

東北電力株式会社納

400 c/s 形磁気演算増幅器式経済負荷配分装置

400 c/s Magnetic Operational Amplifier Type Economic Load Dispatcher
for Tohoku Electric Power Co., Inc.

久保木 実* 本間 四郎* 清水 勝良**
Minoru Kuboki Shirô Honma Katsuyoshi Shimizu
伊藤 昌夫** 小林 富士也***
Yoshio Itô Fujiya Kobayashi

要 旨

東北電力株式会社納経済負荷配分装置は昭和40年4月に、運転を始めてからすでに1年半過ぎたが、この間好調な経過をたどり、高い稼働率を示している。

当面は、アナログ計算機とデジタル計算機を組み合わせてハイブリッド形の装置とし、主としてオフ・ラインのELD計算に使用するが、昭和42年にはオン・ライン化する予定である。装置の大きな特長としては、次のものがある。

- (1) アナログ計算部には、400 c/s 形磁気演算増幅器を用いているのでオン・ライン化しても安定で信頼度高く使用することができる。
- (2) 東北電力株式会社系統の特長である只見、阿賀川水系を対象とした、多段式直列水系の合理的な運用方式である。

本文においては、装置の概要、アナログ部の特性、稼働実績などについて述べている。

1. 緒 言

電力系統の経済的運用は、給電合理化の一環として、実用化が進められており、すでに電力各社には、経済負荷配分装置が設置され、日常の給電運用に大きな効果をあげている。これらは、翌日の電力需要や出水の状況を予測し、一日の火力総燃料費が最小になるような発電計画を求めるためのオフ・ラインの計算装置であるが、現在では、これをさらに進めて、時々刻々の負荷変動に追従して経済運用を行なうオン・ライン制御が検討され、すでに一部で実施されている。

東北電力株式会社では、昭和34年以来、日立製作所と経済負荷配分装置開発のため協同研究を行ない、運用方式の確立と装置化の検討を行なった。他社に比べて水力の比重が大きく、典型的な水火併用系統であり、水系運用の適否が系統の経済運用に大きな影響を与えるので、協同研究は次の2点に主眼をおいて進められた。

- (1) 只見、阿賀川を対象とした多段式直列水系の運用方式
- (2) オン・ライン制御に適した高信頼度のアナログ形計算制御装置開発

(1)については、多数のモデル計算によってこの水系に適した計算方式を開発し、(2)については、計算方式、AFCとの協調、系統の特性などを考慮して、ハイブリッド形計算装置を用いることにした。アナログ部は、瞬時運用計算(オン・ライン制御)装置としても使用できるようにするため、安定性と信頼性についてとくに考慮を払った。昭和36年12月に、デジタル計算機(HIPAC-103)を導入し、水系計算を含む予想計算方式およびプログラムなどの実用化検討を行なった。またこれと並行して、オン・ライン制御可能なアナログ計算制御装置の開発を進め、ELDとしては、わが国はじめての、400 c/s 形磁気演算増幅器(MOAと略称)式計算装置を開発した。

本装置は昭和40年3月、中央給電指令所に設置し、4月1日より日常運用のための計算を行なっている。

現在はハイブリッド形計算装置として、オフ・ラインの運用計算

* 東北電力株式会社
** 日立製作所国分工場
*** 日立製作所電機事業部

表1 装置の構成

デジタル計算機	HIPAC-103 ラインプリンタ	一式
信号変換部	A-D変換器 架架	1
	D-A変換器 架架	2
アナログ計算部	系統接続架架	1
	負荷設定架架	1
	演算制御架架	1
	潮流模擬架架	2
コンソール	火力演算監視機	1
	演算監視機	1
電源	M-G	一式

