

# 直流送電用高圧水銀整流器

桑島千秋\* 曾根田瑞夫\*\*

## Mercury Arc Converters for High Voltage D.C. Transmission

By Chiaki Kuwashima and Mizuo Soneda  
Hitachi Work, Hitachi, Ltd.

### Abstract

Hitachi, Ltd., has set about extensive studies on the D.C. transmission since 1952 and built a high voltage mercury arc converter consisting of 2 sets of 1,000 kW 50/25 kV 20/40 A ventilated single-anode mercury converter units, one being for rectifying purpose, the other for inverting, each with three valves.

These valves were designed with meticulous considerations; particularly the construction of the anode part was determined based on the results of detailed preliminary test. They are provided with 4 subdividing electrodes and, on the outside, with voltage dividers composed of resistance and condenser.

Besides converter, Hitachi also manufactured the transformer, D.C. smoothing reactor, oscillation damper, ignition, excitation and grid control cubicle, switchboard, equivalent test equipment for 300 kV rectifier, etc.

Although the performance characteristics were confirmed to meet the expectation in the long range test, a further test is underway with the cooperation of the Electric Laboratory of the Industrial Technique Board to gather more data.

### 〔I〕 緒 言

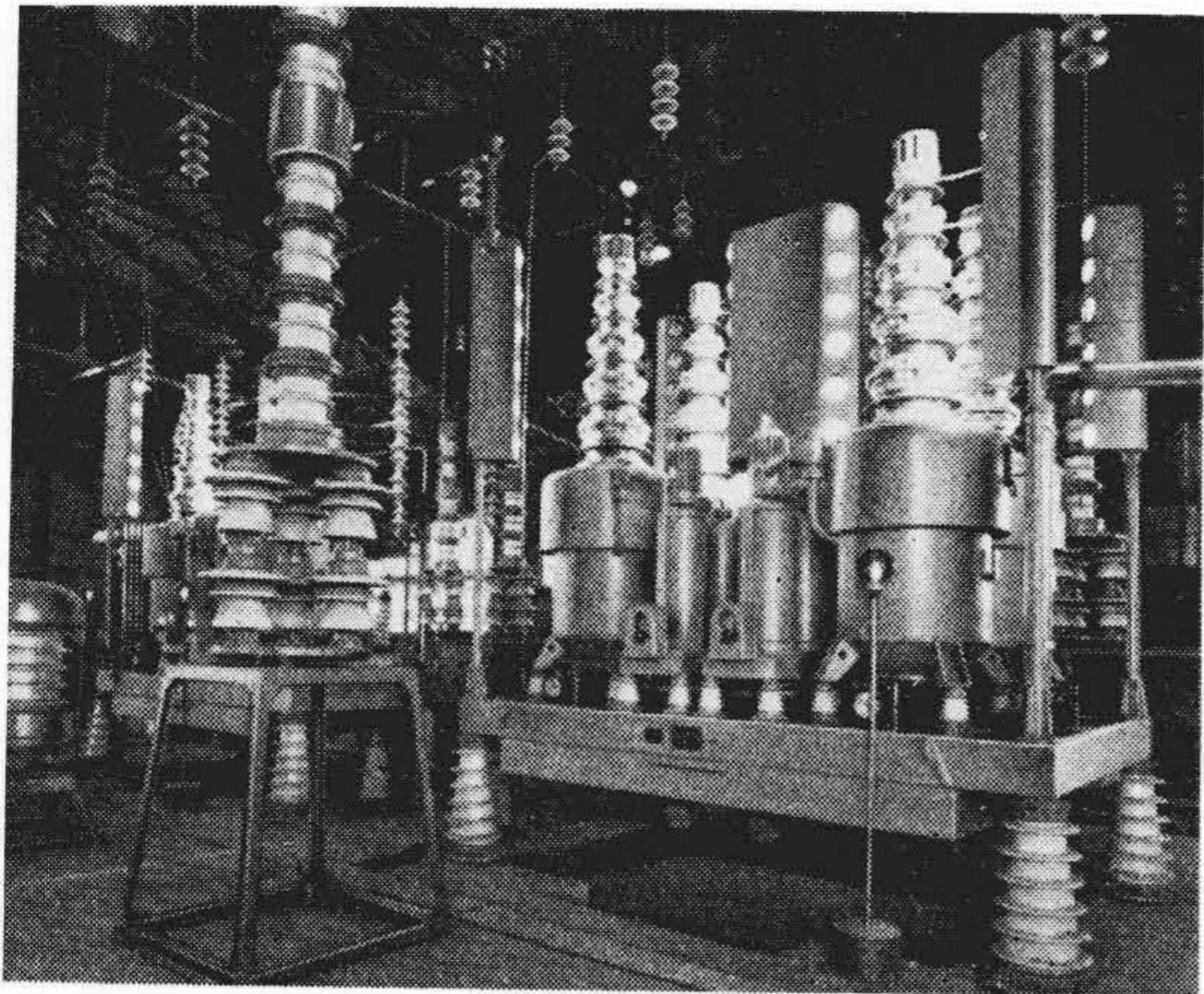
高圧直流送電についての計画は大分古くから考えられていたが、変換装置に適当なものがなく、久しく顧みられていないでいた。しかし1930年頃から水銀整流器を変換装置の主体とする直流送電の研究が各国でとり上げられるとともに著しい進歩を示し、すでに実用化の段階に達している。直流送電方式は、交流送電方式に比してつぎのごとき多くの技術的、経済的利点を有している。

- (1) 長距離交流送電における安定度の問題がない
- (2) 無効電流がなく、導体の表皮作用による抵抗増加およびコロナ損失が少いため、送電効率が良い
- (3) コロナおよび絶縁耐力の点で直流電圧をほぼ交流電圧波高値まで上げて使用できる故、同一資材で送電容量を増大しうる
- (4) ケーブルにより送電を行う場合は、ケーブル本数が少なくてすみ、かつ誘電体損失がないため絶縁を軽減でき、建設費ははるかに安価となる。また充電電流による制約もない
- (5) 系統間の連繫を直流送電で行えば両系統間の電力授受がきわめて容易で、また周波数変換も行える
- (6) 大地帰路送電を行うことができる

\* \*\* 日立製作所日立工場

一方直流送電の場合には送受電端に変換設備を必要とするため、その経済的成立条件としては、架空送電線の場合には送電距離 500 km ないし 1,000 km 以上、ケーブル送電の場合には 30 km ないし 50 km 以上といわれている。また技術的に最も重要な問題である変換装置に関しては、まず 1939 年 Zürich における万国博覧会に、BBC により 50 kV, 1,000 kW の直流送電設備が展示され、水銀整流器を変換装置の主体とする可能性が提示された<sup>(1)</sup>。その後第二次大戦末期に到つて、ドイツで Elbe—Berlin 間 115 km に 400 kV, 60 MW の直流送電設備が AEG および SSW によつて完成され、短時日であつたが運転された<sup>(2)</sup>。またスウェーデンにおいても、本土とゴットランド島間 100 km に 100 kV, 20 MW の直流送電設備が ASEA により完成し、昨 29 年 3 月運転を開始した<sup>(3)</sup>。これらは研究設備としての最終段階から、一步実用の段階に入つた点において、直流送電の実現に大なる進歩を劃したものである。

我国のように島嶼からなり水力資源が偏在する場合には、直流送電は長距離送電に加えて島嶼間の電力授受、離島開発の目的に適するものとして、特別の意義を有する。このため電気協同研究会において直流送電の技術問題が調査研究され、屋久島—九州間、新潟—佐渡ヶ島間、四国—関西間など直流送電計画が真剣に討議されている<sup>(4)</sup>。



第 1 図 1,000 kW 50/25 kV 20/40A  
水銀アーク変換装置  
Fig. 1. 1,000 kW 50/25 kV 20/40A  
Mercury Arc Converters

