

直流回路の断時の電圧・電流特性について (I)

福 間 彰*

Akira FUKUMA : On the Electric Properties in the Direct Current
Circuit at the Moment of Being Broken.

ま え が き

インダクタンスを含む電流回路を開く場合、誘導によって回路に高い電圧が誘起する現象は、けい光燈の点灯や自動車の点火機構など身近な機器にいろいろ活用されている。しかしながら、回路に誘起する電圧を予測することは、対象がアークを伴う開閉という非線形現象であるため取扱いはそれほど簡単ではないように考えられる。ただし、アーク電圧を一定とした理想的な状態での解析は比較的容易であると考えられるが⁽¹⁾、一般にはアーク電圧を終始一定であると見なすことは出来ない。ここでは一般的な場合の解析の足がかりとして、手許にある小型のバネ式手動スイッチ（写真1）により、ほとんどインダクタンスを含まない回路を開く場合の電氣的動特性について測定した結果を報告する。

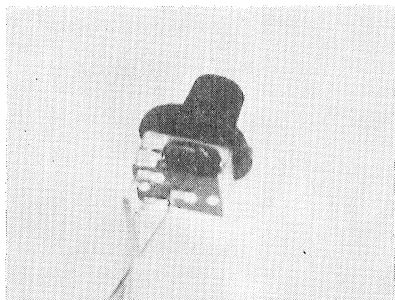


写真 1. 供試スイッチ

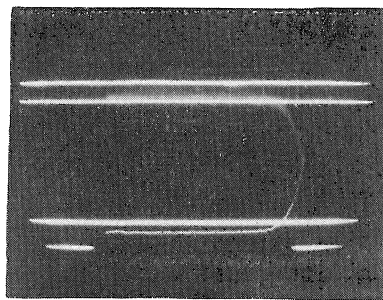


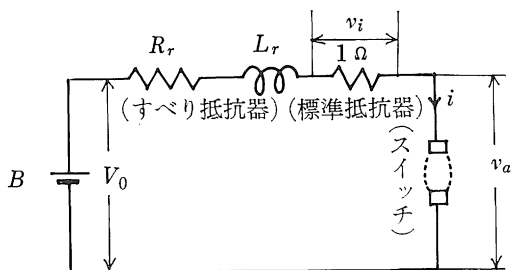
写真 2. 電圧・電流特性

1. 実験方法

本実験の測定回路を第1図に示す。図において電源Bには本学部理科学研究室より供給される大容量電池電源（約100[V]）を利用、電流初期値を調整する為のすべり抵抗器（抵抗 R_r 、インダクタンス L_r ）と、電流瞬時値を測定するための標準抵抗器（1[Ω]）とを供試スイッチと直

* 島根大学教育学部技術研究室

列に電源Bに接続し、電圧瞬時値 v_i, v_a を岩崎通信機 K.K 製の2現象シンクロスコープ SS-5003 (周波数範囲 DC~5 [MHz], 入力インピーダンス 直接 1[MΩ], 50[pF] 以下, プロブ (10:1) 使用時 10[MΩ], 20[pF] 以下) を用い、電圧 v_i は直接に、アーク電圧 v_a はプロブを用いて測定器に入力し撮影した。なお、すべり抵抗器の

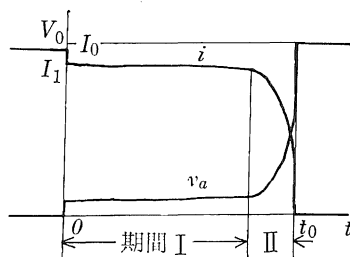


第1図 測定回路

抵抗値は電圧降下法により、インダクタンスは横河電機の万能ブリッジにより測定した。測定結果の1例 (電流初期値 = 1[A]) を写真2に示す。なおスイッチを開く際の動特性全体をなるべく詳しく掴むため、適当な速度 (2[ms/cm]) の繰返し掃引の状態にシンクロスコープをセットし、カメラのシャッター速度を B にして撮影したものである。

2. 結果および考察

写真2からこの場合の電圧 v_a および電流 i の時間的变化は、スイッチを開き始める時刻を $t=0$ として、第2図のごとく示される。図から、スイッチを開く場合の過渡現象を、アーク電圧 v_a がほぼ一定に保たれる期間 I と、アークが消滅する期間 II に分けて考えることができる。



