誘導電場起動型放電ギャップ・スイッチ*

相沢友勝, 渡辺 厚 (都立高専) **

宮 直之 (日大理工) *** 宮本 徹 (日大原研) ****

(53年10月21日受理)

Abstract

We propose and investigate the gap switch which is triggered by induced electric field. In this switch two electrodes have two gaps, and are arranged in order to compose the secondary circuit to the trigger circuit. Then the trigger circuit can be electrically decoupled with main discharge circuit, so that it is appropriate to the clowber switch of extremely low impedance discharge circuit. Further inventions relating with this switch are described and experimental results are demonstrated.

§ 1. はじめに

核融合の研究, 特にピンチ現象による高温プラズマの発生等パルス炉を目指す研究において, 高電圧, 大電流の高速制御は基礎的な技術的問題の一つである。高電圧, 大電流の制御には, サイリスタ, サイラトロン, イグナイトロン等があるが, 10KV, 数10KAを越す電圧, 電流の高速制御に用いることができるのは, 現在のところ事実上放電ギャップしかない。放電を制御するために従来から用いられているギャップには, 三点ギャップ (第1図a), トリガترون型ギャップ (第1図b), 電界歪形ギャップ (第1図c) 等の種類がある。これらのギャップ・スイッチはいずれも主電極の他に第三の電極を設け, それにパルス電圧を与えて電極間の放電を起動させるものである。

この論文では, 誘導電場による新しい放電の起動方式を提案する。このギャップでは, 従来のギャップに設けた第三の電極は, 本質的には不要となる。その代りに, 主電極の構造等に工夫が要求される。第2図はその概念図の一例を示している。

-
- * Spark Gap Triggered by Induced Electric Field
 - ** Tomokatsu Aizawa, Atsushi Watanabe, Tokyo Metropolitan Technical College
 - *** Naoyuki Miya, College of Science and Technology, Nihon University
 - **** Tetsu Miyamoto, Atomic Energy Research Institute, Nihon University

第1図 各種ギャップ及び使用例

(a) 三点ギャップ

(c) 電界歪形ギャップ

(b) トリガトロンギャップ

(d) クローバー回路及びクローバー・スイッチ

ところで放電ギャップには、放電の始動を制御する始動スイッチ（第1図dの G_s ）として用いる場合と、クローバー・スイッチ（第1図dの G_c ）として用いる場合がある。後者は通常、電流の最大値附近、即ち電極間電圧の低いところで使われることが多い。また、一般に高速大電流回路では、低インピーダンスの回路で両電極間が短絡された形になっているので、クローバー・スイッチを動作させるのに始動スイッチにない困難が起る。そのため、クローバー・トリガー回路のインダクタンスを減らし、トリガーのパワーを大きくしなければならない。しかし、これらには限度があるので、通常クローバー・スイッチが完全に短絡するまでの間、何らかの方法でクローバー・トリガー回路と主放電回路との電氣的結合を減らすことが行われる。その方法として、

(1) クローバー回路へインダクタンスを挿入する方法

(2) 誘電体スイッチ

(3) 高気圧ギャップと低気圧ギャップの直列使用

等がある。しかし、低インピーダンス放電回路において、(1)では起動時にのみ大きなイン

相沢，渡辺，宮，宮本

ダクタンスを作らねばならず，フェライトコアを用いた非線型素子が使われている。(2)では放電ごとに主電極間の絶縁物フィルムを取り換えねばならない不便があり，(3)では真空排気系が必要となる。

これらに対し，誘導型放電ギャップは，ギャップの構造を適当に選ぶならば，クローバー・トリガ回路を主放電回路から原理的には完全に絶つことができるという特長をもっている。クローバー・スイッチに似た事情は，始動ギャップを並列運転する際にも現われる。ギャップの起動に際して，若干のジッターを避けることができないため，もしギャップの直後で並列に接続するならば，短絡の若干遅れた電極を電位差のない状態で起動しなければならない。それ故通常，確実な並列運転のため，ジッターに応じた長さのケーブルが必要である。しかし，誘導型放電ギャップでは，このような配慮をする必要もなくなる。

