
圧延機用電気設備特集

圧延用電気設備の最近の傾向とその特長	55
圧延機用電動機の進歩	60
2,500 V-400 A CH 03 形サイリスタの電流容量についての考察	66
最近の圧延設備における制御装置	71
圧延工程における計算機制御	81

圧延用電気設備の最近の傾向とその特長

Recent Trend of Electrical Equipment for Rolling Mill

浜 田 正 夫*
Masao Hamada

要 旨

最近の圧延用電気設備における各機種別にみた制御方式上の特長と自動化の傾向について述べ、次に主としてサイリスタ方式を採用した場合の主回路構成の概要と波形ひずみなど電源系統に及ぼす悪影響に対する改善策、および環境と保守についての考慮について述べた。

1. 緒 言

近年、各種鋼材、鋼板に対する需要の増加に伴い、圧延能率の向上、製品の品質、歩留りの向上、運転員の削減などを主眼にして、制御性能の向上と高度の自動化が要望されている。

制御性能の向上は半導体技術の発展を基盤としている。すなわち

- (1) 半導体論理回路により高速応、高信頼度を有し、フレキシビリティに富むシーケンス制御と高精度デジタル制御が実用化されたこと。
- (2) 可変抵抗器などによる電動サーボ機構に代わり、円滑で、信頼度と保守性に富む静止指令装置が開発されたこと。
- (3) 高利得で、安定なトランジスタ式演算増幅器により制御性能が格段に向上し、調整および保守が容易になったこと。
- (4) 主回路、励磁回路ともにサイリスタコンバータが採用され応答速度が画期的に向上したこと。

などである。さらにこれら半導体装置の特長を十分に発揮させるために、電流、電圧、磁束の急激な変化に耐えうる電動機の改良と低リプル、高速応の各種検出器の開発も貢献するところ大である。

一方サイリスタの採用は主回路方式に保護協調を主体とした新たな考察を導入した。またその特性上、電源系統に対し高調波による波形のひずみを引き起こし、これらについてなんらかの改善策が必要となった。

2. 高性能制御と自動化の趨勢(すうせい)

2.1 分塊および厚板圧延機

圧延機まわりでは、あらかじめ用意された圧延スケジュールにより、データを入力し、圧下位置、圧延速度、サイドガイド開度、転回などを自動的に行なう自動プログラム制御が、かなり採用され、着実にその効果をあげてきたが、最近ではこれらのプログラム制御と組み合わせて、従来と全く圧延時間が延びるといわれていた欠点を補い、圧延能率をさらに向上するために種々の考慮が払われている。

(1) 圧延機減速開始命令

圧延機からかみ放なされた材料は、その慣性によりある距離だけ移動して停止するが、この移動量を適切な値にするためのかみ放なし速度から、減速開始時点を演算して、主電動機を制御するのがねらいである。かみ込み速度、圧延速度、かみ放なし速度は計算機などから与えられ、ロードセルの出力のオン、オフ信号により、かみ込みかみ放なしのタイミングが得られる。

圧延電動機が一定の減速曲線に従って減速すると、減速時に材料を送り出す距離は、一意的に決まるので、圧延機入側の所定の位置 L_0 に設けられた光電検出器により、材料の後端が通過したことを検出して材料長さを計算し、出側換算の L_0 値と比較演算

することにより、この値が減速期間中に送り出される材料長さに等しくなった時点で、減速開始命令が出される。

(2) オーバラン量一定制御

圧延中のむだ時間としては圧延電動機が起動してから、圧延材がオーバラン量(前のパスで圧延材がかみ放なし後の走行距離)を走行して圧延機にかみ込むまでの時間がある。このオーバラン量は各パスでかなりのばらつきがあるが、この量を圧延の準備操作(圧下量の設定など)中に一定の値とするよう制御することにより、走行時間を一定にし、みかけ上ゼロになるよう起動命令を出す。

(3) 圧延機先行起動命令

一定に制御されたオーバラン量より、この間の圧下走行距離を求め、圧下調整中に設定値と規定値との差が、上記圧下走行距離と等しくなったときに圧延機に先行起動命令を出す。

以上のような演算制御により、圧延中のかなりの時間を占めるむだ時間を減らし、圧延能率の向上が図られる。

分塊圧延機では従来困難視されていたマニプレータの転回動作も、左右サイドガイド、フィンガの3者の速度協調を、アナログ演算回路により可能とし、厚板圧延機ではゲージメータ方式のAGCが採用される傾向にあり、一方圧延ライン全体に対し計算機制御が積極的に取り入れられ、炉の制御、最適圧延スケジュール計算、形状制御などが自動的に行なわれ、設備容量の有効な活用、生産性の向上に大いに期待が持たれている。

2.2 ホットストリップミル

最近のホットストリップミルでは、大容量、高速化が行なわれ、かつ高精度の圧延機が要求される。ミル電気設備としても、これらの要望に応じて技術の粋をつくした設計、製作が行なわれる。

大容量、高速化に伴い、仕上主電動機も整流能力、加減速能力、AGCやルーパー制御時の速応性の面から、 GD^2 の低減が積極的に行なわれ、3~4電機子のタンデム配置の構成、F種絶縁の採用、過負荷耐量の増強が図られている。

主機、補機直流電源には全面的にサイリスタが用いられ、その制御はトランジスタ化されており、自動速度制御(ASR)、電流制御(ACR)の大幅な性能改善が行なわれる。

これらの性能面の改善のほか、高精度の自動化が全ラインに採用され、計算機制御システムとあいまって高能率で、高品質のストリップの生産を可能にしている。

図1はホットストリップミルの自動化の概要を示したもので、スラブレシービングテーブルに運ばれたスラブは、あらかじめ与えられたスラブ情報により加熱炉入側テーブル上の所定の位置に自動停止する。次にプッシャにより前にそう入されたスラブとの関係位置より、所要のストロークだけそう入され、連続加熱炉により加熱が行なわれる。一方、計算機からのスラブ抽出指令により、スラブエクストラクタは炉内よりスラブを炉出側テーブル上の中央へ、自動

