

セメントミルのギヤレス駆動

Gearless Drive for Cement Mill

I. ま え が き

セメントミルの駆動はセメント工場の全電気エネルギー消費の主要部分(約40%)を占めている。西独 Rohrdorf にある Südbauerische Portland Zement Werk Gebr Wiesböck 社は西ドイツで最初の新しいセメントミル駆動方式すなわち低速度のギヤレスミルモータを採用した。この粉碎装置は処理能力 160 t/h で駆動容量は 4,900 kW である。

II. 技 術 的 計 画

セメントミルの円筒外周をかこんでオーバハング構造の同期電動機が取付けられている。

回転速度は 15rpm の低速で三相 5 Hz の周波数直接変換装置により給電される。電動機の始動は周波数を上昇させることによって行なわれるので、変換装置の出力周波数は 0 から 5 Hz まで無段階に調整可能である。

円滑な始動を行なうため同期電動機はサイリスタ励磁を行ない負荷に応じて励磁を調整する。

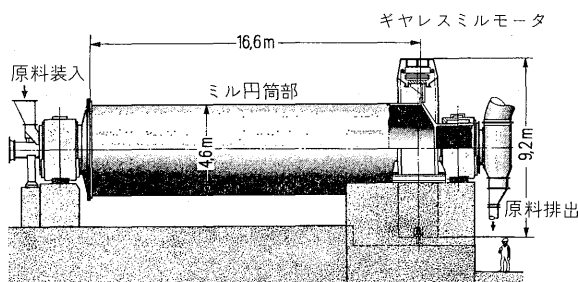
III. 特 長

この駆動方式はつぎの特長を有している。

- 1) これまで必要であった機械的な摩擦を伴う動力伝達機構であるギヤを省略している。
- 2) ギヤレス駆動によって総合効率を高め、運転コストを低減し得る。
- 3) 広範囲に調整可能な回転速度を得ることによって従来慣習にもとづいて粗く決めていた経験的運転方法を改善しミルの最適運転速度を見つけ出すことができる。
- 4) 損失のない回転速度制御の実現によって円筒内の原料通過時間の最適化が可能である。さらに計算機を利用して粉碎充てん状態の制御も可能である。
- 5) 据付面積の節約、特にミルの長さ方向のスペースが非常に少なくなる。
- 6) マンホール定位置停止運転および約 0.5~1rpm の低速による位置制御用の特別な補助運転装置が省略される。

IV. 鞍 形 電 動 機

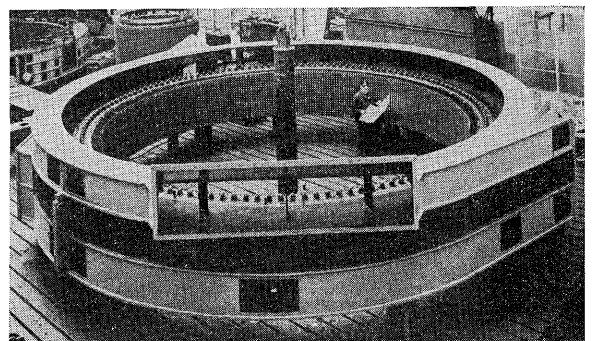
粉碎機の駆動電動機はミル円筒部オーバハング構造で自己の軸と軸受をもたず、ミルのそれを共用している。回転子は粉碎機円筒の外壁に取付けられている。回転子は、約 5 mφ の直径をもったミル円筒のまわりに取付けられており、かつ 40 磁極を収納するに必要な場所によってこの同期電動機の幾何学的大きさが決ってくる。したがって電動機の寸法は水車発電機とほぼ同じようになる。ここに実用に供された電動機の定格はつぎのとおりで、固定子の写真を第 2 図に示す。



第 1 図 ギヤレスセメントミル
(同期電動機 4.9MW 14.4rpm 1.4kV 5Hz)

Fig. 1. Mill with overhung-mounted gearless mill motor

ミル円筒部の機械的変形(静的なわん曲、室温から運転温度への移行時に発生する軸方向および半径方向の膨張、仕上裕度)がモータに与える影響を少なくするために、モータをできるかぎり粉碎機の固定軸受の近くに設置する方式をとる。さらに残存する寸法の変化は電動機の間隙によって吸収する。特別に開発された制御によって運転上要求される動的動作が満足される。



第 2 図 ギヤレスミルモータ固定子外観

Fig. 2. Overview of stator for gearless synchronous motor

容量	4,900 kW
定格電圧におけるトルク	3,050,000 N m (311,000 kg-m)
端子電圧	1,400 V
力率	$\cos\phi=1$
定格回転速度	14.4 rpm
最高回転速度	15.5 rpm
運転回転速度	0~15.5 rpm
運転周波数	0~5.16 Hz
磁極数	40

