

電子管を用いた小勢力振動型交流自動 電圧平衡装置

小林 栄二* 竹村 克己**

The Electronic Low Energy Vibrating Type Automatic Voltage Balancer

By Eiji Kobayashi, Katsumi Takemura
Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

The constant voltage regulator herein dealt with is used for keeping the voltage of the A.C. generator connected to the line constant and is classified into rheostatic type and vibrating type. Hence, the voltage balancer which balances the voltage of the A.C. generator with the line voltage at the starting, as one of automatic synchronizer elements, needs necessarily to be designed in the same two types to satisfy the voltage regulation requirements.

In the previous in issue we made a report on our research regarding the rheostatic type low energy voltage balancer. In this present article, some description is given for a new type of low energy vibrating type voltage balancer in use with 28,000 kVA alternator of Yamate Power Station.

This new voltage balancer, consisting of one electron tube and one relay, is similar to the Tirrill regulator in principle. From the results of experiments hitherto conducted, we have ascertained that this apparatus serves satisfactorily as a low energy voltage balancer for the automatic synchronizer.

[I] 緒 言

交流発電機の自動電圧調整器は、勵磁機の界磁抵抗器を電動機により操作する所謂電動機式と、勵磁機の分巻界磁抵抗器を振動的に短絡挿入することにより電圧の調整を行う振動式の二方式に大別される。

これ等のものはいづれも交流発電機が送電系統に並列に接続せられている場合にその出力電圧を一定に保持するものである。

交流発電機を自動的に送電系統に並列接続する自動同期化装置の一構成要素である自動電圧平衡装置、即ち発電機電圧を系統電圧に平衡せしめる装置としては上記の二方式に適合するものが要求される。

電動機操作方式の発電所に適用すべき小勢力型の自動電圧平衡装置は既に発表⁽¹⁾したが、此所ではチリル振動

型自動電圧調整器を有する発電所に適用すべき新しい考案による小勢力型の自動電圧平衡装置に就て報告する。本装置は既に國鐵山邊発電所 28,000 kVA 発電機の自動電圧調整器用として製作され納入されたものである。

従来チリル振動型の発電所に適用される自動電圧平衡装置としては、チリル調整器の交流電磁石桿杆に装着された重錘の代りに系統電圧に應動するプランジヤーを用いた装置が使用せられている。この種プランジヤー型のもは系統側発電機側ともに數十 VA 程度の入力が必要とする關係上最近の傾向である高壓同期化用には不適當である。

又 Leonard はチリル調整器に電子管を用いた回路を発表しているが⁽²⁾、これは勵磁機の分巻界磁抵抗器を短絡挿入する繼電器電磁石の接點が電流により磨耗することをさけるために該繼電器を電子管に置換したのみであつてチリル振動の原理を電子管によつて行つているも

* ** 日立製作所日立研究所

のではない。又 Fi z Gelard Alan S. の発表⁽³⁾した回路は継電器式調整器の機構を逐一的に電子管回路に翻譯したものであつて使用電子管の數も多く回路は複雑であり、更に又電子管を使用しているにかかわらずその検出部入力回路に飽和鐵心を有するために小勢力的でない。

本考案はチリル振動型調整の根本原理を抽出することにより一本の電子管と一個の継電器によつて約 2VA の小勢力の調整器或いは平衡装置が成立することを提唱したものである⁽⁴⁾。

[II] 動作原理及び回路

継電器式チリル調整器は勵磁機の分巻界磁回路の調整抵抗器を間斷なく短絡挿入し、發電機負荷の變動に従ひ勵磁機電壓を變化して交流發電機電壓を一定に調整するものである。即ち交流電磁石と重錘とよりなる無定位的な検出部により検出せられた量により制御發條の力、従つて直流電磁石に要する量、更に換言すれば勵磁機電壓を制御するものである。該装置の重錘の代りに基準となるべき系統電壓に應動するプランジヤを置換すれば直ちに自動電壓平衡装置即ち比例制御装置となり得るが既述の如く入力電力が大であつて高壓同期化用には不適當である。次に本装置の回路と動作原理を述べる。

第 1 図は接続を示す。系統電壓及び發電機電壓を整流する整流部、放電管、放電管の陽極電壓電源、同格子偏倚電壓電源、副勵磁機の分巻界磁調整抵抗器を短絡挿入

する継電器及び亂調防止回路より成立している。

放電管の格子回路は發電機系統電壓の差電壓 ΔE 、副勵磁機電壓 E_{sub} 及び格子偏倚電壓 E_g が圖示の如き極性で接続されている。

継電器のみによる調整器と本装置との各部の比較を行うと次の如くなる。系統電壓整流部は重錘に（比例制御と定値制御の相異はある。）、發電機電壓整流部は交流電磁石に相當する（無定位検出と定位検出の相異はある）。又放電管は直流電磁石に、格子偏倚電壓 E_g は検出差電壓 ΔE とともに制御發條の動作に相當する。

