

メタルジェット放電制御装置の製作

名古屋大学大学院工学研究科技術部 小林勝司、田村 茂、布目清成

要旨： グロー放電を用いたメタルジェットによる三次元創成加工技術開発には、0.2～5mmの可変電極間に30mA±30mAの放電電流を流せる制御装置が必要である。グロー放電を起こすには、電極間に高電圧を印加してパイロットアークを誘発し電路を形成する。形成された電路に、グロー放電電圧を印加することによって放電を継続させることが出来る。この一連の動作を継続して行うには、高電圧定電流電源が必要となる。今回、高電圧定電流電源の製作と放電時間・休止時間・繰り返し回数を制御できるシーケンシャル回路を組み合わせた装置を製作したので報告する。

1. はじめに

名古屋大学工学部工学研究科超精密工学講座では、超精密加工と超微細加工の新技术開発を行っている。今回、グロー放電を用いたメタルジェットによる三次元創成加工技術開発のため放電加工制御装置が必要となり、平成11年度から始まった工学研究科内の教室技術室ネットワーク管理体制の確立に伴い電気系技術室電子回路製作支援班が依頼され製作する事となった。

2. 制御装置の概要

図1に装置のブロックダイアグラムを、表1に電気的仕様を示す。

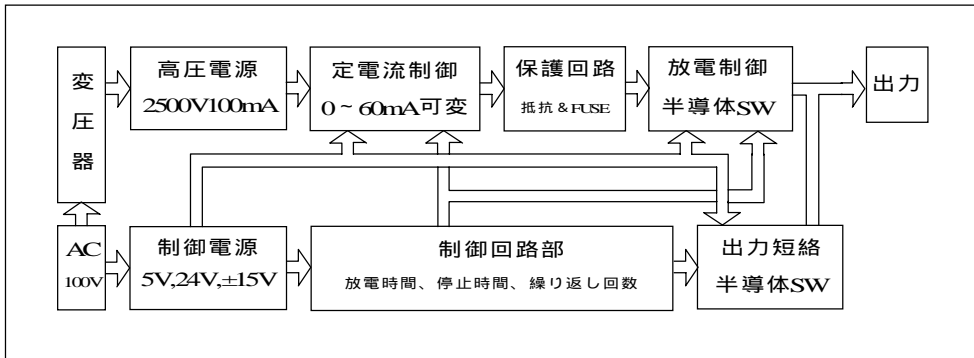


図1 装置のブロックダイアグラム

2.1 放電回路

大気中に電路を形成する場合、一般的に平等電界中1cm 当たり30kVで短絡すると言われている。また、不平等電界中(平板電極 - 針電極)ではどちらの電極を正極又は負極として電圧を印加するかによって異なるが、1cm当たり 5kVとされている。今回製作する放電制御装置は、針電極 - 針電極間で用いられること、電極間隔が最大でも5mmであることからパイロットアーク放電電圧は2.5kV程度で良いものと思われる。パイロットアーク放電に引き続いて行う放電は、電流容量(1mAから60mA)から正規グロー放電となる。グロー放電は真空中(1mmHg)において放電に要する電圧が約300Vとなることが文献より明らかとなっている

が、大気中では何Vを要するか定かではない。検討した結果、本電源は無負荷電圧2.5kV、最大通電電流60mAの定電流電源とした。初期解放状態では、定電流電源の特性から自己の最大出力電圧である2.5kVが出力されることによりアーク放電が生じる。次に、アーク電流が流れることで定電流制御が働き電圧が低下するがグロー放電に移行する。このため、特別にパイロットアーク放電用電源を用意する必要がない。

表1 電気的仕様

項目	仕様
1)電極間隔	0.2～5mm可変
2)電極材料	W, Au, Ni他
3)放電電流	30±30mA可変(アナログ)
4)導通時間	1～99ms可変 デジタル2桁
5)停止時間	1～999ms可変 デジタル4桁
6)繰り返し回数	1～99回 デジタル3桁
7)外部入力	START、STOP(Ext-input)

2.2 定電流電源及び制御方法

1)制御素子並びに駆動方法

定電流電源製作及び放電を制御する素子として、FET・サイリスタ・GTOサイリスタ・IGBTなど色々あるが、制御の仕易さからトランジスタを用いることを検討した。大電流制御用には高耐圧トランジスタもあるが、数A程度の低電流制御用トランジスタは最大でもコレクタ - エミッタ間の耐圧が1300V程度でしかない。このため、入手しやすいトランジスタを従属接続（耐圧800Vカスケード接続4段）し、高耐圧制御が出来る回路方式を採用した。この定電流電源制御部を図2に示す。

