

승압형으로 동작하는 새로운 SEPIC-Flyback 컨버터

문승필, 김수석*, 강구삼, 원충연, 김영렬**
 성균관대학교, 서울산업대학교*, 안양대학교**

New SEPIC-Flyback Converter for Boost type Converter

S.P.Mun, S.S.Kim*, K.S.Kang, C.Y.Won, Y.R.Kim**

Sungkyunkwan University, Seoul National University of Technology*, Anyang University**

ABSTRACT

A new SEPIC-Flyback converter is proposed. The proposed converter is the integration of SEPIC and Flyback converter. Not only SEPIC output but also Flyback output could be fully regulated by constant frequency PWM control. Merged SEPIC and Flyback topology can share the transformer and power MOSFET. When the switch turns on, one topology operates via capacitive energy transfer. The other topology acts as inductive energy transfer while the switch is off. So, it can increase power density per one cycle. The experimental result is presented and verified.

1. 서 론

DC-DC 컨버터의 종류로는 동작방식에 따라 Buck, Boost, Buck-boost, Flyback, Forward, Cuk, 그리고 SEPIC등을 들 수 있다.^{[1][2][3]}

변압기의 사용 여부에 따라 절연 혹은 비절연 방식의 컨버터로 구분할 수 있고, 부하로 에너지를 전달하는 방법에 따라 인덕터 혹은 캐패시터 방식의 컨버터로 구분할 수 있다.

인덕터 방식의 컨버터는 입력으로부터 에너지를 인덕터에 축적시켰다가 부하로 에너지를 보내고, 캐패시터 방식의 컨버터는 입력 에너지를 캐패시터를 이용하여 부하에 전달하는 방식이다.^[4]

본 논문에서는 인덕터 방식과 캐패시터 방식을 결합한 새로운 형태의 SEPIC-Flyback 컨버터(SF 컨버터)를 제안한다.

제안된 컨버터는 하나의 중간탭 변압기와 스위치를 이용하여 두개의 Buck-boost 형태의 출력, 높은

변압기 이용율, 높은 전력밀도의 특성을 나타낸다.

모드해석 및 시뮬레이션을 통해 분석하였고, 입력 48V, 출력 380V, 500W, 100kHz의 병렬-직렬 운전용 세트를 제작 및 실험 하였다.

2. 본 론

2.1 SEPIC-Flyback 컨버터

그림 1은 본 논문에서 제안한 새로운 방식의 승압형 컨버터인 SEPIC-Flyback 컨버터의 회로이다.

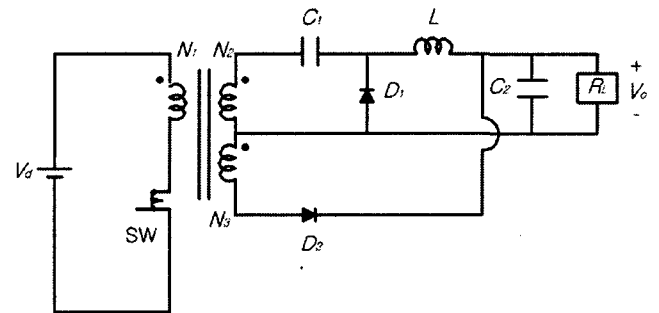


그림 1 제안된 SEPIC-Flyback 컨버터
 Fig. 1 The proposed SEPIC-Flyback converter

주 스위치 SW, 변압기 권선 N_1 과 N_2 , 캐패시터 C_1 , 환류 다이오드 D_1 , 출력 인덕터 L , 출력 캐패시터 C_2 는 SEPIC 회로를 구성하고 있다.

주 스위치 SW, 변압기 권선 N_1 과 N_3 , 다이오드 D_2 , 출력 캐패시터 C_2 는 Flyback 회로를 구성하고 있다. Flyback 회로의 변압기는 변압비의 조절뿐만 아니라 자화 인덕턴스에 의한 필터 역할도 겸하고 있다.