* 日立製作所日立工場

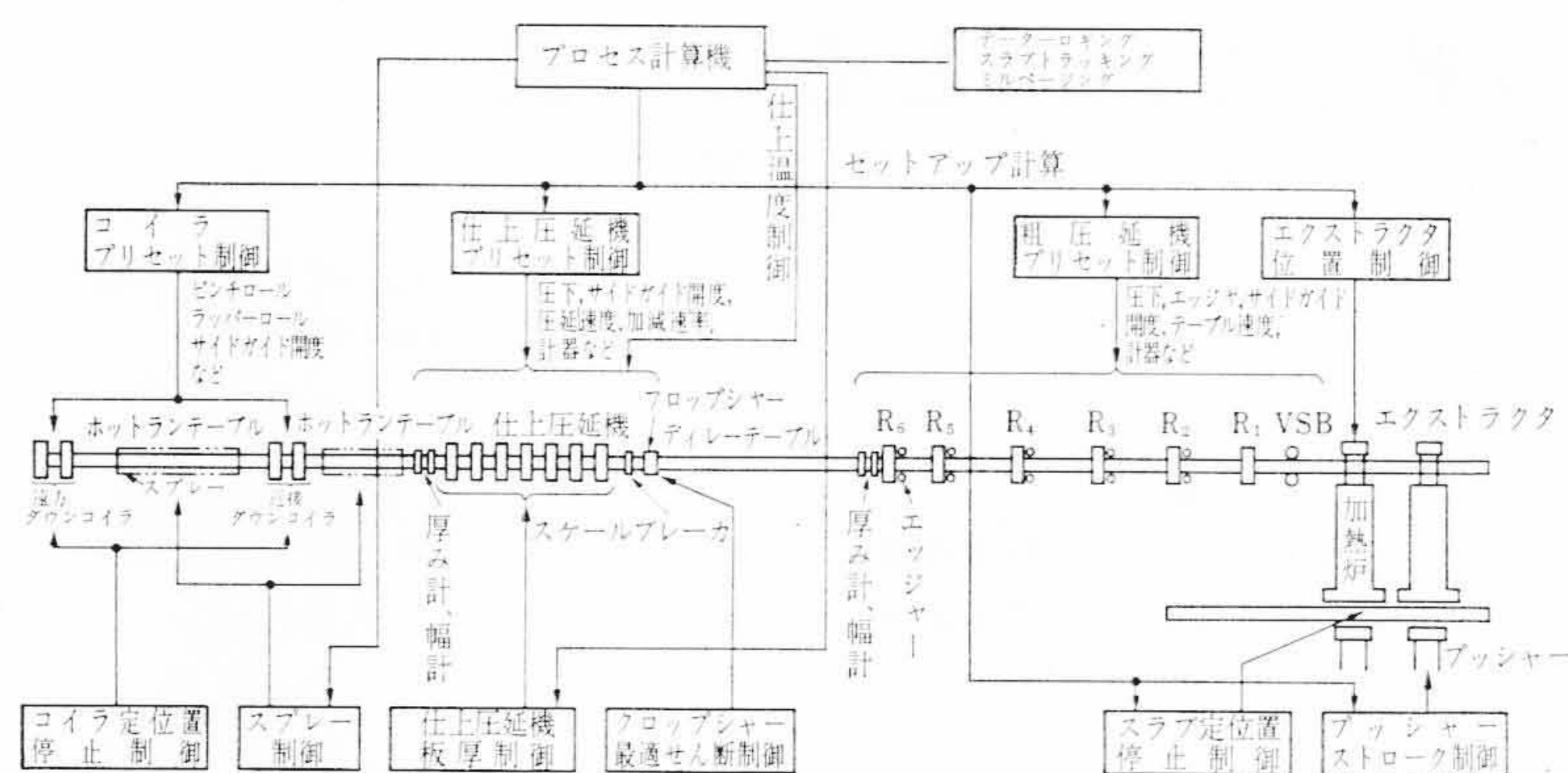


図1 ホットストリップミルの自動化

的に取り出し粗圧延機へ送り出す。

粗圧延機においては、圧下、エッジャ、サイドガイドの開度およびテーブル速度などが、圧延スケジュールに応じて自動的に設定される。

粗圧延機で圧延中は、デスケーリング水が自動的に噴射される。かくして圧延された材料はディレーテーブル上へ送り出されるが、粗圧延機間およびディレーテーブル上では、先行スラブの圧延状況に応じた適当な圧延ピッチで圧延されるように、ミルページングおよび自動インターロックが行なわれ、さらに、ディレーテーブル上では材料温度を適当にするため揺動待期の制御も行なわれる。

仕上圧延機入側に設置されたフライングクロップシャーにより、材料の先端および尾端を切断し、仕上圧延機のかみ込みなどを容易にするが、先端および尾端切断の際の歩留りを向上させるため、材料端の形状を光学的に検出して、自動せん断する方式が採用される。

仕上圧延機の各スタンドは、粗圧延機同様、圧下、速度、加減速度などの精密設定が自動的に行なわれ、サイリスタレオナードによる高精度の自動定速度制御とルーパ制御とともに、ゲージメータ方式の AGC に油膜変化、ミルバネ常数、後端補正などの各種の補正制御が加味されて、高品質のストリップが高効率で生産される。

最近の高速圧延機では、特に仕上り板厚が薄い場合に、材料の先端がホットランテーブル上でおどるので、最初は比較的低速で圧延し、先端をダウンコイラに巻き付けてから圧延設備全体を最高速度に加速し、材料の尾端が圧延機を通過したならば、再び速度を下げ、次の材料の通板に備える必要があるが、これらの加減速も自動的に行なうよう考慮されている。

ホットランテーブル上においては、所要の製品品質をうるため、ストリップの冷却状態をダイナミックにシュミレートして、スプレールブルブのオン、オフ制御を行なうアナログダイナミック方式を、種々のモードの巻取温度制御に対して高精度に行なうことができる。

ダウンコイラマンドレルにかみ込むと同時に、ストリップの先端から円滑に張力がかかるよう速度制限器を用いた張力制御が行なわれる。またダウンコイラピンチロールにおいては、ストリップが仕上スタンドを抜けたときの速度上昇を極限するため、圧延速度をメモリーして速度基準として速度制御することにより、巻取温度に影響なきよう配慮される。

コイラに巻き取られたストリップは、コイルハンドリングが容易なようコイルのテールエンドがいつも一定の位置に停止することが望ましい。そのためストリップの尾端がある位置まできたら、減速指令を与え、クリープ速度でピンチロールおよびコイラを運転しコイル径を計算して、定位置停止の制御が行なわれる。

