

직접 출력전압 제어 기술을 이용한 DSTATCOM의 제어

정수영, 문승일, 김태현\* 한병문\*\*  
 서울대학교 전기컴퓨터공학부 \*목포대학교 전기제어공학부 명지대학교 전기공학과

Control of DSTATCOM using "Direct" Output Control

Soo-Young Jung, Seung-Il Moon, Tae-Hyun Kim\*, Byung-Moon Han\*\*  
 School of Electrical Engineering, Seoul National Univ., \*Mokpo National Univ., \*\*Myongji Univ.

**Abstract** - 본 논문에서는 EMTDC/PSCAD 패키지를 이용하여 배전용 정지형보상기(DSTATCOM)의 모델을 제안하였고, 이를 비선형 부하를 가지는 배전계통의 전력품질 향상을 위해 "직접" 출력전압 제어 기술을 적용하였다. 1선 지락 사고시에 본 논문에서 제시한 방법을 이용한 시뮬레이션을 통해 전압 파형이 개선되고, 고조파가 감소되며, 선로 전압 조정을 할 수 있음을 보였다.

1. 서 론

전원 전압의 전력 품질 문제에 대한 관심이 높아지면서, 여러 가지 대비책의 하나로써, 배전계통에 보상 기기를 부착하는 방법이 연구되고 있다.[2-5] 이러한 보상기기는 3가지로 구분되며, 병렬 기기인 D-STATCOM, 직렬 보상 기기인 DVR 그리고, 직렬/병렬 보상 기기인 UPQC (Universal Power Quality Controller) 로 이러한 배전용 보상 기기에 대해서 Custom Power 기기라고 부른다.

대표적인 기기 중에 하나인 DSTATCOM이 최근에 많이 연구 되고 있다. 이러한 DSTATCOM 장치는 기본적으로 전압을 전원 전압에 병렬로 전압을 연결하는 장치로, 비선형부하의 전원측 파급효과 방지 및 역률개선, 무효전력에 의한 전압보상의 역할을 한다. 전압형 인버터 및 커패시터, IGBT에 소자에 의한 PWM 스위치로 구성된다.

한편, 배전 계통의 특징은 다음과 같다.

- 1) 방사상형(radial)의 계통이 많다.
- 2) 선로의 저항이 크다(송전계통에 비해)
- 3) 지중선이 많다.(용량성 성분 > 유도성 성분)
- 4) 3상 4선식 다중 접지 계통이다.
- 5) 대규모 단독 부하인 경우 영상전류를 차단하기 위해,

델타/Y변압기를 부착한다. (3상 3선식)

위의 특징에 따라, 나타나는 현상은,

- 1) 가까운 거리의 인접계통의 지락 사고에도 전압의 Black-out현상이 적고(선로의 저항이크다) 전압의 강하로 나타난다.
- 2) RC(re-closer)동작에 의해, 고장이 순간 차단되는 경우가 많으며, 이 경우, 전압 강하는 순간적이다.
- 3) 지중선의 경우, Mutual 성분이 공중선보다 크고, 분포정수 상의 C가 매우 크다.
- 4) 지락 사고 시에 매우 많은 양의 영상성분이 발생하며, 이러한 영상 성분이 흐르는 경우, 접지 전위의 상승이 발생하고, 변압기에 많은 전류를 흐르게 한다.

본 연구는 배전 계통에서의 전압 보상을 위한 DSTATCOM 장치를 제안하고, 제안을 EMTDC/PSCAD로

확인 하였다.

2. 본 론

2.1 배전 계통의 구성

기존의 방사형 배전 계통은 그림 1과 같은 형태이며, 이러한 3상 4선식 배전계통의 회로 모형은 그림 1의 아래에 나와 있다. 즉, 접지 계통의 다중에 의해, 많은 단상 회로가 존재하며, 이러한 접지 경로는 전압의 불평형이나 부하의 불평형, 또는 단상 회로의 구성에 의해 접지선에 전류가 흐르게 된다.

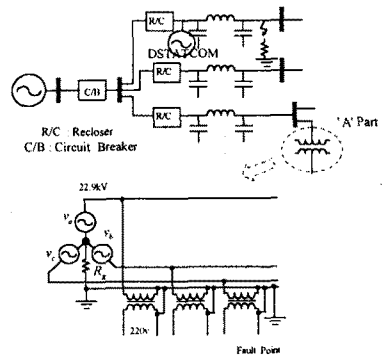


그림 1. 방사형 배전계통과 DSTATCOM 부착회로 모형

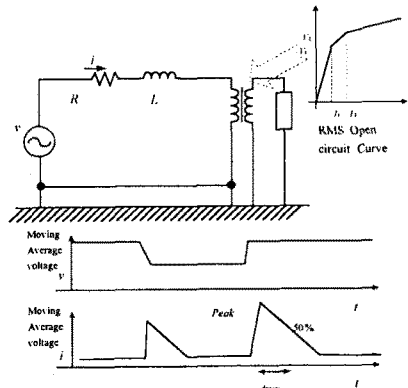


그림 2. Sag시의 포화 변압기 돌입전류 파형

그림 2와 같은 실제의 포화 변압기의 경우, 전압의 Sag에 의해 높은 돌입전류가 발생하며, 이러한 전류는 500kVA급

의 변압기 기준으로 160ms 50% sag시에 약 1100% 정도의 전류가 흐른다고 알려져 있다.[1]

