

論	文
14-4-1	

系統 電壓 · 無効電力 制御에 關한 研究 (II)

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

宋 吉 永*
(Song Kil Yeong)

II. 系統電壓 · 無効電力의 瞬時 制御

1. 概 要

第 1部에서 系統電壓 · 無効電力制御에 있어서의 最適 制御 pattern의 決定에 關한 問題를 檢討하였다.

여기에서 決定된 結果는 長期的인 系統運用에 있어서의 基本的인 運轉 pattern 및 最適 調相設備 容量을 決定 하는데 利用된다는 것은 勿論이지만, 또한 이것은 短期 運用에 있어서의 系統 制御의 目標 狀態를 밝히는데 利用되고 있다.

따라서 第2部에 있어서는 系統 電壓이 外亂(disturbance)에 의하여, 이 目標狀態로 부터 逸脫할때, 곧 이것을 系統 各 地點에 設置된 制御裝置(AVR, SC, LRC 등)를 使用 하여 許容 變動 範圍內에 收復시키는 瞬時制御 問題를 考察하고자 한다.

특히 여기서는 將來의 計算 機 制御에 對備하여 보다 迅速한 計算方式의 開發 및 이것을 實 系統에 適用할 때의 問題點에 重點을 두고 檢討하고 있다.

2. 電壓 · 無効電力 制御의 基本式

電力系統의 電壓 · 無効電力에 關한 瞬時 制御는 發電 機(AVR), 並列 capacitor 및 reactor (SC, Sh R), 負荷 時 電壓調整器(LRC)등 制御 裝置의 協調에 의하여 推進 되는 것이다.

지금 disturbance 때문에 電壓 및 無効電力 潮流가 運轉 目標狀態로 부터 벗어났을 때, $j=m$ 個所의 操作點에 있는 各 制御裝置의 操作量 ΔX_j (操作變數)에 의하여 $i=n$ 個所의 制御點에 있어서 電壓 · 無効電力의 變動值 ΔV_i ,

ΔQ_i (制御量)을 各 各 許容範圍 $\epsilon V_i, \epsilon Q_i$ 以內에 收束하것 爲 制御할때의 基本式은 一般으로 아래와 같은 多元聯立 不等式이 될 것이다.

$$|\Delta V_i| = |LdV_i + \sum A_{ij} \Delta X_j| \leq \epsilon V_i \quad (3-1)$$

$$|\Delta Q_i| = |LdQ_i + \sum B_{ij} \Delta X_j| \leq \epsilon Q_i \quad (3-2)$$

$$\underline{X_j} \leq X_{j0} + \Delta X_j \leq \overline{X_j} \quad (3-3)$$

但

$\Delta V_i, \Delta Q_i$ = 制御 實施後 i 地點에서의 系統電壓 및 無効電力의 目標狀態로 부터의 偏差

dV_i, dQ_i = i 地點의 disturbance에 의한 電壓 및 無効電力의 變動值

A_{ij}, B_{ij} = j 地點의 制御裝置의 單位量 操作에 의한 i 地點의 電壓, 無効電力의 回復을 나타내는 特性定數

$\epsilon V_i, \epsilon Q_i$ = i 地點의 電壓, 無効電力의 許容偏差

ΔX_j = j 地點 制御裝置의 單位操作量

X_{j0} = j 地點 制御裝置의 初期設定值

$\underline{X_j}, \overline{X_j}$ = j 地點 制御裝置의 下限, 上限 操作 限界值

다음 系統 損失로서 系統內의 無効電力 潮流에 의한 變化分을 生覺한다면

$$L_{oss} = \sum L_k = \sum R_k (Q_{k0} + \sum B_{kj} \Delta X_j)^2 \quad (3-4)$$

但

Q_{k0} = k 送電線의 初期 無効電力值

q_k = 制御 實施에 의한 k 送電線의 無効電力 變化分

r_k = k 送電線의 抵抗值

따라서 合理的인 系統電壓, 無効電力制御는 (3-1)(3-2)式에서 보인 바와 같은 電壓, 無効電力潮流(融通 契約量)의 變動을 許容變動 範圍內에 制御함과 同時 (3-4)式의 系統損失을 最小化하는 것이다.

이들 計算法에 對하여는 이미 여러가지 方法이 開發 되어 있으나 (Appendix 參照), 아직 理論的으로 完全한 解法이 確立되기 까지엔 이르지 못하고 있다. 이것은 主

*早稻田 大學院 電力工學研究室 · 正會員

로 각 制御裝置의 操作이 (3-3)式에서 본 바와 같이 所定된 制限範圍 내에서 항상 整數值만을 取한다는 것 및 系統損失을 生覺한 目的函數(performance index)가 二次形式으로 表現되기 때문이라고 生覺되고 있다.

