

단상 AC/AC 컨버터에 관한 연구

배 상 준 · 정 타 관
여주대학

A study on the single phase AC/AC converter

Sang-June Bae · Ta-Kwan Chung
Yeo juo Institute of Technology

Abstract - In this paper, single-phase PWM AC to AC converter that operates with unit power factor and sinusoidal input line currents is presented. The output voltage of this converter is able to be obtain step up voltage as well as step down voltage, because the converter applies to operating method of buck-boost converter. The control of this converter is performed with PI control method. By using this control method low lipples in the output current and the voltage as well as fast dynamic response are achieved.

1. 서 론

최근에 스위칭 소자를 사용한 전력 변환 장치의 사용이 증가함에 따라 이들로 부터 발생하는 많은 고조파 성분이 전원 전압의 파형 자체를 왜곡시키는 경우가 많다.

의료용 기기나 계측용 기기 등과 같이 정밀을 요하는 전기기계 기구는 이러한 불안정한 전원으로 인하여 발생할 수 있는 오동작에 의한 사고를 예방하기 위해서 안정된 전원을 필요로 하고 있다. 그러나 이 목적으로 사용되어온 기존의 장치는 전기기계적인 구조로된 자동 전압 조정기가 대부분인데, 이는 전압의 크기만 조정할 뿐이지 전압 파형 자체는 개선할 수가 없다. 또한 이런 기계적인 기구는 장치의 대형화를 초래하여 가격 상승의 요인이 되고 있다[1]. 스위칭 소자를 사용한 전압 조정기도 가끔 사용되고 있지만 이는 AC에서 DC로 그리고 다시 DC를 AC로 변환하는 과정을 거치고 있으므로 회로 구성 자체가 복잡해질 뿐만 아니라 직접적인 AC/AC 변환에 비해 소자에서 발생하는 전력 손실도 커서 전체적인 효율 저하의 원인이 된다 [1][2].

따라서 본 연구에서는 전력용 스위칭 소자를 사용한 단상 AC/AC 컨버터를 제안하고 있다. 제안하고 있는 컨버터는 기본적으로 DC/DC 변환기의 일종인 buck-boost 컨버터의 동작 원리를 적용하고 있는데, 이 컨버터는 요구되는 출력 전압과 검출된 실제 전압 사이의 오차를 귀환시켜 PI 제어함으로써 부하 변화나 입력 전압의 변화에 관계없이 항상 요구되는 전압을 유지할 수 있고, 적절한 입력 필터를 사용하므로써 입력 전류의 파형도 정현파에 가깝고 입력 역률도 거의 1로 유지할 수 있다는 것을 시뮬레이션을 통해 나타내고 있다.

2. 제안 컨버터의 동작 원리

PWM 스위칭 전압 조정기인 DC/DC buck-boost 컨버터의 출력 전압은 듀티비를 변화시켜서 승압된 전압이나 강압된 전압을 얻을 수 있는데, 이런 동작 원리를 AC 회로에 적용한 단상 승·강압 AC/AC 컨버터 회로를 제안하고 이를 그림 1에 나타내고 있다.

제안하는 회로는 AC 전원으로 동작하므로 DC와는 달리 전원 전압의 크기가 시간에 따라 달라지지만, 회로의 각 스

위치의 동작 주파수를 전원 전압의 주파수에 비해 매우 높은 주파수로 동작시킴으로써 스위칭 동작 구간 내에서 전원 전압의 변화는 무시할 수 있게 된다. 따라서 각 스위치의 스위칭 시 동작은 DC/DC buck-boost 컨버터와 동일하게 해석될 수 있는데, 이 회로의 전체적인 동작은 입력 전압의 극성에 따라 동작되는 스위칭 소자의 동작에 따라 표 1에 나타낸바와 같은 네 개의 모드로서 설명할 수 있다.