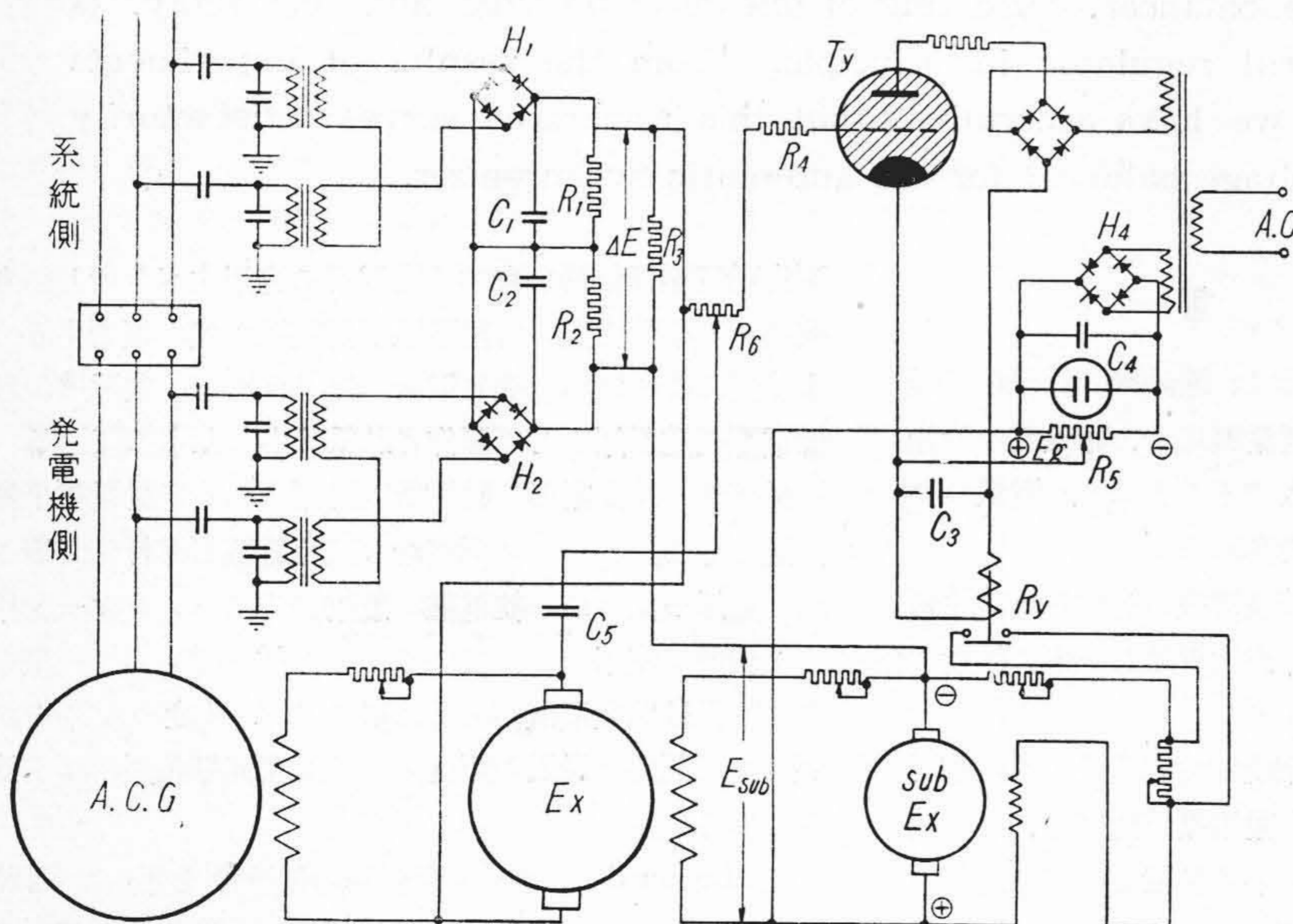
即ち本装置は検出差電壓 ΔE の變化が一定に調整された格子偏倚電壓 E_g に加算されることにより全格子偏倚電壓が變化し、それに平衡すべき副勵磁機電壓 E_{sub} を發生せしめるものである。

第 2 図は第 1 図に於ける交流發電機電壓及び系統電壓の入力回路を切斷し検出部に任意電壓を別に印加した場合の動作原理圖である。

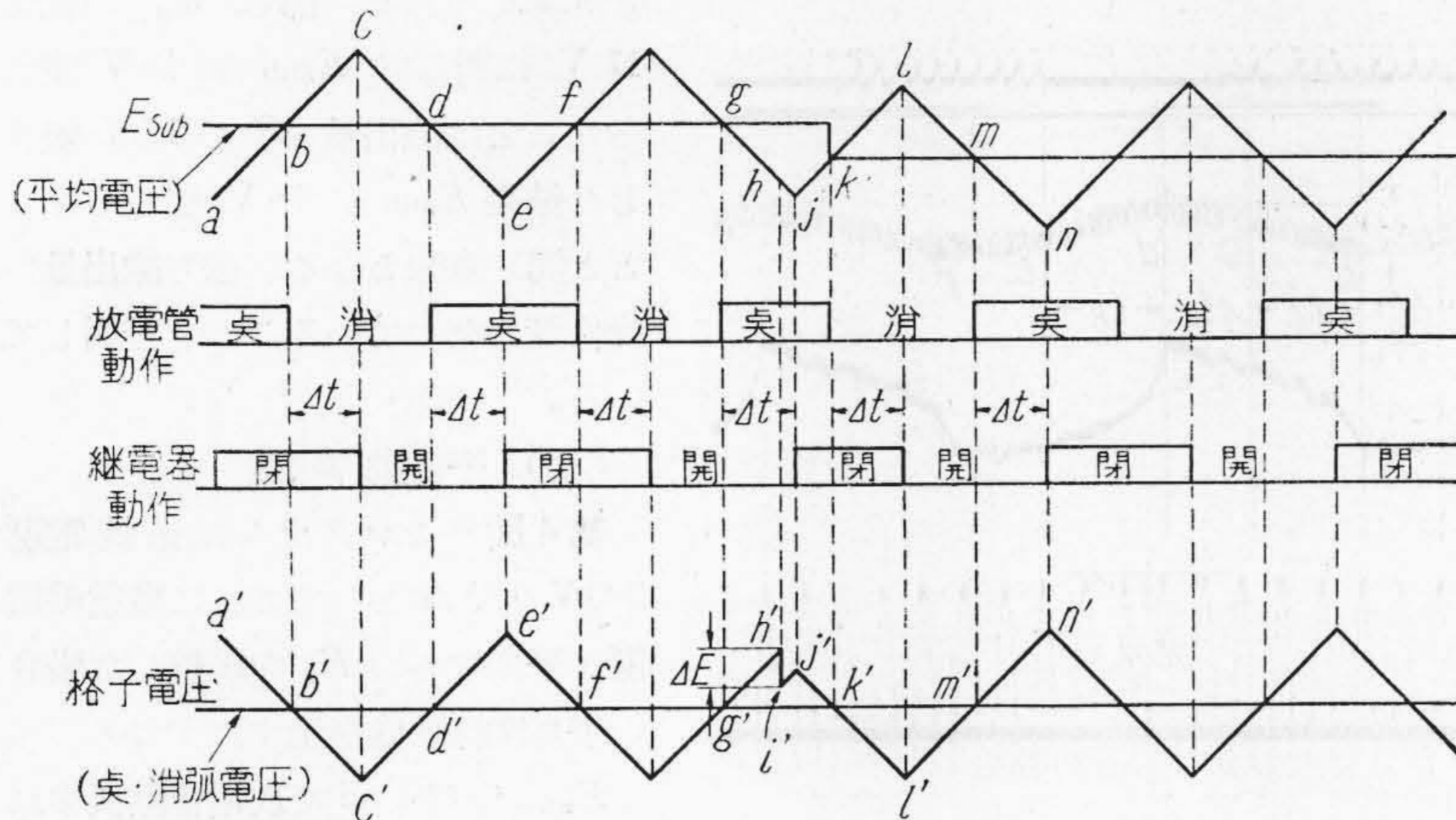
上より副勵磁機電壓 E_{sub} 、放電管の動作、継電器の動作及び放電管の格子回路の電壓を示す。放電管の格子電壓を示す曲線に於ける水平實線は一定陽極電壓に對する點消孤電壓を示し、點消孤間には電壓のヒステリシスはないものと假定する。又副勵磁機の電壓上昇、下降曲線の一部を直線とし又継電器接點の開閉感度にもヒステリシスはないものと假定して考察を進める。