この論文では，誘導型放電ギャップの基本原理，構造を記述し，それを具体化する上での問題点を明らかにする。また，種々の型の誘導型放電ギャップ，関連する付加的な工夫を示し，予備的実験結果が述べられる。

§ 2. 基本的原理

誘導型放電ギャップ及びこれを始動スイッチとして用いた放電回路の概念図を示したものが第2図である。この図で斜線部分 G ， G' が誘導型放電ギャップの主電極で，コンデンサ C 及び負荷 Z から成る主放電回路に入っている。この主電極とトランス結合するようにソレノイドコイル L_t が配置され，トリガー回路（スイッチ S_t ，コンデンサ C_t ，浮遊インダクタンス

第2図 誘導型放電ギャップ概念図

誘導電場起動型放電ギャップ・スイッチ

L_f)に接続されている。今、 S_t を閉じてトリガー回路に電流を流すと、主電極が二次回路を形成し、その間隙 g_1 及び g_2 に誘導電圧 V_{g1} 及び V_{g2} が発生する。コンデンサ C の充電電圧を V_m とすると、間隙 g_1 及び g_2 間の電圧は

$$V_1 = V_m + V_{g1} \quad V_2 = V_m - V_{g2} \quad (1)$$

となり、 V_1 が自爆電圧を越えれば、主電極 G 、 G' は間隙 g_1 で短絡される。電圧 V_{g1} 、 V_{g2} は一般に等しくないが、間隙 g_1 及び g_2 の静電容量が等しいときには等しくなる。以上が誘導型放電ギャップの基本原理である。

このギャップが短絡するまで、その等価回路は第3図のように表わされる。但し、簡単のため

$$L_{g1} = L'_{g1} + L''_{g1}$$

$$L_{g2} = L'_{g2} + L''_{g2}$$

$$M_1 = M'_1 + M''_1$$

$$M_2 = M'_2 + M''_2$$

$$L_t = L'_{t1} + L''_{t1} + L'_{t2} + L''_{t2} + L_f$$

$$Z_m = Z + 1/i\omega C$$

第3図 誘導型放電ギャップの等価回路

相沢, 渡辺, 宮, 宮本

め回路の抵抗を無視している。今, 電流が, $I \propto e^{i\omega t}$ のように変化するとするならば次式が成り立つ。

$$\begin{bmatrix} \omega_{g1}^2 - \omega^2 + \frac{i\omega Z_m}{L_{g1}}, & -\frac{i\omega Z_m}{L_{g1}}, & -\frac{M_1}{L_{g1}}\omega^2 \\ -\frac{i\omega Z_m}{L_{g2}}, & \omega_{g2}^2 - \omega^2 + \frac{i\omega Z_m}{L_{g2}}, & -\frac{M_2}{L_{g2}}\omega^2 \\ -\frac{M_1}{L_t}\omega^2, & -\frac{M_2}{L_t}\omega^2, & \omega_t^2 - \omega^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{m1} \\ I_{m2} \\ I_t \end{bmatrix} = 0 \quad (2)$$

但し, $\omega_{gi}^2 = 1/C_{gi} L_{gi}$ $i = 1, 2$ $\omega_t^2 = 1/C_t L_t$ である。主回路とトリガー回路がデカップルされているためには, $I_{m1} = I_{m2} \equiv I_m$ であればよい。この条件は

$$\frac{L_{g1}}{L_{g2}} = \frac{M_1}{M_2} = \frac{C_{g2}}{C_{g1}} \quad (3)$$

なら周波数によらず満足される。

トリガー回路と主回路がデカップルされているとき, トリガー回路及び主電極には角振動数

$$\omega_{\pm}^2 = \frac{1}{2(1-k^2)} \left\{ \omega_g^2 + \omega_t^2 \pm \sqrt{(\omega_g^2 - \omega_t^2)^2 + 4k^2 \omega_g^2 \omega_t^2} \right\} \quad (4)$$

