

3상 승압형 AC/DC 컨버터의 고역율과 스위칭 손실 저감을 위한 공진 PWM 스위칭 기법에 관한 연구

°이은규, 노영남, 김병진, 전희종
승실대 전기공학과

Study on Resonant PWM Switching Technique for 3 ϕ Boost AC/DC Converter with High Power Factor and Less Switching Loss

° Eun-Gyu Yi*, Yung-Nam Noh*, Beung-Jin Kim*, Hee-Jong Jeon*
* Dept. of Electrical Eng., Soongsil University.

Abstract - In this paper, a proposed resonant PWM switching technique makes the boost AC/DC converter to high input power factor and less switching loss.

Also, the switching control scheme is used which minimize harmonic components employing novel PWM technique. In addition, an employment of resonant circuit for switching makes zero current switching(ZCS) and zero voltage switching(ZVS) for control switches without switching losses.

The result shows that high power factor is still for varying load and switching loss is very low.

1. 서 론

현재 산업계에서 사용되는 많은 전기 기기 및 설비에서 직류전압은 중요한 역할을 하고 있다. 기존의 AC/DC전력변환장치는 위상제어 컨버터나 출력전압을 제어할 수 없는 다이오드 컨버터를 사용해 왔다. 그러나 이와 같은 AC/DC전력 변환장치에서는 AC전원단에서 저차고조파 발생 및 역률저하등의 문제점을 가진다. 따라서 이를 개선하기 위해서는 교류입력측과 직류출력측에 큰 용량의 필터를 필요로 하게 되며 이에 의해 전력변환장치의 부피가 커지고 경제성이 낮아진다. 그러므로 교류입력역률을 최대한 개선하고 정현파전류를 효과적으로 유지한다는 것은 기기의 효율적 이용 및 에너지절약이라는 관점에서 매우 중요하다. 이에 따라서, 최근에는 단위역률을 실현하는 3상 고역율 AC/DC컨버터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

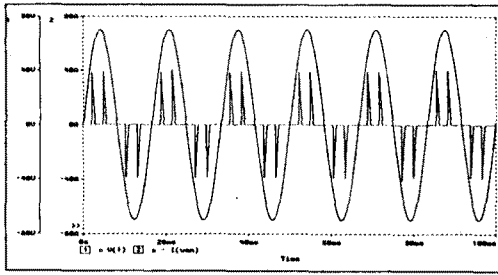
이러한 목적을 위하여 3상 고역율 AC/DC컨버터에 대한 많은 제어방법을 제시하고 있지만 각각의 장단점을 가지고 있다. 일반적으로 PWM제어는 시스템의 속응성을 떨어뜨리지만 스위칭 주파수를 일정하게 고정할 수 있는 장점

이 있다. 또한, 스위치 주파수를 높여 출력 전압 또는 전류에 고주파수 성분을 감소시켜 에너지 축적용 소자를 소형화함으로써 컨버터의 부피와 무게가 감소하여 소형 및 경량화를 이룰 수 있다.[1,2] 그러나 여기서 고려해야할 사항은 스위칭 주파수와 비례하여 인덕터의 손실과 스위칭 손실등은 전력변환에 손실을 증대시키며, 하지만 전류/전압 변동율에 의한 EMI(Electro-Magnetic Interference) 문제도 발생한다. 이런 문제를 해결하기 위해 공진현상을 갖는 공진 회로를 첨가한 소프트 스위칭(Soft Switching) 제어 방법들이 제안되었으며, 소프트 스위칭 방법에는 제로전류 스위칭(ZCS:Zero Current Switching)과 제로전압 스위칭(ZVS:Zero Voltage Switching)기법이 있다. 이를 응용한 소프트 스위칭 기법들이 가지는 장점은 하드 스위치에 비해 스위칭 손실이 상당히 줄어드는 것을 알 수 있다. 그래서 소프트 스위칭을 하는 컨버터는 회로에서 가장 큰 손실을 차지하는 스위치의 손실을 줄여 효율을 높이는 방법들이 앞으로 산업화에 주종을 이룰 것이다.[3] 본 논문은 이들 관계를 검증하기 위해서 Micro Sim사의 PSpice로 모의실험을 하였다.

