

전압 Profile 개선을 위한 변전소 내의 LTC, S.C, FACTS간 협조제어 연구

이길수, 강상균, 이병준
고려대학교

Cooperated control between Load Tap Changer, Shunt Capacitor, FACTS in substation for voltage profile improvement

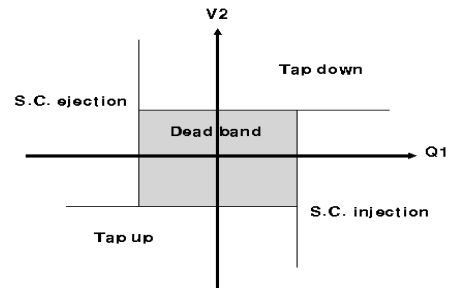
Gil-soo Lee, Sanggyun Kang, Byungjun Lee
Korea University

Abstract 이 논문은 변전소 환경에서 LTC, S.C, FACTS 간의 협조제어를 통한 전압 profile 개선을 논한다. 변전소 자체 내의 전압-무효전력 제어기기인 LTC, S.C 이외에도 현재에는 더 나은 전력전송과 전압안정을 위해 FACTS를 설치하는 경우가 늘고 있기 때문에 위의 3가지 기기에 대한 협조제어 알고리즘에 대한 필요성은 점차 증대된다고 할 수 있다. 이러한 3가지 기기들의 협조제어를 통해서 전압 profile 개선에 관하여 연구하였으며 그러한 연구들은 Hypersim(real-time simulator) 기반에서 수행하였다.

LTC과 S.C는 각자 전압과 무효전력을 제어하지만 두 기기 모두 전압에 영향을 가져오고 동작시간이 겹친다는 점에서 무효전력의 부족 현상에 의해 전압이 떨어졌을때 2개의 기기가 모두 동작한다면 전압파형이 한 개 동작보다 더 큰 변화와 함께 전압 profile이 좋지 않게 되고 각각의 기기들을 고려하지 않고 동작하는 경우에는 심각한 경우에 계통의 불안정현상을 가져올 수 있다. 이러한 Tap과 S.C 대해서는 이전에 수행된 VQC 방법에 기초한 LTC와 S.C의 협조제어 방법에 관한 연구가 진행되었다.[3](그림2)

1. 서론

최근에는 전압 안정도가 전력계통에서 주요 관심사가 되고 있다. 그러한 전압안정도는 무효전력과 밀접한 관련이 있다. 근래에 발생한 유럽과 미국의 정전사태는 무효전력의 공급과 수요가 일치하지 않아 발생한 전압 붕괴가 그 이유이다. 따라서 변전소 환경에서도 계통 안전도 측면에서 요구되는 무효전력 수준을 유지하고 전압 수준을 유지하는 것이 주요 관심사가 되었다. 변전소 환경하에서 LTC는 그것의 권선비를 조정하여 2차측 전압 수준을 조정하고, 2차측에 설치된 S.C는 부하측에 필요한 무효전력 부족분을 공급한다. 여기서 한 가지가 더 고려되어 할 점으로 FACTS 역시 많은 변전소에 설치되고 있으며 FACTS 또한 무효전력 공급을 통한 전압을 조절한다는 점이다. 따라서 이러한 전압-무효전력 제어 기기인 3가지 기기들의 협조제어가 중요한 부분이 되었다. 먼저 FACTS와 S.C는 모두 무효전력 공급원이라는 점에서는 일치하지만 FACTS의 응답속도가 몇 cycle이내에서 일어나는 빠른 기기이고 S.C는 수초의 동작시간이 필요한 상대적으로 느린 기기라는 점에 차이가 있다. 따라서 이러한 차이점을 고려한 상호 협조제어 알고리즘이 고안되어질 필요가 있다. 또한 응답속도 측면에서나 계통의 영향적인 측면에서 상호연관성이 있는 S.C와 LTC 간에도 협조제어가 필요하다. 본 연구에서는 이러한 3개 기기의 협조제어를 통해서 더 나은 전압 파형과 최소의 스위칭 동작을 할 수 있는 제어 알고리즘에 관하여 논의하였다.



