

SVPWM 방식의 STATCOM 시스템 동작 특성

이화수*, 김용현, 이은웅, 이동주
충남대

The Characteristics of the STATCOM System operated by SVPWM

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

Abstract - STATCOM which is connected the load parrallel with capacitor, is the reactive power compensation device.

In this paper, we study the principle of reactive power compensation with STATCOM system. And then we confirmed the function of STATCOM system to be fabricated by our lab, being measured and analyzed the output voltage and current

1. 서 론

현대사회에서 고품질의 전력 수요가 늘어나면서, 전력 품질을 개선하는 기기들의 연구가 활발하다. 정지형 동기보상기(STATCOM)는 콘덴서를 부하에 병렬로 접속하여 무효전력을 보상하고, 각종 부하에 의해 왜형되는 전원의 파형을 반도체 스위칭 소자를 이용해서 출력전압의 크기와 위상을 신속하게 제어하여 보상하는 기기이다.[1]

본 연구실에서는 SVPWM(Space Vector Pulse Width Modulaion)방식으로 동작하고, 속응성이 우수한 IGBT를 이용해서 진상 및 지상 전류를 공급해서 무효전력을 제어하는 30kVA급 STATCOM을 개발하여 부하의 무효전력 보상 실험을 하고 있다.

본 논문에서는 개발한 STATCOM의 동작 및 무효전력 보상 원리를 제시하고, STATCOM의 출력 전압 및 출력 전류의 파형을 분석하여 STATCOM 동작의 타당성을 검증하고자 한다.

2. STATCOM 시스템

2.1 동작 원리

본 실험실에서 개발한 STATCOM의 회로도를 나타낸 그림 1에서 3상 전원전압, 3상 보상전류, 3상 부하전류를 검출한다. Park 변환을 통하여 3상 보상전류와 3상 부하전류의 무효분 크기를 비교한 뒤, 3상 전원전압을 Park 변환한 dq축 전압 성분과 각 무효전류 크기의 차로 SVPWM의 기준전압 벡터를 계산하게 된다. 계산된 기준전압벡터로 게이팅 신호를 생성하여 각각의 인버터에 입력하여 IGBT에 의해 STATCOM PWM 출력 전압을 생성하게 된다. 이 출력전압으로 진상 및 지상 전류를 제어하여 무효전력을 보상한다.

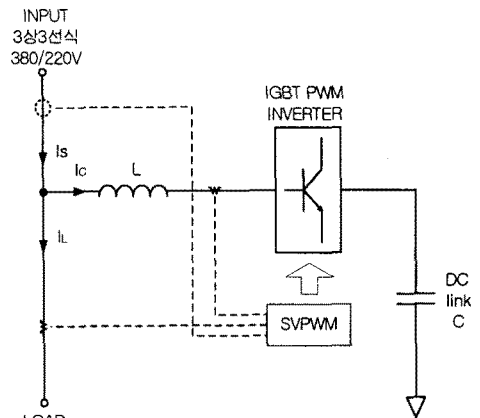


그림 1 STATCOM의 회로도

2.2 Park 변환

abc 3상간의 위상차 120도의 각변위축을 직교하는 qd0축으로 나타낸 것이 그림 2이다. 이때, θ_e 는 임의의 전기각이다. 이로부터 abc축의 임의의 3상 변수를 dq0변수로 변환하면 식 (1)이 된다.[2,3]

b axis

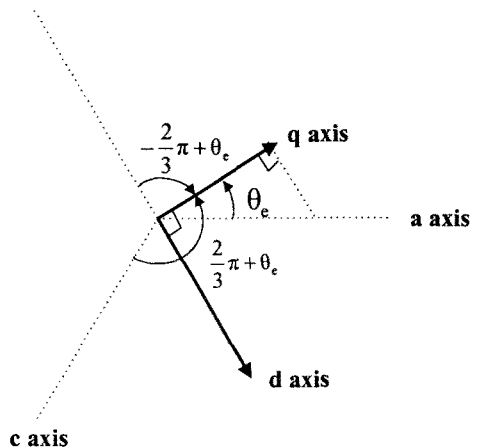


그림 2 abc축과 dq0축간의 관계

$$\begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} = [T_{ao}] \begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,

$$[T_{qd0}] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2}{3}\pi) & \cos(\theta + \frac{2}{3}\pi) \\ \sin(\theta) & \sin(\theta - \frac{2}{3}\pi) & \sin(\theta + \frac{2}{3}\pi) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

qd0축이 전원의 각주파수 ω_e [rad/sec]로 회전할 때를 동기좌표축(synchronous reference frame)이라 하며, 이때 q축과 a축 사이의 각은 $\theta_e (= \omega_e t)$ 가 된다. 이를 식(1)에 대입하면 식(2)-(4)와 같이 동기좌표축으로 변환된 qd0변수가 구해진다. 여기서 전원 각주파수 ω_e 로 회전하는 성분에 대해 dq0변수는 직류값을 갖게 된다.

