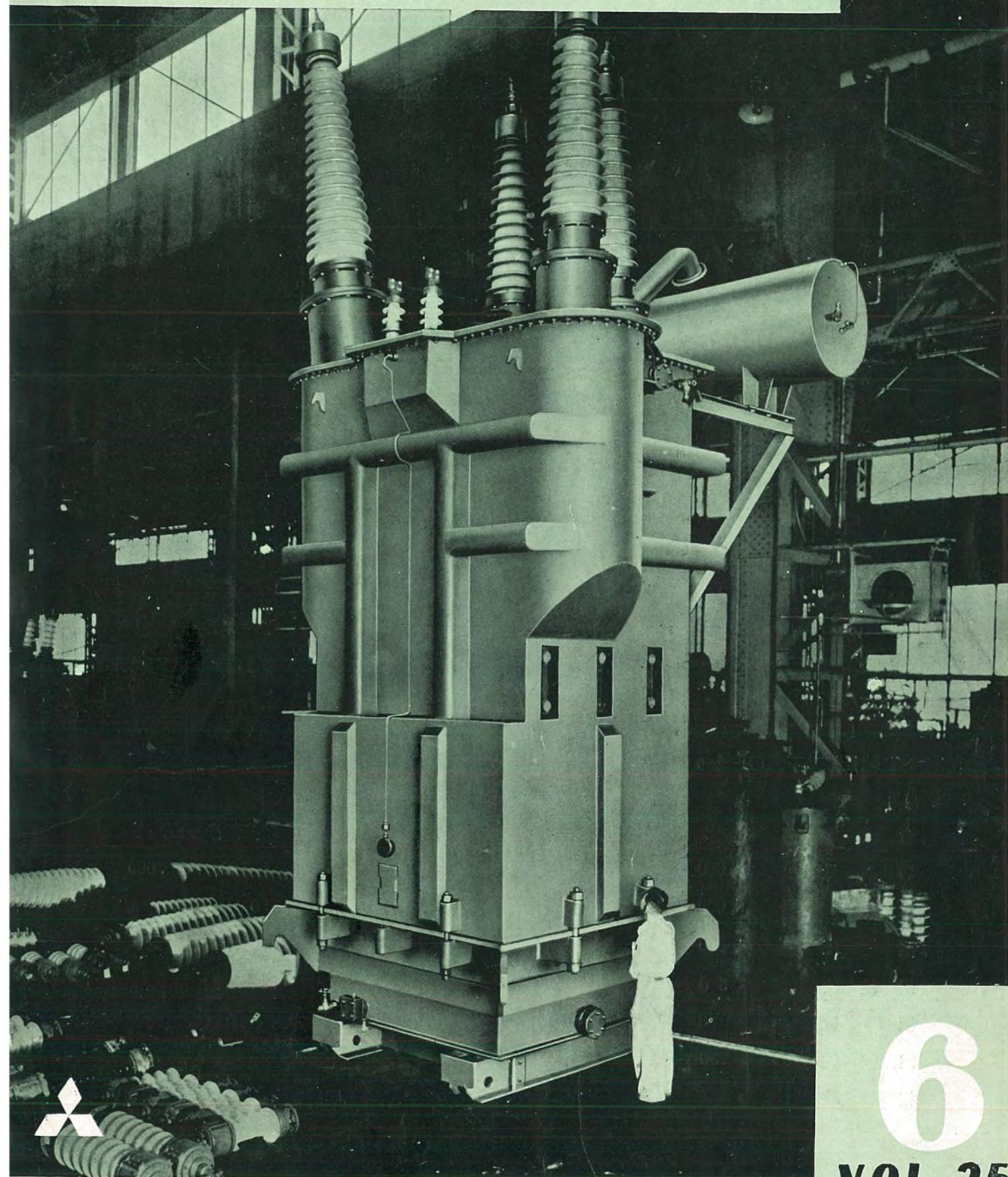


MITSUBISHI - DENKI

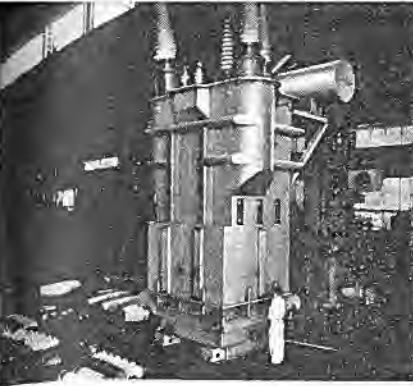
三菱電機



三菱電機株式會社

6

VOL. 25
1951



写真解説

わが国最初の Fo-m-Fit 型変圧器
本器は当社伊丹製作所高圧大電力試験所
(H.P.L.) に 2 台据付け、50,000kVA 短絡
試験用発電機とともに使用し 275kV 級までの
各種遮断器、避雷器および変圧器の試験用と
して活躍します。

外形寸法 3,950 × 5,250-9,350 H, 容量
50,000 kVA 罩箱外鉄型 60c/s 液油風冷式
(水冷式兼用可能), 高圧 150,000-75,000
-50,000-25,000V, 低圧 13,200V 2 台直列
にして 300,000V に使用できる。

重量 中身 36t, 外函 6t, 油量 17t,
合計 59t

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）4252-4257

福岡営業所 福岡市天神町（天神ビル内）

（電）内（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 仙台市東一丁目 63

（電）仙台 2573-8157

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

三菱電機

昭和 26 年 第 25 卷 第 6 号

目次

日發小曾根変電所 10,000kVA 変圧器の内部電位振動 (過渡現象直視装置による)	2
安藤安二・南角英男・川根 清	
日發小曾根変電所 10,000kVA 単相変圧器層間絶縁試験	14
堀 真幸・川島正二郎	
検流計による故障検出	16
山田栄一	
日發小曾根変電所 10,000kVA 単相変圧器用 140kV, 70kV コンデンサ 型套管の衝撃電圧破壊試験	18
堀 真幸・池上 澄・龜山三平・陰山長三郎	
日發小曾根変電所 10,000kVA 変圧器の絶縁油濾過	19
原 仁吾・高木敬三	
日發小曾根変電所 10,000kVA 変圧器および套管損失角測定報告	22
岩崎晴光・田口 修	
サイラトロン電弧のインピーダンスに関する一測定法	27
安藤安二	
非定常状態法による熱伝導率測定	39
尾島學二・長沢辰二郎・明石克寛	
三菱自動溶接機	45
南日達郎・廣田隆一	

「三菱電機」編集委員会

委員長	岸本 久雄	田宮 利彦	安藤 三勝	石橋 英樹
委員	浅井 徳次郎	市吉 惠浩	岡屋 精二	二利 小林治一
	進藤 貞和	澁谷 進一	川田 新	市治 每熊秀雄
	前田 幸夫	松尾 米太郎	松田 岡	宗村 平
幹事	森 吾郷 健二	範薄 井廉介	松岡 久男	（以上 50 音順）

昭和 26 年 10 月 20 日 印刷 昭和 26 年 10 月 25 日 発行

『禁無断転載』 定価 1 部金 30 円（送料 6 円）

編集兼発行人	東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地	吾郷 健二
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 日本出版協会書籍番号 213013

日發小曾根変電所 10,000 kVA 変圧器 の内部電位振動 (過渡現象直視装置による)

本社 安藤安二
伊丹製作所 南角英男
研究所 川根清

1. 緒言

今般日發小曾根変電所、W社製 10,000 kVA 変圧器の破壊試験を当社において施行したが、その前後に過渡現象直視装置により内部電位振動の測定を行つたので、ここには、破壊試験施行前の結果を報告し御参考に供したいと思う。

供試変圧器の仕様は下記の如くである。

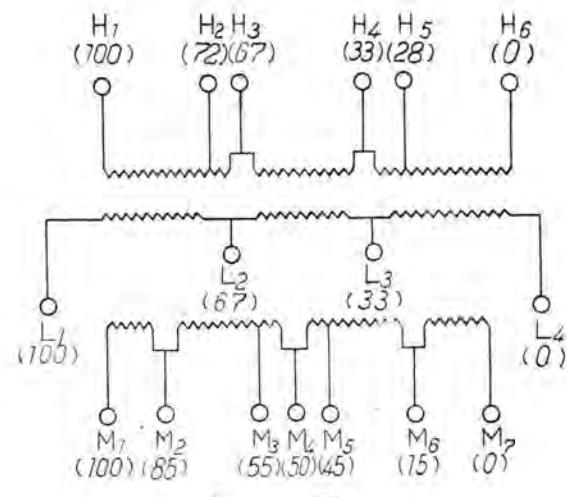
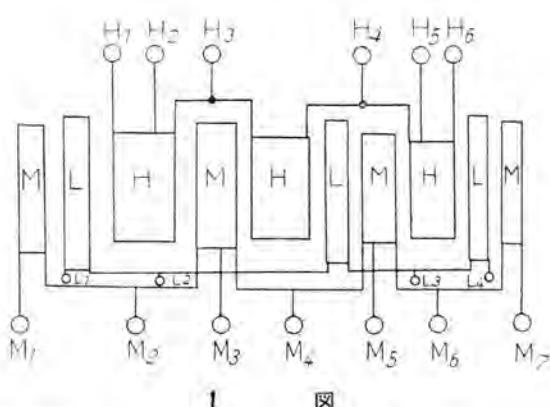
単相油入水冷式 0.1 W.C. 外鉄型 60~
1 次 140~139~126 kV A 10,000 kVA
2 次 77~73.5~70 kV A 13,000 kVA
3 次 11 kV △ 8.5~33 kVA

なお本変圧器は大正 13 年 (1924) 製にして製作以来既に 26 年を経ている老朽変圧器であり、静電板は有していない。

2. 測定方法

高圧・中圧・低圧おののおのの巻線に対し、非接地・接地・一括印加試験を種々のケースにつき施行し、内部電位振動は後記の如く引出した各タップにおいて測定を行つた。

当変圧器の巻線配置およびタップの位置はそれぞれ1図、2図に示してある。



(タップの位置は印加端を 100% としている)

電圧印加時の結線図は、3図に示す如くである。すなわち
高圧印加の場合

- I. 非接地試験 (1) ~ (9)
- II. 接地試験 (1) ~ (7)
- III. 一括印加試験 (1) ~ (2)

中圧印加

- IV. 非接地試験 (1) ~ (9)
- V. 接地試験 (1) ~ (9)
- VI. 一括印加試験 (1) ~ (2)

低圧印加

- VII. 非接地試験 (1) ~ (2)
- VIII. 接地試験 (1) ~ (2)
- IX. 一括印加試験 (1) ~ (2)

おののの場合につき、電位振動の初期値・正の最大値・負の最大値を印加電圧を 100% として表わし、周期の明瞭なものについては周期も併記した。

なお、JEC-110 による衝撃電圧試験の印加電圧波高値はつきの如くなつてゐる。

レベル	印加電圧高値 (kV)	高圧基準 (%)	中圧 (%)	低圧 (%)
高圧側	140	750	100	188
中圧側	70	400	53	100
低圧側	10	90	12	20

3. 測定結果に対する考察

測定結果の一例を4図に示し、各タップに表われる電圧のおののおのについて、最初の瞬間に表われる電圧および正負の最大値をそれぞれ印加電圧に対する%で表わしてある。この初期値を各タップの位置についてプロットすれば初期電位分布を、正負の最大値をプロットすれば内部電位振動の範囲を大略察しうることになる。その一例は5図(イ)～(ロ)に示してある。

個々の振動についてはおののおののタップ位置と結線図を照し合せて考えれば、自らその振動状況が察し得られると考えられるので、一つ一つ説明することは省略し、各位の御検討にまちたいと思う。変圧器の巻線内部の振動について二、三を述べると

ア. 初期電位分布

周知の事実であるが、当圧変器は三群巻線に属し初期電位分布は各群均等にならず、最初の群にかかる電圧が多くなっている。印加電圧の約50%がかかる巻線は非接地の場合は印加端子より約20%前後、接地の場合は約15%前後になっている。その群の内部においては約直線分布である故に内鉄型において同じ部分に70%～80%の電圧が加わることに比較して線端コイルの絶縁は大部樂になっているのは外鉄型が自ら持つている利点である。

イ. 内部電位振動

中性点非接地の場合内部電位振動は外鉄型でもやはり大きくなる。高圧印加の場合I(1)(6)(7)(8)(9)等中圧もしくは低圧の巻線が全然開放もしくは一端のみ接地されていれば高圧印加電圧の80%以下の振動(I(7)のみ81%)であるが、I(2)(3)(5)等中圧低圧の一方もしくは両方が短絡接続してある場合は印加電圧を遙かに上回り125%～145%位の振動が表われている。これは中圧低圧巻線の接続の結果その部分の静電容量は接地される結果初期電位分布が最初の一組に集中されるためである。このような場合、静電板があればある程度の補償を行いうるわけである。なお中性点側の静電容量も外鉄型の構

造上ある程度の値を有している故に振動の極大点は中性点より多少前方中性点より30%前後の巻線に表われる。当変圧器はこの部分にタップを有するためにタップに表われる異常電圧は遙かに印加電圧を上回ることになつていて、

中性点接地の場合は内部電位振動は当然のことではあるが少く、外鉄型は自らサージブルーフであることを裏付けている。

ウ. 他巻線への誘導

たとえば高圧印加の場合、他巻線への誘導には静電誘導の因子を多分に含む故に中圧と低圧の誘起電圧は当変圧器においてはほぼ同程度の最大値を有し、したがつて低圧側においてはそのレベル以上の異常電圧(レベル12%に対し30%前後)を受けているのは当変圧器の巻線配置(1図)よりも当然予想されることではあるが、注意を要し設計上の考慮を要することであろう。現在はこのような巻線配置はあまり行つていない。なお低圧巻線の主絶縁は中圧または高圧のレベルになつてるので巻線は恐らく安全ではあつても套管部分の破壊は低圧側開放の場合起り得ないとは断言できないわけである。

変圧器は製作後20年以上の老朽変圧器であり、いわゆるサージブルーフ変圧器ではないが、外鉄型としてのサージ特性は相当有しサージブルーフ変圧器との比較(たとえば日発岡山25,000 kVA変圧器)においても、データ不足ではあるが、本質的な差異は認め得なかつた。

なお6図は破壊試験後の直視装置による測定結果で4図II(6)に相当するがなおタップは各コイルごとに引出している。タップ位置が異なるH₃, H₄タップ7,8に当る。過渡現象直視装置は印加電圧が約400Vであり、その波形が直接故障検出に役立つことは考えられないが、II(6)と6図との間にはある程度の差異が見られるのは恐らく前者が油中、後者が気中における測定である故に分布容量・源游容量等の差異による振動回路定数の差異によるものであろうと考えられる。なお6図のタップは各コイルより引出してある。

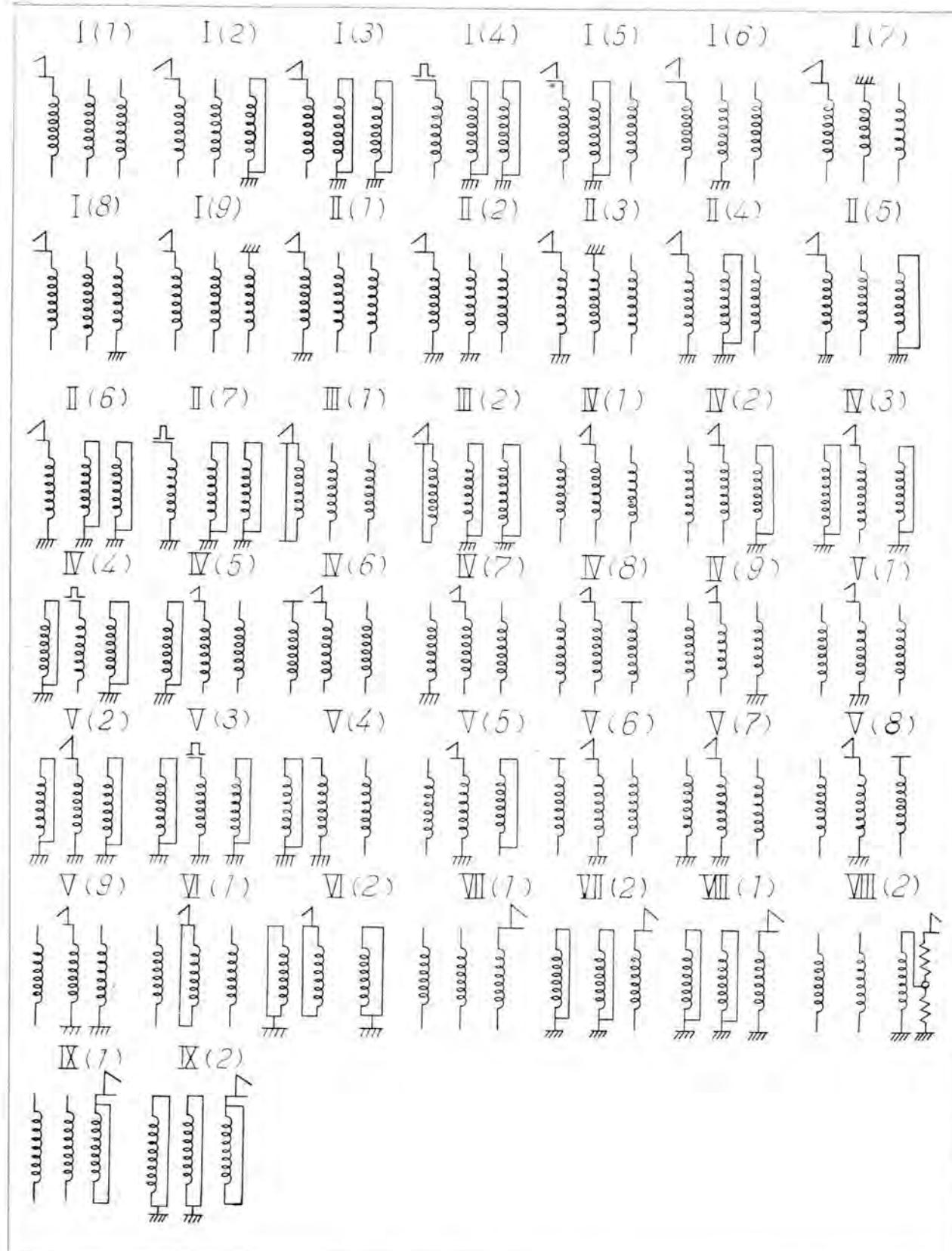
4. 結 言

以上は日発小曾根10,000 kVA変圧器の過渡現象直視装置による内部電位振動の実測結果であり、とくにタップを各部分より引出してあるので変圧器の衝撃電圧特性が一層明瞭に判明すると思われる所以参考に供したいと思う次第である。

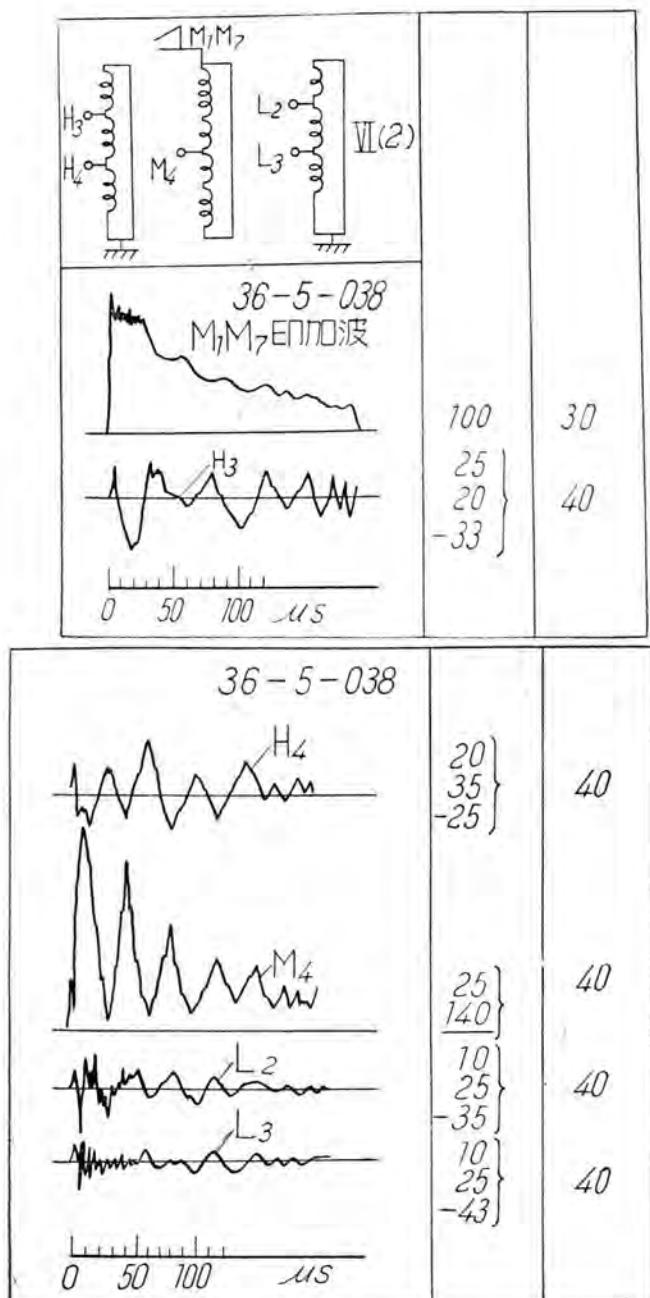
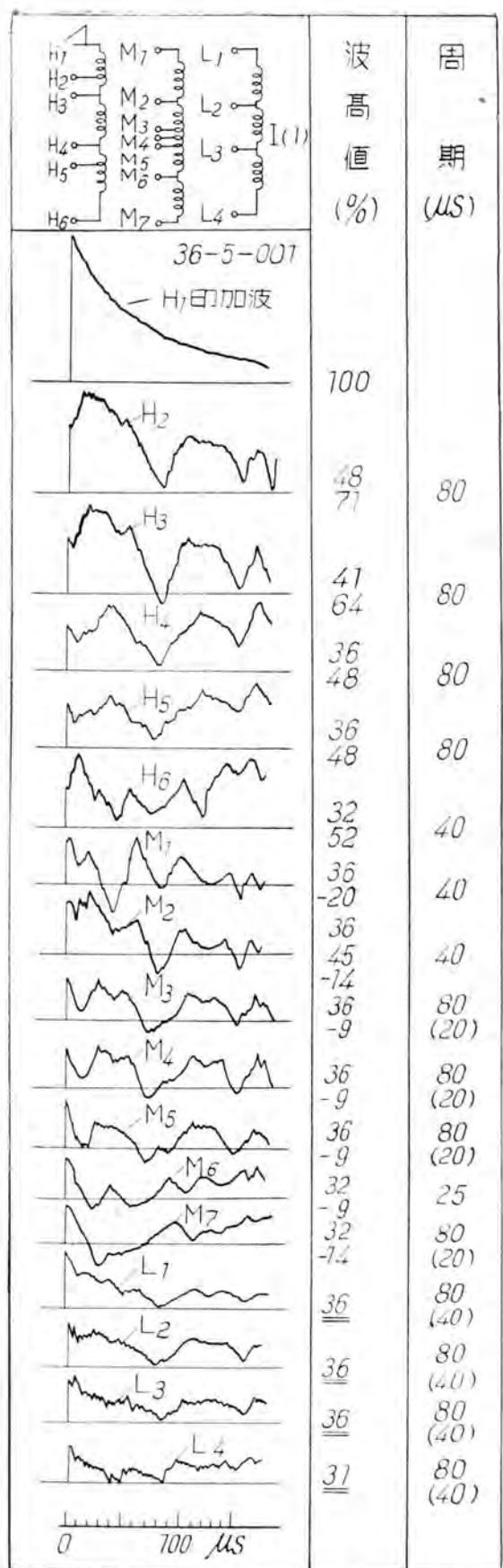
I 表 各 タップ 誘起 電圧

線 結	印 加 端 子	高 壓 コ イ ル				中 壓 コ イ ル				低 壓 コ イ ル					
		H ₁	H ₃	H ₄	H ₅	M ₁	M ₃	M ₄	M ₅	M ₇	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	
		100	67	33	0	100	85	50	15	0	100	67	33	0	
I (1) H ₁	(1)	100	61	48	52	36	36	36	32	36	36	36	36	32	
	(2)	〃	〃	100	127	131	48	30	35	42	20	0	-13	-14	
	(3)	〃	〃	136	146	227	0	18	36	15	0	0	11	9	
	(4)	〃	〃	63	81	70	0	+14	+24	+10	0	0	±8	±6	
	(5)	〃	〃	120	150	136	0	+20	+38	±15	0	+30	+36	+34	
	(6)	〃	〃	69	59	41	+55	-23	+50	+41	+14	-14	-23	-18	
	(7)	〃	〃	77	82	64	0	+20	+34	+27	+36	-18	22	+18	
	(8)	〃	〃	68	51	66	51	48	25	±18	+23	32	27	13	
	(9)	〃	〃	66	66	64	52	45	+25	+23	+23	0	±14	+14	
II (1)	(1)	〃	〃	61	55	0	59	50	27	+23	+20	36	34	27	
	(2)	〃	〃	—	—	0	59	—	—	—	—	36	—	20	
	(3)	〃	〃	—	73	0	0	—	+16	—	+27	±18	—	+14	
	(4)	〃	〃	+68	+45	0	0	+13	+32	+11	0	+18	+23	+16	
	(5)	〃	〃	-30	-18	—	—	-20	-34	-14	-7	-11	-9	-4	
	(6)	〃	〃	64	41	0	+39	—	+18	—	+11	0	±9	—	
	(7)	〃	〃	73	41	0	0	±16	+30	+8	0	0	±9	+7	
	(8)	〃	〃	+55	+40	0	0	+24	+53	+16	0	0	+16	+11	
	(9)	〃	〃	-45	-37	—	—	-21	-40	-21	—	-13	—	0	
III (1) H ₁ H ₆	(1)	95	111	100	55	52	50	—	—	—	55	55	55	—	
	(2)	〃	〃	105	118	—	0	—	64	—	0	0	-23	—	
IV (1) M ₁	(1)	112	68	41	50	100	100	75	55	55	59	59	55	55	
	(2)	〃	118	55	89	86	〃	105	98	109	121	0	±14	+11	
	(3)	〃	0	+20	+18	0	〃	95	105	127	150	0	±14	—	
	(4)	〃	0	40	+23	0	〃	70	70	60	88	0	+23	+25	
	(5)	〃	0	±41	+45	0	〃	100	100	123	150	55	55	60	
	(6)	〃	0	—	—	73	〃	—	100	—	106	50	—	50	
	(7)	〃	118	68	36	—	〃	—	77	56	—	55	—	45	
	(8)	〃	105	—	—	+68	〃	—	72	—	41	0	—	+18	
	(9)	〃	123	—	—	+59	〃	—	68	—	64	+27	—	-48	
V (1)	(1)	134	82	+28	+41	—	88	50	23	0	49	41	32	27	
	(2)	〃	0	+18	+27	-30	0	〃	105	68	27	0	0	+10	
	(3)	〃	〃	+19	+30	-26	—	110	+67	+33	0	0	+33	+22	
	(4)	〃	〃	±18	+18	-13	—	98	+68	+21	0	-18	-21	+23	
	(5)	〃	+119	+57	+24	-64	+50	—	114	62	+14	0	0	+21	
	(6)	〃	0	—	—	-210	—	—	+86	—	0	+45	—	+25	
	(7)	〃	191	141	+84	-55	0	—	+55	—	0	+27	—	+32	
	(8)	〃	143	—	—	+40	-138	—	52	—	0	0	—	+10	
	(9)	〃	127	—	—	118	—	—	55	—	0	45	—	-43	
VI (1) M ₁ M ₇	(1)	—	+91	—	—	—	100	—	95	—	100	73	73	—	
	(2)	〃	0	+20	+35	-35	0	—	140	—	—	0	+25	-43	
VII (1) L ₁	(1)	80	77	74	73	91	—	84	—	50	100	100	—	100	
	(2)	〃	0	+33	+55	-74	0	0	+65	—	0	99	112	140	140
VIII (1)	(1)	〃	0	+122	+117	-118	—	0	+61	+61	—	0	99	53	0
	(2)	〃	442	232	-168	-316	232	170	+63	+32	+21	—	63	25	〃
IX (1) L ₁ L ₂	(1)	81	—	—	81	82	—	82	—	—	—	105	—	100	
	(2)	〃	0	+25	+41	-59	0	—	68	—	0	99	123	—	〃