で振動する電圧が発生する。ここで, $\omega_{g1} = \omega_{g2} \equiv \omega_g$, $M_1 + M_2 = M$, $L_{g1} + L_{g2} = L_g$ 及び $k^2 = M^2/L_g L_t$ とおき (3) 式の関係を利用した。通常, $\omega_g \gg \omega_t$ なので二つの角振動数は

$$\omega_+^2 = \frac{\omega_g^2}{1-k^2} \left\{ 1 + \left(k \frac{\omega_t}{\omega_g} \right)^2 + \dots \right\} \quad (5)$$

$$\omega_-^2 = \omega_t^2 \left\{ 1 - \left(k \frac{\omega_t}{\omega_g} \right)^2 + \dots \right\} \quad (6)$$

と近似できる。このとき

$$q_t = \int^t I_t dt = \sum_{j=1}^4 q_{tj} e^{i\omega_j t} \quad (7)$$

$$q_m = \int^t I_m dt = \sum_{j=1}^4 q_{mj} e^{i\omega_j t}$$

$$\omega_1 = \omega_+, \quad \omega_2 = -\omega_+, \quad \omega_3 = \omega_-, \quad \omega_4 = -\omega_- \quad \text{とおくと,}$$

$$\frac{q_{mj}}{q_{tj}} = \frac{M}{L_g} \frac{\omega_j^2}{\omega_g^2 - \omega_j^2} \quad (8)$$

の関係が成り立つ。t = 0における初期条件が、 $q_t = C_t V_{t0}$ 、 $I_t = q_m = I_m = 0$ で与えられるとき、各 ω に対応する解は

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ \omega_+ & -\omega_+ & \omega_- & -\omega_- \\ \frac{\omega_+^2}{\omega_g^2 - \omega_+^2} & \frac{\omega_+^2}{\omega_g^2 - \omega_+^2} & \frac{\omega_-^2}{\omega_g^2 - \omega_-^2} & \frac{\omega_-^2}{\omega_g^2 - \omega_-^2} \\ \frac{\omega_+^3}{\omega_g^2 - \omega_+^2} & \frac{-\omega_+^3}{\omega_g^2 - \omega_+^2} & \frac{\omega_-^3}{\omega_g^2 - \omega_-^2} & \frac{-\omega_-^3}{\omega_g^2 - \omega_-^2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_{t1} \\ q_{t2} \\ q_{t3} \\ q_{t4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_t V_{t0} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (9)$$

となる。これから

相沢, 渡辺, 宮, 宮本

$$\begin{aligned}
 q_{t1} = q_{t2} &= \frac{1}{2} C_t V_{t0} \left(\frac{\omega_-}{\omega_g} \right)^2 \frac{\omega_g^2 - \omega_+^2}{\omega_-^2 - \omega_+^2} \\
 &\simeq \frac{1}{2} C_t V_{t0} \frac{\omega_t^2}{\omega_g^2} k^2 = \frac{1}{2} C_{g1} V_{t0} \left(\frac{M}{L_t} \right)^2
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
 q_{t3} = q_{t4} &= \frac{1}{2} C_t V_{t0} \left(\frac{\omega_+}{\omega_g} \right)^2 \frac{\omega_g^2 - \omega_-^2}{\omega_+^2 - \omega_-^2} \\
 &\simeq \frac{1}{2} C_t V_{t0} \left\{ 1 - \left(\frac{M}{L_t} \right)^2 \right\}
 \end{aligned} \tag{11}$$