$$f_q^s = \frac{2}{3} \left(f_a - \frac{f_b}{2} - \frac{f_c}{2} \right) \cos \theta_e + \frac{1}{\sqrt{3}} (f_b - f_c) \sin \theta_e \quad (2)$$

$$f_d^s = \frac{2}{3} \left(f_a - \frac{f_b}{2} - \frac{f_c}{2} \right) \sin \theta_e - \frac{1}{\sqrt{3}} (f_b - f_c) \cos \theta_e \quad (3)$$

$$f_0^s = \frac{1}{3} (f_a + f_b + f_c) \quad (4)$$

q축이 a축과 일치하는 정지좌표축(stationary reference frame)으로, 변환한 qd0축 상의 변수는 식(5)-(7)으로 나타난다. 여기서, 전원 각주파수 ω_e 로 회전하는 성분에 대해 qd0축 성분으로 나타나고, q축 변수가 d축 변수를 위상차 90도 앞선다.

$$f_q^s = \frac{2}{3} \left(f_a - \frac{f_b}{2} - \frac{f_c}{2} \right) \quad (5)$$

$$f_d^s = -\frac{1}{\sqrt{3}} (f_b - f_c) \quad (6)$$

$$f_0^s = \frac{1}{3} (f_a + f_b + f_c) \quad (7)$$

3. 무효전력 보상 원리

dq0축을 동기좌표축에서 표현하면, q축 성분은 전류의 유효성분의 크기이고, d축 성분은 전류의 무효성분의 크기이다. 무효성분을 포함하는 부하전류 i_{Lk} 를 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$i_{Lk} = I_p \cos \left\{ \theta - \frac{2(k-1)\pi}{3} \right\} + I_q \sin \left\{ \theta - \frac{2(k-1)\pi}{3} \right\} \quad (8)$$

여기서, k는 1,2,3으로 a,b,c 3상이다.

전원전류 i_{sk} 가 식(9)와 같이 되게 하기 위해 STATCOM을 병렬로 연결하여 식(10)과 같은 전류 i_{ck} 를 공급해야 한다.

$$i_{sk} = I_p \cos \left\{ \theta - \frac{2(k-1)\pi}{3} \right\} \quad (9)$$

$$i_{ck} = i_{sk} - i_{Lk} = -I_q \sin \left\{ \theta - \frac{2(k-1)\pi}{3} \right\} \quad (10)$$

식(9),(10)의 관계를 dq축상에서 표현하면, dq축 전류가 식(11),(12)와 같이 공급될 때, 식(12)의 전원전류의 q축 전류는 부하전류의 기본과 성분만이 존재하고, 식(13)의 d축 전류는 0이 되므로 무효성분이 보상될 수 있다.[4]

$$i_{Cq} = i_{Sq} - i_{Lq} = i_{Lq} - \overline{i_{Lq}} + i_{q, dclink} \quad (11)$$

$$i_{Cd} = i_{Sd} - i_{Ld} = i_{Ld} \quad (12)$$

$$i_{Sq} = \overline{i_{Lq}} \quad (13)$$

$$i_{Sd} = 0 \quad (14)$$

4. 실험

개발한 STATCOM은 12kHz의 스위칭 주파수로 동작하며, 3상 부하기에 상전류 4.5A의 평형부하로 조정된 뒤 동작 실험하였다. STATCOM의 올바른 동작과 노이즈 영향을 알기 위해 각 상에 대하여 실험을 하여 출력 전압과 출력 전류를 비교하였다.

4.1 실험세트

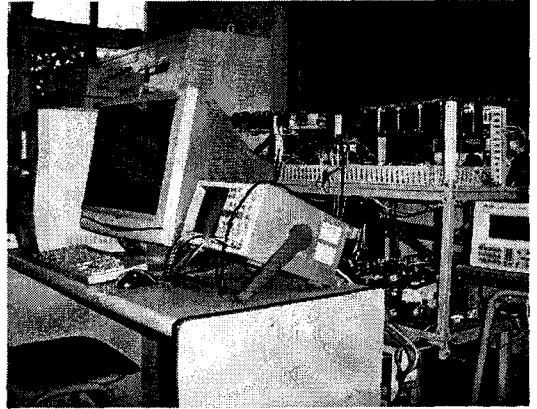


그림3. STATCOM 실험 세트



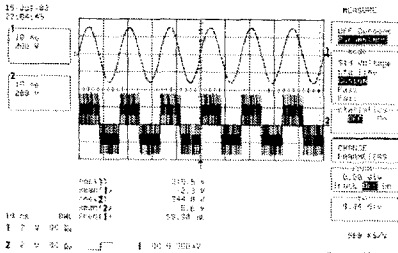
(a) 전원부

(b) STATCOM 출력부

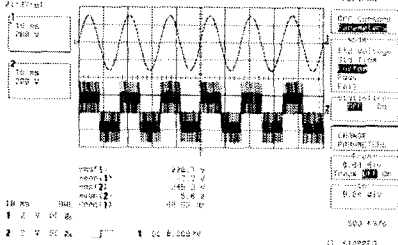
그림4 검출 위치

그림3은 개발한 STATCOM과 주변 제측기기 및 제어 컴퓨터이고 그림 4는 전원부와 출력부의 전압 전류를 검출하는 위치를 나타낸다. 각상의 출력 전압과 출력 전류를 측정 비교하여 분석하였다.