本表は各タップに誘起する電圧を表にまとめたものである。印加波を 100% としてすべて、% で表わしてある。

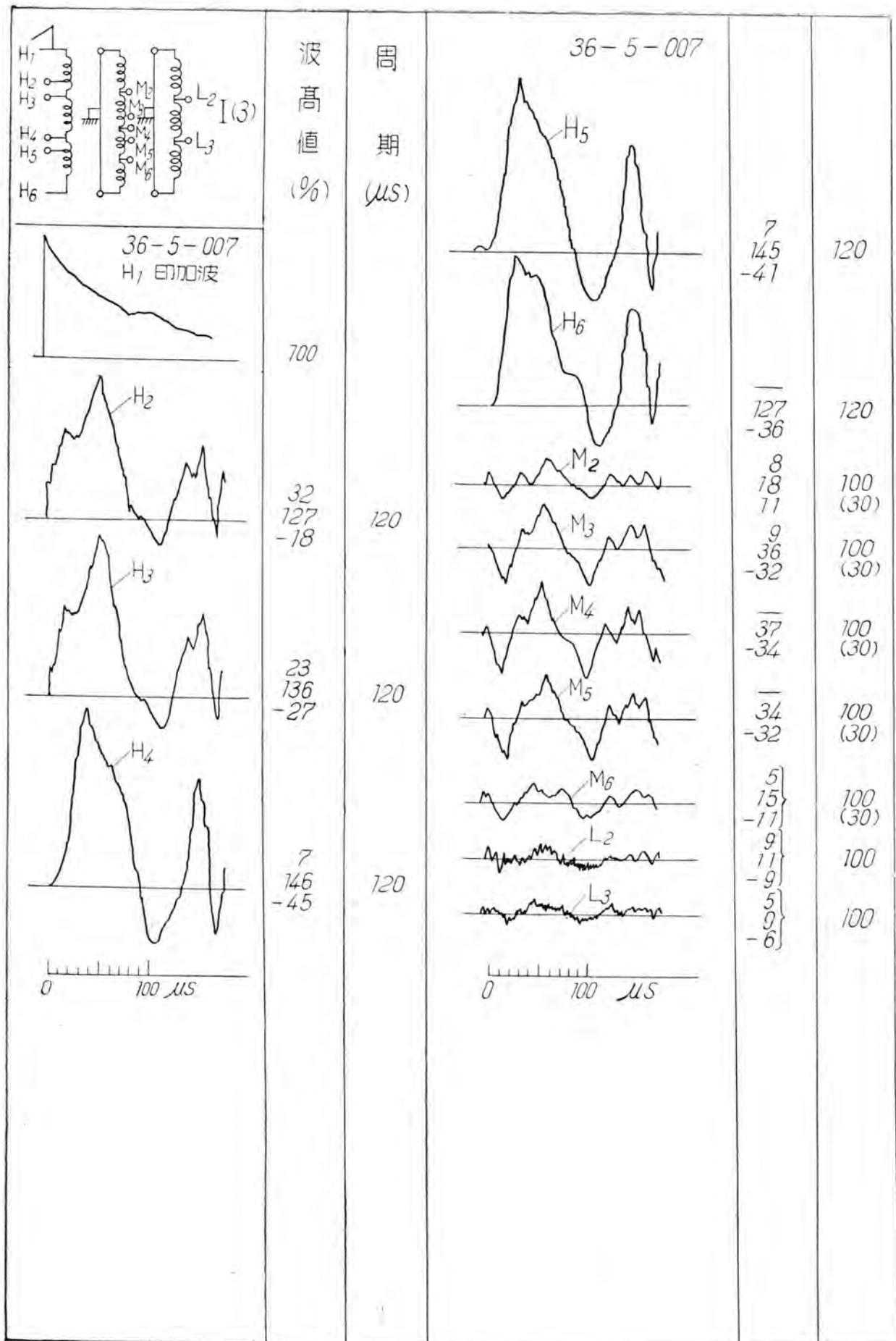


3 図 測 定 ケ ー ス

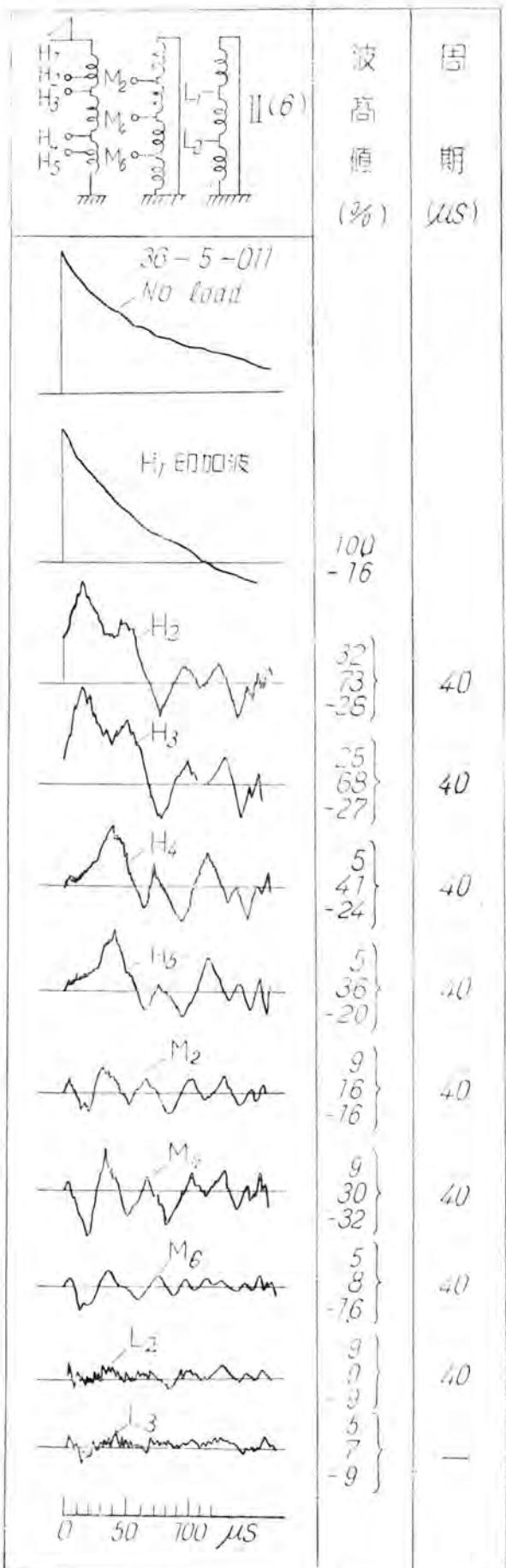
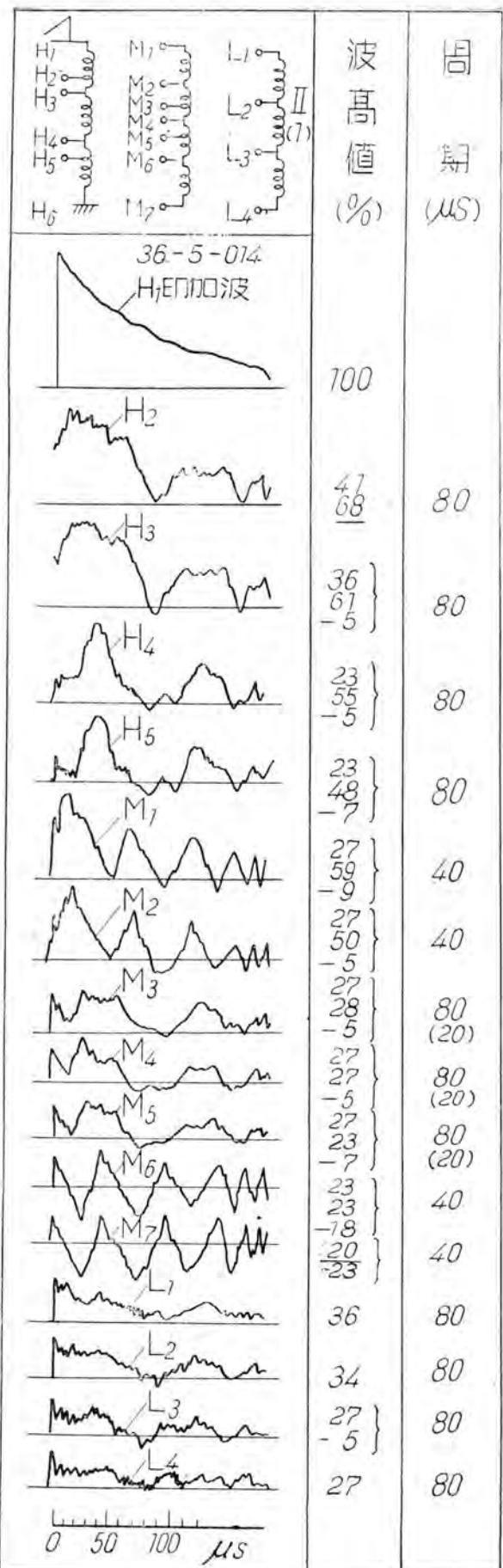


4 図 (1)

4 図 (2)

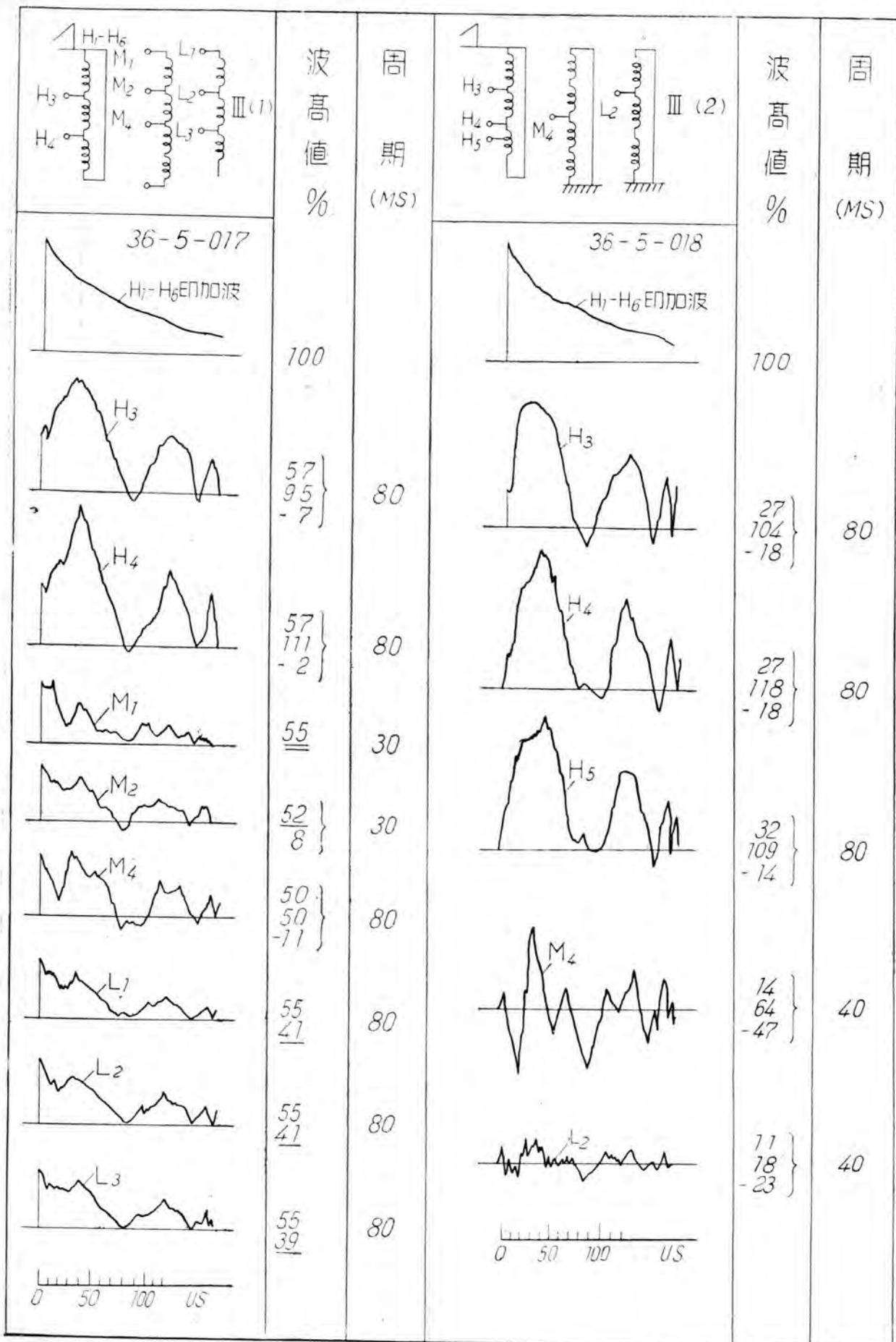


4 図 (口)



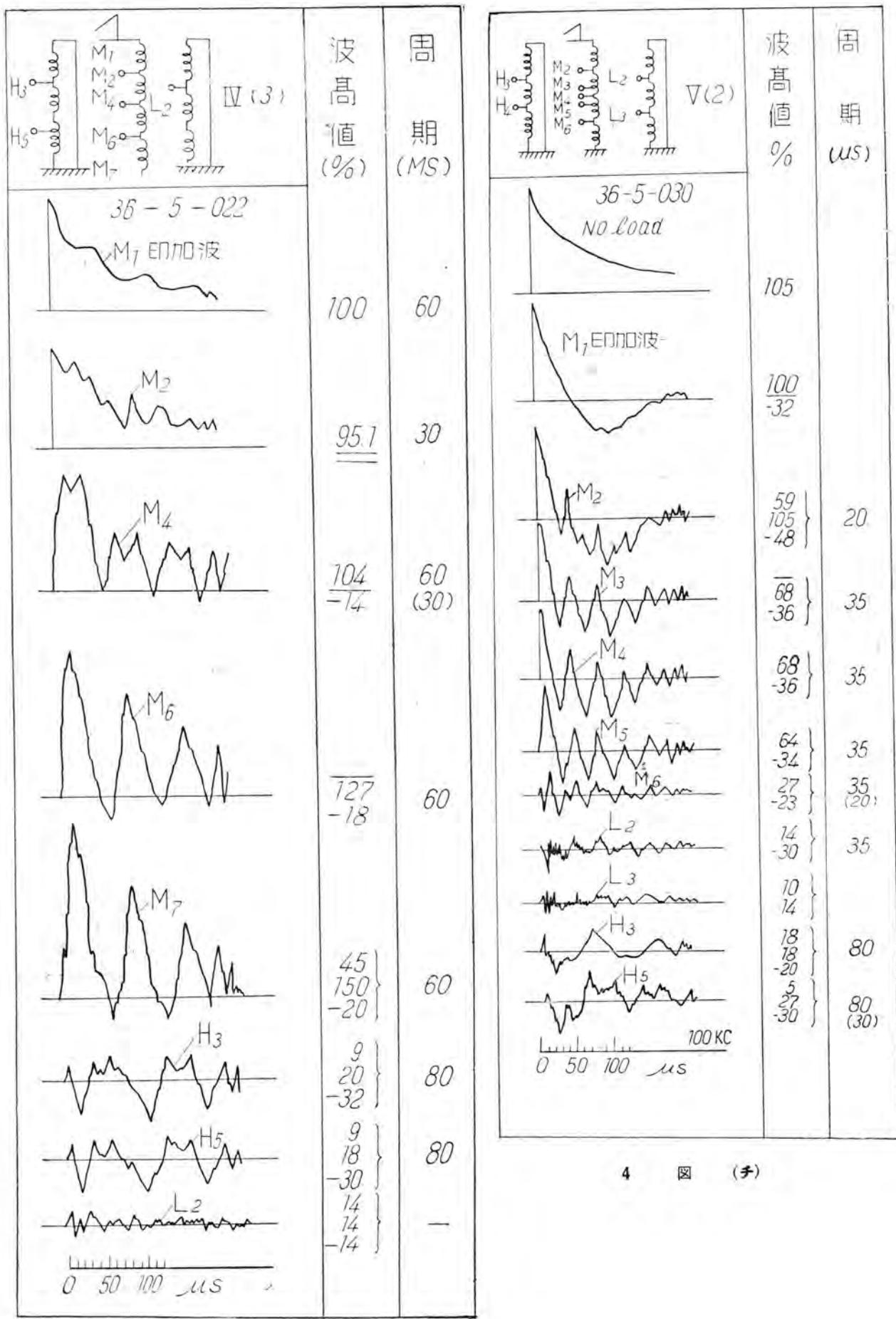
4 図 (a)

4 図 (b)

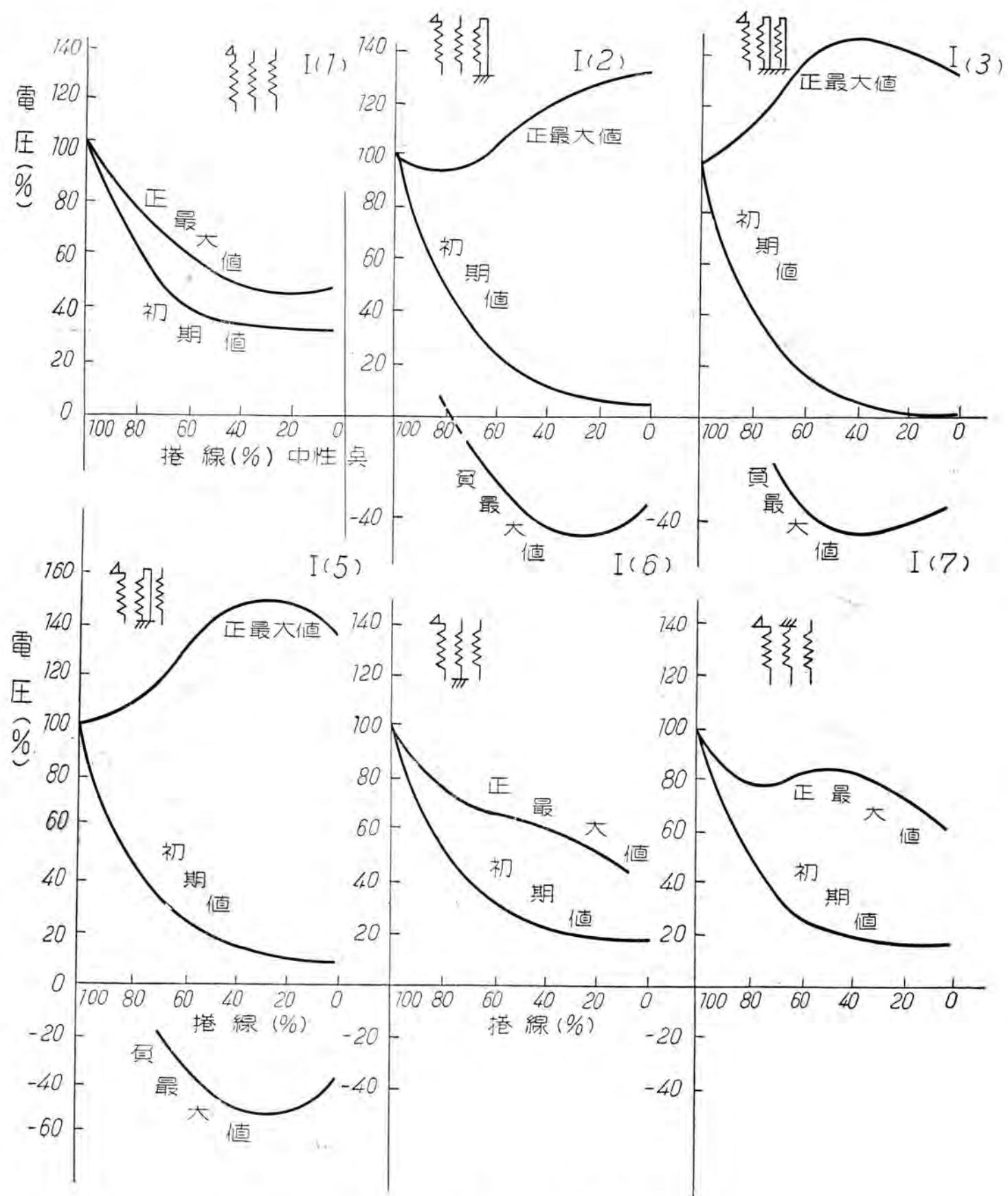


4 図 (ホ)

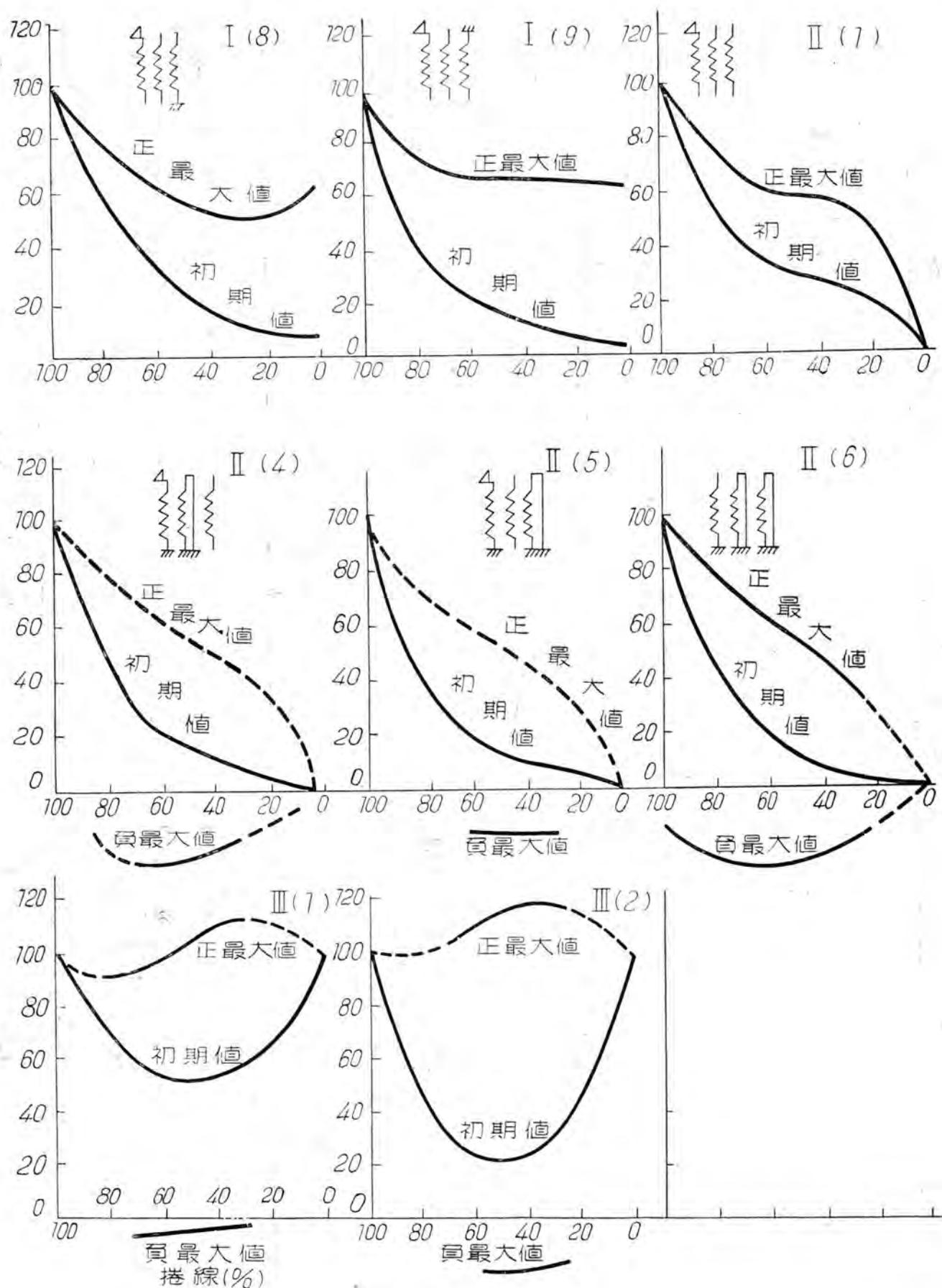
4 図 (ヘ)



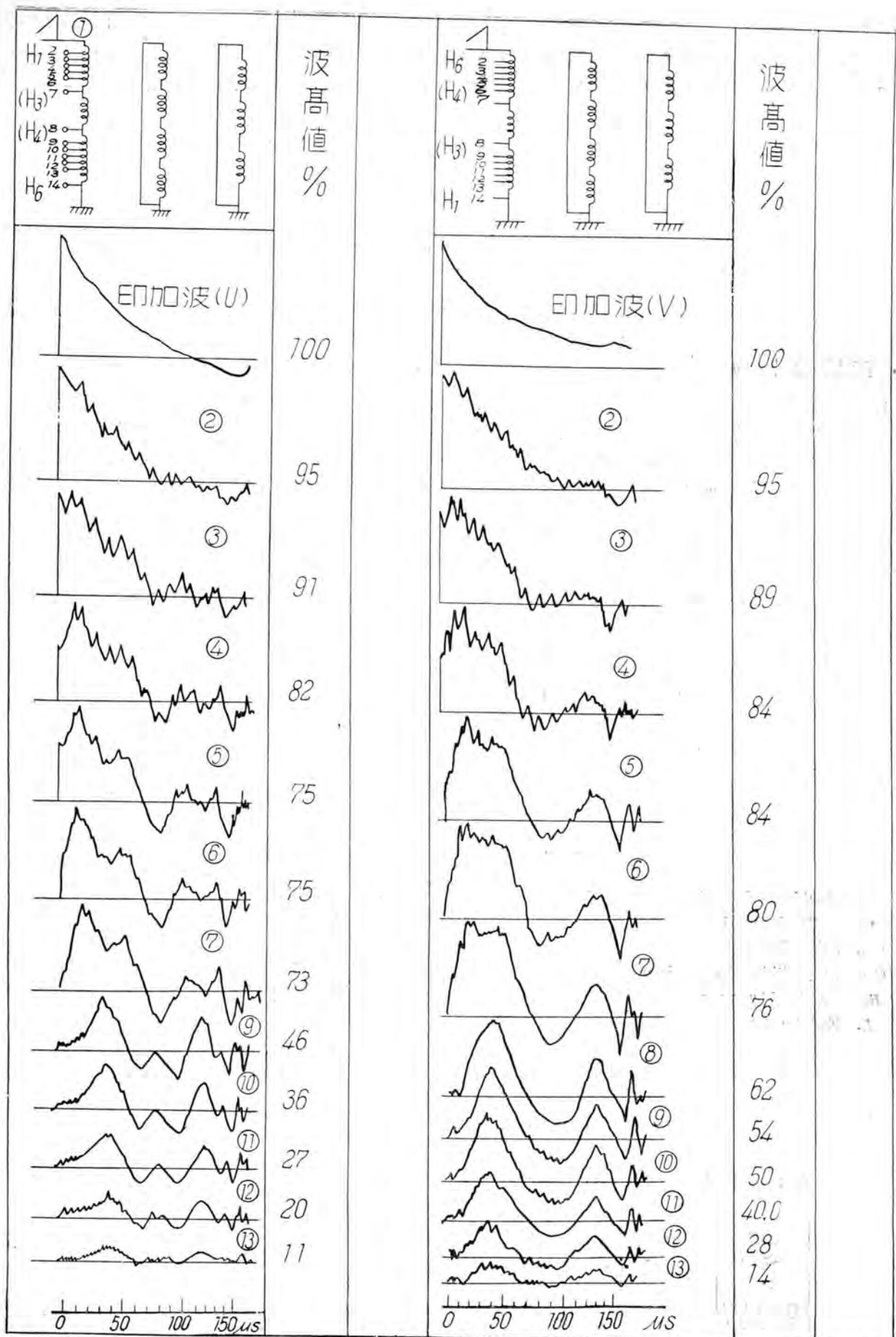
4 図 (下)