이 외에도 이것은 瞬時制御 問題이기 때문에 計算時間을 될 수 있는 限 짧게 하여야 한다는 制限도 있는 것이다. 本文에서는 實際의인 系統制御의 立場에서 制御의 優先順序를 指定한 直列의인 計算方式을 生覺하고 具體의으로는 이것을 Search method 및 平均損失 輕減比에 의한 初期狀態 選定法을 利用하여 迅速 또한 良質의 結果를 얻을 수 있는 計算法을 開發하였기 때문에 以下 이것을 說明하겠다.

3. 電壓 · 無効電力 制御의 計算法

(i) 計算의 優先 順序 決定

이 問題에 對한 從來까지의 解法은 下式처럼 電壓制御와 損失輕減의 兩者를 하나의 Performance Index 안에 包含시켜, 이것을 同時에 滿足시키코저 하는 것이었다.

$$R = k_0 \sum^m |dV_i| + k_l \sum^l L_k \rightarrow Min$$

但 $|dV_i| \leq \epsilon_{vi}$ (3-5)

$$\bar{X}_j \leq X_{j0} + \Delta X_j \leq \bar{X}_j$$

k_0, k_l = 電壓, 損失 term 의 weight coefficient

그러나 一般의으로는 disturbance 크기 및 發生點 또는 運轉狀態에 따라 電壓과 損失의 變化가 아무런 相關關係도 없이, 極端으로는 그 움직임이 相反되는 수가 많기 때문에 (3-5)式에서 보는 바와 같이 k_0, k_l 兩者의 weight 를 正確히 把握하여 이로 부터 完全한 Performance Index 를 誘導한다는 것은 極히 困難한 것이다.

따라서 여기서는 (3-5)式의 R 을 最小化하는 代身에 實際의인 系統의 制御 內容을 考慮하여, 다음과 같은 直列의인 計算의 優先 順序를 指定한다.

곧 系統 制御에서 가장 重要한 制御量인 電壓偏差를

먼저 許容 變動 範圍內에 끌어 들일 것을 生覺하고, 이것이 達成된 後에 二次的인 制御 目標로 生覺되는 系統損失의 輕減化를 科하고저 하는 것이다.

第一段 電壓偏差의 制御

$$E = \sum^m |dV_i|^2 = \sum^m |d_{vi} + \sum^m A_{ij} \Delta X_j|^2 \rightarrow Min$$

$$\bar{X}_j \leq X_{j0} + \Delta X_j \leq \bar{X}_j \quad (3-6)$$

第二段 系統損失의 輕減

$$F = \sum^p r_k (Q_{k0} - \sum^m B_{kj} \Delta X_j) \rightarrow Min$$

$$|dV_i| \leq \epsilon_{vi}$$

$$\bar{X}_j \leq X_{j0} + \Delta X_j \leq \bar{X}_j \quad (3-7)$$

(ii) Search Method 의 導入

前述한 바와 같이, 이 問題는 全 操作變數 $\Delta X_j (j=1, 2, \dots, m)$ 가 上限, 下限을 가진 操作範圍 內에 있어서 整數 解만을 가지는 整數值 問題(integer programming problem) 이기 때문에

(a) Solution 의 整數值化

(b) Solution 이 制限範圍로 부터 逸脫할 경우 등에 問題가 있어, 이것을 解析的으로 論다는 것은 至極히 困難한 것이다.

따라서 여기서는 各 計算 step 마다 各 制御裝置의 單位量 操作에 의한 制御效果를 比較하면서 그 中에서 第一效果가 큰 ΔX_j 를 選擇하는 Search method 를 採用한다.

이것은 (3-6)式 및 (3-7)式에서 보는 바와 같이 電壓, 系統損失에 關한 判定函數 E, F 가 언제나 操作코저 하는 操作變數의 二次式(凹函數)으로 表現되고 있기 때문에 아래와 같이 容易하게 生覺할 수 있을 것이다.

곧 $f = a\Delta X_j^2 + b\Delta X_j + C$ 로 되기 때문에

任意的 初期狀態 $M_j^0 = [f] X_{j0}$ 로 부터 X_j 를 單位量 (ΔX_j) 만 操作해서 얻어지는 結果 $M_j^+ = [f] X_{j0} + \Delta X_j$ 또는 $M_j^- = [f] X_{j0} - \Delta X_j$ 의 三者間에는 반드시 아래의 關係中 하나를 滿足할 것이다.

