
連続鍛造機の全面交流駆動

An All-AC Drive System of Continuous Casting Machine

福井 良夫(Yoshio Fukui) 伊藤 斉(Hitoshi Ito) 島田 雅照(Masateru Shimada) 森脇
三郎(Saburo Moriwaki) 守脇 広治(Koji Moriwaki)

要旨：

千葉製鉄所第 3 連続鍛造設備において、省エネルギーと省保守を主目的とした全面交流機駆動を実現した。その中心技術は、かご形誘導電動機のインバータ制御である。適用箇所はピンチロール、ダミーバーガー、ダミーバー巻上、モールド幅変更、モールドオシレーション、搬出テーブル、給水ポンプ、集じんファンなどであり、採用機器は負荷側の要求する機能に応じて、例えばベクトル制御トランジスタインバータなど、最適のものを選定した。適用に当たっては応答性、製造精度、高調波トルク、静止張力印加等の問題点を検討し、対策を講じた。稼動後の結果はインバータ制御システムが従来のサイリスタレオナードシステムに比べて性能、信頼性の点で劣らないばかりか、省エネルギーおよび保守性の点で有利なことを示している。今回の適用結果により、インバータ制御はその重要な鉄鋼プロセスにも十分適用可能であることが確認できた。

Synopsis：

An all AC drive system was introduced into No.3 continuous casting machine at Chiba Works. This system aims at energy and maintenance cost saving. The main techniques consist in an inverter control of the squirrel cage induction motor. The inverter control was applied to the pinch roll, dummy bar car, dummy bar winding machine, mold width changer, mold oscillation equipment, run-out tables, water pumps, fans and others. Various types of inverters including vector controlled transistor inverter are chosen to meet the function of each equipment. In adopting this system, several key points, such as the response time in control, precision of control, higher harmonic torque, standstill tension, were studied and improvements were made to cope with any problems. This system has proved its competitiveness with the conventional thyristor leonard system in performance and reliability, not to mention its superiority in energy and maintenance cost saving. The authors believe that the inverter control can be applied to other important processes of steel works.

本文は次のページから閲覧できます。

連続铸造機の全面交流駆動

An All-AC Drive System of Continuous Casting Machine

福井 良夫*
Yoshio Fukui

伊藤 斉**
Hitoshi Ito

島田 雅照***
Masateru Shimada

森脇 三郎****
Saburo Moriwaki

守脇 広治*****
Koji Moriwaki

Synopsis:

An all-AC drive system was introduced into No. 3 continuous casting machine at Chiba Works. This system aims at energy and maintenance cost saving.

The main techniques consist in an inverter control of the squirrel cage induction motor.

The inverter control was applied to the pinch roll, dummy bar car, dummy bar winding machine, mold width changer, mold oscillation equipment, run-out tables, water pumps, fans and others.

Various types of inverters including vector controlled transistor inverter are chosen to meet the function of each equipment.

In adopting this system, several key points, such as the response time in control, precision of control, higher harmonic torque, standstill tension, were studied and improvements were made to cope with any problems. This system has proved its competitiveness with the conventional thyristor leonard system in performance and reliability, not to mention its superiority in energy and maintenance cost saving.

The authors believe that the inverter control can be applied to other important processes of steel works.

1. 緒 言

過去、可変速制御といえば直流機のサイリスタレオナードシステムで代表されていたが、パワーエレクトロニクスの進歩により交流機の可変速技術も大きく進歩した。

交流可変速技術の適用の第一段階は、従来、一定速度で駆動されていたポンプやブロワの回転数制御であり、多くの実績を有し、省エネルギーに大きな効果をあげている。

第二段階は直流機のサイリスタレオナードシステムの置換であり、省エネルギー、省保守、設置環境の改善、製作限界の拡大などをねらったものである。第二段階の浸透は重要度の低いもの、低

性能のものから徐々に進んでいる。

連続铸造設備は製鉄所の最重要設備の一つであり、信頼性と性能のよい駆動システムが要求される。したがって従来から直流機のサイリスタレオナードシステムが適用されていた。

しかし、千葉製鉄所第3連続铸造設備の建設に当っては省エネルギーと省保守を基本方針とし、全面交流機駆動を一つの実行テーマとして推進した。

交流可変速技術、特に誘導電動機のインバータ制御方式を検討した結果、信頼性、性能共要求レベルを満足すると判断し、採用にふみ切った。

第3連続铸造設備は昭和56年4月初旬に稼動したが立上りは順調であり、インバータ制御も満足すべき機能を発揮している。

* 千葉製鉄所設備部西工場整備課掛長(課長補)

