

# 단상 AC/DC PWM 변환기의 단위 역률 제어

강 동 우<sup>o</sup> 차 영 길 이 득 기 김 흥 근  
 경북대학교 전기공학과

## Unity Power Factor Control for A Single Phase AC/DC PWM Converter

Dong-Woo Kang<sup>o</sup> Young-Kil Cha Deuk-Kee Lee Heung-Geun Kim  
 Kyung-Pook National University

### Abstract

Recently, active power factor control for AC/DC converter has been required to replace for a conventional diode rectifier.

A voltage type AC/DC converter is widely used to obtain higher regulated DC voltage than input voltage with a unity power factor and a sinusoidal line current.

This paper describes several active power factor control method for AC/DC converter. The analysis of several active power factor control is given. The simulations for hysteresis control, peak current control, constant frequency control and average current mode control are represented and compared.

### 1. 서론

최근 역률과 입력 전압, 입력 전류의 고조파 성분에 대한 규제가 강화되면서 기존의 다이오드 정류기를 대체할 능동 역률 제어 AC/DC 변환기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1,2]

능동 역률 제어 전압형 AC/DC 변환기는 변환기 입력 전류의 기본파를 입력 전압과 동상으로 제어하면서 안정된 직류 링크 전압을 얻는 것을 목적으로 한다.

능동 역률 제어 AC/DC 변환기의 제어 기법으로는 가변 히스테리시스 제어, 일정 히스테리시스 제어, 불연속 전류 모드 제어, 일정 주파수 제어방식 등이 사용되고 있다. 히스테리시스 제어 방식은 부하 변동에 대한 속응성이 좋고 입력 전류의 왜곡이 작은 반면 정상상태에서 스위칭 주파수가 일정하지 않아 필터 설계가 용이하지 않은 단점이 있다.[3,4]

일정 주파수 제어 방식은 전류제어기를 사용하지 않고 전압 제어기만을 사용하는 방식과 전류제어기를 사용하여 전류제어기의 출력과 삼각파를 비교하여 스위칭 패턴을 결정하는 삼각파 비교 제어 방식이 있다. 전압제어기만을 이용하는 방식은 매 일정시간에 전류의 크기가 증가하는 방향으로 스위치를 동작시키고 전류가 기준치에 도달하면 스위치를 오프시켜 전압이 다이오드를 통해 직류링크에 공급되는 제어 방식이다. 삼각파 비교 제어 방식은 전류제어기의 출력신호인 제어신호와 삼각파의 크기를 비교하여 스위칭 한 주기 동안의 입력 전류의 평균값이 기준전류를 추종할 수 있도록 스위치를 온/오프하는 방식으로 연속 전류 모드 운전이 가능하고, 일정 주파수 스위칭을 달성할 수 있어 필터 설계가 용이한 장점이 있다.

본 논문은 승압형 단상 AC/DC 전 브리지 변환기의 능동 역률 제어 기법을 모드별로 분석하고 시뮬레이션을 통해 장단점을 비교하였다.

### 2. 단상 승압형 AC/DC 전 브리지 변환기

단상 승압형 AC/DC 전 브리지 변환기의 전력회로는 승압형 인덕터, 4개의 가제어 스위치와 역병렬 다이오드, 직류 링크 전압 안정용 커패시터로 구성되어 있다. 그림 1은 승압형 AC/DC 전 브리지 변환기의 전력회로이다.  $L_s$ 는 승압용 인덕터의 인덕턴스를 나타내며  $R_s$ 는 승압용 인덕터의 등가 직렬 저항을 나타낸다.

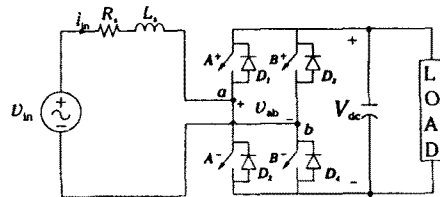


그림 1. AC/DC 전 브리지 변환기의 전력회로.

변환기의 전압방정식은 식(1)과 같다.

$$v_{in} = R_s i_{in} + v_L + v_{ab} \quad (1)$$

그림 2는 단위 역률 제어시 변환기의 벡터도로서 입력 전압  $v_{in}$ 을 순수한 정현파로 가정하고 입력 전류와 변환기 입력 전압  $v_{ab}$ , 인덕터 전압  $v_L$ 의 기본파 성분을 고려하였다.