以上的 簡單한 試算으로부터 各 操作變數 ($j=1 \sim m$) 의

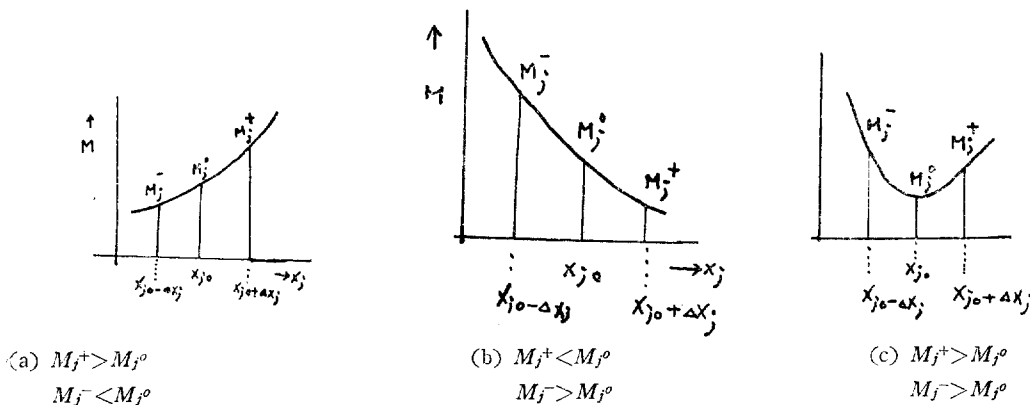


그림 16. Search Method 의 說明

單位量 操作에 의한 極小值 $M_1^* M_2^* \dots M_m^*$ 가 얻어 질 것이다. Search method는 每回의 計算 step에 있어 다시 이 가운데 있어서 가장 작은 (M_i^*) Min을 [(M_j^*) min = Min of ($M_1^* M_2^* \dots M_m^*$)] 찾아내는 方法이라 하겠다.

이 方法에 의하면, 干先 計算이 每回의 iteration step에 있어서 언제나 制御效果 最大의 方向으로 進行된다는 것이 保障될 것이다. 또 每回의 試算에 있어서는 各 操作變數의 單位量 操作에 의한 制御效果를 比較하고 있으므로 前述한 바 solution의 整數値化 問題 또는 操作 範圍 逸脫 問題가 앞서 容易하게 解決되는 것이다.

이 외에도 Search method의 計算 自體가 簡單한 數値의 代入과 判斷만을 包含하고 있기 때문에 所要 計算時間이 從來의 方法에 比較해서 大幅的으로 短縮된다는 長點도 가지고 있다.

(iii) 平均損失 輕減比에 의한 初期狀態의 決定

上述한 Search method는 各 操作變數의 制御效果를 比較하면서 逐次 計算하는 iterative method이지만, 一般的으로 이러한 反復計算에서는 計算 開始의 初期狀態 如何에 따라 計算結果가 틀리는 수가 흔히 있다.

특히 여기서 生覺코져 하는 電壓·無効電力 制御에 있어서는 各各의 電壓 變動分을 許容變動 範圍 內에 維持하면서 同時에 系統損失을 될 수 있는대로 輕減 시키고져 하는 것이 制御의 目標이기 때문에, 計算 開始의 初期狀態를 適當하게 選擇한다는 것이 重要한 問題가 될 것이다.

이에 對하여 本節에서는

- (a) Disturbance의 發生은 아무런 規則性이 없는 random의 이라는 것
- (b) 制御裝置의 操作에 의한 系統 狀態의 微少 變化에 對하여, 各 制御裝置의 制御效果 크기가 別影響을 받지 않는다.

라고 하는 基本的인 假定을 利用하여 다음에 說明하는 바와 같은 平均損失 輕減比에 의한 初期狀態의 決定을 生覺한다.

먼저 (3-4)式의 系統損失은 다음 式 처럼 操作코져 하는 任意의 操作變數 ΔX_n 의 二次式으로 表現된다.

$$F = \sum r_k (Q_{kj} + \sum B_{kj} \Delta X_j)^2 \tag{3-8}$$

$$= a \Delta X_n^2 + b \Delta X_n + c \tag{3-9}$$

$$\begin{aligned} \text{但, } a &= \sum r_k (B_{kn})^2 \\ b &= 2 \sum r_k (Q_{ko} + \sum_{j=1}^{m-1} B_{kj} \Delta X_j) B_{kn} \\ c &= \sum r_k (Q_{ko} + \sum_{j=1}^{m-1} B_{kj} \Delta X_j)^2 \end{aligned} \tag{3-10}$$

여기서 ΔX_n 의 單位量 操作(K step → K+1 step)에 의한 損失 輕減比 $R(\Delta X_n)$ 을 아래와 같이 定義한다.

$$R(\Delta X_n) = \frac{k_{+1} F(\Delta X_{n+1}) - k F(\Delta X_n)}{k F(\Delta X_n)}$$

$$= \frac{2a \Delta X_n + (b+1)}{a \Delta X_n^2 + b \Delta X_n + c} \tag{3-11}$$

한편 앞서 說明한 假定1로부터 各 制御裝置($j=1, 2, \dots, m$)의 操作 確率은 $1/m$ 이며, 역시 假定2로부터 各 制御裝置의 操作 範圍에 있어서는 各各의 操作에 의한 損失 輕減 傾向이 거의 一定하게 持續된다고 生覺되므로, Search method를 適用할 時의 初期狀態로서는 下式과 같은 損失 輕減의 期待值(또는 平均損失 輕減比)가 가장 큰 狀態를 選擇하면 될 것이다.

$$\begin{aligned} R_m(\Delta X_n) &= \frac{1}{m} \sum R(\Delta X_j) \\ &= \frac{1}{m} \sum \frac{2a \Delta X_j + (b+1)}{a \Delta X_j^2 + b \Delta X_j + c} \end{aligned} \tag{3-12}$$

그런데 一般 問題로서 制御目標 狀態는 各 操作變數의 操作 範圍의 中央値에 存在하여야 될 것이므로 上述한 初期狀態의 選定은 全 操作變數가 下限 또는 上限에 設定된 두가지의 경우만을 生覺하면 充分할 것이다.

