20 kV 級配電用限流ヒューズの動作過電圧による ZnO 形アレスタの消費エネルギー

正 員 岡 崎 正 幸 (電中研)

正 員 稲 葉 次 紀 (電中研)

(故) 藤 田 武 彦

1. はじめに

配電系統における絶縁設計は、その系統の信頼性とコンパクト化に密接な関係がある。線路全体の絶縁レベルならびに避雷器の動作開始電圧を低減し、避雷器(以下、アレスタと呼ぶ)に雷サージのみでなく、一定値以上の開閉サージをも抑制させる考えがあり⁽¹⁾、最近の諸技術の進歩により、大幅なコンパクト化・低コスト化が望めるこの考えによる配電系統が出現してきた⁽²⁾⁽³⁾。

一般のアレスタは限流ヒューズ(以下、ヒューズと呼ぶ)の動作過電圧では動作しないが、この考えによるアレスタは動作開始電圧を低く設定するため、ヒューズの動作過電圧により動作する場合がある。

本論文は、アレスタがヒューズの動作過電圧により動作した場合の、アレスタが消費するエネルギーについて検討したものである。

ヒューズが発生する動作過電圧は、一般に開閉サージ波形と同様な波形であり、またヒューズは通常短絡事故時に動作するため、回路インダクタンスに蓄積したエネルギーは大きく、通常の雷サージによるエネルギーより大きなエネルギーをアレスタが消費すると考えられる。このエネルギーが、アレスタの許容エネルギー以下であることを検討する必要がある。しかし、ZnO 形アレスタに対する検討例は見あたらない。

限流ヒューズの動作過電圧は使用ヒューズ、事故形

態などにより異なるが、広範囲な条件にわたる実証的検討は容易でない。このため、既に著者らは、限流ヒューズ単体での動作過電圧を検討するためのシミュレーション手法を開発した⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

本論文は、まずヒューズの動作過電圧によりアレスタが動作した場合のアレスタ消費エネルギーを定性的に検討した。次に、さきのシミュレーション手法を改良し、ヒューズと並列にアレスタがある場合のプログラムを開発し、プログラムの妥当性を 20 kV 級のヒューズとアレスタを組合せた実験特性と比較、検討した。更に、このプログラムを使用して、事故発生位相、短絡電流ならびにヒューズ・アレスタ種類などを変化させ、ヒューズの動作過電圧によるアレスタ消費エネルギーを定量的に検討した。

2. 事故形態と基本回路

〈2・1〉 事故形態の種類 ヒューズの動作が予想される事故形態について、高梨らは表 1 (表中、注は著者らが記入) を提示している⁽⁶⁾。20 kV 級配電におけるヒューズの設置箇所は、柱上および電気室におけるカットアウトまたは限流ヒューズ付き負荷開閉器などと考えられる。このため、通常予想される事故は表 1 の丸で囲んだ回路 No. 2-1, 2-2, 3-1, 3-2 の 4 形態と考えられる。

ヒューズの動作過電圧は、使用するヒューズ、電源電圧、事故電流(短絡電流)、事故発生位相(実験的には投入位相)などにより異なり、一般には電源電圧が高いほど高くなり^{(7)~(10)}、短絡電流にはあまり左右されない⁽⁹⁾。投入位相は結果的にヒューズの発弧時位相に影響し、発弧時位相が電源電圧位相で 65~90° のときに動作過電圧は高くなる。また、使用するヒューズのヒューズエレメント長に比例する^{(7)~(9)}。

〈2・2〉 基本回路 ここで、電源電圧とはヒュー

Consumption Energy of Metal Oxide Surge Arresters due to Over Voltages by 20 kV Class Current Limiting Fuses. By Masayuki Okazaki, Member & Tsuginori Inaba, Member (Yokosuka Research Laboratory, Central Research Institute of Electric Power Industry) & the late Mr. Takehiko Fujita.

岡崎正幸：正員，電力中央研究所横須賀研究所

稲葉次紀：正員，電力中央研究所横須賀研究所

(故) 藤田武彦：当時，関西電力(株)関西電力学園

表 1 フィールドにおけるヒューズ動作回路
の予想

Table 1. Examples of fault circuits with current limiting fuses.

