

PSIM 소프트웨어에 의한 STATCOM 시스템 시뮬레이션

이화수*, 김용현, 이은웅, 이동주
충남대

STATCOM System Simulation Used by the PSIM Software

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

Abstract - The study for improvement of power quality is widely performed, because most equipments used semi-conductor are very sensitive for power quality.

In this paper, we performed modeling for STATCOM system which developed using SCRs, and suggested the compensation principle of reactive power by simulations used PSIM software.

We will apply this results to 30kVA STATCOM under manufacturing.

1. 서 론

현재 반도체를 이용한 기기 및 시스템들이 여러 산업은 물론 가정에까지 매우 많이 보급되면서 이들 기기와 시스템의 안정적이고 신뢰성 있는 동작을 확보하기 위해 전원의 고신뢰도, 고품질이 중요시되고 있는 실정이다. 그래서 수동필터(passive filter), 병렬형 능동필터(active filter), 정지형전압보상기(SVC), UPFC(Unified power flow controller) 등의 전력품질 개선 기기의 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구실에서는 SCR을 사용하고 콘덴서나 리액터를 부하에 병렬로 접속시켜 각종 부하에 의해 왜곡되는 전원의 역률을 보상하는 기존의 SVC보다 속응성이 우수한 수용가용 정지형 동기보상기(STATCOM)를 전압형 PWM 인버터 방식으로 연구하여 설계, 제작 중이다.

본 논문에서는 전압형 PWM 인버터를 이용한 STATCOM 시스템을 PSIM 소프트웨어로 모델링하고 시뮬레이션하여 무효전력보상원리를 제시하고 동작 특성을 검토하여 제작중인 30kVA STATCOM에 적용하고자 한다.

2. STATCOM 시스템

고품질의 전력요구를 충족할 수 있는 자가용 전원을 구하고자 하는 STATCOM은 부하상황에 따라, 지상 및 진상의 무효전력을 공급할 수 있으며, 무효전력을 연속적으로 정확하게 제어하여 높은 등급의 전력품질을 충족 할 수 있다.[1],[2]

2.1. 무효전력보상원리

식(1)은 무효성분을 포함하는 부하전류 i_{Lk} 이다.

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

여기서, k 는 1,2,3으로 3상의 a,b,c를 나타낸다. 그러면, STATCOM은 전원전류 i_{Sk} 가 식(2)와 같이 되게 하기 위해 식(3)과 같은 전류 i_{Ck} 를 공급해야 한다.

$$i_{Sk} = I_p \cos\left(\theta - \frac{2(k-1)\pi}{3}\right) \quad (5)$$

$$i_{Ck} = i_{Sk} - i_{Lk} = -I_q \sin\left(\theta - \frac{2(k-1)\pi}{3}\right) \quad (6)$$

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.[3]

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

$$i_{Cd} = i_{Sd} - i_{Ld} = i_{Ld} \quad (8)$$

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

$$i_{Sd} = 0 \quad (10)$$

2.2 SVPWM

인버터의 스위칭소자를 구동하는 케이트 펄스열을 만들기 위한 전압변조를 하는 테 SVPWM(Space Vector Pulse Width Modulation) 기법을 적용한다.

SVPWM 기법은 정현파 PWM과 달리 3상의 스위치를 모두 고려하여 스위칭 상태를 미리 계산된 순서와 지속시간에 따라 전환해주는 방식이다.[3]

식(8)과 같이 3상 전원으로부터 입력을 받아 고정된 3상의 축을 고정된 dq축의 양으로 고정좌표 d-q 변환을 하여 벡터의 위치를 판별한다.

$$\begin{bmatrix} F_d \\ F_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & \frac{-1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_a \\ F_b \\ F_c \end{bmatrix} \quad (8)$$

dq 변환을 통한 벡터는 식(9)로 SVPWM의 벡터영역을 결정한다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{F_q}{F_d} \quad (9)$$

인버터의 8가지 동작모드(000,001,010,011,100,101,110,111)의 출력전압을 벡터도로 표시하면 그림 1과 같이 정육각형과 원점을 형성한다.

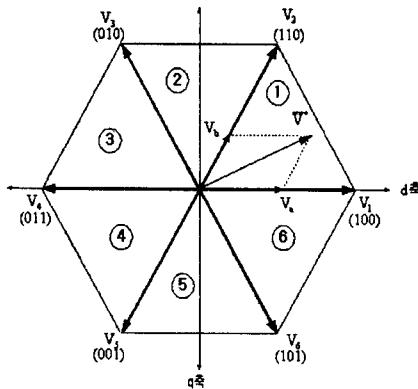


그림 1. SVPWM 영역

여기서 육각형의 꼭지점을 형성하는 전압벡터 $V_1 \sim V_6$ 는 인버터의 최대 출력전압이며, 원점은 영벡터로 6개의 인버터가 모두 동작하는 상태(111)이거나 모두 동작하지 않는 상태(000)를 나타낸다.

