

ドライバルブ避雷器続流遮断性能

落 清*

Follow Current Interrupting Ability of Hitachi Dry-Valve Lightning Arresters

By Kiyoshi Ochi

Kokubu Works of Hitachi Work, Hitachi, Ltd.

Abstract

The follow current interrupting ability makes the most important item among the various performance characteristics of the lightning arrester and is represented by the maximum permissible line-to-ground voltage of the arrester at the time of discharging abnormal voltage.

Owing to the peculiar conditions of the transmission system in Japan, the maximum permissible line-to-ground voltage was officially determined as 140% of nominal voltage for a standard type and more than 150% for a special one.

The maximum permissible line-to-ground voltage of the Hitachi Dry Valve Lightning Arrester (standard type) has been confirmed to be more than 170% of the nominal voltage in frequent field and factory tests which have been carried out under various severe conditions.

In this paper the details of its follow current interrupting ability are described.

〔I〕 緒 言

避雷器の続流遮断能力はその性能を判定する上の最も大きな要素であつて、直列間隙と特性要素の両方の性能によつて左右される。我国に於ける避雷器の許容端子電圧は、昭和 18 年に制定された避雷器試験要項では、普通級として諸外国と同様の 1.2 E (公称電圧)、更に特別級として 1.4 E を規定していたが、目下審議中の避雷器標準特別委員会 (JEC となる予定) では、我国送電系統の特殊事情を考慮して、1.4 E を標準型とし、更に特殊型として 1.5 E 以上のものも制定される筈である。これは我国の避雷器性能が飛躍的に向上した結果に外ならない。

ドライバルブ避雷器の続流遮断能力に対しては工場試験並びに現地試験によつて優れた遮断性能を確認されて

おり、それらの試験の結果から、その等価性についても或程度の信頼度を以て類推することが出来る。標準型ドライバルブ避雷器の続流遮断性能は 1.4 E に対して十分余裕のある性能を保有しているが、以下にその性能と最近の試験の結果について述べる。

〔II〕 直 列 間 隙

避雷器の続流遮断能力に対する直列間隙の役割は、衝撃電圧で放電し、引続き流れる続流を速かに終息し、次の半サイクルでは間隙の絶縁回復が機圧の上昇に打勝つて再点弧しないことである。このためには単位間隙の電圧分担が等しく、間隙構造が間隙内部に発生したイオンを速かに消滅せしめるように出来ており、一方交流放電開始電圧は比較的に高いことが必要である。即ち

