

閉ループ制御系における SCR 回路の過渡応答

松 村 文 夫

Transient Response of Silicon Controlled Rectifier Circuit in Closed Loop Control Systems

by

Fumio MATSUMURA

Abstract

Transfer function of silicon controlled rectifier (abbr. SCR) is a very interesting problem. For the present, the time delay of the response of SCR circuit has been neglected or expressed by a first order lag.

In the previous paper, the transfer function of SCR circuit in an open loop control system was analyzed by means of indicial response method and frequency response method.

This paper is intended to make clear the transient response of SCR circuit connecting in a closed loop control system.

By the comparison between the indicial response in a real SCR circuit and the simulation in an electronic analog computer, the following conclusion is introduced: The transfer function of SCR circuit can be approximately expressed by dead time. This result is equal to the conclusion of the previous paper.

But, how to evaluate the harmonic response is an important problem and is left in future.

1. ま え が き

SCR (シリコン制御整流器の略称) は最近、電動機制御とか温度制御などの自動制御系に用いられ初めており、その電気的高性能、小形、軽量などの特長により、ますます用途が広まる機運にある。現在までのところ、SCR 回路の応答の遅れに関しては余り問題にされていないか、または、単に一次遅れの特性として表されてきている¹⁾。特御対象の時定数が充分に大きかったり、飽和などの非線形性を使って制御を行うときには SCR の断続性にもとづく応答の遅れはそれらにかくれて余り問題にはならないが、これから、かなり速い動作を線形の領域で行わせようとする時は SCR の動特性が問題になってくると思われる。

筆者は先に SCR による電流制御回路のインディシャル応答法と周波数応答法による開ループ特性から「SCR 回路の伝達関数は大ききの変化するむだ時間で表せる」としたが²⁾、本文は SCR 回路を閉ループ制御系に入れてその動作特性を調べたものである。

2. 閉ループ制御系におけるインディシャル応答

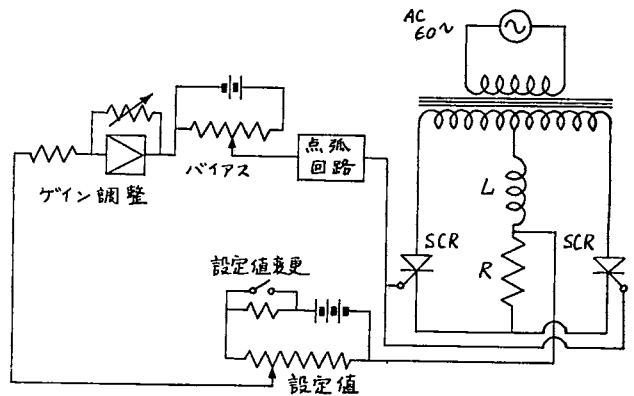
SCR 回路の伝達関数を負荷回路の伝達関数と分離して取り扱うことができるのは負荷に流れる電流が連続している場合のみである²⁾。この実験ではそのために負荷抵抗に直列にインダクタンスを接

続して負荷回路の時定数がある程度大きくする。しかしこの時定数が大きすぎると系全体の応答がそれに大きく影響され、ごく小さいSCRの遅れ時間はそのかげにかくれてしまって、SCR回路の特性をみることができない。そういう観点から本実験では負荷抵抗を 7.0Ω 、インダクタンスを 176mH 、時定数を 25ms (1.5 サイクルの時間に相当する) に選んだ。

