

交流電動機のサイリスタ制御

Speed Control of A.C. Motor Using Thyristor

川上直衛*
Naoe Kawakami

吉沢宗三郎**
Sôzaburô Yoshizawa

田辺昭次***
Shôji Tanabe

渡辺博****
Hiroshi Watanabe

坪井孝****
Takashi Tsuboi

要 旨

交流電動機のサイリスタ制御の一例とし紡糸用電動機と可変電圧可変周波数インバータならびにサイリスタモートルについて述べる。紡糸用電動機としてはMSモートルが効率、力率がすぐれている。インバータは転流改良形インバータの直流電圧制御方式で電源変動50%1秒に耐え周波数精度は $\pm 0.1\%$ である。サイリスタモートルはAC方式とDC方式がありいずれも数十キロワット級の運転を経験している。サイリスタモートルは車両用電動機としても有望である。

1. 緒 言

最近、サイリスタの大容量高速度化の著しい進歩に伴い、交流電動機の変速度運転の技術もめざましい躍進をとげつつある。交流電動機は安価で整流子がないため保守が容易である。これをサイリスタで制御すれば主回路の無接点化により一歩近づいたものとなる。また性能の面でも同期電動機をインバータで周波数制御すればその精度を $\pm 0.1\%$ 以下に保つことは容易であり、また超高速電動機の制御など直流電動機の制御では得られない特長を発揮することができる。

サイリスタ装置により駆動される交流電動機としては誘導機あるいは同期機が通常用いられる。またサイリスタ装置としてはインバータ、サイリスタモートル、サイクロコンバータ方式などがあり、用途に応じてこれらの組合せが使用される。

一方、電動機の側でもサイリスタ電源と組み合わせて使用するためには、その電源方式により高調波に対する特性、あるいは内部リアクタンスに対する制限など特殊な考慮が必要とされる。したがって交流電動機のサイリスタ制御にあたってはサイリスタ装置および電動機の協調の取れた設計が必要である。

ここでは紡糸用への応用として永久磁石励磁式日立MSモートルおよび可変電圧可変周波数インバータならびに今後一般工業用、車両用などに採用される機運にあるサイリスタモートルの現状につき述べる。

2. 紡糸用 MS モートル

化学繊維の分野における近年の発展はめざましいものがあり、各種設備には種々の電動機が使用されている。図1に示す概略図は巻取機の一つであるテークアップマシンの⁽¹⁾一例である。テークアップマシンは、紡糸ノズルから紡出され、紡糸筒で冷却固化されて糸状になったものを、ゴデットロールを介して引き出し、トラバース糸ガイドを通して、フリクションロールにより回転させる巻取ボビンに巻き取る機械である。近年、熔融紡糸法における紡糸速度は、生産の高能率化、設備の合理化などのために高速化への一途をたどり、今日ほとんどの機種は、単独駆動方式が採用されている。すなわち、各鍾のゴデットロール、フリクションロール、トラバース装置に分かれ、それぞれの単独モートルに直結されていて、これらの

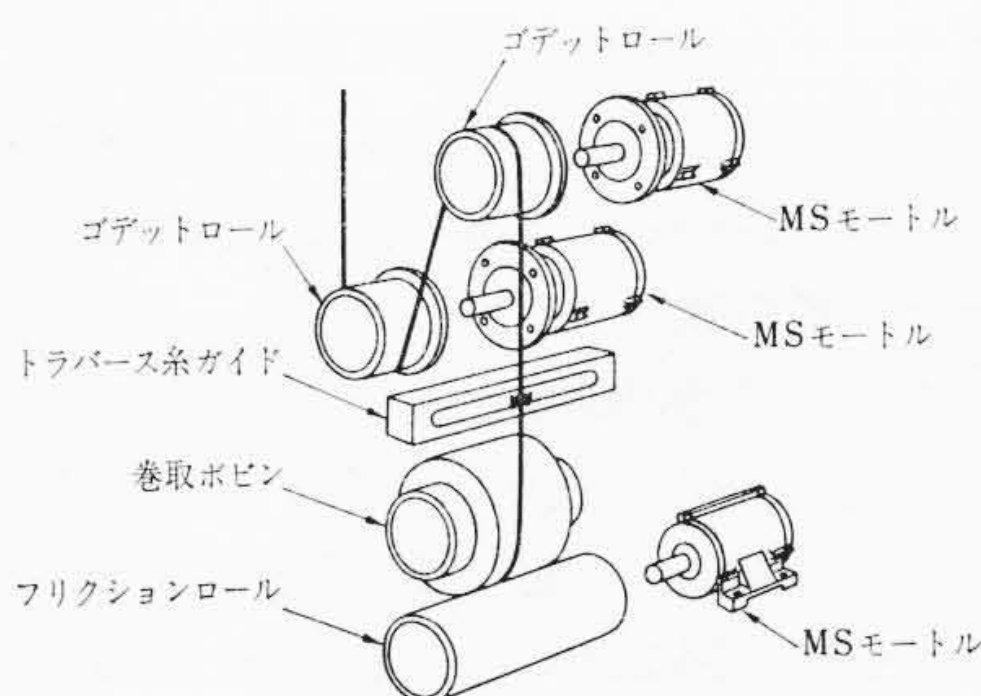


図1 テークアップマシン

モートルを専用の電源装置により速度調整を行なう方式である。おのおののロールは高精度の速度調整を行なう必要があることから、駆動部には小形同期電動機が使用されている。同期電動機を用いれば、ロールの回転速度は電源周波数によってのみ定まり、専用電源の周波数を変化することにより、複雑な検出回路、帰還回路のないオープンループ制御で正確な速度制御ができるからである。従来、この種電動機としては、構造、保守の容易なリアクションモートルが使用されていたが、直流励磁を必要としないかわりに、突極性に基づくリアクショントルクによって同期運転を行なっているため、固定子巻線の遅れの無効電流で磁束を作るので、力率が悪く、したがって効率も低くなる。しかも、必要なトルクを出すために、誘導電動機に比べ多くの磁束が必要になり、始動電流も多くなって、専用電源は大容量で高価なものになっていた。そこで、リアクションモートルの保守の容易さを失わないで、高性能の同期電動機として開発したのが、日立MSモートルである。

MSモートルは、日立製作所永久磁石式同期電動機の商品名である。

MSモートルは、普通の同期電動機の直流励磁に代わり、回転子に高性能永久磁石を内蔵し、必要な磁束のほとんどを磁石より供給するので、固定子巻線に流れる励磁電流が少なくすみ、非常に高力率である。しかも、必要なトルクを出すために、リアクションモートルのように多くの磁束を必要としないために、始動電流も少なくでき、また効率も向上するので、電源容量を一挙に従来の1/2以下に下げることができる。

2.1 MSモートルの特長

MSモートルの特長は、なんといっても高性能(高力率、高効率、小始動電流)であるということになる。そこで、図1に示したテークアップマシンにより、MSモートルとリアクションモートルと比較して、電動機特性、電源容量など試算してみると、表1のようになる。

* 日立製作所日立工場
** 日立製作所大みか工場
*** 日立製作所習志野工場
**** 日立製作所日立研究所

表 1 特 性 比 較

仕 様	電動機定格出力 (VA)	100		400	
	定格周波数 (Hz)	100		100	
	定格電圧 (V)	400		400	
	電動機台数	50		50	
	起動方式	順次起動		順次起動	
電動機特性	電動機種類	MSモートル	リアクションモートル	MSモートル	リアクションモートル
	定格電流 (A)	0.24	0.56	0.81	1.68
	効 率 (%)	76	54	83	65
	力 率 (%)	80	48	86	52
	始 動 電 流 (A)	3.6	7.5	11	24
電源容量	運転時容量 (kVA)	8.3	19.4	28.1	58.3
	起動時容量 (kVA)	10.6	24.2	35.1	78.6
	呼 積 称 量	10 kVA	20 kVA	30 kVA	60 kVA

電源容量は従来のリアクションモートルを使用した場合の半分以下になり、MSモートルは多数の同期電動機を専用の電源で運転するような場所には最適の電動機といえる。また、誘導電動機と同様に、構造堅ろう、取り扱い容易であることは言うまでもない。

2.2 MSモートルの外観

外観は一般のかご形誘導電動機と同じで、標準わくには使いやすいIEC寸法を採用している。また、力率、効率がすぐれているので、温度上昇が低く冷却ファンを必要としないため、全閉形にしてより小形化されている。図2は横形全閉形を、図3はたて形全閉形MSモートルの外観を示したものである。

2.3 MSモートルの構造

MSモートルの構造は、回転子内部に高性能永久磁石を内蔵していることを除けば、構造的には図4に示すように一般のかご形誘導

電動機と同じである。そこで回転子の構造について述べる。

図5に回転子構造を示す。回転子鉄板には一般の電動機と同様に良質のけい素鋼板を使用し、外周に配置したかご形巻線は起動巻線と同時に乱調防止のためのダンパ巻線の役割を果たしている。4極の場合は、この回転子鉄心に、磁石を入れる4個の穴を明け、磁石を有効に使用するためスリット部にて4個のセグメントに分割されている。さらに、磁石と磁石の中間に4個の穴を明け、ピンをそう入して回転子両端に配置した非磁性当板に固着し、高速回転における遠心力に対しじゅうぶんの強度を持たせている。このようにして積層しアルミダイカストして一体となるので、磁石は完全に内部に埋め込まれているため、外力などにより破損することはない、回転子は図6に示すように簡単な外観になっている。

回転子に永久磁石を使用しているため、起動中の固定子巻線による減磁界などにより、使用中に磁石の特性が変化してしまうことのないように、次のような考慮がはらわれている。

(1) 固定子磁束のバイパス通路

永久磁石磁束には、固定子鉄心を通る主磁束と、回転子鉄心のみを通り固定子鉄心を通らない漏えい磁束がある。主磁束を多くするには、回転子鉄心に設けたスリットの幅を広くするほど良いが、このスリット部は起動中の固定子巻線磁束をバイパスさせ磁石に大きな減磁界がかからない働きをしているため、最適な幅に選定され、減磁を防いでいる。

(2) 減磁防止短絡環

永久磁石磁束を束にして結ぶように磁石を取り巻いて帯状に導体が巻かれている。これは、減磁界がかかり磁束が変化すると、これを阻止するように短絡電流が導体に流れ減磁を防止する。なお、この導体はかご形巻線と同時にアルミダイカストして成形している。

