

AT 플라이백 다중 공진형 컨버터의 동작특성

정진범*
한양대학교
전자전기제어
계측공학부

김희준*
한양대학교
전자·컴퓨터공학부

김창선**
목포대학교
전기공학과

우승훈***
동아일렉콤

박우철***
동아일렉콤

A Characteristic of Alternative Flyback Multi-Resonant Converter

Jin-Beom Jeong
Hanyang Univ.

Hee-Jun Kim
Hanyang Univ.

Chang-Sun Kim
Mokpo Univ.

Seung-Hoon Woo
Dong-AH CO. LTD.

Woo-Chul Park
Dong-AH CO. LTD.

Abstract – The multi-resonant converter minimizes a parasitic oscillation by using the resonant tank circuit absorbed parasitic reactance existing in a converter circuit. So it is possible that the converter operated at a high frequency has a high efficiency because the losses are reduced. However, the resonant voltage stress across a switch is four or five times a input voltage. This high voltage stress increases the conduction loss. In this paper, we proposed the AT flyback multi-resonant converter. The proposed converter can reduce the voltage stress to two or three times by using two series input capacitors. The operational principle of the proposed converter was verified through the experimental converter.

1. 서 론

회로에 존재하는 기생성분을 공진요소로 흡수하여 이용함으로써 기생발진을 최소화 시킬 수 있는 다중 공진형 컨버터는 고효율 및 고주파 스위칭으로의 응용이 가능하다. 따라서 소형 경량화의 지표인 고전력밀도를 실현할 수 있다. 다중 공진형 컨버터는 기존의 하드스위칭 PWM 스위치에 직렬로 인덕터와 병렬로 커패시터를 연결하고, 수동 스위치인 정류 다이오드에 병렬로 커패시터를 연결한 다중공진 스위치를 이용하여 구성된다. 이러한 영전압 스위칭 다중 공진형 스위치 개념은 전류를 공진시키는 영전류 스위칭보다 고주파화가 더 유리하다. 그러나 공진현상으로 인한 스위치 양단의 전압 스트레스는 입력전압의 4배에서 5배정도로 높아 스위치 정격을 높이는 결과를 초래한다. 이는 스위치 도통저항 증가에 따른 전도손실로 나타나는 단점이 된다. 이를 해결하기 위하여 클램프 모드 다중공진형 컨버터의 형태가 제안되기도 하였다.

본 논문에서는 이와 다른 회로방식으로 공진형 컨버터의 공진 전압 스트레스를 줄일 수 있는 교번으로 동작하는 플라이백형태의 다중 공진형 컨버터를 제안하였다. 제안한 회로는 스위치에서의 영전압 스위칭이 가능하며, 입력전압을 두개의 커패시터를 직렬연결하여 양분함으로써 공진 스트레스를 줄이도록 하였다. 즉 입력커패시터에 충전된 각각의 전압을 이용하여 공진회로가 구성되므로 공진전압 스트레스또한 입력전압의 2배에서 3배정도로 감소될 수 있다. 회로를 구성하는 두 스위치는 서로 대칭적으로 동작하므로 제어회로는 간단하게 구성되어진다. 또한 제안된 AT 플라이백 다중 공진형 컨버터는 출력단의 주파수가 입력단 스위칭 주파수의 2배가 되어 출력 리풀이 감소하는 특성이 있다.

제안한 회로의 동작특성을 살펴보기 위하여 PSpice를

이용한 시뮬레이션을 수행하였으며, 프로토타입의 회로를 제작하여 회로동작 해석이 적절하게 수행되었음을 확인하였다.

2. AT 플라이백 다중 공진형 컨버터

교번으로 동작하는 플라이백 다중 공진형 컨버터(Alternated Flyback Multi-Resonant Converter)는 중소 용량의 정격에 적합한 회로이다. 일반적인 다중공진형 컨버터와 마찬가지로 기생요소가 공진회로에 흡수되므로 고주파 스위칭이 가능하고 제어회로가 간단하여 온-보드(On-Board) 형태로 이용이 가능하다.

