

高圧限流ヒューズに変圧器励磁電流の 繰り返し通電による劣化遮断について 一思考

宝 泉 和 明

The Fatigue Test of H.V.Current Limiting Fuses by the Cyclic Loading of Exiting Current for Transformer.

by Kazuaki Housen.

The H.V.current limiting fuses have a duty to cut off an electric current by accidental over current for protect electric machines.

The transient over current moves in the electric machins under ordinary operation. It is wellknown that transient over current continue for about 5~6Hz.

We experimented the fatigue test of H.V.current limiting fuses by the cyclic loading of transient current for transformer.

1. ま え が き

近年システムの大型化、複雑化の傾向にある電気工学の分野において、そのシステムの信頼性の確保は、重要な課題である。

配電線路においては、糸ヒューズの時代から遮断器へと変遷をみているがヒューズの周囲に、硅砂等を用いて、遮断能力を高圧回路における事故大電流まで向上するようになり、限流型ヒューズとして故障電流に遅滞なく動作・遮断し、しかも安価で小型軽量、その他付帯設備は不要、メンテナンスは簡単であるという長所をもつようになった。

近年キュービクル受電設備が普及されるに伴い見直されるようになって来ている。

この限流ヒューズにより保護される代表的電気機器として、変圧器、進相用コンデンサ、電動機等がある。

これ等の機器が始動する際には、過渡的に突入電流が流れることはよく知られている。この限流型ヒューズもこれらの繰り返し通電には耐えられなければならない使命が与えられている。

この特性については、JISC-4604高圧限流ヒューズ、JEC-201電力ヒューズ、JEM-1348、等でその基準が定められている。この基準によれば繰り返し過電流特性として変圧器用の場合、定格電流の10倍の電流を0.1秒間通電し100回繰り返しても溶断しないこととなっている。

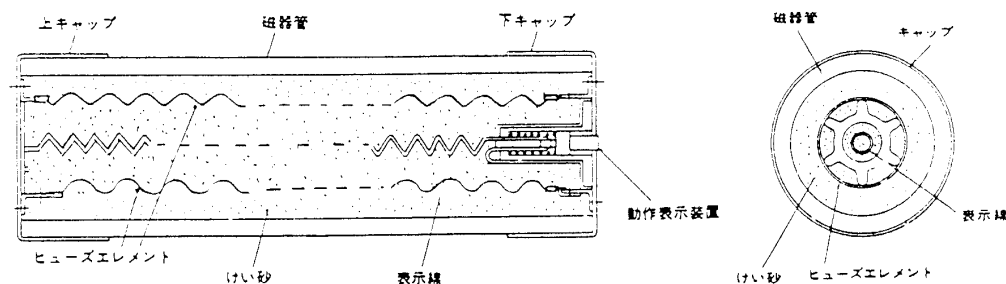
本研究においては、変圧器の特性を考慮しながら高圧限流ヒューズに、変圧器の突入電流を繰り返

返し通電(過去のデータは、作られたパルスを用いている。)として、高圧限流ヒューズの劣化寿命について把握することを試みた。

2. 試料及び試験装置

2.1 試料

今回の試験においては、目的が特に変圧器励磁突入電流の繰り返し通電による劣化を探究することである為に、まずM社で製造されている市販品の限流型ヒューズG5(T1.5)を試料とした。



第1図 限流型ヒューズの構造

材質・ヒューズエレメント(Ni+Co 99%以上, VNiW 0.17)

(JISH - 4511)

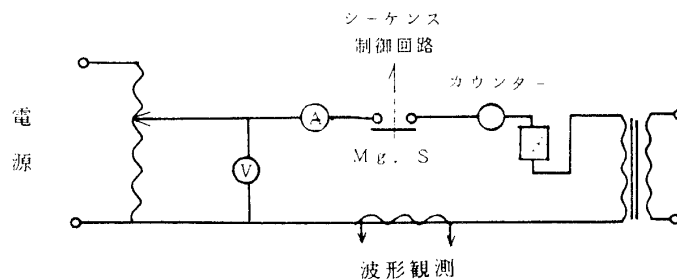
硅砂(SiO_2 純度99.5%, 粒度65メッシュ)

