U. D. C. 621. 319. 4. 018. 14

東北電力株式会社秋田開閉所納
66kV 5,000kVA 進相用コンデンサ設備

66kV 5,000kVA Power Capacitor Installation

山中敬二* 長堀金記* 能一彦*

内容梗概

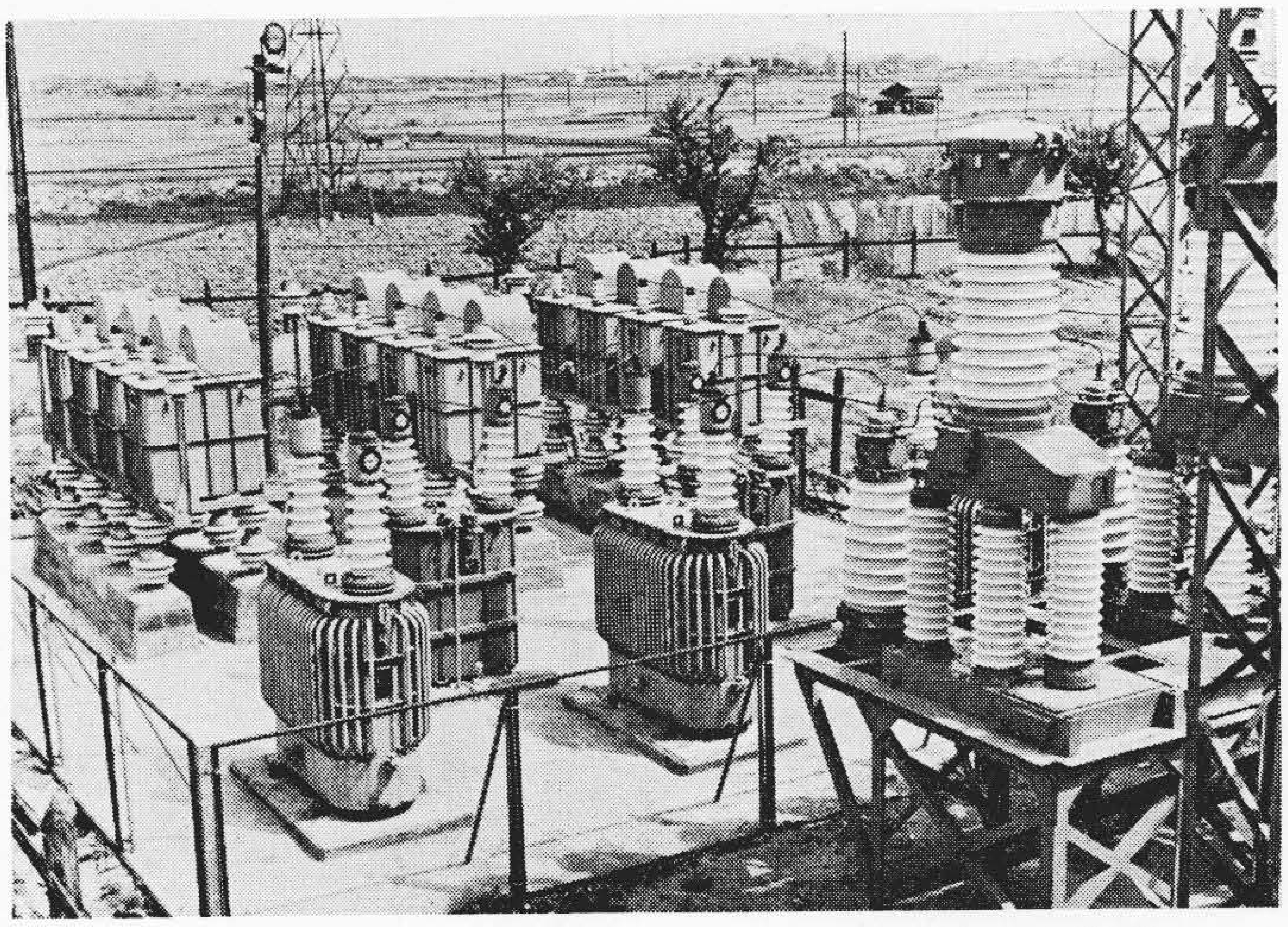
本年はじめ東北電力株式会社秋田開閉所に 66kV 5,000kVA 進相用コンデンサ設備を納入したが，製作技術の進歩改善によるコンデンサの電気特性向上とともにほかの機器も性能はもちろん保守のきわめて容易なものとなつている。

本設備については現地において開閉試験をはじめ種々の試験を実施したが，とくに遮断試験においては一度の再点弧もおきないことが確認された。

〔I〕緒言

東北電力株式会社秋田開閉所納 66KV 5,000kVA 進相用コンデンサ群が本年初頭日立製作所において完成し，三月には据付を完了し現地における種々の試験の結果所期の性能を発揮しうることを確認しえた。

秋田開閉所は東北幹線および周辺の発電所より送られる電力を 66kV にて受電しこれを分岐して附近の大工場および二次変電所に給電するものであり，本進相用コンデンサ設備はこの系統に直接挿入されて力率の改善を行い，電圧降下の補償ならびに送電損失の軽減をはかるものである。



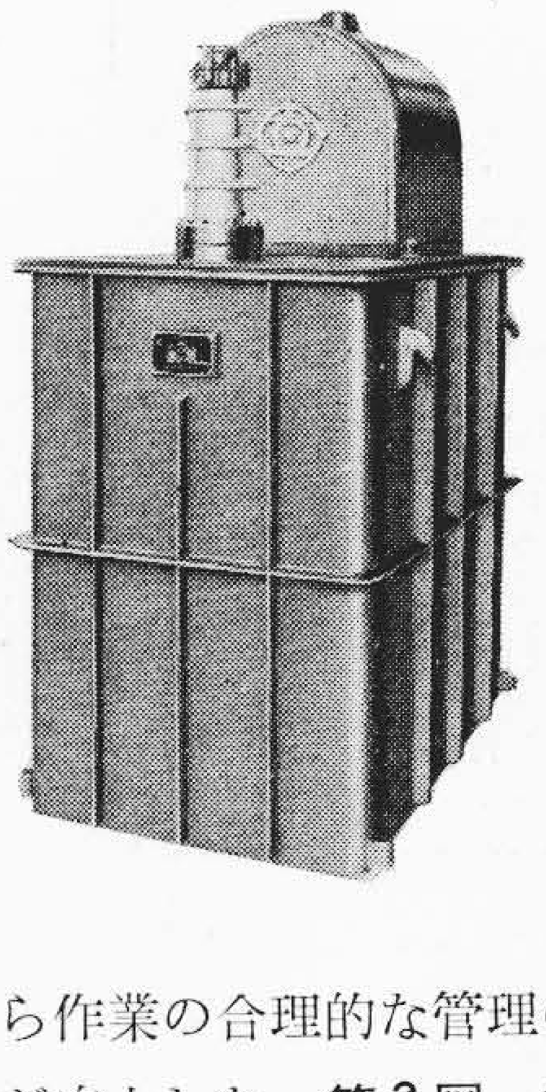
第1図 66kV 5,000kVA 進相用コンデンサ設備
Fig. 1. 66kV 5,000kVA Power Capacitor Installation

以下に本設備についてその概要と現地試験の結果について述べる。

〔II〕設備内容

(1) 進相用コンデンサ

型式……SOFV-R
容量……417kVA×12台
周波数……50～
端子電圧……19,000V
回路電圧……66,000V
単相油入自冷式フィーディングタンク付
全熔接型



第2図 417kVA 1-ϕ コンデンサ
回路電圧 66,000V
端子電圧 19,000V
周波数 50～

Fig. 2. 417kVA 1-ϕ Power Capacitor
Line Voltage 66,000V
Terminal Voltage 19,000V
Frequency 50～

