

클램프모드 포워드 다중 공진형 컨버터와 AT 포워드 다중 공진형 컨버터의 스트레스 비교

오덕진*, 김희준*, 김창선**
 한양대학교 전기공학과*, 목포대학교 전기공학과**

Stress Comparison of CM ZVS-MRC and AT Forward MRC

Duk-Jin Oh*, Hee-Jun Kim*, Chang-Sun Kim**
 Dept. of Electrical Eng. Hanyang Univ.*, Dept. of Electrical Eng. Mokpo National Univ.**

Abstract - The MRC minimizes a parasitic oscillation using the resonant tank circuit absorbed parasitic reactances existing in a converter circuit. So the converter is capable of operating at a high switching and also reducing the losses. But the resonant voltage stress across a resonant switch is 4-5 times a input voltage. This high voltage stress increases the conduction loss in MOSFET. In this paper, the CM forward MRC with synchronous rectifier and AT forward MRC are compared about efficiency and semiconductor stress. For analysis, we have built a 50W CM forward MRC and a 50W AT forward MRC, in which the input voltage is 48V, output voltage is 5V, each other. The measured voltage stress is about 170V of 2.9 times the input voltage in the AT Forward MRC, about 106V of 1.8 times the input voltage in CM forward MRC, and the efficiency is 81.05% in AT Forward MRC, 83.61% in CM forward MRC.

레스를 입력 전압의 2~3배로 줄일 수 있다. 그림 1에 동기 정류기를 갖는 CM 포워드 MRC의 기본 구성회로를 나타내었다. 이 컨버터의 공진 소자는 변압기와 직렬로 연결된 공진 인덕터(L_R)와 주 스위치와 병렬로 연결된 공진 커패시터(C_S), 클램프 커패시터(C_C), 변압기 2차측에 병렬로 연결된 2차측 공진 커패시터(C_D)이다. 그림 2는 CM 포워드 영전압 스위칭 다중 공진형 컨버터의 이론적인 파형을 나타낸다. 주 스위치 Q_1 의 영전압 턴온은 Q_1 의 오프 기간동안 공진 커패시터 C_S 와 공진인덕터의 공진으로 이루어진다. 주 스위치 Q_1 이 오프가 되면 공진 인덕터 L_R 과 공진 커패시터 C_S 로 인해 공진을 하게 되며 이 때 스위치 Q_2 가 온이 되면 공진 회로는 L_R , C_S 그리고 C_C 로 구성되어 공진 주파수가

1. 서 론

고효율, 고주파 스위칭 응용이 가능한 포워드 영전압 스위칭 다중 공진형 컨버터(Forward ZVS-MRC)는 기존의 하드 스위칭 되는 PWM 스위치에 직렬로 인덕터와 병렬로 커패시터를 연결한 다중공진 스위치를 이용하여 구성된다[1]. 이러한 회로 구조는 반도체 스위치에 존재하는 기생 리액턴스 성분과 변압기에 존재하는 누설 인덕턴스 등을 회로에 흡수함으로써 기생발진을 일으키지 않고 회로에 이용이 가능하다. 그 결과, PWM 컨버터에 비해 다중 공진형 컨버터는 수 MHz 대의 고주파에서 동작이 가능하며, 이로 인해 소형화에 지표가 되는 높은 전력밀도를 기다할 수 있게 되었다. 그런 공진 현상으로 인해 스위치 양단의 높은 전압 스트레스는 입력전압의 4~5배 정도로 스위치의 정격을 높이는 결과를 초래하며, 이로 인한 스위치의 온 저항의 증가로 전도 손실이 증가하는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 클램프모드 다중 공진형 컨버터와 AT 포워드 다중 공진형 컨버터가 제안되었다. 본 논문에서는 동기 정류기를 갖는 CM 포워드 MRC와 AT 포워드 MRC의 성능을 효율과 반도체소자의 스트레스의 관점에서 비교, 분석하였다.

