

STATCOM Control for Balancing the Unbalanced Loads

林洙生* · 李殷雄** · 金洪權***

(Su-Saeng Lim · Eun-Woong Lee · Hong-Kwon Kim)

Abstract - In this paper, a static synchronous compensator(STATCOM), which in general compensates reactive power, is proposed in order to balance the unbalanced loads. Reference values for the compensation of the unbalanced loads currents are determined by 3-phase circuit analysis result. Also the STATCOM control unit is designed considering the proposed compensation scheme for the unbalanced loads. As a result, the effectiveness of the STATCOM for balancing the load currents is verified by computer simulations.

Key Words : Customer STATCOM, Unbalanced load, Custom Power

1. 서 론

만일 배전계통에 부하 불균형이 발생하면, 수전전압이 불평형하게되어 역상분 전류가 흐르는 등 전력 품질을 떨어뜨리게 된다. 3상3선식 배전시스템에서의 역상분 전류는 교류 회전을 과열시키고, 변압기를 포화시키며 정류기의 맥동을 일으킨다. 상전압을 불균일하게 만드는 전압 불평형은 가변속 구동장치나 프로세스 제어기 등과 같은 민감성 부하를 오동작하게 만들고, 교류 회전에 코킹토크를 유발하며, 3상 전력전자 설비에 비특성 고조파를 야기하고 제어 시스템을 불안정하게 만든다 [1].

STATCOM은 기존의 조상설비보다 시스템의 동특성을 실시간으로 빠르게 보상함으로써 낮은 역률을 개선하거나 부하 불평형을 완화시킬 수 있어 전력품질의 저하로부터 수용가를 보호할 수 있다 [2,3,4,5].

본 연구에서는 불평형 3상 전류 해석을 통해 보상기준 전류를 도출하고 불평형 부하 보상을 위한 직류전압제어기를 설계하며 불평형 부하 전류로부터 역상분 전류를 검출하기 위하여 3차 디지털 버터워스 저역통과필터를 사용한다. 또한 동기좌표축 예측전류제어기와 공간벡터 PWM방식을 채용하여 보상응답이 빠른 동특성을 갖도록 한다.

그리고, STATCOM을 사용한 불평형부하의 평형화에 대한 시뮬레이션 결과를 제시한다.

2. 불평형 3상전류 해석

그림 1처럼 abc축의 임의의 3상 변수를 qd0변수로 변환하면 식 (1)과 같다 [6].

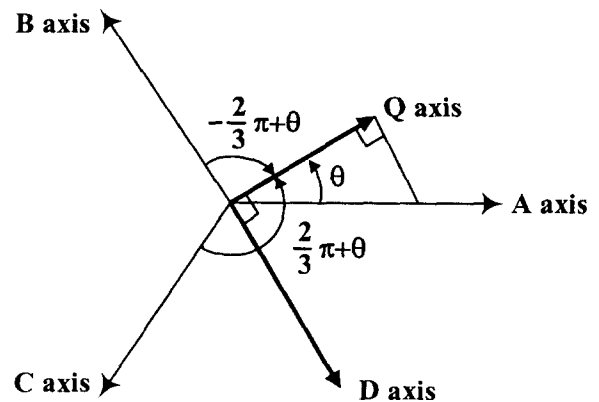


그림 1 abc-qd0축 변환

Fig. 1 Relationship between the abc and qd0 quantities

$$\begin{bmatrix} f_a \\ f_d \\ f_0 \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,

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

qd0축이 전원의 각주파수 ω [rad/sec]로 회전할 때를

* 正會員 : 忠南大 電氣工學科 博士課程

** 終身會員 : 忠南大 電氣工學科 教授 · 工博

*** 準會員 : 韓國電力公社 忠南支社 保寧支店 課長

接受日字 : 2000年 3月 31日

最終完了 : 2000年 7月 11日

동기좌표축이라 하며, 이때 q축과 a축 사이의 각은 $\theta (= \omega t)$ 가 된다. 전원 각주파수 ω 로 회전하는 성분에 대해 동기좌표축 qd0변수는 직류값을 갖게 된다. q축 성분은 유효성분으로 나타나고 d축 성분은 무효성분으로 나타난다.

