U.D.C. 621.316.726-52 : 621.311

北海道電力株式会社雨竜発電所納

自動負荷周波数調整装置

Automatic Load Frequency Control Equipment for Uryu Power Station, Hokkaido Electric Power Co.

小林富治* 静間敏男** 中野修一**
Tomiji Kobayashi Toshio Shizuma Shūichi Nakano
竹村克己***
Katsumi Takemura

内　容　梗　概

日立製作所ではこれまで，多数の自動負荷周波数調整（AFC）装置を納入してきたが，これらの装置は計算要素として電子管平衡計器を使用するものであった。

今回北海道電力株式会社雨竜発電所用として計算回路をすべて磁気演算増幅器に置き替えた新形 AFC 装置を完成した。

この装置は演算部に可動部がないため信頼度が一段と向上したばかりでなく，周波数偏差の検出や制御方式に新しい技術が採用されている。

なお現地にはミルなどの過酷な負荷変動があるにもかかわらず，運転実績によれば周波数はほぼ 50 ± 0.3c/s (平常運転の場合は 50 ± 0.1c/s) 以内にはいっており所期の性能を発揮して好評を博している。

1. 緒　　言

給電自動化の一環として AFC が実施されてからすでに十年になるが，この間装置の改善は絶えず行なわれている。

今回北海道電力株式会社雨竜発電所に納入した装置は系統周波数の偏差を検出し，この信号で水車の負荷制限電動機を駆動する基本的なものであるが内容的には数多くの新技術が用いられている。

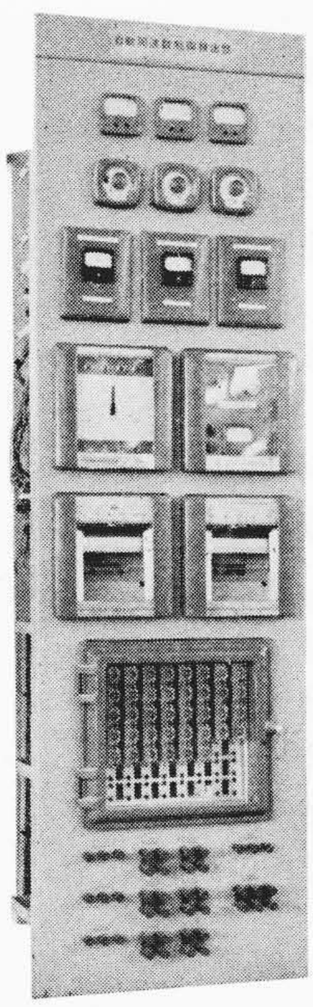
そのおもな特長をあげれば

（1） 信号計算回路には新たに開発された高性能磁気演算増幅器を用いて静止形としたため従来の電子管平衡計器を用いたものに比べ信頼度が一段と向上した。

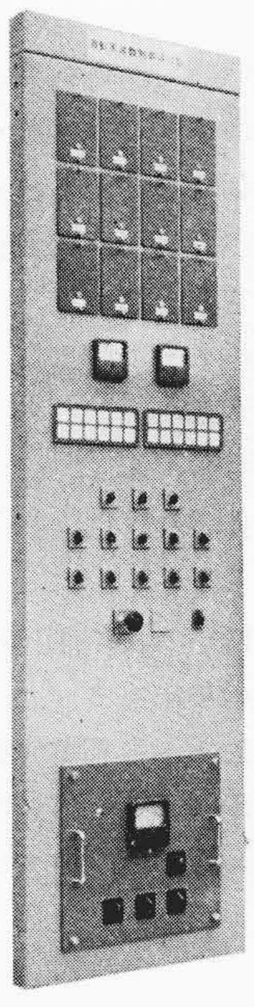
（2） 負荷制限電動機の目標回転角を指示するための積分器を設ける（定位化）方式を採ったため制御の安定性と周波数特性が一段と向上した。

