

電解加工機用サイリスタ式直流電源

Thyristor System DC Power Source for Electrochemical Machines

深井正雄* 近藤喜久雄* 平田健二郎**
Masao Fukai Kikuo Kondô Kenjirô Hirata

要 旨

新しい工作機として注目を浴びている電解加工機の直流電源としてサイリスタ（シリコン制御整流素子，SCR）を使用した整流装置が完成した。このサイリスタ式直流電源は，被加工物の多様性に応じられるように設計されたもので，加工機の要求する諸条件を満足するとともに，精密加工に適するよう特に定電圧精度の向上と電極短絡時の保護に独得の方式が採用されている。

1. 緒 言

最近の科学技術の進歩に伴って，機械加工に要求される条件はしだいに高度なものとなっている。すなわち材料の高級化により，強度，硬度および耐摩耗性のすぐれた材料が使用されるようになり，従来の加工方法では加工困難，加工能率の低下，変質層の発生などの問題が生じ，この解決策として種々新しい加工法が開発され利用されている。

電解加工 (Electrochemical Machining, 以下 ECM と略す) はその中の一つであり，放電加工，超音波加工などに比べそれらの欠点を解消するとともに，非常に複雑な形状の金属材料被加工物を，あらかじめ成形した電極を使用して一工程で加工するという利点がある。

すでに海外では Rolls-Royce 社はタービンプレードの加工に電解加工機を使用していることが 1962 年に発表されており⁽¹⁾，国内においても急速に使用されはじめている。これは ECM の加工原理が電気分解を利用しているため，従来の切削加工と比較して，工具が消耗しない，被加工物の硬度に無関係に速い加工速度が得られる，面加工を行なうので母形を製作すれば，複雑な形状の加工が可能である，加工面のあらさが良好であるなどの特長をもっているためである。

この電解加工機を安定に運転し，その特長を十分発揮するために重要な一要素として直流電源があげられる。加工機の要求する直流電圧，電流および制御特性を完全に具備している電源が必要である。この直流電源として好適な機種は最近進歩の著しいシリコン整流器で，特にサイリスタを使用した整流装置が，制御性能，効率，運転保守，価格上から有利である。

日立製作所はすでに直流電流 5,000A のサイリスタ式電源を電解加工機用として完成し，約 1 個年の良好な運転実績をもっている。

サイリスタを使用しない電源方式としては，シリコンダイオードで整流器を構成し，電圧あるいは電流の制御調整を可飽和リアクトルで行なう整流装置があり，電解加工機用として使用されている。この方式は，制御応答速度，効率，大きさの点でサイリスタ方式に一歩を譲るので，今後はサイリスタ式が多く用いられていくものと思われる。

ここでは電解加工機用サイリスタ式整流装置の概要と技術上の要点について述べ，使用者各位の参考に供するしだいである。サイリスタ自身の諸特性については別論文⁽²⁾を参照されたい。

2. ECM の原理と直流電源の具備すべき特性

2.1 ECM の動作原理⁽³⁾

図 1 に示すように，放電加工と同様，被加工物金属と母形電極を

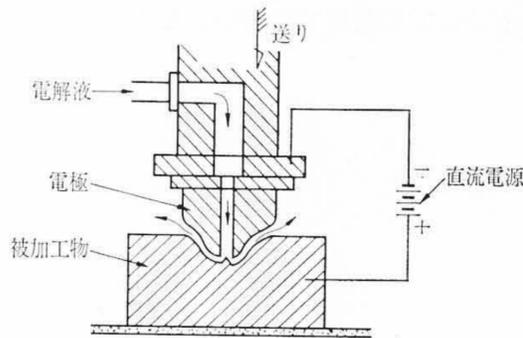


図 1 ECM の原理

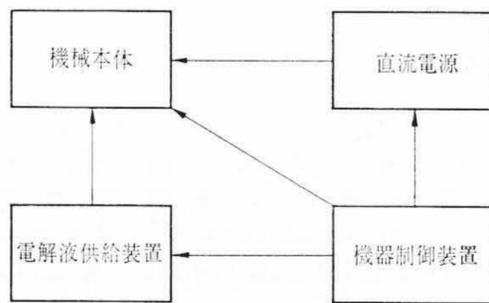


図 2 電解加工機の構成

表 1 ECM の特長

| 長 所 | 短 所 |
|--------------------------|----------------------|
| 1. 加工速度は被加工物の硬度抗張力に無関係 | 1. 加工精度は放電加工に劣る |
| 2. ならい加工，放電加工と比較し，加工速度が大 | 2. 電解液による発錆を注意する必要あり |
| 3. 面あらさが良好でバリが生ぜず | |
| 4. 複雑な形状が一工程でできる | |
| 5. 電極が消耗しない | |
| 6. 熱機械的ひずみが生じない | |

微小間げきを保って対立させ，その間げきに高速度の電解液を圧送し，被加工物が陽極，母形電極が陰極になるように電気回路を構成して，低電圧 (2~18V) を印加し大電流を流す。この電流により被加工物は Faraday の法則に従い金属イオンとなり電解液中に溶解する。

母形電極は，同図矢印のように被加工物に向けて 0.2~3 mm/min 程度の速度で移動し，被加工物には母形電極の形状が転写される。本加工法の長所と短所を列記すると表 1 のとおりである。

