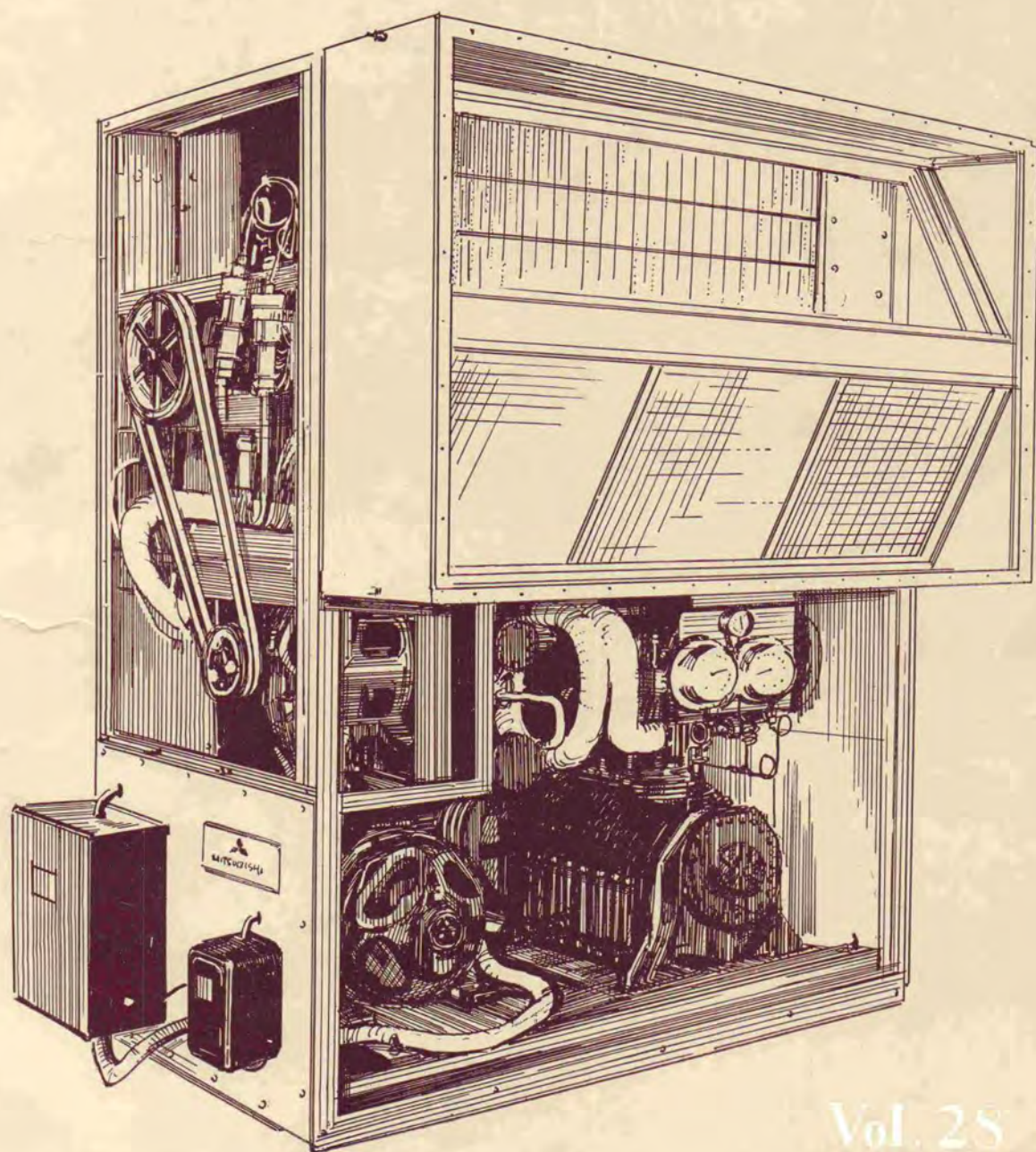
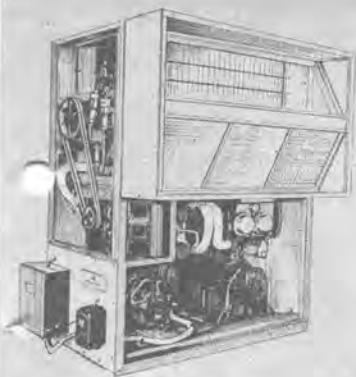


MITSUBISHI DENKI

三菱電機



Vol. 28 1954



MITSUBISHI DENKI

三菱電機

表紙説明

BU-151 型ユニテヤ

冷凍機・送風機・冷却器などが同一のケースの中に納められ、ユニットになっている可搬型の空気調和装置として当社が完成したのがユニテヤであります。

ユニテヤには AU 型・AUD 型・BU 型の各種があります。AU 型は外観が美麗でありますから、美観を必要とする場所に使用されます。AUD 型は AU 型にダクト取付式としたものであります。BU 型はダクト取付式となつておりますので、比較的大型のものであります。

表紙の BU-151 型は当社製ユニテヤの最大容量のものであると共に、国産品での最大なものであります。

現在無線機関係施設用・電話交換室用・工業用一般の温湿度調整用として多数納入しております。

昭和 29 年 第 28 卷 第 3 号

目次

275 kV 72,500 kVA 超高圧変圧器	村上 有	2
URS 型負荷時電圧調整変圧器	田村良平	7
変圧器油脱気装置の現場試験	白井万次郎・大杉 肇・松田文雄	16
静電気障害対策	尾島学二・岩村武志	20
矩形波によるサイラトロン起動特性	八十田尚治・岡田武男	26
最近登録された当社の特許および実用新案		32

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・2331
研究所 兵庫県尼ヶ崎市南清水
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
無線機製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水
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 福島県郡山市宇境橋町
福山工場 福山市仲野上町
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 岐阜県中津市駒場安森
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
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) 6231-5
福岡営業所 福岡市天神町(三菱ビル)
(電) 西 (2) 5821-5825
札幌営業所 札幌市大通り西 3 の 5
(電) (2) 7236・7237
仙台事務所 仙台市東一番丁 63
(電) 仙台 2573・8057
富山事務所 富山市安住町 23 の 2
(電) 富山 4692・5273
広島事務所 広島市袋町 1(明治生命ビル)
(電) 中 1059・4824
高松出張所 高松市南紺屋町 34 の 3
(電) 高松 3178・3250
小倉出張所 小倉市博労町 63(富士ビル)
(電) 小倉 3614

品質奉仕の三菱電機

275 kV 72,500 kVA 超 高 圧 変 圧 器

伊丹製作所

村 上 有*

275 kV 72,500 kVA Transformer

Tamotsu MURAKAMI

Itami Works

A 275 kV 72,500 kVA 3 phase transformer, built at Mitsubishi Itami Works and delivered to Maruyama Power Station, is of the same type as the 250 kV 117,000 kVA unit now in successful operation at Hirakata Substation since last year in the following features of reduced and graded insulation at 275 kV operation, Form-fit tank, FOA cooling with U fin radiators and induction heat drying. Furthermore, it is built in unprecedented design of changeable high tension side voltage providing for future adaptation to 275 kV system after being used for 154 kV line for some time. Wheels capable of 90 degree change of direction to dispense with the traverser is also noteworthy.

1. ま え が き

さきにわが国最初の超高压変圧器であり最大容量の変圧器として、関西電力枚方変電所に3相 250 kV 117,000 kVA 変圧器⁽¹⁾を3台納入し、現在きわめて好成績に運転されているが、今回は同じく関西電力の丸山発電所用として3相 275 kV, 72,500 kVA 変圧器2台を完成した。

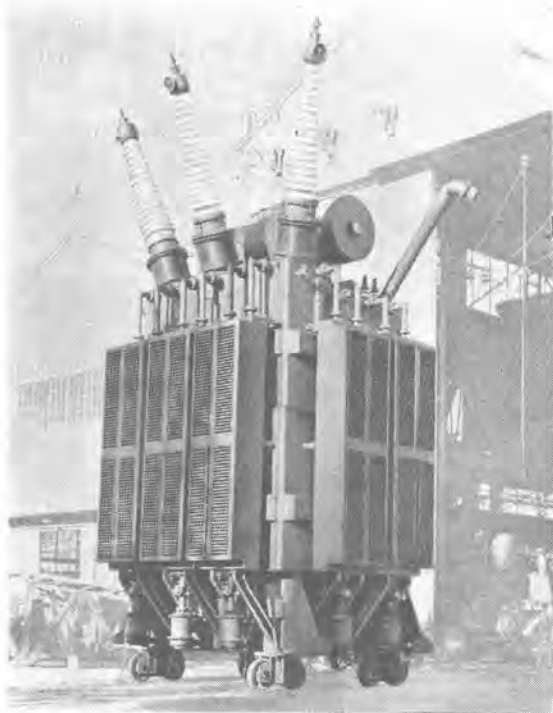
この変圧器は275 kV 使用時に低減絶縁および段絶縁を採用している点、外函をForm-fit 構造としている点、U フィン管使用の送油風冷式、ポンベ式窒素封入装置の採用、現地組立ならびに乾燥法などにおいて、枚方変電所用 117,000 kVA 変圧器に類似した同型の変圧器であるが、ほかに特筆すべき事項として次の特長が挙げられる。すなわち丸山発電所より大阪近郊に至る超高压送電線が建設されるまでの数年間は154 kV の飛騨幹線に接続して使用されるため、高压巻線は前例のない275 kV 人-154 kV 人 両用とされ、このため設計工作上特別の

考慮を払った。また各車輪を90度方向転換させる構造とすることにより利用価値の少いトラバーサを省略することができたことも注目値する。

1 図は完成した変圧器の外観を示す写真である。

2. 定格および重量その他

3 相 60 c/s 外鉄 Form-fit 型 送油風冷式
 電圧 1 次 13.2 kV Δ
 2 次 275-262.5-250-154 kV 人
 容量 72,500 kVA
 2 次 275-262.5-250 kV のとき中性点直接接地
 低減絶縁および段絶縁方式
 154 kV のとき中性点側 $1/\sqrt{3}$ 絶縁低下
 重量 155,000 kg
 油量 42,000 l
 総重量 193,000 kg
 外形寸法 幅 5,720 mm, 奥行 4,890 mm
 高さ 10,250 mm



1 図 完成した 72,500 kVA 変圧器
Fig. 1. Completed 72,500 kVA transformer,
3 ϕ 60 c/s 275 kV FOA shell form Form-fit
construction.

3. 構造

ア. 巻線構造

高電圧巻線としてはまだ類例のない 275 kV 入-154 kV 入 両用のため、一部のコイルを直並列に切換える方式を採用している。2 図はこの変圧器の巻線配列を示すもので高圧コイルは H_1 , H_2 , H_3 の 3 部に分け、275 kV 使用のときは各部はすべて直列に接続され、154 kV の場合は H_2 と H_3 を並列にして H_1 と直列に接続される。タップは H_3 部のみに設けられ、154 kV のときはタップを使用しない。外鉄型巻線においては矩形状コイルが垂直に立って高低圧交互配置とされ、各コイルのリードおよびタップの口出しはすべてコイル上部から引出されるので相互間ならびに大地に対する絶縁がきわめて容易であり、したがって上記のような直並列切換にはきわめて好都合である。

口出線はすべて本体上部のタップボードまで引出しておき、切換のときは据付場所でタップボードまで油を抜いて、マンホールから入り簡単に直並列の切換を行うことができる構造になっている。

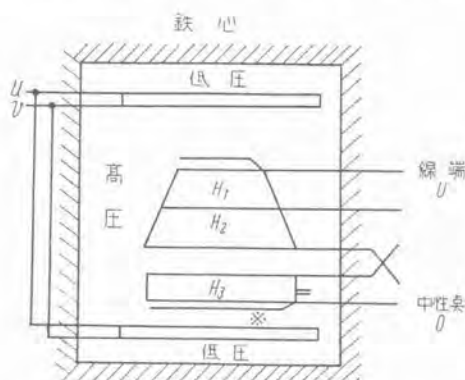
絶縁方式としては外鉄型の標準絶縁造であるサージブルーフ型とし、また低減絶縁、段絶縁および中性点絶縁低下方式が採用されている。すなわち 275 kV 使用時は中性点直接接地とされ、絶縁階級は 1 段下の 200 号としたいわゆる低減絶縁が採用されるが、これは枚方変電所用変圧器を始めとし超高圧新北陸幹線用変圧器に実施された方式である。275 kV 専用であれば線路端から中性点に至るまで次第に絶縁を低下させた段絶縁が施され、

中性点側の絶縁は 30 号程度に低下し得るが、この変圧器では 154 kV 消弧線輪接地系統にも使用されるので、 H_1 および H_2 部分は段絶縁とし、 H_3 部分は 140 号絶縁とされている。ただし中性点側の絶縁は高電圧外鉄型変圧器に標準として採用されている中性点絶縁低下方式を取り入れ、80 号の絶縁とされている。この方式により資材・重量は節減され、インピーダンスが減少し、275-154 kV 併用という特殊使用により直接接地式の利点が大幅に減殺されるのを防いでいる。中性点用套管も 80 kV 級が使用されて巻線の中性点側絶縁と協調しており、さらに 80 号の中性点アレスタが接続されて第 2 段の保護を行い、かつ中性点用套管の付属間隙では統流遮断し得ない場合の遮断の役目を与えている。

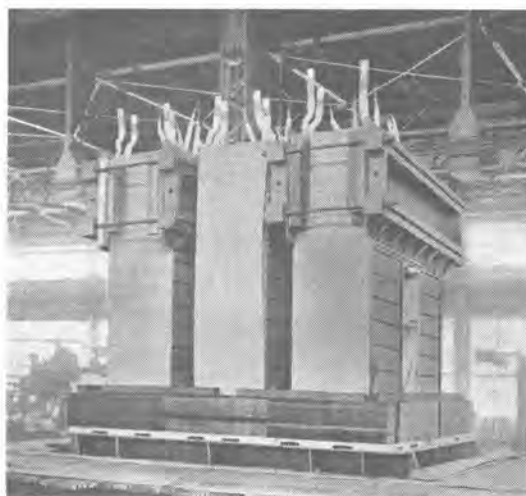
3 図は工場において組立中のこの変圧器である。

イ. 外函の構造

外鉄型変圧器の標準構造である Form-fit Tank を採用し、重量・油量・床面積の減少、組立室建設費の節減、全溶接構造として油洩れの心配のないこと、冷却効果良好などの諸特長を発揮している。Form-fit Tank については本誌上にも紹介されたことがある⁽²⁾ので、詳細の



2 図 コイル 1 相分配列(捺印箇所 80 kV 級絶縁)
Fig. 2. Arrangement of coil (1 phase)



3 図 鉄心積み途中の 72,500 kVA 変圧器
Fig. 3. Assembling the punchings around
the coils.

説明は省略するが、一言にしていえば変圧器の中身にぴったり適合するように造った外函で、外鉄型変圧器の特長を極度に発揮したものである。

従来の発電所の変圧器では据付場所から発電機室または組立室に引入れる場合にトラバーサを使用するのが通例であるが、この変圧器においては車輪の方向を90度転換する構造としトラバーサを省略することができた。この車輪の方向転換に対しても Form-fit Tank は優れた構造を示している。すなわち Form-fit 型では下部外函が中身全重量を支える下部端枠および脚を兼ねているので充分の強度を有し、車輪は外函底部の四周に4組、1図および4図のように取付けられ構造はきわめて簡単である。各車輪は正方形の取付座により4本のボルトで外函底部に取付けられているので、変圧器本体をジャッキで車輪のつばの高さだけわずかに持ち上げ、各車輪のボルトを外し中心軸を中心として90度方向転換させて後、ボルトを締め直せば変圧器全体として方向転換できたことになる。4図は下外函を逆さまにし、車輪の一つを90度方向転換させたところを示す写真である。このように Form-fit 変圧器では90度方向転換に対して何等余分の補強や加工を加えることなく、標準構造のまま適用し得るものであり、かつ外鉄型変圧器の外函は大体正方形に近い形状をしているので、90度方向転換した場合も最初とほぼ同じレールゲージであり、運搬の安定上からも好都合である。

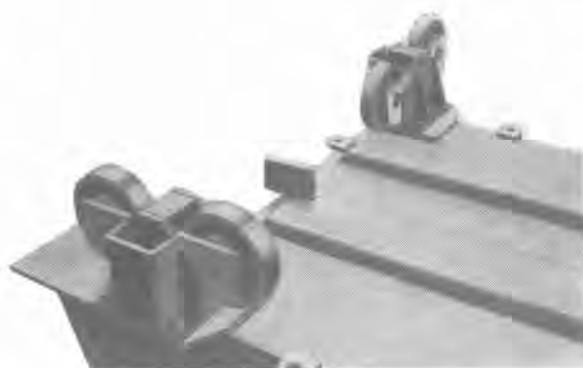
一般にトラバーサは変圧器に事故がある場合以外使用されることなく、平素は狭隘な発電所などでは邪魔にさえなるもので、いわば無用の長物に近いものである。変圧器自身の車輪により移動ができ、さらに90度方向転換も簡単にできるようになれば、今後ますますトラバーサ無用論が強くなると思われる。この変圧器はこれに先鞭をつけたものと考えられる。なおトラバーサを使用しないために発電機室または組立室の入口高さをトラバーサの高さだけ低くし得る利点もある。

ウ. 冷却方式

冷却方式としては標準のUフィン管放熱器使用送油風冷式が採用されている。1図の外観写真に見られるように、12尺Uフィン管放熱器1箇、3HP送油ポンプ1箇および $\frac{1}{4}$ HP送風機8箇からなる冷却器7組が、直接変圧器本体に取付けられ、このうちの任意の1組を点検手入れの場合でも残る6組で全負荷運転に差支えないようになっている。

据付場所の狭い水力発電所用大容量変圧器には送油水冷式の採用されることが多いが、この変圧器はとくに送油風冷式とされ、Uフィン管放熱器を使用し、冷却器を直接本体の3面に取付けて床面積を小さくすることができた。

送油ポンプおよび送風機は配電盤室にて一括して遠方操作でき、変圧器油温低下の場合には任意の送風機8箇1組の起動停止を行い得ようになっている。また変圧



4 図 90 度方向転換を示す車輪

Fig. 4. The wheels which can be changed in direction of 90 degrees.

