

60kV 2回線送電線における不平衡絶縁

Estimation of Unbalanced Insulation in a 60 kV Double Circuit Transmission Line

武 田 光 俊* 沼 尻 文 哉**
Mitsutoshi Takeda Fumiya Numajiri

内 容 梗 概

雷撃による2回線せん絡事故の解明とその防止策はわが国の送電線における重要な研究の一つである。伊予幹線60kV送電線も2回線にまたがる雷害事故が非常に多く、その軽減対策としてわれわれは不平衡絶縁方式の採用を検討することになった。

本論文の内容は次のとおりである。

- (1) 雷害事故軽減対策と伊予幹線における不平衡絶縁構成
- (2) 模擬回路による不平衡絶縁せん絡特性の実験的検討および不平衡絶縁せん絡現象の物理的考え方
- (3) 等価回路による階段波尾波せん絡特性の実験的検討
- (4) 2回線せん絡を起こす雷撃電流の算定
- (5) 事故率の推定

これらの研究結果に基づいて伊予幹線に不平衡絶縁方式を採用すれば、2回線雷せん絡事故は、鉄塔の接地インピーダンスを 25Ω として現在の60%以下、 10Ω とすれば14%以下に減少することが推定される。

1. 緒 言

わが国の送電線は一般に、1ルート当り2回線になっている。これは2回線であれば1回線が事故で遮断されても、他の1回線で送電続行が可能であるという考え方に基づくものである。2回線送電線は、自動再閉路方式の採用によって、特に雷サージに対する停電事故を減少させるのに有用である。

ところが、わが国の超高圧送電線路の雷せん絡のうち、多重地絡は全体の半数にも及び、その際高速度再閉路はいずれも失敗に終わっている⁽¹⁾。60kV級送電線になるとこの数はずっと多い。アメリカでも両回線にまたがる事故がかなり記録されている⁽²⁾。これらの多重地絡がすべて単一雷による2回線せん絡であるとは考えられないけれども、実験室の基礎的研究によれば、並列につるした二つのがい子連はがい子単連のみの臨界せん絡電圧と同じ電圧値から同時せん絡を起こしはじめるということが判明している⁽³⁾。したがって、現在のような2回線送電線の絶縁構成では、雷せん絡事故のうち2回線同時にせん絡する回数は非常に多いことが推定されよう。

四国電力株式会社60kV伊予幹線は、基準電圧100kVの設計で、現在66kVの電圧で運転している。長さ40kmの2回線送電線で、雷害事故率は2.11件/100km年となっているが、2回線にまたがる事故は70%を占め非常に多い。本線路は現在愛媛地区の主要幹線であるため、雷害事故率の低減を図ると同時に、われわれは2回線にわたる事故を極力防止して、電力供給の安定を図ることを計画しなければならない。改良工事に際しての問題点は次の2点である。

- (1) 塔脚接地抵抗を減少させて鉄塔電位上昇を抑えること。第1目標値 25Ω 、第2目標値 10Ω 。
- (2) 両回線間の絶縁を不平衡にして事故を1回線に留めること。

このうち、2回線不平衡絶縁については資料が少なく、具体的な設計方針はいまだ確立されていない。

伊予幹線は基準電圧100kVに設計されているので、絶縁は両回線とも懸垂がい子1連7個が標準で、工作物横断箇所は電気工作物規程により1個増結されて1連8個となっている。新設線路と異な

って既設線路の改造は種々の制約を受ける。たとえば、がい子の増結はクリアランスの減少となって問題である。本線路の不平衡絶縁構成について3案を作成し、検討した結果、雷害事故の全数は多少増加しても1回線はそのままにし、他の回線をがい子5個に低減して不平衡絶縁とする案は経済的に最もよい。この場合、がい子5個側にはアークホーンが取り付けられ、せん絡時のがい子損傷が防止されるようにする。計画された改造案は次のとおりである。

1号線 懸垂がい子7個(現状のまま)

2号線 懸垂がい子5個、アークホーン付

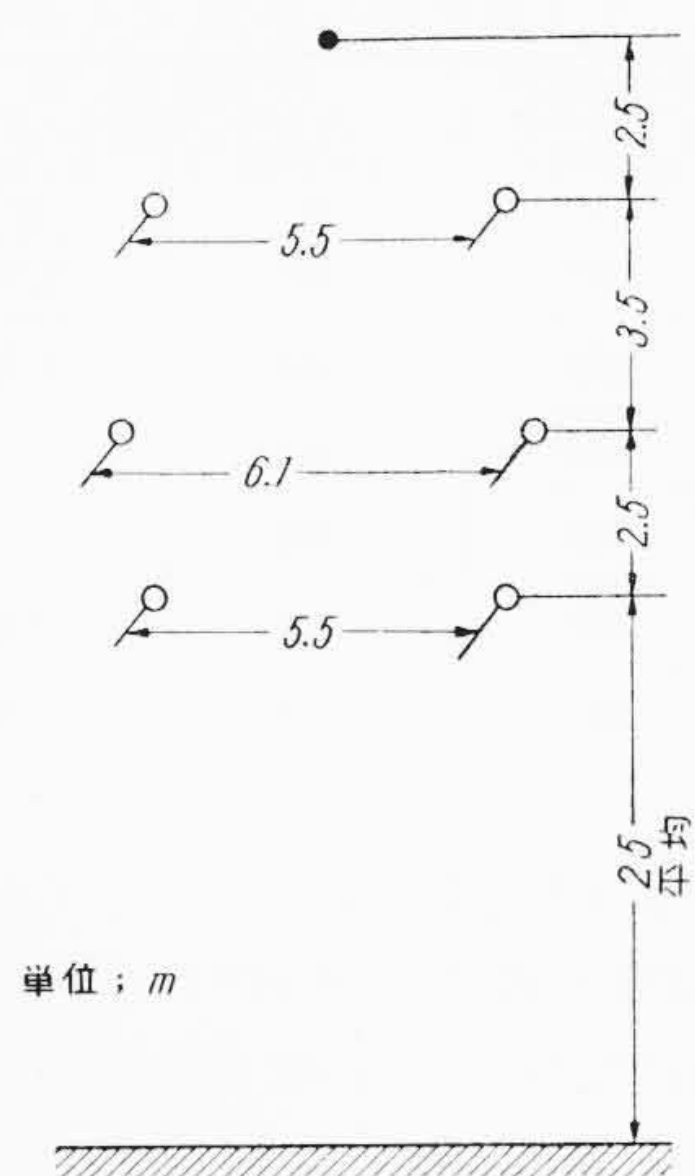
以下、この論文はこのような絶縁構成をもつ2回線不平衡絶縁方式の効果について、実験的検討を行なったものである。

記 号 表

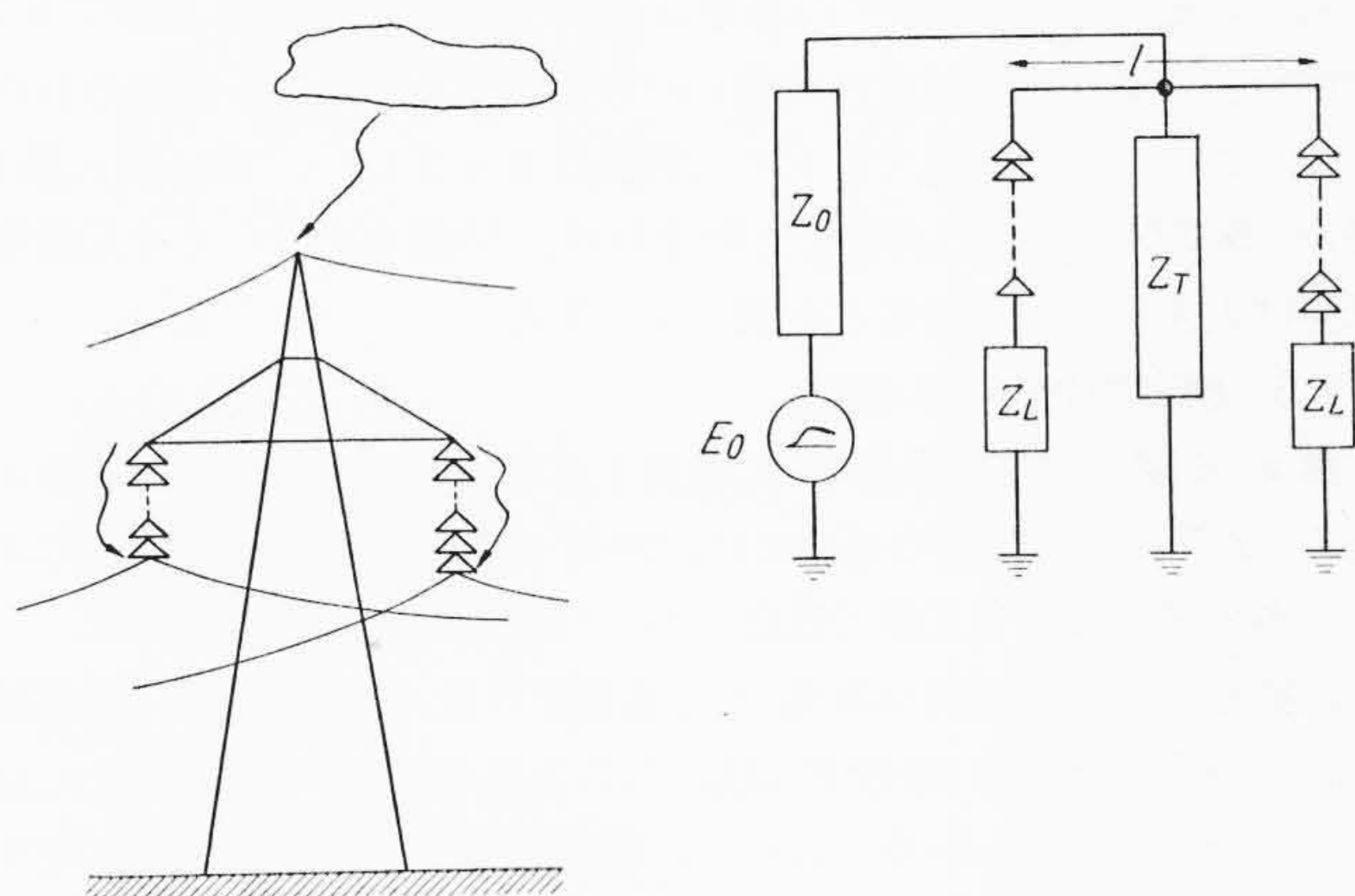
V :	がい子連両端電圧
V' :	1相せん絡直後のがい子連両端電圧
V_s, V_{sm} :	がい子連の50%せん絡電圧(kV), m はがい子個数
v_p :	電圧波の波高値(kV)
v_a :	電圧波の階段点直前の電圧値(kV)
Δv_a :	電圧波の階段点の電圧降下量(kV)
e :	交流電圧の瞬時値(kV)
e_m :	交流電圧の波高値(kV)
I :	雷撃電流
I_s :	50%せん絡雷撃電流
I_c, I_{cm} :	臨界せん絡雷撃電流(kA), m はがい子個数
I_{c7}' :	(4相せん絡)臨界せん絡雷撃電流(kA), がい子7個
I_{d7} :	7-7個平衡絶縁の臨界せん絡雷撃電流(kA)
R_0 :	衝撃電圧発生器内部抵抗(Ω)
R_1 :	衝撃電圧発生器放電抵抗(Ω)
R_s :	直列抵抗(Ω)
z_0 :	雷道インピーダンス(Ω)
z_L :	導体の波動インピーダンス(Ω)
z_T :	鉄塔の接地インピーダンス(Ω)
$z_{T,n}$:	伝達インピーダンス(Ω)
z_n :	架空地線 n 条のインピーダンス(Ω)
c_n :	結 合 率

