

단일전력단 AC/DC PFC TTFC(Two-Transistor Forward Converter)에 관한 연구

배진용^{*}, 김용^{*}, 김필수^{**}, 조규민^{***}, 최근수^{****}
 *동국대학교, **대림대학, ***청주기능대학, ****디지아이

A Study on the Single-Stage AC/DC PFC TTFC(Two-Transistor Forward Converter)

Jin-Yong Bae^{*}, Yong Kim^{*}, Pil-Soo Kim^{**}, Kyu-Man Cho^{***}, Geun-Soo Choi^{****}
 *Dongguk University, **Daelim College, ***Chongju Polytechnic College, ****DGI

Abstract – Single-stage converters are simpler and less expensive than conventional two-stage converters. It can be a challenge, however, to design single-stage converters to satisfy certain key criteria such as input power factor, primary-side dc bus voltage, and output voltage ripple. This is especially true for higher power single-stage AC/DC TTFC(Two-Transistor Forward Converter).

1. 서 론

본 논문에서는 단일전력단 AC/DC PFC TTFC(Two-Transistor Forward Converter)를 제안하고자 한다. DC 5V 40A의 부하에 적합한 방안으로 입력단 역률 개선 컨버터, 중간단 컨버터 및 부하단 컨버터를 하나로 구성한 AC/DC PFC TTFC를 제안하였다.[1-3] 제안된 전력변환 시스템은 역률개선을 위한 AC/DC Boost 컨버터와 DC/DC TTFC 컨버터를 하나로 결합 단일 전력변환 방식을 채택함으로써 경제적이며 동시에 제어회로의 구성이 보다 간결해진 장점을 지니되고, 고역률 고효율을 이룰 수 있다. 이에 대해 MOSFET을 사용한 입력 AC 110V, 출력 DC 5V/40A, 100kHz, 200W급 시작품을 제작하여 실험으로 확인하였다.

2. 본 론

2.1 기존의 시스템

그림 1은 교류 입력으로부터 직류 출력을 얻기 위해 AC/DC PFC Boost 컨버터와 DC/DC TTFC 컨버터를 결합한 기존 시스템을 나타낸다.

기존의 시스템은 안정적인 역률 개선이 가능하지만, 전력시스템 및 제어기 구조가 복잡하며, 동시에 전력변환이 두 번 이루어지므로 전체 효율이 저감되는 문제점을 지닌다.

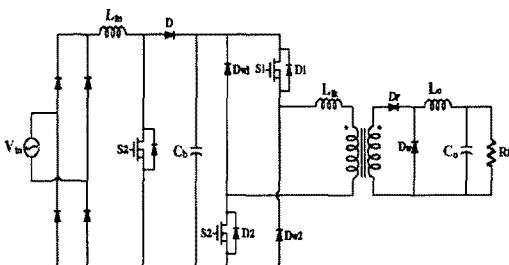


그림 1. 기존의 2단 전력 변환 시스템

2.2 제안된 시스템

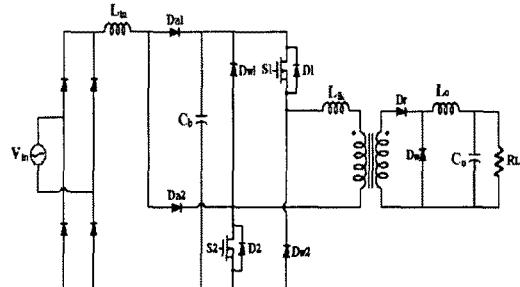


그림 2. 제안된 단일전력단 AC/DC PFC TTFC

그림 2는 제안된 단일전력단 AC/DC PFC TTFC 컨버터를 나타낸다. 제안된 컨버터는 AC/DC PFC Boost 컨버터와 TTFC 컨버터가 결합된 형태로서 Boost 컨버터의 주 스위치(S₁)와 TTFC의 하단 스위치(S₂)가 하나로 결합된 형태로 기존의 시스템에 비하여 매우 간결한 장점을 지닌다.[1]

그림 3과 4는 제안된 TTFC 컨버터의 모드별 동작 과정과 동가 회로를 나타낸다.

1) 모드 I : $t_0 \leq t \leq t_1$

스위치 S₁과 S₂는 턴온 되었으나 변압기 가 자화되는 기간이므로 변압기 1차측에서 2차측으로 전력이 전달되지 못하며, 출력 인덕터 L_o에 저장된 에너지가 환류 다이오드 D_{a2}를 통하여 전력을 부하에 공급한다. 동시에 승압 인덕터 L_{ik}의 전류는 보조 다이오드 D_{a2}와 스위치 S₂를 통하여 상승하는 구간이다.

