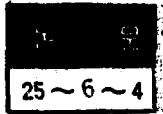


電壓・無効電力의 計算機制御에 관한 研究



第1部 計算機制御方式의 理論的開發

A Study on Computer Control of Voltage-Reactive Power Part 1-Development of Computer Control Scheme

宋 吉 永*
(Kil Yeong Song)

Abstract

The present voltage-reactive power control aims at an overall coordination of reactive power sources and voltage regulating devices to keep the bus voltages within their allowable bounds on one hand and to reduce the transmission losses on the other.

This paper presents an efficient computer control scheme for the real-time control of system voltage and reactive power on the basis of a simplified linear equation by using the system characteristic constant. Computational algorithm is used for the minimization of bus voltage deviation in the first phase of optimization and for the reduction of transmission losses under the constraint of voltage settling condition in the second phase.

The numerical example for sample practical system is also given.

The present study on the computer control scheme will contribute to the automation of power system operation in the near future.

인가 하는 문제에 대해서는 다음 기회에 보고하고자 한다.

1. 緒 言

최근 電力系統運用的 自動化추세에 따라 電壓・無効電力에 관한 綜合制御問題가 많은 관심을 모우게 되었으며 그 開發방향도 各所의 電壓・無効電力調整設備 상호간의 협조를 취하면서 運轉電壓의 適正值維持 및 送電損失의 最小화를 목표로 한 이른바 計算機制御시스템의 확립에 力點을 두고 추진되고 있다고 하겠다(1),(2).

거자도 일찌기 系統電壓・無効電力의 綜合制御에 관한 研究結果를 발표한바 있으나(3),(4) 이번에는 우리나라 系統에서 장차 導入을 계획하고 있는 自動給電시스템에 對處한 電壓・無効電力의 計算機制御方式의 연구 결과에 대해서 보고하기로 한다.

먼저 第1部에서는 이들 計算機制御方式의 理論的 開發에 대해서 논하기로 하고 이 方式을 장차 自動給電시스템의 一環으로서 어떻게 結付시켜 나가면 좋을 것

2. 電壓・無効電力의 計算機制御問題

2.1 基礎理論

電壓・無効電力의 計算機制御方式은 適正規模의 電力系統을 1制御그룹으로 해서 各地點의 電壓및 無効電力潮流를 協調制御시키는 것이며 임의의 負荷조건, 潮流상태등에 應해서 신속, 精確한 制御判斷을 실시해 나가기 위하여 制御의 中核, 곧 理論, 判斷기능에 電子計算機를 사용하게 되는 것이다(2).

本制御方式의 개요는

(1) 系統내에서 지정된 地點의 電壓(주요發變電所電壓) 또는 특정한 送電線(예를 들면 系統間連絡送電線)의 無効電力潮流를 最適運轉狀態를 基準으로 해서 미리 정해진 許容變動範圍內에 維持한다. 一穩定條件

(2) 上記 許容變動範圍內에서 가령 그 系統內의 送電損失最小化 또는 調整設備의 操作量最小化등의 효과

* 正會員: 漢陽大 工大 教授(工博)當學會總務委員

를 기거한다. 一目的函數

(3) 調整設備, 竈發電機, 負荷時電壓調整器(LRC), 調相設備(SC, Sh.R) 등은 既設設備量의 범위내에서 上記 整定條件, 目的函數를 만족하겠끔 尤호적절하게 이 용한다. 一制限條件
라고 요약되는 것이며 이러한 순서에 따라서 本制御理論을 다음과 같은 基本方程式으로 定式化할 수 있 다^{(8),(9)}.

(1) 整定條件

i지점에서의 電壓·無効電力에 관한 整定條件은

$$-\varepsilon_{Vi} \leq V_i \leq \varepsilon_{Vi} \quad (1)$$

$$-\varepsilon_{Qi} \leq Q_i \leq \varepsilon_{Qi}$$

단, $V_i = V_{di} + V_{ci}$

$$= V_{di} + \sum_{j=1}^{m_1} a_{ij1} n_{j1} + \sum_{j=2}^{m_2} C_{ij2} y_{j2} + \sum_{j=3}^{m_3} e_{ij3} q_{j3} \quad (2)$$

$$Q_i = Q_{di} + Q_{ci}$$

$$= Q_{di} + \sum_{j=1}^{m_1} b_{ij1} n_{j1} + \sum_{j=2}^{m_2} d_{ij2} y_{j2} + \sum_{j=3}^{m_3} f_{ij3} q_{j3} \quad (3)$$