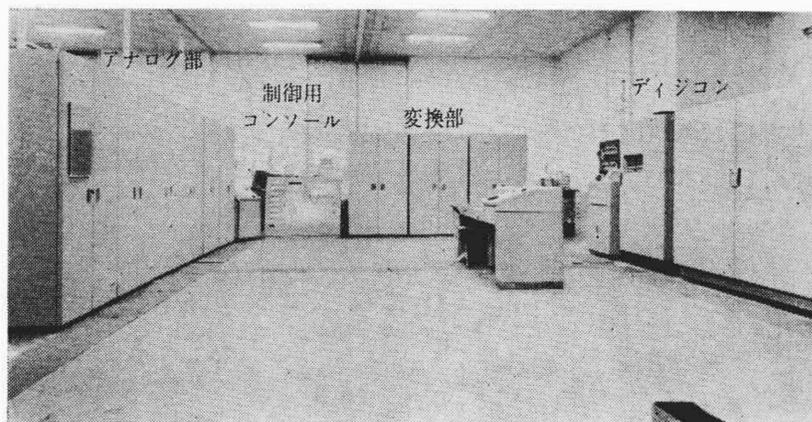


図1 装置全景

を行なっているが昭和42年夏までにはオン・ライン化をする予定で目下これに必要な中央演算装置の増設部とALRなど端末制御機器の設計を進めている。

2. 装置の概要

装置の構成は表1のとおりである。図1はその外観である。系統の規模は

火力発電所 6
調整式水力発電所 16 予備 1
プログラム運転発電所 18
融通点 3

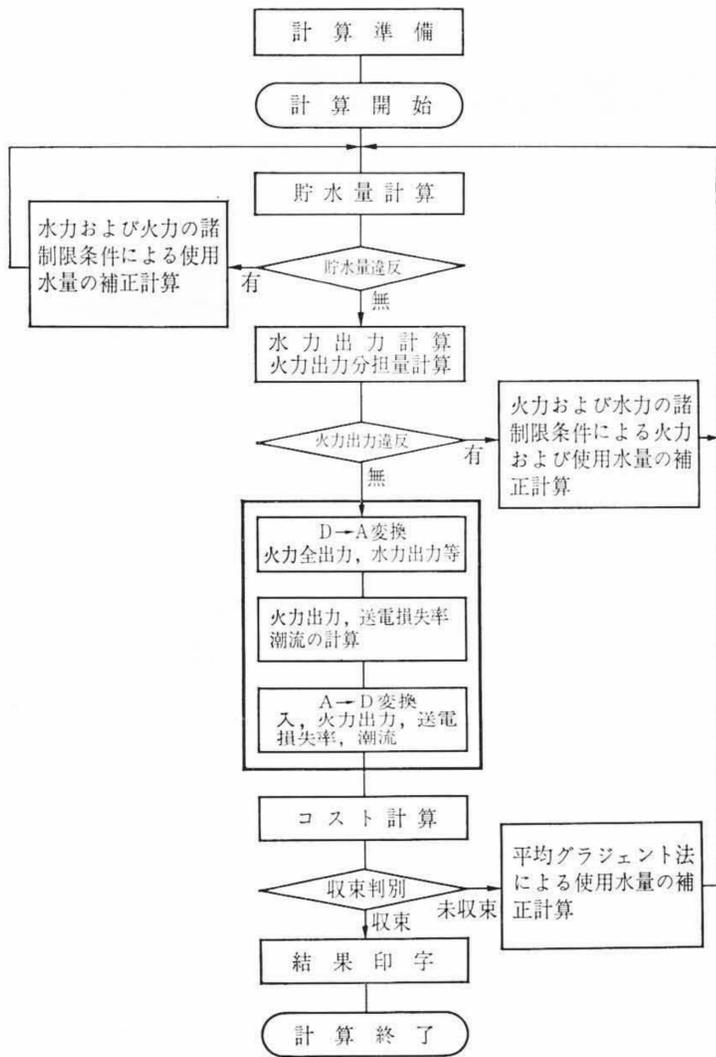


図2 予想計算フローチャート

特殊負荷 2
比例負荷 16

である。

2.1 計算式

運用計算式としては、多段式直列水系の計算方式を開発したのが大きな特長であるが、これらを含めておもな計算式を示すと次のとおりである。

$$\text{燃料費 } {}_iF_j = K_j(\alpha_{0j} + \alpha_j \cdot {}_iG_j + \beta_j \cdot {}_iG_j^2) \dots\dots (1)$$

