

단상풀브리지 인버터효율향상을 위한 소프트스위칭기법비교에 관한 연구

임성훈 이성룡 한병성

* 전북대학교 전자정보공학부 **군산대학교 전자정보공학부

The study on comparison of soft-switching techniques for the improvement of efficiency in single phase-full bridge inverter

Sung-Hun Lim, Seong-Ryoung Lee, Byung-Sung Han

*Department of Electric & Information engineering Kunsan national Uni.

**Department of Electric & Information engineering Chonbuk national Uni.

Abstract - For the application of soft-switching technique to single phase-full bridge inverter, in this paper, ZCT(Zero Current Transition) and ZVT(Zero Voltage Transition) techniques proposed previously are compared and discussed the merit and demerit of both. Both have a excellency that can reduce the number of auxiliary switch and resonant circuit compared to other techniques and achive soft-switching in auxiliary switch itself. Therefore, it has enabled us to have benefits of realizing high efficiency and reliability, low EMI for high switching frequency and reducing the cost as well as size of device.

1. 서 론

각종전력변환장치에 사용되고 있는 전력용 반도체 스위치의 동작스위칭동작주파수를 증가시켜줌으로서 반도체스위치를 포함한 인덕터 및 커패시터의 용량감소로 인한 장치의 비용절감과 이에 따른 장치의 소형화 등으로 고밀도 전력변환장치를 구성할수 있다. 그러나 스위칭주파수증가에 따른 스위칭손실의 증가와 전자기적간섭등으로 인해 스위칭주파수를 높이는데 어려움이 따른다. 이러한 고주파스위칭에 따른 스위칭손실증가를 감소 또는 제거하여 전력변환장치의 소형화, 경량화 및 고효율화를 실현하기 위해 다양한 방식의 소프트스위칭기법이 제안되어져 왔다.[1-2]

기존에 제안된 소프트스위칭기법을 이용할 경우 하드스위칭시의 문제가 되었던 스위칭손실감소와 스위칭시의 과전압 및 과전류로 인한 EMI(Electro-Magnetic-Interference)의 문제를 해결할 수 있어 보다 높은 고주파스위칭동작이 가능하게 된다. 그러나 각스위치의 동작시 소프트스위칭을 구현하기 위한 보조스위치 증가와 공진용 보조회로의 추가로 인해 오히려 변환장치회로의 가격상승과 부피증가 및 스위칭추가에 따른 제어의 복잡성등의 문제가 제시되었다.(3-4)

본 논문에서는 위의 문제점들을 해결하기 위해 보조스위치수를 감소시킬 수 있어 뿐아니라 보조스위치자체도 소프트스위칭이 이루어질 수 있도록 개선된 ZCT(Zero-Current-Transition)와 ZVT(Zero-Voltage-Transition)회로의 동작원리에 대해 분석한다. 또한 단상풀브리지에 적용한 각각의 동작특성에 대해 비교 및 검토하고 적용에 따른 문제점을 제시하여 이를 해결할 수 있는 방안모색을 통해 삼상변환회로를 포함한 다양한 전력변환회로에 적용하기 위한 기반을 마련하고자 한다.

2. 본 론

2.1 ZCT을 적용한 단상풀브리지 인버터동작

그림 1은 기존의 풀브리지인버터에 ZCT를 적용할 경우 필요한 보조스위치수와 공진회로수를 감소시켜 보조스위치 2개와 공진탱크 하나만을 가지고 메인스위치 4개 모두를 영전류 턴온/턴오프할 수 있는 단상풀브리지 인버터회로도를 보여주고 있다.