このほか、作業能率の向上を図るためロール組替えの自動化が積極的に進められる。その一環として、仕上圧延機を停止する場合は、

停止直前にパルス寸動回路に自動的に切りかえられ、常に高精度でロールを定位置に停止するなど、多数の自動化が採用される。

2.3 線材圧延機

(1) 仕上列のループ制御

サイドルーパーを有する仕上列においては、ライン速度が速いため、バーの後端が抜ける際ループを作ったままでは、バーの後端がピグテールとなり、これがカリバー内部に残り次のバーのかみ込み失敗の原因となるので、ループ量を光電式ループ検出器で検出して、後端が抜ける際には、ちょうどループがゼロとなるよう、スタンド速度を上昇または下降することにより、自動後端補正制御が行なわれる。

(2) 粗, 中間列におけるテンションフリー制御

粗，中間スタンドの直線配置の圧延機においては，従来多少のテンションを張りぎみに速度を設定し圧延を行っていたが，このわずかなテンションでも，粗，中間列で線径誤差を生じ，それが最終製品の線径誤差となってあらわれるので，製品精度の向上を図るため，張力電流を検出して，スタンド速度を補正することにより，テンションフリーの制御を行なっている。

(3) スタンド速度の自動設定

圧延スケジュールの変更の際、スタンド電動機の手動速度設定を能率よく行なうため、デジタル式のプリセット制御を採用し、迅速にして高精度の自動設定を可能にする。

(4) フライングクロップシャーの自動せん断制御

上述のほか、補機にも各種の自動化が採用されているが、フライングクロップシャワーのせん断をライン速度に同期して、シャワーの加速度を調整して、自動せん断を行ない、歩留りの向上を図っている。

2.4 冷間圧延機

制御の基本になる主幹速度指令装置は演算増幅器および論理素子など静止器からなり、タンデムミルでは各スタンドの速度基準はデジタルで与えられる、スタンド間相対速度は厳密に一定に保たれ設定替えも迅速に行なわれるとともに、連続的手動修正が可能となっている。

スタンド間の速度制御は速度制御系、電流制御系および EMF 制御系からなり、速度偏差が一定値を越えると電流制御系が自動的に定電流制御を行ない、単一速度指令により、電動機 EMF が一定値に達すると自動的に励磁を弱めるように EMF 制御系が動作する。

リールの制御は電流制御、EMF 制御、慣性補償制御のほかに通板時の速度制御、板切れ時の速度制限制御が改善されている。必要に応じて機械補償制御、張力計によるモニタ制御が付加される。

自動板厚制御においては、取り扱う材料の板幅、板厚の広範囲化に伴いソフトな制御系の必要性が増している。なお加減速ならびに通板、後端抜け時の歩留り向上を目的として油膜厚み、摩擦係数、張力などの変動補正制御が行なわれ、ロール偏心補正制御が検討されている。また、スケジュールに応じた制御系の最適構成と最適定数の設定に関し計算機とのリンケージが検討されている。

スキンプスミルにおいては伸び率一定制御が行なわれ効果が実測されている。伸び率の検出には入出側テンションロールの回転速度をデジタル比較する方法とアナログ比較により求める方法とがあるが、後者は精度的に実用に耐える検出器が現状では得られない。デジタル検出では2~4 m 当たりの平均伸び率を検出することになり連続制御はできないが0.1%の伸び率偏差を精度よく検出することができ成功している。

形状は厚みとともに重要な問題であり、オンラインにおける研究

表1 タンデムコールドストリップミル用主電動機設備

用途	出力 (kW)	回転速度 (rpm)	電圧 (V)	員数	備 考
ペイオフリール	400	200/930	440	2	非対称逆並列サイリスタレオナード
No. 1 スタンド	2×1,500	175/490	750	2	非対称逆並列サイリスタレオナード
No. 2 スタンド	2×2,125	150/375	750	2	非対称逆並列サイリスタレオナード
No. 3 スタンド	2×2,125	150/375	750	2	非対称逆並列サイリスタレオナード
No. 4 スタンド	2×2,125	150/390	750	2	非対称逆並列サイリスタレオナード
No. 5 スタンド	2×2,125	150/390	750	2	非対称逆並列サイリスタレオナード
テンション リール	1,500	70/280	750	4	非対称逆並列サイリスタレオナード

表2 サイリスタ整流装置納入実績

納 先	完成年	ライン名	整流装置仕様			
			員数	容量 (kW)	電圧 (V)	電流 (A)
東洋鋼板株式会社	1967	No. 42 ライン	12	216	24	9,000
			2	135	18	7,500
			1	15	15	1,000
			8	81	18	4,500
日新製鋼株式会社	製作中	No. 4 アンニールング ピッキングライン	14	105	25	4,200
日本ステンレス 株式会社(鹿島)	製作中	アンニールング ピッキングライン	16	105	25	4,200

が実施されている。圧延中における幅方向の張力分布と裁断された無張力状態の板の形状との間に高い相関があることが確かめられている。

最近の冷間圧延機における運転操作の自動化は注目に値する。自動化において重要なことは機械の構成と検出器の信頼度である。機械設備の計画の段階から電気—機械の密接な関係のもとに総合検討がなされることが望ましい。

表1は最新の設備をもって稼働中の5タンデムコールドストリップミル主電動機の仕様である。素材の最大板厚は6.5mm最大板幅は2,080mm、製品最小板厚は0.25mmである。最高圧延速度は1,800m/minで9秒で加速される。図2に本設備の入側設備レイアウトを示す。以下本設備について自動化の実例を紹介する。

(1) 入側コイルハンドリング

入側コンベヤにとう載されたコイルは先行コイルの状況に応じて1ピッチずつ進行する。コンベヤ終端でハンガーに抱きかかえられて上昇し、幅方向調心が行なわれる。終端には位置検出器のほかにフォトセルが配備され誤動作によるコイル落下が防止される。入側コイルカーはコイル径に応じて自動調心された高さでコイルをハンガーから受け取る。ここでコイルバントの切断と除去、コイルの口出しが自動的に行なわれたのちコイルの先端が引き出されて先行コイル(圧延中)の上方でホールディングガイドにささえられ待機する。先行ストリップ後端がペイオフリールから抜けると、通板開始指令によりホールディングガイドは開き直下のペイオフリールガイドに沿って待機ストリップの先端はピンチロールにより第一スタンドへ導かれる。コイルはコイルカーのクレードルローラにより回転されつつカーとともにペイオフリールへと進行する。ペイオフリールマンドレルが両側より回転しつつコイル内へそう入され拡張してコイルを支持し自動的に張力が確立する。カーは後退して後続コイルの受取り作業を開始する。

