

タービン発電機の励磁方式

Excitation System of Turbine Generators

庄 山 悦 彦* 川 村 隆*

Etsuhiko Shōyama

Takashi Kawamura

要 旨

火力用あるいは原子力用のタービン発電機が大容量化するにつれて励磁容量も増大し、従来の直流励磁機方式に代わって交流励磁機と整流器との組合せが広く用いられるようになってきた。この背景には整流素子の信頼性の向上があることはもちろんであるが、保守点検上、運転しやすさの点から、また応答特性などの点で直流励磁機を凌駕(りょうが)する利点を多く有していることが最大の理由である。

本稿では大容量の火力または原子力用タービン発電機を対象とし、整流器励磁方式の利点およびその固有の問題点とその対策を述べるとともに、さらに将来の展望に触れている。

1. 緒 言

事業用タービン発電機の単機容量が増大するに伴いその励磁容量も近年急速な上昇を示している。火力用2極機と原子力用4極機ではその励磁容量を異にするが、図1に示すようにアメリカGE社の発電機の例では3,200 kW程度に達している。またアメリカWH社の場合には5,300 kWの例もある。

従来の直流励磁機の場合には300 kW以下では発電機直結とし、それを越える場合には減速ギヤを介するかあるいは別置の電動機駆動の直流励磁機として回転数を1,200~514 rpm程度にまで下げて製作していた。その場合励磁機あるいは電動機の寸法・重量は回転数が減少するにつれて大幅に増大し、2,000 kW程度を越えると実用的に望ましくなくなる。

また整流子ではブラシの特性のばらつきや湿度、温度、そのほかのふん囲気が敏感に整流状態に影響するため、ブラシの数が増えると保守点検上かなり問題となっていたが、信頼性という点では直流励磁方式に代わるものは従来はなかった。しかし近年シリコン整流素子の進歩がいちじるしく、高電圧・大電流素子の実績も各方面で積み重なり、信頼性が著しく向上し、それを背景としてシリコン整流素子と交流励磁機の組合せによるいわゆる交流励磁方式が台頭してきた。

この交流励磁方式はいわば直流機の整流子の代わりにシリコン整流素子を用いたものであり、整流子がないため励磁機を主発電機に直結することが可能で寸法・重量の点で直流機よりはるかに有利になる。

交流励磁方式のうちでも、シリコン整流装置を別置する方式がいわゆるコミュテータレス方式であり、一方回転体にシリコン素子そのほかを装荷する方式がいわゆるブラシレス方式であり、それぞれに長所があるため日立製作所ではそのいずれをも製作できる体制をととのえているが、以下にその長短につき詳細を紹介する。

複巻自励式とかサイリスタ方式などのいわゆる静止励磁方式については記載しない。それは本稿が主として、大容量タービン発電機を対象としており、その場合には軸直結の交流励磁機方式に1日の長ありと考えるからである。

2. 励磁方式の比較

コミュテータレス方式とブラシレス方式とでは整流素子の装荷方式の差異が交流励磁機の構造、特性や運転方式、保護監視方式、また据付・配置などに種々の影響を与えてくるが、本章ではその二つの交流励磁方式および直流励磁方式について比較検討する⁽⁴⁾。

