

Reference [5]

Paper for The Institute of Electrical Engineers of Japan (IEEJ)

8<sup>th</sup> October 1974

Gapless Surge Arrester for Electric Power Systems

Meidensha Corporation: Misao Kobayashi

Mitsuru Mizuno

Panasonic Corporation: Michio Matsuoka

Masanobu Tanaka

Document for Switching Protection Apparatus Research Committee

Document No. PD-74-12

8<sup>th</sup> October 1974

The Institute of Electrical Engineers of Japan (IEEJ)

11-1, Yurakucho, Chiyoda-ku, Tokyo

Gapless Surge Arrester for Electric Power Systems

Meidensha Corporation: Misao Kobayashi

Mitsuru Mizuno

Panasonic Corporation: Michio Matsuoka

Masanobu Tanaka

1. Preface:

Panasonic Corporation Wireless Research Laboratory developed a world-first zinc oxide-based non-linear ZNR varistor . With its excellent non-linear characteristics, Meiden and Panasonic started the joint research program which led to application of surge arrester without series gap for electric power systems. This was developed by the

innovations on the varistor elements.

The joint research program showed the fast progress. They produced ZnO Elements for 2.5 kA class distribution type surge arrester in 1971 and for 10 kA class station type surge arrester. The ZnO Elements realized the compact design and far more excellent characteristics than the conventional SiC Elements. Meanwhile, as we made the prototypes: 6 kV distribution type arrester in 1971 and 66kV station type anti-pollution model surge arrester in 1972. The prototypes are under outside field test and long-term charging test. Especially 84 kV 10 kA anti-contamination type arrester for 66 kV power systems, it went through various tests. The test results show this surge arrester is good for anti-contamination type surge arrester in terms of size, weight and reliability.

This ZnO Element-based surge arrester for electric power systems has the following features. Especially, it shows the excellence in the application for anti-environmental contamination type and for compact metal-clad switchgear.

- (1) ZnO elements consists of about 10 micron size micro crystallite structures which offer four (4) functions of: series gap, characteristics element, parallel resistor and parallel capacitor
- (2) Compared with the conventional gapped type arrester, the same capacity element size could be sized into about 1/5 through 1/10. We could realize the compact design enabling to put surge arrester inside the support insulator.
- (3) No series gap is required and no follow current. It is especially for the use for multiple strike, multi-surge and for anti-environmental contamination application.

Compared with the SiC Element, it has the exceptionally excellent non-linear characteristics and large current impulse withstand capability. Given such factors, it shows the possibility that it might become the force to turn the clock back again to valve-type arrester (this time by Zinc Oxide Element Type). Historically, surge arrester went through from valve-type arrester (aluminum cell type, oxide film type) to valve resistance arrester (multiple gapped type - magnetic blow out type surge arresters with series gaps. - current-limit type)

The paper introduces the overview of ZnO Element-based gapless surge arrester for electric power systems.

: Reference [5] in Japanese

開閉保護装置研究会資料

資料番号	PD-74-12
------	----------

# 電力用ギャップなし避雷器

小林三佐夫・水野 充・松岡道雄・田中正信  
(明 電 舎) (松下電器産業)

1974年10月8日

社団法人 電 気 学 会  
東京都千代田区有楽町1-11

## 電力用ギャップなし避雷器

小林 三佐夫 水野 充  
(株式会社 明電舎)

松岡 道雄 田中 正信  
(松下電器産業株式会社)

## 1. まえがき

松下電器産業(株)無線研究所が世界に先がけて開発した酸化亜鉛を主成分とするバリスタ素子“ZNR”①②③④のすぐれた非直線性と大きい放電耐量に着目して、昭和45年株式会社明電舎と松下電器産業株式会社が共同で、このバリスタ素子を改良して直列ギャップなしの電力用避雷器への適用研究を開始した。

共同研究の成果は急速に進展し、昭和46年には配電用2.5kA級、昭和47年には発変電用10kA級のZnO素子が、それぞれ在来のSiC素子に比べてはるかに小形で特性のすぐれた素子が達成された。一方製品試作としても昭和46年には6kV配電用、昭和47年には66kV発変電用耐汚損形を試作完了、屋外暴露・長期課電試験中である。特に66kV系統用84kV、10kA耐汚損形避雷器に関しては、各種の試験を実施した結果耐汚損用として、寸法・重量・信頼性の点で適していると考えられる。⑤⑥⑦

この電力用ZnO素子を用いた避雷器は以下のごとき特長を有しており、特に66kV系統以上の耐汚損用、縮少形閉閉設置用として優れている。

- (1) 直列ギャップ、特性要素、並列抵抗、並列コンデンサの4種の機能がZnO素子を構成する10ミクロン程度の微結晶構造に内蔵されている。
- (2) 従来の避雷器に比べて内部要素の容積が1/5~1/10程度なので、支持碍子の内部に収められる程度に小形化出来る。
- (3) 直列ギャップが不要で且つ無統流なので、多重雷・多重サージ耐汚損用として特に適している。

