

電力・産業用大容量ACドライブシステム

Large Capacity AC Drive Systems for Electric Power and General Industrial Use

大容量ACドライブシステムは、昭和40年代のセルビウス装置の実用化に端を発するが、昭和48年の石油危機を契機にAVAFインバータによるACドライブシステムが本格化し、最近では高精度制御を必要とする可変速ドライブシステムも、従来のレオナード装置からACドライブシステムへ移行しつつあり、原子炉冷却材再循環ポンプへの適用も具体化してきている。

日立製作所は各種の大容量ACドライブシステムを開発し、多くの実績を得てきたが、本稿ではこれまでの経験をもとに、高信頼度ACドライブシステムの設計上の留意点を示すとともに、代表的な実績例を紹介する。

地福順人* *Yorito Jifuku*

野田時敏* *Jibin Noda*

川口敏雄* *Toshio Kawaguchi*

1 緒言

電動機の可変速ドライブシステムは、過去長期間にわたって直流電動機によるレオナード装置が主役を務めてきたが、最近エアコンディショナのインバータドライブに象徴されるように、小容量器では既にACドライブシステム(交流可変速駆動システム)が主役の座を得ており、大容量機で高精度制御を必要とする分野でもACドライブシステムへの移行が急速に進行しつつあるように見受けられる¹⁾。

大容量ACドライブシステムとしては、まず昭和40年代に上水道ポンプ用として巻線形誘導電動機によるクレーマ及びセルビウスが登場した。その後昭和48年の石油危機を契機として、AVAF(可変電圧可変周波インバータ、VVVFとも呼ばれる。)による既設かご形誘導電動機の可変速ドライブ化が本格化した。

本稿では大容量ACドライブシステムの主な方式と日立製作所での各種実績を紹介しながら、電力・産業用ACドライブシステムの動向を展望するとともに、主に既設交流電動機の可変速ドライブ化を対象とした適用上の留意点、及び主な適用例を示して、大方の参考に供したい。

2 ACドライブシステムの動向

2.1 各種システムの特徴と動向

表1に主な大容量ACドライブシステムと用途例を示す。

セルビウスは巻線形誘導電動機の二次電力を制御することにより可変速ドライブを行ない、制御用変換器の容量はほぼ速度の制御範囲に比例するので、速度制御範囲の比較的狭い用途に適し、変換器はダイオードによる整流器とサイリスタによる他励式インバータで構成されるため、大容量自励式インバータの技術が確立していない初期で、送配水ポンプ用として実用化が図られた。なおその後も大容量巻線形誘導電動機の可変速ドライブ用に使用されており、日本原子力研究所納め発電機加速用15MWセルビウス装置は容量的に記録品となっている。

また巻線形誘導電動機の二次電力は、低速時には高電圧で低電流、高速時には低電圧で大電流となり、制御装置の利用率が悪いので、図1に示すように二次電力の制御回路に昇圧及び降圧のチョッパを挿入して二次電力制御装置のコンパクト化を図る方式も検討されている。

ト化を図る方式も検討されている。

サイリスタモータは負荷となる同期電動機の逆起電力で転流する他励式インバータによるドライブ方式で、構成が簡単なため効率も良く、比較的大容量機に適している。制御的には負荷の逆起電力の小さい始動時や、負荷同期電動機の回転角の検出に種々の工夫がなされている。揚水発電機など同期発電機のサイリスタ始動装置は、サイリスタモータそのものとなっている。

AVAF方式は交流電動機の一次周波数を変えることによって電動機を制御する方式で、現在ACドライブシステムの代表的方式となっている²⁾。

その中で電流形インバータ方式は、特別の高速スイッチングデバイスを必要とせず、比較的回路構成が簡単で効率も良いが、無負荷運転ができないことや、制御安定上インピーダンス変動の大きい負荷への対応が困難なことから、1:1対応の比較的大容量の誘導電動機のドライブに適している^{3),4)}。

なお負荷電動機のトルク脈動低減のためには、多重式による電流高調波の低減が図られるが、最近まだ小容量器ながら本号別論文で述べている正弦波電流形インバータも既に実用化されている。

電圧形インバータは不特定負荷への対応が比較的容易であり、パワートランジスタやGTOサイリスタ(ゲートターンオフサイリスタ)などの自己消弧形高速スイッチングデバイスによるPWM(パルス幅変調)制御が容易なため、既に最も広範囲に使用されているが、スイッチングデバイスの容量の点から、車両用など特殊の用途を除いて数百キロボルトアンペア以下の比較的小容量器が主体となっている。大容量器の場合、出力波形改善に当たってバルブデバイスの損失の点から現状ではまだPWM制御は困難で、多重方式が有利となっている。

サイクロコンバータは、他励式変換器で交流電動機の一次周波数制御が可能のためコスト的に有利であるが、出力周波数が低いことから適用は低速大容量器に限られている。なお出力周波数を上げるためには、変換器の出力パルス数を増加する必要があるが、72アーム方式で30Hz程度、144アーム方式で入力周波数と同程度の出力周波数が得られている。

* 日立製作所日立工場

表1 大容量ACドライブシステムの主な方式と実績例 ACドライブシステムには各種の方式があり、それぞれの特徴に応じた適用がなされている。

No.	ACドライブシステム	電動機	代表的システム構成	代表的バルブデバイス*	適用上の特徴	実績例**	
						電動機容量	用途
1	セルビウス	WIM (巻線形誘導電動機)		REC: ダイオード INV: サイリスタ	速度可変範囲小 回生制動不可	5,000kW	送配水ポンプ
						15,000kW	発電機加速
2	サイリスタモータ	SM (同期電動機)		CON: サイリスタ INV: サイリスタ	大容量高速機向き 回生制動逆転容易	315MW	揚水発電機始動
						5,700kW	排風ファン
3	電流形インバータ	CIM (かご形誘導電動機)		CON: サイリスタ INV: サイリスタ	一般用 比較的大容量機向き 回生制動逆転容易	5,800kW	BWR再循環ポンプ
						680kW	ボイラFDF
4	電圧形インバータ	IM SM		CON(サイリスタ ダイオード) INV(GTO パワートランジスタ)	一般用 比較的小容量機向き 回生制動困難	785kW	ABWR インターナルポンプ
						4~165kW	電車
5	サイクロコンバータ	CIM SM LIM (リニアモータ)		CON: サイリスタ	低速・大容量機向き 回生制動逆転容易	720kW	排風ファン
						5,000kW	ミル主機
						22MVA	揚水発電機

