

단상 AC/AC 변환을 위한 스위칭 전압 조정기

⁰배 영호^{*} · 백종현^{**} · 홍성태^{**} · 배상준^{***} · 권순걸^{****}

경일대학교^{*} · 영진전문대학^{**} · 여주대학^{***} · 경남대학교^{****}

Switching voltage regulator for single phase AC/AC conversion

(Young-Ho Bae^{*} · Jong-hyun Baek^{**} · Sung-Tae Hong^{**} · Sang-June Bae^{***} · Soon-Kurl Kwon^{****})

Kyungil Univ. · Yeungjin Junior College
· Yejoon College · Kyunnam Univ.

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 current control of this converter is based on the predicted current control method with fixed switching frequency and the line currents track to reference currents within one sampling time interval.

1. 서론

일반적으로 전압 조정의 목적으로 사용되어 온 기존의 장치는 전기 기계적인 구조로된 자동 전압 조정기로서, 장치의 대형화를 초래하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 스위칭 소자를 사용한 인버터로 전압 조정이 가능하지만 AC/DC 와 DC/AC 변환 과정을 거쳐야 하기 때문에 회로 구성 자체가 복잡해질 뿐만아니라 직접적인 AC/AC 변환에 비해 소자 자체에서 발생하는 전력 손실도 커서 전체적인 효율이 저하된다.^{[1][2][3]}

따라서 본 연구에서는 전력용 스위칭 소자를 사용한 단상 AC/AC 변환기를 제안하고 있다. 제안하고 있는 변환기는 스위칭 전압 조정기를 사용한 전력 변환 장치로서 기본적으로 DC/DC 변환기의 일종인 buck-boost 컨버터의 동작 원리를 적용하고 있다.^{[4][5]} 제안하는 전압 조정기는 요구되는 출력 전압과 검출된 실제 전압 사이의 오차를 귀환시켜 제어함으로써 부하나 입력 전압의 변화에 관계없이 항상 요구되는 전압을 유지할 수 있고, 적절한 입력 필터를 사용함으로써 입력 전류의 파형도 정현파에 가깝고 입력 역률도 거의 1로 된다.

2. PWM 스위칭 전압 조정기의 동작 원리

본 연구에서 제안하고 있는 PWM 스위칭 전압 조정기는 그림 1 에 나타낸 DC/DC buck-boost 컨버터의 동작 원리를 이용하고 있다.

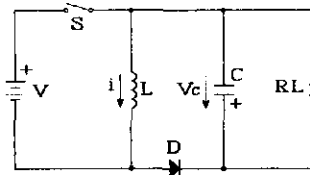


그림 1 승·강압 DC-DC 컨버터
Fig.1 Buck-boost DC-DC converter

그림 1의 컨버터는 스위치 S 가 on 되는 경우에는 전압으로부터 인덕터 L 에 에너지가 저장되고 S 가 off 되는 경우에는 인덕터에 저장되었던 에너지가 부하로 방출하게 되므로 스위치 S 의 on/off 의 비에 따라 출력 전압을 조절할 수 있다. 본 연구에서는 이런 동작 원리를 단상 AC 회로에 적용한 단상 승·강압 AC/AC 컨버터 회로를 제안하고 이를 그림 2 에 나타내고 있다.

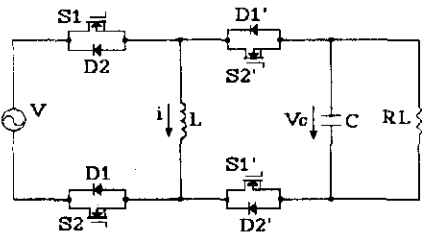


그림 2 단상 승·강압 AC/AC 컨버터 회로
Fig.2 Single phase AC/AC converter with step up and step down

제안 회로의 스위치 동작 주파수는 전원 전압의 주파수에 비해 매우 높은 주파수로 동작시키므로써 스위칭 동작 구간 내에서 전원 전압의 변화는 무시할 수 있게 된다. 따라서 각각의 스위칭 시의 동작은 그림 1의 buck-boost 컨버터와 동일하게 해석될 수 있는데, 이 회로의 전체적인 동작은 입력 전압의 극성에 따라 다음과 같은 4 모드로서 설명될 수 있다.

모드 1

이 모드는 전원 전압이 양으로 되는 반 사이클 동안의 동작 상태로서 스위치 S1 과 다이오드 D1 은 on 으로 되고, 다이오드 D2, D1', D2' 와 스위치 S2, S1', S2' 는 off 로 된다. 이는 전원으로부터 인덕터 L 에 에너지가 축적되고 있는 상태로서 이 모드의 전류 루프를 그림 3 에 나타내고 있고, 이 때의 상태 방정식을 식 (1)에 나타내고 있다.

