

誘導電動機の二次励磁制御

——セルビウス・クレーマ方式——

Speed Control of Induction Motors by the Secondary Voltage Excitation Method
——On the System of Scherbius & Krämer Sets——

広 豊* 岩 城 秀 夫* 平 輪 憲 道*
Yutaka Hiro Hideo Iwaki Norimichi Hirawa

内 容 梗 概

誘導電動機の世界速度制御のうちでも、連続的に速度が変えられ、効率の高い、安定した運転のできる二次励磁制御法—特にセルビウス法、クレーマ法の原理、構成、特性、制御法を解説し実施例をあげて、電動機速度制御計画の参考に供するものである。

1. 緒 言

誘導電動機の世界速度制御法は、これまでに種々の方式が提案され実用化されてきた。最も簡単な方法は、二次巻線に抵抗器をそう入し、これを加減することであり、設備費が安価で、取扱いも比較的簡便なところから、従来から広く採用されている。しかし、この方式の最大の欠点は、電動機の二次すべり電力をすべて熱として抵抗器中にて浪費してしまうため、低速時の効率が悪いことである。ここで述べる二次励磁方式は、このすべり電力を有効に利用し、セットの運転効率を高めることを目的としている。原理は、誘導電動機の初期の時代から明らかにされていたが、二次励磁補機に交流整流子機や回転変流機などの特殊機器を要し、取り扱いがむずかしいため普及されなかったものである。ところが、最近半導体整流器のめざましい進歩により、大容量機においても前記の特殊機器に代わって使用できるようになり、静止化された二次励磁法が一躍脚光を浴び始めた。現在、高効率運転が問題となる水道用ポンプ、高精度が要求される計算機電源などにこの方式が続々適用されつつあるが、その応用範囲は、ますます広がるものと予想される。二次励磁法の一般的な特長として、下記の諸点があげられる。

- (1) セルビウス法では、すべり電力の電圧、周波数をインバータを通して電源に返還するため定トルク特性を持つ。
- (2) セルビウス法において、インバータにシリコン制御整流素子(SCR)を使用すれば、二次補機はすべて静止器となり、消耗部分がなく保守が容易で、速応性もよくなる。
- (3) クレーマ法では、すべり電力を整流して、主電動機と同軸に結合された直流電動機の電機子に加え、機械的出力として負荷に返還するため定出力特性を持つことになる。
- (4) 広範囲にわたって連続的に速度制御ができる。
- (5) 速度特性は、良好な分巻特性が得られ、安定な制御ができる。自動制御が容易にでき、高精度で速応性のある制御ができる。
- (6) 一般に速度制御全城にわたり効率が高く、運転費が節減できる。
- (7) 起動は円滑で、遠方操作や自動運転も容易である。
- (8) 制動トルクは出せない。

2. 誘導電動機二次励磁速度制御法の原理

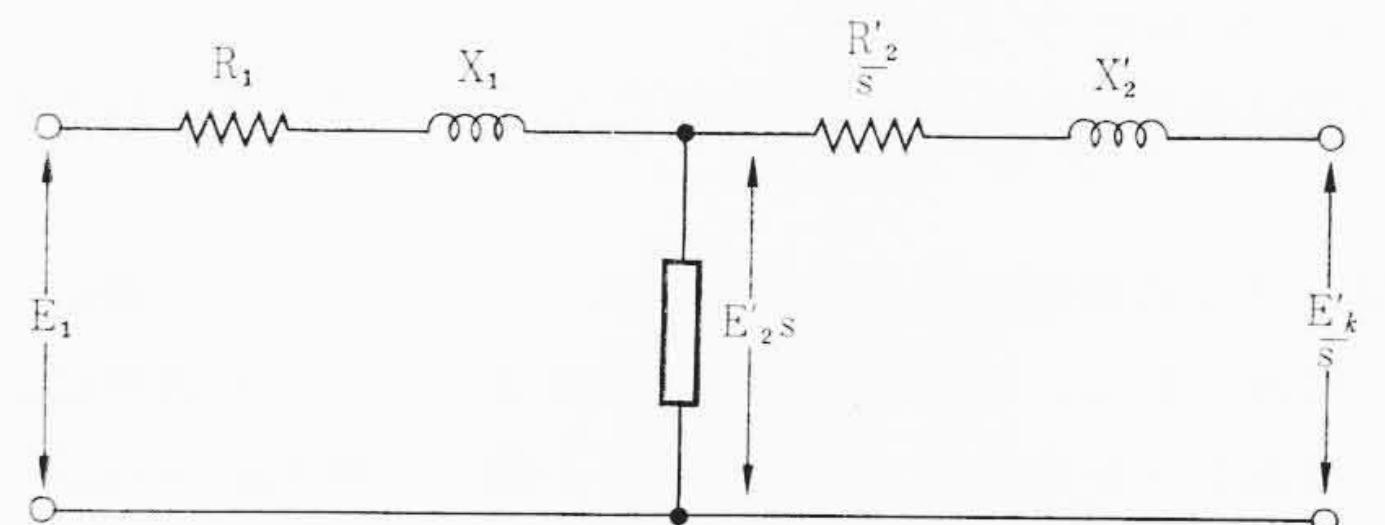
2.1 誘導電動機の世界速度制御の原理⁽¹⁾⁽⁴⁾

誘導電動機の世界電圧とすべりとの間には次の関係がある。

$$E_2 = s E_{2s} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 E_2 : 二 次 電 圧

* 日立製作所日立工場



第1図 二次励磁を行なった場合のIMの等価回路

E_{2s} : 最大二次電圧

s : す べ り

$$s = \frac{N_0 - N}{N_0}$$

N : 回 転 数

N_0 : 同 期 回 転 数

E_{2s} は電動機によって定まる定数であるから、二次励磁を行なって二次電圧 E_2 を変化させればすべり s は変化する。すなわち誘導電動機の世界速度制御ができるのである。この二次電圧を制御する方法が二次励磁法であって、その方法にセルビウス法、クレーマ法の二方式がある。

この二次励磁法の場合の電動機二次電流 I_2 は(2)式で表わされ、その等価回路は第1図となる。

$$I_2 = \frac{s E_{2s} + E_k}{R_2 + j s X_2} = \frac{E_{2s} + \frac{E_k}{s}}{\frac{R_2}{s} + j X_2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 R_1 : 一 次 側 抵 抗

R_2 : 二 次 側 抵 抗

X_1 : 一 次 側 リ ア ク タ ン ス

X_2 : 二 次 側 リ ア ク タ ン ス

E_k : 二 次 励 磁 電 圧

E_1 : 一 次 電 圧

' : 一 次 側 に 換 算 し た も の を 示 す

($R_2' = n^2 R_2$, n : 巻線比)

従来は二次励磁用として交流整流子電動機、回転変流機、整流子形周波数変換機などを用いていたが、これらはいずれも特殊機器であるため、価格、保守、製作限界などの点で実用的でなかった。このために誘導電動機の世界励磁による速度制御があまり行なわれなかったのである。

これに対し半導体整流器を二次側に用いると、二次励磁用として直流電動機、誘導発電機、水銀整流器、シリコン制御整流素子(SCR)などの組合せで、容易に二次励磁回路が構成できるようになった。

第1表 二次励磁方式の機器一覧表

方 式	セ ル ビ ウ ス		クレーマ
	M G 式	静 止 式	
主電動機	誘 導 電 動 機 (巻 線 形)		
整 流 器	半 導 体 整 流 器 (シリコン整流器)		
二 次 補 機	直 流 電 動 機 + 誘 導 発 電 機 (MGインバータ)	シリコン制御整流器 (SCRインバータ) または 水銀整流器 (MRインバータ)	直流電動機
速度制御法	界 磁	格 子 角	界 磁

以下本論においてはこの半導体整流器を用いた誘導電動機の二次励磁制御について述べることにする。

2.2 二次励磁の方法と構成機器

二次励磁各方式の機器の一覧表を第1表に示す。

2.2.1 セルビウス法

半導体整流器の次におく機器によって、MG式と静止式とがある。

MG式は直流電動機とそれに直結される誘導発電機をへて電源に接続される。二次電圧制御は直流電動機の界磁調整により、その逆起電圧を変化して行なう。その構成を第2図(a)に示す。

静止式は二次励磁をシリコン制御整流器または水銀整流器によって行なうものであって、二次補機に回転機を使わないことから静止式と呼ばれる。この二次電圧制御は格子角制御によって行なわれる。その構成を第2図(b)に示す。

2.2.2 クレーマ法

MG式セルビウス方式が直流電動機を別設置したのに対し、クレーマ方式は直流電動機を主誘導電動機に直結したもので第3図のような構成となる。二次電圧制御はMG式セルビウス方式と同様、直流電動機の界磁調整により行なう。

2.3 速度変化の原理

MG式セルビウスの場合を例にとり、どのようにして速度が変わるかを説明する。

まず速度を上昇させるときについて考える。いますべり s_1 で運転していると二次電圧は(1)式より $s_1 E_{2s}$ であってこれが直流電動機の逆起電力 E_{d2} と平衡している。このとき界磁を弱めて逆起電力を E_{d2} に下げると

