

낮은 인덕터 맥동전류를 가지는 새로운 영전압 영전류 스위칭 풀 브릿지 DC/DC 컨버터

백주원*, 조정구*, 유동욱*, 송두익*, 임근희*
* 한국전기연구소 전력전자연구부

Novel Zero-Voltage and Zero-Current-Switching (ZVZCS) Full Bridge PWM Converter with a Low Output Current Ripple

J. W. Baek*, J. G. Cho*, D. W. Yoo*, G. H. Rim*

* Power Electronics Research Division, Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - A novel zero voltage and zero current switching (ZVZCS) full bridge (FB) PWM converter with a low output current ripple is proposed. The proposed circuit improve the demerits of the previously presented ZVZCS-FB-PWM converters[5-8] such as use of lossy components or additional active switches. A simple auxiliary circuit which includes neither lossy components nor active switches provides ZVZCS conditions to primary switches, ZVS for leading-leg switches and ZCS for lagging-leg switches. In addition, this proposed circuit reduces a output current ripple considerably. Many advantages including simple circuit topology, high efficiency, low cost and low current ripple make the new converter attractive for high power (> 1 kW) applications.

본 논문에서는 기존회로의 단점을 보완한 새로운 영전압 영전류 스위칭 풀 브릿지 DC/DC 컨버터를 제시한다. 왼쪽 스위치들의 영전압 스위칭은 기존방법과 동일하다. 그렇지만 오른쪽 스위치들의 영전류 스위칭은 이차측에 간단한 보조회로를 추가하여 얻어진다. 따라서 부가적인 손실형 소자나 능동스위치가 없으며, 보조회로의 커패시터와 누설 인덕턴스에 의한 공진전류가 기존회로에 비해 작다. 또한 모든 소자들이 최소의 전압스트레스와 전류 스트레스로 동작된다. 또한 보조회로에 의해 인덕터 전류맥동을 거의 영으로 할 수 있으며 따라서 필터의 크기를 보다 줄일 수 있다.

제시한 회로의 동작원리와 특징을 설명하고, IGBT를 이용한 2.5 kW, 100 kHz의 실험장치를 제작하여 회로의 동작을 검증한다.

1. 서 론

최근에 IGBT를 고주파로 동작시키기 위한 방법 중에 영전압 영전류 스위칭 기법들이 제시되고 있다 [1-4]. 왼쪽 스위치들의 영전압 스위칭은 기존의 위상변이 펄스폭 변조 컨버터와 동일한 원리로 이뤄지며 반면에 오른쪽 스위치들의 영전류 스위칭은 환류 구간동안에 일차전류를 다시 영으로 감소시켜 얻어진다. 여기서 일차전류를 영으로 감소시키는 데에 많은 기법들이 제시되었으나 기존의 방법들은 부가적인 손실이 발생하여 전체 효율이 저감되거나 [1,2] 능동 스위치의 사용에 따른 비용의 상승과 제어가 복잡해지는 단점이 있다 [3]. 이를 보완한 것으로 스너버 회로를 추가하는 방법 [4]이 있지만 이차측의 누설 인덕턴스와 스너버 커패시터간의 공진에 따른 높은 전압으로 인해 이차측 다이오드의 정격이 높아져야 한다.

한편, 모든 dc/dc 컨버터는 펄스폭 변조제어를 하므로 큰 펄스형태의 출력측 인덕터 전류맥동을 갖는다. 따라서 맥동전류에 의한 스위칭 잡음과 출력전압 맥동문제를 해결하기 위해 전류맥동을 영으로 하는 회로 [5]가 제시되어 왔다.