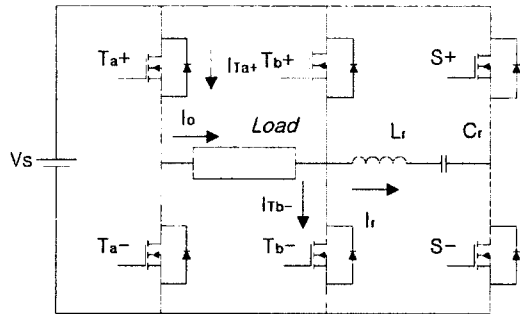


그림 1 ZCT를 적용한 단상풀브리지인버터
Fig. 1 Single phase - Full bridge inverter applied with ZCT

스위치 Ta+는 Tb-스위치에 기준파의 반주기동안 SPWM스위칭을 적용할 동안 on상태를 유지한다. 이때 Ta+에 흐르는 전류 ITa+는 스위치가 턴온되면서 0인 값에서 정현파형태로 증가하게 된다.

이때 Tb-는 보조스위치 S+와 공진회로를 이용하여 개선된 ZCT동작을 행하게 된다. Tb-가 턴온되기 전에 S+보조스위치를 일정한시간 턴온시킨 후 일정한 부하전류에 도달되는 시점에서 턴오프함과 동시에 메인스위치 Tb-는 턴온동작을 한다. S+보조스위치와 메인스위치 Tb-는 각각의 역병렬다이오드 도통시 오프, 온되므로 영전류 턴오프/턴온동작을 행하게 된다.

Tb-가 턴오프되기전에 보조스위치 S+를 이용하여 공진전류를 스위치Tb-에 가한 후 Tb-의 역병렬다이오드가 도통시 Tb-는 영전류턴오프하게 되고 보조스위치 S+도 마찬가지로 영전류상태에서 턴오프하게 된다. 위와 같은 방식으로 보조스위치 S+, S-를 포함한 메인스위치 Ta+, Ta-, Tb+, Tb-는 모두 영전류 턴온/턴오프동작을 수행하게 된다.

그림 2는 SPWM을 이용하여 주파수변조비(mf) 23, 크기변조비(ma) 0.6에서 단상풀브리지인버터에 ZCT를 적용한 동작파형을 보여주고 있다. 그림 2의 특정구간을 확대한 그림 3에서 볼 수 있듯이 메인스위치와 보조스위치에 흐르는 전류로부터 ZCT동작이 구획됨을 볼 수 있다. 메인스위치와 보조스위치양단에서 발생하는 손실(그림 4)을 보면 각각의 스위치가 턴온/턴오프시 스위칭손실이 발생되지 않음을 볼수 있고 메인과 보조스위치가 동시에 도통되고 있는 일부구간에서만 손실이 나타남을 확인할 수 있다.

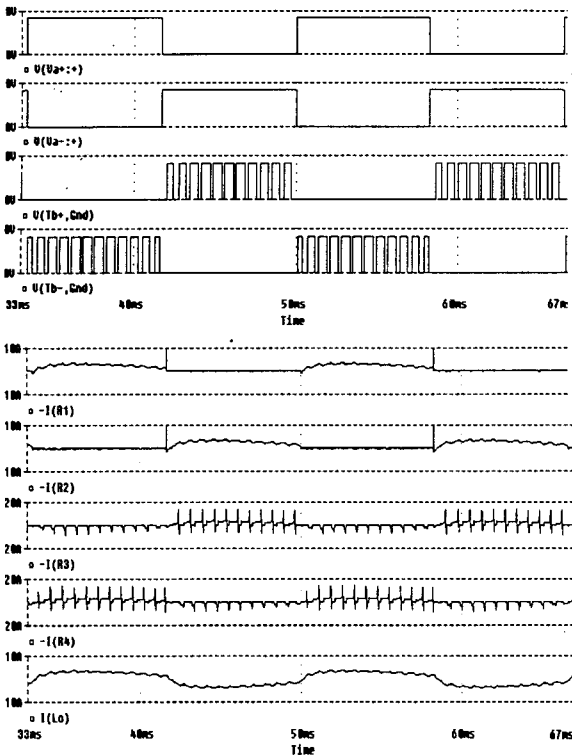


그림 2. ZCT를 적용한 단상풀브리지인버터의 동작파형
Fig. 2 Operational waveforms of single phase full-bridge inverter applied with ZCT