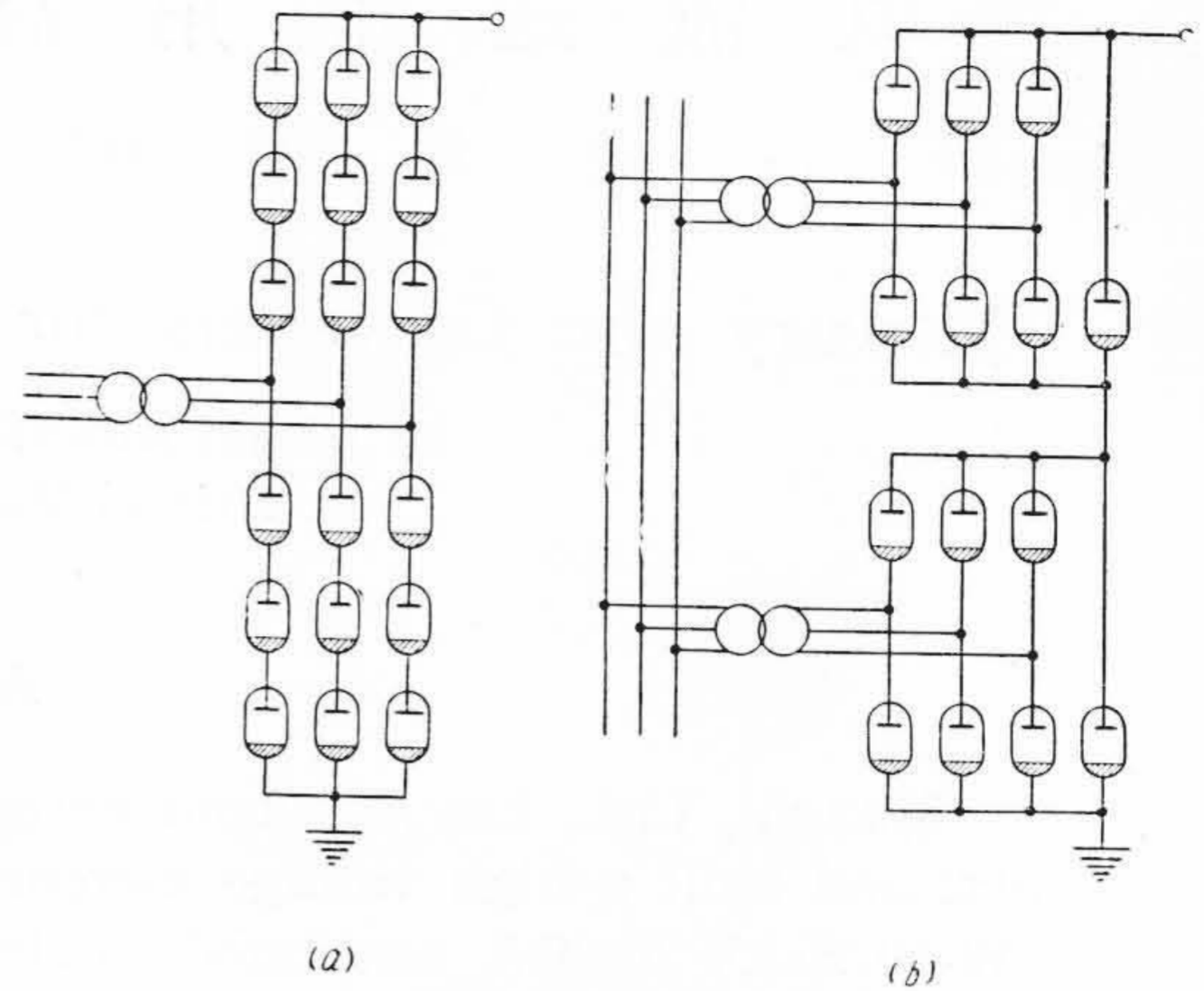
しかしながら直流送電の実施に当つては、なお未解決の技術的問題が多く、なかんづく高い信頼度を有する高圧水銀整流器の完成が必要である。日立製作所においては、1952年来高圧水銀整流器の基礎研究を行つていたが、工業技術庁電気試験所と協同して、実用化研究を行うこととなり、50 kV, 1,000 kW の直流送電研究設備を製作し、この程工場における第一段階の試験を終了したので、設備の概要と、試験結果につき報告する。

〔II〕 研究設備の概要

直流送電用変換装置は、一般に高電圧、大容量が要請されるが、その回路構成は、第 2 図に示すように整流タンクまたはタンク群を直列にして、所望の高電圧をうる事が行われている。(a) 図は整流タンクを数箇直列にして、グレース結線を構成する方式であり、(b) 図はグレース接続の水銀整流器を数群直列にした結線方式である。(a) (b) のいずれの方式がよいかはすでに二、三の発表<sup>(5)</sup>があるが、いずれの方式でも、整流タンク 1 箇当りの耐圧を高くして、なるべくタンク数を少なくすることが望ましい。

研究設備としては、水銀整流器の特質より、できるだけ実用のものに近いことが望ましいが、電源容量、研究費用よりの制限を受けることは勿論であつて、等価性をできるだけ損うことなく設備を圧縮するために第一に、最小整流タンク群をもつて構成し、つぎに電圧はそのままとして電流容量を減少するのが最もよい。

本研究では、直流送電における送電容量が 100 MW のとき、六相グレース接続の整流タンク群の直流電圧を 100 kV と仮定し、研究設備容量を 1,000 kW 三相 50/25 kV 20/40A とした。



第 2 図 変換装置結線方式例  
Fig. 2. Examples of Converter Set with Series Connection of Valves

また研究の主対象は水銀整流器であるが、その信頼度に多大の影響を有する陽極分圧回路、振動防止回路、保護方式についても十分なる研究を行えるような設備とした。

研究設備の単線結線図を第 3 図に示したが、その概要についてつぎに説明する。

(1) 水銀整流器

順変換装置、逆変換装置用水銀整流器とも同一構造で、結線組合の自由度の大きい単陽極型として、三槽を共通絶縁床台上に設置し、一台には試験用整流タンク一槽を一緒に載せた。第 4 図に外観図を示す。

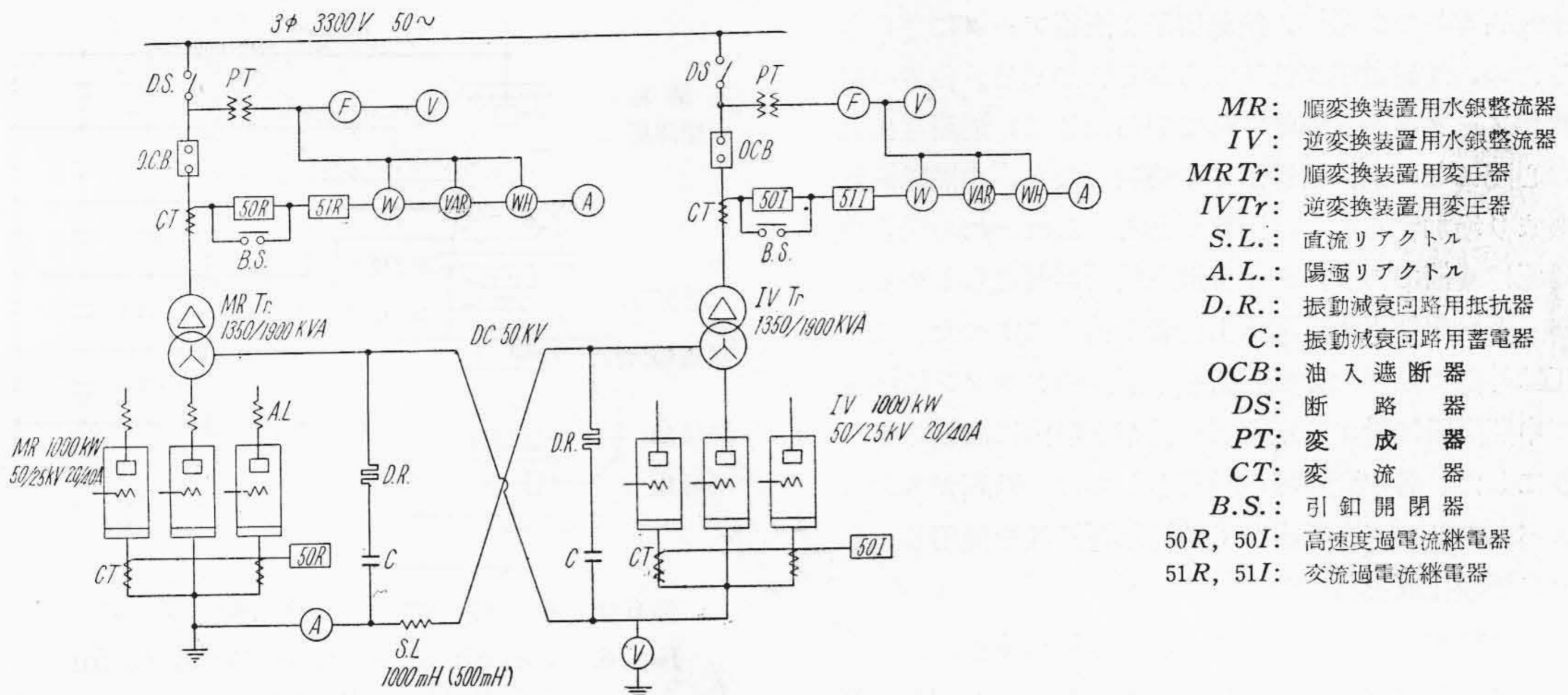
水銀整流器の仕様はつぎの通りである。

容 量	.....	1,000 kW
型 式	.....	ISF-3GT <sub>2</sub>
直 流 電 圧	.....	50/25 kV
直 流 電 流	.....	20/40 A
逆 耐 電 圧	.....	120 kV
定 格	.....	連続

本器の定格は上記の通りであるが、水銀整流器単独としては、50kV 40A に十分なる容量とした。したがつて六相グレース接続とした場合には、100 kV, 4,000 kW に相当する。