(1) 消イオン作用の大きいこと

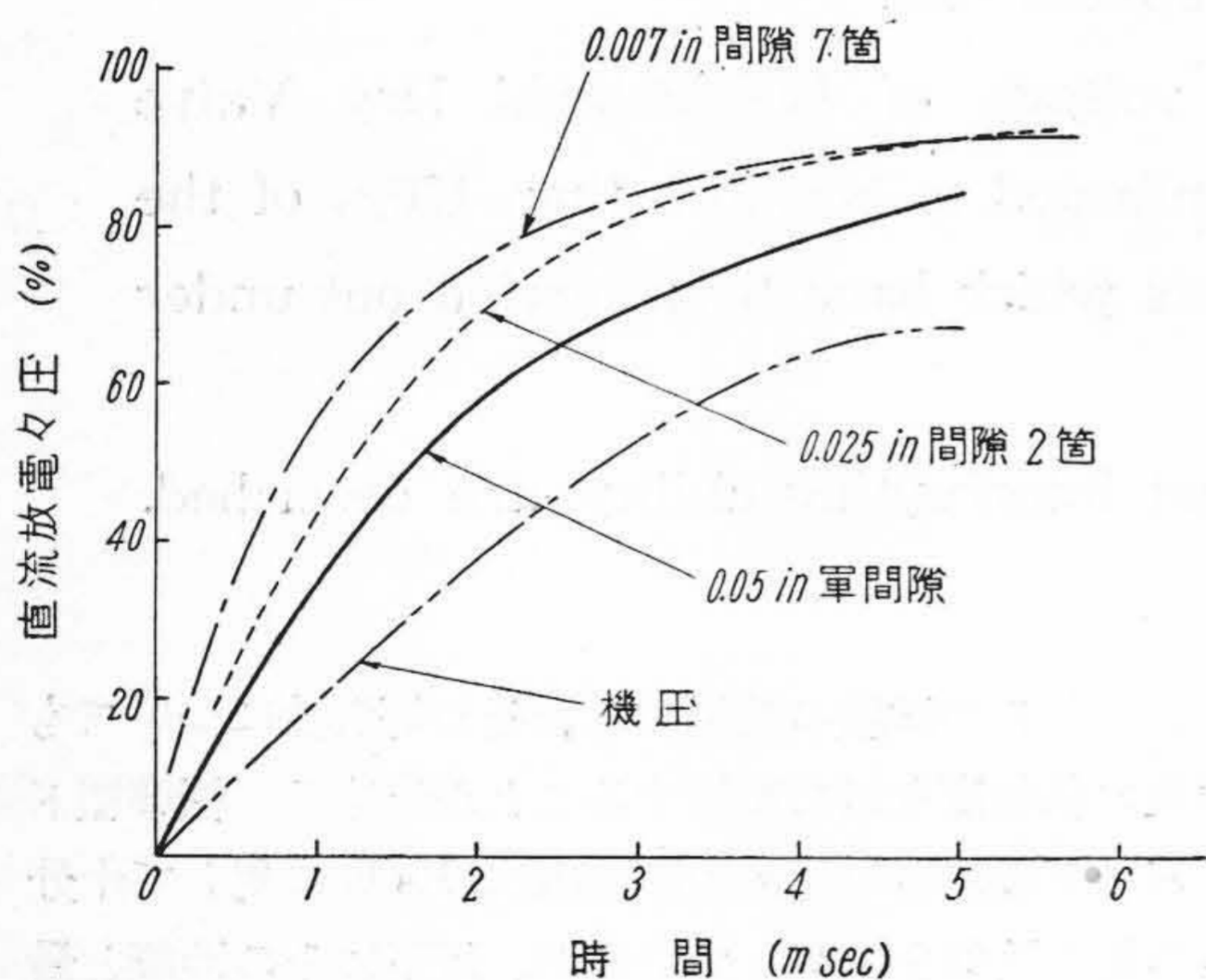
放電によつて間隙内部に発生したイオンを速かに消滅

* 日立製作所日立国分分工場

第 1 表 10 kV 避 雷 器 続 流 遮 断 性 能 比 較
Table 1. Comparison of the Follow Current Interrupting Ability of 10 kV Lightning Arresters

供 試 間 隙	抵 抗 板 枚 数	試 験 番 号	機 圧 (kV)	続 流 値 (A)	
				波 高 値	再 点 弧 電 流
標 準 品	標 準 の 90%	1 → 51	14.2~14.8	84~105	ナシ
試 験 品	標 準 の 90%	52	14.4	95	14
試 験 品	標 準 の 90%	53 → 55	14~14.4	100	ナシ
標 準 品	標 準 の 90%	56 → 60	14~14.4	95~105	ナシ
試 験 品	標 準 の 90%	61	14~14.4	98	16
試 験 品	標 準 の 90%	62	14~14.4	105	17.5
試 験 品	標 準 の 90%	63	14~14.4	101	ナシ
標 準 品	標 準 の 90%	64 → 71	14~14.4	95~105	ナシ
試 験 品	標 準 の 90%	72 → 75	14~14.4	94.5~101	ナシ
標 準 品	標 準 の 90%	76 → 78	14~14.4	95~105	ナシ
試 験 品	標 準 の 90%	80	14~14.4	95	17
試 験 品	標 準 の 90%	80 → 84	14~14.4	77~98	ナシ
標 準 品	標 準 の 90%	86 → 96	14~14.4	97~105	ナシ

註 1. 供試間隙中試験品は間隙箇数が標準品の 60% となつている。
2. 印加衝撃電流は 2,400 A (15 μ S)



第 1 図 放 電 間 隙 の 絶 縁 回 復
Fig. 1. Recovery of Breakdown Strength of Spark-gaps

し絶縁回復速度を高めるためには、単位間隙箇数は出来るだけ多い方が効果が期待される。Monahan は第 1 図の如き関係を示している⁽¹⁾。機圧最大値の付近では絶縁回復は飽和して、間隙箇数を増加してもその効果は少ないが、前半の 0~2 m sec の範囲では、箇数の多いものが比較的急速に絶縁回復している。然しながらこの間隙箇数の増加には限度があつて、間隙箇数を増すことは必然的に間隙寸法を小さくする必要が生じ、却つて機械的

