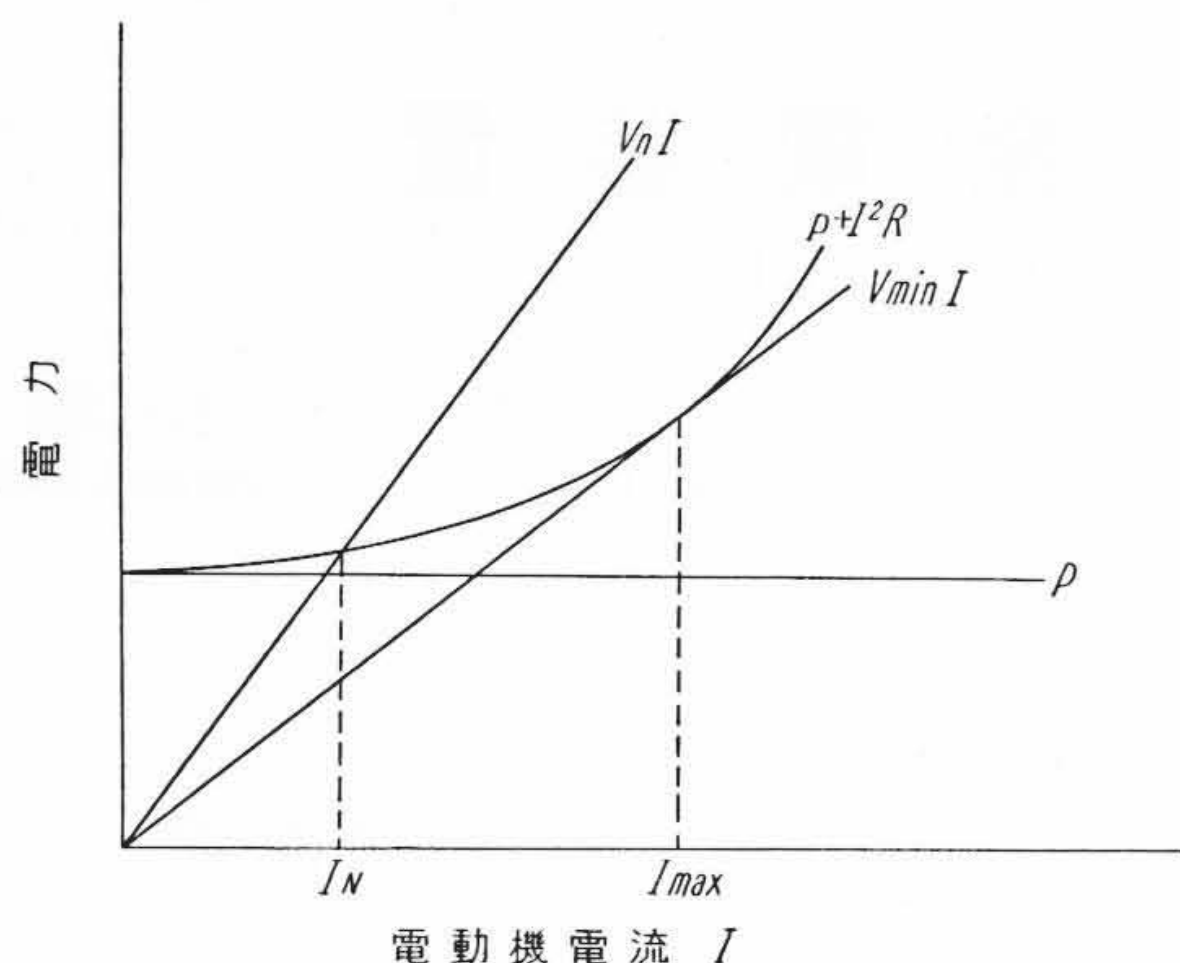




第2図 電動機出力-入力特性説明図

したがって低い電車線電圧まで特性を保証しようとする、 R を小さく選ぶ必要があり、起動時や架線電圧急変時などにおける突入電流が大きくなるので整流悪化による整流子荒損、せん絡などを防ぐため設計上特別な考慮が必要となる。また低い電車線電圧でも一定出力を出すためには電動機電流が著しく増大し、熱的にも苦しくなるため電動機が大形になる。さらに広範囲な電車線電圧に対して一定周波数を保持するためには電動機界磁の制御範囲が広くなり自動周波数調整器が大形になる。

R を一定にした場合出力特性を確保する電車線電圧は(2)式から明らかのように

$$V^2 - 4RP > 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

なる範囲である。ここで

$$R = \frac{V_{\min}^2}{4P} \quad \dots\dots\dots (4)$$

とすれば、電動機最大電流 $I_{\max}$ は(4)、(2)式より

$$I_{\max} = \frac{V_{\min}}{2R} \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。これらの関係を第2図に示す。

さらに(5)、(2)式より

$$\begin{aligned} \frac{I_{\max}}{I_n} &= \frac{V_{\min}}{2R} \times \frac{2R}{V_n - \sqrt{V_n^2 - V_{\min}^2}} \\ &= \frac{V_{\min}}{V_n} \left/ \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{V_{\min}}{V_n} \right)^2} \right] \right. \quad \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

(2)、(4)式より

$$\frac{I_r}{I_n} = \frac{V_n}{R} \left/ \left(\frac{V_n - \sqrt{V_n^2 - V_{\min}^2}}{2R} \right) \right. = 2 \left/ \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{V_{\min}}{V_n} \right)^2} \right] \right. \quad \dots\dots\dots (7)$$

$e_{\max}$ は最大電車線電圧 $V_{\max}$ で発電機が無負荷の時に相当し、電動機が無負荷電流による電圧降下を無視すれば

$$e_{\max} \doteq V_{\max} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$e_{\min}$ は最低電車線電圧 $V_{\min}$ で発電機が全負荷の時に相当し(5)式より

$$e_{\min} = V_{\min} - I_{\max}R = \frac{V_{\min}}{2} \quad \dots\dots\dots (9)$$

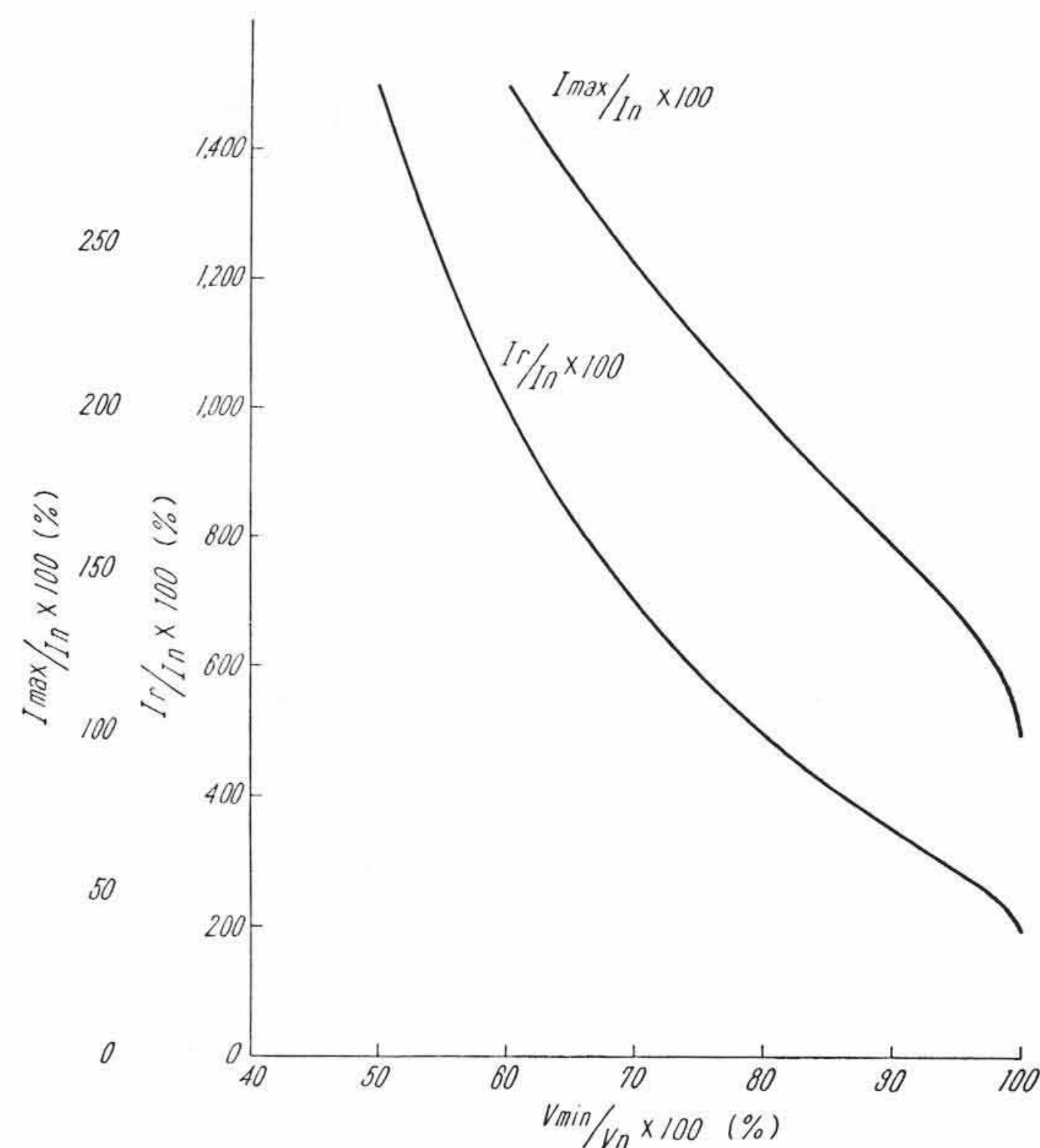
(8)、(9)式より

$$\frac{e_{\max}}{e_{\min}} \doteq 2 \cdot \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

