

A1. ハイパワー衝撃回路の基礎実験 ～インパルス電圧による空気の絶縁破壊～

Keywords: インパルス電圧, 気中放電, 絶縁破壊, 高電圧発生装置

1. 実験目的

雷（雷サージ）や、電力系統の遮断器の開閉に伴って発生する過電圧（開閉サージ）は、電力系統に発生する高電圧異常事象の理解に重要である。これらはいずれも短時間に最高電圧に達し、その後すみやかに減衰するインパルス電圧である。インパルス電圧には雷インパルス電圧と開閉インパルス電圧があり、前者は数十 μs 、後者は数 ms の継続時間を持つ。

本実験では、標準雷インパルス電圧を発生させ、各種気中ギャップによるインパルス絶縁破壊試験を行うことによって以下の項目を目的とする。

■実験目的

- (1) 雷電圧の相似波形である雷インパルス電圧の発生器の原理およびその操作方法を理解すること
- (2) 高電圧技術および気中放電現象に関する理解を深めること

2. 実験原理

インパルス電圧発生器(impulse generator, IG)は、基本的にキャパシタを高電圧充電し、短時間に放電を行うものである。

2.1. インパルス電圧発生回路

インパルス電圧発生器の基本回路は図1に示すように、キャパシタ C に充電した電荷を、放電ギャップ G を通じて放電し、抵抗 R_o の両端(= Output)にインパルス電圧を発生させるものである。しかし、実際にはキャパシタの耐電圧、整流回路の逆耐電圧などにより、1個のキャパシタでは発生電圧に限界が存在する。そこで、本実験では、多数のキャパシタを並列に充電し、これを放電ギャップによって直列に放電させる、いわゆる多段式（マルクス型）インパルス電圧発生器(Marx Generator)を採用している（4ページ、図4参照）。

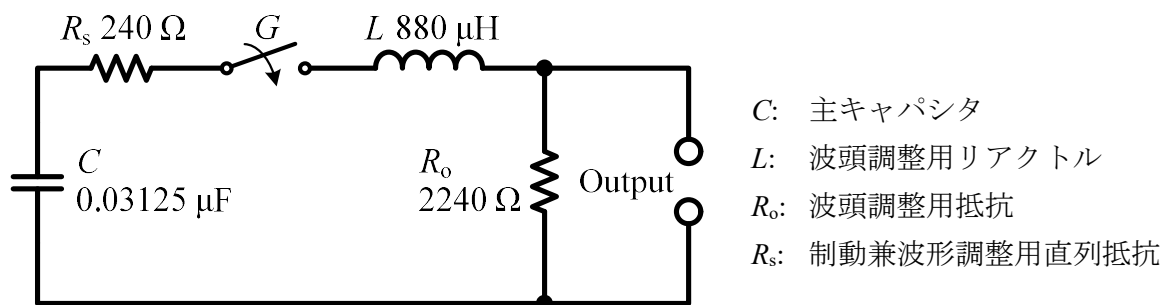


図1 インパルス電圧発生器の基本回路

2.2. 標準雷インパルス電圧

電力系統に生じる雷電圧の波形は多種多様であるが、実測の結果から最も普遍的な波形として標準雷インパルス電圧波形が定められている。JEC-0202-1994 規格によれば図2に示すように規約波頭長 $1.2 \mu\text{s}$ ，規約波尾長 $50 \mu\text{s}$ を採用しており，本実験においてもこの標準波形を発生させる。

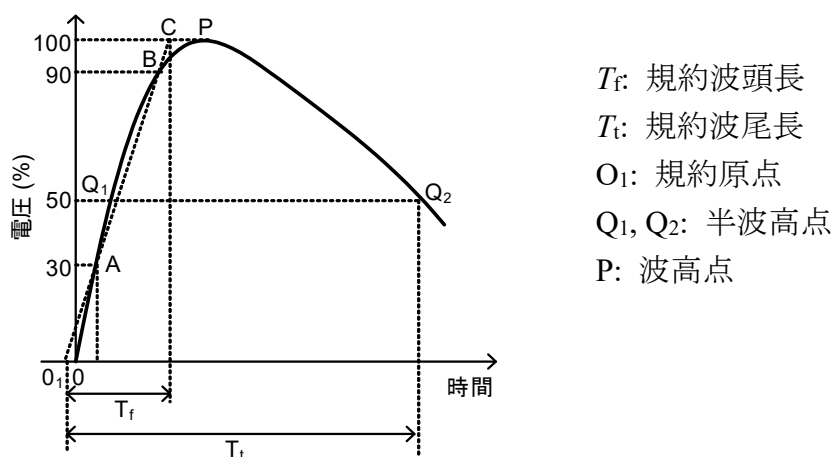


図2 雷インパルス電圧波形とその定義

2.3. 50%フラッシュオーバー電圧

ある電極間にインパルス電圧を印加した場合，そのときのフラッシュオーバーは偶発的な原因に相当強く支配される。そこで放電率 ε は，同じ波高値のインパルス電圧を N 回印加したとき，そのうち n 回だけフラッシュオーバーが起こったとき，次式のように定義されている。