これに用いた制御素子として、トランジスタに2SC3457（コレクタ-エミッタ間電圧800V、最大負荷電流3A）、保護ダイオードに1N4007（耐圧1000V）を使用した。定電流電源の電流値を設定し放電制御スイッチを「ON」すると、最初は負荷抵抗「無限大」であるので、出力電圧は負荷電流を流すために自身の出せる最高電圧まで上昇する。この状態で負荷の両端ではアーク放電が起きる。アーク放電状態では負荷は実質的に「ゼロ」

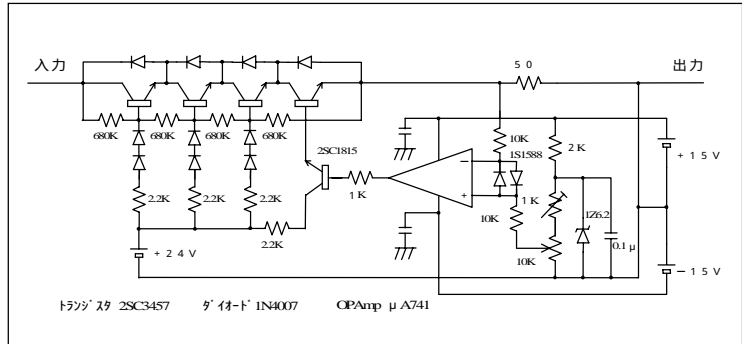


図2 定電流電源制御部

となるため、定電流電源は電流の流れすぎを制御するため電圧を下げる動作をする。このことによりアーク放電が停止しグロー放電に移行する。アーク放電、グロー放電により加熱され溶融した針電極は後退し電極間隔が増大する。グロー放電は図3に示すような空間分布を持っており、放電持続に最も重要なのは陰極暗部である。（ここで、A:アストン暗部、B:陰極グロー、C:陰極暗部、D:負グロー、E:ファラデー暗部、F:陽光柱、G:陽極グロー、H:陽光暗部）電極間隔が増大すると陰極暗部の電圧（陰極降下電圧）が増加する。陰極降下電圧の増加は負荷抵抗増と同様なので、定電流電源はグロー放電を維持するため出力電圧を増加させる。なお、放電制御用半導体SWと出力短絡半導体SWは、定電流制御回路のカスケード接続の部分に応用し製作、フォトカプラを通して制御している。

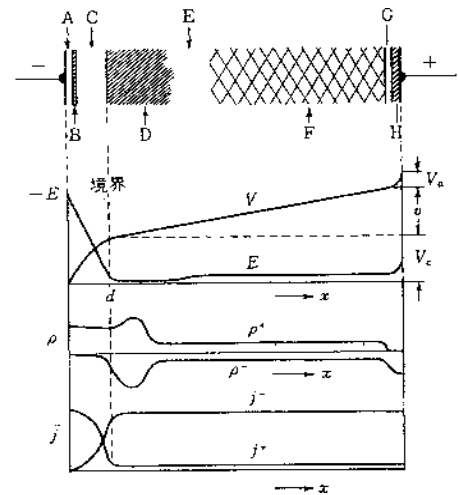


図3 グロー放電空間分布

2)高電圧整流部

定電流電源に必要な高圧整流部は入手しやすいコンデンサ耐圧を考慮して製作した。図4に回路図を示す。コンデンサの耐圧を450WVとし、2次側電圧は電圧変動率を10%考慮した場合、最大で450V/2V/1.1=290Vとなる。アーク放電電圧は約2.5kV程度で良いことから、4倍圧整流と倍電圧整流を組み合わせている。コンデンサの容量は、0.06A×16.7mS=1mCの電荷量がまかなえるコンデンサが必要となる。連続負荷でないことや常時最大電圧を出力しないことから、コンデンサ容量は450WV 100μFのものを用いた。

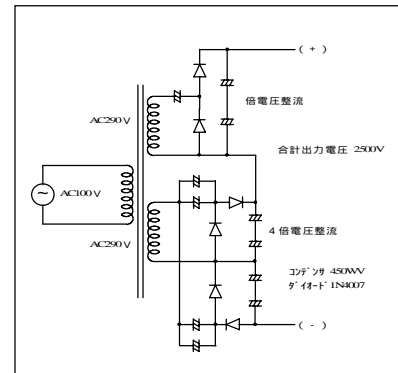


図4 高電圧整流部回路

3)シーケンシャル制御回路

シーケンシャル制御回路は、図5の様なデジタルICを用いた構成とした。駆動の手順は、起動入力により設定された放電電流、放電時間に基いて放電が開始する。放電が終了すると休止時間中に溶融部分を飛翔させるためのAIR駆動制御信号並びに次回放電に必要な溶融電極繰り出し駆動制御信号を出力する。