* 日立製作所 日立工場

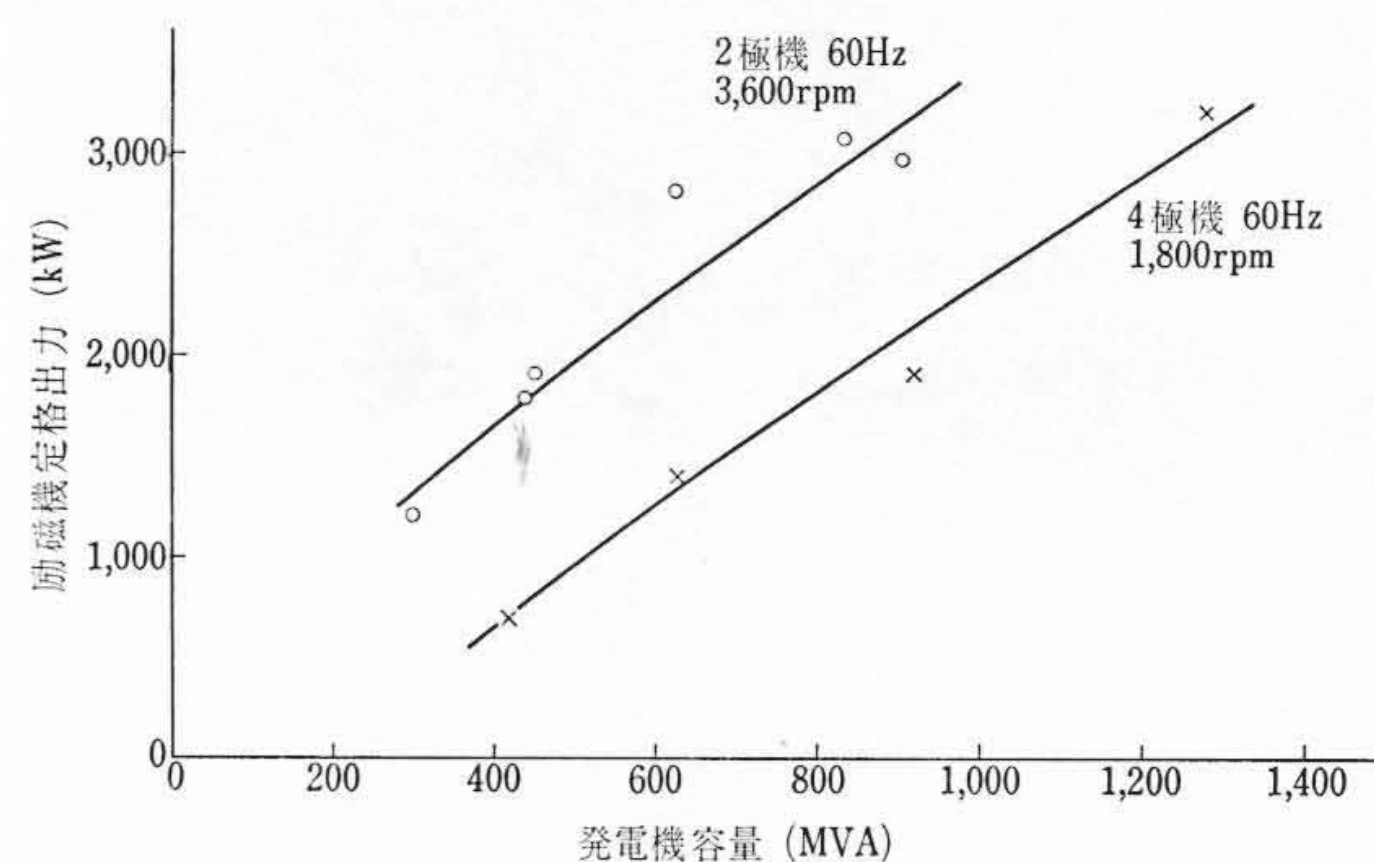


図1 発電機容量と励磁機定格出力

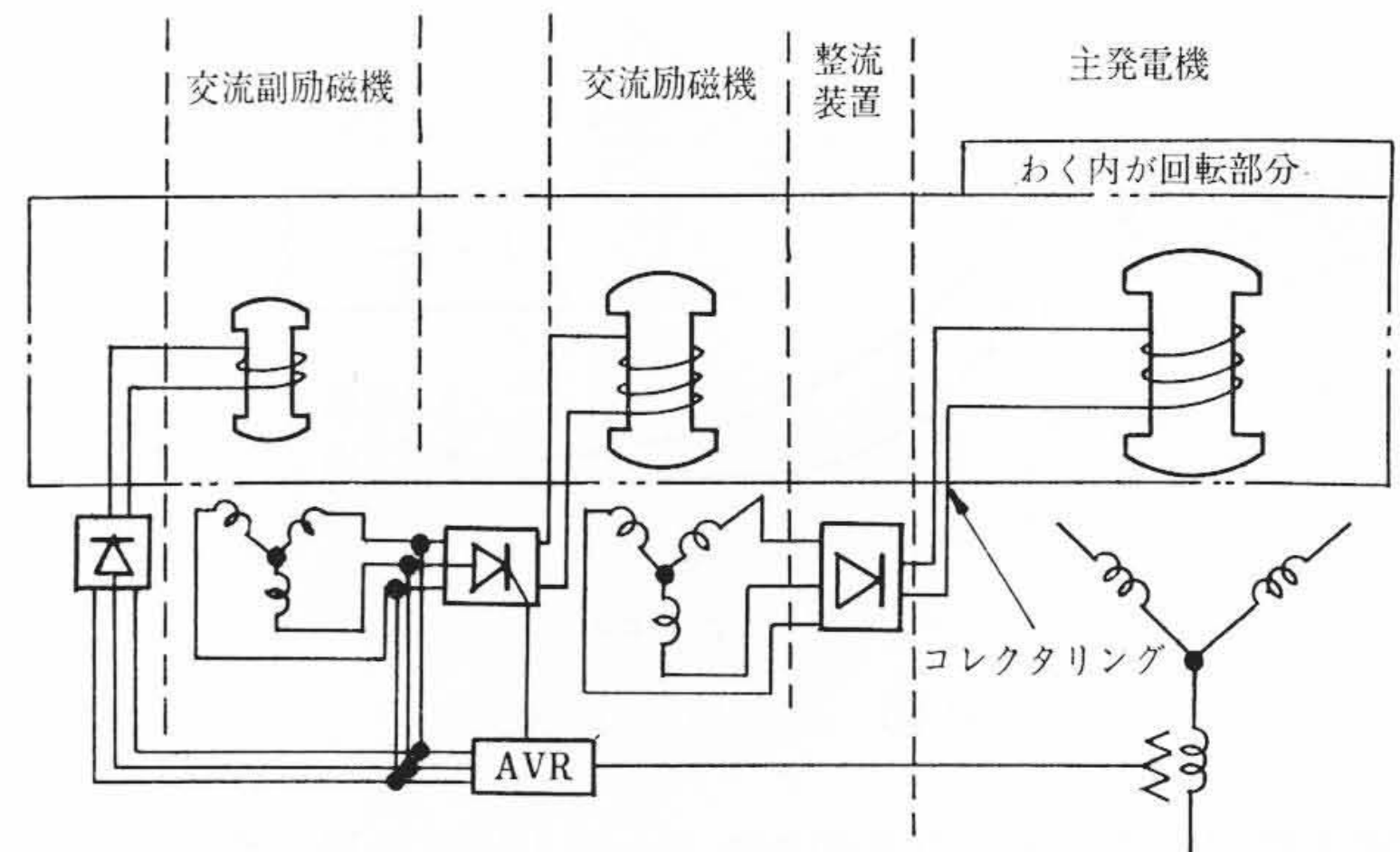


図2 コミュテータレス励磁装置の構成

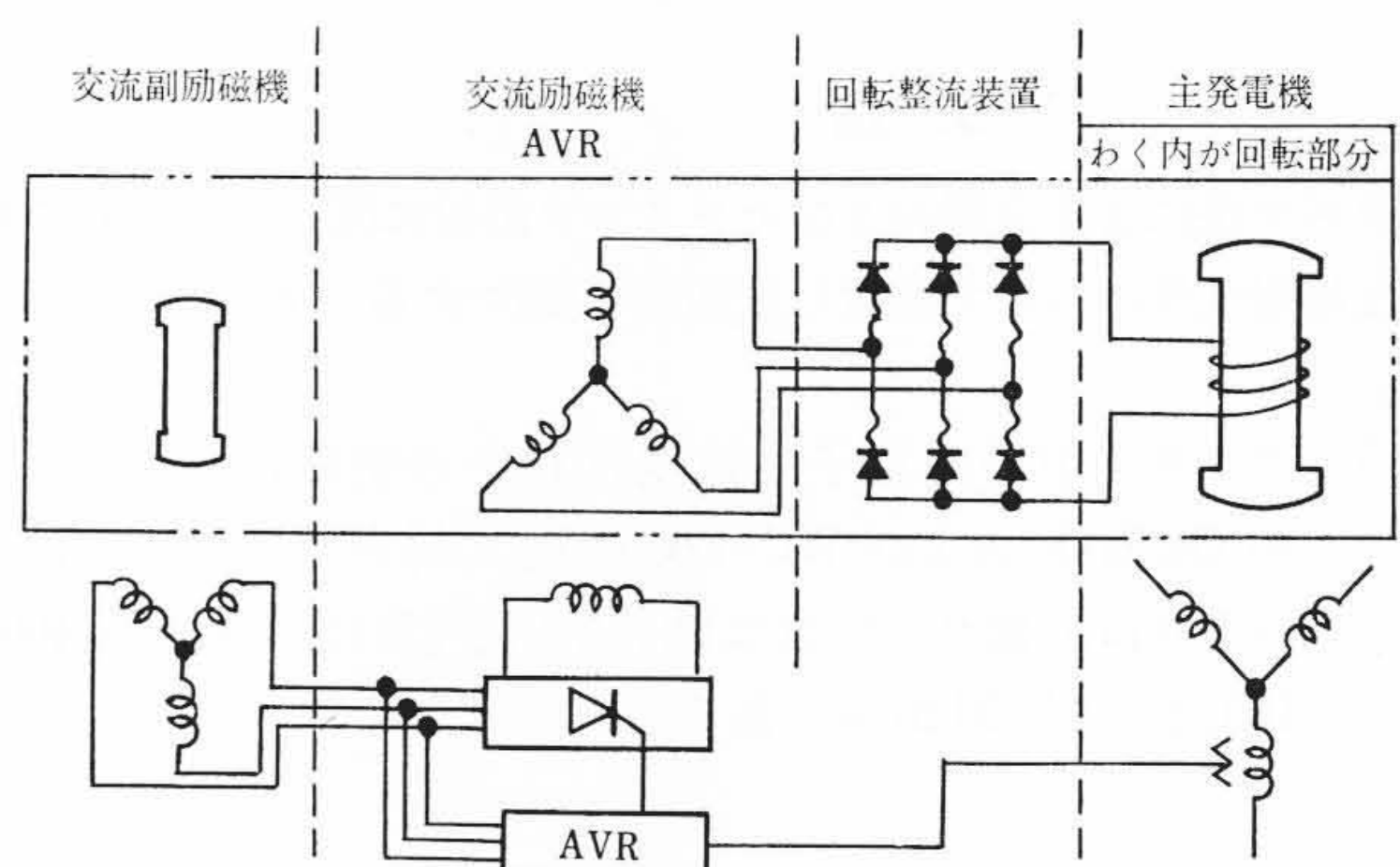


図3 ブラシレスの励磁装置の構成

2.1 構 成

コミュテータレス方式は図2のような構成であり、主発電機の所要励磁電流は交流励磁機の電機子から静止整流装置を経由し、スリ

表1 励磁方式比較

方 式		(1) 直流励磁機 方式	(2) コミュ タレス方式	(3) ブラシレス方式
項 目				
1	応 答 速 度	おそい	(1)より早く (3)とほぼ同 一	(1)より早く (2)とほぼ同 一
2	外 形 寸 法	Ex 本体 大 励磁機盤 大	Ex 本体 小 励磁機盤 (1)より SR 盤の分だけ大	Ex 本体 小 回転整流装置を合 わせると(1)のギ ヤ直結の場合とほ ぼ同一 励磁機盤 最も小 (FS 盤なし)
3	信 頼 性	最も実績多く 信頼性は高い ただし、電動 機駆動の時は その電源の信 頼性による	実績は少ない が構成装置お のこの信頼 性は(1)より 大	回転整流装置、回転 電機子形 AC, Ex ともに運転実績は (1), (2)より少な いが信頼性は(2) とほぼ同一
4	運 転			
	1 界磁しゃ断器	あり	あり	なし
	2 急速減磁	可	可	不可能
	3 逆 励 磁	可	不可能	不可能
	4 界磁電流温度測定	可	可	精度は落ちるが可
	5 界磁回路のアレスタ	一	あり	なし
	6 シリコン素子交換	一	運転中可能	運転中不可能
	7 予備機との切換え	可	可	不可能
	8 界磁接地リレー	あり	あり	補助コレクタリン グを取り付ければ 可能
	9 励磁制御量	小	(1)より大(3) とほぼ同一	(1)より大 (2)とほぼ同一
5	保 守 点 検	Ex 整流子, 発電機コレク タリングとも ブラシがある 点で不利	コレクタリン グのブラシが いる点で(3) より不利 整流器の点検 交換は有利	ブラシが全くなり 最も有利 ただし、整流器の 点検は(2)より不 利
6	そ の 他	電動機駆動の 場合には約 1,200% の起 動 kVA を要 する		

表3 ブラシレス交流発電機製作実績

納 入 先	発 電 所	台数	発 電 機 定 格		励 磁 機 (kVA)	納入年月	原 動 機
			kVA	rpm			
和歌山県電	岩 倉	2	6,700	600	60	41-6	水 車
製鉄化学	姫 路	1	1,375	1,200	17.5	42-6	蒸気タービン
岩手県電	四十四田	1	18,000	250	200	42-10	水 車
日本レイヨン	宇 治	1	14,000	3,600	60	43-1	蒸気タービン
昭和電工	鶴 崎	1	35,294	3,600	110	43-12	蒸気タービン
昭和電工	鶴 崎	1	18,824	3,600	75	43-12	ガスタービン
昭和発電	市 原	1	88,235	3,000	395	44-10	蒸気タービン
試 作		1	250,000 kW	3,600	1,200 kW	41-6	誘動電動機

ブラシレス同期電動機製作実績

納 入 先	発 電 所	台数	電 動 機 定 数		励 磁 機 (kVA)	納入年月	用 途
			kVA	rpm			
製鉄化学	姫 路	1	3,800	300	50	42-5	コンプレッサ
日石化学	浮 島	2	2,200	200	50	42-6	コンプレッサ
昭和電工	鶴 崎	2	3,100	212	60	43-10	コンプレッサ

ップリングを経て回転体である主界磁に供給される。また交流励磁機の励磁制御は交流副励磁機から自動電圧調整装置 (AVR) を経て行なわれる。

一方ブラシレス方式の構成は図3に示すとおりで、整流装置と交流励磁機の電機子は回転側になり、スリップリングが全く不要でブラシレスとなる。

表2 コミュタータレス方式製作実績
(すべてタービン発電機)

納 入 先	発 電 所	発 電 機 定 格		員 数	励 磁 機 kVA	納入年月
		kVA	rpm			
パキスタン	コランギ	160,000	3,000	1	600	据付中
四国電力	新西条	285,000	3,600	1	1,150	据付中
東北電力	秋 田	408,000	3,000	1	1,650	据付中
常盤共同火力	勿 来	280,000	3,000	1	1,150	製作中
中国電力	玉 島	390,000	3,600	2	1,900	製作中
京 仁 電 力	京 仁	192,000	3,600	2	560	製作中
苫小牧共同火力	苫 小 牧	278,000	3,000	1	1,050	製作中
富山共同火力	新 港	280,000	3,600	1	1,150	製作中

2.2 特性、運転方式の比較

次に特性、運転方式について説明した結果が表1である。表1において、コミュタータレス方式の最大の特長は、運転特性上有利であるということにつぎる。すなわちスリップリング(コレクタリング)が残っているために従来の直流機の場合と同じように運転時の界磁電流・界磁巻線温度の監視もできるし、界磁しゃ断器放電抵抗の組合せにより急速減磁もできる、さらにはシリコン素子などの交換は運転中でも可能でありシリコン整流素子盤の中の故障素子の含まれるトレイをトレイごと引き出して予備と交換するだけで済むという点が利点である。

界磁電流・界磁巻線温度の記録あるいは警報という方式は重要である。というのは万が一の誤操作により低速時あるいは停止に近い状態の時に、界磁に過電流を流すということがあり得ないとはいえず、その場合に警報があるということは被害を最小限にいとめうることである。アメリカ AEP 社 (American Electric Power Service Co.) の系統では10年間に2回この種の事故があったことが報ぜられている⁽¹⁾。またコミュタータレス方式の不利な点としてはスリップリングのブラシの保守を要することと整流器盤を要するためその配置、リード線の引き回しなどの据付上の問題が新しく生ずるということである。

一方のブラシレス方式の利点は保守点検が容易で、かつ整流器盤も界磁しゃ断器盤もないため据付上励磁装置全体をコンパクトにまとめうるといふ点にある。また不利な点としてはコミュタータレス方式の裏返しとなり、運転中に、主界磁の監視ができないこと、急速減磁が行なえないこと、運転中にシリコン素子や抵抗・コンデンサなどの各素子の交換ができないこと、交流励磁機が積層鉄心構造となることという点があげられる。

結局コミュタータレスとブラシレスとの比較としては運転上の容易さを採るか、保守点検・据付配置の容易さを採るかということに帰着し、日立製作所では現時点では火力機、原子力機ともコミュタータレス方式を推奨し、需要者の要望に応じてブラシレスも製作するという体制にある。

日立製作所のコミュタータレス機の製作実績は製作中のものを含めて表2に示すとおりであり、最大容量機は408,000 kVA であり、また全容量は3,135,000 kVA に及んでいる。

ブラシレス機の製作実績は表3のとおりである。タービン発電機用としての最大容量機は88,235 kVA 機であり、今後さらに実績を積み重ねて大容量化するという方向にある。

