱量制御装置と、溶接機の主開閉器としてイグナイトロンまたは電磁接触器の代わりにサイリスタを使用した無接点サイリスタ式準同期制御装置を開発し、抵抗溶接機汎用機種へ適用できることを確認した。

これらの制御装置を 75 kVA 抵抗溶接機に用いて軟鋼板の溶接実験を行ない、引張せん断強度について設定電流より約 34% 減少した溶接電流でも JIS 規格下限強度以上が得られ、熱量制御装置の効果が確認でき、溶接作業の簡易化、溶接結果の信頼性向上に有効であることを述べた。

1. 緒 言

抵抗溶接は近代工業生産に不可欠の工作法となっているが、各溶接部の不そろいにより信頼度が問題となることがしばしば起こる。抵抗溶接の通電時間は、鋼板の場合商用周波数の数サイクル～数十サイクルであってきわめて短時間であるが、この間に種々の条件変動を検知して補償制御を行なおうとする試みがなされている。

現時点においては、国内では実験的にホール素子を用いて熱量制御を行なった結果の報告がみられるが⁽¹⁾、まだ製品化されていない。外国ではイギリスの文献にも熱量制御の研究が報告され⁽²⁾、フランスでは適用製品が現われているが、かなり複雑な制御を行なっている。このような情勢に対し筆者らは溶接電流 I を検出して通電時間 t を

$$\int_0^t I^n dt = \text{const.} \quad (n \approx 2)$$

となるように制御して溶接結果の均一化を図ることを提案し⁽³⁾、一部実用に供して好評を得てきたが、今回、本熱量制御装置を抵抗溶接機汎用機種に無接点サイリスタ式準同期制御装置と組合せて使用できることを確認したので、その制御回路の概要と特性およびこの装置を使用した溶接実験結果について述べる。

2. 制御方式の選定と制御回路構成

2.1 制御方式の選定

比較的大容量鋼板抵抗溶接機を使用して溶接作業を行なう際に問題となるのは、電源電圧変動だけでなく、二次インピーダンスの変化(フトコロへの鋼板そう入量の変化など)による大幅な溶接電流の変化である。一例を図 1 に示す。このような溶接電流の変化に対して、引張せん断強度、外観などがすぐれた溶接結果を得るには点溶接部温度を適切に制御する必要がある。点溶接部温度は点溶接部発熱量に関係するので、今点溶接の発熱量を Q とすれば、 Q は(1)式によって与えられる。

$$Q = \int_0^t I^2 \cdot R dt \dots \dots \dots (1)$$

この(1)式における R は被溶接物の固有抵抗および接触抵抗の和で、接触抵抗はその表面状態、加圧力などによってその値を異にする。通電後溶接の進行によって R は変化するが溶接機フトコロ寸法

* 日立製作所 亀戸工場

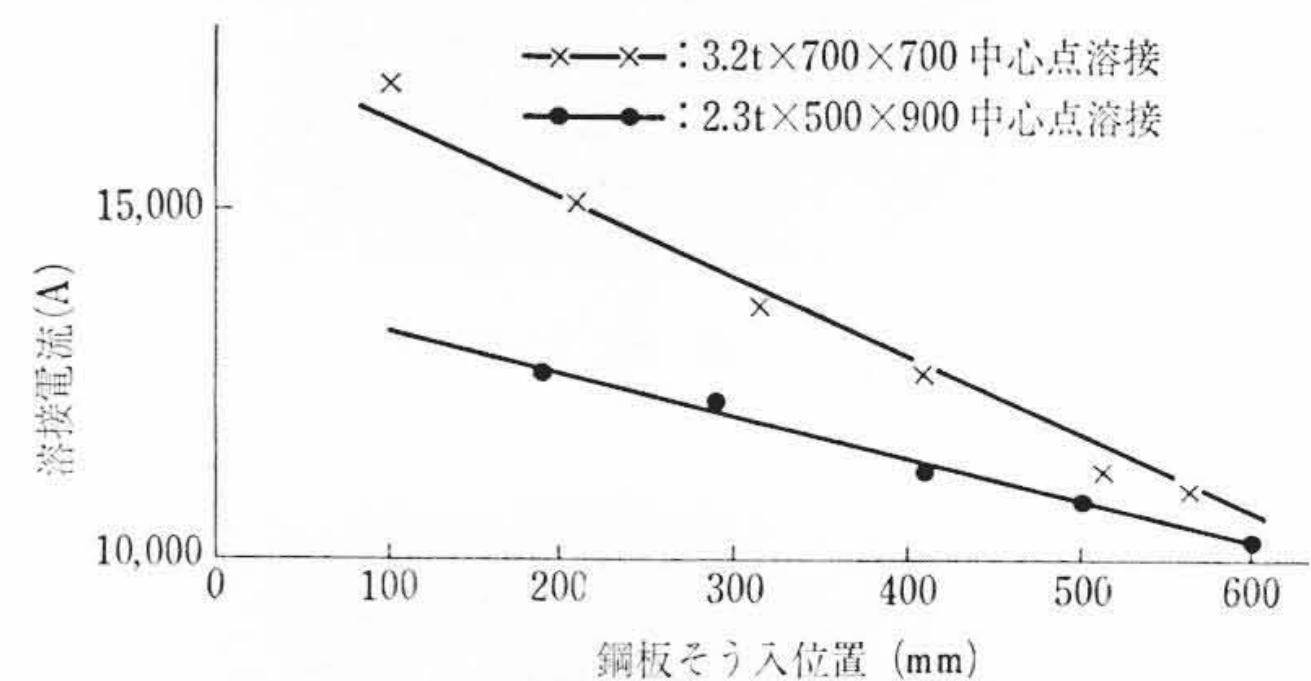


図 1 鋼板そう入位置と溶接電流の関係

から定まるリアクタンスが大きく、通電によるこのリアクタンスは変化しないので電流の変化は少ない。一方電源電圧、二次インピーダンスなど外部条件の変化による電流の変動は直接発生熱量を左右し、しかも 2 乗で作用するので溶接結果に及ぼす影響が大きいことがわかる。したがって溶接部温度は

$$\int_0^t I^2 dt$$

で決まるということができ、電流値の変動を時間で補えば溶接部結果の均一化に有効であると考えられる。

以上の考察から I^2 の時間積分値を一定とする熱量制御装置を試作し、同時に開発した無接点サイリスタ式準同期制御装置と組み合わせることとした。

2.2 制御回路構成

図 2 は全回路論理ブロック図を示したものである。

回路を大別すると溶接機のシーケンス動作を制御する時間回路、サイリスタの点弧位相を調整して溶接電流の実効値を変える電流調整回路およびサイリスタ点弧回路、そして溶接電流 I に比例した電流を検出し

$$\int_0^t I^2 dt = \text{const.}$$

となるように通電時間 t を制御する熱量制御回路部になる。時間回路、電流調整回路については既報⁽⁴⁾があるので、本報ではサイリスタ点弧回路と熱量制御回路について述べる。

2.2.1 熱量制御回路

シーケンス制御による通電時間とは別系列に溶接電流の 2 乗を時間積分してこの量すなわち、溶接部の発熱量を一定に保つよう通電時間を制御して溶接不そろいを抑制する回路である。変流器