（3） 周波数偏差の検出部には全トランジスタ式精密検出器を開発し検出精度の向上をはかった（検出精度 ± 0.005 c/s)。

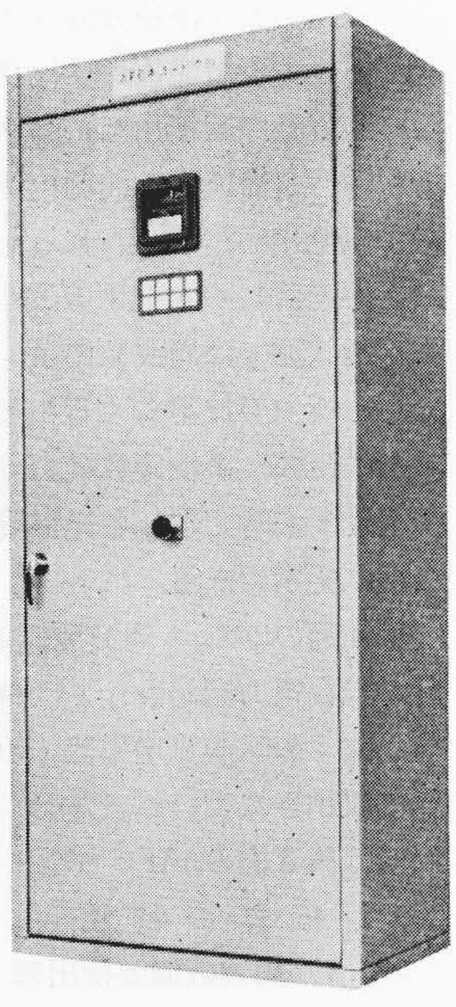
（4） フリンジ負荷，サステーンド負荷に対する応答利得は個別に整定でき大口のミル負荷に対しても十分な性能が得られる方式とした。



第1図　自動周波数制御検出盤



第2図　自動周波数制御操作盤



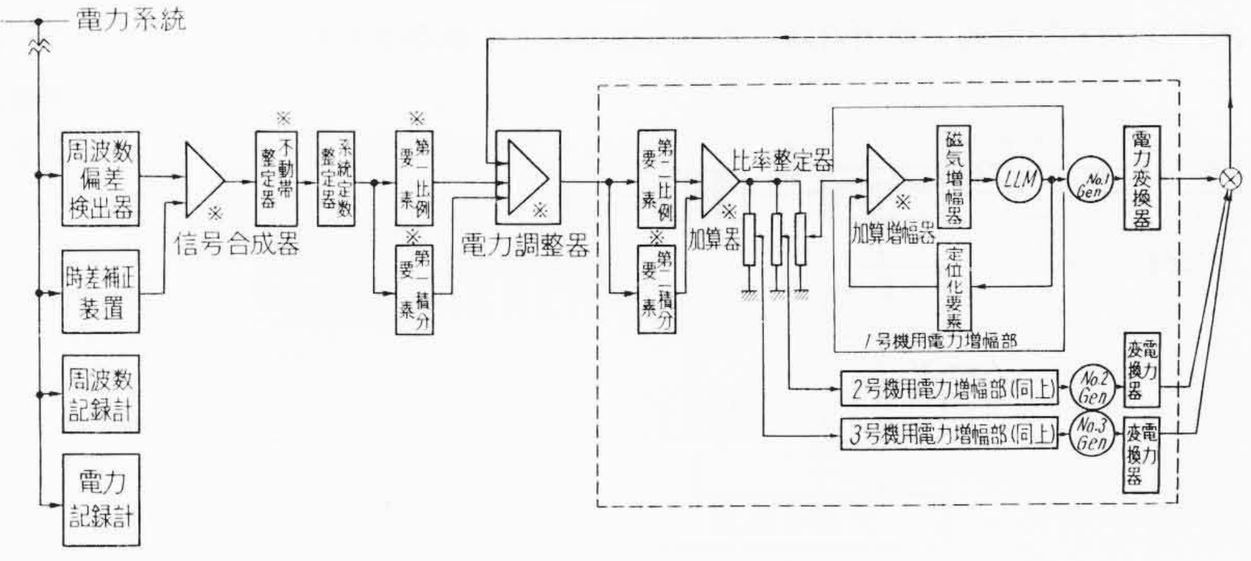
第3図　AFCキュービクル

2. 自動周波数調整装置

2.1 装置の概要

本装置は大別して検出部，操作部および出力増幅部にわけることができる。これらはそれぞれ自動周波数制御検出盤(**第1図**)，自動周波数制御操作盤(**第2図**)，および AFC キュービクル（**第3図**）に収納されている。**第4図**は方式説明図で本図により制御方式を説明する。