2. CM ZVS-MRC와 AT ZVS-MRC의 개관

2.1 CM ZVS-MRC

클램프모드 포워드 다중공진형 컨버터는 소프트 스위칭 능동 클램프 회로를 사용하여 주 스위치 입력단의 전압을 클램프 함으로써 기존의 영전압 스위칭 다중공진형 컨버터의 장점을 갖고 있을 뿐만 아니라 또한 전압 스트

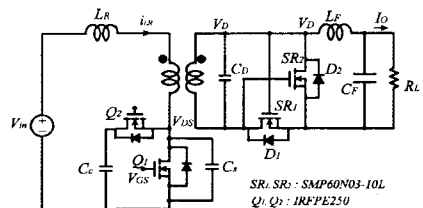


그림 1. 동기 정류기를 갖는 CM 포워드 다중 공진형 컨버터

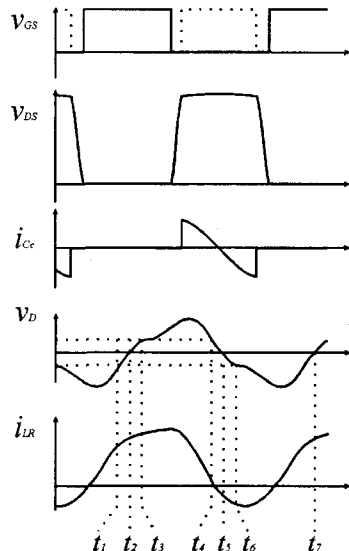


그림 2. CM 포워드 ZVS-MRC의 이론적인 파형

작아지게 된다. 이 공진 주파수는 L_R 과 C_S 로 형성된 공진 주파수보다 작은 주파수로 나타난다. 따라서 입력 전압의 4~5배의 공진 전압 스트레스는 입력 전압의 2~3배로 클래мп 된다. 그 다음에 스위치 Q_2 가 오프 되면 다시 L_R 과 C_S 로 인한 공진을 계속하게 된다.

2.2 AT 포워드 MRC

그림 3에 AT Forward ZVS-MRC를 나타내었다. 이 컨버터는 교번으로 동작하기 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. 입력 측에 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 2배가되며, 반파 정류회로를 구성하고 있는 다이오드 (D_{F1}, D_{F2})는 C_D 에 걸리는 전압의 극성에 따라 온, 오프가 된다.

그림 4는 Pspice에 의해 시뮬레이션 한 결과로부터 구한 AT 포워드 영전압 스위칭 다중 공진형 컨버터의

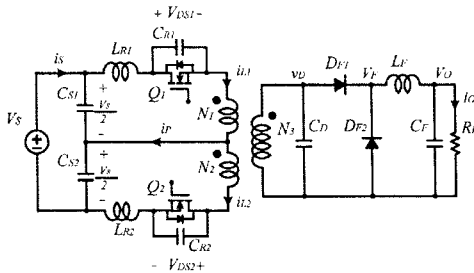


그림 3. AT 포워드 다중 공진형 컨버터

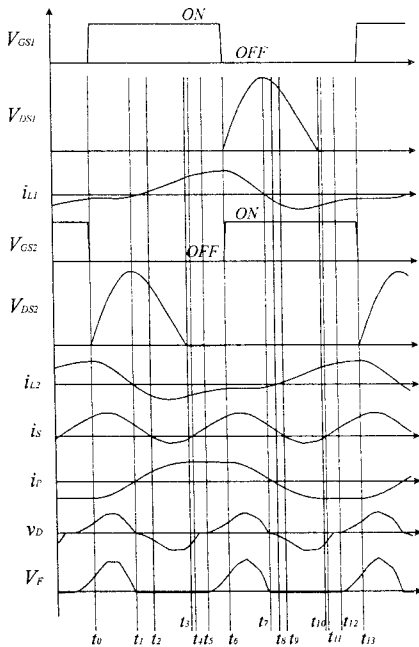


그림 4. AT 포워드 ZVS-MRC 이론적인 파형

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.

