

# 交流巻上機の速度制御 (その 2)

—自動制御方式とその実施例—

## Speed Control of A.C. Winder [II]

横田 馨\* 角田 昌隆\*  
Kaoru Yokota Masataka Kakuta

### 内 容 梗 概

最近、交流巻上機の自動運転が採用される気運に向つてきているが、日立製作所では4〜の低周波を使用した押釦全自動運転によるスキップ巻上機の電気設備をこの程完成した。本設備は低周波による全自動運転としてはわが国初の試みであるが、従来の経験を生かして慎重に計画製作されており、現在すでに好調に営業運転に入っている。本報告はこれを機会に交流巻上機の自動制御方式について説明し、交流巻上機の自動制御の実例について述べたものである。

### [I] 緒 言

近時わが国における巻上機電気設備の発達にはめざましいものがあり、押釦操作による全自動プログラム運転が盛んに採用されるようになってきた。交流巻上機においては誘導電動機固有の速度特性が広範囲の速度制御に適していないため、制御が困難であり直流巻上機に比べてその自動化がやや遅れていたが、わが国においてもここ数年来、交流巻上機による自動運転が実施されるようになってきた。

日立製作所では従来より巻上機の速度制御の研究を重ね種々の方式を実施に移してきたが、今般、常磐炭硯株式会社茨城硯業所神ノ山硯にわが国最初の4〜低周波方式による600 HP スキップ巻上機設備一式を納入したのでここにその電気設備の概要を紹介すると共に交流巻上機自動制御の実施例として北海道炭硯汽船株式会社幌内鉱業所納交流制動機方式および松島炭硯株式会社大島硯業所納15〜低周波方式について述べることにする。

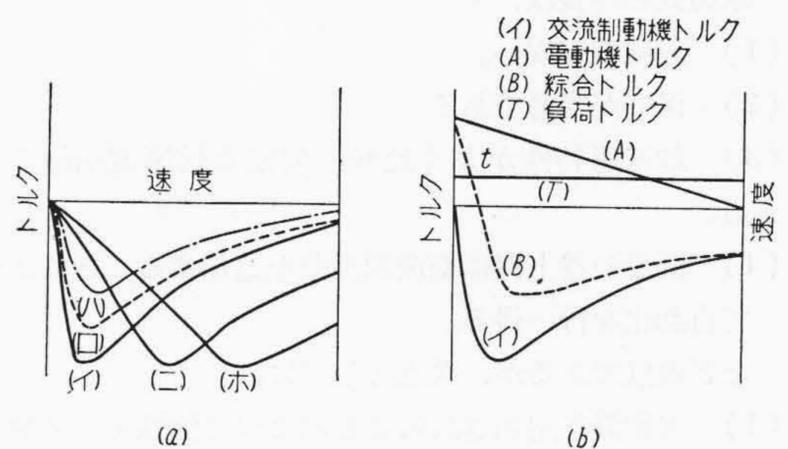
### [II] 交流巻上機の自動制御方式

交流巻上機の利点は製作費が安く保守が容易なことであるが、速度が電源周波数によつてほぼ定まつており、これを二次抵抗で制御すると荷重の大小で速度が変わり、かつ損失が増すという欠点がある。また低速運転における速度変動率が大きいから安定した低速運転を必要とするものや、負荷重で低速運転を必要とするものでは特別の工夫が必要である。

誘導電動機の速度制御の方法を大別すると、

- (1) 誘導電動機のトルク—速度特性を変化させる方法
  - (a) 二次制御
  - (b) 電圧制御
- (2) 誘導電動機の負荷トルクを変化させる方法
  - (a) 制動力制御
- (3) 同期速度を変化させる方法

\* 日立製作所日立工場



第1図 交流制動機制御方式のトルク—速度曲線  
(a) 交流制動機のトルク  
(b) 総合トルク

- (a) 極数変換制御
- (b) 周波数変換制御

となる。巻上機自動制御はこれら諸方式を組合せてそれぞれの要求に応じた速度制御を行うものであるが、その最重点は正確着床のため安定な低速を得ることである。

#### (1) 交流制動機制動方式

従来一般に使用されている交流巻上機の速度制御は二次抵抗制御、機械的制動力制御または両者の併用であり、いずれも運転員の熟練に依存するものであつた。この手動運転における機械的制動力を電磁的制動力に置き替えて電氣的に制御したものが交流制動機制御方式である。交流制動機としては普通の交流発電機を用い、その出力端子に抵抗器を接続して制動力を発生せしめるもので、制動力の制御は界磁電流の変化と負荷抵抗の変化によつて行われる。交流制動機のトルク—速度曲線は第1図(a)に示すごとく、常に負トルクである。負荷抵抗を一定にして励磁電流を小さくするとトルクは曲線(イ)から(ロ)(ハ)と変化し、励磁電流を一定にして負荷抵抗を増すと曲線(イ)から(ニ)(ホ)と変化するが、トルクは常に負であり正トルクは出し得ない。しかし(b)図に示すごとく、誘導電動機のトルク(A)と交流制動機のトルク(イ)とを重畳すると(B)のごとき特性が得られ負荷トル

ク(T)との交点tで運転される。tでは速度変動率が小さいから十分安定な低速を得ることができる。曲線(イ)を変化させればt点の速度制御が可能であり、また負荷トルクが正でも負でも運転可能である。

誘導電動機の加速は限流継電器または限時継電器を使用した二次抵抗制御を行うのが普通であり、電動機負荷の変化が大きい場合には加速度が変化することになるが交流制動機の制動トルクを重畳すれば非常に安定した加速特性を得ることができる。また減速の場合は適当な電動機トルクと交流制動機トルクとを重畳し、交流制動機の励磁電流と負荷抵抗を適当に加減すれば安定な減速特性を得ることができる。

本方式の特長は、

- (1) 設備費が安い。
- (2) 保守が容易である。
- (3) 加減速特性がよく比較的安定な低速度が得られる。
- (4) 既設の巻上機に交流制動機を追加することによって自動化を行い得る。

