

直列コンデンサの保護

Protecting Circuit of Series Condensers

落 清* 笈川 俊雄**

内 容 梗 概

送電線への直列コンデンサ補償はようやく実用期に入ってきた。その信頼度は保護装置の良否によつて左右される。

今回東北電力 30 kV 気仙沼線に設置された、直列コンデンサの保護装置は、特殊の始動ギャップを用いて特性を安定せしめたもので、現地人工故障試験（短絡故障）においても、整定値 10,000 V の±3% 以内で確実に動作し、すぐれた保護性能を示した。

〔I〕 緒 言

送電線への直列コンデンサ補償は、電力の質的の向上と経済性の見地から、我国においても広く実用される趨勢になつてきたが、その効果は信頼度の高い保護装置によつて始めて達成される。直列コンデンサの端子電圧は、線路電流に比例して変化し、線路短絡事故などの場合には過大な電圧をうける。このような過電圧に対してもコンデンサ自体が耐えるように、絶縁設計をすることは経済的に許されないで、コンデンサの耐圧は常時電圧を対象に設計し、過電圧に対しては、一定値で放電するギャップをコンデンサに並列に設け、放電によつてコンデンサを短絡し、引続いて短絡開閉器を閉じるのが普通である。

今回東北電力 30 kV 気仙沼線に設置された、直列コンデンサの過電圧保護ギャップには、放電々圧の不整が±3% 以内のきわめて安定なギャップ装置を開発使用し、現地試験においても予期通りの成果をおさめることができ、試験後直ちに運転に入っている。

以下その概略について述べる。

〔II〕 直列コンデンサ保護方式

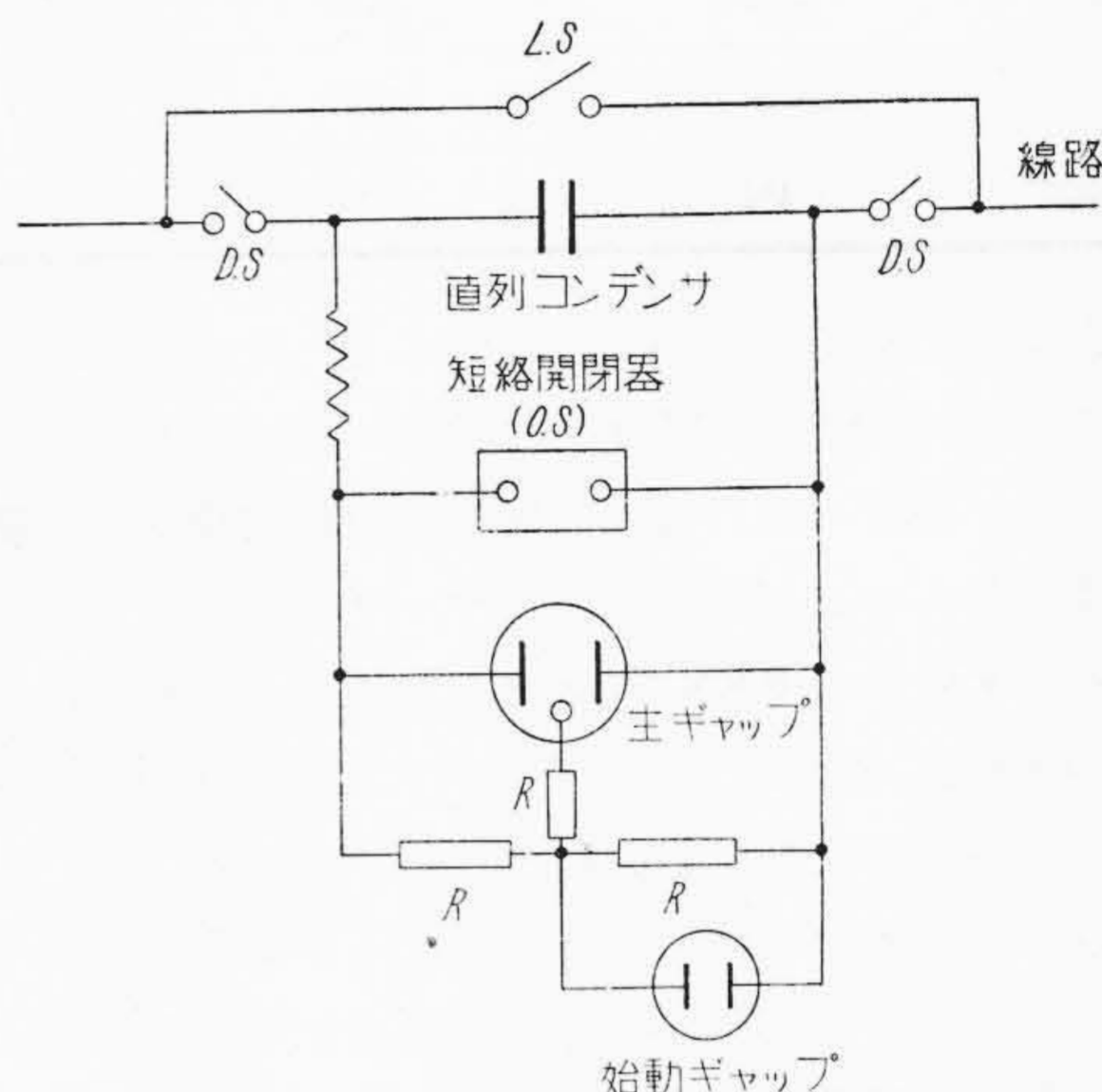
東北電力気仙沼線に使用した、直列コンデンサ保護方式は第1図に示す。このうち過電圧保護についていえば、線路の短絡事故などにより、コンデンサの端子電圧が、定格電圧 4 kV の 2.5 倍 (10 kV) に達すれば、始動ギャップが先づ放電して、遅れなく直ちに主ギャップの放電を誘起し、引続いて短絡開閉器を投入して、コンデンサを系統から除き、また保護ギャップの動作しない範囲の持続性の過電圧に対しては、別に過電圧継電器が動作して保護するようになつている。