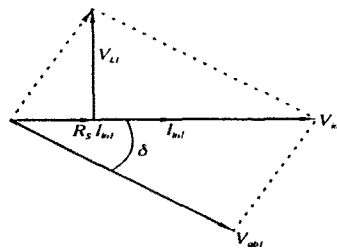


그림 2. 단위 역률 제어시 변환기 벡터도.

입력 전압과 변환기 입력 전압의 기본파 성분이 이루는 각  $\delta$ 를 제어하여 입력 전압과 입력 전류의 기본파 성분이 동상이 되는 단위 역률을 달성할 수 있다. 입력 전류의 기본파 성분이 입력전압보다 앞서는 전상일 경우  $\delta$ 를 크게 하고, 지상일 경우  $\delta$ 를 작게하여 입력전압과 입력전류의 기본파성분이 동상을 이루도록 한다.

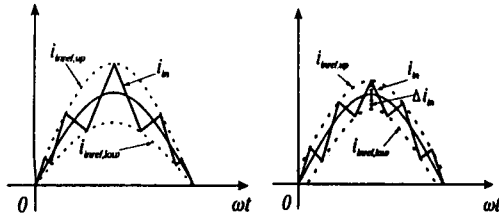
스위칭 방식에 따라 전류 증가 모드에서 입력 전압과 커패시터 전압을 이용하는 2-레벨 스위칭 방식과 입력 전압만을 이용하는 3-레벨 스위칭 방식으로 구분되는데 본 논문에서는 3-레벨 스위칭 방식의 히스테리시스 제어와 피크 전류 제어, 전류제어기를 사용하지 않는 일정 주파수 제어 방식에 대해 모드 해석하였으며, 삼각파 비교 제어 방식의 일정 주파수 제어에 대해서는 2-레벨 스위칭 제어 방식과 3-레벨 스위칭 방식에 대해 모드 분석하였다.

## 2.1. 히스테리시스 제어

입력 전류의 상한치와 하한치를 입력 전류의 기준치에 비례하게 설정하여 입력 전류가 설정된 밴드를 벗어나지 않도록 스위치를 온/오프하는 제어 방식이다.

그림 3은 히스테리시스 전류 제어시 반 주기 동안의 입력 전류와 입력 전류의 상한치 및 하한치를 나타내었다. (a)는 입력 전류의 기준치에 비례하여 밴드 폭을 변화시키는 가변 히스테리시스 전류 제어 방식이고 (b)는 일정 히스테리시스 제어 방식으로 제어 주기동안의 밴드 폭을 일정하게 하는 방식이다.

그림 4는 입력 전류의 기준치를 결정하기 위한 제어 블록도로서 직류 링크 전압의 기준치와 실제 전압의 오차를 전압제어기의 입력으로 한다. 전압제어기의 출력은 입력 전류 기준치의 크기가 되며 입력 전압과 동상이며 크기가 1인 단위 정현 함수를 곱해 입력 전류의 기준치를 발생시킨다.



(a) 가변 히스테리시스 제어. (b) 일정 히스테리시스 제어.

그림 3. 히스테리시스 전류 제어.

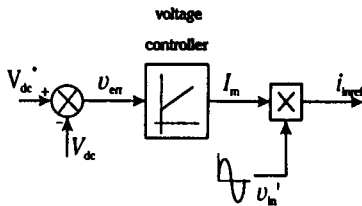


그림 4. 입력 전류 기준치 생성을 위한 제어 블록도.

전원 전압이 양인 반주기에 대해 전류의 증가를 위한 스위칭 패턴은 입력 전류가 하한치에 도달하면  $v_{ab}$ 는 단락되고  $D_1$ 과  $B'$  또는  $A$ 와  $D_4$ 가 도통되어 전류는 식(2)와 같이 증가하며 인덕터에 자계의 형태로 에너지가 축적된다. 이 때 커패시터는 부하로 방전하게 된다.

$$v_{in} = R_s i_{in} + v_L \quad (2)$$

그림 5는  $v_{ab}$ 가 단락 되었을 때의 스위치 도통 모드이다.

