

전압 안정도 지수를 고려한 계통 보호방안 연구

전웅재, 김대균, 강상균, 이병준
고려대학교

A Study on System Protection Scheme Using a Voltage Instability Index

Woongjae Jeon, Taekyun Kim, Sangkyun Kang, Byongjun Lee
Korea University

Abstract - GPS(Global Positioning System)을 기반으로 한 PMU(Phasor measurement Unit) 장치는 계통의 여러 가지 동특성 정보를 내포하고 있는 페이지 정보를 제공한다. 이러한 PMU 정보를 이용하여 계통의 전압 안정도를 판단, 감시하여 보다 신뢰성이 높게 계통을 안정적으로 운영을 할 수 있고, 계통보호를 위한 Shunt Capacitor 투입 시 적절한 시기와 양을 결정할 수 있도록 도와준다.

본 논문에서는 기존의 저전압 계전기를 이용한 저전압 현상과 실시간 지역정보를 이용한 전압 안정도 지수를 함께 고려함으로써 보다 신속하고 신뢰성 높은 계통 보호방안을 모색하고, 이를 실시간 디지털 시뮬레이터인 HYPERSIM을 활용하여 순시치 환경에서 모의하였다.

1. 서 론

최근 전력수요의 지속적인 증가와 전력산업 구조개편에 따른 송전계통의 개방으로 인해 전력계통의 운용 여유가 점차 감소하고 있다. 이러한 운용 여유의 감소가 일으키는 문제는 여러 가지가 있지만 그중 전압안정도와 관련된 문제들은 계통에 외란이 발생하였을 경우 광역 정전사고와 같은 심각한 상황을 초래할 수 있으므로 조상설비계획 등의 off-line 계통해석을 통해 최적의 계통운영계획을 세워야 하며, 긴급한 경우 전압 붕괴 방지를 위한 계통제어 및 보호방안의 수립이 필수적이다.

그동안 진행되어온 전압안정도 분야의 연구들을 살펴보면 off-line 해석 분야에서 괄목할 만한 성과를 이루었음을 알 수 있다. 반면에 긴급한 경우에 전압붕괴를 방지하기 위한 제어 또는 보호방안에 대한 연구는 계통해석 분야보다 적은 양의 연구들이 이루어졌고, 아직도 어려운 문제로 남아있다.

전압 안정도 향상을 위해 Shunt Capacitor 투입, ULTC Tap Blocking, 부하차단(Load Shedding) 등의 방법이 있으나 대부분 수동으로 운전되고 있기 때문에 긴급한 경우 전압붕괴를 방지하기에는 어려움이 따른다.

현재까지는 저전압 계전기(Undervoltage Relay)에 의한 부하차단방안이 거의 유일한 계통 보호 방안으로 알려져 있고, 국내외의 많은 전력회사에서 채택하여 운용하고 있다. 이러한 부하차단은 가장 경제적이고 효과적인 확실한 계통 보호 방안이지만 가장 피해야할 방안이기도 하다. 또한 저전압 계전기에 의한 부하 차단은 전압 붕괴 현상이 경부하이거나 무효전력이 과보상 되어 있는 경우 계통에 외란이 발생하면 정상전압 근처에서도 발생할 가능성이 있으므로 저전압 현상 자체만으로는 계통의 전압안정성을 판단하기가 매우 어렵다.

따라서 긴급한 경우 전압 붕괴를 방지하기 위한 좀 더 지능화 된 계통보호 방안에 대한 연구가 필요하고, 이를 위해 PMU를 이용하여 계통을 하나의 간단한 테브난 등가 회로로 구성하여 계통의 임피던스와 부하의 임피던스의 비를 감시함으로써 산출되는 전압 안정도 지수를 이용하고, 이 지수를 저전압 현상과 함께 고려하면 신속하고 신뢰성 높은 Shunt Capacitor 투입 방안을 구축 할 수 있다.

2. 본 론

2.1 HYPERSIM에서의 변전소 환경 구축

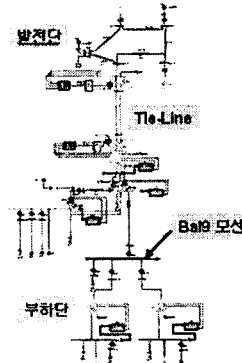
저전압 현상과 전압 안정도 지수를 고려한 Shunt Capacitor 투입 모의를 위하여 실시간 시뮬레이션인 HYPERSIM에 변전소 환경을 구축하였다.

