HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	放電管による電気接点の火花消去
Author(s)	三浦, 良一; 河合, 利明; 音川, 寛
Citation	北海道大學工學部研究報告, 16, 179-196
Issue Date	1957-06-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40602
Type	departmental bulletin paper
File Information	16_179-196.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

放電管による電気接点の火花消去

三浦良一
河合利明
音川寛

(昭和32年2月28日 受理)

Quenching of the Contact Discharge by a Discharge Tube

Ryôichi MIURA
Toshiaki KAWAI
Hiroshi OTOKAWA

Abstract

This paper is intended to present the posibility of using a cold cathode discharge tube as the spark quenching element at an electric contact, and the time-lag of the discharge is discussed.

A small neon lamp, having a rated current of 0.3 ma, perfectly quenches the contact spark in the circuit of 50 ma. and 1.5 henries.

Furthermore, a considerably long life can be expected for a repeated operation, since the static characteristic of the lamp did not change even after the operation of 18000 times.

This device, however, is not effective for the breaking arc condition, which occurs when the current is larger than the minimum arc current. Still, this difficulty can be avoided by the additional use of a small parallel condenser.

A discharge tube can be successfully used in place of resistance-capacity elements in simplex and duplex quenching circuits. It has also the merits of low cost and of the requirement of a small space for its installation.

In a very dark place, the problem of time-lag must be solved, but the intensity of illumination below 0.1 lux can sufficiently reduce the time-lag. Theoretical discussions on the experimental results in this paper suggest a kind of field emission. This suggestion must be remarked, because the macroscopic field strength is about 10^3 V/cm.

目　　次

I. 緒　　言 …… 2
II. 放電管による火花消去効果 …… 2
II. 1. 使用放電管の特性 …… 2
II. 2. 火花消去効果の実際 …… 3
II. 3. 火花消去理論から見た放電管消去法の意義 …… 5

II. 4. 実用性の考察 …… 5
III. 冷陰極放電管における放電のおくれ …… 6
III. 1. 測定方法 …… 6
III. 2. 測定結果 …… 7
III. 3. 理論的検討 …… 14
IV. 結 言 …… 17

I. 緒 言

放電は一般に弁作用をもつから電圧サージの吸収に用いることができるのであつて，比較的高電圧に対しては避雷器として実用されているところである。放電電圧の低い放電管を弱電流回路における接触放電の消去に用いる試みは古くはあつたようであるが現在実用されていない。その理由としては放電電圧が高いこと及び連続動作に対して信頼性がないこと等が考えられるが一応再検討を要すると思われる。

電話の交換回路は周知の如く極めて多数のリレー接点を使用しているが比較的軽負荷の接点は必ずしも火花消去回路を有せず保守上の難点となつている。現場的にこの問題を解決するためには消去回路に対する場所の余裕及び価格の点が考慮されなければならない。小型放電管による火花消去の実用性の検討はかくして問題となつたものである。

以下詳述するように，放電管消去法は従来の ($C-r$) 消去回路に代りうる性能を有するものであるが，極めて暗黒な場所では放電のおくれが長くなつて消去効果は充分でない。著者は基礎的にこの問題を追求した結果，放電のおくれの電圧依存性について注目すべき知見を得た

なお，本論文の主要な部分は昭和31年11月2日に電気三学会北海道支部連合大会において著者等により発表されたものである。

II. 放電管による火花消去効果

本章においてはネオンランプ及び定電圧放電管を実際の電気接点に並列に接続してその火花消去効果を検討した結果を述べる。なお，実験の結果を参考にして火花消去理論の上から放電管による消去回路のもつ意味について考察を試みる。

II. 1. 使用放電管の特性

実験に使用した放電管はM社の小型ネオン管 NL-6 及び定電圧放電管 VR-75-GT，VR-105-GT であるが実用上の見地から主として前者を使用した。

NL-6 型ネオン管の公表されている特性は第1表に示した通りであるが，火花消去の目的には大きな尖頭値の電流を通ずる必要があり且つ個々の放電管について必らずしも同一の特性を示さないので約20個について電流対電圧特性を測定した。定格電流が 0.3 mA であるから 2～3 mA で異常グローの傾向が著しくなり電流を低下すればヒステレシスを示した。しかしこの

第 1 表

消費電力 (W)	電源電圧 (V. AC)	安定抵抗 (kΩ)	放電開始電圧 (V. DC)	定格電流 (mA)
0.05	100	100	105	0.3

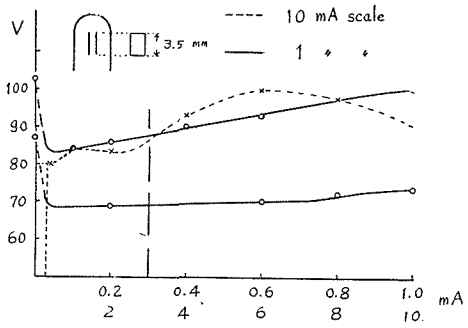

Fig. 1. Current-voltage characteristics of NL-6 type neon lamps.

