

等価実験装置による高速電車電気制動方式の研究

Research on the Electric Braking Systems for Rapid Transit Trains
by means of Equivalent Testing Equipment

平 田 憲 一* 坪 井 孝**
Ken'ichi Hirata Takashi Tsuboi

内 容 梗 概

日立製作所日立研究所車両実験室に設置された電車等価実験装置は、等価最大重量 80 t、等価最高速度 160 km/h の高速電車に相当するものである。

本稿ではこの電車等価実験装置の構造ならびに性能と、本装置を使用して行った交流電車用発電制動、および直流電車用電力回生制動新方式の開発研究結果について述べる。

1. 緒 言

最近の電気車両制御方式においては、列車自動制御、交流車両制御、回生および発電制動など、自動制御方式を採り入れたものが多く、その進歩発達にはまことにめざましいものがある。これら新しい車両電気方式の開発研究においては、最終的にはもちろん現車試験が必要であるが、研究の段階において各種の実験を営業線上でひんぱんに行うためには多くの制約があり、特に最近のように輸送量が急増して線路容量が問題になる場合にはかなり困難がある。

電車等価実験装置はこの目的に対して有力な武器となるもので、これによって実験室内において電車電気方式に関する各種の研究を簡便に行うことが可能となる。日立製作所は1959年日立研究所水戸分室として車両実験室を開設し、ここに等価最大重量 80 t、等価最高速度 160 km/h の高速電車に相当する電車等価実験装置を設備して、これによって列車自動制御、交流車両無電弧連続制御、回生および発電制動などの研究効率を著しく向上することができた。ここでは本等価実験装置の概要と、本装置を使用して行った交流電車用発電制動および直流電車用回生制動の研究について述べる。

2. 電車等価実験装置

電車等価実験装置とは、列車重量および列車抵抗を、それぞれフライホイールの慣性モーメントおよび列車抵抗調整用直流発電機の負荷で代表するように配置し、これを電車用主電動機で駆動することによって、運転中の電気車両用電気機器の研究を、定置状態で行い得るようにしたものである。

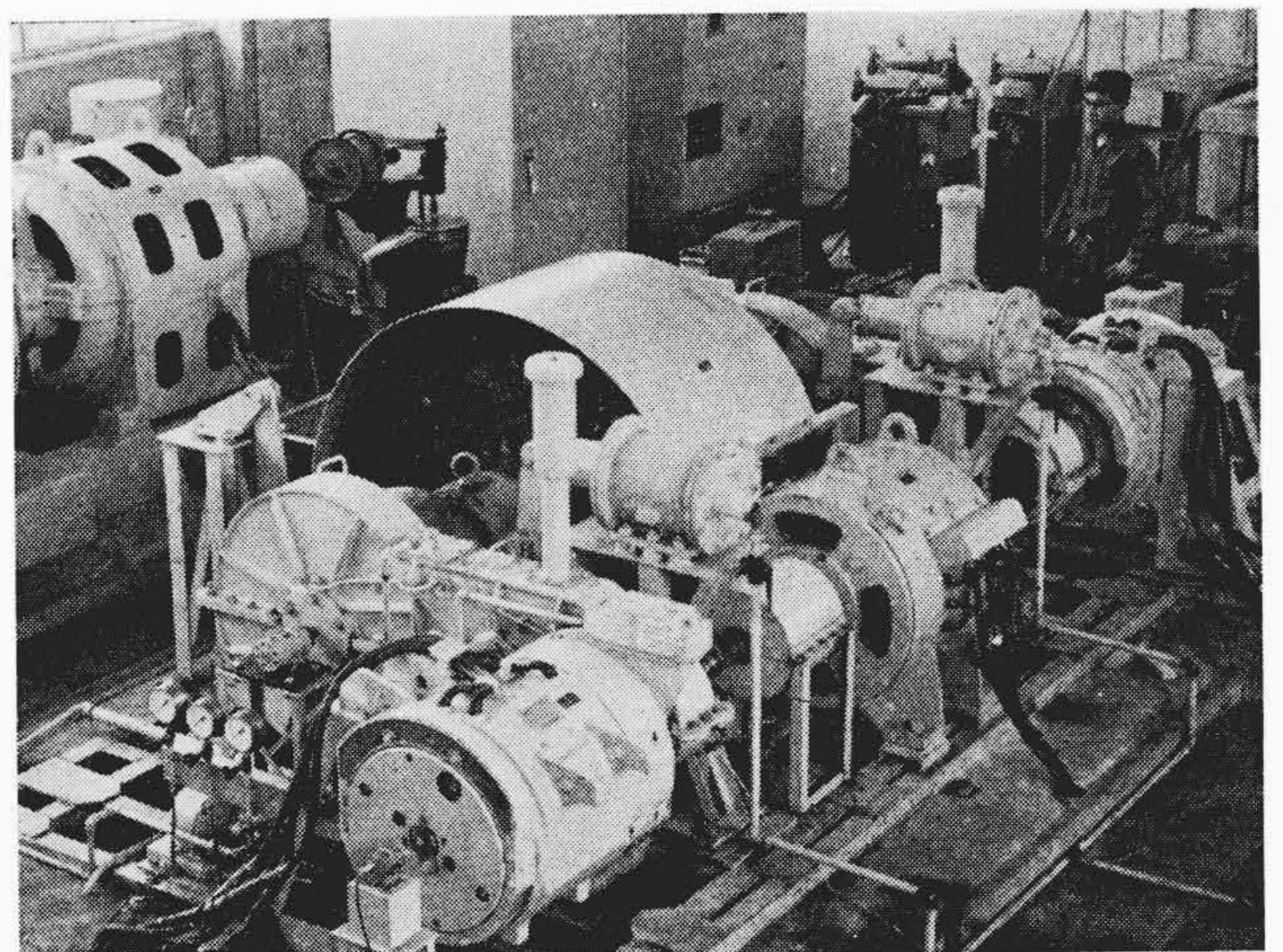
日立製作所はすでに 1927 年、18 t の路面電車相当の等価実験装置を京都大学電気工学教室へ納入したことがあり⁽¹⁾、筆者の一人は学生時代これを運転した経験がある。本文に述べる装置は1959年に完成したもので、等価最大重量 80 t、等価最高速度 160 km/h の高速電車に相当し、直流電動発電機式、シリコン整流器式、水銀整流器式および交流整流子電動機式など、各種の直流および 50 c/s 交流車両電気方式の研究が可能な電源設備を備えている。第 1 図は本装置の外観写真である。

2.1 等 価 性

電車の運転方程式は、主電動機のトルクおよびその回転角速度に関して次式で表わせる。

$$\frac{1}{g} \left\{ \left(\frac{D}{2G} \right)^2 W_C \times 10^{-3} + \frac{N_W}{G^2} J_W + N_M J_M \right\} \frac{d\omega}{dt} + \frac{D}{2G} R_C(v) = N_M T \quad (1)$$

$$\text{ただし } v = 3.6 \frac{D}{2G} \cdot \omega \quad (2)$$



第 1 図 電車等価実験装置

ここに D : 車輪直径 (m)
 G : 歯数比
 W_C : 列車重量 (t)
 J_W : 車輪の慣性モーメント ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)
 N_W : 軸数
 J_M : 主電動機の慣性モーメント ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)
 N_M : 主電動機個数
 R_C : 列車抵抗 (kgW)
 T : 主電動機トルク ($\text{kgW} \cdot \text{m}$)
 v : 列車速度 (km/h)
 ω : 主電動機回転角速度 (rad/s)
 g : 重力加速度 $9.8 (\text{m/s}^2)$

一方、フライホイールおよび発電機よりなる電車等価実験装置の運動方程式は次式で表わされる。

$$\frac{1}{g} (J_F + N_M' J_M) \frac{d\omega}{dt} + T_F(\omega) = N_M' T \quad (3)$$

ここに J_F : 装置の慣性モーメント ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)
 N_M' : 運転用主電動機個数
 T_F : 装置の機械損および発電機トルク ($\text{kgW} \cdot \text{m}$)

本装置の加速または減速運動が列車に等価であるためには、(1) および (3) 式が常に対応しなければならない。これより

$$J_F = \frac{N_M'}{N_M} \left[\left(\frac{D}{2G} \right)^2 W_C \times 10^{-3} + \frac{N_W}{G^2} J_W \right] \quad (4)$$

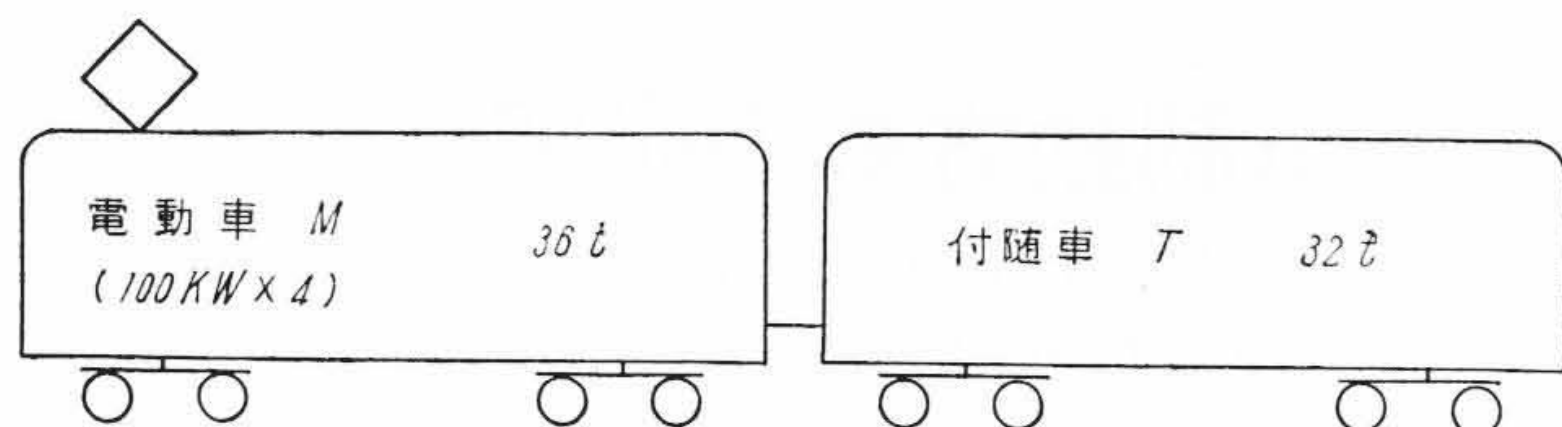
および

$$T_F(\omega) = \frac{N_M'}{N_M} \frac{D}{2G} \cdot R_C(v) \quad (5)$$

を得る。

* 日立製作所日立研究所水戸分室 工博

** 日立製作所日立研究所水戸分室



第 2 図 MT 編 成 の 電 車

すなわち、 N_M 個の主電動機で駆動される電車と N'_M 個の同一主電動機で駆動される電車等価実験装置とを、主電動機の加速または減速運動に関して等価にするためには、装置の慣性モーメントを(4)式で表わされる値にするとともに、抵抗トルク $T_F(\omega)$ を(5)式で表わされる特性にすればよい。

2.2 等 価 重 量

本装置のフライホイールは円板組立式で、この枚数の加減により装置の慣性モーメントを自由に調整することができる。主電動機軸における本装置の全慣性モーメントは最大 $207 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ である。

次に第 2 図に示すような MT 編成の電車に等価な、電車等価実験装置の慣性モーメントを計算する。ただし計算に必要な定数を実際に即して次のように仮定する。

$$W_C = W_m + W_t = 68 \text{ t} \quad (W_m = 36 \text{ t}, W_t = 32 \text{ t})$$

$$D = 0.86 \text{ m} \quad G = 5.6$$

$$J_W = 50 \text{ kg}\cdot\text{m}^2 \quad N_W = 8$$

$$N_M = 4 \quad N'_M = 2$$

(4) 式より必要な慣性モーメントの値を計算すれば

$$J_F = \frac{2}{4} \left[\left(\frac{0.86}{2 \times 5.6} \right)^2 \times 68 \times 10^3 + \frac{8}{5.6} \times 50 \right] = 207 \dots (6)$$