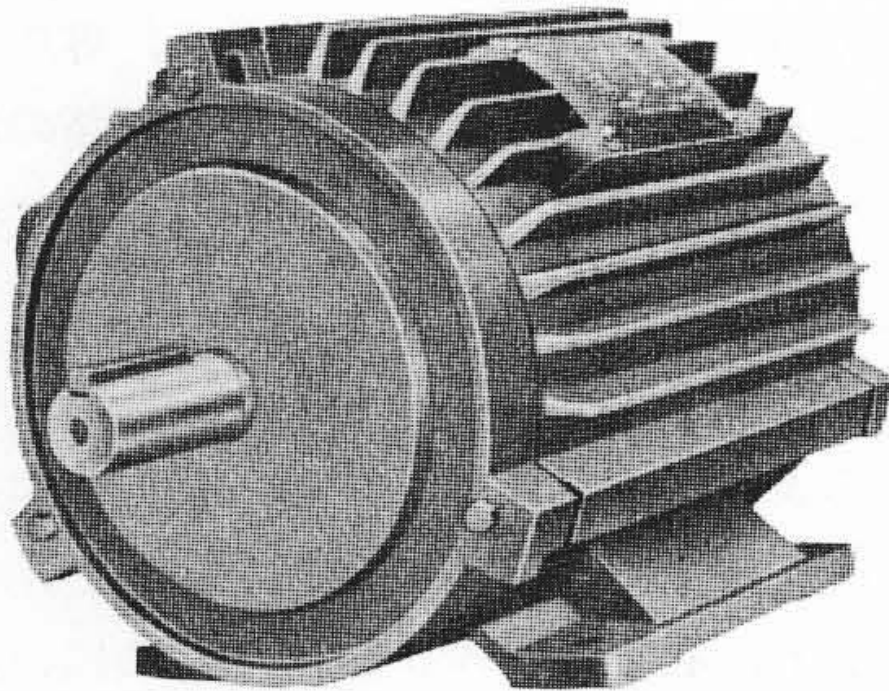


図 2 横形全閉形 MS モートル

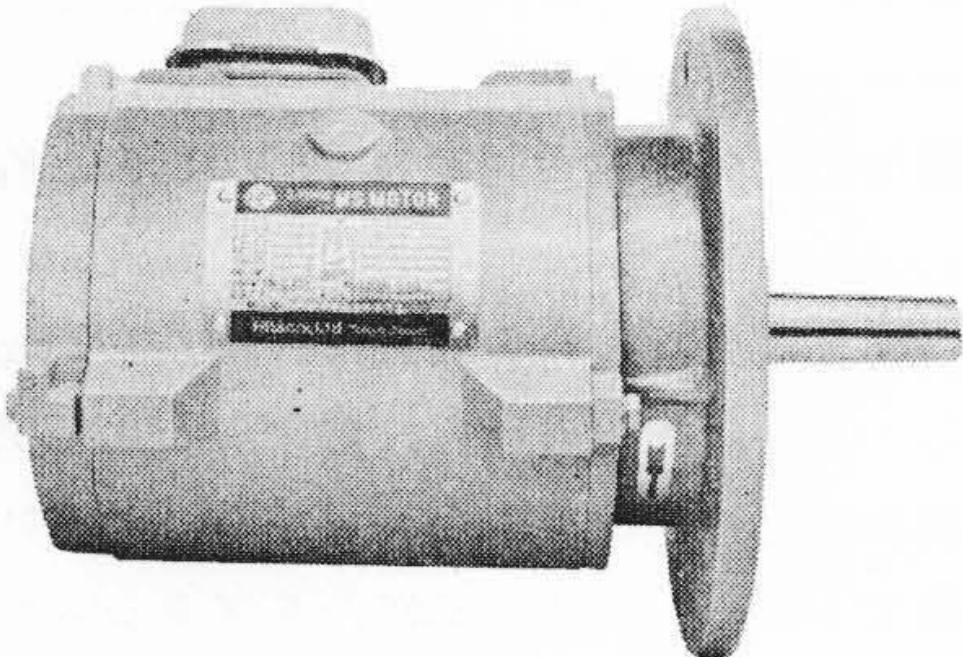


図 3 たて形全閉形 MS モートル

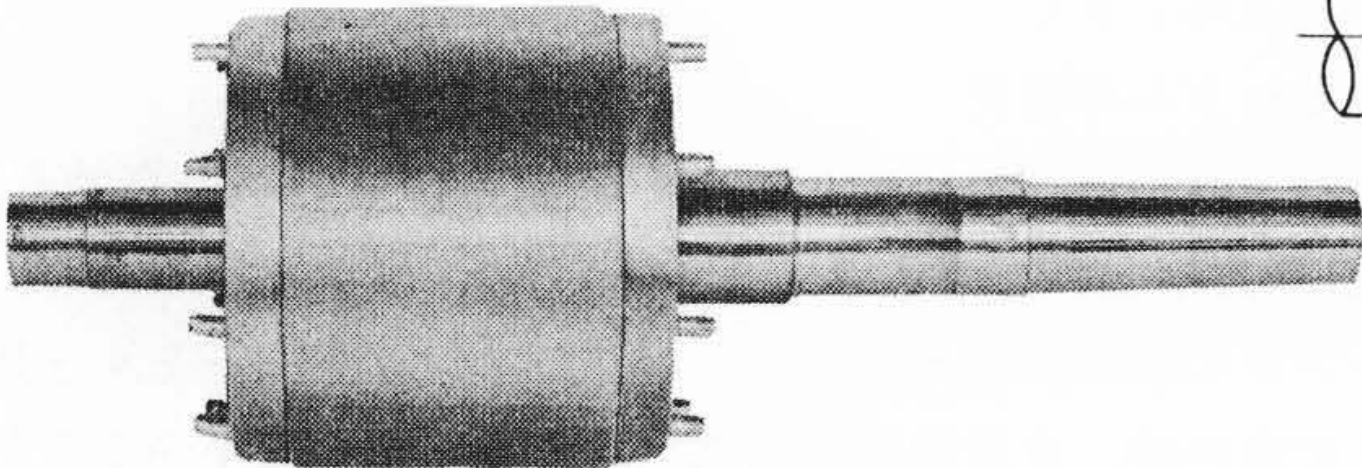


図 6 回 転 子

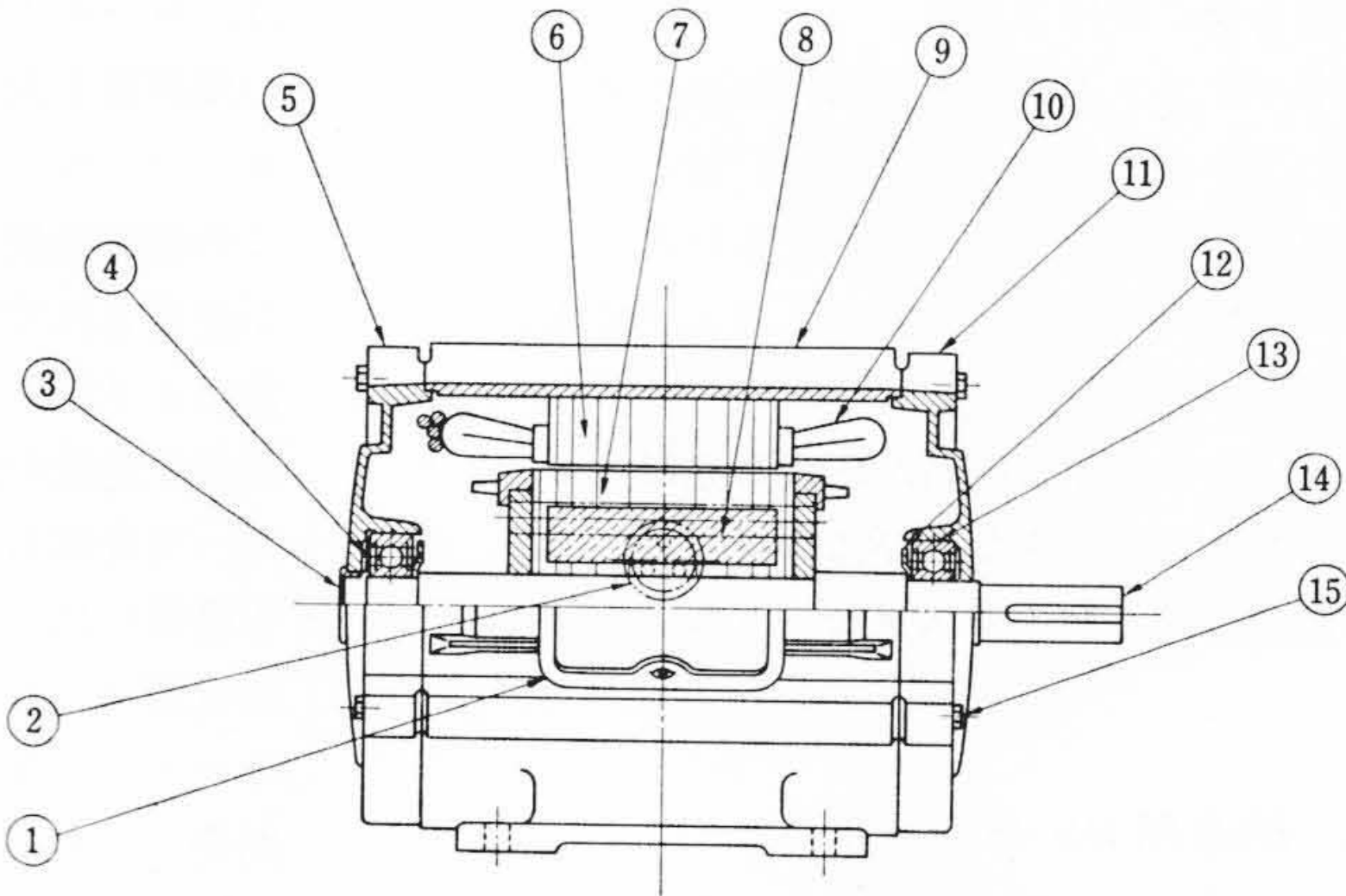


図 4 MSモートルの構造

項番	品 名
1	端 子 箱
2	ゴ ム ブ ッ シ ュ
3	メ ク ラ プ タ
4	予 圧 バ ネ
5	エンドブラケット
6	固 定 子 鉄 心
7	回 転 子 鉄 心
8	永 久 磁 石
9	ハ ウ ジ ン グ
10	固 定 子 巻 線
11	エンドブラケット
12	グ リ ー ス カ ラ
13	密 封 玉 軸 受
14	シ ャ フ ト
15	締 付 ボ ル ト

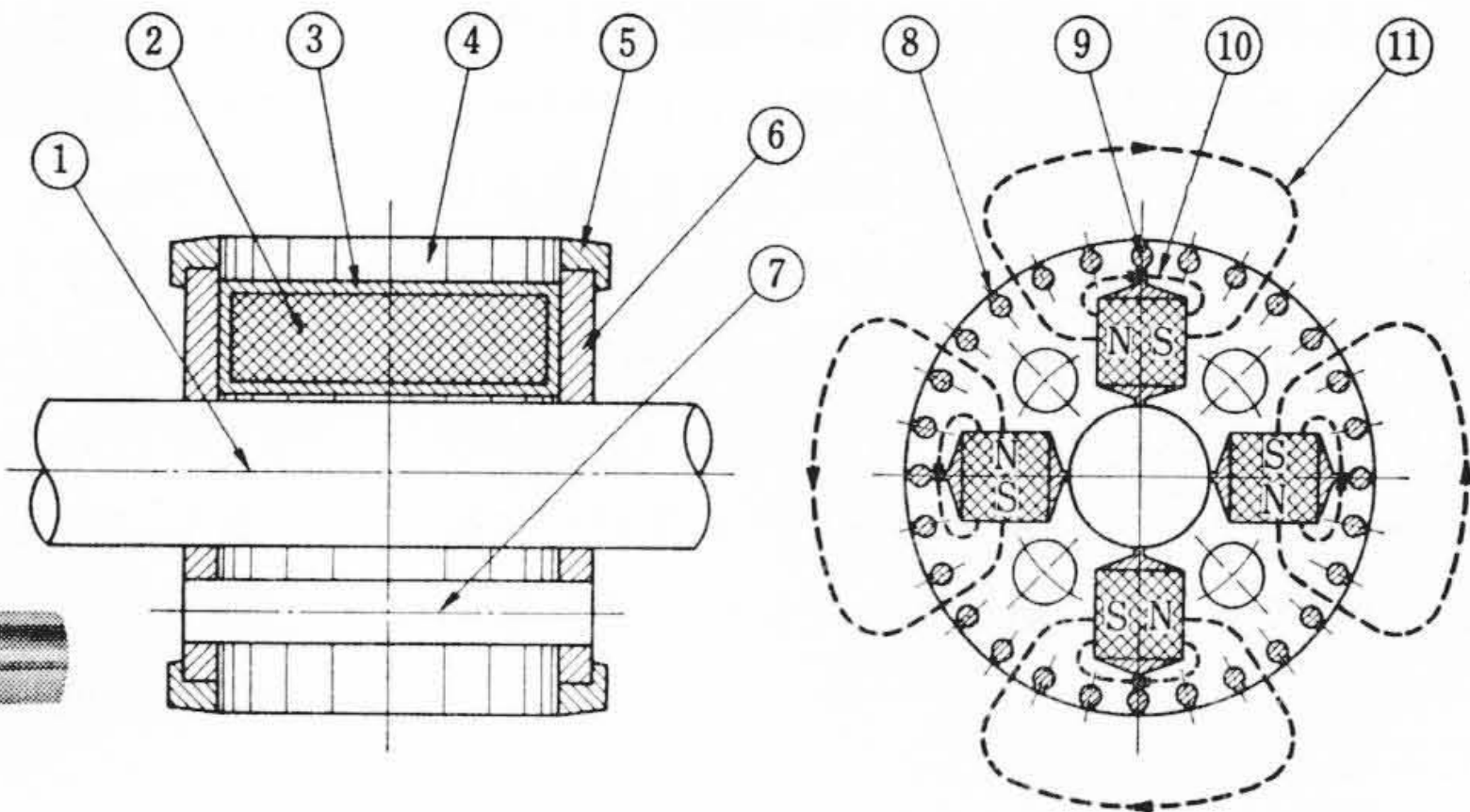


図 5 回 転 子 の 構 造

項番	名 称
1	非磁性シャフト
2	永 久 磁 石
3	減磁防止短絡環
4	回 鉄 子 鉄 心
5	エンドリング
6	非 磁 性 当 板
7	ビ ン
8	か ご 形 巻 線
9	ス リ ッ ト
10	漏 え い 磁 束
11	主 磁 束