예를 들어 그림 1에서 인버터 출력전압벡터 \bar{V}^* 가 영역 ①의 부분에 존재한다면 지령전압 \bar{V}^* 는 인접한 \bar{V}_1 과 \bar{V}_2 벡터에 투영된 \bar{V}_a , \bar{V}_b 로 시간적으로 합성할 수 있다. 이 원리를 수식으로 표현하면 식 (10)과 같다.

$$\begin{aligned}\bar{V}^* &= \bar{V}_a + \bar{V}_b \\ &= \bar{V}_1 T_1 + \bar{V}_2 T_2 + \bar{V}_0 T_0\end{aligned}\quad (10)$$

여기서 T_1 은 인버터1이 동작하는 시간, T_2 는 인버터2가 동작하는 시간, T_0 은 영벡터(\bar{V}_0)를 인가하는 시간으로 식(11), 식(12), 식(13)로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}T_1 &= T_s \cdot m_s \cdot \frac{\sin(\theta_2 - \theta)}{\sin(\theta_2 - \theta_1)} \\ &= T_s \cdot m_s \cdot \frac{\sin(\theta_2 - \theta)}{\sin(60^\circ)}\end{aligned}\quad (11)$$

$$\begin{aligned}T_2 &= T_s \cdot m_s \cdot \frac{\sin(\theta - \theta_1)}{\sin(\theta_2 - \theta_1)} \\ &= T_s \cdot m_s \cdot \frac{\sin(\theta - \theta_1)}{\sin(60^\circ)}\end{aligned}\quad (12)$$

$$T_0 = 1 - (T_2 + T_1)\quad (13)$$

여기서 T_s 는 샘플링 시간, m_s 는 변조지수, θ 는 d축으로부터 \bar{V}^* 까지의 각도, θ_1 는 d축으로부터 출력전압벡터가 있는 영역 전까지의 각도, θ_2 는 d축으로부터 출력전압벡터의 영역까지의 각도이다.

2.3 SVPWM 방식의 전압형 PWM 인버터

그림 2는 실험실에서 개발한 SCR을 사용한 STATCOM의 개략적인 회로도이다. 이 STATCOM은 SCR을 이용하여 캐패시터의 DC link 전압을 미리 충전시킨 후,

SVPWM 방식을 이용한 PWM 인버터가 동작하게 되어 무효전력을 흡수, 공급하게 된다.

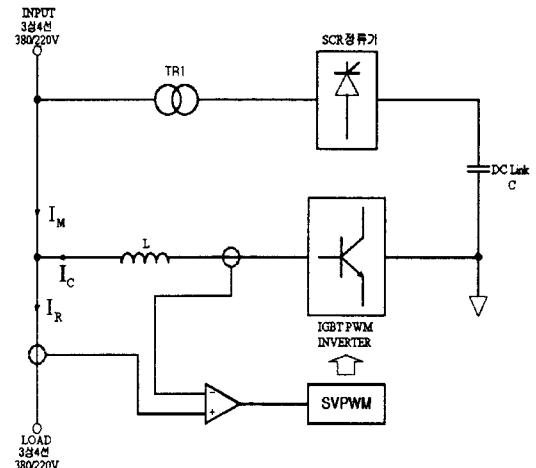


그림 2. STATCOM의 회로도

STATCOM은 SVPWM 방식으로 무효전력을 제어하는 보상기로 각 6개의 인버터의 스위칭 상태를 결정하는 과정을 나타내면 그림 3과 같다.



그림 3. 인버터의 스위치 상태 결정 과정

3 SIMULATION

3.1 시뮬레이션 모델

표 1과 같은 입력 자료 중 인덕터와 캐패시터의 용량은 본 실험실에서 개발한 STATCOM의 용량을 입력했으며, 부하역률을 0.8로 하기 위해 부하측의 저항부하와 유도성 부하, 용량성 부하의 용량을 산정하여 시뮬레이션 모델의 부하측에 입력하여 시뮬레이션하였다. 표1은 시뮬레이션 모델의 회로 파라미터이다.

