

ODB-110 形 制 弧 避 雷 器

Hitarc Lightning Arresters

内 儀 忠 恕*
Tadayoshi Naigi

益 田 淳 一*
Jun'ichi Masuda

加 藤 保 照**
Yasuteru Katō

内 容 梗 概

避雷器に対して送電系統の内部異常電圧処理が要望されるようになってから、避雷器には過酷な動作責務が要求されるようになった。系統の内部異常電圧は回路電圧、送電線の長さなどにより異なるので、あらゆる系統に対し同一責務能力をもつ避雷器を使用することは不経済なことである。この点を考慮して系統に応じた責務能力をもつ2種の電磁吹消形避雷器を完成、各方面に納入している。

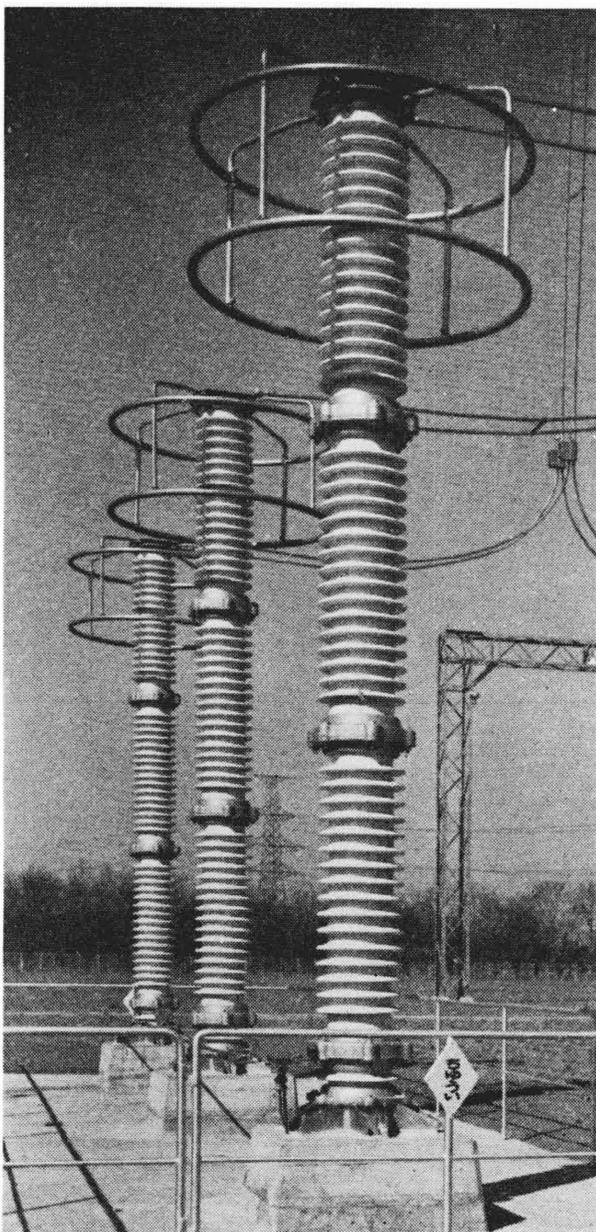
1. 緒 言

近時、送電系統の拡大に伴い、絶縁協調の合理化が重視され、避雷器に対しても開閉サージによる内部異常電圧の処理など過酷な責務が要求されるようになった。これに対処するため、先に ODB-200 形電磁吹消避雷器を開発し、すでに 300 kV 級まで多数製品を納入、400 kV の試作をも完成した⁽¹⁾(第1, 2図)。本器は 400 kV では線路長さ 250 km, 300 kV では 300 km の系統の開閉サージ動作責務に耐え、続流 1,000 A の遮断能力を有するなどすぐれた特性を持っている。しかし系統電圧によって線路長さには限度があり、すべての系統電圧に対して同一責務の避雷器を使用する必要はなく、むしろ系統に応じた性能の避雷器を選択することが経済的である。この

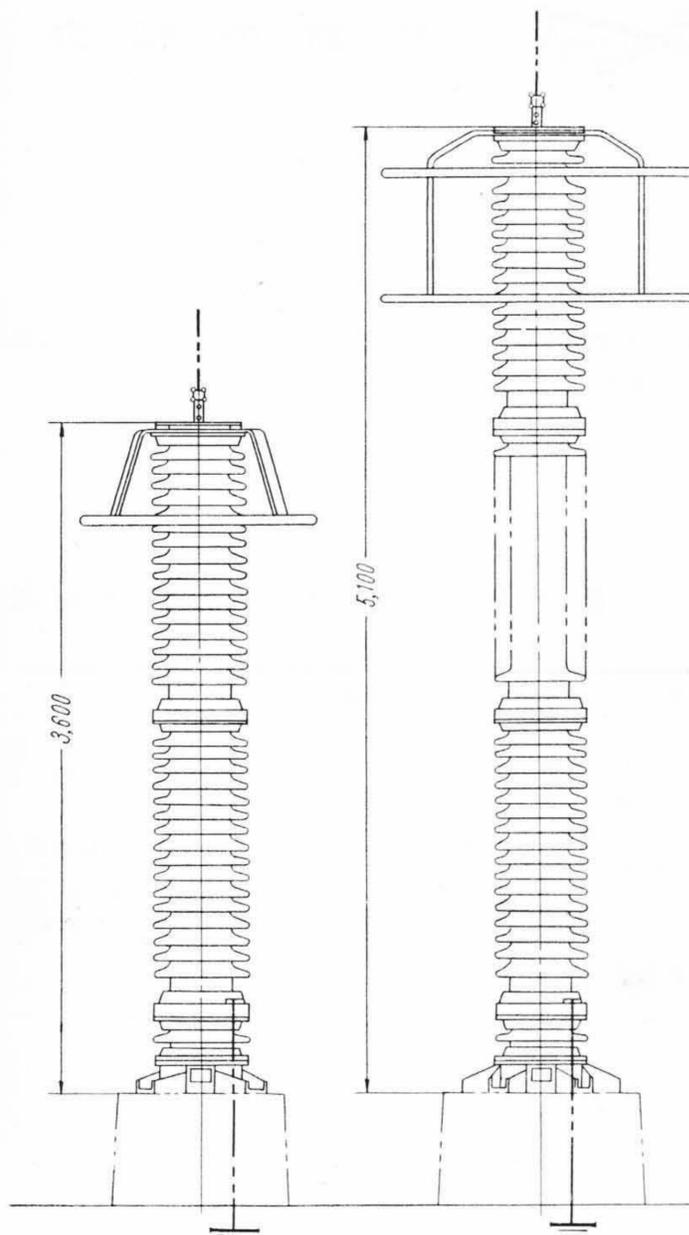
点を考慮して、今回 ODB-110 形電磁吹消避雷器を開発し、主として 10~100 kV 用とし ODB-200 形に対して著しく小形軽量化を計った。以下本器の概要について紹介する。

