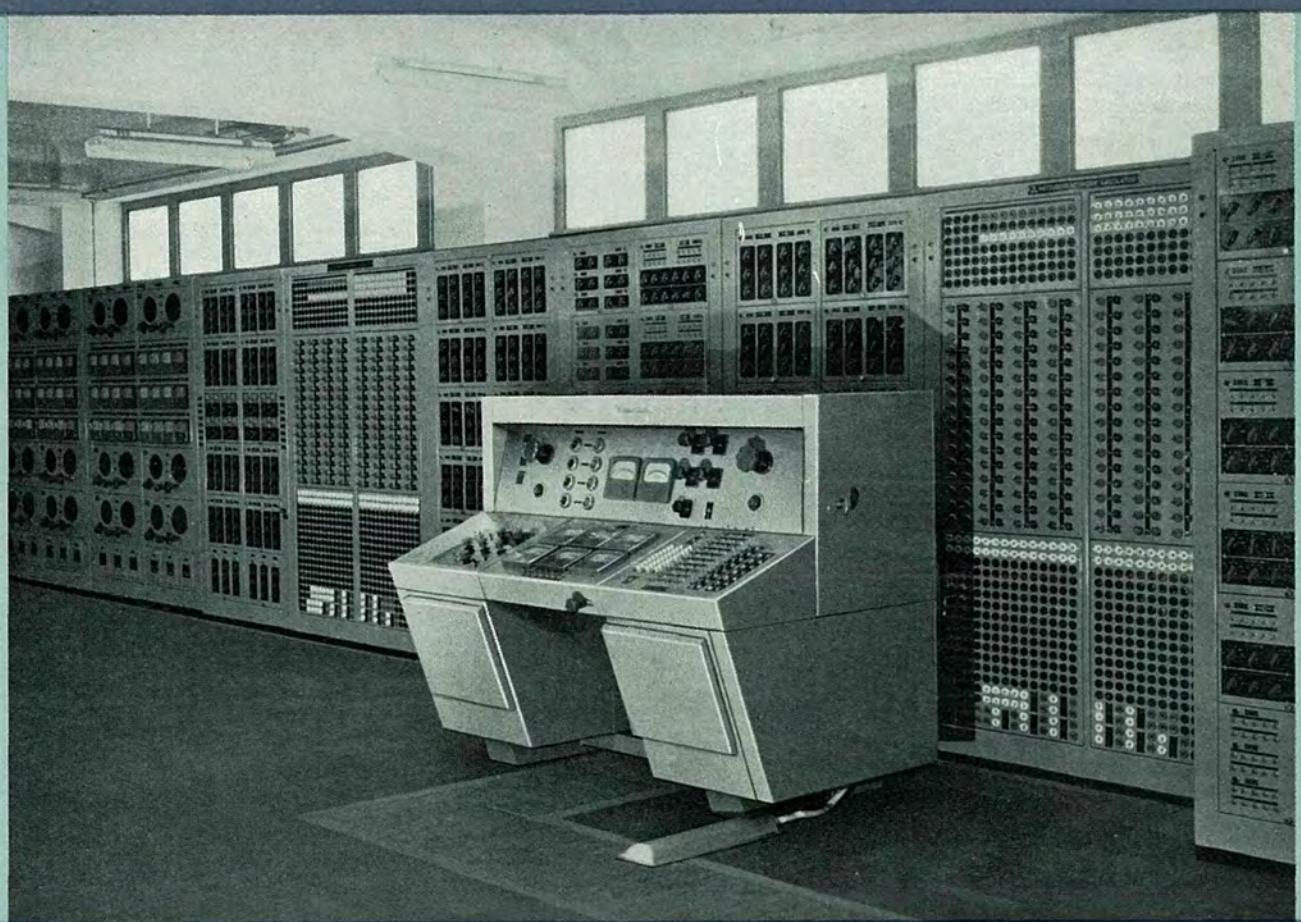


MITSUBISHI DENKI

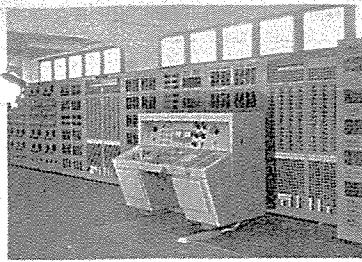
三菱電機

電力技術特集



電力中央研究所向交流計算盤（三菱電機研究所に仮設置）

4 临时増刊
VOL31 1957



MITSUBISHI DENKI

三菱電機

表紙説明

三菱電機研究所に仮設置した電力中央研究所納交流計算盤である。当社3台目の製品で、高精度および計算能率の高いことを特長とする。この計算盤の規模は、発電機単位12、発電機リアクタ単位12、線路単位60、π回路単位20、負荷単位24、容量単位24、单巻変圧器単位24、相互結合単位20、計測機2、レコーディングテーブル1、負荷調整コンソール1のほか50c/s3相出力発電機単位12、過渡現象解析用アナコム計測機、電子管式同期スイッチ、機械系模擬用高利得リアクタ、その他アナコム要素を併設し、過渡現象解析器としてはもちろん、各種工学の問題をも解析しうる大規模な General Purpose Analog Computerとしての機能を持っている。

なお4台目の関西電力向けの交流計算盤を製作中である。

三菱電機株式会社

本社

東京都千代田区丸の内(東京ビル)
(電) 和田倉(20) 代表 1631・2331
研究所 兵庫県尼ヶ崎市南清水
神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町
名古屋製作所 名古屋市東区矢田町
伊丹製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水
長崎製作所 長崎市平戸小屋町
無線機製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水
大船工場 神奈川県鎌倉市大船
世田谷工場 東京都世田谷区池尻町
郡山工場 福島県郡山市宇摩橋町
福山工場 福山市仲野上町
姫路工場 兵庫県姫路市千代田町
和歌山工場 和歌山市岡町
中津川工場 静岡県中津市駒場安森木
福岡工場 福岡市今宿青木
静岡工場 静岡市小鹿110
札幌修理工場 札幌市北二條東12
大阪営業所 大阪市北区堂島北町8番地1
(電) 大阪(34) 代表 5251
名古屋営業所 名古屋市中区広小路通
(電) 本局(23) 代表 6231
福岡営業所 福岡市天神町
(電) 中(4) 7031-7036
札幌営業所 札幌市大通西3の5
(電) 札幌(2) 代表 7236
仙台営業所 仙台市東一丁目63
(電) 仙台(2) 代表 1601
富山営業所 富山市安住町23の2
(電) 富山 4692・5273・2550
広島営業所 広島市袋町6(富国生命ビル)
(電) 中(2) 2211~4
高松出張所 高松市紺屋町34番地
(電) 高松 3178・3250
小倉出張所 小倉市京町10丁目(五十鈴
ビル)(電) (5) 小倉 3614

昭和32年第31巻第4号臨時増刊

目次

卷頭言	取締役営業部長 大久保謙	2
絶縁劣化検出法	浅井徳次郎	3
コンタミネーションの問題	荒井潔	9
遮断器の遮断容量	木村久男・山田栄一	14
工場動力配電方式	中野光雄	19
配電系統構成上の関連事項	安藤安二	27
通信線の誘導電圧	木村久男・山田栄一	39
電鉄事故時の選択遮断装置の改良	迎久雄	44

品質奉仕の三菱電機

卷頭言

取締役営業部長 大久保謙



近時わが国の産業の進展は目覚しいものがあり、ために国内の生活は向上し、国外への輸出もまた発展を見ております。したがって産業の基盤をなす電力の利用も大いに拡大せられ、すでに昭和30年度(30年4月から31年3月末日まで)の使用電力量は全国4,400万MWHに達し、さらに31年度には需要は急激に上昇し未曾有の額となっているのであります。

かくのごとき情勢下、かつて計画された電源開発5ヵ年計画あるいは昨年1月審議決定を見た新電源6年計画などはいずれもなにがしの改訂を必要とすると思われる状態であります。これはまず喜ぶべき事態と申すべきであります。

この間わが社は電気事業において水力火力発電機器、変圧器、スイッチギア類、製鉄および金属工業において圧延機用その他の電気機器、鉱山用には大型巻上機、マインパワーセンタ等の防爆各種機器、船舶用の電機品、車両用電機品、繊維工業、製紙工業、化学およびセメント工業における電機品など広い分野に多くの製品を納入して、いさきかながら産業の進展に協力し得たと信じているものであります。

しこうして、われわれ機械製造業者はかくのごとき事業の隆盛を見、われわれの製造した機器の盛んなる活動を知るとき、これをまことに欣快とするものであります。なお考へるべきこととしてかくのごとき状態をもって能事尽るとなすべきでなく、一層の成果と躍進を期すべ

きものとなしむるのであります。

すなわち、われわれは新たなる科学技術を考究し優秀なる機器の製造を念願すると共に、これの使用の立場に立ち総合的かつ実際的に正しく効果ある実用を招来せんことを期待しているのであります。

しこうしてこれを実現するには機器の製造と並立する応用の分野における技術的奉仕を行うことにより達成できるものと考えております。

技術的奉仕とは米国における顧問技術(Consulting Engineering)、応用技術(Application Engineering)等に通ずるものであって、これには広い面にわたっての活動が必要であります。これはなかなか容易の業ではないであります。このため資料の調査、計算、実測等は欠くべからざる用務であります。また最近各地において開催いたしております需要家との「応用技術懇話会」もその1つの仕事と考えているものであります。

本特集号は技術的奉仕の一端として応用技術懇話会における話題を中心に、総合技術的視野の下に書纏めたものを集めて一集といたしました。従来の機器製造の立場からはやや離れるものであります。この企画が幸に幾分なりとも奉仕の目的に副うことを得ますれば深く喜びいたしますものであります。

絶縁劣化検出法

本社 浅井徳次郎*

Methods of Detecting the Deterioration of Insulation

Head Office Tokujiro ASAII

The insulation is a vital element of electric machinery. It is no exaggeration to claim that it determines the life of machines. The recent developments in the synthetic material have given birth to new excellent insulators, but not much is made known about their characteristics to permit their extensive use to the electric apparatus. Even the old insulating materials have not been thoroughly studied about their performance to determine their life. The proportion of deterioration after many years' service is hard to judge. Much less in the case when used under different specifications. If this is made known, engineering will make a step toward perfection.

1. まえがき

電気の機器でその絶縁が重要であって、実にその生命であるといわれるのも不思議でない。最近の合成化学の進歩により優秀なる絶縁物が造られている。しかしながらの材料がまだ全般的に電気機械に使用されていない。さて新旧いずれの材料でもその諸特性ことに寿命に直接影響をするような性質の研究がまだ不十分であるので、異なる仕様にて使用した時の寿命はもちろん、多年使用したことによる、劣化の割合等が判定できない。

近頃の如く電力の需要が急に増加して、機械の大きさがそれに応じ切れぬような場合能率を犠牲にして一時過負荷しる程度や古い機械に許しうる温度上昇の限度等相談を受ける機会が多いので、次に少しばかり一般に知られていることや手許にある資料を述べてご参考に供したい。

2. 温度上昇と寿命

電気機械の絶縁物の寿命に關係する因子としては熱を始め湿度その他の雰囲気、機械的振動、電気的ストレス特にコロナおよび巻線とその周辺物との相対的運動による応力等が考えられる。一般にはこれらの中で熱の影響が最も著しく、しかも電気機械では温度上昇はどうしても避けられない故絶縁の劣化を温度と時間との函数と考えられている。さて寿命と温度との関係であるがこれは古くから認められてきたことで大体経験上の資料をもつてうんぬんしているたとえば‘ 10°C 則’というのがあるがこれは絶縁物の寿命は温度が 10°C 上昇するごとに半減するということである。しかし、これとても一応の目安を与えてくれるものであって理論的の根拠のあるものでない。絶縁組織の比較的簡単な場合には寿命と温度とのグラフからみて使用温度付近における寿命を推定することができる。しかし絶縁組織の複雑になった場合は簡単に論ずることはできない。この問題は多年の懸案であ

るので何とか自信をもって機械の寿命の推定ができるようにならうとしているものである。

3. 電気機械の絶縁劣化

発電所や送配電に使用せられる電気機械の絶縁性能を破壊せずに評価判定する問題は事故の発生を未然に防ぎまた完成品の据付の際の運転開始に当り保守上必要なことである。近頃機械の巻線の工作上の欠陥を発見したりまたは絶縁の劣化を検知することを目的としてこの種の絶縁試験法に関する研究が盛んである。しかし新品に対して行うような耐圧試験をたびたび行うとそれが使用電圧以上の電圧であればたとえ破壊電圧以下でもこれを印加することが度重なれば機械の絶縁を弱めることはやむを得ない。そこで絶縁破壊を起さずにその絶縁耐力その他の性能の良否を判断しうべき試験法が要求されている。この非破壊試験法に関する研究は各方面で数年来活発に研究され多くの方法が案出されているが、まだきめ手となるものはないし試験法およびその適用範囲、適確性等について多くの問題点を残している。次に一応これらの試案を略述することとするが、これまで一般に絶縁劣化判定法として考えられてきたのは絶縁耐力試験と絶縁抵抗試験である。前者は前述の如く材質を痛めることも考えられるし、もし交流電圧を使うとその電源装置が大きくなるので現地では簡単に行われぬ。しかし後者はメガーやによるものでこれは軽便であるが不十分である。ただ絶縁物が乾燥状態にあるか機器が吸湿状態にあるか否かを概略的に指示する程度である。もっとも電子管メガーや等を用いて正確かつ念入りに測定すればいろいろな情報が得られる(特に回転機の絶縁に対して)。このほかに絶縁材料の性質を知る方法として誘電正接すなわち損失角($\tan \delta$)の測定がある。これは主にケーブルや変圧器および油入遮断器の套管等に適用される。次に高圧直流電圧を加えて電流対時間曲線すなわち吸収電流より絶縁状態を判定する方法(直流吸収法)および印加電

* 営業部

圧を変えてそれによる絶縁抵抗の変化から絶縁の良否を判定する方法があり、これは米国で主に回転機およびケーブルに採用されている。その他コロナ検出法すなわち絶縁物の間に存在する空隙のイオン化によるコロナをブラウン管または計器により検出する方法で、これも主に回転機およびケーブルに利用されている。最近新しく直流分法が現われた。これは交流高圧を印加しその時に出る直流分の絶縁対値の大小や方向または動搖性の有無と対電圧諸特性より判定するもので今まで電車モートルやケーブルに利用され、前者の場合には役立っているという。さらに最近絶縁物に交流電圧を印加しその電圧対電流特性曲線ならびに電流波形より劣化程度を判定する高圧交流法がある。これは一部では現場試験にも適用されしかも有効であったといわれる。なおインパルス電圧を印加する方法もある。

以上の方は全体としてはまだ満足すべきものでない。特に発電機の巻線やケーブルでは判定は誠に困難である。米国における判定事情を調べると変圧器や套管では $\tan \delta$ 法が重視されているが回転機では直流抵抗、吸収電流法等が比較的多く利用されている。しかし前者ほど重視されていない。更にここでこれらの諸方法を記述する。

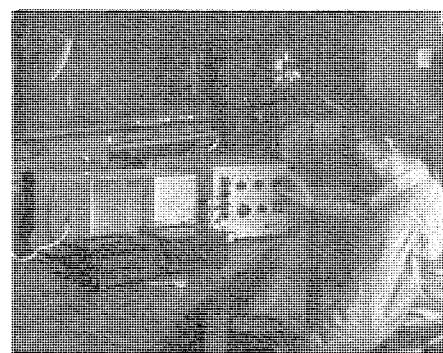
ア. メガー試験

メガーを使用し絶縁抵抗を測定するのは昔から広く採用されているがこれは簡単ではあるがなにぶん電圧が低いので不十分である。すなわち抵抗が高くても定格電圧より低い電圧にも耐えぬこともある。しかし便利が良いのでこれをもって測った1分値の基準抵抗を求めて作った公式が2, 3ある。ところでこの抵抗は機器の定格や材料の種類によっても變るので一率に論ぜられぬ。基準抵抗といつても試料の吸湿の程度すなわち運転加圧してよいかどうかの目安を示すに過ぎない。

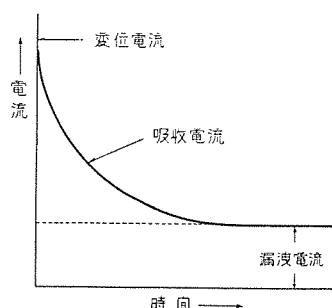
イ. 高圧直流試験法

絶縁物に直流の高電圧を注意して加えると絶縁の状態がわかるので近時絶縁物の劣化判定に使用されている。絶縁物に直流電圧を印加すると流れる電流は時間と共に減少する。しかして大体次の3つの部分より成る。

(1) 変位電流 これは静電容量を充電するものです



1 図 電子管メガーハンダ操作図
Fig. 1. Electronic meggar



2 図 吸収電流一時間
Fig. 2. Current absorption-time.

ぐ減衰する。それで普通の測定では表われぬ。

(2) 吸収電流 誘電体固有の性質によるもので減衰するのに10ないし20分もかかることがある。

(3) 漏洩電流 これがいわゆる絶縁抵抗に対応するものである。一般に電圧対電流の比を絶縁抵抗といっているから絶縁抵抗も時間の函数であり時間を併せていわぬと意味がない。

この高圧直流法により絶縁劣化の判定をするにも次の如きものがある。

成極指数(加圧時間の影響) 機器の巻線に直流電圧を印加すると電流は時間と共に減少するがその割合が巻線の吸湿の程度によって違う。絶縁の良いものは電流が徐々に減る、換言すると抵抗が緩かに上る。最終値に達するのに長時間を要しその値も高い。吸湿しているとその反対になる。それでこの時間的変化をみるために10分値と1分値とを取りその比を求めこれを成極指数という。この値は一般に1から7程度であり、回転機の絶縁に対してA級の絶縁物で良いものは1.5以上B級では2.5以上といわれている。米国のスナイダ氏はB級絶縁物の場合500Vでの実験で次の如く指定している。乾燥2.5以上、普通1.5から2.5、吸湿1.5以下。

弱点比(電圧の影響) 絶縁物の良否の判定を印加電圧による抵抗の変化によることが提案せられ、たとえば11kV級の巻線では2.5kVの10分値と15kVの10分値との比を弱点比と称し次の如き判定基準を与えている。

良 2以下、可 2~5、不良 5以上

次に電圧によって絶縁抵抗の値が変化するから絶縁抵抗の電圧特性を測定してこの特性曲線から破壊値を推定せんとする考え方もあるがこれはいまのところ有望と思われている。しかして実験の結果破壊電圧の88%まで安定に抵抗の測定ができるし、90%までは再現性があるといわれている。

ウ. 誘電正接 ($\tan \delta$)

一般に絶縁物に交番電圧を印加するといわゆる誘電体損失が生ずる。この損失は $\tan \delta$ に比例するところからこの $\tan \delta$ を測定することにより絶縁劣化の程度を検出できる。古くから絶縁抵抗の測定と共に劣化判定の指針とせられてきた。この方法は絶縁物の内部の空隙の有無、吸湿の程度を敏感に示す故機械全体の劣化を示す適當な

方法であるが局部的の劣化はわからぬのとこれと絶縁耐力とは正比例せぬなどの欠点がある。

つぎにこれに使用する計器はシェリンゲブリッジと $\tan \delta$ 計があるが後者は小形で軽便であるが正確を期するならば前者を推奨する。

(1) 発電機の巻線の $\tan \delta$ はもちろん絶縁材料により異なるが大体8%位で絶縁の良い場合は印加する電圧が定格電圧

付近までは $\tan \delta$ が一定で 5 ないし 10% であるが、それ以上の電圧ではコロナが出るので多くなる。吸湿した場合は $\tan \delta$ の値は多く、その上電圧を下げるに行くと上げた時よりも $\tan \delta$ 対電圧の曲線が上になる、すなわちループを画く。また材料の内に空隙が存在するときは高電圧になるとコロナが出て、急激に $\tan \delta$ の値が増大する。この変移点が定格電圧以下である場合は注意を要する。老化したものでは乾燥していると $\tan \delta$ は新品よりも減って 2~4% となる。 $\tan \delta$ の温度特性は温度が上ると $\tan \delta$ も増すが良品は 60°C 前後で急増する。不良品は

その点が 40~50°C 位に下ってくる。ただしこの時注意せねばならぬのは機械の運転中巻線の表面と心線とでは温度が 5~10°C の差があることである。また $\tan \delta$ の値も 1 度だけの測定値で判断せずに経年変化を見てすべきである。

(2) 次に変圧器の場合は $\tan \delta$ による判定はかなり有効で吸湿による劣化と $\tan \delta$ の値との間には密接な関係がある。この場合定格電圧に近い値の電圧にて測定することが望ましいが一般には 10kV 以上のものも 10kV で測定する。しかも温度は落付いた所で(30 分位放置して)目盛を見ること、判定基準はいまの所 W. Gross 氏の判定曲線によるのがよい。

(3) 端子套管の場合は主として吸湿による劣化であるが、これは構造が簡単であるので $\tan \delta$ を測定すればよいらしい。機器に取付けられた套管を測定するときは接続線を切り放ち套管のみとして行うこと、しかしこれができない時は普通の碍子碍管ならホットカラー法とて套管の途中に高圧電極を作り心線を接地して行う方法がある。さて $\tan \delta$ による絶縁良否の判定基準は 20°C の場合の値で次表に示すものを採用するのがよい。

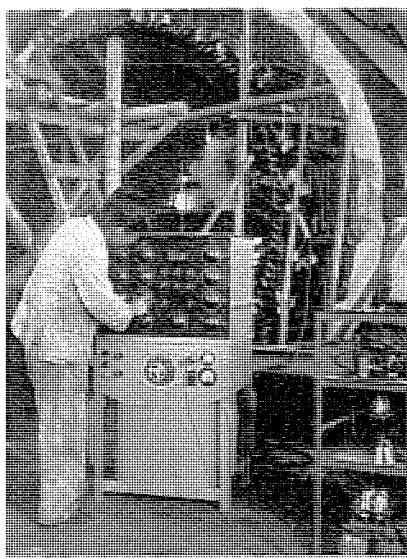
70 kV 以下の套管 $\tan \delta$ を % で表わす。

	コンデンサ型	油入型	コンパウンド型
良	0~3.5	0~3.5	0~4.0
可	3.5~5.0	3.5~5.0	4.0~6.0
不良	5.0 以上	5.0 以上	6.0 以上

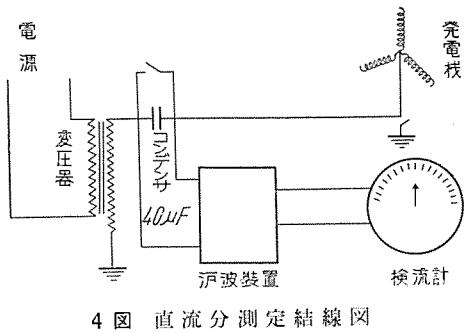
100 kV 以上の套管

	コンデンサ型	油入型
良	0~3.0	0~3.0
可	3.0~4.0	3.0~4.0
不良	4.0 以上	4.0 以上

(4) 電力ケーブルの絶縁劣化判定に対しても決定的のものがまだない。常温におけるケーブルの $\tan \delta$ は原来少くて 1% 以下である。また劣悪品とても 3% を超えるものは少い。この場合は $\tan \delta$ と電圧との特性より



3 図 シェリングブリッジ操作図
Fig. 3. Schering bridge.



4 図 直流分測定結線図
(コンデンサを接地側に入れることがある)
Fig. 4. Communication diagram of d-c component measurement.

も $\tan \delta$ と温度との特性の方がよいようである。判定基準としては 22kV 用のもので 1% 以下は良好また 12kV と 22kV とで試験してその差が 0.3% 位のものが良い。しかして 3% 以上のものは不良とされている。

4. 直流分試験法

これは東京大学の先生の提案になるもので絶縁物に交流電圧を印加すると、これに流れる漏洩電流あるいは充電電流にごく少しばかりの直流分が含まれる。この直流分発生の原因には接触面や電界による被膜の整流作用、非対称電極の放電等種々考えられるが明瞭なことはわからぬ。

この直流分の大きさ、極性、振動、電圧比（常規電圧と定格電圧における直流分の大きさの比）等が絶縁物の劣化と密接な関連があることがわかり電車用電動機にこれを適用して効果のあったことが報ぜられている。発電機巻線に適用したこの試験回路は2図の如くである。

絶縁物が良好な場合は直流分は少なく、電圧によって余り変らぬ。劣化すると直流分は電圧に比例し、吸湿している時は直流分の極性が途中で反転することもある。その上印加電圧の上昇と共に直流分の値が振動しながら増したり、上りと下りと重ならずループを画くこともある。その値は 1 機当り $10^{-9} \sim 10^{-6}$ A 程度である。

5. コロナ検出

コロナが出ると長い間に絶縁物は劣化する。内部コロナの検出にはブリッジ法や接地電流中の高周波分を検出する方法または半円では、いわゆる探針法としてコロナ発生の位置を検出する方法等が発表されているがいずれも有効である。コロナの発生は良品は定格電圧以上で発生するが劣化品はそれより下で発生する。発電機における内部コロナと類似して最近注目されているものに溝放電がある。発電機では巻線の表面と鉄心との間のコロナを防ぐためにコロナ防止塗料を巻線の表面に塗り表面を半導体性にするのが普通である。この半導体層と鉄心とがどこかで接触していればよいが、なにかの原因で離れるとその間に火花が出ると巻線を損する。

6. 高圧交流試験法

これは交流電圧を印加して0から定格電圧値まで上昇して、電流-電圧特性および電流波形-電圧特性をとりその両方の結果より絶縁の状態を判定するのであるが、それには相当の熟練を要す。電流-電圧特性は絶縁良好の場合はこの関係を示す曲線は直線であるがさもないときは曲って来る。電流波形-電圧特性は印加電圧を上げて行くと波形が歪んでくるのや動揺部分が現れるのは絶縁不良のしるしである。

7. 衝撃電圧試験法

衝撃電圧に対する規格は JEC-106 および 110 に定められているが発電機等に対しては次の如き案がある。ただし波形は $+(3 \times 40)\mu\text{s}$ を使用する。

公称電圧 (kV)	3	6	10	12	15
絶縁階級 (号)	3	6	10	12	15
試験電圧 (kV)	25	35	55	65	80

発電機の巻線中の巻回間の絶縁が破れると、巻線の対地電圧分布の変動、巻線中の波動インピーダンスの減少による接地電流の増加、漏洩インピーダンスの減少等があるのでこれをを利用して電圧法、電流法、誘導法等の検出法がある。しかし巻線方式に応じて適当な方法で検出すべきである。この電圧法と電流法とは感度が良いが誘導法は十分ではない故、なお検出感度を高めるために平衡法を採用している。またサーチ・コイルを入れて行う誘導法では良い結果が出ている。

8. 耐圧試験法

これは新製品について完成の時に専ら使用されているが米国では劣化の判定にも採用している所もあるらしい。しかしその時印加する電圧値と時間とが問題である。

米国における数例は次のようにある。ただし E は定格電圧

試験状態	修理前	修理後	保守
試験電圧	1.5E	4/3E+600	6/5E+400
試験時間	1分	1分	1分

この保守試験に合格すると次年度は使用可能なりといふ。

また直流でもって交流の耐圧試験にかかるときは交流電圧の実効値の $\sqrt{2}$ 倍となる筈だが米国ではこれを 1.5 倍～1.6 倍としている。これは直流の破壊電圧と交流 1 分間の破壊電圧(実効値)との比が平均 1.5～1.6 になるという実験的事実をもとにしている。

9. む す び

以上これまで発表されている方法を文献によって記述したが筆者もいちいち実際に採用したのでないから説明が不十分であることはご容赦を願う。なお詳細を知りたい方やご不審のある方は末尾にある参考文献をご参照願いたい。なお筆者等が実際に行った実例の内の数例を次

に載せて置く。これがご参考になれば幸甚である。

終りにこの論文をまとめるため研究所電気第1研究室の原技師より多大の助言を受けたことを謝す。

実例 1. 電鉄会社の変電所用機器の $\tan \delta$ 測定

主変圧器および回転変流器用変圧器

$\tan \delta$	3% 以下	3~5	5~10	100% 以上	合計
台数	11	3	3	2	19

計器用変圧器

$\tan \delta$	3% 以下	3~5	5~10	10~20	20% 以上	合計
台数	14	27	73	63	11	188

劣化したものにつき、さらに詳細な試験をした。

	試験電圧 kV	$\tan \delta \%$	温度	備考
元の値	10	31.1+	33°C	
油を取換	10	31.1+	"	巻線を掃拭
套管のみ	10	10.2	31.5°C	
巻線のみ	14	31.1+	33°C	油なし

套管

$\tan \delta \%$	0~3.5	3.5~5	5~10	10 以上	合計
本数	79	26	62	34	201

回転変流機

主巻線

温度 °C	42	44	38	38	34	37	38	38	32	31.5	35.5
$\tan \delta \%$	6.6	6.5	4.6	6.7	8.2	5.7	9.7	9.8	5.6	4.6	6.0

界磁

温度 °C	37	41	39	44	35.5	43	36	36	37	31.5	36.5
$\tan \delta \%$	5.3	2.6	4.9	3.7	3.1	3.9	7.3	5.8	5.8	3.9	11

実例 2. 電鉄会社の電車電動機

試料は 1,500 V に使われる 150 kW の電車電動機で A 印は昭和 5 年製を現地で修理したもの、B 印は昭和 5 年製の古いもの、C 印は昭和 25 年製のものである。いずれも温度 16～17°C で $\tan \delta$ を測定したもの。

	A			B		
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
全組立品	8.8	7.5	14.7	7.4	5.6	4.8
電機子	8.3	7.7	14.6	7.6	3.5	3.1
界磁線輪	7.4	3.4	13.3	5.8	13.1	9.8
補極線輪	11.0	6.1	10.8	5.3	11.3	14.3
口出線	20.0	19.6	9.5	6.4	15.2	5.5

実例 3. 国鉄の某変電所の機器

20 年も使用のもの、供試品は主変圧器 2,100 kVA 22kV/560V 自冷式 2 台、および OCB 回転変流機 1,000 kW, 750 V, 2 台。これの測定の結果、主変圧器は、16°C で 2.1% の $\tan \delta$ および 18°C で 4.2%，計器用変圧器は 14°C で 20.3%，17°C 20.5%，回転変流機は 30°C で 5.5%，21°C で 4.1% 程度であり套管だけは、

$\tan \delta$	1% 以下	1~2%	2~3%	3~4%	4% 以上
本数	0	5	7	11	5

この計器用変圧器の $\tan \delta$ の悪いのは油の劣化にあるものと思う。

実例 4. 電鉄会社の回転変流機の $\tan \delta$ %

供試品 1,500 kW, 600 V D-C. 3 台

番号	試験電圧	温度 °C	回転子	界磁	製作年度
1	1,000	52	8.3%	13.35%	昭和 13 年
2	〃	46	12.47	5.55	〃
3	〃	35	12.94	7.14	〃

供試品 2,000 kW, 600 V D-C. 2 台

番号	試験電圧	温度 °C	回転子	界磁	製作年度
1	1,000	43	5.1	4.1	昭和 12 年
2	〃	49~54	31.1+	7.0	〃

実例 5. 電力会社の火力発電機その他

ユ式ターボ発電機、大正 15 年製 $2 \times 4,375 \text{ kVA}$, 11 kV, 60 c/s, 3,600 回転を試験したが下記の如く右側の巻線は劣化しているがこれはボイラに近く常に熱せられるからである。

1. 吸収特性（判定基準、成極指数、乾燥 2.5 以上、吸湿 1.5 以下）測定条件 温度 27°C, 湿度 53%

測定結果。

印加電圧 (V)	-1,000	+1,000	+10,000
成極指数 R 10/R 1 分	2.5~3.45	2.3~3.2	1.75~2.08

2. 絶縁抵抗-電圧特性 (10 分値直流電圧)

右 25°C 左 26.5°C

印加電圧 (kV)	-2	-5	-8	-10	-12	-14
右コイル (M_ω)	1,780	1,450	1,270	1,230	1,100	1,085
左コイル (〃)	4,750	4,430	4,080	4,160	3,520	3,110

印加電圧 (kV)	+2	+5	+8	+10	+12	+14
右コイル (M_ω)	1,280	1,490	1,350	1,300	1,210	1,140
左コイル (〃)	4,880	4,630	4,370	4,160	3,770	3,670

この結果より曲線を延ばせば下式の数値より大となり合格である。

$$\text{判定式 } E_t = (2E + 1,000) \times 0.65 \times 1.5 = 22.5 \text{ kV}$$

3. $\tan \delta$ -電圧特性

印加電圧 (kV)	2	5	7	9	7	5	2
右の $\tan \delta$ (22°C) (%)	6.9	7	7.2	7.5	7.3	7	6.9
左の $\tan \delta$ (24°C) (%)	5.2	5.4	5.7	6.1	5.8	5.4	5.2

4. コロナパルス特性

印加電圧 9 kV

mv	0.833	1.33	2.27	7.46	10.2	30.1
パルス数右	2,259	2,100	2,800	1,800	280	
パルス数左	2,400	2,300	3,000	2,500	1,250	300

印加電圧 7 kV

mv	0.47	0.833	1.33	2.27	5.0	7.46
パルス数右	1,300	550	150	48	3	
パルス数左	1,600	1,100	650	200	50	

5. 直流分-電圧特性 測定温度 28°C 単位 $\times 10^{-10} \text{ A}$

印加電圧 (kV)	1	2	3	4
右コイル	0~-4.5	0~-9	0~-13.5	0~-15
左コイル	0~-9	0~-9	0~-9	0~-9

印加電圧 (kV)	5	6	7	8
右コイル	-15~-45	-9~-27	-20~-52	-30~-60
左コイル	0~-9	-12~-18	-18~-30	-45~-60

絶縁劣化検出法・浅井

6. 総合判定

相	赤相		青相		黄相	
	左	右	左	右	左	右
試験法						
直流吸収法	2	4	3	5	1	6
高圧直流法	6	1	5	3	4	2
$\tan \delta$ (イオン化電圧)	5	3	6	1	4	2
コロナパルス (7kV)	6	2	1	3	5	4
コロナパルス (9kV)	5	4	6	2	1	3
直流分励動電圧	6	4	5	2	1	3
直流分 (絶対値 8kV)	3	2	5	4	1	6
総合判定 (順位)	5	2.5	4	2.5	1	3

実例 6. 電力会社のターボ発電機の $\tan \delta$ 測定

定格 35,000 kW, 13.2 kV, 3,600 回転で昭和 26 年製のものにつき巻線だけで $\tan \delta$ を測定したが温度 22°C で 3.5 ないし 4.2% で組立て、40°C で 3.99%，20°C で 3.5% 程度であった。判定基準は常温で 8% 位である。つぎにこの機械を現地で乾燥運転の折に測定したところ $\tan \delta$ は温度 37°C の時 10 kV で測ってみたら 4% であった。ついでに成極比は始め 49°C で 1.8 であったが 20 日間運転した後には 43°C で 2.34 に上った。

実例 7. 電力会社のターボ発電機の $\tan \delta$ 測定

供試品。定格 4,375 kVA, 6,600 V, 600 回転の機械を 6,600 V で測定した。その結果絶縁劣化と判定された。

温度 (°C)	U 相	V 相	W 相
58	22.5	22	21.3
44	19.3	19	18.3
33	18.3	17.9	17.8

次に高圧直流試験をしたが要注意であった。

弱点比 32°C における R 4.6 kV/R 8.4 kV の 10 分値を示す。

U 相 2.29, V 相 2.59, W 相 2.36

成極指数 R 10 分/R 1 分

温度 (°C)	U 相	V 相	W 相
32	1.2	1.23	1.23
56	1.46	1.36	1.36
42	1.48	1.54	1.39

この測定の結果、総合判定は全部劣化したことになる。

実例 8. 電力会社の水車発電機の劣化調査

供試品 定格 3 相 6,875 kVA, 1,100 V, 212 回転,

2 台, 大正 15 年製作

絶縁抵抗 (巻線) 22°C で 400~600 MΩ

$\tan \delta$ (%) 22°C で 21.5~23%

コロナ開始電圧 20°C にて 7.0~7.7 kV

高圧直流試験 (成極比) 1.09~1.68

これらの試験の結果両機共劣化しているから十分乾燥して使用すれば良いがサージに対しては十分保護を考えねばならぬ。

実例 9. 電力会社の水車発電機の劣化調査

供試品。定格 14,000 kVA, 11 kV, 3 相, 180 回転, 大正 10 年製でその巻線を昭和 19 年と 30 年とに巻替えた。

$\tan \delta$ 測定、電圧 10 kV

	#1 赤相	青相	黒相	#2 赤相	青相	黒相
絶縁	32.5	32.5	23	38.5	38.5	38.5
$\tan \delta$	3.8	3.9	3.85	9.2	9.1	8.9

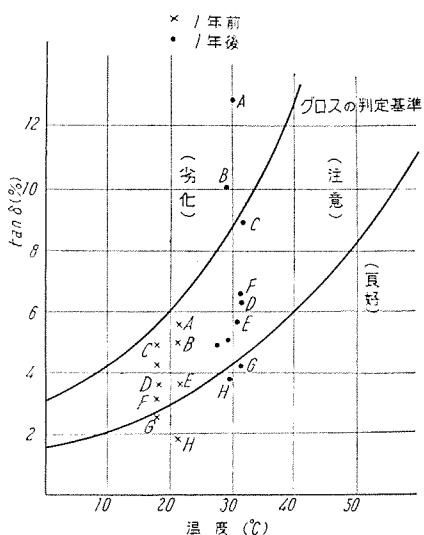
成極指数 1,000 V

	#1 赤相	青相	黒相	#2 赤相	青相	黒相
温度	31.5	31.5	31.5	39.5	39	38.5
指數	3.6	3.55	3.64	1.92	1.92	1.99

弱点比

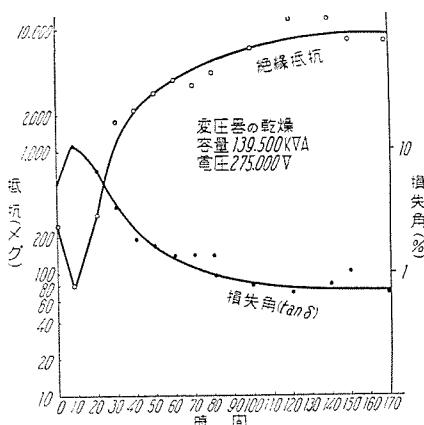
温度 (°C)	31.5 #1-赤 0.74	27 #1-青 0.83	38 #2-赤 0.75
---------	-------------------	-----------------	-----------------

この結果 #1 は良好、#2 は普通、ただしコロナ開始電圧が低いようである。



5 図 計器用変圧器の経年変化

Fig. 5. Changes of aging on instrument transformer.



6 図 変圧器の乾燥による抵抗と時間の関係

Fig. 6. Relations between resistance and time in drying transformers.

