

전원전압의 불평형 및 왜곡 보상기능을 갖는 3상 PWM 정류기의 전류제어기

申熙根*, 金學源[†], 趙官烈**, 林柄國**

A Current Controller with the Compensation of the Input Voltage Unbalance and Distortion for Three Phase PWM Rectifier

Hee-Keun Shin, Hag-Wone Kim, Kwan-Yuhl Cho, and Byung-Kuk Lim

요 약

본 논문은 상용의 전원 전압이 불평형 및 왜곡을 갖는 경우, 전원전압 불평형 및 왜곡 보상기능을 갖는 전류제어기를 제안한다. 일반적으로 3상 전원 시스템은 공통 입력 단자 (Point of Common Coupling)에 단상 부하 및 비선형 부하가 3상 부하와 같이 연결될 수 있어, 종종 불평형과 왜곡이 발생한다. 이런 조건하에서 3상 PWM 정류기를 일반적인 전류 제어기로 제어 할 경우, 3상 PWM 정류기 입력 전류가 불평형 및 왜곡을 갖는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 간단한 모델 기반 적응 제어 시스템(Model Reference Adaptive System)기법을 이용하여 3상 입력 전압의 불평형 및 왜곡을 관측하고 전향 보상하는 전류 제어기를 제안하며, 모의해석과 실험을 통하여 그 효용성을 입증한다.

ABSTRACT

In this paper, a new current controller with the compensation of an unbalance and distorted grid voltages has been proposed. Generally, in the three-phase power system, single phase or nonlinear loads can be connected with the 3 phase linear load simultaneously on the same point of common coupling. Therefore, The source voltage unbalance and distortion problem can be occurred. Under these unbalance and distorted grid voltage conditions, the input current of 3 phase PWM rectifiers also have unbalance and distortion. In this paper, a current controller with the simple Model Reference Adaptive System based unbalance and distorted voltages observer is proposed to get a sinusoidal input current. The performance of the proposed algorithm is verified through the simulation and the experiment.

Key Words : PWM recitifier, MRAS observer, Unbalance compensation, Distortion compensation

1. 서 론

일반적으로 3상 AC/DC 정류기로 저가형 다이오드 정류기가 많이 사용되고 있으나, 다이오드 정류기는

비선형 특성으로 인하여 입력전류 고조파가 많이 발생될 수 있으며, 출력 직류 전압을 제어할 수 없는 단점을 가지고 있다. 반면, 승압형 3상 PWM 정류기는 입력전류를 정현파로 제어할 수 있고, 출력 직류 전압을 일정하게 제어할 수 있으며, 양방향의 전력 전달이 가능하며, 정류기 분야 외에 가변속 구동 시스템 및 UPS 분야 까지 넓게 이용되고 있다.^[1,2] 하지만, 3상 전원 시스템은 공통 접속 단자 (Point of Common Coupling)에 동시에 단상 부하 및 비선형 부하가 연결

[†]교신저자 : 정회원, 충주대 제어계측공학과 조교수
E-mail : khw@cjnu.ac.kr

^{*}학생회원, 충주대 제어계측공학과 석사과정

^{**}정회원, 충주대 제어계측공학과 교수

접수일자 : 2011. 9. 29

1차 심사 : 2011. 10. 11

2차 심사 : 2011. 11. 7

심사완료 : 2011. 11. 9

될 수 있기 때문에 3상 전원전압은 불평형 및 왜곡을 가질 수 있다. 이러한 전원전압의 불평형 및 왜곡은 3상 PWM 정류기의 입력전류 불평형 및 왜곡을 발생시킨다.^[3,6] 이로 인해 상 전류 불평형에 의한 소자의 온도 불평형 문제와 전류 왜곡에 의한 소음 문제가 발생되며, 또한 출력 DC전압에 맥동이 나타나게 되어 3상 PWM 정류기의 성능을 저하시킨다.