を得る。これに対応して

$$q_{m1} = q_{m2} \simeq -\frac{1}{2} C_{g1} V_{t0} \frac{M}{L_t} \tag{12}$$

$$q_{m3} = q_{m4} \simeq \frac{1}{2} C_{g1} V_{t0} \frac{M}{L_t} \tag{13}$$

が得られる。それ故、角振動数 ω_+ に対応して主電極の間隙に発生する電圧の振幅は

$$|V_g| = \left| \frac{2q_{m1}}{C_{g1}} \right| = \frac{M}{L_t} V_{t0} \tag{14}$$

となる。誘導放電であるためトリガー・パルスの立ち上りは一見遅いように考えられる。しかし、(5), (14) 式から必ずしもそうでないことが分る。即ち、 ω_g は C_g が小さいため非常に大きく、もし M/L_t があまり小さくなければ、高周波、高電圧のトリガー電圧が主電極間に発生し得る。主電極が短絡し始めた後は、ほぼ $\omega_t / \sqrt{1 - k^2}$ の立ち上りで大きなトリガー電流が流れ、電極間の短絡を完了させる。

次に主放電回路とトリガー回路がデカップルされていないときを考えよう。これは(3)式が満たされていないときでこのときも、もし主回路のインピーダンスが十分大きいときは、事

誘導電場起動型放電ギャップ・スイッチ

情は殆んど変らない。主回路のインピーダンスが十分小さいときは、主電極の低インピーダンス側の間隙と主回路が二次回路を形成することになる。これは通常両回路間の相互インダクタンス M を下げることになり、好ましくない。しかし、その場合も主電極の低インピーダンス側と主放電回路により作られる電流路と、クローバー・トリガー回路との相互インダクタンスを小さくするよう接続することにより、主回路の影響を少なくできる。

トリガー回路の一次側について考えよう。このギャップの起動は基本的には一次側トリガー回路の電圧によって決まる。一次回路の L_f/L_t を小さくするには限度があるので、大きな起動電圧を二次回路に発生させることはしばしば困難となる。それ故、マルクス・ジェネレータ型の放電やブルームラインをギャップに一体として使用する等の工夫が必要となる。さらに、電極の一方の間隙に電圧が集中するような構造にすることも可能である。

起動の実際面では、起動が誘導型であるので、二次回路の電極の短絡を確実にすることが特に要求される。この目的で第4図のようなトリガー・ピンを付けることが有効である。

第4図 誘導型放電ギャップ（トリガー・ピン付）及び放電回路

トリガー・ピンは主電極間を短絡させようとする位置で、トリガトロンの場合と同様に、主電極の一方の電極 G' と極く狭い間隙で二ヶ所に取り付けられている。この二本のトリガー・ピンは低抵抗 R_1 を通し、誘導電圧がピンとピンを取り付けた電極との間に集中して発生するよ

相沢，渡辺，宮，宮本

うに接続されている。従って，トリガー・ピンに別のトリガー・パルスを与える必要はない。
二本のトリガー・ピンを結ぶ際，巻数を増すことにより間隙に生じる電圧を大きくすることも可能である。

誘導型放電ギャップの原理に基づいた若干のギャップ例が第5図に示してある。第5図(a)は一方の主電極Gを短く，他方の主電極G'を伸ばしたものである。同図(b)は主電極G₁～G₃からインダクタンスL₁を切り離した構造のものである。主電極部は第1図(a)に示した三点ギャップと似ている。しかし三点ギャップの中間電極G₂は，ギャップを起動させるためのトリガー・パルスを与える役割のものである。これに反し，第5図(b)の電極G₂はトリガー用の電極ではなく，他の電極G₁，G₃と共に主電極になっている。これが三点ギャップと異なっている。