周波数偏差 (ΔF) および時差補正信号 (ΔT) は信号



※—磁気演算増幅器

第4図　方　式　説　明　図

---

*　北海道電力株式会社給電課
**　日立製作所国分工場
***日立製作所日立研究所

合成器で合成され適当な不動帯をつけて不必要な制御をさけるようにする。

不動帯の出力（単位c/s）に系統定数（MW/0.1 c/s）を乗じて地域要求総電力を計算する。周波数偏差をなくするためにはこの分だけAFC制御発電所で発電すればよい。初期応答特性（換言すればフリンジロード応答特性）をよくするために第1比例要素を通して比例信号を作る。また定常応答特性（サステーンドロード応答特性）と全発電所に対する目標出力を与えるため第1積分器によって積分信号が作られる。フリンジ負荷とサステーンド負荷に対する応動特性はこれらの要素の比例利得あるいは積分時定数によって大幅に変えることができる。これらの動作により所望の周期の負荷変動分を選択することができる。

電力調整器では比例信号と積分信号を合成し電力変換器で検出される各発電機出力の総合値と比較して，この差が操作信号として取り出される。この信号はさらに発電機固有の制御特性をもたせるため第2比例要素と第2積分要素の並列回路へ送られる。第2比例要素の利得は発電機の過渡応答を決め第2積分器は各負荷制限電動機の目標回転角を与えるがその時定数によって定常応答を設定することができる。

第2比例，第2積分要素の働きで，前記操作信号を発電機に適した応動速度でとらせることができる。

この比例および積分信号は加算器で合成されたのち比率整定器できまる比率で各発電機へ比例配分され各負荷制限電動機へ送られる。各電動機回転角は差動増幅器，位相弁別回路を通して電動機入力回路へ負帰還され前記比例配分信号と比較される。この負帰還回路は定位化回路といわれるものでこれによって制御の安定性と周波数特性を著しく向上することができる。

平衡状態では周波数偏差，時差はともに零となり各発電機の負荷分担を所望の比率にすることができる。

不動帯幅，系統定数（総合制御利得），第1，2比例要素利得第1，2積分要素時定数，各発電機負荷比率などはすべて整定器によって自由に整定できる。

第4図のうち，周波数偏差検出器，時差補正装置，周波数記録計，総合電力記録計などは**第1図**の検出盤に，また計算制御部の主体をなす磁気演算増幅器（MOA）および各種整定器は**第2図**の操作盤に収納されている。なお，電力増幅部および定位化回路の磁気増幅器は**第3図**のAFCキュービクルに収納されている。

2.2 機器の特性

2.2.1 周波数偏差検出器

従来検出部ではウイーンブリッジを用いた平衡計器で周波数偏差（ΔF）を検出していたがこの形の検出精度は±0.01 c/s程度となっている。この性能は実用上なんら支障のないものであるが，年々の技術的進歩に伴いより高級な性能が要求されている。今回納入した周波数偏差検出器はこの要望にこたえて開発された全トランジスタ形のもので精度（検出精度±0.005 c/s）と信頼度において一段と改善されている。**第5図**はこの原理を示す。

周波数逓倍回路でm倍された系統周波数m（$50\pm\Delta F$）は，標準水晶発振器より得られる定周波数（f_1 c/s）と比較され，そのビート周波数（f_2 c/s$\mp m\Delta F$）が加算回路，ろ波器を通して取り出される。

一方水晶発振器出力を上記とは別の周波数逓降器で落として標準周波数f_2 c/sを作る。これらのビート周波数および標準周波数（f_2 c/s）は，突き合わせ回路によって両者の差が取り出される。この差は，周波数偏差ΔFのm倍に相当するものであるからmを大きくすることにより検出精度を高くすることができる。

また，上記の標準周波数f_2～を変えることにより，系統の整定周波数に応じて周波形回路Ⅱに入れる標準周波数を変え，50c/s以外の整定周波数でも検出精度を所望の精度に保つことができる。

周波数偏差検出器仕様（雨竜発電所の例）

（1）	操作電源	AC 100 V　50 c/s
（2）	入力	AC 110 V　50 c/s
（3）	整定周波数	49.5～50.5 c/sの間0.1 c/s段階
（4）	動作範囲	整定周波数　±0.5 c/s
（5）	精度	（a）整定周波数50 c/sの場合 ±0.005 c/s
		（b）他の整定周波数の場合 ±0.01 c/s
（6）	出力	周波数偏差±0.5 c/sで∓10 V（ただし負荷として100 kΩを接続）
（7）	警報	一般の警報のほかΔFが0.3～0.5c/sをこえたとき，上下限警報する
（8）	周囲温度	10～35℃

