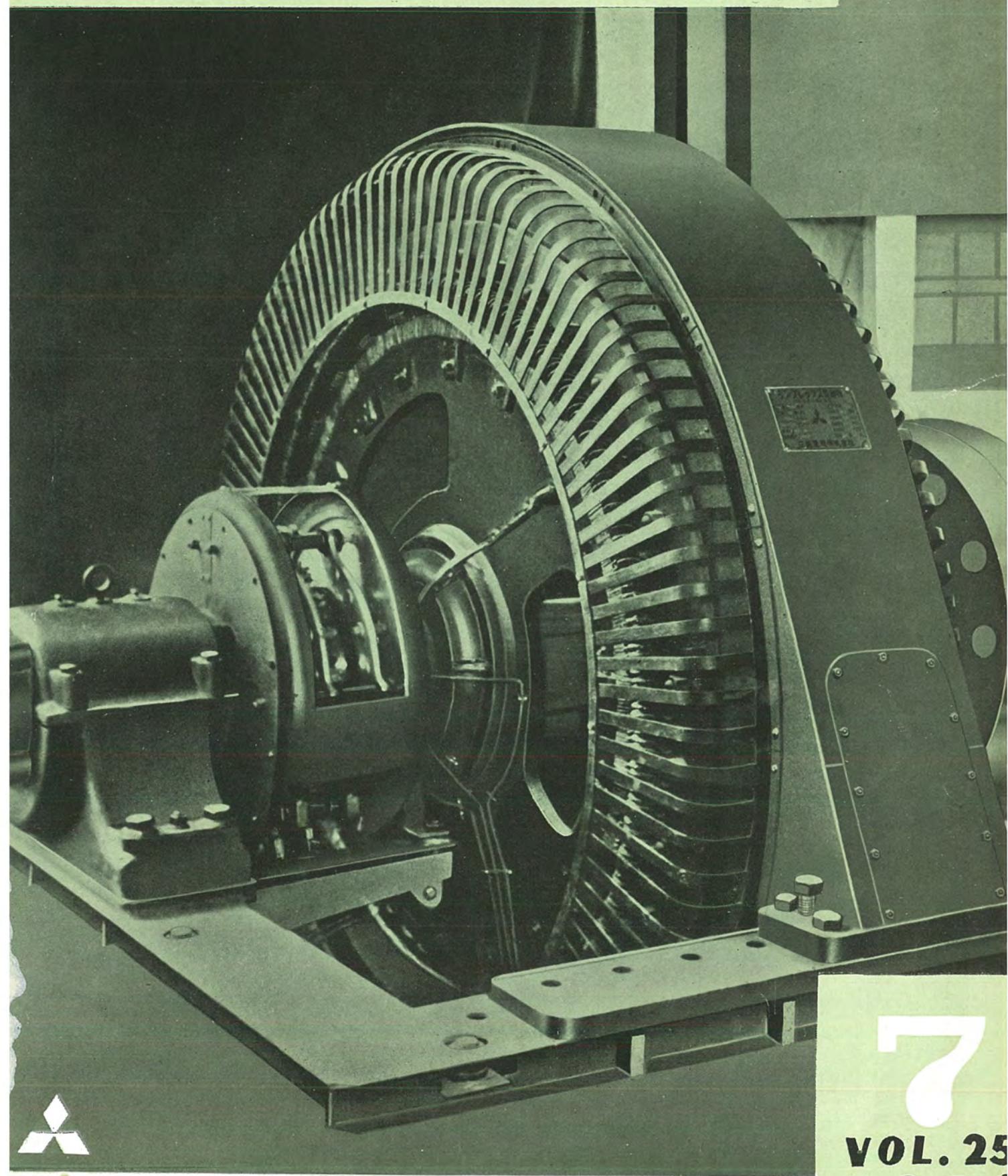


MITSUBISHI - DENKI

# 三菱電機



7

VOL. 25  
1951



三菱電機株式會社



## 写真解説

### Simplex Motor

単相誘導電動機として起動する誘導同期式同期電動機であつて、その高起動回転力に付し、起動 kVA はきわめて少く、起動は自操作によつて安全確実に行われることは他の全電圧起動同期電動機の追従できない特長あります。

100HP 3300V 60Hz 133rpm

# 三菱電機

昭和 26 年 第 25 卷 第 7 号

## 目 次

### 有機珪素化合物の研究

(Si-Cu 真空焼結合金を触体とした Alkylchlorosilane の製造) ..... 2  
馬波 久・小山二郎

B T 31 型蓄電池式電動牽引車 ..... 5  
竹内真一・斎藤 寛

真空ゲージについて ..... 11  
藤永 敦・後藤正之

格子付二重星型水銀整流器の 3 相失弧現象 ..... 20  
浜田 賢・阿部久康

東京歌舞伎座の回り舞台装置 ..... 30  
木村武雄

自動記録 G-M 計数管 X 線分光器 ..... 39  
今村 元・弘田實彌

サージ・インピーダンスの簡易測定法 ..... 43  
安藤安二

### 「三菱電機」編集委員会

委員長	岸 本 久 雄	田 宮 利 彦	安 藤 三 二	石 橋 英 樹
委 員	浅 井 德 次 郎	岡 屋 精 二	川 田 利 小	林 治 一 郎
	市 吉 惟 浩	瀧 谷 進	松 田 新 市	熊 秀 每 宗
	進 藤 貞 和	前 田 太 郎	岡 治	村 平
	前 田 幸 夫	松 尾 米 太 郎	松 岡	
	森 範 薄 井 康 介	木 村 久 男	（以上 50 晉順）	

昭和 26 年 11 月 20 日 印刷 昭和 26 年 11 月 25 日 発行  
『禁無断転載』 定価 1 部 30 円 (送料 8 円)

編集兼発行人	東京千代田区丸の内 2 丁目 3 番地	吾 鄉 侃
印 刷 所	東京都港區麻布竹谷町 1 番地	博 文 堂 印 刷 所
印 刷 者	東京都港區麻布竹谷町 1 番地	大 橋 佑 吉
発 行 所	三菱電機株式会社内	「三菱電機」編集部
	電話 和田倉 (23) 4151-9	日本出版協会会員番号 213013

## 三菱電機株式會社

### 本 社

東京都千代田区丸の内(東京ビル)

(電) 和田倉 (20) 代表 1631・4331

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

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 福島県郡山市字境橋町

福山工場 福山市沖野上町

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 岐阜県恵那郡中津町

福岡工場 福岡市今宿青木

札幌修理工場 札幌市北二條東 12

研究所 兵庫県尼ヶ崎市南清水

大阪営業所 大阪市北區堂島北町 8 番地 1

(電) 福島 (45) 5251-9

名古屋営業所 名古屋市中区広小路通

(電) 本局 (23) 6231

福岡営業所 福岡市天神町(天神ビル内)

(電) 西 (2) 5821-5825

札幌営業所 札幌市南一條西 5 の 14

(電) (2) 3378・3911

仙台事務所 仙台市東一番丁 63

(電) 仙台 2573・8057

富山事務所 富山市安住町 23 の 2

(電) 富山 4692・5273

廣島事務所 廣島市袋町 1 (明治生命ビル)

(電) 中 1069・4824

# 有機珪素化合物の研究

Si-Cu 真空焼結合金を触体とした Alkylchlorosilane の製造

Si-Cu 真空焼結合金を用い Alkylchlorosilane を製造するにあたって、純度 75% 程度の珪素を用いても相当良好な結果を得られたのでこれを報告し、解体の X 線回析により格子面間隔を求めその状態の概略を報告する。

研究 所 馬 波 久 郎  
小 山 二 郎

## 1. 緒 言

金属珪素と Halogenalkyl から Alkylchlorosilane を合成するいわゆる直接合成法は銅を触媒とするものであり、銅の形としては、粉末を粉末珪素と混合して用いる方法、塩化第一銅と Si 粉末を混合する方法、Si-Cu の通常合金を用いる方法、Si, Cu, の粉末の混合加圧成型物を水素気流中で 1,000°~1,100°C に焼結した合金を用いる方法等があるが、焼結合金の場合がもつとも良好な結果をうることができるところはすでに E. G. Rochow<sup>(1)</sup> 等の報告するところである。

しかしながら水素の気流中で焼結することは技術的にも熟練を要し、水素の純度の影響が大きく、また上記のいずれの場合においても珪素の純度の影響はきわめて大きく、純度は少くとも 97% 程度以上のものでないと良好な結果をうることは困難である、たとえば純度 70%~80% 程度のフェロシリコンを用いる場合はほとんど反応しないかまたは反応に高温度を要し生成物は塩素含量の多い低沸点の物がほとんどである、これらの触媒の反応機構についてはすでに D. T. Hurd, E. G. Rochow<sup>(2)</sup> の説、推原、西川<sup>(3)</sup>の説、新宮<sup>(4)</sup>の説等があるがいずれの場合においても SiCl<sub>4</sub>, active-Cu, CuCl, Organosilicon-Compound の混合物等が総合的に反応に関与することは同一である、これらに立入つて論することは暫く措くが反応速度がある型の Cu の存在で著しく促進されるからにはその反応の重要な部分がその固体の表面上で行われることは明かであり、その微細構造が決定的な重要な影響を有していることは明かであるが、これについては何等明かにされていない。

筆者は純度 97% 以上の珪素を容易に入手することができないため、純度 70%~80% 程度の珪素を用いた場合の触媒の精製について考え、その触媒の表面原子の数倍および不純物を蒸発し去ることによつて活性化せんと計画し Si-Cu 加圧成型物を高度の真空中で焼結し直接合成法に用いたところ相当良好な結果を得たのでその結果を報告し、Cu-Si 焼結合金の構造を知るため X 線回析により試験しその概略を知り得たのでそれについて報告する。

## 2. 實 験 の 部

### ア. 触媒の製法

銅の塩類たとえば Cu (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>•3H<sub>2</sub>O, または Cu Cl<sub>2</sub>•2H<sub>2</sub>O の稀薄水溶液を煮沸攪拌しながらアルカリの稀薄水溶液を加え生成せる沈殿を濾別し十分蒸溜水で洗浄し乾燥後高溫水素中で還元細粉した金属珪素を所要割合に加え（使用珪素純度 75%，分光分析で Fe<sup>++</sup>, Al<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Mn<sup>+</sup>, B<sup>+</sup>, を確実に含有することを認めた）均一に混合して加圧成型し真空炉中で焼結し、冷却後取出して破碎し使用に供した。

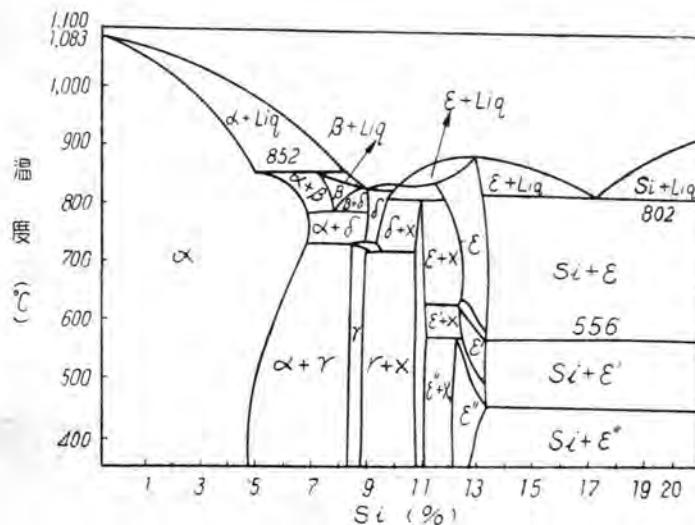
真空処理した理由は不純物をできるだけ除去すること、銅、珪素の酸化を防止すること、Si-Cu 合金の表面原子の数倍を蒸発し去ることにより活性化することなどを目的としたものである、不純物として含有する Al, Mn, Mg, B, 等は Cu, Si, より蒸気圧高く比較的容易に除去しうると考えられる。

### イ. 触媒の X 線回析試験

気体——固体系触媒反応において触媒の活性度を変化せしめる原因として（1）出発物質の相違（2）前処理すなわち化学処理の過程の相違（3）他物質の混存（助触媒作用、被毒現象）（4）熱処理すなわち熱処理の温度、半融現象等をあげるがこの直接合成法において Cu の経歴および化学処理を同一にした場合、Si-Cu の通常合金、Si, Cu, の混合物、Si-Cu Cl, の混合物による方法が焼結合金の場合に比較して成績が不良な原因として（3）の他物質の混在による原因はしばらく措き（4）の熱処理が主要なる原因と考えられるので合金の結晶状態を知るた

1 表

名料試	No.1	No.2	No.3
	Si-Cu (85:15) 焼結合金	Si-Cu (85:15) 混合物	Si-Cu (13:87) 合金
測 定 値	3.14(Si) 2.04 1.95(Si) 1.89 1.63(Si) 1.36(Si) d(Å)	3.14(Si) 2.12(Cu) 1.95(Si) 1.83(Cu) 1.65(Si)	2.04 1.95 1.89 1.26 1.15
	1.25 1.11		



1 図 Cu-Si 状態図

め X 線回析試験を行い検討してみた。

試料として No.1 Si-Cu(85:15) 真空焼結合金, No.2 Si, Cu (85:15) 混合物, No.3 Si-Cu (13:87) 通常合金をとり X 線回析写真をとり結晶格子面間隔  $d$  (Å) を求めた。その結果を 1 表に示す。

この際ににおける結果を考察するに混合物の場合は Cu, Si, の線が別々に現れており、焼結合金の場合は Si の線は明良に残り Cu の線が変つてきている。Si-Cu の状態図 (1 図) よりこの際もつとも可能的な相として Si-Cu (13:87) の  $\epsilon$  相が考えられるので試料 No.3 と比較すると、この合金の場合は  $1.26 \text{ \AA}$ ,  $1.15 \text{ \AA}$  の線の Intensity 大きく、焼結合金には  $1.25 \text{ \AA}$ ,  $1.11 \text{ \AA}$  の線が比較的弱く現われ、近似しているようであるが写真で見ると明確に異つており Si-Cu 合金の  $\epsilon$  相が生成したものとは断定しがたく少くとも構造文献に記載のない他の相が形成したものと考えられこれが触媒活性の主因であろうと考えうるものである。

#### ウ 合成法

内径 40mm 長さ約 1,000mm の石英管に大豆大に破碎した触媒 350g~400g を充填し反応管の出口にアダプタを取付け冷却器を二段に通じて氷冷受器に取付けた。反応管の入口に Conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  および無水磷酸の洗気瓶および流量計を取付け Halogenalkyl を通じ反応せしめた。装置は完全に気密にして送入ガスおよび生成ガスの漏洩を防いだ。反応の前に炉の温度が所要の温度に昇るまで水素を通じ所要温度に到つて Halogenalkyl を送入した。反応生成物は全長 2,300 mm 充填部分 1,900mm 径 13 mm の管にニクロム線製一輪環(内径 2 mm, 線の直径 0.2 mm)を充填した Total Condensation 型の分溜管を用いて分溜した。実験結果を 2 表 (Ethylchlorosilane) と 3 表 (Methylchlorosilane) に示し蒸溜曲線と 3 図と 4 図に示した。

2 表において收率は原料 Halogenalkyl に対する割合を示した。使用銅は Ethylchlorosilane の場合は Cu 有機珪素化合物の研究・馬渡・小山

$(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  を出発物として作ったものを用い分溜は  $90^\circ\text{C}$  以下を低沸点物,  $90^\circ\text{C} \sim 115^\circ\text{C}$  を Ethylchlorosilane とし  $116^\circ\text{C} \sim 132^\circ\text{C}$  を Diethylchlorosilane とし  $130^\circ\text{C}$  以上を高沸点物として示した。

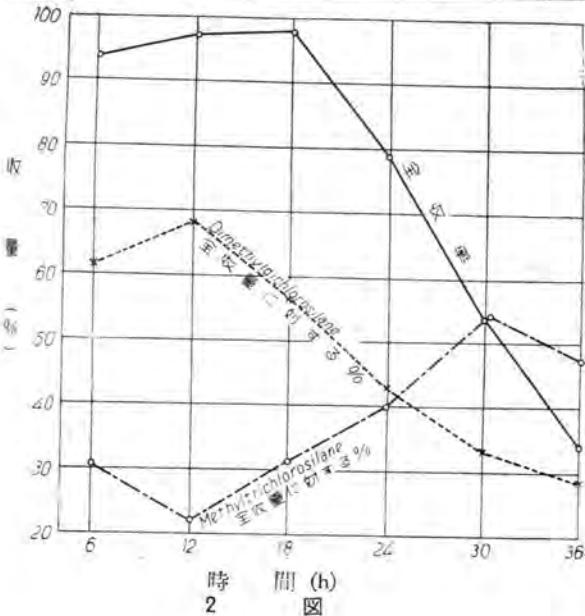
3 表は Methylchlorosilane の製造結果を表で示したものである。使用銅は実験 1,2,3, においては  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , 実験 4,5,6, においては  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  を出発物としたものであり、実験 6, においては Si 粉末を混合前に HCl で洗浄乾燥し使用に供したものである。分溜は  $64^\circ\text{C}$  以下を低沸点物 ( $\text{SiCl}_4$ ,  $(\text{CH}_3)_3\text{SiCl}$ ,  $(\text{CH}_3)_2\text{HSiCl}_2$  等の混合物),  $64^\circ\text{C} \sim 66^\circ\text{C}$  の部分を Methylchlorosilane,  $67^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$  の部分を Dimethylchlorosilane とした。

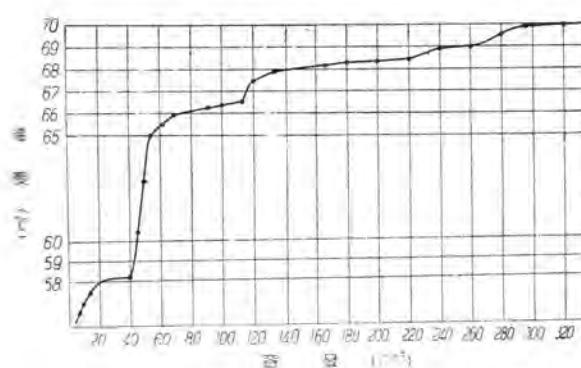
2 表 Ethylchlorosilane

番号	触媒	温度	時間	液量	收率	收率 (%)	分離結果			
							脱水	Mo (g)	Di (g)	高沸 (g)
1	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ より 80/20	285	12	26~27	320	109.2	41	82	209	15
		285	2	315	258	82.1	37	85	116	21
		285	2	315	233	74	48	80	89	16
2	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ より 85/15	285	12	20~25	276	261	20	57	178	11
		285	2	290	255	82.1	32	49	152	5
		285	2	249	205	86.4	25	35	137	8
3	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ より 93/10	310±5	12	18~20	240	218	8	51	151	6
		310±5	2	240	208	86.7	8	65	126	11
		310±5	2	240	197	82	7	71	109	10
		310±5	2	240	128	53.5	27	24	73	10

3 表 Methylchlorosilane

番号	触媒	温度	時間	液量	收率	收率 (%)	分離結果				
							脱水	Mo (g)	Di (g)	高沸 (g)	
1	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ より 80/20	330±10	12	30	360	109.8	37	184	151	5	
		330±10	2	337	93.7	41	188	97	11	12	
		330±10	2	327	79.7	56	154	25	11	12	
2	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ より 85/15	293	6	25	150	141	8	43	87	3	
		293	2	146	97.3	12	32	96	5	5	
		293	2	146	98.9	11.5	40	83	7.6	4	
3	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ より 90/10	310±5	6	20	119	79.3	17	47.5	51	3.4	
		310±5	2	81.5	54.3	7.5	44.0	27	3	8	
		310±5	2	81.5	34.0	5	24.0	14	1	1	
4	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ より 90/10 反応中 $\text{H}_2$ あり	330±5	6	20	120	79	65.8				
		330±5	2	146	91	75.8					
		330±5	2	146	86.7	86.7					
5	$\text{CuCl}_2$ より 85/15	340	6	25	150	142	94.7				
		340	2	125	104	102.0					
		340	2	125	102	81.6					
		340	6	25	116	77.3					
		340	2	89	53.5	45.2					
		340	2	89	68						
合計				720	498	98.3	34	69	154	41	
合計				425	397	94.5	59.4	80	213	44.6	
合計				600	384	67.4	28.6	37.8	272	46.4	





3 図 実験 4 の分離曲線

lorosilane とし、71°C 以上を高沸点物とした。なお実験 4においては  $\frac{1}{2}$  容量の水素ガスを Chloromethyl に混合して送入したものである。

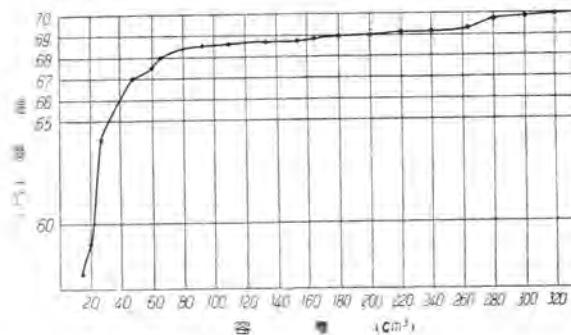
## 工. 実験の考察

### (A) Ethylchlorosilane

実験 1 の触体は活性度高く非常に鋭敏で 240°C 付近で相当反応しはじめるものであるため反応温度を 285°C にし流速 26~27 g/hr で反応せしめ反応率高く最初 Si の消費約 30% までは高收率で Chlorosilane をうることができたが Dimethyldichlorosilane の生成は比較的小い。また反応の後半において収量は著しく低下し低沸点物增加の傾向は著しい。このため後半においては HCl ガス等を混合送入してもつばら Methyltrichlorosilane 製造に使用するのが有利であろうと考えられる。実験 2において触体は Si-Cu (85:15) 溫度は実験 1 と同様、流速 20~25 g/hr であるが反応率は実験 1 にくらべて劣るが Diethyldichlorosilane の含量多く、また触体の壽命も比較的長いため Diethyldichlorosilane の製法としは比較的有利である。実験 3 は反応率がさらに劣るが壽命、Diethyl- 誘導体の生成等においてさらに秀れたものであるが、活性度低きため比較的高溫度を必要とするものである。しかしながら大量製造を目的とする場合にはむしろ実験の方法により最初 Diethyldichlorosilane をもつばら製造し触体の劣化を待つて HCl ガスを通じ Monomethyltrichlorosilane をもつばら製造するのが最も有利と考える。

### (B) Methylchlorosilane

実験 1, 2, 3、においては Ethylchlorosilane の場合と大体同一傾向にあり收率において 1, > 2, > 3。 Dimethyldichlorosilane の生成量においては 3, > 2, < 1、触体の壽命においては 3, > 2, > 1、である。実験 2において（2 図参照）Si の使用量約 35~40% 以後において收率の低下著るしく低沸点物の生成が増加してきて使用率 60% 以後においては Dimethyl- 誘導体はほとんど生成せずしかも Monomethyl- 誘導体の生成も少くなつてくる。收率は Si 消費率 20~25% 付近が最高收率を示し、Dimethyldichlorosilane は Si 消費率 15% 付近が最高である。



4 図 実験 5 の分離曲線

実験 4, 5、は実験 1, 2, 3、に比較して Dimethyldichlorosilane の生成量において概して秀れているが、活性度は劣り反応に高溫を要し收率等も劣るようである。また実験 4 は水素ガスを混合送入したものであるが送入しない場合に比べて收率、触体の壽命等は秀れているが Dimethyldichlorosilane の收率は比較的小く、低沸点物（58°C 付近）ができるが送入しない場合にはほとんど生成しない。（3 図実験 4 の分離曲線、4 図実験 5 の分離曲線参照）

## 3. 総括

(1) 焼結合金 (Si-Cu) の構造を知るため、この場合もつとも生成すると考えられる Si-Cu (13:87) の通常合金を作り、焼結合金 Si-Cu (85:15)、通常合金 Si-Cu (13:87) の X 線回析写真を撮り格子面間隔  $d$  (Å) を求め比較したが両者は別個のものであり、焼結合金は構造、文献に記載のない他の相を形成していることを知りえた。

(2) 純度約 75% の珪素を用いて Si-Cu の加圧成型物を作り触体の清浄化および活性化を目的とし真空中焼結合金を作り触体として用い Alkylchlorosilane の收率、Dialkyldichlorosilane の收率を高めた。

(3) Si-Cu (85:15) 焼結合金の Cu の出発物として  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  と  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  を比較し收率、活性度においては  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  が秀れているが Dialkyl- 誘導体の收率を高めるためには後者の方が有利であることが判つた。また Cu の含有量の多いときには Dialkyl- 誘導体の生成は少く触体の壽命も短いことを知りえた。

(4) Halogenalkyl と水素ガスを混じて反応せしめるときは收率および壽命の点において秀れた結果がえられるが Dialkyl- 誘導体の收率は比較的小い。

付記、この研究を行うにあたつて研究費の一部は文部省科学研究費によつたことをここに明記す。

## 文 献

- (1) E. G. Rochow.; J. Am. Chem. Soc. 67 (1945)
- (2) D. T. Hurd., E. G. Rochow.; J. Am. Chem. Soc. 1057, 67 (1945)
- (3) 雄原・西川; 日本化学会第 2 年会（昭和 24 年）報告
- (4) 新宮; 学研報告

# B T 31 型 蓄電池式電動牽引車

近来あらげる方面に合理化の声が高いが、荷役ことに小運送方面では、とくにその必要が痛感されている。その要望の一端を満すべく、ここに当社の小型蓄電池牽引車を製作したのでその機能、構造を紹介したものである。

神戸製作所

竹内眞一  
斎藤

## 1. 緒言

工場、倉庫あるいは駅構内等において使用される小型牽引車には、取扱いならびに操縦の簡便・静粛・清潔等の利点の故に、蓄電池式牽引車が好んで使用される。もちろん蓄電池車にはガソリン車に比して、重量の過大、一充電走行距離の短いこと、低速で登坂能力も小さい等の根本的な短所はあるが、その使用方法、場所に応じては、その欠点を補つて十分にその能力を發揮せしめることができる。したがつて使用者としては、その欠点を最小限に止めるような考慮が必要である。たとえば使用通路にしても、凹凸の激しいあるいは急勾配の多い通路には蓄電池車は適しない。これはいたずらに蓄電池の寿命を短くし、結局経済的に引合わないものとなる恐れがあるからである。

ここに発表する当社の蓄電池式牽引車は、従来のこの種の牽引車に対する構造、機能をあらゆる観点から検討した上で、電気的・機械的作動の安全・確実・操縦・点検および修理の簡易・蓄電池入換・付随車連結切放等の準備時間の縮少・狭隘な場所における運転の自由・軽快・さらに各構造部分の耐久性等を考慮して製作されたものである。以下にその機能、構造について紹介する。

## 2. 仕様

型式 B T 31 型蓄電池式電動牽引車

外形寸法

全長	2,400 mm
全幅	1,200 mm
全高 (路面より操向ハンドル上端まで)	1,500 mm
(路面より車体上面まで)	710 mm

軸間距離	1,530 mm
------	----------

車輪間距離	980 mm
-------	--------

連結器中心高	410 mm
--------	--------

車輪 (前輪 1, 後輪 2)	外径 510 mm
-----------------	-----------



1 図 外観

幅	125 mm
最小旋回半径 (車体内側)	470 mm
(車体外側)	2,250 mm
重 量	
車体重量	1,350 kg
蓄電池重量	550 kg
全備重量	1,900 kg
牽引性能	
平坦路牽引力	常用 100 kg 最大 245 kg
平坦路牽引重量	常用 4 t 最大 9 t
最大走行速度 (平坦路)	
牽引車単独	11 km/h
4 t 牽引	8 km/h
9 t 牽引	5.6 km/h
登坂性能 (4 t 牽引の場合)	
坂路勾配	1/13
登坂距離	100 m
登坂速度	3 km/h
積載可能重量	800 kg
蓄電池	

型 式	TRAL-6型 (24個木箱入)
電 壓	48 V
容 量 (5時間放電率)	168 AH
電 動 機	
型 式	直流直巻密閉型 (MB-2008-B)
定 格	1時間
出 力	3 HP
電 壓	45 V
電 流	70 A
回 転 数	1,150 r pm
動力伝達装置	
2段減速差動傘歎車式	
減 速 比	22.5 : 1
制 御 方 式	
折衷制御方式	
速 度 制 御	前進3ノッチ, 後進2ノッチ
制 動 装 置	
機 械 的 制 動	足踏式外面圧縮型
電 気 的 制 動 (非常用)	発電制動式

### 3. 限界牽引重量と粘着計数

本牽引車は後車輪が動輪となつてゐるから、その限界牽引力は動輪荷重と動輪、路面間の粘着系数との相乗積によつて決定される。そして動輪荷重は測定の結果、牽引車重量 (運転者も含めて 1,950 kg) の約 80% で 1,580 kg であつた。

つぎに起動時の牽引車の出発抵抗は、その走行抵抗に比して遙かに大きい。工場において性能試験の際に得られた値は、4t 牽引の場合、全走行抵抗は 20 kg/t と推定されたのに対し、全出発抵抗は 75 kg/t であつた。もちろん被牽引車の出発抵抗は、その軸受構造ならびに潤滑状態によつて異なるので、この実験値をすべての場合に当はめることはできないが、この出発抵抗の大きいといふことが、牽引車の牽引能力を低下せしめ、かつ出発時に大なる電流を消費することになつて、必然蓄電池の寿命を短縮する一原因ともなるから、使用者としては被牽引車に対して牽引車に劣らず関心を持ち、その選択、保守に対して注意されることが望ましい。

前述のように、出発時には一定の牽引重量に対して走行時よりも遙かに大なる牽引力を要し、しかもこの起動牽引力は、その時の粘着系数によつて最大値が限定されるから、出発時に牽引しうる最大重量が、その場合の走行可能な最大牽引重量ということになる。したがつて走行時に出しうる最大牽引力によつて牽引重量を求めて、その牽引重量では動輪がスリップして発進することができぬから意味がない。

本牽引の常用牽引力 (連結器に現われる正味牽引力) は 100 kg であるから、被牽引車の走行抵抗を 25 kg/t とすれば、被牽引車重量は 4t になる。しかるに粘着系数 0.3 の場合は限界動輪牽引力は 474 kg であり、全

出発抵抗を 75 kg/t とすれば、牽引車をも含めた全牽引重量は 6.32 t、被牽引車限界重量は 4.37 t となり、常用牽引重量がほとんど限界牽引重量に達していることがわかる。前節仕様中にある最大牽引力ならびに最大牽引重量の値は、電動機の 30 分定格の時のものであるが、これだけの重量を牽引して発進するためには、粘着系数は 0.58 以上でなければならぬ。工場試験の際には、コンクリート鋪装路で 0.62 なる粘着系数が得られたから、路面状態によつてはこの最大重量を牽引しうるが、如何なる場合に当たれだけの重量を牽引しうるとは限らないことは承知されたい。また仕様中の登坂能力は、電動機の 2 分定格の時の値である。したがつて登坂距離は 100 m 以内の比較的短い距離に限られる。そしてこの場合の粘着系数は 0.37 以上なることが必要である。

上述のように、最大牽引重量は粘着系数と密接な関係があり、使用通路の如何によつては、牽引車の能力を十分發揮せしめ得ない場合も起りうるから、路面の整備ということはこの点からもまた重要視されねばならぬ問題である。

### 4. 制 御 方 式

蓄電池車の制御方式は、用途ならびに電動機の容量により、それぞれの特長に応じて適当な制御方式が使用せられており、大別してつきの 2 方式となる。

#### ア. 間接制御方式

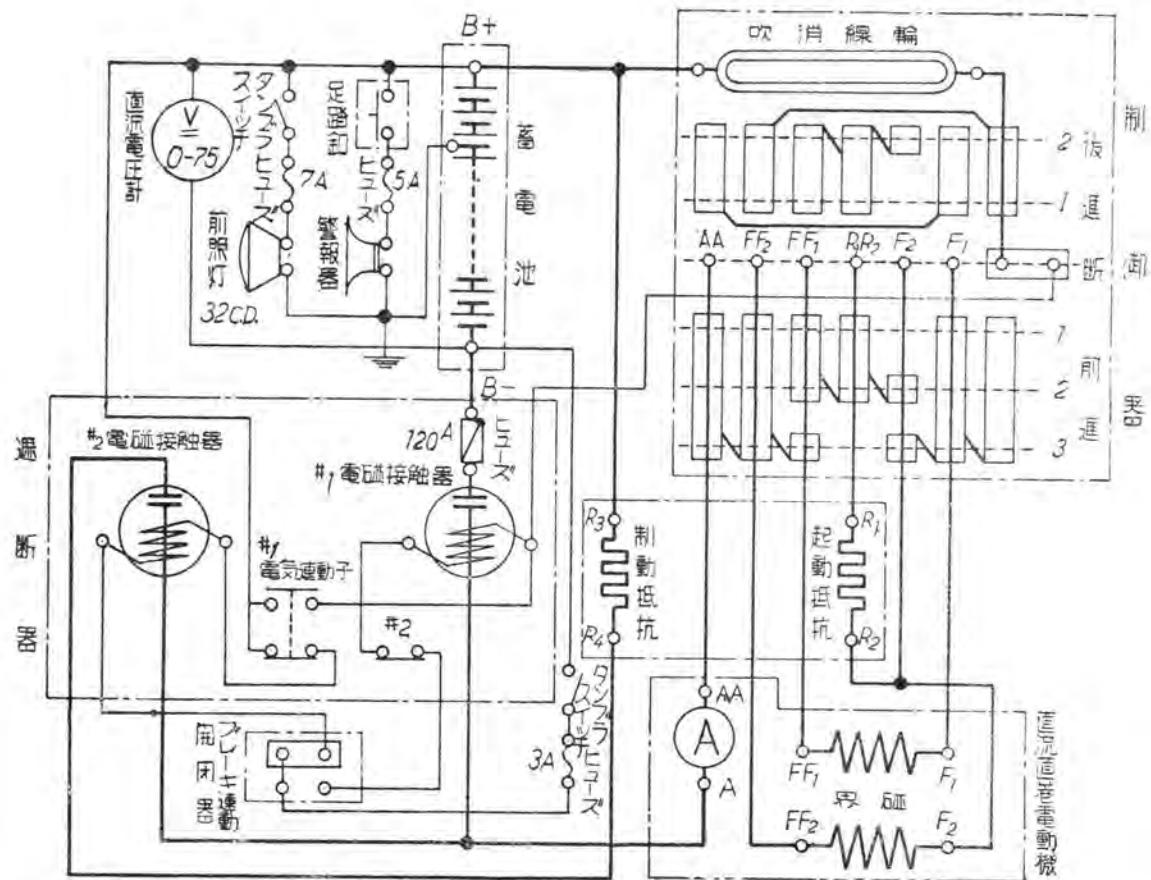
主幹制御器 (手動あるいは足踏式) により電磁接触器を作動せしめ、電動機回路を制御する方式で、蓄電池バス等の比較的電動機の容量大で制御段数も多く必要とするものに使用される。押鉗制御による方式は、起動、停止のみにて速度制御を行う必要のない場合には便利であるが、この種用途のものに対しては、かえつて制御が複雑となる欠点がある。

本方式によれば、電磁接触器により主回路を開閉するので、電流の遮断も容易で、かつ電気的運動も簡単に行なうことができる。

#### イ. 直接制御方式

主制御器を以て直接電動機回路を制御する方式で、主として蓄電池乗用車ならびに牽引車等の小容量電動機のものに使用される。一般に蓄電池車は、電池の関係上比較的低い電圧を使用する。したがつて同一容量の電動機でも、他の用途のものに比し電流が大きいので制御器も大きくなるから、できるだけ電池の電圧は高い方が制御器としては望ましい。

蓄電池牽引車としての制御方式を考えると、容量の点からは直接制御方式が適当であり、従来もこの方式が採用されているが、牽引車の場合は、ことに起動、停止の頻繁度が他のバスや乗用車に比較して激しく、したがつて制御器の使用状態は非常に苛酷であるから、従来の主制御器のみによることとは、制御器の接触部の損傷や制動機の磨耗も甚だしい。また直接制御では制動機との連動