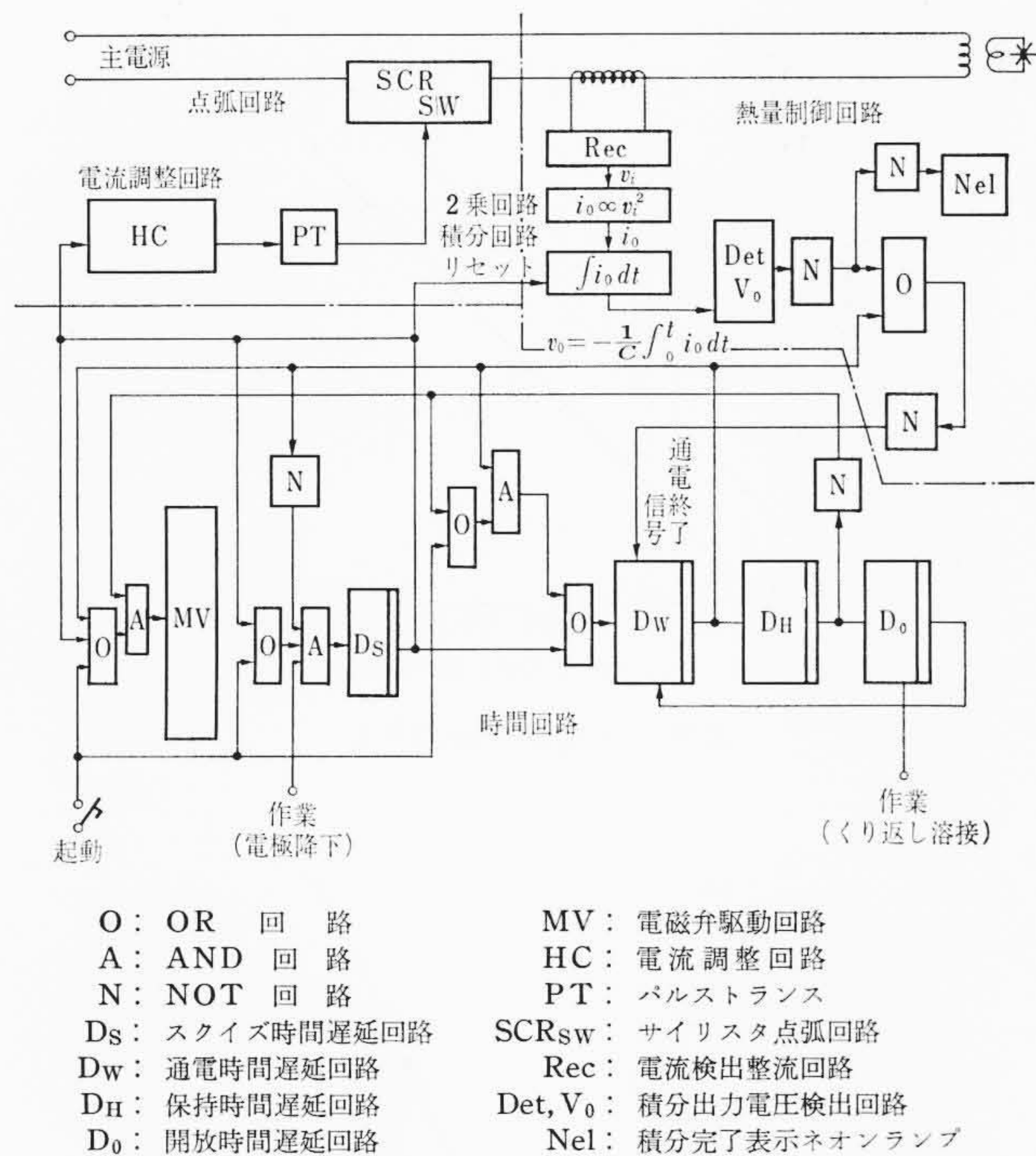


図2 全回路ブロック論理構成図

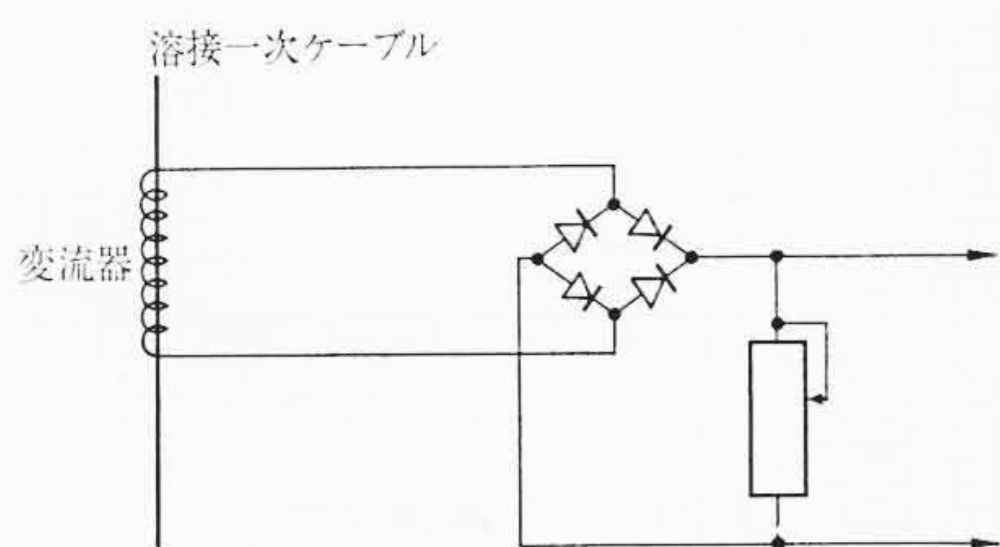


図3 電流検出回路

による電流検出回路，入力電圧 v_i に対して出力電流 i_0 を $i_0 \propto v_i^2$ に変換する2乗演算回路，

$$\int_0^t i_0 dt$$

を行なう積分回路とこのリセット回路および

$$\int_0^t i_0 dt$$

があらかじめ設定した値に達したときこれを検知し溶接電流を遮断する回路より構成される。

(1) 溶接電流検出回路

図3は溶接電流検出回路を示したものである。二次電流を直接検出するほうが望ましいが大電流であることと二次インピーダンスへの影響を抑えるために一次側へ変流器を接続し通電電流を検出する方式を採用した。一次電流の検出では溶接用変圧器の励磁電流が含まれるが，溶接電流の一次換算値の数%以下である。

(2) 2乗演算回路

2乗演算回路にはダイオードによる折線近似回路を用いた。

入力電圧と出力電流の関係が2乗特性を示す範囲は変流器出力，制御時間，積分回路および出力回路と関連して決める必要がある。積分コンデンサを C ，積分出力電圧を V_0 ，充電電流すなわち2乗演算回路出力を i_0 ，積分時間を t ，溶接電流を I とすればこれらの間には次式が成り立つ。