$$s_1 E_{2s} > E_{d2}$$

となり、この両電圧の差分だけ二次電流が増加して加速トルクを生じ

$$s_2 E_{2s} = E_{d2}$$

で定まるすべり s_2 まで加速され、 s_2 にて平衡する。

逆に速度を下げる場合には、界磁を強めて逆起電力を上げて E_{d3} とすると

$$s_2 E_{2s} < E_{d3}$$

となるので、誘導電動機の二次電圧のほうが低くなって二次電流が流れなくなり、トルクが消滅し、負荷のため減速し

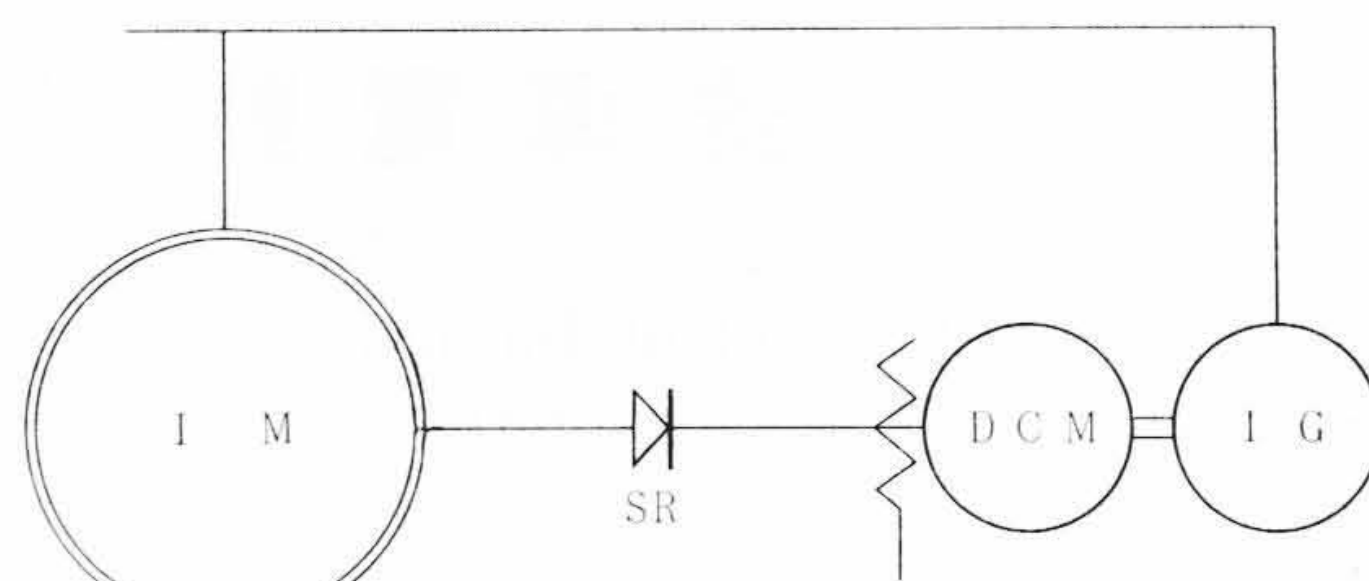
$$s_3 E_{2s} = E_{d3}$$

で定まるすべり s_3 となって平衡する。

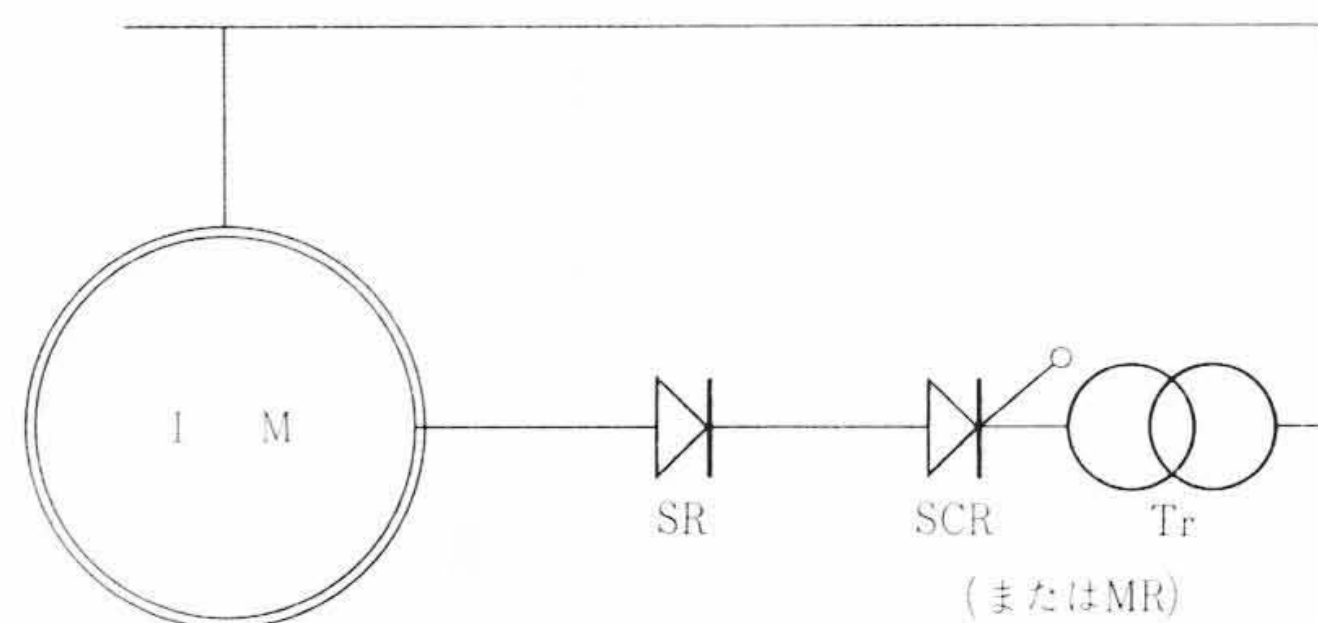
2.4 二次出力の回収と総合効率

すべり s で運転している誘導電動機は、各部の損失を無視して考えると、二次入力 p_2 のうち軸から出る機械的出力は $(1-s)p_2$ であり、残る $s p_2$ が二次側にすべりの出力として現われる。この $s p_2$ が二次励磁機器をへて返還可能な出力となり、総合効率が良くなるのである。

従来行なわれていた二次抵抗制御法ではこの $s p_2$ 分がすべて損失になるので、総合効率が悪いのである。

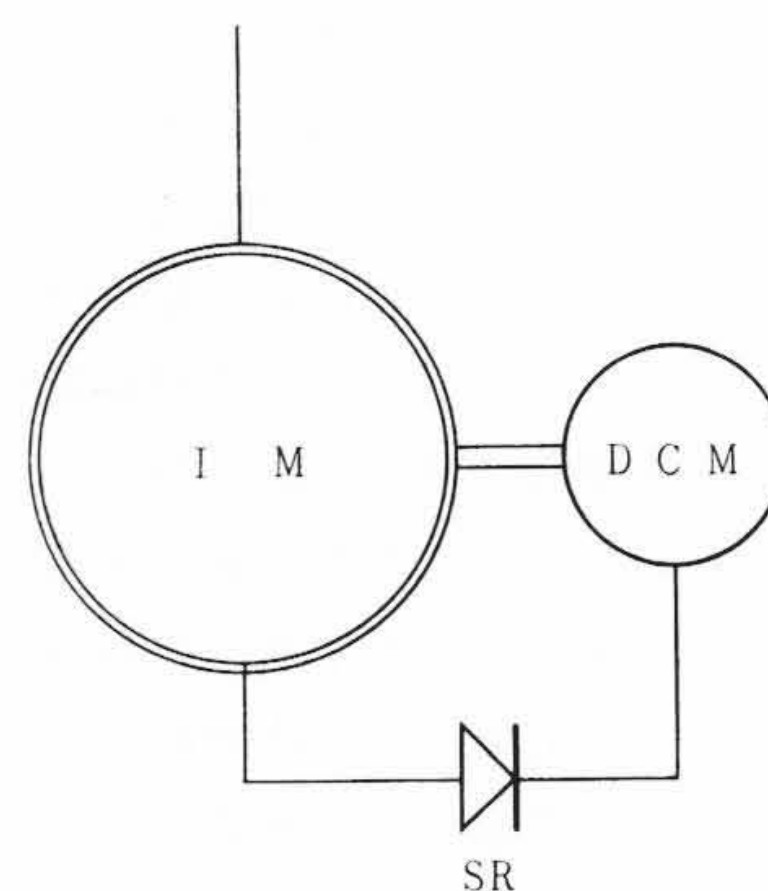


(a) MG式セルビウス



(b) 静止式セルビウス

第2図 セルビウス方式構成



第3図 クレーマ方式構成

次に各機器の効率を含めた総合効率 η を考えると

$$\eta = \eta_1 \{1 - s(1 - \eta_2)\} \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 η_1 : 誘導電動機一次側効率 (電動機的全効率とは異なる)

η_2 : 二次側総合効率 (二次各補機の効率の積である)

このすべりエネルギー $s p_2$ をセルビウス法にては電源に返還し、クレーマ法では直接誘導電動機軸に返還している。

一方この二次出力の流れを周波数の点から考えると、誘導電動機の二次出力は周波数 $s f$ サイクルの交流であり、これをシリコン整流器で直流に整流し、さらにセルビウス法の場合はMGセットあるいはシリコン制御整流器によって f サイクルの交流に変換される。また、クレーマ法の場合には整流された直流出力で直流電動機を駆動する。すなわち二次励磁機器は周波数変換機として働いていることになる。

