

# 変電所の絶縁設計(絶縁協調)

(発送配変電二次説明問題に備える)

## 参考資料

- 1.電気工学ハンドブック第6版
- 2.現代電力技術便覧
- 3.電気のデジタル博物館

## 1. 基本的な考え方

### 絶縁協調とは

過電圧の大きさと形状を把握し、過電圧に対する**避雷器**の特性を考慮し、**機器類の絶縁強度**について、交流定常電圧および各種過電圧に対する絶縁が合理的な値であり、かつ、相互にバランスが取れたものになるよう協調を図ることである。

「協調」の意味は、絶縁強度がどれか一つの過電圧に支配され、そのために極端にサイズおよび費用が大きくなるような場合には、その過電圧を抑制する対策を行い総合費用が最小となるようにするなど、技術上、経済上ならびに運用上からみて最も合理的な状態になるよう調整を行うことである。

### 試験電圧標準

わが国では、国内の発電所および送電線の規模を想定して絶縁協調に加え機器の耐久性も考慮して検討した結果、各種過電圧に対する試験電圧が制定されている(JEC-0102-1994)。

この試験電圧で合格した製品は、結線等が特別でない通常の発電所において絶縁協調を満たすものとして使用可能である。

変電所の絶縁設計では、避雷器の特性も活用して、次項の、短時間過電圧、開閉過電圧、雷インパルスのすべてに耐えられるようにする。

## 2. 各種過電圧の発生原因と想定レベル

### 短時間過電圧

発電機の負荷遮断(送り出し送電線が負荷側末端で遮断され無負荷送電線を充電する状態になる現象)で、商用周波数が基本だが、高調波、分数調波等も含む。発電機の加速による発電電圧の上昇、送電線の静電容量によるフェランチ効果などでAVR,ガバナで抑制されるまで比較的長時間継続する。

過電圧値は常規電圧に対し1.5pu程度である。

なお、1線地絡時の健全相電圧も、非接地系で1.73pu、有効接地系で1.3～1.4pu程度ある。

### 開閉過電圧

送電線の投入、再投入時に発生し、常規対地電圧波高値に対し、避雷器のある受端変電所で次の程度。

500kV系 対地1.60pu、相間2.70pu

275kV系 2.25pu、 3.90pu

154kV系 3.05pu、 5.80pu

波形は波頭長20 $\mu$ S～5mS、波尾長20mS以下

なお、断路器過電圧(再点弧)は500kV系で 2.89pu

### 雷インパルス

変電所の絶縁設計では、予め架空地線により直撃雷を受けない設計にする。近傍第1鉄塔での次の想定雷撃電流で発生する過電圧をEMTPによる計算で求める。

500kV 150kA

275kV 100kA

154kV 60kA

電圧波形は波頭長 0.1～20 $\mu$ S、波尾長300 $\mu$ S以下

500kV系統の代表値は1425kV

### 3. 避雷器の特長(酸化亜鉛素子使用)

#### 定格電圧 $E_R$

交流電圧の対地実効値で示す。連続した運転電圧はもちろん、1線地絡や負荷遮断などの短時間過電圧に耐え、かつ所定の動作責務の遂行が可能でなければならない。公称電圧との関連で定められている。

$$E_R = \alpha \cdot \beta \cdot \frac{U_m}{\sqrt{3}} = k \cdot U_m$$

$\alpha$ : 接地係数、 $\beta$ : 裕度(負荷遮断、発電機電圧上昇を考慮)

$U_m$ : 最高許容線間電圧 = 公称電圧  $\times \frac{1.2}{1.1}$

#### 動作開始電圧

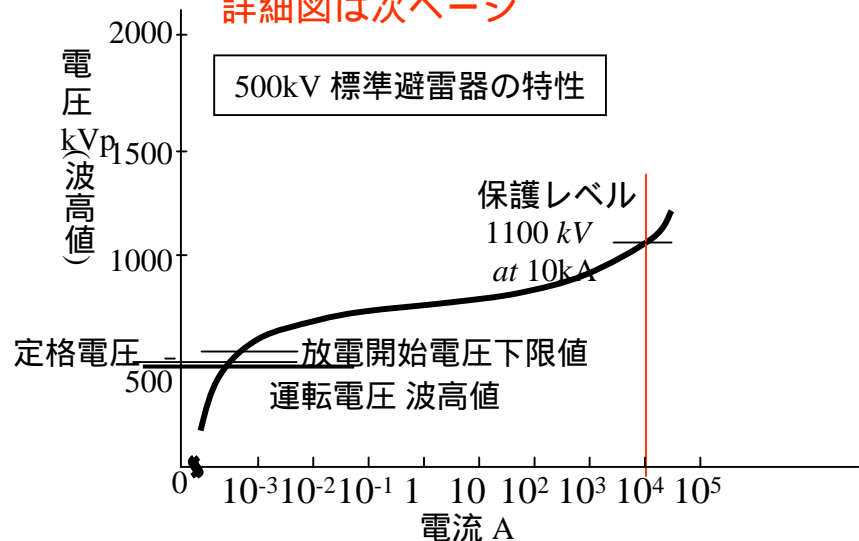
定格電圧の波高値付近に定められており、500, 275kV など有効接地系で0.9倍、154, 66kV など非有効接地系で1.0倍としている。