誘導型放電ギャップをクローバー・スイッチとして用いた放電回路の等価回路は第6図のようになり，これまでの議論はそのまま成り立つ。

第5図 誘導型放電ギャップの例

誘導電場起動型放電ギャップ・スイッチ

第6図 誘導型放電ギャップ（クローバー・スイッチ）の等価回路

§ 3. 実験装置及び測定方法

第7図 試験した誘導型放電ギャップの構造

相沢, 渡辺, 宮, 宮本

実験には主に第7図のような対称構造の誘導型放電ギャップを使用した。トリガー回路のコンデンサ C_t はアルミ箔とマイラー・シートを重ね合せて作られ、主電極 G , G' の上下に密着するよう置かれている。重ねる枚数を増減させて C_t の値を変えることが出来る。トリガー用電極 G_t と主電極 G , G' 間は仕切られ絶縁されている。主電極の間隙は 3.5 mm で、自然放電電圧は約 11 kV である。片側の主電極には 3 mm の穴が明けられ、直径 1 mm のタングステン製円柱電極がトリガー・ピンとして付いている。誘導型放電ギャップを始動スイッチとして用いた放電回路は第4図である。主放電回路のコンデンサ C 及び負荷 Z から見て、間隙 g_1 側と g_2 側とが対称になるよう結線されている。コンデンサ C_t 及び電極 G_t は一種のマルクス・ジェネレーターを構成し、同時にトリガー回路のコイルを兼ねている。トリガー・ピンを結ぶ抵抗は $R_1 = 1\ \Omega$ である。この値はトリガー・ピン回路のインピーダンスがトリガー回路のインピーダンス ($2.5\ \Omega$) より小さくなるよう選ばれている。この放電回路の主定数は第1表に示す通りである。また、誘導型放電ギャップをクローバー・スイッチとして試験した回路の定数も第1表に示されている。全インダクタンス及び放電周期はクローバーしないときの値である。

放電波形の観測にはログスキーコイルを使用した。放電特性は数十回の準備放電の後に測定された。主放電回路コンデンサの充電電圧 V_m を 1 kV , トリガー回路コンデンサの充電電圧 V_t を 2 kV ごとに変え、各点で五回放電を観測した。この論文では便宜上、五回の放電により放電率を定義する。

第1表 放電回路主定数

	主 放 電 回 路		トリガー回路
	始動ギャップ	クローバーギャップ	($C_t = 0.033\ \mu\text{F}$)
最大電圧	$\leq 11\text{ kV}$	$\leq 11\text{ kV}$	$\leq 16 + 16\text{ kV}$
エネルギー	$\leq 30\text{ J}$	$\leq 30\text{ J}$	$\leq 4.2 + 4.2\text{ J}$
コンデンサ容量	$0.5\ \mu\text{F}$	$0.5\ \mu\text{F}$	$0.033/2\ \mu\text{F}$
全インダクタンス	$1.0\ \mu\text{H}$	$3.2\ \mu\text{H}$	$0.1\ \mu\text{H}$
放電周期	$4.4\ \mu\text{s}$	$8.0\ \mu\text{s}$	$0.25\ \mu\text{s}$

§ 4. 実験結果

4.1 ギャップ特性

はじめに、二本のトリガー・ピンを使わず（抵抗 R_1 を無限大にして）実験を行った。典型的な放電特性を第8図に示す。放電率100%（5/5）となる最低電圧を○印で、放電率0%（0/5）となる最大電圧を×印で示してある。放電率100%を示す直線より上側は起動放電領域であり、放電率0%を示す直線より下側は非放電領域である。トリガー回路の電圧が高ければ、主コンデンサ充電電圧 V_m が低くても主電極は放電することが分る。トリガー・ピン用の穴のないギャップで同様に実験した結果も第8図とほぼ同じ放電特性を示した。

第8図 ギャップ放電特性(1)