注: 略語説明など REC(整流器), CON(順変換器), INV(インバータ), BWR(Boiling Water Reactor), FDF(Forced Draft Fan), ABWR(Advanced Boiling Water Reactor) GTOサイリスタ(Gate Turn Offサイリスタ), * サイリスタ(一般の逆阻止3端子サイリスタ), ** (製作中も含む。)

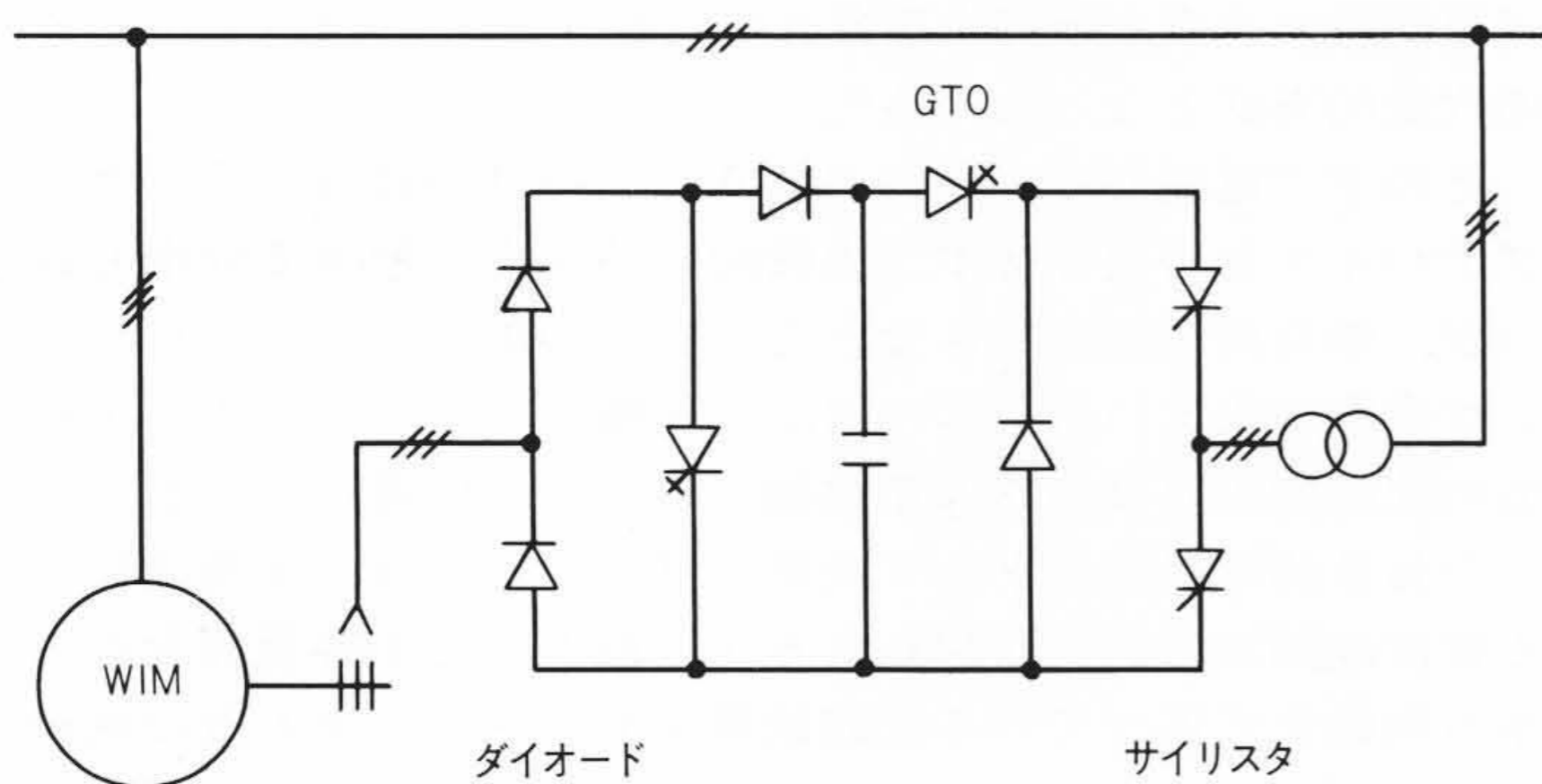


図1 コンパクトセルビウスシステム構成 本システムは、ダブルチョップによりインバータの低容量化、直流リアクトルと遮断器の省略化を図ったコンパクトシステムとして注目を集めている。

2.2 用途の動向

表2に日立ACドライブシステムの歴史を示す。

大容量ACドライブシステムは、まず昭和40年代の大都市の上下水道整備事業での上水道ポンプの可変速ドライブ用として、クレーマ及びセルビウス装置が多数製作された。

その後昭和48年の石油危機を契機として、各種ファン、ポンプの省エネルギー運転用のACドライブシステムがクローズアップし、鉄鋼メーカーをはじめ各方面に採用され始めた。特に省エネルギー用は、既設誘導電動機の可変速化を対象にしたものが多く、したがってAVAFが主役となり数千キロボルトアンペアまで製作されている。また既設の同期電動機をサイリスタモータ化して、省エネルギー運転化することも行なわれている。