여기서 V_{di} , Q_{di} : i지점에서의 電壓無効電力에 관한 外亂

V_{ci} , Q_{ci} : 制御실시에 의한 電壓·無効電力의 回復分

ε_{Vi} , ε_{Qi} : i지점에서의 電壓·無効電力의 許容偏差

n_{j1} , y_{j2} , q_{j3} : 각종 電壓·無効電力調整設備의 操作量

$a_{ij1} \sim f_{ij3}$: 각종 調整設備의 單位量操作時的 電壓·無効電力의 回復量을 나타내는 系統特性定數

(2) 目的函數

여기서는 합리적인 系統運用的 立場에서 主要 線路의 無効電力潮流制御에 의한 送電損失의 最小化를 目的의 函數로 한다.

$$\begin{aligned} \text{竈 } \text{Min Loss} &= \text{Min} \sum_{k=1}^l r_k I_k^2 = \text{Min} \sum_{k=1}^l r_k \frac{P_k^2 + Q_k^2}{V_k^2} \\ &= \text{Min} \sum_{k=1}^l r_k Q_k^2 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $Q_k = Q_{ok} + Q_{ck}$ 이므로

$$\begin{aligned} \text{Min Loss} &= \text{Min} \sum_{k=1}^l r_k (Q_{ok} + \sum_{j=1}^{m_1} b_{kj1} n_{j1} \\ &+ \sum_{j=2}^{m_2} d_{kj2} y_{j2} + \sum_{j=3}^{m_3} f_{kj3} q_{j3}) \end{aligned} \quad (5)$$

(3) 制限條件

負荷時電壓調整器의 TAP操作 (n_j), 調相設備의 bank 容量操作(y_j) 및 發電機에 의한 無効電力의 單位量操作(q_j)에는 設備上 각각 아래와 같이 上, 下限의 制限이 부여되고 있다.

$$\left. \begin{aligned} N_{j1} &\leq n_{oj1} + n_{j1} \leq \bar{N}_{j1} \\ Y_{j2} &\leq y_{oj2} + y_{j2} \leq \bar{Y}_{j2} \\ Q_{j3} &\leq q_{oj3} + q_{j3} \leq \bar{Q}_{j3} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

여기서 n_{oj1} , y_{oj2} 및 q_{oj3} 은 制御실시전의 값, 竈 初期值인 것이며 制御가 실시될 적마다 再設定되어 나가는 것이다.

(1)~(6)式에서 알 수 있는 바와 같이 本問題는 L.P의 범주에 속하는 문제이지만 실재는 (i) (4)式 또는 (5)式에서 보인바와 같이 目的函數가 2次式으로 되어 있으며 (ii) 解로서는 LRC의 TAP值 및 無効電力源의 bank 容量에 관한 整數解만을 필요로 하는 非線形整數化計劃問題(Non-linear integr Programming)로 되고 있다. 더욱이 (iii) 이것은 外亂發生 即時 주어진 一定한 時間內에 그 解를 얻어야 한다는 瞬時制御問題로서 on-line처리가 요청되고 있다는 특징을 지니고 있다.

2.2 計算方法

前述한 基本方程式에 관해서 현재 몇가지 實用的인 計算方法이 개발되고 있으나^{(2),(12)} 여기서는 著者가 개발한 制御效果最大變數探索法(Search法)에 대해서 설명한다⁽³⁾. 이것은 먼저 $j=1, 2, \dots, m$ 지점의 각종 調整設備를 制限條件內에서 각각 單位量操作했을 경우의 制御效果를 求하고 그중에서 가장 制御效果를 크게 나타낸 지점의 設備를 그때의 操作變數로 選定, 操作하도록 해서 反復계산해 나가는 방법이다.

이때 制御目標로서는 許容變動範圍로 부터 벗어난 電壓偏差를 최대限으로 줄여서 運轉目標電壓值로 가져간다는 것(竈 整定條件의 충족)과 이때의 送電損失을 最小化시킨다는 두가지를 생각할 수 있다. 그러나 이들은 서로 상치되는 性質을 지닌 것이기 때문에 동시에 兩者를 만족시킨다는 것은 극히 어려운 문제로 된다. 따라서 여기서는 현실적인 系統內容을 고려해서 먼저 整定條件의 充足만을 대상으로 해서 1단계로 각 지점의 電壓偏差를 許容變動範圍內에서 最小로 될 때까지 끌어내도록 하고 그 다음에 電壓을 許容變動範圍로 부터 벗어나지 않도록 감시하면서 制御目標를 送電損失의 最小化로 바꾸어 단계적으로 계산해 나가도록 하고 있다.