となる。すなわち、本装置を 2 個の主電動機で運転する場合は、これと同一の 4 個の主電動機で運転される重量 68 t の MT 編成高速電車に等価的である。

2.3 等 価 列 車 抵 抗

列車抵抗は出発抵抗、走行抵抗、こう配抵抗および曲線抵抗に分類され、これらについては種々の実験式が発表されている。たとえば平坦線における電車の走行抵抗および出発抵抗は、それぞれ(7)および(8)式で表わされる⁽²⁾⁽³⁾。

$$R_C(v) = \sum W_m (2.91 + 0.00752 v) + \sum W_t (1.418 + 0.00412 v) + (0.02805 + 0.000949 L) v^2 \dots (7)$$

$$R_C(v) = W_C (8 - 1.5 v + 0.093 v^2) \dots (8)$$

ここに R_C : 列車抵抗 (kgW)

v : 列車速度 (km/h)

W_m : 電動車重量 (t)

W_t : 付随車重量 (t)

W_C : $W_m + W_t$

L : 列車長 (m)

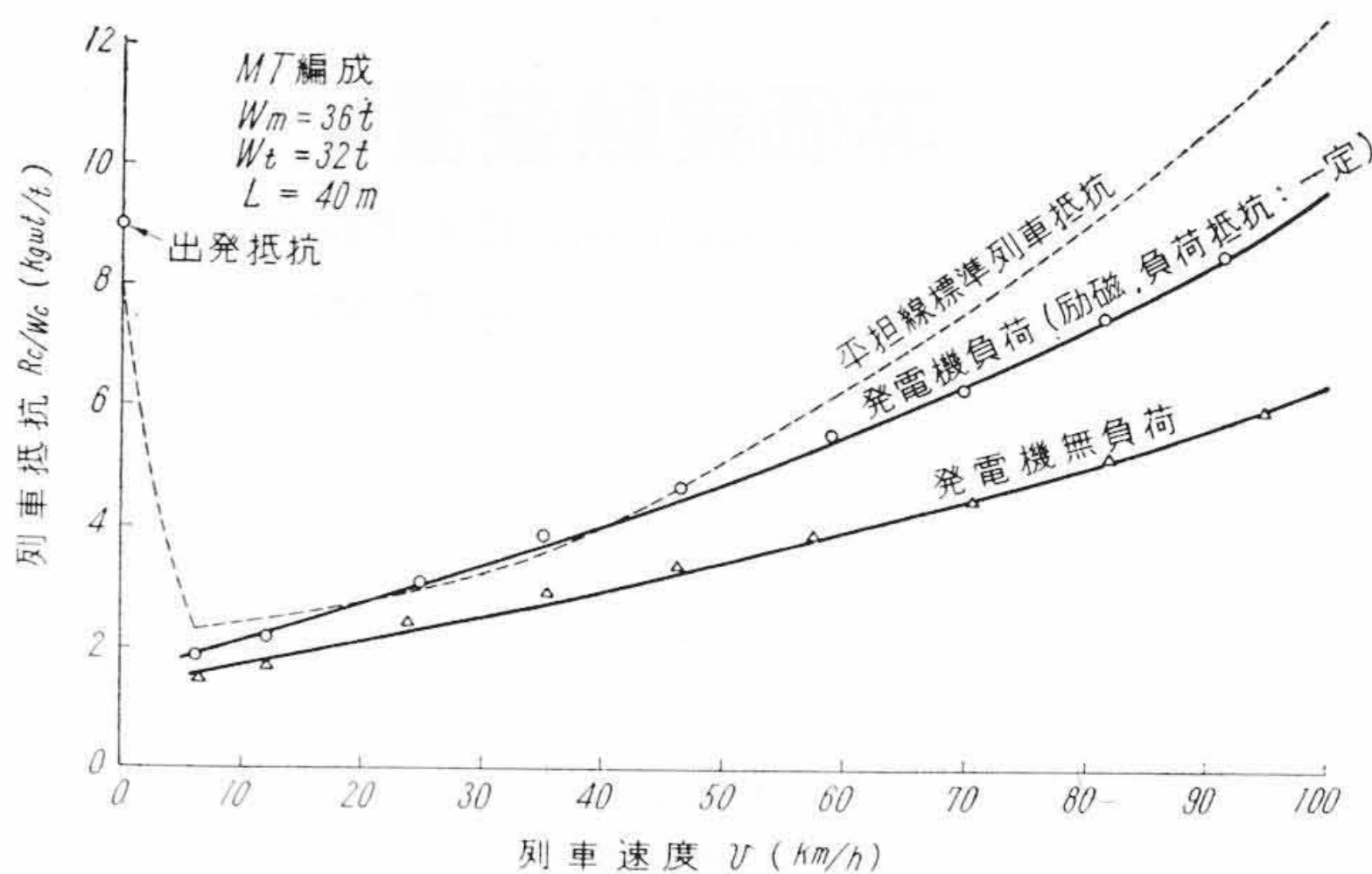
第 3 図は、前節で例示した MT 編成の電車について、(7) および (8) 式より算出した標準列車抵抗特性と、(5) 式より求めた本装置の等価列車抵抗特性を示したものである。なお列車抵抗調整用直流発電機を制御することにより、最大 25% の上りおよび下りこう配特性を持たせることもできる。

3. 交流電车用発電制動

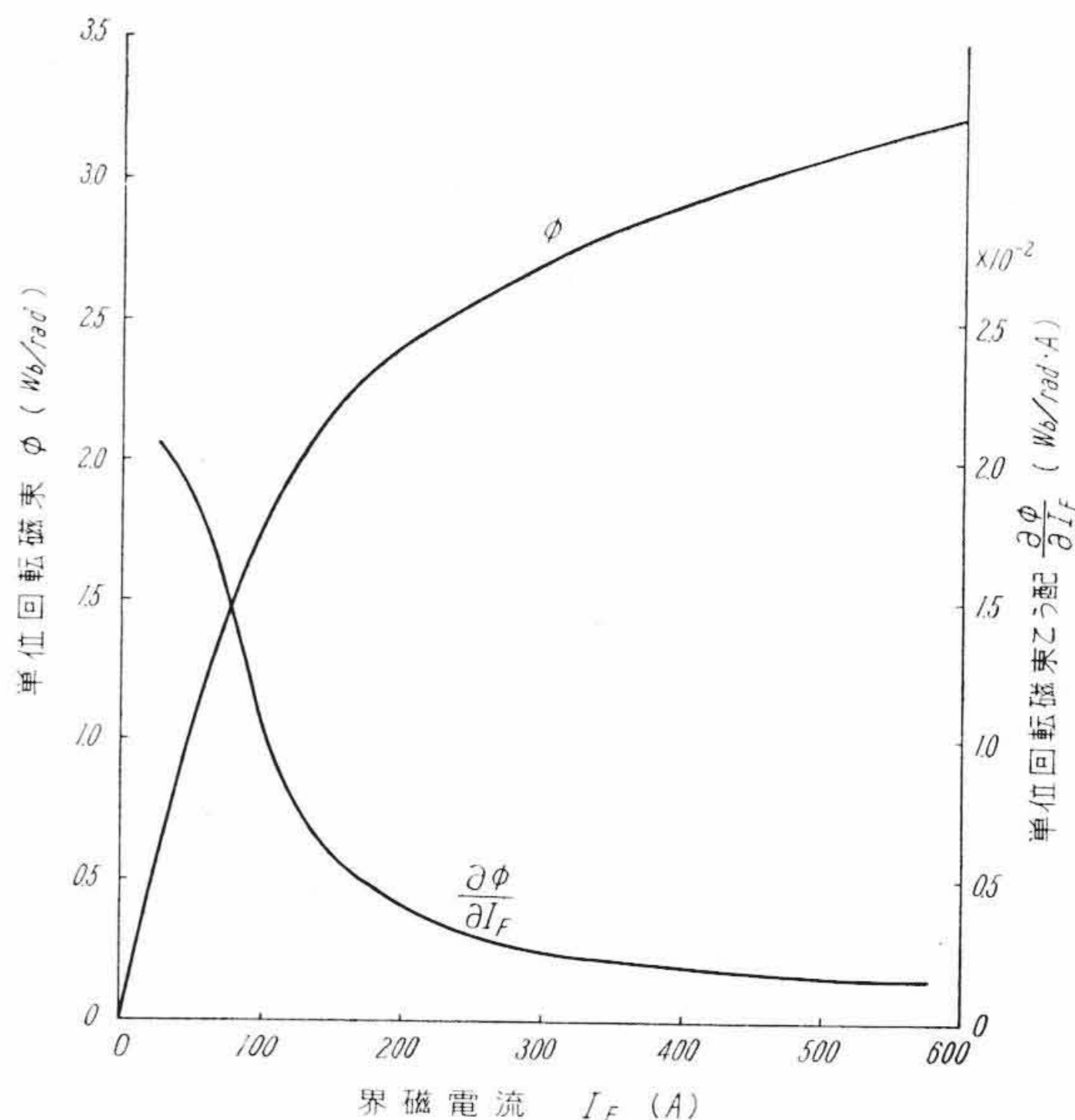
ここではまず大容量磁気増幅器を励磁器として使用した交流電车用界磁制御式発電制動方式と、電車等価実験装置による実験結果について述べる。

供試電動機の仕様は

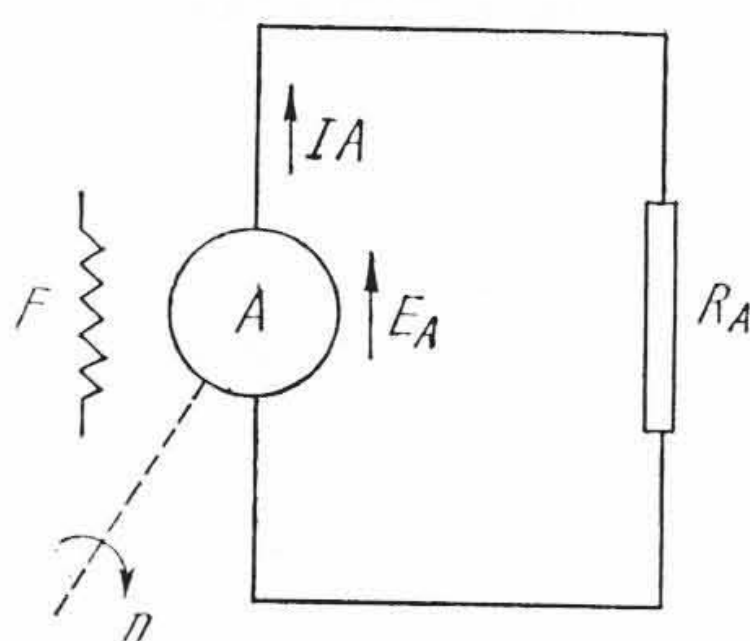
出力 100 kW 定格 1 時間



第 3 図 電車等価実験装置の列車抵抗特性



第 4 図 供試 100 kW 電動機の磁化曲線および磁化こう配曲線用



第 5 図 発 電 制 動 基 本 回 路

電 圧 375 V 電 流 300 A

回転数 1,300 rpm (70% 界磁)

である。第 4 図はその磁化曲線および磁化こう配曲線である。

3.1 発電制動可能範囲

発電制動を行う主電動機は、できるだけ広い速度にわたって、かつ十分大きな制動トルクを発揮することが望ましいが、いろいろな制約を受けその制動可能範囲には限界がある。

第 5 図の発電制動回路において、電機子誘起電圧を E_A 、電機子電流を I_A 、電機子回路抵抗を R_A 、単位回転磁束を ϕ (Wb/rad)、回転速度を n (rpm)、電機子の発生するトルクを T (kgW·m) とすれば、次の諸式が成り立つ。

$$E_A = K \phi n \dots (9)$$

$$E_A = I_A R_A \dots (10)$$

$$T = \frac{1}{g} \phi I_A \dots\dots\dots (11)$$

ここに

$$K = \frac{2\pi}{60}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

主電動機の発電制動可能な速度および制動トルクは、界磁磁束の飽和、巻線の熱容量、耐圧および整流によって制限を受ける。いま界磁磁束、電機子電流、電機子電圧の許容最大値をそれぞれ ϕ_m , I_{Am} , E_{Am} とし、また弱界磁率 ϕ/I_A の許容最小値を α_0 とすれば、これらによって制限を受ける速度と制動トルクとの関係は、(9)～(11)式より抵抗 R_A をパラメータとして次のように表わすことができる。

