

# ケーブル回路用ドライバルブ避雷器

落 清\* 加藤保照\*\*

## Dry Valve Lightning Arrester Protecting Cable System

By Kiyoshi Ochi

Kokubu Branch Works of Hitachi Works,

Yasuteru Kato

Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

### Abstract

The existing lightning arresters have hitherto been considered inapplicable to the protection of cable circuits from the abnormal surges of longer duration than lightning. However, the recent improvement of the characteristics elements of the dry valve lightning arrester has given them sufficient strength to resist even those powerful surges. The writers disclose in the present article that the improved dry valve lightning arrester proved to be dependable for cable system protection in the factory test using a mimic cable circuit as well as in the field test.

### 〔I〕 緒 言

この数年来発電所用避雷器は、放電特性、制限電圧、放電耐量などにおいて長足の進歩をとげ、避雷器標準規格も制定され、雷進行波は勿論のこと、近接雷撃などに対してもある程度の保護効果が期待されるに至っている。

一方ケーブル回路用避雷器については、ケーブル回路に発生する異常電圧の究明も近年になって二三実測された程度で資料も少なく、架空線に比べてサージインピーダンスの小さいこと、対地静電容量がきわめて大きいことなどのために、避雷器に対する責務が非常に苛酷となることを予想し、現用のものではまだ実用性に乏しいと考えられていた。ところが最近改良された特性要素はある程度まで上記の要求を満足することが実証され、かつ昭和29年3月中部電力三重変電所において各社の7kVケーブル回路用避雷器の現地試験が行われ、十分実用性のあることを示した。<sup>(1)</sup> 以下にケーブル回路用ドライバルブ避雷器の試験結果と概略について述べる。

### 〔II〕 直列ギャップ

ケーブル回路用避雷器直列ギャップは回路の特質上、外雷よりむしろ開閉サージなどのごとき内部異常電圧に

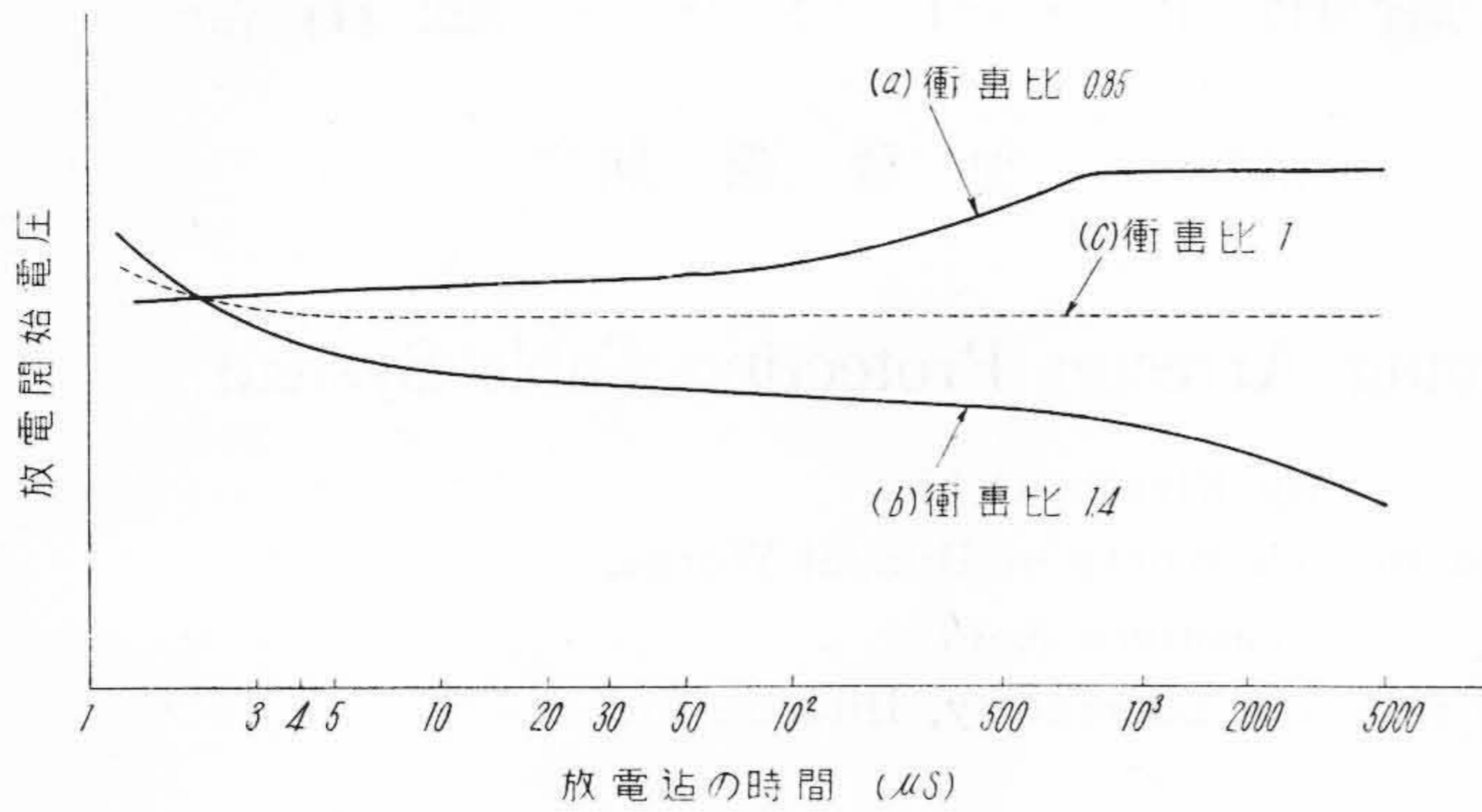
対する機器の保護に重点をおくため、衝撃波および商用周波放電開始電圧の外に、波頭までの時間が50 $\mu$ s~2ms程度の中間周波放電開始電圧が重要となる。

