

800kW 直流立坑巻上機の自動制御

Automatic Control of 800 kW D. C. Shaft Winding Machine

市川 博 昭* 白 木 勇*
Hiroaki Ichikawa Isamu Shiraki

内 容 梗 概

最近の炭坑、鉱山における巻上機は積込設備の自動化と相まって、積込から巻上放出の連続自動運転が要望されている。日立製作所では、機械および電気技術の粋を集め、このほど、最新の立坑巻上機を製作し、同和鉱業株式会社柵原鉱業所に納入して現在好調に運転されている。主電動機は、巻上ドラムに直結された低回転数の直流電動機で、ワードレオナード制御により確実なプログラム運転を行ない、着床精度の向上を期している。本稿は、その電気設備と制御の概要について説明する。

1. 結 言

自動制御技術の著しい進歩により、各種産業に自動制御が取り入れられ、著しい能率の向上をきたしている。巻上機においても巻上運転の自動制御は従来から行なわれ成果を取めているが、積込設備が自動化されていなかったためいたずらにむだ時間を費したきらいがある。

積込設備と巻上運転を関連させた連続自動運転を行なうためにはスキップの着床精度が特に問題となってくるので、低速時における速度が変化しないよう要求される。

2. 立坑巻上機設備概要

本巻上機は、同和鉱業株式会社柵原鉱業所の中央立坑に設置され800 kW 直流電動機により駆動され、積込、巻上、放出の全自動連続運転を行なうものである。

巻上機仕様

| | |
|---------|---|
| 用 途 | 坑外設置で人員および材料車はケージ巻、鉱石はスキップ巻として、スキップおよびケージは一体構造となっている。 |
| 形 式 | SD-NPAP (単胴複巻式、直流電動機直結、圧気操作式制動機付) |
| 鋼 索 張 力 | 13,800 kg |
| 巻 上 速 度 | 10 m/s (低速 0.5 m/s) |
| 巻 胴 | 直径 4,000 mm 幅 2,300 mm つば径 4,200 mm |
| 鋼 索 | 直径 38 mm 種類 6XF [(3×2+3)+12+12] |
| 巻 上 距 離 | 551 m |
| 制 御 方 式 | ワードレオナード式定速度自動制御 |
| 電 動 機 | 800 kW 直流電動機 ±47.8 rpm |

3. 主要回転機の仕様と特長

3.1 主要回転機の構成

主要回転機の構成は次のとおりである。

- (1) 巻上用主電動機 1台
800 kW, ±600 V, ±47.8 rpm, 連続定格, EFUB₁L-SPKK 形, 常用最大回転力 200%, 非常最大回転力 225%, B種絶縁, 閉鎖強制通風, 強制給油方式
- (2) 主電動発電機 一式
1台—900 kW 直流発電機

±600 V, 900 rpm, 連続定格, EFUB₁L-SPKK 形, 常用最大出力 200%, 非常最大出力 225%, B種絶縁, 閉鎖強制通風, 強制給油方式

1台—800 kW 三相同期電動機

3,300 V, 60~, 8P, 連続定格, EFBL-RD 形, 最大回転力 250%, 力率 0.8 進み, B種絶縁, 閉鎖強制通風, 強制給油方式

(3) 励磁機セット 一式

1台—10 kW 励磁機 (900 kW 主発電機用)

22/110 V, 1,800 rpm, FCO-SP 形

1台—30 kW 励磁機 (800 kW 主電動機用)

110 V, 1,800 rpm, FCO-SP 形

1台—20 kW 励磁機 (800 kW 同期電動機用)

110 V, 1,800 rpm, FCO-K 形

1台—1 kW HTD (800 kW 主発電機用)

110 V, 1,800 rpm, FCO-SP 形

1台—5 kW 励磁機 (定電圧電源用, 定電圧装置付)

110 V, 1,88 rpm, FCO-SP 形

1台—80 kW 三相誘導電動機 (駆動用)