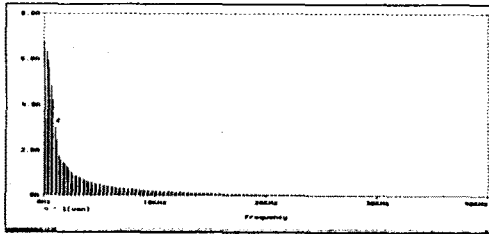
2. 본 론

2.1 다이오드 브리지 일반 정류회로

일반적으로 다이오드 정류기는 직류를 간단히 얻기 위해서 교류를 정류하여 직접 평활용 콘덴서를 삽입시켜 이용하였다. 이 방식은 입력전압이 콘덴서 전압보다 높을 때에만 다이오드를 통해 콘덴서로 전 원전류가 흐르기 때문에 입력전압의 최대값 부근에서 입력전류는 펄스형으로 흐르게 된다. 이러한 이유로 입력전류에는 정현파 전류에 비해 고조파 성분이 많이 포함되어 있고, 최대 입력 역율이 거의 0.5~0.7로 나쁘게 된다. 그림 2.1은 일반적인 다이오드 정류기의 입력 상전압과 상전류를 나타내며 상 전류에 대한 주파수분석을 보이고있다.



(a) 입력상전압과 상전류



(b) 상전류의 주파수 분석

그림 2.1 일반적인 3상 다이오드 정류기 파형

2.2 공진 PWM 승압형 AC/DC 컨버터

제안된 시스템은 승압형 AC/DC 컨버터에 PWM 스위칭과 공진 회로를 결합한 공진 PWM 스위칭기법을 적용하여 역률을 높이고 입력전류의 고조파를 최대한 줄이며 스위칭 손실까지 없애는데 역점을 둔다. 특히 스위칭 손실 저감을 위한 소프트 스위칭 기술을 이용하여 전체적인 효율이 높은 시스템을 확립하고자 한다. 또한 제안한 고역률 승압형 AC/DC 컨버터의 동작원리 및 제어방식을 검토하고, 스위치의 온, 오프시 일어나는 ZCS/ZVS 동작을 해석하고 일반적인 하드 스위칭과 비교 분석 한다. 다음 그림 2.2는 전체적인 주회로 블록도이다.

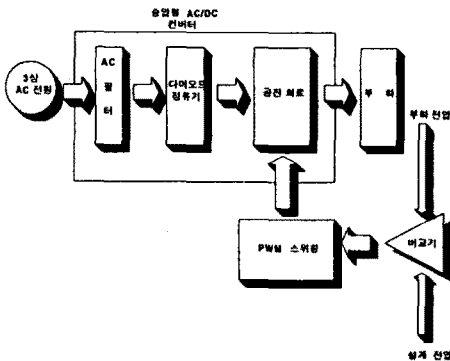


그림 2.2 주회로 블록도

2.3 주 회로의 동작 모드별 해석

(초기 상태)

초기 상태에서 스위치가 모두 턴 오프된 상태이다.

그리고 콘덴서는 초기 조건으로 $t=0$ 에서 V_{out} 의 전압을 가지고 있다.

(모드 1 : ZCS mode)

스위치가 동시에 턴 온 되면서 시작되는 구간으로 인덕터에 축적된 전류는 영이므로 스위치는 ZCS 동작을 한다. 콘덴서에 축적된 에너지는 리액터로 이동하여 인덕터와 콘덴서는 공진을 한다.

(모드 2)

콘덴서의 에너지가 모두 방출되면서 시작되는 모드이다. 인덕터의 에너지는 축적되는 구간이다. 이 모드는 다이오드 D1과 D2가 도통 되면서 시작된다. 그리고 스위치에 흐르는 전류는 S1-D2와 D1-S2로 분할 되어 흐르기 때문에 전류 부담을 반으로 줄였다. 이 모드는 스위치가 동시에 턴 오프되면서 끝난다.

(모드 3 : ZVS mode)

콘덴서의 재충전 모드이다. 이 모드는 스위치를 동시에 턴 오프되면서 시작된다. 스위치를 동시에 오프하면 스위치에 흐르던 전류는 콘덴서를 충전하게 된다. 이 충전 전류는 콘덴서전압이 출력 전압이 V_o 가 될 때까지 흐르게 된다. 스위치의 턴 오프는 콘덴서의 동작으로부터 ZVS 동작을 하게되어 스위치의 턴 오프 손실이 경감되어진다. 이 모드는 콘덴서가 완전히 충전되어 V_o 로 되면서 끝난다.

(모드 4)

인덕터의 에너지가 방출되는 모드이다. 이 모드는 다이오드 D3가 도통되면서 시작된다. 다이오드 D3를 통하여 직류 축으로 축적 에너지를 방출한다. 이 모드는 $i_L = 0$ 가 되면서 끝난다.

