전력전자학술대회 논문집 1997. 7. 17-19 전력전자학회

고역율, 저손실 1 단 교류/직류 변환기

차영길*, 박성우, 백주원, 김흥근
경북대학교 전기공학과

A single-stage ac/dc converter with high power factor and low power loss

Young-Kil Cha*, Sung-Woo Park, Joo-Won Baek, Heung-Geun Kim
Kyung-Pook National University

Abstract

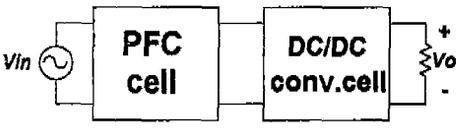
In this paper, we propose a new single-stage isolated switching power supply. The proposed converter reduces the diode conduction loss and offer both the high input Power factor and the direction conversion from the ac line to a dc output voltage.

This paper present the Operational principle, analysis and control and experimental results of a 100W prototype.

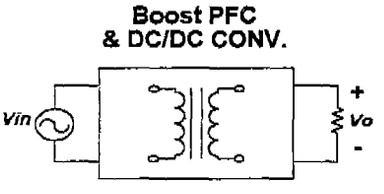
Ⅰ. 서 론

최근 IEC555-2와 같은 국제규제에 의해 고조파에 대한 기준이 정해지면서 입력 선전류 고조파 저감과 고 역률 보상회로에 대한 관심이 증대되고 있다. 그러므로 직류/직류 변환기의 입력단에서 입력역률을 보상하기 위한 역률보상회로의 채용이 거의 일반화 되어 가고 있다. 이러한 단위역률을 이루기위한 일반적인 형태로는 그림1(a)에 나타낸 것처럼 2단 구조(two stage)로서 고역율을 얻기위한 역률보상회로와 안정된 직류 출력전압을 만들어내기 위한 직류/직류 변환기 부분으로 구성된다[1]. 그러나 이러한 방식은 전력이 두번 변환되기 때문에 전체 시스템은 복잡해지고 비효율적이며 고가인 단점이 있다. 그러므로 입력역율을 향상시키고, 안정된 출력전압을 동시에 얻을 수 있으며 전체 시스템이 간단한 그림 1(b)와 같은 IHQRR 형태의 1단(Single stage)구조가 최근에 많이 연구되고 있다.[2,3,4]

본 논문에서는 일반적인 2단 변환 변환기를 사용하는 대신 저 도통 손실을 갖고, 분산전원장치에 적용할 수 있는 새로운 형태의 1단(Single stage) 교류/직류 변환기를 제안하였다. 제안한 변



(a) 일반적인 2단 전원장치의 구조



(b) 제안한 1단 전원장치의 구조

그림 1. 역률보상회로를 갖는 전원장치

환기는 그림 2에 나타낸 것처럼 다이오드정류기에 2개의 보조 다이오드와 스위치를 추가하여 입력단에서는 높은 역률을 이루며, 변압기 2차측 출력전압은 1차측 정류기 양단의 에너지 축적 커패시터에 의해 공급된다.

제안한 변환기의 동작원리, 해석 및 제어에 대해 설명하고, 100W급의 시작품을 제작, 실험결과

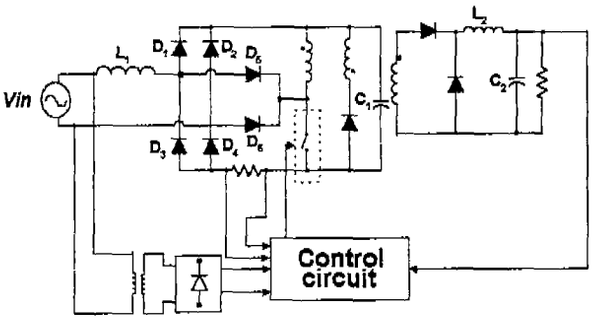


그림2. 1단 역률보상 및 직류 출력전압 제어를 위한 제안한 변환기 회로도

를 통하여 제안한 1단 교류/직류 변환기의 유용성을 입증하였다.

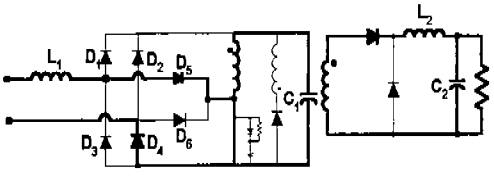
Ⅱ. 본 론

Ⅱ-1. 동작원리

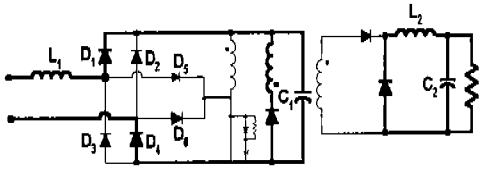
제안한 변환기의 1차측은 단위역률을 이루기 위한 Boost 변환기의 형태에 기초를 둔 것으로 110V 입력전압을 승압시켜 1차측 출력단에 있는 에너지 축적 커패시터에 190V의 출력전압을 유지하는 역할을 하며, 2차측은 BUCK 변환기의 형태에 기초를 둔 절연된 직류/직류 변환기로 출력전압을 일정하게 유지시키는 역할을 한다.