2 図 全 体 結 線 図

も機械的となり、機構が複雑となる等の欠点がある

これらの点を考慮して間接制御方式と直接制御方式とを組合せ、制御における両者の特長を生かし、主制御器の他は主回路ならびに電気制動回路にのみ電磁接触器を使用して、苛酷な使用に対する電気的、機械的損耗を極力防ぎ、かつ制動機との連動も電気的に簡単に、制動の際は必要に応じてただちに電気制動がかけられるように設計したものが、当社の蓄電池牽引車用制御装置である。

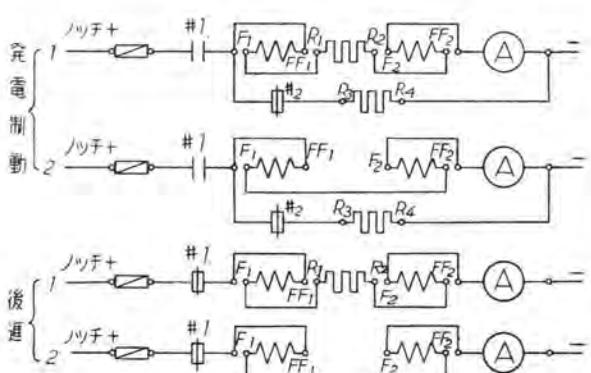
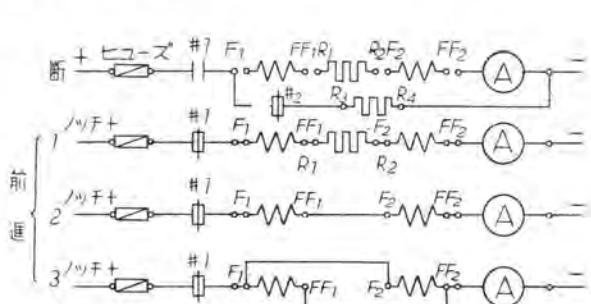
本蓄電池牽引車の制御方法の要点を挙げると、

(1) 制動機のペダルを踏めば制動機は弛み、制御器の「断」の位置で主回路電磁接触器が閉じる。したがつて制御器を前進あるいは後進にとつてを進めると、1, 2, 3とノッチにしたがい漸次加速する。ノッチ数は前進3、後進2とし、前進3段、後進2段の速度制御を行うことができる。

(2) 停止の際制御器を「断」の位置に戻せば惰力で走行し、制動ペダルを弛めるとただちに機械制動が掛る

(3) 急停止を行いたい場合は、制動機ペダルを弛めれば、制御器とつての位置はどこにあつても主回路接触器は開き、機械制動が掛るが、同時に制御器を逆方向(前進の場合は後進側に)に入れると、電気制動用電磁接触器が入り発電制動が掛つて、機械制動と共に急停止を行う。

(4) 制御器がいずれのノッチにある時でも、制動ペダ



3 図 主回路接続変換図

ルを弛めれば制動が掛るが、ふたたび制動を解いても制御器を「断」の位置に戻さなければ、再起動できぬように電気的連動が設けてあり、急に2, 3ノッチにおいて電動機が起動することはない。

(5) 電気制動は発電制動であるから、制御器を逆に入れて車が停止後逆方向に電動機が回転力を出すことはなく、また制御機を弛めても逆方向に起動することはない。

## 5. 制御回路

2図には全体結線図、また3図には主回路接続変換図をそれぞれ示す。簡単に回路について説明すると、主回路には可溶器を設け、短絡ならびに過負荷の場合には遮断して電動機を保護する。

制動機と連動せる制動用開閉器は、制動を弛めると、主回路接触器の回路の接点を開じてこれを励磁し、制動を掛けば主回路接触器の回路を開き、反対に制動用接触器を励磁する。両接触器には互に電気連動が設けられ、誤操作を防いでいる。

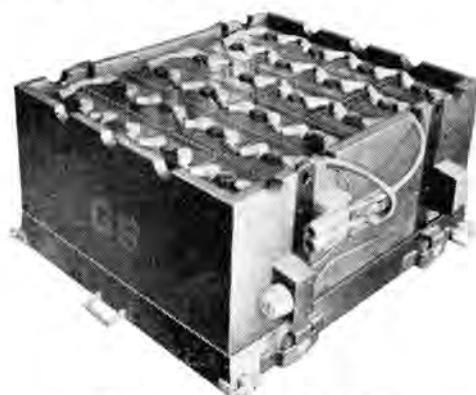
電動機は2個の直巻界磁を有し、起動抵抗は1段とし、直巻界磁を直列ならびに並列に接続変換を行い速度制御をする。一般的の直流直巻電動機のよう、起動抵抗を数段使用する方法は簡単であるが、電池を使用する場合は電池の消耗を極力避ける意味から、抵抗器による損失を少くした方が有利で、このため制御としては多少複雑になるが界磁の直並列接続変換を行っている。

通常発電制御回路を設けると、とくに直巻電動機の場合は回路の接続変換が複雑になり勝であるが、本制御器においては制動用電磁接触器を1個使用するのみで、主制御器ならびに制動用開閉器の操作と組合せて非常に簡単に発電制動が掛り、かつ運動も確実に行われる。

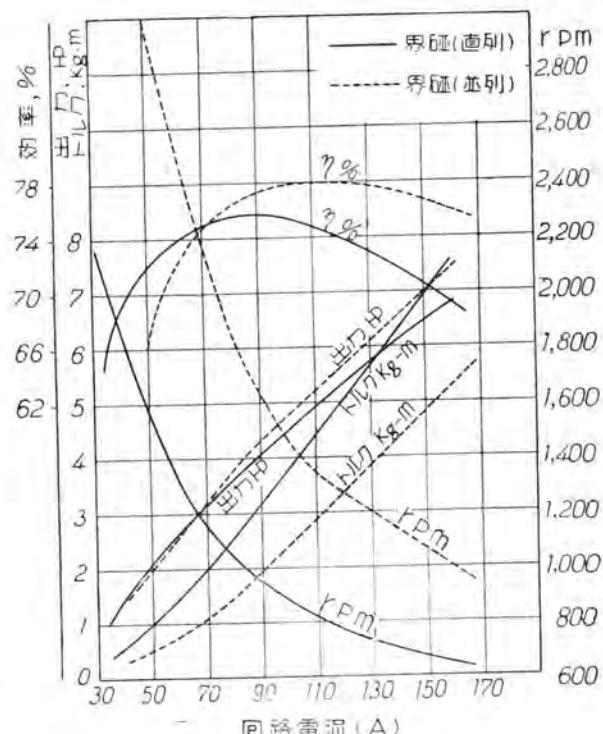
## 6. 構 造

### ア 蓄電池(4図)

蓄電池は、震動に耐えるエボナイト槽入移動用鉛蓄電池にして、24槽 48V を一組として木箱に納め、これを鋼製台車に積載したまま運転座席下部の蓄電池格納室に車体の両側面より挿入あるいは引出しうる構造になつてゐる。しかして格納室内においては、台車は車体に簡単にクランプされる。したがつて台車付の予備蓄電池を備えて置けば、牽引車をほとんど休止させることなく、能率的に使用することができる。



#### 4 図 蓄電池ならびに台車



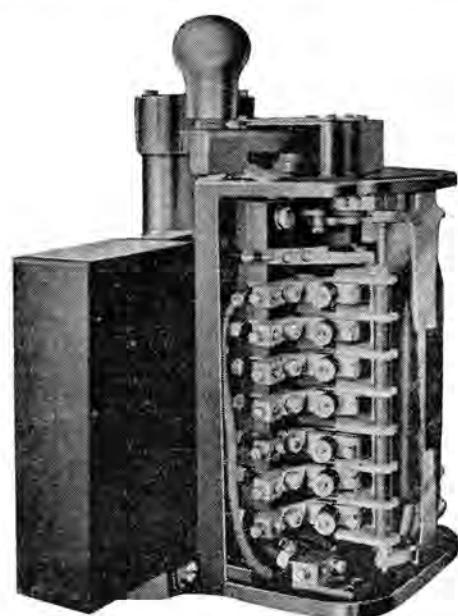
### 圖 5 曲線形狀機械運動圖

## 電 動 機

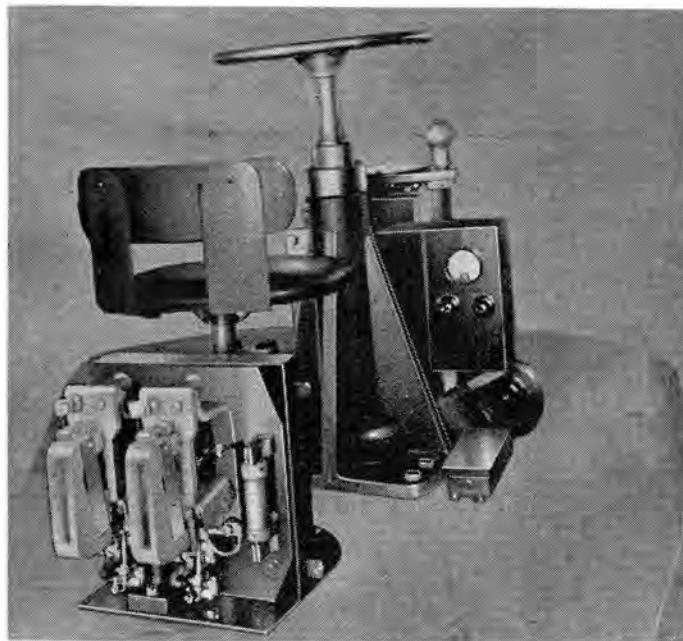
電動機は直流直巻密閉型、1時間定格 3 HP のもの 1 台を使用し、設計上震動に対する考慮を払つてある。また過負荷に対して回転数が急激に落ちる。換言すれば電流のわずかな増加に対して大なるトルクを出すように設計してあるから、蓄電池に無理をしない。5 図は本電動機特性曲線図である。

## ウ 制御器(6図)

制御器は堅型手動制御器であつて、操向ハンドルの前方に装備せられ、6図に見るとおり接触片の点検、調節



6 四壁龜器



7 図 電磁接触器

あるいは取換えに便利な構造となつてゐる。その機能については4節に述べた。

#### エ. 電磁接触器 (7図)

主回路用ならびに制動用電磁接触器は、ともに運転座席直後の電磁接触器箱内にあり、容易に点検、修理ができるようになつてゐる。その機能については4、5節に詳述した。

#### オ. 動力伝達装置 (8図)

動力伝達装置は後車輪駆動式であつて、電動機は鋳鋼製伝達装置ハウジングにボルト締めし、電動機の回転は2組の平およびハスパ歯車によつて1/22.5に減速され、さらに差動傘歯車装置、駆動軸を経て左右の両車輪に回転を伝える。歯車および駆動軸はいずれも肌焼鋼製、また軸受はテーパーローラならびにボール軸受を用い、すべてハウジング内に密閉され、しかし潤滑油に漬つて回転する構造になつてゐるので、動力損失・強度・寿命等あらゆる点から見て十分信頼を置くことができる。

#### カ. 駆動部安定装置 (9図)

動力伝達装置ハウジング両端の案内溝は、従来のと



8 図 動力伝達装置

BT31型蓄電池式電動牽引車・竹内・斎藤

種牽引車とどうように車体両側の案内溝にはまり、上下に摺動しうるようになつてゐるが、8図に見るように、さらにハウジング上部から垂直部分が上方に伸び、これが車体揚蓋直下において、車体に装備された2個のローラによつて狭まれてゐる。しかしてローラは発条によつて互いに引張り合ひ、かつ一方のローラは多少水平方向に動きうるようにしてある。9図はこの部分の構造を示す。このローラの水平方向の動きをある限度に抑えると、走行中車輪に加わる衝撃や、加速あるいは減速時に駆動部のアンバランスにより、ハウジングの案内溝が車体の案内溝においてこじれるようなことが無い。したがつて案内溝の磨耗の減少や、運転中車体に加わる衝撃の緩和等のために、円滑な運転、ひいては牽引車寿命の延長を期待することができる。

#### キ. 操向装置

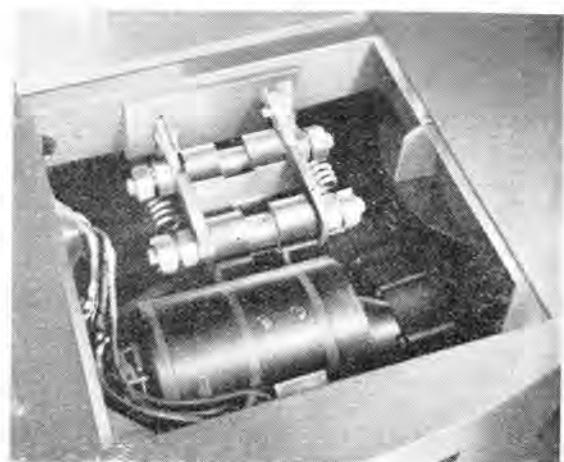
本牽引車は、その使用上頻繁に制御とつてを操作する必要があるために、右手は常に制御とつてにかけ、操向ハンドルは左手のみで操作しなければならない場合が多く、したがつて操向ハンドルは片手操作ができる程度に軽くされるようにし、また使用上急カーブが多いことを考慮して、最小旋回半径もできるだけ小さく探つてある。操向軸は鋳鋼製ハウジング内にて上下に2分せられ、前車輪の走行中に受ける衝撃が、軸を通してハンドルに全然伝わらぬようにしてある。なお、下部操向軸が受ける推力はスラストボールベアリングで支え、操向の円滑を期するために、さらにラジアルボールベアリングを挿入してある。

#### ク. 発条

激動を緩和するために、8図に見られるような可撓性に富み、かつ強力な二重巻発条3組を前後各車輪の上部に備え、車体を支持している。

#### ケ. 車輪

前車輪1個、後車輪2個を有し、各車輪の軸受はラジアルボールベアリングを使用して、動力の損失を極力軽



9 図 駆動部安定装置

減している。タイヤは軟鋼製内環を有する中実ゴムタイヤで、前後車輪とも同一寸法のタイヤを使用しているから、スペアの数は少くて済み、かつタイヤの取換えは簡単になしる構造になつていて、タイヤ寸法は2節仕様のとおりである。

### コ. 制動装置

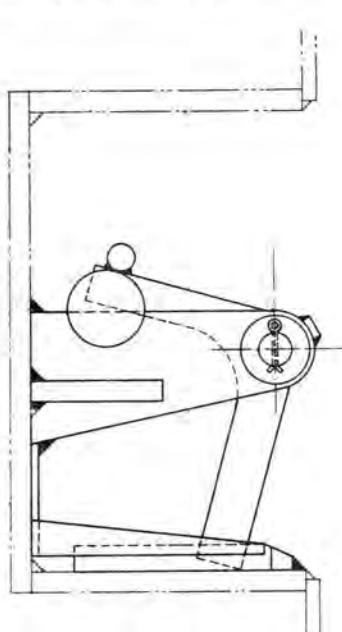
電気制動、あるいは電気制動と機械制動との関係については、すでに4、5節で詳述したから、ここでは機械的制動装置の構造についてのみ説明する。

機械制動は常時使用するものであつて、制動機はギヤーケースと反対側の電動機ブレケットに装備せられ、電動機軸端には制動輪がはまつていて、2本の制動腕は圧縮巻発条により制動輪を締めて制動力を与え、発条の力は任意に調節することができる。制動靴裏張としては石綿織物製裏張を使用している。

この制動機の操作は、運転席左前方床面上に在るペダルによつて行われ、ペダルと制動機との間はリンクによつて連結され、軽少な力で制動機を操作することができる。この種小型牽引車においては、機械制動はこの装置だけで、一般自動車のように他にハンドルブレーキが付いていないのが普通である。したがつて停車時の安全を期すため、ペダルを踏んでいない時はつねに制動状態にあり、走行中はつねにペダルを踏んでいなければならぬことが注意すべき点である。

### サ. 車体(1図)

車体は山形鋼を骨組として、これに軟鋼板の外覆をしたもので全溶接構造である。とくに車輪支持部、連結器取付部は十分の強度をもたせてある。運転席席後方は荷物の積載場所となり、800 kgまでの荷物を載せることができる。なおこの部分は揚蓋となつていて、駆動部分の点検を容易ならしめている。



10 図 連 結 器

連結器は車体後尾に設けられ、10図に示す如き構造を有する。すなわち被牽引車の連結環を押し込めば確実に連結され、切放す時は、連結器のカウンターウェイトを持上げて連結環を引出せば宜しい。

### シ. そ の 他

以上の説明中にあつた機器のほかに、なお下記のものが装備されている。

- (1) 電気警笛(足踏スイッチ式)
- (2) 前照灯
- (3) ポルトメータ(蓄電池用)

## 7. 試験記録

### ア. 牽引引力試験

最大牽引力(発進時) 900 kg

4t 牽引 発進時 380 kg, 走行時 100 kg

### イ. 走行試験

1表の如し。

1表 走行試験

	2メッシュ	3メッシュ
牽引車單独	8.75 km/h	11.2 km/h
4t 牽引	6 km/h	8.04 km/h

### ウ. 慢行試験

初速 11.2 km/h

惰行距離 26.2 m

平均減速度 0.185 m/s<sup>2</sup>

### エ. 制動試験(牽引車単独)

初速 11.2 km/h、制動距離は2表の如し。

2表 制動試験

	制動距離	平均減速度
機械制動	2.45 m	1.98 m/s <sup>2</sup>
機械並電気制動	1.25 m	3.87 m/s <sup>2</sup>

2節仕様中にある9t 牽引の場合の数値は、実際には工場施設の関係上実施できなかつたので、最大牽引力試験および電動機の特性試験の結果から推算したものである。また登坂試験は実験場所の不適当なために、信頼すべき結果が得られなかつたので、仕様中の数値もまた電動機の特性試験の結果から推算したものであることをここにおことわりして置く。

## 8. 結 言

以上BT 31型蓄電池牽引車についてかなり詳細に紹介した。結局、如何に優れた性能をもつ機械といえども、その使用法、保守ならびに環境等において、機械の根本的な短所をできるだけカバーする心配りがなければ、十分にその特長を發揮させることができない道理であるが、蓄電池牽引車に対してはことにこの心構えが必要である。

本牽引車も過去約半年間、連日工場で実際に使用してきたが、運転者の不慣れや、通路の悪いこと等のために数回の故障を起した。しかしそのため設計上再検討を加える機会が得られ、その都度改造を加えて今日に至っている。現在では設計上の問題は出盡した感があるので、ここに公表する次第である。

# 真 空 ゲ ー ジ に つ い て

実用的真空計として使用可能な電離真空計と放電型真空計について: McLeod 真空計と比較してその特性を測定した。その結果前者は  $10^{-3}$  mm Hg より  $10^{-7}$  mm Hg の範囲で、後者は  $10^{-1}$  mm Hg より  $10^{-5}$  mm Hg の範囲で真空ゲージとして実用に供することができた。ここではゲージ用管球の構造、ゲージの原理および特性、さらにその付属装置について簡単に説明した。

研究 所 永 敦  
藤 後 藤 正 之

## 1. 緒 言

電気技術とともに電子工業と真空技術とは密接な関係があり、水銀整流器・受信真空管・送信真空管・螢光灯・放電管等いずれも高い真空度を必要とするものである。真空度をあらわすには水銀柱の高さをもつてするのが普通で、水銀柱何粂の真空度 ( $\sim$  mm Hg) と表示する。1気圧が 760 mm Hg に等しいことは今さらいうまでもないが、普通に高真空といわれるものは大体  $10^{-3}$  ~  $10^{-7}$  mm Hg 程度の真空度である。この真空度を測定するための真空ゲージは真空ポンプと共に真空技術の重要な一分野であり、その測定方法もいろいろ研究されている。測定方法の中でもつとも普通で確実なものは水銀柱の高さの差を拡大して読む McLeod 真空計であるが、実際に直読できて取扱いの簡単な電気的方法が種々考えられている。

当社では水銀整流器用として Pirani 真空計が以前から研究製作されて実用に供されている。これは気体の熱伝導度が真空度によつて異なることを利用したもので  $10^{-1}$  ~  $10^{-3}$  mm Hg の範囲を測定するに適する。さらに電気的真空計としては電子が気体分子と衝突してこれを電離する確率が真空度に比例するという原理を用いたのが多い。その代表的なものは電離真空計である。これは 3 極真空管において格子、陽極のいずれかを陰極に対して正に保ち他を負に保つておくと、負電極を流れるイオン電流と正電極を流れる電子電流との比は真空度に比例する筈であるから、この値を測定して真空度を決定するものである。測定範囲は  $10^{-3}$  ~  $10^{-8}$  mm Hg で高真空用の比較的精密な真空計として用いられる。さらに最近に至り真空放電を磁界中で行わせることにより放電を高真空まで持続することができ、かつその放電電流が真空度によつて変化することが認められた結果、これが実用的真空計として用いられるようになつた。これは放電型真空計あるいは Philips Gauge と呼ばれ  $10^{-1}$  ~  $10^{-6}$  mm Hg の範囲で使用可能であり、精度は電離真空計に劣るが熱陰極を必要としない点等実用上便利なので多く用いられるようになつた将来性のある真空計である。

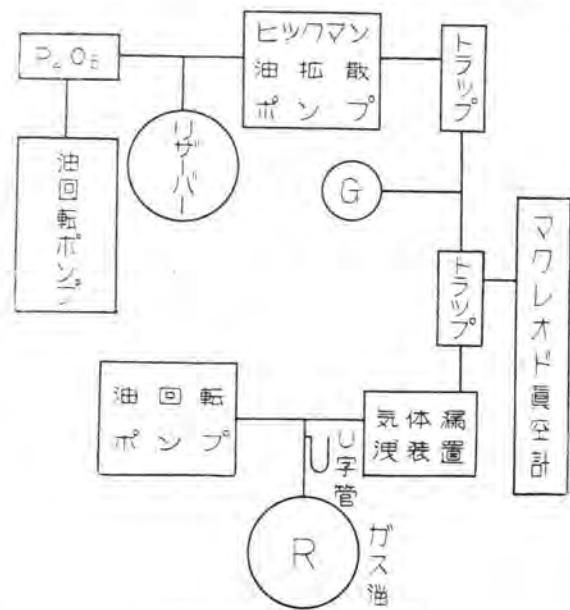
研究所において電離真空計と放電型真空計とを試作して真空計としての諸特性を測定した結果、実用的真空計として使用しうることが認められたのでこれについて述べてみたい。

## 2. 測 定 装 置 概 要

電離真空計および放電型真空計の特性を求める、真空度の較正に使用した装置は 1 図の如きものである。

図において、 $G$  は被測定真空計で、 $G$  のイオン電流の大きさと、McLeod 真空計の読みとを比較して較正を行つた。測定結果で注意を要するのは、気体の種類によつて電離度が違うため、さらに測定に使用した気体について較正しなければならない。

トラップにはドライアイスを用いて、水銀ならびに油の蒸気が被測定真空計に入るのを防いだ。真空度を任意の値に保つために、素焼の磁器と水銀を使用した気体漏洩装置を用い、かつ広い範囲に真空度を変化させるため



1 図 測定装置概要

に、補助ポンプでガス溜  $R$  の真圧度を数 mm Hg から  $10^{-1}$  mm Hg まで変化せしめて、 $G$  の真圧度を  $10^{-1} \sim 10^{-8}$  mm Hg の間の一定値に保つことができた。

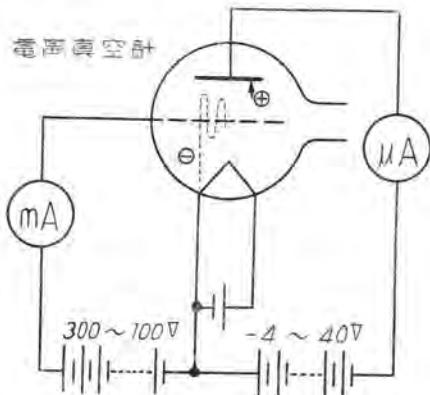
McLeod 真空計と被測定真空計の読みの時間的遅れ(気体の流れによる)は計算によると 15 秒程度であるので連続測定が可能であった。

なお、測定に先立つて、装置各部よりの吸収ガスの排除と、電極各部の吸収ガスは十分に放出せしめ、実験中にガスの放出がないように注意した。

### 3. 電離真空計 (Ionization Gauge)

## ア. 原理と構造

2 図に示すごとく、3 極真空管において、フィラメントに対して、格子を +150~300 V、プレートを -4~40 V の範囲の一定値に保つとき、加熱されたフィラメントから出た電子は格子により加速されて、一部は直接格子に、一部は格子を中心へ往復運動をして遂にグリッドに捕集されて電子電流となるが、この電子は運動中に



## 2 図 もつとも簡単な真空度測定回路

管内の気体分子に衝突して電離し、生じた陽イオンは負電圧のプレートに吸収されて、プレート回路にイオン電流として流れる。このイオン電流  $I_i$  (A) と電子電流  $I_e$  (A) の比は電子が気体分子に衝突してこれを電離する確率であり、これが管内残留気体数に、すなわち真空度  $P$  (mm Hg) に比例することは理論的にも実験的にも確められている。すなわち

この比例定数  $K$  は、普通電離真空計の感度と呼ばれ、電極の構造、電極に加える電圧、気体の種類によつて定まるもので、この値の大きいものほど電離真空計の感度が良い。通常、空気で 5~10 の値をとるが、さらに値の大きいものも発表されている(1)。しかしこれらは製作、取扱いが困難で実用的でない。

(1) 式の成立する範囲は理論的には、電極間の距離に対して電子の平均自由行程が十分に大きくなる真空中  $10^{-2}$  mm Hg より無限に良い真空中まで成立する筈であるが、真空計の電極、その他から放出される気体のために  $10^{-7} \sim 10^{-8}$  mm Hg が限度である。

なお、適当な工夫によつて電子電流  $I_e$  を一定に保つ

と(1)式は

$$Ii = KP \quad \dots \dots \dots \quad 22$$

となり、あらかじめ  $K$  を測定して置けば  $Ii$  の値からただちに真空度を知ることができる。

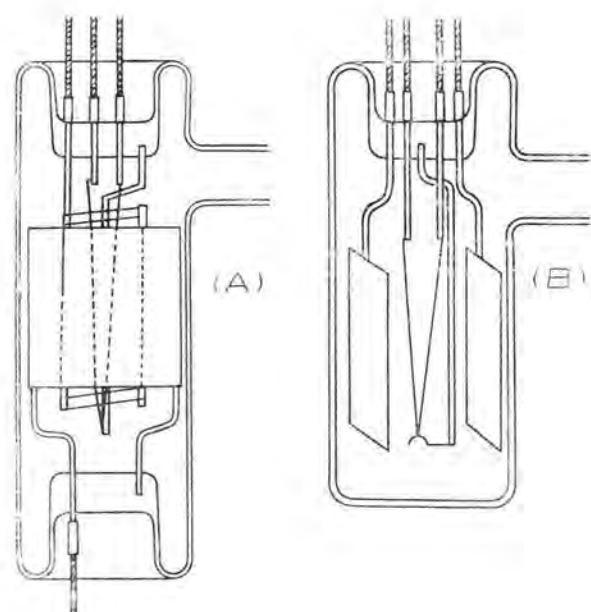
以上述べた点より、電離真空計として構造上要求される点は

- (1) 感度の良いこと
  - (2) 電極間に電流漏洩のないこと
  - (3) 真空度の広い範囲で安定に動作すること
  - (4) 電極の吸着ガスを除きやすいこと
  - (5) 製作しやすいこと

これらの要件をみたすために 3 図 (A) の如き構造として、感度をあげるために格子に正の電圧を加えて電子走行距離を長くし、かつ電極間の絶縁を良くするような工夫をした。なお 3 図 (A) に示すものの電極の大きさを種々変えてもつとも感度の良いものを求めた結果図示の形のもので空気に対して  $K=25$  を得た。3 図 (B) は Fogel 型電離真空計<sup>(2)</sup>と呼ばれ、製作はもつとも簡単であるが、電子の往復運動が起らぬため走行距離が短かく感度が低い欠点がある。われわれの測定では  $K=3.5$  であつた。(10 図参照)

### 1. 测定回路

もうとも簡単な測定回路は 2 図に示したものであるが、この回路では、真密度の変化につれて電子電流が変化するため、測定が不便であり実用的でないので、電子電流を一定に保つ装置と、検流計またはマイクロ電流計でしか読めない電離電流の増幅装置をもち、電源を交流 100 V よりとり、電源電圧の変動を除くために定電圧放電管をつけた装置を試作して測定に使用したが、測定が非常に楽で装置につけた電流計で真密度を直読できる利点がある。この利装置の回路を 4 図に示し、各部につ



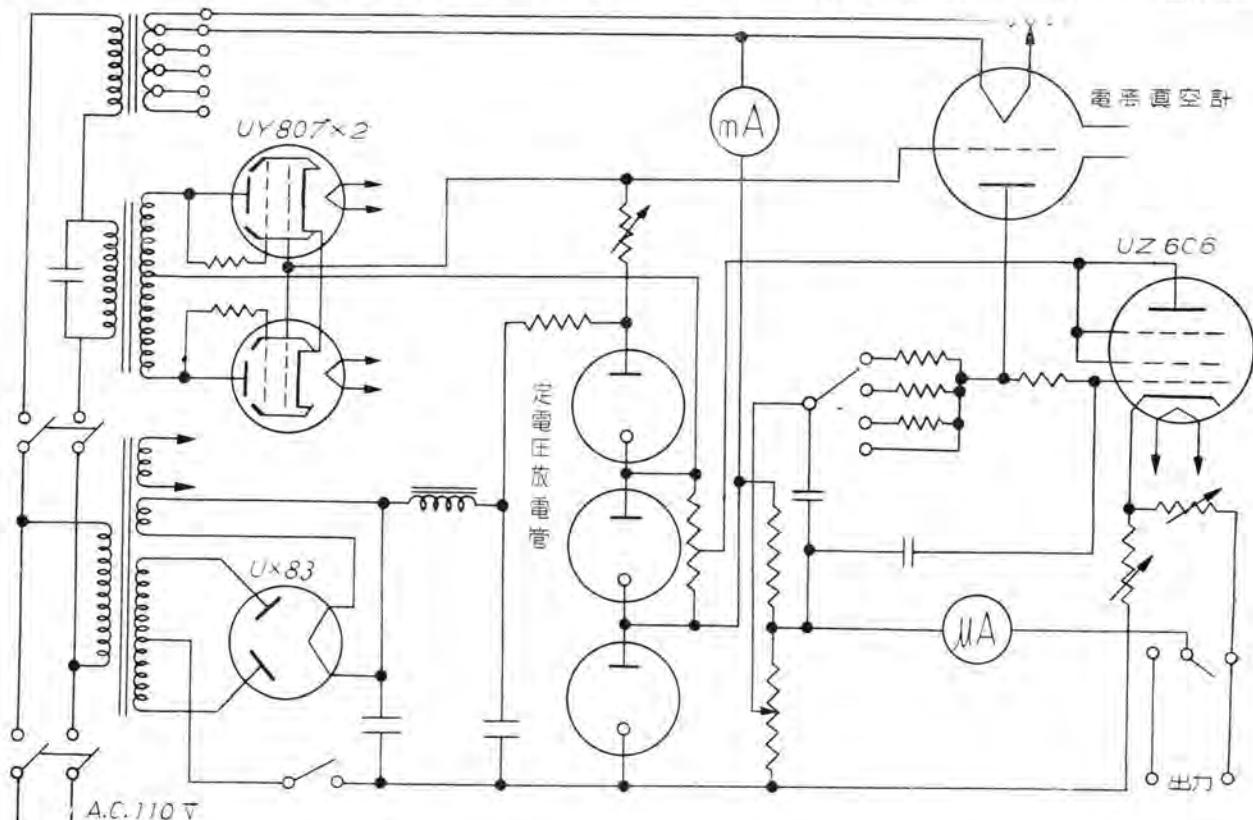
### 3 図 實測真空計の構造

いての簡単な説明をつぎに述べる。

(1) 電子電流制御装置 電離真空計による真密度の測定は(1)式より  $P = I_e / K I_e$  の関係があるから、 $I_e$  がつねに一定であることが便利である。この電子電流  $I_e$  の変化は真密度の変化と電源電圧の変動によるものであるが、真密度の変化によるものは、たとえば真密度が悪くなればフィラメントの温度が低くなり電子電流が小さくなるのであるから、電子電流の変動に応じてフィラ

mA とすると  $P = 10^{-3} \sim 10^{-6}$  mm Hg の真密度に対し  $I_e$  は  $10^{-5} \sim 10^{-8}$  A の間の電流が測定されねばならない。このために入力の大きさに応じて増幅度を切換えて、 $100 \mu\text{A}$  の電流計で読みうる程度に増幅してやれば便利である。この程度の増幅によつて、真密度が悪化した場合の保護装置を動作させることもできる。

われわれは UZ 6 C 6 を 3 枚管として使用した平衡回路を用いた。7 図に示した増幅回路について動作を述

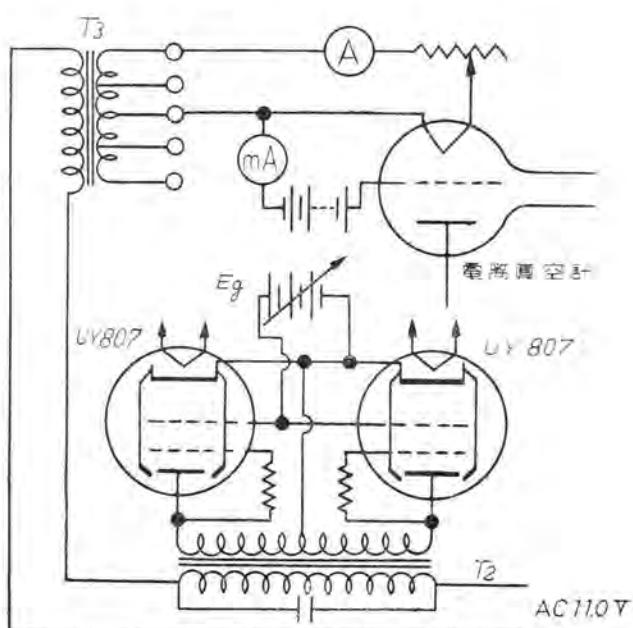


4 図 測 定 回 路

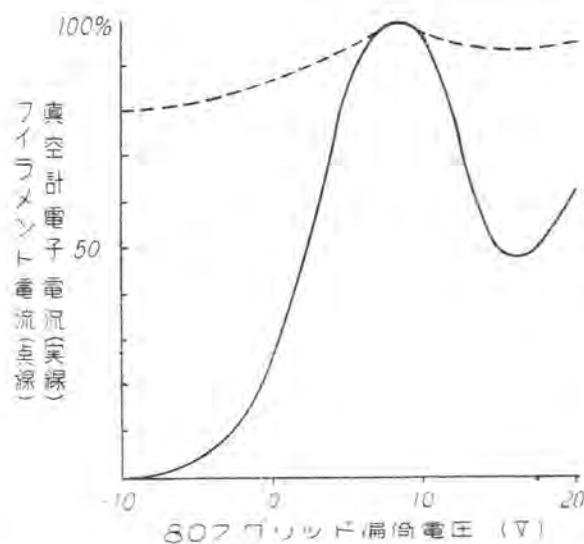
メントの温度を自動的に変化させてやれば良い。この目的で繼電器を用いてフィラメント回路を断続したり、フィラメント回路にサイラトロンを直列に入れて、電子電流の変化を電圧変化としてこのサイラトロンのグリッドに加えて制御する方法<sup>(3)</sup>等あるが、われわれは 5 図に示す如き回路<sup>(4)(5)</sup>を用いた。2 個の変圧器  $T_2$ ,  $T_3$  の 1 次側を直列にして電源に接ぎ、2 次側は一方をフィラメントに、他の方を UY 807 の陽極に繋いで、真空計の電子電流の変化（たとえば増）を抵抗  $R$  による電圧の変化（増）として UY 807 の第一グリッドに加えると、UY 807 の陽極電流の変化（減）となり、これが変圧器  $T_2$  の 2 次側のインピーダンスの変化（増）となつて、 $T_2$  の 1 次側の電圧降下が変り（増）、したがつて変圧器  $T_3$  の 1 次側の電圧降下が変り（減）、フィラメントの電圧を変化（減）さす結果となる。電源電圧の変動が原因で電子電流の変化を生じた場合もどうようである。5 図の回路より得られた関係を 6 図に示す。