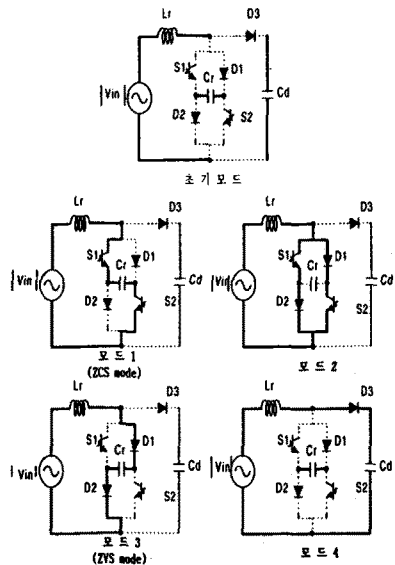


그림 2.3 공진회로의 모드별 상태도

2.4 모의 실험

승압형 컨버터등의 시스템에서 스위치의 시비율이나 스위칭의 주파수, 위상등 제어변수등이 비선형적이어서 실질적으로 수식이나 도식적으로 해석이 쉽지 않다. 그래서 각종 회로 수치해석을 하는데 있어서, 신뢰감을 지니고 있고 널리 사용되는 Micro Sim사의 PSpice를 이용해서 모의실험을 하였다. 다음 그림 2.4은 모의실험시 사용된 주회도이다.

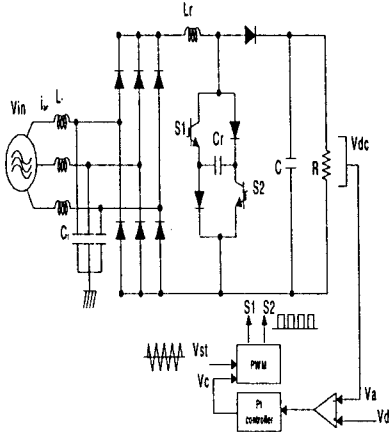
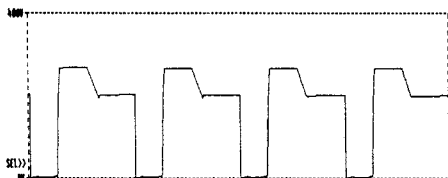
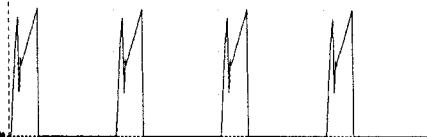


그림 2.4 제안된 시스템

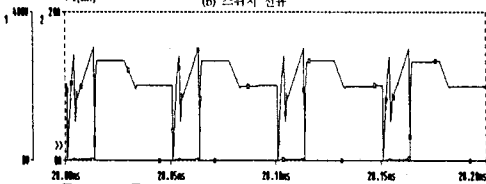
그림 2.5는 스위치단의 전압과 전류가 ZCS/ZVS를 일으켜 서로의 중복 부분이 없어진 파형을 보인다. 그림 2.6은 하드 스위칭 방식과 소프트 스위칭 방식을 각각 비교하고 있다. 그림 2.7은 부하의 변동시에도 고역률을 유지하고 있음을 보인다.



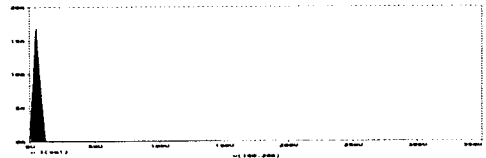
(a) 스위치 일단 전압



(b) 스위치 전류



(c) 스위치 전압과 전류



(a) 소프트 스위칭



(b) 하드 스위칭

그림 2.7 각 스위칭 방식에 따른 무효전력

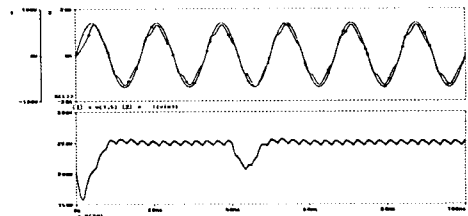


그림 2.7 부하변동에 따른 입력 전류, 전압 및 출력파형

3. 결론

일반적인 다이오드 브리지 정류기는 입력전류에 많은 고조파를 포함하는데 이를 개선하기 위해서, 먼저 구조적 개선으로서 승압형 AC/DC컨버터를 이용하여 고조파를 줄이고 역률을 향상시켰다. 또한 일반적인 PWM스위칭기법의 최대단점인 스위칭 주파수 증가시의 스위칭 손실을 줄이기 위해서 스위치에 공진회로를 추가하여 ZCS/ZVS방식으로 스위칭 손실을 최대한 줄였다. 그리고 부하의 변동시에도 입력전류가 계속 정현성을 가지며 고역률을 계속 유지하였다.

[참고 문헌]

- [1] Mohan., Underand, and R.BBins, Power Electronics, Wie Wiley Press, 1997.
- [2] Rashid., Power Electronic, Prentice-Hall Press, 1997
- [3] Guichao hug., Ching-shan Leu, and Yimin Jang, " Novel Zero-Voltage-transition PWM Converter," IEEE Trans. Power Electronics., Vol. 9, no.2, March 1994.
- [4] Rashid., Spice for power electronics and electric power, Prentice-Hall Press, 1996