

水銀整流器式交流電気機関車のインバータ回生制動装置の研究

A Study on the Inverter Regenerative Control System for Mercury Rectifier Type A. C. Locomotives

小野田 芳光* 浅野 弘** 伊 沢 省 二***
 Yoshimitsu Onoda Hiroshi Asano Shōji Izawa
 五 島 正 巳**** 杉 本 光 昭****
 Masami Gojima Mitsuaki Sugimoto

内 容 梗 概

水銀整流器式交流電気機関車では一般に空気制動を採用しているが、水銀整流器をインバータとして動作せしめると回生制動を行なうことが可能である。

日立製作所ではこのインバータ回生制動について研究を行ない、ED 71 形機関車に収容した格子制御装置を使用し、抑速制動のみならず減速停止から逆転まで行なうことができる新しい方式を開発することに成功した。

1. 緒 言

従来、水銀整流器式交流電気機関車の制動は、一般に空気制動によっているが、この方式はいうまでもなく電力が回生できず、制輪子とタイヤが摩耗し、その際生じた鉄粉による電動機類の絶縁劣化を促し、さらに相当急なこう配が長区間続くところではタイヤが熱せられて運転不能におち入ることも考えられる。

ところで、水銀整流器はよく知られているように、水銀逆変換装置すなわちインバータとして直流電力を交流電力に変換することが可能であるから、制動に際しては主電動機を直流充電機とし、水銀整流器をインバータとして動作せしめ、列車の運動エネルギーをこれらの機器を介し交流電力として送電線へ送り、電力回生制動を行なうことが可能である。

われわれはこの方式について検討し、ED 71 形機関車の格子制御装置を基本としたインバータ回生制動方式を立案し実験を行なった。

ここでは、この方式の原理と実験結果について報告する。

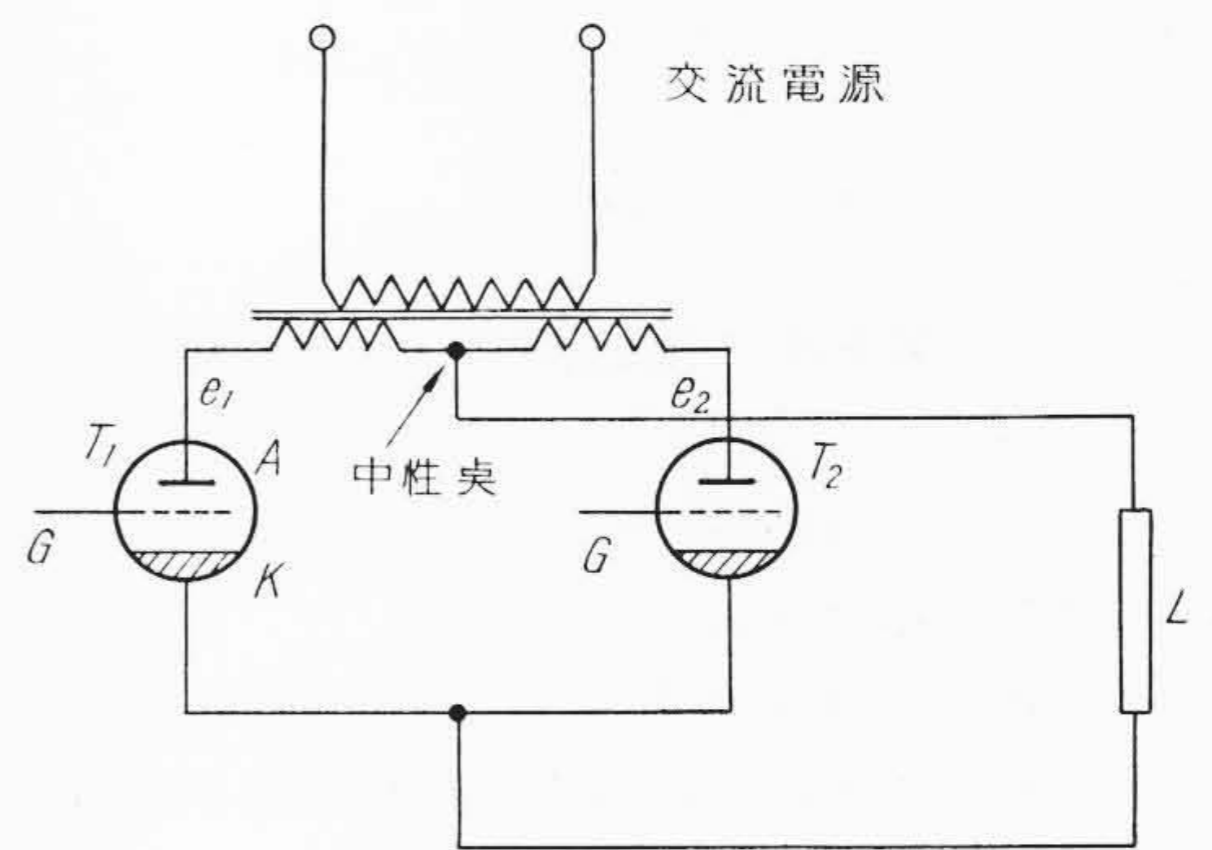
2. インバータ回生制動の理論

水銀整流器の特性は複雑なものであるが、これを制御する立場より考えるならばその特性が次のようなものであるということができよう。すなわち、

「水銀整流器はその陽極の電位が陰極に対して正であるとき、格子の電位を陰極に対して正にすると陽極陰極間はほぼ短絡された状態になる。そして、この短絡状態は陽極から陰極へ向かって流れる電流、すなわちアーク電流が零になるまで続き、かつ零にすることによってのみ短絡状態が止む」。

したがって、第1図のような回路において負荷 L が理想的な誘導性である場合について考えてみる。両者の整流タンクの格子が負電位の状態で、負荷に起電力がなければ、整流タンク T_1 の陽極陰極間の電圧は第2図 e_1 のようになり、 T_2 の陽極陰極間の電圧は e_2 のようになる。

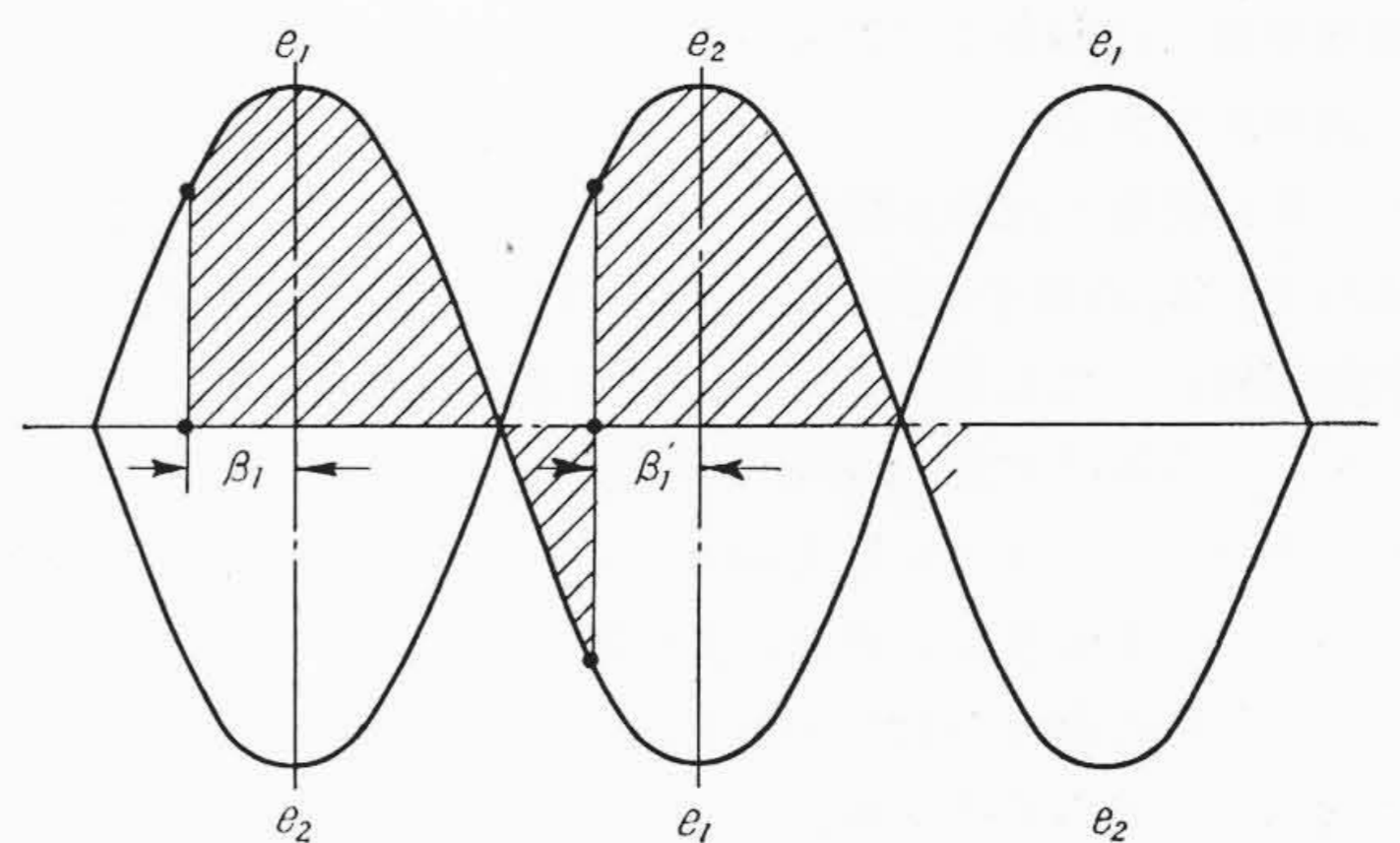
この状態で、 T_1 の格子を角度 β_1 の点で正電位にすると T_1 はそこで短絡状態となり、その後 L には電圧 e_1 が印加される。 L は誘



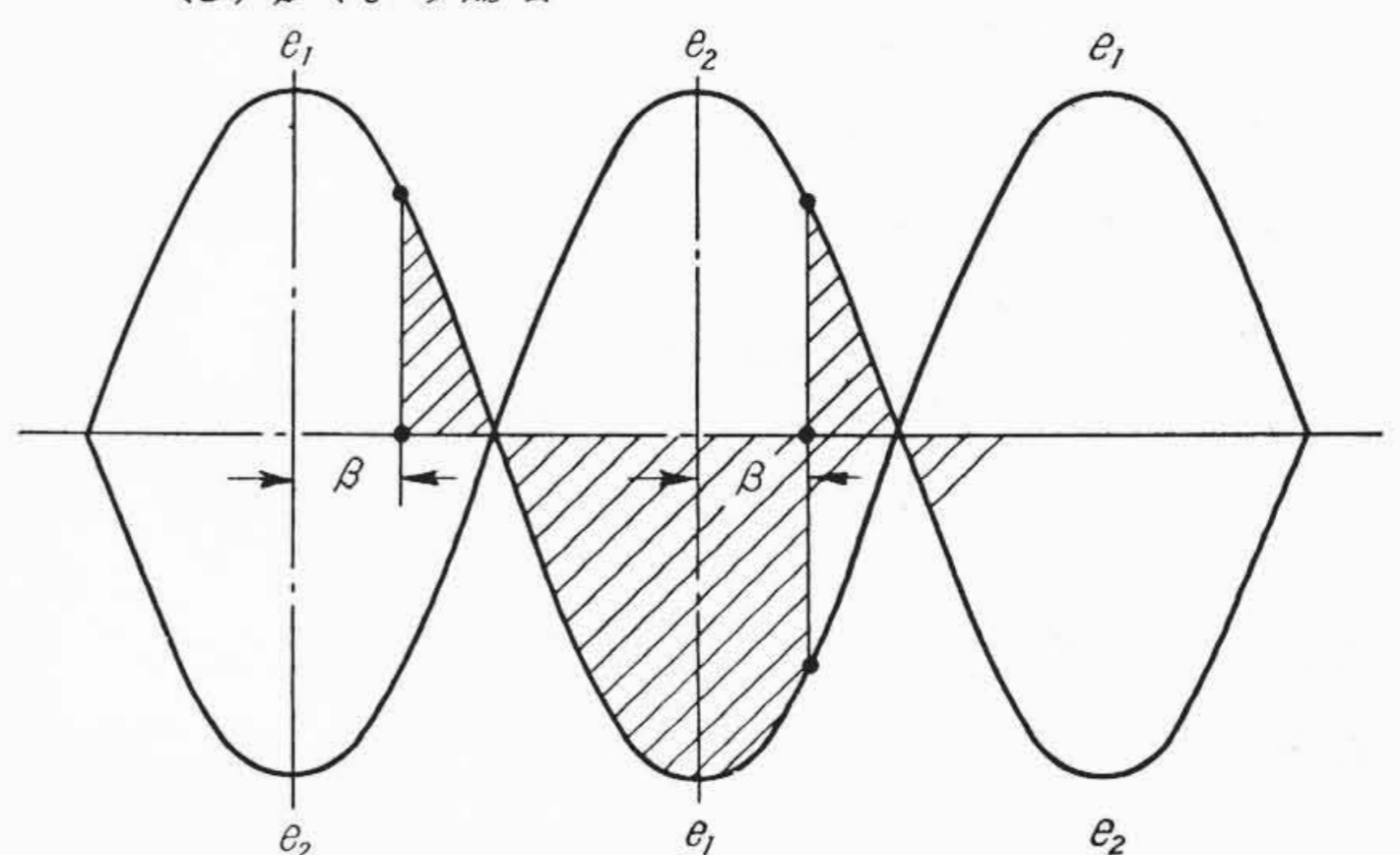
e_1, e_2 : 変圧器二次電圧 L : 負荷
 T_1, T_2 : 水銀整流器タンク
 A: 陽極 K: 陰極 G: 格子