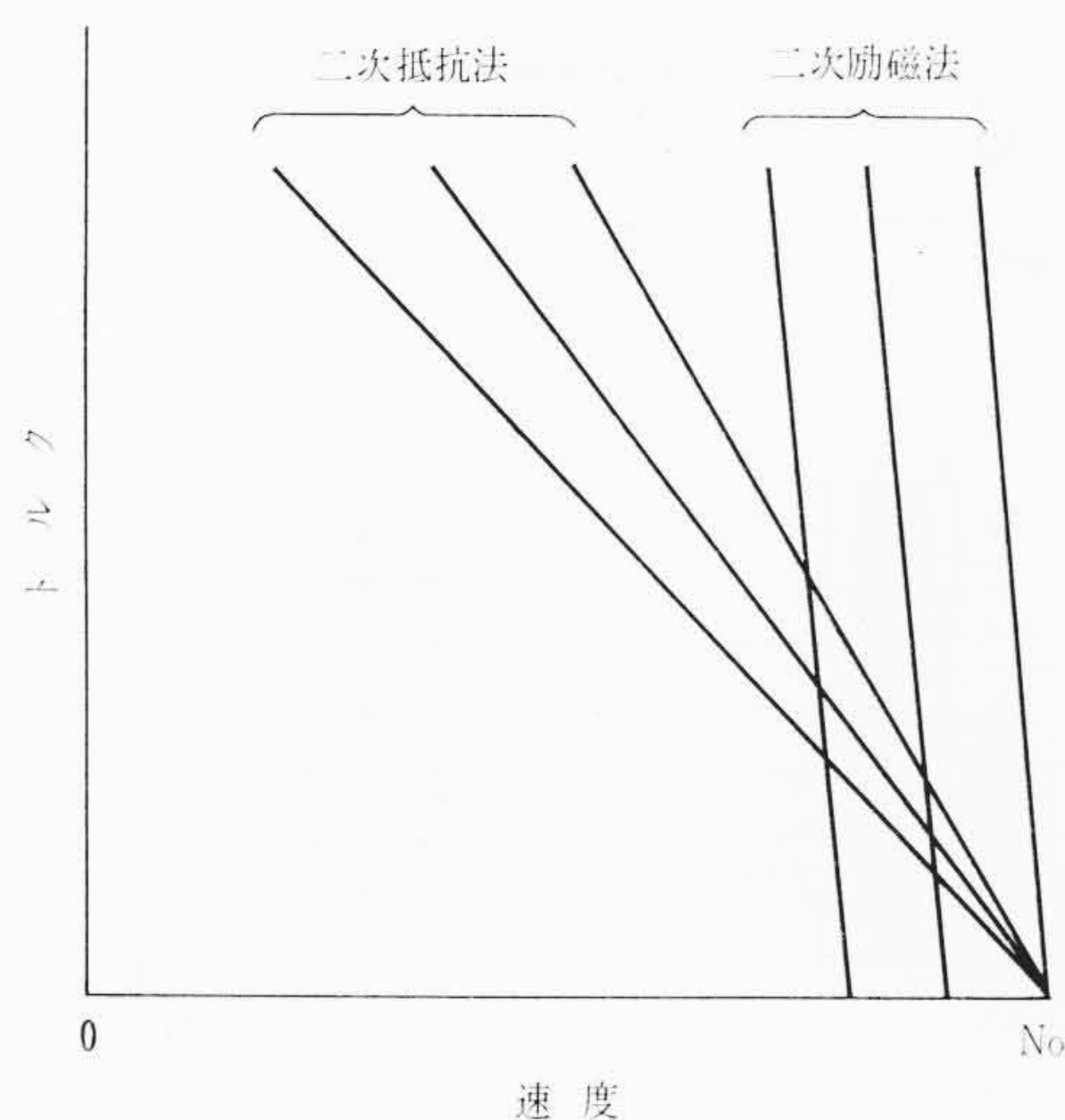
2.5 直流電圧と直流電流⁽⁴⁾

誘導電動機の二次電圧が E_2 である場合には、それを整流した無負荷直流平均電圧 E_{2d} は

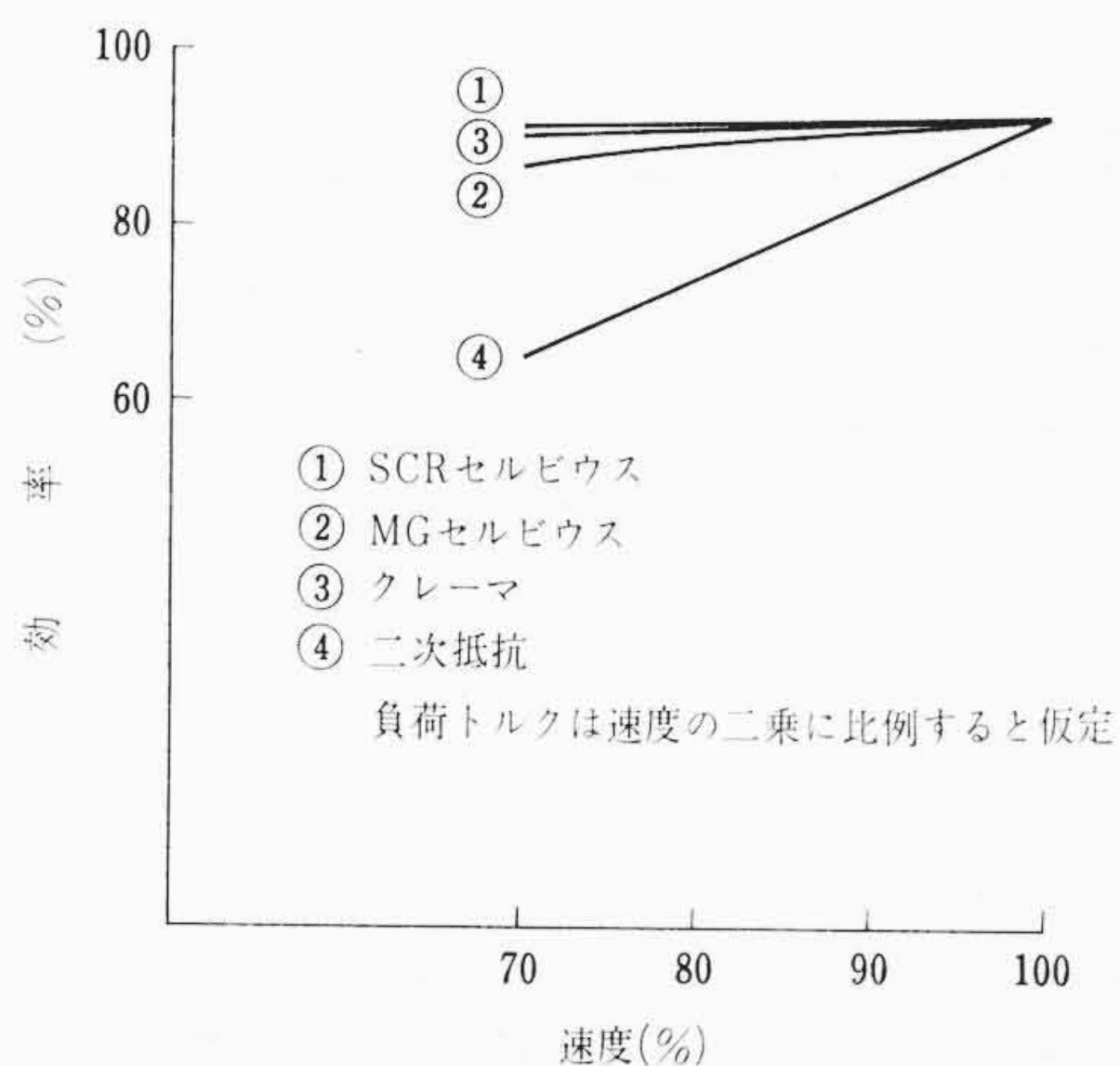
$$E_{2d} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E_2 = 1.35 E_2 = 1.35 s E_{2s} \dots \dots \dots (4)$$

したがって二次補機に加わる電圧はこの E_{2d} から各部のインピーダンス降下分を引いたものとなる。

一方直流電流は整流回路による重り現象が加わるので(5)式のようにになる。



第4図 各方式の速度トルク特性の比較の一例



第5図 各方式の総合効率の一例

$$I_d = \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{1}{\sqrt{1-3\phi(u)}} I_2 \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 I_d : 直流電流
 u : 重り角

$$\phi(u) = \frac{\sin u (2 + \cos u) - u (1 + \cos u)}{2\pi (1 - \cos u)^2}$$

MGセルビウスの誘導発電機の場合を除き、二次補機の実容量は二次電圧と二次電流の最大値の積によって定まるので、速度制御範囲が広いとすべし s が大きくなるわけであるから、 $s E_{2s}$ すなわち二次電圧が高くなり、補機が大きくなる。したがって速度範囲は十分検討して最も経済的なセットになる値をとらねばならない。

3. 特 性

3.1 出力特性

セルビウス方式では誘導電動機への入力 p_i のうち $(1-s)p_i$ が軸出力となって現われ、二次出力 $s p_i$ は二次励磁機器を経て電氣的に電源に返還されるので、軸出力の $(1-s)p_i$ が負荷に加わる。 $(1-s)$ はすなわち回転速度であるから、軸出力は速度に比例する。換言すれば定トルク特性をもつのである。

クレーマ方式では二次出力 $s p_i$ も直流電動機を経て機械的に軸に加えられるので、全軸出力は

$$(1-s)p_i + s p_i = p_i \dots\dots\dots (6)$$

となり、速度に関係なく出力一定、すなわち定出力特性をもっている。

両方式とも前述せる特性より軽い特性、たとえば負荷トルクが速度の二乗に比例するような特性（ポンプ、ファンなど多くの負荷がこの特性をもっている）に対し適応した性能を発揮することができる。

3.2 速度トルク特性

従来の二次抵抗制御法とセルビウス、クレーマ法との比較を第4図に示す。前者が低速度において特性が傾くのに対し、二次励磁法では低速度においてもこう配の立った、いわゆる分巻特性をもっている。

3.3 総合効率

各方式の総合効率の比較の一例を第5図に示す。

負荷の特性によってこの傾向は著しく異なるので、あらゆる場合が第5図のようになるとはいえないが、2.4項で述べたように抵抗制御法に比べると二次励磁法がすぐれている。特に低速においては格段にすぐれていることは原理的にも明らかである。

また静止セルビウス方式としてはSCRによるセルビウスの例をあげているが、これは二次補機がすべて静止器であるので、総合効率は最もよいのが通例である。MGセルビウスとクレーマでは場合により優劣をつけがたい。

3.4 総合力率

二次側に整流回路がはいると重り現象のために力率が悪くなる。したがって総合力率も誘導電動機の単独運転のときよりもやや劣る傾向にある。さらにSCRあるいは水銀整流器を用いる静止セルビウスでは二次補機からも無効電力を生ずる。これらの無効電力を補償し、総合力率を良くするために静止蓄電器を設けることが多い。

3.5 高調波の影響

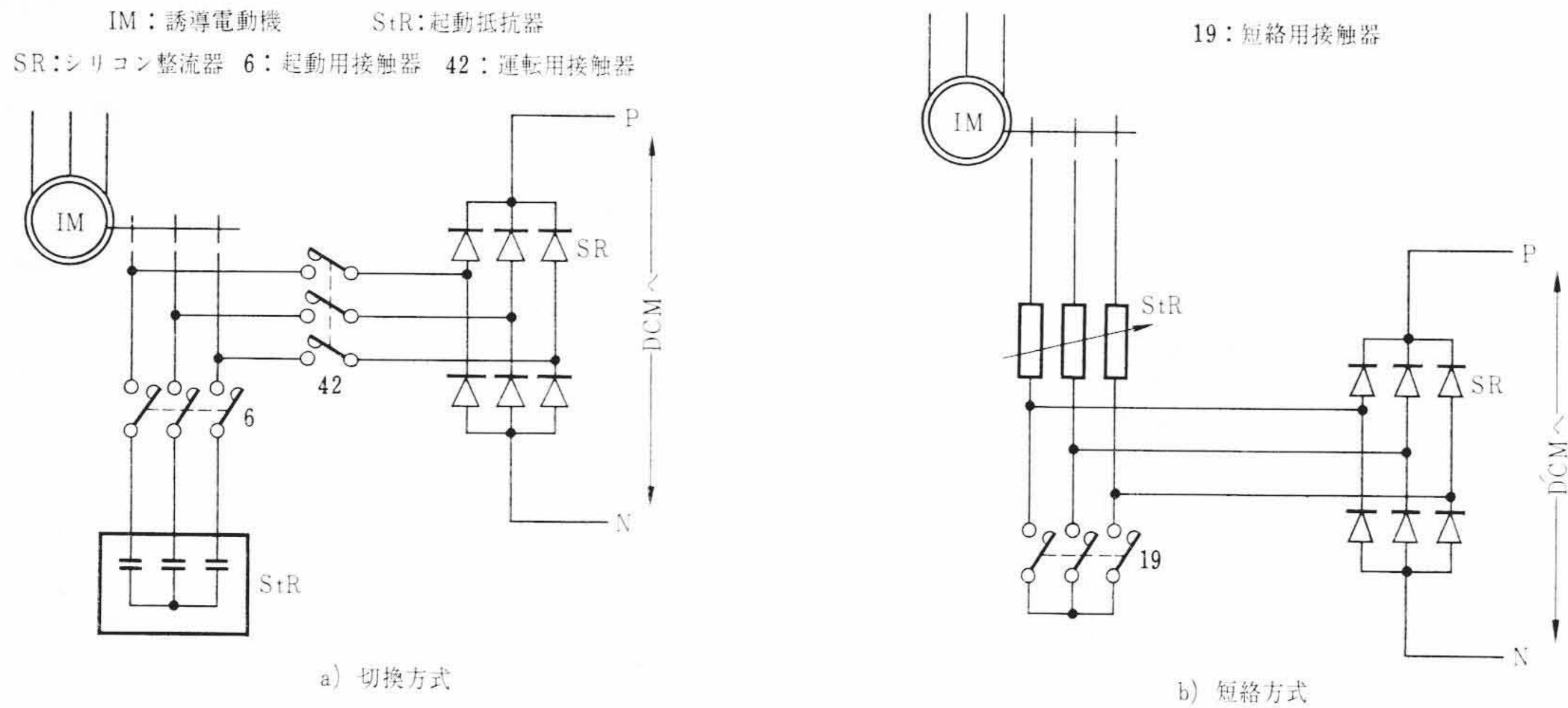
二次電流を整流するので、誘導電動機各相の電流は方形波に近い形となる。そのため高次高調波の影響が考えられる。これは一次電流の脈動という形で現われてくるが、特に問題となることはないことは実験で確かめられている。

