

IPLAN을 이용한 ULTC와 전압안정도 해석

홍영환* 백영식
경북대

ULTC and Voltage Stability Analysis with use of IPLAN

Young-Hwan Hong* Young-Sik Baek
Kyung-Pook Univ.

2. 본 론

Abstract - This paper describes the power demand and the voltage stability in power system. Especially the power demand on summer is more and more increase in Korea. According to load quantity is increasing voltage is getting down. And power system becomes unstable. So this paper is prevent voltage down using to ULTC modeling which is a part in a transformer. Therefore our purpose is power system stability increasing as variable state like a load increasing or a fault. Then this paper is using IPLAN and PSS/E as analysis tool. PSS/E is very powerful engine on load flow analysis. And IPLAN is capable of using on variable program compiling with user.

1. 서 론

현대 사회의 점점 거대화되고 복잡해지면서 전압불안정 현상과 계통 사고 이후 전압 안정도 문제가 큰 관심을 모으고 있다. 이런 전압불안정 현상은 주로 송전 계통의 과부하나 peak시에 급격한 부하의 증가에 대해 부족한 VAR의 공급, 송전선로의 공급한계 등에 의해 발생하고 그 결과 심한 경우에는 계통이 붕괴 할 수 있다. 한편, 최근 우리나라도 산업화의 발달과 삶의 질 향상으로 전력 수요가 크게 증가하고 있다. 하지만, 전력 계통 시설들이 사회적, 환경적 혐오시설로 인식되고 있기 때문에 시설 확충에 어려운 점이 많다. 특히, 여름철 과부하로 인한 정전은 매년 빈번히 일어난다. 이로 인해 전력 공급에 대한 안정성과 이와 관련한 전압안정도를 평가해야 할 필요가 있다.[1]

본 논문에서는 부하의 증가에 따라 전압이 떨어지는 경우에 ULTC를 적용하여 변압기의 탭을 조절함으로써 2차측 전압을 보상하고자 한다. 또한 ULTC의 반응 시간이나 실행시간이 짧은 시간에 이루어지지 않기 때문에 긴 시간을 두고 해석하고자 한다. 해석 수단으로는 PSS/E를 사용하는데 반복적인 모의에 의한 자동수행 능력이 부족한 단점이 있어서 IPLAN을 사용하여 PSS/E를 프로그램 제어하고 상정사고를 정해주어 각 경우마다 안정도의 변화를 살펴보고자 한다.

2.1 전압안정도 개요

전압안정도란 어떠한 외란이나 부하의 증가가 있을 때 모든 모선의 전압을 허용할 수 있는 범위 내의 값으로 유지될 수 있는 능력에 관한 것이다. 전력시스템에 있어서 전압이 붕괴되는 현상은 동작점이 한계점 근처에 도달했을 때 일어난다. 전압 안정도 한계점에서는 부하 P의 증가에 대해 V와 의 변화가 무한대가 되어 기울기의 값도 dP/dV의 값도 0이 된다. 본 논문에서 제안하는 방법은 부하의 비선형적인 증가로 인한 dV를 구하고 dP/dV, dQ/dV의 값을 구하여 반복 조류 계산하는 방법이다. 그러면 그 값이 0가 될 때까지 시스템이 수렴하면서 전압은 점점 떨어질 것이다.

보통 시스템의 동작점이 한계점 근처에서 전압이 붕괴될 수 있는 것은 발전기가 공급할 수 있는 부하전력의 한계, 부하의 여러 가지 특성, 무효전력 보상기기(SVC)나 전압제어 장치와 같은 주변기기의 악영향 등의 잠재적인 요소들 때문이다. 그 중에서도 전력시스템이 부하가 요구하는 전력 요구량을 충족시키지 못하는 경우가 가장 큰 이유로 들 수 있다. 부하와 선로상의 저항, 전압, 전류와의 관계를 그림 1.과 같이 나타낼 수 있다.