回路No.	回路略図	短絡状況	地絡相	ヒューズ動作本数
(2-1)		U, V相短絡	なし	2
(2-2)		同上	U, V相負荷側	2
2-3		同上	V相電源側	2
2-4		U, V相地絡	U相負荷側 V相電源側	1
(3-1)		三相短絡	なし	3
(3-2)		同上	負荷側	3
3-3		同上	電源側W相	3

注) ○ 印：通常予想される事故形態
— 印：動作ヒューズ

ズ遮断時に端子間に加わる回復電圧のことである。回復電圧は単相回路では、系統電圧にほぼ等しい。三相回路では事故形態とヒューズの溶断状況異なる。三相短絡事故（表1の回路No. 3-1および3-2）において、1本のヒューズが動作（第一相遮断）すれば、そのヒューズに加わる回復電圧は、系統電圧（線間電圧） $\times \sqrt{3}/2 \approx$ 系統電圧 $\times 0.87$ となる。

JEC-2330「電力ヒューズ」、JEC-2300「交流遮断器」などの規格でも、三相回路の遮断時の回復電圧はこの条件を基本としている。また、三相回路における二相短絡事故（表1の回路No. 2-1および2-2）時には、ヒューズが2本同時に動作するため、ヒューズ1本に加わる回復電圧は系統電圧（線間電圧）の1/2であり、三相短絡事故における第一相遮断時の回復電圧より低い。

以上のことより、本論文では三相短絡事故時の第一相遮断に相当する条件を基本とし、等価的に回路は単相回路で、電源電圧（回復電圧）を系統電圧（24 kV） $\times 0.87 \approx 20.9$ kV_{rms}とした。

3. 動作過電圧によるアレスタ消費エネルギーの定性的検討

ヒューズおよびアレスタの消費エネルギーについて

図 1 動作モデル回路
Fig. 1. Model circuit.

て、簡略化したモデルを想定し定性的に検討する。検討に使用するモデル回路を図1に示す。特性要素の電圧 (V_{f0})、抵抗 (R_{f0} , R_{a0}) は、シミュレーションでは電流、時間およびエネルギーなどにより変化する関数としたが、ここでは簡略化のため一定値とした。

ヒューズの溶断後の動作特性は、文献(4)、(5)、(9)、(11)などと同様に電圧成分 V_{f0} (V) および抵抗成分 R_{f0} (Ω) の直列回路で表す。アレスタの動作特性も、電圧成分 V_{a0} (V) および抵抗成分 R_{a0} (Ω) の直列回路とした。ここで、 V_{a0} はアレスタ動作開始電圧 V_{imA} (V) に相当し、電源電圧 V_s (V_{rms}) の波高値より高いものとする。なお、アレスタの動作特性を指数関数 $V_a = KI_a^a$ で示す例もあり、これによっても同様な結果になると考えられる。

〈3・1〉 ヒューズ溶断までの期間 図1において、溶断模擬スイッチ S_m および遮断模擬スイッチ S_f を閉じておき、電圧 V_s の位相 θ (rad) で通電開始スイッチ S_w を閉路すれば、電源電流 I_0 (A)、ヒューズ電流 I_f (A) は、次式で示される。

$$I_0 = I_f = \sqrt{2} I_s \{ \sin(\omega t + \theta - \phi) - \sin(\theta - \phi) \exp(-R_s/L_s \cdot t) \} \quad \cdots (1)$$

ここに、 $I_s = V_s / \sqrt{R_s^2 + (\omega L_s)^2}$ ：固有電流 (A_{rms})、 $\phi = \tan^{-1}(\omega L_s/R_s)$ ：力率角 (rad)、 R_s ：電源抵抗 (Ω)、 t ：通電開始からの時間 (s)、 L_s ：電源インダクタンス (H)、 ω ：角周波数 (rad)

ヒューズ電流 I_f のジュール積分 $\int I_f^2 dt$ (A²·s) が、ヒューズエレメントの溶断ジュール積分 ($I^2 t$)_m (A²·s) に等しくなる時刻 t_m (図2参照) で、ヒューズが溶断したと判断し、溶断模擬スイッチ S_m を開路する。

〈3・2〉 ヒューズ溶断から遮断までの期間（ヒューズのみの場合） ヒューズが溶断すれば、回路にヒューズの動作特性成分である電圧成分 V_{f0} と抵抗成

図2 ヒューズおよびアレスタの動作モデル波形

Fig. 2. Model wave-forms of current limiting fuse and arrester.