3. コミュタータレス励磁装置の構成

3.1 コミュタータレス励磁装置

全体の構成は前出の図2に示すとおりである。コミュタータレス

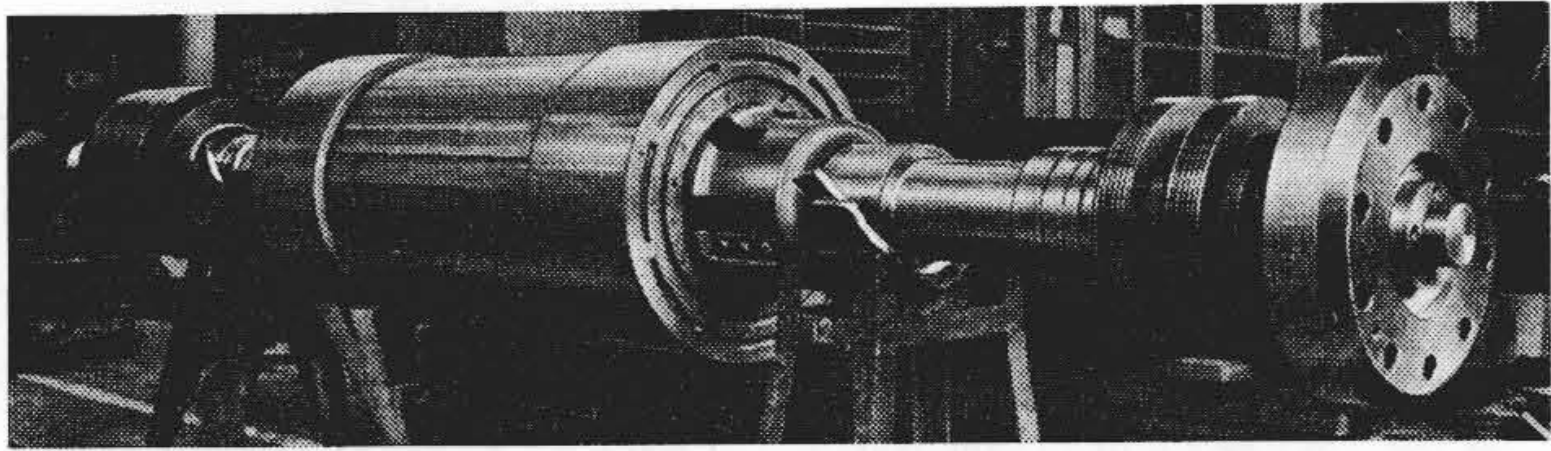


図 4 コミュテータレス励磁機フィールド

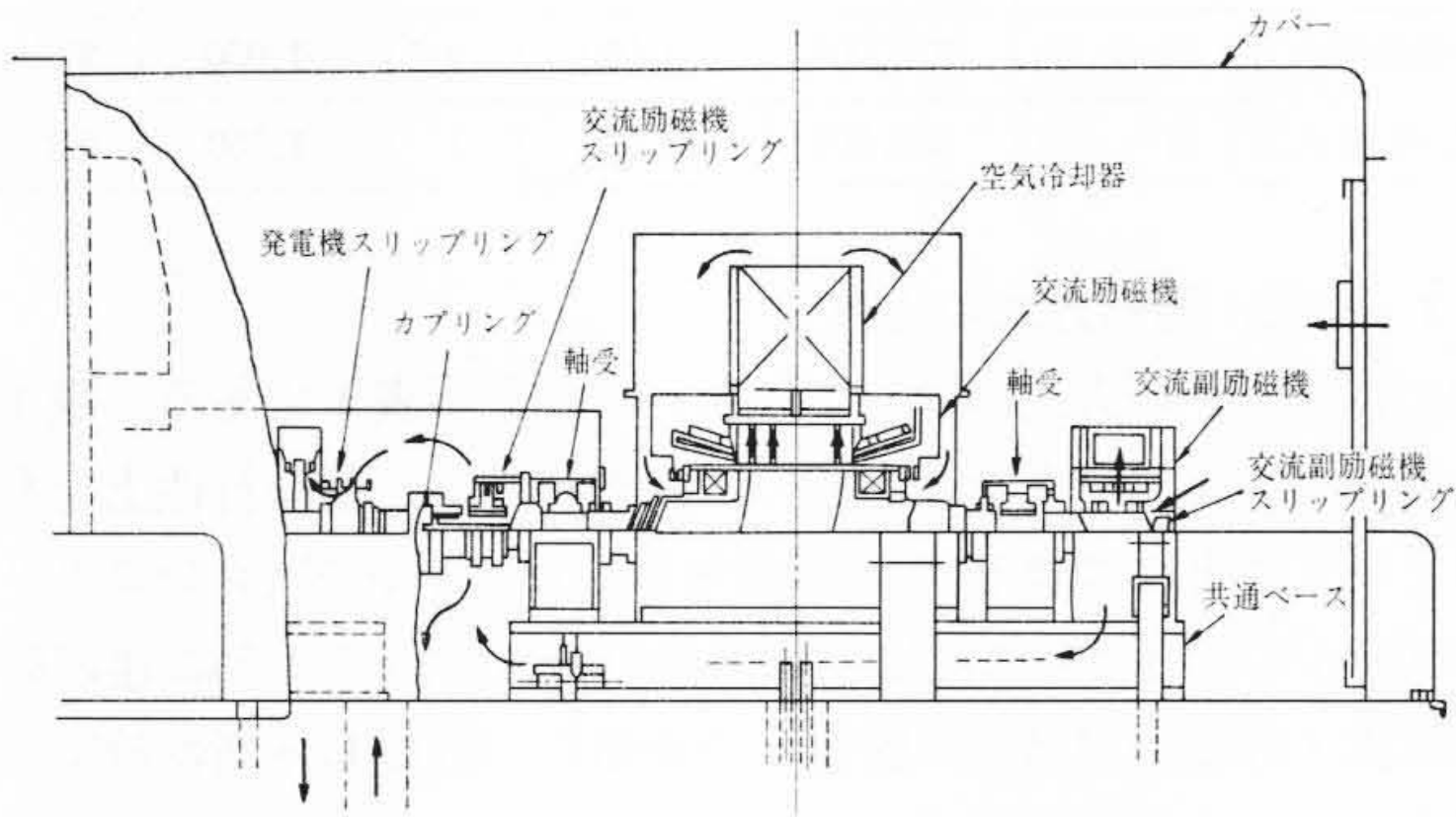


図 5 コミュテータレス励磁装置の構造および通風

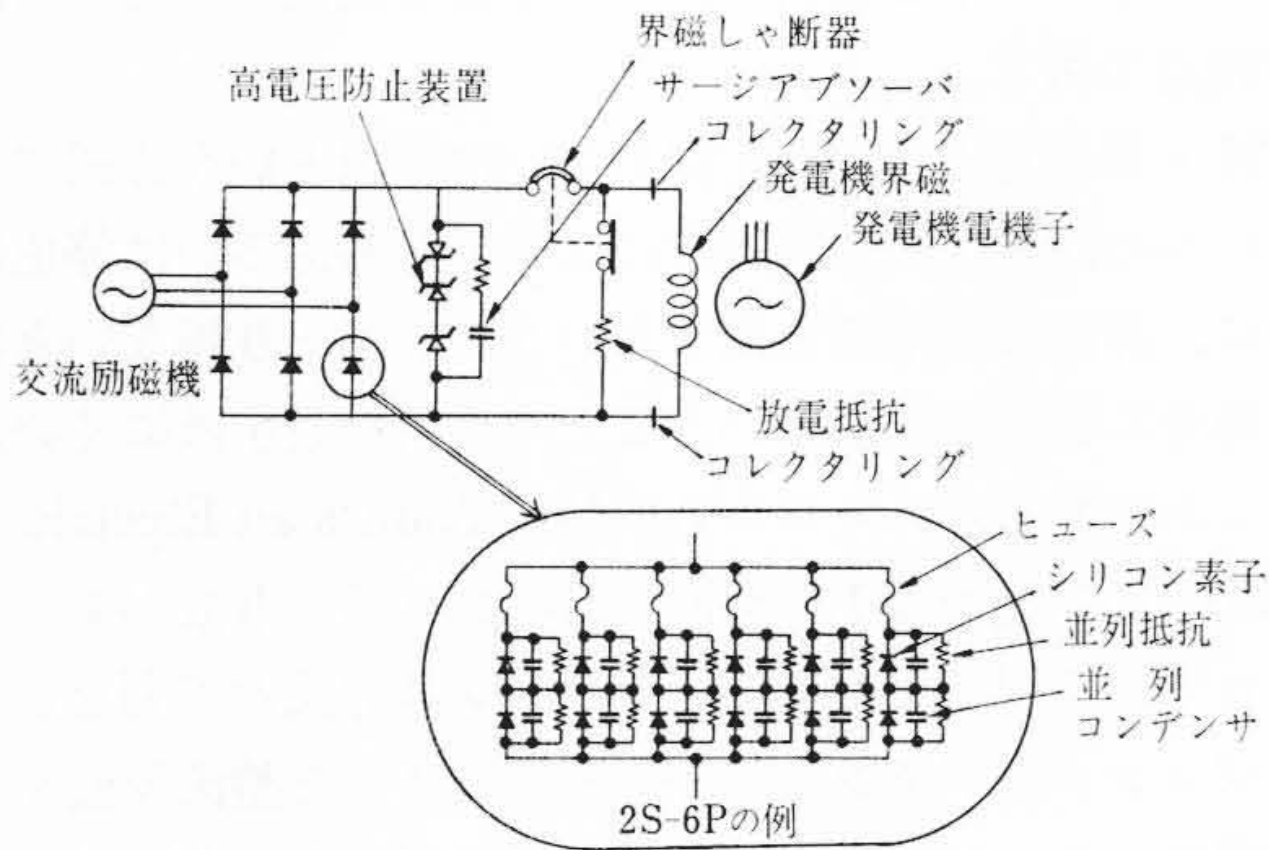


図 6 整流装置の構成

励磁機のフィールドの一例を図 4 に示す。手前側が交流励磁機コレクタリング、中央部が交流励磁機フィールドボデー部、向こう側が交流副励磁機フィールドである。

3.2 交流励磁機

交流励磁機は図 2 の構成図、図 4 の外観写真に示されるとおり回転界磁形であり、大容量タービン発電機の場合には高速機ゆえ当然単一鋼塊の回転子とならざるを得ない。原子力機の場合には励磁容量も少ないし、また回転数も 1,800 rpm または 1,500 rpm というところで突極機を採用することもある。

冷却媒体は空気である場合がほとんどであるから、従来産業用として実績の多い空気冷却タービン発電機と同一の構造で、空気冷却器を上置として全体をコンパクトにまとめる場合が多い。その場合の構造および通風図は図 5 に示すとおりである。

交流励磁機を全閉鎖通風にするのはフィルタの保守を不要とし、また騒音などの点からも有利であるが、これは軸受、スリップリングなど保守を要するものは外に出ており交流励磁機本体は常時の保守を要しないため可能な構造であり、従来の直流機など整流子、ブラシの保守を要するものでは採用の困難な構造である。空気冷却器が上置になっているのは万一の水漏れ事故時などに分解点検を簡単にするためであり、それら事故時でも水が励磁機内部へ落ちないように水受けが設けられている。

小形機では空気冷却器付とせずに強制通風方式として冷却空気取入口にフィルタを設置する方式とすることもある。

交流励磁機は、自身の軸受を有し、またスリップリングを有する

表 4 コミュテータレス用標準シリコン素子 H03CF

形 式	H 03 C F
定格せん頭逆耐電圧 (V) peak	2,500
定格過渡せん頭逆耐電圧 (V) peak	2,800
定格平均順電流 (A) ave	300
定格瞬時過電流 (A) peak	5,500
動作温度 (°C)	-25~+150
保管温度 (°C)	-25~+150
最大順電圧降下 (V) peak	1.6 (単相半波せん頭値 940A)
接合ベース間熱抵抗 (°C/W)	0.12
最大締付トルク (kg-cm)	550
重 量 (g)	500

が、主発電機のスリップリングとカプリングをはさんで突き合わせる構造として冷却の便を図り、同時に主発電機と交流励磁機間の距離を多少とも長くしてフレキシブルな軸とすることが多い。

図 5 において交流励磁機スリップリングは主発電機スリップリングと同一のファンにより冷却され、また交流副励磁機の排気もこのスリップリング部に排気されていることがわかる。この排気量は主スリップリング通風量の約 5% であり、主スリップリングの人氣側に排気しても問題にはならない。ただ交流副励磁機のカーボンダストがそのまま排出されないように排出部には小さなフィルタを設けることもある。