5 図 (イ) 初期電位分布



5 図 (口) 初期電位分布



6 図

日発小曾根変電所10,000kVA変圧器の内部電位振動・安藤・南角・川根

日発小曾根10,000kVA単相変圧器層間絶縁試験

伊丹製作所
堀川島

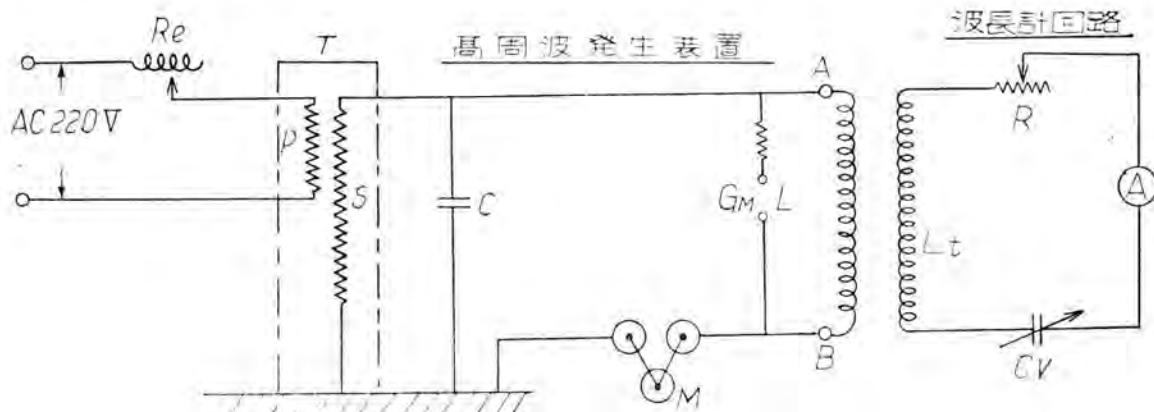
眞幸
正二郎

1. 試験の目的

日発小曾根変圧器の破壊試験後これを分解して各コイルごとに層間絶縁試験を行つた。これは試験中に起つたコイルの層間短絡を発見するためと、さらに良好なものについてその破壊電圧をしらべる目的であつた。

2. 試験装置

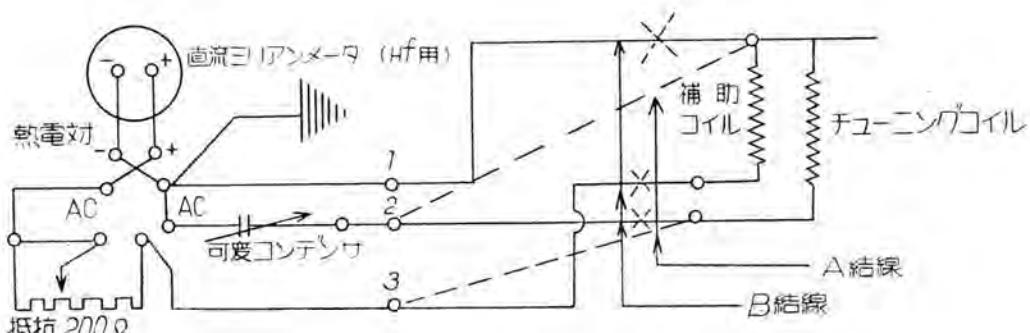
試験装置としては電動機の巻線の層間絶縁耐圧を試験する高周波耐圧試験器を用いた。その回路は1図のようで試験用コンデンサCと、供試コイルのLとによって高周波振動を生ぜしめコイルに高圧を印加する方法である。



1図 全体試験回路図

- T. 試験用変圧器 最高 3000 V 10 kVA
- C. 静電容量 0.005 μ F
- C_R . 回転火花間隙
- G_M . 電圧測定用球間隙 62.5 mm
- R_e . 電流制限用リアクタ
- L. 被試験コイル

- M. G_R 回転用電動機
- L_t . tuning Coil Inductance
- C_V . 可変コンデンサ回転角 $0^\circ \sim 80^\circ$
- R. 電流制限用可変抵抗器
- A. 高周波電流計 300 mA



2図 波長計回路結線図

4. 試験結果

高・中・低圧コイル巻線およびそのインダクタンス(計算値)等は1表に示す如く、試験用コンデンサとしては $0.05\mu F$ を用いたため、この時の共振周波数は同表第6欄のようになる。

本試験装置の最高発生電圧は30kVであり、この最高電圧を印加して、全コイルの試験を行つたが明瞭に肉眼で損傷を認められるコイルに対しても本装置では破壊を見出しえず、すなわち層間絶縁はさらに高い電圧でないと破壊されないことが判つた。この試験はもちろん気中において行つた。

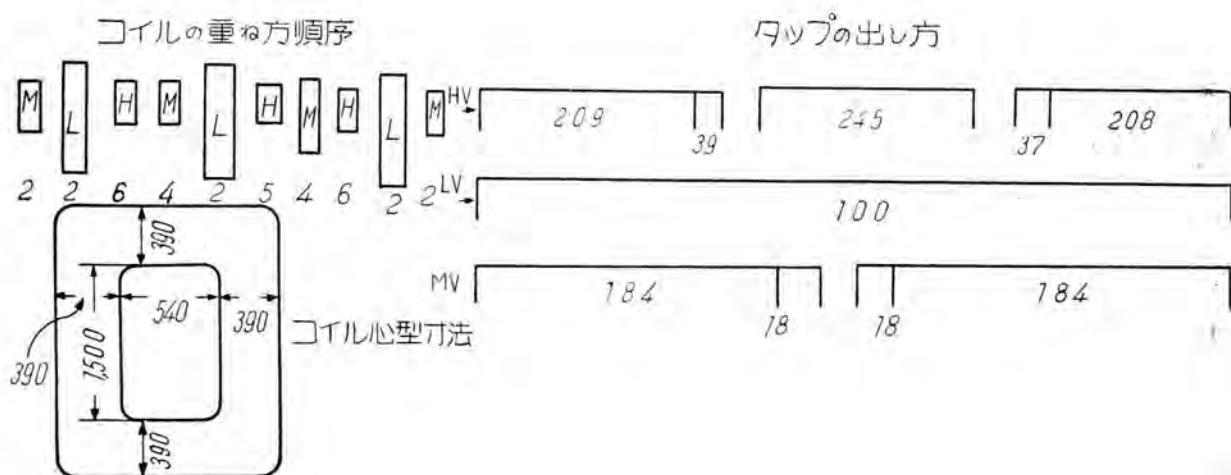
今コイルの一層にかかる電圧を計算すると高圧19turnのコイルに対しては1.56kVとなり、定格電圧の場合の110V/turnの14倍となる。別記過渡現象直視装置による初期電位分布の測定より印加電圧750kVの50%が15%の巻線にかかつたと仮定した時の層間の電圧は約3kVとなり油中と気中の差異を考慮に入れて1.58kV試験電圧は不十分とは考えられず、本変圧器の層間絶縁耐力は相当大であると認められる。

本装置は応急的に活用したため、さらに電圧を上げて、試験することができず新製品等に対する高周波による層間耐圧の値の決定は将来の検討を要する。

1表 被試験コイルの定格

コイルの種類	コイルの番号	巻数(T)	コイルのL(mH)	試用コンデンサのC. (μF)	試験回路のf.(kc)	試験電圧(kV)
高圧コイル	#5 #31	19	0.95~0.99	0.005	22.7	4.18
80.85~76.78~72.81kV	#6 #30	30	2.37~2.47	〃	14.5	6.6
(for 140~133~126kV人)	#7 ~ #19	49	6.32~6.58	〃	8.9	10.78
HV 10,000 kVA	#15 ~ #19 #26 ~ #29	〃	〃	〃	〃	〃
中圧コイル	#35	28	1.78~1.82	0.005	16.8	6.16
45.5~42.5~40.5kV	#2 #34	32	2.35~2.38	〃	14.6	7.04
(for 77~73.5~70kV人)	#11 #12 #21 #25	35	2.78~2.84	〃	13.4	7.70
MV 13,333 kVA	#13 #14 #22 #23	36	2.95~3.07	〃	12.9	7.92
低圧コイル	L #3 S #3 S #33	16	0.517~0.525	0.005	31.2	3.52
11 kV	S #4 #20 #21 #32	17	2.583~0.594	〃	29.4	3.74
LV 833 kVA	計 35枚					

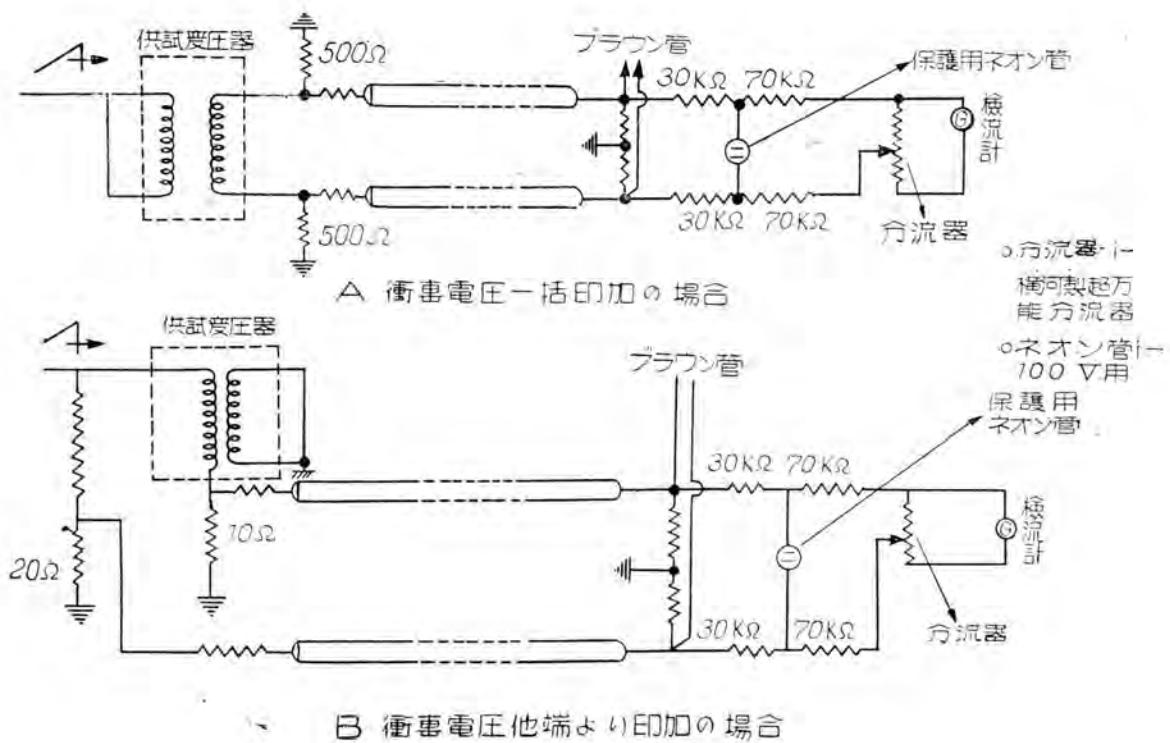
(注) #2, #11, #12, #24, #25, #23, #23, L13は肉眼にて判る損傷がある。



検流計による故障検出

研 究 所 山 田 栄 一

衝撃電圧試験の際故障検出の一方法としてブラウン管による測定と同時に藤高試案によつて測定を実施した。測定回路は下図のとおりである。



測定結果

4月4日 高圧より一括印加

No.	衝撃電圧 発生器		検流計 振 札 数 (mm)	方 向	備 考
	充電各 段 壓 (kV)	充電各 段 数			
1(608)	45	15	16	左	分流器 1/1 変压器破壊。 プラッシュ管波 形に変化あり
2(609)	々	々	5	々	々
3(一)自爆	々	2	々	々	々
4(一)	々	2	右	々	々
5(610)	45	々	4	左	々
6(611)	60	々	3	々	々

No.	衝撃電圧 発生器	検流計 振れ数 (mm)	方 向	備 考
7(612)	✓	✓	2	✓
8(613)	✓	✓	14	✓
9(616)	50	26	2	右
10(617)	50	✓	14	左
11(618)	60	✓	9	✓
12(620)	70	✓	ふり 切 れ	✓
13(621)	70	✓	0	✓
14(622)	70	✓	8	✓

4月5日 高圧より一括印加

No.	衝撃電圧 発生器 充電各 圧(kV)	検流計 振れ 段数 (mm)	方 向	備 考
1(626)	25	27	4	左 分流器 ^{1/1}
2(627)	〃	2	〃	〃 プラウン管波形変化なし
3(628)	〃	〃	〃	〃
4(—)	〃	〃	35	〃
5(—)	〃	〃	2.5	〃
6(629)	〃	〃	2.0	〃
7(630)	35	〃	1.5	〃
8(631)	〃	〃	0	—
9(632)	〃	〃	3	〃
10(633)	〃	〃	4.5	右
11(634)	〃	〃	4.0	〃
12(635)	50	〃	1.0	左 プラウン管波形に変化あり
13(636)	〃	〃	1.5	〃
14(637)	〃	〃	2.0	〃
15(638)	〃	〃	1	〃
16(639)	〃	〃	1	〃
17(640)	60	〃	3	〃
18(—)	〃	〃	15	右
19(641)	〃	〃	4.5	左
20(642)	〃	〃	5.5	〃
21(643)	〃	〃	5	〃
22(644)	〃	〃	4	〃
23(645)	〃	〃	3	〃

4月6日 中圧U端子より印加

No.	衝撃電圧 発生器 充電各 圧(kV)	検流計 振れ 段数 (mm)	方 向	備 考
1(654)	20	13	2	右 分流器 ^{1/1} プラウン管波形変化なし
2(655)	〃	〃	1	〃 〃
3(656)	40	〃	2	〃 〃
4(657)	〃	〃	〃	〃
5(658)	50	〃	2.5	〃 〃
6(659)	〃	〃	〃	〃
7(660)	〃	〃	3	〃 プラウン管波形に変化あり
8(661)	〃	〃	2	〃 〃
9(662)	〃	〃	2.5	〃 〃
10(663)	〃	〃	〃	〃
11(664)	〃	〃	2	〃 〃
12(665)	60	〃	3	〃 〃
13(666)	〃	〃	4	〃 〃
14(667)	〃	〃	4	〃 〃

中圧V端子より印加

No.	衝撃電圧 発生器 充電各 圧(kV)	検流計 振れ 段数 (mm)	方 向	備 考
1(670)	40	13	3	右 分流器 ^{1/1} プラウン管波形変化なし
2(—)	〃	〃	〃	〃
3(671)	50	〃	4	〃
4(—)	〃	〃	〃	〃
5(—)	〃	〃	5	〃
6(672)	〃	〃	〃	〃
7(673)	〃	〃	〃	〃
8(674)	〃	〃	〃	〃
9(675)	〃	〃	〃	〃
10(676)	60	〃	〃	〃 プラウン管波形に変化あり
11(—)	〃	〃	6	〃
12(677)	〃	〃	〃	〃
13(—)	自爆	〃	5	〃
14(678)	60	〃	7	〃
15(679)	〃	〃	〃	〃

中圧より一括印加

No.	衝撃電圧 発生器 充電各 圧(kV)	検流計 振れ 段数 (mm)	方 向	備 考
1(680)	50	13	14	左 分流器 ^{1/1} プラウン管波形に変化あり
2(681)	〃	〃	9	〃 〃
3(683)	60	〃	16	〃 〃
4(684)	〃	〃	6	〃 〃

試験結果に対する考察

- 高圧一括印加（第2日目）#365においてプラウン管波形に変化がみとめられたが、それより2回前 #633において検流計の振れが左より右に転じている。この時にあるいは変圧器が破壊したのではないかとも考えられる。
- 中圧一端より印加の場合には検流計の振れには不連続点がなく故障の検出は不可能である。
初めて検流計による故障検出の試験を実施したのであるが何分初めてのことなので、いろいろ不備の点が多く、はつきりした結論を出すことができなかつた。今回の試験にてとくに感じたことは検流計ならびに接続線のシールドのことで、測定場所が悪かつたために検流計のすぐ上方をプラウン管のキップ線が通つていたために、それよりの誘導が相当大きかつたようである。
今後検流計のシールドに注意し、測定を実施したならばある程度判然とした結論が下せるのではないかと思われる。

日発小曾根変電所10,000 kVA単相変圧器用 140kV, 70kVコンデンサ型套管の衝撃電圧破壊試験

幸瀬平三郎
堀池上山三郎
伊丹製作所
研究 所
真
龜
陰
山
長
山
陰
山
長
三
郎

1. 目的

コンデンサ型套管の衝撃電圧に対する絶縁強度を調べるために、破壊試験を行つたがいずれも、外面の短絡を起して内部破壊に至らず、したがつてこの V-t 曲線を取つた。140 kV 套管に対しては使用状態のままのものおよび乾燥炉中で 1 週間乾燥せるものの 2 本について試験を行つた。

2. 試験月日

140 kV 套管 25.6.2 758 mm.Hg 23.5 °C
70 kV *v* 25.6.8 761 mm.Hg 23 °C

3. 試験結果

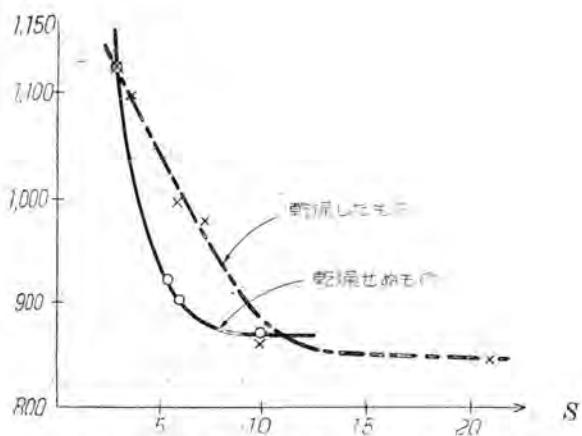
1 表 (a) (b) のとおりである。外部内絡の V-t 曲線を 1 図 (a) (b) に示した。

1 表 (a)

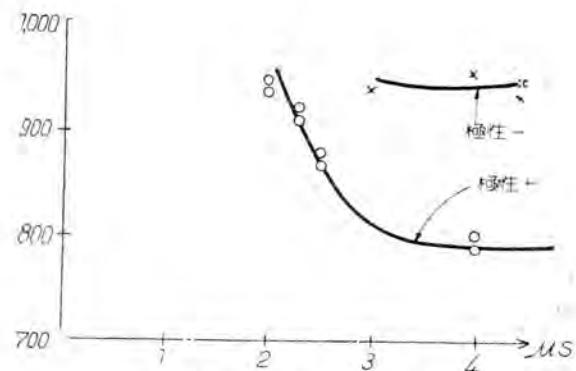
試 料	極 性	電 圧 (kV)	放 電 の 有 無	放 電 の 遅 れ (μS)
140kV乾燥したもの	+	555	放電せず	
<i>v</i>	<i>v</i>	555	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	635	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	640	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	711	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	737	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	845	外部内絡	21
<i>v</i>	<i>v</i>	845	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	865	<i>v</i>	10
<i>v</i>	<i>v</i>	865	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	995	<i>v</i>	7
<i>v</i>	<i>v</i>	1,000	<i>v</i>	6
<i>v</i>	<i>v</i>	1,100	<i>v</i>	3.5
<i>v</i>	<i>v</i>	1,120	<i>v</i>	3
140kV乾燥せぬもの	+	865	放電せず	
<i>v</i>	<i>v</i>	845	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	780	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	872	外部内絡	
<i>v</i>	<i>v</i>	872	<i>v</i>	10
<i>v</i>	<i>v</i>	918	<i>v</i>	5.5
<i>v</i>	<i>v</i>	900	<i>v</i>	6
<i>v</i>	<i>v</i>	1,120	<i>v</i>	3

2 表 (b)

試 料	極 性	電 圧 (kV)	放 電 の 有 無	放 電 の 遅 れ (μS)
70kV用	+	434	放電せず	
<i>v</i>	<i>v</i>	434	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	526	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	528	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	606	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	687	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	677	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	791	外部内絡	4
<i>v</i>	<i>v</i>	805	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	870	<i>v</i>	2.5
<i>v</i>	<i>v</i>	874	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	911	<i>v</i>	2.3
<i>v</i>	<i>v</i>	918	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	948	<i>v</i>	2
<i>v</i>	<i>v</i>	937	<i>v</i>	2
<i>v</i>	<i>v</i>	934	<i>v</i>	3
<i>v</i>	<i>v</i>	960	<i>v</i>	4
<i>v</i>	<i>v</i>	945	<i>v</i>	4.5
<i>v</i>	<i>v</i>	833	放電せず	
<i>v</i>	<i>v</i>	881	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	885	<i>v</i>	
<i>v</i>	<i>v</i>	377	<i>v</i>	



1 図 (a) 140 kV 套管 V-t 曲線・極性+



2 図 (b) 70 kV 套管 V-t 曲線

考えられ、変圧器の衝撃電圧試験の際中身の破壊する前に套管が破壊せられるのではないかとの懸念があつたがこの時に破壊せず、さらに単独で試験を行つたのであるが以上のように非常に強く、破壊に至らなかつた。

4. 試験結果に対する考察

本套管は長年使用したもので相当劣化しているものと

日発小曾根変電所 10,000 kVA 変圧器の絶縁油濾過

研究所 原 仁 吾
伊丹製作所 高木 敬三

1. 緒言

絶縁油の濾過の進捗による放電電圧とコロナ電圧の変化については従来しばしば実験しその一部は既に発表したが(1)(2)(3)(4)、今回日発小曾根変電所 10,000 kVA 変圧器の絶縁油濾過の際に、濾過の進捗による放電電圧、コロナ電圧の変化および誘電体率・酸価・粘度の変化を測定したのでここに報告する。

2. 変圧器定格および試験方法

変圧器は大正 13 年 Westinghouse 社製单相変圧器で定格はつきのとおりである。

容量 10,000 kVA—13,333 kVA—8,333 kVA

電圧 808 kV/154 kV△—44.5 kV/77 kV△—11 kV
/11 kV△

油量 18,000 l

濾過の実施方法は変圧器油を予備タンクに移し、最初の 8 時間は予備タンク内で絶縁油を濾過機を通して循環して濾過し、その後は 2 個の予備タンク間を濾過機を通して交互に移し換えて濾過を実施した。一つのタンクから他のタンクに移し換えるに要する時間は約 5 時間である。濾紙の交換は最初は 8 時間後にその後は 5 時間毎にその全部(85 枚/回)を交換し、濾過運転延 270 時間中 53 回交換した。

1 表

試 料	濾過経過時間(h)	コロナ電圧(kV)		放 電 電 圧 (kV)					劣化係数K	tan δ(%)		酸 値	
		開始電圧 C	連続電圧 D	1	2	3	4	5	平均A	最大-B	最小-C		
N o. 1	濾過前	15	30	6	8	10	8	9	8.2	4	0.14	1.1	3.78 0.3297
N o. 2	8	15	30	5	7	8	9	9	7.6	4	0.13	1.02	3.31 —
N o. 3	24	20	30	11	14	12	15	15	13.4	4	0.25	0.87	2.79 —
N o. 4	50	20	30	14	21	18	19	22	18.8	8	0.32	0.68	2.41 —
N o. 5	58	20	35	23	25	21	27	26	24.4	6	0.48	0.63	23 0.199
N o. 6	152	20	35	24	23	26	27	30	26	7	0.5	0.61	1.96 0.193
N o. 7	166	25	40	27	29	26	30	28	28	4	0.67	0.55	1.76 —
N o. 8	200	30	40	28	32	29	36	31	31.8	8	0.78	0.53	1.82 —
N o. 9	230	30	45	35	32	35	35	40	35.4	8	0.92	0.53	1.92 0.182
N o. 10	270	35	45	36	38	34	38	42	37.6	8	1.03	0.53	1.62 0.157

試料は濾過の途中でタンクの下部から採取して放電試験・コロナ試験・(5)誘電体力率・酸価および粘度の測定を実施した。放電試験は直径 12.5mm、間隙 2.5mm の球間隙を用いて 5 回の放電電圧を測定し、コロナ試験はコロナ式油試験器によりコロナ開始電圧と連続コロナ電圧を測定した。誘電体力率の測定はシェーリング・ブリッジを使用し、60°C まで油の温度を上昇させて tan δ の温度特性を求めた。測定に用いた電極は直径 70 mm の円形平板電極で間隙は 1 mm である。測定電圧は 1,000V 60~である。酸価および粘度の測定は JES の規格にしたがつた。

測 定 結 果

1表および2表に測定結果を示す。1表で A は 5 回の放電電圧の平均値、B はその最大値と最小値の差、C はコロナ開始電圧、D は連続コロナ電圧で、劣化係数 K は次式より算出した。

$$K = \frac{A}{30} \cdot \frac{C+D}{35+45} \cdot \frac{1}{1+\frac{B}{50}} \div \frac{A(C+D)}{50(B+F0)}$$

2表は粘度の測定結果である。

1図ないし3図は1表の測定結果を曲線に画いたもので1図は放電電圧およびコロナ電圧の変化を示し、2図は劣化係数および 60°C・20°C における誘電体力率、ならびに酸価の変化を示す。3図は油の温度—tan δ の特性を示す測定結果である。

3. 結果に対する考察

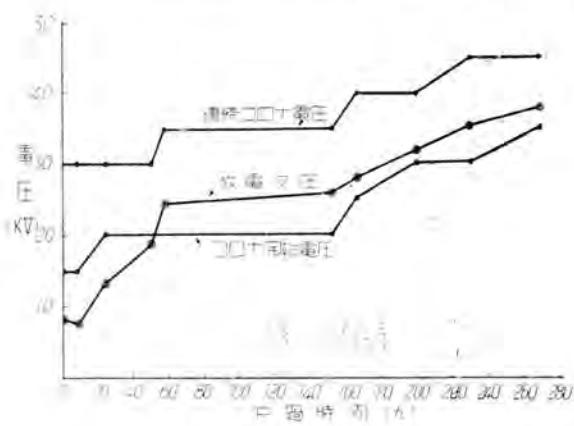
ア. 濾過開始前の劣化係数は 0.14 (放電電圧 8.2kV・コロナ開始電圧 15kV・連続コロナ電圧 30kV) で油は非常に悪く濾過のみで十分精製できるか心配されたほどであつたが、270 時間の長時間にわたる濾過により最後には劣化係数 1.03 (放電電圧 37.6kV・コロナ開始電圧 35kV、連続コロナ電圧 45kV) まで精製できた。

