

# 電弧炉の自動制御

泉 千吉郎\* 吉岡孝幸\*\*

## Automatic Control of Electric Arc Furnace

By Senkichiro Izumi and Takayuki Yoshioka  
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

The control system for electric arc furnace has been in the trend that the continuous control system using amplifier supersedes gradually the intermittent control system, the so-called on-off system. This is obviously an indication of requirements of the time that is to make the controller quickly response with stability for the intensive and frequent variation of electric arc, and to secure a reliable controlling for a long period.

With such a tendency in view, the writers designed and completed the automatic control system for electric arc furnace in contactless continuous control system which uses particularly sturdy and reliable magnetic amplifier and cage rotor induction motor. And it was verified that the proper selection of constants for controlling circuit and the adoption of special method for hunting prevention successfully resulted for this newly designed controlling equipment in stable, quick responding performance of control. Again, its practical applications proved the performance was quite satisfactory in the whole course of operation from starting to completion of melting process.

### [I] 緒 言

電弧炉の自動調整装置には、水圧ピストンにより電極を動かす機械式<sup>1)</sup>と、操作電動機により電極を動かす電気式<sup>2)</sup>と、両者折衷式<sup>3)</sup>とがあり、それぞれ特長を有しているが、それらの制御方式について見るに、従来の継電器方式による断続制御、所属オンオフ式制御方式より次第に無接点連続制御方式が採用される傾向にある。その理由は継電器方式にあつては頻繁なる接点の開閉により接点損耗による故障が多いに反し無接点連続方式では接点等の故障の機会がないので、長期間信頼して運転出来る特長を有し、しかも制御が迅速安定に行われるためである。

これらの点より、今回筆者等は構造堅固、保守容易にして信頼性大なる磁気増幅器と籠形電動機とを組合せた無接点電弧炉自動制御装置を製作した。第1図(次頁参照)に本制御キュービクルの写真を示す。

電弧炉の自動制御装置に磁気増幅器を応用する事については、新しい試みでもあり、その結果については多くの関心が寄せられていたが、予期通りの好成績を以て組

合せ試験を完了し、その後も引続き良好な運転を続けているので、ここにその概要を紹介し、大方の御比判を仰ぐ次第である。

### [II] 設 備 内 容

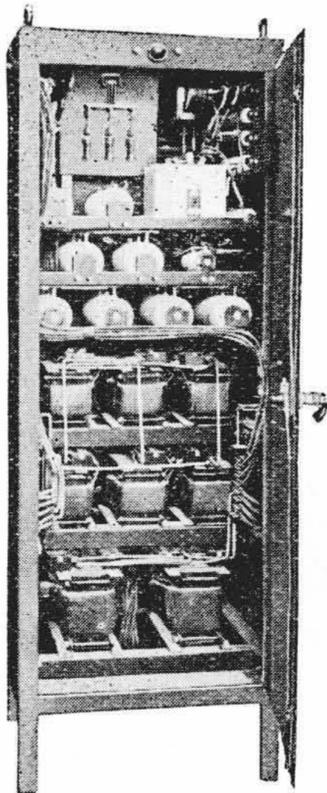
- (1) 電弧炉 100 kVA 日立式揺動炉
- (2) 電弧炉変圧器  
SIB 式 125 kVA 3,000/100 V 50 $\sim$
- (3) 電弧安定用直列リアクトル  
25 kVA, 3,000 V 50 $\sim$  37.9A20%
- (4) 自動調整キュービクル SD型 ACM式  
操作電源 A. C. 200 V 50 $\sim$