1차측과 2차측간 절연을 위해 중간탭 방식의 변압기를 사용하였으며, SEPIC 회로와 Flyback 회로의 출력을

출력 캐패시터 C_2 를 이용하여 결합하였다.

한 개의 주 스위치와 변압기를 사용하여 SEPIC과 Flyback의 출력을 동시에 얻을 수 있는 측면에서 부품의 절감을 피할 수 있다.

그림 2는 제안된 컨버터의 각 주요부의 이론파형이다. 출력 캐패시터 C_2 는 이상적으로 커서 전압이 일정한 것으로 생각하고, L 에 흐르는 전류는 CCM(연속전류 모드)으로 동작하게 한다.

V_g 는 주 스위치 SW의 게이트 구동전압, V_{DS} 는 주 스위치의 드레인-소스 양단의 전압, I_S 는 주 스위치 SW에 도통하는 전류, I_{D1} 는 SEPIC 회로의 환류 다이오드 D_1 에 도통하는 전류, I_{D2} 는 Flyback 회로의 환류 다이오드 D_2 에 도통하는 전류, I_L 은 SEPIC 회로의 출력 인덕터 L 에 도통하는 전류를 나타낸다.

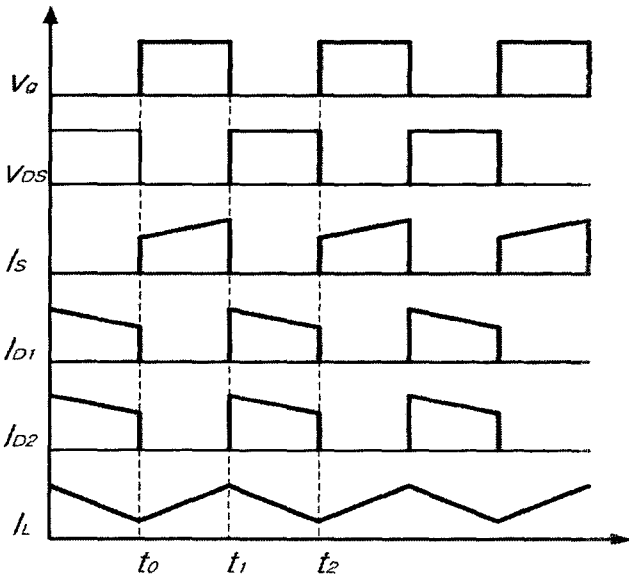


그림 2 제안된 컨버터의 이론적 파형
Fig. 2 Theoretical waveforms of the proposed converter

제안된 SEPIC-Flyback 컨버터의 동작모드는 스위치의 ON-OFF 조건에 따라 두개의 운전모드로 구분할 수 있으며 그 해석은 다음과 같다.

모드 1 [$t_0 - t_1$]

t_0 에서 주 스위치가 턴온되고, 입력전압 V_d 는 변압기 1차측 양단에 인가된다. SEPIC 회로를 이용하여 에너지를 부하로 전달하는 모드로, 변압기 1차측의 에너지는 권선 N_2 와 캐패시터 C_1 을 통하여

출력 인덕터 L 에 에너지를 축적시킨다. 이때 환류 다이오드 D_1 은 역전압이 걸려 오프 상태이다.

다이오드 D_2 에는 역전압이 인가되고 Flyback 회로를 이용한 1차측 변압기의 자화인덕터에 에너지가 축적된다.

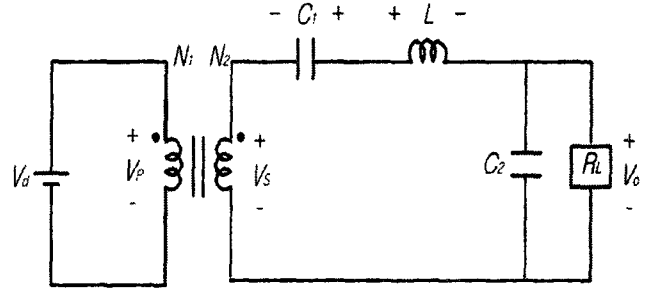


그림 3 스위치 ON시의 등가회로
Fig. 3 Equivalent circuit for ON-switching

그림 3은 모드 1의 등가회로도이다. 등가회로에 KVL을 적용하면,

$$V_d = V_P, V_P = \frac{n_1}{n_2} V_S \quad (1)$$

($n_1 : n_2 = 1 : 1$ 인 경우 $V_P = V_S$)

$$V_S + V_{C1} = V_L + V_O \quad (2)$$

가 된다.