以上の 計算法의 概要를 다음 그림 17~20에 보인다. 그림 17은 全體의인 計算法의 概要를 보인 것이며, 그림 18에서 그림 20에 그 中心이 되는 E → Min 부분(F → Min과 同一)만을 詳細하게 그렸다. 計算은 主로 NEAC 2203 機에 의하였으나, 別途로 IBM 7090에 의하여서도, 大規模의 實系統의 計算이 推進되었다.

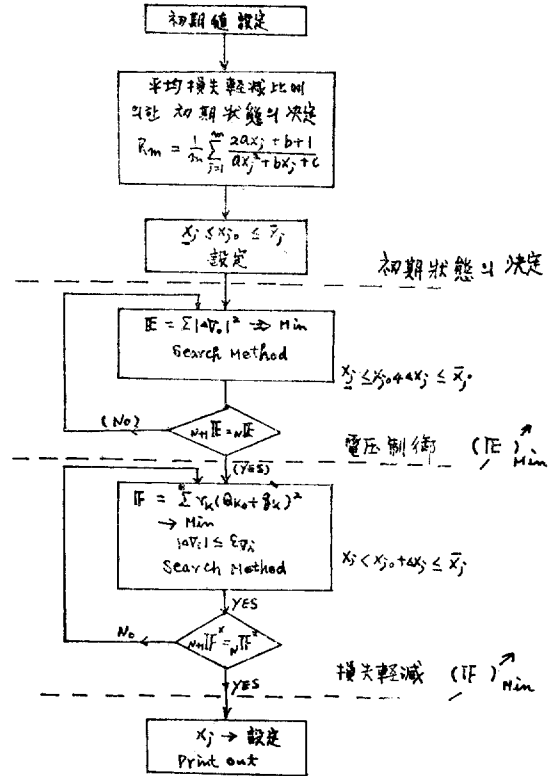


그림 17. 計算法의 概要

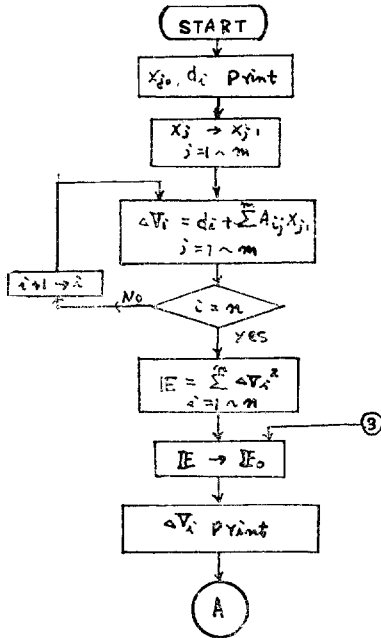


그림 18. E 最小化의 flow chart A

電壓 · 無効電力 瞬時制御

計算方法

- I. (i) $E = \sum \Delta V_i^2 = \sum (d_i + \sum_{j=1}^m A_{ij} X_j)^2 \rightarrow \text{Min}$
 $X_j \leq X_{j0} + \Delta X_j \leq \bar{X}_j$
- (ii) $F = \sum L_k = \sum r_k (O_{k0} + \sum_{j=1}^m B_{kj} X_j)^2 \rightarrow \text{Min}$
 $X_j \leq X_{j0} + \Delta X_j \leq \bar{X}_j$
 $|\Delta V_i| \leq \epsilon V_i$

I. Search Method

$M_j = [E]_{X_{j0}}, M_j^- = [E]_{X_{j0} - \Delta X_j}, M_j^+ = [E]_{X_{j0} + \Delta X_j}$

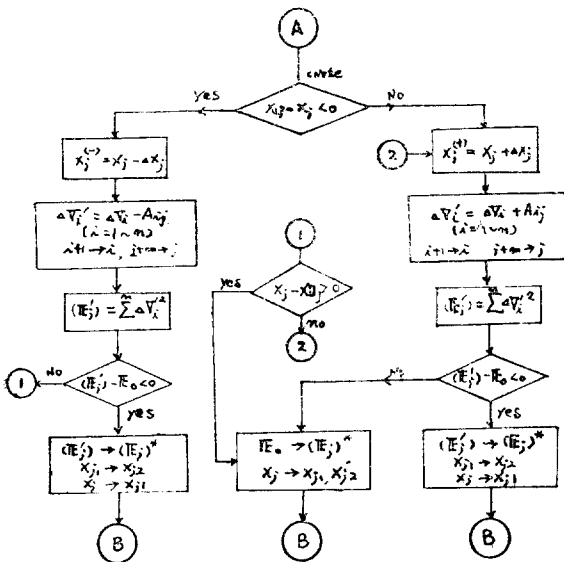


그림 19. E 最小化의 flow chart B

比較 $\rightarrow M_j^*$

$(M_j)^*_{Min} [= \text{Min of } (M_1^* M_2^* \dots M_j^*)]$ 를 決定함

Note 1 $[X_{j0}]$ 부터의 單位量 增減은 便宜上 $-(\Delta X_j)$ range 부터 生覺함. 一般으로는 disturbance의 內容 (+ or - di)을 生覺하여, $+\Delta X_j$ or $-\Delta X_j$ 로 하며 所要 step 內에서의 M_j^ 判定回數가 輕減될 것이다.

