

Asymmetrical 반브리지 컨버터의 이차측 다이오드 전압스트레스저감을 위한 새로운 하이브리드 제어기법

박남주 이동윤 현동석

한양대학교

A new hybrid control scheme for reduction of secondary diode voltage stresses Based on interleaved PFC Asymmetrical Half Bridge Topology

Nam-Ju Park, Dong-Yun Lee and Dong-Seok Hyun
Hanyang University

Abstract - This paper presents a new hybrid control method of asymmetrical half-bridge converter (AHBC) with low voltage stresses of the diodes and interleaved PFC(power factor correction). The proposed new control scheme can observe variation of secondary diodes voltage stresses by variation of duty ratio and then decide the control portions which are asymmetrical control and PFM(Pulse Frequency Modulation). Therefore, the proposed control scheme has many advantages such as a low rated voltage of the secondary diodes, low conduction loss according to the low voltage drop and wide zvs range by load variation. Through simulation results, the validity of the proposed control scheme is demonstrated.

1. 서 론

최근 반도체 기술이 발달함에 따라 스위칭 주파수를 증가시켜 PWM 컨버터의 크기와 무게를 줄일 수 있다. 그러나 스위칭 주파수 증가시 상당한 스위칭 손실이 발생하여 시스템의 효율을 저하시키는 요인이 된다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 최근에 일정 주파수에서 영전압 스위칭(ZVS)이 가능한 비대칭 컨버터가 많이 연구되어지고 있다[1]-[4]. IEC 1000-3-2와 같은 고주파 규제가 대두됨에 따라 AC-DC 정류기에서는 높은 역률을 갖기 위해 power factor correction(PFC)이 필수적으로 요구된다. 역률 개선 방식에는 크게 이단방식과 단단 방식으로 나눌 수 있다. 이단 방식(two-stage)의 역률 개선 방식은 두 번의 에너지 변환에 따른 전자시스템의 효율의 저하와 비용이 높다는 단점을 가지고 있다. 그리고 단단방식(single-stage)의 역률 개선은 효율개선과 저비용이라는 장점을 가지게 된다. 단단방식구성은 하나의 주스위치를 공유하여 역률 개선을 위한 PFC단과 일정 출력을 내기위한 DC/DC 컨버터단으로 크게 구성할 수 있다. 역률 개선을 수행하기 위해 일반적으로 PFC단을 불연속 전류 모드(DCM)방식을 사용하여 쉽게 역률을 개선시킬 수 있다. 그러나 불연속 전류 모드는 큰 리플의 입력 전류가 흐르게 되어 상대적으로 큰 필터를 요하게 된다. 이로 인해 크기, 무게 및 비용을 상승시키고, 효율을 저하시키는 요인이 된다. 따라서 전류리플을 감소 완화시키기 위해 interleaved 방식의 컨버터가 많이 연구되어지고 있다[5]. 그림 1은 기존의 비대칭 컨버터에 interleaved 방식의 AC/DC 정류기를 보여 주고 있다. 이 정류기는 일정주파수에서 영전압 스위칭이 가능하고 PFC 기능을 가지게 되어 높은 역률을 얻을 수 있다. 그러나 비대칭적으로 드티비가 제어되기 때문에 경부하(10%부하)에서는 이차측 다이오드의 전압스트레스는 중부하(100%부하)에 비해 상대적으로 큰 전압스트레스가 인가되어 도통 손실이 증가되고, 뿐만아니라 영전압 스

위청을 잊어버리게 되어 효율을 저하시키는 문제점을 갖게 된다. 따라서 본 논문에서는 비대칭/PFM을 이용한 하이브리드 제어기법을 사용하여 쉽게 이차측 다이오드의 전압 스트레스를 저감시키고, 또한 넓은 범위의 영전압 스위칭을 가지게 함으로써 효율개선과 비용절감의 효과를 가지게 된다. 본 논문에서 제안된 기법을 자세하게 설명하고 시뮬레이션을 통하여 타당성을 검증한다.

2. 회로 구성요소 및 동작 [5]