又在来のSiC素子に比べて桁外れに非直線性が優れていて且つく形波放電耐量が大きいので、弁形(アルミニウムセル形、オキサイドフィルム形)から弁抵抗形(多重ギャップ~磁気吹消形~限流形)への歴史的な変遷を再度弁形(ZnO素子形)の方向へ向ける可能性も考えられる。以下ZnO素子を用いた電力用ギャップなし避雷器の概要について紹介する。

## 2. 電力用ZnO素子の微細構造と動作原理・特長

現在一般に用いられている電力用避雷器は、“直列ギャップ付き弁抵抗形避雷器”ともいえるべきもので、直列ギャップと特性要素(SiC素子)から構成されており、常時印加される交流電圧は直列ギャップにより絶縁され、雷又は閉閉インパルス異常電圧が襲来すると直列ギャップが放電してSiC素子を通して大地に電流を流し、異常電圧消滅後はすみやかに限流して元の絶縁状態に復帰する様に設計されている。SiC素子の非直線特性は十分でない(特に小電流域で良くない)ので、直列ギャップがなければ常規対地電圧で、小電流(アンペアオーダー)が長時間流れ温度上昇して遂には焼損に至ってしまうため直列ギャップは不可欠であつた。所が電力用ZnO素子を用いると、以下に示すごとく、常規対地電圧では充電電流として、1mA以下の無

効電流が流れるのみで（抵抗分としては $1\ \mu\ \Omega$ 以下）全く温度上昇せず、直列ギャップは必要でない。

図一 素子の構造

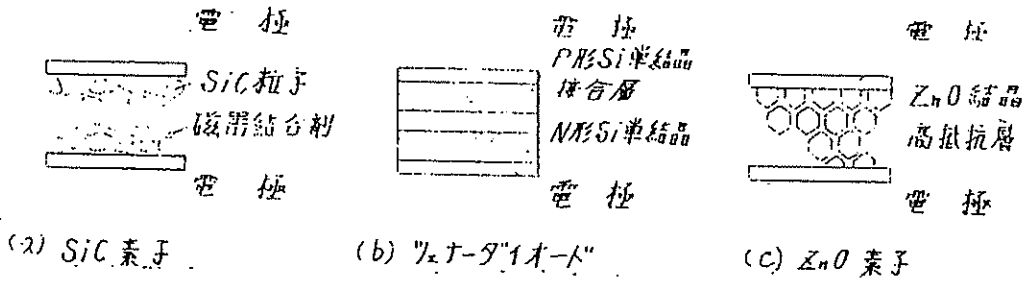


図1に在来のSiC素子

子ツェナーダイオードおよび電力用ZnO素子の内部構造比較説明図を示す。SiC素子は(a)図のごとく200ミクロン前後のSiC粒子が立体的に点接触したものを粘土等の磁器結合剤で焼結したもので、その電圧電流非直線特性はSiC粒子の接触の性質に起因している。一方ツェナーダイオードは(b)図のごとく、P形SiとN形Si単結晶結合部の逆方向の電圧電流特性を利用したものである。これに対してZnO素子は(c)図のごとく10ミクロンオーダーのZnO結晶微粒子を0.1ミクロン前後の高抵抗薄層が取り囲み、この薄層を介してZnOの焼結粒子が互いに接触しており、その電圧電流非直線特性は焼結粒子の境界層に存在している点およびその非直線特性境界層が無数に積層して成り立っていると云う点でSiC素子と似ている。<sup>①③</sup>しかし別の見方をすると、電圧電流非直線特性が接触抵抗によるのではなく結晶と結晶の境界層すなわち接合層に起因すると云う点でツェナーダイオードと似ている。

ZnO結晶粒子の比抵抗は境界層のそれに比較してはるかに小さい( $1/10^{13} \sim 1/10^{15}$ )<sub>2</sub>ので、焼結体の両端面に高電圧が印加されるとそのほとんどが境界層にかかり、ツェナーダイオードと類似の電流増倍現象が生じる。ツェナーダイオードと異なる点は、(1)電圧電流特性が対称であること、(2)全体の厚さすなわち境界層の直列の数をコントロールして広範囲の動作開始電圧（例へば直流1mA流れる時の電圧で、在来の避雷器の商用周波放電開始電圧のごときもの）を得ることが容易であること、(3)放電耐量がはるかに大きいこと、(4)等価的な誘電率が非常に大きく（ $\approx 1000 \sim 2000$ ）セラミックコンデンサ並みの静電容量が得られること、などである。

以上をまとめると以下の通り。

- (1) ZnO素子はツェナーダイオード並みの良好な電圧電流非直線特性とSiC素子以上の放電耐量を有し、両者の長所を合わせ持ち短所を補っており、その非直線指数は  $I = \left(\frac{V}{C}\right)^{\alpha}$  で表わすと  $0.1\text{mA} \propto 1.0\text{mA} \approx 50 \sim 80$  となる。（SiCでは  $0.1\text{mA} \sim 1.0\text{mA} \approx 1 \sim 2$ ）
- (2) ZnO素子は10ミクロンオーダーの結晶微粒子と境界層の三次元的積層により、まるでトランジスタ対ICのごとく、電力用避雷器の直列ギャップ・特性要素・並列抵抗・並列コンデンサの4種の機能を合わせ持っている。
- (3) 従つて、電力用避雷器に適用すると以下のごとき特長・効果が期待出来る。