実例 10. 製紙工場の電動機の劣化判定

品名	誘導電動機	誘導電動機	誘導電動機	同期電動機	同期電動機	同期電動機	同期電動機
定格 (HP)	150	85	50	250	250	250	200
(V)	3,000	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300
温度 (°C)	7	7	7	7	21	11	8
測定電圧(V)	3,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
R 10/R1 分	1.01	1.44	2.68	1.2	3.2	2.95	1.15
R 5000/R500	0.55	0.58		0.7	0.91	0.58	
$\tan \delta$ (%)				10.7	1.3	1.4	

実例 11. 某工場の高圧モーターを測定して絶縁抵抗と $\tan \delta$ % とコロナ開始電圧との間を調べたところつきのようである。

温度 (°C)	絶縁抵抗 (MΩ)	$\tan \delta$ (%)	コロナ開始電圧 (V)
31	100	14.3	1,470
31	∞	5.3	2,160
22	2,000	5.3	1,980
26	130	14.5	1,320
25	2,000	4.3	2,550

実例 12. 各種套管の $\tan \delta$ 値 (%)

コンデンサ型套管 (20°C に換算)

tan δ	経過年数					
	5年	10年	15年	20年	30年	30年以上
1まで	3				11	
2 "	1			1	8	1
3.5 "			7	26	5	
5 "				13		
7 "				1	1	
10 "					3	
10以上						1

油入型套管

tan δ	5年	10年	15年	20年	30年	30年以上
1まで				7		
2.5 "			15	2		
3.5 "	2		1	1		
5 "	2			1		
7 "	2				1	
10 "					1	
10以上						1

実例 13. 電力用変圧器の $\tan \delta$ 値 (%)

tan δ	5年	10年	15年	20年	30年まで
1まで			10	3	5
2 "			6	5	18
3 "			5		7
4 "		2	2	2	5
5 "			2		3
7 "				2	4
10 "				3	6
15 "				1	2

実例 14. 経年変化の一例

供試品は計器用変圧器の $\tan \delta$ (%) の変化を示す。なお 4 図に変圧器の組立乾燥時の絶縁抵抗と $\tan \delta$ との関係を示す。これを見ると線巻の乾燥の進行状態が $\tan \delta$ にてよくわかる。

文 献

- (1) 福田正：絶縁劣化検出法について。OHM, 昭和31年9月
- (2) 横須賀：交流発電機の保守試験。三菱電機 26巻 8号
- (3) 上之園・福田：運転中の発電機に対する絶縁診断としての交流耐圧試験について。電研技報 1954年8月

コンタミネーションの問題

本社 荒井潔*

Problems of Contamination

Head Office Kiyoshi ARAI

Damages on electric power circuits due to salt deposit or contamination are the matter of threatening for the power stability as well as the abnormal voltages. The problem has been drawing the attention of power companies and insulator manufacturers but no satisfactory solution has so far been arrived at. The fact that the I.E.C. has issued inquiries to various countries in the world about the problem verifies the seriousness. The writer describes trends for the countermeasure by introducing general idea on this matter, and lays emphasis on the aggravating effect of the contamination on arresters.

1. まえがき

電力回路における塩害・汚損による被害は系統の異常電圧の問題とともに電力輸送の安定を脅す怖るべき問題である。

従来この問題はもっとも身近かな関係地位にある電力会社および碍子製造会社などにおいて取上げられ研究調査され來ったのであるが、まだ必ずしも適切なる解決を見ているとはい難く現に I.E.C. から世界各国に向ってなお諮問が發せられていると聞く。

筆者はもとより知識浅くなんら寄与するところは無いのであるが、この問題に関心を寄せる事によって大方の諸彦とともに何がしの協力ができる結果となれば幸いと考えている。このような意味をもって身辺の資料を跋渉、諸先輩のご意見を参考として以下に一文を綴った次第である。

ア. 台風と碍子類の汚損

元来わが国は地形上海岸線が長く、しかもいわゆる台風圈にあり濃霧の発生の機会も多い。

汚損が有害な影響を惹起することは種々の場合に生じているが、表面湿潤時に伝導度の高い塩分の異物層が形成されることによっての影響は大きい。

たとえば昭和 29 年の 12 号台風、引続き発生した 15 号台風のときには全国的に塩害事故が発生した。このときの台風は海面を這って潮風を碍子表面に吹着けた。碍子表面には一様に分布した塩分の層が形成された。

このときの台風は風台風といわれるもので降雨は少なかった。したがって降雨による汚損の洗浄作用はあまり見られなかつたのである。

霧もまたしばしば有害な結果を招来する。霧とは表面の付着水分が分布して飽和状態にある場合を考えるのであってこの場合水分の含有量が多い。水分の含有量の多い場合には閃絡電圧が低下することは実験的にも知られている。

イ. 汚損層と汚損度

碍子・套管類が汚損せられるのは塩霧害の外その設置場所によって種々であるが、一般的にいって塩・煤煙・炭粉・フライアッシュ・セメント粉・岩石粉・金属粉・アルカリ塩・植物花粉などに汚損せられるといわれる。

ある場所における碍子の絶縁低下の度合はその碍子の汚損層とその場所における外的条件すなわち霧・露等によって定まる。すなわち実験的観点からいえば汚損層の導電度によって汚損の程度は級別することができるわけである。

ドイツ H. von Cron 氏によれば⁽¹⁾、導電度はコンダクタンスで表わしマイクロ・ジーメンス (μs) を単位としてその数字をもって汚損度を示すものとしている。

この点について、わが電気学会閃絡電圧専門委員会によれば⁽²⁾、定量的に判定する方法として

- i) 汚損物付着量を天秤で秤量（標準汚損物に換算）
- ii) 汚損物の化学分析
- iii) 濡潤気中における絶縁抵抗の測定

その他の方法をあげている。

しかして実験的見地からは、霧中において碍子表面の付着水分が飽和した時期に表面漏洩抵抗を測り（抵抗は一定値になる）、汚損特性を知ることとなっている。

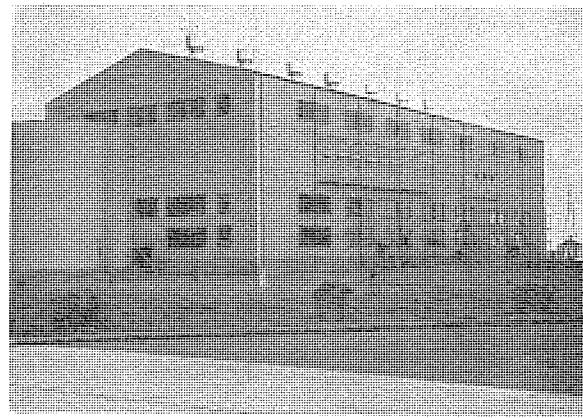
ウ. 汚損対策

汚損の被害に対して防護の方法は、大別してつきの 3 つの手段によることとなる。すなわち

- (1) 遮蔽による方法
- (2) 構造形態によるもの、たとえば耐塩霧碍子
- (3) 後処置によるもの、たとえば洗浄作業等

などである。

遮蔽による方法は primitive というべきであろうが効果は確実である。すなわち汚損害の生ずべき箇所に上屋をかけ周側を囲んで汚損の侵入を防護する。この例としては海岸地方の重要発電所等に多く見るのであるが 1 図は関西電力・姫路発電所の屋外設備の例である。



1 図 姫路発電所屋外設備全景（遮蔽式）
Fig. 1. General view of outdoor equipment,
Himeji Power Station.

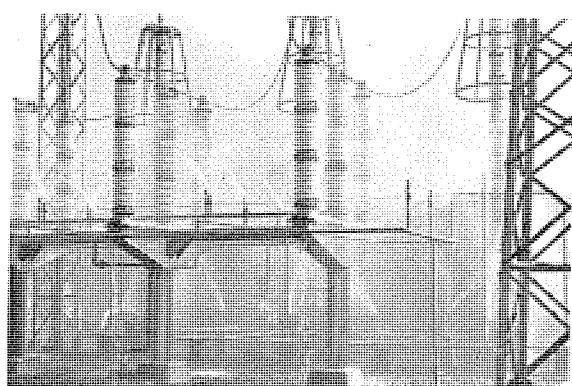
碍子類の構造形態を改良して耐汚損構造とすることは目下緊急の問題となっているもので、これこそ本格的対策であるわけである。

これについては汚損災害の状態を再現して実験を行うことに困難があり、たとえば汚損度も自然汚損と人工汚損は必ずしも同様ではなくまた閃絡電圧印加についても実際に起りうる汚損碍子閃絡機構との関連は難かしく、電圧突印法、電圧定印上昇法等々と議論せられており、この点 I. E. C. からも諮問されているところで、したがってしばしば碍子の各種の形態において実験が試みられ、あるいはまた現地において実地試験が行われたがまだ最終的に標準形態を決定するには至っていないと見るべきである。

ただ従来の経験・実験から、漏洩沿面の長いものが耐汚損性が良く、直徑の大きなものより長さの長いものが有利であるなど定性的には判明しており、長幹碍子・ラップ碍子等の形状には1つの根拠を与えていといえる。

碍子類が汚損せられた場合これを適当な時期に洗浄掃除するなどの手段により状態を恢復せしめることはできる。

この方法も古くから行われており効果がある。従来の方法は停電の上作業するものが多かったが現在では活線



2 図 屋外設備水洗装置の例
Fig. 2. Example of water washing arrangement
of outdoor equipment.

作業によることもできる。

発電所においてはゼット式水洗作業の採用が多く、送電線路では活線作業具を利用しての刷毛洗浄作業が多い。

ゼット注水により活線に試験された 1 つの例⁽³⁾ では 150 kV 充電碍子に対してその設備は 15 HP 高圧ギヤーポンプを使用し、ポンプ圧力 20 kg/cm²、吐水量 150 l/min 程度が適当であると報告されている。この場合注水の固有抵抗は 5,000 Ω·cm で 5 m の間隔において充電部に注水して安全度は 6 倍前後あるとされている。

ゼット式の場合装置を移動式とするものと洗浄装置を各充電部にそれぞれ固定式とし作業の便をはかったものがある。

固定式の例は 2 図に示すように東京電力・千葉火力発電所に設備されている。

なおこのような保守作業を行うには常に碍子類の状態を監視して現状を把握していくなければならない。このためには適当な箇所に監視設備（パイロット）を設けそれによって判断を下す。これには普通漏洩電流を測定して行う。すなわち記録電流計、リーケージカウンタなどが用いられている。

I. 避雷器の場合

汚損の問題は普通碍子・套管類表面の閃絡、漏洩などについて検討せられるのであるが、避雷器の場合は閃絡の問題の外にさらに深刻な事態が生ずる。

避雷器はその放電特性の点から現在では多間隙構造となり、磁器ケーシングの中に密封せられる。すなわち磁器ケーシング表面は当然汚損の影響をうけ、その結果は放電特性上に好ましからざる悪結果を生ずる。

避雷器の間隙部は等価的には、直列分布静電容量 C_S の回路と見られかつ外部対地および対線路の漂遊静電容量 C_E および C_L によって橋絡せられているものと見なされる。この場合磁器ケーシング表面が汚損されれば表面の絶縁が低下し電圧降下が起りこの値は無視できぬようになる。このような状態に至ると乾燥時に形成されていた電位分布は著しい変化をうけ商用周波の放電開始値を変化せしめる。

避雷器においては磁器ケーシング表面が汚損または濃霧などにより全面湿潤状態となった場合には、商用周波における放電開始電圧値に変化が起りいわゆる許容端子電圧の異常を来たすことがあるのである。

ただし以下に述べるように最新の避雷器は種々の工夫あるいは新形態によりこの問題に解決が与えられている。

2. 碾子類の汚損と閃絡電圧

まえがきにおいてふれたように碍子類の汚損状況を実地におけるものと同様の形で実験的に再現することは難しい。しかし閃絡特性を知り閃絡限度を予想し置くことは実務上当然必要である。以下にその試験について述べる。

ア. 閃絡特性試験

(1) 霧室の準備

碍子類の表面閃絡の起るのは湿潤状態においてであつてこの状況を再現する目的で霧室を設けその内部において課電、試験を行う。

霧室の構造はできるだけ大きいものが望ましいとされており、その特性は霧を発生する水槽の蒸発面積を霧室 1 立方メートルあたり数百平方センチメートルとし、水温を 70~80°C の状態とするを標準とするといわれている⁽³⁾。

一例⁽¹⁰⁾によれば霧室の大きさは 18 尺×12 尺、高さ 15 尺で、80×180 cm の水槽 2 個を設けて大体上記の条件に適合するを得ている。

(2) 電圧印加

閃絡試験において正しい結果をうるためには (1) 試験中電源電圧を一定に保つこと、(2) 資料は大容量高圧安定電源に結んで行うこと、(3) 電圧印加は相当長時間持続して行うこと等が必要とされている。また閃絡電圧専門委員会の汚損碍子の霧中試験要綱⁽²⁾によれば電源容量は高圧側において連続 1 A 以上、電圧降下は高圧側 1 A のとき全体で 35% 以下でその電圧波形はなるべく正弦波に近いものとなっている。

しかして同要綱の電圧印加の方法は、最初推定閃絡電圧の 50% を印加しその後 1~5 kV/sec の速度で電圧を上昇して閃絡値を求める方法となっている。

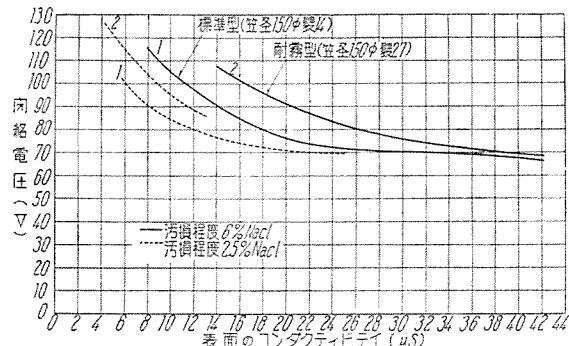
この印加方法には問題があり閃絡開始前の前駆放電によって汚損層の部分的乾燥が起る。この部分乾燥によって閃絡までに相当長い遅れが生ずる⁽¹⁾。これを避けるには、電圧突印法がよいといわれる。

電圧突印法は推定閃絡値に相当する電圧を突然印加して閃絡か否かを確める方法である。ただしこの方法にも欠点があり結果のバラツキが大きいし実際の場合との関連にも疑問があるのである。

適切なる電圧印加法については I. E. C. 諸問の 1 項目でもあるのである。

(3) 試験結果

以上のごとき準備において試験を行い、閃絡電圧値、閃絡限界値を求める。



3 図 汚損度と閃絡電圧の関係

Fig. 3. Relation between contamination and flash-over voltage.

この場合霧室における試料は表面絶縁抵抗が一定値に落付くまで十分湿潤されなければならない。

ある形状の碍子につき汚損度と閃絡電圧の関係を求むれば、3 図のごとくである。これは長さ 1,100 mm の長幹碍子で 1 つは標準型すなわち笠径 150 φ, 裏間隔 75 mm のもの、他の 1 つは笠径 150 φ, 裏 40 mm のものの 2 種類について行った実験⁽¹⁾である。

また汚損度一定のものにつき碍子連を変更して閃絡特性を求めることも基礎実験としてしばしば行われる。この場合予想される汚損を人工的ないし等価的に選ぶわけである。

イ. 碾子形状

汚損閃絡に關係あるものは汚損内容、汚損程度、湿润状態などでそのほか設置の状況にも關係するが⁽⁴⁾、碍子の形状によっての閃絡値の相違は重要な点である。この問題は耐霧、耐塩害碍子として古くから種々研究されたのであって実験も多数行われている。

ただ汚損による閃絡を実験的に模擬することが困難であって、閃絡には幾多の要因があつて適當なる試験法を制定するのが先決である。このような情況からしばしば実地試験に頼ったのであるが、これも外部状況の変化があつて組織的研究には適當でないのである。

現在碍子は懸垂型・支持型あるいは長幹・ラップ・ピン等と呼び区分されている。これらのうち過去において懸垂碍子について最も多く調査が行われた。すでに戦前台湾電力において熱心にこれが行われた。懸垂碍子の標準型・無縫型・流線型・逆型・撥水型・耐霧型・モール型・鐘型・鼓型・渦巻型・油入など笠径の大なるもの、縫形状に工夫の加えられたもの、漏洩沿面の伸長あるいは変化をねらったもの等につき多数の実験が報告⁽⁵⁾されている。

この結果によると、閃絡電圧に対する優秀さは単に漏洩電流の大小によっては決せられずしばしば逆の場合がある。また特殊構造を選べば機械的強度・冷熱試験等に対してよい結果が得難いなどの事実が派生しており、試験の容易でないことがわかる。

実際汚損碍子の閃絡電圧はまだ良くわかっていない。結局汚損層の電流変化に基づくある関係によって決るのであろうといわれている。

碍子の形状については H. v. Cron 氏に従えば⁽⁶⁾、形状率 “a” なるものを考えている。“a” は碍子の沿面距離、碍子の平均径等に関係を有するもので、これが汚損の場合表面伝導度にある関連をもちしたがって閃絡電圧にも関係があると考えられる。同氏の実験によれば閃絡距離、沿面距離が等しい 2 つの碍子についても閃絡電圧は同様でないことが報告されている。

すなわち、形状率の大なるものは形状率の小なるものより表面伝導度が低くしたがって閃絡電圧は高い。また汚損湿润条件が等しく碍子直径以外の形態構造の等しいものについては、直径（すなわち D）の小さい分が閃絡電圧が高いことが示されている。

ウ. 雨水による回復

汚損碍子が自然降雨の洗浄作用によって絶縁低下を回復し閃絡を免れることのあることはしばしば経験されている。このことは汚損碍子の水洗作業の有効無効にも通ずるものであって興味ある問題である。

H. von Cron 氏は雨洗効果を精確な実測によって確認するために実験をやっている。以下その概略を紹介すると、供試品はさきに3図に掲げたものすなわち2種の長幹碍子につき洗浄を行ったものおよび汚損のままのもの2組をつくり、これらの絶縁回復割合（表面コンダクタンス）および閃絡電圧との関係を求めている。

その結果によれば14枚の笠をもつ普通長幹碍子は雨洗によって原汚損層のコンダクタンスの9%に減じ、雨量を増して20mmにした場合には表面コンダクタンスは原量のわずか2%にも達しなくなる。

また閃絡電圧は20mm注水で普通長幹碍子につき清浄状態の最小注水閃絡電圧（100%）に対して汚損のままの場合26%が80%以上も回復することが示されている。

以上は自然降雨の洗浄効果を実験的に求めたものであるが、わが国においても汚損碍子の人工洗浄による効果につき類似の試験は各所で試みられている。たとえば中部電力K.K.においても名港火力、瑞穂、日進などの発電所で実験が行われている。これは漏洩電流の連続記録より判定したものであるが、人工汚損をNaCl 0.1 mg/cm² (NaCl換算) (配合：珪藻土 0.3 mg/cm²、食塩 0.1 mg/cm²、弁柄 0.07 mg/cm²) のスプレーによって行い後これを水洗したもので、この結果は1.5~2分以内(150kVの場合)で汚損は洗浄される。

ただし同試験で明らかにされている点で注意すべきことは手指で摩擦して容易にとれない程度に固着した汚損層では汚損が除かれぬことである。その報告によれば「最初の清浄な碍子に漸次付着蓄積される汚損物が固着に至らない期間を適宜選んで若干早め早めに洗浄作業を実施すべき」旨が示されている。

3. 避雷器磁器ケーシングの汚損

ア. 放電開始電圧への影響

電気回路において断路器・碍子型遮断器・計器用変成器・各種ブッシング等碍子構造を有する設備については、その汚損による影響はほぼ同様で、表面閃絡の問題に集注する。

避雷器は構造上前者に類似であるが影響するところは大いに相違し、放電特性とくに商用周波数開始電圧にはなはだしい影響が現われる。

1表 汚損による避雷器商用周波放電特性

試験条件	60 kV 級避雷器		100 kV 級避雷器	
	商用周波放電開始電圧 (kV)	低下率 (%)	商用周波放電開始電圧 (kV)	低下率 (%)
乾燥状態	166.0	100	308	100
注水状態	—	—	—	—
霧中	100.0	60.0	155	50.5

かつて当社伊丹製作所において霧中試験した結果⁽⁷⁾によれば1表のようになる。

本試験で求めてある低下率とは乾燥状態における放電開始電圧 V_d と汚損時のそれ V_f との比すなわち V_f/V_d (%) を示している。しかして V_d はもちろん多數回試験の平均値である。

このように商用周波放電開始に変化の起ることは明らかに濃霧汚損による影響であって、ケーシング表面の潤滑は表面の絶縁抵抗値を低下せしめ相当量の漏洩電流を流すに至る。すなわち磁器表面に沿って電圧降下を生じギャップ部の電位分布に異常を来すものと考えられるわけである。

1表中の低下率は1例を示すものであるが50%近くまで低下したことを示している。なお衝撃放電開始電圧に関しては汚損の著しい場合には若干低下する。低下率は90~80%と考えられる。

イ. 改良された例

(1) 表面処理

磁器表面を処理することにより汚損から保護することは対策として当然考えられることである。当社でもこの目的のため表面にパラフィン塗布、シリコンオイル焼付等を試みた。パラフィンおよびシリコンは転落角が小で撥水性が最もよいといわれている。

霧中試験の場合にはパラフィン塗布も優秀な成績を示すのであるが、耐久性の点で疑問がある。

シリコン処理皮膜はよく撥水性を示しつつ処理およびその保守によって耐久性もあるのである。

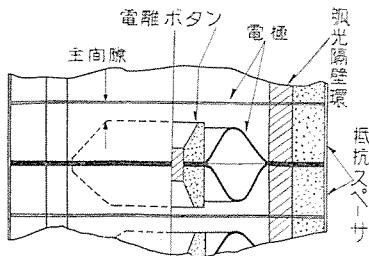
2表は磁器ケーシング表面の汚損した避雷器につきシリコンオイル焼付処理がどのような効果を示すかを見るために当社で行った試験結果である。すなわち衝撃放電開始電圧において特性に異状なく商用周波放電においてもある程度改善されることがわかるが、実際問題としてはかかる汚損は当然適切な時期に清浄化されるべきであって、その場合には正常状態の特性を示すことになるのである。処理碍子は洗浄し易い特長がある。

シリコン処理電力用碍子については電気協同研究会において研究せられた貴重な資料を発表⁽⁸⁾⁽⁹⁾せられている。同報告によれば処理碍子の屋外曝露試験、閃絡特性等の外にシリコン皮膜の特性、シリコン撥水処理法、シリコン処理碍子の取扱法等が記述されており実用上にも大いに便利である。

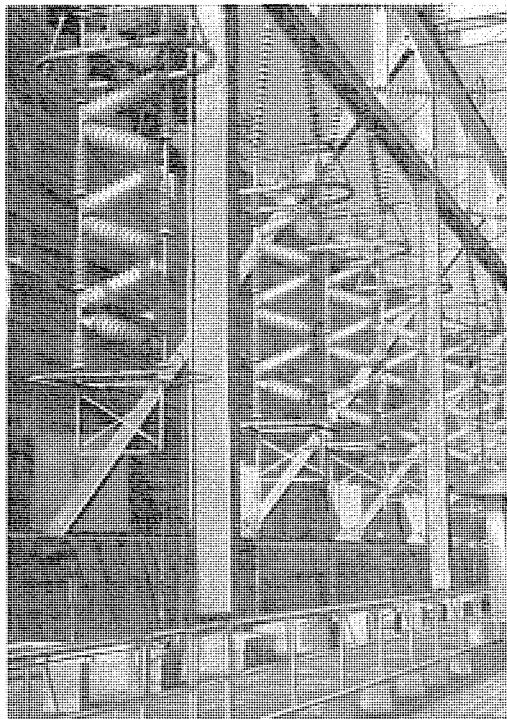
その内の一部を抄記すると

2表 シリコン処理を施した避雷器の放電特性

試験条件	60 kV 級避雷器				140 kV 級避雷器			
	衝撃放電開始電圧 (kV)	商用周波放電開始電圧 (kV)	低下率 (%)	衝撃放電開始電圧 (kV)	商用周波放電開始電圧 (kV)	低下率 (%)	衝撃放電開始電圧 (kV)	商用周波放電開始電圧 (kV)
乾燥状態	+236.5	-248.5	161.8	100	+594	-606	380	100
注水状態	—	—	157	97	+580	-560	383	—
霧中	+255	-263	159	98.5	+600	-588	365	96
汚損及霧中	+249.5	-257	108	67	+604	-580	266	70



4 図 オートバルブ避雷器ギャップの内部構造図
Fig. 4. Interior construction of autovalve lightning arrester.



5 図 SV-W 型 287.5 kV 超高圧オートバルブ避雷器
電源開発 佐久間発電所納

- Fig. 5. Super high voltage autovalve arrester, 287.5 kV.
- シリコン処理のものも 3 カ月位経過すると表面絶縁抵抗が無処理のものと大差なくなる。6~8 カ月するとシリコン効果はほとんど失ったと同じ結果になる。
 - 洗浄すればおおよそ最初の状態に回復する。
 - 普通の碍子ふきはもちろん、オートクリーナによる掃除に十分耐える。
 - 常温乾燥による簡易処理法の皮膜も焼付処理品と撥水性、絶縁抵抗低下特性等はおおよそ同様で、掃除に対しても十分耐える。
 - 40°C 程度の低温に耐える。
 - 加熱空気、紫外線、70°C 位の蒸気には強い。

など、多くの適切な調査がなされている。しかしこれを要するにシリコン処理すなわち表面処理を行うことは汚損に対して十分な有効な手段であるのである。

(2) 特殊外部条件を考慮した新型避雷器

避雷器に対する特殊外象の条件として汚損、霧中汚損、氷結等があるわけである。

当社新型の避雷器においてはこれら外部条件の影響を少なくするため、そのギャップ部はつぎのような構造となっている。すなわち 4 図に見るように直列多間隙の各電極間には抵抗スペーサが使用されている。このことは

3 表 特殊気象条件における放電開始電圧
電源開発 佐久間発電所納 287.5 kV オートバルブ避雷器

状態	放電開始電圧 (kV)				
	商用周波	緩波頭サージ (515 μS)	衝撃波		
乾燥	88.0	+108.5	-113	+199	-174
注水	—	+113	-117	—	—
汚損	97.8	—	—	+189	-186
霧中汚損	97.2	—	—	+202	-196
氷結	95.8	+109	-118	+197	-156

ギャップ部をある所定の抵抗をもって橋絡したこととなりしたがって気象その他の外部条件によりギャップの電位分布の状態が影響をうけることは少ないとなるのである。

以上の代表的な例を挙げると電源開発・佐久間発電所に納められた 287.5 kV 超高圧用 SV-W 型オートバルブ避雷器がある。

この避雷器には上記抵抗スペーサを使用しあつ磁器ケーシング表面にはシリコンオイル処理をした。

3 表は該器につき納入当時行った放電特性の記録である。本表で明かなように実用上の保護性能はいささかも変化しておらないのである。

4. むすび

磁器表面の汚損は碍子表面において閃絡を起し、避雷器において電位異常分布となり放電特性を狂わしめる。これらの現象はおおむね明かにせられ、対策もまたある程度効果を挙げていると見られるのである。がなお問題は無しとしない。すなわち理想的な耐汚損碍子がこれである。このような理想的な形態ができれば漏洩電流、漏洩抵抗などの異常による災害事故を惹起することがきわめて少なくなることであろう。この理想に対してなお多くの努力が必要で機器製造者もこれに協力することは徒事とせぬと思うものである。

終りに資料の提供を載き種々ご教示にあづかった、日本碍子村田八束氏、同新宮行太氏、中部電力金原広次氏、当社横須賀正寿氏、大木正路氏ならび山田栄一氏に厚く感謝の意を表する。

文 献

- H. v. Cron: CIGRÉ Reports 17th Convention 1956
- 電気学会・閃絡電圧専門委員会: 汚損がいしの霧中試験法要綱
- 中部電力工務部: 充電碍子水洗試験報告
- H. Glöyer: CIGRÉ Reports 17th Convention 1956 (日碍レポート、昭 31. 7 月号)
- 和歌誤: 台湾における塩害対策研究(大陶サーチュラー、1956-4)
- H. v. Cron: Der Fremdschichtüberschlag, Siemens Heft 10 及 Heft 11, 1955
- 大木正路: オートバルブ避雷器(OHM、昭 28. 7 月)
- 電気協同研究・シリコーン処理碍子専門委員会: シリコーン処理碍子現場曝露及強制劣化試験、電気協同研究、昭 30. 4 月
- 同 上: シリコーン処理電力碍子、電気協同研究、昭 31. 8 月
- 東京電力千葉火力超高压塩害対策研究打合会報告

遮断器の遮断容量

本社 木村久男*・山田栄一**

Interrupting Capacity of Circuit Breakers

Head Office Dr. Hisao KIMURA · Eiichi YAMADA

The causes of fire hazard or explosion in the operation of circuit breakers are generally attributed to insufficient capacity of units. But severity of overvoltage characteristics against the breakers seems to be a principal cause, though little attention has been paid to this point. With present high impedance grounding systems there is liability to generate varied high voltages. Especially in case of the step out of the system, twice the normal voltage, $2E$, is impressed on the apparatus and the interruption must be accomplished under this severe condition, which sometimes will lead to the failure of breakers. The direct grounding system, however, will avoid these troubles, permitting the safe employment of the breaker of present design.

1. まえがき

電力系統における発電力の増加および系統の連系にともない、発電所における遮断容量はますます増加の一途をたどり、そこに設置せられた遮断器の実能力を上回る傾向にあり、さらに系統の特性上、異常電圧の発生が多く、その異常電圧下における遮断器の動作を考える場合、その責務はますます苛酷なものとなり、そのため噴油・発火・爆発など恐るべき事故を発生した例も少くない。

遮断器の遮断責務としては、上に述べたように、電流に対する過電流特性と、電圧に対する過電圧特性の2つを考える必要があるのは当然であろう。しかしながら、現状としては、電流に対しては相当な考慮が払われているのに対して、電圧に対しては、その点いさか関心が薄いように思われる。すなわち JEC の規格においても、異常電圧についてはなんら考慮されることなく、ただ単に $1.2E$ (E は線路電圧) のもとにて遮断ができるれば良いことになっている。

以下遮断器の過電圧特性に対する考え方などを述べ、さらに進んで、この対策について、検討を試みる。

2. 遮断器の事故と異常電圧との関連

遮断器の事故調査の例として、国鉄 23kV 系統設置

1表 国鉄 23kV , OCB 事故統計

年 度	噴 油	引火爆発	油汚損	合 計
昭和 24 年	1			1
" 25	1	2		3
" 26	1		3	4
" 27	1	2	1	4
" 28	10	1	3	14
合 計	14	5	7	26

注) 1. この期間中に発生した 20kV ケーブル事故数は 98 件。
2. 国鉄 23kV 遮断器の設置数は 213 台。

の OCB の事故状況⁽¹⁾と、関西電力における昭和 26 年～29 年間の OCB の事故統計⁽²⁾を引用すれば 1 表および 2 表のとおりである。

事故の原因としては、それぞれの遮断器が遮断容量不足であったということは当然考えられるが、その外に、遮断器に対して、過電圧特性がほとんど考慮されていない

2表 油入遮断器電圧別の事故統計(関西電力)

電圧 (kV)	昭和26年度			昭和27年度			昭和28年度			昭和29年度			合 計	設 備 台 数	事 故 率		
	発 火	タ ン ク 破 損	噴 油 計														
140					1	1		2	2				3	48	0.6		
70	2	1	2	5	1	2	1	4		1	1	3	3	13	293	4.4	
30		1	1	2	1	2	5	1		1	2	1	1	2	10	1,605	3.8
20	4	6	4	14	1	6	8	15	2	2	7	11	3	1	7		51
10					2	3		5	1		1	2	1		1		440
3	1	3	4	8	5	1	7	1	4	2	7	1	6	3	10		2,981
合計	7	10	11	28	11	13	37	5	6	14	25	6	8	13	27		5,367

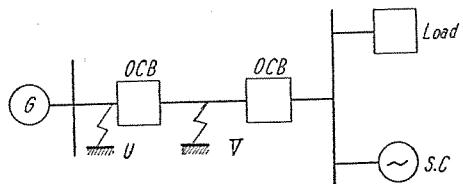
注：設備台数は昭和 29 年 9 月末現在の台数。

3表 調整機試験結果

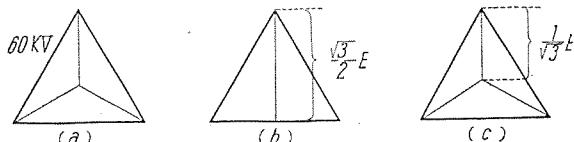
発電機	発電機容量 (kVA)	遮断電流 (単位値)	回転数 最大値(%)	電圧上昇 最大値(%)	AVR の 有無
江錦 1号機	11,500	1.02	114.5	125	有
神代 1号機	12,000	0.93	126	139	有
神代 2号機		0.70	115	152	無
新錦 1号機		1.05	128	137	有
新錦 2号機		0.67	130	130	無
水ヶ崎 1号機	14,000	0.98	120	145	有
水ヶ崎 2号機		0.30	106	126	無
築上		1.01	117.5	134	有
黒部 3号機	30,000	0.60	108	132	無
		0.83	126.5	115.3	有
		0.45	111.1	123.3	無
		0.85	128.4	116.8	有
		0.6	103.5	113.2	有
		1.00	128	130	有

いということがさらに大きな原因であるように思われる。大体現在設置されている遮断器は JEC に規格されたように、 $1.2E$ の遮断が可能なものであるが、実際の系統においては、発電機の負荷が急に遮断されたような場合、今までのガバナテストにおいて実測せられたように(3表参照) 3割や5割の電圧上昇はありうるし⁽³⁾、全部の負荷が遮断されないで、1部の負荷が遮断された場合においてさえも、相当の電圧上昇があることが報告されている。また1線地絡、2線地絡に基づく高調波共振異常電圧の発生(4表参照)、さらには系統の脱調時において動作する遮断器の両極間の電圧を考える場合に、遮断器に対する過電圧特性は非常に苛酷であり、従来の遮断器では遮断に失敗して、事故を発生することは覚悟せねばならぬであろう。

3. 非接地系統に於ける遮断器と直接々地系統における遮断器



1図
Fig. 1.



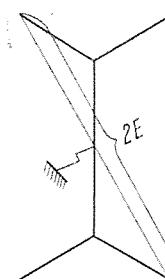
2図
Fig. 2.

4表 共振異常電圧実測値

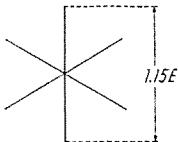
番号	実測地	周波数 (c/s)	回路電圧 (kV)	共振周波	異常電圧倍数
1	黒部	50	154	4	3.64
2	"	50	154	2	5.54
3	"	50	154	2	5.32
4	市荒川	60	154	1	4.5
5	"	60	154	1	35
6	"	60	154	1	14
7	北金沢	60	44	3	6.0
8	江錦	50	66	3	5.7
9	"	50	66	5	6.0
10	川辺川	60	66	3	4.3
11	"	60	66	3	4.5
12	"	60	66	3	5.9
13	"	60	66	3.5	3.9
14	泰阜	60	154	2	3.6
15	"	60	154	2	6.5
16	"	60	154	2	6.5
17	"	60	154	2	11.5
18	"	60	154	2	3.6
19	"	60	154	3	5.5

1図に示すような回路において、OCBの定格を定める場合、高インピーダンス接地系統においては、定常状態において遮断を実施する場合について考えれば、2図(b)に示すように、この遮断器の最初に開く極で遮断すべき電圧は、いろいろ議論はあるところであるが、大体 $\frac{3}{\sqrt{2}}E$ を遮断できれば良い。しかしてこれが直接接地の場合には $1/\sqrt{3}E$ 切れれば良いということになる。つぎに1線接地、2線接地による異常電圧が考えられる。非接地あるいは高インピーダンス接地系統における高調波共振異常電圧は、昭和24年黒部川系統における人工故障試験を始めとして、数多くの実測において認められているとおりである⁽⁴⁾ (4表参照)。この点直接接地系は、共振異常電圧の恐れは皆無であるから、非常に有利である。最後に系統脱調時における両系統に設置された遮断器が遮断すべき最大電圧値について考えてみる。

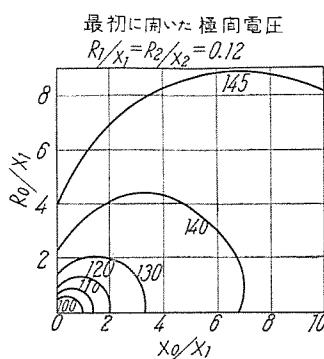
1図において OCB の両側において U 相と V 相とに接地が生じた場合について考えると、高インピーダンス接地の場合には、3図に示すように、ニュートラルが移動して、結局 1 極は $2E$ を切らねばならぬようになる。これに対して直接接地の場合においては、4図に示すように、中性点が移動することなく、固定されているために約 $1.15E$ 位の電圧を遮断すれば足り、高インピーダンス系の遮断に比して、はるかに低い電圧を切れれば良いことになる。さらにまた直接接地の系統においては、インターコンネクションして、事故が起った場合には必ず両端の遮断器で切るような方式であり、またリレーの動作が早く、ステップアウトの状態で遮断器が動作するこ



3図
Fig. 3.



4図
Fig. 4.



注：曲線上の数字は3極がすべて開いた場合の極間電圧に対する百分率を示す。

5図 遮断器極間電圧
Fig. 5. Voltage across the terminals of circuit breaker.

とはほとんど考える必要はない。なお系統脱調時の遮断器極間に現われる回復電圧の2つの成分すなわち機圧（普通の周波数の電圧）と過渡電圧についての詳細な計算結果が発表されている⁽⁸⁾。

機圧についての計算結果は5図のとおりであるが、それによると、

$X_0/X_1=2.0$ $R_0/X_1=1.0$ $R_1/X_1=0.2$ なる有効接地系統の場合

最初に開いた極間電圧=256%（相電圧に対して以下同じ）

第2番目 " =231%

第3番目 " =210%

となっており、これが非接地系統である場合には、最初に開いた極間電圧=315%

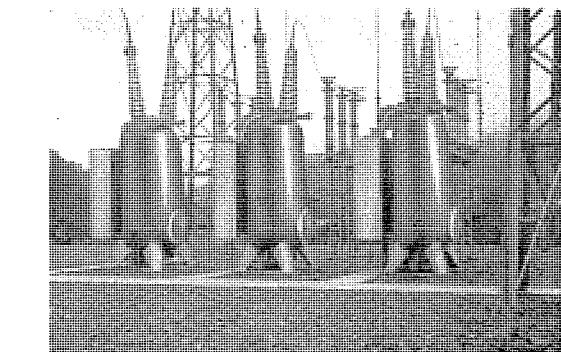
第2番目 " =363%

第3番目 " =210%

となることが示されている。しかしてこの値はBPAの230kV系統における野外試験で得られたデータとよく一致していることが示されている。

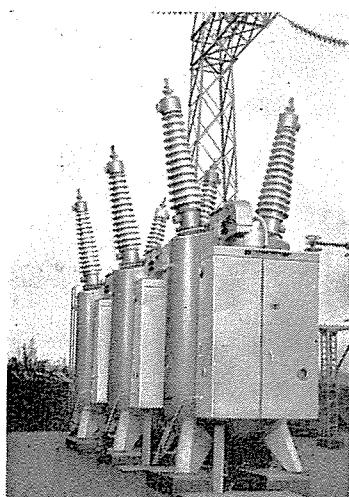
さらに送電線路における進行波と反射波の作用により遮断器開放時の過渡電圧の計算は非常に困難であるが、アナコムにより計算された結果、この過渡的の衝撃電圧は、電圧波高値の60%もの大きさに達することがあることが示されている。

すなわち遮断器は過電圧特性についてますます重視すべきことがわかる。



6図
170-GW-350型節油タンク型遮断器
195.5 kV 3500 MVA
800 A
(北海道糠平発電所設置のもの)

Fig. 6.
Oil power tank type circuit breaker.