3상 전원 전압의 불평형 및 왜곡으로 인한 3상 PWM 정류기의 문제점을 해결하기 위해 지금까지 여러 연구들이 이루어져 왔다. 전원 전압의 왜곡으로 인한 문제점을 해결하기 위해 전원전압이 왜곡을 가질 경우, 위상각에 왜곡을 보상하는 기법을 제안된 바 있으나,^[3] 이 방법은 3상 전원전압의 불평형에 의한 영향은 고려되지 않았다. 한편 공진제어기를 추가하여 전원 전압의 왜곡을 보상하는 방법이 제안되었으나^[4], 이 방법은 추가한 공진제어기의 공진 주파수 이외의 성분에 대한 고려가 없으며, 또한 전원 전압 불평형에 의한 전류 불평형 문제가 고려되지 않았다. 한편 전원 전압 불평형 문제의 경우, 정상분과 역상분으로 구분하여 전류제어를 행하는 이중 제어기를 사용하는 방법들이 제안된 바 있다.^[7-10] 이 방법들은 입력 전력을 일정하게 제어하여 출력 직류전압의 리플이 작아지도록 제어 한다. 하지만, 이로 인한 전류의 왜곡이 발생하며, 또한 전원전압의 왜곡의 경우는 고려되지 않았다. 전원 전압 불평형 및 왜곡을 보상하는 방법으로 정상분과 역상분을 분리하여 제어하는 이중제어기와 공진제어기를 추가하여 보상하는 방법이 제안된 바 있지만,^[5,6] 이중제어기와 공진제어기의 추가로 인하여 제어기가 복잡해지는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 간단한 전원 전압 불평형 및 왜곡 관측기를 제안하고, 전류 제어기에 전원 전압 전향 보상기를 갖는 간단한 불평형 및 왜곡 보상 방법을 제안 한다. 간단한 전원 전압 불평형 및 왜곡 관측기는 모델 기반 적응제어 시스템 (Model Reference Adaptive System, 이하 MRAS) 관측기^[11-14] 원리로 동작된다. 제안된 방법의 타당성은 MATLAB/SIMULINK를 이용하여 모의해석 하였으며, 실험을 통하여 입증하였다. 제안하는 전류제어기를 사용하면 전원전압의 불평형 및 왜곡이 있는 조건에서도 입력 전류의 THD가 상당히 개선됨을 확인하였다.

2. 3상 PWM 정류기의 모델링

그림 1은 일반적인 3상 승압형(Boost type) PWM 정

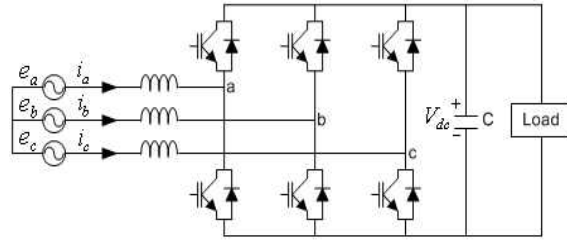


그림 1 승압형 PWM 정류기
Fig. 1 Boost Type PWM Rectifier

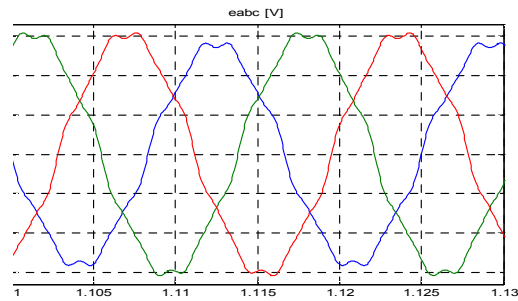


그림 2 불평형 및 왜곡된 전원전압
Fig. 2 Unbalanced and distorted source voltage

류기를 나타낸다. 3상 승압형 PWM 정류기는 3상 AC 전원을 일정한 DC 전압으로 승압하기 위한 6개의 스위치모듈 및 DC 전압을 평활하기 위한 캐패시터 (Capacitor)로 구성된다.

2.1 불평형 및 왜곡시 전압방정식

그림 2는 a상 전압을 183[V] b상 및 c상의 전압이 220[V]이며, a, b, c 3상에 고조파가 포함된 경우 3상 전압을 나타낸다. 전원전압의 고조파의 경우 저차의 고조파에 대한 영향이 크므로^[15], 본 논문에서는 5차 고조파는 기본파의 3%, 7차 및 11차 고조파는 각각 4%, 2% 를 포함하였다. 이 경우 3상 전원전압은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 e_a(t) &= -(E + E_{unbal})\sin(\omega t) + e_{a,har}(t) \\
 e_b(t) &= -E\sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) + e_{b,har}(t) \\
 e_c(t) &= -E\sin(\omega t + \frac{2}{3}\pi) + e_{c,har}(t)
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, e_a, e_b, e_c 는 각각 a, b, c 3상의 입력전압을 나타내며 ω 는 입력전원의 각 주파수를 나타낸다. E_{unbal} 은 불평형시 발생하는 불평형 성분의 전압이며,

e_{har} 는 각 상에 나타나는 왜곡 성분의 전압을 의미한다. 불평형 성분 전압은 전원전압과 같은 주파수이며, 왜곡 성분 전압은 주로 기본과 주파수의 홀수 배로 나타난다. 식 (1)은 a상에만 불평형이 있는 경우를 가정하였으며, a, b, c상에 왜곡이 있는 상태이다.