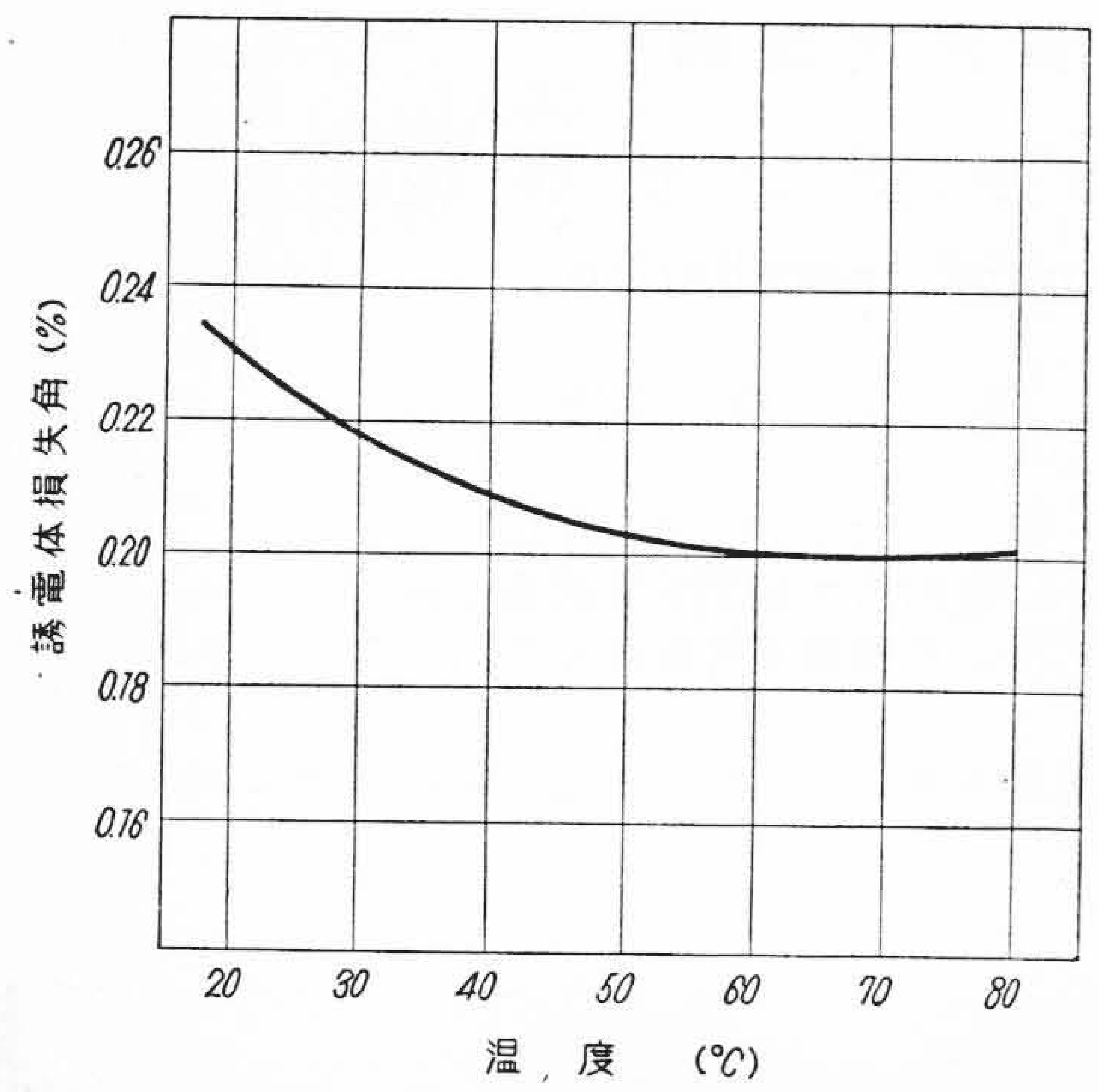
最近日立製作所ではコンデンサの性能改善に非常な努力をはらつており，そのためにコンデンサに使用する絶縁紙および絶縁油はつねに厳重な検査と管理を行つている。また乾燥処理および油の真空処理においては全面的に拡散ポンプを使用して真空度を向上せしめ，かつこれら作業の合理的な管理の結果誘電体損失および絶縁抵抗が向上した。第3図，第4図に本コンデンサの誘電体損失と絶縁抵抗の温度特性を示す。