第 2 表

名称	放電開始電圧 (V)	電極間電圧 (V)	動作電流範囲 (mA)	電圧変動 (V)
VR-75-GT	105	75	5～40	2
VR-105-GT	113	105	5～30	4

程度の過電流では特性はやがて回復するが 5～10 mA を相当時間通ずれば永久的な変化を生ずる。Fig. 1 に代表的な測定結果と放電管の寸法を記入した。

定電圧放電管の特性は周知であるからその定格のみを第 2 表に示しておく。

II. 2. 火花消去効果の実際

実験は Fig. 2 の回路で行なわれた。供試接点 S は GS 合金の電話用リレー接点である。主回路は $E=50$ V, $R_0=450\,\Omega$, $r_c=550\,\Omega$, $L_0=1.48$ H であつて接点電流 I_0 は約 50 mA となる。従つて放電管 D.T. は接点解離時に最大 50 mA の電流を通ずる必要があるがこの値は定格電流の約 160 倍である。かくて寿命の点が問題になるから度数計 T_c を用いて動作回数を測定しうるようにした。接点の端子電圧と電流はブラウン管オツシログラフで観測した。その時間軸は単掃引として起動用リレー T_s により掃引を接点開閉に同期せしめた。

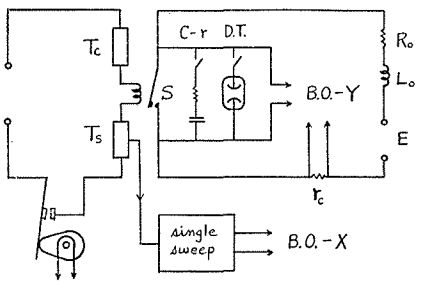

Fig. 2. Experimental circuit for observing the spark quenching effect.

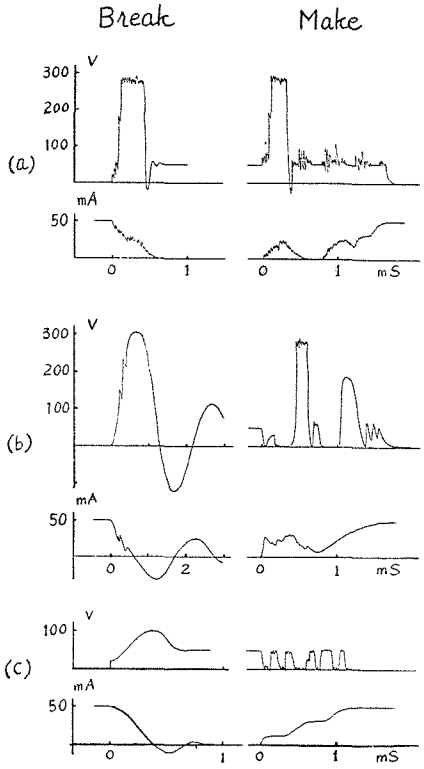

Fig. 3. Oscillograms showing the quenching effect of C—r circuit.
(a) without quenching circuit
(b) $r=0$ $C=0.014\ \mu$F
(c) $r=300\ \Omega$ $C=0.5\ \mu$F.

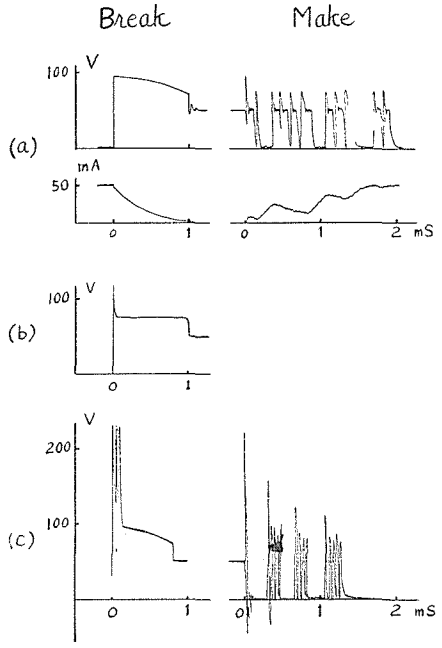

Fig. 4. Oscillograms showing the quenching effect of discharge tube.
(a) NL-6 (light)
(b) VR-75-GT (light)
(c) NL-6 (dark).

Fig. 3 (a) は消去回路のない場合のオツシログラムであつて解離時に約 0.5 mS の間グローを生じている。また閉成時の波形は接点に躍動のあることを示す。(b) は $r=0$, $C=0.014\ \mu$F の消去回路を用いた場合であつて C の容量不足のため再放電を生じているが, $r=300\ \Omega$, $C=0.5\ \mu$F では (c) のように火花が発生しない。

放電管を使用した場合は Fig. 4 (a), (b) の如く静的な放電電圧以上の電圧ピークは完全に吸収され火花消去の目的は達せられている。寿命の推定のために NL-6 について開閉各 9000 回の連続動作試験を行なつた。従つて放電管は 18000 回動作した訳であるがその前後における電流対電圧特性は殆んど変化がなかつた。故に実用上十分の寿命があると考えてよいと思う。

次に注意を要する点は放電のおくれである。即ち暗室内での実験中 Fig. 4 (c) の如き異常に高い放電開始電圧がしばしば観測され, この時接点間には明らかに火花の発生が認められた。このような放電のおくれは外部からの照射によつて改善されることは当然予想されるところであるが, 予備的な実験では手提ランプの間接光でも十分の効果があり, また時計用発光塗料をネオン管に塗布したところ初期には十分の効果があるが次第に減少することが知られ

た。放電のおくれについては次章で詳述する。

II. 3. 火花消去理論から見た放電管消去法の意義

C—r 消去回路の火花消去理論は已に詳細に論ぜられ設計方針も知られているが放電管を用いる場合には理論上如何なる効果を期待すべきかを検討しよう。

放電管消去回路の最も大きな特長は閉路条件にある。即ち放電管の電極間容量は極めて小さいから閉路時の突流を妨ぐ為の抵抗 r は不要である。従つて開路時の火花条件及びグロー条件としては放電管の放電開始電圧のみを考慮すればよい。放電開始電圧を 100 V 以下とすることは容易であるからグロー条件は当然満足される。火花条件も従来考えられていた最小火花電圧に対しては問題なく成立するが最近の研究[1] によれば条件によつて可成低い値をとりうることが認められているので注意を要する。しかしこの問題は主として閉路時の放電開始に関するものであつて他の消去回路に対しても同様であり，C を有しないことはこの場合でも放電管の利点である。