〔III〕 始動ギャップ

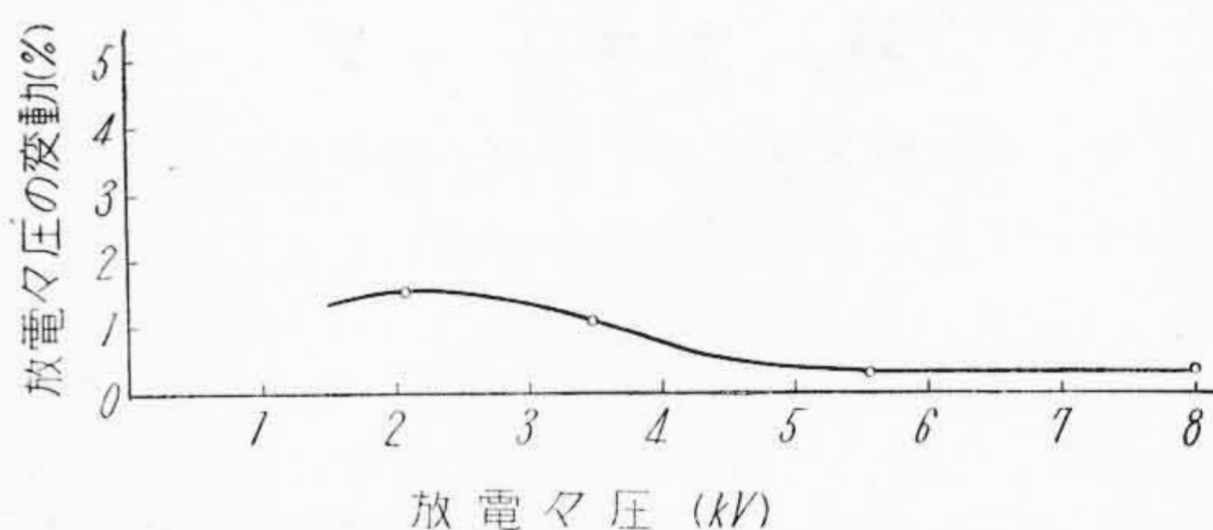
前述のように、始動ギャップは主ギャップ放電の誘因

* 日立製作所日立国分分工場

** 日立製作所日立研究所



第1図 直列コンデンサ保護方式
Fig. 1. Skeleton Diagram of the Protecting Circuit of Series Condensers



第2図 始動ギャップの放電特性
Fig. 2. Spark-over Voltage Characteristic of Starting Gap

となる以上、始動ギャップは定められた電圧でかならず放電すること、すなわち放電不整現象が少いことが不可欠の条件である。一般に空気中に置かれたギャップは、気温、湿度、電極の汚れなどの影響をうけて、上記の要求を満足することは困難である。特にその放電々圧が数千ボルト程度の低いものほど、不整現象は増大する傾向にある。

今回気仙線に使用した始動ギャップはガラス管中に、相対した球状電極を H₂ ガス中に密封し、ガラス管の内壁には薄い錫メッキを施して、片方の端子と電氣的に接

第 1 表 時間々隔を長くした場合の放電々圧
Table 1. Discharge Voltage in Relation to the Time Interval