最大磁束 ϕ_m による制限

$$n > \frac{g}{K} \cdot \frac{R_A}{\phi_m^2} \cdot T \dots\dots\dots (12)$$

最大電流 I_{Am} による制限

$$n < \frac{1}{gK} R_A I_{Am}^2 \frac{1}{T} \dots\dots\dots (13)$$

最大電圧 E_{Am} による制限

$$n < \frac{1}{gK} \cdot \frac{E_{Am}^2}{R_A} \cdot \frac{1}{T} \dots\dots\dots (14)$$

最小界磁率 α_0 による制限

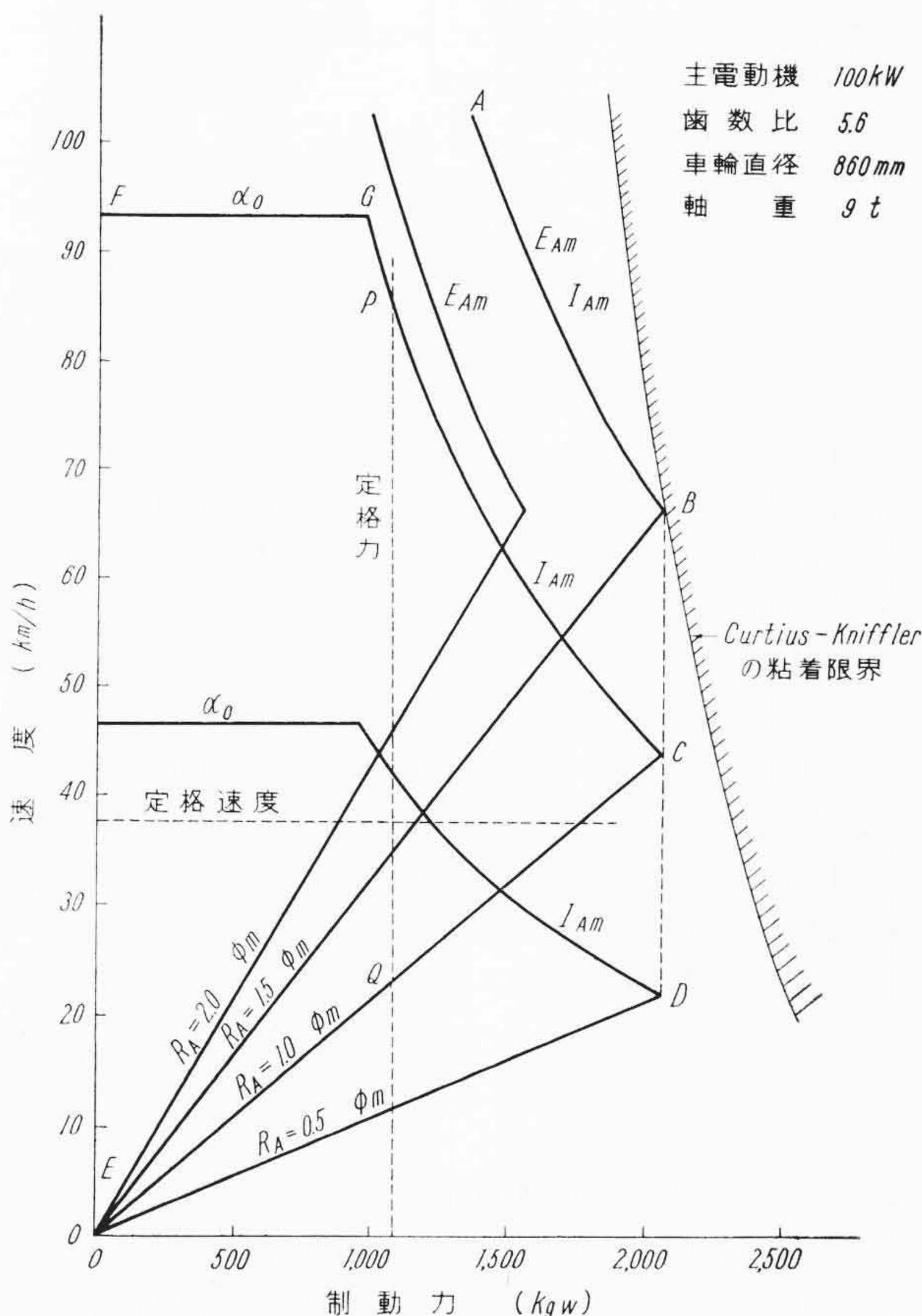
$$n < \frac{1}{K} \cdot \frac{R_A}{\alpha_0} \dots\dots\dots (15)$$

供試電動機について

$$\phi_m = 3.1 \text{ Wb/A } (I_F = 500 \text{ A に相当})$$

$$I_{Am} = 500 \text{ A}$$

$$E_{Am} = 750 \text{ A}$$



第6図 制動抵抗をパラメータとした発電制動可能範囲

$$\alpha_0 = 3 \times 10^{-3} \text{ Wb/A } (I_F/I_A = 0.15 \text{ に相当})$$

とし、(12)～(15)式より発電制動可能範囲の数値計算を行った結果を第6図に示す。ただし回転速度および制動トルクは歯数比を5.6、車輪直径を860mmとして、列車速度(km/h)および制動力(kgW)に換算してある。

発電制動を制限する要素としては、以上述べた主電動機自身の能力のほかにタイヤと軌条間の粘着力があり、主電動機が粘着限界をこえた制動力を出せば車輪が滑走する。第6図に示した粘着限界は軸重を9tとし、よく知られているCurtius-Knifflerの式により計算したものである。

制動抵抗を多段にわたって制御する抵抗制御式の発電制動可能範囲は、第6図のABCDEで囲まれる部分となる。一方制動抵抗を一定とする界磁制御式では、たとえば $R_A = 1\Omega$ の場合の制動範囲はFGCEとなり、抵抗制御式の一部しか利用できない。このように界磁制御式発電制動は、制動範囲の点では抵抗制御式にやや劣るが、抵抗を制御する多数の開閉器を必要としないこと、および制動力の連続制御が可能なることの2点において、抵抗制御式よりすぐれている。なお必要な場合には1～2段の抵抗制御を併用することも考えられる。

3.2 制動力の制御法

電車の制動力を直接精度よく検出することは困難であるから、容易に検出できる電流または速度により、間接的に制動力の制御を行うのが便利である。

停車用発電制動においては、運転手の指令どおりの制動力が列車速度に無関係に得られることが望ましい。

(9)～(11)式より E_A および ϕ を消去すれば

$$T = \frac{R_A}{gK} \cdot \frac{I_A^2}{n} \dots\dots\dots (16)$$

となる。いま制動電流を速度の平方根に比例するよう制御する場合すなわち

$$I_A = \sqrt{cn} \dots\dots\dots (17)$$

ここに c : 定数

とすれば、制動トルクは

$$T = \frac{R_A}{gK} \cdot c \dots\dots\dots (18)$$

となる。すなわち、制動抵抗を一定とする界磁制御式発電制動において、(17)式が成立するように界磁電流を制御すれば、速度に無関係に一定制動力が得られる。

なおできるだけ速く電車を停車させるために、粘着限界にそって制動力が変化する特性が望まれることがある。このような場合速度に対して適当なパターンを与え、これによって制動電流を自動制御すればよいが、簡単に制動電流一定の制御を行っても好適な制動特性が得られる。

3.3 発電制動自動制御回路

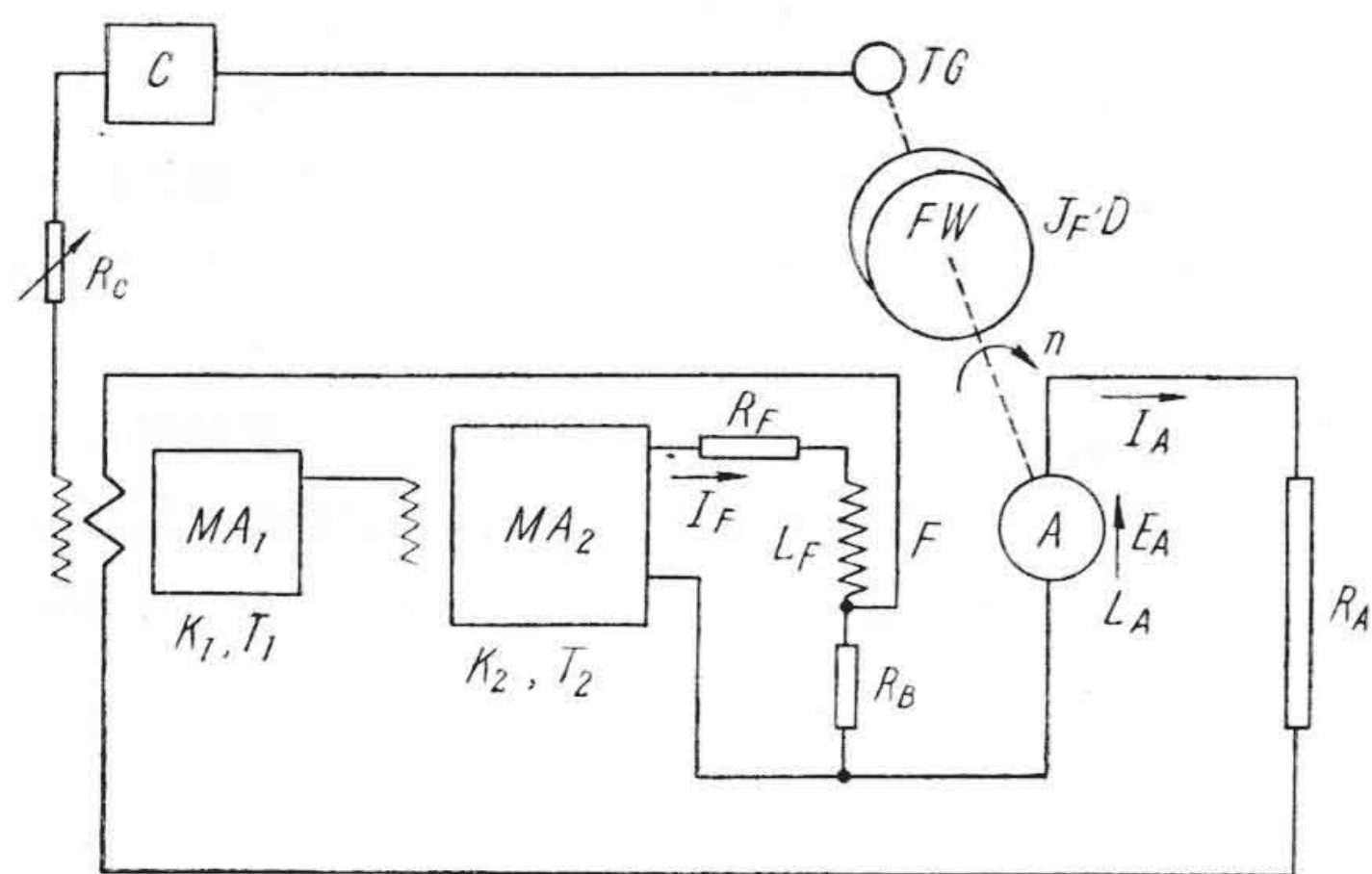
界磁制御式発電制動自動制御回路として、第7図に示すような回路を構成した。この回路では、まず主電動機回転速度を速度発電機TGによって検出し、これを変換器Cに導き、速度の平方根に比例した基準値を発生させる。この基準値と制動電流とを比較器MA₁によって比較し、その出力電流を励磁器MA₂の制御巻線に流す。

このようにしてこの回路は、制動電流を速度に対し(17)式の関係を保つよう自動制御することにより、制動トルクを一定に保つものである。なお制動トルクの加減は、変換器の出力回路抵抗 R_C により容易に行うことができる。