2.1 회로 구성 및 동작

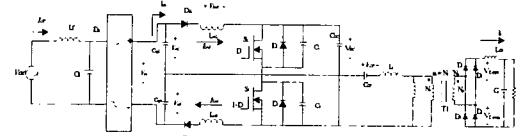


그림1. 기존의 interleaved PFC 비대칭 converter

그림1에서 보는 봐와 같이 회로 구성은 입력필터 L_1 와 C_1 , 두개의 부스트 인덕터 L_{in1} , L_{in2} , bus-filter 캐패시터 C_{DC} 그리고 공진 텩크와 출력 필터로 구성되어 있다. 공진 텩크는 누설인덕터 L_r , DC 블록킹 캐패시터 C_{CP} , 스너버 C_s , C_2 그리고 변압기로 구성된다. 사용된 회로의 기능적 구성요소를 보면 크게 역률 개선을 위한 세미 boost 컨버터와 일정 출력을 위한 Asymmetrical Half Bridge converter로 구성되어 있다. 세미 boost 컨버터는 두 인덕터를 사용하여 역률개선 및 전류 리플을 감소시키기 위해 interleaved 방식으로 구성되어 있다. 각 부스트 인덕터는 DCM으로 동작하여 역률을 개선시키고 입력 필터 크기를 감소시킬 수 있다. 출력제어를 위해 스위치 S1과 S2는 각각 (1-D), D로 비대칭적으로 드티비를 인가하여 동작 된다. 이 드티 비에 의해 이차측 다이오드 $V_{Dodd,2}$ 가 $V_{Deven,3,4}$ 의 전압스트레스 보다 큰 전압스트레스가 나타난다. 즉 경부하시에 한 쪽 스위치의 드티비가 작아져서 이차측에 높은 다이오드 전압 스트레스가 나타나게 된다. 아래의 식(1),(2),(3)은 기존의 AHBC의 이론적인 관계식을 보여 주고 있다. 식(1)에 의하여 인덕터의 전압 법칙을 만족된다.

$$(V_{DC}+V_{CP})(1-D)=(V_{DC}-V_{CP})D \quad (1)$$

식(1)로부터 식(2)와 같이 bus filter 전압과 드티비의 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$V_0 = 2V_{DC}(1-D) \quad (2)$$

이때에 이차측에 걸리는 다이오드 전압은 다음식과 같이 드티비에 의하여 나타내어진다.

$$V_{Dodd}=V_0/(D_{Min}) \quad (3)$$

$$V_{Deven}=V_0/(1-D_{Max}) \quad (4)$$

여기서, V_{DC} : bus filter 전압, V_0 : 출력 전압

V_{cp} : Blocking 캐패시터 전압, V_{Dodd} : Sw1이 도통시 이 차측 다이오드 1, 2 전압 스트레스 크기, V_{Deven} : Sw2이 도통시 이차측 다이오드 3, 4 전압 스트레스 크기

2.2 다이오드 스트레스

출력 전압제어를 듀티비를 비대칭적으로 제어하기 때문에 이차측 다이오드의 전압은 듀티비에 따라 반비례하여 전압이 인가된다. 그림 2는 중부하에서 경부하로 가변했을 때의 이차측 다이오드 Dodd와 Deven의 전압 스트레스를 각각 보여 주고 있다. 중부하에서 경부하로 가변될 때 듀티비가 0.5에서 0.2로 가변되어 이차측의 하나의 다이오드 스트레스가 120%(170V)정도 상승하는 심각한 문제점을 가지게 된다. 그림 3은 본 논문에서 비대칭 제어로 인해 나타나는 단점을 보완하기 위해 간단한 하이브리드 제어기법을 이용하여 이차측 다이오드의 전압 스트레스와 도통순상을 저감시키고 경부하시에도 영전압(ZVS)이 가능하게 하여 효율을 개선한다.

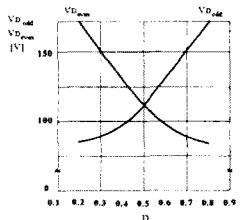


그림2 . 비대칭제어시 이차측
다이오드 전압스트레스

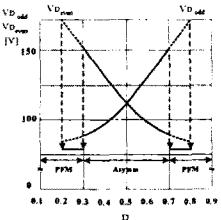


그림3. 하이브리드 제어시
이차측 다이오드 전압스트레스

3. 제안된 하이브리드 제어 방법

그림 4는 본 논문에서 제안된 새로운 하이브리드 제어기법 블록도를 보여주고 있다.

이 블록도에서 알 수 있듯이 제안된 제어 블록도는

- 출력 전압 제어 블록
 - 다이오드 스트레스 관측기 블록
 - 하이브리드 모드 동작 블록
- 크게 3가지로 구성된다.

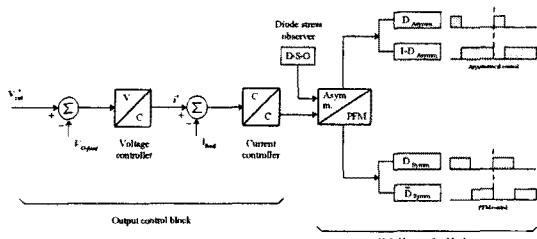


그림 4. 제안한 정류기의 제어 블록도

3.1 출력전압 제어블록

그림5는 출력전압제어 블록도를 나타내고 있다. 출력제어를 위해 사용된 제어기는 구현이 간단한 PI제어기기를 사용하여 출력 전압을 안정적으로 제어하였다.

