

저전압 스트레스를 갖는 AT 파워드 다중 공진형 컨버터

황치면, 김희준, 김창선, 김영태*

한양대학교 전기공학과

목포대학교 전기공학과

원주전문대학 전기공학과*

AT forward MRC with a low voltage stress

Chi-Meon Hwang, Hee-Jun Kim, Chang-Sun Kim, Young-Tae Kim**

Dept. of Electrical Eng. Hanyang Univ., Dept. of Electrical Eng. Mokpo National Univ.,
Dept. of Electrical Eng. Wonju National College**

Abstract - In this paper, we proposed the alternated forward multi-resonant converter. It can reduce the voltage stress due to the operation of two multi resonant switches and also provides a high frequency applications. The proposed circuit is verified through the PSpice simulation and the 50W experimental set with 2MHz maximum frequency. The measured voltage stress is up to 170V of 2.9 times the input voltage and the efficiency is about 81.66% at low line.

1. 서 론

고효율을 실현할 수 있고 고주파 스위칭 응용이 가능한 파워드 영전압 스위칭 다중 공진형 컨버터(Forward Zero Voltage Switching Multi-Resonant Converter : Forward ZVS MRC)는 기존의 하드 스위칭 되는 PWM(Pulse Width Modulation) 스위치에 직렬로 인덕터와 병렬로 커패시터를 연결하고, 수동 스위치인 정류 다이오드에 병렬로 커패시터를 연결한 다중 공진 스위치를 이용하여 구성된다[1].

이러한 회로 구조는 스위치에 존재하는 기생 리액턴스 성분인 접합 커패시턴스와 변압기에 존재하는 누설 인덕턴스 등을 회로에 흡수시킴으로써 기생 발진을 일으키지 않고 회로에 이용이 가능하다. 그 결과, PWM 컨버터에 비해 다중 공진형 컨버터는 높은 효율을 갖도록 수 MHz 대의 고주파에서 동작이 가능하며, 이로 인해 소형화에 지장이 되는 높은 전력밀도 [W/inch²]를 기대할 수 있게 되었다[2][3].

그러나 공진 현상으로 인한 스위치 양단의 높은 전압 스트레스는 입력 전압의 4~5배 정도로 스위치의 정격을 높이는 결과를 초래하며, 이로 인한 스위치의 온-저항의 증가로 전도 손실이 증가하는 단점을 가지고 있다. 따라서 이러한 단점을 해결하기 위해 클램프 모드 다중 공진형 컨버터가 제안되기도 하였다[4][5].

본 논문에서는 공진 전압 스트레스를 줄일 수 있는 AT 파워드 영전압 스위칭 다중 공진형 컨버터를 제안하였다. 이 컨버터는 두 개의 다중 공진 스위치를 이용하여 공진 전압 스트레스를 입력 전압의 2~3배 정도로 줄일 수 있다. 또한 공진 현상으로 인해 에너지가 입력측에 회생되고 변압기 2차측 커패시터를 통해

변압기의 자동 리셋을 제공한다. Pspice를 통한 시뮬레이션과 입력 48V, 출력 5V, 50W의 실험을 통하여 본 회로의 타당성을 입증하였다.

2. 교번으로 동작하는 파워드 다중 공진형 컨버터

교번으로 동작하는 파워드 다중 공진형 컨버터(Alternated Forward Zero Voltage Switching Multi-Resonant Converter : AT Forward ZVS MRC)는 기생 리액턴스 성분을 공진 회로에 흡수함으로써 수 MHz 대의 고주파 스위칭이 가능하기 때문에 높은 전력 밀도를 갖는 온-보드 형태로 분배 전원 시스템의 부하 컨버터 모듈로 이용이 가능하다. 그리고 공진 전압 스트레스가 입력 전압의 2~3배 정도로 줄어들어 오프라인 전원 방식의 응용 또한 가능하다.