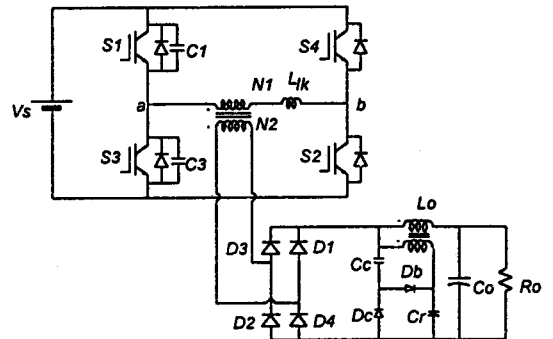


그림 1. 제시한 영전압, 영전류 풀 브릿지 컨버터

2. 동작원리

가. 영전압 영전류 스위칭

제시한 회로는 반 주기에 9가지의 동작모드가 있다. 동작파형과 동작회로는 그림 2, 3과 같다. 동작설명을 간략하게 하기 위해 전류 맥동을 저감시키는 동작은 이후에 따로 설명한다. 모든 소자와 부품은 이상적이고 출력 필터 인덕터의 전류는 일정하다고 가정한다.

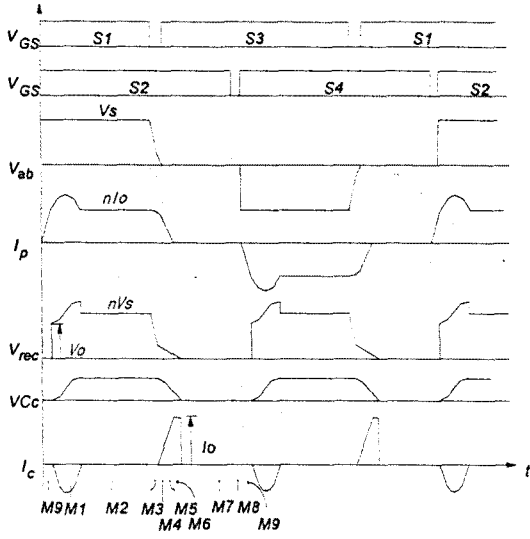


그림 2. 동작파형

모드 1: S1과 S2는 도통하고 출력으로 전력이 전달된다. VCc전압은 그림 3에서 처럼 Cc와 Db 그리고 Cr의 경로로 충전된다. VCc는 이 모드의 끝에서 Llk와 Cc의 공진 반 주기후에 nVs-Vo전압의 두배에 도달한다. 여기서 n은 변압기 턴수비이고 Cr은 출력전압으로 유지된다고 본다.

모드 2: Db는 턴오프되고 정류전압은 정격전압 nVs가 된다. 출력측으로 전력이 계속 전달된다.

모드 3: S1은 턴 오프되고 이때 일차측에 흐르는 전류에 의해 C1은 충전하고 C3는 방전하게 된다. 일차측 전압과 이차측 정류전압이 감소한다.

모드 4: 정류전압이 VCc전압에 도달할 때, 다이오드 Dc는 턴오프되고 Cc의 전압이 이차측 정류전압이 되면서 천천히 감소된다. 따라서 일차측 전압에 비해 이차측 정류전압은 매우 느리게 감소한다. 일차측 전압은 누설 인덕턴스에 저장된 에너지에 의해 계속 C1이 충전되고 C3가 방전하므로 이전의 동작모드와 동일한 비율로 감소한다. (Cc는 C1과 C2보다 더 큰 값이다.) 일차측전압과 이차측전압에서 발생한 차전압은 다시 일차로 인가되어 누설인덕턴스에 가해지고 일차전류는 감소한다.

모드 5: C3는 완전히 방전하고 Ds3가 도통하기 시작한다. 일차로 인가된 이차측전압은 누설인덕턴스에 인가되고 일차측 전류는 급격히 감소된다. Cc는 부하로 더 많은 전류를 흘린다.

모드 6: 일차전류는 완전히 영으로 리셋되고 일차측에는 전류가 흐르지 않는다. 이때 Cc는 부하에 흐르는 전체 전류를 공급하게 되고 전압이 급격히 감소한다.

모드 7: Cc가 완전히 방전되었을 때, 정류 다이오드는 도통하기 시작하고 부하전류는 정류기를 통해 환류한다.

모드 8: 환류 구간의 끝에서, S2는 흐르는 전류가 없으므로 영전류 상태로 턴오프하게 된다.