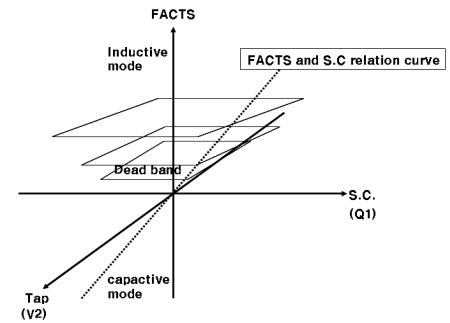
<그림 2. S.C 와 LTC 협조제어 평면>

FACT와 S.C, LTC와 S.C는 3가지 기기 모두 전압을 제어할 수 있는 같은 역할을 할 수 있기 때문에 동시에 동작한다면 전압불안정 현상이 발생할 수도 있고 필요이상의 스위칭 동작이 발생할 수도 있다. 따라서 3가지 기기들의 특성에 따른 협조제어 방안이 필요하다. 무효전력을 제어하는 FACTS와 S.C 동작에 따른 운전점 변동과 S.C와 LTC간의 협조제어 평면을 모두 고려한 새로운 협조평면이 제안될 수 있다.(그림3)

2. 본론

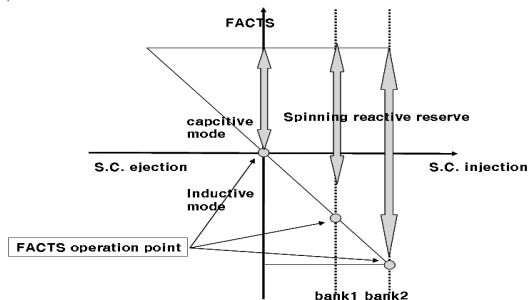
2.1 각 기기간의 협조제어

FACTS와 S.C 협조제어를 논하기 이전에 고려할 점으로 FACTS의 운전은 S.C와 같이 무효전력을 공급하는 Capacitive mode도 있지만 S.R와 같은 역할을 할 수 있는 무효전력을 흡수하는 Inductive mode도 있다는 것이다. 따라서 계통에서 전압을 기준값을 유지한 상태에서 S.C를 투입하면 FACTS는 운전점이 Inductive mode로 이동한다. 이것은 변전소 내의 S.C 투입량에 따라서 FACTS 운전점은 변화하고 그만큼의 순동 예비력을 확보하게 된다는 것을 의미한다.(그림1) 그림1에서 보여지는 것과 같이 S.C는 뱅크단위로 투입하게 되고 그만큼 FACTS는 inductive 영역에서 운전점을 갖게되며 순동 예비력은 증가되는 것을 알 수 있다.



<그림 3. FACTS, S.C, LTC 협조제어 평면>

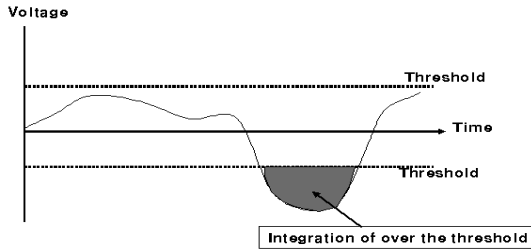
FACT와 S.C, LTC와 S.C는 3가지 기기 모두 전압을 제어할 수 있는 같은 역할을 할 수 있기 때문에 동시에 동작한다면 전압불안정 현상이 발생할 수도 있고 필요이상의 스위칭 동작이 발생할 수도 있다. 따라서 3가지 기기들의 특성에 따른 협조제어 방안이 필요하다. 무효전력을 제어하는 FACTS와 S.C 동작에 따른 운전점 변동과 S.C와 LTC간의 협조제어 평면을 모두 고려한 새로운 협조평면을 제안한 것이다.(그림3) S.C를 투입하는 것만큼 Q1축면의 불감대(Dead-band) 경계는 증가하고 그만큼 FACTS 순동예비력 부분으로 확보되어진다. 따라서 전압불안정 발생시 FACTS가 순간적으로 동작이후에 S.C와 LTC의 협조평면에 따라서 운전동작이 이루어진다. 이러한 협조제어는 순동예비력을 더 확보하여 전압profile 향상에 기여한다. 이러한 협조제어에 따른 효과를 Hypersim 상의 Hydro-Quebec 계통을 통해 검증하였다.