(6)、(7)式は第3図に示すような曲線となる。

実際には電車線電圧が低下した時、発電機電圧が多少降下することによる電動機出力 P の減少により電動機最大電流 $I_{\max}$ は第2図よりも若干下まわる。

(6)式は電車線電圧により起動用直列抵抗なしで直接起動する場合



第3図 架線電圧変動範囲要求値-電動機電流特性

合の起動電流と定格電流の比であるが、起動用直列抵抗をそう入して起動する方式の場合にも、運転中の電車線電圧急変や、無電圧区間通過時などの突入電流については同様のことがいえる。

無電圧区間の通過などの過渡時における突入電流を低く押える方法としては各種の装置が実用されているが、急しゅんな電車線電圧上昇に対しては、機械的動作機構を有する装置では追従することが困難であり、特性、最低電車線電圧における電動機の熱容量、制御装置の大きさなどを考慮のうえ、極力 R を大きくしておくことが突入電流制限のために必要である。

また(10)式から、出力を一定に保持すべき電車線電圧範囲を大にすると電動機界磁の制御範囲が大きくなり、装置が大きくなる。

これらより、出力特性を一定に制御する電車線電圧変動範囲を各線区の実情に完全に適合せしめ、必要以上に広い範囲を要求することはさけることが軽量で信頼度が高く、保守の手数を要しない装置をうる前提であるといえる。

3. 日立電動発電機の特長

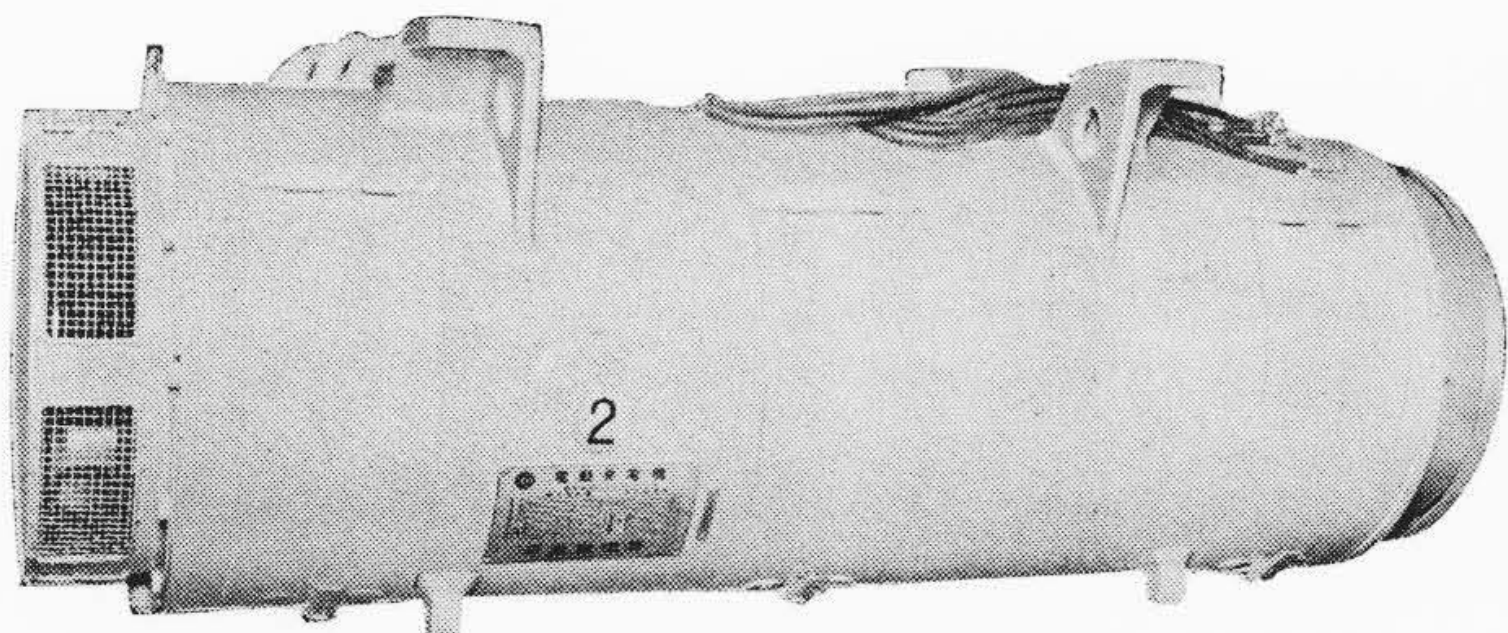
電動発電機は電車の力行惰行に無関係に連続運転され、加えて運転中に生ずる種々の過渡状態にさらされるので、電動機が良好な整流を保つことは、装置の信頼性、保守の手数の低減などのために最も強く要望されることである。

このため設計製作にあたっては、過渡時における電車線電圧変動範囲や無電圧区間通過時間とそれらのひん度、ならびに突入電流の大きさを詳細にはあくし、起動装置の継電器類とその保護方式を検討することはもちろん、電動機の整流能力や、繰返し衝撃に対するコイル絶縁の機械的強度なども十分検討して万全を期している。

日立製作所では自動周波数調整方式として4.に述べるとおり、おもに二つの他励界磁をいわゆるプッシュプル制御を行う方式を採用しているため、プッシュプル方式によらない場合に比べて制御の速応性がきわめて早く、かつ分巻界磁アンペアターンの値を大きく選べるので、電動機の整流は過渡時においてもきわめて良好なものとなっている。

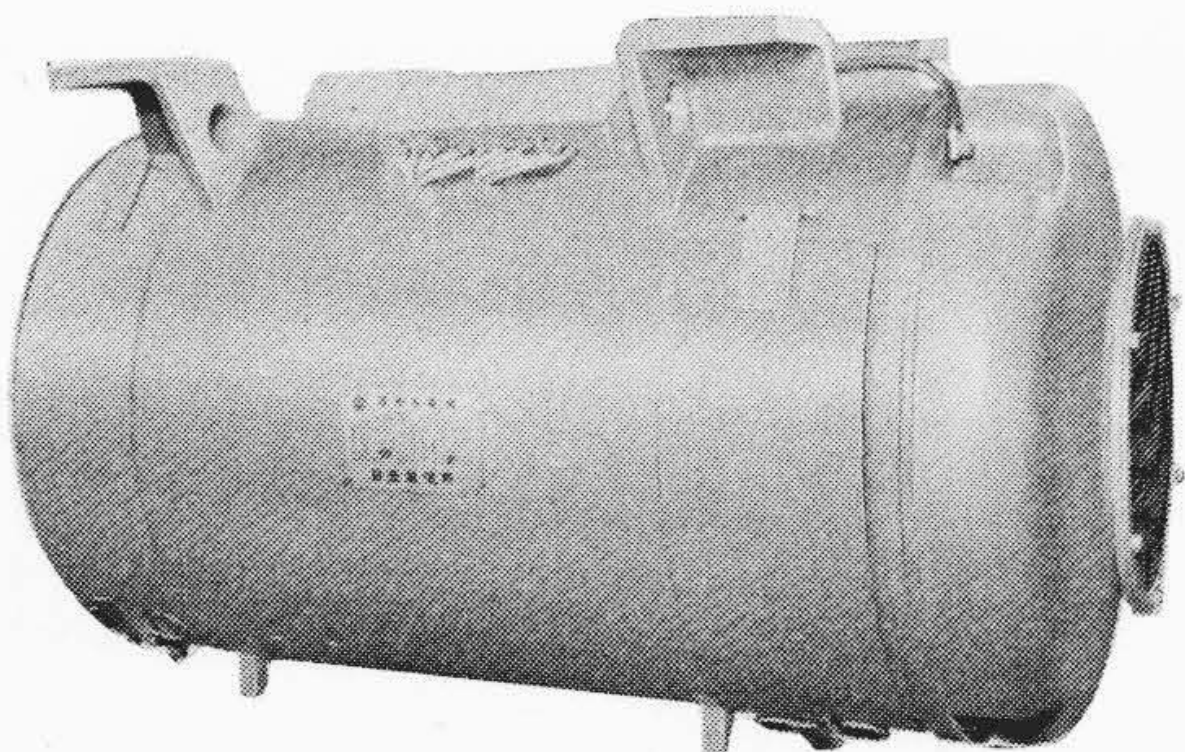
大容量機においては特に慎重な設計が必要であり⁽¹⁾、100kVA程度以上の大容量機で使用条件のきびしい場合には必要に応じて補償巻線を採用し、過渡時の整流改善を計っている。

電動発電機の設計、製作にあたっては、構造的にも慎重な考慮を



HG-583-Drb 電動機 9kW 1,500V 6A 3,600rpm
発電機 5.5kVA 100V 31.8A 3φ 60~ pf 0.9

第4図 近畿日本鉄道納 5.5kVA 電動発電機



HG-523-Brb 電動機 16kW 750V 21.4A 1,800rpm
発電機 10.5kVA 200V 26.25A 2φ 60~ pf 0.9

第5図 大阪市交通局納 10.5kVA 電動発電機

払い、整流、冷却効果の改善、保守点検の便、そう音の低減などを計るとともに車両用として特に問題となる小形軽量化に意をそいでいる。また風の入入口は通風効果を妨げず防じん効果の良好なフィルタを備え、機内配列は整流子にちりの影響のないようにくふうし(第4図)、地下鉄用など特殊な使用条件に対しては完全な全閉外扇形を採用している(第5図)。

整流子片には信頼度の高い特殊銀入硬銅を使用し、保守上の便利のため軸受箱はカートリッジ式とし、スリップリングには摩耗の少ない不銹鋼を使用するなど使用条件に適した構造としている。

4. 電動発電機の制御方式

磁気増幅器やトランジスタの進歩により、制御精度、応答時間などのすぐれた静止機器による制御方式は完全に励磁機方式にとってかわった。

直流電動発電機では発電機出力電圧の制御のためには自動電圧調整装置のみでもよいが、交流電動発電機の場合には周波数変動をおさえるため、自動周波数調整装置を必要とする。