器附近に屋外用キュービクル型制御函を設置して表示燈・交流電流計・ノーヒューズ遮断器・電磁接触器・逆相継電器・故障表示器などを取付けている。

送風機は従来の $\frac{1}{2}$ HP 1,700 rpm を $\frac{1}{4}$ HP 1,150 rpm に低下し、送風機枠の改良と相まって騒音を著しく軽減せしめ、試験の結果は鉄心の騒音よりも低く70 db 程度であった。上記回転数の低下により電動機の入力は大幅に減少し、しかも冷却効果にはほとんど影響を及ぼさないという好結果を得た。

エ. その他

1. 窒素封入装置

コンサベータ上部には窒素を封入し、高圧窒素ポンプより減圧弁を通じて自動的に窒素ガスを補強する方式のいわゆるポンプ式窒素封入装置を取付け油の劣化を防止する。

2. 套管

高圧線路側套管は200 kV 用、中性点側套管は80 kV 用の油入新型コンデンサブッシングを使用し、線路側套管には電圧測定あるいは試験用などに広範囲の用途を持つ套管分圧変成装置を付属している。

3. 珪素鋼板

八幡製鉄がアメリカアームコ社と技術提携して以来生産されるに至った高級珪素鋼板 T₉₀ および T₉₅ 級を使用し、鉄損保証値 204 kW に対し試験値 148 kW という僅少な値を得た。

4. 油洩れ対策

最近の変圧器では絶対に油洩れのないことが、きわめて重要視されるに至り、この変圧器に対しても各部構造につき油洩れ対策については万全の努力が払われた。バルブ類はすべてベローバルブを採用したこと、ダイヤル温度計を間接式にしたこと、空気抜きなどは2重パッキン式にしたこと、とくに良質のゴルクブレンパッキンを使用しかつパッキンの当て方にも注意を払ったことなどはこの例である。

4. 現場組立および乾燥

ア. 現場組立

発電所までの輸送重量の制限は 15 トンで組立輸送はできないので、工場試験終了後解体して、外函は上中下 3 つに分け、コイルは 1 相ごとに分けて直接工場からいずれもトラックで運搬し、他の部品はすべて貨車輸送した。

現地においては発電機室が発電機の組立と時期を同じくして使用できないので、据付場所に仮組立室を建てて組立を行い、完成後仮組立室は取除かれた。Form-fit 構造であるから組立時の最大吊上重量はコイル 1 相分で、使用された起重機の容量は 15 トンである。

本体の組立を終った後その場で乾燥を行い、冷却器・套管・コンサベータなどを取付け、次項で述べる真空脱気装置により脱気された油を注油した。

イ. 乾燥

枚方変電所用 117,000 kVA 変圧器に始めて実施して以来、Form-fit 変圧器の現場乾燥に標準として用いられている誘導加熱による外函加熱と熱風乾燥を併用した。5 図は乾燥の状況を示す写真で、保温した外函の上に巻きつけた電線に单相 60 c/s の電流を流し誘導加熱により外函を 100°C 程度に加熱している。熱風乾燥も従来の方式と異って同じく誘導加熱を利用した特殊熱風乾燥器を使用して行った。

ウ. 変圧器油の脱気および注油

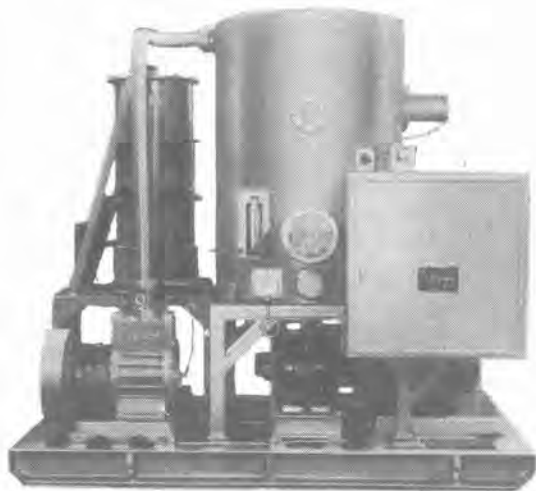
変圧器油の劣化を防止するために窒素封入装置を取付け油と外気とを完全に窒素で遮断した変圧器では、最初に注油する油がとくに重要で、脱水はもちろん脱気も行った油を使用するのが望ましい。油中には通常 5% 以上



5 図 誘導加熱による外函加熱を利用して乾燥中の 72,500 kVA 変圧器

Fig. 5. 72,500 kVA transformer in drying by the induction heating of tank wall.

275 kV 72,500 kVA 超高压変圧器・村上



6 図 油の真空脱気処理装置

Fig. 6. Apparatus of degassing air in oil.

の空気を有しこれが気泡をつくり、あるいは酸素が高温の油と化学作用をおこして絶縁耐力を低下させる原因ともなる。この溶解電気を取除くと共に脱水も兼ねた脱気処理装置を製作し、この変圧器の付属品として納入し現場組立に際して使用した。

この装置は主要部品として脱気タンク・高压油ポンプ・低压油ポンプ・噴油器・真空ポンプ・自動操作制御箱・接点付油面計その他から構成され、これを 6 図に示すように台枠上に取付け移動用車輪を付しトラックにて輸送できる大いさおよび重量としている。濾過器を通した油は高压油ポンプにより真空度 1 mmHg 程度の高真空脱気タンク内に噴出され微粒子となって脱気が行われる。脱気タンクにたまった油は低压ポンプで変圧器本体に送油される。高低圧両油ポンプは同一容量のものにしてあるが、機種の違いから多少吐出量の差は免れないので、これを自動操作するため油面計につけた接点を制御箱内部の電磁直入起動器および補助継電器に接続し、油面に浮かした浮子の上下運動を利用して最高および最低油面において両ポンプを起動または停止させ油量の調節を行う。

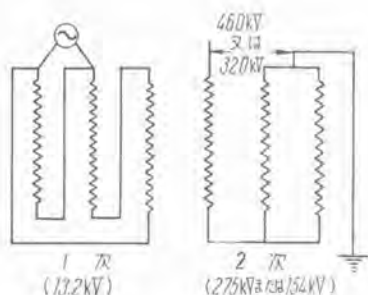
この装置の機能は脱気タンク内の真空度が高いことと高压油ポンプにより 10 kg/cm² 程度の圧力で油が噴出されるので、噴油は高度の微粒子となり脱気の程度は高く、約 95% の脱気度を示している。なお 5 時間の処理能力は 3,000 l である。

5. 試験結果

この変圧器は 275 kV, 154 kV 両用のため最初 275 kV の特性試験・絶縁耐力試験および温度上昇試験を行った後に、接続を切りかえて 154 kV 結線とし同様試験を行った。以下簡単に試験結果について記す。

ア. 特性

1. 銅損	275 kV	251.4 kW
	154 kV	290.3 kW



7 図 交流絶縁試験結線図

Fig. 7. Connection diagram of low frequency insulation test induced from the 13.2 kV side by 180 cycles source.

2. 鉄損	148 kW
3. 効率	275 kV 100% 負荷 99.45%
	154 kV 100% 負荷 99.40%
4. 無負荷電流	1.04%
5. インピーダンス	
	275 kV 11.72%
	154 kV 10.26%

イ. 交流絶縁耐力試験

高圧側は段絶縁および中性点絶縁低方式を採用しているので加圧試験は実施できない。したがって7図に示すように高圧側の2端子を一括して接地し、低圧側から180 c/s 1,000 kVA の発電機を用いて励磁して、1 次の接地されない端子に 200 kV 級の試験電圧 460 kV および 140 kV 級の試験電圧 320 kV を誘起させる方法を取り、それぞれの端子を変えてこれを3回実施した。なお試験時間は 180 c/s の電源を使用したので誘導試験の規程にしたがって 40 秒とされ、同時に各巻線の誘導試験も行われたことになった。

1 表

		絶縁階級 (号)	全波 (kV)	截断波 (kV)
1 次巻線		20	150	190
2 次巻線	275 kV	200	1050	1210
	154 kV	140	750	870

ウ. 衝撃電圧試験

変圧器衝撃電圧試験規格 (JEC-110) にしたがって試験を行った。試験電圧は1表のとおりである。

エ. 温度上昇試験

275 kV のとき	油	30.4°C
	1 次巻線	42.8°C
	2 次巻線	41.1°C
154 kV のとき	油	30.5°C
	1 次巻線	43.5°C
	2 次巻線	45.4°C

154 kV 結線において 50 c/s のときの全損失を加え、送油ポンプおよび送風機を 50 c/s に運転して温度上昇試験を行った結果の油の温度上昇は 44.5°C であった。

参考文献

- (1) 350 kV 117,000 kVA 変圧器 田宮・村上
三菱電機 26 巻 5 号
- (2) フォームフィット変圧器 村上
三菱電機 27 巻 2 号

URS 型 負 荷 時 電 圧 調 整 変 圧 器

伊丹製作所

田 村 良 平*

Transformers with Type URS On-Load Tap Changer

Ryohei TAMURA

Itami Works

Transformers in substations at the receiving end of the system are in many cases necessitated to have a tap changing device under load, which has come to call for a simple, accurate yet highly reliable on load tap changers. In answering the purpose, Type VRS on-load tap changers have been newly developed and are enjoying good reputation in the application to transformers rated 15,000 kVA and below.

This article deals with distinctive features of this device as well as ordinary instructions on the application and maintenance.

1. ま え が き

受電電圧の変化または負荷の変動に対しその電圧を調整するためには、変圧器の1次または2次巻線にタップをつけ、変圧比を変えることにより実施されるが、変圧器を線路から切離しタップを変えることは面倒で停電時間を要し連続送電を犠牲にするのみでなく送電側負荷側とも運営上いろいろの面で好ましくない。また負荷の性質によっては急速で頻繁な電圧の常時調整が必要でしかも一時的にも電源を遮断できない場合がある。

この場合の一方法として負荷時タップ切換式の採用、いわゆる負荷時タップ切換器付変圧器を設置することは、設備簡単、運転経費ももっとも経済的で広く採用される状態である。とくに系統設備の新規拡張と電力供給のサービス向上があわせ緊要視され、近年負荷時電圧調整変圧器がさらに関心を高めてきた。

URS 型負荷時タップ切換器は当社標準の負荷時タップ切換器の一つで、大型変圧器用の UT 型負荷時タップ切換器（定格 69 kV 500 A）に対して中容量変圧器すなわち2次あるいは3次変電所の分野に採択される切換器で、15,000 kVA 以下の電力用および調整用変圧器につけられ、最近のユニット・サブステーションの主変圧器には一標準として使用される。また化学工業あるいは重工

業用の水銀整流器用変圧器や電気炉用変圧器のように頻繁な電圧変更を行う変圧器に取付けて好適である。

以下にこの URS 型負荷時タップ切換装置について紹介する。

2. URS 型負荷時タップ切換器の特長

URS 型負荷時タップ切換器は構造の堅牢度耐久性に欠ける点がなく装置の単純化簡易化を計り、保守上の信頼性・安全感の増大と円滑で確実な運転を主眼点にして設計されている。具体的に特長とする処を列記すれば、

ア、切換器は機構部分を含めて1箇一体の箱の中に納められ、これを変圧器外箱側面にマイカルタ区切板を介して取付ける構造で、この区切板自体を共通台にして各相切換器が組立てられている。変圧器タップは区切板を通る開閉器コンタクトのスタッドに内面から直接接続され通電ボルト接続が少ない。すなわちタップ接続が直結式であるとともに変圧器とタップ切換器は単純に2分されている。（したがって簡単にタップ切換器をはずして普通の変圧器として実用することもできる。）

イ、操作用電動機から駆動機構すべてが開閉器と同一油槽内にあり機構的に直接式であるので、可動部分が少く、ばね・ラッチおよび緩衝装置が不要で、安全度の高い運転ができ、損耗部分が少く操作が軽い。

ウ. 可動接触子はジェネバ・ギヤ作動により駆動されるので、接触子の移行が定位置から平滑な加速と減速を行い衝撃がない。また接触子のアーキング・サイクル中の移行速度は最大で quick breaking を計りアーク勢力を極小にしコンタクトの損傷を減じ電氣的にも機械的にも接触子その他の寿命を長くし故障を起さない。

エ. 選択開閉器と移転（負荷）開閉器とを同体とし転極開閉器とを組合わして各相単位の一併組立式となっており、点検窓から容易にすべての部分に触手できて保守点検が至便である。要すれば普通工具でもって最小の労力で早急に接触子片を取換えることができる。

オ. 接点は self-align 型で温度上昇低く、接触子には特殊耐弧性合金を有効に使用してアークによる損傷を防ぎ、組立は容易に完全整合され機械的ストレスを減じて耐久性を増大する。各相に至る駆動軸には可撓接手を用いてあり運転中不整の起るのを防いでいる。

カ. 操作電動機の制動はとくに電氣的制動とし、タップ切換動作の恒久確実性を確保し得る。タップ切換の極限の機械的インタロッキングには高級な装置を用い操作に絶対危険のないよう留意されている。

その他ガスケット、油切りの漏油対策等、多くの特長は以下の説明により自ら分明するであらう。

3. URS 型負荷時タップ切換器の定格、結線

URS 型負荷時タップ切換器の定格は絶縁階級 15 kV 級で電流容量は各相 400 A である。3 相のものを標準とし、タップ数は標準 17 点で、極性切換器を有し上昇・下降各 8 段に切換える。なおタップ間橋絡位置を規定点とし補助単巻変圧器で分圧して、タップ数を 33 点とすることもできる。電動操作式で誘導電動機 1/4 HP 8 極 3 相 220-(110) V（あるいは直流電動機を使用することもできる）によって駆動し、手動操作もできる。電圧制御継電器具により自動式にできることはもちろんである。

電圧調整範囲を上下 10 % とすれば 17 点でステップ 1.25 % となり電圧継電器の感度と照合し実用上適当な精微調整といえよう。特殊用途でタップ範囲が広大な場合には 33 点にする。

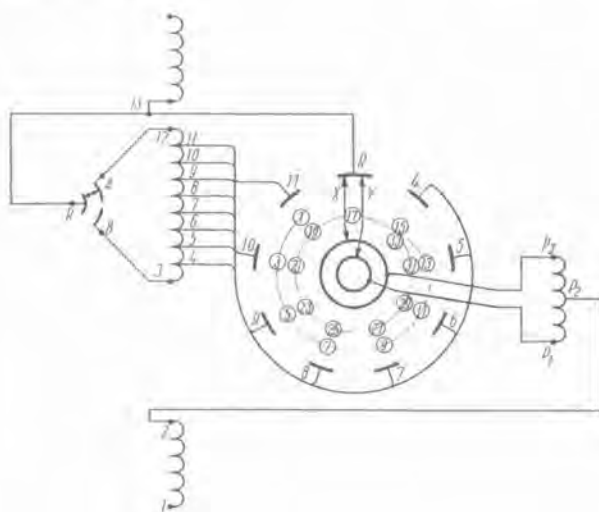
切換動作はコントロール・スイッチにより確実に規定点に停止し、タップ位置はタップ切換器箱および制御盤に表示され、タップ変換動作回数は数取器により 1 ステップ毎に積算計数する。

URS 付変圧器の 1 相分の結線は 1 図に示すとおりで、変圧器の電圧調整する側の巻線から出る各相のタップリードと補助単巻変圧器のリード線が図示のように固定接触子に結ばれる。図の円形に列んだ接点が選択開閉器固定接触子で矢印の接点が可動接触子であり、固定子は R および 4~11 と 9 箇ある。AB は転極（極性交換）開閉器固定子でタップ巻線両端リードが結ばれる。タップ巻線は 8 ステップに対し 9 等分してタップを出している点は注意すべきであり、したがってタップ線輪は上昇と

下降につき 1 段のズレがある。

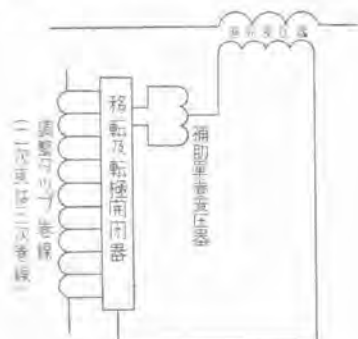
この結線では相電流が 400 A までであるから回路電圧を 11 kV とすると最大変圧器容量 13,000 kVA まで使用し得ることになる。（回路電圧 3.45 kV の場合は最大変圧器容量 4,000 kVA である）

変圧器の容量が大で巻線電流が 400 A をこえるときは、べつに直列変圧器を主変圧器に内蔵して調整容量分のタップ変換を行う結線方式を採る。また回路電圧が 15 kV よりも高い場合も同様である。これは電圧調整をする主巻線から、あるいは低圧巻線ないしは 3 次巻線からタップを取りタップ電圧により直列変圧器の励磁を加減し、調整電圧を線路に挿入してやるものでタップ切換器電流は直列変圧器巻線比により減少し調整容量分相当の電流となる。この場合の結線図は 2 図のようになり、調整容量 7,500~13,000 kVA までの負荷時電圧調整変圧器に採用できる。



連絡	タップ位置																																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32			
R ₁ と	11	10	10	9	9	8	8	7	1	6	6	5	5	4	4	3	3	11	10	9	9	8	8	7	7	6	6	5	5	4					
R ₂ と	10	10	9	9	8	8	7	7	6	6	5	5	4	4	3	3	1	1	10	9	9	8	8	7	7	6	6	5	5	4					
Rと	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

1 図 URS 型負荷時タップ切換器結線図および動作説明図
Fig. 1. Type URS load tap changer connecting diagram and illustration of operation.



2 図 URS 型負荷時電圧調整変圧器結線図(直列変圧器式)
Fig. 2. Type URS load tap changing transformer connection diagram.

なお URS 型負荷時電圧調整器として別置式調整器にももちろん使用できるが、普通高圧用は UR 型負荷時電圧調整器をもっぱら採用し URS 型は特別高圧大容量の電圧調整器に付される。

また、普通高圧は 6,900 V と 3,450 V の線路に共用できる仕様の変圧器を要求されるむきが多いがこの場合負荷時電圧調整とするときは主巻線のみを直並列切換とし調整電圧は一種類のみたとえば 690 V あるいは 345 V (または 517.5 V) のどれか一本とするのが望ましい。

4. URS 型負荷時タップ切換器の変換動作

一般に負荷時タップ切換器は変圧器巻線タップから完全に開路できないのでタップ間を橋絡する段階を経、したがって 1 相につき 2 箇のいわゆる負荷開閉器 (移転開閉器) を要し、互に交換の過程に交番して負荷を通電開閉する。移転開閉器の結線方式は 2 大別され単一式と称し奇数番タップと偶数番タップを分けてタップ選択器に結線しその 2 群にそれぞれ移転開閉器を結び、タップ変換は移転開閉器の交番開閉とそれに連動するタップ選択とにより行い橋絡インピーダンスは規定位置で分路短絡する方式 (大型変圧器用の UT 型は単一式である) と URS 型等の並列式とがある。

URS 型負荷時タップ切換器はとくに移転開閉器とタップ選択器が同体であり、1 図の XY が 2 箇の選択開閉器で、XY は同一軸心上で互に半周期づつ交互に回転移行する。ある定位置たとえば固定子 R に XY がともに接している状態 (調整電圧 0) から上昇方向に動作すると、まず X が R から開路し半周期で X は固定子 11 に接し、つぎの半周期では今度は Y が動作を起し半周期で Y は固定子 11 に回転移行して接合する。これで 1 タップの変換をした訳でこれを順次繰返してタップ交換を進める。下降の場合は逆の動作を行うが、R 固定子までくると転極開閉器が動作し A を開路し B に接してタップ巻線の極性を逆にする。したがって同一方向に回転してさらに電圧を下げる方向に進む。1 図下表にこの関係を表示してあり、タップ 1 番 (最低) からタップ 33 番 (最高) に至るタップ変換全行程の間に選択開閉器は同一方向に 2 回転し、1 番と 33 番の極限を除き動作は可逆である。

タップ変換の 3 段階でタップ間を橋絡する位置では、補助単巻変圧器 (リアクトル) でタップ電圧を 2 分圧し中位電圧を得、短絡電流はリアクタンスで制限される。定位置では補助単巻変圧器は負荷電流起磁力を互に相殺しリアクタンス降下はなく、移転位置でリアクタンス降下があるが、ごく短時間でわずかであるから問題でない。

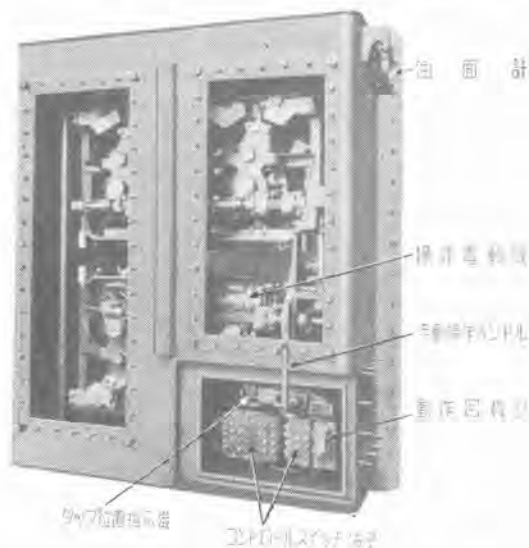
転極開閉器は 3 表に示すように 16 番と 17 番の間 (調整電圧 0) で切換えられ、AB 間を短絡することなく選択開閉器が R の位置すなわちタップ部分開路の状態 (バイパス) で切換えられる。

選択開閉器の作動はジェネバ駆動によるもので、駆動

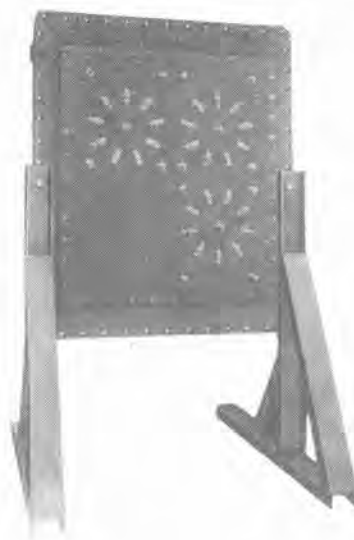
はニオン軸により 2 箇のいわば一歯歯車のジェネバ・ピニオン (送りピン) が回転しジェネバ・ギヤーを移転し開閉変換する。よって接触子の移行速度と駆動電動機の回転、すなわち時間との関係は等速円運動の一方成分であり、定位置より平滑に加速され接点开閉時に高速度になり、平滑に減速して次のタップ位置で停止する。したがって電弧勢力を極小にししかもショックがない。

5. URS 型負荷時タップ切換器の構造

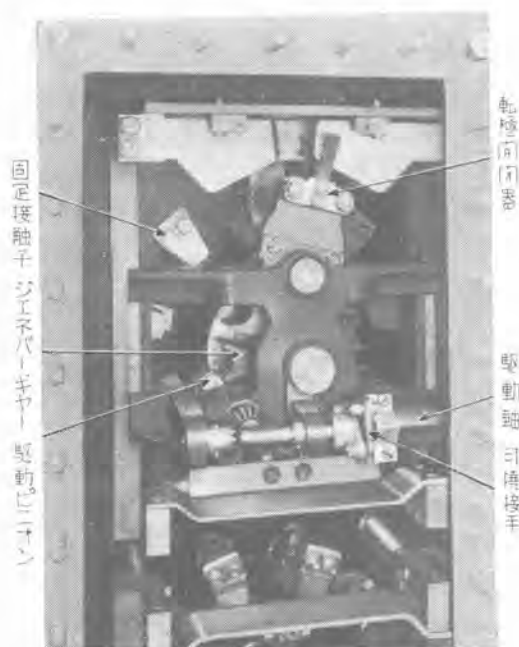
URS 型負荷時タップ切換器は選択開閉器、転極開閉器と操作機構および補助スイッチ類からなっている。3 図は URS 総体を点検窓をはずして示す写真で区切板に組立てられた開閉器は操作機および連結機構を装備して一体の鋼板製箱に包蔵され、電動機を含み開閉器、主減速連動機構は油中に納め、制御スイッチ類、タップ位置指示器、手動クランク、機械的リミット・ストッパ等は右下の油室から仕切られた補助室に配備する。全体はガスケットにネオ・プレーンをうけ主変圧器タンクにフ



3 図 a URS 型負荷時タップ切換器総体
Fig. 3. a. Type URS load tap changer.

