

하이브리드 제어기법을 이용한 Asymmetrical 하프 브리지 컨버터의 다이오드 스트레스 저감기법

조창규, 이동윤, 김경환, 현동석
한양대학교 전기공학과

Diode Stresses Reduction Of Asymmetrical Half-Bridge Converter Using Hybrid Control Scheme

Chahng-Gyu Joh, Dong-Yun Lee, Kyong-Hwan Kim, Dong-Seok Hyun
Dept. of Electrical Engineering, Hanyang University

Abstract - This paper presents a new hybrid control method of asymmetrical/symmetrical half-bridge converter (AHBC/SHBC) with low voltage stress of the diodes. The proposed new control scheme is executed by using feedback of the input voltage and then can decide operation of the converter is divided into two ranges, which are asymmetrical control and symmetrical control. So the proposed control scheme has many advantages such as a low rated voltage of the secondary diodes, and low conduction loss according to the low voltage drop. The proposed control scheme is verified by simulated results.

1. 서 론

일반적인 PWM 컨버터 구현 시 시스템의 소형화 및 경량화는 스위칭 주파수를 증가시킴으로써 얻을 수 있다. 하지만 스위칭 주파수의 증가는 필연적으로 스위칭 손실이 증가하게 되어 전체 시스템 효율을 저하시키는 요인으로 사용된다. 따라서 스위칭 주파수의 증가에 따른 스위칭 손실을 감소시키는 것은 필수적인 사항이라 할 수 있다. 이를 위해 스위칭 파도상태에서 발생하는 스위칭 손실을 감소시키기 위해 여러 가지 공진형 컨버터에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. [1]-[2]

이러한 공진형 컨버터는 높은 주파수로 동작하여 더 작은 컨버터를 구현 가능하게 하며 또한 스위칭 손실을 감소시킬 수 있다. 하지만 공진 요소의 공진으로 인한 높은 도통 손실과 높은 피크 전류와 전압의 문제점을 가지고 있다. 그 중 공진 Pole 컨버터는 스위칭 도통 시 PWM Switch Mode Converter와 유사하다. 그러나 주 회로의 전력전달모드를 마치고 프리휠링 모드로 동작할 때 1차측 회로에 프리휠링 전류가 흐르게 되므로 도통손실 증가의 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 낮은 도통손실과 소프트 스위칭을 포함한 Converter로서 최근 Asymmetrical Duty Ratio Converter가 제안되었다. [3]-[4]

Asymmetrical Duty Ratio Converter는 크게 AHBC와 AFBC로 구분할 수 있으며 AFBC는 제어의 방법이 복잡하고 1차측에 효율이 좋지 않다. 본 논문에서는 최적의 회로로 AHBC가 사용되었으며 이 컨버터는 고주파 스위칭에 따른 작은 출력필터와 같은 몇몇 소자와 함께 간단한 회로구성이 가능하며 고정된 입력전압에서는 높은 효율성을 갖는 장점을 가지고 있다. AHBC는 입력전압의 변화에 따라 Asymmetrical Control로 출력전압을 안정적으로 제어하게 되고 Duty Ratio가 작아질 때 2차측 다이오드에 인가되는 전압 스트레스가 크게 나타나게 되어 도통손실을 증가시키는 문제점을 유발 시키게 된다. 따라서 2차측 다이오드 스트레스를 저감하기 위한 많은 연구가 활발히 이루어지고 있다.