* 四国電力株式会社

** 日立電線株式会社電線工場



第1図 導 体 配 置



(a) 実 回 路 (b) 等 価 回 路

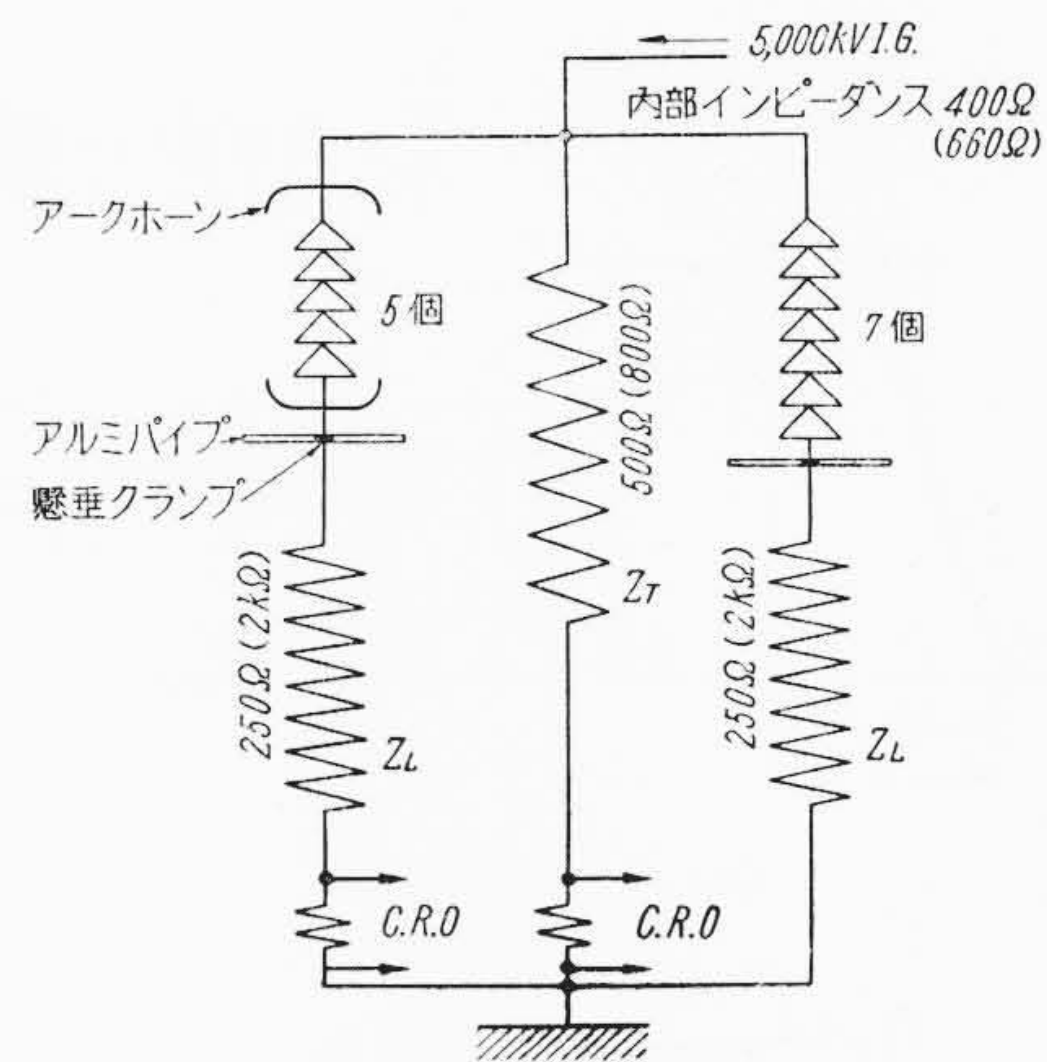
第2図 2 回 線 せ ん 絡 の 模 擬

- t_f : せん絡時間 (μs)
 t_s : 階段時間 (μs)
 l : がい子連間の距離 (m)
 n : 架空地線数
 $K_+(\alpha), K_-(\alpha)$: 高絶縁側 50% せん絡電圧倍数 (高絶縁側/低絶縁側)
 $M_+(\alpha), M_-(\alpha)$: 階段波尾波 50% せん絡電圧倍数 (階段波尾波/標準波)
 α : 階段率 (1 相せん絡)
 α' : 階段率 (3 相せん絡)
 δ : 波高低減率
 η : 放電率分布 (0~100%) の幅を示す係数

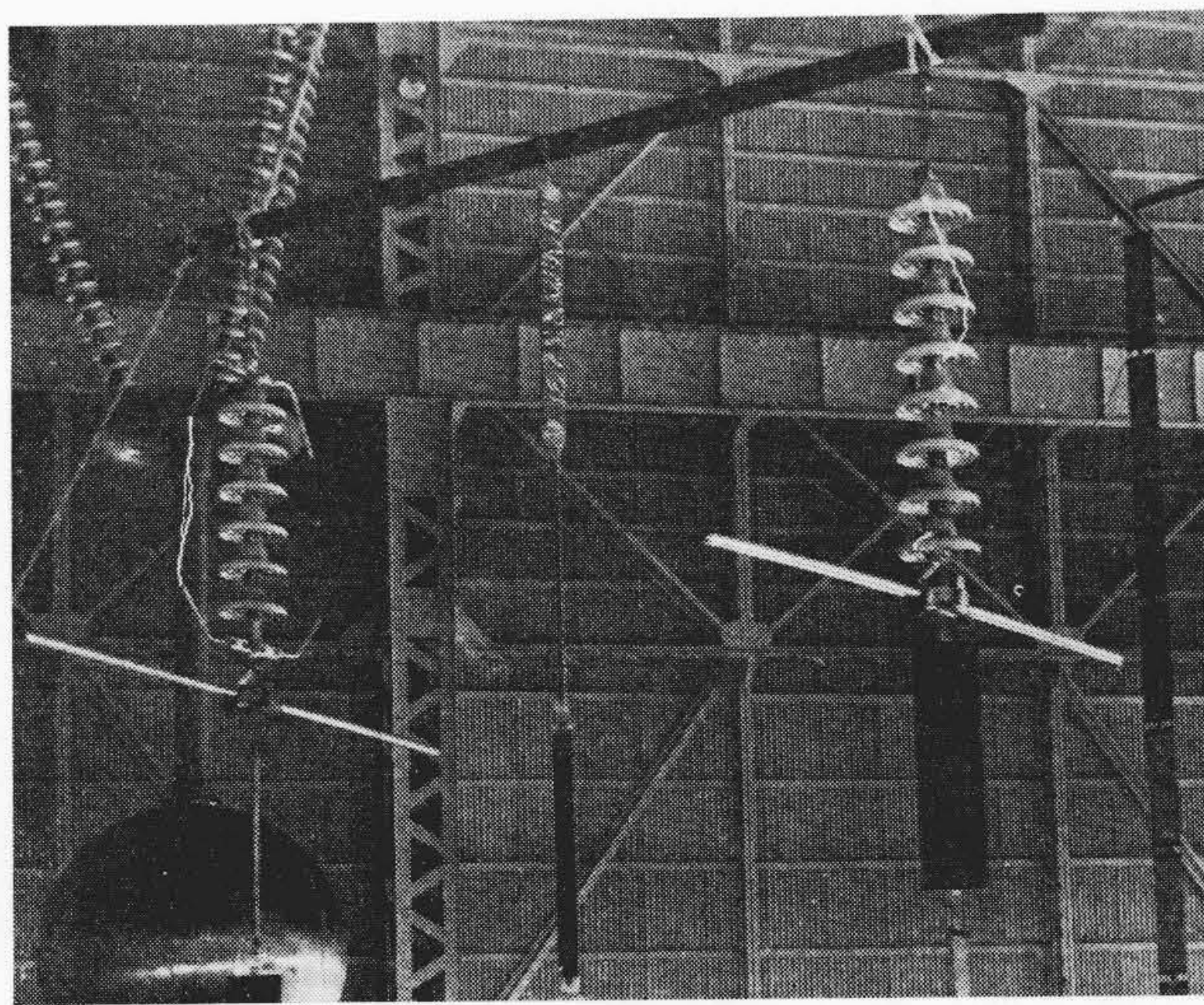
2. 不平衡絶縁の同時せん絡特性

2.1 模擬実験回路

伊予幹線標準鉄塔の導体配置は第1図のとおりであるが、このうち最上部アームの2相を考える。第2図(a)に示すとおり、送電線鉄塔頂に雷撃があって鉄塔逆せん絡を起こす場合には、その等価回路は第2図(b)のとおりと考えられる。導体に印加されている交流電圧は同相と仮定して無視する。この回路は実験上第3図のとおりに模擬された。衝撃電圧発生装置の内部インピーダンスは低くできないので、鉄塔接地インピーダンス(鉄塔インピーダンスと塔脚接地抵抗との和)を小さくすると発生電圧は非常に小さくなる。したがって、接地インピーダンスは現在予想される最大値 500Ω にとった。導体の波動インピーダンスは 250Ω である。また、鉄塔接地イ