먼저 전원 전압의 불평형 및 왜곡 성분이 입력 전류에 미치는 영향을 살펴본다. 입력 인덕터를 기준으로 키르히호프의 전압법칙을 적용하여 3상 전압 방정식으로 쓰면 식 (2)와 같다. 여기서 v_a, v_b, v_c 는 PWM 정류기가 만들어 내는 단자 전압(Terminal voltage)을 나타낸다. 식 (2)는 식(1)의 전원 전압 상태일 때 전압 방정식이며, 전원 전압이 a상은 불평형을 가지며, a, b, c상에 왜곡이 있는 상태로 가정하였다. 전원전압에 불평형 및 왜곡이 생겼을 경우 입력 인덕터에 흐르는 입력전류는 전원전압의 불평형 및 왜곡이 그대로 나타나게 된다.

$$\begin{aligned}
 e_{a1} + e_{a_unbal+har} &= L_s \frac{d}{dt} i_a + v_a \\
 e_{b1} + e_{b_har} &= L_s \frac{d}{dt} i_b + v_b \\
 e_{c1} + e_{c_har} &= L_s \frac{d}{dt} i_c + v_c
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

여기서, i_a, i_b, i_c 는 각 상의 전류이며, e_{a1}, e_{b1}, e_{c1} 은 전원 전압의 기본과 성분을 의미하며 크기는 같다. $e_{unbal+har}$ 는 불평형 및 왜곡으로 나타나는 전압을 나타낸다.

전원 전압의 불평형 및 왜곡에 의해 입력 전류에 불평형 및 왜곡이 발생되면 직류 링크 전압에 입력되는 전류는 식 (3)으로 표현할 수 있다. 이 전류에 의해 DC 링크 전압은 맥동을 갖게된다.

$$i_{dc} = i_a S_a + i_b S_b + i_c S_c.
 \tag{3}$$

여기서, S_a, S_b, S_c 는 각 상의 스위칭함수 이다.

2.2 MRAS 관측기를 이용한 전류 보상

전원 전압의 불평형 및 왜곡 발생 시 식 (2)로 주어진 3상 전압방정식은 dq축 변환에 의해 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 E_{d1} + e_{d_unbal+har} &= L_s \frac{d}{dt} i_d - \omega L_s i_q + v_d \\
 E_{q1} + e_{q_unbal+har} &= L_s \frac{d}{dt} i_q + \omega L_s i_d + v_q
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

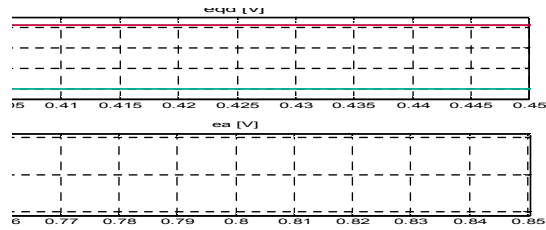


그림 3 기본과 성분의 dq축 전원전압
Fig. 3 dq axis source voltage with fundamental component

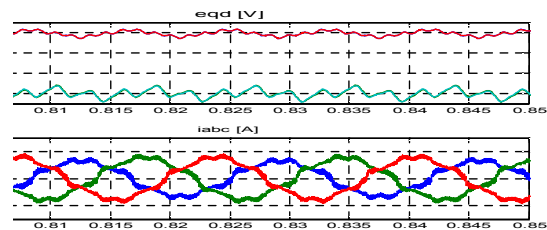


그림 4 불평형 및 왜곡시 dq축 전원전압
Fig. 4 dq axis source voltage with unbalance and distortion

식 (4)에 나타난 바와 같이 dq축 으로 변환된 dq축 전원전압은 식 (2)와 동일하게 두 가지 성분으로 나타낼 수 있다. 전원 전압은 평형 상태이며 정현파인 기본과 성분과 불평형 전압 및 왜곡 전압 성분의 합으로 나타낼 수 있다. 그림 3은 불평형과 왜곡 성분이 없고 기본과 성분만 있는 경우의 전원 전압의 dq축 전압이며, 그림 4는 기본과 성분에 불평형과 왜곡 성분이 더해진 경우 dq축 전압이다. 이 때 dq축 전압은 불평형으로 인한 120[Hz]성분과 고조파 왜곡성분이 더해진 형태로 나타난다.

본 논문에서는 간단한 MRAS 관측기를 이용하여 실시간으로 불평형 및 왜곡 전압을 관측하는 방법을 제안한다. MRAS 관측기는 전원 전압이 불평형 및 왜곡 성분을 가지는 실제 시스템의 전류 상태와, 전원 전압이 불평형 및 왜곡 성분을 갖지 않는 적응 제어 기준 모델로부터 구해지는 모델 전류 상태의 차로 부터 전원 전압의 불평형 및 왜곡 성분을 관측한다. 실제 시스템의 전원 전압은 그림 4와 같이 기본과 성분, 불평형, 및 왜곡 성분이 합해진 형태이며, 모델 기반 적응제어 시스템의 기준 모델은 그림 3과 같이 전원 전압이 순수 정현파인 기본과 성분만 가지는 것으로 가정한다. 모델 기반 적응제어 시스템의 기준 모델의 전압 방정식은 식 (5)와 같다.

