

소프트 스위칭 기법을 적용한 싱크로너스 양방향 DC-DC 컨버터

李東奎*, 朴南柱**, 玄東石†

Synchronous Bidirectional DC-DC Converter Applying Soft-Switching Technique

Dong-Gyu Lee, Nam-Ju Park and Dong-Seok Hyun

요 약

본 논문은 소프트 스위칭 기법을 적용한 싱크로너스 양방향 DC-DC 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 싱크로너스 벡 컨버터를 병렬구성을 하여 인터리브드 기법을 통해 도통 손실을 줄이고, 하나의 공진인덕터를 사용한 ZVT-Cell을 적용함으로써 스위칭 손실을 최소화 하였다. 전 부하 범위에서 CCM(Continuous Conduction Mode)으로 동작하고 ZVS가 성립되도록 하였으며, 전류주입 기법을 통해 넓은 출력전압 범위에서도 ZVS 조건을 만족하였다. 또한, 기존 싱크로너스 벡 컨버터의 데드타임(dead time)동안 발생하는 역병렬 다이오드의 도통손실 및 dv/dt , di/dt 발생을 저감하는 효과를 얻을 수 있다. 제안된 컨버터의 유효성은 실험을 통해서 검증하였다.

ABSTRACT

This paper proposes synchronous bidirectional DC-DC converter applying soft-switching technique. The proposed converter integrates two advantages which are conduction loss minimization and switching loss elimination by applying interleaved synchronous buck and ZVT-cell with a single resonant inductor. ZVS is guaranteed for wide load range in CCM(Continuous Conduction Mode) as well as wide output voltage range by current injection method. Also, reverse recovery effects of body diode can be minimized. In addition, it is possible to significantly reduce diode drop voltage occurred during dead time of conventional synchronous buck converter. The validity of the proposed converter is verified through experimental results.

Key Words : DC-DC Converter, Soft-Switching, Bidirectional Converter

1. 서 론

화석연료의 매장량 감소로 인해 고연비 하이브리드 자동차의 비중이 날로 증가하고 있다. 하이브리드 자동차는 배터리를 채용하여 2개의 전압레벨을 사용하고 있어 양방향 컨버터가 필수적이며, 전력 사용량이 수

십kW에 이를 것으로 전망되고 있어 42V 시스템의 경우 와이어하네스에 흐르는 전류는 수백A 이상 될 것으로 예상된다^[1]. 따라서 대전류의 도통 손실을 줄이기 위해서는 병렬 구성이 유리하다. 또한 자동차의 내부 공간은 제한되어 있으므로 스위칭주파수를 높여서 컨버터를 소형화할 필요가 있고, 높은 스위칭주파수에 수반되는 스위칭 손실을 최소화하기 위해서는 소프트 스위칭 기법의 적용이 필수적이다. 이러한 산업계의 수요로 여러 병렬 소프트 스위칭 양방향 DC-DC 컨버터가 제안되어왔다^[2-7]. 변압기를 이용한 풀브리지 컨버터는 1차측과 2차측의 절연을 할 수 있어 시스템의 안정도를 향상 시킬 수 있고, 입출력 전압의 가변이

†교신저자 : 정회원, 한양대 전기제어생체공학부 교수

E-mail : dshyun@hanyang.ac.kr

*학생회원, 한양대 대학원 전기공학과 석사과정

**정회원, 한양대 대학원 전기공학과 박사 후 과정

접수일자 : 2008. 6. 3 1차 심사 : 2008. 6. 20

심사완료 : 2008. 7. 7

용이하다는 장점이 있다. 하지만 입출력 전압차가 크지 않고 공통 영전위를 사용하고자 하는 경우에는 변압기를 사용할 필요가 없고, 변압기 자체의 손실을 무시할 수 없다는 단점이 있다. 변압기를 사용하지 않고 입출력 전압비의 가변이 가능한 Sepic/Zeta 컨버터는 공통 영전위를 사용할 수 있고 ZVT-Cell을 이용한 소프트 스위칭을 구현 하였지만, 도통손실을 줄이고 출력의 리플을 저감하기 위한 병렬구성이 용이하지 않다. 싱크로너스 벡 컨버터를 사용한 경우에는 회로구성이 간단하고 제어가 용이하다는 장점이 있지만 DCM(Discontinuous Conduction Mode)으로 동작하므로 대전력 응용에서는 높은 피크전류로 인해 큰 정격을 가진 소자가 요구 되어지는 문제를 근본적으로 가지고 있다. 본 논문에서 제안된 컨버터는 CCM(Continuous Conduction Mode)으로 동작하여 기존 토폴로지의 문제점을 해결하였다.