*** 千葉製鉄所設備部設備技術室主任(課長)

***** 技術本部設備計画部主任(課長)

[昭和56年12月7日原稿受付]

** 千葉製鉄所設備部設備技術室

**** 千葉製鉄所製鋼部第2製鋼課掛長

ここでは連続鋳造機の駆動系におけるインバータ制御について、その原理、主要装置への適用上の考え方、問題点と対策、適用結果についてのべる。

2. インバータ制御の原理

2.1 原 理

かご形誘導電動機の回転数 $N(\text{rpm})$ は(1)式で示される。

$$N = N_0(1 - S) = \frac{120}{P} f(1 - S) \quad \cdots \cdots (1)$$

N_0 : 同期速度(rpm)

f : 電源周波数(Hz)

P : 極数

S : すべり

したがって、電源周波数を変化させることにより、速度が変わる。

Fig. 1 に、かご形誘導電動機の等価回路を示す。ここに、 V_1 は一次相電圧(V)、 E_0 は内部誘導起電圧(V)、 r_1 は一次巻線抵抗(Ω)、 L_1 は一次巻線インダクタンス(H)、 r_2 は二次巻線抵抗(一次側換算値)(Ω)、 L_2 は二次巻線インダクタンス(H)、 L_M は励磁インダクタンス(H)、 I_1 は一次電流(A)、 I_2 は二次電流(A)、 I_0 は励磁電流(A)である。この場合電動機発生トルク T_m は

$$T_m = K_1 \phi I_2 = K_2 I_0 I_2 = K_2 \frac{E_0}{2\pi f L_M} \cdot I_2 (N \cdot m) \quad \cdots \cdots (2)$$

K_1, K_2 : 比例定数

ϕ : 磁束

であり、 E_0/f 一定の制御を行えば、 T_m が I_2 に比例するという、定トルク特性が得られる。汎用イ

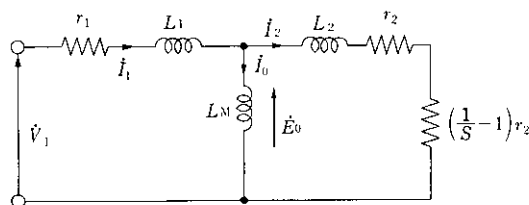


Fig. 1 Equivalent circuit of squirrel cage induction motor

ンバータでは、 $V_1 \cong E_0$ と考え、 V_1/f 一定制御を行っている。

しかし、本方式では(1)式において、すべり S の変動により速度が3~5%変動し、かつ、低速域では一次インピーダンス降下により、 $V_1 > E_0$ となり、厳密な定トルク特性が得られない。この二つの欠点は、ベクトル制御^{1,2)}を行うことにより解決できる。

2.2 構 成

Table 1³⁾ 中の図にインバータの構成例を示す。基本的に、三相交流電圧を直流電圧に変換するコンバータと、直流電圧を任意の周波数の交流に変換するインバータとに分かれる。コンバータでは電圧制御を、インバータでは周波数制御を行う。ただし、後述のPWM制御では、インバータで電圧・電流制御を行う。

ベクトル制御では(1)式の S を検出する必要があり、電動機軸にパルス発信器または速度検出発電機を直結する。

2.3 インバータ制御の種類

インバータ制御には、原理的に、電圧形、電流形、PWM(パルス幅変調制御)形がある。その比較をTable 1に示す。また、構成素子によりサイリスタ形とトランジスタ形がある。トランジスタ形は、素子の電圧、電流定格に制限があり、最大ユニット容量は60kVA程度である⁴⁾。これ以上は、素子を並列にする。

2.4 適用上の問題点

インバータには多くの種類がある。したがって、負荷の要求する機能(例えば変速範囲、制御精度、応答性、可逆運転の有無等)に応じて、適切なものを選ぶ必要がある。最も問題となるのは、低速域で無視できなくなる高調波トルクである。これによって、回転むらやトルクの変動、軸共振等が発生する恐れがある。高調波トルクの低減対策としては、インバータの多重化⁵⁾や、PWM制御による出力電流波形の改善⁶⁾があり、実用上さしつかえないレベルまで低減している。具体的には後述する。

