

最近の日立車両用界磁チョッパ制御装置

Newly Developed Field Chopper Control Equipment for Transit Car

本稿は最近の日立界磁チョッパ制御装置について、その特徴、制御方法などにつき現車試験結果をも含めて紹介するものである。特に保護協調については、補助トリップコイル付高速度しゃ断器、 dV/dt 検出器及び電機子回路短絡形過電圧抑制サイリスタの採用により対処していることを詳述した。本方式による界磁チョッパ制御装置は、既に約60台余りが営業運転に使用され、安定した性能を発揮している。

今野信義* Konno Nobuyoshi

小澤 勉* Ozawa Tsutomu

1 緒 言

複巻電動機他励界磁制御方法として、

- (1) 他励界磁コイルに直列抵抗器を接続し、この抵抗値を変えることにより他励界磁電流を制御する方法
- (2) 他励界磁コイルにチョッパを接続し、チョッパの通流率を変えることにより他励界磁電流を制御する方法(いわゆる界磁チョッパ)

の2方式がある。

2方式とも回生ブレーキが可能であるが、前方式は昭和34年ごろから実用化されたもので、当初は主電動機を永久直列とした。その後、並直列切換により、回生ブレーキを低速まで可能とする方式としたが、保守面と制御の応答性の面で多少の難点がある。

一方、界磁チョッパ方式は、これら保守面、制御面の改善を図ったもので、サイリスタの進歩、チョッパ制御技術の確立により可能となった方式であり、昭和44年以来、東京急行電鉄株式会社の8000系、その他に採用され、今日まで稼動7年という実績を持っている。

界磁チョッパ制御装置は、制御の安定性及び応答性に優れ安定した車両制御特性が得られる反面、架線電圧急変による主電動機の整流悪化などに対しては十分対策を考慮する必要がある。

最近の日立界磁チョッパ制御装置では、これら保護協調面に定量的検討を加え、これに基づく装置改良により現車でも安定した性能を発揮している。以下、最近の日立界磁チョッパ制御装置の概要と現車試験結果について紹介する。

2 界磁チョッパ制御の原理と特徴

界磁チョッパ制御装置は、図1の基本図に示すように、主抵抗器、主抵抗器の抵抗値を変えるカム軸制御装置、他励界磁電流を制御するチョッパ装置などから構成されている。

起動時は主抵抗器を徐々に短絡して、電機子印加電圧を上昇させるとともに、他励界磁電流を制御して主電動機に直巻電動機と同じ特性を持たせ、主抵抗器が短絡された後は他励界磁電流を減少させて弱界磁制御を行なう。また回生ブレーキ時は他励界磁電流を増して電機子誘起電圧を電車線電圧より高くして、電機子の発生する電力を電車線に送り出し、ブレーキ力を得る。

このように、回生ブレーキがかけられること及び他励界磁電流を制御するだけで力行と回生ブレーキの切り換えが容易にできることから次の特長を持っている。

- (1) 回生率20～25%が得られ、消費電力量が少ない。

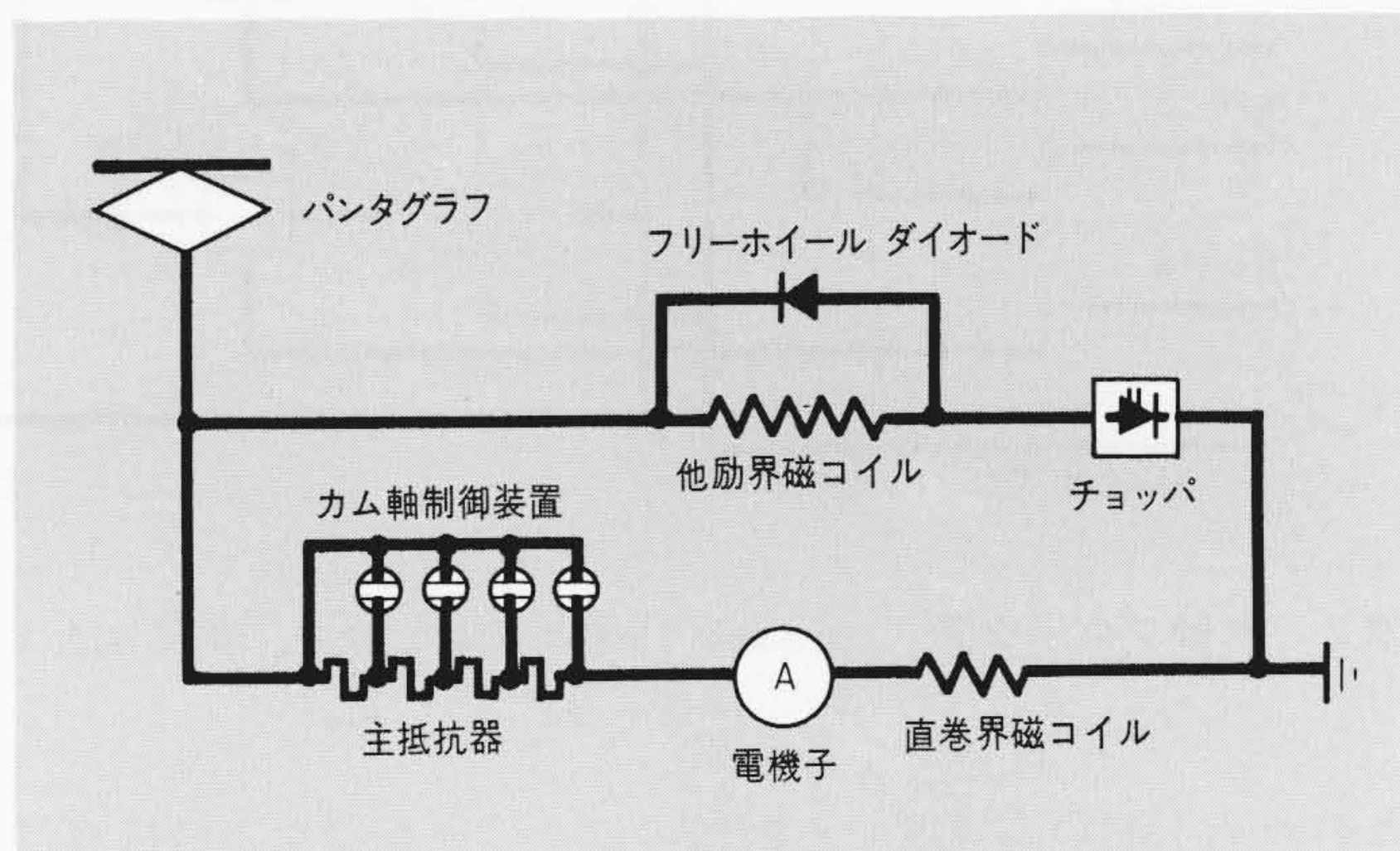


図1 界磁チョッパ基本回路 電機子には、直巻界磁コイルと主抵抗器が、また、他励界磁コイルには、チョッパが直列につながれている。

- (2) 主回路の接触器の数が少ない。
- (3) 断流器などの制御機器の動作頻度が少ない。
- (4) 運転士のハンドル操作に対する応答が早い。
- (5) 定速運転制御に適する。

反面、次のような点に対し、あらかじめ考慮することが必要である。

- (1) 主電動機電機子回路のインダクタンスが、直巻電動機に比べ小さいため、架線電圧急変による電機子への突入電流が大きく、整流が悪化する傾向にある。
- (2) 回生ブレーキ中に架線が過電圧となることの抑制が比較的難しい方向となる。

3 日立界磁チョッパ制御装置

最新の日立界磁チョッパ制御装置は、界磁チョッパ制御装置の特長を生かしながら保護協調の面での改良が図られたものである。

3.1 特 長

次にその特長を列挙する。

- (1) 主回路保護協調の強化

架線電圧の急上昇を検出する dV/dt 検出器、両極性高速度しゃ断器の採用により、主電動機の整流に悪影響を及ぼす架線電圧急上昇時には、速やかに主回路を開く保護方式となっている。また、過電流事故に対しては瞬時に電流をしゃ断することと、制御機器が大電流に耐えることが必要であり、

