

고효율, 저손실을 갖는 1단 교류/직류 변환기의 역률제어

류 명호^o, 차 영길, 최 병조, 김 홍근
경북대학교 전기공학과

Power Factor Correction of the Single Stage AC/DC Converter with Low Conduction Loss and High Efficiency

M.H. Ryu, Y.K. Cha, B.C. Choi, and H.G. Kim

Department of Electrical Engineering, Kyungpook National University

Abstract-A new single stage AC/DC converter based on the forward converter is proposed. The proposed converter offers both the high power factor and the direct conversion from ac line to dc output voltage. Also, the proposed converter reduces the diode conduction loss, so improves the overall efficiency of the converter, compared with other alternatives. The principles of operation and the simulation results of the proposed converter are presented. A 100 W prototype was built and tested to show the potential of applications of the proposed converter.

1. 서론

최근 IEC1000-3-2와 IEEE 519와 같은 고조파 규제에 대한 기준이 제기됨으로써 입력 선전류의 고조파 제한과 고역률 보상회로에 대한 관심이 높아지고 있다. 단위 역률을 얻기위해 2단 교류/직류 변환기가 주로 사용된다. 이 방식은 역률 개선을 위한 절연되지않은 부스터 변환기와 절연과 광대역 전압 제어를 위한 직류/직류 변환기로 구성된다[1]. 2단 방식은 뛰어난 역률 개선과 빠른 응답 특성을 나타내지만, 가격이 비싸고 두 개의 독립된 제어 루프에 의해 전력이 두 번 변환되므로 전체 시스템이 복잡해지고 비효율적이다. 따라서, 2단 방식은 저출력 적용분야에는 적당하지 않다.

최근에 와서 크기와 가격을 줄이기 위해 입력역률의 개선과 절연된 직류/직류 변환을 동시에 수행하는 1단방식을 많이 연구하고 있다[2]-[7]. 이 방식에서는

정현파 입력 전압에 대해 출력 전압은 일정해야 하므로 이 전압의 차이를 다루기 위해 내부에 에너지 저장 커패시터를 사용한다.

본 논문에서는 저출력 적용분야에 적합한 새로운 1단 절연형 교류/직류 PFC 변환기를 소개한다. 제안된 변환기는 도전 손실을 줄이고 고역률 보상과 교류에서 직류로의 직접 변환이 이루어진다.

그림 1(a)는 기존의 1단 절연형 역률 보상 변환기의 회로도이고 그림 1(b)는 제안된 변환기의 회로도이다.

제안한 변환기의 장점은 다이오드 도전 손실이 작으며 제어가 간단하기때문에 실현이 용이하고 효율이 향상된다.

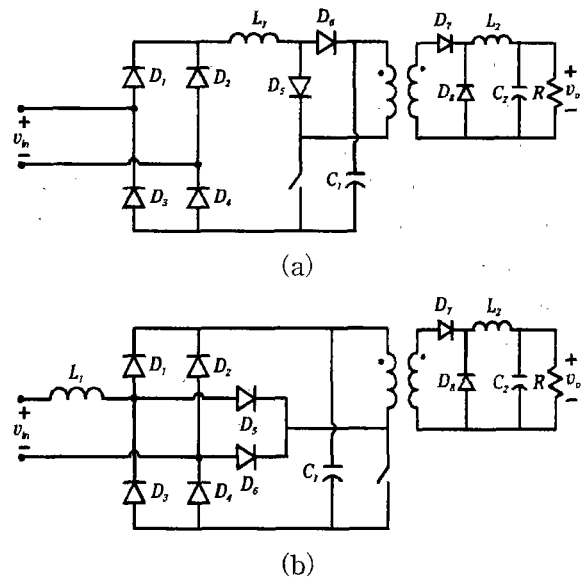
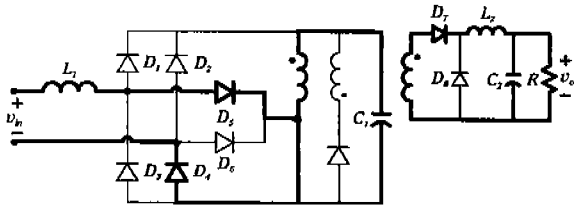