제안된 컨버터는 가장 간단한 양방향 토폴로지인 싱크로너스 벡 컨버터를 하나의 모듈로 하여 병렬구성하였다. 하나의 공진 인덕터를 이용하여 소프트 스위칭을 구현할 수 있어 병렬구조에 적합한 ZVT-Cell을 적용하였고^[8], 넓은 전압범위에 대해 ZVS를 보장하기 위해 전류 주입 기법^[9]을 사용하였다. 싱크로너스 정류기 동작을 통해 환류구간 동안 역병렬 다이오드의 도통손실을 감소시켜 대전류일 경우 더욱 큰 효과를 얻을 수 있다. 실험을 통해 제안된 컨버터의 유효성 검증하였다.

2. 제안된 컨버터의 동작원리

2.1 회로 구성

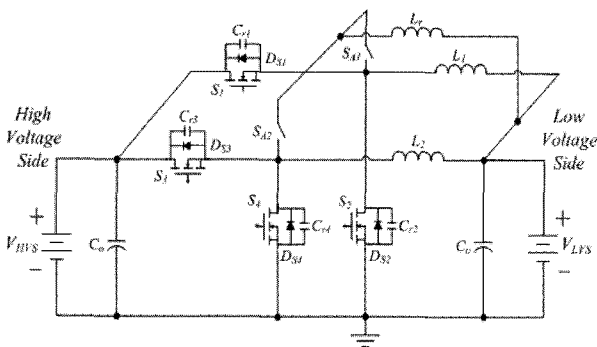


그림 1 제안된 컨버터 회로 구성
Fig. 1 Circuit Configuration of the proposed converter

그림 1은 제안된 컨버터의 회로 구성을 나타낸다. 두 개의 싱크로너스 벡 컨버터가 병렬로 구성되었고, 두 개의 양방향 보조 스위치, 하나의 공진 인덕터로 구성된 ZVT-Cell이 추가되었다. 필요에 따라 병렬회로를 추가하여 확장할 수 있다. 각 스위치에는 공진 커패시터를 병렬로 연결하여 공진구간동안 ZVS조건을 만들 수 있게 하였으며, 스위치 턴-오프 시에는 양단 전압 상승시간을 지연시키는 효과를 얻을 수 있게 하였다. 양방향 보조 스위치는 두 개의 MOSFET을 서로 반대 방향으로 직렬로 연결하고 하나의 파워서플라이로 두 스위치의 구동을 할 수 있는 공통 이미터 구성을 채용하였다.

2.2 동작 원리

해석을 간단하게 하기 위해 몇 가지 가정을 하면, 인덕터 L_1, L_2 에 흐르는 전류는 일정하고, 충분히 큰 출력 커패시터 C_0 의 사용으로 출력전압 리플은 무시한다. 모든 스위치는 이상적이고 전 출력범위에서 CCM에서 동작한다.

2.2.1 벡 모드

고압측(High Voltage Side) 배터리가 전원으로 서 방전하고 저압측(Low Voltage Side)이 부하인 경우이다. 병렬구조로 되어 있어 대칭으로 동작하므로 스위칭 반주기 $T_s/2$ 에 대해 회로 동작에 따라 단계별로 설명하겠다. 그림 2는 한주기 T_s 동안의 이론적 파형을 나타내며, 그림 3은 각 단계별 등가회로를 나타내고 있다.

단계1 (t_0-t_1):

t_0 이전에 스위치 S_1 은 턴-오프 되어 있고 스위치 S_2 는 싱크로너스 정류기로서 턴-온 되어 인덕터 전류 I_{L1} 을 환류 하고 있다. t_0 에 보조 스위치 S_{A1} 이 턴-온 되고 공진 인덕터 L_r 에 흐르는 전류 i_{Lr} 은 V_{LVS}/L_r 의 기울기로 증가하게 되어 t_1 이 되면 I_{L1} 까지 상승한다. 이 구간의 지속시간은 다음과 같다.

$$t_{0-1} = \frac{I_{L1}}{V_{LVS}/L_r} \tag{1}$$

단계2 (t_1-t_2):

t_1 에서 공진 커패시터 C_{r1}, C_{r2} 와 L_r 사이에 공진을 시작하여 i_{Lr} 은 증가하고 C_{r1} 는 방전하여 스위치 S_1 의 양단전압은 0에 이르게 되어 ZVS 조건이 된다. 이 구