* 日立製作所水戸工場

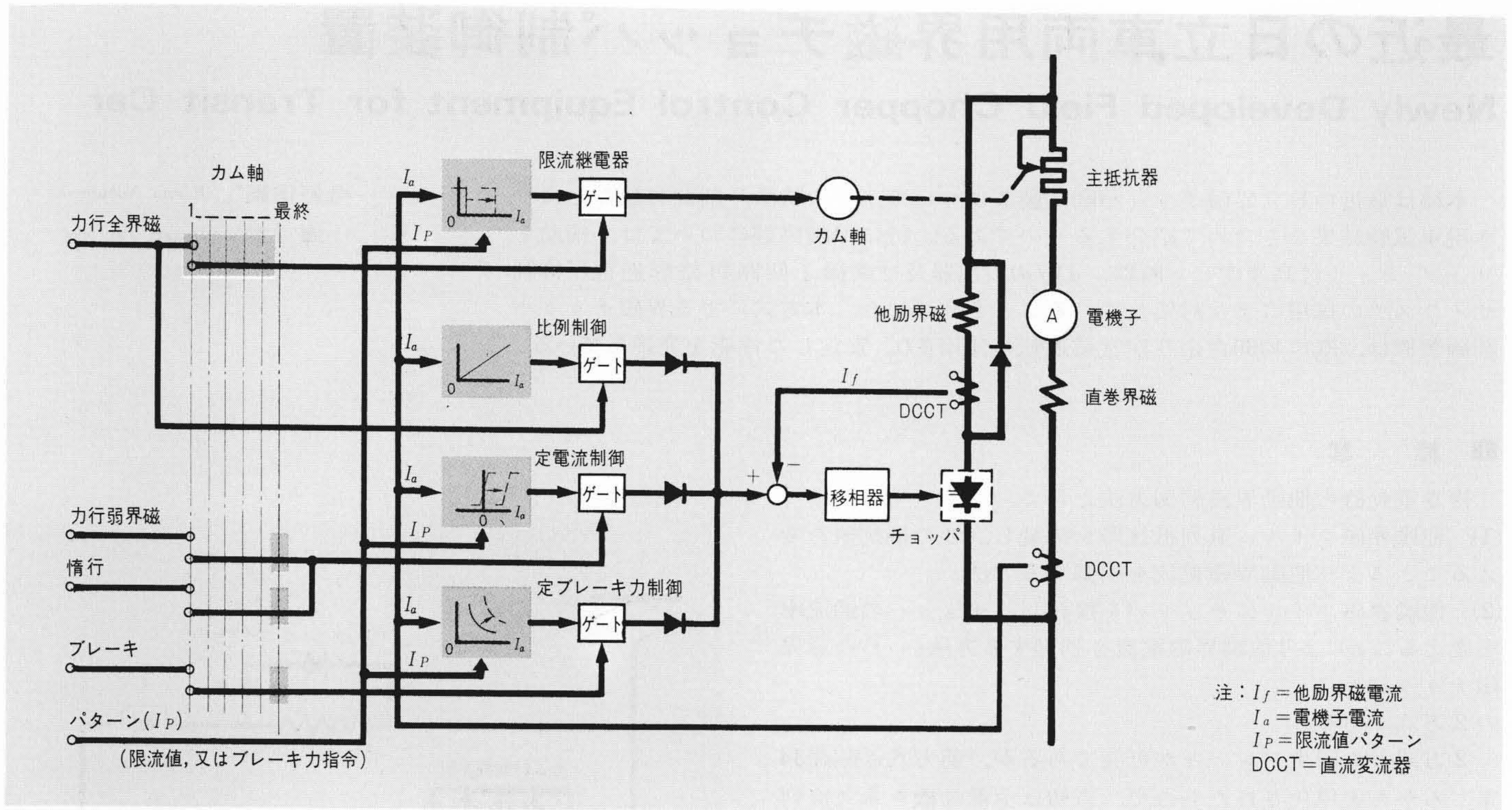


図2 制御ブロック図 カム軸が1回転する間に、力行、惰行、回生ブレーキ制御を行なう。

このため上記の高速度しゃ断器のほかに逆転器などの接点は通電容量の増大が図られている。

(2) 過電圧の抑制

架線の電圧に応じて回生電流を制御する架線電圧リミッタ方式を採用するとともに、回生負荷の急減により発生した過電圧を速やかに低下させるため、電機子回路短絡形過電圧保護方式が採用されている。

(3) 信頼性の向上

ゲート制御回路は使用実績のある半導体集積回路で構成され、かつDC100Vの制御回路と電氣的に絶縁されており、ゲート制御装置の信頼性が向上している。

(4) 保守・点検の簡易化

制御回路の大幅な無接点化のほか、機器の構造面でも高速度しゃ断器・単位スイッチをダブル接点とし、また電磁空気式カムスイッチの操作シリンダ部などを無給油方式としているので、保守・点検が容易である。

3.2 制御方式

力行、ブレーキは、カム軸が1回転する間で制御される。

図2は制御ブロック図を、図3は各種制御が行なわれる領域を示す図である。

(1) 力行

力行全界磁指令が与えられると、カム軸は限流継電器に制御されながら1ノッチから最終ノッチに向かって進み、主抵抗器はカム接触器によって徐々に短絡されていく。カム軸は最終ノッチに達すると停止する。この間は比例制御系が生かされ、チョッパの通流率は他励界磁電流 I_f が電機子電流 I_a に比例するように制御される。比例制御が行なわれるのは力行低速域である。

カム軸が最終ノッチに達したとき、力行弱界磁指令が与えられると定電流制御系が生かされる。 I_a が増すと I_f を増して強界磁になる。また I_a が減少すると I_f を減じて弱界磁にすることにより、 I_a は常に一定に制御される。電車が加速するに