一般産業機械の可変速運転については、従来レオナード装置が多く用いられてきたが、最近インバータの低コスト化と

表2 日立ACドライブシステムの歴史 日立製作所は、これまで各種の大容量ACドライブシステムを開発してきた。

No.	納入年	方式	容量	用途
1	1964	静止クレーマ	3×6,200kW(M)	上水送水ポンプ
2	1966	MGセルビウス	4×3,600kW(M)	上水送水ポンプ
3	1967	静止セルビウス	3×2,100kW(M)	上水送水ポンプ
4	1969	電圧形インバータ(SM)	26×10~35kVA(C) (~120Hz)	紡糸機
5	1969	電圧形インバータ	730kVA(C) (~400Hz)	リニアモータ試験
6	1972	サイリスタモータ	170kW(M)	上水道ポンプ
7	1972	ブラシレスセルビウス	3×1,650kW(M)	上水送水ポンプ
8	1975	無整流子クレーマ	5×1,450~1,900kW(M)	上水送水ポンプ
9	1977	サイクロコンバータ	2×10,000kVA(C) (~34Hz)	リニアモータ
10	1977	サイリスタモータ	16×465~850kW(M)	トンネル換気ファン
11	1977	電流形インバータ	32×75~200kVA(C)	パイプミルテーブル
12	1977	電流形インバータ	410kVA(C)	集じんファン始動
13	1979	サイリスタモータ	14,000kW(C)	揚水発電機始動
14	1979	電圧形インバータ(GTO)	120kVA(C) (高周波)	遠心分離機
15	1981	電圧形インバータ(GTO)	600kVA(C)	電車
16	1981	電圧形インバータ	1,540kVA(C)	機関車
17	1982	電圧形インバータ(GTO)	96×4~250kVA(C)	電気垂鉛めっきライン
18	1982	電流形インバータ	1/2×8,800kVA(C)	BWR再循環ポンプ試験
19	1983	電圧形インバータ(GTO)	1,350kVA(C)	ABWRインターナルポンプ試験
20	1985	電流形インバータ	2×680kVA(C)	ボイラGRF
21	1986	サイリスタモータ	5,700kW(M)	排風ファン

注: 略語説明 GRF(ガス循環ファン), M(電動機容量), C(交換機容量), MG(発電電動機)

マイクロエレクトロニクスの普及による制御技術の向上、及び保守性の面から、誘導電動機の可変速ドライブへの移行が急速に進行しつつある。また、パイプラインなどの大容量高速機へのサイリスタモータの適用や、原料ミルなどの大容量低速機のサイクロコンバータドライブ化は、ACドライブシステムの特長を生かした方式となっている。

一方、電力事業用でも石油危機に対応してボイラのFDF (Forced Draft Fan)やIDF (Induced Draft Fan)などファン、ポンプの省エネルギー運転が検討の対象になったが、電力コストが供給側コストであり、十分な経済効果が得られなかったことや、電源高調波や信頼性の面からなかなか実現に至らなかった。しかし、最近になって一般産業用での実績も加味され、国内外で見直しの機運が高まりつつある。表2のNo.20は電力事業用としての省エネルギー運転の数少ない実績の一つとなっている。なお既設発電所の誘導電動機駆動の場合には、インバータの設置場所が問題となる場合が多く、インバータの高圧変換化による入出力変圧器の省略や、水冷によるコンパクト化など検討の対象となっている。

また電力事業用ではサイリスタモータによる発電機の始動システムが実用化され、我が国では揚水発電用発電電動機の始動に適用されている。

更に最近では、原子力発電所の原子炉冷却材再循環ポンプの駆動用にAVAFを適用することが具体化しており、高信頼性確保のための設計が進められている。

3 適用上の留意点

3.1 既設電動機の可変速化

ACドライブシステム適用の形態には表3に示すものがある。

(1), (3), (4)が通常新設交流電動機を使用するのに対して(2)は既設交流電動機を流用して可変速化する場合がほとんどである。既設交流電動機は一般に定速運転を前提としているので、可変速化へのポテンシャルは非常に大きい。またその対象となる量も膨大であることから、ACドライブシステム適用上の留意点については、既設に対する可変速化を主眼としながら以下に述べる⁵⁾。

3.2 負荷(機械)系の留意点

(1) 速度制御範囲

定速運転用として計画された負荷系を可変速化しようとする場合、その速度制御範囲について制限がないか留意しておく必要がある。ポンプを例にとり考えると、(全揚程)=(末端圧力)+(実揚程)+(管路抵抗)で表わされ、(末端圧力+実揚程)はポンプ最低圧力として必要であり、これ以下で運転することはできない。回転数制御を行なうと(圧力) \propto (回転数)²の割合で低下するので、回転数をあまり下げられないことになる。またコンプレッサの場合には、回転数を下げることによってサージ領域運転になることがあるので、バイパス

表3 AC可変速ドライブ適用の形態 通常、表中(1), (3), (4)の場合、新設交流電動機が使用されるのに対し、(2)では既設の交流電動機が流用される。

(1)	AC可変速ドライブの新設
(2)	既設交流電動機(CIM, WIM, SM)のAC可変速ドライブ化
(3)	既設直流電動機(サイリスタ, レオナード制御)のAC可変速ドライブによる置換え
(4)	スチーム・ガス タービンドライブのAC可変速ドライブによる置換え