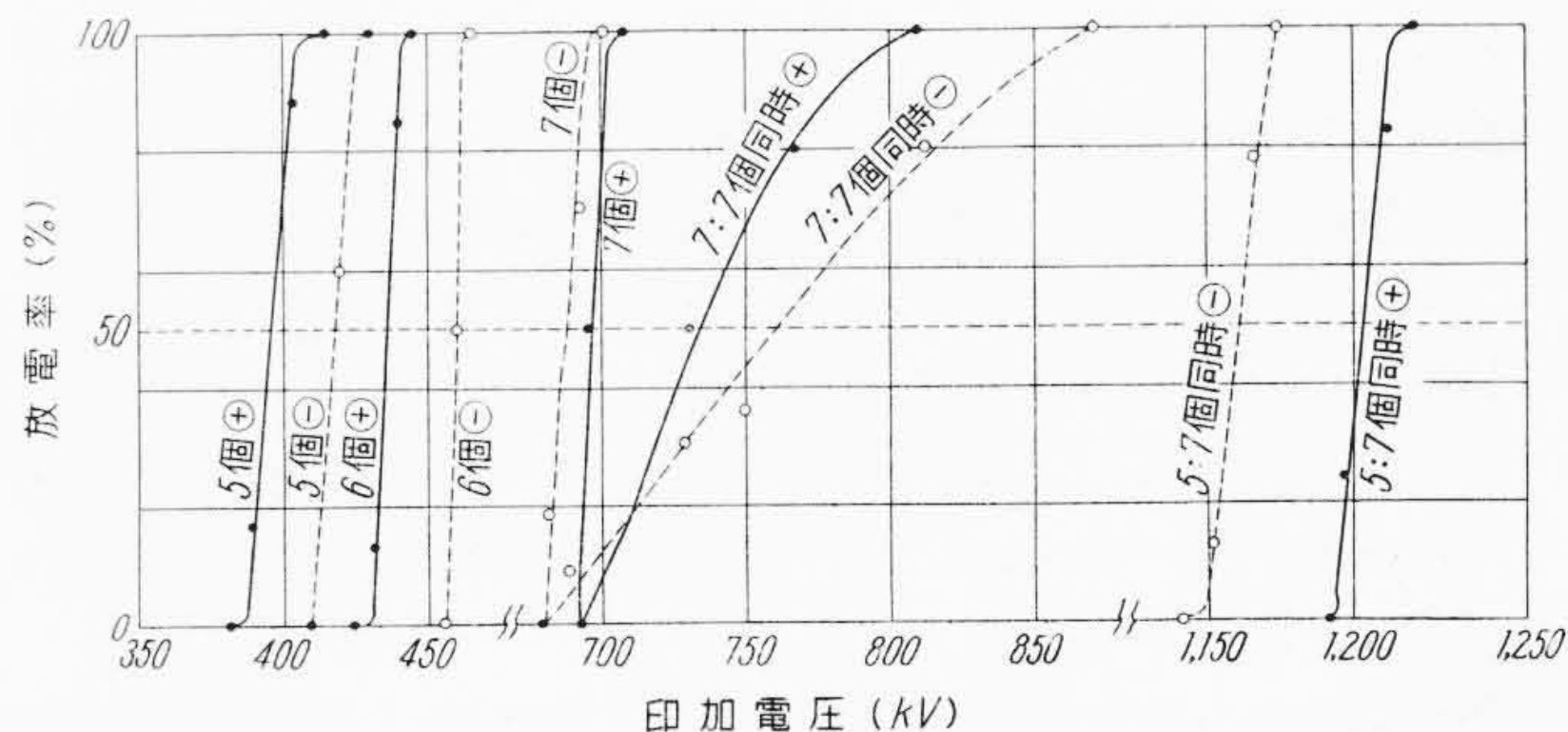


(a) 模 擬 回 路



(b) 模擬回路の実験状況

第3図 模 擬 実 験 回 路

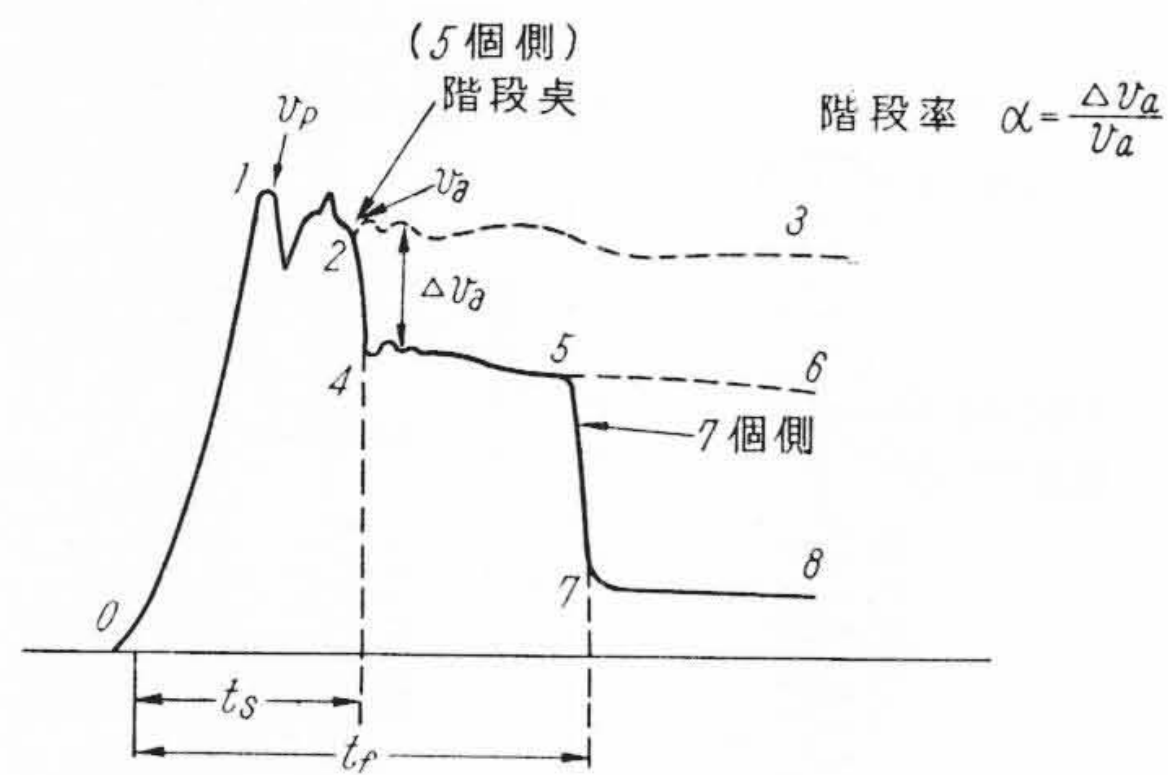


第4図 模擬回路による放電率特性 (階段率 47%)

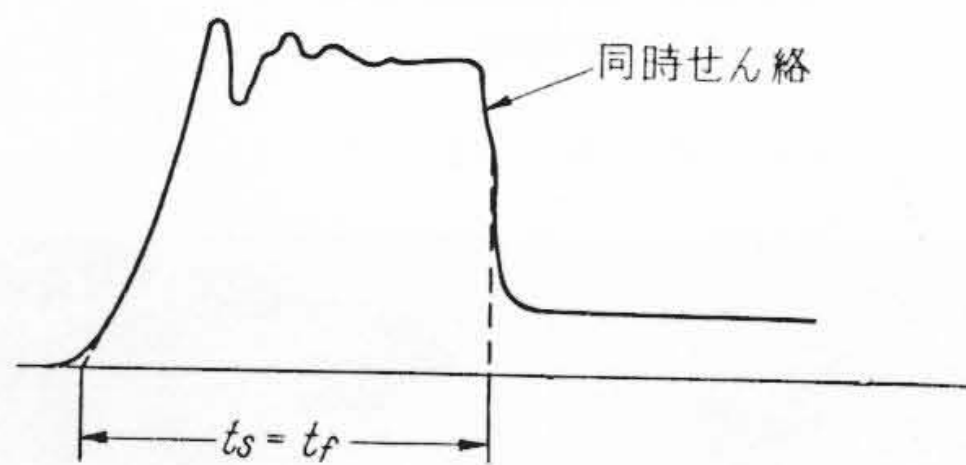
ンピーダンス 10Ω の場合の模擬は、鉄塔接地および導体のインピーダンスをそれぞれ 80 倍して 800Ω および $2k\Omega$ として行なった。この理由は 2.2 で述べる。がい子連の配置の仕方ががい子の電界分布に大きく影響を与えるので、2 種のがい子連は鉄アームに実際と同じ 5.5m の間隔につり下げ、電線として長さ約 3m のアルミニウムパイプを懸垂クランプで取り付けた。がい子個数が 5 個と 7 個 (これを 5-7 個不平衡絶縁と呼称する) および 6 個と 8 個 (6-8 個不平衡絶縁) の条件で実験するが、低絶縁側がい子連にはアークホーンが付き、そのホーン距離 (一般に $z_p(\text{mm})$ で呼ばれている) はそれぞれ 560mm (5 個用) と 610mm (6 個用) である。電圧発生器の内部抵抗は雷道インピーダンスに等価とみなされるので、数百 Ω にすればよい。

2.2 実験結果

第3図の回路によって鉄塔逆せん絡時の各がい子連の放電率特性

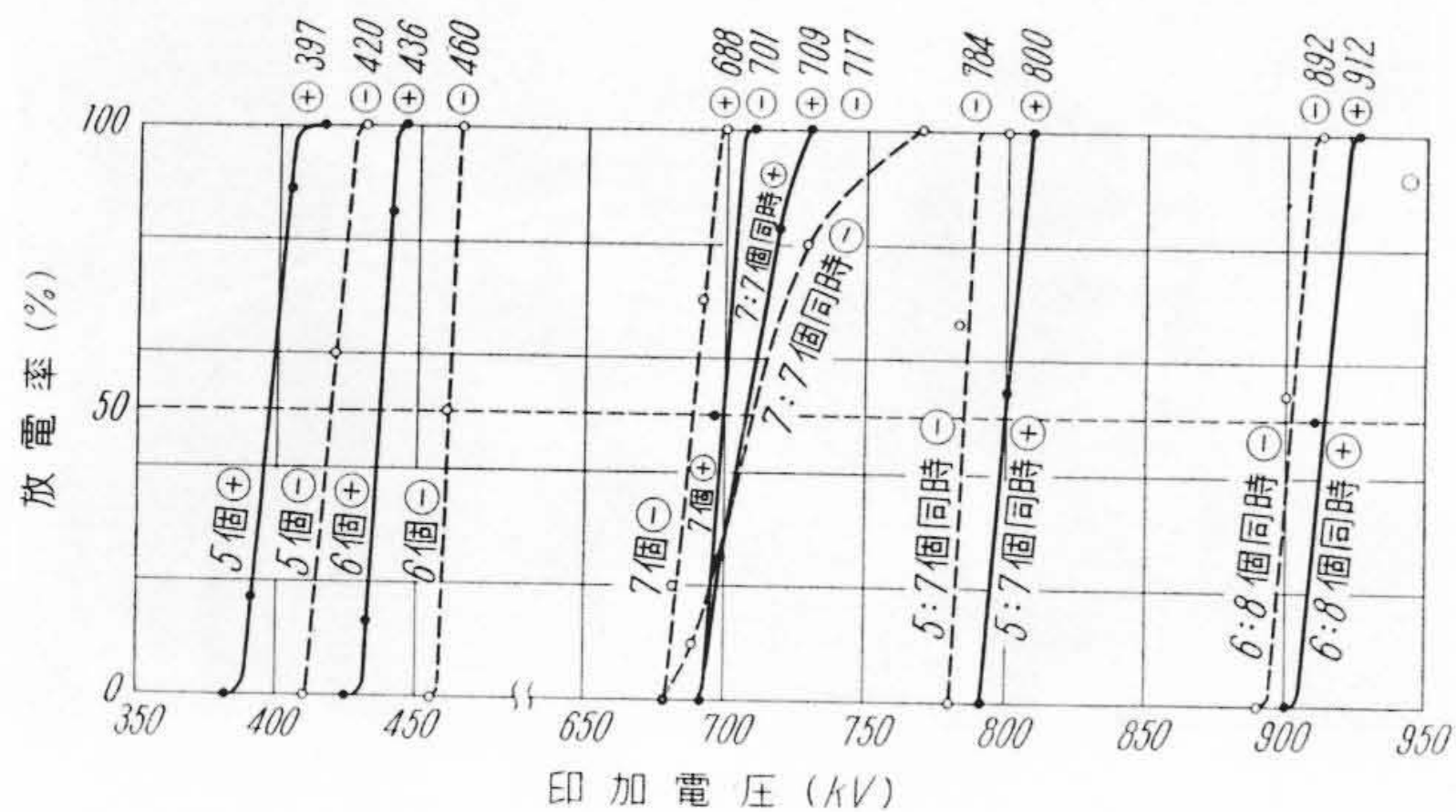


(a) 5-7 個同時せん絡



(b) 7-7 個同時せん絡

第 5 図 発生波形



第 6 図 模擬回路による放電率特性 (階段率 15%)

を求めると第 4 図のとおりになる。図中“7-7 個同時”は現在の平衡絶縁の場合に両がい子連ともせん絡する放電率で、“5-7 個同時”は不平衡絶縁で両がい子連ともせん絡する場合である。“5 個”、“6 個”あるいは“7 個”などは単連での放電率特性であるが、5 個”と“6 個”の場合にはアークホーンが付いている。同図から明らかなように、“5-7 個同時”の放電率特性は単連のものと同一のこう配をもっているが、“7-7 個同時”の放電率特性はこれらとは異なった傾向である。

