

系統電壓・無効電力 制御에 관한 研究

(A Study for the System Voltage and Reactive Power Control)

宋 吉 永*
(Song Kil Yeong)

ABSTRACT

This paper presents a method of the voltage-reactive power control in the long and short range operations and introduces a conception, "optimum control pattern." The optimum control pattern, aiming at the over-all system control, is defined as the optimum voltage distribution which minimizes the system operating cost under the conditions that the specified power be supplied and the system voltage be kept within the specified bounds.

The following procedure was adopted to obtain this optimum pattern. In the first place, a power system was divided into three blocks, namely, load, substation and generator. Lagrange's, multiplier method is applied to each block in turn, paying attention only at the operating voltage distribution. Phase angles at each bus are then modified so that the continuity of active power is maintained. This procedure may be called "block relaxation method with Lagrange's multipliers."

In a long range operation, this control pattern determines the optimum installation capacity of reactive power sources.

In a short range operation, it also gives the reference state of real time control and the optimum switching capacity of reactive power sources. The real time control problem is also studied from the standpoint of cooperation of control devices such as generators, shunt capacitors, shunt reactors and ratio load controllers.

A proposal for the real time control will contribute to the automation of power system operation in the near future.

序 論

近年 電力系統에 있어서의 service quality 의 向上에 重點이 놓여져, 有効電力(周波數) 및 無効電力(電壓)制御에 注目을 띄고 있으나, 前者에 對하여는 이미 經濟負荷配分(ELD) 및 自動周波數制御(AFC)의 實施로 그 主要問題가 大部分 解決되고, 現在는 後者에 對한 研究가 銳意 進行中에 있다.

이와같이 系統制御의 立場에서 電壓・無効電力制御가 뒤떨어진 理由로서 여러가지 要因을 들 수 있을 것이다. 그中 主로 다음 두가지를 들 수 있을 것이다.

1. 最近까지 電力需要의 增大에 따른 設備擴充의 重點이 電源開發 및 이에 關連된 送變電設備에 置重되어 왔다.
2. 制御對象이 될 系統電壓의 變動特性이 局地的인 性質을 띄고 있고, 또 여기 對한 制御裝置의 種類가 많은 뿐만 아니라, 이것들이 必要에 따라 系統 各點에 散在되어 있기 때문에 AFC와 달라 그 制御가 大端히 複雜하다.

특히 오늘날 이와같은 系統電壓・無効電力 制御問題가 重要視되고 있는 것은 이것이 從來처럼 그저 系統電壓의 一定維持 또는 그 調整을 꾀하는데 그치지 않고 系統內 無効電力源을 協調 運用시킴으로써 系統損失의 輕減까지 생각하는 合理的인 系統運用的 實現을 期하고자 하는데 있다고 하겠다.

本 研究는 이와같은 電壓・無効電力制御 問題를 最適 制御 pattern 決定이라는 觀點에서 檢討하고, 이것을 中心으로 系統의 長期 및 短期運用問題 및 系統制御를 推進하는데 있어서의 여러가지 問題를 考察한 것이다.

筆者는 本文에서 이것을 二部로 나누어, 第Ⅰ部에서는 最適制御 pattern의 決定 및 長期的인 系統運用面에서 本 調相設備의 最適設備容량의 決定問題를, 第Ⅱ部에 있어서는 위에서 決定된 系統運轉 pattern의 實現 및 그 維持에 따른 瞬時 制御問題, 特히 將來의 總合的인 系

* 早稻田大 大學院 電力工學研究室・正會員

統의 自動制御化를 指向한 計算機 制御 問題에 焦點을 두고 檢討하였다.

1. 最適制御 Pattern 을 考慮한

系統電壓·無効電力制御에 關하여

1. 最適制御 Pattern 의 決定

1-1. 最適制御 pattern 의 定義

本文에서 생각하는 最適制御 pattern 은, 系統電壓 制御에 있어서의 運轉 目標狀態라고도 할 수 있는 것으로 여기에서는 이것을 다음과 같이 定義하고 있다.

“주어진 系統의 運轉條件 送, 受電端 電力需給에 關한 拘束條件과 系統 主要 母線의 電壓을 許容範圍에 維持한다는 制限條件 아래에서 系統損失의 輕減 및 無効電力 源의 確保를 考慮한 系統運用費를 最少로 하는 電壓分布”라고 하고 있다.