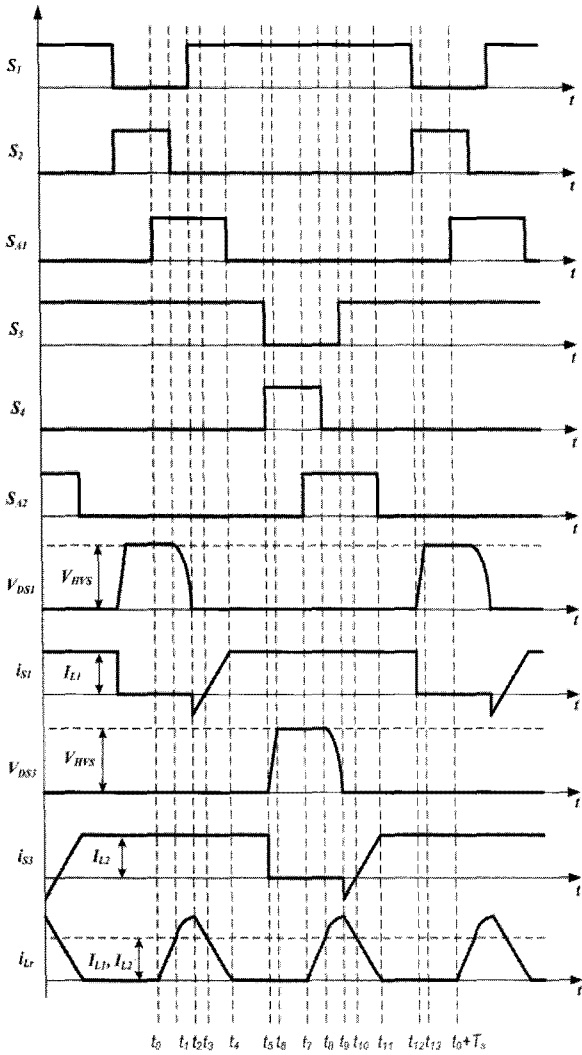


그림 2 제안된 컨버터의 벡 모드에서 한 주기 동안의 이론적 파형

Fig. 2 Theoretical waveforms of the proposed converter during one period in buck mode

간의 지속시간은 다음과 같다. 여기서 $C_r = C_{r1} // C_{r2}$ 이다.

$$t_{1-2} = \pi/2\sqrt{L_r C_r} \quad (2)$$

단계3 (t_2-t_3):

스위치 S_1 의 역병렬 다이오드 D_{S1} 이 턴-온 되고, i_{Lr} 은 $(V_{HVS}-V_{LVS})/L_r$ 의 기울기로 감소하기 시작한다. 이 구간의 지속시간은 (3)과 같고, ZVS가 되기 위해서는 보조 스위치 S_{A1} 이 턴-온 된 후에 스위치 S_1 은 지연시

간 (4)사이에 턴-온 되어야 한다.

$$t_{2-3} = \frac{i_{Lr, peak} - I_{L1}}{(V_{HVS} - V_{LVS})/L_r} \quad (3)$$

$$t_{0-1} + t_{1-2} \leq T_{d, S1} \leq t_{0-1} + t_{1-2} + t_{2-3} \quad (4)$$

단계4 (t_3-t_4):

i_{Lr} 은 0으로 감소하게 되고 감소된 전류는 스위치 S_1 을 통해 전도되어 S_1 전류는 상승하게 된다. 이 구간의 지속시간은 다음과 같다.

$$t_{3-4} = \frac{I_{L1}}{(V_{HVS} - V_{LVS})/L_r} \quad (5)$$

단계5 (t_4-t_5):

i_{Lr} 이 0이 되어 ZCS 조건에서 보조 스위치 S_{A1} 를 턴-오프 하기 위해서는 다음의 지연시간 후에 턴-오프 해야 한다.

$$T_{d, SA1} \geq t_{0-1} + t_{1-2} + t_{2-3} + t_{3-4} \quad (6)$$

단계6 (t_5-t_6):

t_5 에 스위치 S_3 는 턴-오프 되고, 커패시터 C_{r3} 는 V_{HVS} 로 충전되고 C_{r4} 는 0으로 방전된다.

단계7 (t_6-t_7):

인덕터 L_2 의 전류는 싱크로너스 정류기 동작에 의해 스위치 S_4 로 환류 하기 시작한다.

단계8 (t_7-t_8):

t_7 에서 회로 동작은 t_0 에서와 대칭이며 나머지 구간 (t_8-T_s)에 대해서도 t_1-t_7 구간과 대칭으로 동일하게 적용된다.

2.2.2 부스트 모드

저압측(Low Voltage Side) 배터리가 전원으로 방전하고 고압측(High Voltage Side)이 부하인 경우이다. 벡 모드와 반대로 출력전압 제어를 위해서 스위치 S_2 와 S_4 가 듀티비 제어되며, 스위치 S_1 과 S_3 는 싱크로너스 정류기 역할을 하게 된다. 또한, 인덕터 전류 I_{L1} , I_{L2} 와 공진 인덕터 전류 i_{Lr} 의 방향 역시 벡 모드와 반대로 흐른다. 동작원리가 벡 모드와 동일하므로 각 단계별 상세 동작설명은 생략하겠다.