以上の原理に基づく ECM は，実用製品としての加工機では図 2 に示すような機器構成となり，次の四つの装置に大別される。

- (1) 機 械 本 体
- (2) 電解液供給装置

* 日立製作所日立工場
** 日立製作所川崎工場

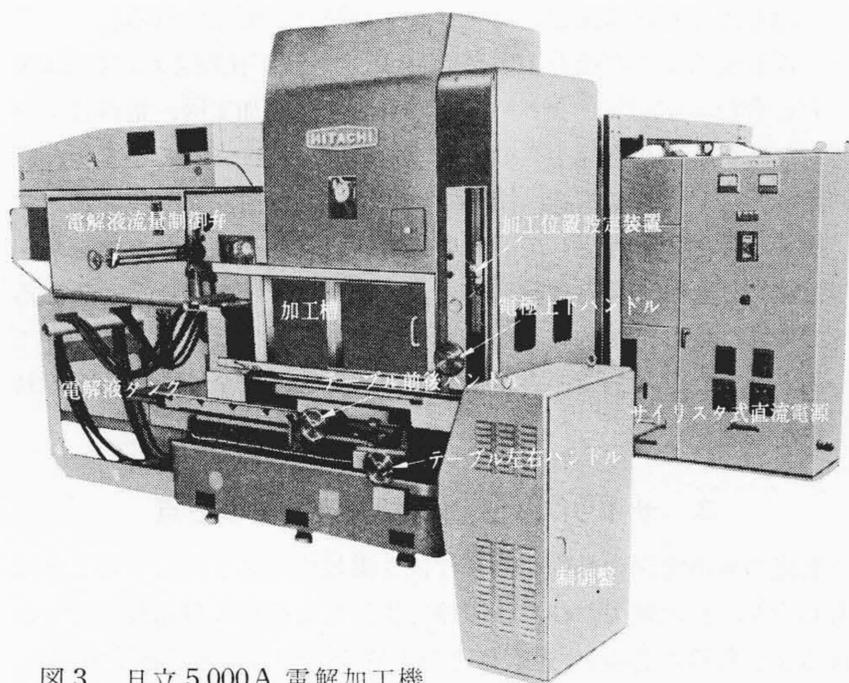


図3 日立 5,000A 電解加工機

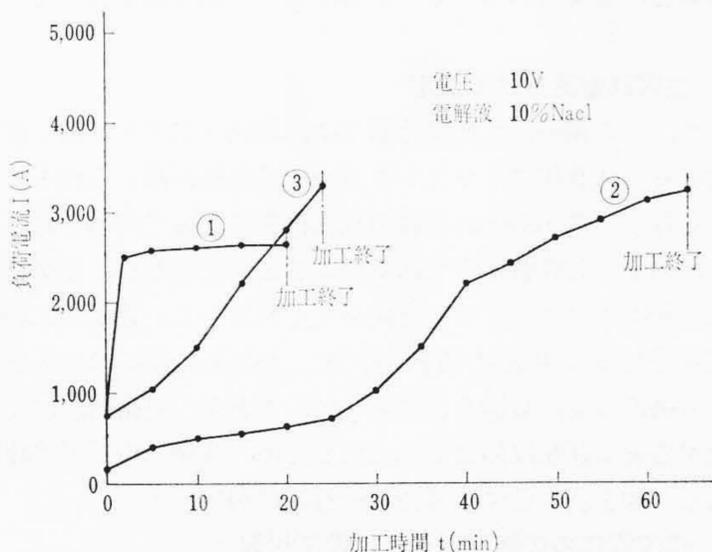
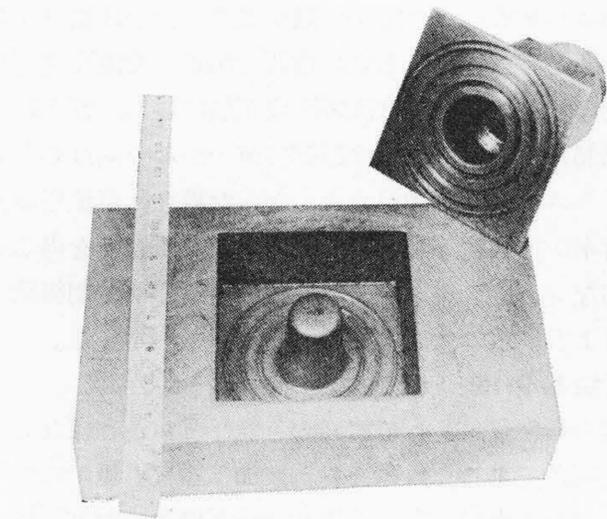


図4 ECM の 負 荷 変 化



(上) 母形電極 (下) 被加工物
注: 加工深さが増加しても加工面積は変化しない

図5 角 穴 加 工

- (3) 直 流 電 源 装 置
- (4) 機 器 制 御 装 置

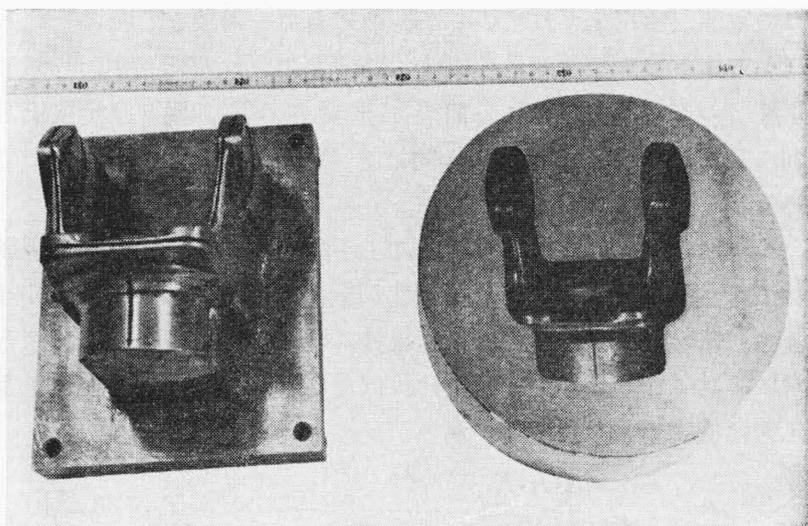
図3は日立 5,000A 電解加工機 (50 ECM-6V) の外観である。

2.2 電解加工機用直流電源装置の具備すべき特性

直流電源は従来の電解工業用またはメッキ用電源のような単なる電解用の電流×時間 (Ampere Hour) を得るのみでは不十分で負荷定数が時間とともに変化し、かつ被加工物の寸法上の仕上精度を要するため、これに応じた性能が必要となる。