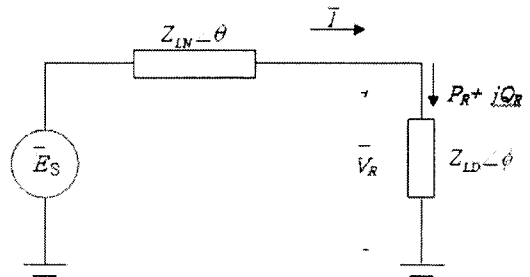


그림 1. 간단한 전력 시스템 개념도

위의 그림에서 부하 쪽으로 흐르는 전류와 전압, 전력을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\bar{I} = \frac{\bar{E}_s}{\bar{Z}_{LN} + \bar{Z}_{LD}}$$

\bar{I} 와 \bar{E}_s , \bar{Z}_{LN} , \bar{Z}_{LD} 는 phasor값이다.

$$\bar{Z}_{LN} = Z_{LN} \angle \theta, \quad \bar{Z}_{LD} = Z_{LD} \angle \phi$$

$$I = \frac{E_s}{\sqrt{(Z_{LN} \cos \theta + Z_{LD} \cos \theta)^2 + (Z_{LN} \sin \theta + Z_{LD} \sin \theta)^2}}$$

$$I = \frac{1}{\sqrt{F}} \frac{E_s}{Z_{LN}}$$

$$F = 1 + \left(\frac{Z_{LD}}{Z_{LN}}\right)^2 + 2 \left(\frac{Z_{LD}}{Z_{LN}}\right) (\cos \theta - \phi)$$

$$V_R = Z_{LD} I$$

$$= \frac{1}{\sqrt{F}} \frac{Z_{LD}}{Z_{LN}} E_s$$

부하 Z_{LN} 에 공급되는 전력 P_R 은

$$P_R = V_R I \cos \phi$$

$$= \frac{Z_{LD}}{F} \left(\frac{E_s}{Z_{LN}}\right) \cos \phi$$

위의 식들을 이용해서 전류, 전압, 전력을 부하요구량에 관한 그래프로 그리면 다음과 같다.[2]

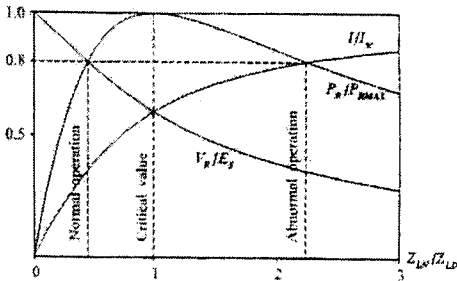


그림2. 부하요구량에 대한 부하단의 전압, 전류, 전력
그림 2.에선 부하 요구량이 감소하면 부하 측의 전력 P_R 은 처음엔 빠르게 증가하다가 점점 증가속도가 느려지면서 최고점(critical point)에 도달한 후 다시 감소하는 형태를 보인다. 전압원에서 전달되는 전력 공급량은 한계가 있는데, 부하요구량이 이 값을 넘어가면 시스템의 전압은 급격히 떨어진다. 이러한 결과를 나타내는 또 다른 방법이 그림3.과 같이 전압 V_R 과 전력 P_R 관계를 나타내는 P-V 곡선이다. P-V 곡선에서는 critical point보다 세로 방향으로 위에 있는 영역은 전압이 안정한 영역이고 아래 영역은 불안정한 영역이다.