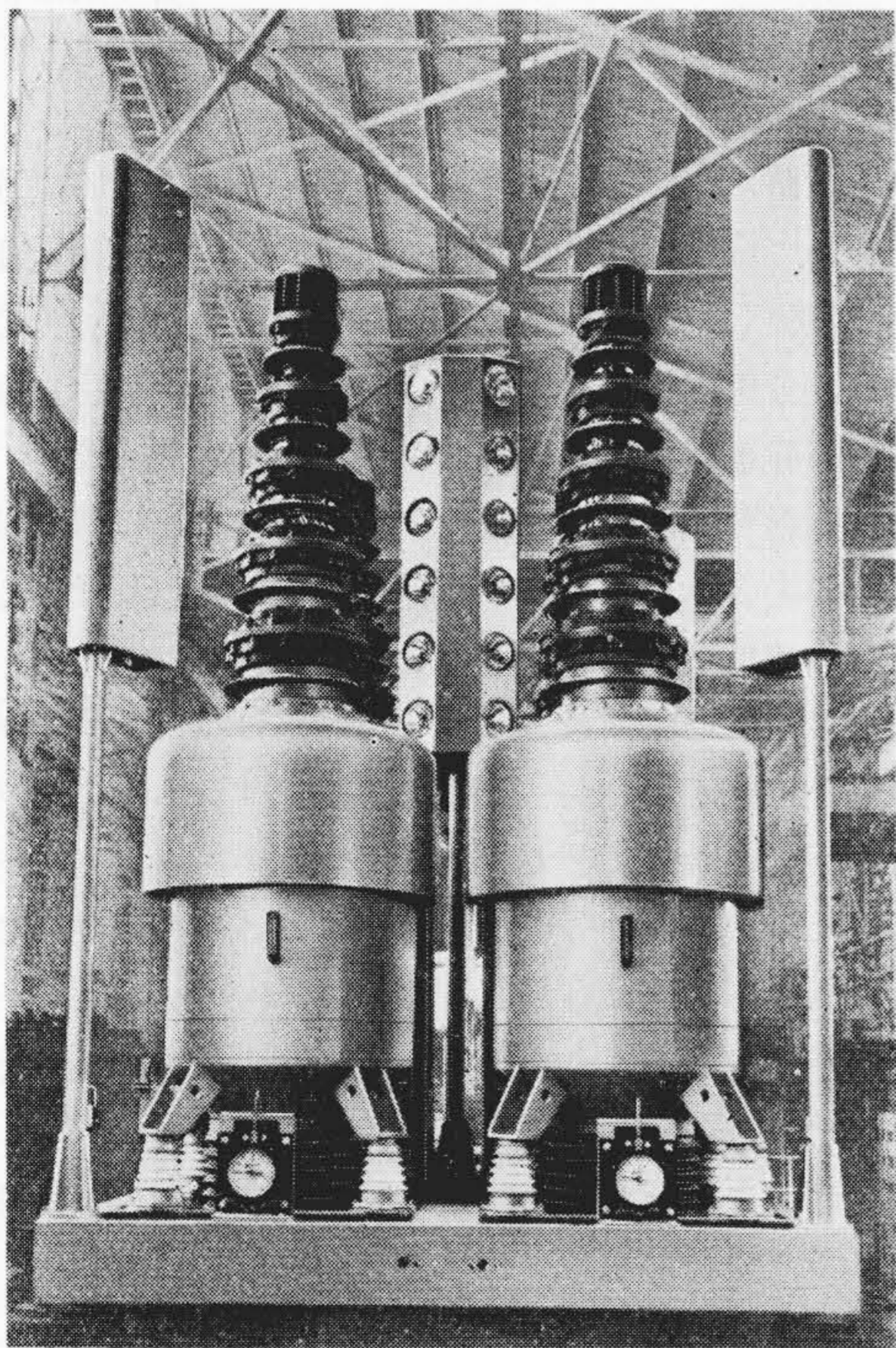
直流送電用高圧水銀整流器の具備すべき条件は、

- (1) 逆弧、通弧、失弧、励弧の消滅などを生じないこと
  - (2) 異常電圧を発生しないこと
  - (3) 制御能回復時間が特に短いこと
  - (4) 直流送電用直流遮断器が未完成のため、格子電流の格子遮断が確実であること
- などである。これらは互に相反する条件であつて、設計

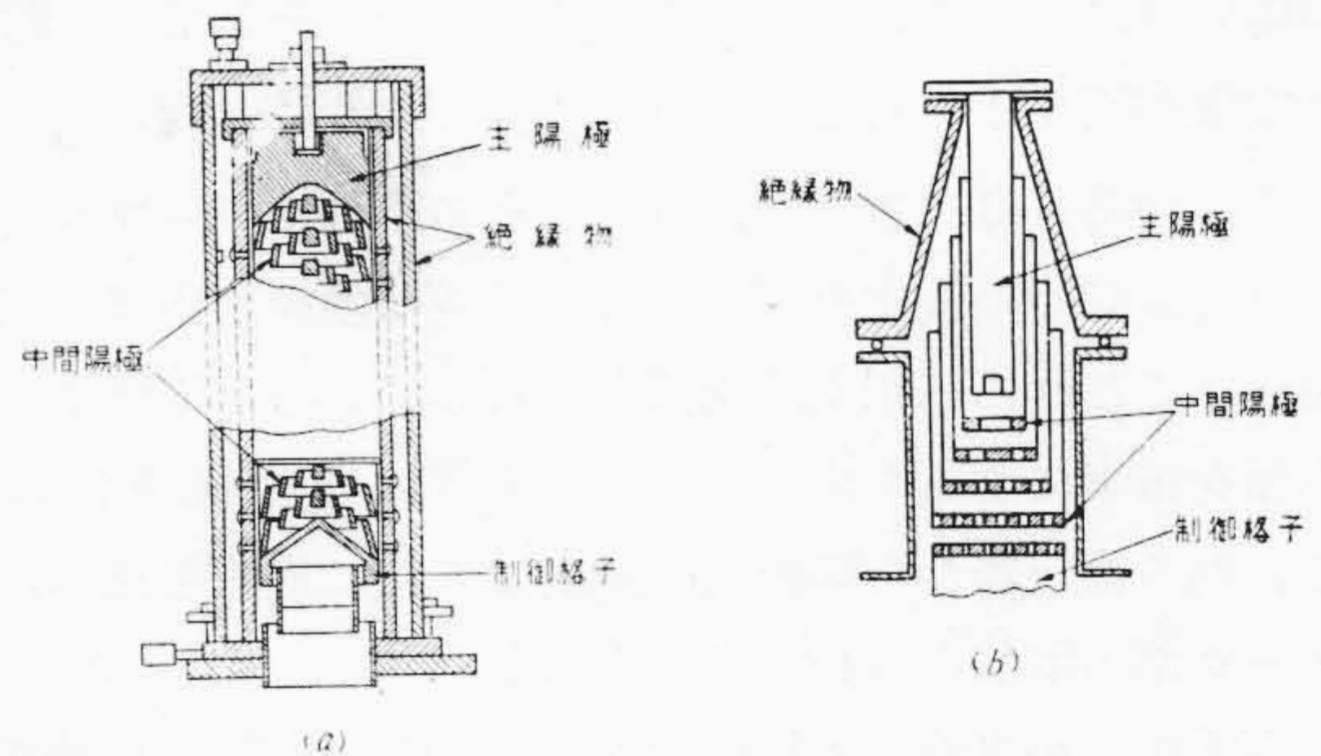


- MR: 順変換装置用水銀整流器
- IV: 逆変換装置用水銀整流器
- MRTr: 順変換装置用変圧器
- IVTr: 逆変換装置用変圧器
- S.L.: 直流リアクトル
- A.L.: 陽極リアクトル
- D.R.: 振動減衰回路用抵抗器
- C: 振動減衰回路用蓄電器
- OCB: 油入遮断器
- DS: 断路器
- PT: 変成器
- CT: 変流器
- B.S.: 引卸開閉器
- 50R, 50I: 高速度過電流継電器
- 51R, 51I: 交流過電流継電器

第3図 1,000 kW 50 kV 水銀アーク変換装置結線図  
Fig. 3. Skelton Diagram of 1,000 kW 50 kV Mercury Arc Converters Set



第4図 水銀整流器外観  
Fig. 4. External View of the Mercury Arc Converter



第5図 陽極部構造例  
Fig. 5. Construction of Anode Systems for High-Voltage Valves

上これらを調和せしめて各条件を十分に満足せしめるために、特殊な構造がとられた。

通常の単極水銀整流器に比べて最も著しい構造上の相異点は、分圧用中間陽極と陰極室の導入である。

周知の通り、水銀整流器の陽極-陰極間には、陽極電流が流れ終った瞬間から逆電圧がかかり、その最大値は三相半波の場合には直流電圧の約二倍に達する。この逆

電圧の大部分は、陽極前面の残留イオンにより生ずる薄いイオン鞘にかかる。したがって高圧整流器では単に陽極陰極間の距離を大にしても逆耐電圧の向上には効果がない。そこで第5図のごとく陽極と陰極間に中間陽極を数箇設けて陽極陰極間電圧を分割し、一箇の陽極当りの逆電圧を低減することが行われている。この場合、一つの電極間隙の耐逆電圧値に対して、水銀蒸気密度、電極構造、電極間距離、電極材質と処理方法などが密接な関係を有することは当然であるが、複雑のためまだあきらかにされていない。われわれは諸外国の例と、日立研究所における予備実験の結果を慎重に検討した結果、一電極間隙当り 25 kV の電圧に十分耐えうるとの確信をえ、最大逆電圧 120 kV を 5 分割し、中間陽極を 4 箇設けることにした。

中間陽極を含む陽極部分構造としては、第5図(a)のように、環状の中間陽極を順次積重ねたものと、(b)のように中間陽極を支持する円筒を同心状に配列したものとがある<sup>(6)</sup>。前者は中間陽極数を容易に増加でき、製作

も比較的容易であるが、絶縁碍子が直接アークにさらされるため、逆耐電圧が低下するおそれがある。後者は絶縁物がアーク路から隔離されているために、逆耐電圧低下の心配はないが、構造がやや複雑になり、中間陽極数をあまり増加することは困難である。われわれの場合中間陽極は4箇であり、かつ分解点検を容易ならしめるためパッキンを使用する関係上後者の構造によつた。また分圧は外部に設けた分圧回路を中間陽極フランジに接続して中間陽極に対する逆電圧の分布も自由に調整できるようにした。各中間陽極の材料としては、吸蔵ガスおよびスパッタリングを考慮して純粋な電解鉄を使用し、念入りに予備化成を行つた。

つぎに陰極室の導入である。高圧水銀整流器においては、特に蒸気密度の制御を忽せにできない。このため陰極上部に陰極室を設けてアークと水銀蒸気の通路を分離し、陽極部蒸気圧を適当に制限するとともに、水銀飛沫が陽極部におよぶのを妨げる構造とした。そしてまた陰極室壁が消イオン面として有効に働くようにした。

その他格子は二重とし、さらにその下部にバッフルを設けて制御能の強化を図つた。励弧極は陰極室内部に三極設けてこれに三相交流励弧を行わしめ、さらに格子の点弧を確実にするためバッフルの下部に誘弧極を設けて、別の変圧器から陽極点弧直前にこれに電流を流し、アーク路の電離を行わせるようにした。