(A) 負 荷

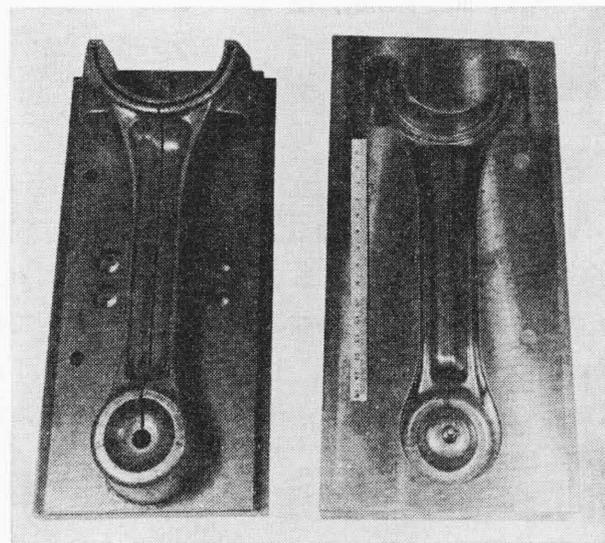
図4は、直流電源よりみた ECM の負荷の代表例である。



(左) 母形電極 (右) 被加工物

注: 加工初期は加工面積は小であり、途中で急速に増加し、その後はほとんど変わらない

図6 ジョ イ ン ト ョ ー ク



(左) 母形電極 (右) 被加工物

注: 加工面積は、加工深さが増加するにつれてしだいに増加する

図7 コネ ク ト ィ ン グ ロ ッ ド

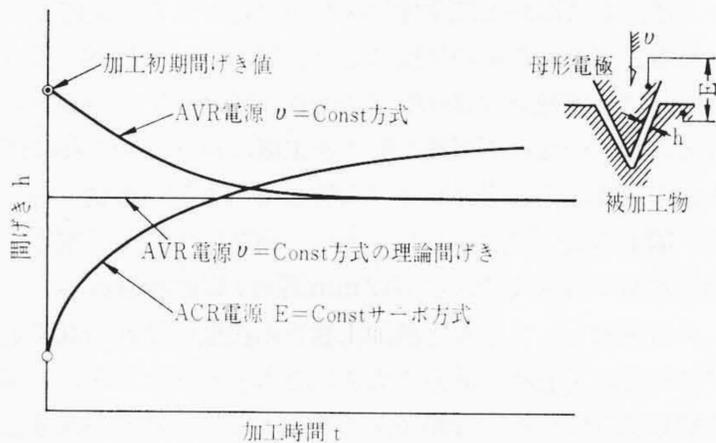


図8 AVR, ACR 電源使用時の間げき変化

同図①の曲線は図5に示すような、抜形加工を行なうときの負荷である。加工初期 (電源投入時) に急激な負荷変動があり、その後、負荷はほぼ一定となる。

②の曲線は、図6に示すような鍛造金型を加工する場合の負荷を示す。この場合一定時間緩慢な負荷変動で、その後、ある時間内急激な変動があり、その後ふたたび緩慢な負荷変動にもどる例である。

③の曲線は図7に示すような鍛造金型を加工する場合である。時間とともに負荷はほぼ直線的に変化する。

以上3種類の負荷曲線から明らかのように、ECMの負荷は時間とともに変化し、その変化の様子は、加工対象により千差万別である。

(B) 制 御 対 象 と 精 度

電解加工機用直流電源として、定電圧制御、定電流制御の2通

りの電源が実用化されているが、前述負荷を対象とした場合は、円形電極と被加工物間に生成する間げきの取れん性、すなわち加工精度の安定性の見地より前者が推奨される。図8は定電圧制御、定電流制御方式における間げきの時間的変化を示すものである。

ECMは従来の機械加工と、加工手段が異なるとはいえ、金属加工を目的とするため、加工精度が重視される。加工精度と間げきは、密接な関係を有し、精度維持には、この間げきが理論値と常に等しくなるよう管理しなければならない。間げき h と加工電圧とは次式のような関係がある。

$$h = \frac{60\eta_i \cdot M \cdot K \cdot E}{n \cdot F \cdot P \cdot v} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 η_i : 電流効率
 M : 原子量
 K : 電解液の導電度
 E : 加工電圧
 n : イオン価
 F : Faraday定数
 P : 密度
 v : 電極送り速度

上式から、加工電圧が直接加工間げきすなわち加工精度に影響することがわかる。たとえば、加工電圧が10%変動した場合は、標準の金型加工条件では、他の要素が変化しないとして最大点では0.2mm変化することもある。よって ± 0.06 mm以下の加工精度を得るためには、制御精度は、出力電流の任意の値において設定値の $\pm 3\%$ 以下が必要となる。

(C) 電圧および電流の調整範囲

電解加工機に使用する電圧の範囲は2~18V程度である。実用には4~15Vが最も多く使用される。

下限は電気化学的な分解電圧より、上限は、加工時の放電発生率および作業員におよぼす危険度から決定される。電流は図4からわかるように、負荷の種類により一概にはいえない。多くの実例より、定格電流は2,500A、5,000A、10,000Aが一般的に標準と考えられ、一部の専用機を除き加工機は種々の加工物に使用されるよう電流はそれぞれ0まで調整し得ることが必要である。