$$\text{総燃料費 } C = \sum_j \sum_{i=1}^{24} {}_iF_j \dots\dots (2)$$

$$\text{水力発電所出力 } {}_iP_r = {}_iH_r \cdot {}_iD_r \dots\dots (3)$$

$$\text{貯水量 } {}_iS_r = {}_{i-1}S_r + {}_iJ_r + {}_iQ_{r-1} + {}_i\delta_{r-1} - {}_iQ_r \dots\dots (4)$$

$$\text{需給平衡式 } {}_iP_r + {}_iP_L - \sum_r {}_iP_r - \sum_i {}_iG_j = 0 \dots\dots (5)$$

一日の使用水量一定の条件

$$Q_{Tr} - \sum_{i=1}^{24} {}_iQ_r = 0 \dots\dots (6)$$

電力協調式

$$\frac{\partial {}_iF_j}{\partial {}_iG_j} - {}_i\lambda \left(1 - \frac{\partial {}_iP_L}{\partial {}_iG_j} \right) = 0 \dots\dots (7)$$

$$\frac{\partial C}{\partial {}_iQ_r} - \mu_r = 0 \dots\dots (8)$$

ただし

$$\frac{\partial C}{\partial {}_iQ_r} = {}_iM_r + \sum_{U=i-1}^{24} {}_UN_r - \sum_{U=i+1}^{24} {}_UN_{r+1} \dots\dots (9)$$

独立水系および最下流では、 N_{r+1} の項が省略される。

$${}_iM_r = {}_i\phi_r \cdot H_r \cdot d_r \dots\dots (10)$$

$${}_iN_r = {}_i\phi_r \cdot {}_iD_r (b_r + 2C_r \cdot {}_iS_r) \dots\dots (11)$$

ただし

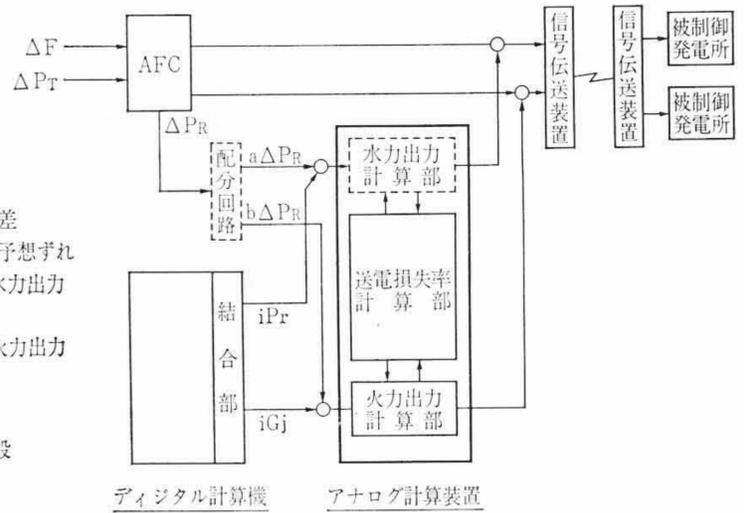


図3 オン・ライン制御システムブロック図

$${}_i\phi_r = {}_i\lambda \left(1 - \frac{\partial {}_iP_L}{\partial {}_iP_r} \right) \dots\dots (12)$$

記号の説明

- ${}_iF_j$: 第*i*時間帯の第*j*火力発電所の燃料費
- K_j : 第*j*火力発電所で使用する燃料のKcal当たりの単価
- $\alpha_{0j} \cdot \alpha_j \cdot \beta_j$: 第*j*火力発電所の固有定数
- ${}_iG_j$: 第*i*時間帯の第*j*火力発電所出力
- ${}_iF$: 第*i*時間帯の燃料費
- C : 一日の総燃料費
- ${}_iP_r$: 第*i*時間帯の第*r*水力発電所出力
- ${}_iH_r$: 第*i*時間帯の第*r*水力発電所の水位
- ${}_iD_r$: 第*i*時間帯の第*r*水力発電所の使用水量の効果
- $a_r \cdot b_r \cdot C_r \cdot d_r$: 第*r*水力発電所固有定数
- Q_{0r} : 第*r*水力発電所の無効使用水量
- S_{ir} : 第*i*時間帯のはじめの第*r*水力発電所貯水量
- ${}_iQ_r$: 第*i*時間帯のはじめの第*r*水力発電所の使用水量
- ${}_iJ_r$: 第*i*時間帯の第*r*水力発電所の貯水池への残留量
- ${}_i\delta_r$: 第*i*時間帯の第*r*水力発電所の貯水池の溢流量
- ${}_iP_L$: 第*i*時間帯の送電損失
- ${}_iP_R$: 第*i*時間帯の側負荷需用里用
- Q_{Tr} : 第*r*水力発電所の一日の使用予定水量
- λ : 増分燃料費