이 구간에서 스위치 S₁의 전류와 보조 다이오드 D_{a2}의 전류는 식(1),(2)로 나타낼 수 있으며, 스위치 S₂의 전류는 스위치 S₁과 보조 다이오드 D_{a2}의 전류 합으로 나타낼 수 있다.

$$I_{S1} = \frac{V_{Ck}}{L_{ik}} t \quad (1)$$

$$I_{Da2} = \frac{|V_{in}|}{L_{ik}} t \quad (2)$$

$$I_{S2} = I_{S1} + I_{Da2} \quad (3)$$

이 모드의 끝에서 스위치 S₁의 전류를 I_i으로 정의한다.

2) 모드 II : $t_1 \leq t \leq t_2$

변압기 2차측에 전압이 유�起�되며 정류 다이오드 D_r을 통하여 출력으로 전력이 전달되는 구간이며, 승압 인덕터 전류는 지속적으로 상승하는 구간이다.

이 구간에서 스위치 전류의 기울기는 누설 인덕터 L_{ik}와 출력 인덕터 L_o에 의해 제한되어, 식(4)로 나타낼 수 있다.

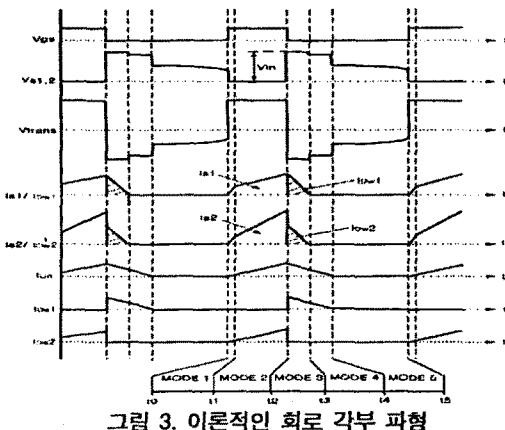
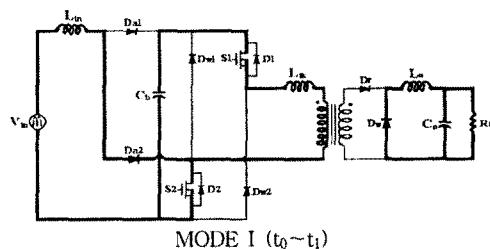
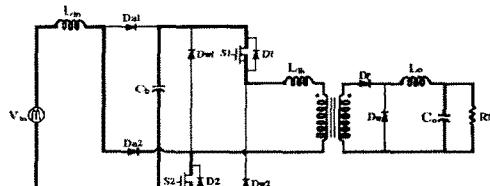


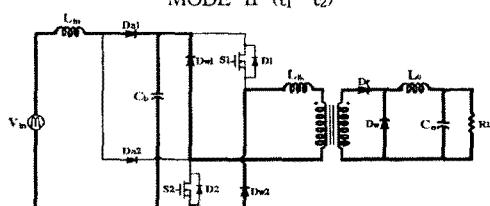
그림 3. 이론적인 회로 각부 파형



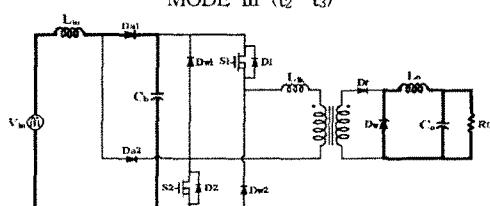
MODE I ($t_0 \sim t_1$)



MODE II ($t_1 \sim t_2$)



MODE III ($t_2 \sim t_3$)



MODE IV ($t_3 \sim t_4$)

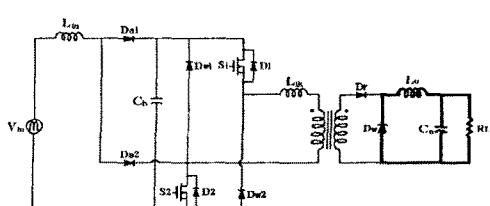


그림 4. 제안된 회로의 모드별 동작

$$I_{S1} = I_1 + \frac{V_{Cb}}{L_{lk} + L_o} t \quad (4)$$

이 모드의 끝에서 스위치 S1의 전류를 I_2 으로 정의하며, 또한 승압 인덕터 L_{in} 의 최대 전류를 I_{pk} 로 정의한다.