3,300 V, 60~, 4P, EFUO-KK 形

以上のほか、冷却送風機、コンプレッサ、ポンプ用などの駆動用三相誘導電動機がある。

3.2 巻上用主電動機

巻上用主電動機の容量は、想定した各種の運転曲線について、種々の荷重条件に対するピークトルクが 200% 以下の適当な値になりかつ RMS 熱出力が定格出力以下になるよう考慮して決定された。

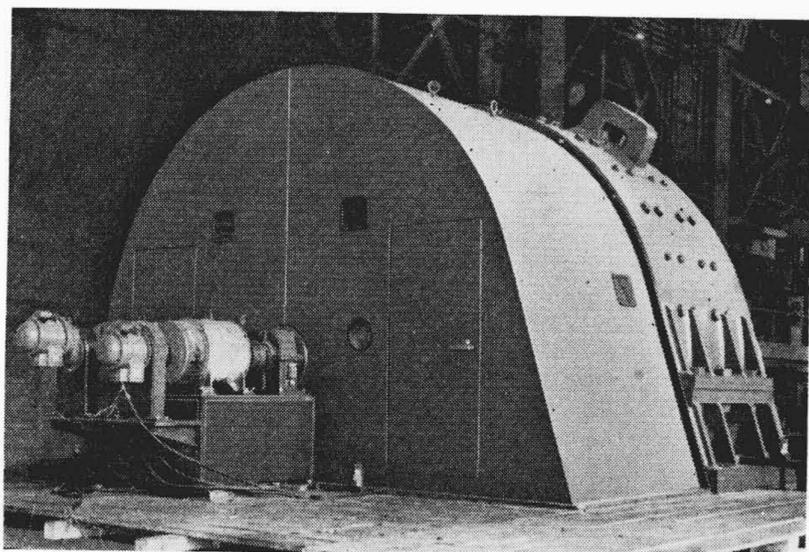
現在日立製作所ではこの程度の電動機は多数製作されているが、過酷な使用条件に耐えるよう種々の考慮が払われている。特長とするところは次のとおりである。

(1) 電機子巻線には重波巻巻線を採用し均圧線を兼用した。また補極磁束通路の断面積を広くして、過負荷における飽和の影響をなくし、同時に補極鉄心に非磁性ライナを十分そう入して、過負荷ならびに主回路電流急変時に対して良好な整流を保つよう特に考慮している。

(2) 一般に電動機のトルクには多少なりともリップルが含まれている。これはおもに電機子スロットの存在によるスロット、リップルからなっている。

このトルクリップルに基づく速度リップルの周波数は、回転数に比例し、またその振幅は回転数に反比例する。本機のように定格回転数が低く、停止する寸前のきわめて低いクリープ速度で運転する必要がある電動機では、この速度リップルは極力少なくなければならない。このため主極鉄心をスキュウし、また補償巻線

* 日立製作所日立工場



第1図 800 kW 巻上用主電動機

スロットピッチと電機子スロットピッチの関係も十分検討した。この結果本電動機は速度リップルはきわめて小さく、まったく問題にならない程度に押えられた。

(3) 加速減速正逆転がひん繁に行なわれるので、これらの過酷な使用条件に耐えるよう強固な構造となっている。たとえば電機子巻線が整流子ライザに接続する巻線端部分にはくし形金具で導線をささえこれを固定して、機械的強度を増している。

一方ダストの侵入を防ぎ、また保安のため、軸受を含めて円筒カバーでおおった保護構造とした。カップリングは削り出しでリーマボルトによって巻胴と直結される。床台は巻胴側と電動機側とそれぞれ別個に製作され、現地で組み合わされコッターにより固定された。また現地輸送上の制約から、電機子を除き適宜分割できる構造としてある。現地でのインクライン輸送も考慮して、輸送用台車も同時に製作納入した。

遠心力を利用した過速制限開閉器2個と速度制御用ならびに監視用指速発電機各1台は電動機の反負荷側軸にギヤを介して直結されている。ギヤのバックラッシュが大きいと速度制御上好ましくない。この点も十分考慮して設定されている。第1図は工場組合試験中の電動機を示す。