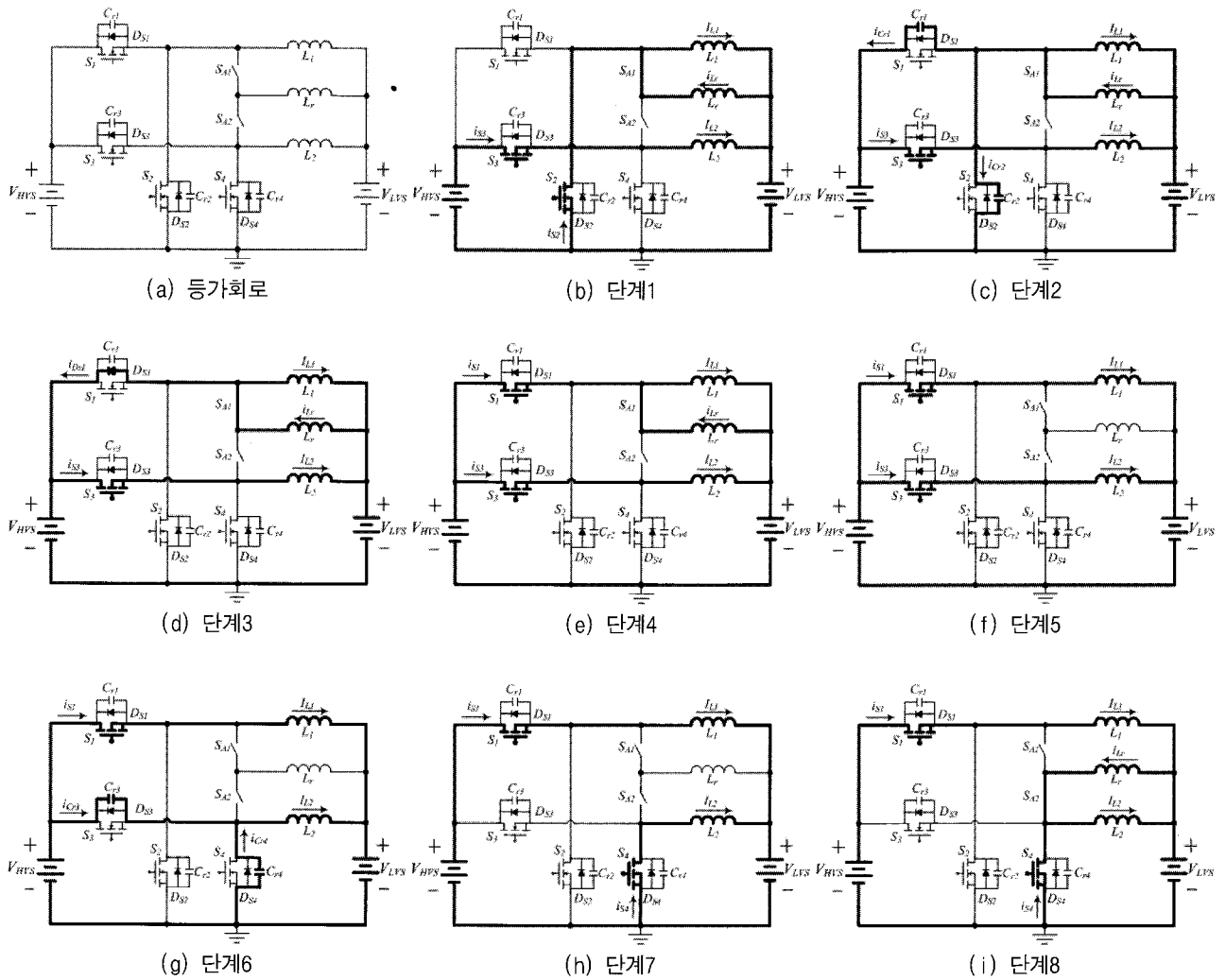


그림 3 제안된 컨버터의 벡 모드에서 동작 단계별 등가회로
 Fig. 3 Equivalent circuits for each operation stage of the proposed converter in buck mode

2.3 전류 주입 기법

ZVS가 되기 위해서는 공진구간 동안 공진 커패시터 양단 전압이 0으로 감소되어야 한다. 예를 들어, 앞에서 설명한 벡 모드 단계2 공진구간에서의 등가회로는 그림 4와 같다. 이때, 키르히호프의 전압, 전류 법칙 (KVL, KCL)을 이용하여 등가회로에 대한 미분방정식을 정리하면 커패시터 C_{r1} 의 양단 전압 v_{Cr1} 을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$v_{Cr1} = V_{LVS} \cos(\omega_0 t) + V_{HVS} - V_{LVS} \quad (7)$$

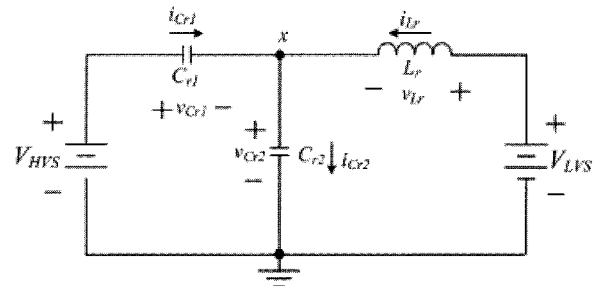


그림 4 제안된 컨버터의 벡 모드 시 공진구간 등가회로
 Fig. 4 Equivalent circuit during resonant interval in buck mode