그림 1의 제안된 컨버터는 교번으로 동작시키기 위해 변압기 1차측은 직렬 형태로 구성되며, 두개의 입력 필터 커패시터(C_{S1} , C_{S2})에 의해 변압기 1차측의 입력 전압이 양분된다. 이 커패시터 양단에 나타나는 전압이 공진에 이용되는 전압원이 되므로 공진 전압 스트레스는 입력 전압의 2~3배 정도가 된다. 입력측에 구성된 두 개의 다중 공진 스위치는 공진 인덕터(L_{R1} , L_{R2})와 공진 커패시터(C_{R1} , C_{R2}) 그리고 스위치(Q_1 , Q_2)로 구성이 된다. 이 두 개의 스위치는 교번으로 동작하기 때문에 변압기 2차측 커패시터(C_D)에 걸리는 전압의 주파수는 1차측의 2배가 되며, 반파 정류회로를 구성하고 있는 다이오드(D_{F1} , D_{F2})는 C_D 에 걸리는 전압의 극성에 따라 온,오프가 된다.

클램프 모드 다중 공진형 컨버터와 비교하면 전압 스트레스에 있어서 비슷한 특성을 나타내며, 제어회로에 있어서 교번으로 동작하는 스위치의 데드 타임만을 조정하면 되기 때문에 일반적인 다중 공진형 컨버터와 유사하게 제어 회로가 간단하다.

그림 2는 Pspice에 의해 시뮬레이션 한 결과로 부터 구한 AT 파워드 영전압 스위칭 다중 공진형 컨버터의 이론적인 파형을 나타낸다. V_{GS1} 과 V_{GS2} 는 스위치 Q_1 , Q_2 의 구동 파형을 나타내고, i_{L1} 과 i_{L2} 는 공진 인덕터에 흐르는 전류를 나타내며, 스위치가 오프 상태일 때 스위치에 걸리는 V_{DS1} , V_{DS2} 는 공진 전압 파형으로 나타난다. i_S 는 컨버터의 입력 전류를 나타내며, i_P 는 변압기를 통하여 흐르는 전류를 나타낸다.

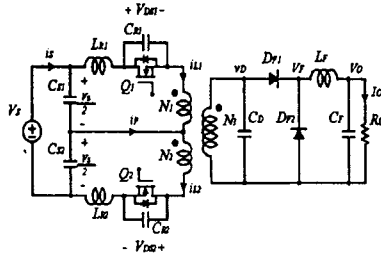


그림 1. AT 파워드 이중 공진형 컨버터

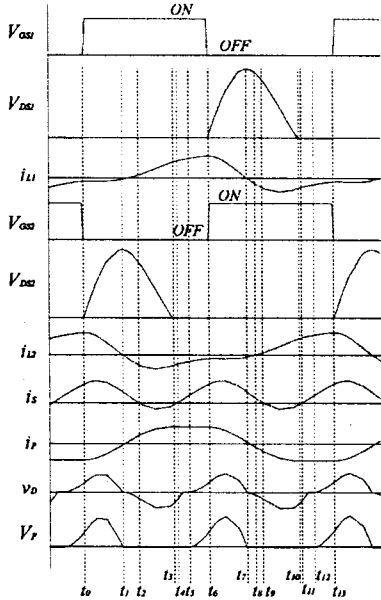


그림 2. AT 파워드 이중공진형 컨버터의 이론적인 파형

3. 시뮬레이션 및 실험

제안된 컨버터의 정격 입력은 48V이고 출력은 5V/50W이다. 컨버터는 주파수 가변 제어 방식으로 제어되기 때문에 최소, 최대 주파수가 존재하며 변압기 2차측 동작 주파수는 1MHz에서 2MHz가 된다. 그리고 두 개의 스위치가 교번으로 동작하기 때문에 데드 타임을 갖고 시비율은 0.45에서 0.48로 고정되어 동작한다. 그림 3은 AT 파워드 이중 공진형 컨버터의 제어 블록도를 나타낸다. 제어 회로는 오차 증폭기와 주파수 가변 발진기 그리고 구동 회로로 구성되어 있다. 오차 증폭기는 컨버터의 출력 전압을 검출하여 기준 전압과 비교하며 그 오차분 만큼이 가변 주파수 발진기의 주파수를 가변한다. 가변 주파수 발진기는 시비율과 최대, 최소 주파수가 결정되도록 프로그램할 수 있으며 온 타임과 오프 타임이 동시에 가변되면서 주파수가 가변된다. 데드 타임은 one-shot 발진기에서 결정되며 구동 회로를 통해 이중 공진 스위치 Q2를 구동하고 Q1은 펄스 변압기를 통해 구동된다.