(4) 本機のように出力に比べて低回転数の機械では、電機子自身の通風効果は少ないので、強制通風方式とした。強制通風方式にすれば電機子直径を小さくして、慣性能率(GD^2)を小さくできるが、整流上は芳しくない。本機のように、電動機の GD^2 に比べて直結機械部分の GD^2 がはるかに大きい場合には、電動機自体の GD^2 を特に小さくすることはあまり意味がない。したがって、主として整流上ならびに輸送上の観点から電機子直径を決定した。

一方、強制通風にすれば電動機停止中、あるいは低速中でも常に有効な冷却効果が期待できるので RMS 熱出力を小さくすることができる利点がある。

冷却用送風機は主電動発電機と共用で $1,000 \text{ m}^3/\text{min} \times 125 \text{ mm Aq}$ のリミットロードファン1基を用い、回転油膜式空気ろ過器を通った冷却風を送り込み、いわゆる Duct to Duct の通風方式となっている。

(5) 本機は巻上機と直結式で負荷側軸受を省略したいわゆる三軸受式である。軸受潤滑は、巻胴用軸受とともに強制給油式であるが、さらに万一外部からの給油が止まっても、軸カラーによる自己給油が可能な構造としてある。油環による方式では、低速度においては十分な給油が期待できない恐れがあるが、この方式によれば軸受箱下部の油だめから軸カラーでくみ上げられた油は、上部油切でかきとられて軸受メタルに給油されるので常に確実な給油が得られる。

3.3 主電動発電機

巻上用電動機を制御する主直流発電機の定格出力は、主電動機の RMS 出力に対応して決定されたものである。常用最大、また非常最大などの出力耐量も主電動機と同じ値に設計されている。高速機であるため、整流については高速専用の刷子を使用するなど主電動機以上の注意が払われている。

主電動機も含めた主回路の IR 降下を補償し、速度制御の精度、特に巻上機の着床精度向上のため、和動直巻巻線を設け、固有速度変動率をきわめてわずかな値に収めるよう考慮した。

また界磁回路の時定数は、主電動機およびそれぞれの励磁機の界磁も含めて、後述するところの非常停止の場合の主回路電流変化のことを考慮して、それぞれ適当な値に設計されている。

主発電機を駆動する同期電動機は、巻上用主電動機の RMS 出力に対応してその定格出力が決定された。したがって RMS 熱出力に対応して決定した主発電機の定格出力よりむしろ下まわった値となっているが、十分の余裕を見込んである。

3.4 励磁機

主発電機用 10 kW 励磁機は差動直巻巻線を有する倍電圧発電機で、主発電機界磁の時定数短縮が考慮されている。1kW HTD は速度制御および電流制限用で、電流制限にはその前段に磁気増幅器を併用して制御性能の改善を図った。

4. 巻上機制御

巻上機設備は運転計画を確実に達成するため、運転プログラムに合うよう広範囲かつ円滑な速度制御が行なわれなくてはならない。また機器は動作がひん繁で過酷な使用条件に十分耐えうるものを必要とする。すなわち巻上機で要求される点としては、

- (イ) 安全確実な運転が行なえること
- (ロ) 正確なプログラム運転が可能なこと
- (ハ) 確実に動作する保安装置を設けること
- (ニ) 着床精度がよいこと
- (ホ) 確実迅速に連絡できる信号装置を有すること

などであり、直流巻上機は、負荷の変動に対して安定した定速をうることができ、したがって着床の精度も良く、最も理想的な巻上機である。今回は、特に巻上速度も速く、自動積込を行なうため、精密な速度制御が要求されたので直流巻上機が採用された。