ア 直列ギャップが不要（急峻波応答特性の改善）

イ 小形・軽量化（縮小形閉閉装置の小形・軽量化）

ウ 無焼流による効果

ア) 耐多重雷・耐多重サージ特性の画期的改善（サージのエネルギーが極端に少ない場合は、100回200回以上の多重連続動作でも全く問題ない。）

イ) 耐汚損特性の画期的改善（乾燥帯のフラッシュオーバーに伴うパルス電流では温度上昇はなく焼損の心配が全くない。）

ウ) 動作責務能力の飛躍的向上（放電耐量相当の雷電流まで動作責務が可能。）

エ 構造の単純化（信頼性の向上）

オ 規格の簡素化

現行規格では、IEC99-1、JEC-156、ANSIC62.1その他何れの場合も避雷器の定義としては直列ギャップの有無を特に定めていないものの、形式試験項目の中では直列ギャップを前提とした内容とか放電に関する部分に大きく紙面をさいているが、本方式の場合は直列ギャップが不要なので、これ等の規定の内大部分が不要になる。すなわち、正負、乾燥、注水条件に於ける急峻波（約 $0.5\mu s$ ）から $1,000\mu s$ までのV-I特性が殆んど不要となる。

### 3. 電力用ZnO素子の特性

ZnO素子を用いた電力用ギャップなし避雷器は以上のごとき特長を有する新製品で、従来発表されているバリスタ素子<sup>①⑧⑨</sup>とは異なり、(1)大電流領域（ $10kA\sim 100kA$ ）での電圧電流特性（制限電圧特性）、(2)放電耐量、(3)劣化特性、の3点で大巾に優れた特性を要求されるので、原材料の吟味（メーカー・仕様・その他）、添加物の配合（ $Bi_2O_3$ 、 $CaO$ 、 $MnO$ 、 $Sb_2O_3$ 、その他数種の添加物）および混合から焼結までの各工程の徹底的改善を計った結果、バリスタ用ZnO素子より格段と優れた電力用ZnO素子に関し以下のごとき特性が得られた。（直径約56mmを主体としてまとめた）

#### (1) 制限電圧特性（大電流領域）

電力用ZnO素子として最も重要な制限電圧特性を改善するために、ZnO結晶粒子の寸法を適当なサイズ（10ミクロンオーダー）として固有抵抗を極力低くすると共に、 $Bi_2O_3$ を主体とする添加物による粒界層の厚さを適当な厚さ（0.1ミクロンオーダー）として固有抵抗値を極力大きくすることが必要である。これ等の相俟する特性を両立させるため、配合と製造方法に特別の工夫をして、以下のごとき優れた特性が得られた。

