

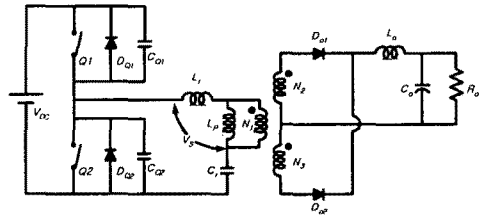
비대칭 소프트 스위칭 하프 브리지 컨버터의 공진 특성 분석

연재율\*, 안중록\*\*, 장도현\*\*, 김희준\*\*\*  
 (주)ATS\*, 호서대학교\*\*, 한양대학교\*\*\*

Analysis of Resonant Characteristics in Asymmetrical Soft Switching Half Bridge Converter

Jae-Eul Yeon\*, Jung-Rok Ahn\*\*, Do-Hyun Jang\*\*, Hee-Jun Kim\*\*\*  
 ATS Co.,Ltd\*, Hoseo University\*\*, Hanyang University\*\*\*

**Abstract** - In this paper, resonant characteristics of the asymmetrical soft switching half bridge converter is analyzed. The operation principle for proposed converter is explained in steady-state and its operation characteristics by switching frequency is presented with experimental result. Experimental results carried out on a system prototype are included in this paper.



(a) 기본회로

1. 서론

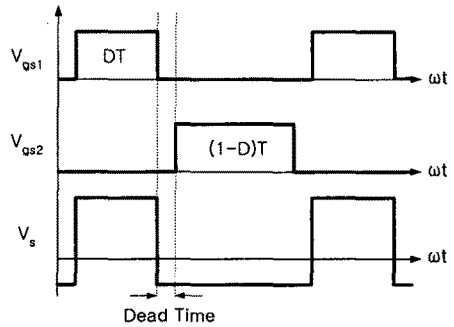
비대칭 소프트 스위칭 컨버터는 영전압 스위칭을 통해 스위칭 손실을 제거 할 수 있을 뿐만 아니라 간단한 PWM방식으로 컨버터를 제어함으로써 소프트 스위칭 컨버터로서는 제작비용이 대단히 저렴하면서도 전력 밀도가 높다는 장점을 가지고 있다. 비대칭 방식 컨버터의 주 회로는 하프 브리지 컨버터의 구조로 되어 있으며 두 개의 1차측 스위치를 주 스위치와 보조 스위치로 구분하여 각각 시비율 D 및 (1-D)로 동작시킨다[1,2]. 이때 두 스위치의 동작간에 시비율의 변화에 관계없이 일정하면서도 정확히 설정된 데드 타임 구간을 부여하여야 하며, 이 구간 동안 스위칭 소자의 영전압 스위칭이 이루어진다[1,3]. 비대칭 방식은 일반적인 하드 스위칭 컨버터의 형태로 개발되었으나 최근에는 기존의 하드 스위칭 컨버터가 갖는 두 개의 분압 커패시터를 무극성의 DC 블록킹 커패시터로 대체하여 컨버터의 전력 밀도를 향상시킨 형태로 발전하였다.

본 논문에서는 공진 커패시터를 사용한 비대칭 소프트 스위칭 하프 브리지 컨버터의 공진 특성을 분석하여 그 결과를 제시하였다.

2. 비대칭 소프트 스위칭 컨버터

그림 1(a)는 비대칭 소프트 스위칭 컨버터의 기본회로를 나타낸다. 이 컨버터는 기본적으로 PWM제어를 통해 출력전압을 조정한다. 두 개의 스위치는 각각 주 스위치 Q1과 보조 스위치 Q2로 구분할 수 있으며, 주 스위칭 및 보조 스위칭의 도통시간을 각각 DT 및 (1-D)T로 하여 동작시킨다. 이 때 주 스위치와 보조 스위치의 동작간에는 일정한 데드 타임이 존재해야 하며 이 구간 동안 소프트 스위칭이 이루어진다.