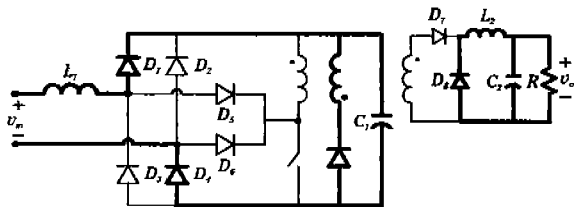
그림 1. 기존의 변환기와 제안한 변환기의 회로도.

2. 제안한 변환기의 동작 원리

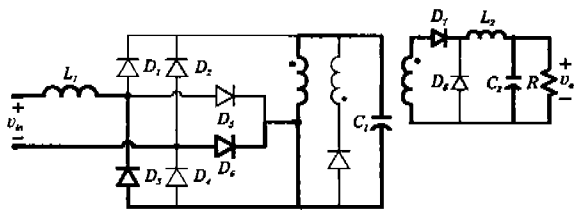
그림 2는 제안한 변환기의 동작원리를 나타낸다. 동작 모드는 네 개의 모드로 구성되는데 입력전압이 양일 때 두 개의 모드, 음일 때 두 개의 모드가 발생한다.



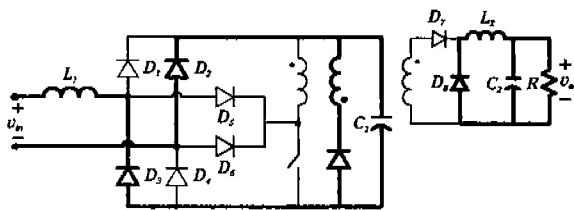
(a) $v_{in} > 0$, SW : on



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



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



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

그림 2. 제안된 변환기의 동작모드.

모드 1(그림 2(a))

입력전압이 양이고 스위치가 켜져있을 때 입력 인덕터는 다이오드 D_5 를 통하여 충전되고 커패시터에 저장된 에너지는 변압기를 통해 이차측에 전달된다.

모드 2(그림 2(b))

입력전압이 양이고 스위치가 꺼졌을 때 입력 인덕터에 저장된 에너지는 다이오드 D_1 을 통하여 에너지 저장 커패시터에 충전된다. 이 때, 이차측 필터 인덕터에 저장된 에너지는 부하로 전달된다.

모드 3, 4(그림 2(c), (d))

입력전압이 음인 주기 동안, 동작 모드는 모드 1, 2와 동일하다.

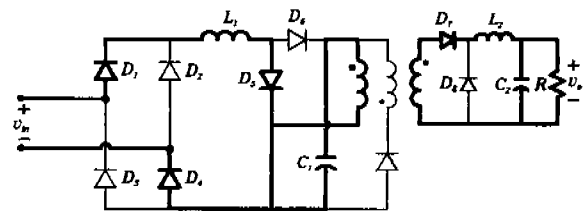
3. 기존의 변환기와 제안한 변환기의 비교

그림 3은 기존의 변환기의 동작원리를 설명한다. 동작원리는 제안한 변환기와 유사하다.

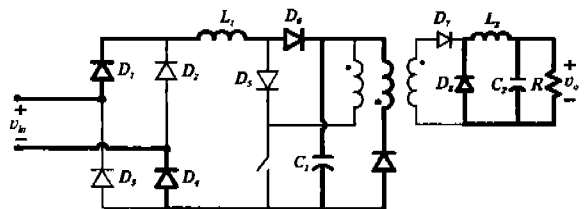
스위치가 온일 경우, 기존의 변환기는 3개의 다이오드와 스위치가 도통한다(그림 3(a)). 반면에, 제안한 변환기는 2개의 다이오드와 스위치가 도통함으로써 다이오드에 의한 도통 손실을 줄일 수 있다.

스위치가 오프일 때도 제안한 변환기는 다이오드에 의한 도통 손실을 줄일 수 있다(그림 3(b)).