以上述べたように高インピーダンス系統において、過電圧特性を考慮されていない現在の遮断器を使用した場合には、遮断すべき電圧はその過電圧特性をはるかに上回る状態にしばしば遭遇するから、遮断不能に陥るのは当然であろう。その対策としては、系統において直接接地を採用して、過電圧を抑えることと、過電圧特性のすぐれた遮断器を設置することの2つが考えられる。

遮断器は最近長足の進歩をとげ、次第に遮断特性の優秀なものが現われてきた。近時空気遮断器が大流行を来しているが、これは高圧圧縮空気を使用することによる操作上の種々の欠点は別としても、碍子を使用する関係上、それに対する塩害・塵害・雪害などを考慮する場合に、その遮断点間の電圧分布が悪くなり、遮断特性の低下は避けられぬであろう。これに反して、最近開発せられたウォッチケース型節油型遮断器は、数多くの利点を有しているが、ことに構造がタンク型であるために、遮断点の数をますことも容易であり、塩塵害の心配も少く、遮断点間の電圧分圧も均一に保つことができ、その過電圧特性は非常にすぐれている⁽⁵⁾（6図参照）。

4. 遮断器の改修

系統を改善して、異常電圧の発生を抑制して、遮断器の責務を軽減することについては前項に述べたとおりであるが、さらに遮断器自体としては、改修により、新式化して過電流特性ならびに過電圧特性の増強をはかることが考えられている。

旧式の遮断器においては、並列型のものが多く、消弧方式の幼稚なものあるいは操作機構の弱小なものが多く、

5表 並列型遮断試験結果

製作所別	製作年月	推定遮断容量(MVA) ④	実遮断容量(MVA) ⑤	④/⑤	備考
A	昭5	80	30	3	25 MVA で噴油、火災かすかに見える
B	昭24	75	40	2	35 MVA で噴油大
C	昭5	30	5	6	10 MVA で噴油大、タンク変形
D	不明	50	5	10	10 MVA で噴油、火災
E	昭26	150	80	2	100 MVA で噴油、火災見える

6表 現用遮断器遮断試験結果

供試遮断器	供試遮断器種別および型式	製造年月	定格遮断容量(MVA)	実遮断容量
A	丸型 OCB (旧型消弧室付)	不明	750	50~100
B	(並列型)	昭4	500	"
C	(")	昭6	"	"
D	(消弧室付)	昭12	1,000	350
E	小判型 OCB (並列型)	大13	—	50
F	(")	昭12	300	100

改修を要するものが多く、各電力会社においてそれぞれ真剣に検討されている。しかしこのような旧式遮断器が銘板に記入されている遮断容量をはたして有しているかどうか、あるいは実際何割位の遮断容量を有しているかを実測し、判定することが先決問題であり、今までに次のような現場試験が実施してきた。

- ア. 3 kV 油入遮断器試験 四国電力高知変電所
- イ. 20 kV 級 " 関西電力三国変電所
- ウ. 70 kV 級 " 関西電力小曾根変電所

これらの試験においては、旧式遮断器を改修して新式化したものについても、同様な試験を実施し、その比較も実施されている。次に各試験結果の概略を引用する。

ア. 3 kV 油入遮断器試験⁽⁶⁾

並切型遮断器の遮断試験結果は5表のとおりである。すなわち並切型においてはその遮断容量は一般に従来の推定値よりもかなり小さいことが判明した。推定遮断容量④ 対実遮断容量⑤との比は2~3という値が出ており、極端なものは、実遮断容量は推定値の1/10にすぎないものもあることがわかった。

しかし、これらを消弧室型に改造したものについて同様な試験が行われた結果は、一般に100 MVA程度の遮断容量をもたらすことがわかった。すなわち旧式の並切型においても部分的改造、すなわち遮断速度の増強、タンクおよび吊ボルト強度の増強、油槽内空気量あるいは油高に対する検討を行うことにより、ある程度の容量増加をはかることが可能なことが立証された。

イ. 20 kV 級 OCB遮断試験結果⁽²⁾

現用遮断器の遮断試験結果は、6表のとおりである。

旧式のOCBにおいてはその遮断容量は再起電圧の固有周波数にもよるが、実用上の遮断可能な限界は、周波数約500サイクルの場合においては200 MVA止まりであり、小型のものは50 MVA程度なることが判定した。

なおこれらの改造型と思われるものにつき同様な試験が実施された結果、それらの最高遮断能力は500~600

7表 70 kV 級現用遮断器の現遮断容量と改良後遮断容量

鉄 枠 子 型 型	メーカ 分類	消弧室付の 現遮断容量 (銘板定格に 付する%)		消弧室 無し現遮断 容量 (MVA)		改造後遮断 容量 (MVA) フレー フロア 一型	備 考
		昭和10年 以降	昭和9年 以前				
鉄 枠 型	A級	100%	80%	300	1,500	2,500	改良品は試験せず
	A'級	80%	60%	300	—	—	試験せず
	B級	60%	60%	300	1,500	2,000	現用品は試験せず
現 子 型	A級	100% 70%	—	—	—	600 MVA, 1,200 MVA で少量噴油したものを70%と判定した。	
	A'級	旧型 60% 新型(100%)	—	—	—	1,200 MVAで発火した ものを60%と判定した。 新型よりアクション時間のパラ メータ多く齊一性がないので()付とした。	
	B級	—	—	—	—		

遮断器の遮断容量・木村・山田

MVA程度であり、並切型の旧式のものにおいても、消弧室の取付け、タンクおよび吊ボルトの補強、遮断ばねの強化程度の改造により、割合経済的に遮断容量を補強できることが立証された。

ウ. 70 kV 級 OCB 遮断試験結果⁽⁷⁾

関西電力小曾根変電所において昭和30年秋および昭和31年初夏にわたり現用品および改造後の遮断器について遮断試験が実施された。その試験結果は7表のとおりである。

この試験により、現在の遮断器の遮断能力の限界が明らかにされ、遮断器の取捨選択あるいは配置替え、改修などに対し、正確な基準が得られた。

前記3kV, 20kV, 70kV級OCBの現地における遮断試験の結果、遮断容量の不足は明らかとなつたが、さらに、JEC規格におけるCO動作を考える場合には、その操作機構が問題となる場合が多い。故障が起った所で再投入するような場合には、投入時の大電流のために、相当大きな反発力が働き、操作機構が弱いために投入することができず、接触子がコンタクトする前に電弧が発生して、そのために遮断器が爆発するようになることがある。また、遮断に成功した場合においても、その遮断時間が長く、中には10c/s~十数c/sにも及び、したがって現在広く採用せられている時限差選択方式には適用できないものも多い。これらの遮断器に対しては当然その近代化をはかることが必要である。

発電所において、そこに設置せられている遮断器の遮断容量を超過した場合に、その対策としてはつぎの4つの方法が考えられる。

- (1) 母線に限流リクトルを設置する。
- (2) 母線を分割できるように、系統を変更する。
- (3) 十分な遮断容量を有する遮断器と交換する。
- (4) その遮断器を改修する。

しかしながら(1)の方法は、リクトルの価格、その設置場所およびその利用率の点からみて、あまり経済的ではなく今までほとんど利用された例は少い。

(2)の方法は発電所における遮断容量が非常に大きくなり、現有の遮断器ではそれだけの遮断容量のものが製作不能な場合にやむを得ず採用される方法である。

結局(3)および(4)の方法が、実用的な方法であると思われるが、そのいずれを選ぶかにあたっては当然経済的比較が問題になる。最近の米国の論文によれば⁽⁹⁾、次の点をのべて、(4)の方法(遮断器を改修すること)が有利なことを強調している。すなわち旧式の遮断器は、形が大きくており、また遮断器設計技術の急速なる進歩に伴い、改修により大幅に容量の増加をはかることができるばかりでなく、その費用は新品を買うよりは安価であり、かつそれに要する時間も短くてすむ。のみならず現場において改修作業を実施することは、その遮断器に対する現場従業員に対する良い教育となると述べている。

8表 遮断器の新設と改修の経済比較

	I	II	III	
現遮断容量 (MVA)	1,500	3,500	3,500	
改修後容量 (MVA)	5,000	7,500	10,000	
新しい遮断器を設置する場合	新遮断器価格 設置費 計 旧遮断器の価格 差引額	1.00 0.04 1.04 0.24 0.80	1.00 0.03 1.03 0.57 0.46	1.00 0.03 1.03 0.54 0.49
改修する場合	改修費 設置費 計	0.34 0.05 0.39	0.38 0.06 0.44	0.52 0.06 0.58

- 注: 1. 価格はすべて所用遮断器の価格を 1.00 とす。
 2. 改修箇所は次のとおり
 I: リフティングロッド、操作機構、新しい消弧室取付
 II: I の以外にタンク上部レバー箱取付
 III: II の以外にブッシング取替
 3. III の場合の改修費は取替えた旧ブッシング代価を差引いた値である。
 4. III の場合には、改修費が相当高いので新設の方が若干安くなっている。

最近の米国の例では、23 の発電所に設置されている 161 kV 級 OCB 357 台が改修または移設されたが、その内訳は、72% 113 台が改修、残り 27% が他の場所からの移設である。

改修により、遮断容量 1,500 MVA および 2,500 MVA のものがそれぞれ 3,500, 5,000, 7,500 MVA に近代化し格上げされた。なかには近年 TVA の系統においてウエスチングハウスによって、3,500 MVA のものが、10,000 MVA に改修された例がある。改修の場合における経済比較の一例は 8 表のとおりである。この表より明らかのように、I, II の場合は改修する方が有利なことがわかる。しかしていずれの場合においても新しい遮断器と取替える場合には、前に設置してあった古いものを他に流用するものとして、その価格を差引き計算しているのであるが、もし旧遮断器が流用できないようなものである場合には、改修と新遮断器設置の場合との価格の差はますます大きくなり、改修する方がそれだけ有利となってくる。また改修することによって、遮断容量を増加できるばかりでなく、操作機構の改善と相まって、

遮断時間および投入時間を短縮することができ、新しいリレー方式の系統に適する遮断器の責務を有する新遮断器として十分使用できるわけである。

5. む す び

遮断器の遮断容量を論じる場合に、今まで主として電流特性のみが考慮せられ、電圧特性の方がほとんど考慮されていなかった観があり、遮断器の事故において、過電圧特性の欠陥のためと思われる場合も多いようである。ことに高インピーダンス系統においては異常電圧の発生が多くその危険性はますます多い。すなわち現存遮断器は、高インピーダンス系統においては、その危険にさらされているわけである。この対策として、まず系統を改善して、直接接地方式を採用することが先決問題であって、かくすることによって、現存する遮断器も、そのまま使用可能である。このことは、小又川系等において、直接接地昇圧した場合に、旧遮断器をそのまま使用したにもかかわらず、遮断器の事故はなく、十分その責務を果たしている実績よりも明らかである。

また遮断器としては、できるかぎり遮断特性のすぐれた、すなわち過電圧特性のすぐれたものを設置すべきであるが、最近開発せられたウォッチケース型節油型遮断器はその特性がことにすぐれている。

参 考 文 献

- (1) 電学誌第 75 卷 804 号 福田: 国有鉄道に於ける旧式 23 kV 遮断器について
- (2) 電学誌第 75 卷 804 号 一本松: 20 kV 遮断器の実系統における遮断試験
- (3) 電気協同研究第 10 卷第 2 号 安藤: 発電機の負荷遮断器の持続過電圧
- (4) オーム文庫 木村: 直接々地と誘導電圧
- (5) 三菱電機 Vol. 31, No. 2 新井, 五十嵐, 永田: 節油タンク型超高压遮断器
- (6) 電学誌第 75 卷 804 号 徳岡, 国近: 3 kV 油入遮断器遮断試験
- (7) 小曾根変電所における 70 kV 級遮断器の遮断試験: 70 kV 級遮断器試験委員
- (8) AIEE Technical Paper 52-16 W. M. Leeds: Out-of-Phase Switching Voltages and Their Effect.
- (9) WH Eng. Nov. 1956 R. O. Bonine: Rebuilding Oil Circuit Breakers.

工場動力配電方式

本社 中野光雄*

Distribution System of Factory Power

Head Office Mitsuo NAKANO

Spectacular is the unprecedented expansion of production equipment in all the fields of industry, which the extention of electric power systems can hardly keep pace with. Not only steel mills but chemical, spinning and other general industries are compelled to have power generating equipment of their own to cope with the situation, thus distribution systems becoming extremely complicated. In such a place as overhead lines and underground cables are employed in haphazard manners, abnormal voltages are liable to occur. Parallel operation with power sources of public utilities often endangers the stability of private station unless adequate measures are immediately taken.

1. まえがき

あらゆる生産設備の拡充は、時勢の進運とともに未曾有のめざましいものがある。電力系統の拡充も著しいが、生産設備の膨張に追いつかず、製鉄工場をはじめ、化学、紡績その他一般工場においては、自家発電設備を持たざるを得なくなり、工場動力の配電方式はきわめて複雑になってきた。2,3 年来 50 数箇所の工場動力配電方式を診断した経験によれば、ほとんど架空線とケーブル配電が入り乱れ、異常電発発生の素因を作っている。また異系統との並行運転により電力の需給を行う自家発電負荷系統においては、異系統との並列が遮断された場合自家発電による電力のみでは負荷の要求電力を満たしえずして系統の運転維持ができないのみならず発電機の安定度が失われ自家発電系統の壊滅寸前に曝されている工場もある。製鉄工場等においては、圧延設備や電気炉等の増大により、異系統受電母線においていわゆる Voltage Flicker や cycle の低下を招來し、電力会社との間に厄介な問題を起している。

これら焦眉の問題を捉え 2, 3 の実例について述べてみたいと思う。

2. 多重事故異常電圧とその対策

ア. 事故の状況

1 図に示す如き系統において、自家発系ならびに買電系がそれぞれ独立に運転していた際、運転員が誤って断路器の 1 相を投入し、買電系および自家発系を 1 相接続せしめた。この時買電系母線につながれたバルブ型避雷器において誤って断路器を閉じた以外の他の 2 相が焼損爆発し、ほとんど時を同じくして自家発系につながって運転中の誘導電動機 4 台が焼損した。焼損はすべて巻線の地絡より相間短絡に移行せるものごとく、いずれも電動機の過電流繼電器によって遮断せられている。

系統は買電側、自家発側共に非接地であり、いずれも

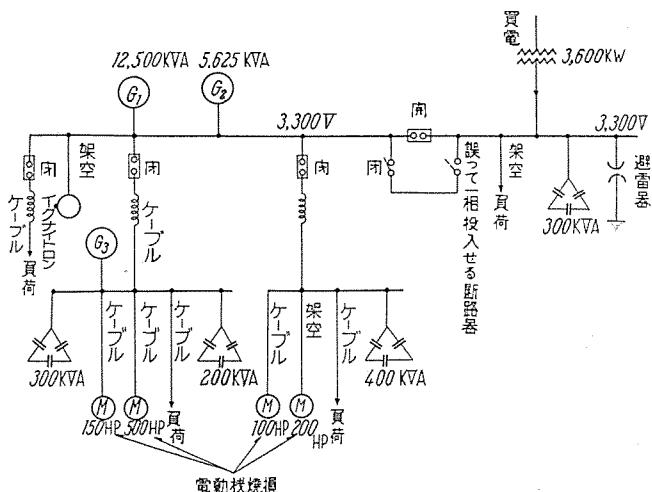
相当大きな静電蓄電器を有している。また自家発側はきわめて長い多くのケーブル系統を有し、2, 3 個の接地 PT をもっている。

イ. 事故に対する見解

事故当時の運転状態においては、自家発系につながっている系統は、かなり多くのケーブルを有し、その零相インピーダンスは相当に低い状態にあり、これに反して受電系につながっている系統にはケーブルが少くその零相インピーダンスはかなり高い筈である。したがって全く同期していないこの 2 系統を誤って 1 相接続したとすれば 2 図に示すように受電系の中性点は浮き上り、最悪の場合には受電系の非接続相の電圧は対地常規電圧波高値 (E) の 2.73 倍に近く上昇する可能性がある。

この値は公称電圧の 1.74 倍で通常の健全な避雷器では放電開始に至ることはないが、古い避雷器では放電開始電圧の低下することも考えられるので、この程度の電圧でも放電する可能性がありうる。

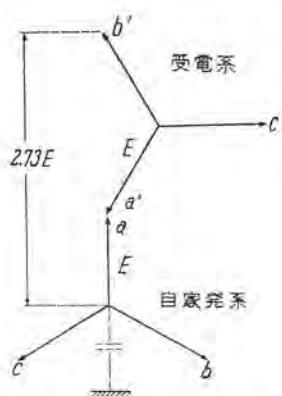
以上の 1.74 倍というのは、両系統がいかなる位相関



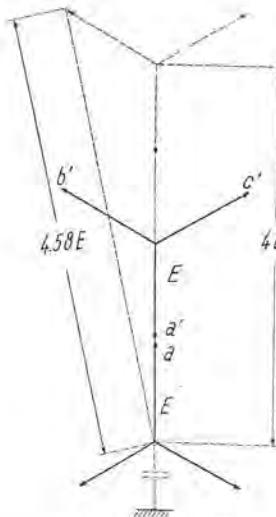
1 図 配電系統図

Fig. 1. Distribution system diagram.

* 電力技術部長



2 図 ベクトル図
Fig. 2. Vector diagram.



3 図 ベクトル図
Fig. 3. Vector diagram.

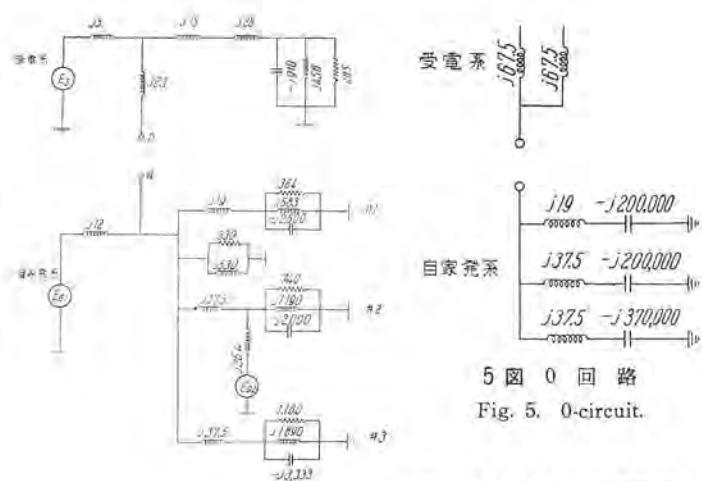
係の時に 1 相接続されても必ず経験する定常値であるが過渡時には必ず過渡的な電位推移に伴う振動があつて、1 相接続時の両系統の位相関係が悪条件にある場合にはこの振動の Over swing によって、上値よりもはるかに大きな過渡的な対地電圧を経験することになる。

たとえば、3 図のような悪条件での投入瞬時には、受電系 b 相はほとんど $4.58E$ に近くはね上ることになる。 $4.58E$ は公称電圧の 2.92 倍であつて、かかる場合にはいかに健全な避雷器であつても十分放電開始する可能性のある電圧である。いずれにせよ、かかる 1 相の誤投入によって避雷器が放電開始することは十分考えられるが、いったん放電開始した避雷器は、公称電圧の 1.74 倍の定常電圧に対しては統流遮断は不可能であつて、避雷器は放電を継続し、遂に破壊するに至るは当然である。ここに避雷器が破壊すれば、受電系は避雷器破壊相において接地することになる。

ウ、避雷器破壊の結果生ずる 2 次的故障

上記のようにして受電系避雷器の破壊を来たした場合に、自家発系にいかなる異常電圧が発生するかを交流計算盤によって計算してみた。計算の詳細は後節に示す如くであるが、計算はかなり複雑な系統を便宜上グループごとにまとめ、これに対して自家発系に現われる故障時の定態(60c/s)異常電圧ならびに避雷器破壊瞬時の過渡異常電圧を計算した。定態異常電圧は α - β -0 の成分回路を用いて計算し、過渡異常電圧は 3 相回路のままで同期スイッチを用いて計測した。計算は避雷器が 1 相故障の場合(1 線地絡)および 2 相故障の場合(2 線地絡)について行った。

計算には異常電圧の観点から最も悪条件となるような両系統の位相関係を選んでおり、また過渡異常電圧の計算では断路器の投入と同時に避雷器における破壊接地が起っているとしている。したがつて計算の結果得られた値は、大体において異常電圧の上限であるとみてよいのである。



5 図 0 回路
Fig. 5. 0-circuit.

4 図 α 回路
Fig. 4. α -circuit.

エ、多重事故時異常電圧の計算

定常状態の計算は α -

β -0 回路で行うのが便利である。3.3kV, 10MVA Base にて示した α , β , 0 回路は下記の如くである。

(a) 等価回路 (α 回路)

インピーダンスは 10,000kVA Base にて示してある。 α 回路の作成に当つては受電系の負荷は一括し、自家発系は 4 つの負荷グループに分け負荷力率を 85% 遅れとした。

(b) β 回路

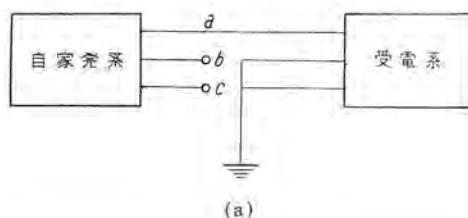
α 回路において起電力 E_s , $E_{\alpha 1}$, $E_{\alpha 2}$ をそれぞれ $-jE_s$, $-jE_{\alpha 1}$, $-jE_{\alpha 2}$ とすればよい。

(c) 0 回路

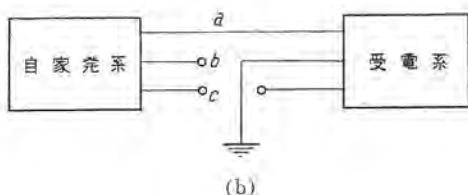
ケーブル回路の零相キャパシタンスは正相キャパシタンスの 2 倍とした。

オ、 α - β -0 回路による定常状態の解析

故障計算は多くの場合対称座標法によって行われるが故障の種類によっては理想移相器 α または α^2 ($\alpha = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$) を必要とするようなることがある。このような時は実数の変換式を用いた α - β -0 回路を用いるのが有利である。本計算においては 6 図(a), (b) の如き自家発系と受電系が a 相で混触し、受電の b , c 相で 2 線地絡の



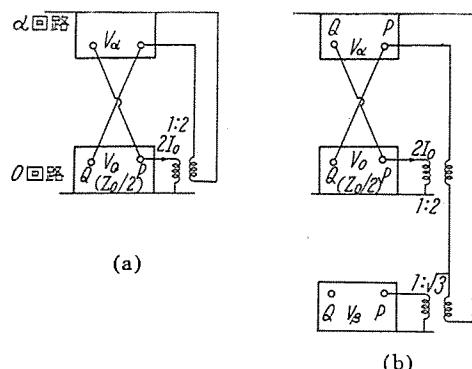
(a)



(b)

6 図 多重事故回路の一例
Fig. 6. Example of multiple fault circuit.

起った場合、または b 相で 1 線地絡が起った場合には $\alpha-\beta-0$ 回路を用いれば、7 図 (a) および (b) にそれぞれ示すようにして簡単に解析できる。



7 図 $\alpha-\beta-0$ 回路による解法
Fig. 7. Solution by $\alpha-\beta-0$ circuit.

しかして各相電圧は次式より求められる。

$$V_a = V_\alpha + V_0 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$V_b = -\frac{V_\alpha}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} V_\beta + V_0 \quad \dots \dots \dots (2)$$

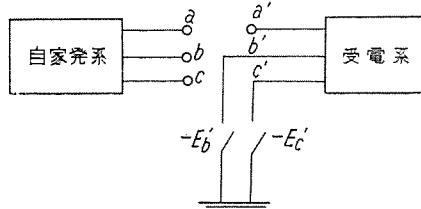
$$V_c = -\frac{V_\alpha}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} V_\beta + V_0 \quad \dots \dots \dots (3)$$

以上のようにして各相電圧は次式より求められる。以上の方法にて解析した結果は、6 図(a)の回路では、受電系の電圧が自家発系よりも 150° 進みまたは遅れた場合に自家発系の b または c 相に $3.33E$ の電圧が現われる。電圧は系統内の各点においてほとんど同じ大きさである。6 図(b)の回路においては受電系の電圧が自家発系と 180° または 120° 遅れの相差あるときに自家発系の b または c 相に $3.46E$ の電圧が現われる。

力. 過渡現象の解析

過渡現象の解析に当っては、3 相の系統を組上げ重畠の理を用いて解いた。すなわち 8 図において故障前の受電系 a, b, c 相対地電圧を E_a' , E_b' , E_c' とし、自家発系の a, b, c 相対地電圧を E_a , E_b , E_c とする時は b, c 相接地、a 相投入時の過渡現象は 8 図に示すように a, a' 間に $E_a' - E_a$, b'c' 対地間に $-E_b'$, $-E_c'$ を印加した時の過渡電圧に故障前の電圧を加えたものが実際の電圧になる。

9 図は Base を $6,000\text{kVA}$ にした場合の模擬回路で、負荷をすべて誘導機とした場合を示すもので、リアクトルのインピーダンスは 500c/s における値を示してある。したがって 60c/s の実測時には、その値は $60/500$ 倍になっている。この 9 図は 2 線地絡の等価回路に外ならぬ



8 図 多重事故回路
Fig. 8. Multiple fault circuit.

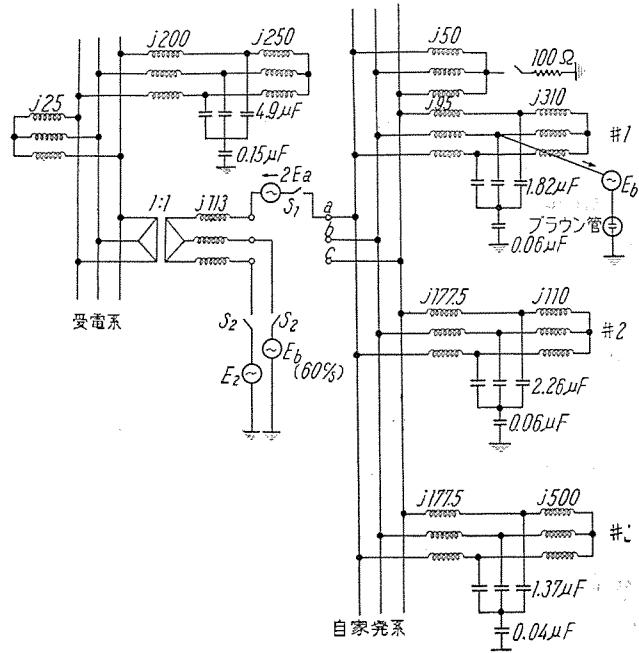
いが、1 線地絡の等価回路も全く同じ要領で得られる。

9 図において S_1, S_2, S_3 は電子管式同期スイッチ、 S_4 は同期的に故障発生せしめる場合には回路を初期状態に戻すための De-energizing circuit である。

上記の方法による計算結果は

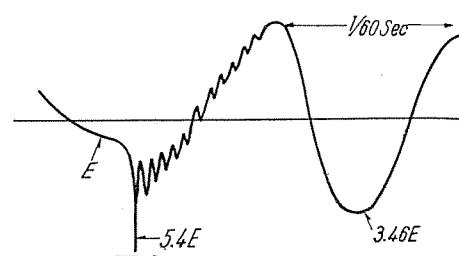
(a) 異常電圧の大きさは、1 線地絡時に $5.4E$ であり、2 線地絡時に $4.3E$ となった。その周波数は前者で $1,300\text{c/s}$ 、後者で $1,500\text{c/s}$ 位であった。

(b) 異常電圧の大きさは負荷の種類によらない。これは進相用コンデンサで a, b, c 相が過渡周波数に対し



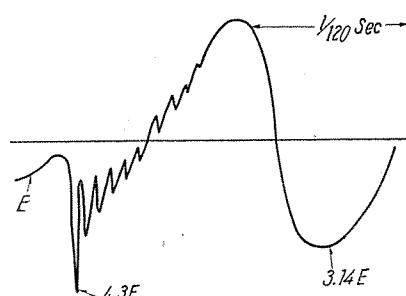
9 図 等価回路

Fig. 9. Equivalent circuit.



10 図 (a) 1 線地絡時の異常電圧オシログラム

Fig. 10 a. Oscillograms of abnormal voltage at single-line-to-ground.



10 図 (b) 2 線地絡時の異常電圧オシログラム

Fig. 10 b. Oscillograms of abnormal voltage oscillogram at two-line-to-ground.

て短絡された形になるからである。この電圧は要するに受電系の故障の点から自家発系をみた零相回路の振動分であり、電圧は各点においてほとんど等しいのである。

以上述べたように計算の結果では、相ついで起った多重事故について十分に裏付けできるようと思われる。その原因としては

- (i) 系統中性点が非接地であること
- (ii) 避雷器の性能が劣化していたこと
- (iii) 電動機の絶縁が劣化していたこと
- (iv) 断路器の配置が誤操作しやすい状態にあったこと。

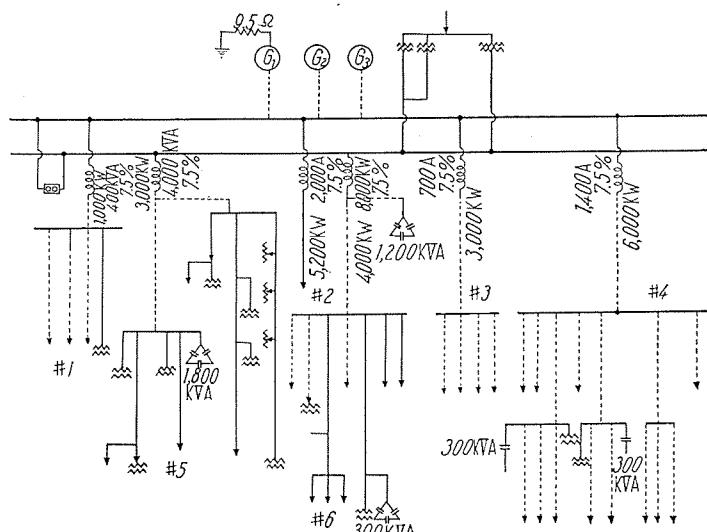
などが挙げられるのであるが、その中でもとくに系統の中性点が非接地であることに起因していることは以上の計算過程からも明かである。したがって中性点接地をとり、接地继電器による故障の高速度除去を実現すれば異常電圧発生の可能性を著しく抑制できるのみならず、たとえ故障が発生してもこれが累積多重事故に発展することは防止でき系統として著しく改善されることになる。避雷器その他とくに電動機等の絶縁保守について十分な考慮が払われねばならぬことはもちろんである。

3. 発電機中性点接方式による保護対策

非接地系の異常電圧が前節説明より明かなる如く、常規電圧の5倍以上にもはね上ることは、仮りに新規の電動機といえども焼損の危険に曝さることになるため、発電機の中性点を抵抗接地し、1線または2線短絡事故に対しては、接地電流により直ちに CO-G リレーを動作せしめ急速に OCB で負荷回路を遮断せしむる方法を採用した。その系統図は 11 図に示すとおりで、中性点抵抗 9.5Ω の場合の定常異常電圧を前節と同様交流計算盤により計算して比較してみた。

ア. 定常異常電圧の計算

系統常数



11 図 系 統 図

Fig. 11. Distribution system diagram.

発電機	正相	12,500 kVA	11.06 %
		5,625 kVA	15 %
		3,750 kVA	15 %
零相		12,500 kVA	8 %

(零相リアクタンスは電機子巻線のピッチにより大幅に変る。したがって平均的な値はないが一応 8% と仮定した。この値は下記の計算にはほとんど影響を及ぼさない。)

変圧器		1,500 kVA	8.3 %
		2,000 kVA	8.55 %
		4,000 kVA	8.65 %

送配電線 架空送電線 3.3 kV 10 MVA Base 45%
ケーブル 15%

静電容量 架空線 0.01 μ F/km

ケーブル

		正相値	零相値
600 mm ²	単心	2 μ F	2 μ F
250	3 心	1.4	0.7
150	"	1.2	0.6
100	"	1.0	0.5
50	"	0.7	0.35
22	"	0.5	0.25
14	"	0.4	0.2

負荷 力率遅れ 85% とする。

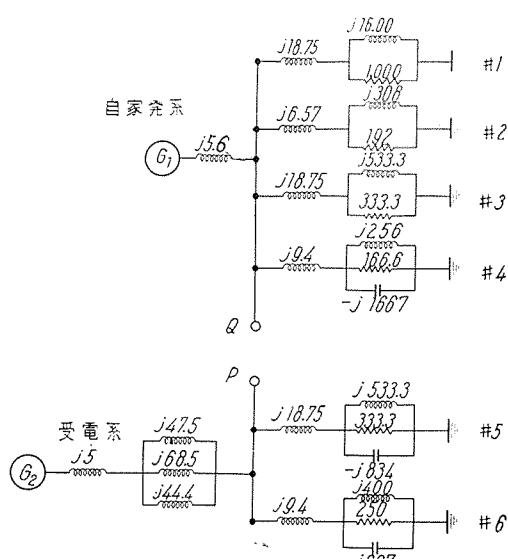
定常状態の計算は前節記載と同様 $\alpha-\beta-0$ 回路を使用するのが便利である。3.3 kV, 10 MVA Base にて示した $\alpha, \beta, 0$ 回路は下記のとおりである。

(a) α 回路

ただし受電系の Back power のインピーダンスは 5% と仮定し線路のキャパシタンスは負荷インピーダンスに比してはるかに大であるから省略した。

(b) β 回路

α 回路において自家発系ならびに受電系の起電力 G_1 , G_2



12 図 α -回路

Fig. 12. α -circuit.

G_2 の位相をそれぞれ

90° おくらせればよい。

(c) 0 回路

中性点接地抵抗は

9.5Ω である。

$\alpha-\beta-0$ 回路による

解析方法は前節と全く

同様であるので省略

し、交流計算盤による

結果のみを記すと下

記のとおりである。

1. 計算結果

受電系において b, c 相 2 線短絡の場合 (6 図(a) 参照)
この場合は自家発系に現われる最高の異常電圧の定常値
は常規電圧の 3.25 倍であった。

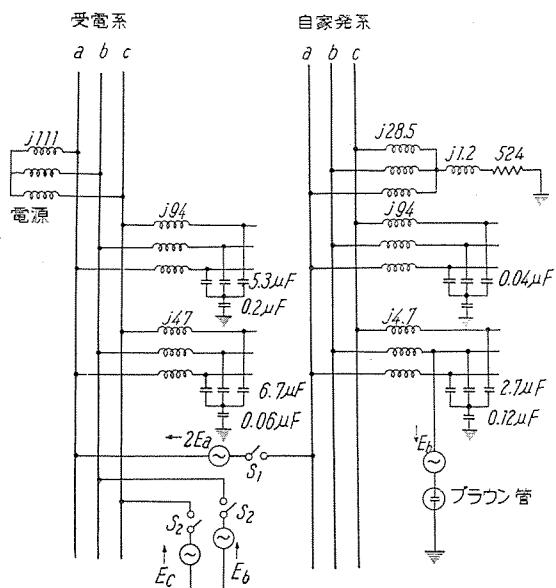
受電系において b 相 1 線短絡の場合 (6 図(b) 参照)
この場合は自家発系に現われる最高の異常電圧の定常値
は常規電圧の 3.32 倍であった。

4. 過渡現象の解析

前記力節において説明したと同様の方法によって、同期スイッチ式アナコムを用いて解析した。前節でも述べたようにかかる系統の異常電圧は受電系の零相回路によってほとんど定まるので、本解析では系統は無負荷状態とした。負荷があつても異常電圧の大きさならびに周波数は変わらないものとみなされる。

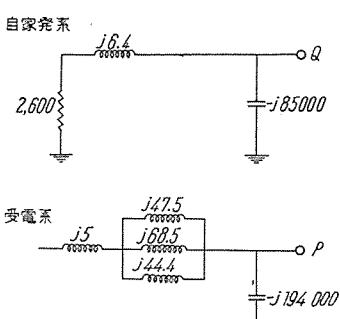
過渡現象解析用回路を示せば 14 図の如くで、3.3kV, 6,000 kVA Base でインダクタンスは 500 c/s における値を示す。受電系 #1, #2 地区は対地容量はきわめて小なるゆえ省略した。

なおこのときのオシログラムは 15 図に示すとおりである。

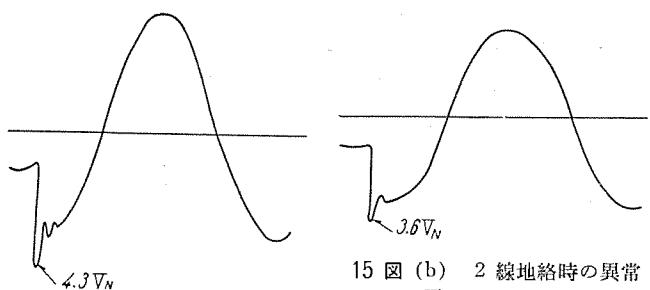


14 図 過渡現象解析用回路

Fig. 14. Calculating circuit of transient voltages.



13 図 0-回路
Fig. 13. 0-circuit.



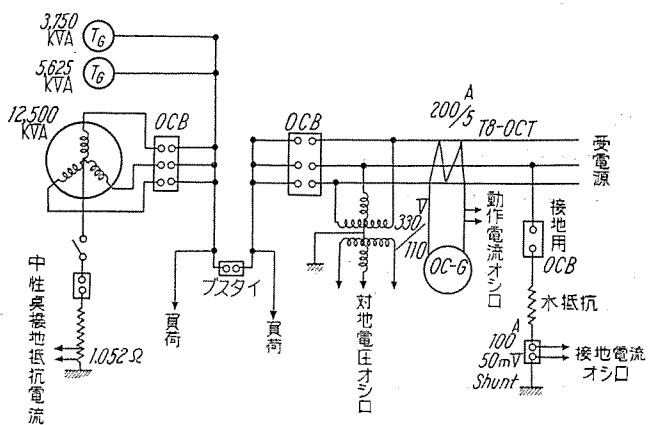
15 図 (a) 1 線地絡時の異常電圧オシログラム
Fig. 15. a. Oscillogram of abnormal voltage at single-line-to-ground.

15 図 (b) 2 線地絡時の異常電圧オシログラム
Fig. 15. b. Oscillogram of abnormal voltage at double-line-to-ground.

このオシログラムから 1 線地絡時の過渡異常電圧の最大は $4.3V_N$ で、また 2 線地絡時のそれは $3.6V_N$ で過渡振動の周波数は約 2,000c/s である。

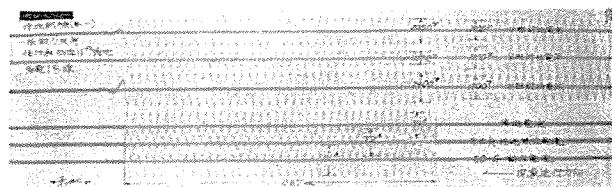
これを前節計算の非接地系に比すれば、大きさは 1 線地絡時で 5.4 倍から 4.3 倍へ、2 線地絡時で 4.3 倍から 3.6 倍へと減少し、かつ振動は中性点抵抗のためにきわめて速かに減衰していることが明らかにされた。

なお発電機の中性点抵抗接地方式実施後の現地接地試験の結線図およびオシログラムを参考に示せば 16 図ないし 20 図のとおりである。

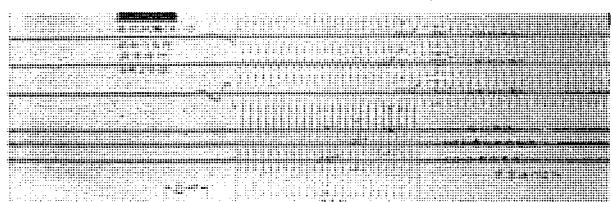


16 図 現地接地試験結線図

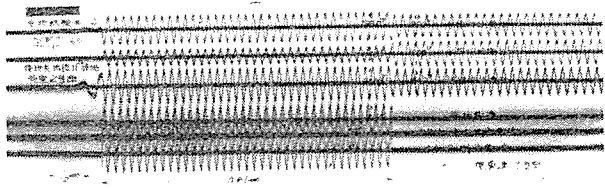
Fig. 16. Ground test circuit.



