하계학술대회
논문86-6-8

손실감도정수를 이용한 송전손실 최소화에 관한 연구

A Study on the Transmission Loss Minimisation Using A Loss Sensitivity Coefficients

유석구 한양대학교
섬기철 전기연구소
고권영* 한양대학교

1. 서론

산업이 고도화함에따라, 전력수용가는 양질의 전력을 요구하고있으므로, 전력 공급자는 부하모선의 전압을 규정치내로 유지해야하고, 전력손실을 최소화하여 보다 저렴한 전력을 공급해야한다.

전력계통의 송전망에서 손실을 최소화하기위하여 조상설비를 이용하여 무효전력을 적절히 조정함으로서 계통전압을 개선할 수있고, 동시에 전력전송에따른 전력손실을 감소할수있다.

조상설비에의한 무효전력조정은 변압기 탭조정, 발전기의 전압조정 및 스위치로 조작되는 무효전력원의 용량조정 등으로 이루어진다.

본 연구에서는 이러한 조작변수에대한 손실감도계수를 구하기위한 새로운 알고리즘을 제시한다. 이들 계수는 Newton-Raph--son 법을 이용한 전력조류 계산에서 구해지는 Jacobian 행열의 고유벡터 (eigen -vector)로부터 계산된다.

2. 본론

2.1 송전 손실 최소화 Algorithm

목적은 발전기 전압, 변압기 탭 및 Sh.C 를 조종해서 계통의 전력손실 Ploss 를 최소화하는 것이다. 제시된 방법은 목적함수를 선형화하기위하여 최소화하려는 목적함수로 Ploss 대신에 △Ploss 를 택하였다. 목적함수는 다음식으로 표현된다.

Minimise

$$\Delta Ploss = \left[\frac{\partial Ploss}{\partial t} \quad \frac{\partial Ploss}{\partial V_G} \quad \frac{\partial Ploss}{\partial Q_L} \right] \begin{bmatrix} \Delta t \\ \Delta V_G \\ \Delta Q_L \end{bmatrix} \qquad (1)$$

subject to

$$\Delta Q_G^{min} \le \Delta Q_G \le \Delta Q_G^{max} \qquad (2)$$

$$\Delta V_L^{min} \le \Delta V_L \le \Delta V_L^{max} \qquad (3)$$

$$max[-Tstep, \Delta t^{min}] \le \Delta t \le min[Tstep, \Delta t^{max}] \qquad (4)$$

$$max[-Vstep, \Delta V_G^{min}] \le \Delta V_G \le min[Vstep, \Delta V_G^{max}] \qquad (5)$$

$$\max[-Q_{step}, \Delta Q_L^{min}] \le \Delta Q_L \le \min[Q_{step}, \Delta Q_L^{max}] \quad (6)$$

이 문제에서 구하고자하는 변수의 총수 (상태변수의 총수)는 제한조건의 총수(총 모선의 수 + 상태변수의 총수) 보다 적으므로, 문제의 해법으로 dual linear programming 기법을 적용할수있고, 따라서 ΔPloss 를 최소로하는 상태변수의 값을 쉽게 구할수 있다.

구해진 상태변수의 값은 ΔPloss 를 최소화하는 조정설비의 조작량이므로, 상태변수를 고려한 전력조류 계산을 실행하고 계통손실의 변화량을 점검한다.

그리고 제한조건을 만족시키면서 계통손실 Ploss 가 최소가 될때까지 위의 계산을 반복한다.

2.2 손실감도정수의 산출법

발전기 모선 n 과 부하모선m 인 전력계통을 고려한다. 이들 모선에 주입되는 유효와 무효전력은 다음과같이 행열 방정식으로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta V_G \\ \Delta Q_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial V_G} & \frac{\partial P}{\partial V_L} \\ 0 & I & 0 \\ \frac{\partial Q_L}{\partial \delta} & \frac{\partial Q_L}{\partial V_G} & \frac{\partial Q_L}{\partial V_L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta V_G \\ \Delta V_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial t} \\ 0 \\ \frac{\partial Q_L}{\partial t} \end{bmatrix} [\Delta t] \quad (7)$$

윗 식에서 정방행열을

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \frac{\partial P}{\partial V_G} & \frac{\partial P}{\partial V_L} \\ 0 & I & 0 \\ \frac{\partial Q_L}{\partial \delta} & \frac{\partial Q_L}{\partial V_G} & \frac{\partial Q_L}{\partial V_L} \end{bmatrix} \quad (8)$$

로 정의하면, 차수는 2(n + m)×2(n + m)이고, rank 는 2(n + m)-1이되므로 H 행열의 고유치중에는

$$\lambda = 0 \quad (9)$$

가 되는 고유치가 있음을 알수있다. 그리고 고유치 λ에 대응하는 H행열의 고유벡터인 x는 다음식을 만족한다.

