

シリコン整流器とそのワードレオナード制御への応用

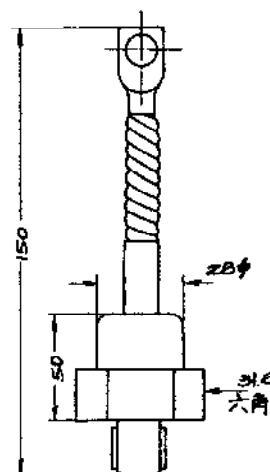
日本電池KK* 河原 林 恒 男

1. まえがき

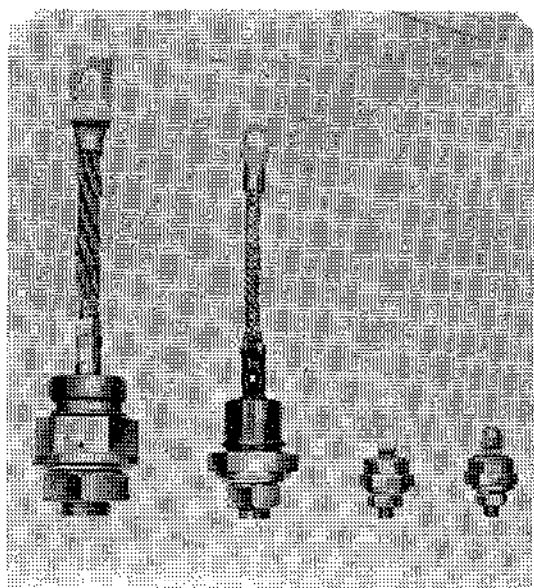
シリコン整流器はこれまでの整流器に見られない数々の特徴を持つものであるため、これが実用化の見通しを得てから僅か数年にしかならないにもかかわらず蓄電池充電用、工場電源用、電鉄用等各方面に使用されるようになってきた。

しかし広範囲な電圧調整を要する直流電源としてはコストその他の点で若干の問題点がない訳ではなかったが、このような点も解決しようとしている。

ここでは最初にシリコン整流素子について概略の説明をした後これの一応用としてのシリコン整流器によるワードレオナード制御装置を紹介する。

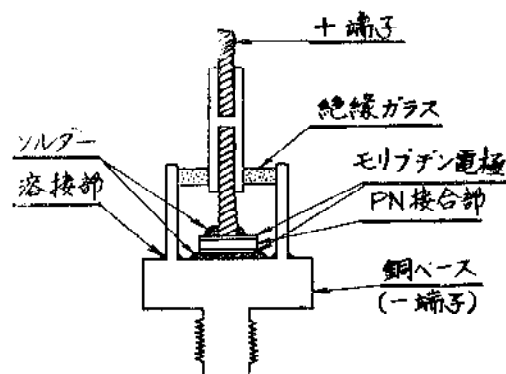


第1図 シリコン整流素子外観



2. シリコン整流素子

シリコン整流素子の外観及び内部構造の例は第1図及び第2図に示す。シリコン整流素子の心臓部分は第2図でPN接合部と記した部分であつてここでシリコンにアルミニウムが不純物として含まれたP形部分と、アンチモニーが不純物として含まれたN形部分とが塊を接している。P形のシリコンに於ては見かけ上正の電荷を持つた正孔が電気を導き、N形のシリコンに於ては負の電荷



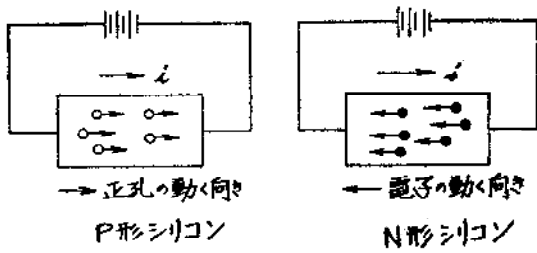
第2図 シリコン整流素子内部構造

を持つた電子が電気を導く。この関係は第3図に示すとおりである。いずれの場合でも単独では外部特性上普通の導体と変わらないが正孔と電子とではその移動方向が逆になっている。しかし上に述べたシリコンのPN接合のようにP形部分からN形部分に連続的に変化した部分では重要な意味を持つてくる。第4図(a)はPN接合を横形的に記したものであり、これに正方向に電圧を加えると(b)のように電流は自由に流れる。