그림1은 변전소 환경을 구축할 시험계통이다. 계통상단의 발전단에는 2개의 발전기와 2개의 부하가 있고, 하단의 부하단에는 1개의 소용량 발전기와 2개의 부하로 이루어져 있으며, 발전단과 부하단 사이에는 2회선의 Tie-Line이 있어서 계통 상단에서 생산되는 전력이 계통의 하단에 위치한 부하 쪽으로 공급되고 있다.

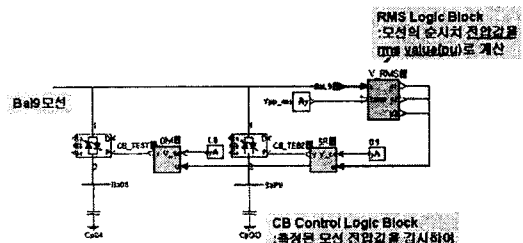
변전소 환경 구축을 위해 이 시험 계통의 부하단에 있는 Ba19모선에 2 Capacitor Bank를 붙이고, HYPERSIM의 Control Block에 있는 각종 Logic 을 이용하여 그림 2과 같이 RMS Logic Block과 CB(Capacitor Bank) Control Block을 만들었다. 여기서 RMS Logic Block은 감시 모선에서 측정된 순시치 전압 데이터를 RMS기반의 실효치 값으로 변환 시키는 역할을 하고, CB Control Logic Block은 계산된 순시치 전압값을 일정 양의 기준 값과 비교하여 적절한 양의 Capacitor Bank를 모선에 투입하도록 결정을 내린다.

이때 감시 모선에서 측정되어 RMS값으로 변환 전압의 실효치 값이 0.9 pu 보다 작고, 0.8 pu 보다 클 경우에는 1개의 Capacitor Bank가 투입되고,

만약 0.8 pu 보다 작을 경우에는 심각한 상황이라 감지하고 2개의 Capacitor Bank가 투입되게 된다.



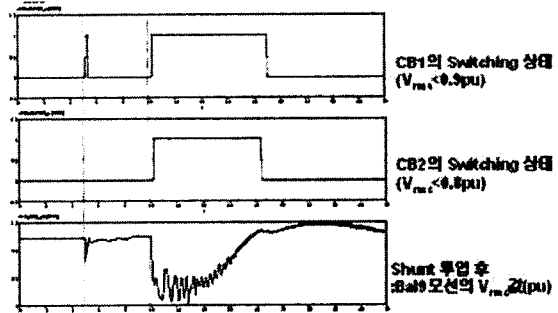
<그림 1> 3기 10모선 계통



<그림 2> Ba19모선에 구현한 2 Capacitor Bank

2.2 저전압계전기 적용 Shunt Capacitor 자동투입방안

저전압 현상을 모의하기 위해 시험계통의 발전단 인근에 2번의 3상 사고를 주었다. 이중 첫 번째 5초에 일어난 사고는 경미한 사고로써 감시모선의 전압 측정값이 0.8 pu 이하로 떨어지지 않았지만 두 번째 10초에 발생한 사고는 좀 더 심각한 사고를 주어 감시 모선의 측정 전압이 0.8 pu 이하로 떨어지도록 사고 시나리오를 작성하였다.



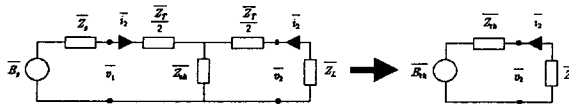
<그림 3> Vrms에 따른 Capacitor Bank의 Switching 상태

이에 따른 Capacitor Bank의 Switching 상태는 그림 3과 같다. 첫 번째 심각하지 않은 사고에서는 2개의 capacitor bank 중 하나만이 투입되지만 그 후 두 번째 사고에서는 측정 전압이 0.8 pu 이하로 떨어지게 되어 2개의 Capacitor Bank 모두가 투입되어 사고 시 전압의 레벨에 따라 차등적으로 Shunt Capacitor가 투입됨을 알 수 있다.