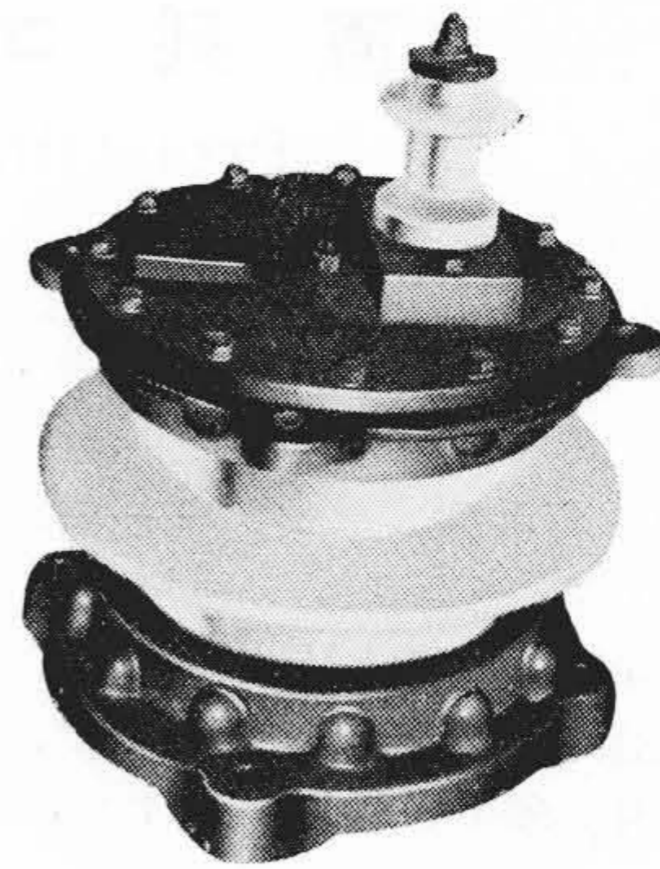
区 分 試 験 番 号	放 電 々 圧 (kV)		時間々隔
	室 内 (No. 3 ギャップ)	暗室内 (No. 5 ギャップ)	
1	5.36	5.25	10 分
2	5.35	5.25	
3	5.35	5.25	30 分
4	5.40	5.30	
5	5.40	5.27	4 時間
6	5.40	5.30	
7	5.40	5.30	17 時間
8	5.39	5.29	
平 均	5.38	5.28	—
標準偏差	0.4%	0.4%	—

続したものである。このようにすることにより初期放電を与える電極間の漂着イオンは常に一定の状態に保たれたがって放電々圧は常に安定する。(特許申請中) **第 2 図** は本始動ギャップについてギャップ間隙を変えて放電電圧を 1 kV から 8 kV に変化した場合の特性で、放電々圧の不整は 2% 以下である。特に今回の制定値 5,000 V では、その不整は 1% 以内に入っている。

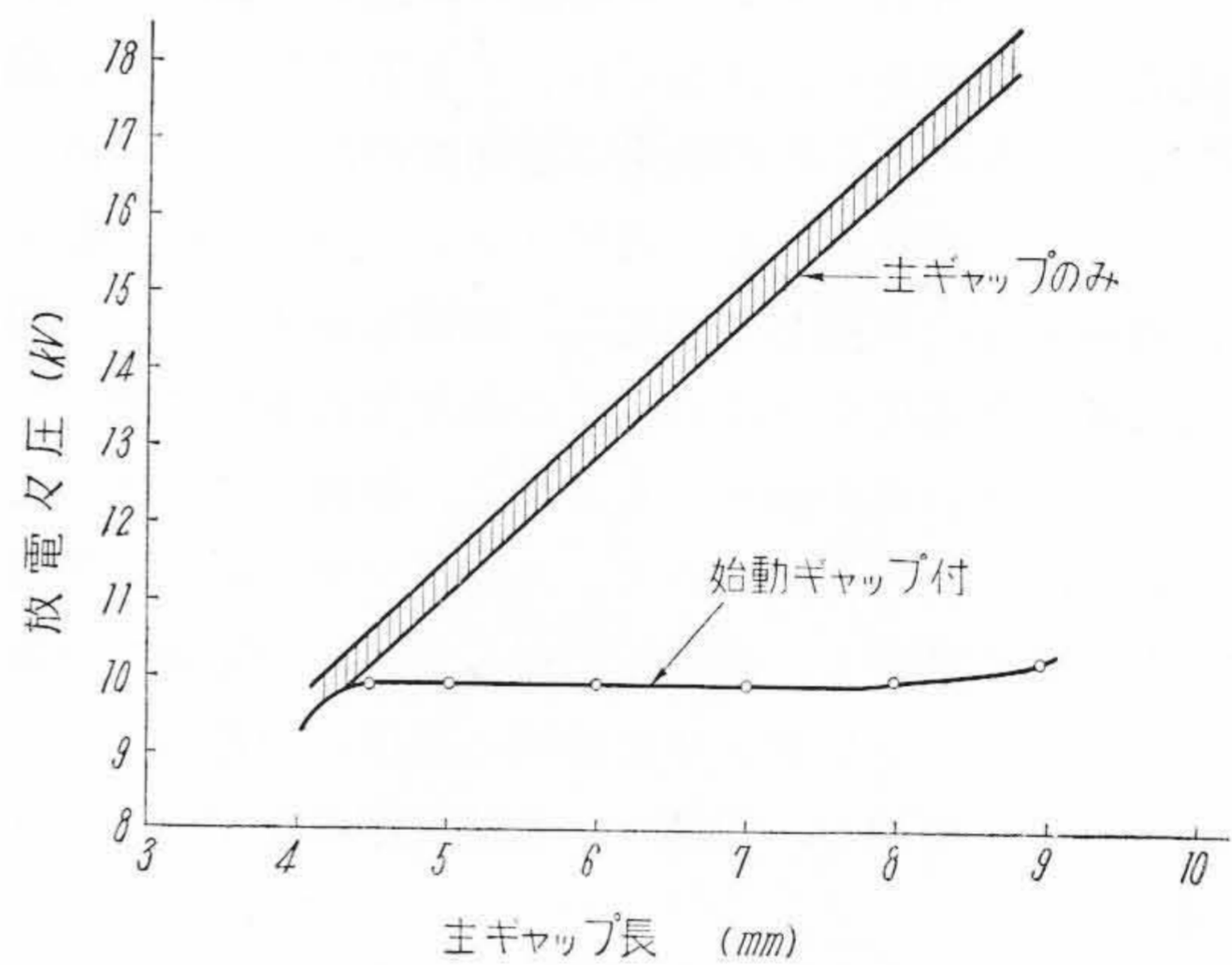
つぎに保護ギャップのように稀にしか動作しないものでは、放電の時間間隔が十分長い場合にも変動があつてはならない。**第 1 表** は放電間隔を十分長くした場合の測定結果で、約 18 時間の間隔の場合にも、放電々圧の不整は 1% 以下に安定している。