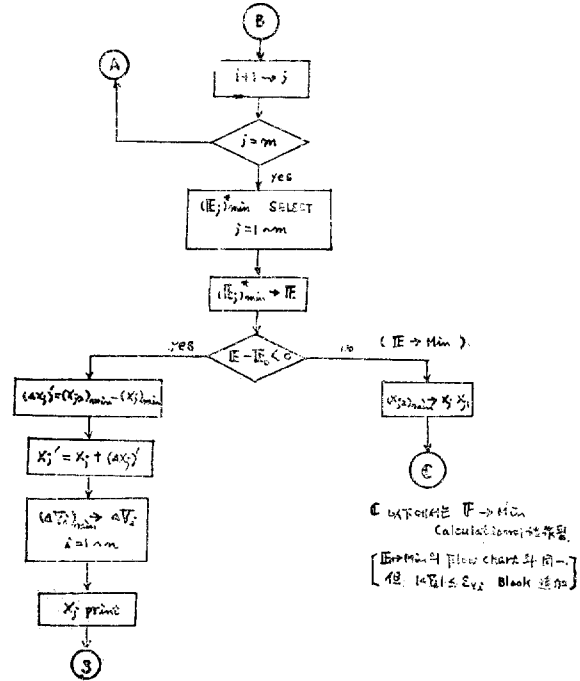


그림 20. E 最小化의 flow chart C

4. 計算例

(1) Model 系統 I

計算에 使用한 model 系統 및 計算條件을 그림 21에 보인다. [操作點 6 ($N_1, N_2, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$) 電壓 監視點 6 ($V_1 \sim V_6$), 送電損失 監視 線路數 5 ($Q_1 \sim Q_5$)]

그림 22 (a), (b)는 disturbance case 1 및 2에 對하여 計算한 結果이다.

여기서 보는 바와 같이 計算에서는 먼저 電壓偏差의 制御만을 生覺한 $E = \sum_{i=1}^6 \Delta V_i^2 \rightarrow \text{Min}$ 을 計算하고, 이것이 達成된 다음에 計算 目標을 損失輕減으로 바꾸어 $F = \sum_{k=1}^5$ 의 最小化를 目的으로써 最終적으로는 兩者를 滿足시키고 있다.

이때 計算 開始의 初期狀態로서는 全 操作變數를 上 限 值에 設定(X_j)upper 하였을 때의 平均損失 輕減比가 -2.65%로서 下 限 值 設定時(X_j)lower의 -1.05%보다 크기 때문에 本 計算에서는 그림 22 (a), (b)에 보듯이, 計算은 $[X_j]_{upper}$ 로부터 始作하고 있다.

그림 23은 本 計算法에 의한 計算 結果의 質을 最終的

인 損失分布로부터 比較 檢討한 것이다. 計算한 model 系統에 있어서는 全 操作變數에 의한 combination 이 205, 335 個(=7×7×5×9×9)에 達하고, 이 中 電壓의 整定條件 $|\Delta V_i| \leq \epsilon V_i$ 을 滿足하는 것이 1.913 combination 였었는데 (case 2), 計算開始의 初期狀態를 上述한 平均損失 最小值에 의거하여 $[X_j]_{upper}$ 로 決定한 結果 最終의 인 solution 이 損失 最小值에 到達되고 있다.

이와 같은 solution 의 實에 對하여는 이 外의 여러가지 系統에 對하여도 比較 檢討한 結果, 筆者의 計算法에 의하여 充分히 滿足할수 있다는 것이 確認되고 있다. (*本 model 系統은 東京電力系統 二次系統이다)

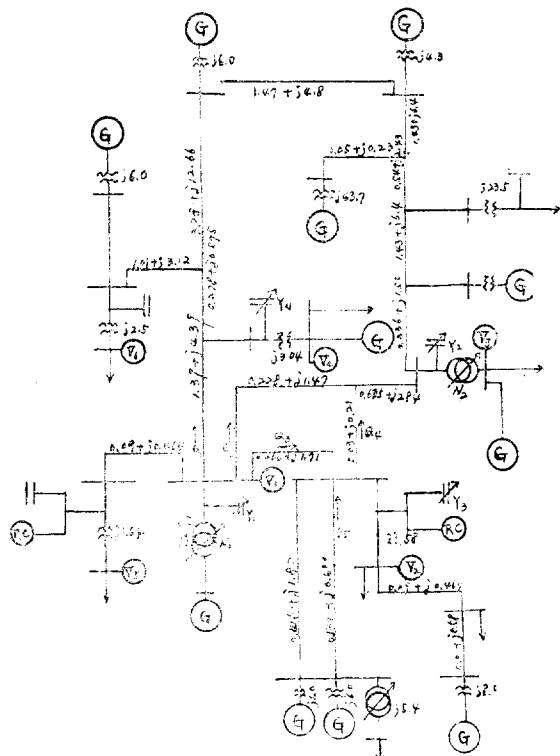


그림 21. Model 系統 [임피던스(1%)
100 MVA base]