励磁機の定格は直流側の条件すなわち主発電機の界磁電流、電圧が定めれば整流回路計算より、一義的に定まるが、低電圧大電流機となる。また構造上極数は多くはとれず、周波数としては商用周波数にするのが普通であり、100 Hz または 120 Hz とすることもある。

単一鋼塊の堅固な回転子を有するので、予備励磁機あるいは直流機の場合のような予備ロータは設けないのが普通である。

3.3 交流副励磁機

交流副励磁機に関しては製作者により種々の方式がある。日立製作所では信頼性が高いという観点から副励磁機も直結する方式を現時点での標準としている。

副励磁機は交流励磁機の励磁電源になると同時に AVR の電源になることは図 2 に示すとおりである。

なお、小容量機では副励磁機として永久磁石発電機を用いることもある。

3.4 整流装置

整流装置の構成は図 6 に示すとおりである。整流回路の結線は三相全波回路(グレッツ結線)としてあるが、これはリード線の引きまわしが多少複雑になるとはいうものの、整流素子に加わる逆電圧値が小さく、利用率も高いためと、励磁機に直流分を発生しないめ、三相半波回路よりはるかに広く採用されるからである。

シリコン素子としてコミュテータレス方式の場合の標準は表 4 に示す H03CF である。本素子は東海道新幹線用電車にも用いられて、100 万個を越える実績を有し、かつ実績不良率として $4 \times 10^{-9}/h$ というすぐれた信頼性をもつ DJ16 なる素子を母胎としており、さらに整流接合の特性改善により耐電圧値を向上させたものであり、画期的な高電圧、大電流素子である。

これら整流装置は静止の整流器盤に収納されており、外観の一例は図 7 に示すとおりである。整流器盤は別の階に設置されており、励磁機との間をケーブルにて接続する方法が標準であるが、励磁機カバーを大きくしてカバー内に整流器盤を収納する方式もある。

素子の冷却方式はファンによる強制風冷方式が標準であり、ファンは 2 台で、その 1 台は常用、ほかの 1 台は予備であるが、発電機が直接水冷却の場合にはその純水の一部によりシリコン素子を直接冷却する方式を採用することもできる。万一素子が短絡故障して直

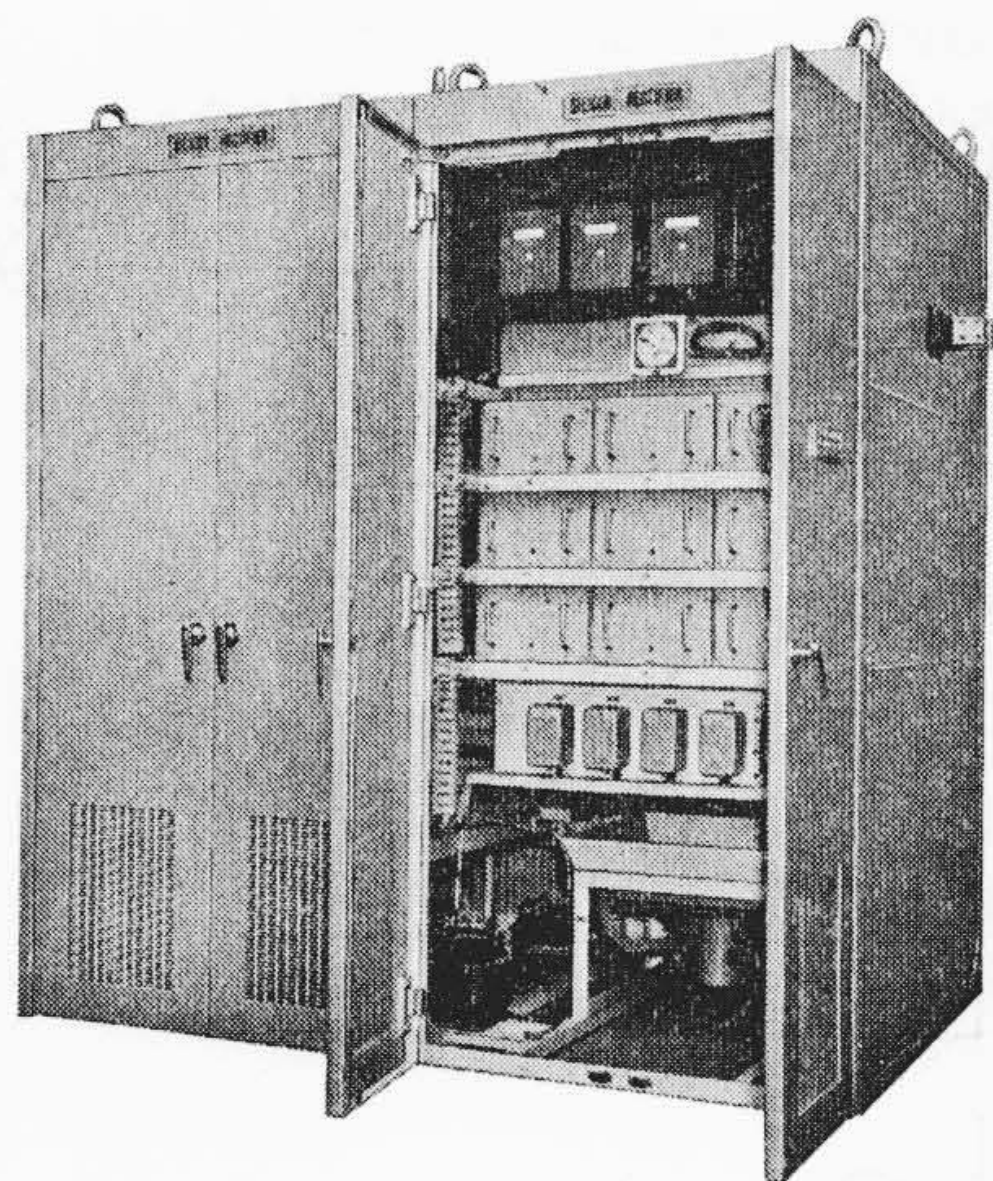


図7 シリコン盤

列の限流ヒューズが動作した場合には中央操作室に警報または表示が出る。現場の整流器盤ではどの位置のヒューズが動作したかが表示灯により示されるので、運転中にトレイごと引き出して予備トレイと交換することができる。

図6に示すようにシリコン素子の一つ一つに並列抵抗、並列コンデンサが入れているが、前者は定常状態での電圧分担の均一化と過渡時の電氣的振動の減衰を早めることが目的であり、後者は転流サーージ電圧発生防止と、過渡時の電圧分担の均一化を目的としている。

また界磁巻線に並列な高電圧防止装置にはセレンアレスタを用いるのが標準であり、これは発電機の電機子側からの電磁誘導で界磁に逆方向電流が流れようとするときに、それを整流器の部分を通さずにシャントさせて、シリコン素子の両端に大きな逆電圧が加わることを防止するのである。

図6に示すように、界磁しゃ断器および放電抵抗が設置されているが、これは普通の直流励磁機の場合と同様であり、コミュテータレス機の利点の一つである。ただし超大容量機では界磁しゃ断器の製作上の問題および短絡事故発生頻度がきわめて少ないことからこの界磁しゃ断器および放電抵抗を省略する場合も出てきている。

3.5 保護装置

整流装置の保護装置としてのセレンアレスタ、限流ヒューズ、抵抗、コンデンサは、前述のとおりであるが、さらにシリコン素子の温度上昇保護としての温度リレーやファン故障検出リレーなども適宜用いられる。交流励磁機は予備なしというのが普通であり、短絡故障等はすみやかに除去される必要がある。線間短絡、三相短絡などは、過電流リレーまたは比率差動リレーにより検出・除去されるし、交流励磁機電機子は非接地であるから、地絡事故が発生したときは主発電機界磁巻線に取り付けてある接地リレーにより検出することができ、その場合には適当な時期に停止して故障を除去する必要がある。過電流リレーまたは比率差動リレーなどは従来の直流励磁機の時とはなかったものである。交流副励磁機の保護装置としては、短絡保護、過電圧保護、低電圧保護があり、ユニットトリップまたは警報するが、これは副励磁機直結の直流励磁方式の場合と同じ考えである。主発電機の界磁巻線は、スリップリングがある以上直流励磁機の場合と全く同様な保護が必要であり、界磁喪失リレーによるユニットトリップ、界磁接地リレーによる警報、界磁巻線温度リレーによる警報となっている。

