분산전원을 고려한 배전계통의 최적전압조정

박 지 호
경북대학교

Optimal Voltage Control Method of Distribution Systems Considering Distributed Generation

Park ji ho
Kyungpook National University

Abstract - 전력부하가 증가함에 따라 전력품질에 관한 관심이 고조되고있다. 따라서 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 또한 최근에는 전력계통에 분산전원의 연계가 적극 고려되고 있다. 배전계통의 전압의 조정은 주로 ULTC에 의해 이루어지고 있다. 따라서 본 논문에서는 전압제어장치와 배전계통의 적합한 전압제어를 위한 분산전원간의 협조방법에 관한 연구를 수행하였다.

1. 서 론

배전계통 자동화를 구현하기 위한 구성 설비로서는 중앙제어장치, 통신장치, 통신망, 단말장치, 개폐장치 등이 필요하고, 모든 구성 설비가 구현되면 배전계통 각 노드별 전압 데이터를 취득 가능하게 될 것이다. 배전 계통 내 모든 노드가 아닌 중요도가 높은 노드에 우선적으로 설치가 된다 하더라도 기존에 연구 된 상태추론 등의 기법을 적용하여 거의 모든 부분의 데이터를 취득 가능 하다고 볼 수 있을 것이다. 본 논문에서는 이러한 방식으로 취득 되어진 데이터를 이용하여 실제 계통에서 전압 유지를 하기 위한 연구 내용에 대하여 기술 하였다. 실제 경부하 상태로 정상적인 전압을 유지하며 운용되던 배전계통에서 특정 피더에 중부하가 걸렸을 경우 해당 피더의 노드 중 허용치 전압 범위를 넘어서게 되는 경우가 발생하게 될 것이고, 이와 반대의 경우도 생각해 볼 수가 있다. 이를 올바른 허용치 범위 내로 들게 하기 위해서는 배전계통에 포함된 여러 가지 설비를 컨트롤 하여야 한다. 이러한 설비들을 컨트롤하는데 있어 최적의 해에 접근하는 방법을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 Distflow

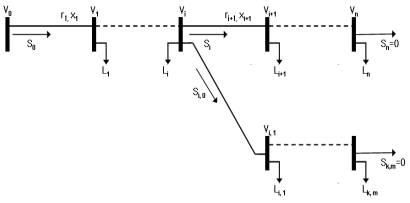

그림 1 메인피더만을 가진 배전계통

그림 1과 같이 메인피더만을 가진 배전계통의 조류계산은 아래에 주어진 바와 같이 Distflow Branch Equation이라는 반복적인 연산식을 사용하여 해를 구한다.

$$S_1 = S_{0,0} - S_{loss1} - S_{L1} = S_{0,0} - z_1 \frac{|S_{0,0}|^2}{V_0^2} - S_{L1}$$

$$V_1 = V_0 - z_1 I_0 = V_0 - z_1 \frac{S^*_{0,0}}{V_0^2}$$

$$P_{i+1} = P_i - r_{i+1}\frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} - P_{Li+1}$$

$$Q_{i+1} = Q_i - x_{i+1}\frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} - Q_{Li+1}$$

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2(r_{i+1}P_i + x_{i+1}Q_i) + (r_{i+1}^2 + x_{i+1}^2)\frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2}$$

$$x_{0,i+1} = f_{0,i+1}(x_{0,i}) \qquad i = 0,1,\cdots,n-1$$

$$where \;\; x_{0,i} = \begin{bmatrix} P_i & Q_i & V_i^2 \end{bmatrix}^T$$

Boundary Conditions

$$P_n = 0$$
$$Q_n = 0$$
$$V_0 = V_0^{set}$$

V_0는 변전소의 모선전압의 크기를 나타내고 일정하다고 가정한다. 선로의 직렬 임피던스는 $z_l = r_l + jx_l$로 나타내고 각 모선에 부하는 $S_L = P_L + jQ_L$로서 일정한 전력이 각 모선으로 흘러나가는 것으로 한다. 이 방법은 첫 번째 노드에서 P_0, Q_0, V_0 는 알고 있는 값이라면 이하의 다른 노드에서 전압과 유출 전력을 순차적으로 구할 수 있다는 것을 의미한다. 즉, 변전소의 송출전압과 공급전력을 알고 있다면 이하의 모든 노드의 전압과 선로에서의 조류를 계산할 수 있다. 수렴 판정은 종단 노드에서의 전력 편차가 허용 오차 내로 들어오면 중단 하는 것으로 한다. 그림 2에 제시된 두 개의 변압기, 하나의 분산전원을 포함하고 있는 배전계통의 모델을 시뮬레이션 대상으로 삼아 배전계통 조류계산(Distflow)을 사용함으로서 그림 3의 전압 결과를 얻을 수 있었다.

