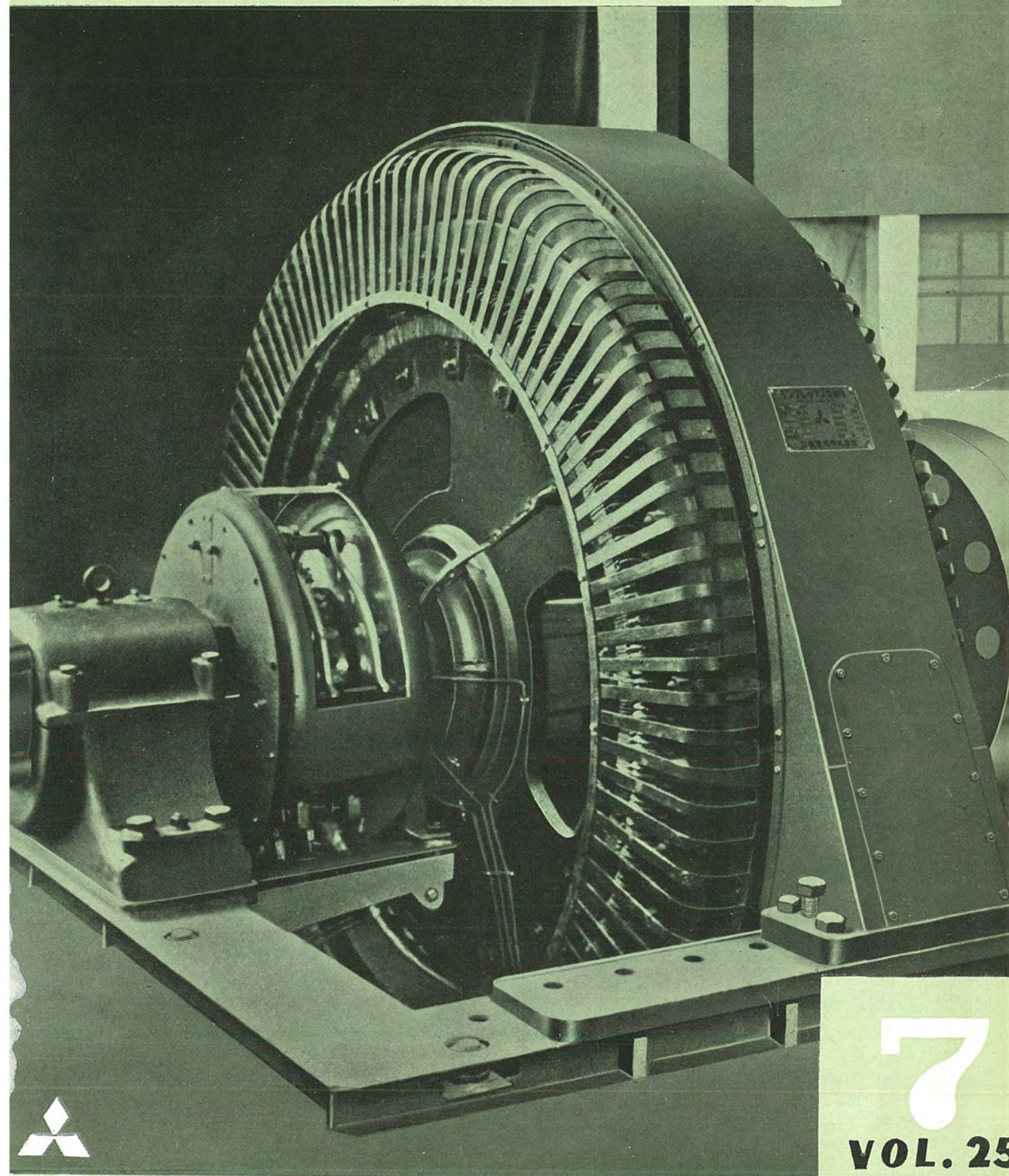


MITSUBISHI - DENKI

三菱電機



三菱電機株式会社

7

**VOL. 25
1951**



三菱電機

写真解説

Complex Motor

複線型透導電動機として起動する透導同期式
の同期電動機であつて、その高起動回転力に
より、起動 kVA はきわめて少く、起動は自
動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
があります。

1000HP 3300V 60V 133rpm

三菱電機株式会社

本社

東京都千代田区丸の内(東京ビル)

(電) 和田倉 (20) 代表1631・4331

神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町

名古屋製作所 名古屋市中区矢田町

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 札幌市北二条東12

研究所 兵庫県尼ヶ崎市南清水

大阪営業所 大阪市北区堂島北町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 札幌市南一条西5の14

(電) (2) 3378・3911

仙台事務所 仙台市東一番丁63

(電) 仙台 2573・8J57

富山事務所 富山市安住町23の2

(電) 富山 4692・5273

広島事務所 広島市袋町1(明治生命ビル)

(電) 中 1069・4824

昭和26年 第25巻 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 徳 次 郎	岡 屋 精 二	川 田 勝 利	小 林 治 一 郎
	市 吉 惟 浩	澁 谷 進 一	松 田 新 市	毎 熊 秀 雄
	進 藤 貞 和	松 尾 米 太 郎	松 岡 治	宗 村 平
	前 田 幸 夫	薄 井 康 介		
	森 郷 侃 二	木 村 久 男	(以上 50 音順)	

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部金30円(送料8圓)

編集兼発行人

東京 千代田区丸の内2丁目3番地

吾 郷 侃 二

印刷所

東京都港区麻布竹谷町1番地

博文堂印刷所

印刷者

東京都港区麻布竹谷町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

日本出版協会員番号 213013

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 線回折により格子面間隔を求めその状態の概略を報告する。

久 波 馬
二 山 小
研 究 所

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事ができることはすでに E. G. Rochow⁽¹⁾ 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⁽²⁾ の説、推原、西川⁽³⁾ の説、新宮⁽⁴⁾ の説等があるがいずれの場合においても SiCl_4 , active-Cu, CuCl , Organo-silicon-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。これらに立入って論ず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は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層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 線回折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. 実験の部

ア. 触媒の製法

銅の塩類たとえば $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, または $\text{Cu Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 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澱を濾別し十分蒸溜水で洗浄し乾燥後高温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^{++} , Al^{++} , Mg^{++} , Mn^{++} , B^{++} , 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。

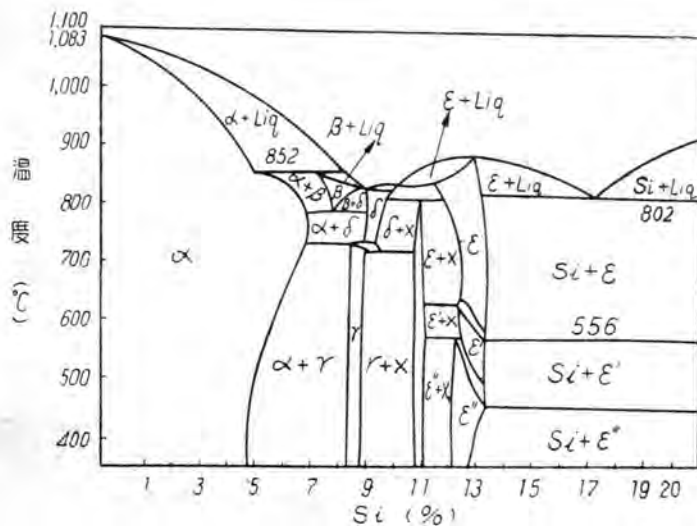
真空処理した理由は不純物をできるだけ除去すること、銅、珪素の酸化を防止すること、Si-Cu 合金の表面原子の数を蒸発し去ることにより活性化することなどを目的としたものである。不純物として含有する Al, Mn, Mg, B, 等は Cu, Si, より蒸気圧高く比較的容易に除去しうると考えられる。

イ. 触媒の X 線回折試験

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) 他物質の温存(助触媒作用、被毒現象) (4) 熱処理すなわち熱処理の温度、半融現象等をあげう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)	3.14(Si)	2.04
	2.04	2.12(Cu)	1.95
	1.95(Si)	1.95(-i)	1.89
	1.89	1.83(Cu)	1.26
	1.63(Si)	1.66(Si)	1.15
d(A)	1.36(Si)		
	1.25		
	1.11		



1 図 Cu-Si 状態図

め X 線回折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 線回折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 ϵ 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 \AA , 1.15 \AA の線の Intensity 大きく、焼結合金には 1.25 \AA , 1.11 \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 ϵ 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砕した触媒 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水冷受器に取付けた。反応管の入口に Conc. H_2SO_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 2,300mm 充填部分 1,900mm 径 13mm の管にニクロム線製一輪環 (内径 2mm, 線の直径 0.2mm) 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 表において収率は原料 Halogenalkyl に対する割合で示した。使用銅は Ethylchlorosilane の場合は Cu

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

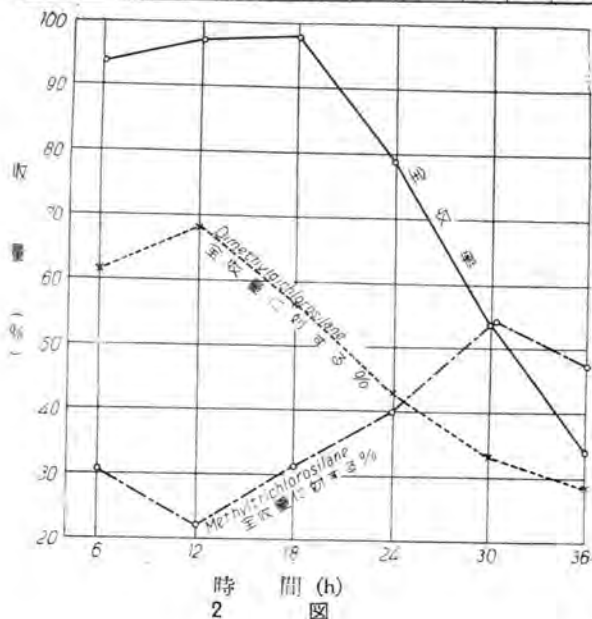
3 表は Methylchlorosilane の製造結果を表で示したものである。使用銅は実験 1,2,3, においては $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 実験 4,5,6, においては $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を出発物としたものであり、実験 6, においては Si 粉末を混合前に HCl で洗浄乾燥し使用に供したものである。分溜は 64°C 以下を低沸点物 (SiCl_4 , $(\text{CH}_3)_3\text{SiCl}$, $(\text{CH}_3)\text{HSiCl}_2$ 等の混合物), $64^\circ\text{C} \sim 66^\circ\text{C}$ の部分を Methyltrichlorosilane, $67^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$ の部分を Dimethyldich-

2 表 Ethylchlorosilane

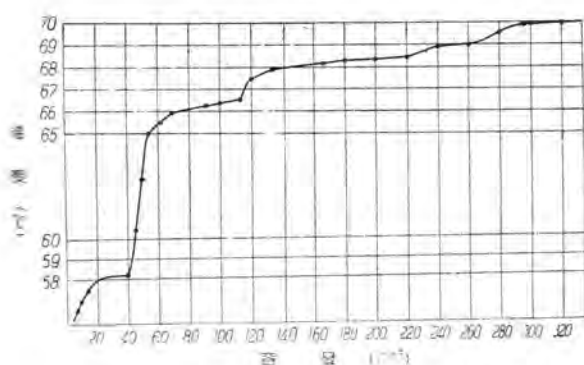
番号	試料	温度	時間	洗過	洗過	収率	分 溜 結 果			
	Si/Cu	(°C)	(h)	(g/h)	(g)	(%)	低 沸 (g)	モノ (g)	Di (g)	高 沸 (g)
1	Cu(NO ₃) ₂	285	12	26~27	330	109.3	41	82	209	18
	2 g	#	#	#	315	258	82	37	85	116
	80/20	#	#	#	315	233	74	48	89	16
2	Cu(NO ₃) ₂	285	12	20~25	275	261	91.6	20	57	178
	2 g	#	#	#	290	238	82.1	32	49	152
	85/15	#	#	#	240	205	85.4	25	36	137
3	Cu(NO ₃) ₂	310±5	12	18~20	240	218	91	8	51	151
	2 g	#	#	#	240	208	86.7	6	45	126
	93/7	#	#	#	240	197	82	7	71	109
				合計	240	128	53.5	27	34	73

3 表 Methylchlorosilane

番号	試料	温度 (°C)	時間 (h)	透過速度 (g/h)	透過量 (g)	収量 (g)	収率 (%)	分 溜 結 果			
	Si/Cu	(°C)	(h)	(g/h)	(g)	(g)	(%)	低 沸 (g)	モノ (g)	Di (g)	高 沸 (g)
1	Cu(NO ₃) ₂	330±10	12	30	360	374	107.8	37	184	151	5
	2 g	#	#	#	#	337	93.7	41	180	97	11
	80/20	#	#	#	#	387	79.7	56	124	25	12
2	Cu(NO ₃) ₂	293	6	25	150	141	94.0	43	87	87	3
	2 g	#	#	#	#	146	97.3	13	32	96	5
	85/15	#	#	#	#	147	98.0	11.5	45	83	7.5
3	Cu(NO ₃) ₂	310±5	6	30	120	79	65.8				
	2 g	#	#	#	#	91	75.8				
	90/10	#	#	#	#	104	86.7				
4	CuCl ₂	330±5	6	25	150	142	94.7				
	2 g	#	#	#	#	125	102.0				
	90/10 反応中 H ₂ を通す	#	#	#	#	86	71.7				
5	CuCl ₂	340	6	25	150	112	74.6				
	2 g	#	#	#	#	115	76.5				
	85/15	#	#	#	#	89	59.5				
合 計				720	498	68.3	34	69	354	41	
6	CuCl ₂	330±5	6	25	150	142	94.7				
	2 g	#	#	#	#	125	102.0				
	90/10 反応中 H ₂ を通す	#	#	#	#	86	71.7				
7	CuCl ₂	340	6	25	150	112	74.6				
	2 g	#	#	#	#	115	76.5				
	85/15	#	#	#	#	89	59.5				
合 計				600	384	67.4	28.6	27.8	272	48.4	



2 図



3 図 実験 4 の分溜曲線

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 に混合して送入了ものである。

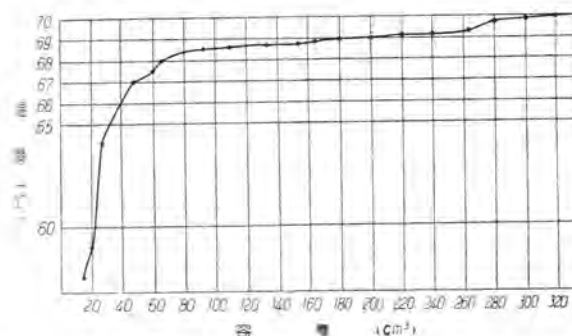
エ. 実験の考察

(A) Ethylchlorosilane

実験 1 の触体は活性度高く非常に鋭敏で 240°C 付近で相当反応し始めるものであるため反応温度を 235°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% までは高収率で Chlorosilane をうるることができたが Dimethyldichlorosilane の生成は比較的少い。また反応の後半において収量は著しく低下し低沸点物増加の傾向は著しい、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) 温度は実験 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、また触体の寿命も比較的に長い。Diethyldichlorosilane の製法としては比較的に有利である。実験 3 は反応率がさらに劣るが寿命、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温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もつとも有利と考える。

(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収率において 1, > 2, > 3。Dimethyldichlorosilane の生成量においては 3, > 2, < 1, 触体の寿命においては 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% 以後において収率の低下著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ってくる。収率は Si 消費率 20~25% 付近が最高収率を示し、Dimethyldichlorosilane は Si 消費率 15% 付近が最高である。



4 図 実験 5 の分溜曲線

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温を要し収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了ものであるが送入しない場合に比べて収率、触体の寿命等は秀れているが Dimethyldichlorosilane の収率は比較的少く、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 の分溜曲線、4 図実験 5 の分溜曲線参照)

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 線回折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 の収率、Dialkylchlorosilane の収率を高めえた。

(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 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を比較し収率、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-誘導体の収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寿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収率および寿命の点において秀れた結果がえられるが Dialkyl-誘導体の収率は比較的少い。

付記: この研究を行うにあ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. 67 (1945)
- (3) 椎原, 西川; 日本化学第 2 年会 (昭和 24 年) 報告
- (4) 新宮; 学研報告

B T 3 1 型 蓄 電 池 式 電 動 牽 引 車

近來あらゆ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 齋 内 眞 一 寛

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、場所に処を得れば、叙上の欠点を補つて十分にその能力を発揮せしめることができる。したがって使用者としては、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
轍 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蓄 電 池



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 (4t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

型 式	TRAL-6 型 (24個木箱入)
電 圧	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 圧	45 V
電 流	70 A
回 転 数	1,150 r pm
動力伝達装置	
2 段減速差動傘歯車式	
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、路面間の粘着係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うことが、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も牽引車に劣らず関心をもち、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、その時の粘着係数によつて最大値が限定されるから、出発時に牽引しよう最大重量が、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よう最大牽引力によつて牽引重量を求めても、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。しかるに粘着係数 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、粘着係数は 0.58 以上でなければならぬ。工場試験の際には、コンクリート舗装路で 0.62 なる粘着係数が得られたから、路面状態によつてはこの最大重量を牽引しようが、如何なる場合にもこれだけの重量を牽引しよう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係数は 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係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、大別してつぎの 2 方式となる。

ア. 間接制御方式

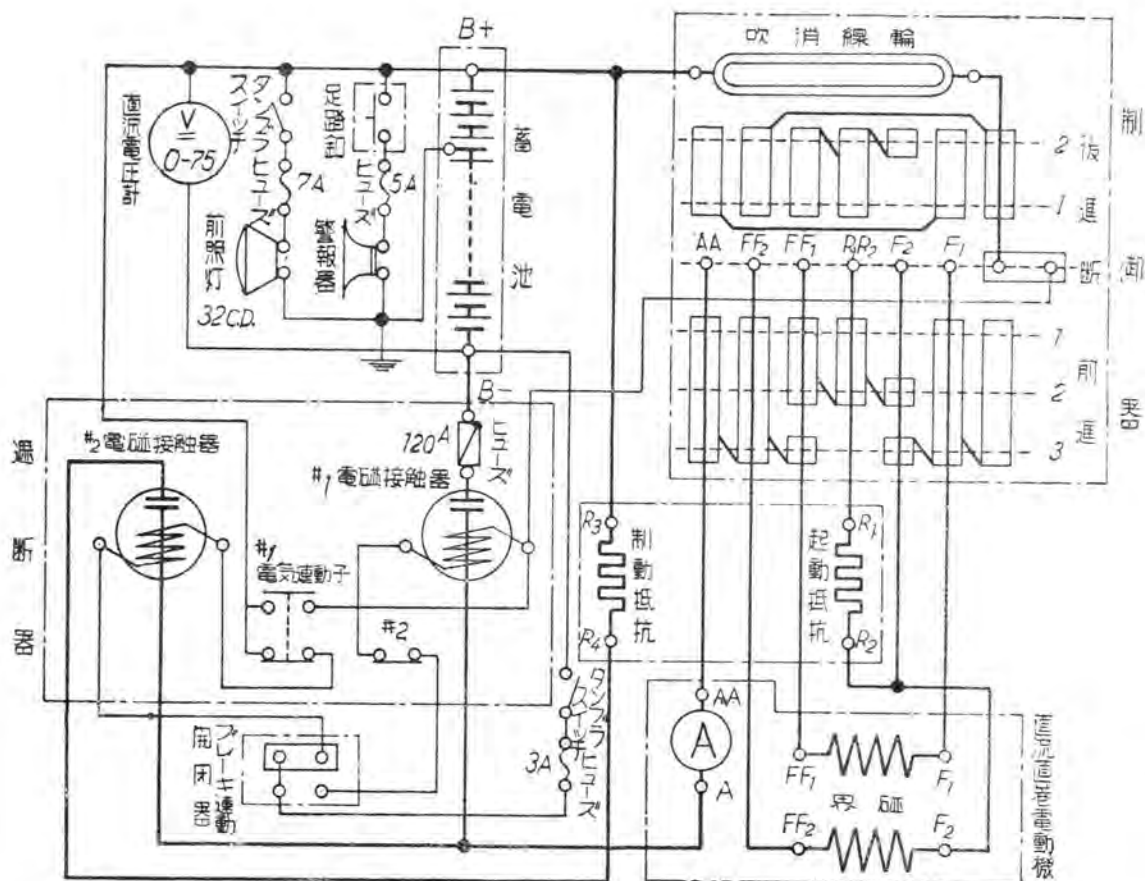
主幹制御器 (手動あるいは足踏式) により電磁接触器を作動せしめ、電動機回路を制御する方式で、蓄電池バス等の比較的電動機の容量大で制御段数も多く必要とするものに使用される。押釐制御による方式は、起動、停止のみにて速度制御を行う必要のない場合には便利であるが、この種用途のものに対しては、かえつて制御が複雑となる欠点がある。

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、かつ電氣的運動も簡単に行うことができる。

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氣的、機械的損耗を極力防ぎ、かつ制動機との連動も電氣的に簡単に行い、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。

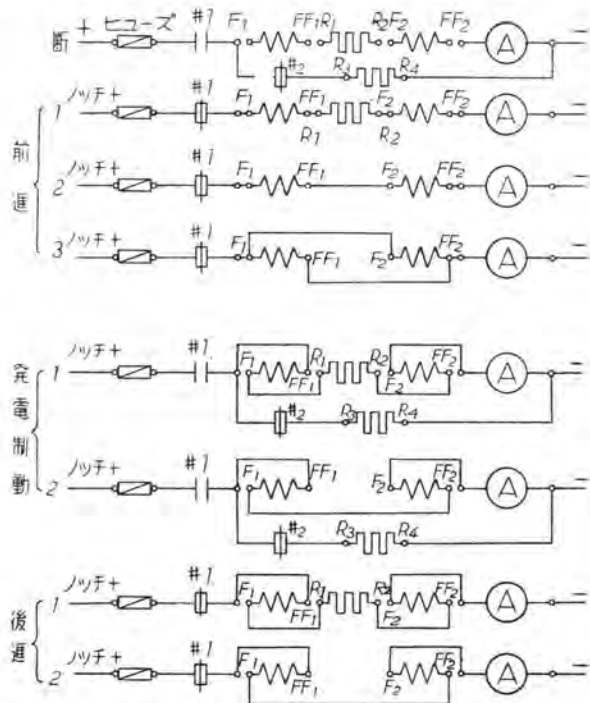
本蓄電池牽引車の制御方法の要点を挙げると、

(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。したがっ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氣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
れても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閉じてこれを励磁し、制動
を掛けれ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