제안한 변환기의 동작원리는 그림 3과 같이 1주기동안 4개의 모드로 나누어지며 입력전압의 양의 반주기 동안 동작모드와 음의 반주기 동안 동작모드가 일치한다. 그림 3(a)는 양의 반주기 동안 스위치가 턴·온되는 구간으로 추가한 다이오드와 스위치를 통해 전류가 흐르면서 입력측 BOOST용 인덕터에 에너지를 축적하며, 동시에 출력단 커패시터에 충전되어 있던 에너지가 forward 변압기를 통해 2차측으로 전달되면서 2차측의 필터 인덕터에 에너지를 축적하게된다.

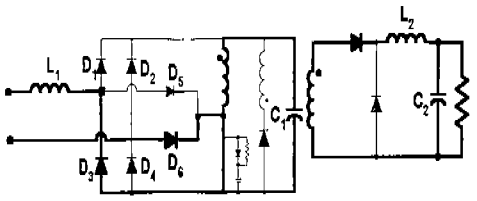
그림3(b)는 스위치의 턴·온시 동작모드로 BOOST용 인덕터에 축적되어 있던 에너지와 변압기의 자화 에너지가 리셋 권선을 통해 1차측 에너지 축적 커패시터로 방전하여 출력전압을 일정하게 유지할 수 있도록하며, 이 구간동안 2차측은 필터인덕터에 축적되어 있던 에너지가 환류다이오드를 통해 부하 및 출력단 커패시터로 에너지를 전달하게 된다.



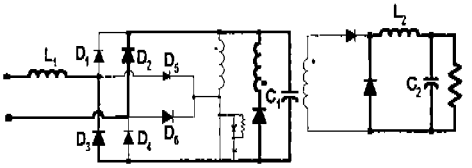
(a) $v_{in} > 0$, SW : on



(b) $v_{in} > 0$, SW : off



(c) $v_{in} < 0$, SW : on



(d) $v_{in} < 0$, SW : off

그림 3. 제안한 1단 변환기의 모드별 회로도

입력 전류의 고조파 왜곡률을 작게하기 위해서 입력단 BOOST 변환기는 불연속모드에서 동작을 해야한다. 그리고 2차측 BUCK 변환기의 필터에 흐르는 전류는 연속모드 또는 불연속 모드에서 동작 할 수 있으나 다이오드의 전류 스트레스를 줄이기위해서는 연속모드에서 동작 해야한다.[5]

제안한 변환기의 전압 변환비는 인덕터 L_1, L_2 의 자속평형조건에서 유도한 식(1), 식(2)와 전력평행 조건으로 부터 유도할 수 있다. 축적커패시터의 전압리플은 입력전원 주파수의 2배이며, 출력전압의 리플양은 매우 작다고 가정한다.

$$V_{in} D = (V_{c1} + nV_o - V_{in}) D_1 \qquad (1)$$

$$\frac{V_{c1}}{n} D = V_o (1 - D) \qquad (2)$$

여기서, V_{in} : 입력전압의 실효치, n: 권선비

D : 스위치의 듀티비,

D_1 : 인덕터전류가 감소하는 시간

식(1)과 식(2)로 부터 1차측 불연속모드에서의 전압 변환비 M_{DCM}과 2차측 연속모드에서의 전압 변환비 M_{CCM}, 입력전압과 축적커패시터에 의한 전압변환비 M_1을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$M_{DCM} = \frac{V_{c1} + nV_o}{V_{in}} = \frac{1 + D}{D_1} \qquad (3)$$

$$M_{CCM} = \frac{V_o}{V_{c1}} = \frac{1}{n} D \left(1 + \frac{D}{D_1}\right) \qquad (4)$$

$$M_1 = \frac{V_{c1}}{V_{in}} = (1-D)(1+\frac{D}{D_1}) \qquad (5)$$

식(3)의 입력전압과 축적커패시터 사이의 변환비에 식(5)를 대입하여 식(6)과 같은 전체 변환비를 유도할 수 있다.

$$M = \frac{1}{n} D(1+\frac{D}{D_1}) \qquad (6)$$

식(6)에서 변환비 D/D_1은 입·출력전력 평형법칙에서 유도할 수 있다.