### [III] 動 作 原 理

(1) 磁気増幅器  
磁気増幅器自身の構造特性等に関しては、これ迄多くの文献(4)~(5)に発表されているので、ここではその詳細な説明は省略する。

本装置に使用した磁気増幅器の概略について述べると第2図(次頁参照)に示す如く制御線輪としては電流線輪、電圧線輪、饋還線輪等を備え、それらの線輪の生ず

\* \*\* 日立製作所日立工場



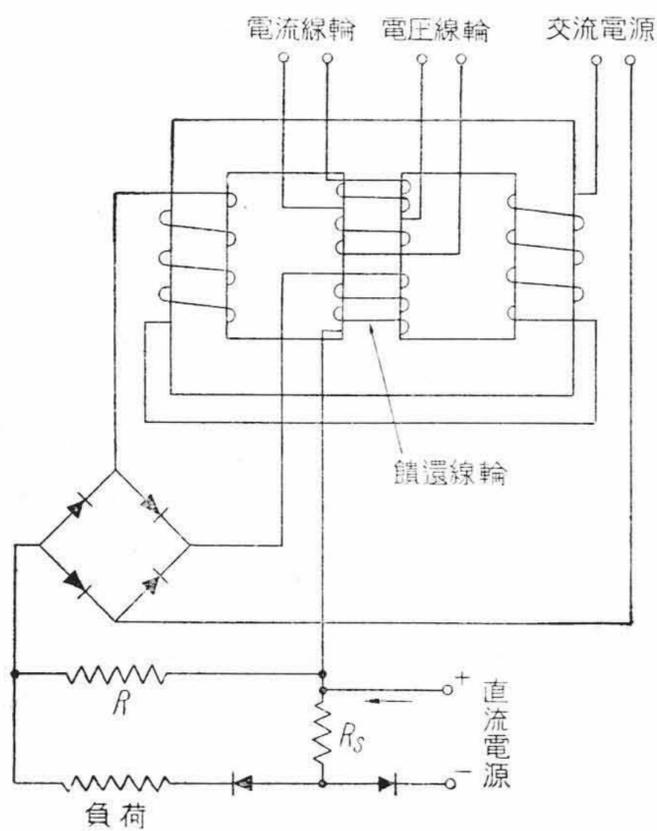
第 1 図  
電弧炉自動制御キュービクル  
内部図

Fig. 1.  
Inner View of Automatic  
Controlling Cubicle for  
Electric Arc Furnace

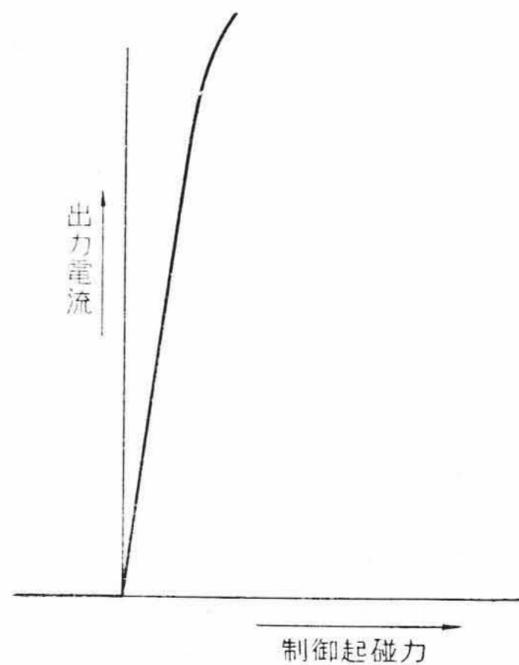
る起磁力の差によつて磁気増幅器は動作するようになつてゐる。且、負荷回路は特性改善接続を行つて、第 3 図に示す如き理想的増幅特性を得ている(6)~(7)。