第1図 負荷に起電力がない場合の水銀整流器回路

(A) $\beta > 0$ の場合

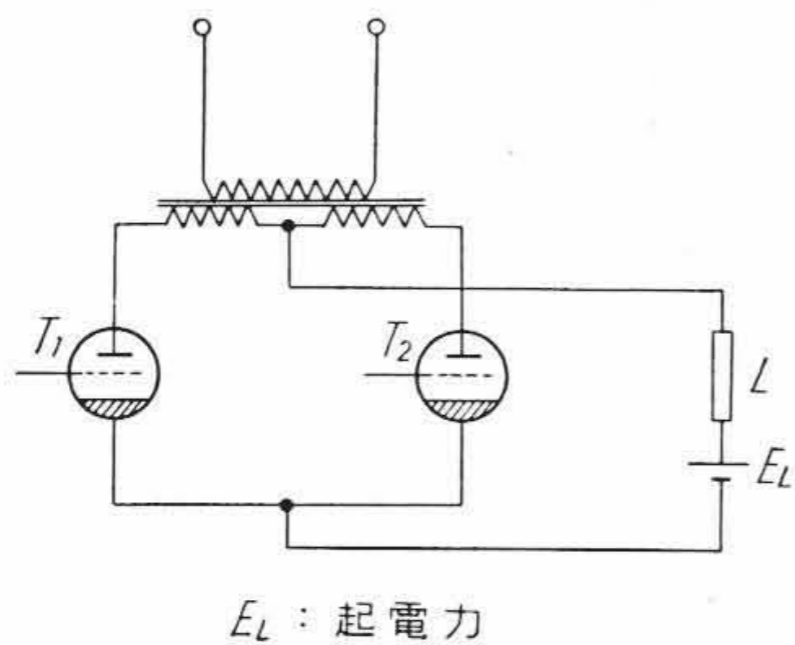


(B) $\beta < 0$ の場合

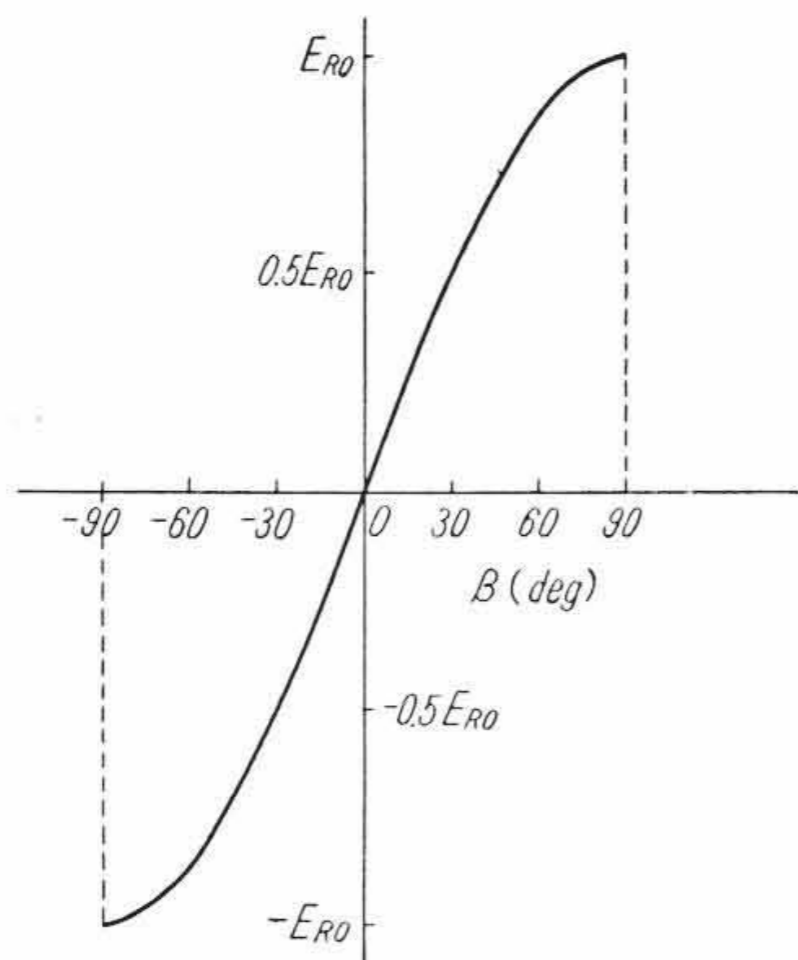


第2図 水銀整流器の転流の様相

* 日立製作所日立研究所水戸分室 工博
 ** 日立製作所日立工場
 *** 日立製作所水戸工場
 **** 日立製作所国分工場



第3図 負荷に起電力がある場合の水銀整流器回路



第4図 水銀整流器の制御特性

導性であるから e_1 が負の瞬時値になっても電流が持続され、 L には瞬時値が負の電圧も加わる。

次に、 β_1' の角度でタンク T_2 の格子を正電位にすると T_2 は短絡状態になり、負荷には e_1 と e_2 の両方の電圧が与えられることになるが、

$$e_2 - e_1 > 0 \dots\dots\dots (1)$$

であるから、 T_2 から T_1 へ向かって電流が流れようとする。そのため T_1 の電流は減少して行き零となるが、その瞬間 T_1 の短絡状態は終わる。

その後は T_2 が通流し、以下同様に動作する（以上のことより、水銀整流器では陽極より陰極へ向かう方向しか電流が流れ得ないという説明ができる）。

$\beta < 0$ の状態では第2図(B)のようになり電圧の負の期間が長くなるので、 T_2 の格子を正にする前に T_1 の電流が零になり T_1 の短絡状態が終わってしまうので、このままでは動作が異なる。

しかし、負荷 L に第3図のように起電力 E_L があり、かつその起電力の方向が図のように正方向で、大きさが水銀整流器の出力電圧の平均値よりも大きなきは、 $\beta < 0$ でも転流されるまで電流が流れ、前と同様な動作が行なわれる。

すなわち、連続電流が流れているときは β の正負にかかわらず同様な転流が行なわれる。そして β の変化に伴い水銀整流器の出力電圧の平均値が変化する。

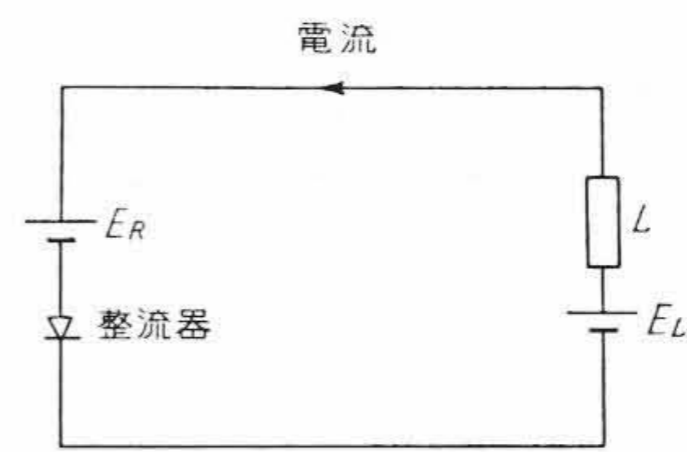
いま、変圧器の電圧降下がないものとして、その出力電圧の平均値を求めると次のようになる。

$$E_R = \frac{E_0}{\pi} \int_{-(\pi-\beta)}^{\beta} \cos \beta \cdot \alpha \beta$$

$$= \left(\frac{2E_0}{\pi} \right) \cdot \sin \beta \dots\dots\dots (2)$$

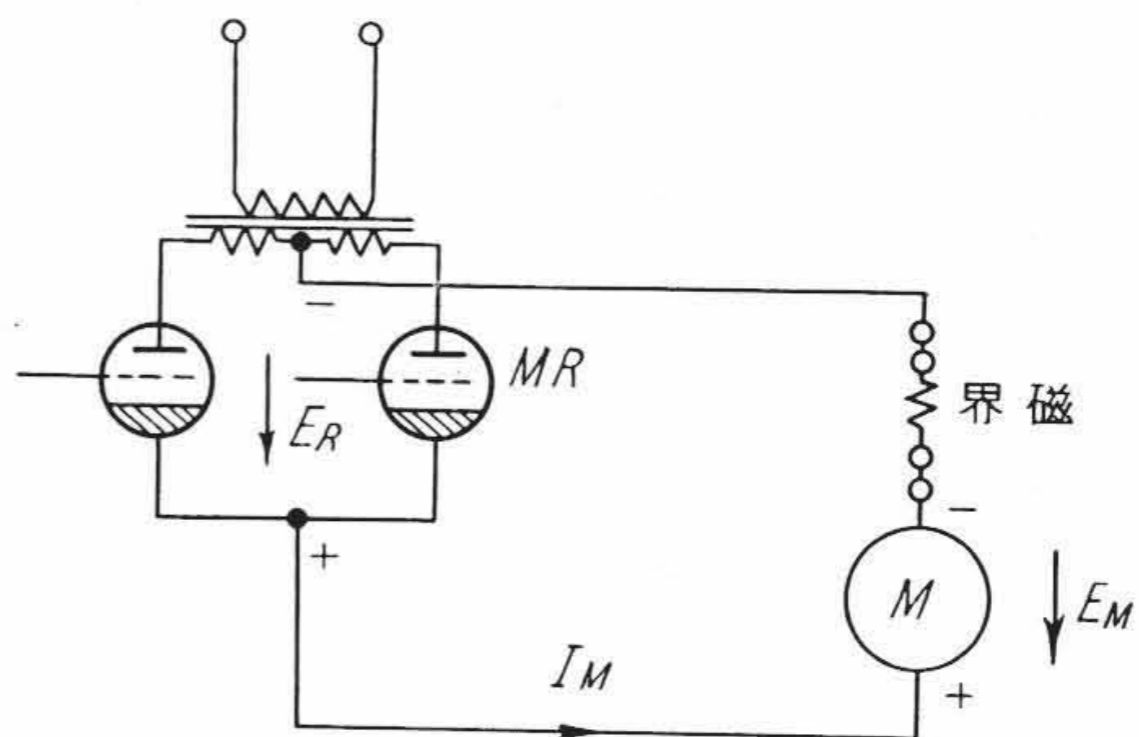
ここに E_0 : 変圧器二次電圧最大値
したがって、 E_R は $\beta = \pi/2$ のとき最大となり