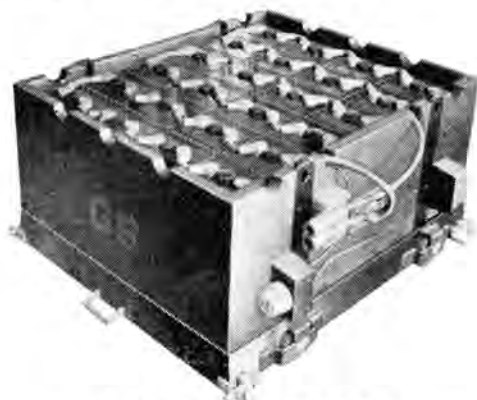
電動機は 2 個の直巻界磁を有し、起動抵抗は 1 段と
し、直巻界磁を直列ならびに並列に接続変換を行い速度
制御をする。一般の直流直巻電動機のように、起動抵抗
を数段使用する方法は簡単であるが、電池を使用する場
合は電池の消耗を極力避ける意味から、抵抗器による損
失を少くした方が有利で、このため制御としては多少複
雑になるが界磁の直並列接続変換を行っている。

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、かつ連動も確実に行われる。

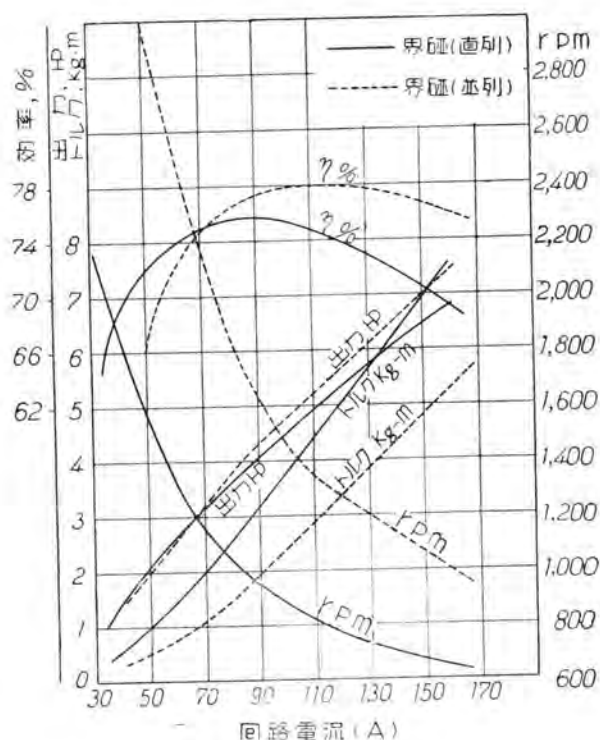
6. 構 造

ア 蓄電池 (4 図)

蓄電池は、震動に耐えるエポナイト槽入移動用鉛蓄電
池にして、24 槽 48 V 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
いる。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。したがっ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



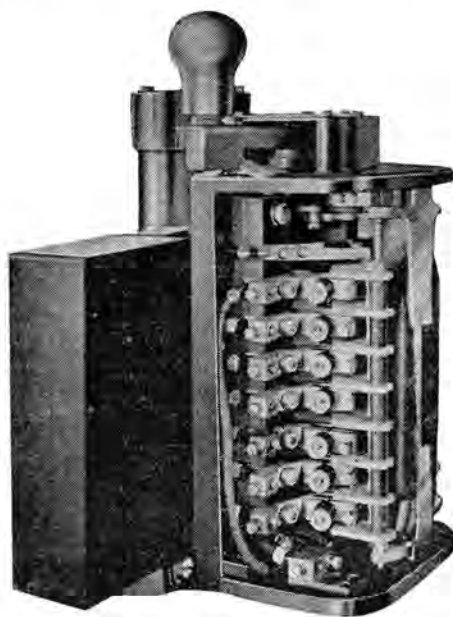
5 図 電動機特性曲線図

エ 電 動 機

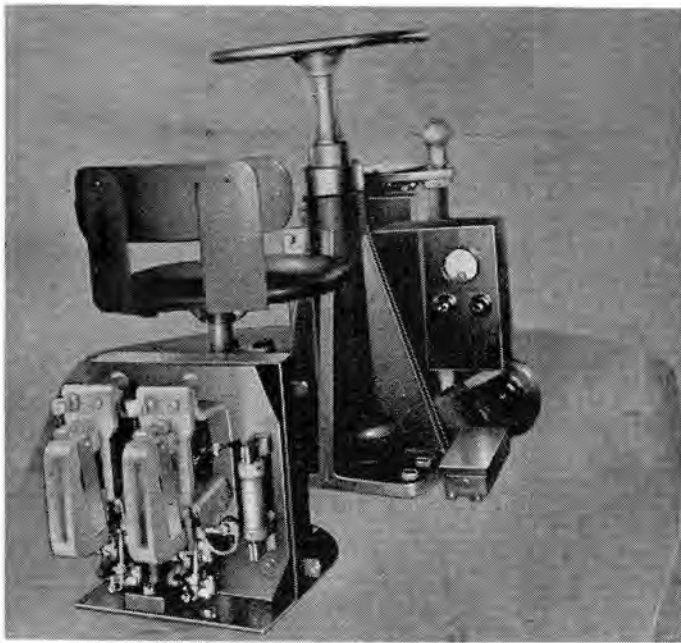
電動機は直流直巻密閉型、1 時間定格 3 HP のもの 1
台を使用し、設計上震動に対してはことに考慮を払つて
ある。また過負荷に対して回転数が急激に落ちる。換言
すれば電流のわずかな増加に対して大なるトルクを出す
ように設計してあるから、蓄電池に無理をしない。5 図
は本電動機特性曲線図である

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 図 制 御 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いる。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いる。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組の平およびハスバ歯車によつて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いるので、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、従来のこの



8 図 動 力 伝 達 装 置

種牽引車とどのように車体両側の案内部分にはまり、上下に摺動しうようになつているが、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いる。しかしローラは発条によつて互いに引張り合い、かつ一方のローラは多少水平方向に動きうようになつてある。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部分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

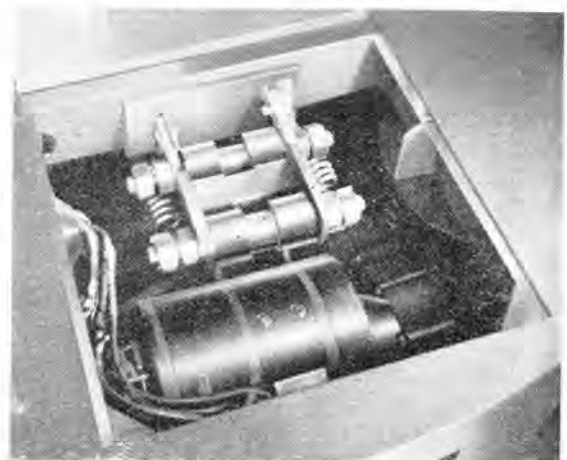
本牽引車は、その使用上頻繁に制御とつてを操作する必要があるために、右手は常に制御とつてにかけ、操向ハンドルは左手のみで操作しなければならない場合が多く、したがつて操向ハンドルは片手操作ができる程度に軽くきれるようにし、また使用上急カーブが多いことを考慮して、最小旋回半径もできるだけ小さく採つてある。操向軸は鋳鋼製ハウジング内にて上下に2分せられ、前車輪の走行中に受ける衝撃が、軸を通してハンドルに全然伝わらぬようにしてある。なお、下部操向軸が受ける推力はスラストボールベアリングで支え、操向の円滑を期するために、さらにラジアルボールベアリングを挿入してある。

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、かつ強力な二重蔓巻発条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、スペヤの数は少なくて済み、かつタイヤの取換えは簡単になしうる構造になっている。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、制動機はギヤケースと反対側の電動機ブラ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る。2本の制動腕は圧縮巻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、運転座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るため、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ない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。運転座席後方は荷物の積載場所となり、800 kg までの物品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。

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、なお下記のものゝ装備されている。

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

7. 試 験 記 録

ア 牽 引 力 試 験

最大牽引力 (発進時) 900 kg

4 t 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 ノ ッ チ	3 ノ ッ チ
牽 引 車 単 独	8.75 km/h	11.2 km/h
4 t 牽 引	6 km/h	8.04 km/h

ウ. 情 行 試 験

初 速 11.2 km/h

惰行距離 26.2 m

平均減速度 0.185 m/s²

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

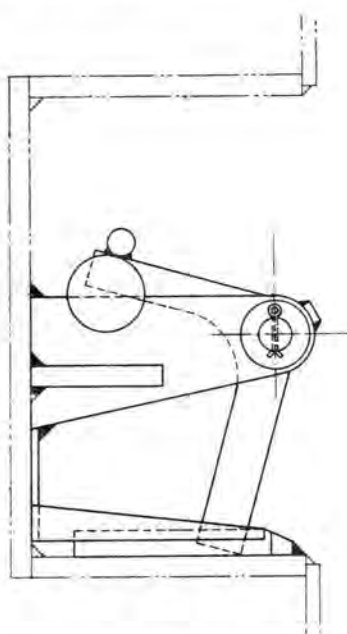
	制 動 距 離	平 均 減 速 度
機 械 制 動	2.45 m	1.98 m/s ²
機械並電気制動	1.25 m	3.87 m/s ²

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當なために、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、十分にその特長を発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、運転者の不馴れや、通路の悪いこと等のために数回の故障を起した。しかしそのために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つている。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。



10 図 連 結 器

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とについて、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しうることが確かめられた。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 藤 永 敦
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・蛍光灯・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、水銀柱何耗の真空度（～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のは大体 10^{-3} ～ 10^{-6} 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確かめられた結果、これが実用的真空計として用いられるようになった。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った将来性のある真空計である。

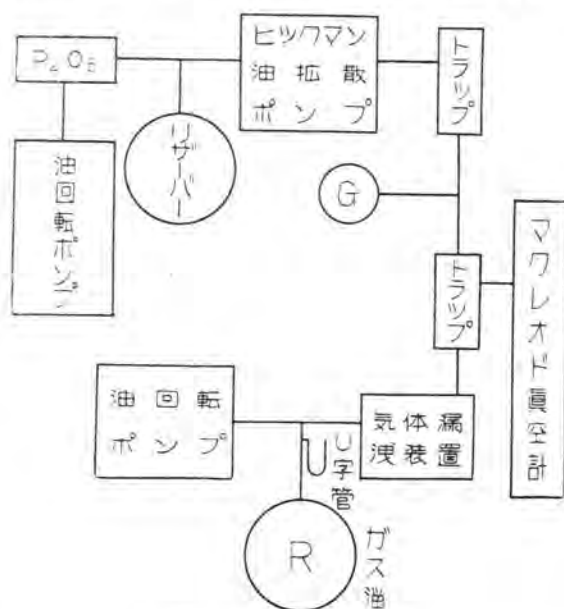
研究所において電離真空計と放電型真空計とを試作して真空計としての諸特性を測定した結果、実用的真空計として使用しうることが確かめられたのでこれについて述べて見たい。

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、真空度の校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 のイオン電流の大さと、McLeod 真空計の読みとを比較して校正を行つた。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校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 の真空度を数 mm Hg から 10^{-1} mm Hg まで変化せしめて、 G の真空度を $10^{-1} \sim 10^{-8}$ mm Hg の間の一定値に保つことができた。

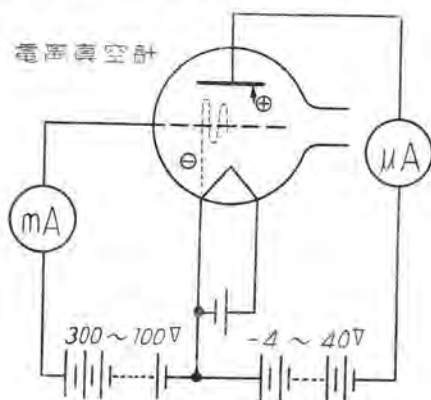
McLeod 真空計と被測定真空計の読みの時間的遅れ（気体の流れによる）は計算によると 15 秒程度であるので連続測定が可能であつた。

なお、測定に先立つて、装置各部よりの吸蔵ガスの排除と、電極各部の吸蔵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 $+150 \sim 300$ V、プレートに $-4 \sim 40$ 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、一部は格子を中心を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) と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

$$I_i / I_e = KP \quad \dots\dots\dots (1)$$

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 $5 \sim 10$ 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度 10^{-2} mm Hg より無限に良い真空度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

$$I_i = KP \quad \dots\dots\dots (2)$$

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

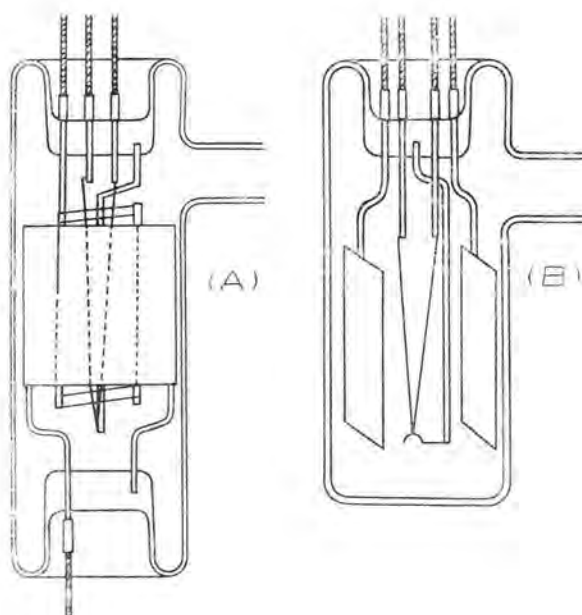
以上述べた点より、電離真空計として構造上要求される点は

- (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) 電極の吸蔵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⁽²⁾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)

イ. 測定回路

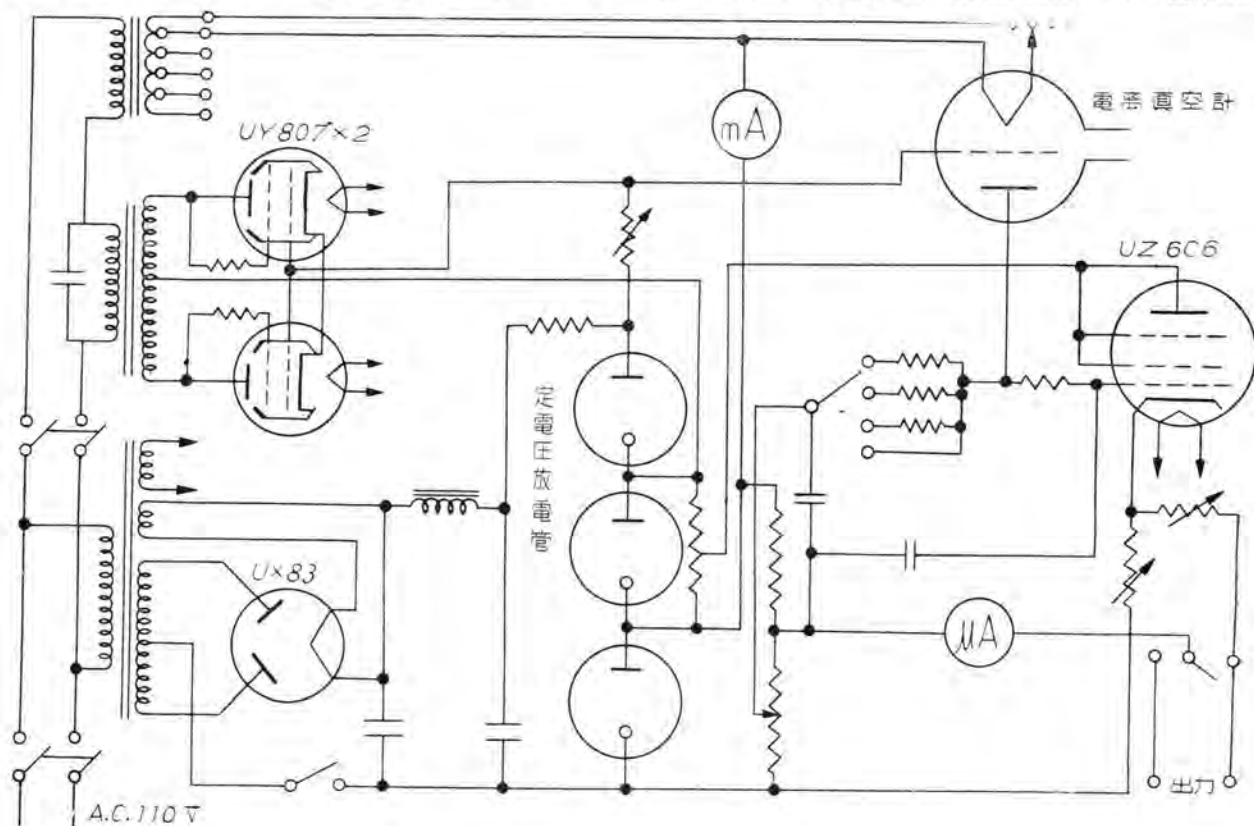
もつとも簡単な測定回路は 2 図に示したものであるが、この回路では、真空度の変化につれて電子電流が変化するため、測定が不便であり実用的でないので、電子電流を一定に保つ装置と、検流計またはマイクロ電流計でしか読めない電離電流の増幅装置をもち、電源を交流 100 V よりとり、電源電圧の変動を除くために定電圧放電管をつけた装置を試作して測定に使用したが、測定が非常に楽で装置につけた電流計で真空度を直読できる利点がある。この利装置の回路を 4 図に示し、各部につ



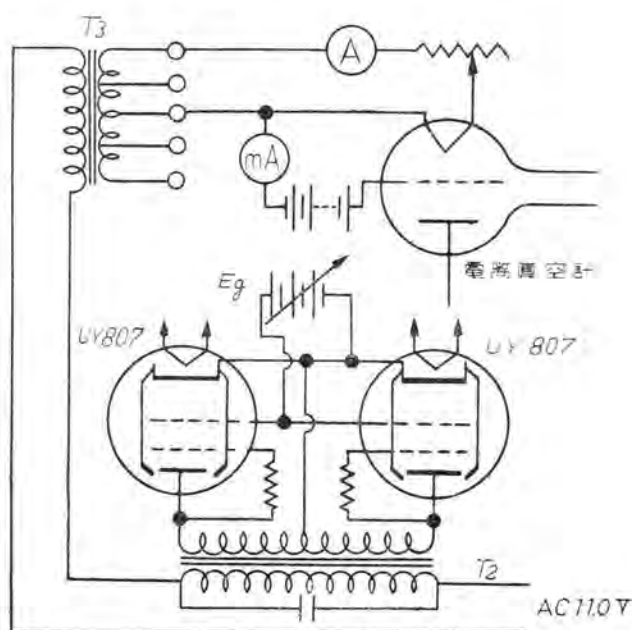
3 図 電離真空計の構造

(1) 電子電流制御装置 電離真空計による真空度の測定は(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 の変化は真空度の変化と電源電圧の変動とによるものであるが、真空度の変化によるものは、たとえば真空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

われわれは UZ 6 C 6 を 3 極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

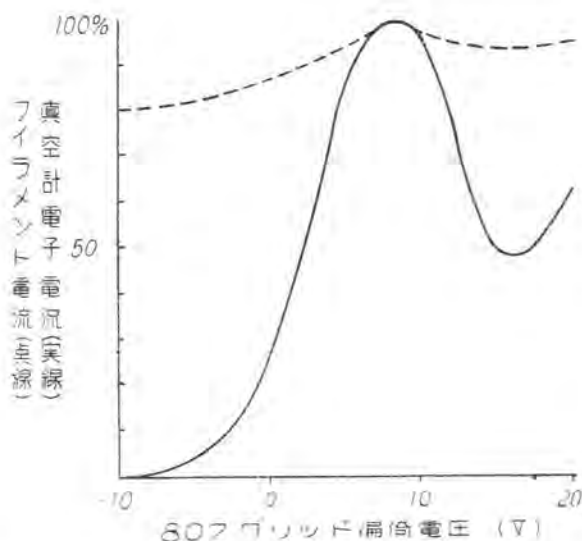


メントの温度を自動的に変化させてやれば良い。この目的で継電器を用いてフィラメント回路を断続したり、フィラメント回路にサイラトロンを直列に入れて、電子電流の変化を電圧変化としてこのサイラトロンのグリッドに加えて制御する方法⁽³⁾等があるが、われわれは5図に示す如き回路⁽⁴⁾⁽⁵⁾を用いた。2個の変圧器 T_2 , T_3 の1次側を直列にして電源に接ぎ、2次側は一方をフィラメントに、他の一方を UY 807 の陽極に繋いで、真空計の電子電流の変化(たとえば増)を抵抗 R による電圧の変化(増)として UY 807 の第一グリッドに加えると、UY 87 の陽極電流の変化(減)となり、これが変圧器 T_2 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⁽⁶⁾ (1) 式で $K=10$, $I_e=1$

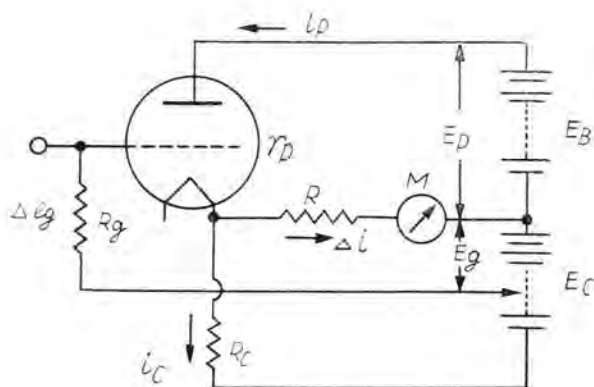
(263) 13



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、入力側の時メータ M は真空管のプレート電流 ($i_p - i_c$) と E_c の R, R_g を通る放電電流によつて平衡しているが、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 Δe_g のとき出力側のメータの偏れ Δi は計算により

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



7 図 イオン電流増幅回路

となる。ここに g_m, μ 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

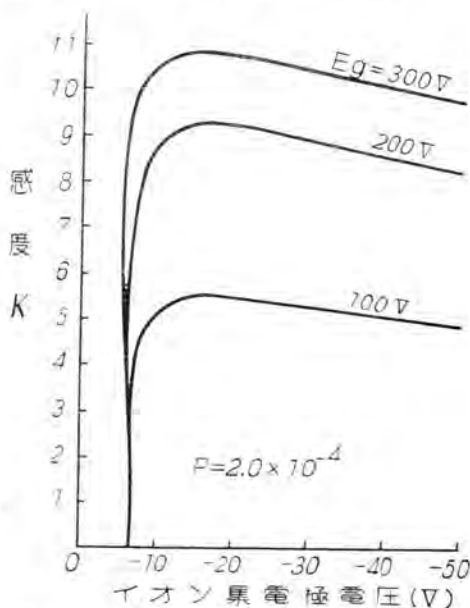
(1) 感度の測定 感度 K の値の正確な決定はこの真空計にもつとも重要な問題である。感度は前述したように、電極の構造、使用電圧等によるものであるが、電圧に対する関係は8図に示す如きものであり、イオン集電極の電圧に対してはほとんど影響されないが、イオン集電極電圧が低