그림 1은 이 計算法의 概要를 보인 flow圖이며 여기서 나온 評價函數 E 및 F 는 다음과 같이 각각 電壓偏差最小化 및 送電損失最小化에 관한 目的函數를 나타낸 것이다.

$$E = \sum_{i=1}^n V_i^2 = \sum_{i=1}^n (V_{di} + \sum_{j=1}^{m_1} a_{ij} X_j)^2 \Rightarrow \text{最小化} \quad (7)$$

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

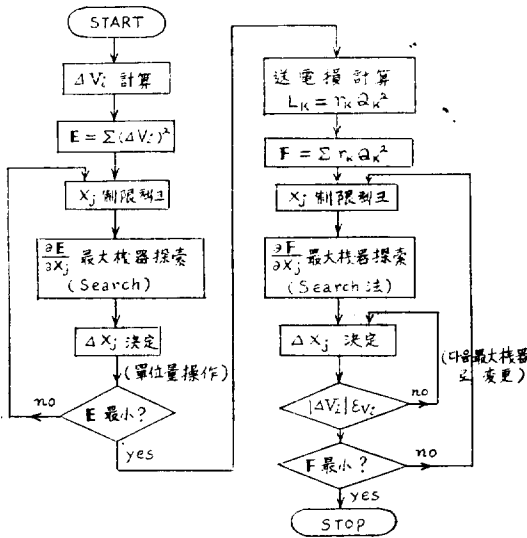


그림 1. 制御効果最大變數探索法(Search法)의 概要
Fig. 1. Flow chart of search method

$$F = \sum_{k=1}^l r_k Q_k^2 = \sum_{k=1}^l r_k (Q_{ok} + \sum_{j=1}^m b_{kj} X_j)^2 \rightarrow \text{最小化(8)}$$

但 $|V_i| \leq \epsilon_{Vi}$

$$\underline{X}_j \leq X_{sj} + X_j \leq \bar{X}_j$$

3. 感度行列에 의한 系統特性定數의 算定

前項에서 본바와 같이 電壓・無効電力의 計算機制御問題는 系統特性定數를 사용해서 定式化하고 있다. 이들 系統特性定數의 決定法에 關하여서는 大別해서 (i) 實系統에 있어서의 實測法, (ii) 交流計算盤 또는 電子計算機에 의한 反復潮流計算法, (iii) 임피던스行列을 사용한 簡略計算法등이 보고되어 왔었으나⁽⁵⁾ 최근에는 보다 精確하게 系統의 潮流狀態까지 반영한 값을 短時間內에 얻을 수 있는 感度行列로부터 算定하는 方法이 開發되고 있다.⁽⁶⁾

이 方法은 일반적인 電力潮流에 關한 母線方程式(Nodal equation)을 그 어떤 潮流상태를 중심으로 해서 Taylor展開하고 그 결과 얻어진 Jacobian行列을 기초로 해서 만들어지는 感度行列을 사용하는 것이다.

N 母線電力系統의 電力潮流는 一般적으로 N 元의 複素連立方程式

$$P_k + jQ_k = C_k + jD_k + \dot{E}_k \sum_{\alpha=1}^n (\dot{Y}_{k\alpha} \dot{E}_\alpha)^* \quad (9)$$

$$k=1, 2, \dots, N$$

로 쓸수 있다. 여기서

P_k, Q_k : 각각 母線 k 에서의 發電機有効電力 및 無効電力

C_k, D_k : 각각 母線 k 에서의 消費有効電力 및 無効電力

α : 母線 k 에 인접하는 母線(母線 k 자신도 포함됨)

지금 \dot{E}_k 및 $\dot{Y}_{k\alpha}$ 를 각각

$$\dot{E}_k = E_k (\cos \theta_k + j \sin \theta_k) \quad (10)$$

$$\dot{Y}_{k\alpha} = G_{k\alpha} + j B_{k\alpha}$$

라고 하면

$$g_{2k-1} = C_k - P_k + E_k \sum_{\alpha=1}^n [G_{k\alpha} \cos(\theta_k - \theta_\alpha) + B_{k\alpha} \sin(\theta_k - \theta_\alpha)] = 0 \quad (11)$$

$$g_{2k} = D_k - Q_k + E_k \sum_{\alpha=1}^n [-G_{k\alpha} \sin(\theta_k - \theta_\alpha) - B_{k\alpha} \cos(\theta_k - \theta_\alpha)] = 0 \quad (12)$$

를 얻는다. (11), (12)의 兩式은 각 母線에 있어서의 發電 및 消費有効, 無効電力, 電壓, 位相角, 콘덕턴스, 서셉턴스를 變數로 하는 $2N$ 元의 實數連立方程式이다.

여기서 편이상 이들의 變數를 다음과 같이 3가지로 분류한다.

(i) 從屬變數 벡터 X ($2N$ 次元 벡터)

위의 未知量중에서 母線이 가지는 未知量이다. 從屬變數 X 로서는 母線의 종류별로

發電機母線: Q_k, θ_k (AVR運轉時)

發電機母線: E_k, θ_k (AQR運轉時)

負荷 母線: E_k, θ_k

Slack母線: P_k, Q_k

이다.