$$E_R = \frac{2E_0}{\pi} \dots\dots\dots (3)$$

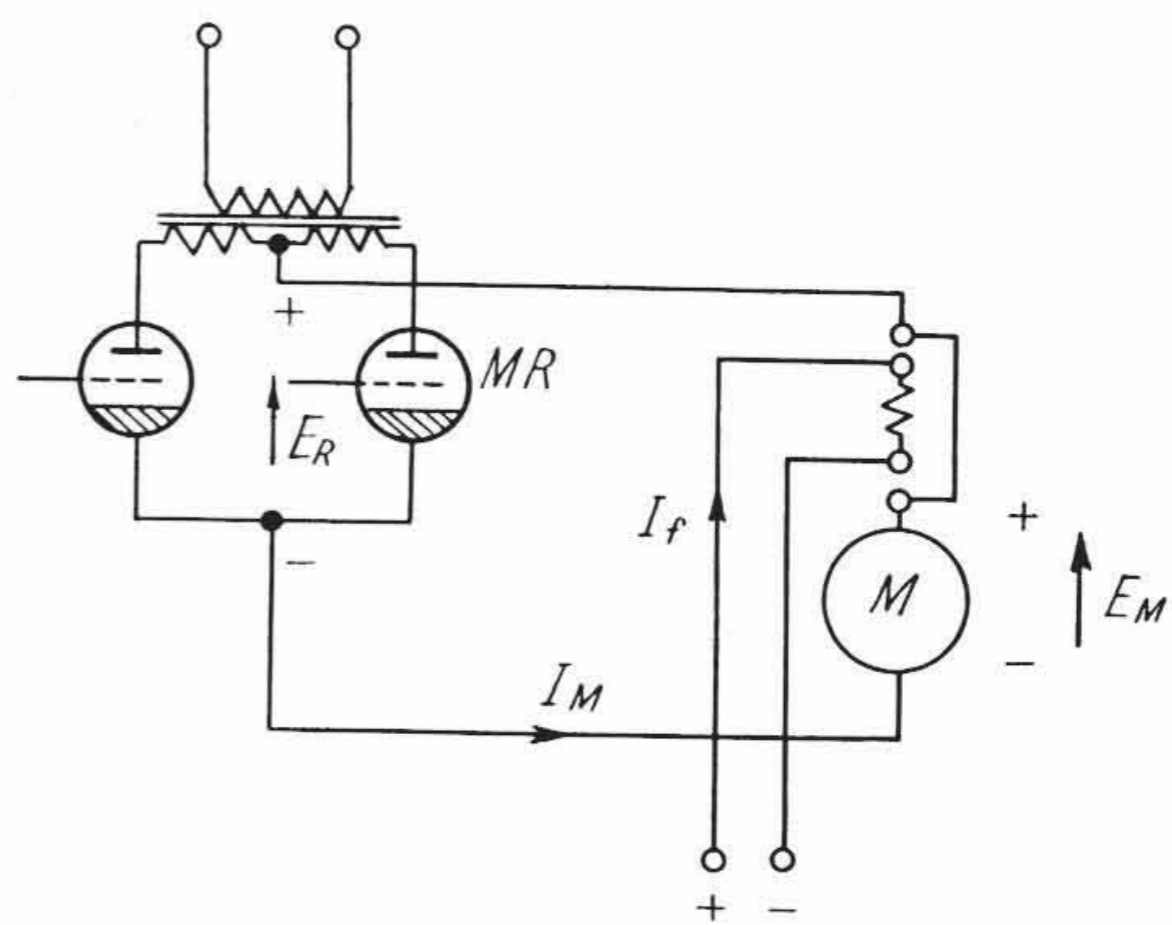


E_L : 負荷の起電力 E_R : 水銀整流器等価誘起電圧
第5図 $\beta < 0$ のときの等価回路

(A) 力行中の回路 $\beta > 0$



(B) インバータ回生制動時の回路 $\beta < 0$



I_M : 電機子電流 I_f : 界磁電流

第6図 水銀整流器式交流電気機関車の主回路

となる。このときの E_R を E_{R0} とすれば(2)式は

$$E_R = E_{R0} \sin \beta \dots\dots\dots (4)$$

とあらわされる。この E_R を水銀整流器の等価誘起電圧、 $\sin \beta$ を格子率と呼ぶ。

β を変化すれば(4)式に従って第4図に示すように E_R が変化し、 β が負のときには E_R も負になる。

ところで、水銀整流器に流れる電流はさきに述べた理由から、陽極から陰極へ向かう方向しか流れ得ないので、このときは等価的に回路が第5図のようになり、水銀整流器は負荷側より直流電力を受けて交流側に電力を送り込むことになる。

水銀整流器式交流電気機関車では第6図のような回路であり、主電動機は直流直巻電動機で力行中は第6図(A)に示す方向に逆起電力が生じている。また、水銀整流器の格子制御角 β は力行中正である。

それゆえ、これがインバータ回生制動を行なうためには、

- (1) まず、水銀整流器の格子制御角 β を負にする。
 - (2) 次に、主電動機の界磁を切り離して外部から励磁し、起電力を第6図(B)の方向にする。
- ことが必要で、これが実現できると回生制動を行なうことが可能になる。

次に、制動力の調整について検討する。電動機（制動中は発電機

として動作する)の単位回転磁束を $\zeta\phi$ 、電動機電流を I_M 、動輪からの伝達効率を η とすれば、制動力 F_b は、

$$F_b = -\frac{\zeta\phi \cdot I_M}{\eta} = -\frac{E_M \cdot I_M}{n \cdot \eta} \quad (\text{newton} \cdot \text{m}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに E_M : 電動機の起電力 (volt)
 n : 電動機回転速度 (rad/s)

となり、電機子回路の等価全抵抗を R とすれば、

$$I_M = \frac{E_R - E_M}{R} = -\frac{(E_M - E_R)}{R} \geq 0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

であるから、制動力の調整は E_M もしくは E_R を調整することにより行なうことができる。上記の方程式の右辺に負符号をつけたのは、電動機の単位回転磁束 $\zeta\phi$ (電動機の起電力 E_M と回転速度 n の比で単位は volt \cdot s/rad)、起電力 E_M 、水銀整流器の等価誘起電圧 E_R が力行中を正と考えると回生制動中は負の値となっているからである。

E_R を調整するには(2)式から明らかなように、格子制御角 β もしくは水銀整流器電源変圧器の二次電圧をタップ切換器などで調整して E_0 を調整することにより行なうことができる。

3. 従来の回生制動装置

1956年、欧州のライン地方石炭輸送鉄道に使用した水銀整流器式交流電気機関車にインバータ式回生制動装置が装備されてある。この装置の概略結線図が第7図である。この機関車は重量が132t、出力が2,500HP(1,860kW)、起動時の引張力は40t($\mu=30\%$)、交流電線電圧はAC 6kV 50c/sである。

力行時には水銀整流器用変圧器の一次側にある調整用変圧器のタップ位置をタップ切換器で切り換えて速度制御を行なう。

回生制動時には、まず直流母線回路を開き、次にタップ切換器を切り離すことにより水銀整流器用変圧器の一次側を調整用変圧器より切り離し、主電動機を他励発電機にし、格子制御角 β を負にし、続いて水銀整流器用変圧器の一次側を調整変圧器の最高タップに接

続した後、直流母線回路を閉じてインバータ回生制動回路を形成する。

次に、図に示す励磁機の電圧を調整することにより主電動機(回生制動中は発電機になっている)の界磁を調整し、その起電力を変化することにより制動力を調整する方式が採用されている。このような方式を採用した理由として、

- (1) タップ切換器により水銀整流器等価誘起電圧を調整する方式は時間がかかるので好ましくない。
 - (2) 格子制御角を調整して E_R を調整する方式は力率が悪く、電源波形をひずませるので好ましくない。
- からであるとしている。

しかし、この方式には次のような欠点が考えられる。

- (1) 制動力 F_b は(5)式と(6)式から、

$$F_b = -\frac{\zeta\phi \cdot I_M}{\eta} = -\frac{E_M(E_M - E_R)}{\eta R n} = -\frac{\zeta\phi(\zeta\phi \cdot n - E_R)}{\eta R} \geq 0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

となるが、この方式では E_R, η, R が一定で $\zeta\phi$ を調整するのであるから、低速度では $\zeta\phi$ を非常に大きく、速度 $n=0$ のところでは $\zeta\phi$ を無限大にしなければならない。

しかし、そのようなことはいうまでもなく不可能で、 $\zeta\phi$ を大きくすることには限度があるから、この方式では列車を停止させることはもちろんできず、低速度にまで回生制動を行なうこともできない。

列車を停止させるまで回生制動を行なうには、 $n=0$ で $F_b \geq 0$ を実現しなければならないから、(7)式から明らかなように、

$$-\zeta\phi \cdot E_R \geq 0 \quad \dots\dots\dots (8)$$

でなければならない。

ところで、 $\zeta\phi$ は負の値であるから、

$$-\zeta\phi \geq 0 \quad \dots\dots\dots (9)$$

となり、したがって、

$$E_R \geq 0 \quad \dots\dots\dots (10)$$

にしなければならない。すなわち、 E_R を負の値のみでなく正の値にまで変化することが必要で、このためには格子制御角 β を負の値から正の値にまで変化させねばならない。それゆえ、格子制御を行なうことがどうしても必要で、この方式で格子制御角を一定にしたのは他の理由によるもの、すなわち格子制御装置に適当なものがなかったからではないかということが考えられる。

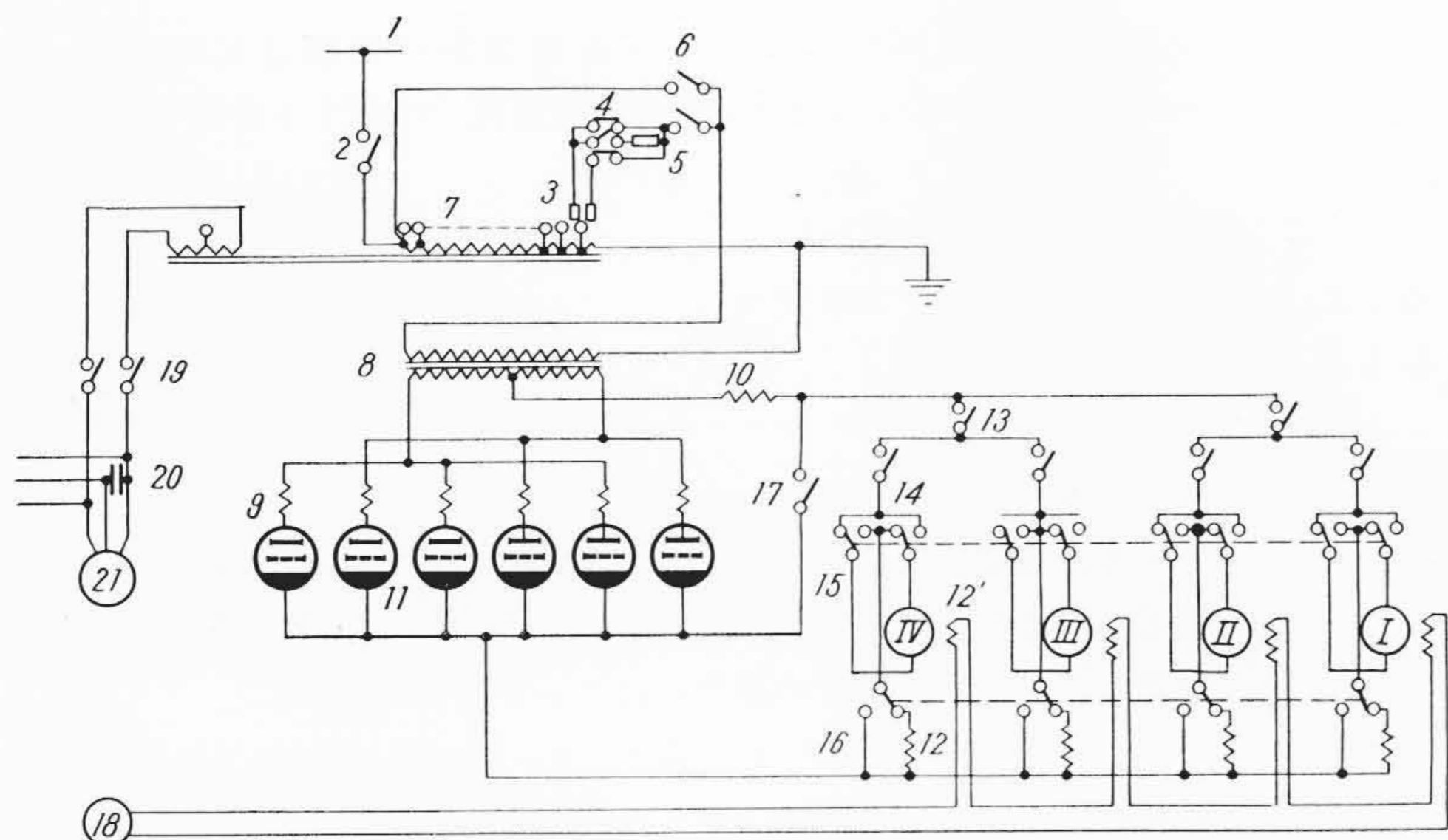
なお、この方式で比較的低速度まで回生制動を行なうには E_R の絶対値を小さくすると可能になるが、そのためには、

$$|E_R| = E_{R0} |\sin \beta| \quad \dots\dots\dots (11)$$

であるから、最初から $|\sin \beta|$ を小さな値にしなければならない。ところで、力率と波形ひずみは $|\sin \beta|$ が小さいほど悪くなるので、そのようにすると回生制動中常に力率と波形ひずみが悪くなる。