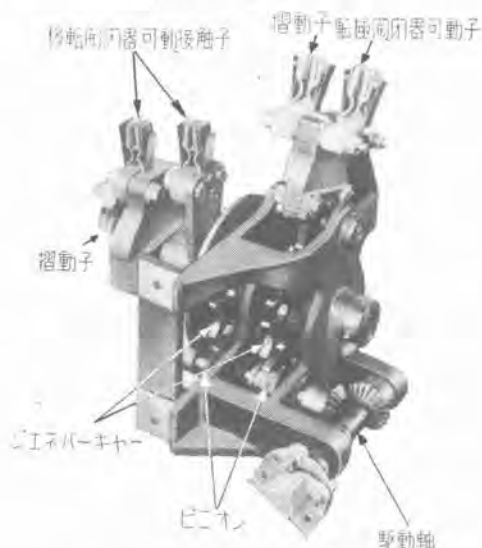


3 図 b URS 型負荷時
タップ切換器裏面
Fig. 3. b. Type URS
load tap changer
back view.



4 図 URS 型負荷時タップ切換選択および
転極開閉器 (1 相分)

Fig. 4. Type URS load tap changer selective
and pole changing switch.



5 図 選択および転極開閉器可動部

Fig. 5. Selective and rotating pole
switch stationary ports.

レンジによりボルト締めして取付けられる。箱体には磁石式丸型油面計を付し、排油弁・瀘過弁・検油弁と油封式安全弁を備え酸素湿気の侵入を防ぎ電弧ガスを放出する。

ア. 選択開閉器・転極開閉器

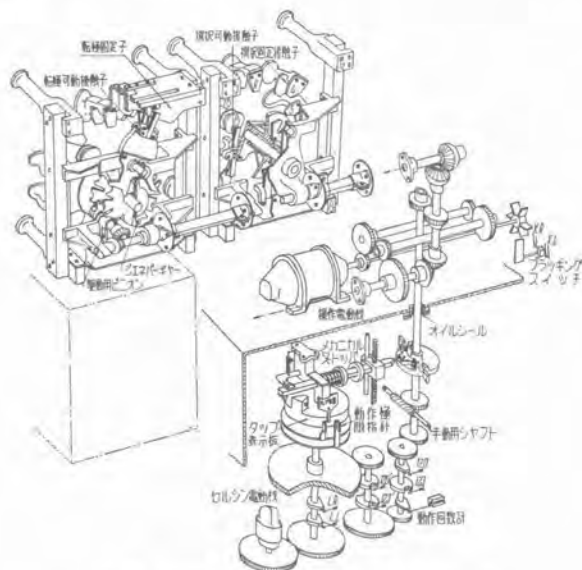
選択開閉器・転極開閉器は一体に各相独立して主マイカルタ区切板上に組立てられる。各相の機構は可動接触子と軸と駆動ギヤの組合わせで、鋳鋼の枠で組上げる。(4 図 5 図参照) 枠はピニオン軸・中央軸・転極軸の三つの軸を並行に支持し、通電スタッドに絶縁柱を渡してそれに固定される。ピニオン軸は駆動源で 2 箇を互に 180° ずらし、軸上距て取付けた (おのおの一歯であり

それぞれ 2 箇の同軸中央のジェネバ・ギヤに噛合う) ジェネバ・ピニオン (送りピン) を有する。中央軸は実は同心の 2 軸からなりそれぞれ選択開閉器可動接触子とそのジェネバ・ギヤを保持する。また内部軸は転極軸を動かすピニオンを持っている。

以上の関連に基き 6 図の透視図から判るように、一つのピニオンについては半回転は空転し、つぎの半回転でジェネバ・ギヤを動かす。2 箇のピニオンが交互に二つのジェネバ・ギヤを動作し、選択開閉器を移転し交互にタップを変換して前述の動作を遂行する。転極ジェネバ・ギヤは中央軸回転の一端でのみ動作したがって 2 回転行程の中央で転極開閉器を作動し、回転極限ではストップの作用もする。

イ. 接触子

選択開閉器固定接触子は刃形板でウェッジ型であり、高級マイカルタ板の上に円形状に並べて各相取付けられた鋳銅脚に 2 箇あて可動接触子に対応してボルト締め取付けられている。1 図に示すように銅脚は貫通スタッドとなり縁を円くし、通電部はすべて静電界を集中しないよう考慮されている。



6 図 URS 型負荷時タップ切換器説明図

Fig. 6. Type URS load tap changer
illustrating diagram.



7 図 選択開閉器固定接触子

Fig. 7. Selective switch stationary contactor.

可動接触子は対のフィンガ型のアーキング・コンタクトで特殊耐弧性合金でできたシューを電流分路と強力で疲労のない板ばねで支持した構造で、固定ブレードを挟持し、接触面は接触子の摩耗を少くするとともに通電容量に充分な接触圧力と面積を有する。

固定コンタクトのテーパ・エッジにも耐弧合金を溶接して電弧による損傷を防ぐ。

移転開閉器固定接触子脚は変圧器室側でそれぞれタップ巻線タップリードとナット締付接続され、転極開閉器固定子は枠台兼スタッドを通してタップ巻線端リードと接続し、可動子は摺動板を経て R 固定接触子とつながっている。内部軸（奥側）の移転可動接触子は軸と絶縁し集電ディスクを通して中央より区切板を貫通し補助単巻変圧器端子 P_1 と結ばれ、外部軸（前側）の接触子は摺動環より枠台スタッドを通して補助単巻変圧器端子 P_2 と結線される。これら滑動接点はやはりフィンガ型である。

固定子およびスタッドの取付はタップ切換器室側にネオプレーンガasketをスタッドの溝型パッキン座に敷き変圧器室側よりナットで緊締する。

ウ. 操作機構

油槽中にある運転機構は操作電動機と各相切換器組立との間の減速歯車機構である。

各相結合軸には絶縁マイカルタ軸を使用し、一対の特殊可撓接手をもって金属軸と接合されマイカルタ軸には穴を明けず可撓接手のクランプで挟み締めて連結する。このため各単位組立の間にわずかの不整が生じてもストレスや軸撓荷を受けることがない。（8 図参照）

操作電動機は油中の運転に適するよう製作されており、保守を無用とし信頼ある運転をする。電動機を停止するときの制動は、把持力を要しないからブレーキ・シュー等の摩擦制動によらず、いわゆるブラッキングをかけ直流電動機では電機子の接続を逆にし 3 相誘導電動機では 2 線を切換え相回転を逆にし、回転方向と反対のトルクを生じさせて急速に確実に停止させる。このためのリレーは 9 図 a, b に見られるように電動機軸に直結してインペラを設けスイッチ箱内の油を攪拌して油圧により上昇回転と下降回転につきおのおのの接点を回転中は閉じるようにしたもので、停止すれば自ら開く。これをブラッキング・スイッチとっている。上昇回転用を XR, 下降回転用を XL とする。

電源端子はブッシングを通して補助器室に導かれる。



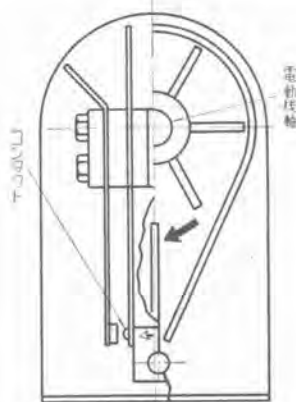
8 図 可撓接子

Fig. 8. Flexible contactor.



9 図 a プラッキング
ングスイッチ

Fig. 9. a. Plugging switch.



9 図 b プラッキング・
スイッチ

Fig. 9. b. Plugging switch.

減速され各相開閉器組立に連結される 1 タップ 1 回転の回転軸はまた並行して減速機構の枠台を貫通し、補助器室に至る。この部の軸油切りにはベロー式軸受を使用して漏油を完全に無くしている。

エ. 補助器具

運転制御に必要なインタロック・スイッチや手動クランク等の補助器類は補助器室に収納されており、蝶番の扉をあけて点検保守あるいは手動操作する。タップ位置表示器は扉のガラス窓から視見することができる。

垂直主軸の側にピボットで結離自在のウォームがあり手動運転の際にはこのソケットにハンド・クランクを挿入して主軸に結合させる。クランクは不用のときは扉の内面にかけておく。手動用ウォームを結合させるとインタロック・スイッチが開き電動機の電源を絶つ。

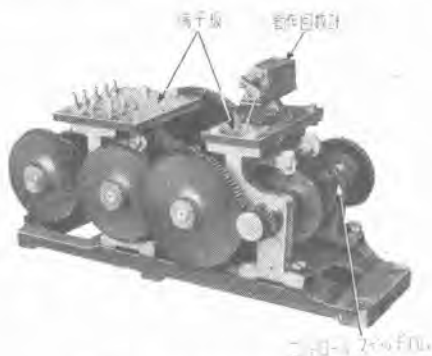
各種インタロック・スイッチはギヤリングで主軸と相関連動して電動操作の制御を司る。コントロール・スイッチ 120 はタップ規定位置で開、移行中閉のスイッチで電動機の停止位置をタップ位置に相対して規定する目的のもので 33 点用・17 点用・9 点用の種類がある。タップ規定位置で閉、移行中開のスイッチ 123 をつけることもある。なおこの軸には動作回数計が取り付けられる。

1 段 20° 回転の軸には、タップ番号を記入したドラムが回転しタップ位置を固定指針により指示させる。タップ位置指示器には残留指針があり最高最低動作範囲も表

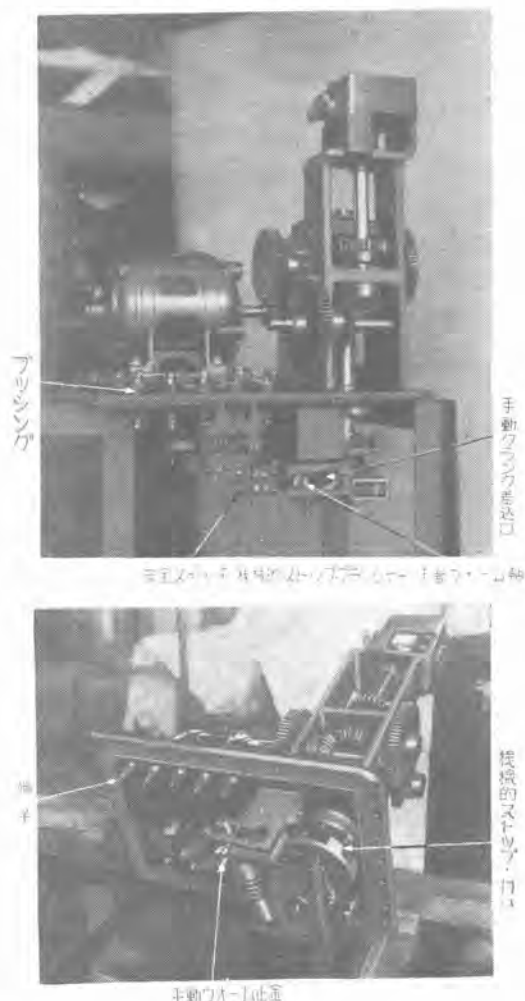
示す。

この軸のカムによりリミット・スイッチ LR および LL が働く。すなわちタップ変換極限 33 番あるいは 1 番のタップで電動機の回路をかならず切りこれ以上の回転をさせないためのスイッチで、上昇極限で LR は開、下降極限で LL は開く。

機械的ストッパは動作極限になるとこの軸の桿によりスプリングをはずして主軸に付いた青銅製カムの溝の中に鋼製ブランジヤを投げ込みそれ以上の動作を絶対に許



10 図 コントロールスイッチ
Fig. 10. Control switch.



11 図 機械的ストッパ
Fig. 11. Mechanical stopper.

さぬ構造で、このブランジヤは逆動させれば主軸のカムにより自ら復帰する。

また機械的ストッパがきくと、手動クランク挿入の時働く安全スイッチ AM_{s1} , AM_{s2} を同じく開く。

これらの関連は 6 図の透視図に図解してあり、11 図は機械的ストッパを示す。

インタロッキング・スイッチは 10 図に示す如くカム動作式ブリッジ型のスイッチで接点には銀接触ボタンを使用し、6 辺形穴で軸に正確に設定されたマイカルタカム・ディスクにより接点をおさえる横杆を動作してコンタクト開く。

制御回路の特殊目的のために必要ならば別種のカムおよびスイッチを容易に取付けることができる。

その他配電盤にタップ位置を表示するための送信用セルシン電動機、各接続端子、および照明ランプを備えており、操作用電線はまとめて配管口より接続される。

6. URS 型負荷時タップ切換器の運転操作

12 図 a, b, c はタップ変換時の電流電圧の切変り状況の最高、中央、最低タップ近傍をオシログラムに示すもので、UVW 相タップ電圧と U 相の負荷電流（力率悪い）を P_1 端子、 P_2 端子につき表現している。選択開閉器動作による負荷電流の移転、補助単巻変圧器の励磁電流の重畳、およびタップ電圧の変化状態を理解することができる。

13 図はタップ切換開閉器、および補助スイッチの動作の関係を示すシーケンス図である。

ア. 電動操作

タップ切換器の電動操作は別の制御盤に設けられた操作スイッチ、制御接触器、補助継電器により行う。14 図は操作回路の一例で、 ML , MR は操作スイッチ、 FL , FR は電磁接触器、 SL , SR は補助継電器である。

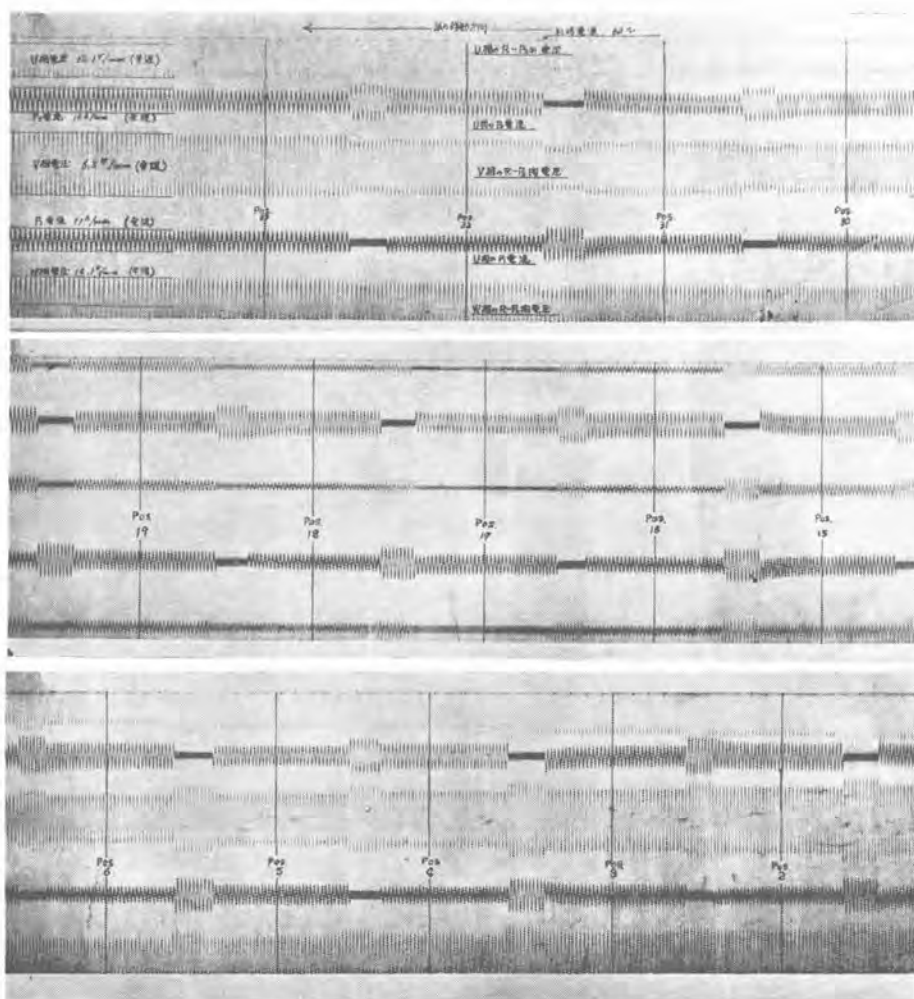
もし電圧を上昇したい場合には、操作スイッチ MR を閉じ (SR) を付勢すれば SR_1 , SR_2 が閉じ、(SR) はセルフ・ホールドされ、電磁接触器 FR が働きコンタクト R を閉じて電動機を電圧を上昇させる方向に回転するとともにバック・コンタクト R_2 を開いて FL をインターロックする。120 は前述のとおり動作を起すと、閉じ次のタップ位置でまた開くカム・スイッチである。かくして 1 タップ進行すると 120 が開き (SR), (RF) を消勢してコンタクト R を開く。この時前述のブラッキング・スイッチ XR は閉じているから瞬時 FL が働いて電動機に逆相制動をかけ急停止する。さらにタップを進めるには MR を閉じればよい。変換極限にくと LR が開き電動機の回転を必ず停止する。

電圧を下降させる場合は ML を閉じれば同様の順序で降圧操作をする。

1 タップ変換に要する時間は 2 秒余りである。

イ. 手動（ハンドル）操作

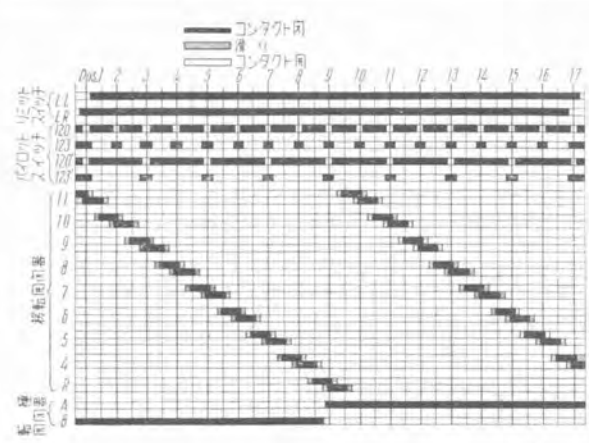
補助器室の扉をあけ止金をゆるめて手動ウォームを右



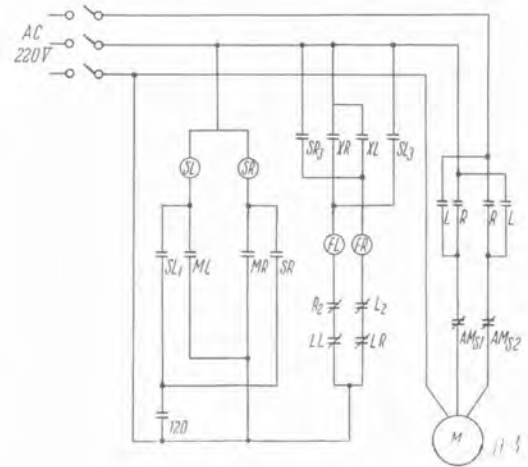
a

c

12 図 a. b. c.
URS 型負荷時電圧調整器動作オシログラム
Fig. 12. a.b.c. Type URS load tap changer operation oscillogram.