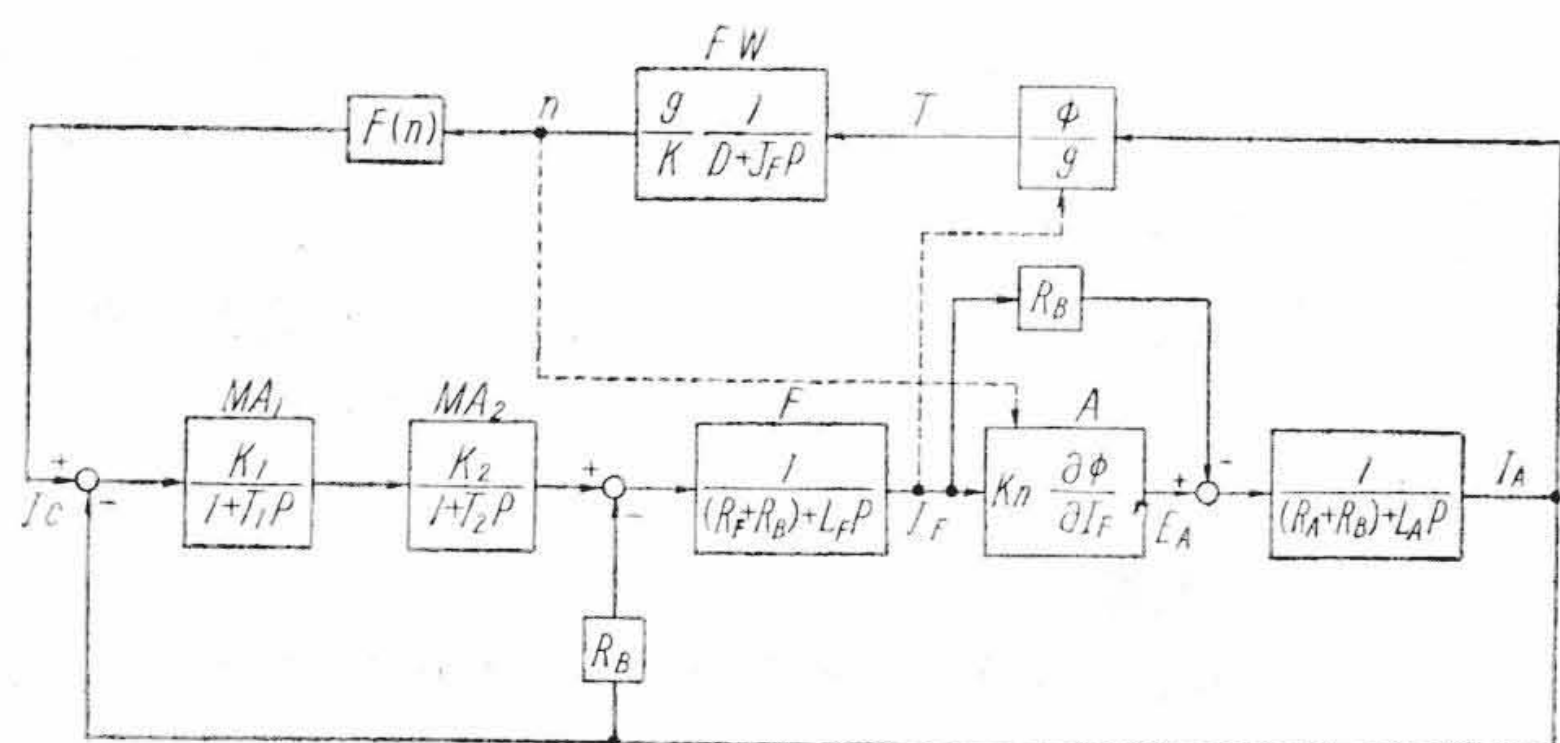
3.4 ブロック線図

3.4.1 ブロック線図の構成

列車抵抗は速度に比例するものと仮定し、その比例定数(抵抗



第 7 図 界磁制御式発電制動自動制御回路



第 8 図 第 7 図のブロック線図

トルク定数) を D (Nms) とすれば、機械系の運転方程式は次式で表わされる。

$$K \left(J_F \frac{dn}{dt} + Dn \right) = gT \quad (19)$$

次に電機子回路においては、回路のインダクタンス L_A 、安定抵抗 R_B 、界磁電流 I_F を考慮に入れれば

$$E_A = L_A \frac{dI_A}{dt} + (R_A + R_B) I_A + R_B I_F \quad (20)$$

が成り立つ。

また界磁電流と誘起電圧の関係は第 4 図および (9) 式で表わされるが、これより電機子の増幅度は

$$\frac{\partial E_A}{\partial I_F} = K n \frac{\partial \phi}{\partial I_F} \quad (21)$$

となる。ここでは $\partial \phi / \partial I_F$ 磁束の飽和現象のため第 4 図に示すように界磁電流によって大幅に変化し、かつ制動中、速度 n も変化するから、増幅度は $\partial E_A / \partial I_F$ はきわめて大幅に変化する。このように主電動機は極端な非線形要素である。

界磁回路においては、巻線のインダクタンスを L_F 、同じく抵抗を R_F 、励磁器の出力電圧を E_F とすれば

$$E_F = L_F \frac{dI_F}{dt} + (R_F + R_B) I_F + R_B I_A \quad (22)$$

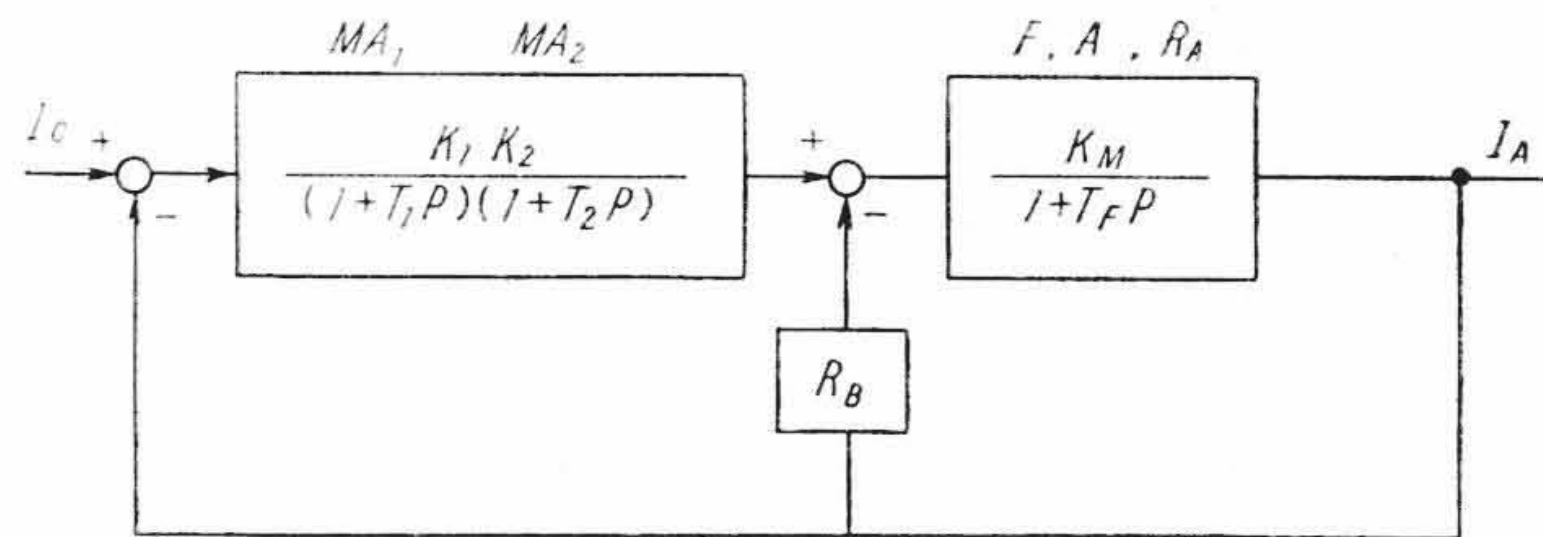
が成り立つ。

励磁器の増幅度 K_2 (V/V)、同じく時定数 T_2 (s)、比較器の増幅度 K_1 (V/A)、同じく時定数 T_1 (s)、変換器の変換関数 $F(n)$ を考慮し、(19)～(22)式より第 7 図をブロック線図で表わせれば第 8 図のようになる。

3.4.2 基準値に対する応答

第 8 図のブロック線図において、機械の時定数 J_F/D は普通 5 分程度であるから、時定数の小さい電気系の過渡応答を調べる場合、速度 n は変化しないものとして取扱うことができる。

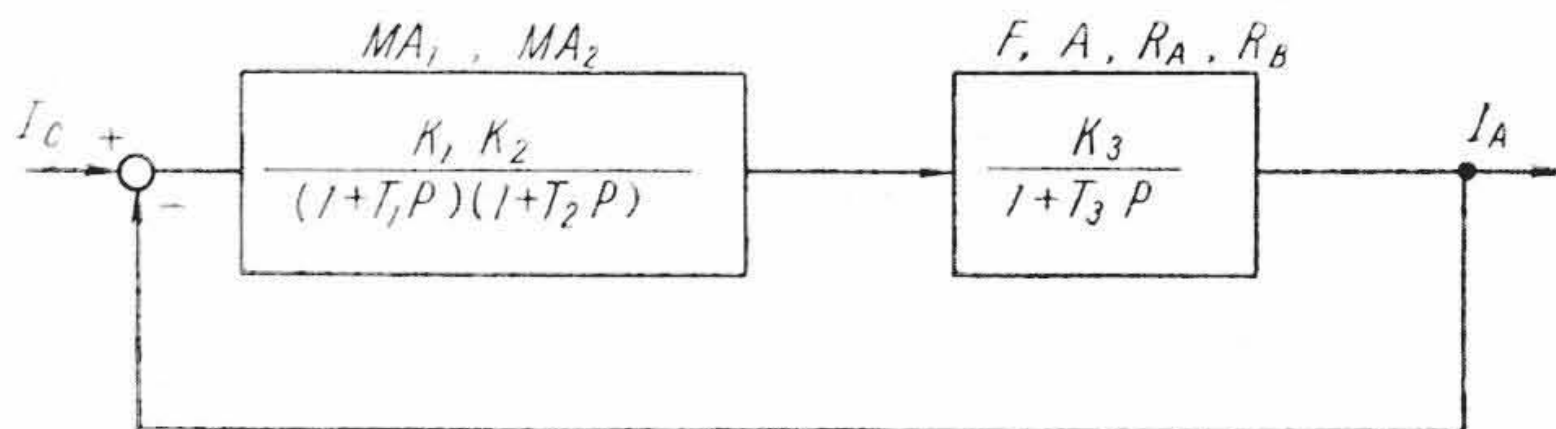
第 9 図は基準値 I_C に関して簡略化したブロック線図である。供試電動機について、第 6 図の P Q 線にそって制動を行う場合、



$$K_M = \frac{I}{R_F + R_B} \left(K n \frac{\partial \phi}{\partial I_F} - R_B \right) \frac{I}{R_A}$$