여기서 $\omega_0=1/(L_r C_r)^{1/2}$ 는 공진주파수이고, $C_r=C_{r1} // C_{r2}$ 이다. 이 때, ZVS가 되기 위해서는 v_{Cr1} 의 최소값이 0이 되어야 하는데, $\cos(\omega_0 t) = -1$ 일 때 최소값은 $(V_{HVS} - 2V_{LVS})$ 가 되며 이 값이 0이 되기 위한 조건으로 아래의 관계식 (8)을 구할 수 있다. 이 식은 ZVS가 성립되기 위한 조건이다.

$$V_{HVS} \leq 2V_{LVS} \quad (8)$$

만약 ZVS조건 (8)을 만족하지 않는다면 ZVS가 성립되지 않고, v_{Cr1} 은 $(V_{HVS} - 2V_{LVS})$ 의 값을 가지게 되며 스위치는 하드 스위칭 하게 되는 문제가 발생한다. 이 때, 그림 5의 공진궤적에서 알 수 있듯이 공진구간 동안 인덕터의 피크공진전류와 커패시터의 피크공진전압의 관계는 (9)로 표현되는 것을 이용하여 해결할 수 있다.

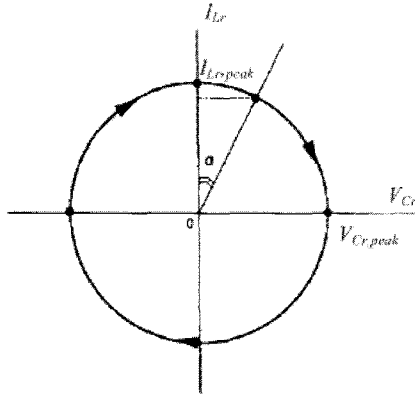


그림 5 공진구간 동안 공진 인덕터 L_r 과 공진 커패시터 C_r 사이의 공진 궤적
Fig. 5 Trajectory of the resonance between resonant inductor L_r and capacitor C_r

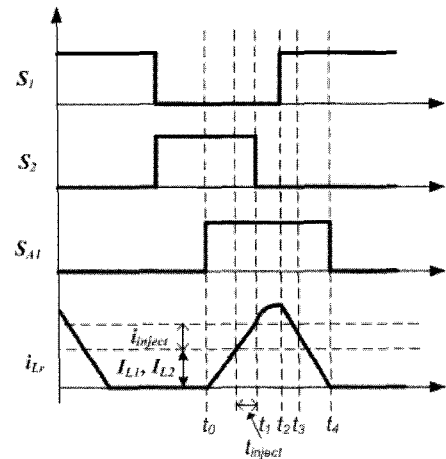
$$I_{r,pp} = \frac{V_{r,pp}}{Z_0} \quad (9)$$

여기서 $I_{r,pp}$ 는 인덕터의 피크-피크 전류, $V_{r,pp}$ 은 커패시터의 피크-피크 전압이고, $Z_0=(L_r/C_r)^{1/2}$ 는 공진구간 동안 특성 임피던스이다. 즉, 공진구간 동안 커패시터의 피크공진전압을 높이려면 인덕터의 공진전류를 상승시키면 되므로 공진인덕터 전류 i_{Lr} 을 증가시켜 v_{Cr1} 의 방전되지 않은 전압 $(V_{HVS} - 2V_{LVS})$ 를 0으로 만들 수 있다. 이 때, 주입할 전류값은 (10)과 같고, 인가 시간은 (11)과 같이 구할 수 있다.

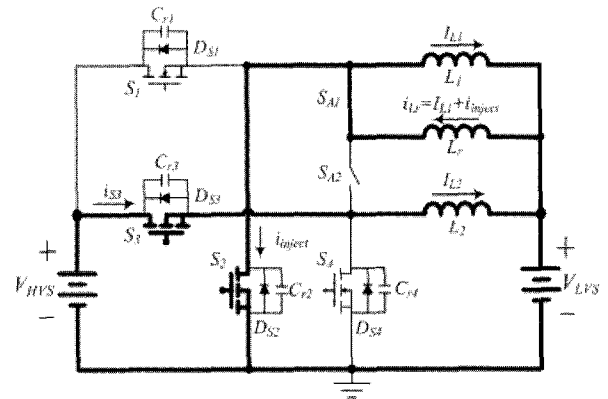
$$i_{inject} = 2 \cdot \left(\frac{V_{HVS} - 2V_{LVS}}{Z_0} \right) \quad (10)$$

$$t_{inject} = \frac{i_{inject}}{V_{LVS}/L_r} \quad (11)$$

주입 전류값 (10)에서 2가 곱해진 것은 C_r 이 0으로 방전 되면서 C_{r2} 는 V_{HVS} 로 충전되므로 전류는 커패시터 C_{r1} , C_{r2} 양쪽으로 흘러야 하므로 주입할 전류는 두 배가 되어야 한다. 전류 주입은 그림 6(a)와 같이 단계 1과 단계2 사이에 삽입되며, 그림 6(b)에서처럼 싱크로너스 정류 작용을 하는 스위치 S_2 의 턴-오프 시간을 지연시키면 되므로 쉽게 구현될 수 있다.