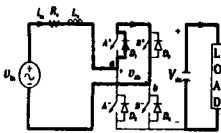


그림 5.  $v_{ab}$  단락시 모드.

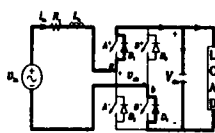


그림 6. 에너지 전달시 모드.

입력 전류가 상한치에 도달하면 스위치가 오프되어  $D_1$ 과  $D_4$ 가 도통되어 인덕터에 축적된 에너지가 직류링크로 공급되며 입력전류가 부하의 정격 전류 보다 큰 경우 커패시터는 충전된다. 변환기의 전압방정식은 식(3)과 같이 되어 입력 전류는 감소하게 된다.

$$v_{in} = R_s i_{in} + v_L + V_{dc} \quad (3)$$

그림 6은 다이오드를 통해 인덕터에 축적된 에너지가 직류 링크로 공급될 때의 스위치 도통 모드이다.

## 2.2. 불연속 전류 제어

입력 전류 기준치와 위상이 같고 크기가 2배되는 값을 전류의 상한치, 0를 하한치로 하여 입력 전류가 하한치 도달하면  $v_{ab}$ 를 단락시켜 인덕터에 에너지를 축적시키고 전류가 상한치에 도달하면 스위치를 오프시켜 인덕터에 축적된 에너지를 다이오드를 통해 직류 링크에 에너지를 전달하는 방식으로 스위치의 온/오프는 히스테리시스와 동일하다. 그러나 전류의 밴드 폭이 히스테리시스보다 크기 때문에 스위칭 주파수가 낮아지고 전류가 불연속이 되어 직류 링크 전압의 맥동이 커지는 단점이 있다.

그림 7은 불연속 전류 제어시 반주기 동안의 입력 전류의 기준치와 실제치로서 입력 전류는 불연속이 된다.

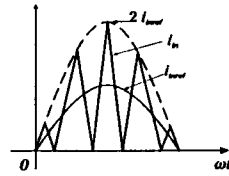


그림 7. 불연속 전류 제어.

## 2.3. 일정 주파수 제어

### 2.3.1. 전류 제어기를 사용하지 않는 일정 주파수 제어

매 일정 주기마다 전류가 증가하는 방향으로 스위치를 온시키고 입력 전류가 기준치에 도달하면 스위치를 오프시켜 에너지를 직류 링크로 전달하는 제어 방식으로 스위치의 온/오프는 히스테리시스와 동일하나 일정한 스위칭 주파수로 동작되기 때문에 필터설계가 용이한 장점이 있다.

그림 8은 전류제어기를 사용하지 않은 일정 주파수 제어시 반 주기 동안의 입력 전류와 기준치를 보여주고 있다.

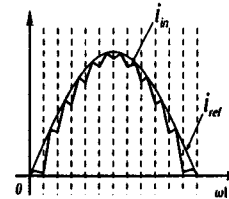


그림 8. 전류제어기를 사용하지 않은 일정 주파수 제어.

### 2.3.2. 삼각파 비교 제어 방식의 일정 주파수 제어

스위칭 한 주기 동안의 실제 입력 전류의 평균이 기준치를 추종하도록 하는 제어 방식으로 전압제어기와 전류제어기를 사용한다.

그림 9는 삼각파 비교 제어 방식을 이용한 일정 주파수 제어 블록도로서 직류 링크 전압의 기준치와 실제 전압의 오차를 전압제어기 입력으로 하고, 기준 입력 전류의 크기가 되는 전압제어기의 출력에 입력 전압과 동상이며 크기가 1인 단위 정현 함수를 곱해 입력 전류의 기준치로 한다. 이 입력 전류의

기준치와 실제 입력 전류의 오차를 전류제어의 입력으로 하여 전류제어의 출력과 삼각파의 크기를 비교하여 스위칭 신호를 발생시킨다.

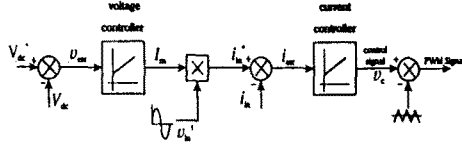


그림 9. 삼각파 비교 방식의 일정 주파수 제어 블록도.

