

セメントミル用日立誘導同期電動機

Hitachi Synchronous Induction Motor for Cement Mill Use

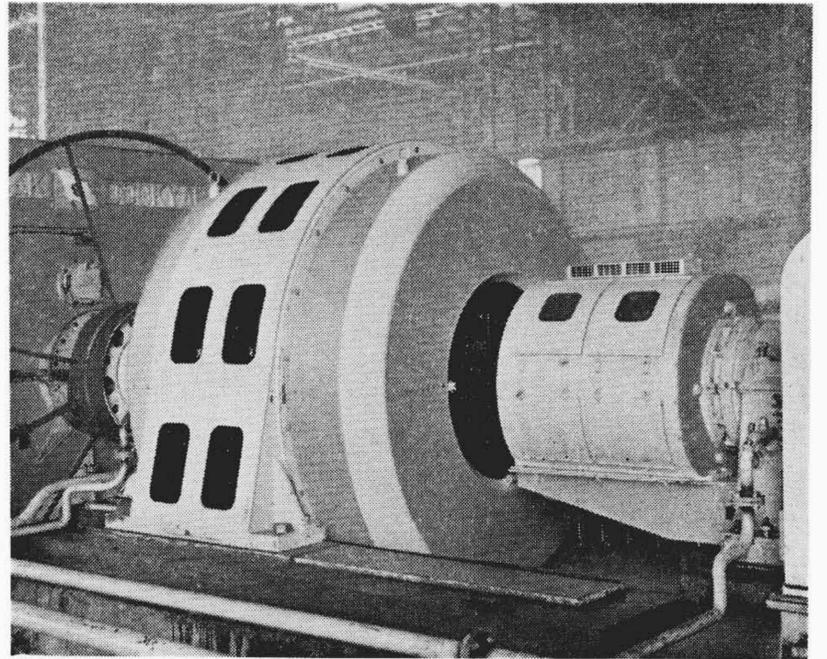
藁谷 弘 治*
Hiroji Waratani

内 容 梗 概

セメント製造設備の急速な大形化に伴いセメントチューブミルはサイドドライブ方式から高速電動機と減速機によるセンタードライブ方式へと変遷してきた。日立製作所においては、はやくよりセンタードライブ方式ミル用誘導電動機を多数製作してきたが、そのうちには多くの特長をもつ誘導同期電動機も多数製作した。本稿はこのセメントチューブミル用誘導同期電動機の概要について述べている。

1. 緒 言

セメント工場において全プラント電力の大部分を占めるセメントミルには、従来よりサイドドライブ方式が多く用いられてきた。すなわち原料ミルや仕上ミルなどのチューブミルには低速度の超同期電動機が多く使用されてきた。セメントの需要が増加するにつれて、ミル容量が急激に大きくなり、駆動電動機の容量も大きくなるに従ってサイドドライブ方式にかわりセンタードライブ方式のミルが多く採用されるようになってきた。チューブミルは大きな起動トルクが必要であるために、起動トルクが大きく起動kVAの小さい巻線形誘導電動機、誘導同期電動機および超同期電動機が適しており、センタードライブ方式では誘導電動機か誘導同期電動機が用いられる。誘導電動機と誘導同期電動機のいずれを採用するかはプラントの設置条件によって決定されるべきである。誘導同期電動機は効率が良いこと、力率調整が可能であること、したがって電力量が軽減され、構造的にはエアギャップが大きく据付、保守が容易であるなど多くの特長を持っている。他方誘導電動機は励磁機が不要であり、運転方法が簡単であるなどのため、いずれを採用するかは個別のケースによって判断されるべきである。次に2,250 kW 原料および仕上ミル用電動機を中心に誘導同期電動機について述べる。第1図はミル用誘導同期電動機の外観である。



第1図 据付中の原料ミル用 2,250 kW 750 rpm 誘導同期電動機

2. 電動機仕様

(1) 電動機

出力	2,250 kW
電圧	3,000 V
周波数	50 c/s
極数	10 極
力率	1.0
定格	連続定格
形式	開放形自己通風方式

(2) 励磁装置

励磁電源	シリコン整流器による三相バランス励磁方式
容量	33 kW
交流電源	200V, 50 c/s
出力電圧	12V
整流方法	三相全波整流
力率調整	誘導電圧調整器により可能