(ii) 操作變數 벡터 U (M 次元 벡터)

電壓・無効電力制御에 있어서의 操作變數, 예를들면 發電機電壓, 無効出力, 調相設備의 消費無効電力, 그 밖에 LRC의 TAP值 등이다.

(iii) 파라미터 벡터 P (벡터)

電力潮流計算에 있어서의 既知量중에서 일상의 運用에서는 변하지 않는 것, 곧 送電線路, 機器의 定數 등이다.

이상과 같이 定義한 3개의 벡터 X, U, P 를 사용하면 (11), (12)의 兩式은

$$g(X, U, P) = 0 \quad (13)$$

인 $2N$ 次元의 벡터方程式으로 표시된다. 여기서 g 는 g_{2k-1} , 및 g_{2k} ($k=1, 2, 3, \dots, N$)의 列벡터이다. 지금 N 母線의 電力系統이 基準狀態(X_0, U_0, P)에서 운용되고 있다고 하면

$$g(X_0, U_0, P) = 0 \quad (14)$$

이 성립될 것이다.

여기서 電壓·無効電力의 調整設備인 LRC의 TAP 值(N), 發電機無効電力(Q_r), 調相設備(Q_c)등을 操作 해서 操作變數벡터가 U₀로부터 微文小量변화해서 U₀ + ΔU로 되고 이에 따라 從屬變數벡터 X₀도 X₀ + ΔX 로 변화하였다면

$$g(X_0 + \Delta X, U + \Delta U, P) = 0 \quad (15)$$

의 관계가 成立한다.

윗식을 初期潮流狀態(X₀, U₀, P)를 중심으로 Taylor 展開하면 (이때 ΔX, ΔU의 2次項 이상은 무시하기로 함)

$$g(X_0, U_0, P) + g_x(X_0, U_0, P)\Delta X + g_u(X_0, U_0, P)\Delta U = 0 \quad (16)$$

이 얻어진다.

여기서 g_x, g_u는 벡터函數 g의 X 및 U에 관한 Jacobian行列로서

$$g_x = \frac{\partial(g_1, g_2, \dots, g_{2N})}{\partial(X_1, X_2, \dots, X_{2N})} \quad (17)$$

$$g_u = \frac{\partial(g_1, g_2, \dots, g_{2N})}{\partial(U_1, U_2, \dots, U_M)} \quad (18)$$

으로 表現되는 것이다.

한편 (16)式에서 第1項은 0이므로 결국

$$\Delta X = -g_x^{-1}g_u\Delta U \quad (19)$$

여기서 g_x⁻¹: g_x의 逆行列 이다.

$$\text{지금 } S \equiv -g_x^{-1} \cdot g_u \quad (20)$$

라고 둔다면

$$\Delta X = S \cdot \Delta U \quad (21)$$

라고 표시할 수 있게 된다.

위의 관계를 電壓·無効電力制御問題에 맞추어서 알기 쉽게 표시하면

$$\begin{pmatrix} \Delta V_1 \\ \Delta V_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1M} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{l1} & P_{l2} & \dots & P_{lM} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta N_1 \\ \Delta N_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_{c1} \\ \Delta Q_{c2} \\ \vdots \\ \Delta Q_{cl} \end{pmatrix} \quad (22)$$

르 될 것이며 [S]行列 要素中 S_{ij}가 各 監視點 電壓, P_{ij}가 監視線路의 無効電力潮流에 관한 系統特性定數에 대응하게 되는 것이다⁽¹⁰⁾.

4. 制御系의 構成 및 알고리즘

電壓·無効電力의 計算機制御를 실시할 경우의 制御系의 基本的構成은 그림 2에 보인바와 같다.