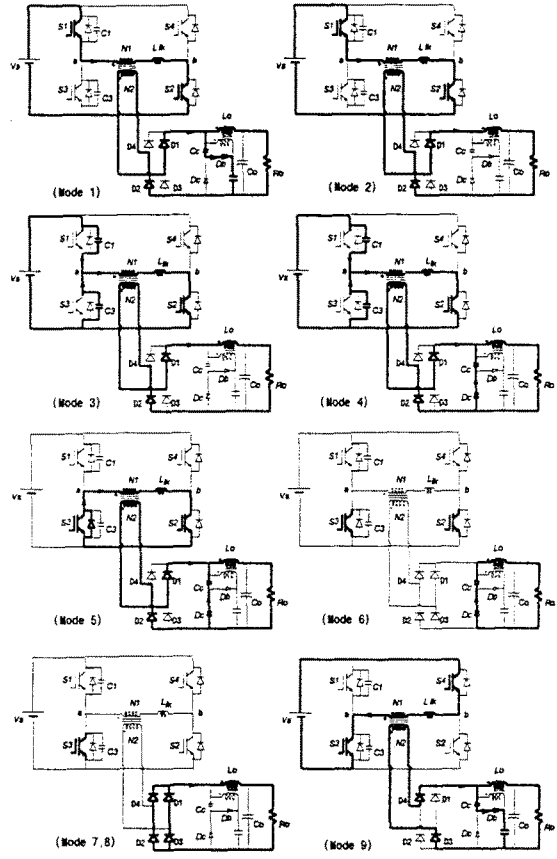


그림 3. 동작모드 등가회로

모드 9: S4는 턴오프 된다. 이 턴오프과정 역시 일차 전류가 누설 인덕턴스에 의해 급격히 변하지 않으므로 영전류 스위칭이 된다. 일차전류는 선형적으로 증가되고 정류전압은 계속 영이 된다. 이후의 동작모드는 동일한 과정으로 이뤄진다.

나. 인덕터 전류 맥동 저감

인덕터에 흐르는 전류의 맥동성분은 다음 그림 4와 같이 인덕터에 이차권선을 감아서 맥동전류의 경로를 만들어 주므로 저감시킬 수 있다.

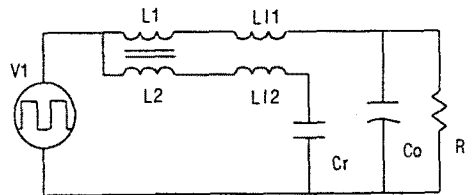


그림 4. 전류 맥동 저감 회로

그림 4의 회로에서 일차권선과 이차권선에 동일 전압이 가해진다고 볼 때, 인덕터의 누설인덕턴스 L11, L12는 다음과 같이 나타낼 수 있다[5].

$$L_{11} = (1 - kn)L_1$$

$$L_{12} = n(n - k)L_1$$

여기서, L1과 L2는 결합전의 일차와 이차권선 인

덕턴스, k 는 결합계수 $\frac{Lm}{\sqrt{L_1L_2}}$, n 은 턴수비 $\sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$

이다. 그러므로 일차권선과 이차권선으로 결합된 인덕터에서 결합계수 k 와 턴수비 n 이 같아지도록 인덕터를 결합하면 이차권선의 누설인덕턴스 L_{l2} 는 영이 된다. 따라서 일차권선의 누설인덕턴스 양단에는 동일전압이 인가되어 전류의 변화가 없게 되고 모든 리플전류는 이차권선으로 흐르게 된다.

3. 실험결과

제시한 영전압 영전류 풀 브릿지 컨버터의 동작을 검증하기 위해 2.5 kW, 100 kHz, 입력전압 380V, 출력전압 50V의 실험장치가 제작, 시험되었다. 그림 5는 일차 전압과 전류파형 그리고 이차측 정류전압 파형을 나타내었다. 모든 파형들은 이론적인 것과 잘 일치됨을 알 수 있다. 일차전류는 환류구간동안에 이차측 전압에 의해 완전히 영으로 됨을 알 수 있다. 그림 6은 정류전압 파형과 보조회로 커패시터 전압과 전류이다. 모든 파형은 역시 동작원리에서 설명한 것과 잘 일치한다. 그림 7은 인덕터 전류의 맥동이 거의 영으로 저감된 것을 보여준다.