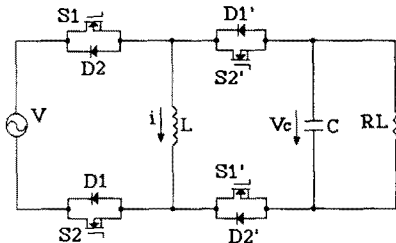


그림 1 단상 승·강압 AC/AC 컨버터 회로도

표 1 스위칭 소자의 동작에 따른 회로의 동작 모드

모드 스위칭	모드 1	모드 2	모드 3	모드 4
S1	ON	OFF	OFF	OFF
S1'	OFF	ON	OFF	OFF
S2	OFF	OFF	ON	OFF
S2'	OFF	OFF	OFF	ON
D1	ON	OFF	OFF	OFF
D1'	OFF	ON	OFF	OFF
D2	OFF	OFF	ON	OFF
D2'	OFF	OFF	OFF	ON

회로의 동작 모드 1과 모드 2는 AC 전원 전압이 정(+)으로 되는 반 사이클 동안의 동작이며, 모드 1은 전원으로부터 인덕터 L에 에너지가 축적되고 있는 상태이고, 모드 2는 모드 1에서 인덕터 L에 축적되었던 에너지가 부하로 방출되고 있는 상태이다. 그리고 모드 3과 모드 4는 AC 전원 전압이 부(-)로 되는 반 사이클 동안의 동작으로서 각각 모드 1과 모드 2의 동작과 동일하게 된다.

모드 1과 모드 3에 대한 상태 방정식과 모드 2와 모드 4에 대한 상태 방정식을 각각 식 (1)과 (2)에 나타내고

있다.

식 (1)과 (2)로 나타내어지는 네 개의 모드를 AC 전원 전압의 변화에 따라 적당한 크기의 듀티비로 주기적으로 천이 시킴으로써 승압이나 강압된 교류 출력 전압을 얻을 수 있게 되는데, 그림 2에 수치 해석적인 방법으로 시뮬레이션한 입력 전류와 출력 전압의 파형을 나타내고 있고, 그림 3에 입력 전류의 고조파 스펙트럼을 나타내고 있다.

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} = \frac{1}{L} v \\ \frac{dv_c}{dt} = -\frac{1}{cR_L} v_c \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} = -\frac{1}{L} v_c \\ \frac{dv_c}{dt} = \frac{1}{c} i - \frac{1}{cR_L} v_c \end{cases} \quad (2)$$

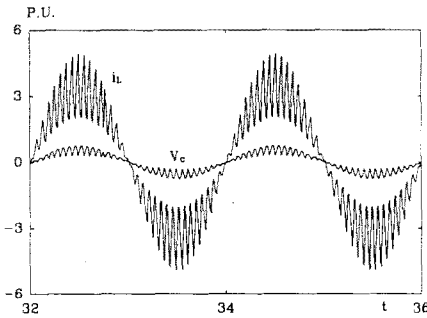


그림 2 단상 AC-AC 컨버터의 입력 전류와 출력 전압 파형

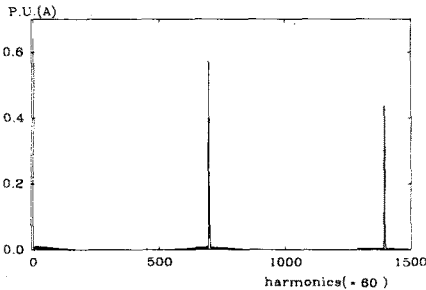


그림 3 입력 전류의 고조파 스펙트럼(필터가 없는 경우)

그림 2와 그림 3은 수치 해석의 편의상 모든 값들을 기준 값에 대한 비로서 표현하고 있으며 이 후의 모든 값들도 동일한 방법으로 나타내고 있다.

이들 그림에서 보는 바와 같이 입력 선전류와 출력 전압 파형은 스위칭에 의한 고조파 성분이 많이 포함되어 있으므로, 입력 중합 역률이 저하하게 되고 또한 파형의 왜형률도 증가할뿐만 아니라 인접한 다른 수용가에게도 영향을 미치게 된다. 따라서 적절한 필터 회로를 사용하여 입력단 전류와 출력단 전압의 파형을 정형하는 것이 필요하다는 것을 알 수 있다.

3. 입-출력 필터 회로

일반적으로 전력 변환 장치를 PWM 방법으로 제어하는 경우에는 저차 고조파가 제거될 수 있으므로(3), 본 연구

에서는 입력단과 출력단의 필터로서 회로 요소의 수가 적은 2차 LC 저역 통과 필터 회로를 적용하고 있다.

입력 전원과 LC 필터를 포함하는 전체 회로도를 그림 4에 나타내고 있으며, 각 모드에 따른 회로의 상태 방정식은 스위칭 함수를 사용해서 표현하면 식 (3)과 같다.