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。

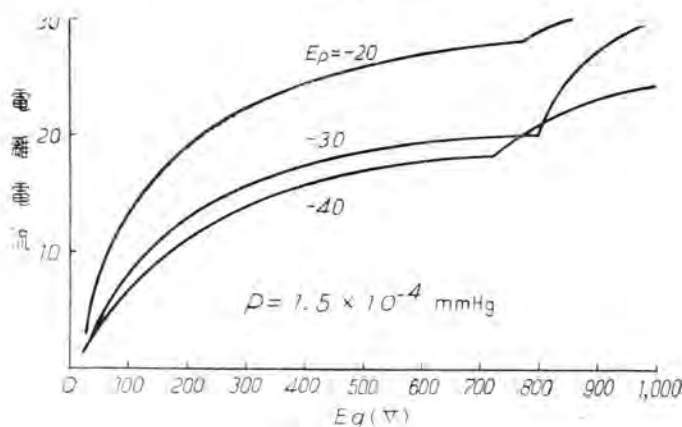
9 図は真空度一定の時、陽電圧に対する陽イオン電流の関係を示すもので、陽電圧 700 V~800 V 附近で急激に陽イオン電流が増加しているのは、加速電圧が大きくなると正電位にあるグリッドに高速度の電子が衝突し2次電子を放出し、それがまたたび気体を電離するためであるとされている。

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 $I/I_e = KP$ 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} 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十



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ぎのとおりである。

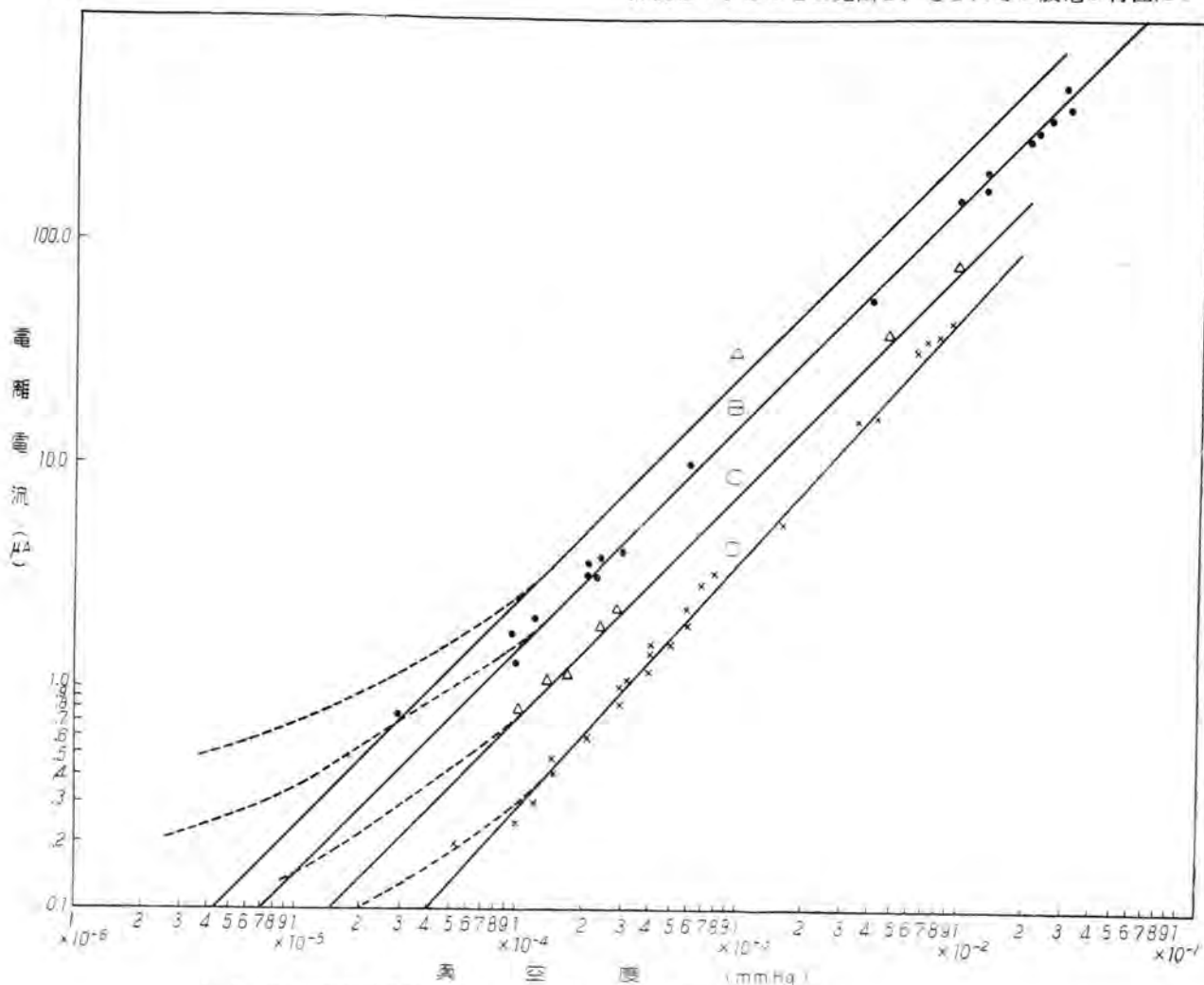
- (1) 高真空の測定が可能である。
- (2) 精度は有効数字2桁まで正確に全測定範囲にわたって読める。
- (3) 十分処理して使用すれば動作はきわめて安定である。

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 \sim 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。1935 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 ($I_e=1$ mA のとき)

(A) 3 図 (A) 型による, $K=25$

(B) 同上 $K=15$

(C) 3 図 (A) 型による, $K=7$

(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ぎのとおりである。

- (1) 低真空中で使うことができない。
- (2) 電極各部の吸蔵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

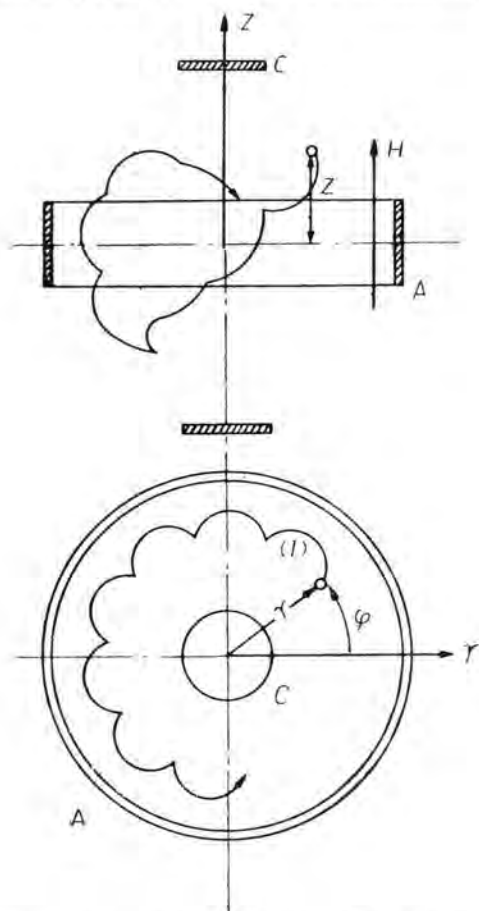
真空ゲージについて・藤永・後藤

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、この作用が連鎖的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度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での電子の運動は図に示すように、円筒座標 r, φ, 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、電子の軌道は著るしく長くなり 10^{-6} mm Hg 程度の高真空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

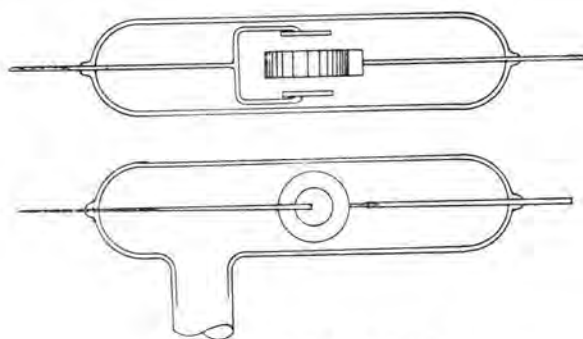
比例するものと考えられるから、その放電電流の大小真空度の目安となりうる訳である。この意味で放電型真空計も電離真空計も原理的には同一であると考えられる。

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

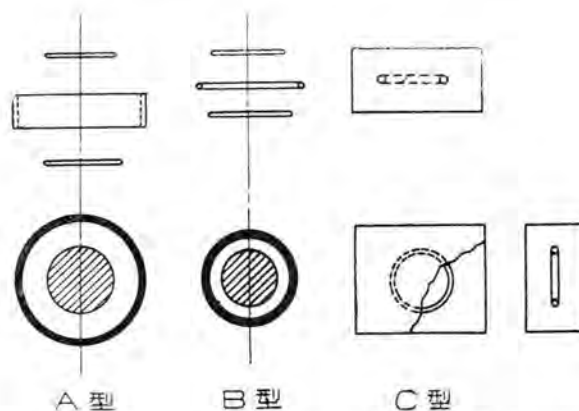
$$H > \frac{6.74\sqrt{V}}{a} \dots\dots\dots(4)$$

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

1. ゲージ管球および付属装置

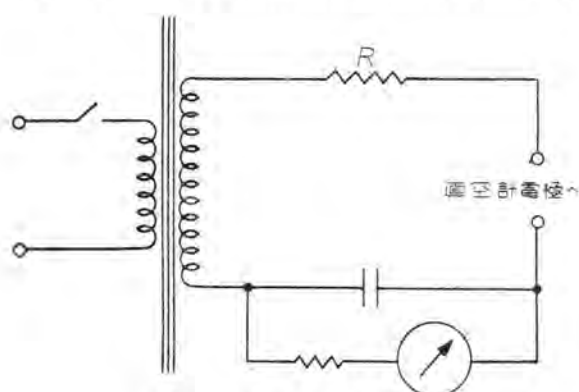
実験に使用された管球の構造は 12 図に示すようなもので電極としては 13 図のように A 型, B 型, C 型の 3 種類を試作, さらに特性の比較のため B 型を大小の 2 種類 B1, B2, C 型を大中小の 3 種類 C1, C2, C3 に分けて見た. このうち A 型が比較的感度がよく特性の測定も容易であつたので, これについて比較的くわしく特性をしらべ, 他はこれと比較する程度にとどめた.

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 (1 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.

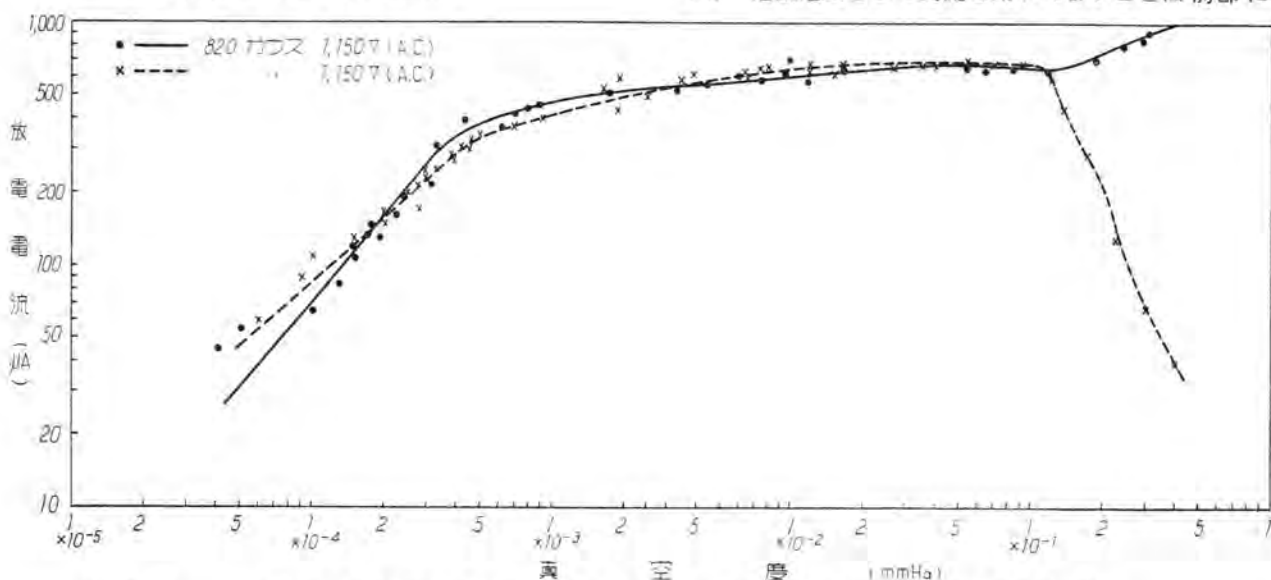
ウ. 特性および吟味

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 (普通目盛) とならないで対数目盛で直線的となる理由は一応つぎのように考えられる. この場合電子と気体分



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

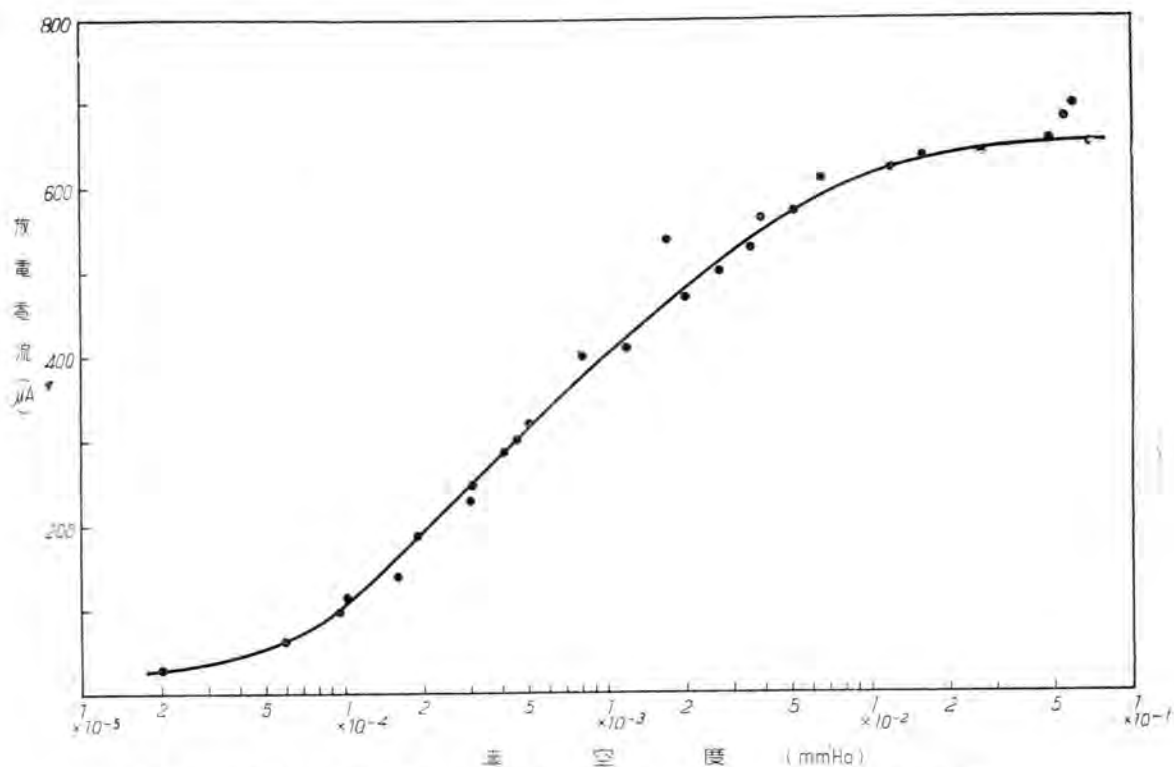
子との衝突電離の過程は電離真空計のように簡単でなく, 1 個の電子が多数の気体分子を電離しその際生じた多くの電子がまた多数の気体分子を電離するという工合に多重の衝突電離が連鎖反動的に促進されて行くもの. したがつて電流と真空度との関係も直線的でなく何らかの器の形となるすなわち対数目盛で直線的となるものと考えられる. また低真空で直線から外れるのは放電電流の増加によつて直列抵抗 R の両端の電圧降下が大となり電極電圧がしたがつて感度が低下するものと考えてよい. 10^{-3} ~ 10^{-1} mm Hg の範囲での特性は 16 図のように半対数目盛で表示した方が便利である.

(2) 電極電圧および磁界の強さと特性との関係

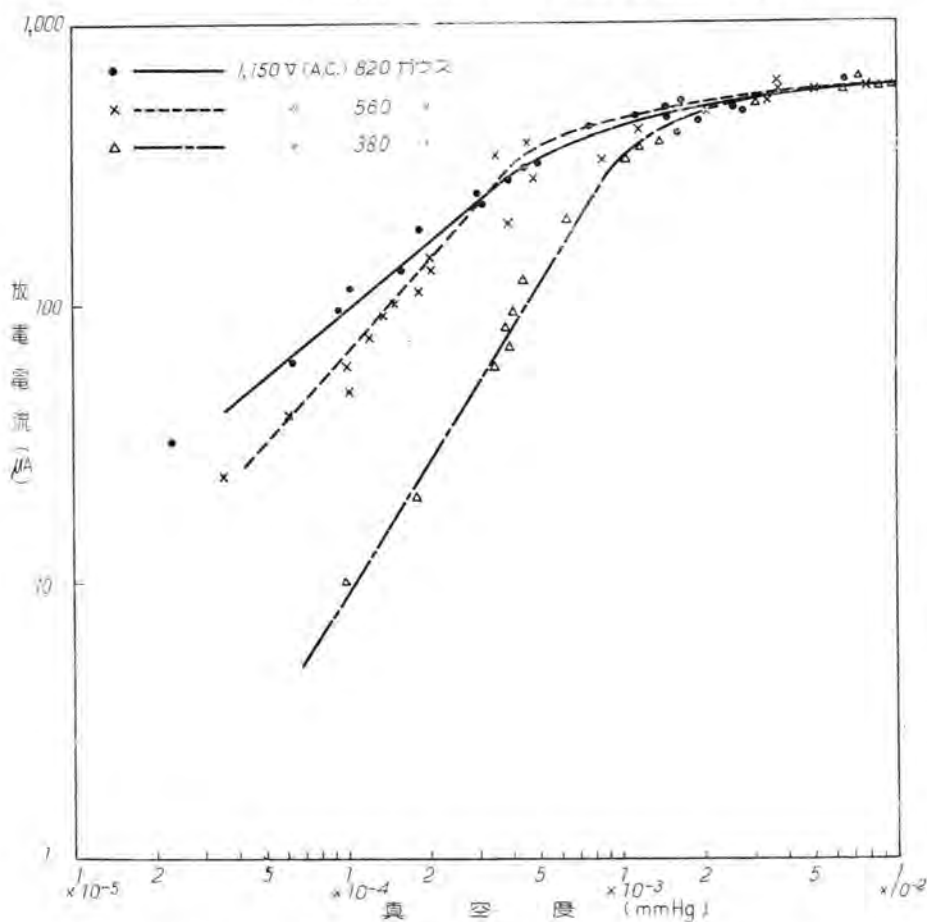
4. ア. 節の関係式 (8) は電極の大きさと電極電圧とが与えられている時磁界の強さはある臨界値より大でなければならぬことを示している. 磁界はその値より大であればそれで放電は行われるが, 磁界の大きい程放電電流が増すことは予想される. 事実 17 図に示すように磁界の強い程高真空部の感度が大きくなつていことが認められる. また磁界の強さがある程度になるとそれ以上増しても感度はあまり変らないようである. また 18 図は磁界を一定に保つて電極電圧を変えた場合の特性を比較したもので電圧をあげると傾斜が急になり低真空部の感度が大となることが認められる. なおこの図で 2,470 V の時の電流値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



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} mm Hg 附近の真空度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ないことによるのであるが、 10^{-1} mm Hg 程度の真空度では平均自由行程の長さと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} mm Hg 以下の真空度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。

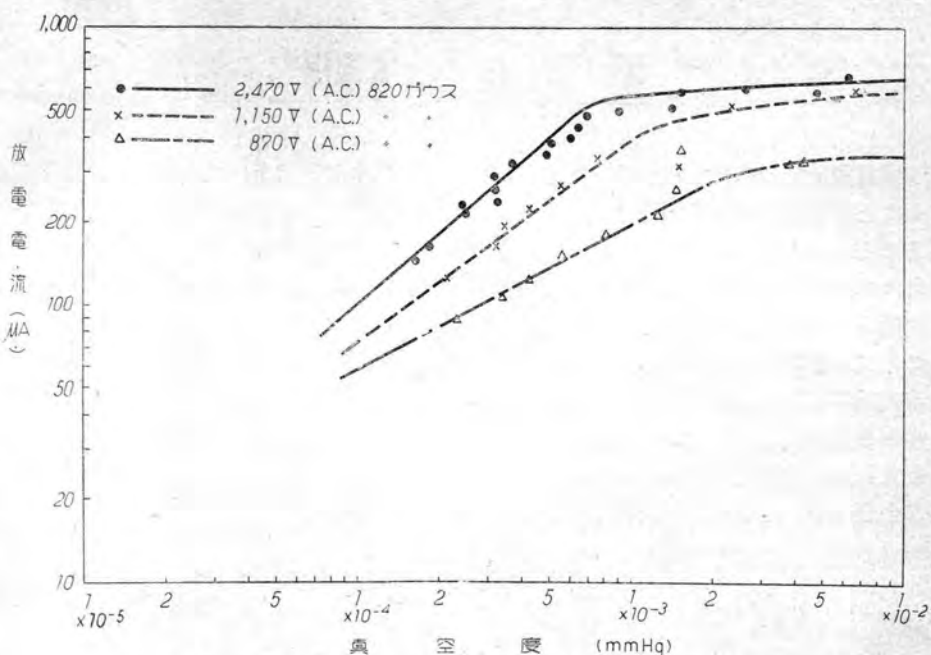
(5) 実際に真空計として使用する場合に第一に問題となるのは動作の安定性と反復可能性とであり、このゲージは放電を利用してゐるためこの点が気遣われるのであるが、実験の結果有効数字1桁程度の精度で真空度を決定するのは十分可能であることが確かめられた。熱陰極を用いてないので破損の虞がないという特長を有するから、電極電源として交流を用い磁界として永久磁石を用いると実用に便利な真空計が得られる。