アーク条件に対しては放電管は有効でない。放電開始電圧をアーク電圧まで低下せしめることは困難でもありまた接点解離後の放電停止を不可能ならしめるから実現性に乏しい。従つて接点電流が最小アーク電流 $I_{\min}$ を超える場合には単独使用は効果がない。しかし C—r 型消去回路にいても I_0 が大きい場合に r の合理的な設計が不可能になるものであつて複式火花消去回路[2] が提唱されている。その簡単な (C—r, C) 型は Fig. 5 のような回路であつて r は主に閉路条件に対応せしめ，アーク条件には比較的小容量の C_2 を以て対処せんとするものである。従つてこの場合においても放電管は C_1—r 要素に代置されるのであつて放電管を用いた複式回路が考慮されなければならない。

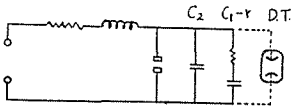

Fig. 5. Duplex type spark quenching circuit.

次に再放電条件について考えよう。接点間の絶縁回復は次式で与えられるものとする。

$$V_r = V_{s\min} + f(vt,\ t)$$

解離時における初期の最小火花電圧 $V_{s\min}$ は閉成時とは異なり I_0 によつて影響されることに注意を要する。もしアークを発生せずに開路が行なはれたとすれば $V_{s\min}$ が 100 V を超える間隙は条件の悪い場合でも 10^{-4} cm 程度である。解離速度 v を 10 cm/s とすれば 10 μS に相当する。前記の複式回路の場合に C_2 が 10 μS 位の間アークを抑制しうるならば放電管は以後の再放電を完全に防止しうるのである。

II. 4. 実用性の考察

以上述べたところによつて放電管火花消去法の有用性は明らかであろう。放電開始電圧は 60～70 V となしうるのであるから回路電圧に応じて適当に設計すればよい。寿命の点に関し

ても18000回の連続動作試験によつて十分な実用性が証明された。

火花消去理論の見地から放電管消去法はアーク条件を除くすべての条件，即ちグロー条件火花条件，閉路条件，再放電条件等を満足しうるものであることが考察された。アーク条件に対しても比較的小容量のコンデンサーを並列に用いることによつて相当の改善が可能である。

価格，所要容積の点からも (C—r) 型に比して特徴を有する。多要素放電管を用いれば更に有利であろう。従来比較的軽負荷の接点には特に消去回路を用いないことが多く接点保守上いろいろの問題を生じているが施設現場で簡易に用いうる方法として差当つて検討すべきであると考える。

III. 冷陰極放電管における放電のおくれ

冷陰極放電管を火花消去用として使用する場合に当初心配された寿命の点つにいては十分な実用性が確認されたが，暗所においては放電のおくれを生じて短時間の火花発生が見られた。この問題は避雷器などにおける不整の現象に関連して研究[3]が行なわれているが著者は種々の照射条件における放電のおくれを実測して理論的な検討を行なつた。本章においてこれを記述する。

III. 1. 測定方法

著者は次の二通りの方法によつて放電のおくれを測定した。

その第一は時間と共に直線的に上昇する電圧を印加して放電電圧を測定する方法であつて Fig. 6 の回路を用い放電電圧はブラウン管オツシログラフによつて測定した。電圧上昇速度は R, C によつて 2.4～60000 V/s の間に変化したが直流電源として1000 Vを用いたので200 V附近までの測定範囲では充分な直線上昇性を有する。よく知られているように放電後しばらくは残留効果のために放電電圧が低下し，一方放電のおくれは本質的にばらつきがあつて多数の測定を行なう必要があるから八田氏[4]にならつてサイラトロン Th. を図の如く用い放電を短時間で停止せしめた。即ち放電電流による電圧降下によつて Th. を起動し，r_1 の電圧降下によつて供試放電管 D.T. の端子電圧を降下せしめ放電電気量を小さくすることにつとめた。これによつて残留効果を減少させうるのであつて八田氏の通信用避雷器に関する研究では約10分の休止で十分

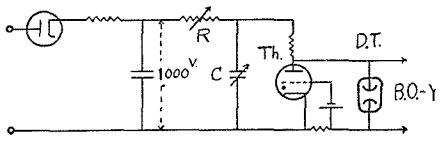

Fig. 6. Measuring circuit I.

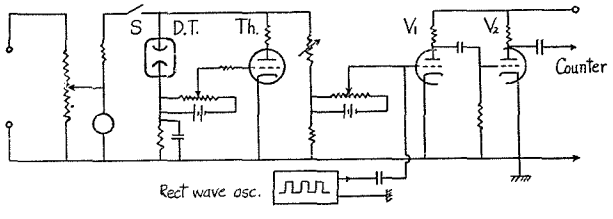

Fig. 7. Measuring circuit II.