Table 1 Comparison of inverter by control method

Item	Voltage control type	Current control type	PWM control type
Constitution			
Current control	Impossible	Possible	Impossible
Regenerative control	Impossible	Possible	Impossible
No load running	Possible	Impossible	Possible
Efficiency at full load[%]	About 90	About 95	About 95
Power factor[%]	Maximum 85	Maximum 85	95, Nearly constant
Speed range	1:10	1:10	1:10
Frequency precision[%]	± 0.5	± 0.5	± 0.5
Responsibility	Bad	Good	Good
Torque ripple	Less than 2% (at 12 phase type)	Less than 5% (at 12 phase type)	Less than 2%
Output wave form			

3. 連続鋳造機駆動系におけるインバータ制御の適用

ここでは千葉製鉄所・第3連続鋳造設備についてのべる。本設備は、2ストランド垂直多点曲げ型スラブ連鋳機であり、搬出設備と精整設備を有する。能力は240万t/年である。その概要と特徴については、すでに報告されている^{7,8)}。前述のごとく、駆動はすべて誘導電動機で行っている。インバータ制御適用箇所を、Fig. 2に示す。以下に主要装置について、適用上の検討事項、問題点と対策、適用結果についてのべる。

3.1 サイリスタレオナードシステムとの比較

インバータ制御を適用するに当たり問題となるのは、サイリスタレオナードシステムとの性能差、

低速域における高調波トルク発生有無、静止張力印加時の安定性である。後二者は後述するとして、前者について調査、検討しTable 2の結果を得た。性能的に同等であり、特にインバータ制御は総合効率で約5%まさっており、直流機のようにブラシや整流子がないのではほとんど無保守ですむ点が有利である。

3.2 モールドオシレーション

モールドオシレーションは、モールドと鋳片との摩擦を軽減し、焼付きを防止することを主目的とする。オシレーションパターンは各種考案されているが、サインカーブ方式が多い。波形の異常は鋳片の表面欠陥の発生やブレイクアウトの原因になるといわれており⁹⁾、操業上重要な要因である。

オシレーションシステムをFig. 3に示す。

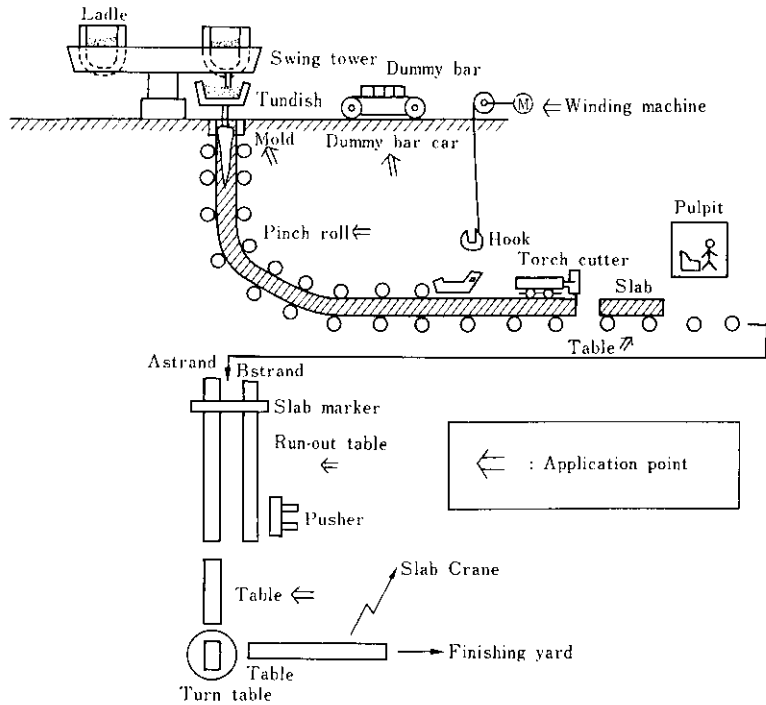


Fig. 2 Application point of inverter drive system

Table 2 Comparison of thyristor leonard and vector controlled transistor inverter

Item	Thyristor leonard	Vector controlled transistor inverter
Speed range	1 : (10~200)	1 : (10~100)
Control precision (%)	$\pm (0.5 \sim 0.1)$	$\pm (1 \sim 0.5)$
Response (%·s)	0.1~0.25	0.1~0.25
Cross over frequency, ω_c [rad/s]	30~70	30~100
Reversible operation	Possible	Possible
Regenerative braking	Possible	Possible
Harmonic torque at low speed	Negligible	Negligible
Equipment efficiency (%)	95~97	90~95
Total efficiency		5% better than that of thyristor leonard