図2. 84KV, 10KA外形寸法（一般用非耐塩形）

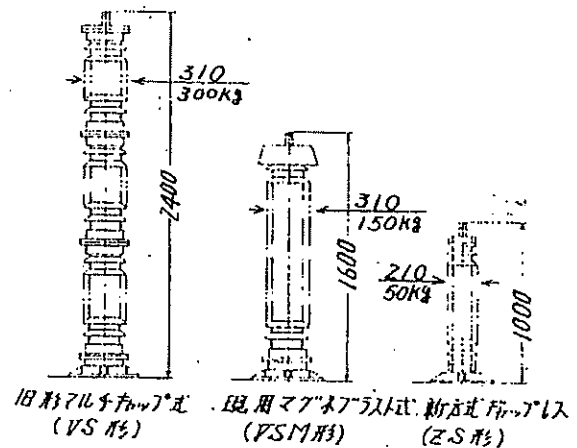


図4. バリスタ用及び電力用ZnO素子の制限電圧比

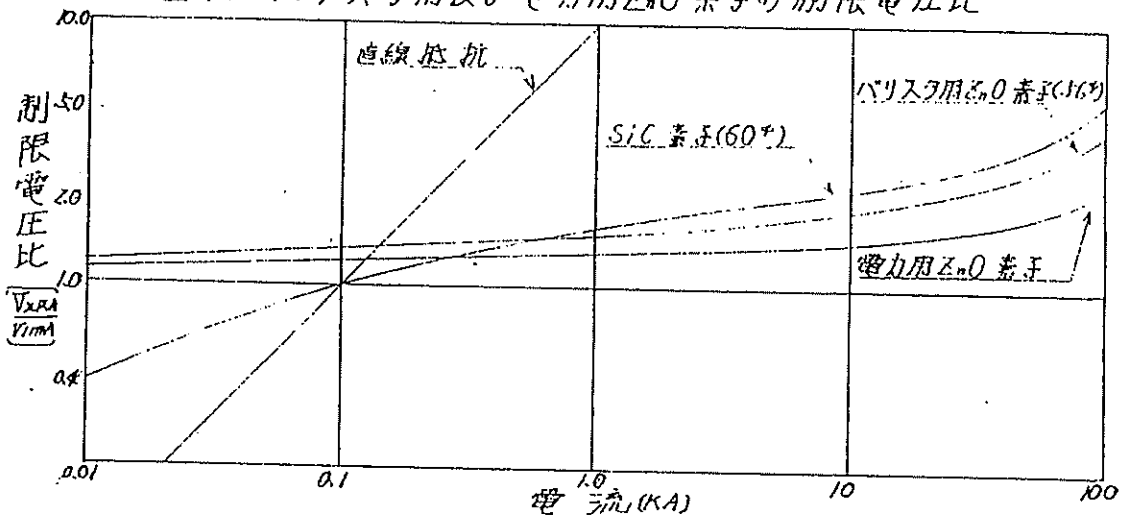


図3. 電力用ZnO素子の微細構造



制限電圧電流特性を制限電圧比の形で表わしたのが図4である。ここで制限電圧比とは  $V_{xKA}$  と動作開始電圧  $V_{imA}$  の比で定義する。図でバリスタ用ZnO素子とSiC素子と比較してあるごとく、電力用ZnO素子はSiC素子より小電流領域は勿論大電流領域に於ても優れており、同一保護レベル(例へばV10KA

を一定)とすればZnO素子の場合直列ギャップが不要である。

(2) 放電耐量特性

表 1 電力用ZnO素子の放電耐量特性 (SiC素子、バリスタ用ZnO素子との比較)

種別	SiC素子 (60φ)	電力用ZnO素子 (56φ)	バリスタ用ZnO素子 (56φ)
雷インパルス電流試験 (4×10 <sup>μ</sup> S波×2回)	120kA (≒4kA/cm)	150kA (≒6kA/cm)	100kA (≒4kA/cm)
開閉インパルス電流試験 (2mS波×20回)	250A (≒10A/cm)	600A (≒25A/cm)	400A (≒16A/cm)

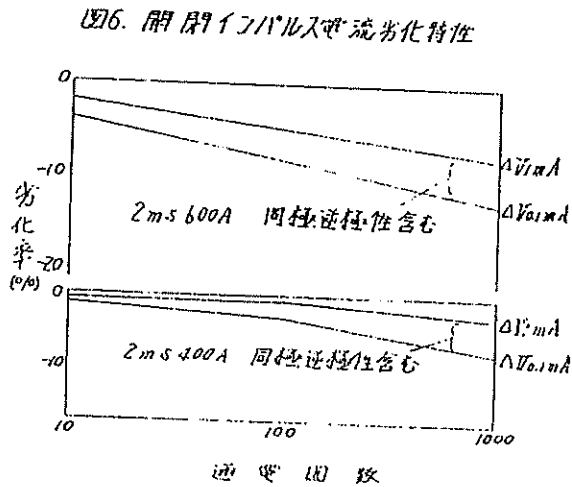
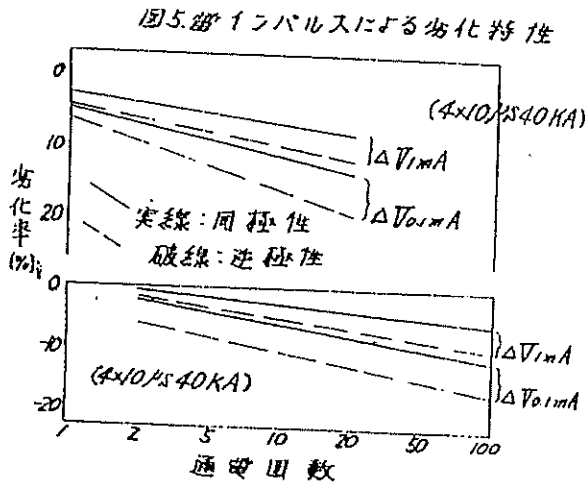
電力用ZnO素子の放電耐量を同一寸法のSiC素子、バリスタ用ZnO素子と比較すると表1のごとく、 $4 \times 10 \mu\text{s}$ 波、 $2 \text{ms}$ 波共両者より優れていることが判る。特に $2 \text{ms}$ 波放電耐量は非直線性の良くないSiC素子の2.5倍もあるので、ケーブル系統用、廻々高圧用に適していると考えられる。

(3) 耐劣化特性

ZnO素子の劣化には、(1)雷インパルス電流による劣化、(2)閉閉インパルス電流による劣化、(3)長期課電による劣化、(4)吸湿による劣化、が考えられる。劣化の度合を示す指標として劣化率を用いることとし次のごとく定義する。

$$\text{劣化率} = \left[ \frac{\Delta V_{x \text{ mA}}}{V_{x \text{ mA}}} \right] \times 100 (\%)$$

$\Delta V_{x \text{ mA}}$  : 試験前の $V_{x \text{ mA}}$ から試験後の $V_{x \text{ mA}}$ を引いた値