5. 結 言

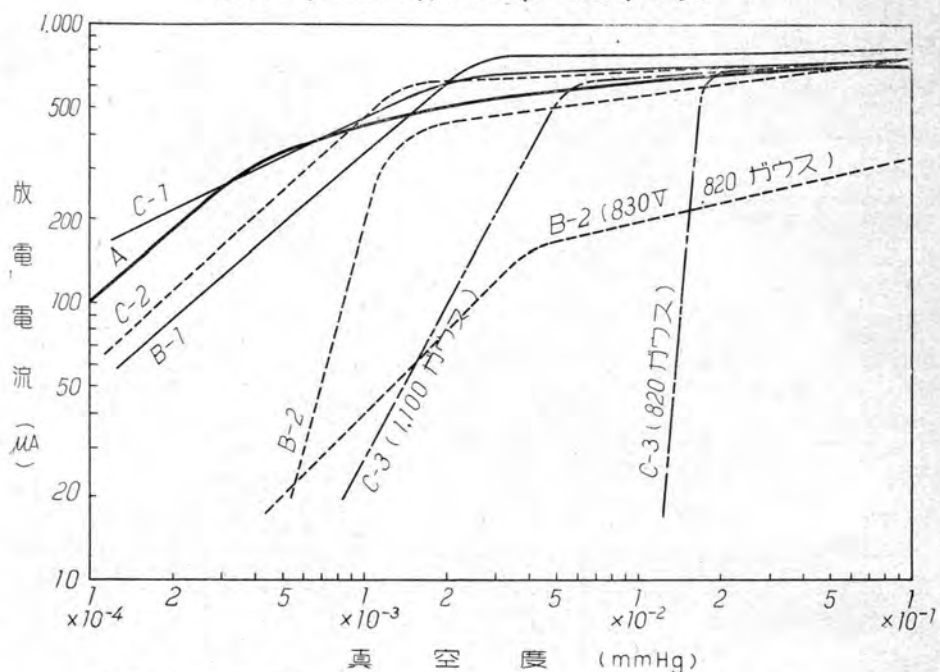
電子による気体の電離を利用した2種類の真空計（電離真空計と放電型真空計）についてなされた実験結果を記述した。電離真空計は 10^{-3} ~ 10^{-7} mm Hgの範囲の高真空用の比較的精密な測定に適しており、実験室用としてあるいは送信管排気の際の真空計等として有用である。これに対し放電型真空計は相当乱暴な使用も可能であるので工場等でさほど精度の要求されない場合の真空計として 10^{-1} ~ 10^{-5} mm Hg程度の真空度測定に適する。すなわち真空管排気とか水銀整流器用のゲージとして大いに用いるものと考えられる。このような研究においてまず考慮すべきは実用性の問題でありこの点に関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 ($R=1,50$ k Ω)
1,150 V ($R=50$ k Ω), 870 V ($R=500$ k Ω) 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 k Ω , 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、これに関係する他の機器に対しても悪い影響を与えずにはおかない。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畳することにより、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れるために起こること、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。

賢 田 濱
康 久 阿
研 究 所

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、そのまま気付かずに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高調波電流が流れて異常音を発し、あるいは共振回路の高速遮断器が動作した例が報告されている。(1)

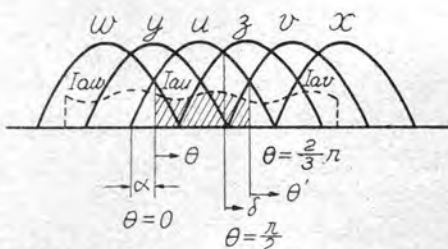
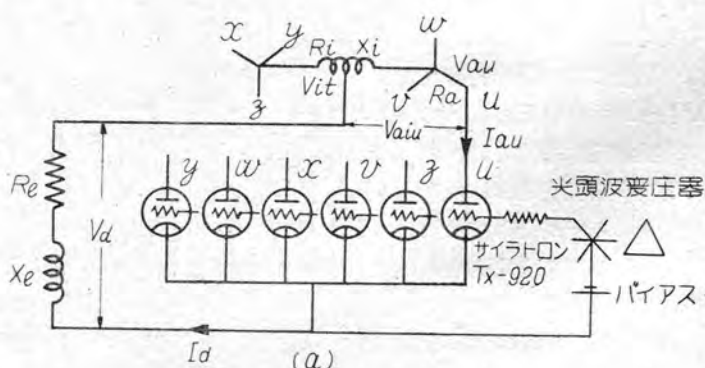
本報告はなんらかの原因によつて整流器の3相または1相が失弧した場合、相間リアクトルのリアクトル電圧が整流器変圧器の各相電圧に重畳することにより、相隣の相電圧の交点に移動を生じ、格子尖頭波電圧の幅がそれを補うに足らなければ整流器の3相運転は永続することを実験的に示し、回路定数と上記交点の移動角との理論的關係ならびに必要な対策について述べたものである。

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)

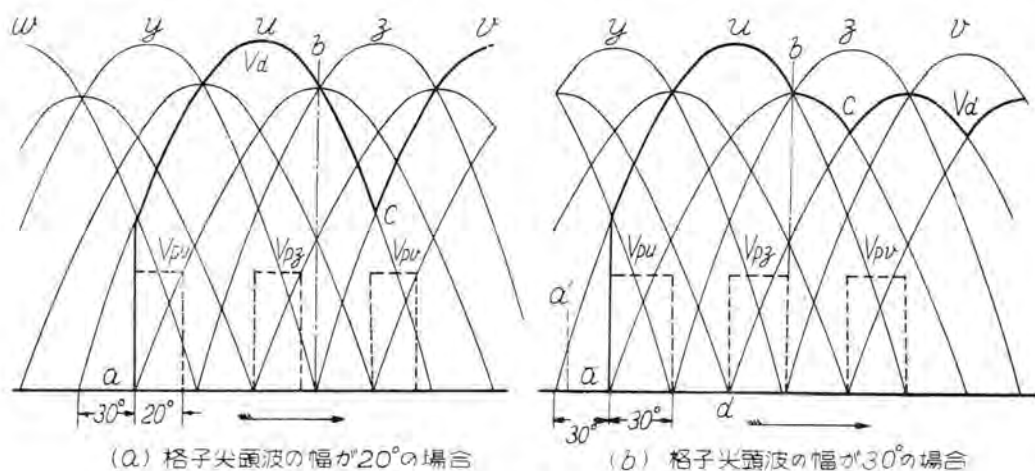
V_a	整流器直流電圧
I_a	" " 電流
V_s	整流器用変圧器2次相電圧実効値
V_{au}, V_{az}, \dots	陽極 u, z, \dots 相に接続される整流器用変圧器の2次の相電圧
V_{atu}, V_{atz}, \dots	相間リアクトル中性点と u, z, \dots 相陽極との間の電圧



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	$X_e + X_t$
θ	$\omega t, \omega = 2\pi f$
δ	位相が相隣る陽極の V_{au}, V_{az}, \dots 等が相

波電圧の幅が 30° 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、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相電圧の始めから 30° の位相に置くと、尖頭波電圧は最小 30° の幅が必要となるのである。これが毛利氏等の研究の要である。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'点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から 30° の位相におくものとする。



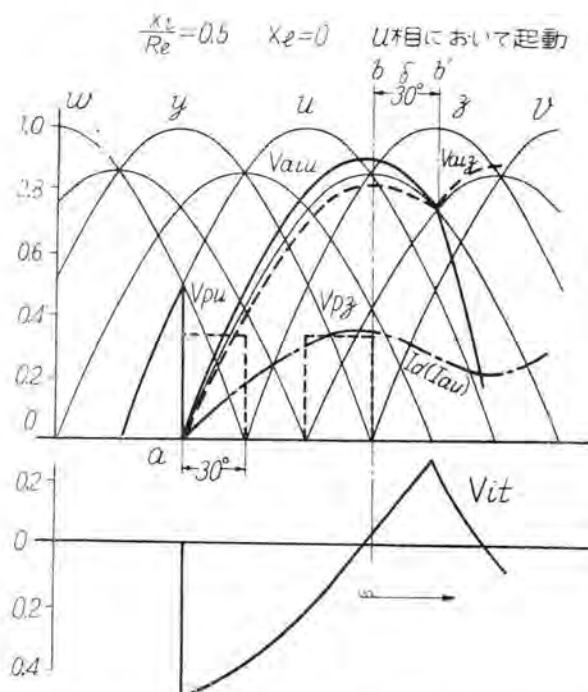
2 図 整流器起動時の直流電圧波形

等しくなる位相を $I_a=0$ の場合の位相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_{au}, V_{az}, \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° が必要である。これについてはすでに毛利氏等⁽²⁾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。

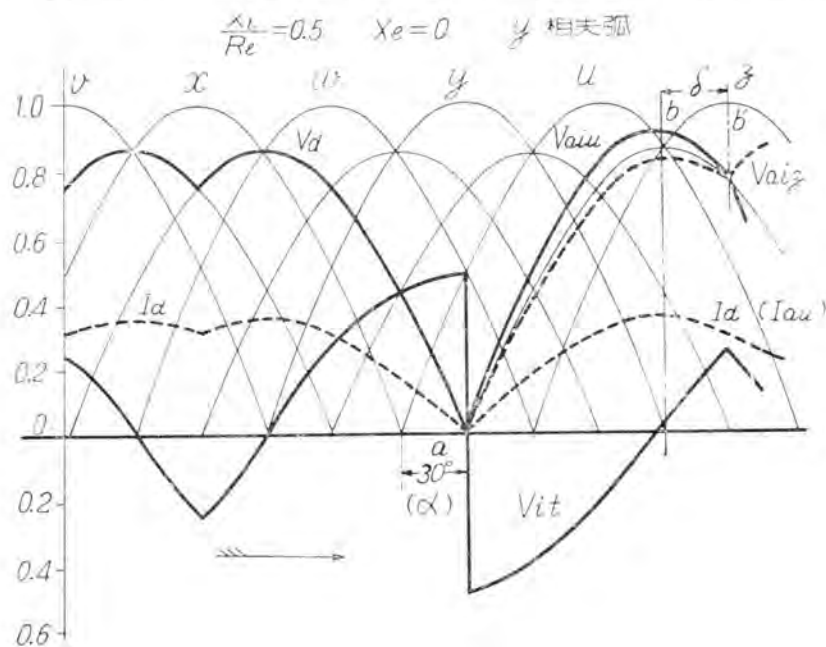
2図(a)は格子尖頭電圧の幅が 20° で、その波頭を相電圧の始めから 30° の位相に設定した場合であるが、起動時のv相陽極電流はa点より通流し始め、直流電圧は図の太い実線となる。この途中z相の格子には V_{pz} が付与されるが、相間リアクトルは単にリアクタンスとして働きそのリアクタンス電圧は無視しうる程度とすれば、相電圧の低いu相は点弧せず、b点に到りz相電圧がu相より高くなるときはすでに V_{pz} は消滅しているのでu相陽極はそのまま通流し、c点よりv相が流れ始め、かくして直流電圧波形は3相となる。格子尖頭



3 図 整流器起動時の陽極電圧の変遷とその交点の移動

実際には格子尖頭電圧が最小 30° 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のように $30^\circ + \delta$ 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_{au} 、 V_{az} 等の交点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_{lu} 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_{lu} 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_{atu} 、 V_{atz} の波形となつて、この交点 b' は原点 b より角度 δ だけ遅れる。



4 図 1相が失弧した場合の陽極電圧の変型とその交点の移動

したがつて格子尖頭波電圧の幅が $30^\circ + \delta$ だけなければ z 相は点弧し得ず、2図の場合とどのような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。

つぎにまた整流器が正常の6相運転を行っている際に、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 a 点より単独で電流を通じ、 V_{lu} は u および z 相の電圧 V_{au} 、 V_{az} の波形を変型せしめ、その交点 b' は原点 b より δ 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_{atu} 、 V_{atv} 、 V_{lt} 等したがつて δ 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。

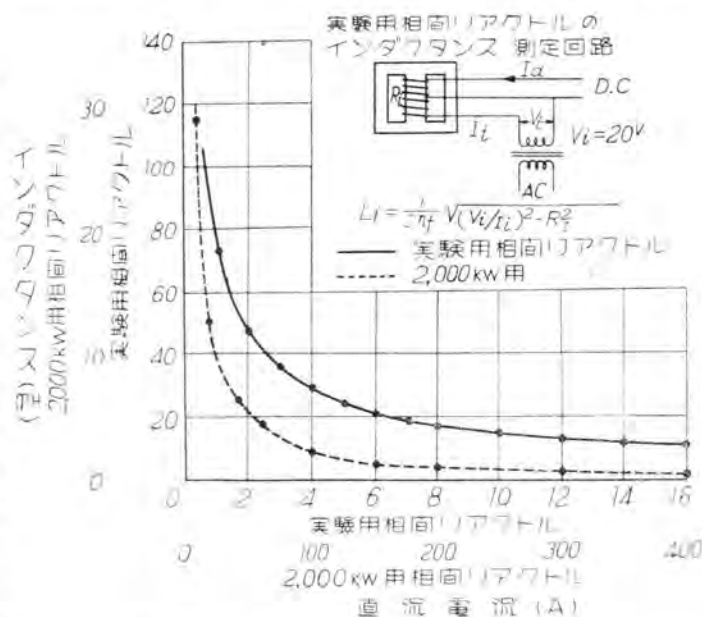
3相失弧の上記の原因は、筆者がつぎに述べる実験と理論によつて証明されたところであるが、村山氏⁽²⁾はこの原因としてつぎのとおり説明されている。すなわち整流器の負荷電流が急変するとき生ずる過渡電流は二重星型の両群の3相にかならずしも均等に流れぬため、相間リアクトルのアンペア回数に不平衡を生じ起電力を発生する。この電圧が変圧器の相電圧に重疊して、位相の相隣る陽極電圧の交点をずらして3相に到るであろうという点は筆者の見解と全く同じであるが、具体的な証明は行われていないのである。

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に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相運転になっている状態で、負荷電流の大小により前記の移動角 δ 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 $V_s=110V$ 、 $R_s=0.538\Omega$ 、 $R_t=1.38\Omega$ 、 $\alpha=30^\circ$ 、 $X_c=0$ 。 X_c 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_L 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。

1. 実験結果

6~9 図は、格子電圧の幅の不足のためすでに整流器の 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 $I_{au}, V_{p2}, V_{Lz}, V_{atu}, V_{atz}$ 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 δ 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_{pz} の波尾は u 、 x 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

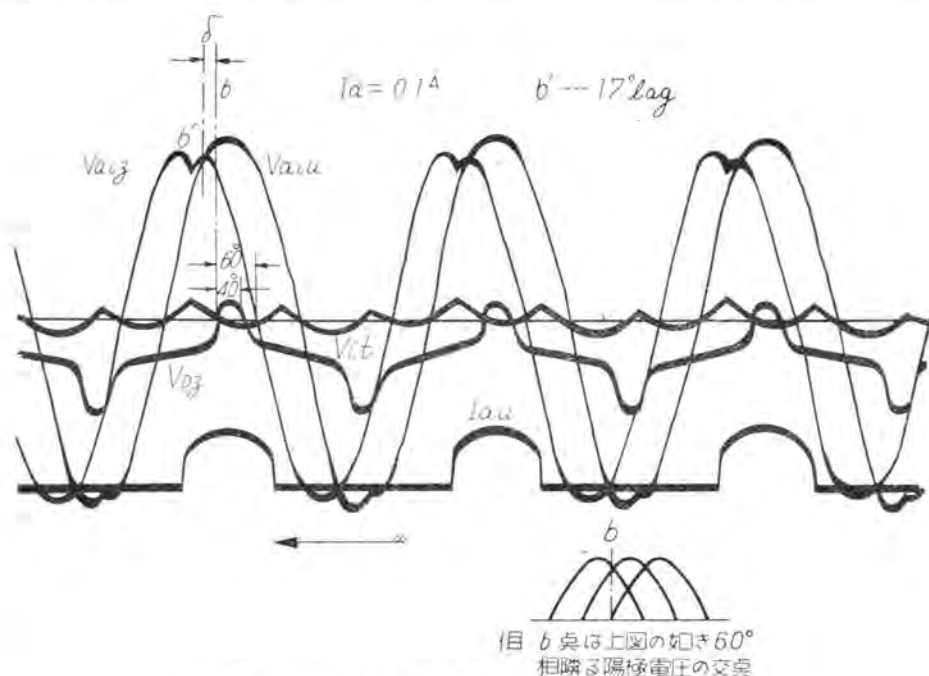
しえず、結局 x, y, z 相の 3 陽極は失弧している。 I_d が大になるにしたがつて δ は減少し、 8.5 A 以上では b' はかえつて b 点より進相となり z 相陽極は点弧して整流器は正常の 6 相運転となる。すなわち軽負荷において 3 相運転となればこれが永続するが、負荷電流が増加すれば正常な 6 相運転に復帰しうるのである。

3. 位相の相隣る 2 陽極電圧の交点の移動角 δ

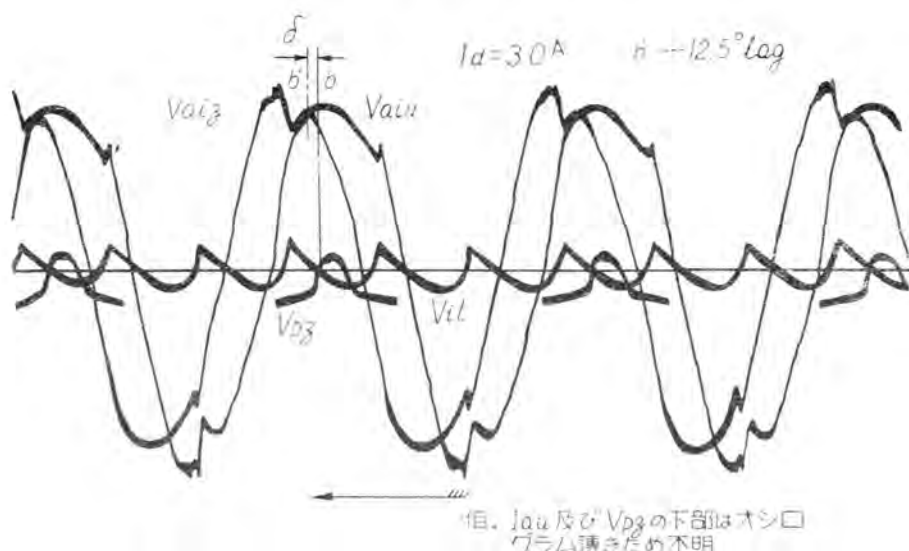
以上を明らかにするために、標記の移動角 δ と回路定数との関係を求め、さらに 2, 3 の数値例をあげるとにする。

1. δ の計算式

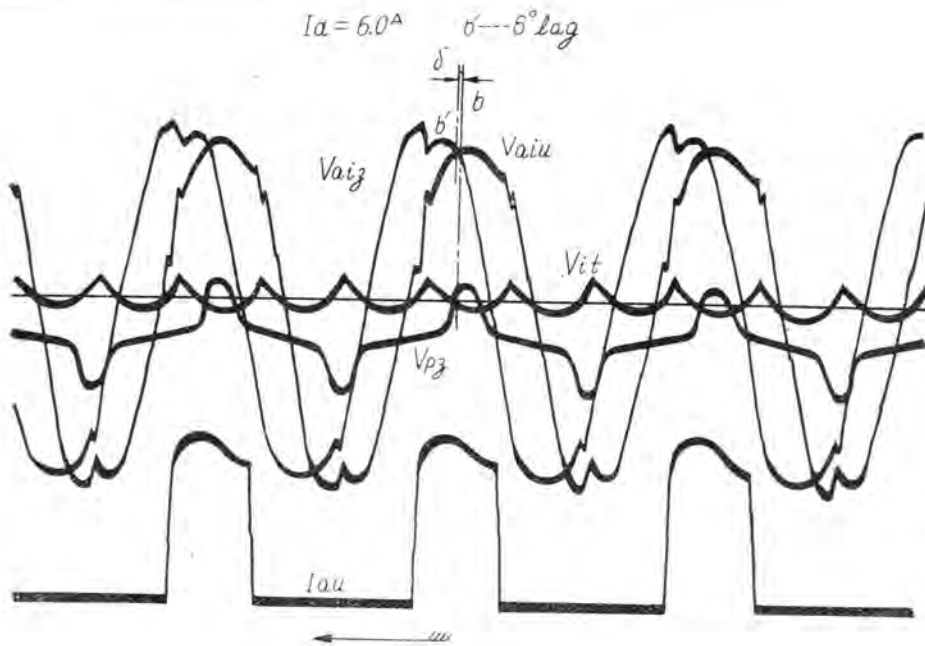
今なんらかの原因によつて二重星型の内のいずれか一



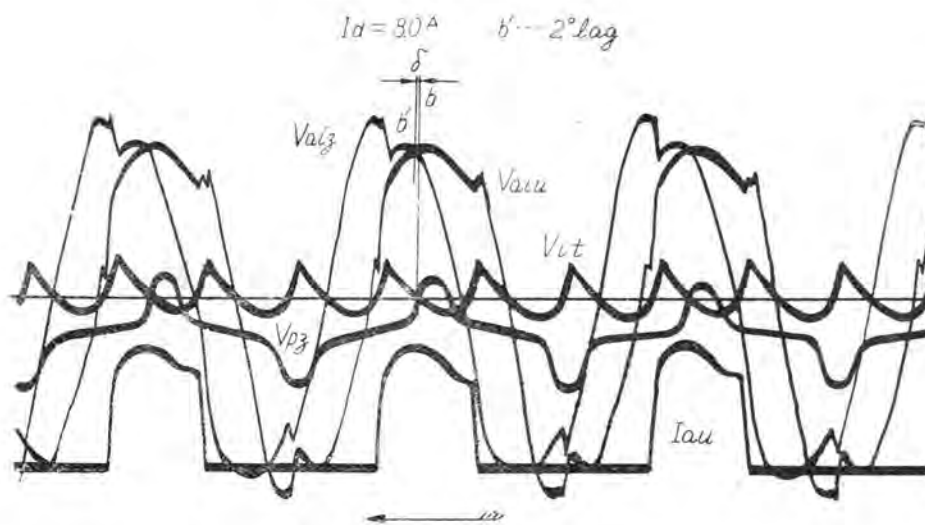
6 図 実験回路のオシログラフ



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相運転を行つている場合の陽極電流 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

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

相間リアクタンスの X_i 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

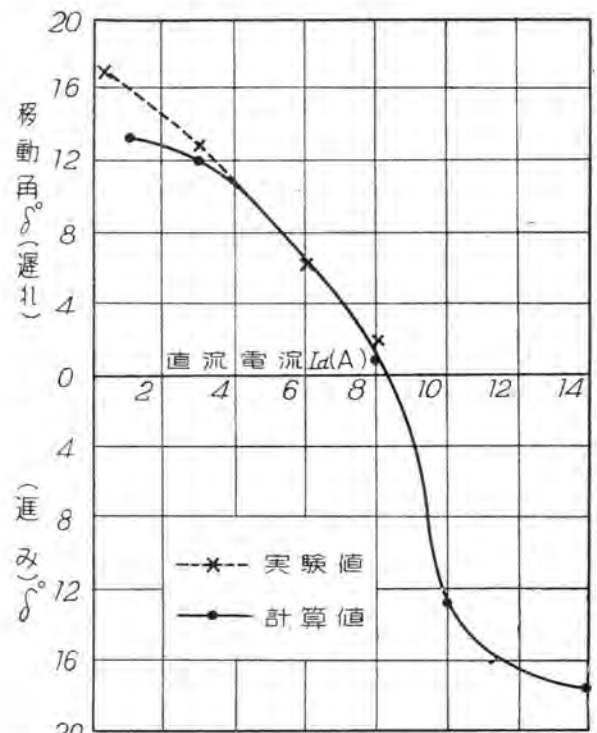
$$I_a = \frac{\sqrt{2} V_s}{\sqrt{R_o^2 + X_o^2}} \sin(\theta + \alpha - \gamma) + A e^{-\frac{R_o \theta}{X_o}}, \gamma = \tan^{-1} \frac{X_o}{R_o}$$