なお回路はすべてトランジスタ化されており，高精度，長寿命という点に，特に留意して作られている。

2.2.2 磁気演算増幅器

最近演算制御用として開発された磁気演算増幅器は，精度が高く無接点，無可動構造であるのでAFCの演算要素としてはきわめて好適なものである。

その特長とするところは

（1） 磁性材料および巻数などを十分検討するとともに，電圧帰還形としてドリフトの小さい方式とした。

（2） 信頼度が高く保守はほとんど不要である。

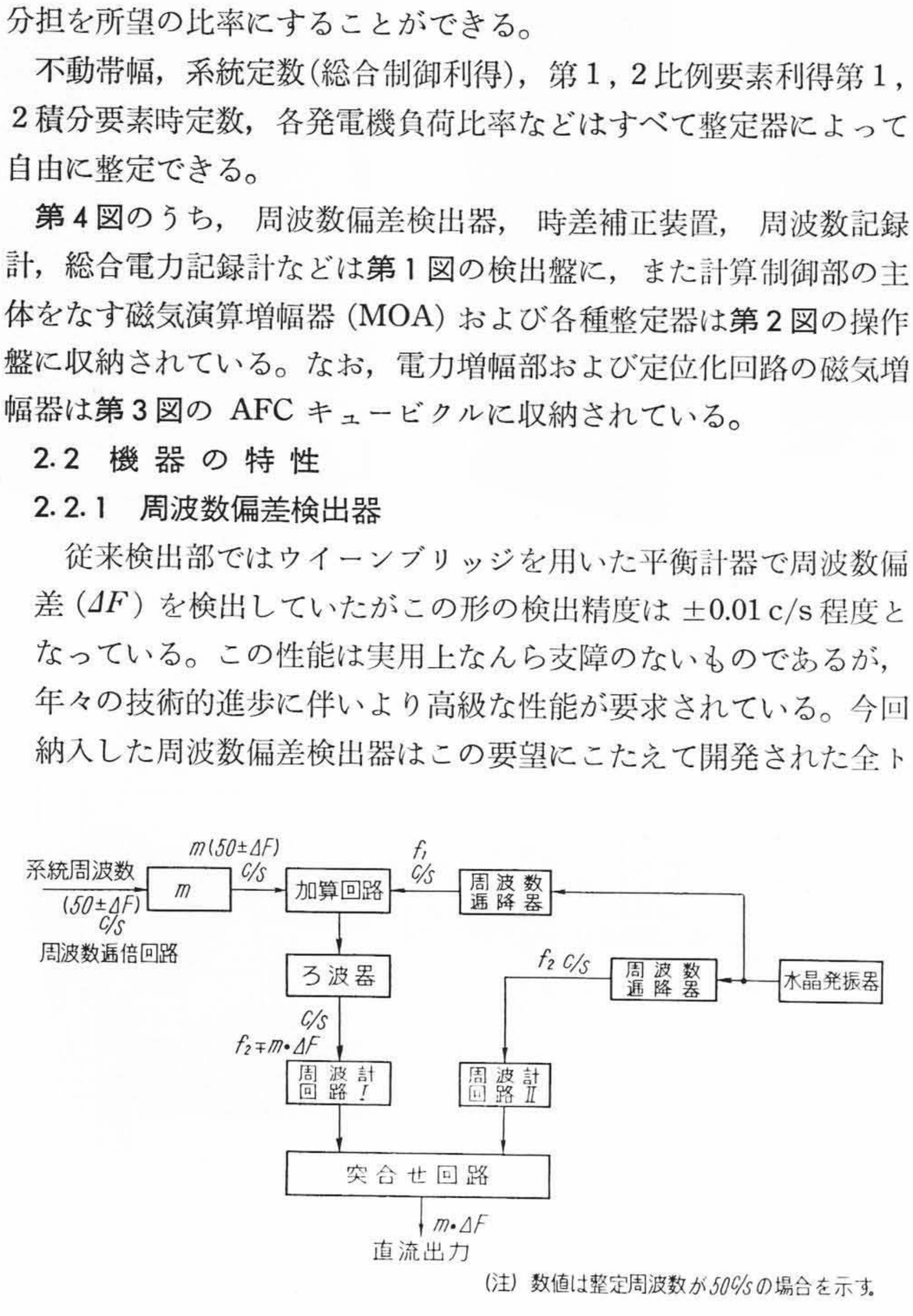
（3） 小形で消費電力が小さい（約1 W/1台）。

（4） 予熱時間が不要である。

つぎに磁気演算増幅器の動作原理について説明する。

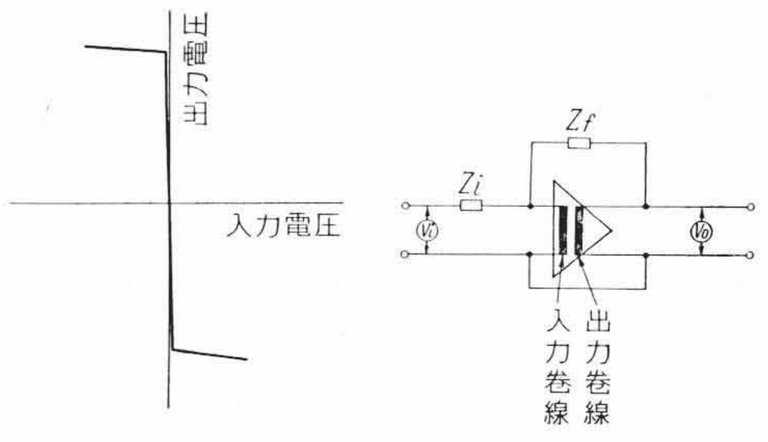
第6図左の理想増幅特性をもった磁気増幅器を，**第6図**右の図のように接続する。

増幅器の利得が大きくなるよう工夫すれば，入力電圧V_iと出力電圧V_0の間には（1）式が成立する。



(注) 数値は整定周波数が50 c/sの場合を示す。

第5図　周波数偏差検出回路



第6図　磁気演算増幅器の原理

$$\frac{V_0}{V_i} = -\frac{Z_f}{Z_i} \quad \cdots\cdots(1)$$

Z_i, Z_f を適当なインピーダンスに選定すれば積分器，係数器など所要の演算器とすることができる。