그림 1은 이와같은 最適制御 pattern 을 中心으로 電壓·無効電力制御에 關한 基本的인 問題를 생각한 것이다. 여기서 알 수 있는 바와 같이 最適制御 pattern 決定은 系統構成 및 運轉狀態를 考慮하여 얻어지는 것이며, 決定된 pattern 은 于先 長期運用에 있어서는 調相 設備의 適正配置 및 最適 設備容量의 決定에 역시 短期 運用에 있어서는 瞬時 制御의 目標狀態를 決定하는데 利

用될 것이다.

瞬時 制御에 있어서는 外亂(disturbance) 등에 의하여 생긴 運轉 目標狀態로부터의 偏差를 直時 發電機(AVK) 並列 capacitor 또는 reactor 및 負荷時 電壓調整器(LRC) 등을 協調 操作시켜 許容變動 範圍內에 끌어 들일 것을 생각하고 있다.

또 이때 制御裝置間의 操作 優先 順序, 制御의 質의 良否를 檢討함은 勿論이거나와 各 制御裝置의 動作 範圍를 適正히 確保시키기 爲한 學習(learning)을 通하여 系統의 長, 短 兩期에 걸친 運用을 逐次 修正시킬 수 있는 餘地를 남기고 있다.

1-2. 最適制御 Pattern 의 決定

一般으로 系統 各點의 電力은 節點法(Nodal method)을 使用하여 아래 式처럼 admittance 및 電壓의 函數로서 表現할 수 있다.

$$\dot{Y}_{km} = G_{km} + jB_{km} \tag{1}$$

$k=m$, node k 의 self admittance

$k \neq m$, node $k-m$ 間的 mutual admittance

$$\dot{E}_k = e_k + jf_k = |E_k| \angle \delta_k \tag{1-2}$$

$$\dot{I}_k = \sum_{m=1}^n \dot{Y}_{km} \dot{E}_m = a_k + j b_k \tag{1-3}$$

$$\dot{W}_k = \dot{E}_k \dot{I}_k^* = P_k + jQ_k \tag{1-4}$$

$$P_k = \sum_{m=1}^N G_{km}(e_k e_m + f_k f_m) + \sum_{m=1}^N B_{km}(f_k e_m - e_k f_m) \tag{1-5}$$

$$Q_k = \sum_{m=1}^N G_{km}(f_k e_m - e_k f_m) - \sum_{m=1}^N B_{km}(e_k e_m + f_k f_m) \tag{1-5}$$

또는 이것을 極座標形式으로 表現하면

$$P_k = \sum_{m=1}^N G_{km} E_k E_m \cos \delta_{km} + \sum_{m=1}^N B_{km} E_k E_m \sin \delta_{km} \tag{1-6}$$

$$Q_k = \sum_{m=1}^N G_{km} E_k E_m \sin \delta_{km} - \sum_{m=1}^N B_{km} E_k E_m \cos \delta_{km} \tag{1-7}$$

但 $\delta_{km} = \delta_k - \delta_m$

한편 系統損失(P_{Loss})은 系統 各點 電力의 代數合임으로

$$P_{Loss} = \sum_{k=1}^N P_k = \sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^N [G_{km}(e_k e_m + f_k f_m) + B_{km}(e_m f_k - e_k f_m)] \tag{1-8}$$

또는

$$P_{Loss} = \sum_{k=1}^N P_k = \sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^N [G_{km} E_k E_m \cos \delta_{km} + B_{km} E_k E_m \sin \delta_{km}] \tag{1-9}$$

以上과 같이 系統損失은 母線電壓의 函數로서 表現된다.

다음 一般的인 系統의 運轉條件으로서는 表 1과 같은 內容으로 分類할 수 있을 것이다. 따라서 前述한 最適制御 pattern 이라는 것은 이와같은 運轉條件 아래에서 이때의 系統損失이 最小로 되게끔 調整 可能한

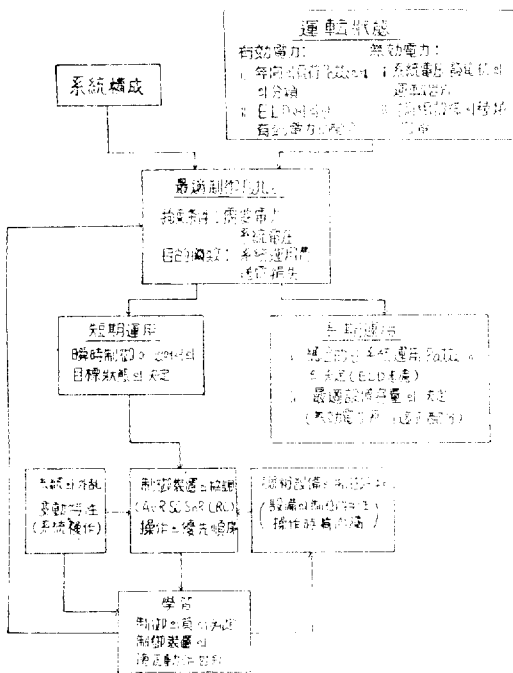


그림 1. 電壓·無効電力制御의 概念圖 (Fig. 1. Outline voltage-reactive power control)

統 各點의 電壓分布를 定한다는 것이다.