A. 系統 特性定數

$$|\Delta V_i| = |dV_i + \sum_{i=1}^m a_{ij} \Delta X_j|$$

$$|\Delta Q_i| = |Q_{i0} + \sum_{i=1}^m b_{ij} \Delta X_j|$$

$$[a_{ij}] =$$

0.45	-0.18	0.12	0	0.065	0.065
0.19	-0.15	0.06	0	0.02	0.05
0.19	0.45	0.45	0.3	0	0
0.26	0	0.075	0	0	0.504
0.40	0	0.05	0	0	0
0.21	0	0.01	0	0	0

$$[b_{ij}] =$$

3.0	-0.6	0.5	0.5	0.2	-2.2
6.8	1.3	1.5	-0.85	-0.8	0.6
5.8	0.5	1.2	0	1.0	0.5
4.0	-2.4	1.1	1.35	-1.15	0.9
-6.0	2.7	-1.35	0	-1.05	-0.7

B. 計算條件

$\gamma_1 = 1.39$	$Q_{10} = 5.0$	$-6 \leq N_1 \leq 6$
$\gamma_2 = 0.228$	$Q_{20} = 27.0$	$-6 \leq N_2 \leq 6$
$\gamma_3 = 0.266$	$Q_{30} = 18.0$	$0 \leq SC_1 \leq 5$
$\gamma_4 = 0.0329$	$Q_{40} = -52.0$	$0 \leq SC_2 \leq 3$
$\gamma_5 = 0.134$	$Q_{50} = 26.0$	$0 \leq SC_3 \leq 9$
		$0 \leq SC_4 \leq 9$

C. 外 亂

case 1.	$Vd_1 = -2.0$	$Vd_3 \sim Vd_6 = 0$
	$Vd_2 = -3.0$	
case 2.	$Vd_1 = -1.5$	Vd_4
	$Vd_2 = -2.0$	Vd_5
	$Vd_3 = -1.25$	Vd_6

但 LRC=1 tap, SC=5.0 MVAR 投入, LRC, SC 變化에 對한 電壓變化 % LRC, SC 變化에 對한 無効電力의 變化는 MVAR.

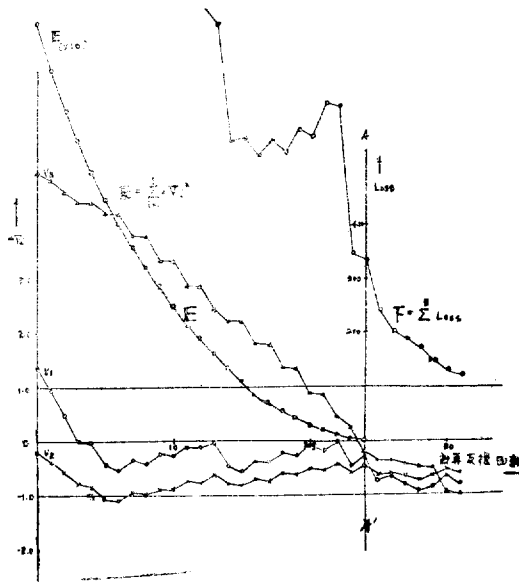


그림 22. (a) 計算結果의 1例(case 1)

* $[X_j]_{upper}$ 로부터 計算開始 [Fmin=123.4]

**計算 所要時間 {E Min 6 sec/1 itr} (by NEAC 2203)
{F Min 13 sec/1 itr}

(2) 東京電力 超高壓 系統의 計算例

다음 計算例로서 最近에 計算한 東京電力의 超高壓 系統例를 說明한다.

가까운 將來 超高壓 系統의 電壓·無効電力 制御를 計算

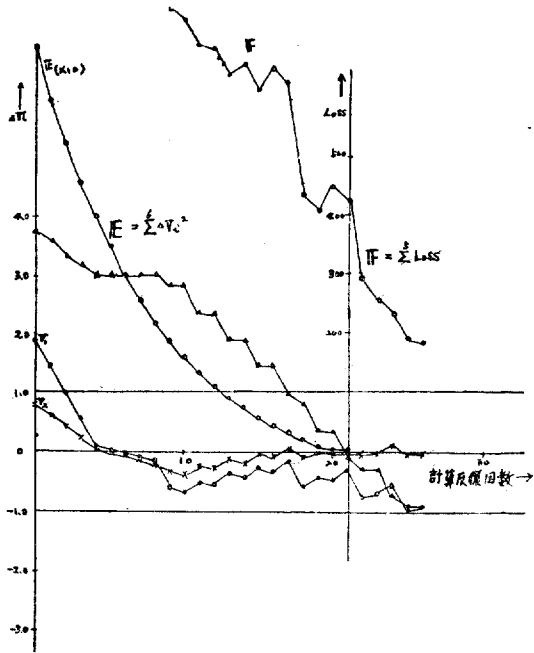


그림 22. (b) 計算結果의 1例(case 2)

