

브리지리스 포워드-플라이백 역률 개선 회로

장바울, 백종복, 조보형
서울대학교 전기컴퓨터공학부

Bridgeless Forward-Flyback PFC Converter

Paul Jang, Jongbok Baek, Bohyung Cho
School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

ABSTRACT

브리지리스 역률 개선 회로는 브리지 정류단을 제거해서 전류 도통 경로에 존재하는 스위칭 소자의 개수를 최소화함으로써 기존 역률 개선 회로 대비 효율 향상을 가능케 하는 기법이다. 본 논문에서는 새로운 토폴로지의 브리지리스 포워드 플라이백 역률 개선 회로를 제안한다. 제안된 회로는 포워드 컨버터와 플라이백 컨버터의 동작을 모두 이용함으로써 브리지 정류단 없이 효과적으로 역률을 개선할 수 있다. 또한 컨버터 입력과 출력 사이에 직류 접지가 분리되는 절연형 특성을 가지며, 변압기의 권선비에 따라 출력 전압을 조절할 수 있다. 제안된 회로의 성능은 모의 실험을 통해 검토한다.

1. 서론

최근 들어 비선형 부하 특성을 갖는 전기 기기의 사용이 증가함에 따라 전원장치에서의 고조파 발생이 문제시 되고 있다. 고조파는 시스템의 효율 및 안정성 등에 문제를 일으킬 수 있기 때문에 국제적으로 고조파에 대한 규제가 강화되고 있는 추세이며, 이런 규제들을 만족시키기 위해 사용되는 것이 바로 역률 개선 회로이다. 현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 것은 부스트 컨버터를 이용한 능동형 역률 개선 회로이다. 하지만 이는 입력단 브리지 다이오드에서 발생하는 순방향 전압 강하로 인해 높은 도통 손실을 보인다. 따라서 현재 브리지 정류단이 없는 여러 형태의 역률 개선 회로가 연구되고 있다.

본 논문은 이러한 연구의 일환으로 새로운 토폴로지의 브리지리스 포워드 플라이백 역률 개선 회로를 제안하고 분석한다. 제안된 회로는 포워드 컨버터와 플라이백 컨버터의 동작을 모두 이용함으로써 브리지 정류단 없이 효과적으로 역률을 개선할 수 있다. 또한 절연형 특성과 출력 전압 가변 특성을 얻을 수 있다. 제안된 회로의 성능 및 타당성은 100W급 컨버터의 모의 실험을 통해 검증하였다.

2. 제안된 브리지리스 포워드-플라이백 역률 개선 회로

2.1 회로 구성

그림 1은 제안된 브리지리스 포워드 플라이백 역률 개선 회로를 나타낸다. 포워드 플라이백 토폴로지는 포워드 컨버터와

플라이백 컨버터의 결합 형태에 따라 여러 방식이 존재하지만 본 연구에서는 역률 개선 회로에 가장 적합한 방식인 [1]의 방식을 채택하였다. 회로는 변압기 T_1 , MOSFET 스위치 S_1 과 S_2 , 출력 다이오드 D_1 과 D_2 및 출력 인덕터, 출력 커패시터로 구성된다.

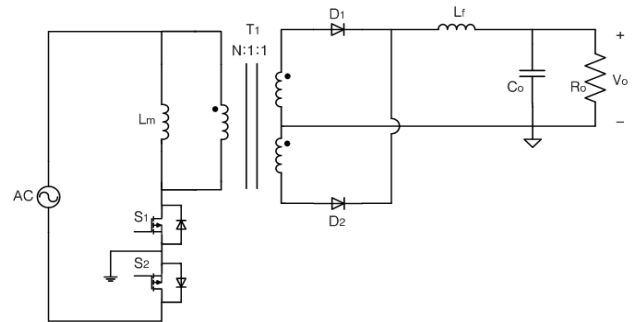


그림 1 제안된 브리지리스 포워드-플라이백 역률 개선 회로
Fig. 1 A proposed bridgeless forward-flyback PFC

2.2 동작 원리

브리지 정류단 없이 컨버터를 동작시키기 위해 스위치 S_1 과 S_2 를 역방향으로 연결하였다. 게이트 신호는 양 스위치에 똑같이 들어간다. 스위치 S_1 과 S_2 를 역방향으로 연결함으로써 입력 전압의 양의 주기 및 음의 주기에서 스위치 내장 다이오드를 통해 전류가 흐르는 것을 방지할 수 있다. 교류 입력전압을 $V_{in}(\theta) = V_p \sin\theta$ 라 했을 때 회로의 동작 원리는 다음과 같다.