第 5 図はせん絡時の波形を示したものである。“5-7 個同時”の場合には低絶縁側 5 個が常に早くせん絡し、高絶縁側 7 個は必ず遅れてせん絡する。したがって、5 個側は同図 (a) に示すとおり原波形 0-1-2-3 が印加されてせん絡するが、7 個側は 0-1-2-4-5-6 のような波形に対してせん絡する。換言すれば、7 個側のせん絡特性は 0-1-2-4-5-6 のような波高値以降に階段状電圧降下をもつ波に対するがい子 7 個単連のせん絡特性と考えられる。このような波は階段波尾波と名付けられる⁽⁴⁾。5 個側は単に階段時間 t_s を決定する要素となるだけで、階段点の電圧降下量は送電線の線路定数と鉄塔の諸定数によって決定される。したがって、7 個側のせん絡電圧は階段時間 t_s と、階段点直前の電圧 v_a に対する階段量 Δv_a の割合 ($\Delta v_a / v_a$)、すなわち階段率 α とに関係する。

これに対し、第 5 図 (b) の“7-7 個同時”の場合は、両がい子連とも同瞬間にせん絡している。この場合には、同時せん絡は両がい子連のせん絡時間の確率的分布に従って起こるので、放電率曲線のこう配はがい子単連のものよりずっとゆるやかになる⁽³⁾。特に注意しなければならないことは、“7-7 個同時”の臨界せん絡電圧ががい

第 1 表 不平衡絶縁の 50% せん絡電圧値

がい子構成	50%せん絡電圧 (kV)	低絶縁側 (あるいは単連) A	高絶縁側 (あるいは同時せん絡)		B/A	B'/A
			$\alpha=15\%$ B	$\alpha=47\%$ B'		
5:7 個	+	397	800	1,200	2.0	3.0
	-	420	784	1,160	1.9	2.8
6:8 個	+	436	912	—	2.1	—
	-	460	892	—	1.9	—
7:7 個	+	701	709	735	—	—
	-	688	717	777	—	—

子 7 個単連のそれとまったく同一になることである。この場合には階段率 α は 47% と大きいので、6-8 個不平衡絶縁は電圧発生器の出力が不足して求められなかった。また、高絶縁側がい子連のせん絡電圧は階段率に関係するので、第 3 図の () 内に示した抵抗値の回路で再度放電率特性を求めた。これを第 6 図に示す。“7-7 個同時”の曲線は鉄塔接地インピーダンスが直接関係するので⁽⁵⁾、同図に求められている“7-7 個同時”の結果は正確な意味をもたないが、“5-7 個同時”の場合は、さきに波形だけの問題であることが認められたので、このような模擬でも求めた特性は十分正しい。第 4 図と第 6 図の“5-7 個同時”の曲線を比較すれば、階段率によってせん絡電圧値は大きく変化することが明らかである。

2.3 模擬実験結果の検討

第 4, 6 図より放電率 50% に相当する電圧値は第 1 表のとおりになる。7-7 個平衡絶縁の場合には、50% せん絡値は模擬の仕方によって多少異なるので正確ではないが、一応表中に記しておいた。

高絶縁側と低絶縁側の 50% せん絡電圧の比を考えると、高絶縁側は低絶縁側の 2 倍 (階段率 15%) から 3 倍 (階段率 47%) のせん絡電圧になることがわかる。しかし、低絶縁側がい子連のせん絡電圧はがい子 7 個連のせん絡電圧の 60% に低下する。

同時せん絡になる電圧は回路構成によって異なるので、これだけの結果から判定することはできないが、不平衡絶縁にしたときの同時せん絡電圧は現状よりも (負極性波で) 1.1 倍 (階段率 15%) から 1.5 倍 (階段率 47%) に増大する。

これらの結果は階段率によって大幅に左右されるので、3 節では階段率とせん絡電圧の関係を求めることにする。

3. 階段率とせん絡電圧の関係

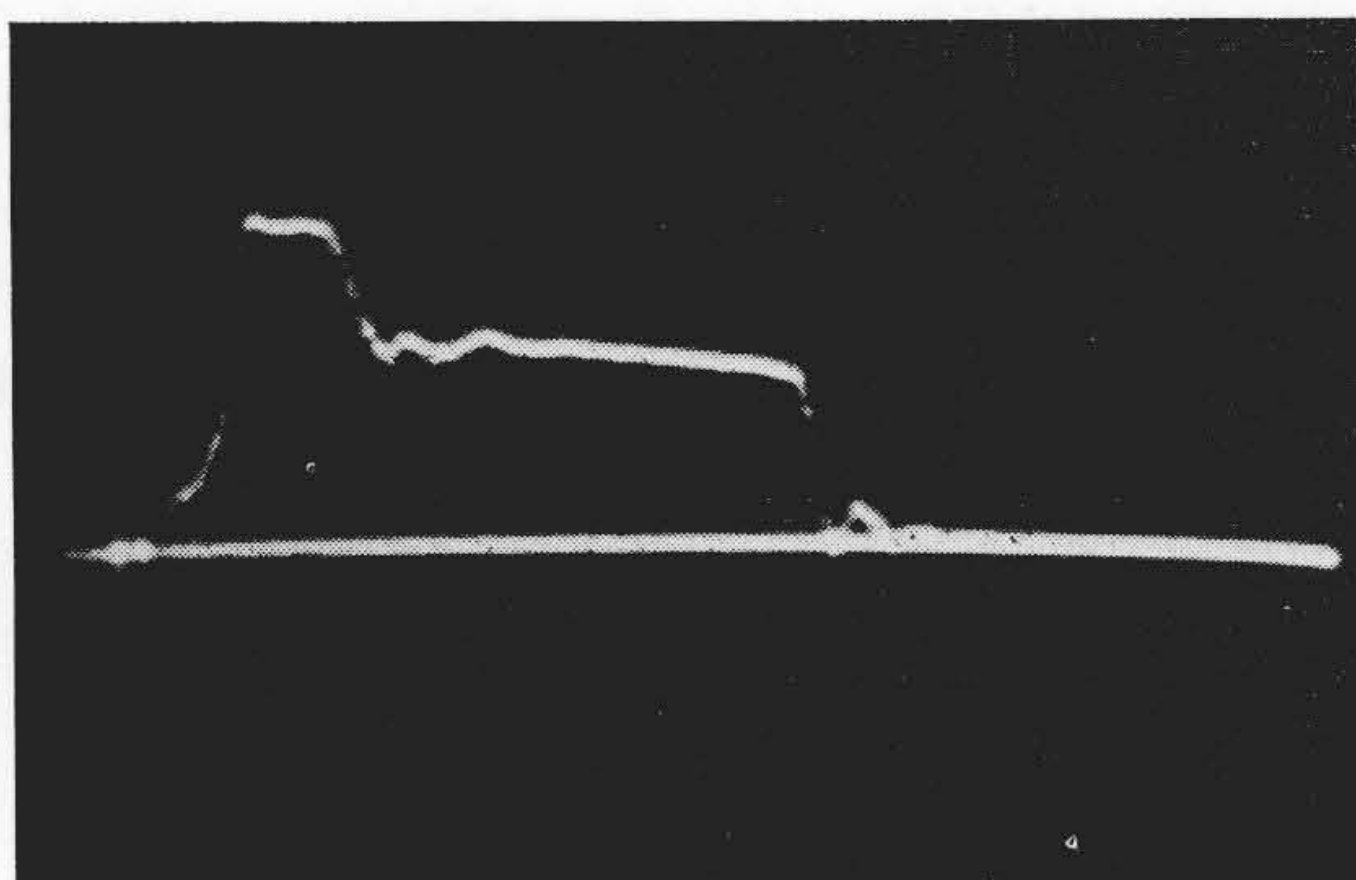
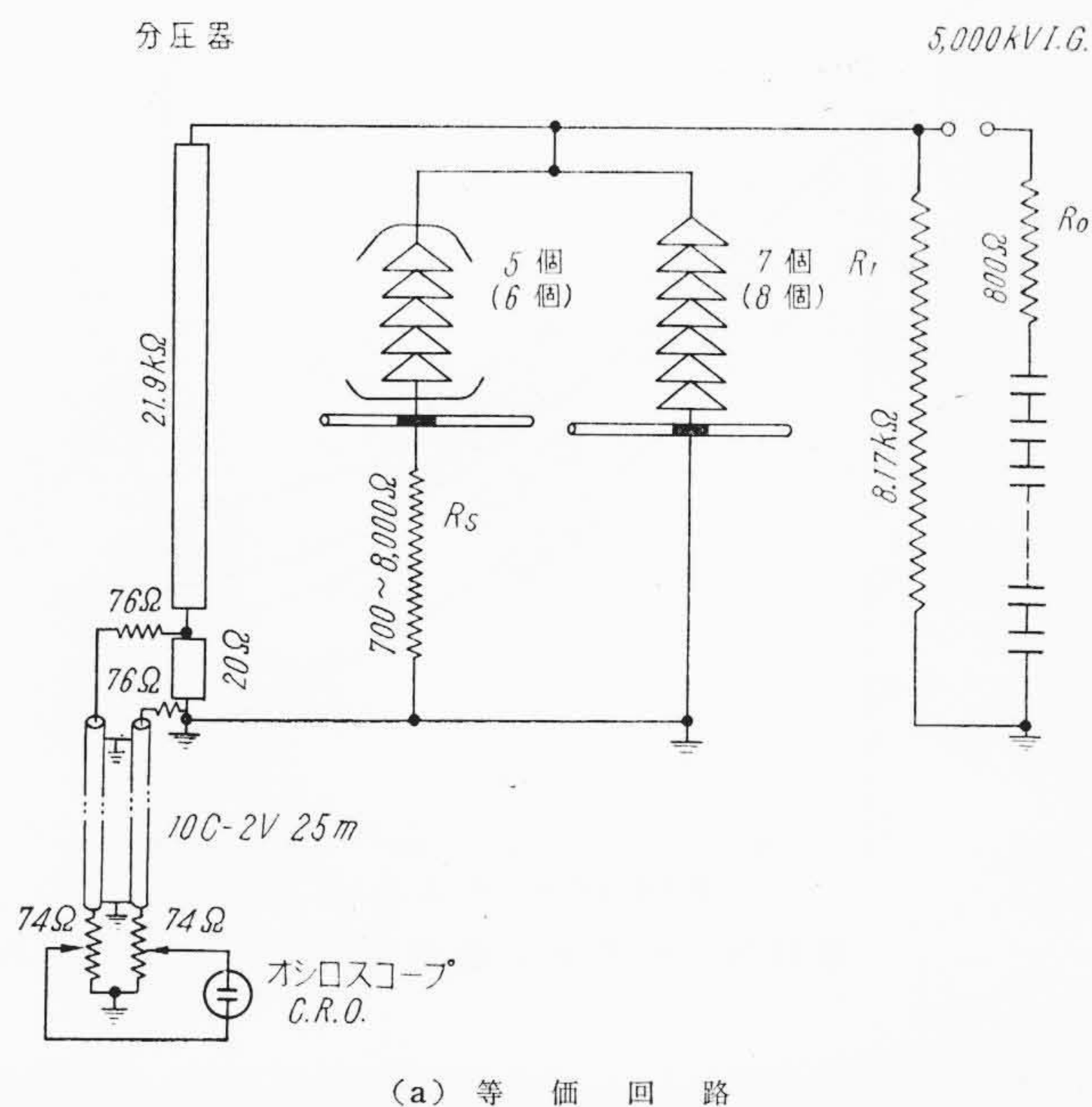
3.1 等価実験回路

第 3 図の模擬回路の抵抗 z_T に発生する電圧波形は雷サージに似ているところがあるといっても、これが電撃波を代表するものとは考えられない。この波形は回路の定数によってかなり変化する。また、階段率を任意にとるには第 3 図の回路では不便である。