이러한 회로에는 Two-Transformer AHBC, Integrated Magnetics AHBC, Current Doubler Rectifier AHBC가 있다. 위의 각 회로의 단일화된 모드는 출력 다이오드의 전압 스트레스를 감소 시키기 위해 전압 변환 비 조정의 방법을 촉진 시켰고 각각 해석된 회로에 전압 변환 비 조정의 수행방법이 제안되었다. 또한 위의 각 회로의 최적 디자인과 해석에서 회로의 턴 비를 조정함으로써 2차측 다이오드에 인가되는 전압 스트레스를 더욱 균일하게 하는 장점을 있다. [5]-[8]

하지만 제안되어온 AHBC 구조적 변환은 각각 해석된 구조에서 변환 비 조정의 수행이 복잡하고 비록 이러한 해석을 단일화시킨다고 하더라도 마그네틱 이용을 최적화 시켜야 하는 문제점을 가지고 있어 특별한 마그네틱 요소를 써야 하는 심각한 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 AHBC 회로 구조는 그대로 이용하며 Asymmetrical/Symmetrical의 새로운 Hybrid 제어방법으로

Duty Ratio 변화에 대해 발생되는 2차측 다이오드의 전압 스트레스를 간단하게 저감함으로써 시스템의 효율증가 및 비용 절감이라는 장점을 가지게 된다. 본 논문에서 제안된 제어 기법을 설명하며 그 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하고자 한다.

2. 본 론

2.1 Asymmetrical Half-Bridge Converter의 회로 구성과 동작 파형

기존의 AHBC의 회로가 Fig1과 같이 나타나 있고 Fig2는 이 컨버터의 주요 파형을 나타내고 있다. 스위치1(SW1)과 스위치2(SW2)의 Duty Ratio는 각각 D와 (1-D)이며 Transformer의 턴 비가 N1: 1, N2: 1인 변압기를 사용하였다. 기존의 AHBC의 출력전압과 TR의 Voltage Second 법칙을 만족하기 위한 식 그리고 두 개의 2차측 다이오드 전압을 만족하는 식은 아래식과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_o = 2V_{in}D(1-D)/N \quad \text{식(1)}$$

$$(V_s + V_{cp})(1-D) = (V_s - V_{cp})D \quad \text{식(2)}$$

$$V_{Dodd} = V_o/(1-D_{Max}) \quad \text{식(3)}$$

$$V_{Deven} = V_o/(D_{Min})$$

Fig2는 주요 파형을 나타내고 크게 4개의 동작모드로 나누어 진다.

1) Mode 1(t_0-t_1)

t_0 에서 SW1이 Off 된다. 이때 누설 인덕터에 흐르는 전류(I_{lk})는 SW1과 SW2의 기생 캐패시턴스를 충 방전 하게 된다. 그리고 기생 캐패시턴스들의 충 방전이 끝난 후 SW2의 내부 다이오드가 도통 되며 영 전압 조건을 만족하게 된다. 이때 I_{lk} 에 흐르는 잔류전류는 SW2의 내부 다이오드를 통하여 전원측으로 환원된다.

2) Mode 2(t_1-t_2)

t_1 에서 SW2는 내부 다이오드가 도통 된 후에 영 전압 조건에서 Turn-On이 된다. 이 모드의 시간에 따라 다이오드의 스트레스가 $V_o/(1-D_{Min})$ 만큼 감소 함을 알 수 있다.

3) Mode 3(t_2-t_3)

t_2 에서 SW2가 Off된다. 이때 누설 인덕터에 흐르는 전류(I_{lk})는 SW1과 SW2의 기생 캐패시턴스를 충 방전 한다. SW1의 기생 캐패시턴스의 방전이 완전히 이루어진 후 SW1의 내부 다이오드가 도통 하게 되며 SW1은 영 전압 조건을 만족하게 된다. 이때 누설 인덕터에 흐르는 잔류전류는 SW1의 내부 다이오드를 통하여 전원측으로 환원된다.

4) Mode 4(t_3-t_4)

t_3 에서 SW1 영 전압 스위칭 조건에 의해 SW1 내부 다이오드가 도통 된 후에 Turn-On이 이루어 진다. 그리고 이 모드의 시간이 짧아짐에 따라 다이오드의 스트레스가 V_o/D_{Max} 만큼 상승하게 된다. 이로써 한주기의 동작이 끝나고 다른 주기로 mode1에서 mode4의 동작이 반복된다.