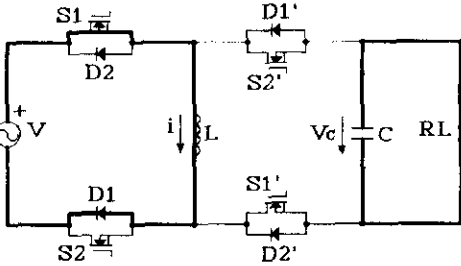


그림 3 모드 1의 등가 회로
Fig.3 Equivalent circuit of mode 1

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

모드 2

이 모드도 전원 전압이 양으로 되는 반 사이클 동안의 동작 상태인데 스위치 S1' 와 다이오드 D1' 는 on 으로 되고, 다이오드 D1, D2, D2' 와 스위치 S1, S2, S2' 는 off 로 된다.

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

이때는 모드 1 에서 인덕터 L 에 축적된 에너지가 부하로 방출되고 있는 상태로서 이 모드의 전류 루프를 그림 4 에 나타내고 있고, 상태 방정식을 식 (2)에 나타내고 있다.

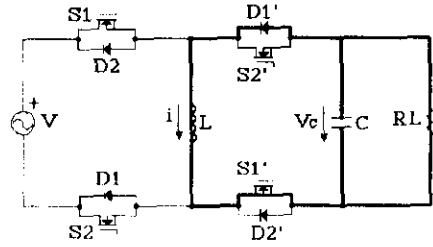


그림 4 모드 2의 등가 회로
Fig.4 Equivalent circuit of mode 2

모드 3

이 모드는 전원 전압이 음으로 되는 반 사이클 동안의 동작 상태로서 스위치 S2 와 다이오드 D2 는 on 으로 되고, 다이오드 D1, D1', D2' 와 스위치 S1, S1', S2' 는 off 로 된다. 이는 전원으로부터 인덕터 L 에 에너지가 축적되고 있는 상태로서 이 모드의 전류 루프를 그림 5 에 나타내고 있고, 이 때의 상태 방정식은 식 (1)과 동일하게 된다.

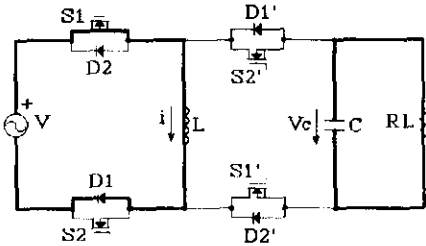


그림 5 모드 3의 등가 회로
Fig.5 Equivalent circuit of mode 3

모드 4

이 모드도 전원 전압이 음으로 되는 반 사이클 동안의 동작 상태이고, 스위치 S2' 와 다이오드 D2' 는 on 으로 되고, 다이오드 D1, D1', D2 와 스위치 S1, S1', S2 는 off 로 된다. 이는 모드 3 에서 인덕터 L 에 축적된 에너지가 부하로 방출되고 있는 상태로서 이 모드의 전류 루프를 그림 6 에 나타내고 있고, 이 때의 상태 방정식은 식 (2)와 동일하게 된다.

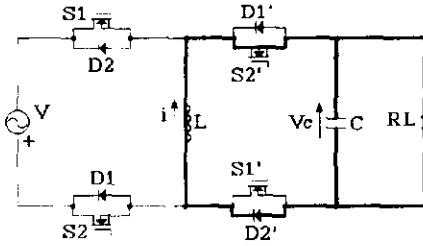


그림 6 모드 4 의 등가 회로
Fig.6 Equivalent circuit of mode 4

듀티비 d 에 따라 이상과 같은 4 모드가 주기적으로 천이 됨으로써 승압이나 강압된 교류 출력 전압을 얻을 수 있게 되는데, 그림 7 에 수치 해석적인 방법으로 시뮬레이션한 입력 전류와 출력 전압 파형을 나타내고 있고, 그림 8 에 입력 전류와 출력 전압의 고조파 스펙트럼을 나타내고 있다.

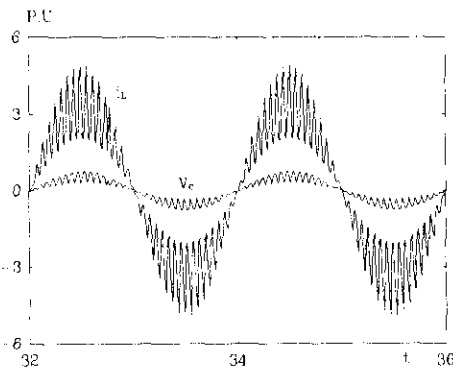


그림 7 단상 AC-AC 컨버터의 인버터 전류와 출력 전압 파형
Fig.7 Inductor current and output voltage waveform of single phase AC-AC converter

그림 7 과 8에서 보는 바와 같이 입력 선전류와 출력 전압 파형은 스위칭에 의한 고조파 성분이 많이 포함되어 있으므로, 입력 중합 역률이 저하하게 되고 또한 파형의 왜형률도 증가하게 된다. 따라서 적절한 필터 회로를 사용하여 입력단 전류와 출력단 전압의 파형을 정형하는 것이 필요하다.