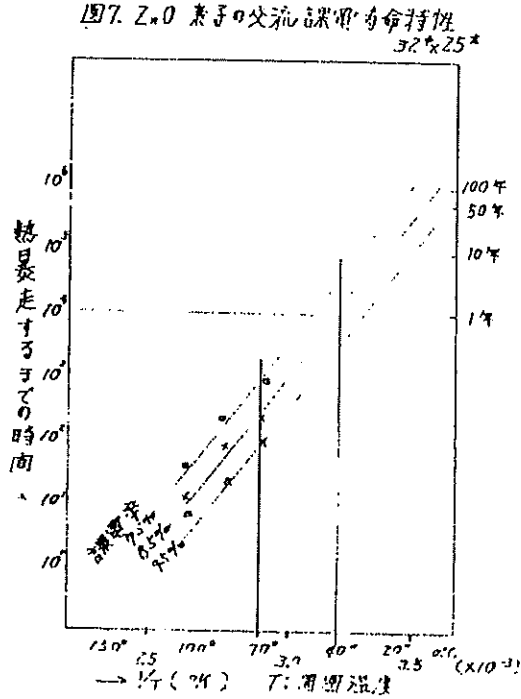
先ず雷インパルス電流および閉閉インパルス電流通電による劣化率を求めると、図5、図6に示すごとく $4 \times 10 \mu\text{s}$ 波 $100 \times \text{A}$  2回 $2 \text{ms}$ 波 $400 \text{A} \times 20$ 回通電後の逆性の $V_{1 \text{ mA}}$ の劣化率(苛酷な極性)でそれぞれ10%、5%以内である。劣化率は電流通電の極性と逆方向(逆極性)の場合の $\Delta V_{x \text{ mA}}$ の方が同方向(同極性)の場合より大きい(苛酷)ので、実使用の場合は必ずしも同一極性の電流ばかり流れるとは限らないため劣化率は更に小さいものと考えられる。又10%程度劣化したものでも $150^\circ\text{C} \times 3$ 時間程度の熱処理で3%程度に減少してしまつたり、長期課電により劣化前の値に近づく場合が多いなどの特性があり、永久劣化と一時的劣化が混在していることを考慮すると、 $4 \times 10 \mu\text{s}$   $100 \text{kA} \times 2$ 回、 $2 \text{ms}$   $400 \text{A} \times 20$ 回程度の放電耐量試験後も実用上は使用出来るものと考えられる。

次に長期課電による劣化特性については、常規対地電圧とか線間電圧(一線地絡時端子電圧)相当以上の苛酷な電圧を課電して2年以上経過しても全く $V_{1 \text{ mA}}$ 、 $V_{0.1 \text{ mA}}$ に変化がなく、電力用避雷器として、直列ギャップなしで十分使用出来るものと考えられるが、ZnO素子としての寿命を半永久的と推測するため各種の加速劣化等価寿



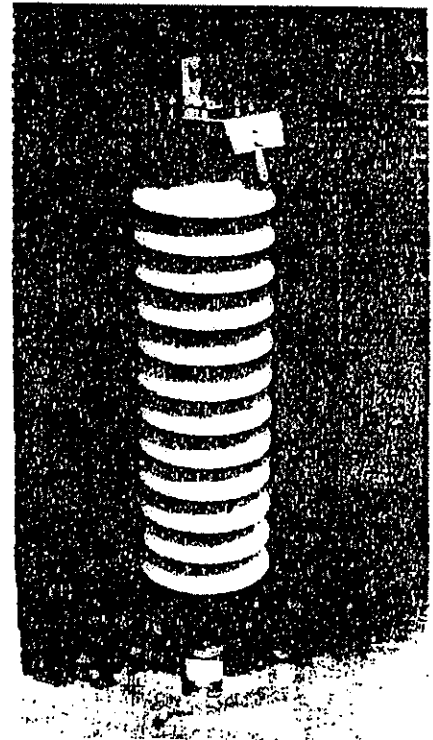
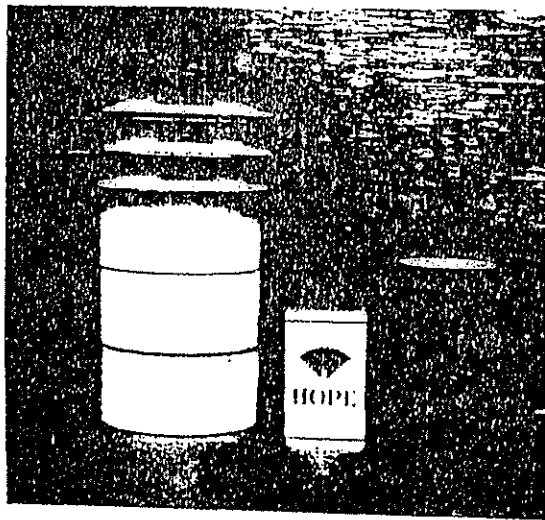
命試験について検討、実施中である。

一例として課電率と高温劣化特性の組合わせによる加速劣化試験の結果から推定すると、  
図7に示すごとく平均温度20℃で常規対地電圧の場合の課電寿命は50年以上となる。



次に吸湿による劣化であるが、基本的には気密構造が完全でなければ当然特性の保証が出来ないことは在来の直列ギャップ付き避雷器と同じであり、組立初期に混入する可能性のある微量水分を吸着するに十分な吸湿剤を使用し、気密構造の管理に留意することが必要である。

第8図 耐塩形新方式避雷器



在 来 形 (直列ギャップ+SIC素子)                      新 方 式 (ZnO素子)

図9 定格電圧14kV、公称放電電流10kA避雷器の内部要素比較

## 4. 66kV系統用耐汚損形ギャップレス・アレスタ(ZS-84AX)について

ZS-84AX形10kA、84kV耐汚損形(0.06mg/cm)ギャップレス・アレスタの定格および標準特性を表2に示す。これは一線地絡時0.06mg/cm汚損度を考慮したもので、在来