差電壓検出量 ΔE が零の平衡状態より考え始める。

E_{sub} が a より上昇し b に達すれば格子電壓は a' より b' に達し放電管は消孤する（陽極電壓は直流電壓でなく交流兩波整流脈動電壓である故に格子電位の或値にて消孤可能である）。放電管消孤すれば継電器の死時間 Δt 後継電器接點は開放せられる。したがつて E_{sub} は Δt 時間電壓上昇し c より下降を始める。 E_{sub} 下降すれば格子電位は上昇し d' で放電管は點孤する。放電管點孤後 Δt 時間後継電器接點は閉ぢる。したがつて E_{sub} は Δt 時間電壓下降し e より上昇を始める。 E_{sub} 上昇し f に



第 1 図 小勢力振動型交流自動電圧平衡装置結線図
Fig. 1. Connection Diagram of the Low Energy Vibrating Type Automatic Voltage Balancer



第2図 動作原理図
Fig. 2. Diagram of Operating Principle

達すれば格子電位は下降し f' にて消弧し、以下上記同様の動作を繰り返す。

次に差電圧検出量に $-\Delta E$ ボルト(陰極に對し格子電位が負方向に働くを-とする)が発生した場合を考察する。 E_{sub} の h 即ち格子電位の h' に於て急激に差電圧 $-\Delta E$ が生ずると合成格子電位は i' に下降する。合成格子電位は h' より i' に下降するが継電器接點は依然開放され j で閉ぢる故に E_{sub} は h より j まで下降をつづける。したがつて格子電位は i' より j' まで上昇する。次に g より Δt 時間経過した j に於て継電器接點は閉ぢる故に E_{sub} は上昇し、格子電位は下降し k' で放電管は消弧する。放電管消弧後 Δt 時間後に継電器接點は開放せられる。したがつて E_{sub} は k より Δt 時間電圧上昇し l より下降を始める。 E_{sub} が l より下降すれば格子電位は l' より上昇し m' で放電管は消弧する。放電管消弧後 Δt 時間後継電器接點は閉ぢる。したがつて E_{sub} は Δt 時間電圧下降後 n より上昇を始める、即ち格子電位は m' より n' へ上昇しその後下降を始め、以下上記と同様の動作を繰り返す。

以上要約すれば検出部の差電圧発生により放電管の綜合格子偏倚電圧が變化し、その量に應じて副励磁機電圧を變化せしめるものである。

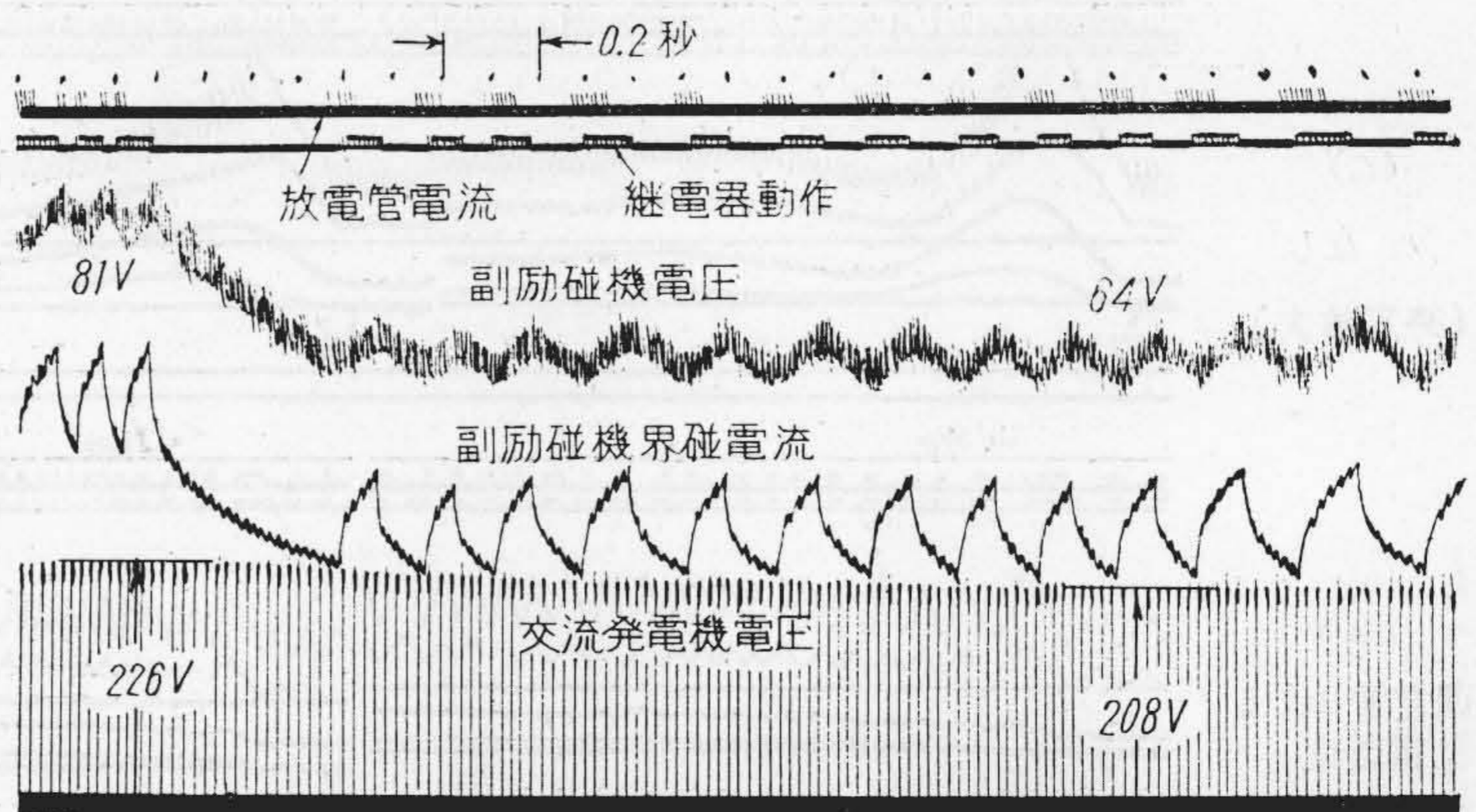
以上は交流發電機電圧及び系統電圧の入力回路を切斷して一定電圧を検出部に與えて考察を進めて

來たが、全回路を接續したときの動作狀況は次の實驗結果の項で示される。この際は系統電圧の變動或は發電機電圧の變動により差電圧が発生すれば制御の遅れ時間後に交流發電機電圧は系統電圧に平衡する如く制御せられるが、本検出部は定位検出に屬する故に如何程かの誤差をもつた値に於いて平衡動作を行うものである。