모드 2 [$t_1 - t_2$]

t_2 에서 주 스위치가 턴오프 되고, 스위치 양단에는 입력전압 V_d 와 변압기 2차측 단자전압의 1차측 단자로의 환산된 전압이 더해져 나타난다.

SEPIC 회로의 인덕터 L 에 축적되었던 에너지는 다이오드 D_1 을 통하여 환류되고, Flyback 회로의 1차측 자화 인덕터에 축적된 에너지가 변압기 권선 N_3 와 다이오드 D_2 를 통하여 부하측으로 전달된다.

SEPIC 회로의 변압기 2차측 단자는 모드 1과는 반대의 극성을 갖게 되고, 다이오드 D_1 이 순방향이 되어 캐패시터에 에너지가 축적된다.

부하 인덕터 L 에는 순환전류가 하강하는 모습으로 흐른다. 정상상태 해석 조건에서 모든 인덕터의 전압은 0이 되어야 하고 캐패시터에 저장된 에너지는 변압기 2차측에 인가된 전압이 된다.

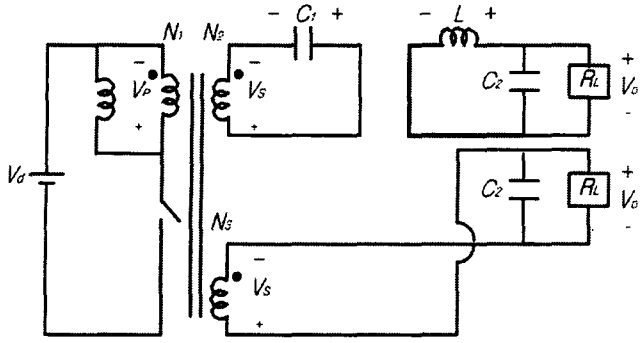


그림 4 스위치 OFF시의 등가회로
Fig. 4 Equivalent circuit for OFF-switching

그림 3과 그림 4에서 인덕터 L 양단의 전압에 Volt-sec 평형조건을 적용하여 식을 전개하면,

$$(V_S + V_{C1} - V_O)D - (1 - D)V_O = 0 \quad (3)$$

$$V_S D + V_{C1} D - V_O = 0 \quad (4)$$

이 된다.

식 (4)의 변수 V_{C1} 에 입출력 변수와 시비율(D)만으로 표기된 다항식을 대입하면 입출력 전달비를 구할 수 있다.

그림 4의 등가회로에서 Volt-sec 평형조건을 적용하여 V_{C1} 의 항을 구하면,

$$V_S D + \{-V_{C1}(1 - D)\} = 0 \quad (5)$$

$$V_{C1} = \frac{D}{1 - D} V_S \quad (6)$$

가 된다.

위 (6)식을 (4)식에 대입하면,

$$G_V = \frac{V_O}{V_S} = \frac{D}{1 - D} \quad (7)$$

의 전압 전달비가 된다.

식 (7)로부터 제안된 SEPIC-Flyback 회로의 전압전달비도 Flyback, Buck-Boost와 같은 결과가 됨을 알 수 있다.

식 (7)은 변압기 2차측의 단자와 출력간의 전압전달비인데, 여기에 변압기의 권선비를 곱하면 입력 V_g 와 출력간의 전압전달비를 구할 수 있다.

이로써 제안된 SEPIC-Flyback 컨버터를 시비율(D)의 값에 의해 승압 혹은 강압의 동작으로 구현시킬 수 있다.