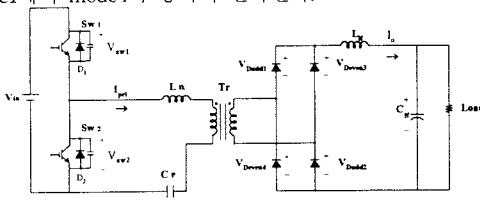


그림. 1. Asymmetrical Half-Bridge 컨버터 회로

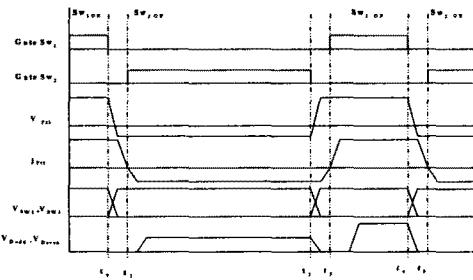


그림. 2. AHBC의 이론적 파형

2.2 Asymmetrical Half-Bridge Converter의 2차 측 다이오드 스트레스

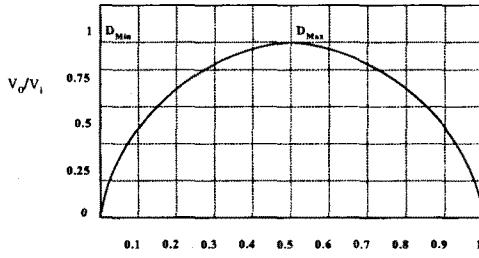


그림. 3. 전압비율과 듀티비의 관계

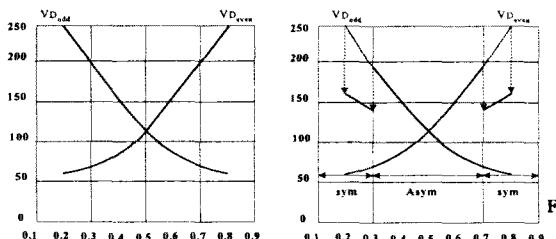


그림. 4. 다이오드 전압스트레스

본 논문에서는 AC 전압 220V를 기준으로 약 12%의 전압 변동률을 가정하여 입력 DC전압 가변 범위를 245V-374V로 한다. 입력전압이 변화하는 Asymmetrical 회로에서는 출력전압을 제어하기 위해서 이에 상응하게 각 스위치의 Duty Ratio의 차이가 커지게 된다. Fig3은 컨버터의 전압 이득과 각 스위치의 Duty Ratio의 관계를 그린 그림이다. 가변된 입력전압이 큰 부분에서는 작은 Duty Ratio를 갖게 되고 이때 1차측 도통 손실은 크게 되고 입력전압이 작은 부분(D=0.5)인 곳에서는 1차측 도통 손실은 최소 점이며 2개의 2차측 다이오드 전압도 작고 균등하다. Fig4는 본 논문에서 입력전압 245V(D=0.5)-374V(D=0.2)까지 가변했을 때 2차측의 두 개의 다이오드 Diode S/W1 (D_{odd})과 Diode S/W(D_{even})의 스트레스를 보여주고 있다. 이와 같이 각 스위치의 Duty Ratio를 0.5-0.2로 가변할 때 2차측의 하나의 다이오드 스트레스가 120%가량 상승하는 치명적인 단점을 갖는다. Fig5는 본 논문에서 이러한 단점을 보완하기 위해 간단한 제어회로를 이용하여 AHBC의 2차 측 다이오드 스트레스를 줄이고 1차측 도통 손실을 저감하여 높은 효율로서 Converter가 최적 동작 점에서 동작 할 수 있도록 간단한 제어로 SHBC를 이용하도록 한다. 낮은 입력전압일 때 즉 2차 측 2개의 다이오드 스트레스 차가 60%이하일 때는 Asymmetrical Control을 수행하였다. 그리고 높은 입력전압일 때 즉 2차 측 2개의 다이오드 스트레스 차가 60% 이상인 경우에는 Symmetrical Control을 수행하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 제어기법은 Fig5에서와 같이 AHBC의 2차 측 다이오드 전압 스트레스를 줄이기 위해 간단한 제어회로를 이용하여 다이오드 전압 스트레스를 감소시킨다. 또한 Shottky Diode의 사용을 고려할 경우 더욱 유리하다.