3. 特 性

3.1 起 動 特 性

三相誘導同期電動機は周知のように起動時は誘導電動機として起

* 日立製作所日立工場

動するので、起動電流を押えて大きな起動トルクが得られ、引入れトルクも大きくとれるのでセメントチューブミルのような重負荷起動を要するものに用いられる。

チューブミルの起動特性としては大きな起動トルクを要するものと考えられており、NEMA規格においてもチューブミル用同期電動機のトルク特性を

起動トルク:	150%
引入トルク:	110%
脱調トルク:	150%

と規定している。起動トルクについては誘導同期電動機では起動時間、起動電流を考慮しながら起動抵抗器の抵抗値を調整して加速に必要なトルクが容易に得られる。

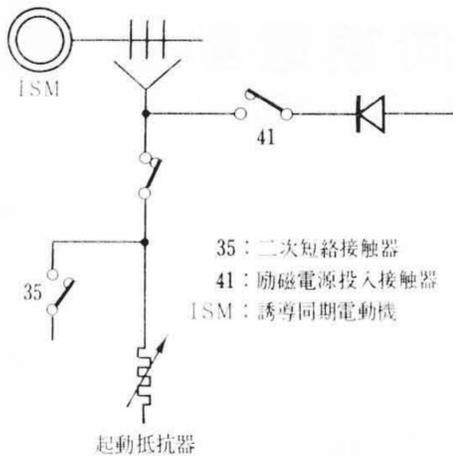
3.2 同 期 引 入

引入トルクは誘導同期電動機の特性を決定する重要な要素の一つである。電動機の同期化には負荷を含めたはずみ車効果、直流励磁容量が関係し、はずみ車効果が小さく、励磁容量が大きいほど同期化が容易であることは明らかである。誘導同期電動機の起動は誘導電動機として行なわれるため、起動の最終段階では二次巻線を短絡した状態においてすべりが若干残る。一般に同期化を判定する簡単な方法として直流励磁を与えるときのすべりと、励磁の大きさと、はずみ車効果の大きさとの間に(1)式の近似式が成り立つときには同期化が可能であるとされている。

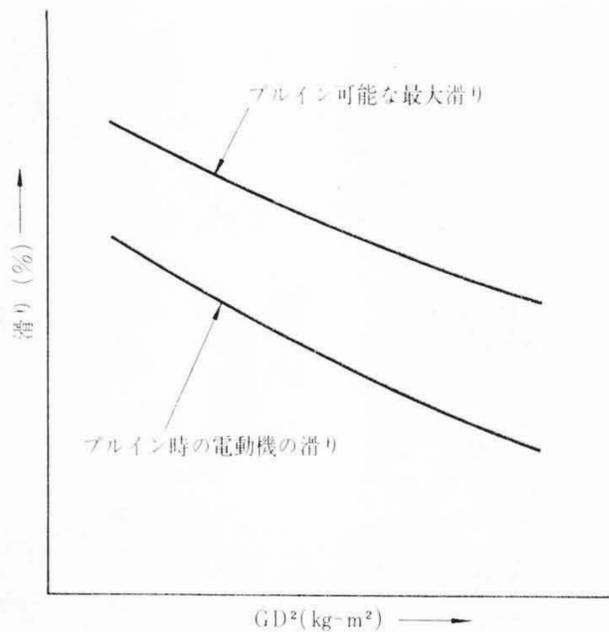
$$S < \frac{242}{N} \sqrt{\frac{P_m}{GD^2 \times f}} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、S: 直流励磁を与えるときのすべり

N: 同期回転数 (rpm)



第2図 誘導同期電動機基本接続図



第3図 同期化時のすべりとGD²の関係

P_m : 与えられた励磁における脱出トルクに相当する出力 (kW)

GD^2 : 電動機および負荷のはずみ車効果 (電動機軸に換算) (kg-m²)

f : 電源周波数 (c/s)

すべり S の大きさは主として次の因子で決定される。

- (1) 誘導電動機としての最終すべり S_1
- (2) 二次短絡状態から直流励磁に切換え時の切換時間内で生ずる速度低下によって増加するすべり S_2

(1)は負荷を負うために必要なすべりのほかに刷子の接触電圧降下、二次短絡器までのリード線の電圧降下によって生ずるすべりが含まれる。第2図に示す誘導同期電動機基本接続において（放電抵抗器などは省略してある）二次短絡接触器で短絡後回転数が最大になると、励磁電源投入接触器が閉となり励磁される。この切換時間の間は電動機のトルクはなく回転速度は自然低下する。そのときのすべりは概略次のようになる。