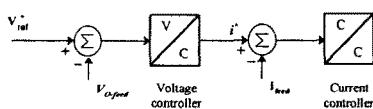


그림 5. 출력전압제어 블록도

3.2 다이오드 전압 스트레스 관측기 블록

그림6은 제안된 블록도 중 다이오드스트레스 관측기를 보여 주고 있다.

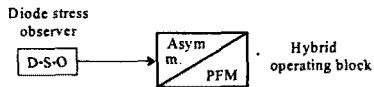


그림6. 다이오드 전압스트레스 관측기 블록도

다이오드 전압 스트레스는 식 (3),(4)에서 알 수 있듯이 일정 출력 전압을 가지므로 듀티비에 의하여 다이오드 전압 스트레스 변화를 관측 할 수 있다. 따라서, 다이오드 전압 스트레스에 따라 하이브리드 모드 선택을 할 수 있다. 그림7은 부하가 가변됨에 따라 듀티비가 변화하여 경부하에서는 작은 듀티비를 갖게 되어 이로인해 2차측 다이오드 전압스트레스가 더욱더 증가됨을 알 수 있다.

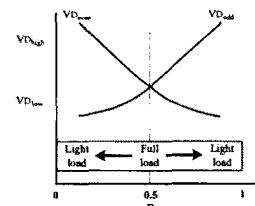


그림7. 부하가변시 다이오드 전압스트레스

3.3 하이브리드 제어 모드 블록

그림8은 하이브리드 모드동작 나타내고 있다. 하이브리드 동작 모드블록은 다이오드 스트레스 관측기에 의해서 관측된 듀티비에 의하여 다이오드 전압 스트레스 증가에

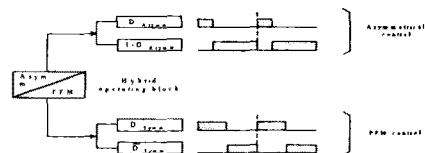


그림8. 하이브리드 제어 블록도

따른 듀티비를 관측하여 모드 가변의 기준이 되는 듀티비와 비교하여 이차측 다이오드 전압 스트레스가 낮을 경우에는 비대칭 제어기법으로 높을 경우에는 PFM제어기법으로 하이브리드 제어를 한다. 따라서 제안된 하이브리드 제어기법으로 인하여 이차측 다이오드 스트레스를 현저히 저감시킬 수 있다.

4. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안된 이차측 다이오드 전압 스트레스를 저감시키기 위한 새로운 제어기법의 타당성을 검증하기 위해 표1의 파라메타로 시뮬레이션을 수행하였다.

표1 파라메타 조건

V_{in}	input voltage	110Vrms
P_o	output power	500W
f_s	switching frequency	40kHz
CDC	bus filter capacitor	220uF
L_f	leakage inductor	170uH
CeP	blocking capacitor	10uF
L_{in1}, L_{in2}	boost inductor	75uH
n	turn ratio	1

그림 9는 기존의 비대칭 제어기를 사용하여 $t=200ms$ 후 중부하(100%부하)에서 경부하(10%부하)로 부하가변 시 출력 파형을 보여 주고 있다. 그림 9(a)는 입력 전압 및 전류 파형을 나타내고 있다. 파형에서 알 수 있듯이

경부하에서는 중부하에 가변시 역률이 나빠짐을 알 수 있다. 그림 9(b)는 이차측 다이오드의 전압스트레스를 나타내고 있다. 경부하시 듀티비가 감소되어 V_{DDevn} 전압이 증가되어 이차측 다이오드 스트레스가 170V(120%)정도 상승하게 됨을 알 수 있다. 그림 9(c)는 경부하(10%부하)시에 스위치 S_2 의 전압 및 전류 파형을 보여 주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 영전압스위칭(ZVS)을 잊어버리는 것을 확인할 수 있다.

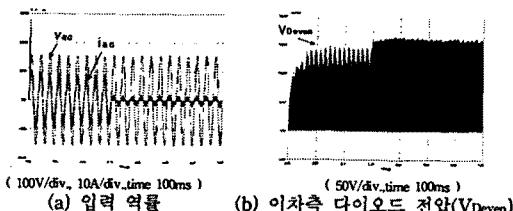


그림9. Asymmetrical 제어 시 출력파형

그림 10은 본 논문에서 제안된 새로운 하이브리드 제어를 적용하여 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 그림 10(a)는 $t=200ms$ 에서 중부하(100%부하)에서 경부하(10%부하)로 부하 가변 시 입력 역률을 보여주고 있다. 파형에서 알 수 있듯이 경부하에서도 높은 역률을 가짐을 보여준다. 그림10(b)는 제안된 하이브리드 제어기법을 사용하여 $t=200ms$ 이후 경부하시에도 불구하고 기존의 제어기법에 비해 다이오드 전압 스트레스가 약 80V로 현저히 감소됨을 나타내고 있다. 그림10(c)는 경부하(10%부하)시 스위치 S_2 의 전압 및 전류 파형을 보여주고 있다. 파형에서 알 수 있듯이 경부하시에도 영전압스위칭(ZVS)가 이루어짐을 확인할 수 있다.