トリガー・ピンを結線しない場合 $C_t = 0.033 \mu F$

相沢，渡辺，宮，宮本

第8図の電圧 V_t はコンデンサ C_t の充電電圧であり，主電極の間隙に加わる電圧 V_g ではない。トリガー回路を放電すると，主電極には $2 V_g$ の電圧が生じ，二つの間隙に平等に電圧がかかる。その V_g は直接測定が困難なので，これを見積るため $V_g = \alpha V_t$ とおくことにする。間隙に生ずる電圧が自然放電電圧 V_s (11KV) に達したとき放電すると仮定すると，(1)式より

$$\alpha = \frac{V_s - V_m}{V_{t, \min}} \quad (15)$$

となる。ここで $V_{t, \min}$ は各電圧 V_m に対し主電極を放電率100%で放電させるのに必要な最低の電圧 V_t である。 α は第8図の結果及び上式を用いて第2表の通り求められ，その平均値は約0.6である。一方，第7図のギャップ構造を考慮すると $M/L_t = 0.3 \sim 0.8$ と推定できる。(14)式から α を M/L_t とおけば， α は妥当な値である。

次に，トリガー・ピンを抵抗 R_1 に結線して実験を行った。その放電特性を第9図に示す。同じ V_t で起動放電可能な領域は第8図と比べると第9図において低い。これはトリガー・

第2表 主電極間隙に誘起される電圧のトリガー回路電圧に対する比

V_m (KV)	$V_{t, \min}$ (KV)	$V_s - V_m$ (KV)	$\alpha = \frac{V_s - V_m}{V_{t, \min}}$
0	16	11	0.69
1	14	10	0.71
2	14	9	0.64
3	14	8	0.57
4	12	7	0.58
5	8	6	0.75
6	8	5	0.63
7	6	4	0.67
8	6	3	0.50
9	4	2	0.50
10	2	1	0.50

第9図 ギャップ放電特性(2)

トリガー・ピンを結線した場合

$$C_t = 0.033 \mu F$$

ピンと主電極G'間の放電は電圧 $V_t \geq 6 \text{ KV}$ のとき確実に起った。トリガー回路及び主回路の典型的な電流波形を第12図に示してある。電流波形の観測から推定されるギャップの始動時間遅れは、放電率100%の状態では100 ns以下であった。^{*}

以上の実験はトリガー回路のコンデンサ容量 $C_t = 0.033 \mu F$ で行われた。容量 C_t をこの値の二倍まで増加しても特性に大きな違いは見られなかった。しかし、容量 C_t を減ら

* これ以下のジッターは現在使用中のオシロスコープでは測定できなかった。

相沢, 渡辺, 宮, 宮本

すと特性に変化が現われた。その例を第10図 ($C_t = 0.017 \mu F$) 及び第11図 ($C_t = 0.0013 \mu F$) に示す。第10図の起動放電領域は第9図と比べ電圧 V_m の高い方へ移

第10図 ギャップ放電特性(3)

トリガー・ピンを結線した場合

$$C_t = 0.017 \mu F$$

っている。容量を極端に小さくすると、第11図のように電圧 V_m の低い領域で起動放電ができなかった。

ギャップの放電特性は次のように要約できる。

(1) 適当な電極構造及び条件の下で誘導電場により始動の制御が出来る。

第11図 ギャップ放電特性(4)

トリガー・ピンを結線した場合

$$C_t = 0.0013 \mu F$$

- (2) トリガー・ピンを付けることにより、主電極を放電させるのに必要なトリガー回路の電圧を低くできる。
- (3) トリガー・ピンを付けることにより、主電極の放電が不安定な領域は狭くなる。
- (4) トリガー回路の電圧を高くすれば、主電極はたとえその間の電圧が零でも放電する。
- (5) トリガー回路のエネルギーを小さくすると、起動放電させ得る電圧 V_m には下限がでる。

4.2 クローバー放電

クローバー回路の主放電は8KVで行われた。トリガー回路のコンデンサ充電電圧 $V_t \geq 1.2 \text{KV}$ ，トリガー・ピンを使用するとき任意の時刻でクローバーすることが出来た。典型的な電流波形を第13図に示す。

第12図 トリガー回路電流波形 (A) 及び
主放電回路電流波形 (B)