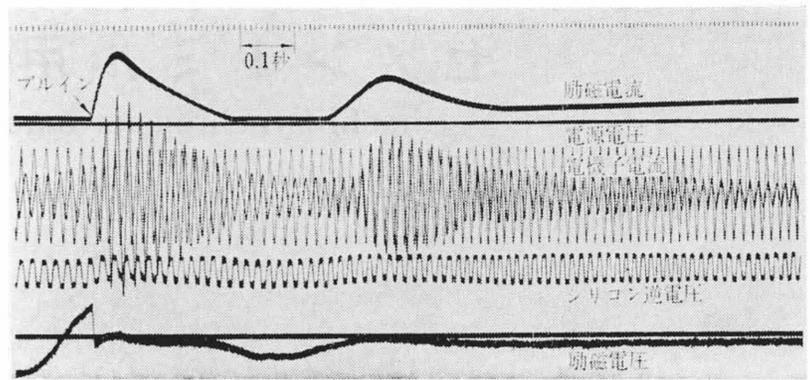
$$\Delta N = \frac{375 \times T_M}{GD^2} \times t \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 t : 切換に要する時間 (s)
 ΔN : 時間 t の間に低下する回転数 (rpm)
 T_M : 電動機が直流励磁に切り換える前の負荷トルク (kg-m)

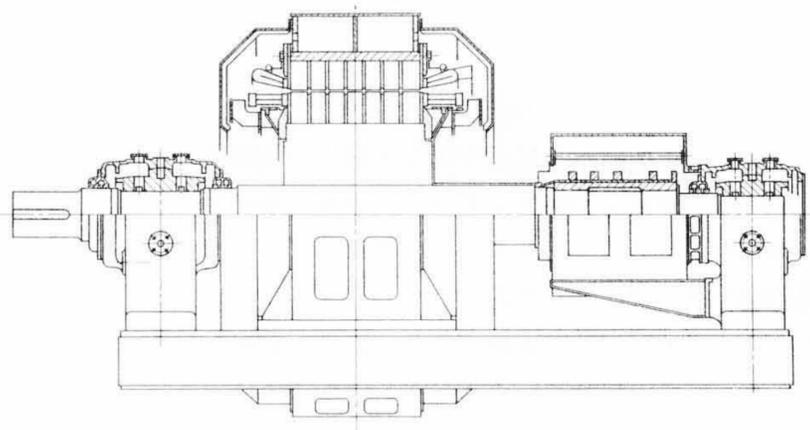
したがってすべりは

$$S_2 = \frac{\Delta N}{N} \dots \dots \dots (3)$$

となり、



第4図 同期化時オシログラム



第5図 三相誘導同期電動機構造断面図

$$S = S_1 + S_2 \dots \dots \dots (4)$$

で示される。 $S_0 = \frac{242}{N} \sqrt{\frac{P_m}{GD^2 \times f}}$ とすると励磁容量が一定であれば S も S_0 も GD^2 が大きくなるに従って小さくなる。第3図にその傾向を示す。 GD^2 が大きいときは S_0 が小さくなり、 S をそれ以下にする必要があるためマシンサイズが大きくなる。セメントチューブミルの電動機軸に換算した GD^2 は一般的に電動機自体の GD^2 よりも大きくはないが、重負荷起動であるため定格速度付近では100%負荷がかかっていて、直流励磁に切り換えるときに電動機の発生トルクが零であれば負荷が100%のブレーキトルクと働き速度低下が大きくなる。これが S_2 に相当する。したがって t は短いほどよい。最近の誘導同期電動機では特に高性能の接触器を使用しているので t がきわめて短く数サイクル程度であり、同期化はきわめて円滑に行なわれるようになっている。

誘導同期電動機が起動した後、励磁電流を加えて同期化したときの状態を第4図のオシログラムに示す。同期化後約0.7秒で電機子電流、励磁電流が安定している。

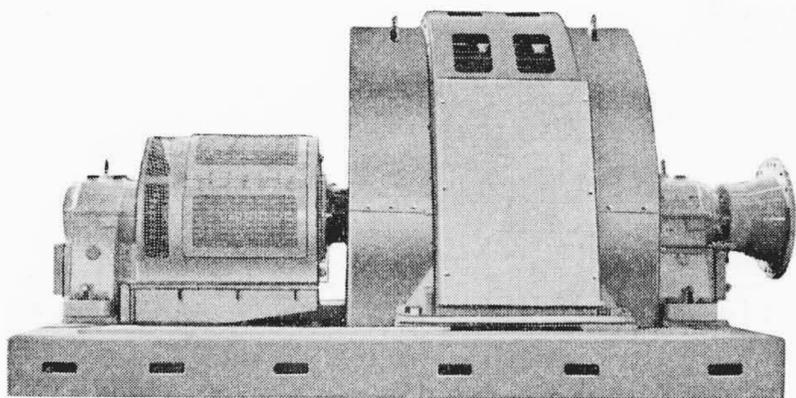
4. 構造

セメントチューブミル用三相誘導同期電動機の構造断面図を第5図に示す。セメントミル用電動機は原料用仕上用ともにダストの多い場所に設置されるが、最近では電動機室はミル室と隔壁で仕切られているのでふん囲気はよくなっている。しかしダストの多い環境には変わりはなく、電動機の保護方式には適切なものが望まれる。