分 R_{f0} が挿入され、動作過電圧 $V_{fp}(V)$ が発生し、電流を限流する。過電圧 V_{fp} はおよそ次式で示される。

$$V_{fp} = V_{f0} + I_{fm} R_{f0} \quad (2)$$

ここに、 I_{fm} : 溶断時のヒューズ電流 (A)

I_f が減少し零になった時刻 t_i に遮断が完了したと判断し、遮断模擬スイッチ S_i を開路する。遮断瞬時のヒューズ端子電圧 $V_{fi}(V)$ は、電圧 V_{f0} に等しい。それ以降のヒューズ端子電圧 $V_f(V)$ は電源電圧 V_s がそのまま印加される。遮断までにヒューズが消費するエネルギー $W_{fi}(J)$ は、次式で示される。

$$W_{fi} = \int_{t_m}^{t_i} (V_f I_f) dt \quad (3)$$

〈3・3〉 ヒューズ溶断から遮断までの期間 (ヒューズと並列にアレスタがある場合) ヒューズと並列にアレスタが接続されている場合には、端子電圧 V_f がアレスタの電圧成分 V_{a0} を超えれば、アレスタ電流 $I_a(A)$ が流れる。この場合、

(i) ヒューズの電圧成分 V_{f0} がアレスタの電圧成

分 V_{a0} より小さい場合には、電流 I_a は次の二式を満たす値となる。

$$I_a = I_0 - I_f \quad (4)$$

$$V_f = V_{f0} + I_f R_{f0} = V_a = V_{a0} + I_a R_{a0} \quad (5)$$

上記二式から電流 I_a を少なくするには、抵抗 R_{f0} 小、電圧 V_{f0} 低、抵抗 R_{a0} 大ならびに電圧 V_{a0} 高とすればよいことがわかる。端子電圧 V_f はアレスタにより制限されるため、短絡電流に対する限流効果は低下する。その後、電流が減少し、端子電圧 $V_f = V_a$ がアレスタ動作開始電圧 V_{a0} より低くなれば、アレスタ電流 I_a は零となる。以降はヒューズのみの回路となり、遮断に至る。この場合のアレスタの全消費エネルギー $W_{ai}(J)$ は次式で示される。

$$W_{ai} = \int_{t_m}^{t_i} (V_a I_a) dt \quad (6)$$

(ii) ヒューズの電圧成分 V_{f0} がアレスタの電圧成分 V_{a0} より高い場合には、ヒューズエレメントの溶断直後に全電流がヒューズ側からアレスタ側に転流し、ヒューズは瞬時に遮断を完了する。以降はアレスタのみの特性で短絡電流を遮断する。

〈3・4〉 ヒューズおよびアレスタの消費エネルギー

溶断瞬時 t_m から遮断瞬時 t_i までに、図1の電源 $B-B'$ からヒューズおよびアレスタに供給されるエネルギー $W_{fi} + W_{ai}$ は次式で表せる。

$$W_{fi} + W_{ai}$$

$$= \int_{t_m}^{t_i} \sqrt{2} V_s \sin(\omega t + \theta + \omega t_m) I_0 dt - \int_{t_m}^{t_i} R_s I_0^2 dt + 1/2 \cdot L_s I_{0m}^2 \quad (7)$$

ここで、 I_{0m} : ヒューズ溶断瞬時に電源から流れている電流 (A)