(a) 이론적 파형



(b) 전류 주입

그림 6 제안된 컨버터의 전류 주입 기법 등가회로 및 이론적 파형

Fig. 6 Current injection method of the proposed converter in buck mode

부스트 모드에서 ZVS가 되기 위해서는 공진구간 동안 공진커패시터 C_{r2} 의 양단전압 v_{Cr2} 의 최소값이 0이 되어 한다. 그림 7은 부스트 모드에서 공진구간 동안의 등가회로 이다.

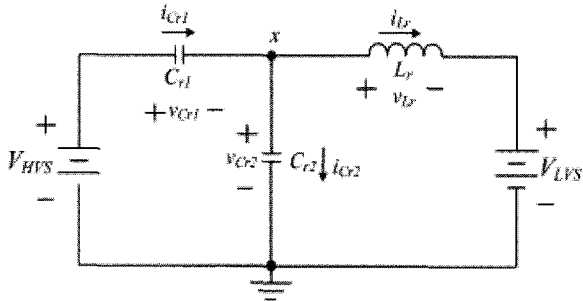


그림 7 제안된 컨버터의 부스트 모드 시 공진구간 등가회로
Fig. 7 Equivalent circuit during resonant interval in boost mode

그림 7에서 v_{Cr2} 는 (12)로 구할 수 있고, 벡 모드와 마찬가지로 $\cos(\omega_0 t) = -1$ 일 때 최소값은 $(2V_{LVS} - V_{HVS})$ 를 가지며 ZVS가 성립하기 위한 조건식, 주입할 전류값, 인가시간을 (13), (14), (15)로 구할 수 있다.

$$v_{Cr2} = (V_{HVS} - V_{LVS}) \cos(\omega_0 t) + V_{LVS} \quad (12)$$

$$V_{HVS} \geq 2V_{LVS} \quad (13)$$

$$i_{inject} = 2 \cdot \left(\frac{2V_{LVS} - V_{HVS}}{Z_0} \right) \quad (14)$$

$$t_{inject} = \frac{i_{inject}}{(V_{HVS} - V_{LVS})/L_r} \quad (15)$$

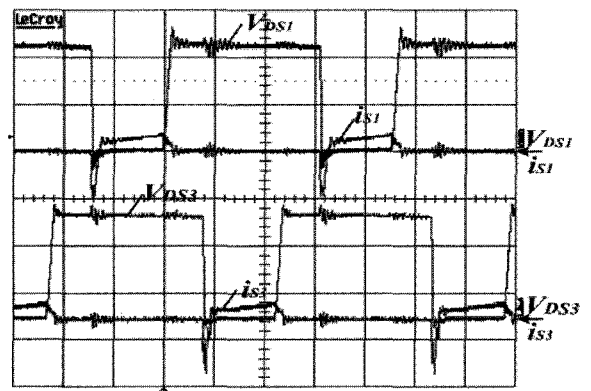
3. 실험 결과

제안된 컨버터의 유효성을 검증하기 위하여 그림 1의 회로를 다음의 파라미터로 구성하여 실험을 수행하였다.

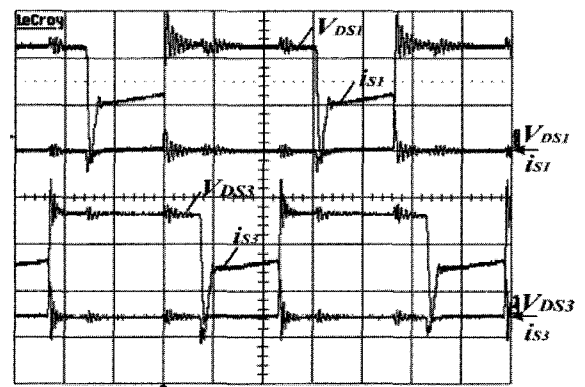
$V_{HVS}=42V$, $V_{LVS}=14V$, $f_s=45kHz$, $L_1=L_2=230\mu H$, $L_r=4\mu H$, $C_{r1}=C_{r2}=C_{r3}=C_{r4}=10nF$, $P=200W$.

그림 8은 벡 모드에서 스위치 S_1 , S_3 의 전류, 전압파형을 나타낸다. 인터리브드 기법을 통해 스위치 S_1 , S_3 의 턴-온 시점이 서로 $T_s/2$ 만큼 시프트 되어 턴-온된다. 또한 ZVS 조건 (8)이 만족되지 않아도 전류 주입 기법을 이용해 각 스위치는 경부하, 정격부하 모두 양단 전압이 0 일 때 턴-온이 되어 소프트 스위칭이 이루어짐을 알 수 있다.