(2) 可飽和リアクトルによる三相籠型誘導電動機の  
順逆転制御

鉄心リアクトルに直流磁束を重畳せる事により、そのインピーダンスが広範囲に変化する事は古くから知られてゐるが、これを利用して三相誘導電動機の順逆転制御

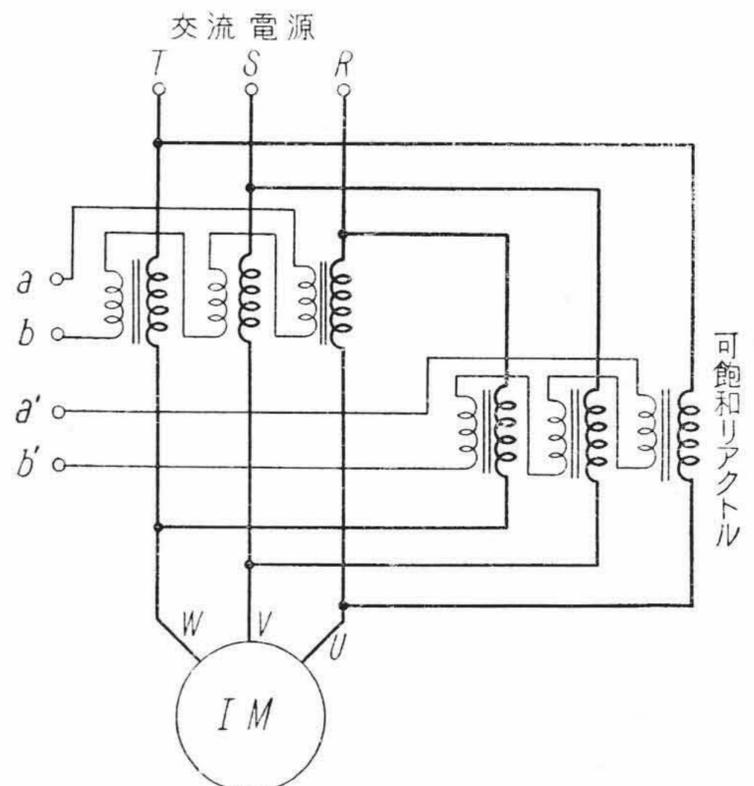


第 2 図 磁気増幅器、特性改善の原理図  
Fig. 2. Connection Diagram Showing Principle of Magnetic Amplifier Having Improved Characteristic

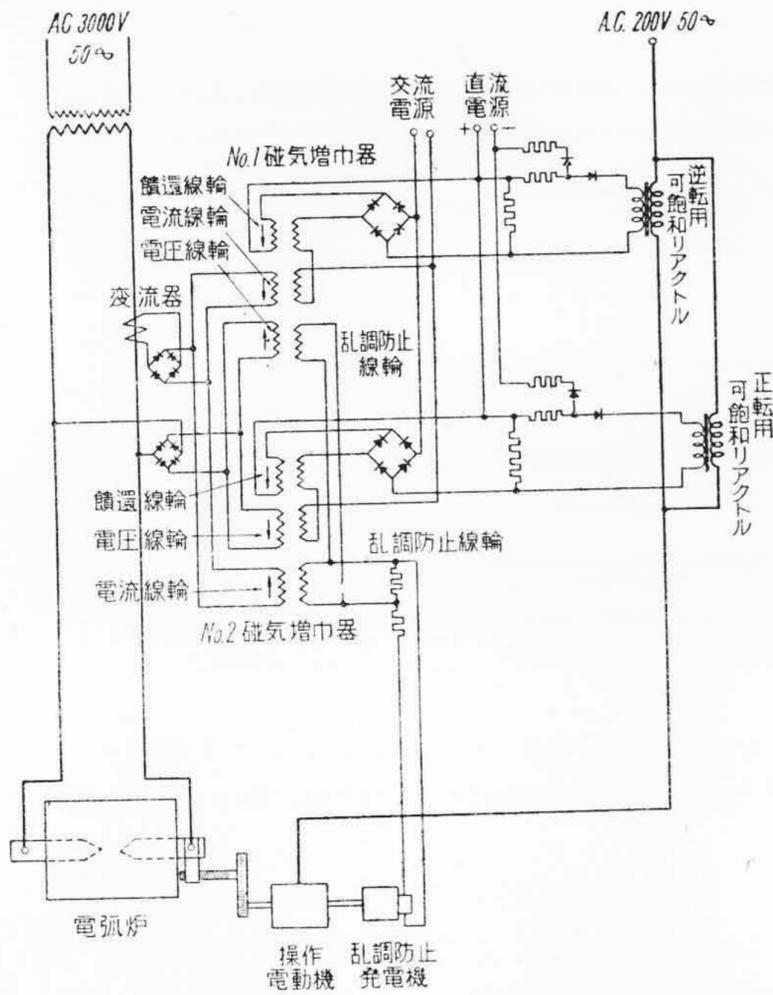


第 3 図 改善された磁気増幅器の特性  
Fig. 3. Improved Characteristic Curve of  
Magnetic Amplifier