一方最近の避雷器直列ギャップの中間周波(波頭までの時間が50 $\mu$ s~2ms程度)を含めての放電特性は第1図(次頁参照)に示すごとく、高抵抗シールドなどを利用することにより、衝撃比を1以下にも以上にも調整できるが、(a)の曲線のような場合、中間周波のうちで1~2msに対応する放電開始電圧はほぼ商用周波放電開始電圧(波高値)に近いことがわかる。この場合商用周波放電開始電圧は十分高い値に保持することができて、続流遮断の上からは望ましいように思われるが、これをあまり高くすると1~2msに相応する開閉サージには避雷器が動作せず、保護効果を期待できない場合が予想される。逆に商用周波放電電圧を2ms程度の開閉サージで十分動作するごとく低い値に選べば、比較的周波数の高いサージでは、避雷器を不必要に多数回動作せしめることになり完全なものとはいわれない。(b)の場合には衝撃放電開始電圧で上限が押えられ、ケーブル回路用避雷器として続流遮断性能を保証するに十分な商用周波放電電圧を取ることが困難となる場合が生ずる。したがって内雷を主としたケーブル回路用避雷器の場合、衝撃比がほぼ1に近い(c)のごとき特性の直列間隙が理想的ではないかと考えられる。たとえば30kVケーブル回路用避雷器直列ギャップとして、商用周波放電開始電圧

\* 日立製作所日立国分分工場

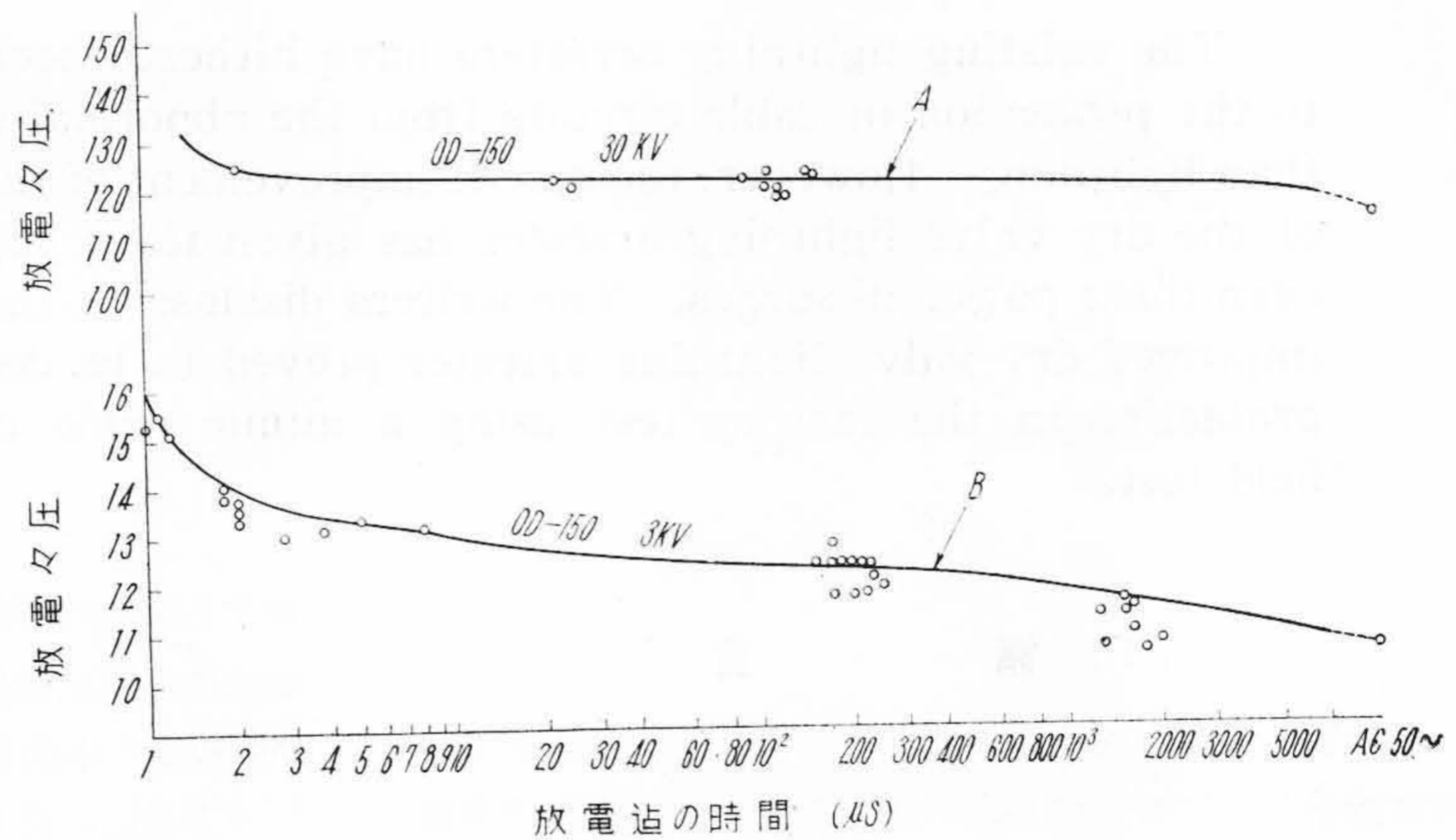
\*\* 日立製作所日立研究所





第1図  
避雷器放電特性曲線  
Fig. 1.  
Characteristic Curve  
of Breakdown Voltage  
of Lightning Arrester

第2図  
3kV, 30kV ドライバルブ  
避雷器放電特性曲線  
Fig. 2.  
Characteristic Curve of  
Breakdown Voltage of  
3kV and 30kV Dry  
Valve Lightning Arrester

