

STATCOM 시스템을 적용한 부하의 무효전력 보상

이화수* 이은웅* 김용현* 이동주**
 충남대학교 전기공학과*, (주)이티아이**

Reactive Power Compensation of Load Adated STATCOM System

Lee, Hwa-su*, Lee, Eun-woong*, Kim, Yong-heon*, Lee, Dong-ju**
 Chungnam Nat'l Univ*, ETI**

Abstract - STATCOM which is connected the load parallel with capacitor, is the reactive power compensation device. In this paper, applying the PSIM(POWERSIM) software to STATCOM system, it is simulated the reactive power compensation of balancing load. And, getting a thoroughly going over it's results, we confirmed the function propriety of developed STATCOM system. So, it will be applied the reactive power compensation experimentation of the developing 30kVA STATCOM at our laboratory.

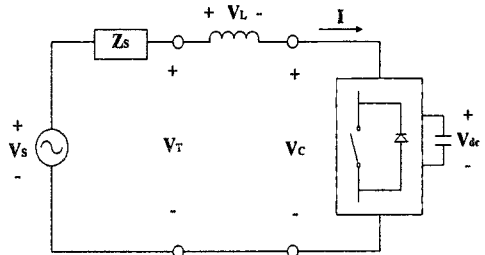


그림1 STATCOM의 단상 등가회로

1. 서 론

현대사회에서 고품질의 전력 수요가 늘어나면서, 전력 품질을 개선하는 기기들의 연구가 활발하다. 정지형 동기보상기(STATCOM)는 콘덴서를 부하에 병렬로 접속하여 무효전력을 보상하고, 반도체 스위치를 이용해서 출력전압의 크기와 위상을 신속하게 제어하여 각종 부하에 의해 왜형되는 전원의 파형을 보상하는 기기이다.

본 연구실에서는 고조파왜형, 역률저하 등의 전류품질을 보상하고, 속응성이 우수한 수용가용 정지형 동기보상기를 전압형 SVPWM 인버터 방식으로 연구하여 설계, 제작 중이다.

본 논문에서는 PSIM 소프트웨어로 STATCOM 시스템에 적용하여 평형 부하시 무효전력 보상 시뮬레이션하고, 개발한 STATCOM 시스템의 동작의 타당성을 검토하여 본 실험실에서 개발 중인 30kVA STATCOM의 무효전력 보상 실험에 적용하고자 한다.

2. STATCOM SYSTEM

무효전력을 보상하는 STATCOM의 전력 반도체의 스위칭 기능을 이용한 기능은 동기조상기와 동일하나, 신속히 출력전압의 크기와 위상을 제어할 수 있는 기능을 갖는 차이점이 있다.

STATCOM은 등가적으로 보면 출력 전압의 크기와 위상을 신속하게 제어할 수 있는 등가전압원을 변압기 누설 리액턴스를 통하여 전원에 진·지상의 무효전력을 공급하는 장치이다.[1]

STATCOM은 소용량의 직류충전용 콘덴서를 DC링크로 하는 3상 인버터로 구성되며, 인버터의 3상 출력전압은 전원 전압과 위상이 일치하도록 동작한다. 그림 1은 STATCOM이 수전단과 연결된 단상 등가회로를 나타낸 것이다.

STATCOM의 인버터와 교류전원 사이에 교환되는 무효전력의 양은 인버터 출력전압의 크기로 조절되고, 인버터와 교류전원 사이의 유효·무효 전력 교환은 인버터 출력 전압과 교류전압 사이의 위상각을 변경시키는 방법으로 제어한다.

2.1 무효전력 보상 원리

dq0축이 전원의 각주파수 ω [rad/sec]로 회전할 때 동기좌표축이라 하며, 이때 q축 성분은 전류의 유효성분의 크기이고, d축 성분은 전류의 무효성분의 크기이다. 무효성분을 포함하는 부하전류 i_{Lk} 를 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$i_{Lk} = I_p \cos\left\{\theta - \frac{2(k-1)\pi}{3}\right\} + I_q \sin\left\{\theta - \frac{2(k-1)\pi}{3}\right\} \quad (1)$$

여기서, k는 1,2,3으로 a,b,c 3상이다.