3. 실험결과

동기 정류기를 갖는 CM 포워드 MRC와 AT 포워드 MRC는 입력전압 38-58V, 최대출력전력 50W로 설계되었다. 표 1에 사용되어진 소자들을 정리하였고, 실험 결과를 표 2에 나타내었다.

표 1 각 컨버터에 사용된 소자

	CM ZVS-MRC	AT Forward ZVS-MRC
Switch Q_1, Q_2	IRFP250	IRF640
T.R	Core	LP23/8(PC40)
	Turns Ratio(N)	3
	# of Prim. Turns(N_1)	9T, USTC 0.08/30×3
	# of Sec. Turns(N_2)	3T, USTC 0.08/30×10
Resonant Ind. (L_R)	7 μ H	3 μ H
Rectifiers	SMP60N03	IR60CNQ035
Filter Ind. (L_F)	120 μ H	24 μ H
Filter Cap. (C_F)	33 μ F	22 μ F
Input Cap. (C_1)	22 μ F	22 μ F

표 2 실험결과

	CM ZVS-MRC	AT Forward ZVS-MRC
Input Voltage Range	38~48V	38~48V
Output Voltage	3.3V	5V
Output Current Range	0.1-10A	0.1-10A
Frequency Range	600kHz~1MHz	500kHz~1MHz (Prim. Side)
Max. Efficiency at 10A	84.32	76.86
Max. Efficiency	84.95	82.46

4. 성능 비교

4.1 반도체소자의 스트레스

주스위치의 최대 최압 스트레스를 나타내는 그림 5로부터 두 컨버터 모두 최대 입력전압에서 발생한다는 것을 알 수 있고 CM 포워드 MRC의 전압스트레스가 AT 포워드 MRC 보다 29.4V 낮게 나타난다는 것을 알 수 있다. CM 포워드 MRC의 클래мп 전압 V_c 는 변압기 2차측의 전압파형(V_{sec})으로부터 변압기와 인덕턴스 사이의 볼트 세컨 평형(volt second balance)에 의하여 계산됨을 알 수 있으며 이로부터 다음 식이 유도된다.

$$V_C \approx V_{in} \left[1 + \frac{D_{Q1} + \frac{\Delta d_1 + \Delta d_2}{4}}{D_{Q2} + \frac{\Delta d_1 + \Delta d_2}{4}} \right] \quad (1)$$

여기서 D_{Q1} , D_{Q2} 는 각각 Q_1 , Q_2 의 시비율이고, Δd_1 과 Δd_2 는 주스위치와 보조스위치가 온되는 사이의 데드타임이다. 주스위치의 최대 전압스트레스는 입력전압의 1.6배로 측정되었다.

AT 포워드 MRC는 변압기 1차측의 입력 전압은 두 개의 입력 필터 커패시터를 이용하여 양분되어 있다. 이 커패시터 전압은 공진에 이용되는 전압원으로서 공진 전압 스트레스는 이 전압의 4~5배 정도가 되고, 입력 전압과 비교하면 스위치 양단간 전압은 2~3배 정도가 된다. 최대 전압스트레스는 스위치 Q_1 은 입력전압의 2.3배이고, 스위치 Q_2 는 입력전압의 1.8배이다.

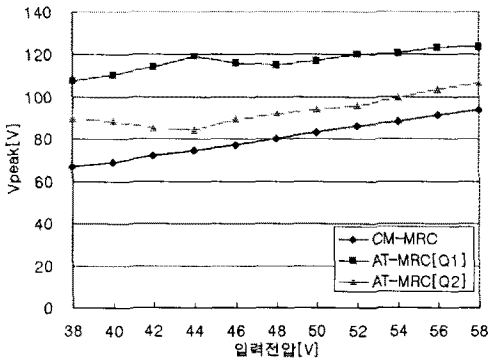


그림 5. 입력전압에 따른 주스위치 전압스트레스($I_o = 5A$)