2.1 회로구성 및 동작 해석

제안된 컨버터를 그림 1에 나타내었다. 컨버터를 교번으로 동작시키기 위하여 일반적인 플라이백 형태의 다중 공진형 컨버터가 변압기 1차측에 직렬로 연결된 형태이다. 그러나 변압기 1차측 전압은 두개의 커패시터 C_{R1} 과 C_{R2} 에 의하여 양분되어 있는 형태로 커패시터에 저장된 에너지가 공진에 이용되는 전압원이 된다. 커패시터를 이용한 입력전압의 양분으로 인하여 스위치 양단간 전압 스트레스는 2~3배정도가 된다.

입력단에 추가된 인덕터 L_{R1} 과 L_{R2} 는 공진 인덕터이며 스위치에 병렬로 연결된 공진 커패시터 C_{R1} , C_{R2} 와 함께 주된 공진요소가 된다. 스위치 Q_1 과 Q_2 는 교번으로 동작하기 때문에 1차측 스위칭 주파수에 비해 변압기 2차측은 2배의 주파수를 갖게 된다. 따라서 변압기 2차측에 연결된 커패시터 C_D 에 걸리는 전압 주파수는 2배가 되며, C_D 에 나타나는 전압의 극성에 따라 출력단

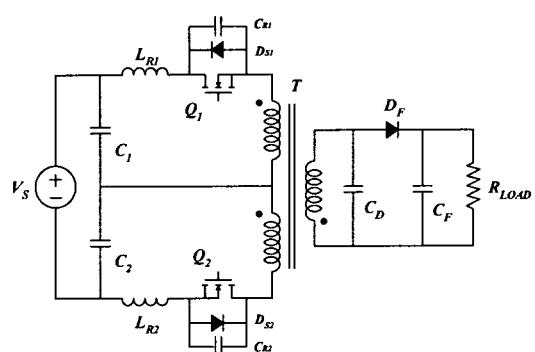


그림 1 AT 플라이백 다중 공진형 컨버터의 회로도
다이오드 D_F 는 온, 오프가 된다.

제어회로는 일반적인 공진형 컨버터에 적용되는 PFM 방식을 이용하고, 스위치의 교변동작이 명확하도록 테드 타임(dead-time)만 조정하면 되므로 기존방식과 유사하게 비교적 간단해진다.

그림 2는 PSpice에 의해 시뮬레이션 된 결과로부터 제시된 AT 플라이백 영전압 스위칭 다중 공진형 컨버터의 이론적 파형을 나타낸다.

V_{GSI} 과 V_{GS2} 는 MOSFET 스위치인 Q_1 과 Q_2 의 구동파형을 나타낸다. i_{L1} 과 i_{L2} 는 공진 인덕터에 흐르는 전류를 나타내며, 각 스위치에 흐르는 전류와 같다. 이 공진전류는 흐르는 방향에 따라 스위치의 채널과 역병렬 다이오드를 통해서 흐르게 된다. 스위치가 오프 상태일 때 스위치 양단에 걸리는 공진전압 파형은 V_{DS1} 과 V_{DS2} 로 나타나었으며, 컨버터의 입력전류는 i_s 이다. 2차측 공진 커페시터 C_D 양단에 걸리는 전압은 v_D 로서 다이오드 D_F 가 도통상태가 되면 출력전압으로 제한되어진다. 또한 1차측 주파수의 2배가 되는 전압이 나타남을 그림으로부터 알 수 있다.

그림 3은 컨버터의 각 부분 전압과 기준이 되는 전류의 방향을 표시한 것으로, 이로부터 그림 4와같이 각 모드별 동작 회로를 나타내었다. AT 플라이백 다중 공진형 컨버터는 그림 2의 이론파형에서 전압, 전류 조건에 따라 한 주기동안 크게 8개의 동작모드로 구분 되어진다. 각 모드별 해석은 다음과 같다.