を行うことが出来る。即ち、可飽和リアクトルを第 4 図の如く接続する。今端子  $ab$  に直流電源を接ぎ、3 箇の正相側可飽和リアクトルを直流励磁すると、そのインピーダンスは著しく低下し、あたかも電動機端子  $UVW$  を電源  $RST$  にそれぞれ直接接続した如き状態となり、誘導電動機は正転する。又逆に端子  $a'b'$  に直流電源を接続し 3 箇の逆相側可飽和リアクトルを励磁すると、前述



第 4 図 可飽和リアクトルによる三相誘導電動機の  
順逆転制御原理接続図  
Fig. 4. Connection Diagram Showing Principle of Reversible Control of Three Phase Induction Motor by Saturable Reactors



第 5 図 磁気増幅器を応用した電弧炉自動制御装置原理接続図

Fig. 5. Connection Diagram Showing Principle of Automatic Control for Electric Arc Furnace by Magnetic Amplifiers

と同様の原理によつて電動機端子 UVW は電源 TSR にそれぞれ接続され誘導電動機は逆転する。もし、両方の可飽和リアクトルを直流励磁しない場合は、それらのインピーダンスは非常に高い値となり、誘導電動機は電源より切離されたと同様となつて停止する。

この直流励磁を磁気増幅器で行えば、無接点で誘導電動機の順逆転制御を行わせる事が出来る。

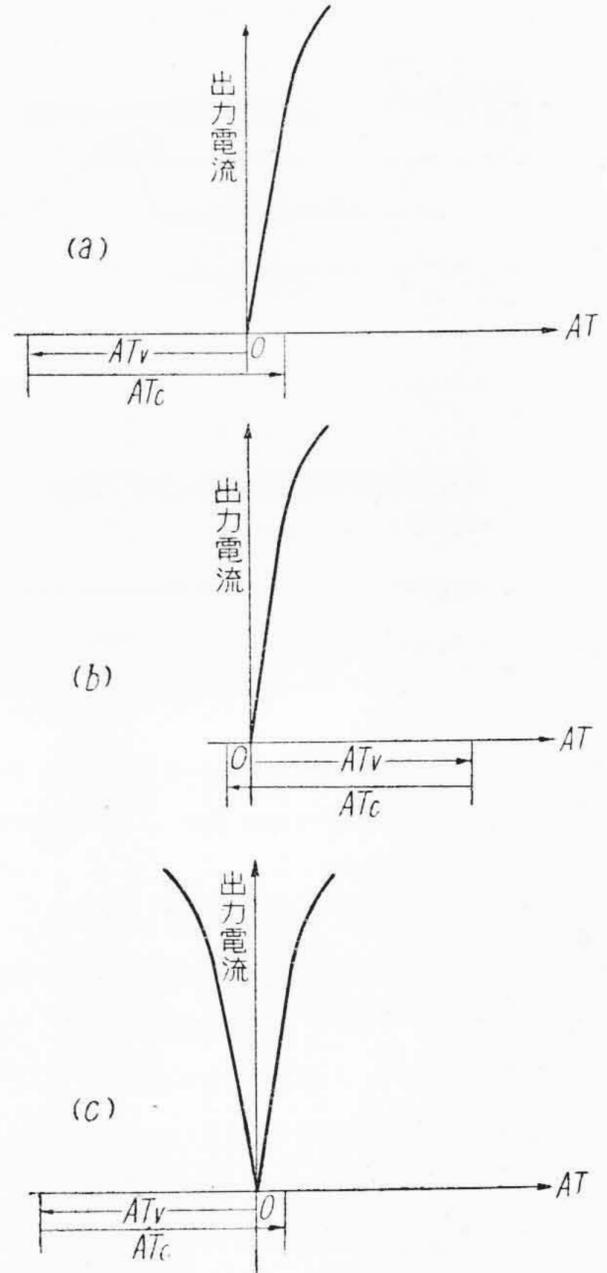
(3) 制御回路及び制御動作

磁気増幅器を用いた電弧炉自動制御装置の一例として本装置の原理接続図を第 5 図に示し、以下本図について順を追つて説明する。

図に示す如く電弧電流、電弧電圧を検出し、これらを金属整流器で整流して、前述せる如き特性改善接続を行つた No.1, No.2 2 台の磁気増幅器の電流線輪、電圧線輪にそれぞれ差動的に加える。それらの磁気増幅器はプッシュプルとして用いてあり、従つて、加えられる起磁力の方向も第 6 図(a) (b) (c) に示す如く、互に逆方向になるように接続してある。

従つて、電流線輪により生ずる起磁力を  $AT_c$

電圧線輪により生ずる起磁力を  $AT_v$  とすると



第 6 図 電流線輪と電圧線輪の起磁力の相対関係 (a) No.1 磁気増幅器 (b) No.2 磁気増幅器 (c) 合成

Fig. 6. Characteristics (a) of No.1., (b) of No.2 Amplifiers and (c) of These Combined