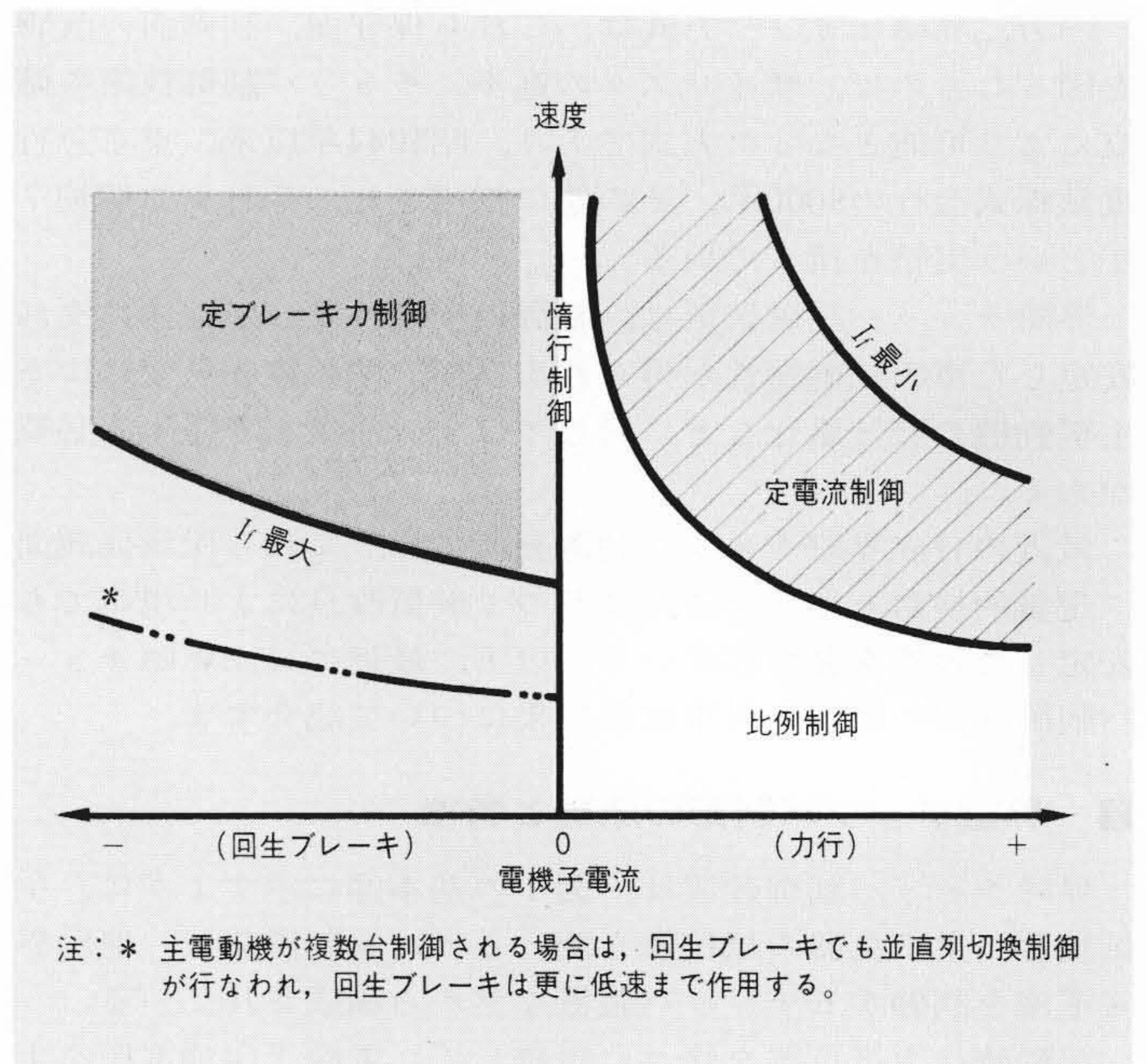


図3 制御領域 力行は比例制御、及び定電流制御、惰行は惰行制御、ブレーキは定ブレーキ力制御が行なわれる。

従って、 I_f は徐々に減少し、界磁が弱められていく。定電流制御が行なわれるのは力行高速域である。

I_f が最少値に達すると、以後は I_f 一定のまま加速される。

(2) 惰行制御

カム軸が最終ノッチにあるとき、力行指令がなくなり惰行指令が与えられると、定電流制御系が生かされる。このとき、限流値パターン I_p は零になっているので、 I_a は零アンペアになるよう制御される。惰行制御が行なわれるのは、中速以上の領域である。

(3) 回生ブレーキ

ここで回生ブレーキ指令が与えられると、定ブレーキ制御系が生かされ、 I_f が増して回生ブレーキがかけられる。定ブレーキ力制御では、 I_p の値に応じて一定の回生ブレーキ力が得られるよう I_a に対応した I_f が制御される。定ブレーキ力制御が行なわれるのは I_f が最大値に達するまでの中速以上の領域である。 I_f が最大値になると、回生ブレーキは失効し、以後の低速域では空気ブレーキで減速される。

3.3 主回路の構成

図4は8台の主電動機を制御する場合の、標準的な主回路つなぎの一例である。

- (1) 主電動機電機子及び直巻界磁コイルは、それぞれ4台ずつ直列につなわれ、この2群は力行、回生ブレーキとも直並列に切り換えられる。
- (2) 主電動機他励界磁コイルは、8台直列につなわれ、これは1台のチョップで制御される。
- (3) 常時限流しゃ断兼用の高速度しゃ断器を備えている。この高速度しゃ断器には補助トリップコイルが設けられている。
- (4) 過電圧が発生した場合は、過電圧抑制サイリスタOVCR_fを点弧し、電機子に並列に過電圧抑制抵抗CLR₃を挿入し、電圧を速やかに低下させる。
- (5) 電車線電圧が急上昇した場合にも速やかに検出し、OVCR_fを点弧して電車線電圧の増加を抑えるとともに、高速度しゃ断器の補助トリップコイルを励磁して、高速度しゃ断器を強制的にトリップさせ、主電動機への突入電流の増加を防いでいる。

断器の補助トリップコイルを励磁して、高速度しゃ断器を強制的にトリップさせ、主電動機への突入電流の増加を防いでいる。

3.4 ノッチ曲線

図5は130kWの主電動機を8台制御した場合のノッチ曲線の一例である。

回生ブレーキは20km/h付近まで有効に作用する。

3.5 主要機器

主な機器の概要は次のとおりである。

(1) 界磁チョップ装置(図6)

サイリスタチョップ装置、フィルタリアクトル、フィルタコンデンサ、過電圧抑制サイリスタ、ゲート制御装置などの静止機器で構成されている。十分な電流容量のサイリスタ、ダイオードを使用し、自然冷却としている。ゲート制御装置はゲートパルス制御回路のほかに、無接点化された断流器の制御回路なども収納されている。

(2) 主制御器(図7)

主抵抗器短絡用カム接触器群、カム電動機、逆転器及び主電動機開放器が前面に、無接点化された限流、短絡継電器、リードリレー式空転検出器、直流変流器(DCCT)などが裏面に配置されている。大幅な無給油化、前面点検構造、カム接触器接点の耐弧メタル採用によりメンテナンスフリーが図られている。