• 모드 1 ($t_0 \sim t_1$) : 스위치 Q_1 이 오프되고 스위치 Q_2 가 온 될 때까지 두 스위치가 모두 오프 상태인 테드타임 구간이다. Q_1 이 오프되면 Q_1 양단의 전압 V_{DS1} 은 C_{R1} 과 L_{R1} 으로 구성된 공진회로에 의해 상승하게 된다. 양의 값을 갖는 i_{L1} 은 C_{R1} 을 통해 흐르고 음의 값인 i_{L2} 는 스위치의 역병렬 다이오드를 통해 흐른다. 이 구간에서 2차측 전압인 v_D 는 음에서 양으로 변한다. 다이오드 D_F 는

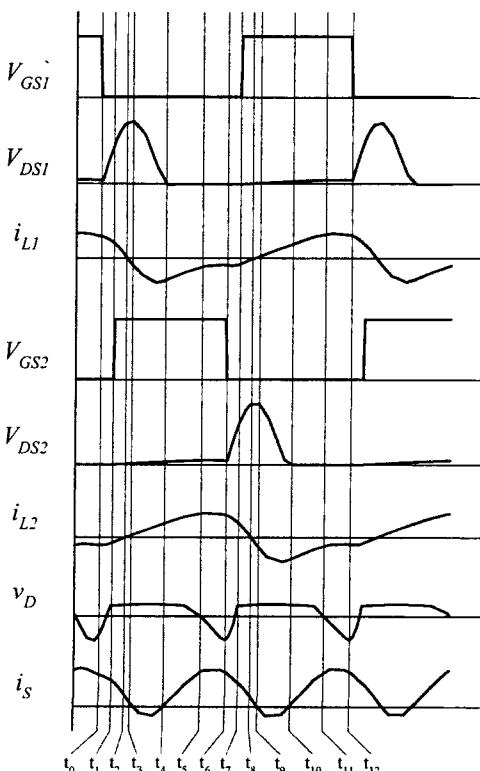


그림 2 AT 플라이백 MRC의 이론적 파형
아직 역방향 바이어스 상태로 커페시터 C_F 가 부하로 예

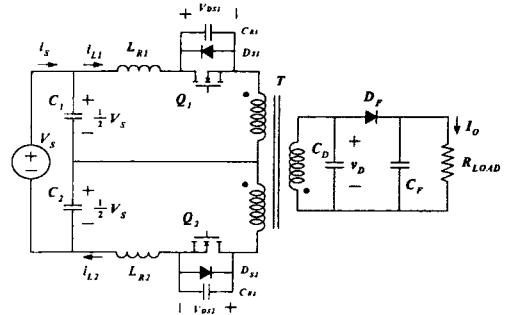


그림 3. 모드 해석을 위한 AT 플라이백 MRC

너지를 공급 한다.

- 모드 2 ($t_1 \sim t_3$) : 스위치 Q_2 가 온이 되는 구간으로 V_{DS1} 은 공진에 의해 최고점까지 상승하게 되고 공진전류 i_{L1} 은 감소하여, 이후 방향이 바뀌어 음의 값을 갖게 된다. i_{L2} 또한 방향이 바뀌어 스위치의 채널을 통하여 흐르게 된다. 2차측 전압 v_D 는 다이오드 D_F 가 도통됨에 따라 출력전압으로 고정된다. 이 영향으로 i_{L2} 는 큰 주기를 갖는, 선형적인 상승곡선을 그리게 된다.

- 모드 3 ($t_3 \sim t_5$) : 스위치 Q_1 양단의 공진전압이 0으로 감소하게 되고 전류 i_{L1} 은 스위치의 역병렬 다이오드를 통해 흐르게 된다. 또한 이 구간내에 컨버터 입력전류의 흐름이 역이 되는 즉, 입력측으로 에너지가 회생되는 구간이 존재하게 된다. 모드 2와 함께 변압기 2차측으로부터 출력측으로 에너지가 전달되는 구간으로써 C_D 양단전압은 출력전압으로 고정되어 있다. 이 모드의 끝점에서 Q_1 측의 변압기 1차권선에서 넘어오던 에너지가 모두 소모되고, Q_2 측으로 구성된 회로의 영향으로 C_D 양단전압은 음으로 바뀌게 되며 다이오드 D_F 를 통하여 흐르던 전류 또한 감소하여 0이 된다.