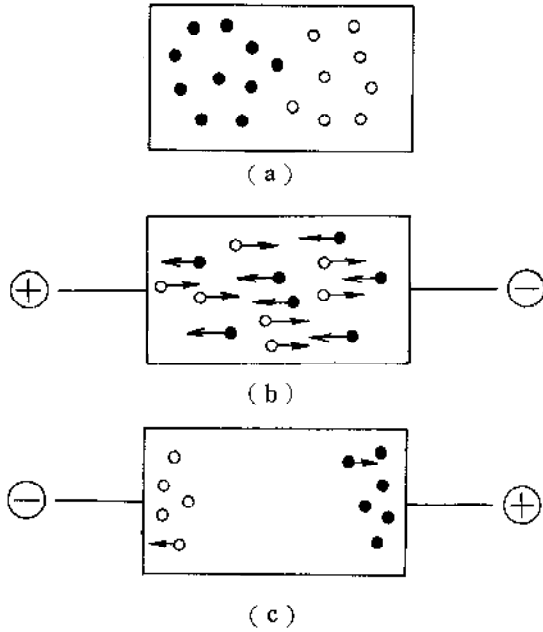
しかるに(c)のように逆方向に電圧を加えると電流はほとんど流れ得ない。これは電気を導く正孔と電子とが夫々電極のほうに引き寄せられて中央部分に電気を導く媒体が欠如してしまうからである。シリコン整流素子はこの正方向の抵抗が極めて高い特徴を持っている。

シリコン整流素子は第5図のような工程で製造され

* 京都市南区吉祥院西ノ庄



第3図 P形及びシリコンの伝導



第4図 P N 接合

る。材料となる高純度シリコンは、99,999,999%程度の純高度のものを、これを通常N形となるようにして単結晶に引き上げる。これを薄く載断して研磨化学処理した後この単結晶シリコン薄片を一部P形に変換するためのアルミニウム薄片及び電極となるモリブデン板等を積重ねて不活性ガス又は真空中で合金する。合金時にアルミニウムがシリコン中に溶け込んでPN接合を形成し



第5図 シリコン整流素子の製造工程

未封入のシリコン整流素子が出来上る。

この未封入のシリコン整流素子は水蒸気等の外気により特性が劣化するおそれがあり、またこのままでは熱の放散が悪いので銅の台座に鑲付けした上気密封じして完成品となる。

シリコン整流素子の特性は正方向では 100 A/cm^2 の電流密度においても電圧降下は約 1 V に過ぎず、逆方向では数 100 V から $1,000\text{ V}$ の電圧で約数 mA の電流が流れる程度であり、従来のいかなる整流器より優秀な特性を持っている。またシリコン整流素子の最高動作温度は 200°C と極めて高い特徴を持っている。

3. シリコン整流器の一般的特徴

シリコン整流器の特徴はすべてシリコン整流素子の特性に由来するもので、これを列挙すると次のようになる。

1. 小形である。
2. 効率がよい。例えば当社で鉛蓄電池化成用として使用している $220\text{ V } 1,600\text{ A}$ のシリコン整流器の運転効率率は補助機器の損失も含めて 95% である。また一般に軽負荷における効率が他の整流器に比べて極めて良い。
3. 周囲温度の変化に鈍感である。PN接合部の動作温度が最高 200°C であるから周囲温度が例えば 40°C から 50°C に上昇しても殆んど問題にならないことは容易に理解されよう。
4. 悪い雰囲気でも使用できる。重要なPN接合部は気密封じされているからシリコン整流素子は雰囲気を問題にしない。むしろ他の補助機器で制限される。
5. 寿命が永い。
6. 保守が簡単である。
7. 据付や移動が簡単である。