火力発電所出力、使用水量および貯水量などの制限条件を満足させながら以上の計算式を解き、各時間帯の火力発電所出力および水力発電所出力を求めれば、一日の最経済的な運転スケジュールが得られる。水力の計算はグラジエント法によっている。図2に予想計算のフローチャートを示す。最初に、各発電所出力の初期値を仮定し、逐次近似法によって最適解に近づけていくが、繰返し計算の回数は、プログラムで指定するようになっているので、変更は自由にできる。

2.2 オン・ライン制御システムとの関連

図3に、本装置とオン・ライン制御システムとの関連を示す。火力出力計算部、送電損失率計算部を、そのままオン・ライン制御に使用し、水力出力計算部および配分回路を増設する。デジタル計算機は、将来、大形のものに置き換えられ、ELD予想計算などのオフ・ライン計算および、アナログ部に対する基準値設定などに使用されるが、自動給電の拡大にともない、系統の自動運用のための諸計算に利用することも考えている。

3. アナログ計算装置

図4はアナログ部のブロック図である。火力出力計算部と送電損

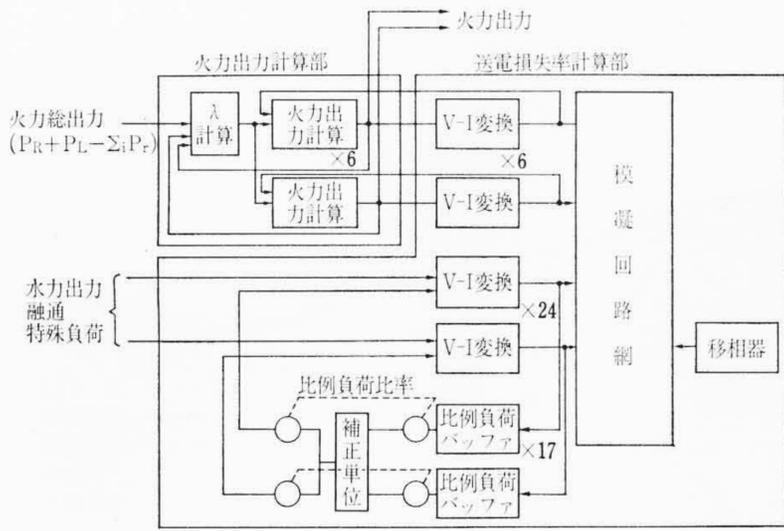


図4 アナログ計算部ブロック図

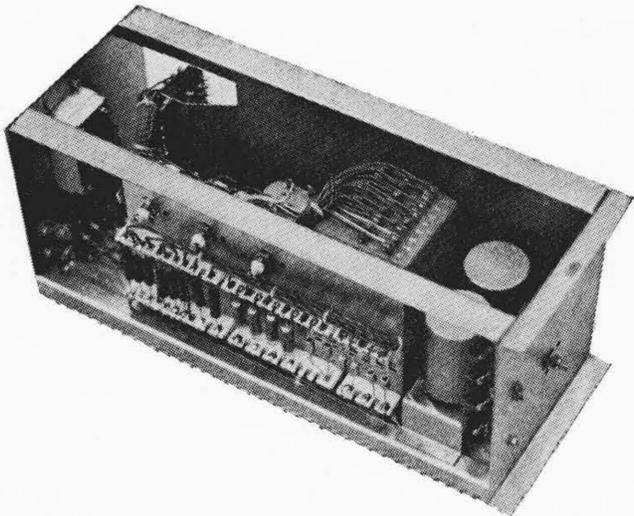


図5 MOA ユニット

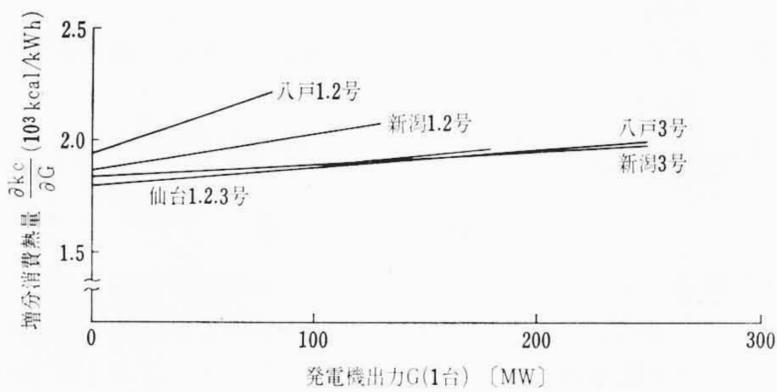


図6 火力発電所増分燃料特性

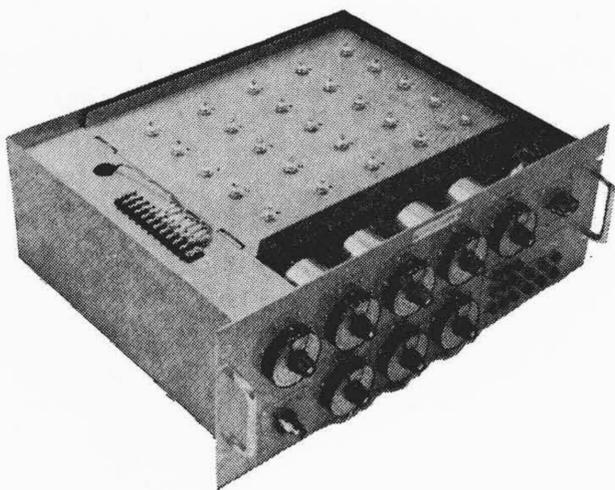


図7 火力発電所単位

失率計算部に分かれている。火力出力計算部には、入力計算回路と火力出力計算回路があり、デジタル計算機から送ってくる、各時間帯の火力発電所分担出力 ($iP_R + iP_L - \sum iP_r$) と送電損失率 $\partial_i P_L / \partial_i G_j$ によって (7) 式を解き、各火力発電所の出力配分を計算する。