表 1. 系統 運轉條件의 分類

(Table 1. Classification of system operating condition)

	電 力 指 定	電 壓	操 作 量	備 考
負荷端	P_L, Q_L	$ E_L _{min} \leq E_L \leq E_L _{max}$		需要電力의 供給
中間變電所	$\sum P_s = 0$ $\sum Q_s = 0$	$ E_s _{min} \leq E_s \leq E_s _{max}$		調相設備가 없을 境遇
	$\sum P_s = 0$ $Q_{smin} \leq Q_s \leq Q_{smax}$	$ E_s _{min} \leq E_s \leq E_s _{max}$	Q_s 可變	調相設備가 있을 境遇
發 電 機	P_g 指定 $Q_{gmin} \leq Q_g \leq Q_{gmax}$	$ E_g _{min} \leq E_g \leq E_g _{max}$	Q_g 可變	ELD로부터 發電機의 有效出力指定
	$P_{gmin} \leq P_g \leq P_{gmax}$ $Q_{gmin} \leq Q_g \leq Q_{gmax}$	$ E_g _{min} \leq E_g \leq E_g _{max}$	P_g, Q_g 可變	ELD 考慮치 않음 (調整可能)

一般으로 이와같은 拘束條件을 가진 極值問題는 다음과 같이 Lagrange의 未定乘數를 使用하며 定式化할 수 있을 것이다.

곧

$$\begin{aligned} \Phi_{jk} &= P_k - \sum_{r=1}^N G_{kr} E_r E_m \cos \delta_{km} - \sum_{r=1}^N B_{kr} E_r E_m \sin \delta_{km} = 0 \\ \Phi_{qt} &= Q_t - \sum_{m=1}^N G_{tm} E_t E_m \sin \delta_{tm} - \sum_{m=1}^N B_{tm} E_t E_m \cos \delta_{tm} = 0 \end{aligned} \quad (1-10 a)$$

이와 같은 拘束條件 아래에서

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial |E_i|} [P_{Loss} + \sum^k \lambda_{pk} \Phi_{pk} + \sum^l \lambda_{qt} \Phi_{qt}] &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial \delta_1} [P_{Loss} + \sum^k \lambda_{pk} \Phi_{pk} + \sum^l \lambda_{qt} \Phi_{qt}] &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial \delta_n} [P_{Loss} + \sum^k \lambda_{pk} \Phi_{pk} + \sum^l \lambda_{qt} \Phi_{qt}] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-10 b)$$

이 외에도 制限條件으로서

$$\begin{aligned} |E_i|_{min} \leq |E_i| \leq |E_i|_{max} \\ Q_j min \leq Q_j \leq Q_j max \\ P_g min \leq P_g \leq P_g max \end{aligned} \quad (1-10 c)$$

를 包含시켜야 할 것이다.

但 $k=1 \sim k$, 指定된 有效電力數

$l=1 \sim l$, 指定된 無効 //

$i=1 \sim n$, 系統母線數

$j=l+1 \sim n$, 無効電力이 調整可能한 母線數

$g=k+1 \sim n$, 有效電力이 //

그러나 以上과 같은 關係式에 있어서는 目的 函數뿐만 아니라 拘束條件이 母線電壓에 關한 二次式으로 表現되고 있고, 또 여기에 不等號를 包含한 制限條件式이 附加되어 있기 때문에 이것을 精密하게 풀다는 것은 極히 困難할 것이다.

특히 一般 電力系統은 多機로 構成되어 있기 때문에 式(1-10)에서 보는 바와 같이, 모든 制限條件을 考慮해서 母線電壓 全體에 關하여 한꺼번에 計算한다는 것은 困難하므로, 여기에서는 다음과 같이 逐次 修正에 의한 反復計算法을 採用하여 式(1-10)을 近似的으로 풀 것을 生覺하고 있다.