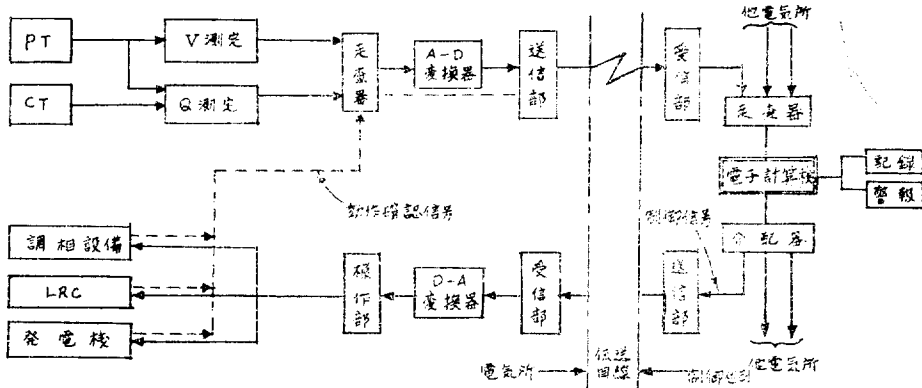
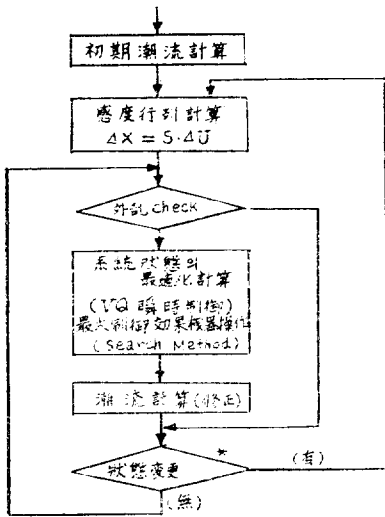


그림 2. 電壓無効電力計算機制御에 있어서의 制御系의 構成
Fig. 2. Block diagram of computer control system

여기서 制御의 中心을 이루는 것은 어디까지나 電子計算機를 설치한 制御센터이며 여기서 電壓·無効電力 制御에 관한 모든 計算과 判斷이 수행된다. 곧 系統內 主要變電所의 電壓 V, 制御해야할 主要送電線의 無効電力潮流 Q 및 送電損失計算에 필요 諸量들이 測定 되어 Telemeter로 制御센터에 보내진다. 制御센터에서는 이들 諸量이 一定時間間隔마다 (또는 制御偏差가 許容變動範圍를 벗어났을 경우) 外亂으로서 電子計算機에 入力되고 여기서 필요 計算을 거쳐 各 變電所에

설치된 負荷時電壓調整器의 탭(N), 調相設備의 bank 投入量(Q_c) 및 發電機의 無効電力(Q_r) 또는 運轉電壓(V_r)의 操作量이 결정된다. 결정된 操作量은 即時 해당變電所 및 發電所에 傳送되고 그 값에 의거해서 各 設備가 操作되며 操作된 各 設備의 運用狀態는 動作確認信號로서 制御센터에 보내지게 된다.

그림 3은 이때 電子計算機內에서 수행되는 電壓·無効電力綜合制御의 알고리즘(algorithm)을 flow chart로 요약해서 정리한 것이다.



* 運轉狀態의 變更(感度定數의 有効性 Check)

그림 3. VQ綜合制御의 Algorithm
Fig. 3. Algorithm of VQ control

5. 모델系統에 의한 計算例

먼저 그림 4에 보인바와 같은 ward-Hale의 모델系統을 사용해서 感度行列에 의한 系統特性定數의 算定

과 이것을 사용해서 가지고 系統에서 발생한 外亂을 許容變動範圍內에 유지시키면서 送電損失의 最小化를 가해나가는 과정을 설명한다.

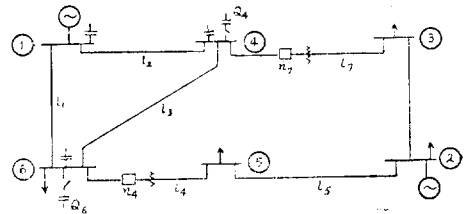


그림 4. Ward-Hale 모델系統
Fig. 4. Ward-Hale model System

먼저 操作變數로는

- (i) 線路 4 및 7의 LRC TAP值(n_4, n_7)
- (ii) 發電機 1 및 2의 端子電壓(E_1, E_2)
- (iii) 母線 4 및 6의 調相設備(Q_{c4}, Q_{c6})

로 한다. 그리고 監視하는 變數, 곧 從屬變數로서는 우선 電壓監視點으로서 母線 3, 4, 5, 6의 4個所(V_3, V_4, V_5, V_6)로 하고 無効電力監視線路로서는 線路 1, 2, 3, 5, 6의 5個線路를 잡기로 한다.

表 1은 이러한 運轉條件아래에서 계산한 感度行列을 보인것이다.

表 1. 系統特性定數
Table 1. A list of system characteristic constants.