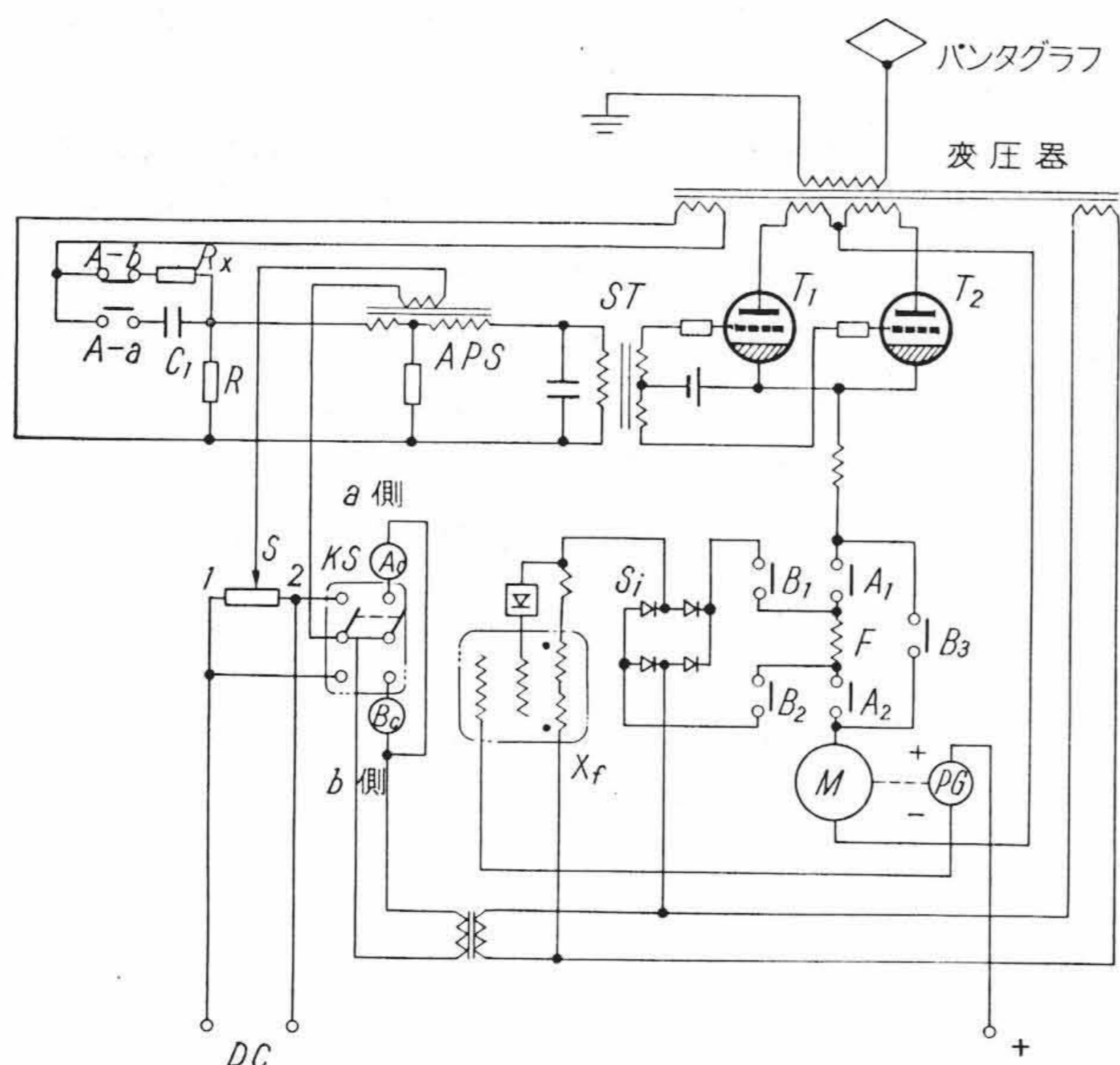
- (2) パンタ離線あるいはセクション通過などにより電源が喪失した場合は水銀整流器の等価誘起電圧が零となり、一方電動機は界磁が励磁機で励磁されているので起電力があり、過電流が持続して流れることになる。

そして、電源が回復したとき再起動するには電動機の界磁を零にし、次に直流母線回路の遮断器を投



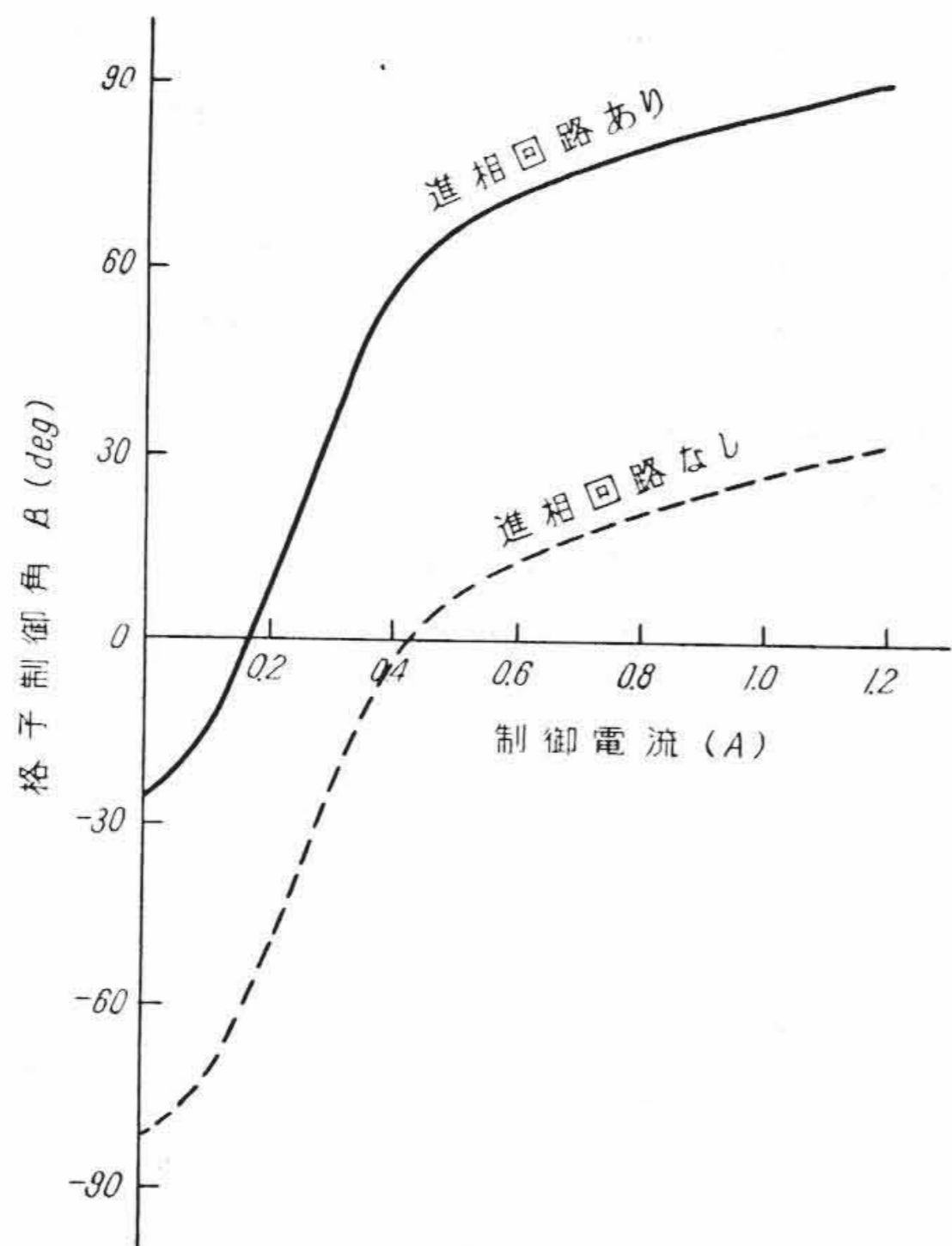
I~IV 主電動機	6 電動機制動用切換器	12,12' 主電動機界磁	17 予熱用短絡スイッチ
1 パンタグラフ	7 調整変圧器	13 直流遮断器	18 主電動機用励磁機
2 主回路遮断器	8 水銀整流器用変圧器	14 電動機開放接触器	19 起動接触器
3 タップ切換器	9 陽極リアクトル	15 逆転スイッチ	20 進相用蓄電器
4 負荷時切換器	10 平滑リアクトル	16 低速運転用切換スイッチ	21 Arnoコンバータ
5 タップ切換抵抗器	11 単極整流器		

第7図 欧州ライン炭鉱鉄道インバータ回生制動装置付機関車結線図



- | | | | |
|------------------|---------------|-------------------------------|-----------|
| ST | 飽和変圧器 | F | 界磁 |
| APS | 自動移相器 | Si | 整流器 |
| C ₁ R | 進相回路用蓄電器および抵抗 | A _c B _c | 切換接触器励磁線輪 |
| R _x | 電圧降下用抵抗器 | S | 接点 |
| X _f | 励磁電流調整用リアクトル | Pg | 速度検出発電機 |

第 8 図 新形インバータ回生制動装置



第 9 図 移相回路特性

入してから電動機の界磁を漸次強めていくという方式をとることになるが、電動機の界磁を零にするには制動ノッチをもとにもどさなければならないので操作がめんどろである。

(3) 主電動機の界磁巻線が 2 種類必要で、さらに励磁機を必要とする欠点がある。

4. 新形回生制動装置

第 8 図にこの方式の原理図を示す。この方式では界磁制御方式のほかに格子制御方式も採用されている。

次に、この装置の動作について説明する。この図の格子制御回路は現在 ED 71 に使用されているものと同様のもので、その移相特性は第 9 図のようになっている。

それゆえ、このままでは β を負にすることが不十分であるが、回生制動を行なうときは進相コンデンサ C_1 をはずし、その電圧降下

分に等しいだけの抵抗 R_x をそう入すると移相特性が第 9 図の点線のようにになるので、 β を負の領域へ持って行き、かつその値を適当に調整することが可能となる。

この装置で普通の力行運転を行なうには自動移相器 APS の制御電流を調整する抵抗器の接点 S を Z 側へもって行き、スイッチ KS を a 側へ投入する。

その状態では電磁接触器 A の動作線輪 A_c が励磁され、電磁接触器 B の動作線輪 B_c が無励磁になるので、A の主接触子 A_1, A_2 および補助接点 A-b が閉じ、B の主接触子 B_1, B_2, B_3 および A の補助接点 A-b が開放している。

したがって、格子回路の移相特性は第 9 図実線のようになり、APS の制御巻線に与えられる電圧は S が 2 の位置にあるため零であるので β は -30 度程度となっており、水銀整流器から電動機に電力が供給されない。なお、電動機は $A_1 A_2$ が閉じているから直巻直巻電動機となっている。

次に、S を 2 から 1 の方へしゅう動すると APS の制御電流は増加し、 β は負の値から正の大きな値へ漸次変化し、水銀整流器の等価誘起電圧は正となり、電動機へ電力が供給され電動機は回転を始め、S が 1 に達したとき最大速度に達する。

この状態で回生制動を行なうには、まずスイッチ KS を a 側より開く。このようにすると、APS の制御巻線回路が開放となるので制御電流が 0 となり、水銀整流器の等価誘起電圧は瞬間的に (約 $1/2c/s$) 正の最大値から負の値となる。