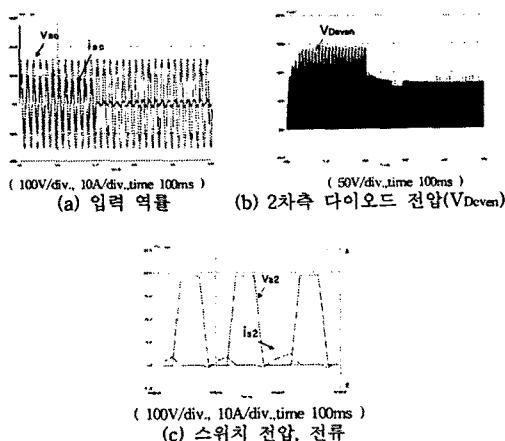


그림 10. 새로운 하이브리드 제어 기법 적용 시 파형

그림11은 $t=200ms$ 에서 가변시 출력 전압파형이다. 그림 11(a)는 100%부하에서 10%부하로 가변했을 경우로 약간의 오버슈트가 발생하지만 일정전압으로 잘 제어됨을 알 수 있다. 그림11(b)는 10%부하에서 100%부하로 급격

한 부하 증가되어도 일정하게 출력제어가 됨을 알 수 있다. 이러한 결과 파형으로부터 본 논문에서 새롭게 제안된 하이브리드 제어기법이 기존의 제어기법보다 이차측 다이오드의 전압스트레스가 현저히 감소됨을 확인할 수 있다. 또한 중부하 뿐만아니라 경부하시에도 영전압스위칭(ZVS)가 이루어짐을 그림10을 통하여 알 수 있다.

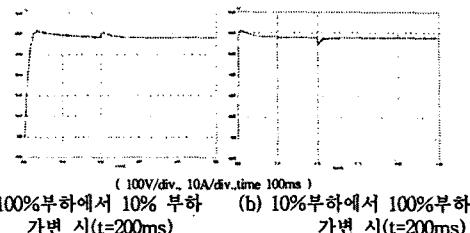


그림 11. 부하 가변 시 출력 파형

5. 결 론

본 논문에서는 interleaved PFC 기능을 가지는 AHBC 컨버터의 이차측 다이오드 전압스트레스를 줄이고 넓은 영전압스위칭(ZVS)을 확보하기 위한 새로운 하이브리드 제어기법을 제안하였다. 제안된 제어기법의 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 제안된 제어기법의 장점은 다음과 같다.

- 간단한 제어로 구현
- 높은 입력 역률
- 2차측 다이오드 전압스트레스 감소(80V[V])
- Schottky 다이오드(정격150[V])사용 시 유리
- 도통순실 저감
- 시스템 신뢰성 향상
- 하이브리드 제어시 출력 리플 감소

따라서, 이와 같은 특성을 갖는 제안한 하이브리드 제어 interleaved PFC AHBC컨버터는 통신용전원장치나 냉동설비 전원장치로 저비용과 높은 신뢰성을 갖는 AC-DC 정류기로 사용될 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Krupskiy, L.; Meleshin, V.; Nemchinov, A. "Unified model of the asymmetrical half-bridge converter for three important topological variations," Telecommunications Energy Conf., INTELEC99. The 21st International, pp. 8, Jun. 1999.
- [2] Miftakhutdinov, R.; Nemchinov, A.; Meleshin, V.; Fraidlin, S. "Modified Asymmetrical ZVS Half-Bridge DC-DC Converter," Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1999. APEC '99. Fourteenth Annual Vol.1, pp. 567 ~ 574, Mar. 1999.
- [3] Phua Chee Heng; Oruganti, R. "Family of Two-Switch Soft-Switched Asymmetrical PWM DC/DC Converters," Power Electronics Specialists Conf. PESC '94 Record., 25th Annual IEEE 20-25 vol.1, pp. 85 ~ 94, Jun. 1994.
- [4] Weiyun Chen; Peng Xu; Fred C.Lee, "The Optimization of Asymmetric Half Bridge Converter," Applied Power Electronics Conference and Exposition, Vol. 2, pp. 703 ~ 707, 2001.
- [5] Wu, T.-F.; Hung, J.-C.; Tseng, S.-Y.; Chen, Y.-M.; "Analysis and Design of a Battery Charger with Interleaved PFC Based on Asymmetrical Half-Bridge Topology," Telecommunications Energy Conf. 2003. INTELEC '03. The 25th International 19-23, pp. 579 ~ 585, Oct. 2003.