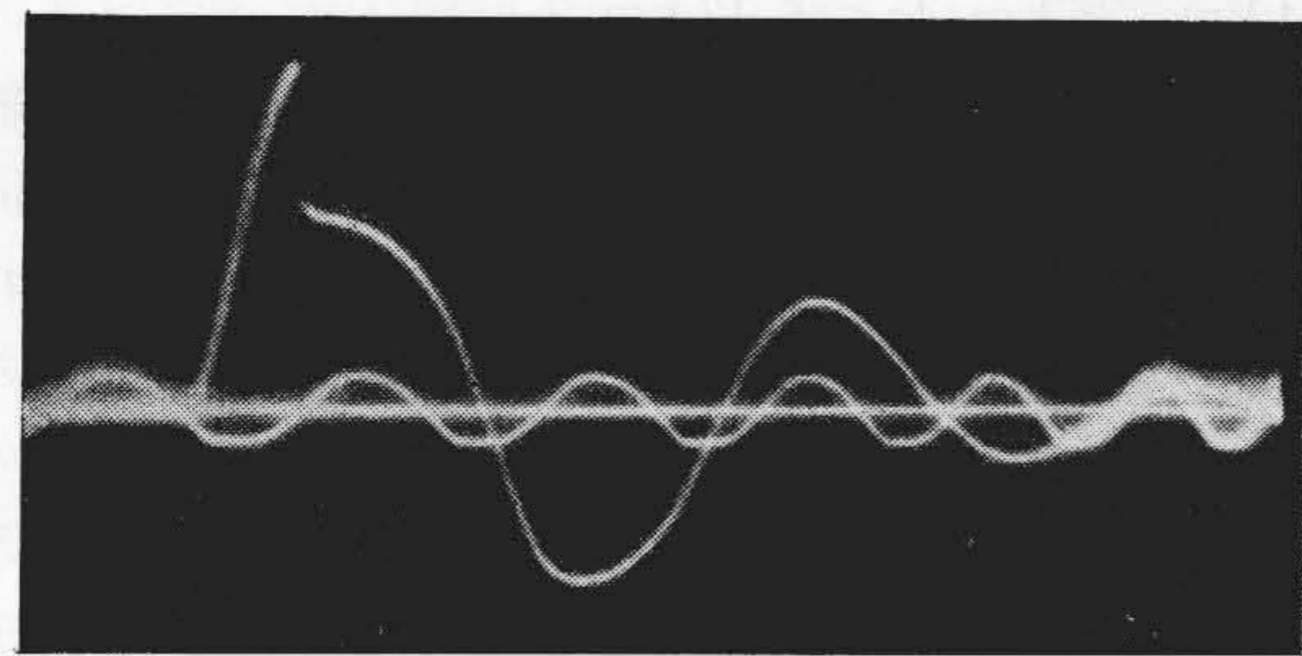


80 kV (2.7 E) 衝撃放電開始電圧 125 kV, 衝撃比 1.1 とすれば, 商用周波放電開始電圧は常規対地電圧の 4 倍に相当し, 波高値で 112 kV である。ところが機器の中間周波に対する絶縁耐力は, 衝撃絶縁耐力値の約 95~90% といわれており<sup>(2)</sup>, これを衝撃絶縁基準強度 (200 kV) の 90% とすれば, 中間周波絶縁耐力は少くとも 180 kV に耐えることになる。中間周波放電開始電圧が商用周波 (112 kV) および衝撃波放電開始電圧 (125 kV) の間に含まれるとすれば, 180 kV に対しては 44~57% の裕度があり, 衝撃絶縁基準強度に対する JEC 衝撃放電開始電圧 135 kV<sup>(3)</sup> の裕度 48% にほぼ匹敵し, 常規対地電圧の 4~4.3 倍以上の開閉サージに対してはすべて動作し, その保護効果は十分期待できる筈である。このような避雷器では比較的到低い開閉サージで不必要に動作するおそれもない。第2図(A)は 30kV ドライバルブ避雷器の V-T 特性曲線で上記の要求がほぼ満足されている。第2図(B)は 3kV ドライバルブ避雷器の V-T 特性曲線で, 衝撃比 1.4 の場合である。第3図は上記の 3kV, 30kV ドライバルブ避雷器の中間周波放電開始電圧の v-t を示すオッシログラムの一例である。

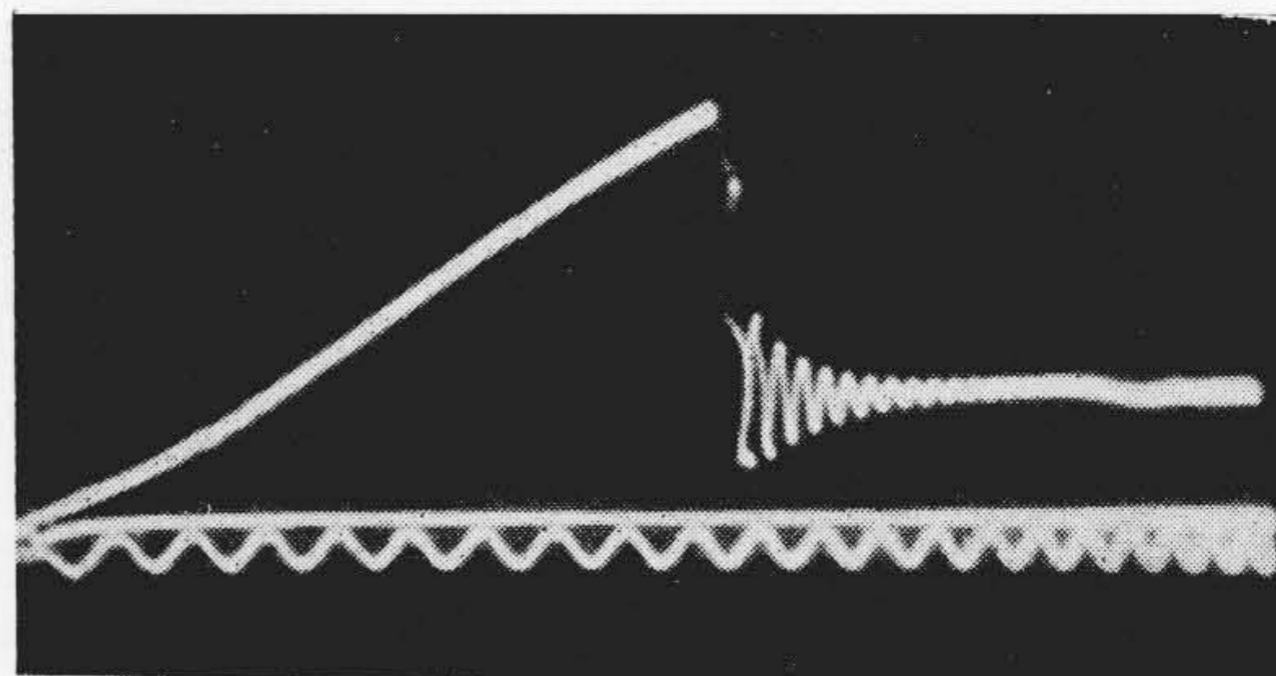
〔III〕 特 性 要 素

架空線から侵入する雷電圧はケーブル回路の互長で異り, 十分短い場合には侵入波々高値より高い電圧が現れ逆に互長が進行波の波長に比べて十分長いときには, 襲来波の数分の一程度となる。<sup>(4)</sup> いずれの場合も架空線における雷防護と変わりなく, 特性要素に対する責務も特別に問題とならない。一方内部異常電圧は励磁電流遮断, 短絡電流遮断, 限流ヒューズ遮断などに伴い発生するものもあるが, 充電々流遮断時の開閉サージによるものが, 最も苛酷なものとなるといわれている<sup>(5)</sup>。この場合避雷器が遮断器の線路側に接続されているか, 電源側に接続されているかによつて, 苛酷の度合も異なるが, 避雷器の放電々流波高値はおおよそ線路のサージインピーダンスと避雷器の抵抗値から定まり, 継続時間は線路の往復時間を周期としたものとなる。したがつてこの波高値は回路電圧の上昇とともに大きくなる傾向があるわけで, 電圧階級の高い避雷器ほど大きな耐久力が要望されることになる。30kV 回路で互長 30 km, 対地静電容量 0.33 μF/km, 充電々圧を対地電圧の 4.2 倍 (これは避雷器の