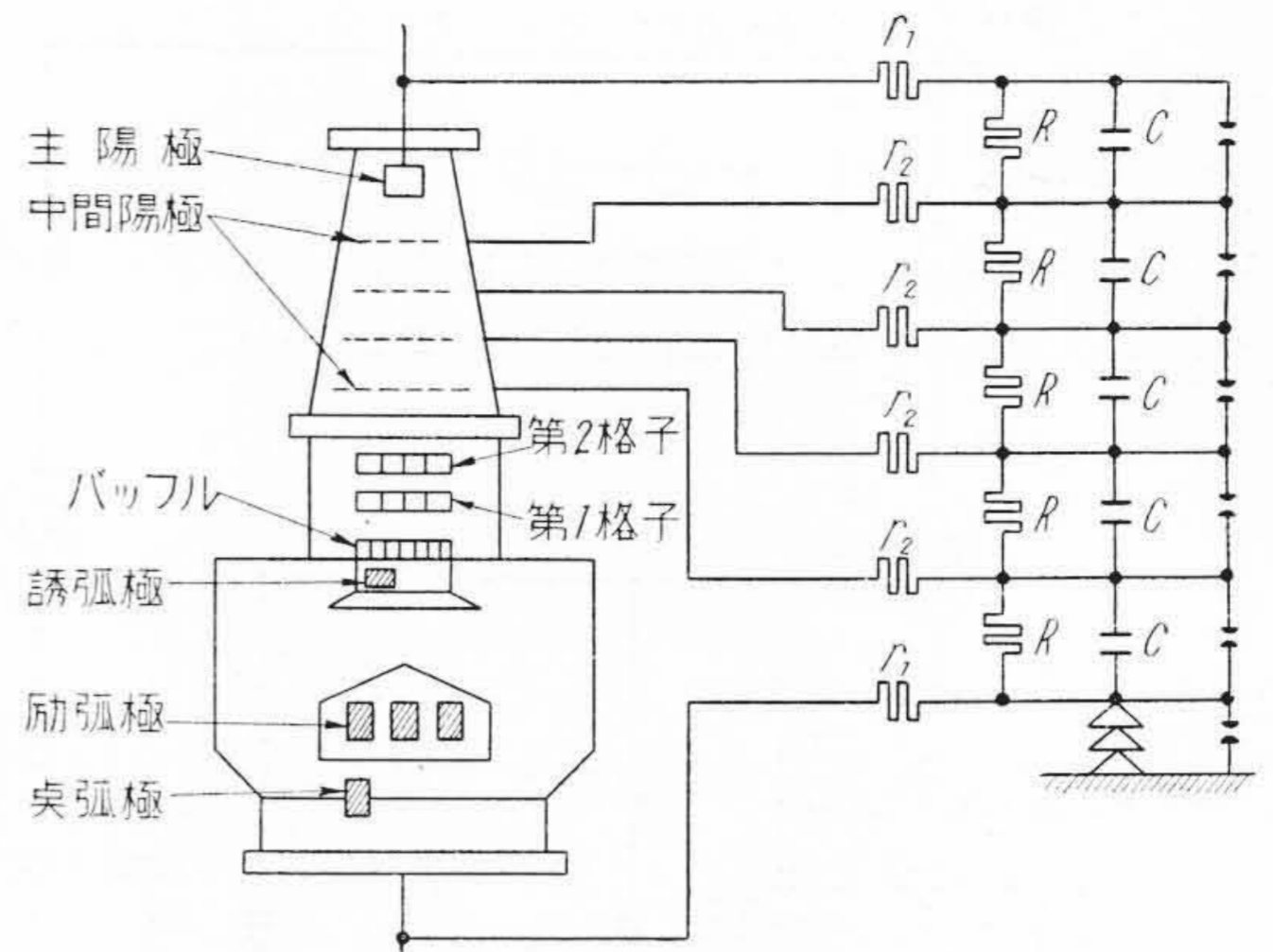
高電圧、小電流の水銀整流器においては、陽極加熱器の効果は特に著しいが、一方高圧整流器においては陽極部と加熱器の絶縁が厄介である。われわれは加熱器として赤外線電球を使用して絶縁の問題を解決し、かつ熱の吸収を良好ならしめるため陽極頭部に特殊構造の吸熱器を設け、また陽極部碍子を褐色にした。

冷却方式は整流器の内部損失が小なることと、冷却媒体の絶縁および漏洩電流による電蝕などの危惧を免れるために風冷式とした。冷却扇は各槽毎に設け、かつ冷却空気温度の調節のために、風道ダンパーおよび陰極加熱器を設けた。

排気装置は、器槽の真空度を特に良好に維持するために各槽毎に水銀ポンプを設けた。排気ガスは各槽毎に設けたリザーバに貯え、数日に一度、回転真空ポンプによりリザーバ内のガスを排気するようにした。そしてリザーバには、内部の真空度監視用のU字型真空計を附した。

(2) 陽極電圧分割回路

中間陽極に加圧する分圧回路としては、抵抗による方式、コンデンサによる方式、あるいは抵抗とコンデンサを組合わせた方式などがあるが<sup>(7)</sup>、そのいずれが最も適当であるかは、整流器の逆耐および順耐電圧と関連して理論的にも実験的にも十分検討しなければならない。



第6図 陽極電圧分割回路

Fig. 6. Circuit of Voltage Dividers for Subdividing Electrodes

分圧回路は陽極電流の転流直後の残留イオンの存在する状態から、通流休止期間中にわたつて、各中間陽極電位を所望の比に分割しうることと、それが逆弧あるいは異常電圧の誘因とならないことが必要条件となる。

分圧回路については、理論的検討とともに、日立研究所において分圧回路と中間陽極電位、順耐、逆耐電圧について実験し、分圧回路設計上の資料をえた<sup>(8)</sup>。その結果では、分圧回路のない場合の各中間陽極電位は、電極間の内部静電容量の逆比にはかならずしも分布せず、内部抵抗の影響が著しい。またコンデンサ分圧は無負荷、冷状態の場合以外は、良好な電位分布がえられず、抵抗と組合わせて行わねばならぬことがわかつた。

以上の実験結果に基づいて、分圧回路は抵抗とコンデンサの組合わせとし、かつそのアドミッタンスを内部アドミッタンスの数倍にとり、第6図に示すごときものとした。図においてRは分圧抵抗であり、これのみによる分圧も可能なる十分な容量を有し、誘導性の少いものとした。抵抗  $r_2$  はあまり小さいと電極間の放電々流を増大させ、暈光放電が発生して逆弧を生ずるおそれがあるが、他方大きすぎると分圧効果を期待できないので、各中間陽極により異つた適当な抵抗値とした。

(3) 水銀整流器用変圧器

変圧器は順逆両変換装置用とも同一構造とし、仕様は下記のごとくである。

- 一次容量.....1,350 kVA
- 二次容量.....1,900 kVA
- 型式..... SICR-3 YC
- 一次電圧..... 3.6/3.3/3.0/2.7 kV
- 二次電圧..... 直流 50/25 kV
- 相数および結線.....一次 Δ, 二次三相 千鳥

結線が三相半波整流であるので、鉄心の偏磁を避けるために二次結線は千鳥結線とした。さらに順変換装置直流

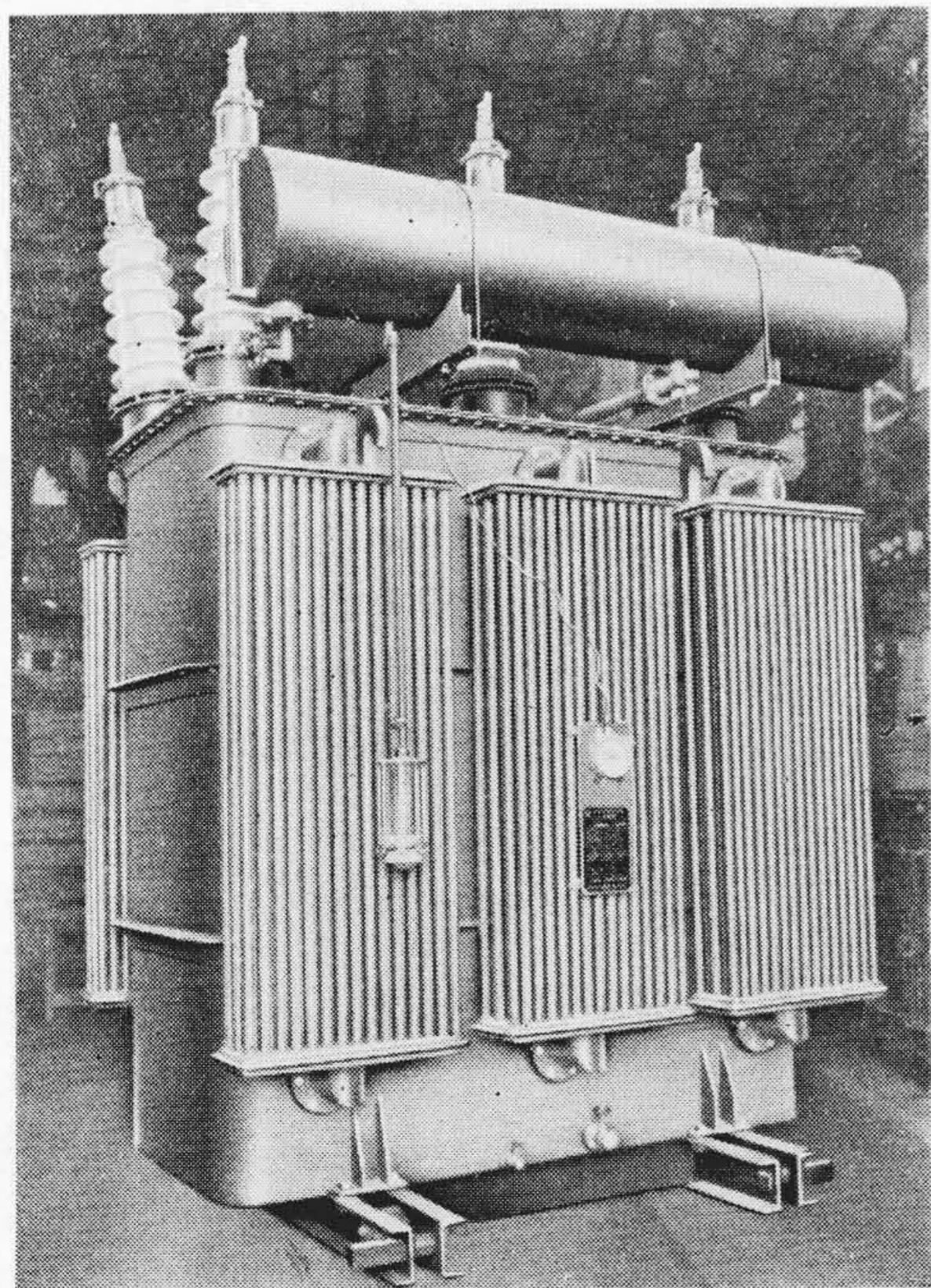
側電圧と逆変換装置直流側電圧の位相差と、脈動電流との関係を調べられるように、千鳥の脚を切替えて  $60^\circ$  位相を変化できるようにした。二次巻線は高電圧であり、その上千鳥結線および 50/25 kV の直並列切替を中味を吊上げることなく行えるように、特殊な構造を採用し、電氣的、機械的に堅牢にした。また逆変換装置用変圧器として当然のことであるが、漏洩リアクタンスを極力小ならしめるように設計されている<sup>(9)</sup>。

