

化学プラント用電気設備

Electrical Equipment for Chemical Plants

村上啓一* 庄山悦彦**
Keiichi Murakami Etsuhiko Shôyama
篠田和男** 大音透***
Kazuo Shinoda Tôru Ohto

要 旨

化学プラント用電気設備において考慮しなければならない基本的事項を述べ、誘導電動機と同期電動機におけるいくつかの新しい技術的成果を概説し、最近ユーザー側にてクローズアップしている瞬時電圧降下時における電動機の特性を解析し、その保護方式の考えを明らかにした。またエレクトロニクスを応用した同期電動機の位相制御方式と新しい同期入れおよび同期はずれリレーを紹介した。

1. 緒 言

近年、化学プラントは石油化学を中心として規模の増大と多様化が進み、使用する電気設備に対する質的要求も向上の一途をたどっている。本文は最近の化学プラント用電気設備において解決を要求されているいくつかの問題に対する見解と新しいプラントの計画の際に考慮すべき基本事項について述べる。すでに周知の問題と思われるものを含めて、化学プラント用電気設備に要求される事項をあげればおよそ次のとおりである。

- (1) 1年ないし2年という長期連続運転が確保されねばならない。電動機の軸承の給油や保守、刷子の取替や補修のような部分的な保守のためにプラントを停止せしめるようなことは許されない。
- (2) コンビナート内の一つのプラントが他のプラントの故障や異常により影響されるようなことは極力さげねばならない。
- (3) ごく短時間の低電圧や瞬時停電によりプラントを停止せしめることは、ときには数日の回復期間を要する損害を招くことがある。
- (4) 最近のアンモニア合成プロセスに見られるようなシンプルプロセスに対し、きわめて大きい単機容量をもつ往復動圧縮機用同期電動機があるような場合、起動時の電圧降下、電力脈動など無視できない問題が生ずる。
- (5) 防爆および防食対策は化学プラントにおける特有の難題であるが、経済面も考慮して合理的な解決を図らねばならない。
- (6) 電気設備の無人化が要求される場合、シンプルにして確実に適確な集中監視方式を考えねばならない。
- (7) イニシャルコストのみでなく電気設備全体としての効率、力率などのランニングコストを評価して機器の選定をせねばならない。

以上のごとき問題に対し、鋭意努力してきた結果が本文の中に読みとられれば幸いである。

2. 三相誘導電動機

2.1 工場用防爆形

爆発性ガス、蒸気などのふん囲気中で運転するような場合は、JISに定められた工場用防爆形電動機が使用され、対象ガスの危険度

に応じて、電気的特性はもちろんのこと安全性を十分念頭に入れて製作される⁽¹⁾。

2.2 防食形

腐食性ガスの発生する化学工場においては、とくに防食形電動機が使用される。軽度の腐食性ガスの場合には一般用電動機をそのまま使用できるが、銘板類などには長期の運転中に文字の判読がつかなくなる例が多いためステンレス鋼板を使用することが多い。

防食形として好適なリブ冷却方式全閉外扇形誘導電動機は固定子わくはリブ付き鋳物構造であるから、防食性にすぐれている。従来リブ冷却方式は冷却表面積が十分にとれない理由から小容量のものにのみ適用されていたが、改良をほどこし、300 kW 4極程度の大きさのものまでリブ冷却方式を採用することができた⁽²⁾。

2.3 新しい絶縁方式

高度の耐薬品性、耐湿性が必要とされる場合には一般に全閉形が使用されるが、最近注目されているシリコンゴムあるいはエポキシレジンを用いた絶縁によれば、電気的特性はもとより耐薬品性、耐湿性、機械的性質にも非常にすぐれているので、全閉形に代わるものとして、開放防沫形にシリコンゴム絶縁を採用したシリコSシリーズ、開放屋外形に應用したシリコAシリーズを開発した。

これらの化学プラント用標準シリーズ以外に、6,000 V以上の高圧大容量機にSLSワニスと称するポリエステル系ワニスを一般的に採用しており、その電氣的優秀性に加えて熱膨張や電磁力に対するすぐれた機械的強度、追随性により信頼度がきわめて高くなっている。

2.4 長期連続運転

化学プラントは1年ないし2年の長期連続運転が求められるとともに、保守点検が容易なことが必要である。このため種々の工夫がなされている。すなわち、

- (1) 二つ割りベアリングカバーの採用 (実用新案申請中)
負荷側ベアリングカバーを二つ割りとしてあるので、負荷と直結のままベアリングカバーを取りはずし、グリースの取替え、ベアリングの点検が可能である。
- (2) グリース排出装置の採用
全閉外扇形において、外扇の内側にあつてとくにグリース排出の困難な反負荷側軸受にはグリース排出装置を備えている。
- (3) ユニバーサルターミナルボックスの採用
端子箱は端子箱内でケーブルの端末処理ができるように十分なスペースをとっている。また端子箱は取付け座を正方形として90度おきに向きが変更できるようにしてある。
- (4) 簡易分解形
簡易分解形開放防滴Uシリーズ⁽⁵⁾、簡易分解形新開放防沫NS

* 日立製作所電機事業部

** 日立製作所日立工場

*** 日立製作所国分工場

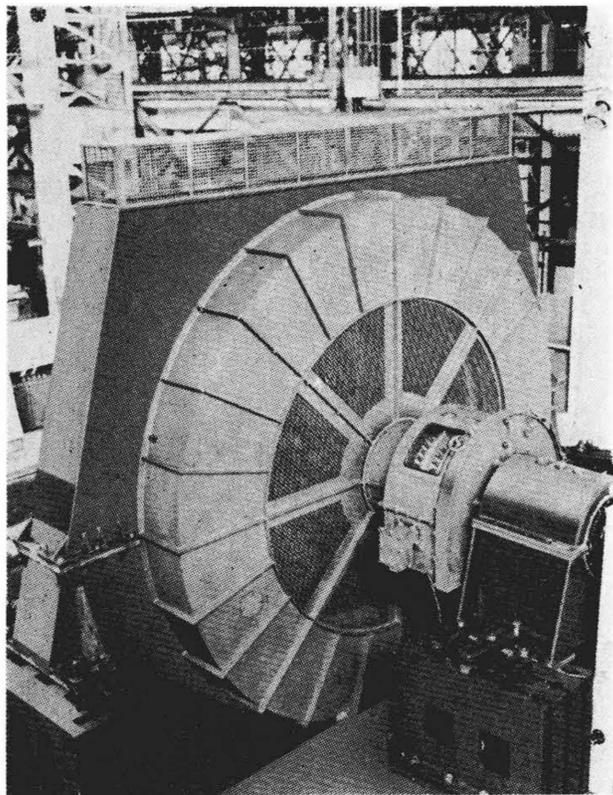


図1 6,900 kW 250 rpm 同期電動機

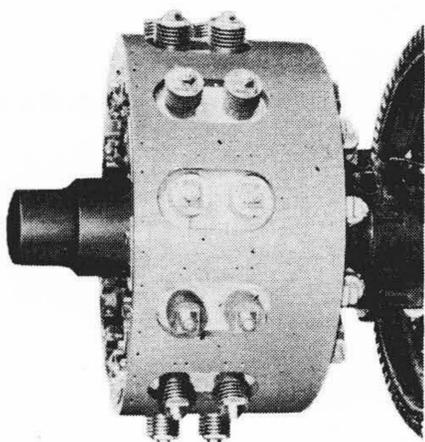


図3 励磁装置回転子

シリーズ⁽⁶⁾では以上のほかに固定子わくの両側板が着脱自在になっており、電動機内部の点検清掃に便利である。

(5) 小形軽量

冷却構造、外被構造に一段の工夫を加えてあるので、非常に小形軽量化されている。また国際標準 IEC 推奨寸法に準拠して製作しているので、ヨーロッパ各国の電動機と国際的な互換性を有している。