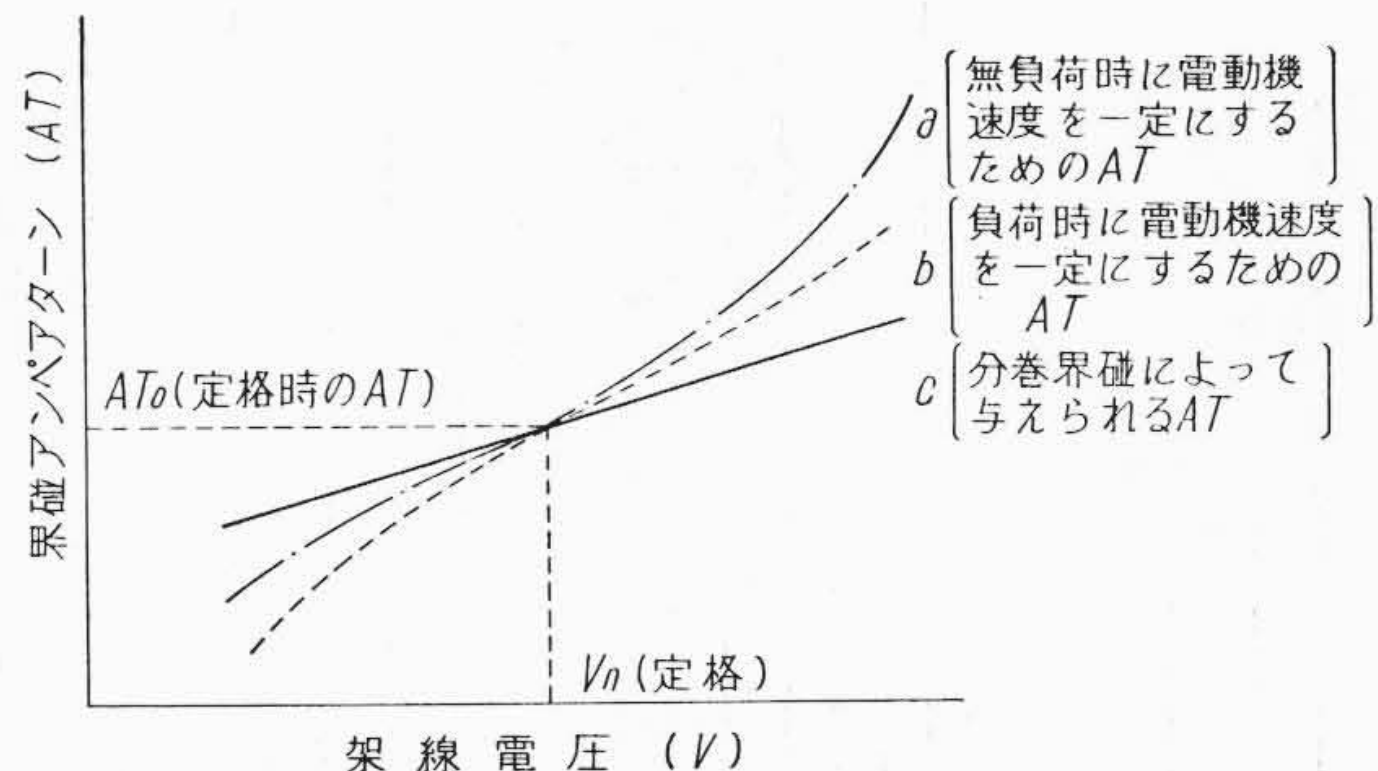
日立製作所では交流電動発電機に対して、下記の自動周波数調整装置により周波数を一定に保ち、自動電圧調整装置としては発電機界磁に発電機負荷電流に応じた補償励磁電流を付加する方式を採用している。

4.1 自動周波数調整器 (AFR)

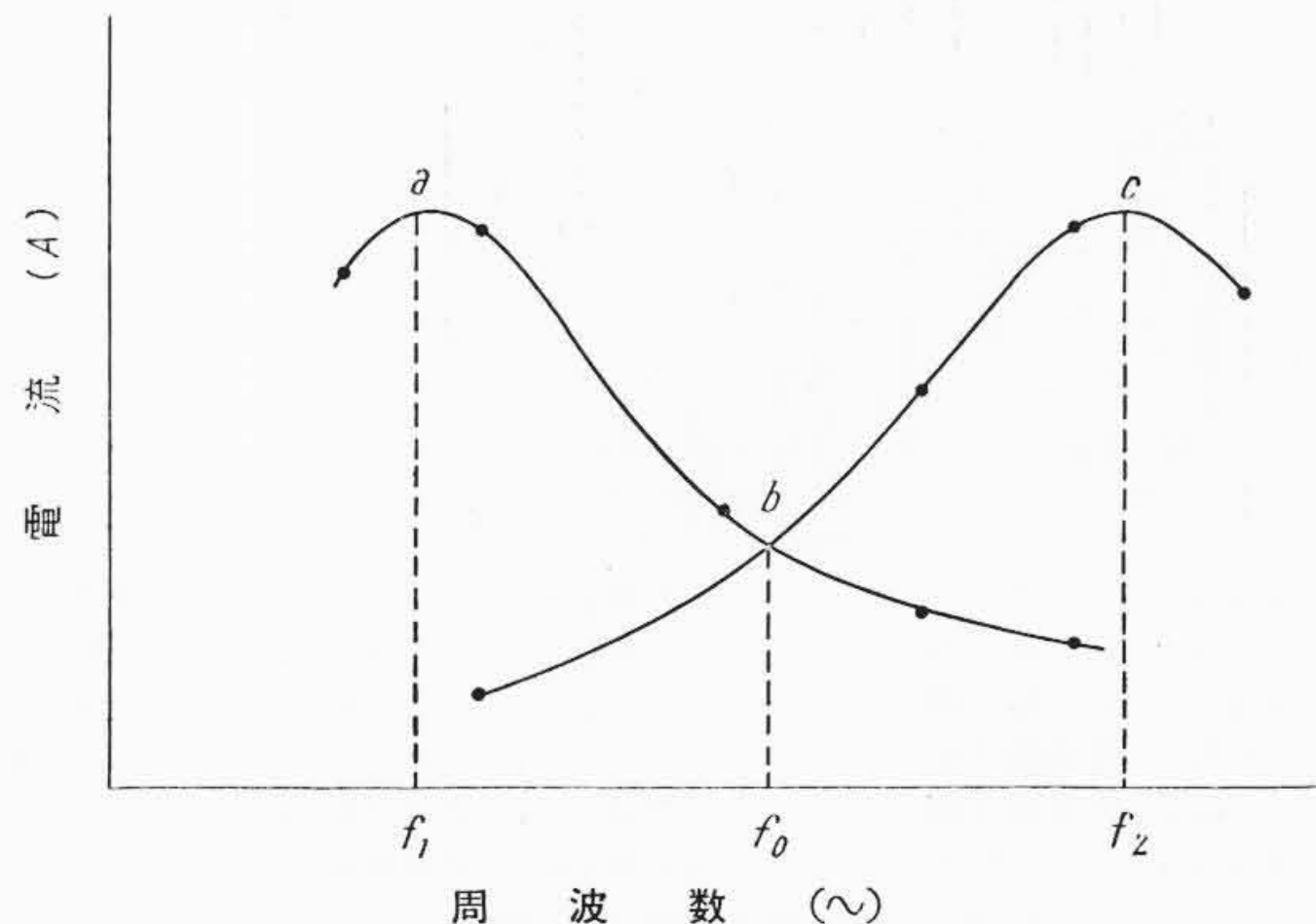
自動周波数調整方式は電動発電機の容量、制御精度などのほかに使用条件によっても変わってくるが、日立製作所では磁気増幅器式、リアクタ・コンデンサ(LC)直列共振方式を多く製作し、最近トランジスタ式 AFR を開発した。

いずれも電動機に分巻界磁と和動および差動に働く二つの他励界磁巻線を設け、この他励界磁巻線をプッシュプルに制御するものである。

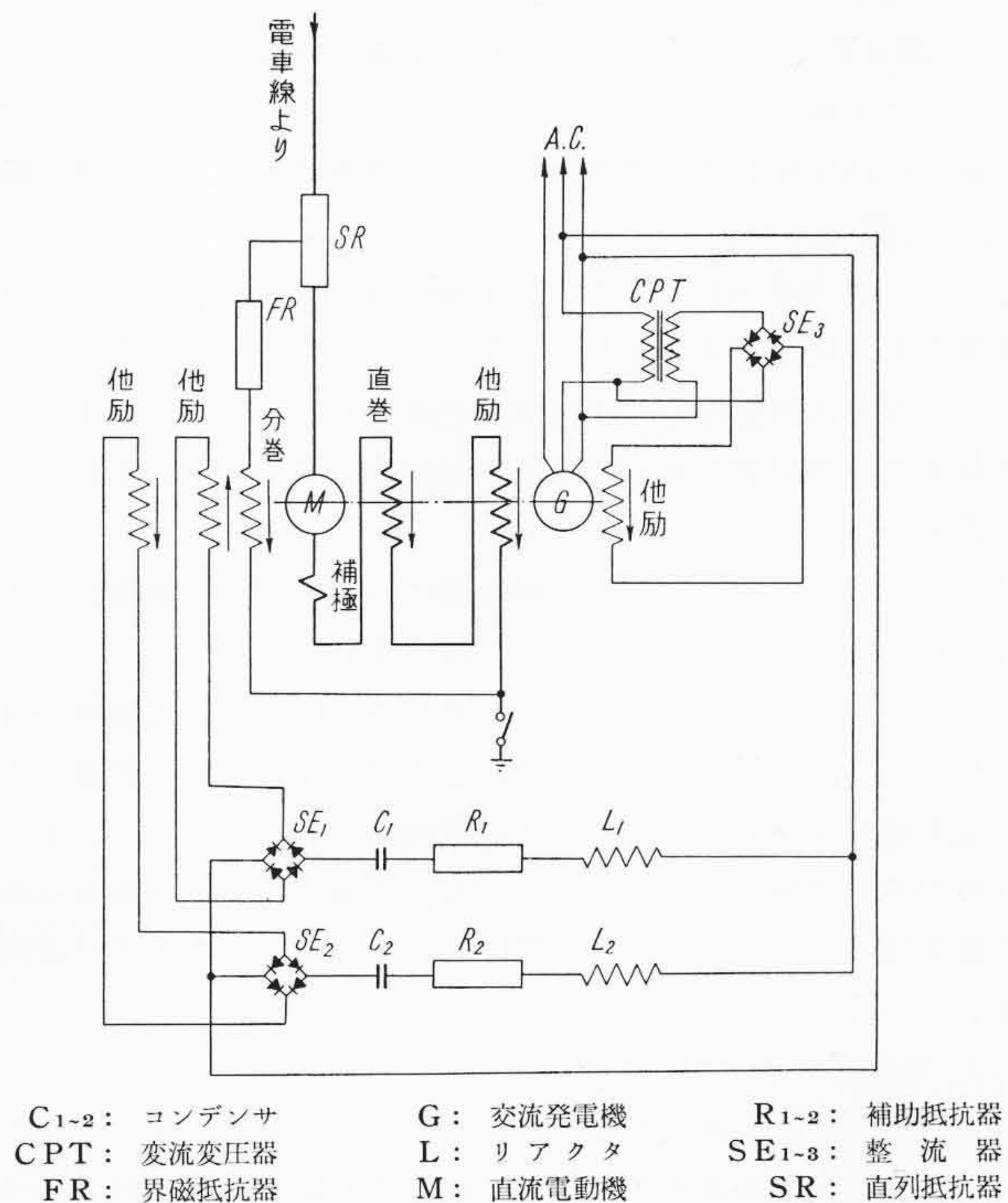
発電機周波数すなわち電動機回転数を、電車線電圧変動あるいは負荷の有無にかかわらず一定とするためには電動機界磁アンペアターンを第6図のa, b曲線のように変化させる必要があるが、このためには主要なアンペアターンを分巻界磁(第6図c)によって与