本演算器では，特に(1)式を満たすために，一般のプッシュプル磁気増幅器に電圧正帰還を加えて増幅度を高くするとともに，電流正帰還をかけて負荷に対し出力電圧の変動を補償している。

以上のような回路で調整を行なった磁気演算増幅器はきわめて良好な精度特性を示し ±0.5% 以内に十分収まっている。

特にドリフトを小さくするため鉄心の選択，回路構成，巻線数の決定に十分留意するとともに整流素子としてシリコン整流器を使用するなど特別の注意を払っていて，約1個月間の長期ドリフト試験においても ±0.3% 以内には十分収まる結果を得ている。

第7図はその記録の一例である。**第8図**は磁気演算増幅器の単体外観を示す。

2.2.3 定位化回路

本 AFC 装置では負荷制限電動機の積分特性を比例化し代わりに積分要素として第2積分器を設けているがこの積分器は磁気演算増幅器で構成されているためモータと異なり，その時定数を容易に変えることができる。したがって制御速度も自由にかえうる利点があり本 AFC の特長の一つとなっている。以下定位化回路の原理を**第9図**によって説明する。

発電機に対する制御信号は加算増幅器で電圧増幅されさらに終段増幅器で電力増幅される。

その出力で負荷制限電動機 (LLM) が回転し入力制御信号相当の位置まで回転する。

この回転角は機械的に可変インダクタンスの鉄心位置に変換され，鉄心が平衡位置から動くとインダクタンス L_1, L_2 に偏差を生じこれに伴う偏差分電圧 Δe が得られる。