2.2 試験装置

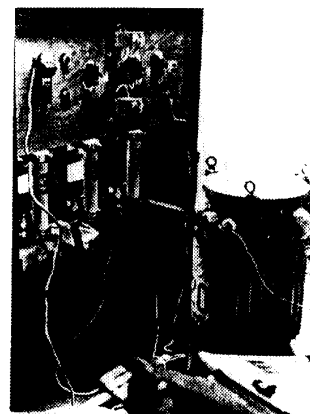
励磁突入電流(波高値)は、変圧器定格電流(実効値)の15~20倍で、約3~6(Hz)継続することは計測されている。(後記 第2表)

今回の実験回路は、0.01(s)~1(min)位まで繰り返し電流の時間を調整する必要性からサイリスタSCR等を用いずに、シーケンス制御回路を作成した。

ヒューズの設置についても、通常使用される状態(3本垂直)に設置した。



第2図 繰り返し通電試験回路・同装置



3. 繰り返し試験条件

3.1 試験電流値の決定

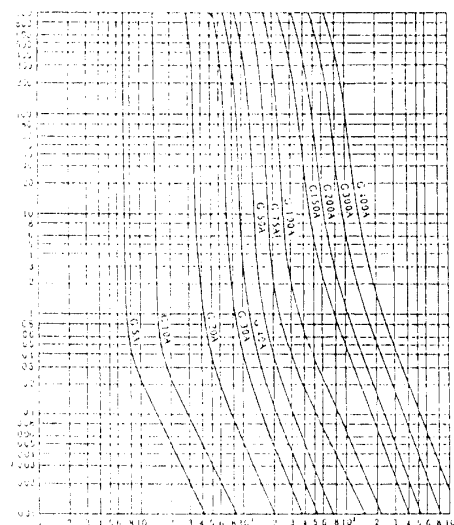
- (1) JIS C 4604-1979, JEC201-1979, JEM 1348-1975電力ヒューズの規格について、用途別に溶断特性等が定められている。

第1表 溶断特性の区分表

規格	ヒューズの種類	溶断特性			繰返し過電流特性	備 考
		不溶断電流	10s 溶断電流	0.1s 溶断電流		
JEC-201	T (変圧器用)	1.3×定格電流で 2時間不溶断	$\geq 2.5 \times \text{定格電流}$ $\leq 10 \times \text{定格電流}$	$\geq 12 \times \text{定格電流}$ $\leq 25 \times \text{定格電流}$	10×定格電流, 0.1s で100回不溶断	従来のSA表示と同一 定格電流値表示となる。
	M (電動機用)		$\geq 6 \times \text{定格電流}$ $\leq 10 \times \text{定格電流}$	$\geq 15 \times \text{定格電流}$ $\leq 35 \times \text{定格電流}$	5×定格電流, 10s で1000回不溶断	
	T/M 変圧器およ び電動機用		$\geq 6 \times \text{定格電流}$ $\leq 10 \times \text{定格電流}$	$\geq 12 \times \text{定格電流}$ $\leq 25 \times \text{定格電流}$	10×定格電流, 0.1s で100回不溶断, かつ 5×定格電流, 10s で1000回不溶断	
	G (1種)		$\geq 2 \times \text{定格電流}$ $\leq 5 \times \text{定格電流}$	$\geq 7 \times (\text{定格電流}/100)^{0.25} \times \text{定格電流}$ $\leq 20 \times (\text{定格電流}/100)^{0.25} \times \text{定格電流}$	—	旧規格1種(電技規定 相当)と同一定格電流 値表示となる
JEM 1348	C (コンデンサ用)	1.43×定格電流で 2時間不溶断	60s 溶断電流 $\leq 10 \times \text{定格電流}$		70×定格電流, 0.002s で100回不溶断	
	GC 1種 (コンデンサ用)	1.3×定格電流で 2時間不溶断 および 1.43×コンデンサ 定格電流で不溶断	2時間溶断電流 $\leq 2 \times \text{定格電流}$		70×コンデンサ定格 電流, 0.002sで100回不溶 断	G種(旧規格1種)と 同一定格電流値表示と なる。