第6図 電動機速度を一定に保持するための架線電圧と界磁アンペアターンの関係



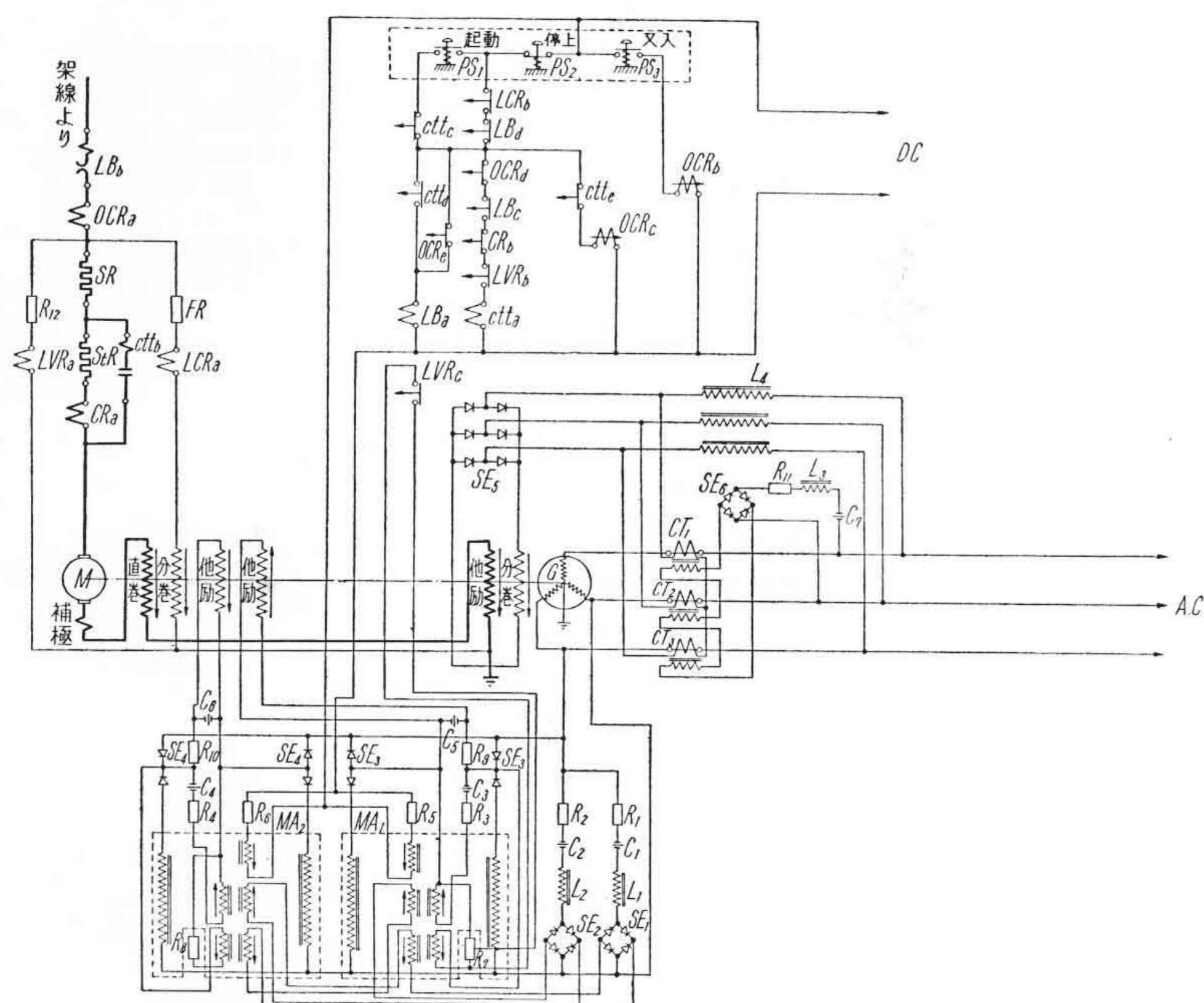
第7図 リアクタ・コンデンサ直列共振回路特性



第8図 リアクタ・コンデンサ直列共振式 電動発電機制御回路つなぎ

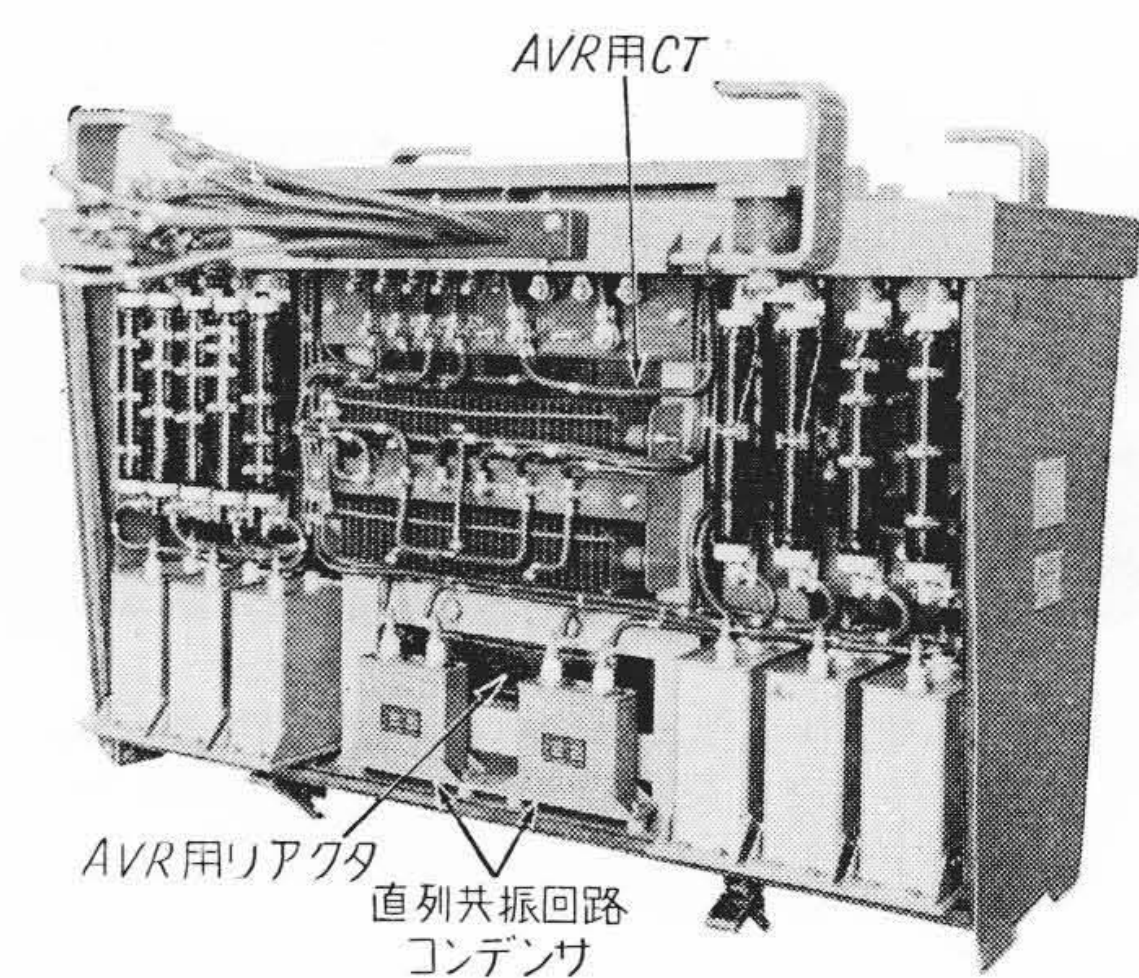
え、第6図a, b曲線とc曲線との差のアンペアターンを上記の二つの他励界磁巻線によって供給すればよいわけである。

LC直列共振式 AFR は第7図に示すように定格周波数の上下に適当に離れた周波数をそれぞれ共振点とする2組の直列共振回路の出力電流を上記他励界磁巻線に供給するもので、小容量の電動発電機に適した非常に簡単で安定度の高い制御方式である。本方式の接続図の例を第8図に示す⁽³⁾。

