

노치필터를 이용한 단상 인버터 구동 시 발생하는 3상 PWM 컨버터의 입력전류 불평형 저감

김도윤*, 이정효*, 박진호*, 정용채**, 원충연*
성균관대학교*, 남서울대학교**

Reduction of the Unbalanced Input Current by Notch Filter in the Operation of Single Phase Inverter

Do yun Kim*, Jung Hyo Lee*, Jin ho Park*, Yong Chae Jung**, Chung Yuen Won*
Sungkyunkwan University*, Namseoul University**

ABSTRACT

SVPWM 기반의 3상 전압형 PWM 컨버터는 DC link전압을 이용하여 단상 교류부하에 전원을 공급할 경우, 컨버터 출력단에 단상 인버터를 추가적으로 필요로 한다. 이때 단상인버터의 스위칭에 의해 2차 고조파가 발생되며 DC link에 저주파 전압 리플을 발생시킨다. 이 리플 성분에 의해 3상 입력전류의 불평형이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 단상인버터 구동 시 발생하는 저주파 전압 리플을 필터링하기 위해 노치필터를 적용하였다. 전압 리플 분석 및 노치필터 설계에 관해 기술하고 시뮬레이션을 통하여 제안된 방법을 검증하였다.

1. 서론

3상 PWM 컨버터의 출력단 단상인버터는 비선형 부하로 DC link에 120Hz 고조파 전압리플을 발생시킨다. DC link전압 리플은 정상적이지 못한 q 축 지령을 생성하게 하고 그로 인해 3상 입력전류의 불평형을 발생시킨다. 전원 불평형은 기기의 출력저하와 절연 손상을 초래하고 전력 변환장치에서 발생하는 고조파는 입력 전원에 악영향을 준다. 본 논문에서는 노치필터를 사용하여 3상 PWM 컨버터의 단상인버터 구동에 의한 DC Link측 전압의 특정 고조파를 필터링하여 입력전류 불평형을 제거 하였다.

2. DC-link 리플과 트윈 T 노치필터

2.1 단상 인버터 구동 시 DC-Link 리플 분석

그림 1은 3상 PWM 컨버터와 단상인버터의 구성과 제어 블록도이다.^[1]

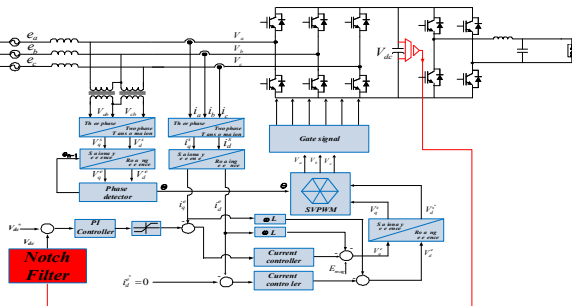


그림 1 3상 PWM 컨버터와 단상인버터의 구성
Fig. 1 Three phase PWM converter single phase inverter

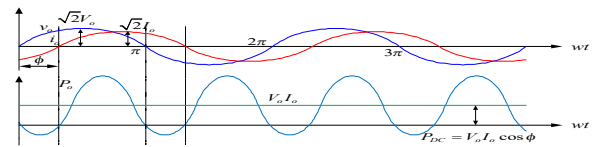


그림 2 단상인버터의 출력전압, 전류, 전력파형
Fig. 2 Output voltage, current and power of single phase inverter

그림 2는 단상 인버터의 동작 파형이다. 인버터가 평균 출력 전력을 부하에 전달할 때 일부 구간에서는 출력 전력이 음이 되어 부하에서 입력단으로 전력을 전달한다.

