

단일 스위칭소자를 이용한 전류연속형 PWM AC/DC 부스터 컨버터의 고역율 구현에 관한 연구

박성준 · 변영복 · 김광태 · 권순재 · 김철우
 * 부산대학교 전기과 ** 한국전기연구소 *** 부산전문대학 전기과 **** 공업대학교 기계과

The study on the high performance continuous input current type PWM AC/DC boost converter using one semiconduction switch

Sung-Jun Park · Young-Bok Byun · Kwang-Tae Kim · Soon-Jae Kwon · Cheul-U Kim
 * pusan univ. ** KERI *** pusan junior college **** pusan univ. of industrial

Abstract : Many new electronic products are required to have a near unity power factor and a distortion free input current waveform.

In this paper, a high performance single phase PWM AC/DC converter with input power factor correction is proposed. This proposed control strategy has many advantages which include one semiconduction switch, simplified control circuit, high performance features and continuous input current. The experimental results are included to verify the validity of this approach.

1. 서론

현재 산업계에서 사용되는 많은 기기 및 장치에서 DC전압은 중요한 역할을 하고 있다. 기존의 AC/DC전력변환장치는 위상제어 정류기나 출력전압을 제어할 수 없는 다이오우드 정류기를 사용해 왔다. 그러나 이와 같은 정류기에서는 AC전원단에서의 전류 도통각이 협소해져 펄스상의 전류가 흐르고 전류 완화용 필터 및 위상제어에 따라 입력 전류파형이 찌그러지며 입력 전압파형에 대하여 전류의 위상차가 생긴다. 이로 인하여 입력전류의 고조파성분이 커지고 변압기 이용률과 기본파 역율을 떨어지며 전력손실이 증가하게 된다 [1]. 그러므로 이를 개선하기 위하여 교류 입력측과 직류 출력측에는 큰 용량의 L, C를 필요로 하게 되고, 이로 인한 전력변환장치의 부피가 커져 경제성이 낮아진다. 따라서 교류 입력역율을 최대한 개선하고 정현파로 유지한다는 것은 에너지 절감이라는 관점에서 매우 중요한 의미를 갖는다.

1개의 전력용 스위칭소자에 의한 고역율 제어방식에는 80년대초 Schlecht씨가 제안한 전류와 전압의 귀환루프를 통한 다이아믹한 고역율 AC/DC컨버터의 제어기에 대한 연구가 이루어졌다. 이후 AC/DC부스터형 컨버터의 연구는 피크 전류모드[2], 평균전류모드[3], 가변팬드폭제어[4]에 의한 입력 역율개선방식이 활발히 연구되어 왔다. 그러나 이러한 방식들은 저주파 발전과 같은 제어의 불안정성을 보상하기 위해 외부에 램프신호를 사용하거나 가변주파수로 동작하는 단점이 있다.

본 논문에서는 컨버터에 의해 출력전압조정과 동시에 입력 전류가 상전압과 동상에 가까운 정현파가 되도록 하기 위한 단상 부스터(Boost)컨버터의 제어 방식을 제안하고 실험을 통해 그 타당성을 확인하였다.

2. 부스터 컨버터의 역율개선

그림 1은 본 논문의 주 회로인 단상 PWM 컨버터로써 full-bridge정류기 출력측에 다이오드1개와 전력용스위치1개를 추가하였다. 여기서 스위치(Q)에 적당한 PWM제어신호를 인가함으로써 고역율 컨버터의 동작이 가능하도록 할 수 있다.

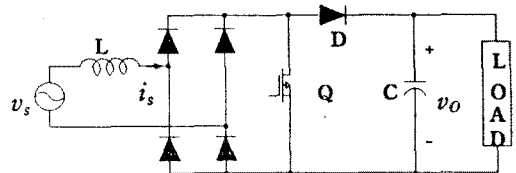


그림 1 주 회로의 구성
 Fig. 1 Main circuit

입력전류 i_s 의 극성과 스위치Q의 온 오프에 따른 동작회로는 그림 2와 같이 표현할 수 있다. 동작회로에서 보는 바와 같이 스위치Q가 온 시에는 인덕터에 v_s 전압이 인가되고 스위치Q가 오프 될시에는 인덕터에 인가되는 전압은 입력전류 i_s 의 극성에 따라 $v_s - v_o$ 또는 $v_s + v_o$ 가 인가 된다.

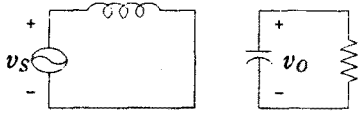
한 스위칭주기 (T)동안 원하는 인덕터의 전압이 되기 위한 스위칭시간은 입력전압과 인덕터의 전압에 의해 4가지 조건이 되며 그 조건에 따른 스위치 온 시간 t_{on} 은 다음과 같다.

경우 1 : $v_L^* =$ 양수, $v_s =$ 양수

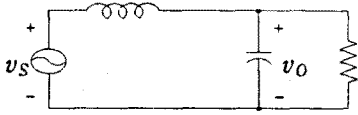
$$v_L^* T = v_s t_{on} T + (v_s - v_o)(1 - t_{on}) T \quad (1)$$

식(1)에서 스위치 온 시간 t_{on} 을 구하면 식(2)와 같다.