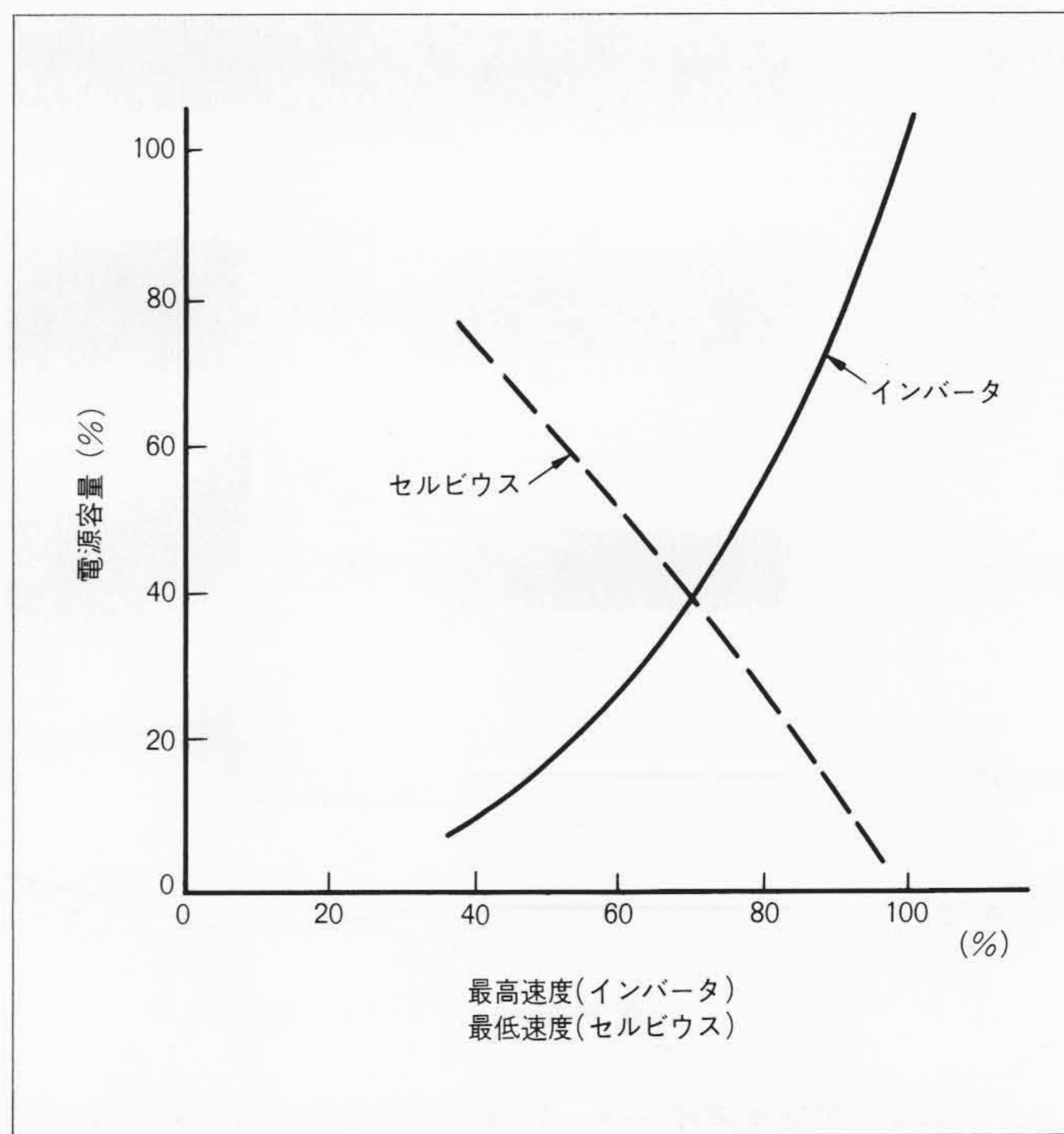


図2 インバータとセルビウスの速度制御範囲と電源容量 インバータの場合には最高速度により、セルビウスの場合には最低速度により電源容量が決まる。

放風などの工夫が必要となる。

ドライブシステム設備容量の観点からは、設備容量を決定する速度限度を必要以上に大きくとることは得策ではない。図2は、三乗特性負荷の場合のインバータとセルビウス方式の必要変換器容量について示したものであり、インバータは制御上限が高くなるほど容量大となり、セルビウスは速度下限が下がるほど容量大となる。

(2) 繰返し応力

可変速制御を行なうと、回転体はその制御範囲に応じた遠心応力が変化するので、速度制御範囲が広く、また加減速頻度が激しい場合には、繰返し応力の検討が必要となる。

(3) 軸系の共振

電力変換装置を用いた可変速システムでは、電動機に流れる高調波電流に基づく脈動トルクが発生する。軸系はこのトルクリプルの影響を受け、トルクリプルの周波数と軸系のねじり固有振動数が一致すると、共振現象により過大トルクを生じることがある。しかし、ポンプなどGD²(はずみ車効果)の小さい負荷の場合には、共振周波数は高くなるが、逆に共振倍率が非常に小さいため問題となることはない。またファンなどGD²の大きい負荷の場合には、共振倍率が大きいが、過大トルクを生じやすいが、共振周波数が低くなるので一次周波数制御では一般には速度制御範囲外となり問題とはならない。

(4) 危険速度

通常機械系の危険速度は定格回転数の上にあるので、可変速範囲内に入ることはなく問題はないが、二極機のような高速機の場合は、定格速度の50~80%に危険速度が存在する場合があるので注意を要する。