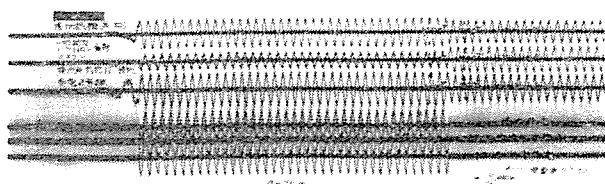
17 図
Fig. 17. Oscillogram.



18 図
Fig. 18. Oscillogram.



19 図
Fig. 19. Oscillogram.



20 図
Fig. 20. Oscillogram.

このオシログラムにおいて、
17 図は一般動力負荷で、受電 1 号線において抵抗 11Ω にて接地し受電 1 号線リレー動作の状況を示す。

18 図は同じく一般動力負荷で受電 1 号線経由、受電 2 号線において直接接地した時の受電 2 号線リレーの動作を示す。

19 図は一般動力、イグナイトロン $3,400\text{kW}$ 負荷、受電 2 号線にて抵抗 11Ω 接地した場合の受電 2 号線リレーの動作状態を示す。

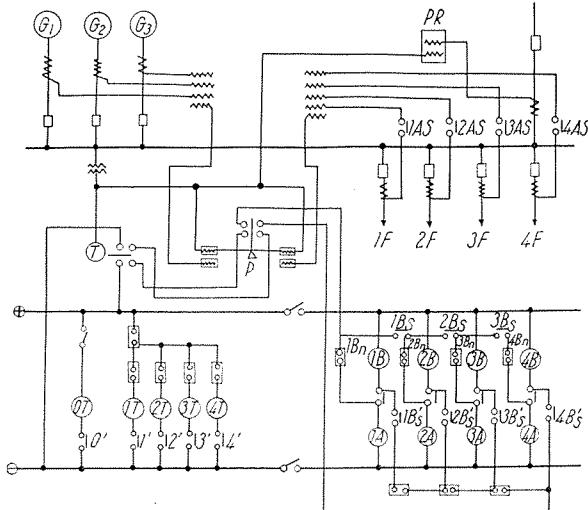
20 図は一般動力、イグナイトロン $3,400\text{kW} 2,400\text{kVA}$ 負荷で受電 2 号線にて抵抗 11Ω 接地した時の受電 2 号線リレーの動作を示すものである。

5. 自家発電系統保護装置

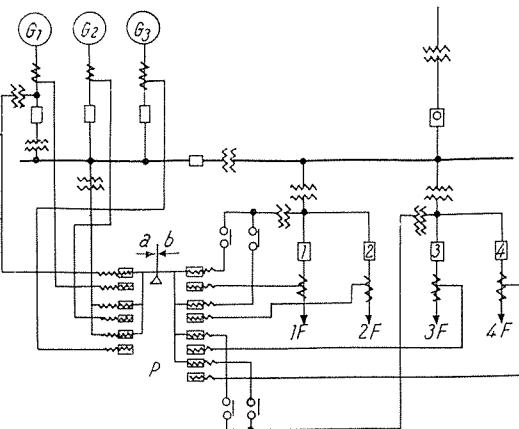
異系統すなわち買電系統との並行運転により電力の需給を行う自家発電負荷系統においては、買電系統が事故のため遮断されると自家発電による電力のみでは負荷の要求電力を満足しえずして系統の運転維持ができなくなってくる。ことに自家発電電力に比して異系統からの電力供給が大きい場合には、並列が断たれるや否や、発電機は急速に安定度を破壊され自家発電系統は瞬時に破壊される危険がある。この際自家発電系統の負荷の一部を遮断してやればよいが、化学工場、化織工場、紡績工場等においては瞬時といえども停電を許されない重要負荷がある。またこれら重要機器間においては、その重要度に応じて自ら軽重合の差別があり、工場全体としては比較的非重要な負荷もある。したがって上記の如き異系統からの電力が遮断された場合には、その時の自家発電力にてまかないうる重要負荷のみを残し、他は最低非重要負荷へと一定の順列に従って遮断することが望ましいのである。

上記のような系統において自動的に負荷を選択して遮断する保護方式として

- (a) 発生電力記憶方式
- (b) 不足電力記憶方式



21 図 (a) 保護回路の一例
Fig. 21-a. Example of protecting circuit.



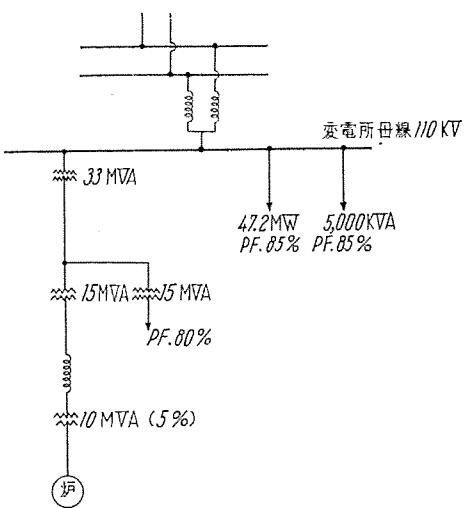
21 図 (b) 保護回路の一例
Fig. 21-b. Example of protecting circuit.

(c) 周波数低下による方式

の 3 つ的方式が考えられる。その詳細については「三菱電機」Vol. 30. 1956 年 3 月号に掲載されているから省略するが、その一例を示せば図 21 (a) および (b) のごときものである。

6. 電気炉による給電母線の電圧変動

大容量のアーク炉が電力系統に接続されると、系統の短絡容量が無限大に近いほど大きい場合はほとんど問題にならないが、十分大でない場合は炉の溶解初期に起る電力動揺によっていわゆる電圧変動 (Voltage flicker) を起す。本邦においては地域的に 9 つの電力会社に分かれているため、各電力会社の系統は必ずしも大きいとは言えない。したがって 30 トン程度の電気炉を設置する場合すら給電母線に数 % の電圧変動を起し、電力会社と需要家との間に絶えず問題が起るのである。いま直ちに電力系統の増大を願うことは困難であるから、多少の費用を犠牲にしても軽減対策を立てる必要がある。この電圧変動は需要家自体の工場配電母線への影響も大きいかから等閑に附すわけにはいかないのである。たとえば 22 図



22 図 系統図の例

Fig. 22. An example of system diagram.

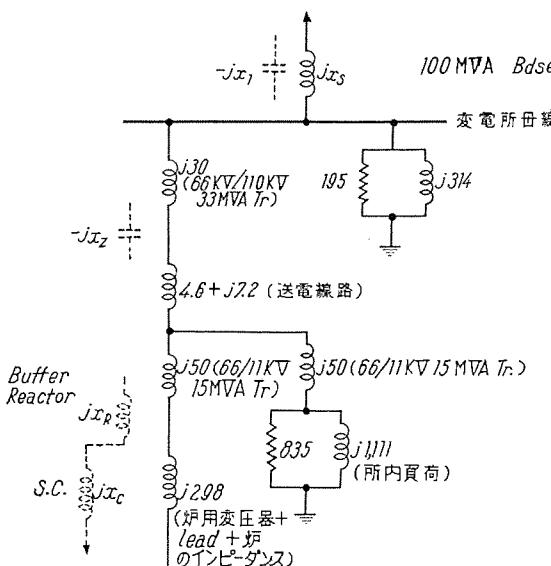
に示すような系統で変電所母線および工場母線にどの程度の電圧変動が起きるか実例についての交流計算盤による計算結果を挙げてみる。

23 図は 110 kV/60 kV 33 MVA 変圧器のインピーダンスを 10 %

60 kV/10 kV 15 MVA 変圧器のインピーダンスを 7.5 %

と仮定し、かつ電気炉起動時の短絡電流が 10MVA Base で 250 % である如く炉のリアクタンスその他を仮定した場合のインピーダンス図を示す。

1 表は上記計算結果を示す。



23 図 インピーダンス図

Fig. 23. Impedance map.

1 表 計 算 結 果

変電所における 短絡容量 (MVA)	変電所母線における 電圧変動 Δv_1 (%)	工場内 60 ~ 母線にお ける電圧変動 Δv_2 (%)
500	4.3	14
1,000	2.3	11.5
1,500	1.6	10.8

ア. 電圧変動軽減対策

電気炉による Voltage flicker を軽減する方法としては

- (a) 同期調相機を設ける
- (b) 直列蓄電器を設ける
- (c) 紙電回路を変更する

等が挙げられる。

同期調相機を設ける方法は 24 図に示す如く、緩衝リアクトルを用いれば電圧変動が大幅に軽減される。

しかしてその変動率は (1) 式から求められるが同期機の内部リアクタンスが小さいほど有効であることは当然である。

$$\Delta v = (\Delta I_L) \frac{x_M}{x_B + x_L + x_t + x_e + x_M} \quad \dots \dots \dots (1)$$

x_B : 緩衝リアクトルのリアクタンス

x_e : 系統等価リアクタンス

x_L : 線路リアクタンス

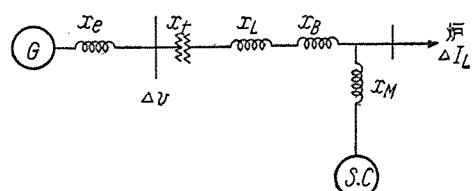
x_M : 同期調相機リアクタンス

x_t : 変圧器リアクタンス

同期機の内部リアクタンスを小さくすれば Δv を軽減できることは (1) 式より明かであるが、これを経済的に小さくするためには 25 図に示すように同期機と直列に蓄電器を挿入して補償すればよい。この場合の電圧変動 Δv は (2) 式から求められる。

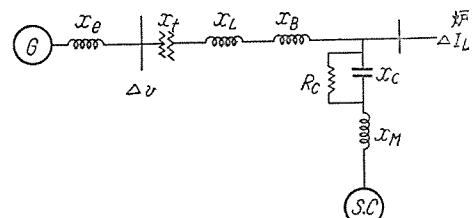
$$\Delta v = (\Delta I_L) \frac{x_M - x_c}{x_s + x_M - x_c} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$x_s = x_e + x_t + x_L + x_B$$



24 図 同期調相機を用いた保護方式

Fig. 24. Protecting device using a synchronous condenser.



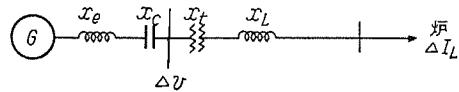
25 図 直列蓄電器を用いた補償回路

Fig. 25. Compensating circuit using a series condenser.

しかし直列蓄電器を挿入すれば系統の自由振動数が電源周波数より低いと同期機が負性抵抗を呈するので直列蓄電器に並列に制動用抵抗 R_C を挿入して異常現象の発生を防止する必要がある。

直列蓄電器による方法は 26 図および (3) 式に示す如

く直列蓄電器を用いて系統リアクタンス x_e を補償すれば電圧変動 Δv が軽減される。直列蓄電器の設置に当っては誘導機の自己励磁、同期機の乱調、無負荷変圧器の投入時の離調波振動を防止せねばならぬ。これは一般に直列蓄電器に並列抵抗を設置すれば良い。



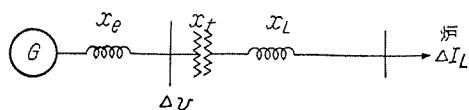
26 図 直列蓄電器による保護方式

Fig. 26. Protecting device using a series condenser.

$$\Delta v = (\Delta I_L)(x_e - x_c) \quad \dots \dots \dots (3)$$

x_c : 直列蓄電器リアクタンス

第3の方法として27図および(4)式より明かなる如く、系統の等価リアクタンスが十分小さいことすなわち系統の短絡容量が十分大であれば前述の如く電圧変動 Δv はほとんど問題にならない。したがって電圧変動が問題になる場合は新しい線路を別に設けて系統の変更を行い、給電母線の短絡容量を十分大きくすることが1つの解決方法である。



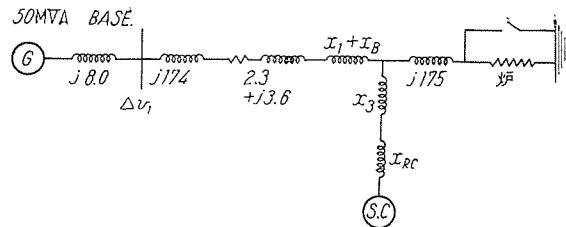
27 図 一般接続図

Fig. 27. General circuit diagram.

$$\Delta v = (\Delta I_L)x_e \quad \dots \dots \dots (4)$$

以上3つの方法について略記したが、この外にM-G setを設ける方法や負荷をコントロールする方法があるがこの負荷のコントロールは直接生産能率に影響するところが大きいから、工場個々に考えねばならぬ。

22図に示した系統で28図に示すと同期調相機を使用した場合の実例について計算した結果を付記すれば3表のとおりで、変電所母線における Δv_1 は大体 1.5 % 程度に抑制せられる。



x_1 : 66/22kV T_r 一次巻線インピーダンス (自己の Base で 9%)

x_3 : 同上 三次巻線インピーダンス (" " 6%)

x_B : Buffer Reactor (10MVA Base で 5%)

x_{RC} : 同期機の $x''d$ (自己の Base で 20%)

炉の Load: 8300 kW.

28 図 補償回路の実例

Fig. 28. Practical example of compensating circuit.

3 表

同期機容量	Buffer Reactor	Supply Bus. Δv_1	工場 Bus. Δv_2
なし	なし	2.0 %	9.5 %
	あり	1.95 1.6	9.0 8.2
4,000kVA	あり	1.4 1.4	6.5 7.5
8,000kVA	あり	1.2 1.3	5.4 6.8
12,000kVA	あり	1.05	5.0

7. むすび

最近各工場を巡回しつつ共通の問題として取上げられた2, 3の例について述べたが、この外に配電線の環状結線、レゾナンスによる異常電圧、力率改善用コンデンサの系統に及ぼす影響、整流器の高調波問題等、工場動力系統の増大と複雑化に伴い、悩みは一層大きいものがある。これらについてはまた日を改めて述べたいと思っている。

最後にこの計算その他について当社研究所電気第1研究室長横須賀氏を始め所員一同のご支援に対し心から感謝する次第である。

正誤表

Vol. 31 No. 4 56 ページ「W 社文献抄訳」“電力用変圧器の趨勢”のうち誤を下記のように訂正いたします。

頁	行	誤	正
56 ページ	本文上から5行目	に 315MVA 発電機用変圧器 2台が納入された(1図)。	(1図) を削除する

配電系統構成上の関連事項

本社 安藤 安二*

Related Matters in the Composition of Distribution Systems

Head Office Yasuji ANDO

Distribution power systems are those for distributing power to consumers' districts from large capacity power sources. It is beyond question that economical and dependable power is to be supplied. In addition, future increase of demand must be taken into account in the composition of distribution systems as well as little voltage fluctuation, high dependability, less outage, easy operation, little loss and economical advantages. The American practice is said to spend 50% of the investment in the construction of distribution networks.

1. まえがき

当社応用技術部課長が各地の電力会社および工業会社を訪ね、電力系統上の技術的諸問題を懇談した結果、技術的問題点が多数あることを知り、それぞれについて検討を加えているところであるが、その内で配電関係事項を分担して取まとめることになった。現在問題になっている事項をできるだけ拾うように努力したが、筆者が平常考えていることも多々あり、私見も混入した恐れが多いがご寛容をお願いする次第である。

配電系統とは大容量電源（すなわち大容量変電所あるいは発電所）より需要者地区に電力を配分して供給する系統であり、需要負荷量に応じて、できるだけ低価格でかつ信頼度の高い電力を供給することが眼目となるのは論を待たない。さらに系統を構成する際に現在の需要量のみならず、将来の需要増加をも考えて構成することが必要であるが、需要の増加は予想外の進展を見せる場合もあり、また予想外の地区に拡大して行くことがしばしばであるので、最低の設備費でこれに追随するとともに必要事項の1つである。一方負荷密度のみでなく既存の配電系統および立地条件によって大幅の制約を受けるのが複雑なところで、決った一定の方式を確立できない原因となっている。

ところでどの構成を採用したとしても、電圧変動が少いこと、信頼度が高く無停電であること、運用操作が容易なこと、低損失であること、および経済的に有利であること、などが系統構成上考慮すべき点で、また実際に種々の考慮が払われている。

すなわち、米国では放射状系統の場合でも単純な放射状構成はほとんどなく、予備回線を設けるとか、移動用電源を備えるとか、隣接変電所との連絡を考えるとか、また全般的に再閉路遮断器を設置し、かつ区分開閉器を備えて故障区間を極限する等の手段が採用され、信頼度の向上が払われている。さらに高圧回路網および低圧回

路網に力がそがれ、全設備の50%が配電系統に投資されていることである。

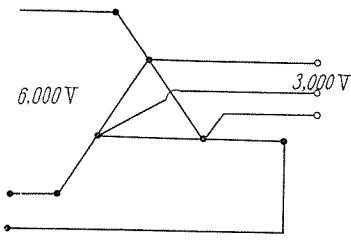
わが国の現状は負荷増加に対して、既設の3,000V高圧放射状配電系統では、需要に応じられない状態で、全国的に昇圧をして、これに対応する段階にきて、5,200V昇圧、および6,000V昇圧が実施に移されている。負荷増加に対応する第一手段としては、既設の系統構成の改造ができるだけ少くして昇圧をすることであるが、その際どこまで昇圧したらよいかということはもちろんその地区の負荷量および負荷の性質に関連するので簡単な問題でなく議論が多いわけである。地域的の特殊事情も勘案された結果であると思うが、すでに5,200Vに昇圧された系統は約8,000kmに及び、6,000Vに昇圧された系統は10,000km以上となっている。そして現在の大勢は6,000Vに全面的に昇圧する趨勢にある。つぎに私見もはいるが簡単に比較を試みる。

2. 昇圧する際の系統構成

昇圧する際に考えられることは既存の設備をどこまで活用するか、どの部分を利用するか、ということが負荷量および負荷の性質と共に関連してくる。

ア. 6,000V 昇圧 (3相非接地方式)

これは既設線路がそのまま利用でき、继電器その他について在來の考え方を踏襲できることである。(筆者のみならず非接地系統の保護方式は幾多の欠点を持っているので、直接々地系にできるだけ早い機会に改造すべきであるという意見の人も多い。)しかし配電用変圧器を取換える必要がある。現在新設の変圧器を3,000Vと6,000Vと切換えが可能のものとして、3,000Vとして構成しておき、機会を見て一挙に昇圧するわけである。これは現在の負荷の性質がほとんど単相負荷であるということも重要な理由の1つである。単相の変圧器を隨時必要な場所に設置する要求が多いわけで、線路構成をできるだけ変更したくないという結果に当然なる。



1図 局部的昇圧の一例

Fig. 1. One example of the connection for the step-up transformer.

ところで6,000Vに昇圧すると需要負荷量に対して相当に余裕が出る地区が多いのが現状であるが、一思いに10,000Vまで昇圧して将来の負荷増加まで考えに入れたらどうかという意見もある。将来は6,000V非接地系を $\sqrt{3}$ 倍昇圧して10,200V3相4線式(直接々地)とする時期が、負荷増加および負荷の性質の変化に伴つてくるものと考えられる。

ところで6,000Vに昇圧する際に影響を受けるところは高圧需要家で3,000V電動機を使用しているところは6,000Vを3,000Vに降格して用いなければならぬ。3,000V電動機の使用はだんだん少くなると考えられるが、6,000V電動機を使用するには容量的にこれほど必要がない負荷が多いというのも難点の1つである。それで6,000Vより400V程度に降格して400V電動機を使用したいという需要家も多くなると推定される。

つぎに6,000Vに昇圧する際に一挙に昇圧する場合と1図のように遅延変圧器を使用して、局部的に昇圧して行くことと両方が考えられ、実際に用いられている。

イ. 5,200V昇圧直接々地3相4線式

この場合は変圧器は△に入接続変更してそのまま利用できることになるが、反面単相負荷が多い現在では、適宜必要な場所に単相変圧器を接続するためには、第4本目の線路を全線にわたって張ることが必要となる。この4本目の線を張ることは経済的に相当高くつくので変圧器を取換えた方がかえって有利という場合もある。これは負荷の性質が影響する一例であるが、3相負荷が多くなって3相の柱上変圧器等が多数必要となればまた条件も変つてくる。

さらにこの直接々地系は負荷量の少い末端の需要家に対しては大地帰路接続ができる利点がある。米国では套管が1本しかない柱上変圧器を多数製作しているが、末端の負荷が拡大する場合にこの利点を活用しているものと推察できる。

つぎに上記の比較の外に、この5,200V昇圧系は下記の点があげられ採用されなかつたとのことである。

(1) 負荷電流が大地を還流するために、接地故障の検出が困難で、かつ常時の誘導障害が大である。

(2) 一般に柱上変圧器の接地抵抗の低下は困難であるために、(わが国では普通50Ω程度と考えられる)、高混触した際に低圧側の大地電位が上昇するので危険である。等である。

この欠点としてあげられた理由は、反面米国で低圧系統を全面的に直接々地して、合理的に運営されている実

際をよく研究しなければならぬことを示すことになるとと思われる所以、以下簡単に説明を試みる。

a. 中性線および中性点接地方法

2図のように、中性点単一接地方式は、継電器の動作の点および通信線への誘導障害の点より問題はない。良好である。

3図の大地帰路方式は各変圧器ごとに良好な接地が必要であるが、第4本目の線路を省略できる点で魅力がある。ところが高抵抗接地事故の検出が困難であつて、交流継電器を使用した場合には約500Ω以下しか検出できないので、接地故障検出のために、直流重畠方式あるいは高周波重畠方式を採用しなければならぬといわれている。

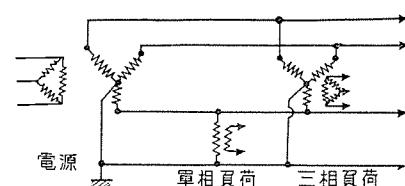
しかし逆に中性点直接々地系統では1線接地事故がほとんど全部短絡事故と同程度の故障電流を流すために、故障検出が容易であるという利点も持つ。米国ではこの大地帰路方式も郊外の辺鄙な地区で用いられているが、逆限時の過電流継電器のみでなんらの支障もなく用いられる。またこのような線路は大体支線であるが、その分歧点にヒューズあるいは区分開閉器を備えて、1線接地事故でも故障区間を極限する点で有利である。(これは非接地系ではまねができない。)

木柱線路での碍子事故は割合に短時間に低い抵抗値になるので、火災となる恐れは少く実際上の支障は起していない。(かえって非接地では故障電流を制限するので火災の危険が多い。)

断線して落下するような場合も直接々地であればかえ

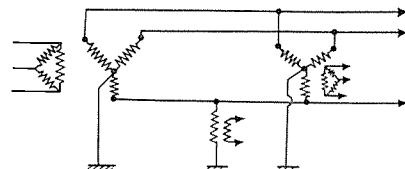
2図 中性点単一接地方式

Fig. 2. Neutral point single grounded system.



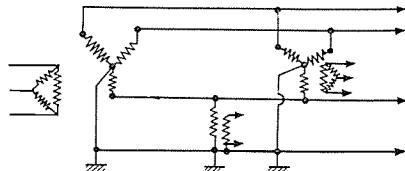
3図 大地帰路方式

Fig. 3. Earth return system.



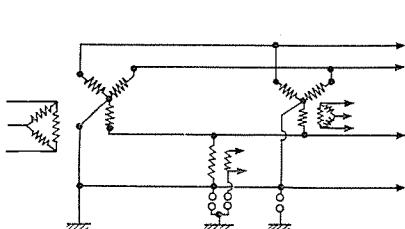
4図 多重接地方式

Fig. 4. Multiple grounding system.



5図 中性点放電間隙を使用した多重接地方式

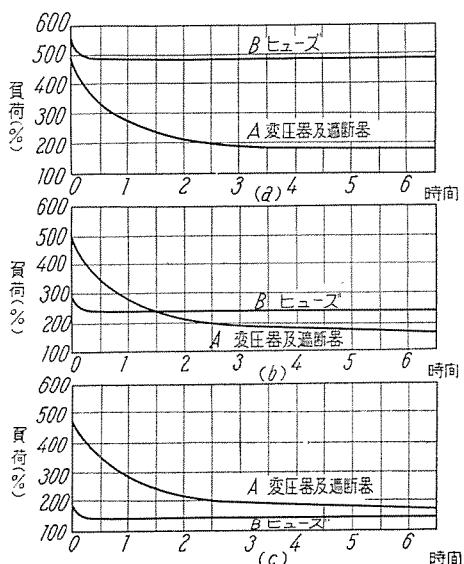
Fig. 5. Multiple grounding system using neutral point discharging gap.



って検出が容易である。(架空ケーブルの場合はもちろん問題ない。)しかし断線は普通過電流により断線するとか、あるいは倒木により断線するとかの場合であって、前者は線路の過電流耐量とヒューズの容量を合わせて保護されており、後者は大体短絡となるはずであってあまり問題にされていない。

一番問題になるのは変圧器内部での高抵抗劣化事故であって、米国でも初期の段階では多少問題になったようであるが、変圧器製作技術の進歩に伴ってこの種の事故はほとんどなくなっている。大体変圧器内の事故は変圧器の過負荷により温度上昇を来し、長年月使用している内に劣化して、事故になるという過程を踏む筈であってこの対策が先決問題である。米国では最近は CSP 変圧器が全面的に使用されているが、この変圧器はその過負荷耐量に合わせた熱効率要素をもった低圧遮断器を変圧器に内蔵して、合理的な使用を試みて実効をあげている。これは変圧器油の温度上昇(もちろん巻線の温度上昇と油の温度上昇が一致するように構成しある。)に関連して働くわけであるので、変圧器事故に至らない内に対策が立てられるが、万一変圧器の巻線に高抵抗事故があった場合にも油温が上昇して、この低圧保安器が動作して、警報を発することになる。

すなわち CSP 変圧器が非常に役立っていると思う。この内蔵遮断器の特性の一例を Westinghouse 社の CSP 変圧器の場合の例をとって示すと 6 図のようになる。CSP 変圧器の過負荷耐量曲線と遮断器の特性を合わせたもので A 曲線でこれを示す。これを用いると短時間の過負荷の場合に、変圧器容量を一杯に活用できる。またその限度がきたときに警報を発して知らせるようになっており、かつ設定点に合わせて遮断するようにしてある。なお、図中にはヒューズの特性を B 曲線で表わして、その関連を示しているが、(b) および (c) の場合



6 図 CSP 変圧器に内蔵した遮断器の特性
Fig. 6. Characteristics of circuit breaker contained in CSP transformer.

は共に変圧器容量を犠牲にした使用法で、(a) のように設定すべきである。

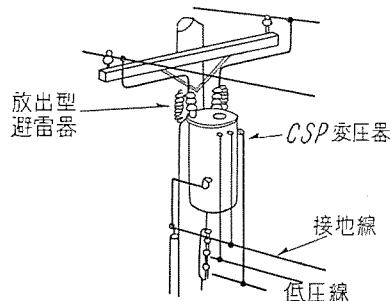
すなわち、ヒューズは変圧器の過負荷耐量と合わせて選定することができないことを示すもので、ヒューズは変圧器内の短絡事故の際に溶断するように選定するのが本質である。変圧器の合理的な使用には熱効率要素で動作する内蔵型遮断器が必要となる。この遮断器は変圧器内部の温度上昇事故に対してはいろいろの意味で役立つ。配電用変圧器は負荷増加および短時間の過負荷によって、過電流が流れることが多いので、この内蔵遮断器を取付けておくと負荷電流の調査に役立つて変圧器取換時期の選定などに役立つ。

さらに線路構造も高圧と低圧とが混触することができるだけ防止する試みがなされている。7 図は CSP 変圧器内部に Fuse link を内蔵している場合で、8 図は Fuse cutout を別に設置した場合であるが、いずれも高圧線と低圧線を離隔して、高低混触を防止している。また低圧線の上部には接地線(低圧中性線)を配置して安全度の向上を図っている。この CSP 変圧器の使用および Fuse cutout の使用はわが国でも早急に取入れるべきものと思う。

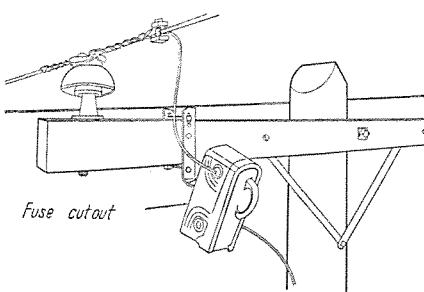
つぎに大地帰路方式は負荷の不平衡による電流および変圧器の高調波電流が大地を還流するわけで、當時の誘導が大になるのは当然であるので、この対策は別途必要なのはもちろんである。

4 図は多重接地方式で米国で広く使用されているもので、高抵抗接地事故に対しては、3 図の際に言及したと同様の考慮が払われており、逆限時過電流遮断器のみで、実用上十分に保護の目的を達成している。

さらにこの構成は第 4 本目の中性線で各変圧器の中性



7 図 Fuse-link を内蔵した場合
Fig. 7. Fuse-link is contained in the CSP transformer.



8 図 Fuse cutout を別に設置した場合
Fig. 8. Fuse cutout is separately installed.

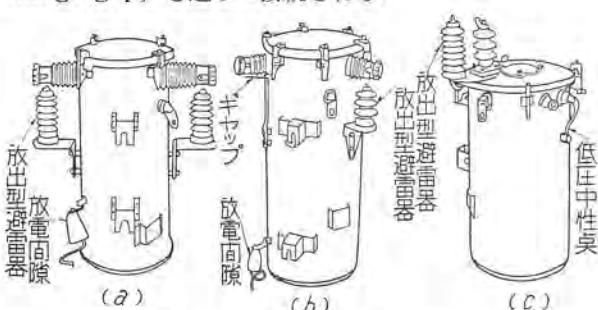
点を全部結んでいるので、総合接地抵抗が低く、故障時の接地電位の上昇を非常に低くできる点が有利である。一般に各変圧器の所の接地抵抗は単独では低くとれないので、これを連接することは総合抵抗を低下する意味で有利である。すなわち中性線を張って隨時単相変圧器を接続すると共に各接地を連接して総合抵抗を低下するという2重の利点を有する。米国ではこの多重接地系統では高圧側の接地と低圧側の接地と共用できるとしてある。2図および3図の系統では変圧器の接地と低圧側の接地との共用は危険な場合があるので、その実施に当っては注意を要するものとしてある。

常時の通信誘導は、第4本目の線があるために、3図の場合より有利であって、実用上通信回線への誘導はそれほど問題にならぬようである。

5図の中性点放電間隙を利用した多重接地方式は常時運転の際は2図のごとくあって、高抵抗接地事故の検出および常時通信誘導の点から有利である。この構成は4図の多重接地方式と組合わせて、要所要所で行われているもので、繼電器の感度向上にも役立ち、また地区による通信誘導の軽減も兼ねている。5図の放電間隙は変圧器の3点保護と関連してつぎに説明するつもりであるが、交流放電開始約7,000V(衝撃放電開始約10,000V)で、続流遮断能力約480Vの間隙があって、線路電圧のいかんにかかわらず全部同一のものを用いている。(異物の挿入とか湿気とかの点よりこの付近の特性の間隙が有利であると考える。)普通配電用機器は使用電圧に比して衝撃絶縁耐力が高く、雷擊時に大地電位の上昇が避雷器の制限電圧より高くなる場合をも考慮して選定しているので、上記の数値でよく協調できる。

それで雷擊があつて避雷器が動作したときにその付近の数箇所の放電間隙が閉絡して、多重接地と同一の効果をなし、また絶縁劣化による接地事故の場合はそのまま検出感度を高めるということになる。

つぎにCSP変圧器の一例についてさらに言及すると[9図参照]、(a)は△系統およびY系統の両方に使用するものであつて、(b)は変電所で接地した3相4線式系統に使用される。すなわち、放出型避雷器を高圧側の1線に対して備えて、中性線套管にはギャップを備えている。またタンクと接地線間に放電間隙(tank discharge gap)を通して接続される。



9図 CSP柱上変圧器の一例

Fig. 9. Example of CSP pole transformer.

(c) は農村電化用の一種で、套管の構造も腕木のない電柱で、直接々続できる構成にしてある。ここでは中性点側は直接タンクに接続して全部一括接地する。

b. 高低混触

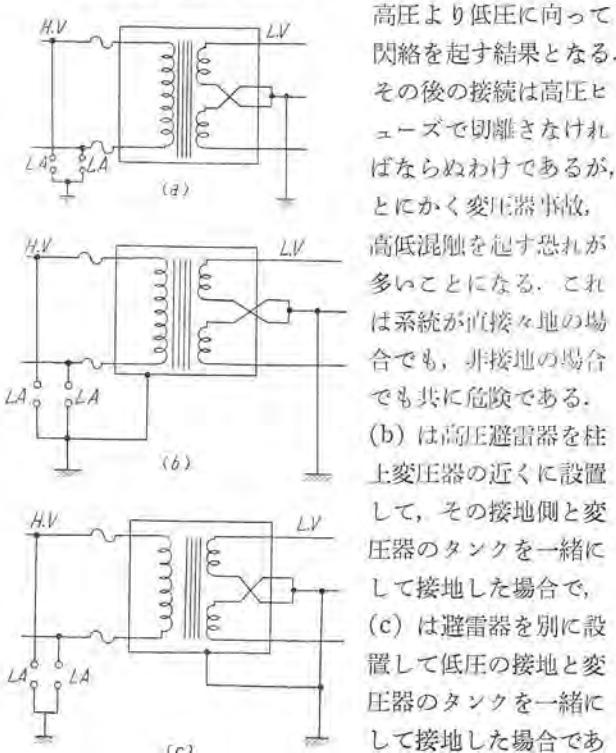
現在配電系統で変電所で中性点を直接々地した場合には、故障点の大地電位上昇は1,000Vあるいは2,000V以上にも昇るといわれ、一方安全規定の上より、この点の電位上昇を150Vにおさえなければならぬという制限もあって、実施を見合わせなければならないといわれているが、これについても米国での実施経過を推定してみる。

なお、この高低混触問題は雷擊保護問題と切り離しては考えられないもので、雷擊保護の考え方より説明してみる。

(i) 分離接続 [10図]

高圧避雷器の接地と低圧の接地とを別々にとった場合であつて、(a) (b) (c) の3つの場合を考えられるが、保護の観点よりは大体同様である。(a) は避雷器を柱上変圧器とは別の所に設置してあるものである。普通配電線用避雷器の接地抵抗を十分低くおさえることができないのが実情であるので、雷擊時には避雷器の制限電圧よりも接地抵抗による電位上昇および引下げ導線にかかる電圧降下の合成の方がかえって高くなるというのが配電系統の特性である。また配電系統は本柱線路が多いので、配電線にかかる雷擊電圧は高くなるもので、配電線の雷擊電流は普通5,000A以下であるといわれているが、ときには、100,000Aを超過する場合がある。

それで高圧線輪と大地間に加压される雷電圧は避雷器の制限電圧をはるかに上回るので、変圧器事故を起し、



10図 分離接続

Fig. 10. Separate connection.

高圧より低圧に向って閉絡を起す結果となる。その後の接続は高圧ヒューズで切離さなければならぬわけであるが、とにかく変圧器事故、高低混触を起す恐れが多いことになる。これは系統が直接々地の場合でも、非接地の場合でも共に危険である。(b) は高圧避雷器を柱上変圧器の近くに設置して、その接地側と変圧器のタンクと一緒にして接地した場合で、(c) は避雷器を別に設置して低圧の接地と変圧器のタンクと一緒にして接地した場合であるが、いずれも同様の理由により危険である。

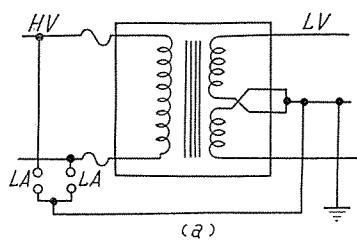
つぎに変圧器が雷撃で閉絡したら、それでおしまいになるわけではなく、雷撃電流はさらに低圧側の接地電位を上昇させて需要家に飛込んで行くことになるので、低圧側の接地を完備して接地抵抗を低下する必要がある。すなわち、一ヵ所では抵抗値の低下が望めないので各需要家の入口のところで、接地をとって総合抵抗の低下を考えると共に、その需要家を保護する必要が起つてくる。

普通高低混触の際に系統が非接地であれば地絡電流が少ないので、接地抵抗は高くてもよく、直接々地系では地絡点の電位が上昇して危険であるから十分に低下しなければまずいといわれているが、雷撃の点を考えに入れなければならないもので両者ともに低圧側の多重接地が必要である。接地抵抗値の低下問題は雷撃電流値で定るもので、また抵抗値の低下が困難なところでは低圧側の多重接地および需要家引込口での接地が必要である。

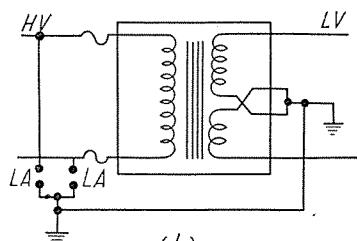
米国ではこの保護の方法は 1932 年頃まで広く用いられていたが、危険のために用いられなくなった。わが国では現在この接地方式を採用しているが、早急に改善の必要があると考えている。

(ii) 連接々続 [11 図]

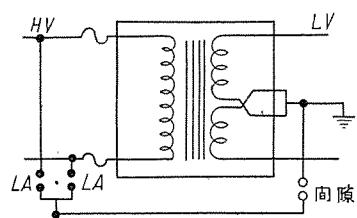
分離接続の欠点を改良するために、つぎに実施された接続法は 11 図に示すようなもので、(a) は高圧避雷器の接地側を低圧中性点と直接結ぶ方法である。すると接地抵抗による電圧降下分が変圧器にからなくなり、変圧器には避雷器の制限電圧のみしか印加されないので、有効であって相当広く用いられた。ところで変圧器の鉄心およびタンクの電位は静電的誘導によって上昇して、急峻雷撃電圧が侵入したときに高圧線輪と鉄心間などに高い危険電圧がかからぬこと、および線輪の電位に近くまで鉄心が浮上することをねらっているが、タンクと大地間の絶縁抵抗が低く漏洩がある場合とか、タンクと支線間が閉絡するような場合は、高圧巻線とタンク間に危険電圧が加って閉絡事故を起すことになる。さらにこの接続は低圧側の接地抵抗が十分によくとられていないときは危険である。すなわち農村地区とか、そ



(a)



(b)



(c)

Fig. 11. Interlocked connection.