표 1. 시뮬레이션 사양

품 명	단위	크기
인덕터	mH	3
캐패시터	uF	8200
SCR 기준전압	V	500
스위칭 주파수	kHz	2
샘플링시간	us	500
저항 부하	Ω	3.85
유도성 부하	mH	7.66
용량성 부하	uF	9184

4 해석결과

4.1 유도성 부하인 경우

유도성 부하인 경우, SCR에 의해 캐패시터에 충전된 DC 전압이 SVPWM 방식으로 신호에 스위칭되어 인버터 출력 전압으로 나타난다. 그림 4는 SCR로 충전된 DC 캐패시터 전압을 나타내었고, 그림 5는 SVPWM으로 스위칭된 신호이며, 그림 6은 인버터의 출력 전압이다.

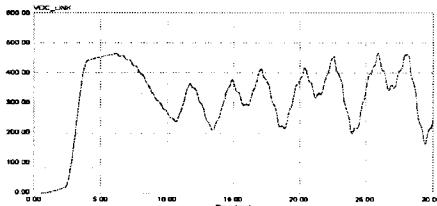


그림 4. SCR로 충전된 DC 전압(유도성 부하)

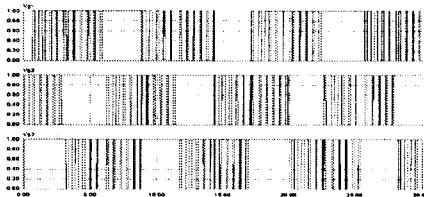


그림 5 각상의 인버터 게이팅 신호(유도성 부하)

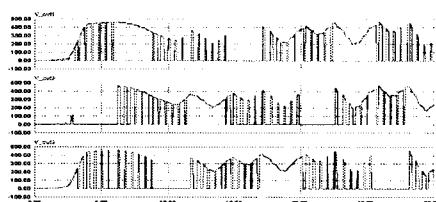


그림 6. 각상의 인버터 출력 전압(유도성 부하)

4.2 용량성 부하인 경우

용량성 부하인 경우, SCR에 의해 캐패시터에 충전된 DC 전압이 SVPWM 방식으로 신호에 스위칭되어 인버터 출력 전압으로 나타난다. 그림 4는 SCR로 충전된 DC 캐패시터 전압을 나타내었고, 그림 5는 SVPWM으로 스위칭된 신호이며, 그림 6은 인버터의 출력 전압이다.

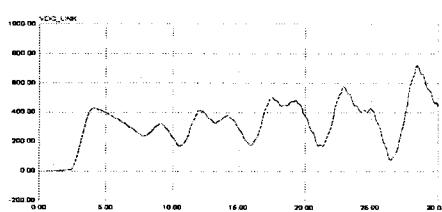


그림 7 SCR로 충전된 DC 전압(용량성 부하)

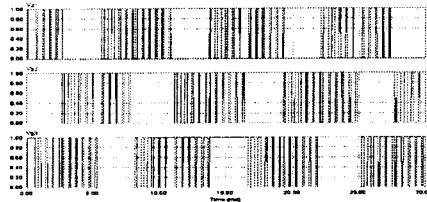


그림 8. 각상의 인버터 게이팅 신호(용량성 부하)

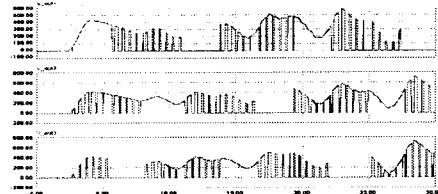


그림 9 각상의 인버터 출력전압(용량성 부하)

5. 결 론

본 논문에서는 PSIM software로 STATCOM 무효전력보상기를 파악하고, 출력을 SVPWM 방식으로 시뮬레이션하였다. 평형 부하에서 시뮬레이션을 한 결과, 지상, 진상 부하에 따라 무효전력을 흡수, 공급하여 제어하기 위해 인버터 출력 전압을 제어 공급하여야 할 것을 확인하였다.

앞으로 부하의 무효전력 보상을 위해 평형, 불평형 부하의 무효전력 보상 시뮬레이션, 보상 측정 실험을 계속 수행하여야 한다.

감사의 글

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

(참 고 문 헌)

- [1] C. W. Edward. et al, "Advanced Static Var Generator employing GTO Thyristor", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.3, No. 4, pp.1662-1627, Oct. 1988
- [2] 임수생, 이은웅, 이동주, 김성현, "NPC 인버터를 이용한 3상 동기형 SVC의 해석 및 설계", 대한전기학회 '97 추계학술대회 논문집, pp.42-45, 1997.11.29
- [3] 이은웅, 임수생, 오영웅, "자가변전설비용 STATCOM을 적용한 3상 유도전동기의 무효전력보상", 대한전기학회 전기기기연구회 추계학술대회 발표회 논문집, pp.52-56, 1998.10.23