2. 構造と動作原理

第3図および第4図は本器の外観を、第5図は内部構造を示す。図示のように公称10, 20, 30, 40 kV の各ユニットからなり、60, 80 kV は2段重ね、100 kV は3段重ねとし、各形とも完全自立形であるから懸垂鉄構が不要であり、設置位置を自由に選択できる。直列ギャップの構造は第6図に示すように、主ギャップを構成する電極は円板状平面電極と環状の突起部分を有する凸形電極とからなり、絶縁スペーサによってギャップ長を規定している。アークを駆

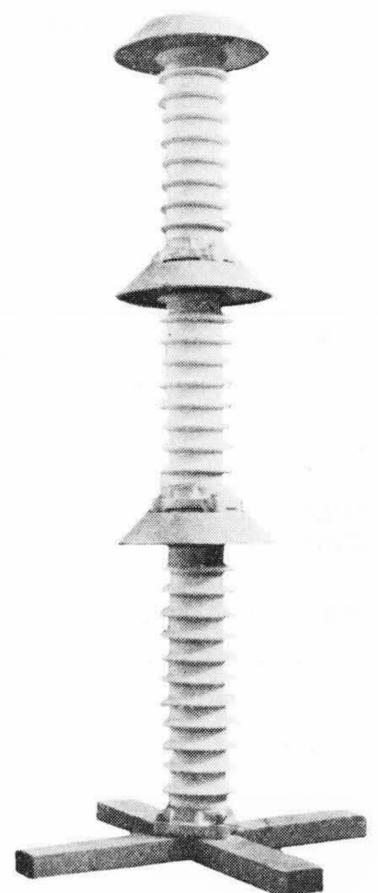


第1図 ODB-200形 275kV 制弧避雷器
(東京電力株式会社北東京変電所納)



第2図 ODB-200形制弧避雷器寸法図

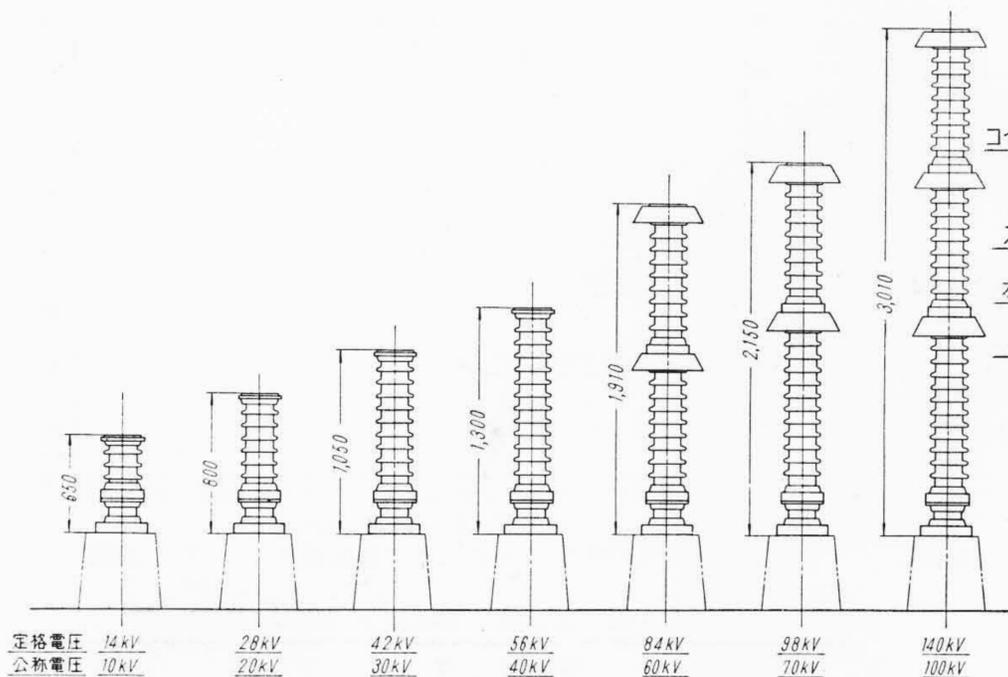
定格電圧 (公称電圧)	196 kV (140 kV)	280 kV (200 kV)
----------------	--------------------	--------------------