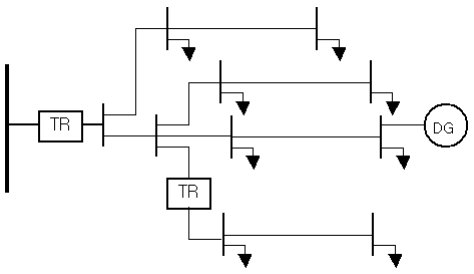

그림 2 배전계통 모델

주변압기 1차측 전압은 일정하게 유지되는 것으로 하였고, 각 변압기의 탭의 한 스텝의 비율은 0.00625pu로 사용하였다. 또한 분산전원 무효전력의 최대 투입량은 해당모선 전압(Node 17)의 허용치 전압(1.05pu)을 넘지 않는 2.7MVar를 상한으로 하였다. 모든 노드의 허용치전압이 잘 유지된다.

2.2 ULTC의 모델링

ULTC변압기는 π등가회로로 변경하여 적용한다.

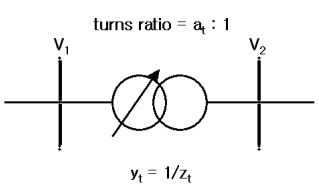

그림 3 ULTC

$$\frac{V_{in}}{V_{out}} = \frac{N + k\Delta N}{n} = \frac{N}{n} + \frac{k\Delta N}{n}$$

$$= \text{nominal turns ratio} + \frac{k\Delta N}{n}$$

$$a_t = \frac{\frac{V_{in}}{V_{out}}}{\text{nominal turns ratio}} = 1 + k\frac{\Delta N}{N}$$

2.3 분산전원의 적용

전력계통의 조류해석에 있어서 발전기들은 시스템 전압을 일정하게 유지가 가능한 P-V 노드 또는 시스템의 전압을 추종하며 정역률, 정출력 운전을 하는 P-Q노드로 처리된다. 그러나, 배전계통에 도입되는 분산전원은 연계점의 전압을 일정하게 유지할 수 있을 정도로 큰 용량을 갖지 않고 또한, 제어기도 대부분이 정역률, 정출력 운전을 하도록 설계되어 있다. 따라서, 분산전원을 P-V노드가 아닌 P-Q노드로 처리하였다. 이제 배전계통 내 임의의 피더에 중부하가 걸렸을 경우 각 설비별로 컨트롤 해야 한다. 부하가 증가함에 따라 허용전압범위를

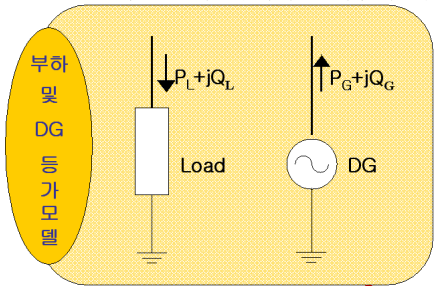

그림 4 분산전원

벗어난 노드가 발생한다. 이들의 전압을 허용범위 내에 들도록 하기 위해서는 해당 배전계통 내의 컨트롤이 가능한 설비들을 조작하여야 하는데, 이때 이 설비들이 최적으로 컨트롤 될 수 있는 방법에 대하여 설명한다.

