

## 새로운 SEPIC-Flyback 컨버터의 동작특성

(The operating characteristics of novel SEPIC-Flyback converter)

문승필\* · 김수석\*\* · 이태원\* · 원충연\* · 김영렬\*\*\*

(Seung-pil Mun · Soo-seok Kim · Tae-won Lee · Chung-Yuen Won · Young-real Kim)

(성균관대학교\* · 서울산업대학교\*\* · 안양대학교\*\*\*)

### Abstract

A new SEPIC-Flyback converter is proposed. The proposed converter is the superposition 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 could share the transformer and power MOSFET. When the switch turns on, one topology operates via capacitive energy transfer. Another topology acts as powering mode while the switch is off. So, it could increase power density per one cycle. The operating principle of the proposed converter is described below. Prototype featuring 24V input, 48V output, 100kHz switching frequency, and 100W output is simulated under the proposed topology.

### 1. 서 론

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

변압기의 사용 여부에 따라 1-2차측간 절연-비절연 방식으로도 구분할 수 있고, 부하로 에너지를 전달하는 방법에 따라 인덕터-캐패시터 방식으로 도 구분할 수 있다.

인덕터 방식의 컨버터는 입력으로부터 에너지를 인덕터에 축적시켰다가 부하로 에너지를 보내는 방식이고, 캐패시터 방식은 입력 에너지를 캐패시터를 이용하여 부하로 전달하는 방식이다.[4]

본 논문에서는 인덕터 방식의 특성과 캐패시터 방식의 특성을 결합한 새로운 형태의 SEPIC-Flyback 컨버터를 제안하였다.

제안된 컨버터의 타당성을 입증하기 위하여, 입력 24V, 출력 48V, 100W, 100kHz의 SEPIC-Flyback 일체형 컨버터 모드 해석 및 시뮬레이션을 통하여 제안된 컨버터의 운전 특성을 확인하였다.

제안된 컨버터는 하나의 중간탭 변압기와 스위치를 이용하여 두개의 Buck-boost 형태의 출력 특성을 얻음으로써 높은 변압기 이용율, 높은 전력 밀도를 얻을 수 있다.

### 2. SEPIC-Flyback 컨버터

그림 1에 본 논문에서 제안한 새로운 방식의 승압형 컨버터인 SEPIC-Flyback 컨버터를 나타내었다.

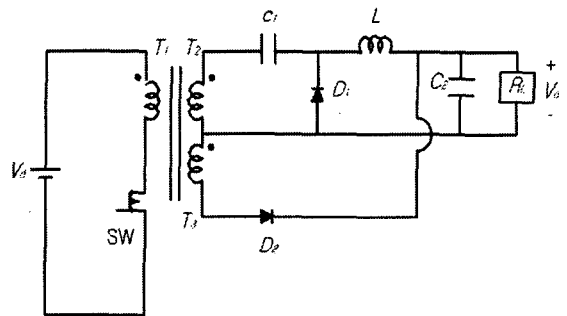


그림 1. 제안된 SEPIC-Flyback 컨버터  
Fig. 1. The proposed SEPIC-Flyback converter

주 스위치 SW, 변압기 권선  $T_1$ 과  $T_2$ , 캐패시터  $C_1$ , Free-wheeling 다이오드  $D_1$ , 출력 인덕터  $L$ , 출력 캐패시터  $C_2$  는 SEPIC 모드 회로를 구성하고 있다.

주 스위치 SW, 변압기 권선  $T_1$ 과  $T_3$ , Forwarding 다이오드  $D_2$ , 출력 캐패시터  $C_2$  는 Flyback 회로를 구성하고 있다. Flyback 회로의 변압기는 전압 크기의 조절뿐만 아니라 자화 인덕턴스에 의한 필터 역할도 겸하

고 있다.

1차측과 2차측간에 절연을 위해 증간탭 방식의 변압기를 사용하였으며, SEPIC 모드와 Flyback 모드의 출력을 출력 캐패시터를 이용하여 결합하였다.

한개의 주 스위치와 변압기를 사용하여 SEPIC 모드와 Flyback의 출력을 동시에 얻을 수 있는 측면에서 부품의 절감을 꾀할 수 있다.

## 2.1 모드별 동작

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 스위치 양단의 전압,  $I_S$ 는 주 스위치에 흐르는 전류,  $I_{D1}$ 는 SEPIC 모드시 Free-wheeling 다이오드에 흐르는 전류,  $I_{D2}$ 는 Flyback모드시 Forwarding 다이오드에 흐르는 전류,  $I_L$ 은 SEPIC의 출력 인덕터 전류를 나타낸다.

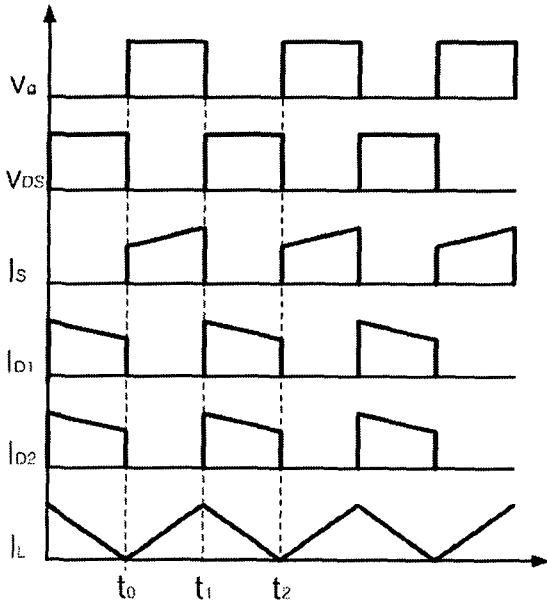


그림 2. 제안된 컨버터의 이론적 파형  
Fig. 2. Theoretical waveforms of the proposed converter

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

### Mode 1 [ $t_0 - t_1$ ]

$t_0$ 에서 주 스위치가 턴온되고, 입력전압  $V_d$ 는 변압기 1차측 양단에 인가된다. 변압기 1차측의 에너지는 SEPIC 모드 권선  $T_2$ 와 캐패시터  $C_1$ 을 통하여 출력 인덕터  $L$ 에 에너지를 축적시킨다. 이때 Free-wheeling 다이오드  $D_1$ 은 역전압이 걸려 턴오피 된다.