3・2・1 負荷の特徴

コンロッド垂直荷重 $W(t)$ は(3)式で表わされる。

$$W = [W_1(1 - \frac{a}{g} \omega^2 \sin \omega t) - W_2 \pm W_3] \frac{l_2}{l_1} + W_4 \quad \dots\dots\dots (3)$$

W_1 : モールド重量(t)
 W_2 : エアーバランサ揚力(t)

W_3 : モールドと鋳片の摩擦力(t)
 W_4 : トラバーサ自重(t)
 l_1 : トラバーサと支点間長さ(m)
 l_2 : 支点と主リンク間長さ(m)
 l_3 : コンロッド長さ(m)
 a : 振幅(m)
 g : 重力の加速度(m/s^2)

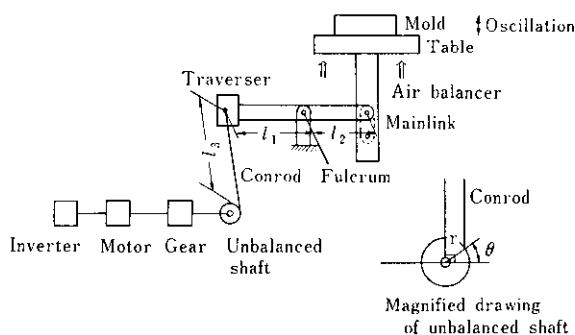


Fig. 3 Schema of mold oscillation system

ω : 角速度(rad/s)

r : 偏心軸半径(mm)

θ : Fig. 3 に示す角度(rad)

W_3 の符号は、モールド上昇時正、下降時負である。偏心軸トルク T (kgf・m) は軸半径 X 接線方向力であり、 $l_3 \gg r$ であるから、

$$T = rW \cos \theta = rW \cos \omega t \quad \cdots \cdots (4)$$

軸トルクは操業条件によって異なるが、Fig. 4 にその代表例を示す。負荷の特徴は

- (1) Fig. 4 のように周期的 (20~200cpm) 変動負荷である。
- (2) 負荷トルクが0になるとき、ギアのバックラッシュにより、スパイクトルクが発生する。
- (3) GD^2 は電動機の GD^2 に比べて小さく電動機軸換算で $2.8 \text{ kgf} \cdot \text{m}^2$ 程度。
- (4) 振動数は鑄込速度に比例する。

3・2・2 駆動システムの検討

振動数が 200cpm の場合、トルクは、0.3s の周期で正負にかわる。ところが、電圧形インバータの応答限界は 0.3~0.4 s であり、電流変化に追従できず、過電流トリップする。一方、電流形インバータの場合は、電流制限があるので、このような現象は生じないが、低速域における高調波トルクとスパイクトルク発生時の電流しほりこみにより、速度が急変する恐れがある。

以上の欠点から両者は採用不可能であり、PWM 制御トランジスタインバータを採用した。電動機定格出力は負荷側最大トルク (ただし効率75%とする) 相当、インバータ容量=電動機定格出力÷(電動機効率×電動機効率×インバータ効率)としている。Table 3 に駆動システムの仕様を示す。

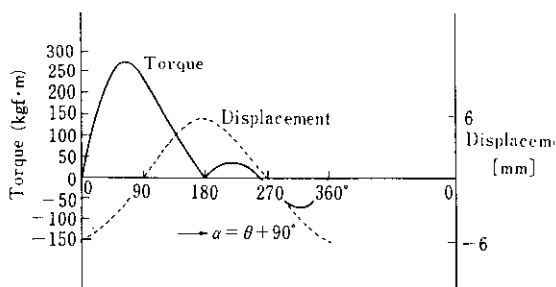


Fig. 4 An example of torque and displacement of mold oscillation

Table 3 Specification of mold drive system

	Inverter	Motor
Type	PWM Transistor	Cage rotor
Voltage (V)	230	400
Capacity	92kVA	75kw
Speed	—	1480rpm
Frequency	3~50Hz	—

3・2・3 適用上の問題点

第1に、速度変動の問題がある。非ベクトル制御であるから、(1)式から、負荷の変動に対応して、すべり S の分だけ速度が変動する。しかし、変動幅は、電動機特性から計算して、定格速度時 0~100% 負荷変動で 1.8% であり、問題はない。

