大気中火花放電スイッチの特性^{*}

裴 碩喜, 円城寺 博, 岡本耕輔(理研)^{**}

(1967年2月3日受理)

1. まえがき

第1図に示すスイッチにつき始動電極を接地し, 対向電極を正極性, トリガーピンに負極性のトリガーパルスを入れたときの大気中火花放電スイッチの始動特性を調べた実験結果の報告である。

この型のスイッチについてはこれまで Lupton⁽¹⁾, 林⁽²⁾氏等によってその始動特性が報告されている。このスイッチが動作するには第1図のトリガーピンと始動電極およびその対向電極の三者の協同作用が必要でありそれらの相対的位置関係, 始動電極の構造が重要な因子になってくることが考えられる。

これらに関する研究はあまり見当たらないので筆者らは Ⅰ) トリガーピンの位置, Ⅱ) トリガーピンとその周囲の絶縁物との相対的位置ならびに Ⅲ) 始動電極口径がスイッチの始動特性に与える影響について研究したので報告する。

2. 実験装置

1) トリガーパルス発生器

a) スイッチ1のトリガーパルス発生器:

第2図に示すようにサイトロン3G49P(せん頭陽極電圧25KV, せん頭陽極電流500A, 陰極電流増加率 $2500\text{A}/\mu\text{s}$)と $0.01\mu\text{F}$ のコンデンサを使用した。これを用いてスイッチ1のトリガー電圧として立上り時間 $\sim 60\text{ns}$, 波高値15KVの波を得た。

b) スイッチ2のトリガーパルス発生器:

このトリガーパルスはスイッチ1の閉路によりケーブル・コンデンサ($\sim 20 \times 67\text{pF}$) Z_1 , Z_2 を放電させて発生される。⁽³⁾この方法により最大出力パルス電圧30KV, 立上り時間40ns以内まで得られる。ここでトリガーパルス電圧とあるのは, トリガーパルス発生器 R_1, R_2 (第2図)

* Switching Characteristics of a Spark Switch in Air

** S.Be, H. Enjoji, K. Okamoto

(The Institute of Physical and Chemical Research)

第 1 図 同軸状の気中火花放電スイッチの構造

大気中火花放電スイッチの特性

で測定した値であるが、実際はこの値の倍電圧がトリガーピンの先端にあらわれると考えられる。以下トリガー電圧とあるのは、第2図の $R_1 R_2$ で測定した値である。この方式とは異なるが、他にもケーブルをコンデンサとして用いた例がある。⁽⁴⁾⁽⁵⁾

同軸ケーブル Z_1, Z_2 の長さは各ケーブルを分布定数回路として作用させる必要上、 $\tau < \frac{2\ell}{v}$ の条件を満たしてある。用いたケーブル Z_1, Z_2 の長さは等しい。ここに

τ : パルスの立上り時間

ℓ : ケーブル Z_1, Z_2 の長さ (20 m)

v : 信号の伝搬速度 ($\approx 2 \times 10^8$ m/s)

$Z_1 = Z_2 (= 75 \Omega)$: 同軸ケーブルの特性インピーダンス

同軸ケーブル Z_3 は $Z_3 = Z_1 + Z_2$ になるように接続した。なお、ケーブル Z_3 の長さは5 mである。以上のようにトリガーパルス発生回路を2段にすることにより、立上り時間40 ns以下、最大波高値30 KVのパルスを得た。

2) スイッチ：スイッチ1と2(第1, 2図)は同じ構造であり火花放電電極と電流帰路としての銅円筒を用いそれらを同軸状に配置した。さらにトリガーピンの位置およびトリガーピンとその周囲の絶縁物との相対的位置をそれぞれ第3図と第4図に示す。

3. 実験方法および実験結果：

すでにのべたトリガーパルス発生器(2.1b))を使用した場合のスイッチの始動特性を第2図の如き回路により測定した。すなわち、分圧器とピックアップコイルを用いてトリガー電圧とスイッチの主電流の両波形をシンクロスコープTEKTRONIX 555で観測しスイッチの遅れ時間(トリガー電圧が最大値に至った瞬間からスイッチの主電流が流れはじめるまでの時間)を求めた。分圧器とピックアップコイルはそれぞれ A_ℓ 箱と銅パイプにより厳重にシールドしてある。これらの出力波形の一例を第5図に示す。第5図に $\tau_d + 25$ とあるが、 τ_d はスイッチの遅れ時間、25はケーブル Z_3 を伝搬する信号の伝搬時間(ns)である。

スイッチ電極間印加電圧が自爆電圧の約90%のとき遅れ時間のばらつきは ± 4 ns以下であった。この値は、実際にスイッチを同じ条件で10回放電させて得たものである。ピンを絶縁物(磁器製碍管)先端より2 mm引っ込めた場合(第4図a))とピンの最先端とピン周囲の碍管の最先端とを同一面上に配置した場合(第4図b))と両方についてスイッチの遅れ時間とそのばらつきを測定した結果、両方の場合いづれも殆んど同じ大きさであることがわかった(後述第7, 10図)。

第2章 スイッチの遅れ時間測定回路

大気中火花放電スイッチの特性

h ; 電極面とトリガーピン先端との間隔

d ; 両電極間隙長

第 3 図 両電極とトリガーピン系統との関係位置

第 4 図 トリガーピンと磁器製碍管との相対位置

第 5 図 シンクロスロープでの観測波形

掃引速度 40 nS/div
 主電極間印加電圧 $V_g = 21 \text{ KV}$, トリガ電圧 $V_t = 20 \text{ KV}$
 間隙距離 $d = 8 \text{ mm}$ 口径 $= 6 \text{ mm}$
 トリガピン位置 $h = -1 \text{ mm}$
 τ_d : スイッチの遅れ時間
 $\tau_d + 25$: スイッチの遅れ時間 + ケーブル Z_3 の信号伝搬時間