전원전류 i_{sk} 가 식(2)와 같이 되게 하기 위해 STATCOM을 병렬로 연결하여 식(3)과 같은 전류 i_{ck} 를 공급해야 한다.

$$i_{sk} = I_p \cos\left\{\theta - \frac{2(k-1)\pi}{3}\right\} \quad (2)$$

$$i_{ck} = i_{sk} - i_{Lk} = -I_q \sin\left\{\theta - \frac{2(k-1)\pi}{3}\right\} \quad (3)$$

식(2),(3)의 관계를 dq축상에서 표현하면, dq축 전류가 식(4),(5)와 같이 공급될 때, 식(6)의 전원전류의 q축 전류는 부하전류의 기본파 성분만이 존재하고, 식(7)의 d축 전류는 0이 되므로 무효성분이 보상될 수 있다.[2]

$$i_{Cq} = i_{sq} - i_{Lq} = i_{Lq} - \overline{i_{Lq}} + i_{q, dclink} \quad (4)$$

$$i_{Cd} = i_{sd} - i_{Ld} = i_{Ld} \quad (5)$$

$$i_{sq} = \overline{i_{Lq}} \quad (6)$$

$$i_{sd} = 0 \quad (7)$$

2.2 STATCOM System 동작원리

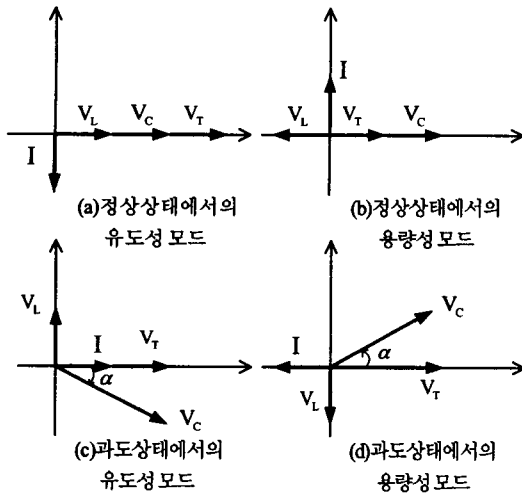


그림 2 STATCOM의 동작 벡터도

그림 2의 (a)와 (b)는 정상상태에서 유도성과 용량성 동작 모드에 대한 위상도를 나타낸 것이고, (c)는 유도성에서 용량성 동작모드로 상태변환하는 위상도이며, (d)는 용량성에서 유도성 동작모드로 상태변환할 때의 위상도를 나타낸 것이다.

수전단 전압 V_T 와 STATCOM 출력전압 V_C 가 동일한 위상각을 갖고, 그림 2(a)와 같이 $V_C < V_T$ 이면 STATCOM 전류 I 는 V_T 에 대해 90° 지상으로 되어 STATCOM이 교류전원으로부터 무효전력을 흡수하고, 그림 2(b)와 같이 $V_C > V_T$ 이면 STATCOM 전류 I 는 V_T 에 대해 90° 진상으로 되어 STATCOM이 교류 전원쪽으로 무효전력을 공급하게 된다. 그리고 STATCOM의 출력전압 V_C 와 수전단전압 V_T 가 동일하게 되면, 무효전력의 출입은 0이 된다.

수전단전압 V_T 는 STATCOM 출력전압 V_C 와 결합용 변압기(연계용 리액터 L)에 걸리는 전압 V_L 의 합과 같다. 용량성에서 유도성 동작모드로의 전환은 수전단전압 V_T 와 STATCOM 출력전압 V_C 의 위상각 차이인 α 를 0에서 양의 값으로 변화함으로써 가능한데, 이때 유효전력은 직류 커패시터 교류단자로 공급되고 직류 링크 전압은 강하한다. 유도성 모드에서 용량성 동작모드로의 전환은 α 각을 0에서 음의 값으로 변환함으로써 가능하고, 이때 유효전력은 전원전압에서 직류커패시터로 공급되어 직류 링크전압은 상승하게 된다.