컨버터는 두 개의 스위치로 구성된 초퍼 부분과 누설 인덕턴스 Lr, 여자 인덕턴스 Lp 및 이상 변압기를 포함한 변압기 그리고 출력측의 정류 다이오드와 필터 부분으로 나누어 등가화시킬 수 있다. 그림 1(a)의 회로에서 Q1 및 Q2는 컨버터의 주 스위치와 보조 스위치를 나타낸다. 각 스위치에 병렬로 위치한 다이오드 DQ1, DQ2는 스위치 소자의 내장 다이오드이며, 병렬 커패시터 CQ1, CQ2는 스위치 소자로 사용되어진 MOSFET의 드레인-소스간의 기생 커패시터이다[1,3].



(b) 비대칭 PWM제어 파형

그림 1. 비대칭 소프트 스위칭 컨버터

그림 1(b)는 그림 1(a)의 비대칭 소프트 스위칭 컨버터의 기본 동작을 나타내고 있다. 여기서 Vgs1, Vgs2는 각각 스위치 Q1 및 Q2의 스위칭 신호를 나타내며, Vs는 변압기 1차 측에 인가되는 전압을 나타낸다. 이를 푸리에 급수에 의해 전개하면 식(1)과 같다[1].

$$V_s = \Sigma \sqrt{2} \left[ \frac{V_i}{(n\pi)} \cdot (1 - \cos 2\pi n D) \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \sin(n\omega t + \theta_n) \tag{1}$$

여기서,

$$\theta_n = \tan^{-1} \left[ \frac{\sin 2\pi n D}{1 - \cos 2\pi n D} \right] \tag{2}$$

스위치 Q1 및 Q2는 서로 비대칭을 이루며 교번 동작을 하기 때문에 데드 타임을 무시할 경우 스위치 Q1은 DT구간 동안 동작하게 되며, 스위치 Q2는 (1-D)T구간 동안 동작하게 된다. 따라서 병렬 커패시터 CQ1과 CQ2의 양단전압 V1은 시비율 D에 의해서 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$V_1 = V_{C1}(av) + V_s(av) \tag{3}$$

여기서 V<sub>C1</sub>(av) = 스위치 Q1 양단의 평균전압

$V_S(av) =$  한 주기 동안 변압기 1차 측에 인가 되는 평균전압

그리고  $V_{S(av)} = 0$ 이라고 할 수 있으므로 각 스위칭 양단에 나타나는 전압  $V_1$  및  $V_2$ 는 각각 식(4) 및 식(5)로 나타낼 수 있다.

$$V_1 = (1-D)V \quad (4)$$

$$V_2 = DV \quad (5)$$

그림 1에서와 같이  $V_S$ 가 변압기에 인가되고 2차측 정류회로를 통해 부하에 공급된다고 하면 출력 측의 전압은 1차 측 스위치의 시비율  $D$ 를 이용해 제어가 가능하다. 즉,

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{D(1-D)}{n} \quad (6)$$

식(6)을 토대로 컨버터에서 나타나는 전압 전달비를 구해보면 그림 2와 같이 나타난다.

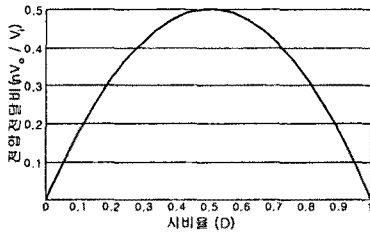


그림 2. 시비율에 의한 전압 전달비의 변화

비대칭 소프트 스위칭 컨버터는 PWM방식의 컨버터이다. 그러나 컨버터 1차측 회로의 변압기 누설 인덕턴스와 공진 커패시터는 적절 공진회로를 형성하게 된다. 이때 컨버터의 공진 주파수는 다음과 같다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}} \quad (7)$$

여기서  $L_r$  = 누설 인덕턴스  
 $C_r$  = 공진 커패시터이다.