上式の第1項は溶断から遮断までに電源 $A-A'$ から供給されたエネルギー $W_s(J)$ を、第2項は電源抵抗 R_s による消費エネルギーを、第3項は溶断瞬時に電源インダクタンス L_s に蓄積された電磁エネルギー $W_L(J)$ である。ここで回路率率は一般に小さく、抵抗 R_s が小さいことを考慮し、第2項を無視すれば、ヒューズおよびアレスタに供給されるエネルギーは、およそ電源からの供給エネルギー W_s と L_s の電磁エネルギー W_L の和となる。

電源からの供給エネルギー W_s は、電流 I_{0m} を限流し遮断するまでの限流状況により異なり、使用するヒューズおよびアレスタの特性により決まる。供給エネルギー W_s が大きくなる要因としては、電流 I_{0m} が大

きいこと、電圧 V_{f0} 、抵抗 R_{f0} 、電圧 V_{a0} の各要素が小さいことが考えられる。

電磁エネルギー W_L は次のように考えられる。電流 I_{0m} はヒューズエレメント溶断瞬間には、アレスタが動作していないため、ヒューズ溶断電流 I_{fm} と同一であり、電流 I_{fm} の値は、ヒューズエレメントの溶断ジュール積分が溶断時間により変化しないものとするれば、回路条件より計算できる。通常、定格電流の大きいヒューズは、溶断ジュール積分 $(I^2t)m$ も大きく、電磁エネルギー W_L も大きくなると考えられる。

4. ヒューズとアレスタとの並列動作シミュレーション

ヒューズの限流遮断時における電流 I_f 、端子電圧 V_f 、およびその電圧によりアレスタが動作した場合のアレスタ電流 I_a などをシミュレートするため、さきに報告したヒューズ単体のシミュレーション手法⁽⁴⁾⁽⁵⁾を利用し、ヒューズと並列にアレスタを接続した回路におけるシミュレーション手法を開発した。

〈4・1〉 シミュレーション手法 図1において、スイッチ S_w を閉路すれば(1)式の電流 I_0 = 電流 I_f が流れる。電流 I_f のジュール積分がヒューズエレメントの溶断ジュール積分 $(I^2t)m$ を超えた時点でスイッチ S_m を開路し、ヒューズの動作特性ならびにアレスタの動作特性を回路に挿入する。次いで、電圧 V_f 、電流 I_f 、電圧 V_a ならびに I_a を回路方程式に適用し逐次計算する。

ヒューズの基本動作式として、ヒューズエレメントの溶断までは(8)式を、溶断後は(9)式を使用した。

$$(I^2t)m = (I^2t)m_0 (1 + Km_1 t^{Km_2}) \dots\dots\dots (8)$$

$$V_f = V_{f0} + I_f R_{f0} \dots\dots\dots (9)$$

ここに、 $(I^2t)m_0$ ：断熱状態での溶断スケジュール積分 ($A^2 \cdot s$)、 Km_1 ：溶断ジュール積分の係数、 Km_2 ：溶断ジュール積分の指数

使用したヒューズのヒューズエレメントはノッチ付き(図3)で、ヒューズ1本あたりのノッチ数は300以上あり、各ノッチ部の溶断ジュール積分はばらつきがあると考えられる。また、溶断したノッチ部に隣接す

図3 ヒューズエレメント形状
Fig. 3. Form of a fusible element.

る平たん部はアークの電極となるため、自分自身のジュール熱に加えてアークにより直接過熱され溶融する。これらをシミュレートするため、ヒューズエレメントを110個に分割し⁽⁵⁾、それぞれが(8)、(9)式で表現される特性要素を有するとした。

また、電圧 V_{f0} および抵抗 R_{f0} は一定値とせず、電圧 V_{f0} は、ヒューズ内部で消費するアークエネルギーにより減少する関数で表現し、抵抗 R_{f0} は並列する二つの抵抗で表現し、一つは溶断からの時間の関数、一つはヒューズ内部で消費するアークエネルギーの関数で変化するとして計算した。詳細は文献(4)を参照のこと。