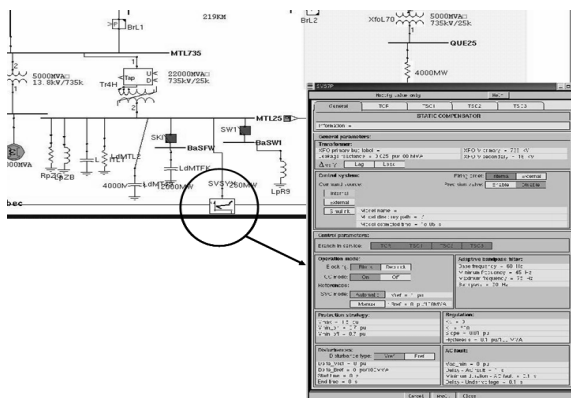
<그림 1. S.C 투입에 따른 FACTS 운전점과 순동예비력>

2.2 협조제어의 영향에 관한 사례연구

스위칭 최소화를 위해서 기존의 반한시 특성의 LTC 모델[4]이 아닌 시적분 모델의 LTC 알고리즘을 적용하였다.[3] 전압이 기준값을 벗어난 값을 적분하여 Tap 신호를 발생시키기 때문에 Tap 동작신호가 지연될 수록 전압 profile은 좋은 경우라 할 수 있다.(그림4) Hypersim상에서 Hydro-Quebec 계통에 관하여 모의하였으며 $\pm 200\text{MVar}$ 의 SVC와 100, 200MVar의 S.C bank를 가지고 모의하였다. (그림5)



〈그림 4. 기준치 값을 벗어나는 전압 값의 적분〉

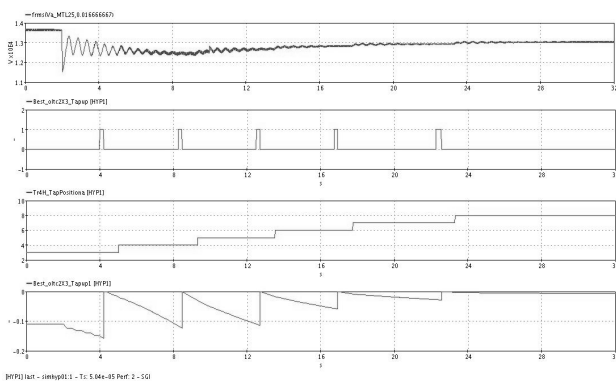


〈그림 5. Hypersim에서 SVC 모델〉

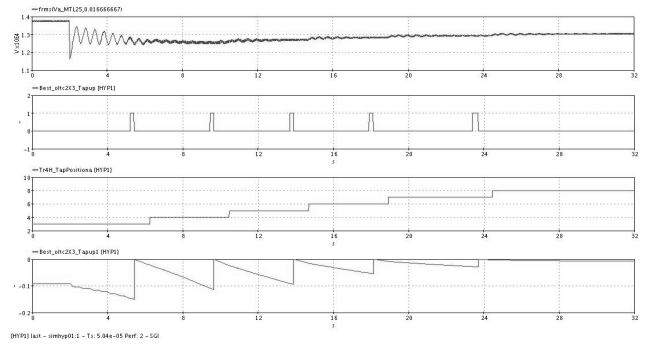
위의 3가지 기기의 협조제어를 모의하기 위해서 S.C와 FACTS의 협조제어를 통해서 순동예비력을 확보한 상태에서 Tap을 동작하는 경우(협조제어)와 3가지의 기기들의 개별적으로 동작하는 경우를 비교하였다.