3. 同期電動機

3.1 防爆形同期電動機

化学プラントに用いられる同期電動機も危険ガスのある場所に使われる場合が多く、前述のように危険場所の種類により各種の防爆形同期電動機が製作されている。

最も多いのは開放安全増防爆形集電環部内圧防爆形である。この一例を図1に示す。本機はアンモニアプラント合成コンプレッサ用、6,900 kW 24極 250 rpm で、この種の用途ではわが国最大のものである。集電環部は内圧防爆形で、スリップリング材質はさびの発生をさけるためステンレス鋼を使用し保守の便を容易ならしめ、また長時間の連続運転が可能のように、常用のブラシが摩耗したときハンドル操作で予備のブラシ装置と取り替えられる。付近には腐食性ガスがあるため、点検時取りはずしを行なうような小ボルトはスリップリング同様ステンレス鋼製としてある。

次に内圧防爆形は外気と遮断するためゴミなどの侵入も防止することができ保守回数の軽減があわせ図られている。

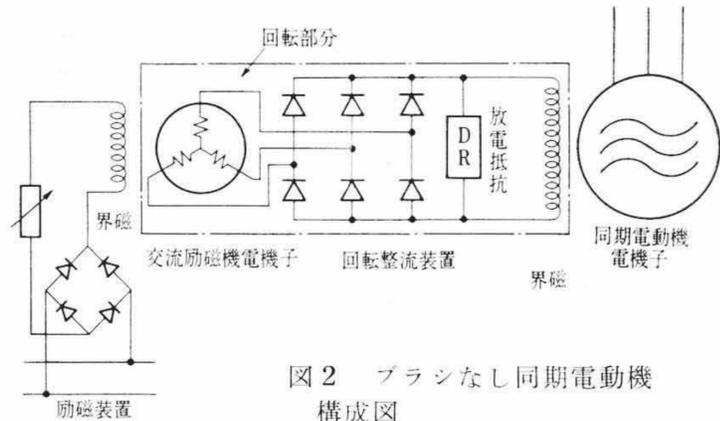


図2 ブラシなし同期電動機構成図

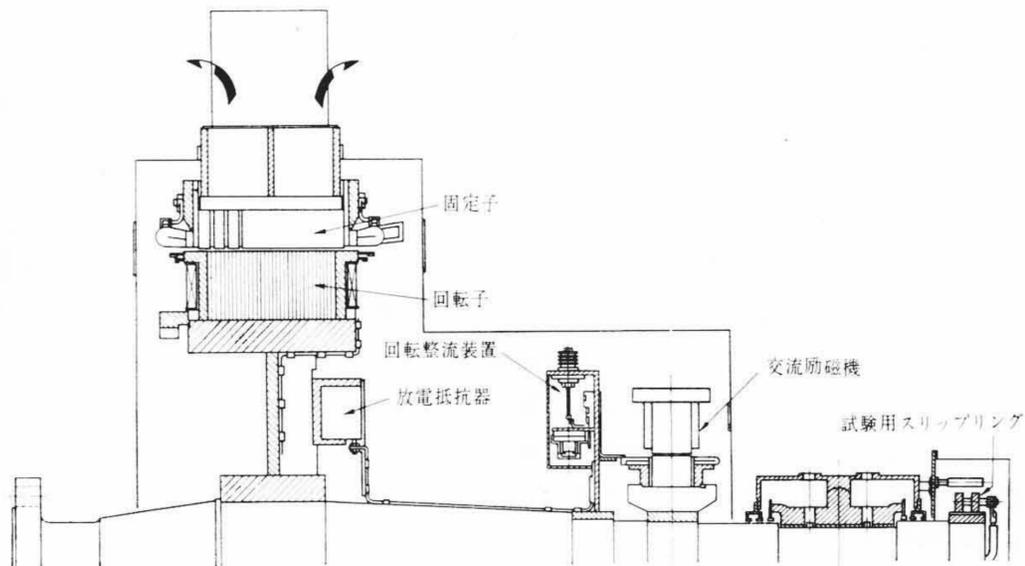


図4 ブラシなし同期電動機構造図

内圧形の冷却方式には強制通風用ファンを別において、清浄な冷却空気を機内に送る他力通風形や電動機ピット内に、クーラを設置し、自己冷却ファンによる全閉内冷形がある。全閉内冷形の場合、機内の圧力は外部ファンにより外気より水柱で5 mm 以上高くして危険ガスの侵入を防ぎ、完全に外気と遮断されておりクーラの取出しは、ピットの横からできるようになっている。この全閉循環冷却形は、危険ガス用途ばかりでなく、ゴミの多いところ、または低騒音を考慮した場所に有効である。

3.2 ブラシなし同期電動機

同期電動機の保守上最も問題となるのはブラシである。シリコン整流器を用いることにより、直流励磁機のブラシ、整流子は省略できたが、スリップリングのブラシは依然としてあり、これをなくしたのがブラシなし同期電動機である。

その構成は図2に示すように、交流励磁機の電機子と回転整流装置を同期電動機の回転子軸と同一回転軸上に取り付け、交流励磁機の電機子で発生した三相交流電源を回転子上に取り付けた回転整流装置で整流し直流とし、同期電動機の界磁に供給できるようにしたものである。

その特長として次のことがあげられる。

- (1) スリップリング、ブラシがないのでこれらの保守点検が不要になる。
- (2) スリップリング、ブラシに害を及ぼす腐食性ガスやセメント粉などのゴミを含むふん閉気中またはブラシの異常摩耗などのめんどろな問題をおこすふん閉気中でも使用できる。
- (3) スリップリングからの火花発生の危険がないため、防爆用途に適している。
- (4) 交流励磁機、整流器を電動機と同一軸に配置できるので据付面積が小さくてすむ。
- (5) 瞬時電圧降下に対して比較的安定である。

図3に回転整流装置および交流励磁機電機子の外観を示す。整流

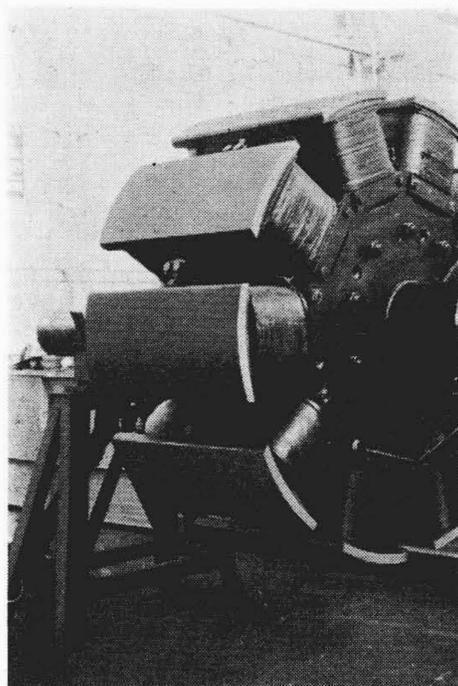


図5 ソリッドポール電動機の回転子

素子には信頼度の高いシリコン整流素子を用い、回転による遠心力に対しては圧縮荷重となるように取付けおよび配置を考慮している。

図4は安全増他力通風形3,800kWブラシなし同期電動機である。

3.3 構造上の改良

構造上の改良は、ブラシ、スリップリングのほか、界磁コイルの絶縁、制動巻線構造、スパイダ、シャフト、軸受など多々行なわれている。

界磁コイルは、一般に裸銅帯を平打巻にしたもので、磁極側からの湿気の侵入を防止するため、合成ゴムコンパウンドをそう入した構造としてある。休止時湿度が85~90%程度になると、コイル表面が吸湿あるいは露結して絶縁抵抗の低下をきたすことがある。特にコイル表面に吸湿性のカーボンドアストなどがあることの影響が大きい。これをさけるためには従来スペースヒータが用いられていたが、スペースヒータは開放形ではその効果が薄く、また防爆形では防爆形のスペースヒータとする必要があるので電流乾燥装置をおくことが推奨される。電動機が停止すると自動的に電流乾燥装置の回路が閉じ常用の10~15%程度の直流電流がスリップリングを通して界磁コイルに給電され、コイル表面を約5℃程度外気より高く保つことができ、コイル表面での露結を防止することができる。