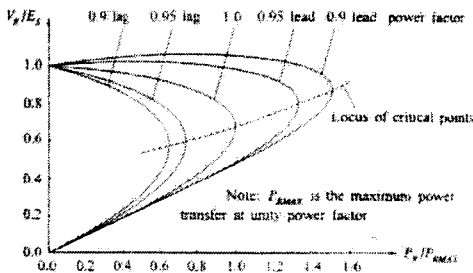


그림 3. P-V 곡선

2.2 부하의 모델링

부하의 종류에 따른 모델링이 필요로 한다. 그림3은 부하의 종류나 구성 조직도를 나타낸 것이다. 그리고 표 1, 표2는 각 부하의 종류에 따라, 부하 구성의 종류에 따른 정적 특성을 수식으로 나타낸 것이다.[3]

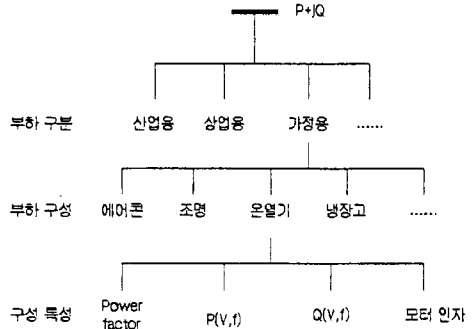


그림3. 부하 종류별 구성 조직도

구성	power factor	SP/δV	αQ/δV	SP/δI	αQ/δI
에어컨	0.9	0.088	2.5	0.98	-1.3
전기 보트	1	2	0	0	0
식기세척기	0.99	1.8	3.6	0	-1.4
세탁기	0.65	0.68	1.6	3	1.8
냉장고	0.8	0.77	2.5	0.53	-1.5
텔레비전	0.8	2	5.1	0	-4.5
산업용 모터	0.88	0.07	0.5	2.5	1.2
농업용 펌프	0.85	1.4	1.4	5	4

표1. 부하 구성별 정적 특성

부하 종류	power factor	SP/δV	αQ/δV	SP/δI	αQ/δI
가정용					
여름	0.9	1.2	2.8	0.8	-2.2
겨울	0.99	1.5	3.2	1	-1.5
상업용					
여름	0.85	0.98	3.5	1.2	-1.6
겨울	0.9	1.3	3.1	1.5	-1.1
산업용	0.85	0.18	6	2.6	1.6

표2. 부하 종류별 정적 특성

2.3 IPLAN으로 프로그램 구현

전압에 대한 ULTC를 구현하기 위해서 크게 세부분을 포함해야 된다. 전압을 감지하는 부분(voltage sensor), 시간 지연(time delay), 탭 변경 장치(tap change mechanism)으로 나눌 수 있다. ULTC가 포함된 전력시스템의 간략도는 그림4.이고 그림에서 탭의 위치를 근으로 구할 수 있다. dn/dt 의 값은 측정 전압이 기준 전압에 비해 낮다면 증가하여($n20$) 탭의 위치를 올려주어 전압을 상승시킨다.

1차측 전압의 V와 선로에서의 전압을 합한 값은 공급된 전압과 같다

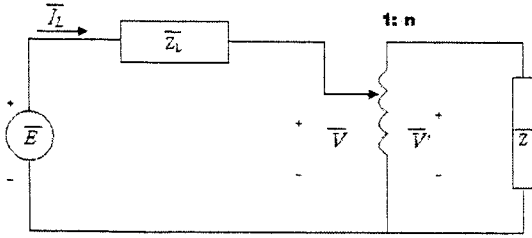


그림 3. ULTC가 포함된 전력 시스템

$$\bar{E} = \bar{Z}_L \bar{I}_L + \bar{V}$$

부하측의 전압을 쉽게 살펴보면.

$$\bar{V}' = \frac{\bar{E}}{\bar{Z}_L + \frac{\bar{Z}}{n}} = \frac{n\bar{E}\bar{Z}}{n^2\bar{Z}_L + \bar{Z}}$$

$$\frac{dn}{dt} = \frac{1}{T} \left(V_0 - \frac{nEZ}{[n^2 Z_L^2 + 2n^2 Z Z_L \cos(\theta_L - \theta) + Z^2]^{1/2}} \right)$$

여기서 $\bar{Z}_L = Z_L \angle \theta_L$, $\bar{Z} = Z \angle \theta$ 이다.