그림 9는 부스트 모드에서 S_2 , S_4 의 전류, 전압파형을 나타낸다. 벡 모드에서와 마찬가지로 인터리브드 기법을 통해 턴-온 시점을 $T_s/2$ 시프트 하였으며, 경부하, 정격부하 모두 소프트 스위칭이 잘 이루어짐을 알 수 있다.



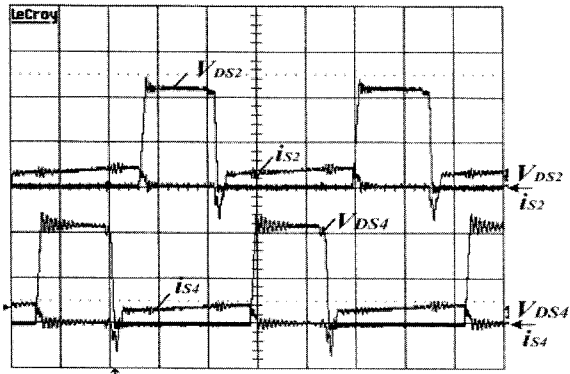
(a) 경부하



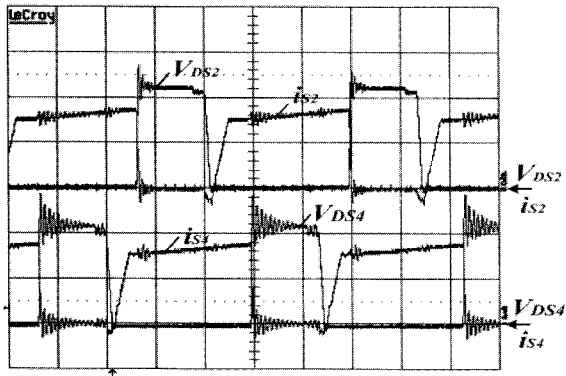
(b) 정격부하

그림 8 제안된 컨버터의 벡 모드에서의 스위치 S_1 , S_3 전류, 전압파형

Fig. 8 Waveforms of the proposed converter in buck mode. (20V/div., 5A/div., time base: 5us/div.)



(a) 경부하

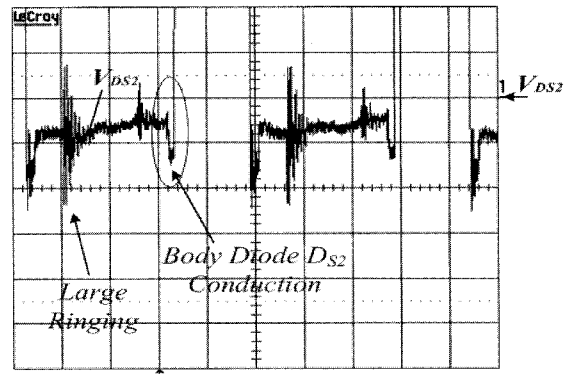


(b) 정격부하

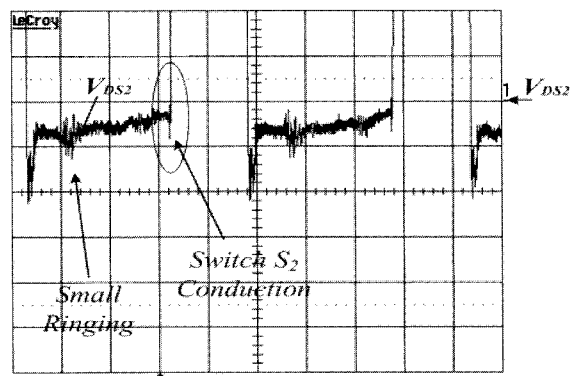
그림 9 제안된 컨버터의 부스트 모드에서의 스위치 S_2 , S_4 전류, 전압파형

Fig. 9 Waveforms of the proposed converter in boost mode (20V/div., 5A/div., time base: 5 μ s/div.)

그림 10은 벡 모드에서 싱크로너스 정류기로 동작하는 스위치 S_2 의 양단 전압을 나타낸다. 그림 10(a)는 ZVT-cell이 없는 기존 싱크로너스 벡 컨버터를 사용한 경우 병렬로 연결된 컨버터의 하드스위칭에 의한 링잉과 데드타임 동안 발생하는 역병렬 다이오드의 도통 전압강하를 나타낸다. 이 현상은 큰 dv/dt , di/dt 를 발생시켜 손실 및 EMI 레벨 상승을 야기한다. 이 문제는 그림 10(b)와 같이 제안된 컨버터의 ZVT-cell을 사용하여 저감 되었다. 스위치 S_2 가 턴-오프 되기 전에 보조 스위치 S_{A1} 이 턴-온 되어 인덕터 L_1 의 전류를 전도한다. 따라서 스위치 S_2 의 역병렬 다이오드는 도통되지 않으므로 전압강하가 발생하지 않았고, 소프트 스위칭을 통해 링잉도 줄어들었음을 알 수 있다. 결국, dv/dt , di/dt 가 저감되어 기존 싱크로너스 벡 컨버터보다 EMI 특성이 개선되는 효과가 있다.