3상3선식 시스템에서 부하전류의 기본파 성분에 대한 일반적인 표현은 식 (3) ~ 식 (5)와 같이 정상분 기본파 성분 i_{ap1} 과 역상분 기본파성분 i_{an1} 의 합으로 표현할 수 있다.

$$i_{La} = i_{ap1} + i_{an1} \tag{3}$$

$$= I_{mp1} \cos(\omega t + \phi_{p1}) + I_{mn1} \cos(\omega t + \phi_{n1})$$

$$i_{Lb} = i_{bp1} + i_{bn1} \tag{4}$$

$$= I_{mp1} \cos(\omega t - \frac{2}{3} \pi + \phi_{p1}) + I_{mn1} \cos(\omega t + \frac{2}{3} \pi + \phi_{n1})$$

$$i_{Lc} = i_{cp1} + i_{cn1} \tag{5}$$

$$= I_{mp1} \cos(\omega t + \frac{2}{3} \pi + \phi_{p1}) + I_{mn1} \cos(\omega t - \frac{2}{3} \pi + \phi_{n1})$$

식 (3) ~ 식 (5)의 3상 abc축 전류를 동기좌표축으로 변환하면, 식 (6) ~ 식 (7)과 같이 abc축 부하전류의 기본파는 직류성분(정상분)과 2차 고조파 성분(역상분)이 된다.

$$i_{Lq} = i_{qp1} + i_{qn1} \tag{6}$$

$$= I_{mp1} \cos \phi_{p1} + I_{mn1} \cos(2\omega t + \phi_{p1})$$

$$i_{Ld} = i_{dp1} + i_{dn1} \tag{7}$$

$$= -I_{mp1} \sin \phi_{p1} + I_{mn1} \sin(2\omega t + \phi_{p1})$$

STATCOM이 불평형 부하를 평형화하기 위해서는 부하전류 중에서 정상분 유효전류 i_{Lqp1} 를 제외하고, 역상분 전류 ($i_{Lqn1} + i_{Ldn1}$)를 제거해야 하기 때문에 식 (8) ~ 식 (9)와 같은 보상전류 i_{Cq} 와 i_{Cd} 를 발생해야 한다.

$$i_{Cq} = -(i_{Lqn1}) \tag{8}$$

$$i_{Cd} = -(i_{Ldn1}) \tag{9}$$

3. STATCOM 제어

STATCOM은 출력 전압의 크기와 위상을 신속하게 제어할 수 있는 등가전압원을 변압기 누설 리액턴스를 통하여 전원에 진·지상의 무효전력을 공급하는 장치이다. STATCOM은 소용량의 직류충전용 콘덴서를 DC링크로 하는 3상 인버터로 구성되며, 인버터의 3상 출력전압은 전원 전압과 위상이 일치하도록 동작한다. 그림 2는 STATCOM

이 수전단과 연결된 단상 등가회로를 나타내며, STATCOM의 컨버터와 교류전원 사이에 교환되는 무효전력의 양은 컨버터 출력전압의 크기로 조절되고, 컨버터와 교류전원사이의 유효/무효전력 교환은 컨버터 출력전압과 교류전압사이의 위상각을 변경시키는 방법으로 제어가 가능하게 된다.

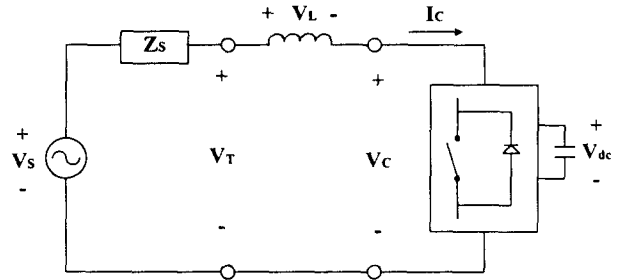


그림 2 수용가용 STATCOM의 단상등가회로
Fig. 2 Single-phase equivalent circuit of Customer STATCOM

STATCOM의 제어구성도는 그림 3과 같다. STATCOM의 제어시스템은 직류커패시터 전압을 일정하게 유지하는 직류링크전압 제어기, 부하전류로부터 보상전류명령을 계산하는 전류명령 계산회로, 빠른 동특성을 갖는 예측전류제어기로 된 컨버터전압 지령 연산회로, 그리고 전압선형이용률이 높은 공간벡터 PWM 회로로 구성된다.

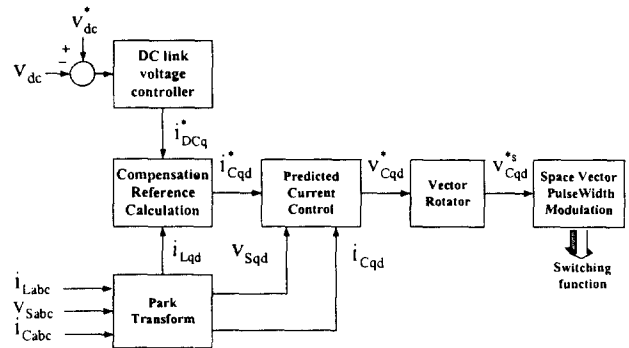


그림 3 STATCOM의 제어구성도
Fig. 3 STATCOM control circuit

3.1 불평형보상을 고려한 직류링크전압 제어

직류링크전압 제어기는 STATCOM의 작동에서 발생하는 컨버터 스위칭 손실과 커패시터 유전체손의 합에 해당하는 유효전력을 공급하여 직류링크 전압을 일정하게 유지하는 역할을 한다. 직류전압 제어기는 출력전류 중 유효전류인 q축 전류를 제어하여 직류커패시터에 유효전력을 공급하거나 방출하게 하므로서 직류링크전압을 안정시킨다.