2.3 제안된 제어기법

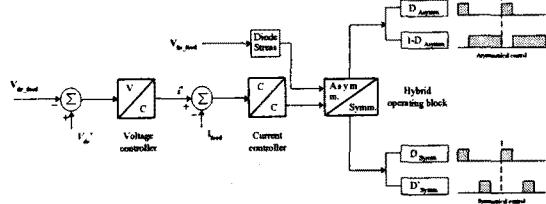


그림. 6. 새로운 하이브리드 제어 블록

A. 새로운 제어기법의 제어부

Fig6은 본 논문에서 제안된 새로운 Hybrid 제어기법을 나타낸 제어 블록도이다. 이 블록도에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 새로운 제어기법은 크게 3가지 블록으로 구성된다.

- » 출력전압 제어블록
- » 다이오드 스트레스 관측블록
- » Hybrid 동작블록

B. 제안된 제어기법의 원리

기존의 Asymmetrical Converter를 이용한 새로운 Hybrid 제어기법의 출력전압 제어블록은 일반적인 출력전압 제어방법인 PI제어기를 이용하였으며 기준전압과 출력전압의 오차에 의해 전압제어기를 통하여 안정적으로 제어를 이루게 된다. 또한 전류제어기는 일종의 외관 형태로 고려되며 제어 투표에 의해 출력전압 조절은 과도 상태뿐만 아니라 부하 가변 시에도 세밀한 조절을 이루게 된다. 두 번째 블록은 입력전압의 변동에 따른 이차측 다이오드의 스트레스를 관측하기 위한 제어부이다. 앞에서 설명된 Fig4를 통하여 알 수 있듯이 입력전압의 변동은 Duty Ratio의 변화를 발생하게 하고 이로 인해 다이오드의 스트레스를 인가하게 된다. 따라서 입력전압을 피이드백하여 기준 다이오드의 전압과의 비교를 통하여 입력전압이 기준전압 이하인 경우에서는 Asymmetrical 컨버터 동작모드를 결정하게 되고 반면 기준전압 이상인 경우에 대해서는 두 번째 블록에 의해 Symmetrical 컨버터 동작모드로 제어를 이루게 된다. 마지막 세 번째 하이브리드 동작블록은 출력전압 제어블록과 다이오드 스트레스 관측블록으로부터 결정된 컨버터의 동작을 안전하게 동작하게 하기 위해 간단한 로직회로를 이용하여 구성된 블록이다. 따라서 본 논문에서 제안된 새로운 제어기법은 설명된 세 가지 제어루프에 의해 안정적으로 동작하게 되며 2차측 다이오드의 스트레스를 현저히 저감시키게 된다.

2.4 시뮬레이션 결과

제안한 2차측 다이오드 스트레스를 저감시키기 위한 새로운 제어기법의 타당성을 검증하기 위해서 이상적인 소자를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 사용된 조건은 다음과 같다.

입력전압은 Asymmetrical Duty가 시작되는 범위인 250-374V(AC220V±1.2%), 출력전압: 48[V], P0: 1[kW], 스위칭 주파수: $F_S=50[\text{kHz}]$, 변압기의 턴 비: $N=n_1/n_2 = 1$. Fig7은 기존의 AHBC에서의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. Fig7(a)는 각 50ms 주기마다 입력전압가변을 실행하였으며 $T=0-50\text{ms}$ $V_i=250[\text{V}]$, $T=50-100\text{ms}$ $V_i=325[\text{V}]$, $T=100-150\text{ms}$ $V_i=374[\text{V}]$ 로 변환되었다.