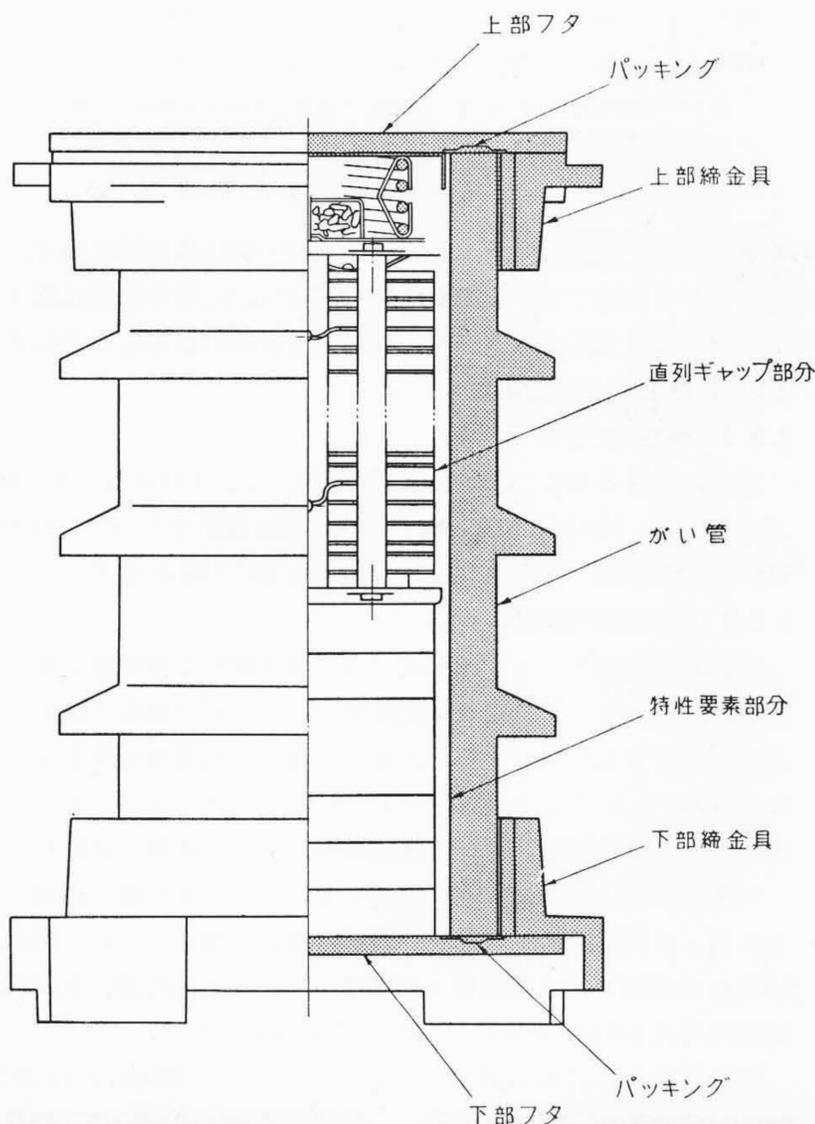
第3図 ODB-110形 140 kV
(公称 100 kV) 制弧避雷器

* 日立製作所国分工場

** 日立製作所日立研究所



第4図 ODB-110形制弧避雷器寸法図

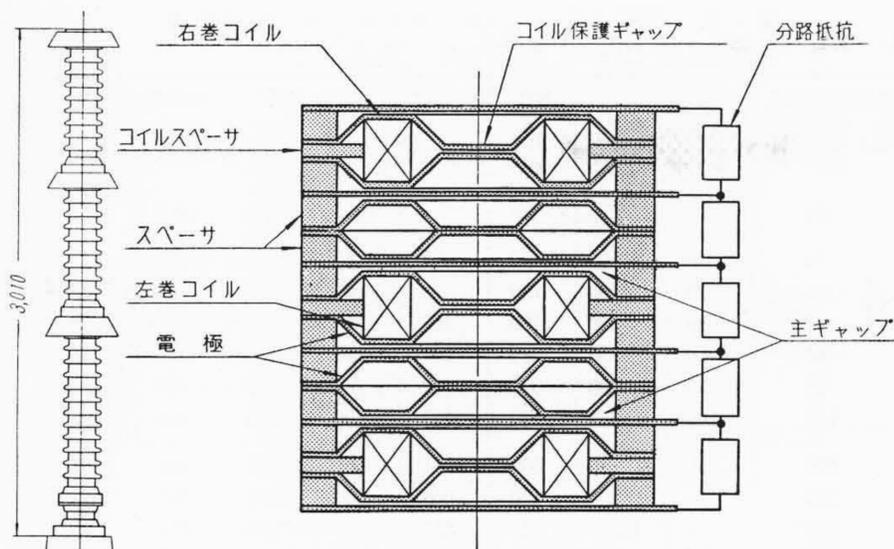


第5図 ODB-110形制弧避雷器内部構造図

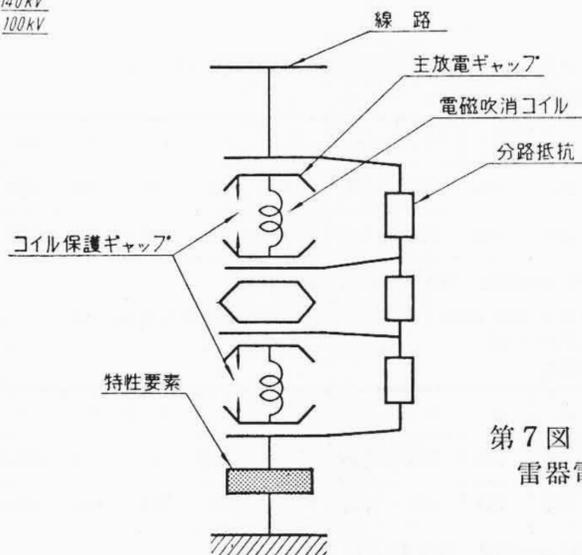
動するための電磁吹消コイルは隣接する環状凸形電極の空げきにそう入され、コイルの両端は両電極にそれぞれ接続し、これらの電極の中央部分はコイル保護用のギャップを構成している。

このギャップを避雷器の定格電圧に応じて積重ね、さらに電位分布の均等化と、汚損、気象条件など外界の影響を少なくするために図のように分路抵抗を並列に接続してある。

本器の電氣的接続図は第7図に示すとおりで、線路から浸入して来る急峻波頭のサージは主放電ギャップ、電磁吹消コイル保護ギャップ、特性要素を通じて大地に放電される。ついでこれに継続して流れる商用周波の続流に対しては吹消コイルのインピーダンスが小さいので吹消コイル保護ギャップのアーキは消滅し、続流は吹消コイルを通じて大地に放電される。隣接するコイルの巻方向は互に逆