また、コイル導体を絶縁し、コイル表面に特殊ワニスをほどこし、絶縁抵抗の低下を軽減せしめた構造もある。この構造はコイルの放熱効果が悪く、機械が大きくなるきらいがある。

制動巻線は同期電動機の起動巻線としてたいせつなもので、用途によりシングル巻線、ダブル巻線、ソリッドポールを使いわけている。巻線の材質も、銅、しんちゅう、高抵抗銅合金を要求性能に合わせて選択している。

図5にGD²の大きな負荷に適したソリッドポール電動機の回転子外観を示す。

コンプレッサ用途の電動機では、ねじり振動の関係からシャフトはクランク軸と共通の場合が多く、特に両側にコンプレッサが直結される場合には、スパイダは二つ割り構造となる。一体スパイダでは、構造を簡単にするため、円板スパイダを採用したり、シャフトをスキンストレス構造としてスパイダを単純化している。軸受ベドスタルは従来鋳鉄が用いられていたが、これを鋼板製とし、構造を単純化しかつ剛性を高めたものとしている。

特殊な用途として起動時の摩擦トルクを軽減せしめるため軸受メ

タルに圧油をそう入する高圧油装置を設けたものもある。

4. 電力系統

4.1 受配電系統

4.1.1 受電系統

受電系統は1回線故障時にも電力を確保できるよう平行2回線、ループ、または異系統予備受電であることが望ましい。

受電設備を計画する場合、受電電圧および周波数の最大変動範囲、系統短絡容量、系統側の保護方式、中性点接地方式を確認する必要のあることはいうまでもないが、プラントの安定運転を確保するためには、特に系統の瞬時電圧降下を詳細に検討する必要がある。瞬時電圧降下は主として外部故障により生じ、その値は、故障の種類や故障点により一定ではないが、その継続時間は保護方式および遮断器の遮断時間に左右される。大容量火力系統に直接連系されたループ直配電系統は電源としては強固であるが、系統事故が直接プラントに影響するからあらかじめ電力会社と十分協議する必要がある。

4.1.2 自家発電系統

プロセス蒸気と同時に自家発電を行えば全プラントの熱効率は70~80%程度の高効率を得られ電力原単位も安くなる。また石油精製、石油化学プラントではプロセスの副産物ガスなど安価な燃料が得やすいため、20~30MVA程度までの自家発電設備を設けるものもある。しかし、プラント所要電力をすべて自家発電でまかなうことはむずかしく常時は自家発電は受電系統と並列し受電系統故障時に負荷を制限して保安電力のみ確保する例が多い。

4.1.3 母線配置および配電系統

単一母線、主変圧器並列運転は、最も簡単な配置で、遮断器の遮断容量は主変圧器容量および並列台数が大となるのに従い増大する。

単一母線で主変圧器二次側に母線連絡遮断器を使用し母線および負荷を区分する方式では、母線連絡遮断器を常時閉路して運転すれば並列運転の場合と同様であるが、これを常時開路し主変圧器を単独運転すれば遮断器の遮断容量は低減でき、また(F)のように配電線を二次選択方式とすれば、融通性の高いものとなる。主変圧器二次側二重母線方式では、母線切換に遮断器を使用すれば受電系統と自家発電系統との切換、および負荷の選択制限を瞬時に行なうことができ電力系統の融通性はもっとも高い。電源切換に多少の時間を許容する場合は、母線切換断路器とするか、あるいはメタルクラッド配電盤を一部空箱とし、ここへ予備遮断器を取り付けて切り換えればよい。電源変圧器が3台以上ある場合には環状母線も融通性の高いものである。

4.2 系統瞬時電圧降下と安定運転限界

4.2.1 同期電動機

各種プロセスガス圧縮機用として1~10MW程度の大容量、低速の同期電動機が多数設備される。

同期電動機は脱出トルク以上の機械的負荷が加えられた場合や、固定子電圧の低下または界磁電流が喪失して脱出トルクが減少した場合に同期はずれとなり、回転数は急速に低下して拘束され固定子に過電流が、制動巻線にも大電流が流れ焼損するおそれがある。また機械的負荷を除去しない限り再加速、再同期させることはできない。系統電圧降下は外部故障など比較的発生ひん度が高いから、同期電動機の安定運転限界を知り⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾、あらかじめ有効な保護および制御方式を考慮する必要がある。

同期電動機の脱出トルクは、よく知られているように(1)式で与えられる。

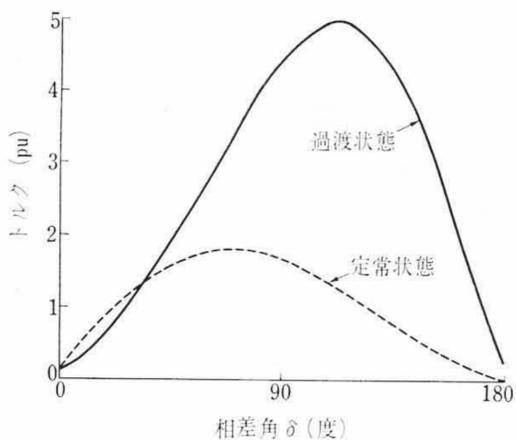


図6 同期電動機のトルク—相差角曲線

表1 誘導電動機が電圧変動によりうける影響

	電 圧 変 動		
	90% 電 圧	電圧に関して 下記に比例	110% 電 圧
起動トルク, 最大トルク	19%	V^2	+21%
% す べ り	+23%	$1/V^2$	+17%
全 負 荷 速 度	-1.5%	同期速度-すべり	+1%
効 率 全 負 荷	-2%	—	やや増加
力 率 全 負 荷	+1%	—	-3%
全 負 荷 電 流	+11%	—	-7%
起 動 電 流	-10~12%	V	+10~12%
全 負 荷 温 度 上 昇	+6~7°C	—	-1~2°C

$$P = \frac{EV}{X_d} \sin \delta + V^2 \frac{X_d - X_q}{2X_d X_q} \sin 2\delta \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 E : 内部誘起電圧, V : 端子電圧, X_d : 直軸同期リアクタンス, X_q : 横軸同期リアクタンス, δ : 相差角

過渡状態においては、脱出トルク P' は(2)式のとおりとなる。

$$P' = \frac{E'V}{X_d'} \sin \delta + V^2 \frac{X_d' - X_q}{2X_d' X_q} \sin 2\delta \dots\dots\dots (2)$$