[Fmin=181.5]

*[X_j] upper 로부터 計算開始

**計算 所要時間 { E Min 6 sec/1 itr } (by NEAC 2203)
 { F Min 13 sec/1 itr }

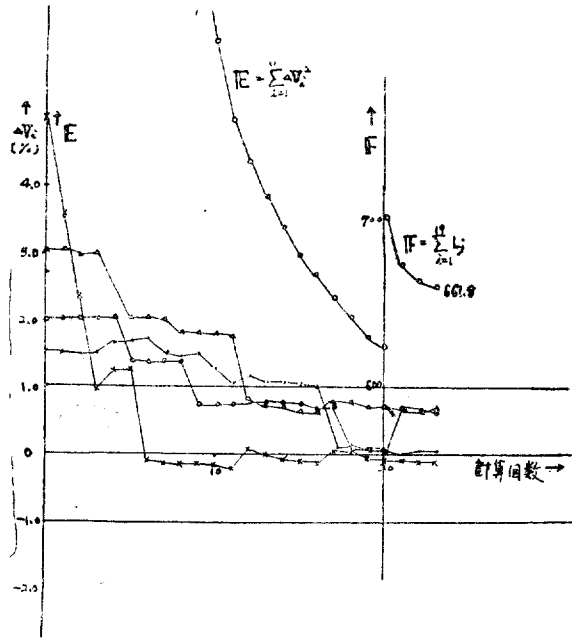


그림 24. 計算結果의 1例

{房總 2% 東浜 3%} ((X_j)₀ 부터 start
 {中東京 1.5% 東富士 5%}

Search method를 適用 시킴으로서 充分히 無足 할 수 있는 solution을 얻을 수 있음을 알 수 있을 것이다.

5. 計算機 制御適用에 關한 檢討

以上에서 본 바와 같이, 計算機制御를 實施함으로써 所 要의 運轉 pattern 곧 主要 母線電壓의 最適分布를 決定 하여, 이것을 許容變動 範圍 內에 維持함과 同時 系統內 無効電力源을 合理的으로 協調 運用함으로써, 系統 損失 輕減을 期待할 수 있다는 것이 밝혀졌다.

가까운 將來에 있어서의 系統 運用 總合 自動化의 構想 과 더불어 系統電壓 無効電力의 計算機 制御의 實現이 期待되고 있는데 이에 따른 具體的인 檢討 問題中, 主로 그 中心이 될 計算機의 內容을 生覺하여 본다.

- 普通 制御用 計算機의 規模로서 問題가 되는 것은
 (i) 記憶容量 (ii) 所要 計算時間
 의 兩者일 것이다.

本文에 실은 計算方式에 의거하여 이것을 推定하면 大 略 아래와 같이 된다.

- 지금 n=電壓 監視點 數
 m=操作變數의 數
 l=損失監視線路數

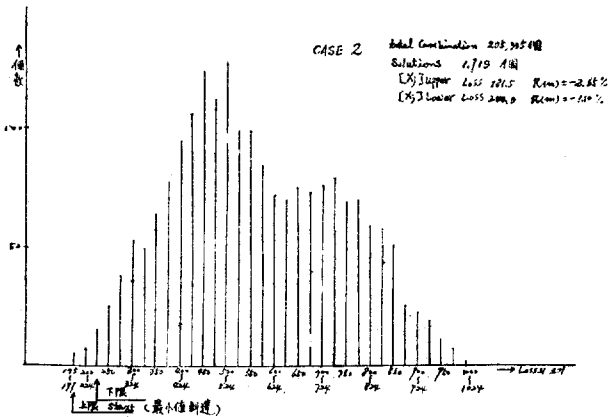


그림 23. 送電損失(solution)의 分布

機制御한다는 目標 아래, 基礎的인 研究가 거듭되고 있다.

앞서 1967年 12月 重負荷時를 想定한 系統定數를 電力潮流의 反復計算으로 算定하였기 때문에 (電壓監視點 11, 損失監視線路 26, 操作點 N_i=10, S_c_i=10, Gen = 10計 30) 이 資料를 使用하여 本文의 計算法을 適用하였다. (第 1段階計算에서는 電壓監視點 11, 損失監視線路 19, 操作點 14(LRC-6)로 整理하였음.