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

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

したがつて

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



10 図 実験回路における負荷電流と移動角 δ

$\gamma = \tan^{-1}(X_o/R_o) = \tan^{-1}\{(X_e + X_i)/(R_e + R_a + R_i)\}$
 つぎに (2) 式を用いて δ 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

$$V_{atu} = V_{au} - (R_a + R_i)I_a - X_i \frac{dI_a}{dt} \dots \dots \dots (3)$$

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

$$V_{aiu} = V_{az} + X_i \frac{dI_a}{dt} \dots \dots \dots (4)$$

1 図 (b) に示すように

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

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

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

$$\begin{aligned} \frac{R_o}{\cos \gamma} \sin \delta &= -(R_a + R_i) \cos(\delta - \gamma + \frac{\pi}{6}) \\ &+ 2 X_i \sin(\delta - \gamma + \frac{\pi}{6}) - \sqrt{3} \sin \gamma \left\{ (R_a \right. \\ &\quad \left. + R_i) - 2 X_i \cot \gamma \right\} \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon - (\frac{\pi}{3} \cot \gamma)} \end{aligned}$$

$$(0 \leq \delta \leq \pi/6) \dots \dots \dots (6)$$

(6) 式を満足する δ 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 $I_a, dI_a/dt$ 等が
 求まるから、(3)(4) 式を用いて $V_{atu},$
 V_{aiu} の2つの波形を画き、その交点か
 ら作図的に δ を求めることもできる。
 11, 13, 14, 15 図は作図によつて δ 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_i は小さいから、
 (6) 式において

$$R_a + R_i = 0$$

とすれば

$$\begin{aligned} \sin \delta &= 2 \frac{X_i}{R_o} \cos \gamma \left\{ \sin(\delta - \gamma + \frac{\pi}{6}) + \sqrt{3} \right. \\ &\quad \left. \cos \gamma \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon - (\frac{\pi}{3} \cot \gamma)} \right\} \dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

ただし $\cot \gamma = 1/\{(X_o/R_o) + (X_i/R_i)\}$
 $(0 \leq \delta \leq \pi/6)$

$\cot \gamma = R_o/X_o = R_o/(X_o + X_i) \quad (R_a + R_i = 0)$
 が大きい場合は (7) 式の右辺第 2

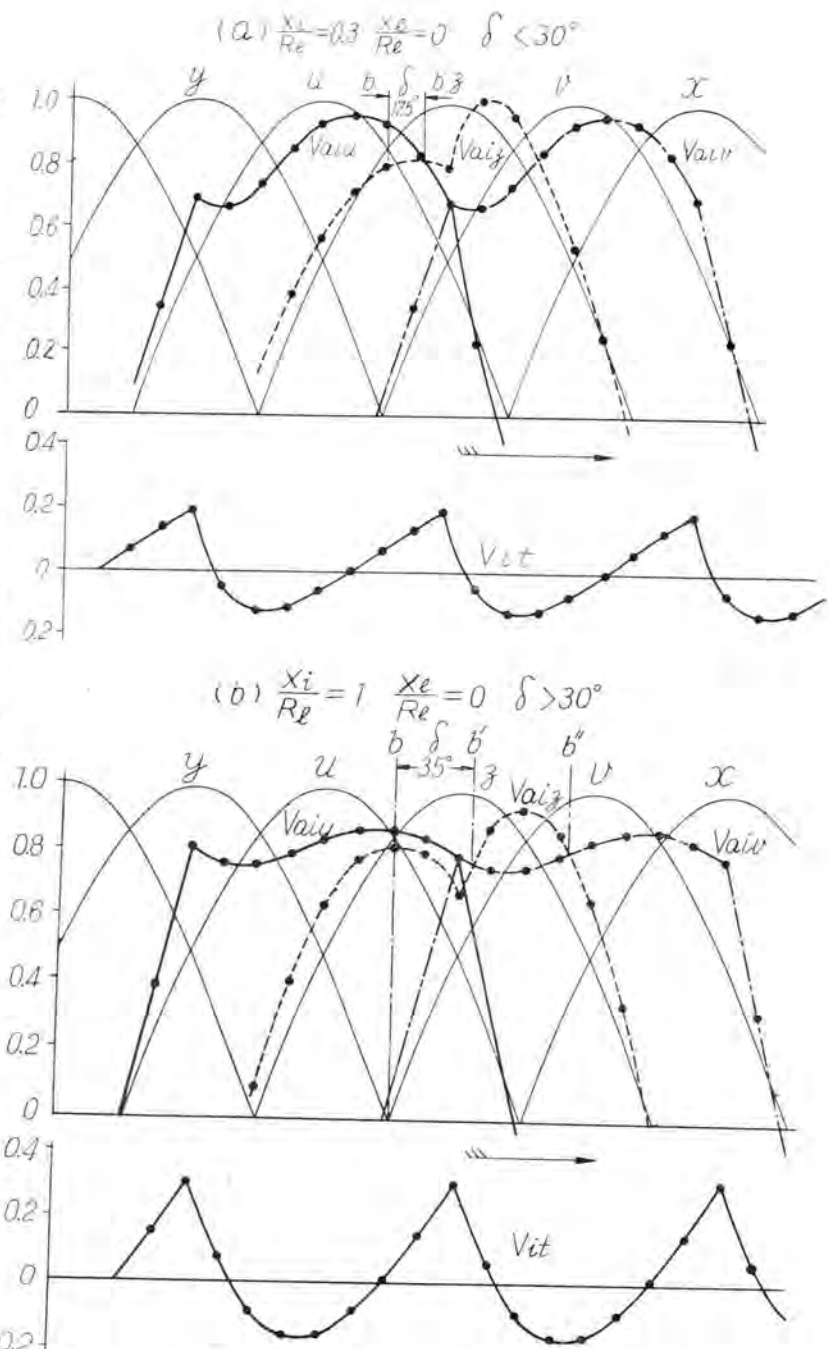
項は無視しうるから

$$\delta \approx \tan^{-1} \frac{\cos \gamma \sin(-\gamma + \frac{\pi}{6})}{\frac{R_o}{2 X_i} - \cos \gamma \cos(-\gamma + \frac{\pi}{6})} \dots \dots \dots (8)$$

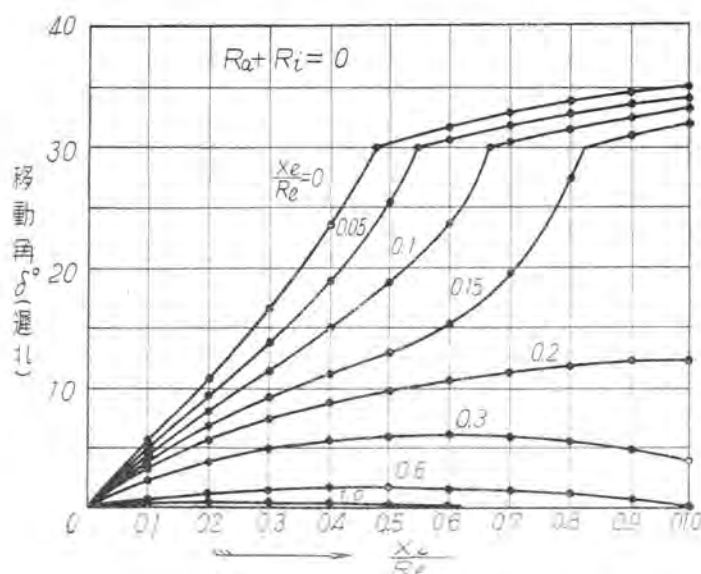
または $R_o/2 X_i = (1/2) \cot \gamma (1 + X_o/X_i)$ であるから

$$\delta \approx \tan^{-1} \frac{\sin(-\gamma + \pi/6)}{(1/2)(1 + X_o/X_i) \operatorname{cosec} \gamma - \cos(-\gamma + \pi/6)} \dots \dots \dots (9)$$

いま $R_a + R_i = 0$ とし、 $X_i/R_o = 0.3, X_o/R_o = 0$ の場
 合の V_{atu}, V_{aiu}, V_{it} の波形を画けば、11 図 (a) のよ
 うになり、 V_{atu} と V_{aiu} は唯一つの点 b' で交わる。こ
 の $\delta (=bb')$ は (7) 式に示すように $X_i/R_o, X_o/R_o$ 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_l/R_e に対する δ 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 δ は著しく小さくなる. X_e が大になるときは負荷電流が平滑となつて, $V_{au} = X_l \int I_a/d\theta$ も小となり, したがつて V_{au} 等が正弦波から変歪することが少なくなつて δ が小になることは十分首肯しうることである.

4. $\delta \geq 30^\circ$ の場合

11図(b)のとおり, $X_l/R_e = 1$ ($X_e/R_e = 0$, $R_a + R_l = 0$) のように相間リアクトルの X_l が大きくなれば, (a)図の場合のように V_{au} と V_{az} の2曲線は相交わらず, u 相陽極から 120° 遅相の v 相陽極に電流が転流した後, V_{av} が V_{az} と交わるに到る. V_{au} と V_{az} が交わるか, または V_{az} と V_{av} 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 δ を追加すれば整流器を6相運転にしうことは明らかである. この場合の δ は先とどのようにして求めることができる. V_{az} と V_{av} の交点を求めるには時間座標を1図(b)のように θ' ($\theta' = 0$ は相電圧 V_{au} と V_{av} の交点) とし,

$$R_a + R_l = 0$$

とすれば, (3)(4)式に相当して

$$\left. \begin{aligned} V_{au} &= V_{av} - X_l \frac{dI_a}{d\theta'} \\ V_{az} &= V_{az} + X_l \frac{dI_a}{d\theta'} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

(5) 式に相当して

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

$$\theta' = \delta - \pi/6, \quad \alpha = \pi/6$$

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

$$\cos(\delta + \frac{\pi}{6}) + 2 \frac{X_l}{R_e} \cos \gamma \left\{ \cos(\delta - \gamma) - \sqrt{3} \frac{-(\delta - \frac{\pi}{6}) \cot \gamma}{1 - \epsilon - (2\pi/3) \cot \gamma} \right\} = \gamma \quad (12)$$

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

(12) 式を満足する δ の2つの実根の内, 値の小さい δ (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_l/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_l/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 δ

前節に述べた δ は, 3相がすでに失弧して整流器が3相運転になっている場合の議論であつた.

本節では整流器が正常な6相運転を行つている際に, 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, 先とどのような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 w 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にする. 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

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

ただし $\gamma = \tan^{-1}(X_l/R_o)$, $\alpha = \pi/6$

故に(3), (4)式で与えられる電圧 V_{au} , V_{az} を等しとおき, これに(13)式の I_a を代入すれば δ を求めることができる.

いま $R_a + R_l = 0$ とし, δ を与える $V_{au} = V_{az}$ の関係から

$$2X_l \frac{dI_a}{d\theta} = V_{au} - V_{az}$$

$\theta = \pi/2$ 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

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

なる条件を与えれば $R_a+R_i=0$, $X_e=0$ であるから

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

これから

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

$X_i/R_e=0$ 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

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

交点は遅れる

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

交点は進む

(15)

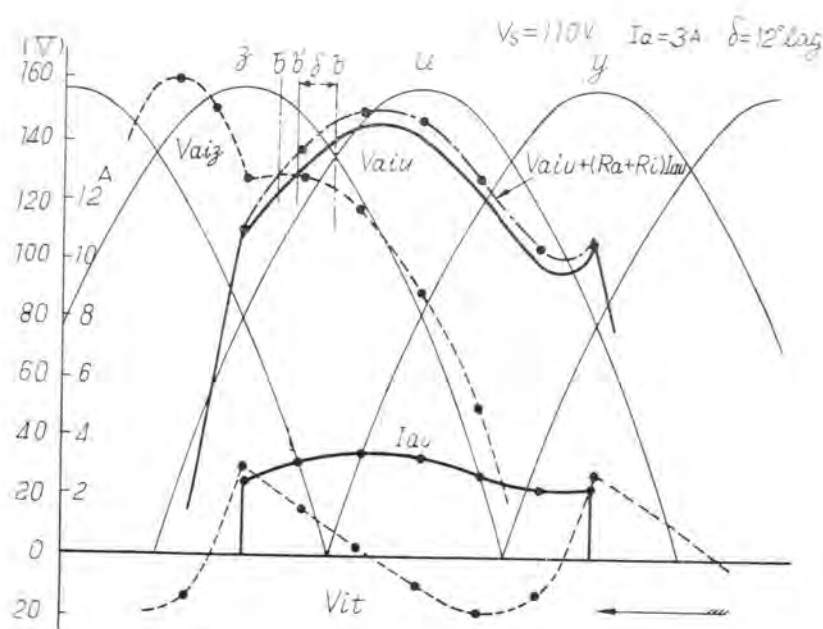
4 図は $(X_i/R_e)=0.5$ で $\delta > 0$ となることを図示したものである。このようにして整流器の 1 相が失弧しても、 $(X_i/R_e) < 1/\sqrt{3}$ の場合は格子尖頭電圧の幅が $30^\circ = \delta$ なければ、4 図で π 極は点弧しえず、整流器は結局 u, v, w 極だけが点弧する 3 相運転に入るのである。

3. δ の数値例

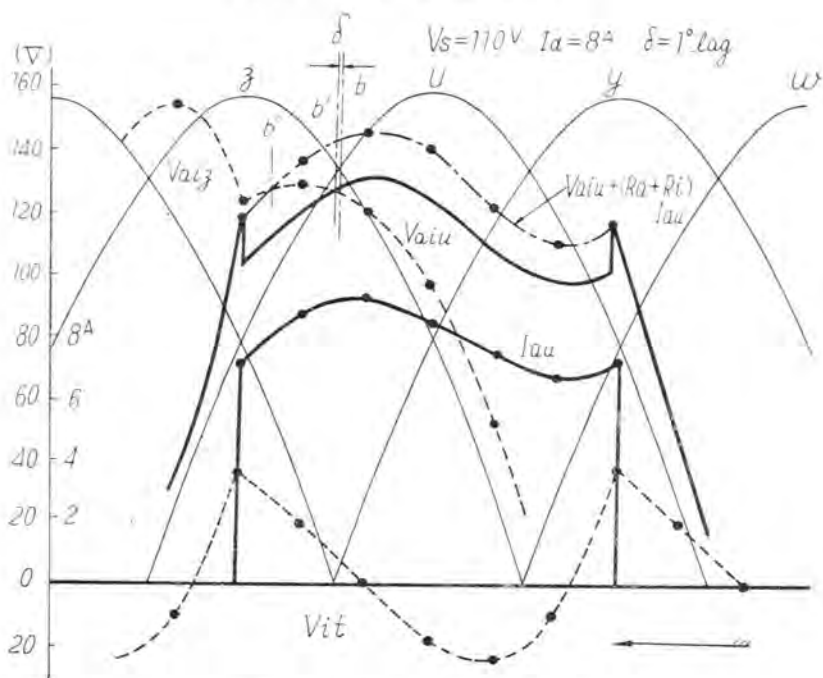
上述の算式または 12 図を用いて実験回路あるいは 2,000kW, 1,500V 水銀整流器が 3 相運転をしている場合の移動角 δ の数値例をつぎに求めてみる。

ア. サイラトロンを使用した実験回路

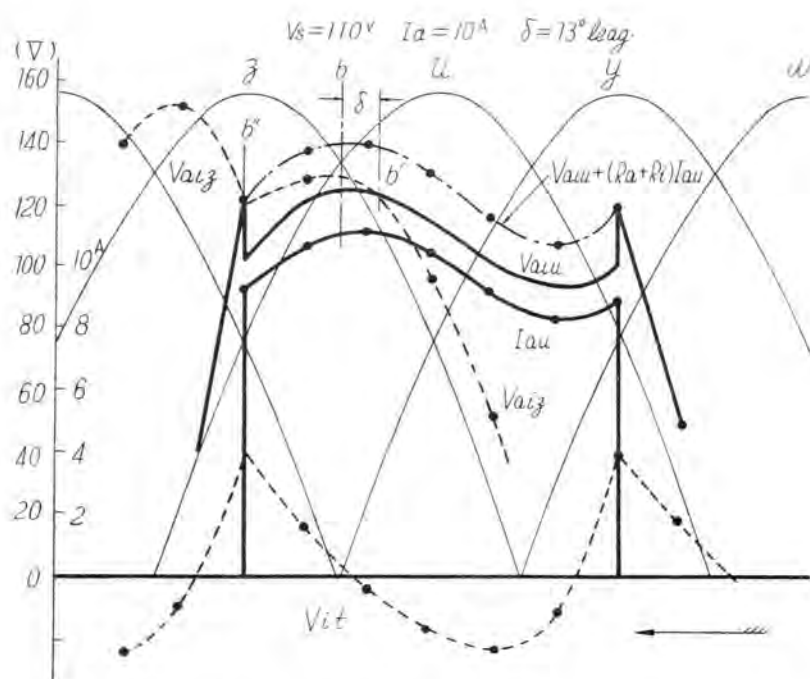
Ⅱ-2 の実験例に示したように、変圧器および相間リアクトルの抵抗 R_a , R_i は無視できないので、回路定数から V_{au} 等の陽極電圧の波形を計算し、これらの電圧の図上の交点から δ を求めた。13, 14, 15 図は $I_a=3, 8, 10$ A における計算波形の例で、 $R_a+R_i=0$ の場合は δ は $V_{au} + (R_a+R_i)I_{au}$ なる破線の波形と V_{ai2} の交点 b'' として大体求められるが、いまの場合 $R_a+R_i \neq 0$ なるため V_{au} と V_{ai2} の交点 b' は b'' より若干進み（すなわち δ は小となる）、 R_e 小さく $I_a=10$ A (15 図) となれば δ は負（原点 b より進相）となる。10 図はこのようにして δ 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_a は、無負荷直流電圧 $1.17V_e$ から、電弧電圧を無視して $I_a=1.17V_e/R$ として求めてある。Ⅲ-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 $1.17V_e$ 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_i の変化が大きいので、これが計算上假定



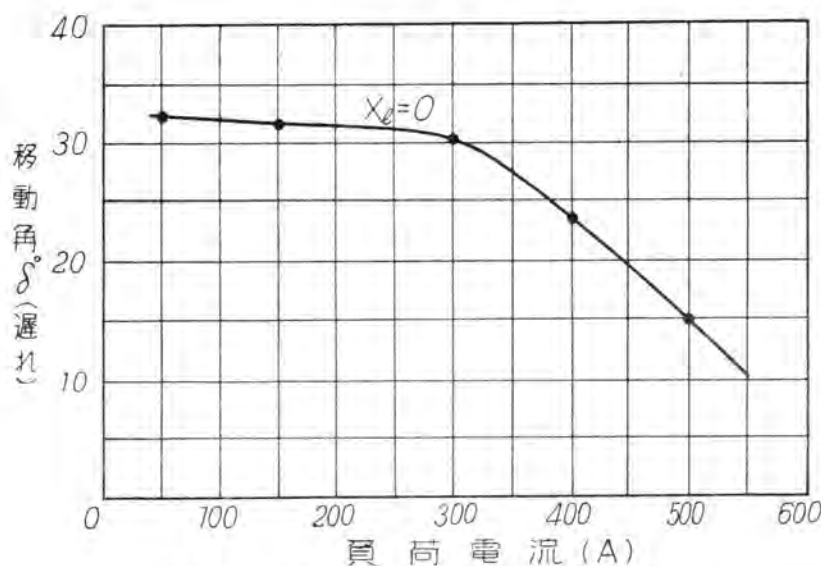
13 図 δ の作図計算



14 図 δ の作図計算



15図 δ 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脈動の範囲内では X_l は一定ということと相反するためであろうと思われる。

1. 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_l/R_e の値が異なるから、それぞれの場合について δ の値を求める必要がある。

(1) 化成電圧 ($V_s=80V$ 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_l の特性は 5 図に示してある。 δ が 30° 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_{aib} が V_{aie} 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 $0 \sim 0mH$ 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 δ 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 δ 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_l/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 $1.17V_s/\text{負荷抵抗}$ (電弧電圧無視) として求めている。

4. 結 言

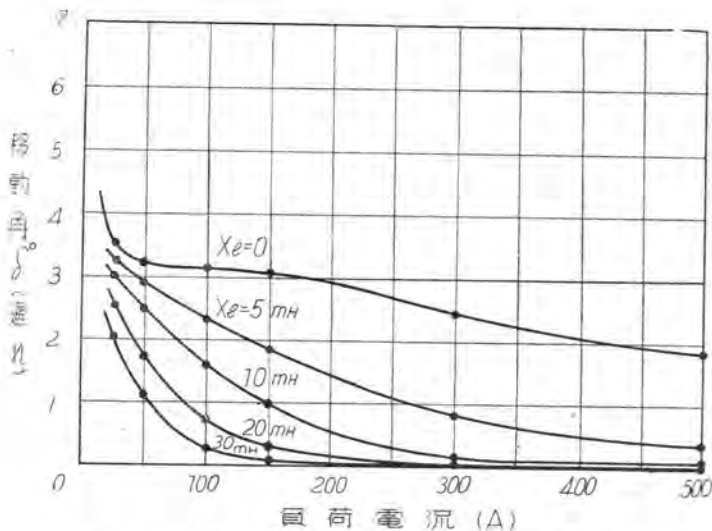
結言として前述の実験と理論の要点を述べ、あわせて3相失弧の対策およびイグナイトロン整流器について言及する。

(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 δ は整流器回路の定数によって定まる。

(2) 相間リアクトルのリアクタンス X_l およびその直流励磁特性によって異なるが、負荷抵抗が大きくなると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 δ は増大する。逆に負荷抵抗小すなわ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 δ 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れないが、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 δ だけ格子尖頭波電圧の幅を余分に持たせればよい。

(4) 1,500 V, 2,000 kW 水銀整流器の例のように、実負荷での移動角 δ はせいぜい 5° 程度であるが、化成中では相電圧が低いために δ は 32° 程度の大きくなる。したがっ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° 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。したがっ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 δ 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って δ 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の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、上述とどのような理由により、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。したがっ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ずる。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、いず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っている。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、いずれも整流器に対しては逆起電力の存在する負荷である。したがってかかる場合の δ 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篤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、計画の概要、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来大改造が行われ、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裏や奈落は、どんな仕掛で機械化されているかを述べて見たい。



1 図 東京歌舞伎座外觀

2. 回り舞台および迫り上げの変遷

日本における劇場は一般の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、とくに顕著な例で、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たる太い軸に、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う。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き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。また大迫り上げの表

面積は 16 疊敷の大きで、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げの性能

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、見々たる照明の裡で演劇中にまわすことが多いから、

機械的な雑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ること。

盆（回り舞台）の表面と舞台床面とが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。

迫り上げ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タ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) 回り舞台のすべての軸受は球軸受を使用する。
- (3) トラックレール (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) トラ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、鏝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った。