したがって、電機子回路にインダクタンスがあっても電機子電流はほとんど瞬間的に (約 20 ms 程度で) 零となる。その理由は、電機子電流はこれまでと同様に正方向 (陽極から陰極を経て電動機へ向かう方向) に流れようとするが、水銀整流器の等価誘起電圧は逆方向になっているため、水銀整流器は電力を負荷側より受けて電源側に返還することになり、インダクタンスにたくわえられていたエネルギーが急速に零になるからである。

たとえば、電機子電流が 1,000 A で、電機子回路のインダクタンスが 1 mH のとき、インダクタンスに蓄積されているエネルギー W_L は

$$\begin{aligned}
 W_L &= \frac{1}{2} L I_M^2 \\
 &= \frac{1}{2} \times 10^{-3} \text{ H} \times (10^3 \text{ A})^2 \\
 &= 500 \text{ W} \cdot \text{s} \dots\dots\dots (12)
 \end{aligned}$$

であるから、 β が負になって水銀整流器の等価誘起電圧 E_R が -250 V になったとすると 1,000 A の電流の持続する時間 T_L は

$$\begin{aligned}
 T_L &= \frac{W_L}{-E_R \cdot I_M} \\
 &= \frac{500 \text{ W} \cdot \text{s}}{250 \text{ V} \times 1,000 \text{ A}} \\
 &= 0.002 \text{ s} \dots\dots\dots (13)
 \end{aligned}$$

で、わずかに 2 ms である。

一方、電磁接触器 A の線輪 A_c が無励磁となり主接触子 $A_1 A_2$ が開くが、この時間は普通 60 ms 程度であるので、電機子電流はすでに零になっており、その動作にはアークを伴わない。

そして、補助接点 A-a が開き、A-b が閉じるので格子回路の移相特性は第 9 図点線のようになり、制御電流が零であるから β は -80 度となり、水銀整流器の等価誘起電圧は同様に負の最大に近い値となっている。

一方、電磁接触器 B の動作線輪 B_c が励磁され、主接触子 B_1, B_2, B_3 が閉じ、電動機 M の界磁は可飽和リアクトル X_f で調整され整流器 S_i で整流された直流電圧が印加され、M は他励の発電機となり

その起電力の方向はこれまでと逆になる。

しかし、水銀整流器の等価誘起電圧が負の最大に近い値であるので電機子回路には電流が流れない。

次に、Sを1の側から2の側へしゅう動すると水銀整流器の等価誘起電圧は負の最大に近い値から漸次小さくなり、電動機から水銀整流器へ向かって電力が送られ電力回生制動が行なわれる。そして、列車は減速し遂に停止するに至る。

次に、機関車が電線のセクションを通過するときなど電源が喪失した場合について考える。

電機子電流 I_M は定常状態で、

$$I_M = - \frac{(E_M - E_R)}{R} \dots\dots\dots (14)$$

なる関係があるので、電源が喪失して E_R が零になると I_M は非常に大きな値になる。

しかし、 E_R が零になると同時に E_M も零になると、

$$I_M = \frac{0-0}{R} = 0 \dots\dots\dots (15)$$

であるから過電流は流れない。

この装置では主電動機の界磁の励磁を電源電圧から降圧整流して行なっているの、電源が喪失すると電動機の界磁も喪失し E_M が零となり、したがって I_M も零になる。しかし、電動機の界磁にはインダクタンスが存在するため多少の時間遅れがあり、その間電動機に起電力が残り過電流が流れる恐れがある。

そして、その電機子電流が零にならないうちに電源が回復すると転流失敗することがあるので、急速に励磁電流を零にし起電力を下げ、かつ電機子回路を一度開放して電機子電流を強制的に零にした後に再閉合させる必要がある。

この点を解決するため、電磁接触器の動作線輪の電源に水銀整流器の電源電圧を降圧して使用した。このようにすると電源が喪失すると同時に電磁接触器の電源も喪失し、約 60 ms 程度後に B_1B_2 が開放し、主電動機の起電力が消滅し、さらに B_3 の開放により電機子電流は完全に零になる。

次に電源が回復したときはまず格子回路の電源が回復し、その過渡状態が終わり、水銀整流器が負の電圧をだしている状態で $B_1B_2B_3$ が閉じ、ある時定数をもって界磁が強まり主電動機に起電力が発生するので円滑にもとの状態にもどることができる。

列車速度の高いときに主電動機の界磁を大きな値にしておくこと(7)式から知られるように E_R の絶対値を非常に大きな値にしないと過大な制動力が生ずることになる。

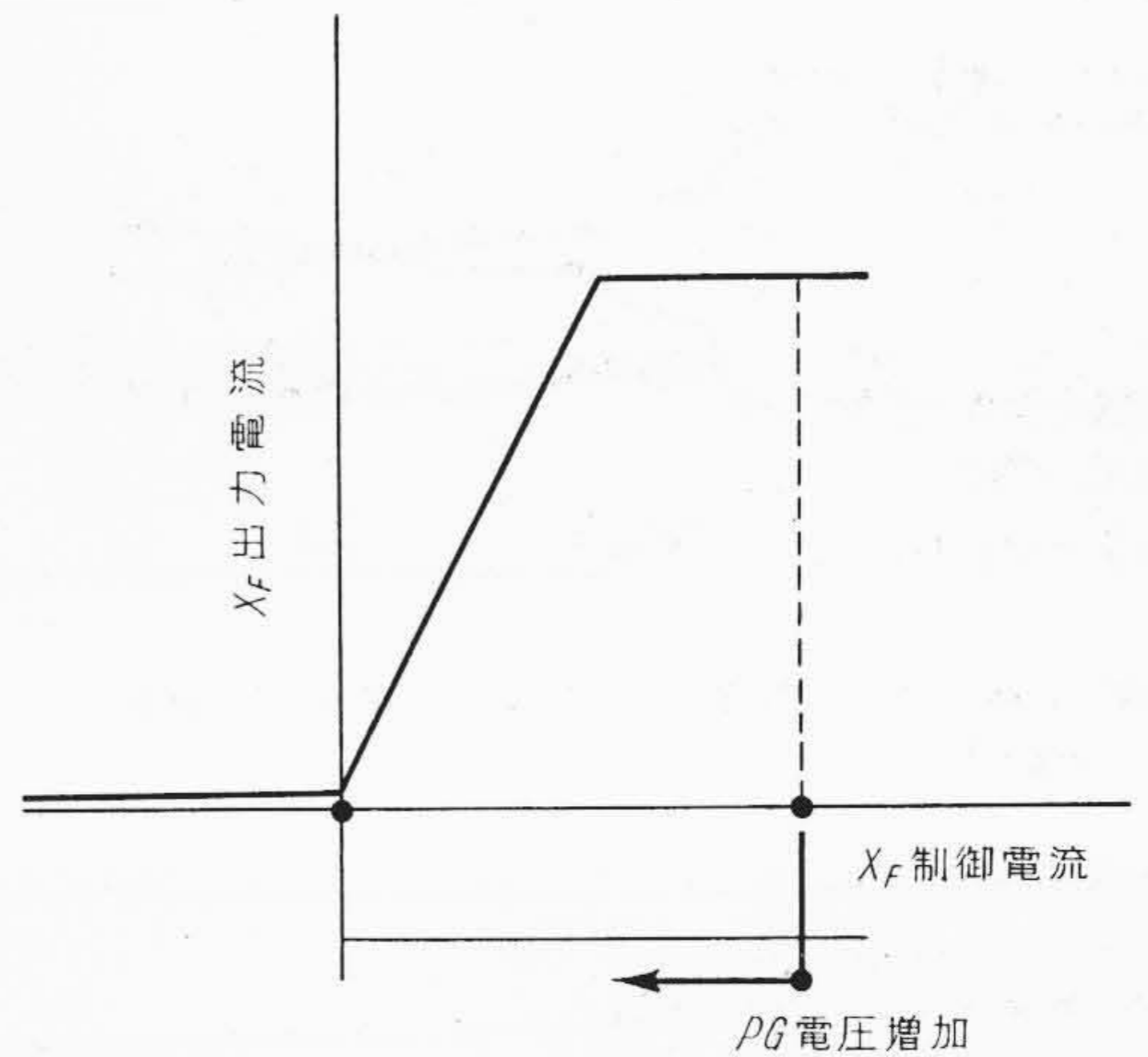
ところで、 E_R を大きくするには限度があるので、列車速度の大きなところでは電動機の界磁を弱めねばならない。

このため、界磁調整用の可飽和リアクトル X_F には外部帰還回路を設け、その特性を第10図のようにし、かつその制御巻線回路には速度検出用の発電機をそう入し、列車速度が増加するとそれに逆比例して励磁電流を減少せしめるようにしている。

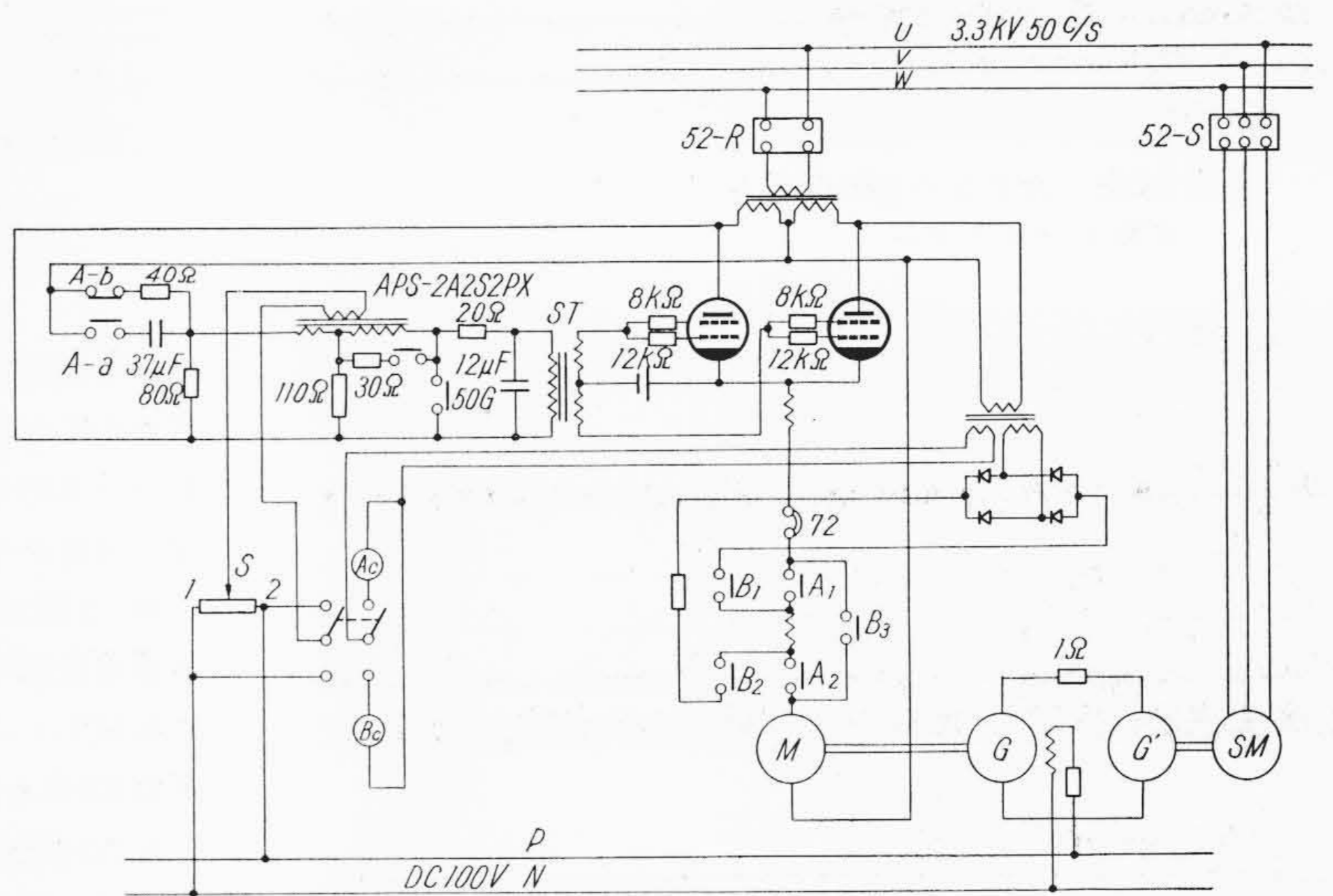
5. 新形式の実験

5.1 中容量機器による基礎実験

第11図に実験回路を示す。主電動機に直結されている負荷用の直流発電機には 1Ω の抵抗を介して 225 kW 電動発電機を接続し、等価的に列車の慣性とした。



第10図 可飽和リアクトル X_F の特性



- 52-R, 52S 油入遮断器
- 72 気中遮断器
- SM 同期電動機
- GG' 直流発電機
- 50G 短絡継電器
- APS-2A2S2PX 自動移相器、交流巻線2個並列、制御巻線は2個ずつ交差して直並列