$$T_F = \frac{L_F}{R_F + R_B}$$

(a) 基準値に関して簡略化したブロック線図

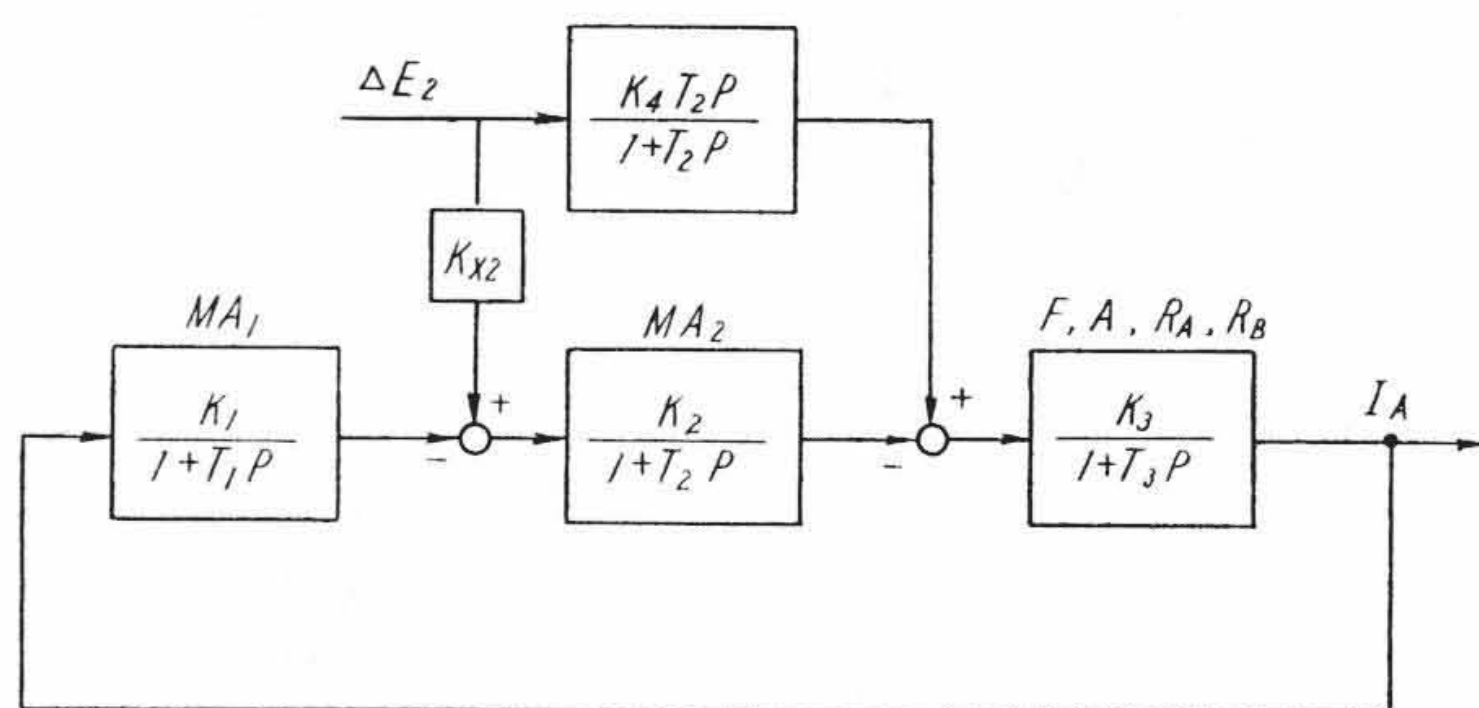


$$K_3 = \frac{K_M}{1 + K_M R_B}$$

$$T_3 = \frac{T_F}{1 + K_M R_B}$$

(b) さらに簡略化したブロック線図

第 9 図 基準値に対するブロック線図



ΔE_2 : MA_2 の電源電圧変動

第 10 図 励磁器の電源電圧変動に対するブロック線図

第 9 図 (a) の増幅度 K_M は 40～5 A/V となる。このような場合安定抵抗 R_B をそう入することにより、増幅度の変化を小さくすることができる。 $R_B = 0.05 \Omega$ とすれば、第 9 図 (b) に示す増幅度 K_3 は 13～4 A/V となる。

また界磁巻線のインダクタンスは、約 10～2 mH の間で変化するから、第 9 図の時定数 T_3 は 0.03～0.02 秒となる。

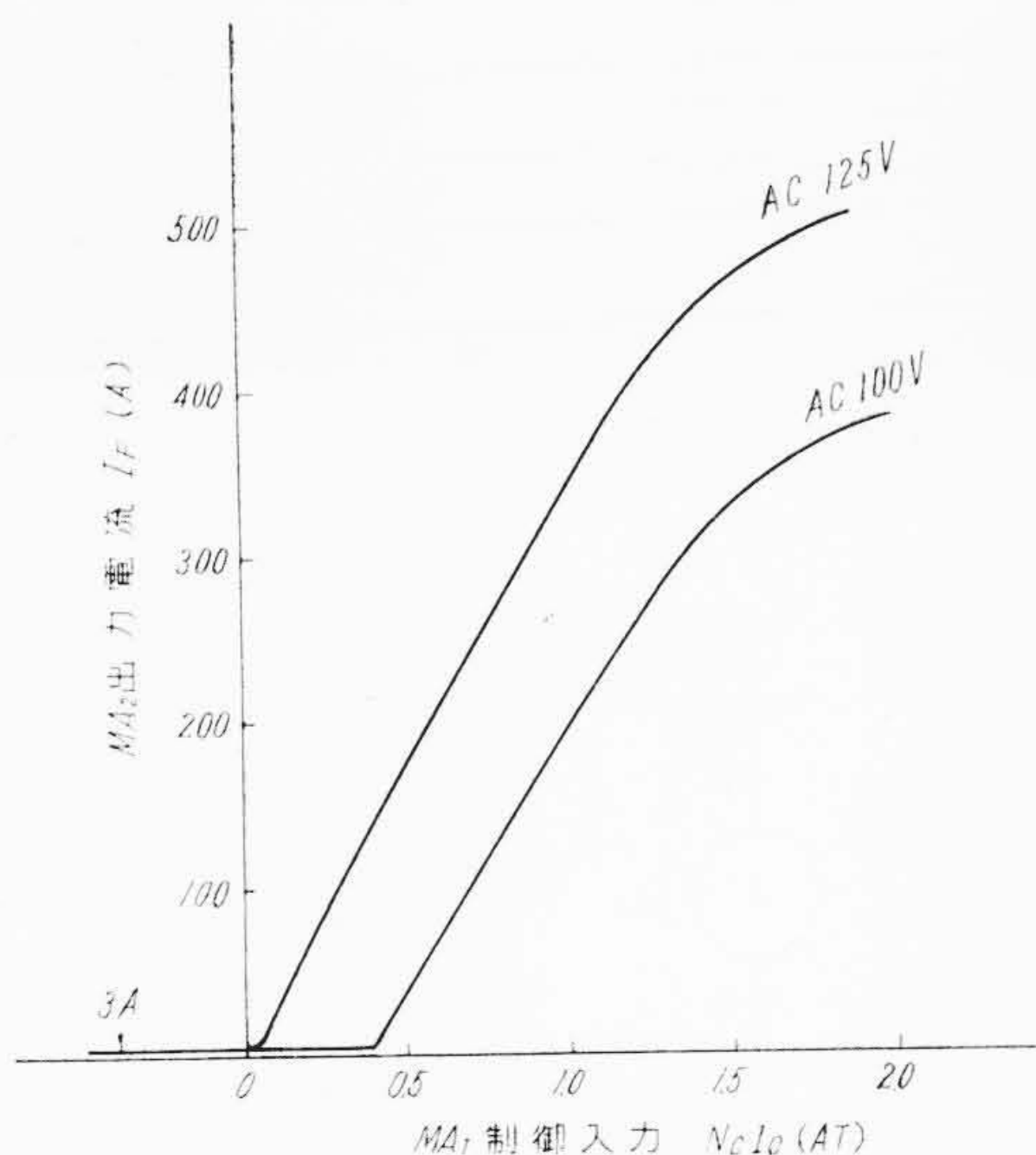
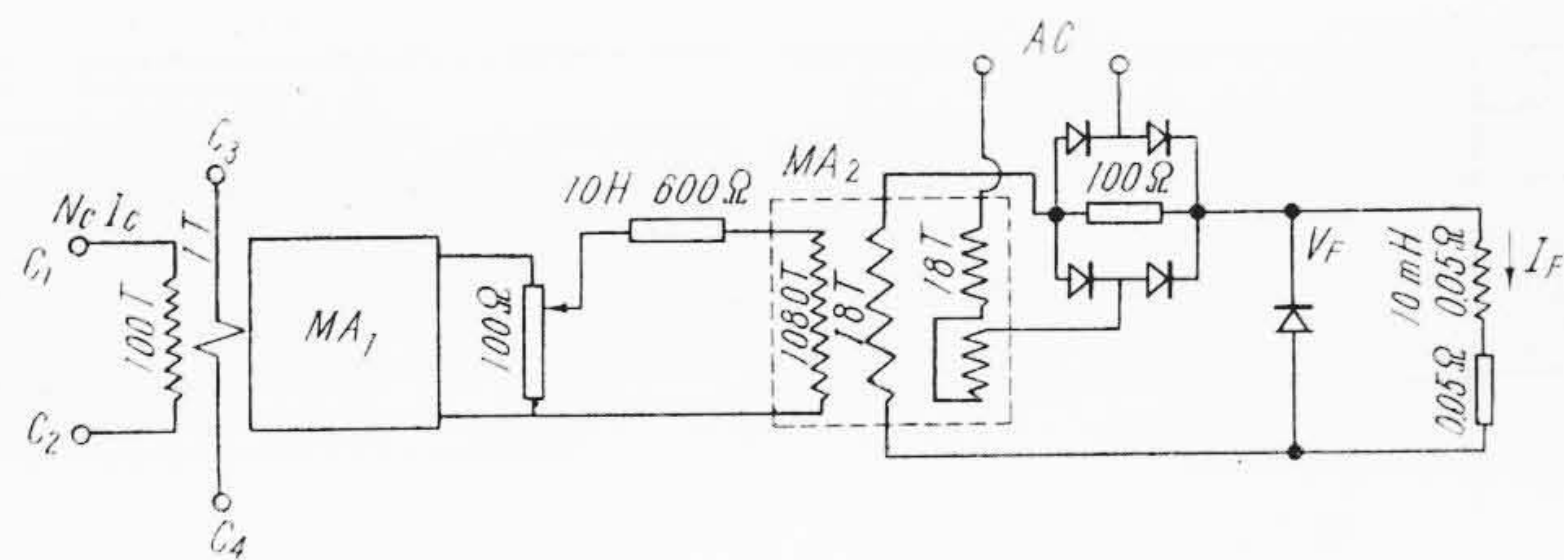
高速時 ($K_3 = 13$, $T_3 = 0.03$) における制動電流の行き過ぎ量が 20%, また低速時 ($K_3 = 4$, $T_3 = 0.02$) における制動電流の残留偏差が 6% となるような磁気増幅器の定数を、アナコン (電子計算機) によって求めた結果

$$\left. \begin{aligned} K_1 K_2 &= 2 \text{ V/A} \\ T_1 &= 0.05 \text{ s} \\ T_2 &= 1.5 \text{ s} \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

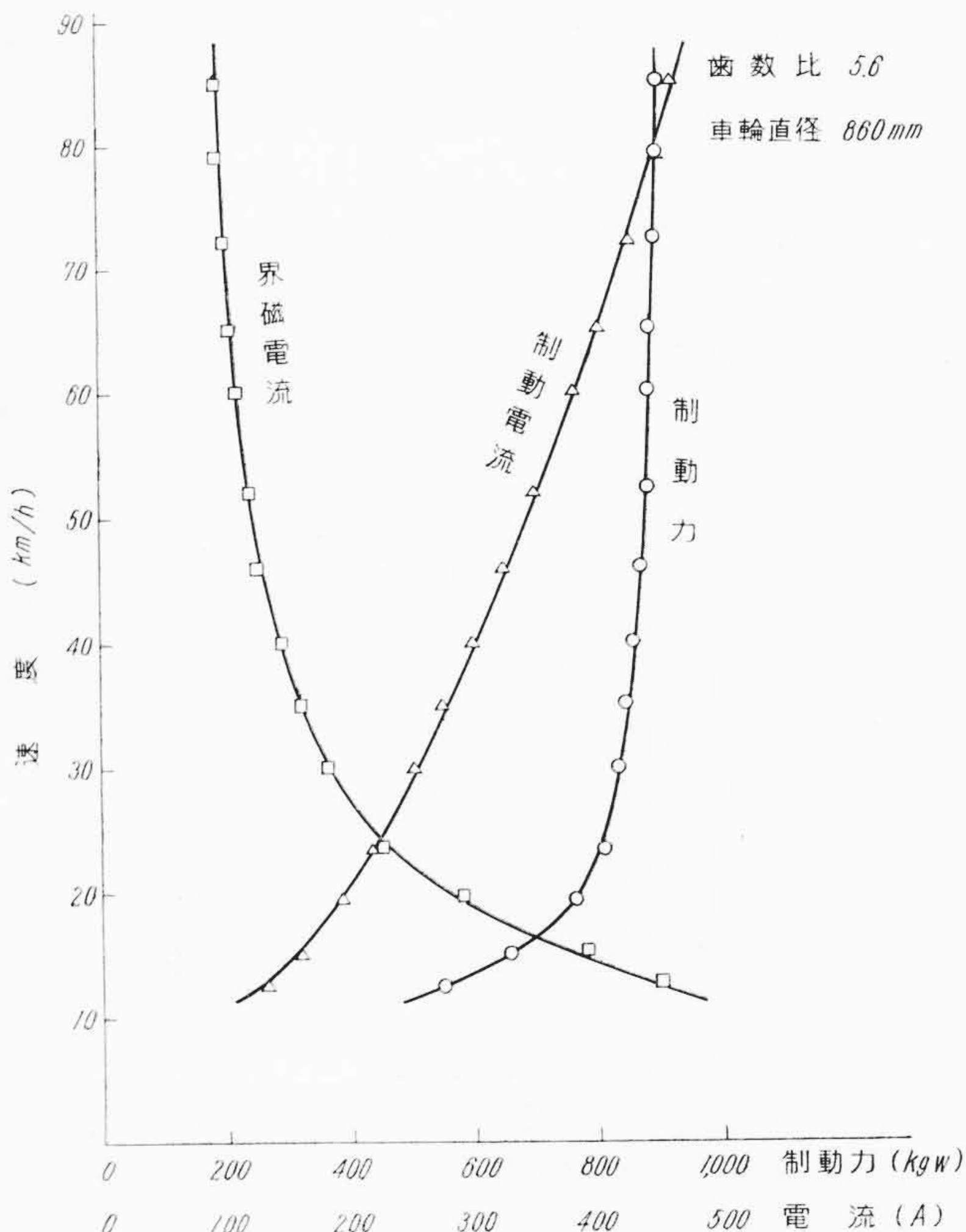
となった。

3.4.3 MA_2 の電源電圧変動の影響

出力段の磁気増幅器 MA_2 の電源は主変圧器のタップより取る。このため +10～-20% 程度の電圧変動はひん繁に起るものと考えなければならない。



第11図 比較器および励磁器の総合特性



第12図 交流電車の発電制動特性

第10図は MA_2 の電源電圧変動 ΔE_2 に対するブロック線図である。今の場合、 $T_2 \gg T_3$ であるから ΔE_2 による I_A の変化の最大値は