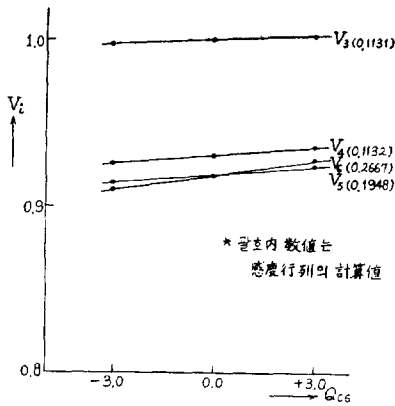
制御變數	操 作 變 數					
	N_4	N_7	E_1	E_2	Q_{c4}	Q_{c6}
V_3	-0.1120	0.6886	0.8423	0.4838	0.2363	0.1131
V_4	-0.1038	-0.1700	0.8378	0.3597	0.2343	0.1132
V_5	0.4996	-0.0856	0.5849	0.6941	0.0800	0.1948
V_6	-0.2305	-0.0872	0.8120	0.4249	0.1143	0.2667
Q_{L1}	0.4548	0.1724	0.5290	-0.8374	-0.2243	-0.5257
Q_{L2}	0.2890	0.4702	0.6891	-0.9955	-0.6502	-0.3122
Q_{L3}	0.2763	-0.1696	0.0921	-0.1466	0.2749	-0.3388
Q_{L5}	-0.7874	0.0948	-0.9694	0.7346	-0.1374	-0.3174
Q_{L6}	0.0618	-0.5776	-0.7712	0.5355	-0.2124	-0.1069

그림 5(a)(b)는 참고로 같은 運轉條件下에서 發電機 端子電壓 E_1 및 調相設備 Q_{c6} 을 基準潮流狀態를 中心으로 上下 數% 움직였을때의 主要母線에서의 電壓變化 곧 이때의 系統特性定數를 反復潮流計算法으로 부터 算定한 것이다.

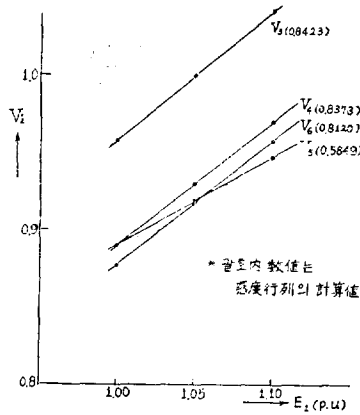
그 결과 동 그림에서 보는 바와같이 感度行列法에서 얻어진 값과 反復潮流計算에 의해서 算定된 값의 兩者

는 거의 완전히 一致되고 있으며 또한 이 그림으로 부터 一旦 주어진 系統의 潮流狀態(가령 輕負荷時, 重負荷時등의 상이)에서 算定된 系統特性定數는 이때의 系統狀態가 크게 달라지지 않는 限 거의 一定值(곧 線形性)를 가지는 것으로 窺급해 나가도 무방할 것이다.

다음에 이들 系統特性定數를 사용해서 電壓·無効電力制御를 定式化하게 된다. 이때 LRC, 發電機端子電



(a) E1操作時



(b) Qc6操作時

그림 5. 系統特性定數의 線形性檢討
Fig. 5. Linearity of System Characteristic Constants

壓 및 調相設備의 操作量이 單位量이 아니고 가령 1操作值가 LRC에서 2% TAP值라던지 調相設備의 Bank容量이 10MVAR단위라던지 여기에 해당하는 系統定數도 이에 맞추어서 각각 2배 및 10배로 해서 실제의 系統運用條件에 맞겠음 修正해줄 필요가 있다.

그림 6은 한例로서 母線 4 및 母線 6에 각각 -2.0%의 外亂(電壓偏差)이 발생하였다고 가정하였을때의 電壓·無効電力制御의 制御過程—收束過程—을 보인 것이다.

단 여기서는 LRC의 TAP值 및 發電機端子電壓의 單位操作量을 1%라 하고 Qc4, Qc6의 Bank容量은 2MVAR라해서 각각 아래와 같은 制限條件을課한 케이스를 본 것이다.

$$-7 \leq N_7 \leq 7$$

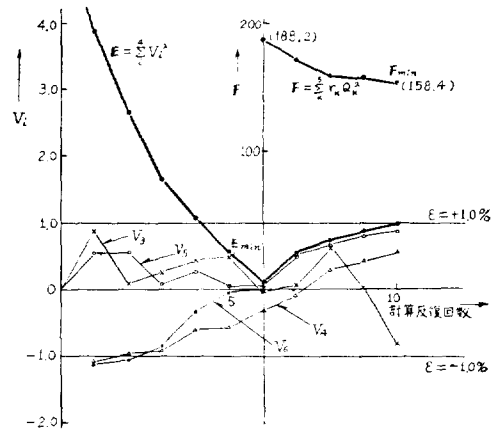


그림 6. 電壓·無効電力計算機制御의 收束過程
Fig. 6. Iterative Convergence Process of real time VQ Control

- 7 ≤ N7 ≤ 7
- 5 ≤ E1 ≤ 5
- 5 ≤ E2 ≤ 5
- 0 ≤ Qc4 ≤ 10
- 0 ≤ Qc6 ≤ 15

다음에 이러한 制限條件下에서 外亂이 一定時間間隔(同時系列의)으로 發生하였을 경우에 대한 計算機制御例를 그림 7과 그림 8에 보인다.