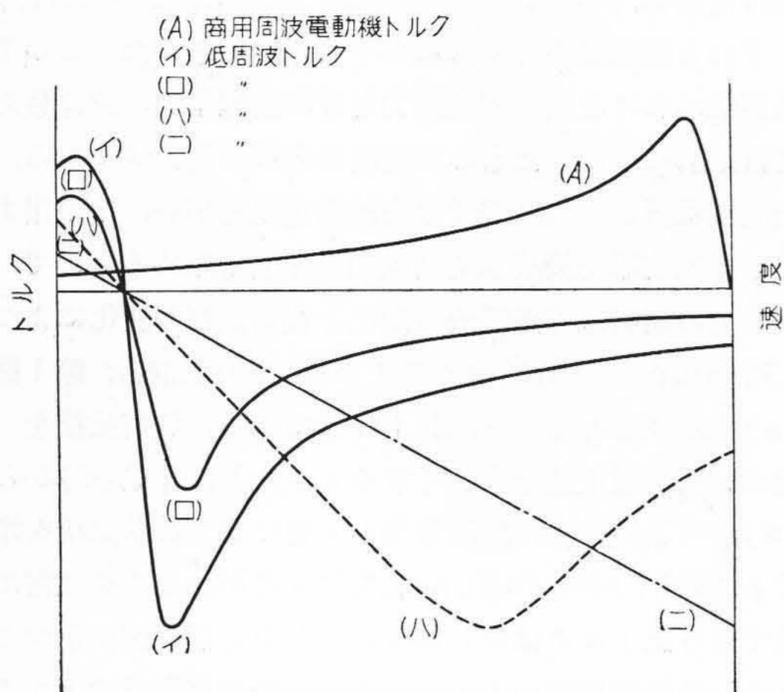
などの点であるが、欠点としては、

- (1) 制動機が追加されることによつて慣性モーメントが大きくなり、したがつて同じ加速度に対して所要トルクが大きくなる。
- (2) 電力消費量がやや大きくなる。

などの点である。

## (2) 低周波制御方式

誘導電動機に低周波電源より電力を供給すれば低速の同期速度が得られ、低速において安定な運転が可能である。低周波を使用した場合のトルク—速度曲線は第2図のごとくなる。誘導電動機の二次抵抗を一定にして電圧を下げるとトルクは曲線(イ)から(ロ)へと変化し、また



第2図 低周波制御方式のトルク—速度曲線

電圧を一定にして誘導電動機の二次抵抗を大きくするとトルクは曲線(イ)から(ハ)(ニ)に変化する。したがつて減速の際速度が下るにしたがつて二次抵抗を減らし、同時に電圧制御を行えば、負トルクの範囲内で任意の減速トルクを得ることができる。低速運転は低周波に対する同期速度附近、すなわち速度変動率の小さい部分を使用して行われるから安定な低速特性が得られる。

本方式の特長は、

- (1) 負トルクでの減速特性がよく、また負荷の変動に対してもつとも安定した低速が得られる。
- (2) 慣性率率が特に大きくなることのない。
- (3) 減速時に回生制動が行われるため、電力消費量が少い。

などであるが、欠点としては、

- (1) 加速制御に低周波を利用できないので、大きな負荷変動に対して加速度を一定に保つためには、さらに特別な装置を必要とする。
- (2) 減速トルクが負でなければ減速のプログラム制御ができない。
- (3) 低周波電源装置を必要とするため、前方式に比して高価である(ただし直流レオナード設備よりは一般に安価である)。などの点である。主電動機の巻線を一種類とした場合には、高低圧混触の危険が予想されるので、アークインターロックによる混触防止を必要とする。主電動機の巻線を二種類にすれば高低圧混触の危険性は皆無となる。この場合、同時に極数変換を行えば低速を $1/10 \sim 1/40$ まで下げることができる。