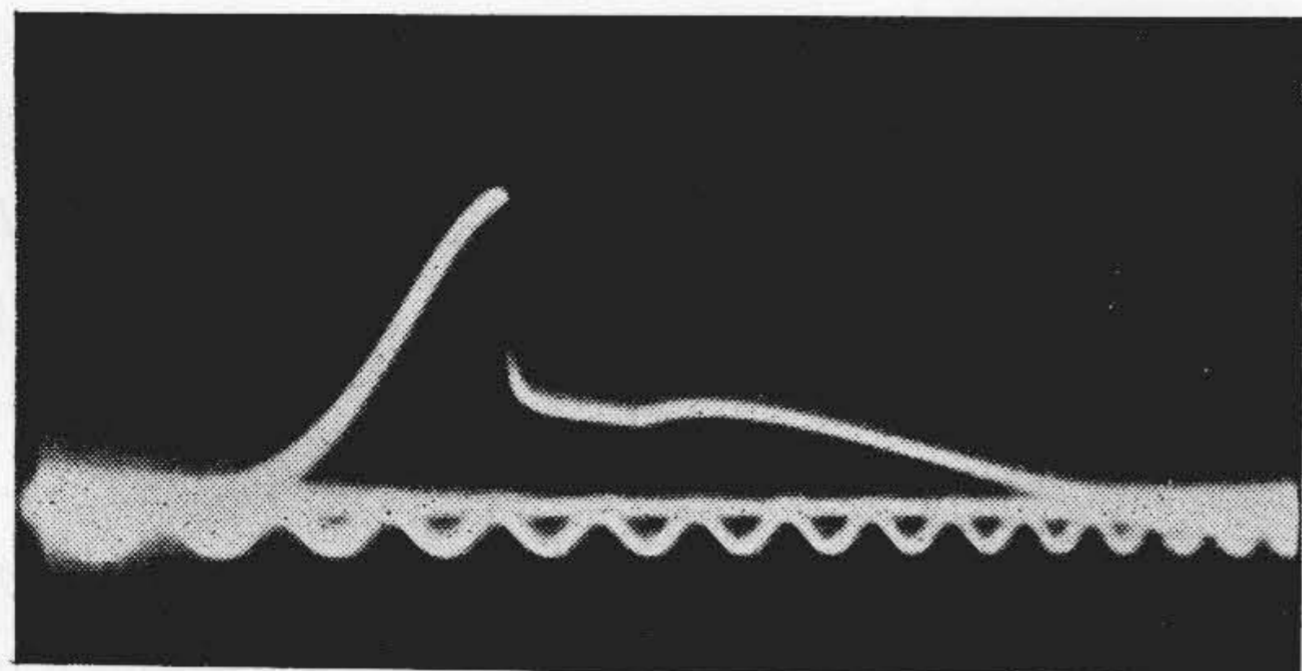




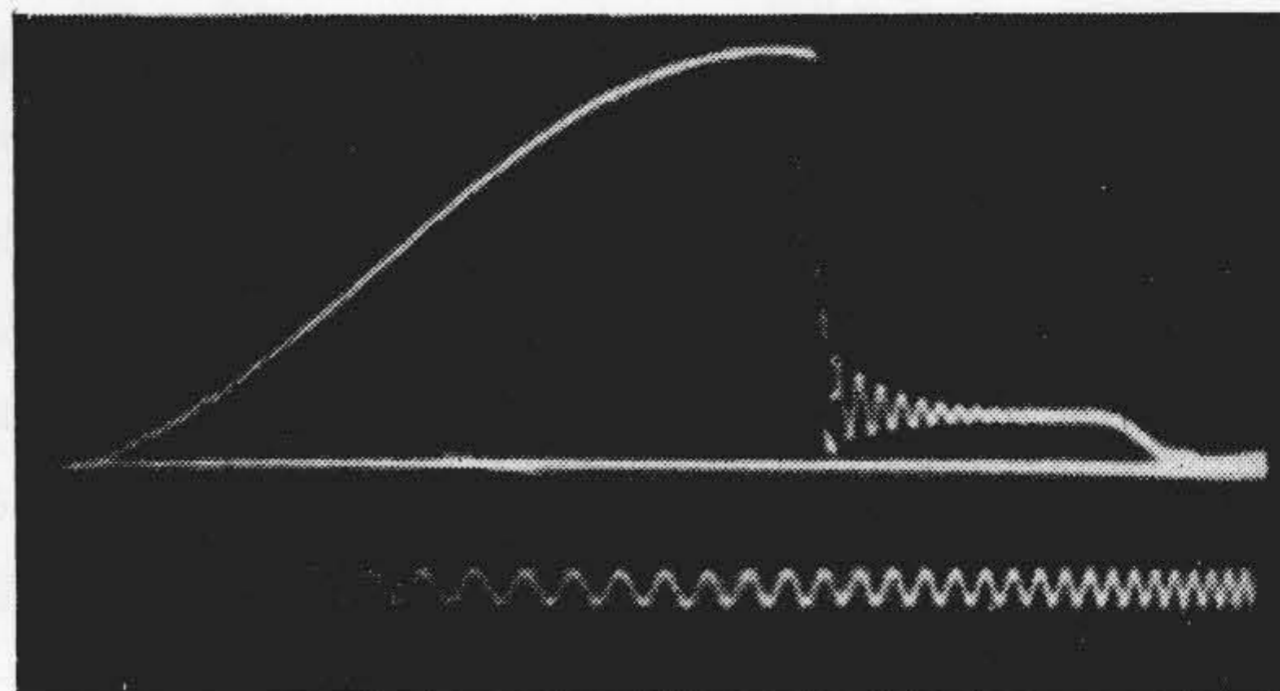
11.9 kV 250 μs



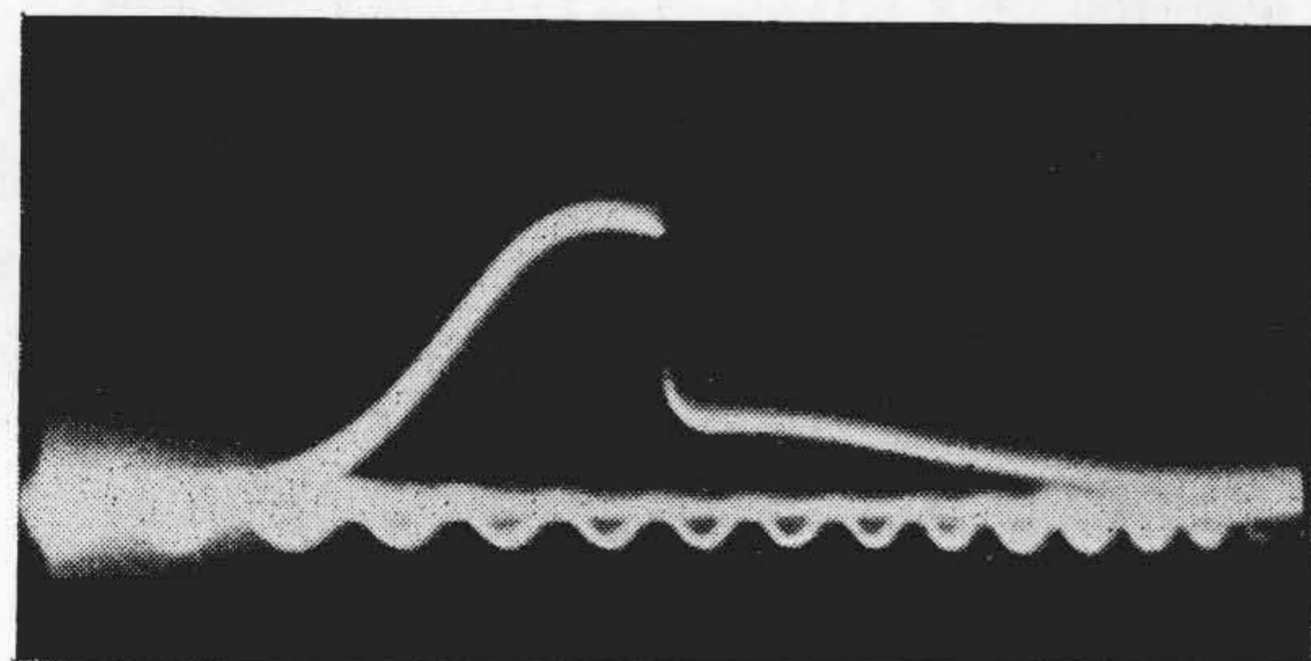
122.3 kV 95 μs



11.4 kV 1,250 μs



124.3 kV 160 μs Timing 100 kc



10.7 kV 2,000 μs Timing 2 kc

a) OD-150 3,450 V

b) OD-150 34.5 kV

第3図 3kV, 30kV ドライバルブ避雷器の中間周波放電開始電圧の  $v-t$  オシログラム

Fig. 3.  $v-t$  Oscillogram of Middle Frequency Breakdown Voltage of 3kV and 30kV Dry Valve Lightning Arrester

中間周波放電開始電圧で定まり、120 kV と仮定す) サージインピーダンスを 30 Ω とすれば、計算により電流波高値は約 730 A、継続時間約 590 μs となる。しかし実際にはこの静電エネルギーの一部電源側への漏洩、その他の影響から避雷器放電々流は相当減少する筈である。たとえば中部電力三重変電所における 7 kV ケーブル回路用避雷器試験で、継続サージ電流の電源側への分流を防ぐために、電源変圧器に直列に 30 mH のインダクタンスを挿入して、避雷器のみの場合と、電源変圧器を入れた場合につき、避雷器放電々流の相違を調べたが、電源変

圧器のある場合の避雷器放電々流は、ない場合の約70~80%であった<sup>(6)</sup>。