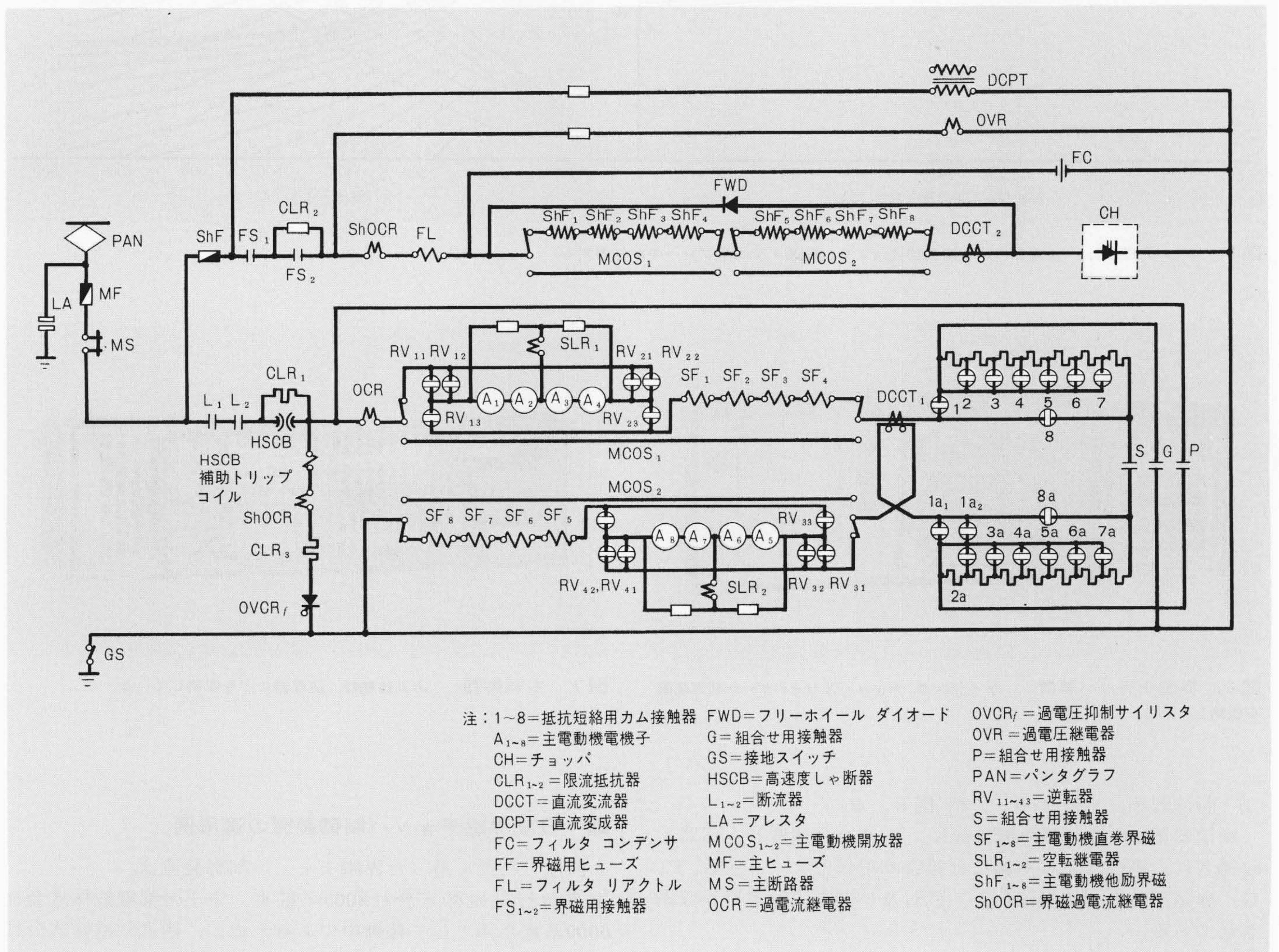


図4 主回路つなぎ 力行、だ行、ブレーキとも直並列切換制御が行なわれる。

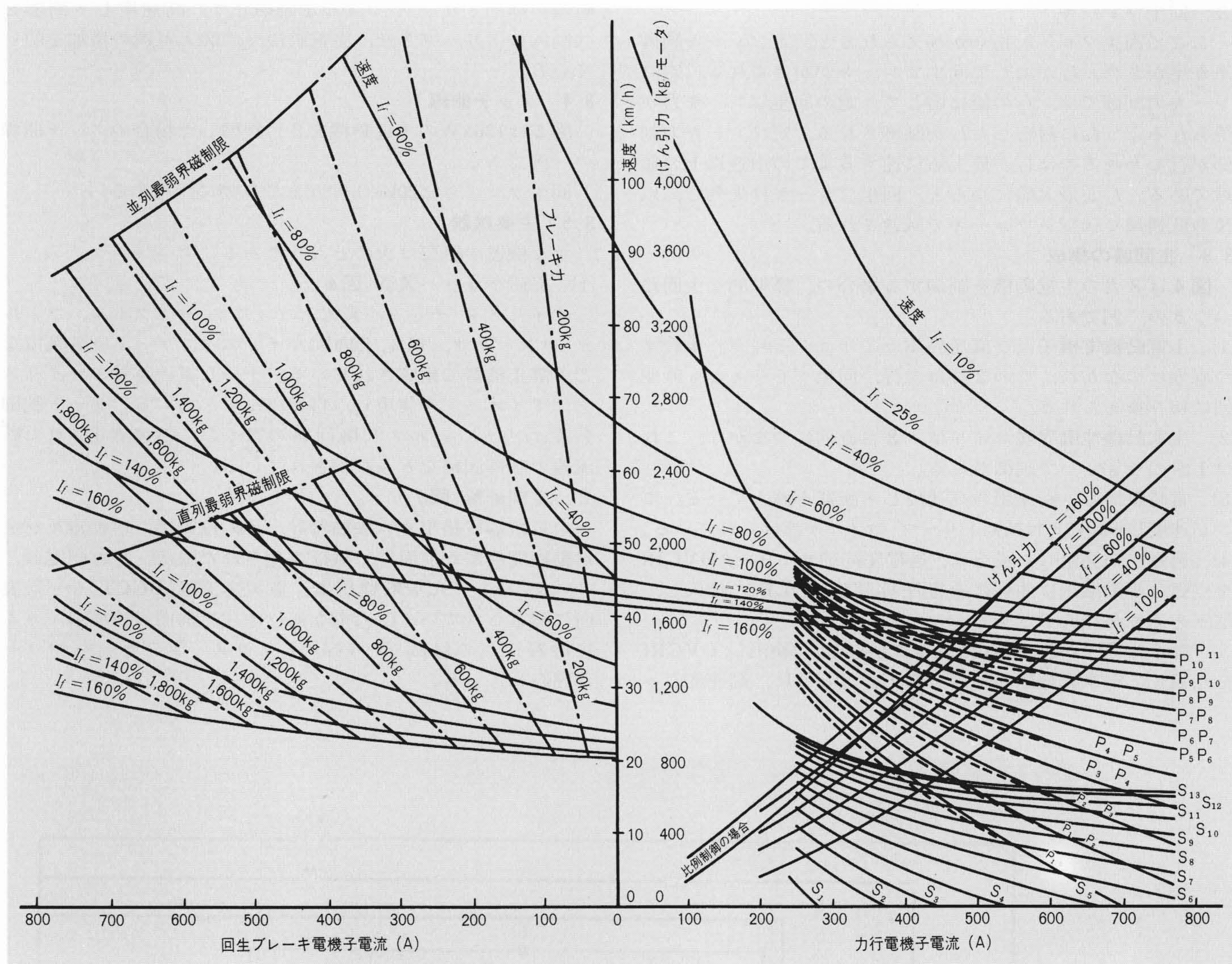


図5 ノッチ曲線 主電動機の並直列切換により、低速まで回生ブレーキが作用する。

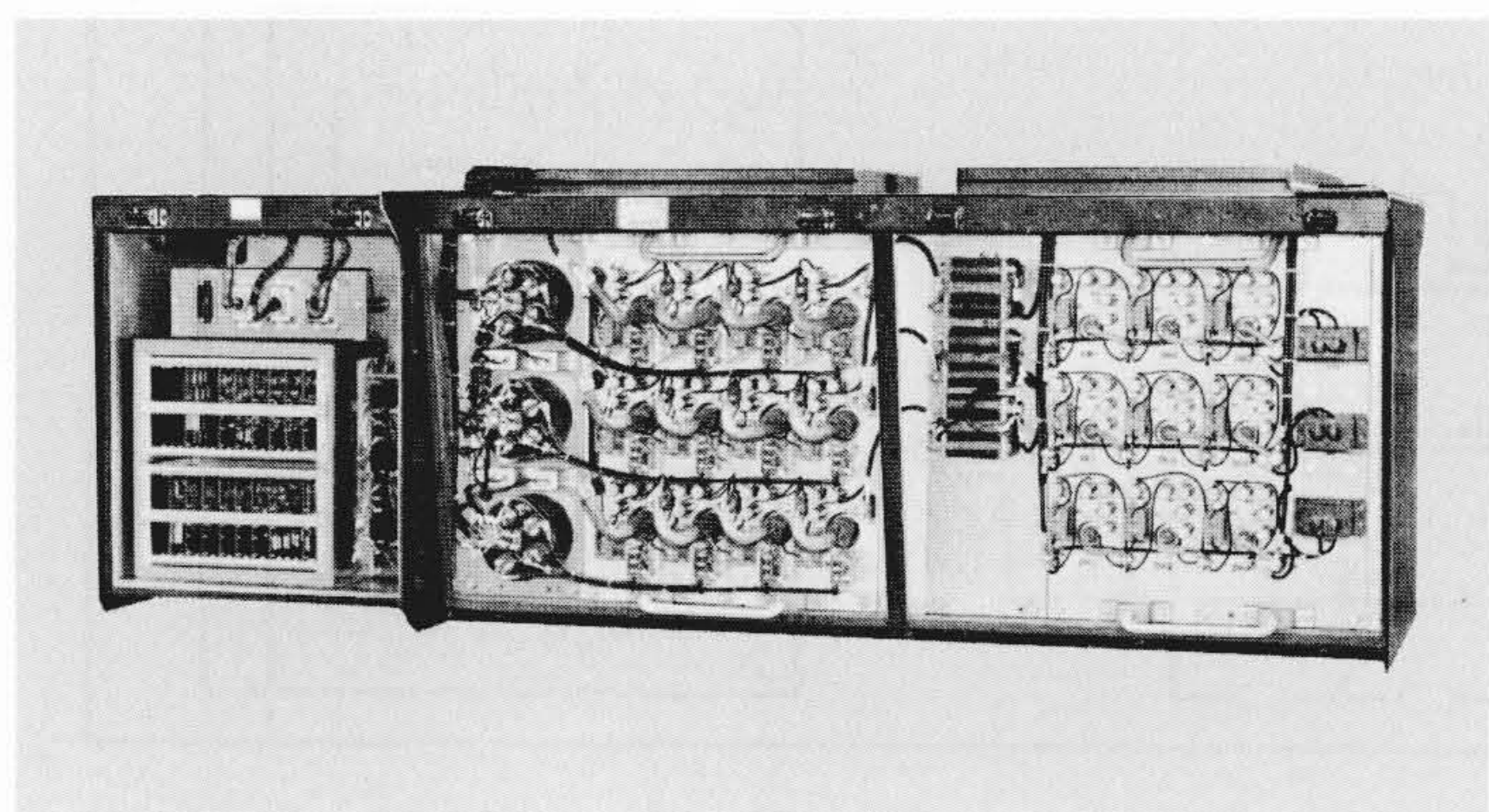


図6 界磁チョップ装置 サイリスタ チョップ及びそのゲート制御装置を収納している。

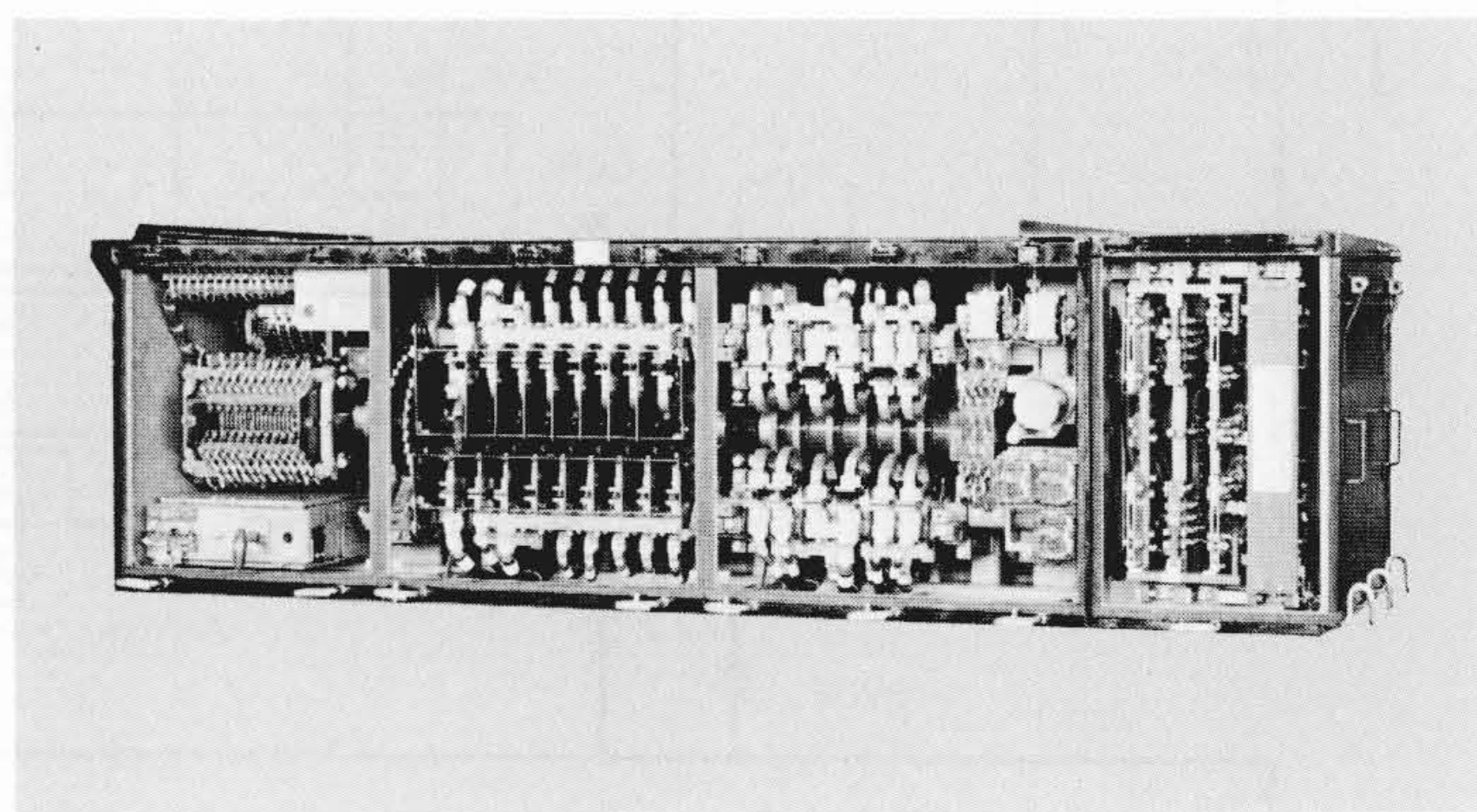


図7 主制御器 カム接触器、逆転器などを収納している。

(3) 断流器箱、単位スイッチ箱(図8, 9)

断流器箱には電源側の断流器 L_1 、 L_2 及び高速度しゃ断器が収納され、単位スイッチ箱には組合せ用単位スイッチ S 、 P 、 G 、界磁回路電磁接触器 FS_1 、 FS_2 及び過電流継電器が収納されている。

(4) 主抵抗器(図10)

構造が簡単で保守が容易な波形リボン抵抗器である。

4 日立界磁チョップ制御装置の適用例

前述の特長を持った界磁チョップ制御装置は、東京急行電鉄株式会社8000系電車、京王帝都電鉄株式会社6000系電車用として稼動中である。更に、西武鉄道株式会社2000系電車用として現在製作中である。