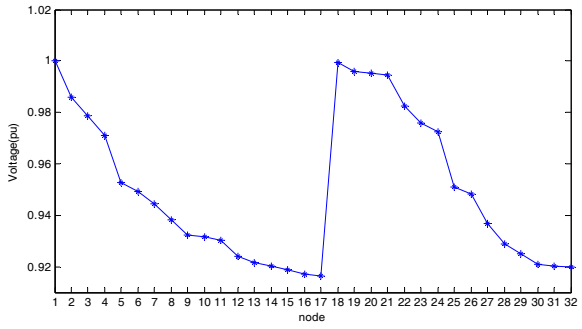

그림 5 증가된 부하에서의 전압

목적식은 각 설비별 컨트롤을 가장 최소로 컨트롤 하겠다는 의미를 지닌다. 제약식은 최고,최저전압 모선의 전압 유지범위, 그리고 각 설비별로 컨트롤 될 수 있는 상,하한치를 규정하는 역할을 한다. 아래의 식에서는 허용전압 위배모선 발생 시 최고,최저전압 노드에서 각 컨트롤 설비의 단위 step 변화에 따른 영향을 변화율로 나타낸 변수를 볼 수 있다. B라는 변수는 변압기에서 현재 유지되고 있는 Tap을 기준으로 1 step 변화시켰을 때 최저전압 모선에 끼치는 영향을 나타내고, 분산전원에서의 1 step은 변압기가 1 step변화하였을 때 해당 2차측 모선에 영향을 주는 만큼의 양에 기인하여 단계를 나누었다. 본 논문의 시뮬레이션에서는 각 단계별 무효전력 공급량을 150kVar로 두었다.

제약식:

min Volatage<Low Current Voltage+Ax1

$$\min \text{Votage}(\%) \le \text{Low_Current Votage}(\%) + Ax_1 + Bx_2 + Cx_3 \le \text{MAX Votage}(\%)$$

$$\min \text{Votage}(\%) \le \text{High_Current Votage}(\%) + A'x_1 + B'x_2 + C'x_3 \le \text{MAX Votage}(\%)$$

분산전원출력량의하한치 $\le x_1 \le$ 분산전원출력량의상한치

Tap의Step 하한치 $\le x_2 \le$ Tap의Step 상한치

Tap의Step 하한치 $\le x_3 \le$ Tap의Step 상한치

$$\min F(x) = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2$$

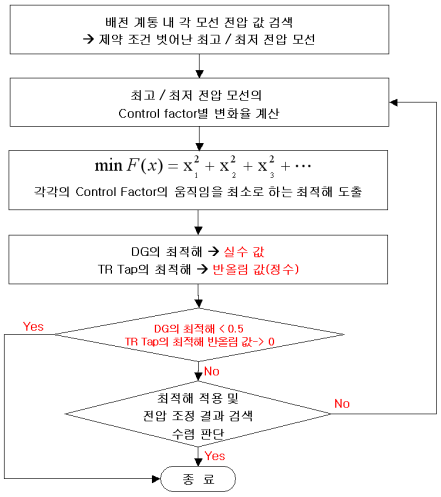

그림 6 최적화 알고리즘

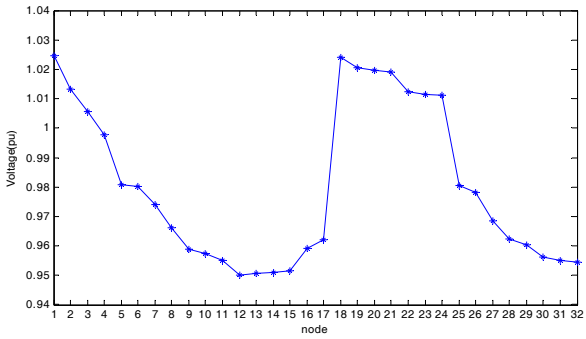

그림 7 전압조정결과

3. 결 론

본 논문에서는 전압조정 장치와 분산전원을 고려하여 배전전압조정을 위해 계통 내 설비에 대한 최적 컨트롤의 해를 구하는 새로운 방법을 제안하였다. 또한 실제 구현한 프로그램은 객체지향 기법을 적용하여 프로그램 자체의 재상요가능성을 높였다. 전력용 반도체 소자를 이용한 더 많은 제어장치를 고려한 최적화 기법에 대하여서 연구를 더욱 진행할 예정이다.

[참 고 문 헌]

[1] M.E.Baran, F.F.Wu, "Optimal sizing of capacitors placed on a radial distribution system", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 1, January 1989.

[2] Joon-Ho Choi, Jae-Chul Kim : Advanced Voltage Regulation Method of Power Distribution Systems Interconnected with Dispersed Storage and Generation Systems, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 16, No.2. pp.329-334, April 2001