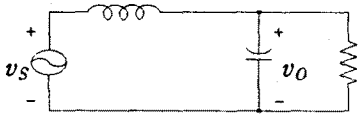
$$t_{on} = \frac{v_O - v_S + v_L^*}{v_O} \quad (2)$$



(a) 스위치 온 상태
(a) Switch on state



(b) 스위치 오프 상태 & $i_S = \text{正}$
(b) Switch off state & $i_S = \text{positive}$



(c) 스위치 오프 상태 & $i_S = \text{負}$
(c) Switch off state & $d i_S = \text{negative}$

그림 2 각 상태에 따른 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuits of each state

경우 2 : $v_L^* = \text{양수}$, $v_S = \text{음수}$

$$v_L^* T = v_S t_{on} T + (v_S + v_O)(1 - t_{on}) T \quad (3)$$

식(3)에서 스위치 온 시간 t_{on} 을 구하면 식(4)과 같다.

$$t_{on} = \frac{v_O + v_S - v_L^*}{v_O} \quad (4)$$

경우 3 : $v_L^* = \text{음수}$, $v_S = \text{양수}$

$$v_L^* T = v_S t_{on} T + (v_S - v_O)(1 - t_{on}) T \quad (5)$$

식(5)에서 스위치 온 시간 t_{on} 을 구하면 식(6)과 같다.

$$t_{on} = \frac{v_O - v_S + v_L^*}{v_O} \quad (6)$$

경우 4 : $v_L^* = \text{음수}$, $v_S = \text{음수}$

$$v_L^* T = v_S t_{on} T + (v_S - v_O)(1 - t_{on}) T \quad (7)$$

식(7)에서 스위치 온 시간 t_{on} 을 구하면 식(8)과 같다.

$$t_{on} = \frac{v_O + v_S - v_L^*}{v_O} \quad (8)$$

위의 4가지 경우를 정리하여 TR, Q의 스위치 온 시간 t_{on} 은 식(9)와 같이 결정할 수 있다.

스위칭 한 주기동안 식(9)와 같이 스위치 온 시간 t_{on} 결정하므로써 인덕터의 전압을 제어할 수 있다.

$$\text{if } v_S v_L^* \geq 0 \text{ then } d = \frac{v_O - |v_S| + |v_L^*|}{v_O} \quad (9)$$

$$\text{if } v_S v_L^* < 0 \text{ then } d = \frac{v_O - |v_S| - |v_L^*|}{v_O}$$

단위역율로 제어하기 위해서는 인덕터의 전압위상을 입력 전압보다 90° 앞서게 줌으로써 전류연속에 의한 고역율을 실현할 수 있다.

3. 실험결과

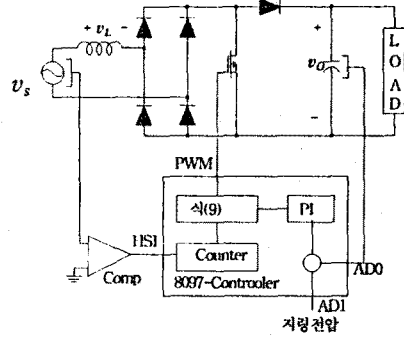
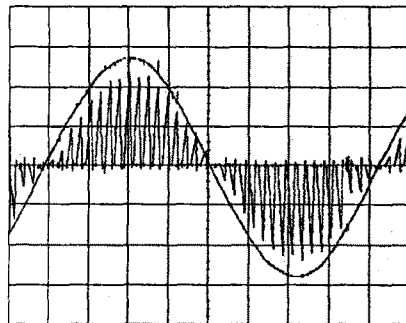


그림 3 전체블록도
Fig. 3 System block

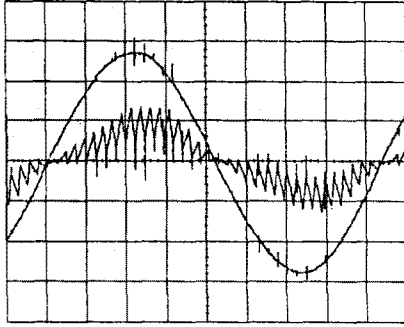
그림 3은 고역율 컨버터의 전체 시스템의 구성을 나타낸다. 단위역율로 제어하기 위해서는 인덕터의 전압위상을 입력 전압위상보다 90° 앞서게 제어되어야 하고 출력전압을 제어하기 위해서는 인덕터의 전압크기를 제어하여야 한다. 인덕터의 전압위상은 입력전압의 영점을 검출하여 one-chip 마이크로프로세서(8097)의 자체카운터를 사용한 Look-up table을 통해 제어하였다. 인덕터의 전압크기는 8097의 자체 AD컨버터의 입력인 지령전압과 실제전압의 차에 대한 PI 제어기의 출력으로 사용하였다. PI제어기의 출력에 해당하는 전압을 인덕터에 인가하기 위한 스위칭소자의 제어는 9087의 PWM단자를 사용하였다. 스위칭 주파수를 3[kHz]로 설정하기 위해 PWM출력단에 필트와 비교기를 사용하였다. 또한 입력전류의 왜형률을 줄이기 위해 PI의 출력을 입력전압 영점에서만 받고 그 이후에는 그 값을 유지하였다.