〔IV〕 主 ギ ャ ッ プ

主ギャップは**第 3 図** に示す通り、碍管中に主電極と、始動ギャップからの補助電極を収納したものである。ま

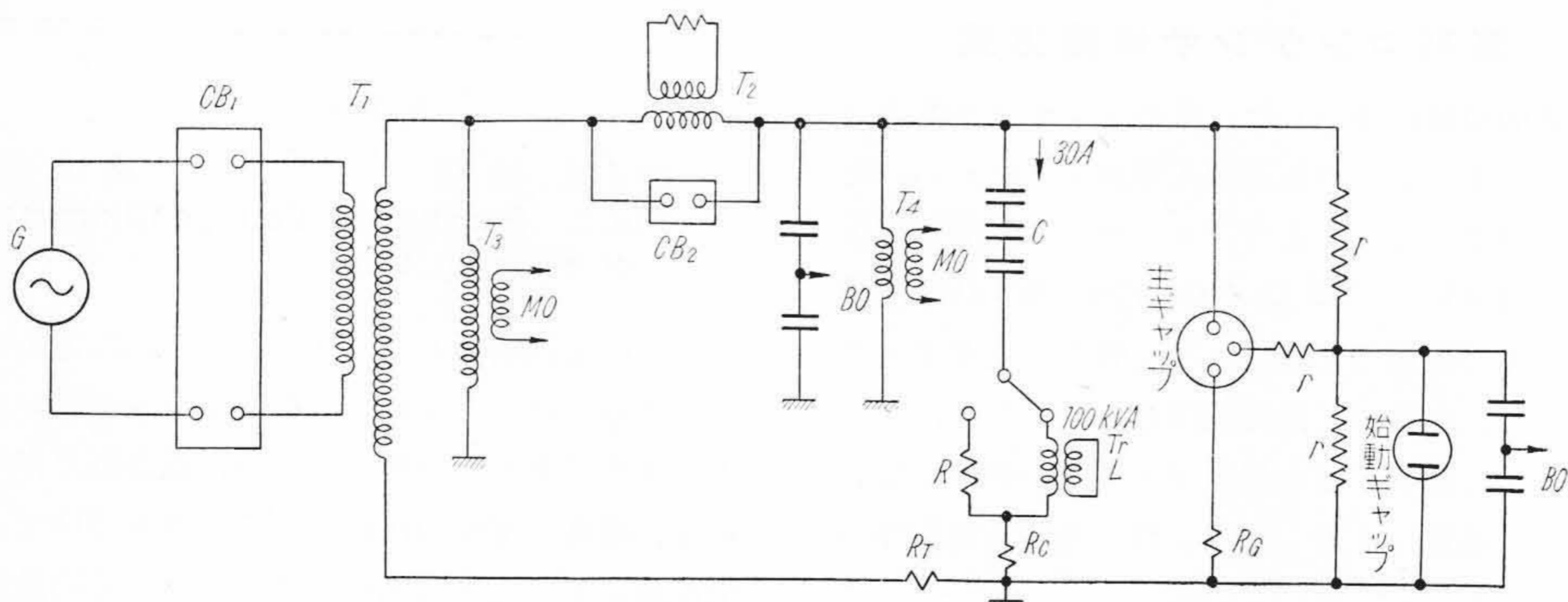


第 3 図 直列コンデンサ保護ギャップ
Fig.3. The Protecting Gap of Series Condenser



第 4 図 保護ギャップの放電特性
Fig.4. Spark-over Voltage Characteristic of the Protecting Gap of Series Condenser