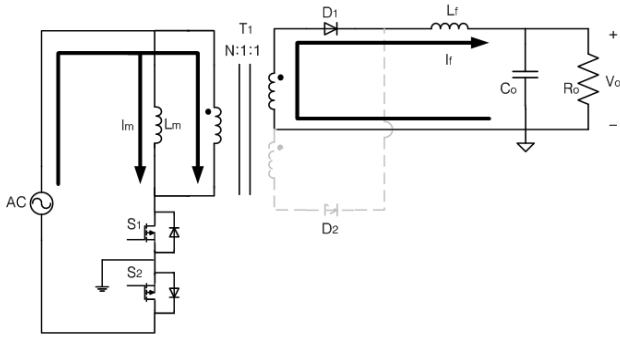
2.2.1 $V_{in}(\theta) < |NV_o|$

이 조건에서는 포워드 컨버터 모드로 동작할 수 없다. 포워드 컨버터를 통해서 원하는 출력 전압을 얻을 수 없기 때문이다. 따라서 양의 주기일 때는 2차측 아랫 권선이, 음의 주기일 때는 2차측 윗 권선이 플라이백 컨버터의 역할을 수행하여 출력에 에너지를 전달한다.

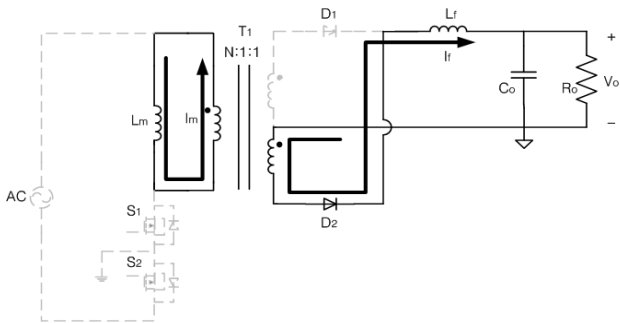
2.2.2 $V_{in}(\theta) > |NV_o|$

양의 주기에서는 2차측 윗 권선이 포워드 컨버터의 역할을, 2차측 아랫 권선이 플라이백 컨버터의 역할을 수행하여 교류 입력전압에 대하여 직류 출력전압을 만들어 낸다. 음의 반주기에서는 반대로 2차측 윗 권선이 플라이백 컨버터의 역할을, 2차측 아랫 권선이 포워드 컨버터의 역할을 수행한다. 그림 2는

$V_{in}(\theta) > |NV_o|$ 일 때 양의 주기에서 회로의 동작을 나타낸다.



(a) 양의 주기에서 스위치 turn on 시 동작



(b) 양의 주기에서 스위치 turn off 시 동작

그림 2 양의 주기에서 회로 동작

Fig. 2 Circuit operation during positive cycle

3. 모의 실험 결과

제안된 브리지리스 역률 개선 회로의 성능을 검증하기 위해 컨버터를 설계하고 모의 실험을 수행하였다. 컨버터의 설계 조건은 $V_{in} = 110V$ AC (60Hz), $V_o = 20V$, $P_o = 100W$ 로 정하였으며 이에 따른 설계 사항은 $N = 5$, $L_m = 100\mu H$, $L_f = 1\mu H$, $C_o = 8.8mF$, $f_s = 100kHz$ 이다. 상기 설계에 덧붙여 회로가 포워드와 플라이백 동작 시 모두 불연속 전도 모드로 동작할 수 있도록 고정 시비율을 정하였다. 따라서 제어 루프 없이도 원하는 출력 전압을 낼 수 있다. 설계된 모의 회로를 그림 3에 나타내었다.