4. ブラシレス励磁装置の構成

前述のコミュテータレス励磁装置とこのブラシレス励磁装置の最

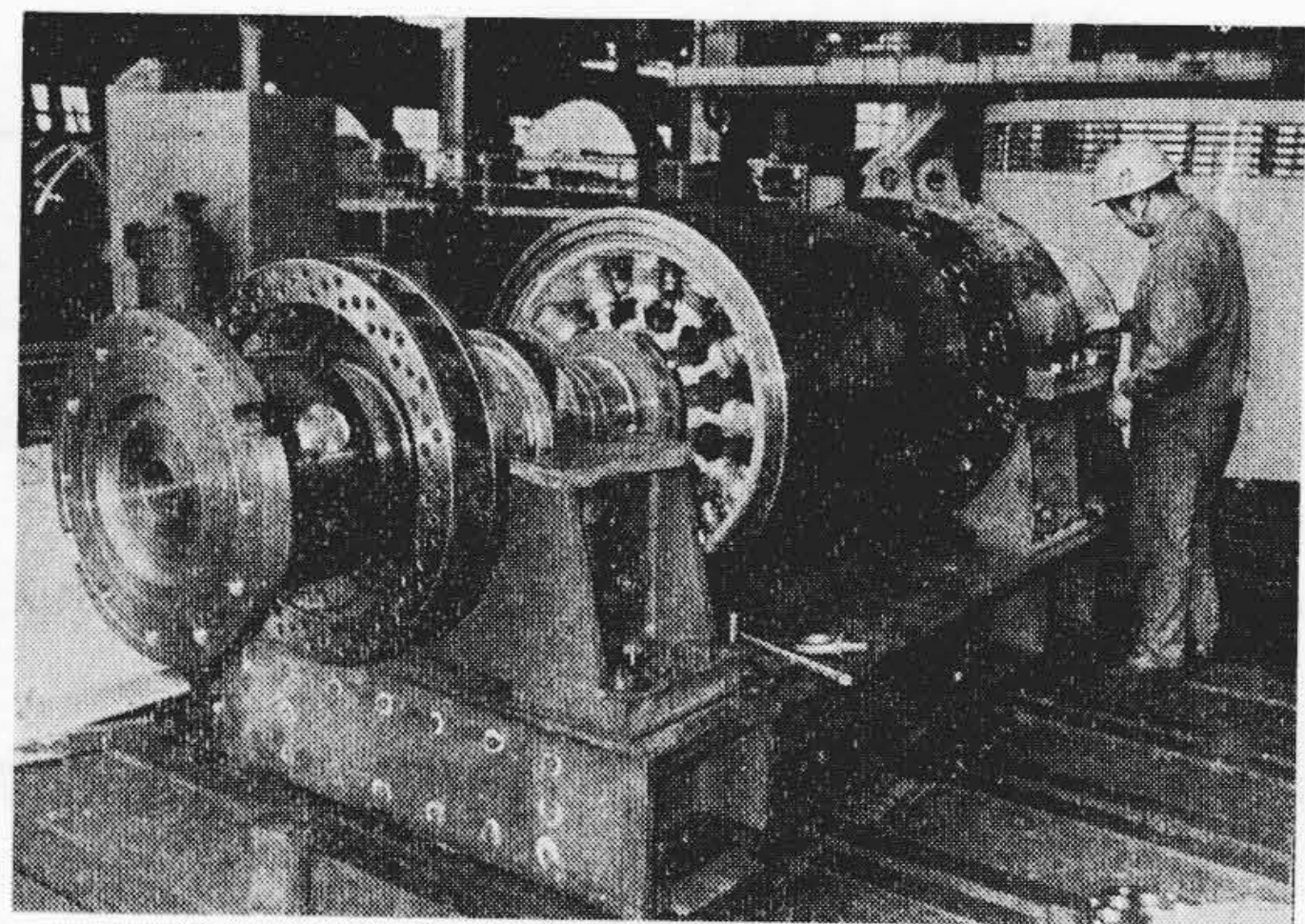


図8 ブラシレス励磁機

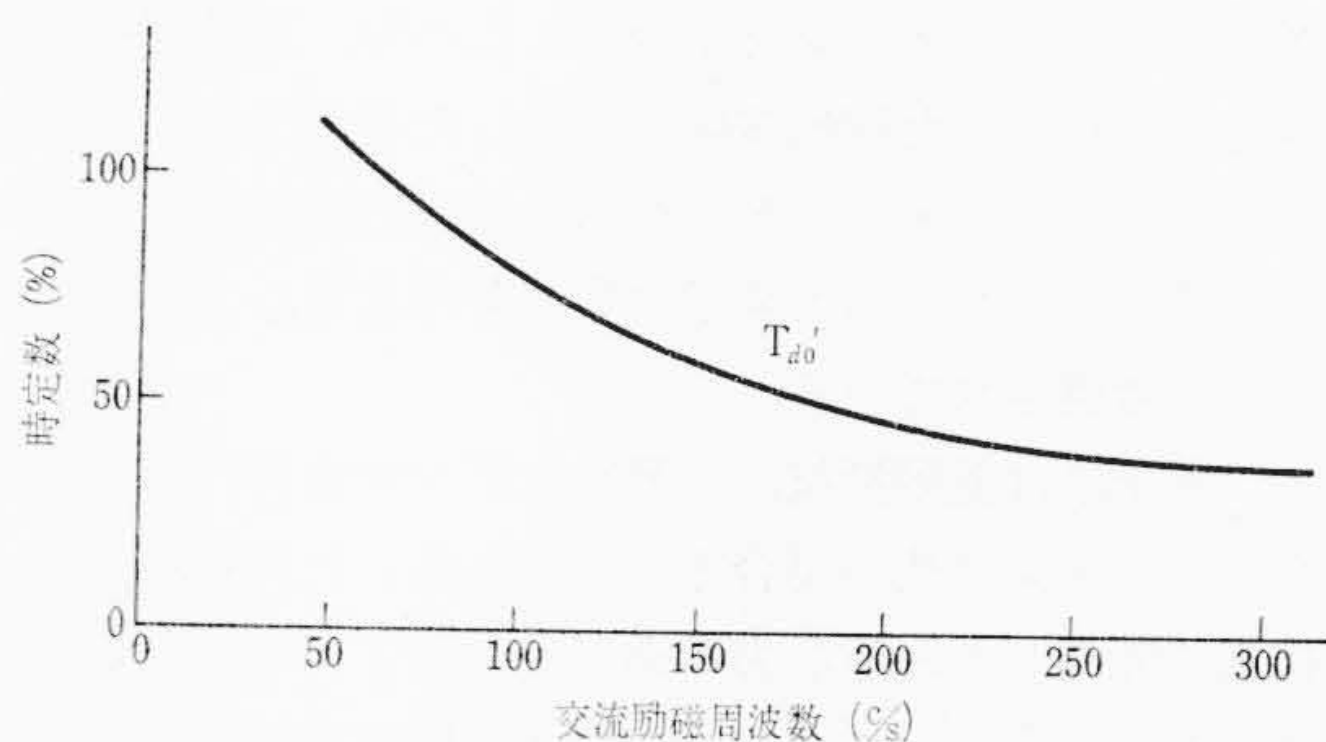


図9 交流励磁機の周波数と時定数

大の相違点は、後者では図3に示すように、整流装置と交流励磁機の電機子が回転側にあるということである⁽⁸⁾。そのためにコレクタリングが全く不要となりブラシレスとなることは図2と対比してみるとよくわかる。ブラシレスは直流機の整流子をシリコン素子でおきかえたものと言える。ブラシレス励磁機のロータの一例を示したのが図8である。手前側がラジアルファンと回転整流装置、次が交流励磁機で、引き続いて交流副励磁機である。

4.1 交流励磁機

交流励磁機は図3に示すように、出力側が回転側でなければならず、したがって回転電機子静止界磁構造となる。電機子には交流磁束が通るから積層鉄心構造とする必要がある。界磁極が静止側にあるため、比較的自由に極数すなわち周波数を選択できるという点が大きな特長である。同一定格の交流励磁で極数のみを変え周波数を変えたときの界磁時定数 T_{d0}' (電機子開放時) の変化を示すと図9のようになる。周波数をあまり上げても時定数の減少度合は飽和してくるし、一方鉄損、漂遊負荷損の増大の問題があり、ブラシレス機の場合でも100~420 Hz程度を採用することが多い。コミュテータレス機の場合が前述のようにたかだか120 Hz程度であることと比較すると大きな相違である。

4.2 交流副励磁機

交流副励磁機はコミュテータレスの場合と同じく主機直結で、系統異常時にも主機軸から励磁エネルギーをうることができるようにするのが大容量機で一般的である。ブラシレス方式であるから界磁は永久磁石で励磁不要であるが、この永久磁石発電機の経年変化による減磁量は非常に少なく、20年程度の使用ではほとんど問題にならないことが判明している。

この永久磁石発電機がAVRの諸電源を兼ねているのはコミュテータレスの場合と同様である。

4.3 整流装置

整流装置は回転体上にあり、強大な遠心力に対する考慮と同時に事故時の過電圧、過電流など電氣的にも細心の注意を必要とする部分である。

表5 日立ブラシレスタービン発電機用
標準シリコン整流素子 (H04M および H05M)

項 目	単 位	定 格	備 考
せん頭逆耐電圧	V	1,300	単相半波高値
せん頭過渡逆耐電圧	V	1,600	単相半波高値
平均順電流	A	300	
定格瞬時過電流	A	5,500	200 ms, 波高値
動作温度	℃	-25~+150	ジャンクション部
保管温度	℃	-25~+150	ジャンクション部
最大順電圧降下	V	1.5	単相半波高値

日立製作所の例ではブラシレス機用の標準シリコン素子は表5に示すようなH04Mなる素子を用いている。同素子はコンピュータレス用と同じく、新幹線用などに広く用いられたDJ-16なる素子を改良して耐遠心力素子としたものであり、静止時の等価過酷試験にジャンクション、パッケージとも合格したのち、試験用回転整流装置に組み込んで行なった回転試験に合格したものである。シリコン素子はジャンクション・パッケージとも本質的に圧縮側の力に対してきわめて強く、したがって素子の取り付けも遠心力がすべて圧縮側に働くよう考慮されている。

シリコン素子には並列抵抗、並列コンデンサを付けるが、その理由はコンピュータレス機の場合と同一である。ただ抵抗、コンデンサとも特別に開発した耐遠心力構造のもので、エポキシ樹脂でモールドされており、おのおのシリコン素子と同じく静止の等価過酷試験と回転試験に合格したものである。

このブラシレス方式ではシリコン素子と直列に限流ヒューズを取り付けるが、異常電圧発生防止のためのセレンアレスタなどはスペースの関係などで取り付けられないのが普通である。したがって運転上それなりの注意あるいはインターロックが必要となる場合があるが、それについては5.3に述べる。

図3からも判明するように、異磁しゃ断器や放電抵抗を取り付けられないのもスペースおよび遠心力の関係からである。

4.4 保護装置

シリコン素子の保護装置として限流ヒューズ、抵抗、コンデンサが用いられているのはコンピュータレス機の場合と同じであるが、セレンアレスタなどの異常電圧発生防止装置、界磁しゃ断器、放電抵抗などは遠心力およびスペースの関係から普通は取り付けられないことは前述のとおりである。

ここで限流ヒューズに関しては、それが動作したことを外部(静止側)から検出できるような装置を設け、動作したヒューズの個数と位置を常時確認しておく必要がある。これには現場にてストロボで判定する方式とか、回転側に小形発信器を装荷して、静止側で受信、処理する方式とか、静止側の電磁ピックアップにより、ヒューズあるいはその接続導体の電流による磁界の有無を検出し、その出力をサンプルホールドして故障したヒューズの識別ならびに表示、警報を中央操作室にて行なう方式などがある。日立製作所ではこの最後の方式によっており、図10のように軸回転に同期したサンプリングパルスにより、各枝の通流期間のみトランジスタスイッチを導通させて、たとえば電流計により電磁ピックアップの誘起電圧に見合う電流を読み、この値が定められた値より低ければ警報表示を行なうという方式である。この方式はまた整流装置の直流側の電流を電磁ピックアップにより検出することにより、発電機界磁電流の静止側からの推定に利用することもできる。本方式は装置が若干複雑になるが、現場でなく中央操作室ですべて確認できる点が最大の利点である。