1 表 雷撃電流値と接地抵抗値との関係

雷撃電流値 (A)	大地電位上昇が 10,000 V になる接地抵抗値 (Ω)
5,000	2
10,000	1
100,000	0.1

2 表 流入する機流と接地抵抗値との関係

流入する 機流 (A)	大地電位上昇 150 V に相当する 接地抵抗値 (Ω)	大地電位上昇 400 V に相当する 接地抵抗値 (Ω)
10	15.	40.
50	3.	8.
100	1.5	4.
1,000	0.15	0.4

れに相当する所で低圧側の接地が十分によくとられていない所では応用できない。

それで (b) は、さらに避雷器の位置で接地をとったもので、雷撃電流の分流の効果がある。これも低圧側の接地抵抗が十分に低くとってないときはやはり好ましくない。変圧器のタンクの電位は (a) の場合と同様に静電的誘導による上昇を利用しているが、上述と同様の欠点がある。

つぎに (c) は避雷器接地と低圧側接地間を放電間隙で切離した例である。このときはこの放電間隙の衝撃放電開始電圧以上に接地抵抗による電圧降下が上昇したときに始めて両方の接地が連接されることとなる。ところでこの放電間隙の特性を、交流放電開始電圧は約 7,000 V で、衝撃放電開始電圧は約 10,000 V、回復電圧は最高 480 V 程度であるとして一応考えてみる。

まず、雷撃を伴わずに、高圧側で絶縁事故を起したとする。この場合は 3,000 V 回路でも、6,000 V 回路でも、この放電間隙を放電させることができない。すなわち高圧側の接地と低圧側の接地は別々のものと考えてよい。

つぎに、雷が侵入した場合を考えると、特高側避雷器が動作して、変圧器の高圧巻線の大地電圧は、避雷器の制限電圧と接地抵抗による大地電位の上昇が加算されたものになる。そして接地電位上昇が 10,000 V を超過すると、放電間隙が閉絡して、高圧側の接地と低圧側の接地が連接される。そして変圧器の高圧巻線と低圧巻線にかかる電圧は避雷器の制限電圧以上にはならない。この約 10,000 V の放電開始電圧は変圧器の低圧套管の強度および高圧巻線の絶縁強度よりみて協調した値と考えられる。(避雷器の種類で、すなわち放出型と弁型とでは制限電圧の値に非常に差があるので、当然放電間隙の特性は違ってもよいが、上記のごとき数値のものが、製作上安定度の高い放電間隙と考えられる。) それで大地電位が 10,000 V になる雷撃電流値と接地抵抗値との関係を示すと 1 表のようになる。

これを見ると総合接地抵抗値を相当に低下する必要があることが明かである。1 カ所のみで低い値まで低下することは困難であるから、高圧側の接地の連接および低

圧側は低圧側で多重接地をとることが必要である。ところで高圧側接地と低圧側接地とを総合した値が、たとえ上記の数値に低下できたとしても、需要家へ10,000Vの雷擊電圧が侵入することになる。それで需要家入口の所で水道管接地とか、井戸に接地をとるとかすることが必要となる。そして避雷器が安全な動作をしてもとに帰れば雷擊を完全に保護したことになる。

ところが雷擊を受けると同時に事故が起きたと推定してみる。今度は雷擊電流は上述のような経路を通って大地に流入するが、それに続いて流れ込む機流による電位上昇を別に考えてみる必要がある。流入する機流と大地電位が150Vあるいは400Vになる接地抵抗値を考えてみると2表のようになる。

すなわち雷擊に対する考慮を払えば、機流問題についても、協調がとれることは明かであって、また機流については放電間隙が自復して、高圧側接地と低圧側接地とを切離すことが可能であることを示す。

以上放電間隙の特性を主体として述べてみたが、変圧器の鉄心と巻線間にかかる電圧は静電誘導を利用していいる点がまだ欠点である。

(iii) 3点保護方式 [12図]

上述の保護方式は種々の欠点があったわけであるが、保護を完全にするためには、変圧器の絶縁の①高圧巻線と鉄心およびタンク間、②低圧巻線と鉄心およびタンク間、③高圧巻線と低圧巻線間、の3つの絶縁を守ることであって、これを保護する方法を3点保護方式といふ。

3点保護方式は12図に示したように各種の接続法があるが、変圧器タンクと接地導線との間に入れた放電間隙で絶縁しておく方法は、急峻雷擊が高圧巻線に侵入した場合に静電的誘導によってタンクが浮上って、急峻波頭が高圧巻線とタンク間にかかるのを緩和する効果がある。すなわち放電間隙が放電する電圧すなわち約10,000V位までは鉄心およびタンクを浮上させることになる。これを超過すれば間隙が放電して、それぞれにかかる電圧が危険電圧以上に上昇しないように防止する。また接地抵抗による大地電位の上昇分が避雷器の制限電圧および間隙の電圧降下に加算されないようにになっているのは前述のとおりである。

さらに放電間隙は異常高電圧で放電を開始した後、約480Vまでは自復する特性を有するので、機流が流れても低圧側接地と高圧側接地とを切離すことが可能である。また雷が低圧側より侵入して套管が閉絡しても自復するはずである。最近のCSP変圧器の低圧套管はそれ自身が協調放電間隙であって、上述の放電間隙と同一の特性をもたせてある。それで低圧側より侵入した雷擊に対する保護も特別に避雷器を付けなくとも、套管のところで閉絡して自復するという特性を利用できる。

とにかく、雷擊を考えると低圧側は有効に接地しておくことが必要であって、各需要家の入口で必ず接地をとって、多重接地をして総合抵抗を低下すると共に、個々

につきそれぞれ保護する必要があることは明かである。

この3点保護方式は米国では、農村地区のように高圧側のみならず低圧側の接地抵抗が十分に低下できないところに広く用いられているもので、この保護特性を持たせたCSP変圧器の事故は従来に比べて激減していることが実証されている。

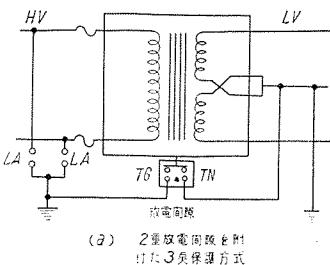
わが国でもこの実際を早急に取入れるべきもので、まず高圧側および低圧側の接地を放電間隙で常時は絶縁分離して、3点保護方式を適用して行く必要がある。わが国の現状でも多重接地して連繋すれば故障時の交流による大地電圧上昇は500V以下に十分おさえうるとのこと、放電間隙を利用すればさらに有効と思う。

そして負荷増加と共に接地箇所数が増し、連接が完備して行くに従って、高圧側接地と低圧側接地とを直接結ぶことができる場所が増加して行くものと考えている。

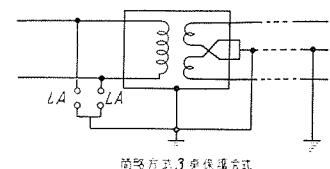
雷擊保護と高低混触との両面より危険度を減少し、事故率を低下して行くことは、高圧線と低圧線との配置、変圧器の改良（最近は製作技術が向上して事故は非常に少くなっている。）がもちろん必要であるが、この3点

12図 3点保護方式

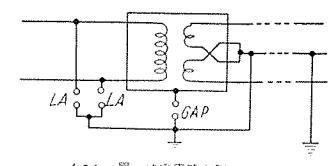
Fig. 12. Three point protective system.



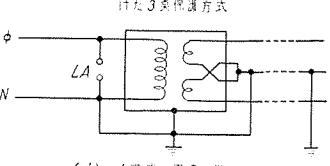
(a) 2重放電間隙を附した3点保護方式



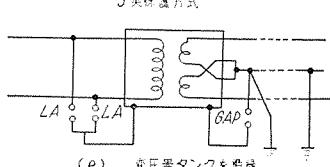
簡単な3点保護方式



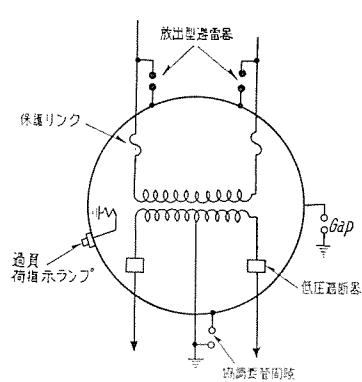
(c) 単一放電間隙を附した3点保護方式



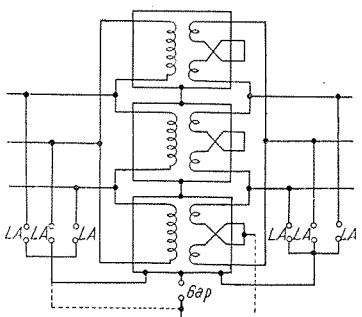
(d) 4線式 直接々地 3点保護方式



(e) 変圧器タンクを絶縁した3点保護方式



(f) CSP 変圧器の3点保護構成



(g) 3相接続の本圧器に3点保護方式を適用した場合の一例

保護方式も事故低減の役を買うものである。

ウ、その他

界圧に関して種々の関連事項を考えてみたが、筆者としては、3,000Vを一挙に全部6,000Vに昇圧して、3,000V回路をなくするという行き方の外に、3,000V回路は3,000V回路でできるだけ強化するという方策もとるべきものと考えている。3,000Vの電動機を用いるにちょうど適した負荷も多いものと考えられ、また6,000Vに昇圧しても将来また負荷量の増加に従って対策が必要となってくるのは当然であるので、別の対策も考えておく必要がある。

それでは3,000V回路で必要なのは、低圧バンキング方式である。これで負荷増加に対応できるところが多いはずである。

つぎに高圧回路網系統を構成することである。米国では4,000Vの高圧回路網が広く構成されているところをみると、現在系統の強化がます必要であると思う。この回路網構成にするには直接々地系として高圧幹線を選択遮断することが必要となってくるので、5,200Vにして直接々地系を作つておき、これを連絡して行くというのも経済的な対策の1つであると考えられる。

低圧回路網構成はさらに負荷密度が高くなつたときにぜひ採用すべきものであるが、現在でも都心部ではこの方式で配電する必要がある場所も多い。

なお、大きなビルディングあるいは工場等で集中した電力を使用するところではSpot Networkを採用した方がよいところも多々ある。

3. 負荷増加に関連して

電力需要に対応して、配電系統を構成する場合に、まずその起源よりたどつてみると、負荷中心にできるだけ近い所に大容量の配電用変電所を設置して、そこまで10~30kVの特高電圧で引込み（わが国の大都市のみならず外国でも大都市の中心部に60kVの送電回路で引込んでいるところが多い）、その場所で3,000~6,000Vに降圧して、放射状に配電するのがもっとも経済的であった。これは特高回線の長さをできるだけ短くして、高圧回線を長く張るということであるが、この系統の信頼度は特高回線の信頼度に負うところが多く、特高回線および配電用変電所は無停電供給を考えて、種々の対策が考えられている。配電用変電所より分岐した高圧幹線は、隣接変電所よりの救援あるいは移動変電所を用意しておくこと等の対策が立てられるのはもちろんである。

ところで負荷が漸次増加して電力施設の設備容量が不足してくると、大容量変電所を追加建設して負荷増加に応することは経済的に不利となってくる。長期間の経済を考え合わせると別の手段が必要になってくる。

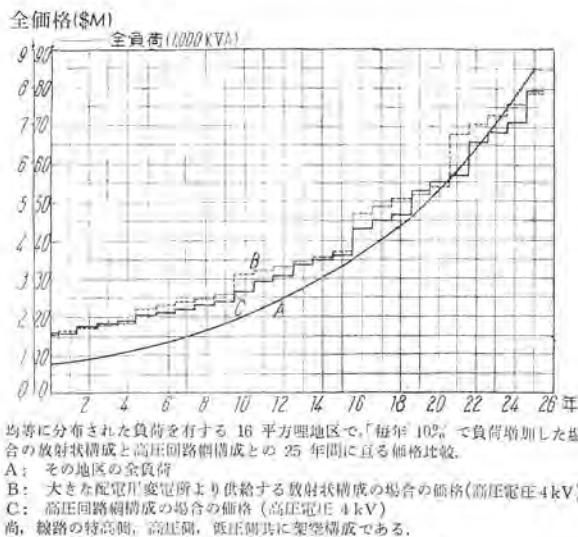
それで負荷増加に対応して、必要量をまかなく、小容量変電所を必要な場所に設置する必要が起きてくる。すなはち特高回路より分岐した、特高回線と小容量変電所

を一体と考え、特高側の遮断器を省略した単位構成の変電所が多数設置される傾向になってきたわけであり、これが単位変電所の起源である。この単位変電所は特高回線と一体と考えて構成されているので、停電の機会は多いわけであるが、1度に1ヶ所の事故しか起きないと想定して、隣接変電所よりの救援あるいは移動変電所を備えて対応して、実効があげられているのは衆知のことである。（特高側に異常電圧が発生して多重事故を起す場合は、この系統構成のみでなく、どんな方式でもまずいわけで、特高側の系統構成は強力でもあり1ヶ所の事故が他に波及しないようにする必要がある。）このように小容量変電所を多数設置すれば特高回線が長くなって、高圧幹線が短くなるという結果になって、経済的には高価になるはずであるが、長期間の負荷増加を見込んだ場合には経済的に有利になるので多数用いられるようになった。わが国の単位変電所の容量は6,000~12,000kVAの容量のものが設置されているがこれは少し大き過ぎる。米国ではこの種の単位変電所は3,000kVA以下であって、移動変電所としては600~3,000kVAの範囲である。

一方大都市の負荷密度の高い所で、信頼性の高い配電方式として、低圧回路網構成が米国で1920年頃に企画されて、1949年までに196の都市に応用されている。これは、低圧回路を格子状構成として、その交接点にそれぞれ単位変電所を接続し、これより電力を供給する方式である。この方式は小容量単位変電所を負荷増加に応じて、小刻みに増加できるという利点を持っているもので、経済的に負荷増加に対応するには最良の手段である。小容量変電所は据付面積が少くてすむために、地下設置ができるし、場所の選定が容易である。また低圧が格子状回路網として構成してあるので、これに引込む高圧線は放射状でよいわけであつて幾多の利点を有する。また負荷密度がさらに高い所では特高（10~30kV）より直接低圧に降圧する変圧器で構成ができるわけで、この場合はさらに経済的に有利である。この低圧回路網単位の容量は大体150~600kVAの範囲である。またこの方式は小都市で全部が架空構成の線路を用いた所にも利用されているが、その場合大体50~150kVAの単位容量である。

また工場あるいはビル等で大容量の電力の集中して必要とするところが多数できてきて、特高電圧で直接引込んでSpot Networkが構成されている。わが国でもビル・劇場・工場・その他炭鉱などに応用範囲が広い。

つぎに低圧回路網構成で成功した結果として、高圧回路網構成が当然考えられるわけで、米国では1931年にPittsburgh地区に始めて構成されたが、それ以来1942年には25の電力会社がこの構成を採用して、また原理を応用している。この高圧回路網構成は負荷増加に応じて、放射状系統に単位変電所を多数構成してきた結果と考えられ、放射状系統が負荷増加に応じて発展した当然



13 図 負荷増加と設備費との関係
Fig. 13. Relation between load-increase and capital-cost.

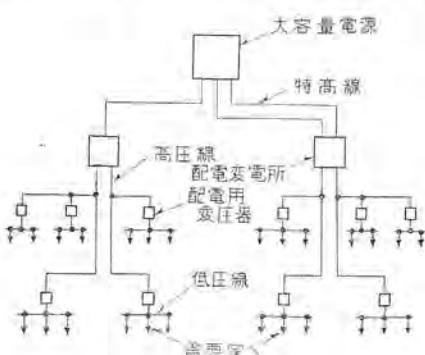
の帰結と考えられる。これは中位の負荷密度のところでもっとも経済的で、ことに線路構成が全部架空であるところでは有利であるといわれている。なお高圧回路網構成にすれば特高回路は放射状構成でよい利点がある。単位変電所の容量は 1,000~3,000 kVA で放射状系の単位変電所の容量と一致するが、米国の実例では 1,500~2,000 kVA (空気吹付定格 1,875~2,500 kVA) が一番多い。

わが国では現在は昇圧による増強に力をそがれていますが、この高圧回路網構成が必要なところが多数出てくるはずであるので、将来この構成ができるように放射状回線を強化して行くことが必要である。

つぎに高圧回路網方式が負荷増加に追随するのに有利であるという一例を 13 図に示しておく。

この関係図は負荷増加と設備費との関係であって、16 平方マイルの地域に均等に負荷が分布していて、毎年 10% の負荷増加を想定した場合であるが、放射状系統構成の場合よりも、高圧回路網構成の場合が有利であることがわかる。

ところで上述のように、負荷増加に応じて特高回線を直接需要家地区に引込んでくることが必要になってくるので、配電系統より特高回路を切離して考えることができるのは当然で、大容量電源より分歧する、特高回線



14 図 配電系統構成の説明図
Fig. 14. Schematic diagram of distribution system.

を含めて、配電系統を総合的に検討する必要がある。わが国では特高回路 (Subtransmission) の概念は明確でないが、これを含めて全体の構成を比較検討する必要がある。

一応 14 図に示す放射状配電系統について、分離してみると、つきの 6 部分に大別できる。

(1) 特高回路 (Subtransmission circuit)

これは現在わが国では明確に配電回路に含めて考えていないが、11~33 kV の電圧に相当するもので、わが国で特高回路に相当する。配電回路の合理的構成を行うには、ぜひこれを含めて総合計画を行う必要がある。この回路は放射状、環状あるいは回路網状であって、また地中ケーブル、架空ケーブル、架空裸線あるいはそれらの組合せでできている。

(2) 配電用変電所 (Distribution substation)

特高電圧を通降して、担当地区に給電する変電所であり、数台の変圧器によって構成され、電圧調整装置、母線および開閉装置をもって構成される。

(3) 高圧回路 (DistributionあるいはPrimary feeder)

わが国では 3,000V、あるいは 6,000V あるいは 5,200V の線路であって、普通変電所の低圧側より 3 相回路幹線として出発して、負荷中心で 3 相回線と單相回路支線に分かれる。この回路もケーブルあるいは架空裸線で構成される。

(4) 配電用変圧器 (Distribution transformers)

ここで低圧に降下して需要家に供給する。

(5) 低圧回路 (Secondary circuit or secondaries)

低圧回路もケーブルあるいは架線で構成される。

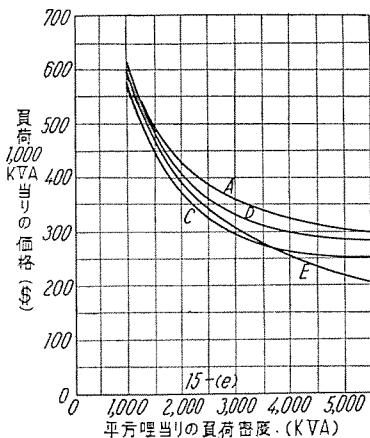
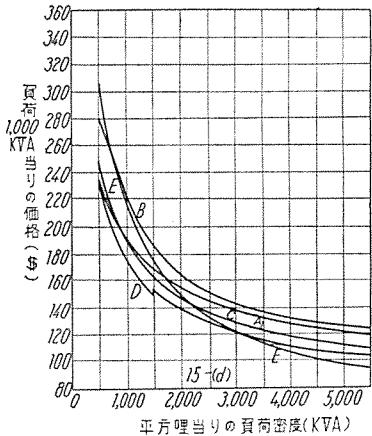
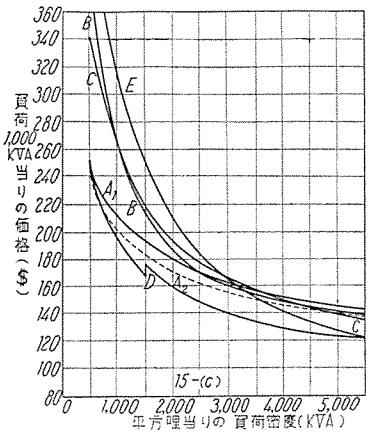
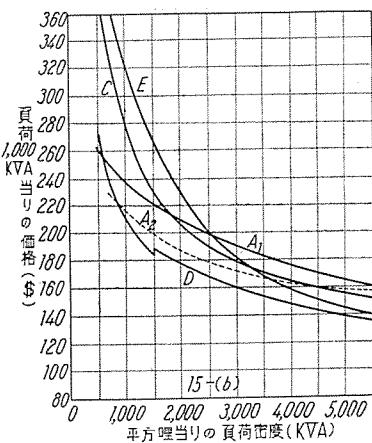
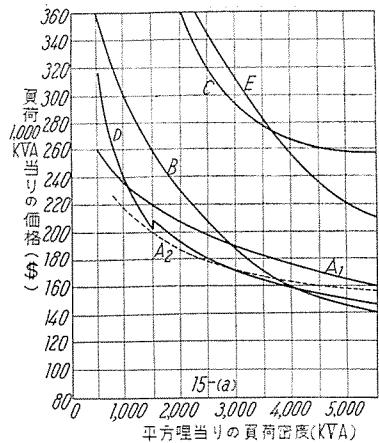
(6) 需要家回線 (Consumers' service connection and meters or consumers' services)

経済的検討をなすにはこの 6 部分を総合して検討すべきものである。

4. 経済的考察

経済的考察をする場合には、電圧階級、特高回路および高圧回路の構成、予想する負荷増加、サービス上の要求度、変電所の構成、労働賃金、材料費等々が関係してきて、かつ地域的の特殊事情もはいってきて一般的の結論を出すことは困難であるが、Westinghouse 社発行の Transmission and Distribution Reference Book に示してある関係図を示して参考にする。15 図は各種の配電方式の比較図であって、16 平方マイルの地域に均等に分布して、毎年 10% ずつ増加する負荷に対して比較したものである。これで一般的の概念は得られるものと思う。各符号は図の注に示したとおりである。

まず (d) の全回路が架空裸出線構成の場合について比較すると、高圧回路網構成 [D] が全般的にみて経済的であることがわかる。しかし、平方マイル当たりの負荷密度が 3,000 kVA を超すると低圧回路網構成が有利と



15 図 経済比較

Fig. 15. Economical comparison.

なる。なお、放射状系統の高圧回線電圧が 4 kV の場合 [A₁] と、特高電圧 13.2 kV を直接引込んだ場合 [C]、とを比較すると、負荷密度 1,000 kVA のところで交叉して、これ以下では [A₁] が有利で、それ以上は [C] が有利となる。なお母線電圧調整器を備えた場合 [B] と各幹線ごとに電圧調整器を備えた場合 [A₁] とを比較すると、負荷密度の少いところでは各幹線ごとに電圧を調整した方が有利で、負荷密度が大になるに従って、両者の差が少くなることを示している。

次に (e) の特高回路および 4 kV 高圧回路が全部地下構造で、低圧回路のみが架空ケーブル構造の場合を比較すると、全体として負荷 1,000 kVA 当りの設備価格は (d) に比べて倍以上になるのは当然であるが、この場合は 13.2 kV の特高電圧を直接引込んだ方 [C] が有利となって、平方マイル当りの負荷密度 3,600 kVA 付近を境として、それ以上は低圧回路構成が有利になることを示している。高圧回路網構成 [D] はこの場合は特高回路のケーブルの長さが長くなっているので不利であるのは当然である。(高圧回路網構成は全部が架空構成の場合に一番有利である)しかし、[A₁] の放射状構成よりも有利であるわけだ、[A₁] の放射状構成がすでに施設してあればこれを、高圧回路網構成 [D] に移行させて移って行くことが当然考えられる。(大都市の配電は現在のみならず、将来も地下構成で設備されるはずであるから、この関係 (e) は参考になる)なお、負荷は不均等に増加して行くのが普通であって、集中した負荷密度の高い場所が出てきたときに特高を引込んで [C] の構成をなし、比較的負荷密度の低いところは [D] を採用した方が有利な場合がたくさんある。さらに全般的に負荷密度が高くなると、[D] の低圧を結んで [E] 構成とし、あるいは特高を引込んだ [C] の低圧側を結んで [E] 構成するというふうに移行すべきものであると考えられる。

均等に分布された負荷で、毎年 10% ずつ増加する 16 平方哩の地区で種々負荷密度に対する各種配電方式の相対価格。

- (a) 特高回路地下構成。その他は全部架空裸出構成。
 - (b) 主特高回路地下構成。分歧特高回路は架空ケーブル。4 kV 高圧幹線は架空裸出線構成。低圧回線は架空裸出線構成。
 - (c) 特高回路は架空ケーブル。其他は全部架空裸出構成。
 - (d) 全回路架空裸出構成。
 - (e) 特高回路及び 4 kV 高圧回路は全部地下構成、低圧回路は架空構成。
- [A₁] 放射状系統各幹線に電圧調整器付。
12,000 kVA 配電用変電所
[A₂] 同上 24,000 kVA 配電用変電所
[B] 放射状系統。母線調整器付変圧器 4 kV 高圧回路
[C] 放射状系統。
13.2 kV 特高電圧で直接配電用変圧器に供給。
[D] 高圧回路網構成。高圧回路電圧 4 kV、(曲線で 1,500 kVA の所で不適統点があるのは高圧回路遮断器の遮断容量増加の影響である)
[E] 架空低圧回路網構成。

わからが、負荷密度が 500 kVA 以下の負荷密度が少いところでは [A₁] の方が有利になって行くのは当然である。母線電圧調整器を付けた [B] の場合および、13.2 kV の特高を直接引込んだ [C] の場合は共に負荷密度が高いところで次第に有利になって行くことも当然のことである。

以上で 15 図につき若干解説したが、負荷密度に応じてまた、信頼度向上および周囲条件より来る線路構成(ケーブルかあるいは架空線か)などによっていろいろ

条件は異なるわけであるが、つぎのことが推定できる。

(1) 低負荷密度の地区より漸次負荷が増加する場合、最初は放射状系統になっているはずであるが、負荷が漸次増加するに従ってこの放射状系統に単位変電所が多数設置されてくる。さらに負荷密度が増加して信頼度が要求されるに従って、高圧回路網を構成していく。線路構成は大体架空構成である。

(2) さらに都市人口が増加するにつれて、負荷増加につれて、高圧回路構成系統で架空ケーブル構成部分および地下ケーブル構成部分が増加する。

(3) 一方集中した負荷を消費する、ビル・劇場・病院および工場などが増加して特高ケーブルで直接引込むことが必要なものが増加する。

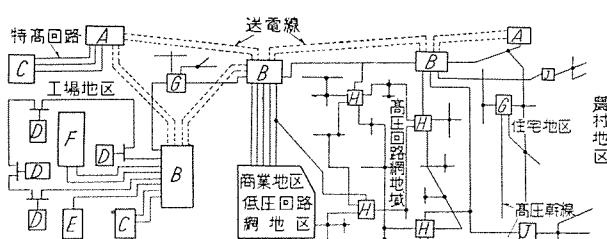
(4) さらに負荷密度が増加するに従って、高圧回路網構成を低圧回路網構成に移行する。あいは大都市計画と付随して特高電圧より直接低圧に通じる低圧回路網構成を作る。

などのように負荷要求と、負荷の分布状態に従って配電構成は変化していくべきものである。周囲条件の変化および負荷密度変化に応じて対処することを考えておくことが必要である。

とにかく筆者はまず高圧回路網方式を採用していくべきものと考えている。それにはそれ独特の対策が必要であるわけで、放射状系統、高圧回路網系統、および低圧回路網系統の個々につき紹介する必要があると思うが、今回は紙面の都合上割愛する。

米国でも1つの方式に限定しているわけではなく、その地区、負荷に応じて適当な方式を採用している。その一例を参考のために16図に示した。

他方農村地区のような低負荷密度のところで、配電線を延ばしていくと、その付近の電力需要が増加し、さらに遠方の地区に需要が伸びて、次第に遠方まで伸びていくという性質のところがある。それに対応するには配電電圧を高くする必要がある。米国で農村地区には13.2kV、あるいはそれ以上の電圧を採用しているところが多い。わが国でもそれと類似で10kV級の電圧で配電をする必要があるところが多い。



A: 発電所
B: 大電力変電所
C: 工場(工場内回路網構成に適する所)
D: 特高回路ループで供給される工場
E: 1本の特高回路で供給を受ける工場
F: 重複特高回路で供給を受ける工場
G: 放射状高圧回路に供給する配電用変電所
H: 高圧回路網単位変電所
J: 農村地区に行く高圧回路に供給する単回路の変電所

16図 配電回路構成の概略図

Fig. 16. Block diagram of distribution circuit.

5. 配電線低圧電圧

負荷増加に応じて、従来の100V(電燈用)、200V(動力用)の単相2線式低圧配電では需要に応じられない状態になってきて、100V単相3線式および200V単相3線式が広く採用されている。当分の間はこれで需要を満しうるといわれているが、10年も先、あるいは20年先を考えると、電圧を上昇して対処しておく必要があるという提案もあって、300V単相3線式、400V単相3線式、あるいは200V3相4線式、350V3相4線式等々の意見が出ている現状である。

すなわち電圧を上昇すれば負荷容量は増加するのでは当然で、200V単相配線は100V単相3線式と同程度の負荷容量となり、200Vとして比較すると、3相と単相3線式では負荷容量は大体7:4の比率であるといわれている。

一方需要家の電気器具を考えてみると、家庭用のものでもラジオ・テレビ・ミシン等の100Vの方が経済的のものと、200Vを直接引込んだ方が有利な台所用レンジのようなものとが分散している。しかし家庭用電気器具は100Vが適しているものが多い。

ビル・劇場・工場等のように200V級、あるいは400V級が適している機器、たとえば換気扇とか、ポンプとか、蛍光照明とかが多いところもあり、また紡績工場、製鉄所等の工場用動力で400V級を必要とするところもある。

それで需要家によって使用する器具によって、希望する電圧値に差があり、さらに保安上の問題が関係していくので、1本に決定すべき性質のものではなく、議論の多いところである。

ところで外国の例をみると、米国では住宅地は120/240単相3線式および120/208Y3相4線式が広く用いられているが、負荷の性質によって、工業地区では265/460Y3相4線式が採用されている。欧州では150V、あるいは200Vが住宅地でも用いられている。それで家庭用引込みに200Vを採用しても安全上問題ないという意見もある。

米国の現状をさらに見てみると、家庭用の引込みは大地電圧120Vとしているが、これは安全規定と需要家器具と関連して決定されている。家庭用の引込みでも台所用レンジ等のように電力を多く消費するところは200Vを直接引込んだ方が有利の場合も多いので200V引込みを行っているところもあるが、そこでは家庭用内部の配線は単巻変圧器で通じて、120Vで行っている。

なお、低圧回路網系統では120/208Y3相4線式として、饋電するように統制されているが、このときに220V電動機に対してどう対処するかということで相当に議論があつたらしいが、安全規定上120Vの方を主体としてこれに合わせたようである。それで最近工業用の電源として120/208Yの倍の240/416Yを推奨する声も強いが、

440 V の電動機に対応する電圧としては不足があるので 265/460Y が最近標準として採用される機運にある。

以上を考えてみると、この電圧も負荷の性質と量に関して適当な電圧を定め、高い電圧で供給した方が経済的な地区でも 100 V 級に適した器具には単巻変圧器を使用して、これに応じて行くのがよいと考えられる。すなわち 100 V 級を希望する機器、200 V 級を希望する機器、400V 級を希望する機器の量によって、その地区その地区で経済的の配電電圧が決定するものと考えられる。

6. 米国における実状

米国でも低圧配電電圧は数年来の論議の的になっており、電力事業者、製造者および需要家の間で論争を続けている問題である。単相か 3 相か、あるいは電圧値はどうするかということにいぜんとして意見の相違がある。

しかし供給側が単相であるべきか、3 相であるべきかということと同程度に負荷の形式、およびその位置が電圧値の選定に重要な因子となるのは明かであるが、あまりにも多くの電圧があって、なお負荷に種々の型式があるので、かなりの混乱を示しているのが実状である。そこで米国での現状を需要家電圧に対応する標準変圧器(3 表)をもととして参考のために紹介しておく。

ア. 120 V 2 線式単相

これは普通 120/240 V 単相 3 線式の系統から引出されている。しかし 120/208Y 3 相系統の 1 線と中性点間の電圧を引出しても構成できる。単相変圧器が大部分使用されているもので、単相の変圧器を組合せて 120/208Y を構成することもでき、また 1 台の三相変圧器で 120/208Y を構成できるので 3 相 4 線式方式に変更した方が有利である。なお、単相 2 線式 120 V は現在の負荷には適していないので、変更が試みられており、負荷の少い辺鄙な所とか、場所の制限を受けて変更できない所でのみ残っている。

イ. 120/240 V 3 線式、単相

これは中性点を接地した方式で広く用いられており、100 A 需要家、引込みと組合わせて今日では配電上適している。普通 120/240 V 単相変圧器から供給されるが、3 相変圧器の 1 脚からも小負荷ならとれる。

一方この電圧は将来の住宅地の重負荷に対して適当かどうかということについて相当の論議がある。しかし今後数年間は住宅地区的電圧として用いられることは確かである。そして 120 V 2 線式の既存系統がこれにおき変えられて行くことも確かである。

なお、現在は家庭でも一番多く電力を使うところ、たとえば台所のような所は 240 V を供給して、かつ家庭の軽負荷の電気器具には 120 V を分岐して使用するのが普通になっている。さらに最近の概念では、すべてのソケットで 120/240 V がとれるようにしておき、電機器具によってどちらかの電圧を使用するという考え方もある。

なお、高度の電化設備を備えた家庭ではもっと高い電圧が使用されるかもしれない。

ウ. 240 V 2 線式、単相

これは 1 端を接地した単相 240 V 系からあるいは 240/480 V 単相 3 線式系から供給できるもので、また 240/416Y 3 相系の一線と中性点間の電圧から供給されるこ

ともできる。これは 2 線式の配線がしてある住宅地で、直接 240 V がほしい場合に実施されるもので、National Safety Code でこの大地電圧で許可が得られれば実施できるといわれている。

家庭用電気器具でこの電圧ではまずいところは、単巻変圧器で需要家入口で 120 V に降圧して供給される。

この昇圧は系全体の経済性を十分に検討する必要がある。

変圧器としては 120/240 V 変圧器がそのまま利用できて、120 V に降圧する標準の単巻変圧器もある。しかしこの方式はまだ比較検討すべきことが多く、なお、240/416Y の変圧器は現在は標準になってない。

エ. 240/480 V 3 線式、単相

これは単相 240/480 V 3 線式で、中性点を接地して使用されることになる。すなわち、1 端接地した 240 V を需要家に供給することになる。480 V もその電圧がほしい所に供給されることになる。しかし 120 V がほしい家庭用電気器具は単巻変圧器で降圧しなければならぬ。

このレベルの電圧を住宅地で使用することは多大の問題がある。電力供給側の経済、消費者側の経済、家庭用電機品の値段、従来 120 V で設計してきた家庭用品の設計変更、および、家庭用の電力需要量がどこまで増すか、等を詳細に検討する必要がある。

変圧器としては 240/480 V の標準単相変圧器があつてなお、能率は悪いが、120/240 V の変圧器を対として 240/480 V として使用することもできる。

3 表 需要家電圧に対応する標準変圧器

低圧配電方式	適用	標準変圧器低圧側定格	
		単相	3 相
単相配電			
120 V/2 線式 (1 端接地)	軽負荷住宅地	120/240	208Y/120 240△* 280△* 240×480△*
120 V/240 V 3 線式 (中性点接地)	一般住宅地	120/240	240 240×480△*
240 V 2 線式 (1 端接地)	将来の見込住宅地	120/240 240/120 240/480 240×480	240△ 240×480△*
240 V/480 V 3 線式 (中性点接地)	将来の見込住宅地	240/480	標準なし
三相配電			
120/208 Y 4 線式	商業地区及び住宅地	120/240 (120 V 接続)	216 Y/125 (回路網) 208 Y/120
240/416 Y 4 線式	回路網 商業地区 商業地区 将来の住宅地	120/240 240/120 240/480 240×480 (240 V 接続)	標準なし
265/460 Y 4 線式 277/480 Y 4 線式	回路網 商業地区 商業地区 将来の住宅地	標準なし	標準なし◎
240△ 3 線式	主として工業用 (120/208 Y) (となる傾向)	120/240 240/120 240/480 240×480 (240 V 接続)	240△ 240×480△
480△ 3 線式	主として工業用 (277/480 Y) (となる傾向)	240/480 240×480 (240 V 接続)	480△ 240×480△

* 3 相変圧器中の 1 相の低減容量の中間タップより 120 V を取出す。変圧器としては 150 kVA 以下、95 kV BIL 以下、この低減容量タップは 4 本目の套管を通して引出される。なお、定格 kVA の 5% 以下の軽負荷しかとらず、電燈用として考へている。

◎ASA は 480Y/277 V を或る kVA では標準変圧器とし、高压電圧定格として受け入れた。480Y/277 V の負荷中心の変圧器は今は製作者の標準となっている。

オ. 120/208Y V 3 相

これは低圧回路網系統に利用されており、商業地区、工業地区および住宅地区に適用されている。低圧回路網に対する供給は普通3相変圧器でなされる。回路網変圧器は普通216Y/125であるが、208Y/120の定格でもよい。また回路網構成でないところでは、単相変圧器を3相接続して、低圧側をY接続してもよいことになる。

低圧回路網では120/208Yが広く用いられているが、新しい大きなビルとか商業地区で大量の電力がほしいところではSpot networkを作つて、概略この電圧の倍の電圧を使用している。なお、商店の中心とか、ビル等の電力を多く要求するところでは急速に高い電圧を採用しており、さらに高い電圧となる傾向がある。

この120/208Yの系を構成する場合に3相回路網変圧器、あるいは標準の単相変圧器で構成できる。ところで標準の単相変圧器では167kVA以下の容量のものが120/208Yの接続に適しておつて、これ以下のものが用いられる。

一方最近まで作られた250~500kVA標準単相変圧器は240/120V単相3線式用であつて、208Y/120Vの接続には適してない。それでこの容量の単相変圧器を240/120単相3線式のものに適するようにしておくか、あるいは208Y/120の接続ができるようにしておくか、現在ASAで討論中である。

カ. 240/416Y 3 相 4 線式

この電圧は240V2線式、あるいは240/480単相3線式と協調することを考えたものである。もし新しい416Y/240あるいは432Y/250の3相変圧器を作れば構成できるわけで、また単相の240Vの変圧器を接続しても構成できる。従来でもこの電圧は440Vの電動機を240Vの単相変圧器を用いて駆動するときに構成されていた。

この電圧を主張する人は480Y/277V系統よりも、240V2線式と関連して住宅地区に適していると称している。すなわち240/416Y系統は240V2線式(1端接地)が住宅地区に採用されるか否かによって左右されるものである。

標準の3相変圧器はないが、この電圧は標準の単相変圧器の組合せで取出すことができる。

キ. 265/460Y 3 相

ときどき277/480Yあるいは255/440Yと呼ばれるが、基本的には無負荷時の定格電圧が480Y/277の変圧器から供給される系統である。ところで同じ変圧器を用いても、低圧回路網系ではその電圧レベルは265/465Yとなって、工場地区の場合は負荷中心に変圧器を設置するのでそのままで普通277/480Yと称せられている。

一般にSpot networkとか、工業用負荷とか、大量の集中負荷に対しては120/208Y系統の、概略倍の電圧が電力供給者にも、消費者にも多くの利点を持つことが認められている。

本質的には240/416Y系統からも同様の利点が得られるはずであるが、265/460Yあるいは277/480Yを支持する人は、208V系統で220Vの電気機器を使用するのに困ったが、同様なことを440Vの電気機器にかけるべきでないと主張している。

265/460Yあるいは277/480Yを住宅地区に単相として、また3相として引込むことを主張する人もあるが、経済的問題と安全の問題でこの電圧の使用は論争のまととなっている。

変圧器の標準化は意見の相違のために、まだできていないが、480Y/277の工場配電のための3相の電源変圧器はすでに製作利用されており、最近ASAは480Y/277の低圧側電圧を有する変圧器を、容量を指定して標準と認めたとのことである。

ところでこの標準を定めるにあたって、既存の変圧器との協調についてはタップを選定して協調をとることが考えられている。たとえば、標準の120/240、あるいは240/120の単相変圧器には定格最高電圧以下に2½%タップが4個付けられているが、その最底タップを使って若干の過励磁をやると無負荷電圧は単相で264Vとなり、3相電圧では457Vとなる。一方277V単相変圧器、あるいは480Y/2773相変圧器で定格の480Vの上下に2½%タップを2個ずつつけると、最高タップのところで456Vとなる。

すなわちその協調は非常に範囲が狭く火急の操作にしか適しないが、一応240/416Yと265/460Y(あるいは277/480Y)との間の協調を一応考えている。

ク. 240 および 480 3 相 Δ 結線

これは無負荷電圧が240、480、240/480、240×480である単相変圧器あるいは3相変圧器から供給される。

主として220あるいは440V電動機および、△結線が望ましい電気装置に電力を供給するものである。

しかし、最近は240V△系統は120/208Yにおきかえられる傾向にあり、また440V△系統は480Y/277におきかえられる傾向にある。

7. む す び

現下問題になっている配電問題について、系統構成を中心として種々の角度より私見を述べ、かつ米国における実際を紹介してみた。今後の系統構成上参考になれば幸いと思う。なお、配電系統の実際に関係しておられる方々よりご意見を頂ければ幸いと考えている。

本文作成に当つては、当社応用技術部課長が各電力会社を回つて問題にした事項を参考とし、かつWestinghouse社のTransmission and Distribution Reference Bookおよび協同研究会主催の配電方式委員会の報告を参照したことを付言し謝意を表する。

なお放射状系統の信頼度向上問題、高圧回路網構成上の問題、低圧回路網構成上の問題、およびこれに関連する保護装置の問題、電圧調整問題等々言及したいところが多いが、今回は紙面の都合上割愛する。

参 考 文 献

- (1) Electrical Transmission and Distribution Reference Book.
- (2) 電気協同研究第8巻第2号
「配電方式(中間報告)」
- (3) 電気協同研究第10巻第4号
「配電方式(昇圧関係)」
- (4) 電気協同研究第11巻第4号
「単相三線式低圧配電方式」
- (5) Electrical World. Dec. 17, 1956, pp. 44~48

通信線の誘導電圧

本社 木村久男*・山田栄一**

Induced Voltages on Communication Lines

Head Office Dr. Hisao KIMURA · Eiichi YAMADA

Increasing attention of parties concerned both electric power and communication has come to be paid to the inductive disturbances on communication lines, now that the problem of direct grounding in the electric power system has come to the front and also the Japanese National Railways' a-c electrification has been successfully taken up. Much is being discussed nowadays but no successful solution has been brought about yet. According to actual measurements, electric power systems with direct grounded neutral have been proved advantageous in the point of the inductive disturbances.