第2図 動特性

期間 I の動特性については第1図に示す回路の動作方程式より求めることができる⁽¹⁾。すなわち電源電圧 V_0 、回路抵抗 $R (= R_r + 1)$ 、回路インダクタンス $L (= L_r)$ とすれば

$$V_0 = Ri + L \frac{di}{dt} + v_a \dots\dots\dots (1)$$

$t = 0$ で $i = V_0/R = I_0$ として(1)を解くと、電流 i は

$$i = I_0 \{1 - n(1 - e^{-\frac{t}{T}})\} \dots\dots\dots (2)$$

ただし $n = v_a/V$, $T = L/R$ である。

写真2の例では $V_0 = 103[V]$, $R = 103[\Omega]$, $L = 1[mH]$, $v_a = 9.6[V]$, $I_0 = 1[A]$ を(2)に代入すると $n = 0.0932$, $T = 9.71 \times 10^{-6} [sec]$, $i = 0.906 + 0.0932 \text{Exp}(-1.03 \times 10^{+5} t) [A]$ となり、約 10[μs] という極めて短い時間で定アーク電流値 $I_1 = 0.906[A]$ に到達することを示している。

期間 II に対しては、アーク消滅時刻(電流遮断完了時刻)を t_0 とおくと、電圧 v_a , 電流 i ,

アーク抵抗 $r_a(=v_a/i)$ の変化は t_0-t に対し第3図～第5図に示すごとくなる。図中、括弧内の数値は電流初期値 (単位[A]) を示す。これらの図ならびに一連の実験から次のことが見出される。

(1) 期間 I におけるアーク電圧 v_a は電流初期値 I_0 には無関係に約 10[V] 一定である。これは電極近傍での電圧降下を示すものと考えられる。アーク電流 i は電源電圧 $V_0 = 100[V]$ とすれば

$$i = \frac{V_0 - v_a}{R}$$

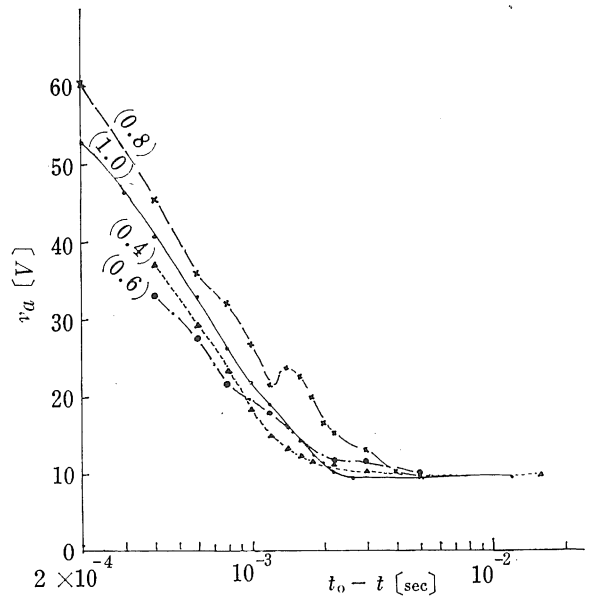
$$= I_0(1-n) \doteq 0.9 I_0$$

となる。

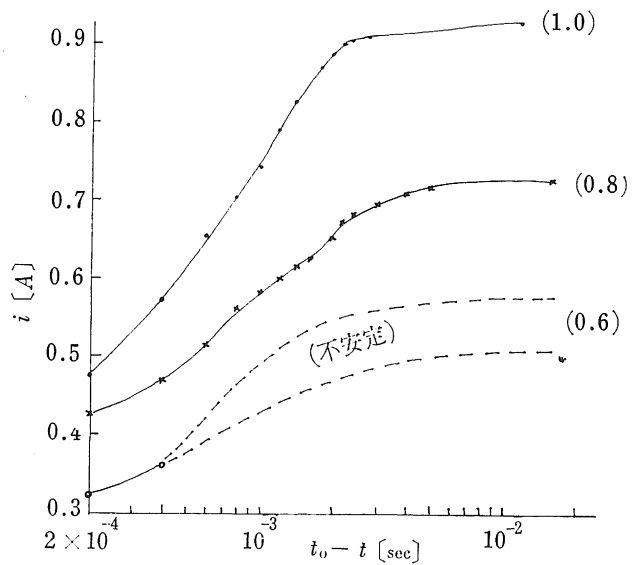
(2) 期間 I の継続時間は電流の初期値 I_0 が大きいほど長く、供試スイッチでは、初期値 1[A] のとき 10[ms] 前後、0.4[A] のとき 5[ms] 前後を示した。