これらの電車は、いずれも特急から各駅停車用まで幅広く

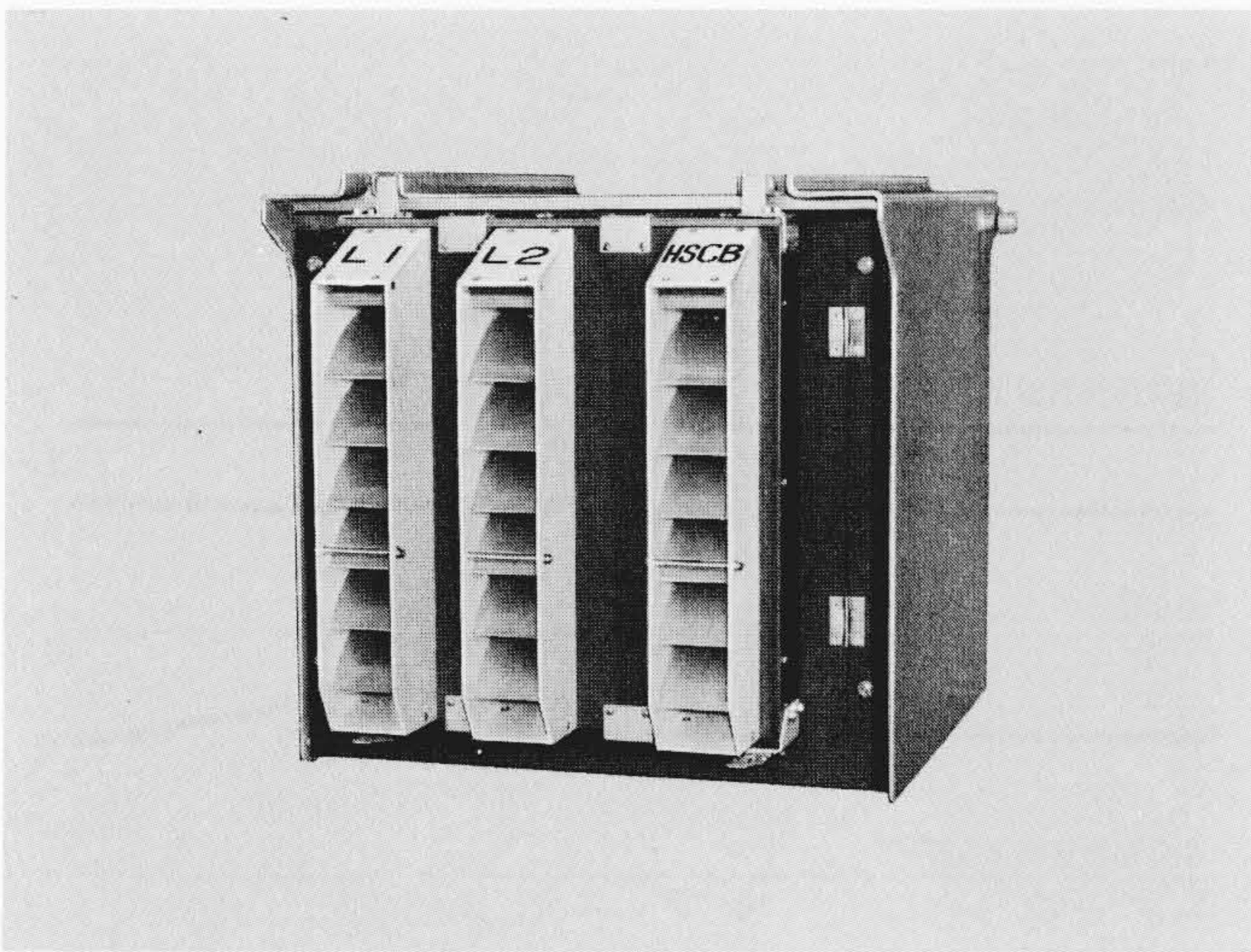


図8 断流器箱 電源側断流器を収納している。

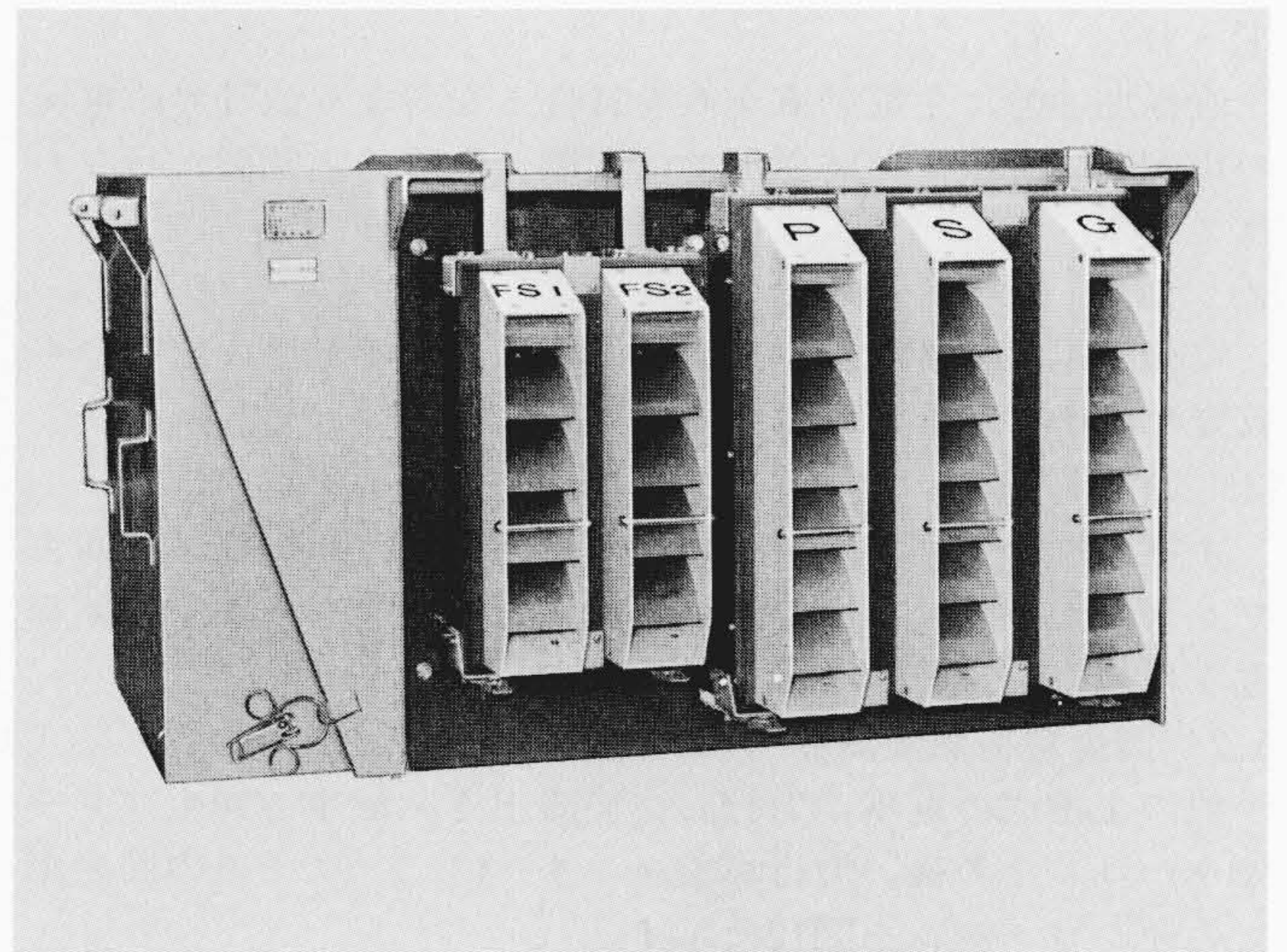


図9 単位スイッチ箱 組合せ制御用単位スイッチを収納している。

運用され、更に将来の地下鉄乗入れ運転をも考慮されたものである。電気方式は直流1,500V架空線式で、130kWないし150kWの主電動機8台の制御容量を持ったものである。