1. まえがき

誘導障害とは、電力系統と通信線路との特性および相互関係によって、協調が行われていない場合に、通信線に対して経済的なサービスの妨げとなるような障害の総称であり、これには電力系統における事故時に発生する瞬時の誘導と、平常状態において常時発生している誘導との2つに分けられる。しかしてこれらの障害を分類すれば、次のようになる。

(1) 事故時に発生する誘導(誘導電圧は大きい)

- a. 人体に対する危害
- b. 機器(通信装置、リレーその他)および線路の過熱ならびに絶縁破壊

(2) 常時発生する誘導(その電圧値は小さい)

- a. 通話の雑音
- b. 信号の失敗

しかして本文においては、電力系統事故時に発生する、電磁誘導障害のみを対象とし、常に発生する雑音障害は別の機会にゆずることにする。

近年電力系統における直接接地方式の採用、あるいは国鉄電車線における交流電化の実施等にともない、誘導障害の問題に対して、電力側・通信側の関心はますます高まり、熱心に検討が加えられ、その解決のために努力が払われているのであるが、まだ十分なる結論は得られていない。すなわち、この誘導障害問題の未解決が、直接接地方式の採用を妨害している現状である。外国においても、この問題について相当真剣に論じられているが、CCIF(国際電話諮問委員会)1954年の総会における勧告によれば、従来の制限電圧を650Vまで緩和すべきことを述べ、つぎのことを指示している。

(1) 起誘導電流の計算は事故点の接地抵抗、事故の生ずる位置、事故の回路構成等につき、最悪の事態を仮定すること。

(2) 高安定度電力線においては、事故発生の確率が小さく、かつ故障継続時間も多くの場合0.2秒以下、

遅くとも0.5秒以下となしうること。

以上の(1)、(2)の指示を見る場合に、直接接地系統のみがこれにあてはまる系統であって、CCIFの勧告の制限電圧650V格上を受入れることのできる系統であるようと思われる。

(1)では、起誘導電流の計算にあたっては、事故の回路構成等については、最悪の事態を仮定することが指示されている。すなわち接地事故を考える場合、1線地絡のみでなく2線地絡をも考えねばならぬであろう。さらに異地域における2線接地も当然考えるべきである。そのような場合においては起誘導電流の点にて非接地系あるいは高インピーダンス接地系は、直接接地系に比して有利とはならない。

つぎに(2)の事故発生の確率の小さいこと、または事故継続時間の短いことという指示に対しては、非接地ならびに高インピーダンス系統においては、1線地絡事故の際に、往々にして、高調波共振などによる異常電圧の発生によりさらに多重事故に発展することが多く、また事故の場合には、その故障除去に要する時間は長く、指示にあるような0.2秒以下といふことはほとんど不可能である。これに反して直接接地系統では、事故発生の場合においてもリレーの特性上、その除去に要する時間は非常に短く、また1線地絡から2線地絡に拡大することも少い。

すなわち制限電圧を650Vまで緩和されるとても、その恩恵を受けられるためには、直接接地を採用してはじめて可能であるように思われる。

2. 電磁誘導電圧の実測結果

今まで直接接地の採用にあたって、数多くの人工故障試験が行われ、その都度通信線路の誘導電圧の実測が行われてきたが、その一例として小又川系および四国電力宇和島系の実測結果について簡単に述べる。

ア、小又川系における実測結果⁽¹⁾

小又川系において非接地系ならびに昇圧後の直接接地

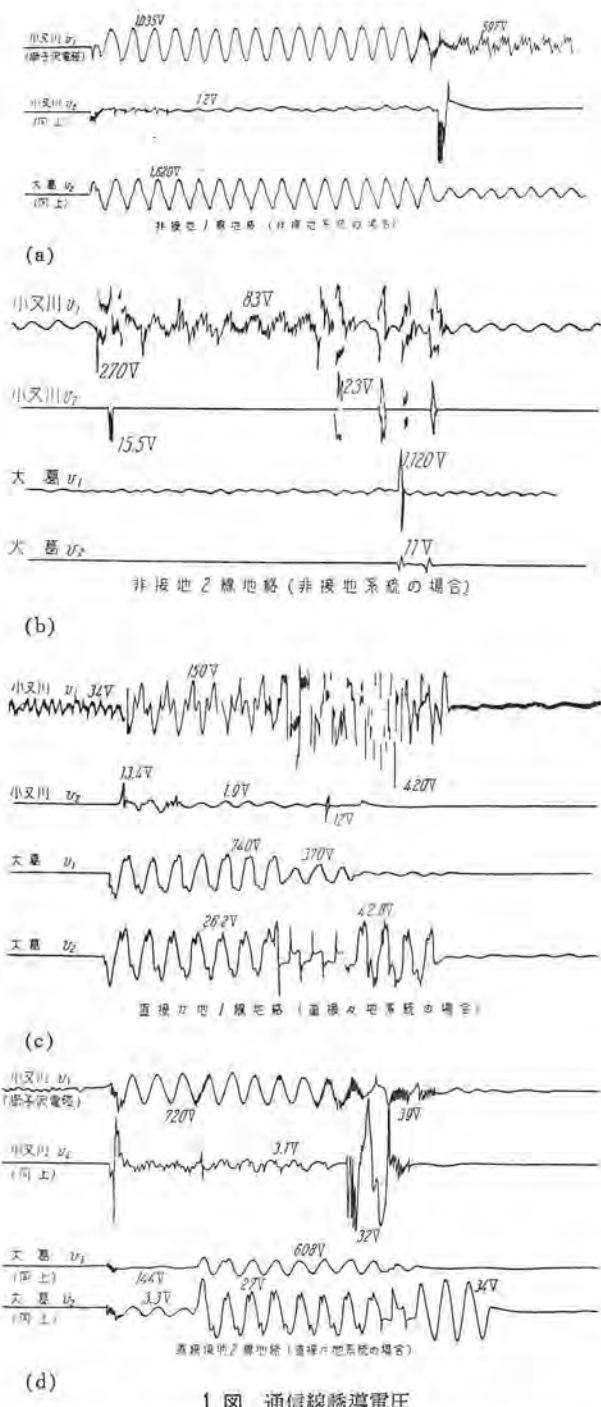


Fig. 1. Induced voltages on communication lines.

系について、充電電流遮断試験、1線接地、2線接地試験を実施し、両系統における誘導電圧の比較が行われた。1表に、全試験を通じての、各系統における誘導電圧最大値の比較を示す。2表は添架電流小又川線および大葛線における1線地絡時の対地電圧値を、3表は同じく2線地絡時の対地電圧値を示す。

1図にそのときの代表的誘導電圧のオシログラムを示す。

1. 四国電力津賀一宇和島系統における実測結果⁽²⁾

四国電力において津賀一宇和島系統において 100kV 直接接地上昇に際して、人工故障試験による通信線に対

する誘導電圧測定が実施された。その際の試験結果の一例を4表に示す。

通信用避雷器のある場合と、避雷器のない場合における試験時の通信線の電圧および避雷器電流のオシログラムの一例を2図に示す。

避雷器としてはカーボン避雷器、水銀避雷器が使用せられたが、カーボン避雷器は動作が不確実で、異常電圧が発生したにもかかわらず動作しない場合もあった。動作した場合の避雷器の制限電圧は約 40V 位である。

水銀アレスターの場合は、放電特性は均一であり、動作しないような場合はみられない。放電の際は弁特性を示し、電流零値付近において約 1/8 サイクル位放電が停止する。したがって 1/2 サイクルごとに放電を開始するが、その放電開始電圧は 320V (波高値) であり、放電中の避雷器の制限電圧は約 50V 以下である。また避雷器に直列にリレーを挿入して、放電電流によって避雷器自体を短絡する方式も採用されているが、この方式のものにあっては、2図のオシロに示すように、故障発生後（すなわち通信線に誘導電圧発生して、避雷器放電後）約 1/2 サイクルでリレーが動作して、避雷器を短絡し、その後はリレー中の電圧降下のみとなり、約 23V となっている。

1表 通信線誘導電圧比較表

誘導電圧	人工故障試験					
	直接接地		非接地		リアクトル接地	
	1線接地	2線接地	1線接地	2線接地	1線接地	2線接地
100% 以下	一同	7回	11回	8回	7回	6回
100%	24	2	0	0	0	0
100% 以上	—	16	13	14	4	5
最大値	100%	970%	580%	1070%	1000%	308%

注：この測定値は同じ線間電圧に換算して（誘導電圧は線間電圧に比例すると考えて）直接接地 1 線地絡時を 100% として、他の場合を百分率で示してある。

2表 1線接地による添架電話線誘導電圧

		小又川線対地電圧		大葛線対地電圧	
		第3発電所なし	第3発電所あり	第3発電所なし	第3発電所あり
非接地	商用周波	100V	83V	0V	0V
	“	0	0	1140	1370
直接接地	商用周波	64	617	730	1660
	“	330	400	845	2200
高周波性	1550	1820	2140	2140	2140

3表 2線接地による添架電話線誘導電圧

		小又川線対地電圧		大葛線対地電圧	
		第3発電所なし	第3発電所あり	第3発電所なし	第3発電所あり
非接地	商用周波	848V	1035V	1510V	1620V
	“	900	880	1950	2140
直接接地	高周波性	2140	2140	2130	632
	商用周波	680	720	2180	1450
高周波性	430	550	1640	—	—
	2140	2140	2140	2140	2140

4表 通信線誘導電圧測定結果

	過渡値	定常値	計算値
1線地絡	348V	348V	367V
2線地絡	479	459	—

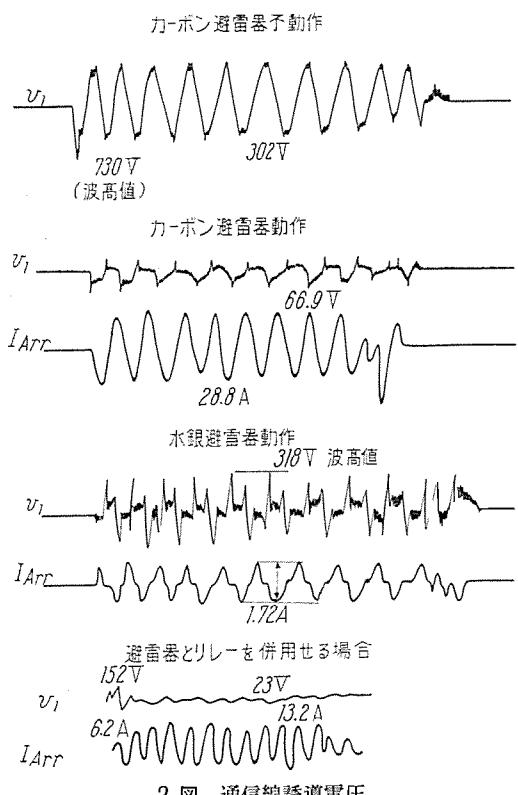


Fig. 2. Induced voltages on communication lines.

すなわち電々公社の電話線においては誘導電圧定常値において1線地絡の場合 348 V, 2 線地絡の場合 459 V が記録された最大値であったが、地絡抵抗の影響などを考慮に入れる場合には、300 V を超過する確率は非常に少いものと思われる。また直接接地方式を採用した場合には、2 線地絡事故はほとんど発生しないものと思われるから、保安装置を採用することにより、実用上はほとんど問題ないものと思われる。

四国電力の電話線においても、避雷器を使用することにより、実用上の障害はほとんど認められなかった。通信線が変電所構内に引込んである関係上、通信線の誘導電圧よりも、所内の電位上昇がはるかに高いところがあり、その電位上昇は 2,000V にも達する場合もあったが、いずれの場合も保安装置によって完全に保護されている。

3. 電磁誘導電圧の算出

誘導障害を論じる場合に、その誘導電圧値をできるかぎり正確に予測算出することが重要なことはもちろんである。しかしながら実際問題として、その正確なる算出はきわめて困難であり、今までの実測の結果より見て、実測値と、予備計算値が相当くい違っている場合が多くあった。(多くの場合実測値の方が予備計算値より小さい)。すなわち対象地域にわたって、電力、通信両線路間の離隔距離を正確に求めることは困難であり、また大地導電率を正確に出すことも困難である。さらに電磁遮蔽を考える場合、これが相当大きな函数となっていることが実測の結果よりはっきりした。すなわち対象としている通

信線の近くにある鉄道のレールや、水道管あるいはその他の電線路等、また河川なども大きな遮蔽効果があるようと思われる。このことは、小又川系の試験の際、ケーブル中の誘導電圧が、通信線(鉄道電話)、レール等が多く並行して走っていたために、一種のシールド的効果があり、計算値の $1/10$ 位となった例がある。したがって都市の近くで、水道管やガス管が多く、その他の電線路がいっぱいあるようなところにおいては、シールド効果は非常に大きく、2線地絡事故のような場合においても、その誘導電圧は相当抑えられるものと思われる。

4. 直接接地系と非接地系との誘導電圧の比較

誘導障害について論じる場合、その電圧の大きさについて考えるのはもちろんであるが、その外に、その電圧の継続時間とその発生頻度を考慮すべきは当然である。直接接地の場合と非接地の場合についてこれらを比較してみる。

ア. 誘導電圧の大きさ

誘導電圧の大きさを論ずる場合、その電圧の種類すなわちサージ性のもの、高周波性のものおよび低周波性のものについて比較する必要がある。

今までの実測結果からみて、サージ性のものは、直接接地および非接地両系統においてほとんど差は認められない。(5表参照)

5 表 1 相接地故障時の誘導電圧比較

	誘導電圧、サージ性のもの (V)		
	湯瀬花輪外話	湯瀬花輪警電	地下ケーブル
非接地	5~10	15~20	0
直接接地	7~20	8~22	1
P C接地	6~7.5	9~11	0

このことはつきの計算結果からも証明できる。

誘導電圧は次式によって表わされる。

ただし M : 電力線、通信線間の相互誘導係数

β : 過渡電流の周波数

I_0 : 起誘導電流

しかして起誘導電流の過渡値 I_0 は

非接地の場合

$$I_0 = \frac{1}{4\sqrt{\alpha}\sqrt{L_0/C_0}} E \sin \beta t \quad \dots \dots \dots (2)$$

直接接地の場合

$$I_0 \frac{\left\{1 - \left(\frac{1}{\alpha} + 2\right)\right\}}{4} \left\{1 - \frac{1+2\alpha}{2}\right\} E \sin \beta t \dots \quad (3)$$

ただし β (過渡電流の周波数) の値は

$$\text{直接接地の場合} \quad \beta = \frac{\sqrt{1+2\alpha}}{2\sqrt{\alpha}\sqrt{L_0 C_0}}$$

非接地の場合

$$\beta = \frac{1}{2\sqrt{\alpha} \sqrt{L_0 C_0}} \quad \text{である.}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L_0: \text{電源零相インダクタンス} \\ L_1: " \text{正相インダクタンス} \\ C_0: \text{線路対地容量} \\ M: \text{電力線と通信線との相互誘導係数} \\ \alpha = L_1/L_0 \end{array} \right.$$

ゆえに (1) 式に (2), および (3) 式を代入して α の函数として V の波高値を算出すれば次表のごとくなる。

α	過渡振動分誘導電圧波高値	
	非接地系	直接接地系
1	$3M \frac{E}{L_0} \times \frac{1}{8}$	$3M \frac{E}{L_0} \times \frac{1}{24}$
2	" $\times \frac{1}{16}$	" $\times \frac{1}{9}$
3	" $\times \frac{1}{24}$	" $\times \frac{1}{6.6}$
4	" $\times \frac{1}{32}$	" $\times \frac{1}{5.9}$
5	" $\times \frac{1}{40}$	" $\times \frac{1}{5.4}$

すなわち $\alpha=1$ の場合においては明らかに、直接接地系の方が非接地系に比して、その値は小さくなることがわかる。

つぎに高周波性のものは、2表および3表に示すように、両系統においてほとんど差異はみられない。

低周波の誘導電圧は、1線地絡試験においては、非接地系は直接接地系に比していくらか低く出ているが、2線地絡の場合においては明らかに大きな値となっている。なお誘導電圧の最大値の比較は1表のとおりであって、この表からわかるように、最大値のみからいえば、直接接地系は他の系統に比して有利なことがわかる。

イ. 誘導電圧の継続時間

今まで誘導電圧を考える場合に継続時間を無視して、その最大値のみが考えられてきたのであるが、電擊時間の短縮により、人体に及ぼす危険が緩和されることとは十分考えられるし、このことは動物実験の結果からも裏付けられている。したがって誘導障害を考える場合には、誘導電圧の継続時間を当然考慮すべきであり、このことは、CCIF の勧告中にも述べられているところである。

現在の規程においては、制限電圧 300V 一本槍であって、それは誘導電圧が定常状態になったときの値で、過渡状態のものは考えていない。30秒位誘導電圧が継続した場合においては、最後の 10 秒位電圧が一定になったときの値が 300V 以下であれば良いわけで、初めの 10 秒位の電圧はどのようなであってもかまわないともいえる。

またドイツの例で云えば、0.2秒後のところで、一定になった電圧をとるようになっているので、このような場合には、0.2秒以前に故障が解放された場合には、その誘導電圧は零ということがいえる。

高インピーダンス系統においては、リレーの特性上事故の継続時間は一般に長く、1線接地事故より、多重事故に発展する場合も多い。それに比して直接接地系はリレーも簡単で、事故の開放は速かであって、したがって誘導電圧の継続時間も短い。この点は直接接地系統の大きな利点である。

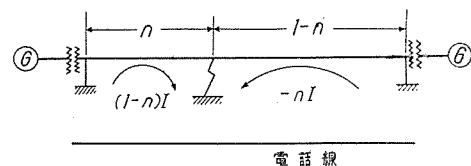
ウ. 誘導電圧発生頻度

誘導電圧の大きさおよび継続時間と共に、その発生頻度が、誘導障害に対して重要な因子であることはもちろんである。直接接地においてはその発生回数は或る程度多いが、速かに除去される。これに反して高インピーダンス系あるいは非接地系においては発生頻度は直接接地系の場合に比して少いかもしだらぬが、ときには多重事故にも発展することがあり、その時間は非常に長く、発生電圧値も大きい。以上述べたように、大きさ、継続時間、発生頻度の 3 つの因子を合せ考慮して、いずれの場合が誘導障害は大であるかということを論じて行かねばならぬ。すなわち今までの実測結果より、この 3 要素を考慮した場合においては明らかに直接接地が他の系統に比して有利であると判定できるものと確信する。

5. 電磁誘導障害の防止

電磁誘導障害の防止策としては、電力線側の対策と、通信線側の対策とにわけられる。

電力線側の対策には、(1) 事故の高速度除去、(2) 架空地線等による遮蔽、などが考えられるけれども、さらに有効なのは、直接接地方式の採用であると確信する。この方式の利点は既述のとおりであるが、さらに、つぎのような利点が考えられる。すなわち接地点を適当に多く取ることによって、対象となる誘導区内の起誘電圧を減少せしめることができる。すなわち 3 図に示すように、に両側に大きな電源があり、故障が n なる地点におこったとした場合、起誘導電流は図示のように一方を $(1-n)I$ とすれば他方は $-nI$ となり、したがって両端を含めた電話線の誘導電圧は $n(1-n)I - (1-n)nI = 0$ となる。実際には電源インピーダンスの影響あるいは電力線と通信線間の間隔が、対象全域にわたり一様でないなどのために、誘導電圧は零とはならないが、両側の電圧が相殺する作用を生じて小さくなる傾向がある⁽⁴⁾。



3 図 両端に電源のある送電線の例

Fig. 3. Example of power line with power source at both ends.

通信線側としての対策は、(1) 遮蔽線の施設（ケーブル使用を含む）、(2) 通信用避雷器の使用、(3) 接地リレー、(4) 絶縁変圧器、(5) 中和変圧器、(6) 排流装置などがあげられるが、そのうち主なるものについて簡単に説明する。

ア. 通信線用アレスタ

誘導障害に対する有効な防護対策として、広く通信線用避雷器が使用されているが、避雷器特性の重要な因子は、その放電耐量と放電開始である。近年種々改良せられて衝撃電圧に対する放電特性のすぐれたもの、また放

電耐量の大きなものがあらわれてきた。しかして放電耐量としては、放電々流による電極の温度上昇、それにともなう電極の溶融、さらに進んでガラス管の破損があり、またガラス管が破損しない場合でも、電極の溶融により、放電開始電圧に不整を生じ、避雷器としての機能を失うことがある。

避雷器の放電耐量を考える場合その放電エネルギーが問題であるが、雷の誘導による放電は、その時間が短いから、エネルギーは少ないので大して問題はない。これに対して送電線の事故による誘導は時間が長く、したがって電極が溶融する等の事故をおこす公算が大きい。現在の避雷器の放電耐量は大体 5A で 7~25 秒、30A で 0.4~2 秒程度であり、まだ十分ではなく、破損するのも多い現状である。

イ. 接地リレー (4 図参照)

避雷器の破損を防止するために、避雷器と直列にリレーを接続しておいて、避雷器に放電々流が流れた場合に真空避雷器の両端間を短絡して、その破損を防止する方式が採用されている。この方式は真空避雷器の破損防止法としては非常に有効であり、相当の大電流（約 100 A 繼続時間 2 1/2 秒）も処理可能であるけれども、リレーが直列に挿入してあるために、サージ印加時に、その端子電圧が上昇する欠点がある。その欠点除去のために、リレーと並列に蓄電器を挿入することが考えられる。

蓄電器を挿入した場合その端子電圧がどのように変化するかについてアナコムによって計算した結果を 5 図に示す。この図よりわかるように、雷擊のような急峻なサ

ージに対しては、蓄電器は大きければ大きいほど望ましいのであるが、ゆるやかな波形に対しては、並列共振を考慮に入れる必要があり、共振を外れるような蓄電器を選ぶようにしなければならない。実際問題として、 $10\mu F$ 程度の蓄電器を挿入すれば、急峻サージに対しても避雷器のみの場合（電磁コイルを入れない場合）に比して、その制限電圧を 110~115% 程度に抑えることができ、また予想されるような低周波異常電圧に対しても共振から外れており、実用上適当であると思われる。

リレーによる接地方式は、アメリカにおいて広く採用されており、真空避雷器の代りに、普通のカーボンブロック型の間隙が使用されている。間隙放電後約 1/2 サイクル程度にて、完全に間隙を短絡するようになっている。これには單一回路用のもの外 50 回線用、100 回線用のものもある。間隙としては、カーボンブロック型のものは放電に不整があるから、真空避雷器を使用することが好ましい。

6. む す び

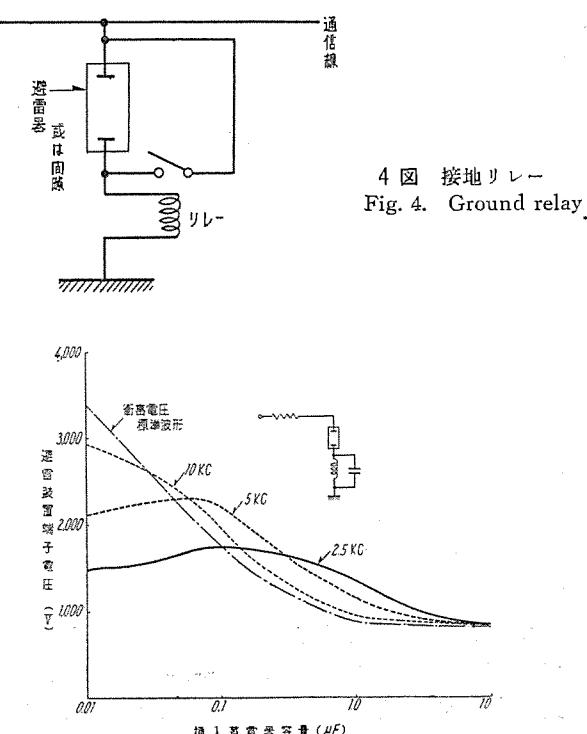
直接接地方式の採用にあたって、通信線における誘導障害が、問題の焦点となり、電力、通信両方面とも大きな関心が払われ、たゆまざる検討が続けられている現状である。

しかし CCIF においても、その制限電圧は格上げされる傾向にあり、またソ連、ドイツ等さらに格上を主張しているところもある。一方アメリカにおいては、誘導電圧値に対しては、別に規定されていないにもかかわらず、両者の協調により、満足な結論が得られている。わが国においては未だにこの問題が解決されず、直接接地の採用がはばまれている現状である。誘導障害という問題はきわめて複雑であって、単に波高値 300V のみで簡単に規定できるものではなく、時間の函数、発生頻度なども合せ考えれば、直接接地方式は非接地系あるいは高インピーダンス系にくらべて誘導障害の点において決して苛酷ではなく、このことが直接接地の採用をはばむ因子とならないということが、多くの実測結果判明した。

今後さらに特性のすぐれた避雷器（通信用）等の出現により、障害が除去され、この問題が、1 日も早く解決して電力系統に、広く直接接地方式が採用されるようになることを切望する次第である。

参 考 文 献

- (1) 電学誌第 74 卷第 787 号：特集論文
“三菱金属鉱業小又川系および東北電力湯瀬系統の直接接地試験について”
- (2) 小又川系実測報告：木村、安藤
- (3) 100 kV 直接接地昇圧試験結果：四国電力
- (4) 木村：直接接地と誘導障害；オーム文庫 #61



5 図 挿入蓄電器と避雷装置端子電圧との関係
Fig. 5. Relations between condenser connected and lightning arrester terminal voltage.

電鉄事故時の選択遮断装置の改良

本社　迎久雄*

Improvement on Selective Protective Device for Faults of Electric Railroad Circuits

Head Office Hisao MUKAE

For the purpose of rupturing fault-currents in time upon occurrence of troubles on a feeder of electric railway, an arc-detection type selective device has been developed to operate by detecting an arc produced at the point of accident. High selection sensitivity of this apparatus inevitably calls for the removal of noises in a normal condition of the feeder. Study on the characteristics of the noises has revealed that a greater part of them are caused by frequency elements relative to higher harmonies of a supply source. A new device to remove them on the principle of counteracting a phase with its reverse has been developed by passing these noises through a magnetic recorder directly coupled to a synchronous motor driven by the same a-c source with that of the noise.

1. まえがき

電鉄直流饋電回路に事故が発生した場合、事故電流を早期に遮断するために、三菱電機では、事故点に発生する電弧を検知して、事故電流を選択遮断せしめる、いわゆる電弧型選択遮断装置として FS 型および FT 型の 2 種を製作し、東鉄大船変電区を始めいくつかの変電区に設置して実用され、かなり好成績を収めてきた。

しかし、饋電回路には常時かなりの雑音電流が発生しており、FS 型、FT 型共にこれまでの装置ではこの雑音を除去することができないので、選択性を上げると、この常時雑音によって誤動作するため、やむを得ず常時雑音では動作しない程度まで感度を落す必要があった。最近饋電回路に発生する雑音測定の結果、常時雑音および事故時雑音の特性もかなり明確となり、常時雑音は雑音除去装置として特別なフィルタを用いれば消去させうる見通しがついたので、常時雑音除去装置を試作、(特許出願、昭和 30 年 5 月 16 日付「電気機器または電力線の保護方式」として特許出願中) 大船変電区において実測した結果、良好な成績を収めたのでここにご報告する次第である。

2. 電鉄直流饋電回路の事故選択遮断

ア. 高速度遮断器による遮断

現在の電鉄直流饋電回路の事故選択に対する基本設計については、すでに昭和 4 年に発表があり、それ以来そのままの設計方針が採用されている。その当時は選択遮断を行う要素として 3 つがとり上げられ、

- (1) 電流値 (I)
- (2) 電流増加分 (ΔI)
- (3) 電流変化率 (di/dt)

この 3 要素によって検出し、選択遮断を行うような設計

が採用された。

すなわち、この当時は ΔI によっても大部分の故障を選択遮断しうると見て、高速度遮断器の設計もこの点に重点が払われていた。電流値も、当時は 2,000 A 調整が大部分であったから、20 km 程度の故障電流遮断が可能であった訳であるが、その後次第に負荷は増大し、高速度遮断器の調整値が上げられ、したがって電流値によつても、電流増加分によつても選択遮断不能の範囲が拡大するに至った。

すなわち、たとえば現在 5,000 A の調整値にすれば、変電所から 6~7 km の点で、5,000 A の短絡電流となるが、それ以上の距離では 5,000 A 以下となり、高速度遮断器は不動作となるのである。電流増加分の要素もまったく同様にして不動作となる。

イ. 選択遮断装置の必要性

このようにして、負荷電流の増加に伴つて事故時における高速度遮断器の不動作範囲が増大してきたのであるが、事故時に高速度遮断器が不動作の場合には、給電が事故点に継続され、電気車の焼損・人体の死傷・トロリーの断線と焼鉈・変電所の焼損など、重大な災害が発生する。

したがつて、これらの災害を防止するためには、高速度遮断器の調整値を上げることによる不動作範囲を補償する、なんらかの故障選択装置が必要となり、事故を故障選択装置で検出し、高速度遮断器を連動で動作させる方が強く要求されるようになった。

こうして、電鉄直流回路の事故電流の早期遮断に対しては、昭和 23 年 10 月鉄道電化協会内に電鉄直流回路研究委員会が設立され研究が進められていたのであるが、たまたま桜木町において国電が焼損し、多数の死傷者を出した、いわゆる桜木町事件が発生するに至り、事故選択遮断装置の具体化は、焦眉の急となり、各メーカーより

選択遮断装置としての各種の案が、具体化されたのである。

ウ、選択遮断装置

故障選択の方式を大別すると、電弧型、微分型および搬送継電型があり、それぞれ高速度遮断器と連動させて使用されているが、各方式について、ここで概略説明を加えることにしよう。

(1) 電弧型（三菱電機）

電気車の事故においては、事故点で電弧が発生する場合が多く、また電弧が車両火災に拡大する例は桜木町事件等でも明らかである。したがって、電車線の一部に電弧が発生したことを探知して、事故電流を選択遮断しようとするのがこの方式の考え方である。その場合、電弧が発生すれば電弧自体の負性抵抗もしくは電弧自体の不安定性に基いて、回路の電流が振動もしくは脈動する傾向が強いので、この性質を利用するものである。

しかし、一般に電鉄直流饋電回路には、電気車のパンタグラフの跳り、セクション通過等、一時的の外部電弧が発生するので、これと故障時の電弧とを区別するため、时限継電器を用いて選別する。

装置としてはFS型とFT型の2種あるが、これは後に詳細説明する。

(2) 微 分 型

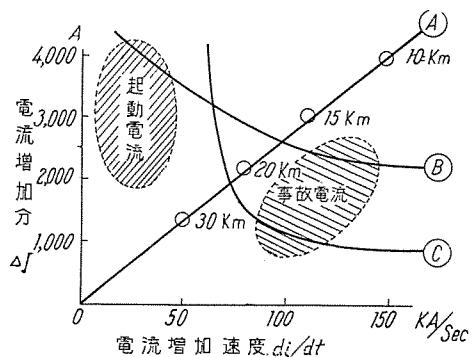
事故電流と電車起動電流との差を、その電流の増加速度すなわち di/dt の差によって判別しようとする方式である。

電車の起動に際しては、電車の主電動機のインダクタンスが回路に直列に接続された型となるので、電流の増加速度は比較的緩慢であるのに対し、事故の場合は、主電動機のインピーダンスが挿入されないので、この値は比較的大きな値となる可能性がある。

1図は、これを定性的に説明するために掲げたものであるが、この図の縦軸には、饋電線電流の増加分 (ΔI) がとられ、横軸には電流増加速度 (di/dt) t=0 が目盛られている。

(A)…事故点に抵抗なき場合の事故電流の性質

(B)…現用の高速度遮断器の特性例



1図 高速度遮断器選択性能説明図

Fig. 1. Description of selective performance of high speed breaker.

電鉄事故時の選択遮断装置の改良・迎

(C)…希望される特性

A直線上の数字は事故点と変電所との間隔を示す。電車の起動電流の特性は、電車の種類および編成、電車の位置、変電所間隔などによって左右されるが、前述したように主電動機のインダクタンスの影響を受けて、同じ ΔI に対して (di/dt) t=0 が小さい側に現われる筈であるから、図では A直線の左側、定性的には点線で囲んだ範囲で示される。

事故の場合には、一般に事故点にはいくらかの抵抗または電弧電圧などが挿入された形式となるであろうから、図中 A直線よりも右側すなわち同じ (di/dt) t=0 に対して ΔI の少い側に現われるものとして、これも定性的に点線で囲んだ範囲で示した。

現用の高速度遮断器では、図中 (B) のような特性を持っているから、(B) 曲線より上側の電流値に対しては遮断器は動作するが、(B) 曲線より下側の電流値に対しては遮断器は動作しない。したがって、起動電流によって動作しないような調整を行うと、変電所から離れた地点における事故電流に対してもまた動作が困難となることがわかる。

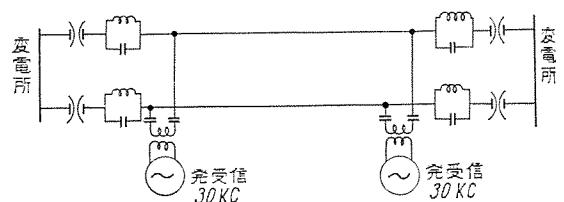
もし、高速度遮断器の選択性能を (C) 曲線のようにすることができるれば相当広範囲の事故を選択遮断することが可能になるが、しかし、高速度遮断器自体に (C) 曲線のような特性を与えることは構造上困難であるから、このような特性を有する選択装置を別に設置し、これによって高速度遮断器を動作せしめようとするのが、この方式である。

(3) 搬送継電型

事故点が変電所に比較的近接している場合、近い方の変電所の遮断器は動作したが、遠い方の変電所の遮断器が不動作であったという場合が、理論上も予想されるし、また実際にもそのような場合が経験される。

したがって、片方の変電所の遮断器が動作した場合、自動的に相手側変電所の遮断器を動作させるようにすれば、事故を遮断しうる公算が大となるのはいうまでもない。

この目的を実現したものが東鉄において考案試作された、搬送継電型選択遮断装置であって、これは饋電線自体を用いて両端変電所の遮断器をインターロックする方式で、その原理は2図に示したように、上下の饋電線を用いて回路を形成し、これに30kc程度の周波数の搬送波を乗せて信号を伝達する方式である。



2図 搬送継電方式

Fig. 2. Carrier relay system.

3. 電弧型選択遮断装置と常時雜音

以上述べたように、すでに各種の選択遮断装置が確立されているが、そのいずれも試作、実用後数年を経た今日においてもなお研究改良の余地が多く、十分満足すべき結果が得られていない。

ここで、三菱電機の電弧型選択遮断装置について、その動作原理および動作実績をさらに検討してみたい。

ア、電弧の負性抵抗による発振性

給電継続事故時には、変電所への連絡電話に常に雑音が発生するということであるが、電話への雑音は電弧の負性抵抗と回路の定数による発振であることは疑いなく、したがって、回路条件を積極的に発振条件に持つて行けば、事故の検出感度は向上する訳である。電弧の負性抵抗を利用して、持続振動電流を生ぜしめるための回路として、3図のように電弧に並列に振動回路を接続して発振させる方法があるが、電流に加わる電圧を e_a とすれば、

$$L \frac{di_a}{dt} + Ri_a + \frac{1}{C} \int i_a dt = e_a$$

となり、直流電源 G から供給する電流 I は塞流線輪および抵抗のためほとんど変化せず、かつ

$$\frac{de_a}{dt} = r_a \quad (\text{電弧抵抗})$$

として上式を i_a について解けば、

$$i_a = I_a e^{-\frac{R+r_a}{2L} t} \sin(\omega t - \phi)$$

$$w = \sqrt{\frac{1}{CL} - \left(\frac{R+r_a}{2L}\right)^2}$$

となり、 i_a が振動を持続するためには、

$$\frac{R+r_a}{2L} \leq 0$$

すなわち、 $r_a \leq -R$ なるを要する。

電弧抵抗 r_a は負であるから、その絶対値が振動回路の実効抵抗 R に等しいか、またはそれより大ならば持続振動を生じ、その周波数は大体 LC 回路の固有周波数に等しくなる。

電弧を通る電流は電源からの直流電流 I と振動電流 i_a を合成したものであるが、 I と i_a の振幅の大小により振動を3種類に分けることができる。

すなわち、 $I_a < I$ なる場合を第1種振動、 $I_a > I$ にしてかつ電弧電流が逆方向に流れない場合を第2種振動、

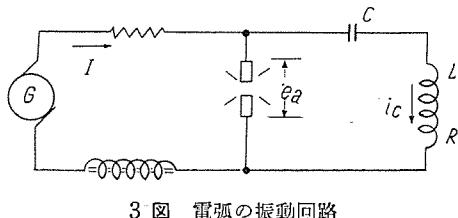


Fig. 3. Oscillating circuit of arc.