第6図 ODB-110形制弧避雷器直列ギャップ構造図



第7図 ODB-110形制弧避雷器電氣的接続図

第1表 ODB形制弧避雷器標準表 (単位 kV)

避雷器形式	系統電圧	Arr AC 公称電圧	許容端子電圧	BIL	BIL × 80%	放電開始電圧			制限電圧 (以下)		高さ (mm)	重量 (1相分) (kg)
						Imp (以下)	緩頭波 (以下)	AC (eff) (以上)	at 5kA	at 10kA		
ODB-110形	11.5	10	14	90	72	45	45	21	40	45	650	56
	23	20	28	150	120	90	90	42	80	89	800	70
	34.5	30	42	200	160	135	120	63	120	135	1,050	83
	45	40	56	250	200	180	160	84	160	178	1,300	100
	—	50	70	300	240	200	200	105	200	222	1,660	127
	69	60	84	350	280	230	240	126	240	265	1,910	140
	80.5	70	98	400	320	265	280	147	280	310	2,150	160
	—	80	112	450	360	305	320	168	320	356	2,400	177
	—	90	126	550	440	340	360	189	360	400	2,730	197
115	100	140	550	440	375	395	210	400	445	3,010	213	
ODB-200形	161	140	196	750	600	430	510	294	510	570	3,600	820
	230	200	280	1,050	840	610	715	420	730	820	5,100	1,230
	*230	—	210	900	720	460	610	315	550	610	4,650	1,100
	*287.5	—	260	1,050	840	570	715	390	680	760	5,100	1,200

注：*印は有効接地系統

向きになっているので、その間の放電ギャップ部分には外向きおよび内向きの放射状磁界が交互に発生する。したがって続流アーキは主放電電極の環状突起面に沿って時計方向または反時計方向に駆動される。この間の冷却効果により続流は最初の零値を通過するときに遮断される。内雷で放電するような過酷な動作責務を多数回繰返しても電極面の損耗は痕跡程度で特性は変化しない。

ODB-200形の直列ギャップはアーキをアーキホーンの間で駆動伸長して消弧せしめる⁽¹⁾のに対し、本器は上述のように環状電極上を回転冷却させるようにしている。構造は著しく小形簡易化されている。両方式を公称電圧100kVにおいて比較するとODB-110形の全重量は200形の約60%である。第1表は両者の標準表である。

第 2 表 JEC-131 改訂案 (第 4 読会案) の避雷器
(定格電流 10 kA) 保護特性一覧表

避雷器定格電圧 (AC 許容端子電圧) (kV)	避雷器公称電圧 (kV)	BIL (kV)	BIL × 0.8 (kV)	放電開始電圧 (kV)			制限電圧 (kV)	
				衝撃電圧	緩波頭サージ	交流 (rms)	10 kA	5 kA
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
14	10	90	72	45	45	21	47	43
28	20	150	120	90	90	42	94	85
42	30	200	160	135	120	63	140	128
84	60	350	280	267	240	126	281	256
98	70	400	320	312	281	147	328	298
140	100	550	440	445	400	210	468	427
196	140	750	600	623	561	294	656	597
210	—	900	720	666	600	315	703	640
260*	—	1,050	840	827	745	390	872	795
280	200	1,050	840	891	802	420	937	855

注：改訂案では * 印欄は 252, 266 となっているが本表では 260 kV に換算した値を記載した。

第 3 表 商用周波放電電圧実測例 (ODB-110 形)

(a) 定格電圧 140 kV 避雷器

状態	回	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
乾燥 (kV)		249	252	256	249	249	249	249	249	249	252
注水 (kV)		250	250	256	250	253	250	246	246	243	246
気象条件		気圧 757 mmHg 気温 14.4°C 湿度 34%									
注水条件		注水量 2.2 mm/min (水平分) 水の固有抵抗 9,600 Ω-cm 注水角度約 45 度									

(b) 定格電圧 84 kV 避雷器

状態	回	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
乾燥 (kV)		157	156	156	155	156	155	153.5	155	155	153.5
注水 (kV)		155	156	154	156	155	152.5	155	154	156	154
気象条件		気圧 757 mmHg 気温 14.4°C 湿度 34%									
注水条件		注水量 2.2 mm/min (水平分) 水の固有抵抗 9,600 Ω-cm 注水角度約 45 度									

3. 諸性能の測定結果

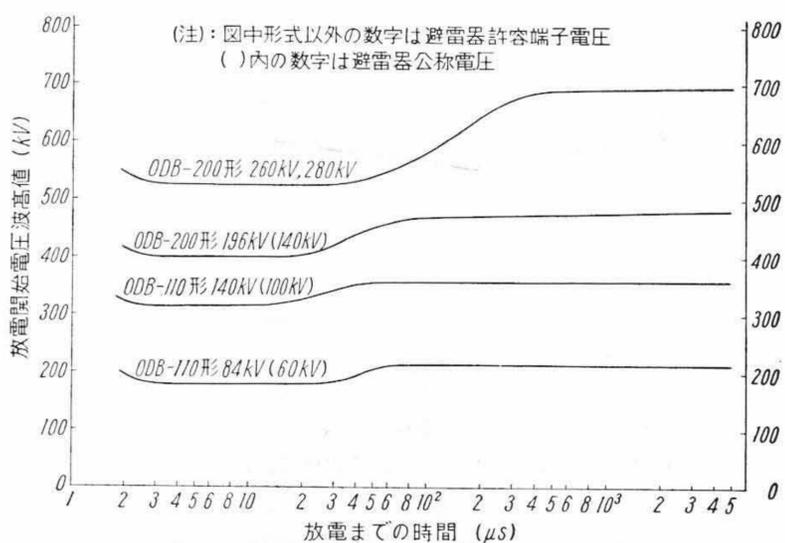
最近避雷器に対する期待が大きくなり現在の標準規格 JEC-131 では要求を十分満足することができず、目下 JEC-131 の改訂案が審議され第 4 読会案⁽²⁾が示されている。本案によれば従来の避雷器商用周波許容端子電圧を定格電圧としたほか、避雷器の保証能力の差により公称放電電流を規定し、10, 5, 2.5 kA の 3 段階に区別している。最上級の性能を規定する 10 kA 避雷器には開閉サージなどの内雷処理能力を保証させ第 2 表に示すような値を要求している。