그리고 Fig7(b)는 출력전압 파형을 나타내고 있다. Fig7(a)의 과정에서 나타내듯이 입력전압 가변에도 불구하고 일정 출력전압 48[V]가 제어되는 파형을 나타내고 있다. Fig7(c)는 Fig4에서 나타내듯이 2차 측의 2개의 다이오드 중 스트레스가 큰 D_{odd} 를 파형으로 나타내고 있다. Fig4와 같이 입력전압이 증가할수록 D_{odd} 가 점점 증가하면서 2차 측 다이오드의 스트레스가 120%까지 상승하는 파형이다.

Fig8은 본 논문에서 제안된 새로운 Hybrid 제어를 수행하는 경우의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. Fig8(a)는 각 50ms 주기마다 입력전압가변을 실행하였으며 $T=0-50\text{ms}$ $V_i=250[\text{V}]$, $T=50-100\text{ms}$ $V_i=325[\text{V}]$, $T=100-150\text{ms}$ $V_i=374[\text{V}]$ 로 변환되었다. 그리고 Fig8(b)는 출력전압 파형을 나타내고 있다. Fig8(a)의 과정에서 나타내듯이 입력전압 가변에도 불구하고 일정 출력전압 48[V]가 제어되는 파형을 나타내고 있다. Fig8(c)는 Fig5에서 나타내듯이 본 논문에서 제안한 새로운 제어를 수행한 D_{odd} 의 파형을 나타내고 있다. Fig5와 같이 D_{odd} 와 D_{even} 의 스트레스 차가 60%이상이 되는 점 즉 입

력 전압이 325[V]인 점에서 Hybrid 제어를 함으로써 AHBC 일 때의 D_{odd} 의 전압 스트레스를 30%정도 감소시킬 수 있음을 Fig8(c)의 과정을 통하여 알 수 있다. D_{odd} 와 D_{even} 의 스트레스 차가 가장 큰 입력전압이 374[V]인 점에서도 Hybrid 제어를 함으로써 AHBC일 때의 D_{odd} 의 전압 스트레스를 36%정도 감소시킬 수 있음을 Fig8(c)의 과정을 통하여 알 수 있다. Fig9(a)는 입력전압이 245[V](D=0.5)에서 374[V](D=0.2)로 가변 될 때 기존 AHBC의 다이오드 전압스트레스($V_{D,odd}$, $V_{D,even}$)를 나타내고 있다. Fig9(b)는 간단한 제어기법을 이용하여 Fig9(a)에서의 단점이 보상되었음을 보여주고 있다. 시뮬레이션 결과로 본 논문에서 새롭게 제안한 Hybrid 제어를 이용하여 출력 측 다이오드의 전압 스트레스가 현저하게 감소되었음을 Fig7과 Fig8, Fig9를 통해서 알 수 있다.