イ. 濾紙の汚れ程度は 5 回目の濾紙交換 (濾過経過時間約 30 時間) 頃までは濾紙は真黒で水分とスラッジでほとんど濾紙の原形を留めないほどドロドロになつてゐた。その後次第に濾紙の汚れの色が薄くなり、10 回目の交換 (約 50 時間程度) 頃からは濾紙の原形が残る程度になり水分およびスラッジの付着が少くなり次第に綺麗になつた。

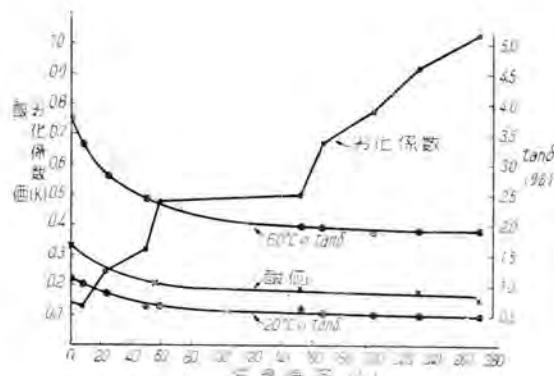
ウ. 1 図および 2 図に見られるとおり放電電圧・コロナ電圧および tan δ は濾過開始後 60 時間位の間に割合

2 表

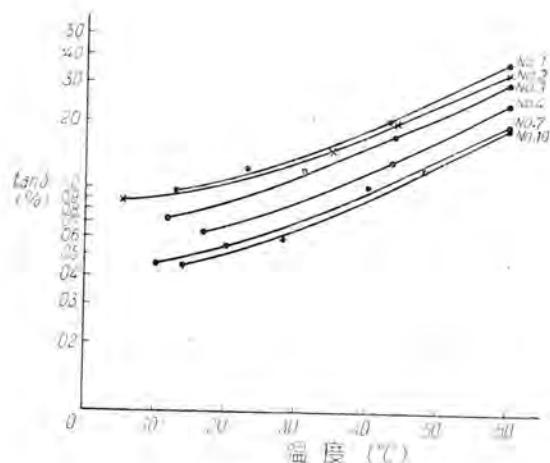
試 料	粘 度 (Red wood 秒)		
	20 °C	50 °C	75 °C
N o. 1	111.6	46.8	33.4
N o. 5	118.2	47.6	40.6
N o. 6	110.4	47.2	38.6
N o. 9	103.2	46.0	38.0
N o. 10	98.4	45.8	37.8



1 図



2 図



3 図

に急激に特性は良好になつてゐるが、その後170時間位までは殆んど電気的特性に改善されず、その後また $\tan \delta$ を除き放電電圧・コロナ電圧は次第に上昇してゐる。これより見ると最初の60時間位の間に極めて多量に存在していた水分およびスラッジの主な部分が除かれ、このため放電電圧・コロナ電圧および $\tan \delta$ は割合に急に上昇したが、劣化係数が0.4~0.5程度になつた油は0.7~0.8程度まで精製するのにかなりの濾過時間を必要とし、0.8程度の油はまたかなり速かに精製し得るようである。

エ. $\tan \delta$ の値は最初20°Cで1.1%，60°Cで3.78%で相当に悪く**2図**のとおり最初の60時間位に急に減少しているのは前述のとおり水分およびスラッジの速かな減少によるものと考えられる。その後はフラットな特性となり大した減少も来さず最後においても20°Cで0.53%，60°Cで1.92%で、 $\tan \delta$ の値としては良好であるとは思えない。これは水分および塵埃が完全に除去された後でも酸価が0.57程度で割合に高いためであると考える。

オ. 濾過の際、濾紙の吸着作用により油の酸価は若干減少すると思われるがその量は僅少と考えられる。酸価の実測の結果は最初0.3297であつたものが、濾過の最初頃に割合に急激に減少し、その後は殆んどその値は変化せず終りには0.157になつた。これは濾過によつて油自身の酸価は濾紙の吸着作用により若干減少はするが、この変化の大部分は油中の塵埃に吸着されている有機酸が酸価測定の際アルコール内に吸收され、このため濾過の最初頃の酸価が高く表われ濾過の進捗による酸価の変化が顕著に出ているものと考えられる。

カ. 粘度は濾過によつて若干減少しているが予期した程には大なる変化は認められないようである。

以上絶縁油濾過による放電電圧・コロナ電圧・誘電体力率・酸価および粘度の変化の測定結果を報告したが、極端に劣化した絶縁油も、十分に乾燥した濾紙を使用して濾過すれば、変圧器油としては満足な程度に精製できる。濾紙交換の間隔を短かくすれば濾過の所要時間はもちろん短縮できる。誘電体力率は濾過による水分および塵埃の減少のためにその値は減少するが、濾過のみによつては油そのものの酸価の減少は僅かでほとんど変化しないため、ある程度精製された後は急激な減少は認められない。酸価は油中の塵埃に付着している有機酸の影響が酸価測定の際表われ、その測定結果は油自身の酸価の値より大きい。

擱筆するにあたり御指導を賜つた本社電力技術課木村氏研究所電気課横須賀氏に感謝する。

文 献

- (1) 木村、内田：電力(昭和22-1)
- (2) 原、岩崎、吉沢：三菱電機(昭24-8)
- (3) 木村、原：関西工学連大予稿(昭24-10)
- (4) 木村、原：電工学論文集1の2(昭24-5)
- (5) 木村、原：三菱電機(昭22-5)
- (6) 木村、原：電気日本(昭23-8)

訂 正

Vol. 25 No. 5「可搬誘電体力率アリッジ」36頁 1行目を下記のように訂正いたします。

誤	正
$C_1 = C_2 \frac{R_1}{R_2} \sec^2 \delta$	$C_1 = \frac{C_2 R_4}{R_3 \sec^2 \delta}$

日発小曾根変電所 10,000kVA 変圧器 および套管損失角測定報告

伊丹製作所 岩崎晴光
田口修

1. 緒言

日発絶縁劣化早期検出委員会の主催にて小曾根変電所 10,000 kVA 変圧器の破壊試験が行われた。これと同時に変圧器線巻および套管の損失角の測定を行つた。測定項目はつぎに示すとおりである。

○ 5 A. (5 パンク A 相変圧器)

1. 乾燥前。(油は日発よりドラム罐にて運搬されたもの) $\tan \delta$ —温度、絶縁抵抗—温度特性,
- $\tan \delta$ —温度、絶縁抵抗—温度
2. 乾燥後(油は濾過、コイルは 5 日間乾燥処理)
- 4 A. (4 パンク A 相) 5 A 変圧器 乾燥後常温にて,
 $\tan \delta$ 測定
- 154 kV 套管 4 B.5 B (5 パンク B 相) 変圧器の套管中 2 本につき $\tan \delta$ —温度特性
- 77 kV 套管 W 社大正 13 年製にて、同年度の製品
2 本につき $\tan \delta$ —温度特性

2. 変圧器損失角温度特性試験(乾燥前)

ア. 供試変圧器

3 台の内つぎのもの 1 台についてこれを行つた。

○ 5 A 製品番号 (726683) shell type

OIWC型

大正 13 年 W 社製

1 φ 容量 10.0/13.3/8.3 MVA

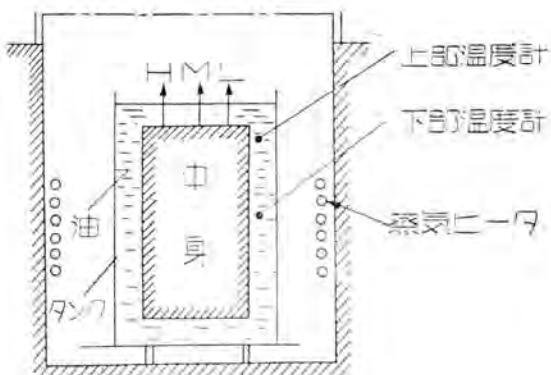
電圧 140/77/11 kV

なお変圧器油は小曾根変電所にて、ドラム罐に入れて来たものを、当所にてそのまま再び変圧器に入れた。

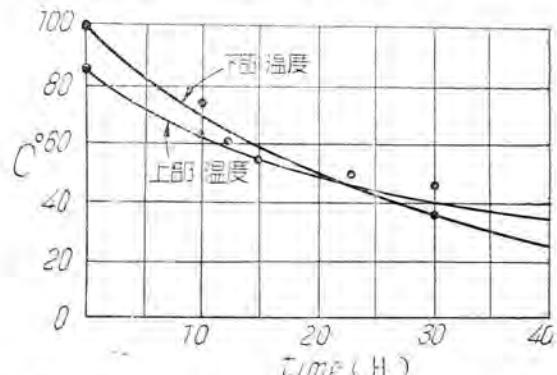
イ. 溫度上昇方法および温度測定方法

1 図に示す如く供試変圧器の套管のみ取外し、これを乾燥室内に入れて側にある蒸気ヒータにて約 100 °C まで上昇せしめたる後乾燥室の蓋を取除き自然冷却にしたがつて施行した。温度測定は、1 図 (A) に図示する油中の 2 個所に丸型温度計の測温部を沈め油温を測定したが、上部温度と下部温度との差と時間との関係は 1 図 (B) 曲線 I の如くすなわち温度の高い範囲では上部温

度よりも下部温度の方が約 15 °C 高く、時間経過(自然冷却)にしたがいその差が少くなり 20 時間(50 °C 附近)では差は全くなくなり、なお時間経過と共に上部、下部の温度差が逆となり漸次大きくなつてある。これは 1 図 (A) の如くヒータが下部温度計に近い個所にあつたためだらうと思われる所以、測定温度としてはこれら温度の平均値を測定温度とすることとした。



1 図 (A) (乾燥室内の供試変圧器)



1 図 (B) 曲線 I. (上下部の温度と時間の関係)

ウ. 損失角測定方法

可搬式誘電体損失角測定器にて測定した。これはいわゆる逆シェーリング・ブリッジである。標準コンデンサをしており被試験物の一方の電極が接地されていても測定内蔵できるものである。これによれば損失角はダイアルを直結することができる。

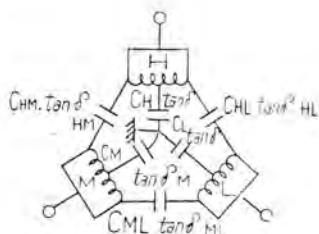
エ 测定ケース

前述の測定器でもつて測定電圧はいずれの場合も 10,000V にてつぎの 7 ケースの損失角およびその静電容量を測定した

- | | | |
|--------------|----------------------|-----------------|
| (1) H-(ML-E) | ML | を一括接地して H に電圧印加 |
| (2) M-(HL-E) | HL | 〃 M 〃 |
| (3) L-(MH-E) | MH | 〃 L 〃 |
| (4) HM-(L-E) | L を接地して HM を一括して電圧印加 | |
| (5) ML-(H-E) | H 〃 | ML 〃 |
| (6) HL-(M-E) | M 〃 | HL 〃 |
| (7) HML-(E) | HML を一括して接地間に電圧印加 | |
- ここに H とは高圧側コイル(140 kV) 1 次
 { M とは中圧側 〃 (77 kV) 2 次 のこと
 L とは低圧側 〃 (11 kV) 3 次 である

オ 損失角の分析

2 図からも明かな如く、前述の測定値では他の回路が並列に入つて来て各コイルと接地間および各コイルとコイル間の損失角は判らないから、この測定値を分析しなければならない。



2 図 各部の C および $\tan \delta$

- で測定した損失角を $\tan \delta_{H-ML}$ 静電容量を C_{H-ML}
- 〃 $\tan \delta_{M-HL}$ 〃 C_{M-HL}
- 〃 $\tan \delta_{L-MH}$ 〃 C_{L-MH}
- 〃 $\tan \delta_{HM-T}$ 〃 C_{HM-T}
- 〃 $\tan \delta_{ML-H}$ 〃 C_{ML-H}
- 〃 $\tan \delta_{HL-M}$ 〃 C_{HL-M}
- 〃 $\tan \delta_{HML}$ 〃 C_{HML}

とすれば

$$\tan \delta_H \text{ (高圧接地間)} = \frac{\{C_{HML} \tan \delta_{HML}\} + \{C_{H-ML} \tan \delta_{H-ML}\} - \{C_{M-HL} \tan \delta_{M-HL}\}}{\{C_{HML}\} + \{C_{H-ML}\} - \{C_{M-HL}\}}$$

$$\tan \delta_M \text{ (中圧接地間)} = \frac{\{C_{HML} \tan \delta_{HML}\} + \{C_{M-HL} \tan \delta_{M-HL}\} - \{C_{H-ML} \tan \delta_{H-ML}\}}{\{C_{HML}\} + \{C_{M-HL}\} - \{C_{H-ML}\}}$$

$$\tan \delta_L \text{ (低圧接地間)} = \frac{\{C_{HML} \tan \delta_{HML}\} + \{C_{L-MH} \tan \delta_{L-MH}\} - \{C_{HM-T} \tan \delta_{HM-T}\}}{\{C_{HML}\} + \{C_{L-MH}\} - \{C_{HM-T}\}}$$

$$\tan \delta_{HM} \text{ (高圧中圧間)} = \frac{\{C_{H-ML} \tan \delta_{H-ML}\} + \{C_{M-HL} \tan \delta_{M-HL}\} - \{C_{HM-T} \tan \delta_{HM-T}\}}{\{C_{H-ML}\} + \{C_{M-HL}\} - \{C_{HM-T}\}}$$

$$\tan \delta_{ML} \text{ (中圧低圧間)} = \frac{\{C_{M-HL} \tan \delta_{M-HL}\} + \{C_{L-MH} \tan \delta_{L-MH}\} - \{C_{ML-H} \tan \delta_{ML-H}\}}{\{C_{M-HL}\} + \{C_{L-MH}\} - \{C_{ML-H}\}}$$

$$\tan \delta_{HL} \text{ (高圧低圧間)} = \frac{\{C_{L-MH} \tan \delta_{L-MH}\} + \{C_{H-ML} \tan \delta_{H-ML}\} - \{C_{HL-M} \tan \delta_{HL-M}\}}{\{C_{L-MH}\} + \{C_{H-ML}\} - \{C_{HL-M}\}}$$

の如くして各コイルと接地間(3 個所) 各コイルとコイル間(3 個所) 計 6 個所の損失角を算出し得た。静電容量もこれと同時に算出でき得たのでそれらの値を 1 表および 2 表に示す。

1 表 乾燥前温度に対する損失角の変化 (%)

平均油温度°C	$\tan \delta_H$	$\tan \delta_M$	$\tan \delta_L$	$\tan \delta_{HM}$	$\tan \delta_{ML}$	$\tan \delta_{HL}$
90	37.6	33.4	35.6	32.4	32.8	34.0
80	25	23.0	25.4	28.8	23.2	24.2
70	21.4	15.8	17.7	18.5	17.1	15.5
60	13.5	10.8	12.1	11.1	10.2	10.0
50	11.8	7.7	7.9	6.4	6.4	7.9
40	8.0	4.6	6.0	3.7	4.0	3.8
30	5.0	4.1	4.4	4.8	3.0	3.2

2 表 乾燥前温度に対する静電容量の変化 (μF)

平均油温度°C	C_H	C_M	C_L	C_{H-ML}	C_{M-HL}	C_{H-L}
90	1,980	5,950	3,070	2,440	5,780	2,980
80	1,980	5,320	3,040	2,550	5,480	2,480
70	1,660	4,820	2,700	2,240	5,080	2,210
60	1,450	4,480	2,480	2,030	4,850	2,070
50	1,050	4,280	2,320	2,000	4,650	1,440
40	1,200	4,150	2,220	1,970	4,550	1,330
30	1,140	4,070	2,150	1,950	4,550	1,320

カ 絶縁抵抗の測定

損失角を測定すると共に直流 1,000 V メッガにて絶縁抵抗も測定した。各温度に対する絶縁抵抗の測定値は 3 表の如し。

3 表 温度に対する測定絶縁抵抗の変化 (MΩ)

絶縁抵抗 平均油 温度°C	$H-M$ (ML-E) (HL-E)	$M-L$ (MH-E)	$L-H$ (HM-E)	$H-M-L$ (H-E) (M-E)-(E)	$H-L$ (HL-E) (M-E)-(E)	$H-M-L$ (H-E) (M-E)-(E)	$H-L-M$ (H-E) (L-E)
84.5	4	2	2.5	2	2.5	2	3.5
82	5	3	3	2.5	2.5	2.5	3
69	9	9	6	4.5	5	5.5	8
57.5	17	10	12	8	10	10	15
49	30	19	20	16	18	18	21
29.5	150	200	100	60	70	70	100

7 表

3. 同変圧器乾燥後の損失角温度特性試験

変圧器のコイルは約 10 °C にて 5 日間乾燥し、その後の 1 日は真空約 70 mm 程度引いた。絶縁油濾過後ふたたび前回と全くどうようの方法にて損失角温度特性試験を行つた。これにより測定し得た値を分析して各部分の損失角および静電容量を算出すると 4 表、5 表の如し。また絶縁抵抗の測定値は 6 表に示す。4 表を曲線にて示すと (3 図) の如し。

4 表 乾燥後の温度に対する損失角の変化 (%)

損失角 平均 油温 度°C	$\tan\delta_H$	$\tan\delta_M$	$\tan\delta_L$	$\tan\delta_{HM}$	$\tan\delta_{ML}$	$\tan\delta_{HL}$
73	3	2.1	2.1	2.5	2.5	2.7
60	2	1.85	1.45	1.9	2.05	1.8
45	1.1	1.2	0.9	1.0	1.0	0.9
25	0.5	0.6	0.6	0.4	0.35	0.7

5 表 乾燥後の温度に対する静電容量の変化 (μF)

静電容量 平均 油温 度°C	C_H	C_M	C_L	C_{HM}	C_{ML}	C_{HL}
73	1,020	3,860	1,890	1,810	4,270	1,685
60	984	3,810	1,880	1,790	4,250	1,680
45	963	3,820	1,865	1,785	4,230	〃
25	943	3,890	1,860	〃	〃	〃

6 表 乾燥後の温度に対する絶縁抵抗の変化 (MΩ)

絶縁抵抗 平均 温度°C	H— (M-L-E)	M— (H-L-E)	L— (M-H-E)	HM— (L-E)	ML— (H-E)	HL— (M-E)	HML— (E)
79	80	60	55	45	50	45	70
64.0	130	75	80	60	65	60	90
53.5	150	100	100	90	100	110	140
35.0	500	500	400	210	205	200	300

4. 考 察

乾燥前後の損失角の変化 (1 表と 4 表) を曲線にて示すと (4 図) の如くなる。これは巻線乾燥の影響と油の効果の二つによつて 4 図に示すような結果を示すものと思われる。この結果は変圧器巻線の損失角、巻線および油中の水分に影響されることが多いといふことがわかる。

5. 他の 2 台の常温における 損失角および静電容量

温度特性試験せる以外の 2 台の常温における損失角、静電容量も測定して 7 表に示す。これは既に分析したる値である。測定温度は長時間外に放置してあつたため気温とした。

測定個所	変圧器 4 A			5 B 製品番号(796689)		
	$\tan\delta$ (%)	静電容量 ($\mu\mu F$)	温 (°C)	$\tan\delta$ (%)	静電容量 ($\mu\mu F$)	温 (°C)
H	0.8	1,520	5	0.8	1,430	5
M	1.0	4,600	〃	0.8	4,350	〃
L	0.6	1,750	〃	0.9	2,000	〃
HM	0.7	1,580	〃	0.5	1,780	〃
ML	0.6	4,800	〃	0.5	4,250	〃
HL	0.6	2,050	〃	0.4	1,780	〃

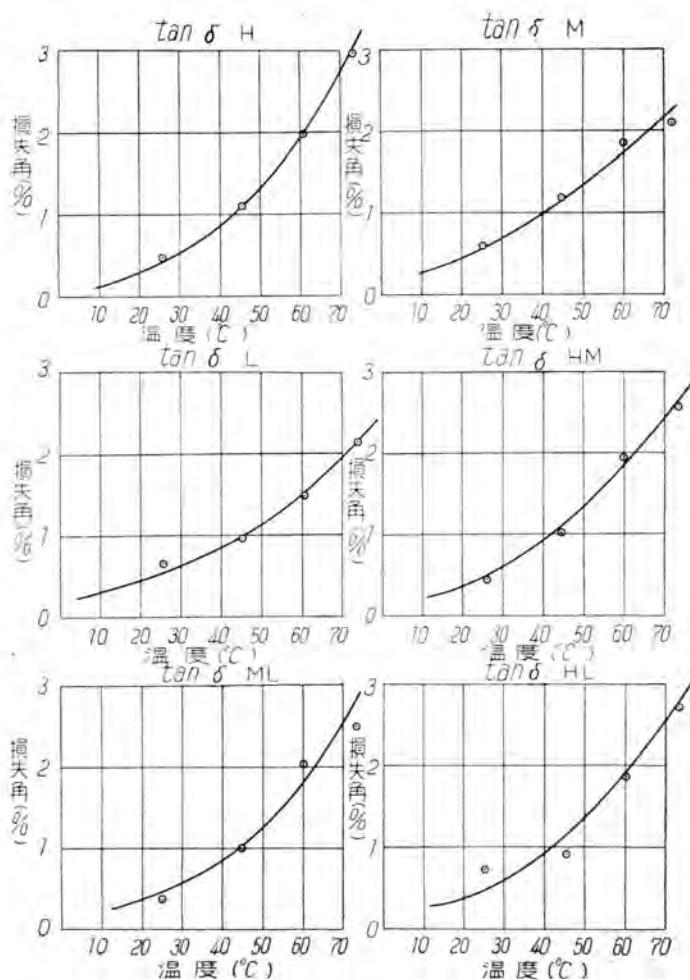
6. 套管損失角温度特性試験

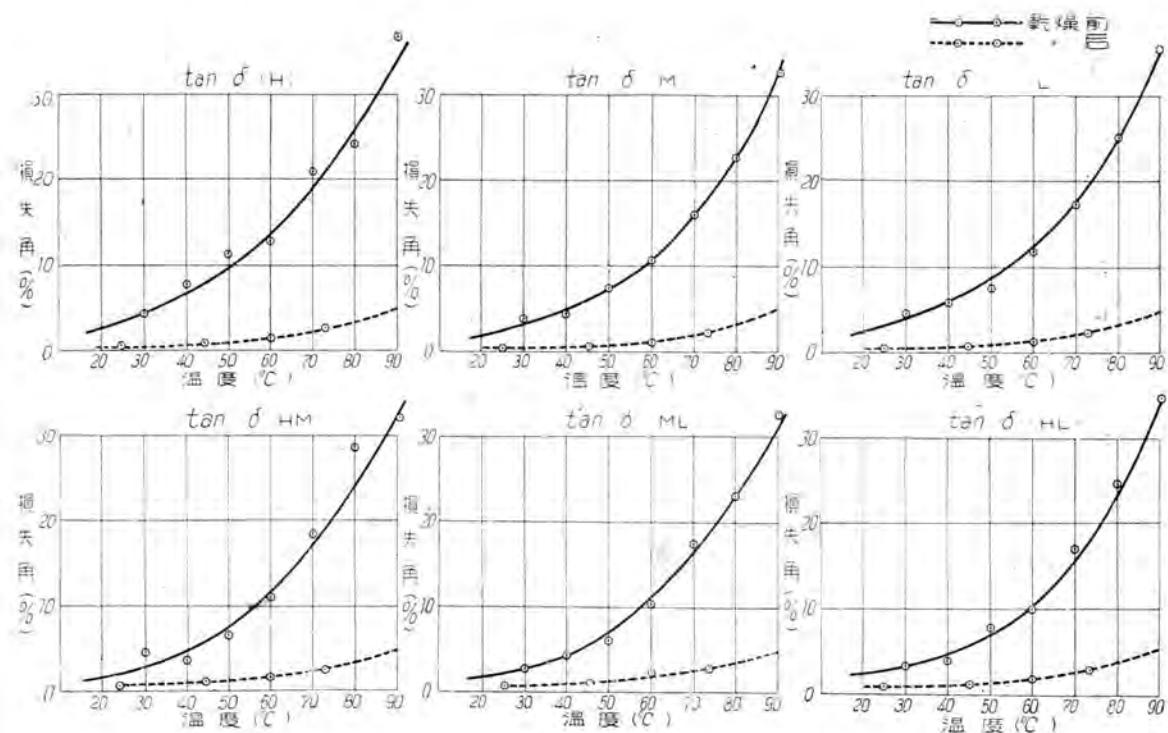
ア. 供試套管

同変圧器用の W 社製コンデンサ型套管 154 kV 2 本 71 kV 2 本、計 4 本

イ. 温度上昇方法

供試套管 4 本を套管乾燥室内に林立せしめ、蒸気ヒータの蒸気量を加減し各測定温度に調整して測定し、また温度を降下せしむる場合は乾燥室の戸を開き自然冷却するにしたがつて測定した。





4 図

図

ウ. 溫度測定方法

供試套管 154 kV と同一型の古い不良套管に 5 図に示す如く套管の側面部半径方向に錐にて穴をあけ、それにアルコール寒暖計の測温部を埋込み、これを各部分 7~8 個所に設けたものを供試套管と一緒に乾燥室内に入れて測温したが、何分型が大きくて温度分布が一様にならぬ 6 図において代表的な寒暖計 A.B.C.D. 位置の温度で A.D が最も高く C が最も低かつた。その差は最高 10~15 °C で (A.D はほとんど同じ) 温度降下の時にはそれが逆となり C が最も高く (A.D が最も低く) その差は約 10 °C 程度である。これは温度上昇時、細い A 位置が温度が上昇しやすく、太い C 位置は上昇しにくいためである。また逆に温度降下の時は A 位置が冷め

やすく C 位置が冷めにくくなることになる。また B 位置は D 位置よりも浅い深さに埋込んだものであるから、B は 2~3 °C 差があつた。

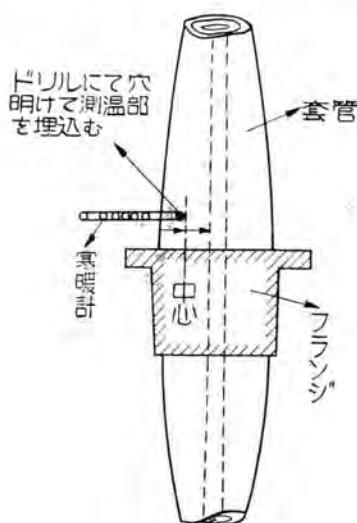
これら温度差を極力少くするよう努めたが一様にならず結局高低の平均値をこの供試套管の平均温度と見なした。

エ. 試験方法

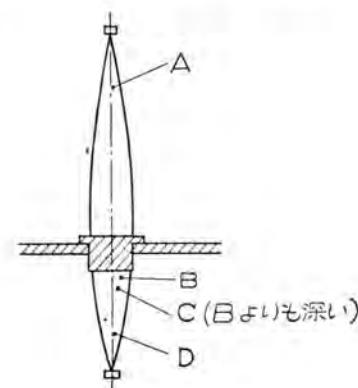
可搬式誘電体損失角測定器にていすれの套管についても 10,000V にて損失角およびその静電容量を測定した。最初は常温より約 60 °C まで上昇する途中にて測定後、60 °C より自然冷却するにしたがつて常温になるまでの途中の 2 回測定した測定成績は 8 表の如し。