(3) アーク電圧 v_a の時間的变化は、アーク消滅時刻 t を推定する場合の誤差 (ブラウン管面で、0.5[mm], 0.1[ms] に相当) を考慮するとき、電流初期値を 1[A] から 0.4[A] まで変えた場合の相違はほとんどみとめることができない。(第3図)

(4) アーク抵抗は一般的にいえば、媒質、温度分布、湿度、気圧、接点の材質、スイッチの構造、電極の離隔速度等によって異なるが、特定の周囲条件ならびに特定のスイッチについていえば、(1)および(3)から電流値によってアーク抵抗は異なることとなり、またアークの消滅期には電流瞬時値および時間の関数とみなすことができる。この考の下に第5図では等電流瞬時値曲線を破線で示した。なお期間 II において $t_0-t = 3 \times 10^{-4}$ [sec] 付近で折点をもつ折線近似が成立するように見える。



第3図 電圧特性



第4図 電流特性

(5) アーク電流は電流初期値を減ずるにつれて不安定となった。これは電極の温度が低くなるためと考えられ、また文献⁽¹⁾によればアーク発生に必要な最小放電電流 I_{min} および最小放電電圧 V_{min} は電極材料が C_u の場合、大気中では $I_{min} \approx 0.43[A]$ 、 $V_{min} \approx 13[V]$ と報告されており、アーク電流の不安定現象はこれに対応するものと考えられる。

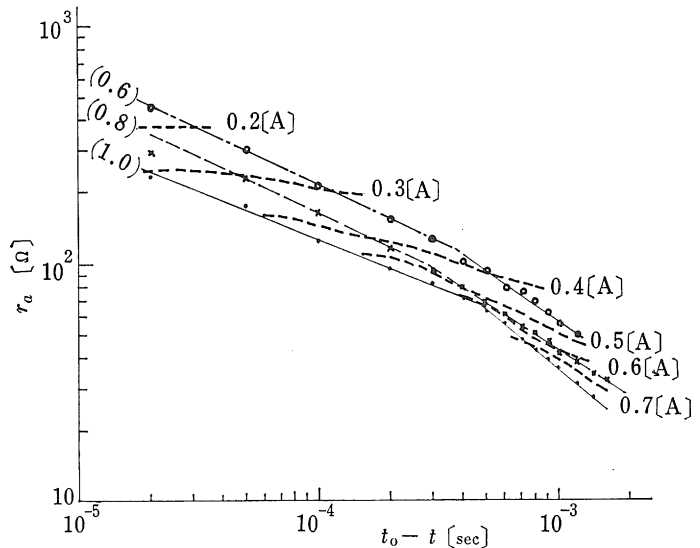
(6) アーク消滅期間Ⅱの長さは、供試スイッチでは電流初期値が $1[A]$ のときほぼ $2[ms]$ で、初期値を小さくえらぶにつれ $3\sim 4[ms]$ に延びる傾向が見られる。この時間は個々のスイッチによって異なるものと思われるが、回路定数、 R 、 L にはほとんど影響されないようである。(2) と考え合わせるとき、初期値が小さい場合はアークがより早期に消滅に向い、接点間の離隔距離が短い関係で消滅時間はかえって延びるものと考えられる。

3. む す び

特定の供試スイッチを用い、インダクタンスをほとんど含まない純抵抗に近い回路を直流遮断する場合の電圧・電流・抵抗特性について、定電圧アーク放電期とアーク消滅期に分けて考察して来た。アークの発生限界と、接点の過熱を考慮して、供試スイッチでは電流初期値を $0.4\sim 1[A]$ の範囲にえらんだ。今后、消滅期の理論を明らかにする為、条件を明確にした基礎的実験が必要であると共に、種々な型のスイッチについても同様な測定を行うことによって、このような回路の解折ならびに予測の一助としたい。

参 考 文 献

- (1) 電気学会：電気工学ハンドブック，780頁，昭和42年1月
- (2) 全 上 ， 388頁 全 上



第5図 抵抗特性