5 現車試験結果

上述の界磁チョップ制御装置は、京王帝都電鉄株式会社の京王線、東京急行電鉄株式会社の田園都市線で現車試験が行なわれ、その性能が確認されている。

一例として京王帝都電鉄株式会社6000系電車での試験結果について述べる。

5.1 定常運転

力行—惰行—ブレーキを連続して操作した場合のオシログラムを図11に示す。

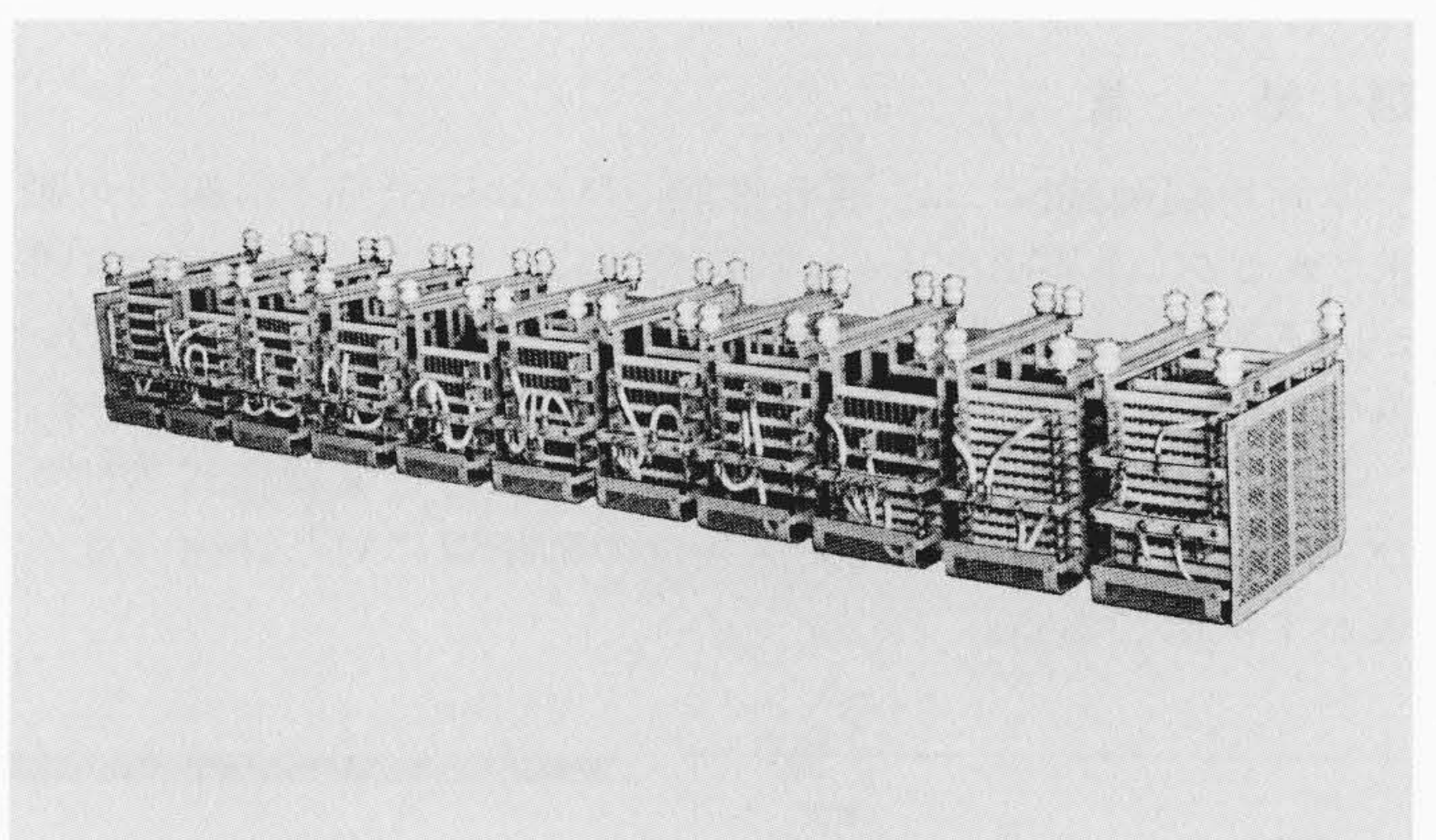


図10 主抵抗器 自然冷却形である。

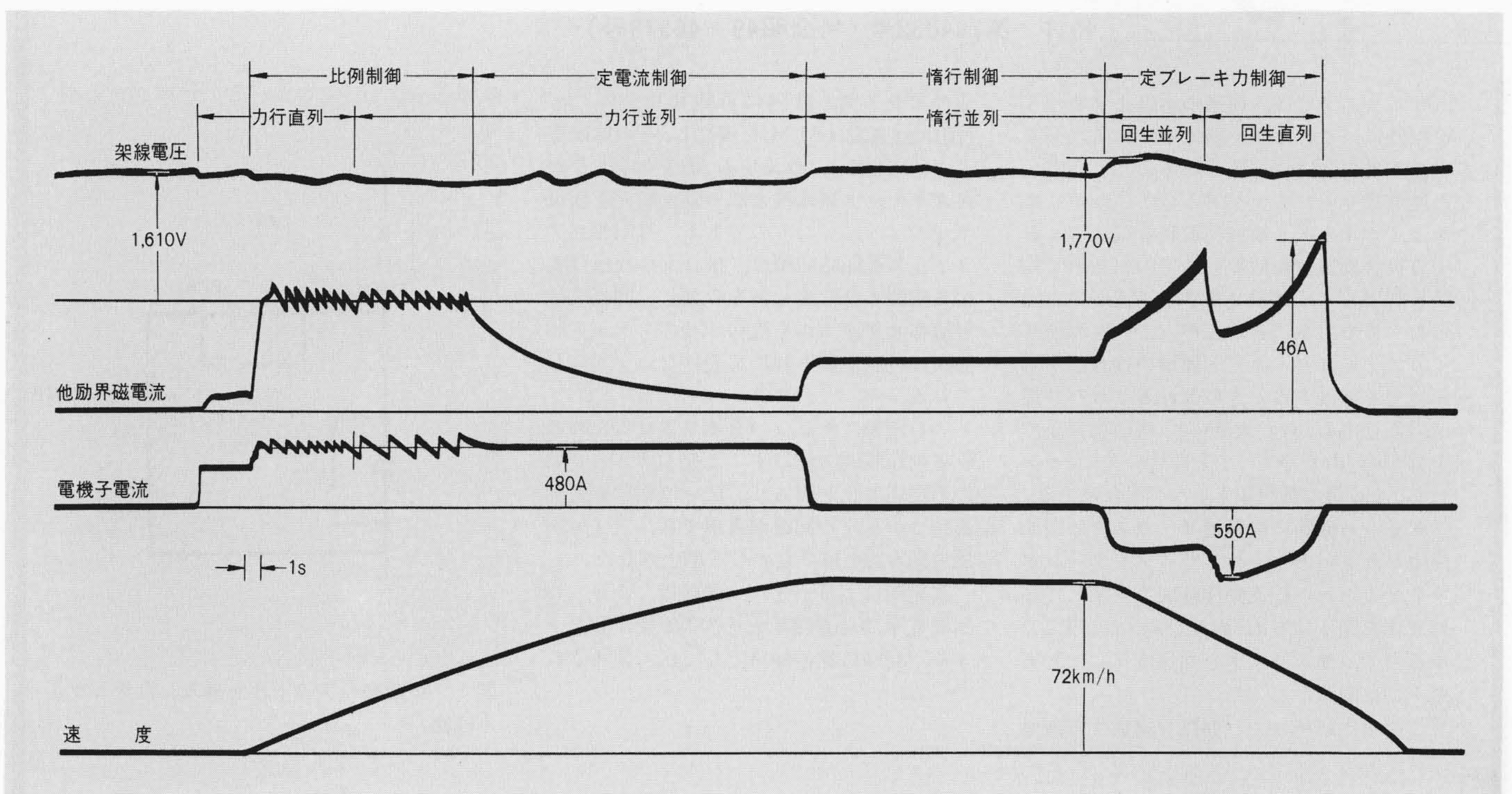


図11 力行—惰行—ブレーキ オシログラム 断流器を途中で開くことなく、連続的制御が行なわれている。

(1) 力行

直線加速時は主電動機が直巻特性となるよう他励界磁電流の比例制御が、また弱界磁では電機子電流一定制御が行なわれている。

(2) 惰行

電機子電流は零アンペアに制御され、架線電圧の変動にも安定に制御が行なわれている。

(3) ブレーキ

主電動機は並列から直列に切り換えられ、25km/hまで回生ブレーキが有効に作用している。また回生ブレーキ中の架線電圧は最高1,770Vに抑えられている。

5.2 回生負荷急変試験

他の1編成の電車が力行しているとき試験車で回生ブレーキをかけ、その後、力行車をノッチオフさせたときの回生車でのオシログラムを図12に示す。

回生負荷急減により架線電圧が急上昇し、過電圧検出器が動作して回生ブレーキ回路をしゃ断している。架線電圧はほぼ1,800Vに抑えられており、電機子短絡形過電圧抑制装置の効果が現われている。

6 結 言

車両用制御装置には、運転性能のほかに安全性と信頼性が要求されるが、本界磁チョップ制御装置は、特にこの面での改善が図られ、既に約60セット余りが営業運転で使用されており、重要な都市交通機関の一翼を担って良好な成績を挙げている。