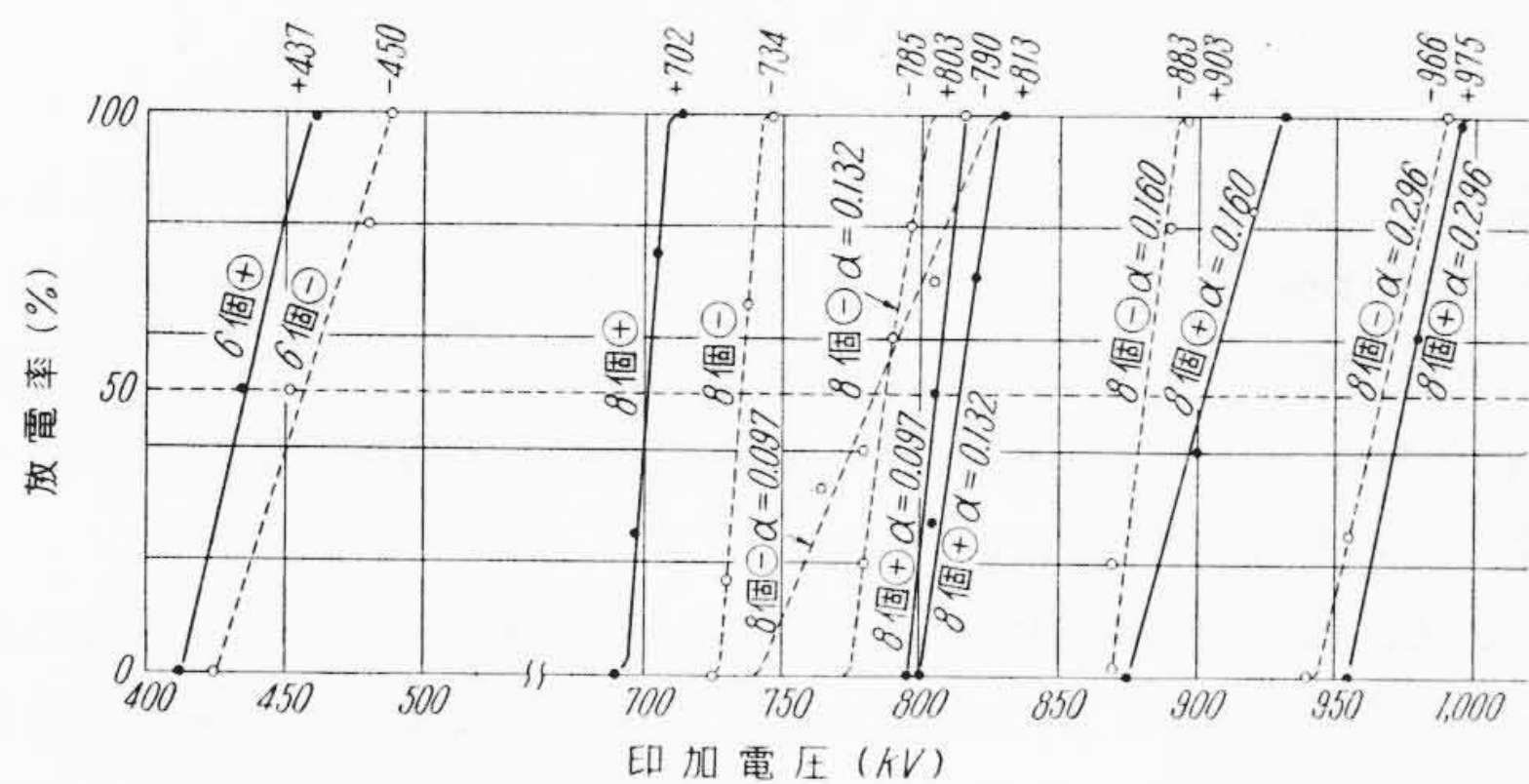
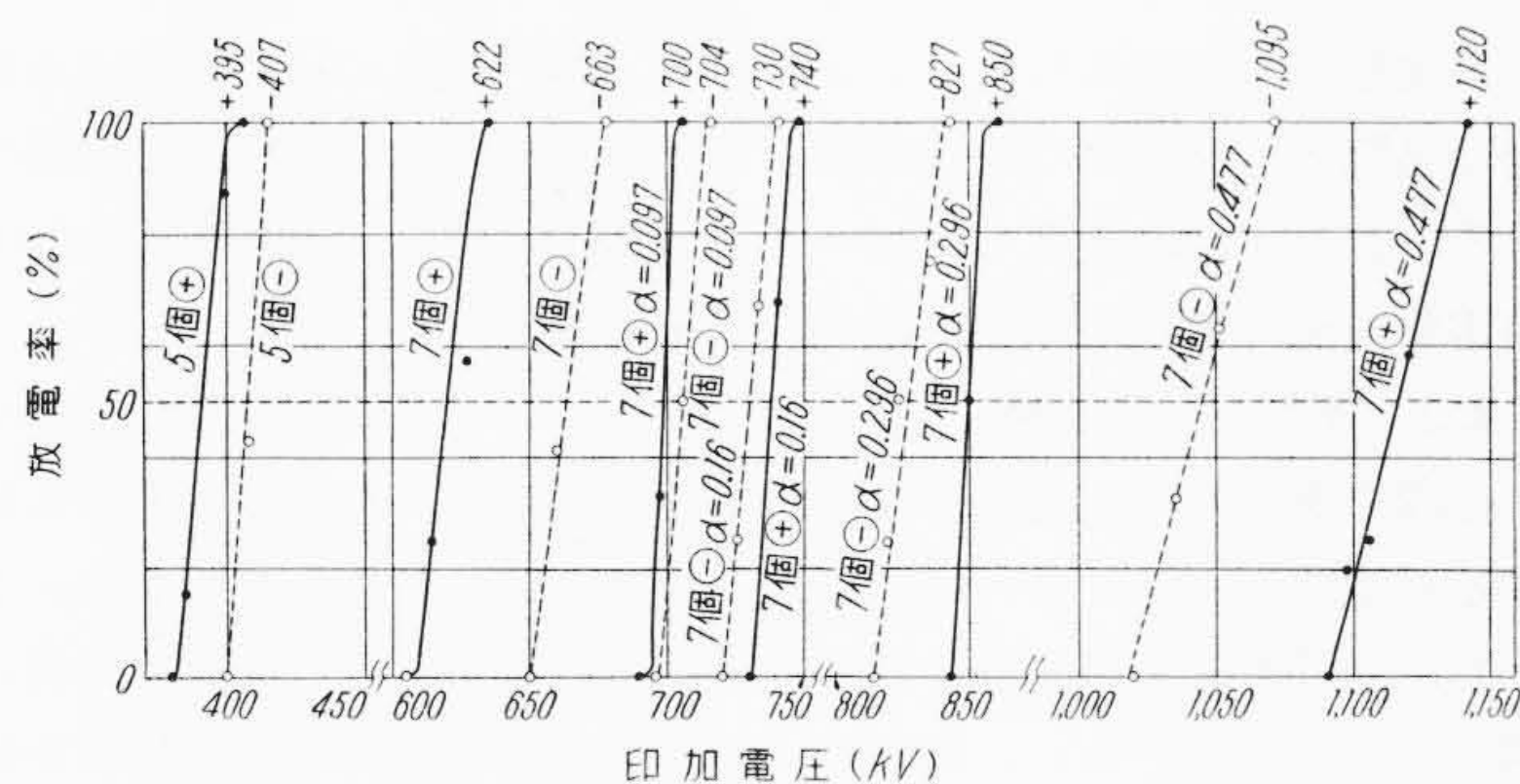
現在の電力系統機器の雷撃電圧に対する設計基準は標準波 ($1 \times 40 \mu s$) 衝撃電圧で行なわれているので、不平衡絶縁に対する評価も標準波形の原電圧を印加して行なうのが妥当であろう。同時せん絡といっても、不平衡絶縁の場合には高絶縁側がい子連の階段波尾波に対するせん絡特性を求めることに帰着するので、第 7 図に示す等価回路を構成した。発生波形は正確に標準波になり、階段点がい子 5 個連の V-t 特性で決まる。階段率は直列抵抗 R_s を変えれば容易に調整できる。

電圧発生器の内部抵抗を R_0 、放電抵抗 (分圧器を含む) を R_1 とすれば、階段率 α は

$$\alpha = \frac{1}{R_s} \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_s} \right) \dots \dots \dots (1)$$



第7図 等 価 実 験 回 路

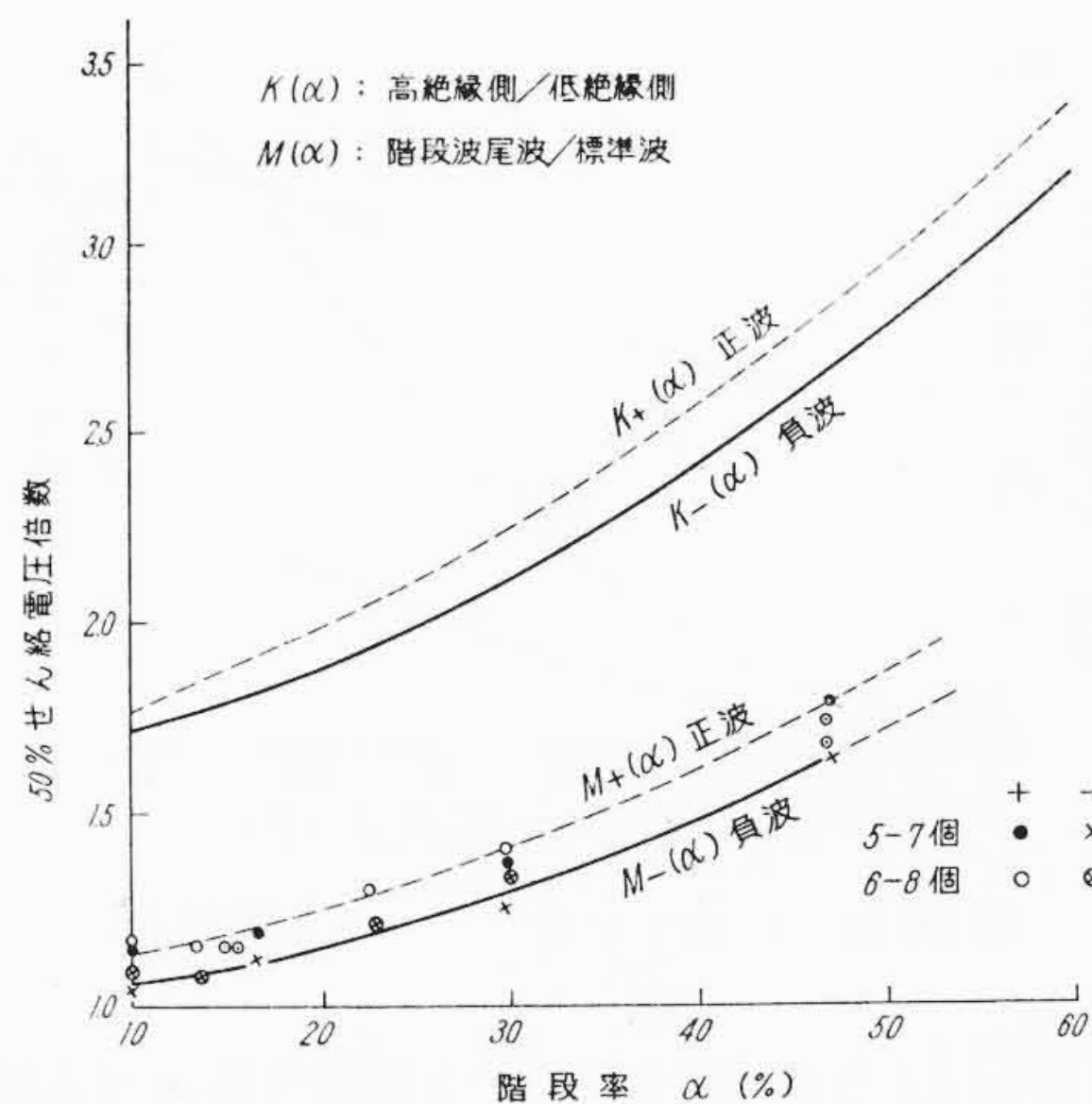


第8図 階段波尾波せん絡特性

となる⁽⁴⁾。

3.2 実験結果とその検討

第7図の等価回路で、直列抵抗 R_s を変化して求めたがい子7個



第9図 50% せん絡電圧倍数

連の放電率特性は第8図(a)のとおりである。図中 α は(1)式から求めた階段率である。“5個”あるいは“7個”とのみ記してあるのは単連の標準波に対する放電率特性である。同様に、6-8個のがい子構成では第8図(b)のようになる。両図とも図の上部に記した数値は放電率50%に相当する電圧、すなわち、50%せん絡電圧である。標準波に対するがい子7個連および8個連の50%せん絡電圧はそれぞれ +622 kV, -663 kV および +702 kV, -734 kV であった。これらの電圧値を基準にして、高絶縁側がい子7個連 (あるいは8個連)の階段波尾波に対する50%せん絡電圧をプロットすると第9図が得られる。点はかなりばらつくけれども、5-7個と6-8個のがい子構成のせん絡電圧特性は共通の曲線 $M_+(\alpha)$, $M_-(\alpha)$ で表わされる。図中●印は第3図の模擬回路で求められた測定点であるがよく一致している。階段率 α は鉄塔接地インピーダンス z_T の関数である。