따라서, 제안한 변환기는 기존의 변환기보다 도통되는 다이오드의 수가 적어 다이오드 도통 손실을 크게 줄일 수 있으며 효율을 향상시킬 수 있다.



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



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

그림 3. 기존의 변환기의 동작모드.

4. 설계

4.1 인덕터

대부분의 1단 방식에서, 입력 인덕터는 불연속모드(DCM)에서 동작하도록 설계되고, 그림 4는 반주기 동안 입력 인덕터 전류 파형을 나타낸다. 입력전압의 피크치 근방에서 전류는 연속모드(CCM)와 불연속모드의 경계에서 동작하므로 입력 인덕터는 피크 전압에서 전류가 불연속모드로 동작하도록 설계한다. 출력 필터 인덕터는 연속모드와 불연속모드에서 동작 가능하며 각각의 모드에서 장·단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 전류 스트레스를 줄이기 위해 연속모드로

동작하도록 설계한다. 이 경우에 부하에 따라 내부 에너지 저장 커패시터의 전압 스트레스가 영향을 받게 된다.

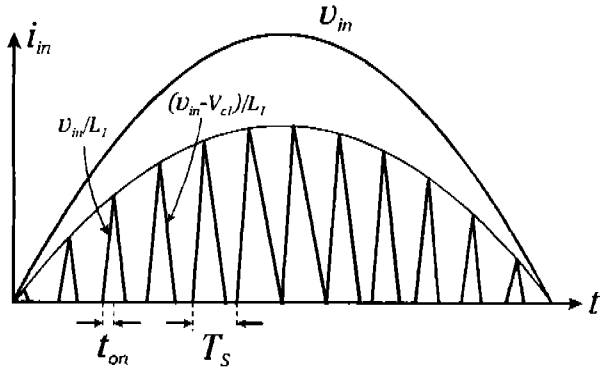


그림 4. 입력 인덕터 전류.

입력 인덕터(L_1)는 그림 4로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$L_1 = \frac{V_{in}}{i_{in(peak)}} t_{on} = \frac{V_{in}}{i_{in(peak)}} DT_s \quad (1)$$

여기서, $i_{in(peak)}$ 는 입력 인덕터 전류의 피크치이다. L_1 은 식(1)에서 구한 값보다 작아야 불연속모드에서 동작할 수 있다.

4.2 전압 제어기

그림 5는 출력 전압 제어를 위한 전압 궤환 루프를 가지는 제어기를 나타낸다. 이 제어기는 입력 인덕터 전류가 불연속모드에서 동작하고 출력이 광대역 전압 제어를 가지도록 설계한다.

제어기는 UC3825를 사용하여 간단하고, 저가이며 소형으로 설계하여 가격에 민감한 저출력 응용분야에 적용할 수 있다.

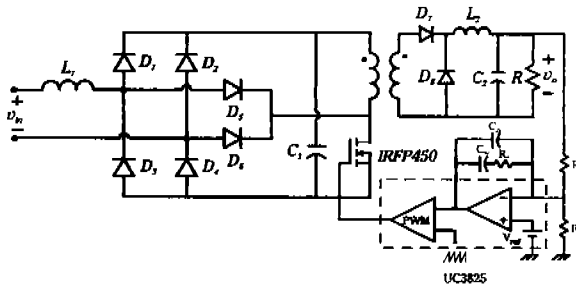


그림 5. 전압 제어기를 가지는 제안된 변환기.

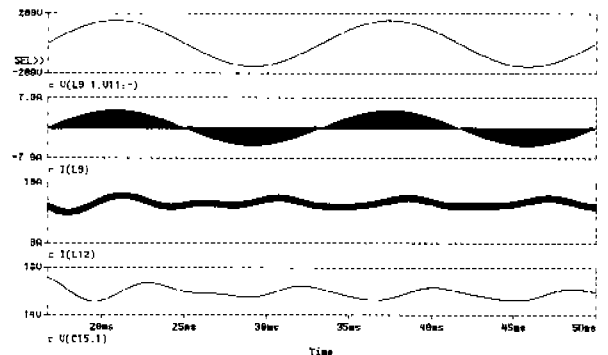
5. 시뮬레이션 및 실험 결과

제안한 변환기의 타당성을 입증하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실행하였다. 사용된 파라미터는 표 1과 동일하다. 먼저, 전압 궤환 루프를 가지지 않고 일정