4. 制 御 方 式

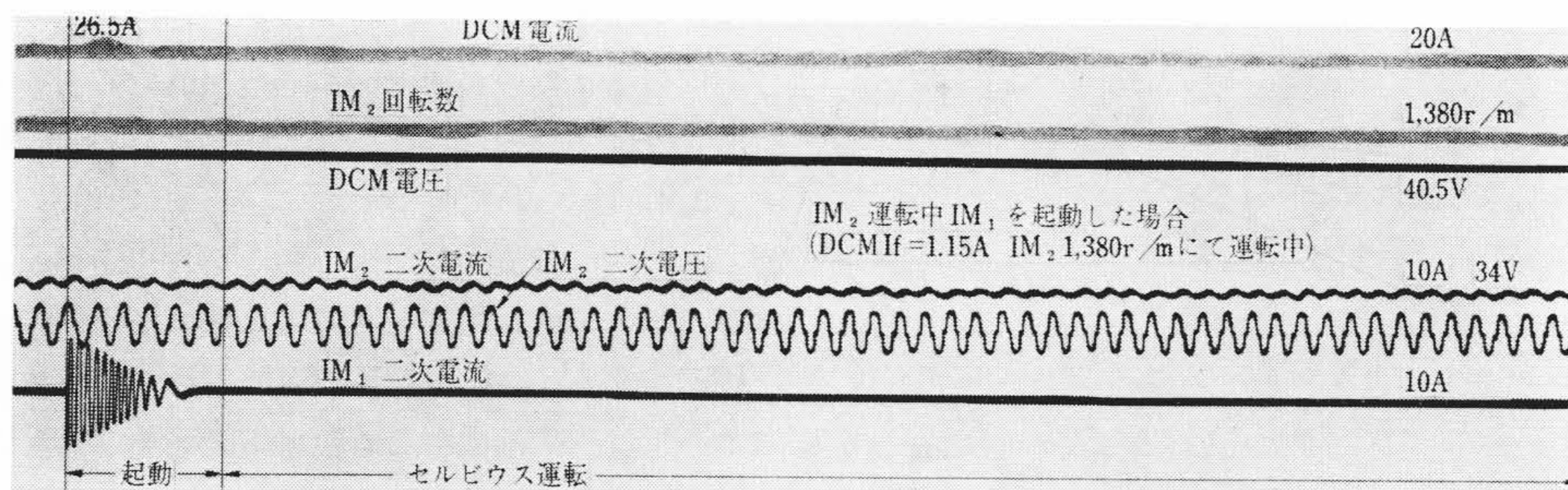
4.1 起 動

小容量機においては、二次補機を接続したまま起動することも不可能ではないが、この場合静止時の二次電圧 E_{2s} に耐えるシリコン整流器、直流電動機、またはSCRが必要となる。また大きな起動トルクを要する場合は、電流量も十分な大きさをもつ必要があるので、速度制御範囲が狭いほど、不経済な設備となる。そこで、二次補機の容量を正味制御範囲分だけに押えるよう、起動は専用の起動器によって行なうことが多い。実用的な起動法としては、第6図(a)のように、主電動機の二次電圧と直流機電圧を比較し、両者の平衡点近傍で二次回路を運転側に切り換える方法と、(b)のように起動抵抗器を各相ごとに入れ、抵抗器とシリコン整流器間に短絡用接触器19を設け、起動時は19を閉じ運転時に開く方法がある。前者は、起動から運転への切換えがややめんどろであるが、起動が円滑に行なえるうえ、起動抵抗器に標準品が使用できる。しかし大容量機になると切換用の電磁接触器が得にくくなる欠点がある。切換時の運転の円滑さが特に問題とならない場合は、起動抵抗器で最高速度まで加速し、そこで運転側に切り換える方法が簡単でよい。この方法では、切換後希望する速度まで減速するのに時間を要するが、電圧比較回路が不要なうえ、切換時突入電流の生ずることもない。後者は、速度制御範囲にはいったことを検知して19を開けばよく、指令回路が単純なうえ、負荷電流を切ることがなく起動は円滑であるが、起動器に特殊品を要する。特に大容量機では、前者の場合のようなコンパクトな液体起動抵抗器を製作できない欠点がある。

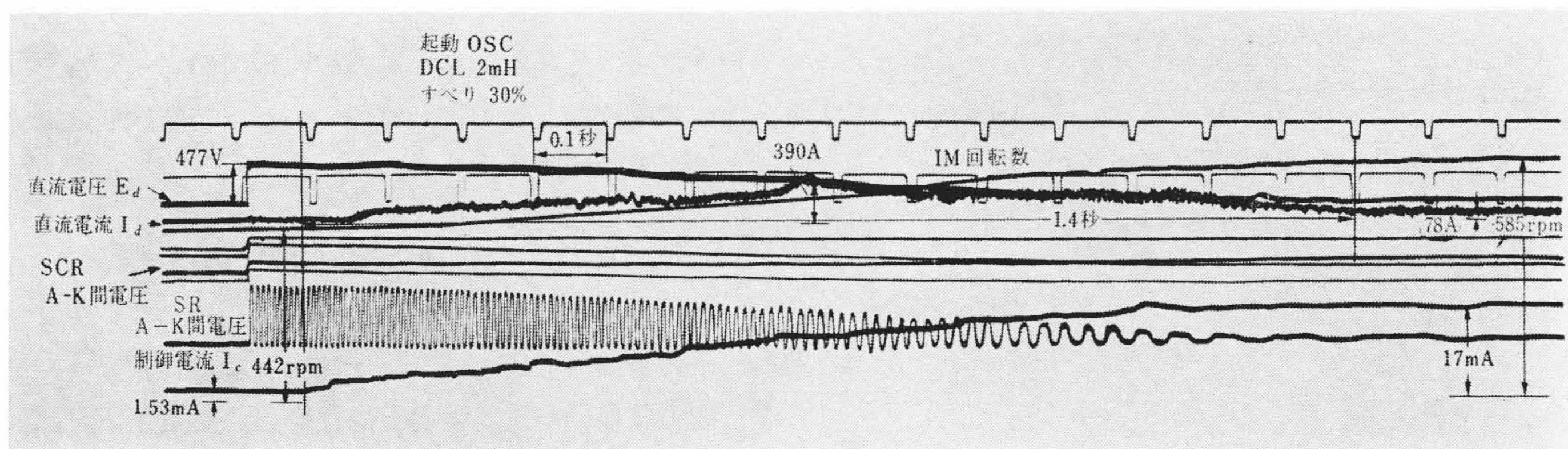
セルビウス方式では、2台以上の主機を並列運転する場合、主電



第6図 二次励磁制御の起動方式



第7図 共通MGセルビウスの追加起動特性



第8図 SCRセルビウスの起動加速特性

動機の二次を共通に接続し、二次励磁補機を共用できる利点がある。この共通セルビウスセットの起動状況を第7図に示す。IM₂はすでに運転中の主電動機で、これに起動抵抗器で起動したIM₁をセルビウス回路へ円滑に接続している。

SCRセルビウスの場合は、インバータに直流電圧が加えられない限りインバータ動作は行なわれないので、電圧比較による運転切換法は取れない。したがって一般には、待ち合わせ法、すなわち、あらかじめインバータ点弧角(制御進み角) γ を最大入力直流電圧を予期して設定しておき、主電動機二次の直流電圧がその待期電圧以下で運転回路に切り換える方法が用いられる。第8図は、SCRセルビウスの起動状況を示している。主電動機を抵抗起動し、すべり30%において運転回路に切り換え、同時に γ を待ち合わせ点から増大させて運転速度まで加速している。

4.2 運 転

4.2.1 セルビウス方式

(1) MGセルビウス方式

第9図(a)に制御回路を示す。起動に先立ち、直流電動機の界磁電圧を確立し、誘導発電機の主接触器52Gを投入して運転状態に置く。その後、主電動機の起動接触器6と主接触器52Mを投

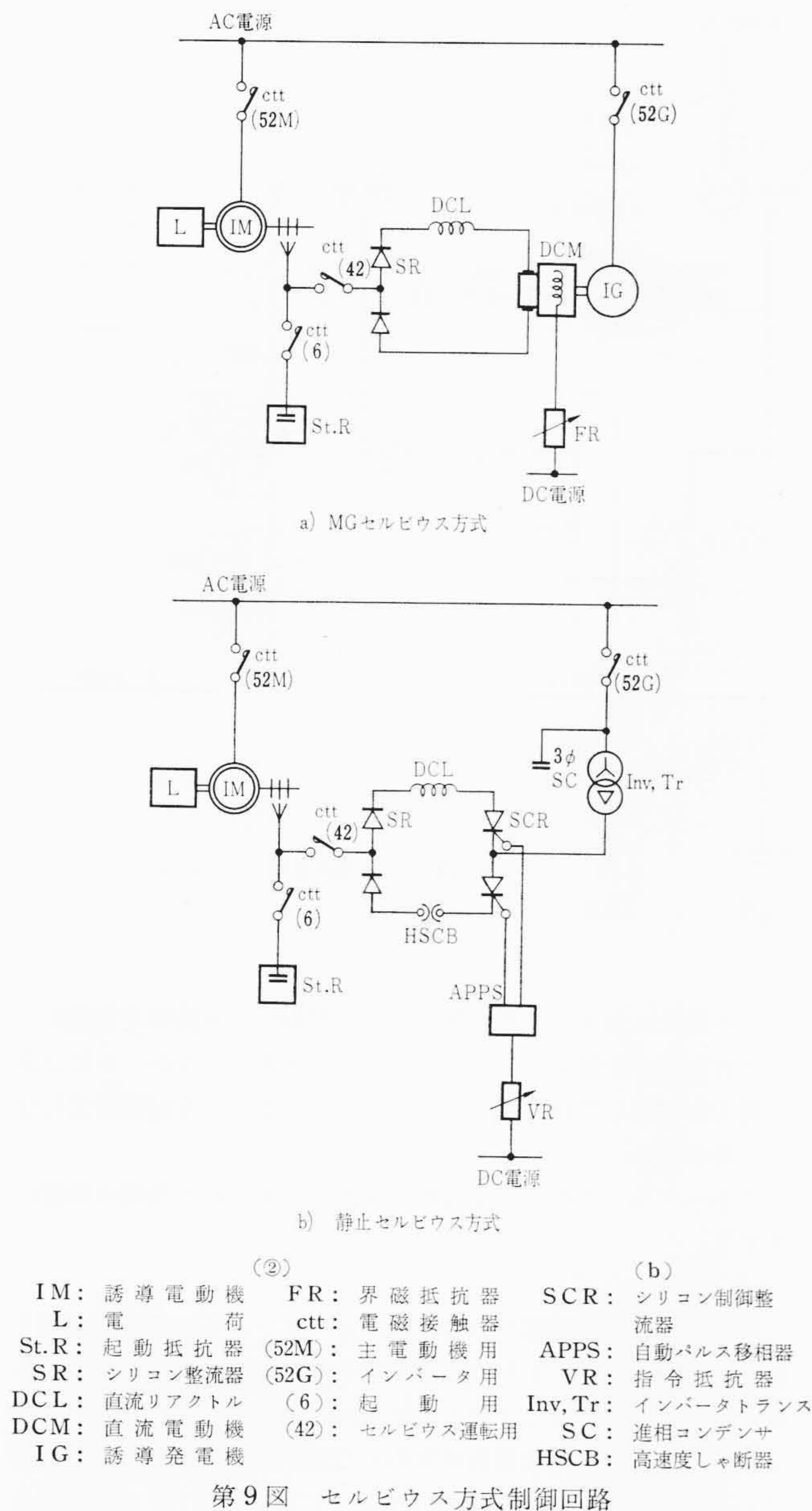
入し起動抵抗器を漸減して起動する。起動途中で直流回路に突入電流が流れないように運転接触器42を投入すれば、主機は運転状態にはいる。停止は、起動と逆に52Mを開いた後52Gを開かなければならない。速度制御を行なうには界磁電流を加減すればよい。最近の界磁電源は従来の回転形に比べ、保守の容易な、速応性の高いSCR式静止励磁装置が多く用いられるようになった。