1-3. 最適制御 pattern 決定의 反復計算法

여기서는 于先 負荷端에 있어서의 運轉電壓值가 需要電力의 크기에 따라 別途로 指定된 一定值 또는 所定의 運轉範圍를 가지는 것으로 生覺한다. 따라서 前述한 最適電壓分布는 無効電力源의 調整이 可能한 系統母線은 調相設備를 가진 中間 變電所 및 發電所에서의 無効電力制御에 依하여 實現되는 것이라고 生覺할 수 있을 것이다.

本節에서는 이들 系統 母線에 着眼하여 다음에 說明하는 바와 같이 系統의 分割을 基礎로 한 小系統聯系法에 依한 逐次修正法을 導入하고 있다. 곧 系統構成 및 運轉條件을 考慮하여 系統을 兩 以上 몇 개의 block (例를 들면 負荷端, 中間變電所, 發電端)으로 나눈다. 各 block 에 있어서의 電壓 絕對值에 關하여서는 Lagranges multipliers를 利用하여 系統損失을 最小로 하는 最適分布는 同 位相角에 對하여서는 恒時 各 block의 有效電力이 連結되겠음 順次 修正하여 이것을 各 block마다 거듭시키면서 最後에 各 母線의 電壓 vector가 一定值에 收束할 때까지 反復計算시키는 "Block relaxation method"를 採用하는 것이다.

反復計算式의 定式化

(i) 負荷端 block

負荷端 電壓은 需要電力의 供給條件으로부터 $(\Phi_{pi} = \Phi_{qi} = 0, i=1 \sim L)$ 아래와 같이 決定된다.

$$E'_{Li} = |E'_{Li}| \angle \delta'_{Li} = (e_{Li} + \epsilon_{Li}) + j(f_{Li} + \xi_{Li}) \quad (1-11)$$

$$\begin{aligned} |E'_{Li}| &= \sqrt{(e_{Li} + \epsilon_{Li})^2 + (f_{Li} + \xi_{Li})^2} \\ \angle \delta'_{Li} &= \tan^{-1}(f_{Li} + \xi_{Li}) / e_{Li} - \epsilon_{Li} \end{aligned} \quad (1-12)$$

$$\begin{aligned} \text{但 } \epsilon_{Li} &= \frac{1}{J} [(-G_{LLi} \epsilon_{Li} - B_{LLi} f_{Li} + a_{Li}) \Delta P_{Li} \\ &\quad - (-B_{LLi} \epsilon_{Li} + G_{LLi} f_{Li} + b_{Li}) \Delta Q_{Li}] \end{aligned}$$

$$\xi_{Li} = \frac{1}{J} [(G_{LLi} \epsilon_{Li} + B_{LLi} f_{Li} + a_{Li}) \Delta Q_{Li}$$

$$- (-B_{LLi} \epsilon_{Li} + G_{LLi} f_{Li} - b_{Li}) \Delta P_{Li}]$$

$$\begin{aligned} \Delta &= a^2 L_i + b^2 L_i - (G_{LLi} \epsilon_{Li} + B_{LLi} f_{Li})^2 - (G_{LLi} f_{Li} \\ &\quad - B_{LLi} \epsilon_{Li})^2 \end{aligned}$$

$$\Delta P_{Li} = P_{s, Li} - P_{Li} \text{ (需要電力과의 偏差)}$$

$$\Delta Q_{Li} = Q_{s, Li} - Q_{Li} \text{ (需要電力과의 偏差)} \quad (1-13)$$

이때 計算된 $|E'_{Li}|$ 가 앞서 指定된 $|E_{s, Li}|$ 또는 許容運轉範圍 $(|E_{Li}|_{min} \leq |E_{Li}| \leq |E_{Li}|_{max})$ 에서 벗어났을 때에는 크기만을 이때의 制限值에 固定시켜 다음 block 電

壓修正時에 이때의 過, 不足分을 補正시키도록 한다.

(ii) 中間變電所 block

여기에서는 調相設備의 投入를 前提로 하여 다음과 같이 電壓의 絕對值과 位相角을 別途로 나누어 修正시킨다.