$I_a > I$ にしてかつ電流が逆方向の電流をも通しうる場合を第3種振動と称する。

第1種振動においては電弧は常に消滅せず、振動電流の波形は正弦波に近いが、その代り振動電力は小さい。

第2種振動では、電弧が振動電流の1周期ごとに消滅し、したがって振動電流は正弦波ではなく多くの高調波を含むが、その代り振動電力は大である。

第3種振動では電弧が消滅しているために逆電弧を生じ、これを何回も繰返すことがある。この場合は、火花放電の時と同様な減幅振動を発生する。

電鉄回路の事故時の電弧振動は、発振条件を満足する状態にあるときは第1種振動である。

イ、直流電弧による種々の回路構成における発振条件の検討

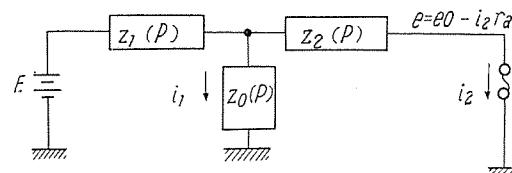
電弧振動の発振条件に関して、発振が可能であるとするならば、その条件はいかがということを、三菱電機研究所潮恒郎技師が種々の回路について検討しておられるので、その結果を引用させていただくことにする。

(1) 仮定は、きわめて簡単化してあるので実際の条件とは大分離れているものであるが、種々の回路に対してその大体の傾向を推察することは或る程度可能である。計算は電弧に対して或る負抵抗を仮定し、また線路のリアクタンス、抵抗を無視したものについてのみ行った結果である。

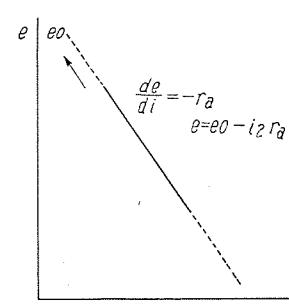
そして、発振可能な電弧の負抵抗の範囲を求めたものである。もちろん実際には、線路のインピーダンスがあるから、発振条件はこれよりずっと限定されたものとなる。

(2) 発振条件の計算方法

4図(a)に示すような直流電源により饋電される電弧回路を考える。その場合、電弧の特性を4図(b)に示すような $-r_a$ なる負性抵抗を有するものと仮定する。



4 図 (a)



4 図 (b)

しかるとき 4図のような回路を解けば

$$\begin{pmatrix} Z_0(p) & r_a - Z_2(p) \\ Z_0(p) + Z_1(p) & Z_1(p) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_0 \\ E \end{pmatrix}$$

式となり、したがってこの場合特性方程式は、

$$G(p) = Z_1(p)Z_2(p) + Z_1(p)Z_0(p)$$

$$+ Z_2(p)Z_0(p) - \{Z_1(p) + Z_0(p)\}r_a$$

となる。ここで、線路側のインピーダンスを省略し、 $Z_2(p)=1$ とおけば、

$$G(p) = Z_1(p)Z_0(p) - \{Z_1(p) + Z_0(p)\}r_a$$

をうる。ここで発振条件を求めるには、たとえば Hupwitz の判定式を用いることができる。すなわち、

$$G(p) = a_0 P^n + a_1 P^{n-1} + \dots + a_n$$

としたとき、

$$\begin{vmatrix} a_0 > 0, a_1 > 0, |a_1 a_3| > 0, |a_1 a_3 a_5| > 0, \dots \\ a_0 a_2 \\ a_0 a_2 a_4 \\ 0 a_1 a_3 \end{vmatrix}$$

のいずれかが満足せられず、しかも複素平面上における $G(p)$ の根が実軸上にこない場合に発振をすることができる。

(3) 計算の結果から、ごく大雑把に次のことが推察される。(1表参照)

- a. 電源側に何らかのインピーダンス Z_1 がなければ絶対に発振しない。
- b. 直列共振回路を用いて発振せしめるには r_a は大なることを要するが、並列共振回路を用いて発振せしめるには $1/r_a$ が大なることを要する。大電流の直流電弧は大体定電流特性に近いのであるから、並列共振回路の方が有利である。
- c. 並列共振回路はこれを電源に並列に、または直列に入れてもあまり発振条件は変わらず、さらに (10) のごとき回路を作っても両共振回路の共振周波数とは無関係に、発振条件は g_0, g_1 によってのみ定まる。

ウ. FS 型電弧型選択遮断装置

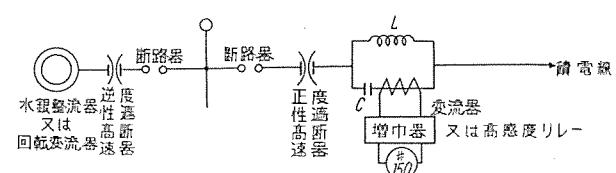
この方式の原理は、5 図に示すとおりである。すなわち、饋電線に特定の周波数帯に対し高インピーダンスを呈するインピーダンス回路を直列に設置し、接地閃絡に起因して発生する電弧の高周波分を検出して選択遮断するものである。

インピーダンス回路としては、 L と C とよりなる共振回路を構成し、このインピーダンス回路における共振電流は C と直列に挿入された一種の変流器 (CT) により取り出される。

常時のリップル等は、低周波であるから、 L を通って流れるが、電線の一部に接地閃絡事故が発生した場合にはこれに起因する電弧振動によって LC 回路内に共振電流が流れ、これを上記 CT より取り出し、増幅の後継電器を動作せしめる。

一般に直流饋電回路には、電気車のパンタグラフの跳り、ノッチオフ、電車電動機の閃絡過負荷による電車断流器の開放など、直流饋電線遮断器の遮断を要しない一時的のアーケが発生するので、これと閃絡故障時の継続

回路	式 1 表	$Z_1(p)$	発振条件	
(1)		$P_{L0} + \frac{1}{PC_0} + r_0$	0	発振せず
(2)		$P_{L0} + \frac{1}{PC_0} + r_0$	r_1	$\frac{r_0 r_1}{r_0 + r_1} < r_a < r_1$
(3)		$P_{L0} + \frac{1}{PC_0} + r_0$	∞	$r_a > r_0$
(4)		$P_{L0} + \frac{1}{PC_0} + r_0$	$P_{L0} + \frac{1}{PC_0} + r_0$	$2r_a > r_0$
(5)		$\frac{1}{P_{L0} + PC_0 + g_0}$	0	発振せず
(6)		$\frac{1}{P_{L0} + PC_0 + g_0}$	r_1	$\frac{1}{r_a} > g_0 + \frac{1}{r_1}$
(7)		$\frac{1}{P_{L0} + PC_0 + g_0}$	PL_1	$\frac{1}{r_a} > g_0$
(8)		∞	$\frac{1}{P_{L1} + PC_1 + g_1}$	$\frac{1}{r_a} > g_1$
(9)		$\frac{1}{P_{L0} + PC_0 + g_0}$	∞	$\frac{1}{r_a} > g_0$
(10)		$\frac{1}{P_{L0} + PC_0 + g_0}$	$\frac{1}{P_{L1} + PC_1 + g_1}$	$\frac{1}{r_a} > g_0 + g_1$
(11)		$P_{L0} + \frac{1}{PC_0} + r_0$	$\frac{1}{P_{L1} + PC_1 + g_1}$	$\frac{1}{r_a} > g_0 + g_1$ $C_0 L_0 = C_1 L_1$ として $\frac{1}{g_1 + \frac{1}{w^2 L_1 C_0}} > r_a > \frac{1}{L_1 L_0 + g_1}$ 又は $\frac{1}{r_a} > g_1 + \frac{1}{r_0}$



5 図 FS 型選択遮断装置原理図

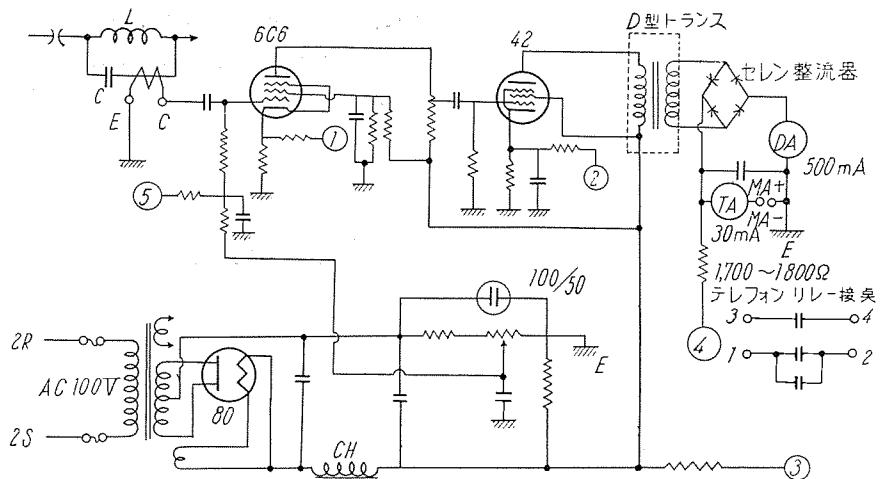
Fig. 5. Principle of Type FS selective breaker.

アーケを区別するため、検出继電器には時限继電器を組合させてある。FS 型選択遮断装置增幅器結線図は 6 図のとおりである。

共振回路の共振特性を 7 図に示す。

エ. FT 型電弧型選択遮断装置

8 図にこの方式の原理を示す。FT 型も接地閃絡に起因して発生する電弧の高周波を検出して故障電流と負荷電流とを区別して選択遮断せしめることは FS 型と同様



6 図 FS 型選択遮断装置増幅装置結線図

Fig. 6. Wiring diagram of amplifier. Type FS selective breaker.

であるが、FT 型は電弧が発生する多様の電流振動の中から正常状態における直流饋電線の多様な雑音振動と共通でない部分を取り出すために電流変成器とバンドパスフィルタを使用し、これを増幅して、繼電器を動作させて負荷電流と区別して選択遮断するものである。

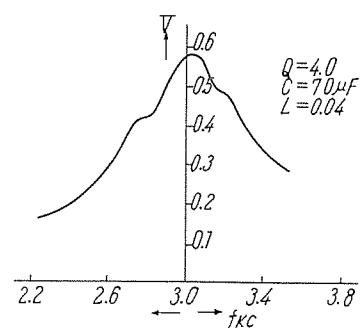
時限继電器を組み合わ
せることは FS 同様であ
る。

9 図は FT 型選択遮断
装置増幅器の結線図であ
る。周波数特性は 10 図
のようになっている。

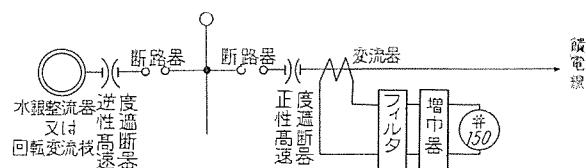
才、動作実績

東鉄電気部では、数年前から東鉄局内に設置されている各選択遮断装置の動作状況について、3カ月ごとに明細な記録を作成しているが、この動作記録に基いて、昭和29年1月1日より昭和31年3月31日までの電弧型選択遮断装置の動作統計を取った結果、後記のごときデータが得られた。

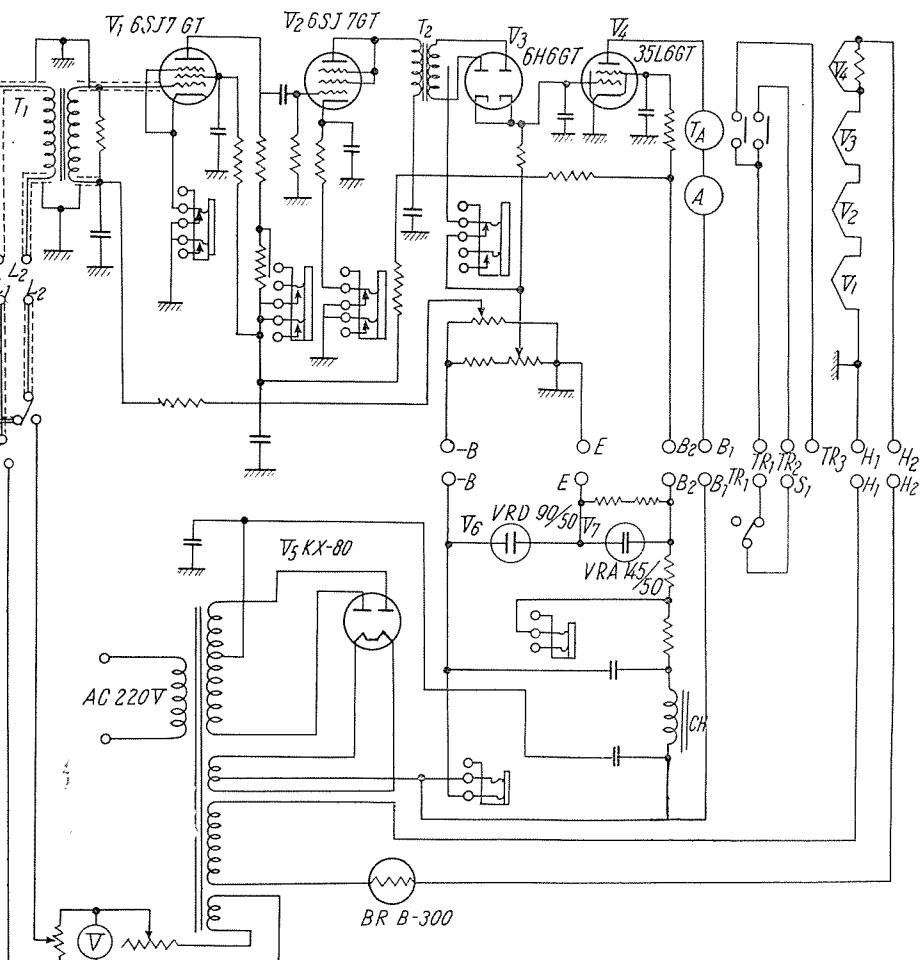
2, 3, 4 表で明らかとなつたとおり、全動作回数のうち、正しく事故を選択もしくは選択したと思われるものは 24.6%，残り 75.4% は 2 表のような内容による不要動作および誤動作となっている。



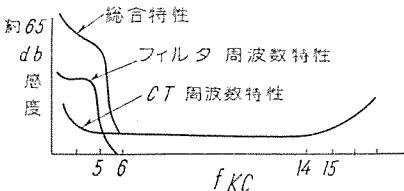
7 図 共振回路共振特性
Fig. 7. Resonance circuit characteristic.



8 図 FT 型選択遮断装置原理図
Fig. 8. Principle of Type FT selective breaker.



9 図 FT 型選択遮断装置用増幅器結線図
Fig. 9. Wiring diagram of amplifier for Type FT selective breaker.



10 図 FT 型周波数特性

Fig. 10. Type FT Frequency characteristics.

2 表 電弧型選択遮断装置の原因別動作回数

全 動 作 回 数		589
正 動 作	判 明 事 故	8
	明らかに事故と思われるもの	20
	明らかに不良車であるもの	117
計		145
不 要 動 作 お よ び 誤 動 作	セ ク シ ョ ン 通 過	23
	集 電 不 良	128
	〃 (水 蒸)	39
	過 電 流	175
	隨 振 動 作	10
誤 動 作		69
計		440
事故を選択しなかった回数		0

3 表 電弧型選択装置の動作整理結果

T 延 使用 期間 (台×月)	334
ΣN 全 動 作 回 数	589
N _a 正 動 作	145
N _b 不 要 動 作 及 び 誤 動 作	444
N _c 事故を選択しなかった回数	0
N _a /ΣN	24.6%
N _b /ΣN	75.4%
N _c /ΣN	0%

4 表 不要動作および誤動作内訳

N _b 全 不要動作 および 誤動作	444
N _d 調整 不良 による もの	365
N _e 機械的 誤動作	79
N _d /N _b	82.3%
N _e /N _b	17.7%

力. 動作実績の検討と常時雑音除去の必要性

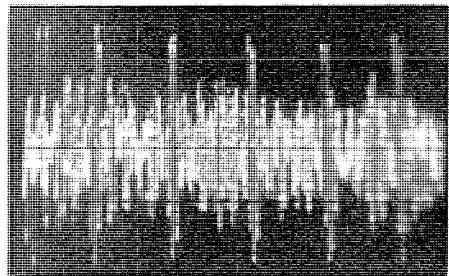
(1) 上記のとおり、これまでの統計結果では、正動作に対して不要動作および誤動作の動作回数が約8倍に達している。

この原因についてはいろいろと考えられるが、最大の原因是常時雑音によるS/N比の低下にあるという結論を得られるに至った。

(2) すなわち、電鉄直流饋電回路には整流器回路からの比較的規則的なリップル波形と、電気車負荷の電動機整流子、集電不良等に原因する不規則な波形による雑音が常時発生しているものと考えられ、FS型、FT型共に周波数特性としては、特定の周波数に同調したり、或る周波数以下をcut offしたりして使用しているが、常時雑音には、あらゆる周波数成分を含むために選択装置としてはこれを除去することができず、常時雑音は増幅器にそのままはいってしまう。

この常時雑音については、選択遮断装置製作当初より判明していたが、その波形は、電源が水銀整流器の場合、

電鉄事故時の選択遮断装置の改良・迎



11 図 常時雑音波形

Fig. 11. Ordinary noise waveform.

11図に示すとおりであって、図中、6本の線は6相整流器の脈流時の電弧振動によるもの、中心部は整流器回路からのリップルおよび電気車負荷からの雑音の重畠したものと考えられる。

(3) 選択遮断装置には、この雑音が入力として常時加えられているために、この雑音では働かない程度まで選択感度を下げる必要があった。

電弧型選択装置の選択性能は、結局常時雑音(N)に対する、事故時に発生する電弧振動電圧(S)のS/N比によることになり、この比が大きいほど確実に動作する訳である。

これまでの選択遮断装置では、常時雑音のために事故時電弧振動電圧はマスクされてS/N比は悪く、雑音では振動しないように感度を落していたため、選択遮断装置としては十分な性能を發揮するに至らなかった場合があった。

(4) さらに、2表に示された不要動作および誤動作は、これらの発生電圧がすべて常時雑音に重畠される等、やはり常時雑音のために、適正な調整値の設定を行いえないことに原因するものが多く、このうち過電流による不要動作は常時雑音を除去することによって完全に防ぐことができ、セクション通過、集電不良によるものも常時雑音を除去し、時限繼電器の設定を適正にすることによって、不要動作を抑えることができるはずである。

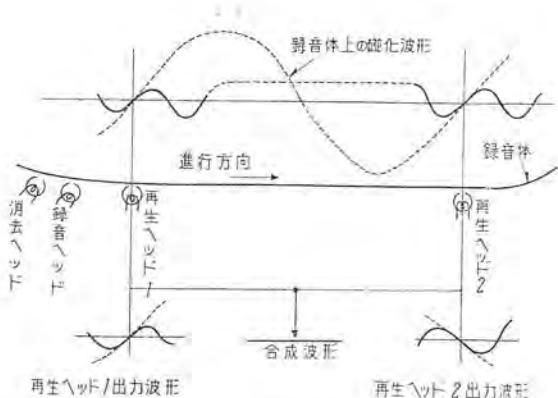
(5) 以上述べたように、電弧型選択遮断装置においては、饋電回路に発生している常時雑音の弊害は大きく、選択感度を高めるためには饋電線の常時雑音を選択遮断装置の前で除去することがぜひ必要である。

(6) このため、数回にわたる実測により常時雑音の特性を検討した結果、事故時に発生する異常雑音電流は、電源周波数に無関係な雑多な周波数成分を含むのにに対し、常時雑音はほとんど電源周波数と高調波関係にあることがわかったので、電源周波数50 c/s(または60 c/s)の高調波成分を消去するための特別なフィルタを用いれば、常時雑音は除去されうる見通しがつき、常時雑音除去装置を試作した。

4. 常時雑音除去装置

ア. 雜音打消作用の原理

饋電線に発生する常時雑音電流は、11図に示したとお



12 図 雑音打消作用の原理説明図

Fig. 12. Principle of noise cancelling action.

りであって、その周波数成分は 5 kc 以上の高周波数帶では、大部分電源周波数 50 c/s (または 60 c/s) と高調波の関係にあり、負荷電流によって振幅の変化は多少あるが、波形は規則的に反覆し、変化速度も緩慢である。

これに対して事故時に発生する異常雑音電流は電源周波数と高調波関係にない雑多な周波数成分を含み、絶えず大きさも不規則に変化することが実験的に確かめられているから、電源周波数と高調波関係にある平常時の雑音を抑圧し、高調波関係にない事故時の雑音を検出させるようにすればよい。

そこで、電源周波数と高調波関係にある雑音入力の規則的反覆波形を、同一交流電源で駆動される同期電動機に直結された磁気録音装置を通すことにより、逆相打消の原理により除去せんとするものである。

すなわち、架線に発生する常時雑音電流入力を 12 図の録音ヘッドに加え、同期速度で回転する磁気録音ドラムを介して再生ヘッド 1 と再生ヘッド 2 からピックアップする。このとき、再生ヘッド 1 と再生ヘッド 2 の電気的間隔を電源周波数 (50 c/s または 60 c/s) の 1 波長にとり、逆直列に接続して増幅器に加えれば、電源周波数と高調波関係にある雑音は打消され、事故時に発生する高調波関係にない雑音は消去されない。

録音体はエンドレスになっているから、常時連続してこの状態を続け、異常雑音があれば直ちに再生出力として出てくる。

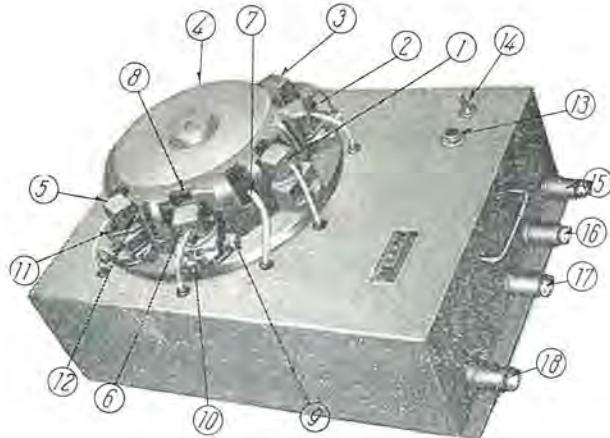
1. 装置の構造

常時雑音除去装置は、13 図に示すように機構部と録音再生増幅部より成り、図の右が機構部、左が増幅部である。



13 図 雑音除去装置

Fig. 13. Noise eliminating device.



1 上り線用録音ヘッド	10 ヘッドスペース調整ねじ
2 下り線用録音ヘッド	11 ヘッド垂直調整ねじ
3 上り線用再生ヘッド 1	12 ヘッド傾斜調整ねじ
4 下り線用再生ヘッド 1	13 表示燈
5 上り線用再生ヘッド 2	14 モータ用電源スイッチ
6 下り線用再生ヘッド 2	15 発振部電源プラグ
7 消去ヘッド	16 録音ヘッドプラグ
8 録音ドラム	17 再生ヘッドプラグ
9 第2再生ヘッド位相調整ねじ	18 A-C 100 V 電源プラグ

14 図 機構部外観

Fig. 14. Appearance of Mechanism.

機構部は消去、バイアス用の発振部を含み、増幅部は整流電源を自藏する。

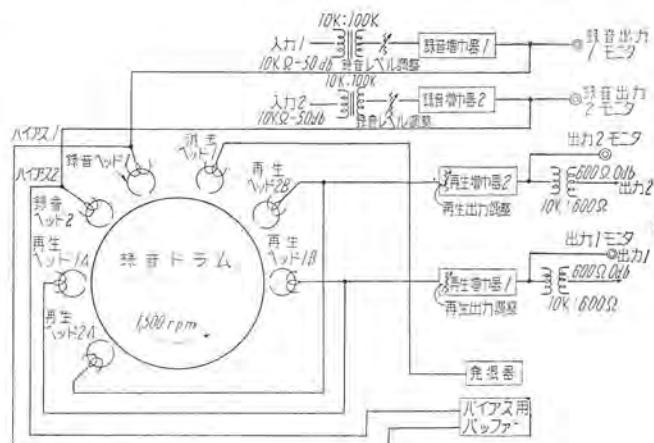
機構部 約 300 (幅) × 400 (奥行) × 200 (高さ) [mm]

増幅部 約 450 (幅) × 200 (奥行) × 300 (高さ) [mm]

機構部外観は 14 図に示すごとくあって、機構部は 4 極ヒステリシス型同期電動機およびこれに直結された磁気録音ドラム（黄銅製ドラムの表面に磁性鍍金をほどこしたもの）ならびにその周辺に配置された消去、録音および再生ヘッドを主体とし、ドラム周辺上には上り線および下り線用の 2 列の録音トラックが形成されている。

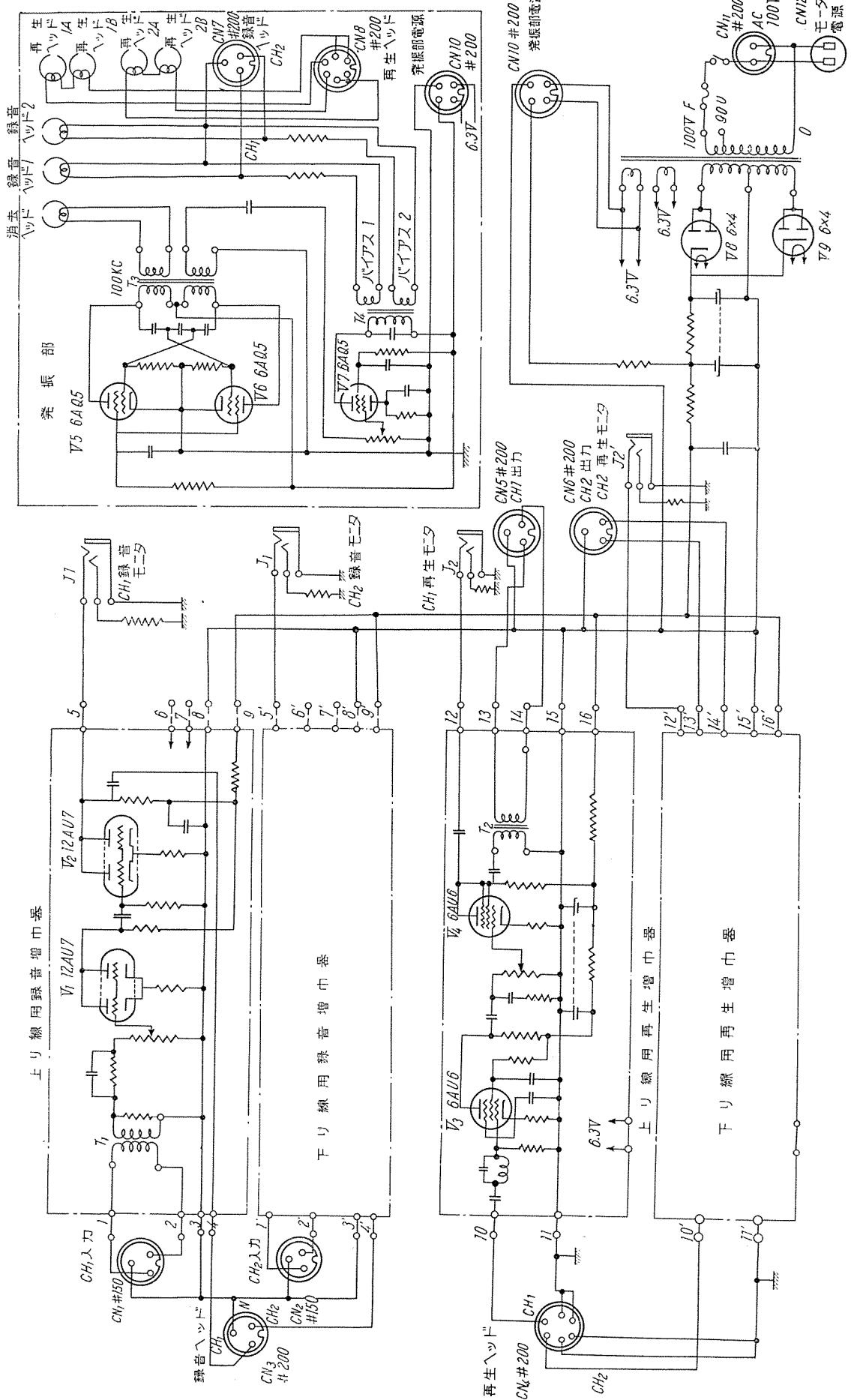
性能は、下記のとおりである。

(1) 入 力	上り線および下り線用	計 2 回路
レ ベ ル		-50 dB/m
イ ン ピ ー ダ ン ス		平衡 10 kΩ



15 図 雑音除去装置の系統図

Fig. 15. System diagram of noise eliminating device.



16 図 常時雜音除去装置録音再生増幅器回路図
Fig. 16. Wiring diagram of recording, reproducing and amplifying of ordinary noise eliminating device.

- (2) 出力 上り線および下り線用 計2回路
レベル 0db/m
インピーダンス 平衡 600Ω
- (3) 録音ドラム 直径 160 mm 黄銅製
録音体幅 1/2 インチ
ニッケルコバルトメッキ
メッキ層厚さ 1/100 mm
- (4) ドラム回転数 1,500 rpm
周辺速度 約 500 吋/秒
- (5) ドラムの偏心 ±5/1,000 以内
- (6) ハンチング ±0.05% 以内
- (7) 周波数特性 1,000~10,000 c/s
偏差 4 db
- (8) 高周波バイアス周波数 100 kc

15図に、この雑音除去装置の系統図を示す。

この系統図について、概略説明を加えるならば、入力1および入力2を、それぞれ上り線および下り線の饋電線に接続し、入力雑音レベルに応じて録音レベル調整を行い、録音増幅器によってこれを増幅した後録音ヘッドより録音ドラム上に録音させる。

録音ドラムに録音された雑音は、再生ヘッドAおよび再生ヘッドBによりピックアップ、これを逆直列に接続して再生増幅器に加え、適当な出力レベルに再生出力調整によって調整した後、出力をFS型またはFT型選択遮断装置に入れる。

録音ドラムに記録された雑音は、発振器により発生された100 kcの高周波によって消去ヘッドにおいて消去される。

なお、録音ヘッドにも、100 kcの交流によってバイアスがかけられている。

発振器の発振出力は、約3Wである。

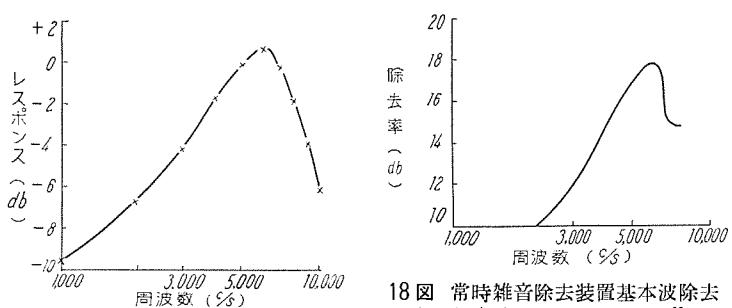
発振部および増幅部の結線図は、16図のとおりである。

ウ. 装置の特性

工場試験の結果、得られた本装置の周波数特性は17ないし20図に示すとおりとなっている。

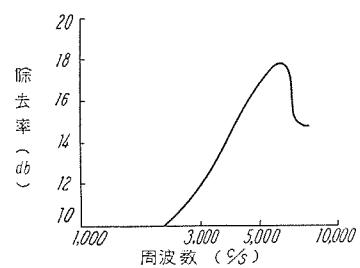
エ. 取扱方法

- 各連絡コードで、銘板にしたがって機構部と増幅部を接続する。各部とも、一応卓上型に設計されているが、使用者の目的によって取付方向は任意である。
- まず機構部の各ヘッドを、ドラムから十分に離しておき、しかる後機構部のスイッチをONに倒してドラムを左回りに回転させる。
- 増幅部のスイッチを入れると、増幅部、発振部が動作状態となる。増幅部のスイッチはなるべくドラム回転後入れ、ドラムのスイッチより先に切る方がよい。
- 録音ヘッド、第1再生ヘッド、第2再生ヘッドの順に、スペース調整ねじを慎重に調整し、不用意にヘッドをドラムに近づけないように、少しずつヘッドとドラムの間隔を狭め、間隔を3/100~5/100 mm程度まで小さくする。



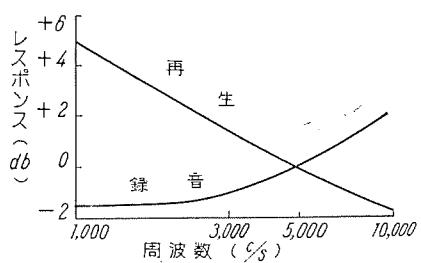
17図 當時雑音除去装置総合周波数特性。すべての調整部分を一定とした場合の當時雑音除去装置全体としての周波数に対する感度特性を示したもの

Fig. 17. Ordinary noise eliminating device, all-round frequency.



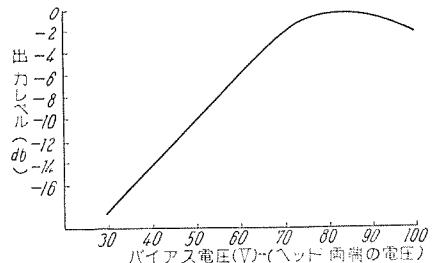
18図 當時雑音除去装置基本波除去率。基本波の入力レベルをdbとした場合、除去時における出力レベルdbを測定する事によって得られた除去率(入力レベル)-(出力レベル)の周波数特性を示す

Fig. 18. Ordinary noise eliminating device, fundamental wave removing rate.



19図 當時雑音除去装置増幅器周波数補償特性。磁気録音体の周波数特性を補償するため録音及び再生増幅器に与えた周波数特性を示す

Fig. 19. Ordinary noise eliminating device, amplifier frequency compensation characteristics.



20図 バイアス電圧対出力レベル
録音ヘッドに加えているバイアス電圧による感度の変化を示す

Fig. 20. Bias voltage vs. output level.

ドラム表面の録音体は薄い磁性体のメッキ面であって、ヘッドの表面には一応メッキ面の保護のために薄いテープがはりつけてあるが、ヘッドとドラムが接触すると、双方共きずをつけるので、ヘッドを近づける操作は接触しないように、きわめて慎重に行わねばならない。

(5) 選択遮断装置CT回路からの入力レベルに応じて録音レベル調整を行う。録音レベルを上げて行くと飽和するから、プラウン管で出力波形を観測し、飽和する直前にセットする。録音レベル調整は、1度調整したらあとはそのままにしておくことが望ましい。

(6) 再生出力をプラウン管で観測し、再生ヘッド2の位相調整ねじ(水平方向調整ねじ)を調整して、再生出力が最小となるようにする。最小となった位置で、さらに第1再生ヘッドと第2再生ヘッドの感度を等しくするた

めに、第2再生ヘッドのスペース調整を若干行う必要がある。

(7) 再生出力レベルを必要に応じて適当にセットすれば、この装置の調整は完了する。

5. 実測結果

完成した雑音除去装置について、実際に饋電線に発生している雑音を入れ、その動作特性をしらべるため、東鉄大船変電区において実測を行ったが、良好な成績を収めることができた。

A. 実測項目

(1) 日時 昭和31年10月17日(水), 18日(木), 19日(金), 22日(月), 23日(火)

(2) 場所 東鉄大船変電区機械室

(3) 実測施行日程

5表 実測施行日程

日 時	内 容
31-10-17	準備
31-10-18	FS型 雜音除去効果波形撮影
31-10-19	FS型 雜音除去率の測定
31-10-22	FT型 雜音除去効果波形撮影
31-10-23	FT型 雜音除去率の測定

(4) 使用装置

FS型共振回路

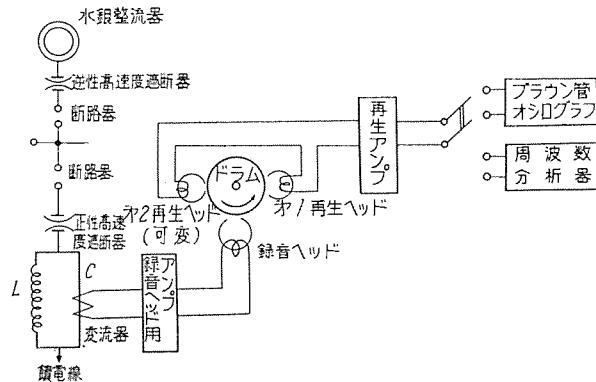
FT型検出回路

雑音除去装置用増幅器

雑音除去装置用機構部

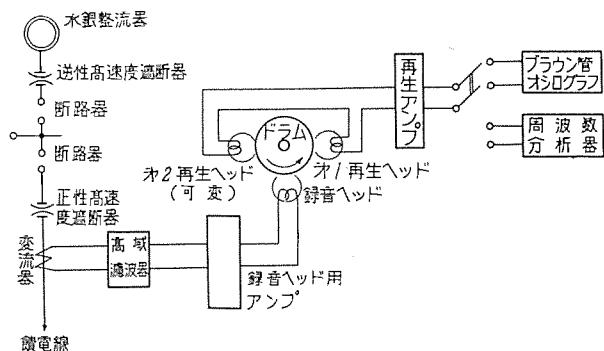
ブラウン管オシログラフおよび波形記録装置

周波数分析器



21図 FS型測定回路

Fig. 21. Type FS measuring circuit.



22図 FT型測定回路

Fig. 22. Type FT measuring circuit.

電鉄事故時の選択遮断装置の改良・迎

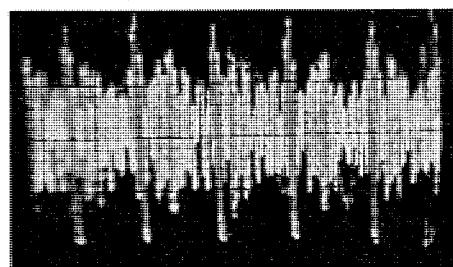
1. 測定回路

(1) FS型

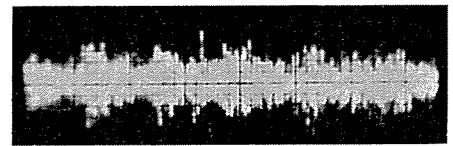
(2) FT型

ウ. FS型雑音除去効果波形記録整理結果

FS型選択遮断装置を横須賀線に入れ、下り線において

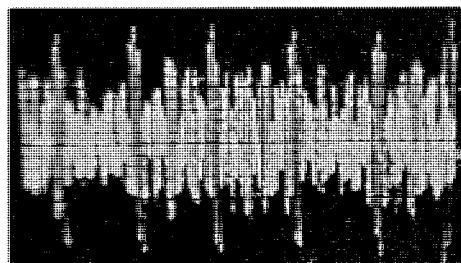


不除去 (I) 30 Not eliminated.

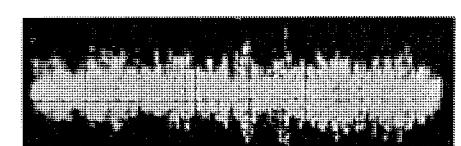


除去 (i) 8 Eliminated.

(1) 負荷電流 須 13=OA 須 14=OA
雑音減少率 = $i/I = 8/30 = 24.0\%$ 雜音除去率 = $(I-i)/I = 76.0\%$

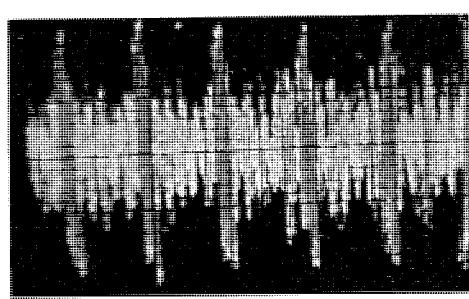


不除去 (I) 30 Not eliminated.

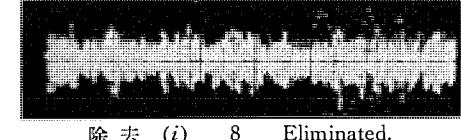


除去 (i) 10 Eliminated.

(2) 負荷電流 須 13=OA 須 14=50A
雑音減少率 = $i/I = 10/30 = 33.3\%$ 雜音除去率 = $(I-i)/I = 66.7\%$

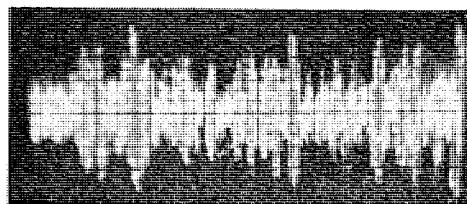


不除去 (I) 34 Not eliminated.

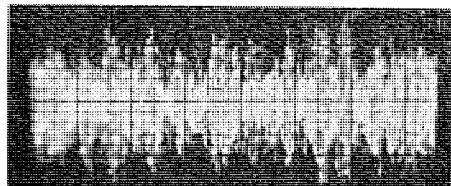


除去 (i) 8 Eliminated.

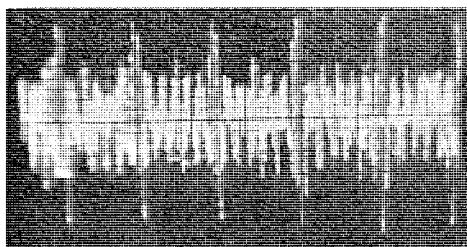
(3) 負荷電流 須 13=60A 須 14=OA
雑音減少率 = $i/I = 8/34 = 23.5\%$ 雜音除去率 = $(I-i)/I = 76.5\%$



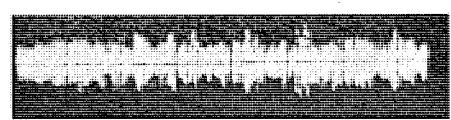
不除去 (I) 22 Not eliminated.