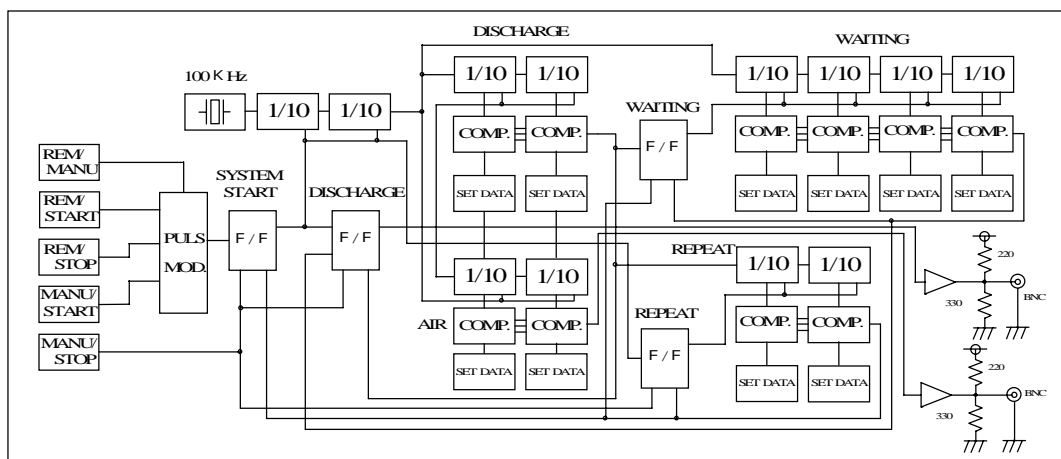


図5 シーケンシャル制御回路のブロックダイグラム

操作に必要な入力は、外部よりと手動操作により行うことが出来る。放電制御用トランジスタSWへの信号は、DISCHARGE用F/F出力よりバッファドライバのICを通して駆動している。各カウンタ回路への信号は、制御時間が1msステップで良いため100KHzの発信源より1/100分周して配分している。入力回路より起動をかけると、SYSTEM STARTのF/Fが「ON」となり信号分周用カウンタゲートを開き、DISCHARGEのF/Fを「ON」させる。DISCHARGEが終了するDISCHARGEのF/Fを「OFF」し、WAITINGのF/Fを「ON」とすると共にREPEATのカウタに1回計数する。WAITINGの動作が終了するとWAITINGのF/Fを「OFF」し、再度DISCHARGEのF/Fを「ON」とする。設定された繰り返し回数が終了するとSYSTEM STARTのF/Fを「OFF」とし動作を停止する。なお、DISCHARGEのF/Fを「ON」する時に、AIR吹き出し用に用意してある減算カウンタへDISCHARGE用プリセット値を設定する。予め設定してある値になるとDISCHARGE終了前に制御用信号を出すようにしてある。この装置は、放電休止時間が設定してあっても繰り返し回数が1回の場合は、放電時間1回で終了することになる。

3. おわりに

放電開始のリード役をはたすパイロットアーク及びグロー放電用の電源を用意し簡単に制御できるものとの認識で製作を開始したが、現実にはパイロットアークからグロー放電への移行プロセスも定かでなく、グロー放電により電極が溶融し電極間隔が開くことによる陰極降下電圧が増大する事が解った。そこで検討した結果、急遽定電流電源を試作することとなった。製作を始めると定電流制御に用いたオペレーショナルアンプの静電破壊や半導体スイッチの漏れ電流による感電等、いくつかの問題が生じたが、一つ一つ泥縄式に対策を講じた結果かろうじて完成した。しかし、ケース内の絶縁分離や高電圧部の引き回し、さらにアナログ高電圧回路とデジタル回路の同居の問題など、検討すべき事項が山積みしている。今後の課題ではあるが、高圧定電流回路のシールド、アース対策、デジタル回路へのノイズ対策も含め改良を行う予定である。

謝辞

この装置製作に当たり、装置全体の構成並びに機能について元機械工学研究科超精密工学講座山口勝美教授、夏目康男研究員、高圧放電について電気工学研究科エネルギー環境システム講座の早川直樹助教授並びにエネルギー変換システム講座横水康伸助教授に助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 電気学会ハンドブック
- [2] 電子回路 吉田典可他 朝倉書店
- [3] 新版 高電圧工学 河野照哉 朝倉書店
- [4] 安定化電源回路の実際 大塚 巖 産報