抵抗板の放電耐量には、放電々流の波高値、継続時間が大いに関係し、波高値数万Aの衝撃電流に耐える抵抗板がエネルギーとしては数分の一程度の波高値数百アンペア、継続時間2ms程度の長時間継続サージ数回で破壊しており、このような継続サージが予想以上に苛酷であることを示している。最近米国でも発電所用避雷器の耐量試験に100kA(5×10 μs)の外に、新しくNEMA(1954年改訂)に150 A(2 ms) 20回の試験を追加規定して、線路の開閉サージに対してもある程度の保護効果を避雷器に期待しているのがうかがわれる。第1表は昭和29年2月電力中央研究所でドライバルブ避雷器の改良抵抗板

第1表 ドライバルブ避雷器 150 φ 抵抗板の小電流長時間放電耐量試験結果

Table 1. Data of Long Duration Surge Tests of 150 φ Characteristic Element

試料	第 1 回				第 2 回				第 3 回			
	電流 2 ms (A)	エネルギー (J)	回数 (回)	時間間隔 (秒)	電流 2 ms (A)	エネルギー (J)	回数 (回)	時間間隔 (秒)	電流 2 ms (A)	エネルギー (J)	回数 (回)	時間間隔 (秒)
10	268~214	825	20	30	—	—	—	—	845~646	3,460	4回目貫通	30
11	280~226	825	20	30	—	—	—	—	775~602	3,020	9回目貫通	30
12	280~216	950	20	30	474~364	1,770	10	30	—	—	—	—
13	280~216	848	20	30	530~388	1,900	10	30	—	—	—	—
14	300~236	1,090	20	30	530~388	1,900	10	30	—	—	—	—