$$\Delta I_{Amax} \approx K_3 K_4 \Delta E_2 \quad (24)$$

となる。

また電源電圧の変動は MA_2 の励磁電流の変化をきたし、 MA_2 は等価的にバイアスのかかった状態となる。これによる制動電流の定常偏差は

$$\Delta I_A = \frac{K_2 K_3}{1 + K_1 K_2 K_3} K_{x2} \Delta E_2 \approx \frac{K_{x2}}{K_1} \cdot \Delta E_2 \quad (25)$$

となる。この値は小さいほどよいから、(23)式の $K_1 K_2$ を割り振る場合、 K_1 をあまり小さく取るとは望ましくない。

3.4.4 MA_1 の電源電圧変動の影響

MA_1 の電源電圧変動に対するブロック線図は MA_2 の場合と同様となる。 MA_1 は前段の増幅器であるから、その電圧変動が制動電流に与える影響は大きい。したがってその電源には極力安定したものを使用する必要がある。 MA_1 の電源は AVR 付きの補助電源より取ればよい。

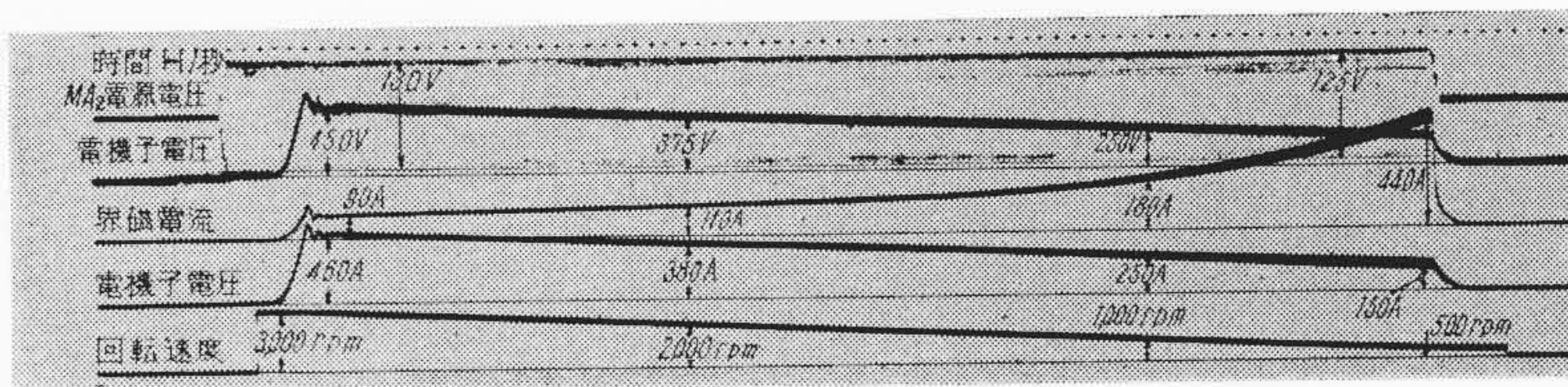
3.5 実験結果

3.5.1 変換器

速度発電機の出力電流を入力とし、入力の平方根に比例した出力電流を発生する変換器として、負荷の時定数を電源半サイクル時間より十分大きくした可飽和リアクトルを使用した。実験の結果、使用範囲において最大3%の誤差で所要の平方根特性が得られた。

3.5.2 比較器および励磁器

比較器 MA_1 には 100VA の磁気増幅器を、また励磁器 MA_2 には特殊設計の大容量磁気増幅器を使用した。それぞれの時定数はアナコン解析結果より MA_1 を 0.05 秒、 MA_2 を 1.5 秒とし、ま



第13図 交流電車の発電制動オシログラム

た MA_2 は最大 500A の出力電流を流すよう回路を構成した。調整後の回路および増幅特性を第11図に示す。

第11図より、 MA_1 の入力 AT に対する MA_2 の出力電圧 V_F の比は 35 V/AT であるから、アナコン解析結果より得られた増幅度 $K_1 K_2 = 2$ V/A にするためには 1 T の制御巻線 $C_3 \sim C_4$ に流す制動電流は 2/35 に分流する必要がある。また MA_2 の電源変動 $\Delta E_2 = 25$ V による制動電流の残留偏差は

$$\Delta I_A = 0.4 \times \frac{35}{2} = 7 \text{ A} \quad (26)$$

となり、数 100A の制動電流は対して無視できる。

3.6 等価実験結果

以上の解析結果に基づき回路を構成し、電車等価実験装置により発電制動等価試験を行った。ループゲインは、3,000 rpm において 23, 1,000 rpm においては 7 である。設定制動トルクを 70 kgW・m (制動力 900 kgW) とした場合の制動特性は第12図および第13図に示すように、3,000~1,000 rpm (90~30 km/h) において可成良好である。

第14図は第7図の抵抗 R_c を変化して、設定値を 70→20kgW・m または 20→70 kgW・m に急変した場合のオシログラムである。このように基準値の変化に対しては、約 1 秒で安定に応答する。

最後に励磁器 MA_2 の電源となる電車線電圧が 20% 変化した場合

のオシログラムを第 15 図に示す。制動電流または制動トルクの回復時間は約 1 秒である。このような応答時間および回復時間は、車両用制御装置としては、十分満足すべき値といえよう。

4. 直流電車用電力回生制動

次に直流電車を対象とした電力回生制動自動制御方式と、電車等価実験装置による実験結果について述べる。

4.1 制動トルク一定制御方式⁽⁴⁾

電力回生制動とは、発電機として働く主電動機の制動電流を電車線を通じて他の電車へ供給するか、または変電所へ返還するものである。第 16 図はその原理図である。 R_A および E は回生車より電源側を見た抵抗および電圧であり、回生制動の困難性はこの R_A および E がひん繁にしかも大幅に変動することにある。そしてこのような困難性に打勝って、運転手の指令どおりの制動力が安全確実に得られる制御装置が望ましい。

さて回生車の主電動機に関する誘起電圧および制動トルクは、発電制動の場合と同様に (9) および (10) 式で表わされるが、電圧方程式は次のようになる。

$$E_A = E + I_A R_A \quad \dots\dots\dots (27)$$

(9), (11) および (27) 式より発電制動の場合と同様にして、回生制動可能速度範囲を求めることができ、その最低速度はほぼ主電動機の定格速度に等しい。

(9) および (11) 式より制動トルクは

$$T = \frac{1}{gK} \cdot \frac{E_A I_A}{n} \quad \dots\dots\dots (28)$$

となり、ここで

$$I_A = c_1 \frac{n}{E_A} \quad \dots\dots\dots (29)$$

ここに c_1 : 定数
とおけば

$$T = \frac{c_1}{gK} \quad \dots\dots\dots (30)$$

となる。さらに回生中の誘起電圧 E_A の変化は $\pm 20\%$ 程度であるから、 1% 以下の誤差で次の近似式が成立する。

$$\frac{1}{E_A} \simeq c_2 - c_3 E_A \quad \dots\dots\dots (31)$$

ここに c_2, c_3 : 定数

したがって (29) 式は

$$I_A = c_1 n (c_2 - c_3 E_A) \quad \dots\dots\dots (32)$$

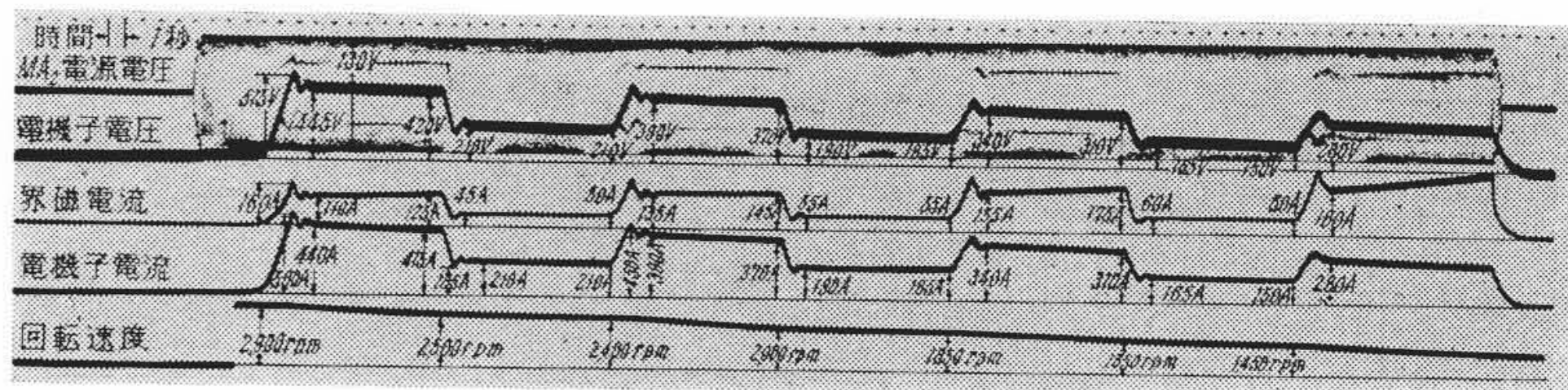
となる。すなわち制動電流 I_A を、速度 n および誘起電圧 E_A に対して (32) 式の関係に制御すれば、(30) 式で表わされる一定制動トルクが得られる。

4.2 回生制動自動制御回路

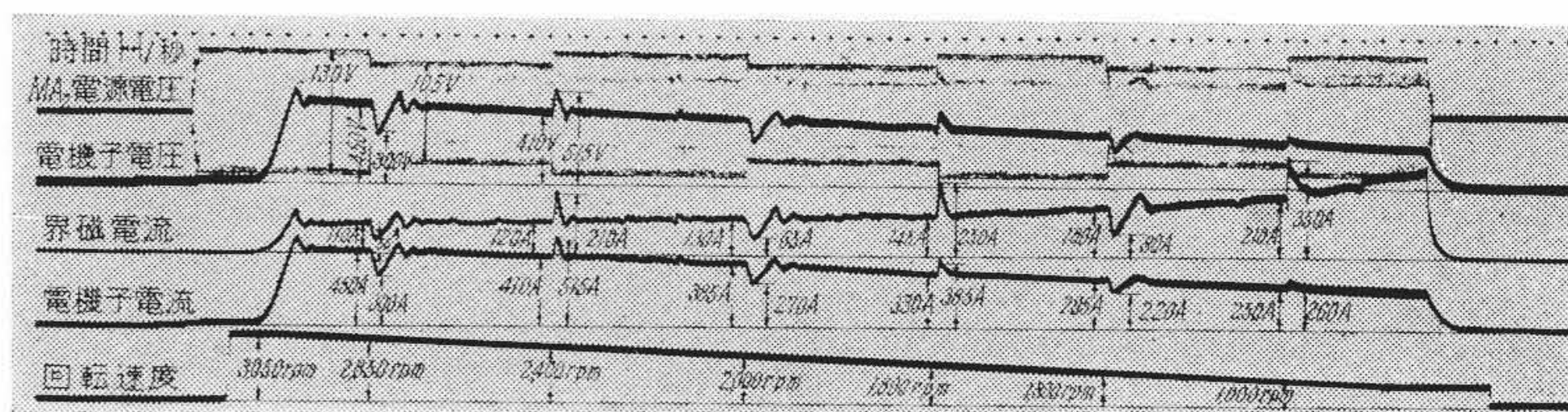
前節で述べた制動トルク一定制御方式は、主電動機の界磁電流を自由に制御できるすべての回生制動に適用できるが、ここでは複巻電動機による回生制動について、その自動制御回路を示す。