$$E_{dm} = L_s \frac{d}{dt} i_{dm} - \omega L_s i_q + v_d^* \quad (5)$$

$$E_{qm} = L_s \frac{d}{dt} i_{qm} + \omega L_s i_d + v_q^*$$

이때 i_{dm} , i_{qm} 은 모델의 전류이며, E_{dm} , E_{qm} 은 그림 3과 같은 기본파 성분의 순수 정현파 성분이다. 또한, v_d^* , v_q^* 은 d축과 q축의 전압 지령이다. 이제 전원 전압의 불평형과 왜곡 성분을 관측하는 방법을 설명하고자 한다. 불평형과 왜곡 성분을 가지고 있는 식 (4)의 실제 시스템의 상태 방정식과, 평형 상태이며 순수 정현파 성분인 식 (5)의 모델의 상태 방정식의 차를 구하면 식 (6)과 같다.

$$e_{d_unbal+har} = L_s \frac{d}{dt} i_d - L_s \frac{d}{dt} i_{dm} + v_d - v_d^* \quad (6)$$

$$e_{q_unbal+har} = L_s \frac{d}{dt} i_q - L_s \frac{d}{dt} i_{qm} + v_q - v_q^*$$

이때 $E_{d1} = E_{dm}$, $E_{q1} = E_{qm}$ 이다. 식 (6)를 이산화 시키면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$e_{d_unbal+har}(k) = L_s \frac{i_d(k) - i_{dm}(k)}{T} + v_d(k) - v_d^*(k) \quad (7)$$

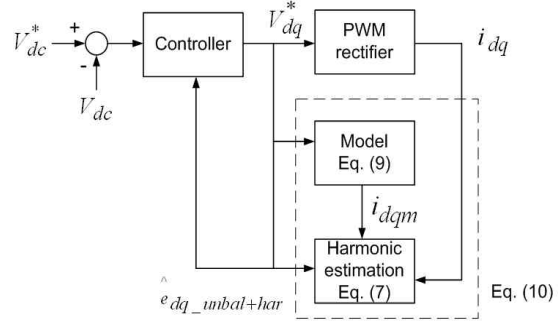
$$e_{q_unbal+har}(k) = L_s \frac{i_q(k) - i_{qm}(k)}{T} + v_q(k) - v_q^*(k)$$

여기서, T는 샘플링 주기를 의미하며, 또한 k-1의 모델의 전류는 식 (8)과 같이 실제 샘플링된 전류를 사용하였다.

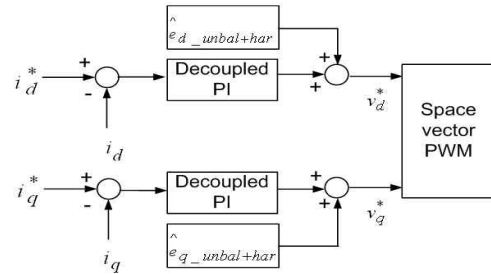
$$\begin{aligned} i_{dm}(k-1) &= i_d(k-1) \\ i_{qm}(k-1) &= i_q(k-1) \end{aligned} \quad (8)$$

한편 모델의 전류를 구하기 위해서 식 (5)을 이산화 하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} i_{dm}(k) - i_d(k-1) &= \frac{T}{L_s} (E_{dm}(k-1) + \omega L_s i_q(k-1) - v_d^*(k-1)) \\ i_{qm}(k) - i_q(k-1) &= \frac{T}{L_s} (E_{qm}(k-1) - \omega L_s i_d(k-1) - v_q^*(k-1)) \end{aligned} \quad (9)$$



(a) 전체 블록도



(b) 전류제어기 블록도

그림 5 제안된 보상기 블록도

Fig. 5 Block diagram of the proposed compensator

만약 테드타임이 적절히 보상이 되었다고 가정하면, $v_{dq} \approx v_{dq}^*$ 이다. 하지만, 테드타임이 적절히 보상되지 않을 경우 테드타임에 의한 전압왜곡 성분도 $\hat{e}_{dq_unbal+har}$ 에 포함된 것으로 생각할 수 있다. 식 (9)를 식 (7)에 대입하여 불평형 및 왜곡의 관측 성분 ($\hat{e}_{dq_unbal+har}$)을 구하면 식 (10)과 같이 나타난다.

$$\hat{e}_{d_unbal+har}(k+1) = \frac{L_s}{T} \left(i_d(k+1) - \frac{T}{L_s} (\omega L_s i_q(k) - v_d^*(k) + e_{dm}(k)) + i_d(k) \right) \quad (10)$$

$$\hat{e}_{q_unbal+har}(k+1) = \frac{L_s}{T} \left(i_q(k+1) - \frac{T}{L_s} (-\omega L_s i_d(k) - v_q^*(k) + e_{qm}(k)) + i_q(k) \right)$$

식 (10)을 실제 시스템을 나타내는 식 (4)에 더해지는 형태로 전향 보상 하게 되면 다음과 같다.

$$E_{d1} + e_{d_unbal+har} = L_s \frac{d}{dt} i_d - \omega L_s i_q + v_d + \hat{e}_{d_unbal+har} \quad (11)$$

$$E_{q1} + e_{q_unbal+har} = L_s \frac{d}{dt} i_q - \omega L_s i_d + v_q + \hat{e}_{q_unbal+har}$$