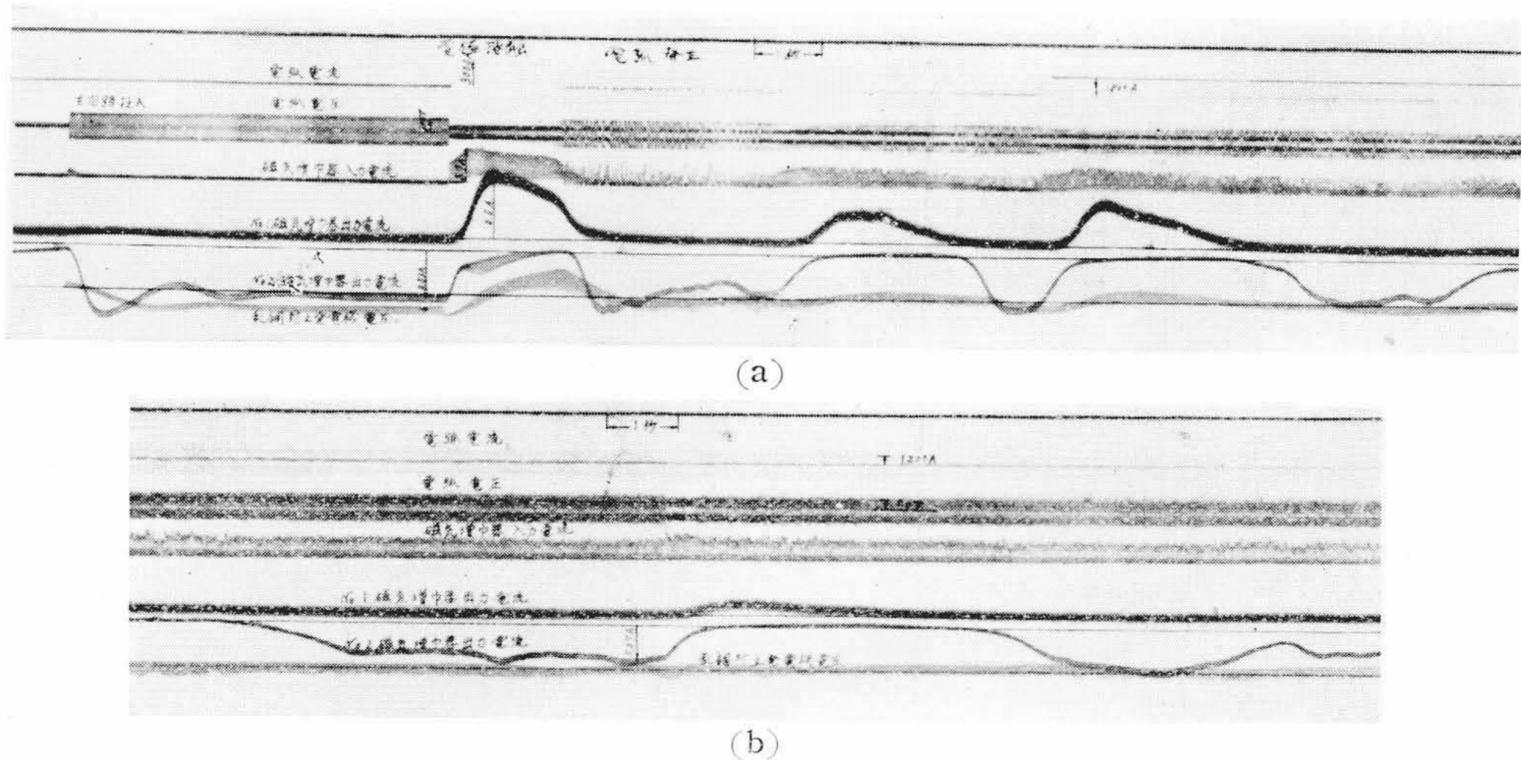
$$AT_c \geq AT_v$$

によつて、No. 1 磁気増幅器が出力電流を流すか、No. 1 No.2 磁気増幅器共出力電流を流さないか、或は No. 2 磁気増幅器のみが出力電流を流すかが定まる。

これらの磁気増幅器出力電流により可飽和リアクトルは励磁され、前節で述べた原理によつて操作電動機は順逆転して電極を自動的に調整する。

今主回路を開路した状態では、電極間には電圧無く電流も流れていない。従つて、磁気増幅器の電圧線輪、電流線輪のいずれにも電流は流れていないので、No. 1, No.2 磁気増幅器のいずれにも出力電流は流れない。故にそれ等の磁気増幅器で励磁される正転用逆転用可飽和リアクトルはいずれも直流励磁を受けないので、そのインピーダンスは高く、操作電動機は停止している。

次に、主回路を投入すれば、電極間に電圧が加えられ



第 7 図 自動制御装置によつて点弧を行つた場合のオシログラム(a)及び運転中のオシログラム(b)  
 Fig. 7. Oscillograms for Arc Furnace Started by this Automatic Control Set (a) and Running (b)