3.1 放電特性

商用周波放電電圧は第 2 表の改訂案では最低値として 2.1E (E は公称電圧) を示しているが、本避雷器の商用周波放電電圧測定結果は第 3 表のとおりで、2.5E (E は公称電圧) 程度である。本避雷器の緩波頭サージ放電開始電圧は第 8 図に示すように商用周波放電開始電圧の波高値より高くはないので第 8 図と第 2 表の比較から内雷のような緩波頭サージに対する保護の役割を十分果しうるものである。衝撃放電特性も第 8 図でわかるとおり十分絶縁協調のとれたものである。

3.2 制限電圧特性

特性要素は ODB-110 形用のものを定格 14 kV および 6 kV 相当につきみかさねて単位試料とし、放電電流波形は (10 × 20) μs で、電流波高値を 1.5, 2.5, 5.0, 10, 20 および 40 kA とし試験した。制限電圧測定結果は



第 8 図 ODB 形制弧避雷器の緩波頭サージ V-t 曲線

第 4 表 制限電圧測定結果 (ODB-110 形)

定格電圧 (kV)	制限電圧 (kV)					備考 BIL (kV)
	1,500A	5,000A	10,000A	20,000A	40,000A	
14	30	39.5	41	45.5*	52*	90
84**	180	219	246	273	312	350
140**	300	365	410	455	520	550

注：* 印は定格 6 kV 相当分で測定した結果を 14 kV に換算した値
** 印欄は 14 kV 相当分をそれぞれ 84, 140 kV に換算した値
放電電流波形は 1,500~10,000A は (8~11) × (18~23) μs
20,000~40,000A は (10~12) × (22~24) μs

第 4 表に、電圧-電流特性オシログラムの一例は第 9 図に示す。本表の値を V-I 曲線で示すと第 10 図のようになる。標準性能は第 1 表に示したとおり JEC-131 改訂案に対し十分余裕のあるものである。

3.3 特性要素の放電耐量

3.3.1 衝撃放電耐量

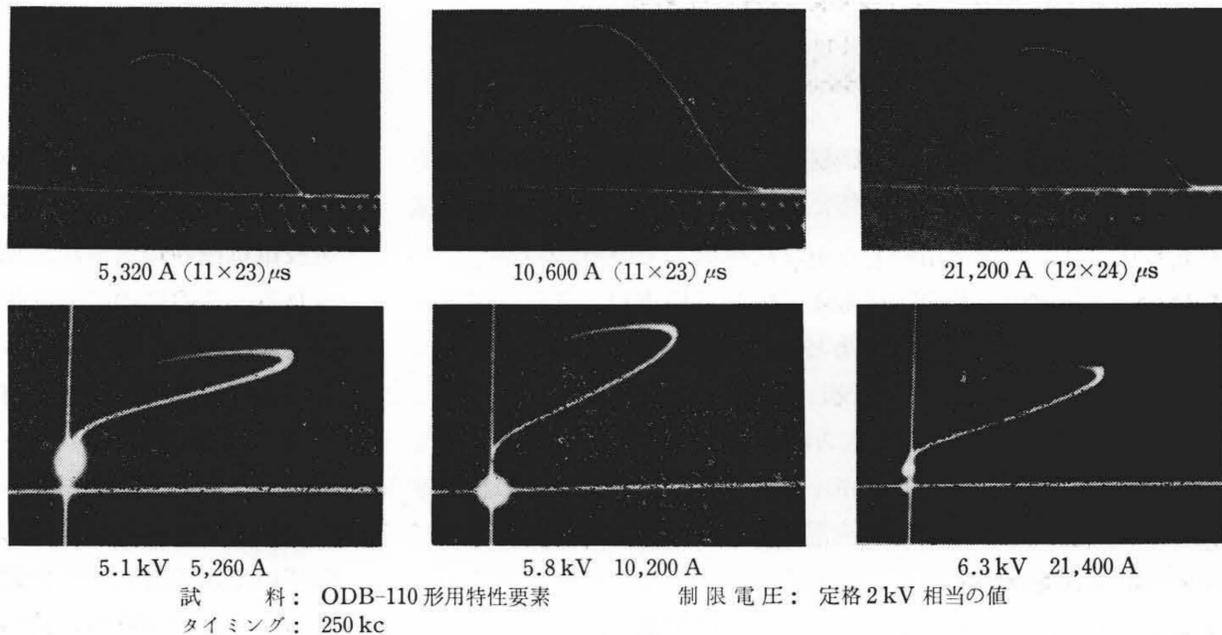
試料は特性要素につき定格 2 kV 単位とし、約 60 kA より 10 kA ずつ上昇し、100 kA まで試験し全然異常を認めなかった。ODB-110 形特性要素の代表的放電電流波形を第 11 図に示す。