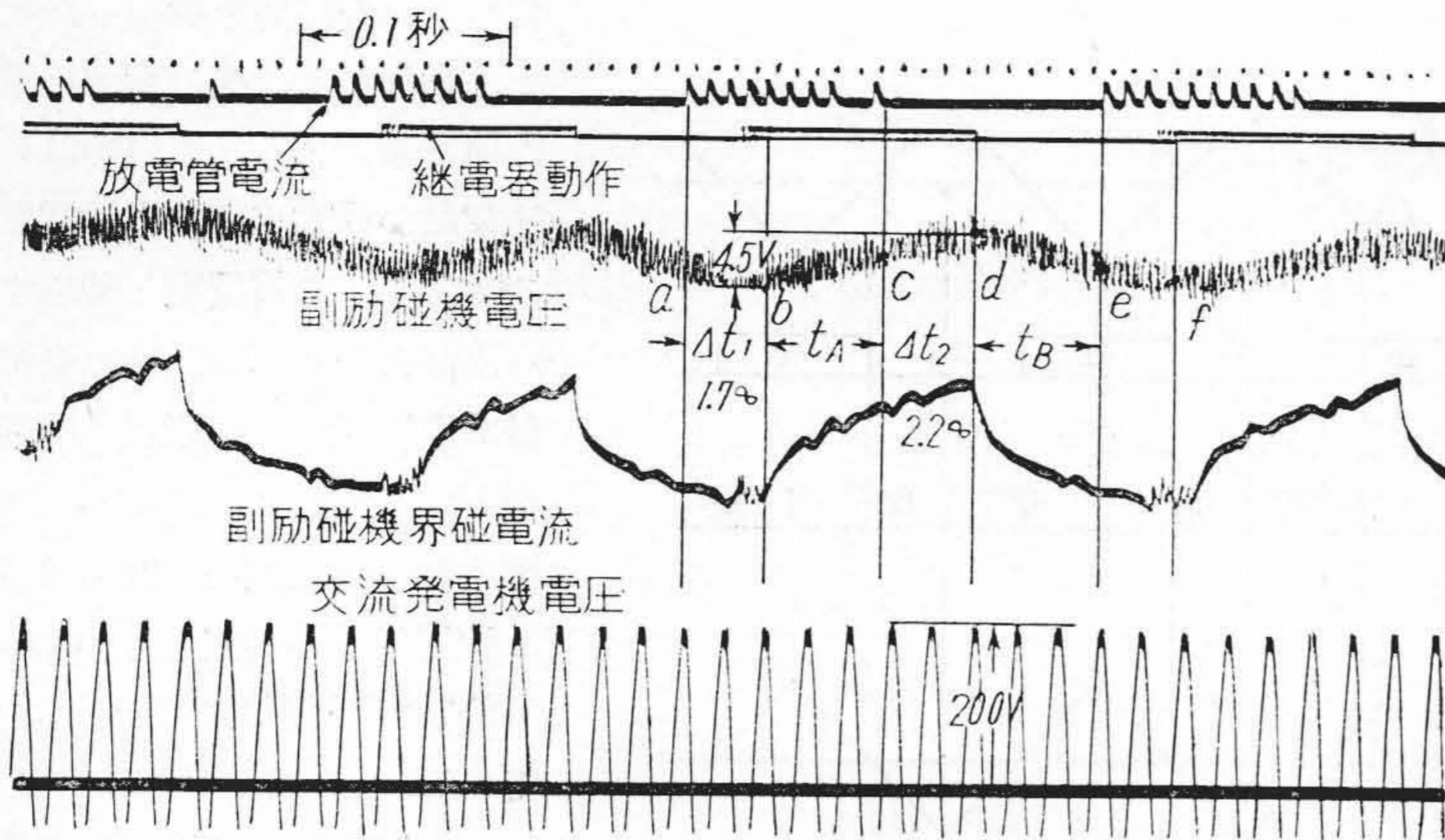
次に亂調防止回路は副励磁機電圧の變動を CR 微分回路により微分することにより得た電圧を検出部に加算する所謂微係數加算方式に屬するものである。副励磁機電圧の微分値を用いれば更により亂調防止回路を形成する筈であるが、副励磁機電圧は本装置の動作原理上脈動するものであるので、所望の電圧變化の微分値と脈動電圧の微分値とが匹敵値になつたり、或は後者の方が大になつたりするので副励磁機より亂調防止電圧を得ることは困難である。尙一定格子偏倚電圧 E_g を與える電源回路には定電圧放電管を用い電圧變動の影響を小にした。

[III] 實驗結果

(1) 發電機、系統電圧入力回路を切斷した場合の動作 第3図オシログラムは發電機、系統電圧入力回路を切斷し差電圧検出量 $\Delta E = 0$ とし格子偏倚電圧 E_g を急激に變化したときの放電管電流、継電器接點の動作、副励磁機の電圧、同界磁電流、交流發電機電圧の變化を示



第3図 動作オシログラム (其の一)
Fig. 3. Oscillogram of Operation No. 1



第 4 図 動作オシログラム (其の二)

Fig. 4. Oscillogram of Operation No. 2

す。 E_g が 44 V の場合は E_{sub} の平均は 81 V, 交流発電機電圧は 226 V を示し、 E_g を 27 V に変化すれば E_{sub} の平均は 64 V に下降し、交流発電機電圧は 208 V となる。即ち E_g の変化 17 V に對し E_{sub} の変化は 18 V となり略々同値である。 E_g の変化は合成格子偏倚電圧の変化を意味し、差電圧 ΔE の変化も合成格子偏倚電圧の変化となるから両者は同一結果をもたらすことになる。したがって E_g の変化は ΔE の変化と全く同じこ