(2) 限流ヒューズの溶断時間—電流特性は、第3図に示すような特性をもっている。

(メーカー表示)⁽¹⁾



第3図 溶断時間—電流特性

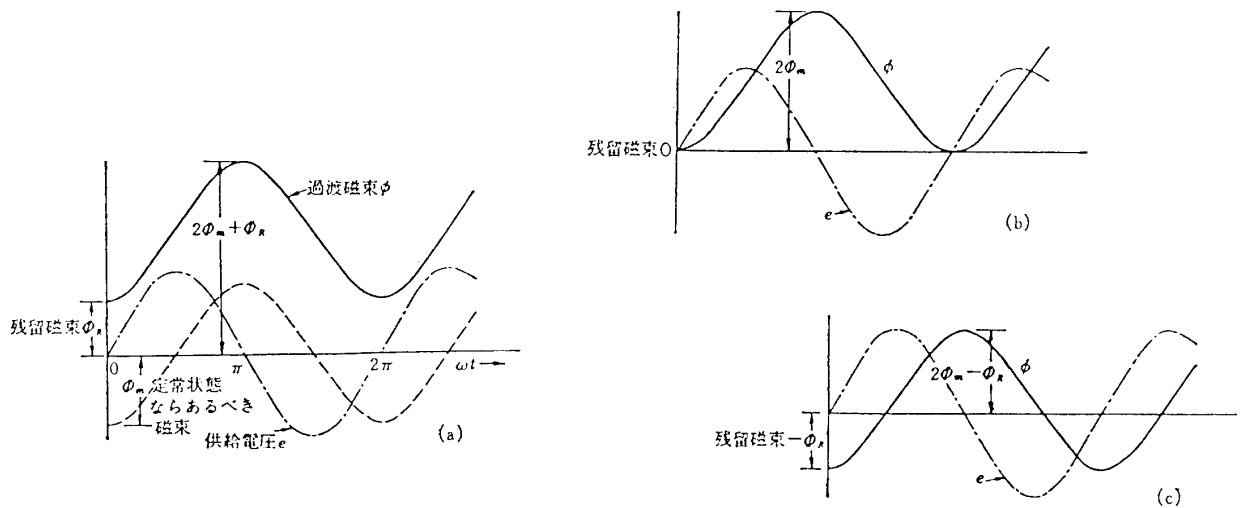
(3) 変圧器の励磁突入電流について(一般的説明)²⁾³⁾

変圧器を電源に投入した場合、印加電圧の投入時の位相と変圧器の磁気回路における残留磁気の状態によって励磁突入電流は、複雑に変化する。

残留磁束密度 $B_r = 0$ で印加電圧最大のときに投入されれば、突入電流は、定常状態でスタートすることになる。

一方、印加電圧の位相が0の時点に投入されれば、残留磁気の状態が変わってくる。

第4図a, b, c, のようになる。



第4図

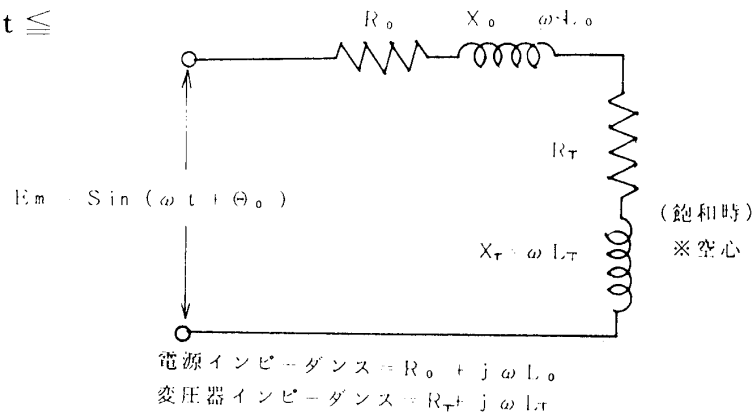
即ち、鉄心内の磁束密度は、印加電圧の積分波形となり、起点は残留磁束密度 B_r となる。従ってa図のように過渡的に直流分を含み、投入後 $1/2(\text{Hz})$ の時磁束密度は、最大である。変圧器のB-H曲線の飽和点は、経済的にそれ程大きく配慮されていないために、鉄心に磁気飽和を生じ比透磁率 μ_s は1に近ずき、一次側コイルのインダクタンスは、空心コイルと同じ状態になり、突入電流は大きくなることが判明している。