低周波を得るためには、電動発電機装置を必要とするが発電機の種類に依り、

- (1) 同期型低周波発電機
- (2) 整流子型低周波発電機

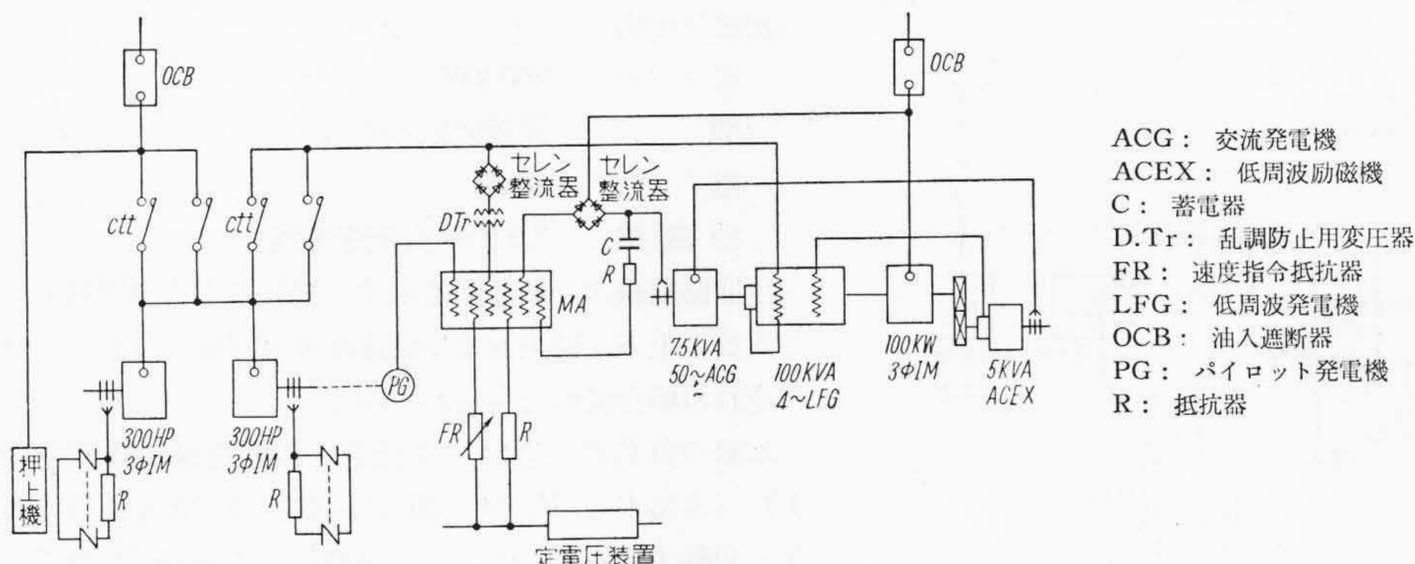
の2種類に大別される。以下低周波発電機について説明する。

### (A) 同期型低周波発電機

この型の低周波発電機は普通の交流発電機を用い低周波に相当する同期速度で駆動するものである。低周波発電機の必要容量は周波数にほぼ比例して小さくなるが、周波数を小さくするために発電機速度を下げなければならないし、また電圧変動率を余り大きくできないので発電機としては二極のものを選ぶのが普通であるが、主電動機とほぼ同じくらいの大きさになる。

同期型低周波発電機の特長としては、

- (1) 普通の交流発電機と同一構造のものであるため、保守が容易である。
- (2) 安全増防爆構造に容易にできる。
- (3) 直流励磁であるため、電圧制御が容易である。
- (4) 普通の交流発電機と同一構造であるため、かなり



第3図 整流子型低周波発電機方式の接続図

大容量のものまで製作可能である。  
 などの点であるが、欠点としては、  
 (1) 経済設計の上で周波数を余り小さくとり得ない。  
 という点である。

(B) 整流子型低周波発電機

第3図に整流子型低周波発電機装置の原理的結線図を示す。

(a) 低周波発電機

誘導機において固定子を周波数  $f$  なる電流で励磁し、回転子を任意の速度で回転せしめて整流するとき得られる電流の周波数は固定子励磁電流と同一周波数  $f$  である。低周波発電機には励磁機容量を小さくするため補償巻線が設けられている。低周波発電機の電圧を左右するものはその励磁電流の大きさだけであり、したがって電圧制御は交流励磁機の実出力電流の制御に帰着する。

(b) 交流励磁機

交流励磁機は一種の周波数変換機で、商用周波を所定の低周波に変換するものである。回転子にスリップリングを通して商用周波  $F$  の電流を流してやり回転子を  $(F \pm f)$  に相当する速度で回転磁界と同一方向に回転せし

めて整流すれば得られる電流の周波数は  $f$  となる。交流励磁機の実出力電流の制御には、商用周波電圧を制御してやればよい。

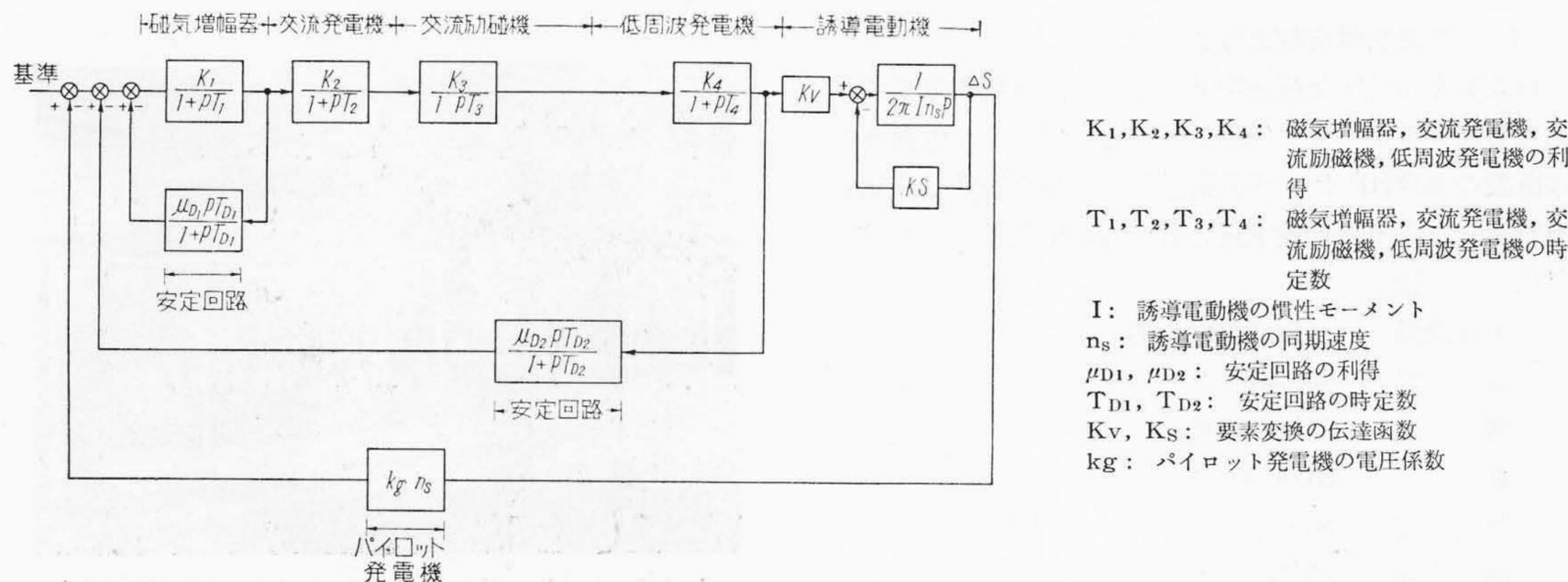
(c) 交流発電機

低周波発電機の実出力電圧の制御を必要としない場合には商用電源を用い変圧器を通して交流励磁機を励磁してやればよいが、電圧制御を必要とする場合、変圧器を用いる方法では制御が難しいので、本電源装置には普通の交流発電機を設けている。すなわち低周波電圧制御は交流発電機の直流励磁の制御によつて行われる。