表 2 66kV系統用耐汚損形 ZnO  
素子ギャップレス・アレスタの定  
格・諸 及び標準特性

形 式	ZS-84AX
定 格 電 圧	84kVrms
公称放電々流	10kA crest
特別動作責務静電容量	25 F
汚 損・度	0.06mg/cm
動作開始電圧(V <sub>1mA</sub> )	130kV crest
制限電圧 於 5kA	210kV crest
於 10kA	220kV crest
放電耐量 4×10 <sup>μ</sup> s 2回	150kA crest
ms 20回	600A crest
全 長	1200mm
直 径	270mm
重 量	75kg

の直列ギャップ付き耐汚損形避雷器VSM-84KX(0.06mg/cm)と特に異なる点は、(1)汚損時の動作責務能力が全く低下しないこと(すなわち定格電圧で動作責務可能)、(2)寸法・重量がそれぞれ3/4と1/2に出来たことである。図8・9に外形および内部要素の写真を示す。以下この主要特性について要点を記す。

## 1) 動作開始電圧

動作開始電圧V<sub>1mA</sub>は、定格電圧波高値(≒120kV)あれば十分と考えられるが、裕度を留めてV<sub>1mA</sub>≒130kVとした。

## 2) 急峻波応答特性

直列ギャップがないためv-t特性の定義は規定化が困難であるが、現有設備で±350kV相当の雷インパルス電圧を波頭長1μs~0.1μsの範囲で変えて印加して何れも約±200kV相当に低下しflatな特性であつた。

なお、ZnO素子を用いたギャップレス・アレスタについては在来形の直列ギャップ付き避雷器で用いられる“v-t特性”又は“急峻波電圧応答特性”と云う概念自体が適用し難く、むしろ“急峻波電流応答特性”を検討すべきであると考えられる。8×20μs 1000Aの電流を標準として電流波高値を一定にして電流波頭長と制限電圧との関係を調べると、波頭長1μs付近で約5%程度しか上昇せず、SiC素子自体に比較しても同等以上の良い応答特性を示している。従つて少なくとも直列ギャップのv-t特性の分だけは確実に応答特性が改

書かれているもの考えられる。

(3) 制限電圧特性

制限電圧は確実に素子枚数に比例すると考えられるので、図4を参照して前述の動作開始電圧  $V_{1mA} = 130kV$  を適用すると

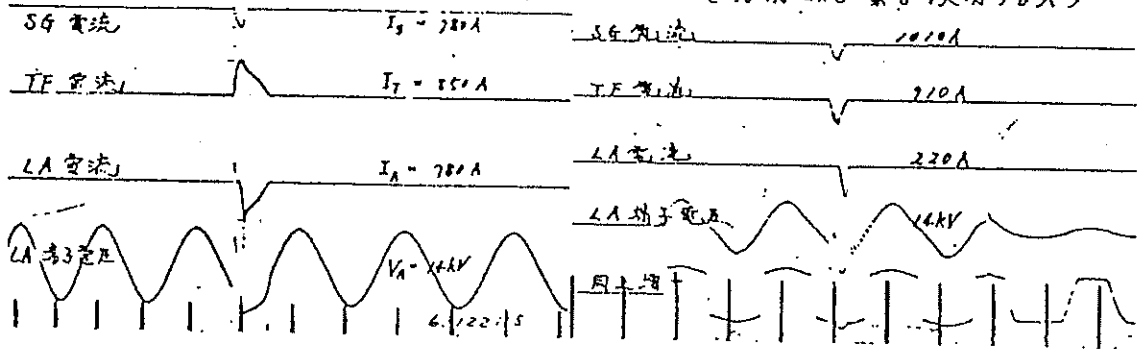
$$V_{10kA} = V_{1mA} \times 1.7 \approx 220kV$$

となり、JEC-156の規定値  $281kV$  の約80%に相当する。なお動作開始電圧 ( $V_{1mA}$ ) を低くするとか素子の一部にバイパスギャップを取り付けることなどにより、 $V_{10kA}$  を  $170kV$  以下すなわち  $DLR (V_{10kA} / \text{定格電圧})$  を2.0以下にする可能性もあり、目下検討中である。

(4) 動作責務特性

分割区分  $14kV$  について、普通動作責務試験を実施して無統流であることを確かめ、次に線路容量  $25\mu F$  の特別動作責務試験を5回実施した結果、継続時間約  $1ms$  波高値  $200\sim 300A$  のパルス性過渡統流が流れたのみで、一般的に見られる統流は流れず、毎回異常なく試験を完了した。消費エネルギーは在来形避雷器の場合の  $1/2$  以下を推測され、正規の統流がないため責務が楽になつたものと考えられる。(図10参照)

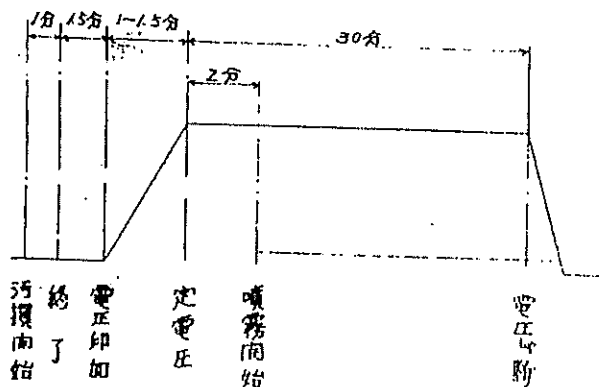
図10. 特別動作責務試験オシロの一例 ( $14kV$  ユニツト  $C=25\mu F$ )  
在来形 SiC 素子アスタ 電力用 SiO 素子使用アスタ