A. 運轉 電壓分布의 修正

먼저 여기와 近接한 block에서의 需要電力 또는 發電機의 出力 分擔에 關한 有效電力을 拘束條件으로 하여, 系統 損失 最小를 目標로 하는 電壓運轉值(絕對值)의 最適分布를 Lagrange's multipliers를 利用하여 아래와 같이 求한다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial |E_{s1}|} [P_{Loss} + \sum \lambda_{pk} \Phi_{pk}] &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial |E_{s2}|} [P_{Loss} + \sum \lambda_{pk} \Phi_{pk}] &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial |E_{sm}|} [P_{Loss} + \sum \lambda_{pk} \Phi_{pk}] &= 0 \\ \Phi_{p1} = \Phi_{p2} = \dots = \Phi_{pk} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

B. 電壓 位相角의 修正

위에서 얻어진 $|E_{sm}|_{opt. run}$ 을 維持하고 또한 同 變電所에서의 有效電力에 關한 拘束條件($\Phi_{ps}=0$)의 兩者를 滿足하게끔 아래와 같이 電壓 位相角을 修正할 수 있다.

$$\angle \delta'_{sm} = \tan^{-1} \frac{f_{sm} + \xi_{sm}}{e_{sm} + \varepsilon_{sm}} \quad (1-15)$$

$$\begin{aligned} \text{但 } \varepsilon_{sm} &= \frac{1}{J} [A|E_{sm}|^2(-B_{scm}e_{sm} + G_{scm}f_{sm} + b_{sm}) \\ &\quad - 2f_{sm}AP_{sm}] \\ \xi_{sm} &= \frac{1}{J} [-A|E_{sm}|^2(G_{scm}e_{sm} + B_{scm}f_{sm} + b_{sm}) \\ &\quad - 2e_{sm}AP_{sm}] \\ A &= 2e_{sm}(-B_{scm}e_{sm} + G_{scm}f_{sm} + b_{sm}) \\ &\quad - 2f_{sm}(G_{scm}e_{sm} + B_{scm}f_{sm} + a_{sm}) \\ A|E_{sm}|^2 &= |E_{sm}|^2_{optimum} - |E'_{sm}| \\ AP_{sm} &= P_{s,s} - P'_s \quad (\text{變電所電力의 偏差}) \end{aligned} \quad (1-16)$$

(iii) 發電端 block

여기에서는 ELD 實施의 有無에 따라 두가지로 나누어 진다.

A. ELD 實施의 경우 (P_g 指定)

前述한 中間變電所 電壓의 修正時와 마찬가지로 近接 block의 有效電力에 關한 拘束條件을 考慮한 最適運轉 電壓分布를 먼저 定하고, 다음 이들 $|E_g|_{optimum}$ 과 ELD에 의하여 指定된 發電機 出力(P_g) 兩者를 滿足하게끔 位相角을 修正시킨다.

B. 調整發電所(ELD 無)의 경우

이들 調整發電所에서는 電力, 電壓 등이 許容運轉範圍內에서 調整可能($P_g \min \leq P_g \leq P_g \max | E_g | \min \leq | E_g | \leq | E_g \max$)하므로 여기에선 各 發電所에 對하여 아래와 같

이 Lagrange's multiplier를 利用하여 直接 電壓 vector를 修正할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial e_{gk+1}} [P_{Loss} + \sum \lambda_{ps} \Phi_{ps}] &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial f_{gk+1}} [P_{Loss} + \sum \lambda_{ps} \Phi_{ps}] &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial f_{gn}} [P_{Loss} + \sum \lambda_{ps} \Phi_{ps}] &= 0 \\ \Phi_{pm} = \Phi_{pm+1} \dots = \Phi_{p,s} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-17)$$

以上 (ii), (iii) 各 block에 있어서도 電壓 또는 無効力의 크기가 許容運轉範圍를 넘으면, 반드시 그 限界值를 使用하기로 하고 이때의 過, 不足分을 近接된 다음 block 電壓 修正時 逐次補正되게끔 考慮하고 있다.

以上으로 본 바와 같이 本 計算法을 한마디로 말하면 系統內에서의 無効電力을 free로 하여 各 block 順으로 母線電壓을 逐次 修正하는 一種의 反復 潮流計算法이라 할 수 있을 것이다. 다만 이때 調整이 可能한 電氣에서의 電壓에 對하여, 특히 그 絕對值에 對하여서는 恒상 系統損失 最小化라는 目標 아래 Lagrange's multipliers를 利用하여 그 適正分布를 얻고져 하고 있는 것이 本