た下部電極には冷却筒を設けてあり、ギャップを通る大電流による電弧ガスを十分冷却して外部に放出するようになつている。(特許申請中)



- G: 50,000 kVA 短絡発電機
- T1: 17,000 kVA 66 kV/13.2 kV Tr.
- T2: 20,000 kVA 190 kV/11 kV Tr.
- CB1: 保護用 OCB
- CB2: T2 短絡用 CCB
- C: 80 μF, 200 kVA×3
- RT, RC, RG: 測定用シャント抵抗
- T3, T4: 測定用 PT
- MO: 電磁オツシログラム
- BO: プラン管オツシログラム

第 5 図 直列コンデンサ保護用ギャップ試験用模擬回路
Fig.5. Model Test Circuit of the Protecting Gap of Series Condenser

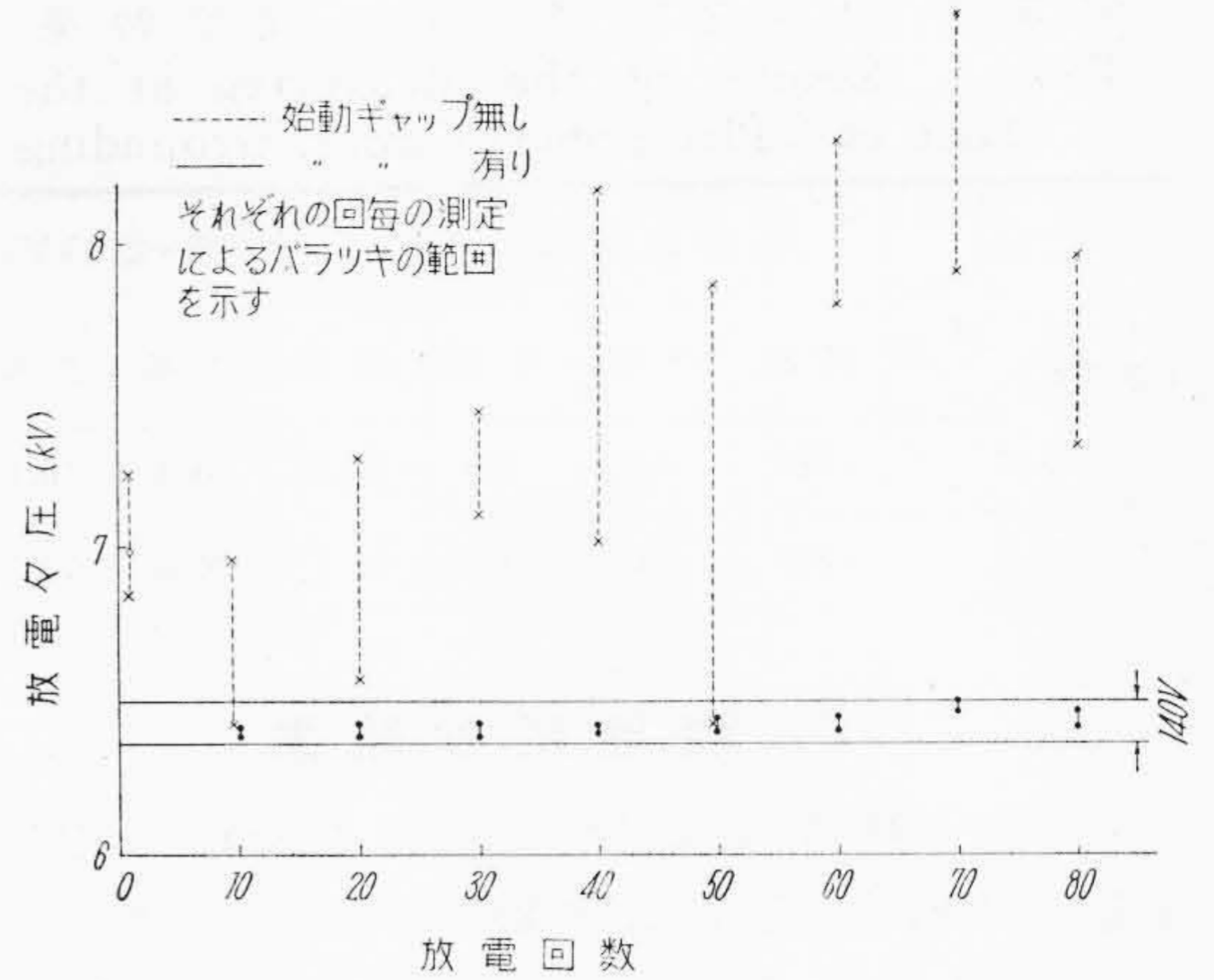
第 2 表 試験前後の主ギャップの放電々圧
(始動ギャップと組合せたもの)