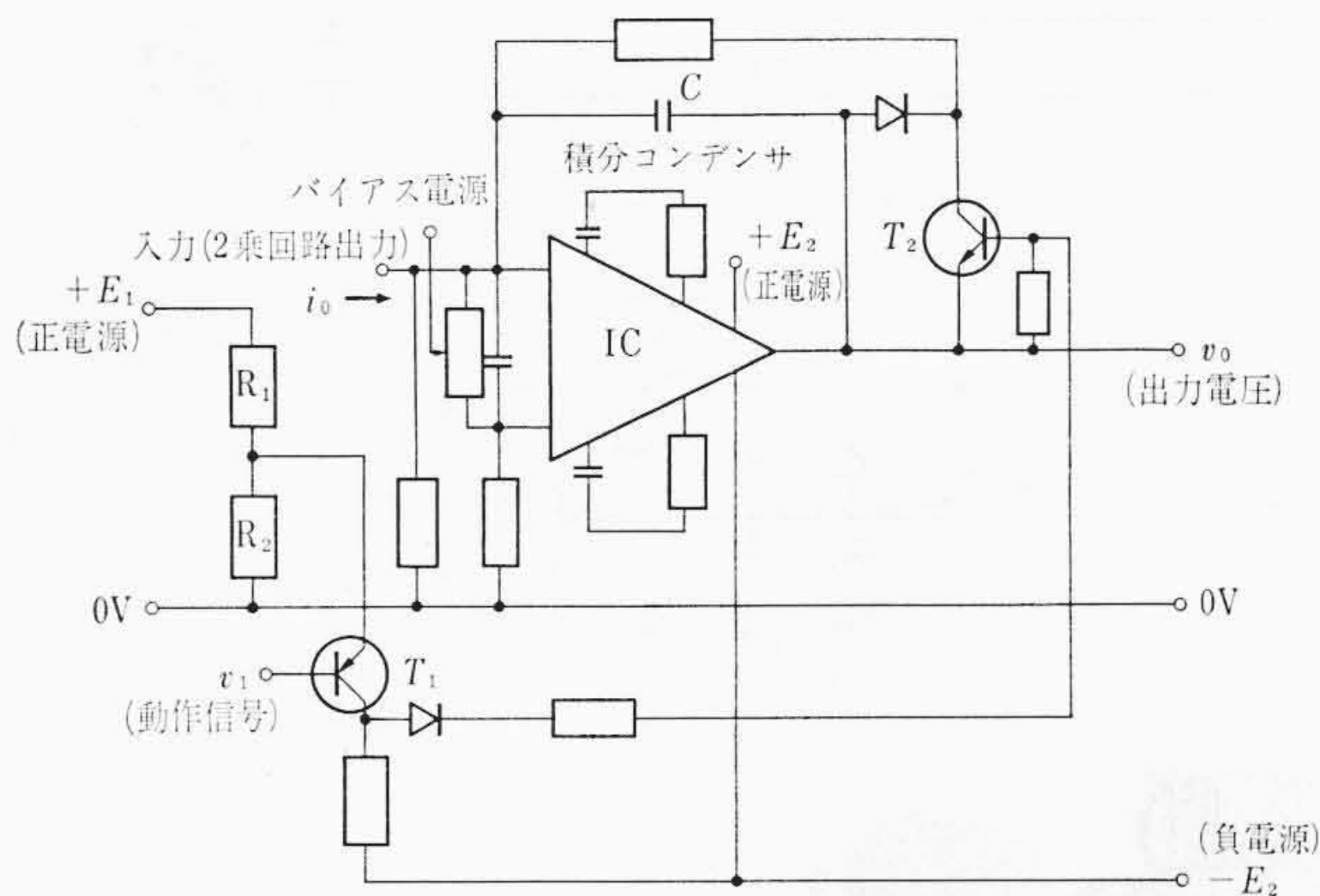


図4 積分回路とリセット回路

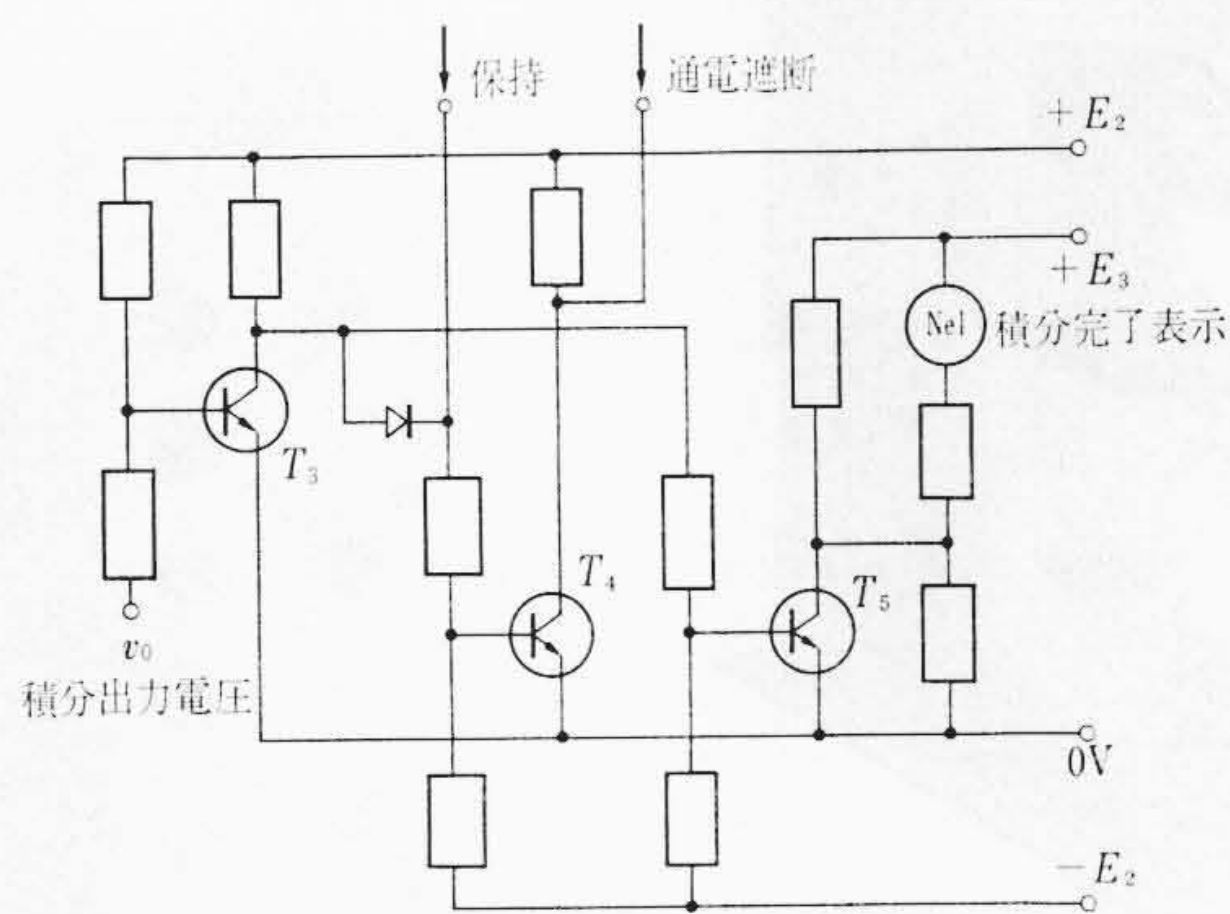


図5 出力回路

$$C \times V_0 = i_0 \times t \propto \int_0^t I^2 dt \quad (2)$$

(2)式より使用板厚によって決まる最大，最小溶接時間に対応する直流等価出力電流 $i_{0 \min}$ ， $i_{0 \max}$ を求め，点弧角制御を行なう場合の溶接電流波形を考慮して， $i_{0 \max}$ を得る直流入力電圧の2倍に対する出力まで2乗特性を示すよう回路定数を決定した。

(3) 積分回路とそのリセット

図4はICを使用した積分回路および無接点化したリセット回路を示したものである。リセット動作はPNPとNPNトランジスタの組合せにより行なわれるが，これを積分中と休止中に分けて考えると次のようになる。

トランジスタ T_1 のベース電圧 v_1 は時間回路から信号を取り，通電時間の間 $v_1 > R_2 E_1 / (R_1 + R_2)$ となる正の電圧を与え，それ以外の休止期間には0電位すなわち $v_1 < R_2 E_1 / (R_1 + R_2)$ とする。したがって通電時間では T_1 ， T_2 とともオフとなり，2乗演算回路出力電流 i_0 を順次積分コンデンサ C に充電する。休止期間では T_1 ， T_2 はオンになるため積分コンデンサに充電電荷があればこれを直ちに放電，リセットする。

(4) 出力回路

出力回路は図5に示すとおりである。電流検出，2乗演算，積分回路を経て得られる積分出力電圧

$$v_0 = -\frac{1}{C} \int_0^t i_0 dt$$

があらかじめ設定した電圧 V_0 に達したとき，本回路が作動して表示用ネオンランプを点弧するとともにタイマー回路の通電時間を強制的に終了，保持時間に移行させて溶接熱量を一定に保つ。

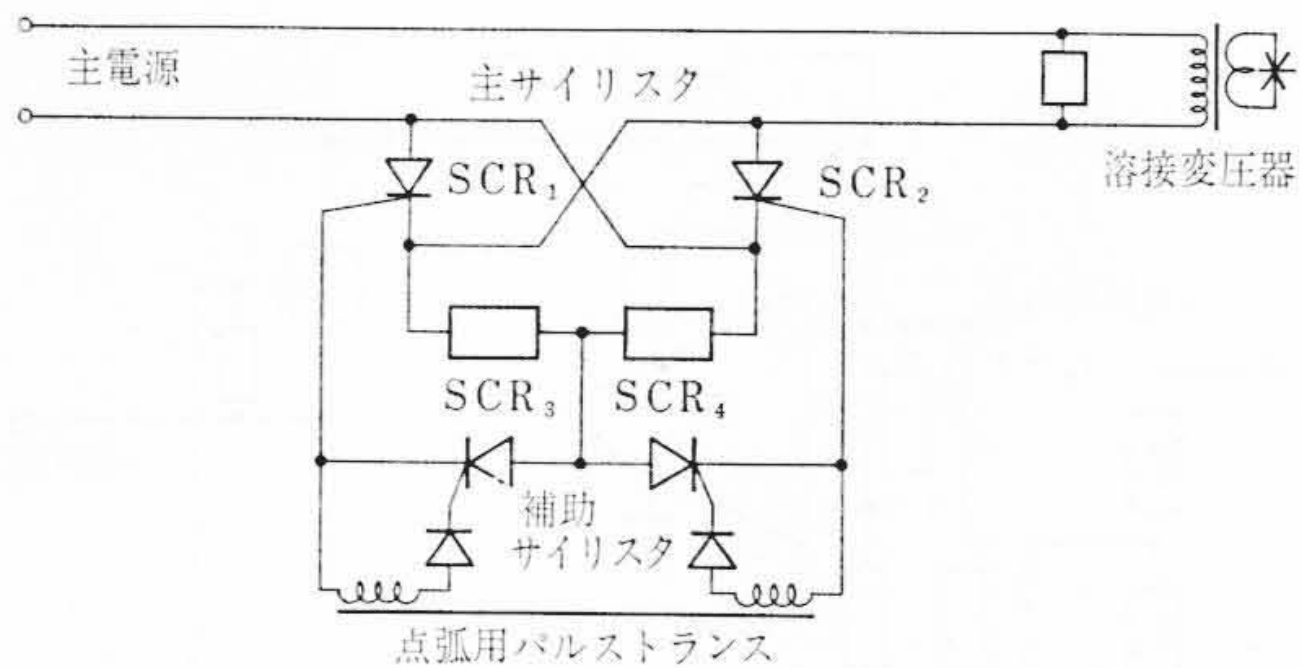
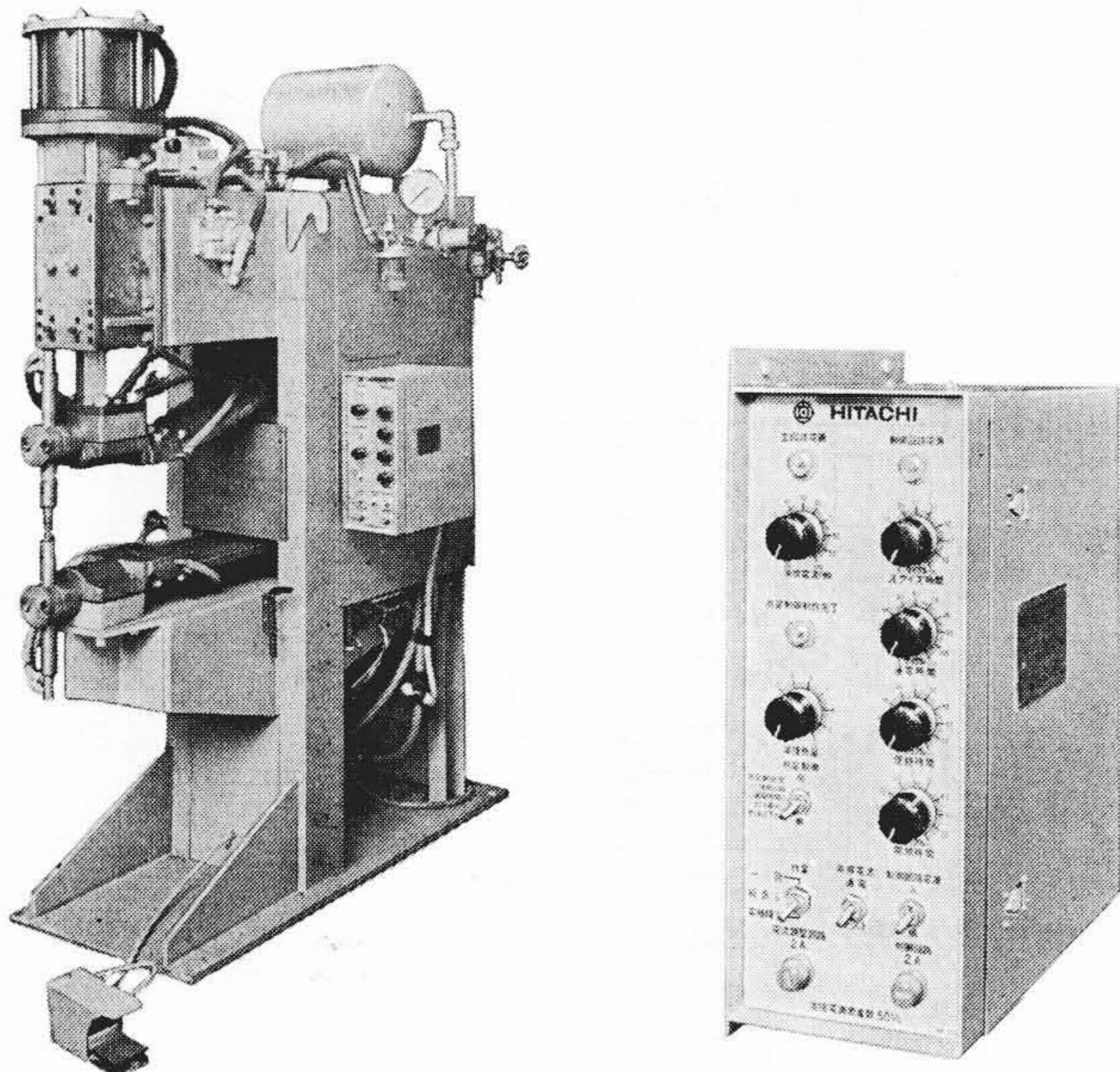