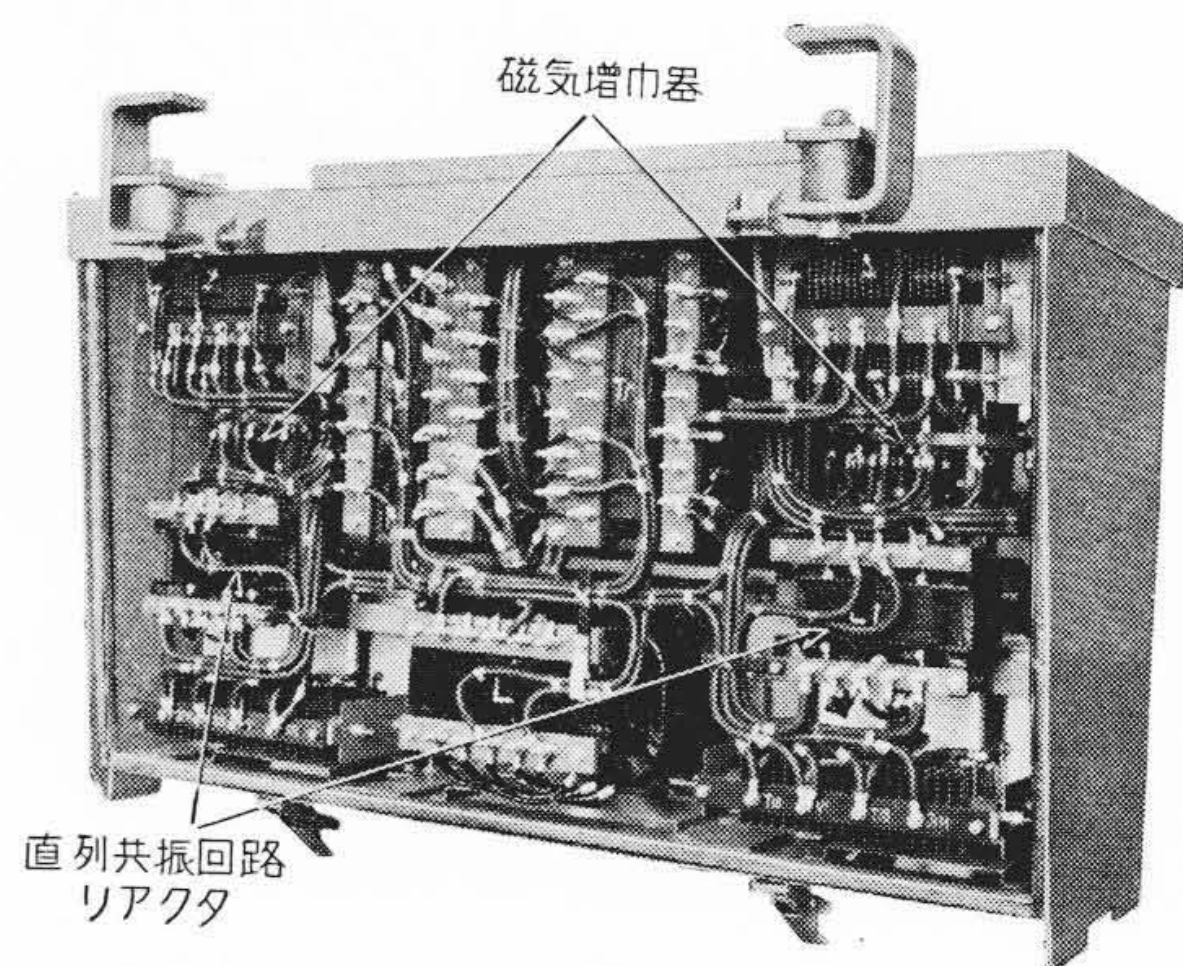


第 9 図 磁気増幅器式電動発電機制御回路つなぎ

C1-7: コンデンサ LBa-d: 断流器 PS1-3: 押釦開閉器
 CT1-2: 変流器 LCR a-b: 低電流継電器 R1-12: 補助抵抗器
 ctt a-e: 接触器 LVR a-c: 低電圧継電器 SE1-6: 整流器
 FR: 電動機界磁抵抗器 M: 直流電動機 StR: 起動抵抗器
 G: 交流発電機 MA1-2: 磁気増幅器 SR: 直列抵抗器
 L1-4: リアクタ OCR a-e: 過電流継電器



第 10 図 大阪市交通局納 10.5kVA 電動発電機調整装置 (表)



第 11 図 大阪市交通局納 10.5kVA 電動発電機調整装置 (裏)

磁気増幅器式は、上記直列共振回路の出力を磁気増幅器によって増幅し(第9図)、その出力で他励界磁巻線を励磁する方式であって比較的大容量機に対して有利となる。本方式の一例として大阪市交通局納 10.5 kVA 電動発電機およびその調整装置の写真を第5図と第10, 11図に示す。

トランジスタ式 AFR は上記磁気増幅器の代りにトランジスタを増幅器として使う方式であり、トランジスタの急速な進歩にともなう、かなり大容量のものまで製作可能になるであろう。本方式は小形軽量で制御精度が高く、耐湿、耐振性にすぐれているなど多くの特長を持っている。

以上3方式の共通した特長は第6図に示すように電動機が定格電車線電圧において分巻界磁のみで、ほぼ100%のアンペアターンを与えられており、電車線電圧および負荷の変動による電動機の変速変化のみを、自動周波数調整器により制御するので、起動、再起動、電車線電圧急変などに対する過渡特性が安定であり⁽¹⁾、また万一自動周波数調整器が事故のときでも、電動発電機の過速度は最高電車線電圧の場合でも約20%程度にとどまるなどの特筆すべき特長を有していることである。

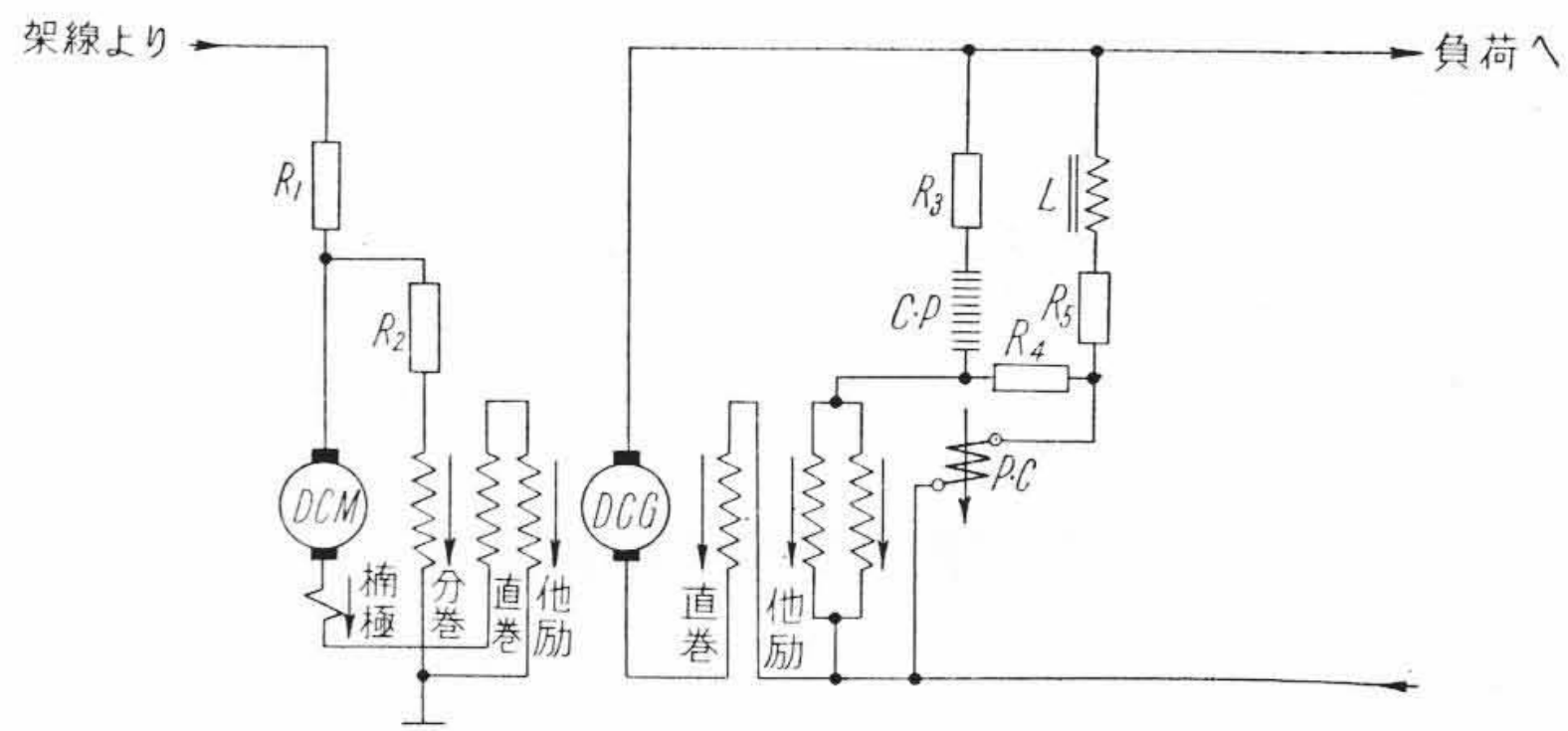
4.2 自動電圧調整器 (AVR)

自動電圧調整器が満足しなければならない一般的条件は、

- (1) 発電機が無負荷から最大負荷まで一定電圧に制御できること。
- (2) 発電機の負荷力率が変動しても一定電圧に制御できること。
- (3) 尖頭負荷などによる電圧変動に対して応答が早いこと。
- (4) 周波数の変動によって制御精度の低下がないこと。
- (5) 装置が簡単軽量で信頼度の高いこと。