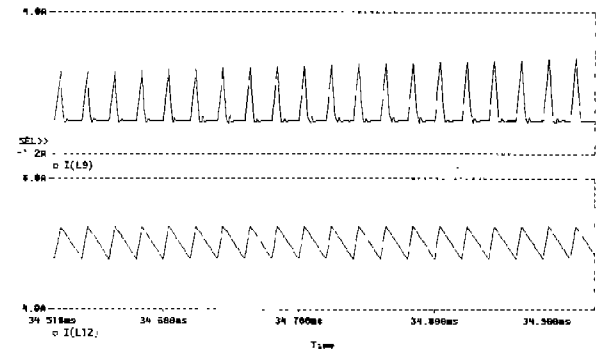
시비율을 가지는 변환기를 시뮬레이션하였다. 그림 6(a)는 입력 전압, 입력 인덕터 전류, 출력 전압과 출력 인덕터 전류의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 6(b)는 입력 인덕터 전류(불연속 모드)와 출력 인덕터 전류(연속모드)를 나타낸다. 출력 전압과 출력 인덕터 전류는 120 Hz 리플을 가짐을 알 수 있다. 이 리플을 제거하기 위하여 전압 궤환 루프를 가지는 변환기를 시뮬레이션하여야 한다.

표 1 시뮬레이션과 실험에 사용된 파라미터

$V_{in}(rms)$	110 V	C_1	470 μF
L_1	150 μH	C_2	3,300 μF
L_2	240 μH	V_o	15 V
R	2.25 Ω	f_s	50 kHz



(a)



(b)

그림 6. 시뮬레이션 파형.

(a) 입력 전압, 입력 인덕터 전류, 출력 인덕터 전류, 출력 전압.

(b) L_1 과 L_2 에서의 전류 파형.

제안한 변환기의 타당성과 시뮬레이션 결과를 증명하기 위하여 100 W 회로를 설계하여 실험하였다. 사용된 파라미터는 표 1과 같다. 그림 7은 전류 궤환

루프를 사용하지 않은 실험 파형을 나타낸다. 출력 전압과 출력 인덕터 전류는 시뮬레이션 결과와 동일하게 120 Hz 리플을 가짐을 알 수 있다.

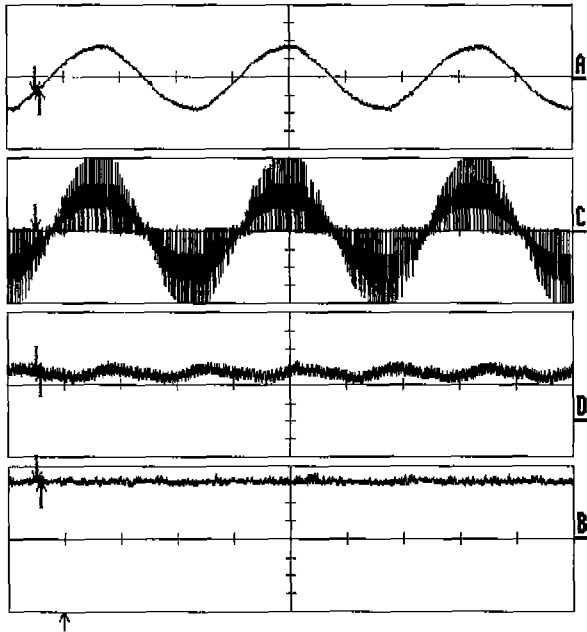


그림 7. 전부하시 측정 파형(open-loop).
 v_{in} (100V/div), i_{L1} (1A/div), i_{L2} (2.5A/div),
 v_o (5V/div), time(5ms/div)