$$\varepsilon = \frac{n}{N} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

最も一般的に用いられるフラッシュオーバー電圧は放電率が 50%になる衝撃火花電圧を与える 50%フラッシュオーバー電圧である。

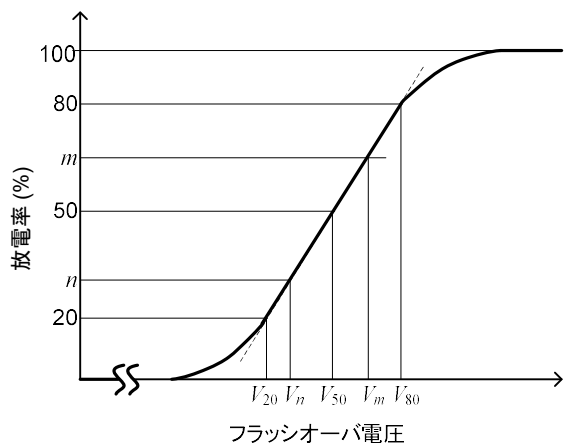


図3 フラッシュオーバー電圧—放電率特性

50%フラッシュオーバー電圧の測定法は種々あるが本実験では内挿法（補間法）を用いる。内挿法は，放電率が 20～80%の範囲内ではフラッシュオーバー電圧に比例すると考えた図3の放電率特性に基づく測定法である。

いま，フラッシュオーバー電圧 V_m ならびに V_n のときの放電率がそれぞれ m %および n %とすると，図3の放電率とフラッシュオーバー電圧の関係から 50%フラッシュオーバー

電圧 V_{50} は次式で与えられる。

$$V_{50} = \frac{V_m(50-n) + V_n(m-50)}{m-n} \quad (2)$$

2.4. 50%フラッシュオーバー電圧の相対空気密度補正

一般に、気中ギャップの 50%フラッシュオーバー電圧 (50% FOV) はその時の大気圧、気温によって変化する。このため、50% FOV は標準の大気状態 (気温 20 °C, 気圧 1013 hPa) に対して次のような補正を実施する。標準大気状態における 50% FOV を V_s , その時の大気状態におけるそれを V とすると,

(1) $0.95 < \delta < 1.05$ の場合

$$V_s = \frac{V}{\delta} \quad (3)$$

(2) δ が上記以外の場合

$$V_s = \frac{V}{k} \quad (4)$$

ここで、補正係数である相対空気密度 δ は、下式で与えられる。

$$\delta = \frac{p}{1013} \cdot \frac{273+20}{273+t} \cong 0.289 \frac{p}{273+t} \quad (5)$$

ただし,

p : 測定時の大気圧 (hPa)

t : 測定時の気温 (°C)

また、補正係数 k は表 1 のように与えられる。

表 1 補正係数 k の値

δ	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.05	1.10
k	0.72	0.77	0.81	0.86	0.91	0.95	1.05	1.09

3. 実験方法

3.1. インパルス電圧発生装置の取り扱い

インパルス電圧発生装置は図 4 に示すように構成されている。

【インパルス電圧発生装置】

- | | |
|-------------|---|
| (1) 直流高圧電源 | 定格出力電圧は、接地電位に対して ± 50 kV |
| (2) 出力同軸コード | 直流耐電圧 50 kV |
| (3) 発生装置本体 | 耐電圧 50 kV のキャパシタ 2 個 $\times$ 4 段 (直列個数 8 個)
公称電圧 400 kV |
| (4) 波形観測装置 | 抵抗分圧、減衰器により 1/80,000 の電圧で観測 |