13 図 各種スイッチ動作シーケンス
Fig. 13. Sequence of various switches.



14 図 URS 操作回路
Fig. 14. Type URS controlling circuit.

に移すと安全スイッチ AMS_1 , AMS_2 が開き電動機の電源を切る。手動クランクをソケットに挿し込み右に回すと上昇方向に左に回すと下降方向に、7 回転で 1 タップ進むことになっている。変換極限に至ると機械的ストップが軸に噛込んでそれ以上は回転できなくなる。

手動操作はタップ位置を注視して行わねばならぬ。

ウ. 自動運転・並列運転

電圧継電器、制御保護継電器、あるいは電流継電器を用いて自動で常に電圧一定に運転することができる。ま

た脱調、渋滞を防ぎ、同期を計り、単相器あるいはバンクの並列運転を自動あるいは 1 人電動で行うこともできる。本文ではこの詳細は省略する。

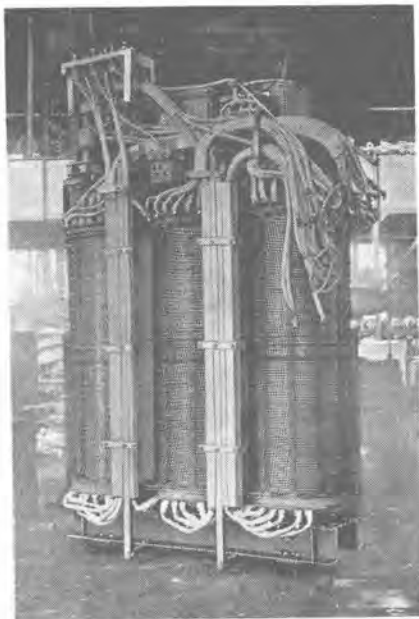
7. URS 型負荷時電圧調整変圧器

URS 型負荷時タップ切替器付変圧器の中身の構造は普通の変圧器と特別に相違するものはないが、タップ巻線の配置についてはとくに考慮を必要とする。タップ巻

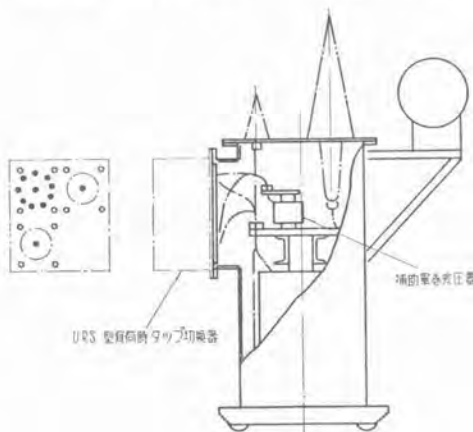
線は逆性に反転接続される場合があるから、普通の電力用変圧器と同様線輪スタックの中央部にタップ巻線を配列挿入すると、反転時の電流方向が逆で交叉漏洩磁束を異常に大にして、漂遊損失を増し短絡時機械力が許し得ぬ程に増大する。したがって内鉄型変圧器においてはタップ巻線を単独に最内層に高低圧線輪のスタック高さに



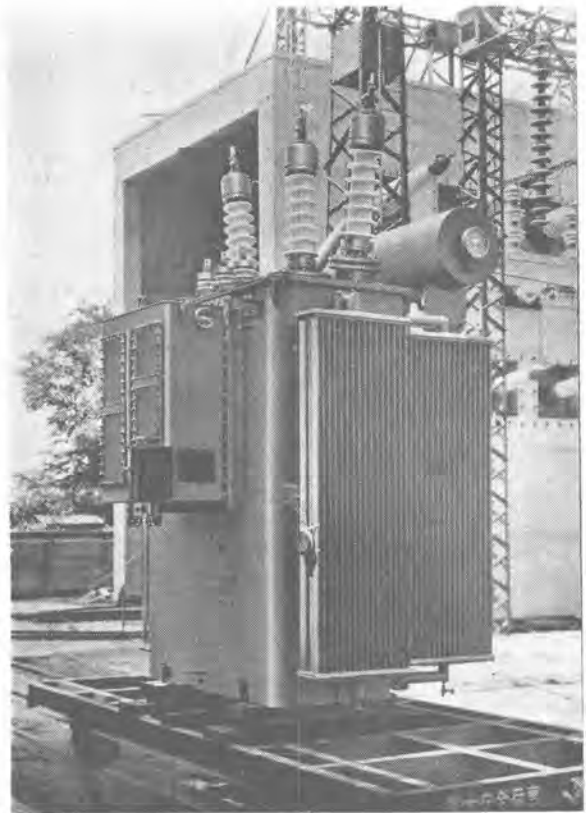
15 図 URS 型負荷時電圧調整変圧器タップ巻線
Fig. 15. Type URS load tap changing transformer tap windings.



16 図 URS 付変圧器中身
Fig. 16. Type URS transformer contact.



17 図 URS 型負荷時電圧調整変圧器構造図
Fig. 17. Type URS load tap changing transformer construction.



18 図 2,000 kVA 3φ 60 c/s 66-63-60-57 kV/(66-3.3) kV
±300 V CR-URS 型変圧器
Fig. 18. 2,000 kVA 3φ 60 c/s 66-63-60-57 kV/(66-3.3) kV
±300 V CR-Type URS transformer.

揃え、同心円筒状に巻回して、漏洩磁束の発生を極小にする。15 図は 2,000 kVA 変圧器のタップ巻線を示す写真でマイカルタ円筒心に巻線を直巻きして、コイル・エンドは成形マイカルタ・カラーで充填し軸方向に押え金具で強固に締上げる構造で、タップリードは薄銅板を巻線に銅鍮付して線輪にそわし上下に出す。

衝撃電圧に対する絶縁はとくに意を用い、タップ巻線は 1 図の如く主巻線を 2 分しその間に接続して線路端にタップ部分を置くことは避け、タップにストレスのかかるのを防ぐ。

16 図は 3,000 kVA 66/(6.9-3.45) kV±345 V 3φ 変圧器の中身組立の写真で、URS 付変圧器はタップリードが長く多いからその絶縁と支持についてとくに頑強な処置を構ずる。上部に見られる小さい変圧器が補助単巻変圧器であり、空隙付鉄心で小さくても頑丈な円形線輪を採用する。

URS 付変圧器の総体構造は 17 図に示す。

18 図は 2,000 kVA 66/(6.6-3.3) kV±300 V 3φ URS 付変圧器の外観である。別に変圧器本体には窒素封入装置が付属される。タップ切換器点検窓のカバーはとくに操作試験用にガラスをあてている。

8. URS 型負荷時タップ切換器の取扱い、保守

負荷時タップ切換器の実用上の問題は接触子の寿命と油の取換濾過の頻度にかかっている。

1 表

注 文 元	容量 (kVA)	相 数	電 圧	周波数	台 数	製 作 年
四 国 電 力 (善通寺)	2,000	3	66 kV/(6.6-3.3) kV \pm 300 V	60	3	昭 28
関 西 電 力 (丸 山)	1,000	3	13.2 kV/3,300 V \pm 10 %	60	2	28
北 陸 電 力 (井 波)	3,000	3	66 kV/(6.9-3.45) kV \pm 345 V	60	2	28
四 国 電 力 (丹 原)	2,000	3	66 kV/(6.9-3.45) kV \pm 517.5 V	60	2	29
北 陸 電 力 (松 岡)	3,000	3	77 kV/(6.9-3.45) kV \pm 345 V	60	1	29
北 陸 電 力 (桜 井)	3,000	3	66 kV/(6.9-3.45) kV \pm 345 V	60	2	29
北 陸 電 力 (魚 津)	3,000	3	64 kV/(6.9-3.45) kV \pm 345 V	60	2	29
北 陸 電 力 (栗 津)	3,000	3	73.5 kV/(6.9-3.45) kV \pm 345 V	60	2	29
北 陸 電 力 (久 常)	3,000	3	73.5 kV/(6.9-3.45) kV \pm 345 V	60	2	29
北 陸 電 力 (金 津)	3,000	3	73.5 kV/(6.9-3.45) kV \pm 345 V	60	1	29
三 菱 鉱 業 (高 島)	9,000	3	42 kV/3,300 V \pm 10 %	50	1	29
関 東 地 建 (立 川)	1,500	3	60 kV/3,450 V \pm 10 %	50	2	29

URS タップ切換器コンタクトの保証寿命は等価連続動作試験の結果から推定して、負荷の大小によって大いに相違があるが、全定格で連続使用したとしても油とともに 200,000 回を保証し得るが、一般のスイッチ・ギヤーと異なり、運転中の動作回数は格段に大きいもので、この点の保守点検を怠りがしるにすることはできない。コンタクトの更新、および油の取換えは下記の基準で施行すればよい。

選択開閉器可動フィンガ・シューの平面接触部分の面積が 1/2 以下までに損耗したら取換える。固定コンタクトはエッジの耐弧合金が消耗し失せたらブレードをつけ換える。

運転に入って最初の一年目、あるいは 35,000 回動作後にはタップ切換器全部を点検するのが望ましい。この結果に基づいて次回の点検予定を決める。全部のコンタクトおよび操作機構の点検は少くとも毎三年目には行わねばならぬ。

点検あるいは保守のためにタップ切換器から油を抜いたら、新油を充滿するのが好ましいが、できなければ旧油を濾過して炭化のないことを確かめ充滿後標準テスト・カップに採って耐圧 25 kV 以上でなければ運転しないことにする。

タップ切換器は油の耐圧が 15 kV 以下であったら加圧してはならない。

操作機構の軸受の大部分は油中にあるが補助器室の軸受には時々潤滑剤をさしてやる必要がある。

URS タップ切換器はこれらの保守点検に特殊工具を必要とせず容易に行い得るよう考慮されている。

輸送は工場で完全調整された上で変圧器本体に取付けたまま現地へ搬入する。据付完了したら規定レベル迄油を入れ、手動で上限から下限迄操作してみて輸送中の故障箇所のないことを確かめてから運転に入れなければならない。

9. む す び

変圧器の負荷時タップ切換は古くから実用化されていたことであるが、煩雑な取扱い保守、高価な構造機構、しかもしばしば発生する事故のために、従来はあまり活用普及していたとはいえない。高度の装置を設け頑丈な機構で脆弱点を補強して満足すべきタップ切換器を製作することは容易だが、変圧器との製作費や保守運転維持の面から全体の釣合を考えると、中容量以下の変圧器用切換器の方が却って難しく苦心が多い。

とくに最近では終端変電所に負荷時電圧調整変圧器を置くことが多く、このため 2,000~6,000 kVA 程度の変圧器に付ける簡易で信頼性の高いタップ切換器が強く要望されている。URS 型負荷時タップ切換器はこの需要に応じて新しく開発製作されたもので、この要求に適合するようにとくに意を尽している点をご認識願いたい。

現在製作納入したものおよび製作中の URS 付変圧器は 1 表のとおりで、すでに 20 台を受注製作中であり、工場試験の結果は好成績で好評を戴いており、URS の優秀性を自負しているものである。

開発には関係者各位に色々のご協力賜ったがここに深く感謝するとともに、さらに一般のご批判を仰いで今後ますますご賞用され発展することを希っている。

変圧器油脱気装置の現場試験

研 究 所 白井万次郎・大 杉 肇

伊 丹 製 作 所 松 田 文 雄

Field Test on Gas Desorbing Equipment for Transformer Oil

Manjiro SHIRAI・Hajime OSUGI Fumio MATSUDA

Engineering Laboratory

Itami Works

Gas desorbing equipment for the insulating oil of nitrogen filled transformers has been put to practical use for sometime, but little studies have been made so far regarding its actual operation at power stations and substation, though much confidence has been given to it by the designer. In September 1953 thorough tests were conducted at Suruga Power Station on new transformers in the process of filling oil, by a joint effort of the Central Power Research Laboratory and our company, and the results were very satisfactory to prove the excellent performance of the equipment.

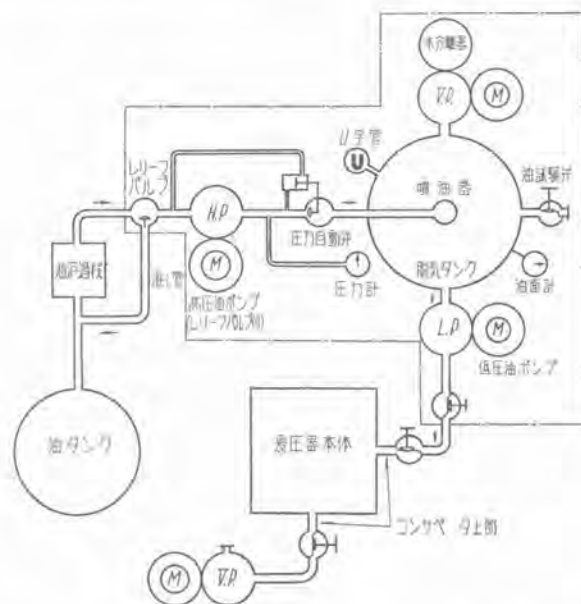
1. ま え が き

窒素封入変圧器に注油する場合の変圧器油脱気装置は、現在実用の段階にはいっているが、脱気装置そのものは相当の自信と実績により設計されているとしても、これが発電所の現場においてうまく運用されているかどうかについて十分に検討されていない。この検討をなすため、昭和 28 年 9 月に電力中央研究所と当社の共同で駿河変電所において新設変圧器の注油作業中に、油脱気装置の試験が行われたので、その結果を簡単に報告する。

2. 油脱気装置の概要

変圧器油の脱気装置は窒素封入変圧器における変圧器油の劣化防止を完全ならしめるため、注油する油に溶解している空気を除去する目的をもって製作使用されているものである。その脱気装置については各種の方式があるが、いずれも真空中に油を微粒子の状態に噴出させて油中の溶解ガスを除去するものである。

今回、東京電力駿河変電所において使用した油脱気装置は当社伊丹製作所製のもので、大体の配管図は 1 図のごときものである。まず油貯蔵タンクより油濾過機で固形不純物を除かれた油は、高圧油ポンプにより脱気タンク内に噴出される。噴油器より噴出した油は脱気タンク



高圧油ポンプ	低圧油ポンプ	真空ポンプ(水分離器付)
吐出量 50 l/min	吐出量 50 l/min	排気速度 2,500 l/min
最大圧力 15 kg/cm ²	吐出側油頭 15 m	到達真空度 5×10^{-3} mmHg
電動機 5 HP	電動機 2 HP	電動機 5 HP
		水分離量 3 l/h
本装置に連結する油濾過機の容量	70~200 l/min	真空油油量 25 l

1 図 油脱気装置の配管図

Fig. 1. Piping of oil desorbing equipment.

の側壁に当り、なお脱気が行われる。分離された空気は真空ポンプで連続に排気されているので、脱気タンク内はつねに真空度 1 mm Hg 程度に保たれている。

3. 試料油の採取方法

試料油を採取する場合、採取容器は充分真空をひいておき、空気に接触せしめぬように行うのが最も理想的である。今回は準備期間が少く、電力中央研究所は準備できなかったが、当社は真空コック付鉄製容器を持参し、これに採取する場合は真空状態で行うことができた。電力中央研究所の持ち帰り用容器および現場分析用容器は共にガラス製であったから、真空状態での採油は困難であった。

ア. 脱気装置よりの採油方法

当社容器への採油方法は、容器を 2 図に示すように接続し、バルブ C を開いておき、各種の実験条件にて稼動し、油面計の指示が平均油面を示した時（この時の油量約 400 l）、バルブ A および B を開いて鉄製容器に油を導入する。鉄製容器に油が充滿したのを確めた後、バルブ B, C を閉める。

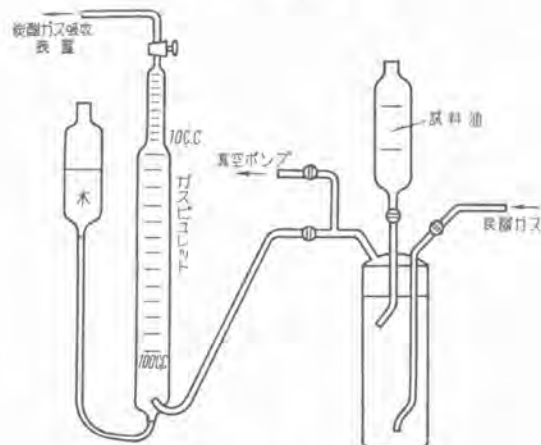
当社が採油後、脱気タンク内の真空を破り常圧に戻した後、試験弁に電力中央研究所の現場分析容器を 3 図のごとく接続し採油し、現場にて直ちに分析を行った。

分析容器に採油後、電力中央研究所の持ち帰り用ガラス容器を同様に接続して、採油し、これは後に電力中央



4 図 脱気注油中における変圧器本体よりの当社容器への採油

Fig. 4. Oil sampling from the transformer in the course of feeding oil with oil desorbing equipment.



5 図 当社の溶解ガス分析装置

Fig. 5. Arrangement of absorbed gas analysis in our company.