(5) 耐汚損特性

JEC-156の参考試験項目とされている等価霧中上昇法による放電開始電圧の測定は適用出来ないので、IEC 推しよう案に準じて定印霧中法を適用した。(7) (図11参照)

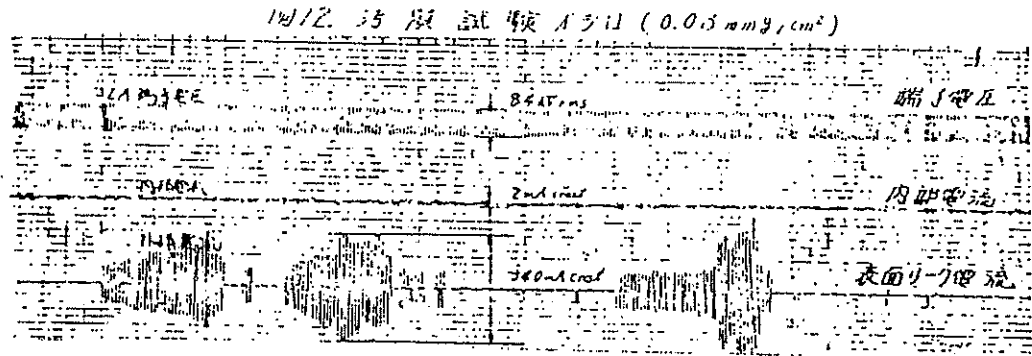
図11. 汚損試験方法



試験は塩分付着量  $0.03mg/cm^2$  で実施し、定格電圧 ( $84kV$ ) に十分耐えることが確認された。なお試験前後の動作開始電圧 ( $V_{1mA}$ ) は殆んど変化なく ( $1\%$  以下) 分解点検の結果もなんら異常なく、寸法・重量および特性面から見て耐汚損形として最適と考えられる。汚損試験オシログラムの一例を図12に示す。

(6) 防爆構造試験

$300A \times 2$  秒、 $3.000A \times$



0.4秒、30,000×0.2秒の各試験を実施して、それぞれ安全弁が開弁し、3,000Aと30,000についてはアークホーンで確実に外部フラッシュオーバーして避雷の爆発はもとより崩れもしないことを確認した。

#### (7) 長期曝露試験

電力用ZnO素子の長期信頼性保証のための各種試験については、前述ごとく別の機会に詳細を報告することとし、ここでは“耐汚損形84kV試作品についての試験結果を示す。定格電圧84kVの耐汚損形ギャップレスアレスタについて、常規対地電圧の $\sqrt{3}$ 倍に相当する66kVと云う苛酷な条件で10,000時間以上屋外に曝露し、定期的に動作開始電圧(V1mA, V0.1mA)を測定して表質の変化がないことを確認しており、実系統(常規対地電圧 $66/\sqrt{3}$ kV)に於ける使用に十分耐えるものと確信している。

### 5. 直列ギャップなし避雷器の歴史的意義と今後の課題

#### (1) 電力用避雷器の発展

電力用避雷器進歩の歴史を振り返って見ると、当初アルミニウム・セル形オキシドフィルム形などの弁形避雷器が開発適用されていたが、化成充電を要するなどの保守上の問題と大電流領域の制限電圧特性が良くないなどの特性上の問題で、昭和の初期より次第に碳化硅素(SiC素子)を主成分とする弁抵抗形避雷器に移行して来た。弁抵抗形の初期は単純な多重直列ギャップとSiCを主体とした特性要素から成っており、1954年JEC-131が多重ギャップ式弁抵抗形避雷器を対象として制定された。

しかし1956~7年頃から超高压長距離送電系統用および都市ケーブル系統用として雷だけでなく開閉サージ処理能力の大きい避雷器の必要性が生じ、1958年頃よりこれに対応して制限電圧の10~20%低い磁気次消形避雷器が製造されるようになり、1963年にこれ等を含んだ現在のJEC-156が制定された。

その後制限電圧が更に10~20%低い限流形避雷器が主として超々高压系統用、直流送電用に必要不可欠なものとして1965年頃から全世界的に普及し、1970年にはIEC 99-1に限流形避雷器の試験法が盛り込まれ我が国でも現在改訂作業に入ったJEC-156改訂委員会で検討を開始した所である。

#### (2) 直列ギャップなし避雷器の意義

この歴史的傾向を内容面から見ると弁抵抗形避雷器の初期は特性要素に単純な絶縁ギャップ(放電ギャップ)を直列に付属した程度であつたが、磁気次消形ギャップが開発され統流しや断能力が向上すると共に、特性要素が大きな統流エネルギーの大部分を分担する必要上大形となり、避雷器全体が大形化された。その後限流形避雷器の出現により処理すべき全エネ