식(7)을 통해 비대칭 소프트 스위칭 컨버터는 스위칭 주파수에 따라 전압 전달비가 변화한다는 것을 알 수 있으며 비대칭 소프트 스위칭 하프브리지 컨버터 1차 측의 공진회로의 첨예도  $Q_S$ 는 다음과 같다.

$$Q_S = \frac{1}{R_L} \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \quad (8)$$

식(7)을 토대로 스위칭 주파수에 대한 전압 전달비의 변화를 구해보면 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 그림 3에서와 같이 스위칭 주파수는 공진 주파수보다 높은 영역에서 선택해야 한다. 왜냐하면 컨버터가 공진 주파수 근처의 영역에서 동작할 경우 스위칭 주파수의 변동에 따른 출력 전압의 변동이 커지게 되며, 공진 주파수보다 낮은 영역에서 동작할 경우 컨버터의 1차측 스위치가 턴오프하기 이전에 공진 전류가 영이 되므로 공진 전류가 스위칭 소자의 역병렬 다이오드를 통해 환류하지 않게 되고 이에 따라 턴온시에 영전압이 이루어지지 않기 때문이다. 또한 컨버터가 공진 주파수 보다 너무 높

은 영역에서 동작하게 되면 1차측 공진 전류의 피크가 낮아지고 변압기의 권수비가 증가되어야 하는 단점이 발생되므로 동작 주파수를 적당히 결정해야 한다.

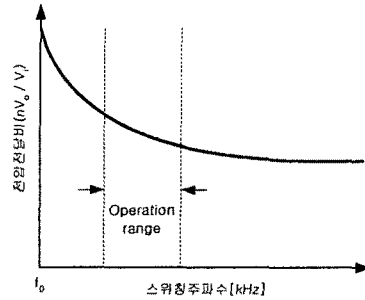


그림 3. 스위칭 주파수에 의한 전압 전달비의 변화

### 3. 실험결과

본 연구 결과를 입증하기 위해 비대칭 소프트 스위칭 컨버터를 제작하여 실험을 하였으며 컨버터의 전기적 사양 및 각 소자의 파라미터 값을 표 1에 정리하였다.

표 1. 컨버터의 사양과 파라미터

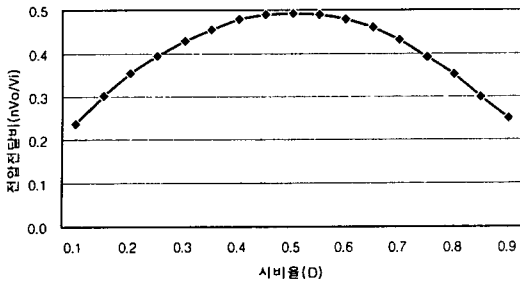
출력 전력	150 [W]	
입력 전압	310 [V]	
출력 전압	5 [V]	
출력 전류 범위	0~30 [A]	
변압기	여자 인덕턴스( $L_p$ )	4.8 [mH]
	누설 인덕턴스( $L_r$ )	42 [nH]
	권수비(N)	32
평활용 인덕턴스( $L_f$ )	30 [uH]	
전압 공진 커패시터( $C_r$ )	30 [nF]	
스위칭 주파수	92[kHz]	

비대칭 소프트 스위칭 컨버터의 스위칭 특성을 확인하기 위한 실험 결과를 그림 4에서 그림 6에 걸쳐 나타내었다.

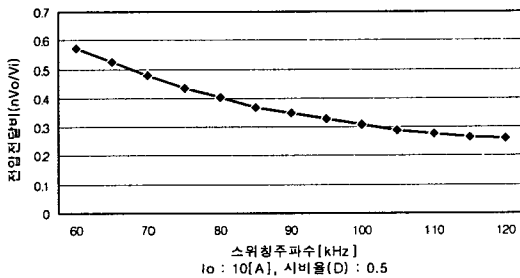
시비율의 변화와 스위칭 주파수에 대한 컨버터의 전압 전달비의 변화를 실험을 통해 각각 그림 4(a)와 (b)에 나타내었다. 그림 4(a)에서는 시비율 50%를 기준으로 좌우의 전압 전달이 서로 대칭 형태를 이루고 있다. 따라서 이는 그림 2에서 보여준 이론적 파형과 유사함을 확인 할 수 있고, 그림 4(b)를 통해 스위칭 주파수에 의한 전압 전달비의 변화를 확인할 수 있다.