第7図は整流器用変圧器の外観図である。

(4) 振動防止および異常電圧保護

水銀整流器の転流時には、変圧器の漏洩インダクタンスおよび漂游容量により、振動回路が形成されて陽極陰極間に高周波振動電圧が誘起され、その固有周波数は、通常数 kc から数十 kc で、その大きさは飛躍逆電圧にほぼ等しい。したがって通流休止期間中に陽極陰極間にかかる逆電圧最大値は、格子制御を行うとき、変圧器二次線間電圧の約 2 倍にも達することになり、特に高圧水銀整流器にとっては、逆弧および絶縁の点からこの高周波振動を制限することが必要である。また陽極電圧分割回路にコンデンサが用いられる場合には、当然その値も高周波振動に影響をおよぼすことになる。第6図の抵抗  $r_1$  はこの高周波振動を十分に制限するごとく定めてある。

転流時の高周波振動は、直流側にも現われるが、第3図に示す振動防止回路は、直流側に発生する定常時および過渡時の高周波振動を吸収せしめるものである。また



第7図 1,350/1,900 kVA 水銀整流器用変圧器  
Fig. 7. 1,350/1,900 kVA 3-Phase Transformer for Mercury Converter

順変換装置および逆変換装置は、両者とも格子制御を行い、そのため直流電圧は相当大なる脈動を有している。したがって直流電流平滑用として 1,000 mH (500 mH タップ付) の直流リアクトルを設置したが、このリアクトルは、また逆変換装置の転流失敗時に、故障電流を抑制する役もなすものである。

変換装置に発生する異常電圧は、これを完全になくすることが困難であるので、水銀整流器および変圧器の保護として各主陽極と大地間に特殊なドライバルブアレスタを挿入し安全を期した。また過渡時に器壁および格子の異常電位上昇を防ぐために、第二格子と器槽間および器槽と陰極間に放電ギャップを設けた。

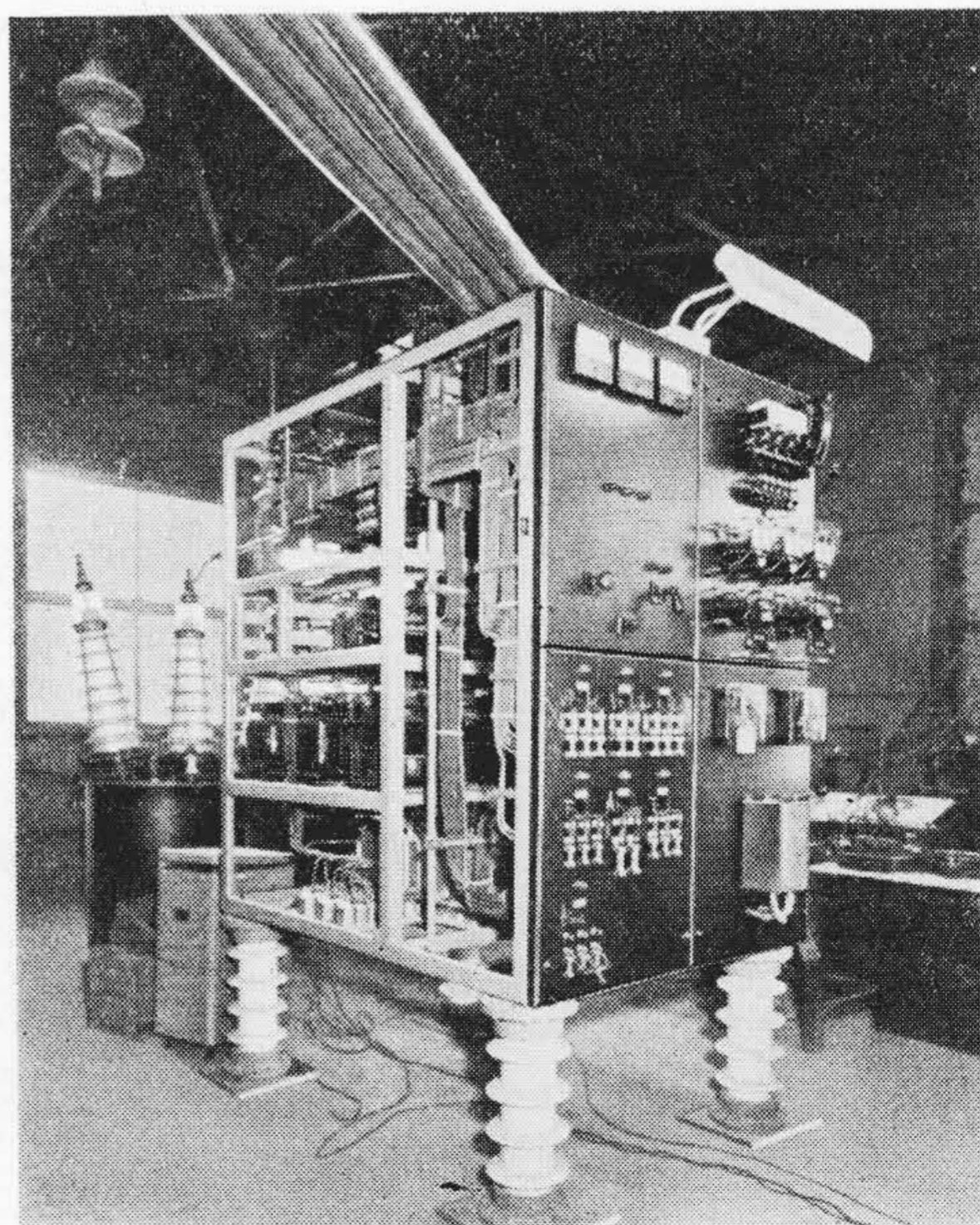
(5) 点励弧格子制御装置

点励弧格子制御装置は、順逆両変換装置用とも絶縁台の上にのせられており、その制御電力は格子用および補助機器用の 2 台の絶縁変圧器より供給される。第8図はその外観を示す。

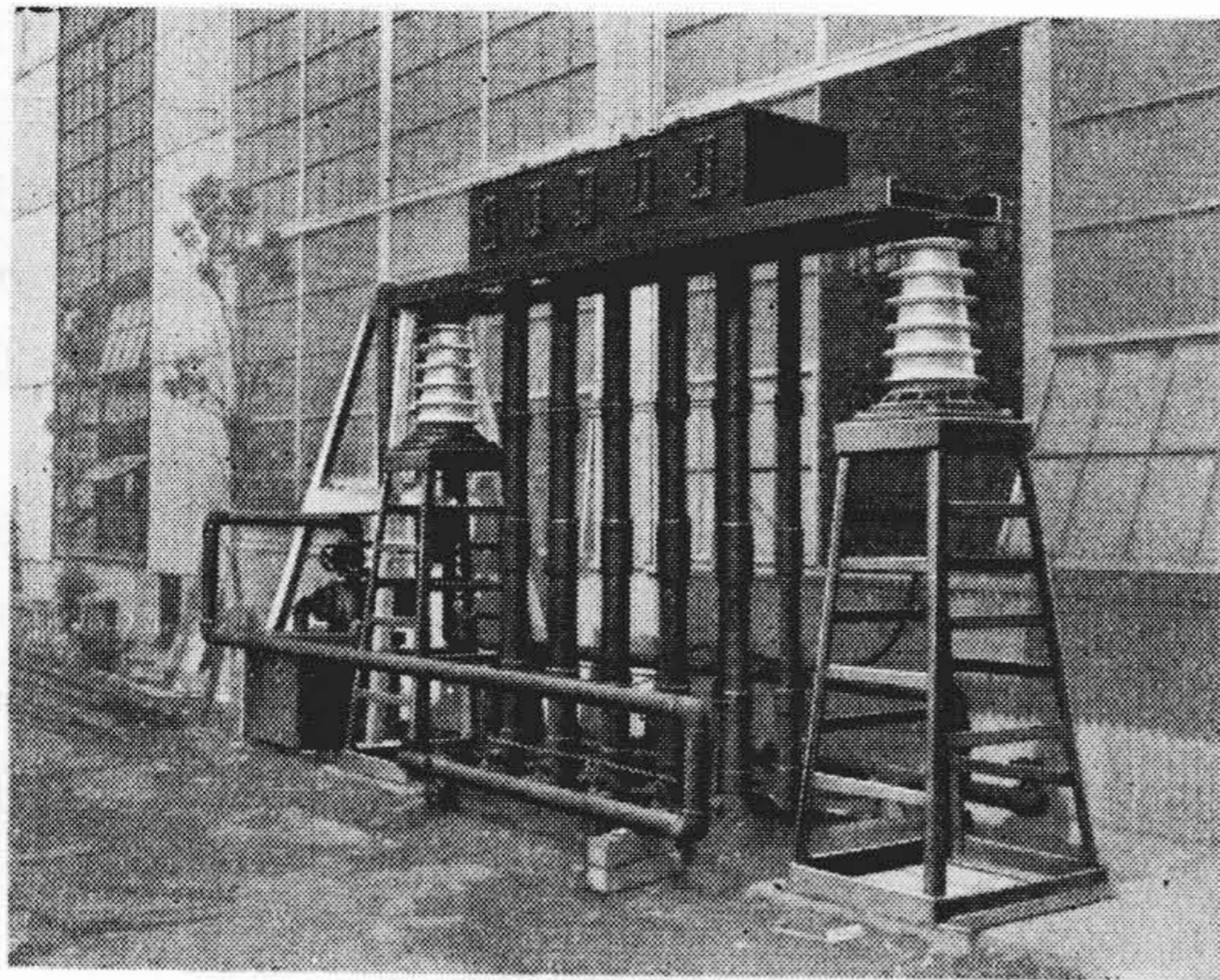
格子制御回路は、格子負偏倚電圧に尖頭波電圧を重畳する方式で、機器の絶縁は強化してある。また直流送電の場合には、送電々力の制御を行うための自動移相装置が当然設けられるが、本研究設備においては、このことは研究の目的でないために設けず、すべて絶縁変圧器一次側の手動移相器によるごとくした。