ルギーが少なくすみ、且つ限流ギャップと特性要素の処理エネルギー分担をバランスさせることが出来るようになり、比較的小形化が可能となつた。

しかし限流形避雷器も未だ以下の如き問題が多きされている。(1)限流ギャップのアーク電圧と特性要素の制限電圧の和が開閉インパルス耐電圧をオーバーする危険性があり、(2)特性要素の制限電圧電流特性を10kA以上の大電流領域まで十分平坦にすることが困難であり、(3)大きなサージ耐量を得るため(超々高圧用とか直流送電用)フリップフロップ回路を応用したマルチコラム避雷器<sup>2)</sup>が各種考案されているが、回路的、構造的に複雑であり、寸法・重量・信頼性・コストなどの面で問題である。

電力用ZnO素子を用いたギャップレスアレスタにより以上の3問題は比較的容易に解決出来るものと考えられる。

又避雷器の変遷から見ても、磁気吹消形で必要以上に増大させた処理エネルギーを限流形で抑制すると共に、直列ギャップと特性要素で分担させるようになり、可成り合理化されてはいるが、ZnO素子を用いれば限流特性は確実(普通アークの様な不安定性は全くない)で瞬時に行なわれるし、エネルギー分担は10ミクロン程度の結晶粒子の内部でバランス出来るので処理エネルギーの抑制分担と云う面では理想に近いと考えられる。勿論端子電圧がハネ上る必配は皆無であるし、大きな処理エネルギーを必要とする時は円板の直径を大きくするか並列配設するだけで十分であり、構造的には全くシンプルである。

以上の如く多重ギャップ式から磁気吹消形を経由して限流形に至つた経過を考察すると、限流ギャップ機能内蔵の小形・高<sup>信</sup>信頼性避雷器とも云えるような、電力用ZnO素子を用いたギャップレスアレスタは、避雷器発展の究極的な姿とも云えるのではないかと考えられる。

### (3) 今後の課題と展望

以上の如く電力用ZnO素子を用いたギャップレスアレスタは特性面では在来の直列ギャップ付き避雷器と比較して数々の特長を有しており、将来性の高いものであるが、現時点においては以下の課題について更に研究中である。

- ア 電力用避雷器として必要な寿命を保証するための研究(実系統での使用実績と苛酷な条件下での寿命推定試験)
- イ 更に特性の良いZnO素子の開発(配合・製造工程)
- ウ 大形素子の開発
- エ 量産技術の向上(バラツキ・生産性・コスト)

上記の課題を解決出来れば以下の製品に特に適していると考えられる。

- ア 超々高圧までの耐汚損避雷器
- イ 直流送電用避雷器
- ウ 22~33kV配電用小形避雷器
- エ 縮小形弱羽装置その他複合形避雷器

### 6. まとめ

以上、世界最初の電力用ギャップなし避雷器の原理・特性・応用などについて紹介した。現規格の形式試験項目又は相当する特性に関してはすべての点で十分すぐれており、2年間の課電寿命実績と長期の推定寿命は見込まれているが、電力用避雷器として直列ギャップなしの実系統での使用実績は皆無なので需要家各位のご理解とご指導により細心の注意を払つてこの問題の解決

に努力してゆきたい。

今回の共同研究に際し終始御協力を戴いた社内の各位ご指導、ご検討賜わつた電気学会関係の諸先生ならびに開発の端緒を開かれ常にご指導賜わつた上司の方々に深く謝意を表わします。

[ 文 献 ]

- 1) 増田他 : 酸化亜鉛バリスタ  
National Technical Report Vol. NO. 2 (1969) P216
- 2) 松岡他 : Nonlinear Electrical Properties Of Zinc Oxide Ceramics  
Supplement to the Journal Of the Japan Society Of Applied Physics  
Vol 39 (1970) P94
- 3) 松岡 : NonOhmic Properties Of Zinc Oxide Ceramics  
Japanese Journal Of Applied Physics Vol 10 NO. 6 (1971) P736
- 4) 細川他 : Hi-ZNR 形サージアブソーバ について  
函説電気 第12巻 第11・12号 (1971)
- 5) 浦坂他 : 酸化亜鉛を主成分とするギャップレス電力用アレスタ  
電気学会全国大会 昭和48年4月 NO 777 P1010
- 6) 浦坂他 : Hi-ZNRを適用したギャップレス電力用アレスタ  
電気協会研究会論文 昭和48年5月 P58
- 7) 小林他 : 84kV耐塩形ギャップレスアレスタ試験報告  
電気学会全国大会 昭和49年3月 NO 1020 P1379
- 8) 一の瀬他 : 高性能セラミックバリスタ 「TNR」  
東芝レビュー 第27巻 12号 (1972) P1167
- 9) 難波他 : 酸化亜鉛ギャップレスアレスタ (富士セントラップ)  
富士時報 第47巻 5号 (1974) P386
- 10) A. SCHMID 他 : Temporary Overvoltages and protective Requirements  
for E.H.V. and U.H.V. Arresters  
CIGRE 1972 Session 33-04
- 11) CIGRE SC-33 : HVDC Surge Diverters and their Application  
for Overvoltage Protection Of HVDC Schemes  
CIGRE 1972 Session , 33-14

原稿受付 昭和49年9月17日