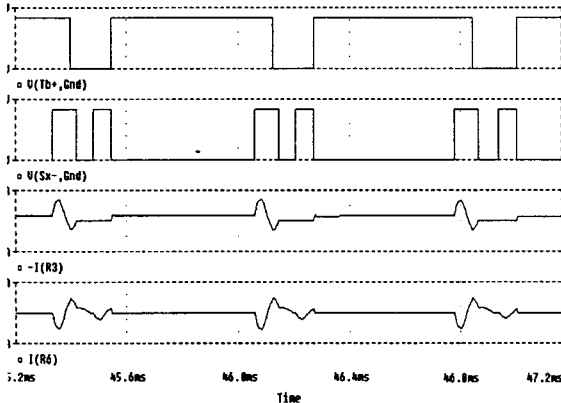


그림 3. ZCT를 적용한 단상풀브리지인버터의 확대파형
Fig. 3 Enlarged waveforms of single phase full-bridge inverter applied with ZCT

시뮬레이션을 통하여 메인스위치($Ta+$, $Ta-$, $Tb+$, $Tb-$)뿐만 아니라 보조스위치($S+$, $S-$)도 영전류 턴온/턴오프됨을 확인할 수 있었고 이에 따라 스위칭손실감소에 따른 효율증가와 부피감소 및 가격절감외에도 EMI문제 해결에 따른 안정된 스위칭동작을 기대할 수 있다. 그러나 본 논문에서 제안한 ZCT 단상풀브리지인버터에서는 지상용 부하일 경우에 메인스위치 $Ta+$, $Ta-$ 가 턴오프스위칭시 영전류턴오프가 되지 않은 문제점이 발생되므로 이에 대한 해결책으로서 부하역률을 개선시키기 위해 PFC기법을 적용하기 위한 연구와 병행되어야 할 것으로 생각된다.

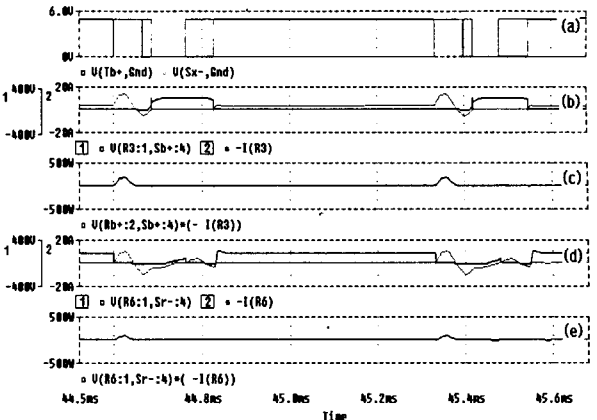


그림 4. ZCT 적용시 단상풀브리지 인버터의 주스위치, 보조스위치양단의 전압, 전류 및 전력손실파형
Fig. 4. Voltage, Current and Power loss waveform of main switch and auxiliary switch in the single phase-full bridge inverter applied with ZCT

2.2 ZVT를 적용한 단상풀브릿지 인버터동작

그림 5는 보조스위치수를 1개로 줄이고 대신 다이오드를 추가함으로써 ZVT를 구현할 수 있는 단상풀브릿지 인버터회로도를 보여주고 있다.

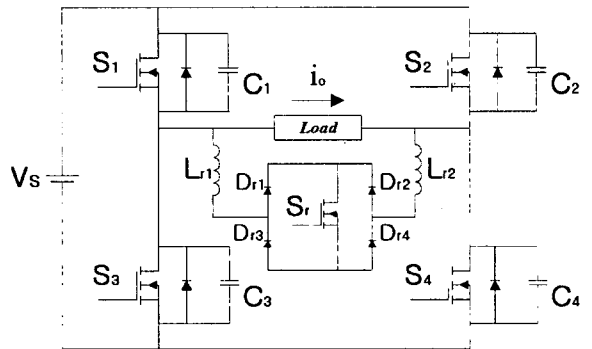


그림 5 ZVT를 적용한 단상풀브릿지인버터
Fig. 5 Single phase - Full bridge inverter applied with ZVT