に不安定な直列間隙となる懼がある。例えば昔の消弧間隙は間隙寸法 0.1 mm 程度で、間隔片としてマイカを使用したもので機械的にも不安定であつたように思われる。

最近のドライバルブ避雷器では、単位間隙の磁器製スペーサーに側面に小孔を設け、放電時の発生イオンを速かに外部に放出すると共に、間隙箇数は工場試験及び現地試験等の結果から、電氣的にも機械的にも最も安定した値に選定している。第 1 表は交流放電開始電圧の等しい 10 kV 直列間隙 2 台について、特性要素は同一のものを使用し、直列間隙のみを交互に取換え試験した結果である。供試品中現在製品となつている標準型は続流遮断後一回も再点弧がなく、間隙箇数を標準型の 60% とした試験用間隙に比して、その遮断性能は優れている。

(2) 交流放電開始電圧

直列間隙の続流遮断性能がその交流放電開始電圧によつて大きな影響を受けることは当然である。即ち前項に述べた如く、交流放電開始電圧のみからは遮断性能は決められないが、間隙箇数が一定であれば、各単位間隙に掛る電圧が等しい時に交流放電開始電圧は最大となる訳で、交流放電開始電圧は成るべく高いことが望ましい。然しこれには衝撃放電開始電圧と関連して限界がある。一般に避雷器の続流遮断能力は気象条件による放電電圧の変動、その他の偏差を考え、或程度の余裕を見込んで、

第2表 高抵抗シールドの有無による続流遮断能力

Table 2. Effect of the High Resistance Shield to the Follow Current Interrupting Ability of the Arrester

公称電圧 (kV)	高抵抗シールド	商用周波放電々圧 (kV eff)	続流遮断限度	
			許容端子電圧 (kV eff)	%
20	無	41	26	130
	有	60	34以上	170以上

但し旧型ドライバルブ避雷器について試験した。

第3表 硅素樹脂処理前後に於ける100kVドライバルブ避雷器AC放電電圧

Table 3. AC Breakdown Voltage (50 c/s) of 100kV Dry Valve Lightning Arrester treated by Silicon Resin under Various Meteorological Conditions

区分	交流放電開始電圧 (kV eff)		変化率 (%)
	乾燥	注水	
硅素樹脂処理	330	313	5
無処理	335	418	25

交流放電開始電圧の約60%の許容端子電圧迄可能と考えられている。交流放電開始電圧を3Eに選べば、この時の続流遮断限度は1.8Eとなり、1.4Eの保証に対して十分な余裕が出て来る。一方避雷器の直列間隙では高抵抗シールドを使用すると、衝撃放電開始電圧は絶縁協調に適合した低い値に保ち、しかも交流放電開始電圧は比較的に高い3E附近に調整することが出来る⁽²⁾。しかし高抵抗シールドのないものでは衝撃比を1.2以下にすることは困難とされているから、衝撃放電開始電圧で上限が押えられ、交流放電開始電圧は比較的に低い値にならざるを得ない。第2表は旧型ドライバルブ避雷器について行つた高抵抗シールドの有無による遮断能力の比較で、高抵抗シールドによつて続流遮断性能は増大されている⁽³⁾。

又直列間隙の放電々圧、特に交流放電開始電圧は外界の気象状態、例えば霧、雨等の場合、乾燥時に比して30%程度変化する場合がある。これは直列間隙の碍管表面に附着した水分による導電性被膜のため、直列間隙の電圧分布が変化して来るためである。ドライバルブ避雷器では、60kV以上の直列間隙碍管表面に撥水性の硅素樹脂で処理して、導電性被膜の形成を防止し、放電々圧の

偏差を10%以下に減じ、如何なる場合にも常に安定した続流遮断性能を保持する如く改善している。第3表は100kVドライバルブ避雷器について、直列間隙碍管表面を硅素樹脂で処理した場合と、しない場合の放電々圧の一例を示したものである。

〔III〕特性要素

特性要素の制限電圧と続流遮断性能とは、直列間隙の衝撃放電開始電圧と交流放電開始電圧に類似した性質がある。即ち制限電圧を必要以上に低下すると、返つて避雷器動作時の続流値が過大となつて、続流遮断を困難にする。従つて特性要素の弁特性が優れたもの程、直列間隙の遮断を容易にすることになる。又機圧が一定であつても、続流値は印加衝撃エネルギー、極性等により異り⁽⁴⁾、印加エネルギーの大きい程、及び極性が逆の場合、続流値は最も大きくなるものと考えられている。第4表は印加衝撃エネルギーの相異による続流値の大きさの一例である。従来我国の規定では印加衝撃電流は750A(半波高時間15μS)以上と規定されている(近く制定されるJECでは、この値は1,500Aとなる筈である⁽⁵⁾)。が、衝撃電流値が大きくなれば、制限電圧も上昇するから、続流値の増加も加味すると、例えば放電々流3,000Aの時のエネルギーは放電々流1,000Aの場合の約4.5倍となる。衝撃電流が大きくなれば、なるだけ特性要素に消費されるエネルギーが大きくなり、特性要素には苛酷となる。