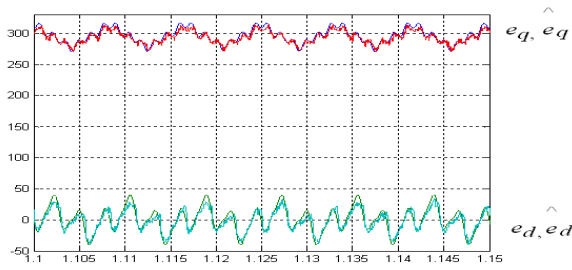


그림 6 불평형 및 왜곡시 실제 전압과 관측된 전압
Fig. 6 The real voltage and observation voltage in source voltage with unbalance and distortion

관측기가 잘 설계되었다면 $e_{dq_unbal+har} = \hat{e}_{dq_unbal+har}$ 이므로, 상 불평형 성분과 왜곡 성분은 서로 상쇄되고 순수정현파 성분인 기본파만 전류 제어기에 나타나게 된다.

본 논문에서 사용하는 MRAS 방법은 전류 기반 관측기이다. 전류 기반 관측기를 사용하는 이유는 실제 전원전압의 왜곡이 생겼을 경우 DSP로 제어하는 경우 계측하는 전압의 분해능이 낮기 때문에 오차를 가져오게 되면 정확하게 불평형 및 왜곡 성분을 추출하기 어렵다. 하지만 전류는 임피던스가 낮기 때문에, 작은 전압의 불평형 및 왜곡이 생겼을 경우 전류에는 크게 나타나기 때문에 전류 기반으로 관측기를 설계해야 정확하게 추출할 수 있다.

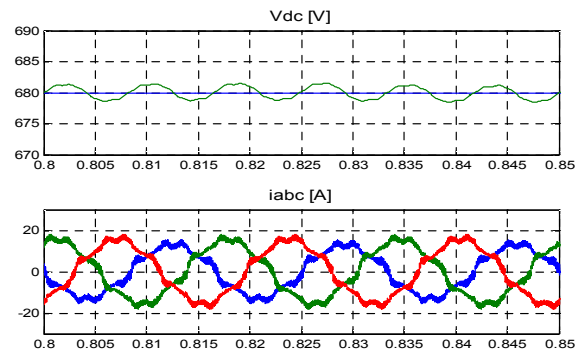
그림 5는 본 논문에서 제안하는 MRAS 관측기의 전체 블록도 및 전류 제어기 블록도이다. 그림 5(a)의 모델의 전류 계산 부분은 식 (9)를 이용하여 계산되며, 전원 전압의 불평형 및 왜곡 성분은 식 (7)로 계산한다. 또는 두식을 하나의 식으로 나타낸 식 (10)으로부터 간단히 전원 전압의 불평형 및 왜곡 성분을 계산하여 관측할 수 있다. 이렇게 관측된 전원 전압의 불평형 및 왜곡은 그림 5(b)와 같이 전류제어기에서 전향 보상할 수 있으며, 전향 보상된 결과는 식 (11)과 같다. 전향 보상되는 불평형과 왜곡 성분은 그림 5에서 $\hat{e}_{dq_unbal+har}$ 의 값이며, 전류제어기에서 보상하는 형태가 된다. 그림 6은 불평형 및 왜곡시 실제 dq축 전압과 관측된 전압을 나타낸다. 여기서 $\hat{e}_{dq} = e_{dqm} + \hat{e}_{dq_unbal+har}$ 이다. 실제 전압과 관측된 전압이 유사하게 나타남을 알 수 있다.

3. 모의해석

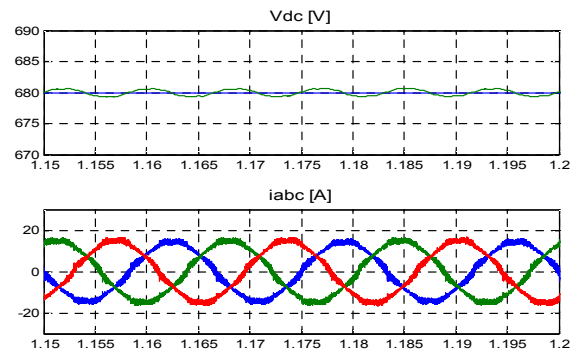
제안된 기법의 효용성을 입증하기 위해 MATLAB/SIMULINK를 사용하여 모의해석을 실시하였다.