ここに E' は過渡内部誘起電圧であり (3) 式で与えられる。

$$E' = E - (X_d - X_d') I_d \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 X_d' : 直軸過渡リアクタンス, I_d : 固定子電流最大値
このトルクと相差角の関係は一般に図6に示すとおりであり通常の同期電動機の過渡安定度は $\delta = 120$ 度内外と考えてよい。実際運転上、系統電圧降下値および持続時間の種々の値に対し電動機が耐える限界を知る必要がある。これは電源短絡容量 (外部リアクタンス X_e)、電動機的设计 (主として力率)、励磁の程度、慣性などの条件により異なり計算も複雑であるが、計算機を使用すれば、容易に求めることができる。図7は1,800 kW MG用、図8は820 kW 往復動コンプレッサ用同期電動機の安定限界を交流計算盤で求めた例である。いずれも簡単のため $\sqrt{X_d' X_q}$ を電動機の等価インピーダンスとした。図7の例では0%電圧0.4秒の場合には不安定となり同期はずれとなる。図8はピーク負荷の場合50%電圧、0.3秒で同期はずれとなる。

これらは、過渡状態で位相角120~140度まで安定であることを示しているが、計算と実際の相違を考慮すれば90~100度程度が安定限界と考えるのが安全である。同期はずれ時、固定子電流は位相角により脈動するが、その最大値は $\delta = 180$ 度で $2/X_d' + X_e$ であり、図7においては約650%となっている。

図9は往復動圧縮機用の同期電動機の系統電圧降下時の運転可能範囲のすう勢を示したものである。

以上の結果から同期電動機は系統電圧降下に対して

- (1) 電源短絡容量が大きいほど、すなわち外部リアクタンス X_e が小さいほど安定度が高い。
- (2) 進み力率の電動機は力率が1.0の電動機より無効分定格

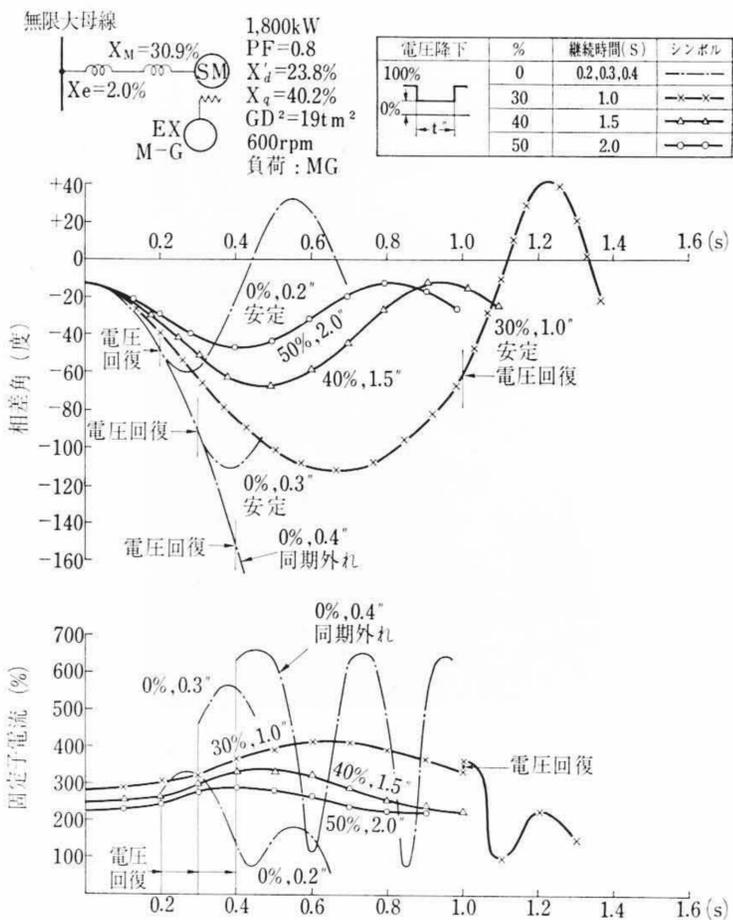


図7 系統電圧降下時の同期電動機安定度

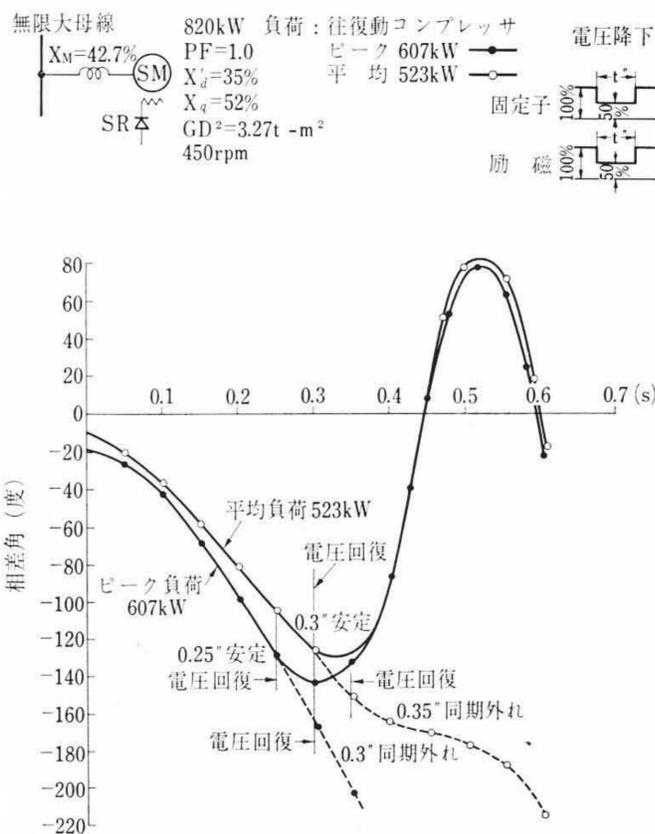


図8 系統電圧降下時の同期電動機安定度

の大きい割合だけ外部リアクタンスが減少できるので安定度が高い。

- (3) 慣性が大きいものほど安定度が高い。
- (4) 回転励磁機をもつものは静止励磁装置をもつものより安定度が高い。
- (5) 速応励磁は安定度を高めるのに役立つ。

ことがいえる。

4.2.2 誘導電動機

表1は系統電圧が±10%変動した場合誘導電動機のうける影響を示す。この範囲においては問題はない。短時間に大幅な系統電圧降下が発生すると誘導電動機は慣性定数と電圧降下の大きさ機械的負荷に従って減速する。系統故障が線間短絡のような不平衡故障の場合は逆相電圧による制動トルクが加わり不平衡率が

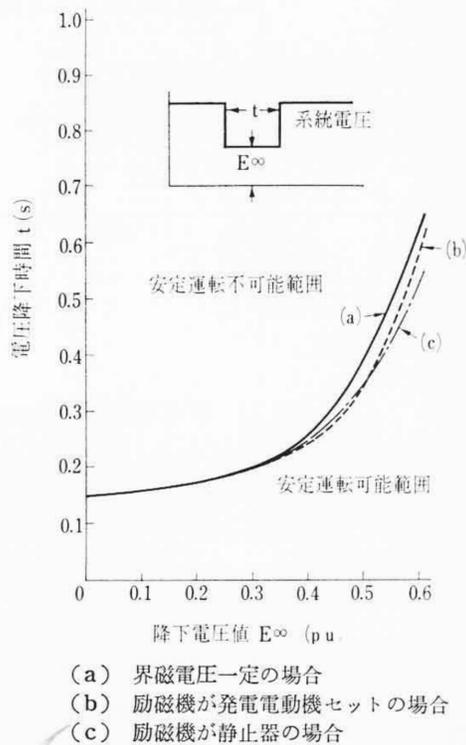


図9 往復動圧縮機用同期電動機の瞬時電圧降下特性

きいほど早く減速する。したがって電圧降下継続時間により定まる電動機減速量によって、系統故障が回復したとき、その機械的負荷を再加速できるかあるいは拘束停止に至るかの限界を確かめる必要がある。