変圧器は空心コイルと考えられインダクタンス L は一定と考えられる。

第5図の等価回路によって、突流第 n 波 (i_n) について次式で表される。

$$i_n = I_m \left\{ \sin(\omega t + \theta_0 - \phi) - \sin(\omega t_{ns} + \theta_0 - \phi) \omega^{-\frac{t-t_{ns}}{\tau}} \right\}$$

t_{ns} : n 波発生時刻 $\tau = (X_0 + X_r) / \omega (R_0 + R_r)$
 t_{ne} : n 波消滅時刻 $\phi = \tan^{-1} \{ (X_0 + X_r) / (R_0 + R_r) \}$
 θ_0 : 投入電圧位相 $I_m = E_m / \sqrt{(R_0 + R_r)^2 + (X_0 + X_r)^2}$
 $t_{ns} \leq t \leq t_{ne}$



第5図 等価回路

実際に突入電流を計測されたものを第2表に示す。

第2表 励磁突入電流実測値⁴⁾

	変圧器容量	(サイクル) 倍数 K	変圧器一次定格電流
A 社	1 ϕ 50 kVA	(3～6) 17～20	7.6 A
	〃 100 kVA	(3～6) 17～20	15.1 A
	〃 150 kVA	(3～6) 15～19	22.7 A
B 社	1 ϕ 50 kVA	(2～7) 17～30	7.6 A
	〃 100 kVA	(2～10) 17～28	15.1 A
	〃 150 kVA	(2～10) 17～25	22.7 A

・ 倍数 K = 励磁突入電流(波高値) / 変圧器一次電流(実効値)

以上の(1)～(3)の参考資料を総合して、繰り返し通電電流値・通電時間を決定した。

3.2 繰り返し通電電流の通電時間の決定

通電電流値を定める為の資料(1)～(3)を同様に参考にして、繰り返し通電時間を励磁突入電流の減衰時間が一般的に 6 (Hz) 前後と測定されているので、60(Hz)電源であるために、0.1 (S) と定めた。

一方、通電電流値は、第2図許容時間－電流特性より G 5(T 1.5)の高圧限流ヒューズの 0.1 (S) の許容時間に対して電流は、約 14 (A) と考えられる。従って、波高値で通電電流値を 14 (A) 付近に調整して、繰り返し通電を試みた。(シンクロスコープにより波形を観察して調整する。)

3.3 休止時間

繰り返し通電を行う際に、試験電流の通電から次の通電までの休止時間について、エレメントの通電中に発熱されたエネルギーが、次の通電まで影響が無いよう配慮する必要がある。電気学会の技術報告等によるとパルスとパルス間の休止時間を 1 分間としているために今回の休止時間も 1 分間とした⁵⁾。