(5) 軸受給油

自己給油軸受は回転数の低下とともに給油性能が下がるが、一般には200rpm以上で運転すれば問題はない。

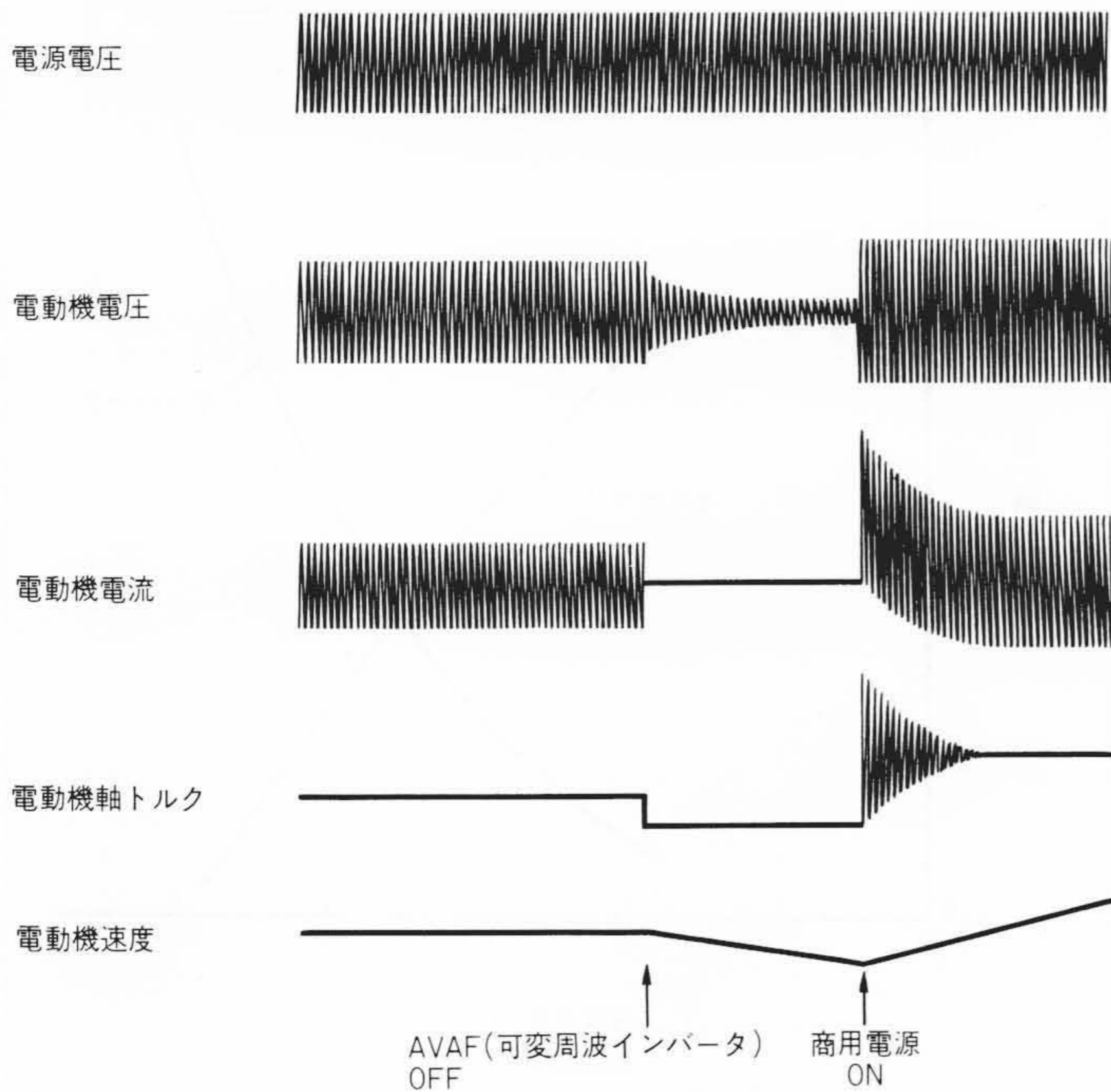


図3 AVAF(可変周波インバータ)から商用電源切換え時の電動機過渡突入電流と過渡軸トルク例 AVAFから商用電源に切換え時、電動機に過渡突入電流が流れ、これに基づく過渡軸トルクが生じる。

(6) 電源切換え時の機械的強度

AVAFやサイリスタモータシステムでインバータ運転から商用電源へ切り換える場合、過渡突入電流により過渡トルクが生じる(図3)。切換え頻度が高いと軸系や電動機の強度に影響を及ぼすので、このような場合には同期切換え方式により、過渡突入電流や過渡トルクの抑制を図ることが望ましい。

3.3 電動機の留意点

(1) 温度上昇

可変速制御を導入すると、電動機に流れる高調波電流により損失が増加する。したがって、電動機の温度上昇余裕の確認を行なうか、速度制御上限を下げた運用することが必要である。

(2) 軸電圧・軸電流

電動機の磁気回路に不平衡があると軸と対地間に電圧が発生し、軸受を通して電流が流れ、軸受の電食現象に至る場合がある。可変速で運転を行なうと、これを助長する傾向にあるので、軸電流を防止するために軸絶縁を追加しなければならないことがある。

(3) 冷却

電動機を低速域で運転すると自己冷却式の場合、冷却能力が低下する。ポンプやファンはトルクが二乗特性となるので低速運転でも問題はないが、定トルク負荷の場合には電動機の強制冷却が必要となる。

(4) 振動・騒音

振動・騒音は、高調波電流成分の影響で大きくなる傾向にあり、部分共振や共鳴などにより特定点で拡大されることがある。

(5) 速度センサ・位置センサ

速度制御上、速度センサや回転子の位置センサが必要な場合がある。AVAFやサイリスタモータの場合は、一般には速度や位置センサを必要としない。セルビウス制御の場合は速度センサが必要となる。

3.4 電源系統の留意点

(1) 電源力率

可変速運転を行なうことにより電源力率が低下するので、運転範囲によっては電源皮相容量が増加することもある。必要により力率改善が行なわれることもある。

(2) 電源測高調波

整流器やインバータにより制御を行なうので、電源側へも高調波電流が流出する。受電容量が小さい場合には流出量の絶対値が小さくても、母線のひずみが大となるので確認を要する。大容量可変速設備を導入する場合には、受電容量との見合いで流出高調波の検討が必要となる。特にセルビウス制御の場合には、電動機の二次側で整流するため、電動機の一次側から滑りをパラメータとした低次高調波が生じるので、進相コンデンサの共振周波数の選定に注意を払う必要がある。

3.5 プロセス上の留意点

(1) 応答速度

速度制御の応答性は機械系の GD^2 により制限され、ダンパや羽根制御に比べて遅くなる。特に高速応答を必要とする場合には、ダンパ併用制御の採用などにより系統的に応答性の改善を図ることが実用的である。

(2) 瞬時停電

可変速システムは、電源の停電があった場合にサイリスタの転流失敗を防止するため、サイリスタのゲートをブロックしていったん停止する。この場合、駆動系をいったん完全に停止してから再始動するか、あるいは停電で速度が低下する途中で復電したら再加速するかは、プロセスとの協調により決める必要がある。