第13図 クローバー放電電流波形 (A) 及び
非クローバー放電電流波形 (B)

§ 5. 検討及びまとめ

この論文では、誘導電場により起動させる放電ギャップを提案、検討すると共に、この原理に基づき試作されたギャップの特性を調べた結果が述べられた。

誘導電場起動型放電ギャップでは、ギャップの起動を効果的に行うため、主電極とトリガー回路との相互インダクタンスを十分大きくすることが必要である。同時に、短絡後すなわち、主放電回路とトリガー回路がデカップルされなくなった後、両者の結合を小さくするため、その間の相互インダクタンスを小さくすることが必要である。試作ギャップはこれらのことに注意して作られた。(14)式及び実験結果から $M/L_t \simeq \alpha \simeq 0.6$ である。この α の見積りの際に放電電圧を自然放電電圧で置き換えた。しかし、パルス電圧が印加される実際の場合、これは α を過小評価することになっているであろうから、主電極とトリガー回路の結合はより大きいであろう。主電極の短絡後に主放電回路とトリガー回路間の相互インダクタンスを減らすため、主放電回路の電流がトリガー回路と垂直に流れるよう接続された。しかし、第12図から分るように主放電回路にトリガー回路の電流がかなり流れている。これはこの実験に用いられた主放電回路のコンデンサのエネルギーが小さいことによっている。我々の通常の実験条件で、主回路とトリガー回路の放電エネルギーは、それぞれ 16 J 及び 5 J 程度である。

次に放電のジッターは、確実に起動放電できる領域では観測の範囲内で認められなかった ($< 100 \text{ ns}$)。(5),(6),(12),(13)式から主電極には、振幅が同じ $V_t M/L_t$ の二つの角振動数 $\omega_+ = \omega_g / \sqrt{1-k^2}$, $\omega_- = \omega_t$ の振動電圧が発生する。振動数の小さな後者の $1/4$ 周期は、 $T_{1/4} = (1/4)(2\pi/\omega_t) \simeq 60 \text{ ns}$ である。従って、現在の結果だけから放電の起動が ω_+ により起っているのか ω_- によって起っているのかを決めることはできない。しかし、 ω_+ により決まる場合には、ジッターは極めて小さくなることも期待できる。

誘導電場起動型なのでギャップの起動放電を確実にすることが重要であり、第4図に示すトリガー・ピンを付けることが有効であった。これによりトリガー電圧を下げることも可能であった。しかし、トリガー回路コンデンサのエネルギーを限度を越えて小さくすると、ギャップの起動放電はできなくなり、たとえトリガー・ピンを付けても改善できなかった。これは電極間の短絡を完了させるため必要なエネルギーに下限があることを示している。二つのトリガー・ピン間の抵抗 R_1 は、目的から考えてあまり大きな値にすると意味がない。ピンとピンを取り付けた電極との間でのみエネルギーが消費されず、電極間に放電が起る程度の値に選ぶのが良いであろう。

相沢，渡辺，宮，宮本

以上の誘導型放電ギャップは通常の放電ギャップと殆んど同様に取扱える。しかも，高速回路のクローバー・スイッチとしてそのまま使用でき，コンデンサの並列運転の際には，起動放電のジッターを考慮することなくギャップ直後で短絡できる。

このギャップと関連して，更に始動スイッチとクローバー・スイッチを一体化した構造のギャップ・スイッチが望まれる。これについては次の論文で述べる。

最後に，有益に議論をして下さった池田長康，北川史郎氏等に感謝いたします。

新 着 文 献

- (1) R.C. Kunze et al.

4th Symp. on Engineering Problems in Thermonuclear
Research, Rome (1966)

- (2) W.C. Nunnally et al.

Rev. Sci. Instrum. 45 (1974) 1361

- (3) S. Kitagawa and K. Hirano

Rev. Sci. Instrum. 46 (1975) 729