るが、まだ電弧は発生せず、電弧電流も流れない。従つて磁気増幅器に加えられる起磁力は電圧線輪の生ずる起磁力のみであるので、No.1 磁気増幅器に対して第 6 図(a)の特性曲線に示す如く逆方向の起磁力であるので、No.1 磁気増幅器は出力電流を流さないが、No.2 磁気増幅器に対しては同図(b)の如く正方向起磁力となるので、No.2 磁気増幅器は急速に出力電流を流し、それに接続された正転用可飽和リアクトルを励磁して、操作電動機を正転させ電極を近づける。電極が接触すれば大なる短絡電流が流れるので、磁気増幅器の電流線輪は励磁され、No.2 磁気増幅器の出力電流は急速に消滅し、No.1 磁気増幅器は急速に出力電流を流し、操作電動機を逆転させて電極を引離し、電弧が発生する。そして電流線輪の生ずる起磁力と電圧線輪の生ずる起磁力とが平衡した点で操作電動機は停止し、運転が続けられる。

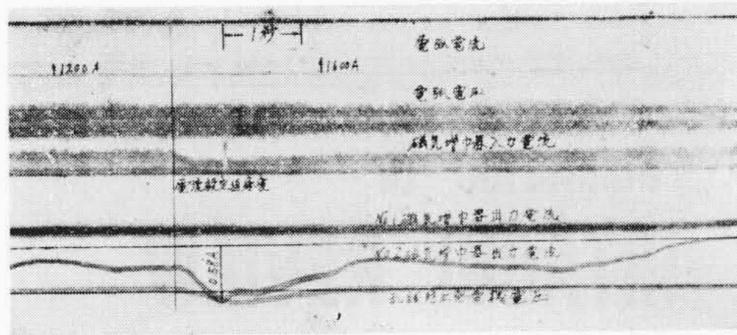
即ち、電弧電流が設定値より増加すると、電流線輪の生ずる起磁力が増し、No.1 磁気増幅器が出力電流を流し、操作電動機を逆転させて電極を引離し、電流を設定値に引戻す。逆に電弧電流が減少すれば No.2 磁気増幅器が出力電流を流して操作電動機を正転させて電極を近づけ、電流を設定値迄戻す。かくして常に自動的に電流を設定値に保持しつゝ運転が行われる。