4. 繰り返し通電試験におけるその他の計測

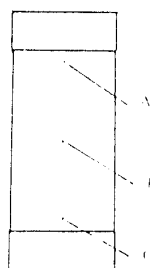
4.1 ヒューズリンクの電気抵抗の測定

ヒューズリンクの電気抵抗を通電 100 回毎に測定し、劣化との関連を求める。計測には、出来る限り電流を流さずに行うためにデジタルマルチメータを使用した。

4.2 ヒューズの温度の計測

包装ヒューズであるためエレメントの温度を直接計測は出来ないが、磁器管の表面より第6図に示すように 3 点の温度変化を求める。

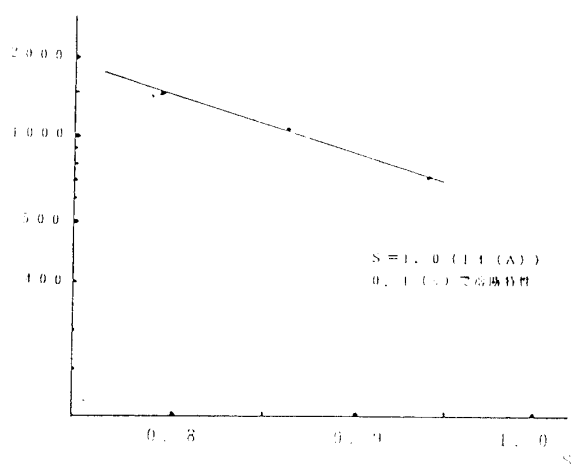
第6図 温度の測定箇所



5. 変圧器励磁突入電流の繰返し通電試験結果

5.1 励磁突入電流によるS-N特性

試験電流値の0.1 (S) における溶断特性(第3図)による14 (A) に対する比をS としS と溶断するにいたる通電回数Nとの関係をS-N特性(限流ヒューズの過電流繰返し寿命特性といわれている。)という。S-N特性について第7図で示す。

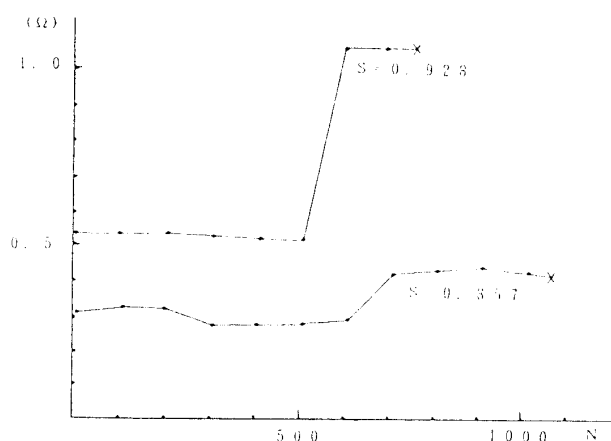


第7図 S-N特性

ヒューズの繰返し通電可能回数は、JEC-201「電力ヒューズ」によれば、 $N = S^{-\alpha}$ で示されているが、(N:繰返し通電可能回数,S:負荷率)結果より α を求めると47が得られ、 $N = S^{-47}$ で通電可能回数が推定できる。

5.2 ヒューズリンクの電気抵抗の変化

通電回数100回毎にヒューズリンクの電気抵抗を測定した結果第8図のような結果が得られた。



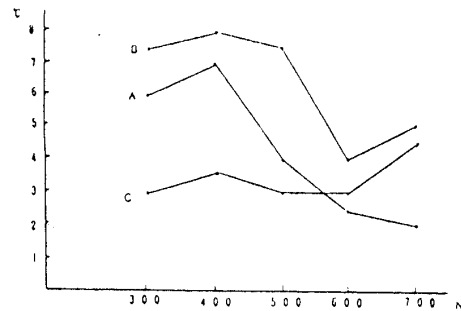
第8図 通電回数-電気抵抗

S = 0.928においては、通電回数500回迄はほぼ0.5(Ω)付近で変動していたが、600回において急激に約2.3倍に増加し、その後約200回で溶断している。S = 0.857においては、600~700回の間において、1.4倍にエレメント抵抗の増加がみとめられた。

5.3 ヒューズの温度変化

ヒューズの温度計測を平行して実施した結果、第9図の結果が得られた。

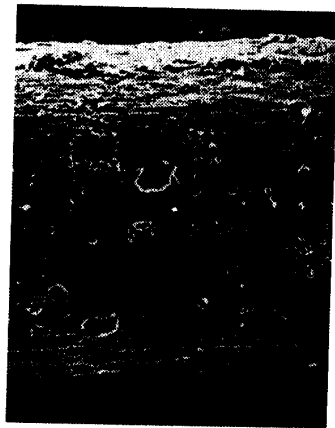
第9図は、未使用の限流ヒューズの表面と、通電試験中の限流ヒューズの表面上の各点の温度との差である。エレメントの電気抵抗の変化と同様500～600回の中で変化が認められる。