研究所の実験室で分析された。

イ. 脱気注油作業中における変圧器よりの採油方法

当社容器への採油方法は 4 図のごとく容器を変圧器本体に接続し、変圧器下部のコックを開き、容器に試料油を導入する。電力中央研究所の分析容器および持ち帰り容器への採油は真空状態ではできないので、一旦当社容器へ油を取り、真空を破ってから分析容器および持ち帰り容器へ採油した。

ウ. 脱気注油直後における変圧器よりの採油方法

この場合は窒素が封入されてほぼ一気圧になっているので、当社容器も電力中央研究所容器も直接変圧器の下部のコックに接続して採油した。

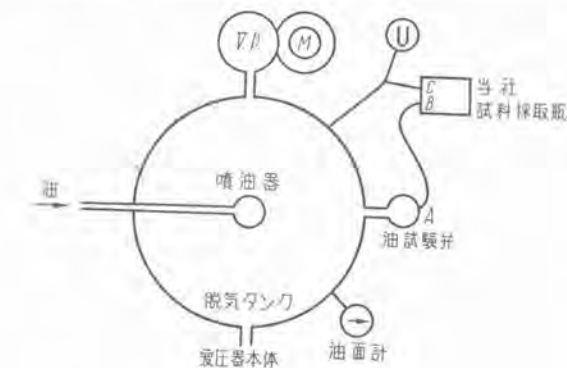
4. 溶解ガスの分析方法

ア. 当社の分析方法

F. M. Clark が用いた方法にならったもので、装置の要は 5 図のごときものである。要点は真空容器中に試料油を噴射して脱気せしめ、分離したガスおよびなお油中に残るガスを炭酸ガスで追い出し、ガスビュレットに取り、炭酸ガスは苛性カリの溶液に吸収させて、残ったガスを溶解ガスとして測定する。

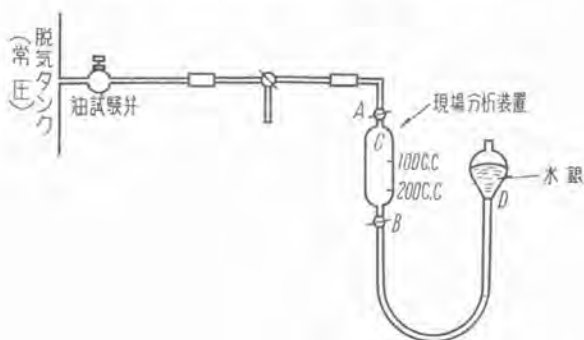
イ. 電力中央研究所の分析方法

電力中央研究所の採用した方法⁽²⁾は 3 図に示す容器 C



2 図 当社容器への採油方法

Fig. 2. Oil sampling to our test bottle.



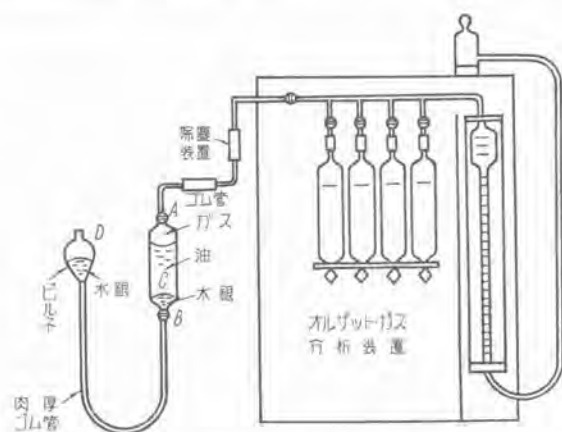
3 図 電力中央研究所、分析装置への採油方法

Fig. 3. Oil sampling to the Power Laboratory analytical device.

中に始め水銀を充たしておき、*D* の水銀を下げながら、コック *A* を開いて試料油を *C* 中に 100 cc とり、コック *A* を閉じる。さらに水銀を下げ、油面上に約 100 cc の真空空間を生ぜしめれば、油中からガスを発生する。充分に油を真空と接触させるため、コック *B* を閉じて振盪する。かくして発生したガスを、6 図のように接続したオルザットのガス分析装置に送って容量を測定する。この方法を油から全くガスが出なくなるまでくりかえす。

5. 実験結果およびその考察

今回の実験は脱気装置が標準の条件で運転しない場合、および変圧器本体へ送られてからの変化を見るのが目的であったので、脱気装置については始めに標準の条件で脱気した場合、次に真空度が悪くなった場合、噴油ノズルを上に向けた場合と下に向けた場合等につき油を採取し、分析した。変圧器本体へ送った場合としては、注油開始後 1 時間の場合と、注油終了直後の場合に採油



6 図 電力中央研究所の分析装置

Fig. 6. Arrangement of absorbed gas analysis in the Power Laboratory.

1 表 溶解ガスの分析結果

		脱気装置の運転条件			油中の溶解ガス (Vol %)		
		真空度	油圧	ノズル	電研現場	電研実験室	当社実験室
		mmHg	kg/cm ²				
脱気装置より		1	10	下向	0.9	7.7 8.2	0.44
		17	10	下向	1.2	6.8 5.4 6.1	2.07
		1	5	下向	2.2	7.4 7.7	0.65
		1	10	上向	9.3※	3.6 4.3	0.48
		1	10	下向	1.8	5.6 6.3	2.20
変圧器より	注油開始後 1 時間	1	10	下向	0.9	3.9 4.6	1.3
	注油終了直後	1	10	下向	0.9	3.9 4.6	1.3
原油		—	—	—	7.3 7.1	8.7 8.5	5.5

し分析した。分析の結果は 1 表のごとくであつた。

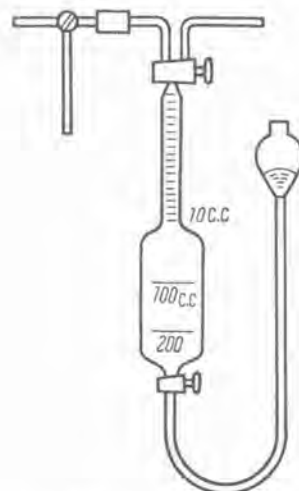
1 表によれば、電力中央研究所の実験室分析はすべて他の二つの分析値より大きな値になっている。これは試料採取後、電力中央研究所は 16~21 日たってから実験室で分析しているので、密封ガラス器中に試料を採ったにもかかわらず、ガスが吸収されたと思われたので、傾向が大体一致している。電力中央研究所の現場分析と当社の実験室分析の結果について考察することにする。

真空度 1mmHg、油圧 10 kg/cm²、ノズル下向きの標準条件で、油脱気装置を運転した場合の油の脱気は良好である。真空度が 1mm より 17mm に落ちた場合は脱気が悪くなり、かつ脱気装置内の泡立ちも非常に多くなる。

ノズルを上に向けた場合と下に向けた場合は大差ない結果となった。(電力中央研究所の※の値は誤りであることが認められた。)ノズルは上に向けた方が、油滴の空間で脱気される時間が長くなるのであるが、1mm 位の真空ではノズルが下向きでも充分に脱気されると思われる。送油圧の下った場合もあり差がない。

変圧器本体への注油開始 1 時間後、変圧器本体の下部のコックより採取した油は、注油終了直後の油よりガスを多く含む。これは脱気注油前に、油圧試験を行うため、未脱気油を一度変圧器に入れているので、その時の油がフラボードその他に多量にしみこんで残っているから、充分脱気された油が脱気装置から注油されても、ガスを多く含む結果となる。注油終了後は脱気油の量の割合が著しく多くなるので、かえって溶解ガスが少くなると思われる。おそらく油圧試験も油を脱気してから入れれば、油の脱気がより完全となるであろう。

原油の溶解ガスの分析値は電力中央研究所の現場および実験室、当社の実験室の三つの分析値がかなり違っている。前の二つの差については現場分析は真空操作を 1 回しかやらず、実験室分析は 3 回繰返している、この方が大きな値を得たと説明された。当社の分析値はこれらの値に比べてかなり小さい。これは結局分析法の差



7 図 ガス分析装置

Fig. 7. Gas analysis apparatus.

2 表 原油の溶解ガス

試 料	真空回数	ガス(%)	計	平 均
絶 縁 油	1	8.40	9.10	9.2
	2	0.65		
	3	0.05		
	1	8.45	9.20	
	2	0.65		
	3	0.10		
	1	8.40	9.3	
	2	0.80		
	3	0.10		
タービン油	1	8.0	9.15	9.12
	2	1.0		
	3	0.15		
	1	7.85	9.10	
	2	1.15		
	3	0.10		
	1	8.05	9.10	
	2	0.95		
	3	0.10		

によるもので、既往の測定値は 10 % 前後が多い。

電力中央研究所の分析法は分析容器からオルザットの装置へゆく途中誤差が入るおそれがあるので、筆者は電力中央研究所の分析容器の上部に、目盛のついた細管をつけた 7 図のような装置を作って、試験を行ってみた。結果は 2 表のごとくで、電力中央研究所実験室分析値より大きな値を得た。真空操作 1 回では不十分なことはこの表より明らかである。この結果より見て、筆者らがこれまで用いていた真空—炭酸ガス置換方法は溶解ガスの多い場合は十分に脱気しないのではないと思われる。また電力中央研究所の分析法による時は炭酸ガスや真空ポンプを必要とせず、操作が簡単で現場分析が可能である。

なおこの現場実験の前に伊丹製作所において行ったノズルの大きさの影響、油温および消泡剤を入れた場合の試験結果を 3 表に掲げる。(ガス分析方法は真空—炭酸ガス置換法による。) この結果よりみるとノズルの径は

3 表 脱気装置のノズルの影響

脱気装置のノズルその他	ガス (%)
ノズル 1 mmφ 常温	0.43
ノズル 0.5 mmφ "	0.14
ノズル 0.5 mmφ 40°C	0.14
ノズル 0.5 mmφ シリコン油添加 常温	0.65
スリット 2.5 mmφ 常温	0.26

小さい程よい、また寒い時は脱気装置の泡立ちが多かった。対策として油温を 40°C にあげてみたら、泡立ちが少なくなった。消泡剤としてシリコン油を少量入れた場合も泡立ちが消えるが、脱気度は少々わるくなっている。

6. む す び

電力中央研究所と共同で行われた駿河変電所における変圧器油脱気装置の現場試験の結果は、当社製の油脱気装置は現場においても十分に機能を発揮していることが確認された。しかし油脱気装置が標準条件で運転していない場合は、真空度がわるくなると、脱気度がわるくなる。また脱気装置で油が充分脱気されても、油圧試験に未脱気油を用いた場合は未脱気油が変圧器中に残っているので、油の脱気度が下ったように見えることなどもわかった。

終りに現場実験を共同で行い、ご指導を賜った電力中央研究所の河村英雄氏および駿河変電所、東京電力電気課の方々に対し、感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

1. 河村英雄, 電研月報 Vol. 3 No. 5, 6. (1953)
2. F. M. Clack, J. Frank. inst. 39. (1933)

正 誤 表

Vol. 27, No. 11 「分塊圧延用電気設備」のうち誤を下記のように訂正いたします。

頁	行	誤	正
4	英文梗概上から 2 行目	the most gruel	the most cruel
5	右上から 15 行	軸, 輪受・電機子	軸, 軸受, 電機子
7	右下から 10 行	誘導電機	誘導電動機
6	右上から 8 行	直流発動機	直流発電機
7	右上から 17 行	いずれの方式を	いずれの方式を
7	右下から 12 //	注意を要するのが	注意を要するので
8	1 //	それぞれ輪受に	それぞれ軸受に
9	左下から 5 行	發揮させている。	發揮せしめる。
10	14 図の英文	forced exciter	forcing exciter
12	18 図の英文	Control panl	Control panel
13	左 6 節表題	世界最大のスラブミル ⁽³⁾	世界最大のスラブミル ⁽⁴⁾
7	右 文献 (11)	AIEE Trans. Actions efions,	AIEE Transactions,

策 対 害 障 氣 電 静

世田谷工場 尾島 学 二*
研 究 所 岩 村 武 志**

Obviation of Troubles by Electrostatic Charges

Gakuzi OZIMA

Takeshi IWAMURA

Setagaya Factory

Engineering Laboratory

Productive industries sometimes meet with troubles brought about by static charges in the course of manufacturing, which are obviated by a new contrivance making use of unipolar air ions produced with high tension d-c corona on fine wire electrodes to neutralize the above charges. Being applied to rubber sheet production in Mitsubishi Setagaya Factory, the method has proved very successful, hence being introduced herein. In addition, measuring the amount of electric charges by means of UX 54 B electrometer tube is given as a new method.

1. ま え が き

静電気の起す障害は大は落雷から小は塵埃附着まで広汎にわたるが、ここでは生産工場の作業工程に起る静電気障害の対策について考えたものである。

電気絶縁性の高い材料を取扱う作業工程では、しばしば著るしい静電気が発生して障害を伴うことが少なくない。たとえばゴム引作業では静電気の放電火花がゴムの溶剤に引火して火災を招き、紡績では棉に帯電して糸が引けなかったり、また印刷では多彩グラビア印刷が困難になる等は一般によく知られている。

静電気障害の対策は以前から考えられてきた課題であるがまだ一般的な満足な方法が見出されなかった。これは静電気学そのものに現象的な方面の通則とか文献が極めて乏しいので、障害対策を行うにあたっては実験的な努力が多く要求されることになって臆病になりがちであることが一因といえよう。

当社世田谷工場のゴム引作業においてもこの問題があったので各種除電法を試みた所、その1つの方法が好成績を得たのでここにその概要を述べる。また静電気障害対策の文献が少いので筆者の執っている対策手法も何等かの参考になり得ればと考えてこれを紹介することとした。

2. 静電気障害対策の諸方法

障害を除く実際的方法はいろいろ考えられるが、現在実用されている主なものを分類すると大略つぎのとおりである。

- | | | |
|----------|--------------|------------------------------|
| 静電気の発生防止 | { 環境の湿度を高める | (a) 作業場の床へ散水する |
| | | (b) 作業場へ蒸気を吹込む |
| | | (c) 電荷を発生する材料に導電性を賦与する |
| 発生電荷の除去 | { 材料に導電処理を施す | (d) 電荷を発生する材料の表面に導電処理を施す |
| | | (e) 電荷発生箇所へ導体を接触させて電荷を大地へ逃す |
| | | (f) 電荷発生箇所へ逆性の空気イオンを送って中和させる |

(a) 作業場に散水する方法は応急処置としては簡便であるが恒久措置としては多くの場合好ましくない。

(b) 蒸気を室内に吹込む方法は空気調整の目的をも兼ねているので一般に広く行われており (a) に比べて効果的であるが、電荷の発生が著しい場合には多量の蒸気が必要とする。

(c) 材料を導電性にする方法、たとえばゴム・ローラに電荷が発生する場合にゴムへカーボンブラックを多量に混入して導電性を良くする等の方法で、除電法としては確実なものであるが適用し得る材料と混入量には実用

上限があるので、すべての場合にこの方法を用いる訳には行かない。

(d) 荷電面に導電処理を行う方法は最近化学繊維の紡績に用いられ始めており、導電材料の研究と相まって将来に相当の期待がかけられるものであるが、最終製品への処理の影響を考えねばならない。

(e) 電荷発生箇所に関細導線とか金属箔を接触させて電荷を導き出そうとする方法はしばしば試みられているが、この方法では普通全電荷の数分の一程度しか除電できないので大抵の場合この方法だけで所期の目的を達することは困難である。また荷電面に金属を接触させねばならないから適用できない被処理体も多い。

(f) 静電気の放電・荷電においてガスイオンとの電荷の授受が成立することは実験的に明らかであるから、荷電面へ発生電荷と逆性の空気イオンを送って中和させる方法である。針端電極を荷電面上に設け直流高電圧を印加し、コロナ放電によって \oplus または \ominus だけの空気イオン(unipolar air ion)を発生させるもので現在比較的多く用いられている。筆者の方法も空気イオンを用いるが線電極放電と補助電極を用いる。

以上(a)~(f)の方法のうちで最も確実なものは導電性を賦与する方法であって一般にこれを推奨したいが、多くの場合この処理によって被処理体の性能を害し、また導電材料は消耗品として経費をかさませ、導電性賦与工程を増す等の諸損失を伴う。これに対して空気イオンで中和させる電気的な方法は、本来の工程・材料になんら影響を与えることなく、単にセットを設けるだけでわずかの電力で除電できるから、この方法が最も一般的に用いられやすいと考えられる。

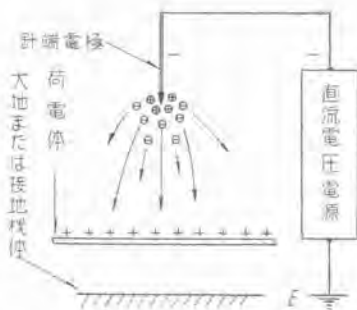
3. 空気イオンによる除電法

空気中にイオンを発生させる方法としてわれわれが考える手段は、高電圧による衝突電離(主にコロナの場合)・放射線照射(主に α 線使用)・接触面の物理的変化・紫外線照射・化学変化等があるが、静電気障害除去の場合には多量の空気イオンを unipolar として連続的にかつ安定に得られねばならないのでコロナまたは α 線照射によることとなる。

ア. 針端電極による方法

たとえば荷電体が \oplus に帯電している場合、1図のようにその上に針端電極を設けて、これに \ominus の直流高電圧(10 kV 程度)を加えると針端部分でコロナが発生し \ominus の空気イオンが荷電体に到りその \oplus 電荷と中和して除電の目的を達する。この方法は除電法としてのみならず、荷電法でもあることは古くから周知で紙ベルトを使用して Van de Graaf 氏が 1934 年に 800 万 V の電圧を発生させたことは有名である。

現在直流コロナによる方法として実用されているものはほとんどこの形式であるが、主として次のような欠陥があるので十分な成績とはいえない。



1 図 針端電極による除電法(従来の方法)
Fig. 1. Charge elimination with needle point electrodes. (old method)

(1) 被処理体の通気性の影響が大きい。

すなわち被処理体の疎密による放電電流の変化が大で、被処理体为非通気性で電極と大地間を遮断する時は空気イオンの流通が無くなるので持続放電が成立しなくなりその機能を停止する。したがって紙・綿布等には良いがゴム布等には適用できない。

(2) 引火性蒸気が存在するときは却って危険を招く。

針端電極は避雷針的存在となり、荷電体の電荷の著るしいときはそれが針端に集注して容易に引火を起す放電電流に達する。

(3) イオン発生量が少い。

電極と大地間の距離が長い割合に電圧が低いので放電電流が少くしたがって空気イオンの発生量の不足することが多い。

イ. アイソトープを用いる方法

アイソトープを用いて空気イオンを作り、これが物体の荷電に用い得られるとアメリカ雑誌に見られる*。たとえば Po (Polonium) 200 マイクロ・キュリーを用いて 1.2×10^{10} ions/sec を得るといのがわが国でこれを一般的に実用する日はまだ近くあるまい。

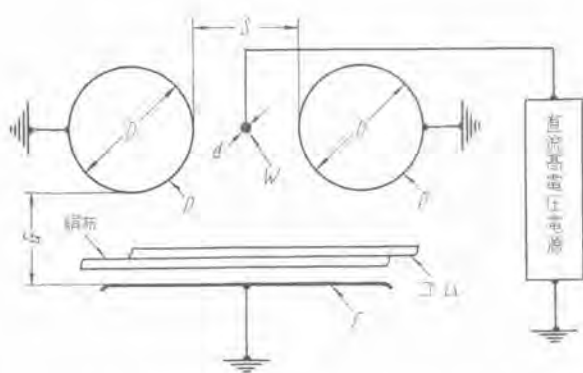
また、たとえこの方法でイオンを得るとしても本法に要する直流電源と次節で述べる電界形成用電源を併用する必要があると考えられる。ただしその所要電圧は相当低減され得るであろう。

ウ. 細線電極と補助電極による方法

前記のように針端放電型は簡単であるが、用途に制限を受けあるいは動作が不充分かつ不安定の嫌いがあるので筆者は2図のような方法を用いている。

いま荷電体の電荷の極性が \ominus であれば細線 W に \oplus の直流高電圧を印加して \oplus のイオンを発生させ、これを荷電体へ送って中和させるものである。 $P \cdot P'$ は細線と並行に一定間隔に設けた接地金属管でその直径は $D \ll d$ であるから、直流高電圧の印加によって W と $P \cdot P'$ 間にコロナ放電が生じてこの間に多量の空気イオンが安定に発生することができるので被処理体为非通気性であってもなんら差支えない。かようにして発生した空気イオン

* (AIEE, July, 1953. By T. L. Martin, Jr.)