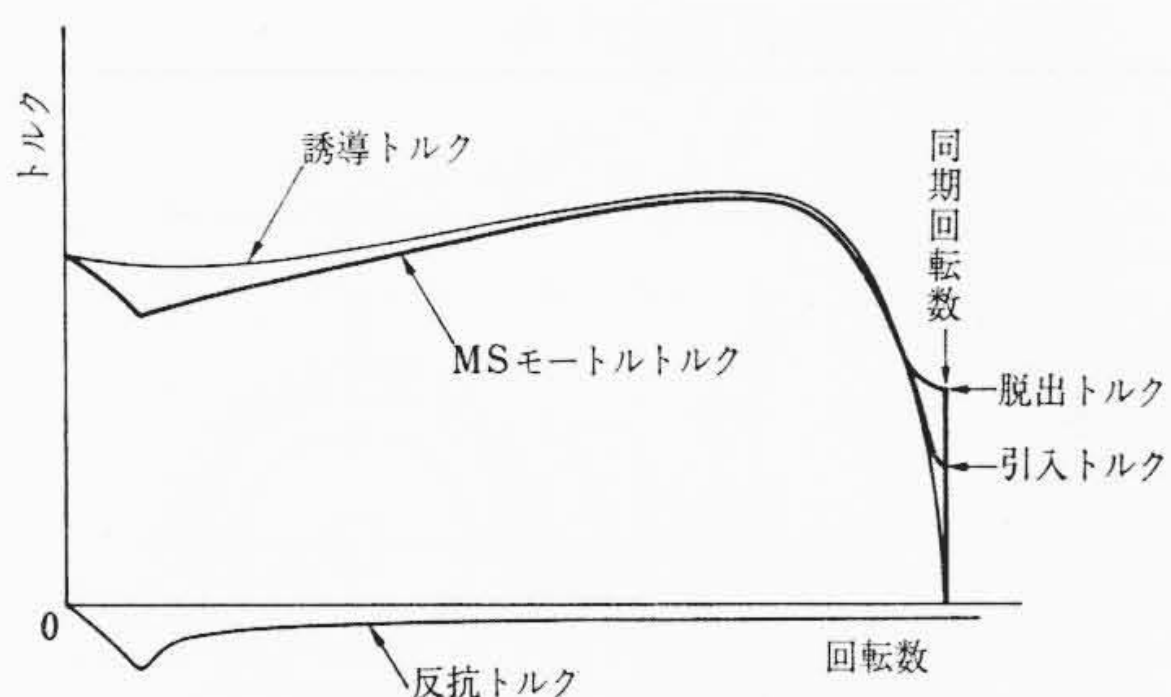


図7 始動特性

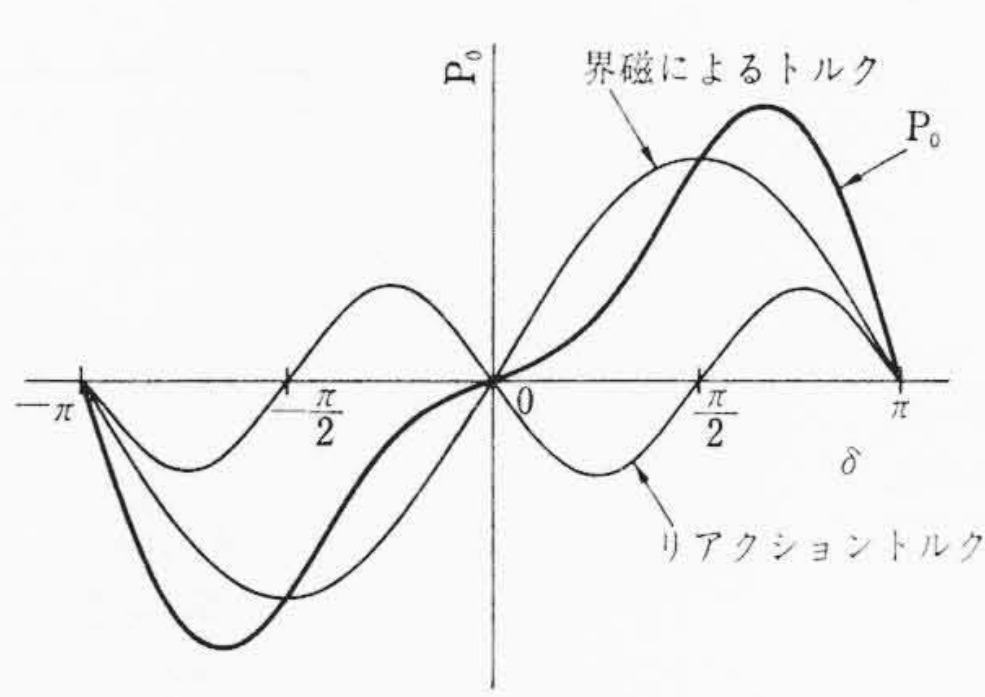


図9 MSモートルの同期トルク

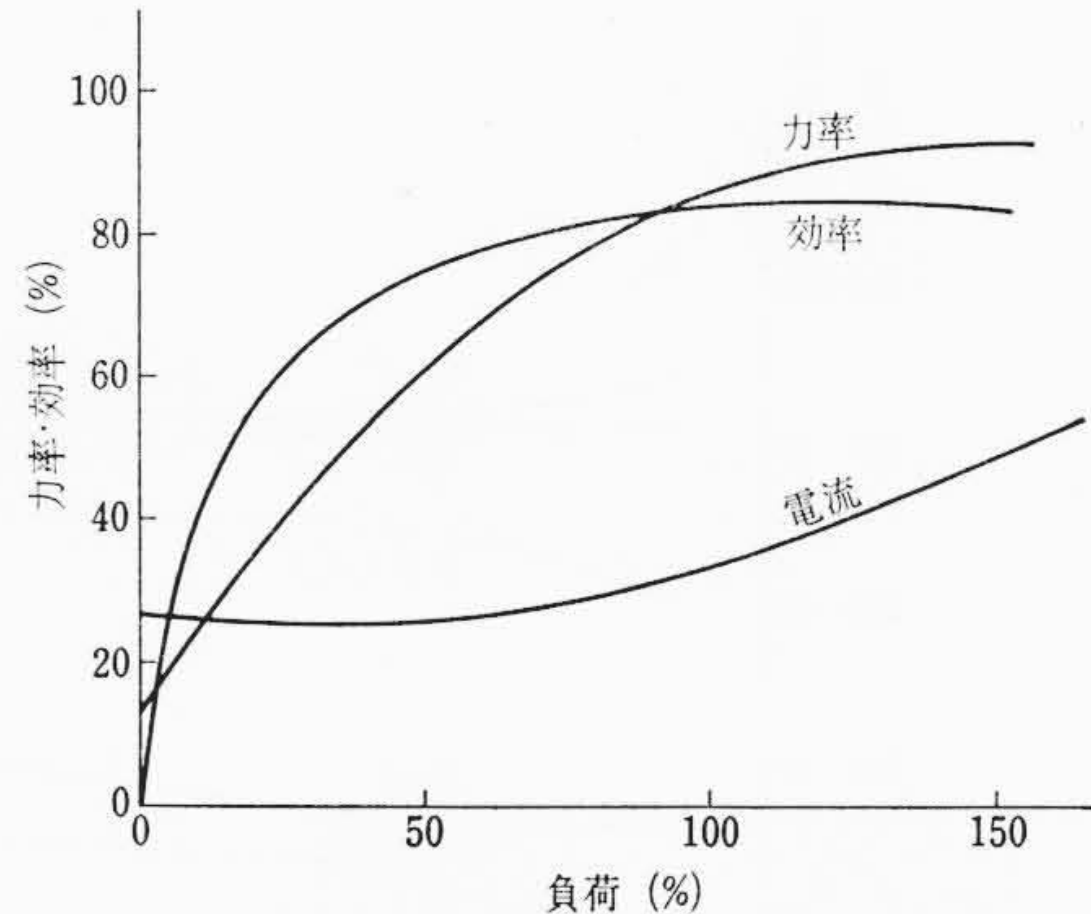


図10 負荷特性

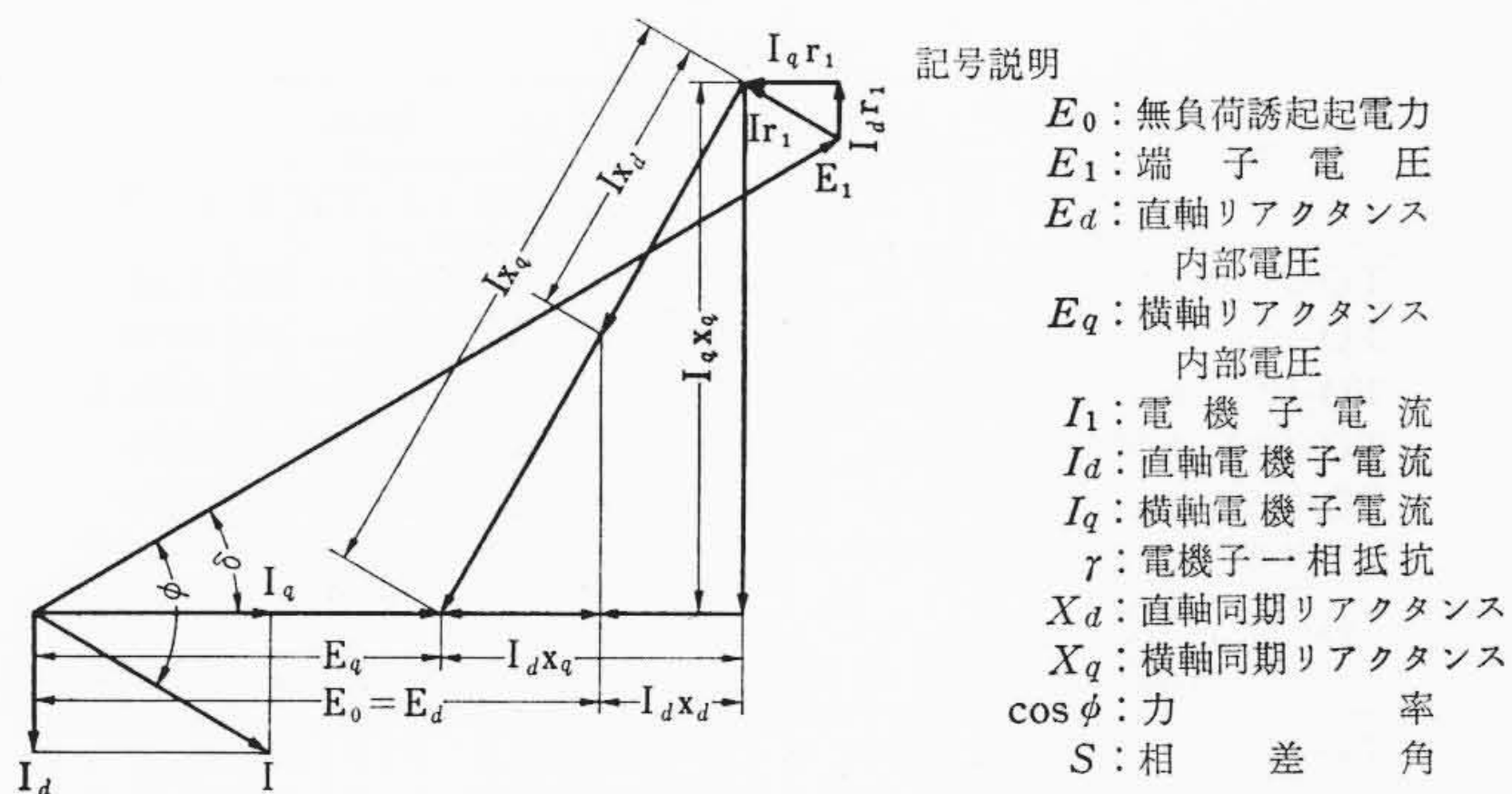


図8 ベクトル図

記号説明

E_0 : 無負荷誘起起電力
 E_1 : 端子電圧
 E_d : 直軸リアクタンス内部電圧
 E_q : 横軸リアクタンス内部電圧
 I_1 : 電機子電流
 I_d : 直軸電機子電流
 I_q : 横軸電機子電流
 r : 電機子一相抵抗
 X_d : 直軸同期リアクタンス
 X_q : 横軸同期リアクタンス
 $\cos \phi$: 力率
 S : 相 差 角

(3) 安定化処理

着磁した回転子をあらかじめ実際の使用状態よりきびしい条件で、安定化処理を行ない、減磁防止とともに、電動機の特性のばらつきをおさえている。

(4) 高周波電流防止設計

紡糸用電動機のように電源にサイリスタインバータを用いると、電動機端子電圧は方形波になり、高調波を多く含んでいる。そこで電動機に高調波電流が流れて磁石が減磁されないよう、高調波電流の流れにくい設計にし、減磁防止とともに、運転特性の向上を図っている。

2.4 MSモートルの特性

2.4.1 始動特性

始動時にはかご形誘導電動機と同じ原理で始動・加速する。しかし永久磁石が発電機として作用するため、反抗トルクが生じ、若干トルクは低下するが、誘導トルクが大きいので問題ない。図7は始動特性を示したものである。なお、始動電流は一般のかご形誘導電動機と同程度で、リアクションモートルに比較すると半分以下になる。

2.4.2 運転特性

(1) 基準特性

同期電動機の直軸同期リアクタンスを x_d 、横軸同期リアクタンスを x_q とすると、一般の直流励磁形同期電動機や反作用電動機では、 $x_d > x_q$ となる。しかし、MSモートルにおいては、 $x_d > x_q$ となる点が大きく相違している。電機子電流の横軸分 I_q を基準ベクトルにとれば、ベクトル図は図8のようになる。無負荷誘起電力を E_0 とし、端子電圧 E_1 と基準ベクトルとの相差角を δ とすれば、電圧電流方程式は次のようになる。

$$E_1 \sin \delta = I_q x_q - I_d r_1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$E_1 \cos \delta = I_q r_1 + I_d x_d + E_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

両式から I_d および I_q を求めると

$$I_d = \frac{x_q (E_1 \cos \delta - E_0) - r_1 E_1 \sin \delta}{x_d x_q + r_1^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$I_q = \frac{E_1 x_d \sin \delta + r_1 (E_1 \cos \delta - E_0)}{x_d x_q + r_1^2} \quad \dots\dots\dots 4$$

ここで、 $r_1 \ll x_d, x_q$ として r_1 の項を省略すると

$$I_d = \frac{E_1 \cos \delta - E_0}{x_d} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$I_q = \frac{E_1 \sin \delta}{x_q} \quad \dots\dots\dots (6)$$

機械出力 P_0 は次式で表わされる。

$$P_0 = 3 \{ E_0 + (x_d - x_q) I_d \} I_q \quad \dots\dots\dots (7)$$

上式に (5)、(6) 式を代入し整理すると

$$P_0 = \frac{3 E_1 E_0}{x_d} \sin \delta + \frac{3 E_1^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2 \delta \quad \dots\dots\dots (8)$$

となり、第1項は界磁によるトルク、第2項はリアクショントルクを表わしており、図9のようになる。MSモートルの脱出トルクは界磁によるトルクとリアクショントルクの和になるため大きくとれるが、電動機の安定性向上のため、磁石の強さや配置が考慮されている。