オ. 実験結果の考察

8 表を曲線で示すと 7 図となる。これによれば温度上昇時の損失角と、温度降下時の損失角はループを書いて



5 図



6 図

8 表 溫度に対する套管損失角および静電容量の変化

種類 平均温度	154 kV (#1)		154 kV (#2)		77 kV (#1)		77 kV (#2)	
	静電容量 ($\mu\mu F$)	損失角 $\tan \delta (\%)$	静電容量 ($\mu\mu F$)	損失角 $\tan \delta (\%)$	静電容量 ($\mu\mu F$)	損失角 $\tan \delta (\%)$	静電容量 ($\mu\mu F$)	損失角 $\tan \delta (\%)$
15°C	232	1.7	286	1.0	251	1.3	275	1.8
41	269	2.9	316	2.9	294	3.9	336	4.9
51.5	280	3.8	328	4.25	312	5.8	360	7.5
61.5	282	6.0	341	6.3	330	8.2	371	10.9
52	284	4.8	338	5.3	312	5.9	358	7.4
36	267	2.95	324	3.3	282	2.7	319	3.3
33	260	2.55	318	2.6	280	2.3	314	2.9
17	254	2.05	308	1.8	270	1.5	302	1.9

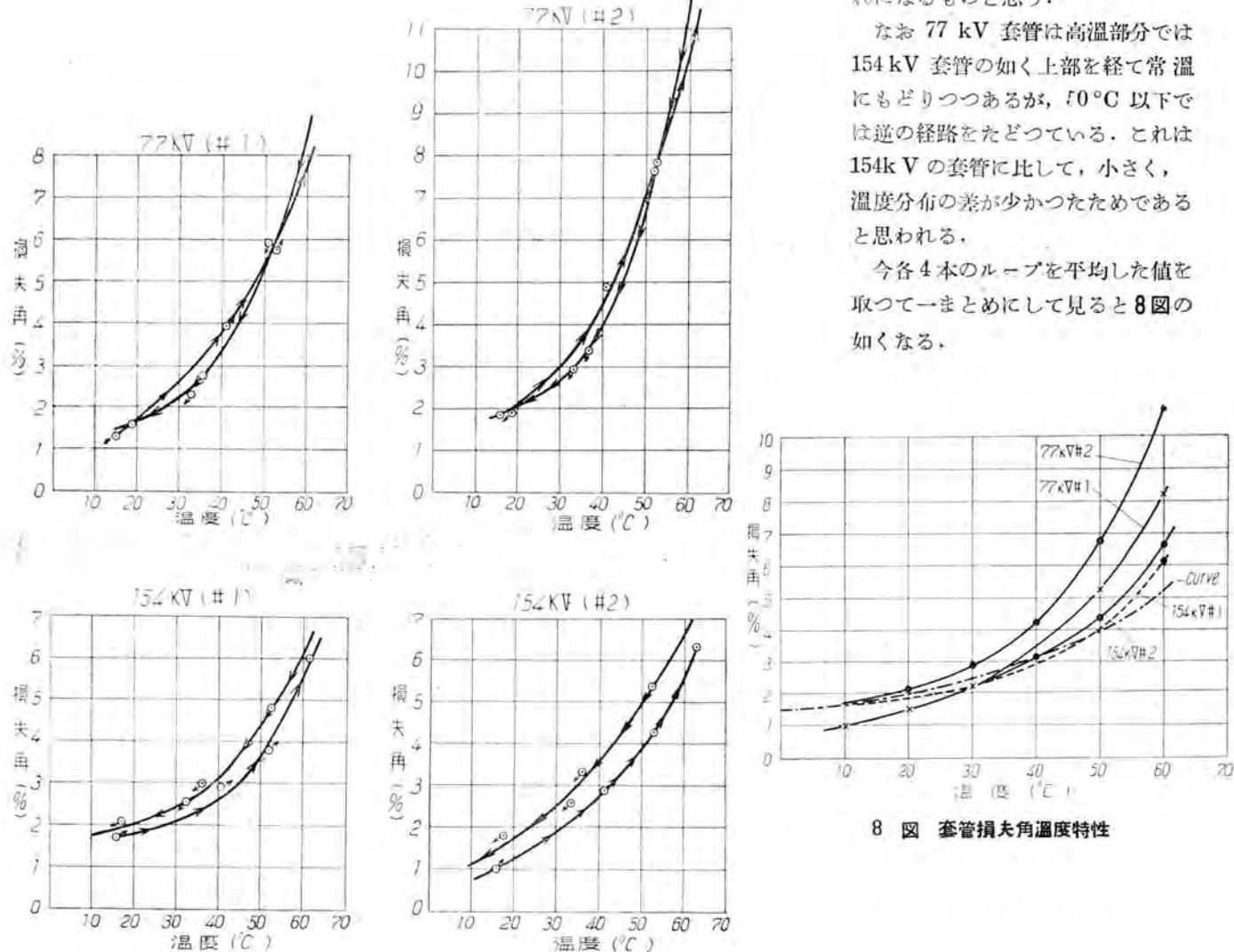
いる前述せる温度測定の平均温度が実際温度との相違から表われたもので、今 154 kV 套管について見ると、碍子を冠つているためか温度上昇時はこの時の平均温度よりも実際温度は高かつたかも知れないし、また温度測定

の項で述べた如く、温度界降時の最高低の温度分布が逆になつてゐる点より判断して昇降時測定値の平均すなわちループの中央を取れば実際温度と平均測定温度との相違は打ち消し合うことになり最もたしからしき特性はこ

れになるものと思う。

なお 77 kV 套管は高溫部分では 154 kV 套管の如く上部を経て常温にもどりつつあるが、10°C 以下では逆の経路をたどつてゐる。これは 154 kV の套管に比して、小さく、温度分布の差が少かつたためであると思われる。

今各 4 本のループを平均した値を取つてまとめて見ると 8 図の如くなる。



8 図 套管損失角温度特性

サイラトロン電弧のインピーダンスに関する一測定法

サイラトロン電弧のインピーダンス自体の衝撃波に対する特性を調べた報告はほとんどない。筆者の測定した方法およびこれにより得られた結果を報告して御批判を願う次第である。サイラトロン電弧自体の特性は放電間隙としてサイラトロンを用いる器材に関してはとくに重要と思われる。

木 安 藤 安 二

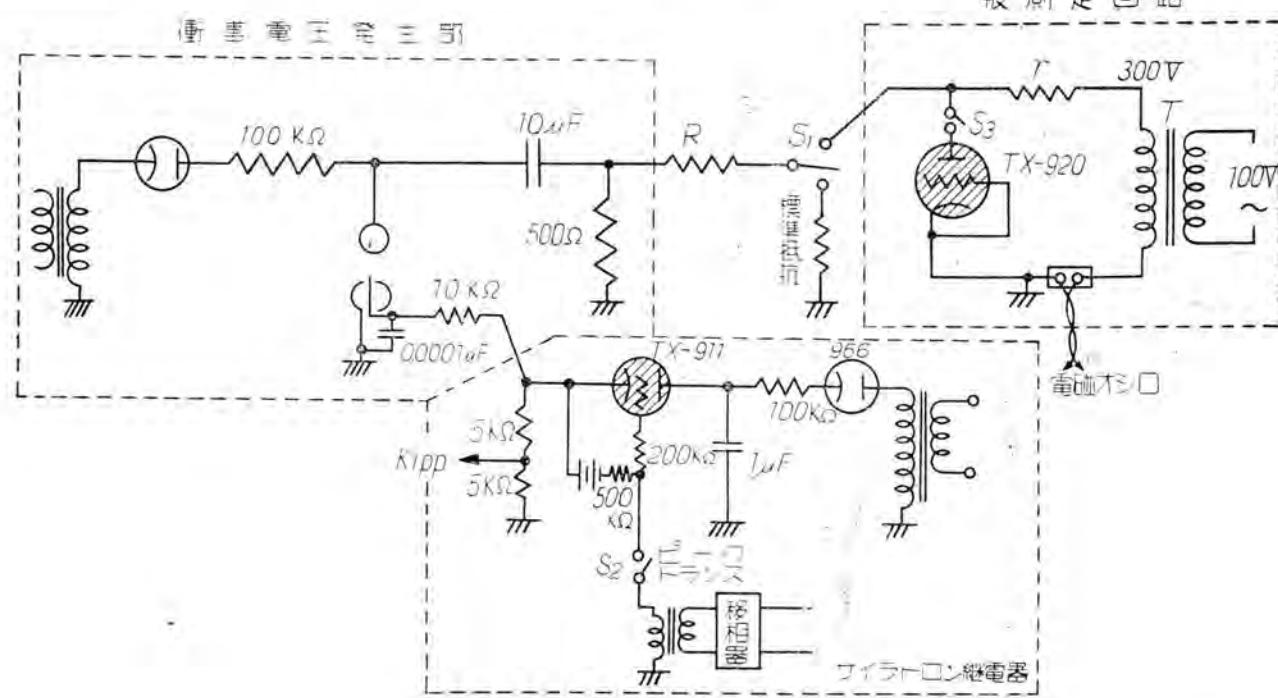
1. 緒 言

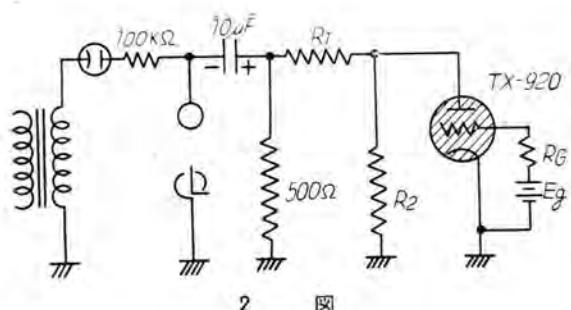
筆者は放電間隙としてサイラトロンを用いる過渡現象直視装置で測定をする場合幾多の不可解なる波形を得ており、かつ水銀整流器等に正性あるいは逆性のサージが侵入する場合如何なる変化を起すかについて多大の関心を有するものであるが、寡聞にして電弧自体の衝撃波に対する特性を対象とした報告を聞かない。

サイラトロンに関して消イオン時間あるいは逆弧を対象とした測定は多くの報告があるが、電弧自体のインピーダンスに関しては額田氏の高周波電流によりブリッジ法にて測定された結果⁽¹⁾以外は聞かず衝撃波に関しては殆どその例を聞かぬので、筆者の実施した測定法および結果を報告して御批判を願う次第である。

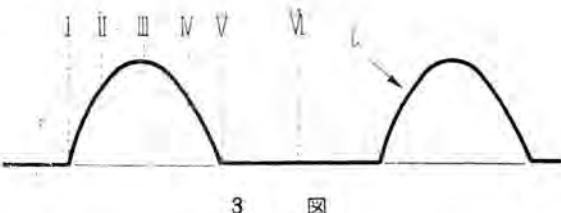
測定法は単位電流を流入する第二京大法⁽²⁾なる京大林教授の提唱しておられるインピーダンス測定法によるものであり、衝撃電圧発生器および单極引オシログラフを用いて測定した。本法によると電弧の如き非直線的特性を有するものに特定の一定電流を流入して、その個々の場合の状態を検討できる点に利点があり、衝撃波印加の位相も任意に調整できる。

測定は過渡現象直視装置に用いている TX-920 のみについて実施したが、サイラトロンの種類により変化あるのはもちろんであり、さらに機会を見て測定を進めたい考えである。筆者の目的は過渡現象直視装置の放電間隙としてサイラトロンを用いる場合の現象を解明するのであるが、さらに本測定法は電弧の特性を解明する基になるのではないかと思考する次第である。





2 図



3 図

TX-920 に常時流れている電流の大きさも変化した。

そして開閉器 S_1 を標準抵抗側および被測定回路側に倒した場合のその点の電圧を単掃引オシログラフにて測定し、しかも S_1 の開閉により変圧器側のみの場合およびサイラトロンが入った場合につき測定し、両者のインピーダンスの分離をはかつた。

次に衝撃波印加の位相を 3 図に示す如く I, II, III, IV, V, VI とし、I は電流が流れ始める所、II は電流最大の所、V が電流が丁度流れ終つてまだ残留電荷が残つている所、VI は全然残留電荷の残つておらぬ所とした。なお R および γ 等の変化による測定ケースを 1 表に示す。TX-920 の温度は大略 50°C~70°C の間であつた。

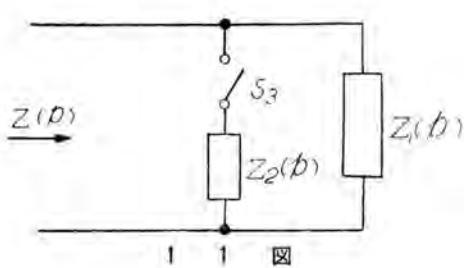
すなわちサイラトロンの管壁の温度は大体一定値に達した所で測定し、かつ i_{max} すなわちサイラトロンに常時流しておく電流の最大値は 2.2 A~0.018 A となり、サイラトロンの動作の安定な所より始まり不安定部分にまで及び、かつ流入単位電流も 1.5 A~0.15 A の間のものを流入して、常時流れている電流より小なるもの、匹敵するものあるいは大なるものを流入して検討した。それぞれの測定オシログラムは 1 表記入の図番に示す。

1 表

	$R_{k\Omega}$	流入単位電流 $i_{max}=2.2$ A	$\gamma=180\Omega$	$\gamma=420\Omega$	$\gamma=1,020\Omega$	$\gamma=2.5 k\Omega$	$\gamma=5 k\Omega$	$\gamma=23 k\Omega$	$\gamma=23 k\Omega$
	(A)								
極性正	6.67	1.5	○	○					
	17.7	0.564	○	○	○				
	33.4	0.3	○	○	○	○	○		
	66.7	0.15	○	○	○	○	○	○	○
極性負	6.67	1.5	○	○					
	17.7	0.564	○	○	○				
	33.4	0.3	○	○	○				
	66.7	0.15	○	○	○	○	○	○	○
オシログラム図番	4 図	5 図	6 図	7 図	8 図	9 図	10 国		
サイラトロン TX-920 温度	79°C~77°C	70°C~60°C	63°C~60°C	58°C~52°C	60°C~58°C	60°C~57°C	50°C~49°C		

注 1. ○印は測定したことを示す 2. i_{max} はサイラトロンを常時流れる電流の最大値

3. 各場合につき位相は I, II, III, IV, V, VI および変圧器側につき測定す。



11 国

また本測定においてサイラトロン自体のインピーダンスを分離する方策としては 11 国に示す如く S_3 開いた場合のインピーダンス $Z_1(p)$ を変圧器側のインピーダンスとして S_3 を閉じてサイラトロンのインピーダンス $Z_2(p)$ を並列に挿入した場合の合成インピーダンスを $Z(p)$ とすると

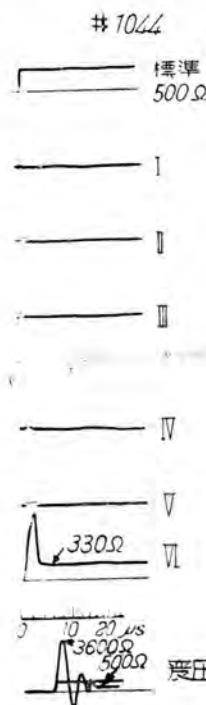
$$Z(p) = \frac{Z_1(p) \cdot Z_2(p)}{Z_1(p) + Z_2(p)}$$

となり $Z(p)$ および $Z_1(p)$ は測定されるのであるから

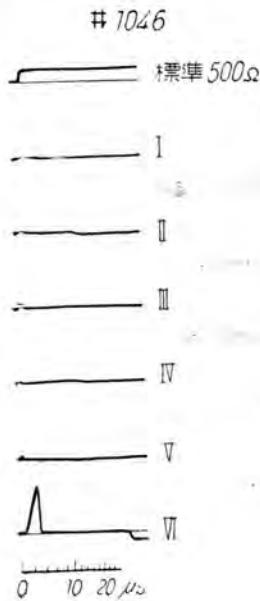
$$Z_2(p) = \frac{Z(p) \cdot Z_1(p)}{Z_1(p) - Z(p)}$$

より $Z_2(p)$ を求めうるのである。この方針にて測定を実施したのである。

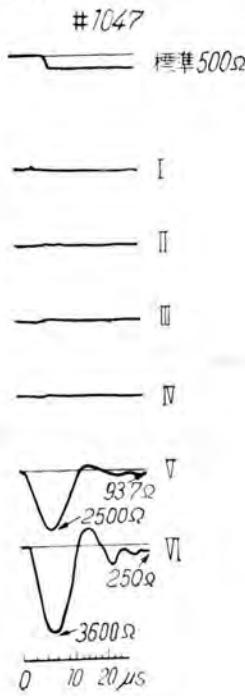
(イ) 極性正
(i) $R=177\text{K}\Omega \approx 180\Omega$



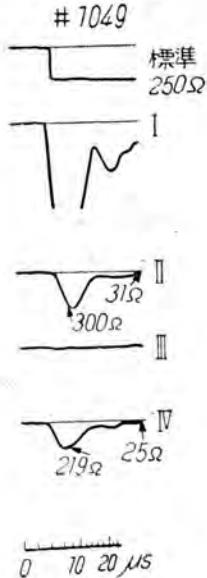
極性正
(ii) $R=334\text{K}\Omega \approx 180\Omega$



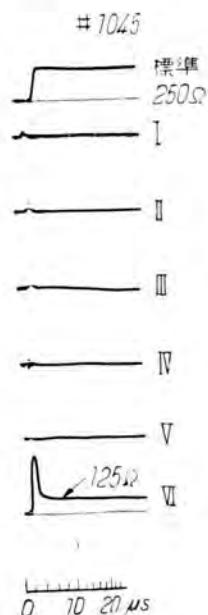
(ロ) 極性負
(i) $R=334\text{K}\Omega \approx 180\Omega$



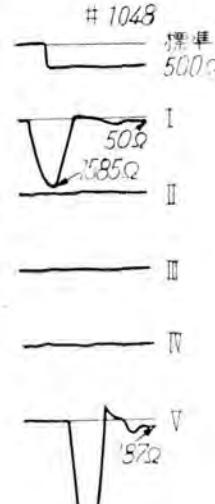
極性負
(iii) $R=667\text{K}\Omega \approx 180\Omega$

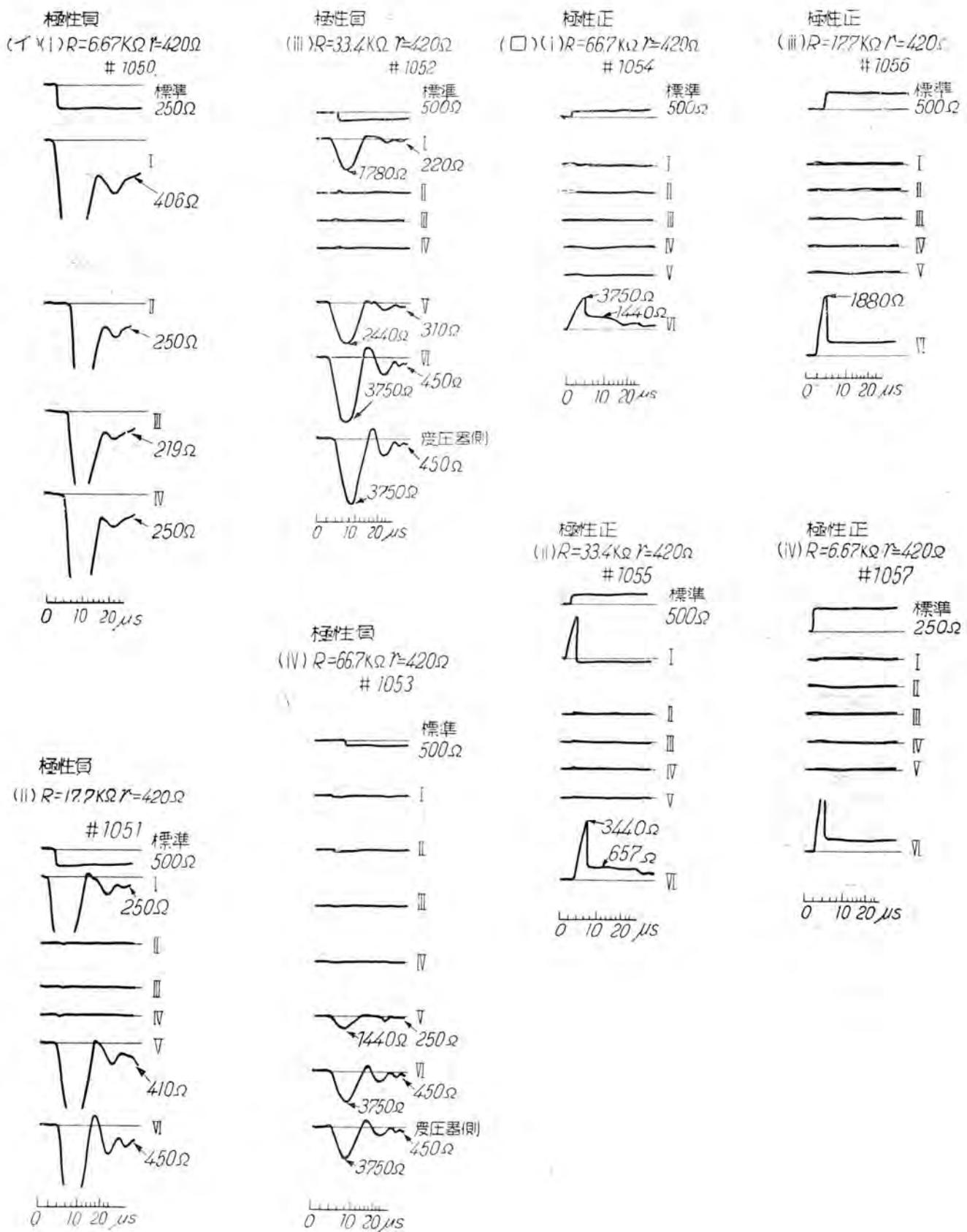


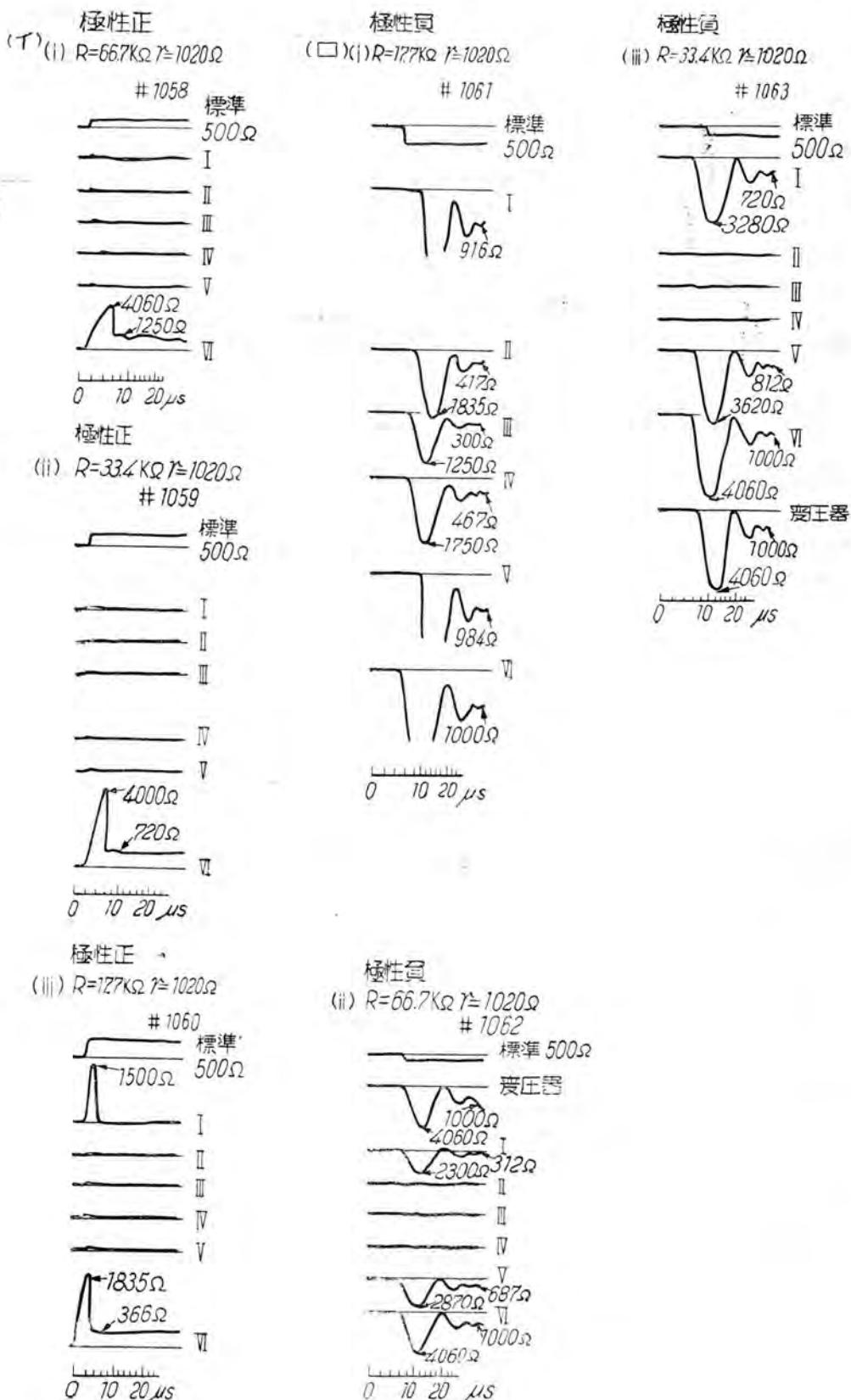
極性正
(ii) $R=667\text{K}\Omega \approx 180\Omega$