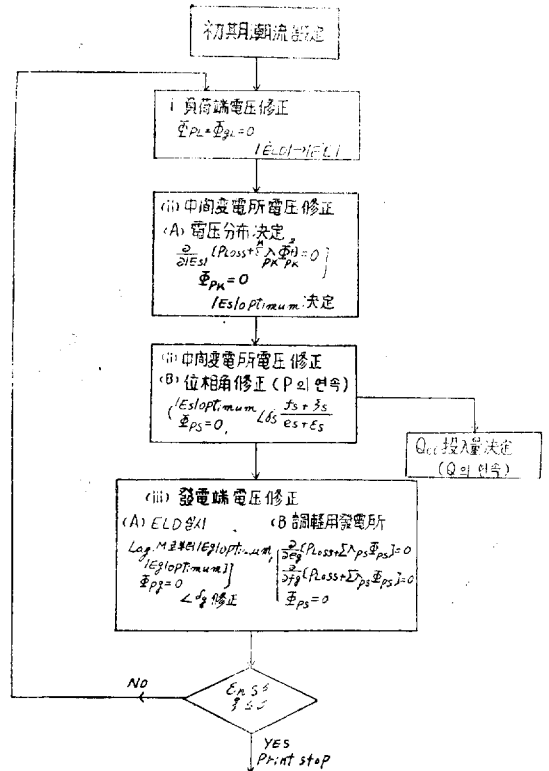


그림 2. 最適制御 pattern의 反復 計算法
(Fig. 2. Block relation method of optimum control pattern)

計算法의 特徵이 될 것이다.

다음 本 計算法의 收束性에 對하여서는 嚴密하게 이것을 證明할 수는 없으나, 適當한 初期值를 使用한다면 大體로 잘 收束한다는 것이 여러가지 計算例에서 確認되고 있다.

그림 2의 flowchart는 本 計算法의 概要를 그린 것이다.

1-4. 計算例

A. 放射狀 系統

먼저 그림 3과 같은 放射狀 4機 系統을 生覺한다. 負荷 및 母線電壓에 關한 制限條件 아래에서 中間變電所 1, 2(母線番號 No. 6, No. 8)의 調相設備運用に 의한 最適制御 pattern을 計算하였다.

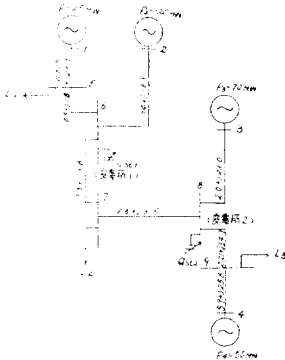


그림 3. 모델 系統
(임피던스(%), 100 MVA base)
(Fig. 3. Model system)
(Impedances(%), 100 MVA base)

그림 4는 이 系統에 있어서의 ELD에 의한 各 發電所의 出力分擔을 보인 것인데, 이中 여기서는 發電所 No. 2, No. 3의 出力이 調整 可能하다고 假定하여, 最適電壓 分布 決定에 이들 發電所를 積極的으로 參加시키고 있다.

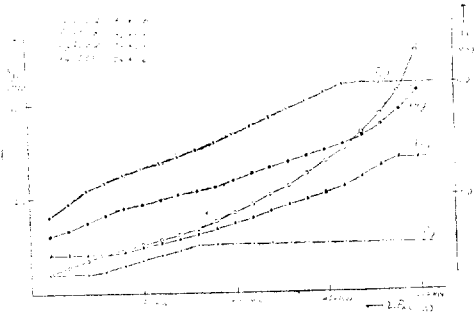


그림 4. ELD에 의한 發電機 出力 分擔
(Fig. 4. Outputs of generators by E.L.D.)

그림 5는 系統負荷가 負荷力率 遲相 85%로 一定한 채, 그 크기가 變化하였을 때의 各 變電所 電壓 및 調

相設備 投入量의 움직임을 본 것이다.

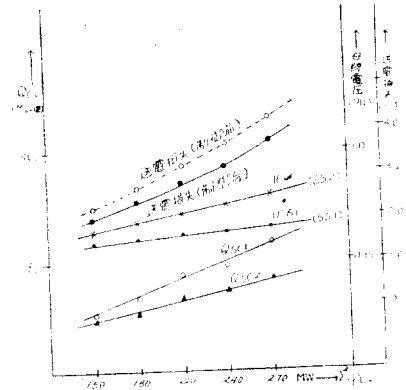


그림 5. 最適電壓 分布 및 調相設備의 最適投入 曲線
(Fig. 5. Optimum voltage distribution and optimum switching capacity of reactive power sources)

이 그림에서 보는 바와 같이 Q_{sc1} , Q_{sc2} 가 投入된 結果, 送電損失이 破線에서 實線 水準까지 輕減되고 있다.

그림 6은 이데의 調相設備 投入量과 發電機의 無効 電力 出力과의 關係를 보인 것으로 이로부터 發電機의 AQR 運轉의 有用性을 살필 수 있을 것이다.