3.3.2 長波尾放電耐量

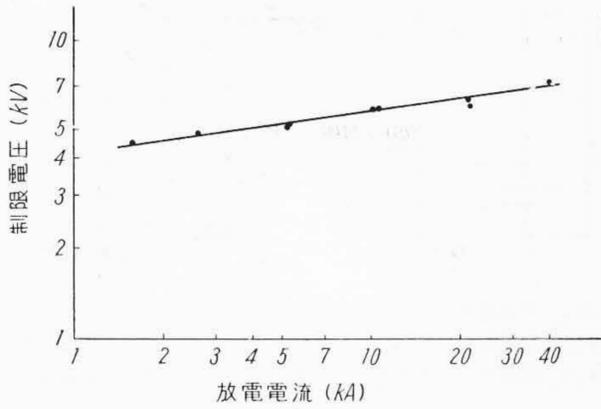
本試験は開閉サージなど系統の内部異常電圧で避雷器が動作するとき、そのサージによる放電電流に対してどの程度の耐量があるかを検討するためのものである。長波尾放電電流を発生するには第 12 図に示すようにコンデンサ C とインダクタンス L を組合わせた分布定数回路を用い、継続時間 2 ms の波形で試験した。

実系統においては系統電圧が高くなるほど、また長さが増大するに従って長波尾電流の継続時間と波高値が増してくる。100 kV 150 km の系統では本避雷器が開閉サージによる動作時に約 300 A、継続時間は 1.4 ms 程度の長波尾電流を放電する。

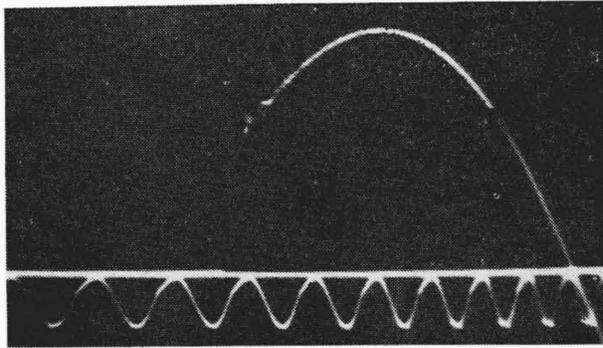
JEC-131 の改訂案では 10 kA 避雷器について 400 A, 2 ms 20 回



第 9 図 ODB-110 形制弧避雷器特性要素制限電圧試験オシログラム

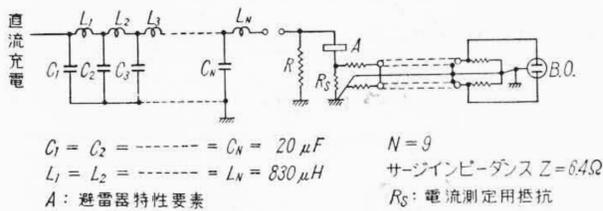


第 10 図 ODB-110 形制弧避雷器制限電圧特性 (定格 2 kV 相当の値)

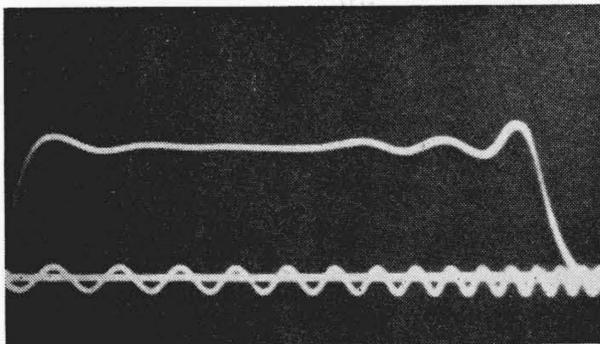


98 kA (10×20)μs タイミング: 250 kc ODB-110 形用

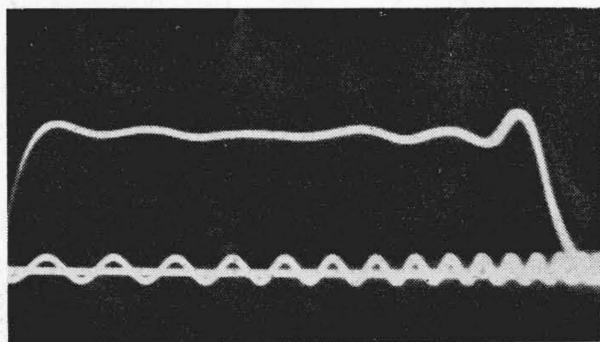
第 11 図 ODB-110 形制弧避雷器衝撃放電耐量オシログラム



第 12 図 避雷器特性要素長波尾放電耐量試験回路



(a) 860 A, 2.2 ms, タイミング 5 kc



(b) 880 A, 2.2 ms, タイミング 5 kc

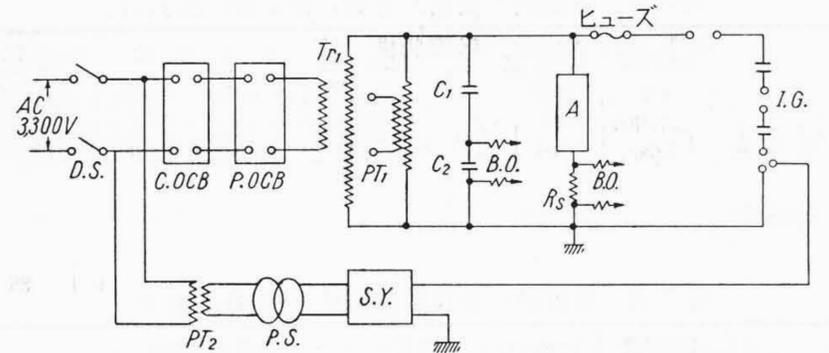
第 13 図 ODB-110 形制弧避雷器特性要素長波尾放電耐量試験オシログラム

となっているが、本試験では特性要素の放電した長波尾電流の継続時間は 2.1~2.2 ms で、波高値は 840~880 A であり、いずれも連続 20 回の放電に対し貫通、破壊その他の異常は認められなかった。代表的なオシログラムを第 13 図に示す。なお、ODB-200 形用では 800 A (2 ms) 500 回、1,200 A (2 ms) 20 回、1,400 A (2 ms) 10 回の耐量試験で異常がなかった。これは世界最高の水準である。