(6) 配電盤および保護方式

配電盤は順変換装置盤、逆変換装置盤および蓄電器盤の三面からなる。保護は逆弧、転流失敗、直流側事故に対しては、配電盤の高速度過電流継電器により、格子用絶



第8図 点励弧格子制御キュービクル  
Fig. 8. Ignition, Excitation and Grid Control Cubicle



第9図 1,000 kW 50/25 kV 水抵抗器  
Fig. 9. 1,000 kW 50/25 kV Water Rheostat

縁変圧器の低圧側回路を短絡して格子正電圧を消去し、事故電流を遮断するが、さらにより急速な保護動作をうけるために、水銀整流器の陰極電流を検出して、点励弧格子制御装置内の高速度過電流継電器を動作させ、格子用絶縁変圧器の高圧側回路を短絡するようにしてある。

(7) 水抵抗器

高圧水銀整流器の試験を行うに当り、整流器単独で負荷試験を行って特性を詳細に調べる必要がある。このため試験用負荷抵抗器として特殊な構造のものを製作した。その外観を第9図に示す。これは水を絶縁筒内に通して使用するもので、筒内で水が途切れのないような構造にしてある。負荷の調整は絶縁筒中間に設けた電極口出しタップの切替えと、水の一部を循環させ、その入口温度の調節によつて容易に行うことができ、1,000 kW、50/25 kV の定格容量まで十分に負荷しうる。

以上の他に 300 kV 整流器等価試験装置および測定用として絶縁 60 kV 級直流変流器、分圧用コンデンサ、抵抗器などを設けた。

[III] 電圧、電流特性

順変換装置、逆変換装置を組合わせた場合の直流回路の電圧、電流の特性については、すでに種々発表されているが<sup>(10)(11)</sup>、本装置について具体的に計算した結果を述べる。

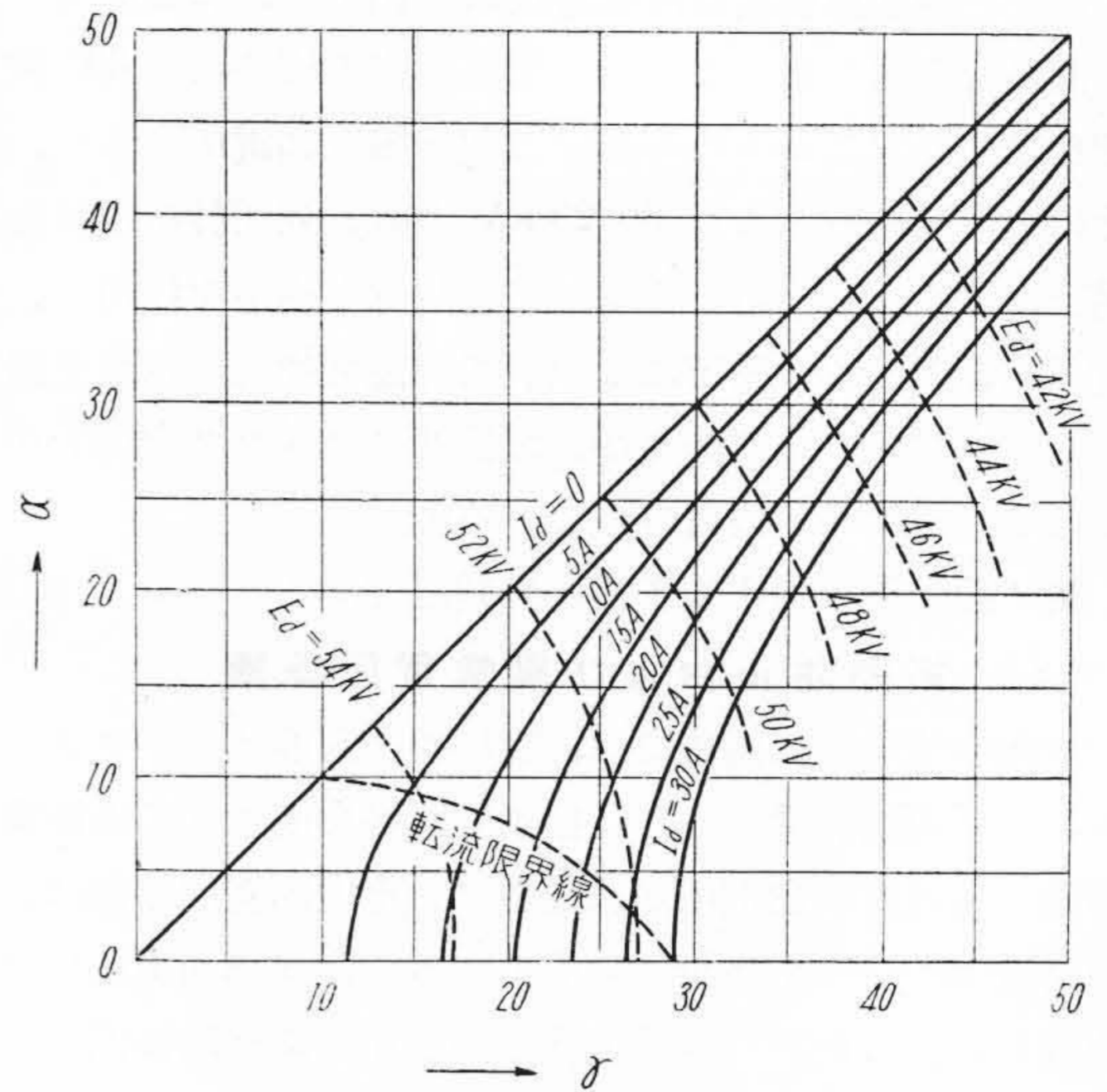
三相半波整流では、直流電流  $I_d$  なるときの順変換装置の直流電圧  $E_d$  は次式で与えられる。

$$E_d = E_{dor} \cos \alpha - 0.478 X_r I_d \dots \dots \dots (1)$$

一方逆変換装置の直流電圧は同様につぎのごとくなる。

$$E_d = E_{doi} \cos \gamma + 0.478 X_i I_d \dots \dots \dots (2)$$

- ここに  $E_{dor}$ : 順変換装置等価無負荷直流電圧
- $E_{doi}$ : 逆変換装置等価無負荷直流電圧
- $\alpha$ : 順変換装置制御遅れ角



第10図 電圧、電流と  $\alpha, \gamma$  の関係 ( $L = \infty$  の場合)  
Fig. 10. Relation between D.C. Voltage, D.C. Ampere,  $\alpha$  and  $\gamma$  ( $L = \infty$ )

- $\gamma$ : 逆変換装置制御進み角
- $X_r$ : 順変換装置転流リアクタンス
- $X_i$ : 逆変換装置転流リアクタンス

(1), (2) 両式の電圧は等しい故、両式から直流電圧、直流電流はつぎのごとくなる。

$$I_d = \frac{E_{dor} \cos \alpha - E_{doi} \cos \gamma}{0.478(X_r + X_i)} \dots \dots \dots (3)$$

$$E_d = \frac{X_i E_{dor} \cos \alpha + X_r E_{doi} \cos \gamma}{X_r - X_i} \dots \dots (4)$$