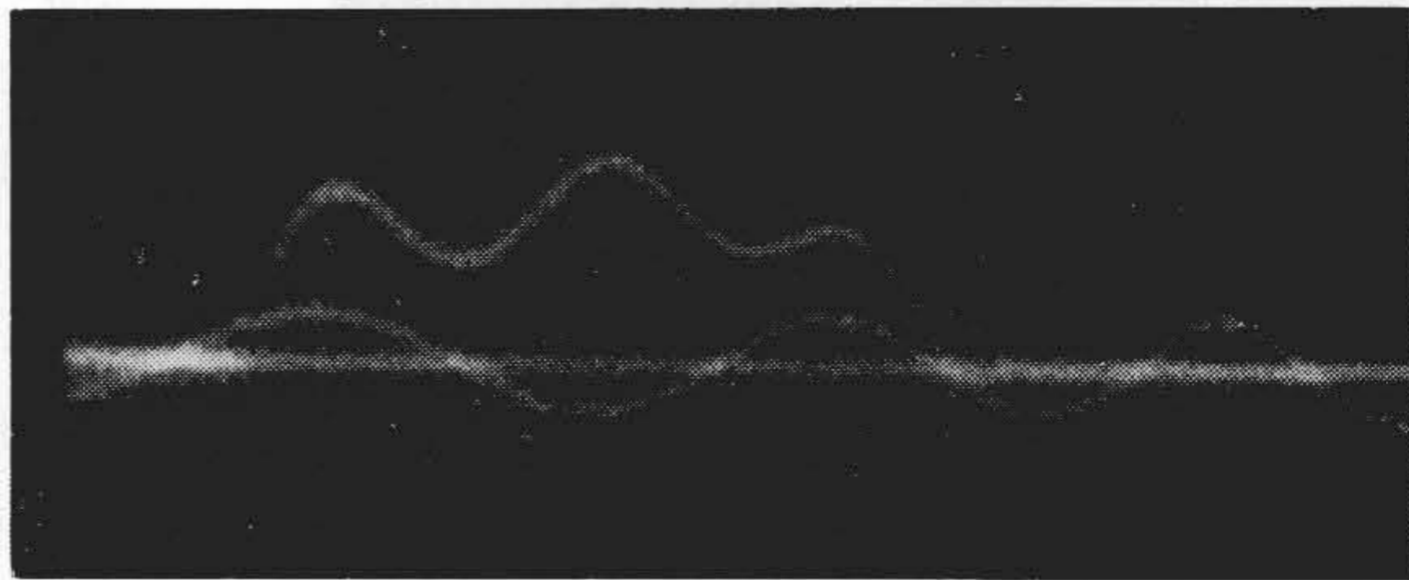
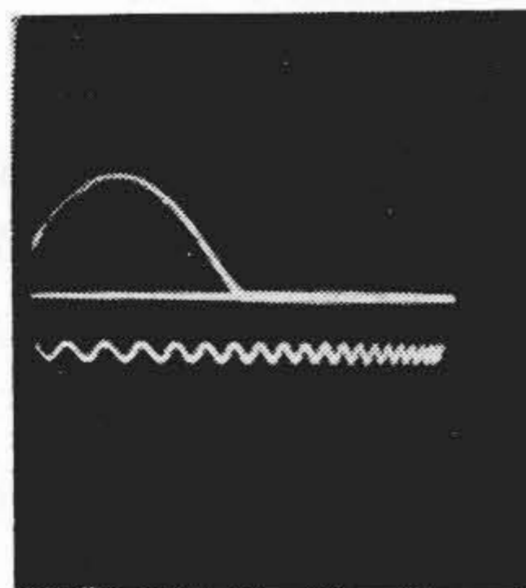


について実施された長時間放電耐量試験の結果で、波高値 800 A (2 ms) にも耐えており、ケーブル回路用避雷器特性要素として十分な耐久力を保有することを示している。

〔IV〕 続 流 遮 断 性 能

避雷器の続流遮断の難易は、許容端子電圧、極性、放電々流、電源容量などに関係するが、特にケーブル回路の開閉サージで避雷器が動作した場合の特異性は、放電々流の継続時間が雷電流に比べて長く、引続き流れる続流値が数百アンペアにもなることである。第 2 表は工場 で 3 kV ドライバルブ避雷器 3 台について、印加電流値を変えて、逆極性の続流遮断試験を実施した結果で、試料 1 は印加電流波形として衝撃電流 2,700 A (10×19 μs) (第 4 図)(a) を加えた場合、2 および 3 は最初避雷器を放電せしめるための印加電流は 1.5 kA (5 μs) とし、引続き長さ約 36 km のケーブル回路に相当する模擬回路を、常規対地電圧の約 6 倍に充電し、これを放電したとき流れる長時間継続電流約 500 A (630 μs) 第 4 図 (b) を加えて、逆極性 1mm 間隔、連続 15 回の試験を行つた場合で、続流値は 340 A で、試料 1 の場合の約 3 倍になつたが、全回異常なく遮断している。その後昭和 29 年 3 月中部電力三重変電所で、各社の 7 kV ケーブル回路用避雷器について長時間継続電流として、ケーブル長 12 km,

24 km, 36 km および 12 km 3 回線などに相等する電流を印加した場合、避雷器の反覆動作を模擬して、継続サージが 1.5 サイクル間隔で 2 回連続印加した試験も同時に実施したが、ドライバルブ避雷器はいずれもすぐれた性能を示した。第 5 図はケーブル長 36 km の場合の逆極性続流遮断試験時のオシログラムを拡大したもので、避雷器端子電圧は続流時 1.4 E (公称電圧 7 kV) のさらに 1.5 倍、すなわち約 2.1 E 附近まで飛び上り、続流値は 340 A となつている。これは電源回路電流は印加継続サージ電流の継続時間とともに増大し、避雷器端子電圧と等しくなつたとき最大となり、その後は急激に減少するが、この場合電源のインダクタンス L による  $-L \frac{di}{dt}$  だけの電圧が電源電圧に重畳して、避雷器端子電圧となるためである<sup>(7)</sup>。避雷器の続流遮断性能は直列ギャップと特性要素の性能に密接な関係があるが、特にケーブル回路用避雷器として、遮断能力を大きく左右するのは、これまでの試験の結果から継続サージ電流の波高値と継続時間と考えられる。すなわちこのサージ電流とこれによつて著しく増大する機流に対する特性要素の耐久力によつて定まるようである。この点ドライバルブ避雷器は第 1 表からも、30 kV 以下では継続時間 2 ms (亘長約 100 km に相当) 程度の開閉サージにも十分その責務を達するものと思われる。



波高値: 2,700 A Timing: 250 kC (a)

波高値: 500 A Timing: 2 kC (b)

第 4 図 印 加 電 流 波 形 オ シ ロ グ ラ ム (a) 衝 撃 電 流 (b) 長 時 間 継 続 電 流

Fig. 4. Oscillogram of Discharge Current Wave (a) Impulse Discharge Current (b) Long Duration Surge Current