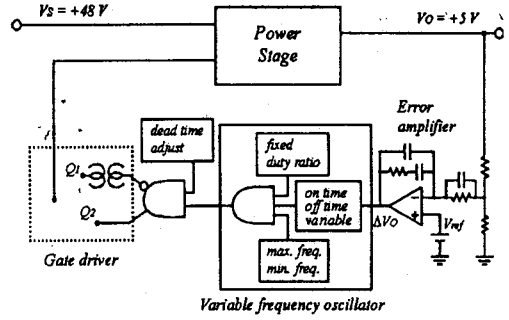


그림 3. AT 파워드 이중공진형 컨버터의 제어블럭도

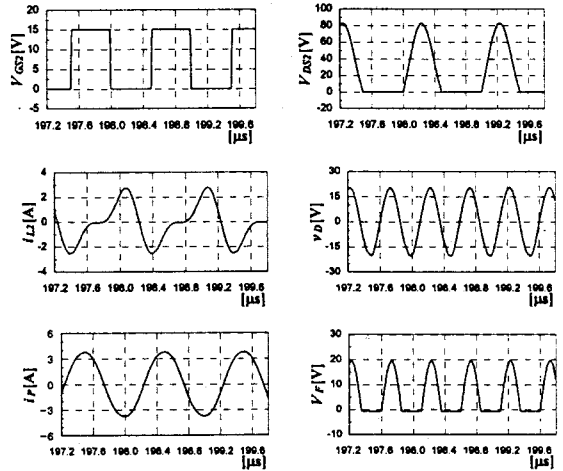


그림 4. 정격 입력, 경부하일 때의 각 부분의 시뮬레이션 파형($V_s=48.1V$, $V_o/I_o=5.07V/0.5A$)

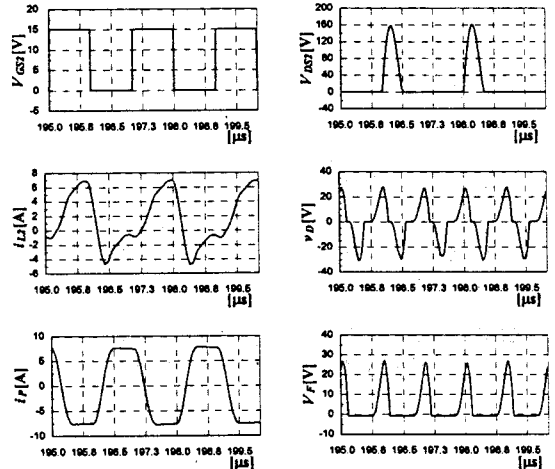
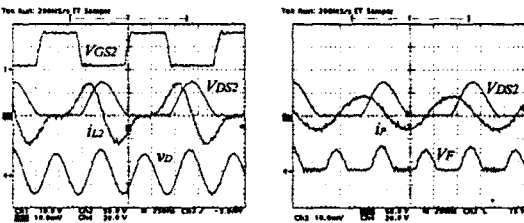


그림 5. 정격 입력, 중부하일 때의 각 부분의 시뮬레이션 파형($V_s=48.1V$, $V_o/I_o=5.07V/10A$)

그림 4과 그림 5는 정격 입력일 때 경부하와 중부하 일 때의 각 부분의 Pspice를 이용한 시뮬레이션 파형을 나타내며 실험 파형과 일치함을 알 수 있다.