(2) 電離電流増幅装置<sup>(6)</sup> (1) 式で  $K = 10$ ,  $I_e = 1$

真空ゲージについて・藤永・後藤



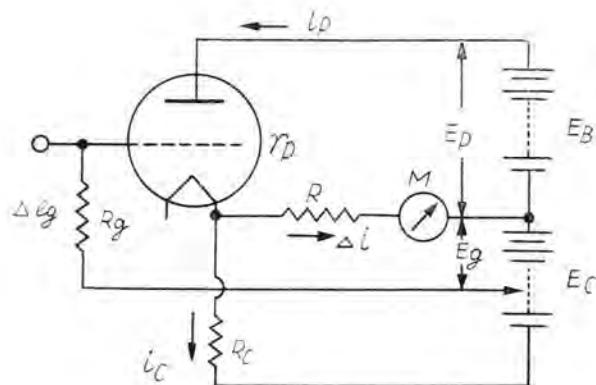
5 図 電子電流制御回路



6 図 807グリッド偏倚電圧に対する電子電流の変化とフィラメント電流との関係

べると、入力○の時メータ  $M$  は真空管のプレート電流 ( $i_p - i_e$ ) と  $E_e$  の  $R, R_e$  を通る放電電流によって平衡しているが、入力電流  $i_a$  が  $R_g$  に入ると真空管のグリッド偏倚電圧が変化して、 $i_p$  が変化するため平衡が破れてメータがふれる。いま、入力による  $R_g$  の電圧降下が  $\Delta e_g$  のとき出力側のメータの偏れ  $\Delta i$  は計算により

$$\Delta i = g_m \Delta e_g \frac{1}{1 + \left(\frac{\mu+1}{\mu}\right) R g_m} \quad (3)$$



7 図 イオン電流増幅回路

となる。ここに  $g_m, \mu$  は真空管の定数である。この式から得られる増幅度と実測値を比較して、両者よく一致しかなり広い範囲で直線的な増幅をすることが判つた。

#### ウ. 特性と 2, 3 の検討

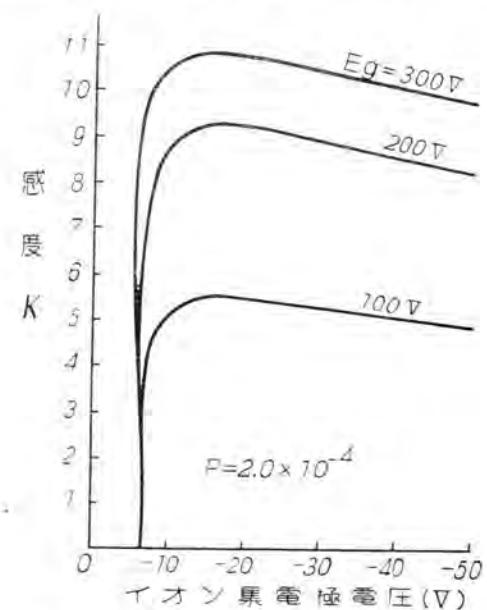
(1) 感度の測定 感度  $K$  の値の正確な決定はこの真空計にもつとも重要な問題である。感度は前述したように、電極の構造、使用電圧等によるものであるが、電圧に対する関係は 8 図に示す如きものであり、イオン集電極の電圧に対してはほとんど影響されないが、イオン集電極電圧が低

くなるなど感度の下るのは、電子の走行距離が短くなるためと考えられる。

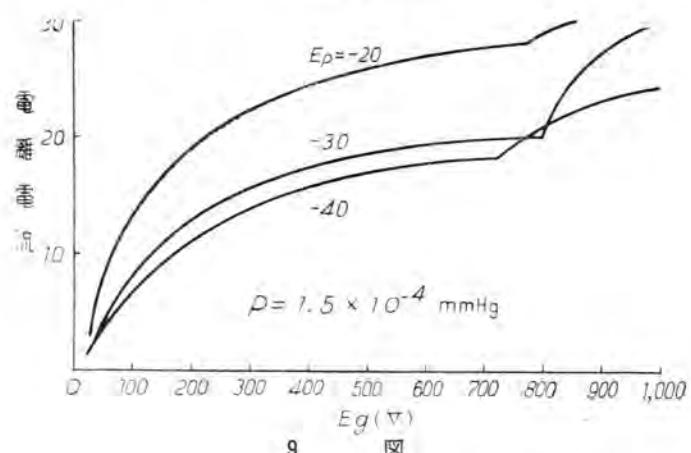
9 図は真空度一定の時、陽電圧に対する陽イオン電流の関係を示すもので、陽電圧 700 V~800 V 附近で急激に陽イオン電流が増加しているのは、加速電圧が大きくなると正電位にあるグリッドに高速度の電子が衝突し 2 次電子を放出し、それがふたたび気体を電離するためであるとされている。

これらの関係より、 $K$  の値は既知の真空度で一定の陽電圧とイオン集電極電圧を与えて、任意の電子電流に対する電離電流を測定して  $I_e/I_e = KP$  の関係より求めることができる。

(2) 真空度の較正 前に述べた測定装置を用いて電離真空計の較正 McLeod 真空計に対して行つた結果を 10 図に示す。この図で判るとおり真空度とこの真空計の電離電流とは非常に良い直線関係を示すが、 $10^{-6} \text{ mm Hg}$  より良い真空度においては実際の真空度よりも電離電流の方が大きく出る傾向がある。(10 図に点線で示した) これは電離真空計の管球内部に電極各部脱ガスを行



8 図 イオン集電極電圧と感度との関係



9 図

分に行い、ドライアイスとアルコールのトラップで十分冷却すれば防ぐことができる。10図には電極寸法の異なる3種の電離真空計と Fogel型電離真空計の校正曲線を併記して参考に供した。

(3) 2, 3の検討 以上述べた所により、電離真空計の長所を列記すればつきのとおりである。

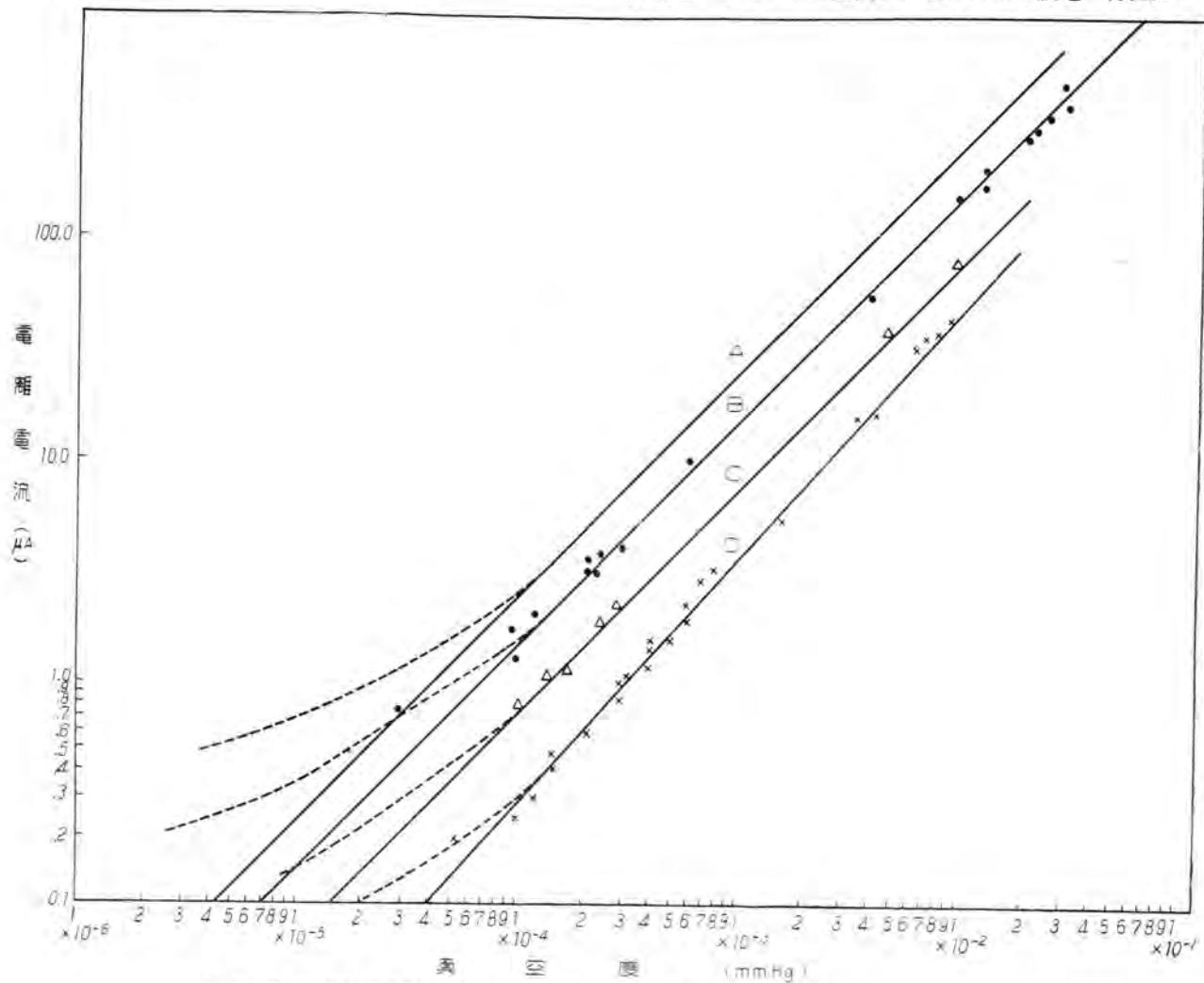
- (1) 高真空の測定が可能である。
- (2) 精度は有効数字2桁まで正確に全測定範囲にわたって読める。
- (3) 十分処理して使用すれば動作はきわめて安定である。

るからで、高真空の測定には不可欠のものであろう。

#### 4. 放電型真空計 (Philips Gauge)

##### ア. 磁界中の放電

数 mm Hg~ $10^{-2}$  mm Hg の範囲で気中放電の状況が真空度の指示器となる事は Geisler 管としてよく知られているが、この気体放電は  $10^{-2}$  mm Hg 程度で停止して終うので、それより高真空の真空度指示器とはならない。1936年和蘭の Penning (Philips 会社) は円筒型電極の軸方向に磁界を加えることにより放電も高真空まで持続させうることを見出し、さらにその放電の特性につ



10図 電離真空計の空気に対する校正曲線 ( $I_e=1\text{ mA}$ のとき)

- |                        |                                |
|------------------------|--------------------------------|
| (A) 3図 (A)型による, $K=25$ | (C) 3図 (A)型による, $K=7$          |
| (B) 同上                 | (D) 3図 (B)型 Fogel型による, $K=3.5$ |

(4) 製作も比較的容易である。

これに反して短所はつきのとおりである。

- (1) 低真空で使用することができない。
- (2) 電極各部の吸収気体の排除が面倒である。
- (3) 付属装置を必要とする。
- (4) 気体の種類によつて補正しなければならない。
- (5) 比較的寿命が短い。

等であるが、これらの短所があるにもかかわらず真空技術上重視されるのは他の真空計の持たぬ長所を持つてい

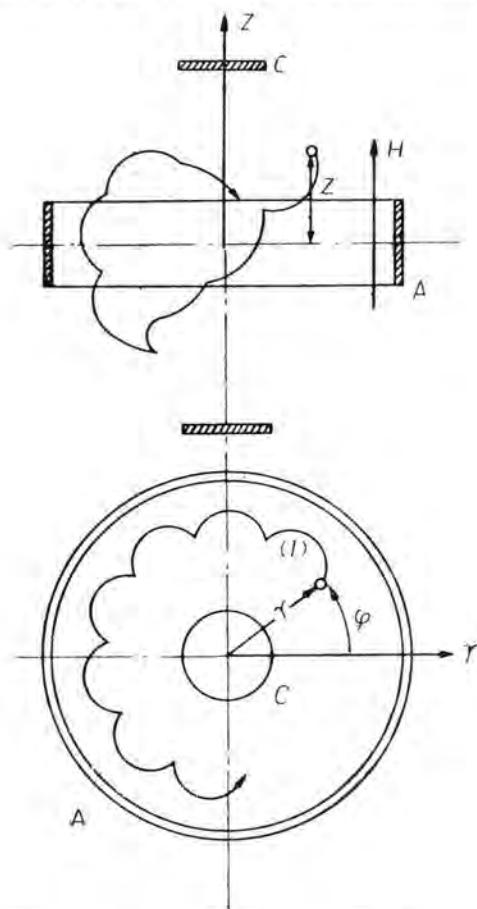
真空ゲージについて・藤永・後藤

いて種々の実験を行つた結果このものを真空計として使用しうることを確めた。(7)(8)

Geisler 管のような電子源を持たない放電管の放電機構は、最初管内に偶然存在した自由電子（これは宇宙線その他の放射線によつて空気が電離されて生じたものと考えてよい）が電界の方向に加速されて運動し気体分子と衝突これを電離してイオンと電子を発生、この作用が連鎖状に促進されて放電電流を形成するに至るのである。所が真空度がよくなると管内に存在する気体分子の

数が減少し(すなわち電子の平均自由行路が長くなつて)電子と気体分子との衝突の確率が甚しく小さくなる結果、上のような連鎖反応が維持され得なくなつて放電が終熄するのである。この場合放電を高真空中まで維持するためには電子と気体分子との衝突の確率を大きくすればよい。これは電子が陽極に達するまでの走行距離がその真空中における平均自由行路より長くなればよい。磁界を電子の進路と直角に加えると電子は空間内で螺旋運動を繰返すので走行距離が大きくなつて高真空中でも十分放電を起しうることになる。

11 図に示すように円筒形電極  $A$  の両側に 2 枚の円板電極  $C$  をおいて、 $A$  を  $C$  に対して  $A$  電位に保ち、その軸方向に磁界を加えたものとする。これは等電位面が回転双曲面であるような電界の軸方向に磁界を加えた場合とどうようであつて、このような電磁界中の電子の運動は図に示すように、円筒座標  $r$ ,  $\varphi$ ,  $Z$  をとれば理論的に導き出すことができ、サイクロイド状の運動に  $Z$  方向の往復運動が合成されたものである。このように電子の  $r$  方向の運動が磁界によつて制限されるため、電子は陽極に達することなく、いつまでも往復螺旋運動を繰返す。この結果、電子の軌道は著しく長くなり  $10^{-6}$  mm Hg 程度の高真空中でも十分に気体分子と衝突しこれを電離することが可能になる。そしてその際の衝突電離の確率は管内気体分子の数に(すなわち真空中度に)大体



11 図 放電型真空計の電極の形と電子の軌道

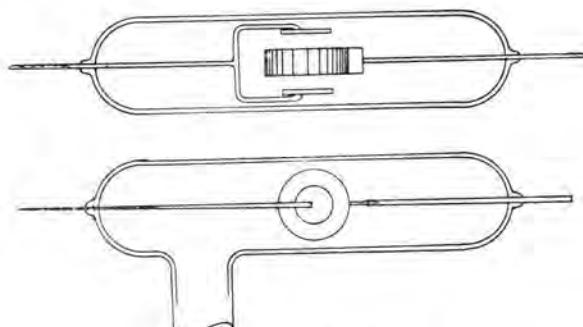
比例するものと考えられるから、その放電電流の大小真空中度の目安となりうる訳である。この意味で放電型真空計も電離真空計も原理的には同一であると考えられる。

放電型真空計が高真空中まで放電を続けうるためには、電子が電極内の空間で往復螺旋運動をすることが必要であることは上述したが、そのため必要な条件は計算することができる。もちろん電極の形が違えば多少異つた形式をとらねばならないが、円筒電極の半径を  $a$  (cm), 磁界を  $H$  (ガウス), 電極電圧を  $V$  (V) とした場合、放電持続の条件は

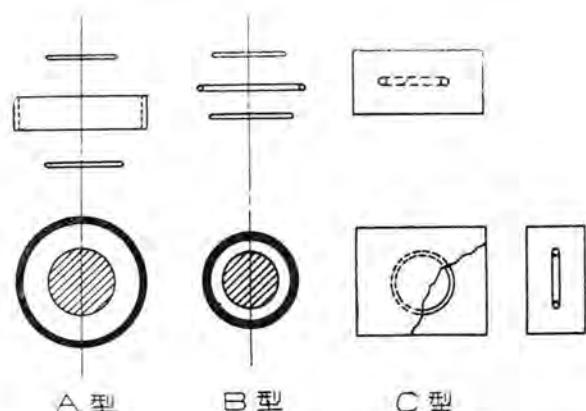
$$H > \frac{6.74\sqrt{V}}{a} \quad \dots \dots \dots (4)$$

であらわされる。このことは実験的にも大体確められている。要するに高真空中まで放電を持続しうるためには、電極の大きさ、電圧に対して、必要な磁界の最小限が存在するのである。

つぎに電極電圧を逆に加えた場合(すなわち円筒電極を負にした場合)には電子の  $Z$  方向の往復運動が不可能になるので電子の走行距離が短くなつて高真空中まで放電を持続し得なくなる。したがつて電極に交流を加えた場合には、正の半サイクルでは放電が行われ、負の半サイクルではほとんど放電しないから放電電流は直流となる。このように放電型真空計管球は整流作用を有するので電極電源として交流を用いてもよいことが想像されるが、事実電源として交流を用いても直流を用いてもほとんど特性に相違はない。(15 図)



12 図 放電型真空計管球



13 図 実験に用いた放電型真空計の電極の 3 種

## イ. ゲージ管球および付属装置

実験に使用された管球の構造は 12 図に示すようなもので電極としては 13 図のように A 型, B 型, C 型の 3 種類を試作、さらに特性の比較のため B 型を大小の 2 種類 B1, B2, C 型を大中小の 3 種類 C1, C2, C3 に分けて見た。このうち A 型が比較的感度がよく特性の測定も容易であったので、これについて比較的くわしく特性をしらべ、他はこれと比較する程度にとどめた。電極電源は 0~3,000 V の直流電源と 14 図に示すような交流電源とを用いた。磁界は 0~1,100 ガウスの電磁石によつて加えた。特性曲線に用いた装置は電離真空計の場合(14 図)とどうようで、ドライアイスのトラップを用いて McLeod Gauge と比較した。

## ウ. 特性および吟味

15 図~19 図に特性曲線を示した。これらの結果について若干考察を加えてみたい。

(1) 特性の一般的傾向 電流真空度特性の一般的傾向は 15 図に示すように  $10^{-3}$  mm Hg 以上の高真空では対数目盛で直線的であるが低真空では直線から外れる。このゲージの特性が電離真空計のように直線的(普通の目盛)でならない対数目盛で直線的となる理由は一応つきのように考えられる。この場合電子と気体分

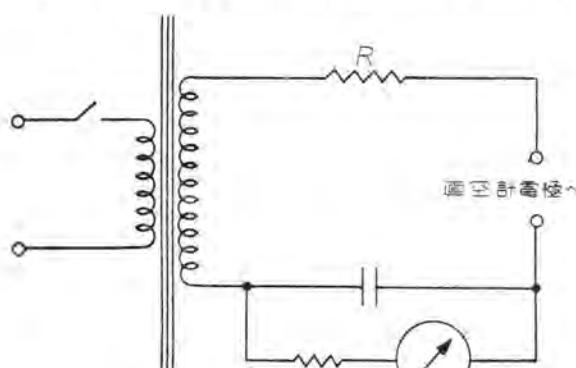
子との衝突電離の過程は電離真空計のように簡単でなく、1 個の電子が多数の気体分子を電離しその際生じた多くの電子がまた多数の気体分子を電離するという工合に多重の衝突電離が連鎖反応的に促進されて行くもの。したがつて電流と真空度との関係も直線的でなく何らかの形となる。すなはち対数目盛で直線的となるものと考えられる。また低真空で直線から外れるのは放電電流の増加によつて直列抵抗  $R$  の両端の電圧降下が大となり電極電圧がしたがつて感度が低下するものと考えてよい。 $10^{-3}$  ~  $10^{-1}$  mm Hg の範囲での特性は 16 図のように半対数目盛で表示した方が便利である。

## (2) 電極電圧および磁界の強さと特性との関係

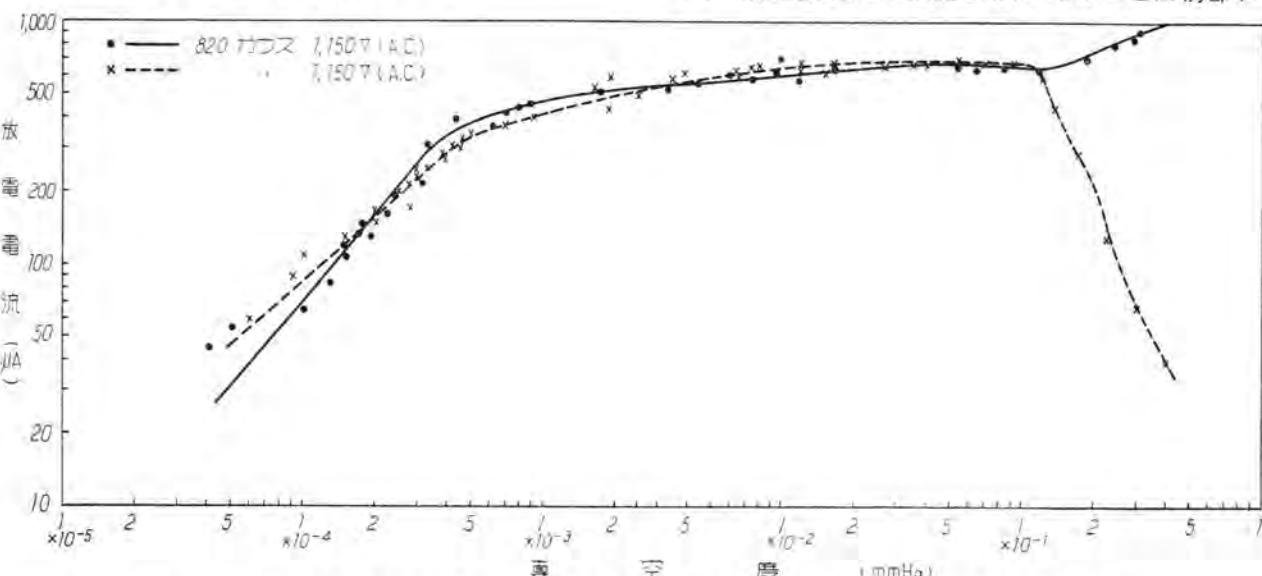
4. ア. 節の関係式(8)は電極の大きさと電極電圧とが与えられている時磁界の強さはある臨界値より大でなければならぬことを示している。磁界はその値より大であればそれで放電は行われるが、磁界の大きい程放電電流が増すことは予想される。事実 17 図に示すように磁界の強い程高真空部の感度が大きくなつてることが認められる。また磁界の強さがある程度になるとそれ以上増しても感度はあまり変わらないようである。また 18 図は磁界を一定に保つて電極電圧を変えた場合の特性を比較したもので電圧をあげると傾斜が急になり低真空部の感度が大となることが認められる。なおこの図で 2,470 V の時の電流値が比較的小さいのは直列抵抗が大きいためである。

(3) 電極の大きさと特性との関係 このように電圧、磁界を変えて特性をいろいろ変化させることができると、もちろん電極の形や大きさを変えてはどうようで、19 図にその一例を示してある。今までの特性曲線はすべて A 型管についてのものであつたが、19 図は B, C 型 5 種類の特性を大体同一条件で比較したものでこの図からその傾向を察知することができる。

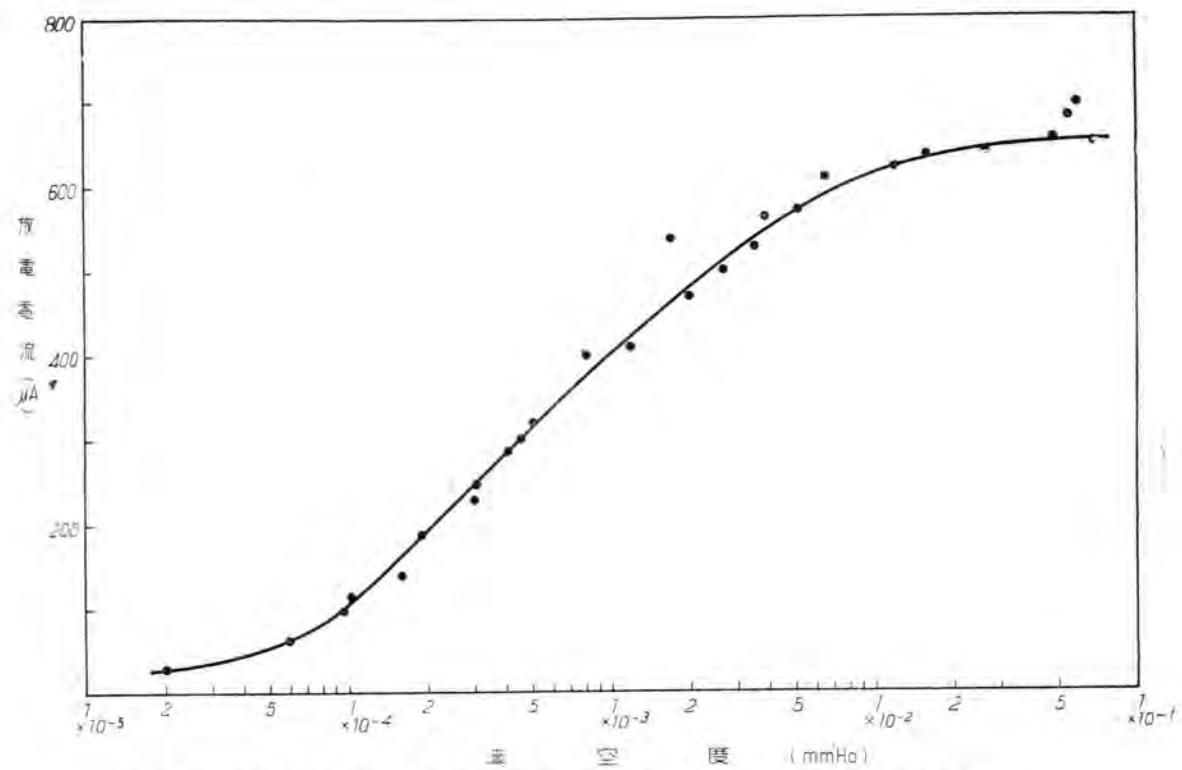
(4) 電極電圧として交流を用いてよいことは前節に



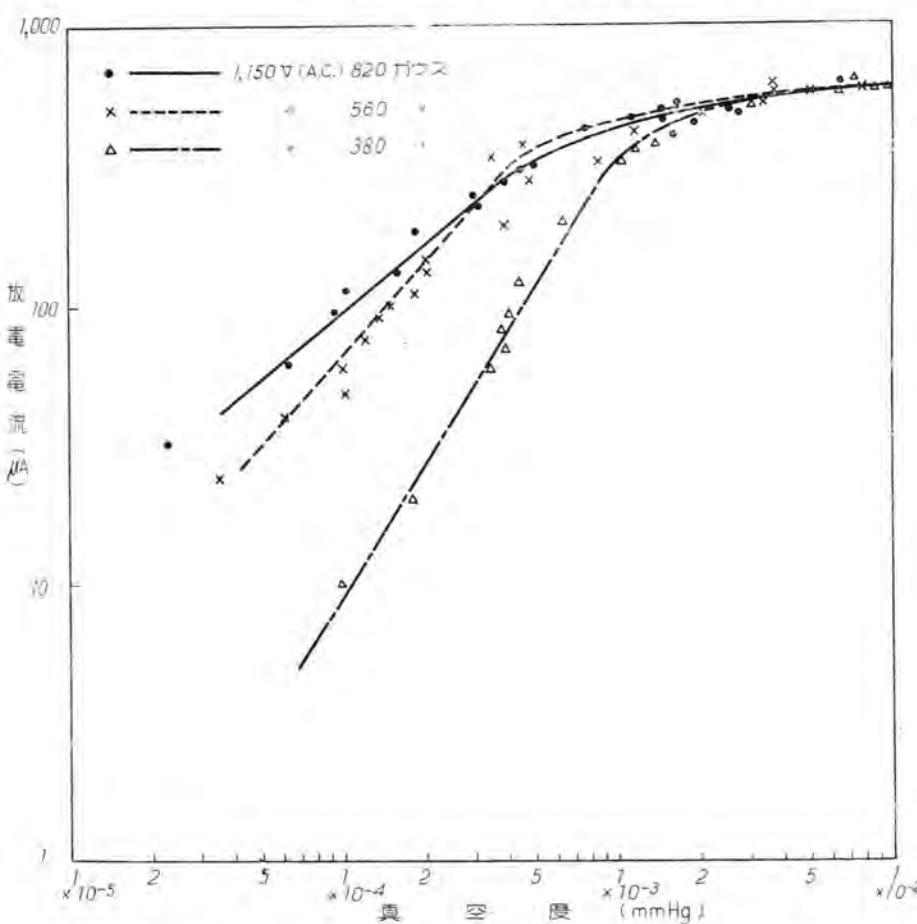
14 図 放電型真空計回路



15 図 放電型真空計の一般的特性、電源として直流を用いた場合と交流を用いた場合との比較



16 図 電極電圧 交流 1,150 V 直列抵抗  $R=500 \text{ k}\Omega$ , 磁界 820 ガウスの場合の特性  
17 図とどうようのカーブをセミログで表わしたもの



17 図 電極電圧を一定として磁界を変化させた場合の特性  
磁界を強くすることにより高真空中部の感度が増すことがわかる  
電圧は交流 1,100 V, 直列抵抗  $R=500 \text{ k}\Omega$

述べた。15 図でわかるように直流の場合と大差なく実用上はこれで十分である。この場合の著しい特長として  $10^{-1} \text{ mm Hg}$  附近の真空中で急に電流が減じて零になることが認められる。元来このゲージに整流作用が存在するのは、交流の負の半サイクルにおいて電子が往復運動をし得ないため走行距離が短く衝突電離が起らぬことによるのであるが、 $10^{-1} \text{ mm Hg}$  程度の真空中では平均自由行路の長さと電極の大きさがほとんど同程度となるので上記負の半サイクルでも十分衝突電離を起しうる。このようにして正負の半サイクルの電流が同じ位の大きさとなつて放電電流が零になるものと解される。電源として直流を用いた場合はこのようなことはなく、 $10^{-1} \text{ mm Hg}$  以下の真空中でも放電電流は増して行くがこれから先は動作が幾分不安定である。

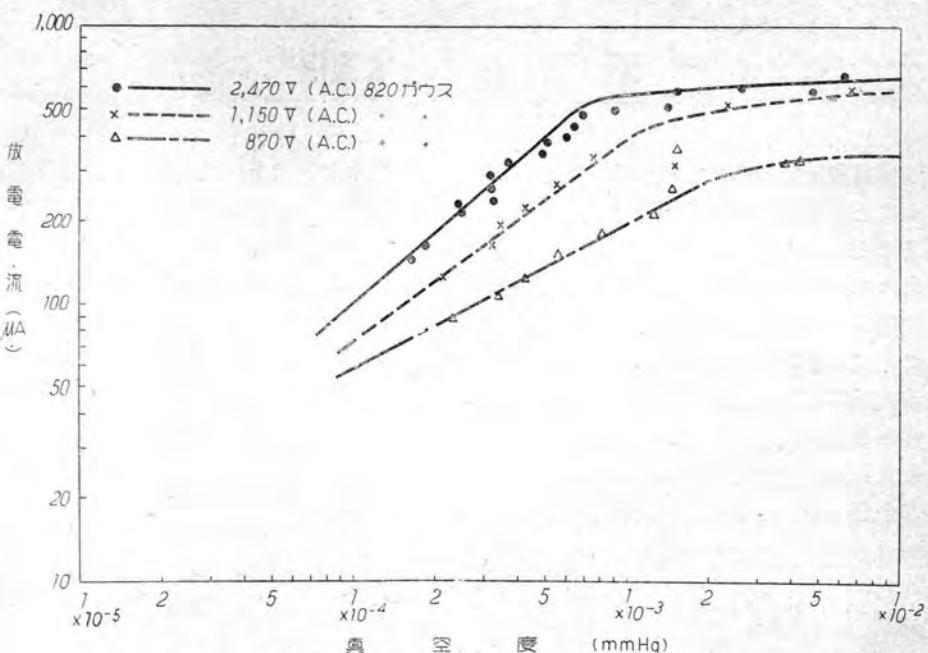
(5) 実際に真空計として使用する場合に第一に問題となるのは動作の安定性と反復可能性とであり、このゲージは放電を利用しているためこの点が気遣われる所以であるが、実験の結果有効数字1桁程度の精度で真空度を決定するのは十分可能であることが認められた。熱陰極を用いてないので破損の虞がないという特長を有するから、電極電源として交流を用い磁界として永久磁石を用いると実用に便利な真空計が得られる。

## 5. 結 言

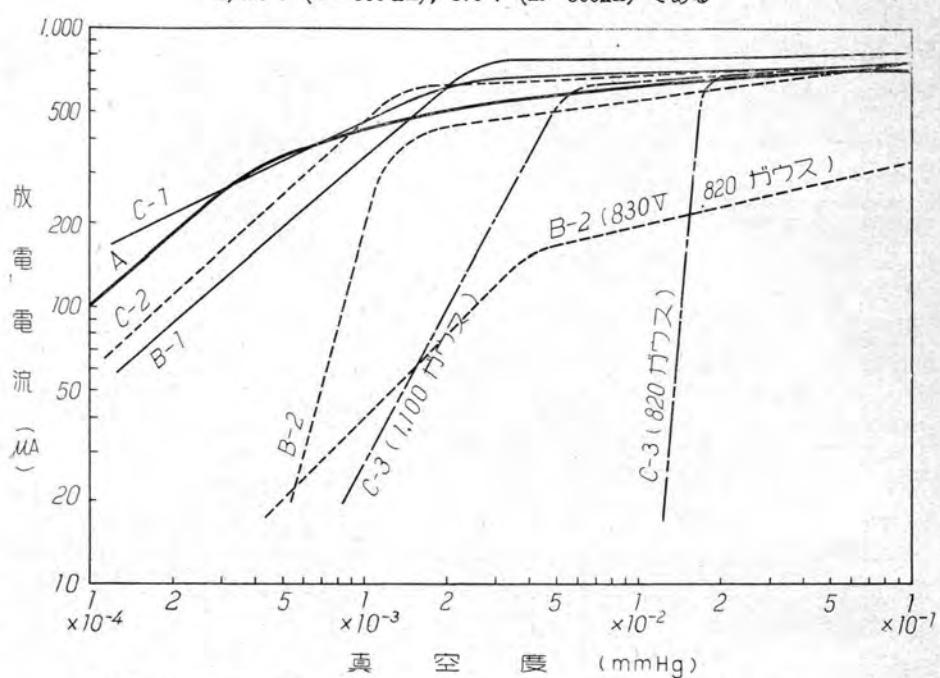
電子による気体の電離を利用した2種類の真空計（電離真空計と放電型真空計）についてなされた実験結果を記述した。電離真空計は $10^{-3} \sim 10^{-7}$  mm Hgの範囲の高真空用の比較的精密な測定に適しており、実験室用としてあるいは送信管排気の際の真空計等として有用である。これに対し放電型真空計は相当乱暴な使用も可能であるので工場等でさほど精度の要求されない場合の真空計として $10^{-1} \sim 10^{-5}$  mm Hg程度の真空度測定に適する。すなわち真空管排気とか水銀整流器用のゲージとして大いに用いられるものと考えられる。このような研究においてます考慮すべきは実用性の問題でありこの点に關し残された問題が多々あるので今後研究して行きたいと思う。

## 文 献

- (1) R.S. Morse and M. Bowie; R.S.I. 11, 91 (1940)
- (2) C.M. Fogel; I.R.E. 34, 302 (1946)
- (3) J.B. Hoag and N.M. Smith; R.S.I. 7, 497 (1936)