그림 24는 disturbance의 計算例로 計算初期狀態를

k=操作變數의 平均操作 taq 數

$\gamma_1\gamma_2 = E \rightarrow \text{Min}, F \rightarrow \text{Min}$ 收束時의 平均計算 step數

$\lambda, \mu =$ 計算機의 加算, 乘算의 演算速度라고 하면

(i) 計算機의 所要記憶容量 (M)

$$M = (1.2 \sim 1.5) \times m(n+1)$$

(ii) 所要 計算時間 (T)

$$T = 2[m(8m+3)\gamma_1\lambda + \{m\gamma_1 + m(n+2l)\}\gamma_2\mu]$$

따라서 $n=30, m=30, l=30, k=10$ 의 規模를 가진 計算에도(將來의 韓國系統 規模를 想定한) 所要 記憶容量이 約 2,500 語 所要 計算時間이 約 2~3分 정도로서(但 $\lambda=50\mu, \mu=200\mu s$ 로 假定) 充分히 그 實現이 可能할 것이다.

따라서 記憶容量 3,000~4,000 語 程度의 專用 中型 電子計算機를 採用하여도 좋겠지만, 系統運用 總合 自動化의 關連에서 電子計算機를 多目的 利用의 一環으로 使用한다면 더욱 더 그 效果가 클 것으로 生覺된다.

結 論

以上 最適制御 pattern을 中心으로 系統電壓 無効電力 制御를 檢討하였다.

그 結果

1. 最適 電壓分布 決定이라는 觀點에서 系統의 運轉 pattern을 定한다는 것은 極히 有用한 方法이라고 할 수 있을 것이다.

또 이들의 制御 pattern으로 부터 系統內 無効電力源의 適正 配置問題 및 適正 設備容量 決定을 容易하게 할 수 있다.

2. 電壓·無効電力의 瞬時制御에 對하여서는 從來부터 問題가 되어 온 制御 目標狀態를 本文의 最適制御 pattern으로 부터 밝힐 수가 있었다.

3. 亦是 瞬時制御의 計算方式으로서 系統制御 內容에 따른 直列的인 計算法을 提案하고 여기에 Search method 및 平均損失 輕減比에 의한 初期狀態 決定法을 利用하여 所要 計算時間을 크게 短縮시킴으로서 將來의 計算機 制御 適用의 有望性을 크게 할 수 있었다.

마지막으로 本研究에 對하여 指導해 주신 埴野一郎 教授 및 東京電力 給電課 諸氏에게 깊이 感謝하는 바이다.

附 錄

電壓損失을 함께 考慮한 計算法

$$\text{電壓 } \Delta V_i = dV_i + \sum A_{ij}X_j \quad (A-1)$$

$$\text{損失 } L_k = \sum r_k(Q_{qk} + \Delta Q_k)^2 \quad (A-2)$$

$$\Delta Q_k = d_{gk} + \sum b_{kj}X_j \quad (A-3)$$

兩者의 weight coefficient를 k_v, k_l 라 하면

$$R(X_j) = K_v \sum \Delta V_i^2(X_j) + k_l \sum r_k(Q_{k0} + \Delta Q_k)^2 \quad (A-4)$$

$$\frac{\partial R(X_j)}{\partial X_j} = Q \text{ 및 } X^l + \Delta X_j = \Delta X^{l+1} \text{로 부터}$$

$$k_v \sum \Delta V_i A_{ij} + k_l \sum r_k(Q_{k0} + Q_k) \cdot B_{kj} + (k_v \sum A_{ij}^2 + k_l \sum r_k B_{kj}^2) \Delta X_j = 0 \quad (A-5)$$

$$[\Delta X_j] = - \frac{\sum k_v \sum \Delta V_i A_{ij} + k_l \sum r_k(Q_{k0} + Q_k) B_{kj}}{k_v \sum A_{ij}^2 + k_l \sum r_k B_{kj}^2} \quad (A-6)$$

Weight coefficient의 1例

$$k_v = k_1 \sum |\Delta V_i|$$

$$k_l = \frac{k_2}{k_v} = \frac{k_2}{k_1} \frac{1}{\sum |\Delta V_i|}$$

$$(k_v = 0.1 \sim 0.2, k_l = 10 \sim 20)$$

參 考 文 獻

1. 田村, 宋: 電力系統工學專門委, 資料 15 電力 1964. 9
2. 上之齒, 宋: 電中研技研報告, 電力 64002 1963. 4
3. 田村, 宋: 電氣學會給電專門委, 資料 46 1964. 9
4. Calvert J.F. et al: Tr. AIEE, vol. 76 1439~46 1957.
5. 埴野, 宋: 早大 理工研報告 No.29 1965. 5
6. Word & Hale: Tr AIEE vol. 75 398~404 1956.
7. J.B.Dennis: Mathematical Programming 1959.
8. 尾出, 西山: 電學誌 84, 904 1964. 1
8. 埴野, 宋: 早大 理工研報告 No.26 1962.12
10. 宋: 電氣學會 給電 專門委, 資料 52 1965. 5
11. 宋: 電氣學會 給電 專門委, 資料 1965. 9

(1965年 8月 20日 接受)