第2に、低速における高調波トルクの問題がある。インバータにより誘導電動機に印加される電圧は、完全な正弦波でなく、多くの高調波を含む結果として、電源の周波数を f (Hz)、インバータ相数を N とすれば、 Nf (Hz) で振動する高調波トルクを生ずる¹⁰⁾。直流分トルクに対する割合(%)は周波数が低いほど大きい。とくに、軸系の固有振動数が Nf (Hz) の場合は、共振して異常トルク発生のおそれがある。しかし、実験の結果、高調波トルクの割合は、5Hz・100% 負荷で 3.4%-pp、10Hz・100% 負荷で 1.9%-pp であり、実用上問題はないと判断した。

3・2・4 適用結果

試運転時に若干のトラブルが発生した。モールドオシレーション駆動の場合、インバータ定格電

圧が230Vに対して電動機定格電圧が400Vのため、昇圧変圧器を使用している。この方式で試験したところ、負荷側のスパイクトルクがFig. 5に示すように大きく、ピーク電流が、インバータ側で500A以上になり、電流制限にかかり加速できなくなった。

そこで昇圧変圧器をなくし、インバータと電動機を直結し、インバータ側電流を昇圧変圧器使用の場合の1/2とした。しかしこれでは電圧不足で定格速度まで上昇しないので、220Vまでは電圧/周波数一定制御、220V以上は電圧一定、周波数可変の界磁弱め制御方式とした。界磁弱め制御という名は、(2)式において、界磁 ϕ が周波数に反比例することによって由来する。この場合、速度は(1)式により電源周波数に比例して変わるが、電動機発生トルクは(2)式により、 E_0 がほぼ一定であるから I_2/f に比例する。すなわち、トルクを一定にするには、二次電流が周波数に比例して増加しなければならない。この場合の特性のシミュレーション結果を、Fig. 6に示す。この図において、定格速度、定格トルク発生の場合、負荷電流は260Aとなり、定格電流123Aの2倍強となるが、実際の負荷トルクは正弦波状であり、RMS値としては低いので、熱的には問題ない。

以後運転は順調であり、Fig. 7に示すように良好なオシレーション波形を得ている。

3.3 ピンチロール

ピンチロールは、鋳片の引抜きおよび曲げを行うものであり、圧下装置と駆動装置を有する。駆動は、減速機を介して、かご形誘導電動機で行われる。

鋳造速度は、生産性のほか、ブレイクアウト・バルジング等のトラブル、表面疵や鋳片の内部割れといった品質上の問題などとも密接な関係がある。

3.3.1 負荷の特徴

次の特徴がある。

- (1) 変速範囲は0.1~5m/minと広い。
- (2) 制御は速度一定制御およびトルク一定制御である。
- (3) 制御精度は $\pm 1\%$ 以内である。



Measuring condition
1) Mold free run
2) Motor non drive

Fig. 5 Spike torque at motor shaft

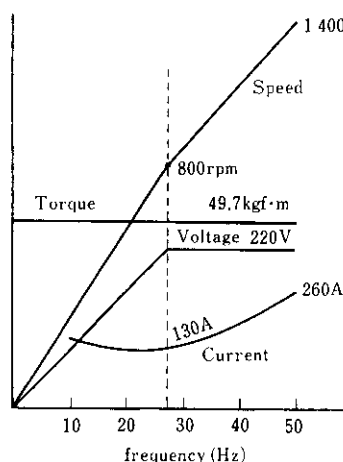


Fig. 6 Motor characteristic simulated for weak field control

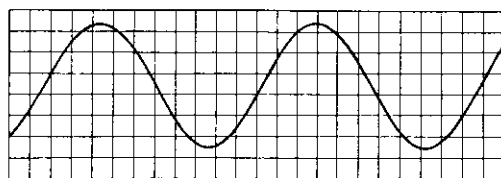


Fig. 7 Mold oscillation wave form

- (4) 制御の応答性は0.1秒以内である。
- (5) 信頼性は非常に高いものが必要である。

3.3.2 駆動システムの検討

3.3.1の各項を満足すべき機種としてベクトル制御トランジスタインバータを選定した。Table 2にその仕様を示す。

電動機およびインバータ容量は、重引枝（機内凝固の場合の引枝）の場合の最大トルクを電動機定格トルクとして選定した。これによる余分のメ

リットは、通常鋳込もピンチローラ駆動系が1-2台故障しても鋳込継続が可能となることである。

また、負荷バランスを考え、インバータと電動機の組合わせは1:1とした。サイリスタレオナードシステムの場合、電動機の回転数 N (rpm)は次式で表わされる。

$$N = K \frac{V - IR}{\phi}$$

K : 比例定数

ϕ : 電動機界磁

V : 電動機端子電圧

I : 電動機電流

R : 主回路抵抗

Fig. 8 に示すコモンドライブの場合、その特性は(b)のようになる。直流電動機 M_1 , M_2 の負荷、速度特性が(1), (2)であれば、回転数が N_1 の場合、その分担負荷は I_1 , I_2 とアンバランスになるが、(1), (2)の特性カーブは主回路抵抗 R_1 , R_2 を変えることにより調整可能で、分担負荷を同じにすることができる。したがって、サイリスタレオナードの場合、コモンドライブが可能である。