18図 磁界の強さを一定として電極電圧を変えた場合の特性  
磁界は 820 ガウス 電極電圧は交流 2,470 V ( $R=1,500\text{ k}\Omega$ )  
1,150 V ( $R=500\text{ k}\Omega$ )、870 V ( $R=500\text{ k}\Omega$ ) である



19図 B型, C型の管球について同一条件（電極電圧 1,150 V）  
直列抵抗 500 kΩ, 磁界 820 ガウス）で特性を比較したもの  
C-3 の 1,100 ガウスの場合の特性および B-2 830 V, 820 ガウスの場合の  
特性をも示した。比較のため同一条件の A型管の特性を太線で示した。

- (4) L.N. Ridenour and C.W. Lampson; R.S.I. 8, 162 (1937)
- (5) R.B. Nelson and A.K. Wing; R.S.I. 13, 215 (1942)
- (6) J. Rainwater; R.S.I. 13, 118 (1942)
- (7) F.M. Penning; Physica 3, 873 (1936)
- (8) F.M. Penning; Physica 4, 71 (1937)

# 格子付二重星型水銀整流器の3相失弧現象

二重星型結線の水銀整流器は、起動の際または運転中に3相が失弧して、残りの3相の陽極だけで運転されることがある。整流器が3相運転になつても、直流電圧が正常な6相の場合と等しいので見逃がされることもありうるわけであるが、このようなことは整流器に対してのみならず、これに關係する他の機器に対しても悪い影響を与えるにはおかしい。本文はこの現象が、位相の60°相隔る2つの陽極の相電圧に、相間リアクトルのリアクタンス電圧が重疊することにより、それらの陽極電流の転流すべき位相が正常な位置より遅るために起ることで、この遅れ角(移動角)だけ格子尖頭波電圧の幅を増加しなければ、整流器が3相運転になるということを実験的理論的に解明し、あわせてこれの対策およびイグナイトロン整流器にも言及した。

研究 所 濱 阿 田 賢  
阿 部 久 康

## I. 緒 言

二重星型水銀整流器において、往々6相の内一群の3相が失弧し、直流出力電圧波形が3相になることがある。筆者はこの現象がとくに低圧化成中に起りやすく、ある負荷電流以上になれば自然に6相に復帰することを経験している。化成中にかかる現象が発生すれば、その一群の陽極の化成は行われないことになる。また実負荷運転中では、3相波形となつてもその直流出力電圧は二重星型6相と等しいので、そのまま気付かず運転することもあるが、直流側に濾波器があつて、その共振回路あるいはそれと並列になる負荷との合成インピーダンスが、3相脈動波形による第3高調波に対して整流器用変圧器、相間リアクトル、直列リアクトルと共に共振状態にあれば、濾波器の共振回路に第3高調波電流が流れ、異常音を発し、あるいは共振回路の高速度遮断器が動作した例が報告されている。(1)

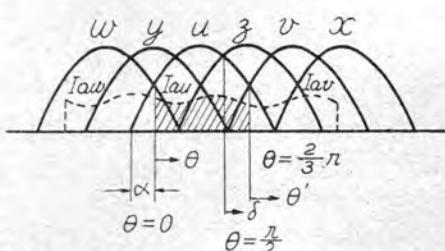
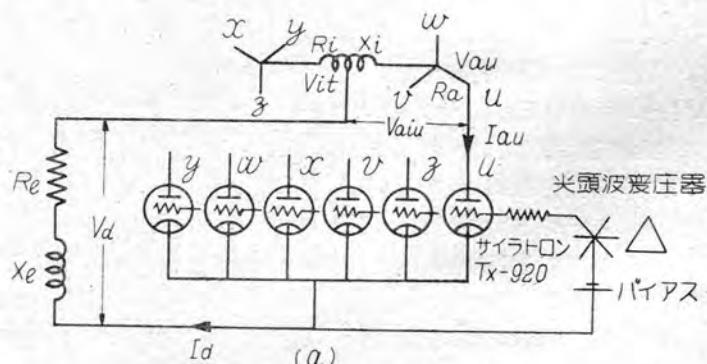
本報告はなんらかの原因によつて整流器の3相または1相が失弧した場合、相間リアクトルのリアクトル電圧が整流器変圧器の各相電圧に重疊することにより、相隣る相電圧の交点に移動を生じ、格子尖頭波電圧の幅がそれを補うに足らなければ整流器の3相運転は永続することを実験的に示し、回路定数と上記交点の移動角との理論的関係ならびに必要な対策について述べたものである。

なお本文は昭和23年10月、電気学会放電装置部門委員会において発表したものにさらに若干の研究をつけ加えたものである。

## II. 二重星型水銀整流器の3相失弧現象

まず本文中に現われる記号を一括してつぎに示す(1)図参照)

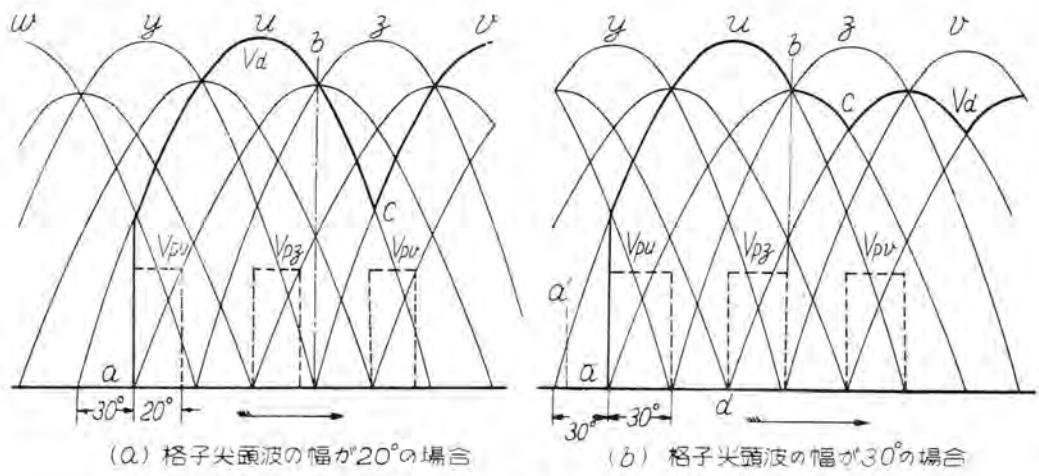
$V_a$	整流器直流電圧
$I_a$	" " 電流
$V_s$	整流器用変圧器2次相電圧実効値
$V_{au}, V_{az}, \dots$	陽極 $u, z, \dots$ 相に接続される整流器用変圧器の2次の相電圧
$V_{atu}, V_{atz}, \dots$	相間リアクトル中性点と $u, z, \dots$ 相陽極との間の電圧



1 図 実 験 回 路

$V_{pu}, V_{pz}, \dots$	$u, z, \dots$ 相陽極の格子尖頭波電圧
$I_{au}, I_{az}, \dots$	$u, z, \dots$ 相の陽極電流
$V_{it}$	相間リアクトル中性点とその端子間の電圧
$R_e$	負荷抵抗
$R_a$	整流器用変圧器 2 次の抵抗
$R_t$	相間リアクトル中性点とその端子間の抵抗
$R_o$	$R_a + R_t + R_e$
$X_e$	整流器負荷のリアクタンス
$X_t$	相間リアクトル中性点と端子間のリアクタンス
$X_o$	$X_e + X_t$
$\theta$	$\omega t, \omega = 2\pi f$
$\delta$	位相が相隣する陽極の $V_{atu}, V_{atz}, \dots$ 等が相

波電圧の幅が  $20^\circ$  であれば、2 図 (b) のように  $b$  点において  $z$  相電圧が  $u$  相より高くなるとき、 $z$  相は  $V_{pz}$  の波尾によつて点弧し、相間リアクトルは動作してその中性点に対し  $u$  相電圧は引上げられ、 $z$  相電圧は下げられて陽極電流は  $u, z$  相両極に通流し 6 相の直流電圧波形をうる。すなわち起動時より 6 相波形をうるには、格子尖頭波電圧の波頭を 2 図中の  $a$  点より始めるから  $30^\circ$  の位相に置くとき、尖頭波電圧は最小  $30^\circ$  の幅が必要となるのである。これが毛利氏等の研究の大要である。なお格子尖頭波電圧の波頭を 2 図中の  $a$  点より進相たとえば (b) 図の  $a'$  点の位相においても  $a, a'$  の間の格子電圧は円滑な 6 相運転のためには何ら寄与せず、 $a$  点以後の部分だけが有効であることは (b) 図からも明らかである。したがつて本文ではすべて格子電圧の波頭は  $a$  点すなわち相電圧の始める  $30^\circ$  の位相におくものとする。



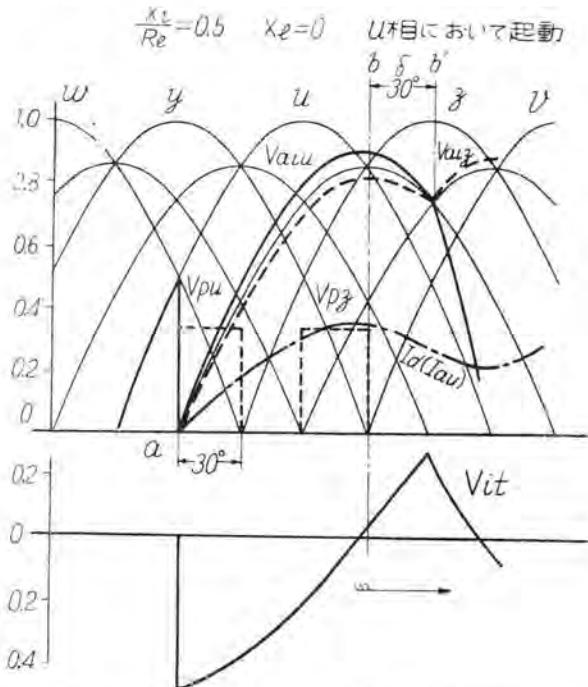
2 図 整流器起動時の直流電圧波形

等しくなる位相を  $I_a=0$  の場合の相位から測定した電気角度、本文ではしばしばこれを相電圧 ( $V_{atu}, V_{atz}, \dots$  等) の交点の移動角と呼ぶ。

### 1. 3相失弧の原因

二重星型結線においては、整流器の起動にあたり 6 相波形をうるためには、格子尖頭波電圧の幅は最小  $30^\circ$  が必要である。これについてはすでに毛利氏等<sup>(2)</sup>が詳細に研究されているので、ここにその大要を紹介してわれわれの叙述の緒としたい。

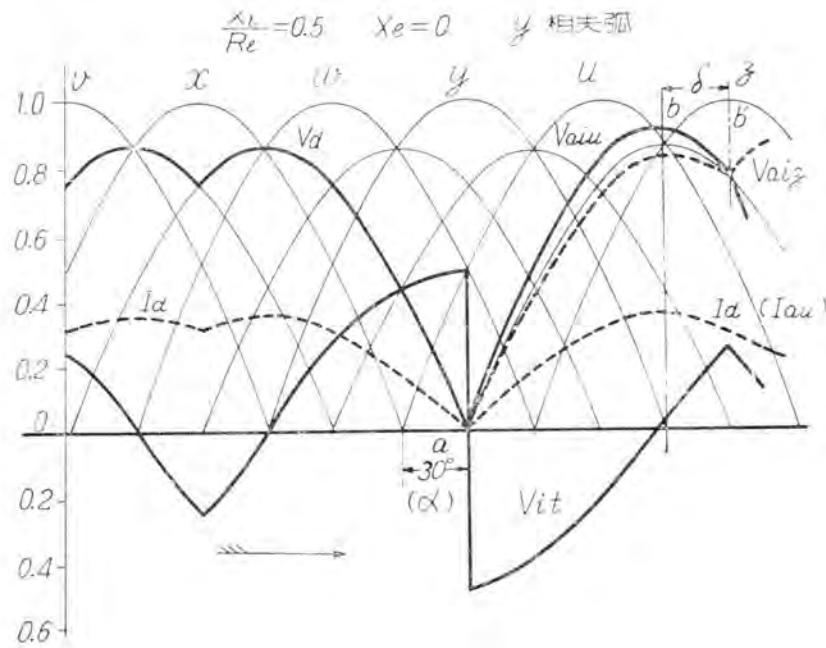
2 図 (a) は格子尖頭電圧の幅が  $20^\circ$  で、その波頭を相電圧の始める  $30^\circ$  の位相に設定した場合であるが、起動時の  $v$  相陽極電流は  $a$  点より通流し始め、直流電圧は図の太い実線となる。この途中  $z$  相の格子には  $V_{pz}$  が付与されるが、相間リアクトルは単にリアクタンスとして働きそのリアクタンス電圧は無視しうる程度とすれば、相電圧の低い  $u$  相は点弧せず、 $b$  点に到り  $z$  相電圧が  $u$  相より高くなるときはすでに  $V_{pz}$  は消滅しているので  $u$  相陽極はそのまま通流し、 $C$  点より  $v$  相が流れ始め、かくして直流電圧波形は 3 相となる。格子尖頭格子付二重星型水銀整流器の 3 相失弧現象・濱田・阿部



3 図 整流器起動時の陽極電圧の変歪とその交点の移動

実際には格子尖頭電圧が最小  $30^\circ$  の幅があつても整流器は 3 相となるものであつて、これを防止するには次に述べるよう  $30^\circ + \delta$  の幅を必要とするのである。

筆者は次節に述べる実験結果により、この現象が相間リアクトルのリアクタンス電圧が変圧器の相電圧に重疊して、位相の相隣る 2 陽極の電圧  $V_{atw}$ ,  $V_{atz}$  等の交点が移動することによつて生ずることを確めた。3 図はこの一例を示すもので、 $a$  点より起動されると  $u$  相陽極が通流を始め、相間リアクトルのリアクタンス電圧  $V_{it}$  は図示の波形となり、 $u$  相および  $z$  相の陽極電圧  $V_{au}$ ,  $V_{az}$  にはこの  $V_{it}$  が重疊されて相間リアクトル中性点と陽極間の電圧はそれぞれ図示の  $V_{atw}$ ,  $V_{atz}$  の波形となつて、この交点  $b'$  は原点  $b$  より角度  $\delta$  だけ遅れる。



4 図 1 相が失弧した場合の陽極電圧の変化とその交点の移動

したがつて格子尖頭電圧の幅が  $30^\circ + \delta$  だけなければ  $z$  相は点弧し得ず、2 図の場合とどうようの経過をたどつて整流器は  $u$ ,  $v$ ,  $w$  の 3 相だけ点弧する 3 相運転となるのである。

つぎにきた整流器が正常の 6 相運転を行つてゐる際に、格子回路の異常、陽極または格子の点弧電圧が過大である等の原因によつて 1 相がたまたま失弧した場合、たとえば 4 図において  $y$  相陽極が失弧した場合は、 $y$  極に続く  $u$  極は図示の  $u$  点より単独で電流を通じ、 $V_{it}$  は  $u$  および  $z$  相の電圧  $V_{atw}$ ,  $V_{atz}$  の波形を変化せしめ、その交点  $b'$  は原点  $b$  より  $\delta$  だけ遅れる。したがつて格子電圧の幅が  $30^\circ + \delta$  だけなければ、整流器出力は  $y$  相の失弧が誘因となつて  $u$ ,  $v$ ,  $w$  相だけ通流する 3 相波形となることは先とどうようである。3 図、4 図の  $I_{au}$ ,  $I_a$ ,  $V_{atw}$ ,  $V_{atz}$ ,  $V_{it}$  等したがつて  $\delta$  はいずれも回路の定数から 3 章で述べたとおり容易に求められるものである。

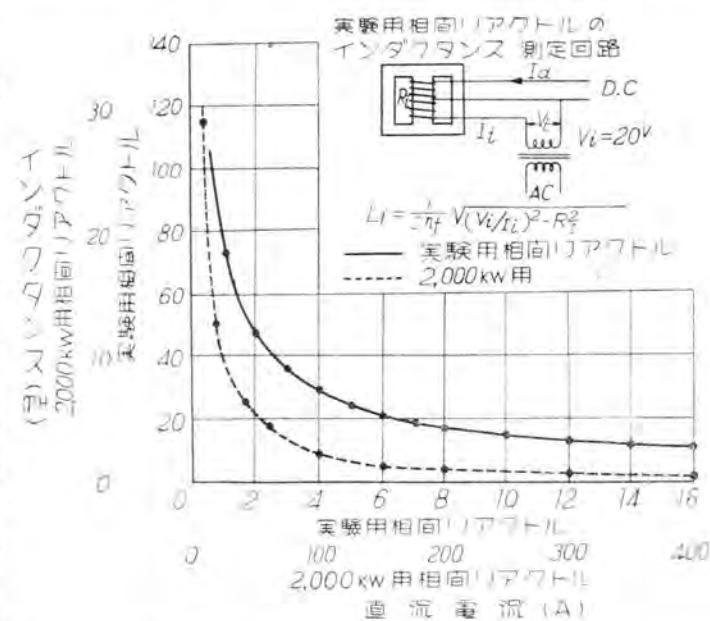
3 相失弧の上記の原因は、筆者がつぎに述べる実験と理論によつて証明されたところであるが、村山氏<sup>(2)</sup>はこの原因としてつぎのとおり説明されている。すなわち整流器の負荷電流が急変するとき生ずる過渡電流は二重星型の両群の 3 相にからずしも均等に流れぬため、相間リアクトルのアンペア回数に不平衡を生じ起電力を発生する。この電圧が変圧器の相電圧に重疊して、位相の相隣る陽極電圧の交点をずらして 3 相に到るであろうという点は筆者の見解と全く同じであるが、具体的な証明は行われていないのである。

## 2. 実験

前述のとおり格子電圧の幅が不足していると、整流器の起動時から 3 相波形となり、また運転中においても陽極の 1 相でも失弧すればどうよう 3 相の失弧を招来することがある。しかしこうして一旦 3 相運転となつても負荷電流が増加すると正常な 6 相運転に復帰するものである。実験においてはすでに整流器が 3 相運転になつてゐる状態で、負荷電流の大小により前記の移動角  $\delta$  が如何に変化するかを観測したのである。

### ア. 実験回路

1 図に示したように、整流器としてサイラトロン TX920 を使用した。その回路定数は  $V_s = 110V$ ,  $R_a = 0.538 \Omega$ ,  $R_t = 1.38 \Omega$ ,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $X_e = 0$ 。 $X_t$  は相間リアクトルの半分だけに流れる 3 相の負荷電流によつて直流励磁をうけて変化するが、実験に使用した相間リアクトルについて測定した結果は 5 図のとおりで



5 図 相間リアクトルのインダクタンス

ある。図中インダクタンスの測定回路における  $V_t$  としては陽極電流の脈動分に相当する電流を流すために 20 V を加えた。

#### イ. 実験結果

6~9 図は、格子電圧の幅の不足のために整流器の 3 相 ( $x, y, z$  相) が失弧している場合、 $I_d = 0.1 \text{ A}, 3 \text{ A}, 6 \text{ A}, 8 \text{ A}$  における  $I_{au}, V_{px}, V_{yt}, V_{lt}, V_{atu}, V_{atz}$  の波形と  $V_{atu}$  と  $V_{atz}$  の交点  $b'$  の移動の状況を示すオシログラフである。これらのオシロから負荷電流  $I_d$  に対する  $\delta$  を画けば 10 図のとおりである。オシロで見られるとおり、 $z$  相格子尖頭電圧  $V_{px}$  の波尾は  $u, z$  相電圧の交点  $b'$  においてあるので、 $I_d = 0.1 \text{ A} \sim 8.5 \text{ A}$  の範囲では  $b'$  が  $b$  点より遅れるため  $u$  相に続く  $z$  相陽極は点弧

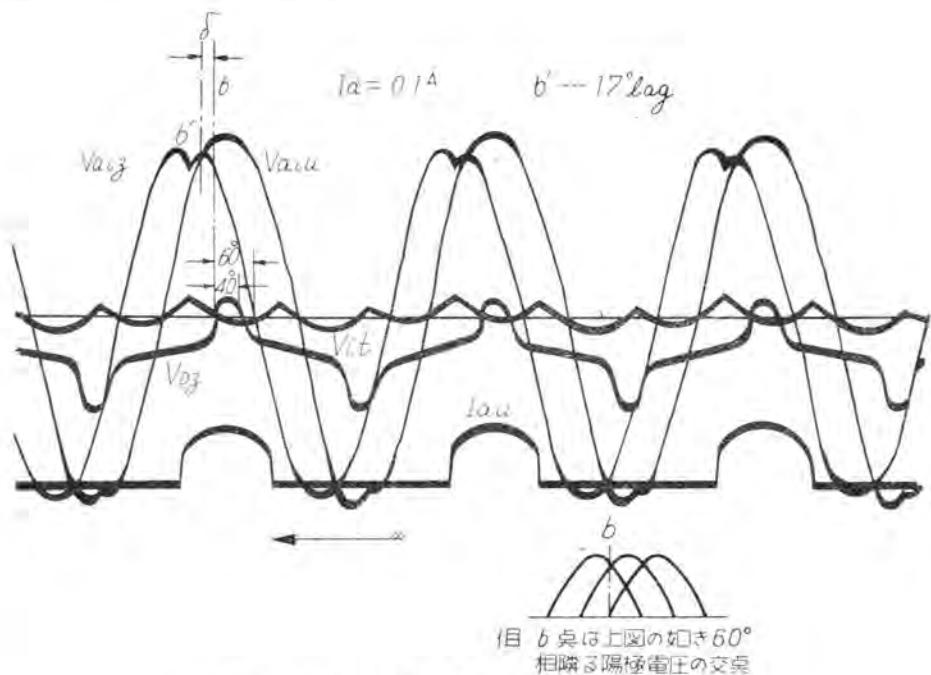
しえず、結局  $x, y, z$  相の 3 陽極は失弧している。 $I_d$  が大になるにしたがつて  $\delta$  は減少し、8.5 A 以上では  $b'$  はかえつて  $b$  点より進相となり  $z$  相陽極は点弧して整流器は正常の 6 相運転となる。すなわち軽負荷において 3 相運転となればこれが永続するが、負荷電流が増加すれば正常な 6 相運転に復帰しうるのである。

#### 3. 位相の相隣る 2 陽極電圧の交点の移動角 $\delta$

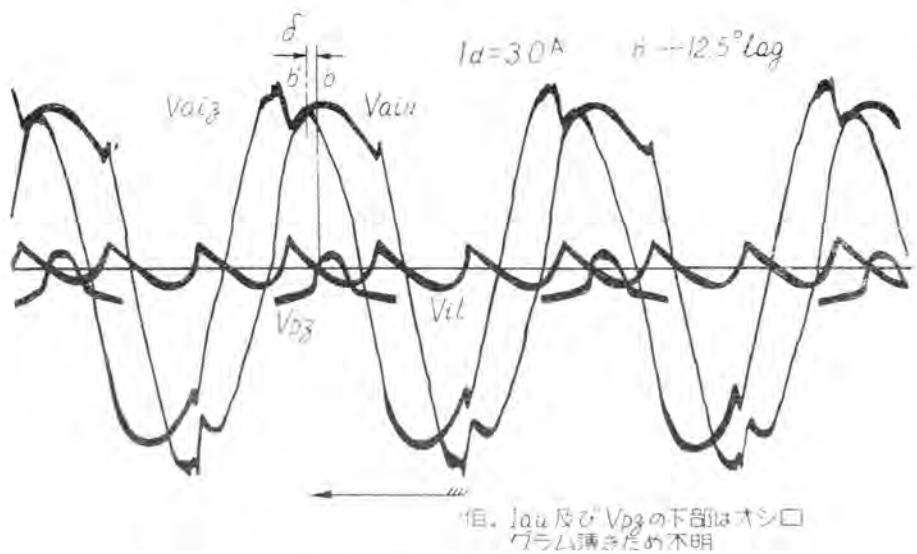
以上を明らかにするために、標記の移動角  $\delta$  と回路定数との関係を求め、さらに 2, 3 の数値例をあげることにする。

##### 1. $\delta$ の計算式

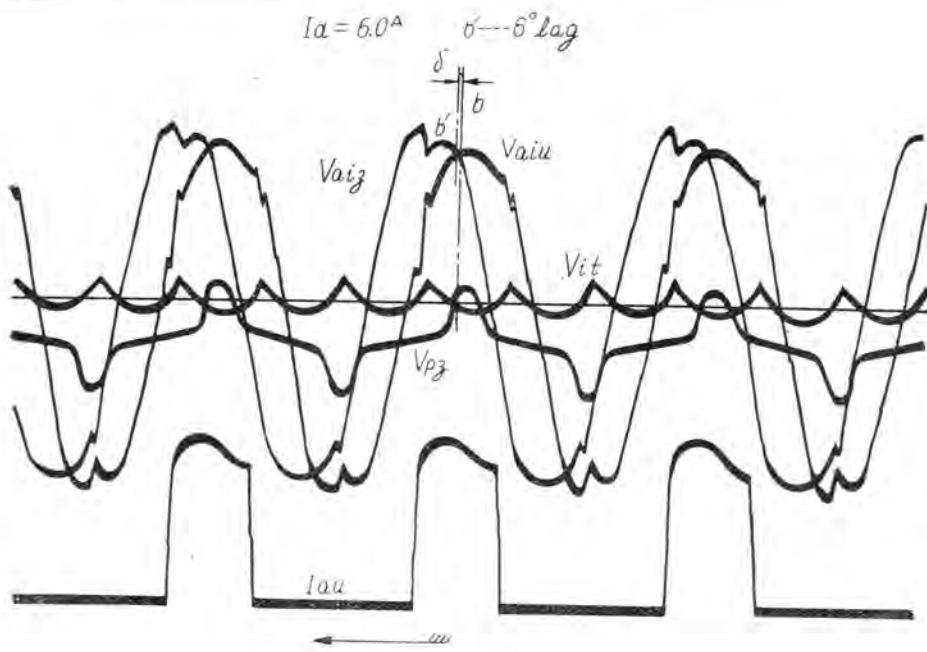
今なんらかの原因によつて二重星型の内のいずれか一



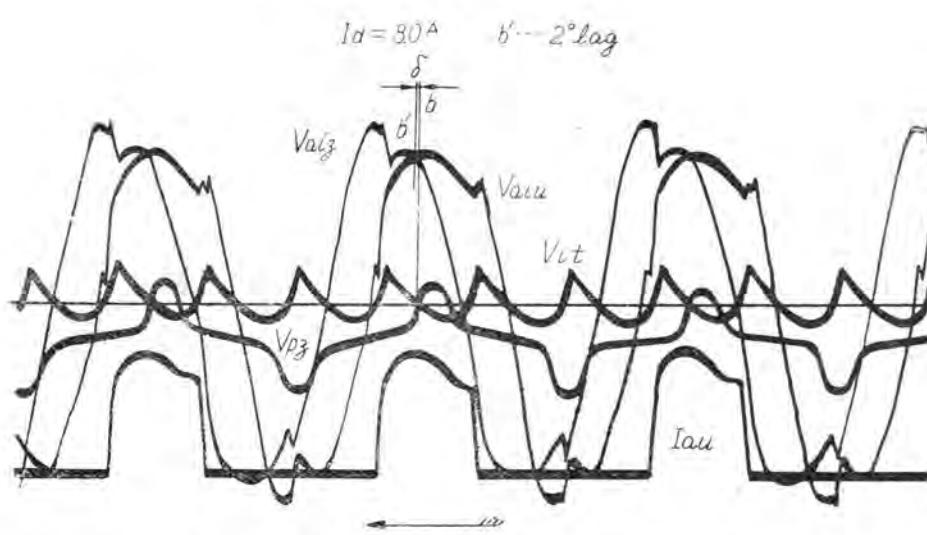
6 図 実験回路のオシログラフ



7 図 実験回路のオシログラフ



8 図  
実験回路のオシログラフ



9 図  
実験回路のオシログラフ

方の星型が失弧して、整流器が3相運転を行つてゐる場合の陽極電流  $I_a$  は、整流器の電弧電圧および変圧器の漏洩リアクタンスを無視すれば、1図を参照して

$$X_o \frac{dI_a}{d\theta} + R_o I_a = \sqrt{2} V_s \sin(\theta + \alpha) \quad \dots \dots \dots (1)$$

相間リアクタンスの  $X_t$  は、その電流の脈動の範囲内で一定であるとすれば、(1) 式から

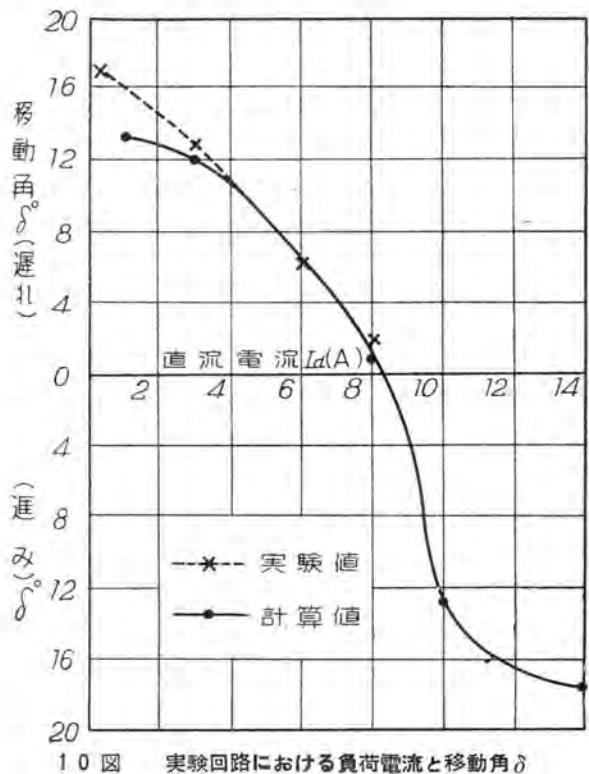
$$I_a = \frac{\sqrt{2} V_s}{\sqrt{R_o^2 + X_o^2}} \sin(\theta + \alpha - \gamma) + A \varepsilon - \frac{R_o \theta}{X_o}, \gamma = \tan^{-1} \frac{X_o}{R_o}$$

今整流器は定常的な3相運転になつてゐるから  $I_a(\theta = 0) = I_a(\theta = \frac{2\pi}{3})$  であることから

$$A = \frac{\sqrt{6} V_s}{\sqrt{R_o^2 + X_o^2}} \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha - \gamma\right) / \left(1 - \varepsilon - \frac{2\pi}{3} \cot \gamma\right)$$

したがつて

$$I_a = \frac{\sqrt{2} V_s}{R_o} \cos \gamma \left\{ \sin(\theta + \alpha - \gamma) + \sqrt{3} \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha - \gamma\right) - \theta \cot \gamma / \left(1 - \varepsilon - \frac{2\pi}{3} \cot \gamma\right) \right\} \dots \dots \dots (2)$$



10 図 実験回路における負荷電流と移動角  $\delta$

$\gamma = \tan^{-1}(X_o/R_o) = \tan^{-1}((X_e + X_t)/(R_e + R_a + R_t))$   
つぎに (2) 式を用いて  $\delta$  を求めるのであるが  $\delta \leq 30^\circ$  の如何によつて若干事情が異なる。

ア.  $0 \leq \delta \leq 30^\circ$  の場合

いま  $u$  相陽極が通流中であるとすれば、その陽極と相間リアクトル中性点間の電圧  $V_{atu}$  は

$$V_{atu} = V_{au} - (R_a + R_t) I_a - X_t \frac{dI_a}{dt} \quad (3)$$

$u$  相に相隣する  $z$  相陽極電圧  $V_{atz}$  は、その相電圧  $V_{az}$  より相間リアクトル電圧  $X_t \frac{dI_a}{dt}$  だけ引上げられるから、

$$V_{atz} = V_{az} + X_t \frac{dI_a}{dt} \quad (4)$$

1 図 (b) に示すように

$$\theta = \pi/2 + \delta, \alpha = \pi/6 \text{ (設定)}$$

$$\left. \begin{aligned} V_{au} &= \sqrt{2} V_s \sin(\theta + \alpha), \\ V_{az} &= \sqrt{2} V_s \sin(\theta + \alpha - \frac{\pi}{3}) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

であるから、(2), (5) 式を  $V_{atz} = V_{atu}$  の関係に代入すれば

$$\begin{aligned} \frac{R_o}{\cos \gamma} \sin \delta &= -(R_a + R_t) \cos(\delta - \gamma + \frac{\pi}{6}) \\ &+ 2 X_t \sin(\delta - \gamma + \frac{\pi}{6}) - \sqrt{3} \sin \gamma \{ (R_a \\ &+ R_t) - 2 X_t \cot \gamma \} \frac{\frac{\pi}{2} - (\frac{\pi}{3} + \delta) \cot \gamma}{1 - \frac{\pi}{2} - (\frac{\pi}{3} + \delta) \cot \gamma} \\ & \quad (0 \leq \delta \leq \pi/6) \end{aligned} \quad (6)$$

(6) 式を満足する  $\delta$  の値は回路定数が与えられれば数値計算によつて近似的に求めることができる。あるいは回路定数が与えられた場合  $I_a, dI_a/d\theta$  等が求まるから、(3)(4) 式を用いて  $V_{atu}$ ,  $V_{atz}$  の 2 つの波形を書き、その交点から作図的に  $\delta$  を求めることもできる。11, 13, 14, 15 図は作図によつて  $\delta$  を求めた例である(後述)。

実際には整流器用変圧器と相間リアクトルの抵抗  $R_a, R_t$  は小さいから、(6) 式において

$$R_a + R_t = 0$$

とすれば

$$\sin \delta = 2 \frac{X_t}{R_e} \cos \gamma \left\{ \sin(\delta - \gamma + \frac{\pi}{6}) + \sqrt{3} \cos \gamma \frac{\frac{\pi}{2} - (\frac{\pi}{3} + \delta) \cot \gamma}{1 - \frac{\pi}{2} - (\frac{\pi}{3} + \delta) \cot \gamma} \right\} \quad (7)$$

ただし  $\cot \gamma = 1/(X_e/R_e) + (X_t/R_e)$   
( $0 \leq \delta \leq \pi/6$ )

$\cot \gamma = R_a/X_o = R_e/(X_e + X_t)$  ( $R_a + R_t = 0$ ) が大きい場合は (7) 式の右辺第 2

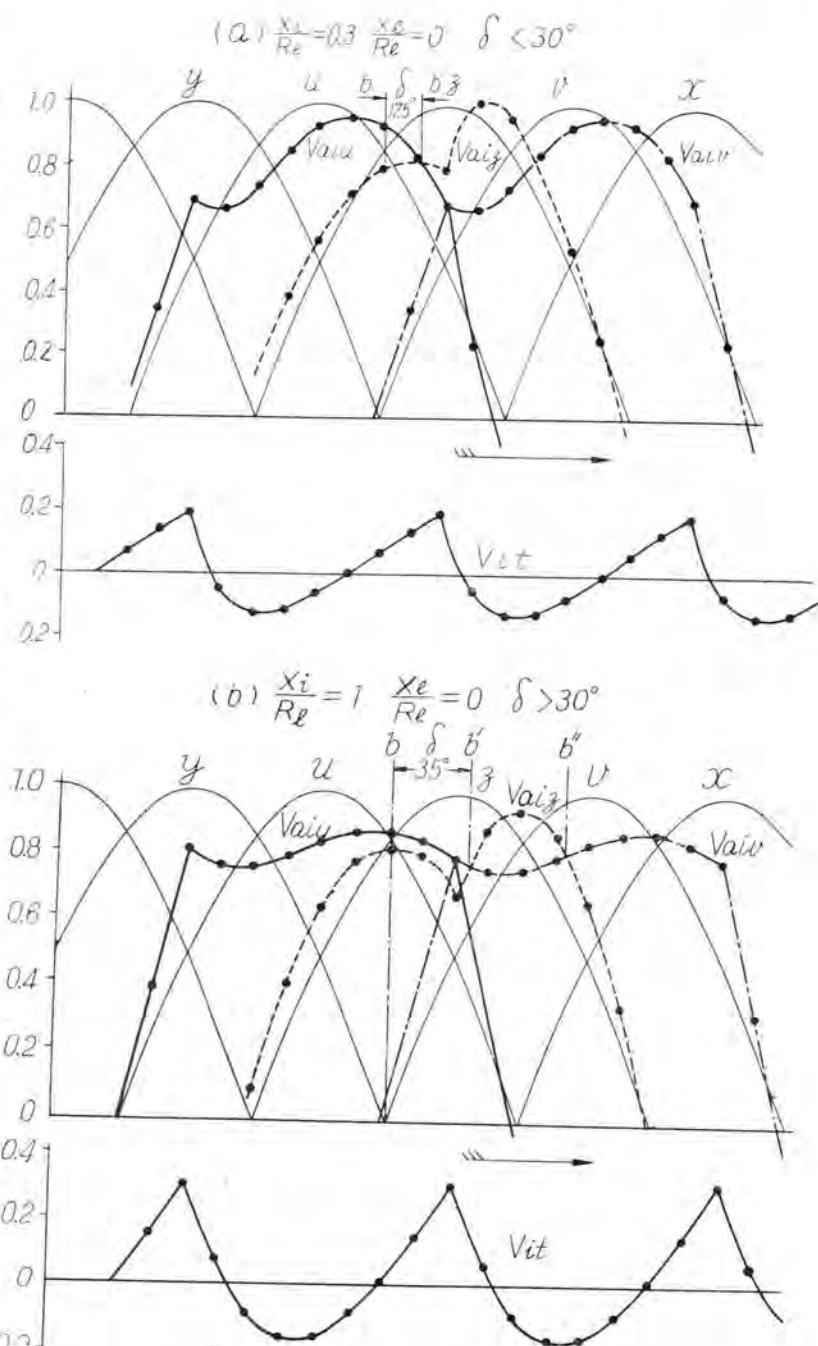
項は無視しうるから

$$\delta \approx \tan^{-1} \frac{\cos \gamma \cdot \sin(-\gamma + \frac{\pi}{6})}{\frac{R_e}{2 X_t} - \cos \gamma \cdot \cos(-\gamma + \frac{\pi}{6})} \quad (8)$$