4.2 효율

입력전압에 따른 효율은 두 컨버터 모두 출력전압을 유지하기 위해 입력전압이 증가하면 스위칭 주파수도 증가하므로 스위칭 주파수와 입력전압에 관계된 손실들(철손, 턴오프 스위칭손실, Skin-effect 손실, 동손 등)은 증가한다. ZVS 턴온으로 턴온손실은 제거할 수 있으나 입력전압이 증가하면 주스위치를 통하여 흐르는 전류의 실효치가 증가하여 전도손실을 증가시킨다. 턴오프 스위칭 손실은 스위칭 주파수와 비례하여 증가하므로 입력전압이 증가하면 증가한다. 두 컨버터의 주된 손실이 입력전압이 증가함에 따라 증가하므로 컨버터의 최대효율은 낮은 입력전압에서 발생한다.

그림 6은 입력전압 48V에서 부하변동에 따른 컨버터의 효율을 나타내고 있다. 최대효율은 AT 포워드 MRC의 경우 81.05%이고 동기 정류기를 갖는 CM 포워드 MRC인 경우 83.61%이다.

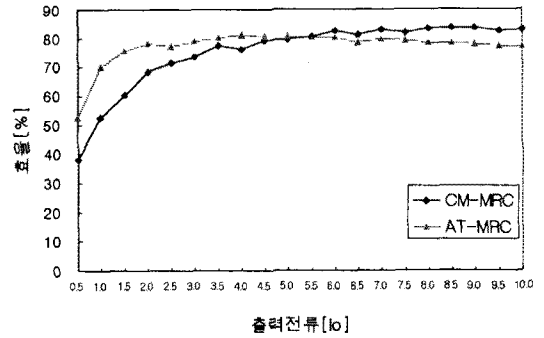


그림 6. 부하저항에 따른 효율($V_{in} = 48V$)

5. 결 론

본 논문에서는 다중 공진형 컨버터의 단점인 높은 전압 스트레스의 단점을 개선한 동기 정류기를 갖는 CM 포워드 MRC와 AT 포워드 MRC의 특성 비교·검토하였다. 두 컨버터는 주스위치의 전압 스트레스와 효율의 관점에서 비교되었으며, 주스위치의 공진 전압 스트레스는 두 컨버터 모두 입력전압의 2~3배로 줄일 수 있다. CM 포워드 MRC의 최대 전압 스트레스는 105.6V(1.8배)이고, AT 포워드 MRC는 170V(2.9배)이다. 두 컨버터 모두 일반 다중 공진형 컨버터보다 낮은 공진 전압 스트레스와 높은 효율을 갖는다. 입력전압 48V에서 최대효율은 CM 포워드 MRC의 경우 83.61%이고, AT 포워드 MRC는 81.05%이다.

[참 고 문 헌]

- [1] H. J. Kim, C. S. Lue, R. Farrington, F. C. Lee, "Clamp Mode Zero voltage switched Multi Resonant Converters", IEEE PESC, pp.78-84, 1992
- [2] H. J. Kim, K. S. Ahn, C. S. Kim, Y. S. Sun, "Clamp mode forward ZVS-MRC with self-driven synchronous rectifier", IEEE INTELEC, pp.470-475, 1996
- [3] 김창선, "AT 포워드 다중 공진형 컨버터의 동작 특성", 조명학회지, Vol.12, No.3, pp114-123, 1998
- [4] 김희준, 황치면, 김창선, 김영태, "저전압 스트레스를 갖는 AT 포워드 다중 공진형 컨버터", 1998년 하계학술대회 논문집(전기학회), pp2042-2044, 1998
- [5] 김희준, 오덕진, 김창선, 황치면, "교번으로 동작하는 포워드 영전압 스위칭 다중 공진형 컨버터", 1998년 하계 전력전자학술대회 논문집, pp1-4, 1998