(2) SCRセルビウス方式

第9図(b)に制御回路を示す。インバータとして用いられる制御極付整流器は、従来の水銀整流器に代わってSCRが全面的に適用される傾向にある。SCRの結線方式は、利用率の最も高い三相ブリッジ結線が多く採用される。位相制御を行なうインバータでは、電圧脈動が大きく、直流回路のインダクタンスが小さいと電流も脈動し損失が増すとともに、正常なインバータ運転も困難になる。直流リアクトルDCLは、電流の脈動を押えるためそう入するもので、三相ブリッジ結線のインバータでは、直流電流の脈動率 α を押えるDCLの値は次式で算出できる。

$$L = 0.0301 \times \frac{E_2 r}{\alpha \cdot f \cdot I_d} \quad (H) \quad \dots \dots \dots (7)$$

ただし、 f : 交流電源の周波数 (c/s)



E_{2T} : 変圧器二次電圧 (V)

I_d : 直 流 電 流 (A)

(7)式で、脈動率 $\alpha \leq 0.2$ ならば、主電動機の損失の増加も無視でき、インバータ運転にも支障が起こらないことが実験で確認されている。整流器電流の高周波分は、交流電源系統のインピーダンスが小さいと、電源電圧に高調波分を生じ他の機器にも悪影響を及ぼすことがある。また SCR インバータの力率はほぼ $\cos \gamma$ となるので、主機の最大速度のとき無効電力が最大となり、これを吸収するにはインバータ変圧器と同程度の容量の進相コンデンサ(SC)が必要となる。

静止セルビウスの運転法は MG セルビウスと大差ないが、SCR インバータの等価逆起電圧を制御するために、自動パルス移相器で SCR の制御進み角 γ を変える点のみが異なる。インバータが安全に運転されるためには次の条件を満足しなければならない。

$$\gamma \geq u + \gamma_0 + \lambda \quad (8)$$

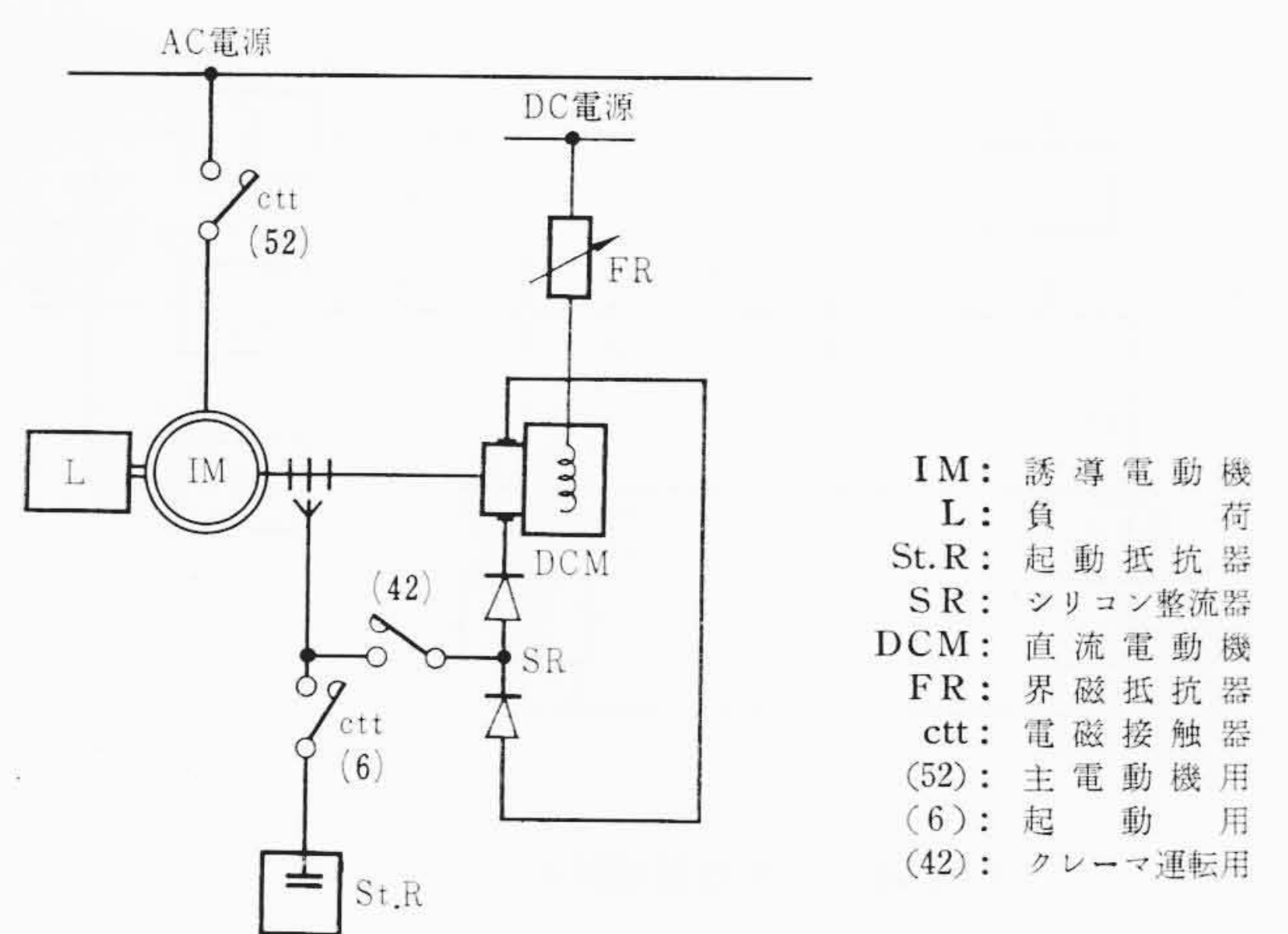
ただし、 u : 重 り 角

γ_0 : SCR の順耐圧回復時間に対する角度

λ : 電源変動・負荷変動を考慮した余裕角

一般に γ は 30 度以上に選定される。

停止の際は、転流失敗を起こさぬため主電動機用 52 M を開い



た後、インバータ変圧器用 52 G を開くよう操作上の注意が肝要である。

4.2.2 クレーマ方式

第10図に制御回路を示す。運転法は、インバータの主開閉器が不要なだけで、MG セルビウスに準ずる。ただし、直流電動機の逆起電圧は主機の速度に比例して変わるので、界磁電流 i_f とすべりの関係は

$$1.35 s E_{2S} = E_{2d} = k(1-s) i_f \quad (9)$$

となり、これをセルビウスの場合の

$$1.35 s E_{2S} = E_{2d} = k i_f \quad (10)$$

と比べると、クレーマの場合はすべりが増大するにつれ、 i_f が急激に増加し、その調整範囲が広がる。

4.3 速度制御のブロック図

二次励磁制御一般について考えると、運転状態において次の諸関係が成立する。ただし損失は無視する。

$$E_2 = s E_{2S} = \frac{N_0 - N}{N_0} \cdot K_1 E_1 \quad (11)$$

$$E_2 - E_k = I_2 R_2 \quad (12)$$

$$T - T_e = M \frac{dN}{dt} \quad (13)$$

ただし、 T : 駆動機発生トルク E_1 : 一 次 電 圧

T_e : 負 荷 ト ル ク $E_k = E_{2d}$: 二次励磁電圧

M : 慣 性 係 数 K_1 : 定 数

駆動機の発生トルク T は、出力特性により異なる。

セルビウス方式の場合は

$$T = K_2 E_1 I_2 \quad (14)$$

クレーマ方式の場合は

$$T = \frac{K_2 E_1 I_2}{N} \quad (15)$$

ただし、 K_2 : 定 数

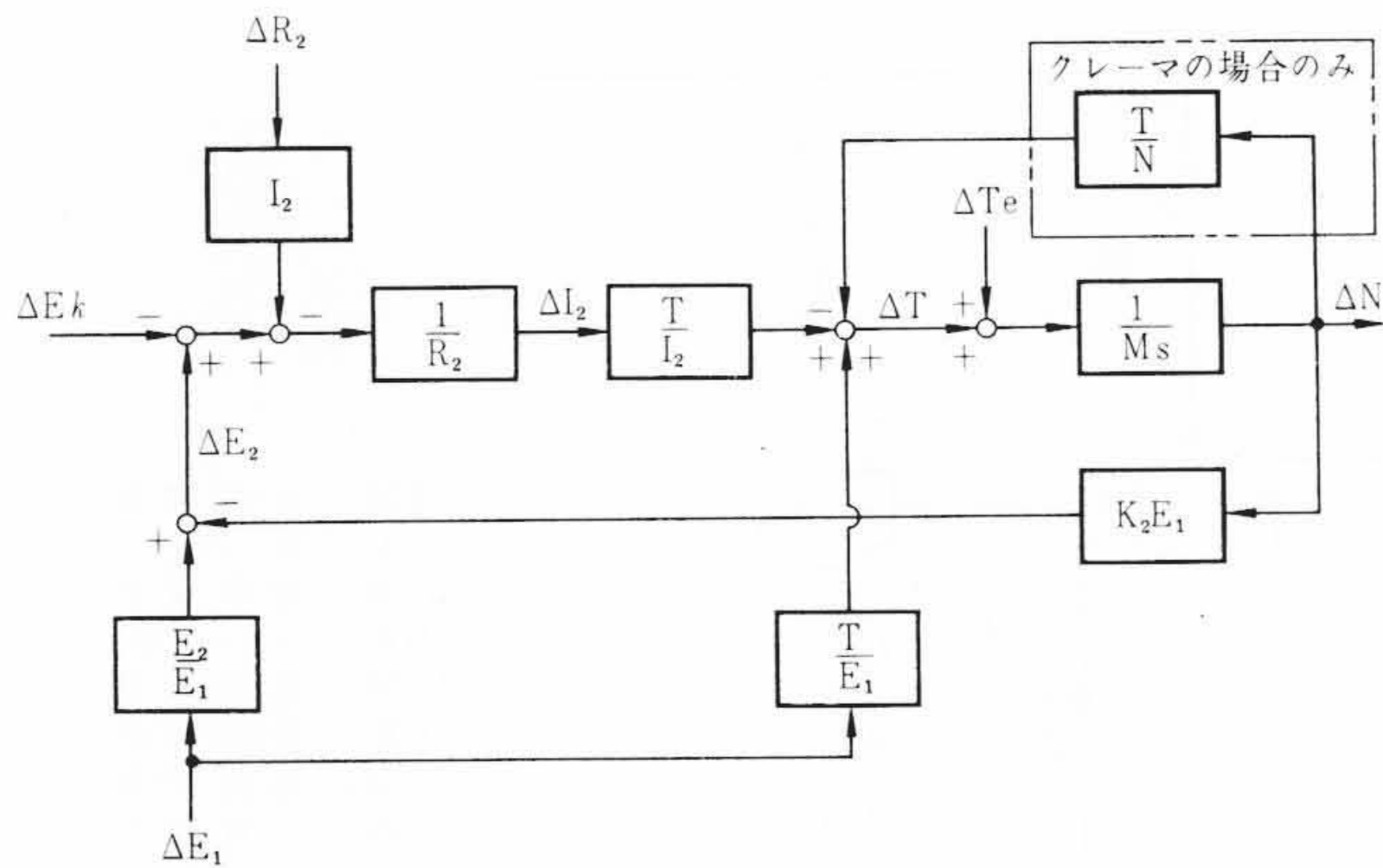
いま、これらの微少変化分を考えると

$$\Delta E_2 = \frac{\partial E_2}{\partial E_1} \cdot \Delta E_1 + \frac{\partial E_2}{\partial N} \cdot \Delta N = \frac{E_2}{E_1} \Delta E_1 - K_2 E_1 \Delta N \quad (16)$$