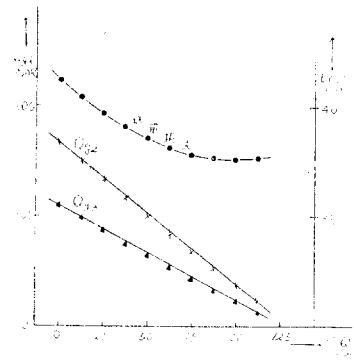


그림 6. 調相設備의 投入量과 發電機 無効 電力의 關係

(Fig. 6. Relationship between reactive power of generator and switching capacity of reactive power sources)

역시 그림 7(a) 및 (b)는 3個所의 負荷力率을 함께 遲相 95%에서 85%에 까지 變化시켰을 때의 電壓分布 및 各 調相設備 投入의 傾向을 본 것이다.

여기에서는 各 負荷端 運轉電壓值를 別途로 指定한 設定值에 一定 維持할 것을 生覺하고 있기 때문에, 調相設備의 投入은 中間變電所 뿐만 아니라, 負荷端인 母線 No. 7, No. 9에도 追加 投入시켜야 한다는 結果가 되고 있다.

이 그림 (a)의 破線은 制御前의 電壓分布와 送電損失인

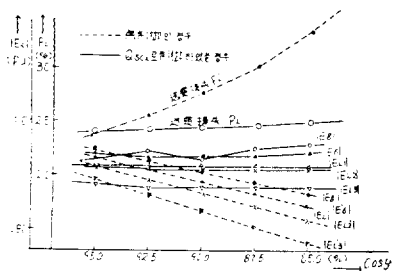


그림 7(a).最適 電壓分布 曲線
(Fig. 7(a) Optimum system voltage distribution curves)

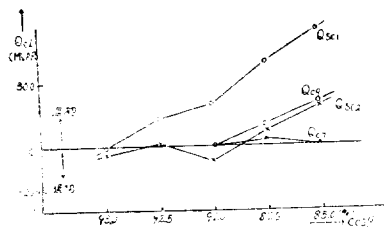


그림 7(b). 調相設備의 投入量
(Fig. 7(b) Switching capacity of reactive power sources)

때, 이것이 (b)圖에 보인바와 같은 Q_{sc1} , Q_{sc2} 의 投入에 의하여 實線 水準에 까지 回復되고 있다.

(이때 負荷端 運轉電壓은 圖中에 記入한 바와 같이 運轉 目標值로부터의 偏差가 $\pm 0.5\%$ 以內에 維持되고 있다.)

B. Loop 系統例

다음 loop 系統의 計算例로서 그림 8 과 같은 model 系統을 생각한다.

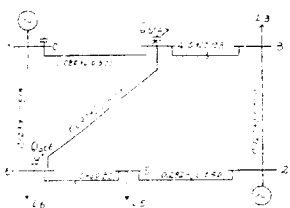
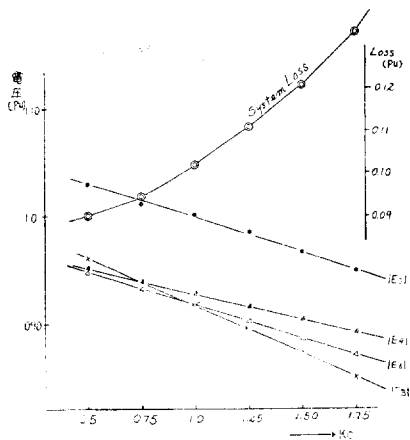


그림 8. Loop 狀 모델 系統
(임피던스(PU) base 100 MVA 115 KV)
(Fig. 8. Loop-type model system)
(Impedances(PU) base 100 MVA, 115 KV)

이것은 Ward & Hale 氏의 model 系統으로 널리 알려진 것인데, 여기에서는 주로 負荷의 無効電力分의 變動에 의한 電壓分布 및 이에 따른 中間變電所에서의 調相設備投入의 움직임을 보고자 하는 것이다.

그림 9는 負荷의 無効電力의 크기가 變化하였을 때의 (이것은 負荷力率의 變化에 對應할) 電壓分布 및 送電損失을 그린 것이다.



$Q'Li = Lc \times QLi$
그림 9. 負荷의 無効電力 變動에 따른 電壓分布
(Fig. 9. Voltage distribution curves($Q'Li$))

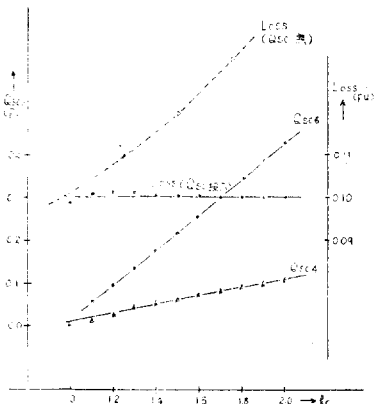


그림 10(a). 調相設備의 投入量과 送電損失
(Fig. 10(a). Switching capacity of reactive power sources and system loss.)