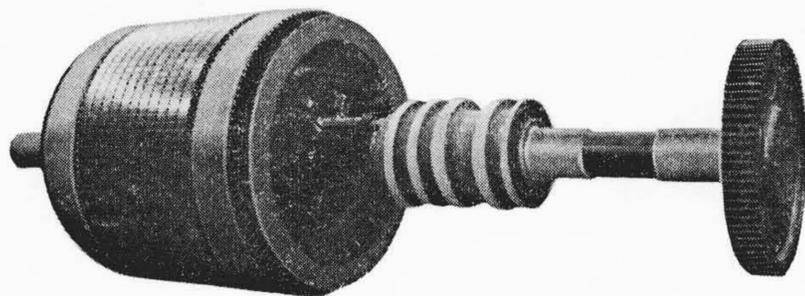
4.1 通風方式

第5図の構造は開放自己冷却ファン通風（自力通風）で電動機内部の清掃の簡単な開放形構造となっており、固定子は軸方向に移動できて固定子、回転子の巻線および鉄心の点検が容易である。電動機内部にはダストが侵入蓄積しないよう各部の構造に注意が払われている。スリップリング部分には特にダストの侵入防止を十分にしながら冷却効果をあげる方法がとられている。

図では開放形の一例が示されているが特に環境が悪く外気が電動機内部にはいるのをさける必要がある場合には全閉構造が採用され



第6図 原料および仕上ミル用 1,700 kW 三相誘導同期電動機



第7図 2,250 kW 誘導同期電動機の回転子

る。これには他冷却用別置ファンによる強制他力通風方式またはクーラを内蔵して冷却風を電動機内部で循環させる全閉内冷方式などがあげられる。

4.2 固定子

固定子わくは鋼板を溶接した構造で外被には全周にわたって排気兼清掃用の窓が設けられている。したがって軽量であるとともに強固である。冷却通風路およびその形状には特に注意が払われ通風損失を少なくしてダストが蓄積されないようになっている。

固定子鉄心には鉄損の小さい高級ケイ素鋼板を使用し、鉄心両面にワニス焼き付けて渦電流を防いでいるので鉄心内に発生する損失は減少し、効率が良くなっている。

4.3 回転子

固定子と同様に各部の通風路は抵抗が小さくなるような構造としてある。回転子のトルク伝達部分には起動時、同期化時のショックに十分耐えられるように強固な固定法を用いている。

4.4 巻線

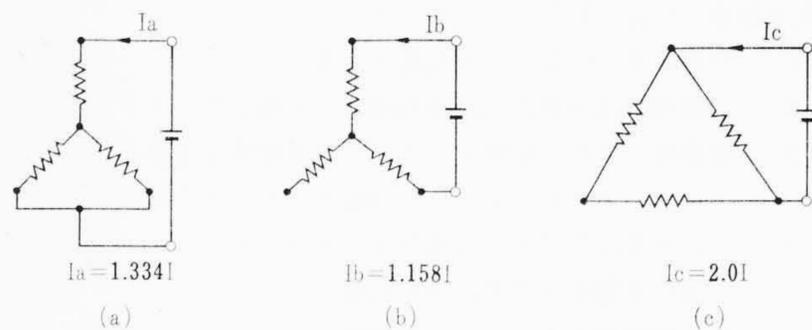
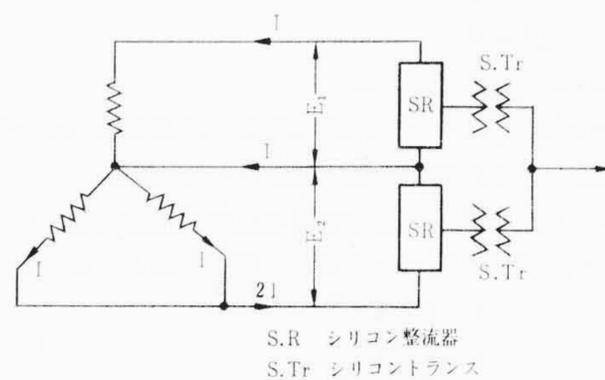
固定子、回転子巻線ともにB種絶縁で耐湿、耐油、耐熱特性のすぐれたサーモセットワニスおよび仕上ワニスを使用している。特に固定子巻線にはポリエステル無溶剤ワニスを使用して信頼度を高めている。