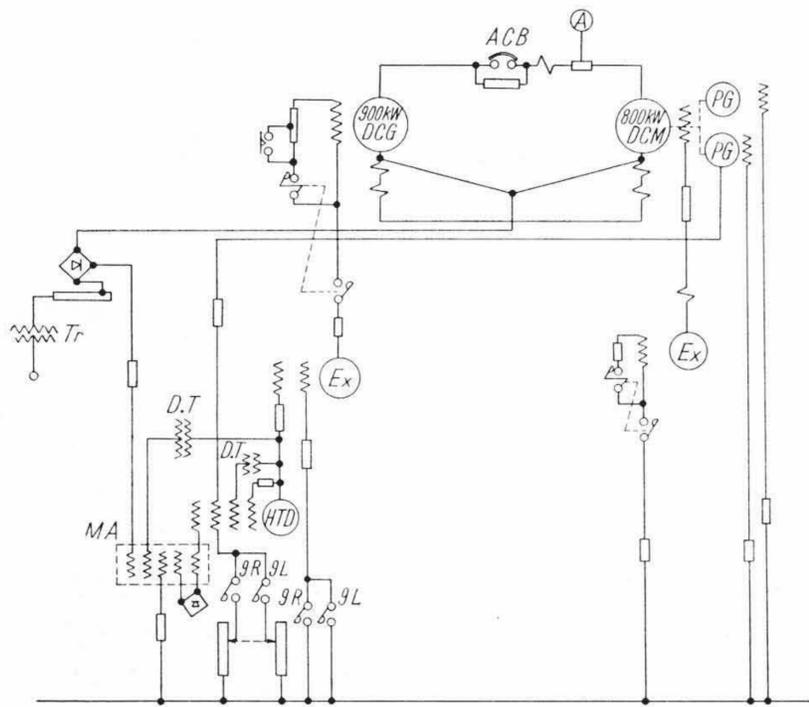
4.1 速度制御

予定の出鉱量を確保するためには、あらかじめ定められた運転プログラムに従って忠実に運転されることを要する。巻上機負荷は一般には一定でないので、交流電動機で駆動する方式では多少1行程時間が変化する。しかし、直流機で駆動する方式とすれば、負荷の変動にかかわらずあらかじめ定められたプログラムどおりの運転をすることができるから予定の出鉱が得られる。また、積込を自動的に行なうためにはスキップが精度よく、きめられた位置に停止しなくてはならず、そのためにはクリーブ速度時の速度制御が問題となる。

本機においては、磁気増幅器および回転増幅機 (HTD) を用い、指令速度と実際の速度の突き合わせにより速度差を検出し、定速度制御を行なっている。一般に巻上機においては、機械側の GD^2 が大きく、機械の時定数が大きいので加速、減速における時間遅れが他の機械に比べて大きいため、電気部分の時間遅れを特に小さくするように考慮しなくてはならない。第2図は本制御系の概略図を示し、第3図がそのブロック線図である。

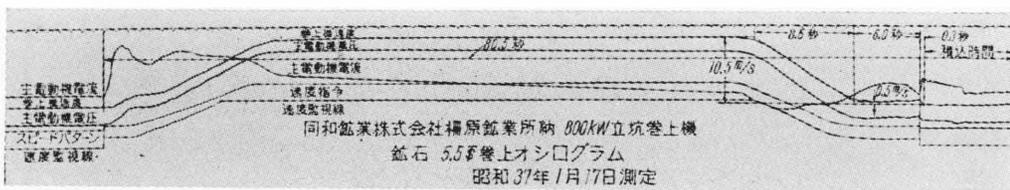
自動運転の際には、立坑位置に対応する指令速度がプログラミングされており、起動と同時にのずから速度指令が与えられる。

手動運転の際には1本ハンドルにより行なわれる。これは、左右



DCG: 直流発電機
 DCM: 直流電動機
 Ex: 励磁機
 HTD: 回転増幅機
 D.T.: ダンピングトランス
 Tr: 変圧器
 PG: 指速発電機
 1台—速度制御用
 1台—速度監視用
 MA: 磁気増幅器