Δe は差動増幅回路で増幅されたのち整流され出力電圧 ΔE として検出される。

この電圧 ΔE は鉄心ストロークに比例し加算増幅器に負帰還され LLM 回転角が制御信号 (目標回転角)に一致するまで制御される。

第10図はストローク対出力電圧の一例を示したものである。

3. 現地試験

現地試験は昭和37年7月初めに北海道電力系統に対して行なわれた。試験は AFC 単独の場合と調速機と協調運転する場合とである。

(1) AFC 単独の場合フリンジ分によく応動するよう回路定数を整定

(2) AFC と調速機の協調運転

(i) AFC にフリンジおよびサステーンド変動をとらせ，調速機にはフリンジ分をとらせる。

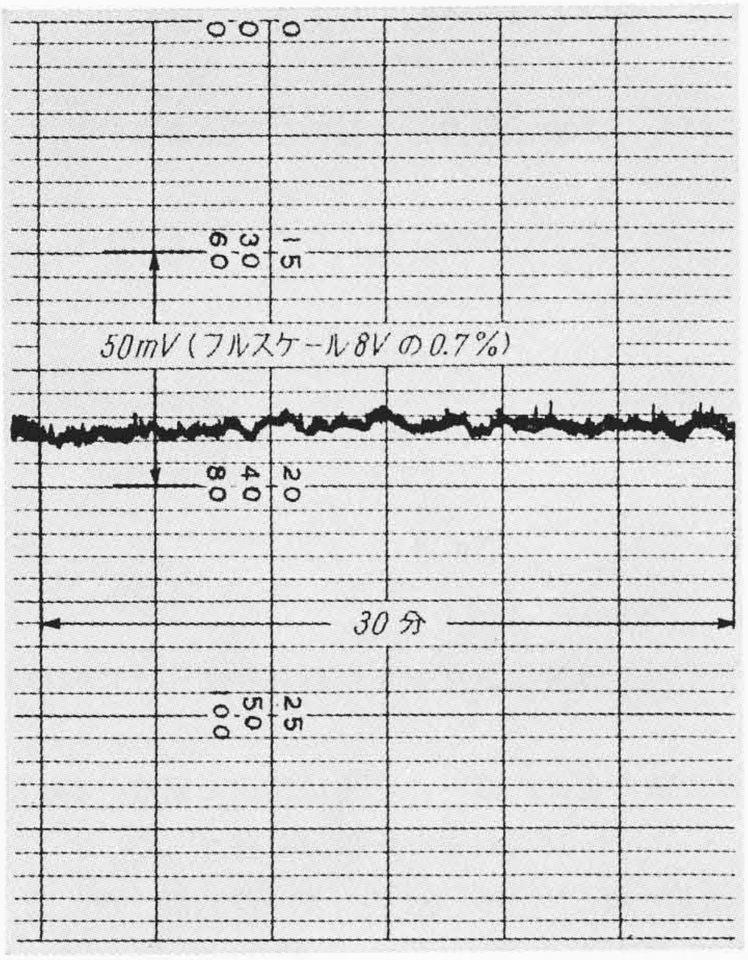
(ii) AFC にサステーンドをとらせ調速機にはフリンジ分をとらせる。

3.1 雨竜発電所 AFC 単独の場合

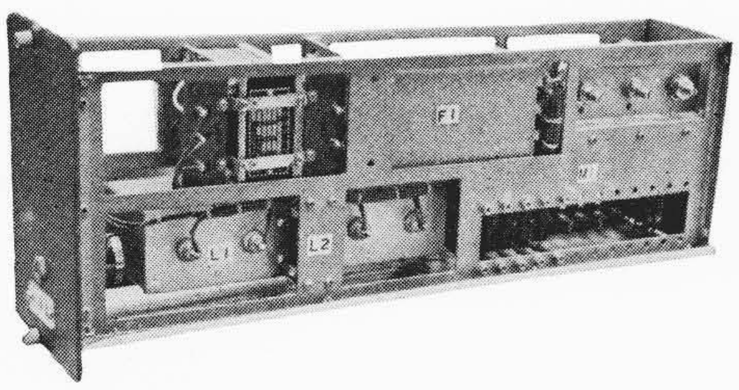
雨竜発電所単独で AFC 制御する場合はフリンジ，サステーンド変動とも雨竜発電所で吸収させることが必要となる。現地試験では制御回路の定数を適当に設定することによりフリンジ負荷にもよく応動させることができ系統周波数もほぼ50±0.2c/sに収めることができた。

3.2 AFC と調速機を協調運転した場合

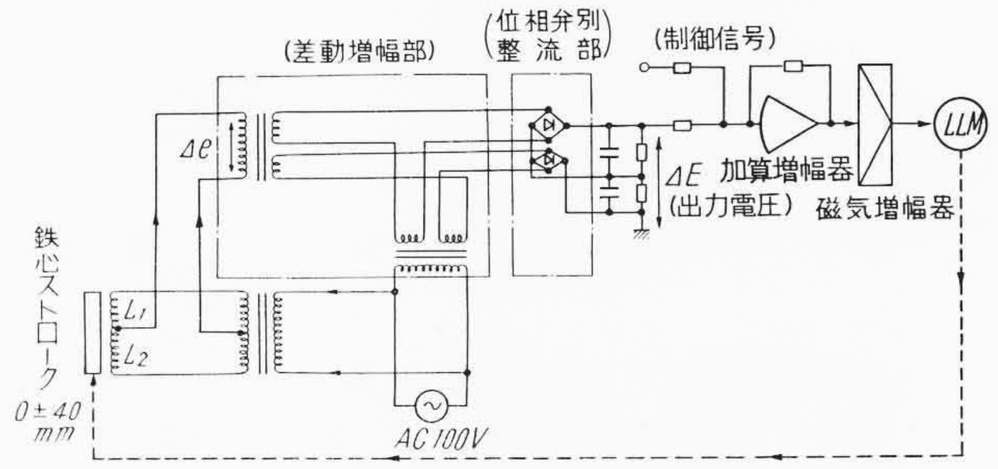
岩清水，岩松，層雲峡，江卸の4発電所を調速機運転とし雨竜発電所の AFC と協調運転せしめ負荷応動の協調がどのようになるかを2日間にわたり試験した。この結果前項に述べた単独 AFC と同じ回路定数として AFC，調速機の協調試験を行なったところ AFC 発電所および調速機運転発電所とも同程度のフリンジ応動（約1分