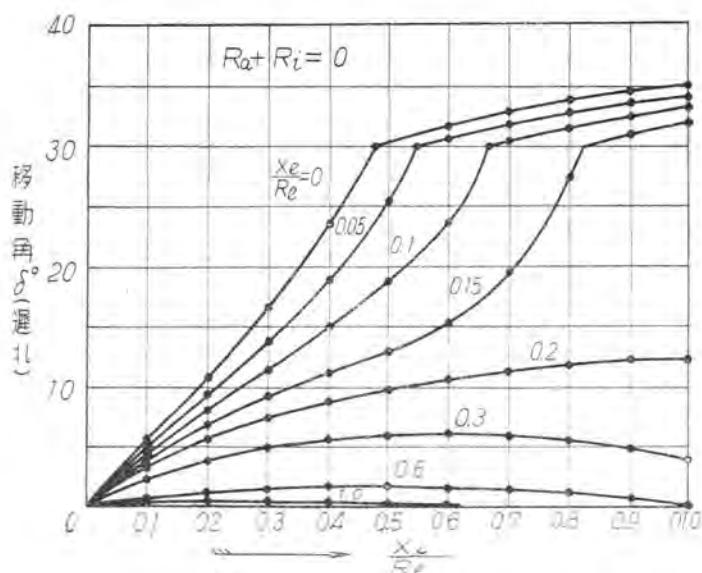
または  $R_e/2 X_t = (1/2) \cot \gamma (1 + X_e/X_t)$  であるから

$$\delta \approx \tan^{-1} \frac{\sin(-\gamma + \pi/6)}{(1/2)(1 + X_e/X_t) \cosec \gamma - \cos(-\gamma + \pi/6)} \quad (9)$$

いま  $R_a + R_t = 0$  とし、 $X_t/R_e = 0.3, X_e/R_e = 0$  の場合の  $V_{atu}, V_{atz}, V_{it}$  の波形を画けば、11 図 (a) のようになり、 $V_{atu}$  と  $V_{atz}$  は唯一つの点  $b'$  で交わる。この  $\delta (=bb')$  は (7) 式に示すように  $X_t/R_e, X_e/R_t$  の



11 図 相間リアクトルの電圧による相電圧交点の移動



12 図 負荷の抵抗、リアクタンスおよび相間  
リアクトルのリアクタンスと移動角の関係(計算値)

函数であるから、 $X_e/R_e$  をパラメータとし、 $X_t/R_e$  に対する  $\delta$  の近似値を数値計算によつて求めると 12 図のようになり、負荷のリアクタンス  $X_e$  が大になれば  $\delta$  は著しく小さくなる。 $X_e$  が大になるとときは負荷電流が平滑となつて、 $V_{uu} = X_t \cdot dI_a/d\theta$  も小となり、したがつて  $V_{atu}$  等が正弦波から変歪することが少くなつて  $\delta$  が小になることは十分首肯しうることである。

#### 1. $\delta \geq 30^\circ$ の場合

11 図 (b) のとおり、 $X_t/R_e = 1$  ( $X_e/R_e = 0$ ,  $R_a + R_t = 0$ ) のように相間リアクトルの  $X_t$  が大きくなれば、(a) 図の場合のように  $V_{atu}$  と  $V_{atz}$  の 2 曲線は相交わらず、 $u$  相陽極から  $120^\circ$  遅相の  $v$  相陽極に電流が転流して後、 $V_{atu}$  が  $V_{atz}$  を交わるに到る。 $V_{atu}$  と  $V_{atz}$  が交わるか、または  $V_{atz}$  と  $V_{atu}$  が交わるかは  $\delta = 30^\circ$  を限界として起る。後者の場合、2 つの曲線は  $b'$  と  $b''$  の 2 点で交わるが、格子電圧の幅としては  $b'$  に相対する  $\delta$  を追加すれば整流器を 6 相運転にしうることは明らかである。この場合の  $\delta$  は先とどうよろにして求めることができる。 $V_{atz}$  と  $V_{atu}$  の交点を求めるには時間座標を 1 図 (b) のように  $\theta'$  ( $\theta' = 0$  は相電圧  $V_{uu}$  と  $V_{av}$  の交点) とし、

$$R_a + R_t = 0$$

とすれば、(3) (4) 式に相当して

$$\left. \begin{aligned} V_{atu} &= V_{av} - X_t \frac{dI_a}{d\theta'} \\ V_{atz} &= V_{az} + X_t \frac{dI_a}{d\theta'} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

(5) 式に相当して

$$\left. \begin{aligned} V_{au} &= \sqrt{2} V_s \sin(\theta' + \alpha) \\ V_{az} &= \sqrt{2} V_s \sin(\theta' + \alpha + \pi/3) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$V_{atu} = V_{atz}$  すなわち  $2 X_t (dI_a/d\theta') = V_{av} - V_{az}$  の関係に (2), (11) 式を入れると、(7) 式に相当して

$$\begin{aligned} \cos(\delta + \frac{\pi}{6}) + 2 \frac{X_t}{R_e} \cos \gamma \{ \cos(\delta - \gamma) - \sqrt{3} \\ - (\delta - \frac{\pi}{6}) \cot \gamma \} \\ \cos \gamma \frac{\epsilon}{1 - \epsilon - (2\pi/3) \cot \gamma} = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{ただし } \cot \gamma = 1 / \left( \frac{X_e}{R_e} + \frac{X_t}{R_e} \right) \quad \delta \geq \pi/6$$

(12) 式を満足する  $\delta$  の 2 つの実根の内、値の小さい  $\delta$  (11 図 (b) 図の  $b'$  に相当する) の近似値を、 $X_e/R_e$  をパラメータとし、 $X_t/R_e$  に対して数値的に求めると、12 図のようになり、 $\delta < 30^\circ$  の場合より  $X_t/R_e$  に対する増加の傾向は著しく小さくなる。

#### 2. 1 相の陽極が失弧した場合の $\delta$

前節に述べた  $\delta$  は、3 相がすでに失弧して整流器が 3 相運転になつている場合の議論であつた。

本節では整流器が正常な 6 相運転を行つてゐる際に、なんらかの原因によつて任意の 1 相が 1 サイクルでも失弧した場合は、先とどうよろの論法をもつて整流器が 3 相運転になりうることを証明する。

いま整流器の負荷リアクタンス  $X_e = 0$  とし、4 図のようにたまたま  $y$  相が失弧したとすると、 $y$  相より進相にある  $x$ ,  $w$  極は相間リアクトルの作用によつて  $u$  点まで並列に電流を流して止み、同時に  $u$  相極が点弧してこの陽極だけで負荷電流を負担することになる。もし  $X_e \neq 0$  ならば、 $a$  点以後も若干の期間  $x$ ,  $w$  極が電流を流し続けるから、結局  $a$  点以後のある期間は、 $x$ ,  $w$ ,  $u$  相の 3 陽極に電流が流れることになるが、問題を簡単にするため  $X_e = 0$  の場合だけを取扱うこととする。なお  $X_e = 0$  の場合でも、相間リアクトルおよび変圧器の漏洩リアクタンスが無視しうる程度であれば  $x$ ,  $w$  極の電流は  $a$  点で終り、 $a$  点で  $u$  極が点弧した後は、相間リアクトルはその半分だけに電流が流れるために大きなリアクタンスとして働くのである。

$u$  極の電流  $I_a$  (4 図) に対しては (1) 式と同一の微分方程式が成立するが、その解の積分常数  $A$  はいまの場合  $\theta = 0$  で  $I_a = 0$  として定められるから

$$I_a = \frac{\sqrt{2} V_s}{\sqrt{R_o^2 + X_t^2}} \left\{ \sin(\theta + \alpha - \gamma) - \sin(\alpha - \gamma) \epsilon \right\} \frac{-R_o \theta}{X_t} \quad \dots \dots \dots (13)$$

ただし  $\gamma = \tan^{-1}(X_t/R_o)$ ,  $\alpha = \pi/6$  故に (3), (4) 式で与えられる電圧  $V_{atu}$ ,  $V_{atz}$  を等しくおき、これに (13) 式の  $I_a$  を代入すれば  $\delta$  を求めることができることができる。

いま  $R_a + R_t = 0$  とし、 $\delta$  を与える  $V_{atu} = V_{atz}$  の関係から

$$2 X_t \frac{dI_a}{d\theta} = V_{av} - V_{az}$$

$\theta = \pi/2$  において  $dI_a/d\theta = 0$  であるときは上式は満足しこのときすなわち  $\delta = 0$  であるから、(13) 式において

$$\left( \frac{dI_a}{d\theta} \right)_{\theta=\pi/2} = 0$$

なる条件を与えれば  $R_a + R_t = 0$ ,  $X_e = 0$  であるから

$$\left( \frac{R_e}{X_t} - \sqrt{3} \right) \left( 1 - \frac{R_e}{X_t} \right) - \frac{R_e}{X_t} \frac{\pi}{2} = 0$$

これから

$$\frac{X_t}{R_e} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \text{または} \quad \frac{X_t}{R_e} = -\frac{1}{\sqrt{3}} \quad \text{のとき} \quad \delta = 0 \quad \dots \dots \quad (14)$$

$X_t/R_e = 0$  は整流器が無負荷の場合で、このとき  $\delta = 0$  なることは当然考えられることである。また数値計算の結果から

$$\frac{X_t}{R_e} < \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \text{なるとき} \quad \delta > 0, \quad \text{すなわち電圧}$$

交点は遅れる

$$\frac{X_t}{R_e} > \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \text{なるとき} \quad \delta < 0, \quad \text{すなわち電圧}$$

交点は進む

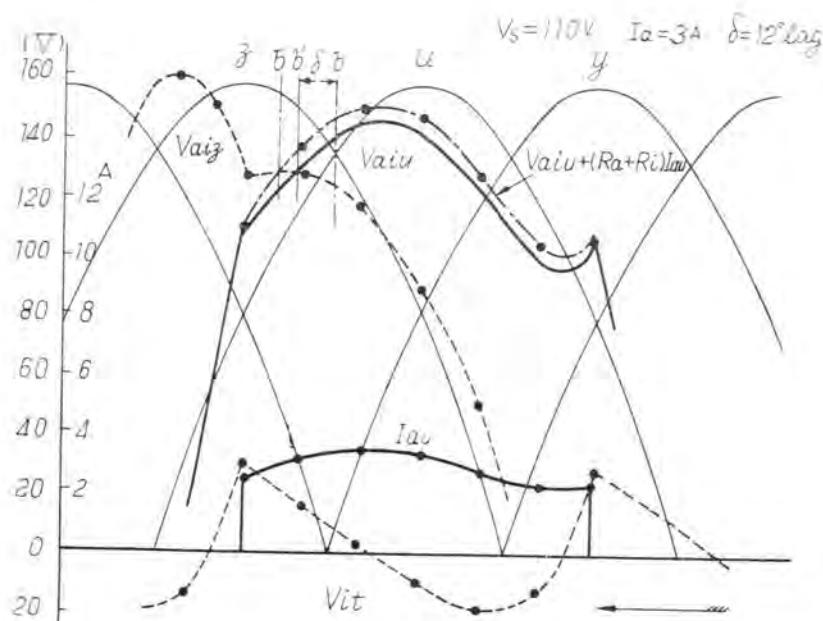
4 図は  $(X_t/R_e) = 0.5$  で  $\delta > 0$  となることを図示したものである。このようにして整流器の 1 相が失弧しても、 $(X_t/R_e) < 1/\sqrt{3}$  の場合は格子尖頭電圧の幅が  $30^\circ = \delta$  なければ、4 図で  $\varepsilon$  極は点弧しえず、整流器は結局  $u, v, w$  極だけが点弧する 3 相運転に入るのである。

### 3. $\delta$ の数値例

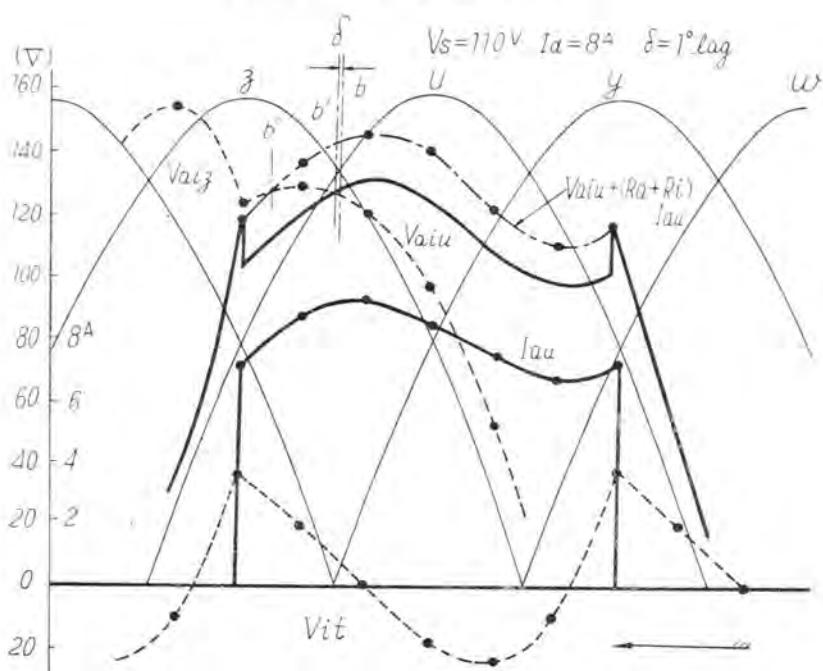
上述の算式または 12 図を用いて実験回路あるいは 2,000kW, 1,500V 水銀整流器が 3 相運転をしている場合の移動角  $\delta$  の数値例をつぎに求めてみる。

#### ア. サイリトロンを使用した実験回路

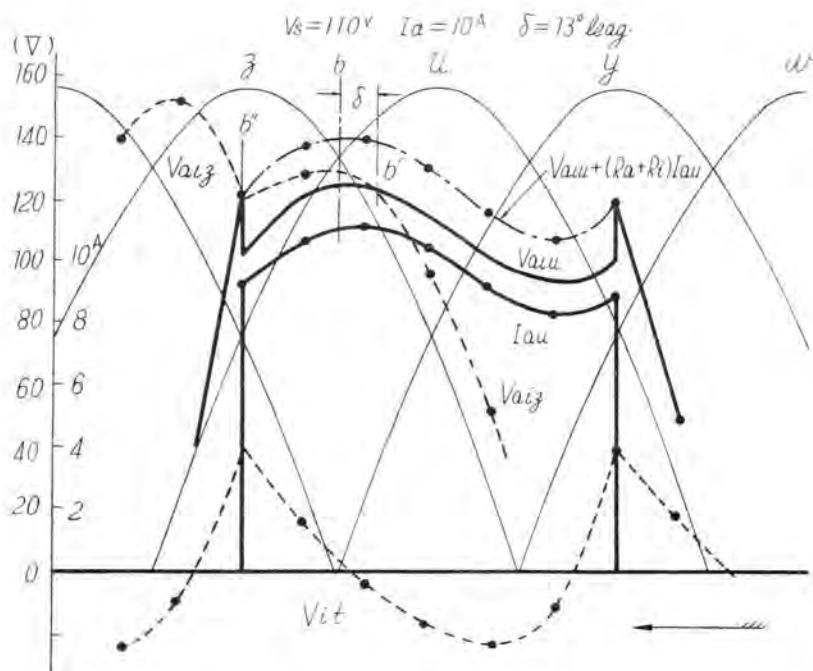
II-2 の実験例に示したように、変圧器および相間リアクトルの抵抗  $R_a$ ,  $R_t$  は無視できないので、回路定数から  $V_{atu}$  等の陽極電圧の波形を計算し、これらの電圧の図上の交点から  $\delta$  を求めた。13, 14, 15 図は  $I_d = 3, 8, 10$  A における計算波形の例で、 $R_a + R_t = 0$  の場合は  $\delta$  は  $V_{atu} + (R_a + R_t) I_{au}$  なる破線の波形と  $V_{atu}$  の交点  $b''$  として大体求められるが、いまの場合  $R_a + R_t \neq 0$  なるため  $V_{atu}$  と  $V_{atu} + (R_a + R_t) I_{au}$  の交点  $b'$  は  $b''$  より若干進み（すなわち  $\delta$  は小となる）、 $R_e$  小さく  $I_d = 10$  A (15 図) となれば  $\delta$  は負（原点  $b$  より進相）となる。10 図はこのようにして  $\delta$  を図式的に求めた計算値と実験値の対照を示すものである。ただし 10 図の負荷電流  $I_d$  は、無負荷直流電圧  $1.17 V_s$  から、電弧電圧を無視して  $I_d = 1.17 V_s / R$  として求めてある。II-1 節の冒頭に記したように、本文の計算では、変圧器の漏洩リアクタンスを無視しているから、整流器の直流電圧としては無負荷のときの値  $1.17 V_s$  を取りうるのである。負荷電流が小さい場合に計算値と実験値に開きがあるが、相間リアクトルの直流励磁の効果をもつ負荷電流が少い場合は 5 図のように  $X_t$  の変化が大きいので、これが計算上仮定



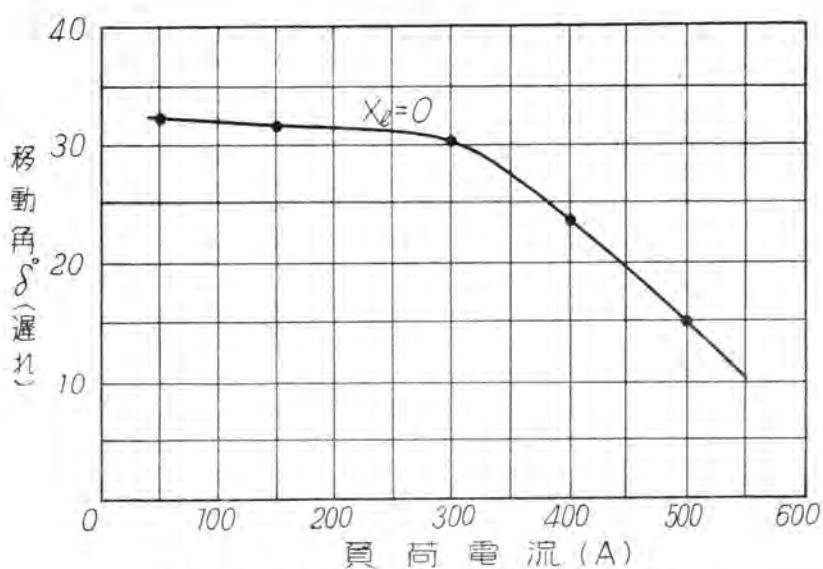
13 図  $\delta$  の作図計算



14 図  $\delta$  の作図計算



15図  $\delta$  の作図計算



16図 2,000kW 整流器における移動角の数値例  
(ただし変圧器2次電圧は化成タップ80V)

たところの陽極電流の振動の範囲内では  $X_t$  は一定ということと相反するためであろうと思われる。

#### 4. 2,000 kW, 1,500 V 水銀整流器

これは低圧化成の場合と実負荷運転の場合とでは  $X_t$  の値が異なるから、それぞれの場合について  $\delta$  の値を求める必要がある。

##### (1) 化成電圧 ( $V_d = 80V$ とす) における数値例

整流器変圧器の2次化成タップを使用し、抵抗負荷 ( $R_e = 0$ ) により化成を行う場合の負荷電流と移動角の関係を (7), (12) 式あるいは 12 図から求めると 16 図

のようになる。ただし  $X_t$  の特性は 5 図に示してある。  $\delta$  が  $30^\circ$  以上ではあまり変化しないが、これは 11 図 (b) に示すように  $\delta > 30^\circ$  では  $V_{dab}$  が  $V_{dab}$  の勾配の急峻な部分で相交わること、または 12 図から了解できる。

##### (2) 実負荷の場合

17 図は、電鉄用整流器の電車負荷として  $0 \sim 0 mH$  のインダクタンスがあるものとして、負荷電流に対する移動角  $\delta$  を前とどうようにして求めたものである。化成電圧の場合より  $\delta$  が小さいのは、直流電圧が高いため化成の場合より  $R_e$  が大になり、したがって  $X_t/R_e$  が小さくなるためである。なお (1), (2) いずれの場合も負荷電流は無負荷直流電圧  $1.17 V_d$  / 負荷抵抗 (電弧電圧無視) として求めてある。

## 4. 結 言

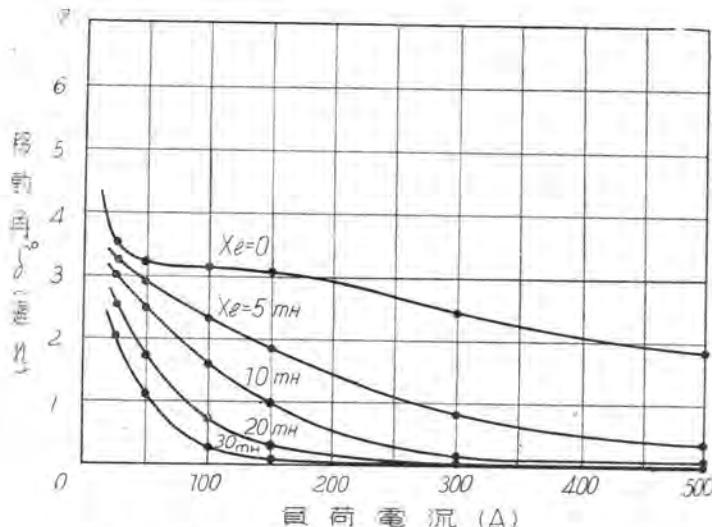
結言として前述の実験と理論の要点を述べ、あわせて 3 相失弧の対策およびイグナイトロン整流器について言及する。

(1) 二重星型水銀整流器は、格子尖頭波電圧の幅の不足のため、整流器起動の際または運転中 1 相が失弧した場合 3 相運転となることがある。整流器が 3 相運転とならないためには、格子尖頭波電圧の幅は  $30^\circ + \delta$  が必要で、この移動角  $\delta$  は整流器回路の定数によつて定まる。

(2) 相間リアクトルのリアクタンス  $X_t$  およびその直流励磁特性によつて異なるが、負荷抵抗が大きくまた負荷リアクタンスが小さい

程、相間リアクトル電圧の影響が大きくなつて移動角  $\delta$  は増大する。逆に負荷抵抗小すなむち負荷電流が大になるにしたがいまた負荷リアクタンスの増大に伴つて  $\delta$  は減少し、ある負荷電流になれば整流器は正常な 6 相運転に自然に復帰する。

(3) 整流器が 3 相運転となる原因は、起動時の陽極電流の過渡波形の問題または運転中の 1 相失弧の 2 つだけが原因ではないかもしないが、いかなる原因によつて 3 相運転になつたとしても、これを再び正常な 6 相運転に自動的に復せしめるには、要するに 3 相運転になつて



17 図 2,000kW 整流器における移動角の数値例  
(ただし直流電圧1,500V)

いるときの移動角  $\delta$  だけ格子尖頭波電圧の幅を余分に持たせればよい。

(4) 1,500V, 2,000kW 水銀整流器の例のように、実負荷での移動角  $\delta$  はせいぜい  $5^\circ$  程度であるが、化成中では相電圧が低いために  $\delta$  は  $32^\circ$  程度の大きさになる。したがつて後者に対処するために格子尖頭電圧の幅は相当大きくとらなければならないが、尖頭波変圧器などを使用するときは幅を  $60^\circ$  程度持たしてしかも波頭を急峻にすることは若干むりを生ずる。したがつて化学用整流器のように、格子制御のために波頭の急峻な尖頭波格子電圧が要求される場合は、化成中格子に直流の正電圧を加えるか、または化成中の大きな  $\delta$  を補償するに足りない尖頭波変圧器を用いても、3相運転になつた際一旦格子制御を行つて負荷電流を下げれば6相運転に復帰するので、その後格子電圧を元の位相に戻す方法を講ずる必要がある。また化成において主変圧器の2次化成タップを用いるか、あるいは1次電圧を下げて正規の相間リアクトルをそのまま使用すれば、そのリアクタンスは大きいのでしたがつて  $\delta$  も大きい。故に化成に際

して、別個の低圧用のリアクタンス小なる相間リアクトルを使用する方が移動角の減少に効果がある。

(5) 二重星型結線のイグナイトロン整流器においても、上述とどうような理由により、点弧子によつて発生した陰極輝点をなんらかの方法によつて  $30^\circ + \delta$  の期間保持する必要がある。イグナイトロンが制御格子を持つ場合は、その尖頭波電圧の幅についてもどうようである。点弧回路の出力波形を上述の要求に応ずるように増加すれば、点弧回路の容量および電力を増し、かつ点弧子の寿命に対して決して良い影響は与えない。したがつてこれに対処するためにはイグナイトロンに1個の補助点弧極(励弧極)を設け、点弧子に与える衝撃波の生ずる陰極輝点を補助点弧極電流によつて  $30^\circ + \delta$  の期間持続せしめる方法がもつとも適当していると信する。当社の点弧回路はこのような見地から構成されている。

以上の実験と理論は、いすれも整流器の電弧電圧、変圧器の漏洩リアクタンスを無視し、また負荷に逆起電力のない場合を取扱つてゐる。実際は電車負荷にせよ、電解槽負荷にせよ、また整流器とインバータを交叉接続するインバータ装置にせよ、いすれも整流器に対しては逆起電力の存在する負荷である。したがつてかかる場合の  $\delta$  についての研究は緊急重要な課題である。

終りに電気課長横須賀正寿氏に終始ご懇意なご指導とご批判を賜つたことを付記する。

### 参考文献

- (1) 村山隆男 電機技報昭和23年4~6月  
水銀整流器用濾波器の異常現象について
- (2) 毛利、亀田 日立評論昭和15年3月  
相間リアクトル付6相格子制御水銀整流器の直流電圧波形について

# 東京歌舞伎座の回り舞台装置

劇場の回り舞台装置という比較的特殊な装置を、新装の東京歌舞伎座に納入したので、回り舞台装置の変遷、計画の大要、機構の特長、据付工事の重点的要素、等について述べた。

本社木村武雄

## 1. 緒言

芸術の殿堂として世に誇つた絢爛たる建物も、戦爆によつて一瞬に破壊され、その屋上にはベンベン草が生えていたという歌舞伎座も、清水建設の施工で昨年來大改造が行われ、本年1月3日こけら落を行い、ふたたび豪華な姿を木挽町の一角に現わした。

当社は舞台機構の中でもつとも重要な回り舞台装置一式の工事を受注し、多年の経験を誇る三菱エレベータの技術を応用して、従来にない新しい試みを実施して好成績をおさめたので、この機会に華かな舞台の夢や奈落は、どんな仕掛け機械化されているかを述べて見たい。

## 2. 回り舞台および迫り上りの変遷

日本における劇場は一般的日本建築とどうように、世界各国と特別飛び離れた環境の下に生育したが、とくに舞台機構において外国に誇りうる発達をした。

回り舞台は舞台機構の内でも、とくに顯著な例で、今より約195年前、宝暦8年に大阪角の芝居に造られたものが最初である。これは狂言作者並木正三が、こま回しから暗示をえて発明したもので、舞台下の中央こまの心棒に当る太い軸に、綱を巻き付けこれをロクロに結び、数人の大道具方が回す仕掛けである。

迫り上りも並木正三の創案で、宝暦3年大阪大西芝居で試みたのが最初であるといふ。これは花道のすつぽん、または舞台の切穴に嵌る可動台を備え、台の裏中央に角柱を取付け、柱の根に結んだ綱を滑車を経て大道具方が横に引くと、角柱は地中にあるガイドに沿い上下して役者は台と共に舞台へ迫り上る仕掛けである。

現在でも比較的小さい舞台および迫り上りは、人力で操作しているが、大劇場はすべて電動式である。

東京歌舞伎座に新設した回り舞台は、その大きさにおいてまた運転方式に直流電動機を用い直流可変電圧式を採用した点で、記録的のものである。また大迫り上りの表



1図 東京歌舞伎座外観

面積は16疊敷の大きさで、これも劇場用としては記録品である。

## 3. 回り舞台および迫り上りの性能

西洋劇の場合は暗転または閉幕してから回転するが、歌舞伎劇においては、晃々たる照明の裡で演劇中にまわすことが多いから、

機械的な雜音の出ない静かな運転をすること。

始動ならびに停止が円滑であること、および回転速度を自由に換えうること。

盆(回り舞台)の表面と舞台床面との如何な位置でも一致すること。

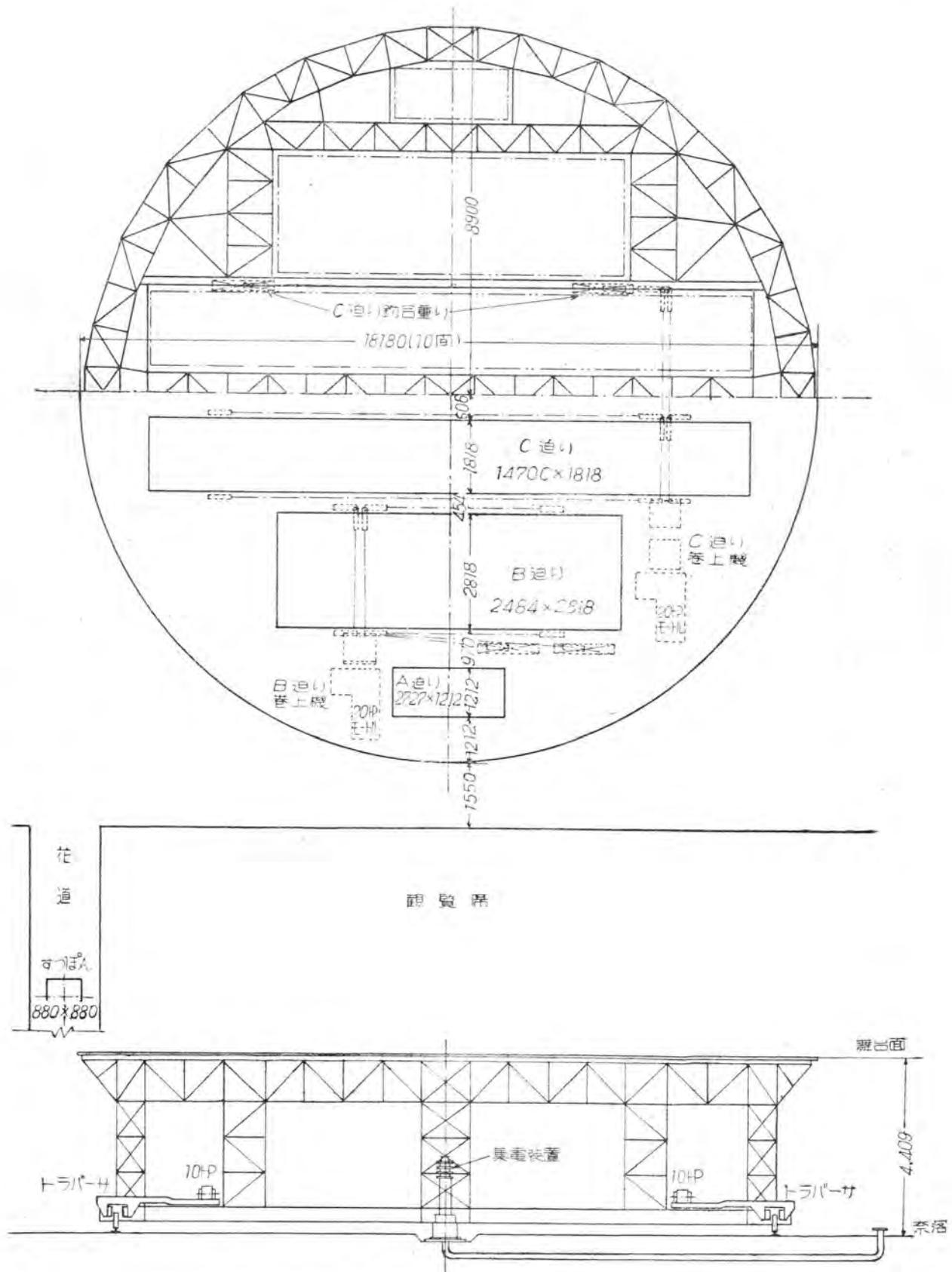
盆の回転にむらのないこと。

迫り上り台が盆表面に完全に自動着床すること。

以上を満足させるために次の方法を実施した。

### ア. 機械的な音を出さぬため

(1) 回り舞台駆動用モートルの減速機として第1段目にハスバ歯車を使用し歯車箱内で油中運転を行い、第2段目にダブルヘリカルギヤーを使用する。



2 図 回り舞台(盆)平面および側面図

- (2) 回り舞台のすべての軸受は球軸受を使用する。
- (3) トックレール (30 kg/m) はコンクリート面に直接敷設せず枕木上に取付け、かつレールの上面ならびに側面は機械加工を施す。
- (4) トックレールの継目は斜め継とする。
- (5) 駆動輪ならびに被動輪には回転による音を消すため、鍔の内側に鉛を充填する。
- (6) 迫り上げの減速装置として歯車箱内で油中運転をするウォームギヤーを使用する。

#### イ. 始動ならびに停止を円滑にかつ回転速度を自由に変えうるため

回り舞台の制御に直流可変電圧式を用い運転用ハンドルのノッチは、左右両回り共 21 もあるから速度の調節は自由である。

#### ウ. 盆の回転にむらのないため

(1) 鉄骨構造のメンバの決め方およびその製作に十分の注意を払つた。

(2) 迫り上げ装置 3 台は盆の半円内に集中しているので重量が偏在するから、C 迫り上げ用釣合重りを、迫り上げ台と対照の位置まで移動せしめてできるだけ重量のバランスを取るように考慮した(2 図参照)。その結果は従来の廻り舞台に比較して格段の好成績をおさめることができた。