또한, 실험에서는 제안된 컨버터를 $D < 0.5$ 이하로 동작시키고, 여기에 변압기의 권선비를 곱하여 최종적으로 승압한다.

그림 5는 제안된 컨버터의 전압전달비(G_V)와 시비율(D)과의 관계를 나타낸 그래프이다. 출력전압은 변압기의 시비율과 권선비를 조절함으로써 얻게된다.

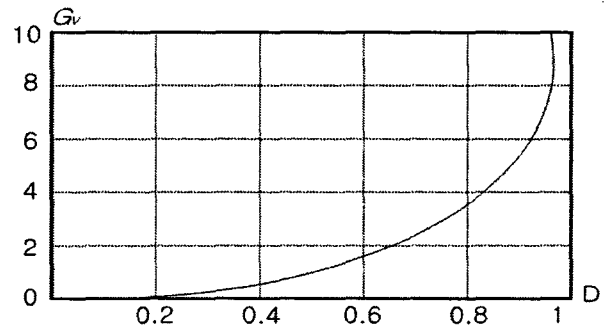


그림 5 전압전달비(G_V)와 통류율(D)의 관계
Fig. 5 Relations between G_V and D

2.2 시뮬레이션

제안된 SEPIC-Flyback 컨버터의 Pspice 시뮬레이션 결과를 그림 6에 나타냈다.

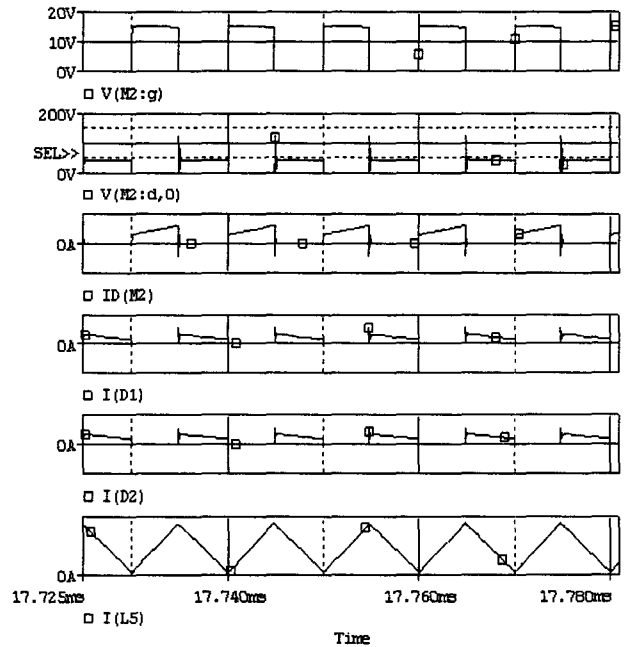


그림 6 제안된 컨버터의 Pspice 시뮬레이션 결과
Fig. 6 The simulation waveforms of the proposed converter (V_g , V_{DS} , I_S , I_{D1} , I_{D2} , I_L)

그림6의 시뮬레이션 파형은 그림2의 이론적 해석 파형과 동일한 결과를 보여준다.

주 스위치 SW 가 턴온시 SEPIC 회로의 환류 다이오드 D_1 과 Flyback 모드의 순방향 다이오드 D_2 에 전류가 흐르지 않음을 확인할 수 있고, 캐패시터 C_1 을 통하여 인덕터 L 에 에너지가 축적됨을 알 수 있다. 이는 출력 인덕터의 전류가 증가하는 것을 통해 이해 할 수 있으며, 이때 출력 인덕터 L 의 전류는 CCM모드로 동작한다.

주 스위치 SW 가 턴오프시 SEPIC 회로의 다이오드 D_1 은 캐패시터 C_1 을 충전시키는 기능과 함께 인덕터 L -부하의 환류 기능도 갖는다. 이는 인덕터 L 에 흐르는 전류의 감소로 알 수 있다. 이때 Flyback회로는 다이오드 D_2 의 도통으로 에너지를 부하로 전달 하고 있다.