〈표 1〉 FACTS, S.C, LTC 협조제어와 비협조제어 시나리오

부하증가 시나리오	개별운전	협조제어(FACTS운전점변경)	
1000MVar	기기개별 동작	Inductive (100MVar)	Inductive (200MVar)
1200MVar		S.C	S.C
1800MVar		100MVar투입	200MVar투입
2400MVar			



〈그림 6. 부하 2400MVar 증가시 FACTS, S.C, Tap 개별운전〉



〈그림 7. 부하 2400MVar 증가시 FACTS, S.C, Tap 협조제어 (FACTS 운전점 200MVar inductive 운전점)〉

그림6의 경우는 부하증가 시나리오 중 2400MVar 증가시에 3가지 기기들이 개별 동작한 경우에 전압 파형과 Tap 동작 신호발생이다. 그림6의 하단의 그림은 전압 차이에 따른 적분값을 나타내고 있다. Tap 동작발생과 함께 적분값은 0이 되었다가 다시 전압 차이를 적분하는 양상을 보여준다. 그림6과 비교할 그림7는 부하증가 시나리오는 동일하고 FACTS와 S.C의 협조제어를 통해 FACTS 운전점을 inductive mode로 이동하여 순동예비력이 확보된 경우이다. 두 개의 경우 S.C와 LTC의 협조제어 평면에 따른 협조제어는 고려하였다. 위의 결과 따르면 개별 동작한 것보다 협조제어를 하였을 때 전압의 차이에 의한 적분값에 합에 따른 Tap 신호 발생이 1.5초 늦게 발생하는 것을 통해 협조제어의 경우에 초기 전압 회복을 통해 전압 profile 향상이 더 좋은 것을 확인할 수 있다.

3. 결 론

위의 논문은 변전소 환경에서 LTC와 S.C 그리고 FACTS와 같은 전압-무효전력 제어 기기간의 협조제어에 관하여 연구하였다. S.C와 FACTS간 협조제어는 S.C를 투입하여 FACTS를 inductive 영역에서 운전점을 형성하여 순동 예비력을 증가시키는 방법으로 협조제어를 하였다. 이 경우 사고 발생시에 더 빠른 전압 회복을 통한 전압 profile 향상이 나타났다. 이러한 결과를 전압 차이에 따른 적분 값에 따른 Tap 신호발생 시간으로도 확인할 수 있었다. 이러한 연구 결과로부터 FACTS와 S.C의 협조제어를 통해서 FACTS 운전점을 변동하여 순동예비력을 확보하여 전압 회복 시간을 단축하고 전압 Profile을 향상시키는 제어 이후에 Q1과 V2를 모니터링하여 S.C와 Tap에 대한 제어를 실시하는 것으로 단일 변전소 내의 무효전력-전압 제어기기들에 대한 동작알고리즘을 제안할 수 있다. 향후 이러한 단일 변전소 내의 협조제어 알고리즘에 다수의 변전소의 상호 영향성을 고려한 기기 운전설정 방안에 관한 연구를 확장시켜나가는 것이다.

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

[참 고 문 헌]

- [1]Masahiko Tanimoto, Yoshio Izui, Katsuhiko Mastsuno, Naoto Fukuta, kenichi deno, Tetsuo Sasaki, " An Autonomous Distributed VQC Method Distrubuted VQC Method based on Q-TBC", Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE
- [2]HYPERSIM, "Reference Guide Manual", TransEnergy Technologies
- [3] Donkeun Choi, Sanggyun Kang, Byungjun Lee, PMU Measurement Based Coordinated Voltage-Reactive Power Controls at Automated Substation, 2007 China-Korea Forum on Protective Relaying and Tsinghua-Myungji joint Seminar
- [4]Thierry VAN CUSTEM, Costas VOURNAS, "Voltage Stability of Electric Power systems", Kluwer academic publishers
- [5]Milan S. Calovic, "Modeling and Analysis for Under-Load Tap-changing Transformer Control Systems under Coordinated Secondary Voltage Control", 14thPSCC,Sevilla,24-28June2002