2 図 細線電極による除電法 (新しい方法)
Fig. 2. Charge elimination with fine wire electrodes. (new method)

はこれを単に送風装置によって荷電面へ送っても除電は成立しない。接地板電極 E を設けたのはこのため、筆者は実験的に次のようなことを経験している。すなわち

(1) 電界のない場合に空気イオンの電荷が物体へ吸収される難易について

a. 物体が導体のときは空気イオンの電荷は容易に物体へ吸収される。

b. 物体が不導体のときは空気イオンの電荷は物体へ吸着されにくい。たとえ物体が少し荷電しており、空気イオンが物体の電荷と異性であっても、なお吸着は容易でない。ただしこの場合無電界とは空気イオンによる電界を無視し、またそのイオン密度がコロナ放電によってその外界に得られる 10^{12-13} ions/cm³ 以下の場合である。

(2) 電界が物体の方向に存在する場合

この場合は物体の導体・不導体にかかわらず空気イオンの吸着は容易に行われる。

この (1), (2) の現象は、常態の大気中において空気イオンが熱運動によって不導体へ衝突しても電荷の授受成立の機会は少なく、他方電界で加速されたイオンは単にその速度を増すだけでなく衝突に際して電荷授受成立に必要なエネルギーを得るものと推測される。ゆえに空気イオンによる除電法では電界の併用が必須の要件となる。

以上のような理由に基き接地板電極 E は高電圧細線電極 W との間に電界を形成し、 W の周囲に発生して P ・ P' との間に存在する空気イオンの一部分を引寄せて被処理体に確実に電荷を与えるものである。

この方法ではまた E に向う電荷の量を容易に制御することができる。いま

φ_0 …… W 電極から出る総電気力線数

φ_e …… E 電極に向う総電気力線数

q_0 …… W 電極から出る電荷量

q_e …… E 電極に向う電荷量、とすれば

$$q_e \approx q_0 \cdot \varphi_e / \varphi_0$$

実際上 q_0 は電源電圧を変えてコロナ電流を変化させ、また φ_e / φ_0 は距離 G を調整することによって、 q_e は簡

単確実に広汎圍の調節を行うことができる。

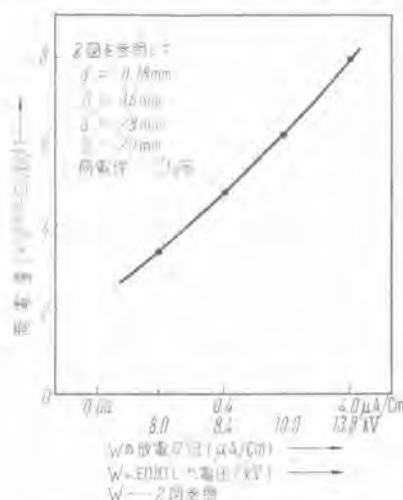
この形式の装置で割合強い動作の場合の荷電特性例を 3 図に示す。図で印加電圧 13.8 kV の点の荷電量は 8.0×10^{-10} クーロン/cm² を示している。この値は常態大気中の極限荷電密度 (空中へ放電を生ずる値) の 2.65×10^{-8} クーロン/cm² に近い大きな値で、装置の荷電力の強大さを示している。

4. 荷電量の測定

静電気障害を起していると考えられる場合には、電荷を測定してその有無を確かめねばならない。しかして除電対策を講ずるにあたっては、その発生場所を確かめ量を測定する必要がある。また除電法の実験研究においても荷電量の測定が必要である。かような場合にその電荷の量が大きくかつこれを回路に導き得るならばマイクロ・アンメータで直接測定を行い得るが、多くの場合電荷の量は少なくてガルバノメータないしそれ以上の電流感度の測定器を必要とし測定の方法にも若干の考慮を払わねばならない。かような場合筆者は測定器として電位計真空管 UX54B を 1 本用いた簡単な電流増幅セットを使用し、測定方法は荷電体の被処理性に依じて適当に選んでいる。次にその基本的事項の概略を述べよう。

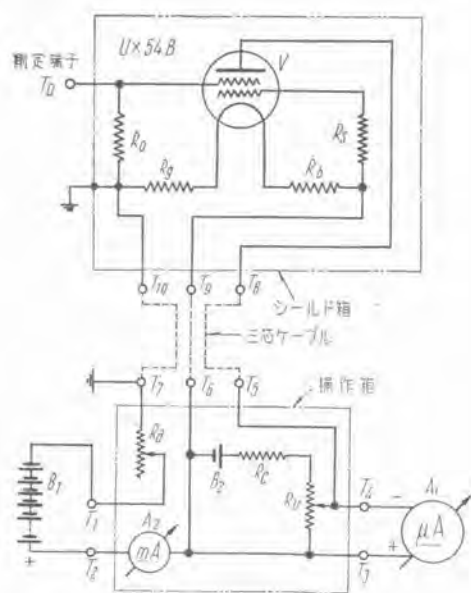
ア. 電流増幅器

荷電量を測定する場合にガルバノメータを使用すると感度は足りても電荷を速かに消費しまた測定周期が長くて困ることが多く、電荷の消費を微少にとどめるためには電位計によらねばならない。電位計のうちでも象限電位計とか繊維電位計などの静電電位計的なものはその動作原理上どうしても振動に敏感であるからガルバノメータ同様に現場測定器としては都合が悪い。電位計真空管を用いれば容易にポータブルセットとなり、また取扱簡単・指示迅速・感度広汎等の利点も兼備している。筆



3 図 除電器に荷電を使った場合のゴム面への荷電量と印加電圧の関係

Fig. 3. Relation between the charges on the rubber surface when the charge elimination is used and applied voltage.



4 図 電位計真空管 UX54B を用いた電流増幅器
Fig. 4. Electric current amplifier using UX54 B electrometer tube.

者のポータブルセットは次のようなものである。

(1) 結線……4 図に示す

R_g ……80 Ω R_a ……30 Ω

R_b ……80 Ω R_c ……20 k Ω

R_s ……7.4 k Ω R_v ……10 k Ω

ただし R_g 、 R_b 、 R_s は真空管の特性に合わせて若干増減する

R_0 …… $10^{10}\Omega$ 位までが使いやすい

B_1 ……1.5 V 平角 3 号乾電池を 8 筒、合計 12 V

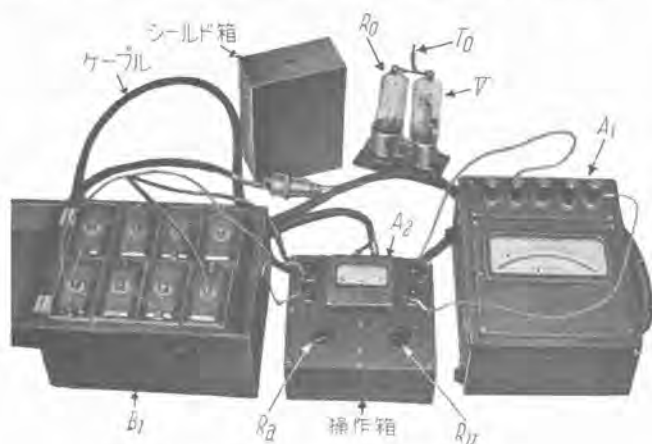
B_2 ……1.5 V 単 1 号乾電池 1 筒

A_1 ……10, 30, 100 μ A, 切換, 精密級電流計

A_2 ……50 mA パネル用電流計

(2) 構成

シールド箱は 1.6 mm 厚の鋼板で作り静電遮蔽と簡単な電磁遮蔽を司り、大きさは幅 60 mm, 奥行 120 mm, 高さ 180 mm で、このなかに真空管と R_0 , R_g , R_b , R_s



5 図 UX54B 増幅セット (符号は 4 図参照)
Fig. 5. UX54 B amplifier set.

を納めている。制御格子端子 T_0 は箱の上部中央にわずかに突出している。(5 図参照)

操作箱・電池箱および電流計がこれに付属してそれら相互間是一般計器接続の絶縁線で配線する。これらは相互に間隔を保って差支えない。たとえばいま電荷発生場所に人間が近寄って計測する余地がない場合には、シールド箱だけを現象の近傍へ置いてこれから 3 芯ケーブルをいかに程でも延長して操作箱に到りここで計測することができる。

(3) 操作

4 図において R_a を加減し A_2 の指示により真空管を正規に働かせてから R_v を調整してプレート電流を A_1 から消去する。すなわち正規常態では信号零の時 A_1 の振れは零であって、信号が与えられて A_1 が振れを指示すればあらかじめ求めておいた信号対指示の関係グラフからその信号電圧を知るものである。なお図は信号が \oplus のときの結線で、信号 \ominus のときは A_1 の接続を逆極性にする。

4. 電荷の測定法

(1) 直接測定法

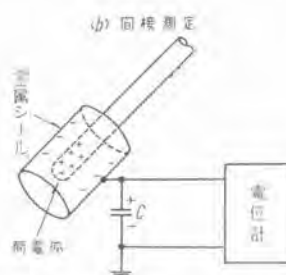
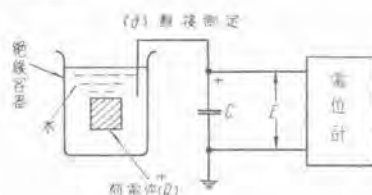
荷電部分に導体を接触させてもなかなか巧く測れないものである。荷電体を水または適当な導電液に浸すことのできる場合には 6 図 (a) のとおりにする。そうすれば液中へ投入された荷電体の電荷は直ちに液を伝って C を充電する。この電位差を電位計で測定すれば電荷 Q は直ちに算出される。

もちろん

$$Q (\text{クーロン}) = C(F) \times E(V)$$

この方法は至極簡明で C と R_0 の選定に誤りがなければ、確実容易に測定ができる。普通 $R_0 \cdot C$ は大きく取る方が楽で少くとも $R_0 C > 10$ 以上が良い、 R_0 も $10^{10} \Omega$ 以下が使いやすい。

(2) 間接測定法



6 図 静電荷の測定法

Fig. 6. Measurement of static charges.

a. 検出. 定性的に単に物体の荷電の有無を検出するには4図の T_0 端子にアンテナを接続して C を用いない方がよい。いま R_0 に $10^{10}\Omega$ を入れるとこのセットの感度はアンテナ受電量で $10^{-12}\sim 10^{-13}$ クーロンとなり相当敏感である。これによればアンテナと荷電体が接近しているときには絶縁物のわずかな摩擦電荷を検出し、また微塵を吸着する程度の電荷ではそれから 2m 位隔ててこれを感じし得る。

b. 定量. 6図(b)のように荷電体を金属筒または網で遮蔽すればこれに誘導した電荷は真電荷として C に貯えられるから前項(1)と同様にして Q が知られる。この場合に遮蔽が一見不完全のようなときでも、この近傍へ接地導体等を近寄せないならば荷電体の電荷から出る電気力線のほとんどすべてがその遮蔽に吸収されるので C の電荷値は荷電体の電荷のそれとほぼ等しくなる。ある電荷についてこの測定法による値と前項(1)による値がほぼ一致することが実験的に証明されることはいうまでもない。

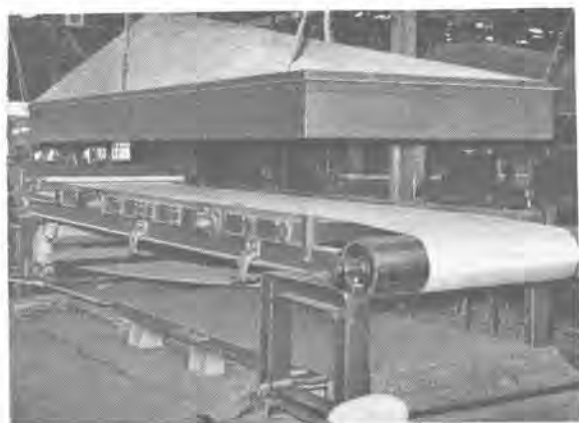
以上筆者の常用する測定法のうちの基礎的なものであるが、電極に技巧を施すとか信号受信を間歇化する等若干の考慮を加えることによって移動荷電体の電荷の測定・電荷の減衰・移動の測定、部分電荷の測定等の可能な場合が少くない。

5. 除電法実施例

当社世田谷工場でゴム引作業を行っているが、その際電荷の発生が著るしくなると、その放電火花によってゴムの溶剤に用いているガソリンに引火して火災を招くという障害があった。この事故を生ずるのはすべて冬期で11月～3月の間の晴天が続いたから風の吹く日が多く、これは環境として当然のことである。

ア. 作業

この作業は絹・絹・合成繊維等の布にゴムを引くもので7図は機械の側面写真を、8図はその略図を示している。8図を参照して、最初粗雑に巻取られた A を巻返



7図 測定および除電を実施した機械

Fig. 7. Machines used for measurement and charge elimination.

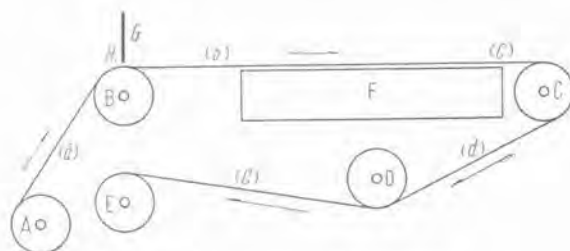
して堅く形よく E へ巻取る。これを布の空引と称する。次にゴム引を行う。巻取物の布は A から繰出されてローラ B とスリッター G の間隙で H の処へ置かれたベースト状のゴムが薄く引かれ熱板 F の上で乾燥されて E へ巻取られる。このゴム引は1つの布について数回繰返えされる。火災を招くのはこのゴム引作業で発火点は多くの場合(b)の所である。ここは溶剤の蒸発量が多くまた電界も乱れている処である。

イ. 静電気の発生

静電気が発生してわれわれが観測するまでにはすでにその当初発生した幾分かは消滅して残存分だけが現象を与える。ここでいう静電気の発生量もちろんこの残存量の意味である。一般に静電気の発生量は荷電体の電気絶縁抵抗が支配的であり、また荷電体の電気絶縁抵抗は環境なかんずく温度湿度の影響が大きいので air conditioning の行われない作業場では四季を通ずる静電気発生量の変化もまた大きい。本章の作業の静電気発生量は梅雨季のほぼ零から冬期にの極限值迄変化がある。すなわち、冬季では処理を経た布面からは盛に空気中への放電が見られる。したがってこの作業の除電対策に求める除電量は極限荷電量となる。

8図は本機で絹の空引を行った時の一例(12月中旬)でスリップを生じた B と C の後で荷電量が増加している。ゴム引の場合は機械の構造上 C のスリップが無くなって(b)部の電荷はほぼそのままの値で E に到り、 C, D でほとんど逃げないことが判る。

発生電荷の極性はもちろん被処理体の組合せによっていろいろに変わるが前記の例では絹に⊕天然ゴムに⊖が発生し、一般の triboelectric series にほぼ一致する。しかしていずれの組合せでも高絶縁抵抗の場合には荷電密度は 10^{-9} クーロン/cm² のオーダーに達しその火花放電の回路の長さは1フィートに及ぶ。



- | | |
|---------|-----------|
| A 絹布巻取物 | E 巻上り、成品 |
| B ゴムローラ | F 熱板、鉄 |
| C 木付ローラ | G スリッター、鉄 |
| D 鉄ローラ | H 煉ゴムの位置 |

(a).....0

(b)..... 1.6×10^{-11} クーロン/cm²

(c).....4.0 " "

(d).....8.0 " "

(e).....8.0 " "

8図 引台作業における静電荷発生例

Fig. 8. Example of static charges generated during the operation of calender.

ウ. 対策

当初従来からの諸法および空気イオン風を送る方法を試みたがいずれもほとんど効果が認められなかったので前記3章ウ節で述べた除電装置を8図(b)の位置へ取付けて除電を行い所期の目的を達した。すなわちこの装置を正しく調整すれば極限荷電量をほぼ零に消殺し得たのである。しかし實際上この調整に作業員が掛り切ることではできないので平均発生電荷量を相殺させるように動作させる。

9図はこの除電に用いた除電器で全長約2m、10図はこれに電力を供給する整流電源でA-C入力100V 1.5A、出力はD-C 13kVであるが100M Ω の安全抵抗(人物に対する)を経て除電器に荷電される。

11図は除電器を機械に取付けて作業が行われている所を示し、上下電極部の間を流れているのが被処理体である。しかし、作業の当初に被処理体を10~12mmの狭い間隙へ通すことは面倒であるから、上部電極の一端は12図のように自由に上方へ開くようになっている。支持端側の電線は直流高電圧の饋電線である。

6. むすび

静電気障害の対策は過去においてあまり積極的な努力が払われなかったものか、纏った文献がほとんど見当らなかったので止むなく筆者の実験結果から独断的な考えで、本文に述べたような1つの方式の除電装置を作った所好成績を得たのでここに発表した。

静電気の現象は現在余りにも未開拓の事項が多く、現象の推理に際して拠るべき所の少いのには困惑する。しかしながら静電気障害の除去そのものは多くの場合可能で

正方向

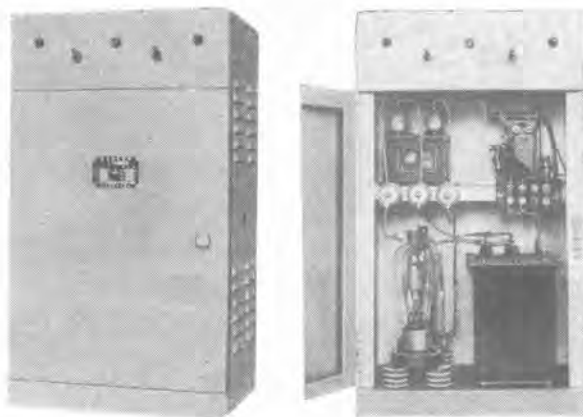


裏面



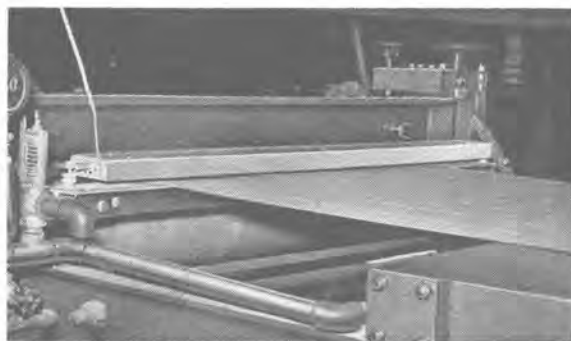
9図 除電器

Fig. 9. Charge eliminator.



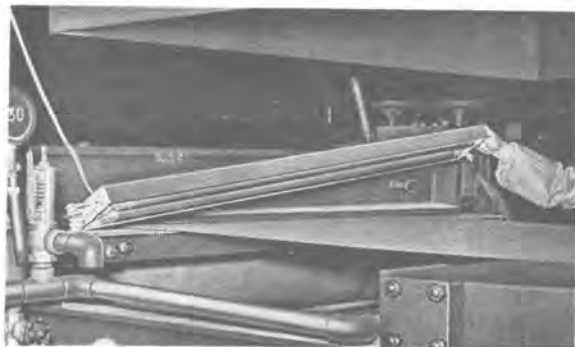
10図 直流高電圧電源箱

Fig. 10. D-C high tension source.



11図 除電器を引合へ取付けたところ

Fig. 11. Eliminator set to calender.



12図 上部電極を揚げたところ

Fig. 12. Upper electrode raised.

あると信ずる。本文が静電気障害対策に当られる方々に何らかの資する所があれば筆者の喜びである。

末筆ながら現場測定に際して世田谷工場成沢課長、一法師副課長、大久保係長、鈴木課長、荒木技師の諸氏に種々便宜を計って戴いた。また研究所播磨氏に実験の労を執って貰った。ここに記して深謝の意を表したい。

矩形波によるサイラトロンの起動特性

研 究 所

八十田尚治* ・ 岡田武男*

Starting Characteristics of Thyratrons with Rectangular Impulse Applied to the Grid

Naoji YASODA • Takeo OKADA

Engineering Laboratory

Experiments on the dynamic control characteristics of mercury thyatron has revealed that, under constant ambient temperature, the shorter the duration of positive voltage applied to the grid, the higher the voltage required to ignite the anode; that ambient temperature ranging from 40 to 60 degree C affords the easiest starting and any temperature outside of it necessitates higher grid voltage and longer application. This phenomenon will be best explained with an idea that the positive ions produced by the grid potential annul the potential barrier formed by the negative charge between the anode and cathode.