2.3 전압 안정도 지수 산출

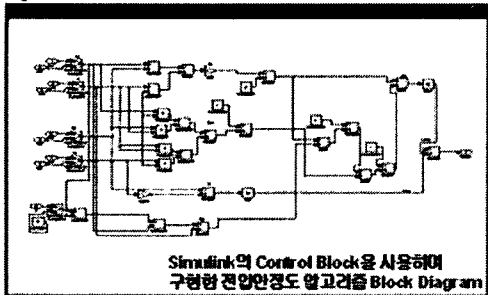
PMU 정보를 이용한 전압 안정도를 계산하기 위해서는 그림 4과 같이 계통을 발전단과 부하단 사이가 T-등가회로로 연결된 하나의 축약된 테브난 등가회로로 구성하여 테브난 등가 임피던스인 Z_{th} 와 부하 임피던스인

\bar{Z}_L 을 실시간으로 추정하여 \bar{Z}_{th} 와 \bar{Z}_L 의 비를 구하게 된다. 이때 \bar{Z}_{th} 와 \bar{Z}_L 의 비를 전압안정도 지수라 하며, 이 값이 1보다 작을 경우에는 안정한 상태이지만 1보다 같거나 크게 되면 계통은 불안정한 상태가 된다.[1]



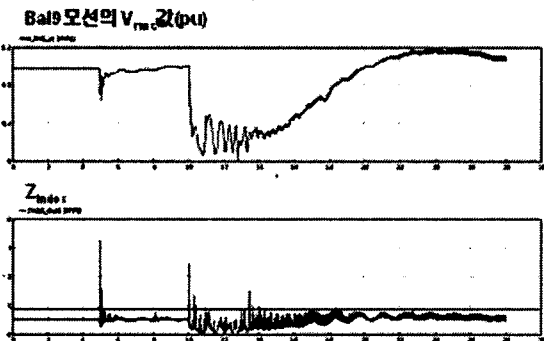
〈그림 4〉 T 등가회로와 축약된 테브난 등가회로

위의 알고리즘을 HYPERSIM에 적용시키기 위해 복소수 계산이 용이한 Simulink를 이용하여 설계한 것이 그림 5이다.



〈그림 5〉 Simulink를 사용한 전압안정도 알고리즘 구현

감시 하고자 하는 선로의 양단에서 전압과 전류의 페이저 정보를 PMU를 통하여 얻고, 이 데이터를 바탕으로 T-등가회로로 구성하여 계통의 테브난 임피던스 \bar{Z}_{th} 와 부하 임피던스 \bar{Z}_L 을 산출하여 두 값의 비인 전압안정도 지수를 구하는 Block이다.

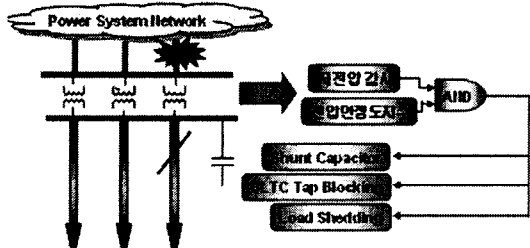


〈그림 6〉 Vrms에 따른 전압안정도 지수 변화

위에서 구현한 Block을 HYPERSIM에 만들어진 시험계통에 적용한 결과 그림 6이며, 평상시 5초 이전에는 계통이 안정한 상태에서 전압안정도 지수가 1보다 작지만 사고가 난 5초와 10초 근방에서는 전압이 떨어지는 순간 전압안정도 지수가 1 이상으로 증가됨을 볼 수 있다.

2.4 저전압 현상과 전압안정도 지수 동시 고려

실제 계통에서 저전압 현상만을 고려하여 Shunt Capacitor 투입을 결정한다면 순간적인 전압 강하 현상일 경우 필요치 않은 무효전력의 공급으로 인해 전압이 과보상 되는 현상이 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 그림 7과 같이 계통의 저전압 현상과 전압안정도 지수를 하나의 AND 게이트로 묶어서 Shunt Capacitor 투입이나 부하 차단(Load Shedding)과 같은 계통보호방안을 수립할 수 있다.

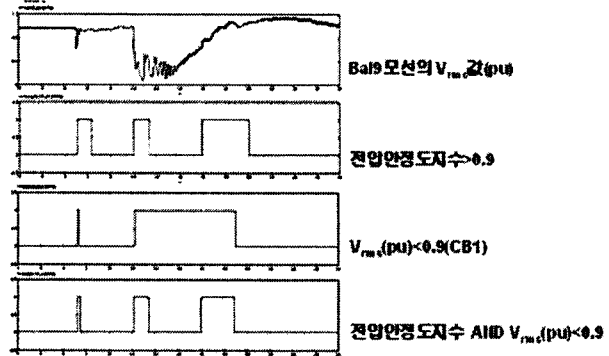


〈그림 7〉 저전압 현상과 전압안정도 지수 동시 고려

즉 계통에 사고가 발생 시 저전압 현상 뿐만 아니라 PMU 정보를 통해서 얻을 수 있는 전압안정도 지수를 함께 고려하여 두 가지 모두가 Shunt Capacitor 투입 기준에 만족할 경우에만 투입이 이루어지도록 한다.