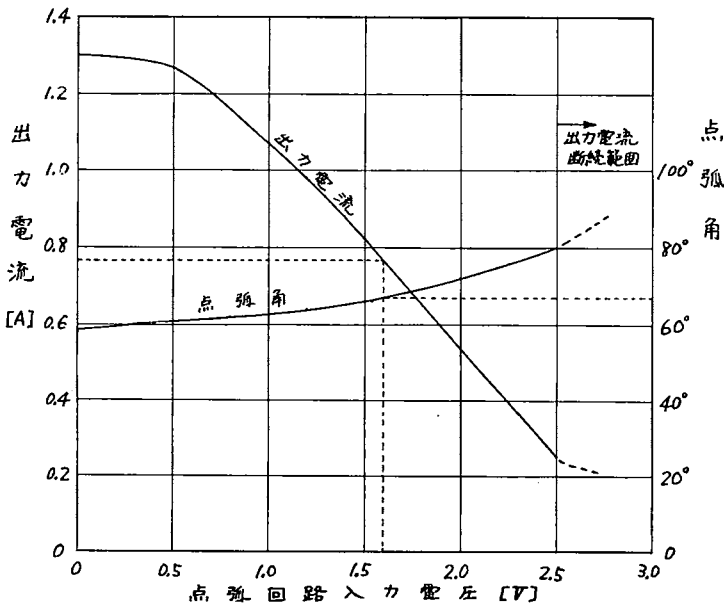
この負荷電流を自動制御するために、負荷抵抗における端子電圧を取り出して帰還を行うが、それと設定値との差の誤差信号を点弧回路に加える途中での補償の方法がいろいろにある。例えば積分回路を入れると、ゲインが十分に大きい場合、この積分と負荷回路の一次遅れにもとづく位相遅れにより 180° 以内の位相遅れを生じ、さらにSCRのむだ時間により 180° 以上の位相遅れを生じて発振を起す可能性がある。このことは実験によっても確かめ、すでに発表した³⁾。

ここでは現象をもっと単純化して観察を行いたいために、単にゲイン調整のみを行った。ただ、ゲイン調整のみの場合は脈動を含んだ出力電流の波形がそのまま増幅されて点弧回路に加わることになり、点弧回路で飽和が起る場合もあるので線形の理論がいつも成り立っているとは限らない。

実験を行った回路を第1図に示す。2つのSCRが交互に点弧し、負荷に整流された電流を流す。この負荷電流による電圧降下と設定値との差を単に増幅し、バイアスをかけて点弧回路に入れる。点弧回路はトランジスタ、ユニジャンクショントランジスタ、ツェ



第1図 インディシャル応答測定回路



第2図 点弧回路とSCR回路の特性

ナーダイオードなどより構成され、入力電圧の大小により発生パルスの位相を変える。このパルスがSCRのゲートに入り、出力電圧を設定値に近づけるように働く。

点弧回路入力電圧と出力電流および点弧角の関係を第2図に示す。点弧回路入力電圧が 1.6V 付近ではこの電圧と出力電流とが直線的になっているので、実験ではこの部分を中心に動作させるようにした。

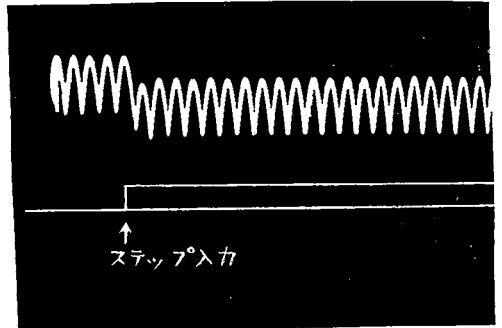
設定値をリレーによりステップ状に変化させ、出力電流を減少させた場合の応答波形の一つを第3図に示す。

脈動の一つ一つの山が点弧から次の点弧までの各半サイクルを示すが、この半サイクルごとを平均

し、なめらかにした曲線を考えて行くと、ステップ状変化が起ってからわずかの時間遅れの後、応答が表れ、第1の半サイクルではオーバシュートが起り、第2半サイクル以降はほとんど最終値に落ち着いている。いわば臨界制動よりいくらか振動的になった応答である。

ゲイン定数が第3図に示したような値以下では臨界制動、過制動の応答を示す。またゲイン定数をこの値以上にするとオーバシュートの大きさは大きくなるが発振までには到らない。これは点弧回路で飽和が起ってしまうため、ゲインを上げた効果が出ないからである。

このことから速い制御を行うためには増幅率を充分に上げてこの飽和を使えばよいし、またある程度遅い応答で線形の応答をもたせるには補償回路に遅れ要素、または 120° 、 240° 、…の成分を吸収するようなフィルタを入れ、脈動分をおさえればよいと言える。