### 4. 回り舞台装置の仕様要項

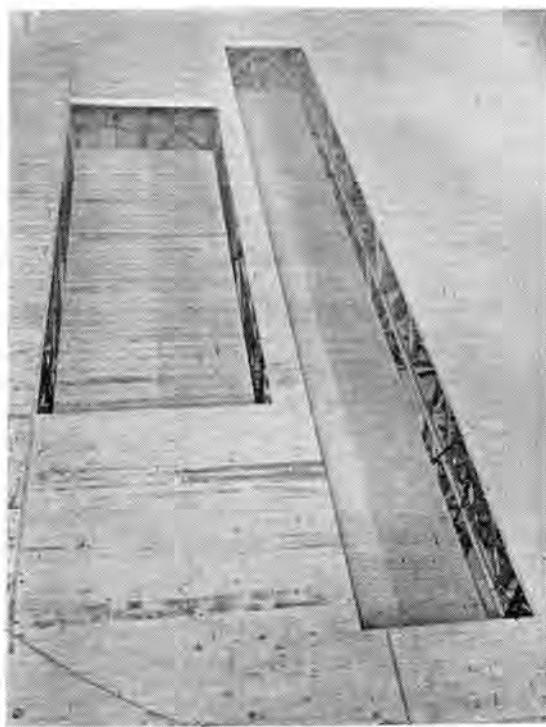
#### ア. 回り舞台

- a. 盆の外径 18.18 m (10 間)
- b. 床板 厚 1.2 寸檜板を 3.5 寸角根太の上に張詰め
- c. 盆の高さ 奈落より 4.409 m
- d. 全重量 100 ton (A, B, C 各迫り上げを含む)
- e. 円周速度毎分 最大 28.5 m (1 分間  $1\frac{1}{2}$  回転)
- f. 制御方式 直流可変電圧カースイッチ制御
- g. 動力 電動発電機 1 基  
3 相誘導電動機 200V 50Hz 40 HP  
直流発電機 230V 23 kW  
励磁機 230V 4.5 kW
- h. 駆動用モータ 直流電動機 10 HP 800 rpm  
2 基直列
- i. 減速機 1:10 ギヤーレデューサおよびダブルヘリカルギヤーならびにペベルギヤーにて全減速比 1:40 に減速する

#### イ. 迫り上げ

回り舞台の半円内に大中小 3 台の迫り上げを設ける。また花道に「すっぽん」 1 基がある。

迫り上げは、エレベータの一種で 3 図のように機械は昇降台の直下または横下に設けて、台の表面は突出したものは無く、停止面の床穴を埋めてしまう。



3 図 C (松) 迫りおよび B (竹) 迫り

種類	間口 (尺)	奥行 (尺)	運行速 度 m/min	度行程 m	動力	電動機
C (松) 迫り	43.5	6.0	12	2.0	電動	20 HP
B (竹) 迫り	28.0	9.3	10	2.5	電動	10 HP
A (梅) 迫り	9.0	4.0		2.7	手動	3 相交流 50Hz 200V
花道すっぽん	2.9	2.9		3.3	手動	エレベータ用 MK 型 (カゴ形) 電動機

### 5. 回り舞台装置

電動式回り舞台の回転機構には、2種類がある。

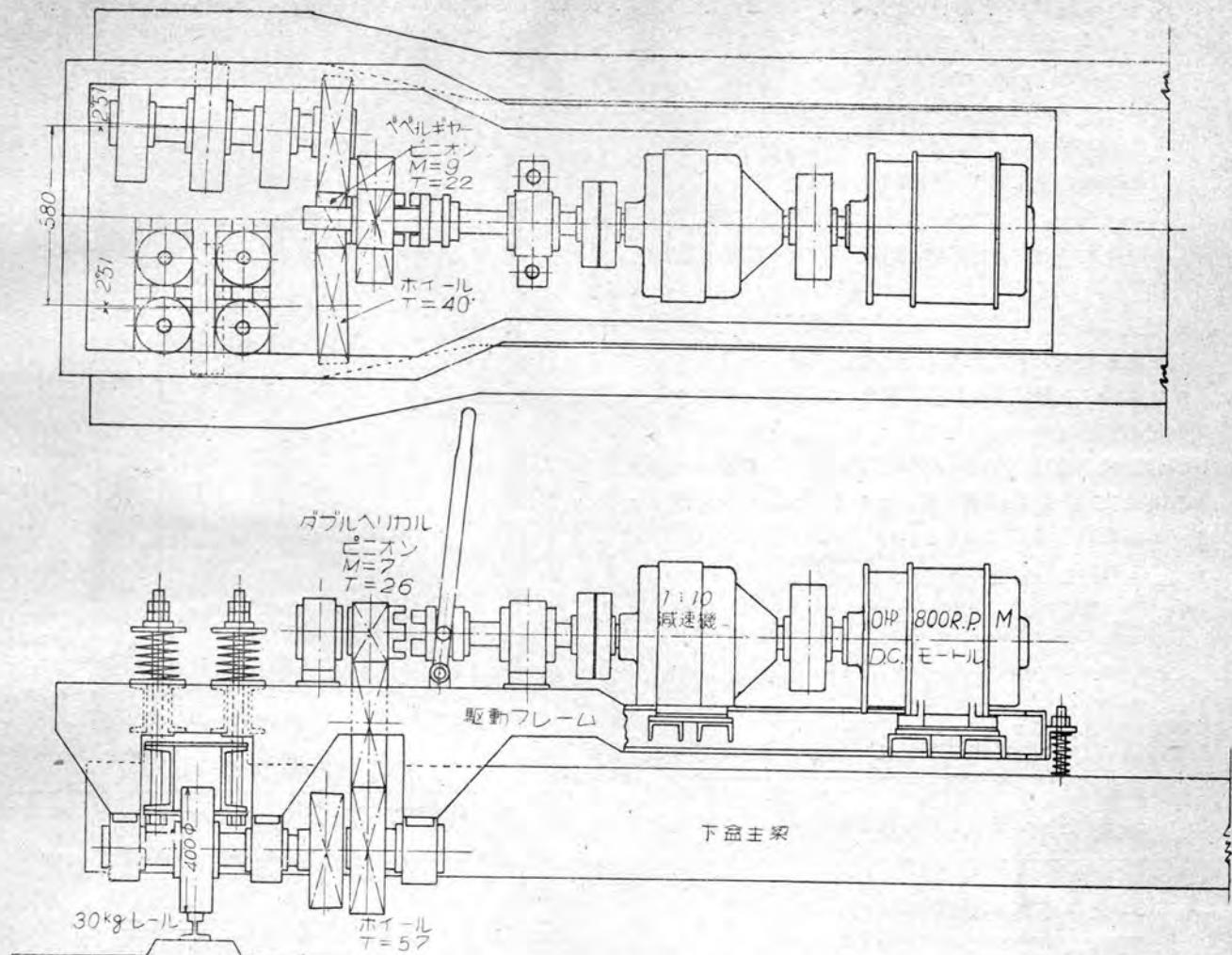
(1) 下盆の全周に堅木製の V 型溝を張り付け、これに鋼索をダブルに掛け、案内車を経て奈落の一隅にある減速機に連結したトランクションシープまたはドラムに連絡する(大阪北野劇場、東京アーバン劇場等)

(2) 下盆自体にモータならびに駆動装置を備え、駆動輪を回転させて盆をまわす(東京および大阪歌舞伎座等)

(1) の方法は鋼索が延びると、スリップする傾向があつて綱の張力を調整せねばならぬし、また綱の張力で盆自体を減速機側に引き寄せる力が働き、レールと被動輪との間に軋音を出す傾向がある。

(2) の方法は奈落に邪魔物が出ないため、奈落の通行に安全であるが、盆の構造と駆動装置とに欠点があると、駆動輪がスリップしてレール上に砂をまいて駆動輪の摩擦抵抗を増さねば、舞台が回らぬような欠点がある。

東京歌舞伎座においては、(2) の方法を用い制御方法として直流可変電圧式を採用し、駆動装置には駆動輪に加わる圧力を調整しうる特別の方法を講じ、またレール



4 図 駆動装置の平面および側面図

の仕上ならびに敷設に十分の注意を払つた結果、予期以上の好成績をえた。

#### ア. 駆動装置の特長 (4図および5図参照)

回り舞台全重量 100 ton は盆のセンタポストと 2 組 4 個の駆動輪と、下盆の下部全周に沿い配列した 28 個の被動輪で、トラックレール上に支えられる。

駆動輪は下盆に直接固定せず、駆動装置全体を下盆の二列の主梁間に嵌めて駆動力を伝達する構造である。

かくすることにより駆動輪に加える圧力を、発条により調整して走行が円滑になる。

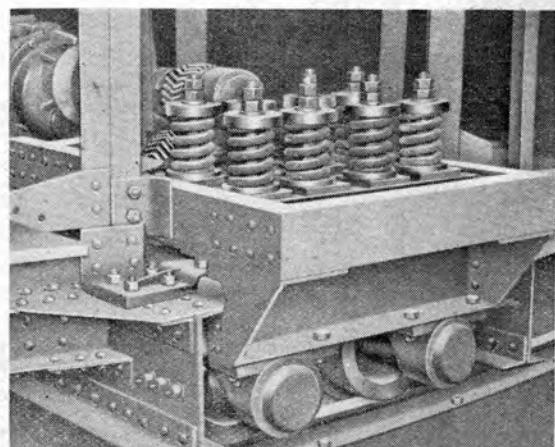
#### イ. センタポスト

下盆の中心下部にあつて、回り舞台の重量の一部は、鍛鋼製の球面座を経て、推力球軸受によつて支えられている。センタポストは中空で、その中をポストの頭部に取付けた集電装置から出た電線を通し地中電線管を経て、舞台上の操作盤および舞台下の制御盤に連絡している。

集電装置はスリップリング式 (6図参照) で、回り舞台装置、迫り上げのみならず、回り舞台上の各種照明用電源をも含めて回り舞台外と接続してある。

#### ウ. 鉄骨構造

回り舞台の床板およびその根太は木材であるが、その東京歌舞伎座の回り舞台装置・木村



5 図 駆動装置外観

他はすべて溝形鋼と山形鋼を主材とした鉄骨で成立つてゐる。

鉄骨は軽量で、かつ強度に対し十分の安全率を持たすため、梁および柱はラチス形とした。

鉄骨は上盆、下盆および柱部分の 3 つから成立つ。上盆の半円内には A, B, C 3 基の迫り上げの穴が明いているから、垂直荷重のみならず横方向の荷重に対しても

も、安全強度を持つように設計した。

床荷重は  $400 \text{ kg/m}^2$  でその内訳は

木造小梁および根太床板  $40 \text{ kg/m}^2$

鉄骨大梁  $30 \text{ kg/m}^2$

積載荷重 330 kg/m<sup>2</sup>

(舞台の床面に人が一杯に乗つた時と同状態)

一例として上盆の中央梁の計算を示す(7図a, b参照)

### (1) 集中荷重

Cよりの片側の案内車に加わる動荷重は静荷重の2倍に取つて図の位置に負荷されている。

### (2) 分布荷重

梁の幅は 916 mm であるから、梁の長さ 1 m に  
付分布荷重は  $400 \times 0.916 = 370 \text{ kg}$  である。

3 点支持の連続梁として計算する。

#### a. 集中荷重による曲げモーメント(7図aの上部)

$$M_D = \frac{P_1 a (l-a)}{l} = \frac{5.65 \times 2(7.6-2)}{7.6} = 8.35 \text{ ton.m.}$$

$$\text{反力 } R_B = 4.03 \text{ ton}, R_C = 5.65 + 8.00 - 4.03 = 9.62 \text{ ton.}$$

$$M_E = R_E \times 5 = 4.03 \times 5 = 20.15 \text{ ton-m}$$

$$M_c = R_c \times 2 = 9.62 \times 2 = 19.24 \text{ ton-m}$$

$$M_B = -\frac{P_1 \frac{a_1}{l} (l^2 - a_1^2) P_1 + \frac{a_2}{l} (l^2 - a_2^2) + P_2 \frac{a_3}{l} (l^2 - a_3^2)}{4l}$$

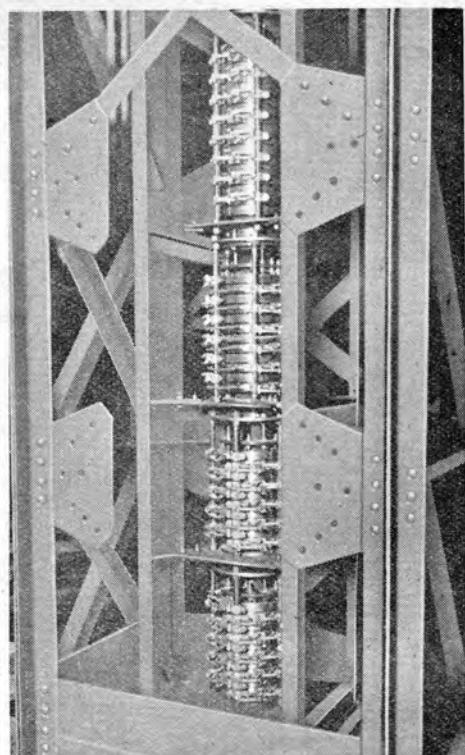
$$= -\frac{5.65 \times \frac{2}{7.6} (7.6^2 - 2^2) + 5.65 \times \frac{2 \cdot 6}{7.6} (7.6^2 - 2.6^2) + 8.0 \times \frac{2}{7.6} (7.6^2 - 2^2)}{4 \times 7.6} = -9.57 \text{ ton-m}$$

これにより曲げモーメント線図を書きえて斜線内の部分がモーメントを示す。

最大曲げモーメント  $M_{max}$  は図より計つて

$M_{max} = 16.8 \text{ ton}\cdot\text{m}$  となる。

b. 分布荷重による曲げモーメント(7図aの下部)



## 6 図 集雪装置

分布荷重  $W=370 \text{ kg/m}$

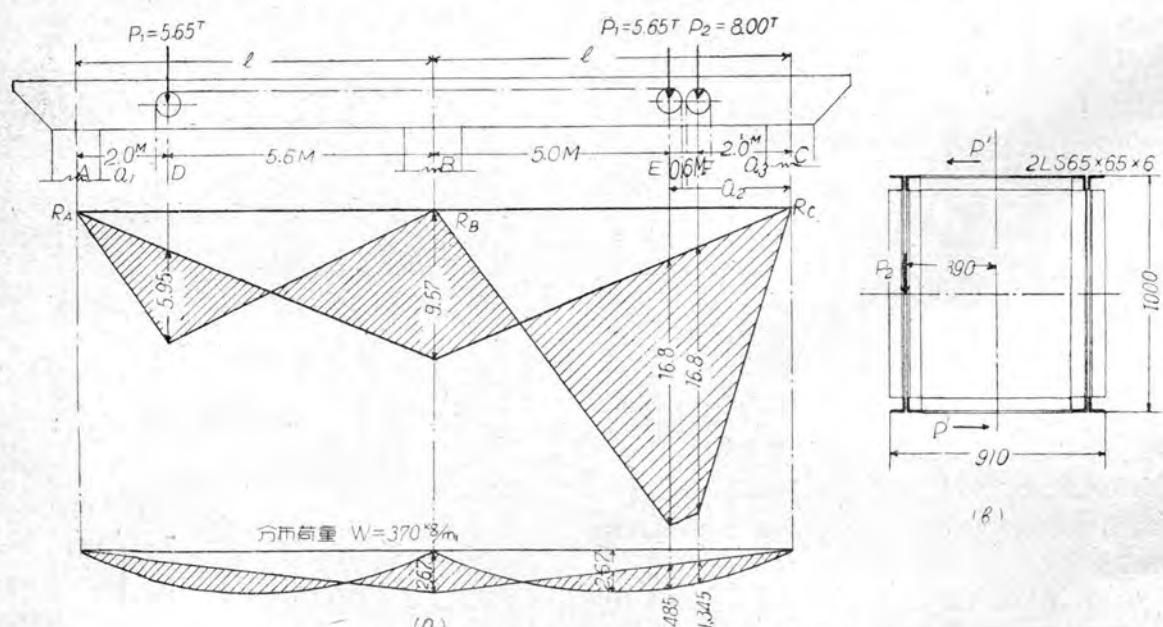
$$M_{1B} = -\frac{1}{8} W l^2 = -\frac{0.37 \times 7.6^2}{8} = -2.67 \text{ ton.m}$$

$$\text{よつて } F \text{ 点においては } -\frac{0.37 \times 7.6 \times 2}{8} = -0.725$$

$$E \text{ 点においては } \frac{0.37 \times 7.6 \times 2.6}{8} = -0.915$$

各支点間の中心における曲げモーメントもどうよ  
うに  $\frac{1}{6} W l^2 = 2.67 \text{ ton.m}$  である.

### Fにおける 曲げモーメント



7 図 回り舞台(左)に加わる荷重の想定

$$M^1_F = \frac{0.37 \times 2(7.6 - 2)}{2} = 2.07 \text{ ton.m}$$

E における 曲げモーメント

$$M^1_E = \frac{0.37 \times 2.6(7.6 - 2.6)}{2} = 2.40 \text{ ton.m}$$

正味の曲げモーメントは斜線内の部分であるから

$$F \text{ 点においては } 2.07 - 0.725 = 1.345 \text{ ton.m}$$

$$E \text{ 点においては } 2.40 - 0.915 = 1.485 \text{ ton.m}$$

よつて集中荷重と分布荷重の合計の最大値は

$$E \text{ 点において } 16.8 + 1.485 = 18.285 \text{ ton.m} \text{ となる。}$$

梁の断面の慣性モーメントおよび断面系数を求める。

(7 図 b. 参照)

$$I = i + ad^2 \text{ において}$$

i は山形鋼  $65 \times 65 \times 6$  が 8 本を以つて組立てているから  $i = 27.7 \times 8 = 221.6 \text{ cm}^4$

$$a = 7.527 \times 8 = 60.216 \text{ cm}^2$$

$$d = 50 - 1.8 = 48.2 \text{ cm}$$

$$\text{故に } I = 221.6 + 60.216 \times 48.2^2$$

$$\approx 140.220 \text{ cm}^4$$

$$\text{断面系数 } Z = \frac{I}{d} = \frac{140.220}{48.2} = 2.900 \text{ cm}^3$$

$$\text{曲げ応力 } \sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{1.828,500}{2,900} = 630 \text{ kg/cm}^2$$

$P_1$   $P_2$  の荷重は梁の片側にかかるから、捩れ応力が起る。これを概算的に算出すると、

$$M_t = P_2 \times 0.39 = P^1 \times 1.0$$

$$\therefore P^1 = P_2 \times 0.39$$

$$\therefore M_t = P_2 \times 0.39 \times 1.0 = 8 \times 0.39 = 3.12 \text{ ton.m}$$

$$\text{捩れ応力 } \sigma_t = \frac{312,000}{1,450} = 215 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{故に } \sum \sigma = \sigma_b + \sigma_t = 630 + 215 = 845 \text{ kg/cm}^2$$

建築基準法に定められた一般構造用鋼材の許容応力度は  $1,600 \text{ kg/cm}^2$  であるから安全である。

## エ. 駆動装置の走行抵抗および所要馬力

$P$  = 駆動輪にかかる垂直荷重 kg

$F$  = 車を水平に動かすための水平力 kg

$R$  = 車の半径 = 20 cm

$\pi$  = 車の軸の半径 = 3.75 cm

$f$  = 車とレール面との転りの摩擦系数

$\mu$  = 軸受面の摩擦系数

$k$  = レールの敷設、車の不同、その他による雑抵抗の系数

とすれば

$$F = k \frac{P(f + \mu\pi)}{R}$$

$f$  の値は鋼車輪が鋼レール上を走る場合 0.05 位、

$\mu$  の値は球軸受を使用するから 0.05 位、 $k$  の値は 1.25

$$\text{故に } F = \frac{1.25}{20} (0.05 + 0.05 \times 3.75) P$$

$$\approx 0.015 P$$

すなわち走行抵抗は 1 ton あたり 15 kg となる。

(注、一般の天井走行クレーンでは軸受が滑り軸受であるからその走行抵抗は 25 kg~30 kg である)

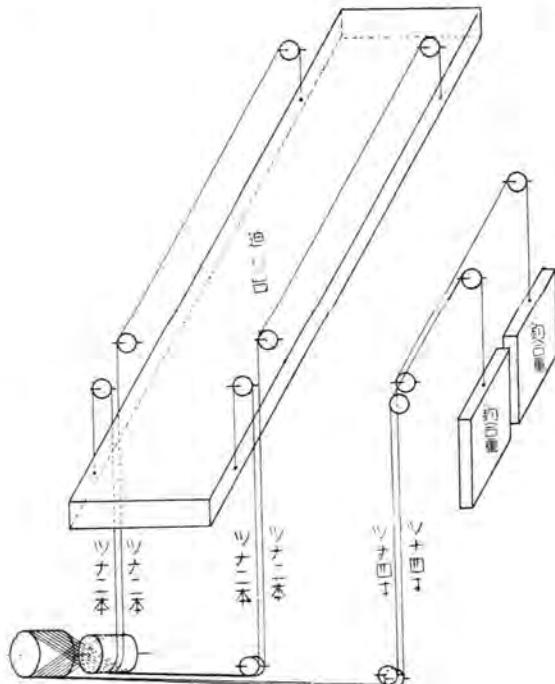
次にトラックレールの中心直径は 16.32 m で盆は毎分  $1/2$  回転であるから、駆動輪の周速度  $V = \pi \times 16.32 \times 0.5 = 25.7 \text{ m/mn}$  となる。ギヤー 1 組の効率は 0.95 で 5 段減速につき全効率は  $0.95^5 = 0.77$  よつて所要馬力は

$$\text{所要馬力} = \frac{\text{全走行抵抗} \times \text{速度}}{4,500 \times \text{効率}} = \frac{100 \times 15 \times 25.7}{4,500 \times 0.77} = 11.1 \text{ HP}$$

実施に当つては、安全を取つて 10 HP モータル 2 台を対角線上に設け直列運転をすることにしたが、試験の結果から見るとなお小容量のモータルでも可能なことを経験した。

## 6. 迫り上げ

回り舞台に付属する迫り上げの昇降機構は、一般にドラム式で台の直下に巻上機を設備するのが普通の方式であるが、当劇場は奈落の深さが浅いため、台の直下に巻上機を設けることができないので 8 図のように迫り上げ



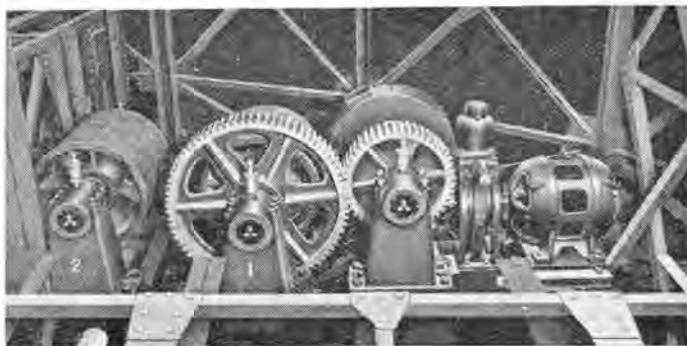
8 図 迫り上げ構造図

の側方に設け、綱掛けはダブルラップトラクション型を採用した。

### ア. 卷上機械 (9 図参照)

ウォーム車と平衡車と 2 段減速により 8 枚毎分 1,000 回転のモータルの回転を 1:108 に減速して、直径 650 mm の綱車を回転せしめるもので、

モータル エレベータ用 3 相交流カゴ形誘導電動機で、  
B 迫りは 10 HP, C 迫りは 20 HP を使用



9 図 C (松) 迫り巻上機

電磁ブレーキ エレベータ用としてとくに設計した直流操作とし、騒音なく寿命および信頼度の高いものである。

ウォームギヤー ウォーム歯車は燐青銅、ウォーム軸はニッケルクローム鋼を用いいずれも精密歯切機械で工作したので、これを鉄製の歯車箱中で油中運転するものである。ウォーム軸端には複列スラストボールベアリングを使用する。

平歯車 鋼板を用いた溶接構造のもので熱処理により歪を除き精密な歯切をしたものである。

以上のものを溶接構造の機械台に取付け、これを回り舞台の下盆に据付ける。

#### イ. 綱および綱掛け

19本6つ撚り不反撚性直径16mmのエレベータ用綱を2本づつ4個所合計8本を以つて迫り上げ台を吊り、その安全率は10倍以上に取つてある。

長さ48尺の迫り上げ台の四隅附近で吊つた綱を、8図の如く14個の吊り車と案内車を経て、巻上機の綱車に連絡するから、綱と綱車のV型溝との間に、滑りの生ぜぬよう考慮せねばならぬ。その計算を示すと、

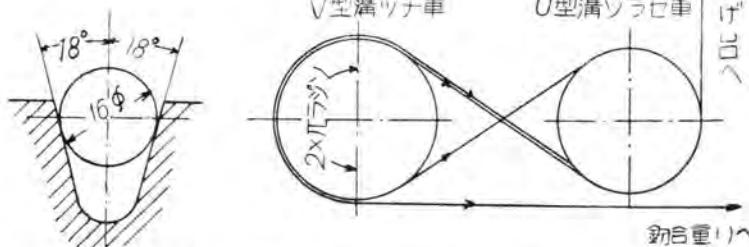
迫り台側  $\left\{ \begin{array}{l} \text{最大積載量 } 4,000 \text{ kg} \\ \text{C迫り自重 } 4,000 \text{ kg} \end{array} \right.$

釣合重り側  $5,000 \text{ kg}$

案内車の摩擦効率を  $\eta = 0.95$  とすれば、3組の案内車を経て巻上機に達するから

$$\text{迫り台側の回転力 } T_1 = \frac{8,000}{\eta^3} = \frac{8,000}{0.95^3} = 9,330 \text{ kg}$$

$$\text{釣合重り側の逆回転力 } T_2 = 5,000 \times \eta^3 = 5,000 \times 0.95^3 = 4,280 \text{ kg}$$



10 図 綱車の綱掛けおよびV型溝

$$\text{よつて } \frac{T_1}{T_2} = \frac{9,330}{4,280} = 2.18 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$f = \text{鋼製綱と鉄製V型溝の摩擦係数} = 0.1$   
 $f' = \text{V型溝の場合の摩擦係数とすれば (10図参照)}$

$$f' = \frac{f}{\sin \alpha + f \cos \alpha} = \frac{0.1}{0.309 + 0.1 \times 0.951} = 0.25$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{f'^3}{e} = e^{-0.5 \times 2\pi} = e^{-3.14} = 4.80 \quad \dots \dots \dots (2)$$

滑りの起らぬ条件として、(2) > (1) でなければならぬ。

滑りに対する安全率は  $\frac{4.80}{2.18} = 2.2$  となり長期間使用

して溝型が相当磨滅しても滑りを起すことはない。

#### ウ. 迫り上げの所要馬力

最大アンバランス荷重  $L = 8,000 - 5,000 = 3,000 \text{ kg}$   
 升降速度  $V = 12 \text{ m/min}$

案内車の全効率  $\eta_g = 0.95^6 = 0.735$ 、ガイドレールと滑り子間の摩擦効率  $\eta_r = 0.9$ 、ウォームギヤーの効率  $\eta_w = 0.65$ 、平歯車の効率  $\eta_p = 0.95$ 、よつて全効率  $\eta = 0.735 \times 0.9 \times 0.65 \times 0.95 = 0.41$  となるから

$$\text{HP} = \frac{L \times V}{4,500 \times \eta} = \frac{3,000 \times 12}{4,500 \times 0.41} = 19.5$$

よつて 20 HPモートルを使用する。

#### エ. 迫り上げ台

間口48.5尺、奥行6.0尺、深さ6.1尺、積載量4,000kgの迫り上げ台に、根太3.5寸、床板1.2寸の檜板を全表面に張り詰めて自重を4,000kgに設計するため鉄骨を極力軽量にせねばならぬから、すべて山型鋼による二列のラチス梁を主材として、これに適当な補強材を配置して組立てる。

### 7. 制御方法

#### ア. 迫り上げ

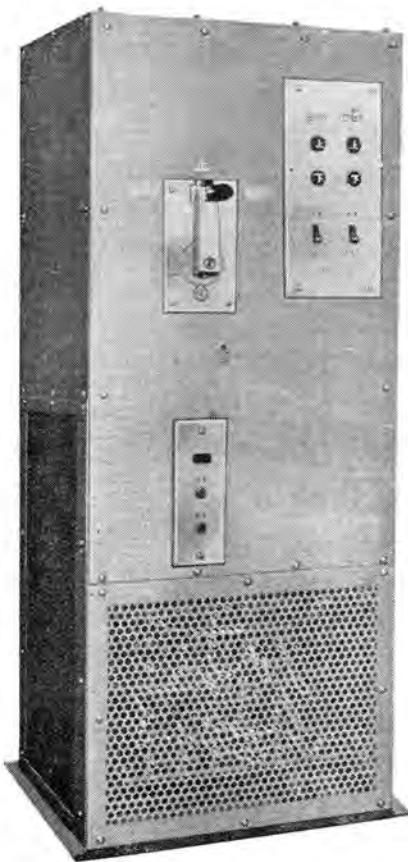
交流1段速度制御自動着床式で、11図の如く回り舞台と共通の操作盤上または下の押鉤を取り付け、いずれかの鉤を押せば、自動的に始動して、自動的に正確に着床停止する。着床の誤差は±5mmにできる。操作盤の取付位置は花道側の舞台横にあつて、舞台を見ながら操作する。

#### イ. 回り舞台

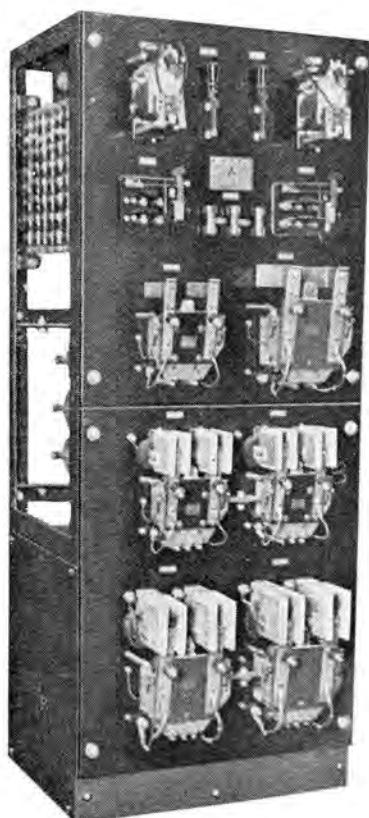
直流可変電圧カースイッチ制御で、その操作は操作盤の左側にあるハンドルを回すことにより、左右両方向に運転しうる。盤の裏面には1から21のノッチがあり電動発電機の分巻界磁抵抗を加減して、速度を全速から

$1/10$ まで自由に調節しうるようになつてある。この方法は日本において回り舞台装置として初めての試みであつたが、使用者側から絶賛を博し歌舞伎座の新設備として、新聞に雑誌に話題となつたものである。

その制御回路の要領図は13図に示す如



11 図 回り舞台および全迫りの操作盤



12 図 迫り制御盤

く、制御盤は 14 図のもので、迫り上げ用制御盤(12図)と共に奈落の配電室内に設ける。

## 8. 据付工事

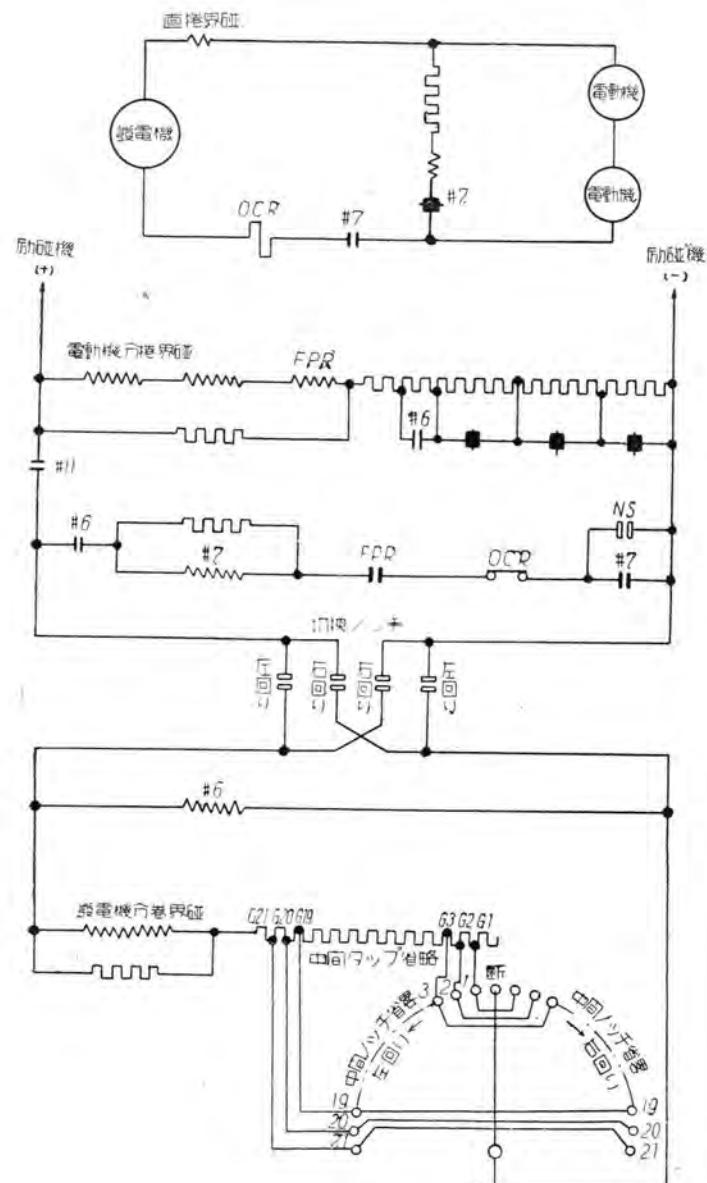
前述のように回り舞台は、演劇中にも運転せねばならぬから雑音が発生すると、マイクロホーンを通じて拡大され折角の舞台雰囲気を破ることになるから、雑音の発生は皆無でなければならぬ。

計画や製作がいかに入念であつても、据付が粗雑であればただちに運転状態に悪影響を与えるものである。

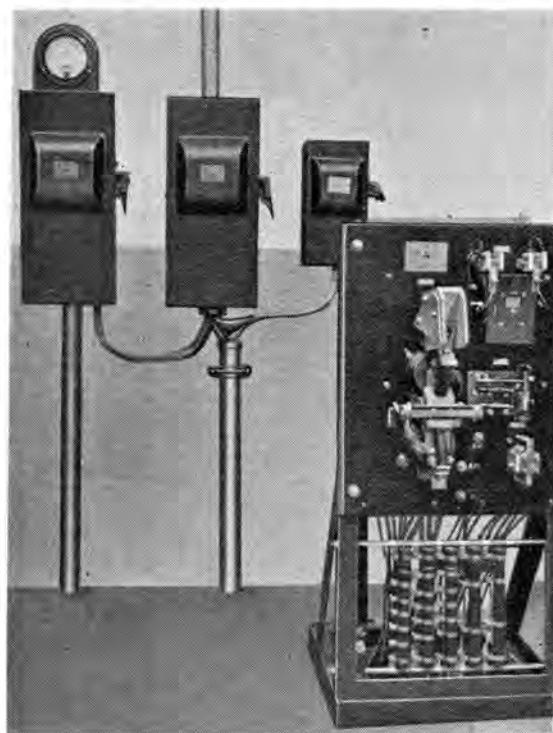
本工事についてはその点十分な注意のもとに施工した。

### ア. センタリング

回り舞台鉄骨の中心がセンタポストに完全に一致せねば盆は味噌摺り状態で回ることになる。舞台面と上盆床



13 図 回り舞台制御回路の要領図



14 図 回り舞台制御盤

板との間隙は僅か数粂であるから、少し振れると回転中に接触して軋音がでる。したがつてセンタリングにはとくに入念に数回のチェックを行つた。その結果万一の場合を慮つて取付けた、ヘチ車（舞台の床裏にマイカルタ製の車を十数個全周に亘つて取付け、盆が舞台に触れるのを防ぐ車）は全然用をなさずに終つた。

#### イ. ト ラッ ク レール

レールの敷設もセンタリングどうように大きな影響を与えるものであるから、レールを円弧に曲げる作業はゲージを作り、表面および内側の被動輪のフランジに接す

る面は機械加工を施しあつその継手は斜め継とし電気溶接を以つてした。

#### ウ. 鉄骨組立

鉄骨はすべて現寸図を書き、これに合せて材料を切断し工場内で仮組立をしてから部分的に鍛締をして、据付現場に持ち込み 15 図のように現場鍛締をした。

また盆の表面の水平心出しが難物で、その表面と舞台床面とは如何なる位置においても少しの凸凹も許されぬから、据付工事として入念なる施工をした。

#### 9. 試運転成績

現場据付期間は 1 個月余しかなく完成まで昼夜兼行で行つた。一般建築工事、附帯設備工事とが同時になつたため混雑したが予定どおり進捗せしめて、25年12月25日東京都庁の竣工検査に合格、年内は細部調整を行い 1 月 3 日の初開場式に無事役目を果しその後連日の使用に無事故で運転してますます好調になつてゐる。