식 (1), (2)는 i_{DC} 를 직류성분인 I_{DC} 와 교류성분인 i_{ac} 로 나눈 것이다.

$$I_{DC} = \frac{V_o I_o}{V_{DC}} \cos \phi \quad (1)$$

$$i_{ac} = -\frac{V_o I_o}{V_{DC}} \cos(2\omega t - \phi) \quad (2)$$

I_{DC} 는 부하에 전달되는 평균전력의 크기를 결정하며, i_{ac} 는 주파수가 단상 인버터의 동작주파수의 2배인 교류 성분으로 입력전류의 리플성분이 된다. 식 (3)의 교류 성분의 입력전류 리플에 의해 식 (4)와 같은 DC link 전압리플이 발생한다.

$$i_{ac} = -\frac{V_o I_o}{V_{DC}} \cos(2\omega t - \phi) = -I_{ac} \cos(2\omega t - \phi) \quad (3)$$

$$v_{dc,ripple}(t) \approx \frac{1}{C_d} \int i_{ac} dt = -\frac{I_{ac}}{2\omega C_d} \sin(2\omega t - \phi) \quad (4)$$

2.2 트윈 T 노치필터의 특징

120Hz 저차 고조파를 필터링 하기 위해서는 큰 용량의 커패시터와 인덕터가 필요하다. 그러므로 저항과 비교적 작은 용량의 커패시터로 구성된 트윈 T 노치필터를 사용하였다. 그림 3은 트윈 T 노치필터의 회로구성이다. $R_1 \cdot R_2$ 와 C_3 및 $C_1 \cdot C_2$ 와 R_3 의 3개씩의 소자가 각각 T형으로 병렬접속 되어있으므로 트윈 T 노치 필터라고 불린다.^[2]

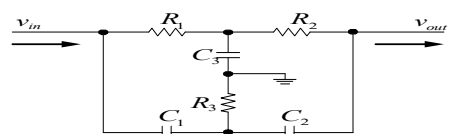


그림 3 트윈 T형 노치필터
Fig. 3 Twin T notch filter

표 1 트윈 T 노치필터의 설계사양

Table 1 Specification of twin T notch filter

Parameter	Value	Unit
C_1, C_2	0.05	$[\mu F]$
R_1, R_2	240	$[m\Omega]$
C_3	0.1	$[\mu F]$
R_3	120	$[m\Omega]$

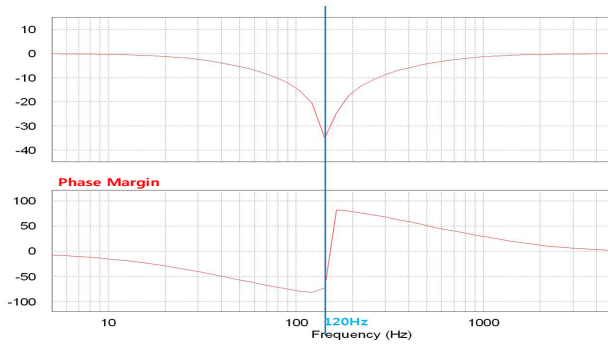


그림 4 트윈 T 노치필터의 보드선도
Fig. 4 Bode diagram of twin T notch filter

2.3 트윈 T 노치필터 설계

식(5), (6)은 트윈 T 노치필터의 상수설정 조건이다.

$$C_1 = C_2, C_3 = 2C_1 \quad (5)$$

$$R_1 = R_2, R_3 = R_1/2 \quad (6)$$

입력된 주파수가 식(7)의 f_N 의 값과 일치했을 때에 출력전압이 0이 된다.

$$f_N = \frac{1}{2\pi C_1 R_1} \quad (7)$$

상수설정 조건 식 (5), (6)과 식 (7)에 의해 고조파를 필터링하기 위한 트윈 T 노치필터의 설계사양은 표 1과 같으며, 그림 4는 설계사양에 따른 트윈 T 노치필터의 보드선도이다. 표 1에서 설계한 사양에 따라 120Hz가 필터링 되는 것을 확인할 수 있다.

3. 시뮬레이션 결과

설계한 노치필터를 적용했을 때와 적용하지 않았을 때의 입력전류 불평형을 비교하기 위하여 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 단상 인버터의 사양은 표 2와 같다.