#### 雷インパルス制限電圧

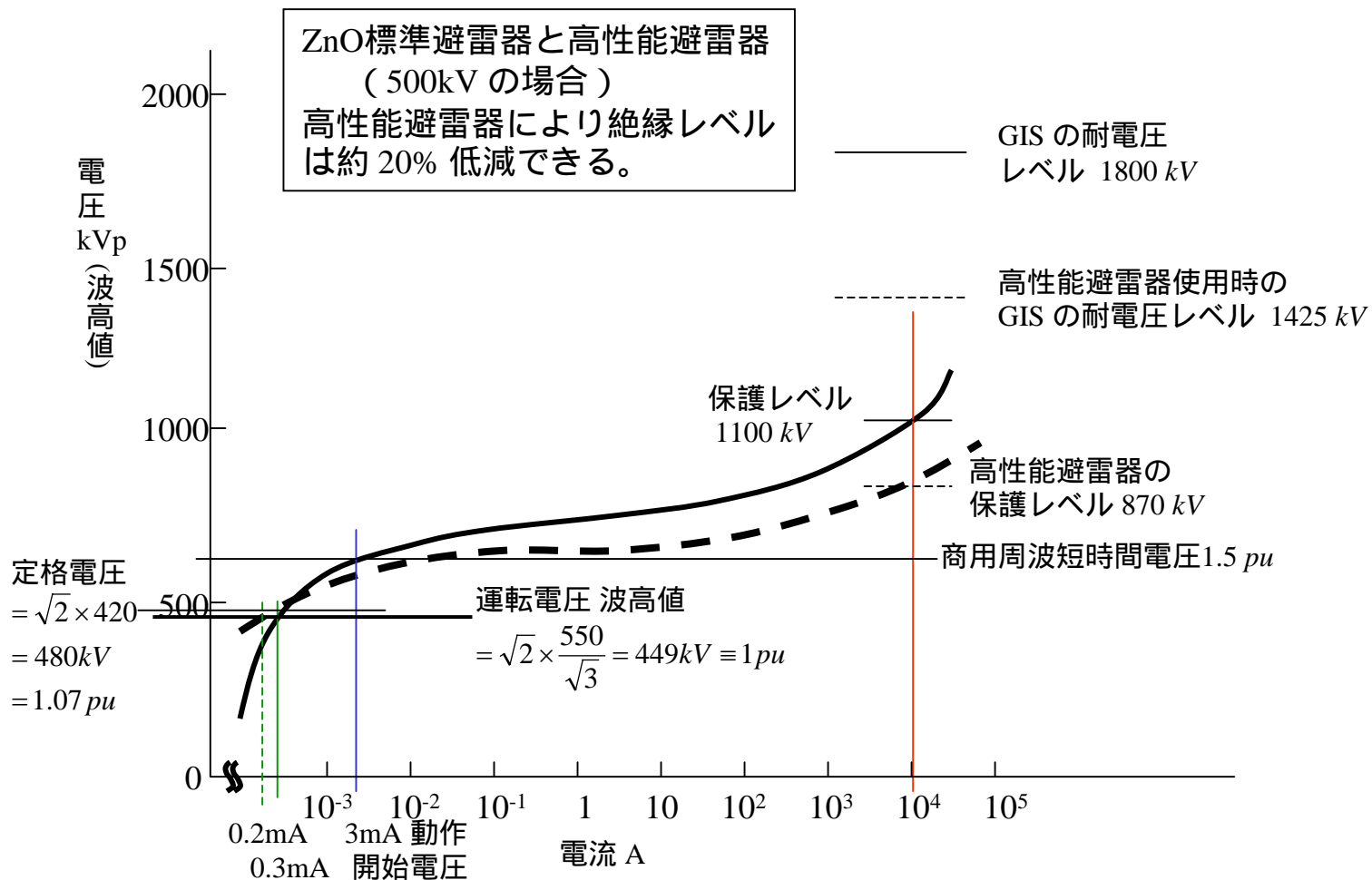
雷電流を放電する動作中の両端子間の電圧で、絶縁設計は、避雷器の働きで電圧が制限電圧以下に抑制されることを前提に行われる。

公称電圧 [kV] 実効値	定格電圧 [kV] 実効値	動作開始 電圧[kV] 下限値、 波高値	雷インパルス制限 電圧[kV] 上限値、 波高値	
			標準	高性能
66	84	119	269	229
77	98	139	314	267
110	140	198	448	381
154	196	277	627	533
187	182	232	524	411
220	210	267	605	474
275	266	339	766	600
275	288	356	807	632
500	420	535	1100	870