特に最近の如く、雷進行波のみならず、近接雷撃或は多重雷撃等に対しても機器を保護出来るものとしては、大電流印加の場合でも十分続流遮断が出来る特性要素でなければならぬ。即ち特性要素としては放電耐量が大きくて、しかも弁作用の変らないことが必要である。ドライバルブ避雷器の特性要素については、己に100kAを流した抵抗板について、印加衝撃電流4,050A(半波高時間32μS)、1.5E、1分間隔10回の試験を行い、続流値

第4表 衝撃電流の大きさによる続流値の変化

Table 4. Difference of Follow Current Value according to the Magnitude of Impulse Current

印加衝撃電流 (A)	機 圧 (kV eff)	続流波高値 (A)
2,000 (20 μS)	14.3	96
4,000 (15 μS)	14.1	115

註 1. 直列間隙は10kVのものを使用す。
2. 抵抗板は10kV単位より10%減にて使用。

第 5 表 特性要素に大衝撃電流印加引続き続流遮断試験を実施した時の制限電圧特性

Table 5. Discharge Voltage Characteristics of the Characteristic Element after the Large Discharge Current and Follow Current Interruption Test

試 料	制 限 電 圧	
	電 圧 (kV)	放 電 々 流 (kA)
試 験 前	45.4	10.5
11 kA×800回後	45.4	11
11 kA×1,600回後	45.5	11.6

は 134 A にも及ぶものもあつたが、全数続流遮断に成功したことを報告した⁽⁶⁾。更に第 5 表は 10 kV 避雷器について、11 kA 放電 200 回目毎に引続き 1 分間隔で、衝撃電流 2,400 A, 1.4 E, 15 回の逆極性続流遮断試験を連続実施し、合計 1,600 回の耐量試験を行つた時の特性要素の制限電圧で、試験の前後の特性の変化は極めて僅かで安定なことを示している。