Table 2. Discharge Voltages of the Main Gap, Before and After the Test

電 圧 区 分	放 電 々 圧 (V)					平 均 (V)	変 動 (%)
	1	2	3	4	5		
試 験 前	9,980	9,960	9,900	9,960	9,920	9,940	±0.4
	10,000	9,960	9,920	9,880	9,920		
試 験 後	10,000	10,000	9,960	10,000	10,000	9,980	±0.2
	9,960	9,980	9,960	9,960	9,960		

主ギャップは始動ギャップに起動されて、放電を開始するが、放電の遅れや、不整が少いことが最も必要である。第 4 図は主ギャップ長を 4~9 mm に変えた場合、補助ギャップのある場合と、ない場合の放電特性を示す。補助ギャップのある場合は、10,000 ±50 V の範囲に一定である。

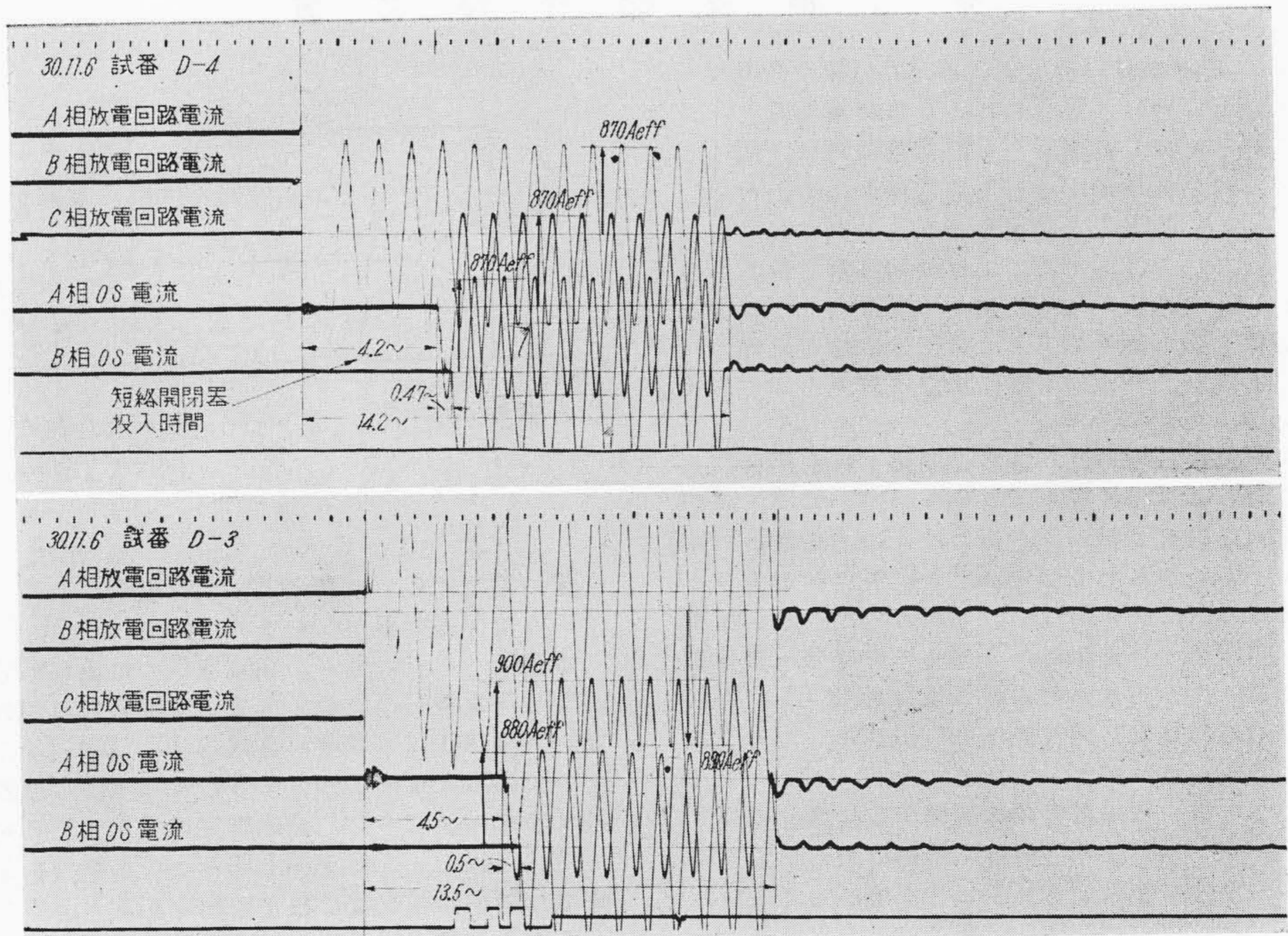
ギャップを通る電流の大小によるギャップの放電特性を調べるために電源に 50 MVA 短絡発電機を用いて、第 5 図に示す模擬回路を作り、常時コンデンサに 30 A の電流を流しておき、急に CB₂ を投入、Tr₂ を短絡し、短絡電流を 175 A から 1,630 A に変えて、合計 20 回の試験を行った。第 2 表はこのときの試験前後の放電々圧を示す。放電々圧はほとんど変化していない。また実際に気仙沼線に設置された場合の三相短絡電流は、計算上約 1,040 A となり、かつ短絡開閉器はギャップ放電後