また本コンデンサは全熔接構造を採用して油漏れの絶無をはかり寿命をほとんど永久化した。

(2) 直列リアクトル

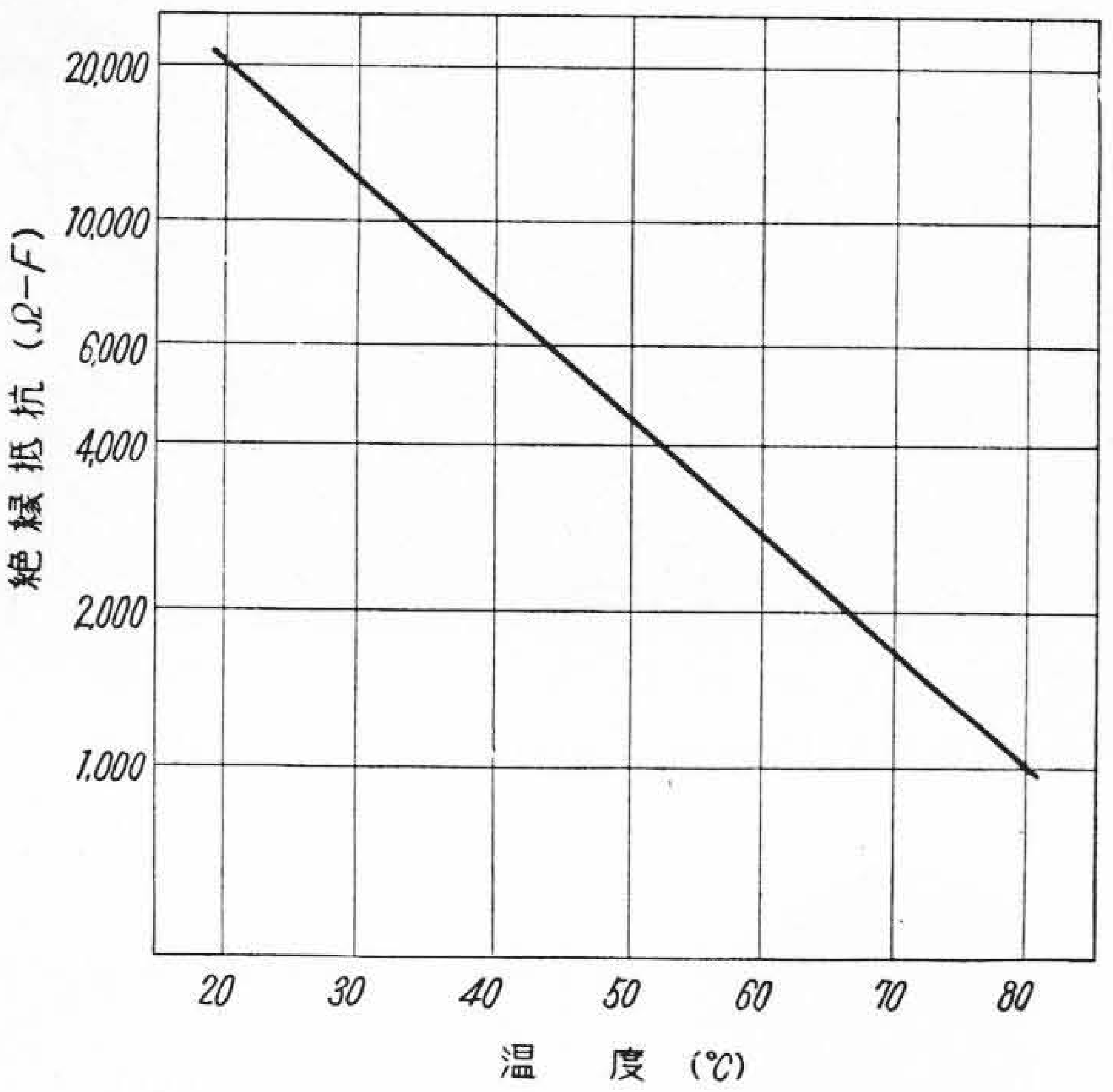
型式……SOBV-FX

* 日立製作所日立国分分工場



第3図　417kVA 単相コンデンサ誘電体損失温度特性

Fig. 3. tan δ-Temperature Characteristic of 417kVA 1-φ Power Capacitor



第4図　417kVA 単相コンデンサ絶縁抵抗温度特性

Fig. 4. Resistance-Temperature Characteristic of 417kVA 1-φ Power Capacitor

容　　量……………………………100 kVA×3台

周 波 数…………………………………………50〜

端子電圧…………………………………… 2,290 V

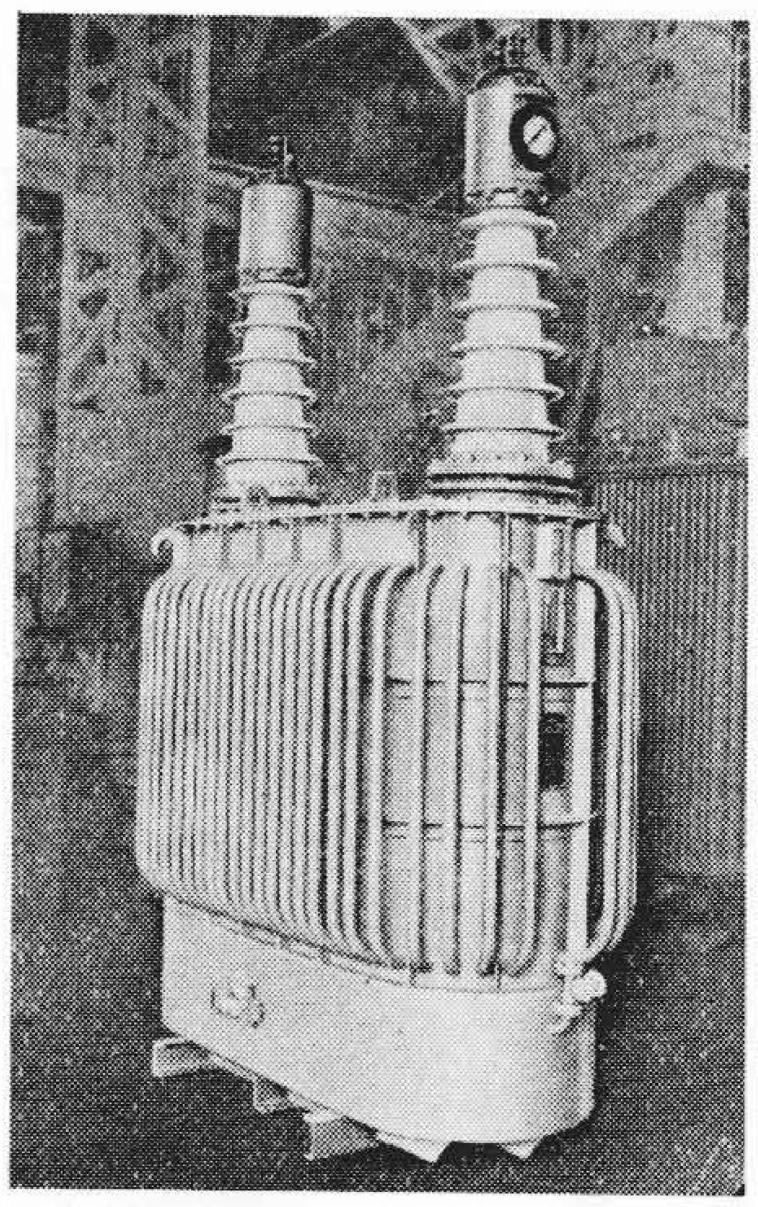
回路電圧……………………………………66,000 V

%リアクタンス…………………………………6 %

単相油入自冷式窒素封入全密封型

本直列リアクトルの設計に当つては鉄心飽和による異常現象発生を避けるために磁束密度を低くとり 200 %程度の過電流においてほとんどリアクタンスが変化しないよう考慮されている。

日立製作所独得の窒素ガス封入全密封構造を採用したので絶縁油の劣化や油洩れの恐れもなく保守はきわめて簡便である。



第5図　100kVA 単相直列リアクトル
回路電圧　66,000 V
端子電圧　2,290 V
%リアクタンス　6 %
周 波 数　50〜

Fig 5. 100 KVA 1-φ Series Reactor
Line Voltage 66,000V
Terminal Voltage 2,290V
%Reactance 6 %
Frequency 50〜

（3） 放電コイル

型　　式……………………………………SOV-FX

放電容量…………………………2,500kVA×2台

端子電圧…………………………………… 66,000 V

回路電圧…………………………………… 66,000 V

周 波 数…………………………………………50〜

二次電圧………………………………………… 110 V

二次容量…………………………………… 200 V A

単相油入自冷式窒素封入密封型

本放電コイル2台をV結線として挿入したがその放電特性はきわめて優秀であつた。

（4） 制弧遮断器

型　　式……………………………BO-150B-PA

電　　圧…………………………………… 80.5kV

電　　流………………………………………… 400 A

遮断容量………………………………… 1,500MVA

電力用コンデンサの開閉に用いる遮断器としては，その開閉において異常電圧を発生しないことが大切である。したがつて従来コンデンサの開閉には故障電流の遮断の能力はないが充電電流の遮断特性の良好なものを用い故障電流遮断には別箇の遮断器を用いていた。故障電流の遮断と充電電流遮断を一箇の遮断器で行うことは経済的に非常に有利となる。日立製作所においては C.C.B を用いてコンデンサ充電電流の遮断と故障電流の遮断を兼用させるべく研究し，すでに各所に納入しているが秋田開閉所用としてもこの方式を採用した。

（5） 機器の配置および絶縁架台

コンデンサ直列リアクトルおよび放電コイルは第6図のように結線され，コンデンサは 66kV 絶縁架台上に搭載されている。すなわち，単位コンデンサを2台並列

としこれを2段直列に接続して星型に結線される。直列リアクトルはコンデンサの線路側に挿入し，放電コイルは2台をV結線として挿入した。コンデンサの絶縁架台はピン碍子P-7を2段にして使用し，もし碍子が1箇破壊してもただちに接地事故となることのないよう考慮した。なお直列リアクトルおよび放電コイルは地上配置として60号の絶縁を行つた。

〔III〕 現地試験

本進相用コンデンサ設備については現地において電圧電流波形測定および開閉試験を行い，今後の運転操作において異常現象発生の恐れもなく安全に使用しうることを確認した。

(1) 電圧電流波形測定

負荷状態による差を見るため午前9時，午後7時および10時の3回にわたつてコンデンサ挿入時の電圧電流波形測定を行つたが負荷の差はあまりなく，またコンデンサ挿入前の母線電圧も歪少くコンデンサ挿入による波形改善効果をはつきりと見ることはできなかつた。しかしコンデンサ回路の第5調波電流は完全に遅れ位相となつており直列リアクトルの効果は確認しえた。またコンデンサ電流の第5調波含有量は5%以下であり，高調波により種々の問題を起すような恐れは全くないことがわかつた。

第7図は一例として午後7時におけるコンデンサ回路の各相電流，母線電圧および直列リアクトル端子電圧，放電コイル二次電圧の波形を示す。なおコンデンサ挿入により母線電圧は60kV より 62kV に上昇した。

(2) 開閉試験

5,000kVA のコンデンサを回路に投入する場合の突入電流および過渡電圧の程度と，遮断時におけるC.C.B再点弧現象の有無および放電コイルの動作状態を確認するため下記のごとく投入および遮断試験を行つた。