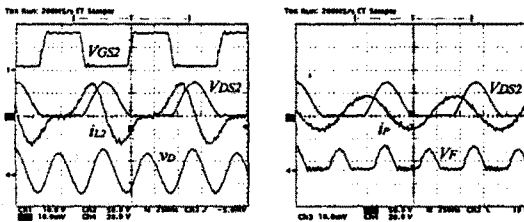
그림 6과 그림 7은 제안된 컨버터에 있어서 각각 정격 입력일 때 경부하와 중부하에서의 실험 파형을 나타낸다. V_{GS2} 는 스위치 Q_2 의 구동파형을 나타내고 V_{DS2} 는 드레인-소스 사이의 공진 전압 파형을 나타낸다. 영전압에 도달한 후 스위치가 온이 되어 영전압 스위칭이 이루어지는 것을 관찰할 수 있다. i_{L2} 는 공진 인덕터를 통하여 흐르는 전류를 나타내며, v_D 는 변압기 2차측 공진 커패시터에 걸리는 전압으로 변압기 1차측 스위칭 주파수의 2 배임을 알 수 있고 교류 전압 형태로 변압기의 자동 리셋트가 됨을 알 수 있다. 그리고 i_P 는 변압기를 통하는 전류로 스위치 Q_1, Q_2 의 공진에 관여하는 전류로서 가감하여 영전류로 도달할 때 각각 Q_1, Q_2 의 공진 전압은 최대 값에 도달하는 것을 알 수 있다.

스위칭 주파수는 500KHz에서 1MHz까지 동작하고 있고 변압기 2차측은 1MHz에서 2MHz까지 동작하는 것을 확인할 수 있다. 경부하일 때 공진 전압 스트레스는 75V, 중부하일 때는 140V로 입력 전압의 약 2.9배 정도임을 알 수 있다.



(a) V_{GS2} (10V/div), V_{DS2} (50V/div), i_{L2} (2A/div), v_D (20V/div)
(b) V_{DS2} (50V/div), i_P (2A/div), V_F (20V/div)

그림 6. 정격 입력, 경부하일 때의 각 부분의 실험파형($V_s=48.1V$, $V_o/I_o=5.07V/0.5A$)



(a) V_{GS2} (10V/div), V_{DS2} (50V/div), i_{L2} (5A/div), v_D (20V/div)
(b) V_{DS2} (50V/div), i_P (5A/div), V_F (20V/div)

그림 7. 정격 입력, 중부하일 때의 각 부분의 실험파형($V_s=48.1V$, $V_o/I_o=5.07V/10A$)

그림 8은 부하 변동에 따른 컨버터의 효율을 나타낸다. 최대 효율은 입력 전압이 38V일 때 81.66%로 측정되었다.

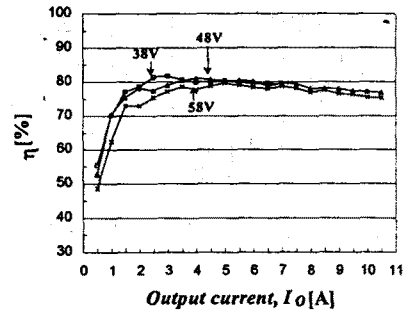


그림 8. 입력 전압에 따른 부하전류에 대한 컨버터의 효율

4. 결 론

본 논문에서는 저전압 스트레스를 갖는 포워드 영전압 스위칭 다중 공진형 컨버터(Alternated Forward MRC)를 제안하였다. 제안된 컨버터는 두 개의 다중 공진 스위치를 이용함으로써 공진 전압 스트레스를 입력 전압의 2~3배로 줄일 수 있다. 입력 48V, 출력 5V/50W 정격의 컨버터를 제작, 실험하고 Pspice 모의 실험을 통하여 그 타당성을 입증하였다. 실험을 통하여 측정된 최대 전압 스트레스는 입력 전압의 2.9배인 170V이고 최대 효율은 81.66%이다.

참고 문헌

- [1] K. H. Liu, R. Oruganti, F. C. Lee, "Resonant switch Topologies and characteristics", IEEE PESC, pp.106-116, 1985.
- [2] W. A. Tabisz, F. C. Lee, "Zero voltage switching multi - resonant technique - A novel approach to improved performance of high frequency quasi - resonant converters", IEEE PESC, pp.9-17,1988.
- [3] F. M. Magalhaes, F. T. Dickens, G. R. Westerman, N. G. Ziesse, "Zero voltage switched resonant half bridge high voltage DC-DC converter", IEEE HFPC, pp.332-343, May, 1988
- [4] H. J. Kim, C. S. Kim, S. H. Lee, I. H. Lee., "A development of the 2MHz clamp mode forward ZVS MRC on board power module for telecommunication application", IEEE INTELEC, pp.321-325, Sep., 1993.
- [5] 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.