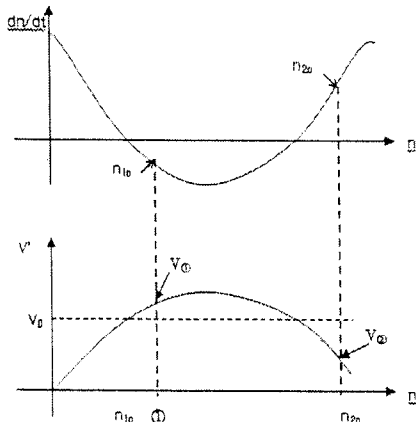


그림 4. dn/dt, 부하 전압과 탭 비의 관계

IPLAN을 사용하여 ULTC를 모델링하고 부하의 모델링 수식을 2.2절에서 언급한 값을 입력하면 그림 5와 같은 순서로 PSS/E프로그램을 제어한다. 동작 시간을 정해줄 때 $T_D=25$ 초, $T_C=5$ 초로 정해주었다.

IPLAN을 사용하여 고장을 입력할 때는 선로 고장과 모선 고장으로 입력하고 고장 지속 시간은 본 논문에서는 3cycle로 조건을 주었다.

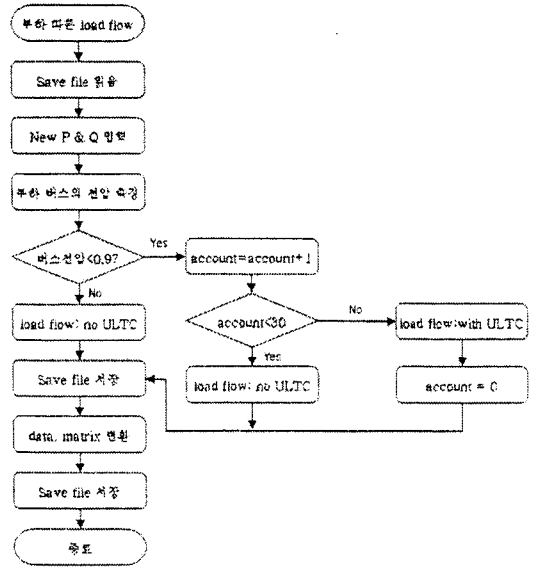


그림 5. ULTC 모델링을 사용한 IPLAN 프로그램

2.4 시스템 적용

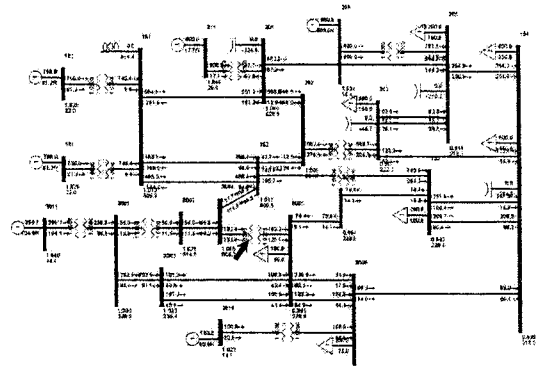


그림 6. 23모선 시스템

화살표로 표시된 부분에 ULTC의 모델링을 적용시켰으며 2차측 모선의 부하를 비선형적 증가(모터 특성)할 때와 앞 모선에서의 고장이 났을 때의 결과를 알아본다.