실제 STATCOM에서는 변압기 권선과 전력용 스위칭 소자에서 열손실이 발생하는데, 이 손실은 정상상태 동작에서 교류전원으로부터 유효전력을 소비한다. 이러한 손실 때문에 STATCOM 출력전압과 전원전압간에는 이를 보상하기 위한 약간의 위상차가 정상상태에서 존재해야 한다.[3]

2.3 STATCOM System 제어구성도

그림 3은 STATCOM System의 제어구성도를 나타낸 것이다.

STATCOM의 제어시스템은 직류 커패시터 전압을 일정하게 유지하는 전압제어기와 부하 전류, 부하 전압을 dq 변환하여 보상전류를 계산하는 제어루프, SVPWM 회로로 구성된다.

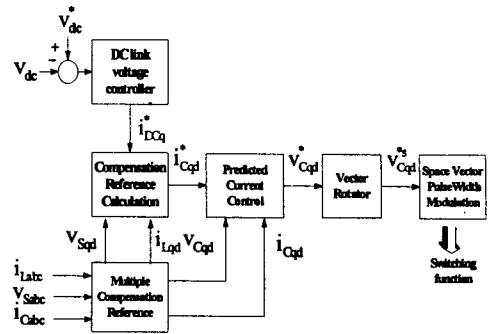


그림3 STATCOM의 제어구성도

3. SIMULATION

3.1 시뮬레이션 모델

표1은 시뮬레이션 모델의 회로 파라미터이다. 인덕터와 캐패시터의 용량은 본 실험실에서 개발한 STATCOM의 용량을 시뮬레이션 모델에 입력했으며, 부하역률을 0.8로 하기 위해 부하측의 용량을 산정하였으며, PI제어기의 계수는 실험을 통하여 산정하였다.

표 1. 시뮬레이션 사양

품 명	단위	크기
전원정격전압	Vrms	380
DC 기준전압	V	500
캐패시터	uF	8200
인덕터	mH	3
스위칭 주파수	kHz	10
샘플링 시간	us	100
PI제어기의 P		0.0005
PI 제어기의 I		0.004
저항 부하	Ω	3.85
유도성 부하	mH	7.66
용량성 부하	uF	918.4

3.2 해석 결과

3상 PLC 부하가 지상 부하시 저항 3.85 Ω , 인덕턴스 7.66mH로 진상 부하시 저항 3.85 Ω , 캐패시턴스 918.4uF로 평형인 상태에서 실험했다.

3.2.1 지상부하

그림 4~7은 지상 부하시 보상 결과를 나타낸 것이다. 그림 4에서 나타낸 것처럼 0.033초 뒤에 보상을 시작하여 역률이 1이 된다는 것을 알 수 있다. 그림 5와 그림 6은 전원 전류와 보상 전류의 dq축 파형을 나타냈으며 그림 7은 무효분의 크기 변화를 나타냈다. 그림 5~7에서도 0.033초 뒤에 보상을 한다는 것을 알 수 있다.