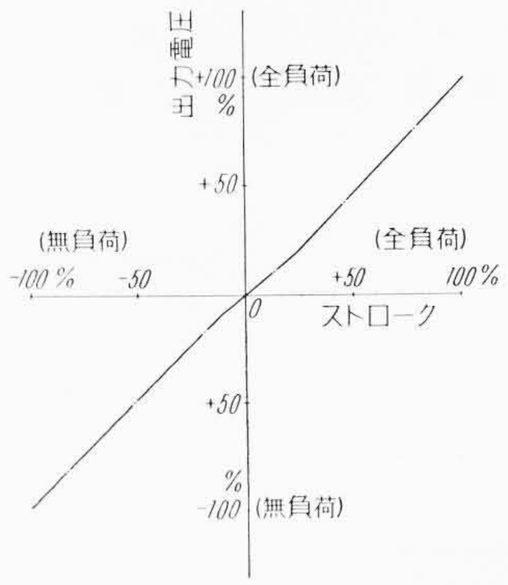
第7図　ドリフト特性



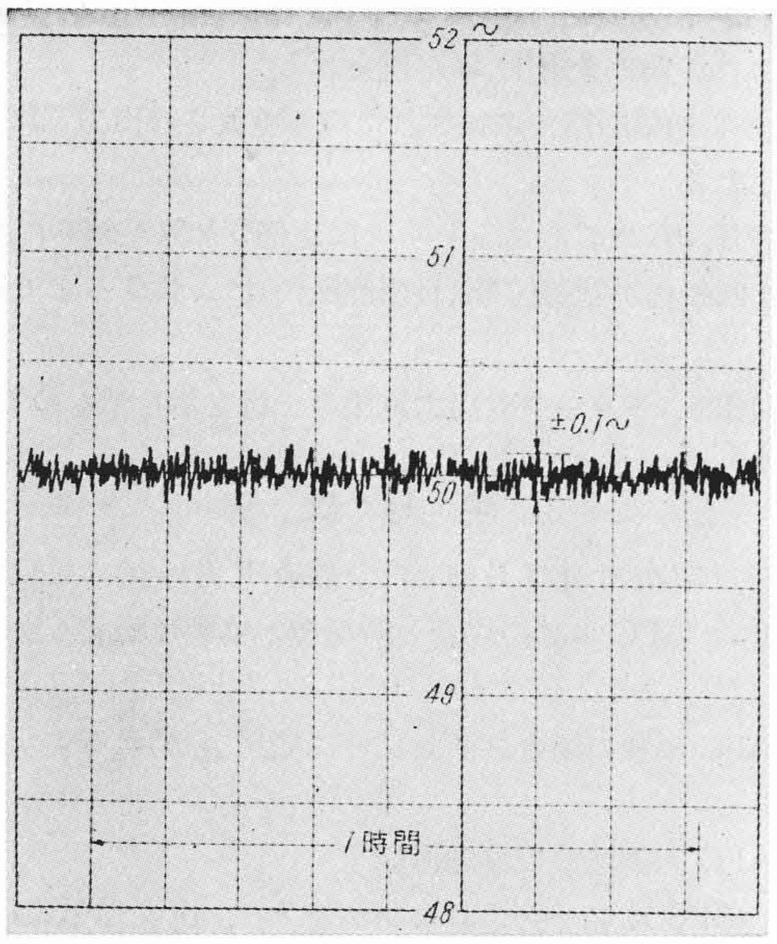
第8図　磁気演算増幅器



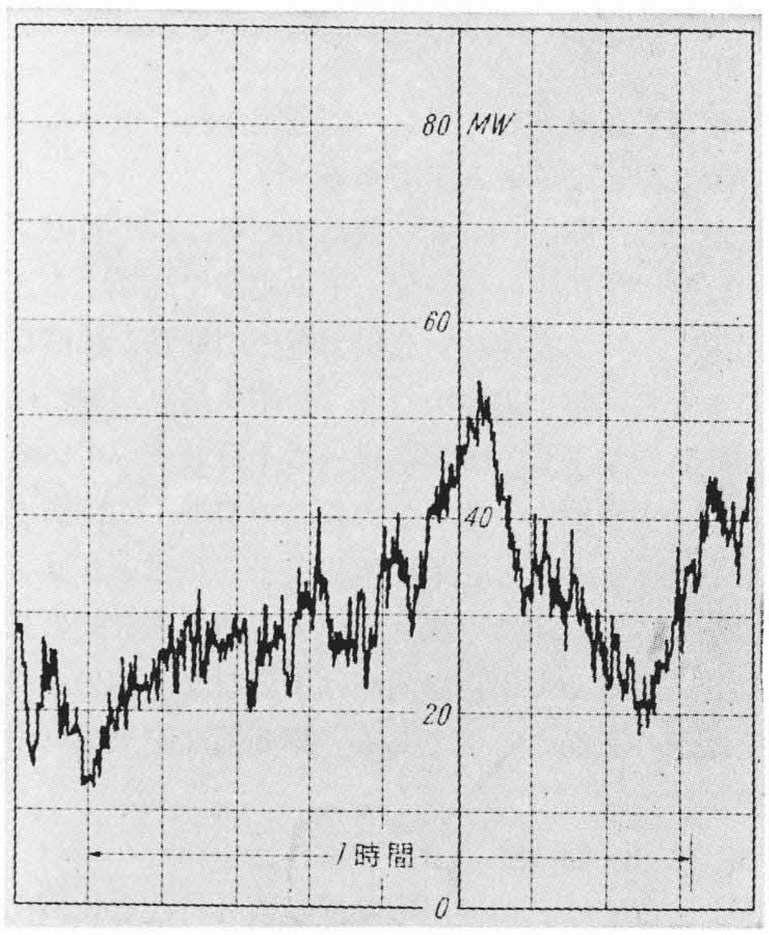
第9図　定位化回路



第10図　定位化回路ストローク対出力電圧特性



第11図　周波数調整試験記録



第12図　定周波数制御時出力変化記録

周期のものまで応動している）を示し系統周波数をほぼ50±0.1c/sにおさめることができた。またAFCにサステーンド分のみをとらせるよう回路定数を設定して協調試験をした場合は5～10分周期以上のゆるやかな変動に対してのみAFC発電所が応動し系統周波数はほぼ50±0.2c/sにおさまることが確認された。

北海道電力株式会社ではフリンジ分は主として調速機発電所で負担し，AFC発電所はサステーンド負荷だけに応動させるよう計画されている。

このように本装置は各種整定値を適当に選定することによりその応動特性を広範囲に変えうることが実証され，系統の各種負荷予想にしたがって運用の妙を発揮できることが明らかにされた。

特に今回の試験中，ストリップミルなどの稼動により約30 MWの間欠的負荷変化がありAFC制御をしないときは0.5c/s以上の偏差を生ずることも考えられたがAFC制御を行なうことにより50±0.3c/s程度におさえることができた。