第 2 図 同和鉱業柵原鉱業所殿納 800 kW レオナード巻上機 制御回路概略図



第 4 図 自動運転オンシログラム

方向の操作がブレーキ操作であり、縦方向操作が速度指令を与えるようになっている。また自動の場合と同様、ハンドルは運転速度指令カムに沿って操作できるようにしてあるため一定スケジュールによる運転も可能である。第 4 図は、鉱石巻上自動運転 1 行程のオンシログラムである。

4.2 保 安 装 置

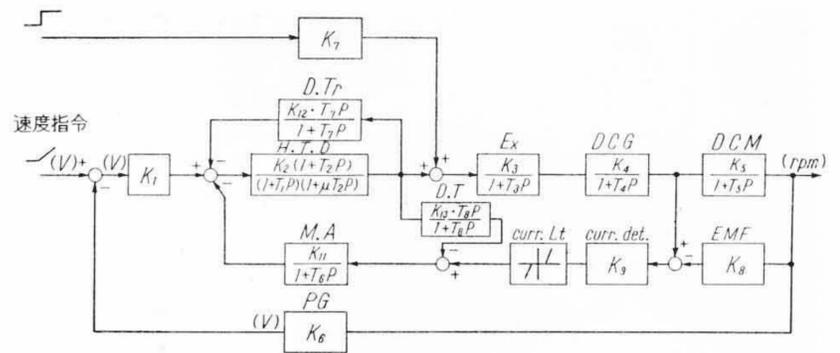
立坑巻上機は、斜坑巻上機に比べ巻上速度を著しく高く取ることができるところに特長がある。しかし、速度が高くなるに従い危険の度合が増加するので特に確実な保安装置が必要である。そのため、従来一般に行なわれていた保安装置に新たな保安装置を追加し、巻上機の安全を計っている。下記にそれを概説する。

4.2.1 無接点位置検出器の採用

従来から、減速中にある位置を通過するときの速度が、予定速度より著しく速い場合には非常制動をかけていた。その場合、予定位置に相当する点は、巻上ドラムに連結された歯車式開閉器 (GLS) 上から取っていたが、今回は立坑内に直接無接点位置検出器 (ランディング・マグネット) を取り付けスキップの通過を検出している。これはトランジスタによるメモリ回路と組み合わされているため、かなりの高速まで確実に検出することができる。また機械的な操作機械がないので動作のひん繁なところに使用してその特長を発揮するもので、停止位置検出にも使用される。

4.2.2 速度監視装置

前述のように減速中の所定点における速度監視は従来から行なっていたが、何らかの原因により、その点以外の全運転範囲において運転プログラムとかけはなれた異常な速度に達したような場合にはすみやかに非常制動を行なったほうが安全である。速度監視装置は、巻上速度指令と連動する速度監視指令と PG により検



略号は第 2 図に同じ その他
 EMF: 起電力
 curr. det.: 電流検出
 curr. Lt.: 電流制限

第 3 図 自動制御回路ブロック線図

出した実際の巻上速度とを比較して指令値以上の速度になった場合に非常制動をかけるものである。減速開始点付近からの速度監視指令値は、許容過巻距離以内にスキップを停止するに必要な極限速度として与えられる。

第 5 図は速度監視説明図である。

4.3 負 荷 検 出

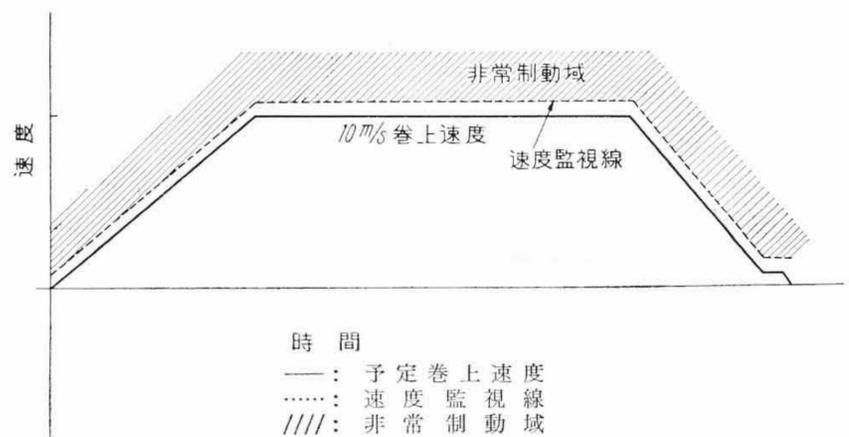
手動運転においては、巻上機の荷重が一定でないので減速開始をすべて同一点より行ない、同一距離で減速させれば下荷のときは電動機の負担が大きく、上荷のときは巻上時間を有効に短縮できない。