- 모드 4 ($t_5 \sim t_6$) : C_D 양단전압이 Q_2 스위치를 통해 구성된 공진회로의 영향에 의해 음으로 나타나는 구간으로서 Q_2 오프되는 t_6 시점에서 최저값이 된다. 이 구간에서 i_{L1} 은 스위치의 역병렬 다이오드를 통하여 전류가 흐르고 i_{L2} 는 Q_2 의 채널을 통해 전류가 흐르고 있다.

- 모드 5 ($t_6 \sim t_7$) : 스위치 Q_2 가 오프되고 스위치 Q_1 가 온 될 때까지 두 스위치가 모두 오프 상태인 테드타임 구간으로 Q_2 양단의 전압 V_{DS2} 는 C_{R2} 와 L_{R2} 로 구성된 공진회로에 의해 상승하게 된다. 이 구간에서 2차측 전압인 v_D 는 음에서 양으로 변한다. 다이오드 D_F 는 아직 역방향 바이어스 상태로 커페시터 C_F 가 부하로 에너지를 공급한다.

- 모드 6 ($t_7 \sim t_9$) : 스위치 Q_1 이 온이 되는 구간으로 V_{DS2} 는 공진에 의해 최고점까지 상승하게 된다. i_{L2} 는 감소하여 방향이 바뀌게 된다. i_{L2} 또한 방향이 바뀌어 스위치의 채널을 통하여 흐르게 된다. 2차측 전압 v_D 는 다이오드 D_F 가 도통됨에 따라 출력전압으로 고정된다.

- 모드 7 ($t_9 \sim t_{11}$) : 스위치 Q_2 양단의 공진전압이 0으로 감소하게 된다. 이 구간내에 입력측으로 에너지가 회생되는 구간이 존재한다. 이 모드의 끝점에서 C_D 양단전압은 음으로 바뀌게 되며 D_F 를 통하여 흐르던 전류는 0이 된다.

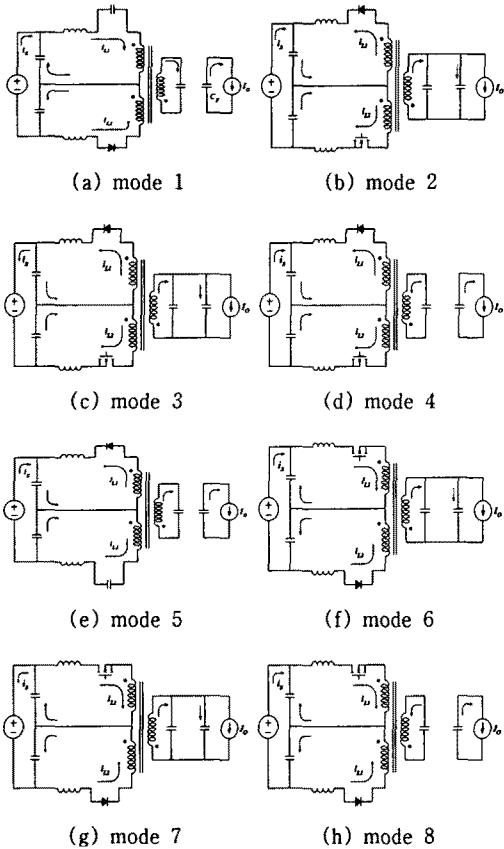


그림 4. 각 모드별 회로구성 및 전류 경로

• 모드 8 ($t_{11} \sim t_{12}$) : C_D 양단전압이 Q_1 오프되는 t_{12} 시점에서 최저값이 된다. 이 구간에서 i_{L1} 은 스위치의 역 병렬 다이오드를 통하여 전류가 흐르고 i_{L2} 는 Q_2 의 채널을 통해 전류가 흐르고 있다.