(2) 自動通板

自動化において最大の難点の一つは自動通板である。ストリップのだ行は差動トランスにより検出され、ロールのレベリング調整により修正制御されている。また、かみ込みに対してはステッカーの動作タイミングを制御して良好なかみ込みを図っている。なお出側スタンド間ではエアジェットとマグネットコンベヤによって薄板先端のたくれを防止している。

(3) プリセット制御

プリセット制御はスケジュール変更時の能率向上と計算機との

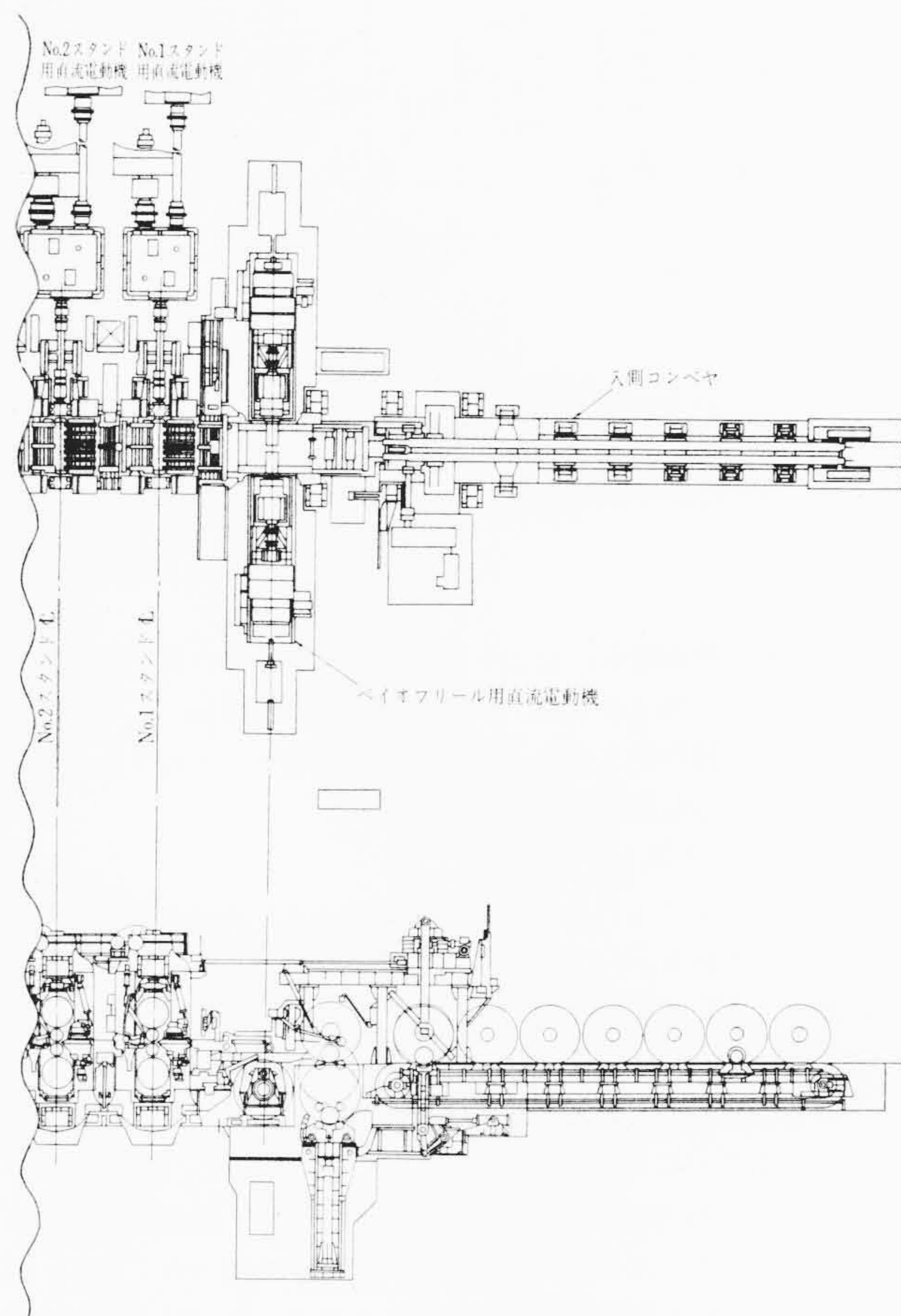


図2 5タンデムコールドストリップミルの入側設備

リンケージにおいて有用である。各スタンドの速度、ロール開度、サイドガイド開度、スタンド間張力、リール張力、ドルーピング特性、AGC諸定数などがディジスイッチ、パンチカードおよびコンピュータのいずれかよりあらかじめプリセット装置に記憶され、先行ストリップ後端の通過とともに自動的に設定替えが開始される。各種設定には高精度と迅速性が必要でありデジタル、アナログの有機的組合せにより効果をあげている。

(4) その他の自動化

リールに巻き取られたコイルエンドは自動的に定位置に停止し、コイルカー、コンベヤ検査装置、秤量機を経て次段プロセスラインへのコンベヤに至る一連のコイルハンドリングも自動化されている。

またロール組替えの自動化、グラフィックパネルによるロールクーラントシステムの遠隔操作、監視、工業テレビジョンによる圧延状況の集中監視などワンマンコントロールへのプロビジョンに歩を進めている。

3. 設備計画とその問題点

3.1 主回路構成

電力用サイリスタとして量産されている標準品は、1966年には、電流容量1~500A、電圧50~1,600Vであったが、まもなく大電流、高耐圧サイリスタCH03形(400A-2,500V)が量産されるにいたり、直流回路電圧750Vに対しても直列数1で済み、大容量に対しても少ない並列数で構成されるようになり、回路的にも寸法的にも、一段と簡易化され、保守にも便利となった。

サイリスタによる各種静止レオナード方式としては、(1)半波制御単変換(2)全波制御単変換(3)単基切換(4)十字結線(5)