모드1과 모드2의 시뮬레이션 파형을 통하여 제안된 SEPIC-Flyback 컨버터의 정상상태 입출력 특성을 확인하였다.

3. 실험 및 고찰

제안된 SEPIC-Flyback 컨버터를 연료전지 시스템을 이용한 상용전원시스템에서 승압용 컨버터로 사용하기 위해 DC 입력 48V, DC 출력 380V, 500W, 100kHz의 실험세트를 구성하여 실험하였다. 그림 7은 실험세트의 구성도이다. 2개의 변압기를 사용하여 1차측은 병렬구성을 하였고, 2차측은 직렬 구성을 하였다.

이러한 병-직렬 구성은 낮은 권선비의 변압기를 사용하여 전압형(Voltage-fed) 방식의 동작을 가능하게 한다.

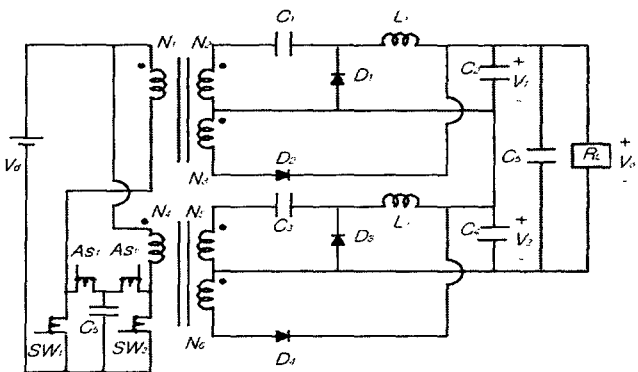


그림 7 두개의 변압기를 이용한 승압형 SF 컨버터
Fig. 7 A boost operating method for active SF converter using two transformer

주스위치 SW_1 과 SW_2 는 동시에 턴온 및 턴오프 되고, 전압 스트레스 및 영전압 스위칭을 위하여 능동 클램프 회로를 추가하여 동작하였다.

V_1, V_2 는 제안된 컨버터의 출력단으로 실험에서는 190V를 출력한다. 이 두개의 출력을 직렬연결하여 최종출력 380V를 얻는다.

DC 380V는 인버터를 이용하여 AC 220V로 전환시 DC 링크단의 활용율을 고려하여 선정된 전압이다.

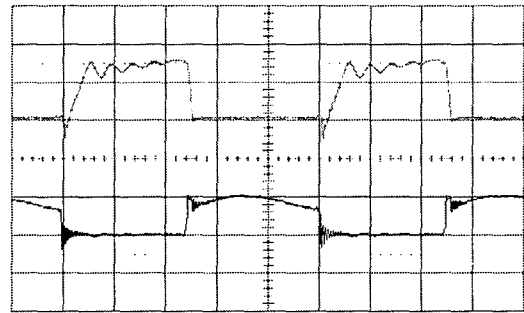


그림 8 SW_1 (혹은 SW_2)의 전류 및 전압 파형
Fig. 8 Current waveform of SW_1 (upper) and voltage waveform of SW_1 (lower)

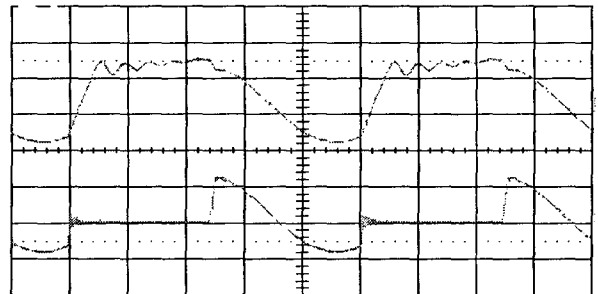


그림 9 변압기 전류 및 능동 클램프 스위치 전류
Fig. 9 Current of transformer(upper) and Current of active clamp switch AS_1 (lower)

그림 8과 그림9는 능동 클램프 회로를 적용한 주요 회로부의 전류 및 전압파형이다.