표 1 시뮬레이션 조건
Table 1 Condition for simulation

구분	값
상전압	220Vrms
PWM 주파수	17kHz
데드타임	2.5us
출력전압 지령	680V
입력 인덕터	2mH
출력 캐패시터	2,200uF
전원전압 왜곡	5 th 3%, 7 th 4%, 11 th 2%



(a) 보상전



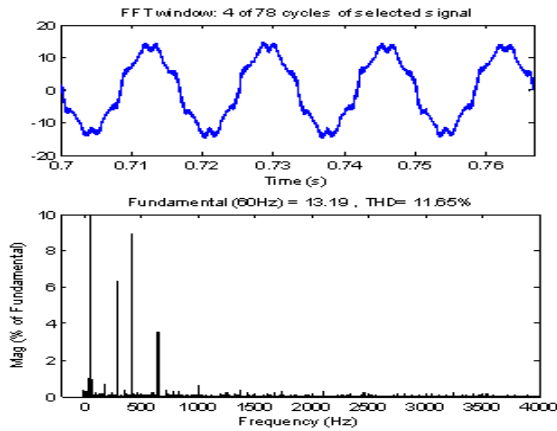
(b) 보상후

그림 7 전원전압 불평형 및 왜곡 시 출력 DC전압과 입력 전류 모의해석 결과

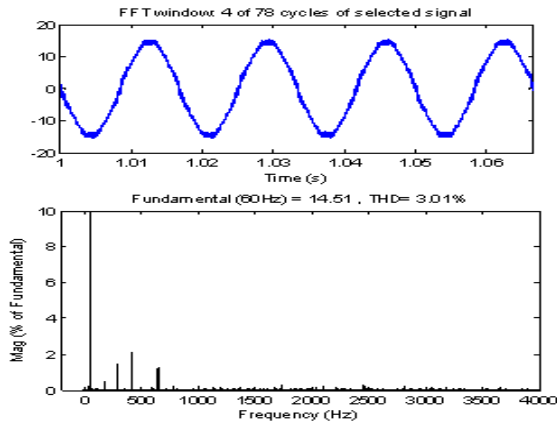
Fig. 7 Simulation results of output DC voltage and input currents under unbalanced and distorted source voltages

3.1 모의해석 조건

모의해석은 불평형 및 왜곡 성분이 모두 있을 경우를 가정하여 실시하였다. 표 1은 모의해석 조건이며, 불평형 조건은 a상 상전압 183[V] 나머지 b, c상은



(a) 보상전



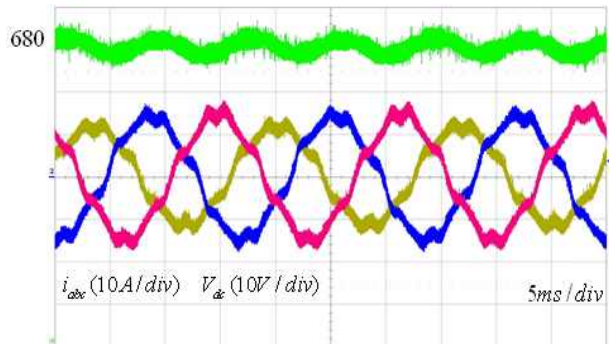
(b) 보상후

그림 8 전원전압 불평형 및 왜곡 시 입력전류 FFT 분석
Fig. 8 Input current FFT analysis in source voltage with unbalance and distortion

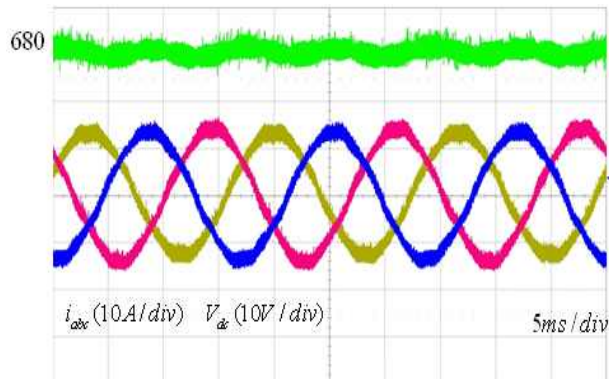
220[V]로 하였다. 또한 왜곡 조건은 5차 3%, 7차 4%, 11차 2%을 전원전압에 주입하여 왜곡을 주었다.

3.2 모의해석 결과

그림 7과 8은 전원전압에 불평형 및 왜곡이 있을 때, 불평형 및 왜곡의 전향 보상 전후의 모의해석 결과를 각각 나타낸다. 전원 전압의 불평형 및 왜곡 성분 보상전 모의해석 결과 입력전류는 전원 전압의 불평형에 의하여 각 상의 전류가 불평형을 가진다. 또한 전원전압의 왜곡 성분인 5차, 7차, 11차 고조파가 많이 포함 되어 있는 것을 알 수 있다. 이로 인해 입력전류의 THD는 11.55%로 비교적 큰 전류 왜곡 성분이 나타나는 것을 알 수 있다. 입력전압의 불평형과 왜곡에



(a) 보상전



(b) 보상후

그림 9 전원전압 불평형 및 왜곡 시 출력 DC전압과 입력 전류 실험 결과

Fig. 9 Experimental results of output DC voltage and input currents under unbalanced and distorted source voltages

대한 제안된 방법을 사용하여 보상한 결과, 입력 전류가 정현파에 가깝게 제어되며 FFT 분석 한 결과 보상전에 나타났던 고조파가 크게 줄어들었으며, THD가 3.01%로 나타났다.