固定子巻線のわたり線やコイルエンド部は大電流による電磁力や振動によって移動することのないように線輪支持環で強固に保持されている。

回転子巻線端部も支持環で支持されており電氣的、機械的に強じんなものとなっている。スリップリングへのリード線はアーム、シャフトに確実に固定してあるので大きな遠心力に耐え、動くことのない構造となっている。回転子コイルエンド接続部にはダストが絶対に侵入しないように絶縁物で保護してある。

4.5 集電装置

電動機本体と集電装置は分離されていてカーボン粉が電動機本体にはいるようなことはない。集電装置自体としてはその通電部分にダストが侵入するのを防ぐ必要がある。したがって集電環カバーの通風窓の吸気側にはエアフィルタを取り付けてあり、さらに電動機停止中にダストがカバー内にはいらないよう排気口にはルーバーが設けてある。

第8図 誘導同期電動機の基本的な2次励磁結線図
電流 I は第9図の平衡励磁電流を示す

第9図 三相バランス励磁方式結線図

誘導同期電動機の二次巻線には直流励磁電流が流入するため、スリップリングとブラシは直流励磁に適合した材質のものを選定する必要がある。ブラシには異常摩耗およびスリップリングの荒損現象のない黒鉛ブラシを選んである。

4.6 軸および軸受

シャフトは鍛鋼製でミルの負荷特性に合うように設計されており、強度には十分な余裕がある。

軸受にはペDESTAL形を使用し、分解組立が容易なように上下二つ割りの構造をもっており、軸からの油漏れがないようにラピンス構造の油切りが設けられている。

4.7 固定子移動装置

固定子を軸方向反負荷側に移動できるようになっているので、負荷との直結をはずすことなく電動機内部を点検清掃することができる。

第5図は誘導同期電動機の外観、第6図は回転子の完成図である。

5. 直流励磁方式

誘導同期電動機の直流励磁には二次巻線を利用する。起動時は三相誘導電動機として起動するので二次巻線は三相平衡巻線となっている。この口出線の3本ある平衡巻線に直流を加えて励磁するのであるから、従来の基本的な励磁方法では三相平衡巻線を全部利用せず巻線利用度の低い励磁方法となっている(第8図(a)(b)(c)参照)。平衡巻線をそのまま有効に利用するには一相ごとに口出線を2本出し、各巻線をシリーズに接続するためスリップリングが6個必要でマシンサイズが大きくなっていた。日立製作所では平衡巻線を完全にバランスさせた状態で利用し、しかもスリップリングが4個ですむ三相バランス励磁方式を考案し誘導同期電動機の標準励磁方式として採用しており、セメントミル用電動機にも多数採用製作してきた。第9図はこの方式の基本結線を示したものである。

5.1 二次励磁方式の一般的特長

誘導同期電動機の励磁は前述のように二次巻線を利用して行なうため凸極形同期電動機の励磁に比較して種々異なった点があり、これらを考慮して経済的な励磁方法を採用しなければならない。誘導

同期電動機の励磁を特長づけるものとしては

- (1) 励磁電源が低電圧、大電流となること。
- (2) 励磁容量は一般的に凸極形同期電動機よりも大きい。
- (3) 起動時の誘導電動機としての二次誘起電圧は小さいほうがよい。一方これが小さいと励磁電圧も小さくなる。
- (4) 励磁電源は低電圧の特殊なものとなるが、シリコン整流器で低圧大電流が簡単に得られる。
- (5) 種々の励磁方法があり、巻線の利用率が悪いと電流が増加して電動機が大きくなる。

したがって二次巻線としては二次誘起電圧がなるべく低く、巻線利用率を大きくして励磁電流を小さくすることがマシンサイズを小さくするために効果がある。

5.2 二次巻線励磁方式の比較

第8図(a)(b)(c)に一般の基本的な二次励磁方式を示す。(a)(b)はY結線(c)は△結線である。これらの方式について巻線数、抵抗など同一条件で同じ起磁力を得るための直流励磁電流の大きさを比較すると、三相平衡バランス方式の相電流 I を基準にすれば