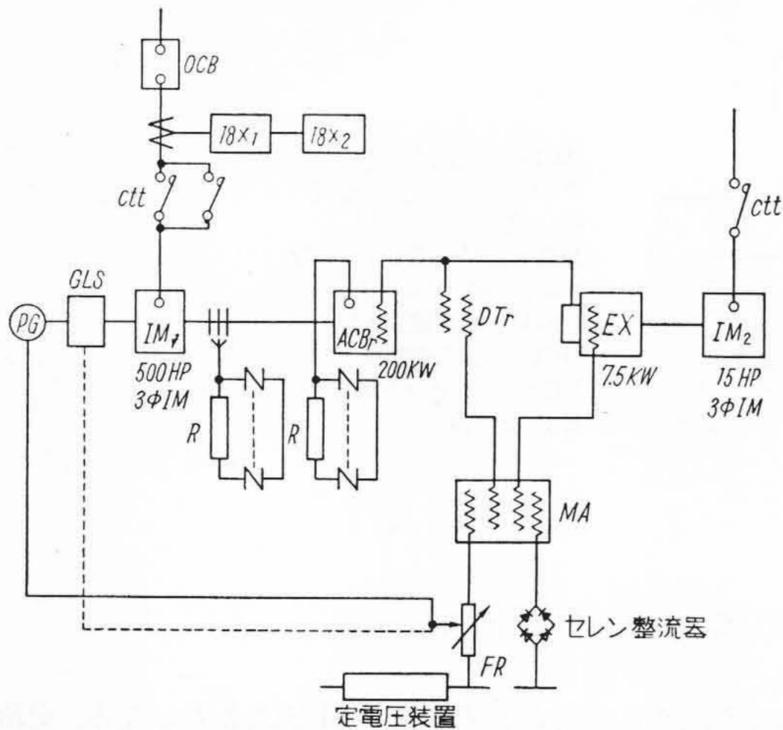
整流子型低周波発電機では、回転速度を任意に選ぶことができるから機械の大きさを小さくすることができるが、整流子を有するため、整流上の点から種々の制約を受ける。すなわち、周波数が高く電圧の大きなものでは整流が苦しくなり、また容量が大きくなるにしたがって製作が困難になる。したがって同期型低周波発電機との使用区分は周波数によつておのずから決ってくる。

(3) 制御回路

以上交流巻上機制御方式の各種について説明したが、



第4図 整流子型低周波発電機制御方式の制御系の伝達函数



IM: 三相誘導電動機  
 ACBr: 交流制動機  
 MA: 磁気増幅器  
 GLS: 歯車式制限開閉器  
 P.G: パイロット発電機  
 EX: 励磁機  
 DTr: ダンピングトランス  
 FR: 速度指令抵抗器  
 18x1, 18x2: 電流制限継電器  
 OCB: 油入遮断器

第 5 図 北海道炭鉱汽船株式会社納 200 kW 交流制動機制御方式の主回路接続図

本項では 4 ～ 低周波制御方式を例にとつて、制御の問題について述べることにする。

巻上機の自動運転は、負荷のいかんにかかわらず所定のプログラムに沿つて運転するのが本来の目的である。4 ～ 低周波制御回路は磁気幅器、低周波発電機、誘導電動機の縦続回路でその数値的計算は困難であるが、アナログコンピュータの使用によつてその特性を求めることができる。

制御系のブロック線図の一例を示せば第 4 図のごとくなる。

### 〔III〕 自動制御交流巻上機の実施例

#### (1) 交流制動機制御方式

日立製作所では北海道炭鉱汽船株式会社幌内鉱業所に納入した 200 kW 交流制動機が本方式である。本巻上機は既設の 500 HP ケーペ手動巻上機に 200 kW 交流制動機を追加して半自動巻上機としたものである。