交流励磁機の保護装置としては、過電流リレーや比率差動リレーが取り付けられていないため、主発電機の界磁喪失リレーによるユニットトリップにたよることになる。

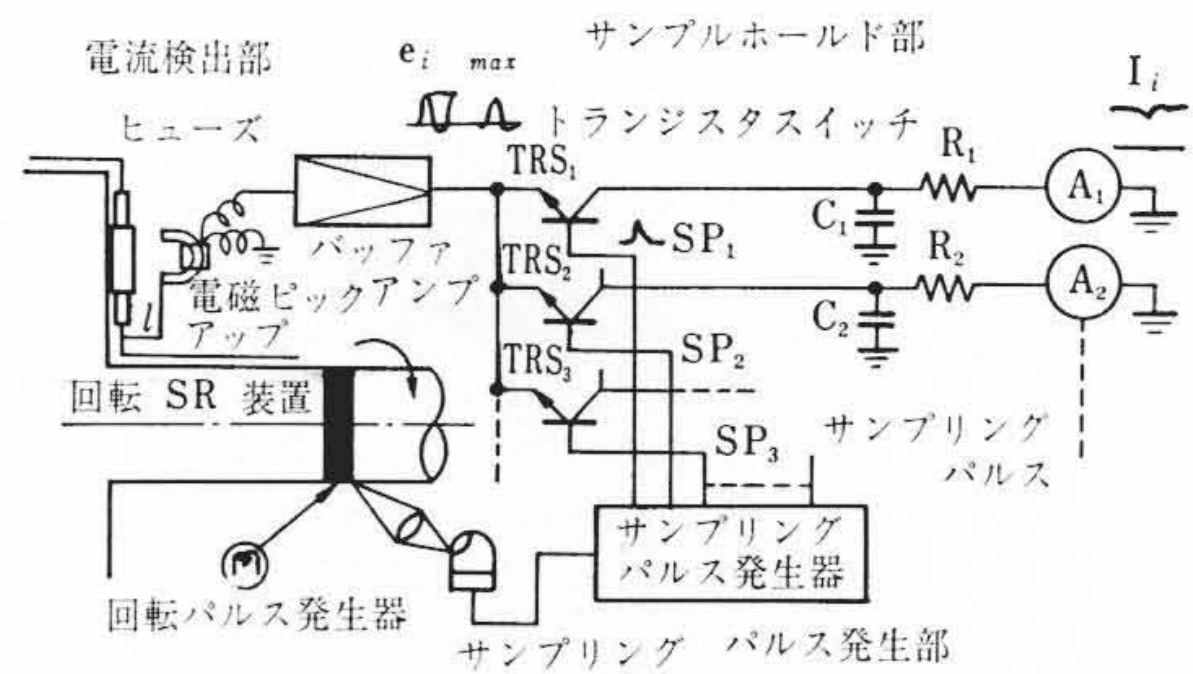


図10 ヒューズ溶断検出方式

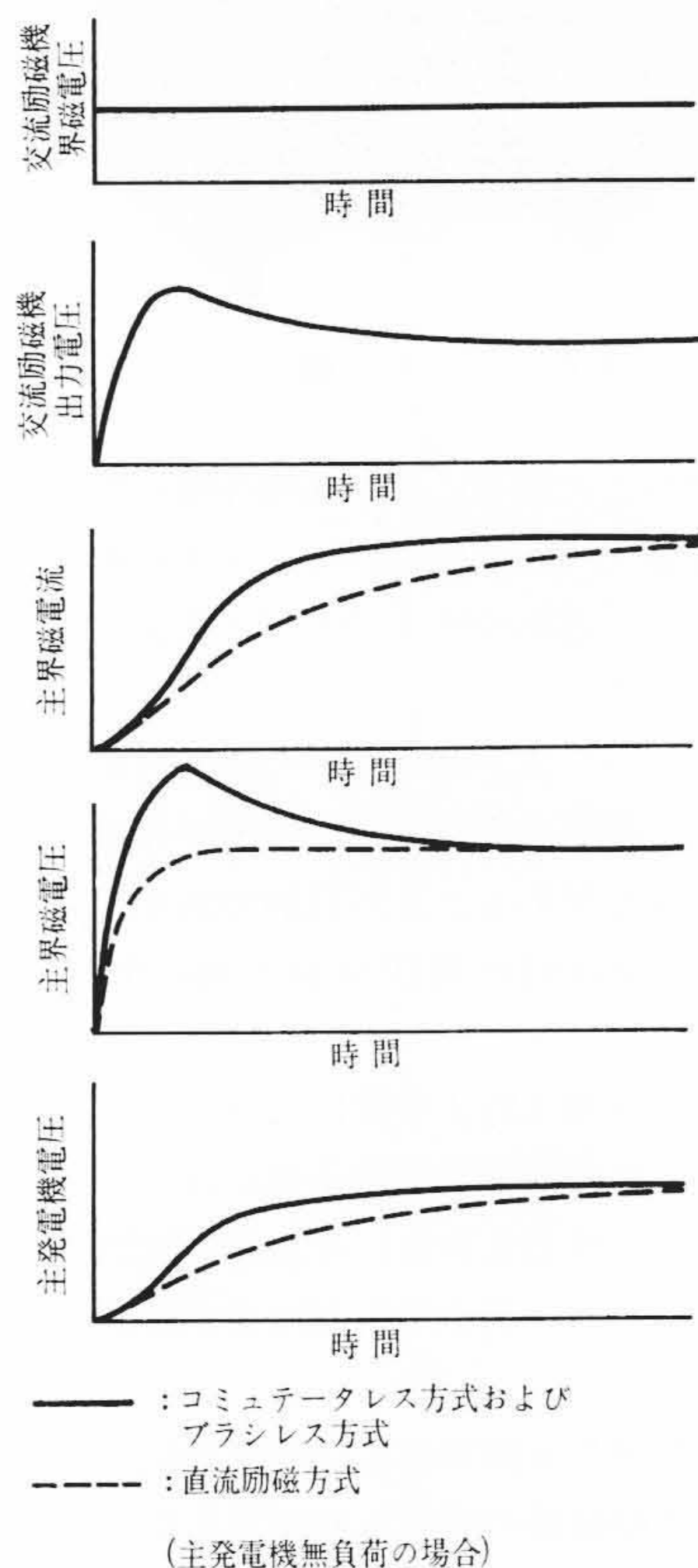


図11 励磁方式と電圧応答比較

交流副励磁機の保護装置は、コンピュータレスの場合と同様である。主発電機の界磁巻線保護としては、界磁喪失リレーによるユニットトリップ（界磁喪失の検出は電機子側からゆえブラシレスでも取り付け可能）のみとなり、特に接地検出用の小コレクタリングを取り付けたときにかぎり、界磁接地リレーによる警報を出すことができる。

5. 整流器励磁の特性と事故時の問題

コンピュータレスの場合でも、ブラシレスの場合でも、交流励磁機と整流器との組合せであり、直流励磁機に比較すると電気的特性にかなりの相違がある。以下に電気的特性と事故時の電流、電圧について述べる。

5.1 励磁機応答速度

励磁機公称応答速度(NER)はASA規格にて0.5以上と規定されており、従来はこれが唯一(ゆいつ)のよりどころであった。ただしNERは必ずしも大きいほうが望ましいとは言えず、また負荷しゃ断後の電圧上昇に関しても1.0程度でじゅうぶんで2.0以上に上げる必要はないと言われている。

日立製作所では上記にかんがみNERは1.0程度にて設計するのを標準としている。

5.2 電圧応答特性

励磁機と整流器とを組み合わせ、実際の発電機主界磁を負荷としたときの電圧応答を示すと図11のようになる。交流励磁のほうが

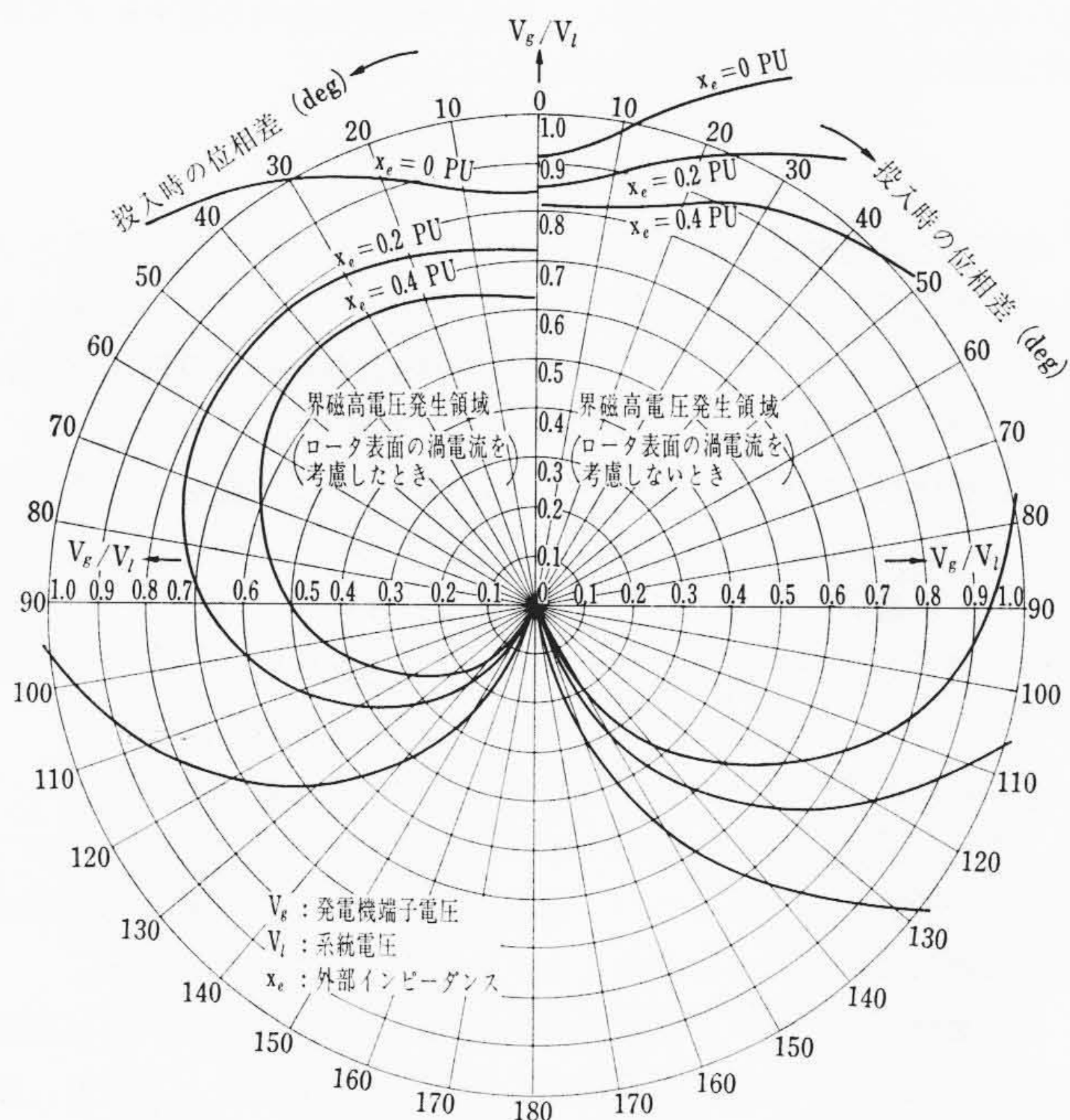


図12 同期投入時（異電圧・異位相での投入）の界磁高電圧発生領域

発電機主界磁電流の立上りを早めることができるが、これは同期機固有の大きな電機子反作用のために、交流励磁機の固有電圧変動率が大きく、その出力電圧に大きいオーバシュートが生じ主界磁電流の立上りを早めることができるからである。すなわち主界磁の時定数を見かけ上減少させることができるのである。

5.3 過渡時の逆電圧とシリコン素子の直列数

正常運転中は各アームに加わる逆電圧値は励磁機が頂上電圧を出している場合であっても直流出力電圧と同程度であり、あまり問題とならない。むしろ過渡的な逆電圧が問題であり次のような場合を考慮する必要がある。下記の6種のケースはいずれも界磁電流に定常的にまたは過渡的に交流分が重畳し、界磁電流がある時点で負の値をとり、（すなわち逆方向に流れようとして）整流素子によりブロックされ、素子の端子間に高い逆電圧が発生するものである。

- (1) 誤操作により位相または電圧を合わせずに系統に主発電機を同期併入する場合
- (2) 非同期運転の場合
- (3) 二回線送電線での故障しゃ断の場合
- (4) 単相運転、単相短絡など逆相負荷をとる場合
- (5) 全負荷しゃ断の場合

上記のうち(4)から(5)までは逆電圧は全く発生しないかあるいは発生しても非常に小さな値であり実用上問題にならないと考えられる⁽⁵⁾。(1)の同期併入の場合の300 MVA級の計算例では、図12に示すように、外部インピーダンスが0.2 pu程度あれば、相差角単独のずれであれば20度程度まで、電圧単独の相違であれば13%程度まで許容できる。この範囲内で同期投入することは決して困難なことではないが、万一の誤操作によりこの範囲外で同期併入をすると、発生電圧は界磁巻線端子間で数千ボルトにまでなりうる。