그림 8은 스위치 SW_1, SW_2 에 게이트 전압이 인가되기 직전에 소스에서 드레인으로 전류가 흐르는 것으로써 영전압 스위칭을 보여준다. 또한 스위치 SW_1, SW_2 의 전압 클램프 되어 저내압의 FET의 사용이 가능하다. FET의 내압이 낮으면 내부 도통 저항도 작아 고주파 스위칭시 도통손실을 저감시킬 수 있다.

그림 9의 능동 클램프 스위치에 도통하는 전류를

통해 스위치가 SW_1 가 턴오프시 능동클램프가 스너버 역할을 함을 볼 수 있다. 또한 스위치 SW_1 이 턴온 되기 직전에 누설인덕터와 공진을 일으켜 SW_1 의 영전압 스위칭을 가능케 한다.

표1은 실험회로의 설계 사양이다. 사용된 제어용 PWM IC는 UCC3580-3으로 1개를 사용하여 능동 클램프 동작도 실현 하였다. 오차 보상회로는 2 pole-1 zero 방식을 적용하였다.^[5]

표 1. 실험회로 설계 사양

Table 1 Design of experimental circuit

Parameter	Variable	Value	Unit
Input voltage	V_i	48	V
Output voltage	V_o	380	V
Max load current	I_o	1.31	A
Max power	P_o	500	W
Switching frequency	f	100	kHz
Turn ratio	n	4.4	-
Output inductance	L_{OUT}	2.5	mH
Output capacitance	C_{OUT}	830	uF

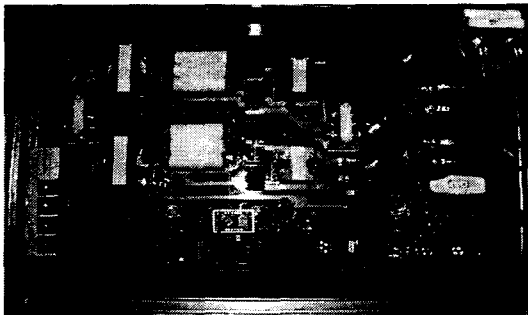


그림 10 실험세트 사진

Fig. 10 Photography of the converter system

4. 결 론

커패시터 에너지 저장형인 SEPIC 컨버터와 인덕터 에너지 저장형인 Flyback 컨버터를 변압기를 이용하여 결합한 새로운 SEPIC-Flyback 컨버터를 제안하며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) SEPIC 모드와 Flyback모드의 출력을 출력캐패시터를 이용하여 결합하면 한개의 주 스위치와 변압기를 이용하여 SEPIC 회로와 Flyback회로의 출력을 동시에 얻을 수 있다.

2) 주 스위치가 턴온시에는 SEPIC 회로를 통하

여 변압기 2차측으로 에너지가 전달되고, 주 스위치 턴오프시에는 Flyback 회로를 통하여 변압기 2차측으로 에너지가 전달됨으로써 한 주기를 기준으로 단위 스위칭당 에너지 밀도를 높일 수 있다.

3) 한개의 커패시터를 이용한 능동 클램프 회로를 적용함으로써 주스위치의 전압 스트레스의 저감 및 영전압 스위칭을 구현할 수 있다.

4) DC 입력 48V, DC 출력 380V의 실험회로를 구성하여 연료전지를 이용한 상용전원 시스템에 적용할 수 있음을 확인하였다.

이 논문은 전기에너지 신기술연구센터의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] 노의철, 정규범, 최남섭, "전력전자공학", pp.187~270, 1997.
- [2] Robert. W. Erickson, "Fundamentals of Powerelectronics", second edition, pp.146-170, 1997
- [3] Buso. S, Spiazzi. G, Tagliavia. D, "Simplified control Technique for High-power-factor Flyback, Cuk, and Sepic Rectifiers Operation in CCM" IEEE pp.1633~1638, 1999.
- [4] L.H Dixon, " High Power Factor Preregulator Using the SEPIC Converter", Unित्रode Seminar SEM900, 1993.
- [5] 김희준, "스위칭 전원의 기본 설계", pp.149~165, 2002.