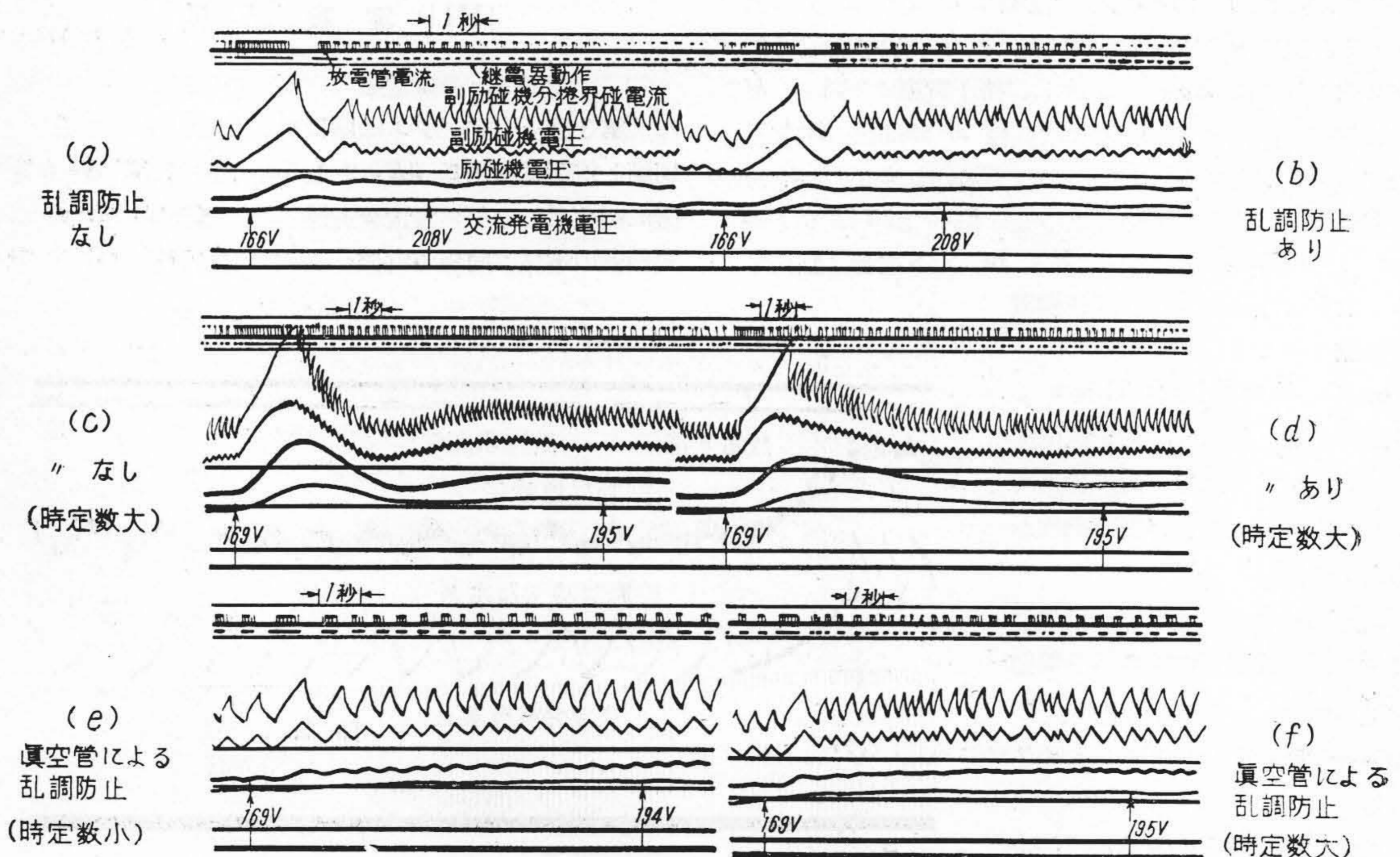
とと考えられる。即ち E_g の変化 17 V に對して E_{sub} が 18 V 變化したことは検出量 ΔE が 17 V 變化した結果 E_{sub} が 18 V 變化したと同じ意味となる。即ち検出量が操作量となつてゐることを證明してゐる。

(2) 平衡動作状態

第 4 図 オシログラムは系統電壓 200 V を基準としてこれに発電機電圧が平衡すべく E_g を調整した場合の平衡動作状態を示す。

E_{sub} 下降し a で放電管點弧すれば約 1.7 サイクルの死時間後 b 點にて継電器接點は閉ぢる。その間 E_{sub} は下降を続け b より E_{sub} は上昇する。 E_{sub} 上昇し c にて放電管は消弧する。放電管消弧すれば約 2.2 サイクルの死時間後 d で継電器接點は開き E_{sub} は下降す。以下同様の動作を繰返し交流発電機電圧を 200 V に保つ。

継電器の閉鎖中の時間は約 0.1 秒、開放中の時間は約 0.08 秒、したがって一周期は約 0.18 秒即ち 5.5 サイクル/秒の振動を行い、その振幅は約 4.5 V であるが交流発電機出力には脈動を生じない平坦な電圧が得られて



第 5 図 過渡時のオシログラム

Fig. 5. Oscillogram of Operation in Transient

いる。

(3) 系統電圧急変時の動作状態

第5図オシログラム(a)は亂調防止回路なきとき系統電圧が164Vより210Vまで急昇した場合を示す。

発電機電圧は166Vより過渡時を経て208Vに落ち着いている。過上昇は約5V即ち定常値208Vに對して約2.4%で過渡時間は約2秒を示している。

オシログラム(b)は亂調防止回路を附加したとき系統電圧が164Vより210Vまで急昇した場合を示す。

発電機電圧は166Vより過渡時を経て208Vに落ち着いている。過上昇は殆どなく又過渡時間は約1.6秒を示している。

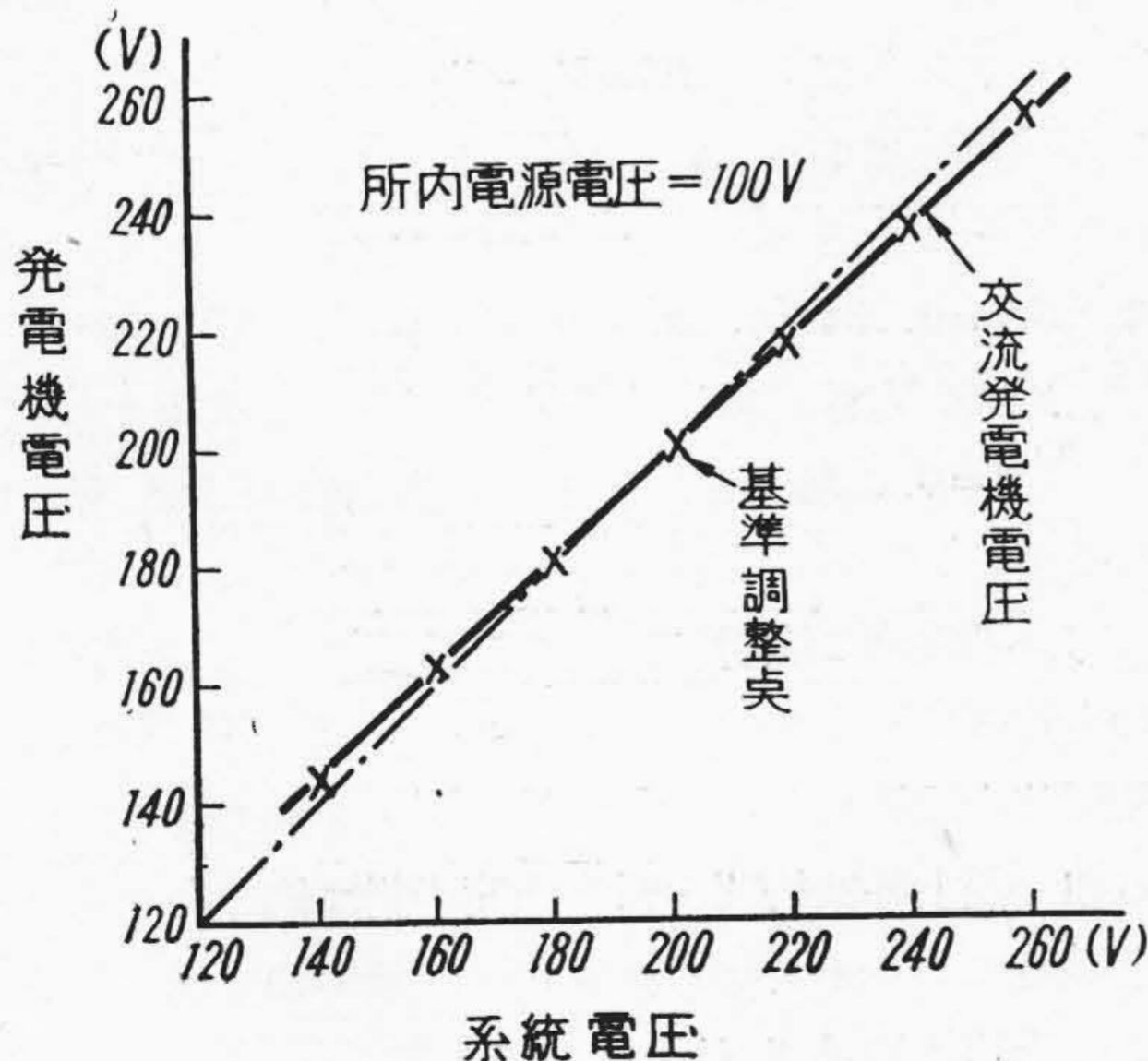
オシログラム(c)は時定数を大にするために特に時定数回路(約6秒)を附加し、亂調防止回路なきとき、系統電圧が167Vより195Vまで急昇した場合を示す。