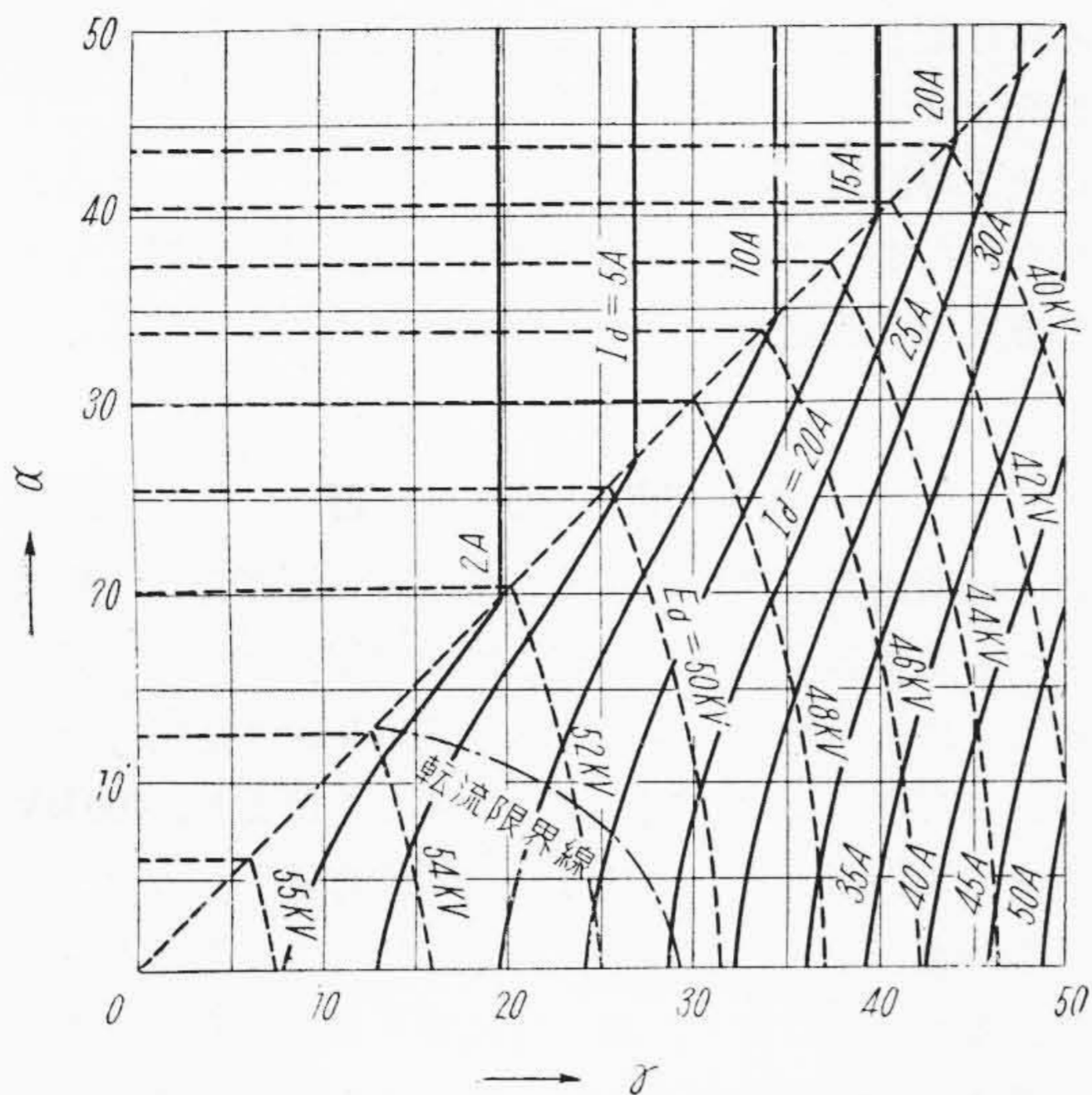
$E_{dor}, E_{doi}$  はそれぞれ両変換装置の交流側電圧と変圧器により定まる。 $E_{dor} = E_{doi}$  すなわち両変圧器とも同じタップを使用するとして、直流電圧 50 kV の場合について、直流電圧、直流電流と  $\alpha, \gamma$  の関係を計算すれば第10図となる。

インバータが転流失敗を生ずることなく安全な運転を行うためには、その制御角  $\gamma$  はある値以上であることが必要である。すなわち制御能回復時間を  $\tau$ 、電弧重り角を  $u$  としたとき、 $\gamma \geq \tau + u$  でなければならない。 $\tau$  が与えられたときには、転流失敗の限界は次式で与えられる。

$$I_d < \frac{E_{doi}}{0.956 X_i} (\cos \tau - \cos \gamma) \dots \dots \dots (5)$$

$\tau = 10^\circ$  と仮定して計算した転流失敗範囲を、同じく第10図に転流限界線として示す。

以上の計算は直流リアクトルのインダクタンスが無限大で、直流電流は完全に平滑であるとした場合であるが、実際には多少異り、特に  $\alpha > \gamma$  の場合にも両変換装置の直流電圧瞬時値の差により、直流回路に断続電流が流れる。両変換装置の電圧が同一位相の場合には、この断続



第11図 電圧、電流と  $\alpha, \gamma$  の関係 ( $L=1H$  の場合)  
 Fig. 11. Relation between D.C. Voltage, D.C. Ampere,  $\alpha$  and  $\gamma$  ( $L=1H$ )

電流平均値は  $\alpha$  に無関係に次式で与えられる。

$$I_d = \frac{2E_{d0}}{\omega L + X_r + X_i} (\sin \gamma - \gamma \cos \gamma) \dots (6)$$

ここに  $L$  は直流リアクトルのインダクタンス、 $\omega$  は電源電圧角速度である。 $\alpha < \gamma$  の範囲内では連続電流が流れるが、この場合の  $\alpha$  および  $\gamma$  と、電圧および電流との関係を計算した結果を第11図に示す。第10図に比し、この場合の方が軽負荷で電流は大である。

#### [IV] 試験結果

試験に当つては、水銀整流器自体の問題と、変換装置全体の問題とが考えられるが、まず水銀整流器が今後の試験研究に対し十分信頼できる性能のものであることの確認が第一で、このために水銀整流器の格子制御能および負荷耐量に重点をおき、長時日にわたり工場試験を行った。その結果整流器自体としてはほぼ所期通りの成果を納めることができた。変換装置全体の問題は複雑多岐であつて、そのすべてを解明するにはなお長時日を必要とし、工場においてはすべてを尽しえず、一部に止めた。

##### (1) 気密度

高圧水銀整流器においては、特に良好な真空を要求されるが、気密度試験の結果は中間陽極、励弧極などパッキンが多いにもかかわらず、きわめて良好であつた。負荷試験時には回転真空ポンプを止め、水銀ポンプのみで排気し、一週間以上タンク内の真空は良好に維持されることを確認した。

##### (2) 電弧降下

電弧降下は、通常の低圧用水銀整流器のごとく、能率に影響をおよぼす要素ではないが、中間陽極の存在、消

イオン面の強化にもかかわらず、測定の結果負荷電流 40A で 37V 以下であり、低圧水銀整流器に比し電弧降下の増加は少い。

##### (3) 格子制御能

直流送電用水銀整流器としては、特に格子制御能が重要であり、したがつて試験も詳細に行つた。

格子点弧電圧は器槽温度および誘弧極電流の影響を著しく受けるが、陽極電圧に対しては 5,000V 以上でほとんど一定となり、約 20V 程度である。また格子電圧が負でさえあれば十分に陽極の点弧は抑制され、通弧の心配はなかつた。

つぎに水銀整流器を逆変換装置として使用する場合には所要無効電力の点から制御能回復時間が、できるだけ短いことが望ましい。制御能回復時間の測定には種々の方法が提案されているが、われわれは自励式インバータの方法<sup>(12)</sup>を採用した。すなわち整流器の2タンクを自励式インバータで運転し、負荷抵抗および転流コンデンサの値を変化して転流失敗させ、そのときの抵抗およびコンデンサの値から制御能回復時間を求めた。その結果は電気角で 2° 以下であり、制御角  $\gamma$  は十分小さくして使用しうることを確認した。