(3) 故障時の対応

可変速装置の故障時のバックアップとして、商用電源での定速運転を行なう場合には、切換え前後の速度過渡変動による流量や圧力変動量を検討し、プロセス側と協調のとれたシステムとすることが必要である。

(4) 始動・運転インタロック

速度制御を行なう上で、プロセスシステムのインタロックを細かくチェックする必要がある。既設設備の可変速化の場合には、既設盤の改造や更には定速と可変速の2系統運転となることなど、複雑化は避けられないので十分に注意を払う必要がある。

3.6 設置場所

(1) 電気室

可変速設備は主要部が半導体で構成されているので、信頼性の上で温度や防じんを考慮した電気室に設置することが望ましい。

(2) 出力トランスレスインバータ

インバータを高圧化し、トランスの省略で直接電動機を駆動しようという考え方がある。トランスの省略により省スペースを目的とするものであるが、半導体デバイスの定格から、中小容量システムには不経済である。可変速システム全体から見た価格や寸法のバランスにより、大容量システムでの導入の検討が進められている。

3.7 現地試験運転調整

既設電動機の可変速化の場合、その既設電動機は通常はぎりぎりまで商用電源で運転されている。したがって、一般には、その電動機と新設の可変速設備との工場内での組合せ試験は行なわれないので、現地での組合せによる調整が必要となる。一方、定速運転を可変速化することによるプロセス側との特性協調の確認が必要となる。

4 ACドライブシステムの適用例

ACドライブシステムの技術向上は、単に大容量化にとどまらず、新しい分野へも積極的に適用されてきている。以下各種システムの代表的な例を取り上げて紹介する。

4.1 ボイラガス再循環ファンの制御

表4及び図4のシステムはAVAFによるファンの回転数制御を事業用発電ボイラに国内で初めて導入した例であり、所定の性能を発揮するとともに好調に運転を行なっている。石炭燃焼ボイラのガス再循環ファンの680kW電動機に950kVA AVAFを付加したもので、電動機や電源側への影響を極力軽減させるためにコンバータ、インバータ共に12パルス式で構成されている。ファンや電動機の共振に対する検討はもとより、広範囲の可変速制御に対応できるように機械系の改良や制御系の改善が図られた。特にABC(ボイラ制御装置)はプロ

表4 GRF用AVAFインバータの定格仕様 AVAF本体は、強制風冷方式を採用している。変圧器も乾式として一括列盤構成となっている。

項目	仕様
可変周波出力容量	950kVA連続
出力周波数	54Hz(12~60Hz)
方式	電流形インバータ 12相式
瞬時停電許容時間	1秒以内

グラマブルコントローラを適用して複雑な条件や運用に対応の図れる構成となっている。回転数制御時は、ダンパ開度を固定として再循環ガスの流量を制御するので大幅な省電力効果を生み、かつ通過ガス流量のいっそうの安定性の向上が図られている。

4.2 高炉焼結機用主排風ファンの制御

製鉄所の高炉焼結機用主排風ファンの電動機は大容量であるため、通常は同期電動機が採用され力率調整機能をもっている。高炉の操業度に応じて焼結機用ファンも回転数制御を導入して、大幅な省電力を図りながら適正な運転を行なうことが必要となってきている。

同期電動機の回転数制御、いわゆるサイリスタモータシステムは、従来電動機の軸端に電動機の回転子位置を検知するための機械的な位置検出器を設けて、これによりサイリスタ変換装置の制御を行なっているのが通例であった。この方式では、既設の電動機への回転数制御を適用する場合に、電動機の構造や現地作業日程上の制約によって適用のできないことも予測されるため、位置検出器のない制御システムが今や必要課題となっている。

焼結機主排風用5,700kW同期電動機の回転数制御の導入例を、表5及び図5に示す。本例では回転数制御上限が90%であり、軸動力も低下しているためV/F比(電圧/周波数比)を定格の70%以下としてシステムの高効率化と設備の小形化が図られている。

制御回路には電動機の端子電圧を計測して、電動機回転子の位置を検知するセンサレス式電気的位置検出方式が採用され、電動機の改造を不要としている。またASR(速度制御)、ACR(電流制御)、AβR(転流余裕角制御)など主要制御部は制御のデジタル化が図られ、負荷の状態に応じた最適制御とともに、いっそうの精度の向上や測定諸量に対応した調整の