10 MW, 3.3 kV, 6極誘導電動機について再加速可能限界をアナログ計算機で求めた結果を図10および図11に示す。図10は平衡故障の場合における再加速可能限界を示すもので、たとえば60%電圧、1秒の場合は86%以下の機械的負荷ならば再加速できる。図11は不平衡故障を生じα分電圧 e_α が60%に低下したときの再加速可能限界を示す。

以上は二機系として取り扱ったものである。

4.3 保護方式

4.3.1 受電系統の保護

短絡容量の大きい電力系統に直接連系した比較的全長の短い60 kV,あるいは70 kVループ直配送電系統から受電する場合には保護リレーを高速度とし、高性能遮断器を適用して系統故障を迅速に除去する必要があり、保護方式としては系統の構成、長さなどにもよるが一般にパイロットワイヤリレー、あるいは距離リレー方式が適用される。これらの保護装置は通常電力会社の設備であるから、プラント内保護装置との協調はあらかじめ電力会社と十分協議する必要がある。

4.3.2 電動機の保護

電動機はプラント運転上最大許容限度まで運転が継続できるとともに、許容限度以上の異常は迅速に検出除去する必要がある。保護方式は、電動機の本質的な故障と許容限度以下の一時的異常を明らかに区別できるよう選択性、感度、時限特性に注意しその整定は全プラントにわたって協調が保たなければならない。

同期電動機の固定子内部保護用としては比率差動リレーがもっとも望ましいが、6端子以上の引出しが必要であり大容量機以外には適当でない。一般には瞬時要素付き長限時過電流リレーが採用される。

不足電圧リレーは系統電圧降下時の過負荷、および電圧回復時多数の電動機がいっせいに加速され起動電流が重畳して大きな電圧降下を生ずる場合の保護リレーであるが、系統の瞬時電圧降下に対してはただちに応動しないよう逆限時特性をもつことが望ましい。

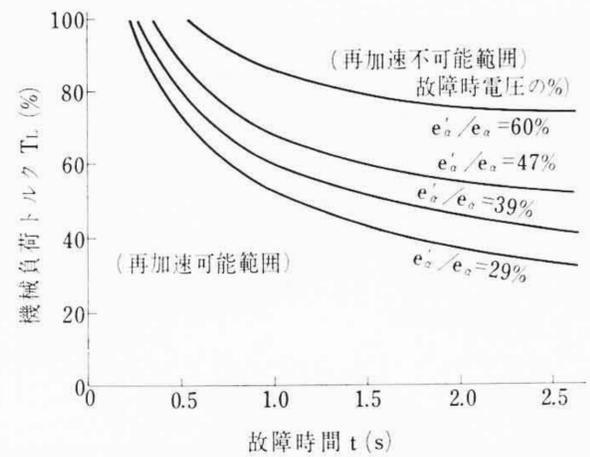


図10 平衡故障時、誘導電動機の再加速可能な機械的負荷量と故障継続時間の限界

機械的負荷と電圧降下値を考慮して整定する必要があり、図10でわかるように80%負荷,50%電圧では60Vタップレバー#1が適当である。

同期電動機の同期はずれ保護方式としては、高速度過電流リレー、不足電圧リレー、固定子端子からみた電動機インピーダンスの変化を検出するオフセットインピーダンスリレー、無効電力リレー、または同期はずれ時界磁回路にあらわれる交流分を検出する界磁交流分電流リレーなどがある。高速度過電流リレーは簡単であるが、図7からわかるように同期はずれ時の固定子電流臨界値を求めることが比較的むずかしく、電流整定を低めにとるとは過保護となるおそれがある。

界磁交流分リレーは負荷あるいは力率などの条件により異なる界磁電流と同期はずれ時にあらわれる交流分の重畳したものを検出するため運転状態の影響を受け、また外部短絡故障時にも界磁回路には交流分があらわれるから、同期はずれ時の交流分電流臨界値を整定することがややむずかしい。したがって固定子端子から眺めた電動機インピーダンスの変化を検出するものがもっとも確実である。日立同期はずれ保護リレーはオフセットインピーダンス形で図12は円特性である。同期はずれ検出時の固定子電流および相差角により通常E~Hタップ中より動作円を整定するが、起動電流はこの動作円の中へはいってくるので、電圧コイルの直列抵抗器を短絡してタップをA~Dのうちあらかじめ選んだものへ切換え動作円をシフトして起動中の誤動作がないようにしている。誘導電動機の内部保護は、同期電動機と同様に、比率差動リレーあるいは、瞬時要素付き長限時過電流リレーが採用される。

4.4 同期電動機の制御

4.4.1 同期引入

一般に同期電動機が同期引入可能な範囲においては(4)式が成り立つ。

$$\frac{P_L}{P_m} < 7.6 \frac{P_d}{\sqrt{P_j P_m}} \dots \dots \dots (4)$$

ただし、 P_j = 慣性定数 = $\frac{109.5 \times GD^2 \times f}{P^2} \times 10^{-6}$ (kW/電気角/s²)
 $\dots \dots \dots (5)$

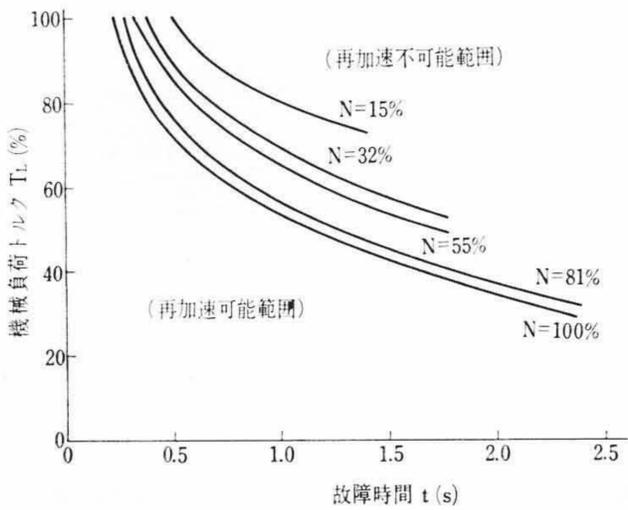
$$P_d = \text{制動トルク係数} = \frac{P_e}{360 f \cdot s} \text{ (kW/電気角/s)} \dots \dots (6)$$

$$P_m = \text{脱出トルク} = \sqrt{3} E_t \cdot I_s \times 10^{-3} \text{ (kW)} \dots \dots (7)$$

GD^2 = はずみ車効果 (kg-m²)

f : 周波数 (c/s), P : 極数, S : すべり, E_t : 端子線間電圧 (V), P_e : 定格出力 (kW), I_s : 界磁電流に対する三相短絡電流 (A), P_L : 負荷トルク

同期引入方式は小容量機では起動一定時限後に同期引入れる方



故障電圧 $\frac{e_{a'}}{e_a} = 60\%$

ただし 不平衡率 $N = \frac{e_{a'} - e_{\beta'}}{e_{a'} + e_{\beta'}} \cdot 100 = \frac{V_2}{V_1} \cdot 100(\%)$