그런데, STATCOM이 역상분 전류를 출력하여 불평형을 보상할 경우 직류전압의 맥동에 의해 출력에 고조파가 함유되어 STATCOM의 보상능력을 저하시킬 수 있다. 따라서, 직류전압의 맥동이 역상분전류 출력에 미치는 영향을 방지하기 위한 직류전압 제어기의 설계가 필요하다.

qd축 직류링크단 전압방정식은 식 (10)과 같다.

$$C \frac{dv_{dc}}{dt} = f_q i_{DCq} + f_d i_{DCd} \quad (10)$$

여기서, f_q, f_d : qd축 상전압 스위칭 함수

식 (10)을 선형화하면 직류링크전압의 동요방정식 (11)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} C \frac{dv_{dc}}{dt} &= f_q^0 \Delta i_{DCq} + f_d^0 \Delta i_{DCd} + i_{DCq}^0 \Delta f_q + i_{DCd}^0 \Delta f_d \\ &\approx f_q^0 \Delta i_{DCq} + f_d^0 \Delta i_{DCd} \end{aligned} \quad (11)$$

PI 직류전압제어기의 경우, 증분모델은 그림 4와 같다.

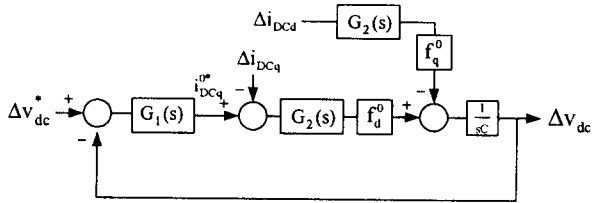


그림 4 직류전압제어기의 증분 모델
Fig. 4 DC voltage controller incremental model

그림 4에서, 직류전압 제어기의 PI상수를 k_{pdc}, k_{idc} 라 할 때 $G_1(s), G_2(s)$ 는 식 (12) ~ 식 (13)과 같다.

$$G_1(s) = k_{pdc} \frac{s + \frac{k_{idc}}{k_{pdc}}}{s} \quad (12)$$

$$G_2(s) = \frac{k_p}{L} \frac{s + \frac{k_i}{k_p}}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (13)$$

여기서, k_p, k_i : 전류 제어기의 PI 계수
 ζ, ω_n : STATCOM의 2차 전달함수 상수

직류전압제어기와 역상분전류 출력사이의 상호작용을 방지하기 위해, 직류전압제어기에 의해 부과되는 시스템 자연주파수 ω_n 는 qd축 역상분 부하전류의 최소 주파수보다 작아야 한다. 식 (14) ~ 식 (15)에서 qd축 역상분 부하전류의 최소 주파수는 60[Hz]가 됨을 알 수 있다. 식 (12)의 PI 직류전압제어기의 비례상수 K_{pdc} 와 적분상수 K_{idc} 는 각각 식 (14)와 식 (15)와 같다.

$$k_{pdc} = 2 \frac{C}{f_q^0} \zeta \omega_n \quad (14)$$

$$k_{idc} = \frac{C \omega_n^2}{f_q^0} \quad (15)$$

식 (14) ~ 식 (15)에서, ζ 는 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 이고, ω_n 는 120π보다 작아야 한다. 본 연구에서는 ω_n 는 20π로 선정하였다.

교류측 필터의 인덕턴스가 작아서 f_q 의 동요가 적으므로 f_q 대신 정상상태값인 f_q^0 를 사용하였다. 컨버터 q축 전압과 전원전압이 같을 때, 즉 $v_{sq} = v_{cq}$ 일 때 f_q^0 는 식 (16)에 의해 구해진다.

$$f_q^0 = \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{V_{Srms}}{V_{dc}} \quad (16)$$

본 연구에서는 PI 직류전압제어기의 비례상수 k_{pdc} 는 0.114, 적분상수 k_{idc} 는 5.076을 사용하였다.

3.2 버터워스 저역통과 필터를 사용한 역상분 전류 검출

불평형 부하의 역상분 전류를 보상하기 위해서는 부하의 역상분전류를 검출하여야 하는데, 샘플링한 q축 부하전류로부터 역상분전류를 검출하기 위해 사용되는 저역통과필터는 차단주파수가 60[Hz]이어야 하므로 본 연구에서는 40[Hz] 버터워스 저역통과필터를 사용하였다. 버터워스 저역통과필터는 저파수영역에서 진폭이 평탄하고 주파수의 증가에 따라 단조롭게 감소하는 특성을 가지므로 불평형 보상에 적절한 역상분전류 필터링특성을 가지고 있다.