(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

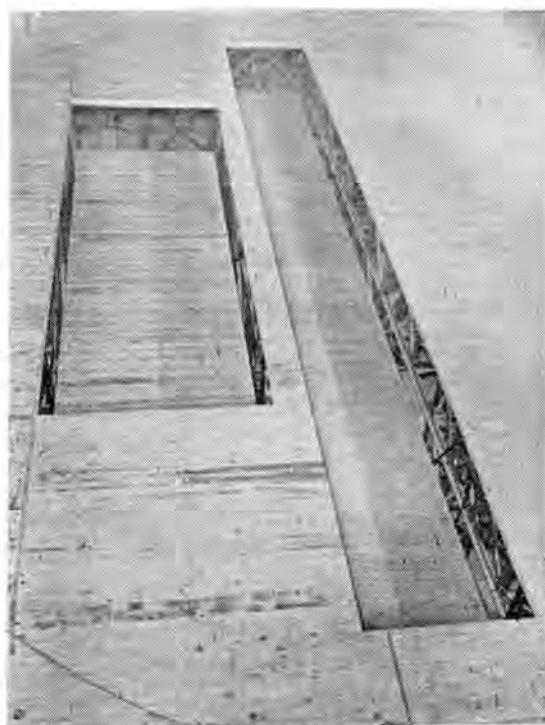
ア. 回り舞台

- a. 盆の外径 18.18 m (10 間)
- b. 床板 厚 1.2 寸桧板を 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 分間に 1 回転)
- f. 制御方式 直流可変電圧カーブスイッチ制御
- g. 動力 電動発電機 1 基
3 相誘導電動機 200V 50 \sim 40 HP
直流発電機 230V 23 kW
励磁機 230V 4.5 kW
- h. 駆動用モートル 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「すつぽん」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)	速 度 m/min	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 50 \sim 200V
花道すつぽん	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。

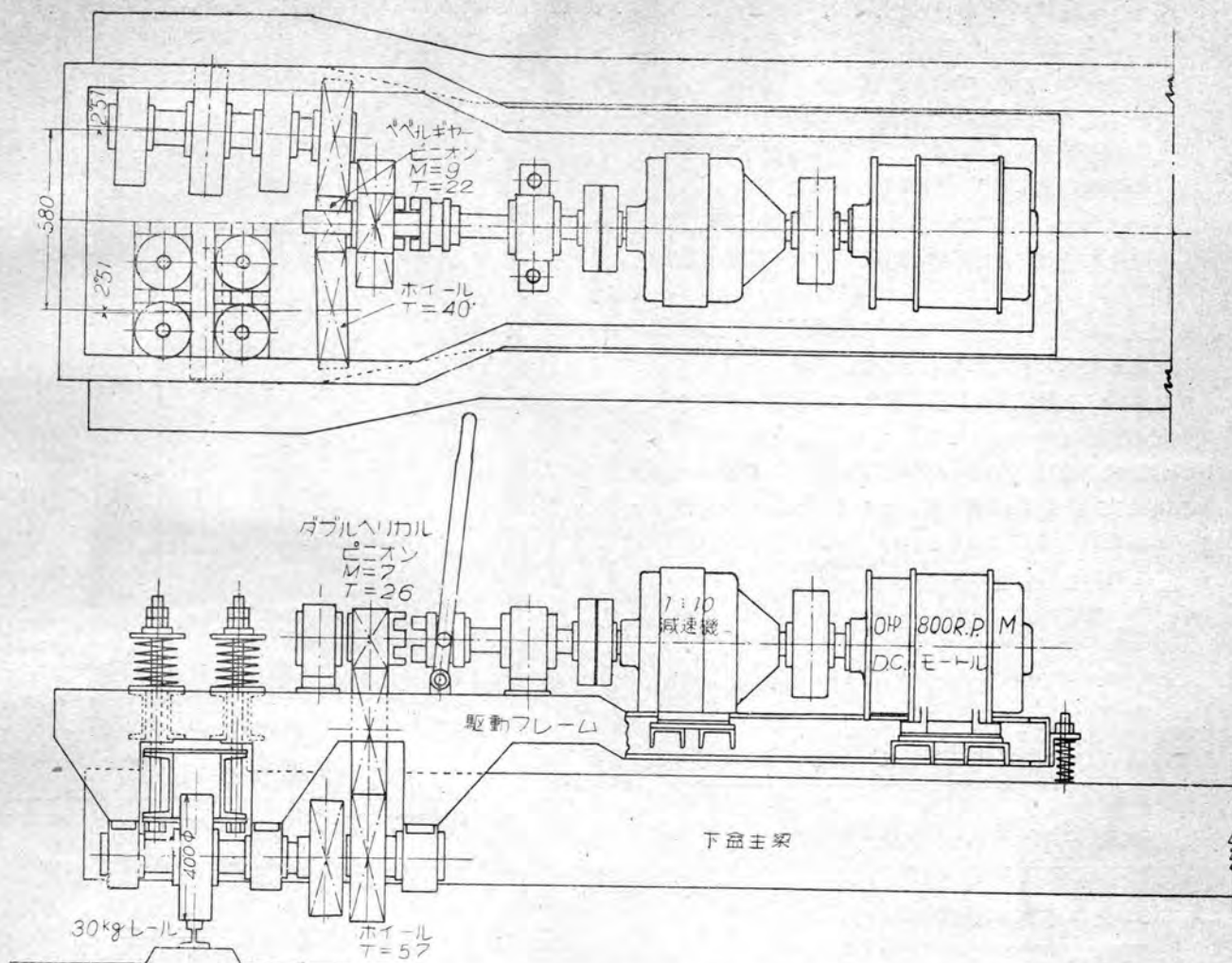
(1) 下盆の全周に堅木製の V 型溝を張り付け、これに鋼索をダブルに掛け、案内車を経て奈落の一隅にある減速機に連結したトラクションシーブまたはドラムに連絡する (大阪北野劇場、東京ブーパイル劇場等)

(2) 下盆自体にモートルならびに駆動装置を備え、駆動輪を回転させて盆をさわす (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) の方法は奈落到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った結果、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って配列した 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。

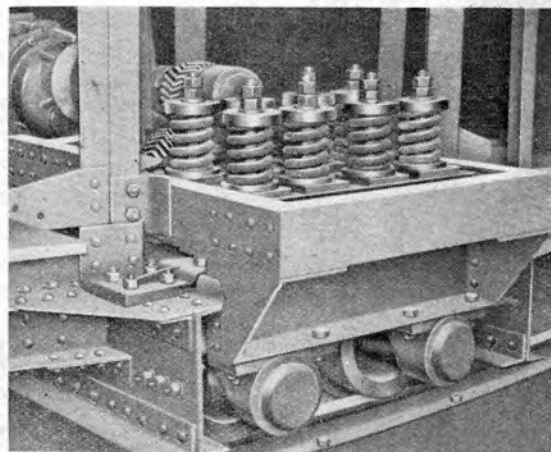
イ. センタポスト

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。

集電装置はスリッピング式で（6図参照）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



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っている。

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、安全強度を持つように設計した。

床荷重は 400 kg/m^2 でその内訳は

木造小梁および根太床板	40 kg/m^2
鉄骨大梁	30 kg/m^2
積載荷重	330 kg/m^2

(舞台の床面に人が一杯に乗った時と同状態)

一例として上盆の中心梁の計算を示す(7図a, b参照)

(1) 集中荷重

C 迫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)

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

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

$M_E = R_B \times 5 = 4.03 \times 5 = 20.15 \text{ ton.m}$

$M_F = R_C \times 2 = 9.62 \times 2 = 19.24 \text{ ton.m}$

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

$$= \frac{5.65 \times \frac{2}{7.6} (7.6^2 - 2^2) + 5.65 \times \frac{2.6}{7.6} (7.6^2 - 2.6^2) + 8.0 \times \frac{2}{7.6} (7.6^2 - 2^2)}{4 \times 7.6}$$

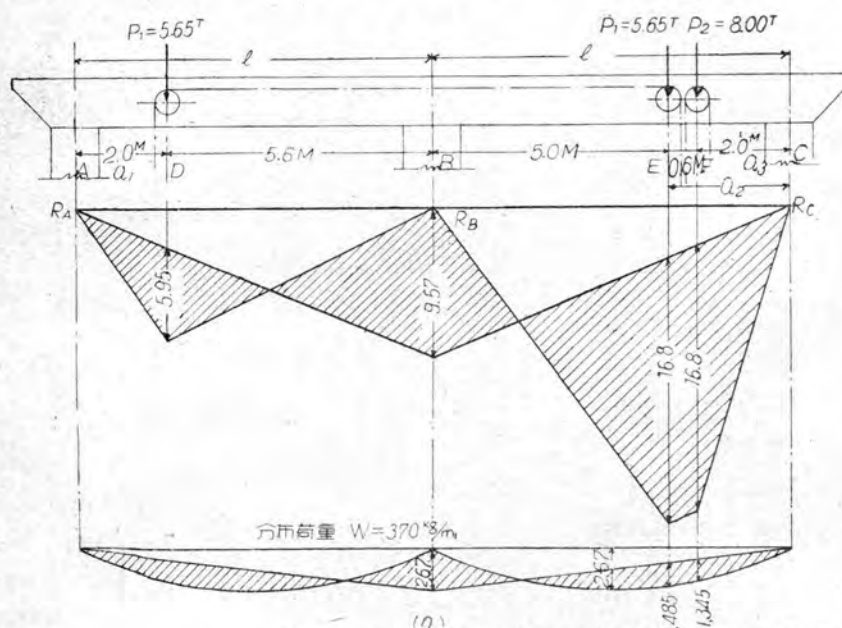
$$= -9.57 \text{ ton.m.}$$

これにより曲げモーメント線図を画きえて斜線内の部分がモーメントを示す。

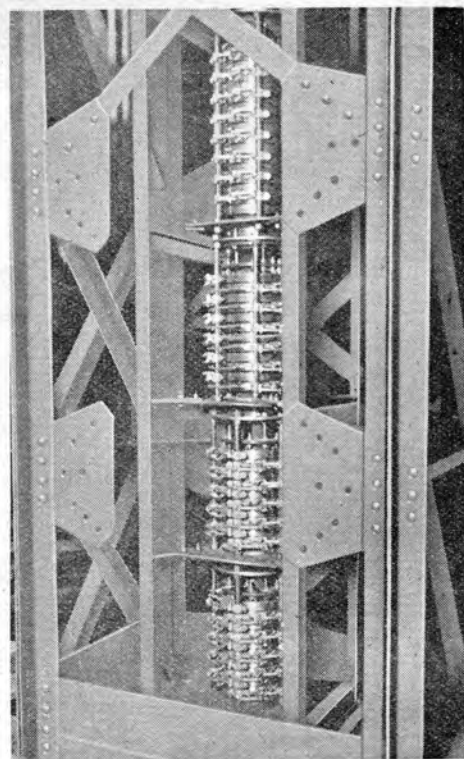
最大曲げモーメント M_{\max} は図より計つて

$M_{\max} = 16.8 \text{ ton.m}$ となる。

b. 分布荷重による曲げモーメント(7図aの下部)



7 図 回り舞台(盆)に加わる荷重の想定



6 図 集電装置

分布荷重 $W = 370 \text{ kg/m}$

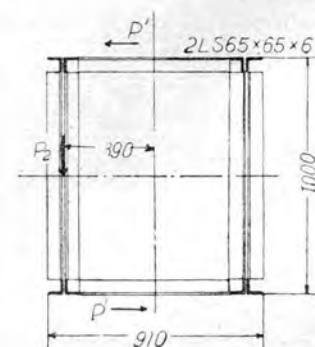
$$M_{1B} = -\frac{1}{8} W l^2 = -\frac{0.37 \times 7.6^2}{8} = -2.67 \text{ ton.m}$$

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

E 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 $\frac{1}{8} W l^2 = 2.67 \text{ ton.m}$ である。

F における 曲げモーメント



$$M_{1F} = \frac{0.37 \times 2(7.6-2)}{2} = 2.07 \quad \text{ton.m}$$

E における 曲げモーメント

$$M_{1E} = \frac{0.37 \times 2.6(7.6-2.6)}{2} = 2.40 \quad \text{ton.m}$$

正味の曲げモーメントは斜線内の部分であるから

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

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

よつて集中荷重と分布荷重の合計の最大値は

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

梁の断面の慣性モーメントおよび断面係数を求める。
(7 図 b. 参照)

$$I = i + ad^2 \quad \text{において}$$

i は山形鋼 65×65×6 が 8 本を以つて組立てているから

$$i = 27.7 \times 8 = 221.6 \quad \text{cm}^4$$

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

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

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

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

$$\text{断面係数 } Z = \frac{I}{d} = \frac{140.220}{48.2} = 2,900 \quad \text{cm}^3$$

$$\text{曲げ応力 } \sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{1,828,500}{2,900} = 630 \quad \text{kg/cm}^2$$

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、

$$M_t = P_2 \times 0.39 = P_1 \times 1.0$$

$$\therefore P_1 = P_2 \times 0.39$$

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

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

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

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 $1,640 \text{ kg/cm}^2$ 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

π = 車の軸の半径 = 3.75 cm

f = 車とレール面との転りの摩擦係数

μ = 軸受面の摩擦係数

k = レールの敷設, 車の不同, その他による雑抵抗の係数

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、

μ 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)

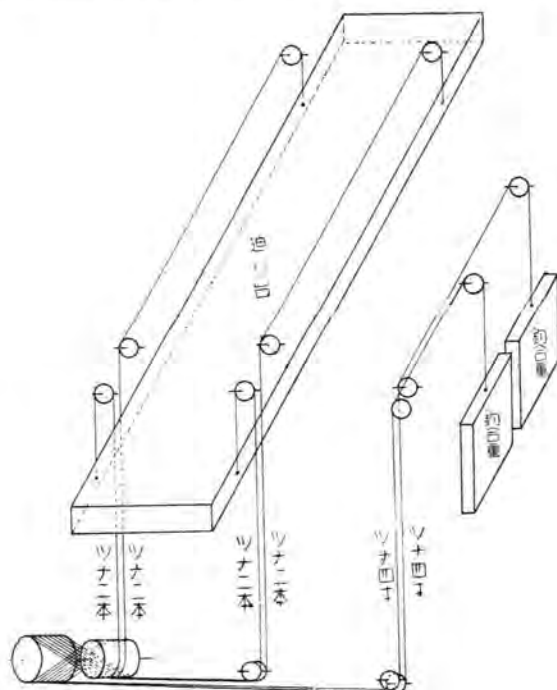
次にトラックレールの中心直径は 16.32 m で盆は毎分 $1\frac{1}{2}$ 回転であるから、駆動輪の周速度 $V = \pi \times 16.32 \times 0.5 = 25.7 \text{ m/mn}$ となる。ギヤー 1 組の効率 は 0.95 で 5 段減速につき全効率は $0.95^5 = 0.77$ よつて所要馬力は

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

実施に当つては、安全を取つて 10 HP モートル 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ト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的方式であるが、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 迫り上げ綱掛図

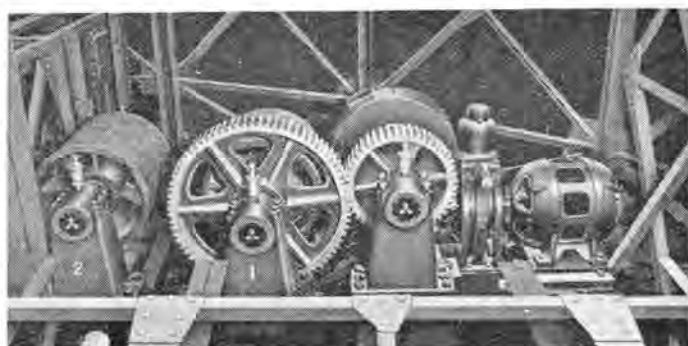
の側方に設け、綱掛けはダブルラップトラクション型を採用した。

ア. 巻上機械 (9 図参照)

ウォーム歯車と平歯車と 2 段減速により 8 極毎分 1,000 回転のモートルの回転を 1:108 に減速して、直径 630 mm の綱車を回転せしめるもので、

モートル 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 ウォーム歯車は磷青銅。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もので、これを鋳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 鋳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つ撚り不反撥性直径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倍以上に取つている。

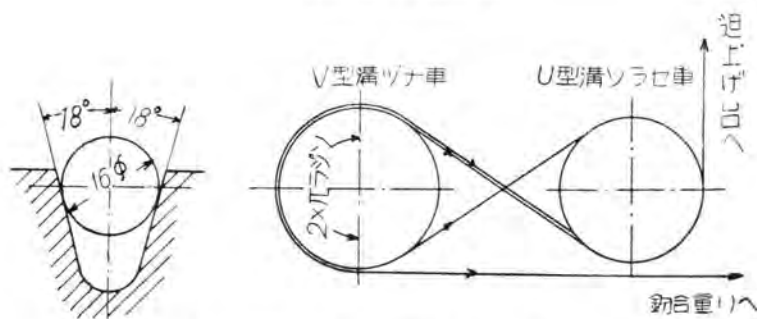
長さ48尺の迫り上げ台の四隅附近で吊つた綱を、8図の如く14個の吊り車と案内車を経て、巻上機の綱車に連絡するから、綱と綱車のV型溝との間に、滑りの生ぜぬように考慮せねばならぬ。その計算を示すと、

$$\begin{aligned} \text{迫り台側} & \left\{ \begin{array}{l} \text{最大積載量} \quad 4,000 \text{ kg} \\ \text{C迫り自重} \quad 4,000 \text{ kg} \end{array} \right. \\ \text{釣合重り側} & \quad 5,000 \text{ kg} \end{aligned}$$

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

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

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



10 図 綱車の綱掛および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 = 鋼製綱と鋳鉄とのU型溝の摩擦係数 $= 0.1$
 $f' = \text{V型溝の場合の摩擦係数とすれば (10図参照)}$

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

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\frac{f' \pi}{\sin \alpha}} = e^{\frac{0.25 \times \pi}{\sin 18^\circ}} = e^{2.07} = 4.80 \quad \dots\dots\dots (2)$$

滑りの起るぬ条件として、(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 $L = 8,000 - 5,000 = 3,000 \text{ kg}$

昇降速度 $V = 12 \text{ m/min}$

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 $\eta_r = 0.9$, ウォームギヤの効率 $\eta_m = 0.65$, 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 4,000 kg 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 4,000 kg 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

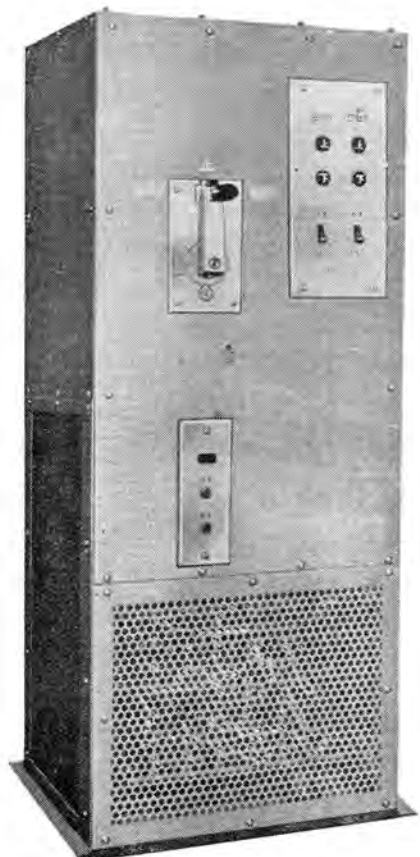
ア. 迫り上げ

交流1段速度鉤制御自動着床式で、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 $\pm 5 \text{ mm}$ 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。

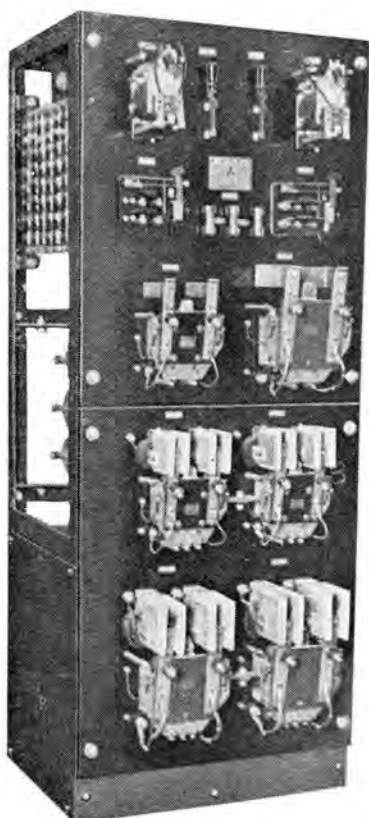
イ. 回り舞台

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に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らうようになっている。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、使用者側から絶讃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

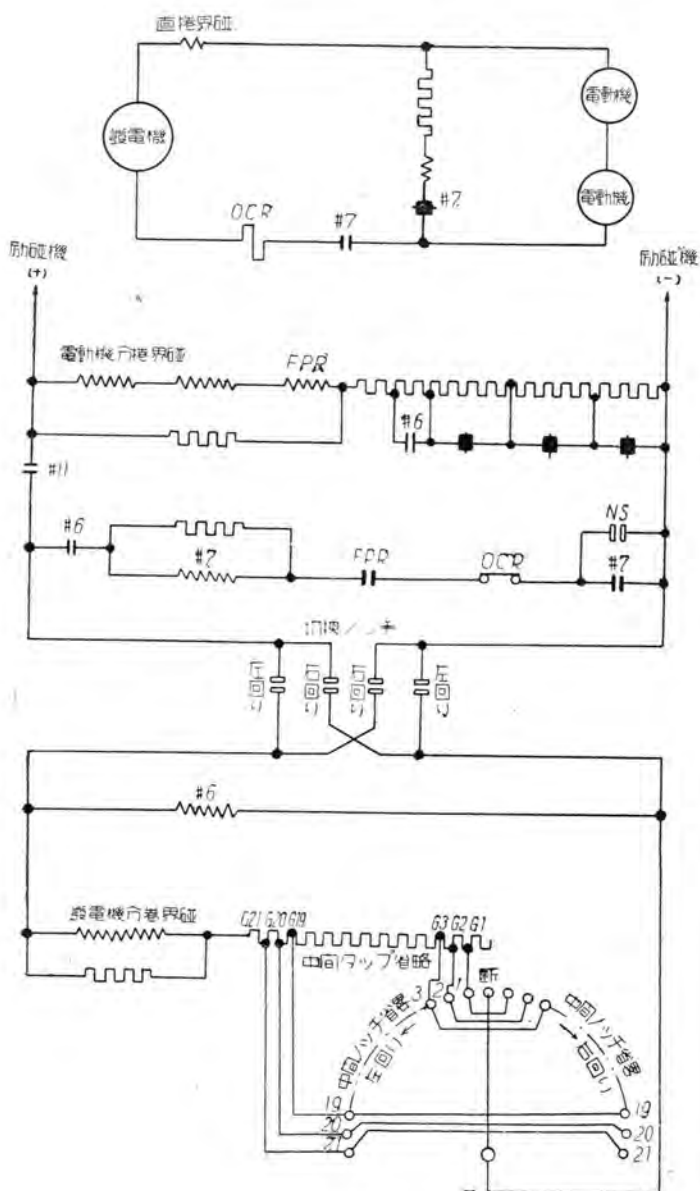
前述のように回り舞台は、演劇中にも運転せねばならぬから雑音が発生すると、マイクロホーンを通じて拡大され折角の舞台雰囲気 breaker ことになるから、雑音の発生は皆無でなければならぬ。