かくの如く、電弧炉の運転者は操作回路のスイッチを入れ、主回路を投入するのみで、自動的に点弧が行われしかも電流を一定に保持しつゝ溶解が行われるのである。第 7 図(a)に本装置によつて点弧を行つた場合のオシログラムを、第 7 図(b)に回転中のオシログラムを示す。

#### (4) 乱調防止原理

このような閉回路を有する自動制御に於て考慮しなければならない事は、この制御回路中の時間遅れ、操作電動機の回転部分の慣性及びその他の原因に基く動作の行き過ぎ即ち所謂乱調の問題である。特に本装置では増幅器として磁気増幅器を、操作電動機に三相籠型誘導電動機を使用している所以、それらの特性を考慮しないで、従来用いられていたような乱調防止装置、即ち操作電動機に速度発電機を附し、その出力電圧を増幅器に饋還する如き方法のみによつては乱調を完全に防止する事が出来ない。

何となれば、今電弧電流が設定値より  $\Delta I$  だけ急変した状態について考えると、そのインパルスは磁気増幅器で増幅されて可飽和リアクトルを励磁し、操作電動機を加速し始める。誘導電動機はその特性上回転を初めれば同期速度迄昇速しようとして加速を続ける。一方操作電動機が回転を初めれば、その速度発電機から磁気増幅器へ饋還が与えられる。その饋還電流は磁気増幅器可飽和リアクトルを経て操作電動機を速度を電弧電流の変化量  $\Delta I$  に比例した速度に下げようとする。所が、磁気増幅器、可飽和リアクトル等は或る程度の時間遅れを持つているので、急速なる制御を行わんとして操作電動機の加速度を高めると、上記の動作中、速度発電機からの饋還電流が磁気増幅器、可飽和リアクトルを経て操作電動機を速度を  $\Delta I$  に比例した速度に保たんとする前に、操作電動機は加速を続けているのでついには同期速度迄達して、電極を極端に早く動かし、次の瞬間には所定値よりはるかに行き過ぎ、今度は操作電動機は逆転して又前述せると同じ動作を繰返し、乱調を防止する初期の目的を達する事が出来なくなる。



第 8 図 電流設定値を急変した場合のオシログラム  
Fig. 8. Oscillogram for Current Setting Charged Quickly

本装置ではかゝる欠点を除去するために、第 7 図に示す如く、操作電動機に直結した乱調防止発電機の出力回路を低抵抗で短絡し、その発電制動作用によつて操作電動機に直接制動力を与えて乱調防止を行うと共に、さらに制御特性を良好ならしめるためにこの発電機の出力電圧の一部分を磁気増幅器に饋還している。即ち、発電制動力は速度に比例した制動回転力を発生する。従つて前述の如き場合、発電機から饋還される電流が磁気増幅器可飽和リアクトルを経て操作電動機を速度を電弧電流の変化量  $\Delta I$  に比例した速度に保たんとする前にその操作電動機が加速を続ける事をこの制動力によつて阻止するので、必要以上の過速度に陥る事を防止出来、前述せる如き欠点は完全に除去される。即ち、今電弧電流の変動があつたとすると、磁気増幅器はそれに比例した出力電流を発生し、操作電動機もそれに比例した回転力を発生し、乱調防止発電機の制動回転力と平衡する迄加速を続ける。それと同時に電極は動かされ、電弧電流は設定値に近づいて来る。それによつて磁気増幅器の入力は減少し。それと同時に操作電動機は乱調防止発電機の制動力と、磁気増幅器に饋還される饋還電流の減速効果と相俟つて急速に減速し、丁度電弧電流が所定値に達した時操作電動機は停止する。かくの如くにして(8)急速なる制御を行つた場合でも完全に乱調を防止する事が出来た。(9)