図13は異電圧同期併入の時のオシログラムであり、主界磁電流が逆向きになろうとして整流器に阻止される期間のみ高い逆電圧が発生していることが顕著である。

(2)の非同期運転時の発生電圧は図14に示すようになり、外部インピーダンスが0.2 puあると考えれば普通に考えるスリップ1%程度では界磁巻線端子間電圧は、定格界磁電圧の3倍程度であり、問題となる大きさではない。

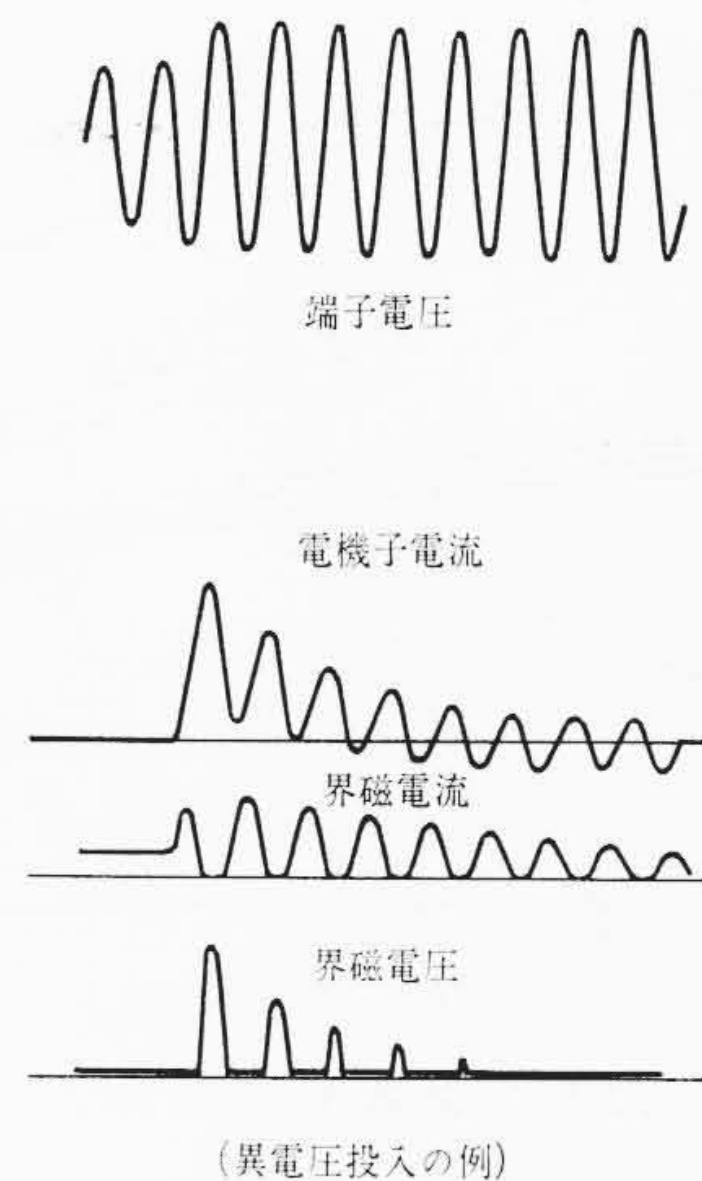


図13 同期投入時の主発電機界磁巻線の異常高電圧

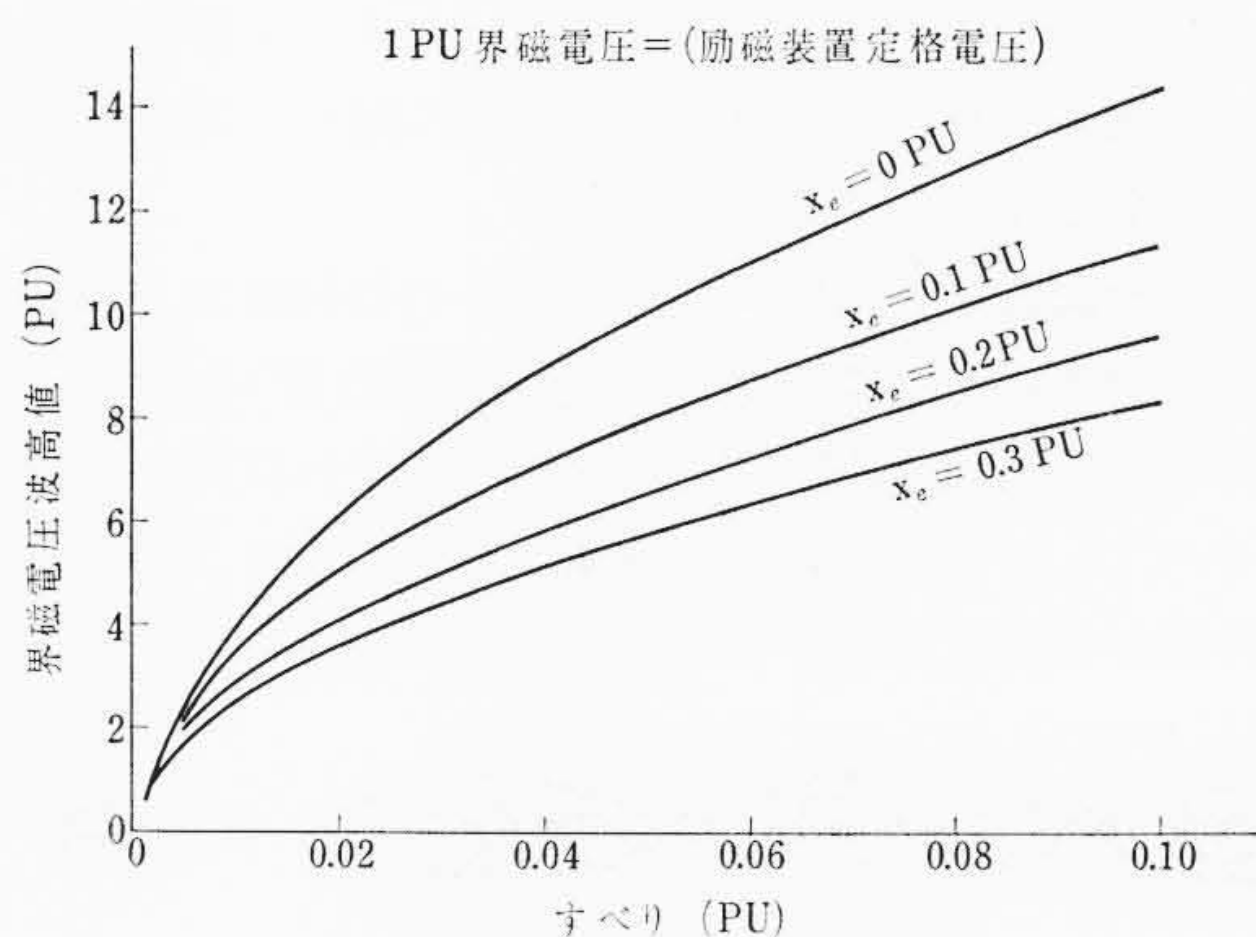


図14 非同期運転時の界磁電圧

(3)の二回線送電の場合は次のようなケースが考えられる。すなわち、2回線のうちの1回線のある位置で三相短絡が生じ、じゅうぶんの時間経ってからしゃ断器が開となり健全1回線の運転となる場合を考えるものであり、発電機は空げきの磁束がじゅうぶんに減衰してから突然系統に異電圧が投入されたと同じことになって主界磁電流が負にまでふれるものである。これは系統条件によっては発生することもあるが、短絡事故後しゃ断器が直ちには動作せず数秒たってから初めて開くという想定に無理もあり、現実には可能性は少ない。

しかしいづれにもせよ万一の誤操作などを考えれば高電圧発生防止装置の設置は必要と考えられ、コミュテータレス方式では界磁回路に並列にセレンアレスタを入れ、シリコン素子に逆方向電流が流れようとした場合にはそれをシャントパスさせて高電圧発生を防止する。ブラシレス機では回転体上にこれらの防止装置を装荷することが困難なため、同期併入時の位相差にインターロックを組むことによりこれに対処する。すなわち同期併入のときにはある位相差または電圧差以上では同期併入できないようにインターロックを組むのである。

5.4 過渡時の過電流とシリコン素子の並列数

整流素子の並列枚数は正常時の電流のほかに、次のような過渡時の大電流をも考慮して決定する必要がある。すなわち

- (1) 整流回路の一枚が短絡し交流励磁機がその枝を介して短絡する場合
- (2) 主発電機が三相短絡を生じ、その誘導で界磁巻線に大きな電流が流れる場合
- (3) 整流回路の直流側の短絡

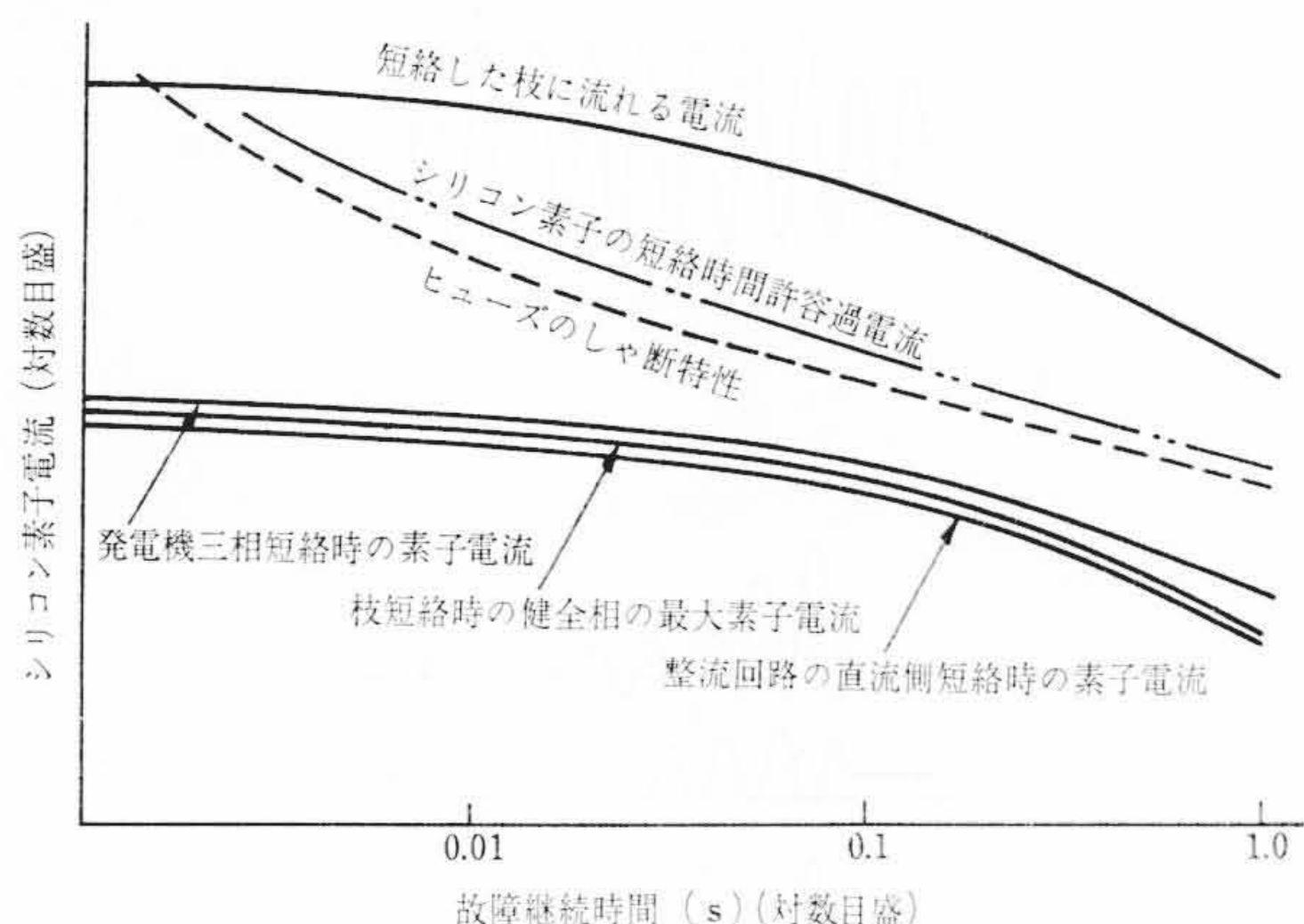


図15 故障電流曲線

(4) 強制励磁

などの大電流に対して

- (a) ヒューズは短絡した枝のみを選択しゃ断すること
- (b) 上記(2), (3), (4)により, シリコン素子に流れる過電流および(1)のときの健全枝に流れる過電流耐力以内であること。