第 17 図の回路において、回生車の主電動機 A から力行車の主電動機 A' へ回生電力が供給される。回生電流 I_A は磁気増幅器 MA_0 , MA_1 , 速度発電機 TG, コントロールモータ CM および界磁調整器 FR によって、制動トルクが一定となるよう自動制御される。

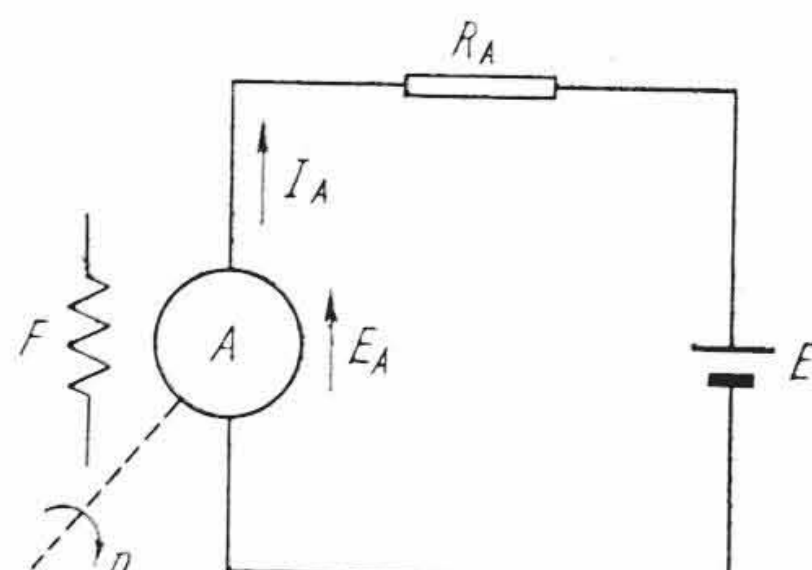
すなわち MA_0 の出力は (31) 式を表わし、TG は (32) 式の右边に相当する基準電流を発生する。さらに MA_1 によってこの基準電流と制動電流 I_A の誤差を検出し、CM の積分作用により定常偏差零



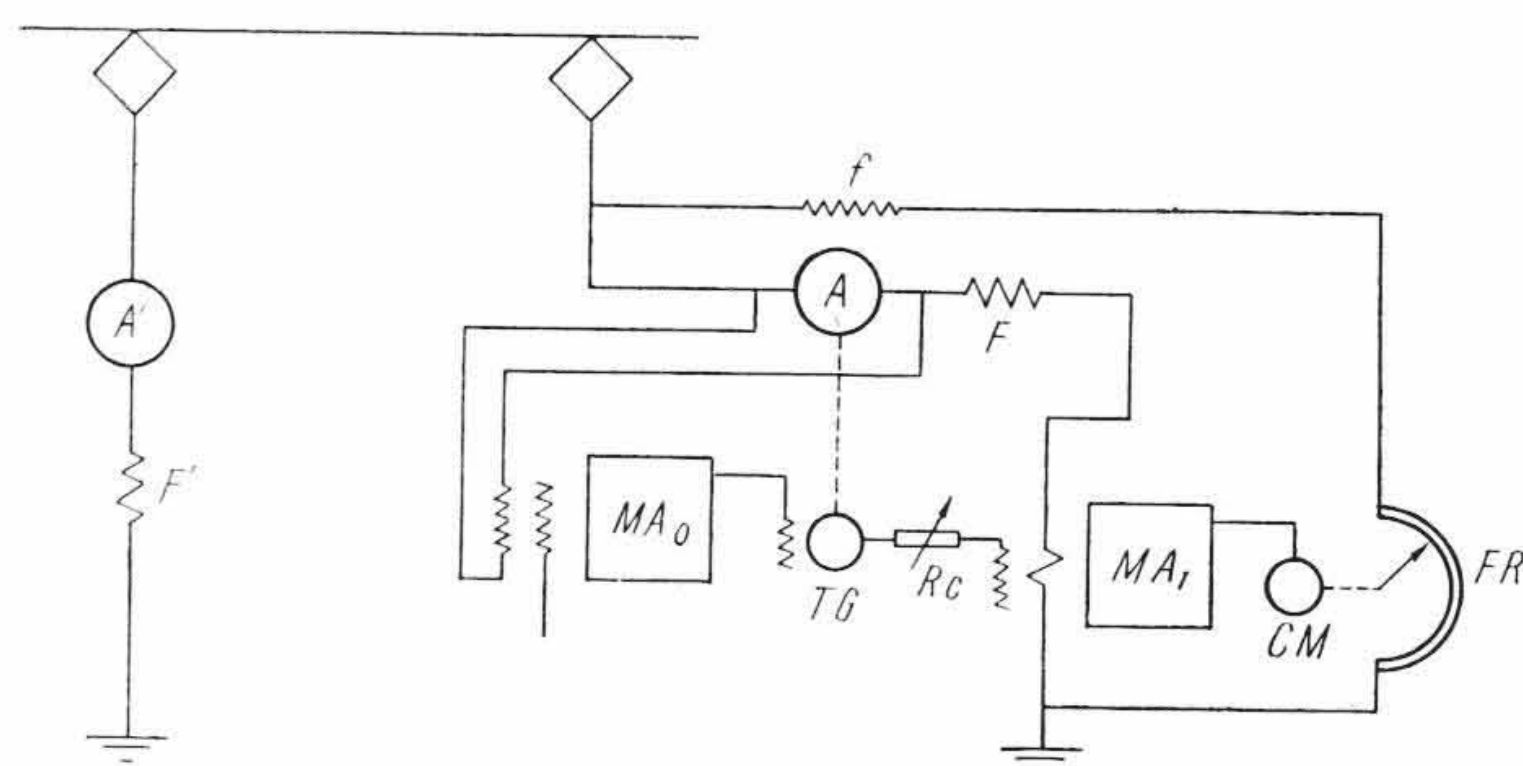
第 14 図 基準値急変に対する応答



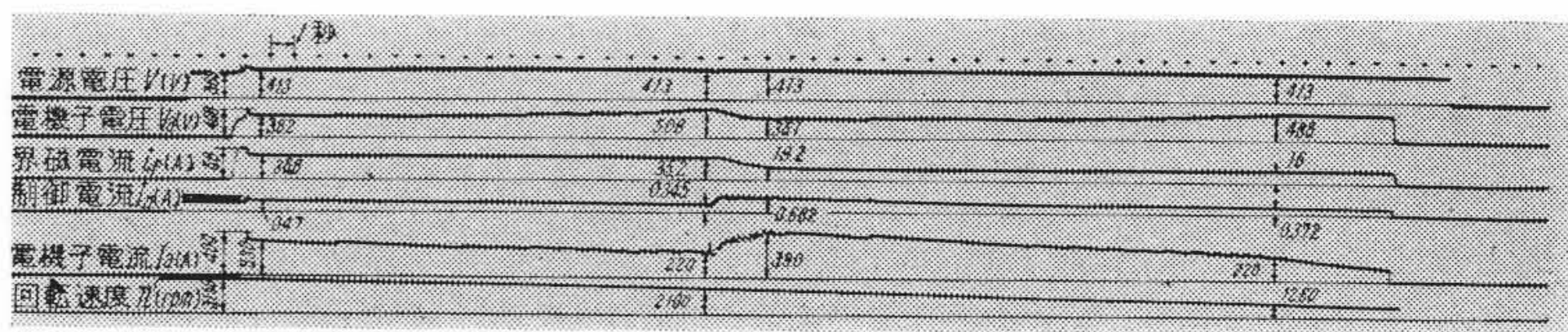
第 15 図 電車線電圧急変に対する応答



第 16 図 回生制動基本回路



第 17 図 複巻電動機の回生制動自動制御回路



第 18 図 直流複巻電動機式電車の回生制動オシログラム

の自動制御を行う。なお制動トルクは抵抗 R_c によって自由に調整することができる。

4.3 実験結果

100 kW 1,650 rpm の複巻電動機と電車等価実験装置を使用して実験した結果、電源電圧変動 $\pm 20\%$ 、速度 3,000 ~ 1,250 rpm (90 ~ 35 km/h) の範囲において、指令値どおりの一定制動トルクが得られた。第 18 図はオシログラムの一例である。

なお本実験では 2 個の主電動機の並直列制御を行い、回生制動範囲の拡大をはかった。並列から直列への切替えは、起動抵抗器を流用することにより、オシログラムに示すように円滑に行うことができた。

5. 結 言

車両実験室に設置された電車等価実験装置は、実験の結果本文に述べたように所期の性能を有することが判明した。また電気制動の研究については、広い速度範囲においてほぼ一定制動力特性を得ることができ、同時に電車線電圧が急変した場合、および運転手弁により設定値を急変した場合、制動力がいずれも基準値に対し、1秒程度の時間遅れをもって安定に応答する新方式を開発し得た。

電車等価実験装置は設置以来これら電気制動の研究のほか、交流および直流高速電車の起動ならびに制動無電弧連続制御、列車自動制御等新制御方式の開発に着々と実績をあげている。交流電源設備を含む本等価実験装置は独自の設計により開発されたもので、幾多の特長を有している。特に主変圧器を特殊設計として、電圧制御方式は高圧制御、低圧制御両用とし、低圧コイルを切り替えてシリコン整流器式、水銀整流器式および交流整流子電動機式のいずれにも

使用し得るようにした。これによって現在世界各国において行われている50 $\sim$ 交流方式および直流方式のほとんどすべての電気車両電気方式の等価実験が可能となった。かかる設備は現在のところ国内はもちろん、海外においてもいまだ発表されたるを見ない。今後本装置を十分活用して、新方式の開発に寄与したいものと念願している。

終わりに臨み本装置の完成に対して与えられた日立製作所本社および関係工場各位の協力に対し、深甚なる謝意を表するとともに、各種の実験にあたった日立製作所日立研究所水戸分室成田、黒滝両君の労を多とする。

参 考 文 献

- (1) 井上：日立評論 10, 167 (昭2-3)
- (2) 電気学会：電気工学ハンドブック p. 1615 (昭33)
- (3) 電気学会：電気鉄道 I p. 61 (昭32)
- (4) 坪井ほか：昭36電気学会連大 752



特 許 の 紹 介



特 許 第 274105 号

印 刷 機 の 張 力 制 御 装 置

居 駒 恒 雄・大 井 田 浩

この発明は第1図に示すように印刷機の給紙部1と印刷部2の間にフローチングローラ3とリミットスイッチ LS_1 , LS_2 を設けて紙の張力変化を検出し、張力の設定値からの偏差に応じブレーキバンド4により巻取紙5に加えるブレーキの強さを変えて張力制御を行なう場合、機械の振動などにより制御装置が必要以上にひんぱんに動作して消耗するのを防ぐとともに、制御系の遅れによって乱調を起すことなく安定な制御ができるようにしたものである。また運転中リール6を回転させて巻取紙の交換を行なう際の張力の急激な変化にも対応できるように特別の手段を講じてある。

その主要部は第2図に示すように三極放電管を用いた3組の電子管タイマーからなっており、常時はコンデンサ C_1 , C_2 , C_3 が放電管 V_1 , V_2 , V_3 の格子電流で充電され各放電管に負のバイアスを加えている。いま張力の減少に応じてリミットスイッチ LS_1 が閉じると、 C_1 , R_1 の時定数により定まる一定時間 t_1 を経過したのち放電管 V_1 が放電し、リレー RY_1 が動作する。これにより接触器Fが閉じ、電圧調整器STの操作電動機PMが正転してトルクモータTMへの供給電圧を上げ巻取紙のブレーキを強める。一方リレー接点 RY_{1a} の開路によりその後 C_3 , R_3 の時定数により定まる一定時間 t_2 を経過すると放電管 V_3 が放電し、リレー RY_3 が動作する。その接点 RY_{3b} の開路によりリレー RY_1 が復旧して操作電動機PMの回転を止め、続いて接点 RY_{1a} の開路によってリレー RY_3 も復旧し元の状態に戻る。その後もリミットスイッチ LS_1 が閉じたままであれば時間 t_1 を経て再びリレー RY_1 が動作し、さらに時間 t_2 を経てリレー RY_3 が動作するという過程がくり返され、操作電動機PMには間歇的に運転指令が与えられる。