## 2.2 DSTATCOM의 작동원리

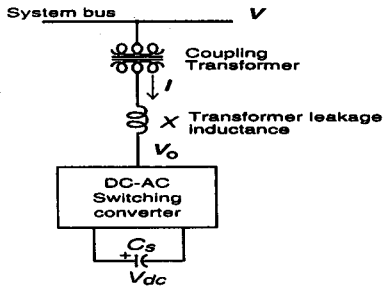


그림 3. 전형적인 DSTATCOM 등가 모형

그림 3은 DSTATCOM의 기본적인 등가 회로를 나타낸다. DSTATCOM은 IGBT를 이용한 자력식 인버터 뒤에 DC 전압원과 결합 변압기로 이루어져 있다. 배전계통 또한 전압원으로 모델 될 수 있다. 두 전압원은 변압기의 누설 리액턴스로 나타내는 리액터에 의해 연결되어 있다. DSTATCOM 출력전류 I는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I = \frac{V_0 - V}{X} \quad (1)$$

여기서 V는 계통 전압, V<sub>0</sub>는 인버터의 출력전압, X는 총 리액턴스(변압기 누설 리액턴스, 시스템 단락 전류 리액턴스)이다.

그림 3에서 알 수 있듯이 V<sub>0</sub>가 V와 같다면 무효전력은 계통에 전달되지 않는다. 그러나 만일 V<sub>0</sub>가 V보다 크다면 I는 계통에 진상전류를 공급하고 V<sub>0</sub>가 V보다 작다면 I는 계통에 지상전류를 공급하게 된다.

이때 무효전력의 흐름은 V<sub>0</sub>와 V의 차이에 비례한다.

## 2.3 DSTATCOM의 제어 원리

DSTATCOM은 IGBT이루어져 있다. 이 장치는 게이트 명령은 무효 전력 기준 신호에 대한 내부 컨버터 제어에 의해서 발생되어진다. 기준 신호는 운전자의 지시와 시스템의 변수로부터 제공되어진다.

내부제어는 컨버터의 집적 부분이다. 그것의 주요기능은 AC 계통의 요구되는 크기와 각에 동기하여 기본적인 출력 전압을 발생하도록 컨버터 스위치를 조정한다.

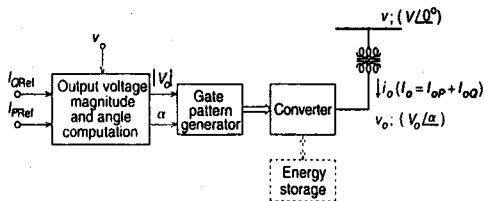


그림 4. DSTATCOM 내부제어 모델

그림4에서 나와있듯이, 내부 제어는 외부 제어가 주는 외부 전압의 크기와 위상을 계산하고, 우리가 원하는 출력 전압과 대응하는 컨버터의 on, off스위치의 주기를 결정하는 조정된 시간 파형의 집합을 만드는 것으로 보상을 할

수 있다.

이 파형은 원하는 출력전압에 대응하는 컨버터에서의 동작 스위치를 결정한다. 이들 파형은 위상관계를 가지고 있다. 이들 시간 파형은 컨버터 펄스 수로 결정되는 전압간의 위상 관계, 출력 전압 파형을 만드는 데 사용되는 방법, 그리고 세 개의 출력간(대개 120°)의 요구되는 각 위상과 명백한 관계가 있다.[6]

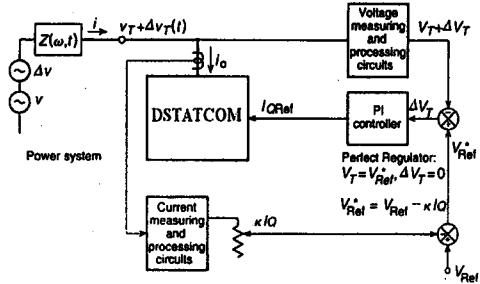


그림 5. 전압-전류 기울기의 구현을 고려한 제어 모델

그림 5에 나와있듯이, 보조 입력을 사용한 소 제어 루프는 우리가 원하는 단자 전압과 보상기의 출력, 전류 특성을 확인 시킨다.