なお、本装置の製作に当たって、東京急行電鉄株式会社及び京王帝都電鉄株式会社関係各位の御指導に対し深謝の意を表わす次第である。

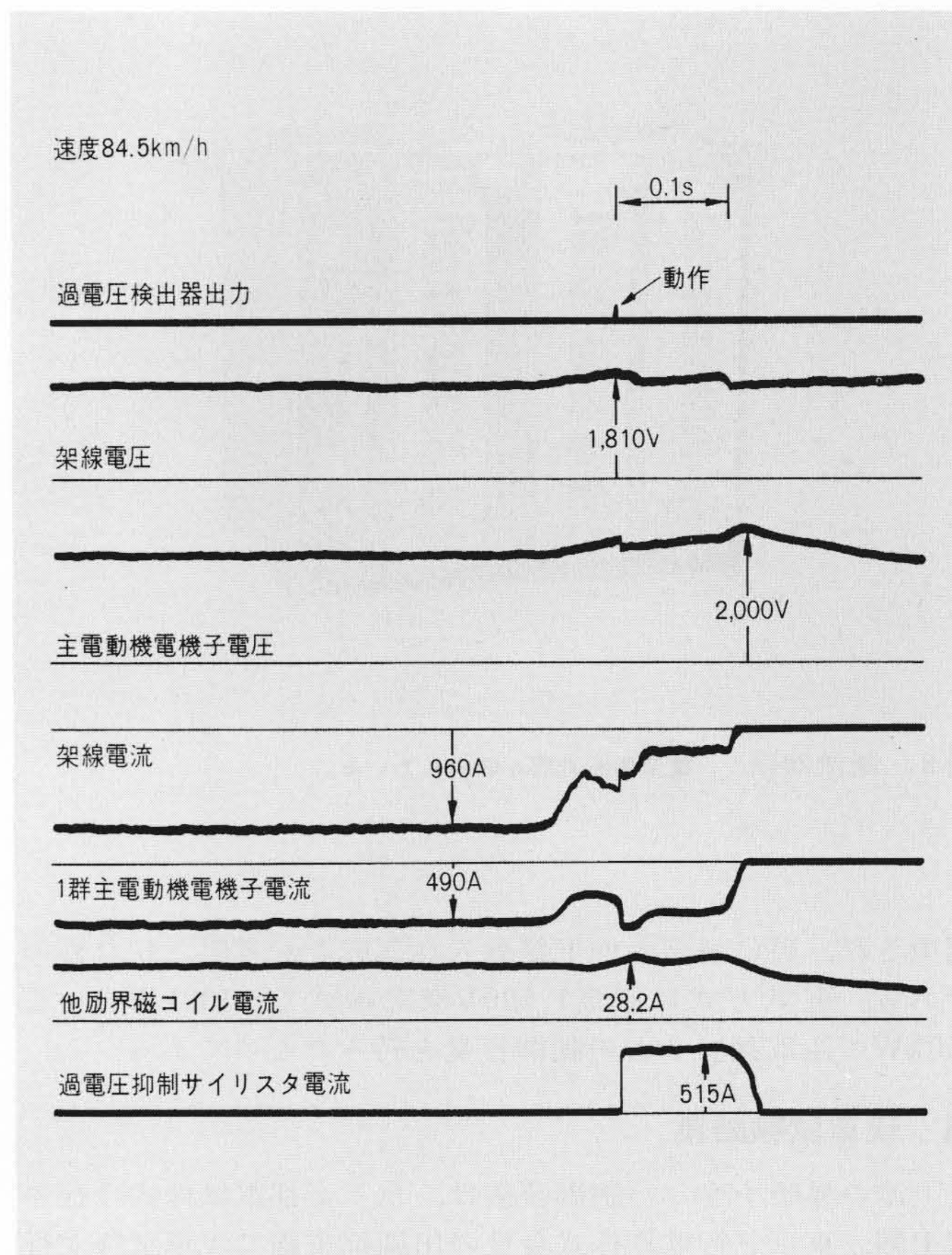


図12 回生負荷急減試験オシログラム 架線電圧はほぼ1,800Vに抑えられている。



特許の紹介

チョップ回路

成田 博・坪井 孝・他2名

特許 第784032号(特公昭49-46573号)

サイリスタには、従来の逆阻止サイリスタ以外に、これと同一基体中にダイオードを逆並列の関係に一体となるように形成した逆導通サイリスタがある。このサイリスタは、ダイオード領域に流れる電流による中央接合部残留蓄積キャリアの引き出し効果を利用して、サイリスタの高速化を図ったものである。ところが、この逆導通サイリスタではダイオード領域の接合部が阻止能力を回復するときに流れるリカバリ電流の変化率 di/dt が大きくと、再印加電圧の上昇率 dv/dt が小さくとも自然にターンオンしてしまう再点弧現象という不都合がある。

チョップ回路に逆導通サイリスタは広く採用されているが、サイリスタをターンオフさせるための転流動作時間を短縮して高周波化を図るほど di/dt 及び dv/dt が大きくなるので、サイリスタを高速化しても実用上には問題があった。

このためにチョップ回路を構成する逆導

通サイリスタと直列に可飽和リアクトル(図中SLA又はSLM)を接続し、その励磁電流を利用して di/dt 及び dv/dt を抑制しながらダイオード領域接合部の阻止能力を回復させるようにしたものである。可飽和リアクトルの電圧時間積は、接合部の回復に要する時間とほぼ等しいものとし、回復後は可飽和リアクトルを飽和させて、チョップ回路は性能上何ら制約を受けないようにしている。

この結果、チョップをオフさせるための転流動作時間を伸ばすことなくチョップ動作の高周波化が図られ、広い位相制御範囲を持つチョップ回路が実現でき、チョップ周波数も330Hzのものも実用化された。

本発明によるチョップ回路は、チョップ制御電車で逆導通サイリスタを使用したチョップ回路の標準回路として広く使用されている。

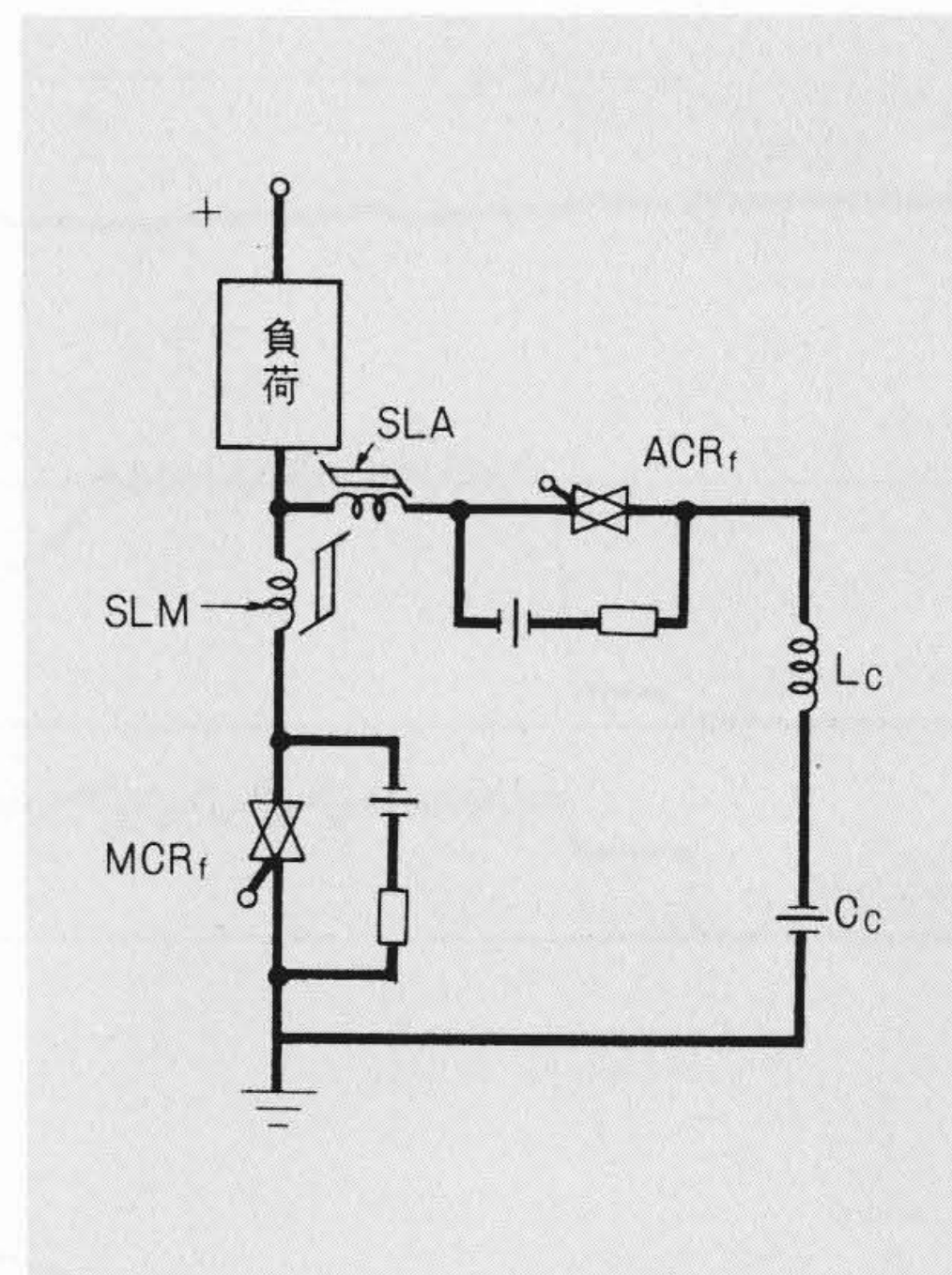


図1 可飽和リアクトルを挿入したチョップ回路