1. ま え が き

衆知のようにサイラトロンの格子にその静的起動特性により定められる電圧以上のある電圧を加えることにより、陽極の導通が開始されるのであるが、格子に過電圧を加えてから陽極が導通に至るまでにはイオン化時間と呼ばれるマイクロ秒程度の時間の遅れがある。また格子に過電圧を加えた場合には必然的に格子電子電流が流れるから、陽極が導通するためにはある格子入力も必要である。

そこで格子に加える電圧波形の変化に対する陽極の起動特性を正確に知ることはサイラトロンを実用する場合に重要なことであり、その特性の如何によってはサイラトロンの使用範囲が制限される場合さえ生ずる。ことに最近真空管等で作られるバリーBarrieの小さい幅の狭いパルスでサイラトロンの格子をトリガするような場合が増えつつあるが、このような場合にはとくに動的な起動特性に対する認識が必要となる。

ここでは Uni-Vibrator 回路によりつくられた電圧値およびその幅をある範囲内で任意に変え得る矩形波を、60 サイクルの周期でサイラトロンの格子に加え、陽極が点弧するに必要な臨界の格子電圧値とその幅との関係、すなわちいわゆる動的起動特性を種々な陽極電圧および管壁温度に対して測定した結果を報告し、併せて点弧機構についても検討を加えた。使用したサイラトロンは当社製の MQ-676 および MQ-5559 である。

2. イオン化時間についての従来の実験結果および考察

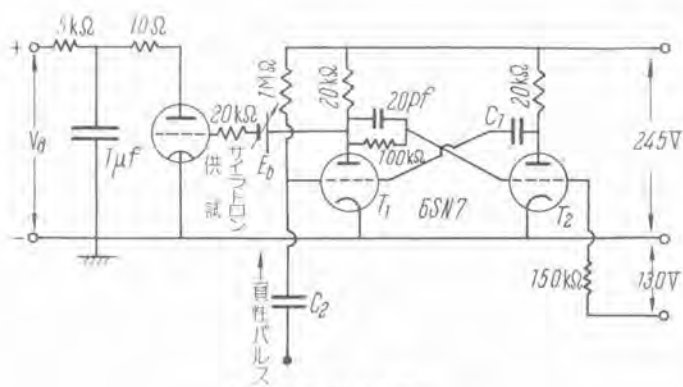
イオン化時間に対する従来の実験結果を総合すると⁽¹⁾~⁽⁶⁾、その時間は数百分の1マイクロ秒から数十マイクロ秒迄の種々の値を持ち、格子過電圧に逆比例する。またガス圧を増し、格子抵抗を減少し、格子印加波形を急峻にするほどイオン化時間は減少するということが認められている。

一方サイラトロンの点弧機構についての理論的考察は Klemperer 氏等^{(7)~(9)}により3極真空管の場合と類似の方法によって説明され、これとは別に Mullin 氏⁽¹⁰⁾は、イオン化時間とは格子に過電圧を加えたために生じた陽イオンが陰極前面の電位の谷を埋め終る迄の時間として理論式をつくっている。

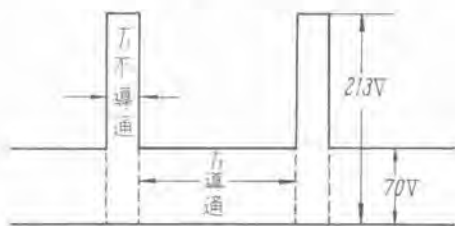
3. 実験方法

測定回路は1図に示す。初め T_1 の格子はカットオフ以上に保たれ、 T_1 は導通状態にあり T_2 は不導通状態にあるが、コンデンサ C_2 を通して負性パルスを T_1 の格子に与えることにより、一瞬 T_1 は不導通、 T_2 は導通状態になる。

この時間は $1\text{ M}\Omega$ と C_1 との時定数によってきまり、その後再び T_2 は導通、 T_1 は不導通の状態に帰ることにより T_1 の陽極陰極間に矩形波が発生される。 C_1 を 20 PF より 400 PF まで変えることにより、矩形波の幅



1 図 測定回路
Fig. 1. Measurement circuit.



2 図 T_1 の陽極陰極間に発生する矩形波電圧
Fig. 2. Rectangular waves generated between the positive and negative of T_1 .

は $5\mu\text{s}$ より $700\mu\text{s}$ 迄変化し、 T_1 不導通のときは T_1 の陽極電圧は 213V 、導通のときの陽極電圧は 70V である。この時間的変化は 2 図に示す。この矩形波電圧をバイアス電圧 E_B を通して供試サイラトロン格子に持ち込み、 E_B を変えることにより印加電圧値を変化させた。 E_B は蓄電池を用い約 2V おきに变化させた。

測定はブラウン管を供試サイクロトンの格子陰極間に挿入して行い、矩形波の波頭はリケノームのインダクタンスのために約 $5\mu\text{s}$ 丸くなるので、時間としてはこの値を差し引いて完全に電圧が一樣になったときからの値をとった。供試サイクロトンは当社製の MQ-676 および MQ-5559 であり、最初は管壁温度を 42°C に保って

陽極電圧をパラメタとしての起動時の格子電圧とその幅との関係を求め、つぎに管壁温度を 20°C から 80°C の範囲で変化させたときの起動特性の変化を測定した。

4. 測定値

管壁温度を 42°C に保ったときの起動特性は 3 図および 4 図に示す。横軸は矩形波電圧の幅で、そのときの縦軸に示す格子電圧で陽極が初めて点弧する臨界の時間を示したもので、各曲線は陽極電圧をパラメタとしている。これらの図より格子電圧が数ボルト以上の場合は数マイクロ秒以内で陽極は導通するが、それ以下では急に長い矩形波の幅が必要となり、数 $100\ \mu\text{s}$ 以上ではそのときの臨界格子電圧は静的起動性に漸近している。なおこの場合は格子抵抗として $20\ \text{k}\Omega$ を使用した。

次に陽極電圧が 400 V および 1,200 V の各場合について、管壁温度をパラメタとした格子電圧と点弧時間との関係を 5, 6, 7, 8 図に示す、以上の図よりその一般的傾向を示すと 9 図のようになる。すなわち点弧時間が数十マイクロ秒より短い正格子制御範囲では同一格子過電圧に対する点弧時間は 40°C 附近で最短となり、それより低温でも高温でも長くなる。点弧時間が数百マイクロ秒以上の範囲では負格子制御となり、管壁温度の上昇と共に陽極点弧は容易になり、格子負電圧は大きくなる。すなわちこの範囲では静的起動特性に類似した傾向を持つ。なお温度特性を調べる場合には実用の回路と合せるため格子抵抗として 100 k Ω を使用した。

5. 考察

実験値より判ることは、静的格子特性により規定される格子電圧より数ボルト高い電圧を格子に加えた場合は、約 $10\mu\text{s}$ 以下の短時間で陽極は点弧し得るが、それよりわずかに低い電圧になると数十ないし数百マイクロ秒も要するということである。

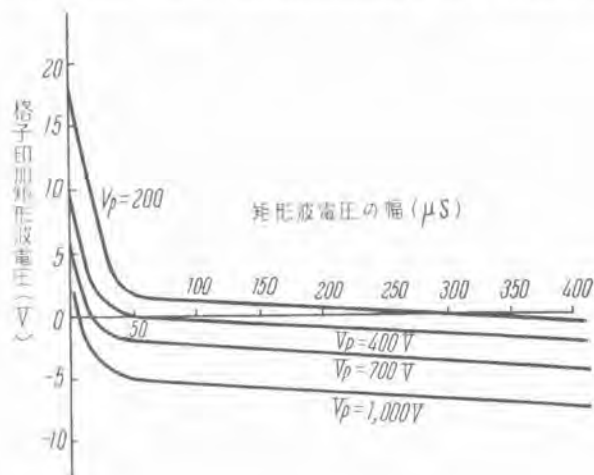
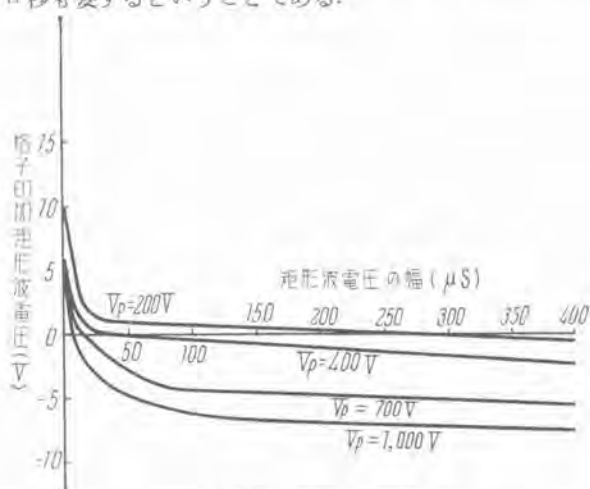
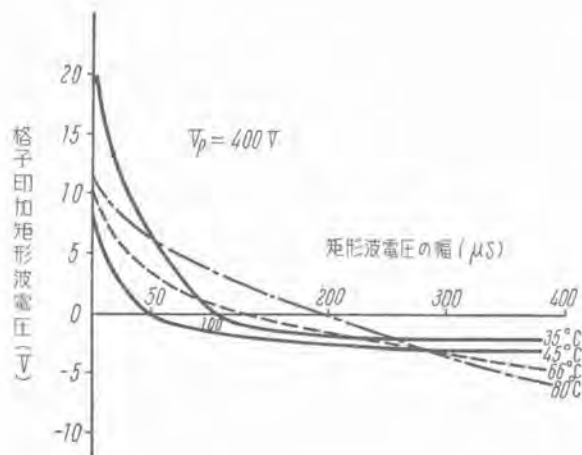


Fig. 3. Dynamic starting characteristic (I) of MO-676.

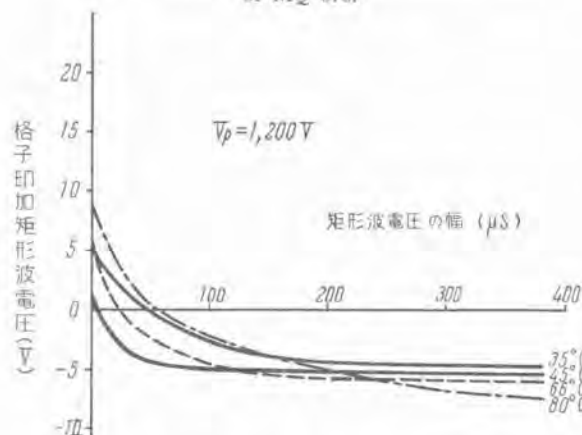


4 図 MQ-5559 の動的起動特性 (I)
Fig. 4. Dynamic starting characteristic (I)
curves of MQ-5559.



5 図 MQ-676 の動的起動特性 (II)

Fig. 5. Dynamic starting characteristic (II) of MQ-676.



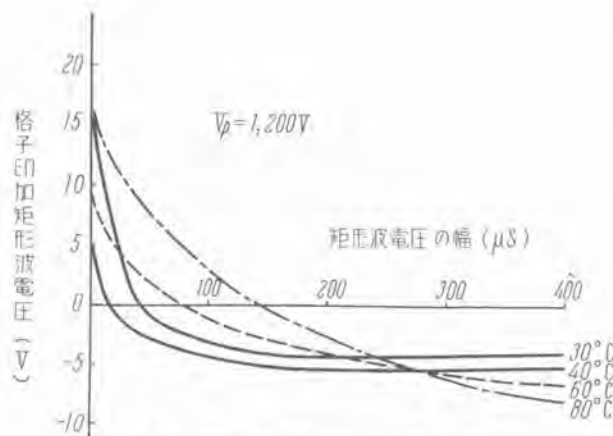
6 図 MQ-676 の動的起動特性 (III)

Fig. 6. Dynamic starting characteristic (III) of MQ-676.

Klemperer 氏の静的起動電圧の場合の格子の点弧理論によると格子電圧が V_g でまだ導通に至らない状態では

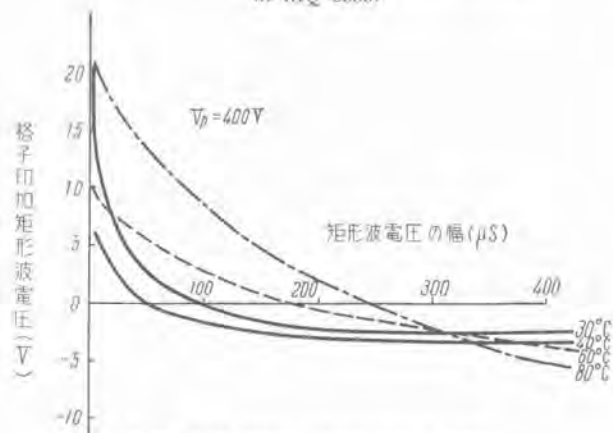
$$i_a = i_s \exp \frac{e}{KT} (V_g + DV_a + \Delta V) \quad (1)$$

なる前駆電流が流れており、ここで D は Durchgriff であり、 ΔV は格子を通して格子陽極空間に入った電子電流が陽極電界により加速されて衝突電離を行い、生じた陽イオンが格子電位を ΔV だけ上昇させる効果があるという意味である。いま格子電位を dV_g だけ上昇させることにより、電子電流が di_a だけ増加したとすると、その増加電流に相当した陽イオンの増加により、 ΔV がさらに dV だけ上昇し、その dV に応じて電子電流がさらに di_a' だけ増加したとする。このとき di_a' と di_a との比が 1 より大なるときは、電子電流は急激に増加して陽極が点弧するに至ると説明されている。矩形波電圧による陽極の点弧の場合も、矩形波印加中につくられた陽イオンの作用により実効格子電位は 10 図の点線に示すように次第に上昇し、電圧印加終了後も実効格子電位が静的起動電圧以上になっている場合は陽極は点弧し、しからざる場合は点弧しない。つまり臨界の電圧およびその時間とは格子電圧印加終了後の実効格子電圧が丁度



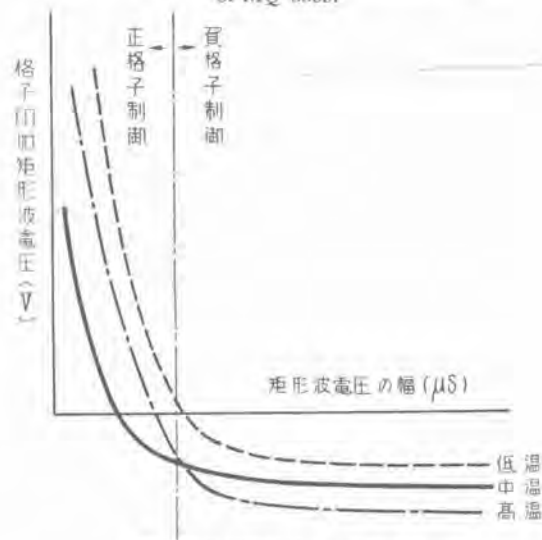
7 図 MQ-5559 の動的起動特性 (II)

Fig. 7. Dynamic starting characteristic (II) of MQ-5559.



8 図 MQ-5559 の動的起動特性 (III)

Fig. 8. Dynamic starting characteristic (III) of MQ-5559.

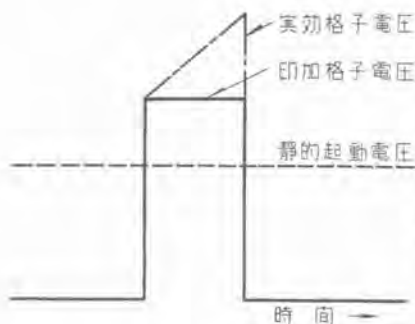


9 図 動的起動特性の一般的傾向

Fig. 9. General trend of dynamic starting characteristics.

静的起動電圧と一致する場合と考えてよいであろう。

また Mullin 氏の考え方にしたがって陰極前面の電位の谷を埋めるに充分なだけの陽イオンをつくるに必要な格子電圧およびその時間が臨界値であるとしても、いずれにせよ陽極が導通するという現象は陽極陰極間に存在して導通を妨げている負電位が衝突電離によりつくられ



10 図 印加格子電圧と実効格子電圧との関係
Fig. 10. Relation between applied grid voltage and effective grid voltage.

た陽イオンにより打消されたときにおこるものであり、この負電位としては上記の格子負電位と陰極前面の負電位とが考えられる。

またその負電位を打消すべき陽イオンは、陰極より放射された電子が格子陽極空間で中性ガスと衝突電離して造り出すものであろうから考察すべき問題としては“前駆電流としての電子電流”，“格子陽極空間における衝突電離確率”，“成生イオンの有効度”が格子電圧，陽極電圧，および管壁温度によりいかに変化するかを考えればよい。

以上の考察が正当であるならば，管壁温度が一定の場合は要するに点弧に必要な陽イオンの量は一定であろうと考えられるから，まずこの点を考察してみよう。

いま時間 t が零なるときに格子電圧 V_g を加え，そのときの陽極電流を i_0 とすると空間電荷により制限されるエミッションの式が近似的に適用され，陰極格子間隔が 1cm の場合は D を Durchgriff とすると

$$i_0 = a(V_g + DV_a)^n \quad (A \text{ cm}^{-2}) \quad (2)$$

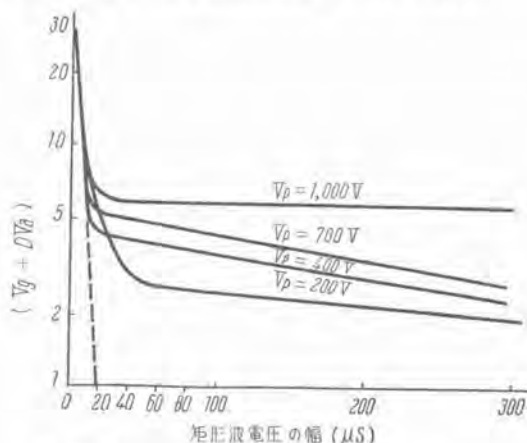
t 秒後の電流 i としては次式を近似させる。

$$i \approx i_0 \exp(\gamma t) \quad (A \text{ cm}^{-2}) \quad (3)$$

この電流 i によりできる陽イオンの量を Z_i とし，そのうち β 部分が実際に有効に働くとすると，有効な陽イオンの数 Q としては

$$Q = z\beta \int_0^T i dt = \frac{az\beta}{\gamma} (V_g + DV_a)^n [\exp(\gamma T) - 1] \quad (C \text{ cm}^{-2}) \quad (4)$$

ここで時間 T は矩形波電圧の幅 (S) である。



11 図 MQ-676 の $\log. (V_g + DV_a) : T$ 曲線
Fig. 11. $\log. (V_g + DV_a) : T$ curve of MQ-676.