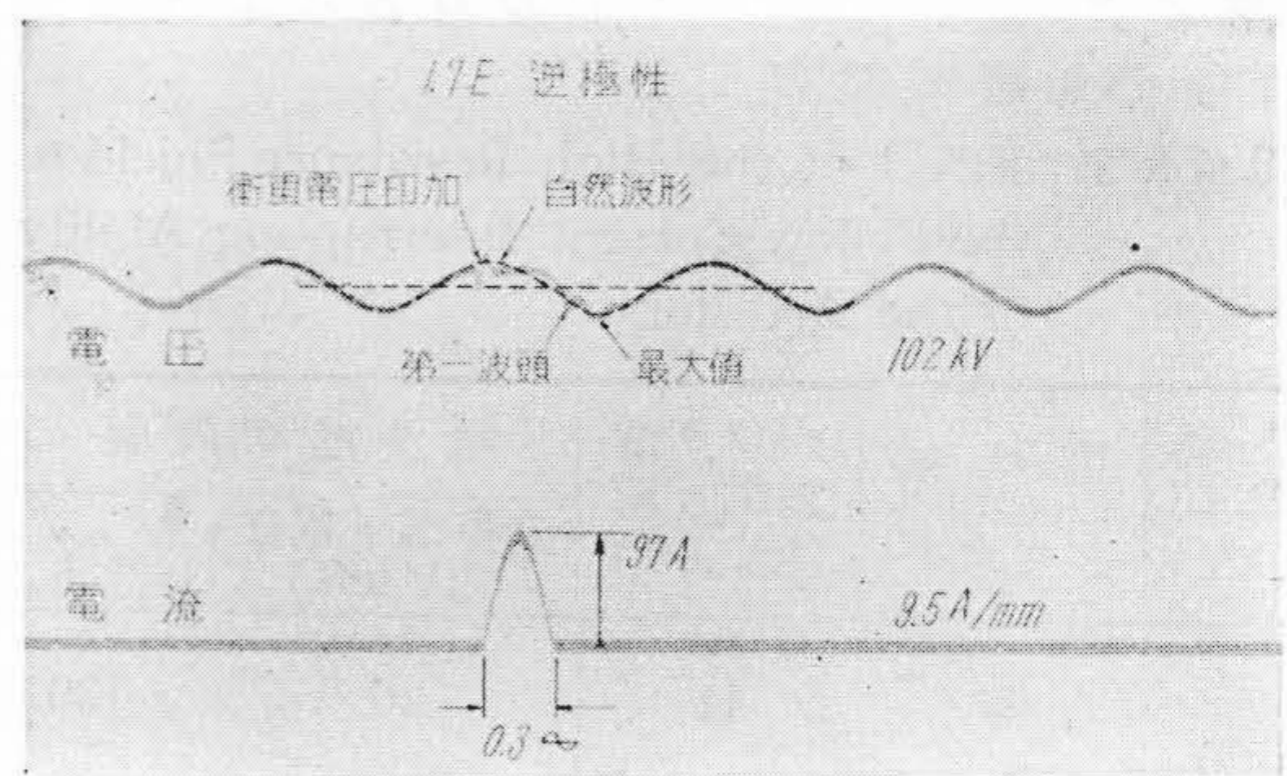
〔IV〕 試験結果と等価性

戦後日立製作所に於ては続流遮断試験は設備の都合で、主として 10 kV 避雷器について実際の送電線路で我々が予想出来る最も苛酷な条件、即ち許容端子電圧 1.4 E 以上、衝撃放電々流約 3,000 A (半波高時間 20 μS)、1 分間隔、50 回に合格することを標準として実施している。又 60 kV 以上の避雷器としては、旧日発網島変電所に於ける 60 kV 級避雷器(昭和 24 年)、及び 100 kV 級避雷器(昭和 25 年)の現地試験と、昭和 27 年 5 月 275 kV 避雷器等価試験として、工場の 50,000 kV A 短絡発電機

第 6 表 10, 60, 100 kV ドライバルブ避雷器続流遮断試験結果