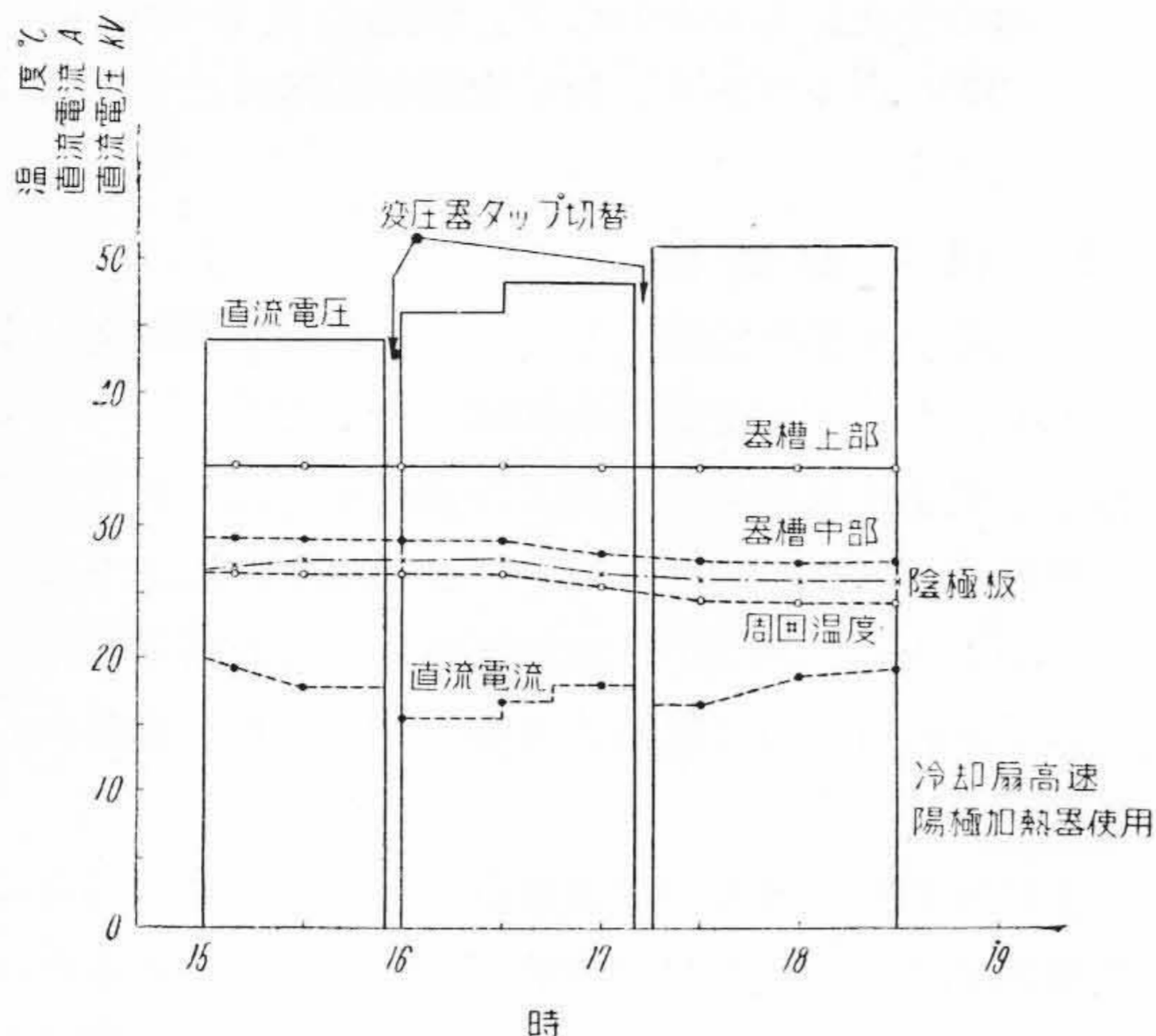
##### (4) 負荷耐量

高圧負荷特性は、まず水銀整流器が順変換装置として十分な負荷耐量を有し、ついで逆変換装置と組合わせて、転流失敗なく安定に運転されることを確認する必要がある。

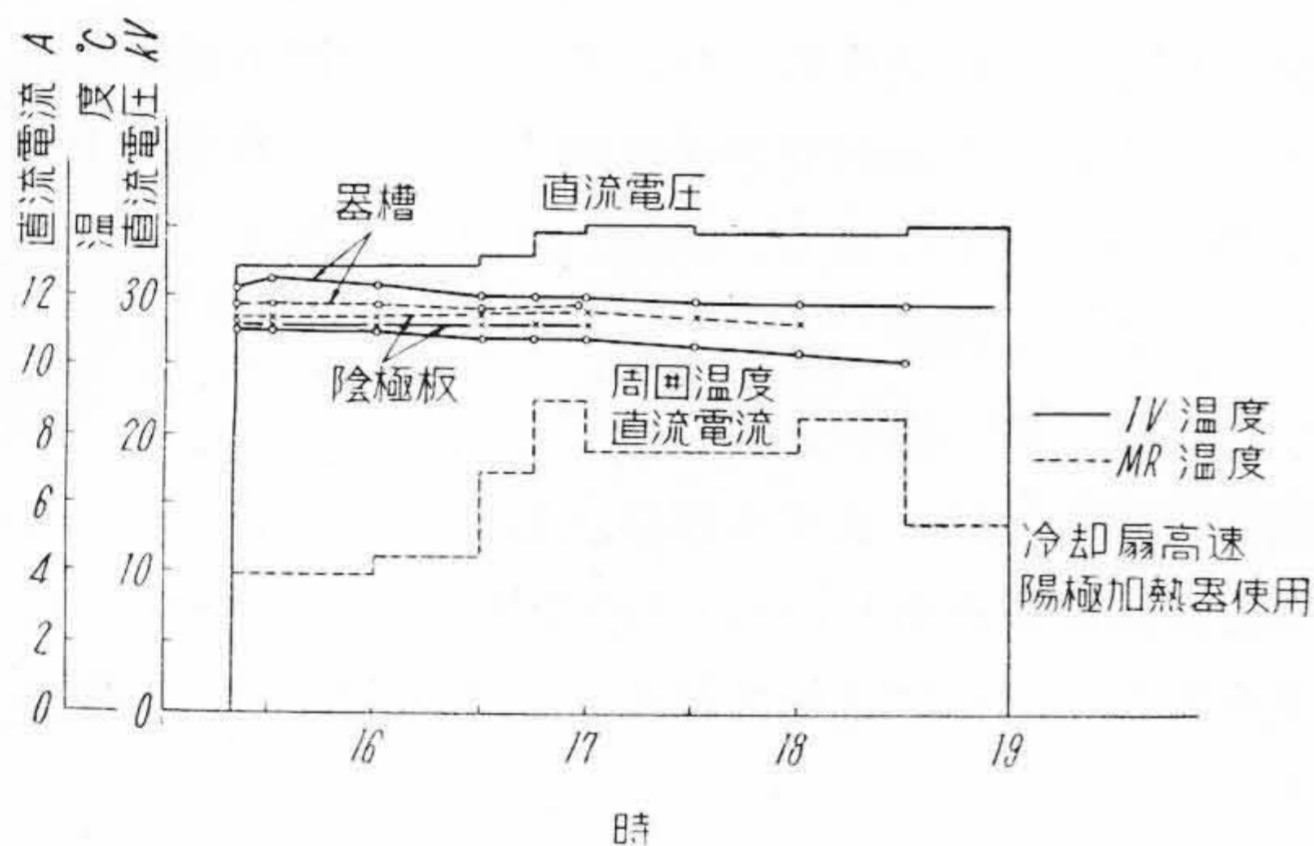
高圧負荷試験の方法としては、まず整流器の単独負荷試験として水抵抗器を負荷とし、主変圧器の一次側に降圧変圧器を入れて直流電圧を約 18kV から漸次階段的に 50kV まで増加して行き、25kV, 40A, 50kV, 20A まで試験した。

逆弧は電圧を高めた後負荷のかけ始めに多少発生し、電圧が高くなる程多いが、電圧を少しずつ徐々に上昇させる場合は少い。また一旦負荷した電圧に対しては、運転を相当休止した後に、いきなり負荷しても逆弧の発生はない。このことは低圧化成後に適当な高圧化成が必要であることを意味するものと思われる。電流による逆弧の影響はあまり認められないが、定格以上の過負荷耐量は、負荷の都合により確認できなかつた。格子制御角に対しては、顕著な影響は認められなかつた。

分圧方式としては抵抗分圧、抵抗とコンデンサ分圧の両方式を行つたが、試験を行つた範囲では逆弧に対して両者の優劣を定められなかつた。ただいずれの方式でも分圧回路において第6図に示した限流抵抗  $r$  は、逆弧に相当大きな影響をおよぼし、この抵抗値を各中間陽極に対して適当な値を選ぶ必要がある。



第12図 順変換高圧負荷試験  
Fig. 12. Diagram of High-Voltage Load Test in Rectification



第13図 順逆変換高圧負荷試験  
Fig. 13. Diagram of High-Voltage Load Test in Rectification and Inversion

かように高圧化成、分圧回路、温度などの各条件を適当にした場合には、逆弧はほとんど発生せず、きわめて安定な運転を続けることができた。一例として第12図は直流電圧 44 kV を負荷し、約一時間おきに電圧を増加して 51 kV まで負荷した際の試験結果である。

以上水銀整流器は十分な負荷耐量を有し、これを順変換装置および逆変換装置として2台組合わせて試験したときの結果を第13図に示した。

高圧負荷試験を通じ、逆弧あるいは転流失敗時には、高速度過電流継電器が高圧側および低圧側とも確実に動作して故障電流を遮断し、ただちに格子回路を再閉合しても異常なく運転に入り、事故時の格子による遮断には

なんら心配がなかった。また試験中主回路に異常電圧は全然発生せず、アレスタの動作は皆無であった。

以上工場試験においてはすべての問題点を解明するにはいたらなかったが、直流送電用高圧水銀整流器としての性能をほぼ満足しうることを確認することができた。

〔V〕 結 言

以上直流送電用高圧水銀整流器の設備概要と、試験結果について報告したが、本整流器は六相グレース結線とすることによりそのまま直流電圧 100 kV に使用可能であり、これをさらに直列に接続することにより、400 kV 程度までの送電々圧に応じうる。電流容量としては、試験設備の都合上その限界を確認するに至らなかった。しかし、本整流器により、高い信頼度を有する直流送電用大容量水銀整流器の製作に対して、あかるい見通しと十分な確信をうることができた。

今後は電気試験所と協力して、詳細な試験研究を続け、直流送電用整流器としての諸特性を解明し、高圧水銀整流器製作の技術をさらに向上せしめる予定である。

終りに、本整流器の製作試験に当り、種々御指導を賜わった東大山田教授、電気試験所法貴博士、馬淵氏ならびに終始御指導御鞭撻を戴いた日立製作所日立工場後藤部長、毛利課長、今野主任、木村主任などの方々に対し、厚く御礼申上げる。

参 考 文 献

- (1) P.E. Egloff: B.B. Review 26 92 (1939)
- (2) K. Baudisch: Energieübertragung mit gleichstrom hoher Spannuug (1950)
- (3) I. Lidén, E. Uhlmann and S. Svidén: ASEA Journal 27 141 (1954)
- (4) 直流送電専門委員会資料
- (5) U. Lamm: CIGRÉ Report No. 133 (1946)
- (6) U. Lamm: CIGRÉ Report No. 411 (1948)
- (7) H.V. Bertele and R. Tucker: P.I.E.E. 99-III, 555 (1952)
- (8) 木村, 桑島, 曾根田: 連大 241 (昭 29)
- (9) 日立評論 36 66 (昭 29-1)
- (10) 毛利: OHM 整流機器号 26 (昭 28)
- (11) 永井: 東芝レビュー 8 1019 (昭 28)
- (12) 佐藤, 三山, 天野: 電試彙報 3 456 (昭 14)