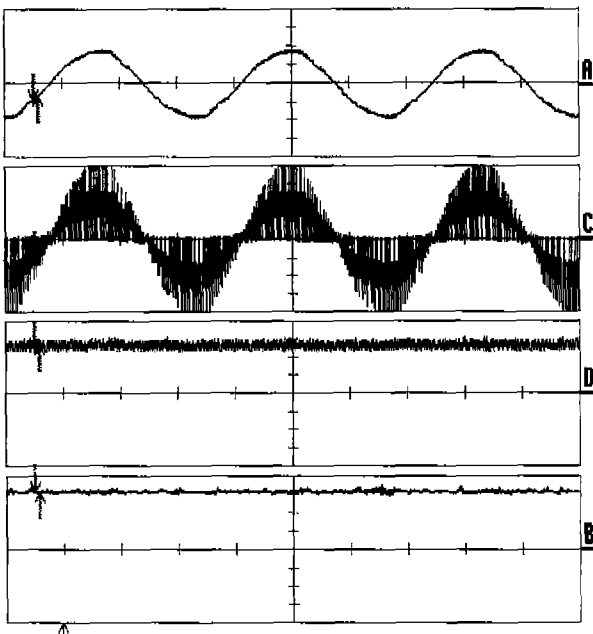


그림 8. 전부하시 측정 파형(closed-loop).
 v_{in} (100V/div), i_{L1} (1A/div), i_{L2} (2.5A/div),
 v_o (5V/div), time(5ms/div).

그림 8과 그림 9는 전압 변환 루프를 사용한 실험 파형을 나타낸다. 그림 8은 전부하에서의 입력 전압, 입력 인덕터 전류, 출력 인덕터 전류와 출력 전압을 나타낸다. 출력 전압과 출력 인덕터 전류는 120 Hz 리플을 가지지 않음을 알 수 있다.

그림 9는 입력 인덕터 전류, 출력 인덕터 전류와 스위치 전압을 나타낸다. 입력 인덕터 전류는 불연속 모드에서, 출력 인덕터 전류는 연속 모드에서 동작함을 알 수 있다.

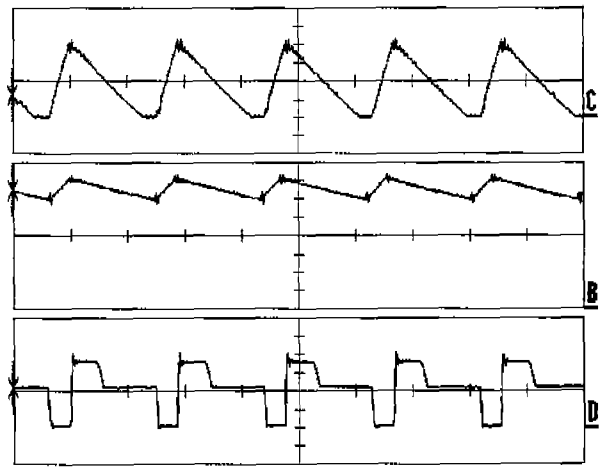


그림 9. 측정 파형. i_{L1} (1A/div), i_{L2} (1A/div),
 v_{sw} (100V/div) time(20 μ s/div).

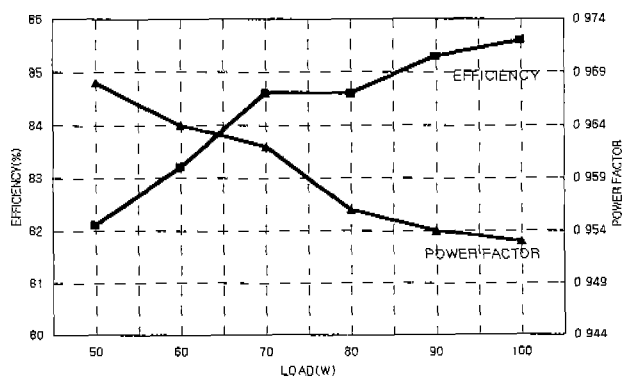


그림 10. 효율과 역률.