以下、図4に従ってインパルス電圧発生装置の操作方法について説明する。

【インパルス電圧発生装置操作方法】

- (1) 高圧電源のスイッチが、「CLOSE」,「OFF」の状態かつ電圧設定ボリュームが零であることを確認する。
- (2) 装置の扉を開けて、備え付けの接地棒を用いて高圧側電極を接地する。
- (3) 測定内容に応じて電極先端を交換し、電極間隙を所定の位置に設定する。
- (4) 接地棒を入り口にあるフックにかける。装置の内部に人がいないことを確認して扉を閉める。
- (5) 高圧電源のインターロックのスイッチ「OPEN」を投入する。OPEN状態の時はパイロットランプが点灯する。装置の内部に入る前には「CLOSE」を押す。
- (6) スイッチ「HV ON」を押し、高圧回路をONにする。(OFF状態にするには「HV OFF」を押す)。
- (7) 電圧計を監視しながら、ゆっくりと主キャパシタ充電電圧を上昇させる。この時、電圧計の読みは最下段キャパシタ1個の読みであるから直列接続時の電圧はその8倍となる。実際に供試物に加わる電圧は図4の R_0 の両端にかかる電圧であるから、その値に発生器の利用率 η をかけたものである。
- (8) トリガースイッチを押し、トリガー放電する事を確認する。ここで適当回数一定電圧を印加し、供試ギャップの閃絡有無から電圧計の読みで $n\%$ フラッシュオーバー電圧を求める。次いで、印加電圧を変化させ $m\%$ フラッシュオーバー電圧を求める。
- (9) 次の実験に移る前に、(1), (2)で述べたように必ず電源の状態を確認した後に接地棒で高圧側電極を接地し、安全を確認する。

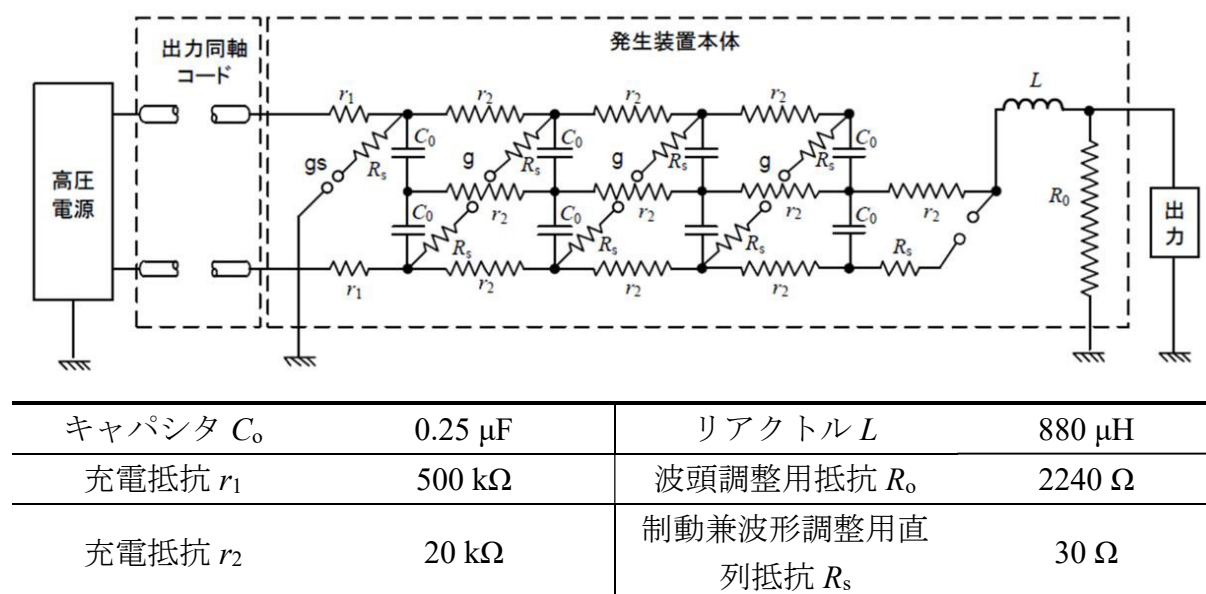


図4 インパルス電圧発生装置回路図

3.2. 実験項目

(1) インパルス電圧発生器の利用率 η の測定

一般にインパルス電圧発生器の利用率は次式となる。

$$\eta = \frac{\text{供試物に加わる電圧値}}{\text{キャパシタに加わる充電電圧値}} \times 100[\%] \quad (6)$$

キャパシタ 1 個に加わる充電電圧は電圧計の読みから知る事ができる。ただし、放電球ギャップが閃絡した時はこの読みの 8 倍となる。標準大気状態における 50%フラッシュオーバー電圧が既知の標準球ギャップ（直径 15 cm）を接続する。50% FOV 値は表 2 を使用。実験データは標準大気状態の値に補正すること。

2.3 節で述べた方法により E_{50} （キャパシタに加わる充電電圧による 50% FOV）を実験から求め、上式より利用率を算出する。

表 2 直径 15 cm 標準球ギャップの 50%フラッシュオーバー電圧 [kV]
(一球接地，標準大気状態：気温 20℃，気圧 1013 hPa)