図6 点弧回路



(a) 溶接機全貌 (b) 制御装置部

図7 実験に使用した装置の外観

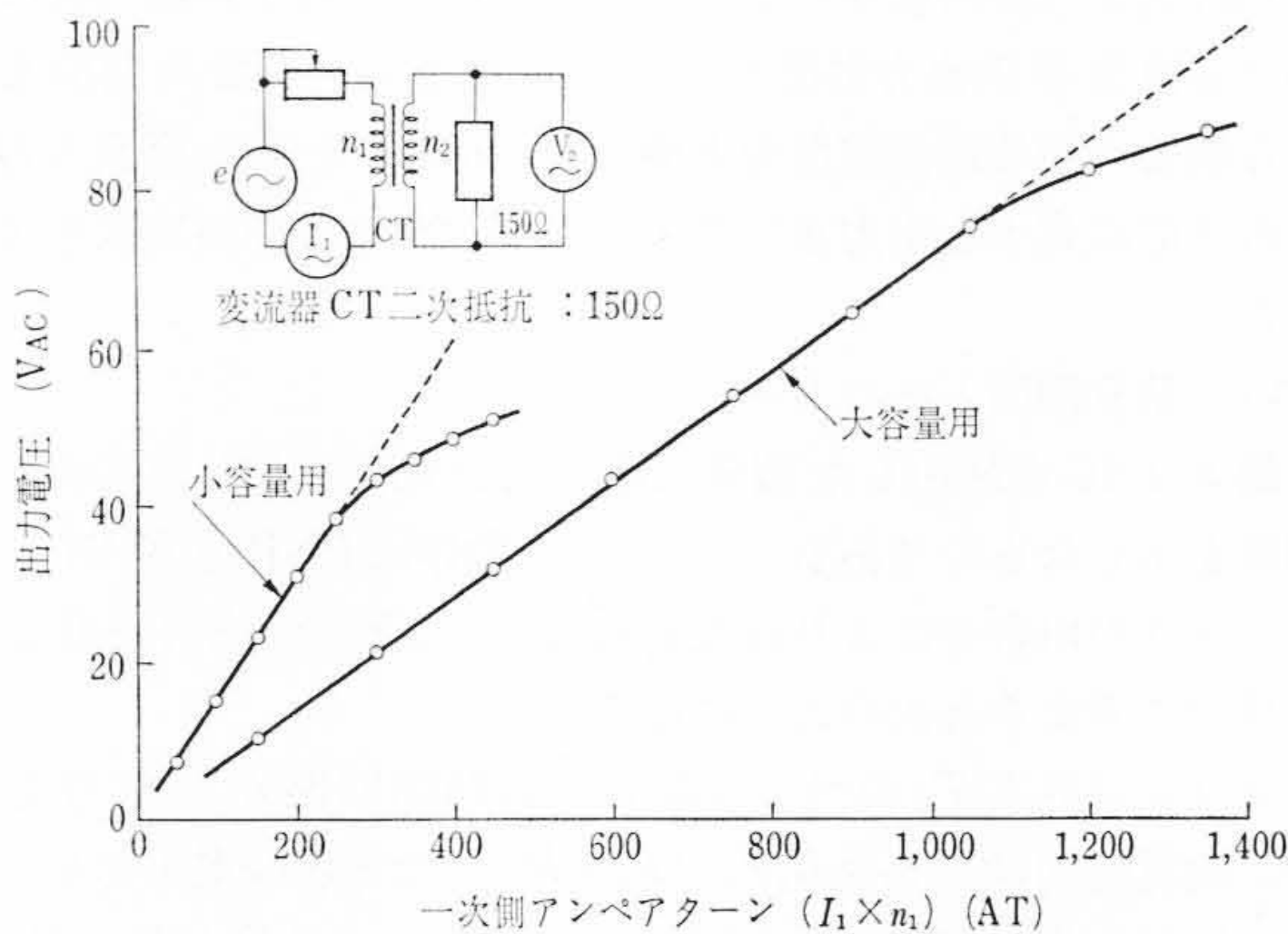


図8 変流器出力特性

2.2.2 点弧回路

図6は溶接電流開閉用主サイリスタとその点弧回路を示したものである。

サイリスタ点弧方式にはゲートトリガ電源としてアノード電圧を用いるアノード点弧方式とゲートトリガ用の別電源を用いる方式がある。アノード点弧方式の場合以下のような利点があるのでこれを採ることにした。

- (1) ゲートトリガ電源にはアノード電圧を用いるので別電源を要せず点弧回路を小形化することができる。
- (2) ゲートトリガ電流をじゅうぶんにとることができるので、 di/dt 耐量を大きくすることができる。