とされているが著者の場合は約1時間を必要とした。

第二の測定法は一定直流を印加して直接におくれの時間を測定する方法であつて，印加電圧の影響を定量的に知ることができる。Fig. 7 はその回路である。S を閉ぢて D.T. に電圧が印加されると同時に V_1 のゲートが開き計数装置は矩形波発振器よりの 1000 サイクルのパルスを計数する。D.T. が放電すれば Th. が起動してゲート V_1 が閉ぢ計数は止む。V_2 は位相反転管である。

従来の理論によれば統計的な放電のおくれに対する印加電圧の影響は小さいが，著者は第一の測定法によつて印加電圧の影響が大きい事を推定し第二の測定法によつてこれを確認した。

照射は主として 12 V の燈火用ランプを用いたが Fig. 8 は端子電圧と放電管の位置における照度の関係を示したものである。

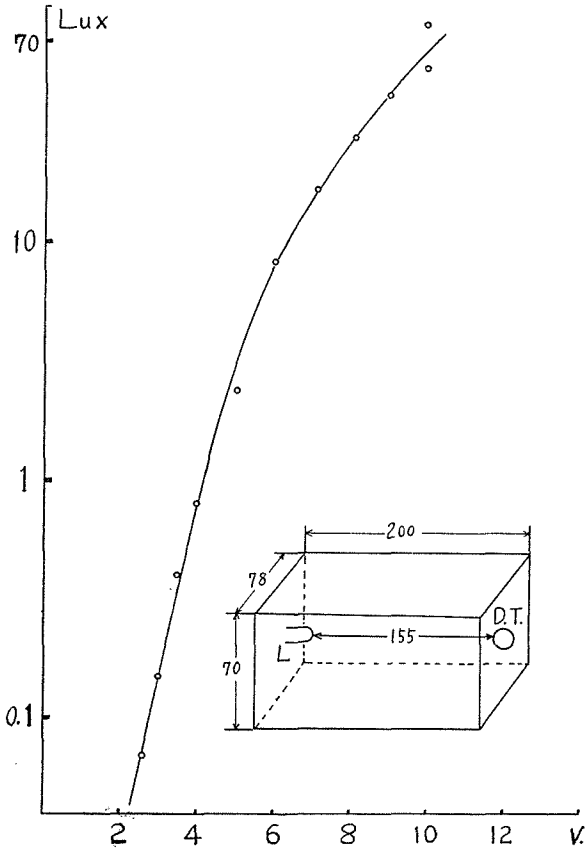

Fig. 8. Variation of the illumination at the position of the discharge tube (D.T.) by the terminal voltage of the lamp (*L*, rating 12 V).

III. 2. 測定結果

予備実験によれば 0.1 ルクス以上の照射があれば放電電圧の不整は少なく，照射度によつても殆んど変化しない。このような照射条件を明所と称し 70 ルクスを標準とした。暗所というのは Fig. 8 の木製暗箱を閉ぢた状態をいう。

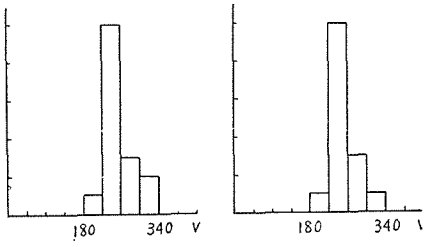

Fig. 9. Distributions of discharge voltages of NL-6.
v=2600 V/s, dark.
Left No. 8, right No. 10

明所において電圧上昇速度 v と放電電圧 V_s との関係を 10 個の NL-6 につき 5 回ずつ測定した結果を第 3 表に示す。電圧上昇速度としては 2.4, 10, 100, 2600, 60000 V/s をとつたが表には上から下へ順に 2.4, 100, 60000 V/s における放電電圧を記入した。放電電圧の平均値は電圧上昇速度に

第3表 明所における放電電圧

(各三つの値は上から順に 2.5, 100, 60000 V/s における値)

D.T. No.	V_s					
	I	II	III	IV	V	Mean
1	89	91	88	91	89	89.6
	91	89	92	92	92	91.2
	97	97	97	97	97	97.0
2	86	83	83	81	81	82.8
	81	82	82	82	83	82.0
	95	97	95	97	97	96.2
3	85	88	86	86	85	86.0
	92	89	86	86	86	87.8
	100	100	100	100	100	100.0
4	89	91	89	89	88	89.2
	89	88	89	89	91	89.2
	100	102	102	102	102	101.8
5	88	89	86	88	86	87.4
	88	88	88	86	89	87.8
	102	102	105	105	105	103.8
6	100	103	99	100	100	100.4
	100	103	101	101	101	101.2
	100	97	102	102	102	101.6
7	86	94	85	86	85	87 2
	86	86	88	86	86	86.4
	97	97	97	97	97	97.0
8	86	94	85	88	86	87.8
	89	89	91	91	91	90.2
	97	96	97	97	97	96.8
9	81	81	78	78	78	79.2
	77	78	78	78	78	77.8
	89	92	92	92	92	91.4
10	103	105	103	103	103	103.4
	104	104	104	108	105	105.0
	121	121	121	121	121	121.0

第 4 表 暗所における放電電圧

(各三つの値は上から 2.5, 100, 60000 V/s における値)

D.T. No.	V_s 100	200	300	400	500	Mean
1	95—144					105.6
	96———253					162.6
		233———380				320.1
2	88—133					102.6
	96———266					158.0
		255———505				385.9
3	90—140					105.2
	100———340					155.8
			360—405			387.5
4	93———170					117.0
	93———320					191.6
				445—495		464.0
5	100—133					112.1
	100———240					164.6
		246———405				285.7
6	92—110					97.7
	96———180					127.3
			300———465			368.5
7	85—125					98.8
	92———253					126.0
				388———455		417.6
8	90———147					100.6
	92———213					132.5
				360———487		448.1
9	85—110					93.0
	85———220					125.0
				360———505		417.5
10	113—150					131.2
	147———230					200.5
		220———300				265.0