위의 ZVT를 적용한 풀브리지인버터의 동작원리는 주전력스위치가 ZVT로 턴-온하기 위해서 보조회로를 먼저 턴온시키면 공진용 인덕터에 전류가 흐르기 시작하고 에너지 충전기간에 들어가게 된다. 데드타임기간동안 공진용 인덕터와 스너버 커패시터사이에 자연 공진이 발생하게 되며 주전력스위치는 영 전압상태로 되고 이때 주전력스위치는 ZVT로 턴-온하게 된다. 인덕터의 에너지 방전이 끝나면 보조스위치에 흐르는 전류는 영전류가 되며 이때 보조스위치를 턴-오프하면 보조스위치는 ZCT 상태로 스위칭하게 된다.

메인스위치동작은 앞의 ZCT동작과 비교분석하기 위해 동일한 크기변조비수와 주파수변조비수를 사용하여 SPWM을 이용하여 동작시켰고 그림 6에 메인스위치와 보조스위치의 입력파형과 각각의 스위치에 흐르는 전류파형을 나타내었다.

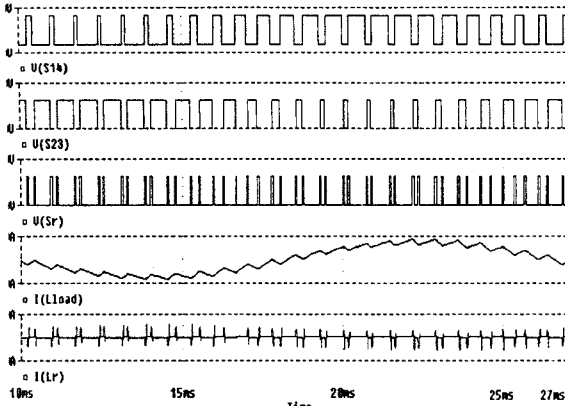


그림 6. ZVT를 적용한 단상풀브리지인버터의 동작파형
Fig. 6 Operational waveforms of single phase full-bridge inverter applied with ZVT

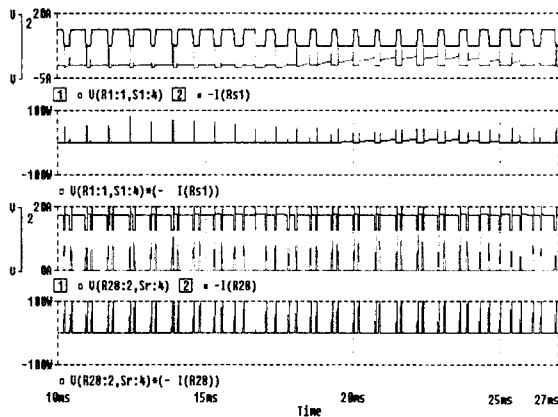


그림 7. ZVT 적용시 단상풀브리지인버터의 주스위치, 보조스위치양단의 전압, 전류 및 전력손실파형
Fig. 7. Voltage, Current and Power loss waveform of main switch and auxiliary switch in the single phase-full bridge inverter applied with ZVT

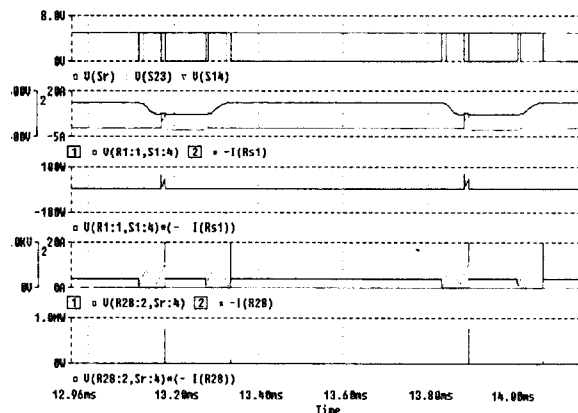


그림 8. ZVT 적용시 단상풀브리지인버터의 주스위치, 보조스위치양단의 전압, 전류 및 전력손실 확대파형
Fig. 8. Voltage, Current and Power loss enlarged waveform of main switch and auxiliary switch in the single phase-full bridge inverter applied with ZVT