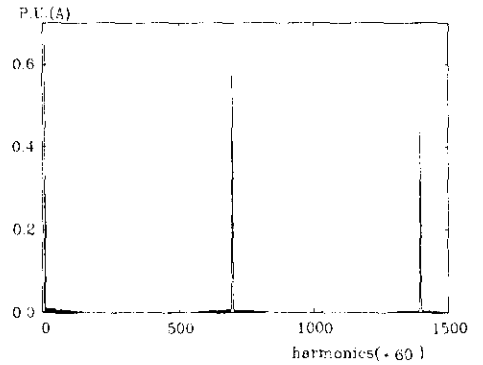


그림 8 입력 전류의 고조파 스펙트럼(필터가 없는 경우)
Fig.8 Harmonic spectrum of input current(with no filter)

일반적으로 전력 변환 장치를 PWM 방법으로 제어하는 경우에는 저차 고조파가 제거될 수 있으므로, 입력단과 출력단의 필터는 회로 요소의 수가 적은 2 차 LC 저역 통과 필터 회로를 적용할 수 있다.

3. AC-AC 컨버터의 출력 전압 제어

부하 변화나 입력 전압 변화 등과 같이 회로의 파라메타가 변화하더라도 이에 대응되는 듀티비를 적절히 조정하여 출력 전압을 일정한 기준 전압으로 유지하기 위한 제어 계통도를 그림 9 에 나타내고 있다.

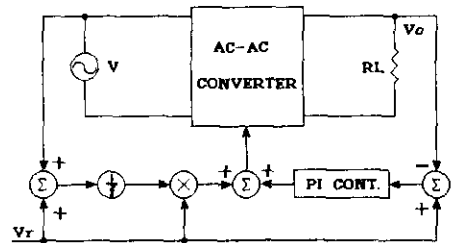


그림 9 AC-AC 컨버터의 제어 계통도
Fig.9 Control system diagram of AC-AC converter

컨버터의 제어 입력은 스위치의 듀티비 d 인데, 이는 요구되는 출력 전압(기준 전압)과 입력 전압에 결정되는 d 과 기준 전압과 검출되는 출력 전압 사이의 오차를 PI 제어한 값으로 되는 d 의 함으로 되도록 제어함으로써 부하나 입력 전압의 변화에 강인한 특성을 가질 수 있다.

여기서 d_r 은 식 (3)으로 계산되고, d_e 는 식 (4)로 되어 제어 입력 d 는 식 (13)으로 표현된다.

$$d_r = \frac{v_r}{v + v_r} \quad (3)$$

$$d_e = k_p(v_r - v_o) + k_i \int (v_r - v_o) dt \quad (4)$$

$$d = d_r + d_e \quad (5)$$

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

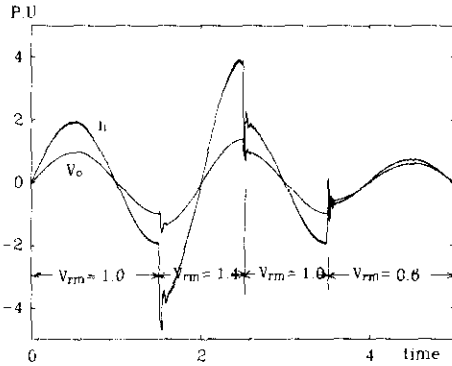


그림 10 기준 전압 변화에 따른 다이내믹 응답 특성
Fig.10 Dynamic response with varying reference voltage

그림 10 에 기준 전압을 1 에서 1.4 로 그리고 다시 1 로 다시 0.6 으로 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 0 으로 나타나고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 단상 PWM AC/AC 컨버터를 제안하고 그의 제어 방법과 동작 특성에 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 1 로 동작하고 있다. 출력 전압도 거의 정현파 기준 전압을 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.

참 고 문 헌

- [1] Navid R.Zargari, Geza Joos and Phoivos D. Ziogas, "Input Filter Design for PWM Current-Source Rectifiers", IEEE Trans. on Industry Applications, vol.30, No.6, pp.1573-1579, November/December 1994.
- [2] W.Tang, Y.Jiang, G.C.Hua, F.C.Lee and I.Cohen, "Power Factor Correction With Flyback Converter Employing Charge Control", APEC'93, pp.225-230, March 1993.
- [3] 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 Industry Applications, vol.31, No.2, March/April 1995.
- [4] X. F. Zhuang, "THE CONTROL THEORY AND IMPLEMENTATION OF AC-AC MATRIX CONVERTER", IPE MC'94 BEIJING, 1994.
- [5] Farrukh Kamran and Thomas G. Habetler, "An Improved Deadbeat Rectifier Regulator Using a Neural Net Predictor", IEEE Trans. on Power Electronics, vol.10, No.4, July 1995.