矩形波によるサイラトロンの起動特性・八十田・岡田

いま $\exp(\gamma T) \gg 1$ として 1 を省略すると

$$Q \approx \frac{az\beta}{\gamma} (V_g + DV_a)^n \exp(\gamma T)$$

すなわち

$$\gamma T = \log \frac{\gamma Q}{az\beta} - n \log (V_g + DV_a) \quad (5)$$

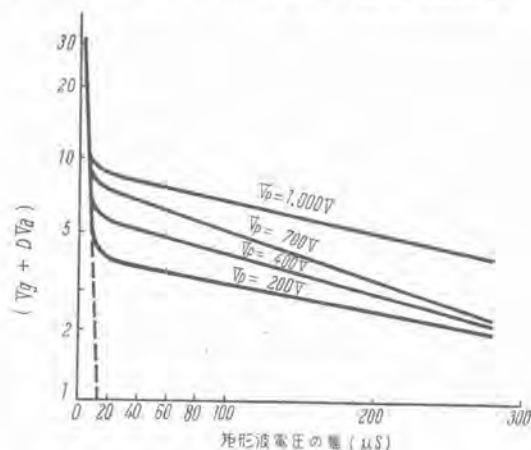
もし点弧に至る迄の電荷 Q が一定であるなら (5) 式より時間 T と $\log (V_g + DV_a)$ とは直線関係になるべきであり 3 図および 4 図をこの関係で書直してみると 11 図および 12 図となる。ただしここで Durchgriff D は 10^{-2} と仮定した。これで見ると T が約 $20 \mu s$ 以下では直線関係は成立するが，それよりも $\log (V_g + DV_a)$ が小さくなると急に T が増大している。ここで T が約 $20 \mu s$ 以下の直線部分の範囲について， $n=3/2$ として γ の値をその傾斜より概算すると，MQ-676 では約 $1/4 \times 10^3$ となり MQ-5559 では約 $1/3 \times 10^3$ となる。Mullin 氏がアルゴン入り放電管について計算した理論値についてこの関係を代入してみるとほぼ似た値を得る。

次に約 $20 \mu s$ 以上で臨界時間 T が急に長くなっている理由については，この時間以後は消失陽イオンの量が増加して，いかに時間をかけても有効陽イオンの量が増加しないからであると考えられるが，通常の拡散あるいは再結合による陽イオンの消失のみを考えたのみでは余りに短時間すぎる。そこで電界により陽イオンが Drift velocity を得て陰極方向へ移動し，陰極において消失するものと考えて，陽イオンの平均寿命時間を計算してみよう。

いま格子を出た電子が平均自由行程 λ_e 進んだところで陽イオンが生じ，生じた陽イオンが陽極格子間では陽極電圧 V_a により得た平均 Drift velocity \bar{v}_p で格子面まで到達し，格子陰極間では $(V_g + DV_a)$ により得る平均 Drift velocity \bar{v}_p' で陰極に達し，そこで消失するものと考え，陽イオンの平均寿命時間 τ は

$$\tau = \frac{\lambda_e}{\bar{v}_p} + \frac{l}{\bar{v}_p'} \quad (6)$$

で与えられる。ここで l は格子陰極間隔で約 1cm である。管壁温度が $42^\circ C$ なる故水銀蒸気圧は約 10^{-3}



12 図 MQ-5559 の $\log. (V_g + DV_a) : T$ 曲線
Fig. 12. $\log. (V_g + DV_a) : T$ curve of MQ-5559.

mm Hg でこの場合 λ_i は約 1.6 cm となり、水銀イオンの平均自由行程 λ_p は約 1.6 cm となる。 m_p を水銀イオンの質量とすると \bar{v}_p および \bar{v}_p' は次の式で近似させる。

$$\bar{v}_p = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2lV_a(\lambda_p)}{m_p}} \approx \frac{1}{2} \times 10^5 \sqrt{\frac{V_a \lambda_p}{\lambda_i}} \dots (7)$$

$$\bar{v}_p' = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2l(V_a + DV_a)(\lambda_p)}{m_p}} \approx \frac{1}{2} \times 10^5 \sqrt{(V_a + DV_a) \lambda_p} \dots (8)$$

(7), (8) 式を (6) 式に代入すると右辺の第 1 項は第 2 項に比べて小なる故、陽イオンの平均寿命時間 τ は右辺第 2 項により決定される。すなわち

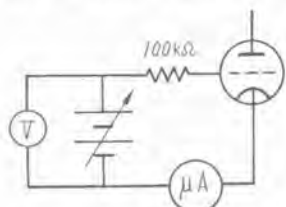
$$\tau \approx \frac{l}{\bar{v}_p'} = \frac{2 \times 10^{-5}}{\sqrt{(V_a + DV_a) \lambda_p}} (S) \dots (9)$$

ここで $\sqrt{(V_a + DV_a) \lambda_p} \approx 1$ なる故、 τ は $20 \mu s$ 程度となり実験値における $20 \mu s$ 程度における不連続性の意味が明瞭になる。すなわち陽イオンが電界による Drift velocity を得て、陰極面での消失をこの時間以後開始し、生成イオンの大部分が陰極面で消失するため、空間に残る有効な陽イオンの数をこの時間以後もやはり一定に保つために臨界時間が急に長くなるのであろう。

以上のことを考え合わせるとサイクロン起動するために必要な陽イオンの量は管壁温度が一定なる限り一定であり、格子はその一定量をつくり出す作用をするものであるという考え方はほぼ肯定し得る。

次に格子起動特性の温度(水銀蒸気圧)変化について考察すべき問題は既述のように“前駆電流としての電子電流”、“格子陽極空間における衝突電離確率”、“生成イオンの有効度”の管壁温度による変化の傾向である。

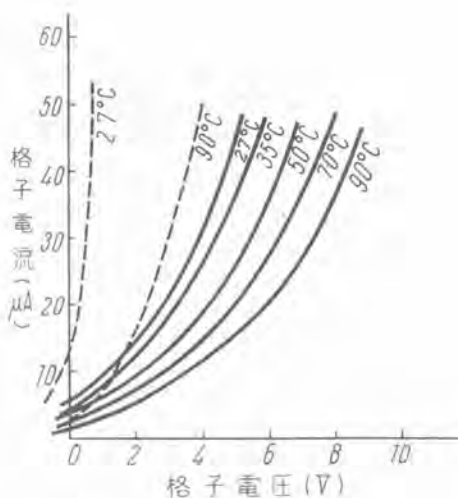
まず前駆電流の温度特性を調べるために 13 図に示す回路を用い、格子に正電圧を加えて、そのときに流れる格子電流の温度依存性を調べた。測定値は 14, 15 図に示す。結果的に見て電離の行われない範囲での格子電流は温度上昇とともに減少する。格子抵抗として $100 k\Omega$ を用いたのは動的起動特性の実験値と一致させるためで、実際に格子に加えられる電圧は 14, 15 図の点線のようになる⁽¹¹⁾。



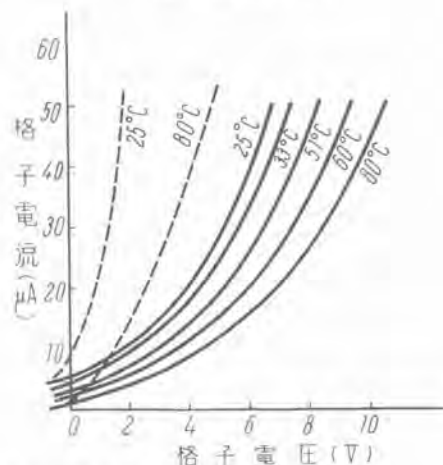
13 図 試験回路
Fig. 13. Testing circuit.

次に格子電流の動的起動特性に及ぼす影響を調べるために MQ-5559 について管壁温度 $80^\circ C$ 、陽極電圧に $1,600 V$ を加えた場合で格子抵抗を $1 M\Omega$, $100 k\Omega$, $1 k\Omega$ の各場合についての動的起動特性の実験値を 16 図に示す。このおのおのの場合の起動電圧の差を格子抵抗で割って、そのときの格子電流を求めるとほぼ 14 図の格子電流と一致し、起動直前には格子電圧に応じた格子電流が流れるが、結局陽極の点弧には格子電圧が一定値に達すればよいので、格子電流はその結果流れるもので

14 図
MQ-676 の
格子電流
Fig. 14.
Grid current
of MQ-676.



15 図
MQ-5559 の
格子電流
Fig. 15.
Grid current
of MQ-5559.



あり二義的なものであろう。

以上の実験値より陽極空間に流入する前駆電子電流も格子電子電流と同様に管壁温度の上昇と共に減少するものであると考えられる。

第二に格子陽極空間における衝突電離確率の温度特性について以下の考察をする。前駆電流として陽極格子空間内に入った 1 箇の電子が、その空間を移動する間につくる陽イオンの数を Z とすると、 Z は一般に自由行程進んだときに電界によって得るエネルギーの函数としての電離確率と、電極間を進む間の衝突回数との積として与えられる。しかし水銀については E/p と α/p の実験値はまだ求められていないから近似的に次のように考えよう。

電界中での電子の平均自由行程としては Brode⁽¹²⁾ の値を用いると、 $20^\circ C$ 附近の水銀蒸気圧 ($p \sim 10^{-4}$ mmHg) では、自由行程は約 20 cm であって電極間隔よりはるかに長く、 $40^\circ C$ より $60^\circ C$ では約 2 cm でほぼ電極間隔と等しくなり、 $80^\circ C$ 附近では約 0.2 cm の自由行程となる。

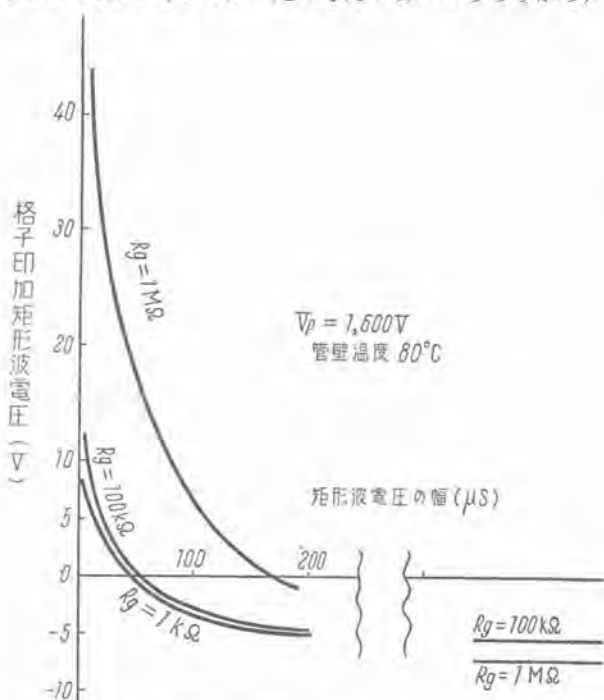
格子陽極間隔はほぼ 1 cm であるから、管壁温度が $60^\circ C$ 以下で平均自由行程が電極間隔より長いときは、ほとんどの電子は衝突せずに陽極に達するから、電子が陽イオンとの衝突に際して持っている平均エネルギーは一定であり、衝突回数は水銀蒸気圧の上昇に比例して増えるから、1 箇の電子によりつくられる陽イオンの数 Z は蒸気圧に比例して増加する。

さらに温度が上昇して 80°C にも達すると上記のように平均自由行程は電極間隔より短くなり、電子が電離電圧に相当するエネルギーを得る以前に水銀分子を励起させて、電子のエネルギーはほとんど零迄下ってしまうという場合がおこって Z は再び小さくなる⁽¹³⁾。しかしこの場合でも累積電離をおこしたり、弾性衝突してエネルギーを保存したままだったりするから、電離確率はそれほど小さくならないであろう。以上の考察から管壁温度の変化に対する Z の値は 17 図のようになると考えられる。

第三にかくして生じた陽イオンのうちで有効に電位の谷を埋める割合を考えてみると、一般に生じた陽イオンのうち、電界の作用により陰極方向に移動したものは有効に電位の谷に到達し、一方拡散により管壁方向へ移動したものは無効であると考え、移動能力 b と拡散系数 D との間には

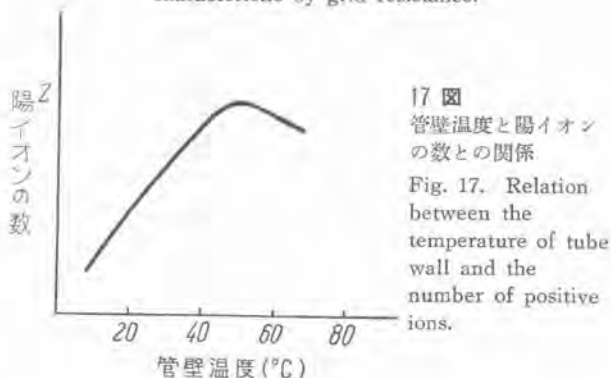
$$\frac{b}{D} = \frac{e}{KT} \quad (10)$$

という関係式が成立し、イオン温度 T は管壁温度の多少の変化に対しては一定と考えてよいであろうから、



16 図 MQ-5559 の動的起動特性の格子抵抗による変化

Fig. 16. Change of dynamic starting characteristic by grid resistance.



17 図 管壁温度と陽イオンの数との関係
Fig. 17. Relation between the temperature of tube wall and the number of positive ions.

生成イオンの有効度は管壁温度の変化に対して、あまり変わらないと考えてよいであろう。

以上の考察から前駆電子電流は管壁温度の上昇と共に減少することと衝突電離確率は 40°C から 60°C の間に最大値のあることを考えれば、正格子制御範囲でのイオン化時間がその温度範囲で最短値を示すことは理解される。

次にイオン化時間が長くなり、負格子制御の範囲では前にも述べたとおりイオン化時間が陽イオンの平均寿命時間より長いために、一方では生成され一方では消滅しながら蓄積されてゆく陽イオンが、格子負電圧による負電界を打消したときに陽極が導通を開始するのであるから、結局陽イオンの平均寿命時間が長くなれば、それだけ導通開始が容易になり、格子負電圧が大きくなるわけである。

ところが蒸気圧が高くなれば、陽イオンの電界方向運動による陰極面、格子面での消滅や、拡散による管壁での消滅が減少して、陽イオンの平均寿命時間が長くなるから、格子負電圧は蒸気圧の上昇と共に大きくなるのであると考えられる。

6. むすび

以上述べた実験、およびそれについての考察の結果、陽極が導通を開始するには、陽極陰極間に存在して導通を妨げている負電位を打消すことが必要であり、そのためには一定量の陽イオンが蓄積されてその負電位を埋めねばならないし、管壁温度が 40°C ないし 60°C の範囲ではその蓄積がもっとも容易であり、したがって一定格子電圧に対する陽極点弧時間が最短になることが認められた。

そこでイオン化時間を短縮させるためには大きな格子正電圧が必要となり、Birnbaur⁽¹⁴⁾ が行ったような 1 μ -sec 以下の短時間での点弧現象では格子電圧が 100 V にもなり、この場合は格子電流によりつくられる陽イオンも陽極点弧に役立っているであろう。

拙筆にあたり終始有益なご示唆を戴いた物理研究室長大野参事、および実験に協力された青島技師、青木技手に厚く感謝する。

文 献

- (1) W. Kock: Phys. Zeit. **33**, 934 (1932)
- (2) L. B. Snoddy: Physics. **4**, 366 (1933)
- (3) M. M. Morack: G. E. Rev. **37**, 288 (1934)
- (4) A. E. Harrison: E. E. **59**, 747 (1940)
- (5) E. T. Wheatcroft: Phil. Mag. **25**, 649 (1938)
- (6) E. T. Wheatcroft: Phil. Mag. **26**, 684 (1938)
- (7) H. Klemperer: Z. f. techn. Phys. **14**, 341 (1933)
- (8) Engel u. Steenbeck: Elektrische Gasentladungen II. 189 (1934)
- (9) B. Kirschstein: Siemens Werk. **18**, 306 (1939)
- (10) C. J. Mullin: Phys. Rev. **70**, 401 (1946)
- (11) 渡辺・高野: 信学誌 (昭 10-10)
- (12) Brode R. B.: Rev. Mod. Phys. **5**, 257 (1933)
- (13) W. G. Dow: 電子工学の基礎 p. 417.
- (14) M. Birnbaur: A. I. E. E. Tech. Paper 33 (1948)

特 許 紹 介

最近登録された当社の特許および実用新案

区 別	名 称	特 許 また は 登 録 日	特 許 また は 登 録 番 号	発 明, 考 案 者	所 属
特 許	真空管製造方式	28-11-25	202579	大野才三 八田尚治 岡本孝夫 清水良吉 山口吉治	研 究 所 神 戸
"	交流電気式回転計	"	202580	木村久男	本 社
"	直流電鉄回路の保護方式	28-12- 3	202704	木村久男	本 社
"	直流電鉄回路の保護方式	"	202703	小滝喜久	本 社
"	直流饋電線の保護装置	"	202702	"	"
"	真空管陰極活成剤吹付装置	28-12-11	202907	大野才三 藤原五郎 佐藤山長	研 究 所 "
"	避雷器用直列多間隙装置	"	202926	吉田太郎	名 古 屋
新 案	筒形ヒューズ	28-11-24	408057	加藤義明 藤村益雄 金子子	福 山
"	計器用包装箱	"	408058	竹内宏一	研 究 所
"	密封型金属管水銀整流器の陰極水冷装置	"	408059	宇川 彰	長 崎
"	気密ナット	"	408060	小 椋 義 正	研 究 所
"	高圧水銀燈の電極子	"	408061	"	"
"	高圧放電燈の電極装置	"	408062	"	"
"	巻上機吊籠着床指示装置	"	408063	水岩永雄 堀田鉦太郎 山田正和	長 崎
"	高周波ミシンの表示燈	"	408045	長 島 四 郎	名 古 屋
"	電動機注油壺	"	408046	北 垣 成 一	伊 丹
"	多段増幅回路の利得調整装置	"	408047	大野才三 田中睦三 松田三郎	研 究 所 "
"	真空管格子製作機械	"	408048	松田三郎	名 古 屋
"	自動電機車止	"	408049	尾畑喜行 大木欣弥 加藤義明	神 戸
"	交流回路の電流選沢計測装置	28-12- 2	408268	水岩永雄 加藤義明 流 平 七	福 山 長 崎
"	積算計器の温度補償装置	"	408269	水岩永雄 流 平 七	名 古 屋
"	巻上機吊籠着床指示装置	"	408270	流 平 七	"
"	ミシン布送り調節装置	"	408271	増 谷 良 久	"
"	スタンド型扇風機	28-12-16	408644	"	"

車両用ファンデリヤ

ファンデリヤという名称は当社の商品名で、普通の扇風機と区別し車両専用ファンとして風を送るばかりでなく、客室の天井に取り付けて他の器具との調和がとれるように、外観、意匠上にも特別の考慮をはらった扇風機という意味でシャンデリヤに因んで名付けられました。

最近東京地下鉄丸の内線用新車および東京都電 5500 型のいわゆる無騒音電車に採用されました。

構 造

主な部分は電動機、羽根、拡風板および取付台からできており、全体を車体の天井にゴムの緩衝座を介して取り付けます。

モータは直流直巻式、2 極全閉型で、定格電圧は D-C 200 V であります。羽根は硬質アルミニウムで、プレートは 10 枚あり、とくにプレート足部はジュラルミンのあて板を両面からしめつけて回転による振動音を防ぎ、また羽根の全面に塩化ビニール液を厚目に塗って各部の振動共鳴音を防いでおります。

拡風板はクロームメッキを施した 4 枚のコーン型鋼板を 4 本の取付パイプに貫通させて同心円に配列してあります。

仕 様

型 式	W 社式有圧軸流送風機
送 風 量	100 m ³ /min
風 圧	8 mm (水柱)
送 風 速 度	1.5 m/sec (拡風板前方 1 m の距離)
定格回転数	900 rpm (3 段切換)
電動機出力	200 W
最 大 径	700 mm
最 大 高	215 mm

昭和 29 年 3 月 20 日 印刷
「禁無断転載」

昭和 29 年 3 月 25 日 発行
定価 1 部金 60 円 (送料別)

「三菱電機」編集委員会

委員長	岸本久雄	荒井 潔	石橋英樹	石黒克己
委員	浅井徳次郎	伊東祐義	市村宗明	大久保夙郎
	市吉惟浩	金内幸三郎	川田勝利	小林治一郎
	岡屋精二	洪谷進一	田宮利彦	松田新市
	進藤貞和	前田幸夫	松尾米太郎	松岡 治
	毎熊秀雄	森 範	馬場文夫	
	宗村 平			
幹 事	吾郷侃二	成富公一		

(以上 50 音順)

編集兼発行人	東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地	吾郷侃二
印刷所	東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目	大日本印刷株式会社
印刷者	東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目	長久保慶一
発行所	三菱電機株式会社内	「三菱電機」編集部

電話和田倉 (20) 1631

日本出版協会会員番号 213013