스위칭 패턴에 따라서 변환기의 입력전압  $v_{ab}$ 에  $\pm V_{dc}$ 가 나타나는 2-레벨 스위칭과  $\pm V_{dc}$ 와 0가 나타나는 3-레벨 스위칭으로 구분된다. 2-레벨 스위칭은 전류 증가 모드에서 직류링크 전압을 이용하기 때문에 전류의 속응성이 좋으나 입력 전류에 고조파 성분이 많이 함유되는 단점이 있고 스위칭 주파수는 삼각파 주파수와 같다. 3-레벨 스위칭은 삼각파 주파수보다 높은 스위칭 주파수를 가지므로 승압용 인덕터의 크기를 줄일 수 있는 장점이 있다.[5]

### 2.3.2.1. 2-레벨 스위칭 삼각파 비교 제어

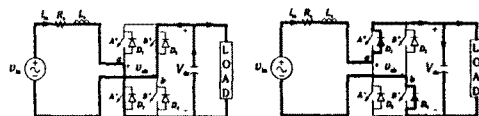
전류제어의 출력인 제어신호가 삼각파보다 큰 경우 A와 B'에 온 신호를 인가하고 제어 신호가 삼각파보다 작은 경우 A'와 B에 온 신호를 인가한다. 입력 전압과 입력 전류가 동상인 경우에 대해 모드 분석하였다.

A와 B'에 온 신호가 인가되면  $v_{ab}$ 는  $-V_{dc}$ 로 된다. 변환기의 전압방정식은 식(4)와 같이 되어 입력 전류는 증가하게 되며 커패시터는 방전하게 된다. A'와 B에 온 신호가 인가되면  $v_{ab}$ 는  $V_{dc}$ 가 된다. 변환기의 전압방정식은 식(3)과 같이 되어 입력 전류는 감소하게 되고 입력 전류가 부하전류의 정격치보다 큰 경우 커패시터는 충전하게 된다.

$$v_{in} = R_s i_{in} + v_L - V_{dc} \quad (4)$$

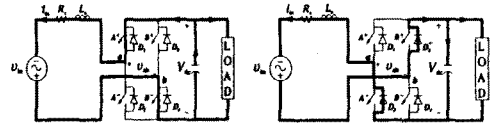
입력 전압과 입력 전류가 음인 경우 A'와 B에 온 신호가 인가되면  $v_{ab}$ 는  $V_{dc}$ 가 된다. 변환기의 전압방정식은 식(3)과 같이 되어 입력 전류의 크기는 음의 방향으로 증가하고 커패시터는 방전하게 된다. A'와 B'에 온 신호가 인가되면  $v_{ab}$ 는  $-V_{dc}$ 가 된다. 변환기의 전압방정식은 식(4)와 같이 되어 입력 전류의 크기는 음의 방향으로 감소하게 되고 입력 전류가 부하전류의 정격치보다 큰 경우 커패시터는 충전하게 된다.

그림 10(a)는 입력 전류가 양인 경우 A와 B'에 온 신호가 인가된 경우로 입력 전류의 크기가 증가하고 커패시터가 방전하는 모드이다. (b)는 입력 전류가 양인 경우 A'와 B에 온 신호가 인가된 경우로 전류의 방향이 양이므로 스위치 A'와 B가 도통되지 않고 역병렬 다이오드  $D_1$ 과  $D_4$ 가 도통되어 직류 링크에 전력을 전달하는 모드이다. (c)는 입력 전류가 음인 경우 A와 B에 온 신호가 인가된 경우로 입력 전류의 크기가 음의 방향으로 증가하고 커패시터는 방전하는 모드이다. (d)는 입력 전류가 음인 경우 A'와 B'에 온 신호가 인가된 경우로 전류의 방향이 음이므로 스위치 A'와 B'가 도통되지 않고 역병렬 다이오드  $D_2$ 와  $D_3$ 가 도통되어 직류 링크에 전력이 전달되는 모드이다.



(a) 입력 전류가 양인 경우 A와 B'에 온 신호 인가 모드.

(b) 입력 전류가 양인 경우 A'와 B에 온 신호 인가 모드.