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耗であるから、少し振れると回転中に接触して軋音がでる。したがっ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か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画き、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鋸締をして、据付現場に持ち込み 15 図のように現場鋸締をした。

また盆の表面の水平心出しは難物で、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行をした。

9. 試運転成績

現場据付期間は1ヶ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いる。

回り舞台の試転成績を示すとつぎの如くである。

回転数 (rpm) 80 123 385 570 740

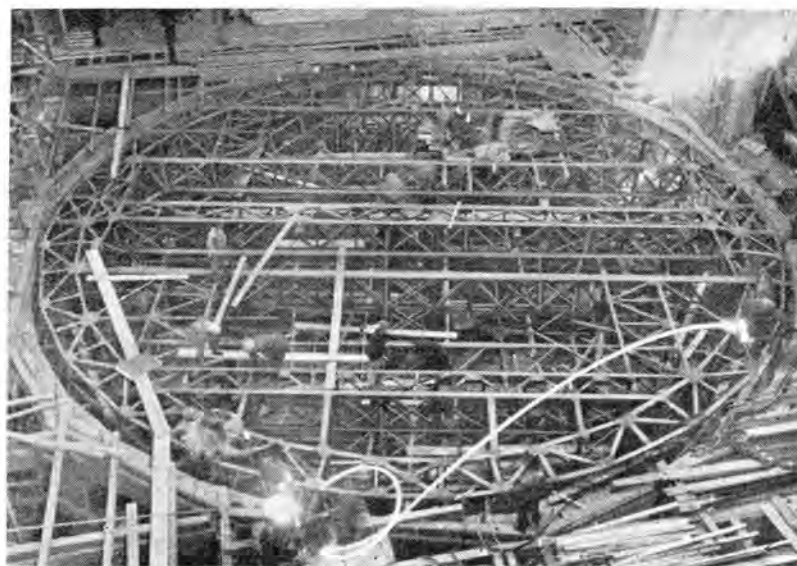
アーマチュア電圧 (V) 12 19 54 76 100

同電 上流 (A) 15~17 16~18 17~20 17~20 17~20

フィールド電圧 (V) 24 34 34 34 34

同電 上流 (A) 3.1 3.1 3.1 3.1 3.1

使用モートルの定格は、100V, 84A, 800rpm であるから定格全負荷電流の $\frac{1}{4}$ 以下できわめて軽く回つてゐ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。



15 図 鉄骨現場組立

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、今後の劇場の改装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。

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かてきる。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 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。その角度はブラッグの条件式

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

で決められる。ここで λ 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, θ は入射 X 線が結晶の格子面となす角である。おのおのの結晶により d の値が一定しているので d に対応して θ が決り、回折 X 線は入射 X 線を軸として 2θ 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て、おのおのの 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、この方法にはつぎ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。

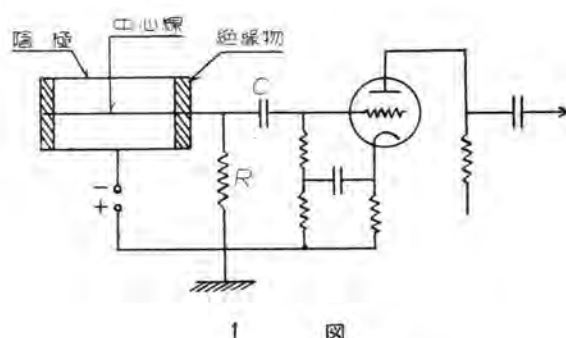
イ. 写真上の回折線の強度を測定するには、測微光度計によらねばならず、手数が二重になる。かつ X 線の強度はフィルムの黒化度から測られるのであるが、散乱 X 線による避けられないカブリのために、強度比測定は 1:10 の程度しか望めない

もちろん (ア) では、回転陽極 X 線管を使用することによつ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図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、 β 線、 γ 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 10 cm 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 10 V 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える。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いわゆる不



1 図

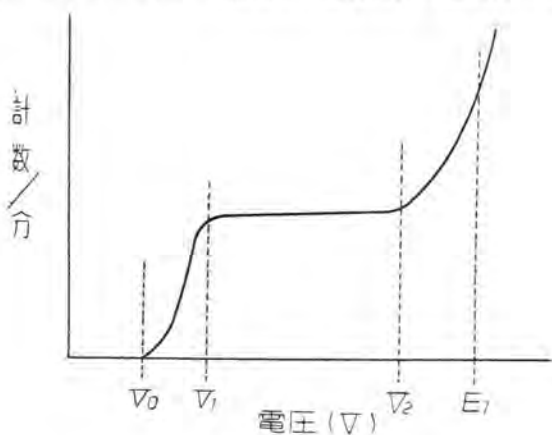
感時間 (dead time) の 200 μ S 程度を経て、もとの状態に戻る。この放電の自己消滅にアルコール、エチルアセテート等の有機気体が役割⁽¹⁾を果しているものであつて、このような有機気体入りの計数管は fast counter と称せられている。

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 25 mm

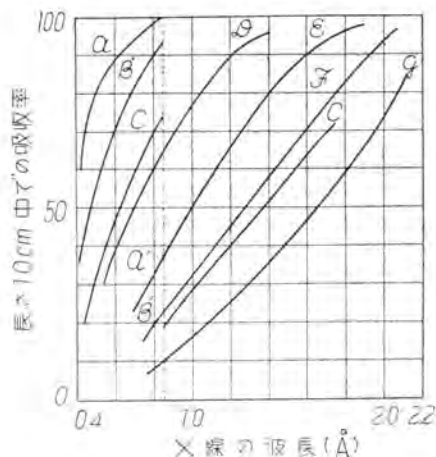


2 図

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 のタンゲ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。ステムからは細いガラス棒を出して中心線を真直に張つてある。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 mg/cm^2 すなわち大体 0.01 mm の厚さのものをを用いた。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



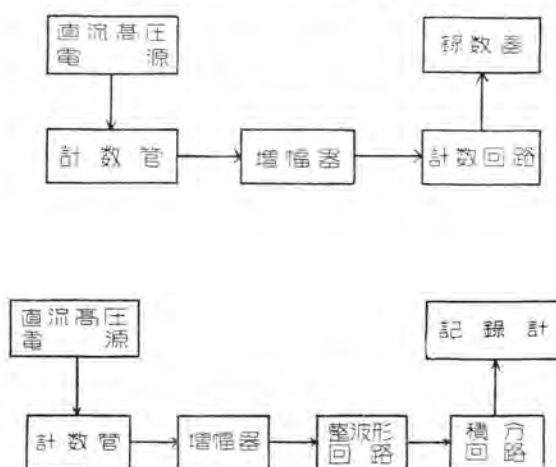
a: フリプトン 76 cm Hg
b: " 40 cm Hg
c: " 20 cm Hg
d: フセノン 20 cm Hg
e: アルゴン 76 cm Hg
f: " 40 cm Hg
g: " 20 cm Hg
a: a の続き
b: b の続き

厚さ (吋)	窓 材 料	透 過 率 (%)		
		Cr-K α 2.27Å	Fe-K α 1.94Å	Cu-K α 1.54Å
0.020	リンデマン・ガラス	4.5	14	38
0.010		22	37	61
0.001	アルミニウム	37	53	71
0.001	雲母	40	56	74
0.0005	"	64	75	86
0.020	ベリリウム	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

圧程度になるようにしてある。

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

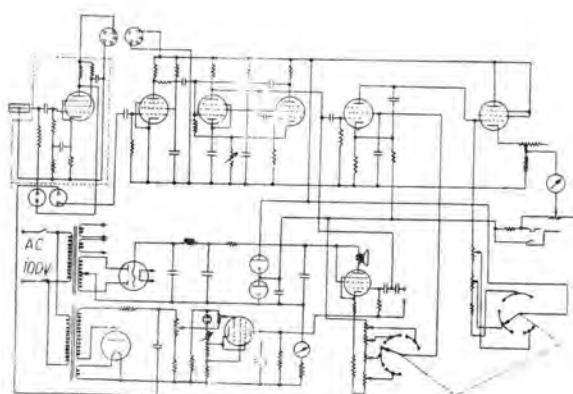


5 図

不活性ガス中の軟 X 線の吸収率および窓材料の透過率⁽²⁾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、おのお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 α 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っているのは、計数管を 2 部分に分けて見掛け上の不感時間を約 $1/2$ にするためである。計数管内に生じた放電は中心線に沿っ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 6S J7 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

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⁽³⁾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るので、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。マルチバイブレー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 RC 型計数率計回路の確率誤差は Schiff &

Evans⁽⁴⁾によれば $0.676 (2\pi RC)^{1/2}$ で与えられるここに π 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 $RC (\frac{1}{2} \ln 2\pi RC + 0.394)$ で与えられる。

なお、モータ用に高声器で脈動数を聞きうるようにしてある

4. 測定装置

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 $1 \times 4 \text{ mm}$ 矩形の鉛板で作し、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 mA 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、実際には $1^\circ \sim 0.5^\circ/\text{min}$ 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

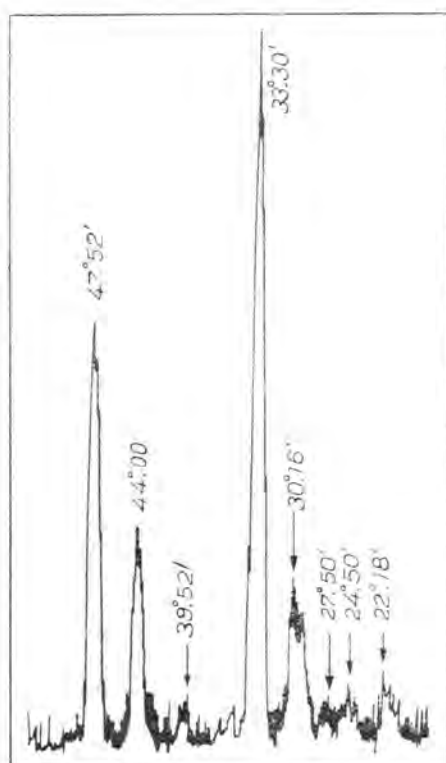
角度の測定はある円環について、左右の回折線の角度を測定して、その中点を中心として測定したものである。

5. 測定結果

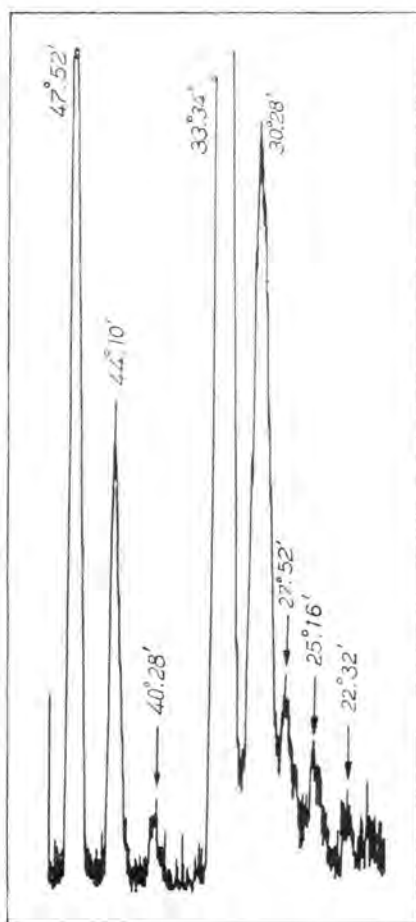
以上述べてきた装置を使用して行つた 2, 3 の測定結果について述べる。試料は点孤子で、これを透過法で測定した。8, 9 図がそれであるが写真法では約 3 時間を要したが、計数管によると約 45 分で済む。強度も写真法の場合とほぼ一致している。 $30^\circ 16'$ のピークが割合幅広くなっているのは $33^\circ 30'$ の $F-K\alpha$ 線が混入してきているためと思われる。9 図では感度を切換えて測定した結果であるが、前には判然としなかつた回折線



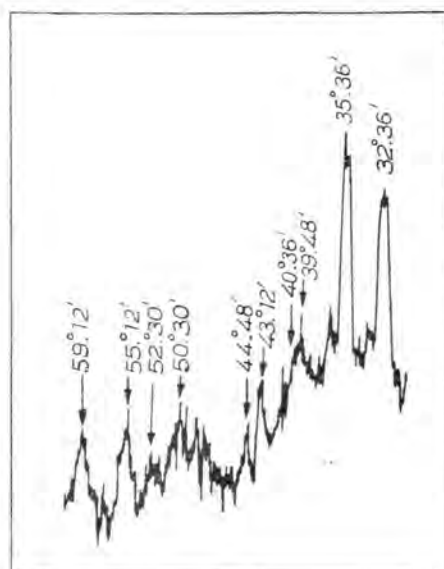
7 図



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図形記録は紙外へはみ出してしまっている。

つぎに10図は蛍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、Haawalt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当りの角度は大体0.66°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ったと思う。実際、回折像を1時間程度で測定でき、しかも強度比が1:10⁵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1:10⁴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っている。

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. Bousquet, R. Evans & W. Tuttle: 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さっ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 μs 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、これを組合わすことは複雑に過ぎ、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を一端より測定して $Z(t) = v(t)/i(t)$ 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ことはできないのであるが、この欠点は多数の資料を集積すること、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。データ倒れの観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太法⁽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学問的に非常に興味あり、理論形態も成り立っている。

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、そのおの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。発電機に関してもどうようであり、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お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枝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 $V-I$ 曲線もブ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る。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 blux circuit の開放か短絡が起つたことを意味すると思われる。

（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。このように取扱った場合サージ・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ものもちろんであり、（これは当然のことで測定の際には測定器の内部インピーダンスを送電線等のインピーダンスに合わせることができ。）この結果より他の条件を導びくことおよび現在のところ数式化することができず一般性に欠けるといふ議論はあるが、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で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 $v(t)$ をオシログラフにて測定して

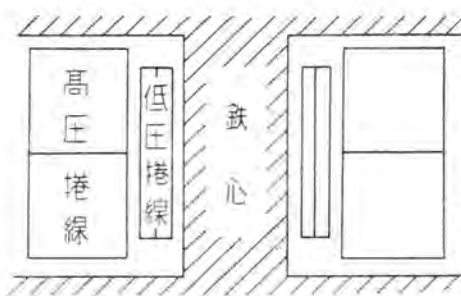
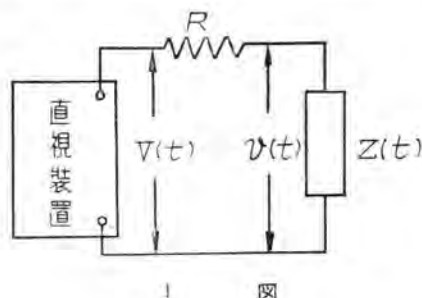
$$Z(t) = \frac{R v(t)}{V(t) - v(t)} = \frac{v(t)}{i(t)}$$

よりおのおの瞬時値の比より $Z(t)$ 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、また分枝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のも当然である。

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すものと思う。

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



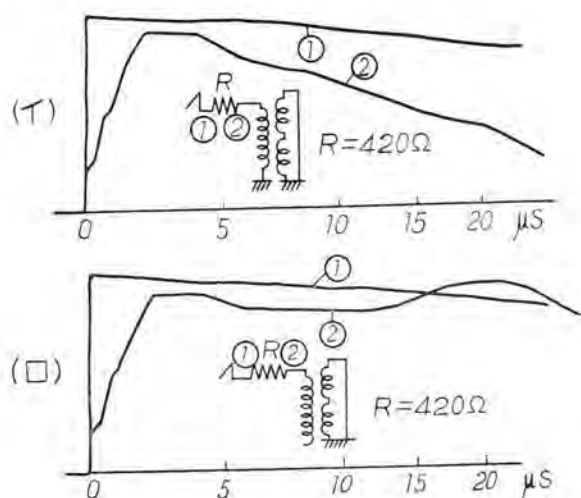
2 図 高压巻線全長 890 m
W社製 100kVA 1 ϕ 50 \sim 4.8—2.4 kV/240—120V 柱上変圧器
他端の接地および開放の影響による変化が出ている。

約 4 μ s 付近の反射は明らかに高压巻線が 2 組にわかれていた所の不連続点よりの反射である。そして高压巻線は全長が 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 m/ μ s とすると

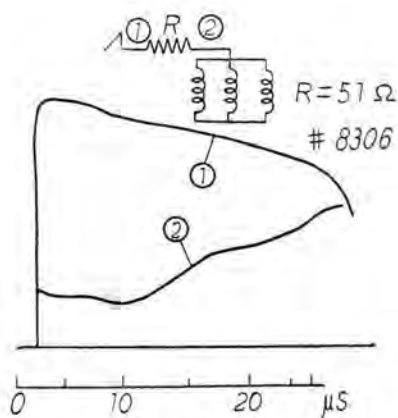
$$\frac{445}{200} \times 2 = 4.45 \mu s$$

となり時間的に一致する。

そこで $2\mu\text{s}$ より $4\mu\text{s}$ 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 $2\mu\text{s}$ までは並列容量の影響を受ける部分である。



3 図



4 図 93,750kVA タービン発電機

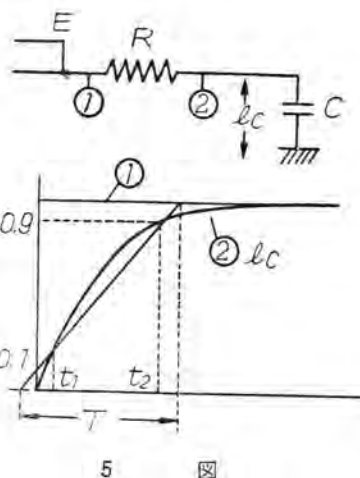
つぎの例として4図は尼崎の93,750kVAタービン発電機の測定の場合の一例であるが $R=51\Omega$ の場合で測定オシログラムの約 $8\mu\text{s}$ 付近までの平らな部分よりサージ・インピーダンス約 13Ω を得ている。以上の例の如く機器内部に並列容量を有する場合でも巻線固有のサージ・インピーダンスを求める場合のあることを示す。

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

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

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

サージ・インピーダンスの簡易測定法・安藤



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

$$1 - e^{-\frac{t_2}{CR}} = 0.9 \quad t_2 = 2.3 CR$$

すなわち

$$T = \frac{t_2 - t_1}{0.8} = 2.75 CR$$

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 $10\mu\text{s}$ の間にはよく一致してくるのである。これに關してはつぎに説明する。

3. $Z(t) = \frac{v(t)}{i(t)}$ と $Z(tp) = \eta Z(p)$ 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⁽⁵⁾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。

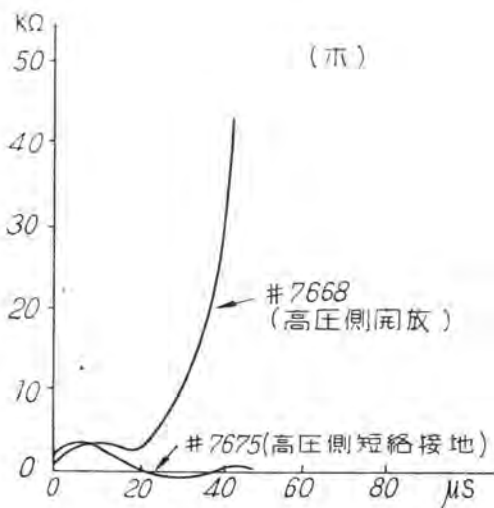
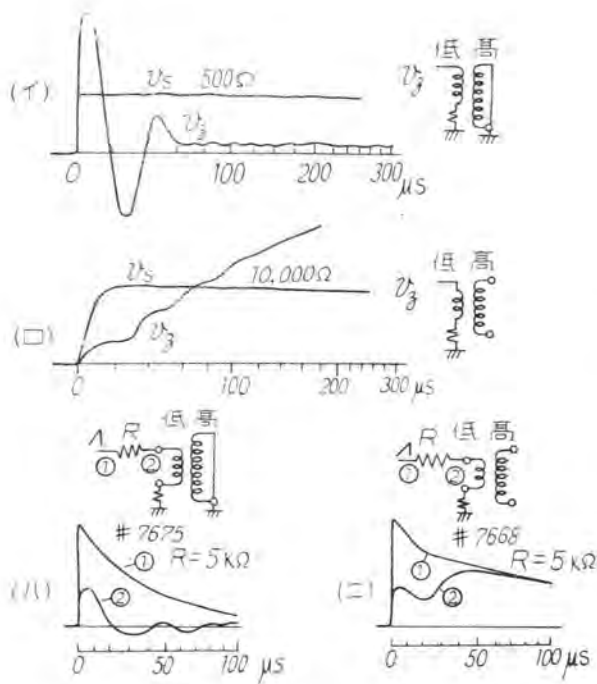
6図の(イ)および(ロ)は京大法にて測定したもので(イ)は高压側短絡接地、(ロ)は高压側開放の場合で e_c が $Z(tp)$ に相当するものである。次に(ハ)(ニ)が直視装置にて測定したもので、これより求めた $Z(t)$ を(ホ)に示す。これを見ると $Z(t)$ と $Z(tp)$ は約 $30\mu\text{s}$ 付近まではよく合っていることがわかるのである。(供試変圧器は関西配電明石変電所の5,000kVA70kV/22kVの予備変圧器である。)

さらに日発志津川発電所にて実施した衝撃試験⁽⁷⁾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 ~ 30,000kVA



6 図

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

入-△ 変圧器

外鉄型(サージ・プルーフ型) 3φ 60V 20,000kVA

11,000 V/84,000 - 80,500 - 77,000 - 73,500 V

発電機 G

堅軸界磁同期 60V

14,000 kVA, 11,000 V 180 rpm 極数 40

であつた、なおつぎに示す数式中の t は μs 単位にて示す。

ア. 入-△ 変圧器と発電機 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 函数は

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

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

となり、

$$Z(p) = \frac{R v(p)}{V(p) - v(p)} = 115 \cdot \frac{(p^2 + 0.00787p)(p + 0.181)}{(p^3 - 0.0017p^2 + 0.00704p + 0.145 \times 10^{-4})(p + 0.22)} \Omega$$

$$\text{を得て、これより}$$

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

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)

$$V(t) = 105 \varepsilon^{-0.0069t} \text{ V}$$

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

をオシログラムより得て、この p 函数を求めると

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

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

となり、これより

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

$$\text{を得て}$$

$$Z(p) = \frac{R v(p)}{V(p) - v(p)} = 28.3 \cdot \frac{(3.951p + 0.22)(p + 0.0069)}{p^3 + 0.13p^2 + 0.0057p + 0.00084} \Omega$$

$$\text{となる。これより}$$

$$Z(tp) = 51.2 - 334 \varepsilon^{-0.1343t} + 888 \varepsilon^{-0.022t} \cos(0.079t - 1.245) \Omega$$

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

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 $Z(tp)$ に近づいて来る事が判る。すなわち R を瞬時最高値と同等以上にとれば波頭 40~50 μs 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。

これはオシログラムの測定の際に $V(t)$ 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関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)