(D) 図1において説明したように、ECMでは母形電極と被加工物とは常に微小間げき(約0.2mm程度)に維持される。このため、異常現象として電極と被加工物との接触すなわち直流電源としては短絡の可能性は非常に大きいと考えねばならない。多くの場合突起部分間の局部短絡であるが過大な短絡電流が部分的に流れ、その部分は発熱溶融する。したがって加工精度は低下し、また加工が不可能になることもある。局部的短絡の発生は前期現象がないため予想しがたく、できるだけ迅速に検出し、電流を遮断することが必要である。

(E) 定格の種類

前述のように、ECMの負荷は一定していない。多くの加工例によれば、1回の加工時間は、数分~数時間の範囲にわたっており、加工前後の、母形電極および被加工物の取り付け、取りはずしなどの段取時間も作業内容により5~30分程度を要している。このため運転、休止のサイクルは一概に決定できず、特例を除き連続定格が採用される。

(F) その他

電解加工機は前述のように、種々の装置が集まり、工作機械として機能を発揮する。したがって従来の機械、たとえばならいフライス盤、放電加工機などに比較し、加工対象物に対し所要床面積が大となる。このため構成機器は極力小形にする必要があり、

電源も出力容量に比較しコンパクトな設計が要求される。

電解液は多くの場合10~20%食塩水溶液が使用され、周囲は塩分を含むふん囲気となりやすい。もちろん、加工機、電解液タンクなどから直接空気中への電解液飛散は、防止されているが、直流電源としても盤構造、冷却空気吸込穴の位置、フィルタ、耐食塗装などを十分考慮して設計されなければならない。また電解加工機を運転操作する運転者は多くの場合機械工場の作業員であるので、高度の電氣的知識を必要とする外部操作は、さけるべきである。また危険個所の表示などを十分に安全性を図らなければならない。

3. サイリスタ式直流電源設計上の要点

前述の直流電源の具備すべき仕様を満足するよう設計することはもちろん、直流側でたびたび短絡を生じて簡単に再起動が行なわれるよう負荷の諸性質、運転特性を十分に握ることが必要である。なおサイリスタの機能を生かして、電解加工機と協調のとれた設計をすることが重要である。そのおもなものをあげると次のとおりである。

3.1 主回路整流方式の選定

一般に、この種の低電圧整流器では、相間リアクトル付二重星形6相整流または6相ダイヤメトリカル整流回路が用いられる。そのいずれを選ぶべきかはそれぞれの利害得失によって決められる。すなわち、効率、設備費の点では6相二重星形がすぐれ、制御の平易さでは6相ダイヤメトリカル方式がすぐれている。電解加工機は部品加工などでほぼ連続に運転される。われわれはこのことを考慮し、より効率の高い装置を目標として、たとえ、技術的に高度の制御を要するとも運転操作は簡単であるため、6相二重星形整流回路を採用し、加工費に要する電力代の軽減に努めた。

3.2 直流電圧の広範囲調整と定電圧制御

電解加工機は多目的に使用されるため、直流電流100~0%において直流電圧18.5~2Vの全域にわたって定電圧制御誤差を0.1V以下に収める必要がある。この定電圧制御誤差の大小は被加工物の仕上がり寸法精度に直接影響するため重要である。交流受電電圧の変動、負荷電流の変化、任意の直流電圧設定値に対し、制御応答速度の早い定電圧制御を行なうことは制御技術上かなり高度の問題である。特にサイリスタの制御角が大きくなった場合、直流電圧波形のリップル含有率が增大するため、安定した定電圧特性を得るには、制御系に適切なフィルタが必要で、安定性、速応性、制御精度の3者を満足するよう慎重に検討を加えて諸定数を決定した。

3.3 直流短絡保護

電解加工機の異常現象として第一に考慮しておかねばならないのが短絡保護の問題である。負荷である被加工物と電極の間のギャップは前述のとおり僅少で、電極の送りサーボ機構の制御性能にも限界があるため、負荷側短絡はある程度のひん度で発生することを前提とせねばならない。このため、整流器用変圧器の電圧変動率、サイリスタの過電流耐量と並列数、電流異常増加率の検出、過電流遮断時間など、限流と耐量の諸元の間には十分な安全率をもって協調のとれた設計をせねばならない。本サイリスタ式整流装置では、負荷側短絡時ヒューズ溶断による保護は行なわない方式とした。これはその再運転に際し、ヒューズ交換に要する煩雑さを避けるためである。

以上がECMの特異性に対する設計上のおもな要点であり、その他の一般的な事項たとえば、並列サイリスタの電流分担、均等冷却、異常電圧の保護、スイッチギヤとの保護連動、保守点検に便利な部品の配置などは、すでに多数のサイリスタ式整流装置で検討され⁽⁴⁾、良好な実績を得ているので特に問題はない。