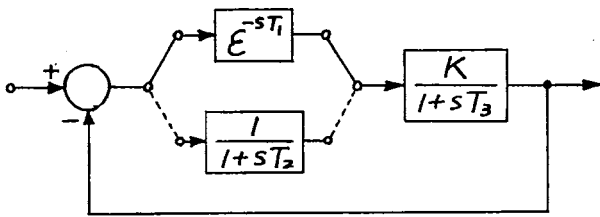


第3図 インディシャル応答 (ゲイン定数 15の場合)

3. アナログ計算機による演算結果との比較

点弧回路も含めた SCR 回路の伝達関数がむだ時間であっても、あるいは一次遅れであっても、インディシャル応答にはオーバシュートを生じることとは同じであるので、先の実験だけからはそのどちらかということを決めることはできない。このことを調べるために NEAC-R2 形アナログ計算機により模擬を行ってみた。

今、SCR 制御回路をブロック線図で書き表す場合に、はっきりしている定数は負荷回路の時定数と、一巡のゲイン定数であるから、この2つの値を持つ一次遅れ要素をアナログ計算機で作っておき、その前にむだ時間要素を接続した場合と、一次遅れ要素を接続した場合の違いを調べればよい。



第4図 模擬するブロック線図

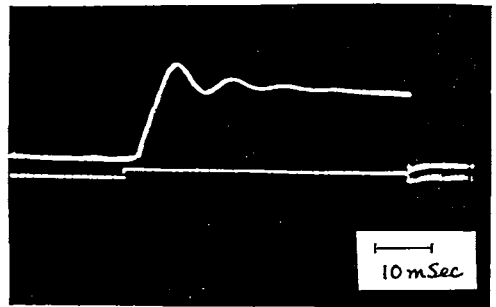
させた。この時の波形を第5図に示す。これはゲイン定数 15、時定数 20 ms の一次遅れ要素と、2 ms のむだ時間要素を用いた場合の応答である。この結果から逆算を行うと SCR 回路のむだ時間は約 2.5 ms (約 0.15 サイクルに相当する時間) となる。ただしこの値は現象の起る位相によっても変り、また脈動を含む応答をどう取り扱うかによっても変る値である。

次に仮に SCR 回路を一次遅れと考えて、模擬を行ってみる。

ゲイン定数 15、時定数 25 ms の一次遅れ要素

(第4図)

ここでむだ時間要素としては、 L 、 C より成る橋絡T形のフィルタを自作し、それを用いた⁴⁾。ただしむだ時間の大きさは 2 ms と一定のものであるから、この場合は制御対象の時定数をいろいろに変えて SCR 回路の応答に近い現象を起



第5図 アナログ計算機による模擬
上…インディシャル応答 下…ステップ入力

と、ゲイン定数1，時定数任意の一次遅れ要素を用いて，その時定数をいろいろに変化し，第5図と同じようなわずか振動的な応答を作ろうとすると，そのために必要な時定数の値が大きくなり，それに応じて応答全体も長い周期のものになる。このことから SCR 回路を一次遅れで表すのは不適當と考えられる。

4. む す び

SCR のような断続的動作を行うものは開ループにおける特性と，閉ループにおける特性とはいくらか異なる様相を呈すると予測されたので，それを明らかにすべく実験を行ってみた。

しかし，SCR 点弧回路および整流回路に存在するわずかの応答の遅れを現象に明らかにしようとすればする程，出力電流の脈動成分が多くなり，その取り扱いが問題となってくる。ここではその取り扱いをごく大まかに見て，アナログ計算機による演算結果との対応を試みてみた。その結果，不完全ではあるけれども，閉ループ系における SCR 回路の伝達関数は一次遅れよりもむしろむだ時間の特性に近いという結論が得られた。しかし，これは遅れ要素が一個だけ接続された場合についてのみ調べた結果であり，要素の数が多くなった場合にはどのような特性を示すかまでは結論できない。

また，脈動を含む応答の取扱いは今後に残された重要な問題と考えられる。

終りにあたり，日頃実験にご協力いただいている川畑佳樹君に深く感謝の意を表す。

文 献

- 1) 例えば 上 山：OHM 51, No. 2, 98 (昭39)
- 2) 松 村：金沢大学工学部紀要 3, No. 2, 163 (昭38)
- 3) 松 村：昭和39年電気四学会連合大会講演論文集, 246
- 4) 松 村, 吉 元：昭和38年電気三学会北陸支部連合大会講演論文集, 30