$$\langle i_{in} \rangle V_{in} = I_o V_o \qquad (7)$$

여기서 $\langle i_{in} \rangle$: 평균치 입력전류

$$\langle i_{in} \rangle = \frac{1}{2} \frac{V_{in}}{L_1} DT_S(D+D_1) \qquad (8)$$

식(7)과 식(8)에서 다음식을 유도할 수 있다.

$$\frac{D}{D_1} = \frac{-1+\sqrt{1+2/K_1}}{2} \qquad (9)$$

여기서, $K_1 = (2L_1 f_S I_o)/(n^2 V_o)$

Ⅱ-2. 제어기의 설계

그림 4는 1단 교류/직류 변환기의 PFC 및 정전압출력 제어에 사용한 제어기의 블록도이다. 입력단 신호나 피드백신호의 측정시 발생하는 노이즈에 의한 스위치의 오동작을 방지하기 위해 단위역률제어에 적합하며 노이즈에 강인한 특성을 가지는 평균전류제어기법[6]을 사용하였다. 입력단 전류의 파형 왜곡률을 작게하기 위해서 1차측 BOOST 형태의 변환기는 불연속전류모드에서 동작해야 하므로 전류제어기의 이득값을 작게 설정하였다.

입력전압과 전류, 그리고 출력전압은 모두 절연된 신호를 피드백 받아 제어하였으며 입력단 선전압을 피드포워드하여 입력단 선전압의 변화에 대한 듀티비의 변화가 크지 않도록 하였다.

Ⅲ. 실험결과

본 논문에서는 입력전압 : 110V, 60Hz, 출력전압 15V, 스위칭 주파수 50kHz, 최대부하저항 2 ohm으로 제작하여 실험하였으며, 설계사양은 다음과 같다.

L1 : 3.5mH(1차측 BOOST용 인덕터)

L2 : 700 μH(2차측 필터 인덕터)

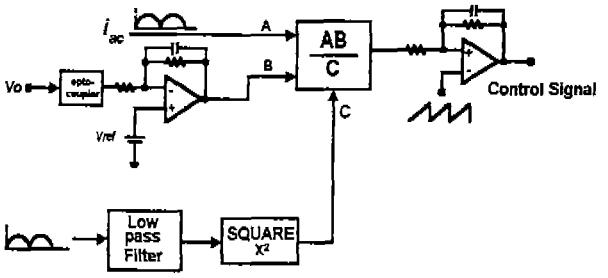


그림 4. 단위역률 및 출력전압 제어기

C1 : 740 μF(1차측 에너지 축적 커패시터)

C2 : 2200 μF(출력단 커패시터)

n : 0.165 (변압기 권선비)

Q : FET(IRFP460)

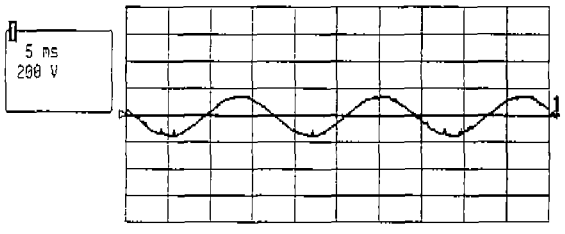
D1,D2,D5,D6 : HFA50PA60C(1차측 다이오드)

CORE : PC44PQ50(인덕터 및 변압기)

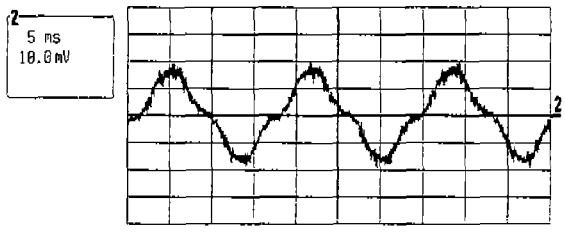
그림 5는 출력단 부하가 8Ω일때 입력단 전압파형과 전류파형으로 단위역률이 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다.

그림6은 출력단의 부하를 4Ω, 50%로 증가시켰을 때 파형으로 25%부하에 비해 전류의 역률이 입력전압의 영전압 부근에서 왜곡이 발생하고 있다.

그림 7은 출력단의 저항부하가 2Ω으로 전부하일 경우 입력전압, 입력전류, 출력단 전압의 파형으로 전부하시에도 출력단 직류전압의 제어가 이루어지고 있음을 알 수 있다. 출력단 전압에는 전원전압 주파수의 2배에 해당하는 리플이 발생하며, 영전압부근에서 입력전류 파형의 왜곡이 발생하고 있으나 고역률을 달성하고 있음을 알고 있다.