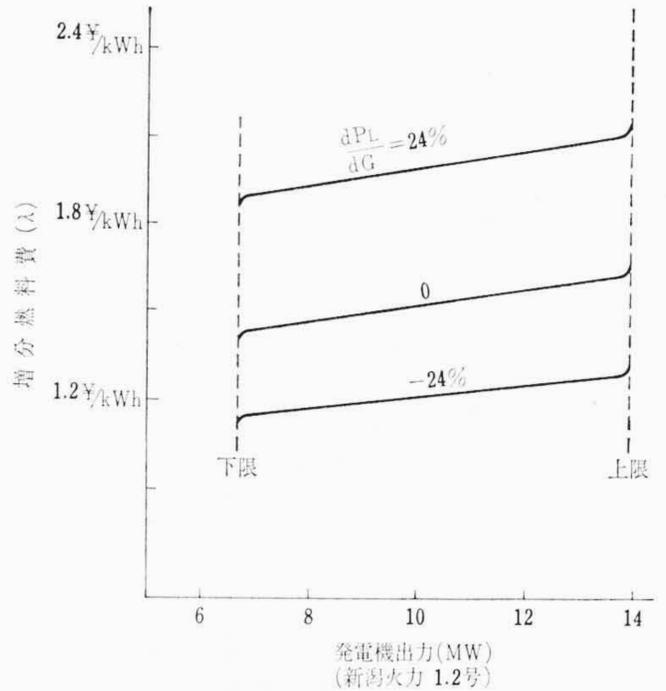


図8 火力発電所単位特性

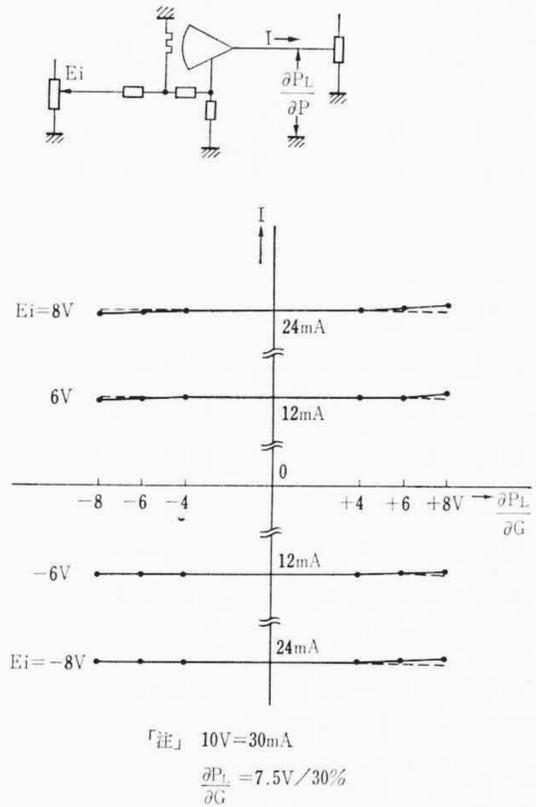


図9 V-I 変換特性

送電損失率計算部は、模擬回路網とこの回路網へ発電所出力、および負荷に比例した、直流電流を流すための電圧-電流変換器 (V-I 変換器) から成る直流計算盤である。模擬回路網は、実系統インピーダンスの実効分に相当する模擬抵抗を用いて、パッチ盤で任意の系統を構成するようにしてある。ループ系が多いので、これを考慮して抵抗値を補正している。また移相器に対しては、移相器単位を設け、系統の実情に合った構成ができるようにしてある。

比例負荷比率は、一日を数時間帯に分け、あるパターンに従って設定できる。

3.1 演算回路の特性

図5は400 c/s形MOAユニットの外観である。各演算回路は、すべて、このユニットによって構成されている。

火力発電所単位

対象火力発電所はすべて新鋭火力であるから、増分燃料費特性は図6のように、ほぼ直線に近い。したがって、この特性は2折線の関数発生器で十分模擬できる。

図7は、発電所単位の外観である。折点および傾斜は前面のポテ

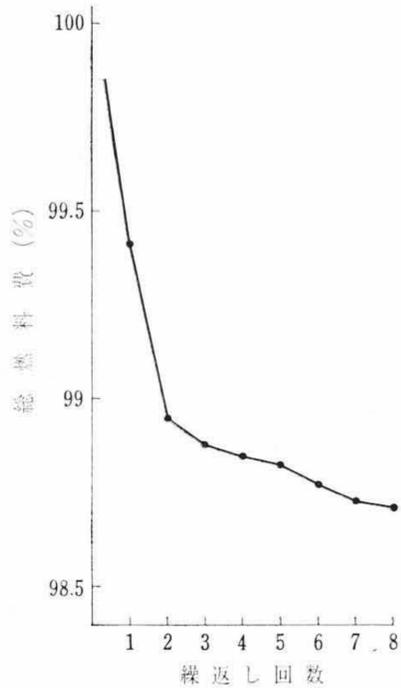


図10 燃料費収束曲線

ンシオメータで簡単に設定できる。図8は $\partial P_L / \partial G$ をパラメータとした特性の一例である。ほとんど直線近似である。

V-I 変換器

図9は変換特性の一例で、横軸に $\partial P_L / \partial G$ 、縦軸に電流をとり、入力電圧に対する出力電流を示している。変換誤差は $\pm 0.17\%$ である。