$$\Delta E_2 - \Delta E_k = \frac{\partial (E_2 - E_k)}{\partial I_2} \cdot \Delta I_2 + \frac{\partial (E_2 - E_k)}{\partial R_2} \cdot \Delta R_2 = R_2 \cdot \Delta I_2 + I_2 \cdot \Delta R_2 \quad (17)$$

$$\Delta T - \Delta T_e = M \frac{d}{dt} \Delta N \quad (18)$$

セルビウス方式の場合は(14)式より



第11図 二次励磁制御のブロック図

$$\Delta T = \frac{\partial T}{\partial E_1} \Delta E_1 + \frac{\partial T}{\partial I_2} \Delta I_2 = \frac{T}{E_1} \Delta E_1 + \frac{T}{I_2} \Delta I_2 \dots\dots (19)$$

クレーマ方式の場合は(15)式より

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{\partial T}{\partial E_1} \Delta E_1 + \frac{\partial T}{\partial I_2} \Delta I_2 + \frac{\partial T}{\partial N} \Delta N \\ &= \frac{T}{E_1} \Delta E_1 + \frac{T}{I_2} \Delta I_2 - \frac{T}{N} \Delta N \dots\dots (20) \end{aligned}$$

したがって、これらの関係をブロック図にて示せば第11図のようになる。

4.4 保護方式

保護方式としては、各機器に対する故障保護と、連契動作を行なう際のインタロック保護が考えられる。以下、重故障とは、主機を非常停止するとともにベル警報を行なうもの、軽故障とは、ブザ警報のみを行なうものとする。

(1) 主電動機

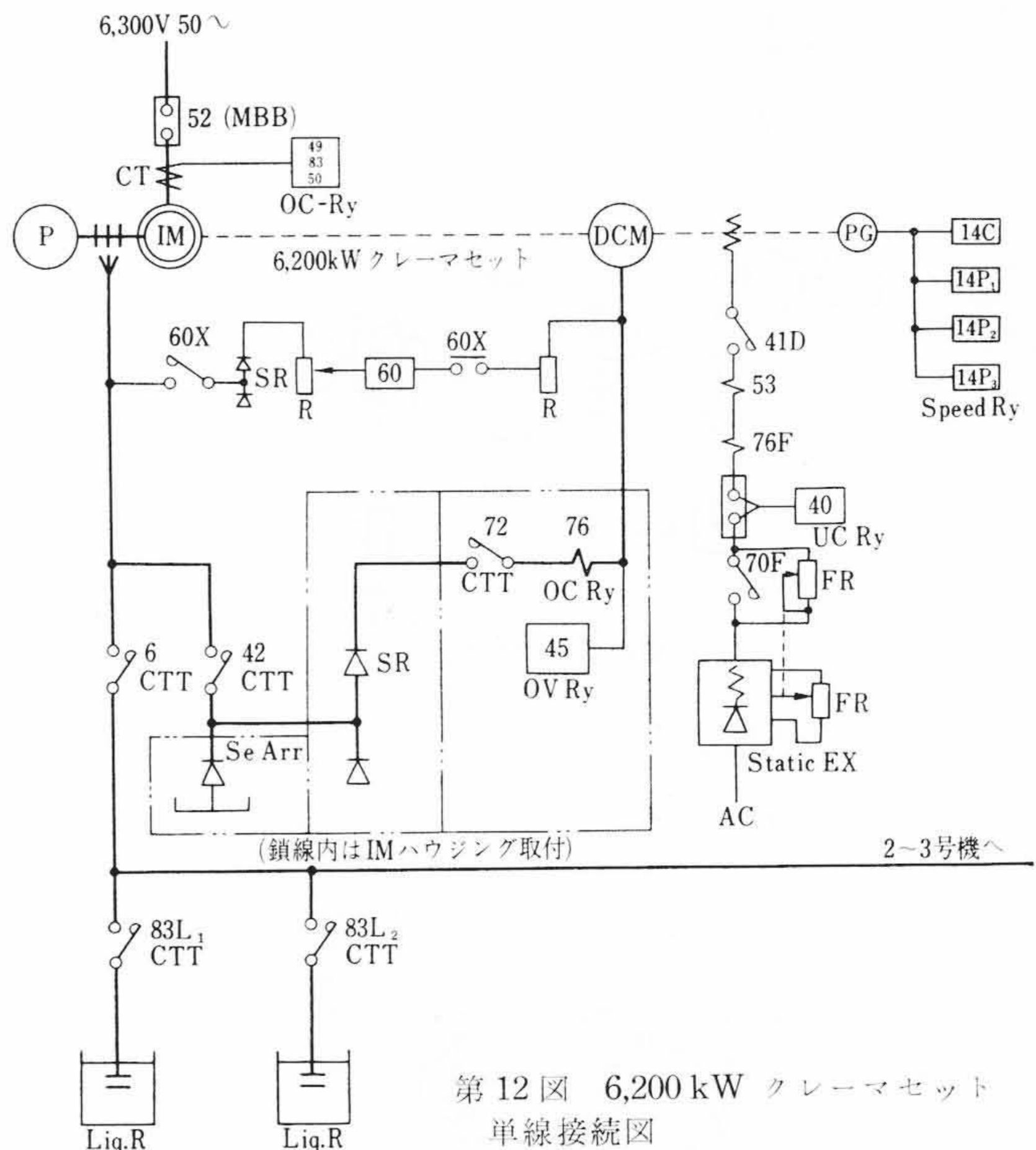
一般の巻線形誘導電動機と変わるところはないが、電源低電圧、過負荷、過電流、選択接地、軸受過熱などを重故障とする。

(2) シリコン整流器

直並列枚数を主電動機二次仕様に適合するよう選定し、異常電圧に対しては、セレンアレスタ、CR サージアブソーバにより、異常電流に対しては、半導体整流素子用として開発された日立ハイラップヒューズまたは高速度直流遮断器 (High Speed Circuit Braker 以下 HSCB と称する) により保護する。特に HSCB で直流回路を開いた後、主電動機の一次を開くと主電動機二次に異常電圧が発生するので、HSCB に並列抵抗を接続し直流回路の完全開放を避けるか、または整流器の交流側接触器を開いた後、主電動機の一次を開かなければならない。重故障としては、直流過電流、過電圧、ヒューズ溶断、素子温度上昇などをとる。また素子直並列数の多い場合の素子部分破壊、風冷の場合の冷却ファン故障に対しても、適宜軽故障または重故障の措置をとる。

(3) M-G セット

重故障として、誘導発電機過負荷、過速度、直流回路過電流、過電圧、直流電動機界磁過電流、界磁喪失などをとる。直流主回路の保護リレーは整流器と兼用する。ここでMGセットへの流入電力が過大となって過速度となるのは、誘導発電機の主開閉器を開放したまま主電動機二次出力を加えた場合と、主機の速度上昇指令が急変 (界磁喪失を含む) した場合である。前者はインタロック保護として、MGセットの速度・電圧確立を条件にセルビウス運転に投入することと、負荷停止時は、主電動機停止後にMGセットを停止すれば防止できる。後者は、特に主電動機の回転などの慣性モーメントが非常に大きく直流機の応答速度に比べて速度変化の緩慢な場合に生ずる。このような場合は、予想され得る



第12図 6,200 kW クレーマセット 単線接続図

指令の急変に対する主電動機のトルク変動により誘導発電機がトルク許容限界を越えないよう容量を十分大きくするか、または直流電力を検出して直流電流の急変を抑止するよう界磁制御を行なう必要がある。

クレーマセットの直流電動機の保護は、本項の直流機の保護に準ずる。

(4) 静止インバータ

整流器と同様な配慮を行なったうえ、インバータ変圧器の過負荷も重故障とする。負荷や点弧制御入力が急変するおそれのある場合は、これらによって起こる直流回路の過電流を防ぐため負荷制限回路を設け、直流電流の変動を点弧制御回路へ負帰還し抑制する必要がある。また点弧制御回路には、制御進み角 γ が転流余裕角以下とならないよう、制限回路を設けることも考慮しなければならない。なお整流器式インバータでは、転流失敗はある程度覚悟しなければならない。その都度ヒューズ交換することは再投入までに少なからぬ時間を費やすことになるので、直流回路にHSCBを設けヒューズ溶断前に転流失敗電流を遮断することが望ましい。

5. 誘導電動機二次励磁速度制御法の応用

5.1 セルビウス・クレーマの応用

セルビウス・クレーマ法は効率よく誘導電動機の色度制御を行なうものであるから、従来広く行なわれていた誘導電動機の色度抵抗制御に代わり得るばかりでなく、前述のように精度の高地制御ができるので、速度制御を必要とするあらゆる用途に適する。一例をあげると次のような種々の応用がある。