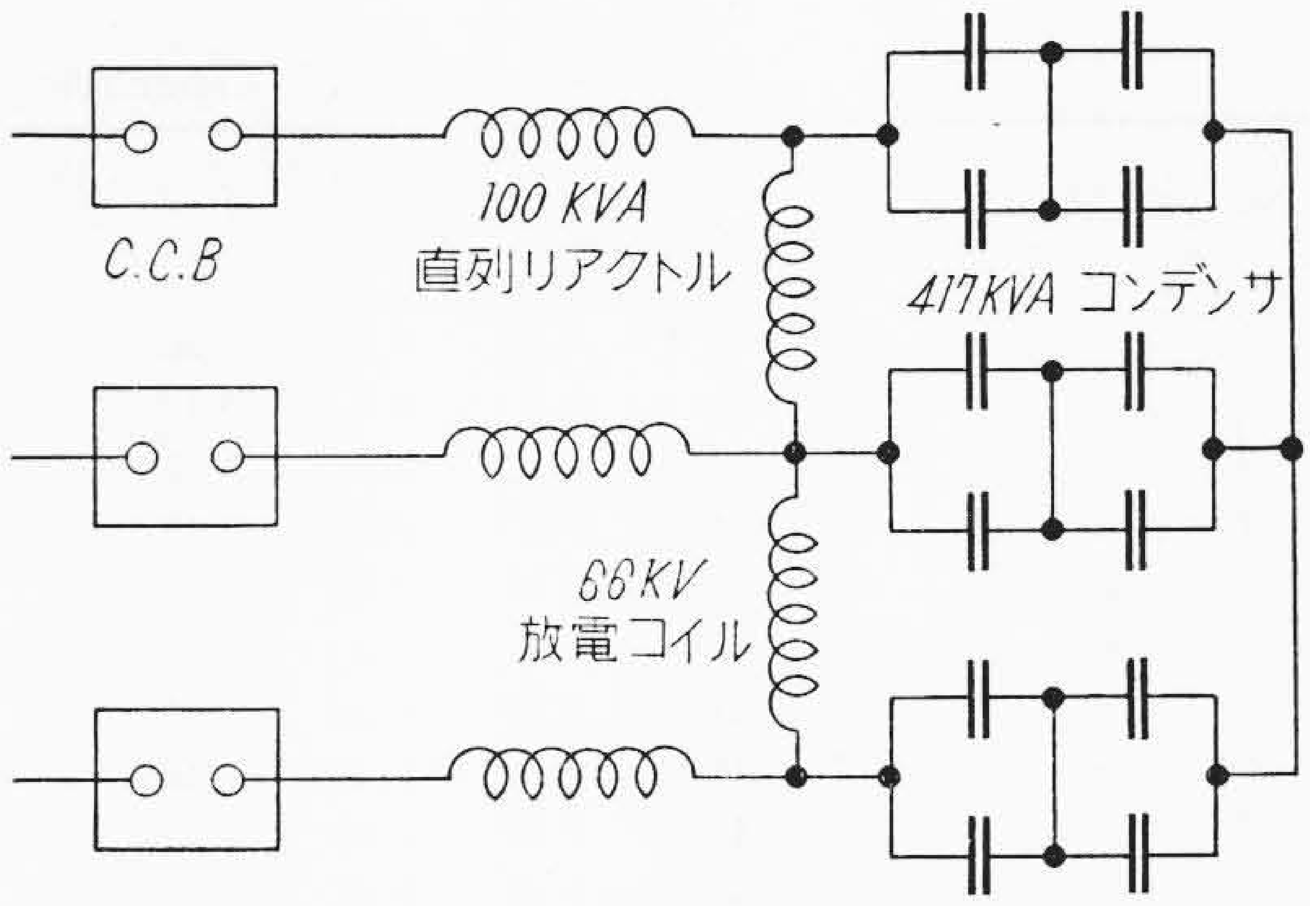
(A) 営業運転と同じ状態で

投入試験 5回

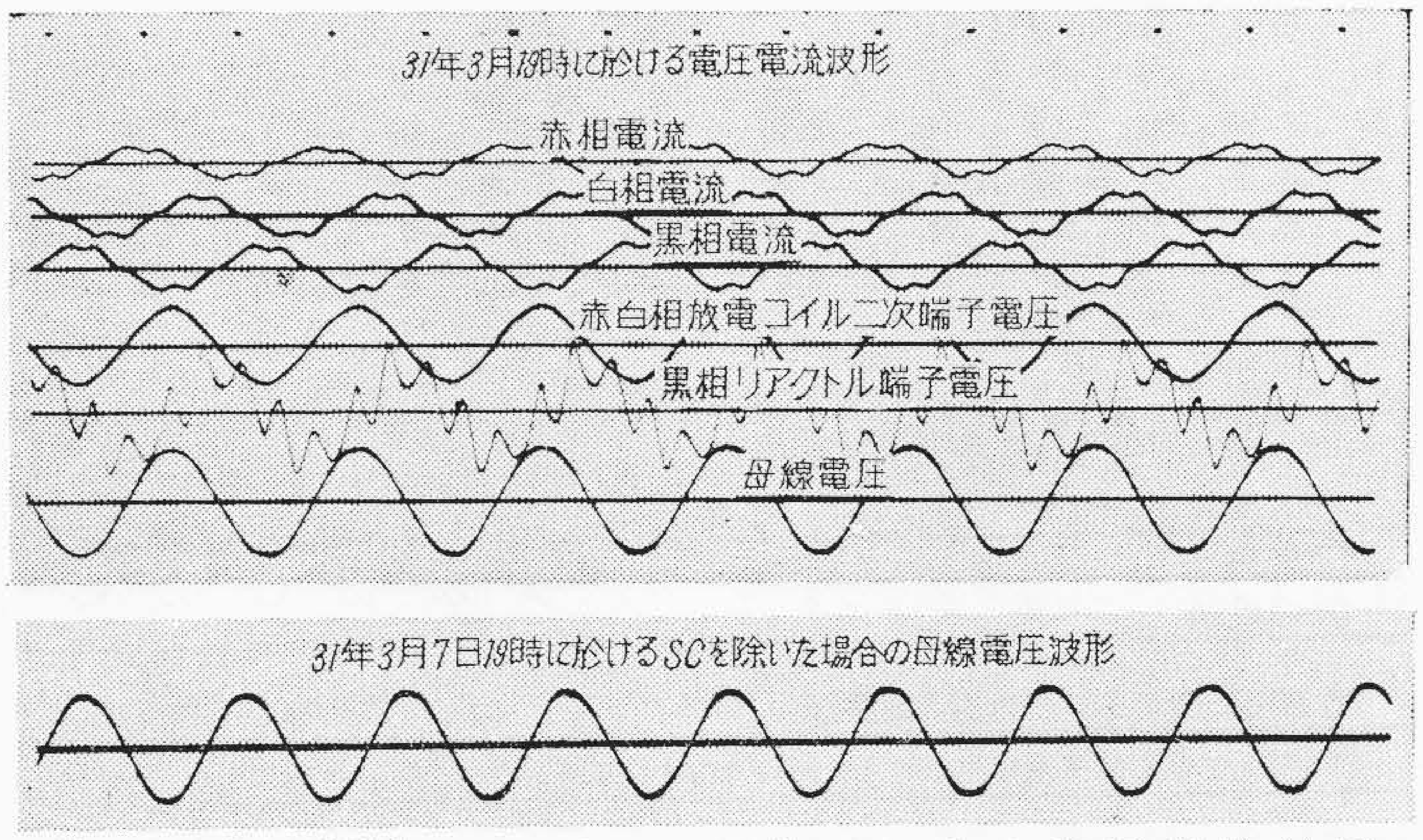
遮断試験 10回

(B) 上の状態で直列リアクトルをのぞいて

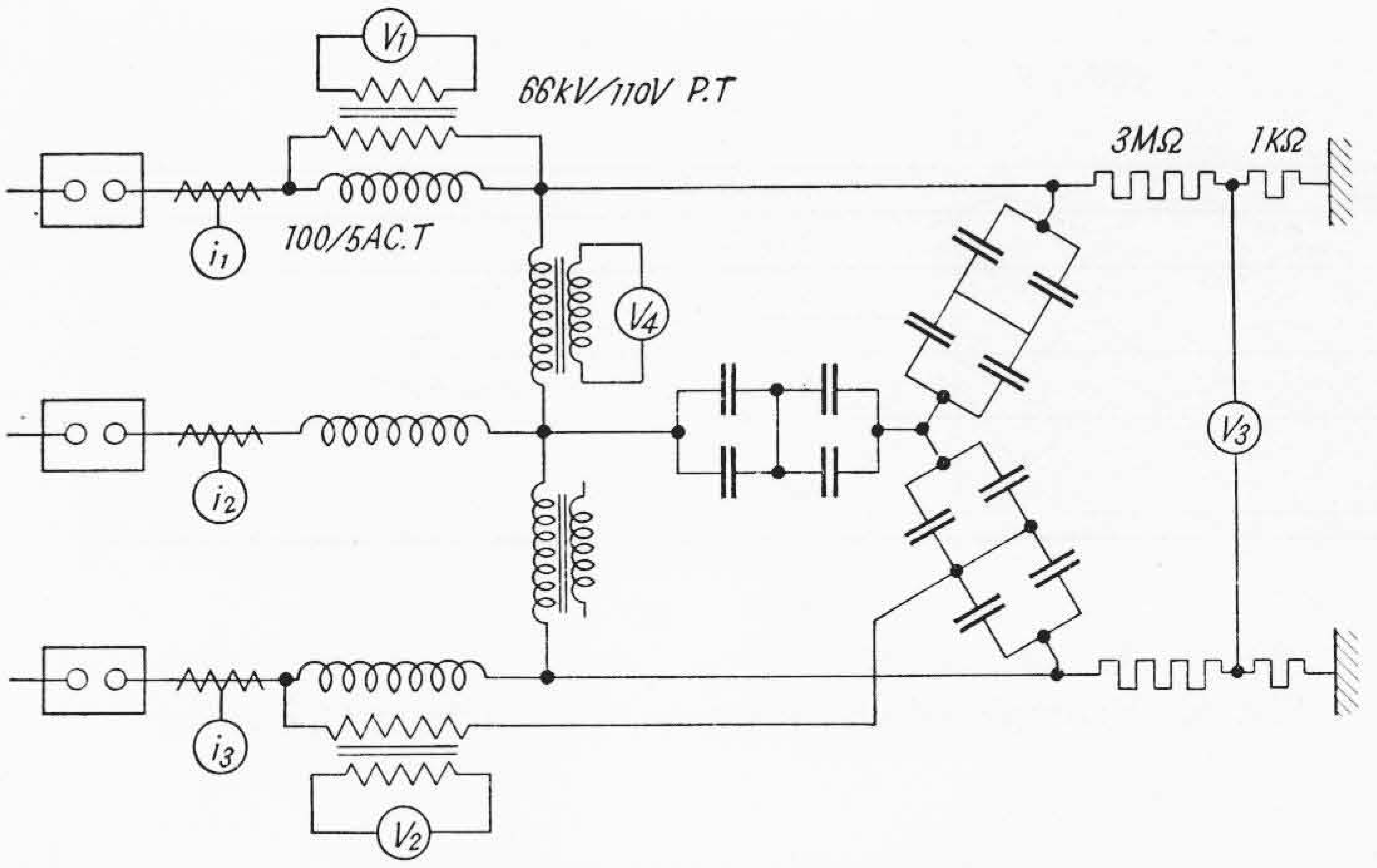
投入試験 2回



第6図 5,000kVA 進相用コンデンサ設備結線図
Fig. 6. Connection Diagram of 5,000kVA Power Capacitor Installation