Fig. 9 にかご形誘導電動機の世界-トルク曲線を示す。この場合、同一仕様の電動機(1), (2)の間でも微妙な製作上の差により、特性に差が生ずる。そこで、両電動機のトルク特性曲線の右下がりの部分を直線で近似して、

$$T_1 = T_0 \frac{S_1}{0.05} = 20 T_0 \frac{N_0 - N}{N_0},$$

$$T_2 = T_0 \frac{S_2}{0.035} = 28.5 T_0 \frac{N_0 - N}{N_0}$$

S_1, S_2 : すべり

T_0 : 定格トルク

N_0 : 同期速度

とする。上式は、すべり5%, 3.5%の点でそれぞれ定格トルクを生ずることを意味する。速度が同じ N_1 の場合、トルクアンバランスは $T_2/T_1 = 1.42$ となり、非常に大きい。したがってコモンドライブは不可能であり、Fig. 10 のように個別ドライブにする必要がある。

3.3.3 適用上の問題点

性能上も最高機種を用いており、低速域における高調波トルクについても3.2.3でのべたように、その割合は非常に小さく、回転むらやトルク変動は生じない。

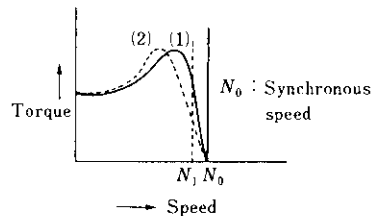
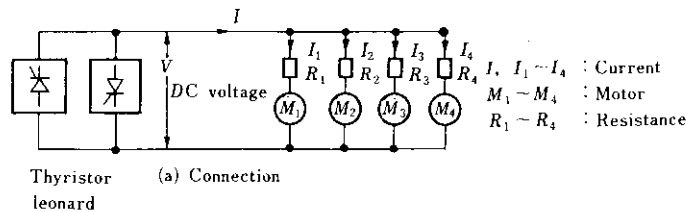
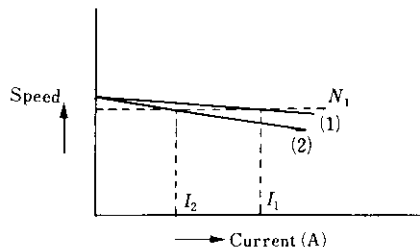


Fig. 9 Speed-torque characteristic of AC motor



Thyristor leonard (a) Connection



(b) Characteristic

Fig. 8 Load balance of DC motor common drive

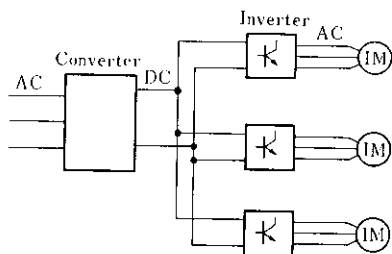


Fig. 10 Individual drive of AC motors

3・3・4 適用結果

(1) 応答性

Fig. 11 に試験結果を示す。これから、 $\omega_c^{(11)} = 1/0.63 \times 0.08 = 19.8 (\text{rad/s})$ 、インパクト性能 $= 107/681 \times 100 \times 0.08 = 1.25 (\% \cdot \text{s})$ となる。動力用としては $\omega_c = 30 (\text{rad/s})$ で十分であるので、結果はかなり良好である。

(2) 加減速特性

Fig. 12 に結果を示す。波形、追従性共良好である。

(3) 運転特性

速度およびトルクの乱れや変動はみられない。

以上のとおり特性は良好であり、要求される機能を十分果している。なお、稼動当初 2 件のハードウェア故障が発生したが、いずれも制御基板の部品不良であった。

3・4 ダミーバー巻上げおよびチェーンコンベア

ダミーバーは鋳造開始時に鋳型底部をふさぎ、かつ鋳片をピンチロールまで案内する装置である。

上部挿入方式ではダミーバーをダミーバーカーでモールドまで運び、モールド内にチェーンコンベアで挿入する。巻上げ装置は鋳片先端が最終ピンチロールを通過した後、分離されたダミーバーを巻上げるものである。