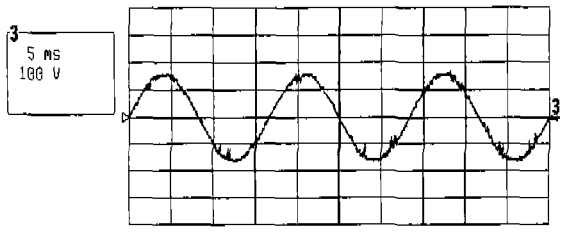


(a) 입력전압 파형(200V/div)

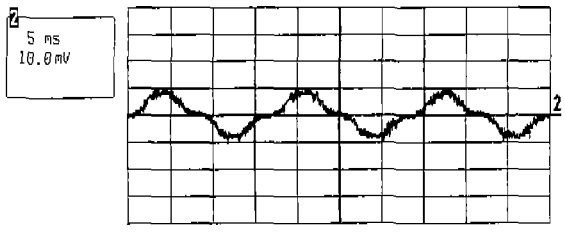


(b) 입력전류 파형 (0.2 A/div)

그림 5. 25% 부하시 입력전압 및 전류파형

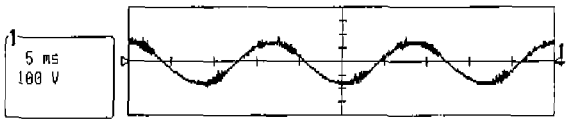


(a) 입력전압 파형(100V/div)

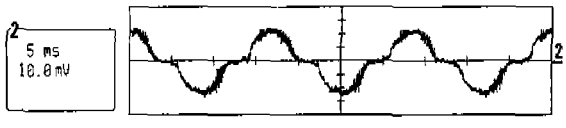


(b) 입력전류 파형(0.5A/div)

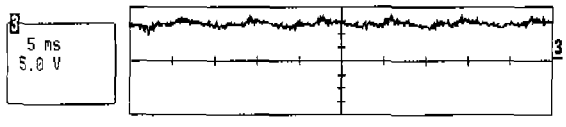
그림 6. 50% 부하시 입력전압 및 전류파형



(a) 입력전압 파형(100V/div)



(b) 입력전류 파형(0.5A/div)



(c) 출력전압 파형(5V/div)

그림 7. 전부하시 입력전압, 전류 및 출력전압파형

그림 8은 전부하시 1차측 에너지 축적 커패시터의 전압으로 역시 전원전압 주파수의 2배에 해당하는 리플이 발생하고 있으나 입력전압보다 높은 190V로 일정하게 유지되고 있다.

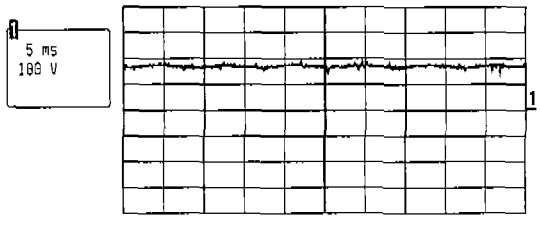


그림 8. 전부하시 에너지 축적 커패시터의 전압파형

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 도통시 다이오드에 의한 손실을 줄일 수 있으며, 높은 입력역률을 얻을 수 있는 IHQRR형태의 1단 교류/직류 변환기를 제안하였으며, 100W급 실험장치를 제작하여 제안한 교류/직류 1단 변환기의 입력단에서는 고 역율을 이루며, 출력단에서는 15V의 정전압으로 제어할 수 있음을 입증하였다. 그리고 제안한 변환기에 영전압 스위칭 방식을 추가함으로서 더 높은 효율을 얻을 수 있을 것이다.

Ⅴ. 참고문헌

[1]L.H.Dixon, Jr., "High powe factor prereulators fo off ine power supplies," Unitrode Switching Regulated Power Supply Design Seminar Manual, Paper I2, SEM-700, 1990

[2]I.Takahashi, R.Y."A switching power supply of 99% power factor by the Dither rectifier," IEEE International Telecommunication Energy Conf(INTELEC) Proc.,pp714 719, Sept, 1991.

[3]Y.Jiang, F.C.Lee, G,Hua, W.Tang,"A Novel single-phase power factor correction scheme,"IEEE Applied Power Electronics Conf.(APEC) Proc., pp287-292, Mar.1993.

[4]L.D. Stevanovic, S. Cuk,. "Input current shaping and regulation of multiple outputs in a single isolated converter," IEEE International Telecommunicaion Energy Conf.(INTELEC) Proc.,pp.379-386, Sept. 1993.

[5]Michael Madigan, Robert Erickson and Esam Ismail, " Integrated High Quality Rectifier-Regulator", IEEE Power Electronics Specialists Conf. Record, pp.1043-1051, June 1992.

[6]Lloyd Dixon " Average Current Mode Control of Switching Power Supply", Unitrode Switching Regulated Power Supply Design Seminar Manual, Paper I5 , SEM-700, 1990