(2) 負荷特性

MSモートルの同期運転中の負荷特性の一例を図10に示す。標準MSモートルにおいては、力率80~95%、効率75~85%になり、負荷電流は反作用電動機の1/2~1/3になる。また、脱出トルクは200%を標準にしているが、力率・効率を多少犠牲にすれば、300%以上も可能である。引入トルクは、負荷の GD^2 が大きいと減少するため、注意しなければならない。

(3) 周波数特性

MSモートルは、端子電圧を周波数に比例して変化すれば、ほぼトルク一定で速度を変えることができ、4極機で15 Hzから150 Hz程度の範囲内で一般に使用される。効率は周波数の高域でいくぶん低下するが、広い周波数範囲で高性能を発揮する。始動電流は小容量機においては、周波数が高くなると増加する傾向があるため電源容量を決定する際は注意しなければならない。

なお、脱出トルク、引入トルクは低周波数で減少する。特に引入トルクの減少の割合が大きいので、低域にても使用する場合は、いくぶん電圧を持ち上げるときがある。図11は周波数特性を示したものである。

電源にサイリスタインバータを使用する場合には、電動機端子電圧波形は方形波になるが、高調波電流を少なくするよう考慮がはらわれているので、特性の劣化はほとんどなく、減磁や乱調についても問題ない。図12はMSモートルをサイリスタインバータで運転した場合の電圧・電流波形を示したものである。

2.4.3 標準わく適用

紡糸用MSモートルは、負荷の GD^2 や脱出トルクの指定が比較的大きく、容量的にも小さいものが多いため、1.5 kW以下について標準わくが適用される。なお、出力表示は100 Hz基準とされている。表2は横形全閉形寸法表、表3はたて形全閉形寸法表である。

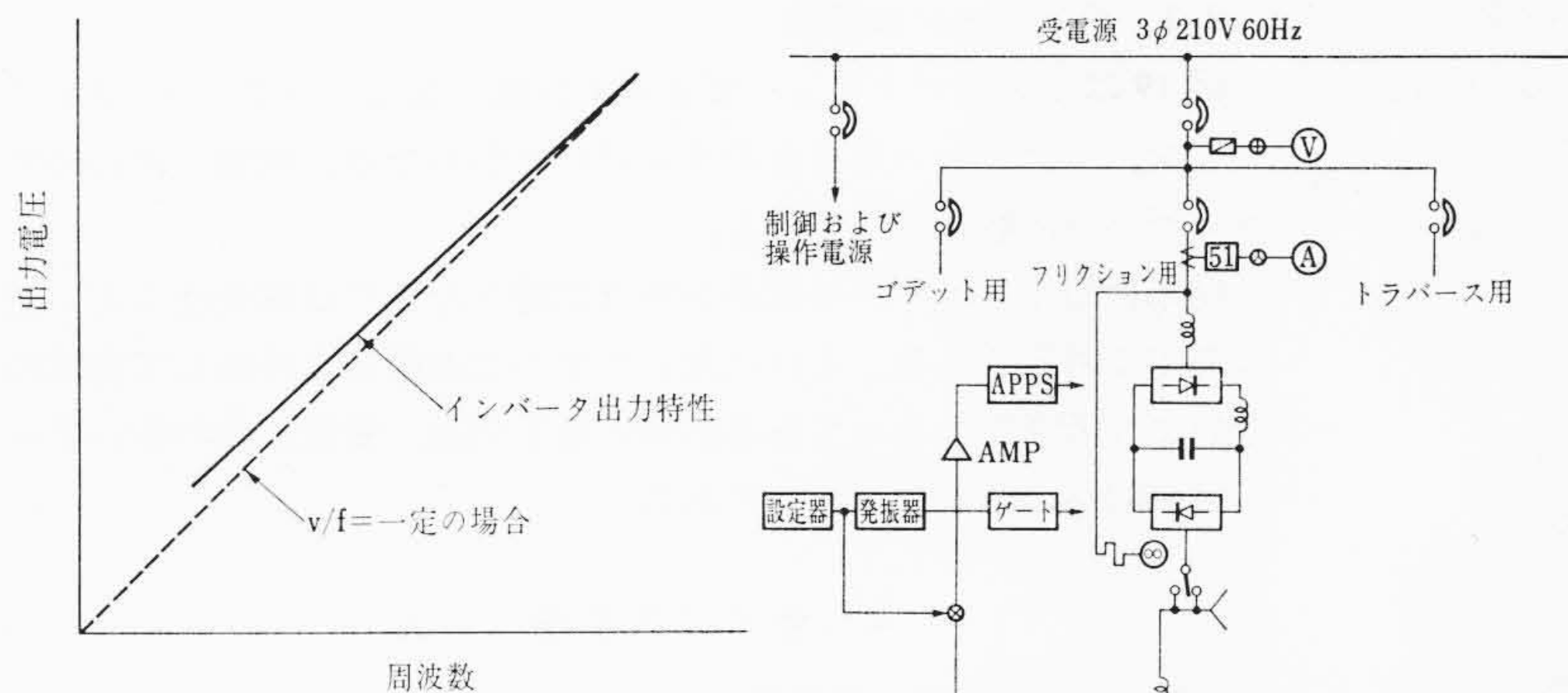


図13 インバータの出力電圧-周波数特性

図14 紡糸用可変電圧可変周波数インバータセケルトン

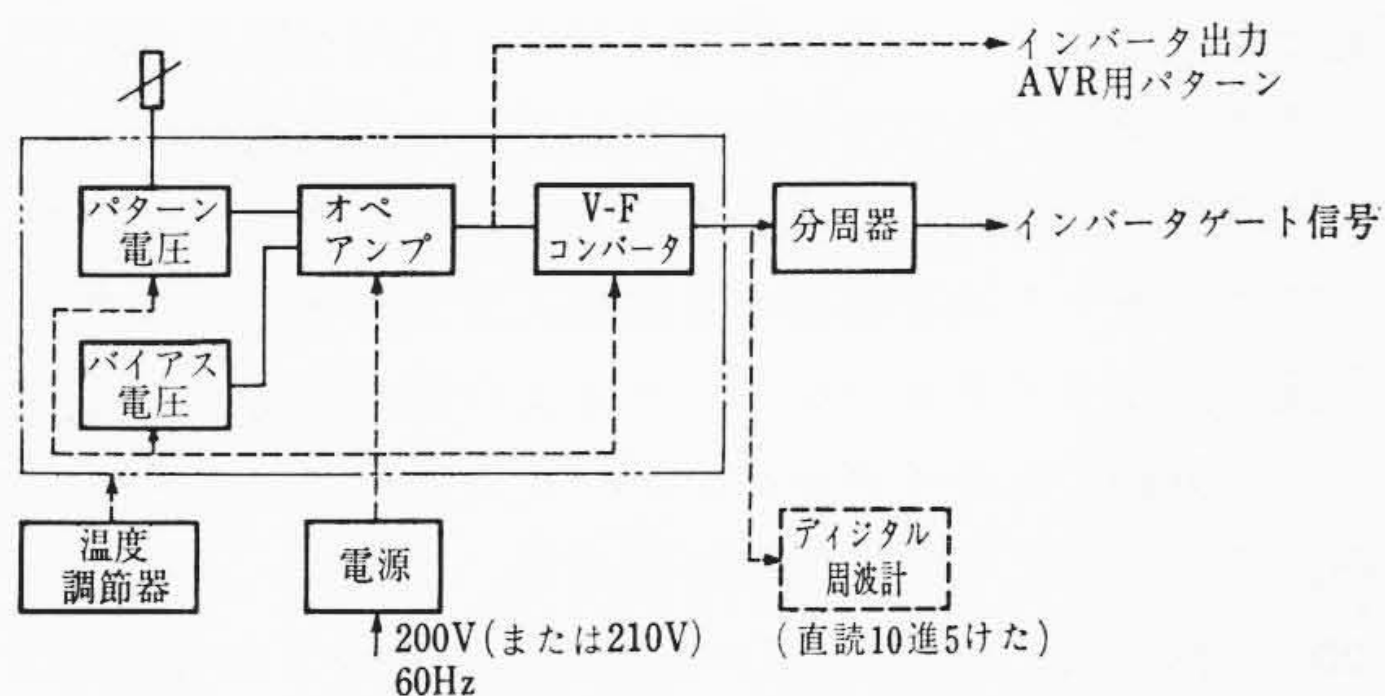


図15 可変周波数発振器ブロック線図

表4 可変周波数発振器仕様

総合周波数精度	$\pm 0.1\% \times f_{\max}$	周波: 10~40℃ 電源入力: 200V $\pm 10\%$ 60Hz ± 1 Hz 時間: 14日(2週間) 出力: 約 5~12kHz に対して
V-Fコンバータ 入力-出力特性	出力約 2~12kHz 直線性: $\pm 0.1\%$	入力約 9~+9V
温度調節器精度	38 ± 5 ℃	10~40℃
分周器	$\frac{1}{76}$	

対応する転流能力の余裕はじゅうぶんにとってあるので連続した速度調整が可能である。図14は主回路とその制御方式の概略接続を示したものである。

3.2.2 可変周波数発振器

インバータゲート信号用可変周波数発振器は、図15に示すブロック線図のように構成されており、フィードバックループのない、いわゆるオープンループ制御によって規定の周波数精度を確保している。したがって、回路構成が簡単で使用部品が少なく、フィードバックループ方式に比較して信頼度の向上が期待できる。温度ドリフトを軽減するために、発信器の一部を簡単な温度調節器により温調している。

V-Fコンバータは、アステابل・マルチバイブレータ方式で、その構成は、図16に示すとおりである。直流入力電圧に比例した出力周波数を発振する。発振周波数は、そのまま10進5けたのデジタル周波計で直読できるように約12kHz(インバータ出力120Hz)に選んでいる。発振周波数精度と直線性を高めるために、入力電圧に比例した一定電流で充電するための定電流充電回路と、トランジスタの温度特性補償のための温度補償回路が付加されている。また、マルチバイブレータの発振を確実にこなわせるためには、発振停止防止回路が設けられている。