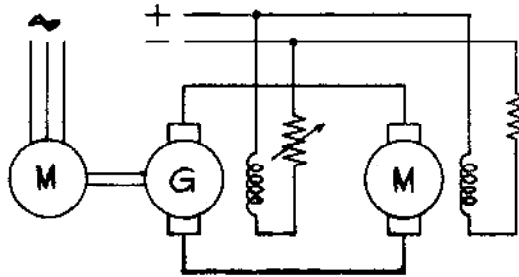
こういった数々の特徴のためシリコン整流器は従来の水銀整流器やセレン整流器の分野を大きく食い破って各種の直流電源に用いられるようになってきた。

4. ワードレオナード制御装置

例えば綿布加工ミル等の定トルク可変速運転を要する電動機制御系としては直流分捲電動機を用い一定界磁のもとに電機子電圧を制御するワードレオナード方式が最も適しているとされる。従来これの可変直流電源としては専ら電動発電機或いは制御格子付の水銀整流器が用いられていた。

第6図は電動発電機を用いたワードレオナード制御装置を示し、誘導電動機 M' に直結された直流発電機 G の

界磁を調整することによりワードレオナード制御をうける直流電動機Mの電機子に加える電圧を制御する。これにより直流電動機Mの速度を最小から最大まで円滑に制御する。直流電動機Mの界磁は別の一定直流電源から供給されている。誘導電動機M'を同期電動機に変えれば交流電源電圧の変動に対して負荷電圧従って直流電動機Mの速度変動をなくすることができる。いずれにしてもこの方式では設備費が大でしかも重量が大であるため据付けや移動に不便な欠点がある。



第6図 ワードレオナード制御装置

この電動機M'と直流発電機Gとに相当する部分を水銀整流器或いはシリコン整流器等の静止器に置き換えたものが静止ワードレオナード方式と呼ばれるものである。静止ワードレオナード用の直流電源はその出力電圧を最低から最高迄円滑微細に調節できることが要求される。また自動制御とするために電源電圧の変動に対して出力電圧が変動しないことが要求される。