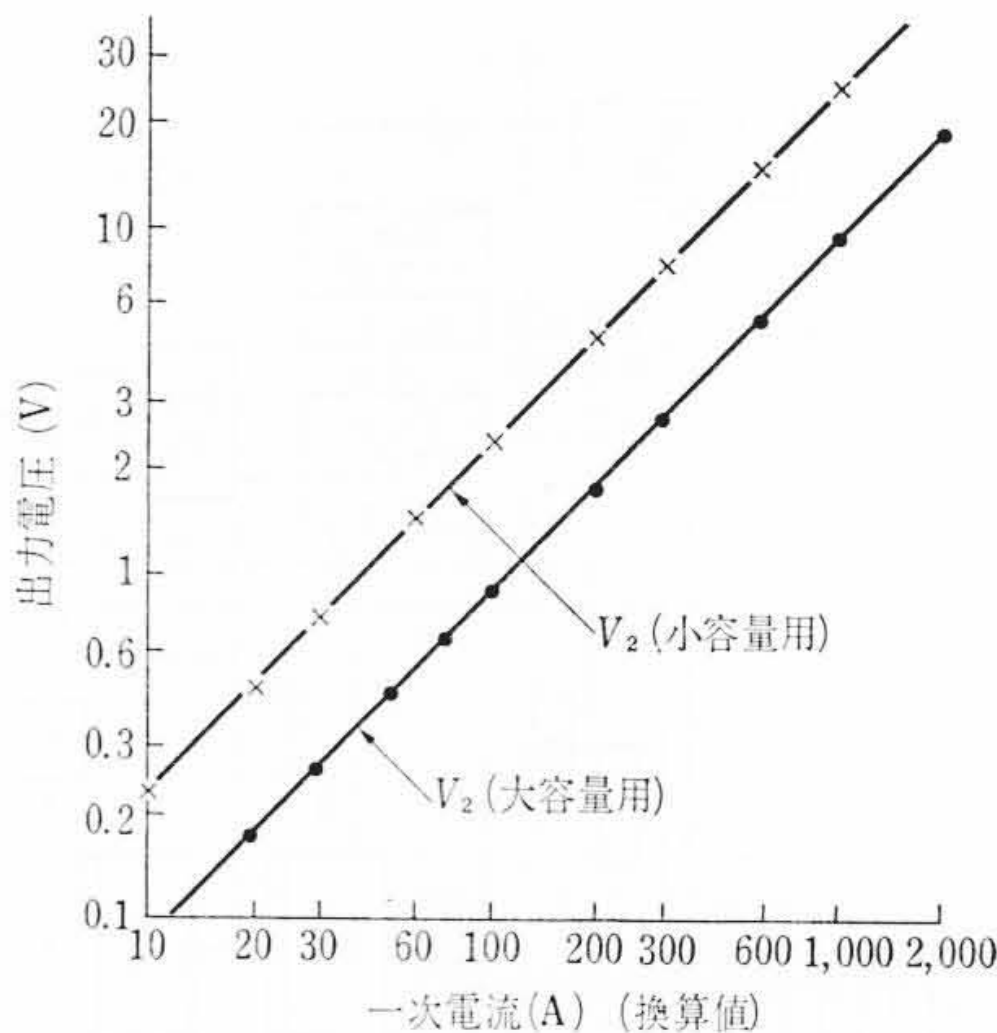


図9 溶接電流検出特性

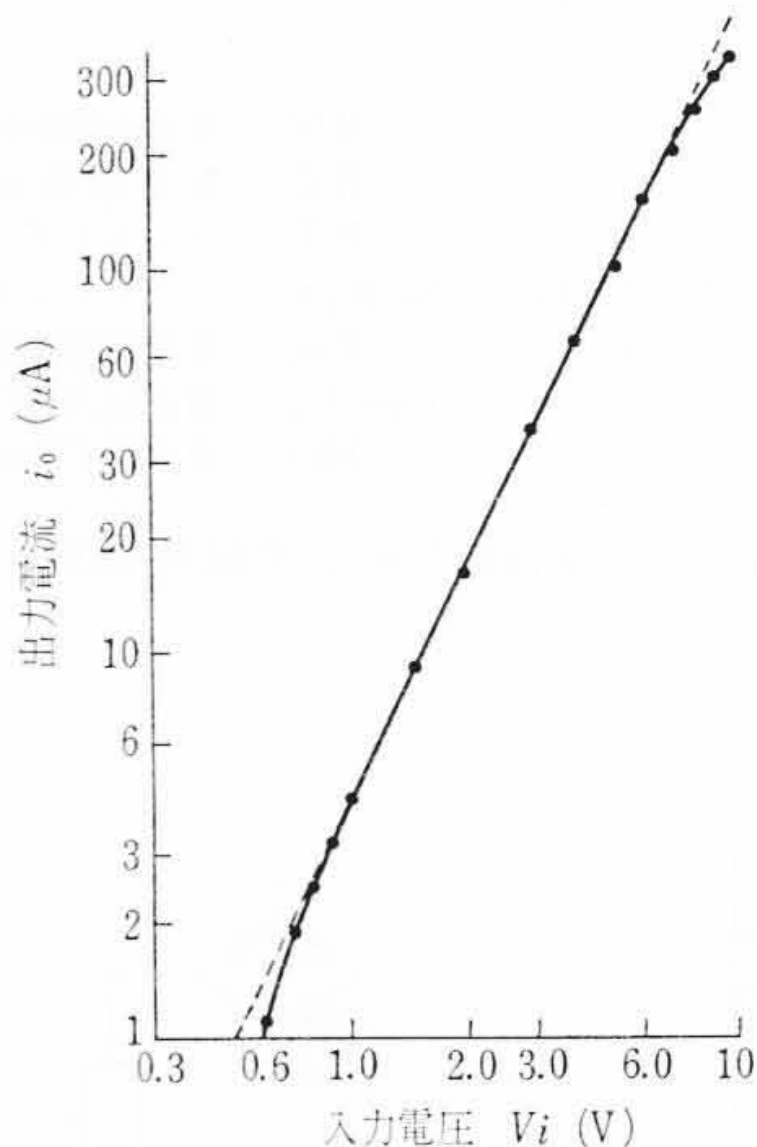


図10 2乗演算特性

- (3) サイリスタ点弧後はアノード、カソード間電圧は急減するからゲート過熱のおそれがない。

サイリスタはイグナイトロンに比べ点弧に必要なゲート電流がきわめて小さく、電流調整幅を最大値の数%まで小さくすることも可能であるが、溶接機として実用に適する100から30%までを電流調整幅とした。

3. 実験結果および結果に対する検討

3.1 熱量制御特性

(1) 変流器と溶接電流検出特性

変流器の最大出力電圧を求めるため二次側負荷として150Ωを接続した場合の出力特性を図8に、溶接電流検出回路の出力特性を図9に示す。なお検出回路の負荷抵抗は約20Ωとしてある。

この結果から、変流器内部降下を考慮しても出力電圧が25V以下であればどちらの変流器からも直線性の良好な溶接電流の検出ができる。

(2) 2乗演算特性

図10は2乗演算特性を示したものである。

演算ダイオードとしては4個使用し、4本の直線の重畳で近似している。入力電圧が0.8V以下で誤差が大きいのはダイオードの立ち上がり電圧の波形の影響によるもので、8V以上での誤差とともに近似直線の数を増すことによって精度を上げることが可能であるが、入力電圧0.8Vから8Vの範囲では2乗演算誤差は4%以内であり、実用上じゅうぶんな精度である。

(3) 総合制御特性

大容量機種用変流器を用いて、日立抵抗溶接機 SP-AF 75kVA

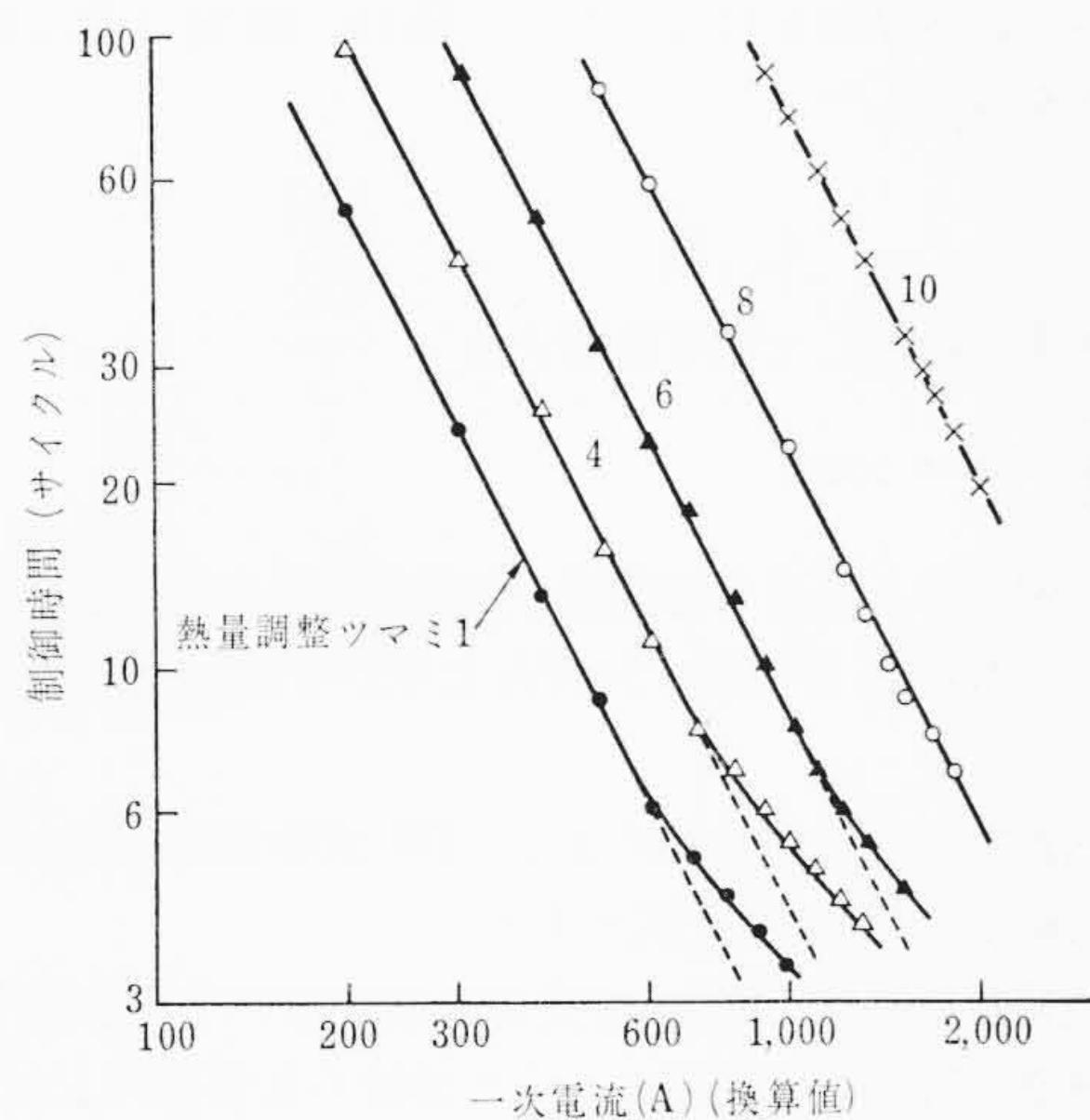


図 11 熱量制御特性 (50 Hz)