(i) ポンプ

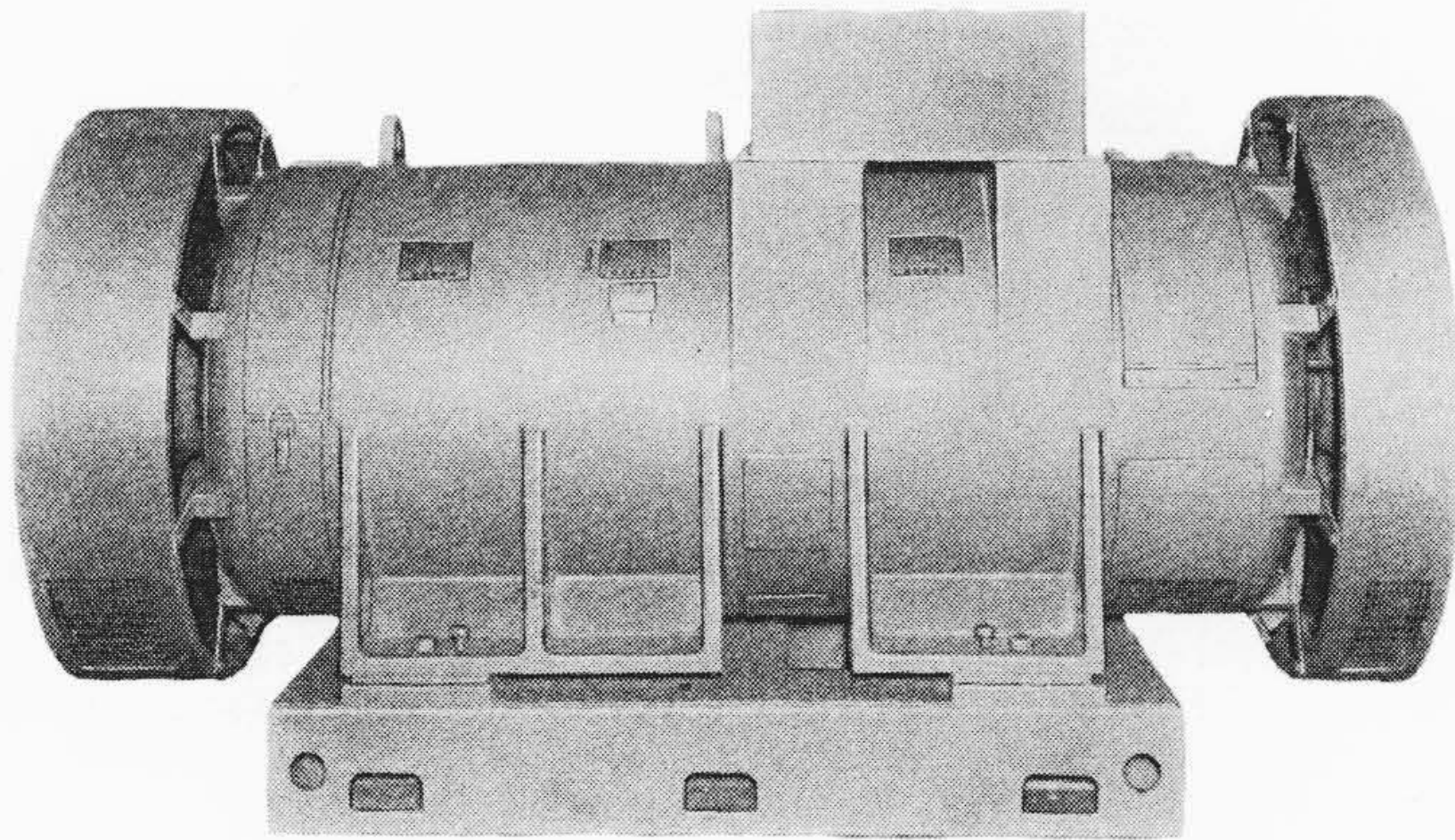
水量、水圧の調整を回転数の変化によって行なう。各指令に対し迅速、確実なる応答をすることができる。

(ii) ファン、ブロウ、コンプレッサ

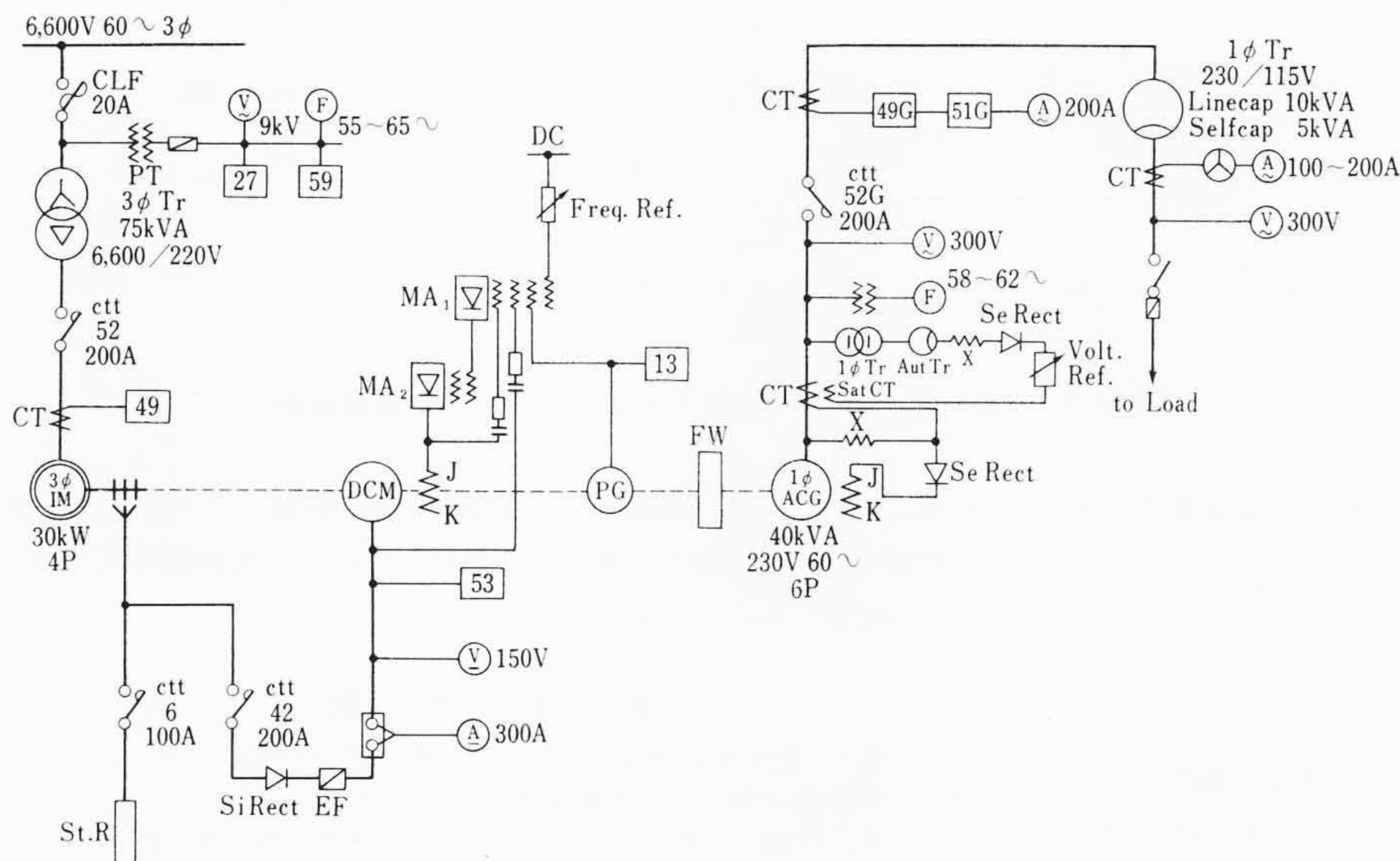
風量、風圧の制御を回転数の変化によって行なうので、ポンプの場合と同様の制御であるが、回転数を変化させることによりサージングを避けられる利点がある。

(iii) 圧 延 機

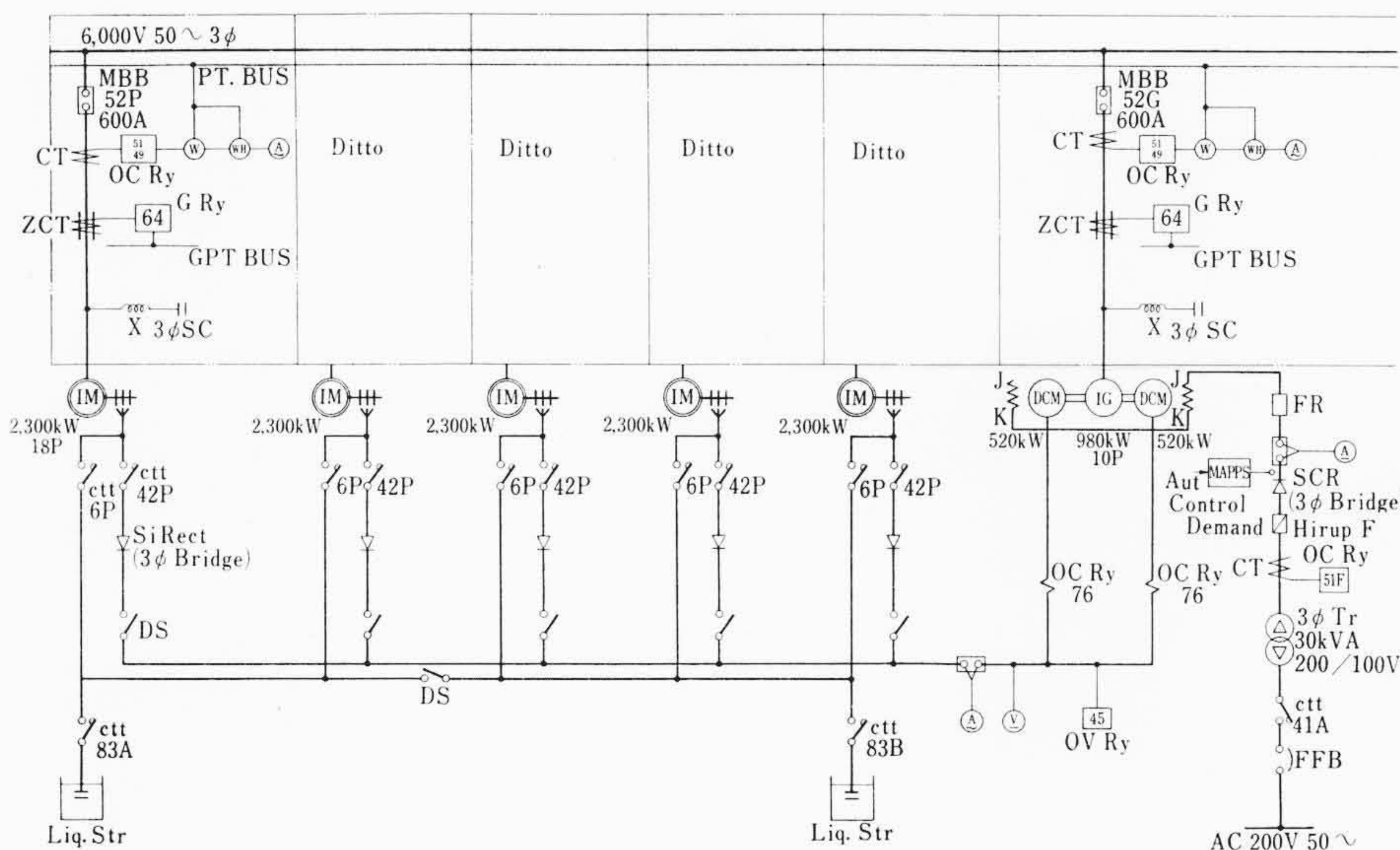
負荷が急変するものであり、それに応じた回転数制御を行なうことができる。特にせん頭負荷の加わることが多いが、これに対しては定出力特性の出せるクレーマ法が適している。



第13図 定周波電源用 30 kW クレーマセット



第14図 40 kVA 定周波定電圧電源用クレーマセット単線接続図



第15図 2,300 kW ポンプ用共通セルビウスセット単線結線図

(iv) 定周波電源

回転数を一定に保つ制御を行なうものであり、きわめて精度の高い一定周波数を得ることができる。

(v) 電 気 推 進

船舶の推進用であって、エンジン、タービン駆動に比べ制御性がすぐれている。

以上のほか、セメントキルン、しゅんせつ船などに用いられる。

5.2 具体的応用例

(i) ポンプ用 6,200 kW クレーマセット⁽⁴⁾

東京都水道局納の立形クレーマセットであって、世界有数の記録的大容量機である。流量指令により速度制御を行なうもので第12図はその単線接続図である。

(ii) 定周波電源 40 kW クレーマセット

40 kVA の発電機を駆動するものであって、定周波数を必要とするために、電源条件のいかにかわらず一定速度で回転せねばならない。そのためにクレーマ法にて自動制御し、下記のような高い精度を得ている。