3차 버터워스 저역통과필터의 전달함수는 식 (17)과 같다.

$$H(z) = \frac{nz_0 z^3 + nz_1 z^2 + nz_2 z + nz_3}{dz_0 z^3 + dz_1 z^2 + dz_2 z + dz_3} \quad (17)$$

여기서,

$$[nz_0 \quad nz_1 \quad nz_2 \quad nz_3] \quad (18)$$

$$= 10^{-6} \times [1.125 \quad 3.374 \quad 3.374 \quad 1.125]$$

$$[dz_0 \quad dz_1 \quad dz_2 \quad dz_3] \quad (19)$$

$$= [1 \quad -2.958 \quad 2.917 \quad -0.959]$$

본 연구에서 사용한 3차 디지털 버터워스 저역통과필터의 주파수 응답은 그림 5와 같다.

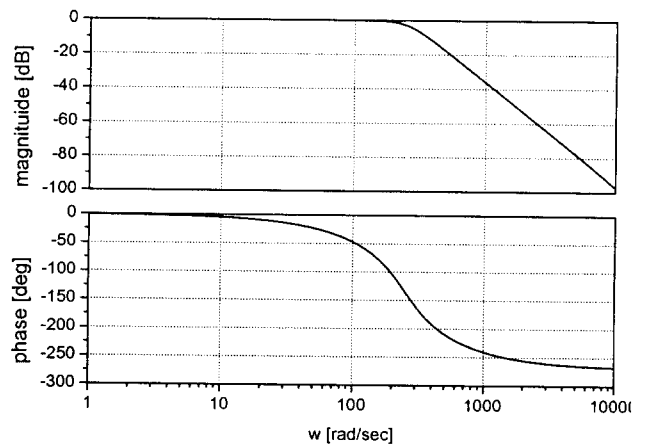


그림 5 3차 버터워스 저역통과필터의 주파수 응답
Fig. 5 The frequency response of 3-order Butter-worth LPF

그리고, 버터워스 저역통과 필터의 스텝 응답은 그림 6과 같다. 예측전류제어기를 사용할 때, 저역통과필터의 과도시간이 STATCOM의 보상전류명령 과도시간의 대부분을 소모한다. 따라서, 그림 6에서 스텝응답이 1사이클 이내에 최종값의 100%에 도달하므로 STATCOM이 1사이클 이내의 빠른 전류보상능력을 가짐을 알 수 있다.

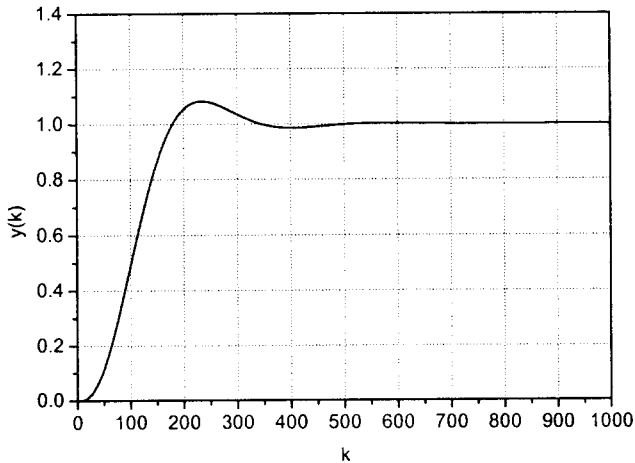


그림 6 3차 버터워스 저역통과필터의 스텝 응답
Fig. 6 The step input response of 3-order Butter-worth LPF

3.3 동기좌표축 예측전류제어

STATCOM 제어의 핵심은 계통에 주입해야 하는 보상기준전류의 정확한 검출과 이를 근사적으로 구현하는 것이다. 기존 STATCOM 전류제어에 많이 사용되어 온 삼각파 비교방식이나 히스테리시스 전류제어기는 STATCOM 전력회로의 특징을 활용하지 못하여 스위칭 주파수에 비해 잔류고조파가 비교적 큰 단점이 있었다. STATCOM의 전류추종능력은 매우 중요한 의미를 갖는데, 이점에서 근래 마이크로프로세서 제어의 일반화와 함께 부각되고 있는 예측전류제어방식은 정상상태 특성과 잔류고조파 특성이 매우 우수하기 때문에 전류추종능력이 요구되는 STATCOM에 가장 적합한 방식이라 할 수 있다.