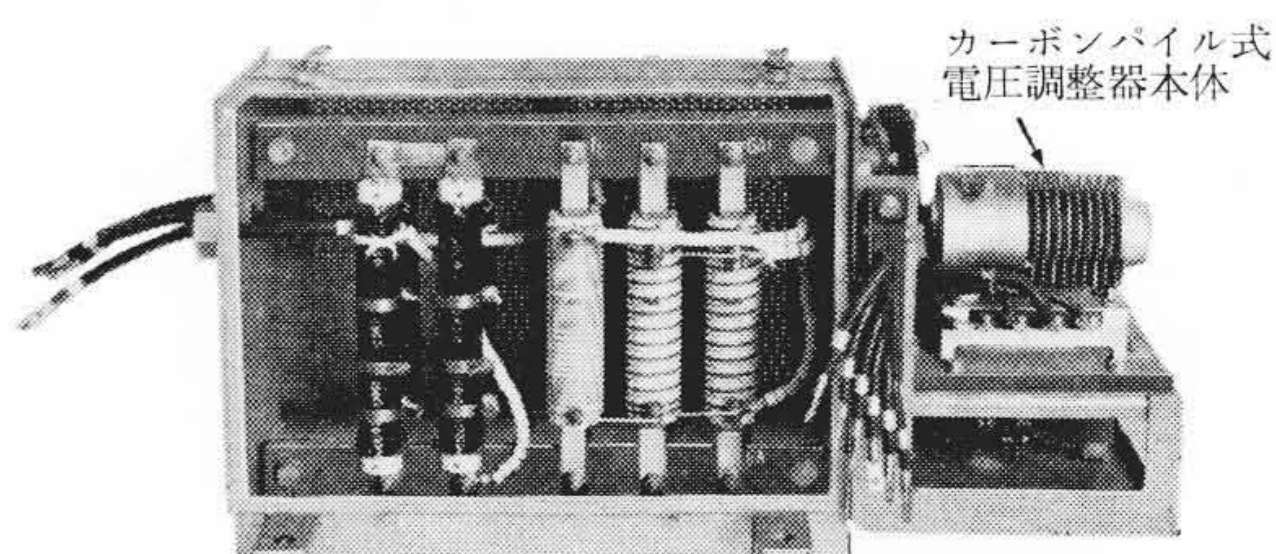
などである。

自動周波数調整器によって電動発電機がほぼ一定に制御されるので、自動電圧調整器としては発電機が無負荷の場合を基準にして励磁すれば、負荷されたときは発電機の抵抗およびリアクタン



C.P.: カーボンパイル L: チョークコイル
 P.C.: カーボンパイル制御コイル R1~R5: 抵抗器

第 12 図 カーボンパイル式 AVR つなぎ

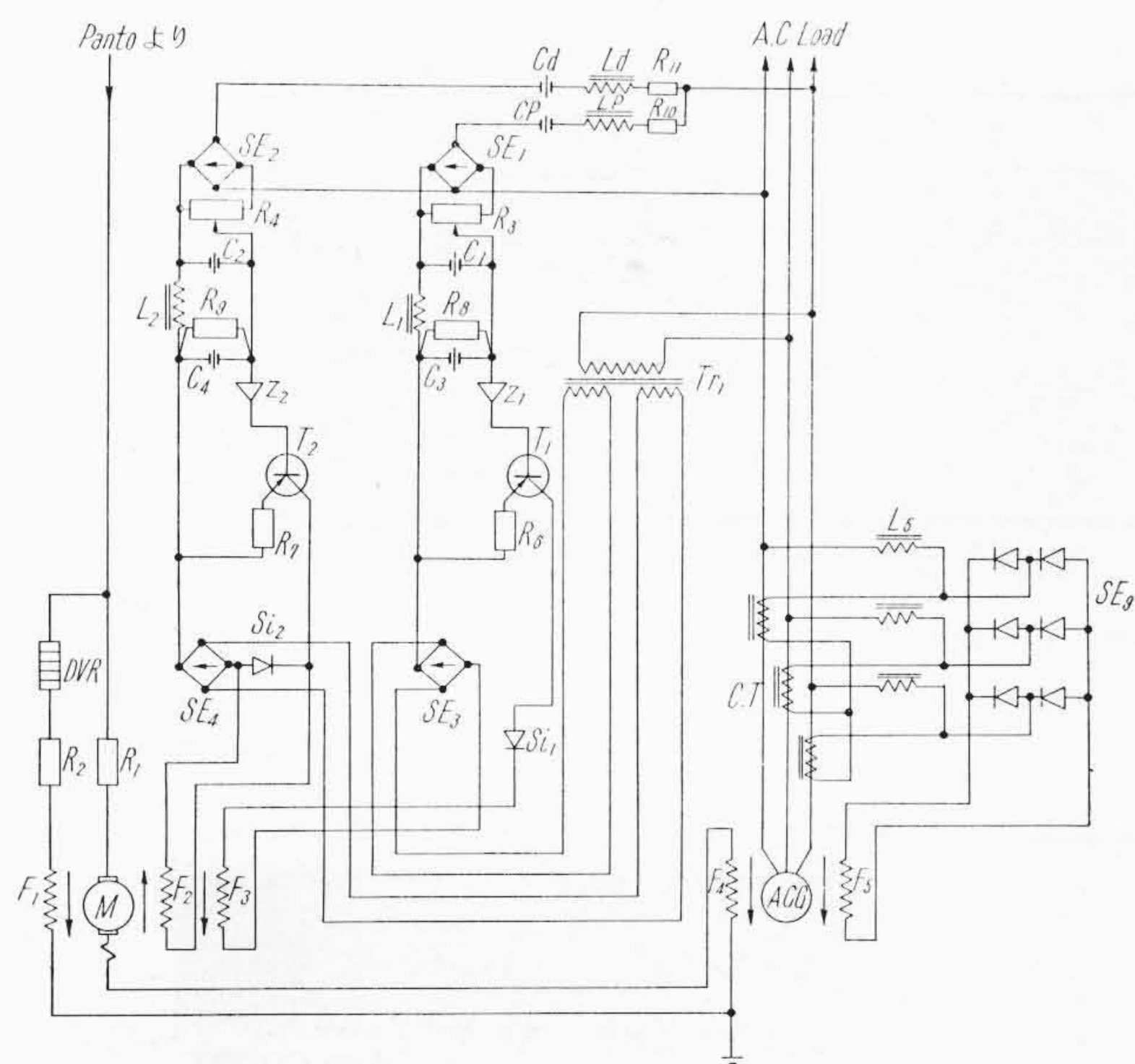


電動発電機仕様 HG-432-Bb 電動機 2kW 600V 3.3A 3,600rpm
 発電機 1kW 27V 37A

第 13 図 カーボンパイル式自動電圧調整器

ス電圧降下と電機子反作用による電圧降下分を補償するように励磁すればよい。必要な励磁アンペアターンは負荷の大小のほか負荷の力率によっても異なるので両者を考えねばならない。

また発電機に負荷がかかったときや負荷の誘導電動機の起動時など、おくれ力率で過負荷になる場合があるが、このような一時的な大電流によって、発電機電圧が瞬間的に大きく降下するのを防ぎ、電圧の回復時間を極力短くすることが望まれ、また進相負荷を接続したとき充電電流による過電圧をおさえることがランプの寿命を確



第14図 トランジスタ式電動発電機制御回路つなぎ

ACG: 交流発電機
C1~C4: 平滑コンデンサ
Cd, Cp: 共振回路コンデンサ
CT: 変流器
DVR: ドライバルブ抵抗器
F1~F3: 電動機界磁巻線
F4, F5: 発電機界磁巻線
L1, L2: 平滑チョークコイル
L5: 3相リアクタ
Ld, Lp: 共振回路用リアクタ

M: 直流電動機
R1, R2: 電動機用抵抗器
R3, R4: 可変抵抗器
SE1~SE7: 整流器
T1, T2: トランジスタ
Tr1, Tr2: 変圧器
Z1, Z2: ツェナーダイオード
R6, R7: 抵抗器
Si1, Si2: 整流器
R8~R11: 抵抗器

保する上に必要である。

このように発電機の負荷電流と負荷力率に応じた補償励磁が簡単に得られ、また応答時間をきわめて短くできる方式として日立製作所では第8図に示す変流変圧器 (CPT) あるいは第9図に示すリアクタと変流器による方式を採用している。さらに制御精度をあげる必要のある場合には、第9図に示すように発電機電圧変動を飽和リアクタにより検出し、可飽和変流器のリアクタンスを変化させて自動的に発電機励磁を変化させる定電圧制御方式を採用している⁽¹⁾。

さらに小容量の電動発電機においてはカーボンパイル式 AVR がきわめて安価で良好な性能が得られる。第12, 13図にカーボンパイル式 AVR のつなぎおよび写真を示す。本図は直流電動発電機用の例であるが、交流用にも使用することができる。