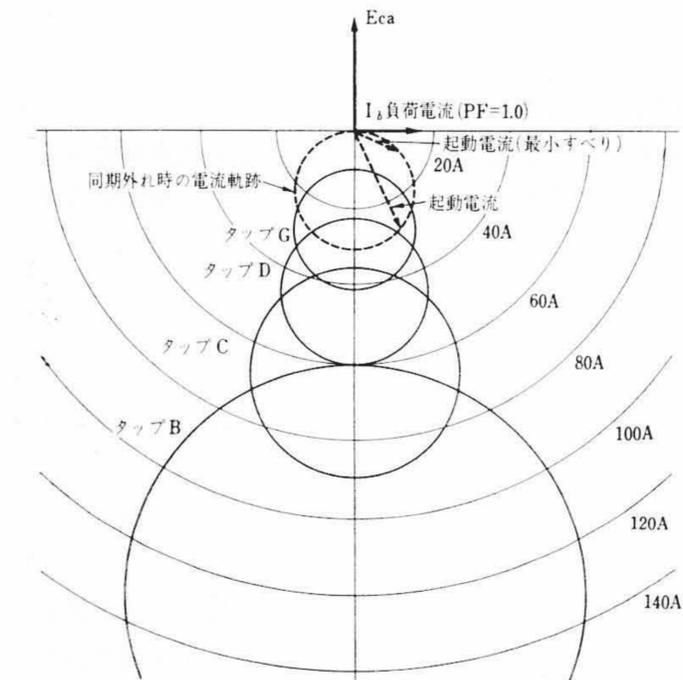
また $e_a = \frac{2}{3}(e_a - \frac{e_b + e_c}{2})$

$e_{\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}}(e_b - e_c)$

$e_0 = \frac{1}{3}(e_a + e_b + e_c)$

ここに e_a, e_b, e_c は発電機相電圧で $e_b = a^2 e_a, e_c = a e_a$ であるから、平衡回路においては $e_a = e_a, e_{\beta} = -j e_a, e_0 = 0$ の関係がある

図11 不平衡故障時誘導電動機の再加速可能な機械的負荷量と故障継続時間の限界



タップ	A	B	C	D	E	F	G	H
オフセット (A)	160	120	61	48	35	29	26	23
直径 (A)	160	120	52	50	40	36	32	28

図12 同期はずれリレー特性

式が多く用いられた。これは簡単であるが限時リレーを試運転のうでで整定する必要があり、起動負荷トルクが軽い場合は早く加速されるにもかかわらず起動むだ時間が大となり、逆に起動負荷トルクが重い場合は加速不足で同期引入に失敗するおそれがある。

図13は、突極形同期電動機の固定子回転磁界と回転子の関係を示したものである。同期状態においては(A)のように負荷角 δ をもって同期が保たれている。非同期状態すなわち加速中あるいは同期はずれ状態においては回転子は固定子回転磁界に対してすべっており(B)(C)の状態を交互にくり返すから、一対極すべる間に界磁誘起電圧および電流が図14に示すように変化する。この周

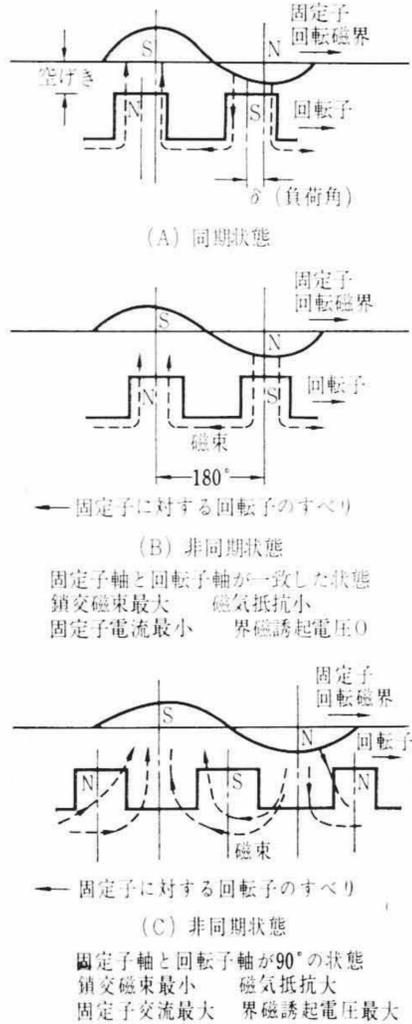


図13 同期電動機固定子回転磁界と回転子の関係

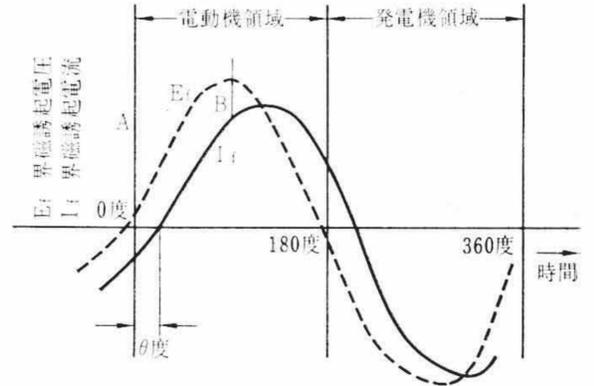


図14 界磁誘起電圧および電流

波数は電動機すべりに比例しており、電動機が加速されすべりが小になるに従い周波数は低下する。また一対極すべる間に同期引入トルクは図15に示すように変化するから、重負荷起きの電動機は回転子が加速される200~20度の範囲、すなわち発電機領域において同期に引入れることが望ましい。単に限時リレーによる同期引入れでは界磁を加える位相は不定となり、回転子減速時すなわち電動機領域において界磁を加えると突入電流が大となる。同期引入れにもっとも適当な位相は同期引入トルクが最大となる20度付近であり、これは図15からわかるように界磁誘起電流が(-)から(+)へ向かう間に0を通過する時である。

日立同期引入リレーは図16に示すようにクラッパ形電磁石に直流コイル(DC)と界磁誘起電流コイル(SF)をほどこした簡単な構造であるが、この最適同期引入れを行なうものである。電動機起動時励磁電源正常な場合DCコイルによりリレーは動作する。その直後DCコイルは補助リレー(X,Y)により無励磁となるが、SFコイルは界磁放電抵抗器からすべり周波の界磁誘起電流の半波により励磁され保持されたままとなる。電動機加速とともに界磁誘起電流のすべり周波数は低下し、1~2.5c/sの間の整定値に達すればリレーは復帰し加速を検出するが、リレー鉄心に設けられた短絡環により復帰限時が与えられ、界磁誘起電流増加方向の0点で最適同期引入れが行なわれる。

4.4.2 励磁調整ならびに自動力率調整

同期電動機の励磁装置は励磁機に代わり静止励磁装置が広く採用されている。日立製作所においては励磁容量50kWまでを標準化している。

なお最近、トランジスタ式自動力率調整装置を開発し、SCR励磁装置と組み合わせ、5,000kW同期電動機に適用しすでに好調に運転している。図17は自動力率調整装置のブロック図を示したものである。

4.4.3 位相投入

往復動コンプレッサは駆動電動機1回転中に大幅なトルク変動を生ずる。コンプレッサを並列運転する場合、機械的同位相、すなわちピストン位置がまったく同じところで同期に引入れるとトルク脈動が並列運転台数分だけ倍加し、合成トルク脈動が非常に大となり、コンプレッサ本体、付属クーラ、タンクおよび配管などに振動を生ずるおそれがある。また、これに耐えるためには各部の構造および基礎を十分堅固にする必要がある経済的でない。電力脈動も並列運転台数が増加するにしたがい大となるから、系統短絡容量が小さい場合には電圧フリッカを生ずるおそれがある。並列各機を位相投入装置によりそれぞれ機械的位相差を与え