먼저 그림 7은 이때의 外亂特性和 計算機制御에 따른 電壓制御結果를 나타낸 것이며 그림 8은 역시 이때의 制御結果를 送電損의 側面에서 電壓偏差의 許容變動範圍(ε1)를 파라메터 해서 보인 것이다. 이결과어는 경우이건 적절한 制御의 實시에 의해서 언제나 主要母線電壓을 許容變動範圍內에 유지시키면서 동시에 送電損失도 最小水準으로 警감시킬 수 있다는 것을 알

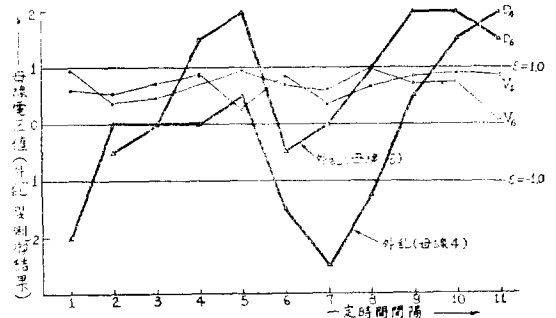


그림 7. 電壓偏差(外亂) 및 電壓制御值
Fig. 7. Disturbances and Computer Control Results

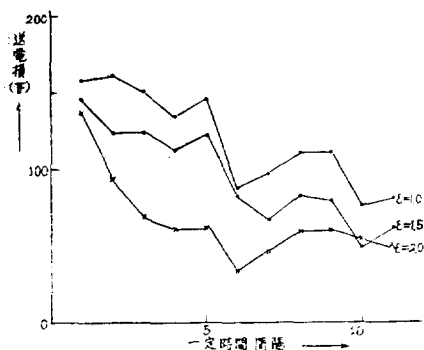


그림 8. 許容變動範圍(ε_t)의 크기에 따른 制御結果 (送電損失最小值)
 Fig. 8. Relationship between transmission losses (F) and allowable operating ranges.(ε_t)

수 있다.

다음에는 보다 규모가 큰 實用系統으로서 그림 9에 보인바와같은 48母線, 55線路系統에 대한 計算例를 보인다.

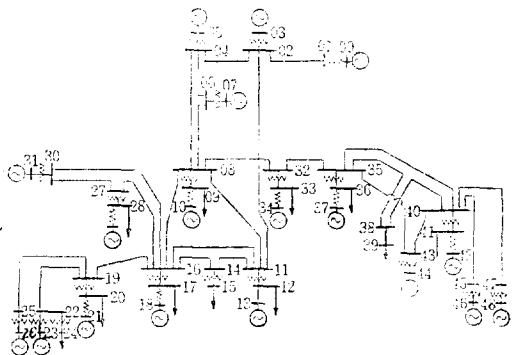


그림 9. 48母線系統
 Fig. 9. Sample Power System, (48bus model)

여기서는 操作變數로서 14개소의 LRC 및 調相設備과 10개소의 發電機無効出力의 計 24개를 잡고 從屬變數로서는 11개소의 母線電壓監視點 및 19개線路의 無効電力潮流를 잡아서 계산하였다.

그림 10은 이례의 計算機制御의 收束過程을 보인다.

여기서는 發電機의 無効電力出力 20MVAR를 1회의 操作量으로서 離散化시켜서 LRC(1.0% TAP)와 調相設備(BANK容量 30MVAR)와 같이 취급하도록 하였다.

마찬가지로 그림 11은 같은 制限條件下에서 주요母線에 外亂(電壓偏差)이 時系列的으로 發生하였을 경우

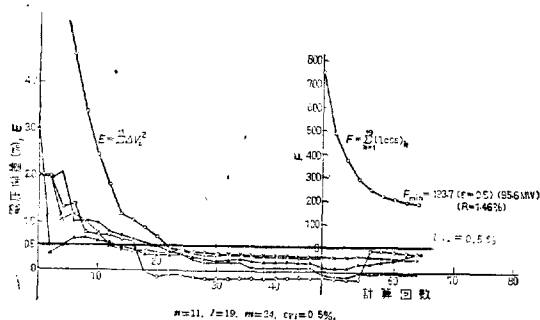


그림 10. 電壓・無効電力計算機制御의 收束過程
 Fig. 10. Iterative convergence process of real time control

이것을 許容變動範圍 1.0% 이내에 유지시키면서 적절 한 無効電力潮流의 調整을 통하여 送電損失을 最小化한 結果이다. 이경우에는 電壓偏差만을 最小로 制御하였을 때보다 送電損失을 10~20%정도로 대폭 輕減시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