3.4 続流遮断性能

3.4.1 普通動作責務試験

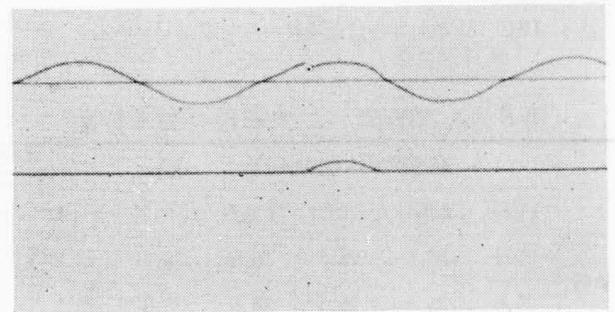
避雷器が外雷で動作する場合の続流遮断能力を検討する目的で



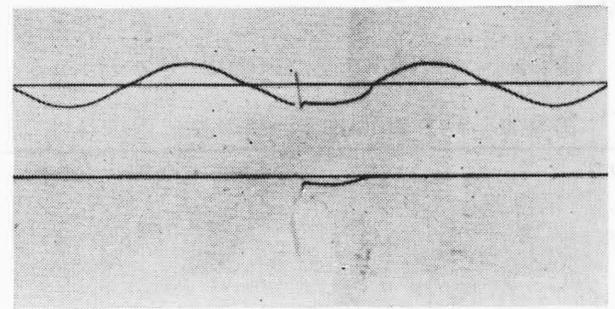
- C.OCB: 投入遮断器
- P.OCB: 保護用遮断器
- Tr: 電源変圧器 2,000 kVA
- C₁ C₂: 容量分圧器
- A: 供試用避雷器
- B.O.: 長時間記録ブラウン管オシロ
- Rs: 続流測定用抵抗
- I.G.: 衝撃電流発生器
- P.S.: 位相調整器
- S.Y.: 同期装置

第 14 図 ODB-110 形制弧避雷器普通動作責務試験回路

⑪



⑫



○内番号は第 5 表中の試験番号を示す。

各オシログラムとも上より避雷器端子電圧と続流を示す。

第 15 図 ODB-110 形制弧避雷器普通動作責務試験オシログラム

第 5 表 普通動作責務試験結果 (ODB-110 形)

試験番号	商用周波試験電圧 (kV)	試験電圧とパルスとの関係	パルス印加位相 (度)	続流		結果
				波高値 (A)	遮断時間 (μs)	
*11	14.8	同極性	65	245	0.29	良
12	14.6	同極性	62	255	0.30	良
13	14.8	同極性	64	265	0.29	良
14	14.6	同極性	67	285	0.29	良
15	14.6	同極性	71	255	0.28	良
*16	14.7	逆極性	69	388	0.29	良
17	14.8	逆極性	72	388	0.28	良
18	14.6	逆極性	74	388	0.27	良
19	14.7	逆極性	75	388	0.27	良
20	14.8	逆極性	72	368	0.27	良

* 第 15 図参照

第 14 図に示す回路で試験を行なった。ODB-110 形、定格 14 kV 避雷器 A を供試品とし、これに 2,000 kVA 電源変圧器 Tr より商用周波を印加しておき、雷サージとして衝撃電流発生器 I.G. により 10 kA (10×20) μs の衝撃電流を流した。印加位相は 60~80° とし、商用周波との極性は同逆両極性について各 5 回行った。本試験結果を第 5 表に、その代表的オシログラムを第 15 図に示す。

3.4.2 特別動作責務試験

本試験は実系統において避雷器が開閉サージで動作する場合の続流遮断能力を検討することを目的とするものである。第 3.3.2 項で述べたように、開閉サージを模擬した避雷器の長波尾放電電流は L.C. の分布定数回路 S.G. で供給し、避雷器の始動には別に衝撃電圧発生器 I.G. を使用する。実系統の場合と放電電流波形

第 6 表 特別動作責務，等価分割試験回路条件

	系統電圧 (kV)	分割単位 避雷器 (kV)	分割比 $\frac{1}{n}$	亘長 (km)	静電容量		サージイン ピーダンス (Ω)
					($\mu\text{F}/\text{km}$)	全容量 (μF)	
実系統	100	—	—	150	0.008	1.20	500
分割試験	—	14 (10)	$\frac{1}{10}$	—	—	12.0	50

第 7 表 特別動作責務試験結果 (ODB-110 形)

試験番号	商用周波 試験電圧 (kV)	試験電圧と 継続サージ との関係	継続サージ 印加位相 (度)	商用周波接続		結果
				波高値 (A)	遮断時間 (μs)	
41	14.2	逆極性	45	567	0.29	良
42	14.0	逆極性	42	589	0.30	良
43	14.2	逆極性	41	524	0.28	良
44	14.3	逆極性	47	502	0.24	良
*45	14.2	逆極性	44	485	0.29	良
*46	14.1	逆極性	42	698	0.32	良

注： JEC-131 改訂案では逆極性のみを規定している
* 第 17 図参照

第 8 表 動作責務試験前後の放電特性

試験 避雷器		商用周波放電開始電圧 (kV)						衝撃放電開始 電圧 (kV)	
		1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目	平均	正極性	負極性
14 kV 分割 単位	試験前	25.4	25.6	25.5	25.5	25.3	25.5	45	45
		25.5	25.4	25.5	25.6	25.3	25.5	45	45
	試験後	25.2	25.3	25.5	25.3	25.3	25.3	45	45
		25.3	25.4	25.5	25.3	25.4	25.4	45	45