第7図 5,000kVA コンデンサ回路における電圧電流波形
Fig. 7. Voltage and Current Wave Form in 5,000KVA Power Capacitor Installation

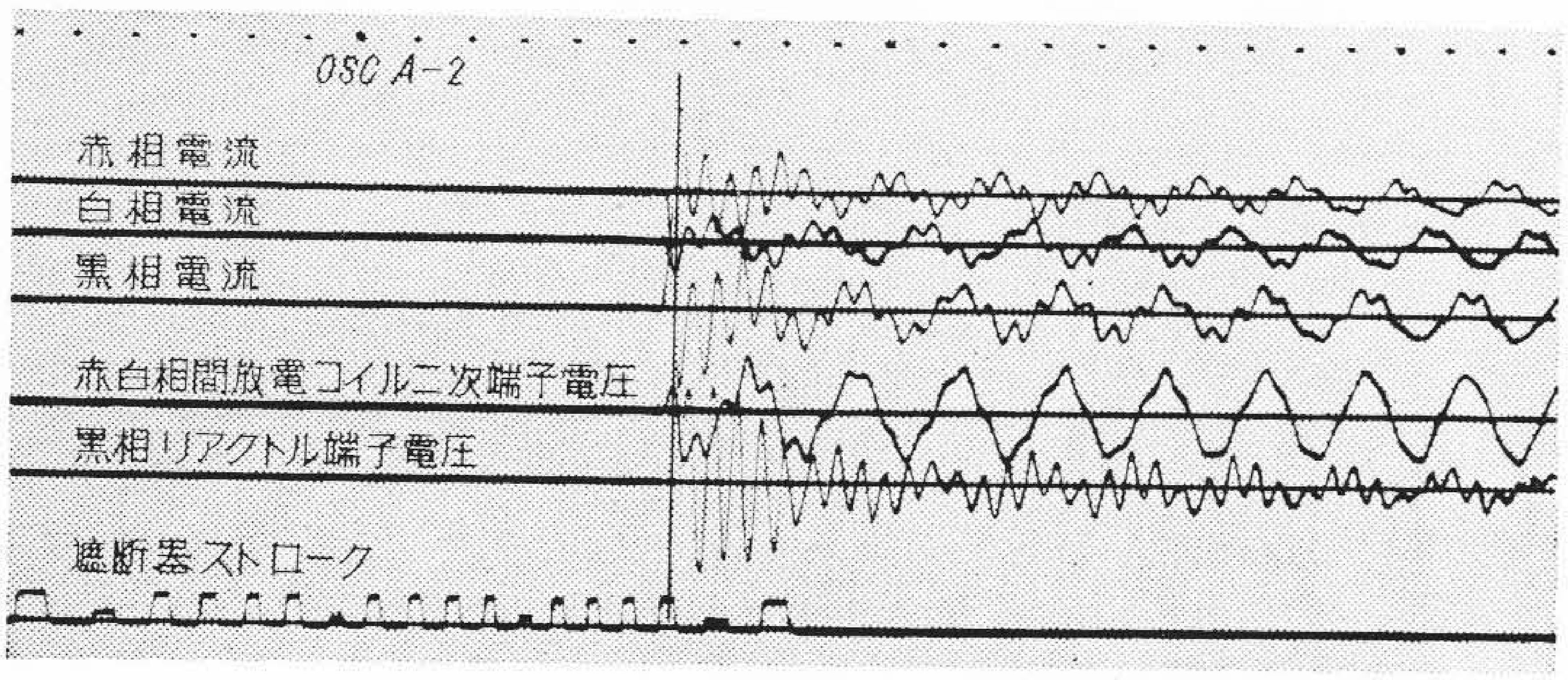


i_1, i_2, i_3 : 各相電流
V_1 : 直列リアクトル端子電圧
V_2 : 直列リアクトル端子とコンデンサ架台間電圧
V_3 : コンデンサ端子電圧
V_4 : 放電コイル二次電圧