大気中火花放電スイッチの特性

今後特にことわらない限りトリガーピンとその周囲の絶縁物との相対的位置は第4図a)のように配置したものとする。

始動電極口径が異なる場合、電極間隔 d (第3図a))をパラメータにしたとき電極間印加電圧がスイッチの遅れ時間におよぼす影響を第6～10図に示す。また、第6～9図から求めたスイッチ電極間印加電圧 V_g とスイッチの遅れ時間 τ_d との関係を第1表に示す。これらから次のことが言える。i) 遅れ時間は印加電圧に著しく影響され印加電圧が自爆電圧に近づく程小さくなる。

ii) 電極間隔が短い程遅れ時間は小さい。しかし、自爆電圧が小さくなるため電極間印加電圧が低くなるという欠点がある。iii) ある一定の電極間隔のとき最適の始動電極口径がある。すなわち第1表に示すように印加電圧が自爆電圧の90%のときは口径を大にしていくと10mm迄は変らないが、12mmでは遅れ時間は急に大きくなる。80%以下のときは10mmのものが最小の遅れ時間となっている。口径10mmの場合は第8図のように印加電圧が24KVまで減少しても遅れ時間は約20nsから30nsまでしか増加しない。このことはスイッチの特性として好ましい性質である。

第10図はトリガーピン位置を第4図b)のように配置したとき、スイッチ電極間電圧がスイッチの遅れ時間におよぼす影響を示したものである。第10図を第7図と比較してわかるように $h = -2mm$ の場合については、第4図a), b)のようなトリガーピン配置の違いによるスイッチの遅れ時間への影響は殆んどないことがわかる。次に、トリガー電圧とスイッチの遅れ時間との関係を第11, 12図に示す。

第11, 12図から主電極間に電圧を印加しない状態でのトリガーピンの静的破壊電圧 V_{ts} の150%以上の、トリガーパルス電圧に対して遅れ時間はほぼ一定であることがわかる。

なお、トリガーピンの位置 $h = +2mm$ のときは $h = -2mm$ のときより遅れ時間が大きい。その主な理由は、 $h = +2mm$ の場合の電極間印加電圧の大きさは $h = -2mm$ のときと比べて約半分しか印加出来ないことによると考える。

$h = +2mm$ のときの遅れ時間は100ns以上であった。最後に、トリガーピンとその周囲の碍管との配置を第4図a), b)のようにしたとき、それぞれの場合のトリガーピンの位置(第3図)とスイッチの遅れ時間との関係を第13図に示す。

4. 結 論

本論文は、第1図のごとき大気中火花放電スイッチの始動電極の構造とスイッチの始動特性との関係を始動電極を接地し、対向電極を正極性、トリガーピンに負極性のトリガーパルスを入れたと

第 6 図 スイッチの始動特性 I

大気中火花放電スイッチの特性

第 7 図 スイッチの始動特性 Ⅱ

第 8 図 スイッチの始動特性

大気中火花放電スイッチの特性

第 9 図 スイッチの始動特性 IV

第 10 図 スイッチの始動特性 V

大気中火花放電スイッチの特性

第 11 図 スイッチの始動特性 VI
 (トリガー電圧による変化)

第 12 図 スイッチの始動特性 VII
(トリガー電圧による変化)

大気中火花放電スイッチの特性

第 13 図 スイッチの始動特性 Ⅷ
(トリガーピン位置による変化)

第1表 スイッチ電極間印加電圧とスイッチの遅れ時間との関係

	電極間 印 加 電圧 V_g (KV)	口 径 (mm)			
		6	8	10	12
遅れ時間 τ_d (ns)	$0.90V_{gs}$	15	15	16	25
	$0.80V_{gs}$	35	25	20	32
	$0.70V_{gs}$	175	44	28	42
	$0.60V_{gs}$	560	180	58	64

ただし V_{gs} : 電極間自爆電圧

電極間間隔 $d = 8mm$

トリガーピン位置 $h = -2mm$

きのスイッチの始動特性を実験的に調べたものであって、得られた結果は次のとおりである。

i) 主電極間に電圧を印加しない状態でのトリガーピンの静的破壊電圧 V_{ts} の 150% 以上のトリガーパルス電圧に対して遅れ時間は略々一定である。

ii) トリガーピンの位置 h を負の領域に配置することによりスイッチの遅れ時間を小さくできる。

iii) 始動電極のトリガーピンの口径には、与えられた電極の直径、電極間距離にたいし最適のものがある。

以上の結果から、電極直径 $50mm$ 、電極間隔 $8mm$ のとき始動電極孔径 $10mm$ とし、トリガーピンと碍管との相対位置関係を第4図a) のように配置して使用することが本実験のような電極の極性では最も適していることがわかった。またこのようにすることによりトリガーピンが主放電電離ガスに直接ふれないためトリガーピンの消耗が少ない。

最後に、この研究の過程において電気試験所の杉浦賢、池田長康両氏より貴重など意見をいただいた。両氏に対し謝意を表します。なおトリガーパルス発生器を作る際、御協力を得た当研究室石田祐三氏に感謝します。

文 献

- 1) W. H. Lupton : Proc. Fifth. Int. Conf. on Ionis. Phen. in Gases, Munich (1961)
- 2) 林, 妹尾 : 電学誌 86, 581 (S. 41)
- 3) Wilkinson, KJ.R : J. Inst. Elect. Engrs. 93, p.1098 (1946)
- 4) 杉浦賢 : 未 発 表
- 5) A. E. Bishop et al: J. Sci. Instrum, 39 p. 566 (1962)