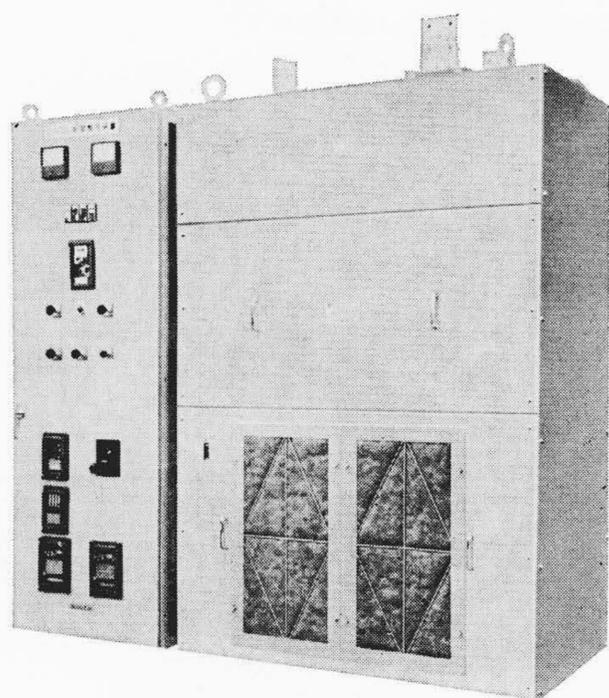


図 9 92.5 kW サイリスタ式直流電源

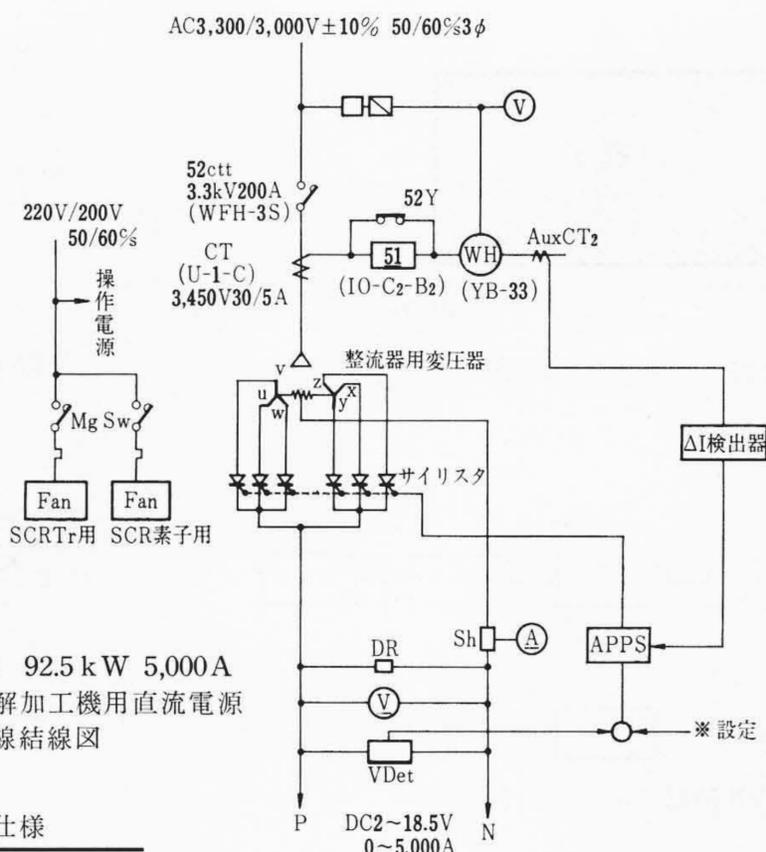


図 10 92.5 kW 5,000 A
電解加工機用直流電源
単線結線図

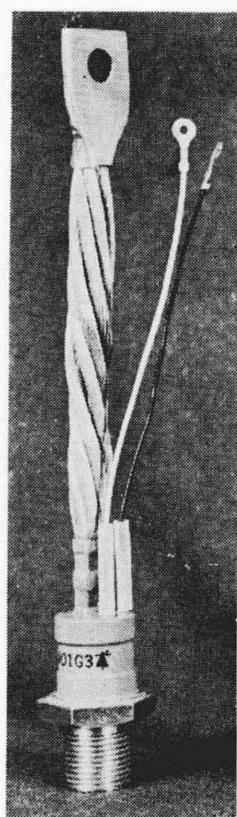


図 11 250 A
サイリスタ

表 2 電解加工機用サイリスタ式直流電源標準仕様

| 機 種 別 | 46.5 kW | 92.5 kW | 185 kW |
|-------------|--|--|--|
| 交流入力 | 220/200 V ±10% 3 φ, 50/60 c/s 遮断容量=50 kA | 3/3.3 kV ±10% 3 φ, 50/60 c/s 遮断容量=25 MVA | 3/3.3 kV ±10% 3 φ, 50/60 c/s 遮断容量=25 MVA |
| 直流出力 | 46.5kW 18.5V 2.5kA | 92.5 kW 18.5V 5 A | 185 kW 18.5V 10 kA |
| 電圧調整範囲 | 18.5 V ~ 2 V (において 9 ~ 定格電流) | | |
| 制御方式 | 定 電 圧 制 御 | | |
| 制御精度 | 18.5 V ~ 10 V ±2% (設定電圧において) 10 V ~ 5 V ±3% (設定電圧において) 5 V ~ 2 V ±5% (設定電圧において) (ただし一工程中の周温変化は 5°C 以下とする。受電変動, 周波数変動, 周温変化, 負荷変化は同時に生じない) | | |
| 整流方式 | 相間リアクトル付二重星形 6 相 | | |
| 冷却方式 | 強 制 風 冷 式 | | |
| 定 格 | 100% 連 続 | | |
| 垂下特性 | 定格電流の 1.5 倍以下で垂下させる。 急激な負荷電流変化で垂下させ交流側遮断器をトリップする。 | | |
| 応 答 | 1,000 A 階段状減少変化に対して 0.5 秒以内 | | |
| 周囲条件 | -5°C ~ 40°C, 90% RH | | |
| 塗 装 | 耐 酸 | | |
| 装置構成 | 1 面...SCRキュービクル (変圧器, 相間リアクトル電源器具, 制御装置を含む) | 1 面...SCRキュービクル (変圧器, 相間リアクトル制御装置を含む) 1 面...電源キュービクル | 1 面...SCRキュービクル (制御装置を含む) 1 面...変圧器キュービクル 1 面...電源キュービクル |
| 装置全体寸法 (mm) | 幅 1,200, 奥行 1,200 高さ 2,300 | 幅 2,700, 奥行 1,000 高さ 2,300 | 幅 2,700, 奥行 1,500 高さ 2,300 |
| 重 量 | 1,300 kg | 3,400 kg | 6,500 kg |