(c) 입력 전류가 음인 경우 A'와 B에 온 신호 인가 모드.

(d) 입력 전류가 음인 경우 A와 B'에 온 신호 인가 모드.

그림 10. 2-레벨 스위칭 제어 모드.

그림 11은 2-레벨 스위칭 제어시의 변환기 입력 전압  $v_{ab}$ 와 변환기 입력 전압의 기본파 성분을 나타내며 변환기 입력 전압의 기본파 성분은 제어신호와 동상이 된다.

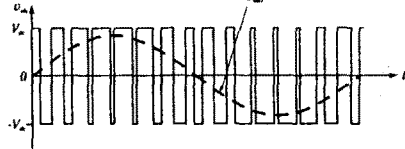


그림 11. 2-레벨 스위칭에 의한 변환기 입력 전압, 변환기 입력 전압 기본파.

### 2.3.2.2. 3-레벨 스위칭 삼각파 비교 제어

제어신호가 삼각파보다 큰 구간에서는 B', 작은 구간에서는 B'에 온 신호를 인가하며 제어신호를 반전시켜 삼각파보다 큰 구간에서는 A', 작은 구간에서는 A에 온 신호를 인가하는 방식으로 제어신호가 양인 구간에서 변환기 입력 전압은 0와  $V_{dc}$ 가 나타나며 음인 구간에서는 0와  $-V_{dc}$ 가 나타나게 된다. 그림 12는 3-레벨 스위칭시 변환기 입력 전압과 변환기 입력 전압의 기본파 성분을 나타내며 변환기 입력 전압의 기본파 성분은 제어신호와 동상이 된다.

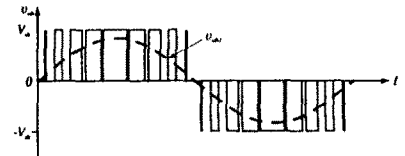


그림 12. 3-레벨 스위칭에 의한 변환기 입력 전압, 변환기 입력 전압 기본파.

그림 13은 입력 전압과 입력 전류가 동상으로 제어될 때의 모드이다. (a)는 입력 전압과 입력 전류가 양이고 변환기 양단 전압  $v_{ab}$ 가  $-V_{dc}$ 인 경우로 변환기의 전압방정식은 식(4)와 같이 되어 입력 전류는 급격히 증가하게 되고 커패시터는 방전하게 된다. (b)는 입력 전압과 입력 전류가 양이고  $v_{ab}$ 가 단락된 경우로 입력 전류는 증가하고 커패시터는 방전하는 모드이다. (c)는 입력 전압과 입력 전류가 양이고  $v_{ab}$ 가  $V_{dc}$ 인 경우로 인덕터에 축적되었던 에너지가 직류 링크로 전달되는 모드이다. (d)는 입력 전압과 입력 전류가 음이고  $v_{ab}$ 가  $V_{dc}$ 인 구간으로 변환기의 전압방정식은 식(3)과 같이 되어 전류는 음의 방향으로 급격히 증가하게 되며 커패시터는 방전하는 모드이다. (e)는 입력 전압과 입력 전류가 음이고  $v_{ab}$ 가 단락된 경우로 변환기의 전압방정식이 식(2)와 같이 되어 입력 전류는 음의 방향으로 증가하며 커패시터는 방전하는 모드이다. (f)는 입력 전압과 입력 전류가 음이고  $v_{ab}$ 가  $-V_{dc}$ 인 구간으로 인덕터에 축적된 에너지를 다이오드를 통해 직류 링크로 전달되는 모드로 전류의 크기는 감소하고 입력 전류가 정격 부하 전류보다 큰 경우 커패시터는 충전된다.[6]

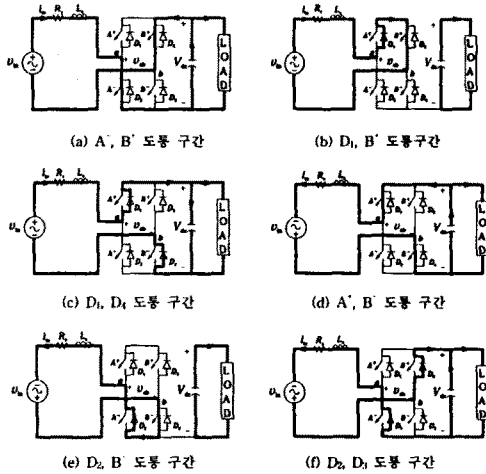


그림 13. 3-레벨 스위칭 제어 모드.