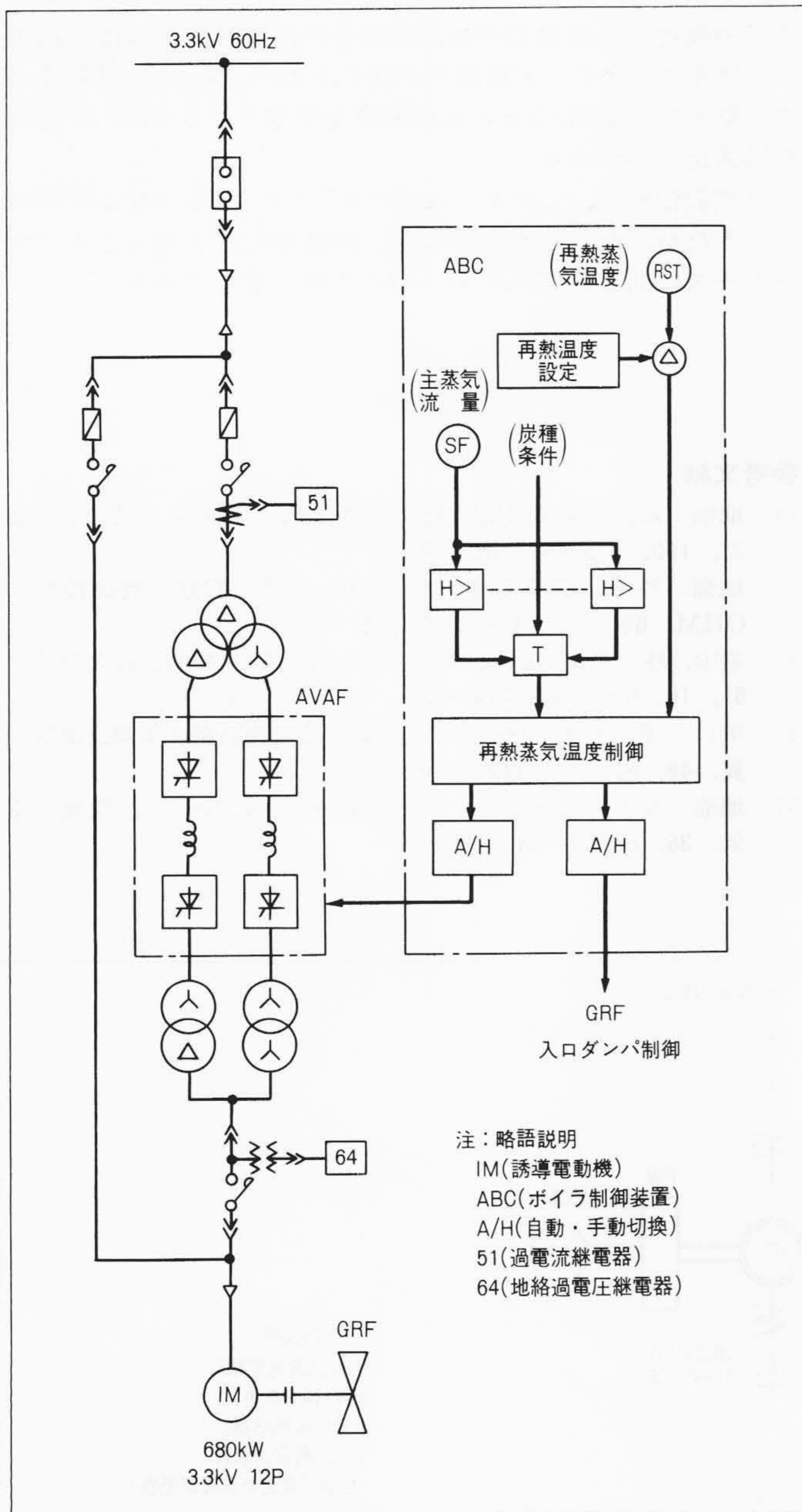


図4 AVAFの主回路構成とGRF制御系 主蒸気流量信号をベースとし、再熱蒸気温度制御をAVAFでの回転数制御で行なっている。

表5 サイリスタモータ変換装置の仕様 変圧器類は屋外形エレファント構造とし、配置上の最適化を図られた。

項目	仕様
可変周波出力容量	3,900kVA
出力周波数	45Hz(15~45Hz)
方式	直流方式サイリスタモータ
相数	入力、出力とも12パルス
制御方式	電気的位置検出方式 デジタル制御
出力変圧器	1,950kVA×2台 1,150V・3,960V
入力変圧器	4,300・2,150×2kVA 6,600V・1,260V