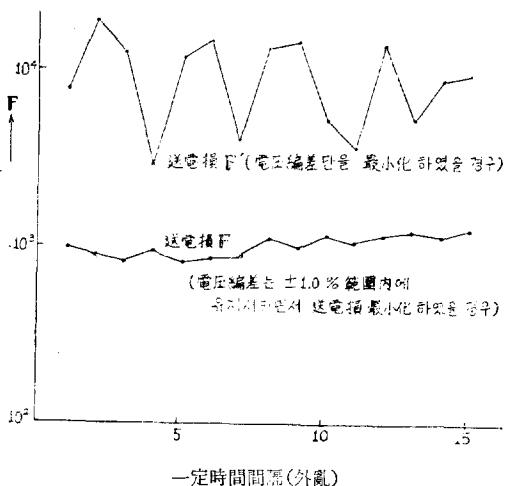


그림 11. 送電損失의 크기로 본 制御結果의 比較
 Fig. 11. Comparison of Computer Control results.

참고로 이례의 所要計算時間을 보면 加減算이 1.5μs 정도인 中型電子計算機를 사용하였을 때 感性行列에 의한 系統特性定數計算에 약 2分, 電壓無効電力計算機制御는 1케이스당 8~10초정도였다.

6. 結 論

電力系統의 擴大, 複雜化, 서어비스基準의 高度化등에 대처해 나가기 위하여 電壓無効電力制御의 自動化가 크게 요청되고 있다. 本文에서는 가까운 장래 그 實現이 요망되고 있는 系統電壓無効電力의 計算機制御

에 관한 基本的인 考察을 하고 感度行列에 의한 系統特性定數의 算定과 電壓無効電力瞬時制御를 결부시킨 이른바 綜合的인 計算機制御方式의 開發을 一次的으로 시도하였다. 또한 이 方式은 온·라인(on-line)制御가 가능한 系統으로 確立되어야만 하는 性質의 것이기 때문에 특히 所要計算時間의 短縮에 重點을 두었던바 提案된 計算方式과 系統構成으로 實用大規模系統에 대하여서도 충분히 만족할수 있는 制御效果를 거둘수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

장래 自動給電시스템과 결부시켜서 計算機制御를 구체적으로 실시해 나가기 위하여서는 아직도 더 연구되어야 할 課題가 많겠지만 특히

- (1) 系統運用綜合自動化와의 有機的인 關連性
- (2) 情報傳送方式과 그 有効利用法
- (3) 最適運轉基準(目標)狀態의 決定
- (4) 調相設備의 適正配置 및 適正操作量의 決定

등이 시급히 해결되어야 할 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

1. 給電專門委員會：“電力系統의 電壓·無効電力制御方式” 日本電氣學會 技術報告(第 I 部) No. 84, 1968.
2. 尾出和也：“系統電壓의 計算機制御에 관한 基礎理論” 日本電氣學會誌 Vol. 84, No. 904, 1964.
3. 宋吉永：“最適制御때 注意를 고려한 電壓·無効電力制御” 日本電氣學會誌 Vol. 86, No. 930, 1966.
4. 宋吉永：“系統電壓·無効電力制御에 관한 研究 (II)—瞬時制御에 대해서—” 大韓電氣學會誌 Vol.

- 14, No. 4, 1965.
5. 尾出, 小宮：“電壓·無効電力制御에 관한 系統特性定數算定法” 日本電氣學會誌 Vol. 87, No. 948: 1967.
6. 成田, 藤原, 多田：“感度行列에 基礎를 둔 電壓·無効電力에 관한 系統特性定數의 決定法” 日本電氣學會誌 Vol. 88, No. 959, 1968.
7. H.W. Smith et el: “Minimizing Power Transmission Losses by Reactive-Volt-Ampere Control” AIEE, Trans, Vol. 82, 1963 pp. 542~544.
8. I. Hano, Y. Tamura, S. Narita: “Real time Control of System Voltage and Reactive Power” IEEE, Winter Power Meeting, New York Jan. 1969.
9. S. Narita, M.S.A.A Hamman: A Computational Algorithm for Real-time Control of System Voltage and Reactive Power”
Part I—Formulation of Problem
Part II—Algorithm of Optimization
IEEE Winter Power Meeting, New York, 1971.
10. Kishore, A.H.F. Hill: Static Optimization of Reactive Power Sources by Use of Sensivity Parameters” AIEE Trans, Vol. PAS—90 1971 pp. 1166~1173.
11. 小林作史：“電壓·無効電力 Multi-Level制御의 計算方式” 日本電氣學會誌 Vol. 92, No. 11 1972.
12. 宋吉永：“電力系統工學” 東明社, 1976.