5. トランジスタ式自動周波数調整器

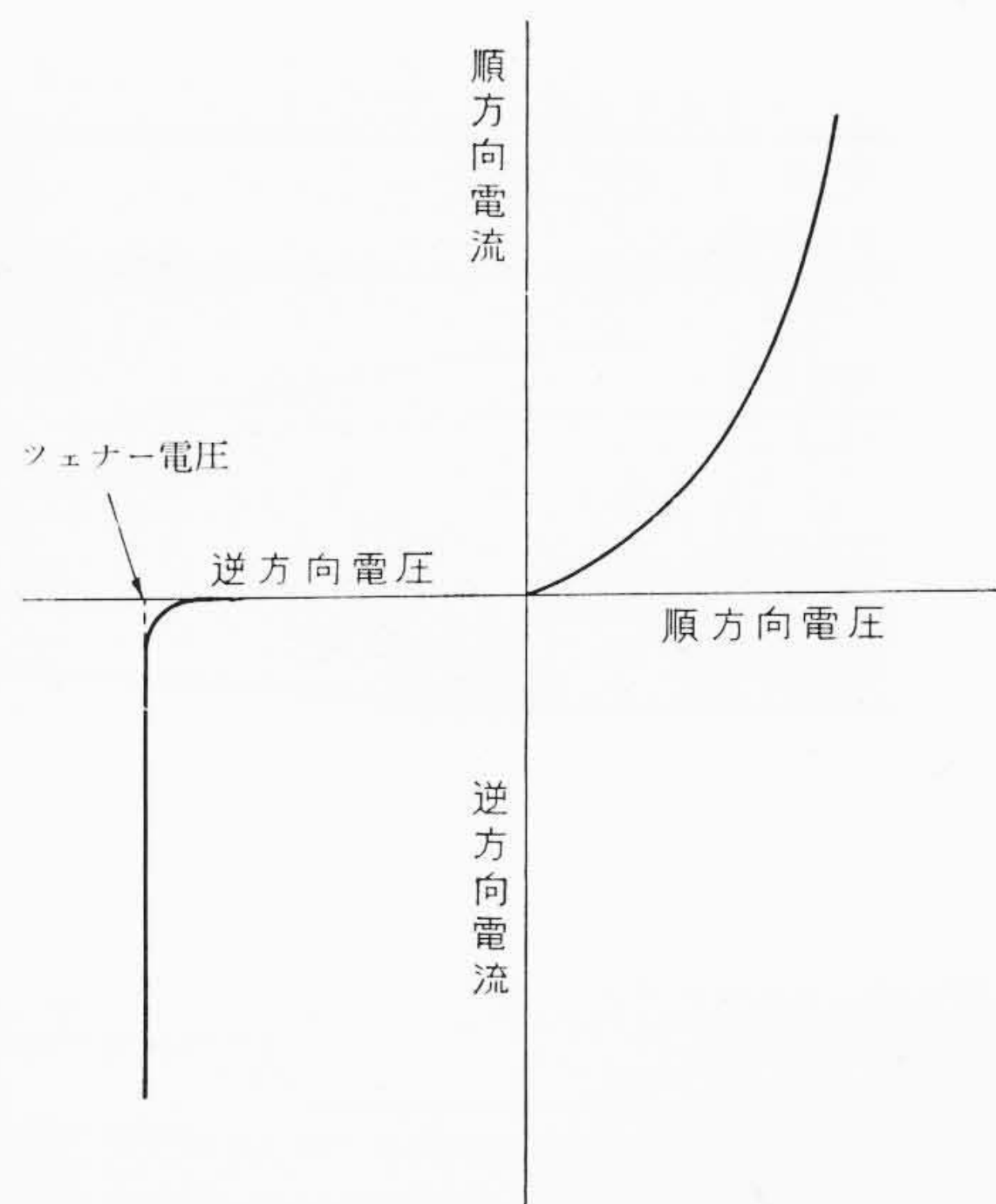
上記自動周波数調整器中トランジスタ方式は新しく開発されたものであり、トランジスタの急速な進歩に伴ない、広く応用されると考えられるので、特に取りあげて概説する。

製品化された本装置は5.5kVA 電動発電機とともに近畿日本鉄道に納入され、現在名古屋線で好調に運転中である。

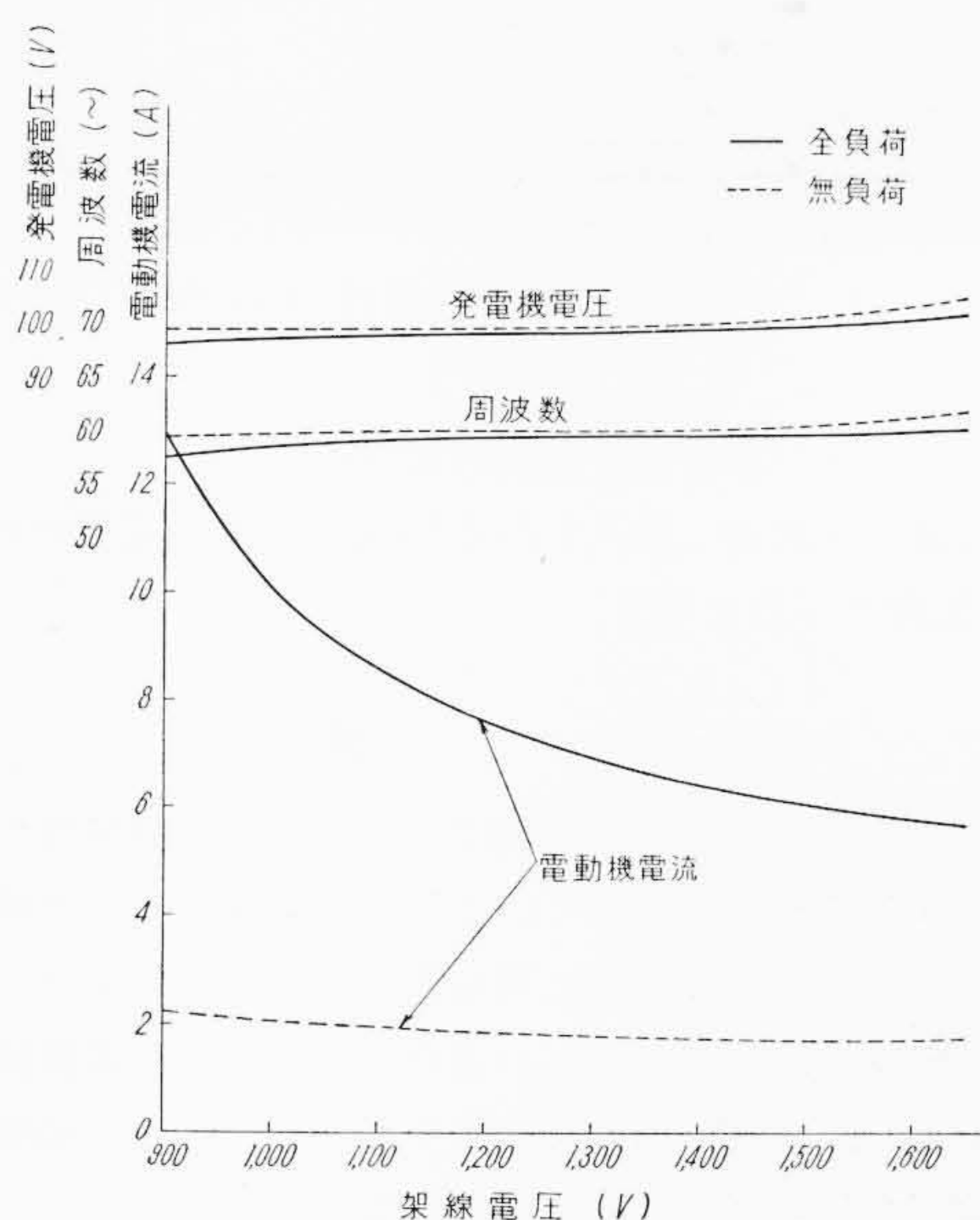
つなぎを第14図に示す。

本装置ではツェナーダイオードの逆特性を利用し、これとLC共振回路との組合わせにより周波数の検出を行い、検出電圧を制御界磁に直列にそう入したトランジスタのベース、コレクタ間に印加し、その出力で他励界磁巻線を励磁して第6図に示すような電動機界磁アンペアターンを得ている。なお分巻界磁回路にはドライバルブ抵抗器を直列にそう入して特性の向上を計っている。

第14図において $L_d C_d$, $L_p C_p$ の共振周波数 f_1, f_2 を発電機定格周波数 f_0 の上下に設定し (第7図), また周波数が f_0 のときツェナーダイオードに印加される電圧がツェナー電圧 (第15図) になるように可変抵抗器 R_3, R_4 を設定しておく。発電機周波数が f_0 より上