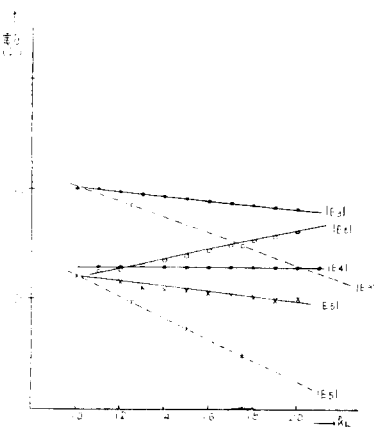


그림 10(b).最適 電壓分布 曲線
(Fig. 10(b). Optimum system voltage distribution curves)

2-2. 計算例

Model 系統으로서 그림 3의 4機 系統을 生發한다. 지금 年間을 通하여 다음과 같은 負荷狀態가 存在한다고 想定한다.

	case 1	case 2	case 3	case 4
L_1	$90+j55.8$	$105+j65.1$	$120+j74.4$	$135+j83.7$
L_2	$30+j18.6$	$35+j21.7$	$40+j24.8$	$45+j27.9$
L_3	$60-j37.2$	$70+j43.4$	$80+j49.6$	$90+j55.8$
P_i	0.1	0.3	0.4	0.2

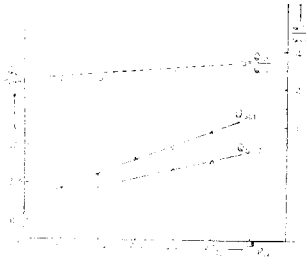


그림 13. 調相設備의 最適投入量 (Fig. 13. Optimum switching capacity or reactive power sources)

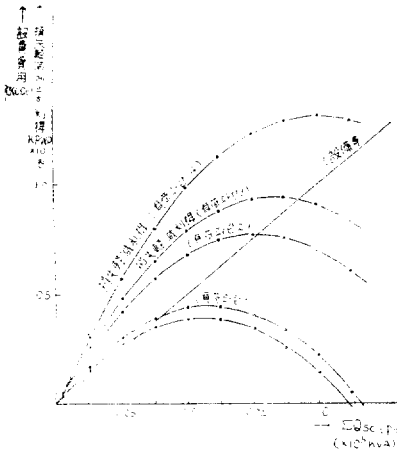


그림 14. 年間 經費曲線 (Fig. 14. Annual expenditure curves)

먼저 그림 13은 上記 4種類의 負荷狀態에 對應한 最適 制御 pattern 으로부터 決定된 調相設備의 設置配分을 본 것인데, 이 경우에는 變電所 No. 1과 No. 2의 設置配分比가 거의 3:2로 一定하게 되고 있다.

그림 14는 이로부터 計算한 損失輕減과 調相設備의 設置에 因한 經費增加의 關係를 본 것이며, 그림 15는 年經費 節減의 利得과 各 負荷 pattern 의 出現 確率을 考慮해서 求한 年經費 節減의 期待值을 나타낸 것이다.

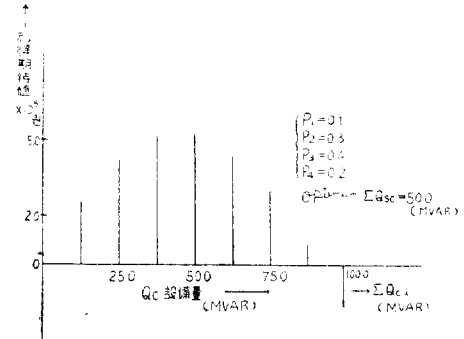


그림 15. 年 經費節減의 期待值(E) (Fig. 15. Expectation(E) of the net reduction of annual expenditure)

이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 이 系統의 最適 設備 容量은 $Q_{sc}^* = 50 MVAR$ 이며, 兩 變電所의 設置配分은 各各 $Q_{sc1} = 30.0 MVAR$, $Q_{sc2} = 20.0 MVAR$ 로 하여야 한다는 것이 結論지워질 것이다.

但 여기서는 送電損失 및 調相設備의 原價를 各各 3圓/kwh, $1600圓 \times 0.125 \text{ kwA}$ (年經費率 考慮)로 假定하고 있다. (繼續)

(1965年 7月 31日 接受)