현재 n번째 샘플링구간의 전류오차를 (n+1)번째 샘플링구간에서 0으로 만들 컨버터 출력전압의 공간벡터를 구하여 컨버터로 출력전압 공간벡터를 구현하는 예측전류 제어방식은 필요한 전압벡터를 해석적으로 계산하여 인가하므로 전류오차를 실시간에 최소화시킨다. 현재의 전류오차를 바탕으로 전압벡터를 qd축 변수로 구하면 식 (20) ~ 식 (21)과 같다.

$$v_{Cq} = -L \frac{di_{Cq}}{dt} - Ri_{Cq} - \omega Li_{Cd} + v_{Sq} \quad (20)$$

$$v_{Cd} = -L \frac{di_{Cd}}{dt} - Ri_{Cd} + \omega Li_{Cq} + v_{Sd} \quad (21)$$

전류의 샘플링 주기 T_s 가 전원의 주파수에 비해 충분히

짧다고 가정하면 현재의 전류오차를 (n+1)번째 샘플링 시간에 0으로 되게 하는 전압벡터명령을 이산영역에서 구하면 식 (22) ~ 식 (23)과 같다.

$$v_{Cq}^*(n) = -L \frac{[i_{Cq}^*(n+1) - i_{Cq}(n)]}{T_s} - Ri_{Cq}(n) - \omega Li_{Cd}(n) + v_{Sq}(n) \quad (22)$$

$$v_{Cd}^*(n) = -L \frac{[i_{Cd}^*(n+1) - i_{Cd}(n)]}{T_s} - Ri_{Cd}(n) + \omega Li_{Cq}(n) + v_{Sd}(n) \quad (23)$$

여기서,

- $i_{Cq}^*(n+1)$: n+1번째 샘플링시점에서 도달하여야 할 qd축 기준 전류
- $i_{Cq}(n)$: n번째 샘플링에서의 qd축 실제 전류
- $v_{Sq}(n)$: n번째 샘플링에서의 qd축 전원 전압

또한, $v_{Cq}^*(n)$ 는 n번째 샘플링에서의 qd축 실제전류를 (n+1)번째 샘플링시점에 도달했을 때의 기준전류 $i_{Cq}^*(n+1)$ 로 되게 하는 컨버터 전압이다.

그림 7은 예측전류제어에 의한 컨버터 기준전압의 연산 알고리즘이다.

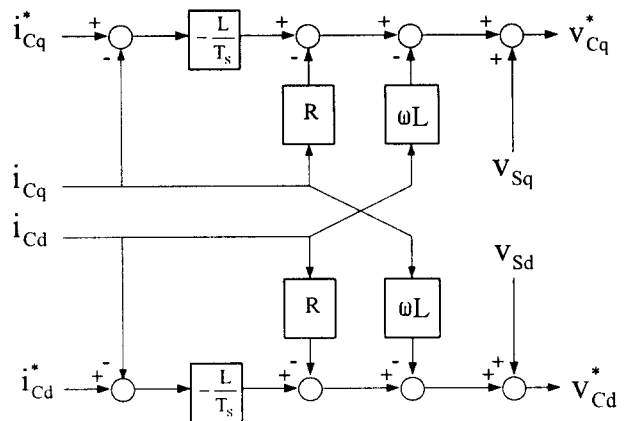


그림 7 예측전류제어 연산부

Fig. 7 predicted current controller calculation circuit

4. 시뮬레이션 결과

STATCOM과 시험 부하의 사양은 표 1과 같다. 시험 부하로는 표 1과 같이 부하불평형이 가장 심한 단상불평형 부하로 정하였는데, 단상 부하는 a상과 b상에 연결되어 있다. 단상부하의 a상 및 b상 선전류의 크기는 같고 위상이 반대가 되며 c상 선전류는 0이 되고 정상분 전류와 역상분 전류의 크기는 같고 a상 선전류 크기의 $1/\sqrt{3}$ 배이다. 시험 부하의 불평형률 U는 식 (24)에 의해 150%가 된다.

$$U = \frac{\text{평균전류로부터 최대 편차}}{\text{전류의 평균값}} \quad (24)$$

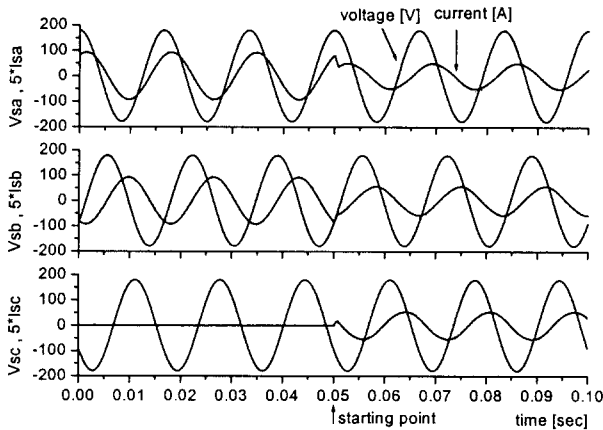
표 1 수용가용 STATCOM과 시험 부하의 사양
Table 1 Spec. of Customer STATCOM and a test load