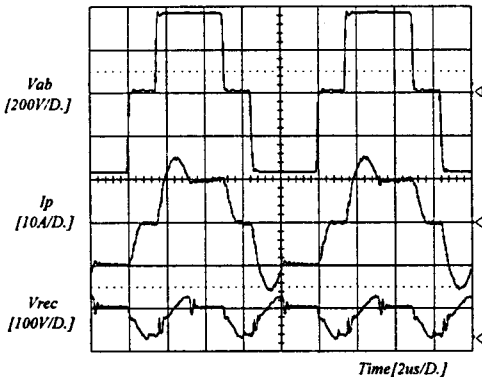


그림 5. 일차전압과 전류 그리고 이차정류전압 실험파형.

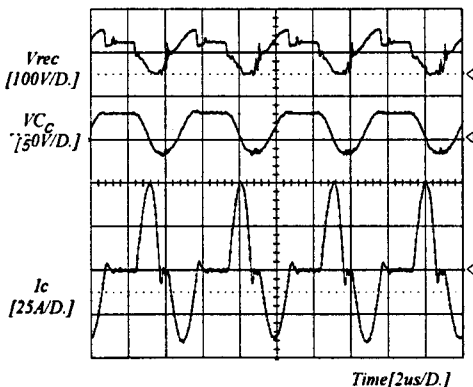


그림 6. 이차정류 전압파형과 보조회로 커패시터 전압과 전류 파형.

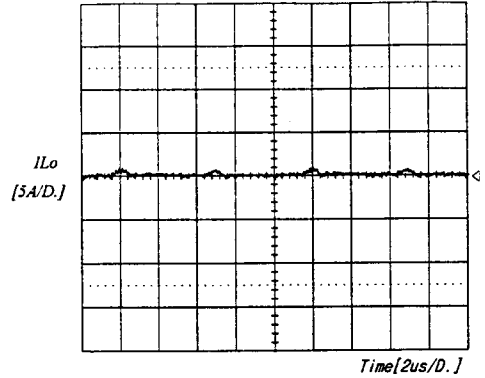


그림 7. 인덕터 맥동전류파형

4. 결론

새로운 영전압 영전류 스위칭 풀 브릿지 DC/DC 컨버터가 제시되었다.

이차측에 간단한 보조회로를 추가하여 영전압 영전류 스위칭이 얻어짐을 알 수 있었으며 손실형 소자가 추가되지 않았고, 부가적인 능동소자나 전류 스트레스가 없으므로 기존의 영전압 영전류 스위칭의 문제들을 모두 해소 할 수 있었다.

또한, 넓은 부하범위에서의 영전압 영전류 스위칭, 작은 듀티 사이클 손실, 최소의 소자 전압과 전류 스트레스, 간단한 보조회로에 의한 회로가격의 절감등과 같은 제시된 회로의 장점은 높은 전력 밀도를 갖는 대용량 응용분야(> 1 kW) 에의 적용을 밝게 한다.

[참고문헌]

- [1] K. Chen and T. A. Stuart, 1.6KW, 110kHz dc/dc converter optimized for IGBTs, IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 8, No. 1, pp.18-25, 1993.
- [2] J. G. Cho, J. Sabaté, G. Hua, and F. C. Lee, "Zero voltage and zero current switching full bridge PWM converter for high power applications," IEEE PESC Rec. 1994, pp. 102-108.
- [3] J. G. Cho, G. H. Rim, and F. C. Lee, "Zero voltage and zero current switching full bridge PWM converter secondary active clamp," IEEE PESC Rec. 1996, pp. 657-663.
- [4] E. S. Kim, K. Y. Cho, et. Al., "An improved soft switching PWM FB dc/dc converter for reducing conduction loss," IEEE PESC Rec. 1996, pp. 651-657.
- [5] R. D. Middlebrook and S. Cuk, "Switching dc-dc converter with zero input or output current ripple", Advances in switched-Mode Power Conversion, Vol I and II, TESLaco, Pasadena, CA, 1981