発電機電圧は169Vより195Vまで上昇して、過上昇は約45V即ち定常値195Vに對して約23%、過渡時間は約6秒を示している。

オシログラム(d)は時定数回路と亂調防止回路を附加したとき系統電圧167Vより195Vまで急昇した場合を示す。発電機電圧は169Vより195Vまで上昇し、過上昇は約27V即ち定常値195Vに對し約13.7%、過渡時間は約6秒を示している。

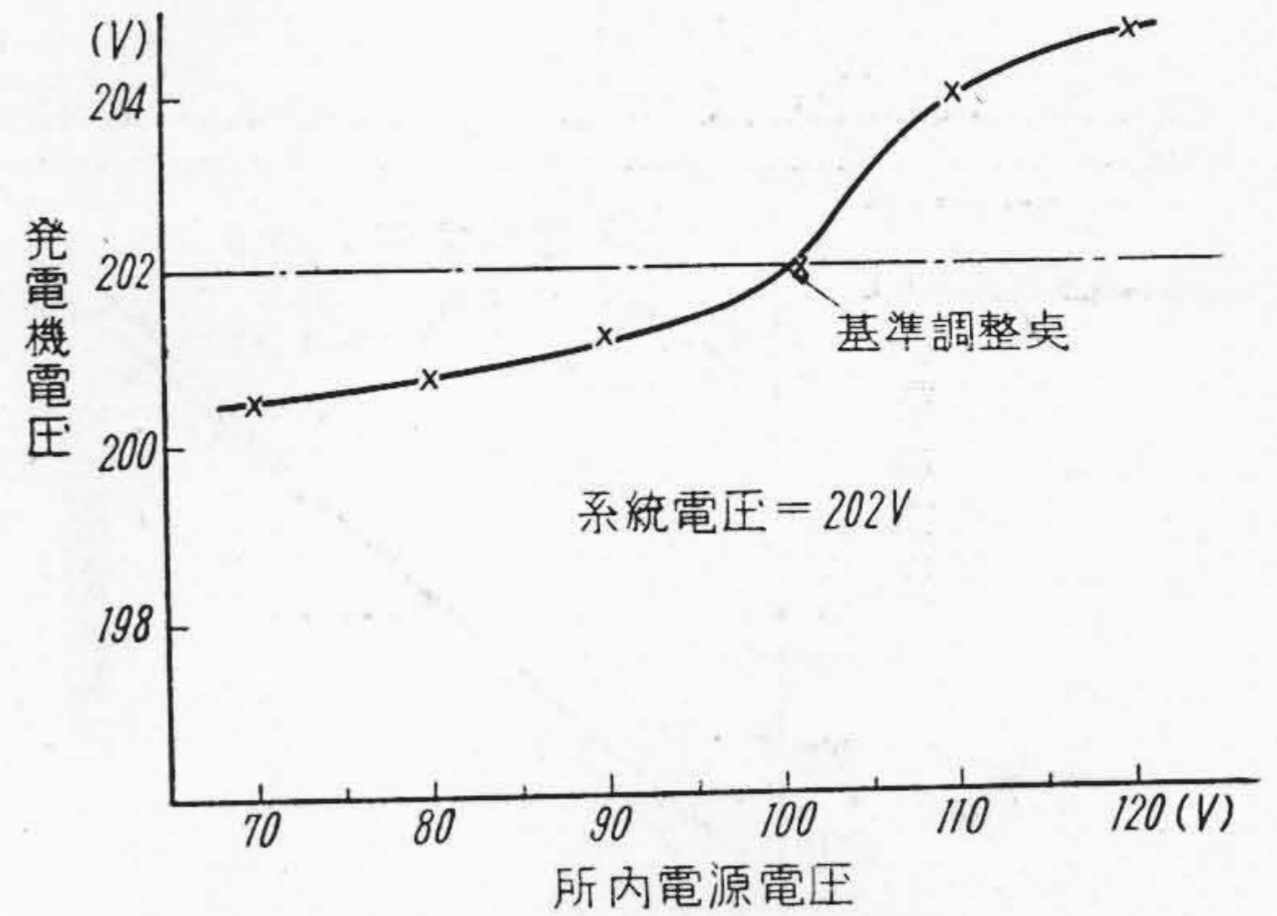
オシログラム(e)は時定数回路を附加せず、亂調防止回路に真空管増幅器を用いた場合を示す。

系統電圧167Vより195Vに急昇したとき、発電機電圧は169Vより194Vに上昇し、過上昇はなくて簡



第6図 系統電圧と発電機電圧との関係
(交流所内電源電圧：100V)

Fig. 6. Relation between the Line Voltage and the Generator Voltage
(A.C. Source Voltage : 100 V)



第7図 所内交流電源電圧と発電機電圧との関係 (系統電圧：202V)

Fig. 7. Relation between the A.C. Source Voltage and the Generator Voltage (Line Voltage: 202 V)