仕 様

主電動機	三相誘導電動機
出力	500 HP
型式	開放巻線型
電 圧	3,000 V
周 数 波	50 ～
極 数	20 極
回 転 数	300 rpm

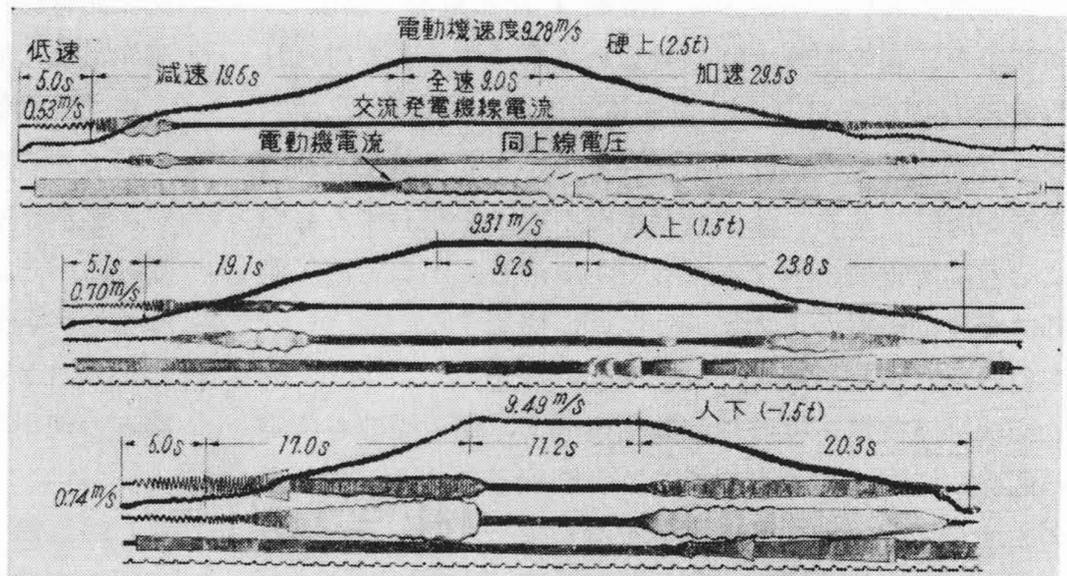
#### 交流制動機

出力	200 kW
型式	開放回転界磁型
極 数	20 極
励磁機	7.5 kW 直流発電機

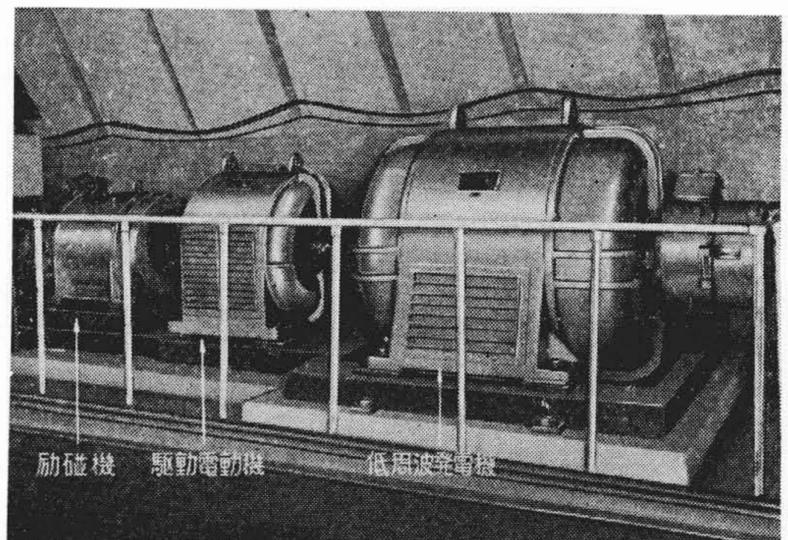
主回路結線図を第 5 図に示す。運転は半自動運転として人員の上下、硬上および低速度堅坑点検が行われ、それぞれの場合異つた負荷がかかる。

本機の負荷の状態は「交流巻上機の世界制御 (その 1)」(本誌月号 P. 23 ～ 26 に掲載)のごとく正負に大きく変動するので、硬、人員巻の信号に関連せしめて、加速時における限流継電器および減速時における電動機トルクを切換えこれにより、所要制動力を小にして交流制動機の容量を小にすることができた。

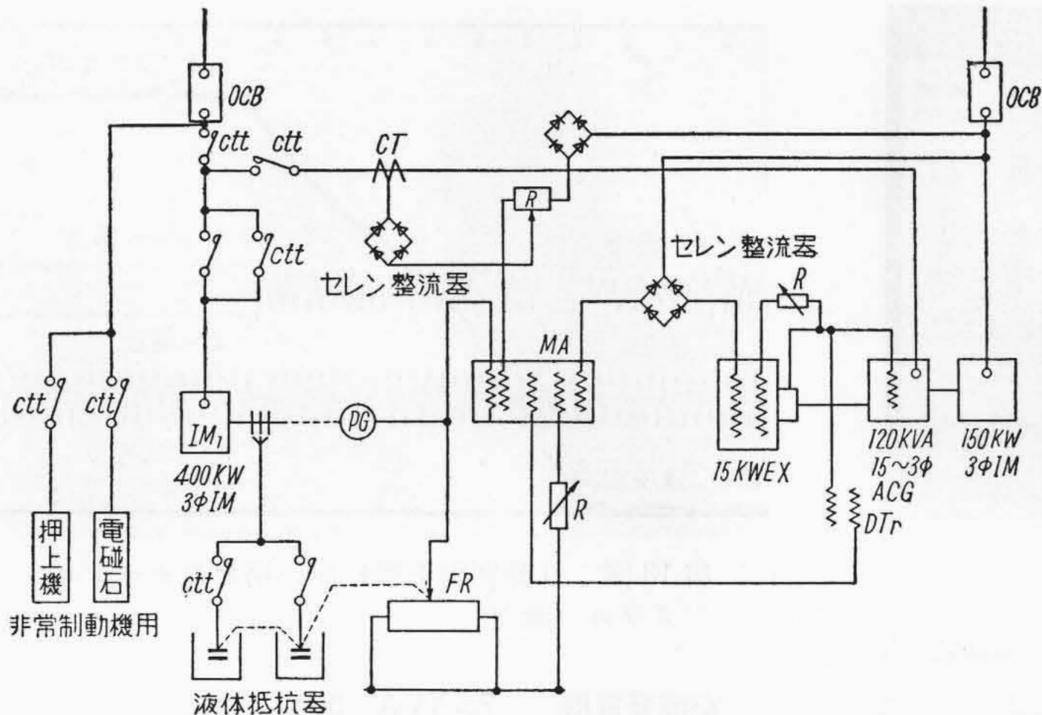
すなわち、巻胴にギヤ掛された歯車式制限開閉器に直結せる速度指令抵抗器による電圧と、パイロット発電機電圧との差電圧により、磁気増幅器を介して制動力が加減される。この時の速度指令は所定の速度—時間曲線を速度—距離曲線としたのみならず、制御系の解析結果より、時間遅れおよび利得の影響を補正するように



第 6 図 負荷時のオシログラム



第 7 図 松島炭鉱株式会社大島鉱業所納 400 kW 巻上機用低周波発電機装置



- ACG : 交流発電機
- ctt : 電磁接触器
- DTr : 乱調防止用変圧機
- EX : 励磁機
- FR : 速度指令抵抗器
- IM : 誘導電動機
- MA : 磁気増幅器
- OCB : 油入遮断器
- PG : パイロット発電機
- R : 抵抗器

第8図 松島炭砒株式会社納15~同期型低周波発電制御方式の主回路接続図

した。その運転結果を第6図に示す。このオシログラムよりわかるように、負荷の変動にかかわらずほぼ一定の加減速度を得、さらに停止前の低速度は 0.74 m/s 以下で手動停止による精密な着床を容易ならしめた。

(2) 同期型低周波発電機制御方式

日立製作所で松島炭砒株式会社大島砒業所に納入した 400 kW 斜坑単胴巻上機が本方式である。

仕 様

- 主電動機 三相誘導電動機
- 出力 400 kW
- 型式 閉鎖防滴安全増防爆型 (巻線型)
- 電圧 3,300 V
- 周波数 60~
- 極数 10 極
- 回転数 720 rpm