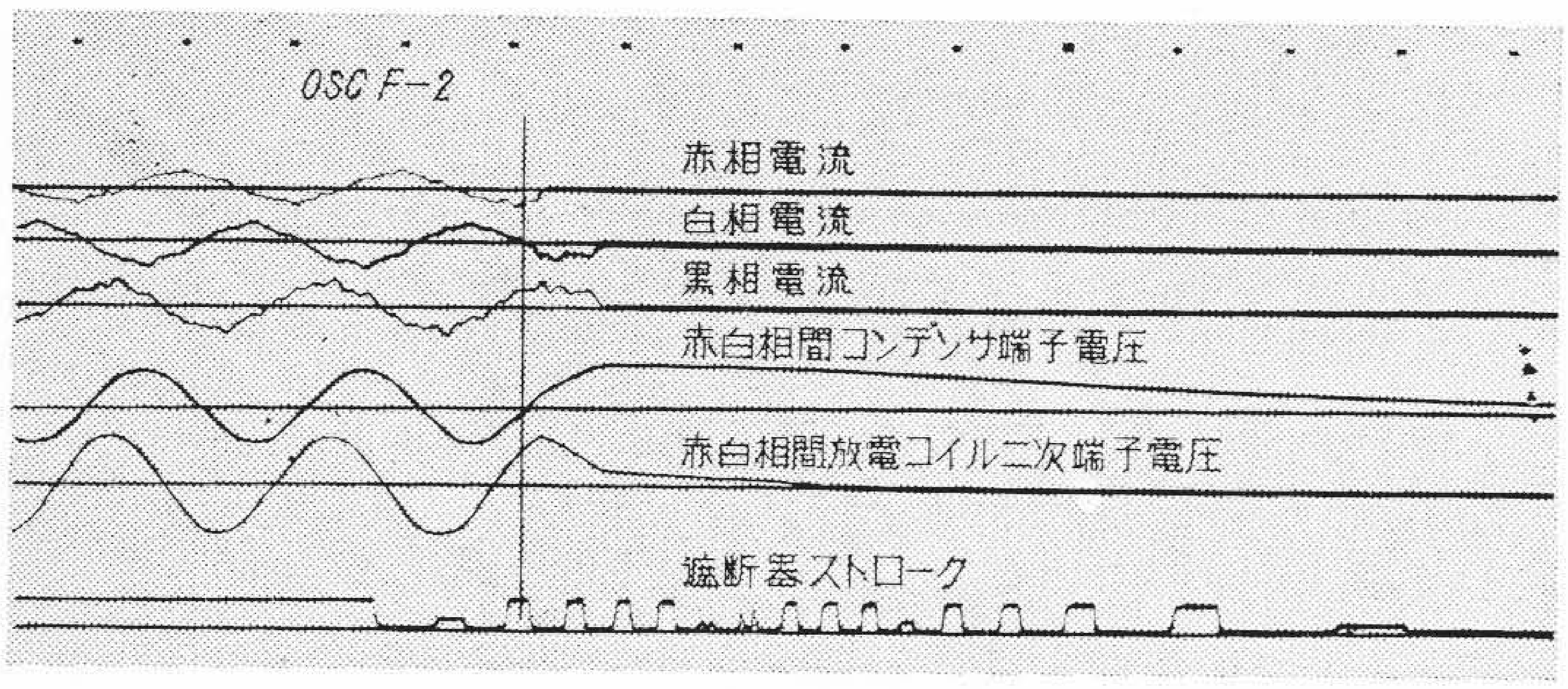
第8図 5,000kVA コンデンサ開閉試験回路
Fig. 8. Circuit for Switch Operating Test in 5,000kVA Power Capacitor Installation

第1表　5,000 kVA コンデンサ開閉試験結果
Table 1. Results of Switch Operating Test in 5,000kVA Power Capacitor Installation

No.	動作	リアクトル有無	電圧(kV)	電流(A)	電弧時間(～)			再点弧回数			突入電流(定常値,倍数)			投入時過渡電圧(定常値,倍数)		放電時間(～)	
					赤相	白相	黒相	赤相	白相	黒相	赤相	白相	黒相	リアクトル端子	リアクトル架台	抵抗分圧	放電コイル二次
1	投入	有	62	44	0.08	0.29	0.29				2	3	3	5			
2	投入	有	62	44	0.1	0.1	0.1				3.2	1.2	3	4			
3	遮断	有	62	44	0.07	0.35	0.35	0	0	0							1
4	遮断	有	62	44	0.17	0.46	0.46	0	0	0							1
5	遮断	有	62	44	0.37	0.37	0.11	0	0	0							1.2
6	遮断	有	62	44	0.3	0.3	0.05	0	0	0							1.2
7	遮断	有	62	44	0.34	0.34	0.06	0	0	0							1.2
8	遮断	有	62	44	0.20	0.45	0.45	0	0	0							1
9	遮断	有	62	44	0.40	0.40	0.13	0	0	0							1.2
10	遮断	有	62	44	0.48	0.48	0.21	0	0	0							1.3
11	投入	有	62	44	0.1	0.1	0.1								1.5		
12	遮断	有	62	44	0.25	0.48	0.48	0	0	0						6.1	
13	遮断	有	62	44	0.10	0.42	0.42	0	0	0						6	
14	投入	無	62	44	0.1	0.1	0.1				3	2.5	4.2				
15	投入	無	62	44	0.1	0.1	0.05				1	2	4				
16	遮断	無	62	44	0.27	0.06	0.27	0	0	0						5.3	
17	遮断	無	62	44	0.10	0.35	0.35	0	0	0						6.3	1.5
18	遮断	無	62	44	0.38	0.19	0.38	0	0	0							1.3
19	遮断	無	62	44	0.30	0.30	0.14	0	0	0							1.2
20	遮断	無	62	44	0.33	0.33	0.11	0	0	0							1.1



(投　入)



(遮　断)

第9図　開閉試験オシログラムの一例
Fig. 9. Example of Oscillogram at Switching Operation

遮断試験　5回

この試験においては第8図のごとき接続にて各部の電圧電流を記録した。第1表にこの試験の結果を示す。

投入時における突入電流および過渡電圧はあまり大きくなく，また遮断時の再点弧は一度もなく，きわめて好成績であつた。第9図にこの投入および遮断時のオシロの一例を示す。

つぎに投入時の突入電流および直列リアクトル過渡端子電圧は理論上どの程度の大きさになりうるものかを検討している。

電源側のインピーダンスを含めたコンデンサ回路の抵抗，インダクタンス，静電容量をそれぞれ R, L, C とすると一般に

$$R^2 < 4L/C$$

であり，この過渡現象は振動的となる。

なお R は一般に小さいので　$R \fallingdotseq 0$　$w_0 = 1/\sqrt{LC}$ とし，また突入電流および直列リアクトル過渡端子電圧の最大は電源電圧最大時に投入したとき，すなわち電源電圧を E_m $(\sin wt + \phi_0)$ とすると $\phi_0 = \frac{\pi}{2}$ のとき起るのでこれらの条件で考えると突入電流および直列リアクトル過渡端子電圧は