の二つの条件を満たすようにシリコン素子の並列数およびヒューズのしゃ断特性を定める必要がある。その一例は図15のとおりであり, ヒューズは短絡枝のみを選択しゃ断し, それ以外の事故時の素子電流はすべてヒューズのしゃ断容量よりも小さく, またシリコン素子の短時間許容過電流以下であり, 事故が起きるとほかの枝まで

なだれ式につぶれることはなく, 事故が除去されたら直ちに正常動作に復帰できることは明らかである。

6. 結 言

近年急速に発展した整流器励磁のうちコミュテータレス方式とブラシレス方式とを比較すると, 運転上の便利さ, 確実さを重視する場合にはコミュテータレス方式, 保守点検上容易さを重視する場合にはブラシレス方式がすぐれていることが判明した。

日立製作所では現在いずれの方式も製作する体制をととのえているが, 上記および交流励磁機の堅固さ, すなわち信頼性の点をも考慮し, 大容量火力機および原子力機にはコミュテータレス方式を推奨し, 需要者の要求に応じてブラシレス機も製作するという方針である。

本稿は直流励磁機と比較した場合の, 交流励磁機方式の特長につき, 構造, 特性, 運転方式の点から最近のすう勢をまとめたものであり, 一般的記述であるので, 近年の傾向を知ると同時に励磁方式選定に際していささかの参考となりうるものであると信ずる。

日立製作所は, 種々の実績の積み重ねにより今後のタービン発電機励磁方式の進歩に少しでも貢献しうることがを念願としており, 諸賢のご指導をお願いする次第である。

参 考 文 献

- (1) M. Temoshok ほか: IEEE Trans. Paper TP 67-401
- (2) 佐々木, 長谷: 日立評論 48, 367 (昭41-3)
- (3) 西, 川村ほか: 日立評論 50, 591 (昭43-7)
- (4) 西, 川村: 火力発電第20巻4号 p. 404
- (5) 奥田ほか: 日立評論 50, 871 (昭43-10)



特 許 の 紹 介



特許第463906号 (特公昭40-17737号)

仲野善一

空気しゃ断器の抵抗接点装置

本発明は電圧分布改善用抵抗または減流しゃ断器用抵抗を各しゃ断部に並列にそう入した空気しゃ断器において, 主しゃ断部の開離動作とある時間遅れをもって, 抵抗接点を開離するようにしたもので, 図1において, 開離動作は制御弁1の操作により操作シリンダ2内の高圧空気を外部へ放出すると操作シリンダ2内の高圧空気としゃ断室3の高圧空気との圧力のバランスにより投入状態にあった可動子4およびこれと一体の突部4aは圧力差により, すなわちしゃ断室3の高圧空気によりしゃ断方向に移動するため, 駆動ピストン5はバネ6, 7の弾力によりしゃ断方向に駆動される。この間駆動ピストン5の小孔8は座金9によりふさがれていてシリンダ10内の高圧空気はシリンダ10に設けられた小孔11のみから排気されるため, 駆動ピストン5の駆動はシリンダ10内の空気によるダッシュポット作用を受けきわめてゆっくり行なわれる。可動接点12は図2に示すように駆動ピストン5の下方の突部5aが可動接点12の突部13に当接して初めて駆動される。このとき主しゃ断部は完全に開離し, その後シリンダ10に設けられた縦みぞ14により駆動ピストン5の上室の高圧空気は下室に逃げ, その高圧空気が駆動ピストン5を急激に駆動して抵抗回路を開離し図3の状態となる。

投入動作は制御弁1の操作により操作シリンダ2内に高圧空気を充満し, 操作ピストン5は投入方向に駆動され可動子4を同方向に駆動する。可動子4の突部4aは駆動ピストン5の下方の突部15を引っ掛けて同方向に駆動する。このとき駆動ピストン5の下室の高圧空気は駆動ピストン5の小孔8を通して座金9をもち上げるため駆動ピストン5は円滑に移動し, まず可動接点12が抵抗接点16の接触部16aに接触して抵抗回路を閉じ, 次に可動子4が固定接点17および18に当接し投入状態となる。

以上説明したように本発明抵抗接点装置は主しゃ断部の可動子4に伴って動作し, その後の動作は可動子4の動作と無関係に行なわれ主しゃ断部と時間遅れをもって開離する。また絶縁距離は主しゃ断部のそれとほぼ同じくらい保たれ, 空気しゃ断器のしゃ断性能を著しく改善することができる。

(高橋 健)

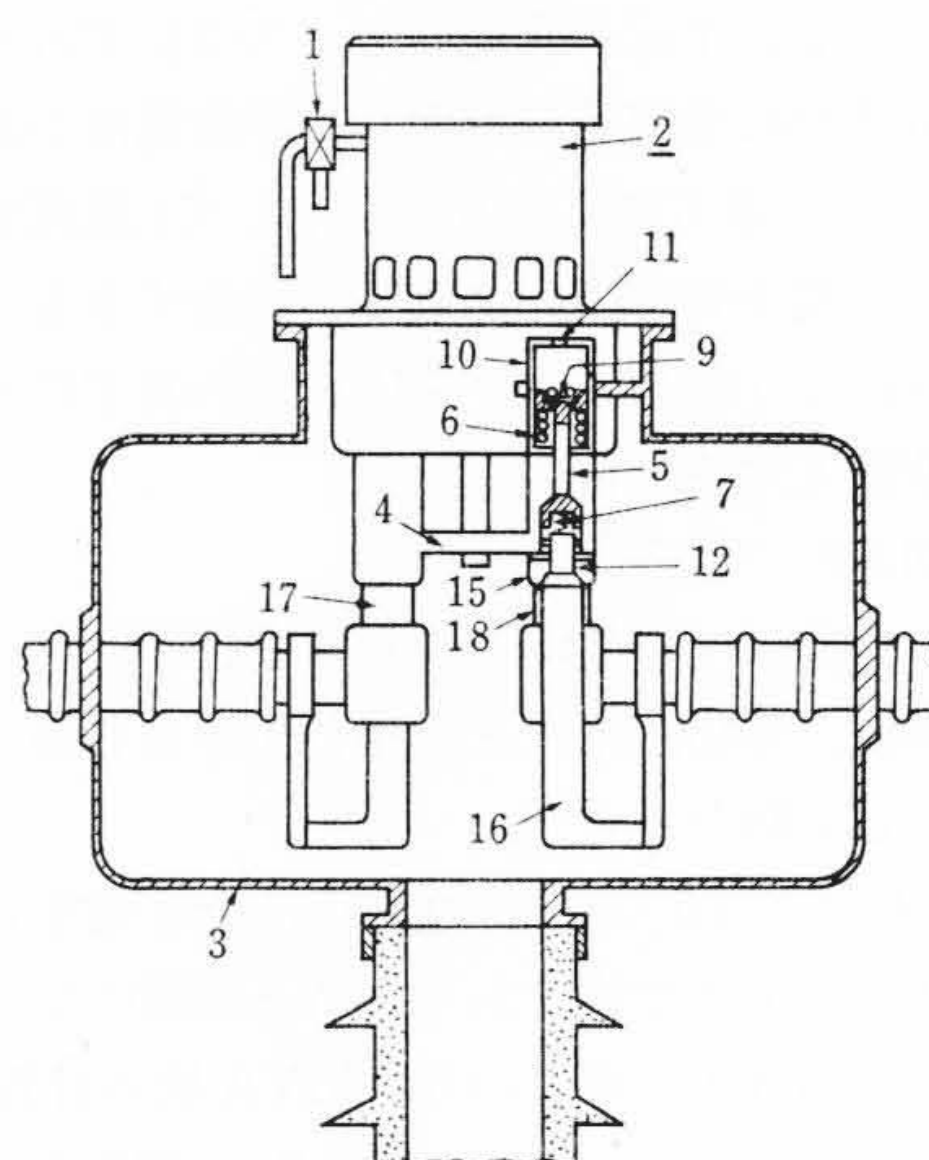


図 1

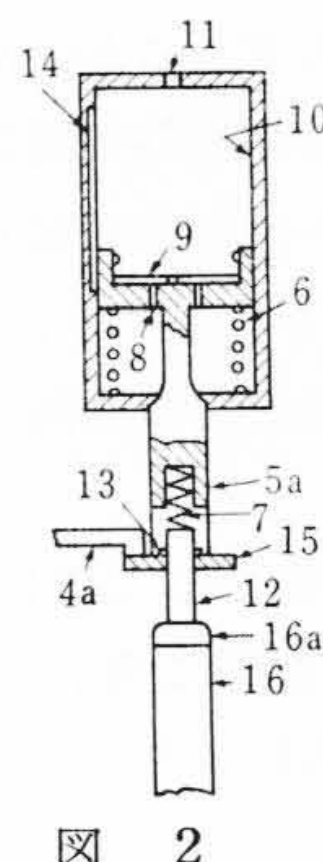


図 2

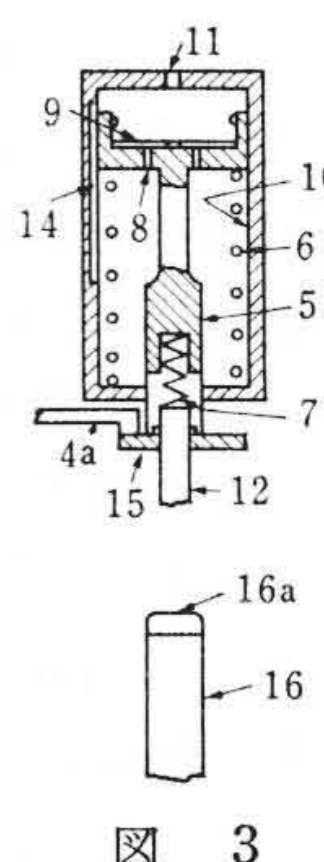


図 3