本制御装置の制御特性を示す一例として、電流設定値を急変してこの制御系に単位函数的擾乱を与えた場合の制御過程を第 8 図のオシログラムに示す。このオシログラムより明らかな如く、完全なる臨界制動の状態にある

事が判る。

#### [IV] 結 言

従来電弧炉の如く急速なる変化に應動する事を要する自動制御に磁気増幅器を用いた例は無かつた。その原因としては、制御されるもの即ち被制御系に対して、適切な磁気増幅器が用いられず、且、その乱調防止に適切な方法がなかつたためと考えられる。今回これらの点を十分考慮し、被制御系に最も適するように磁気増幅器の諸定数を選び、又制御回路やその乱調防止に対しても前述の如き有効適切なる方法を採用した結果、構造堅固にして信頼性に富む磁気増幅器と籠形誘導電動機による無接点連続制御方式の電弧炉自動制御装置を完成し、安定にして速応性に富む制御が行われることが確認された。運転実績によれば、起動時より溶解の終了まで全期間を完全に自動運転を行つて、極めて好成績である。又かゝる新しい試みで好結果を得た事は、全く自動制御系への解析技術の発達に負うものであることを附記する。

終りに本装置の製作に当り御指導、御協力を賜つた日立工場中野検査課長、上野制御器製作課長、山本主任、桜井主任、村田主任、大坪主任並びに関係各位に対して厚く御礼申上げる。

#### 参 考 文 献

- (1) 川崎：電弧炉に就いて、電気工学 27 91 (昭13—3)
- (2) 電気工学ハンドブック P. 917
- (3) 電気工学ハンドブック P. 917
- (4) 例えば、出川、山本：磁気増幅器 電通学誌 (昭 25—8)
- (5) F.N. McClure: Magnetic Amplifiers in Industry Westinghouse Engineer 10 201 (1950)
- (6) 泉、藤木：磁気増幅器を応用せる過電流制限装置について 日立評論 Vol. 34, 473 (昭27—3)
- (7) 泉、藤木：昭和 26 年電気工学会東京支部連合大会予稿 (P 4.42)
- (8) 吉岡：特許出願中
- (9) 泉、吉岡：昭和 27 年 電気三学会東京支部連合大会予稿 (P 4.52)





## Subscribe to THE HITACHI REVIEW English Edition

One of the most reasonable ways to solve the serious and numerous problems that confront engineers everyday is to exchange their data and views with the researchers of the world. The Hitachi Review is planned and published to this end. The first number of the same was issued last January, and the second one is expected to be brought out at the end of July. The following are the contents of the latter.

- 26, 500 kW Francis Turbines and 28, 500 kVA Generators for Tien Leng Power Station of the Formosa Electric Power Company .....  
S. Fukasu, S. Takahashi, F. Saruwatari and S. Hiroyoshi
- Charging Current Rupturing Characteristics of Contrarc Circuit Breakers .....  
S. Morita and H. Maki
- Characteristic Element of Recent Dry Valve Lightning Arresters .....  
K. Ochi and K. Sugiyama
- Permanent Magnet—Its Safety Factor and Durability .....  
M. Tsujita
- Characteristics, Testing Method and Quality Control of Hitachi Incandescent Tungsten Lamp<sup>o</sup> .....  
K. Miyagi and E. Taniguchi
- The Improvement of the Strowger Two Motion Switch .....  
T. Watanabe and M. Kikuchi
- Air Test of Gas Blowers .....  
K. Suzuki
- Study of the Asymmetry of Gear Tooth Profiles Caused by Hob Eccentricity ....  
K. Morita
- Improvements on Polyvinyle Fromal Insulated Wires and Their Application .....  
K. Mase
- A Few Observation of the Basic Properties of Insulating Varnishes .....  
M. Tachimori
- The Properties of High Grade Special Steel Derived from Magnetic Iron Sand.....  
S. Koshiba

Price; ¥ 200 a copy Postage; ¥ 40  
Publisher; Hitachi Hyoron Sha, Hitachi, Ltd.  
Marunouchi, Tokyo, Japan.