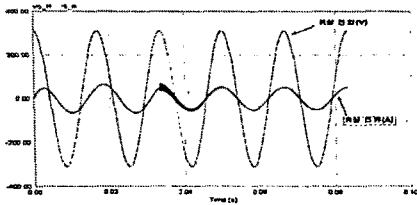


그림 4 R상 상전압과 상전류

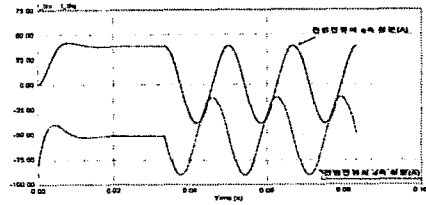


그림 9 전원전류의 dq축 성분

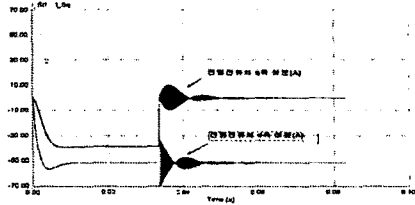


그림 5 전원전류의 dq축 성분

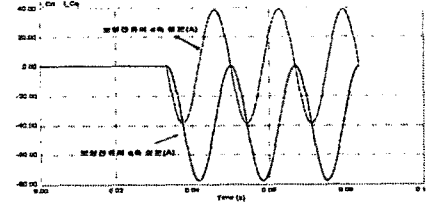


그림 10 보상전류의 dq축 성분

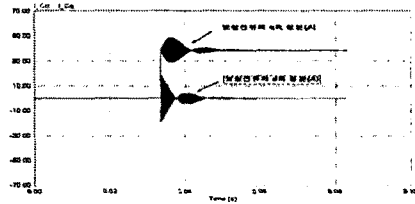


그림 6 보상전류의 dq축 성분

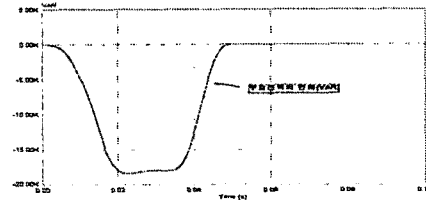


그림 11 보상전후의 무효전력 변화

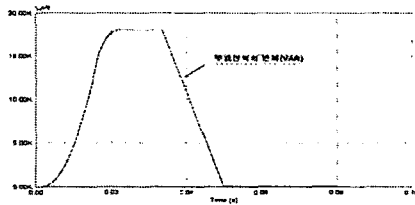


그림 7 보상전후의 무효전력 변화

3. 결 론

부하전류와 보상전류의 무효치를 비교하여 보상 전류를 계산하고, 예측전류제어를 통하여 기준보상전류와 이를 통한 기준보상전압의 연산으로 SVPWM을 통한 게이팅 신호 입력으로 시뮬레이션을 했다. 시뮬레이션 결과 진상 및 지상 부하에서 무효분을 보상하기 위해 0.033초 후에 동작했다.

앞으로 이 시뮬레이션 결과를 토대로 알고리즘을 체계화하여 불평형 부하에서의 무효전력보상을 검토하고 실험 부하를 로 STATCOM 무효전력보상실험을 수행하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 지원으로 (R01-2000-000-00267) 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- (1) 이은용, 임수생 외 6인 "STATCOM을 이용한 수용가의 역률개선과 무효전력 불평형 보상", 최종보고서, 기초전력공학공동연구소, 1999.1
- (2) 이은용, 임수생, 오영용, "자가변전설비용 STATCOM을 적용한 3상 유도전동기의 무효전력보상", 대한전기학회 전기기기연구회 추계학술대회발표회 논문집, pp.52-56, 1998.10.23
- (3) 이은용, 임수생, 손홍관, 조현길, 정종호, 이화수, "30kVA급 IGBT형 STATCOM에 의한 수용가측 전류품질 보상", 대한전기학회학술대회 논문집B, pp.967-969, 2002.7

3.2.2 진상부하

그림 8~11은 진상 부하시 보상 결과를 나타낸 것이다. 그림 8에서 나타낸 것처럼 0.033초 뒤에 보상을 시작하여 역률이 1이 된다는 것을 알 수 있다. 그림 9와 그림 10은 전원 전류와 보상 전류의 dq축 파형을 나타냈으며 그림 11은 무효분의 크기 변화를 나타냈다. 그림 9~11에서도 0.033초 뒤에 보상을 한다는 것을 알 수 있다.

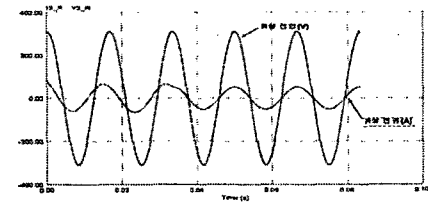


그림 8 R상 상전압과 상전류