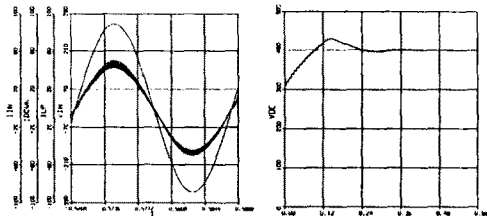
### 3. 시뮬레이션

시뮬레이션에 사용한 파라미터는 표 1과 같으며 제어기의 이득은 모두 동일하게 하였다. 단, 불연속 전류 제어시는 송압용 인덕터의 인덕턴스는 0.5 [mH]로 하여 한 주기 동안의 스위칭 주파수를 증가하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터.

입력 전압	220 [V rms]
$L_s$	2 [mH]
$R_s$	0.5 [ $\Omega$ ]
$R_{load}$	24 [ $\Omega$ ]
$C_{dc}$	30,000 [ $\mu$ H]
커패시터 초기 충전 전압	311 [V]
직류 링크 전압	400 [V]
삼각파 주파수	5 [kHz]

그림 14(a)는 정상상태에서 가변 히스테리시스 제어시의 입력 전압, 입력 전류, 전류의 상한치, 하한치의 파형으로 입력 전압과 전류가 동상이 되며 스위칭 주파수가 일정하지 않음을 알 수 있다. (b)는 직류 링크 전압 파형으로 과도 상태를 거친 후 기준치를 추종하고 있음을 알 수 있다. 전류의 상한치와 하한치는 입력 전류 기준치의  $\pm 15\%$ 로 하였다.

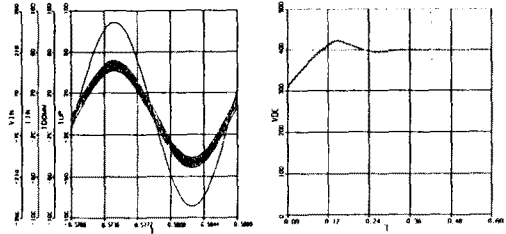


(a) 정상상태에서 입력 전압, 입력 전류, 전류 상한치, 하한치 파형 (b) 직류 링크 전압 파형

그림 14. 가변 히스테리시스 전류 제어 파형.

그림 15(a)는 일정 히스테리시스 전류 제어시 정상상태에서의 입력 전압, 입력 전류, 전류의 상한치, 하한치 파형으로 입

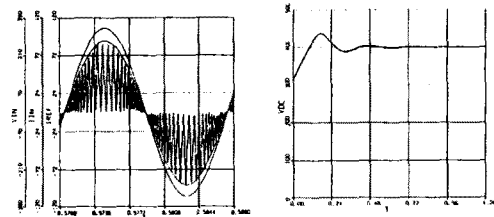
력 전압과 전류가 동상으로 제어되며 입력 전압의 크기에 따라 스위칭이 일정하지 않음을 알 수 있다. (b)는 일정 히스테리시스 전류 제어시 직류 링크 전압 파형으로 과도 상태를 거쳐 직류 링크 전압의 기준치로 제어됨을 알 수 있다. 입력 전류의 상한치와 하한치는 입력 전류 기준치의  $\pm 5$  [A]로 하였다.



(a) 정상상태에서 입력 전압, 입력 전류, 전류 상한치, 하한치 파형 (b) 직류 링크 전압 파형

그림 15. 일정 히스테리시스 전류 제어 파형.

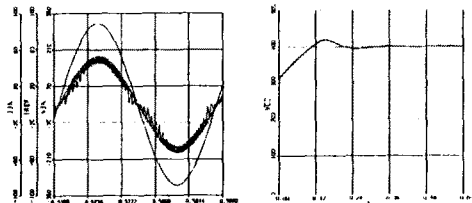
그림 16(a)는 불연속 전류 제어시 정상상태에서 입력 전압, 입력 전류, 입력 전류 기준치에 대한 파형으로 입력 전류가 불연속이 됨을 알 수 있다. (b)는 불연속 전류 제어시의 직류 링크 전압 파형으로 정상상태 도달 시간이 다른 제어 방법에 비해 길어지는 것을 알 수 있다.