不平衡絶縁では、高絶縁側と低絶縁側との50%せん絡電圧の比が重要な意味をもつので、曲線 $M(\alpha)$ をがい子5個(あるいは6個)連の50%せん絡電圧に対する倍数で表示すれば、これらの曲線は同図 $K_+(\alpha)$ および $K_-(\alpha)$ になる。曲線 $K(\alpha)$ はどちらのがい子連構成にも適用できる。

4. せん絡雷撃電流の評価

4.1 2回線同相のみを考えた場合の臨界せん絡雷撃電流

われわれは最初に第2図(a)のように2回線の同相1相ずつのみを対象に考えて、せん絡を生じる雷撃電流の大きさを算定する。雷撃は一般に負極性が圧倒的に多いので負極性として考える。がい子構成は5-7個である。

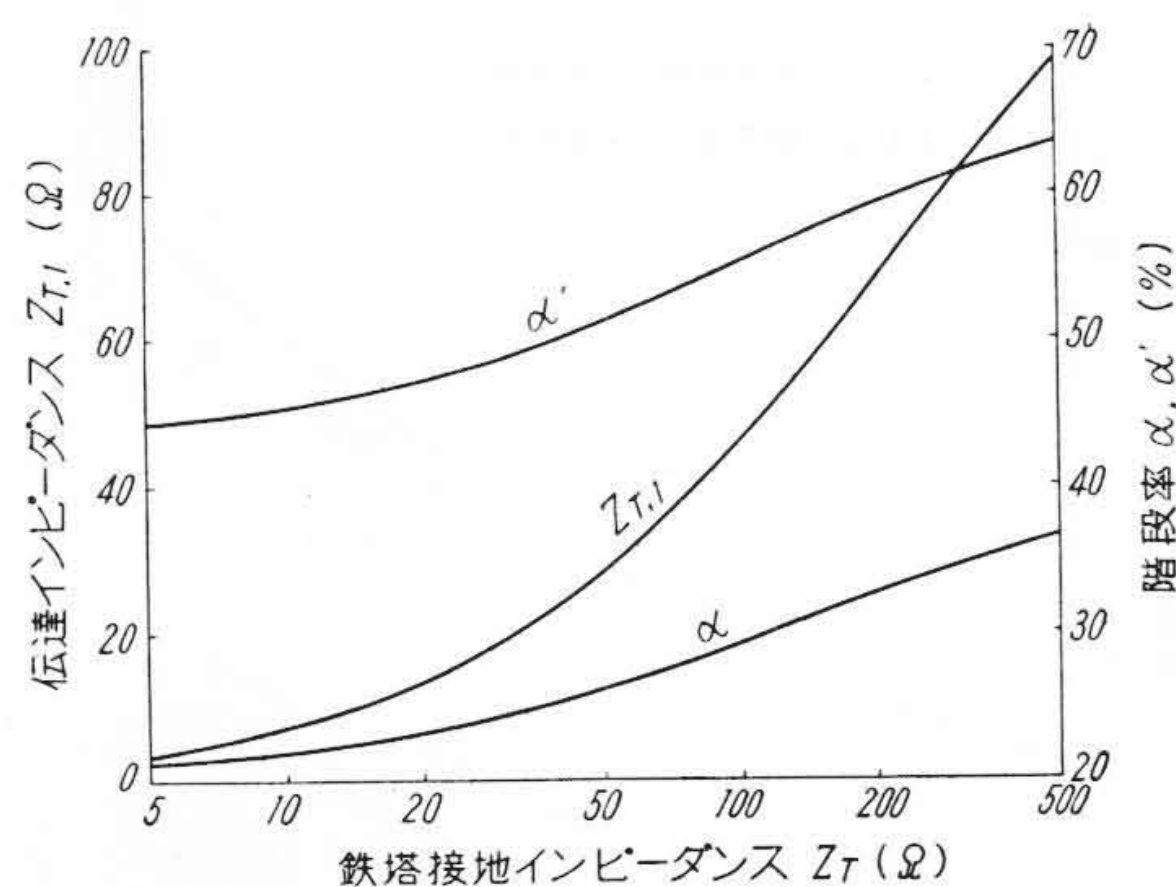
せん絡雷撃電流の算出は文献(4)に説明されているが、ここでもその方法に準じて計算してみる。式は付録に説明してある。

いま負極性の雷撃によって鉄塔電位が上昇したものと仮定する。この雷撃によってがい子連両端に生じる最大の電圧は雷撃と逆の極性の交流電圧波高値ががい子に加わっているときで、このときがい子連をせん絡させるに必要なせん絡雷撃電流は最小となる。この電流のうち、がい子連の臨界せん絡電圧に等しい電圧をがい子連両端に与えるものをわれわれは臨界せん絡雷撃電流と呼ぶことにする。がい子連の50%せん絡電圧を V_s とすると、付録II(14)式より臨界せん絡雷撃電流 I_c は⁽⁴⁾

$$I_c = \frac{(1-\eta/2)V_s - e_m}{z_{T,n}} \dots \dots \dots (2)$$

である。

雷撃によって鉄塔頂に生じる電圧を負極性であると仮定している



第 10 図 伝達インピーダンスと階段率

から、第 8 図 (a) より低絶縁側がい子 5 個連の 50% せん絡電圧 V_{s5} は 407 kV であり、 e_m は 54 kV ($=66 \text{ kV} \times \sqrt{2} \div \sqrt{3}$) である。したがって、5 個側の臨界せん絡雷撃電流 I_{c5} は (2) 式より

$$I_{c5} = \frac{407(1-0.025) - 54}{z_{T,1}} \quad [\text{kA}] \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。 $z_{T,1}$ は付録 I (9) 式に示す伝達インピーダンスで第 10 図で与えられる。 η はすべて 0.05 (5%) と考えることにする。

一方、高絶縁側がい子 7 個連には 5 個側がすでにせん絡しているので、階段波尾波が印加されることになる。その 50% せん絡電圧は第 9 図より $K_-(\alpha) \cdot V_{s5}$ として与えられる。したがって、高絶縁 7 個側の臨界せん絡雷撃電流 I_{c7} は

$$I_{c7} = \frac{407(1-0.025) \cdot K_-(\alpha) - 54}{z_{T,1}} \quad [\text{kA}] \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。 α は鉄塔接地インピーダンスの関数で、 $z_{T,1}$ とともに第 10 図中に与えられている。

(3), (4) 式より、不平衡絶縁の場合の両回線の臨界せん絡雷撃電流は第 11 図の曲線 I_{c5} , I_{c7} のとおりに計算される。なお、これら電流の比は

$$\frac{I_{c7}}{I_{c5}} = \frac{397 K_-(\alpha) - 54}{397 - 54} \quad \dots\dots\dots (5)$$

で、 $z_{T,1}$ は関係しない。したがって、所定のがい子構成に対する $K_-(\alpha)$ 曲線を実験的に求めておけば、われわれは (5) 式に相当する式を容易に立てることができる。階段率 α を仮定することによってわれわれは考えている不平衡絶縁の効果を概算できる。逆に I_{c7}/I_{c5} をある値以上にするのに必要な α から、鉄塔接地インピーダンスの上限値も求められる。

現状の 7-7 個平衡絶縁においては、同時せん絡を生じる臨界せん絡電圧はがい子 7 個単連と同一で $(1-0.025) \times 704 \text{ kV}$ [負波] であるから、この臨界せん絡雷撃電流 I_{d7} は

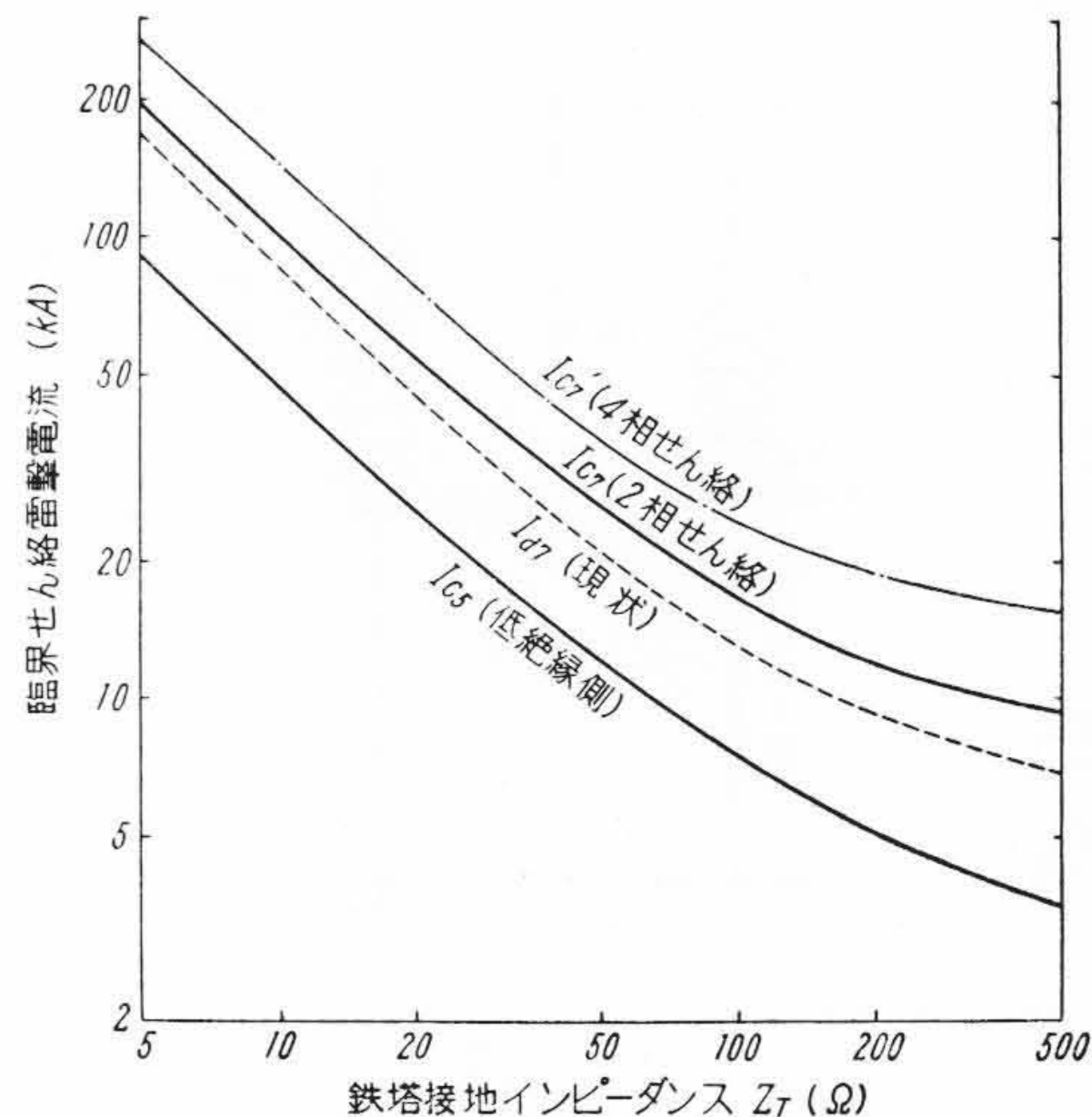
$$I_{d7} = \frac{704(1-0.025) - 54}{z_{T,1}} \quad [\text{kA}] \quad \dots\dots\dots (6)$$