Section	Parameter	Symbol	Value
circuit	compensation capacity	Sc	4 [kVA]
	rated voltage	Vs	220 [V]
	Reactor	L	0.5 [mH]
	DC link Capacitor	C	5,000 [μ F]
	DC bus voltage	V _{dc}	400 [V]
	control	DC bus PI control gains	K _{pdc}
		K _{idc}	K _{idc} = 5.076
Sampling period		T _s	67 [μ s]
Test load	Rated capacity	S _L	4 [kVA]
	Unbalance rate	U	150 [%]
	Power factor	PF	lag 86.6 [%]

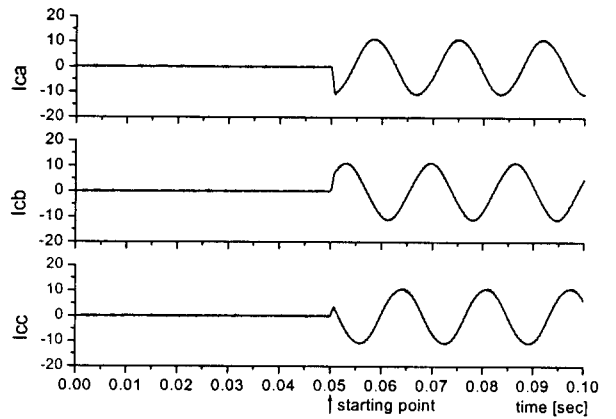
4.1 부하 불평형 보상

그림 8과 같은 부하불평형 보상모드에서 STATCOM이 0.05초이후에 보상을 시작하며, (a)는 abc상 전원전압과 전원전류를, (b)는 abc상 STATCOM 보상전류를 나타낸다.

그림 8(a)에서 보상전(0.05초 이전)에는 a상과 b상의 위상차가 180°이고 c상 전원전류가 0이 되어 불평형이 심하였는데 보상후(0.05초 이후)에는 불평형이 감소하였음을 알 수 있다. 그림 8(b)는 STATCOM의 출력 보상전류 파형을 나타내는데, 단상 부하의 역상분 전류와 크기는 같고 위상이 반대인 전류를 출력함으로써 부하의 역상분 전류를 제거할 수 있게 된다.



(a) 전원전압과 전원전류
(a) source voltages and currents

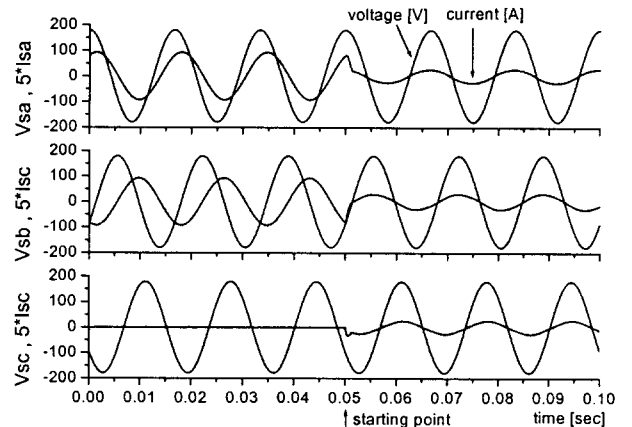


(b) STATCOM 보상전류
(b) STATCOM compensation currents

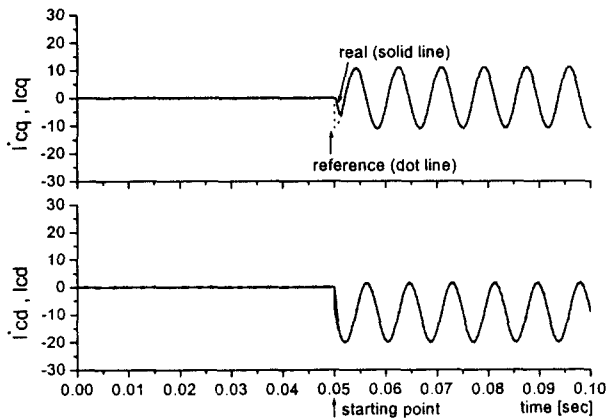
그림 8 3상 불평형부하의 부하불평형 보상
Fig. 8 Load balancing Results of 3-phase unbalanced load