ZVT를 적용하였을 경우 메인스위치와 보조스위치에 나타나는 전압, 전류파형을 그림 7-(a), (c)에 나타내었고 이때 스위치에서 발생하는 손실을 그림 7-(b), (d)에 나타내었다.

전반적으로 메인스위치와 보조스위치에 나타나는 손실이 하드스위치시보다 현저히 감소되는 것을 볼 수 있고 메인스witch는 ZVT조건으로 소프트스위칭이 이루어지고 보조스witch는 ZCT동작으로 소프트스위칭이 이루어짐을 확인할 수 있다.

개선된 ZVT회로를 적용시 문제점은 공진용 커패시터의 충방전시간이 부하전류에 반비례하기 때문에 부하전류가 어느 이하가 되면 커패시터의 충방전시간이 풀브리지인버터에 설정된 데드타임보다 커지게 되고 ZVT조건을 만족하지 못하는 구간이 발생되어 오히려 손실이 커지게 되는 문제가 발생되기 때문에 부하전류의 범위가 제한되는 단점이 있다.

이와 같은 ZVT스위칭을 단상풀브리지 인버터에 적용시 문제점을 해결하기 위해서는 부하전류크기에 따라 공진시간이 변동되므로 공진회로로부터 공진상태를 피드백 받아 공진이 완료될과 동시에 보조스위치를 턴오프시킬 수 있는 제어기법에 대한 연구가 뒤따라야 할것으로 생각된다.

3. 결 론

본 논문에서는 보조스위치수를 감소시킬 수 있을 뿐아니라 보조스위치자체도 소프트스위칭이 이루어질 수 있도록 개선된 ZCT(Zero-Current-Transition)와 ZVT(Zero-Voltage-Transition)회로도 의 동작원리에 대해 분석하였고 단상풀브리지에 적용한 각각의 동작특성과 적용에 따른 문제점과 이를 해결할 수 있는 방안에 대해 제시하였다. FET를 포함한 IGBT스위치를 이용한 풀브리지인버터변환회로의 스위치손실감소를 위해 본 논문에서 분석한 개선된 ZCT, ZVT소프트스위칭의 문제점을 해결할 경우 변환회로의 효율향상 및 고주파동작을 기대할 수 있고 앞으로 이에 대한 연구를 계속 수행하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. S. Lai et al., "A Novel Resonant Snubber Based Soft-switching Inverter", Conference Records of IEEE APEC, pp.797-803, 1995
- [2] D. H. Lee, Fred C. Lee, "Novel Zero-Voltage-Transition and Zero-Current-Transition Pulse-Width-Modulation Converters", Conference of IEEE PESC, pp. 233-239, 1997.
- [3] J. S. Lai et al., "A Delta-Configured Auxiliary Resonant Snubber Inverter", IEEE Trans. on Industry Application, Vol. 32, No. 2, pp. 518-525, 1996
- [4] J. G. Cho, G. H. Rim and F. C. Lee, "Zero Voltage and Zero Current Switching Full Bridge PWM Converter Using Secondary Active Clamp", IEEE PESC '96 Rec., pp.657-663, 1996.
- [5] 장철, "새로운 Zero-Current-Transition 단상 풀브릿지 인버터에 관한 연구", 공학석사 학위논문, 전북대학교, 1999.
- [6] 송인석, 이성룡, "3상 유도전동기 구동용 새로운 ZVT인버터의 제어기법", 전력전자학술대회, pp. 10-13, 1998