で表わされる。この曲線も第 11 図に点線で示した。第 11 図より鉄塔接地インピーダンスを 25 Ω と仮定すれば、22 kA で 5 個側せん絡、46 kA で 5-7 個同時せん絡となる。7-7 個平衡絶縁は 37 kA で同時せん絡になる。したがって、不平衡絶縁によって左右回線のせん絡雷撃電流の比は 2.1 倍、2 回線せん絡になる雷撃電流は現状の平衡絶縁の電流値よりも 1.24 倍の大きさとなる。

6-8 個不平衡絶縁の臨界せん絡雷撃電流も、がい子 6 個連の 50% せん絡電圧を用いてまったく同様に求められる。この場合、電流値は I_{c5} , I_{c7} よりも 10% 弱増加した値となるだけである。

4.2 低絶縁側 3 相がせん絡したのち 2 回線せん絡となる場合

われわれは 4.1 では両回線 1 相ずつしか考えなかったが、実際には各回線は 3 相ある。左右回線の絶縁の不平衡量が非常に大きい場



第 11 図 臨界せん絡雷撃電流

合には (せん絡電圧の差が $1.5 e_m$ よりも大きければよい)、2 回線せん絡が起る前に低絶縁側 3 相は全部せん絡していることになる。これら 3 相の交流電圧の瞬時値は同一ではないので、階段点は少なくとも 2 箇所は存在する。しかし、交流電圧ががい子 5 個連のせん絡電圧の 1/5 程度で、この場合のように不平衡量が大きい場合には、低絶縁側 3 相が同瞬間に全部せん絡すると仮定しても、2 回線せん絡雷撃電流の算出に与える誤差は少ない。

雷撃によって架空地線 1 条の送電線の低絶縁回線全相がせん絡した状態では、地線が 4 条になったことと等価になって、このときの階段量 α' は (付録 II (12) 式)

$$\alpha' = 1 - \frac{z_{T,4}}{z_{T,1}} \quad \dots\dots\dots (7)$$

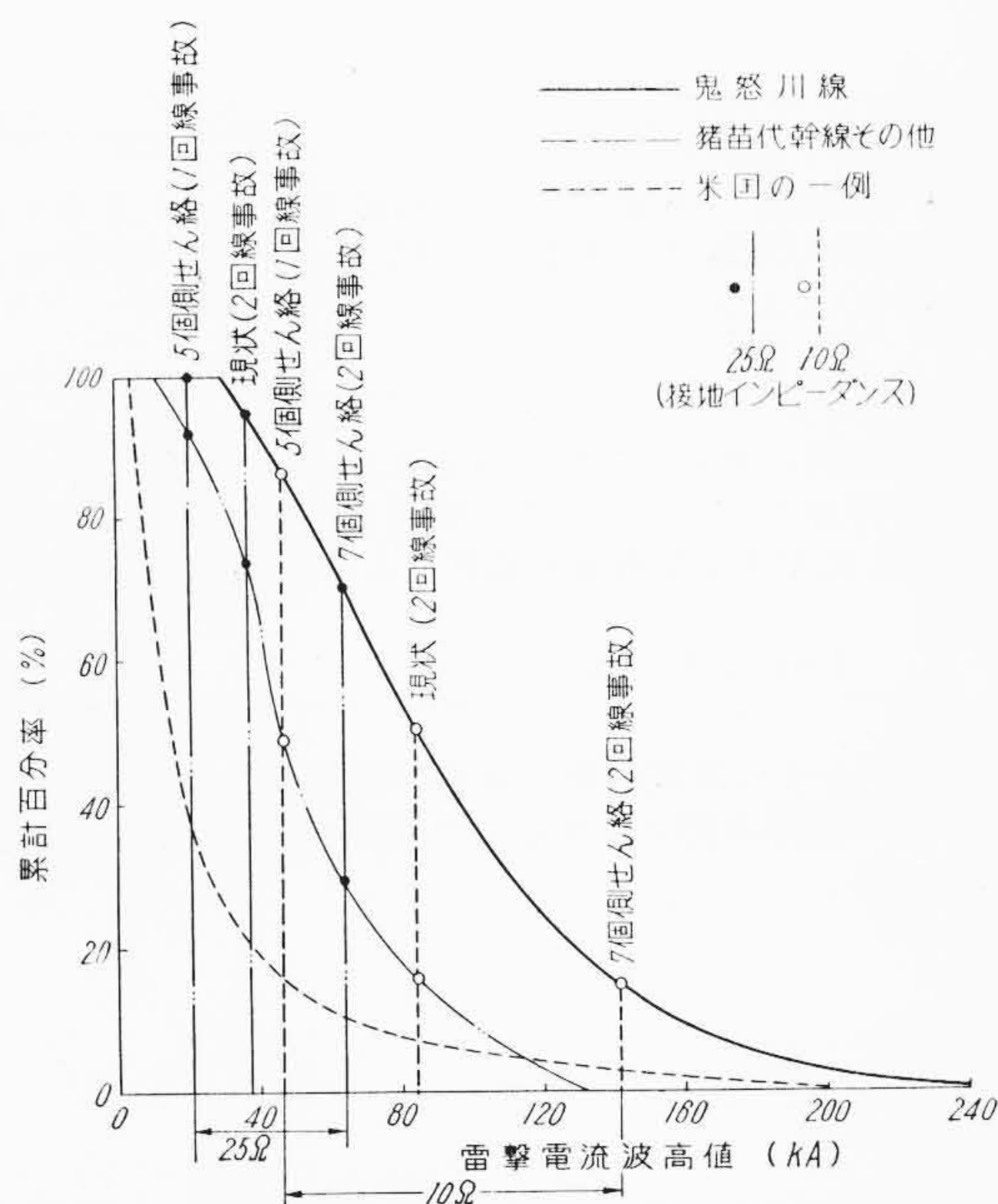
となる。 α' と鉄塔接地インピーダンスとの関係は第 10 図の α' 曲線で示される。この α' を (4) 式の α の代わりに代入すれば、このときの雷撃電流が求められることになる。第 11 図の I_{c7}' 曲線は 4 相せん絡臨界雷撃電流 (低絶縁回線 3 相と高絶縁回線 1 相) の関係である。たとえば、接地インピーダンス 25 Ω では、高絶縁回線のせん絡雷撃電流は低絶縁回線の電流の 2.8 倍強である。

4.3 径間逆せん絡

径間中央部の架空地線に落雷があると、地線から本線に逆せん絡する可能性があり、これは径間逆せん絡といわれるものである。しかし、径間逆せん絡事故の認定は非常に困難で、その発生ひん度は明らかにされていない。雷撃による地線中央の電位は、反射波が隣接鉄塔から帰るまでは架空地線の波動インピーダンスによって押えられるだけであるので、かなり上昇する可能性がある。

がい子個数に差があっても 5 個側にアークホーンが付けられているので、5-7 個不平衡絶縁におけるがい子連長はそれぞれ 995 mm と 1,010 mm となる。径間では地線と本線上相とは両回線ともほぼ等距離と考えられるから不平衡絶縁とはならない。したがって、径間での 2 回線せん絡を防止するには、地線一本線間の距離が十分大きくとられなければならない。

いま、平均径間を 200 m と仮定し、架空地線のたるみを本線のたるみの 70% とすると、地線と本線上相との距離は径間中央部で約 6 m となる。間隔 6 m の平行導体の 50% せん絡電圧は、標準波負極性に対して 3,700 kV と推定される⁽⁶⁾。雷撃波の波頭長を 1.2 μs とすると隣接鉄塔からの反射によって波高値は約半分 ($\delta=0.56$) になり、かつ、波尾長 2 μs 程度の短波尾波に対する平行導体の 50% せん絡電圧が標準波の 1.7 倍になると仮定すると⁽⁷⁾、径間逆せん絡を生じる雷撃電流は 89.5 kA ($=6,300 \text{ kV} \div (0.75 \times 0.56 \times 168 \Omega)$) 付録 I (8)



第12図 雷 撃 電 流 分 布

式より) となって、径間逆せん絡と鉄塔逆せん絡とは十分協調がとれるであろう。しかし、径間が長くなると電流値は減少するし、鉄塔接地インピーダンス 10Ω では問題になる。

とにかく、現状では径間逆せん絡の発生ひん度自体の調査が必要である。

5. 事故率の推定

5.1 事故率推定の条件

不平衡絶縁方式の最終的評価はこれを適用した場合の雷害事故率によって行なわれる。伊予幹線に対する事故率の推定は次の仮定のもとになされるものとする。

- (1) 伊予幹線は架空地線 1 条、遮へい角 45° 前後で、地線一本線間隔は 6 m 以上である。遮へい失敗や径間逆せん絡はなく、鉄塔逆せん絡のみと考える。
- (2) 雷撃電流波高値のひん度分布は伊予幹線について求められていないので、鬼怒川線と猪苗代幹線の記録に従い、事故率はその平均値で求める。雷害事故は臨界せん絡雷撃電流値以上の雷撃電流において発生するものとする。
- (3) 鉄塔頂に生じる雷撃波は標準波 ($1.2 \sim 1.5 \times 40\ \mu\text{s}$) と考える。
- (4) 2 回線せん絡は低絶縁回線全相が同時に逆せん絡したあとに起こるものとする。
- (5) がい子 5-7 個不平衡絶縁方式に負極性の雷撃がある場合を考え、鉄塔接地インピーダンスは第 1 目標 25Ω 、第 2 目標 10Ω とする。
- (6) そのほかの異常雷せん絡は考えない。

5.2 推定雷害事故率

第 12 図は雷撃電流波高値の累積ひん度分布を示したものである⁽⁸⁾。同図にはアメリカで記録された分布も記入されている。第 11 図より鉄塔接地インピーダンスが 10Ω と 25Ω の場合の雷撃電流を求める。これらは第 12 図中に示されている。現在の全雷害事故率 2.11 件/100 km・年から不平衡絶縁にした場合の事故率を算定すると、それらは第 2 表のとおりである。不平衡絶縁方式を採用することによって、全事故率は現状よりも約 30% 増加する。しかし、低絶縁側ががい子連はアークホーンによって耐アーク性が向上するので、搬送リレーを用いた自動再閉路保護方式により保護の信頼度の向上