그림 5(a)는 보조 스위치  $Q_2$ 의 드레인-소스간의 전압  $V_{DS2}$ 와 게이트-소스간의 구동신호  $V_{GS2}$  및 공진 전류  $i_r$ 을 나타내며, 그림 5(b)는 보조 스위치  $Q_2$ 의 드레인-소스간의 전압  $V_{DS2}$ 와 게이트-소스간의 구동신호  $V_{GS2}$  및 스위칭전류  $i_{Q2}$ 를 나타낸다. 그림 5를 통해 게이트 구동신호가 인가되기 전에 역방향의 공진 전류가 스위칭 소자의 바디 다이오드를 통해 흐르게 됨으로써 스위칭 양단 전압이 영(Zero)이 된다는 것을 확인할 수 있다.

그림 6(a)는 스위치  $Q_2$ 의 턴온시 스위칭 양단 전압  $V_{DS2}$ 와 구동신호  $V_{GS2}$ 를 확대한 파형이며 그림 6(b)는 턴오프시 스위칭 양단 전압  $V_{DS2}$ 와 동신호  $V_{GS2}$ 를 확대한 파형이다.



(a) 시비율에 의한 전압 전달비의 변화



(b) 스위칭 주파수에 의한 전압 전달비의 변화  
그림 4. 전압 전달비의 변화

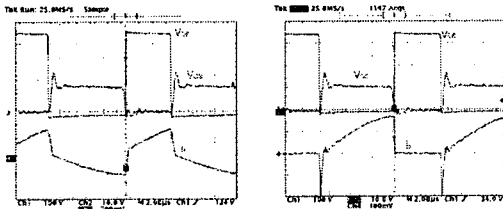
달비가 스위칭 주파수에 크게 영향을 받는다는 사실과 컨버터의 동작영역이 공진 주파수 보다 높은 영역에 존재하는 것이 유리하다는 사실을 밝혔다.

**[참 고 문 헌]**

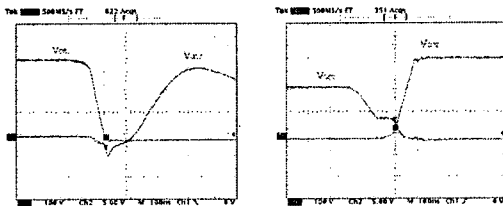
[1] Praveen K. Jain, Andre St-Martin, Gray Edwards, "Asymmetrical pulse-width-modulated resonant DC/DC converter topologies", IEEE transactions, Vol. 11, pp.413-422, 1996.

[2] Furukawa. Y., Morita. K., Yoshikawa. T., "A high efficiency 105W DC/DC converter", INTELEC94, pp.148-154, 1994.

[3] Korotkov S., Meleshin V., Miftahutdinov R., Fridlin S., "Soft switched asymmetric half bridge DC/DC converter", Telecommunications Energy Special Conference, pp.177-184, 1997.



(a)  $V_{GS}$ ,  $V_{DS}$ ,  $i_r$       (b)  $V_{GS}$ ,  $V_{DS}$ ,  $i_s$   
 $V_{GS}$  : 구동 신호,  $V_{DS}$  : 스위치 양단전압  
 $i_r$  : 공진 전류,  $i_s$  : 스위치 전류  
 그림 5. 스위치에서의 측정파형



(a) 턴온      (b) 턴오프  
 $V_{GS}$  : 구동신호  
 $V_{DS}$  : 스위치 양단전압  
 그림 6. 스위칭 순간의 측정파형

**4. 결론**

본 연구에서는 PWM방식을 사용하여 구성이 간단하면서도 입력측 분압 커패시터를 사용하지 않기 때문에 컨버터의 전력밀도를 크게 향상시킬 수 있는 비대칭 소프트 스위칭 컨버터의 우수한 스위칭 특성과 컨버터에서 나타나는 공진 특성을 분석하였다. 특히 무극성 커패시터와 변압기의 누설 인덕턴스 사이에 공진 현상이 나타난다는 사실을 발견하였고, 이로 인해 컨버터의 전압전