표 2 단상인버터의 사양

Table 2 Specifications of the single phase inverter

Parameter	Value	Unit
입력전압(DC link)	400	$[V_{RMS}]$
출력	전압	220 $[V_{RMS}]$
	전류	18 $[A_{RMS}]$
	주파수	60 $[Hz]$
DC link 커패시터	2200	$[\mu F]$
출력측 필터 인덕턴스	0.5	$[mH]$
출력측 필터 커패시터	5	$[\mu F]$
스위칭 주파수	10	$[kHz]$

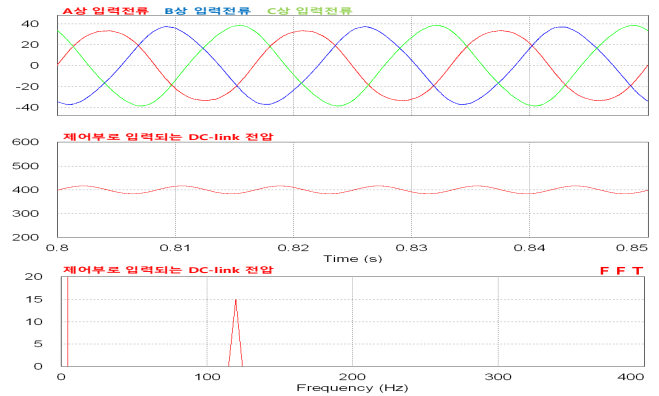


그림 5 노치필터 적용 전 3상 입력전류 파형 및 DC-Link 전압파형
Fig. 5 Input current and DC-Link voltage without notch filter

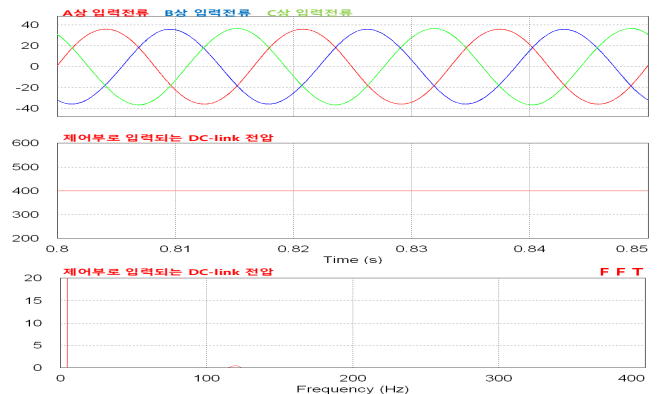


그림 6 노치필터 적용 후 3상 입력전류 파형 및 DC-link 전압파형
Fig. 6 Input current and DC-link voltage using the notch filter

그림 5는 노치필터를 적용하기 전 3상 입력전류 파형과 DC link 전압파형이며, 그림 6은 노치필터를 적용한 후의 3상 입력전류 파형과 DC link 전압파형이다. 그림 5의 시뮬레이션 결과 파형을 보면 각 상의 입력 전류가 불평형하다는 것을 확인할 수 있다. 그리고 노치필터를 적용한 그림 6의 결과파형을 통해 입력전류 불평형이 개선되었음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문은 단상 인버터 구동으로 발생하는 3상 PWM 컨버터의 입력 전류 불평형 문제를 해결하기 위해 트윈 T 노치 필터를 설계하고 시스템에 적용하였다. 체어기로 입력되는 필터링 된 DC link 전압 정보를 이용하여 정상적인 q축 전압지령을 발생시켜 3상 입력전류의 불평형 문제를 해결 하였다.

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2011 0015584)

참고 문헌

- [1] M. Milanovic, E. Urlep, and J. Horvat "Low Power Three Phase to Single Phase Converter for Boat Application" UPEC Conf. pp. 628 632, Sept. 2006.
- [2] Pei Jing, Huang Dan, Jiang Qiyun "Optimal design on twin t notch filter in electromagnetic, exploration equipments" ICEICE Conf. pp. 1510 1515, April, 2011,