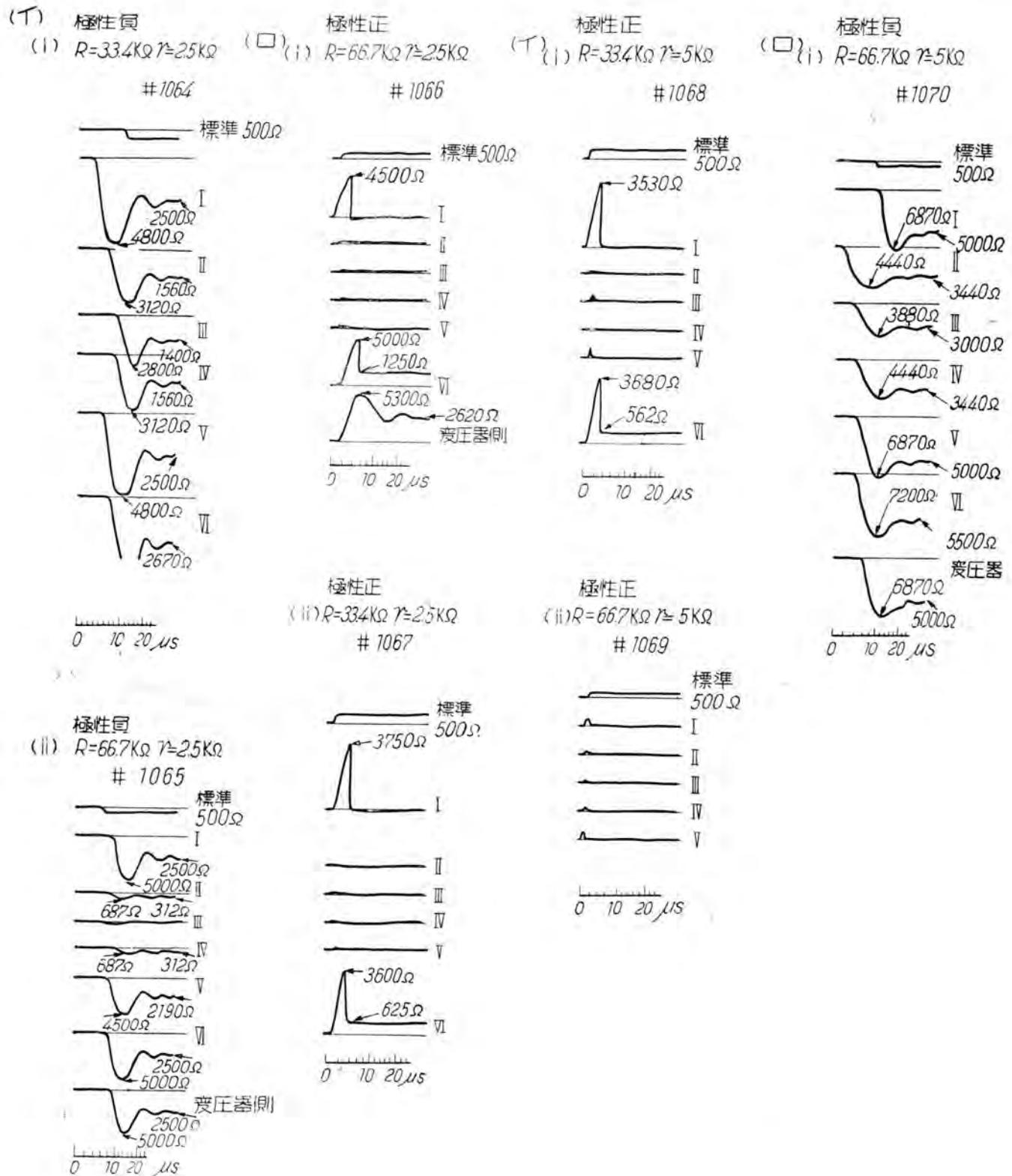


極性負
(ii) $R=177\text{K}\Omega \approx 180\Omega$







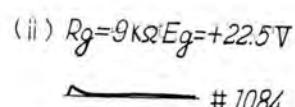
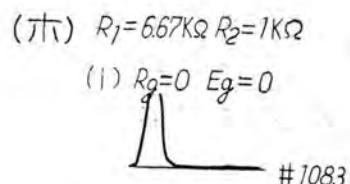
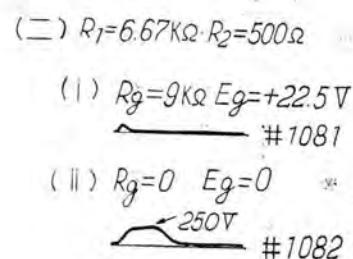
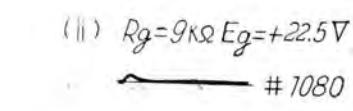
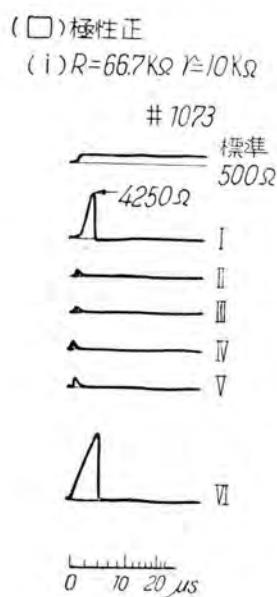
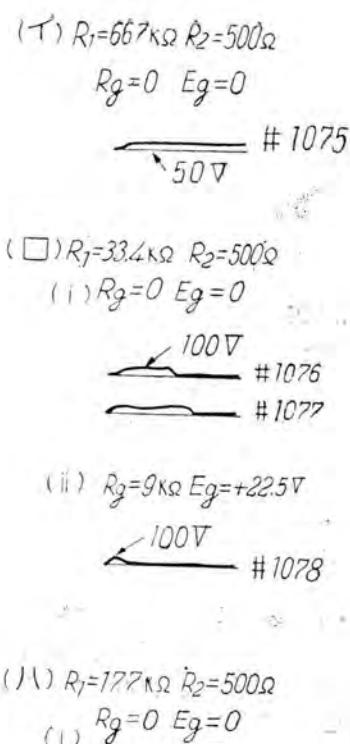
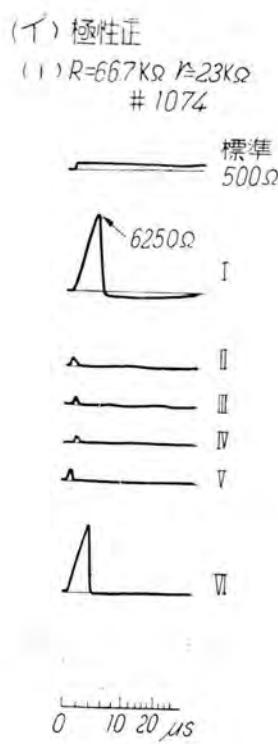
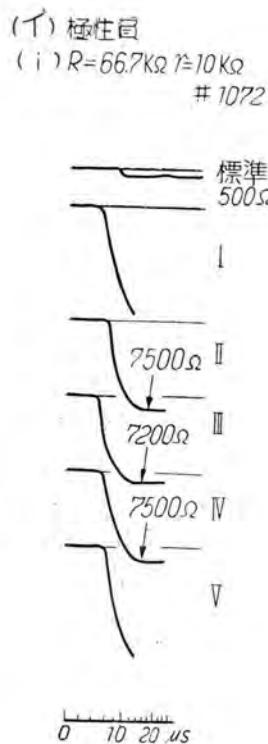


7

図

8

図



9 図

10 図

12 図

2 表

	(イ)	(ロ) (i)	(ロ) (ii)	(ハ) (i)	(ハ) (ii)	(ニ) (i)	(ニ) (ii)	(ホ) (i)	(ホ) (ii)
R_1 (kΩ)	66.7	33.4	33.4	7.7	17.7	6.67	6.67	6.67	6.67
R_2 (kΩ)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.	1.0
R_g (kΩ)	0	0	9.0	0	9.	9.0	0	0	9.0
E_J (V)	0	0	+22.5	0	+22.5	+22.5	0	0	+22.5

1. TX-920 の放電開始時間測定

2 図に示す回路で衝撃電圧発生器の R_1 および R_2 を変化してサイラトロンに印加する電圧波高を変化し、かつ R_g および E_J を変化して放電開始時間を測定した。測定ケースは 2 表 に示す。

測定オシログラムは 12 図に示す。

3. 測定結果に対する考察

ア. 電弧のインピーダンスに関する測定

4 図ないし 10 図に各波形についてその相当するインピーダンスの値を記入したのであるが、正の単位電流を流入した場合と負の単位電流を流入した場合は非常に異なる状態を呈している。すなわち正極性印加の場合には I, V, VI 等の位相の場合を除いて他は非常にインピーダン

スが低い。しかし負極性印加の場合はその流入する単位電流の大きさにより相当に異なる波形となつてゐる。VI 位相を見るとその波形は変圧器側のみの場合（すなわち S_3 開の場合）の波形と同一であり、サイラトロンに残留電荷全然なく流入した単位電流は全部変圧器側に流入したことと示すものであり、サイラトロンのインピーダンスは ∞ ということになる。同様にして I, II, III, IV, V 等においてサイラトロン側に分流した電流はその測定波と変圧器側のみの波形とよりその瞬時値の比より求めうるのである。まず解析の手始めとして負極性印加の場合につき波頭の約 $5 \mu s$ の所と波尾の約 $50 \mu s$ の所の瞬時値の比よりサイラトロンに流入した電流の大きさを求めてみた。その結果を 3 表 に示す。

3 表 (1)

	r (n)	R (kΩ)	I (A)	i_{max} (A)	位 相	波頭 約 $5 \mu s$			波尾 約 $50 \mu s$					
						変圧器側 Z_1 (n)	サイラトロン Z_2 (n)	I_2 (A)	変圧器側 Z_1 (n)	サイラトロン Z_2 (n)	I_2 (A)			
4 図	(ロ) (i)	180	33.4	0.3	2.2	V	3,600	8,180	0.0916	20	150	0.1875		
	(ロ) (ii)	✓	17.7	0.564	✓	I	✓	2,830	0.318	✓	50	0.451		
	(ロ) (iii)	✓	✓	✓	✓	V	✓	✓	✓	✓	503	0.187		
	(イ) (i)	420	6.67	1.5	0.98	I	✓	327	1.375	✓	35.4	1.314		
5 図	(ロ) (i)	✓	✓	✓	✓	IV	✓	233	1.41	✓	27.8	1.35		
	(ロ) (ii)	✓	✓	✓	✓	II 及 IV	✓	✓	✓	✓	450	4,100	0.146	
	(ロ) (iii)	✓	✓	✓	✓	III	✓	✓	✓	✓	561	0.667		
	(ロ) (iv)	✓	✓	✓	✓	V	✓	✓	✓	✓	426	0.78		
6 図	(ロ) (i)	1,020	17.7	0.546	0.39	I	✓	✓	✓	✓	✓	1,000	10,900	0.047
	(ロ) (ii)	✓	✓	✓	✓	II	4,060	3,310	0.3	✓	751	0.319		
	(ロ) (iii)	✓	✓	✓	✓	III	✓	1,810	0.378	✓	429	0.382		
	(ロ) (iv)	✓	✓	✓	✓	IV	✓	3,030	0.31	✓	874	0.291		

3 表 (2)

		<i>r</i>	<i>R</i>	<i>I</i>	<i>i_{max}</i>	位相	波頭 約 5 μs			波尾 約 50 μs		
		(Ω)	(kΩ)	(A)	(A)		変圧器側 <i>Z₁</i> (Ω)	サイラトロン <i>Z₂</i> (Ω)	<i>I₂</i> (A)	変圧器側 <i>Z₁</i> (Ω)	サイラトロン <i>Z₂</i> (Ω)	<i>I₂</i> (A)
	(iii)	η	33.4	0.3	η	I	η	17,050	0.058	η	2,570	0.034
		1,020	33.4	0.3	0.39	V	4,060	3,3400	0.033	1,000	4,320	0.056
7 図	(イ) (i)	2,500	33.4	0.3	0.15	I 及 V	5,000	120,000	0.012			
		η	η	η	η	II 及 IV	η	8,300	0.113	2,500	4,150	0.113
	(ii)	η	η	η	η	III	η	6,360	0.132	η	3,180	0.132
		η	66.7	0.15	η	II 及 IV	η	7.5	0.1295	η	356	0.1313
8 図	(ロ) (i)	5,000	66.7	0.15	0.071	II 及 IV	6,874	12,50	0.053	5,000	11,000	0.047
		η	η	η	η	III	η	8,900	0.0653	η	7,500	0.06
	9 図	(イ) (i)	10,000	66.7	η	0.038	II 及 IV	10,000	30,000	0.0375		
		η	η	η	η	III	η	25,700	0.042			

表中 I は流入単位電流, *i_{max}* はサイラトロンに常時流しておくる電流の最大値, *Z₁* は変圧器側, *Z₂* はサイラトロンのインピーダンス, *I₂* はサイラトロンに分流する電流とする. そして *Z* を合成インピーダンスとして各測定オシロより求めると

$$Z_2 = \frac{Z \cdot Z_1}{Z_1 - Z}$$

$$I_2 = I \times \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

となり上記の表を求めたのである.

3 表を見ると負性電流はその印加瞬時にサイラトロンに流れている電流だけサイラトロンに吸収されることがよく判る. (*i_{max}* は最大値であり, 位相によりサイラトロンに流れている電流は異なる) また波頭波尾共に多少の差はあるが大体同一の電流値を吸収している.

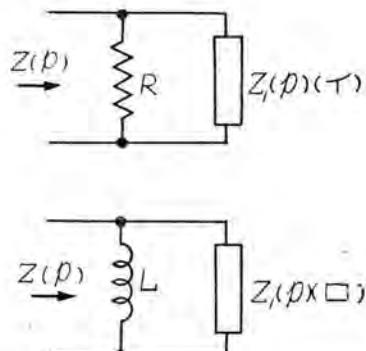
今回の測定では位相 I および V 等において正確にその位置を合わせず I は電流が流れ始めのどの辺にあたるかあるいは V は電流が切れてよりどの辺にあたるかの詳細な検討はしなかつたが, 本法にて残留電荷の残る時間およびその大きさに関しても測定できるものと信する.

つぎにサイラトロン自体のインピーダンスすなわち等価回路を求める問題であるが, 各波形を検討すると電弧の非直線的性質を遺憾なく発揮しており, 印加電流の極性および *i_{max}* および *I* の大きさによりそれぞれ異なるインピーダンスを示している. すなわちこれらを一々前述の

$$Z_2(p) = \frac{Z(p) \cdot Z_1(p)}{Z_1(p) - Z(p)}$$

にて分離するのは労多しくして, 功少しの例えにもれないで, 逆に *Z₁(p)* なる変圧器側のインピーダンスに並列に *Z₂(p)* として純抵抗 *R* あるいはインダクタンス

サイラトロン電弧のインピーダンスに関する一測定法・安藤



1 3 図

L が入った場合の *Z(p)* の変化を求めてみて電弧インピーダンスの大略の見当をつけた. 電極間容量は無視して差支えないので容量に対する計算はなされなかつた. すなわち 13 図につき計算を行つたのである.

Z₁(p) としては 4 図 (イ) (i) の変圧器側の波形を用いて簡単に次式の如く表わした. 式中 *t* は μs 単位で表わした.

$$Z_1(t) - \eta Z(p) = 5000 \cdot \varepsilon^{-0.093t} \sin 0.35t + 250 \Omega$$

$$Z_1(p) = \frac{250 p^2 + 1796.5 p + 32.8}{p^2 + 0.186 p + 0.131}$$

これを用いて各場合を検討する

(1) *R*=100 Ω の場合

$$Z(p) = \frac{100 \cdot (250 p^2 + 1796.5 p + 32.8)}{250 p^2 + 1796.5 p + 32.8 + 100(p^2 + 0.186 p + 0.131)}$$

$$\therefore Z(t) = 71.5 + 26.4 \varepsilon^{-0.03t} - 27.4 \varepsilon^{-5.16t} \Omega$$

(2) *R*=1,000 Ω の場合

$$Z(t) = 200 + 792 \varepsilon^{-0.088t} - 792 \varepsilon^{-1.5t} \Omega$$

(3) *R*=5,000 Ω の場合

$$Z(t) = 238 + 6,970 e^{-0.26t} \sin 0.252 t \Omega$$

(4) $R=10,000 \Omega$ の場合

$$Z(t) = 244 + 6,100 e^{-0.178t} \sin 0.2725 t \Omega$$

ので μH で示す値を代入してつぎの場合を求めた。となり (1.)~(4) の示す値を 14 図に示す。つぎにまた L を挿入した場合として t が μs 単位で表わしてあるので μH で示す値を代入してつぎの場合を求めた。

(5) $L=1,000 \mu H=(1 mH)$ の場合

$$Z(t) = 1.22 e^{-0.017t} + 1,295 e^{-0.2095t} \cos(1.37t - 1.38) \Omega$$

(6) $L=10,000 \mu H=(10 mH)$ の場合

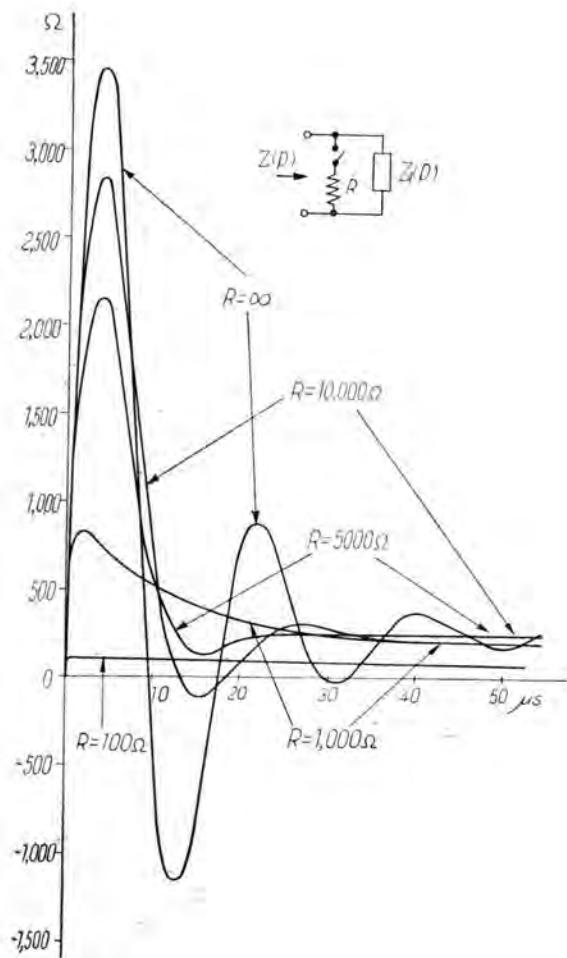
$$Z(t) = 45 e^{-0.0106t} + 3,230 e^{-0.1002t} \cos(0.547t - 1.51) \Omega$$

(7) $L=100 \mu H=(0.1 mH)$ の場合

$$Z(t) = 0.0074 e^{-0.0182t} + 440 e^{-1.334t} \cos(4.025t - 0.968) \Omega$$

を得てこの結果を 15 図に示す。

この 14 図および 15 図と 4 図 (ロ) (イ) (ii) (iii) の波形を比較すると 14 図に示す純抵抗を入れて計算した方が大体近い値を示している。しかしこれも波尾の方で合わなくななり (たとえば (ロ) (イ) V および (ii) I, V の波形で約 $20 \mu s$ 附近は正方向に振動した時に通電したので問題外であるが、さらに波尾の所でインピーダンス



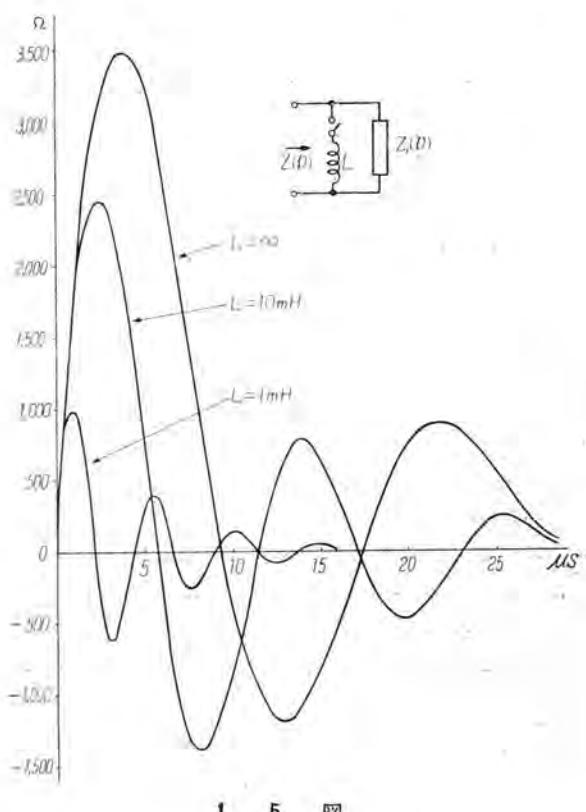
14 図

スが低くなっている) また (iii) の II および IV ではインピーダンスの値よりいつて 14 図では非振動的になるはずなのに振動が入っている。

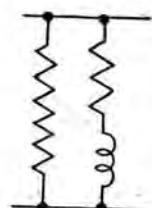
すなわち電弧のインピーダンスは純インダクタンスで表わせないとどうするに純抵抗でも代表できず結局等価的には 16 図に示す如く抵抗と抵抗インダクタンス直列のものが並列に接続されたものになると考へられる。これらの個々の構成要素を分類するのは電弧の非直線特性のためにあまり有用でないと思われる所以測定波形にて判断してもらうこととする。

電弧のインピーダンスの測定としては逆弧試験の一方法⁽³⁾として渡辺、高橋両氏が報告されている文中において 6 A—タンガーアンペア管の電弧は $1.8 mH$ もあるとしてあるが、(逆弧の確率より求めてある)今回の測定ではインダクタンスというよりむしろ抵抗に近い結果を得ている。

つぎにさらに各場合につき詳細な検討を進めてみる。4 図に関し、正極性印加の場合は I~V の位相共にい



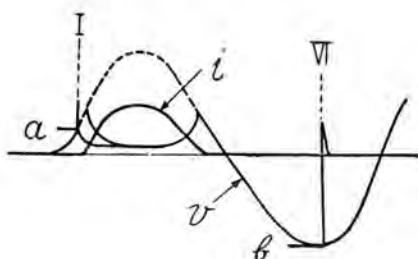
15 図



16 図

それも非常にインピーダンスが低く 50Ω 以下で零に近いことを示す。

位相Ⅶに関しては電圧印加後約 $3\mu s$ 附近で通電する。通電後の電圧は(イ)(iii)Ⅶは立上りが出ておらぬので判らぬが(イ)(ii)では約 $200V$ の電圧を示している。(インピーダンスとしてはそれぞれ異なる)これは一見暈光放電等の場合の不安定時の電弧電圧を示す如く見えるのであるが、5図(ロ)(i)(ii)(iii)(iv)、6図(イ)(i)(ii)(iii)、7図(ロ)(i)(ii)、8図(i)、9図(ロ)(i)および10図(イ)(i)をそれぞれⅠおよびⅦの位相につき対比するとⅠ位相では通電後は立上りの零線より下に下り、Ⅶ位相では立上りの零線より立上方約 $200V$ 程度の所でとまる。これは結局零線の電源電圧による移動のために起る現象でありⅠ位相は立上りは+側の a 点より始まり放電後は電弧電圧まで下るために立上りの零線以下となり、Ⅶ位相では電源電圧は-であるから b より始まり電源電圧と印加電圧との差



17図

にて正になる電圧だけ吸収されて零電圧になるためである。すなわち放電後はその時の電源電圧だけ上方に昇つたように示されることになる。(17図参照)また実際に流入する単位電流は $0.15A \sim 1.5A$ の範囲であり通電後はこのほとんど全部がサイラトロンを通るのであるから暈光放電の如き現象でなく電弧に相当する電流を流入することになり不安定部でなくなるはずである。つぎに4図(iii)、5図(ロ)(i)(iii)および6図(イ)(i)のⅦ位相の波形を見るとこれらは通電後一定の電圧に保持されず電圧に変動を生じ、次第に低くなり、振動分も入つて来ている。これは通電後印加波による電圧が低くなり次第に電源側負電圧に落付く過程を示すのではないかと思われる次第である。

また流入電流すなわち印加電圧により放電開始時間が多少異つているのも当然である。すなわちこのような試験により全然残留イオンのない場合等における放電開始の電圧、時間を測定できることを示す。

負性印加の場合はサイラトロンに常時流れていたる電流より小なる電流を流入した場合はインピーダンスは非常に低い。しかし常時流れていたる電流より大なる電流を流入した場合は常時流れていたる電流に等しい大きさだけサイラトロンに分流する。すなわち常時流れていたる電流お

サイラトロン電弧のインピーダンスに関する一測定法・安藤

および流入単位電流の大きさによりインピーダンスが異なるのは当然であり、3表に示したとおりであるので詳細は説明はしない。

5図、6図および7図において正性および負性の単位電流流入の場合の変化は上記のことと全くどうようである。ここでは正極性印加の場合のⅠとⅦ位相とをそれぞれ比較するとⅠよりⅦは遙かにインピーダンス的には低いことになる。これは位相を正確に合わせる点に注意を払わなかつたためにⅠはまだ点弧しておらぬ時に衝撃波を印加し、Ⅶはまだ電弧が切れぬ内に印加したことになるかもしれないが、Ⅶの方が残留電荷の影響があるという点は見のがせないと思う。

8図、9図および10図においても前述と同一であるが、ここにおいて異つてくる所は、10図(イ)(i)においてはⅡ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅶ位相において波頭部に明らかに突起を生じ、9図(ロ)(i)のⅦおよび8図(イ)(i)Ⅶ(イ)(ii)Ⅶ等もどうようである。これは10図より判断すると常時流れているサイラトロン電流の最大値は $18mH$ であり、この程度になるとサイラトロンは不安定部に属していることが判る。

1. TX-920 の放電開始時間測定

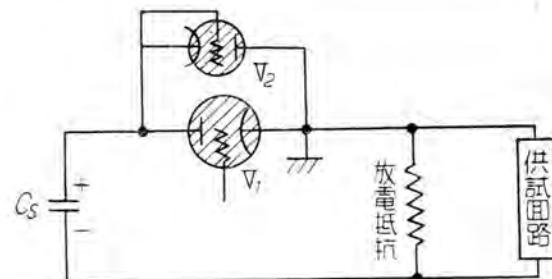
2図に説明した如くTX-920に正電圧を印加して放電開始時間を測定したのであるが、

- (i) $R_g=0$ $E_g=0$ すなわち陰極と格子を直接接続した場合は12図に示す如く放電に相当の遅れがある。

4表に示す如くである。

4 表

印加電圧(V)	放電時間(μs)
50	—
100	10~14
150	10
200	8
900 以上	4



18図

(ii) $Rg=9\text{ k}\Omega$, $Eg=+22.5\text{ V}$ の場合は放電開始時間はいずれも $2\mu\text{s}$ 程度に減じている。

このことは 18 図の如く、過渡現象直視装置において逆性の衝撃電流を吸收するためにサイラトロンを逆並列に 2 個接続した場合に、 V_2 の格子と陰極とと一緒に結んだものは放電時間の遅れのために、逆電流を不連続部なく吸收することはできず、格子を陰極より正にしておいても $2\mu\text{s}$ 程度の時間の遅れがあり、かつ逆電流の吸收を必要とする時はサイラトロンにかかる電圧は低く、かつ徐々にかかるのでありうまく吸收できぬことを示すのである。実際 V_2 の有無による影響はほとんどない。しかるに放電抵抗値を適当に選び、放電抵抗を流れる電流をサイラトロンの安定部分におくと、放電時サイラトロンを流れる電流はつねに安定部分にあり供試回路より帰る正性あるいは逆性の衝撃電流により不安定部分に入ることなく、サイラトロン V_1 のインピーダンスは低く短絡状態に保つことができる。しかし放電の終りで電流がなくなる時はもちろん異なる) この場合は逆性の衝撃電流吸收のために入れる V_2 の有無による差異が表われて來ぬわけであり、今までわれわれが過渡現象直視装置を用いる時に V_2 の有無がほとんど影響しなかつたのも理解できるのである。(もちろん逆電流を吸收できない場合も差異が表われぬ) しかし放電抵抗が著しく大で供試回路よりの正性あるいは逆性の衝撃電流によりサイラトロンを流れる電流が変動して不安定部に入りあるいは零になり電弧が切れる場合は正性あるいは逆性の衝撃電流によりインピーダンスが異り不可解な波形を生じサイラトロンが開放となつた如き状態となる。また放電抵抗として適当な値を選んだとしても主コンデンサの容量が少くて電流が早く零になる場合にはそれ以後はサイラトロンは開放状態になるのも当然である。すなわちサイラトロンを通る電流が正負と変化する如き振動電流を流す必要がある場合は放電間隙の代用として用いられぬことがわかるのであるが、衝撃電圧発生用の放電間隙として用いる時は放電抵抗を適当に選べばつねにサイラトロンを短絡の状態に用いられるわけで、逆並列に入れる V_2 の必要はないのである。またその方が得策である。