関せず殆んど一定であり放電のおくれは 1 mS 以下である。

暗所においては放電のおくれが大きくなり不整現象もそれに伴なつて大きく，少数の実験個数の算術平均をとることは推計学的に問題があるが種々検討の結果 10 回の測定値を平均することにした。 Fig. 9 は 2600 V/s における放電電圧の度数分布を D.T. No. 8 と No. 10 について示したものである。 第 4 表には 2.5, 100 及び 60000 V/s における放電のおくれの各 10 回の測定値の上限及び下限と平均値とを示した。平均放電電圧は電圧上昇速度と共に増大するがその増大率は個々の放電管によつて異なつている。代表的な例として増大率の大きい No. 8 の特性と増大率が飽和の傾向を示す No. 10 の特性とを Fig. 10 に画いてある。図の曲線 I, I′ が

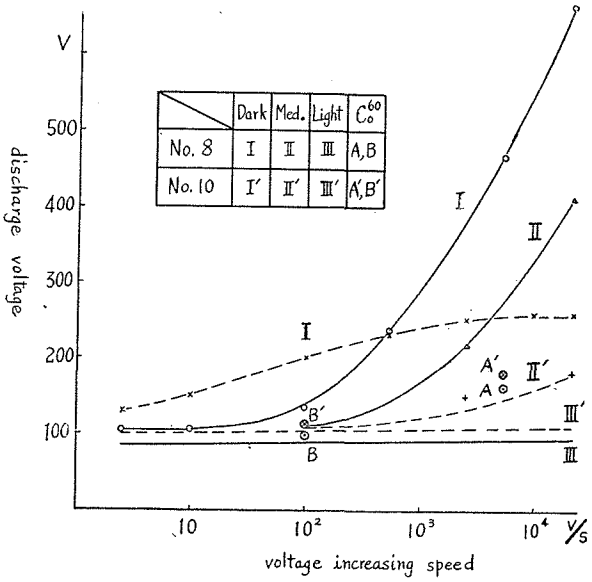

Fig. 10. Relation between voltage increasing speed and discharge voltage.

それであつて増大率の大きい I の場合においても放電のおくれを一定と仮定した場合の予想増大率に比すれば著しく小さいのであつて印加電圧による放電のおくれの減少が推論される。曲線 I′ では特にその傾向が著しく，印加電圧が 250 V 程度で放電のおくれが急激に減少することを示している。なお図の曲線 III, III′ は同じ放電管の明所における特性であつて増大率は極めて小さい。

明所と暗所の中間特性を示すような照度を知るために照射ランプの電圧を 10 V (70 ルクス) から次第に低下して実験を行なつたところ，1.5 V でようやく放電電圧の上昇を認めた。Fig. 8 から分るようにこの時の照度は測定不可能であつた。これを中間照度と呼ぶことにし測定結果を第 5 表に示した。また No. 8 と No. 10 の特性を Fig. 10 に曲線 II, II′ として記入した。

第 5 表 中間照度における放電電圧
(各二つの値は上から 100, 60000 V/s における値)

D.T. No.	V_s 100	200	300	400	Mean
1	103——160				116
			255——428		333
2	95—117				101
				380——428	395
3	85—95				88
		214——392			309
4	85—100				91
		160——390			298
5	87—96				92
		215——350			294
6	105——162				129
			255——333		284
7	92—112				99
				340——392	376
8	94—117				107
			273——427		376
9	85—94				88
			253——400		349
10	100—109				103
		220——278			241

次にラジオアイソトープによる照射の影響を測定した結果を述べる。1ミリキューリーの Co^{60} を用いて 10 cm の巨離から照射し電圧上昇速度としては 100, 5000 V/s をとつた。No. 8 と No. 10 についての測定値を Fig. 10 に点 A, B 及び A', B' として記入したが, これから分るように相当強い放射ではあるが 1.5 V のランプ照射と同程度の効果である。放射強度を知るために G-M 計数管でやはり 10 cm 離して測定した結果 700 カウント/秒 を得た。G-M 計数管の有効面積は約 4 cm^2 である。

以上のように第一の測定法による測定の結果印加電圧による放電のおくれの変化が認められたので, 第二の測定法を用いて電圧印加から放電までの時間を直接測定し, 過電圧率と放電のおくれとの関係を求めた。第 6 表は 10 個のネオン管について測定した結果で, 各印加電圧における放電のおくれの平均値を暗所及び中間照度について示してある。V_{s0} は明所における

第 6 表 印加電圧による放電のおくれの変化
(上欄は暗所，下欄は中間照度における値)

D.T. No.	V_{s0}	Impressed voltages (V)					
		95	100	120	150	200	250
		Time lag (sec)					
1	92	32.0 —	— 0.27	45.0 —	3.2 0.136	10.6 —	1.85 0.058
2	83	12.5 —	— 0.34	10.4 —	4.6 0.536	5.7 —	6.84 0.12
3	85	12.7 —	— 0.07	10.3 —	6.5 0.104	13.3 —	4.15 0.046
4	90	16.5 —	— 0.09	14.6 —	8.1 0.080	21.3 —	8.16 0.028
5	86	38.2 —	— 0.04	7.9 —	10.1 0.031	11.4 —	7.53 0.007
6	92	13.0 —	— 0.17	6.6 —	6.5 0.139	7.7 —	3.28 0.053
7	86	13.8 —	— 0.24	4.4 —	6.5 0.241	4.6 —	3.74 0.022
8	87	20.6 —	— 0.33	10.2 —	11.4 0.143	7.0 —	2.07 0.025
9	78	3.9 —	— 0.01	3.3 —	2.1 0.05	1.7 —	0.75 0.023
10	103		— 0.05	55.6 —	5.7 0.013	0.04 —	0.000 0.000_4

第 7 表 過電圧率対放電のおくれ
(上欄は暗所，下欄は中間照度における値)