- (a) 方式 $I_a = 1.334 I$
- (b) 方式 $I_b = 1.158 I$
- (c) 方式 $I_c = 2.0 I$

となる。各方式とも必要な励磁容量は同一であるが、三相巻線のうちのある相に流れる電流の最大値は上記のように大きくなる。従来用いられている励磁方式としては(a)~(c)のほかに種々の組合せによる方式があるが、いずれの場合と比較しても三相巻線に平衡電流を流すのが巻線の利用率が最大となる。巻線の抵抗損は電流の2乗に比例するから利用率の悪い方式では巻線の温度上昇が高くなり、これを防ぐために巻線寸法が大きくなり経済的でない。

5.3 三相バランス励磁方式 (第9図)

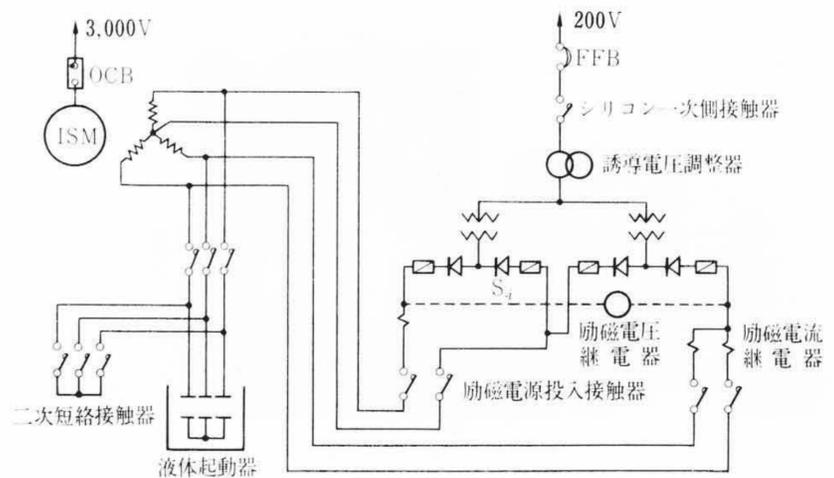
本方式は二次巻線をY結線とし、中性点を取り出し、口出数を4本としたものである。励磁電流は三相のうち一相と中性点から同じ大きさの電流が供給され他の二相から等量ずつ出る。誘導同期電動機の低圧励磁回路ではカーボンブラシの接触電圧降下や巻線からシリコン整流器までのケーブルの電圧降下が無視できないときがある。たとえば40Vの励磁電圧でスリップリング2組を使って励磁している場合黒鉛刷子では1リング約1Vの電圧降下があるから刷子の電圧は2Vでこれは励磁電圧の5%を占める。励磁電圧が小さくなると占める割合が増加する。これと同様に第9図の方式で電圧 E_1 の回路と E_2 の回路のケーブルの電圧降下の方向や刷子の接触電圧降下の極性が異なるために、電圧降下の値の励磁電圧に対する比率が比較的大きい場合がある。このときには E_1, E_2 のうちいずれか一方の電圧を調整すれば各相の電流が平衡する。シリコン整流器の交流側にあるシリコンコンタクトのタップをあらかじめ調整しておいたり、回路中に電圧調整用の界磁抵抗器を接続する方法によって簡単に平衡電流が得られる。なお励磁電圧が大きいたまには電圧調整を考えなくても平衡電流が得られる場合もある。第10図には本方式の応用例を示す。