4. 結 言

以上 TX-920 につき電弧自体のインピーダンスの測定法および特性につき種々検討を加え、本測定法の有用性を証明し、かつ直視装置に用いる逆並列に接続するサイラトロンの効果に言及したのであるが要約すると、

- a. サイラトロンは常時流れている電流より小なる衝撃電流に関しては正性および負性共にインピーダンスは非常に低い。(電弧の不安定部分を除く)
- b. 常時流れている電流より大なる衝撃電流に関しては正性の場合は、インピーダンスは非常に低く、負性の場合はその印加電流の大きさにより異なるが大なるインピーダンスとなる。(電弧の不安定部分を除く)
- c. TX-920 では陽極電流約 18 mA 以下では不安定となる。
- d. 電弧のインピーダンスは純抵抗に近く、16図に示す如き等価回路にて表わしうるものである。
- e. 本測定によりサイラトロンの放電開始の電圧、時間の測定あるいは残留電荷の影響存続時間等も測定でき、かつ印加衝撃波の電圧を高めれば逆弧に関する測定ももちろんできるのである。
- f. 過渡現象直視装置の放電間隙として用いる場合は放電抵抗として安定電流を流す如き値を用いるとよい。
- g. 直視装置の主コンデンサの容量が小で電弧が長く続かぬ場合はサイラトロンは開放の状態となる。この時は主コンデンサの容量を増す必要がある。しかし放電間隙を通して振動電流を流す必要がある場合は火花間隙の代用としては用いられず不適当である。
- h. 逆並列に接続するサイラトロンの効果は認められず必要ないものと思う。主コンデンサの容量過少の場合および不安定部分で動作させる場合の補償として逆並列のサイラトロンを格子に正偏倚を与えて接続し振動電圧が高くてうまく動作したとしても約 $2\mu\text{s}$ 程度の不連続は避けられない。

最後に種々御指導をいただいた木村本社電力技術課長横須賀研究所電気課長に感謝すると共に、実験を手伝つた川根氏に感謝する。

参 考 文 献

- (1) 格子消弧サイラトロン 額田 P.66.
- (2) 林 電評 昭和18年12月
- (3) 渡辺、高橋 電学誌 昭和13年10月

非定常状態法による熱伝導率測定

熱伝導率測定において汎く行われる定常状態法は静的熱伝導率の測定にはなはだ有效であり、精度の見地からも一般に優れた方法であるが、測定に長時間を要することなどの欠点がある。ここでは非定常な熱流を利用して熱伝導率を測定する方法を導入し、この方法によって2,3の断熱材料の熱拡散率および熱伝導率が含水率によつて変化するありさまを測定した結果について述べた。

尾 島 學 二
研 究 所 長 沼 辰 二 郎
明 石 克 寛

1. 緒 言

従来多くの熱伝導率測定はほとんど定常状態法、すなわち試料を通じて流れる熱流が平衡状態において測定する方法によつて行われた。しかるに断熱体の使用の実際は多く不平衡状態であるから、使用状態における断熱体の問題を解明するには熱流を瞬間的に測定することが必要になつてくる。この報告では円筒形試料の表面に瞬間に一定の温度差を与えた場合、あるいは孤立温度波を印加した場合の熱移動から熱拡散率を測定する方法、および若干の測定結果について報告する。

従来の定常状態法では試料を流れる熱流が平衡状態に達するまでにかなり長時間を要するが、ここに述べる非定常状態法によれば、たとえば円筒形試料の表面に孤立温度波を印加して、これが中心に到達するまでの時間の遅れ、あるいは振幅の減少を測定してこれから熱拡散率 κ を求めるのであるから、測定時間を著るしく短縮することができる。また測定時間が短くてすむので含水状態の試料でも熱流に伴う水分の移動は非常に少く、したがつてこの方法は含水率による断熱体の熱常数の変化などを調べるのにつごうがよい。

2. 測 定 原 理

ここに述べる非定常状態法は孤立温度波を円筒形試料の表面に印加して熱伝導率を測定する方法である。円筒の外表面に一定の温度差を有する温度波または孤立矩形温度波を印加すると、この温度波が表面より中心に向つて進むにしたがつて印加波形の波高値は減衰していく。その減衰の割合または波高値が中心に到達するまでの時間の遅れを測定すれば熱拡散率（または温度伝導率） κ を知りうる。

しかして

$$\kappa = \lambda/c \quad (\text{small}) \quad \rho \quad \dots \dots \dots \quad (2.1)$$

の関係が成立するから、別に比熱 c および密度 ρ を測定すれば、熱伝導率 κ を決定することができる。

A. 半径 R なる無限円筒の表面温度が単位温度に保たれ、初温度が零なるときの熱伝導を考える。

この場合の基礎方程式は、 $0 < r < R$, $t > 0$ に対して

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \kappa \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) \quad \dots \dots \dots \quad (2.2)$$

であつて、

$$t > 0 \text{ のとき}, \quad r = R \quad \text{において} \quad \theta = 1 \quad \dots \dots \dots \quad (2.3)$$

$$0 < r < R \text{ のとき}, \quad t = 0 \quad \text{において} \quad \theta = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (2.4)$$

となる。すなわち (2.2) 式を (2.3) および (2.4) 式なる条件のもとに解けば考えている熱伝導に関する解が求められる、ここに κ は熱拡散率を表わす、この解はつきの如く求められる⁽¹⁾。

$$\theta = 1 + \frac{2}{R} \sum_{s=1}^{\infty} e^{-\kappa \alpha_s^2 t} \frac{J_0(\alpha_s r)}{\alpha_s J_0'(\alpha_s R)} \quad \dots \dots \dots \quad (2.5)$$

ただし、 $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ は $J_0(\alpha_s R) = 0$ の根である。

いま、 $J_0(\beta) = 0$ の根を β_s とすれば

$$\alpha_s = \beta_s / R \quad \dots \dots \dots \quad (2.6)$$

したがつて (2.5) 式は

$$\theta = 1 + 2 \sum_{s=1}^{\infty} e^{-\frac{\kappa t}{R^2} \beta_s^2} \frac{J_0(\beta_s \frac{r}{R})}{\beta_s J_0'(\beta_s)} \quad \dots \dots \dots \quad (2.7)$$

と書き直すことができる。

円筒中心における温度 θ_0 は上式において $r = 0$ とおき

$$\theta = 1 + 2 \sum_{s=1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{\kappa t}{R^2} \beta_s^2}}{\beta_s J_0'(\beta_s)} \quad \dots \dots \dots \quad (2.8)$$

すなわち θ_0 は $\kappa t / R^2$ の函数として定まり、 $\kappa t / R^2$ が同一であれば中心温度 θ_0 はすべて同じ値をとることになる。

(2.8)式より中心温度 θ_0 と $\kappa t / R^2$ との関係をあらかじめ計算しておくと、 κ が既知の試料と比較して未知の

κ を決定することができる。すなわち κ が既知の試料に $t=1$ なる温度波を印加し、 θ_0 と t との曲線をオシロにてつて求める。つぎに κ が未知の試料について同様な曲線を求めるとき、この 2 個の曲線においてたとえば $\theta_0=0.5$ となるに要する時間をそれぞれ t_1, t_2 とすれば R の値が同じであるから

$$\kappa_1 t_1 = \kappa_2 t_2$$

$$\therefore \kappa_2 = \kappa_1 \frac{t_1}{t_2} \quad \dots \dots \dots (2.9)$$

κ_1 は既知であるから t_1/t_2 の比を知れば κ_2 を求めることができる。

4. 無限円筒の表面に高さ 1、継続時間 T なる矩形温度波を印加し、初温が零なる場合の熱伝導を考える。

円筒の表面に矩形波

$$\varphi(t) = \begin{cases} 1 & : 0 < t < T \\ 0 & : t > T \end{cases} \quad \dots \dots \dots (2.10)$$

を印加する場合の解は Du' a e' の定理を用いて (2.5) 式より直ちに求めることができます。すなわち (2.5) 式の解を $F(r, t)$ とすればこの場合の解は

$$\theta = \int_0^t \varphi(\lambda) \frac{\partial}{\partial t} F(r, t-\lambda) d\lambda \quad \dots \dots \dots (2.11)$$

$t > T$ において (2.11) 式はつきのようになる。

$$\theta = \frac{2}{R} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{J_0(\alpha_s r)}{\alpha_s J_0'(\alpha_s R)} \left\{ e^{-\kappa \alpha_s^2 t} - e^{-\kappa \alpha_s^2 (t-T)} \right\} \quad \dots \dots \dots (2.12)$$

円筒の中心における温度 θ_0 は $r=0$ において、

$$\theta_0 = \frac{2}{R} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{e^{-\kappa \alpha_s^2 t} - e^{-\kappa \alpha_s^2 (t-T)}}{\alpha_s J_0'(\alpha_s R)} \quad \dots \dots \dots (2.13)$$

$$\text{いま } F_0 = \kappa T / R^2 \quad \dots \dots \dots (2.14)$$

なる無次元の数 F_0 を導入し、かつ (2.6) 式を用いて (2.13) 式を書き直すと、

$$\theta_0 = 2 \sum_{s=1}^{\infty} \frac{e^{-F_0 \beta_s^2 t}}{\beta_s} - \frac{e^{-F_0 \beta_s^2 (t-T)}}{\beta_s} \quad \dots \dots \dots (2.15)$$

となる。この式は F_0 と t/T とのみの函数であるから

$$\theta_0 = f_1(F_0, \frac{t}{T}) \quad \dots \dots \dots (2.16)$$

と表わすことができる。中心温度が最大になるまでの時間を t_m とすれば

$$\frac{d\theta_0}{dt} = \frac{1}{T} f_1'(F_0, \frac{t}{T})$$

であるから

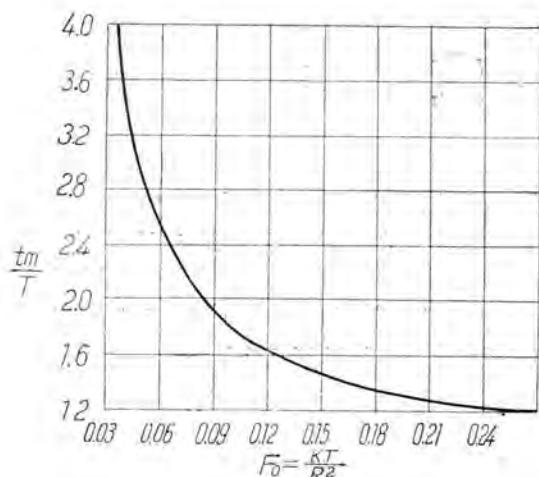
$$f_1'(F_0, \frac{t_m}{T}) = 0$$

したがつて t_m/T は F_0 だけの函数として求めうることがわかる。

$$t_m/T = f_2(F_0) \quad \dots \dots \dots (2.17)$$

t_m/T と F_0 との関係を 1 図に示す。

中心温度の最大値 θ_{0max} は (2.16) 式の t/T に (2.17) 式を代入すれば求められる。これより θ_{0max} もまた F_0 の函数として次の形に表わすことができる。

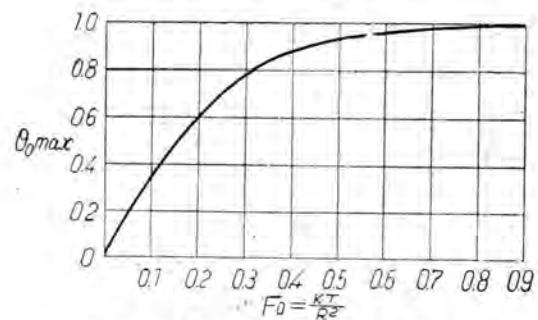


1 図 中心温度が最大になるまでの時間と F_0 との関係

$$\theta_{0max} = f_3(F_0) \quad \dots \dots \dots (2.18)$$

θ_{0max} と F_0 との関係を 2 図に示す。

(2.17) および (2.18) 式からわかるように、継続時間 T なる矩形温度波を円筒形試料の表面に印加するとき、円筒の中心における温度波が最大値をとるまでの時間を t_m とし、このときの温度の最大値を θ_{0max} とすれば、 t_m/T あるいは θ_{0max} は F_0 のみの函数として表わすことができる。したがつてこれらの関係をあらかじめ

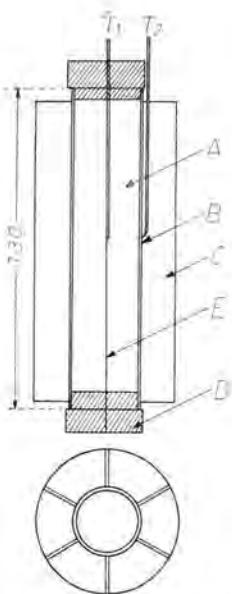


2 図 中心温度最大値と F_0 との関係

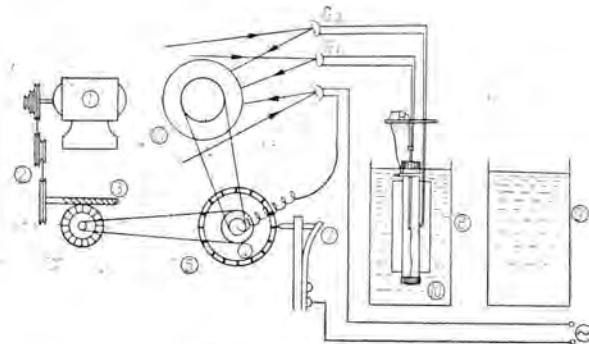
計算しておけば T の値は既知であるから、 t_m あるいは θ_{0max} を測定することにより熱拡散率 κ の値を算出することができる。

3. 測定装置および測定方法

3 図に測定装置の主体を示す。B は銅製の円筒で厚さ 0.25 mm、内径 22 mm、高さ 130 mm である。A は試料を入れる空間である。C は後述するように熱容量に作る誤差を少くするための放熱器で厚さ 0.25 mm、幅 15 mm、高さ 110 mm の銅板で、B の表面に 6 枚、放射状にハンダ付されている。D はコルク栓で、上の栓の中央から中心温度測定用の熱電対 T_1 が出ており、 T_1 を正確に円筒中心におくために下のコルク栓の中央に固定端を有する糸を T_1 の先端に結びつけ、上方からつねに緊張させてある。 T_2 は試料の外側温度測定用の熱電



3 図 測定器主体



4 図 測定装置

対でエンバイヤチューブで絶縁被覆し、接点はワニスで同じく円筒表面に絶縁貼付してある。 T_1, T_2 はいずれも銅—コンスタンタン熱電対で、測定上の感度を増すために数個の熱電対を直列に結んで用いている。コルク栓は水の浸入を防ぐためにワニス処理を施しつつ同じ理由から円筒両端の栓のまわりには機械用のグリースを測定のつど塗布することにした。

4図に測定装置全体の略図を示す。①は小型電動機、②、③および④は減速装置でドラム⑥の回転速度を調節する。⑤はマイカルタ円板の円周上に16個の銅片を埋込んだもので接触子⑦によつて60~の交流を断続し、オシログラムに時間を刻印する。⑩は3図に示した測定器主体で、上方を固定台に取り付けてある。⑧と⑨は温度の異なる2個の恒温槽で矩形温度波をつくるためのものである。熱電対 T_1, T_2 は冷接点(図には示していない)を経て検流計に接続せられ、温度変化は記録用円筒⑥のプロマイド紙に記録せられる。

測定は低温槽⑧のなかに測定器主体を浸して試料が低温槽の水温に等しくなるようにする。つぎに⑧を温湯槽⑨と交換する。⑨に挿入している時間が所期の

継続時間 T に達した瞬間に上と逆の操作を行えば孤立矩形温度波が表面に印加されることになる。このとき、 T_1 および T_2 に流れる電流を検流計 G_1 および G_2 を通じて⑥の円筒上のプロマイド紙に温度波形として記録し、これから中心温度 T_1 の最大値に達するまでの時間 t_m を測定する。プロマイド紙にはさらに⑤、⑦によつて時刻を記録する。回転速度によつて異なるが時間軸の一目盛はこの場合約16.7秒である。 t_m がわかれれば1図からただちにこれに対する F_0 がわかる。さらにこのときの継続時間 T および半径 R がわかつているから(2.14)式から熱拡散率 κ を知ることができる。

試料の含水率測定について簡単に述べると、試料の重さを W 、105°Cの恒温槽で数時間乾燥し、重量変化のなくなったときの重さを W_0 とすると、重量含水率は次式で表わされる。

$$G = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

4. 測定装置に対する考察

ア. 測定容器の熱容量による誤差

(2.8) 式は円筒表面において $t < 0$ のとき $\theta = 1$ なる矩形温度波を印加したときの円筒中心における温度を表わす式である。しかし実際の測定装置においては上述のとおり銅製の円筒を用い、中に試料を充填してこれを冷水に浸して平衡状態に達してのち、これより幾分温度の高い温湯中に T' 秒間入れて矩形波をつくっている。したがつて円筒容器の熱容量のために、正確な矩形温度波ではなく、立上りがある傾斜を有する温度波を表面に印加することになる。

いま銅製円筒容器の質量を m 、比熱を C 、表面積を S 、温度を θ とし、温湯の温度は θ_h で一定であるとする。 Δt 時間に容器の温度が $\Delta\theta$ だけ上昇したとすればつきの方程式が成立する。

$$m C \Delta\theta = h (\theta_h - \theta) S \Delta t \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

ここに h は熱伝達係数で種々の状態量の函数である。

(4.1) 式からただちに、

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{hS}{mC} (\theta_h - \theta) \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

いま $\theta_h - \theta = \text{II}$ $\dots \dots \dots (4.3)$

とおいて(4.2)式を積分すると

$$\text{II} = \text{II}_0 e^{-rt} \quad \dots \dots \dots (4.4)$$

$$\text{ただし } r = (hS)/(mC) \quad \dots \dots \dots (4.5)$$

$t=0$ において $\theta=0$ 、 $\theta_h=1$ と仮定すると、 $\dots \dots \dots (4.4)$

$$\text{式は } \theta = 1 - e^{-rt} \quad \dots \dots \dots (4.6)$$

となる。

すなわち銅製円筒容量が熱容量を有するために、試料の表面に $\theta=1$ なる温度波を印加していることになる。

(4.6)式における第2項はこのときの誤差を表わすもので、この項はなるべく小さいことが望ましい。そのためには r をできるだけ大きくすればよろしい。 C は容

器の材質によつてきまつていて任意に変えることはできないからこの条件を満たすためには、(4.5) 式からわかるように S/m を大きくすること、すなわちなるべく薄い銅板を用い、かつ表面には縫をつけて表面積を大きくしてやればよい。また λ を大きくするためには温湯を攪拌することが有効である。前節に述べたように、測定容器外面に放熱器をつけたのは上に述べた理由によるのである。

つぎに (4.6) 式の第 2 項によつてどの位の誤差を生ずるかを計算する。(2.11) 式において、

$$\varphi(\lambda) = -e^{-r\lambda}$$

とおけば

$$\begin{aligned} \theta_s &= \int_0^t -e^{-r\lambda} \frac{\partial}{\partial t} \left\{ 1 + \frac{2}{R} \sum_{s=1}^{\infty} e^{-\kappa \alpha_s^2 (t-s)} \frac{J_0(\alpha_s r)}{\alpha_s J_0'(\alpha_s R)} \right\} \alpha_s \lambda \\ &= \frac{2}{R} \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\kappa \alpha_s^2}{\kappa \alpha_s^2 - \gamma} \frac{J_0(\alpha_s r)}{\alpha_s J_0'(\alpha_s R)} \left(e^{-rt} - e^{-\kappa \alpha_s^2 t} \right) \end{aligned} \quad (4.7)$$

故に円筒表面に $1 - e^{-rt}$ なる温度波を印加したときの中心温度は

$$\theta = 1 + \frac{2}{R} \sum_{s=1}^{\infty} \left\{ \frac{e^{-\kappa \alpha_s^2 t}}{\alpha_s J_0'(\alpha_s R)} + \frac{\kappa \alpha_s^2}{\kappa \alpha_s^2 - \gamma} \cdot \frac{e^{-rt} - e^{-\kappa \alpha_s^2 t}}{\alpha_s J_0'(\alpha_s R)} \right\} \quad (4.8)$$

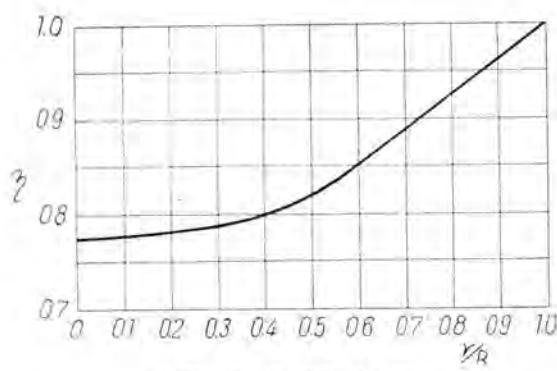
となる。

実際の測定装置において矩形温度波を印加する場合、測定容器の熱容量のため印加矩形温度波は $t=0$ の上部および $t=T$ の下部がある曲率をもつて矩形からずれる。(7 図参照)

この矩形波からのずれのために、中心温度の最大値に達するまでの時間 t_m は約 3.1% 遅れることがわかつた。実験に際してはおののオシロについて印加温度波が矩形波から偏位しているための誤差に対して補正を行つている。

イ. 水分の移動

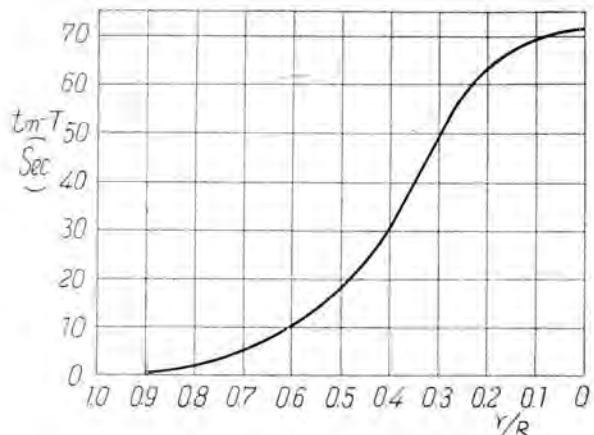
この測定方法は測定時間が短かくてすむから水分の移動はかなり少いのであるが、それでも非定常の熱流を利用しているため、水分の移動による熱伝達について実験上十分の注意を払う必要がある。その影響を調べるために



5 図 振巾減小率

に炭化コルクおよびガラスウールについて若干の測定を試みた。すなわち同一試料について継続時間 T を変化させこのおののの場合に対する熱伝導率 λ を求めて見た。

測定の結果はかなり複雑であるが、総括的に見て、熱伝導率 λ は T の増大に伴つて大きくなつてゐる。これは水分の移動に原因するためと考えられる。水分の移動を防ぐには、矩形波の継続時間を小さくし、かつ温度差を低くしてやればよい。しかしこれらの事は熱電対の感



6 図 最大温度時間の変化

度、検流計の感度等によつて制限を受けるので、この報告ではいすれの試料についても温度差は 25 °C、継続時間 T は 30 秒を標準として用いた。

ウ. 試料内部の温度波

円筒形の測定装置においては温度波がすべて中心に向つて集まるので、比較的振幅の減少が小さい。5 図は $\kappa = 6 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$, $T = 50 \text{ sec}$ なるとき、矩形温度波が表面より中心に進むにしたがつて減衰して行くありさまを示す。中心近くなると減衰の仕方が非常に緩慢になる。したがつて円筒表面に比較的波高値の小さい温度波を印加しても測定できる利点がある。また矩形温度波を円筒表面に印加する場合、その波高値が円筒内の任意の点に達するまでの時間 t_m は試料の熱拡散率および矩形波の継続時間によつても異なるが、中心附近においては t_m の増加は緩慢となる。6 図は $\kappa = 6 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$, $T = 50 \text{ sec}$ なるとき、矩形温度波が表面から試料の内部に進むにしたがつて t_m が変化するありさまを示したものである。中心附近において t_m の増加が緩慢となるために、中心温度測定用に比較的太い熱電対を用いても、あるいは熱電対に微小な偏位があつても誤差はあまり大きくならない利点がある。たとえば測定円筒の半径 $R = 1 \text{ cm}$ の容器に熱拡散率 κ の大きさが $6 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ なる試料が入つている場合、週期を 30 秒として計算して見ると、中心から 1 mm 偏位した場所に熱電対がおかれたことによる誤差は κ において 2.01% となつて比較的小さいことを知る。

エ. 測定装置の感度

試料中の水分移動を防止する見地から、印加する温度波の継続時間および温度差はできるだけ小さいことが望ましいが、これは実験に使用する測定器具によつて制限を受ける。上述のとおり測温用の熱電対は内外共2個の熱電対を直列に接続して用いている。熱電対の感度については1949年の本誌⁽²⁾を参照されたい。

5. 2.3 の断熱材料の熱伝導率の含水率による変化

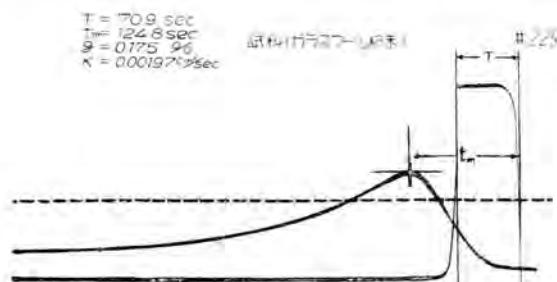
上述の測定装置によつて炭化コルク等2,3の断熱材料について、熱拡散率および熱伝導率が含水率によつていかに変化するかを測定した結果につき述べよう。

熱拡散率 κ とすれば熱伝導率 λ はつきのように書き表わすことができる⁽²⁾。

$$\lambda = \kappa \cdot \frac{C_0 + G}{1 + G} \cdot \rho_{so} (1 - P) (1 + G) \quad \dots (5.1)$$

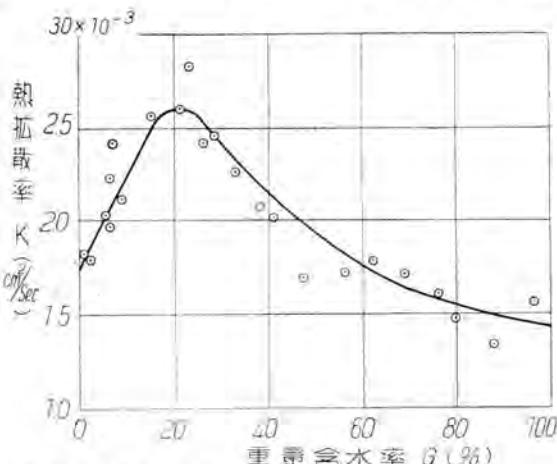
ここに G は重量含水率で C_0 は重量含水率が零、すなわち乾燥状態における試料の比熱である。なおこの C_0 の測定については本誌⁽³⁾を参照されたい。 ρ_{so} は乾燥状態における原試料の密度で、 P は気孔率を表わす。

