真空スイッチの直列および並列使用の試み*

東工大 ** 中野義映 +

平野克巳 ++

桑原皓二 +++

(1965年6月28日受理)

ABBSTRACT

The purpose of the work described in this paper is to develop vacuum gap switch systems which has a high operation voltage or a large current capacity.

By the series or parallel operation of the switches the intentions can be achieved. These operations are possible by a special design of trigger electrode and triggering circuit.

By series operation of two switches about twice operation voltage of one's is realized without failing the triggering characteristics. The parallel operation can be also easily made by this method.

* Series and Parallel Operation of Vacuum Gap Switches.

** TOKYO Institute of Technology

+ Yoshiei Nakano

++ Katsumi Hirano

+++ Kohji Kuwabara

§ 1 はじめに

現在までに開発された真空スイッチは、その耐圧、ならびに電流量に関してプラズマ研究用としてはしばしば不十分である。真空スイッチの幾何学的大型化は、必ずしもそれらの要求を満足する手段とはならない。すなわちスイッチ内で電流は集中して流れやすく、電極面積を増しても電流量が増すとはかぎらない。また、耐圧を上げるためにスイッチ内の電極間隙を大きくすると、真空スイッチの特長の一つである電圧の広い範囲にわたって確実な動作を行う性質を損ねるおそれがある。従つて、現在の型式を用いるかぎり、電流量を上げるためには複数個の並列使用、耐圧を上げるためにはその直列使用が考えられる。直列又は並列に接続されているスイッチ群を同時に始動するためにはトリガー回路に対して特別な考慮が必要となる。またトリガー放電を確実に行う構造のトリガー電極も要求される。ここではそのような考慮にもとづいて並列ならびに直列使用に関する研究を行いかなり良好な結果が得られたので報告する。

§ 2 実験装置

2.1 真空スイッチの構造と動作原理

真空スイッチを設計するにあつて、残留インダクタンスを小さくするためと動作時に発生するノイズを小さくするために電極を同軸状とし、動作時において放電間隙を満している放電プラズマが拡散しにくくし、且つ放電電流のピンチ現象のための残留インダクタンスの変化が小さいような構造を選んだ。Fig. 1にその概略が示されている。①, ②は鉄製の主放電電極で、放電開始部分の間隙は4mmである。⑨, ⑩の硬質ガラス円筒と①, ②とで囲まれた空間が排気される。⑤は同軸円筒状トリガー電極で針状電極とその対電極である円筒電極とはテフロン・チューブで絶縁されている。“O”リング⑥, ⑦は円板状金具③, ④で①, ②に圧着されており、⑧は“O”リングで①, ②の四隅に通されたデルリンネジで抑えられて真空を保持している。⑪は放電にともなう各種の蒸気が⑩に附着するのをさまたげる側面に5mmφの孔を明けられたガラス円筒で“O”リング⑩により⑩に支持されている。

①：主放電電極 (1)	③：“O”リングおさえ(1)	⑩：内部ガラス円筒
②：主放電電極 (2)	④：“O”リングおさえ(2)	⑪：保護円筒
⑥⑦ } “O”リング	⑤：トリガーピン	⑬：デルリン棒
⑧⑫	⑨：外部ガラス円筒	⑭：ネジ

真空スイッチの直列および並列使用の試み

Fig. 1 真空スイッチ組立図

⑩の中を主放電電流の帰線が通る。まず主電極間に電圧を印加しておき、トリガーピンにトリガー・パルスが加えられるとテフロン部分の表面に沿面放電がおこり、その際生じたプラズマにより、主電極間に放電がおこる。トリガーピンとその相手の電極の間に空隙があると沿面放電が起りにくく、従つてスイッチとしての動作が不確実となるが、この場合は両電極間はテフロンにより完全に埋められているので動作は確実である上に、消耗にともなう取り替えにも便利である。⑩の中に電流帰路があるためプラズマはピンチ現象をおこすことなく、電流波形にも歪を生じなかつた。

2.2 試験回路と測定法

スイッチ中の真空度は約 5×10^{-5} mmHg で同一の真空系に二個接続された。

試験回路を Fig. 2 a), b), c) に示す。Fig. 2 a) は直列使用の場合の回路である。トリガー用パルス・トランス¹⁾ は、同軸ケーブル (702 V) 8 巻 (平均巻半径 10 cm) のものを使用し、真空スイッチ S_1 ではその一次巻線と直列にトリガー電極が接続され、 S_2 には二次巻線を通して接続されている。始動特性 (トリガー・パルス印加より主放電開始までの時間おくれ、およびそのばらつき) はパルス・トランスの巻線に沿つて巻れたピックアップコイルと、主放電回路に挿入されているロゴスキーコイルの出力波形を同時に観測することにより調べられた。