(a) 기존의 싱크로너스 벡 컨버터



(b) 제안된 컨버터

그림 10 싱크로너스 정류기 동작 시 스위치 S_2 양단 전압파형

Fig. 10 Waveforms of the voltage across switch S_2 used as synchronous rectifier (1V/div., time base: 5 μ s/div.)

4. 결 론

본 논문에서는 소프트 스위칭 기법을 적용한 싱크로너스 양방향 DC-DC 컨버터가 제안되었다. 제안된 컨버터는 두 개의 싱크로너스 벡 컨버터가 병렬로 연결되었고 하나의 공진 인덕터를 이용한 ZVT-cell이 각 싱크로너스 벡 컨버터에 공통으로 결합되어 회로구조가 간단하고 소자수가 적은 소프트 스위칭 양방향 DC-DC 컨버터가 구현되었다. 실험을 통해서 전 부하 전류에 대해 소프트 스위칭이 이루어지는 것을 확인하였으며, 전류 주입 기법을 이용하여 넓은 출력전압 범위에 대해서도 소프트 스위칭이 성립됨을 확인하였다. 또한, 역병렬 다이오드의 도통손실이 감소되었고, 기존의 싱크로너스 벡 컨버터에서 하드스위칭 시 발생하는

링잉이 저감되었으며, 데드타임 동안 발생하는 dv/dt , di/dt 가 감소되는 효과가 있음이 확인 되었다.

참 고 문 헌

- [1] A. Emadi, S. S. Williamson, and A. Khaligh, "Power electronics intensive solutions for advanced electric, hybrid electric, and fuel cell vehicular power systems", *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 21, No. 3, pp. 567-577, 2006, May.
- [2] 김성호, 장한근, 장수진, 원충연, 김윤호, "연료전지 시스템용 양방향 DC-DC컨버터 설계 및 제어", 2004년도 전력전자학술대회 논문집(II), pp. 479-483, 2004. 7.
- [3] 김형준, 양진영, 윤창우, 최세완, 강호성, 이현동, "연료전지 자동차의 저전압 배터리 충 방전을 위한 양방향 DC-DC 컨버터", 2007년도 전력전자학술대회 논문집, pp. 178-181, 2007. 7.
- [4] 팽성환, 이병철, 최성훈, 김인동, 노의철, "저스위칭손실 및 저도통손을 갖는 양방향 ZVS PWM Sepic/Zeta 컨버터", 2005년 전력전자학술대회 논문집, pp. 549-551, 2005. 7.
- [5] D. M. Sable, F. C. Lee, and B. H. Cho, "A zero-voltage-switching bidirectional battery charger-discharger for the NASA EOS satellite", in *proc. IEEE APEC*, pp. 614-621, 1992. Feb.
- [6] O. Garcia, P. Zumel, A. de Castro, and A. Cobos, "Automotive DC-DC bidirectional converter made with many interleaved buck stages", *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 21, No. 3, pp. 578-586, 2006, May.
- [7] J. Zhang, J. Lai, R. Y. Kim, and W. Yu, "High-Power Density Design of a Soft-Switching High-Power Bidirectional dc-dc Converter", *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 22, No. 4, pp. 1145-1153, 2007, July.
- [8] N. J. Park and D. S. Hyun, "N Interleaved Boost Converter with a Novel ZVT Cell Using a Single Resonant Inductor for High Power Applications", in *proc. IEEE IAS*, Vol. 5, pp. 2157-2161, 2006, Oct.
- [9] R. W. De Doncker and J. P. Lyons, "The auxiliary resonant commutated pole converter", in *proc. IEEE IAS*, Vol. 2, pp. 1228-1235, 1990, Oct.

저 자 소 개



이동규(李東奎)

1976년 12월 10일생. 2002년 부산대 전자 컴퓨터공학부 졸업. 2007년~현재 한양대 대학원 전기공학과 석사과정. 2002년~현재 삼성전자 생활가전사업부 선임연구원.



박남주(朴南柱)

1973년 6월 22일생. 2001년 경상대 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2007년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 2007년~2008년 7월 한양대 전기공학과 박사 후 과정. 2008년 8월~현재 삼성전자 생활가전사업부 책임연구원.



현동석(玄東石)

1950년 4월 8일생. 1973년 한양대 전기공학과 졸업. 1978년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1984년~1985년 미국 토레도대학 교환교수. 1988년~1989년 원현 공과대학 교환교수. 2003년 IEEE, Fellow Member. 2006년~현재 국제인명센터 부총재. 2007년 ABI Fellow. 1979년~현재 한양대 전기제어생체공학부 교수. 2000년 당 학회 회장 역임.