(5.1) 式によつてわかるようにある温度における熱伝導率 λ は含水率 G のみでなく気孔率 P によつても影響を受ける。この実験においては孤立矩形温度波を用いているので、矩形温度波の周期および波高値が大きいときには粒体間隙を高温部より低温部へと移動するガス運



7 図 実測オシログラムの一例

動が考えられる。しかしてガスの運動は気孔率に関係す



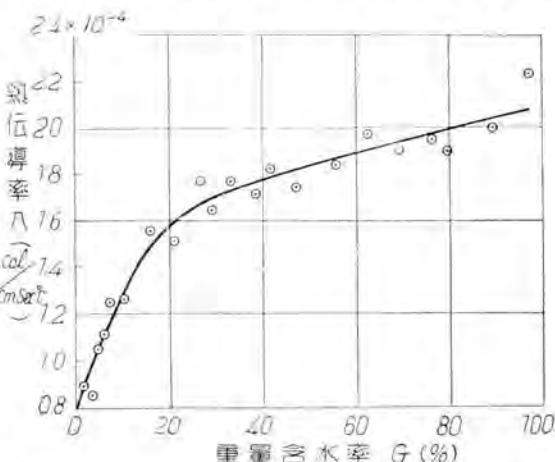
8 図 重量含水率による炭化コルクの熱拡散率の変化

る故、熱伝導率におよぼす気孔率の影響は複雑なものになつてくる。ガスの運動による誤差を少くするためには、前述の水分の移動による誤差を防ぐ場合と同様に印加矩形温度波の波高値および継続時間の小さいことが望ましい。

ア. 炭化コルク粉末

試料に用いた炭化コルク粉末は、断熱材として用いられるコルク板を粉碎して作つた。測定には20メッシュ以下のものを用いた。7図に実測のオシログラムの一例を示す。8図は重量含水率 G と炭化コルクの熱拡散率 κ の関係を図示したものである。含水率が小さい間は含水率の増大に伴つて熱拡散率は増加するが、約21%の所で最大値を示し、それ以上は含水率が増加するにつれて減少している。

9図に重量含水率 G と熱伝導率 λ との関係を示す。

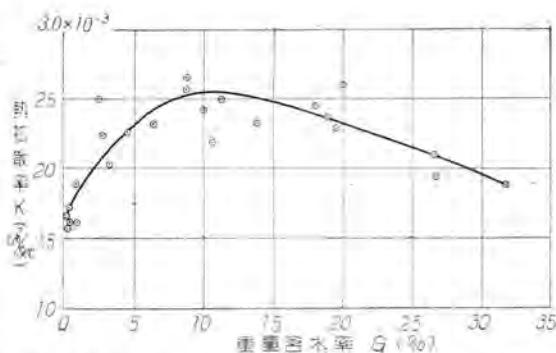


9 図 重量含水率による炭化コルクの熱伝導率の変化

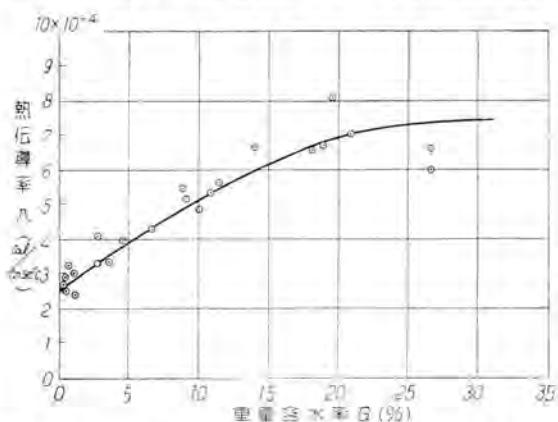
熱伝導率は含水率が20%附近までは急激に上昇し、それ以後は上界が緩慢となる。この様子は既報の鋸屑⁽²⁾の熱伝導率と重量含水率との関係に類似している。重量含水率が100%程度になると、一様な試料の作製ならびに測定自体共に著しく困難となる。

イ. ガラスウール粉末

試料は市販のガラスウールを、ほとんど纖維状が認めにくい程度に乳鉢で粉碎して使用した。それは種々の含水率に対して一様な充填をうるためである。この試料は非常に保水力が弱く、重量含水率50%程度になると鉄物用の砂に水を混じたような様相を呈し、少し圧力を加えると水分が湧出する。この試料の含水状態を見ると、重量含水率が1%~5%では付着力が認められず、個々の微粉状を示し非常に軽快である。5%~10%では軽く試料を攪拌すると小さいブロックに凝結するがその結合はなお弱くすぐとわれる。10%~20%のときは次第に暗灰色を示し、小塊はつぶしても飛散しない。しかし圧力を加えても水分の滲出は認められない。20%をこえるにしたがつて、色調は鼠暗色に近づく。小塊は攪拌によつて互に結合し大きく成長する。圧力を加えると水の滲出が始まる。含水率が40%をこえると粘性を示し、



10 図 重量含水率によるガラスウールの熱拡散率の変化



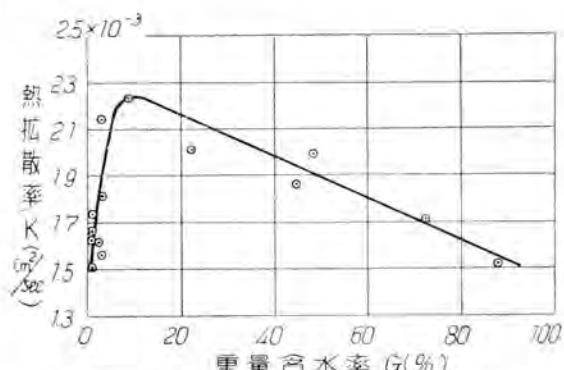
11 図 重量含水率によるガラスウールの熱伝導率の変化

セメントをこねた状態と同じ様子になる。含水は 45% ~ 50% が限度のようである。したがつて実際の測定は 30% ~ 40% までしか測定できなかつた。

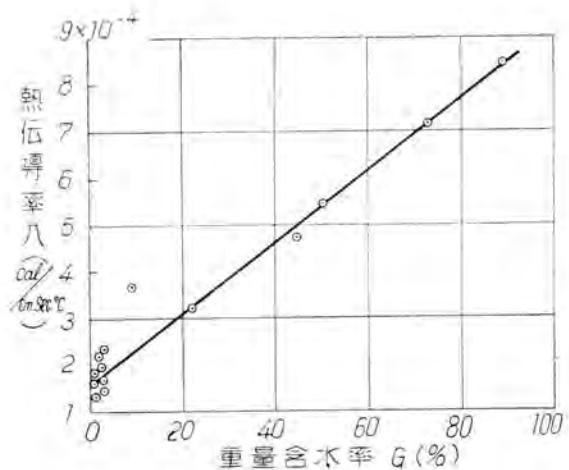
10 図および 11 図はそれぞれ重量含水率に対する熱拡散率と熱伝導率を示すものである。11 図に示すようにガラスウールの場合は重量含水率 16% 程度までは含水率に伴い熱伝導率は急激に上昇するがそれ以後は飽和に達するようである。

ウ. ロックウール

試料に用いたロックウールの纖維の長さは 1 cm 以内である。ロックウールの含水状態はガラスウールの場合と著しく異り、100% をこえた含水状態でも粘土状となることなく、含水はきわめてよい。これはガラスウールの場合にくらべて長纖維のまま用いたことによると考えられる。



12 図 重量含水率によるロックウールの熱拡散率の変化



13 図 重量含水率によるロックウールの熱伝導率の変化

また気孔率はガラスウールの場合にくらべて相当大きい値を示している。12 図は熱拡散率 κ と重量含水率 G との関係を示し、13 図は熱伝導率 λ と G との関係を示す曲線である。 G と λ の関係のほとんど直線的である。

6. 結 言

断熱材料の使用状態に準じて熱伝導率を測定する目的で円筒形試料の表面に単位温度差を有する温度波、または孤立矩形温度波を印加し、非定常状態をとるその熱流のありさまから熱伝導率を測定する装置を案出した。これは測定時間が非常に短縮され、精度の見地からも実用上満足すべきものである。

$F_0 = \kappa T/R^2$ なる無名数と中心温度波が最大値に達するまでの時間 t_m およびその振幅減衰率 η との間に一定の関係がある。したがつて t_m あるいは η を測定すれば F_0 を知り、 R および T がわかっているから、これから熱拡散率 κ を求めることができる。

この測定装置および方法に固有な誤差として、試料容器の熱容量によるものがある。これを小さくするには $\tau = hS/mC$ を大きくしてやればよい。現在の測定装置においては t_m の実測値が純矩形波を印加した場合に比較して約 3% 遅れることを知つた。また中心測温用熱電対の大きさによる誤差は約 2% 以内である。

この非定常状態法によつて炭化コルク、ガラスウールおよびロックウールの熱拡散率および熱伝導率と含水率との関係を実測した。その結果は 8 図から 13 図に示してある。

従来の測定方法においては試料を通じて流れる熱流を測定するのに平衡状態におけるものを基礎にする方法を習慣的に用いてゐる。実際の使用状態における条件は普通、不平衡の状態であるから、熱流を実際的に瞬間に測定するような方法を作り出すことが問題の解決点である。ここに述べた非定常状態法はこの条件に一步接近したということができよう。

文 献

- (1) Carslaw, H.S. & Jaeger : Phil. Mag. 26 473~495 (1938)
- (2) 尾島・長沼・明石：「三菱電機」23, 19 (昭24-5)
- (3) 尾島・長沼・川勝：「三菱電機」23, 19 (昭24-4)

三菱自動溶接機

小型可搬式自動溶接機試作研究の報告である。本溶接機の制御回路には真空管を使用せず、変圧器およびセレン整流器を使用し、操作の簡便と故障の減少を期すとともに、制御の速応性を高めている。自動溶接機には電極棒送給電動機その他の送給機構の機械的慣性が相當存在し、これが制御の速応性に大なる影響を与えており、この見地から、送給装置の速応性および溶接時の回復状況をオシログラフで測定している。

伊丹製作所作

南廣田達郎一

1. 緒言

最近米国および英国より自動溶接機が多数輸入せられ、自動溶接が広く使用されようとしている。

当社においても、昭和18年に1号機を試作し、以来種々実験を行い、UA型・UB型・UC型の試作研究を完了し、現在UD型自動溶接機の試作研究の完成をみんとしている。UA型はサイラトロン制御の大型機であるが、UB型以下は小型の軌条走行式のもので、制御方式もセレン整流器と変圧器を使用した簡単なものである。その制御特性は後述のとおり良好と考えられる。以下UC型およびUD型について述べる。

2. 溶接機

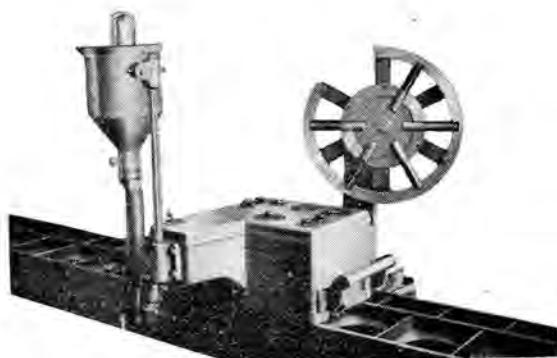
さきに試作したUA型自動溶接機の使用成績と、これに対する各方面の意見を考慮して、軽量で扱いの簡単な現場向きであることを目的とした。このため真空管を使用せず、セレン整流器を使用し、電動機も可能な範囲で小型として、重量の軽減を計るとともに、操作の容易さと、故障の減少を期している。

ア. 構造

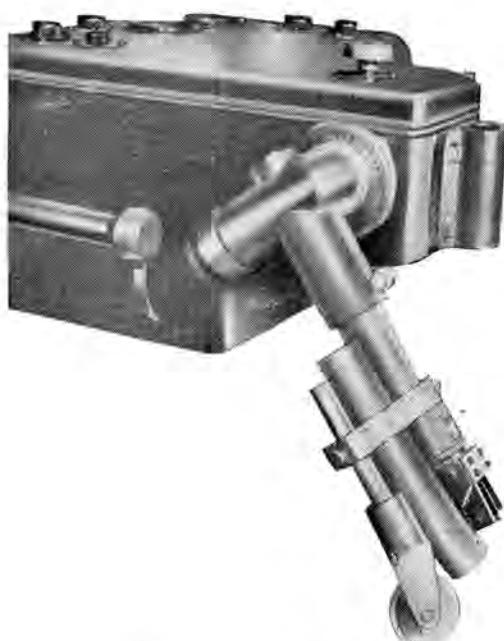
UD型はUC型を全面的に改造したもので、その構造はつきに述べるとおりである。

1図のとおり、本機は軌条走行式のものであつて、本体はアルミニウム合金鋳物よりなり、防塵型とし、電極棒送給電動機・走行電動機およびこれらの減速歯車装置ならびにスイッチ類はすべてこれに収められている。

電極部は軌条より前方に張出し、2図のように、電極棒送給用ローラ軸を中心として軌条と直角方向に回転できる。また伸縮することにより、位置の調節および隅肉溶接が可能となる。上部のハンドルはこの回転および固定用のもので、これを緩めることにより、電極部は自由に回転でき、案内車輪を付加すれば溶接線に沿い溶接を行うことができる。リールおよびホッパは図のとおり本体上部に取付けられている。



1図 UD型自動溶接機



2図 電極部

制御盤は溶接操作に直接関係のないものを收め、溶接頭の重量を軽減している。両者は多心コードで接続されている。

軌条は軌間 290.1 m, 長さ 2,000 mm のもの 2 本よりなり連結できる。

イ・制御回路

UD型自動溶接機の制御回路は 4 図のとおりである。

図中 M_t は電極棒送給用の直流分巻電動機であつて、界磁コイルはセレン整流器 SE_1 によつて整流された一定直流電源で励磁され、可変抵抗 R_t により加減され、送給速度を調整する。溶接時はスイッチ S_2 により M_t を運転し、電極棒の出入はスイッチ S_3 により操作される。

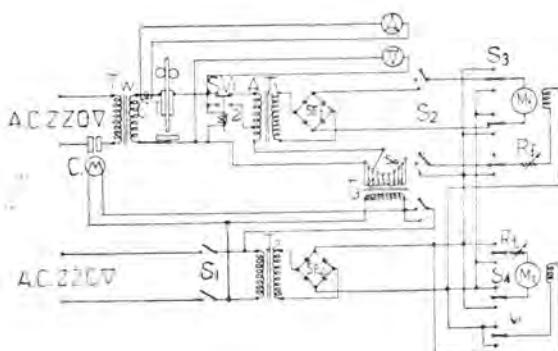
SV は電圧繼電器であつて、動作電圧以下では接点 1 を閉じ、それ以上の電圧では接点 1 を開放し接点 2 を閉じ



3 図 UD型自動溶接機制御盤

て、変圧器 T_1 の A に接続され、 T_1 の 2 次側の電圧を小とする。これにより T_1 以下の回路に加わる電圧を制限し、焼損を防止するとともに、溶接動作時において電動機を最良の状態で運転させることができる。

変圧器 T_1 は電弧電圧と変圧器 T_3 による電圧との差



4 図

を昇圧して、後述する 5 図の送給速度特性の勾配を大にし、溶接時における速応性を良好ならしめる。

T_3 は上述のとおり電弧電圧とおよそ 180° の位相差を有する一定電圧を供給するための変圧器であつて、この動作目的は後に述べる。 T_3 の電圧はスイッチ S_6 で調整される。

M_t は走行用の直流分巻電動機である。界磁コイル・電機子とも変圧器 T_2 およびセレン整流器 SE_1 を経た 100V の整流電圧が供給される。その回転数は電機子回路に直引に入れられた可変抵抗 R_t によつて調節される。運転・停止ならびに回転方向はスイッチ S_4 にて切換えられる。

スイッチ S_5 は電源開閉器ならびに変圧器 T_3 を動作させる。

ウ・動作

S_1 を閉じ、 S_5 を閉じると電源開閉器が動作し、溶接変圧器 T_1 に電源が接続され、あらかじめ接触させていた電極棒と溶接物との間に電弧が発生する。同時に T_3 にも電源が入り、 S_6 により決定される一定電圧が電弧電圧に重疊され、その差が T_1 の 1 次側に加わる。

つぎに S_2 を閉じれば、 SE_1 にて整流された電圧は S_3 の接点を経て M_t の電機子に供給される。 S_2 は同時に SE_1 よりの一定電圧を界磁コイルに加えるから、 M_t は電弧電圧に応じた速度にて電極棒を送給する。

つぎに S_4 を所要の方向に閉じれば、 M_t は R_t にて決定される速度で運転され、ここに溶接が行われる。

もし何等かの原因で電弧が消滅した場合には、 SV は T_1 の無負荷電圧により瞬間動作し、接点 1 を開放すると同時に接点 2 を閉じ、 T_1 の A に接続し、一定速度で電極棒を送給し、ふたたび電極棒と溶接物とが接触して、電弧が発生し正常に復する。

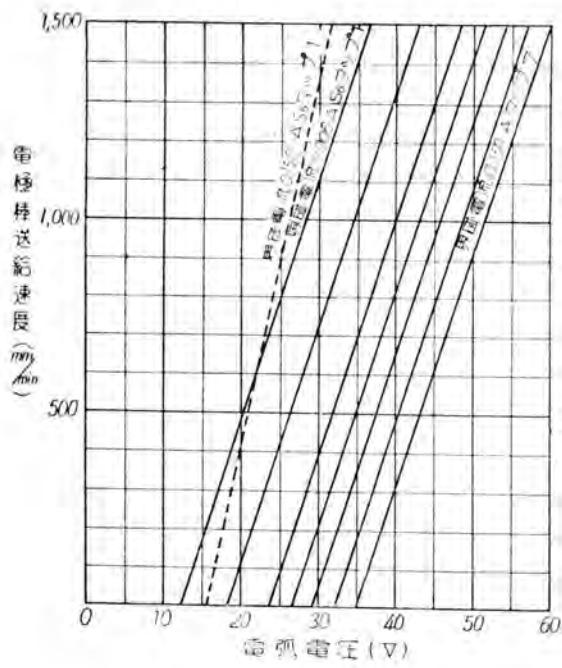
3. 溶接機の特性

ア・送給速度特性

ここに述べる諸特性は UC 型自動溶接機のものである。UD 型の制御回路は UC 型とどううであるので、その特性もほとんど同じものと考えられる。

5 図は電弧電圧の変化に対する送給速度の変化を示すものである。

この送給用電動機の電機子には 4 図の結線図に見るよに、電弧電圧と変圧器 T_3 による一定電圧を T_1 に加え遷界・整流したものが加えられているので、電弧電圧が大となれば端子電圧が増大して回転数が増すわけである。溶接作業中に何等かの原因で電弧長が延びて（たとえば溶接電源の電圧が急上昇して、溶接電流が増し溶融速度が増すことによつて電弧長が延びて）電弧電圧が上昇すると、送給電動機の速度が増して電弧長の増大を自動的に打消すように動くのが自動溶接の根本原理であり、ここに述べる制御方式では T_3 による一定電圧を電弧電圧に重疊して電機子に加えるようにしている。これ



5 図 送給速度特性

によつてつぎに述べるように、電弧長を銳敏に一定に保持しうるようになしたものである。すなわち送給用電動機の動作制御は電弧電圧を利用するものであるが、電弧電圧は電弧長がたとえば 1mm から 5mm に変化するのに對して 20V から 40V (この値はフラックスの性質等により多少異なるが) に変化し、電弧長の変化ほど著しくは変化しない。これは陰極電圧降下・陽極電圧降下が電弧長に無関係に一定であつて、電弧長に対して

$$V = a + bL$$

のように示されるからである。それで上式の a なる部分を変圧器 T_3 による一定電圧で打消して、電動機の制御回路への電圧としては bL のような電弧長に直接比例する量をとるようすれば、電動機速度は電弧長のわずかの変化に対して銳敏に変化し、したがつて電弧長を一定に保持しうるわけである。5図の送給速度特性曲線の傾斜が図のように急峻であつて横軸と交つているのはすなわちこの T_3 を用いたためである。またこの T_3 のタップを S_6 で調整すれば、与えられた送給速度に対して電弧電圧すなわち電弧長を任意に調整することもできる利点もある。

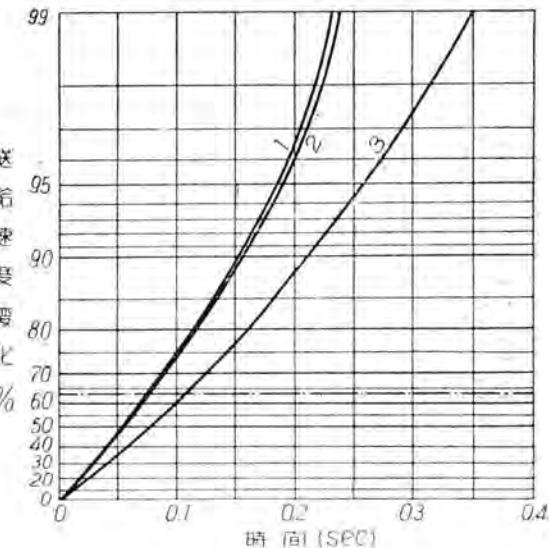
なお図の点線で示すように、界磁抵抗 R_f の増加による界磁電流の減少によつても、この特性曲線の勾配を大にすることができるが、この方法では同時に回転力が減少して後述する速応性を悪くする欠点が作る。

1. 送給装置の速応性

電弧電圧が変化した場合、送給速度はただちには 5 図に示す定常値には達せず、多少の時間的の遅れが作る。

この遅れの原因としては、電気的な慣性以外に必然的に機械的な要素すなわち電機子・減速歯車・車軸等の機械的慣性が影響する。しかしてこの機械的慣性を小とすることは送給電動機を小型にすればよいのであるが、これは電極接触等のためある限度以下にすることは困難である。

この測定は電弧電圧が急変したとき送給用電動機の回転数が如何に速応するかを試験するのが目的であつて、入力側には電弧電圧の代りに 50V の交流電圧を加え、直列に抵抗を入れてこれを適当に調節し、変圧器 T_1 に加わる電圧が 30V となるようにした。かくして抵抗を抜くことにより電動機の電圧 (すなわち電弧電圧) を 30V から 50V に急変したときの M_f の回転数ならびに電機子電流の変化をオシログラフにて測定した。



6 図 送給速度変化特性

回転数の測定には都合上これを增速し発電機型速度計を用いた。6図はオシログラフからえた実験結果を整理した結果である。曲線 1 は界磁電流最大の場合であつて、曲線 2 および曲線 3 はそれぞれその 75% および 50% の値の場合である。図は速度の変化量を入力電圧 30V および 50V のときの送給速度の定常値の差の百分率をもつて表わしている。回路のリアクタンスその他の影響のため、図のように変化量を対数で示した場合、これが多少直線的に変化しないが、その時定数はそれぞれ約 $0.073 \text{ sec} \cdot 0.077 \text{ sec} \cdot 0.110 \text{ sec}$ となる。

ウ. 溶接時における速応性

すでに述べたように自動溶接の制御では、溶接は電極棒の溶融速度と送給速度が平衡した状態で行われる。もし何等かの原因で電弧長が変化すれば電弧電圧が変化して、一方においては溶接電流が電源の特性に応じて変化

して棒の溶融速度が変化し、他方送給電動機の速度が変化し、これらはそれぞれ過渡現象の変化をしながらもとの平衡点に復する。この過渡現象を見るため電弧長を急に変化して、この場合の電弧電圧・溶接電流・送給速度の回復状況をオシログラフにて測定した。

送給速度は送給装置の速応性測定の場合とどうよう発電機型速度計をもつて測定した。

12mm の軟鋼板上にビードをおき、溶接中溶接機を急に 4.6mm 上昇させ（この上昇には約 0.08 sec を要している）電弧長を長くした 7 図はこの場合のオシログラフの一例であつて、実験条件はつぎのとおりである。

溶接速度 500 mm/min

電弧電圧 約 32V

溶接電流 約 500A

電極棒 住友製純鉄線径 5mm

溶剤 この実験に使用した溶剤の分析表を
1 表に示す

1表 溶剤分析表

S _i O ₂	MnO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	C _a O	MgO	C
30.1	22.9	21.4	17.8	5.3	1.2	1.0	0.77

7 図に見るように電弧電圧は電弧の性質として不規則に変化し、これに応じて溶接電流も不規則に変動するので、速応性の測定には送給速度をもつて比較した。図に見るように 4.6mm の電弧長の変化により電弧電圧は急

上昇し、これに応じて送給電動機の速度も上昇して電弧長の変化を補正するように動作し、およそ 0.8 sec の後にはほとんど旧の速度に復していることが判る。実験は界磁電流を種々調整して行つたが、大体 0.7 sec ~ 1.5 sec で旧に復する。

4. 結 言

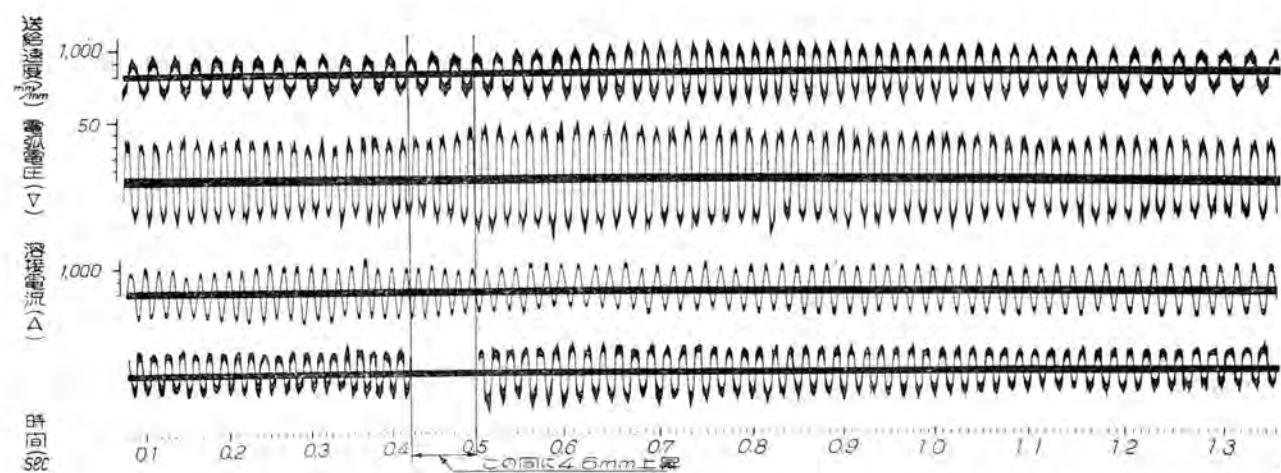
以上のとおりこの方式の自動溶接機がサブマージド・アーク溶接用として適しており、十分の性能を有していると考えられる。

制御特性と速度特性ならびに送給装置の速応性との関連および制御特性の溶接結果に及ぼす影響については稿を改めて述べる。

終りに本機試作にあたり、種々有益な御指導を賜つた阪大安藤教授・中日本重工川勝参事・高木技師・鈴木技師ならびに当所第一工作課長福中技師に深甚なる謝意を表するとともに、大方諸賢の御批判を仰ぐ次第である。

参考文献

- (1) 荒井潔、田中薰：ニニオンマルト式溶接等に応用せらるる自動電弧溶接装置の制御について「溶接学会誌」16, 14 (昭22-4)
- (2) 荒井潔、田中薰：ニニオンマルト溶接に応用せられる三菱 UA型自動溶接装置について「三菱電機」22, 4 (1948)



7 図 回復を示すオシログラム