표 1 : 단상 PWM AC/DC컨버터의 정수
Table 1 : Specification of converter

입력전압 : 100 [V]	스위칭 주파수 : 3 [kHz]
정격출력 : 1 [kW]	정격출력전압 : 220 [V]
인덕턴스 : 10 [mH]	출력단 콘덴서 : 450 [μ F]

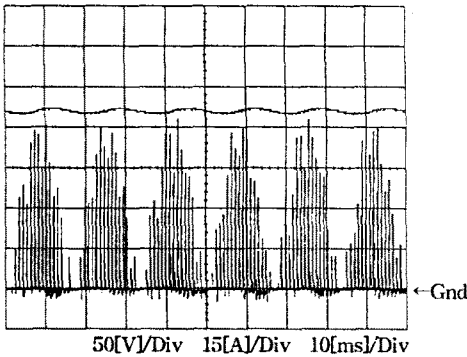


50[V/Div 15[A/Div 2[ms/Div]
그림 4 입력전류 및 전압파형 (t_{on} = 일정)
Fig. 4 Input current and voltage waveform



50[V]/Div 15[A]/Div 2[ms]/Div

그림 5 입력전류 및 전압파형 (t_{on} = 가변)
Fig. 5 Input current and voltage waveform



50[V]/Div 15[A]/Div 10[ms]/Div

그림 6 다이오드 전류 및 출력전압파형
Fig. 6 Diode current and DC voltage waveform

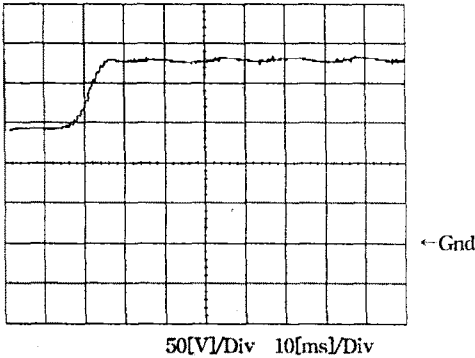


그림 7 출력전압파형
Fig. 7 Output DC voltage waveform

그림 4는 그림 1의 주 회로에서 TR Q의 스위칭시간 t_{on} 을 일정하게 한 경우의 입력 상전압과 전류파형이다.

그림 5는 TR Q의 스위칭 온 시간 t_{on} 을 식(10)과 같이 스위칭을 행한 경우의 상전압과 전류파형이다.

그림 6은 t_{on} 을 가변시 출력전압과 콘버터에서 출력단 콘덴서에 유입되는 전류 파형이다. 이때 출력전압의 맥동은 10[V]였다.

그림 7은 출력전압의 동특성을 보기 위한 출력 전압파형이

다. 전원 투입 후 10[ms]뒤에 정상상태가 됨을 알 수 있다.

4. 결론

고주파 전원장치에 있어 전력용 반도체 스위칭소자 한 개에 의해 연속적인 입력전류로 입력역율을 개선할 수 있는 방법을 제안하였다.

본 논문에서 제안된 방식은 아래와 같은 장점을 갖는다.

- 1] 고역율을 실현하기 위해 제어소자로 전력용 스위칭소자 한 개만으로 가능하다.
- 2] 스위칭방식을 PWM방식으로 실현함으로써 일정스위칭주파수를 갖는다.
- 3] 연속적인 입력전류로써 고역율 전력변환장치를 구현할 수 있다.
- 4] 한 개의 전력용 스위칭소자를 사용하므로 다른 방식에 비해 스위칭 손을 줄일 수 있다.

참고문헌

1. C.Zhou and M.M.Jovanovic "Design Trade-Offs Continuous Current Mode Controlled Boost Power-Factor Correction Circuits", VPEC'92 pp57-67,1992
2. W.Tang,F.C.Lee and R.B.Ridley, "Small-Signal Modeling of Average Current-Mode Control", Applied Power Electronics Conference Proceeding, pp.747-755, 1992
3. James B. Williams, "Design of Feedback Loop in Unity Power Factor AC to DC Converter", PESC'89, pp.959-967, 1989
4. Chen Zhou,Raymond B.Ridley,andFred C.Lee, "Design and Analysis of A Hysteretic Boost Power Factor Correction Circuit", PESC'90, pp.800-807, 1990
5. Kalyan K.Sen Alexander E.Emanuel,"Unity Power Factor Single phase Power Conditioning", PESC'87, pp.516-524, 1987
6. C.P.Ienze and N.Mohan," A Digitally Controlled AC to DC Power Conditioner That Draws Sinusoidal Current", PESC'86, pp.531-540, 1986
7. James J. Spangler and Anup K. Behera," A Comparison Between Hysteretic and Fixed Frequency Boost Converters Used For Power Factor Correction", APEC'93, pp.281-286,1993