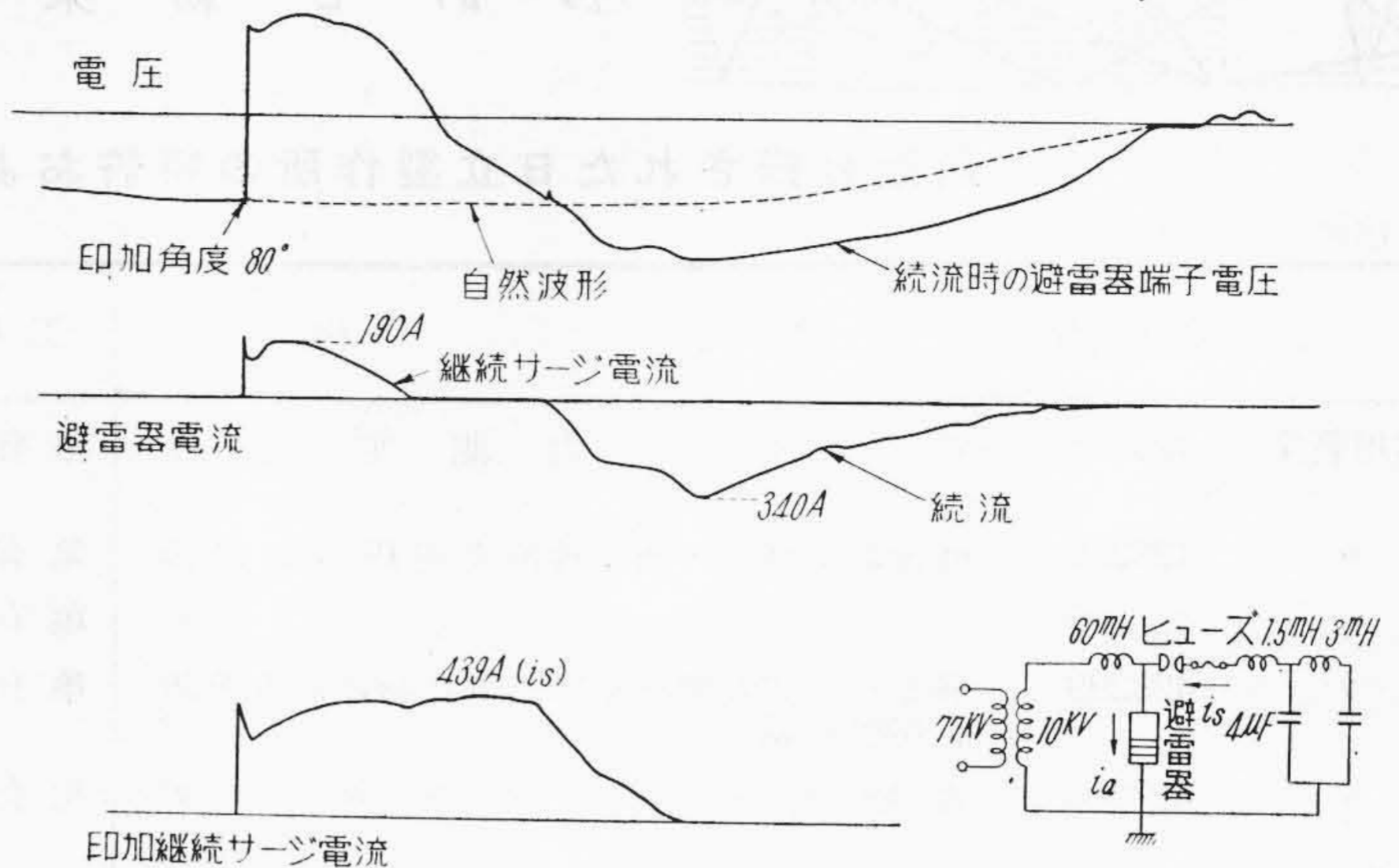
第 2 表 ケーブル回路用 3 kV ドライバルブ 避雷器動作責務試験結果 Table 2. Data of Follow Current Interruption Test of 3 kV Dry Valve Lightning Arrester

試 料 No.	印 加 電 流		機 圧 (V)	極 性	印 加 角 度 (度)	続 流 値 (A)	回 数 (回)
	波 高 値 (A)	半波高時間 (ms)					
1	2,700	19	4,100~4,200	逆	75~85	90	10
2	500	630	4,120~4,300	逆	70~80	280~340	15
3	500	630	4,300	逆	70~80	310~320	15



第5図 ケーブル系統(36km)における7kVドライバルブ避雷器続流遮断試験オシログラム

Fig.5. Oscillogram Showing Follow Arrester Interruption of 7kV Dry Valve Lightning Arrester on Cable System (36 km)



〔V〕 結 言

以上内雷をおもなる対称とするケーブル回路用としてのドライバルブ避雷器の特性について述べた。特性要素の改良と、放電特性の改善によつて、工場試験と現地試験の結果は、従来困難と考えられていたケーブル回路の開閉サージに対しても十分系統機器の絶縁防護が期待できることを示した。

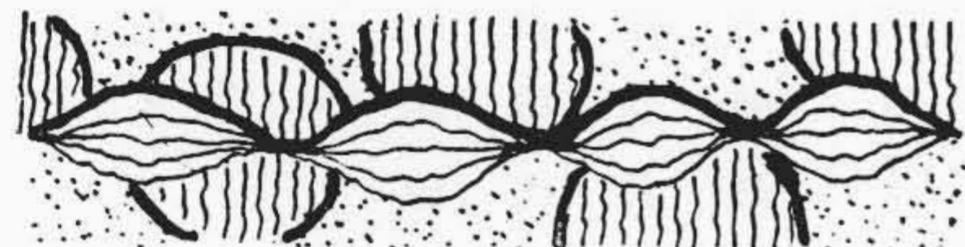
今後これらの避雷器の適切な運用によつて、ケーブル回路の開閉サージ、その他による故障の発生は著しく低減して行くものと思う。

最後に本試験に当り、各種の測定、資料整備に協力戴

いた、日立製作所日立工場国分検査課黒岡清司氏に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 名古屋ケーブル系統委員会資料 (昭 29)
- (2) P.L. Bellashi, L.B. Rade Maeker : T.A.I.E.E. 65 P. 1047 (1946)
- (3) JEC-131
- (4) 電気協同研究 : 10巻2号 P. 53 (昭 29-4)
- (5) Harold A. Peterson : Transients in Power Systems P. 160
- (6) 名古屋ケーブル系統委員会資料 (昭 29)
- (7) 名古屋ケーブル系統委員会資料 (昭 29)