第11図 基礎実験概略結線図

下りこう配を対象とした実験の際には、この電動発電機の同期電動機を交流電源に接続して駆動し、直流発電機 G' より G へ電力を送るようにした。

回転体にたくわえられる回転エネルギー W は、回転体の慣性能率を Θ ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)、回転速度を n (rad/s) とすると、

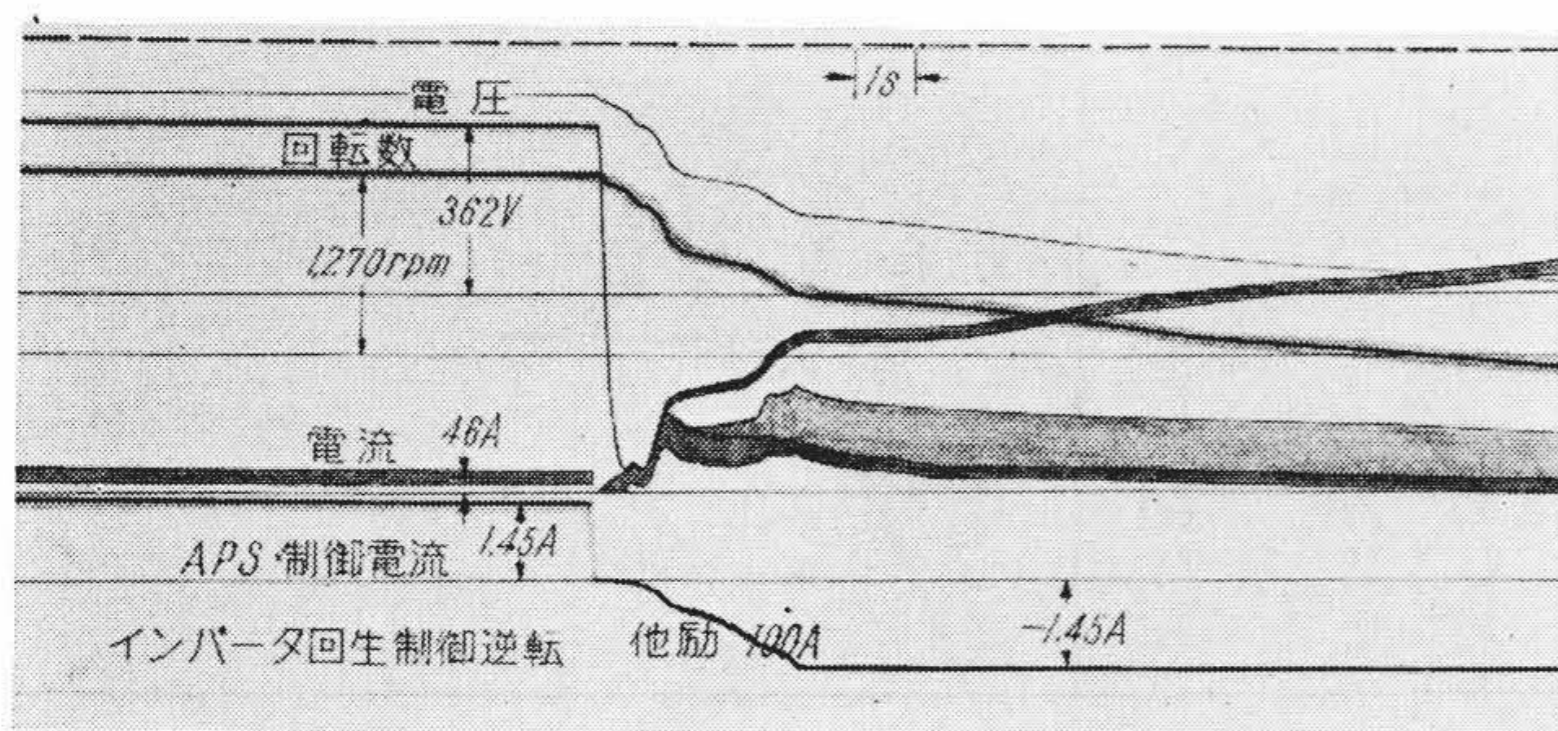
$$W = \frac{1}{2} \Theta n^2 \quad (\text{Joule または } \text{W}\cdot\text{s}) \dots\dots\dots (16)$$

である。この場合、2組のMGセット $M-G$, $M'-SM$ の慣性能率の総和は約 $100 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ 程度であるので、両MGセットがともに $1,000 \text{ rpm}$ (105 rad/s) で回転しているときに回転部分にたくわえられるエネルギー W は、

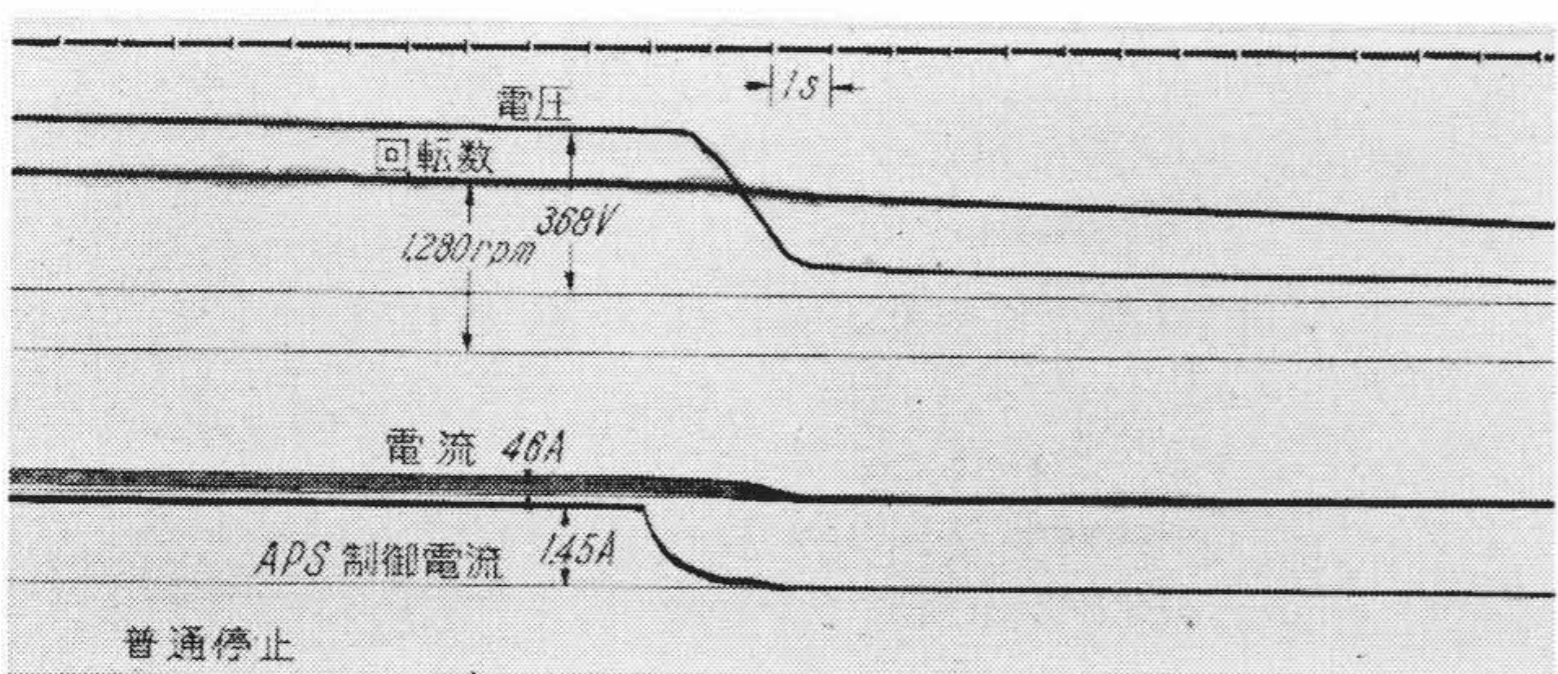
$$W = \frac{1}{2} \times 100 \times 105^2 = 550,000 \text{ Joule}$$

一方、質量 M (kg)、速度 V (m/s) で直線運動している物体の運動エネルギー W' は、

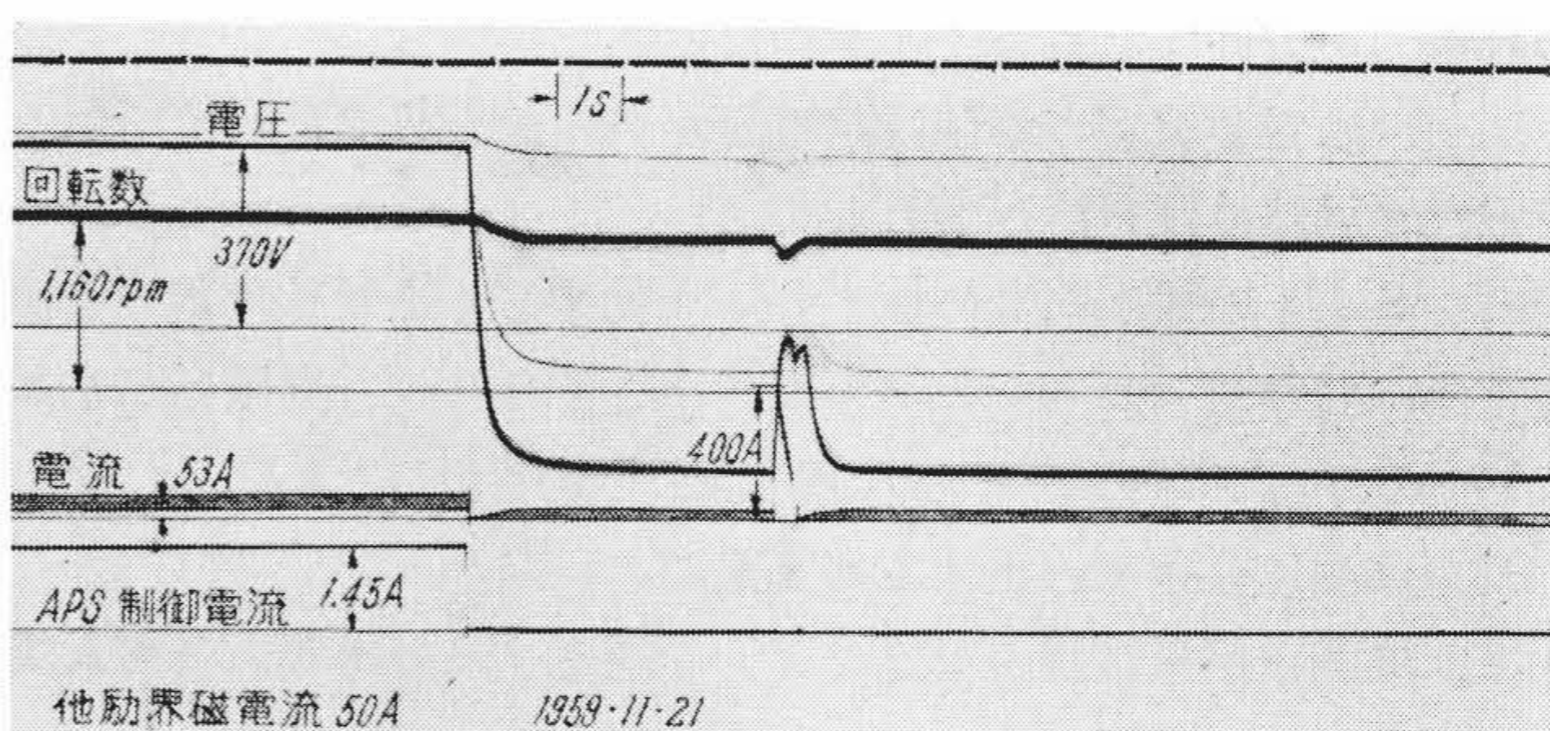
$$W' = \frac{1}{2} M V^2 \quad (\text{Joule}) \dots\dots\dots (17)$$