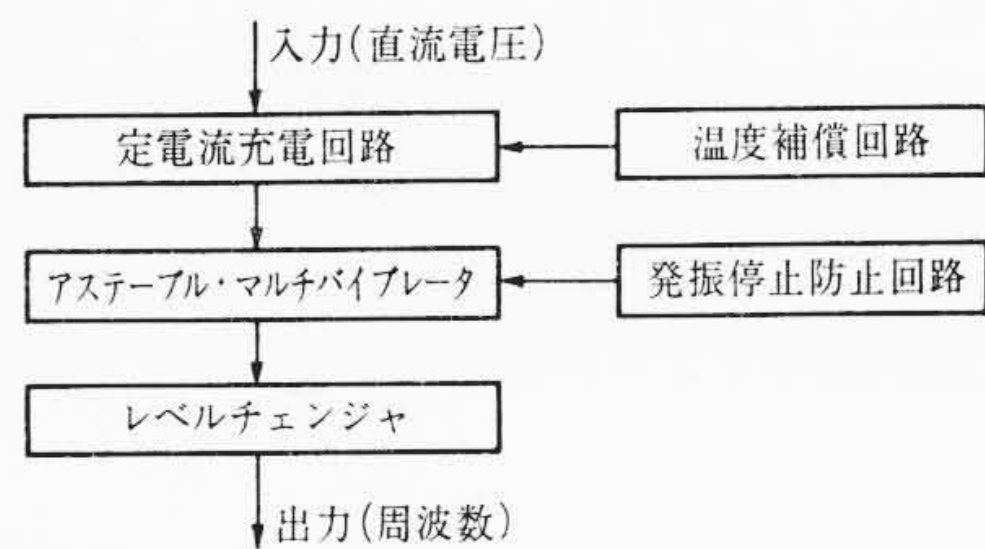


図16 VF-コンバータブロック線図

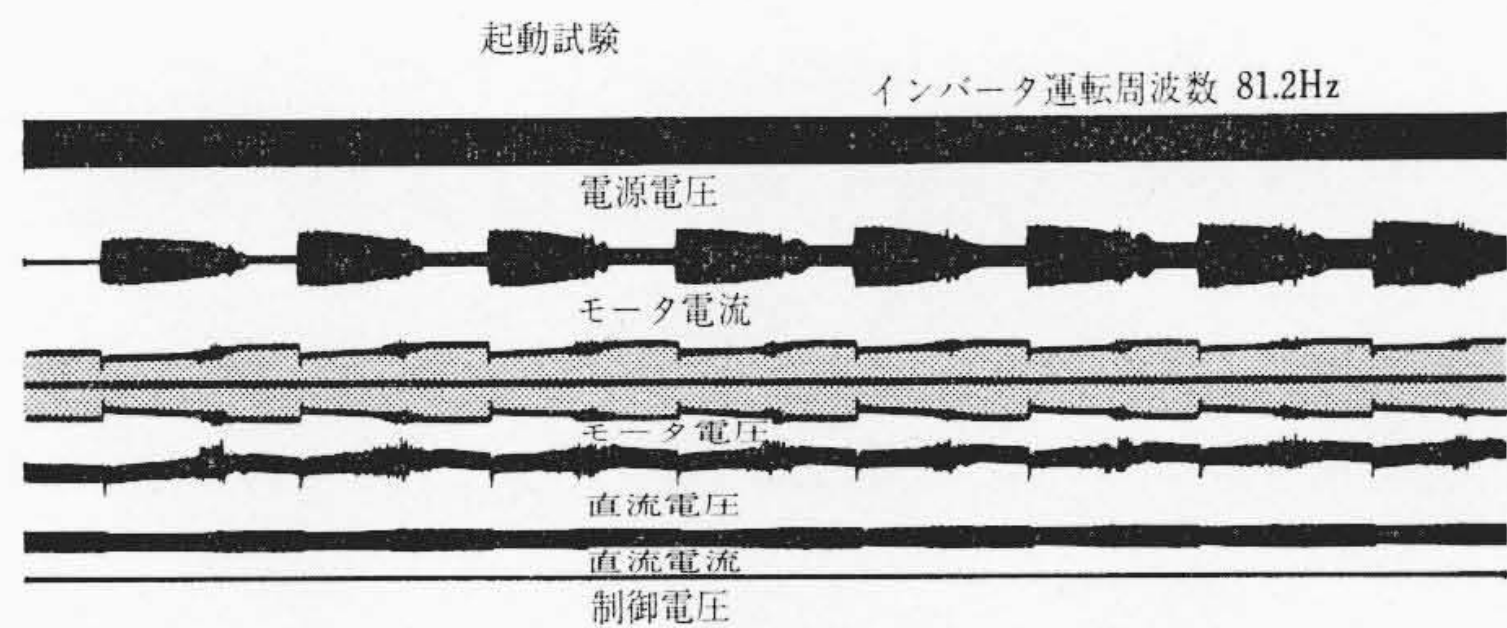


図17 モートル順次起動時の電圧および電流

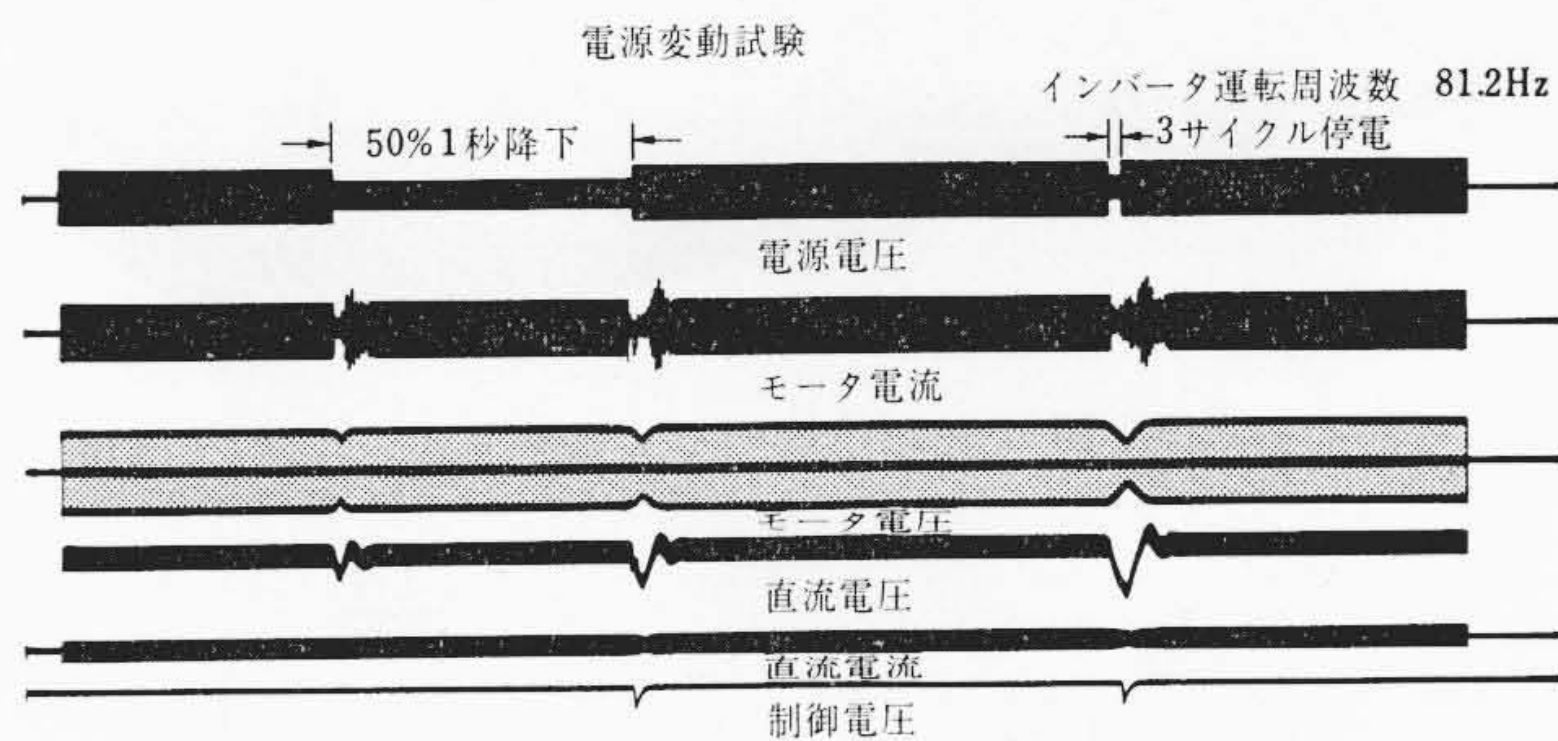


図18 電源変動想定試験

3.2.3 同期電動機運転

同期電動機の運転上もっとも問題になるのは乱調である。これはインバータの回路方式および定数と密接に関連している。このためインバータを内部インピーダンスが小さく出力電圧位相の安定な転流改良方式とするとともに回路定数については電動機特性と協調をとって過渡時インピーダンスがじゅうぶん小さくなるように選んである。なお永久磁石電動機を減磁させないよう特に同期引込時の電圧変動には留意して設計してある。インバータの出力には $6n \pm 1$ 次の奇数次高調波が含まれているので高調波電流制御用のリアクトルを交流側に接続して電動機運転に支障のないようにしてある。

図17は電動機を全電圧順序起動した場合のオシログラムであり、安定に同期入れしているときを示している。

3.2.4 電源変動対策

紡糸機はいったん運転にはいれば24時間運転されるのが通常であり、したがって電源異常時にも安定な運転が継続されなければならない。

(1) 電源瞬断対策

3サイクル程度の電源瞬断に対しては電動機は慣性エネルギーのため速度降下が小さいのでそのまま運転を続行できる。ただし電源回復時の突入電流を抑制する必要がある、このための制御回路を設けてある。

(2) 電源降下対策

電源降下50%, 継続時間1秒にも及ぶ電源変動に対しそのまま放置すれば負荷トルクのため電動機は速度降下ないしは脱調

して製品に悪影響を及ぼす。このため電源降下中も電動機に入力を供給できるよう整流器に余裕をもたせて設計しており、また電源回復時の突入電流を抑制する回路を付加してある。