詳細図は次ページ



**高性能避雷器** 1980年代以降UHV系統で必要となる短時間過電圧耐量，開閉サージ放電耐量を満足しかつ所要特性を満たす避雷器の開発が進められた。その結果、素子特性の改善や素子並列枚数の増加，三価金属の添加，粒子径の微細化，均一化による平坦率低減や，ガラス質添加による素子特性向上，内部組成の均一性増大によるエネルギー耐量向上により，十分達成できる**酸化亜鉛素子**が開発された。平成6年のJEC-0102「試験電圧標準」改定，平成7年のJEC-2372「ガス絶縁タンク形避雷器」制定により規格化された（電気のデジタル博物館参照）。



## 4.変電機器類の絶縁強度

### 試験電圧標準

わが国では、国内の発電所および送電線の規模を想定して絶縁協調に加え機器の耐久性も考慮して検討した結果、各種過電圧に対する試験電圧が制定されている(JEC-0102-1994)。

この試験電圧で合格した製品は、結線等が特別でない通常の発電所において絶縁協調を満たすものとして使用可能である。

なお、特別な回路など必要があれば、過電圧の計算を行い、試験電圧を決めることが可能である。

### 商用周波過電圧

長期寿命期間中の常規電圧に耐え、かつ、短時間過電圧に耐えるための試験法として、交流試験電圧パターンが策定され、これに従って行われる。

### 開閉過電圧

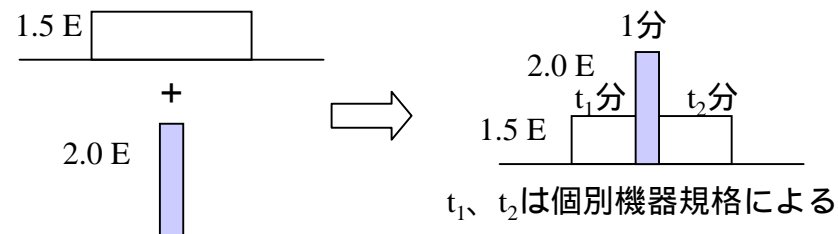
187kV以上の系統では、開閉過電圧試験は商用周波長時間耐電圧試験または雷インパルス試験でカバー可能であることが分かったため通常は実施されない。

気中絶縁距離の決定には開閉サージによる検討も必要である。

### 雷インパルス試験

使用する避雷器の性能と設備の状況に応じて数種類の試験電圧が用意されている。

### 商用周波過電圧の波形



### 試験電圧値

公称電圧 [kV] 実効値	試験電圧値[kV]			避雷器保護外 雷インパルス耐 電圧試験 波高 値
	雷インパ ルス耐電 圧試験 波高値	短時間商 用周波耐 電圧試験 実効値	長時間商用周波 耐電圧試験 実 効値	
66	350	140	-	420
77	400	160	-	480
110	550	230	-	660
154	750	325	-	900
187	650	-	170-225-170	900
	750	-		
220	750	-	200-265-200	1080
	900	-		
275	950	-	250-33-250	1260
	1050	-		
500	1300	-	475-633-475	1800
	1425	-		
	1550	-		
	1800	-		

## 変電所タイプ別の避雷器設置の考え方

### 1. GIS 変電所

すべての線路の引き込み口に避雷器を設置する。多くの場合、避雷器はこれだけで足りるが、電圧階級が高いとき変圧器保護用を追加することがある。

GISについては、

ガス絶縁機器のV-t 特性は平坦

サージインピーダンスが架空線の1/5程度

変圧器のほかに、GIS内部の有機絶縁物の

保護が必要

などの特徴から、個別にEMTP(Electro Magnetic Transients Program)を使用して検討することが多い。

### 2. 気中絶縁変電所

主要被保護機器である変圧器近傍に避雷器を設置し、母線全域を保護する。

避雷器と被保護機器との離隔距離は50m 以内になるように配置する。

避雷器の設置位置検討用の概略式としては次式がある。詳細検討はEMTPを用いて行うことができる。

気中絶縁の場合の、避雷器～被保護機器間距離計算概略式

$$E_t = e_a + \frac{2}{n} \mu \frac{X}{V}$$

$E_t$  : 被保護機器端子電圧最高値  $kV$

$e_a$  : 避雷器の対インパルス放電開始電圧  $kV$

$n$  : 回線数、 $X$  : 避雷器、被保護機器間距離  $m$

$V$  : サージ進行速度 (300m)

$\mu$  : 侵入波波頭峻度 [ $kV / \mu S$ ]

### 3. 地中送電系統

架空線との接続箇所を除き、すべての線路が地中線である場合は避雷器は不要。架空線とのケーブルの接続箇所では、線路引き込み口、架空線との接続点、あるいはこの両方に避雷器を設置する。

ケーブルのサージインピーダンスは、架空線の1/10程度であり、短いケーブルに侵入したサージはインピーダンスの高い両端での反射を繰り返して壱増する。長いケーブルでは減衰が大きく絶縁を脅かすことがない。

ケーブル系統に設置する避雷器は、ケーブルの静電容量が大きいので、開閉サージ放電対量が大きいことが要求される。