特 許 と 新 案



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

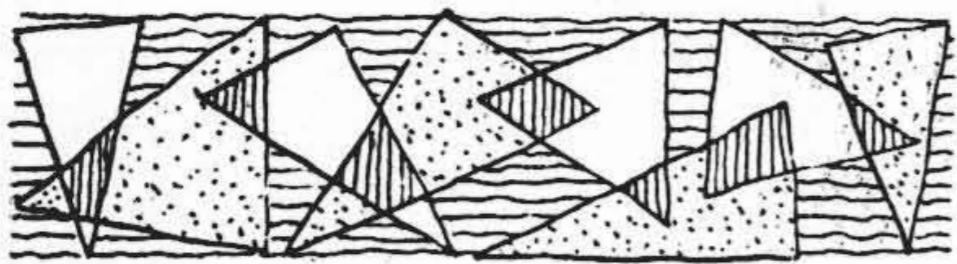
(その2)

(第16頁から続く)

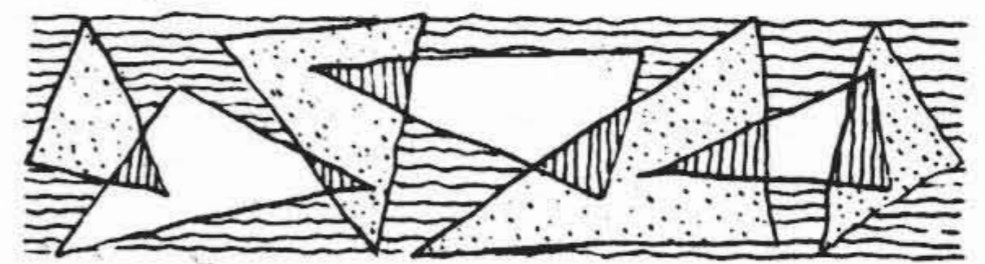
区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
実用新案	423338	刷 子 保 持 器	日立工場	甲 賀 正 三 桑 原 繁 太郎	30. 1. 28
"	423339	電 刷 子	日立工場	桑 原 繁 太郎	"
"	423340	ターボ発電機巻線端接続装置	日立工場	渡 辺 清 作	"
"	423344	メタルクラッドスイッチギヤ	日立工場	安 藤 卓 郎 安 岡 部 正 治	"
"	423349	高 速 度 電 路 遮 断 器	日立工場	埜 小 林 晋 平 郎	"
"	423353	油圧式調速機の速度検出装置	日立工場	古 賀 善 雄	"
"	423357	回転電機制動装置	日立工場	滑 川 清	"
"	423292	粉体輸送車における二重式容器蓋	笠戸工場	青 木 喜 六 大 橋 剛	"
"	423304	液 体 計 量 装 置	笠戸工場	藤 井 建 一 郎 大 谷 巖 太郎	"
"	423305	液 体 計 量 装 置	笠戸工場	進 藤 好 文	"
実用新案	423348	車 輛 用 揺 出 装 置	笠戸工場	安 藤 義 雄	30. 1. 28

(次頁へ続く)





# 特許と新案



## 最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その3)

(前頁から続く)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
実用新案	423285	特 殊 液 圧 力 測 定 装 置	亀有工場	木岸 暮野 健三郎	30. 1. 28
"	423289	酸性およびアルカリ性溶液用圧力測定器	亀有工場	小田 保 光	"
"	423295	ク ラ ッ チ	亀有工場	阿部 哲 義	"
"	423299	渦巻ポンプの羽根車吸込部における漏洩防止用接触輪	亀有工場	寺田 進 雄	"
"	423300	自吸式ポリユートポンプ	亀有工場	寺田 進 隆	"
"	423306	補助原動機用カップリング	亀有工場	寺田 進 夫	"
"	423313	停止位置精密表示装置	亀有工場	若森 俊 郎	"
"	423314	巻 胴 装 置	亀有工場	山本 憲 勇	"
"	423323	連結金具嵌脱装置付カップリング	亀有工場	井上 啓 史	"
"	423342	圧力計の真空防止弁	亀有工場	宮崎 勇	"
"	423354	堀削用バケット	亀有工場	阿部 哲 義	"
"	423358	皿ボルト類の回り止め装置	亀有工場	田中 昇 治	"
"	423288	密閉型電動圧縮機	朽木工場	楠本 陽一 郎	"
"	423287	機 関 起 動 装 置	多賀工場	飯島 登	"
"	423290	グリース入歯車箱の軸受潤滑装置	多賀工場	福山 博	"
"	423293	点 火 栓	多賀工場	服部 順 一	"
"	423298	ポンプの吸揚管	多賀工場	大津 卓 郎	"
"	423302	限取線輪型電動機	多賀工場	藤井 俊 雄	"
"	423303	限取線輪型電動機	多賀工場	藤井 俊 雄	"
"	423307	限取線輪固定装置	多賀工場	藤安 俊 雄	"
"	423311	電 動 ホ イ ス ト	多賀工場	横内 直 中	"
"	423312	軽ホイスト用トロリー	多賀工場	横内 直 中	"
"	423315	洗濯機絞り機における受台取付装置	多賀工場	林益 五 三 郎	"
"	423318	縦型高速電動機の軸受装置	多賀工場	大岡 宏	"
"	423319	縦型高速電動機の軸受給油装置	多賀工場	大岡 宏	"
"	423325	圧 力 開 閉 器	多賀工場	山家 正 卓 郎	"
"	423327	油 差 口 キ ャ ッ プ	多賀工場	四倉 輝 夫	"
"	423330	密閉型スイッチ	多賀工場	横内 直 中	"
"	423331	密閉型スイッチ	多賀工場	横内 直 中	"
"	423332	密閉型スイッチ	多賀工場	横内 直 中	"
"	423333	案 内 ス イ ッ チ	多賀工場	横内 直 中	"
"	423334	気 化 器	多賀工場	藤原 連	"
"	423341	小型電機用刷子保持器	多賀工場	藤安 俊 雄	"
"	423351	回転体軸受給油装置	多賀工場	城宝 為 男	"
"	423352	磁気連動装置	多賀工場	角野 正 夫	"
実用新案	423359	機 関 起 動 装 置	多賀工場	飯島 登	30. 1. 28

(第29頁へ続く)