4. サイリスタ式直流電源

本装置の仕様上の特長を一般の整流装置の観点からあげると次のとおりである。

- (i) 使用される直流電圧, 電流の範囲が広い (電流 0A ~ 定格電流において 2~18.5V の全範囲で使用される)。
- (ii) 直流短絡に対しては ΔI 検出装置 (電流急増加検出装置) によりサイリスタのゲートを制御し, 直流電圧を絞って電極の損傷を軽減するとともに電源装置を保護している。
- (iii) 定電圧制御精度が高い (全域にわたり ±0.1V 以下)。
- (iv) 整流器用変圧器, 相間リアクトルは乾式風冷で, 装置全体はキュービクル内にコンパクトに収納されている。

- (v) 応答が早い。
- (vi) サイリスタの使用により, 従来方式の可飽和リアクトルが不用となり低電圧にかかわらず効率が良い (交流入力より直流出力までの全機器および接続導体を含めて約 83%)。

(1) 装置の構成

本直流電源は, 交流受電機器, 整流器用変圧器, サイリスタ式整流器, 保護装置, 定電圧制御装置から構成される, 92.5 kW 直流電源の外観および単線結線図を示したのが図 9, 10 である。

整流器用変圧器, 相間リアクトルには, H 種風冷を採用して電源装置全体の小形軽量を図った。各機器はすべて鋼板製キュービクルに収納され, 計器や操作ハンドルをキュービクル盤面に配置するなど他の部品配置も取り扱いの便利を主眼として設計されている。また周囲の塩分を含むふん囲気に対し各部品は十分な処理をされ, 長年の使用に耐えるようにしてある。整流器用変圧器, 整流器の冷却風取入口に合成樹脂製繊維のフィルタを設けてある。定電圧制御装置はトランジスタなど電子応用部品から構成されているため, ふん囲気には特に注意し完全密封したケース内に収納して外気と遮断してある。

表 2 は直流電源装置の標準系列の装置構成および仕様の概略を示している。

(2) サイリスタ式整流器

本器に使用したサイリスタは次の仕様である。

| 形 式 | CJ01 |
|-------------|-------|
| 定格せん頭逆耐電圧 | 200V |
| 定格過渡せん頭逆耐電圧 | 300V |
| 定格順阻止電圧 | 200V |
| 定格平均順電流 | 250A |
| 最高動作温度 | 125°C |
| 定格せん頭ゲート電圧 | 10V |
| 定格せん頭ゲート電流 | 2A |

この CJ01 形素子は, 電力用素子として電気化学工業用, 動力用などあらゆる用途に最も広範囲に使用され, 豊富な実績をもっている。その製作にあたっては, 徹底した品質管理と厳密な検査を行なっているので, その信頼性と高性能についてはすでに定評がある。特に本器のような間欠的負荷変化を伴う装置には最適なサイリスタといえよう。図 11 は本サイリスタの外観である。

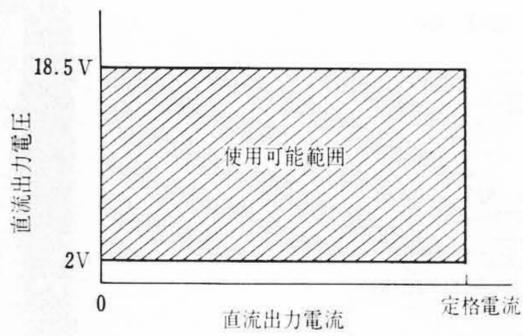


図12 直流電源使用範囲

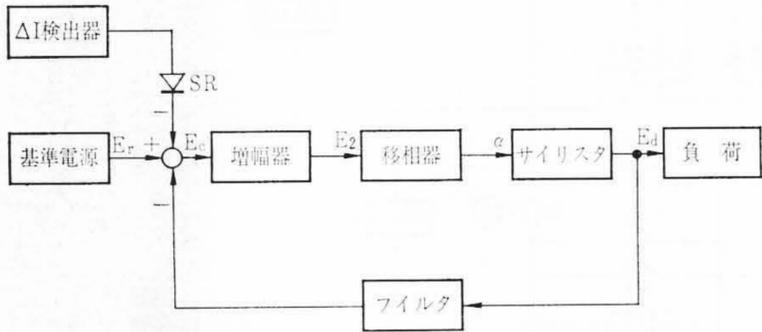


図13 AVR回路ブロックダイアグラム

(3) 整流器用変圧器

本装置は前述したように直流出力電圧18.5~2Vの全範囲にわたり0A~定格電流を流すことができる、このようすを示すと図12のようになる。この装置では整流器用変圧器のタップ電圧を固定とし全範囲をサイリスタのゲート制御によりカバーしている。

負荷としての加工機は抵抗分が大部分である。すでに知られているようにサイリスタのゲート制御で電圧を絞ると抵抗負荷の場合には直流出力電流波形はひずみ変圧器巻線の電流実効値が、制御角の増加にしたがって大きくなる。相間リアクトル付二重星形6相整流回路で、抵抗負荷時の変圧器2次巻線電流実効値と誘導負荷時の変圧器2次巻線電流実効の比 k は変圧器の内部インピーダンスを無視すれば(2)式および(3)式で与えられる。

$$k = \frac{I_{armR}}{I_{armL}} = \frac{0.51 \sqrt{(4.2 - 2\alpha) - \sin 2(\alpha - \pi/6)}}{1 - \sin(\alpha - \pi/6)} \quad \left(\frac{\pi}{3} \leq \alpha \leq \frac{2}{3}\pi\right) \dots (2)$$

$$k = \frac{I_{armR}}{I_{armL}} = \frac{0.65 \sqrt{1.21 + \cos 2\alpha}}{\cos \alpha} \quad \left(0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{3}\right) \dots (3)$$