一般に、上荷の場合の停止は容易であるため、1 行程の時間を短縮するためには停止点に近づいてから減速を始めればよく、逆に下荷の場合は、停止点のかなり前から減速を始めた方がよい。そこで巻上機の荷重の大小ならびに上荷、下荷の別は、定常速度にはいつている位置で負荷電流により検出し、減速開始点を決めている。

一方、運転中何らかの原因により非常制動がかかった場合には、負荷のいかんにかかわらず減速度を一定にして衝撃を少なくするよう非常制動力を調整する装置を備えているが、この制動力の調整も、負荷検出装置により行なわれている。

5. 非常制動時の解析

保安回路が動作した場合、あるいは人為的に非常停止を行なう必要がある場合にはすみやかに非常制動機を動作させ巻上機を停止させる。この場合、急激な減速は乗員および機械に大きな衝撃を与えるので好ましくなく、ほかに支障をきたさない範囲内で衝撃の小さい減速を行なわなくてはならない。そのため、巻上機の負荷を検出して非常制動機の制動力を調整することについては前項に述べたが、電気回路においては、発電機および電動機の界磁電流を関連させて適当に減少させることにより、非常制動中に主回路電流がいたずらに上昇することを防いでいる。第 6 図は非常制動時における制御系のブロック線図を示すものであり、また第 7 図は非常制動時における機械的制動機の動作、ならびに電氣的制動のかかり具合を示



第 5 図 速度監視説明図

すオシログラムである。ほぼ一様な減速度で停止しており、従来のものに比べてすぐれた特性を持っていることがわかる。

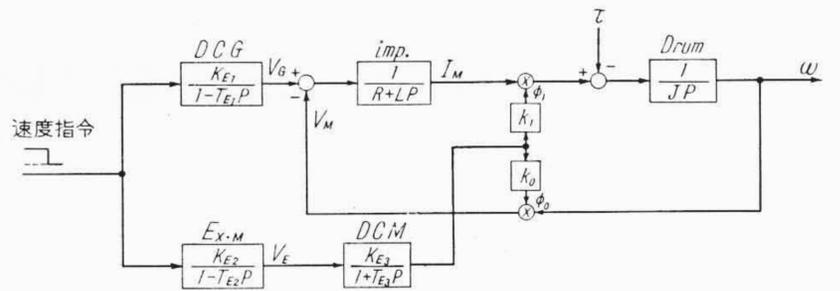
6. 運 転 方 法

自動運転を行なう場合には、坑底よりの信号に対して巻室より応答の同信号を送り、信号が一致したのちはじめて起動可能となる。操作デスク上の自動運転用ボタンを押すと、スキップに定量の鉱石が積み込まれて巻上機は自動的に起動し、プログラムどおりに加速、全速、減速運転が行なわれてクリーブ速度にはいり、反対側のスキップが積込位置にきて巻上機は停止する。このとき、巻上側スキップは、放出场にあって鉱石を放出している。積込場では、自動的に計量された定量の鉱石がスキップに積み込まれて自動的に起動を始める。かくして積込、巻上、放出の運転が連続して自動的に行なわれるが、自動運転を停止させる場合には、自動運転停止用ボタンを押せば巻上機はそのまま運転を続けて正規の停止位置まできて放出して停止する。