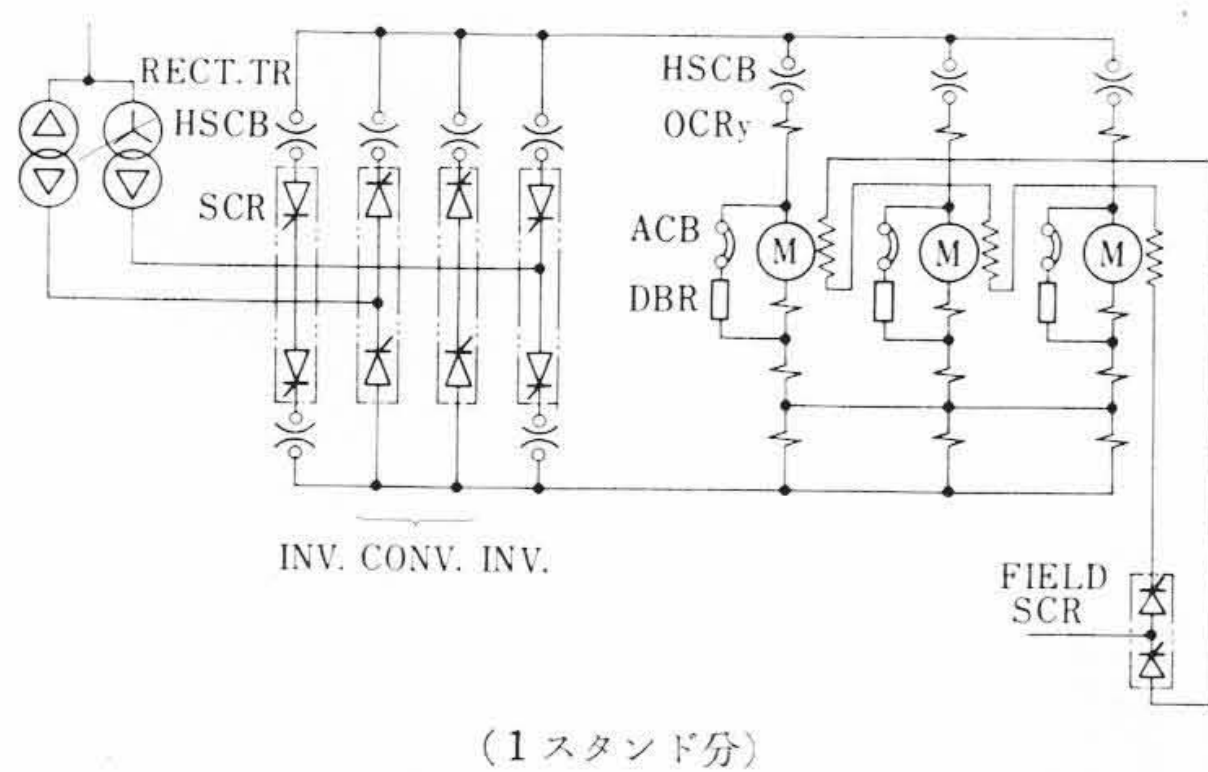


図3 連続熱間仕上圧延機主回路結線

(1 スタンド上ロール分)

図4 連続冷間圧延機主回路結線

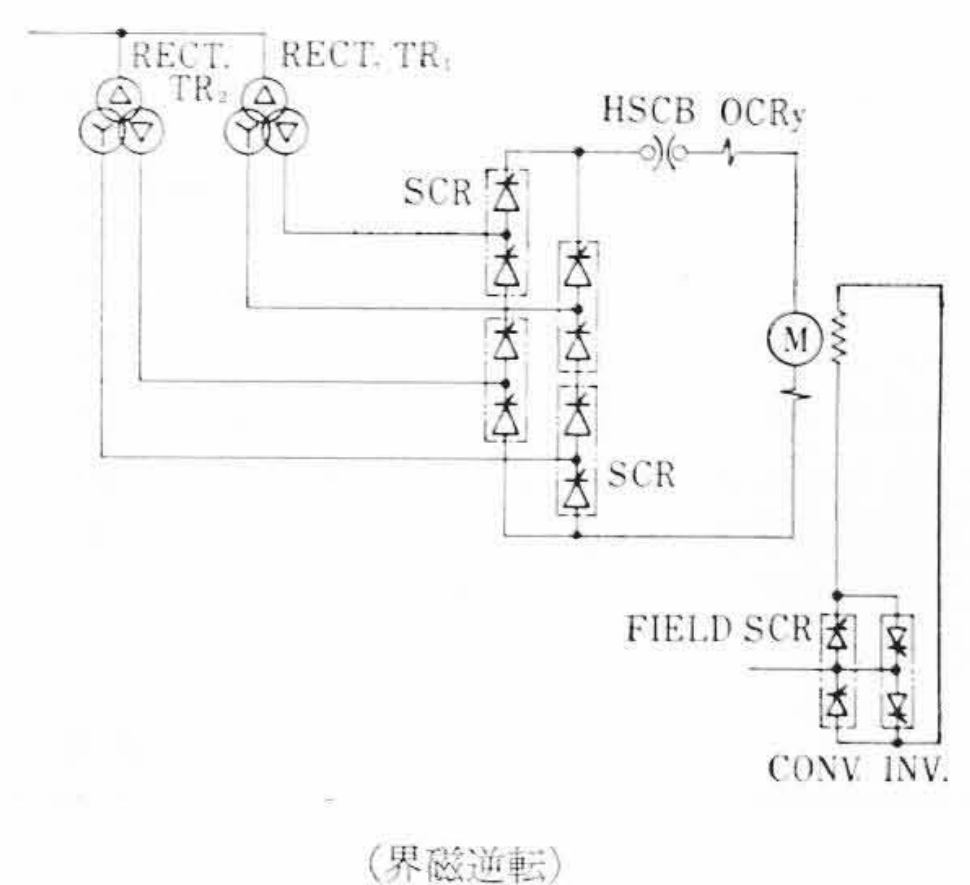
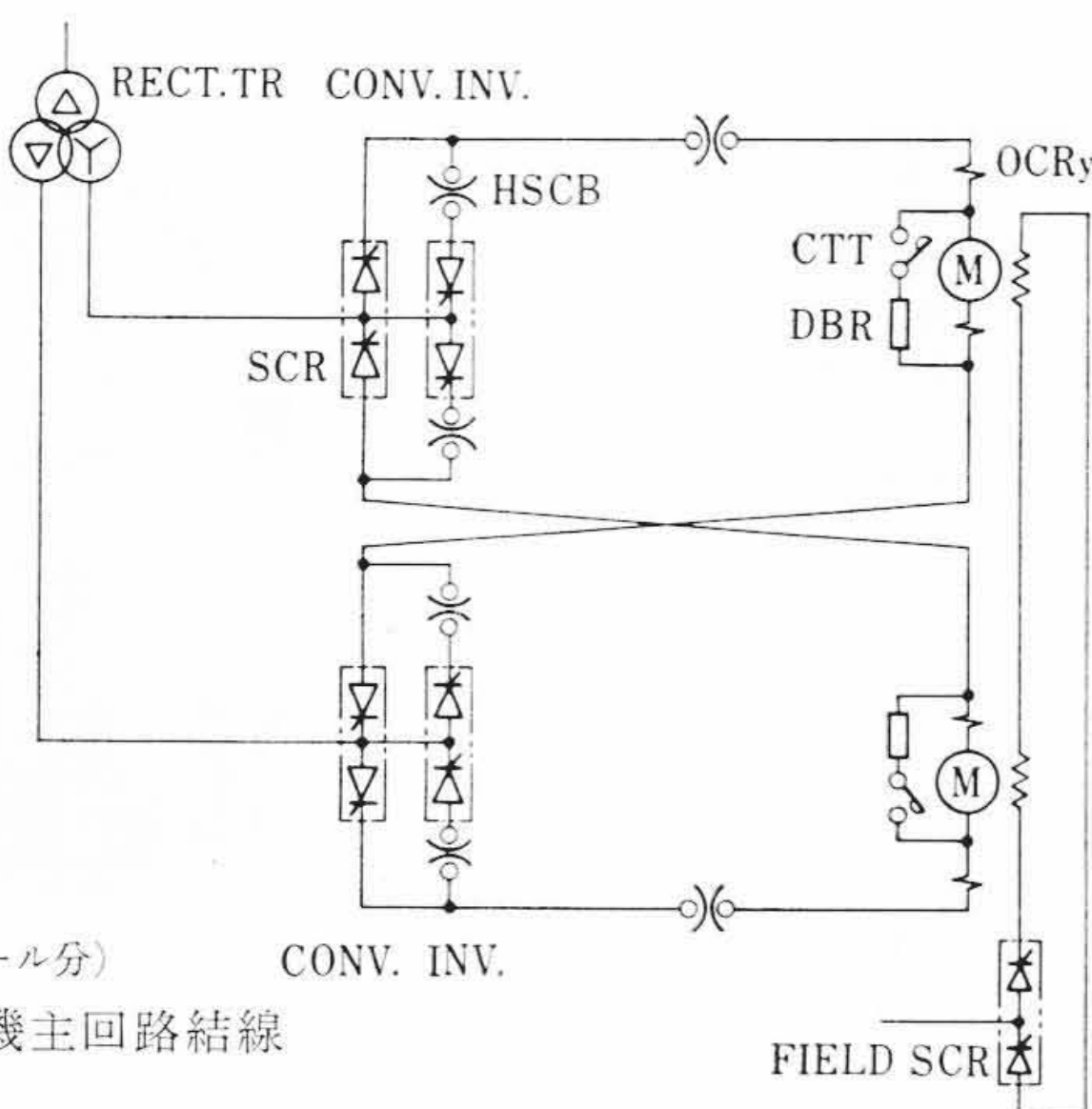