(a) 정상상태에서 입력 전압, 입력 전류, 입력 전류 상한치 파형 (b) 직류 링크 전압 파형

그림 16. 불연속 전류 제어 파형.

그림 17(a)는 전류제어기를 사용하지 않는 일정 주파수 제어시 정상상태에서의 입력 전압, 입력 전류, 입력 전류 기준치의 파형으로서 입력 전류가 일정 주파수를 가지면서 입력 전압과 동상이 됨을 알 수 있다. (b)는 전류제어기를 사용하지 않는 일정 주파수 제어시의 직류 링크 전압 파형으로 역시 과도 상태를 지나 기준치를 추종하고 있음을 알 수 있다.

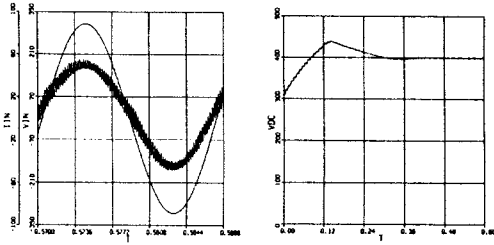


(a) 정상상태에서 입력 전압, 입력 전류, 입력 전류 기준치 파형 (b) 직류 링크 전압 파형

그림 17. 전류제어기 없는 일정 주파수 제어 파형.

그림 18(a)는 삼각파 비교 일정 주파수 제어 방식 중 2-레벨

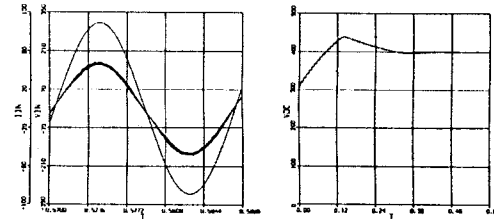
스위칭 제어시의 입력 전압과 입력 전류 파형으로 정상상태에서 삼각파 주파수와 같은 일정 주파수로 입력 전류가 제어되고 있다. (b)는 삼각파 비교 일정 주파수 제어 방식 중 2-레벨 스위칭 제어시 직류 링크 전압 파형으로 정상상태에서 기준치를 추종하고 있다.



(a) 정상상태에서 입력 전압, 전류 파형 (b) 직류 링크 전압 파형

그림 18. 2-레벨 스위칭 제어시 파형.

그림 19(a)는 삼각파 비교 일정 주파수 제어 방식 중 3-레벨 스위칭 제어시 정상상태에서의 입력 전압, 입력 전류 파형으로 입력 전류와 입력 전압이 동상으로 제어되면서 2-레벨 스위칭 제어시보다 입력 전류의 리플이 작아짐을 알 수 있다. (b)는 삼각파 비교 일정 주파수 제어 방식 중 평균 전류 제어 방식 중 3-레벨 스위칭 제어시 직류 링크 전압으로서 정상상태에서 기준치로 제어되고 있다.



(a) 정상상태에서 입력 전압, 전류 파형 (b) 직류 링크 전압 파형

그림 19. 3-레벨 스위칭 제어시 파형.

그림 20 부터 그림 22 까지의 시뮬레이션 파형은 삼각파 비교 일정 주파수 제어 방식 중 3-레벨 스위칭 방식을 적용했을 때의 파형이다.

그림 20은 직류 링크 전압의 기준치를 400V에서 430V로 스텝 변화시켰을 때의 직류 링크 전압의 응답 특성으로 직류 링크 전압이 과도상태를 거친 후 기준치로 제어되고 있다.

그림 21은 부하를 24 [Ω]에서 34 [Ω]로 정격치의 70%로 스텝 변화되었을 때의 직류 링크 전압 응답 특성으로 과도상태를 거친후 기준치로 수렴함을 알 수 있다.