仕 様

負 荷	40 kVA 交流発電機
出 力	30 kW
回 転 数	1,000 rpm (同期速度 1,500 rpm)
速 度 精 度	±1% 以内

なおこのクレーマセットは負荷の発電機と誘導電動機、直流電動機を一体として、小形にまとめられている。第13図にその外観を、第14図に単線接続図を示す。起動は、金属抵抗器にて行ない、DCM の電圧確立 (53)、速度確立 (13) で、クレーマ運転に切り換える。周波数設定は、DCM 界磁電流調整により、電圧設定は、ACG の励磁調整により行なわれるが、入力変動 $6,600 \text{ V} +10\% -15\%$ $60 \text{ c/s} +2\% -3\%$ において、負荷変動 0~100% の全域にわたり、整定精度は $115 \text{ V} \pm 2\%$ および $230 \text{ V} \pm 2\%$ 、 $60 \text{ c/s} \pm 0.5 \text{ c/s}$ 以内である。

(iii) ポンプ用 2,300 kW セルビウスセット

東京都水道局納の MG セルビウスセットで、セルビウスとしてはわが国最大容量のものである。最大3台の誘導電動機を一括して一組の二次励磁機で制御し、第15図単線結線図に示すように3台の二次側をシリコン整流器の後で一まとめにし2台の直流電動機に並列にはいる。この2台の直流電動機に1台の誘導発電機が直結している。このようにして二次補機の小形化をはかることができた。

仕 様

出 力	2,300 kW
速 度 範 囲	315~157 rpm (100~50%)
制 御 方 式	流量プログラム制御
起動用液体抵抗器	5 台に対し共通

に使用される。起動は、DCM 電圧と IM 二次電圧（直流換算値）を比較し、それらが平衡する近傍で接触器 42 を投入する方法が採られている。これにより、運転中の IM に他機を追加起動する際には、先行機の色度に一致した点でセルビウス運転への切り換えが円滑に行なわれる。ポンプは、あらかじめ、設定された流況プログラム指令によって、速度と台数を自動的に制御し、所要の流量を送水する。DCM の界磁は、SCR による静止励磁装置によって調整される。

(iv) ポンプ用 190 kW セルビウスセット

千葉県水道局船橋浄水場納の MG セルビウスセットである。上例と同じように 3 台の誘導電動機を、直流電動機 1 台、誘導発電機 1 台よりなる 1 組の二次補機により一括制御する。第 16 図に二次補機 MG セットの外觀を、第 17 図に単線接続図を示す。

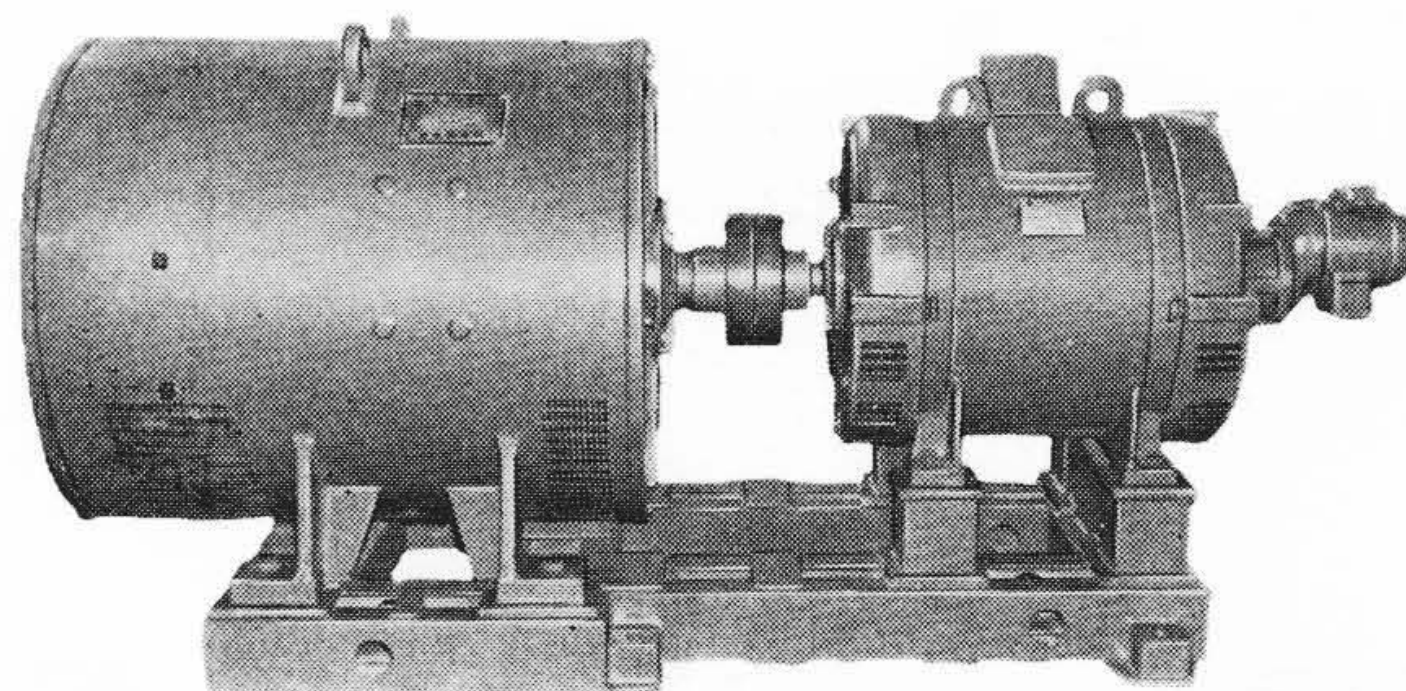
仕 様
出 力 190 kW
速度範囲 900~630 rpm
(100~70%)

制御方式 管路末端圧一定制御
起動から運転への移行は、MG セットの速度確定(13G)電圧確定(84D)を検知することによって行なわれる。速度制御の目的は、配水管路末端圧を需要流量のいかにかわらず一定に保つ末端圧一定自動制御にあり、送水流量と管路特性により目標吐出圧を算出し、実吐出圧をこれに一致させるよう、ポンプの速度および台数が自動的に制御される。DCM の励磁回路には SCR による静止励磁装置が使用されている。

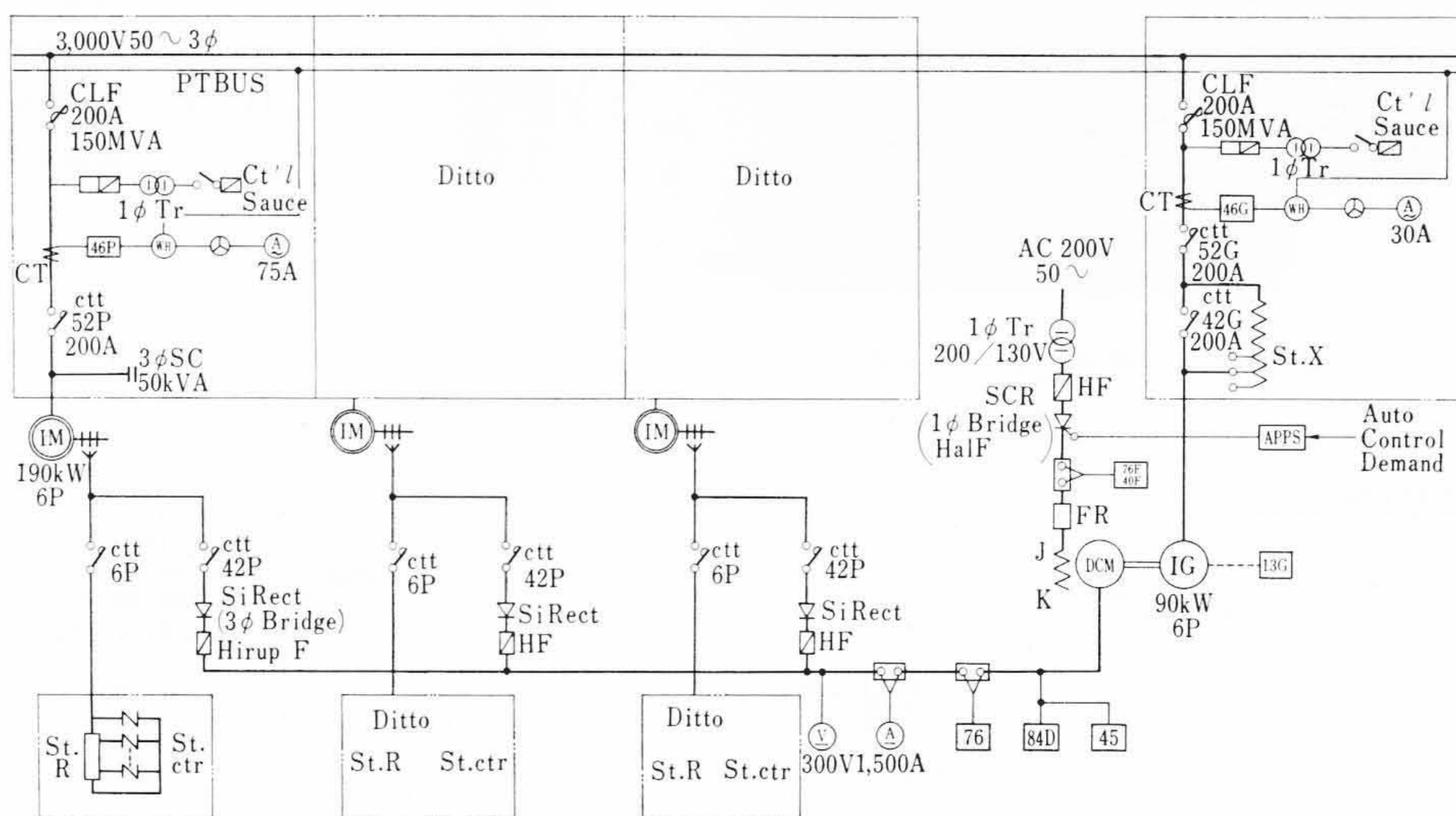
以上のほか、SCR セルビウスにも実績を有している。

6. 結 言

本稿では、誘導電動機の二次励磁による速度制御法一般につき解説した。ここに述べたセルビウス、クレーマの基本的な方式に対しては、実施例も多く、実験データも完備しているが、今後は速度制御範囲の広い負荷に対する二次補機回路の変形応用、共通セルビウ



第 16 図 MG 式セルビウス二次補機
(直流電動機と誘導発電機)



第 17 図 190 kW ポンプ用共通セルビウスセット単線接続図

ス方式における誘導電動機二次巻線の共通接続法、ミルなどの過酷な責務に耐える用途への適用などが考えられ、二次励磁法の用途はさらに増大することが期待できる。

参 考 文 献

- (1) 堀：電気学会東京支部大会予稿（昭 37-10）
- (2) 電気学会編：水銀整流器（昭 35-2）
- (3) 広，平輪：電気学会中国支部大会予稿（昭 39-11）
- (4) 麻生，広ほか：日立評論 47, 663（昭 40-4）