$$(H^T - \lambda I)X = 0 \quad (10)$$

여기서 T는 전치표시 이다. 여기서 구한 x 를

$$X^T = [a \quad b \quad c] \quad (11)$$

라 하면, 식(7)과 식(11)에서

$$a\Delta P + b\Delta V_G + c\Delta Q_L - [a\frac{\partial P}{\partial t} + c\frac{\partial Q_L}{\partial t}]\Delta t = 0 \quad (12)$$

가 성립한다. 여기서

$$d = -[a\frac{\partial P}{\partial t} + c\frac{\partial Q_L}{\partial t}] \quad (13)$$

라 하면,

$$\Delta P_1 + \sum_{i=2}^{n+m}\frac{a_i}{a_1}\Delta P_i + \sum_{j=1}^{n}\frac{b_j}{a_1}\Delta V_{Gj} + \sum_{k=1}^{m}\frac{c_k}{a_1}\Delta Q_{Lk} + \sum_{r=1}^{nt}\frac{d_r}{a_1}\Delta t_r = 0 \quad (14)$$

가 성립한다. 모선1을 slack 모선으로 택하면, 계통에서 P, V_G, Q_L 및 t 에관한 선로손실변화는 다음과같이 주어진다.

$$\Delta Ploss = \sum_{i=2}^{n+m}\frac{\partial Ploss}{\partial P_i}\Delta P_i + \sum_{j=1}^{n}\frac{\partial Ploss}{\partial V_{Gj}}\Delta V_{Gj} + \sum_{k=1}^{m}\frac{\partial Ploss}{\partial Q_{Lk}}\Delta Q_{Lk} + \sum_{r=1}^{nt}\frac{\partial Ploss}{\partial t_r}\Delta t_r \quad (15)$$

또한 ΔPloss 는 다음과같이 표현 할수 있다. 계통의 각 모선에서 유효전력 미소변화를 가정하면,

$$\Delta Ploss = \Delta P_1 + \sum_{i=2}^{n+m}\Delta P_i \quad (16)$$

식(14)와 식(16)으로부터 다음식이 얻어진

다.

$$\Delta P_{loss} = \sum_{i=2}^{n+m}\left(1-\frac{a_i}{a_1}\right)\Delta P_i - \sum_{j=1}^{n}\frac{b_j}{a_1}\Delta V_{Gj} - \sum_{k=1}^{m}\frac{c_k}{a_1}\Delta Q_{Lk} - \sum_{r=1}^{nt}\frac{d_r}{a_1}\Delta t_r \qquad (17)$$

식(15) 와 식(17) 에서 손실감도정수

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_i} = 1-\frac{a_i}{a_1}, \quad i=2,3,\cdots,n+m \qquad (18)$$

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial V_{Gj}} = -\frac{b_j}{a_1}, \quad j=1,2,\cdots,n \qquad (19)$$

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial Q_{Lk}} = -\frac{c_k}{a_1}, \quad k=1,2,\cdots,m \qquad (20)$$

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial t_r} = -\frac{d_r}{a_1}, \quad r=1,2,\cdots,nt \qquad (21)$$

가 계산된다.

따라서 송전손실 최소화문제는 식(2)-식(6)의 제한조건하에서 식(1)을 최소로 하는 제어변수의 조작량($\Delta t, \Delta V_G, \Delta Q_L$)을 구하는것으로 귀착된다.

3. 결론

손실감도정수를 이용한 송전손실 최소화에대한 접근법이 본 연구에서 제시되었다. 손실감도정수는 전치된 Jacobian 행렬의 고유벡터를 사용하여 쉽게 구해졌다.

따라서, 전압 무효전력의 최적제어를 실행함에있어, 무효전력원, 발전기의 전압 및 변압기 탭을 제어변수로 하였을때, 손실 변화량, 발전기무효전력 및 부하모선의 전압 변화량을 종속변수로 택하되, 감도정수를 이용하여, 최적제어문제를 선형방정식으로 유도하므로서, 문제의 해법으로 dual linear programming 기법을 사용할수있고, 결과적으로 최적제어에 요구되는 조상설비의 조작량을 보다 쉽게 구할수있다.

사례연구로 우리나라 경인지역의 전력계통에 본 방식을 적용해본 결과 그에 대한 효용성이 입증되었다.

4. 참고문헌

1) S. Elangovan;"New approach for real power loss minimization", IEE PROCEEDINGS Vol. 130, Pt.C. No.6, p.295-298. NOVEMBER 1983

2) Kishore, E.F. Hill;"Static optim-ization of reactive power source by use of sensitivity paramet-ers", IEEE, Trans.Vol. PAS-90. p.1166-1173, (1971)

3) Tinney, W.F. & C.E. Hart;"Power flow solution by Newton's met-hod", IEEE, Trans, Vol. PAS-86, p.1449-1460, (1967)

4) S.Narita, I.Tada & H.Fujiwara ;"Determination of system characteristic constants for voltage and reactive power

control based upon sensitivity matrix",J.K.I.E.E. Vol.33, No. 959, p. 128-136, (1963)

5) S. Narita & M.S.A.A. Hamman; "A computational algorithm for real-time control of system voltage and reactive power, part I & II", IEEE, France Vol. 90, p.2495-2503, (1971)