ギャップ長 (cm)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
印加電圧	+	31.7	59.0	85.5	111	136	158	178	(196)	(212)	(226)
極性	−	31.7	59.0	85.5	110	133	152	(177)	(185)	(198)	(209)

このときの電圧印加回数 10 回，ギャップ長は 7 cm とする。印加電圧の極性は正極性で行う。

(2) 針－平板ギャップの 50%フラッシュオーバー電圧の測定

針電極（高圧側）と直径 30 cm の平板電極（接地側）を使用し，ギャップ長 7, 20, 30 cm の時における 50% FOV を 2.3 節の方法により，まず E_{50} （キャパシタに加わる充電電圧による 50% FOV）として求める。それに (1) で求めた利用率および相対空気密度補正 δ を考慮し，標準大気状態に補正して求める。印加電圧の極性は正，負両極性とも行う。

(3) 任意の電極のギャップ長 7 cm の 50%フラッシュオーバー電圧の測定

針，棒（ロッド，先端が直方体），平板（直径 30 cm），球（直径 15 cm）の中から任意の電極を選び，正極性におけるギャップ長 7 cm 時における 50% FOV を (2) と同様に求める。

4. 考察、検討事項

- (1) 針－平板ギャップにおけるギャップ長と 50% FOV の関係式の導出と考察を行う
- (2) 標準球ギャップと針－平板ギャップの電極形状による 50% FOV の相違について考察する
- (3) 最後に選択した電極と (2) の 2 種類の電極の 50% FOV の相違について考察する
- (4) 針－平板ギャップの印加電圧の極性による 50% FOV の相違について考察する
- (5) 自然界の雷放電について次の 2 つの言葉を使って説明する（リーダ，冬季雷）

実験上の注意

- A) 3.1 節 _____ 部の各事項は必ず守ること
- B) 発生電圧は数十万ボルトに達するため，課電中は絶対に柵内へ入らぬこと
- C) 供試ギャップを変更する際，必ず接地棒で高圧側電極を接地してから調節すること
- D) 実験者同志よく連絡をとり，装置内へは電源を切り電圧計の読みが零であることを必ず確認してから入ること
- E) 安易な態度は生命の危険を伴うものと覚悟しなければならない

レポートについて

提出先：E2-311 入口のレポートボックスに入れること

締 切：実験翌週の金曜日の 17 時まで

（金曜日が祝日・冬休み・臨時休講などで休みの場合は次週）

（上記で次週も休みの場合は，さらに次週に持ち越し）

注意：実験結果をもとに「4. 考察・検討事項」の(1)～(5)の内容について考察を行うこと。その際，理工学図書館にて下記の文献などをもとに検討を行い，レポートに使用した参考文献を挙げること

参考文献

- (1) 電気規格調査会標準規格 JEC-212；“インパルス電圧電流試験一般” 電気学会，1981 年
- (2) 電気規格調査会標準規格 JEC-213；“インパルス電圧電流測定法” 電気学会，1982 年
- (3) 中野義映；“高電圧工学” 現代電気工学講座，オーム社
- (4) 電気学会；“電離気体論” 電気学会大学講座
- (5) 電気学会；“高電圧大電流工学” 電気学会大学講座
- (6) 大木正路；“高電圧工学” 大学電気電子工学シリーズ，槇書店
- (7) 河野照哉；“新版高電圧工学” 電気工学基礎講座 17，朝倉書店

A1 ハイパワー衝撃回路の基礎実験 (E1-211) 実験手順

■進行

- (1) 実験の目的の説明
- (2) 高圧機器の取り扱いの説明
- (3) 温度，湿度，気圧の記録
- (4) 標準ギャップ準備（間隔 7 cm に設定，正極性）
 - ・ 予備放電（装置操作の練習，接地棒操作の練習）
 - ・ 利用率の測定
- (5) 針—平板ギャップ（間隔 7 cm に設定，正極性）
 - ・ 50%フラッシュオーバー電圧測定
- (6) 針—平板ギャップ（間隔 20 cm に設定，正極性）
 - ・ 50%フラッシュオーバー電圧測定
- (7) 針—平板ギャップ（間隔 30 cm に設定，正極性）
 - ・ 50%フラッシュオーバー電圧測定
- (8) 針—平板ギャップ（間隔 7 cm に設定，負極性）
 - ・ 電源の出力端子を入れ替える
 - ・ 50%フラッシュオーバー電圧測定
- (9) 任意の電極（間隔 7 cm に設定，正極性）
 - ・ 50%フラッシュオーバー電圧測定
- (10) （終了）