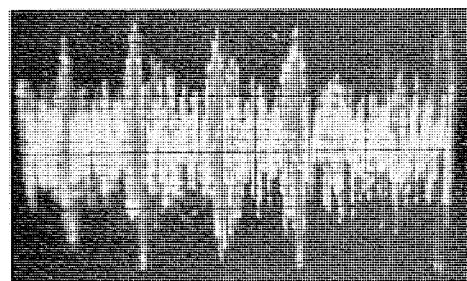
除去 (i) 18 Eliminated.
(4) 負荷電流 須 13=100 A 須 14=100 A
雜音減少率= $i/I=18/22=82.0\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=18.0\%$



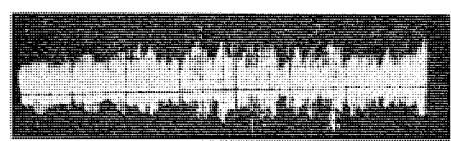
不除去 (I) 26 Not eliminated.



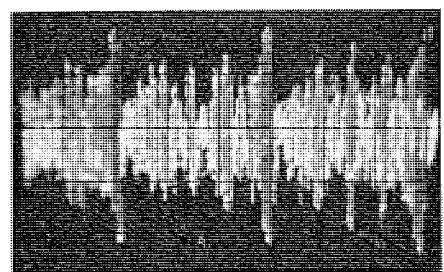
除去 (i) 7 Eliminated.
(5) 負荷電流 須 13=200 A 須 14=0 A
雜音減少率= $i/I=7/26=26.9\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=73.1\%$



不除去 (I) 32 Not eliminated.



除去 (i) 9 Eliminated.
(6) 負荷電流 須 13=300 A 須 14=0 A
雜音減少率= $i/I=9/32=28.1\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=71.9\%$

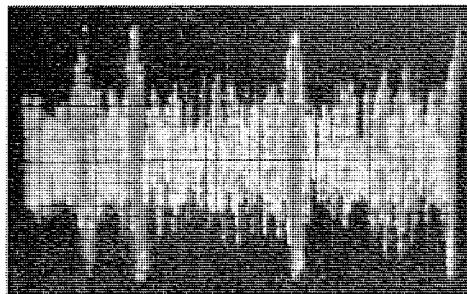


不除去 (I) 29 Not eliminated.



除去 (i) 7 Eliminated.

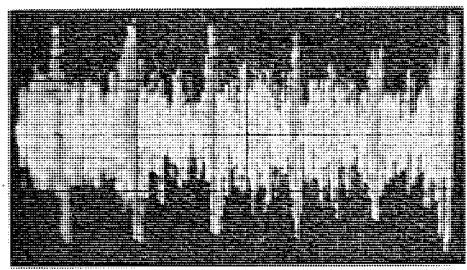
(7) 負荷電流 須 13=300 A 須 14=50 A
雜音減少率= $i/I=7/29=24.1\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=75.9\%$



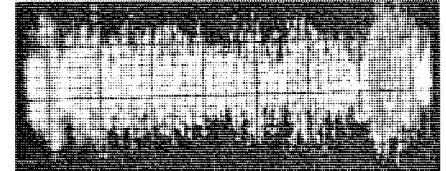
不除去 (I) 33 Not eliminated.



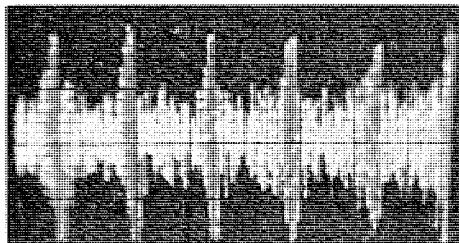
除去 (i) 11 Eliminated.
(8) 負荷電流 須 13=500 A 須 14=0 A
雜音減少率= $i/I=11/33=33.3\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=66.7\%$



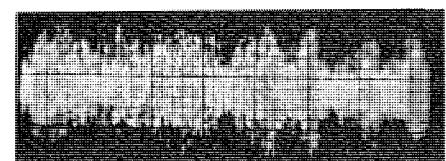
不除去 (I) 29 Not eliminated.



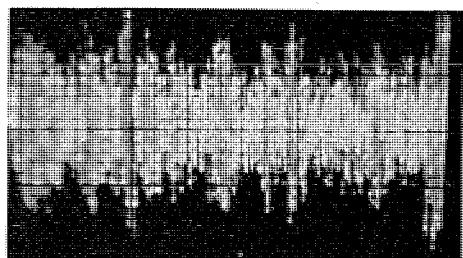
除去 (i) 15 Eliminated.
(9) 負荷電流 須 13=700 A 須 14=0 A
雜音減少率= $i/I=15/29=51.6\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=48.4\%$



不除去 (I) 28 Not eliminated.



除去 (i) 15 Eliminated.
(10) 負荷電流 須 13=900 A 須 14=0 A
雜音減少率= $i/I=15/28=53.6\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=46.4\%$



(11) 負荷電流 須 13=1100 A 須 14=0 A
 雜音減少率= $i/I = 12/32 = 37.5\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I = 62.5\%$

て測定した。負荷は横須賀型電車に限られている。なお須-13とは横須賀下り線を、須-14とは横須賀上り線を示す。

(註) 1 雜音減少率及び雑音除去率を求めた数値はブラウン管オシログラフ波形記録写真の振幅の最大値をスケールで測った長さである。

(註) 2 測定条件は、試験中一定としてある。

(12) 以上の結果をまとめたものが6表である。

(13) 6表をグラフに表わせば、45図の如くである。

工. レベルメータによるFS型雑音除去率の測定

(1) 周波数分析器レベルメータによって測定した雑音減少率および除去率の結果を7表に示す。

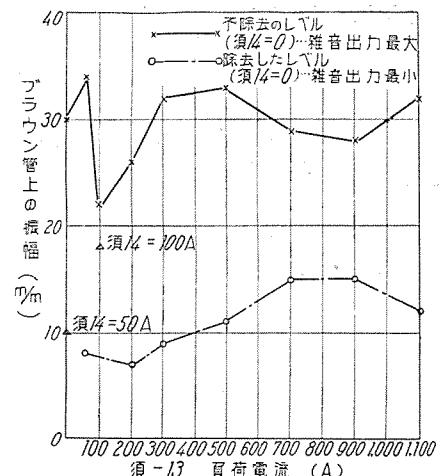
ただし、この測定の場合は、負荷電流の変動によってレベルメータも絶えず変動し、正確な数値を読みとることが困難があるので、概略の値であり、誤差は大きい。

6表 FS型雑音除去効果記録整理結果

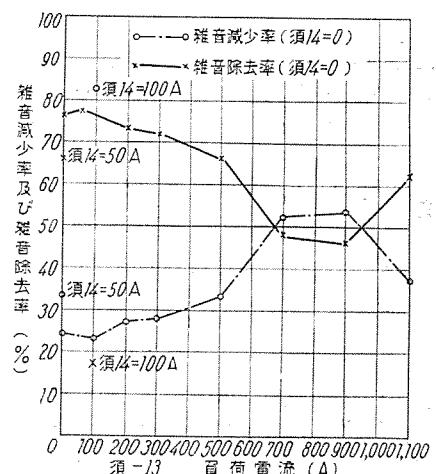
負荷電流(A)		雑音減少率(%)	雑音除去率(%)	備考
横須賀下り線	横須賀上り線	i/I	$(I-i)/I$	
0	0	24.0	76.0	横須賀下り線にて測定
0	50	33.3	66.7	
50	0	23.5	76.5	
100	100	82.0	18.0	
200	0	26.9	73.1	
300	0	28.1	71.9	
300	50	24.1	75.9	
500	0	33.3	66.7	
700	0	51.6	48.4	
900	0	53.6	46.4	
1,100	0	37.5	62.5	

7表 レベルメータによるFS型雑音除去率測定結果

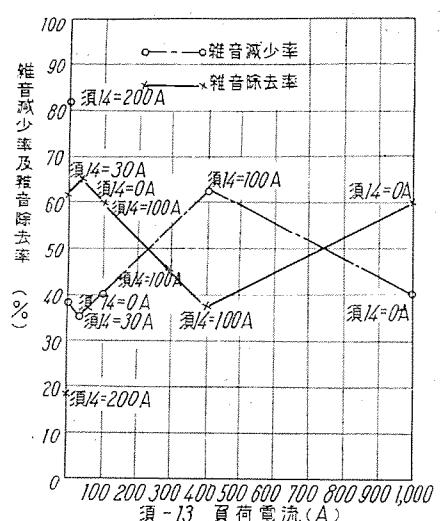
負荷電流(A)		出力電圧(mV)		雑音減少率(%)	雑音除去率(%)	備考
横須賀下り線	横須賀上り線	不消去(V)	消去(v)	v/V	$(V-v)/V$	
0	0	130	50	38.5	61.5	須-13にて測定
0	0	160	65	40.6	59.4	
0	200	80	65	81.4	18.6	
30	30	160	56	35.0	65.0	
100	100	140	56	40.0	60.0	
400	100	160	100	62.5	37.5	
1,000	0	180	72	40.0	60.0	



45図 (a) FS型雑音除去効果記録整理結果
 Fig. 45 (a). Result of adjusted record on noise eliminating effect of Type FS.



45図 (b) FS型雑音除去効果記録整理結果
 Fig. 45 (b). Result of adjusted record on noise eliminating effect of Type FS.



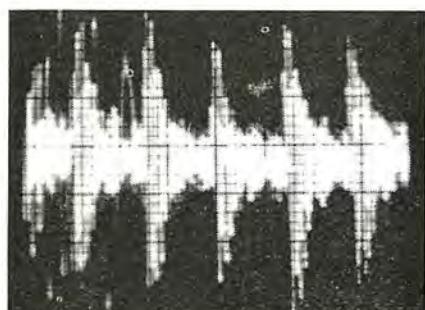
46図 レベルメータによるFS型雑音減少率及び雑音除去率測定結果
 Fig. 46. Noise decreasing rate and result of noise decreasing rate measurement by level meter.

FT型の場合も同様である。

(2) 7表をグラフに表わせば、46図のごとくなる。

才、FT型雑音除去効果波形記録整理結果

FT型選択遮断装置を東海道本線上り線(客-13)に入れ測定した。負荷は、電気機関車列車および湘南型電車



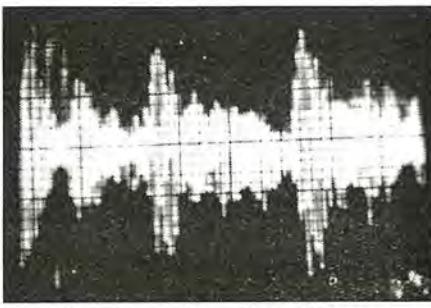
不除去 (I) 40 Not Eliminated.



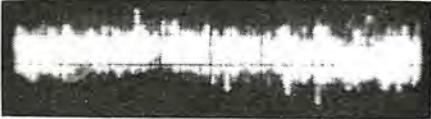
除去 (i) 6 Eliminated.

(1) 負荷電流 0 A

雑音減少率= $i/I=6/40=15\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=85\%$



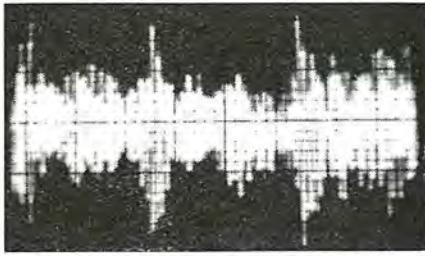
不除去 (I) 34 Not eliminated.



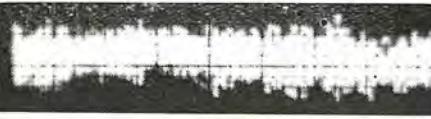
除去 (i) 7 Eliminated.

(2) 負荷電流 100 A

雑音減少率= $i/I=7/34=20.6\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=79.4\%$



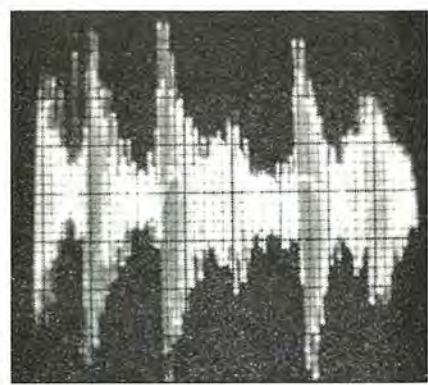
不除去 (I) 30 Not eliminated.



除去 (i) 9 Eliminated.

(3) 負荷電流 200 A

雑音減少率= $i/I=9/30=30\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=70\%$



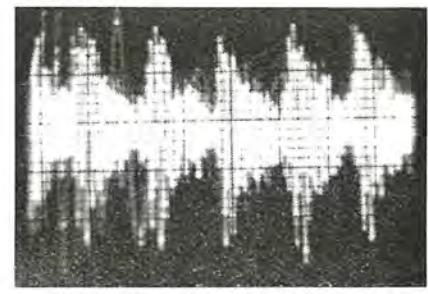
不除去 (I) 49 Not eliminated.



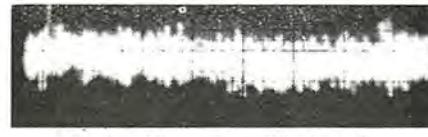
除去 (i) 7 Eliminated.

(4) 負荷電流 300 A

雑音減少率= $i/I=7/49=14.3\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=85.7\%$



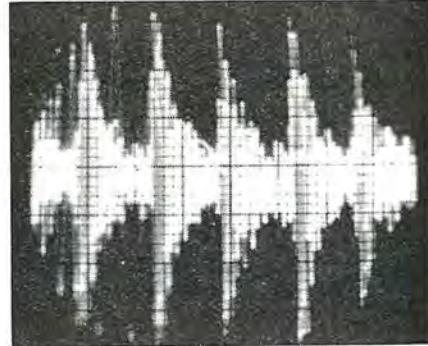
不除去 (I) 30 Not eliminated.



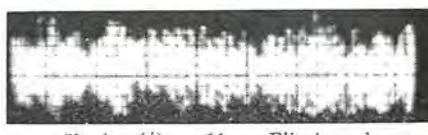
除去 (i) 8 Eliminated.

(5) 負荷電流 400 A

雑音減少率= $i/I=8/30=26.6\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=73.4\%$



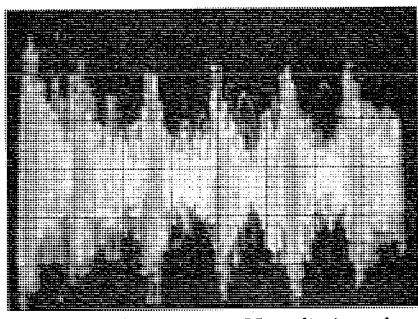
不除去 (I) 46 Not eliminated.



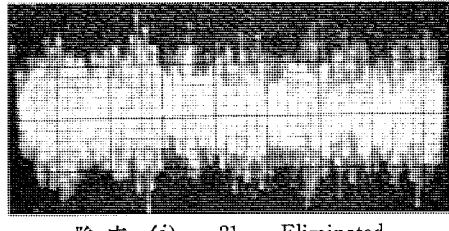
除去 (i) 11 Eliminated.

(6) 負荷電流 600 A

雑音減少率= $i/I=11/46=23.9\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=76.1\%$



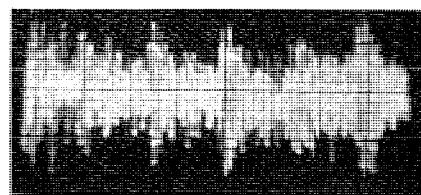
不除去 (I) 37 Not eliminated.



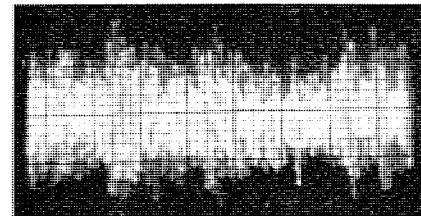
除去 (i) 21 Eliminated.

(7) 負荷電流 700 A

雑音減少率= $i/I=21/37=56.7\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=43.3\%$



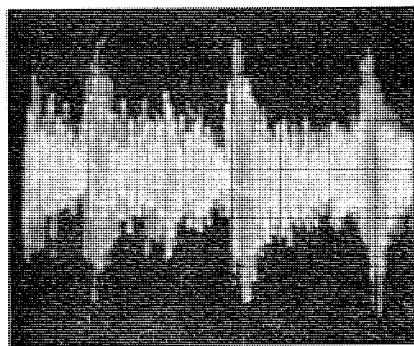
不除去 (I) 26 Not eliminated.



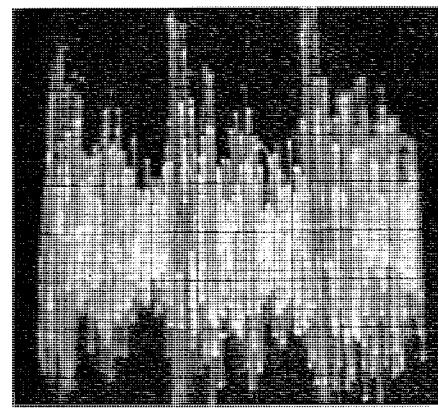
除去 (i) 22 Eliminated.

(10) 負荷電流 1,000 A (電気機関車負荷)

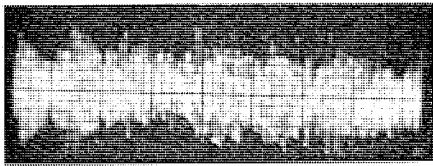
雑音減少率= $i/I=22/26=84.6\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=15.4\%$



不除去 (I) 42 Not eliminated.



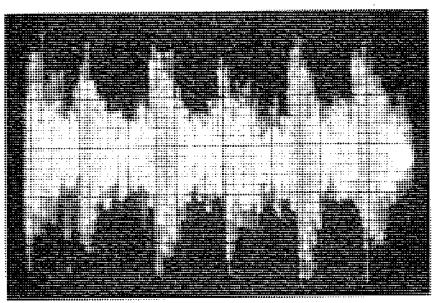
不除去 (I) 60 Not eliminated.



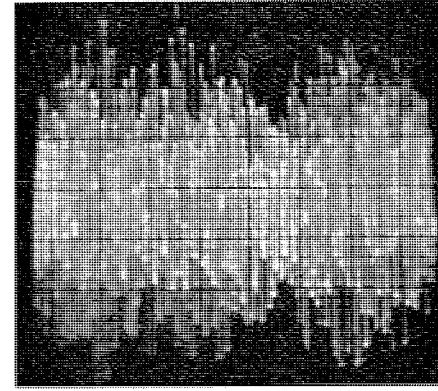
除去 (i) 14 Eliminated.

(8) 負荷電流 800 A

雑音減少率= $i/I=14/42=33.4\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=66.6\%$



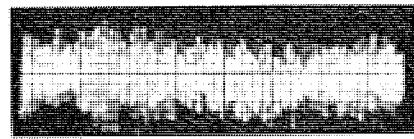
不除去 (I) 34 Not eliminated.



除去 (i) 47 Eliminated.

(11) 負荷電流 1,000 A (湘南電車負荷)

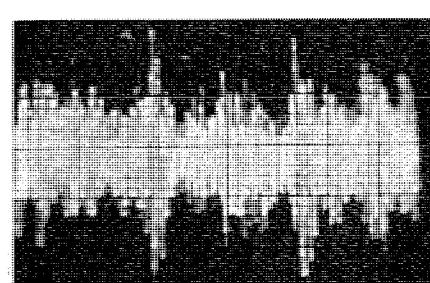
雑音減少率= $i/I=47/60=78.3\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=21.7\%$



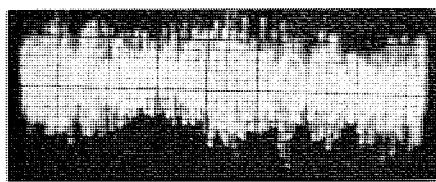
除去 (i) 10 Eliminated.

(9) 負荷電流 900 A

雑音減少率= $i/I=10/34=29.4\%$ 雜音除去率= $(I-i)/I=70.6\%$



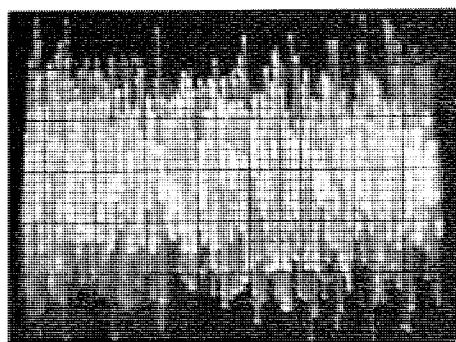
不除去 (I) 33 Not eliminated.



除去 (i) 18 Eliminated.

(12) 負荷電流 1,200 A (湘南電車負荷)

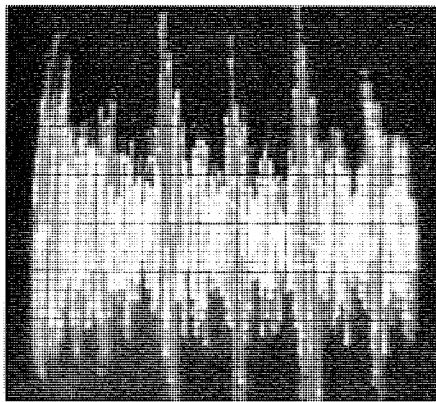
$$\text{雑音減少率} = i/I = 18/33 = 54.6\% \quad \text{雑音除去率} = (I-i)/I = 45.4\%$$



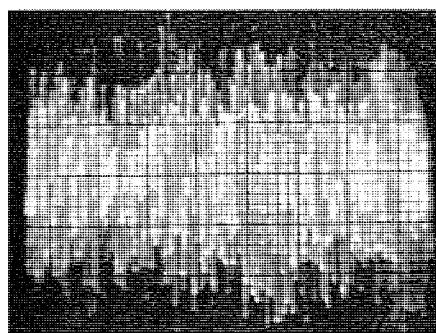
除去 (i) 45 Eliminated.

(14) 負荷電流 2,000 A (湘南電車負荷)

$$\text{雑音減少率} = i/I = 45/62 = 72.5\% \quad \text{雑音除去率} = (I-i)/I = 27.5\%$$



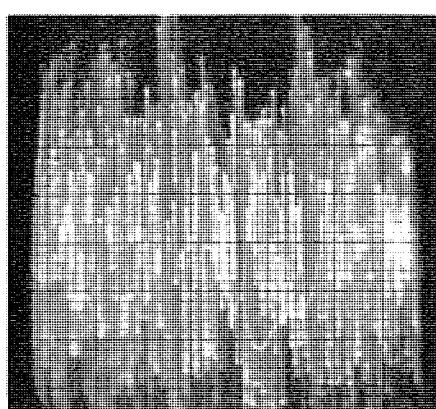
不除去 (I) 60 Not eliminated.



除去 (i) 45 Eliminated.

(13) 負荷電流 1,700 A (湘南電車負荷)

$$\text{雑音減少率} = i/I = 46/60 = 75\% \quad \text{雑音除去率} = (I-i)/I = 25\%$$



不除去 (I) 62 Not eliminated.

8 表 FT 型雑音除去効果記録整理結果

負荷電流 (A)	雑音減少率 (%)	雑音除去率 (%)	備考
	i/I	(I-i)/I	
客 13			
0	15.0	85.0	客 13 にて測定
100	20.6	79.4	
200	30.0	70.0	
300	14.3	85.7	
400	26.6	73.4	
600	23.9	76.1	
700	56.7	43.3	
800	33.4	66.6	
900	29.4	70.6	
1,000	84.6	15.4	電気機関車負荷
1,000	78.3	21.7	湘南電車負荷
1,200	54.6	45.4	"
1,700	75.0	25.0	"
2,000	72.5	27.5	"

9 表 FT 型雑音除去率のレベルメータによる測定結果

負荷電流 (A)	出力電圧 (mV)		雑音減少率 (%)	雑音除去率 (%)	備考
	不消去 (V)	消去 (v)	v/V	(V-v)/V	
100	800	140	14.0	86.0	東海道上り本線にて測定
200	1,000	60	6.0	94.0	
300	1,100	200	18.2	81.8	
600	1,400	250	17.9	82.1	
1,800	1,300	1,000	77.0	23.0	湘南電車負荷
2,000	1,400	1,300	93.0	7.0	
2,200	2,000	1,400	70.0	30.0	

である。

高域濾波器により 4.75 kc 以下 cut off した。

(15) 以上の結果をまとめると、8 表のごとくである。

(16) 8 表をグラフに表わしたもののが 75 図である。

カ. レベルメータによる雑音除去率の測定

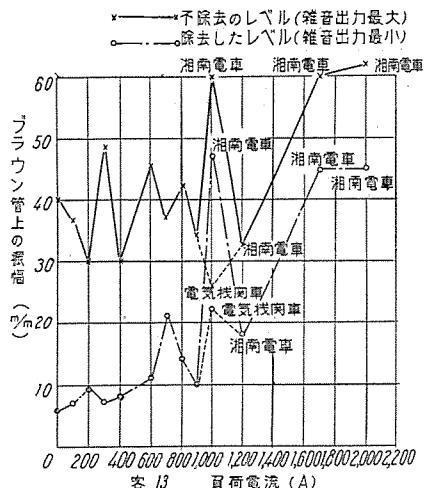
(1) FS 型について行ったと同様、レベルメータによって雑音減少率および雑音除去率を FT 型についても測定した。測定精度の悪い点は FS 型と同様である。

(2) 9 表をグラフに表わせば 76 図のようになる。

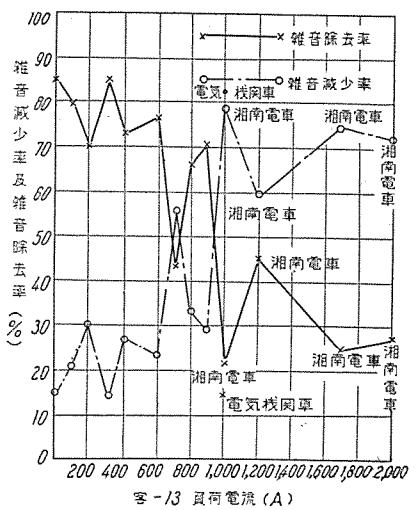
6. 実測結果の解析

ア. 発振性雑音と共振性雑音の分離

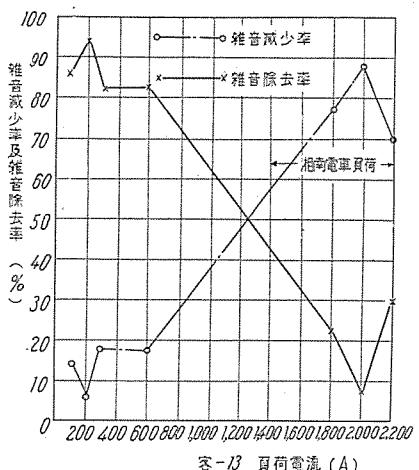
実測結果から明らかなどおり、饋電線の當時雑音は、この雑音除去装置を通すことによって完全に除去されるものと、除去されるざるものとの 2 種類より成っている。



75図 (a) FT型雑音除去効果記録整理結果
Fig. 75 (a). Result of adjusted card of noise eliminating effect of Type FT.

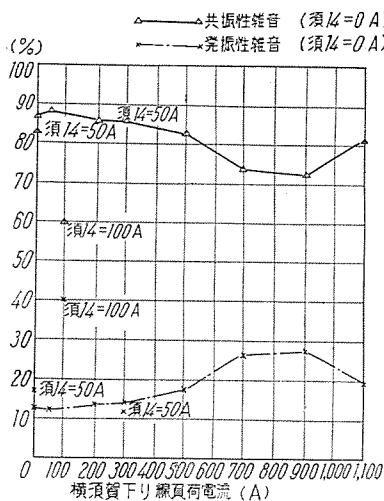


75図 (b) FT型雑音除去効果記録整理結果
Fig. 75 (b). Result of adjusted record of noise eliminating effect of Type FT.



76図 レベルメータによるFT型雑音減少率及び雑音除去率測定結果
Fig. 76. Type FT noise decreasing rate and measuring result of noise decreasing rate by level meter.

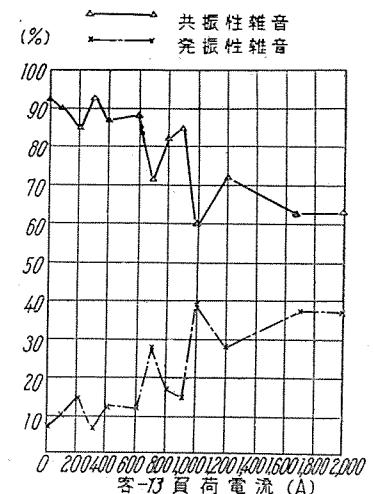
すなわち、共振性の雑音は、電源周波数と高調波関係にあり、特定の位相関係を満足することによって除去さ



77図 FS型における発振性雑音成分と共振性雑音成分
Fig. 77. Component of oscillating noise and component of resonating noise of Type FS.

10表 FS型における発振性雑音成分と共振性雑音成分の割合
Table 10. Ratio of oscillating noise component and resonating noise component for Type FS.

負荷電流 (A)	共振性雑音		発振性雑音 Nr (%)	No (%)	備考
	横須賀下り線	横須賀上り線			
0	0	87	13		
0	50	83	17		
50	0	88	12		
100	100	60	40		
200	0	86	14		
300	0	86	14		
300	50	88	12		
500	0	83	17		
700	0	74	26		
900	0	73	27		
1,100	0	81	19		



78図 FT型における発振性雑音成分と共振性雑音成分
Fig. 78. Component of oscillating noise and component of resonating noise.

11表 FT型における発振性雑音成分と共振性雑音成分の割合
Table 11. Ratio of oscillating noise component and resonating noise component for Type FT.

負荷電流 (A)	共振性雑音		発振性雑音 Nr (%)	No (%)	備考
	横須賀下り線	横須賀上り線			
客-13	Nr (%)	No (%)			
0	92.5	7.5			
100	90	10			
200	85	15			
300	93	7			
400	87	13			
600	88	12			
700	72	23			
800	83	17			
900	85	15			
1,000	60	40			電気機関車負荷
1,000	60	40			湘南電車負荷
1,200	72	23			
1,700	62.5	37.5			
2,000	63	37			

れるが、発振性の雑音は除去することができない。

事故の際検出される電弧電流は、大部分この発振性雑音であるから、この装置で共振性雑音を除去することにより、一層事故の検出が容易となる訳であるが、いま、常時雑音中の発振性雑音と共振性雑音とを、実測結果のオシログラムから分離して見よう。

発振性雑音振幅を N_o 、共振性雑音振幅を N_r とすれば、雑音除去しない場合の雑音振幅最大値 A は、 $A = N_r + N_o$ で表わされる。

発振性雑音振動は非常に不規則であり、これを正しく解析することはきわめて困難であるが、今、簡単に、或る発振性雑音周波数が電源周波数の1波長間続いているものと仮定する。

発振性雑音、共振性雑音とも、それぞれ出力エネルギーの主成分をなす特定の周波数のものに着目すれば、雑音除去の原理、電源周波数の1波長位相をずらせ、逆直列に繋ぐということによって、雑音振動は B となり、

$$B = N_r \sin \alpha + N_o \sin \beta - \{N_r \sin(\alpha - 360^\circ) + N_o \sin(\beta - 360^\circ \pm \theta)\}$$

$$= N_r \sin \alpha + N_0 \sin \beta - N_r \sin \alpha - N_0 \sin (\beta \pm \theta) \\ = N_0 \sin \beta - N_0 \sin (\beta \pm \theta) = 2N_0 \sin \frac{\pm \theta}{2} \cos \frac{2\beta \pm \theta}{2}$$

である。

$$\left| \sin \frac{\pm \theta}{2} \cos \frac{2\beta \pm \theta}{2} \right| \leq 1$$

であるから、 B の最大振幅をとっても $2N_0$ より大となることはなく、 $B=2N_0$ となりうるから、除去された波形の最大振幅を、 $B=2N_0$ とすれば、 $N_0=B/2$ したがって $N_r=A-B/2$ となる。 A は不除去の最大振幅、 B は除去したときの最大振幅である。

イ. 分離結果

上記方法により、大雑把な、発振性雑音と共振性雑音との分離を実測オシログラフより行った結果、10表および11表を得た。

77図および78図は、それらをそれぞれグラフに表したものである。

この結果を見ると、常時雑音成分のうち、大部分は共振性雑音であって、大体 80% 以上を占め、発振性雑音は 10 数 % であることがわかる。

ただ湘南電車負荷の場合に限って、著しく発振性雑音が増す点は、注目に値する。これは事故時の電弧と同様な negative resistance 分が存在したことを示し、直流電動機の Commutator と Brush の間の電弧の影響がもっとも大きいのではないかと思われる。事故と区別するためには、事故時の電弧がこの発振性雑音より大きい場合にのみ、この方式では選択可能になる。

7. むすび

以上、大船で実測した記録の一部を紹介したが、これらの結果からもわかるとおり、FS型、FT型共に本装置はきわめて有効に雑音を抑制し、雑音除去率は平均 60~70% に達している。

雑音除去効果は負荷電流が増すにつれて若干減少しているが、しかしあくまでも有効に動作し、ほとんど負荷電流に無関係に雑音を除去していることがわかる。

ことに、常時雑音波形のうち、水銀整流器の 6 相転流時にその電弧振動により生ずるものは本装置を通すことによって完全に消去され、従来この雑音によって感度を押さえられていただけに S/N 比は著しく向上した。

ただ東海道本線に入れた FT 型ピックアップ回路よりの雑音消去では、湘南電車負荷に限って、雑音除去率が芳しくない。これは、さらによく調査をしてみないと、原因を究めることができないので、後日横浜変電区において、横須賀型電車、電気機関車列車、湘南電車の各負荷による雑音を同一線路に入れ、同一条件の下で雑音除去率を比較測定し、結論を出したいと思っている。

中心部の雑音電流もかなり抑制されているが、完全には消去されていない。これは、直流電源が、片側は水銀整流器、片側は回転変流機であるために、回転変流器の整流子面に発生している整流不良の小電弧がかかる雑音

として現われているものと思われ、かなり不規則な雑音成分であるためと考えられる。

また、記録された波形を検討した結果、雑音電流の多少は必ずしも負荷電流の多少にはよらず、負荷の種類、(恐らくはその負荷電車の電動機の整流状態の良否によるものと思われる) によって、50A、100A 程度の負荷電流でも、きわめて大きい雑音を発生する場合があることが判明した。逆に、負荷がかかってもほとんど雑音を発生しない場合には、1,000A 以上の負荷電流になっても雑音除去率はほとんど減少ないこともわかった。

なお、人工故障による、本装置の動作特性の測定も後日行う予定であるので、結果は改めてご報告するつもりである。

ともあれ、これまでの電弧型選択遮断装置にあって、悩みの 1つであった S/N 比を 60~70% も向上し得た本装置は誠に画期的なものといいうべく、微分型選択遮断装置においては EH-10 型のような主電動機容量の増大による ΔI の増加、弱め界磁起動の新製電車による di/dt の増加、今後出現を予想される高性能電車による起動瞬時の di/dt 、 ΔI の極端な増加等、今後ますます困難な問題が現われてきた今日、電弧型選択遮断装置の将来に明るい見通しをうることができた。

本装置によって従来の FS 型、FT 型の增幅器部は不要となり、CT による雑音検出回路—雑音除去装置—時限继電器という小型機器の組合せとすることができるから、選択遮断装置そのものがきわめて小型化され、保守も容易となる。

さらに将来は、増幅器部に使用されている真空管をすべてトランジスタに替え、一層小型化し、保守の手間を省き、性能の安定化を図る予定である。

トランジスタ回路を採用した本装置によって、電弧型選択遮断装置は電鉄直流饋電回路の保守に一新紀元を画すこととなろう。

また、本装置は、目下問題となっている発電機の軸電流の研究上、電磁誘導による周期性を持つものと、静電的な非周期的なものとの分離、通信線への誘導雑音障害の解明等、非常に広範囲な応用の道が考えられる。

終りに臨み、種々ご指導を賜った電力技術部長木村久男博士、本社電鉄部田淵技師ならびに本装置の試作開発ならびに実測に当つていいろいろとご尽力を賜った鉄道技術研究所広瀬電力保安研究室長、大船変電区井上区長および東京通信工業多田技術部長、堀内技師の諸氏に対し深甚なる謝意を表する次第である。

文献および特許

- (1) 鉄道電化協会：電車線路事故電流の選択遮断方式研究報告 [1953, P. 44~52]
- (2) 木村、小滝：直流電鉄回路の新保護方式 [電鉄直流回路遮断研究委員会資料 № 109, P. 1~5]
- (3) 迎、田淵：三菱電弧型電鉄直流饋電回路故障選択遮断装置の使用実績 [電鉄直流回路遮断研究委員会資料 № 128]
- (4) 鉄道電化協会：電車線路事故選択遮断装置講習録 [1955, 豊 1]
- (5) 特許出願中、木村、安藤、薄井：電気機器または電力線の保護方式 [出願日 昭和 30 年 5 月 16 日]

三菱S型(ヌード)エスカレーター

最近の盛んな百貨店の増改築ブームに伴って、いまや必需品の域に達したエスカレーターの設置も非常に増加しておりますが、三菱電機では建物にマッチした近代的な意匠の種々の新型エスカレーターを製作しております。



1200 SS 型

写真 は東京日本橋白木屋百貨店に設置された、わが国唯一の 1200 SS 型エスカレーターで欄干部分全部が透明強化ガラスによるヌードスタイルになっております。改装成った店内にきわめて良く調和すると同時に、外側には幅広のアクリライトグローブによる半間接照明がほどこされており、強くアッピールしております。



800 SS 型

写真 は同じく白木屋百貨店の1階地階間に設置された 800 SS 型エスカレーター 2台で昇り降り併行運転を行い、今後の地下への、エスカレーター設置方法について 1つの行き方を示したものであります。

昭和 32 年 4 月 27 日 印刷 昭和 32 年 4 月 30 日 発行

「禁無断転載」 定価 1 部 金 60 円 (送料別)

雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	大久保謙	常任委員	宗石	村橋	市	村	宗	明
副委員長	石川辰雄	委員	岡進	屋藤	市	村	宗	明
常任委員	浅井徳次	二郎潔	立	原村	村	村	宗	明
〃	荒井潔	二郎潔	津松	尾田	尾田	尾田	宗	明
〃	安藤安正	二郎潔	又新	又新	又新	又新	宗	明
〃	菅野正雄	二郎潔	八宗	八宗	八宗	八宗	宗	明
〃	木村武雄	二郎潔	上村	上村	上村	上村	宗	明
〃	小堀富次	二郎潔	市郎明	市郎明	市郎明	市郎明	宗	明
〃	高井得一	幹事	市	市	市	市	宗	明
〃	中野光雄	幹事	市	市	市	市	宗	明
〃	馬場文夫	幹事	市	市	市	市	宗	明
〃	松田新市	幹事	市	市	市	市	宗	明

(以上 50 頁)

編集兼発行人	東京都千代田区丸の内2丁目3番地	市	村	宗	明
印 刷 所	東京都新宿区市谷加賀町1丁目	大日本印刷株式会社			
印 刷 者	東京都新宿区市谷加賀町1丁目	長	久	保	慶
発 行 所	三菱電機株式会社内「三菱電機」編集部	一			
	電話 和田倉 (20) 1631				
	日本出版協会会員番号 213013				
発 售 元	東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店				
	電話 (29) 0915・0916 横浜東京 20016				