図5 熱間可逆圧延機主回路結線

逆並列(6)界磁逆転,などに分類されるが,この基本的な回路方式については,多くの文献⁽¹⁾が出ているので割愛し,ここでは最近日立製作所が製作納入した,大容量・高耐圧サイリスタによる回路例および界磁逆転回路例について述べる。

3.1.1 ホットストリップミル

図3はホットストリップミルの1スタンド分の主回路構成を示したものである。サイリスタは,非対称逆並列方式で,コンバータ容量は,8,800 kW (4,400 kW 2組)インバータ容量は,コンバータ容量の約半分の大容量となっている。サイリスタの並列数は20近くにもなり電圧・電流平衡には特に注意が必要である。整流器用変圧器は,2台に分かれ1台は Δ/Δ ,ほかの1台は Y/Δ となり1スタンド分で12相効果をあげている。おのおの整流器用変圧器1台に対しサイリスタ非対称逆並列の1組が接続されている。直流電動機は1台3電機子から構成されており,8,100 kW ($3 \times 2,700$ kW)でサイリスタとは並列に接続されている。3電機子間の負荷平衡は,和・差両直巻巻線間を結ぶ均圧線を設けて平衡させている。高速度遮断器は,サイリスタ1組のコンバータ側に1台,1組のインバータ側に2台,各電動機電機子に1台ずつの合計9台を使用している。万一の事故,たとえば,サイリスタのコンバータ・インバータ間の短絡,インバータの転流失敗,電動機のフラッシュオーバーなどを想定し,高速度遮断器の遮断特性を考慮し,回路にリアクトルなどをそう入し,完ぺきな保護協調を行なっている。電動機の界磁電源も同様サイリスタ電源で全波制御単変換とし各電機子共通に1台の電源にて励磁されている。

3.1.2 タンデムコールドストリップミル

図4はタンデムコールドストリップミルの1スタンドの上ロール分の主回路構成を示したものである。1スタンドは上下ロール別駆動の双電動機駆動となっている。サイリスタは非対称逆並列方式で,たとえばコンバータ容量は4,600 kW (2,300 kW 2組)インバータ容量は,コンバータ容量の約半分であり,この組がサンドイッチ接続されている。整流器用変圧器は,一次側は Δ 結線,二次側は2巻線で $\Delta \cdot Y$ 結線で,1スタンド1ロール分のみで12相効果を得ている。変圧器二次側各1巻線に対し1組のサイリスタ非対称逆並列が接続されている。直流電動機は,上ロール分で2電機子あり,2組のサイリスタとサンドイッチ接続されており,負荷平衡は完全である。高速度遮断器は,サイリスタ1組のインバータ側に2台,逆並列1組に共通に1台合計6台が使用されている。万一直流短絡などの事故に対しても同様,回路にリアクトルなどをそう入し,完ぺきな保護協調をとっている。界磁電源も同様,1組のサイリスタ全波制御単変換方式の励磁装置より供給されている。以上は上ロール分であるが,下ロール分の回路構成も全く同一で,上ロール,下ロールの負荷平衡は,サイリスタの主回路電圧および界磁電圧の両方で行なわれている。