4.2 부하불평형 및 무효전력 동시 보상

그림 9와 같은 부하불평형 및 무효전력 동시보상모드에서 STATCOM이 부하불평형 모드와 마찬가지로 0.05초 이후에 보상을 시작하며, (a)는 전원전압과 전원전류를, (b)는 qd축 보상전류를, (c)는 직류커패시터 전압과 충전전류 명령을 나타낸다. 그림 9(a)에서 보상전(0.05초 이전)에는 a상과 b상의 위상차가 180°이고 c상 전원전류가 0이 되어 불평형이 150%로 심하였는데 보상후(0.05초 이후)에는 불평형이 감소하고 동시에 기본파의 역률이 개선되었음을 알 수 있다. 그림 9(b)에서, q축 보상전류는 역상분 유효전류에 해당하는 제 2 고조파 전류가 되고, d축 보상전류는 부하불평형모드와는 달리 정상분 및 역상분 무효전류의 합인 직류분과 제 2 고조파 전류가 됨을 알 수 있다. 그림 9(c)는 컨버터의 직류커패시터 전압을 나타내고 평형 무효전력보상의 경우와는 달리 STATCOM이 역상분 유효전류를 출력함으로써 직류커패시터 전압이 전원주파수의 2배로 맥동하게 되는데, 직류커패시터 전압의 맥동으로 인해 STATCOM 출력전압은 3배차 고조파를 함유하게 되어 보상능력이 약간 저하하게 된다.

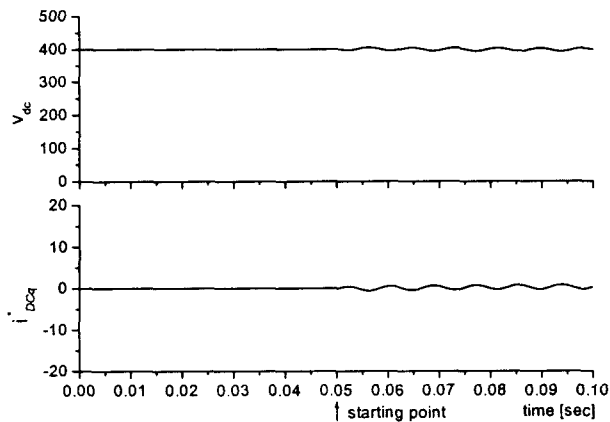


(a) 전원전압과 전원전류
(a) source voltages and currents



(b) qd축 보상전류 명령과 보상전류

(b) Compensation current references and compensation current in qd axis



(c) 직류커패시터 전압과 커패시터충전 전류명령

(c) DC-link voltage and capacitor charge current reference

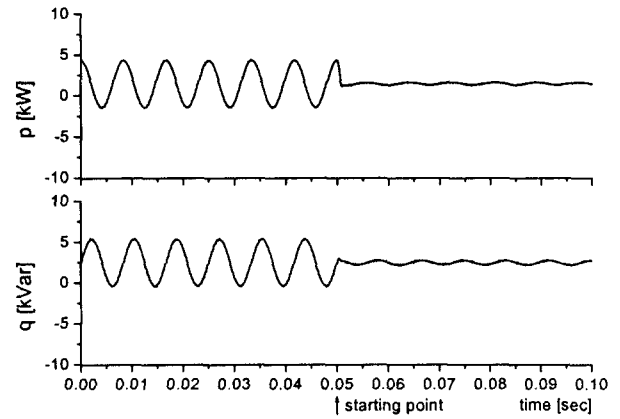
그림 9 3상 불평형부하의 부하불평형 및 무효전력 동시 보상
Fig. 9 Simultaneous Load Balancing and reactive power compensation

STATCOM을 부하불평형 보상모드와 부하불평형 및 무효전력 동시보상모드로 운전하여 3상 불평형 부하를 보상할 때의 순시유효전력, 순시피상전력의 변화를 그림 10에 표시하였다.

부하불평형 보상모드인 그림 10(a)에서, 2배차 고조파인 역상분 순시유효전력과 순시무효전력이 STATCOM보상 직후 거의 0이 되었고, 단지 전원은 직류분인 정상분 순시유효전력과 정상분 순시무효전력만을 공급하므로 부하불평형이 대부분 제거되었음을 알 수 있다.

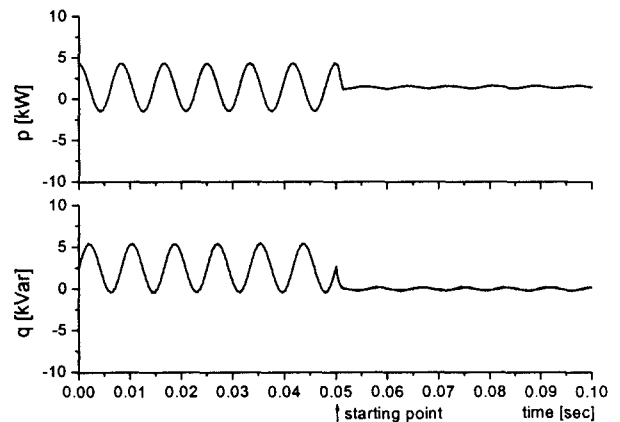
부하불평형 및 무효전력 동시보상모드인 그림 10(b)에서, 보상후 2배차 고조파인 역상분 순시유효전력이 제거되어 정상분 순시유효전력만이 공급되며, 정상분 순시무효전력과 역상분 순시무효전력이 모두 제거되어 순시무효전력이 거의 0이 되었다.