D.T. No.	Over voltages $\alpha^V = \frac{V-V_{s0}}{V_{s0}} \times 100$ % / Time lag T_l sec.					
8	15.8	22	46.4	83	144	205
	20.6 —	— 0.33	10.2 —	11.4 0.143	7.0 —	— 0.025
10	0.5	26	50.8	101	150	
	— 0.05	55.6 —	5.7 0.13	0.04 —	— 0.000_4	

静的放電電圧である。この中 No. 8 と No. 10 について過電圧率 $a_V=(V-V_{s0})/V_{s0}\times 100\%$ と放電のおくれとの関係を整理したのが第7表である。 Fig. 11 にはこの関係を図示した。

次に残留効果を検討する為に一定の電圧を一定の時間間隔で印加して放電のおくれを測定した。 Fig. 12 は No. 8 について暗所で 200 V を印加した実験結果であり，時間間隔は 30 秒，3 分，10 分とした。この程度の休止時間では初回のみが長い放電のおくれを示しており残留効果が明瞭である。しかし第2回以後の平均レベルは休止時間の長い程高くなつており，次第に回復の傾向にあることが知られる。

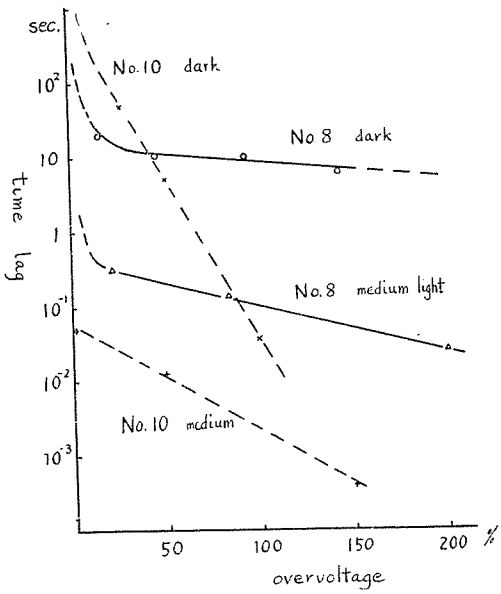

Fig. 11. Relation between overvoltage and time lag of NL-6.

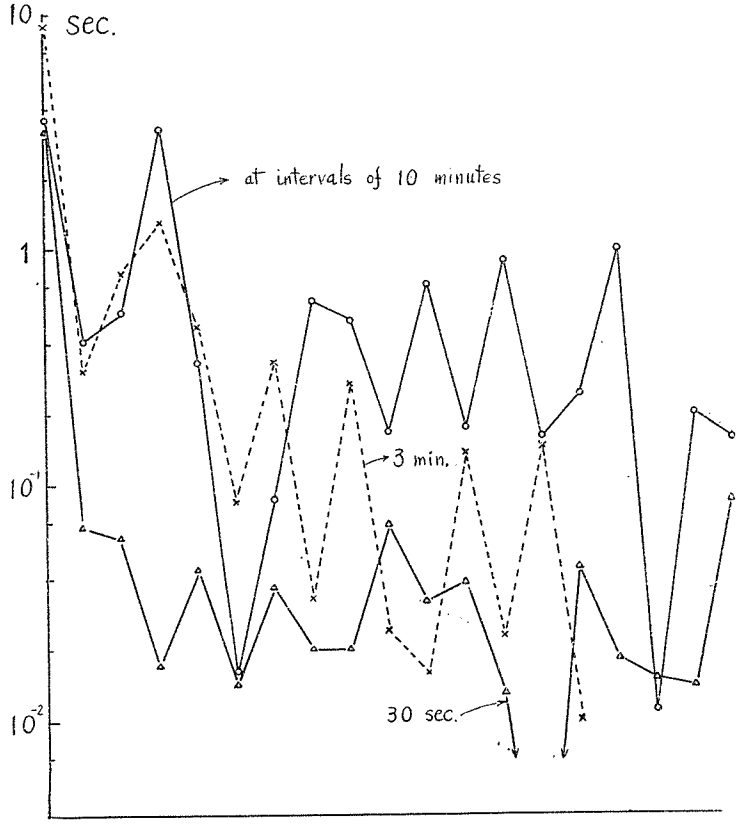

Fig. 12. Variations of time lag of NL-6 in each trial of constant time interval.

同様の実験を VR-75-GT に 110 V を印加して行なつた結果，30 秒程度の休止時間で殆んど残留効果が認められない程度まで回復することが知られた。そこで休止時間を 30 秒にとつて印加電圧による放電のおくれの変化を測定して Fig. 13 の結果を得た。

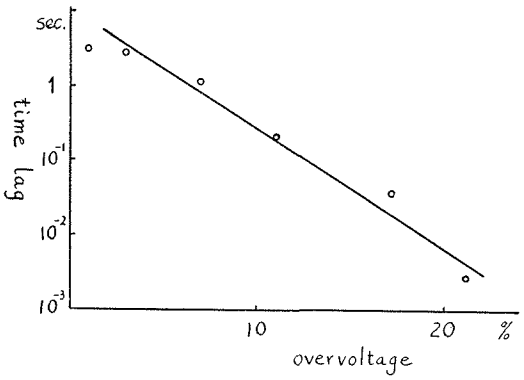

Fig. 13. Relation between overvoltage and time lag of VR-75-GT.