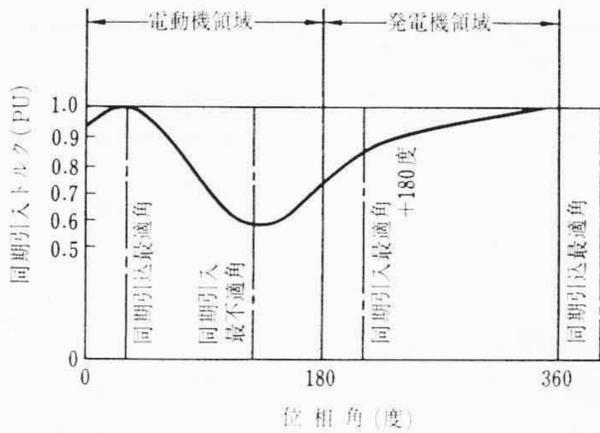


図15 同期引込トルク

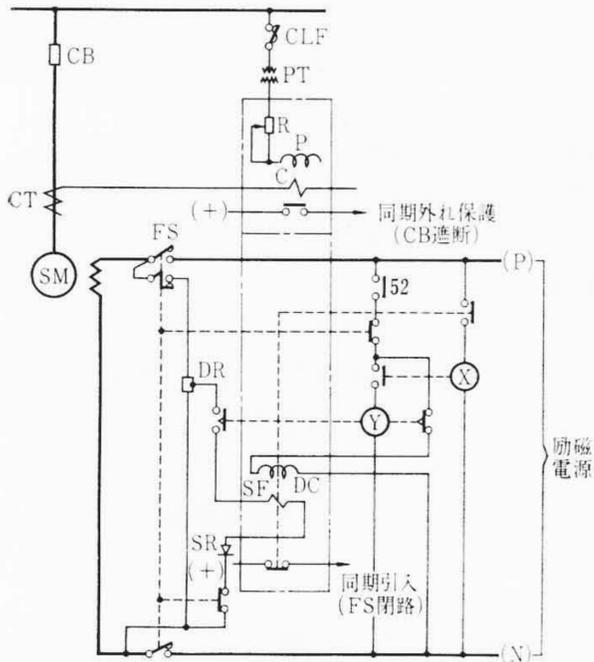


図16 日立同期引込および同期はずれ保護リレー

て同期並列する。たとえばある2台のコンプレッサのピストン位置を90度差で運転すれば合成トルク脈動は約1/3に軽減され、機械的振動、電圧フリッカを減少し、経済的な設備とすることができる。

位相投入装置には従来、接点式、セルシン式などが用いられたが、日立製作所においては、メタローチスイッチおよびトランジログにより無接点化した小形位相投入装置を開発し好結果を得ている。

図18は位相投入装置の構成⁽¹¹⁾を示したものである。メタローチスイッチは同期電動機のスリップリング防爆カバー内に並列各機とも同一位置に取り付け、電動機軸に位置検出用鋼片を設ける。先行機は任意のピストン位置で投入して差しつかえないから、起動用遮断器(6, 42, 52S)投入により電動機が加速し、同期投入リレー(25)が動作すれば本装置の出力回路(2ME₁₁, BUF₁, OUT₁)が動作し、界磁接触器(41)が閉路して同期に引入れる。すなわち、先行機は電気的最適同期引入れを行なうものである。

先行機が運転にはいっていると、1回転ごとにメタローチスイッチ(MET₁)は1パルスが発生し、このパルス列の間隔は同期速度に等しい。したがって3AN₁₂, 30R₁も同期速度に等しいパルスが発生する。このパルスは2ME₁, TD₁, TD₂で構成される遅延パルス発生回路に加えらる。この回路は後続機投入位相差を決定するもので同期速度パルスにより2ME₁は保持され、その出力によりTD₁は一定時間後に保持されるが、TD₁の出力によりTD₂は一定時間後に動作して2ME₁を復帰させ、したがってTD₁, TD₂はただちに復帰し、つぎのパルスがはいるまで、すなわち次に先行機回転子が規定位置に来るまでは遅延パルス発生回路は動作しない。TD₁の動作時限は先行機回転子が規定位置を通過した

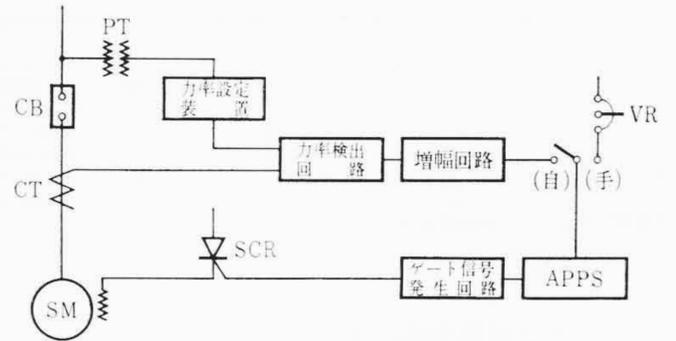


図17 自動力率調整装置ブロック図

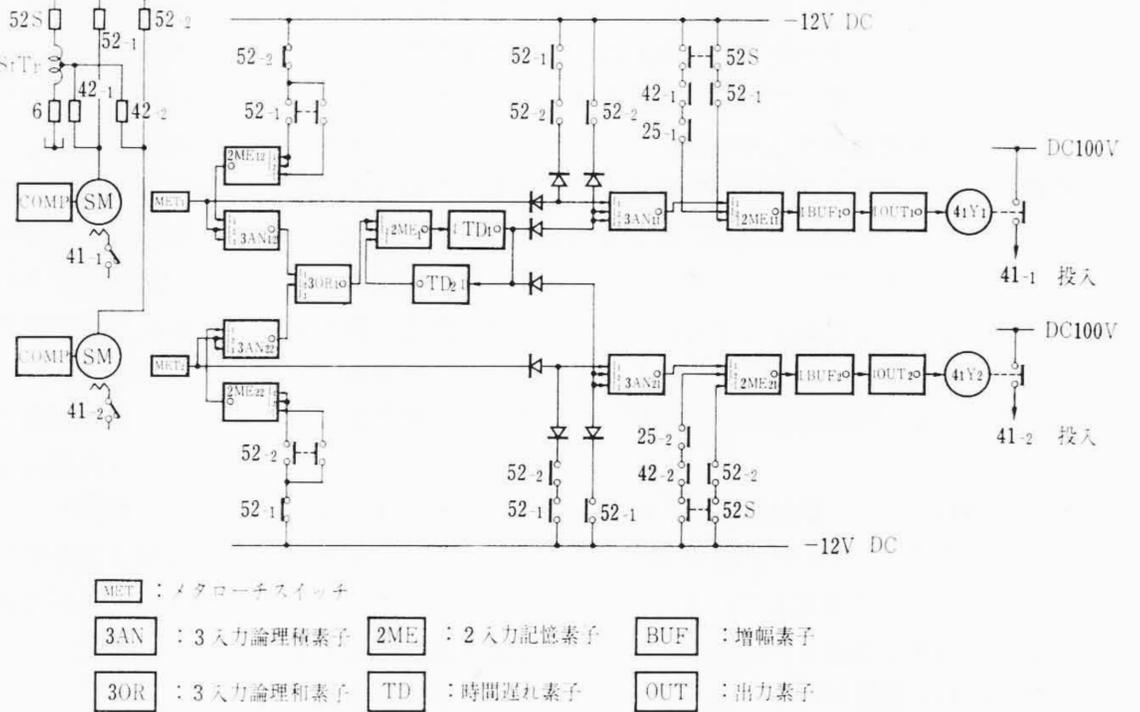


図18 位相投入装置

あと、後続機を同期に引入るべき到達位置、すなわち投入位相差であり、TD₂の動作時限は同期速度の1パルスごとに本回路を復帰させTD₁のパルス幅を決定するものである。後続機は加速中MET₂によりすべり速度のパルス列を発生するが、このすべり速度パルスとTD₁の発生するパルスが一致したときに後続機界磁接触器を閉路して同期に引入れば位相投入ができる。このとき電気的最適同期引入れを行なうことも重要であり、同期引入リレー(25)が別に設けられている。本装置は次の特長を有している。