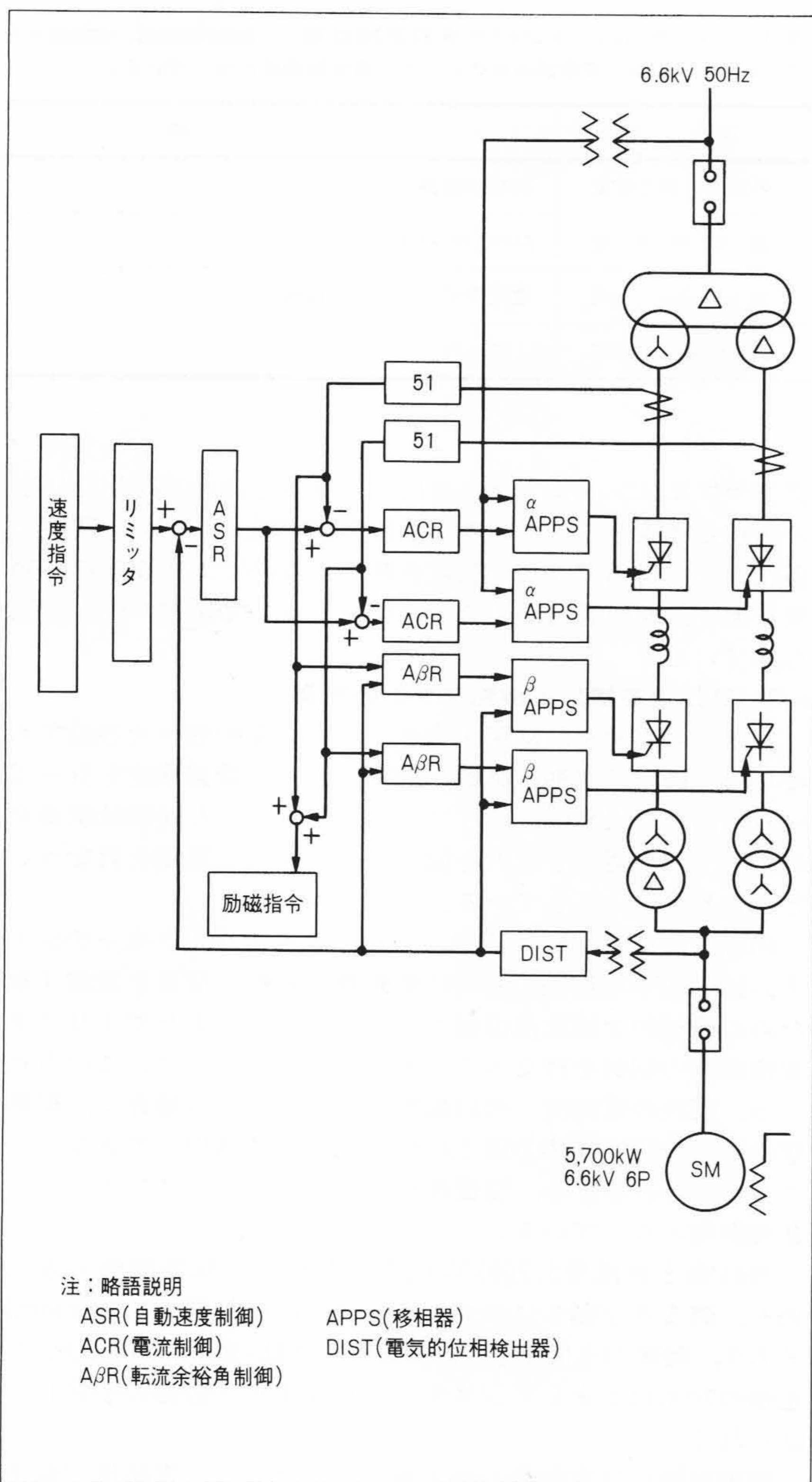


図5 サイリスタモータの主回路及び制御回路構成 入力側も12パルス構成として高調波を低減し、制御回路はデジタル化を図って、精度の向上と調整の容易化を実現した。

容易化を実現している。

4.3 1万5,000kWセルビウス装置

核融合実験装置用大容量発電設備の昇速制御用として、誘導電動機1万5,000kW、変換装置容量6,707kWの記録的大容量セルビウス装置システムが完成した。本設備は昇速後の慣性エネルギーを核融合システムへ供給するもので、効率の良い昇速手段としてセルビウス装置(図6)が採用されている。

電動機を含めた発電設備は立形構造となっており、複雑な軸系固有振動数をもっているが、セルビウス制御を行なうことにより発生する脈動トルクからの回避を図った制御システムや、発電機の自然降速時の無トルク制御など、これまでにない新システムが取り入れられている。

5 結 言

ACドライブシステムは、最近のパワーエレクトロニクスとマイクロエレクトロニクスの伸長による主回路及び制御技術の進展と、省エネルギーのニーズがあいまって、急速に応用分野を拡大してきた。更に、今後とも主回路用スイッチング素子の高速・大容量化や制御用素子の高集積・高機能化により、従来のレオナード制御の分野をはじめ、電力事業用(なかでも原子力発電用)などの高信頼度を要求される分野への進出も具体化しつつある。

日立製作所は、これまで各種のACドライブシステムを開発してきたが、今後とも大容量化、高効率化、小形化とユーザーニーズに則した開発に取り組んでゆく考えである。

参考文献

- 1) 地福：最近の可変速電動機の技術動向—主回路，電気学会雑誌，103，875～878(昭58-9)
- 2) 地福，外：交流可変速駆動技術における回路・制御技術，OHM，69，9，21～25(昭57-2)
- 3) 岩田，外：交流電動機の可変周波インバータ制御，日立評論，61，10，693～698(昭54-10)
- 4) 川口：電流形インバータによる交流可変速駆動の実際，電気計算，48，8，134～143(1980)
- 5) 地福：交流可変速システムの信頼性向上について，生産と電気，36，6，22～34(昭59-6)

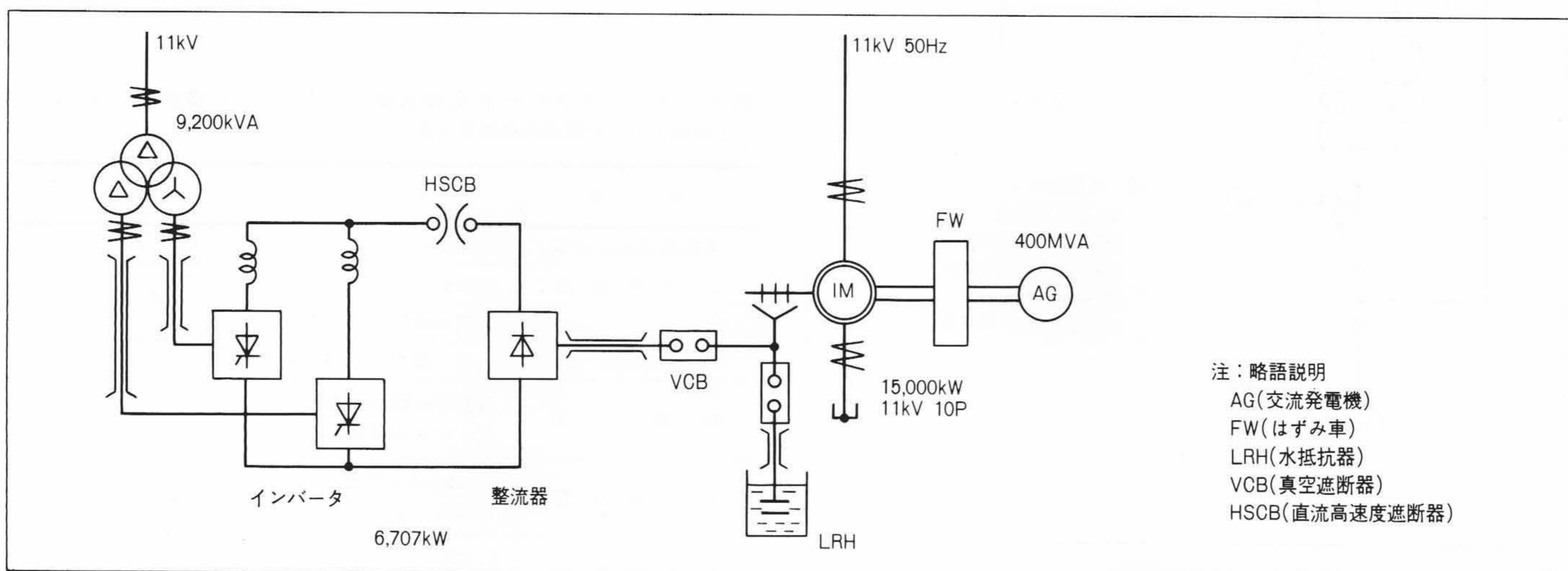


図6 15,000kWセルビウス装置のシステム構成 セルビウス装置として主電動機，変換装置とも記録的大容量である。