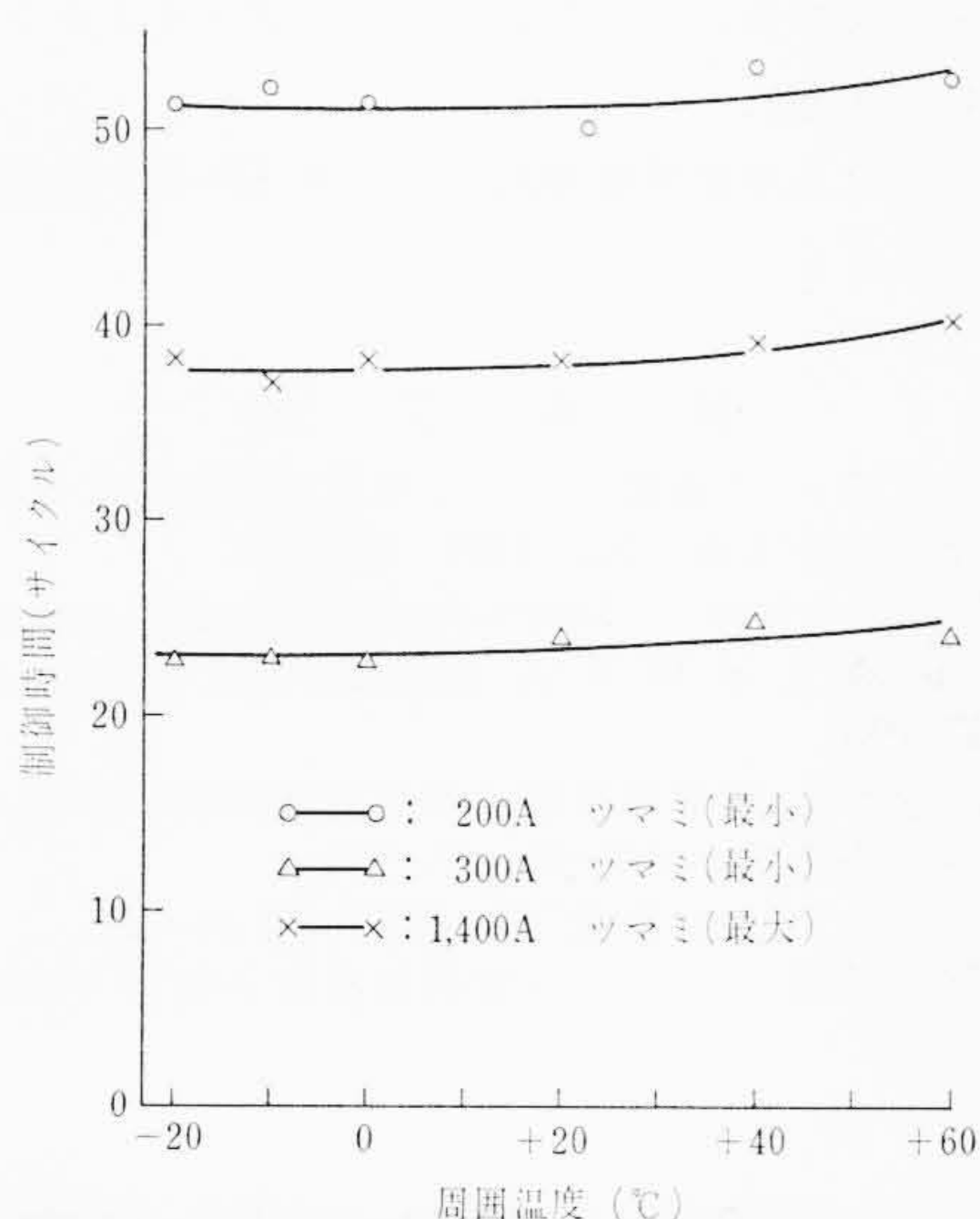


図 12 熱量制御時間の温度特性 (50 Hz)

に適用した場合の条件に合わせて調整した熱量制御特性を図 11 に、温度による変動特性を図 12 に示した。制御時間が 8 サイクル以下の場合、入力電圧の瞬時値は 8 V を越えており 2 乗演算回路の特性が 8 V 以上では次第に誤差が増加するため、理想的 $I^2t = \text{const.}$ 制御に比べて制御時間が長く、

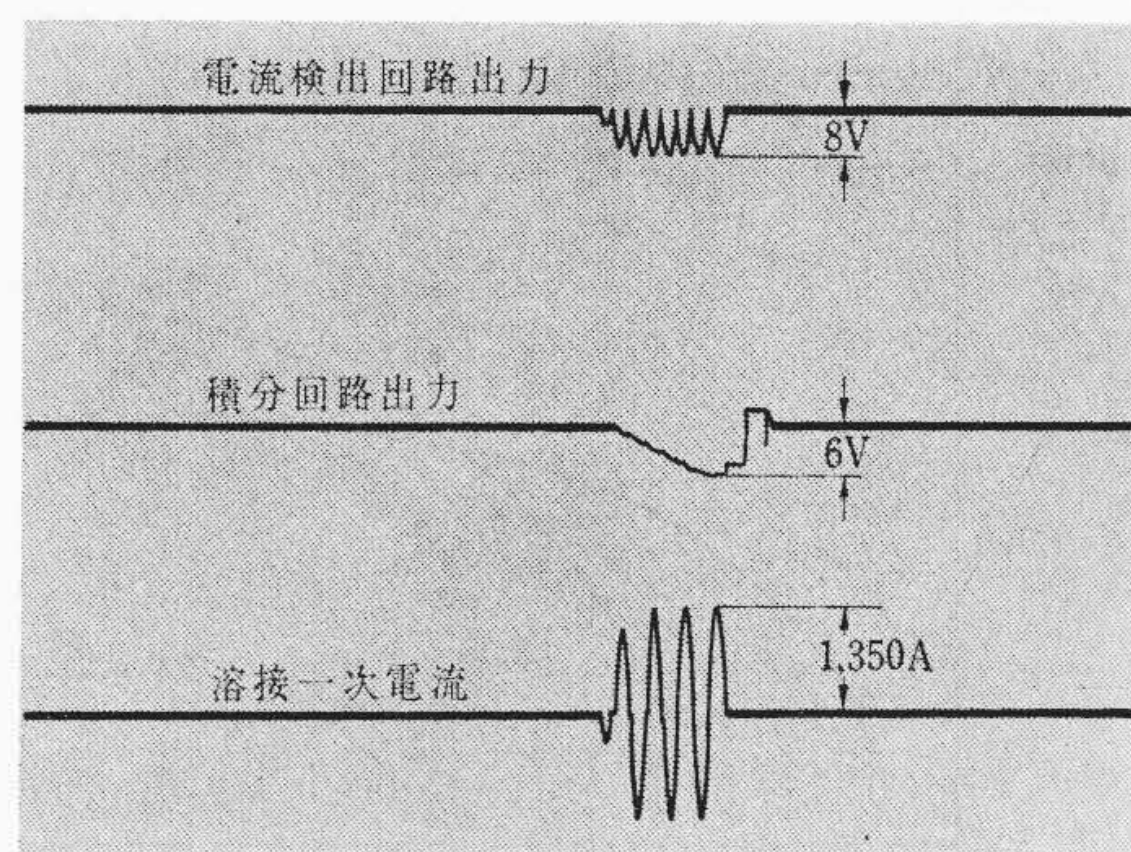
$$\int I^2 dt$$

値は大きくなる傾向を示している。ただし誤差の絶対値はほぼ 1 サイクルであり、溶接時間が 10 から 100 サイクルの本装置の使用範囲に対しては誤差は 6% 以内である。

温度に対しては +30°C を越えるころより長めになる傾向を示している。この温度に対する変動要素は種々あるが、主として積分出力検出用トランジスタ (図 5 の T_3) の V_{BE} 変化が効いているものと思われる。しかし、0°C から +30°C ではほとんど変化は見られず、+40°C でも ±3% 程度の変動であるため実用上問題ないといえる。図 13 は熱量制御回路主要部の動作波形例を示したものである。

3.2 サイリスタ容量の選定

サイリスタを抵抗溶接機の主開閉器として 2 個を逆並列に接続したかたか十数%の使用率で使用する場合、1 個当たりの定格平均電流を溶接機最大入力に匹敵させたのでは余裕を見すぎることになる。そのため、サイリスタの接合部温度上昇 ΔT_j を主とした過負



(熱量制御ツマミ最小、溶接電流 20,000 A の場合の例)