2.2 시뮬레이션 및 실험결과

그림 5는 시뮬레이션을 통하여 얻은 Q_2 스위치 양단의 전압 및 공진인덕터 L_2 의 전류를 나타낸 것이다. 중부하(5.8A) 조건에서의 시뮬레이션 결과로 스위치의 전압 스트레스가 약 145V 정도임을 알 수 있다.

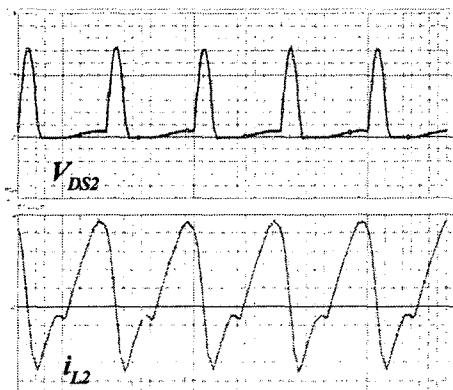


그림 5. 스위치 Q_2 의 전압, 전류 시뮬레이션

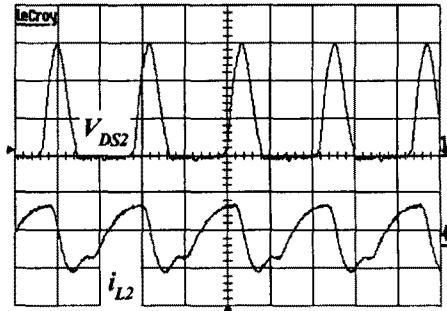


그림 6. 스위치 Q_2 의 전압, 전류 측정파형
(50V/div, 8A/div)

그림 6은 실제 제작된 프로토타입의 회로에서 측정한 스위치 V_{DS2} 와 i_{L2} 이다. 입력전압 48V, 출력 5V로 설계되었으며 실험에 적용된 부하는 6[A]에서 측정하였다. 실험 결과로부터 시뮬레이션과 흡사한 과정을 보임을 알 수 있으며 스위치의 전압 스트레스가 약 150V 정도로 입력전압의 3배임을 확인할 수 있었다.

3. 결론

일반적인 다중공진형 컨버터가 갖는 높은 전압 스트레스를 줄이기 위하여, 교변으로 동작하는 플라이백 형태의 회로에 커패시터로 양분된 전압을 인가함으로써 전압 스트레스를 저감시킬수 있는 AT 플라이백 다중공진형 컨버터를 제안하였다. 제안한 회로의 동작 해석을 위해 시뮬레이션을 통한 모드 해석을 수행하였고 프로토타입의 회로를 제작하여 해석의 타당성을 검증하였다. 향후 제안된 회로의 보다 상세한 해석을 위해서는 부하 전반에 걸친 동작 및 제어특성 확인 등의 연구가 수행되어야 할 것으로 사료되며 또한 각 공진요소들의 영향에 대해서도 보다 자세한 수학적 연구가 필요할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] H. J. Kim, C. S. Leu, R. Farrington, F. C. LEE, "Clamp Mode Zero Voltage Switched Multi Resonant Converters" IEEE PESC, pp 78-84, 1992
- [2] C. S. Kim, "The operational characteristics of the AT Forward Multi-Resonant Converter", KIEE, pp 114-123, Vol.12, No3, 1998
- [3] W. A. Tabisz, F. C. Lee, "Zero voltage switching multi resonant technique - A novel approach to improves performance of high frequency quasi resonant converters", IEEE PESC, pp 9-17, 1998
- [4] 김희준, 오덕진, 김창선 “클램프모드 포워드 다중 공진형 컨버터와 AT 포워드 다중공진형 컨버터의 스트레스 비교” 대한전기학회 하계학술대회 pp 2698-2700, 1999