第11図は定周波数制御における平常運転時の周波数変化を示す例で**第12図**はその時の発電所全出力の変化を示したものであり50±0.1c/sに収まっている。

4. 結　　言

今回納入したAFC装置は新たに開発された高精度磁気演算増幅器を用いた野心的なもので，無接点無可動方式となっているため信頼度がきわめて高い。また従来のものに比し大いさ，消費電力とも大幅に縮小され保守も簡単であるため今後の運転実績が大いに期待される。

終わりにのぞみ終始ご協力いただいた関係者各位に厚くお礼申しあげる。

Vol. 23　日立造船技報　No. 4

- 軸系質量がねじり振動特性に及ぼす影響
- 船用プロペラ青銅鋳物について（II）承前
  ——船用プロペラアルミニウム青銅について——
- 通風トランク分岐合流部のエネルギ損失
  ——分流および合流の場合——
- クロムメッキの前処理と密着性
- 通風系統による船室の騒音
- 排気管系が排気変動温度および排気エネルギに及ぼす影響
- 放射線殺菌の食品貯蔵への応用に関する研究　(第2報)
  ——殺菌用照射装置について——
- 鋼板構造プレス本体の溶接開先
- 定期貨物船“山利丸”の自動化装置について

……本誌に関する照会は下記に願います……

日立造船株式会社技術研究所

大阪市此花区桜島北之町60