V. 電気的仕様

電気的仕様決定の本質的課題は全電気設備（電動機と変換装置）のコストを最低にすることである。主要部の寸法は円筒形粉碎機の寸法とその容量ならびに回転速度によって決定されるので電動機の設計には磁極数と周波数だけが変数となる。ギャレスミル用の最適値としては約32~40極に対応して4~5 Hzの周波数が与えられる。

電動機の始動は固定子の回転磁界に同期して停止状態から行なわれるので特別な始動巻線は原則として必要ない。電動機は空隙における高調波磁界の制動のためにポールシュに小さな短絡巻線をもっているだけである。始動時に必要な定格トルクに対して50%のトルク増加は電動機の上上げ励磁によって得られる。変換装置によって電機子電流、励磁電流および電機子電流と主磁束間の位相角が制御される。この位相角は90°に制御され最大のトルクが得られる。このすぐれた制御によって電動機は分巻電動機の特性を与え得る。

VI. 構造上の問題

もっとも重要な問題はミル上への磁極の取付けである。ミル円筒部の表面は周囲温度から運転温度へ約100°Cの変化があるので取付フランジ面の直径は6~8 mm変動する。これは取付フランジと磁極間に働くラジアル方向の力として許容されないほど大きなものとなるので、直径が変動してもラジアル方向の力が生じないように構造上解決がなされている。

電動機の固定子は輸送と組立を考慮して分割されなければならない。

また組立を容易にし、固定子と回転子巻線の作業が容易なように移動可能とし、充分大きな台床が設けられている。移動はローラと油圧式持上装置によって行なわれる。

固定子と回転子を分割構造とするため軸受の軸電圧発生は避けられない。

軸受表面の腐食を起さないようミルの軸受は普通電気機械で行なっているように絶縁を施さなければならぬ。

い。磁極の傾きによってスラストが生ずるのでミルにはスラスト軸受が用いられる。このスラストは実際にはミル自身によって生ずるスラストよりも本質的に小さい。

電動機とミルは粉碎機室に設置されるのでじん埃の落下は避けられない。これがため電動機は閉鎖構造でフィルタをとおした風を電動機に導くか、あるいは単位形水-空気冷却器を用いた全閉内冷構造が採用され、低速回転のために電動機は強制通風方式が採用される。

VII. 周波数変換装置

電動機の低周波運転には直流の中間回路をもたない直接変換装置が採用される。これには高耐圧サイリスタが使用されている。

周波数変換装置は三つの分割された二次巻線を有する整流器用変圧器より給電されている。また同期電動機励磁用にもう一つの整流器が付属されている。

1) 構造

直接式周波数変換装置は三相電源方式とするために三つの変換器より構成され、全体として星形結線を構成している（第3図）。

個々の変換器は三相ブリッジ結線で、両方向整流器は循環電流なし運転が行なわれる。供給電源が転流電圧を供給しているため自然転流形の整流装置である。おのこの整流器が変換および逆変換の動作をくり返す。変換器は電動機磁極の回転角度に比例して動作する。変換器の出力電圧は調整可能な周波数と振幅をもって正弦波状に制御される。

一つのブリッジは同期電動機の固定子電流として正電流 i_+ を別のブリッジは負電流 i_- を供給する。整流器の内部短絡すなわち循環電流を避ける制御が行なわれている。

すべての可変周波交流運転と同様にこの場合も電圧値と周波数はほぼ互に比例関係を保って変化させなければならないため、これに見合う制御が行なわれている。

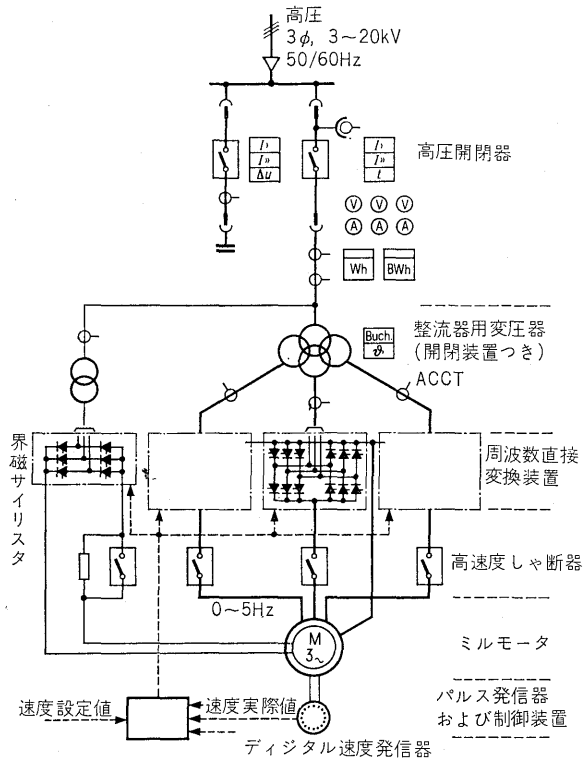
2) 動作

変換器の出力電圧は電源電圧を波形切断制御することにより得られ、正弦波形に近づけるよう考慮されている。

第4図は50 Hz 電源電圧から5 Hz 正弦波電源を波形切断により得る状態を示している。これは電動機が定格速度運転を行なう場合で、電源より取る無効電力も最少になっている。