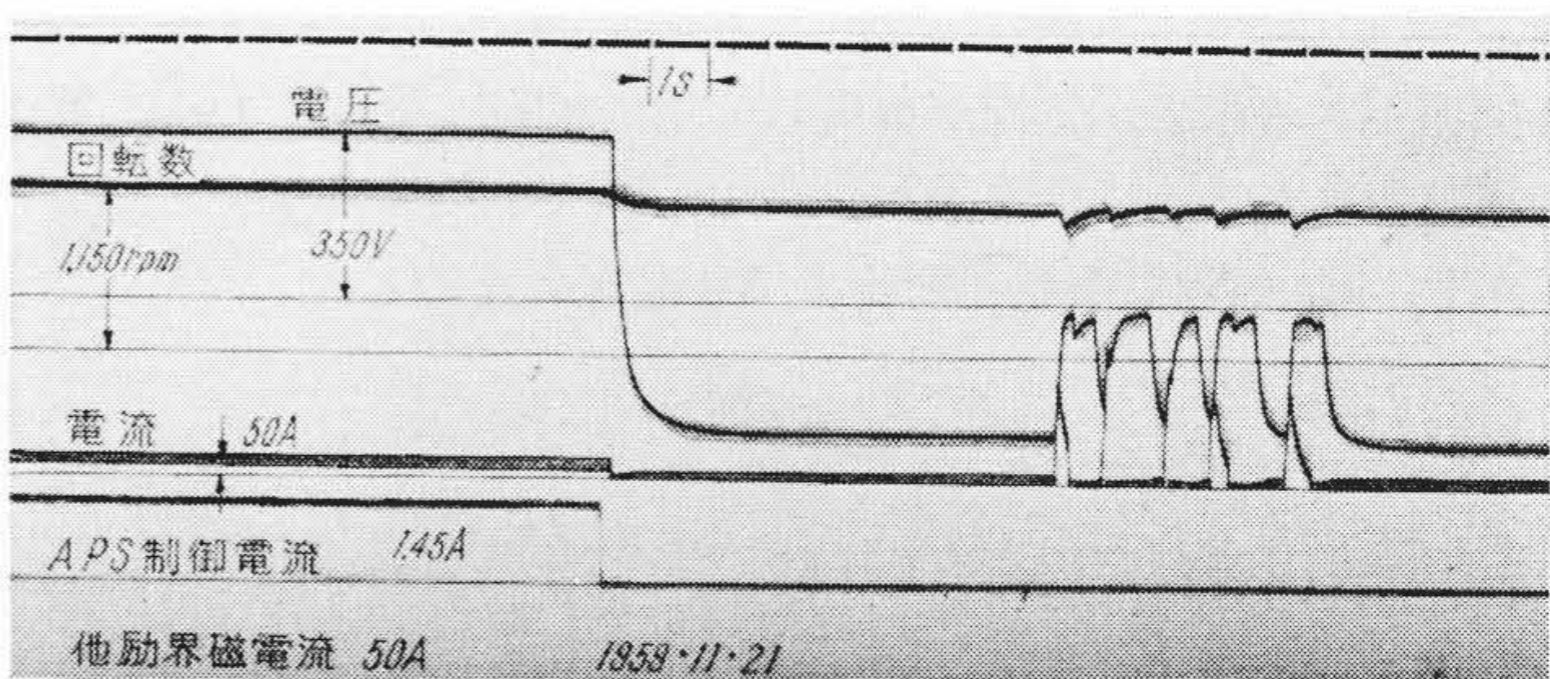
第 12 図 52-S 開放にしておいて減速停止逆転の実験オシログラム



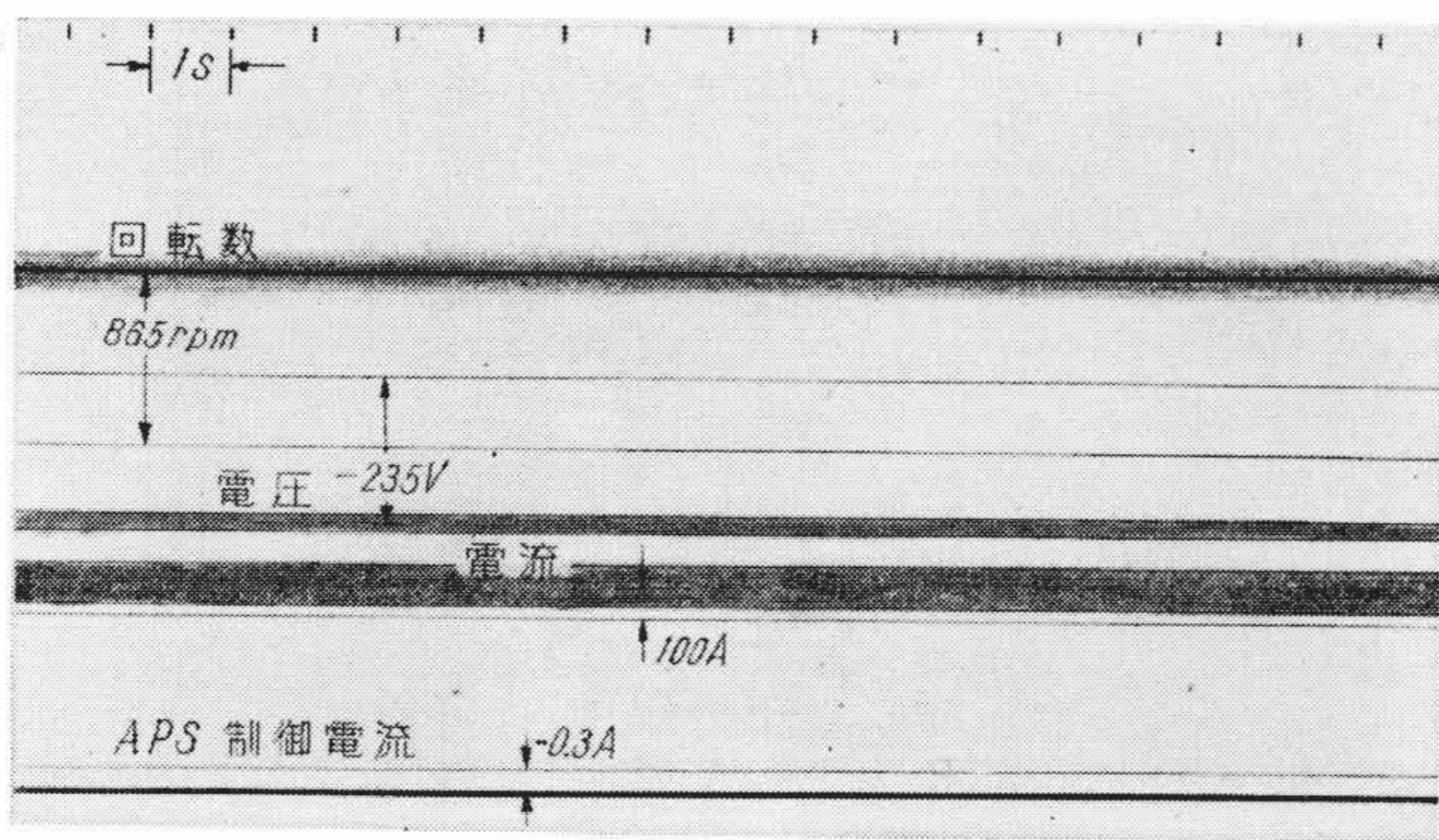
第 13 図 APS の制御電流を 0 にしただけの実験オシログラム



第 15 図 1 度だけ電源が喪失し回復した場合の実験オシログラム



第 16 図 数回連続して電源が喪失し回復した場合の実験オシログラム



第 14 図 下りこう配でインバータ回生制動を行なうことを対象に 52-S を投入してインバータ回生制動を連続して行なった場合の実験オシログラム

であるから、列車速度が 36 km/h (10 m/s) のとき 550,000 Joule の運動エネルギーとなるための列車の質量は、

$$\frac{1}{2} MV^2 = 550,000$$

から、

$$M = 11,000 \text{ kg}$$

となる。

この実験では電動機 M の入力を 350 V 112 A、したがって出力を 35 kW としているので、出力 2,100 kW の機関車に換算して考えると列車質量は 660 t となる。

第 12 図はこの実験回路で遮断器 52-S を開放の状態にしておいて、減速停止さらに逆行するまでの運転に相当する実験を行なった場合のオシログラムである。図より約 13 秒で停止し (平均減速度 2.8 km/h/s に相当)、さらに逆転していることが知られる。

第 13 図はこれと比較のため自動移相器の制御電流を零にしただけの従来の減速停止の方式に相当する実験のオシログラムで、電動機速度 13 秒後になお減速前の 75% 程度の値となっていることが知られる。実際の機関車では空気制動によりこれを停止させることになる。

第 14 図は遮断器 52-S を投入し、同期電動機 SM を交流電源で駆動して G' より G へ電力を送ることにより、下りこう配でインバー

タ回生制動を行なっている場合に相当する実験を行なったときの運転途中における測定の実験オシログラムである。この回生制動の連続運転を毎日約 5 時間ずつ 3 箇月にわたって行なったが、異常はなく安定な運転が行なわれた。

第 15 図および第 16 図はパンタ離線またはセクション通過などで水銀整流器の電源が喪失したときを対象に、同期電動機を交流電源に接続している状態で、水銀整流器用変圧器の一次側にある油入遮断器 52-R を遮断再投入したときのオシログラムである。第 15 図は一度だけ遮断再投入したものであり、第 16 図は電源喪失がひん繁に生じた場合を対象に、遮断器を数回連続して遮断再投入したときのオシログラムである。

図より電源遮断時には転流失敗してかなり大きな電流が瞬間流れるが、電動機界磁の喪失とともに急速に減少しており、さらに再閉合の場合には安定な再閉合を行なっていることが知られる。

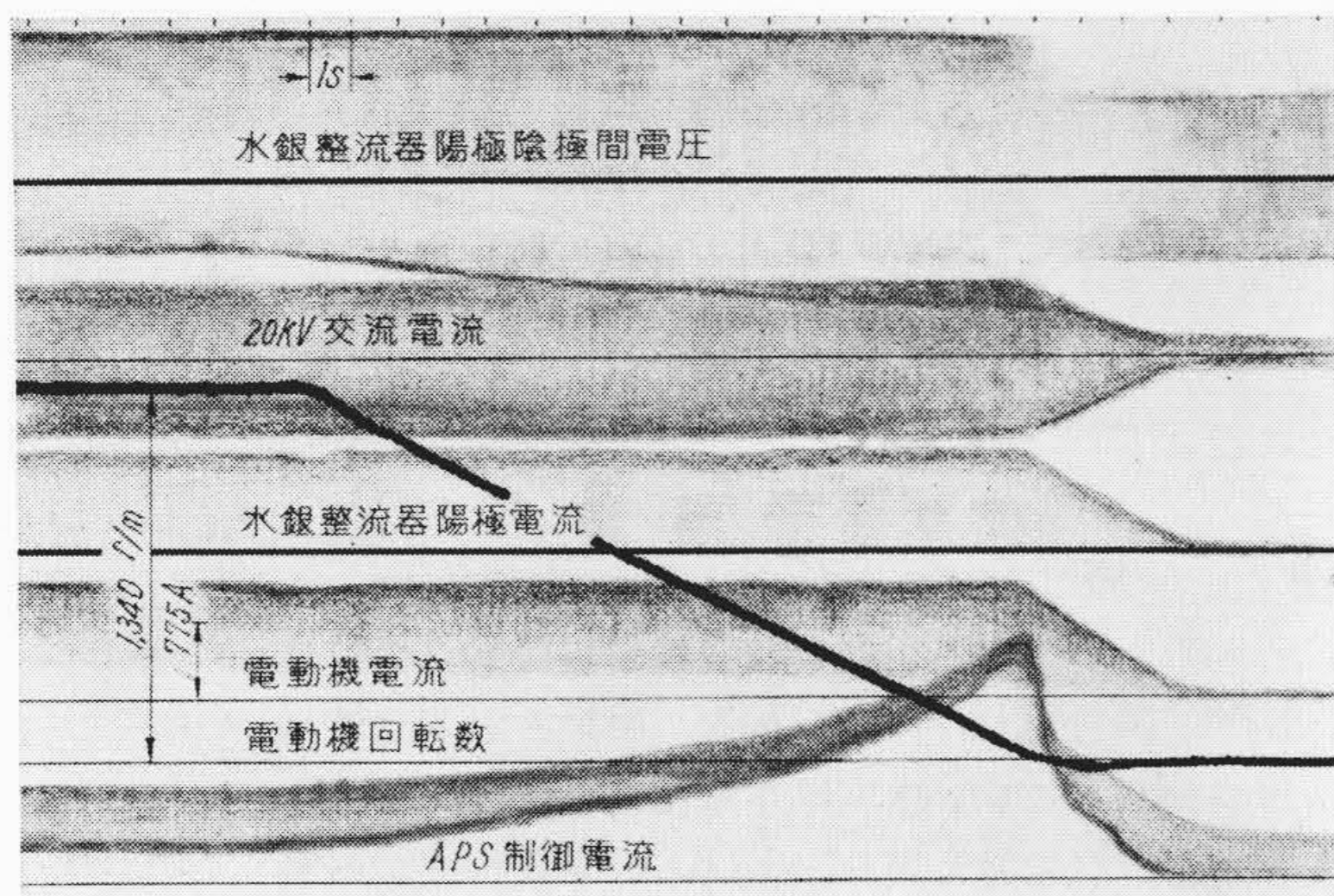
なお、実際に電源喪失はどの程度のひん度で生ずるかを東北本線黒磯-白河間で測定したが、黒磯-白河間の約 25 km の間で電源が喪失したのはセクション通過の際の 1 回のみであった。セクションの通過はあらかじめ対策することが可能であるから、実際には電源喪失による過電流はほとんど問題にならないものと考えることができよう。