III. 3. 理論的検討

前節に述べた実験結果から，冷陰極放電管は暗所において異常に長い放電のおくれを有すること，このおくれは極めて微弱な照射によつて著しく小さくなること，過電圧によつて放電のおくれが大きく変化すること等が知られた。本節においてこれらの諸点につき理論的検討を試みる。

放電開始のおくれは二つの要素から成つておりその性質から統計的おくれと形成のおくれに分類される。前者は電圧を印加してから放電形成が始まろうとするまでの時間おくれであつて，放電開始に有効な電子の毎秒発生数 N_0 とこの電子が放電を開始せしめる確率 W とによつて定まり統計的な性質をもつものであるが，その平均値は次式で与えられる。

$$T_s = \frac{1}{W \cdot N_0}$$

N_0 は主として各種の放射線または荷電粒子による光電効果，二次電子放射によるものとされており，前放電の残留電荷もまた主要な原因となるものである。照射によるおくれの減少は主として N_0 の供給によるものである。W に関しては Herz の理論式があり，陽イオン衝撃による二次電子放出係数 γ が小さい場合には次式の関係がある。

$$\frac{\ln(1-W)}{-W} = \mu = \gamma(e^{\alpha d}-1)$$

α は電子の衝突電離係数，d は電極間距離である。Fig. 14 は $(\mu-1)$ に対する $1/W$ を図示したものである。

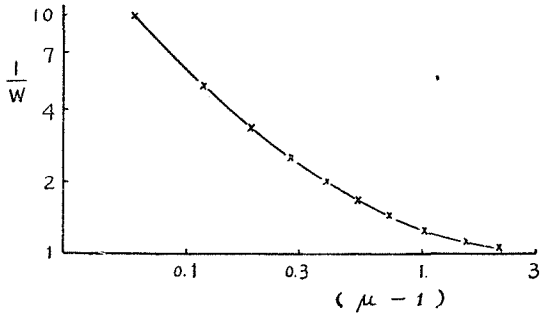

Fig. 14. Calculated relation between multiplication factor and probability.

次に放電形成のおくれについて考える。このおくれ時間 T_F は放電が開始してから完成するまでの所要時間であつて Schade[5] 等の理論式がある。Schade の式を多少変形して次式をうる。

$$T_F = t_i \frac{\mu}{\mu-1} \ln \frac{I_t}{I_0}$$

t_i は陽イオンの電極間走行時間にほぼ等しいものであるから移動能度を k_+, 印加電圧を V とすれば,

$$t_i = \frac{1}{k_+} \frac{d^2}{V}$$

で表わされる。I_0 と I_t は放電初期及び完成時の電流であつて普通考えられているように $I_t = 1\,\mu$A とし I_0 を N_0 で表わせば,

$$\ln \frac{I_t}{I_0} = 29 - 2.32 \log_{10} N_0$$

となり N_0 が大幅に変化しても余り変らない。例えば $N_0=1$ に対して 29 であり, $N_0=10^6$ に対しても 14.7 であつて約半分になる程度である。また V には無関係である。$\mu/(\mu-1)$ は V によつて変化するが μ が大きくなると急激に 1 に近づく。

k_+ は $E/p<20$ では一定であるとされており, Ne ガスでは 2.67 cm²/sec·volt が与えられている。このように見てくるとネオン管について $V=100$, $d=0.1$ とすれば T_F は高々 10^{-3} 秒程度であつて著者の実験では無視しうる程度である。

故に測定された放電のおくれ T_e はほとんど統計的おくれ T_s のみによるものと考えてよい。そこで N_0 及び W について順に考察を進めよう。

まず, Co^{60} の γ 線が陰極から放出せしめる電子が N_0 の主体となつて放電のおくれを減少せしめる場合を考える。G-M 計数管の陰極有効面積 4 cm² に対してネオン管では 0.05 cm² とすれば $N_0=8$ となつて Fig. 10 の実験値を説明しうる。暗所における電子の発生が自然放射能によると考えれば比較的低電圧における 10～100 秒程度のおくれも容易に説明しうるのである。

中間照度の場合に照射用ランプのフィラメント温度は約 700°C であつてネオン管陰極のうける放射エネルギーを概算すれば 10～100 erg/sec となる。光電子放射の確率を 10^{-4} 程度とし, No. 8 に対して $N_0=10$ を与えるべきことから臨界波長を概算すればこれに対応する陰極表面の作用函数は $\phi_0=1$～2 eV となる。No. 10 においては $N_0=100$ であるから ϕ_0 は幾分小さいものと思われる。しかし高エネルギーの γ 線では ϕ_0 の影響が少ないから No. 8, No. 10 とも Co^{60} 放射による影響は同程度であることが了解される。

このような概算は定量的には不完全であるが酸化物陰極について認められている $\phi_0=1$～2 eV を仮定して中間照度における実験結果がほぼ説明されたものと考える。

次に W について考察する。W は μ 従つて V の函数であるから印加電圧による T_s の変化に対して相当の役割を果すであろう。これを知るために μ と V の関係を求めなければならない。電界強度を $E=V/d$, 気圧を p とすれば, γ 及び α は E/p の函数として表わしうるが, γ は近似的に一定とみなしうることが知られているから α の変化のみを考えて周知の次式を用いる。

$$\frac{\alpha}{p} = A \cdot e^{-\frac{B}{E/p}}$$

故に

$$V = \frac{Bpd}{\ln \dfrac{Apd}{\ln\left(1+\dfrac{\mu}{\gamma}\right)}}$$

静的な放電開始電圧は $\mu=1$ のときの値であるからこれを V_0 として,

$$\frac{V}{V_0} = \frac{\ln(Apd) - \ln\left[\ln\left(1+\dfrac{1}{\gamma}\right)\right]}{\ln(Apd) - \ln\left[\ln\left(1+\dfrac{\mu}{\gamma}\right)\right]}$$