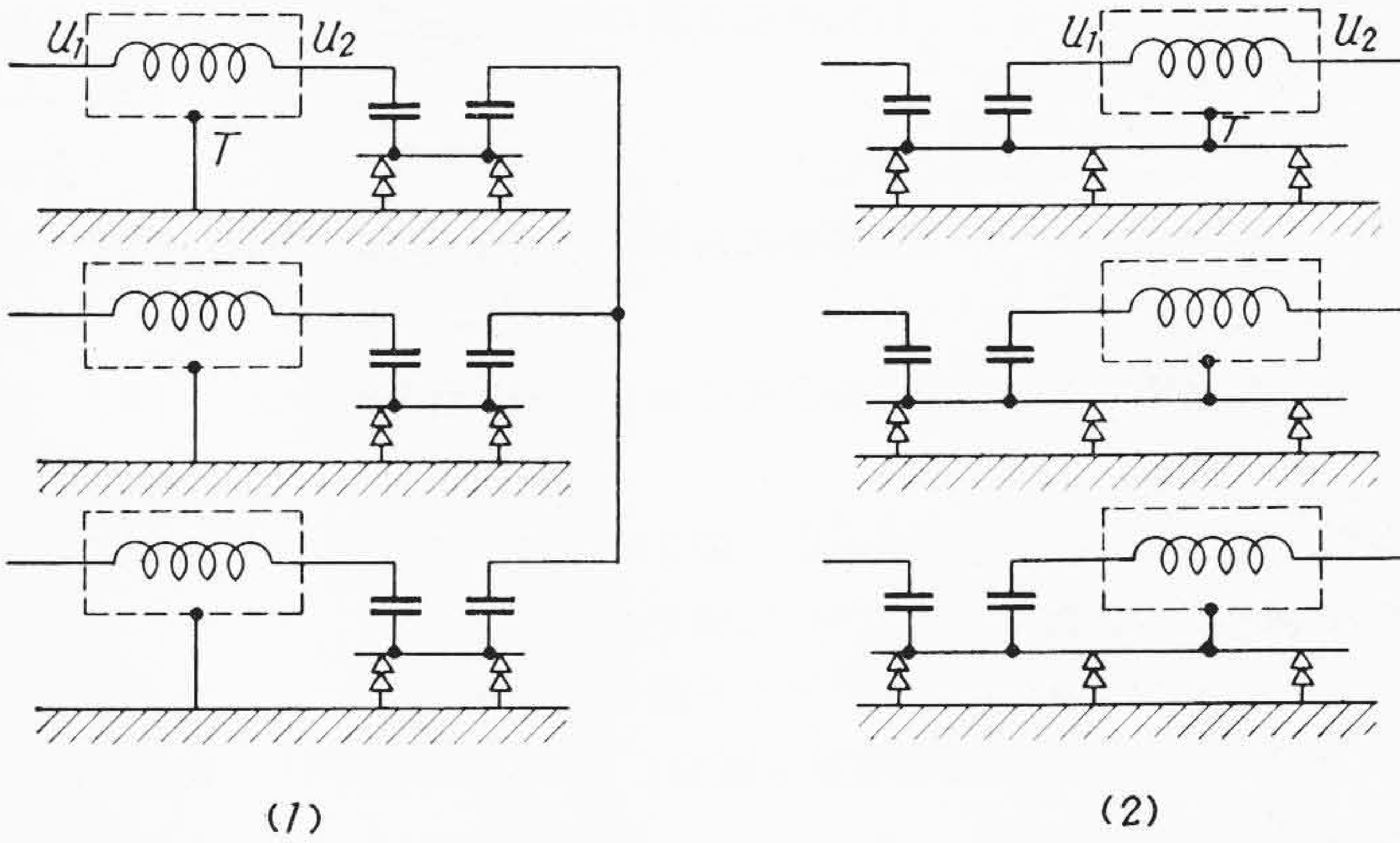
$$i \fallingdotseq I_m\left(\sin wt - \frac{w_0}{w}\varepsilon^{-\alpha t}\sin w_0 t\right)$$

$$l_L \fallingdotseq E_{Lm}\left(\mathrm{coc}\,wt - \frac{w_0^2}{w^2}\varepsilon^{-\alpha t}\cos w_0 t\right)$$

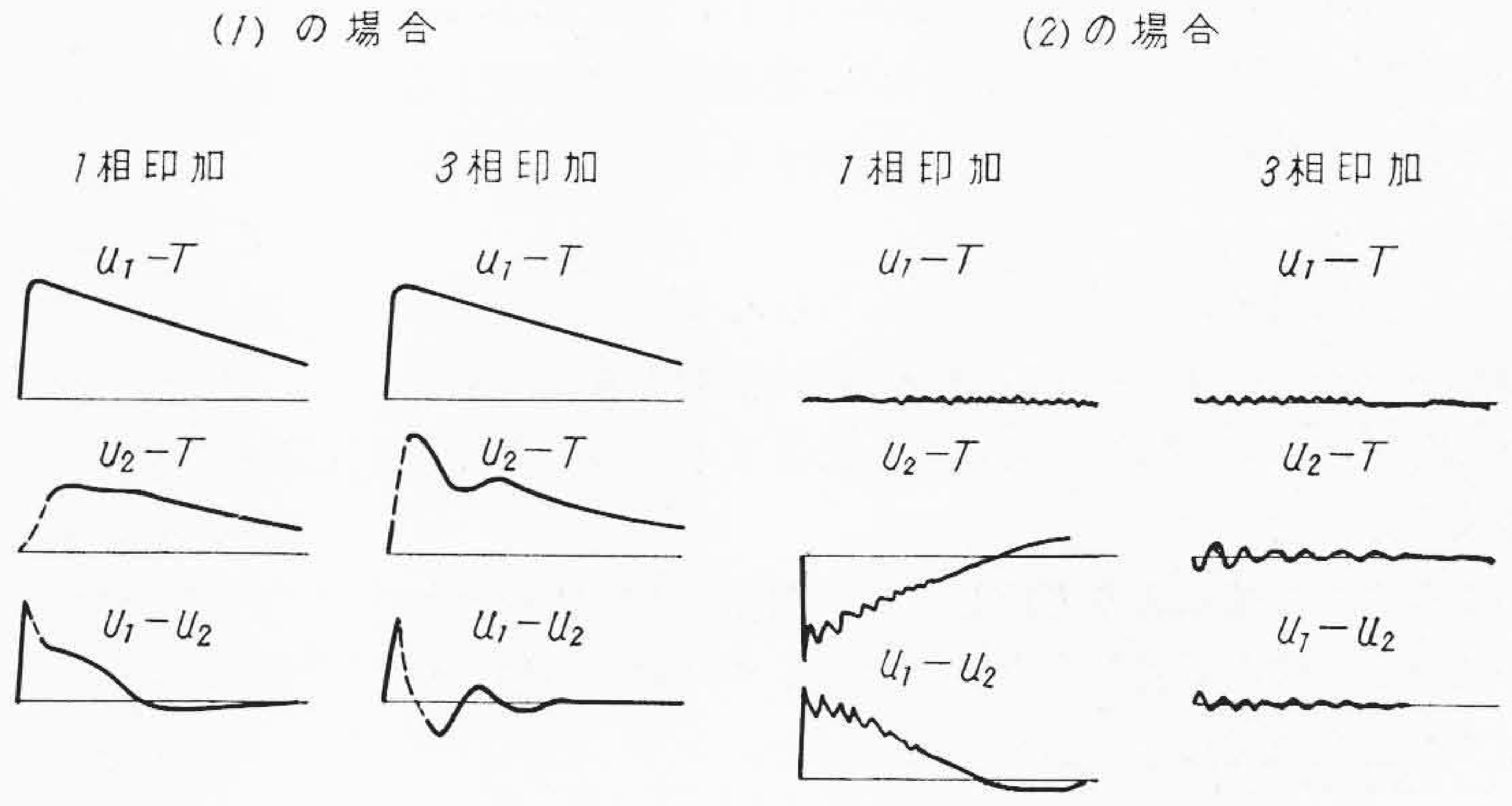
ただし

$$I_m = E_m/Z$$
$$E_{Lm} = wLI_m$$
$$\alpha = R/2L$$

となる。すなわち過渡項の減衰を考慮しないときは突入電流の最大値は定常値の $\left(1+\frac{w_0}{w}\right)$倍，直列リアクトル端子電圧は$\left(1+\frac{w_0^2}{w^2}\right)$倍にまでなる可能性がある。一般に



第10図　直列リアクトル設置箇所の例
Fig. 10.　Example of Series Reactor Position



第11図　直列リアクトル端子に現われた衝撃電圧
Fig. 11.　Impulse Voltage at Series Reactor

直列リアクトルを有する回路では $\frac{w_0}{w}=3\sim5$ であるのでこれらの値は相当に大きくなる可能性があるわけであるが，実際の回路では R を無視できないのでこれよりは遥かに小さくなる。

また上式よりわかるように投入の過渡現象は時定数 $\frac{2L}{R}$ で減衰するが，66kV 回路では比較的 R が大であるため減衰は速かで 1～2〜 以内には完全に過渡振動が消滅している。

今回の投入試験においては，直列リアクトルのある場合に突入電流が定常値の 3.2 倍以下なるに対して，直列リアクトルのない場合には 4.2 倍に達することがあり，直列リアクトルの突入電流抑制効果は確認された。なお直列リアクトル端子電圧も定常値の 5 倍以下であり機器の絶縁耐力も全く心配がないものである。