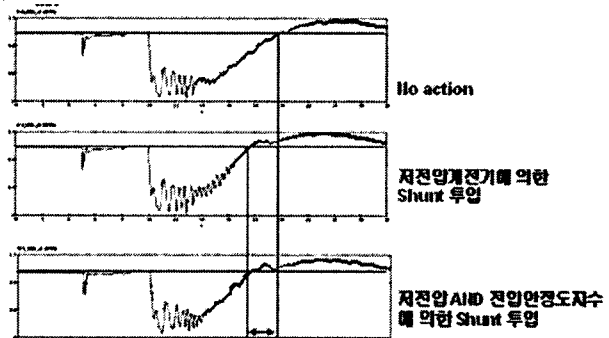
이러한 알고리즘을 적용하여 HYPERSIM에서 모의한 결과가 그림 8에 나타나 있다. 사고에 따른 저전압 현상이 단순히 일시적인 현상인지 아니면 심각한 사고인지를 전압안정도 지수와 저전압계전기의 AND 게이트를 통하여 함께 고려함으로써 적절하고 신뢰도 높은 Shunt Capacitor 투입 시기와 양을 결정할 수 있다.

그림 8은 사고 이후 감시모선의 측정 전압에 따른 Capacitor 투입 결정 판단을 보여주고 있다.



〈그림 8〉CB1의 Switching 상태

전압안정도 지수와 감시 모선의 측정전압 레벨에 따라 AND 게이트를 통하여 최종적으로 적절한 시기와 양의 shunt capacitor 투입을 결정하게 된다.



〈그림 9〉사고 후 Ba19모선의 Vrms값 비교

Shunt Capacitor 투입에 따른 전압 회복 추이는 그림 9에 나타나 있다. 그림 9에서 보듯 계통에 사고가 발생할 경우 저전압계전기만을 사용한 Shunt Capacitor 투입에서는 빠르게 전압이 회복되지만 이후 과전압 현상이 발생한다. 하지만 전압안정도지수를 함께 고려한 Capacitor 투입은 아무런 동작을 취하지 않았을 때보다 더 빠른 시간 안에 정상상태의 전압으로 회복되었고, 저전압 계전기를 이용한 Capacitor 투입보다 전압 회복 후에도 더 안정적인 전압을 유지함을 볼 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 실시간 계통 안정도 평가 시스템의 운영을 위해 실효치 환경이 아닌 순시치 환경에서 과도 현상에 따른 변화를 모의할 수 있는 디지털 시뮬레이터인 HYPERSIM을 이용하여 실제와 유사한 데이터를 획득하였고, 시험계통인 3기 10모선 계통의 부하단에 2 Capacitor Bank를 구성하여 실제 계통에 적용할 경우 발생할 수 있는 문제를 확인하였다. 특히 이전의 off-line 해석에서 검증하였던 사고 이후 모선에서의 제어, 즉 실제 계통에서 변전소 환경에서의 제어를 적용하는 것을 직접 HYPERSIM에서 지원되는 Control Block이나 Simulink의 Control Logic을 이용하여 구현함으로써 실제 상황과 같은 계통의 변화와 결과를 얻을 수 있게 되었다.

이를 이용하여 전압안정도를 평가 할 수 있는 여러 알고리즘 중 지역 또는 모선의 정보를 통해 계통의 테브난 임피던스를 추정하여 전압안정도 지수를 산출하고, 그 동안 사용되어온 저압에 의한 안정도 평가 기술과 함께 적용한 적용형 계전기를 구현하였다. 이러한 적용형 계전기를 사용할 경우 저전압 방식에서 발생할 수 있는 순간적인 전압 강하 현상에 의해 생기는 오동작을 방지 할 수 있고, 신뢰성이 향상된 자동 Shunt Capacitor 투입을 판단할 수 있었다.

본 논문은 과학기술부·과학기술재단 지정 명지대 차세대 전력기술센터 사업(NPTC)에 의해서 지원되어 작성되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Mats Larsson, Christian Rehtanz, Joachim Bertsch, "Real Time Voltage Stability Assessment of Transmission Corridors"
- [2] 김상삼, 이병준, "계통 지역정보를 이용한 전압안정성 감시 및 보호계전기에의 적용"
- [3] M. Begovic, et. al, "Summary of System Protection and Voltage Stability", IEEE Transactions of Power Systems, Vol. 10, No. 2, April, 1995, pp. 631-638.
- [4] Vu, k, M M Begovic, D novosel and M M saha, "Use of local Measurement to Estimate Voltage Stability Margin", 20th International Conference on Power Industry Computer Application. IEEE.