4. 실험 결과

제안된 기법의 성능을 검증하기 위해 실험을 수행하였다. 실험시스템은 TI의 임가형 DSP인 TMS320F28035을 이용하여 디지털 제어 시스템을 구현 하였다.

실험의 불평형 조건은 모의해석과 동일하게 a상 상전압 183[V] b, c상 상전압 220[V]로 하였으며, 왜곡은 5th 3%, 7th 4%, 11th 2% 주입 하였다.

그림 9는 전원전압 불평형 및 왜곡 시, 불평형 및

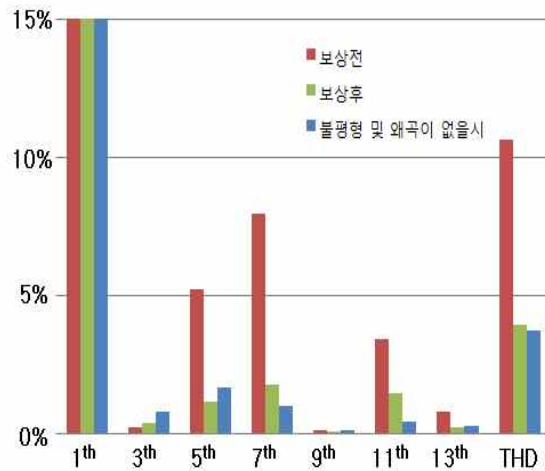


그림 10 전원전압 불평형 및 왜곡 시 입력 전류 고조파 분석

Fig. 10 FFT analysis of input current for unbalanced and distorted source voltages

왜곡 전압 성분의 보상 전후에 대한 각각의 실험 파형이다. 보상 전 입력전류는 고조파가 많이 함유되어 있으며, 전류의 불평형과 왜곡이 나타나 이에 따라 출력 DC 전압의 맥동이 나타난다. 하지만 제안된 기법을 사용하여 전압의 불평형 및 왜곡을 보상한 경우 입력 전류가 정현파에 가깝게 제어되며 전류가 평형으로 제어되고, 출력 DC전압의 맥동이 줄어드는 것을 확인하였다.

그림 10은 제안된 방법의 사용 전후 각각의 조건에 대한 입력 전류의 고조파 분석결과를 나타낸다. 보상 전 입력 전압에 강제로 주입한 5차 7차 11차의 고조파가 입력 전류에 영향을 받아 전류의 THD는 10.6%로 높게 나타났다. 반면, 제안된 기법의 전압 불평형 및 왜곡 보상 방법을 적용한 경우 입력 전류의 고조파가 줄어들며, THD는 4.09%로 크게 줄어드는 것을 확인할 수 있었으며, 불평형 및 왜곡이 없을 때와 거의 유사한 입력 전류 THD가 나오는 것을 확인하였다. 또한 제안된 알고리즘의 보상 후 5차 고조파는 불평형 및 왜곡이 없을 때 보다 작게 나타났다. 일반적인 데드타임 보상의 경우^[16] 데드타임이 정확히 보상되지 않아 5차 고조파가 크게 발생할 수 있다. 반면 제안된 알고리즘의 경우 식 (10)에 나타난 바와 같이 데드타임 성분인 $v_{dq} - v_{dq}^*$ 이 식 (11)처럼 보상하게 되면 불평형 및 왜곡 성분만 상쇄 되는 것 뿐만 아니라 데드타임 영향도 상쇄되는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

3상 전원 시스템은 전원 전압의 공통 입력 단자(Point of Common Coupling)에 동시에 접속된 단상부 하나 비선형 부하에 의해 불평형 및 왜곡 성분을 가진다. 이 상태에서 전원 전압의 공통 입력 단자에 접속된 3상 PWM 정류기를 제어 할 경우 입력전류는 불평형과 왜곡 성분을 가지게 되는 문제점이 발생된다. 이로 인해 상 전류 불평형에 의한 소자의 온도 불평형 문제와 전류 왜곡에 의한 소음 문제가 발생되며, 또한 출력 DC전압에 맥동이 나타나게 되어 3상 PWM 정류기의 성능을 저하 시킨다.

본 논문에서는 전원 전압이 불평형 및 왜곡 성분을 가질 때, 이를 전류기반의 MRAS관측기를 사용하여 전원 전압의 불평형 및 왜곡 성분을 관측하고, 관측된 결과를 전류 제어기에서 보상하는 간단한 전류 제어 기법을 제안하였다. 제안한 전류 제어기를 적용하여, 입력 전류가 평형 상태를 갖게 되며, 입력전류의 THD가 보상 후 4.09%로, 보상 전 10.6%보다 상당히 줄어들었음을 확인하였다. 또한 불평형 및 왜곡이 없을 때와 유사한 수준의 입력전류 THD를 가지는 것을 모의해석 및 실험을 통하여 확인하였다.

이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(한국연구재단-2010-0017029)

이 논문은 2011년 충주대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구임.