ここで、 I_{armR} : 抵抗負荷時の変圧器2次巻線電流実効値
 I_{armL} : 誘導負荷時の変圧器2次巻線電流実効値
 α : 制御遅れ角

本装置の場合、直流電圧2Vで定格直流電流を流したとき k の値が最も大きくなる。このときの k の値を(3)式によって求めると、約2となる。一方実際の回路では、加工機と整流装置間の接続導体のインダクタンスのため、電流波形はある程度平滑化され、上式で計算した値よりも小さくなる。それゆえ抵抗負荷と見なし、装置の電流容量を考えるとときわめて不経済なものになる。本装置の計画にあたっては、実回路と等価なシュミレータで検討を行ない、電流容量を求めているので最も経済的な設計がなされている。

(4) 相間リアクトル

相間リアクトルの動作は2組の整流回路(図10の uvw 群と xyz 群)間の電流不平衡により大きな影響を受ける。すなわち鉄心が偏磁されて飽和するとリアクトル本来の機能が失われ、負荷の変動、入力電圧の変化、鉄心の特性などにより時間とともに不規則で複雑な電流不平衡を生ずる。この不平衡の一因として、おのおのサイリスタの制御角に若干のバラツキがあることお

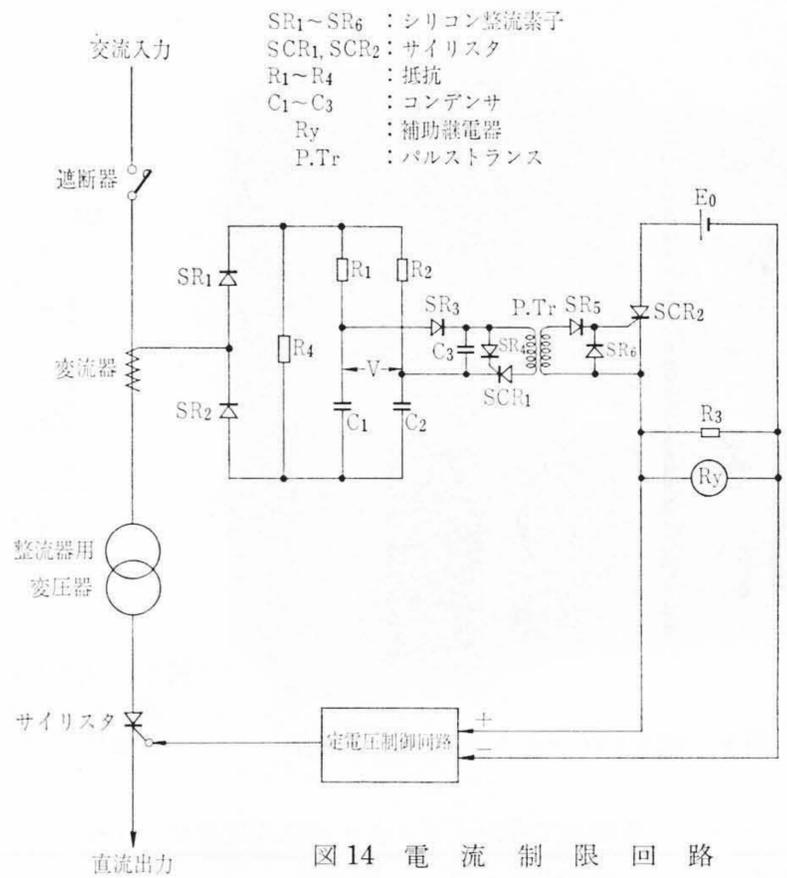


図14 電流制限回路

よび各相の接続導体と変圧器のインピーダンスに若干の差がありこれらが電流不平衡を生ぜしめているものと考えられる。このためゲートパルス発生装置の特性をそろえて制御角のバラツキを可及的に小さくするとともに、各相のインピーダンス特に接続導体の配置をその差が小さくなるよう努めた。

一般に、相間リアクトルに加わる電圧は、直流電流が十分平滑の場合制御遅れ角90度のときが最大となるが、本装置では、図12に示したように広範囲に使用されるため、負荷側の抵抗とインダクタンスの比を大幅に変化させるとともに、制御遅れ角の急速な移相速度に対し飽和とならぬよう設計してある。

(5) AVR装置

相間リアクトルは、臨界電流以下では所期の機能を果たさず負荷電流が零に近づくと整流器の直流電圧が約15%上昇する。そのため整定直流電圧によって異なるが、制御遅れ角35~60度の移相により電圧を制御せねばならない。またこの程度の装置では一般に直流電圧変動率は大きく20~30%あるためこの両者を合わせると約45~70度の移相が必要となる。すなわち負荷電流を100~0%まで変化させることによって、定電圧を保つうえに制御遅れ角45~70度相当の外乱がはいったことになる。誘導性負荷の場合に、直流電圧を100%制御するための制御遅れ角が90度であることを考えると非常に大きな外乱である。また所期のAVR精度を得るため各部はかなりの高利得を必要とする。そして制御遅れ角が大きくなった場合、直流電圧波形のリップル含有率が增大するが、直流電圧を完全に平滑にしてしかも利得の高い多段形フィルタを採用して応答の早いきわめて安定なAVR特性が得られた。図13は本装置のブロックダイアグラムである。

5. 保護装置

(1) 負荷短絡

負荷短絡に対しては、前述のとおり従来使用していたハイラップヒューズが使用できないため、本装置では ΔI 検出器を採用した。この ΔI 検出器は負荷電流の急激な増加分を検出しこの信号をゲートパルスの移相回路に与えて、サイリスタのゲートを制御し、整流器の直流出力電圧を絞ると同時に、交流側の電磁接触器を開路して、直流電源装置および加工機の電極保護を行なうものである。図14に簡略化した ΔI 検出器の回路を示す。この回路