注： 試験前後とも上欄 ODB-130，下欄 ODB-110 形の値である。

第 9 表 動作責務試験前後の制限電圧特性

試験避雷器		制限電圧 (kV)	放電電流 (A)
14 kV 分割単位	試験前	35.0	2,540
	試験後	36.0	2,520

注： 放電電流波形 (7×17) μs

が同じで，放電中避雷器の消費するエネルギーが等しくなるような等価分割試験を実施した。このためにはかりに分割比を $1/n$ とすると，試験電圧および SG 回路のサージインピーダンスを実系統のそれぞれ $1/n$ ，SG 回路のコンデンサー総容量を線路容量の n 倍とすればよい⁽⁴⁾。供試品として定格 14 kV 避雷器を用いたので SG 回路の条件としては第 6 表のようになる。本試験回路を第 16 図に示す。SG の充電電圧は改訂案によれば，定格電圧 14 kV 避雷器では 22 kV となっているが，今回はさらに余裕をみて 30 kV とした。試験結果は第 7 表のとおりで，いずれも良好な続流遮断能力を示している。第 17 図はその代表的オシログラムである。試験番号④は継続サージを LC 振動の 1 \sim で交流回路より分離した場合である。これで ODB-110 形制弧避雷器は，100 kV，150 km の系統の開閉サージを処理する能力のあることが確認されたわけである。

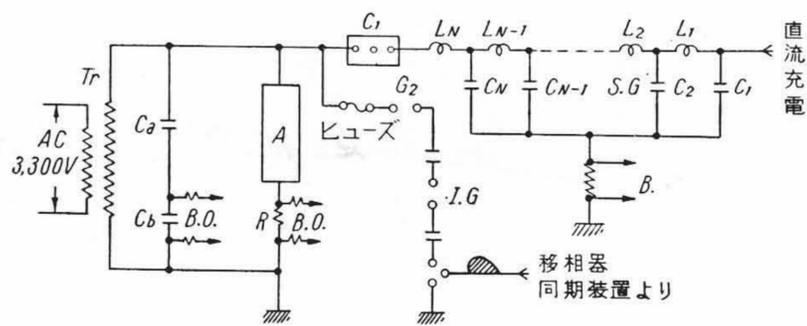
3.4.3 動作責務試験前後の諸特性

第 3.4.1 項および第 3.4.2 項の試験前後における商用周波および衝撃波に対する放電開始電圧は第 8 表に，2,500 A における制限電圧は第 9 表に示すとおりである。いずれも動作責務試験前後の特性に実質的变化はない。また本試験後供試避雷器を解体点検したが，全然異常を認めなかった。

3.5 その他の試験

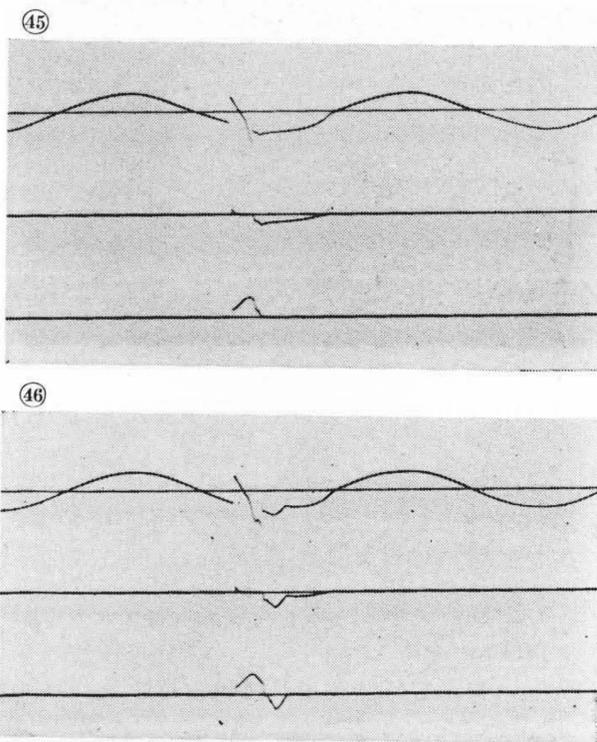
上記各種の試験のほか耐劣化試験として，気密試験，浸水試験，さらに汚損水結試験などを行なったが，試験前後の特性に変化なく，解体点検の結果も異常はなかった。

直列ギャップの分路抵抗は常規対地電圧の 3 倍の電圧による耐久試験を行なっているが，数千時間でも特性変化は見られなかった。



A: 供試避雷器
G₁: 分離用ギャップ
S.G.: 継続サージ発生器……
 $\left\{ \begin{array}{l} C_1 = C_2 = \dots = C_N = 2 \mu\text{F} \quad Z = 50 \Omega \\ L_1 = L_2 = \dots = L_N = 5 \text{ mH} \\ N = 6 \end{array} \right.$

第 16 図 ODB-110 形制弧避雷器特別動作責務試験回路



○印内番号は第 7 表中の試験番号を示す。
各オシログラムとも上より避雷器の端子電圧続流，ならびに SG 電流を示す。

第 17 図 ODB-110 形制弧避雷器特別動作責務試験オシログラム

また遮断性能は前述のように非常に強力であり，正常動作による性能の変化はまったくない。

4. 結 言

最近のように避雷器に対して系統の内部異常電圧処理能力が要求されるようになると，避雷器の責務は重くなりしかも系統の電圧，長さなどによりその程度が異なるので従来のように同一形式のもので対処することは不合理となった。このことを考慮して今回 2 種の電磁吹消形避雷器を完成，各方面に納入しているので，これらの避雷器について構造，動作原理，性能などを述べた。このうちおもなる特長を述べると

- (1) 各電圧とも完全自立形であること。
- (2) 電磁吹消形直列ギャップを有し継流遮断能力が大であること。
- (3) 特性要素の放電耐量が大きく，制限電圧が低いこと。
- (4) 放電特性が良好であること。

などである。今後，これらの避雷器が合理的に使用され系統機器の絶縁協調が有効に確保されることが期待される。

参 考 文 献

- (1) 内儀，益田，加藤：日立評論 別冊 36，15 (昭 35-6)
- (2) 避雷器標準特別委員会：避雷器標準規格(第 4 読会案)(昭 36-2)
- (3) P. L. Bellaschi: TAIEE 65, 1047 (1946)
- (4) 避雷器専門委員会：資料 No. 51 (昭 34-12)