5. シリコン整流器を用いたワードレオナード制御装置

第7図は綿布加工エミル用に設計製作されたワードレオナード用シリコン整流器の略結線図を示し以下これにつき概略の説明をする。

入 力 AC 3φ 3,300V ± 5% 60C

出 力 DC 25~220V 400A 88KW

自動定電圧制御範囲 76V~220V

主変圧器 H種絶縁乾式風冷式

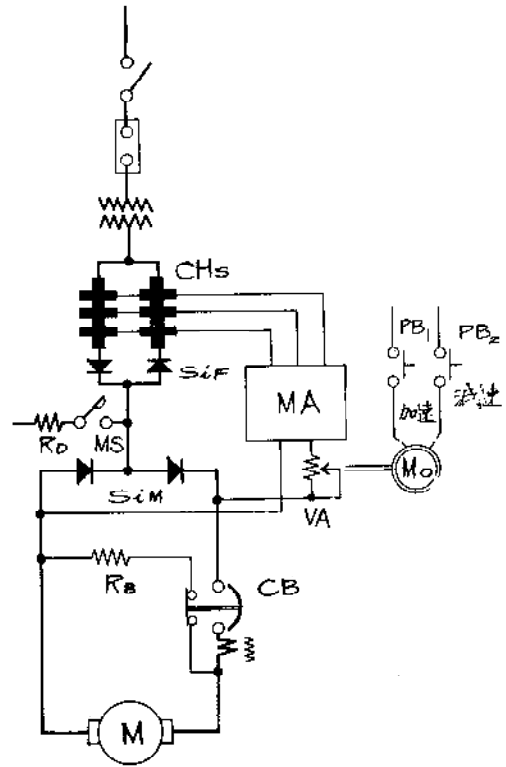
電圧調整方式 直列形可飽和リアクトル方式

運転状況 ワードレオナード制御をうける直流電動機Mの負荷はほぼ定トルク特性を持ち、従って運転速度による負荷電流の変化は著しくない。

正常運転する範囲は最高速度の1乃至1/4即ち直流電圧76V乃至220Vでありこの範囲では電源電圧の変動に対し出力電圧の変動の小さいことが望まれた。

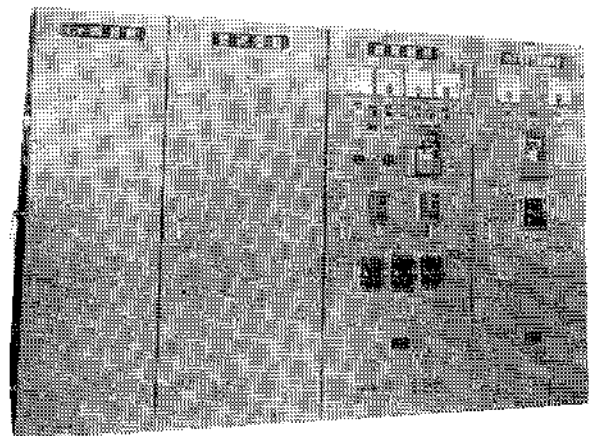
運転に入る時は直流電圧25Vで起動しその後一定の加速時間率で無段階的に加速し上記正常運転範囲内の任意の運転速度で定速度運転する。

シリコン整流器の構成 このためシリコン整流器は直列形の可飽和リアクトルを用いて通常の定電圧制御装置



第7図 ワードレオナード制御用シリコン整流器

- CB 気中遮断器
- CHs 可飽和リアクトル
- M 直流電動機
- Mo 操作電動機
- MA 磁気増幅装置
- MS 電磁スイッチ
- PB₁₋₂ 押しボタン
- RB 制動用抵抗
- R_D むだ負荷抵抗
- SiF 帰還用シリコン整流素子
- SiM 主シリコン整流素子
- VA 設定値調整用可変抵抗



のように構成し定電圧設定値を調整する可変抵抗器VAを操作電動機Moで操作するようにした。即ち出力電圧は操作電動機Moに直結された可変抵抗器VAの抵抗値
(以下32頁へ続く)

(35頁より続く)

で決定されるから操作電動機 M_0 を正転或いは逆転させる。押ばたん $P B_1$ 或いは $P B_2$ を押すことにより直流電動機 M は加速又は減速され離せばその運転速度で定速度運転する。

起動及び停止は気中遮断器 $C B$ の操作により行なうこととし、停止の際には気中遮断器のブレーク接点により制動抵抗 R_D を接続し回生制動を行わせるようにした。また起動の整流器が且負荷となりその出力電圧が上昇して機械的及び電氣的衝撃が大きくなるのを防止するため起動時だけむだ負荷 R_D を挿入するようにした。

運転成績

1. 定電圧特性定(速度特性)；直流電圧 220V 乃至 76V の間の任意の設定電圧において電源電圧の変動士 5% に対し約 0.7% 以内の変動に抑えられた。
2. 効率；最高効率は約 85.5% $\frac{1}{4}$ 負荷における効率は約 84.5% で特に軽負荷における効率のよいのが注目される。

3. 起動特性；起動電流は 600A 以内で機械的衝撃は充分小さかつた。

なお直流電動機 M の界磁は別の定電圧シリコン整流器から供給した。

6. むすび

1. 可飽和リアクトルを用いたシリコン整流器はワードレオナード装置用の直流電源として満足すべき結果を得た。主な特得性は出力 88KW, 起動電圧 25V, 定電圧運転範囲 76V 乃至 220V, 出力電圧変動 $\pm 0.7\%$ 以内であつた。

2. ワードレオナード装置用直流電源としてはこの他水銀整流器或いは誘導電圧調整機を用いたシリコン整流器等があるから負荷の特性, 要求される定電圧精度, 運転状況或いは経済性等を考慮して最も適した方式を選ばなければならない。