3) 装置

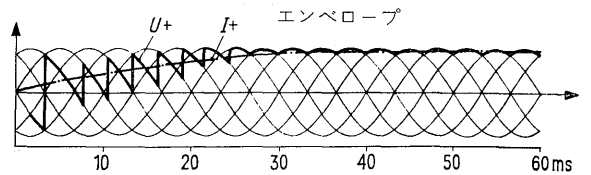
この変換器は円板形のシリコン高耐圧サイリスタにより構成され大容量のため水冷式となっている。高電圧、大電流を得るために第3図に示された整流弁は直列、並列に接続された多数のサイリスタ素子が使用され円柱形



第 3 図 ギヤレスドライブ構成単線図

Fig. 3. Single line diagram of gearless drive

に配置される。一つの変換器相に属するすべての円柱は一つのキュービクルに収納され、コンパクトにまとめられている。



第 4 図 周波数 $f=5\text{ Hz}$, 電圧 $U=U_{\text{max}}$ における直接周波数変換装置の動作

Fig. 4. Operating state of frequency direct converter at $f=5\text{ Hz}$, $U=U_{\text{max}}$.

VIII. む す び

上記の運転技術がセメント工業において大容量ミルの新しい分野と最適運転方法を切り開いた。これまでは 4,000 kW 以上の容量のものは大きなトルクを必要とするので必要な低速運転を得ることが困難であった。

今後ギヤが省略できるので電動機容量とミル容量は制限なく大きくすることが可能である。

例として現在すでに 10,000 kW の容量をもった粉砕機が計画されている。

[Siemens Zeitschrift 45 (1971) Heft 4 p.p. 189~191
 "Getriebeloser antrieb für eine Zamentmaklanlage"
 von Dieter Riehlein.

訳者：第一工業技術部 太田真一

技術論文社外公表一覧

題 目	所 属	氏 名	発 表 機 関
超導材料	中央研究所	藤野 治之	電気工学年報 電気学会
米国における新都市交通システム	技術企画本部	北村 泰男	システムと制御誌 日本自動制御協会
シャルビ衝撃試験法によるアルミニウム合金およびその溶接部の破壊	中央研究所	小林 俊郎	軽金属学会誌 軽金属学会
エポキシ樹脂の放射線劣化	中央研究所	山口 博之 嶋田 富雄	電気絶縁材料シンポジウム講演会 電気学会
エポキシ樹脂の耐湿性	中央研究所	山口 博之	絶縁材料研究会にて講演 電気学会
寿命 (接着)	中央研究所	元 起 敏	レオロジー講座 高分子学会
水中電動機について	輸送機技術部	井上 皓右	海洋開発誌 第 5 卷 3 号 ジャパンインダストリアルパブリッシング
深海潜水艇用無整流子水中電動機	川崎工場回転機部	高橋 満	第 2 回国際海洋開発会議 (40~7~10)
高温ガス炉燃料サイクルの比較	原子力技術部	中野 誠	FAPIG 誌 第 66 号 第一原子力産業グループ事務局
構造用アルミニウム合金およびその溶接部の超低温下における破壊靱性の評価	中央研究所	小林 俊郎 高井 耕一	昭和 47 年度秋期講演大会 日本金属学会
変圧器絶縁油の知識と劣化判定	千葉工場検査課	町田 茂	新電気誌 10 月号 オーム社
展開接続図を読む	システム技術部	鈴木 治幸	図説電気誌 電気書院
プラスチック応用の現状と問題点 (電気・電子関係への応用電気・電子機器)	中央研究所	佐倉 武久	プラスチック年鑑 工業調査会
高温ガス炉コンポーネント会議について	原子力技術部	松田 昌迪	日本原子力学会誌 日本原子力学会
高温ガス冷却炉の現状と動向	原子力技術部	空原 良司	日本機械学会誌 11 月号 日本機械学会
直流電磁石の設計と応用	吹上工場設計部	伊藤 昭吉	セミナー講演テキスト 総合電子リサーチ
火力プラントの制御	システム技術部	小沢 琢磨 横川 純男	日本機械学会誌 11 月号 日本機械学会



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。