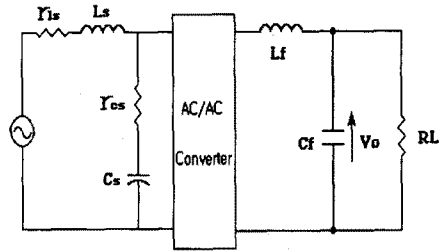


그림 4 필터를 포함한 전체 회로도

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = -\frac{S'}{L} v_c + \frac{S}{L} v_i \\ \frac{di_f}{dt} = \frac{1}{L} v_c - \frac{1}{L_f} v_o \\ \frac{dv_c}{dt} = \frac{S'}{C} i - \frac{1}{C_f} i_f \\ \frac{dv_o}{dt} = \frac{1}{L_f} i_f - \frac{1}{C_f R_L} v_o \end{cases} \quad (3)$$

여기서 S와 S'는 각각 스위치 S1 또는 S2와 S1' 또는 S2'의 스위칭 함수로서 on인 경우는 1, off인 경우는 0으로 된다.

정상 상태로 동작 중인 그림 4의 AC/AC 컨버터 회로의 입력 전류에 대한 고조파 스펙트럼 분석을 그림 5에 나타내고 있다.

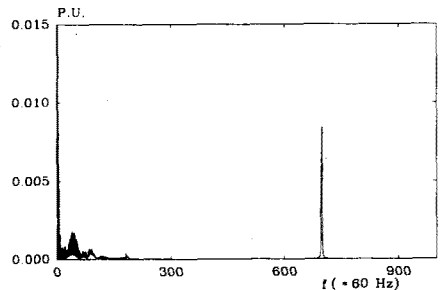


그림 5 입력 전류의 고조파 스펙트럼(필터가 있는 경우)

그림 5에서 보는 바와 같이 필터가 있는 경우에 입력 전류의 고조파 성분은 스위칭 주파수인 700(42 [KHz]) 대역에서 약간 나타나고 있지만 매우 적은 값이라는 것을 알 수 있으며, 입력 선전류의 왜형률은 5.3. [%]로서 거의 정현파에 가까웠다.

4. AC/AC 컨버터의 출력 전압 제어

그림 4의 회로에서 부하가 변화하거나 입력 전압이 변화하는 경우에 이에 대응되는 듀티비를 적절히 조정하여 출력 전압을 기준 전압으로 일정하게 유지하도록 하기 위해 구성한 제어 계통도를 그림 6에 나타내고 있다.

컨버터의 제어 입력은 스위치의 듀티비 d이며, 이는 요

구되는 출력 전압(기준 전압)과 입력 전압에 의해 결정되는 d_r 과 그리고 기준 전압과 검출된 출력 전압 사이의 오차를 PI 제어한 값으로 되는 d_e 의 합이 되도록 하였다. 이렇게 제어함으로써 부하 변화나 입력 전압의 변화와 같은 파라메타 변화에 강한 특성을 가질 수 있다.

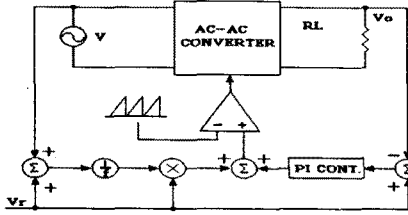


그림 6 AC/AC 컨버터의 제어 계통도

d_r 은 식 (4)로 계산되고, d_e 는 식 (5)로 되어 제어 입력 d 는 식 (6)으로 표현된다.

$$d_r = \frac{v_r}{v + v_r} \quad (4)$$

$$d_e = k_p(v_r - v_o) + k_i \int (v_r - v_o) dt \quad (5)$$

$$d = d_r + d_e \quad (6)$$

여기서 k_p 는 비례 계수, k_i 는 적분 계수, v_r 은 기준 전압, v_o 는 출력 전압을 나타내고 있다.

그림 6의 제어 계통으로 구동되는 AC/AC 컨버터에 대한 동작 특성을 수치 해석적인 방법으로 시뮬레이션한 결과를 그림 7과 그림 8, 그림 9에 나타내고 있다.