回り舞台の試運転成績を示すとつきの如くである。

回転数 (rpm)	80	123	385	570	740
アーマチュア電圧 (V)	12	19	54	76	100
同上電流 (A)	15~17	16~18	17~20	17~20	17~20
フィールド電圧 (V)	24	34	34	34	34
同上電流 (A)	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1

使用モートルの定格は、100V, 84A, 800 rpm であるから定格全負荷電流の  $1/4$  以下できわめて軽く回つていることを示しており、かつアーマチュア電流の変化も 10%程度であることは、所要トルクの変化が少いことを示しており、これはレール敷設およびセンタリングおよび鉄骨の据付が良好であることを現わしていると思う。

#### 10. 結 言

以上東京歌舞伎座回り舞台装置の特長の概要を述べたが、今後の劇場の改裝または新設に対し多少の参考になれば幸甚とするところである。

終りに本装置の計画に対し貴重なる御助言および監督を頂いた木村建築事務所木村武一氏および清水建設KKのご関係者に深く感謝すると共に製作を担当した当社名古屋製作所および計画ならびに据付を担当した当社施設部の関係諸氏のご努力を多とするものである。



15 図 鉄骨現場組立

# 自動記録 G-M 計数管 X 線分光器

従来X線回折法による結晶性物質の構造の研究には、X線写真法が行われてきた。しかし、この方法では写真撮影に長い時間が必要であり、また写真上の回折線強度を測定するには、測微光度計によらねばならず、しかも高い精度の強度測定は望めない。計数管による自動記録X線分光器を使用する。以上の欠点を除くことができる。本文はわれわれが実際に用いたX線用計数管、X線分光器、増幅装置、記録装置、および現在までに得られた2,3の測定結果について報告したものである。

今 村 実 元  
弘 田 實 彌  
研究 所

## 1. 緒 言

まずX線回折法はよく知られているとおり、X線管から発生した特性X線を結晶にあてると、結晶中の原子配列の規則性のために、ある角度で干渉を起すことを利用したものである。その角度はブリッカの条件式

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

で決められる。ここで  $\lambda$  は特性X線の波長 (Å),  $d$  は結晶の格子面間隔 (Å),  $n$  は正の整数,  $\theta$  は入射X線が結晶の格子面となす角である。おののの結晶により  $d$  の値が一定しているので  $d$  に対応して  $\theta$  が決り、回折X線は入射X線を軸として  $2\theta$  の頂角の錐形をなす。写真で撮影する場合には、平板型のフィルムで円錐を切るので、おののの  $d$  に対応していくつかの円環があらわれる。従来X線回折には、このような写真法が行われてきたが、この方法にはつきのような欠点がある。

ア、写真撮影に長時間を必要とする。たとえば、普通の結晶分析用X線装置では整流器用セレン、螢光体等のような弱い回折写真を撮るのに、8時間ないし12時間位かかる。

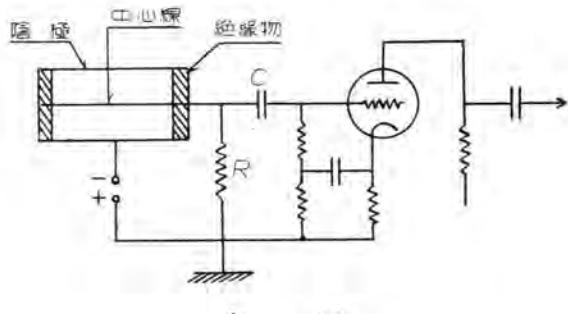
イ、写真上の回折線の強度を測定するには、測微光度計によらねばならず、手数が二重になる。かつX線の強度はフィルムの黒化度から測られるのであるが、散乱X線による避けられないカズリのために、強度比測定は1:10の程度しか望めない。

もちろん(ア)では、回転陽極X線管を使用することによって時間を短縮することができるけれども、計数管による自動記録X線分光器を使用すると、以上の欠点を除くことができ、写真法による円環に相当して強さのピークが得られ、ちょうど測微光度計にかけたような图形を直接えがかされるわけである。

## 2. X線用計数管

自動記録G-M計数管X線分光器・今村・弘田

ガイガ計数管は不安定なコロナ領域で動作するガス封入2極管で、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線、X線、紫外線、可視光線等の放射線の種類によつて幾分異なるけれども、1図に示すように計数管の陰極と中心線とその間の絶縁物とからなり、管内には普通アルゴン、アルコールの混合気体が10cm Hg程度に封入してあり、陰極には1,000V程度の負電圧を掛けておく。電離性の放射線が管内に入り、イオン対が一つでも作られるとほとんど100%放電を生じ、その出力は約10Vである。これらの意味でガイガ管は完全な検出器に近いものといいう。始まつた放電は自然にやみ、ガイガ管は放射線に感じないわゆる不



1 図

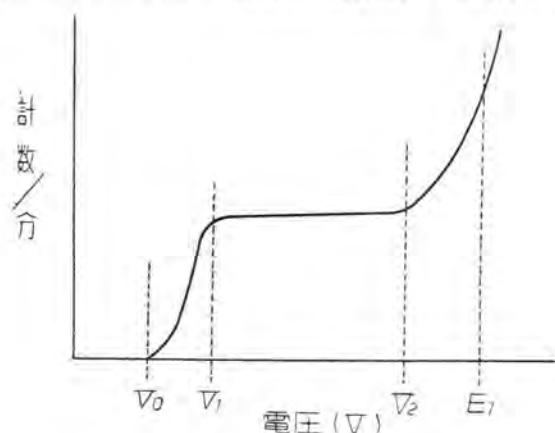
感時間 (dead time) の  $200\mu\text{s}$  程度を経て、もとの状態に戻る。この放電の自己消滅にアルコール、エチルアセテート等の有機気体が役割<sup>(1)</sup>を果しているのであって、このような有機気体入りの計数管は fast counter と称せられている。

さて、X線用計数管としては一端に窓を有する型で、X線が軸方向に入射するものが最適であるが、2図に実際に使用した計数管を示してある。外側は直径25mm

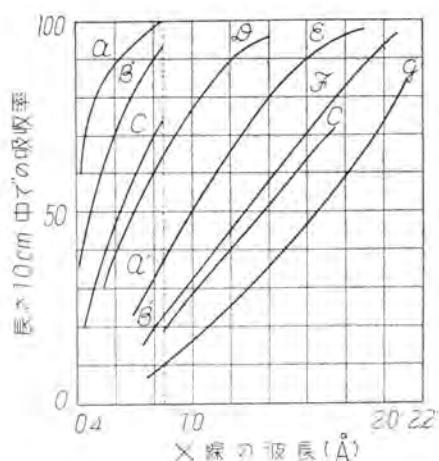


2 図

の並ガラスで、雲母窓は低触点ガラスで封じてある。陰極は直径 14 mm、長さ 110 mm の銅管を酸化処理し、中心線は直径 0.06 mm のタンクステン線を水素処理してできるだけ汚れをとり綺麗にする。システムからは細いガラス棒を出して中心線を直に張つてある。中心線には直径 2 mm 位のガラス玉を付けてあるが、その役目については後述する。雲母窓は  $3 \text{ mg/cm}^2$  すなわち大体 0.01 mm の厚さのものを用いた。封入気体はアルゴンとエチル・アセテート蒸気との混合気体で全圧力は 1 気



3 図



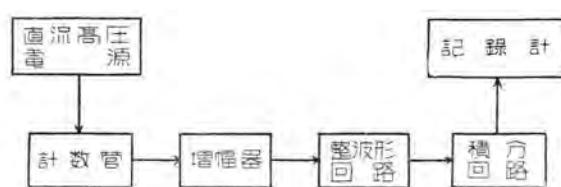
a: フリトン 76 cm Hg  
b: フリトン 40 cm Hg  
c: フリトン 20 cm Hg  
d: ワセノン 20 cm Hg  
e: アルゴン 76 cm Hg  
f: アルゴン 40 cm Hg  
g: アルゴン 20 cm Hg  
a': a の焼き  
b': b の焼き

窓 (吋)	材 料	透 過 率 (%)		
		$Cr-K\alpha$ $2.27\text{\AA}$	$Fe-K\alpha$ $1.94\text{\AA}$	$Cu-K\alpha$ $1.54\text{\AA}$
0.020	リンドマン・ガラス	4.5	14	38
0.010		22	37	61
0.001	アルミニウム	37	53	71
0.005	雲母	40	56	74
0.005	リ	64	75	86
0.020	ペリリウム	65	76	86

4 図 稀ガス (長さ 10 cm) 中の軟 X 線の吸収率および窓材料の透過率

程度になるようとしてある。

一定の放射線源のもとで計数管の毎分の計数と電圧との関係は 3 図のようになり、  $V_0$  から計数が始まり次第に増加して  $V_1$  より一定値をとるが、  $V_2$  からふたたび上昇し  $E_1$  以上になると連続放電になる。  $V_0$  から  $E_1$  までの範囲を計数可能域、  $V_1$  から  $V_2$  までを一定計数域と称し、この部分が実際の計数に使用する範囲である。計数管の良否を決定する一つの大きな因子はこの領域の大小であり、また一定計数域はある傾斜を持つので、その傾斜ができるだけ小さい方がよい。実際使用した X 線用計数管の特性は開始電圧が 1,205 V で、計数可能域は 500 V、一定計数域は 300 V、傾斜は 1%/100 V 程度で、自然計数は約 50 個/分であつた。

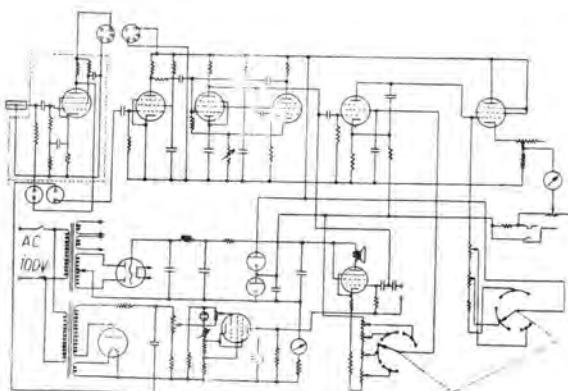


5 図

不活性ガス中の軟 X 線の吸収率および窓材料の透過率<sup>(2)</sup>は 4 図に示すとおりで、X 線用計数管の効率をよくするためには、おののが大きいほどよいわけである。窓と計数管の有効容積間の距離、窓の厚さ、アルゴンの圧力、および計数管の有効長さを考慮すると、使用した X 線用計数管は  $Fe-K\alpha$  X 線に対して 60% の効率を有していると考えられる。なお、ほぼ中央にガラス玉が入れてあるのは、計数管を 2 部分に分けて見掛上の不感時間を約  $1/2$  にするためである。計数管内に生じた放電は中心線に沿つて成長し管全体におよぶのであるが、ガラス玉があれば、そこで放電が止まるため、たとえば、前半が放電を起していても、後半がなお計数可能状態にありうるようになるのである。

### 3. 計数管測定回路

計数管の陰極に加える負の直流高電圧は、安定がよくないと計数管の一定計数領域は僅かながら傾斜があるので、測定に誤差が入るため 6 S J 7 による Gingrich の安定回路を使用した。計数管に生じた放電による脈動電圧は、5



6

図に示すような方法で録数器または記録計を働かすことができる。本文では実際に使用した計数率回路について述べる。計数率回路<sup>(3)</sup>は計数管よりの脈動電圧を増幅し、これをマルチバイブレータ回路に入れ、脈動を均一の大きさの矩形波に直してから、コンデンサ  $C$  と大きな抵抗  $R$  とからなるいわゆる  $RC$  タンク回路に導き、単位時間に到来する平均計数脈動を電流に直して電流計で直接読み取る方法で、比較的簡単に単位時間に生ずる計数の平均数を電流計の読みから直接知ることができます。連続的測定には非常に便利である。実際に使用した回路は 6 図に示すとおりである。マルチバイブルエタよりの矩形波はタンク回路に入り積分されて、6SJ7を3極管接続にした真空管電位計によつて直接電流計を振らせる。タンク回路の時定数はおのおの 20S, 40S, 60S である。かつ 6SJ7 の遮蔽格子電圧を変化させて適当な感度のところを選んで測定できるようにしてある。このような定  $RC$  型計数率計回路の確率誤差は Schiff &

Evans<sup>(4)</sup>によれば  $0.676 (2 \times RC)^{-1/2}$  で与えられる  
 ここに  $x$  は平均の計数率である また指示をとるに要する  
 最小時間いわゆる平衡時間は  $RC (\frac{1}{2} \ln 2 \times RC +$   
 $0.394)$  で与えられる.

なお、モニタ用に高音器で脈動数を聞きうるようにしてある

#### 4. 測 定 裝 置

X線源としては結晶分析用の排気型X線管で対陰極には鉄を使用した。鉄の特性X線は  $K\alpha = 1,934 \text{ \AA}$ ,  $K\beta = 1,747 \text{ \AA}$  である。フィルタは別に付けなかつた。使用した電圧は 45 kV, 管電流は 4.5 mA である。

分光器用度盛円板は直径 500 mm のもの、スリットは内径 4 mm の黄銅管、出口スリットは鉛細工で内径 1 mm の管を差込んで使用した。度盛円板の前面には鉛板を立てて散乱 X 線の影響を防いだ。初段増幅器は遮蔽して計数管に直接接続させ、これらを度盛円板の中心軸の周りに回転できるようにした。計数管の前のスリットは  $1 \times 4$  mm 矩形の鉛板で作り、計数管に散乱 X 線が入らないように外側を鉛で蔽つてある。自動記録計は三菱 R 型記録計を改造したもので、記録ドラムの回転と計数管の回転とは傘型歯車で同期させた。ドラムの回転はモーターを使用し、回転速度は自由に変えることができるようにしてある。実際の記録は測定回路の出力を自動記録計の入力に入れてやるとよい。記録計の最大目盛は 5 m A で増幅装置の出力で十分である。本装置全体を示すと 7 図のようになる。

つぎに本装置の性能であるが、計数管の回転速度は計数率回路の平衡時間から決つてくるのであつて、實際には  $1^\circ \sim 0.5^\circ/\text{min}$  で回転させた。装置の分解能は半減幅

が1.3°である。なお、強度測定は  $RC$  を切換えることにより  $1:10^3$  程度まで測定でき、確率誤差は 3% 以下になるようにして行いうる。

角度の測定はある円環について、左右の回折線の角度を測定して、その中点を中心として測定したものである。

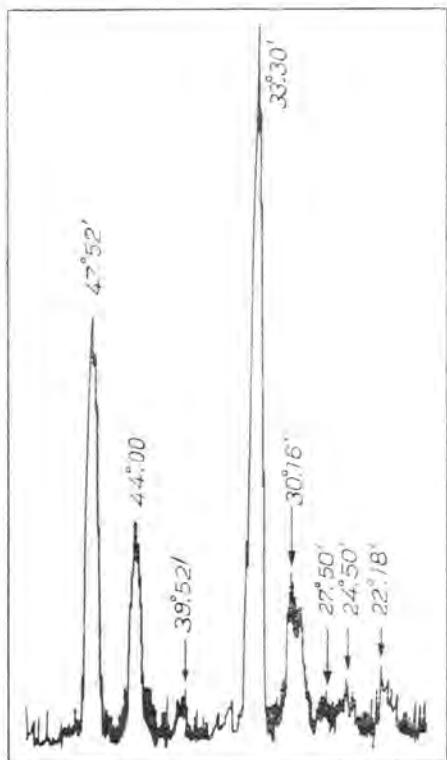
## 5. 測 定 結 果

以上述べてきた装置を使用して行つた2, 3の測定結果について述べる。試料は点孤子で、これを透過法で測定した。8, 9図がそれであるが写真法では約3時間を要したが、計数管によると約45分で済む。強度も写真法の場合とほぼ一致している。 $30^{\circ} 16'$  のピークが割合幅広くなつてるのは  $33^{\circ} 30'$  の  $Fe-K\alpha$  線が混入してきているためと思われる。9図では感度を切換えて測定した結果であるが、前には判然としなかつた回折線

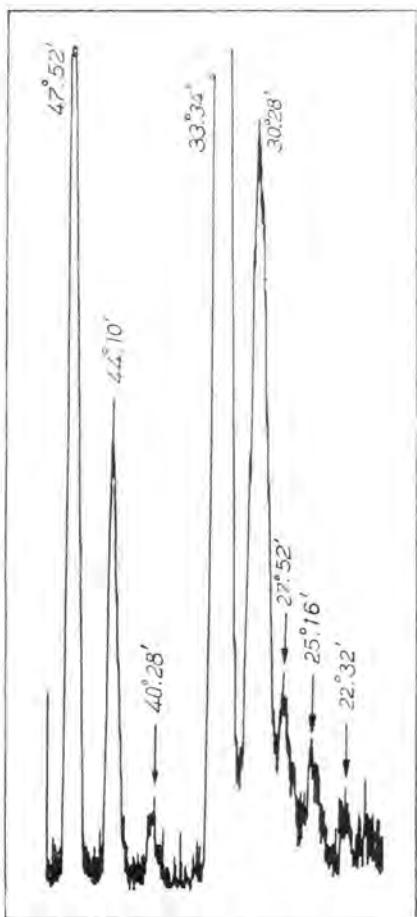


7

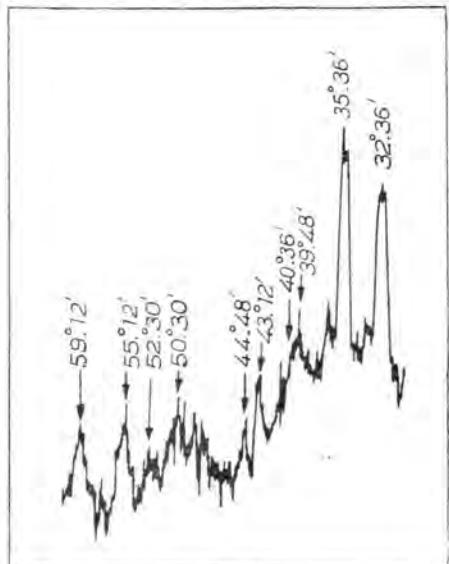
10



8 図



9 図



10 図

でも明瞭に出てくる。しかし、強度の大きいところでは图形記録は紙外へはみ出してしまつていて。

つぎに10図は螢光物質についての測定であるが、試料が粉末であるから薄い紙の袋に入れて反射回折線を測定したものである。少しバックグラウンドが多いけれども、それは角度が増すにつれて減少している。測定結果から得られた角度と、Hawaltの表から得た角度を比較すると、大体満足できる一致が得られた。記録用紙上での1mm当たりの角度は大体  $0.66^\circ$  に相当する。

## 6. 結 言

以上述べたことから計数管を使用してX線回折測定が如何に時間的に経済であり、また強度が直接かつ正確に測定できるかが明らかになつたと思う。実際、回析像を1時間程度で測定でき、しかも強度比が  $1:10^3$  までも測定可能であるということは本装置の大きな特長である。

また温度による結晶の相転移の研究等にはきわめて有効であり、これについてはつぎに報告したいと思う。それとともに計数率計を対数目盛にし、切換えを行わずに  $1:10^4$  程度の強度比を測定できるようにし、また試料の回転の2倍で計数管を回転させる等の改良を加えたいと思つてゐる。

最後に種々御援助ならびに御指導をいただいた大野課長、菅野技師に深く謝意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) S. A. Korff & R. D. Present: Phys. Rev. 65 274 (1944)
- (2) W. P. Davey, F. R. Smith: S. W. Harding: R. S. I. 15 37 (1944)  
H. Friedman: Electronics, 18 132 (1945)  
H. P. Klug & L. Alexander: Anal. Chem. 20 607 (1948)  
A. H. Compton & S. K. Allison: "X-Rays in Theory and Experiment," 2nd ed., New York D. Van Nostrand Co., (1943)
- (3) A. Kip, A. Bouquet, R. Evans & W. Tutele: R. S. I. 17 323 (1946)
- (4) L. I. Schiff, & R. D. Evans: R. S. I. 7 456 (1936)

# サージ・インピーダンスの簡易測定法

過渡現象直視装置を用いて普通電圧降下と称するインピーダンス測定法により電力系統につながるほとんどすべての機器のインピーダンスを測定したのであるが、この方法の有用性およびインデシャル・インピーダンスとの関係を多数の例を用いて理論的に検討したものである。

本社 安藤 安二

## 1. 緒言

筆者はさきにサージ・インピーダンスの簡易測定法(過渡現象直視装置による)(1)として普通電圧降下法といわれる方法にて衝撃波印加時の電圧  $v(t)$  および電流  $i(t)$  をオシログラフにて測定し、それらの刻々の瞬時値の比より求めた  $Z(t)$  がインピーダンスの近似値として役立つことを発表したのであるが、さらにこれらの値と  $Z(p) = v(p)/i(p)$  よりえられた値を比較してその近似性を検討し、適当な注意を払えば両者がよく一致してくることをたしかめた。またこの結果の検討の際に変圧器のインピーダンスは巻線がサージ・インピーダンスと見做される程度の時間では波形による差異がほとんどなく、単位電流を流入あるいは遮断して求めたインデシャル・インピーダンスが非常に有用で回路網を構成する各機器が線形回路にて成立つとして理論的に数式的に取扱う方法、およびそのえられた結果が実際に役立つことを立証する結果が導びかれたのであるが、しかしわれわれの要求するところは送電線に接続された変圧器、変圧器と発電機が結合した場合、変電所母線および変圧器が組合わざつた場合等々の実際の使用状態におけるインピーダンスであり、雷撃時においてはとくに波頭の数  $10 \mu s$  程度の所のインピーダンスが必要なのである。また線路の構成状況および変圧器の内部の巻線配置等は千差万別で複雑多岐であるために個々のインピーダンスを求め、これを組合わざつことは複雑に過ぎ、かつ波形の変化および端子条件の変化により一々図式的あるいは数値計算を実施する必要がある。そこで使用状態の結線でかつ特定の波形の侵入波に対する電流と電圧の変化すなわち実効抵抗の変化を簡単に短時間に数多く測定し、またインデシャル・インピーダンスの近似値も簡単に測定する方法が当然要求されるわけである。

この観点より回路網のインピーダンスを考えると、回路網は  $\sqrt{L/C}$  なる周波数に無関係なサージ・インピーダンスの結合と考え、その不連続点よりの反射が重疊したものの一端より測定して  $Z(t) = v(t)/i(t)$  を求め、この見掛け上変化するインピーダンスが実用になるのではないかと考えられる。

このように定義して求めた  $Z(t)$  は一般性に欠けてく

るののもちろんであるが、またこの  $Z(t)$  を用いて他の状態を求めるることはできないのであるが、この欠点は多数の資料を蓄積すること、および実際の回路状態にて簡単に測定できる点にて補われるものと考える。

この考え方のもとに送電線につながるほとんどすべての機器について実測をしたのである。データ倒れの觀はあるが実用上有益な資料となるのは言をまたないと思う。なお本測定はほとんどすべて過渡現象直視装置にて実施したのが特長である。

## 2. サージ・インピーダンスの定義

電圧  $v(t)$ 、電流  $i(t)$  をオシログラフにて測定した場合

$$Z(t) = \frac{v(t)}{i(t)}$$

として電圧電流の瞬時値の比より求めた  $Z(t)$  は理論的に正しいインピーダンスを示さず

$$Z(p) = \frac{\eta^{-1} v(t)}{\eta^{-1} i(t)} = \frac{v(p)}{i(p)}$$

が理論的に正しいインピーダンス函数を示し

$$Z(tp) = \eta Z(p)$$

が実際のインピーダンスを示すことを京大林教授が指摘されており、両者の差異も検討しておられる。そしてインピーダンス函数  $Z(p)$  を求める方法として単位電流を流入する京大法(2)および単位電流を遮断する東大福田教授の方法(3)がある。またオシログラムより回路構成状態を求める方法として京大林教授の提唱される方法(2)あるいは B.K. Osborn 教授が実施された方法(4)がある。

これらの方法はインピーダンス函数  $Z(p)$  あるいは回路の構成状態を分析するためには學問的に非常に興味あり、理論形態も成り立つている。

所が実際問題として変圧器のみをとり出しても外鉄型、内鉄型あるいは普通型、サージ・ブルーフ型等の差異があり、そのおおのの内部の巻線配置が種々であり、容量 kVA によつても異なる。発電機に関してはどうようであり、これらが接続される母線および送電線も分岐あり、多種多様である。そこでこれらの合成状態のあるいは単独のインピーダンスを測定するためにはやはり

実物につき測定する必要がある。そして回路がすべて線形回路で成り立つとしておのののインピーダンス函数を求めたとしても端子条件および波形の変化により図式的あるいは計算で導びくのはとても容易な仕事でない。そこでわれわれとしては簡単に実際使用状態における回路のインピーダンスを測定する方法が望ましく、また短時間内に多数の資料を集積する必要がある。

そこで測定器としては過渡現象直視装置の如き手軽な短時間で数多くの資料を集積できるものを用いる必要がある。

つぎに回路網について考察すると、錯綜した配電線あるいは分岐のある送電線の一端より見たインピーダンスを考えると回路内にて反射が重疊する場合はすなわち内部にて正あるいは負の反射が重疊する場合は一様な送配電線において局部的にインピーダンスが短絡あるいは開放を起したことに相当する。また変圧器巻線における進行波についても最初の turn とつぎの turn、最初の layer とつぎの layer、最初の Coil とつぎの Coil および中性点（または他端）において正または負の反射を起す。この反射も上記同様一様な分布回路における局部的な短絡または開放が起つたとして取扱うことができるわけである。

また今回の問題とは別問題であるが非直線回路においても例えば避雷器の  $V-I$  曲線もプロック内の放電により局部的に抵抗の短絡を起したことになり、鉄心の飽和現象も物理的に考えると鉄分子の回転により magnetic moment が急変して総合的に外部回路に対して飽和曲線を示すわけであり、個々の鉄分子の magnetic moment の急変は局部的に flux circuit の開放か短絡が起つたことを意味すると考えられる。

（直視装置では模擬的に線路あるいは中性点に挿入した避雷器が動作した場合の試験もできる。）

このように考えるとすべての現象を  $\sqrt{L/C}$  なる周波数に無関係なインピーダンスが時間的に変化するとして取扱うのは実用上便利と考えられる。このように取扱つた場合サージ・インピーダンスの時間的変化は測定器の内部インピーダンスおよび端子条件により変化するのももちろんあり、（これは当然のことであるが、この欠点は実際の使用状態にて多数の資料を集積することおよび過渡現象直視装置の如き簡単に手軽な測定器により短時間に多数の資料を集積できることにより補われると考える。）

この意味において筆者はサージ・インピーダンスが時間的に変化するとして

$$Z(t) = \frac{v(t)}{i(t)}$$

を以て見掛けのサージ・インピーダンスとして多数の資

料を集積したものである。かく考えると  $Z(t)$  は零あるいは無限大あるいは負となつても差支えなく、さように考えることもできるのである。

この測定法としては 1 図に示す如く抵抗  $R$ （純抵抗とす）を通して被試物  $Z(t)$  に衝撃波を印加して  $V(t)$  および  $i(t)$  をオシログラフにて測定して

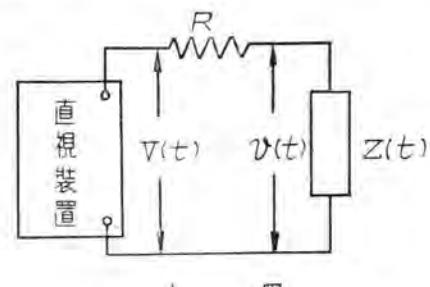
$$Z(t) = \frac{R v(t)}{V(t) - v(t)} = \frac{v(t)}{i(t)}$$

よりおののの瞬時値の比より  $Z(t)$  を求めるものである。

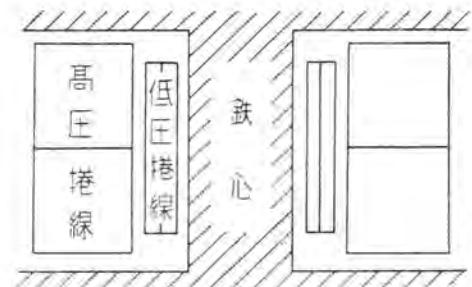
この方法によると架空線、ケーブル等では他端の反射が邪魔しない内に、また分岐のある線路でも分岐点よりの反射が邪魔をしない内に線路固有のサージ・インピーダンスを求めうるものであり、また電圧波形と電流波形が相似の場合はこの  $Z(t)$  は正当なインピーダンスを示すもの当然である。

次に変圧器発電機等においてもつぎの場合は巻線固有のサージ・インピーダンスを表わすものと思う。

例えは 2 図に示す巻線配置の W 社製 100 kVA 1φ 50 Hz 4.8-2.4 kV/240-120 V の柱上変圧器において 3 図に示す如く高圧側他端接地の場合と他端開放の場合につき  $R$  を  $420 \Omega$  として測定すると、(イ) および (ロ) の場合共に約  $8 \mu s$  付近まで同一の状態となり、それ以後に



1 図



2 図 高圧巻線全長 890 m

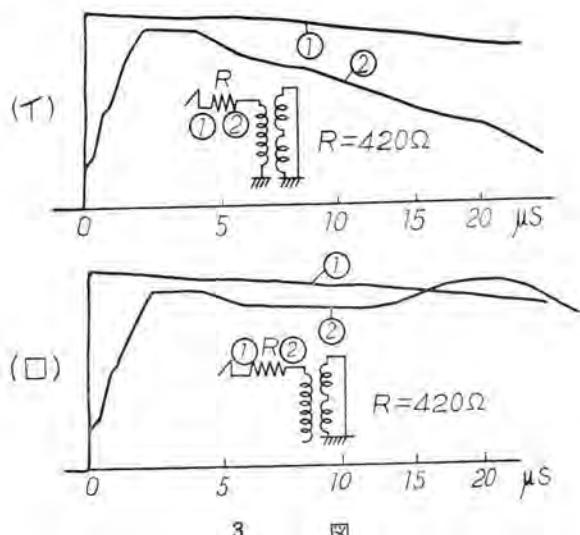
W 社製 100 kVA 1φ 50 Hz 4.8-2.4 kV/240-120 V 柱上変圧器  
他端の接地および開放の影響による変化が出ていている。

約  $4 \mu s$  付近の反射は明らかに高圧巻線が 2 組にわかっている所の不連続点よりの反射である。そして高圧巻線は全長が 890 m で 1 組が 445 m である故に変圧器巻線内の伝播速度を  $200 \text{ m}/\mu s$  とすると

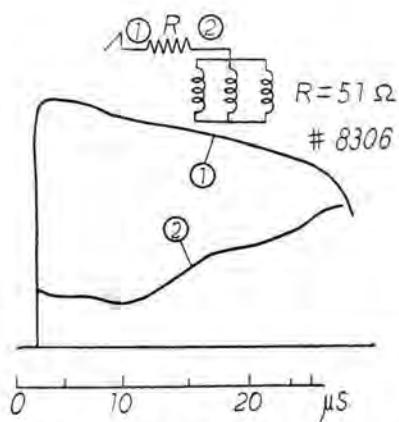
$$\frac{445}{200} \times 2 = 4.45 \mu s$$

となり時間的に一致する。

そこで  $2\mu s$  より  $4\mu s$  の間の波形上平らな部分は反射の影響のない巻線固有のサージ・インピーダンスを示すものである。この部分より①および②の瞬時値の比より、サージ・インピーダンスとして  $4,940\Omega$  を求めることができる。波頭部分の約  $2\mu s$  までは並列容量の影響を受ける部分である。



3 図



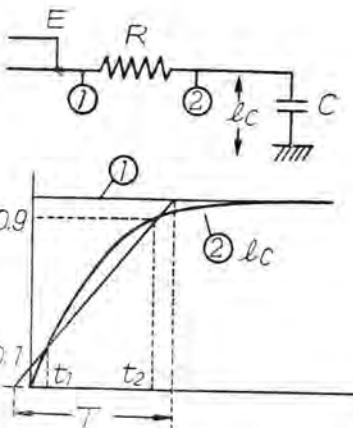
4 図 93.750 kVA タービン発電機

つぎの例として4図は尼崎の93.750 kVA タービン発電機の測定の場合の一例であるが  $R=51\Omega$  の場合で測定オシログラムの約  $8\mu s$  付近までの平らな部分よりサージ・インピーダンス約  $13\Omega$  を得ている。以上の例の如く機器内部に並列容量を有する場合でも巻線固有のサージ・インピーダンスを求めうる場合のあることを示す。

さらに巻線に並列に入っている容量すなわち変圧器等の侵入容量を求める場合は、(容量単独でも同様である。) 5図に示す如く抵抗  $R$  と容量  $C$  の直列回路に単位電圧  $E$  を印加する場合に容量  $C$  の端子電圧  $e_c$  は

$$e_c = E \left(1 - \frac{t}{CR}\right)$$

となり、波頭長の定義より波高値の 10% と 90% の所を結ぶ直線で波頭長  $T$  を求め



5 図

$$1 - \varepsilon = \frac{t_1}{CR} = 0.1 \quad \therefore t_1 = 0.10 CR$$

$$1 - \varepsilon = \frac{t_2}{CR} = 0.9 \quad \therefore t_2 = 2.3 CR$$

すなわち

$$T = \frac{t_2 - t_1}{8} = 2.75 CR$$

より  $T$  を求めこれより

$$C = \frac{T}{2.75 R}$$

より侵入容量  $C$  を求めうるのである。

本測定法によれば上記の如きものを求めうるのであり、さらに抵抗  $R$  として適当なものを用うれば変圧器の如く複雑なものでも、電流と電圧が相似でない場合にも  $Z(t)$  はインピーダンス函数に相当する  $Z(tp)$  と波頭数  $10\mu s$  の間はよく一致してくるのである。これに関してはつぎに説明する。

### 3. $Z(t) = \frac{v(t)}{i(t)}$ と $Z(tp) = \gamma Z(p)$ との比較

関西配電明石海峡海底ケーブル衝撃電圧特性試験<sup>(5)(6)</sup>において上記の如くして求めた  $Z(t)$  と京大法により求められた  $Z(tp)$  と比較すると割合によく一致している。その結果を6図に示す。

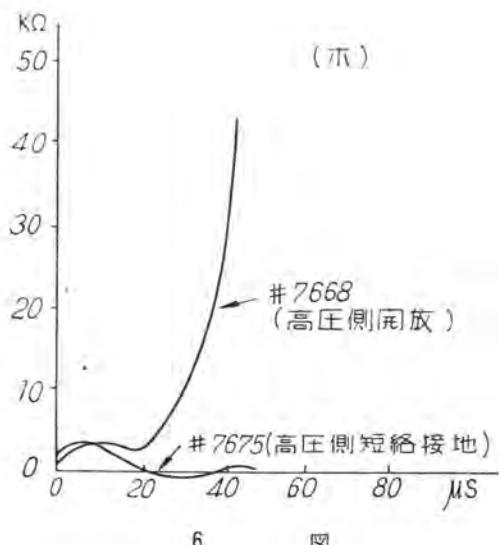
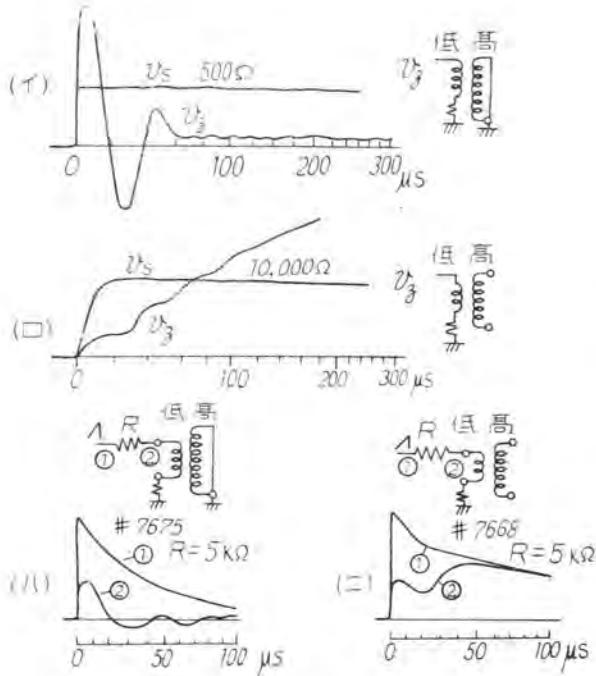
6図の(イ)および(ロ)は京大法にて測定したもので(イ)は高圧側短絡接地、(ロ)は高圧側開放の場合で  $v_c$  が  $Z(tp)$  に相当するものである。次に(ハ)(ニ)が直視装置にて測定したもので、これより求めた  $Z(t)$  を(ホ)に示す。これを見ると  $Z(t)$  と  $Z(tp)$  は約  $30\mu s$  付近まではよく合つていることがわかるのである。(供試変圧器は関西配電明石変電所の 5,000 kVA 70kV/22 kV の予備変圧器である。)