ヒューズ端子電圧 V_f が上昇し、アレスタ動作開始電圧 V_{a0} 以上になればアレスタが動作し、電流 I_0 はアレスタにも分流する。アレスタの動作特性式は次式とした。

$$V_a = V_{a0} + K_{a1} I_a^{K_{a2}} \dots\dots\dots (10)$$

ここに、 K_{a1} ：アレスタ抵抗成分 (Ω)、

K_{a2} ：アレスタ抵抗成分指数

アレスタ動作中はヒューズ端子電圧 V_f とアレスタ端子電圧 V_a は等しく、(4)式および(5)式の条件を満足するように、電流 I_f および I_a を計算する。

アレスタ動作中以外は、ヒューズ単体のシミュレーション法を使用した。

〈4・2〉 シミュレーション結果と実験の比較

ヒューズは図3に示すノッチ付きエレメントを使用した20kV級ヒューズを、アレスタは20kV級ZnO形アレスタを使用し、実験を行った。

実験結果の波形と、前節のシミュレーション手法を用いた解析波形比較例を図4に、同一条件(電源電圧 V_s 、固有電流 I_s 、力率、周波数、ヒューズおよびアレスタ)で投入位相を変化させた実験と、シミュレーション結果の比較を図5に示す。シミュレーションに

図4 シミュレーション波形と実測波形との比較

Fig. 4. Comparison of simulated wave-forms and tested results.

表2 シミュレーション動作定数 (ヒューズ)
Table 2. Constant values for simulation (current limiting fuses)

ヒューズ種類	箇 所	溶断ジュール積分			アークの電圧成分		電極降下電圧 V_i^* (V)	アーク周辺部抵抗 $K_{r_{os}}^*$ (Ω/s)	アーク中心部抵抗 R_{aco}^* (Ω)	K_{ac}^*	平たん部 溶融係数* (A·s/個)
		$(I^2t)m_0$ (A ² ·s)	Km_1	Km_2	V_{aro}^* (V)	ω_{ar}^* (J)					
1	ノッチ部	350	21	0.55	1.6×10^3	90×10^3	10×10^3	45×10^3	6.14×10^3	0.67	0.4
	平たん部	680	34	0.9	16×10^3	90×10^3		350×10^3	61.4×10^3	0.67	
2	ノッチ部	20×10^3	2.1×10^3	2.52	1.8×10^3	1.8×10^6	7×10^3	20×10^3	0.47×10^3	0.48	2
	平たん部	94×10^3	0	0	9.0×10^3	1.8×10^6		100×10^3	2.29×10^3	0.48	
3	ノッチ部	5×10^3	2.1×10^3	2.52	1.8×10^3	1.8×10^6	7×10^3	40×10^3	0.66×10^3	0.48	1
	平たん部	24×10^3	0	0	9.0×10^3	1.8×10^6		200×10^3	3.31×10^3	0.48	
4	ノッチ部	22×10^3	3.1×10^3	2.60	1.7×10^3	1.8×10^6	5×10^3	12×10^3	0.98×10^3	0.55	1
	平たん部	53×10^3	0	0	8.7×10^3	1.8×10^6		60×10^3	4.91×10^3	0.55	

注) 各定数は最小単位一つ分の値でなく、ヒューズ1本分の値である。
*: ヒューズエレメント溶断後の特性を表す係数で、詳細は文献(4)を参照のこと。

表3 シミュレーション動作定数(アレスタ)
Table 3. Constant values for simulation (arresters.)

アレスタ種類	電圧成分	抵抗成分	
	V_{ao} (V)	K_{a1} (Ω)	K_{a2}
A	43×10^3	2×10^3	0.247
B	41×10^3	2×10^3	0.247
C	39×10^3	2×10^3	0.247
D	37×10^3	2×10^3	0.247
E	41×10^3	0	—

図5 投入位相によるアレスタ消費エネルギーの変化

Fig. 5. Comparison of simulated and tested consumption energy of arresters for making angle.