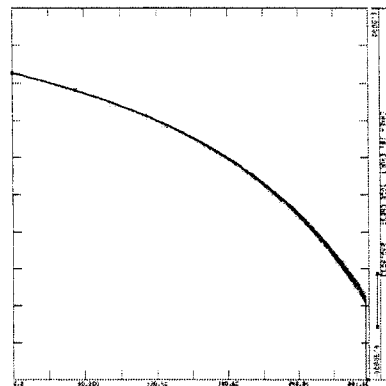


그림 7. ULTC가 동작하지 않았을 때 모선 전압

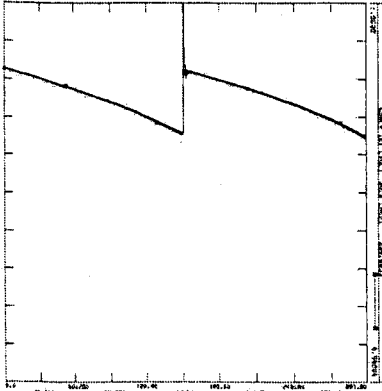


그림 7. ULTC가 동작했을 때 모선 전압

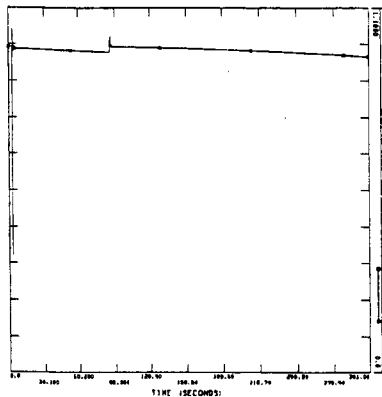


그림 7. 선로 사고 발생시 모선 전압(ULTC동작)

전체적인 동작 시간은 300초까지 실행했으며 전압 범위를 0.97PU로 해서 그 전압보다 떨어지면 시간을 측정해서 탭의 위치를 바꿔준다.

고장이 발생(3초)해서 3cycle안에 고장을 제거해서 모선 전압이 안정권에 들어왔으나 부하의 증가로 전압이 감소되는 것을 90초에 전압 보정을 해주었다.

3. 결 론

전압안정도 부분에서 ULTC외에 MXL(Generation Maximum Excitation Limiters), 부하 재구성의 모델도 고려해준다. 하지만 23모선 시스템의 경우 ULTC를 시스템에 적용함으로써 비선형적인 부하의 증가(모터 부하)에 따른 전압 강하의 보상과 사고에 따른 시스템의 변경에서도 안정된 전압을 얻을 수 있었다. 그래서 수요가 굉장히 증가하는 시스템에서 부하에 따른 변압기의 탭을 자동으로 바꿔줌으로써 전압이 떨어지는 것을 보안하고 나아가 전력시스템의 안전화에 기여한다고 볼 수 있다. 그리고, IPLAN으로 PSS/E를 제어 할 수 있는 프로그램을 사용자가 직접 만듦으로써 long term에서의 해석과 다양한 조건들을 주고 해석할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 송길영, 김세영, 김용하 "전압벡터의 유효분 감도지표

dP/de 수정법에 의한 견고한 전압안정도 평가에 대한 연구", 대한 전기 학회 논문집, Vol. 45 No.1. 1996

[2] P. Kundor "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, Inc. 1996

[3] 주기성, 김진오 "전압안정도 향상을 위한 FACTS의 적용과 Brifurcation 이론 해석", 전력 전자 학회 논문집, 2000, 8.

[4] Akihiko Yokoyama, Yasuji Sekine, "A Static Voltage Stability Index based on Multiple Load Flow Solutions", Engineering Foundation Conferences, 19

[5] A. Semlyen et al, "Calculation of the Extreme Loading Condition of a Power System for the Assessment of Voltage Stability", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.6, No.1, pp.307-315, Feb. 19

[6] 鈴木守, 柵木堅, "電力界統の電壓安定限界の直接解法", 電學論 B, 110卷, 11號, 平成2年

[7] Power Technologies, INC., "PSS/E USER MANUAL", Oct. 20

[8] G.K.Morison, B.Gao, P.Kundur, "Voltage Stability Analysis Using Static and Dynamic Approaches", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.8, No.3, Aug. 19

[9] C. Concordia and S. Inara, "Load Representation in Power System Stability Studies", IEEE Trans, Vol. PAS-101, pp.969-977, April 19

[10] Chao-Shun Chen, Tsung-Hsien Wu, Chung-Chieh Lee, Yenn-Minn Tzeng, "The Application of Load Models of Electric Appliances to Distribution System Analysis", IEEE Trans, Vol. 10, No.3, Aug. 1995