3・4・1 負荷の特徴

(1) ダミーバー巻上げ

ピンチロールとの同調運転、トルク制御が必要である。鋳片とダミーバー切離し後は、再度両者が接触することなく、すみやかに巻上げる必要がある。失速は落下の危険があるので禁物である。

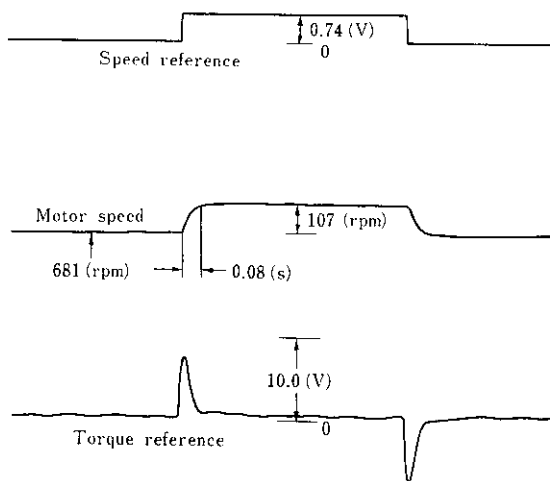


Fig. 11 Response characteristic of pinch roll drive system

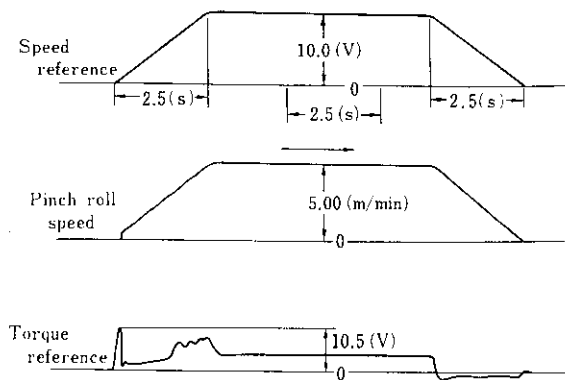


Fig. 12 Acceleration and reduction characteristic of pinch roll

(2) チェーンコンベア

速度の精度はそれほど要求されないが、挿入時の失速はダミーバー落下の危険があり禁物である。変速範囲は 1 : 30 程度である。

(3) 両者とも位置制御を行っており、停止精度は $\pm 1 \text{ mm}$ が必要である。

3・4・2 駆動システムの検討

主として機種統一の見地から、ピンチロールと同じ機種とした。

3・4・3 適用上の問題点

一般に、巻上機やクレーンなど、失速落下の恐れのある負荷に対しては、速度-トルク特性が左

上りの巻線形誘導電動機や直流電動機を用いている¹¹⁾。これは、何らかの原因で速度が0のままロック状態になった場合に、負荷側から急にひっぱられ、トルク不足で電動機が失速し、逆転、落下するのを防止するためである。

しかし、誘導電動機は、Fig. 13に示すように、左下がりのトルク特性を持つ。全電圧定格周波数の場合は、電流、トルクはFig. 13の実線であるが、インバータで電流制限をかけた場合、トルクは電流の2乗に比例するのでFig. 13の点線となる。インバータ制御で周波数を下げていくと、そのトルク特性はFig. 14の(1)から(2)のように推移する。速度0のロック状態では特性(2)のa点で負荷トルクと電動機トルクがバランスしている。このとき何らかの原因で負荷トルクが急増すると、トルク特性が左下がりのため、電動機が逆転側にまわされる。この問題に対処するため、逆転検知で周波数を上げる方式とブレーキによるバックアップ方式を考案した。

3.4.4 適用結果

当社と某電機メーカーとで共同考案したダミーバー受け渡し確認方法（特許申請済）についてのべる。本考案はダミーバーをチェーンコンベアからピンチロールに受渡す際の確認に関するもので、目的は受け渡し失敗による落下の防止である。チェーンコンベアからピンチロールへダミーバーが受け渡された後、ピンチロールに圧下をかけてダミーバーをロックする。この時点でチェーンコンベアを逆転し、ダミーバーを引っ張る。伸び切った状態では電動機は速度0となり、静止張力だけがかかる。ダミーバーのロックが不完全ならば、ダミーバーは上へ移動し続け、速度は0にならない。以上が考案の原理である。受け渡し確認時のチャートをFig. 15に示す。