図 18 は瞬時停電想定試験および電源降下 50%，継続時間 1 秒想定試験のオシログラムである。

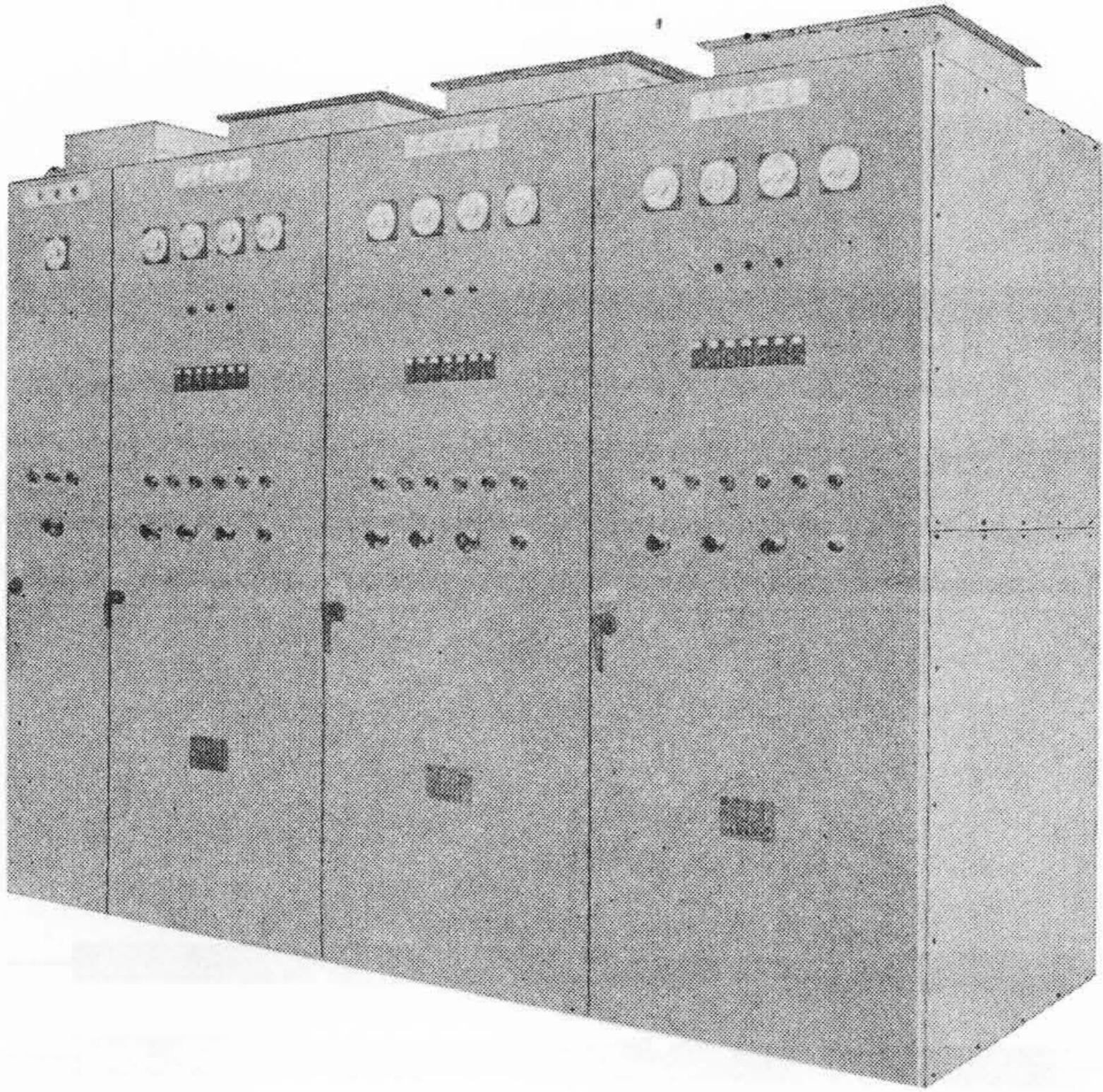


図 19 インバータキュービクル

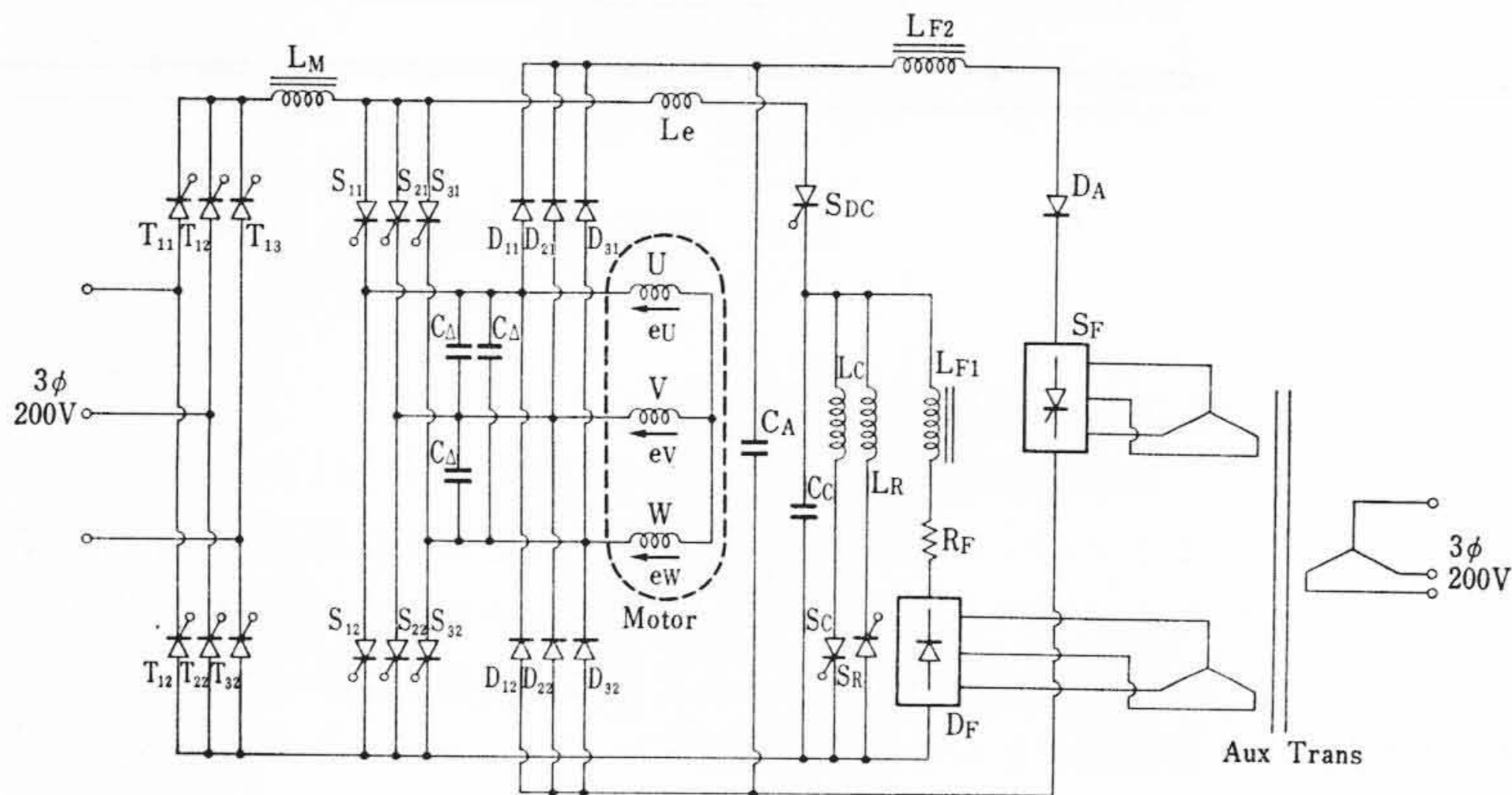


図 20 直流入力方式 (A 方式) サイリスタモータの主回路

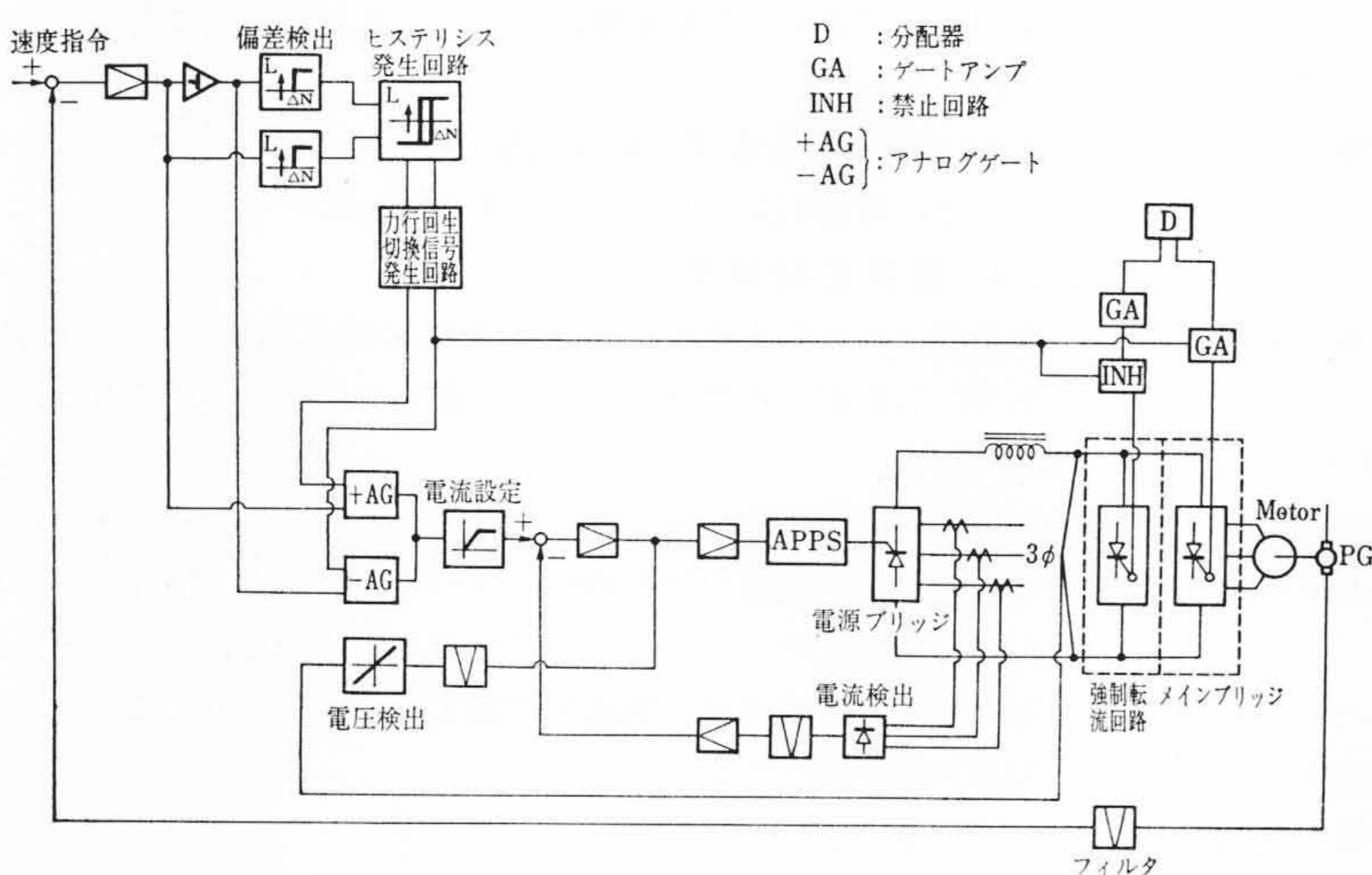


図 21 A 方式に対して ASR 制御を行なわせる制御回路ブロック図

3.3 インバータの構造

図 19 はインバータキュービクルの外観である。ゴデット、フリクション、トラバース用 3 台のインバータからなり、機器がきわめてコンパクトに収納されている。

紡糸機用インバータの構造上特に問題となるのは腐食性ふんい気に対する対策である。これに対してすべての機器を吟味して支障のないよう考慮をはらってあるが特に電子部品、弱電部品の多いゲート制御回路は密閉構造としてある。

4. サイリスタモートル

4.1 一般工業用への応用

従来の直流機のブラシと整流子の整流作用をサイリスタに行なわせ、モートルとして同期モートルを用いた構成のブラシレスサイリスタモートルは、従来の直流機と同様に制御性の良さをもち、同時に完全無接触給電が可能であるため、従来の直流機にあったブラシと整流子の保守点検の繁雑さを無くすことのできる高速度大容量化が可能なものとして、一般工業用に対する応用が注目されている。

サイリスタモートルの主要構成部分である周波数変換器の回路方式を大別すると、電源の交流をいったん直流に変換したのち、インバータによりモートルを駆動する直流入力方式サイリスタモートルと、交流を直接サイクロコンバータにより周波数変換を行なって、モートルを駆動するサイクロコンバータ方式サイリスタモートルに分けられるが、次に各方式の例を述べる。

図 20 は力行運転、回生制動の自動切換を行なう中速運転の仕様のものを対象とした直流入力方式 (A 方式) サイリスタモートルの主

回路であり、図 21 は、この方式に対して ASR 制御を行なわせる場合の制御回路のブロック図である。

主回路方式は、起動時において入力電流が小さく、高トルクが発生し、かつ、力行運転、回生制動の自動切換が円滑に行なえる外部強制転流方式を採用している。

従来の直流機のブラシと整流子に相当した作用を行なうサイリスタ $S_{11} \sim S_{32}$ の導通期間とモートルの相の速度起電力の位相関係は図 22 に示すようになっており、また、図 23 は実際に運転を行なったときのモートルの相電流と線間電圧のオシログラムである。

サイリスタ $S_{11} \sim S_{32}$ の点弧は、常に電機子電圧と同期したゲート信号により行なわれるために、モートルは常に同期状態で運転され、安定な運転ができることはサイリスタモートルの特長である。