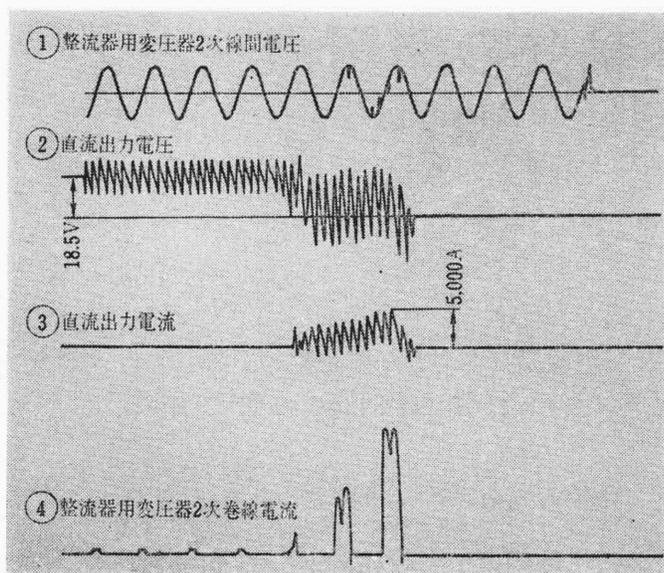


図 15 直流短絡時の各部波形

の検出点間の電圧は(4)式で与えられる。

$$V = ka \{ C_1 R_1 (1 - e^{-t/C_1 R_1}) - C_2 R_2 (1 - e^{-t/C_2 R_2}) \} \quad (V) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 a : 負荷電流の変化率 (A/s)
 k : 常 数 (V/A)
 R_1, R_2 : 抵 抗 (Ω)
 C_1, C_2 : コンデンサの容量 (F)

(4)式より検出点間の電圧 V は、 $k, R_1 \sim R_2, C_1 \sim C_2$ の値を適当に選ぶことによって変えられる。したがって任意の電流変化率以上の値のときのみ ΔI 検出器を動作させられることがわかる。

(2) その他の保護

過電圧、比較的ゆるやかな負荷電流の増加やサイリスタの過熱に対しては、従来から使用されているR-C回路、過電流継電器や温度継電器などで保護している。

6. 試 験 結 果

(1) 直 流 短 絡 試 験

直流出力電圧18.5V、電流0Aの状態では電源装置の出力端子を完全短絡したときのオシログラフを図15に示す。短絡電流の変化分が ΔI 検出器で検出され3c/s以下で直流出力電圧は完全に零まで絞られ短絡時点から6c/sで交流側電磁接触器を開路している。また直流電流のピーク値は定格電流以下におさえられており、この値は前述(4)式の k, R_1, R_2, C_1, C_2 の定数を適当に選ぶことにより大幅に変えられる。電磁接触器は無電流の状態が開路されるため、接点の消耗が少なく長寿命が期待される。

(2) 定電圧制御精度

電源装置の出力電圧をあらかじめ整定しておき負荷電流を0~100%変化したときの定電圧制御精度は表3に示すように良好な結果が得られた。このときの系の総合利得は、移相器およびサイリスタ整流器の非直線特性のため整定電圧によって異なっているが100~300の範囲である。

表 3 A V R 特 性

| 負 荷 電 流 | 直 流 出 力 電 圧 | |
|-----------|-------------|----------|
| | 実 測 値 | 計 算 値 |
| 5,000 (A) | 18.5 (V) | 18.5 (V) |
| 0 | 18.6 | 18.59 |
| 5,000 | 10.0 | 10.0 |
| 0 | 10.05 | 10.09 |
| 5,000 | 5.0 | 5.0 |
| 0 | 5.04 | 5.08 |
| 5,000 | 2.0 | 2.0 |
| 0 | 2.08 | 2.09 |

(注) 1. 交流入力電圧は一定
 2. 直流出力電圧は 5,000 A \leftrightarrow 0 A 時を示す。

(3) 効 率

整流器用変圧器、相間リアクトル、直流電流計測用分流器、サイリスタ、冷却装置、定電圧制御装置およびこれら機器間の接続導体などを含めた直流電源全体の実測効率は83%で、可飽和リアクトル方式の直流電源と比較すると約3%向上している。

(4) 温 度 上 昇

全装置に対し実負荷で温度上昇試験を行なった結果、サイリスタは約15分で温度一定となりベース部で45℃の上昇整流器用変圧器、相間リアクトルは約6時間で温度一定となりいずれも許容値を下回り、設計値どおりの冷却効果を確認した。

またサイリスタ相互間の電流不平衡は $\pm 15\%$ 以下で期待値以下の結果が得られた。

7. 結 言

以上電解加工機用サイリスタ式直流電源について概説したが、本加工機は新しい工作機械のため今後はさらに大形化することが予想される。直流電流で20,000A、30,000A級に近い将来出現すると思われるが、サイリスタを使用した整流器方式は技術的には特に問題点はない。今回報告した5,000Aの例と基本的回路方式は同様であり、サイリスタの並列数が増大し電流容量が上昇する点に問題が絞られる。すでに日立製作所では500A形のサイリスタが完成しているので、大電流整流器でも並列素子が比較的少なくすみ、小形化されるとともに、回路構成部品も、従来の250A形サイリスタの場合に比べ大幅には増加しない。

5,000A形サイリスタ式直流電源の運転実績により、電解工業用の直流電源としてサイリスタ式が非常に有用であることが裏書されたので、この部門への躍進が期待される。

参 考 文 献

- (1) Metal Working Production: Oct. 31, 81 p. (1962)
- (2) 守田ほか: 日立評論 47, 1034 (昭40-6)
- (3) 川船, 平田ほか: 日立評論 46, 1526 (昭39-6)
- (4) 日立評論 (シリコン制御整流器応用特集) 46, 525 (昭39-3)