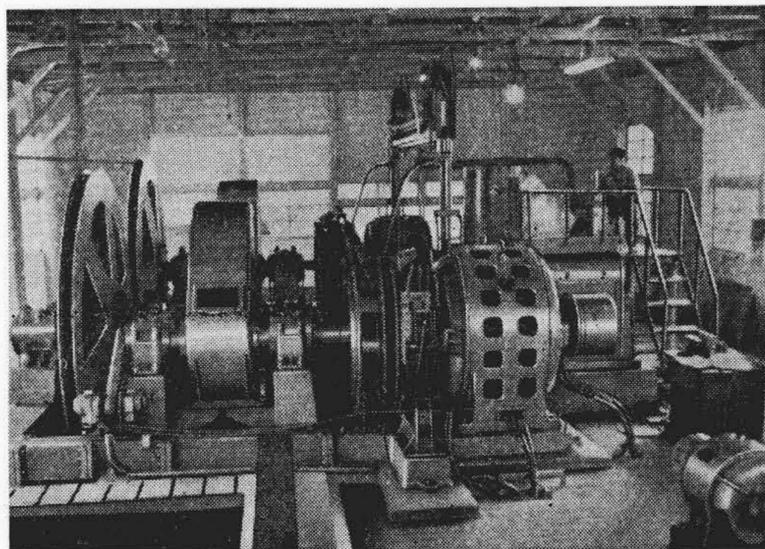
低周波発電機装置

- 出力 120 kVA
- 型式 閉鎖防滴安全増防爆型 (回転界磁型)
- 電圧 1,000 V
- 周波数 15~
- 極数 2 極
- 回転数 900 rpm
- 励磁機 12 kW 直流発電機, 耐圧防爆型
- 駆動電動機 150 kW 三相誘導電動機

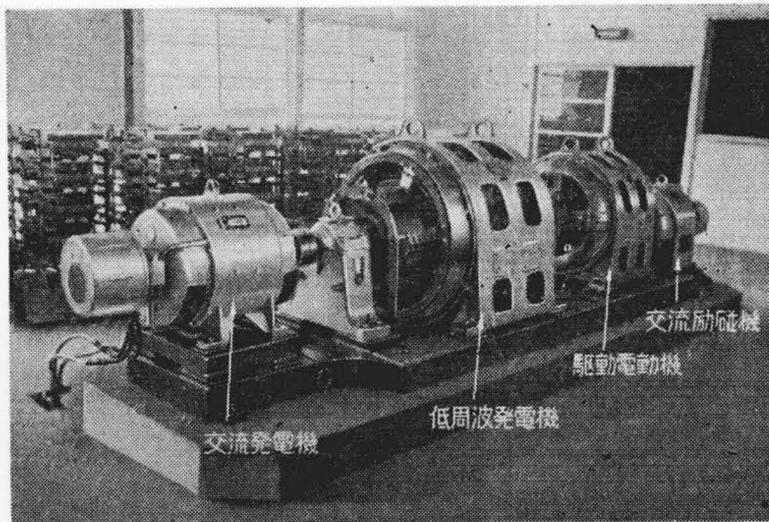
主回路結線図を第8図に示す。本方式は起動後坑道条件の悪い数箇所および停止前の低速を15~の低周波を用いて得ようとするものである。誘導電動機の二次抵抗としては二つの液体抵抗器を用い、そのうちの一つを低速運転に、ほかの一つを加速、全速ならびに減速に使用する。巻上機が減速位置にきた時、抵抗値を増加してある程度減速させ、しかる後低周波電源に切換えると同時に

第1表 巻上機電力比較表

運 転 別	総電力量 (kWH)	返還電力量 (kWH)	差引電力量 (kWH)
60~単独運転	39.36	5.60	33.76
15,60~ 併用 運転自働制御	34.34	6.32	28.02



第9図 常盤炭砒株式会社納 600 HP スキップ巻上機全景



第10図 常盤炭砒株式会社納4~整流子型低周波発電装置



第11図 制御盤全景

二次抵抗も他の一つに切替える。同時に自動制御系を働かせて商用周波より低周波に円滑に移行させようとしたものである。なお商用周波より低周波に切換の際、大きな制動力が働き、速度を急変させる危険性があるので、セレン整流器により低周波電流を検出して、ある一定値以上の低周波電流が流れた場合には、この電流を磁気増幅器に負帰還して低周波電圧を低下せしめ制動力の大きな変化を防止する電流制限を行つている。

本機の実際運転時の電力消費量の比較を第1表に示す。

(3) 整流子型低周波発電機制御方式

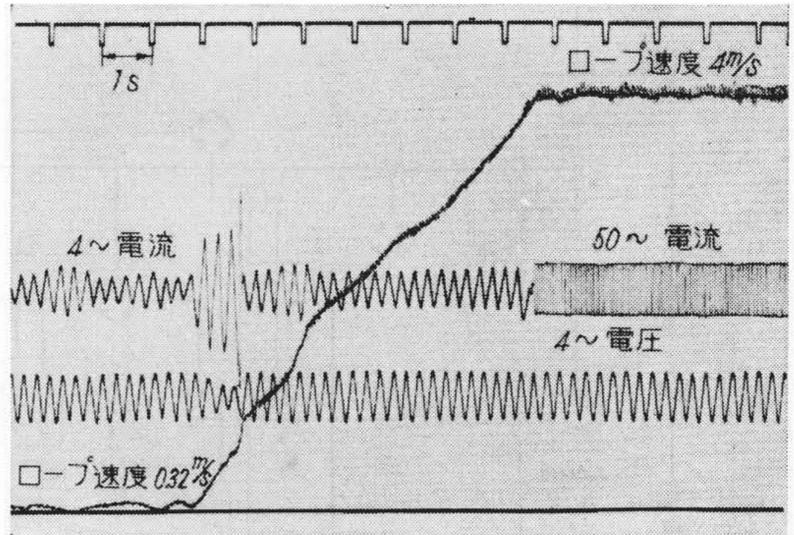
常盤炭硯株式会社茨城硯業所神ノ山硯に納入した 600 HP スキップ巻上機が本方式である。