図 13 熱量制御回路の動作波形

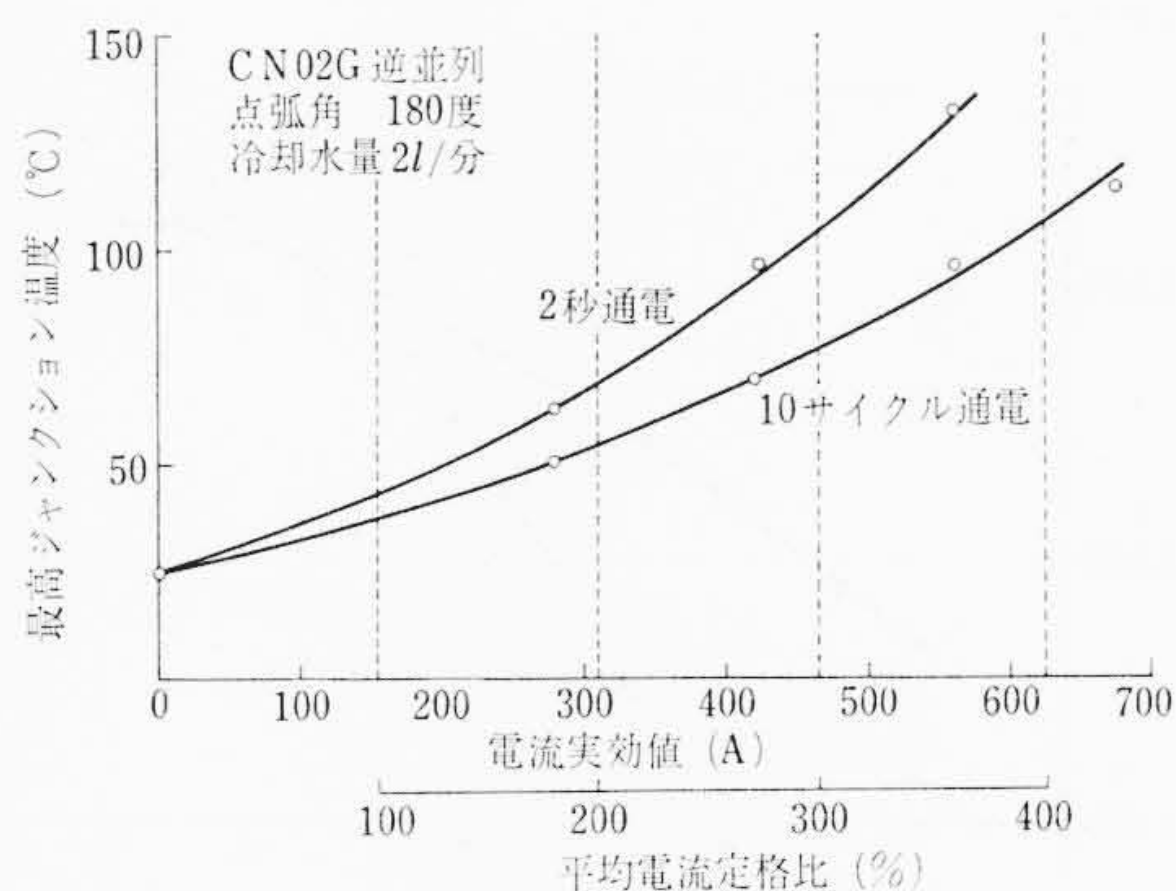


図 14 CN 02 G 過負荷温度上昇曲線

荷特性を、順方向電圧降下 V_{AK} による温度上昇測定法⁽⁵⁾で測定し、これをもとにサイリスタの容量を決めることにした。

接合部温度上昇の測定結果の一例を示したのが図 14 である。

実際の使用にあたっては熱サイクルによる疲労なども考慮しなければならないので、定格電流比を約 2 倍にとり、通電時間 10 サイクルと 2 秒を時々変更しながら 100 万回以上の開閉を行なった結果、動作に異常もなく、順方向および逆方向の漏れ電流の変化も認められなかった。

3.3 溶 接 試 験

熱量制御付サイリスタ式準同期制御装置を用いて日立抵抗溶接機 SP-AF 75 kVA による溶接試験を行なった。溶接電流を変動させる要素としては電源電圧の変動、被溶接物の形状、寸法、表面状態、フトコロ入方法、電極形状および加圧力などが考えられるが、電流の実効値の変化という点では同じであり、これを容易に変動させることができる点弧位相制御 (電流調整ツマミ) を変化させて溶接強度を測定した。被溶接物は 1.6 mm、および 3.2 mm の軟鋼板 2 枚重ね溶接 (JIS-Z 3136 点溶接継手の引張せん断試験方法, JIS-Z 3611 点溶接作業標準) を採った。

図 15 は 1.6 mm、図 16 は 3.2 mm 2 枚重ね溶接の引張せん断強度試験結果を示したものである。標準条件の選定は 1.6 mm、3.2 mm とともに一般の A クラス溶接条件より「チリ」発生防止の意味から加圧力が大きくなっている。

熱量制御を施した効果により 1.6 mm で 11,500 A、13 サイクルの標準条件より 65% の 7,500 A まで強度は JIS 下限値を満足し、3.2 mm の場合には 17,400 A、27 サイクルの標準条件より 66% の 11,500 A まで JIS 下限値を満足する。熱量制御を行なわない場合には 1.6 mm で 83% の 9,500 A、3.2 mm で 83% の 14,500 A で JIS の下限値を割るのに対し、熱量制御装置をつけることにより電流減少をさらに約 20% 許容し得るので使用範囲を広げたことになる。