3.1.3 熱間可逆圧延機

図5に熱間可逆圧延機の界磁逆転方式の主回路構成を示す。主回路用サイリスタは,全波制御単変換方式で容量は,2,500 kW (625 kW 4組)で4組が2直列・2並列に組み合わせられ,おのおの位相をずらして制御することにより力率が改善される。整流器用変圧器は2台で,一次側 Δ 結線,二次側は $\Delta \cdot Y$ 結線,各2組で12相効果をあげている。高速度遮断器は,主回路に1台設けられている。界磁回路は全波制御逆並列方式で,容量はインバータ・コンバータとも700 kWから成っている。界磁逆転時,界磁が極性を変えるまでに0.1秒~0.2秒のむだ時間を有するが,これが実用上問題とならない熱間可逆圧延機などの主ロールにおいては,主回路逆並列方式に比べて大幅な設備の低減となる。

3.2 電源への影響

3.2.1 ピーク負荷低減の方法

ピーク負荷の電源への影響を各電源方式について考えてみると,分塊圧延機に用いられるイルグナ方式ではフライホイールに蓄積された回転エネルギーの放出により275%のピーク負荷でも120%程度におさえることができる。しかし同期電動機駆動のM-G方式および静止レオナード方式ではピーク負荷はそのまま電源へ伝達される。

従来ピーク負荷のおもな発生源である分塊圧延機においてはインゴット寸法の制限から一設備当たりの総出力の増加傾向は比較的ゆるやかであるのに対し,ホットおよびコールドストリップミルの一設備当たりの総出力の増加傾向は生産性向上の要請からはなほだしいものがある。たとえば前述のホットストリップミルでは定常負荷70 MW ピーク負荷170 MWに及んでいる。しかも現在ではイルグナ方式の採用は平均負荷に対するピーク負荷の割合の大きい分塊圧延機およびホットミルの粗スタンド用にかぎられている。このことはピーク負荷を供給する電力系統にとって電圧変動と電力潮流の二つの問題が生ずる。

電圧降下値をある制限値以内に押えるため変圧器二次側にコンデンサを接続し二次電圧を上げる方式がとられている。ただしこの方式は電圧変動範囲の絶対値が変わらないため軽負荷時に二次電圧が定格電圧よりも高くなることがあるので,その上昇分およびベース負荷を十分算定し必要ならば軽負荷時コンデンサを切り放すなどの操作を必要とする。

バックパワーの小さい電力系統ではピーク負荷時の電力潮流が大きな問題となり設備容量の増大が必要となる。ピーク負荷低減法としては大容量バッテリーを設置して電氣的にエネルギーを蓄積する方法があるが,これを製鉄所内に設けることはその管理,運用上いろいろな支障が生ずるため実現困難であり,系統内の一設備として設ける方式が1~2検討対象となってきた。