簡的であり、過渡時間は約5秒を示している。

オシログラム(f)は時定数回路を附加し、亂調防止回路に真空管増幅器を用いた場合を示す。発電機電圧の過上昇はなく又過渡時間は約6秒となつている。

(4) 制御誤差

第6図は系統電圧200Vのとき発電機電圧が200Vになる如く調整した場合即ち200Vを基準調整点とした場合系統電圧に對する発電機電圧を示す。

系統電圧220Vに對して発電機電圧は218V、180Vに對して182Vを示している。即ち上記の電圧變動内では約1%の誤差を示している。

(5) 所内電源電圧の影響

第7図は所内電源電圧100Vに於て系統電圧202V発電機電圧202Vに調整した後、所内電源電圧が變化した場合発電機電圧の變動を示す。所内電圧±20%の變動に對し発電機は約1%の電圧變動を示している。

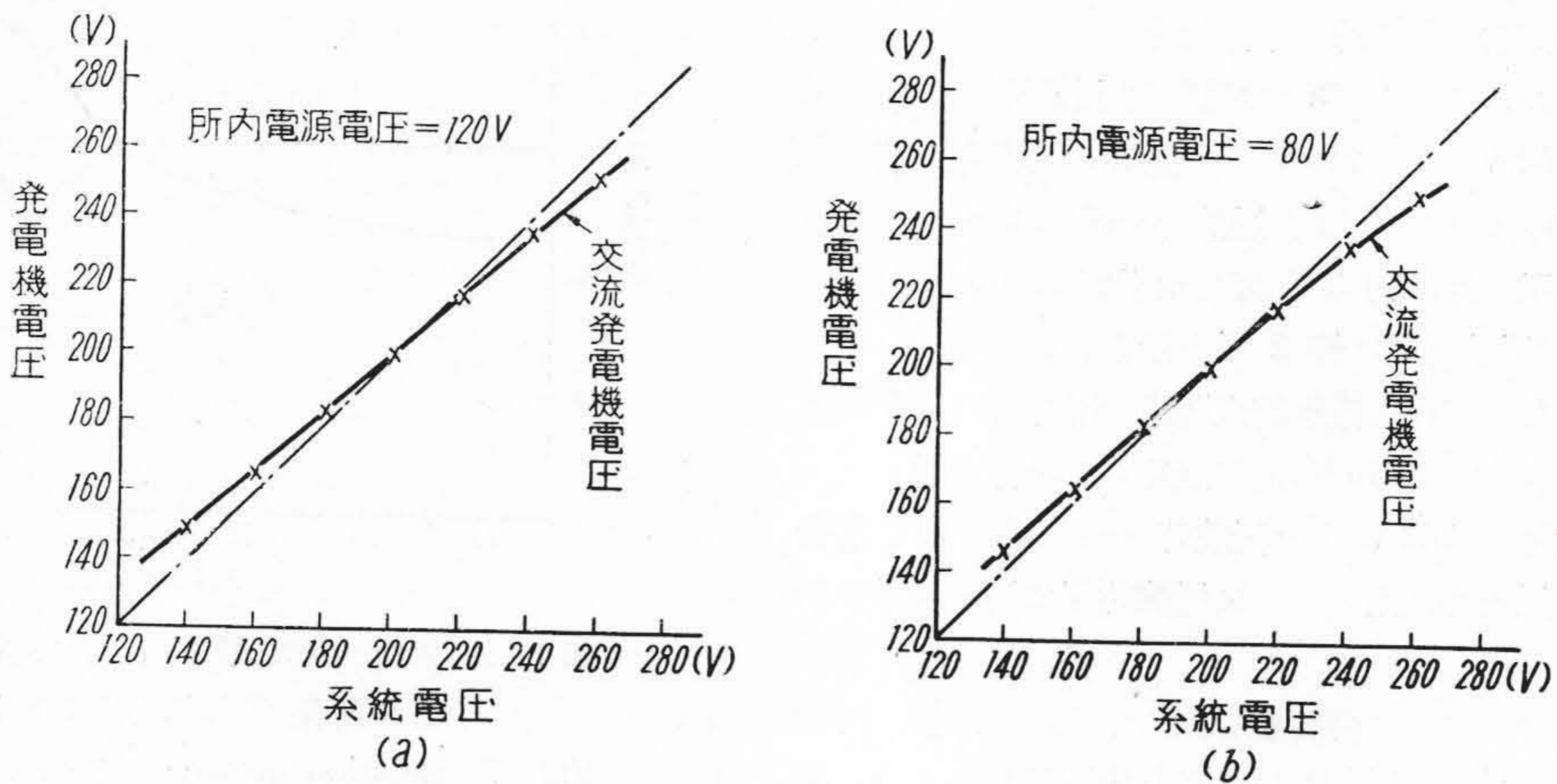
第8図は所内電圧120V及び80Vの場合につき系統電圧200V発電機電圧200Vに調整した時系統電圧の變化に對する発電機電圧の變化を示す。系統電圧200V±10%の範圍では誤差は120Vの場合は約1.5%、80Vの場合は約1%を示している。尙所内電圧100Vの場合は第6図に示す如く誤差は約1%である。

(6) 入力電力 入力消費電力は系統、発電機側ともに約2VAである。

[IV] 結果の考察

(1) 動作原理の検討

[II] で「本装置の動作原理は検出量 ΔE の變化が一定値に調整された格子偏倚電圧 E_g に加算されることにより全格子偏倚電圧が變化し、それに應ずべき副勵磁機



第 8 図 系統電圧と発電機電圧との関係 (所内交流電源電圧 : 120 V, 80 V)
 Fig. 8. Relation between the Line Voltage and the Generator Voltage
 (A.C. Source Voltage: 120 V, 80 V)

電壓 E_{sub} 及び交流発電機電圧を発生せしめるものである」と述べた。第 3 図はこの解釋の正しさを立證するものである。即ち検出量の變化 17 V が操作量の變化 18 V となり被制御量を制御するものであることが明らかになった。饋還回路を考慮に入れると第 5 図又は第 6 図に示す如く交流発電機出力が検出部に饋還される結果制御の誤差に相當する電圧が検出量として残存して平衡運轉を行うものであることも明かである。

(2) 副勵磁機電壓の振動周期及び振幅の検討

第 4 図オシログラムに示す如く系統電壓 200 V 発電機電壓 200 V, 格子偏倚電壓 E_g 65 V に即ち基準調整せられた場合につき副勵磁機電壓の振動周期及び振幅の検討を行つて見る。