本方式の採用によってスリップリングを1リング端子だけで巻線利用率のよい経済的な誘導同期電動機が得られる。

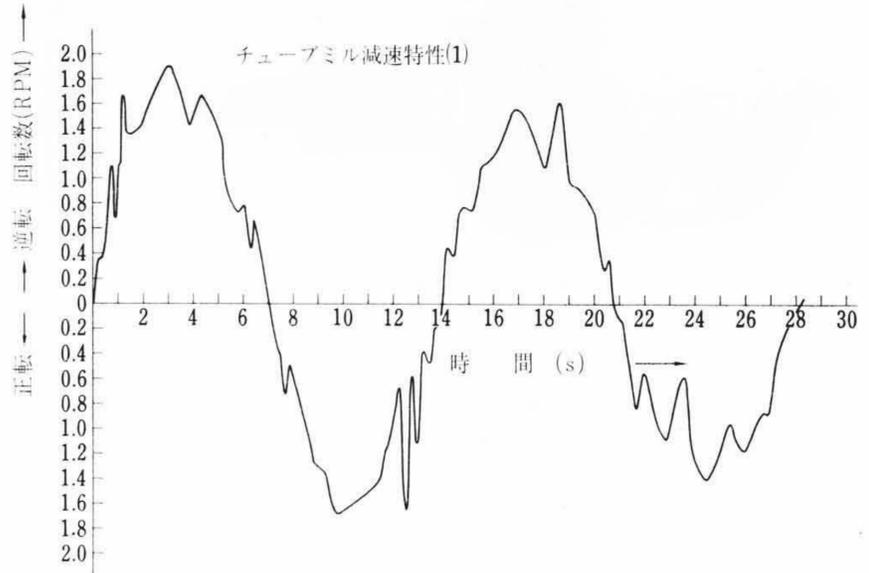
6. 力率調整

誘導同期電動機の力率は励磁電流の大きさを変えることによって調整できる。力率調整範囲が広い場合は所要励磁電流が大きくなるので、力率調整が必要かどうかは工場全体の力率改善との関連において考慮されねばならない。一般的には電動機を進み0.9一定力率とすることが多い。

力率調整をする場合簡単な方法としてシリコン整流器交流側に励



第10図 三相平衡励磁方式スケルトン図



第11図 チューブミル時間一減速特性
ミル定格回転数 16.5 rpm 寸動時定格回転数 0.2 rpm

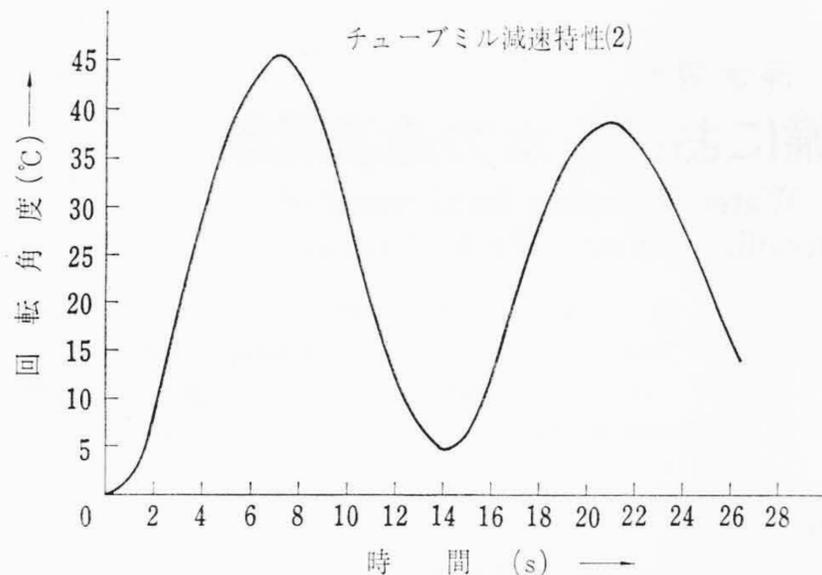
磁電圧調整用の誘導電圧調整器を設けて、励磁電圧を調整して、力率を連続的に変えることができる。この方法では電動機運転中に任意に調整可能で必要に応じて自動力率調整も可能である。またシリコンコンタクトに段階的に力率が変えられるようにタップを設けておき運転前に必要な力率になるようタップを選ぶタップ切替方式がある。タップ利用の場合は力率調整が不連続で運転中はできないが、方法としては簡単である。第10図は誘導電圧調整器で力率調整可能となっている場合の一例である。

7. セメントチューブミル減速特性

チューブミルが回転中に電動機を停止するとミル内の原料、ボールの位置のかたよりのために、振子運動を数回繰返しながら自然停止し、これら左右の回転は減速機を介して電動機に伝わる。ミルの減速特性を知ることは寸動装置の計画に当たって重要であるので駆動電動機を停止したときのミルの運動を撮影して速度変化を実測した。第11図は時間一回転数特性、第12図は時間一ミル回転角変化を示す。いずれも時間はミルが定速運転後いったん停止して振子運動にはいる点を基準にしてある。第11図から減速時間によって回転数が不規則に変化しながら減速することがわかる。