モートルの回転数 $N(\text{rpm})$ と軸出力 $M(\text{W})$ は次式より与えられ、直流機と同様の制御が可能であることを示している。

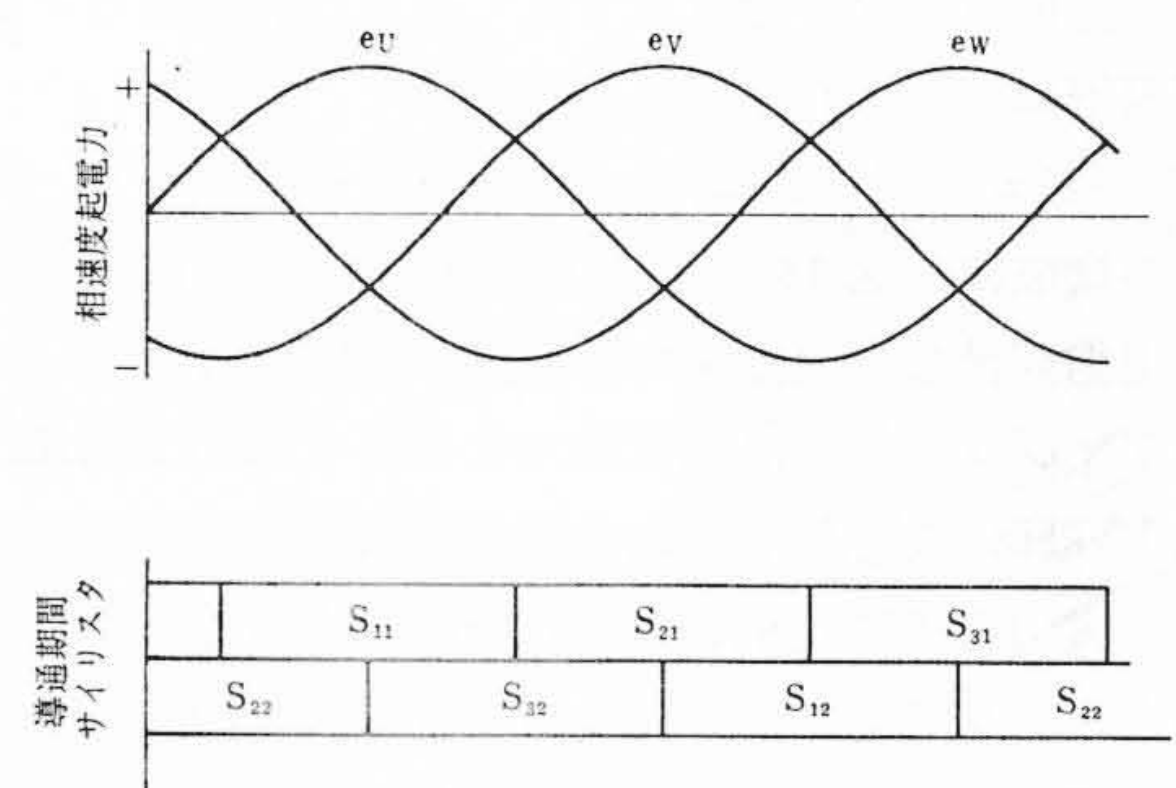


図 22 相速度起電力とサイリスタ導通期間の位相関係

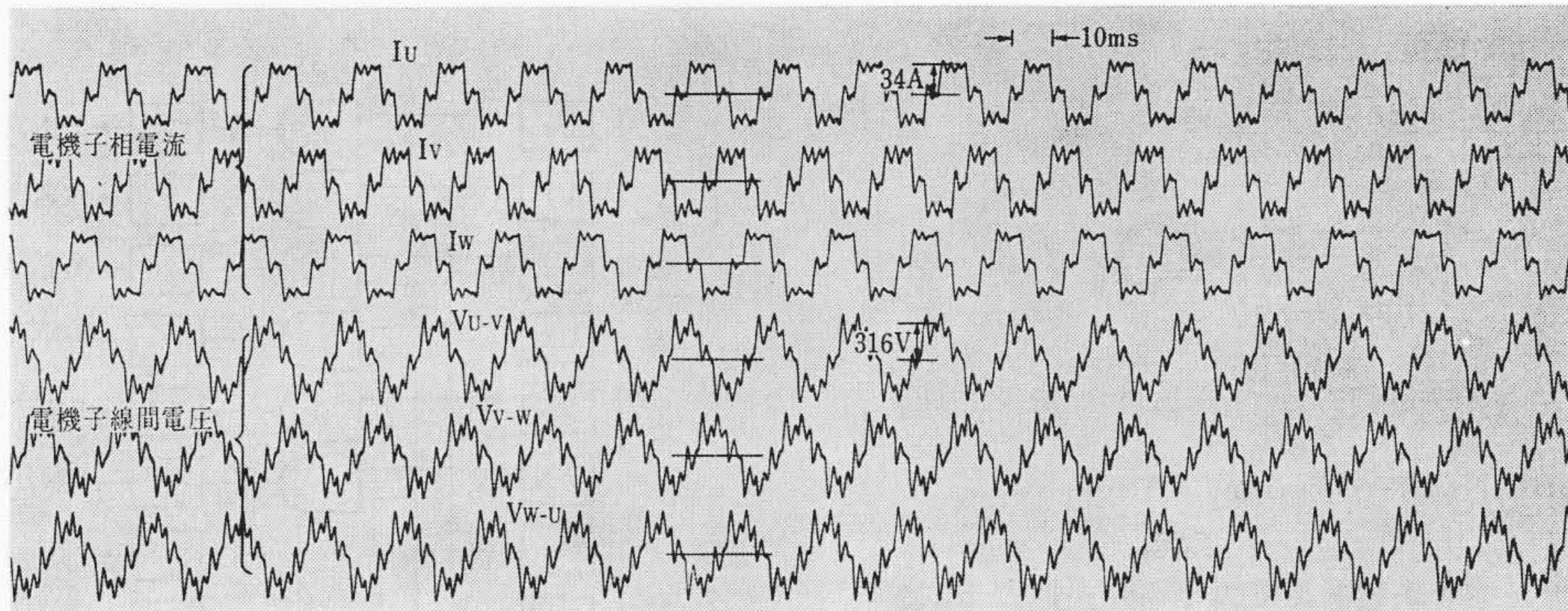


図 23 サイリスタモータの各部電圧電流波形

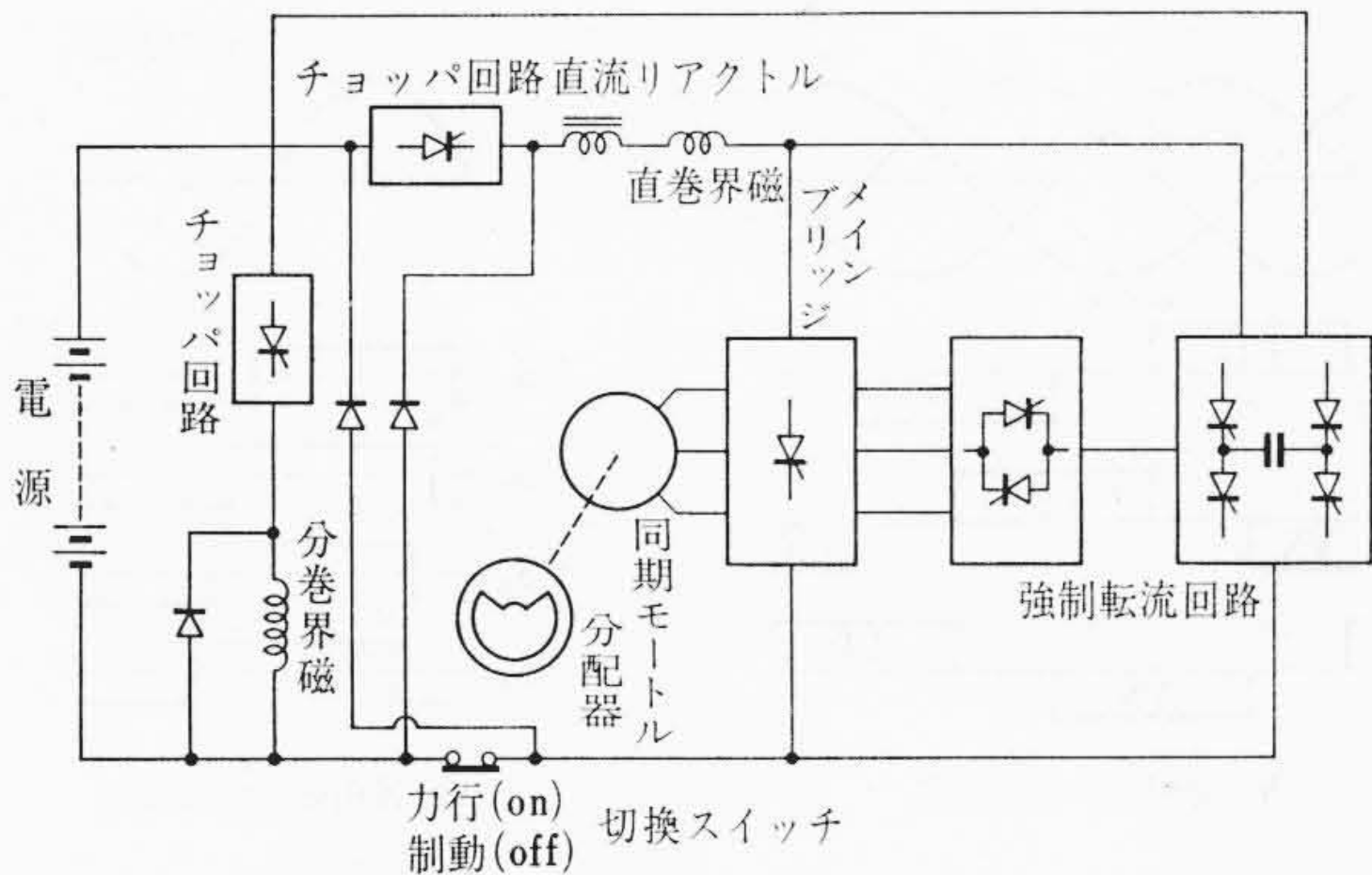


図 24 直流入力方式(B方式)サイリスタモータの回路のブロック図

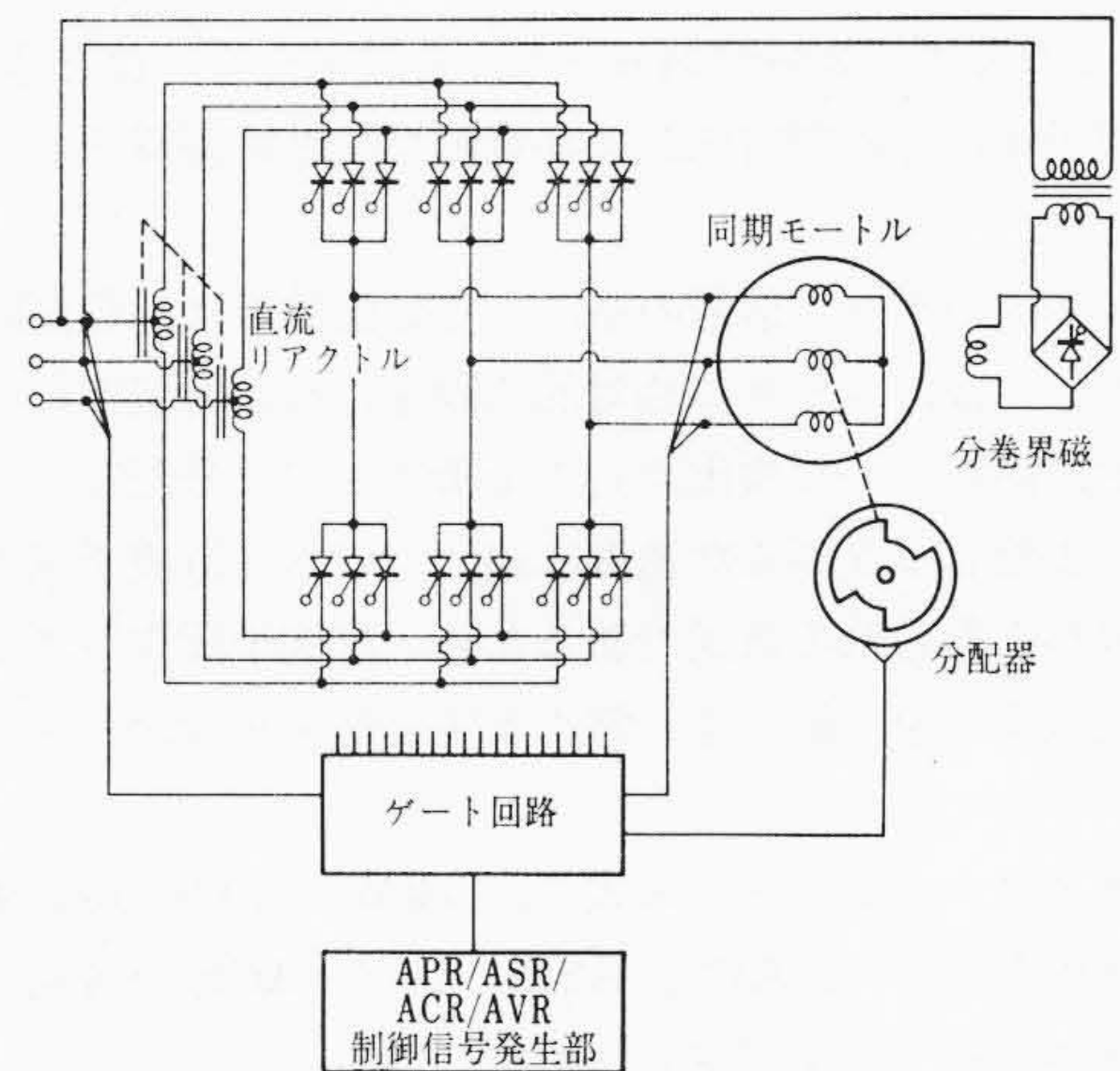


図 25 サイクロコンバータ方式サイリスタモータの概略回路図

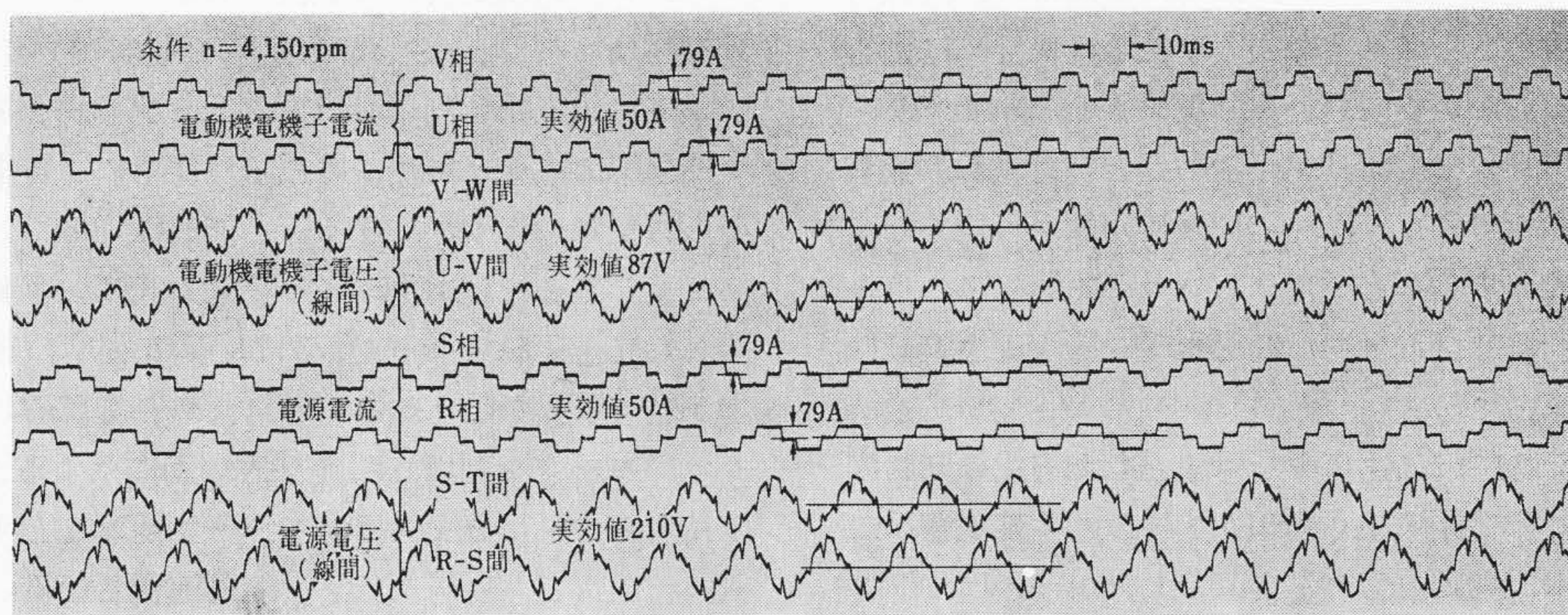


図 26 サイリスタモータ各部の電圧および電流波形 (B方式)

$$N = \frac{10}{p} (V_s - 2R_a \cdot I_i) / \left\{ \sqrt{2} M_f \cdot I_f \cos(r_0 - \delta) + \sqrt{3} \left(\frac{L_q - L_d}{2} \right) \sin 2r_0 \cdot I_i + \frac{L_d + L_q}{2} \cdot I_i \right\} \dots (1)$$

$$M = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} M_f \cdot \omega \cdot I_f \cdot \cos(r_0 - \delta) \cdot I_i + \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \left(\frac{L_q - L_d}{2} \right) \omega \cdot \sin 2r_0 \cdot I_i^2 - (\text{鉄損} + \text{機械損}) \dots (2)$$

ただし、 p : 極 対 数 r_0 : 設 定 進 み 角
 V_s : 入 力 直 流 電 圧 δ : 内 部 相 差 角
 R_a : 相 抵 抗 L_d : 直 軸 過 渡 相 インダクタンス
 I_i : 入 力 直 流 電 流 L_q : 横 軸 過 渡 相 インダクタンス
 $M_f \cdot I_f$: 界 磁 磁 束 量 ω : 速 度 起 電 力 角 周 波 数