3) 모드 III : $t_2 \leq t \leq t_3$

스위치 S1과 S2가 터너오프되면, 누설 인덕터 L_{lk} 에 저장된 에너지가 환류 다이오드를 통하여 C_b 로 리셋되는 모드이며, 승압 인덕터의 전류는 보조 다이오드 D_{a1} 을 통하여 C_b 를 충전시킨다. 이 구간의 시간은 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$t_3 - t_2 = \frac{I_{pk} L_{in}}{V_{Cb} - |V_{in}|} = \frac{|V_{in}| (t_2 - t_0)}{V_{Cb} - |V_{in}|} \quad (5)$$

4) 모드 IV : $t_3 \leq t \leq t_4$

변압기 누설 인덕터의 에너지가 환류 다이오드를 통하여 C_b 로 리셋되면, 출력 인덕터 L_o 에 저장된 에너지가 환류 다이오드 D_w 를 통하여 출력측으로 전력을 전달하는 구간이다.

5) 모드 V : $t_4 \leq t \leq t_5$

출력 인덕터 L_o 에 저장된 에너지가 계속적으로 출력측으로 전달되는 구간이다.

2.3 실험결과 및 특성비교

제안된 단일전력단 AC/DC PFC TTFC의 특성 파악을 위하여 입력 AC 110V, 출력 DC 5V/40A, 스위칭 주파수 100kHz, 출력 200W급의 시작품을 제작하여 실험하였다. 표 1은 하드웨어 제작에 사용된 소자와 회로 파라미터 값을 나타낸다.

표 1. 하드웨어 제작에 사용된 소자와 회로 파라미터

입력 전압 (V_{in})	AC 110 V
출력 전압 (V_o)	5 V
최대 출력 (P_o)	200 W
스위칭 주파수 (f)	100 kHz
승압 인덕터 (L_{in})	41.5 μ H
브리지 정류 다이오드	D25XB60, Shindengen
보조 다이오드 (D_{a1})	DSEI 30, IXYS
보조 다이오드 (D_{a2})	DSEI 30, IXYS
주 변압기	PQ4040, TDK 40 : 3, $L_{lk} = 91.4 \mu$ H
정류 커패시터 (C_b)	330 μ F
주 스위치 (S1, S2)	IXFR26N60Q, IXYS
정류 다이오드 (D_r)	72CPQ030, IR
1차측 환류 다이오드 (D_1, D_2)	SF10L60U, Shindengen
출력 인덕터 (L_o)	110.93 μ H
출력 커패시터 (C_o)	2200 μ F \times 6

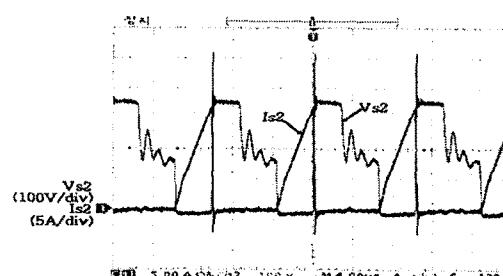


그림 5. 주 스위치 S2의 전압 및 전류파형

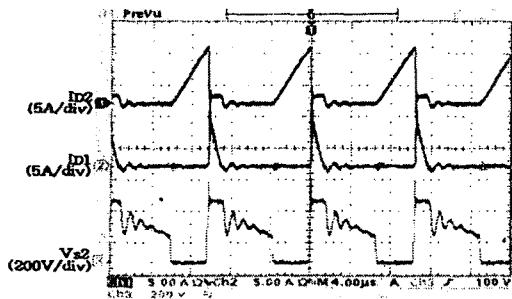


그림 6. 보조 다이오드 Da1, Da2의 전류 및 주 스위치 S2의 전압파형

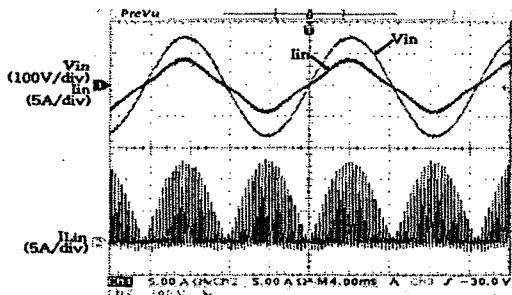


그림 7. 입력 전압, 전류파형 및 승압 인덕터 전류파형

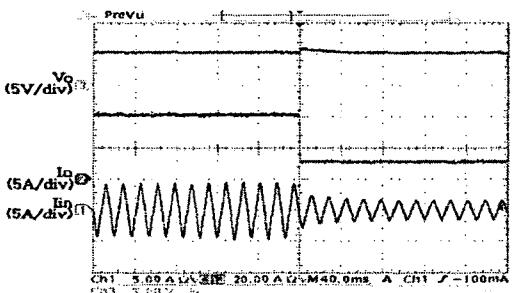


그림 8. 부하 변동시 출력 전압, 전류파형 및 입력 전류파형 (100%→25% 부하변동)