第 6 図 大電流通電後の放電特性
Fig. 6. Spark-over Voltage Characteristic of the Protecting Gap after 1,000 A Discharge Test

5~ 以内に投入されるが、この場合の特性を調べるために 1,000 A、10~ の通電を 100 回行い、10 回ごとに放電々圧を測定して変化を検討した。第 6 図はこの場合の放電特性で、主電極のみの場合の予想は相当に大きいが、これは電極部分の汚れに基因するものと思われる。しかし補助電極をつけた場合の放電々圧はきわめて安定で、保護ギャップとしての性能は変わらないことを確認した。

試験後の電極の状態は、電極の表面に僅かにアークの痕跡が見られる程度で、損耗は確認できぬ程度であった。



第 7 図 現地短絡試験時のオッシログラム
Fig. 7. Oscillogram Showing the Short Circuit Test in the Field

第 3 表 三相短絡接地時の測定結果
Table 3. Results of the Measuring at the Time of 3-Phase Short Circuit Grounding

項目 相別 試験番号	短絡電流 (A)			ギャップ放電々圧 (kV)		
	赤相	白相	黒相	赤相	白相	黒相
D-3	867	848	920	10.0	10.3	10.1
D-4	867	848	902	10.1	10.0	10.1

〔V〕 現地試験結果

東北電力 30 kV 気仙沼線 (亘長約 48 km) に定格端子電圧 4kV, 設備容量 2,400kVA の直列コンデンサを納入し, 11 月 4~7 日の 4 日間にわたり現地試験を実施した。

試験項目は下記の通りで開閉, 定常特性, 不平衡, 負制動, 無負荷変圧器挿入, 不減衰振動, 三相短絡, 一線地絡の 8 項目にわたり予期通りいずれの試験も好成績であった。特に人工故障試験時(三相短絡)における保護特

性は第 3 表の通りで, 放電々圧の偏差は僅かであった。試験後主ギャップ内部(白相)を点検したが, なんらの異常も認められなかった。また各相間の放電々圧の不整も 300 V 以内で, 確実に安定した放電を行っている。第 7 図(前頁参照)は上記短絡試験時のオシログラムで保護用短絡開閉器は予期通り, ギャップ放電後 4.2~4.5 秒の短時間で確実に動作している。