仕様

主電動機	三相誘導電動機 2台
出力	300 HP
型式	開放巻線型
電圧	3,000 V
周波数	50~
極数	18極
回転数	333 rpm

低周波発電機装置

出力	100 kVA
型式	開放他励整流子型
電圧	300 V
周波数	4~
回転数	1,000 rpm
交流励磁機	5 kVA 50/4~



第13図 自動制御を行わない場合のオシログラム (減速)

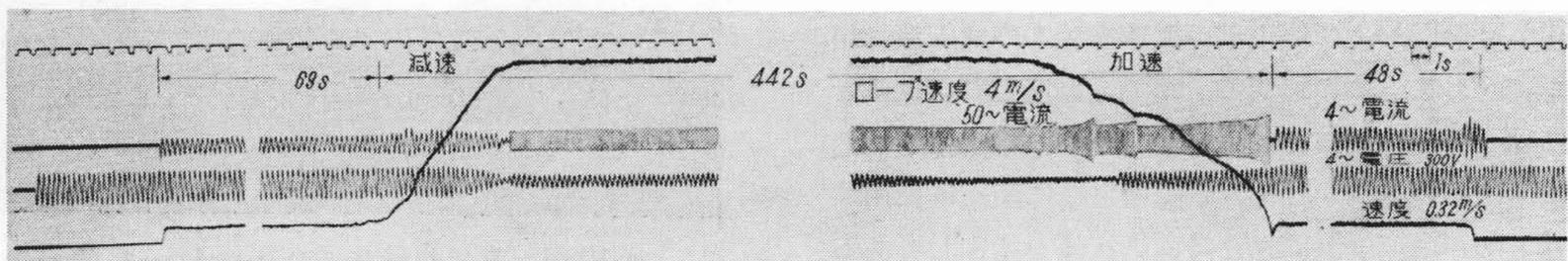
交流発電機 7.5 kVA 50~

駆動電動機 100 kW 三相誘導電動機

本巻上機は押釦による全自動運転を採用した。その主回路接続図は第3図に、また制御盤を第11図に示す。

全速運転より減速開始位置に至れば、歯車式制限開閉器により電動操作式速度指令抵抗が減速曲線を指令する。この指令電圧とパイロット発電機電圧との差電圧により磁気増幅器を介して50~交流発電機→4~励磁機→4~低周波発電機の電圧を変化せしめて制動力を加減すると共に、誘導電動機の二次抵抗を順次切替えて所定の減速曲線を得るものである。第12図は全負荷をかけたときのオシログラムを示す。オシログラムからわかるように減速は、ほぼ所定の減速曲線に沿って減速している。4~速度から50~速度に切替えるとき、ロープ速度が減少するのは切換を確実に動作させるためのアークインターロック回路の時定数の大きさと、負荷との相互関係により生ずるものでこの現象はアークインターロック回路が動作し切換が確実に行われていることを示している。またアークインターロック回路が故障した時は運転ができないようにしてある。

本巻上機は、停止直前に負荷が負に急変するために制動力の遅れにより失速する危険があるので安全確実な着床を得るためにレールに取付けた停止位置指令用トラックスイッチにより機械制動力をかけ、制動力が十分大になつたときはじめて低周波電源を開き、停止させるようにしてある。また制御系が故障した場合にも、ほぼ所定の減速曲線に沿った運転ができるように、50~交流発電



第12図 自動制御を行つた場合のオシログラム

機の励磁電流を適当にすることにより4〜低周波発電機電圧を加減し、かつ誘導電動機の二次抵抗を加減している。この場合のオシログラムを第13図に示す。第12図と比較すると制御系を動作させたとき運転が円滑に行われていることがよくわかる。

以上、自動運転の概略を説明したが、安全確実な運転のためには、手動運転の場合に設けられる安全装置は勿論、さらにつぎの点に慎重な考慮が払われている。

- (1) 減速開始点の確実な動作
- (2) 減速時の確実な減速制御
- (3) 着床前の安定な低速度
- (4) 着床精度をあげるための着床誤差原因の減少

[IV] 結 言

以上で交流巻上機の速度制御の概要を説明し、それぞれの実績について述べたが、交流巻上機の自動運転は最近実施され始め現在進歩の段階にあるものであり、さらに研究を続け一段と簡単確実な方式の完成に努力を続けている次第である。

終りに臨み、種々御協力を賜った松島炭硯株式会社、北海道炭硯汽船株式会社、常盤炭硯株式会社の関係各位ならびに終始御指導をいただいた日立製作所日立工場稲木、高木両部長、泉副部長、田附、松垣両課長、桜井主任に厚く御礼申上げる次第である。