참 고 문 헌

- [1] J. W. Dixon and B. T. Ooi, "Indirect Current Control of a Unity Power Factor Sinusoidal Boost type 3-phase Rectifier," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 35, pp. 508-515, 1988, Nov.
- [2] B. Singh, B. N. Singh, A. Chandra, K. Al-Haddad, A. Pandey, and D. P. Kothari, "A Review of Three-Phase Improved Power Quality AC-DC Converters," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 51, no. 3, pp. 641-660, 2004, Jun.
- [3] N. C. Park, H. S. Mok and S. H. Kim, "Reduction of Input Current Harmonics for Three Phase PWM Converter Systems under a Distorted Utility Voltage," *Journal of Power Electronics*, Vol. 10, No.4, pp.

428-433, 2010, July.

[4] M. Liserre, R. Teodorescu, and F. Blaabjerg, "Multiple Harmonics Control for Three-Phase Grid Converter Systems With the Use of PI-RES Current Controller in a Rotating Frame," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 21, no. 3, pp. 836-841, 2006, May.

[5] L. Mihalache, "A High Performance DSP Controller for Three-Phase PWM Rectifiers With Ultra Low Input Current THD under Unbalanced and Distorted Input Voltage," *Conference Record of IAS Annual meeting*, pp.138-144, 2005.

[6] 장정익, 이동춘, 김홍근, "전원전압의 불평형 및 왜곡시 3상 PWM 컨버터의 전류제어," *전력전자학회 논문지*, 제12권, 제1호, pp.27-36, 2007. 2.

[7] H. S. Song and K. H. Nam, "Dual Current Control Scheme for PWM Converter Under Unbalance Input Voltage Conditions," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 46, no. 5, pp. 953-959, 1999, October.

[8] S. C. Ahn and D. S. Hyun, "New Control Scheme of Three-Phase PWM AC/DC Converter Without Phase Angle Detection Under the Unbalance Input Voltage Conditions." *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 17, no. 5, pp. 616-622, 2002, September.

[9] Y. S. Suh and T. A. Lipo, "Control Scheme In Hybrid Synchronous Stationary Frame for PWM AC/DC Converter Under Generalized Unbalanced Operating Conditions," *IEEE Trans. on Industrial Applications*, vol. 42, no. 3, pp. 825-835, 2006, May/June.

[10] Z. Li, Y. Li, P. Wang, H. Zhu, C. Liu and W. Xu, "Control of Three-Phase Boost-Type PWM Rectifier In Stationary Frame Under Unbalanced Input Voltage," *IEEE Trans. on Power. Electronics*, vol. 25, no. 10, 2010, October.

[11] A. R. Haron and N. R. N. Idris, "Simulation of MRAS based Speed Sensorless Estimation of Induction Motor Drives Using MATLAB/SIMULINK," *First International Power and Energy Conference (PECon)*, pp. 411-415, 2006.

[12] M. Cirrincione and M. Pucci, "An MRAS-based Sensorless High-Performance Induction Motor Drive With a Predictive Adaptive Model," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 52, no. 2, pp. 532-551, 2005, April.

[13] H. W. Kim, M. J. Youn, K. Y. Cho and H. S. Kim, "Nonlinearity Estimation and Compensation of PWM VSI for PMSM Under Resistance and Flux Linkage Uncertainty," *IEEE Trans. on Control Systems*, vol. 14, no. 4, 2006, July.

[14] H. K. Shin, B. C. Yoon, H. W. Kim, K. Y. Cho, B. K. Lim and S. S. Hwang, "An MRAS based Current Harmonics Reduction for Three Phase PWM Rectifier Under Input Voltage Distortion," *8th International Conference on Power Electronics - ECCE Asia*, pp. 2267-2273, 2011.

[15] 한국전기안전공사 전기안전연구원, "전원이상에 의한 차단기류의 동작특성에 관한연구," *전기안전조사연구보고서*, 2006.

[16] 김상훈, DC 및 AC 모터 제어, 북두출판사, 2007.

저 자 소 개



신희근(申熙根)

1985년 2월 20일생. 2010년 충주대 정보제어공학과 졸업. 2010년~현재 동 대학원 제어계측공학과 석사과정.



김학원(金學源)

1989년 고려대 전기공학과 졸업. 1991년 한국과학기술원 전자전산학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전자전산학과 졸업(공학박). 1991년~2008년 LG전자(주) 디지털 어플라이언스 연구소 책임연구원. 2008년~현재 충주대 제어계측공학과 조교수.

당 학회 학술위원.



조관열(趙官烈)

1986년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기및전자공학과 졸업(공학박). 1993년~2004년 LG전자(주) DA연구소 책임연구원. 2004년~현재 충주대 제어계측공학과 부교수. 당 학회

JPE Publication Editor.



임병국(林炳國)

1951년 1월 17일생. 1978년 숭실대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1972년~1977년 현 지식경제부 기술공무원. 1978년~1987년 수원공업전문대학 조교수. 1987년~현재 충주대 제어계측공학과 교수.