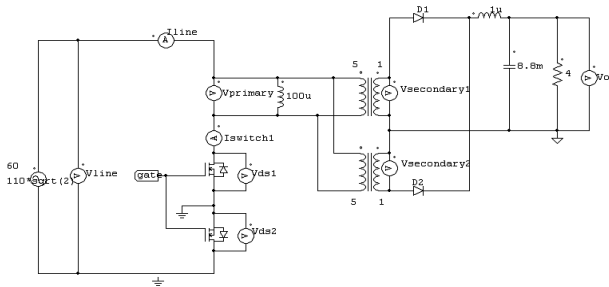


그림 3 모의 실험 회로도

Fig. 3 Schematic of simulation

그림 4는 정상상태에서 한주기 동안의 D_1 전류와 D_2 전류, 입력 전류와 입력 전압, 출력 전압을 도시하고 있다. 먼저 D_1

의 전류 파형은 2차측 윗 권선이 양의 주기 동안 포워드 컨버터로, 음의 주기 동안 플라이백 컨버터로 동작하고 있음으로 말해준다. 양의 주기의 초기 구간 동안 포워드 컨버터가 동작하고 있지 않는데 이는 앞서 언급했듯이 $V_{in}(\theta) < |NV_o|$ 이기 때문이다. 설계 조건 상에서 포워드 컨버터가 동작하기 시작하는 θ 는 $\theta_d = \sin^{-1}(NV_o/V_p) \approx 40^\circ$ 인데 이는 모의 실험의 결과와 일치한다. D_2 의 전류 파형은 D_1 의 경우와 반대로 동작한다. 입력 전류와 입력 전압파형의 위상을 통해 제안된 회로가 역률 개선 회로로 동작하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 출력 전압이 출력 조건인 20V에서 $\pm 5\%$ 의 리플 전압을 가지고 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

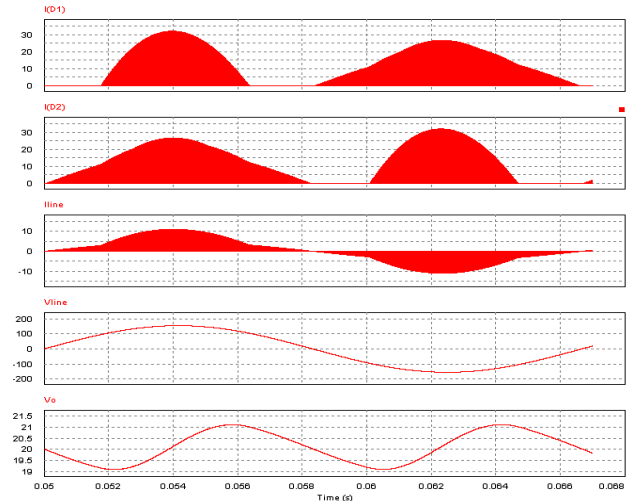


그림 4 한주기 동안 회로의 전압, 전류 파형

Fig. 4 Voltage and current wave forms of circuit while one cycle

4. 결론

본 논문에서는 포워드 플라이백을 기반으로 한 절연형 브리지리스 역률 개선 회로를 제안하였다. 이 컨버터는 기존 컨버터와 다르게 정류 다이오드 없이도 효과적으로 역률을 개선하였으며 이로써 전체 시스템 효율을 높일 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 또한 변압기를 이용하여 절연 구조를 획득하였고 변압기의 권선비를 통해 출력 전압을 조절할 수 있다. 제안된 회로의 성능은 100W급 불연속 전도 모드 컨버터의 모의 실험을 통해 검증하였다.

이 논문은 삼화양행의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 이승운 외 4명, "개선된 Forward flyback DC/DC 컨버터에 관한 연구", 전력전자학회 2009년도 추계학술대회 논문집, 2009, pp. 176-178
- [2] Hernan Emilio Tacca, "Power Factor Correction Using Merged Flyback Forward Converters", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 15, No. 4, 2000, pp. 585-594