第2表 推定雷害事故率

鉄塔接地インピーダンス (Ω)	不平衡絶縁設計		現状(平衡絶縁)	
	全雷害事故率 (件/100km・年)	雷害2回線事故率 (件/100km・年)	全雷害事故率	雷害2回線事故率
25	2.78 (10.8箇月に1件)	0.85 (2年11箇月に1件)	2.11 (1年2箇月に1件)	1.47 (1年8箇月に1件)
10	2.78以下	0.206 (12年2箇月に1件)		

を図れば、1 回線事故の大部分は永久事故にはならないであろう⁽⁹⁾。これに対し、2 回線事故は、鉄塔接地インピーダンス 25Ω の場合現状の約 60%、 10Ω の場合約 14% に減少すると推定される。

なお、これらは臨界せん絡雷撃電流で考えているので、実際の雷害事故率は当然これよりも減少する。

6. 結 言

伊予幹線に不平衡絶縁方式を適用することによって、全雷害事故率は多少増加するけれども、鉄塔の接地インピーダンスを目標値 (25Ω) 以下にさげれば 2 回線にまたがる事故はかなり減少する。したがって、自動再閉路保護方式の活用により送電の信頼度は大きく向上するので、本幹線の雷害による停電事故を減少させるという目的は十分達成されるものと予想される。

しかしながら不平衡絶縁の考え方は最近緒についたばかりで、実用送電線として不平衡絶縁の評価を行なったのは筆者らが最初である。ただ、従来から用いられてきたせん絡雷撃電流の算定理論では説明できない異常雷害事故が起こっている現状であるので、これが本論文とどの程度食い違いを生じることになるかを、今後数年間の事故記録の集積によって解明したいと考えている。すなわち、われわれは

- (1) 雷撃電流波形の正確な記録
- (2) 鉄塔波動インピーダンスによる電位上昇
- (3) 径間逆せん絡の発生ひん度
- (4) 異常雷せん絡の原因

などの観測結果から新しい設計理論が確立される可能性を期待しているわけであり、各方面の忌憚(たん)のないご批判をお願いする次第である。

終わりに、筆者らは種々のご援助をいただいた四国電力ならびに日立電線株式会社の関係各位に深く感謝する次第である。なお、日立電線株式会社研究部榎村毅夫君に実験の援助を仰いだこともあわせて深謝する。

参 考 文 献

- (1) 川合：電気四学会連合大会，903 (昭 35)
- (2) R. W. Casewell, E. F. Koncel Jr., I. B. Johnson, N. R. Schultz: T. A. I. E. E. 76 (3), 1480 (1957)
- (3) 河野，沼尻：電気学会東京支部大会，240 (昭 36)
- (4) 沼尻：電学誌 82, 516 (昭 37)
- (5) 河野，沼尻：日立評論，43, 926 (昭 36)
- (6) 山本，川合，永野，沼尻：電学誌，81, 1760 (昭 36)
- (7) 沼尻：日立評論，44, 801 (昭 37)
- (8) 雷害防止委員会：電学誌 76, 297 (昭 31)
- (9) Ph. Sporn, F. Cahen, M. Magnien: CIGRÉ, No. 416 (1960)

付録 I 伝達インピーダンス

雷撃電流 I によって架空地線 n 条の鉄塔の、ある相のがい子連両端に生じる電圧 V は

$$V = z_{T,n} I - e \quad \dots\dots\dots (8)$$

である。ここで、 e は交流電圧の瞬時値、 $z_{T,n}$ は雷撃電流とがい子連両端電圧との間の伝達インピーダンスで

$$z_{T,n} = (1 - c_n) \delta / \left(\frac{1}{z_0} + \frac{2}{z_n} + \frac{1}{z_T} \right) \quad \dots\dots\dots (9)$$

で定義される。 δ は波高低減率、 z_0 、 z_T はそれぞれ雷道インピーダンスおよび鉄塔の接地インピーダンスである。 z_n は架空地線 n 条一括の波動インピーダンス、 c_n は地線と考慮している相との結合率で

ある。

伊予幹線については、導線の自己インピーダンスの平均値は 580Ω 、相互インピーダンスの平均値は 145Ω となるので、雷道インピーダンスを 400Ω と仮定すると、伝達インピーダンス $z_{T,n}$ は鉄塔接地インピーダンス z_T の関数として第 10 図のとおりである。ただし、 $\delta=1$ 、 $n=1$ である。

付録 II 階段率とせん絡雷撃電流

いま他の 1 相が逆せん絡してその相が鉄塔と同電位に落ちれば、その瞬間にがい子端電圧は

$$V' = z_{T,n+1} I - e \quad \dots\dots\dots (10)$$

となる。したがって、階段率 α は

$$\alpha = \frac{V - V'}{V} = 1 - \frac{z_{T,n+1}}{z_{T,n}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

となる。ただし、交流電圧は除外して考える。もし、他の 3 相が同瞬間にいっしょにせん絡するものと仮定すれば、そのときの階段率

α' は

$$\alpha' = 1 - \frac{z_{T,n+3}}{z_{T,n}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

である。第 10 図は伊予幹線について α, α' を計算したものである。

一方、がい子の 50% せん絡電圧を V_s とすれば、50% せん絡雷撃電流 I_s は (8) 式より

$$I_s = \frac{V_s + e}{z_{T,n}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

となる。雷撃電流のせん絡を生じさせる最小値は逆極性の交流電圧波高値 e_m が印加されているときに相当し、がい子の臨界せん絡電圧 $(1 - \eta/2) V_s$ に対する電流値を臨界せん絡雷撃電流 I_c と名づければ

$$I_c = \frac{(1 - \eta/2) V_s - e_m}{z_{T,n}} \quad \dots\dots\dots (14)$$

である。 η はがい子の放電率 0% から 100% までの分布の幅を示す係数で、ここでは第 8 図より推定して 50% せん絡電圧の 5% と考えることにする。

新 案 の 紹 介

登録新案 第 535763 号

島 山 尚

変 圧 器 に お け る 負 荷 損 低 減 装 置

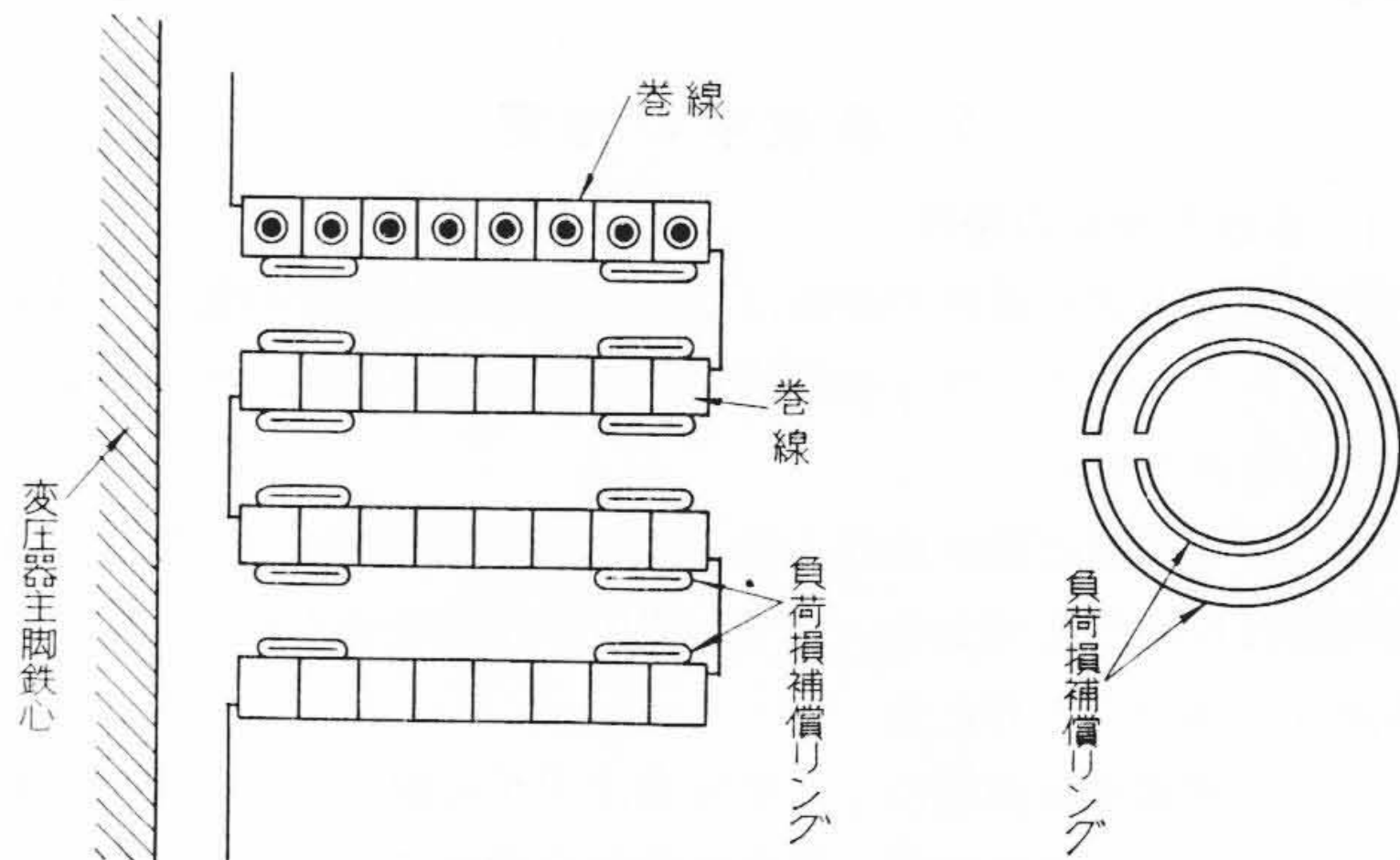
一般に大容量電力用変圧器および水銀整流器用変圧器など、大電流を取り扱う変圧器では、通常図●で示す方向に電流が流通した瞬間には、主脚鉄心には下向きの磁束が発生するがそれと同時に巻線と交鎖する漏えい磁束も発生し、この漏えい磁束が巻線に分散的に交鎖することにより漏えい磁束の増大に伴う漂遊負荷損が激増し特に調整タップ付変圧器においてタップを開放した場合などにこの傾向が著しく、これがため異常漂遊負荷損を生じタンクに局部的加熱や巻線に異常渦流損を生じたり、また巻線間には大なる機械力が発生し、巻線に変形をきたすおそれがある。

本案はこれを改良するために盤状巻線区分間へけい素鋼板のような強磁性体で構成した補償リングをそう入し、かつその補償リングには渦電流の短絡を防止する目的で一部へ間げきを形成してなるものである。

このようにすることにより漏えい磁束は該強磁性体間を縫って巻線軸方向に通過することにより、漏えい磁束の水平分を減少させ油槽への磁束の発散を減少させて漂遊負荷損を減じまた磁束の分散的傾斜により巻線内に発生する渦流損を減じ巻線間に発生する機械力

をも低減させることができる。

(諸 角)



昭和 37 年 5 月 発行予定

計 装 特 集 号 目 次

日立評論 別冊第 47 号

- ・計測制御の発展と二、三の問題
- ・原子炉の計装
- ・製鉄工業におけるデータ処理装置
- ・TOプラント計装——電子式計器による中央制御——
- ・アンモニア製造プロセスの計装
- ・産業用火力発電所計装制御について
- ・データロガーの発電所における応用

- ・関西電力株式会社納水火力併用系経済負荷配分装置
- ・自動洪水調節装置
- ・HITAC-501B形データ処理装置用電子計算機
- ・データ処理装置用ADF-300形AD交換器
- ・制御用計算機HITAC-502
- ・工業計器選上上の諸問題

発行所 日立評論社

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区丸の内 1 丁目 4 番地
振替口座 東京 71824 番
東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地
振替口座 東京 20018 番