Fig. 2 b) は並列使用の場合の回路を示す。ロゴスキーコイル R_1 , R_2 の出力は大きさを 2:1 にして差動増巾器の二つの入力端子に同時に接続された。従つて S_1 あるいは S_2 のどちらかのみが動作したときにはシンクロスコープ上の波形が正又は負の方向に大きく振れるが、両者が同時に且つ等量の電流を流したときには上述の場合より波高値の小さい波形が現れる。このような波形とピックアップコイルによるトリガー電流とを同時に観測することにより、始動特性を求めると同時に S_1 , S_2 を流れる電流が等分されているかどうか調べた。

Fig. 2 c) は上述の測定のためになされた真空スイッチについて一個ずつ特性を調べるのに用いた試験回路を示す。

§3 実験結果

3.1 単一の真空スイッチの特性

まず、ここで使用された真空スイッチの耐圧、および始動特性を Fig. 2 c) を用いて調べた。いまの場合には耐圧に対しては特別な考慮が払われていない (例えば到達真空度が低いので 20 KV 前後で自然放電をおこした。従つてそれ以下の電圧に対して始動特性を求めた。

トリガー電流と主放電電流波形の例を Fig. 3 に、結果を Fig. 4 に示す。トリガー電極と向い合っている主電極が正極性の場合が特性が良好であり、0.7 KV 以上の充電電圧に対して大

真空スイッチの直列および並列使用の試み

Fig. 2 試験回路 a)

Fig. 2 試験回路 b)

Fig. 2 試験回路 c)

Fig. 3 トリガー電流と主放電電流の波形

Fig. 4 単一使用の場合の始動特性

真空スイッチの直列および並列使用の試み

体 $0.45 \pm 0.05 \mu\text{sec}$ で動作することがわかる。又充電電圧が数十ボルトの場合でも動作はする。

3.2 直列使用

3.1 で特性を調べた同一型の真空スイッチ 2 個を直列に接続した場合の耐圧および始動特性を Fig. 2 a) を用いて調べた。まず耐圧は一個使用の場合の 2 倍以上になったが、低い充電電圧（数十ボルト）に対する動作も行うことがわかった。いまの場合耐圧は 30 KV 以上であったが、高圧電源の設備の点より上限は調べられなかった。始動特性を Fig. 5 に示す。これより主放電電

Fig. 5 直列使用の場合の始動特性

極 (2) が正極性の場合、充電電圧 1 KV 以上では特性は単一使用の場合と略同一であるが、1 KV 以下では時間遅れが大きくなり、ばらつきも増す傾向をもつことがわかる。トリガ対電極が負極性の場合には、始動特性は単一使用の場合に較べるとかなり悪くなり、且つ 0.3 KV 以下の充電電圧では動作をしなくなる。

3.3 並列使用

上述の同一型の真空スイッチ 2 個を並列に使用した場合の耐圧および始動特性を Fig. 2 b) を用いて調べた。耐圧は 2 個のうちの低い方のスイッチで決まる。始動特性は負荷としてのインダクタンス二通りの場合（約 $3 \mu\text{H}$ 、 $10 \mu\text{H}$ ）について求めた。結果を Fig. 6 a), b) に示す。

Fig. 6 a) 並列使用の場合の始動特性

負荷インダクタンス $10 \mu\text{H}$

Fig. 6 b) 並列使用の場合の始動特性

負荷インダクタンス $3 \mu\text{H}$

真空スイッチの直列および並列使用の試み

インダクタンス $3\ \mu\text{H}$ の場合，トリガー対電極正の際はばらつきは単一使用の場合とさほど変らないが，時間遅れは著るしく充電電圧に依存し， $3\ \text{KV}$ 以上で単一使用の場合の特性と略一致するが，負極性の場合には遅れ時間が大きくなる。

インダクタンスが大きい場合には遅れ時間は大きくなり，且つ主放電電極(2)の極性の効果がはっきりしない。又負極性の際充電電圧 $0.8\ \text{KV}$ 以下では両スイッチとも動作をしなかった。

§ 4 おわりに

以上の実験の結果より次のことがわかる。

- 1) トリガー電極，トリガー回路の構成次第で真空スイッチの特長を損うことなく，二個以上の真空スイッチの直列および並列使用は可能である。
- 2) 直列使用により耐圧は増大する。これはまた高圧用真空スイッチの構成についての示唆を与える。

参 考 文 献

- 1) 林ほか核融合研究 14 13 ('65)