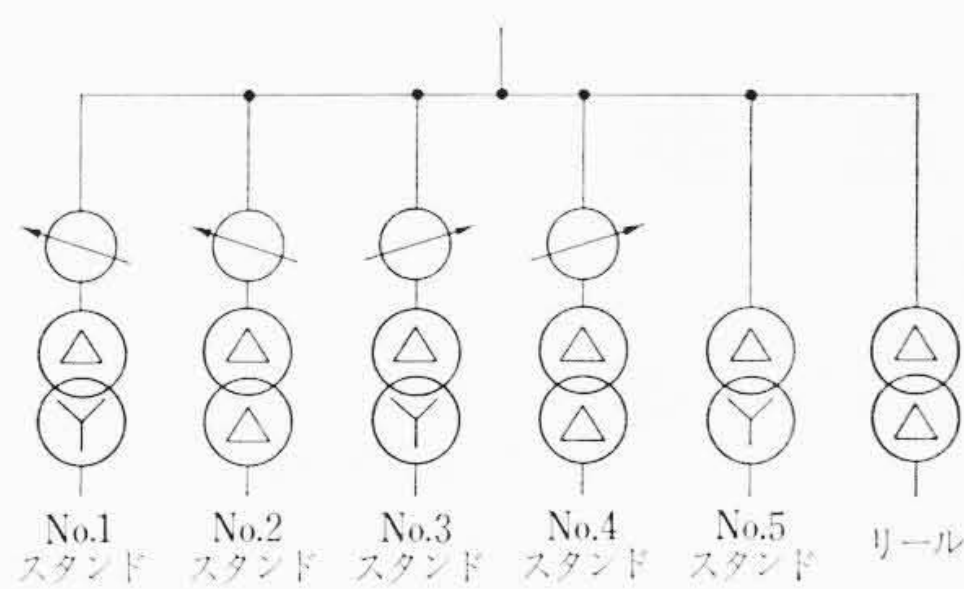


図6 等価36相整流

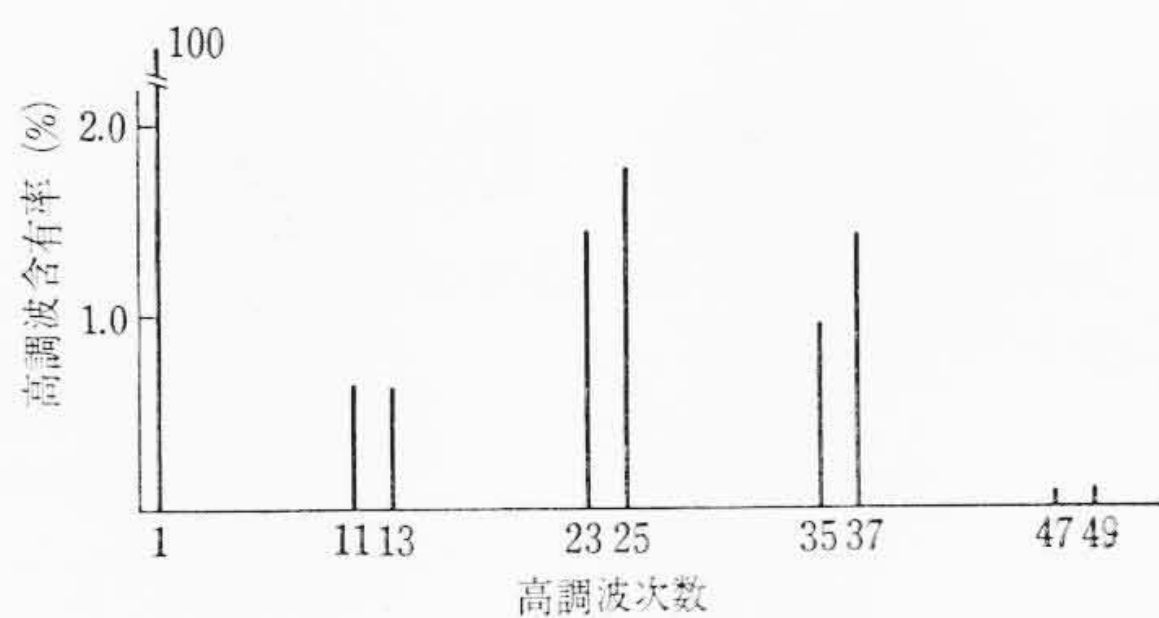


図7 各調波含有率

図7はホットストリップミル、コールドタンデムミルを同時に運転し、それぞれのピーク負荷が109 MW、36 MWの場合の高調波含有率をシュミレーションにより求めた結果の一例である。

3.3 設備、環境に対する考慮

3.3.1 機械まわりの環境対策

圧延機では多量の冷却水、冷却油を用いるため機側に設置される電気品ではこれらの飛沫（ひまつ）がかかることに十分考慮しなければならない。特にホットランテーブル電動機、リミットスイッチなどには必要に応じ十分防水耐油形のものをを用いる必要がある。

ステンレス鋼などでは引火点の低い油を用いる傾向があり、ミルヤードにある開閉器については防火上の考慮を払う必要が出てきた。回転機ではユニットクール方式からアップドラフト方式へ、操作盤についても空気押込みなどの考慮が必要である。

3.3.2 工場まわりの環境対策

工場地域における大気汚染度は近年ますます悪化しており、電気品に悪影響を及ぼす硫化水素(H_2S)、アンモニアガス(NH_3)、亜硫酸ガス(SO_2)、塩素ガス(Cl_2)の量も電気室内で1 ppmを越える場合もみうけられる。有害ガス量については法令上の規制もあるが、電気品側としても対策を立てる必要がある。

発生した有害ガスの除去法としては

- (i) 有害ガス発生点から大気中に放散しないようにする。
- (ii) 電気品冷却空気吸込口において有害ガスを吸収する。
- (iii) 機器、配線単品ごとに耐ガス対策を施す。

の3方式があるが現状では主として(iii)の方式が用いられており、機器、配線表面のコーティングまたは塗装、線径を太くする。密閉または循環通風方式を採用するなどの対策がとられている。しかし単品の対策はおのずから限度があり、将来は(ii)、(i)の方式で十分な除去を行なうべきであろう。(ii)の方式の場合、現在では水による吸着が最も経済的である。

3.3.3 保守保安

保安人員の節減は設備計画のうえでますます重要な項目になりつつある。これを実現するために次のような具体策がとられる。

- (i) メンテナンスフリー化
- (ii) 日常整備点検の簡易化
- (iii) 修繕または部品更新の簡易化

メンテナンスフリー化としては機器、部品の安全係数を大きくとり信頼性をあげる、消耗品の寿命を延ばすこと、予防対策を講ずること、保護協調をとることにより達せられる。

日常整備点検の簡易化としては点検窓、ドアを十分な大きさとする。点検スペースを十分な広さとする。現状は握のための指示計、検出器を設ける、接続図を見やすく、便利なものとするなどが考えられる。

修繕または部品更新の簡易化としては部品の統一、調整代の用意、交換作業の簡易化、万一事故が生じた場合の非常運転を可能とする。などの配慮が必要である。

4. 結 言

設備調整の制御が緩和された昭和42～43年はいわゆる圧延機設備計画のブームをきたし、その間既述のような著しい技術的進歩がなされた。それらの製作にあたり使用者として種々のご指示とご協力をいただいた関係会社のかたがたに厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) 岩城、宅間、上田：日立評論 48, 1212 (昭41-10)

3.2.2 力率改善方法

サイリスタ負荷が多い場合には格子制御を行なうためどうしても力率が悪化するので、設備全体としてなんらかの力率改善策を必要とする。おもな方法としては

- (1) サンドイッチ接続による力率改善制御による方法
- (2) 進相コンデンサによる方法
- (3) 同期電動機による無効電力制御による方法
- (4) タップ変圧器による方法

などがあるが、すでにこれらは各方面で応用されているので詳細は割愛する。

3.2.3 電源波形改善方法

サイリスタ方式の場合その特性上負荷電流には高調波成分が含まれることになり、その含有率が大きいと系統につながれている各機器の温度上昇あるいは寿命短縮などの弊害が生ずるのでなんらかの改善策が必要となる。

- (1) 整流器の動作相数を増す方法

高調波電流は次式で示される次数および最大値となる。

$$\begin{aligned} \text{次 数} & n = kP \pm 1 \\ \text{第 } n \text{ 次調波電流最大値} & I_n = I_1 / n \end{aligned}$$

ここで、 P ：整流器相数

I_1 ：基本波電流

k ：正の整数(1, 2, 3, ……)

したがって整流相数の増加により理論上高調波電流はいくらでも減少されるが実用上36相以上では大きな効果は期待できない。また各位相の負荷が完全に平衡しないため五次、七次など低次高調波が比較的大きくでることになる。さらに電源系統のケーブルなどの容量性要素と共振現象を誘発し、ある高調波電流が異常に増加することがある。

動作相数を増すためには3相全相整流で6相とし、図6に示すようにサイリスタ変圧器の Δ/Y , Δ/Δ 結線の組合せにより12相とし、さらに一次側に $+15$ 度または ± 10 度の移相変圧器を設置することにより全体として24相、36相効果を持たせる。

- (2) フィルタ効果を持つ進相コンデンサを設ける方法

力率改善のために設ける進相コンデンサは低次高調波のフィルタとして有効である。

- (3) 高調波フィルタを設ける方法

ある高調波電流を減少するためには高調波フィルタが有効である。しかしその常数選定に当たってはケーブルその他の系統との共振に十分注意し、電源回路シュミレーションなどを行ない決定する必要がある。

- (4) シュミレーション

ある回路条件、負荷条件における高調波含有率を求めることは一般に

- (i) 電源系統が複雑である。
- (ii) 整流現象が複雑である。

ためシュミレーションにより実測する方式が容易、かつ実際的である。