3.5 その他

その他、インバータ制御適用箇所は、以下のとおりである。

(1) モールド連続幅変更設備

昭和56年5月1日に工程化し、100%稼動している。

(2) スラブ搬送テーブル

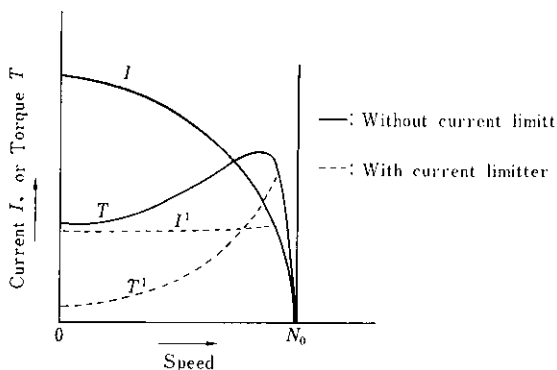


Fig. 13 Comparison of starting characteristic with and without current limiter

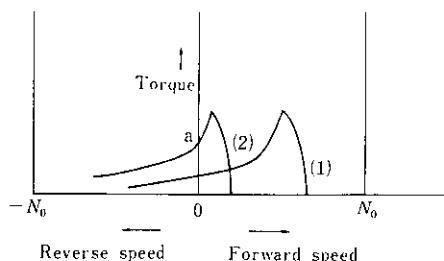


Fig. 14 Torque characteristic of inverter controlled motor

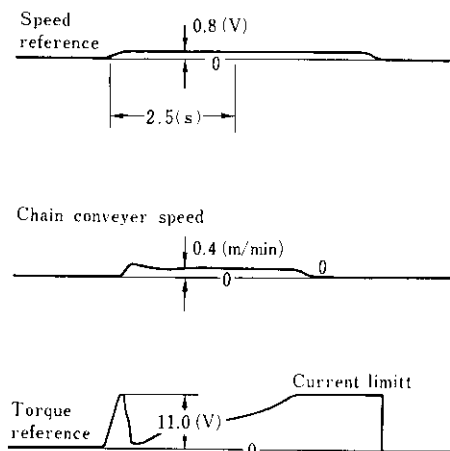


Fig. 15 Response characteristic during dummy bar transferring

可変速範囲の広い箇所に適用している。

(3) 集じん用ファン、二次冷却給水ポンプの流量制御

省エネルギー効果が大きく、さらに後者は二次冷却帯の冷却制御の精度向上への役割が大きい。

4. 結 言

千葉製鉄所第3連続鋳造設備において、その駆動系の全交流機化を達成した。その中心技術は、かご形誘導電動機のインバータ制御であり、この適用によって次のことを確認した。

(1) 信頼性

昭和56年4月から9月までの、ハードウェア故障は2件である。この実績からも、信頼性は高いといえる。

(2) 保守性

電動機はかご形誘導電動機であり、制御装置はコンパクトなカセット方式のため、故障時には予備の1式と交換できる。したがって、定期点検や故障対策の工数が大幅に削減できた。

(3) 省エネルギー

現在レイティングアップ中であり、他の連鋳機

との比較はしていない。しかし、装置としてはサイリスタレオナードシステムより優れていることは、Table 2からも明らかである。なお、ファンやポンプへの適用効果については9000万円/年のメリットとなる。

(4) 性能

9月末現在、性能や機能面で問題となる点は発生していない。

さらには、インバータ制御の適用に当って、検討実施段階で、多くの知見や、現場での各種の有益なデータを収集できた。これに伴ない、数件の発明を完成している。

今後はこれら知見を生かし、他分野へのインバータ制御の適用拡大に取り組む所存である。

終りに、本システムの採用に当り御協力いただいた、東京芝浦電気(株)と(株)安川電機製作所の各位にお礼を申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 小島ら：東芝レビュー，36 (1981) 2, 108
- 2) 岩金ら：安川電機，38 (1974) 4, 588
- 3) 福井：OHM，68 (1981) 9, 82
- 4) 森ら：東芝レビュー，36 (1981) 2, 116
- 5) 例えば三菱電機 Trac system 説明技術資料
- 6) 村井ら：電気学会誌，101 (1981) 6, 17
- 7) 守脇ら：用鉄技報，14 (1981) 1,
- 8) 森脇ら：日本鉄鋼協会第102回講演大会，81-S924
- 9) 第3版鉄鋼便覧II，製鉄・製鋼，638
- 10) 福井：OHM，67 (1980) 2, 89
- 11) 森沢：電動機応用/自動制御，P151，〔オーム社〕