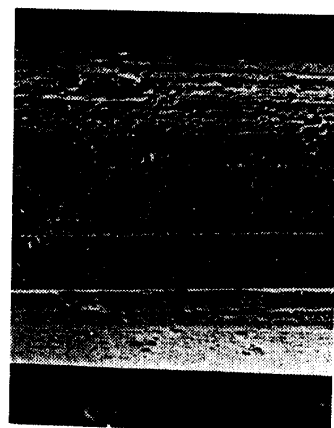
第9図温度差の状況

5.4 熔断したヒューズエレメントの外観

繰り返し通電試験による疲労熔断の場合と、過電流による熔断の場合について、走査顕微鏡を用いてエレメントの表面を観察した結果第10図、第11図を得た。



第10図



第11図

過電流による熔断エレメント

繰り返し通電による熔断エレメント

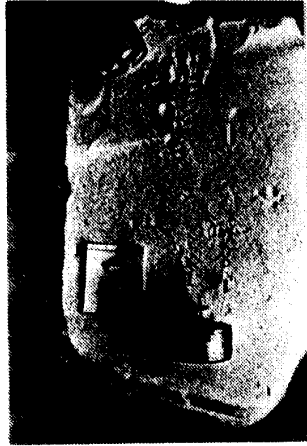
過電流熔断の場合、表面は脆化しており、激しく酸化している状況が認められる。一時的に熔融して固まって生じたと見られるホール(直径 $10\mu\text{m}$ 位)が多数みとめられる。一方、通電試験によって疲労熔断したエレメントは、脆化もホールもクラック等見受けられず、金属疲労が内部に蓄積されて熔断に至ったと考えられる。

5.5 ヒューズエレメントの熔断箇所

熔断した資料について、磁器管を破壊して熔断状態を調べたところ、上キャップのエレメントを支持しているクリップの中か、その周辺1(cm)位の箇所で熔断している。しかし、過電流熔断の場合においては、全体的に焼損してバラバラの状態になっている。この結果、繰り返し通電により劣化の場合は加熱、冷却、膨張、収縮の繰り返しによる支持点のストレスによる切断が認められた。

第12図 エレメントの溶断状況

(a) 過電流による溶断



(b) 繰り返し通電による劣化溶断



6. ま と め

今回は、限流型ヒューズの信頼度を高めるために、JEC, JIS, 規格による作られたパルスの繰り返し通電による疲労試験ではなく、変圧器の特性を踏まえて繰り返し通電を行い限流ヒューズの劣化状況の把握について試みた。

資料として市販品のG5 (T 1.5) の限流型ヒューズを用いた。

その結果S-N特性について第7図に示したように直線的な特性が得られた。従って、変圧器負荷の限流型ヒューズの疲労溶断については、溶断特性に対する負荷率より、繰り返し通電可能回数Nを推定することが可能である。

一方、ヒューズエレメントの電気抵抗を定期的な計測により、劣化の進行状況を判断する資料として利用できる。今回においては、繰り返し通電可能回数の60~70(%)の回数において、電気抵抗の変化が見受けられている。

ヒューズエレメントの温度変化については、劣化との関係は、確かに認められたが運転時において温度計測も困難であり劣化に関する資料としては、利用出来ない。今回の繰り返し試験において $S=0.92$ の通電にたいして13回で切断するという例もあり、製造過程において何等かのエレメントに欠陥を生じていたものと想像される。このように製品の品質管理にも配慮される必要がある。(特にエレメントの電気抵抗には異常は認められなかった。)

今後は、ヒューズの遮断容量の大きいものに移行しながらS-N特性等を求めたい。

7. 謝 辞

劣化試験を実施するにあたり、貴重な資料とご指導をいただいた荒井先生(東京電大)ならびに電気機器実験室桶葭先生、機械工学科北山先生のご協力と、西垣、広瀬、山本、三君の協力を頂いたことに感謝申しあげる次第です。

参 考 資 料

- 1) 三菱電力ヒューズ技術資料集
- 2) 大岡，前川，変圧器 東京電機大出版局
- 3) 久保木，谷ツ田，変圧器励磁電流とヒューズ定格選定法 電気学会研究資料
- 4) 「高電圧設備の施設指導要領」 電気安全北陸委員会
- 5) 電気学会技術報告 第231号 電気学会