Table 6. Test Data of Follow Current Interruption of 10 kV, 60 kV, 100 kV, Hitachi Dry Valve Lightning Arrester

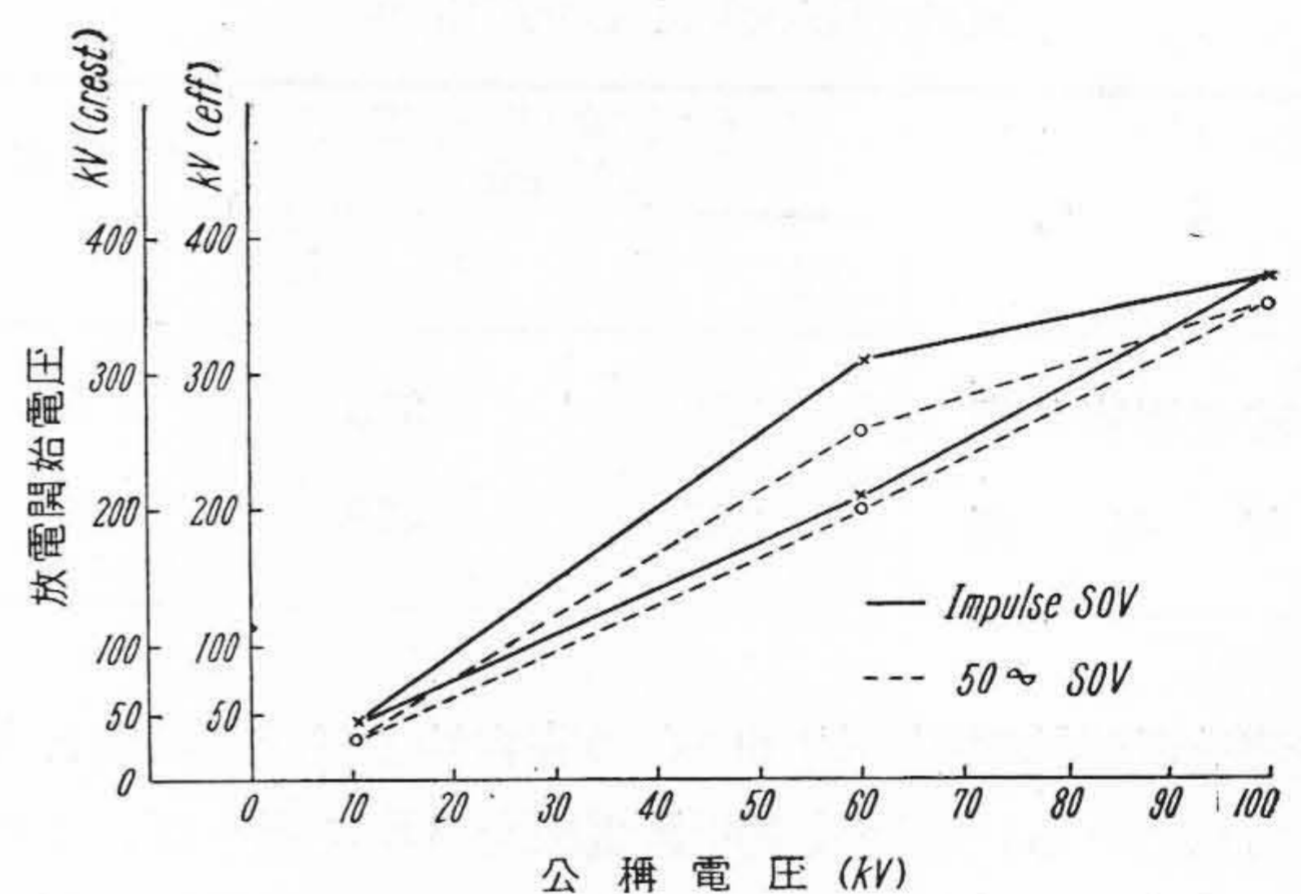
公 称 電 圧 (kV)	放 電 開 始 電 圧		印加衝撃電流 (A)	許容端子電圧	備 考
	50~ (kV)	Imp. (kV)			
10	30	+ 45	2,400	1.58 E ok	電源設備の都合でこれ以上試験出来なかつた 旧日発網島に於ける試験結果 200 kV DLA 等価試験結果 旧日発網島 S.S. に於ける試験結果
60	258	+310	1,620	1.8 E ok	
100	200	+210	1,500	1.7 E ok	
100	350	+368	1,100	1.5 E ok	