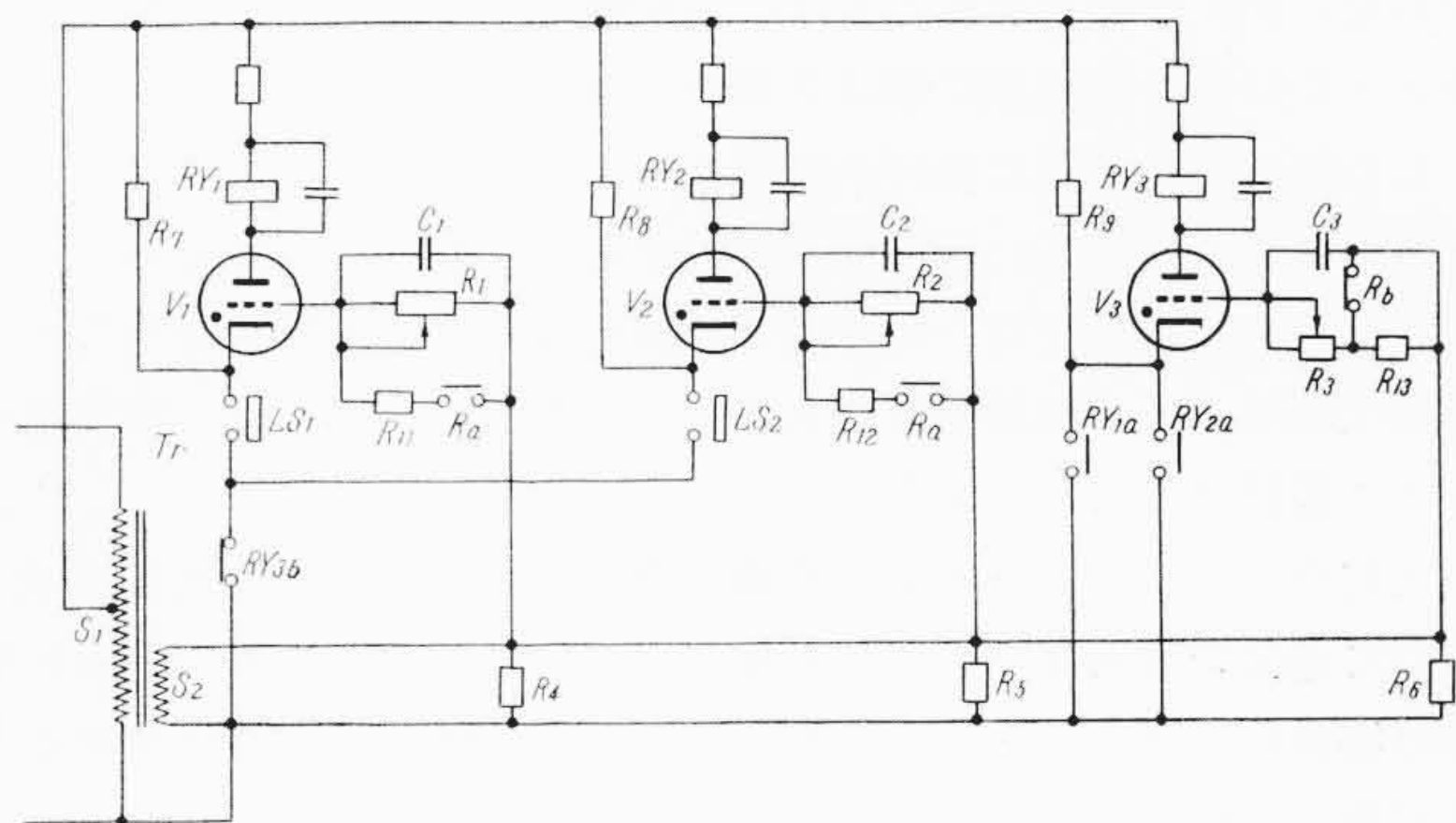
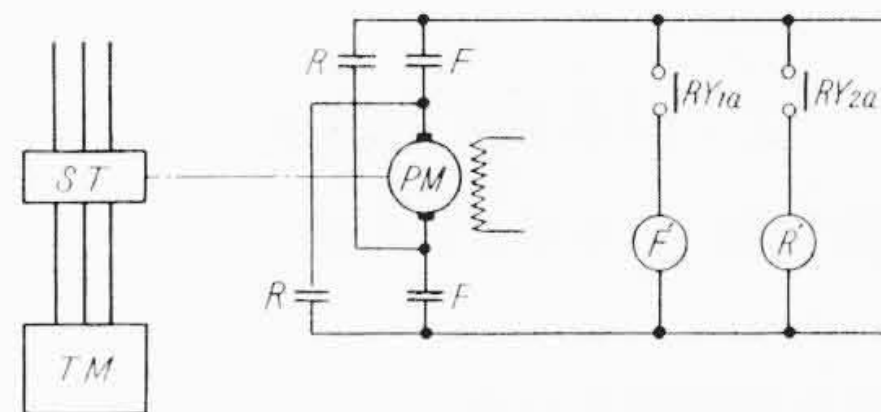
張力が設定値より増加した場合にはリミットスイッチ LS_2 の開路によりリレー RY_2 , RY_3 が順次動作して同様の間歇制御を行ない、操作電動機PMを逆転させてトルクモータTMへの供給電圧を下げブレーキを弱める。

すなわち入力対出力の関係は第3図(a)(b)のようになり、 t_1 , t_2 の時間間隔を適当に選べば短時間の入力信号によって無用な制御動作

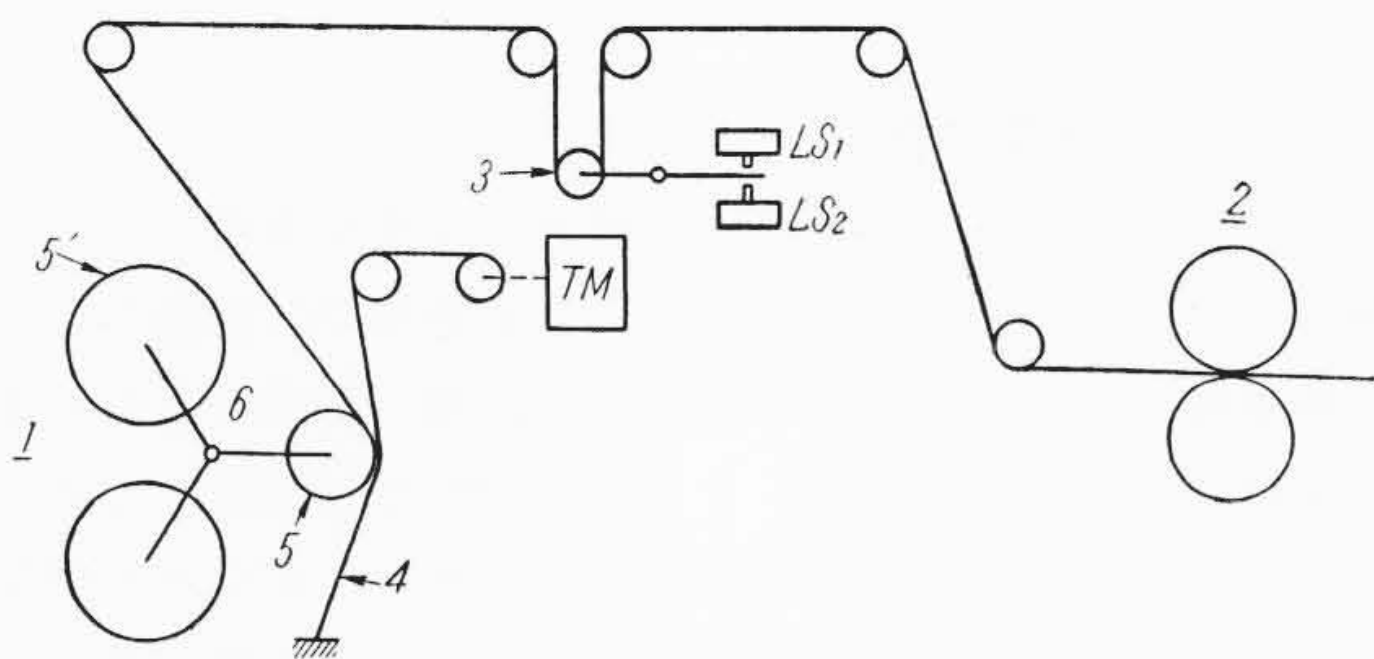
をくり返すことがなく、また制御のゆき過ぎにより乱調を起すこともない。

運転中巻取紙の引継のためリールを回転させると、これに連動して接点 R_a が閉じ R_b が開いて抵抗 R_1 , R_2 と並列に抵抗 R_{11} , R_{12} をそう入し、抵抗 R_3 と直列に抵抗 R_{13} をそう入する。これにより第3図(b')のように制御装置の平均出力が増加して張力の急激な変化に速応した制御が行なわれ、張力を一定に保つことができる。巻取紙の引継が終われば接点 R_a , R_b が復旧し自動的に平常状態に戻る。

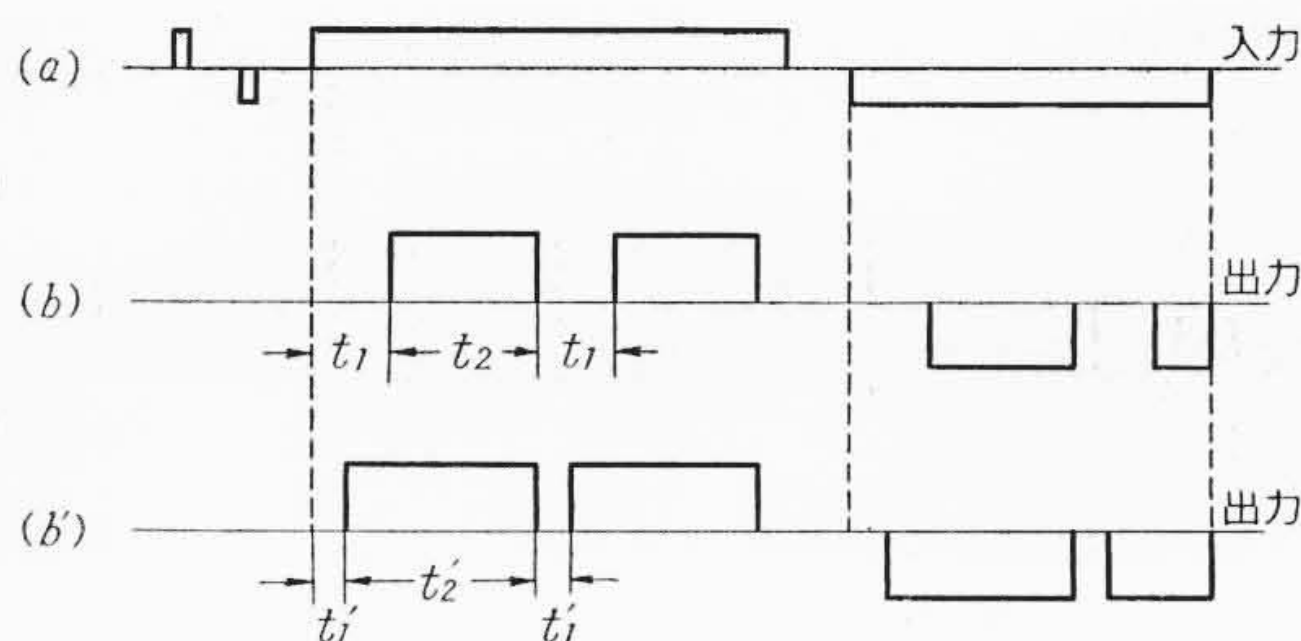
(坂 本)



第 2 図



第 1 図



第 3 図