STATCOM의 부하불평형 보상 및 무효전력 보상 결과를 표 2에 요약하였다.



(a) 부하불평형 보상모드의 순시전력

(a) instantaneous power at only load balancing mode



(b) 부하불평형 및 무효전력 동시보상시의 순시전력

(b) Instantaneous power at load balancing and reactive power compensation mode

그림 10 전원측 순시전력 보상결과

Fig. 10 Instantaneous power result at source side

표 2 3상 불평형 부하의 보상 결과

Table 2 The Compensation result of an unbalanced load

mode parameter		before compen- -sation	after compensation	
			only load balancing	load balancing and VAR compensation
active power [kW]	postive sequence	1.47	1.54	1.48
	negative sequence	2.90	0.13	0.18
reactive power [kVar]	postive sequence	2.49	2.47	0.01
	negative sequence	2.90	0.32	0.25
power factor[deg]		lag 59.3°	lag 58.0°	lag 0.5° below
unbalance rate[%]		150.0	12.4	17.2
compensation time [ms]		-	1.0	1.5

5. 결 론

불평형 3상전류 해석으로 역상분이 존재하는 3상3선식 시스템의 부하전류의 순시유효전류와 순시무효전류식을 유도하고 이로부터 불평형 부하에 일반적인 보상기준전류를 검출할 수 있는 원리를 규명하였다.

수용가 STATCOM의 불평형부하 보상의 유효성을 입증하기 위하여, 불평형률이 가장 심한 단상 부하를 시험 부하로 선정하여 보상결과를 제시하였다. 보상을 위한 운전모드는 부하불평형 보상모드와 부하불평형 및 무효전력 동시 보상모드로 구분하여 실시하였고 모든 운전모드에서 불평형률 또는 역률이 대폭 개선됨으로써 무효전력과 부하불평형을 동시에 완화시킬 수 있음을 확인하였다.

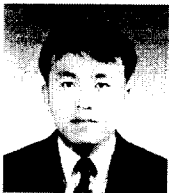
감사의 글

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의해 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행되었음(번호98-068)

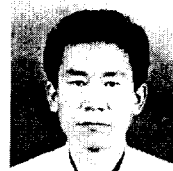
참 고 문 헌

- [1] San-Yi Lee, Chi-Jui Wu, "On-line Reactive Power Compensation Schemes for Unbalanced Three Phase Four Wire Distribution Feeders", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, No. 4, pp. 1958-1965, Oct. 1993.
- [2] L Gyugyi, "Reactive Power generation and control by thyristor circuits", IEEE Trans. on Industrial Applications, Vol. 15, No. 5, pp. 521-532, Mar./Apr. 1989.
- [3] Su-Saeng Lim, Eun-Woong Lee, et al, "Private-substation STATCOM for Improving the Power-factor and Filtering the Harmonics", ICEE '98, Vol. 1, pp. 938 -941, July 21-25, 1998.
- [4] 임수생, 이은웅, 오영웅, "자가변전설비용 STATCOM을 적용한 3상 유도전동기의 무효전력 보상", 대한전기학회 전기기기연구회 추계학술발표 논문집, pp. 52-56, 1998.
- [5] 이은웅, 임수생 외 6인 "STATCOM을 이용한 수용가의 역률개선과 무효전력 불평형 보상", 최종보고서, 기초전력공학공동연구소, 1999. 10.
- [6] Chee-Mun Ong, Dynamic Simulation of Electric Machinery, Prentice hall PTR, 1998.

저 자 소 개



임수생 (林洙生)
1973년 2월 24일생. 1995년 충남대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정
E-mail : papawini@ee.cnu.ac.kr



김홍권 (金洪權)
1958년 4월 11일생. 1983년 충남대 전기공학과 졸업. 1997년~현재 동 산업대학원 전기공학과 석사과정. 현재 한국전력공사 충남지사 보령지점 배전 운용과장
E-mail : khk456@dava.kepco.co.kr



이은웅 (李殷雄)
현재 충남대 전기공학과 교수. 한국교원총연합회 부회장. 대한전기학회 부회장
E-mail : ewlee@cnu.ac.krL