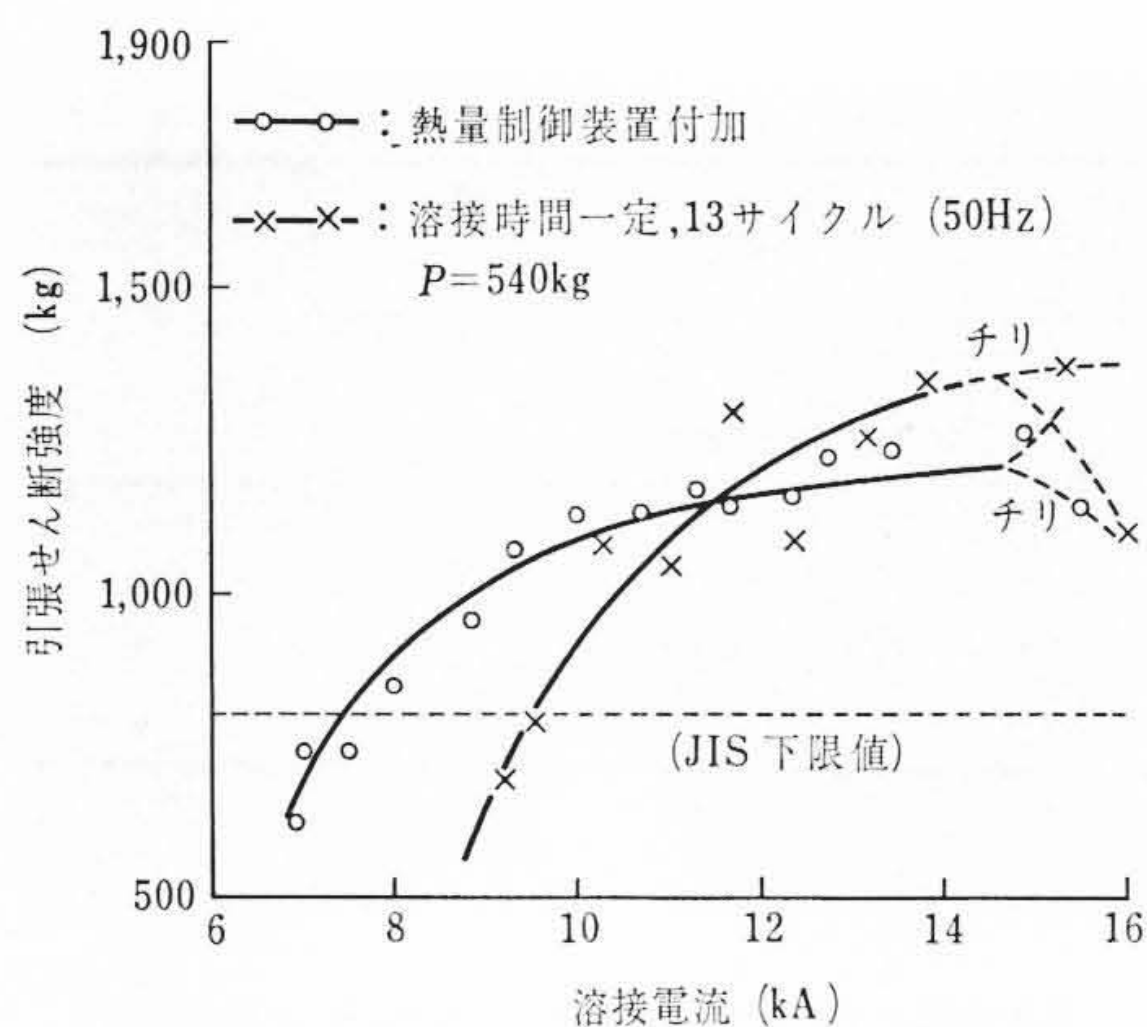


図15 1.6mm 軟鋼板溶接結果

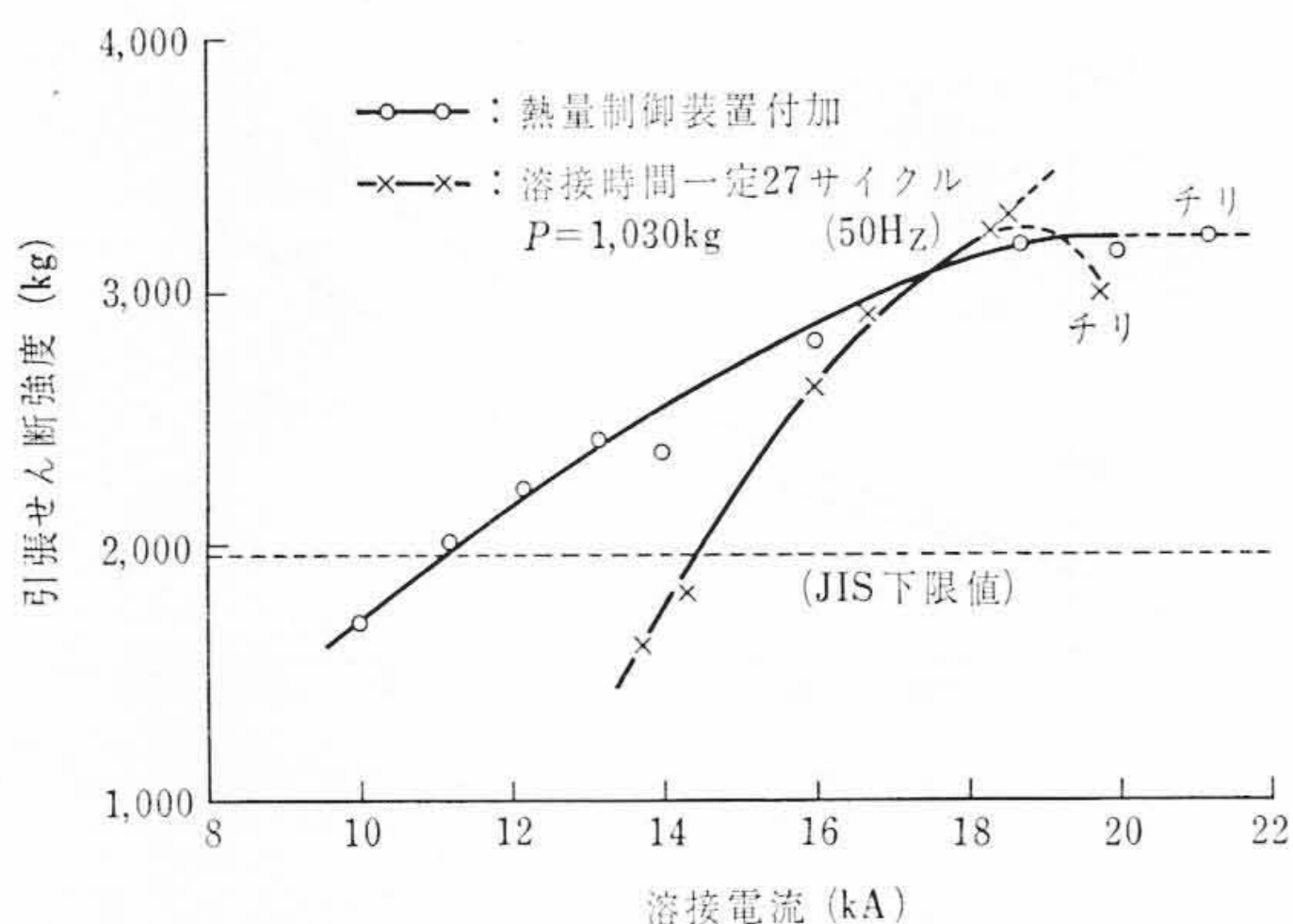


図16 3.2mm 軟鋼板溶接結果

フトコロそう入寸法が変わって電流が変動する場合には上記実験の電流変化と異なり、点弧位相制御は一定で電流の波高値が変化する。このため試験片とは別に金網などをフトコロ内にそう入して電

流を変動させ溶接試験を行なったが、図15、図16と同じ結果が得られることを確認した。

4. 結 言

溶接電流 I を検出して通電時間 t を

$$\int_0^t I^2 dt = \text{const.}$$

となるよう制御する熱量制御装置と無接点サイリスタ式準同期制御装置を日立点溶接機 SP-AF 75 kVA に用いて試験した結果次の結論を得た。

- (1) 熱量制御装置の付加により、JIS 規格強度を満たす電流変動範囲が20%程度拡大する。
- (2) 熱量制御装置の精度は、実用範囲において6%以内である。
- (3) 熱量制御装置の使用によって溶接の信頼性向上などの利点が多い。
- (4) サイリスタは容量の選定を適当に行なえば、取り扱いやすさと寿命の長いことなどによりイグナイトロンよりむしろ有利である。

以上の結果、日立点溶接機標準品シリーズ SP-AG 用制御装置として製品化することとした。

参 考 文 献

- (1) 信原、浮田：点溶接における熱量制御に関する実験的研究，電気学会連合大会，No. 1291 (昭-40)
- (2) P. M. Knowlson: Instrumentation for resistance welding, R. W. J. B. W. R. A. Report. Vol. 12. No. 4 (1954-4), P. 167-190.
- (3) 藤原、佐藤：電気圧接機の通電制御機構の研究，溶接学会誌 Vol. 34, No. 9 (1965-9), P. 164
- (4) 秋山、杉本：日立評論 47, 1920 (昭40-12)
- (5) 日立製作所編：シリコン制御整流素子便覧 (1965-8)



特 許 の 紹 介



特許第494781号 (特公昭40-28985号)

竜 昭 喜

イ ン バ ー タ 回 路

この発明はトランジスタを利用したインバータにおいて起動を良好にし、起動時または電源電圧の低下時に起こる高周波異常発振を防止するもので、図1について、14, 15はトランジスタで、それぞれのコレクタはトランス16の巻線17, 18の一方の端子171, 181に接続され、エミッタはともにスイッチ19の一端191に接続される。またトランジスタ14のベースより一方は抵抗20を介してエミッタに、他方は抵抗22、逆流阻止用ダイオード23を介してトランジスタ15のコレクタに、トランジスタ15のベースより一方は抵抗21を介してエミッタに、他方は抵抗24、逆流阻止用ダイオード25を介してトランジスタ14のコレクタにそれぞれ接続される。さらにトランス16の巻線17と巻線18の端子172, 182を接続し、この接続点より電源26の負端子に接続され、正端子はスイッチ9の端子192に接続される。そしてトランジスタ14のベースとトランジスタ15のベース間にコンデンサ28を接続したのがこの発明の特長である。

この回路において、スイッチ9を閉路すると同時にわずかに不平衡状態にあるゆえに発振ができないものを、コンデンサによりその不平衡を促進させ正常に発振(起動)させるように作用するものであり、これにより起動時に生ずる高周波異常発振や電源電圧の低下による同様異常発振を防止することができる。

これはトランス16の保有する一次側のインダクタンスとその端子間に生ずる浮遊容量とにより共振し生ずる発振現象を打ち消すようにしたもので、この共振現象は特に電源電圧の低下とか、電源電圧が低い変換器回路の場合とか、負荷の変動、温度変化などにより生ずるものである。この発振はトランジスタを完全に飽和させないためにトランジスタの破損の原因となりかつトランスの鉄心が高周

波鉄心でないときはその出力ゲーンも非常に低下する。反面この鉄心の共振周波数に一致した発振であれば非常に高電圧を誘起し、トランス破損の原因となりうる。この発明はこれら異常発振を防止すると同時に正常の発振における起動を良好にするようにしたもので、その効果は大きい。(西宮)

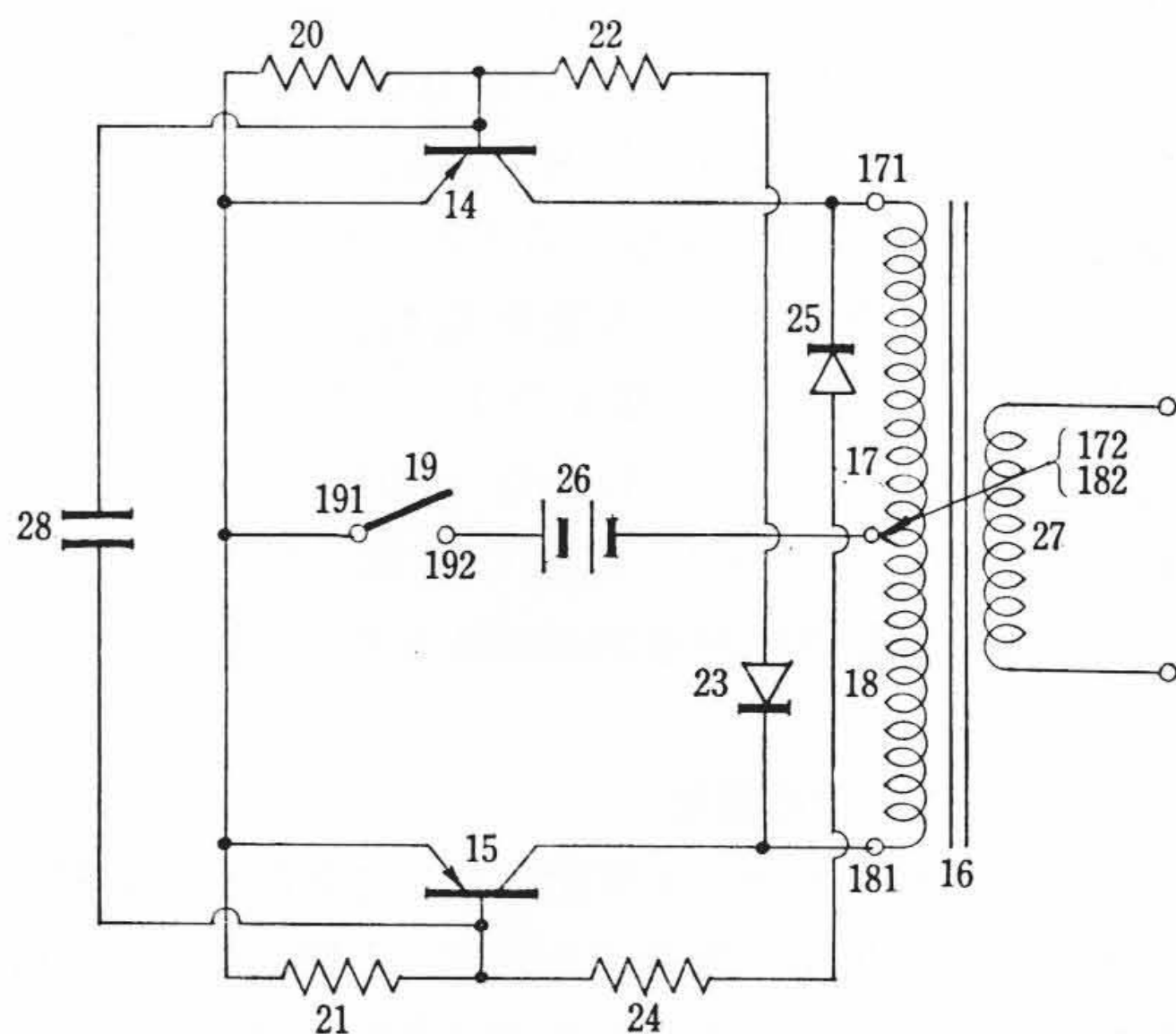


図 1