8. 寸動装置

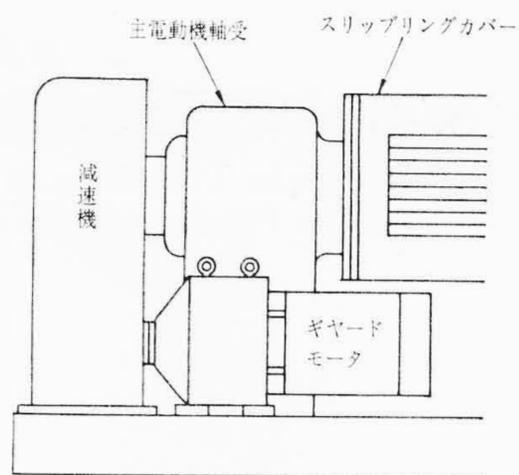
ミルを停止するときは所定の位置に止めるために寸動を行なうのであるが、簡単な方法として主電動機の一次入力を断続させて主電動機自体を寸動させることが多い。この方法ではミルの寸動の回転速度が寸動装置を用いた場合に比べて速いが、操作に慣れると正確に所定の位置に止めることができる。しかも付属装置が不用であるから大容量ミルでも採用されることが多い。



第12図 チューブミル時間一回転角特性

寸動をいっそう確実にするためには機械的な寸動装置が多く使用される。寸動装置は第13図に示すようにギヤードモータを寸動用に使用している。寸動時の回転数は定格の約1/80で、はじめにギヤードモータで回転数を落としてあるので減速機の回転比は小さくてすみ減速機は小形になる。

機械的な方法では主電動機運転中は寸動装置が主軸から切り離される。前節に記したように寸動後、ミルが停止するときはミル内の荷の傾きによる振子運動に移るが、このときの回転数は第11図に示すミルの例では最大1.9 rpmになることがわかる。すなわち寸動定格回転数の約10倍になることがあるので、この回転数がそのまま減速機を介して寸動用モータに伝わるとモータの回転子は定格の10倍の速さで回転することになるので寸動装置の切り離しに際しては注意が必要である。ただし寸動用電動機の出力は寸動回転数に比例



第13図 寸動装置取付図

して小さくなり、寸動回転数が1/80なら出力も1/80でよいので寸動電動機回転子は小さくなり、周速が小さいので10倍の速さになっても十分耐えられるモータの製作は容易である。

9. 結 言

以上、セメントミル用三相誘導同期電動機について概要を述べたが特に励磁方式については自家製のシリコン整流器を用いているのでこれにより誘導同期電動機の利点を十分に生かした製品となっている。今後、プラント設備の規模が大きくなるにつれて電動機の単機容量のますます大きいものが要求されるようになってくるが、誘導電動機と同期電動機の長所を生かした誘導同期電動機がさらに多く使用されるすう勢にある。また高速化も一段と進むであろう。

終わりにセメントミルの減速特性の測定に際して貴重な時間をさいて絶えずご尽力いただいた日立セメント株式会社日立工場のかたがたに厚くお礼申し上げる次第である。



特 許 の 紹 介



特許第444650号

古賀 弥・阿保 雅 宏

新規塗料用固型樹脂の製造法

この発明は、硝化綿相溶性、耐候性、密着性、研磨特性がすぐれ低酸価で淡色かつ比較的高軟化点を有する塗料用固型樹脂を提供することを目的とするものである。

従来このような目的に対して、ロジンのグリセリンエステル、マレイン化ロジンのグリセリンエステル、メチルエチルケトン-ホルムアルデヒド樹脂、シクロヘキサノン樹脂、シクロヘキサノンホルムアルデヒド樹脂などが知られている。

上記したロジンのグリセリンエステルは、第3級カルボキシル基を有するので、製造時には長時間の高温加熱を必要とする。また共役二重結合を有するので耐候性が悪い。さらに天然物を原料とするので市場相場の変動や産地による品質のバラツキなどの欠点がある。

また後の三者は製造方法が複雑でかなり高価な材料である。

この発明は以上のような欠点のない新しい塗料用樹脂の製造法に

関し、その特長は、少なくとも1個以上のアセタール化可能な位置を有する3官能以上の多価アルコールと二塩基酸とのポリエステルをカルボキシル基の反応率が1近傍に至るまでゲル化しないような特定配合領域で合成し、これの中に残存するアセタール化可能な位置を脂肪族、脂環族あるいは芳香族の飽和ケトンや飽和アルデヒドでケタール化またはアセタール化する方法にある。

ヒドロキシポリエステルを合成するにはFloryまたはStokmayerの理論に従って、上記多価アルコールと二塩基酸との配合量を決める。

この発明ではヒドロキシポリエステルの大きな吸湿性、小さい硝化綿相溶性などの欠点を改善するために、過剰のケトンまたはアルデヒドを導入したので、硝化綿相溶性、吸湿性が改善され、有用かつ新規な塗料用樹脂になる。

(佐藤)