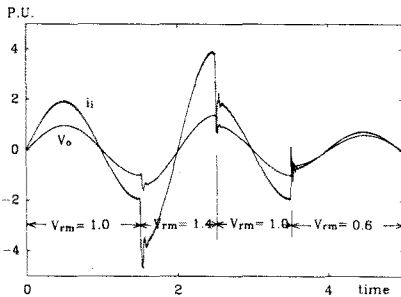


그림 7 기준 전압 변화에 따른 다이내믹 응답 특성

그림 7은 기준 전압을 1에서 1.4로 그리고 다시 1로 다시 0.6으로 변화시킨 경우의 입력 전류 및 출력 전압의 파형을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 출력 전압은 기준 전압과 거의 일치하여 추종하고 있고, 입력 전류의 파형도 거의 정현파에 가깝고 위상각도 거의 0으로 나타나고 있다.

그림 8은 입력 전압을 1에서 1.4로 변화시키고 이어서 1, 0.6으로 변화시킨 경우의 출력 전압과 입력 전류의 파형을 나타내고 있다. 제안된 컨버터는 승압 동작 영역이나 강압 동작 영역에서 안정된 동작을 수행하고 있고, 승압 동작이나 강압 동작의 영역 천이 시에도 과도 상태 지속 시간이 매우 짧다. 그리고 입력 선전류의 파형과 역률 및 출력 전압의 크기에는 거의 변화가 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다.

그림 9는 부하 변화에 따른 다이내믹 응답 특성을 나타내고 있는데, 부하가 변화하더라도 출력 전압의 파형과 크기는 거의 변화되지 않고 일정하게 유지되고 있으며, 입력

전류는 부하에 대응되는 크기를 공급하면서 파형과 역률은 그대로 유지되고 있다는 것을 알 수 있다.

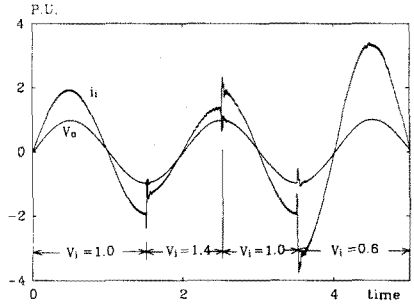


그림 8 입력 전압 변화에 따른 다이내믹 응답

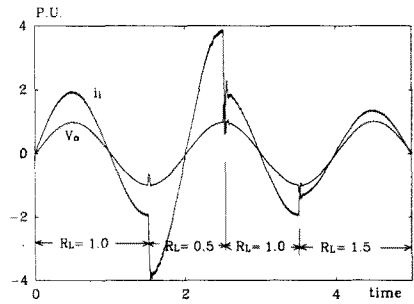


그림 9 부하 변화에 따른 다이내믹 응답

5. 결론

본 연구에서는 단상 승·강압 AC/AC 컨버터를 제안하고 그의 동작 원리와 제어 방법에 관해 나타내었다. 제안된 컨버터는 일정한 스위칭 주파수로 동작하며 정상 상태로 동작 중인 입력 선전류의 왜형률은 5.3 [%]로서 거의 정현파에 가깝고, 그의 위상도 입력 전압과 일치하고 있어서 역률이 거의 1로 동작하고 있다. 출력 전압도 거의 정현파 기준 전압을 그대로 유지하고 있으며, 부하가 변화하는 경우나 입력 전압이 변화하는 경우에도 오버슈트 없이 기준 전압을 잘 추종하고 있어서 다이내믹 동작 특성도 양호하다는 것을 알 수 있었다.

따라서 이후로 실험적인 고찰을 거치면 실제 계통에 잘 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고 문헌

- (1) Luigi Malesani, Leopoldo Rossetto, Paolo Tenti and Paolo Tomasin, "AC/DC/AC PWM Converter with Reduced Energy Storage in the DC Link", IEEE Trans. on Ind. Appl., vol.31, No.2, March/April 1995.
- (2) X. F. Zhuang, "THE CONTROL THEORY AND IMPLEMENTATION OF AC-AC MATRIX CONVERTER", IPEMC'94 BEIJING, 1994.
- (3) Navid R.Zargari, Geza Joos and Phoivos D.Ziogas, "Input Filter Design for PWM Current-Source Rectifiers", IEEE Trans. on Ind. Appl., vol.30, No.6, pp.1573-1579, Nov./Dec. 1994.