註 但し 100 kV DLA の許容端子電圧 1.5 E は試験設備の都合でこれ以上試験出来なかつたもので、当然 1.7 E 以上が期待出来る。

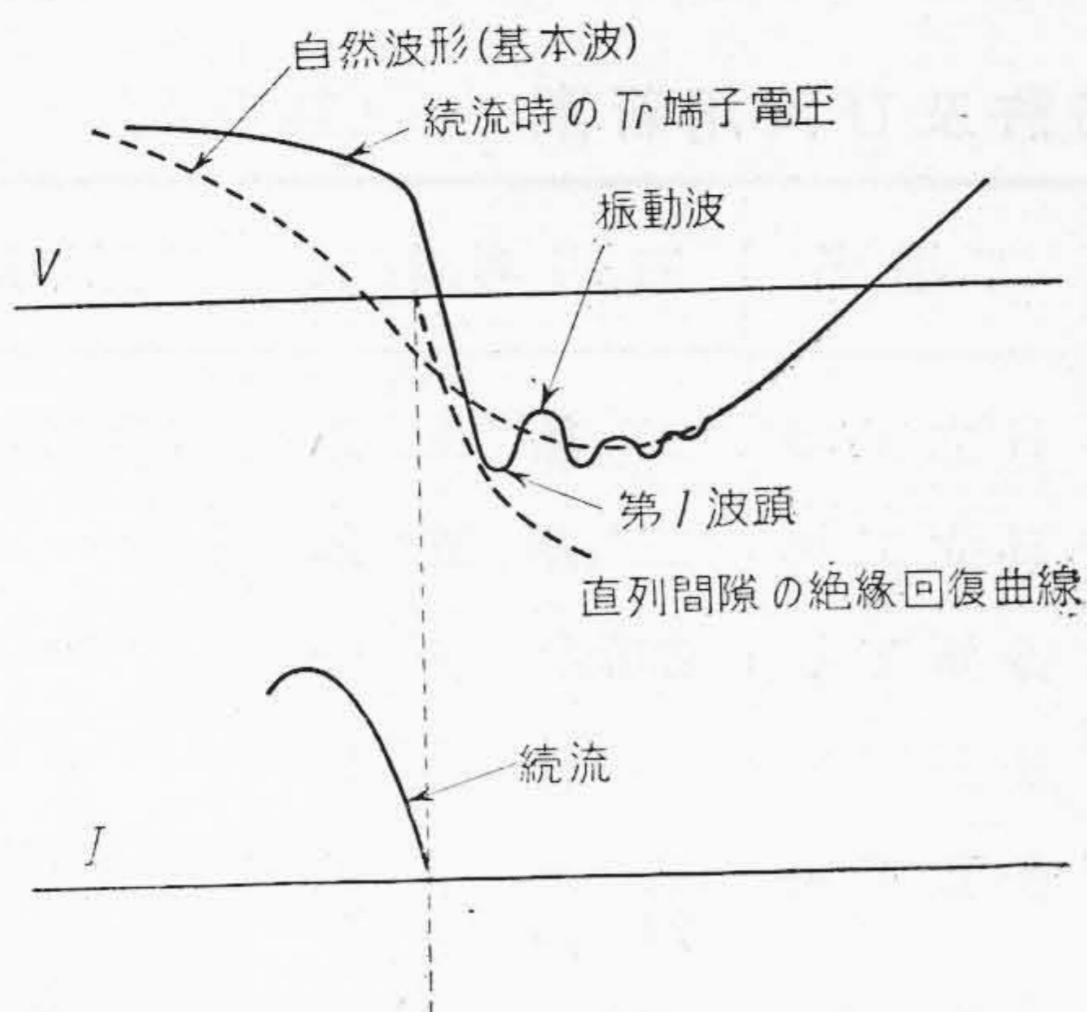


第 2 図 60 kV ドライバルブ避雷器の続流遮断オシログラム

Fig. 2. Oscillogram Showing Follow Current Interruption of 60 kV Dry Valve Lightning Arrester



第 3 図 ドライバルブ避雷器比例関係
Fig. 3. Relation between Breakdown Voltage and Nominal Voltage of the Lightning Arrester



第4図 直列間隙の絶縁回復と再起電圧
Fig. 4. Recovery Voltage and Restrike Voltage of a Series Gap

を電源とし、20,000 kV A 変圧器を使用して行つた 60 kV 避雷器試験とである。第2図はこの時の 1.7 E の場合の続流遮断オシログラムである。

上記の試験のうち標準型ドライバルブ避雷器 (1.4 E 用) の試験結果を一括すると、第6表及び第3図の如くなる。前項に述べた如く、間隙の構造、箇数が同一である場合には、許容端子電圧は交流放電開始電圧に大体比例する。従つてこの場合各公称電圧に対する交流放電開始電圧の値はほぼ一定の割合約 3.5 倍となつてゐるから許容端子電圧は 1.7 E 以上が期待される。即ち各電圧階級に亘り十分比例的の関係が認められる。等価性については特性要素は電圧に応じて積重ねられ、完全に比例的に行くと考えられるから問題はないが、直列間隙に於ても単位間隙の箇数を電圧に応じて比例的にし、且つ交流放電開始電圧をほぼ比例的にすれば、各単位間隙の絶縁回復と回路電圧の掛り具合は、電圧階級に拘らずほぼ同じとなる筈であるから、直列間隙の等価性も十分達せられる筈である。上記の 10 kV, 60 kV, 100 kV 避雷器は間隙構造等は勿論等価的に出来ており、交流放電開始電圧も比例的になつてゐる。これは直列間隙の外的条件による電圧分布の不均等がシールドリングの大きさ、位置等によつて十分調整されているからである。従つて更に高圧のものに対しても比例的にこの関係を展開して差支えないものと考えられる。

更に第2図を詳細に観察すれば、衝撃電圧は電圧波の約 70° で入り、波高値 97 A の続流を誘起し、回路電圧は続流の上昇時には電源のインピーダンスドロップのため幾分下降し、続流の下降時には逆に自然の電圧波形より上方にそれて消弧している。次いで続流消滅と共に

回路電圧は自然波形 (点線で表はす) を中心に振動し次第に減衰している。この振動は電源のインピーダンスと回路の容量に基くもので、インピーダンスと続流に関係し、この場合の振動による過電圧は自然波形に対し、振動の第一波頭 (約 30° 附近) に於て約 150% 最大波高値に於て約 115% にも及んでいる。直列間隙の絶縁回復曲線は、始めは電極面に於けるイオンの吸着により急速に、後は次第に緩慢になるが、これが回路電圧に追付かれれば直列間隙は再点弧して続流は切れなくなる。上記の関係は第4図に示す如くなり、この試験回路の振動状態では、直列間隙は自然波形の場合に較べて急激に上昇する振動波形の第一波頭の附近に於て再点弧する可能性が著しく増大する。一方避雷器の試験規定では、続流遮断後の回路電圧の振動については考えていない。従つてこの試験は避雷器の続流遮断能力を判定するには、十分苛酷な試験であつたことが判る。続流遮断後に振動発生量の少い回路で、しかも許容端子電圧 1.9 E 或は 2 E の試験を行うためには更にインピーダンスの小さい大容量の電源が必要であり、且つ電圧が高くなれば、それに相応して益々容量の大きい電源が必要である。従つて 200 kV 級避雷器について十分な試験を行うためには、極めて膨大な電源設備が必要となり、その実施は甚だ困難となる。しかも上述の如き等価性が認められる以上、200 kV 級避雷器の続流遮断性能は寧ろ等価的に出来た 60 kV 級避雷器について、適切な試験を実施、判定する方がより効果を期待出来るように考える。