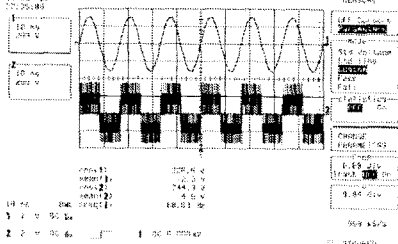
4.2 출력전압 실험



(a) ab



(b) bc

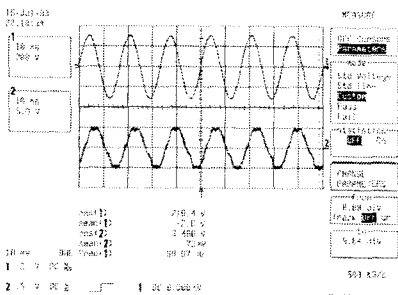


(c) ca

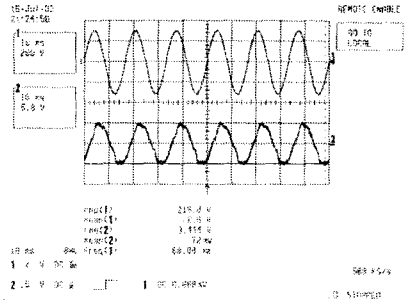
그림5. 전원선간전압과 변조된 STATCOM출력선간전압

그림 5는 각 선간 전원 전압과 STATCOM의 검출부에서 각상의 선간 전압을 검출하여 SVPWM으로 변조됨을 나타낸다. 이 그림5에서 보듯이 각 선간 전원 전압과 변조된 선간 출력 전압은 위상차가 거의 없음을 확인할 수 있었다.

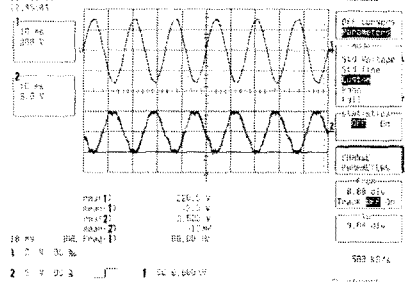
4.3 출력전류 실험



(a) 전원 ab 선간 전압과 STATCOM a상 출력전류



(b) 전원 bc 선간 전압과 STATCOM b상 출력전류



(c) 전원 ca 선간 전압과 STATCOM c상 출력전류

그림6. 전원선간전압과 STATCOM 각상 출력전류

그림 6는 각 선간 전원 전압과 STATCOM의 각상 출력 전류를 나타낸다. 각 선간 전원 전압과 각상의 출력 전류는 30도의 위상차로 출력되고 있다. 그림 6에서 STATCOM 출력 전류는 고조파를 함유하고 있다. 이 고조파는 STATCOM 내부 제어 보드의 적은 정전용량으로 생긴 노이즈 때문이거나 보드의 전원인 SMPS의 노이즈 또는 220V 라인에서 오는 노이즈 때문인 것으로 분석된다. 그림6(b)에서 b상의 고조파가 더 많은 이유는 보드의 노이즈가 b상에 더 많은 것으로 분석된다.

5. 결 론

본 논문에서 개발한 STATCOM 시스템의 동작 원리를 이용하여 무효전력을 보상한 출력 전압, 전류의 제어 파형을 얻기 위해 SVPWM으로 변조된 출력 전압과 출력 전류를 측정하였다. 실험 결과, STATCOM의 출력 전압은 전원 선간 전압과 위상차가 없이 출력됨을 확인할 수 있었으나 출력 전류는 약간의 고조파가 포함되었다. 이 고조파는 제어보드의 주전원에서의 노이즈 때문으로 분석된다. 따라서, 부하의 무효전력 보상 실험을 하기 위해서는 노이즈가 제거된 STATCOM의 출력 전류를 발생시키는 것이 우선 과제이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이화수, 이은용, 김용현, 이동주, "STATCOM 시스템을 적용한 부하의 무효전력 보상", 대한전기학회계학술대회 논문집B, pp.1027-1029, 2003.7
- [2] R. J. Lee, P. Pillay and R. G. Harley, "D,Q Refe rence Frames for the simulation of Induction Motors ", Electric Power Systems Research, Vol. 8, pp.15-2 6, 1984/85
- [3] P. Krause, "Analysis of Electric Machinery", Mc-Graw-Hill, 1986
- [4] 이은용, 임수생, 오영용, "자가변전설비용 STATCOM을 적용한 3상 유도전동기의 무효전력보상", 대한전기학회 전기기 기연구회 추계학술대회발표회 논문집, pp.52-56, 1998.10.2 3