순서 극성을 갖고 있는 보상 전류 K\*I<sub>0</sub>의 진폭에 비례하는 신호는 기준 전압 V<sub>Ref</sub>으로 유도할 수 있다. 단자 전압을 제어하는 이 유효 기준전압 V<sub>Ref</sub>\*는 다음과 같다.

$$V_{Ref}^* = V_{Ref} + K I_0 \quad (2)$$

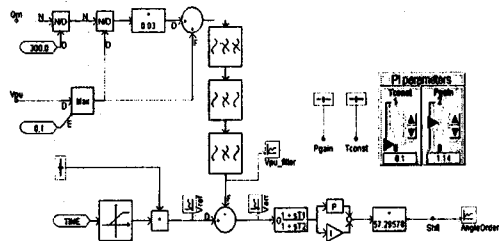


그림 6. EMTDC/PSCAD에 의한 AC전압저장 제어 블록도

여기서 K는 단자 전압을 조정하기 위해서는 다양하게 보상전류를 조절해야 하는데 그 이유는 주어진 용량성과 유도성 최대정격에 대해 보상기의 선형 동작범위는 조정을 위한 Droop또는 기울기가 허용되면 확장 가능하다. 이 특성을 고려한 상수이다.

그리고, 그림 6은 단상 EMTDC/PSCAD에 의해 AC 전압을 직접 제어하는 것을 보여 주고 있다.

## 2.4 Simulation 결과

EMTDC/PSCAD를 이용한 소자 단위의 시뮬레이션 결과를 보면 다음과 같다. 이러한 결과는 그림 5, 6를 토대로 구성되었으며, 저분 시간은 1usec 단위로 구성하였다. 그림 7, 8, 9에서 보는 바와 같이, 기존의 방법은 1선 지락 시의 제안한 방법은 적절한 전압보상 및 고조파에 효과적임을 알 수 있다.

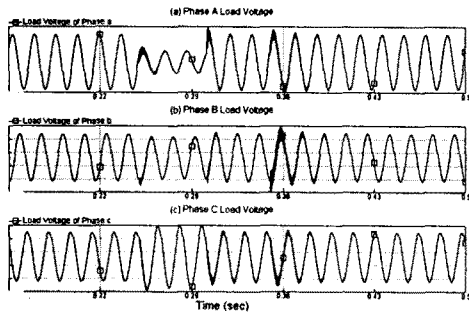


그림 7. 보상전(1선지락) 각 상의 파형

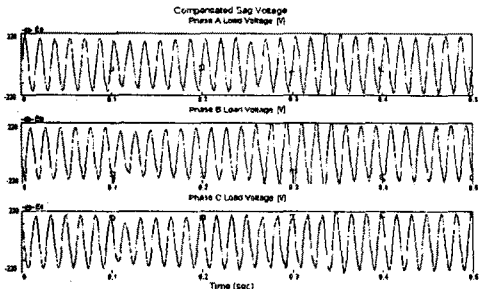


그림 8. 제한한 제어 알고리즘에 의한 파형(1선지락)

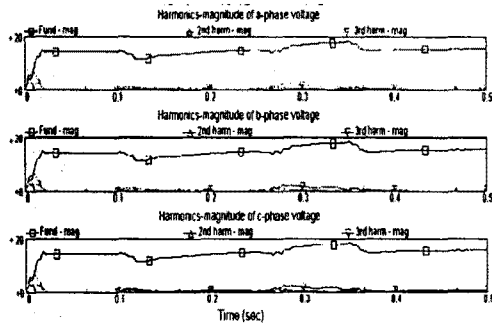


그림 9. 제한한 방법에 의한 부하단 고조파분석(1선지락)

### 3. 결 론

본 논문에서는 EMTDC/PSCAD 패키지를 이용하여 배전 DSTATCOM의 제어 모델을 제안하였고, 이를 배전계통의 전력품질 향상을 위해 "직접" 출력전압 제어 기술을 적용하였다.

1선 지락 사고시에 본 논문에서 제시한 방법을 이용한 시뮬레이션을 통해 전압 파형이 개선되고, 고조파가 감소되며, 선로 전압 조절을 할 수 있음을 보였다..

감사의 글

본 연구는 기초전력공학공동연구소의 지원(과제번호: 제 00-021호)에 의하여 수행되었음.

- [1] 배전계통에서 발생하는 돌입전류의 특성분석, 기초전력공학 공동연구소, 98-지-08, 1999.10
- [2] K.Chan, and A. Kara, "Voltage sags mitigation with an Integrated Gate Commutated Thyristor based Dynamic Voltage Restorer," *Harmonics and Quality of Power Proceedings, Proceedings. 8th International Conference On Volume:1*, 1998, pp.561 -565
- [3] Sang-Yun Yun, Jung-Hwan Oh, Seong-Jeong Rim and Jae-Chul Kim, "Mitigation of Voltage Sag Using Feeder Transfer in Power Distribution System," *Proceedings of IEEE Power Engineering Society Summer Meeting Conference*, vol 3. July 2000, pp.1421 -1426
- [4] Math H. J. Bollen, *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*, New York, IEEE Press, 1999
- [5] M.Vilathgamuwa, A.A.D Ranjith Perera, S.S.Choi and K.J.Tseng, "Control of Energy Optimized Dynamic Voltage Restorer," Industrial Electronics Society, *IECON Proceedings The 25th Annual Conference of the IEEE Volume: 2*, 1999, pp 873 -878 vol.2
- [6] Gyugyi L., "Dynamic Compensation of AC Transmission Lines by Solid-State Synchronous Voltage Sources," *IEEE/PES Summer Meeting. Paper No. 93SM431-1PWRD*. 1993