3.2 組合せ特性

3.2.1 再現性

アナログ計算機の特性の良否を示す尺度として、解の再現性が用いられることがある。一例として λ の再現性について示す。同一の予想計算例題を同一条件で4回計算し、各時間帯の λ の値が等しくなるかどうかをみたものであるが、各時間帯とも4個の解の最大値と最小値の差が、いずれも 0.006 ¥/kWh 程度。 λ のフルスケールに対して 0.2% になり、良好な再現性を示している。

3.2.2 燃料費の収束

繰返し計算を行なうので、燃料費は繰返し回数を増すごとにしたいに最適値に収束する。図10はこの一例である。初期値によって多少異なるが、いずれの場合でも8回程度の繰返して十分な収束状態が得られる。燃料費の低減率は、 1% 前後で十分な効果が認められる。

4. 経年特性と稼働実績

稼働をはじめてから、1年半経過したが最初の1年間は経年特性のもっとも大きく変わる時期であるので、この期間の特性変化で経年特性を判断することができる。MOAユニットの誤差特性を示したのが図11である。

横軸がMOAの出力電圧、縦軸がこれに対する誤差を%で示し

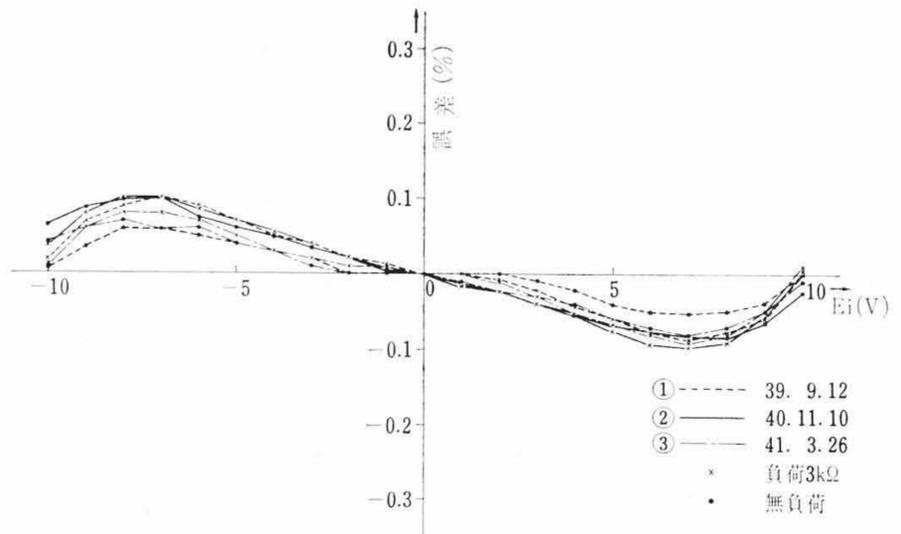


図11 MOAユニット誤差特性の経年変化

ている。誤差曲線①は工場製作時、②は稼働開始後7ヶ月、③は同じく1年後の測定結果である。

この間における誤差特性の変化は、測定誤差を考えるとほとんど無視できる程度である。ほかのMOAユニットも、ほぼ同様である。

稼働実績は非常に良く、特にオン・ライン制御に使用するアナログ計算装置は、この1年半、まったく事故がなく、ほとんど100%の稼働率を示している。

5. 装置の特長

本装置の特長を要約すると次のようになる。

- (1) 方式的には、取り扱いが複雑な多段式直列水系の運用方式を開発した。
- (2) 400 c/s形MOAを使用したので、速応性がよく、信頼度が高い。
- (3) 従来の真空管式に比べ、発熱量が小さく、消費電力が小さい。
- (4) 保守が容易である。

6. 結 言

本装置は、現在、予想計算装置として、給電合理化のために、大きな役割を果たしているが、目下、これをさらに一步すすめるオン・ライン化するためのシステム設計を行なっている。この1年半の稼働実績は、本装置がオン・ライン制御装置として、高い信頼性があることを実証しており、ELDオン・ライン制御について、技術的に明るい見通しをもつことができた。

装置の製作にあたっては、東北電力株式会社関係のかたがたから、終始ご指導とご協力をいただいた。関係各位に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 村山浩：電気公論 1965, 7, p.33~44