그림 10은 각 부하에서의 효율과 역률을 나타낸다. 전부하에서 효율과 역률은 각각 85%, 0.95 이상으로 고효율, 고품질을 달성한다. 효율은 부하가 증가함에 따라, 역률은 부하가 감소함에 따라 증가한다.

그림 11은 전부하에서 측정된 고조파 성분과 IEC 1000-3-2 Class D 제한치를 비교한 그래프이다. 고조파 성분은 고조파 제한치 내에 존재하며 고조파 규제를 만족한다. 데이터는 PM3000으로 측정하였다.

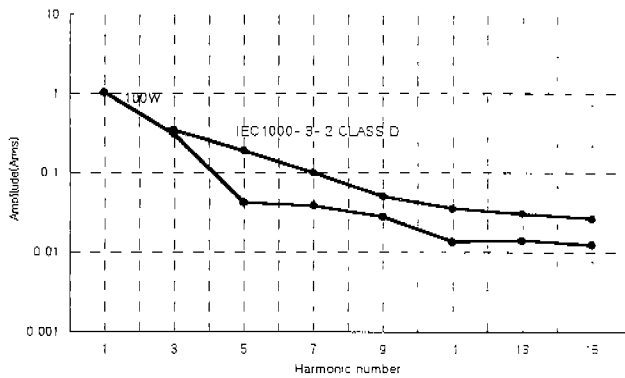


그림 11. 전부하에서 측정된 고조파 성분과 IEC 1000-3-2 제한치 비교.

6. 결론

Forward 변환기를 가지는 새로운 1단 교류/직류 변환기를 소개하였다. 제안한 변환기의 동작 원리와 입력 인덕터 설계 방법을 설명하였다. 시뮬레이션(전압 제한 루프를 가지지 않음)을 실행하였고 100 W 회로를 설계하고 테스트하여 동작원리와 동일함을 보였다. 전압 제어를 가지지 않을 때, 시뮬레이션과 실험 결과는 120 Hz 리플을 가짐을 보였다. 전압 제어를 가짐으로써 120 Hz 리플이 완전히 제거됨을 보였고 효율과 역률이 각각 85%, 0.95 이상으로 고효율, 고역률을 달성함을 보였다. 따라서, 제안된 변환기는 저가, 소형이며 저 도통 손실을 가지는 저출력 응용분야에 적용되어질 수 있을 것으로 보인다.

REFERENCE

- [1] M. Kazerani, P.D. Ziogas, and G. Joos, "A Novel Active Clamp Current Waveshaping Technique for Solid-State Input Power Factor Conditioner", IEEE Tran. on Industrial Electronics, Vol 38, pp.72-78, 1991
- [2] M. Madigan, R. Erickson, and E. Ismail, "Integrated high-quality rectifier-regulators", IEEE power Electronics Specialists Conf. Record, pp.1043-1051, June 1992
- [3] Richard Redl, Laszlo Balogh, and Nathan O. Sokal. "A New Family of Single-Stage Isolated power-Factor Correctors with Fast Regulation of Output Voltage", IEEE Power Electronics Specialists Conf., pp.1137-1144, 1994
- [4] Y.S. Lee, K.W. Siu, and B.T. Lin. "Novel Single-Stage Isolated Power-Factor-Corrected

Power-Supplies with Regenerative Clamping", Proceedings of APEC, pp.259-265, 1997

- [5] Milan M. Jovanovic, Dan M.C. Tsang, and Fred C. Lee, "REDUCTION OF VOLTAGE STRESS IN INTEGRATED HIGH-QUALITY RECTIFIER-REGULATORS BY VARIABLE-FREQUENCY CONTROL" IEEE APEC, pp.569-575, 1994
- [6] Y. Jiang, F.C. Lee, G. Hua, and W. Tang, "A novel single-phase power factor correction scheme," IEEE Applied Power Electronics Conf. Proc., pp.287-292, Mar. 1993
- [7] Laszlo Huber and Milan M. Jovanovic, "Single-Stage, Single-Switch, Isolated Power Supply Technique with Input-Current Shaping and Fast Output-Voltage Regulation for Universal Input-Voltage-Range Applications", IEEE APEC, pp.272-280, 1997