〔V〕 結 言

以上ドライバルブ避雷器は、幾多の工場並びに現地試験等の結果に基づいて改善したもので、標準型 (1.4 E 用) の続流遮断性能は 1.7 E 以上が期待される。特に特性要素は続流遮断に対して極めて安定した耐久性を有している。又ドライバルブ避雷器続流遮断性能の等価性については、過去の試験結果から十分信頼性が認められるが、更に将来の現地使用実績によつて、その妥当性が認められるものと思う。

参 考 文 献

- (1) T.F.Monahan: P.I.E.E. 98 314 (1951)
- (2) 桑山: 電学誌 70 272 (昭 25-4)
- (3) 桑山、落: 日立評論 31 17 (昭 24-10)
- (4) 一色: 避雷器標準特別委員会資料 (昭26-12)
- (5) 避雷器標準特別委員会資料 (昭 27-9)
- (6) 落: 日立評論 34 18 (昭 27-9)
- (7) 電気協同研究 6 18 (昭 25-4)
- (8) 電気協同研究 7 8 (昭 26-4)

特許月報

最近登録された日立製作所の特許及び実用新案 (其の3)

区分	登録番号	名称	工場名	発明考案者	登録年月日
実用新案	397851	水電解槽極板吊り装置	日立工場	工藤五郎	27. 11. 19
"	397852	水電解槽カバー	日立工場	工藤五郎	"
"	397853	ホイスト走行制限スイッチ	多賀工場	加茂谷春一	"
"	397854	交流電弧熔接装置	多賀工場	小林国雄	"
"	397855	機関起動用ピニオン移送装置	多賀工場	久米平助 飯島	"
"	397856	機関起動用ピニオン移送装置	多賀工場	飯島登郎 飯河三郎	"
"	397857	高圧断路器	日立工場	滑川清	"
"	397858	過熱蒸気緩熱装置	日立工場	村山三郎 関安通	"
"	397859	電路遮断器引外装置	多賀工場	小原正博	"
"	397860	交流電動機定速制御装置	日立工場	泉千吉 平川克巳	"
"	397861	増幅回転機制御装置	日立工場	今尾隆	"
"	397862	電動機可逆運転装置	日立工場	西一郎	"
"	397863	ケーブルクレーン	亀有工場	山崎勇	"
"	397864	機関起動用ピニオン移送装置	多賀工場	飯島登	"
"	397865	機関起動用ピニオン移送装置	多賀工場	飯島登	"
"	397866	電弧熔接機の熔接速度指示装置	多賀工場	田沢阜	"
"	397867	点火線輪	多賀工場	大高昇	"
"	397868	押上機による電動機自動制御装置	日立工場	泉千吉	"
"	397869	押上機による電動機速度制御装置	日立工場	泉千吉	"
"	397870	可逆操作把手の操作方向選択装置	日立工場	横山二郎 鈴木隆一	"
"	397871	ホイスト切換開閉装置	多賀工場	加茂谷春一	"
"	397872	電磁開閉器のワイプ調整装置	亀戸工場	大和利丸 千原錦吾	"
"	397873	電磁開閉器のワイプ調整装置	亀戸工場	千原錦吾	"
"	397874	プランジヤ型電磁開閉器	亀戸工場	大和利丸 千大和	"
"	397875	プランジヤ型電磁開閉器	亀戸工場	大和利丸 千大和	"
"	397876	機関起動ピニオン駐止装置	多賀工場	飯島登	"
"	397877	水素冷却回転機の高圧端子引出装置	日立工場	高林乍人	"
"	397878	防音風冷式整流器	日立工場	桑島千秋	"
実用新案	397879	遠心噴霧乾燥機	日立工場 多賀工場	安川賢亮 島崎光彦	27. 11. 19