第15図 ツェナーダイオード特性説明図

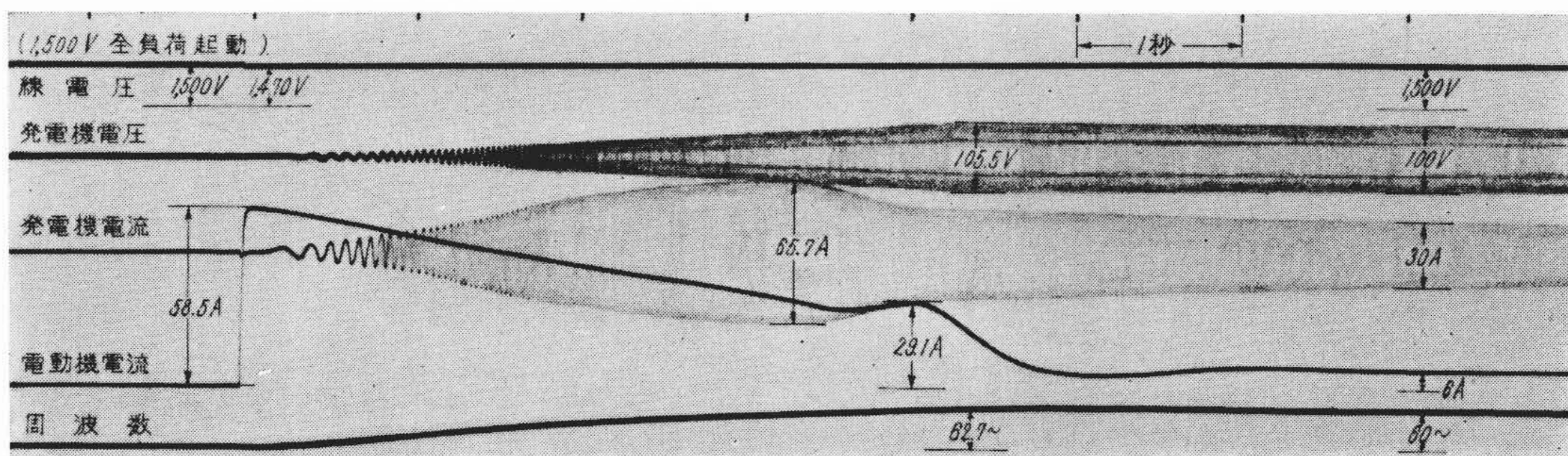


第16図 トランジスタ制御電動発電機 (HG-583-Drb) 特性曲線

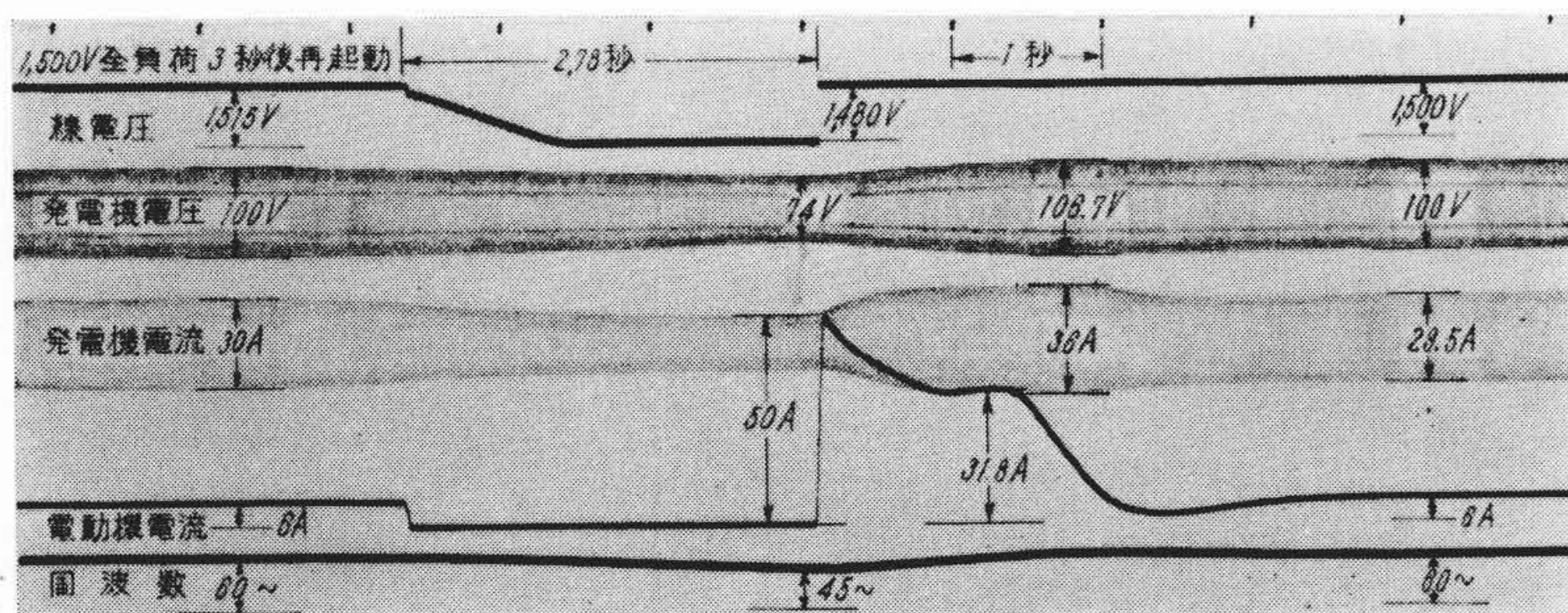
た場合にはトランジスタ T_1, T_2 のベース電流が増し、和動制御界磁電流が増して電動機の回転数を降下せしめ、また逆に発電機周波数が f_0 より下った場合には差動制御界磁電流が増大して電動機の回転数を上昇せしめるため、常に一定の周波数が得られる。

本方式の周波数特性は非常によく電源電圧を900~1,650Vに変えた場合の発電機の周波数および電圧特性を第16図に示す。経済的な制御範囲として電源電圧の全変化範囲に対し周波数の変動を無負荷時、全負荷時を通じて $\pm 2.5\%$ 以内におさめることにしたが、電源電圧1,100~1,600Vの範囲では周波数の変化はほとんどない。また本装置はヒステリシス現象がほとんど現われない特長がある。

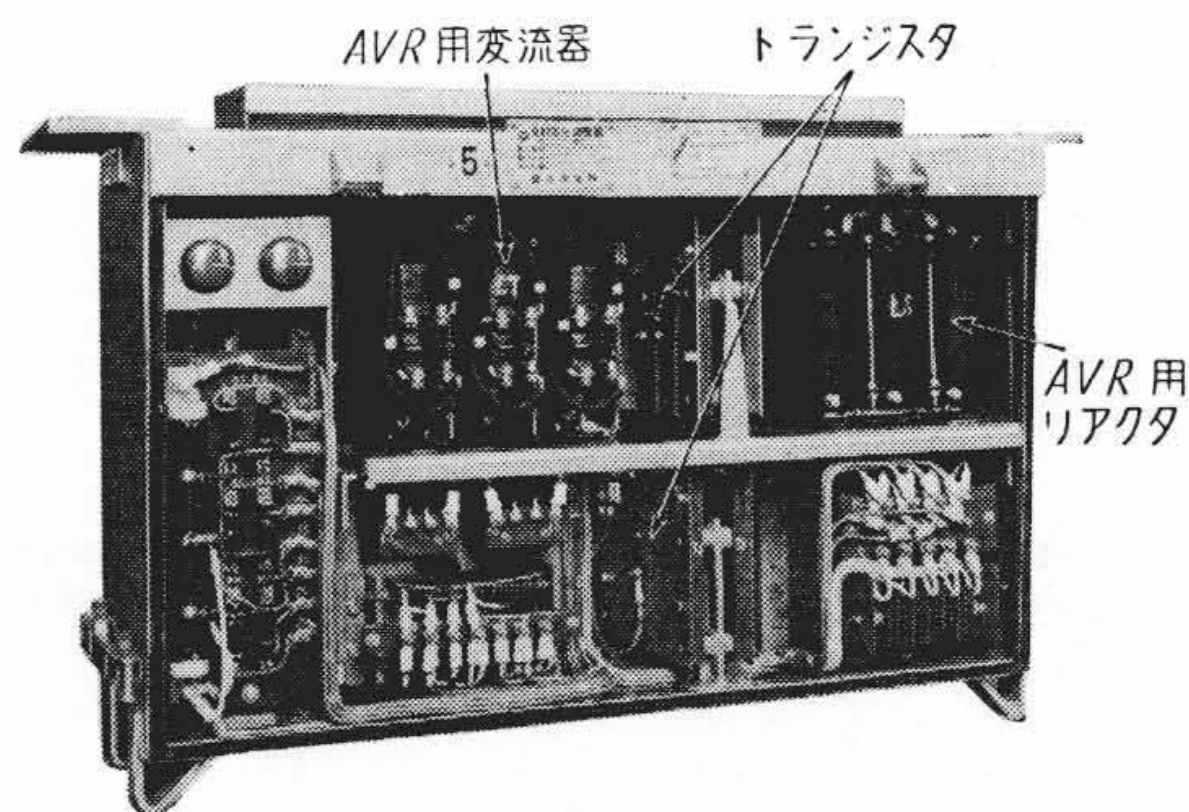
過渡特性として起動時および電動機電源を遮断再投入したときのオシログラムを第17図および第18図に示す。第17図は発電機全負荷のまま起動した場合、第18図は全負荷運転時に電動機電源を遮断し、約3秒後再投入した場合のオシログラムである。起動時および再起動時の発電機電圧の過電圧は7%以下である。起動時および再起動時には差動制御界磁には電源電圧と同方向に、また和動制御界磁には電源電圧と逆方向に誘導電圧が発生するので、第14図に示すように差動制御界磁に並列にシリコン整流器 Si_2 を、また和動制御界磁に直列にシリコン整流器 Si_1 を接続して誘導電圧を吸収



第17図 トランジスタ制御電動発電機 (HG-583-Drb) 起動オシログラム



第18図 トランジスタ制御電動発電機 (HG-583-Drb) 再起動オシログラム



第19図 近畿日本鉄道納5.5kVA電動発電機調整装置

せしめトランジスタが影響を受けないようにしている。

第4図に近畿日本鉄道に納入した5.5kVA電動発電機の外観、第19図に調整装置の写真を示す。

6. 結 言

最近製作される車両用電動発電機はその実用性、経済性からほとんど交流電動発電機が採用されているが、電車線電圧の大幅な変動に対して発電機出力電圧ならびに周波数がほぼ一定であり、車両走行中の離線、無電圧区間通過などの過渡時においても電動機が良好な整流性能を保ち、発電機出力が安定であること、また装置全体として保守が簡単で信頼度の高いことが必要である。

日立製作所で多数製作、納入して好評を博している電動発電装置は容量、使用条件により周波数調整装置にLC直列共振回路あるいはそれと磁気増幅器あるいはトランジスタ増幅器を併用して電動機の2種他励界磁巻線の電流をプッシュプルに制御する方式、自動

電圧調整器に変流変圧器あるいは変流器、リアクタ併用による負荷補償装置を採用することにより簡単な装置で高性能を得ている。特に電動機はきびしい使用条件に対してもきわめて整流良好で、特性と過渡時の整流改善の両者を満足する日立製作所独得の制御方式は今後もさらに広く採用されるものと信ずる。

なお、発電機出力特性が一定であることを要求する電車線電圧変動範囲が広いほど電動機の整流特性の点から設計上特別の考慮を必要とし、装置が大形になるので、架線電圧変動範囲要求値としては各線区の実情に応じて適格な値を定めることが、安価で信頼度の高い装置をうる上において肝要である。

参 考 文 献

- (1) 立川, 山崎, 出水: 日立評論 42, 675 (昭35-6)
- (2) 佐々木, 西岡, 立川, 山崎: 日立評論別冊 20, 96
- (3) 高橋, 神谷: 日立評論 42, 483 (昭35-4)

Vol. 23

日

立

No. 3

◎巻頭随筆.....大宅壮一
 ◎インスタン ト時代の照明
 ◎最近の大容量私設交換機
 ◎整流器の進歩
 ◎電線百話その3「クランク数と銀・銅・アルミ」
 ◎明日への道標「富士鉄20t積込機」
 ◎フライアッシュ回収装置

◎ハイライト「大阪日立サローン」
 ◎躍進する人工頭脳
 ◎電気機器のドクター日立メガー
 ◎新しい照明施設「東京商工会議所ビルの照明」
 ◎ヒタレックスフィルム
 ◎日立だより

発行所 日立評論社

取次店 株式会社オーム社書店

東京都千代田区丸ノ内1丁目4番地
 振替口座東京71824番

東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
 振替口座東京20018番