内部相差角 δ は電機子反作用によって生ずるものであるが、定格電流運転時に、モータが最高力率で運転が行なえるように、設定

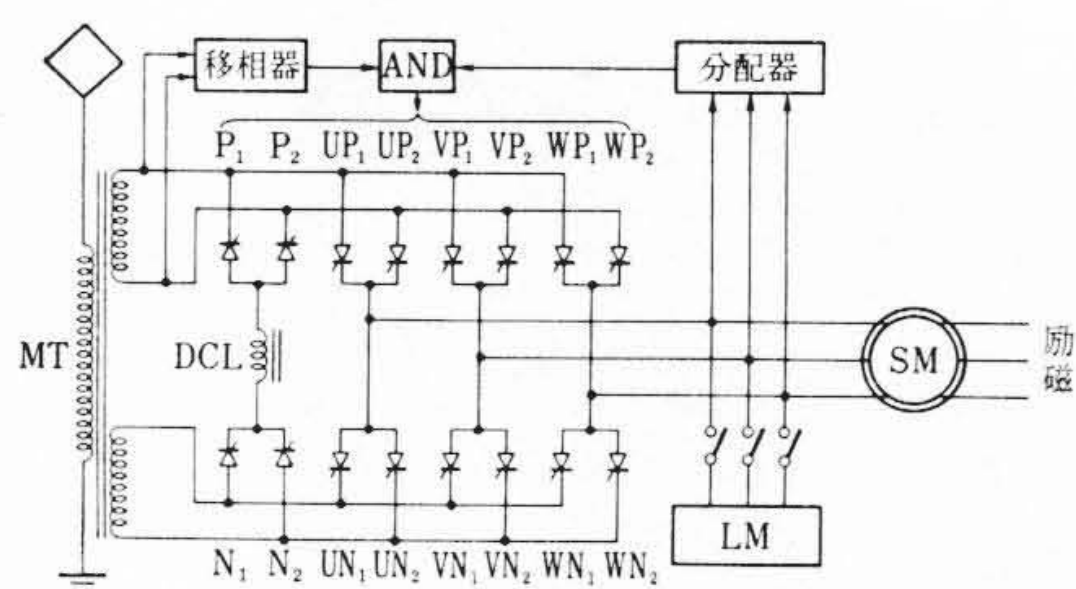
進み角 r_0 は $r_0 = \delta$ に設定されている。

図 24 は負荷変動の急しゅんな高速度運転機を対象とした直流入力方式(B方式)サイリスタモータ回路のブロック図である。

A方式が強制転流回路の動作によって、モータの相電流の一部にわずかにくびれを生ずるのに対し、B方式は生ずることがなく、また高速度においても、じゅうぶんに余裕のある転流が行なえる方式のものである。すでに直流入力方式で 30 kW、3,000 rpm、4 極同期モータおよび 25 kW、10,000 rpm、2 極同期モータ使用のものでサイリスタモータを完成し、運転中である。

図 25 は中低速度運転機を対象としたサイクロコンバータ方式サイリスタモータの回路の概略図である。

この方式のサイリスタは、静止レオナードが行なう電圧制御作用(電源転流)と、従来の直流機のブラシと整流子が行なう整流作用(負荷転流)の両作用を同時に行なうために、たとえ負荷転流側の転流失敗が起こっても、なんら制御を行わずに主回路自体で自然回復が



MT: 主変圧器, $P_1, P_2, N_1, N_2, UP_1 \sim WN_2$: サイリスタ
DCL: 平滑リアクトル, SM: サイリスタモートル, LM: リニアモータ

図27 サイリスタモートル式超高速電気車両の主回路方式

できることを特長としている。

図26はこの方式で2極同期モートルの運転を行ったときのモートルの電機子電流と線間電圧および電源電流と電源電圧のオシログラムである。

各サイリスタのゲート信号の基になる分配信号は、起動時および低速時には、ロータに相対的に固定された回転円板とステータに相対的に固定された検出コイルで構成された分配器が発生する信号から、またじゅうぶんな速度に達したのちは電機子電圧より得られる信号から作られる方式であるため、電機子反作用による速度起電力位相のずれを補償でき、常に安定な転流を行なわせることができる。

すでにサイクロコンバータ方式で、45 kW、4,500 rpm、4極同期モートル使用のもので、APR、ASR、AVR、ACRの各制御の可能なサイリスタモートルを完成し運転中である。

4.2 車両への応用

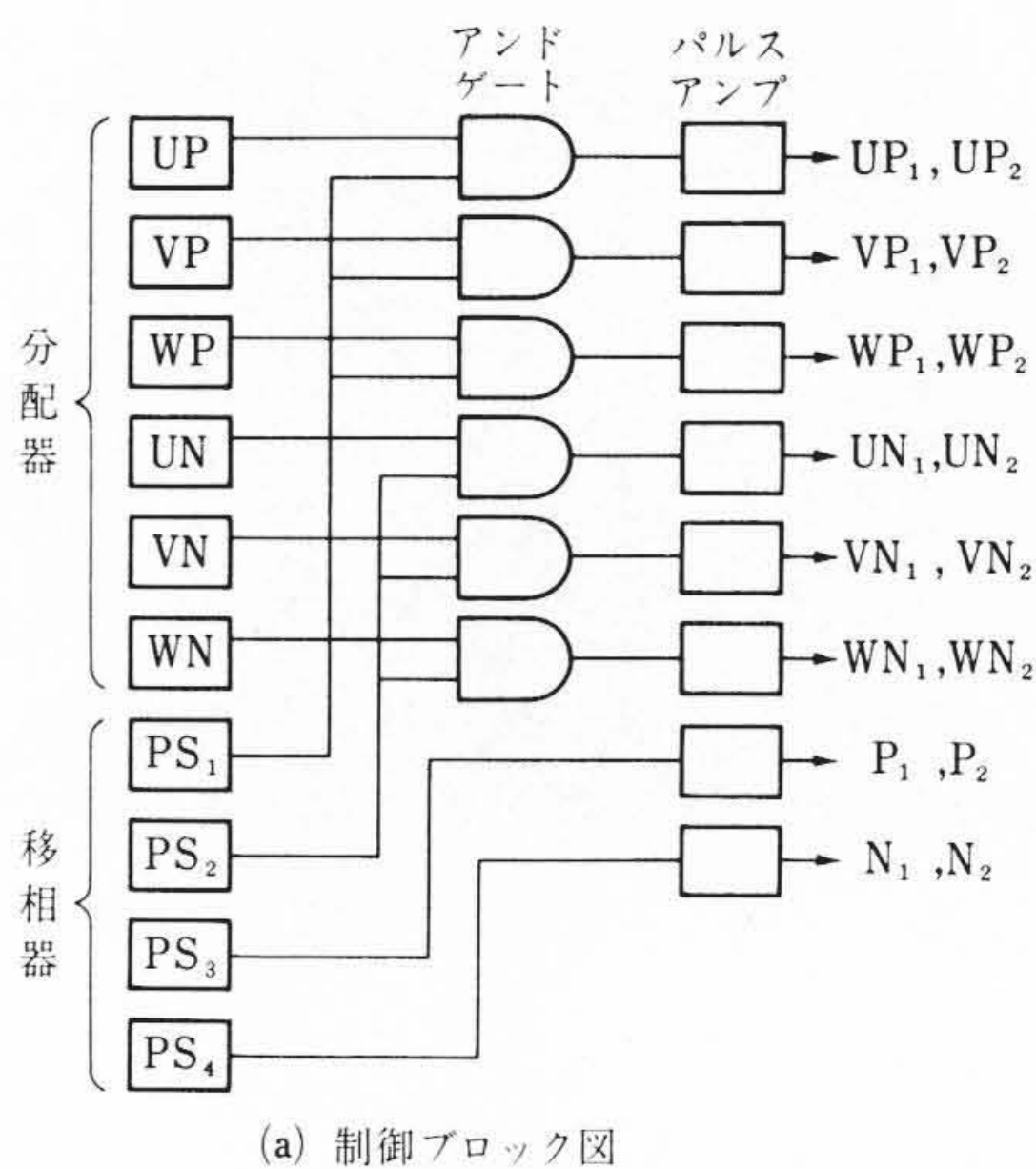
電気車両用主電動機には広範囲な速度制御が要求されるので、従来、直流電動機が多く用いられているが、振動、じんあい、湿気などの面で過酷な使用環境にさらされるため、整流子の保守には細心の注意がはらわれている。かかる観点から、整流子のないサイリスタモートルは車両駆動用としても注目すべきものといえよう。無整流子化することは保守面での利点のほかに、高速回転が可能となるので電動機を小形大出力にすることができる特長がある。この点からもサイリスタモートルは寸法重量的な制約を受ける車両用電動機に適している。

図27は交流電気車両、特に超高速車両を対象とした方式の回路図の一例である。図28はその制御方式説明図である。主変圧器の二次巻線は交流入力力率、高調波含有率を改善し、かつ、サイリスタ出力電流の脈流率を小さくするために適当に分割することは、サイリスタによる直流電動機駆動の場合と同様である。相違点は直流にしたサイリスタブリッジの両端の2アームが、電動機の相数に対応して分割されることで、これら $UP_1 \sim WP_2, UN_1 \sim WN_2$ のサイリスタは、図28(b)に示すように分配器によって常にサイリスタモートルSMの電機子電圧と同期して制御される。

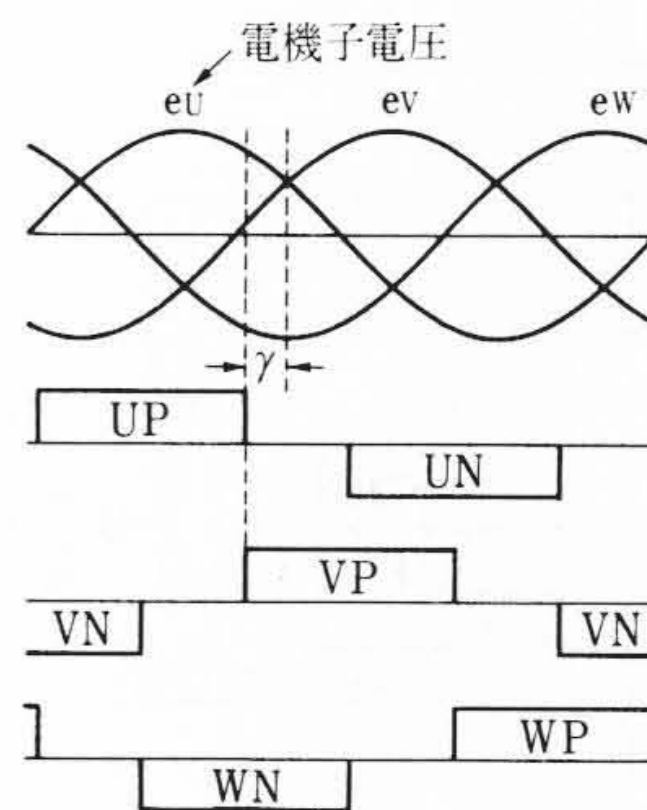
一方、サイリスタは移相器によって交流電源電圧に対しても移相制御され、サイリスタモートルの印加電圧を調整する。このとき、図28(c)のように位相角を適当にずらせて順次制御することにより、力率、高調波含有率、脈流率を改善することができる。

分配器と移相器の出力は図28(a)に示すようにアンドゲートを通して各サイリスタのゲートを制御する。

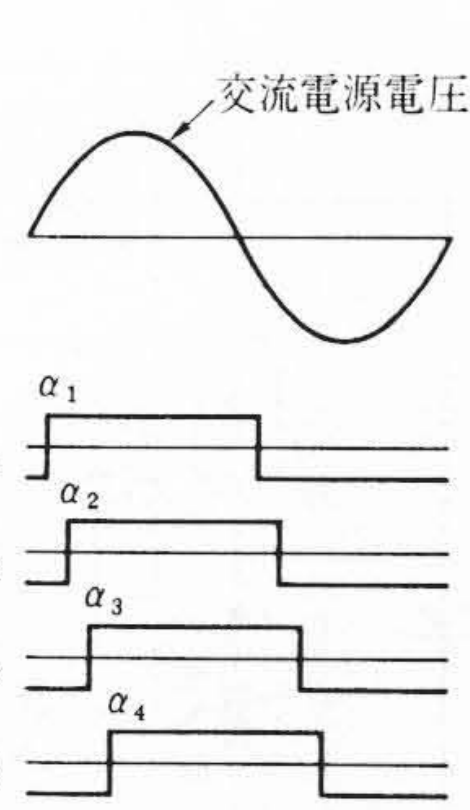
サイリスタモートルの界磁は直流で励磁されるのが一般的であるが、車両のように起動時に重負荷をとるものに対しては起動時に一相のアームに負荷電流が集中し、全体としてサイリスタ容量が大きくなる。これに対して図27のように界磁を適当な周波数の交流で励磁して電氣的な回転磁界をつくってやれば、起動時でも各サイ



(a) 制御ブロック図



(b) 分配器の位相関係



(c) 移相器の位相関係

図28 図27の制御ブロック図とサイリスタ制御位置表

リスタアームは交替して通流するのでサイリスタの各アームの電流分担が良くなる。さらに起動時でも電機子端子に電圧が生ずるので、電機子電圧を利用した電氣的分配方式をとることができる。電氣的分配方式をとれば、電機子反作用による電機子電圧の位相ずれの影響を除くことができる。

サイリスタモートルによる駆動方式は、車輪とレールの摩擦を利用した粘着駆動であるが、350 kW/h程度の超高速車両では所要動力が粘着限界を越えるものと考えられている。このような場合にはリニアモータを利用した非粘着駆動にたよらざるを得ない。図27は粘着力の不足分をリニアモータで補おうとするもので、サイリスタモートルとリニアモータを並列運転させる。このようにすると、リニアモータ専用の可変周波可変電圧電源装置を別置する必要がなく、全体として小形軽量化が期待できる。

5. 結 言

以上交流電動機のサイリスタ制御の応用の例として紡糸用MSモートルと電源用可変電圧可変周波数インバータの製作結果ならびに一般工学用および車両用サイリスタモートルの開発状況について説明した。いずれも今後の進歩発展と用途のいっそうの増大が期待される。

終わりに紡糸用電気品の製作にさいし絶大なご指導ご支援を賜った関係各位に厚く御礼申し上げます。日立製作所内では終始ご援助ご激励を賜った機電事業本部高木本部長、日立研究所桑山所長、ご指導いただいた日立研究所高林部長、整流器部浅野部長、電動機設計部園山部長、制御盤設計部岩田部長、大阪営業所加納副部長、日立研究所小野田主任研究員に感謝する。

参 考 文 献

- (1) 戸田: 繊維工学 21, 512 (昭43-8)