使用したヒューズとアレスタの動作定数を表2、表3に示す。なお、表2中の記号は文献(4)、(5)を参照のこと。

図4および図5より、本シミュレーション手法は、十分な精度で使用できることがわかる。

5. アレスタの消費エネルギー

前章で用いたシミュレーション手法を用いて、以下に具体的な事例ごとのアレスタの消費エネルギーを検討した。

〈5・1〉 投入位相によるアレスタ消費エネルギーの変化 同一回路条件で、投入位相 θ を変化させた場合、アレスタ消費エネルギーは複雑に変化し、最大のアレスタ消費エネルギー W_{aimax} (J) となる位相 θ のあることが判明した(図5)。これは、位相 θ の変化によりヒューズ溶断時の電流 I_{fm} および電源電圧 V_s の瞬時値が異なるためと考えられる。

そこで、ヒューズ種類2、アレスタ種類Cにおいて、電源電圧 V_s などの条件を同一とし、固有電流 I_s をパラメータに、投入位相 θ を変化させたときのアレスタ消費エネルギー W_{ai} を、本シミュレーション手法により計算し、結果を図6に示す。

位相 θ は $0 \sim \pi$ の範囲とした。同図より、最大消費エネルギー W_{aimax} の生ずる位相 θ は固有電流 I_s により異なること、またエネルギー W_{aimax} は、電流 I_s により異なり、この条件では2, 8, 4, 16 kA の順に大きくなることがわかった。

〈5・2〉 ヒューズ種類によるアレスタ消費エネルギーの変化 表2の各種ヒューズと、表3のアレスタ種類Cの組合せによる最大消費エネルギー W_{aimax} の計算結果を図7に示す。各ヒューズに対応するエネルギー W_{aimax} は、固有電流 I_s の増加に対して複雑な特性を示した。また、計算したヒューズとアレスタの組合せでは、エネルギー W_{aimax} の最大はヒューズ種類2を用いた場合で、その値は52 kJであった。

図 6 投入位相によるアレスタ消費エネルギーの変化

Fig. 6. Calculated consumption energy of arresters for making angle.

図 7 ヒューズ種類による最大アレスタ消費エネルギー

Fig. 7. Maximum consumption energy of arresters for type of current limiting fuses.

〈5・3〉 ヒューズとアレスタの動作特性の変化によるアレスタ消費エネルギー ヒューズおよびアレスタの動作特性の一部をパラメータとして変化させた場合のエネルギー $W_{ai,max}$ の変化を、本シミュレーション手法により計算する。ヒューズ種類 3 と、アレスタ種類 C を基本にした。

(1) ヒューズのノッチ部溶断ジュール積分 (I^2t) m のみを 0.5~2 倍の範囲で変化させた場合の計算結果を図 8 に示す。特性曲線はほぼ相似形で、溶断ジュール積分 (I^2t) m が大きいほどエネルギー $W_{ai,max}$ も大きい。これは、溶断時にインダクタンス L_s に蓄えられる電磁エネルギー W_L の影響と考えられる。

(2) ヒューズの抵抗成分 R_{f0} のみ、0.5~2 倍に

図 8 溶断ジュール積分による最大アレスタ消費エネルギーの変化

Fig. 8. Maximum consumption energy of arresters due to melting joule integral of current limiting fuses.

図 9 ヒューズの抵抗成分による最大アレスタ消費エネルギーの変化

Fig. 9. Maximum consumption energy of arresters due to resistance components of current limiting fuses.

変化させた場合の計算結果を図 9 に示す。同図より、抵抗成分 R_{f0} が大きいほど、エネルギー $W_{ai,max}$ も大きいことがわかる。これは、抵抗成分 R_{f0} が大きいことにより、ヒューズ動作時の動作過電圧が高くなり、アレスタ電流 I_a が多く流れるためである。

(3) アレスタの特性を表 3 の A~E とした場合の計算結果を図 10 に示す。アレスタ種類 A~D は、動作開始電圧に相当する電圧成分 V_{a0} のみ 2 kV (約 5%) ずつ変化させた。同図より、電圧成分 V_{a0} が低くなるほど、エネルギー $W_{ai,max}$ が増大することがわかる。アレスタ種類 E は、電圧成分 V_{a0} を種類 B と

図 10 アレスタ種類による最大アレスタ消費エネルギー

Fig. 10. Maximum consumption energy of arresters due to types of arresters.