コンデンサを回路より遮断したのちの残留電荷は放電コイルを通じて放電するが，放電コイルの抵抗を R，インダクタンスを L とすると一般に放電コイルの鉄心は放電電流により飽和するため

$$R^2>4L/C$$

となり遮断後の放電電流およびコンデンサ端子電圧 l_σ は大略下式のごとくなる。

$$i=\frac{E}{w_0L}\varepsilon^{-\alpha t}\sinh w_0t$$

$$l_\sigma=\frac{1}{w_0}\sqrt{\frac{C}{L}}E\varepsilon^{-\alpha t}\sinh(w_0t+\phi)$$

ただし

$$w_0=\frac{1}{2L}\sqrt{R^2-\frac{4L}{C}}$$

$$\alpha=\frac{R}{2L}$$

$$\phi=\sinh^{-1}\frac{w_0}{\sqrt{w_0^2+\alpha^2}}$$

しかし L の値は放電電流の大きさによりはなはだしく変化するので放電に要する時間を上式より正確に求めることはほとんど不可能である。

今回の遮断試験においては放電現象は非振動的となることを予測したため，放電コイル二次側ではこれを正確には測定できぬものと考え抵抗分圧法によることとし第 9 図に示すように約 3MΩ の水抵抗を使用した。コンデンサ一相分の静電容量は約 3.7μF であり，この抵抗による放電の時定数は $3.7\times10^{-6}\times3\times10^6=11.1$秒となり，放電コイルによる放電時間に比してきわめて大であるのでこの抵抗による放電の影響はまつたく無視しうる。試験の結果は**第10図**オシロにも見られるように予期のごとくまつたく非振動的でありしかも約 6〜という短時間で完全に放電を完了している。

〔IV〕 直列リアクトル設置位置の検討

特別高圧回路のコンデンサ設備においては直列リアクトルの設置位置が問題となる。すなわち，直列リアクトルを絶縁架台上に搭載すべきか否か，コンデンサの線路側におくべきか，中性点側におくべきかということが雷撃あるいは開閉サージの直列リアクトルにおよぼす異常現象の観点より検討されねばならない。

このために工場にて実際と同じようにコンデンサおよび直列リアクトルを接続して衝撃電圧試験を実施して直

列リアクトル端子にあらわれる電圧を測定した。この試験においてはもつともよく行われる2種の配置方法について比較を行つた。

すなわち第10図に示すように

（1）　直列リアクトルは線路側におき絶縁架台上に塔載しない。

（2）　直列リアクトルは中性点側におき絶縁架台上に塔載する。

の2種の場合について衝撃電圧を一相より印加（ほかの二相は 500Ω の抵抗にて接地）した場合と三相一括して印加した場合について直列リアクトル端子 u_1, u_2 間および u_1, u_2 とタンクの間の電圧を測定した。その結果を第11図に示す。

（2）の場合は直列リアクトルは絶縁架台上に塔載されているにもかかわらず端子 u_2 とタンクの間には印加衝撃波の 78% にもおよぶ電圧があらわれ，また端子 u_1, u_2 間にも同程度の電圧がでており，絶縁架台に塔載することにより絶縁をいちじるしく低減することは危険である。

（1）の場合には端子 u_1 にはもちろん 100% の電圧が印加されるが，u_2 端子は対地間に比較的大きな静電容量を有するため（2）の場合に見られるような高い周波数の振動分を含まない。

このような結果より考慮して，秋田開閉所の設備においては安全性を重視して直列リアクトルは60号の絶縁をして線路側に設置する方式を採用した。

〔V〕 結　　　言

最近は特別高圧，大容量のコンデンサ設備はいちじるしく増大しつつあり，ますます高圧大容量化の傾向にある。このために特に問題となることは

（1）　コンデンサの電気特性を向上せしめて，その寿命の永久化をはかること。

（2）　充電々流の遮断性能のすぐれた遮断器を用いること。

（3）　特に高電圧の場合の機器の絶縁特性を重視すること。

の3点にあると思われる。

（1）については材料および製作技術の進歩によりほとんど満足すべきものがえられているのであるが，さらに低損失，高絶縁抵抗のコンデンサを製作すべく研究を進めている。

（2）については今回の試験の結果より見て 66kV 級については日立の制弧遮断器はコンデンサ開閉用としてきわめて優秀な性能を示しており，77kV 級についても問題はないものと考えている。

（3）についてはサージによる異常電圧が問題となるのでコンデンサについては心配がなく直列リアクトルの絶縁について検討されねばならない。今回は直列リアクトルは地上設置としたが，今後さらに高電圧に進んだ場合を考えるとやはり直列リアクトルは絶縁架台上に塔載して絶縁を低減した方が経済的に有利であるので直列リアクトルを架台上に塔載し，異常電圧に対して十分な保護装置を設けることを研究中（特許出願中）である。

終りにのぞみ本設備の現地試験に当り多大の御協力を賜つた東北電力株式会社秋田開閉所所員の方々ならびに工場において製作，試験に当られた方々に深甚な感謝の意を表する。

Vol. 38　　日 立 評 論　　No. 12

目　　次

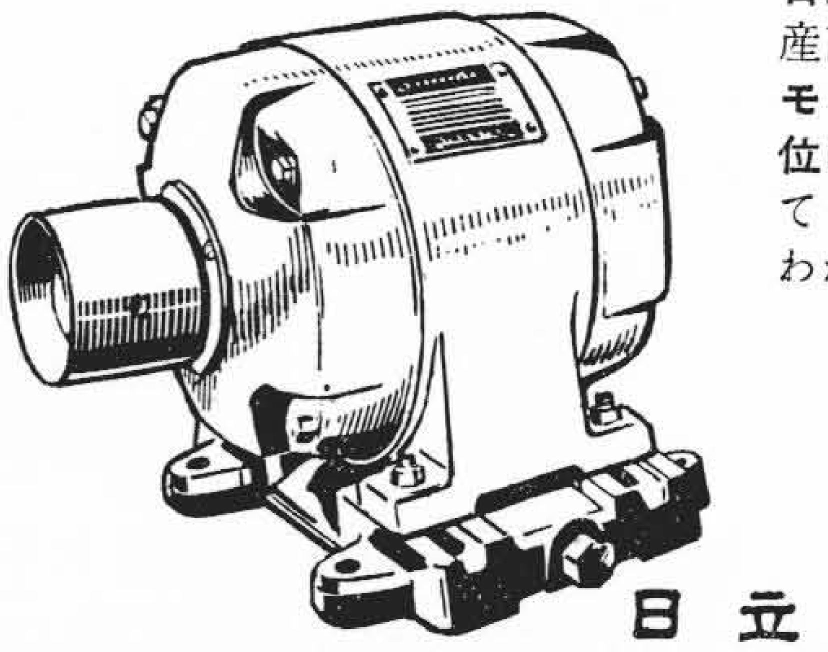
◎大容量変圧器の組立輸送について
◎インデックステスト法の理論と実際
◎手賀沼排水機場 1,700 mm 斜流ポンプ
◎手賀沼排水機場の制御装置
◎微粉炭用フラクソ式空気輸送設備
◎ラインファインダの改良
◎酸化物陰極分解過程における被覆変化について
◎走行中の台車の応力測定例
◎グナート法による残留応力測定上の二三の注意
◎絶縁物中ボイド放電のモデル的解析
◎異方性珪素鋼帯を用いた電磁遮蔽ケーブル
◎可鍛鋳鉄管継手の切削試験
◎真空熔融法による鉄鋼のガス分析

誌代 1冊 ¥ 100（〒12）
東京都千代田区丸の内1ノ4（新丸ビル7階）
日 立 評 論 社

日立モートルの評判は
どこへ行つても絶対です。

日立モートルは各方面に於ける愛用者の方々へのゆきとどいたサービスと共に独特の一貫作業により安心して使つて頂ける**力の強い** そして **寿命の永い**優秀品であります

日立モートルの生産高と販売高が**モートル界の第一位**にある事によつてもその評判はおわかりでしょう



日 立 製 作 所