- (a) 投入位相差をあらかじめトルクおよび電力脈動特性から決定し、遅延パルス発生回路の時間遅れ素子(TD₁)の可変抵抗器により動作時限をかえ、容易に整定できる。
- (b) 検出端のメタローチスイッチは投入位相差整定のため移動する必要がなく、並列各機とも固定したままでよい。メタローチスイッチは合成樹脂モールド化され、ゴミ、ガス、湿度などの影響を受けず、また防爆上安全であるが、さらに電動機のスリップリング防爆カバー内に設けることにより、化学プラント用として安全なものとなっている。
- (c) トランジログにはシリコントランジスタを使用し合成樹脂モールドしているため周囲温度、ゴミ、ガス、湿度などの影響をほとんど受けず、嚴重な雑音対策もほどこしてある。

4.5 開閉装置

プラント電力系統の末端で防爆区域に設ける機器はもちろん防爆形とする必要があるが、開閉装置は一般に防爆の必要のないところに設けられる。しかし、化学プラント用としては、特に、耐塩害、

表2 塩害汚損区分

汚損区分	A	B	C	D
	汚損地区	軽汚損地区	中汚損地区	重汚損地区
想定塩分付着量 (mg/cm ²)	0.02以下	0.03	0.05	0.1
海岸よりの概略 距離範囲 (km)	台風塩害に対し	一般の地域	5~15	1~10
	季節風塩害に対し		1~5	0.5~2
			0~3	0~1

耐腐食性ガスおよび安全性に十分な考慮が必要である。

4.5.1 耐塩害機器

臨海工業地帯の屋外機器は、台風、あるいは季節風によりがいに塩分が付着してせん絡が発生し、大規模な停電事故に至ることがある。このためあらかじめ立地条件および気象条件により、表2の汚損区分を考慮して耐塩害機器を選定する必要がある。

がいの自然汚損特性は平均直径(がいの表面積/π×表面漏えい距離)が大きくなるほど塩分付着量が減少する。このとき、同一平均直径のがいの耐圧値は、ほぼ表面漏えい距離に比例し、また単位せん絡電圧当たりの表面漏えい距離は平均直径にあまり影響をうけない。したがって平均直径に対し塩分密度比で修正すれば、平均直径が大きいほど単位せん絡電圧当たりの所要漏えい距離が長くなる。汚損特性の試験には一般に等価霧中突印法が用いられる。

耐塩害機器としては抵抗接地系の場合は定格電圧、有効接地系の場合は対地電圧の1.4倍を基準電圧とし0.1 mg/cm²の重汚損に耐えるがいが開発されている。

機器の汚損度を低減し、経済的ながいで塩害事故を防止するため屋外機器の活線洗浄を行なうことが望ましい。活線洗浄法は水圧10 kg/cm²、固有抵抗6 kΩ-cm以上の水をノズルから噴射し、まず下部を洗浄後30秒ほどのちに全体を洗浄することが推奨される。洗浄条件は立地条件、気象条件により、異なるから一概にはいえないが平常時は0.03~0.05 mg/cm²の汚損限界で管理することが望ましい。このためパイロットがいを設け一定時間ごとに等価霧中試験を行ない、汚損限界を管理するがい子汚損検出装置が開発されている。

4.5.2 耐腐食性ガス処理

臨海工業地帯には化学プラントのほか種々のプラントが密集しており、SO₂、Cl₂、H₂S、HCl、NO₂、NH₃などの腐食性有害ガスが発生し、機器を腐食するおそれがあるから環境条件に応じ表3の環境区分により耐腐食性ガス処理を考慮する必要がある。

一般に塗装にはビニール系、ポリウレタン系、エポキシ系あるいはフェノール系塗料、またメッキは溶融亜鉛、カドミウムメッキおよび電接部には銀メッキが有効であり、また条件によってはメッキと塗装の併用およびクリヤラッカ仕上げが有効といわれている。

表3 腐食性ガス環境区分

環境	ガス濃度 (ppm)	海岸よりの距離 (m)	条件
重屋外	1~20	1,000以下	屋外で腐食性ガスまたは塩風(塩害)のほか、風雨、直射日光、ゴミなど腐食促進作用を普通以上にうける環境
軽屋外	0.1~1	—	
重屋内	1~20	—	屋内で腐食性ガスのほかゴミ、温度、湿度など腐食促進作用を普通以上にうける環境
軽屋内	0.1~1	—	

4.5.3 開閉装置

空気遮断器は遮断性能がすぐれ、圧縮空気を遮断媒質および操作エネルギーの両面に使用し、その補充および取扱いが容易であるから、受電および20 kV以上の電力系統用としてもっとも適当である。3~11 kV級の電力系統用および電動機用遮断器としては磁気遮断器がもっとも適当であり、受電遮断器から一貫して油なし設備とし火災の危険のないものとする事ができる。

開閉装置は通常閉鎖配電盤に収納され、きわめて安全である。60~70 kV級の受電設備も、屋外キュービクルとすれば塩害および腐食性ガスの問題も容易に解決できる。

4.6 集中監視制御

電力系統はプロセス中央制御室の監視盤から、少数の運転者で一括して監視制御されることが多い。集中制御には、選択制御方式⁽¹²⁾、あるいは直接式遠方制御方式を適用すれば能率よく、確実に制御できる。制御ケーブルとしては、0.9 mmφ電話ケーブルがよく、本数も減少できるので構内に散在するプラント電気設備を経済的に制御することができる。

5. 結 言

以上化学プラント用電気設備について近年解決を求められた問題を中心にして論述した。これらの問題の多くは設備された電気設備を直接管理するユーザー側より提起されたものであり、今後とも解決を図らねばならぬ問題が数多く生まれてくるものと思われるが、確実かつ着実に解決に努力したい所存である。

参 考 文 献

- (1) 松村, 今井: 日立評論 45, 1540 (昭 38-9)
- (2) 今井, 中村: 日立評論 47, 1531 (昭 40-9)
- (3) 袴田, 斎藤: 日立評論 45, 1611 (昭 38-10)
- (4) 伊知地, 広: 日立評論 44, 725 (昭 37-5)
- (5) 今井: 日立評論 45, 1423 (昭 38-9)
- (6) 今井: 日立評論 47, 1233 (昭 40-7)
- (7) 鈴木: オーム 51-5, 87 (昭 39-4)
- (8) 足立: オーム 53-3, 73 (昭 41-3)
- (9) L. Hannakam, C. Concordia: TAIEE, ptIII, Feb., 1962, pp. 1136
- (10) 山田, 城条: 電力中研, 技研報告 No.65079 (昭 41-1)
- (11) 特許出願中
- (12) 落, 滝田: 日立評論 43, 508 (昭 36-4)