特許第 216577 号

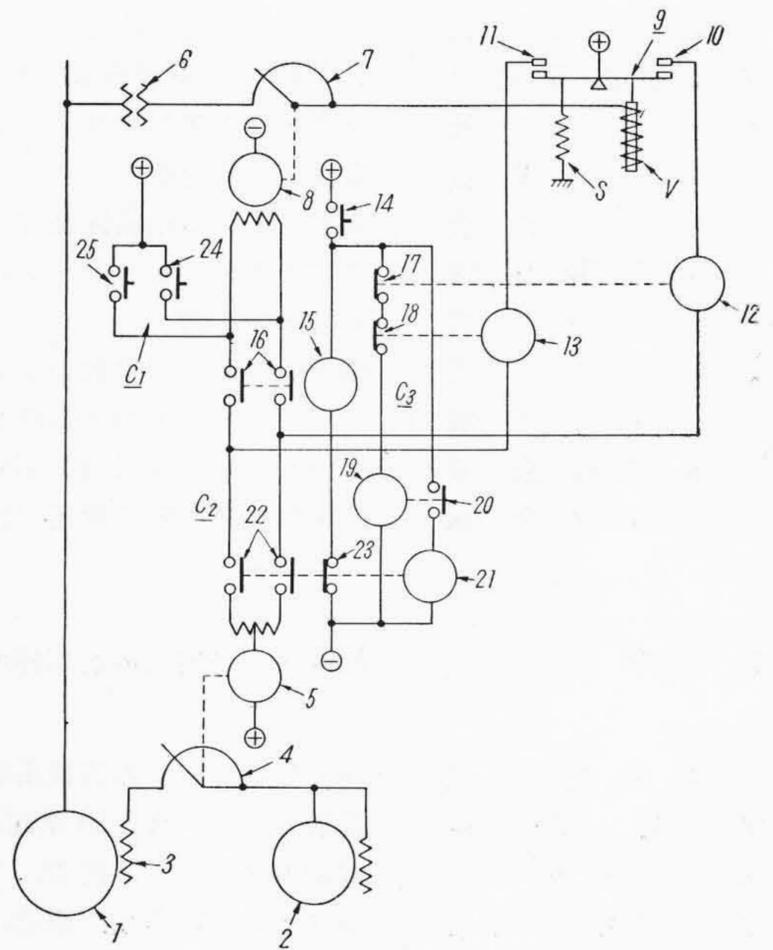
広 吉 秀 高

自 動 調 整 制 御 装 置

同期発電機の界磁自動制御を電圧調整継電器によつて行うにあたり、まず発電機が起動運転しその発生電圧が任意の予定値に達したところで電圧調整継電器を自動界磁調整に参加せしめんとするに際しては、電圧調整継電器の整定値と発電機出力電圧のその時の値との間に大なる差開きがないことが円滑動作上もつとも望まれることであるが、常に必ずしもそうは行かなくて大低の場合は相異し、場合によつてはかなりの相異があつてそのために電圧調整継電器は自己の整定値まで一気に発電機界磁励磁度の制御を強行して乱調の原因となることがある。

本発明はこの点に着目し、発電機起動運転中にこれに電圧調整継電器を参与させて自動電圧調整に入らせるに当つては、初めにまず継電器を制御に入れる動作によつて電圧調整継電器の動作整定と発電機出力電圧のその時の値とを平衡させる手段を発動させ、発電機の電圧がたとえ規準値より相当に偏よつていても電圧調整継電器の動作線輪には整定値近き電圧を参与し、この状態になつたところではじめて電圧調整継電器の動作を発電機界磁の自動制御に及ぼすようにしたことを特長とするものである。このようにすれば予備動作なきまま電圧調整継電器の状態いかんにかかわらず自動調整に突入する従来の方法のように系統に擾乱を生ずる不安を解消することができる。

簡単に動作を説明すると抵抗4を調整する操作電動機5が正逆転動作するためには接触子22が閉成しなければならない、そのためには運転用継電器21が附勢されなければならない、接点20は限時継電器19の動作によつて閉成するが、これは継電器12、13の接点17、18の双方が閉成すること一定時間に及ぶことが条件になる。なおそれには電圧調整継電器9が平衡状態に一定時間立ち直ることを要し、このために始動接点14を閉成するのであ



るが、この結果は点検補正用継電器15により接点16を閉成して制御電動機8を正逆転制御し動作整定抵抗7の整定を自動的に変える。この7に対する自動的変更動作は9の左右接点のいずれもが接触開離するまで行われる。

(宮崎)

日立製作所社員社外寄稿一覧

(昭和32年1月受付分)

寄稿先	題目	執筆者所属	執筆者
火力発電技術協会	過熱蒸気温度の調整法	日立工場	菅原三 次
南江堂	納品事故の管理	日立工場	志田甲子治
火力発電技術協会	ボイラの灰処理設備	日立工場	林安 治
日刊工業新聞社	蒸溜装置	日立工場	高木 収
港湾荷役協会	米国の Material Handling を見て	亀有工場	平栗保 平
日本医学放射線学会	自動平衡型 $\gamma$ 線液面計	多賀工場	鷺見哲 雄
ラジオ技術社	日立テレビ14吋遠距離用卓上型 FMB-490 について	戸塚工場	真利藤 雄
日本労務研究会	経営人事管理の提唱—人事管理の新生のための試論	戸塚工場	溝井正 人
日本金属学会	排気装置	茂原工場	伊知山 昇夫 岩柳 秀
日本金属学会	金属中の酸素の炭素還元定量法	中央研究所	米田 登
電気学会	サーボ掛算器の解析	中央研究所	沼倉俊 郎 三浦武 雄 阿部善 右衛門
日刊工業新聞社	非線型演算器について	中央研究所	三浦武 雄
ラジオ技術社	高周波用トランジスタ	中央研究所	伴野正 美
日本科学技術連盟	Moments of Order Statistic Drawn from Exponential Distribution	中央研究所	島田正 三
電気通信学会	真空管予備量の決定についての一私案	中央研究所	島田正 三
質量分析研究会	日立 RMV-5 型質量分析計の試作	中央研究所	中島康 雄
オーム社	マグネットアンプリファイヤ	中央研究所	嶋井 章
日本分光学会	日立中央研究所	中央研究所	内山三 郎
高分子学会	超音波による結晶性高分子物質の粘弾性研究	中央研究所	前田 庸章
日本学会議	リアクタンミュレータによる原子炉の過渡特性	中央研究所	嶋井 章
日本学会議	対数計数率計	中央研究所	石川 昭
日本学会議	原子炉出力計用対数増幅器	中央研究所	太組健 児
日本学会議	コッククロフト加速器の試作	中央研究所	和島常 隆
日本学会議	中心および二重円周上制御棒の理論	中央研究所	長谷川 和
日本学会議	沸騰水型原子炉の研究(核計算)	中央研究所	寺法昌 一 沢橋川 登 長谷川 和 今井 宗 丸
日本学会議	板状および楕円形制御棒の理論	中央研究所	長谷川 和 寺法昌 一 沢橋川 登
日本学会議	同位元素電磁分離装置用箱型イオンソースの試作	中央研究所	樋本 尚
電気書院	電動力応用便覧「13章建設機械」	本社	井上靖 二次
家庭電気文化会	電動ポンプによる配管, 共同配水などの設計, 施行	本社	黒田尚 次
家庭電気文化会	揚水ポンプの種類, 構造, 特長, 取扱など	本社	黒田尚 次
労働省産業安全研究所	新入者の安全教育について	本社	小野 実
共立出版	電子工学実験に必要な「工作技術」	本社	三木 正 一