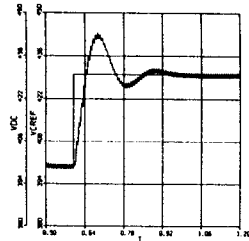


그림 20. 직류 링크 전압 기준치 스텝 변화시 직류 링크 전압 응답 특성.

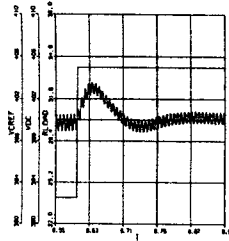
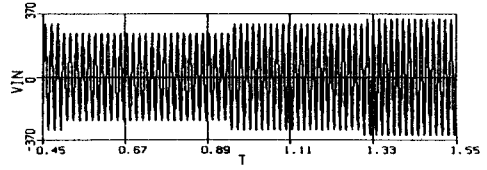
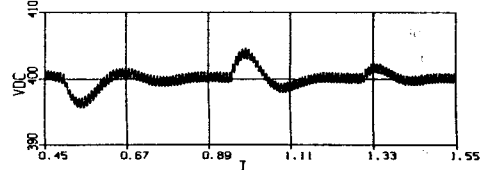


그림 21. 부하 변동시 직류 링크 전압 응답 특성.

그림 22는 입력 전압의 크기가 변할 때의 직류 링크 전압 응답 특성을 알아보기 위한 시뮬레이션으로 (a)는 입력 전압, (b)는 직류 링크 전압 파형으로 입력 전압의 크기가 변해도 변환기의 출력 전압은 기준치로 제어되고 있다.



(a) 입력 전압



(b) 직류 링크 전압

그림 22. 입력 전압 크기 변동시 직류 링크 전압 응답 특성.

#### 4. 결론

본 논문에서는 승압형 AC/DC 전 브리지 변환기의 능동 역률 제어 기법들을 해석하여 시뮬레이션을 행하였다.

시뮬레이션 결과 히스테리시스 제어 방식은 정상상태에서 스위칭 주파수가 일정하지 않음을 알 수 있었으며 불연속 전류 제어는 입력 전류의 리플이 커서 직류 링크 전압의 맥동이 커지며 입력 전류가 불연속이 됨을 알 수 있었다. 전류제어기를 사용하지 않는 일정 주파수 제어 방식으로 입력 전류를 입력 전압과 동상으로 제어하면서 안정된 직류 링크 전압을 얻을 수 있음을 확인하였으며, 삼각파 비교 일정 주파수 제어 방식 중 3-레벨 스위칭 방식은 2-레벨 스위칭 방식과 비교하여 승압용 인덕터와 삼각파 주파수가 같을 때 유효 스위칭 주파수가 증가하게 되고 입력 전류의 리플이 감소됨을 확인하였다.

또한 부하 변화, 직류 링크 전압의 기준치 변화, 입력 전압의 크기 변화시에도 직류 링크 전압은 기준치를 잘 추종함을 알 수 있었다.

#### 5. 참고문헌

- [1] 이 인호, 김 성환, 유 지훈, 박 귀태, "전류 제어 루프에 보상을 행하지 않는 능동 역률 제어 AC/DC 컨버터의 제어 기 설계", 대한전기학회 논문집 45-2-6, 1996, pp. 216~223
- [2] Ned Mohan, Tore M. Undeland and William P. Robbins, "Power Electronics Converters, Applications and Design", 2nd Edition, 1995
- [3] Omar Stih and Boon-Teck Ooi, "A Single-Phase Controlled-Current PWM Rectifier", IEEE trans. on Power Electronics, Vol. 3, No. 4, October 1988, pp. 453~459
- [4] F. J. T. Boys and A. W. Green, BE, "Current-Forced Single-phase Reversal Rectifier", IEE Proc., Vol. 136, Pt. B, No. 5, Sep. 1989, pp. 205~211
- [5] L. J. J. Offringa and W. A. G. de Jager, "Modelling and Control of a 4-Quadrant Pulse Modulated Line-Side Converter for 25kV, 50Hz-Supplied Traction Equipment", EPE proc., Firenze 1991, pp. 1-105~1-110
- [6] 김 윤호, 송 치영, "AC/DC GTO 컨버터의 제어방식 및 고조파 분석에 관한 연구", 대한전기학회 논문집, 1994, pp. 1093~1102