5.2 ED 71 形機関車の機器を使用した実験

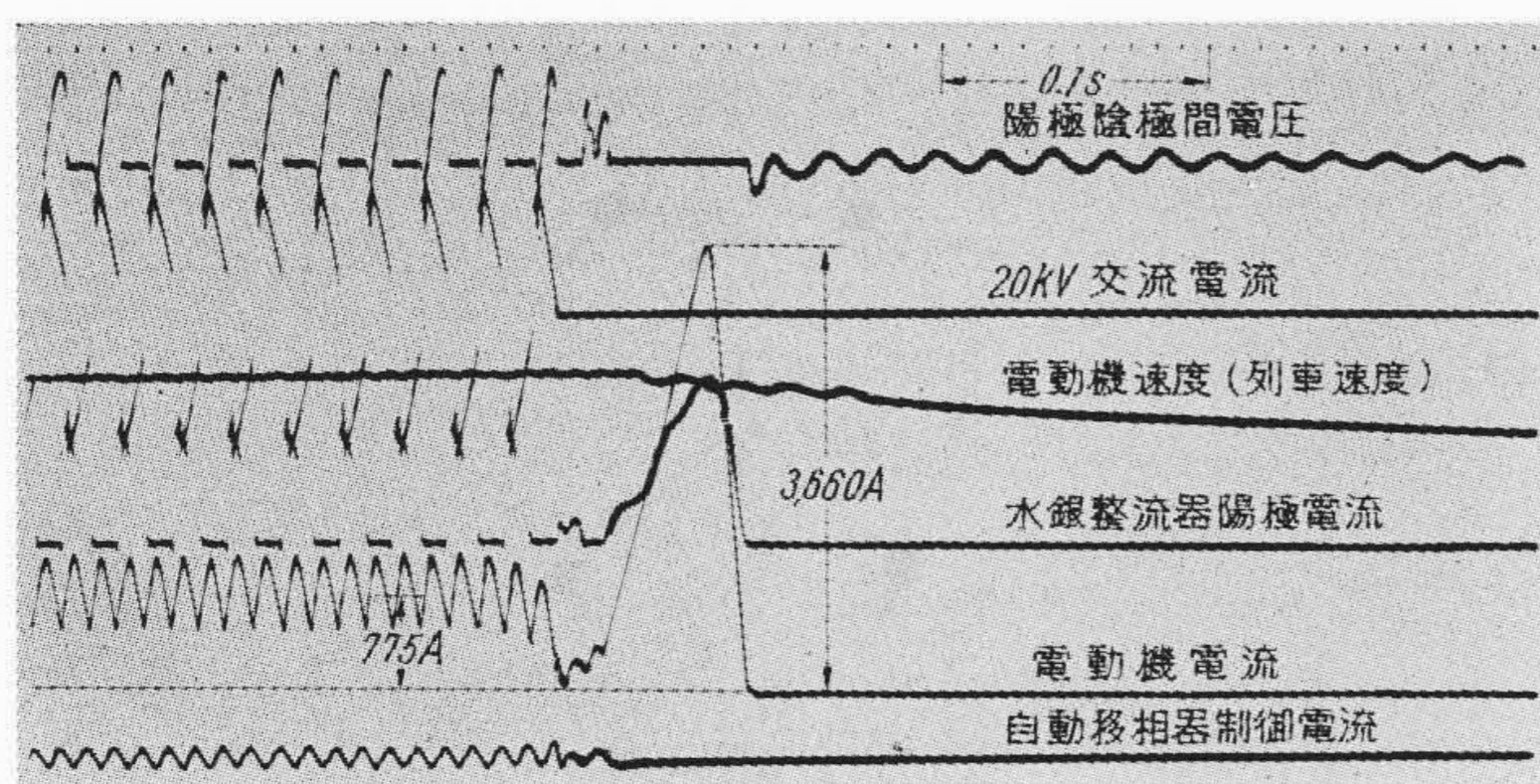
上記の基礎実験により減速停止まで可能な新しい方式が所要の性能をほぼ満足することが明らかになったので、昭和 35 年 ED 71 形機関車の機器を使用して実験を行なった。その結果、上記の実験結果とほとんど同様の結果を得ることが知られた。すなわち、格子制御により減速停止し逆転するまでに至るオシログラムが第 17 図であり、電源遮断時の転流失敗の様子が第 18 図である。

この実験では、さらにインバータ回生制動中格子制御角 β を一定にし、高圧タップ切換器を使用して変圧器の二次電圧を変化することにより水銀整流器の等価誘起電圧を変化して減速させる方式の実験も行なった。

この制御方式を採用すると、完全に停止するまでは回生制動を行なうことができないけれども、かなり低速まで回生制動を行なうことができ、かつ高速から低速まで力率を比較的大きな値にほぼ一定

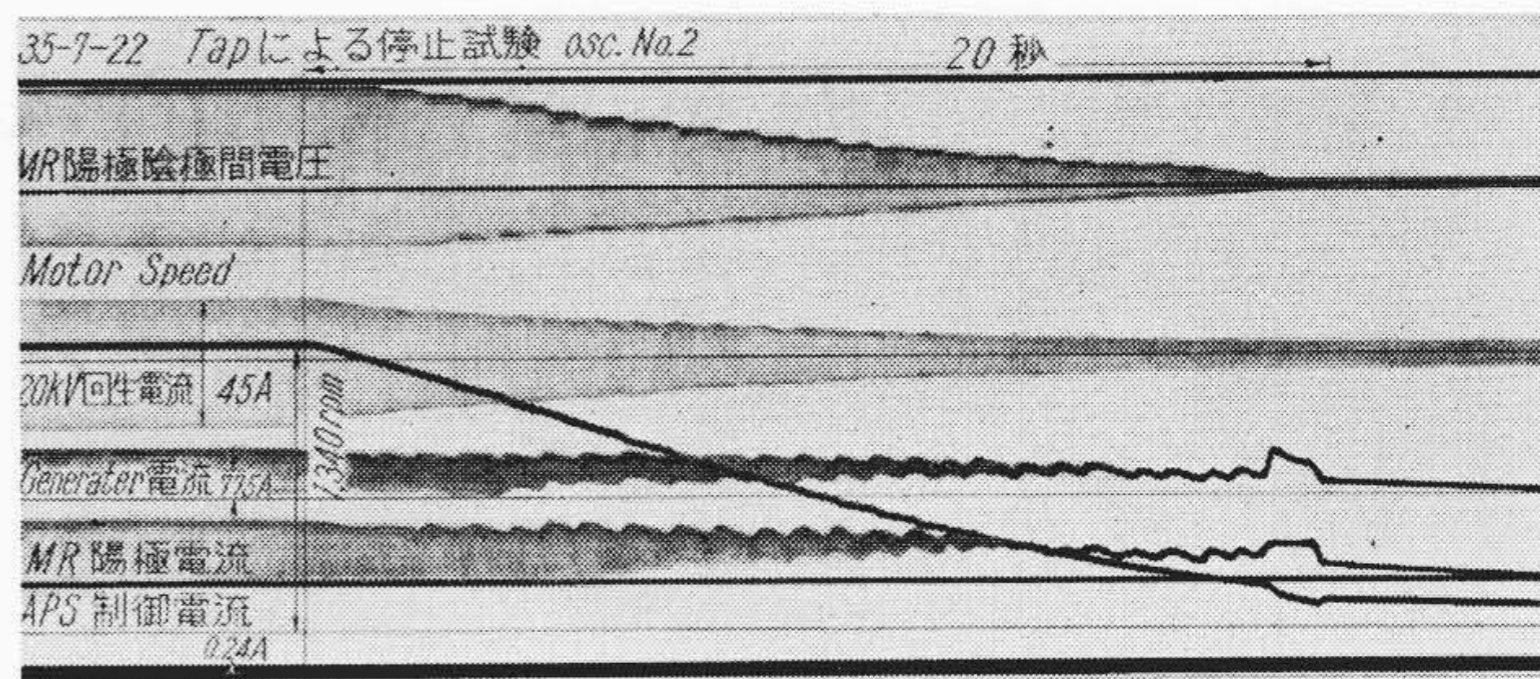


第17図 ED 71形機関車の機器を用いて格子制御による減速停止逆転の実験を行なった場合の実験オシログラム



第18図 ED 71形機関車の機器を用いて電源喪失の実験を行なった場合の実験オシログラム

に保つことができる。このような点からは好ましい方式であるが、低速時の変圧器二次電圧の低いところでは転流電圧が不足して転流失敗を生ずる。その実験結果が第19図で、かなり低速まで減速してから転流失敗を生じていることが認められる。しかし、そのとき



第19図 格子制御角を一定にし高圧タップ切換器で減速させた場合の実験オシログラム

に流れた電流は図から知られるように、主電動機の起電力が小さいため、ほとんど問題にならない値であった。

6. 結 言

以上、水銀整流器式交流電気機関車のインバータ回生制動装置について行なった理論的解析および ED 71 形機関車で用いられている格子制御装置を採用した新しい方式による実験結果について述べた。

この新しい方式は従来行なわれていた回生制動と同様な、抑速制動はもちろん、減速停止からさらに逆転まで行なうことが可能であり、電源喪失の際に生ずる過電流をある程度抑制して急速に減衰せしめ、さらに電源が回復したときの再閉合がきわめて簡単にかつ容易に行なわれる点ですぐれた方式であると考えられる。

終わりに、本研究に当たり御指導御激励をいただいた国鉄関係各位、日立製作所日立研究所、日立工場、国分工場ならびに水戸工場の関係各位に厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) 小野田：日立評論 43, 2176 (昭36-12)
- (2) Y. Onoda：Hitachi Review., 10, 5 (1962)
- (3) Klæe Ppie：B. B. R., 44 (115~133) (1957)

Vol. 23

日立造船技報

No. 4

- 軸系質量がねじり振動特性に及ぼす影響
- 船用プロペラ青銅鋳物について(II) 承前
——船用プロペラアルミニウム青銅について——
- 通風トランク分岐合流部のエネルギー損失
——分流および合流の場合——
- クロムメッキの前処理と密着性
- 通風システムによる船室の騒音

- 排気管系が排気変動温度および排気エネルギーに及ぼす影響
- 放射線殺菌の食品貯蔵への応用に関する研究 (第2報)
——殺菌用照射装置について——
- 鋼板構造プレス本体の溶接開先
- 定期貨物船“山利丸”の自動化装置について

……………本誌に関する照会は下記に願います……………

日立造船株式会社技術研究所

大阪市此花区桜島北之町60