さらに日発志津川発電所にて実施した衝撃試験<sup>(7)</sup>の際に測定した結果を基礎として比較を行う。

供試機器は

△—△変圧器

外鉄型 3φ 60 Hz 30,000 kVA



6 図

$$\frac{11,500 - 11,000 - 10,500}{80,500 - 77,000 - 73,500} \text{ V}$$

入-△ 変圧器

外鉄型(サージ・ブループ型) 3φ 60 Hz 20,000 kVA  
11,000 V/84,000 - 80,500 - 77,000 - 73,500 V

発電機 G

縦軸界磁同期 60 Hz

14,000 kVA, 11,000 V 180 rpm 極数 40

であつた。なおづぎに示す数式中の  $t$  は  $\mu\text{s}$  単位にて示す。

ア. 入-△ 変圧器と発電器 G 1台の場合につき

(1) 3相一括衝撃波印加の場合

$R=500\Omega$  と  $R=3\text{k}\Omega$  の場合につき測定オシログラムを 7 図および 8 図に示す。

a.  $R=500\Omega$  の場合 (7 図)

$$v(t) = 100 \varepsilon^{-0.0154t} \cos 0.393t - 100 \varepsilon^{-0.22t} \text{ V}$$

$$V(t) - v(t) = 78 \varepsilon^{-0.0154t} \sin(0.0393t - 0.51) + 123 \varepsilon^{-0.181t} + 4 \text{ V}$$

はオシログラム中の点線で示すものである、実際のオシログラムの波形とよく一致している。

これらの  $p$  関数は

$$v(p) = 100 \cdot \frac{0.2046p^2 + 0.00161p}{(p^2 + 0.0308p + 17.8 \times 10^{-4})(p + 0.22)} \text{ V}$$

$$V(p) - v(p) = \frac{89p^3 - 0.151p^2 + 0.6232p + 12.9 \times 10^{-4}}{(p^2 + 0.0308p + 17.8 \times 10^{-4})(p + 0.181)} \text{ V}$$

となり、

$$Z(p) = \frac{R v(p)}{V(p) - v(p)} = 115 \cdot$$

$$\frac{(p^2 + 0.00787p)(p + 0.181)}{(p^3 - 0.0017p^2 + 0.00704p + 0.145 \times 10^{-4})(p + 0.22)} \Omega$$

を得て、これより

$$Z(tp) = 76.9 \varepsilon^{-0.0021t} - 77.6 \varepsilon^{-0.22t} + 117 \varepsilon^{-0.0019t} \sin 0.084t \Omega$$

をうる、これを  $Z(tp) R=500\Omega$  として 9 図に示す。  $Z(t) R=500\Omega$  は上述の如く瞬時値の比より求めたものである。

b.  $R=3\text{k}\Omega$  の場合 (8 図)

$$V(t) = 106 \varepsilon^{-0.0069t} \text{ V}$$

$$v(t) = 29 \varepsilon^{-0.0079t} \sin(0.0748t + 0.523) - 14.5 \varepsilon^{-0.151t} \text{ V}$$

をオシログラムより得て、この  $p$  関数を求める

$$V(p) = \frac{106p}{p + 0.0069} \text{ V}$$

$$v(p) = \frac{3.951p^2 + 0.22p}{(p^2 + 0.0158p + 56.624 \times 10^{-4})(p + 0.151)} \text{ V}$$

となり、これより

$$V(p) - v(p) = \frac{106p^4 + 13.749p^3 + 0.603p^2 + 0.089p}{(p + 0.0069)(p + 0.151)(p^2 + 0.0158p + 56.624 \times 10^{-4})} \text{ V}$$

を得て

$$Z(p) = \frac{R v(p)}{V(p) - v(p)} = 28.3 \cdot$$

$$\frac{(3.951p + 0.22)(p + 0.0069)}{p^3 + 0.13p^2 + 0.0057p + 0.00084} \Omega$$

となる。これより

$$Z(tp) = 51.2 - 334 \varepsilon^{-0.1343t} + 888 \varepsilon^{-0.0122t} \cos(0.079t - 1.245) \Omega$$

をうる、これを  $Z(tp) R=3\text{k}\Omega$  として  $Z(t) R=3\text{k}\Omega$  と共に 9 図に示す。

この 9 図より検討すると  $Z(t)$  は  $R$  が小なるほど瞬時最高値が時間的に早くなつて来る。そして  $R$  が大になると次第に瞬時値が小となつてきて  $Z(tp)$  に近づいて来ることが判る。すなわち  $R$  を瞬時最高値と同等以上にとれば波頭 40~50  $\mu\text{s}$  付近までは  $Z(t)$  は  $Z(tp)$  の近似値として用いてよいことが判る。

これはオシログラフの測定の際に  $V(t)$  の波高値が  $v(t)$  の波高値の倍以上になるようにすればよいのである。また  $Z(tp)R=500\Omega$  と  $Z(tp)R=3k\Omega$  を比較すると振動周期および波高値の時間的位置はよく一致している。ただ最高値が幾分異なるがこれは抵抗  $R$  として用いたにケノームの抵抗値に誤差があつたものである。測定を実施した当時はリケノームに記入の値を信用したのであるが、リケノームは  $\pm 10\%$  程度の誤差があるのであるから、 $Z(tp)R=500\Omega$  と  $Z(tp)R=3k\Omega$  は一致していると考えるのが当然である。すなわち侵入波形により  $Z(tp)$  すなわちインピーダンス函数は変化しないことを示すものである。すなわち変圧器の如き複雑なものについても衝撃波に対しては線形回路と考えてよいことを示すものである。

## (2) 1相より衝撃波印加の場合

$R=3k\Omega$  と  $R=10k\Omega$  の場合につき測定オシログラムを 10 図および 11 図に示す。

### a. $R=3k\Omega$ の場合 (10 図)

$$V(t) = 100 \varepsilon^{-0.0066t} \quad V$$

$$v(t) = 10 + 51 \varepsilon^{-0.0066t} \cos(0.0327t - 0.49) - 55 \varepsilon^{-0.184t} \quad V$$

をオシログラムより得て、この  $p$  函数を求める。

$$V(p) = 100 \cdot \frac{p}{p + 0.0066} \quad V$$

$$v(p) = \frac{10.6p^2 + 0.1732p + 0.00205}{(p^2 + 0.0132p + 11.136 \times 10^{-4})(p + 0.184)} \quad V$$

となり

$$V(p) - v(p) = \frac{100p^4 + 9.12p^3 + 0.11756p^2 + 0.01741p - 12.3 \times 10^{-6}}{(p + 0.0066)(p + 0.184)(p^2 + 0.0132p + 11.136 \times 10^{-4})} \quad V$$

すなわち

$$Z(p) = \frac{Rv(p)}{V(p) - v(p)} = 318 \cdot \frac{(p^2 + 0.0163p + 0.000193)(p + 0.006)}{p^4 + 0.0912p^3 + 0.00118p^2 + 0.000174p - 0.123 \times 10^{-6}} \quad \Omega$$

となる。これより

$$Z(tp) = -3000 + 3550 \varepsilon^{-0.0007t} - 2055 \varepsilon^{-0.0975t} + 2990 \varepsilon^{-0.0028t} \cos(0.0422t - 1.03) \quad \Omega$$

をうる。これを  $Z(tp) R=3k\Omega$  として  $Z(t) R=3k\Omega$  と共に 12 図に示す。

### b. $R=10k\Omega$ の場合 (11 図)

$$V(t) = 104 \varepsilon^{-0.005t} \quad V$$

$$V(t) = 42 \varepsilon^{-0.0059t} \cos(0.0334t - 0.735) - 31.2 \varepsilon^{-0.077t} \quad V$$

をオシログラムより得て、この  $p$  函数を求める。

$$V(p) = 104 \cdot \frac{p}{p + 0.005} \quad V$$

$$v(p) = \frac{3.15p^2 + 0.0503p}{(p^2 + 0.0118p + 11.498 \times 10^{-4})(p + 0.077)} \quad V$$

となり

$$V(p) - v(p) =$$

$$\frac{104p^4 + 6.1p^3 + 0.148p^2 + 8.9 \times 10^{-3}p}{(p + 0.005)(p + 0.077)(p^2 + 0.0118p + 11.498 \times 10^{-4})} \quad V$$

すなわち

$$Z(p) = \frac{Rv(p)}{V(p) - v(p)} = 303 \cdot \frac{(p + 0.016)(p + 0.005)}{p^2 + 0.0587p^2 + 0.00142p + 0.0000855} \quad \Omega$$

となりこれより

$$Z(tp) = 283 - 2410 \varepsilon^{-0.059t} + 4720 \varepsilon^{-0.00015t} \cos(0.038t - 1.106) \quad \Omega$$

を得てこれを  $Z(tp) R=10k\Omega$  として  $Z(t) R=10k\Omega$  と共に 12 図に示す。

すなわち 12 図より前に説明したと同様に  $Z(t)$  が  $R$  を適当にすれば  $Z(tp)$  の近似として用いられることおよび  $Z(tp) R=3k\Omega$  と  $Z(tp) R=10k\Omega$  は測定誤差およびリケノームの誤差の範囲内にて一致してインピーダンスの波形による差異がないことが判る。

## イ. $\triangle-\triangle$ 変圧器と発電機 G 1台の場合につき

### (1) 1相より衝撃波印加の場合

$R=1k\Omega$  と  $R=3k\Omega$  の場合につき測定オシログラムを 13 図と 14 図に示す。

### a. $R=1k\Omega$ の場合 (13 図)

波形に高調波を含むので、そのまま波形を数式で表わすことが困難なために図の如く点線で示す  $v(t)$  および  $[V(t) - v(t)]'$  よりインピーダンス函数を求めた。

$$v'(t) = 230 \varepsilon^{-0.0141t} - 180 \varepsilon^{-0.035t} + 20 \varepsilon^{-0.127t} - 70 \varepsilon^{-0.84t} \quad V$$

$$[V(t) - v(t)]' = \frac{-0.064t}{18 + 130 \varepsilon^{-0.064t}} - \frac{-0.0391t}{-10 \varepsilon^{-0.0391t}} - \frac{-0.23t}{-16 \varepsilon^{-0.23t}} + \frac{-0.84t}{+70 \varepsilon^{-0.84t}} \quad V$$

が点線にて示すオシログラムより電圧電流に相当するものであり、これより  $p$  函数を求める。

$$v'(p) = \frac{59p^3 + 11.48p^2 + 0.645p}{(p + 0.0141)(p + 0.035)(p + 0.127)(p + 0.84)} \quad V$$

$$[V(p) - v'(p)]' = \frac{102p^4 + 60p^3 + 10.29p^2 + 0.16p + 0.00867}{(p + 0.064)(p + 0.0391)(p + 0.23)(p + 0.84)} \quad V$$

となり

$$Z(p) = \frac{v'(p)}{[V(p) - v'(p)]'} = \frac{Rv'(p)}{[V(p) - v'(p)]'} = \frac{(p^2 + 0.1945p^2 + 0.01093p)(p + 0.064)}{= 578 \cdot \frac{(p^4 + 0.588p^3 + 0.1007p^2 + 0.00157p + 0.000085)}{(p + 0.0391)(p + 0.23)} \quad \Omega$$

をうる。これより

$$Z(tp) = -9460 \varepsilon^{-0.0053t} \cos(0.0295t + 0.955) - 1332 \varepsilon^{-0.2887t} \quad \Omega$$

$$\cos(0.1t + 0.6) + 6810 \varepsilon^{-0.0141t} - 310 \varepsilon^{-0.035t} + 178 \varepsilon^{-0.127t} \quad \Omega$$

をうる。これを  $Z(tp) R=1k\Omega$  として、点線で示

した波形の瞬時値の比より求めた  $Z'(t)$   $R=1\text{ k}\Omega$  と  
測定オシログラムそのままの波形より求めた  $Z(t)$   
 $R=1\text{ k}\Omega$  と共に 15 図に示す。

b.  $R=3\text{ k}\Omega$  の場合 (14 図)

(イ) とどうようにして点線の波形より

$$V_r(t) = 109 \text{ e}^{-0.0022t} \quad \text{V}$$

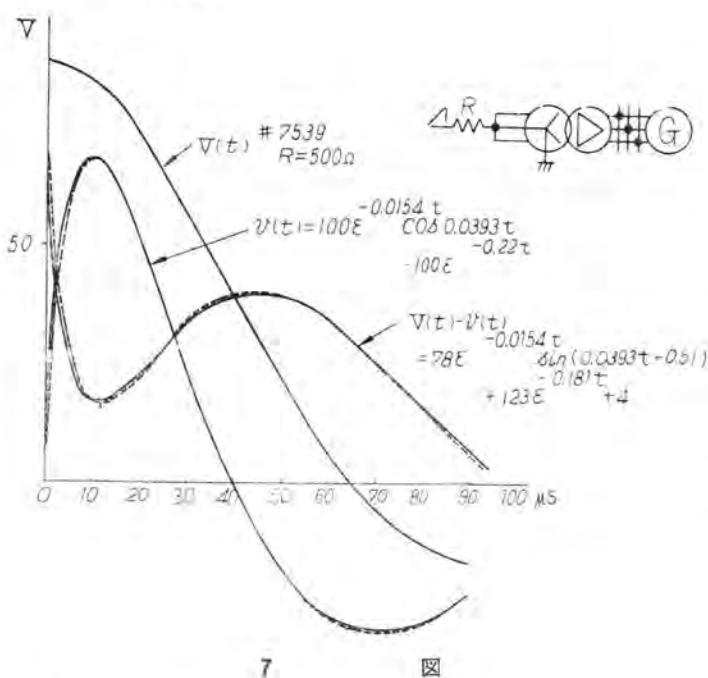
$$v'(t) = 200 (\text{e}^{-0.0169t} - \text{e}^{-0.053t}) \quad \text{V}$$

をオシログラムより求め、この  $p$  関数を求める

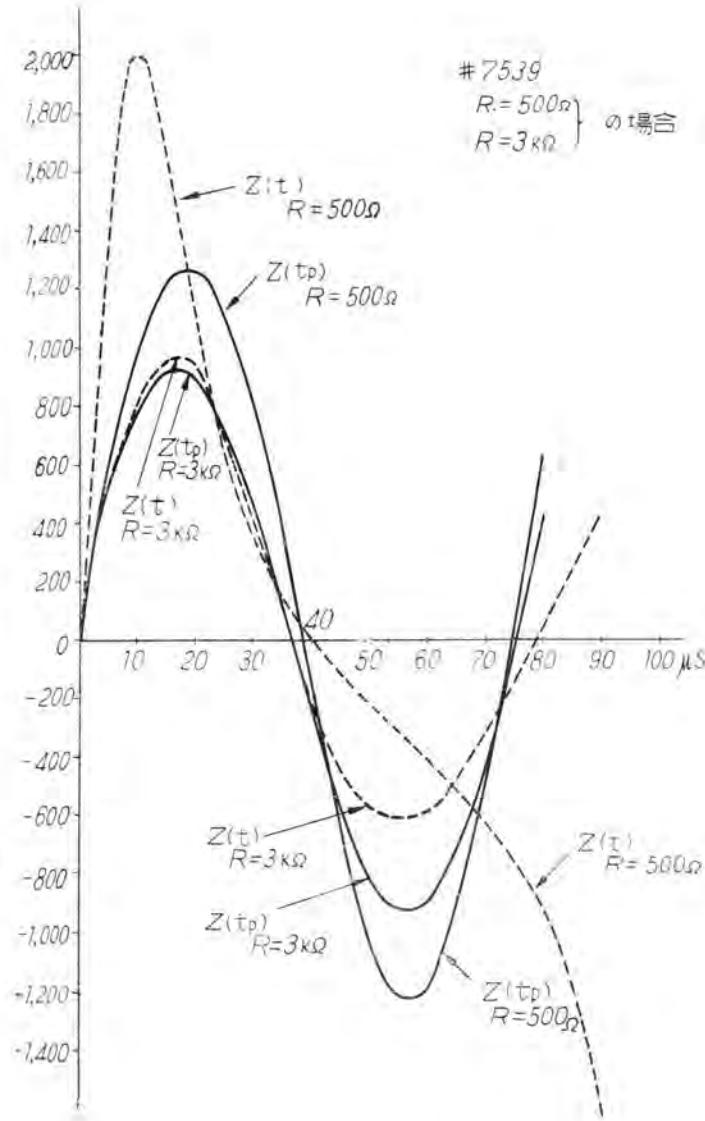
$$V(p) = 109 \cdot \frac{p}{p + 0.0022} \quad \text{V}$$

$$v(p) = \frac{7.2p}{(p + 0.0169)(p + 0.053)} \quad \text{V}$$

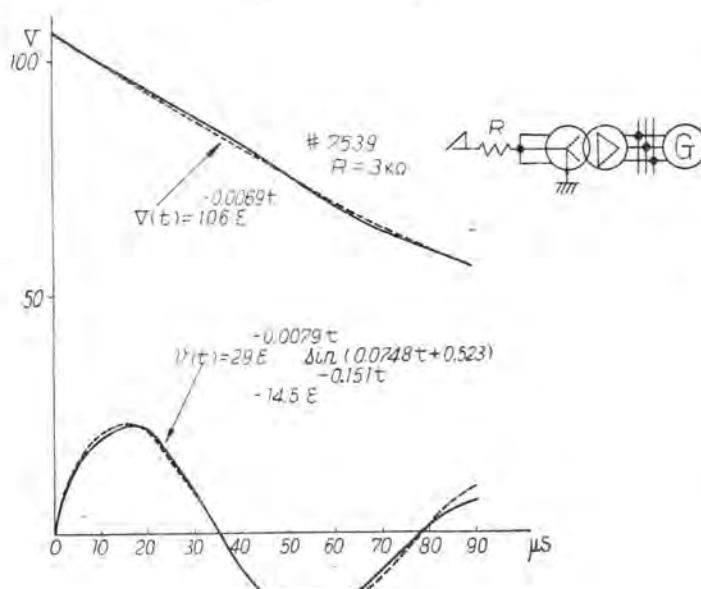
を得て



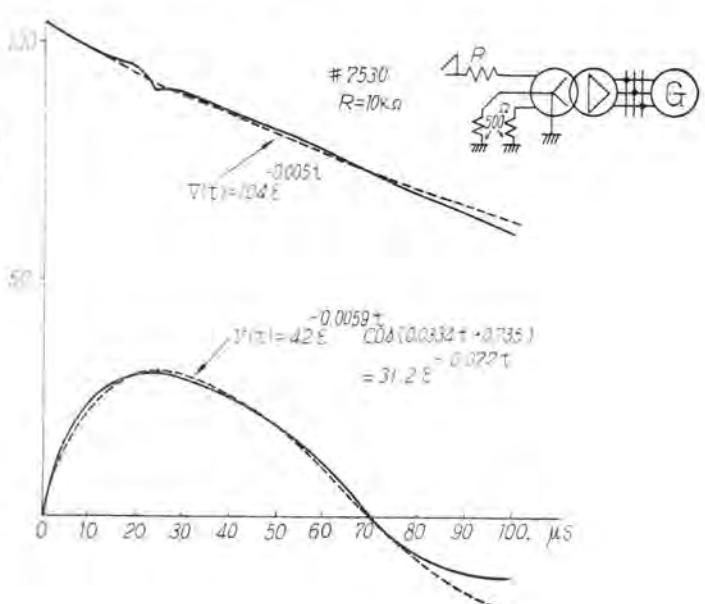
7 図



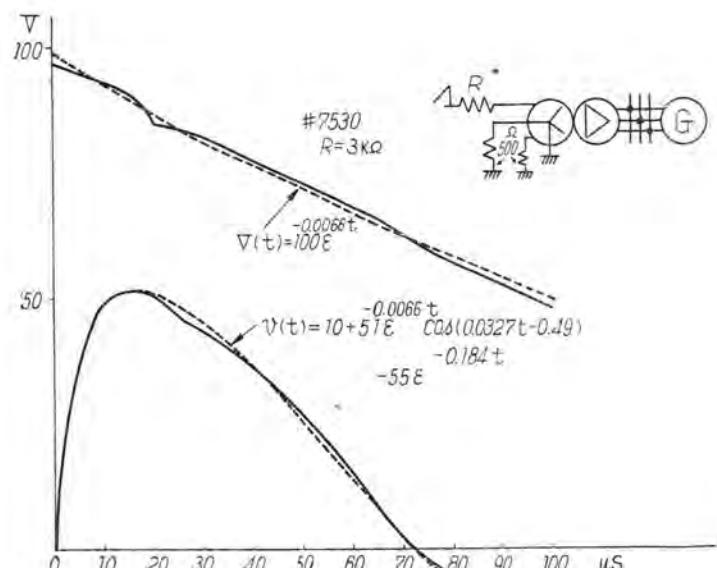
9 図



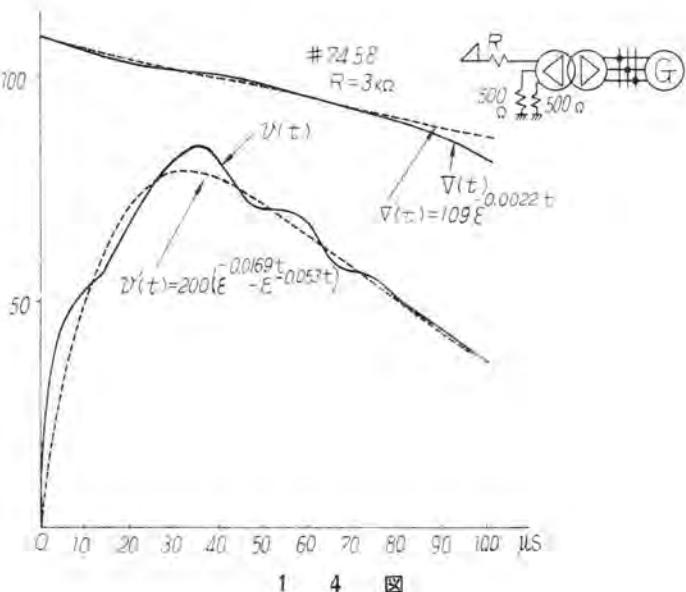
8 図



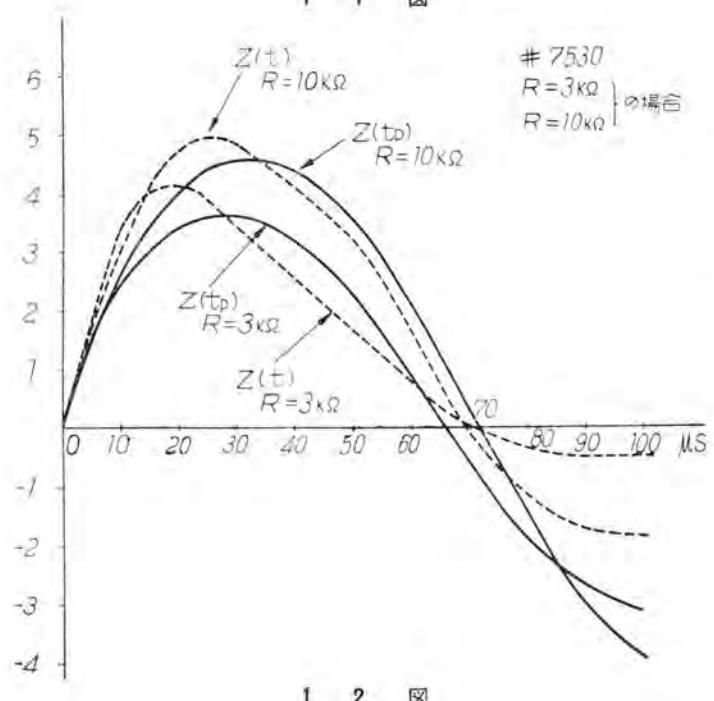
10 図



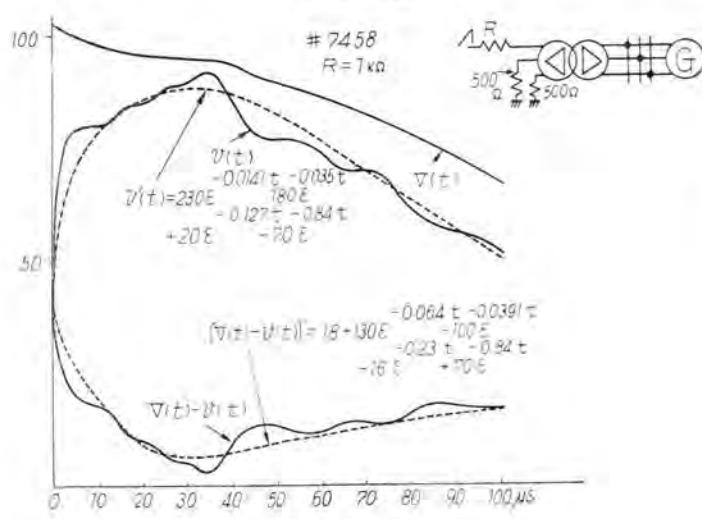
1 1 図



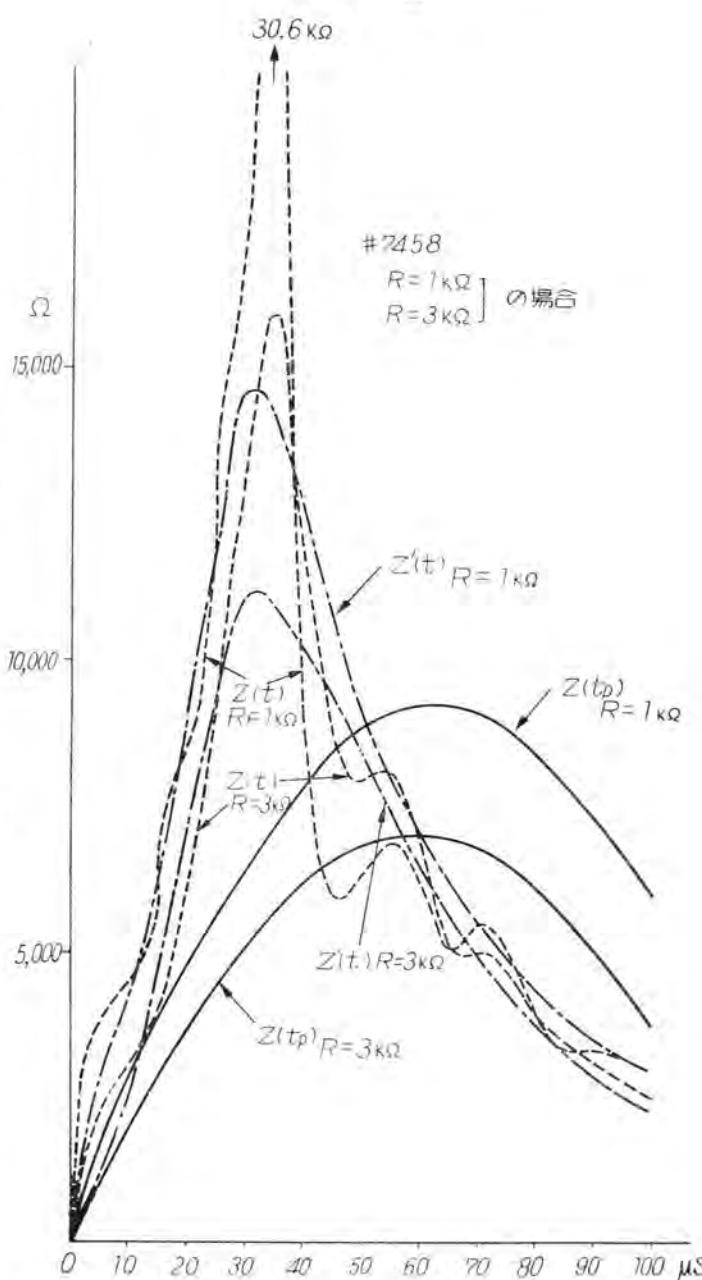
1 4 図



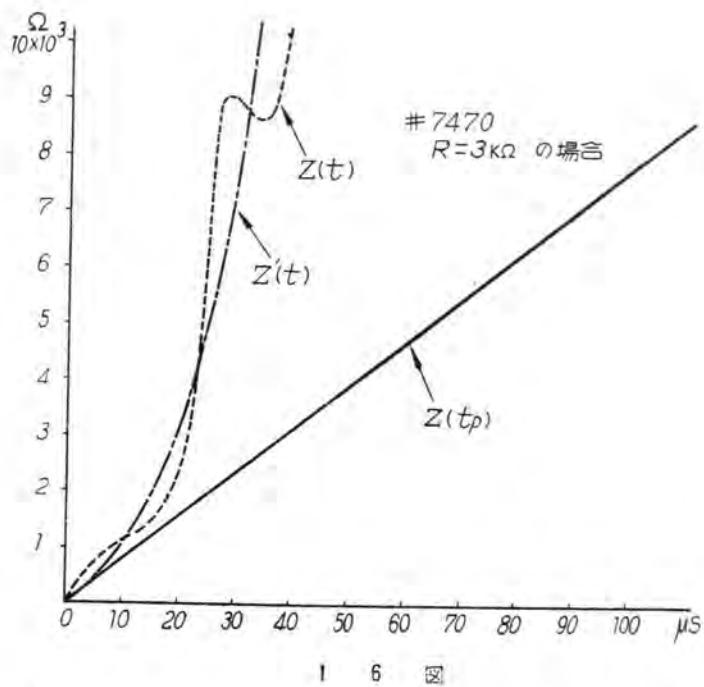
1 2 図



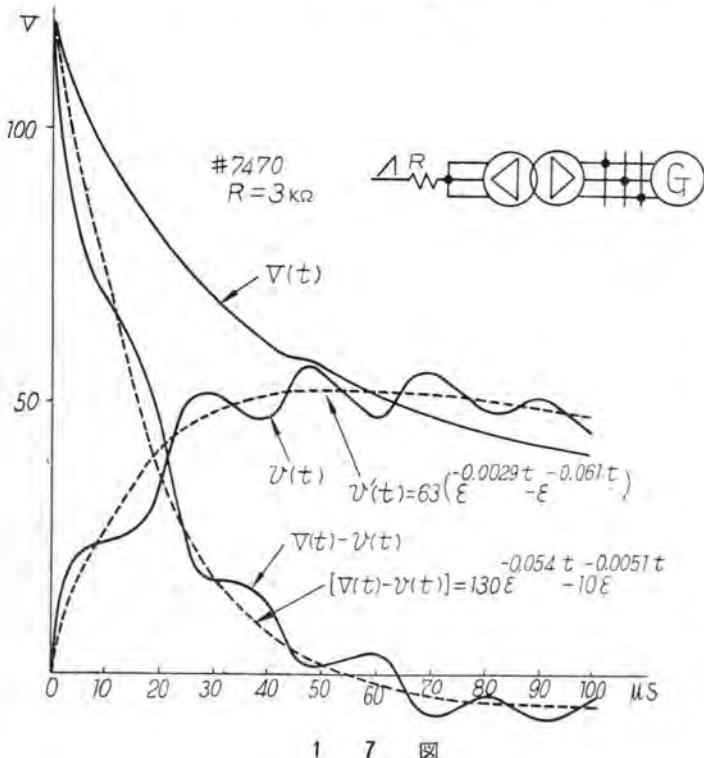
1 3 図



1 5 図



16 図



17 図

$$V'(p) - v'(p) = \frac{109p^3 + 0.38p^2 + 8.161 \times 10^{-2}p}{(p+0.0022)(p+0.0169)(p+0.053)} \text{ V}$$

となり

$$Z(p) = \frac{R v'(p)}{V'(p) - v'(p)} = \frac{R p}{p^2 + 0.00348p + 0.075 \times 10^{-2}} \Omega$$

を得てこれより

$$Z(tp) = 584 - 7210 \varepsilon \cos(0.0273t + 1.49) \Omega$$

をうる。これを  $Z(tp) R = 3 \text{ k}\Omega$  として  $Z'(t) R = 3 \text{ k}\Omega$  および  $Z(t) R = 3 \text{ k}\Omega$  と共に 15 図に示す。

これも 15 図を見ると非常に興味ある結果を示しているのであるが、前に説明したことと同一のことといわれ

るのである。

## (2) 3 相一括印加の場合

16 図に示す  $R = 3 \text{ k}\Omega$  の場合のみにつき示す。

この場合も高周波振動を除いて点線に示す波形につき検討する。

$$v'(t) = 63(\varepsilon - \varepsilon) \text{ V}$$

$$[V(t) - v(t)]' = 130\varepsilon - 10\varepsilon \text{ V}$$

$$v'(p) = \frac{3.66p}{(p+0.0029)(p+0.061)} \text{ V}$$

$$[V(p) - v(p)]' = \frac{120p^2 + 0.124p}{(p+0.054)(p+0.0051)} \text{ V}$$

となり

$$Z(p) = \frac{R v(p)}{[V(p) - v(p)]'} = 91.5 \frac{(p+0.054)(p+0.0051)}{(p+0.00103)(p+0.0029)(p+0.061)} \Omega$$

となる。これより

$$Z(tp) = 137 \times 10^3 - 170 \times 10^3 \varepsilon + 33 \times 10^3 \varepsilon - 168 \varepsilon \Omega$$

をうる。これを  $Z(tp)$  として  $Z'(t)$  および  $Z(t)$  と共に 17 図に示す。これは  $Z(tp)$  と  $Z'(t)$  は相当に異なるのであるが  $R$  を大とすると  $Z'(t)$  が次第に  $Z(tp)$  に近づくもので  $R = 10 \text{ k}\Omega$  程度にすれば両者は約  $50 \mu\text{s}$  付近までは一致して来ることがわかるのである。

以上種々の場合につき実際の測定オシログラムより数値計算を行つて  $Z(t)$  と  $Z(tp)$  との差異を検討したのであるが抵抗  $R$  を供試回路の初期のインピーダンスの最高値と同等以上に選べば両者は数  $10 \mu\text{s}$  附近までよく一致することが判つた。また  $Z(tp)$  の波形による差異はなく測定に用いたリケノームの誤差  $\pm 10\%$  の範囲内でよく一致している事を示す。これはインデシャル・インピーダンスが手数をいとわなければ非常に有用なるものであることを示すものである。また回路を線形回路と考えて全般的に処理してよいことを示すものである。

## 4. 結 言

以上サージ・インピーダンスの簡易測定法についてその利点を述べ、かつその実用性を検討しつつインピーダンス函数との差異を述べたのであるが、この検討によりインピーダンス函数は波形により差異のないことが立証されたものと思考する。なお本測定にて得た資料は実用上有益なることと思うが、紙面の都合上割愛し次の機会に発表する。最後に種々指導を仰いた木村本社電力技術課長および横須賀研究所電気課長に感謝すると共に有益な指導および検討を下され京大林教授および近藤助教授に感謝する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 安藤 三菱電機 22巻, 第1号
- (2) 林 電評 昭18年12月
- (3) 福田 電学誌 昭11年3月
- (4) L. S. Foltz E. E. October 1946 p 490
- (5) 林・近藤・岩本・川口・山田・香川 電評 36巻, 第1号
- (6) 木村・安藤・藤山・原 電評 36巻, 第2号
- (7) 木村・安藤・原 三菱電機 22巻, 第6号