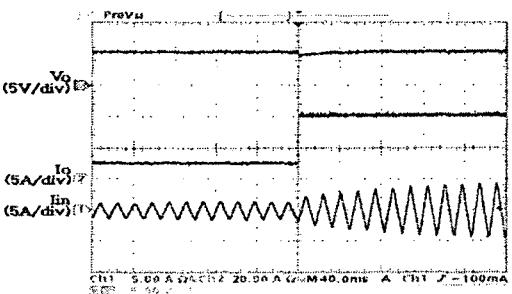


그림 9. 부하 변동시 출력 전압, 전류파형 및 입력 전류파형 (25%→100% 부하변동)

그림 5는 주 스위치 S₂의 전압 및 전류파형을 나타내며, 주 스위치 전류가 불연속적으로 동작함을 알 수 있다. 그림 6은 보조 다이오드 D_{a2}, D_{a1}의 전류파형과 주 스위치 S₂의 전압파형을 나타낸다. 그림 7은 입력 전압, 전류 및 승압 인덕터 전류파형을 나타낸다. 승압 인덕터의 전류가 불연속으로 동작하여, 입력 역률이 단위역률로 개선됨을 알 수 있다. 그림 8,9는 25%에서 100%로 부하 변동시 출력 전압, 전류 및 입력 전류파형을 나타내며, 단위 역률로 제어됨과 동시에 출력 전압이 부하 변화에 잘 추종됨을 알 수 있다.

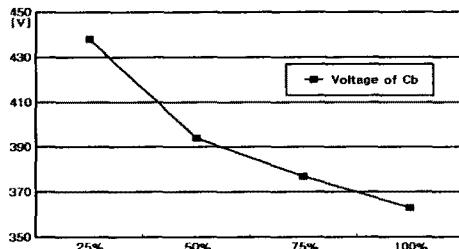


그림 10. 출력에 따른 C_b 전압의 변화

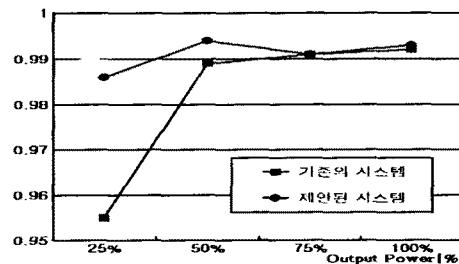


그림 10. 역률 비교

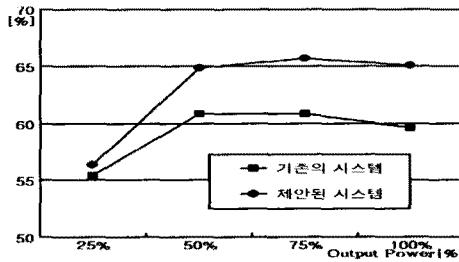


그림 11. 효율 비교

그림 10은 출력에 따른 C_b 전압의 변동을 나타낸다. 경부하에서 C_b의 전압이 상승함을 알 수 있으며, 이는 승압 인덕터를 통해 입력되는 전력에 비하여 부하에서 소비하는 전력이 작기 때문이다. 그림 11,12는 기존의 2단 전력 변환 시스템과 제안된 단일전력단 AC/DC TTFC의 역률과 효율을 각각 비교한 결과로 측정은 Voltech사 전력 분석계 PM3000A로 입·출력 전압 및 전류를 실측하여 계산한 결과이며, 제안된 방식이 전 부하범위에 걸쳐서 역률과 효율이 우수함을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 단일전력단 AC/DC PFC TTFC를 제안하였다. 제안된 시스템은 기존의 시스템에 비하여 매우 간결한 장점을 지니며, 동시에 전 부하영역에서 향상된 역률 및 효율 특성을 보인다. 제안된 컨버터는 부하변동이 작으며, 저전압, 대전류 출력을 요구하는 전자장비 및 통신용 시스템에 적용이 가능하리라 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] M. Daniele, P.K. Jain, and G. Joos, "A single stage power factor corrected ac/dc converter," The proceedings of INTELEC '96, pp. 256-262, 1996.
- [2] R. Redl, L. Balogh, and N.O. Sokai, "A new family of single-stage isolated power-factor correction with fast regulation of the output voltage," The proceedings of PESC '94, pp. 1137-1141, 1994.
- [3] R. Redl, and L. Balogh, "Design considerations for single-stage isolated power-factor-corrected power supplies with fast regulation of the output voltage," The proceedings of APEC '95, pp. 454-458, 1995.