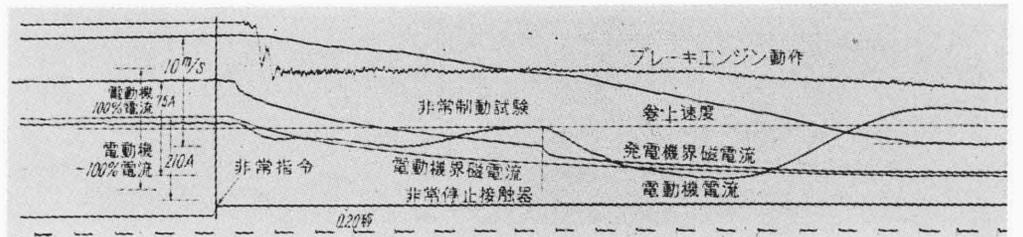
手動運転の場合にも信号が一致してはじめて運転が可能となるようにハンドルとインターロックされ、運転者の誤差による事故を防止している。一般に巻上機ではブレーキハンドルと運転ハンドルとが別々になっているものが多いが、両者を一体にした日立製作所独特の1本ハンドル方式を採用しているので、操作が非常に容易である。

7. 結 言

自動化の比較的遅れていた鉱山においても、全自動運転方式の採



略号は第2図に同じ その他
 Ex.M: 電動機用励磁機 τ: ロープ・不平衡トルク
 imp: 主回路 Drum: 巻上ドラム
 第6図 非常制動時制御系ブロック線図



第7図 非常制動時オシログラム

用が真剣に検討されつつある。ここに最新の設備を誇る立坑巻上機について紹介したが、今後の立坑計画に何らかの参考となれば幸である。

本稿を閉じるにあたり、終始絶大なるご協力を賜った同和鉱業株式会社柵原鉱業所の関係者各位に厚くお礼申しあげる次第である。



特許 第 290385 号

特 許 の 紹 介



竹 村 克 己・加 藤 和 男

累 積 加 算 装 置

本発明は、ある一定間隔をもって逐次到来する複数個の信号電圧を累積加算し、一定時間後において信号電圧の総和を与える装置に関するもので、第1および第2の自動平衡計を対称的に配置し、第1の自動平衡計は、累積加算される信号電圧に対応して順次動作させ、第2の自動平衡計は、第1のそれがとる平衡位置に応じて順次動作させるようなし、この動作を別に設けたシーケンスコントローラで制御するようにしたものである。

図はこの実施例を示すもので、まずシーケンスコントローラ SC でスイッチ S₂ を閉、S₃ を b 側に閉とする。このとき第2の平衡計は、ポテンシオメータ SCR₂ の腕 P₂ がポテンシオ上の C に一致するまで動作し、したがって C に接続された端子 d はアース電位となる。次に SC で S₂ を開き S₃ を a 側に、S₄ を E₁ に倒して後 S₁ を閉じる。したがって第1の平衡計は、ポテンシオメータ SCR₁ の腕 P₁ が -E₁ になるまで動作する (抵抗 R_i は同一値に選んである)。次に予定のシーケンスにしたがって、SC で自動的に S₁ 開、S₂ 閉とする。このとき第2の平衡計は、第1のその P₁ の電位 -E₁ を受けて動作し、P₂ が C に対し -E₁ になるまで動作する。この状態で d はアースに対し E₁ の値となる。次に予定のシーケンスに従い S₄ を E₂ に倒し S₂ 開、S₁ 閉とすると、第1の平衡計は、P₁ が E₂ だけ一側位置より P₁ を E₂ だけ一側に移動させて動作を停止する。このとき再び S₁ 開、S₂ 閉とすれば、第2の平衡計は動作し P₂ を E₂ だけ一側に変位させ動作を停止する。したがって d はアースに対し E₁ + E₂

の値をとる。以下同様な動作が、順次 SC で制御されくり返されて d は ΣE_i なる電位を得る。すなわち本発明は、第1の平衡計に信号を導入し、これを保存する状態で第2の平衡計を第1のそれに対応させ、それによって第1の平衡計の前記保存位置を、新たな基準レベルとすることにより逐次累積加算させるものである。

(福 島)