同じとし、抵抗成分を零とした場合で、制限電圧が一定であり、電流 I_a が大きくなるため、エネルギー W_{aimax} も種類 B より大幅に大きくなる。

以上のように、ヒューズおよびアレスタの動作特性変化によるアレスタ消費エネルギーの変化は、第 3 章の検討結果と同様になり、モデルにおける検討の正しいことが裏づけられた。

6. ま と め

配電系統で予想される事故形態に基づき、ヒューズの動作過電圧によりアレスタが動作した場合の、アレスタ消費エネルギーについて検討するため、ヒューズとアレスタの動作特性を、それぞれ電圧成分と抵抗成分の直列回路で構成するモデルを想定し、コンピュータによるシミュレーション手法を開発した。

20 kV 級のヒューズとアレスタを組合せた実験値と、本シミュレーション手法による計算値は良い一致を示し、本シミュレーション手法の妥当性が確かめられた。この手法を用いたシミュレーション結果から、次のことが判明した。

(1) アレスタ消費エネルギーは、ヒューズ種類、電源電圧、固有電流、力率および事故発生位相などにより変化する。

(2) 事故発生位相のみ変化させた場合、アレスタ消費エネルギーが最大となる事故発生位相があるが、その位相は一定でなく、ヒューズ種類および固有電流により異なる。

(3) ヒューズおよびアレスタの動作特性を変化させた場合のアレスタ消費エネルギーの変化は簡略化したモデルを用いた検討結果に一致した。

終りに、本実験検討にあたり御指導いただいた電力中央研究所横須賀研究所 尾崎勇造所長、高梨貢元調査役、深川裕正電力部長ならびに山田重知赤城試験研究センター所長に深謝いたします。また、終始貴重な御指導、御援助を賜った関西電力(株)配電部配電計画課 不動弘幸殿に感謝いたします。更に、実験に御協力いただいた電力中央研究所電力部大電流研究室各位にお礼申し上げます。

(昭和63年9月24日受付, 平成元年3月22日再受付)

文 献

- (1) 20 kV 級配電方式専門委員会架空配電分科会: 「20 kV 級配電方式(架空編)」, 電気協同研究, 30, 4: 16 (昭 49-12)
- (2) 中島, 他: 「22(33)kV 自動真空開閉器の改良試作試験研究」, 関西電力総研報告, No. 35, 122 (昭 60-3)
- (3) 浅野, 他: 「22 kV, 33 kV 配電用避雷器の改良試作試験研究」, 同上, No. 38, 7 (昭 62-3)
- (4) 岡崎・稲葉・藤田: 「アークエネルギーとノッチを考慮した限流ヒューズの動作シミュレーション」, 電気学会開閉保護装置研資, SPD-84-29 (昭 59)
- (5) 岡崎・稲葉: 「限流ヒューズ用動作シミュレーション手法の開発と実証」, 電学論 B, 107, 105 (昭 62-2)
- (6) 高梨・横倉: 「配電系統用限流ヒューズの動作過電圧と避雷器の動作責務」, 電中研技一研報, No. 74070, 4 (昭 50-4)
- (7) 岩崎・瀬渡・太田: 「低圧リボンエレメント限流ヒューズの過電圧・シャ断 I^2t 特性(第二報)」, 昭 43 電気四学会連大, No. 595
- (8) 大森: 「ワイヤエレメントを有する限流ヒューズの動作過電圧」, 昭 50 電気学会全大, No. 1308
- (9) 沢村・久保木: 「大容量半導体用ヒューズの開発とシャ断オシログラムのシミュレーション」, 昭 52 同上, No. 919
- (10) 横内・斉藤: 「半導体用ヒューズの異周波特性について」, 昭 55 同上, No. 995
- (11) 鬼頭・宮田: 「低圧限流ヒューズのシャ断時の電流波形」, 昭 44 同上, No. 806