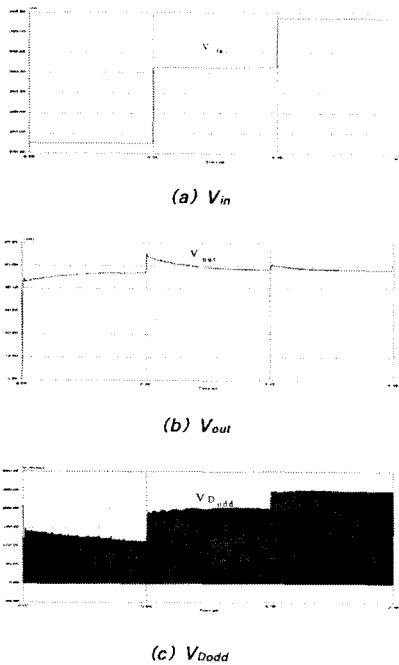


그림. 7. Asymmetrical 제어

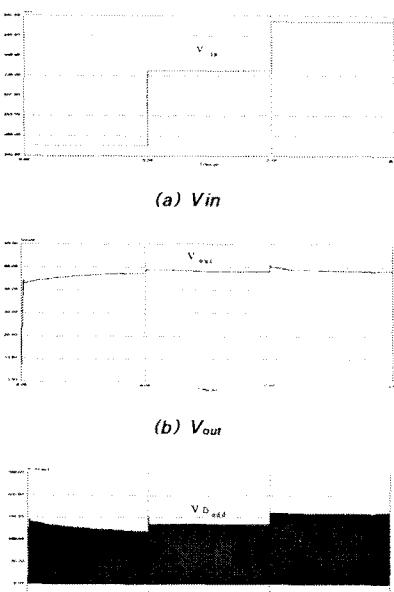
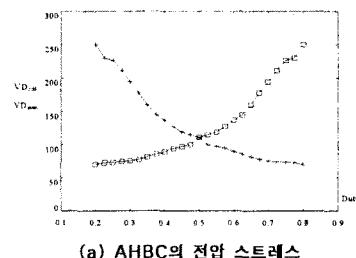
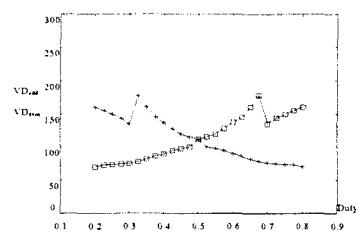


그림. 8. 새로운 하이브리드 제어기법



(a) AHBC의 전압 스트레스



(b) 새로운 제어기법을 이용한 전압 스트레스
그림. 9. 2차 측 다이오드 전압 스트레스

3. 결 론

본 논문에서는 AHBC의 2차 측 다이오드 스트레스를 줄이기 위해서 새로운 Hybrid 제어기법을 제안하였다. 그리고 제안한 제어기법의 그 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 실행하였다. 제안한 제어 기법의 장점은 다음과 같다.

- 2차 측 다이오드의 전압 스트레스 감소
- Shottky 다이오드를 사용할 때 유리
- 도통 손실 저감
- 시스템 효율 증가

따라서, 이와 같은 특성을 갖는 제안한 Hybrid 제어를 적용한 Half-bridge Converter는 입력전압과 부하의 변동에 영향을 받지 않고 안정된 전원을 공급할 통신용 전원장치나 빛데리 전원장치에 저비용 고효율의 DC-DC 컨버터로 사용될 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Liu, K-II; Lee, F.C., Zero-voltage switching technique in DC/DC converters, *IEEE Trans. Power Electronics*, Vol. 5 Issue: 3, pp 293-304, Jul. 1990
- [2] Guichao Huai; Yang, E.X.; Yimin Jiang; Lee, F.C., Novel zero-current-transition PWM converters, *Trans. Power Electronics*, Vol. 9 Issue: 6, pp 601-606, Nov. 1994
- [3] Dong-Yun Lee; Byung-Kuk Lee; Sang-Bong Yoo; Dong-Seok Hyun, An improved full-bridge zero voltage-transition PWM DC/DC converter with zero-voltage/zero-current switching of the auxiliary switches, *IEEE Trans. Industrial Electronics*, Vol. 36 Issue: 2, pp 558-566, Mar./Apr. 2000
- [4] Imbertson, P.; Mohan, N., Asymmetrical duty cycle permits zero switching loss in PWM circuits with no conduction loss penalty, *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 29 no. 1, pp 121-125, Jan./Feb. 1993
- [5] Krupskiy, L.; Meleshin, V.; Nemchinov, A., Unified model of the asymmetrical half-bridge converter for three important topological variations, *Telecommunications Energy Conf. INTELEC'99. The 21st International*, pp 8, Jun. 1999
- [6] Peng Xu; Qiaojia Wu; Pit-Leong Wong; Lee, F.C., A novel integrated current doubler rectifier, *IEEE-APEC conf. Rec.*, vol.2, pp 735-740, 2000
- [7] Jian Sun; Mehrotra, V., Unified analysis of half-bridge converters with current-doubler rectifier, *IEEE-APEC conf. Rec.*, vol.1, pp 514-520, 2001
- [8] Yi-Hsin Leu; Chern-Lin Chen, Analysis and design of two-transformer asymmetrical half-bridge converter, *IEEE-PESC conf. Rec.*, Vol. 2, pp 943-948, 2002