〔VI〕 結 言

以上東北電力 30 kV 気仙沼線に使用した直列コンデンサ保護ギャップについて, その概略を記した。

確実な保護装置の開発によつて, 直列コンデンサは今後あらゆる系統に安心して適用され, その効果を十分発揮できるものと信じている。

最後に本装置の開発に当り, 終始適切なる御指導を賜つた東北電力の関係者各位に対し衷心より感謝の意を表する次第である。



新 案 の 紹 介



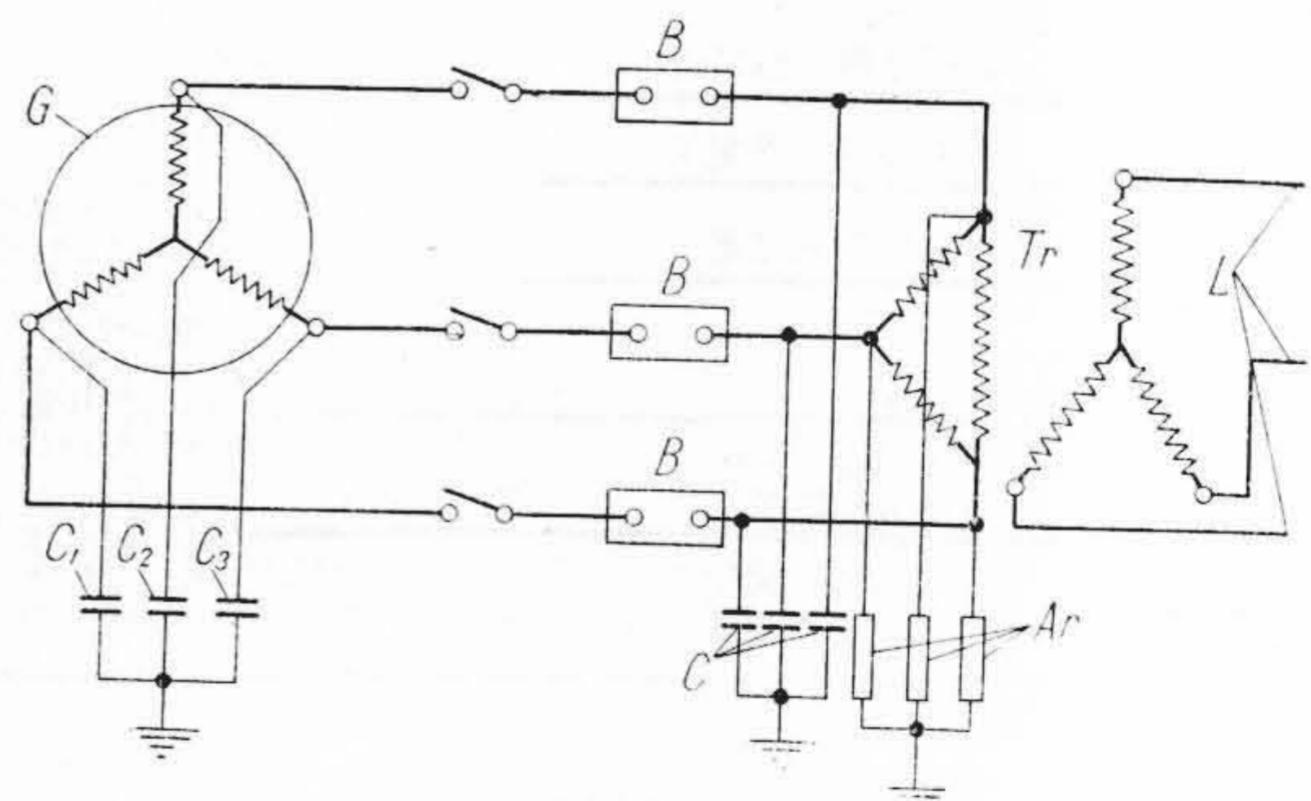
新案第 438009 号

三 浦 倫 義

発 電 機 線 輪 保 護 装 置

発電機 G, 遮断器 B, 変圧器 Tr の順に発電機が特高送電系統 L に連なる場合に, これらの機器をサージの被害から守るために従来とられた保護対策は, 図に示すように変圧器の低圧側すなわち発電機側に 0.1 ないし 0.5 マイクロの蓄電器 C を避雷器 Ar と並列に接続することであった。この保護対策によれば特高送電線 L から変圧器 Tr を経て進入してくる雷サージに対しては変圧器二次側線輪も発電機巻線もともに十分安全を確保されてきたのであるが, つぎのような場合に弱点をばくろせざるをえなかった。

すなわち発電機 G 用の遮断器 B が開路される場合, とくに変圧器 Tr の励磁電流をきる場合のごときは, 遮断は電圧の最大値附近で行われ, そのときの遮断器 B の性能, 状況などのいかんによつてはそこに再点弧が生ずることを考慮せぬ訳にはいかない。しかして再点弧が生ずるとそこに開閉サージを生じ, このサージは発電機 G を襲うことになるのであるがその波高値は相電圧の 2 倍で, 波頭は遮断器 B より発電機 G の口出しにいたるまでの母線のストレーインダクタンスとストレーキャパシタンスとによつて定まる固有振動に関係する峻度をもっているから, これがために発電機 G の巻線はきわめて急峻なるサージの侵入と等效なるストレスを受けることとなるのであつて, このさい上述した保護用の 0.5 マイクロ



程度の蓄電器 C では時によつては振動エネルギーを大となすのみで保護効果がないものである。

本案はこの点に鑑み, 発電機 G の口出し部分に図示のごとく発電機 G の巻線一カ分の静電容量に相当する 100 ないし 1,000 ピコ程度の蓄電器 C₁, C₂, C₃ を接続したものである。このようにするときには上述した固有振動周期は顕著に緩和され, 波頭峻度は 0.5 マイクロ秒程度まで鈍化されることが實際上明らかにされた。なおこの意味では蓄電器の配置に色々の場合がありうるがこの案によるものが最も経済的なようである。(宮崎)