第 8 表 μ と V の 関 係

μ	1.0	1.1	1.3	1.6	2.0	3.0	4.0
V/V_0	1.0	1.045	1.13	1.25	1.41	1.78	2.12

供試ネオン管について $p=15$ mmHg, $d=0.1$ cm を用い，最小放電電圧 90 V, $\gamma=0.2$ を仮定すれば実験値を用いて $A=3.25$, $B=60$ をうる。これらの値を用いて μ に対する V/V_0 を計算すれば第 8 表のようになる。Fig. 15 は過電圧率 a_V に対する $1/W$ の変化を図示したものである。

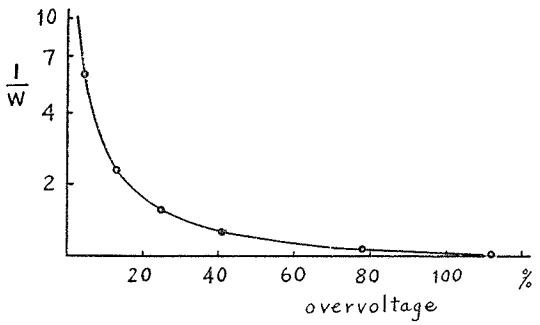

Fig. 15. Calculated relation between overvoltage and discharge probability.

Fig. 15 から明らかなように 20～30% 程度の過電圧で $1/W$ は殆んど 1 になるから，N_0 を一定とすれば相当大きな過電圧では放電のおくれは一定となる筈である。定電圧放電管では陰極有効面積も大きく $N_0=1000$ 程度と考えれば Fig. 13 の結果は一応説明されるが a_V の大きいところで T_l がどうなるか実験されていないから充分な論議ができない。ネオン管に関する Fig. 10, Fig. 11 の結果は電圧上昇による N_0 の増加を考えなければ説明されない。定電圧放電管についても $N_0=1000$ は過大であつて電界による N_0 の増加を考える方が自然であろう。

電界放射の理論を適用すると Fig. 11 の No. 10 dark に対して $\phi_0=0.005$ が必要となり，$\phi_0=0.5$ 程度の物理的に期待しうる値とするには局部的電界増加率として $M=1000$ としなければならない。このように M を大きくとると放出中心の面積は異常に小さくなつて物理的解釈が困難になる。このような困難は已に Jones 等[6] が N_i 酸化物に関する実験結果に対して指摘

しているところである。

前放電の残留効果が非常に大きいことも説明困難であるが Paetow[7] は不純な陰極面上の陽イオン層によつて電界放射が生ずることを仮定し，この陽イオンが次第に中和されるものとしている。

以上述べたように酸化物陰極に関しては未知な事柄が多く，実験事実を完全には説明できないが何等かの機構によつて電界に依存する電子放射が推論されるのである。見掛けの電界強度が 10^3 V/cm 程度であるにも拘わらず電界による電子放射が想定しうるとすれば注目すべき事と考える。

IV. 結　　言

定格放電電流 0.3 mA のネオン管を 50 V，50 mA，1.5 H の回路の接触火花消去に使用して好結果を得た。当初は寿命の点が問題視されたが，上記の回路で 18000 回の動作試験を行なつた結果十分の実用性が確認された。

放電管消去法は閉路条件に対しては原理的な有利性を有するが放電電圧が 100 V 前後であるから開路時のアーク条件に対しては有効でない。従つて接点電流が最小アーク電流を超える回路に対しては，複式消去回路の考えを用いて小容量の並列コンデンサーを併用することが必要である。要するに消去回路素子としての放電管は単式，複式を問わず (C—r) 素子に代置しうるのであつて占積率，価格の点でむしろ有利と考えられる。特に多数のリレーがある場合には多要素放電管を設計することが望ましい。

暗所における放電のおくれは消去効果を妨げるものであるが，実用上十分なおくれの低減は 0.1 ルクス以下の照度でよいことが認められた。放電管自体の放電のおくれを減少させるためには起動用微少放電を用いること，ラジオアイソトープの使用，自発光塗料の塗布等が考えられるが，前者は簡便性に難点があり，後二者については自発光塗料の方が有効であることが認められた。

放電のおくれに関する基礎的な研究の結果，印加電圧によつて大きく変化することが見出された。この現象を説明するためには広い意味の電界放射が想定されなければならないが，見掛けの電界強度は 10^3 V/cm 程度に過ぎないから残留効果にも関連して局部的な電界集中の機構を研究する必要がある。

謝　　辞

本研究の動機は北海道電通局の荒木部長，角田課長，浜尾，岡両技官の諸氏によつて与えられた。実験遂行に便宜を与えられたことと共に厚く感謝の意を表する。また常に御指導を頂く片山教授，計数装置，ラジオアイソトープの貸与と御指導を頂いた坂本教授の御好意に深謝する。

文　献

1) G. L. Pearson: Phys. Rev. **56**, 471 (1939).
M. Atalla: B.S.T.J. **32**, 1493 (1953), **33**, 535 (1954).
L. H. Germer & J. L. Smith: J. A. Phys. **23**, 553 (1952).
2) 鳳・大山・三谷: 電学誌, **76**, 1176 (1956).
3) 八田・伊藤: 電学誌, **75**, 602 (1955).
笈川: 電学誌, **74**, 1241 (1954).
4) 八田・伊藤・美寺: 電学誌, **73**, 585 (1953).
5) R. Schade: Z. Phys. **104**, 487 (1937), **108**, 253 (1938).
M. Steenbeck: Siemens Werk. **9**, 42 (1930).
H. Raether: Z. Phys. **117**, 394, 524 (1941).
6) L. Jones & E. T. Perrelle: Proc. Roy. Soc. A **216**, 267 (1953).
7) H. Paetow: Z. Phys. **111**, 770 (1939).