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

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

をオシログラムより得て、この p 関数を求めると、

$$V(p) = 100 \cdot \frac{p}{p+0.0065} \quad \text{V}$$

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

となり

$$V(p) - v(p) = \frac{100p^4 + 9.12p^3 + 0.11756p^2 + 0.01741p - 12.3 \times 10^{-6}}{(p+0.0065)(p+0.184)(p^2+0.0132p+11.136 \times 10^{-4})} \quad \text{V}$$

すなわち

$$Z(p) = \frac{R v(p)}{V(p) - v(p)} = 318 \cdot \frac{(p^2 + 0.0163p + 0.000193)(p + 0.0065)}{p^4 + 0.0912p^3 + 0.00118p^2 + 0.000174p - 0.123 \times 10^{-6}} \quad \Omega$$

となる。これより

$$Z(tp) = -3000 + 3550 \epsilon^{0.0007t} - 2035 \epsilon^{-0.0975t} + 2990 \epsilon^{0.0028t} \cos(0.0422t - 1.03) \quad \Omega$$

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)

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

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

をオシログラムより得て、この p 関数を求めると

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

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

となり

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

すなわち

$$Z(p) = \frac{R v(p)}{V(p) - v(p)} = 303 \cdot \frac{(p+0.016)(p+0.005)}{p^5 + 0.0587p^4 + 0.00142p^3 + 0.0000855p^2} \quad \Omega$$

となりこれより

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

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. Δ - Δ 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関数を求めた。

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

$$[V(t) - v(t)]' = 18 + 130 \epsilon^{-0.064t} - 100 \epsilon^{-0.0391t} - 16 \epsilon^{-0.23t} + 70 \epsilon^{-0.84t} \quad \text{V}$$

が点線で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 関数を求めると、

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

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

となり

$$Z(p) = \frac{v'(p)}{[V(p) - v(p)]'} = \frac{R v'(p)}{[V(p) - v(p)]'} = 578 \cdot \frac{(p^3 + 0.1945p^2 + 0.01093p)(p + 0.064)}{(p^4 + 0.588p^3 + 0.1007p^2 + 0.00157p + 0.0000855)(p + 0.0391)(p + 0.23)(p + 0.0141)(p + 0.035)(p + 0.127)} \quad \Omega$$

をうる。これより

$$Z(tp) = -9460 \epsilon^{-0.0053t} \cos(0.0295t + 0.955) - 1332 \epsilon^{-0.2887t} \cos(0.1t + 0.6) + 6810 \epsilon^{-0.0141t} - 310 \epsilon^{-0.035t} + 178 \epsilon^{-0.127t} \quad \Omega$$

をうる。これを $Z(tp)R=1k\Omega$ として、点線で示す

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

$$V(t) = 109 e^{-0.0022t}$$

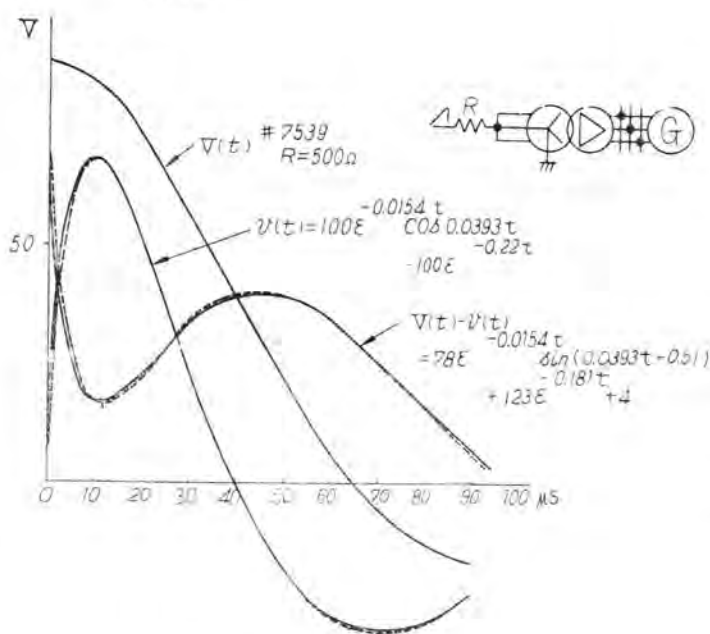
$$v(t) = 200 (e^{-0.0169t} - e^{-0.053t})$$

をオシログラムより求め、この p 函数を求めると

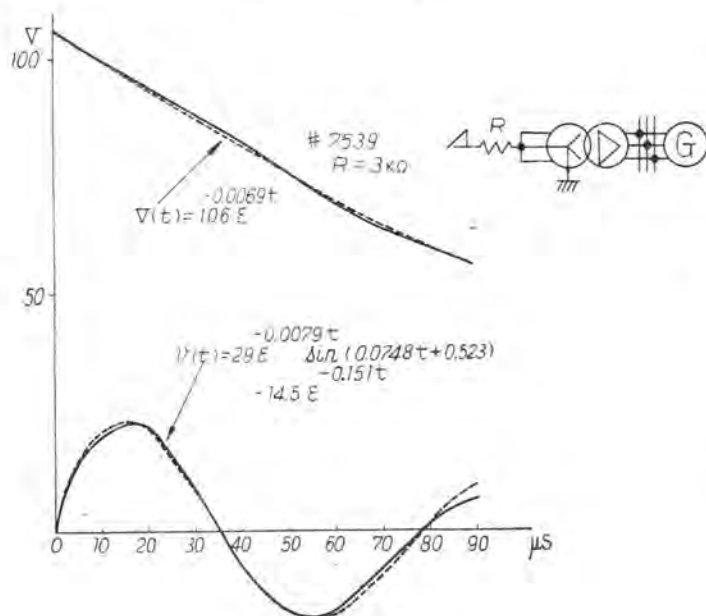
$$V(p) = 109 \cdot \frac{p}{p+0.0022}$$

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

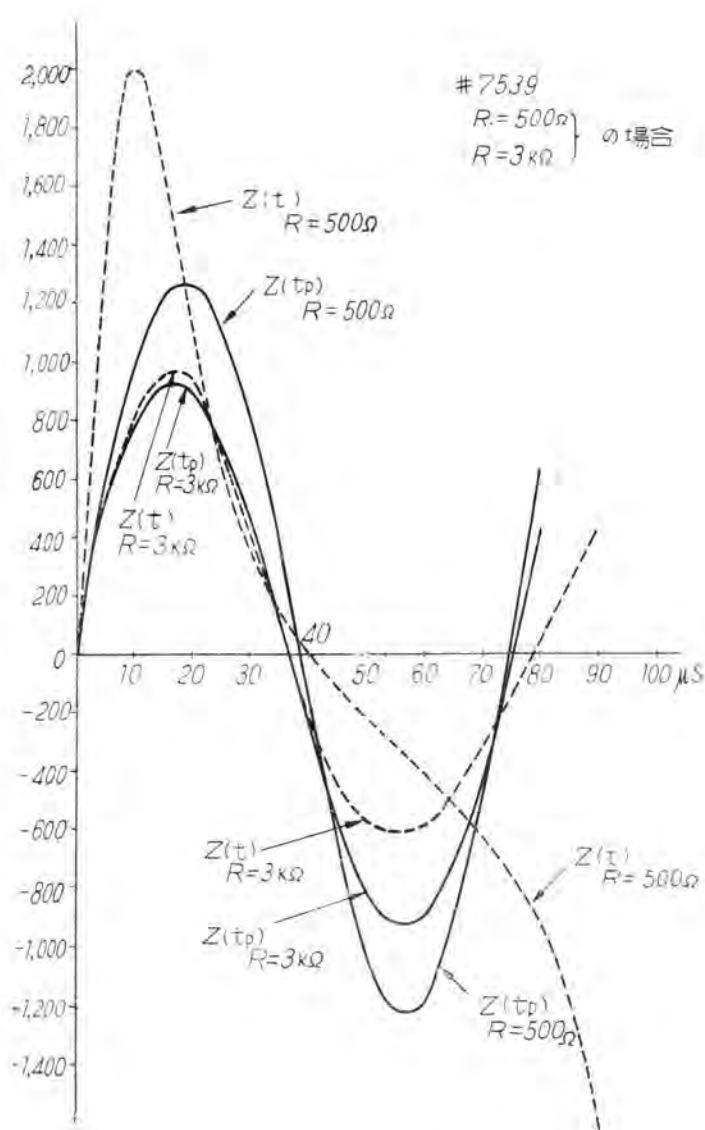
を得て



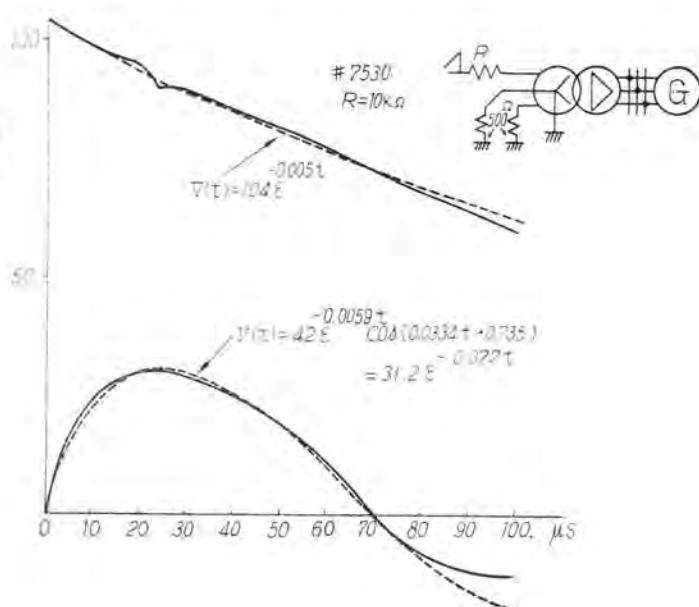
7 図



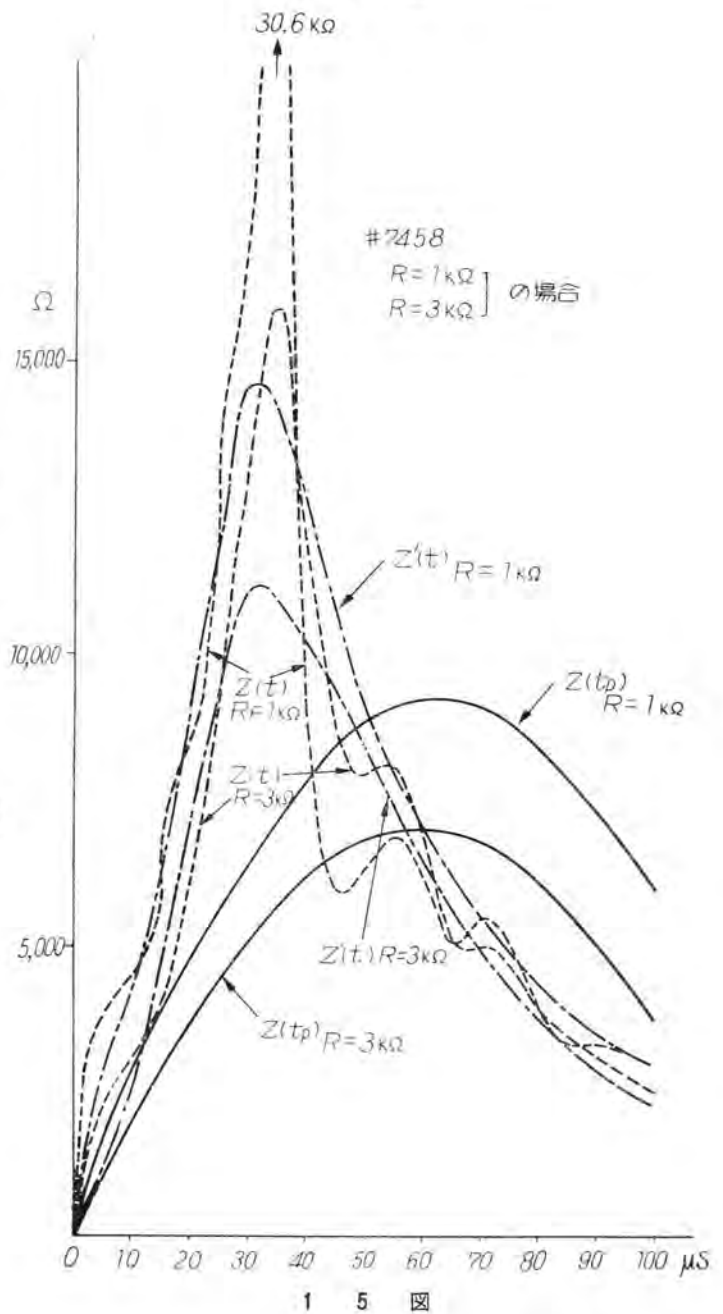
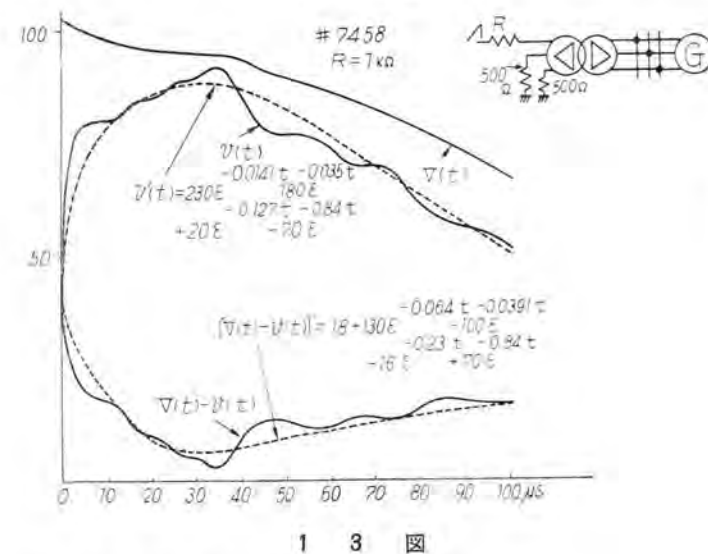
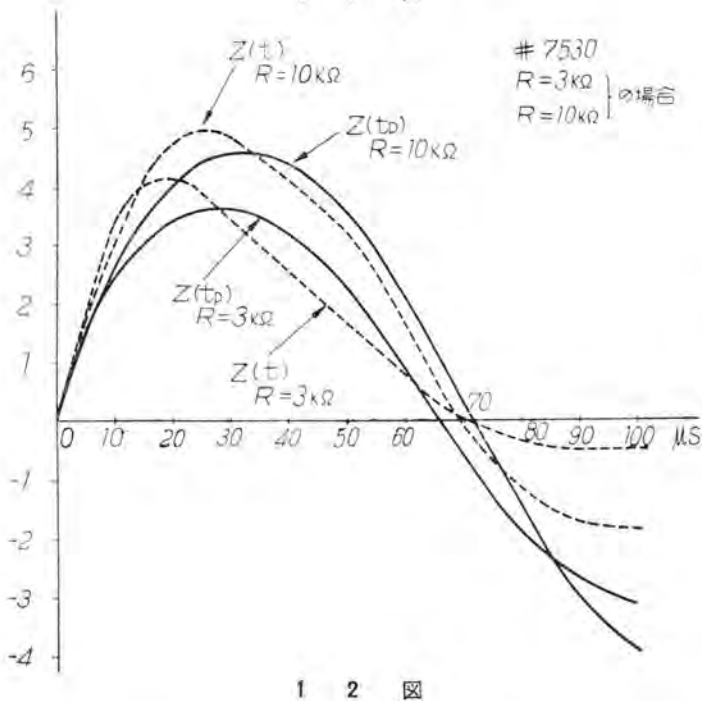
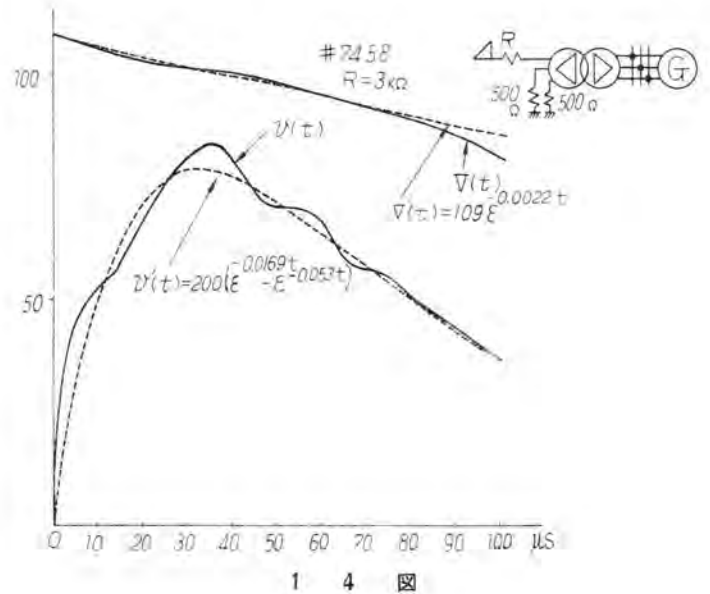
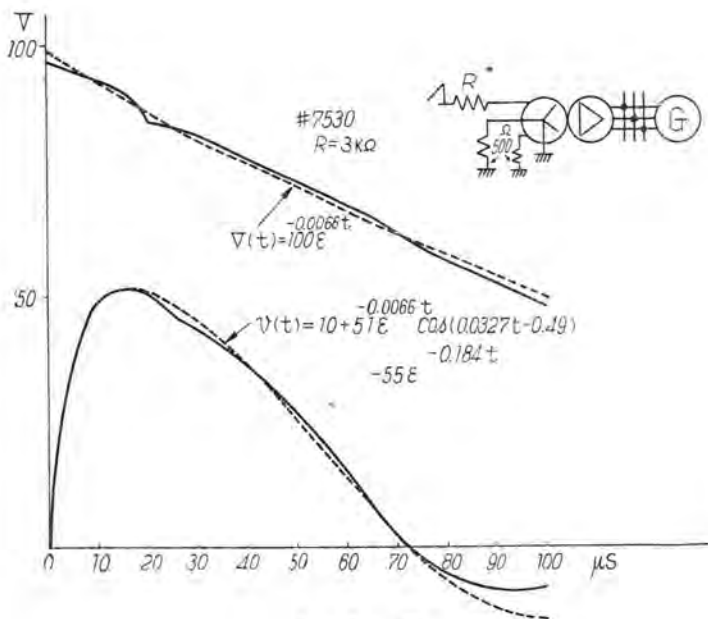
8 図

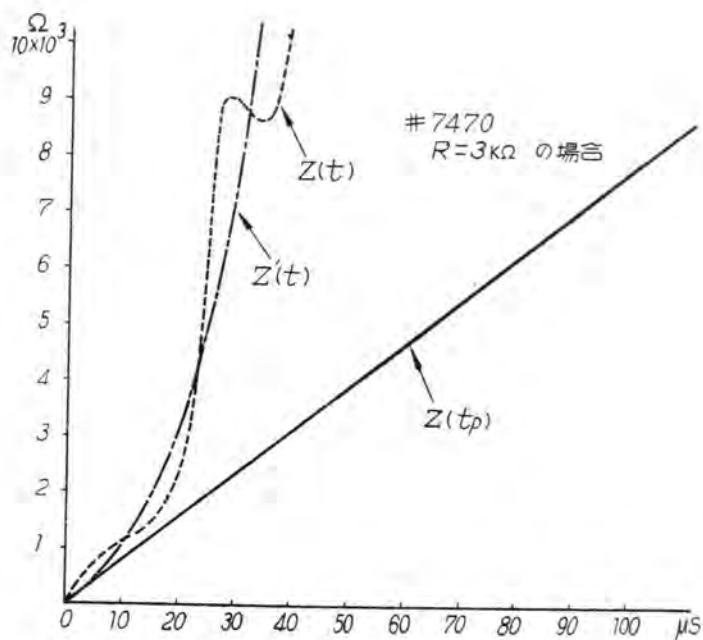


9 図

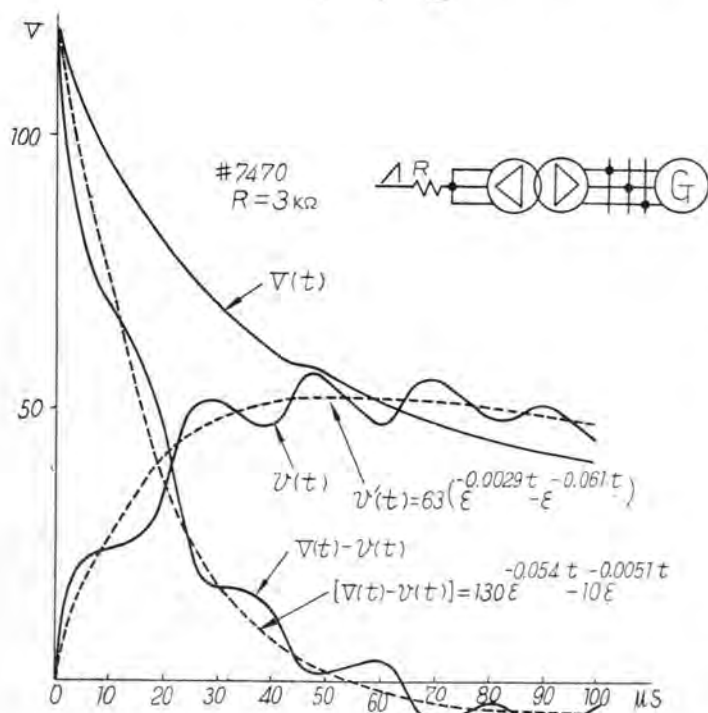


10 図





1 6 図



1 7 図

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

となり

$$Z(p) = \frac{R v'(p)}{V'(p) - v'(p)} = 198.5 \frac{p+0.0022}{p^2 + 0.00348p + 0.075 \times 10^{-2}} \quad \Omega$$

を得てこれより

$$Z(tp) = 584 - 7210 e^{-0.03174t} \cos(0.0273t + 1.49) \quad \Omega$$

をうる。これを $Z(tp)$ $R=3k\Omega$ として $Z'(t)$ $R=3k\Omega$

および $Z(t)$ $R=3k\Omega$ 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が、前に説明したことと同一のことがいわれ

るのである。

(2) 3 相一括印加の場合

16 図に示す $R=3k\Omega$ 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。

$$v'(t) = 63(e^{-0.0029t} - e^{-0.061t}) \quad \text{V}$$

$$[V(t) - v(t)]' = 130e^{-0.054t} - 10e^{-0.0051t} \quad \text{V}$$

を点線のオシログラムより求めて、この p 函数は

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

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

となり

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

となる。これより

$$Z(tp) = 137 \times 10^3 - 170 \times 10^3 e^{-0.00103t} + 33 \times 10^3 e^{-0.0029t} - 168 e^{-0.061t} \quad \Omega$$

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 $Z'(t)$ は相対的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 $R=10k\Omega$ 程度にすれば両者は約 $50\mu s$ 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 $10\mu s$ 付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わずに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へ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関してその利点を述べ、かつその実用性を検討しか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ふ。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だ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