振動周期 t は

$$t = \Delta t_1 + t_A + \Delta t_2 + t_B \dots \dots \dots (1)$$

となる。ここで、

Δt_1 = 繼電器閉の死時間

Δt_2 = 繼電器開の死時間

$$t_A = \frac{V_c - V_b}{\alpha}$$

$$t_B = \frac{V_d - V_e}{\beta}$$

但し V_a, V_b, V_c, V_d, V_e は夫々オシログラム $abcde$ 點の電壓を示す。

α = 電壓上昇率

β = 電壓下降率

又 $V_b = V_a - \Delta t_1 \times \beta$

$V_d = V_c + \Delta t_2 \times \alpha$

V_c = 消弧時電壓

$V_a = V_e$ = 點弧時電壓

となるから (1) 式は

$$t = \Delta t_1 + \frac{V_c - V_a + \Delta t_1 \beta}{\alpha} + \Delta t_2 + \frac{V_c + \Delta t_2 \alpha - V_a}{\beta}$$

$$\therefore t = \Delta t_1 \left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) + \Delta t_2 \left(1 + \frac{\alpha}{\beta} \right)$$

$$+ \Delta V \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} \right) \dots \dots \dots (2)$$

但し $\Delta V = V_c - V_a$

となる。故に周期は $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta V, \alpha, \beta$, により決定されることになる。

今 $\Delta t_1 = 0.034$ 秒, $\Delta t_2 = 0.044$ 秒, $\alpha = 50$ V/秒

$\beta = 55$ V/秒, $\Delta V = 1.5$ V を (2) に代入すれば

$t = 0.2$ 秒 となりオシロ實測値 0.188 秒と略々一致する。

(3) 過渡時の検討

時定數回路を附加せざる場合。

亂調防止回路のないときは第 5 圖オシログラム (a) に見る如く過上昇は約 2.4%, 過渡時間は約 2 秒であるが防止回路によりオシログラム (b) に示す如く過上昇は殆どなく時間は約 1.6 秒となつてゐる。

時定數回路を附加した場合。

防止回路なきときはオシログラム (c) に見る如く過上昇は約 23% で時間は約 6 秒であるが、防止回路を附加すれば、オシログラム (d) に見る如く過上昇は約 13.7% で時間は約 6 秒となつてゐる。

又亂調防止回路に増幅器を用いた結果過上昇はなく簡便的である。

いずれの場合も防止回路を附加すれば過渡時間には大差がないが電圧の過上昇は相當よく制限されていることがわかる。

(4) 制御誤差の検討

第6図に示す如く系統電圧 200 V±10% の範囲では誤差は約1% であり、電圧平衡装置としては略々満足出来るものと思われる。

(5) 所内電源電圧の影響の検討

第7, 8 図に示す如く所内電源電圧の變動が ±20% の範囲ではその影響は ±1% 前後であつて小であると考えられる。

[V] 結 言

従來のプランジャー型に代るに一本の放電管と一個の

繼電器とよりなる小勢力振動型交流自動電圧平衡装置を提唱し、その解析と實驗を行つた結果略々その目的に沿うものであることを確認した。

最後に本研究にあたり御指導を賜つた當研究所今尾課長に又常々御援助を頂く多賀工場計器設計課比良氏に又多賀工場配電盤、計器設計兩課の關係各位に厚く御禮を申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 小林、近野、竹村：日評、32, 741 (昭 25)
" 32, 846 (昭 25)
- (2) Leonhard: E. u. M. (1939)
自動制御研究会：電気式自動制御, p. 162 (昭 19)
- (3) 特許第 96124 号 (昭 7)
- (4) 特許出願中



最近登録された日立製作所の特許及び實用新案 (2)

区 分	登録番号	名 称	工場名	発 明 考 案 者	登録年月日
實用新案	388800	電子顕微鏡の対物レンズ	中 研	片 桐 信 二 郎	27 年 1.17
"	388801	電子顕微鏡の焦点合せ装置	"	小 泉 喜 八 郎	"
"	388802	回転円板制動用磁石	多 賀	{完 像 晋 介 宇佐美 祐 雄	"
"	388803	積算電力計制動磁石	"	{宗 像 晋 介 宇佐美 祐 雄	"
"	388804	積算電力計回転力調整装置	"	{宗 像 晋 介 鈴 木 一 夫	"
"	388805	回転円板制動磁石	"	{宗 像 晋 介 宇佐美 祐 雄	"
"	388806	積算電力計の回転力調整装置	日 立	田 中 貞 之 助	"
"	388807	碍子型遮断器用操作碍管	多 賀	桑 山 正 俊	"
"	388808	碍子型遮断器操作装置	"	桑 山 正 俊	"
"	388809	密閉防滴スイッチ	"	横 内 直 中	"
"	388810	密閉型スイッチ	"	横 内 直 中	"
"	388811	密閉型開閉器	"	横 内 直 中	"
"	388812	電気器油槽	日 立	阿 部 春 雄	"
"	388813	磁石装置	多 賀	矢 内 博	"



最近登録された日立製作所の特許及び實用新案(3)

区分	登録番号	名称	工場名	発明考案者	登録年月日
實用新案	388814	押ボタンスイッチ	多賀	{横内直中 加茂谷春一	27年1.17
//	388815	防滴型電磁開閉器箱	//	加茂谷春一	//
//	388816	気密端子引出装置	日立	水戸貞雄	//
//	388817	リード線引出部気密装置	//	鈴木正城	//
//	388818	タービン推力対応装置	//	伊藤文夫	//
//	388819	制限開閉器	//	本馬千代一	//
//	388820	電磁開閉器箱	//	田中貞之助	//
//	388821	電磁スイッチ箱	//	田中貞之助	//
//	388822	防爆型ブザー	//	{佐藤正三 白土忠治	//
//	388823	ロングリット捲取装置の有鞘木管	川崎	薄正四	//
//	388824	電線接続装置	亀戸	鬼頭国忠	//
//	388825	電線接続装置	//	鬼頭国忠	//
//	388826	電車で電動機	日立	滑川清	//
//	388827	ホイスト駆動電動機	多賀	{横内直中 古谷武田	//
//	388828	コック自動撹合せ量産機	桑名	{武田順一郎 谷英治	//
//	388829	ポータブル ベルトコンベヤ	龜有	{森幸	//
商標登録	407370	マイン(69類)			//
//	407371	ヒタフラン(2類)			//
特許	191572	電気収塵装置	日立	{橋本清隆 中健太郎	26年12.15
//	191573	水銀整流器の点弧方式	//	今尾隆	//
//	191574	点弧子型整流器の点弧方式	//	木村鐘治	//
//	191575	カプリングの切放し及び連結装置	龜有	田中栄吉	//
//	191576	移動式電動ポンプの固定装置	//	田中栄吉	//
//	191577	気化器の燃料系統	戸塚	藤原連	//
//	191578	起重機用フックビーム	龜有	平栗保平	//
//	191579	扇風機の風向調節装置	多賀	四倉輝夫	//
//	191580	粒子を含む流体用弁	笠戸	{佐々木精治 松本政吉	//
//	191581	コールカッター	龜有	亀井茂樹	//
//	191582	熱応動回転装置	日立	原田肇	//
//	191583	滑り調整器の自動制御方式	//	御法川潔	//
//	191584	誘導電動機速度制御装置	龜戸	森泉袈裟彌	//