Flyback 모드 회로는 Forwarding 다이오드  $D_2$ 에 역전압이 인가되어 변압기 2차측으로 에너지가 전달되지 않고 1차측 변압기의 자화인덕터에 에너지가 축적된다.

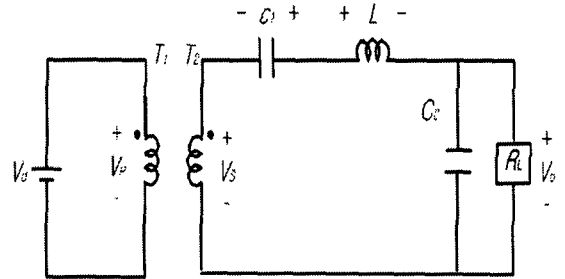


그림 3. 스위치 ON시의 등가회로  
Fig. 3. Equivalent circuit for ON-switching

그림 3은 모드 1의 등가회로도이다. 등가회로에 KVL을 적용하면,

$$V_d = V_p, V_p = \frac{n_1}{n_2} V_s \quad (1)$$

$$V_s + V_c = V_L + V_o \quad (2)$$

( $n_1 : n_2 = 1 : 1$  인 경우  $V_p = V_s$ )

인덕터  $L$  양단의 전압은 Volt-sec 평형조건을 적용하여 식을 전개하면,

$$(V_s + V_c - V_o)D - (1 - D)V_o = 0 \quad (3)$$

$$V_s D + V_c D - V_o = 0 \quad (4)$$

가 된다.

식 (4)에서  $V_c$ 에 대한 항을 입출력 변수와 도통비만으로 표기된 다항식을 대입하면 입출력 전달비를 구할 수 있다.

### Mode 2 (t<sub>1</sub> - t<sub>2</sub>)

t<sub>2</sub>에서 주 스위치가 턴오프 되고, 스위치에는 입력전압과 변압기 2차측 단자전압의 1차측 단자로의 환산된 전압이 더해져 스위치 양단에 나타난다.

SEPIC 모드 인덕터 L에 축적된 에너지는 Free-wheeling 다이오드 D<sub>1</sub>을 통하여 환류되면서 부하로 에너지가 전달된다.

Flyback 컨버터 회로의 1차측 자화 인덕턴스에 의해 축적된 에너지가 변압기 권선 T<sub>3</sub>와 Forwarding 다이오드 D<sub>2</sub>를 통하여 부하측으로 전달된다. 이때에 SEPIC 컨버터의 2차측 변압기 단자는 충전과는 반대의 극성을 갖게 되고, 다이오드 D<sub>1</sub>이 순방향이 되어 캐패시터에는 에너지가 축적된다.

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

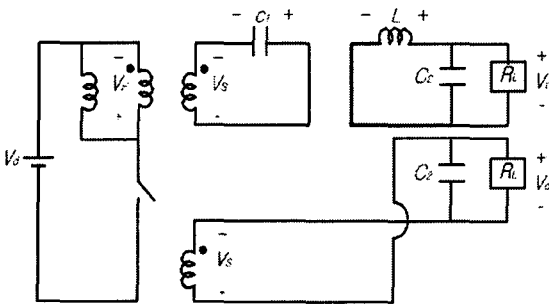


그림 4. 스위치 OFF시의 등가회로  
Fig. 4. Equivalent circuit for OFF-switching

그림 4는 모드 2의 등가회로이다.

등가회로에 KVL을 적용하면,

$$V_g D + \{-V_c(1-D)\} = 0 \quad (5)$$

$$V_c = \frac{D}{1-D} V_g \quad (6)$$

위 (6)식을 (4)식에 대입하면,

$$G_V = \frac{V_o}{V_g} = \frac{D}{1-D} \quad (7)$$

의 전압 전달비가 된다.

식 (7)로부터 SEPIC형 컨버터의 전압전달비도 Flyback과 같은 결과가 됨을 알 수 있다.

식 (7)은 변압기 2차측의 단자와 출력간의 전압 전달비인데, 여기에 변압기의 권선비를 곱하면 입력 V<sub>g</sub>와 출력간의 전압전달비가 된다.

이로써 Flyback, SEPIC형 컨버터 모두 통류율(D)에 따라 승압-강압을 동시에 실현시킬 수 있음을 알 수 있다.

또한, 제안된 컨버터는 식 (7)의 전압전달비에 의해 승압-강압형 모두 실현할 수 있으나, 실험에서는 강압형 컨버터의 기본동작 특성을 변압기의 권선비로 승압시킨 방식으로 동작을 시킨다.

이러한 이유는 Buck 컨버터가 우반면에 영점을 갖지 않으므로 보상회로 설계시 안정적인 특성을 갖는점을 이용하기 위함인데, 제안된 컨버터를 D < 0.5 이하로 동작시키면 Buck형 동작이 가능하다.[5]

그림 5는 제안한 컨버터의 전압전달비와 통류율(D)과의 관계를 나타낸 그래프이다. 출력전압은 변압기의 통류율과 권선비를 조절함으로써 얻게된다.

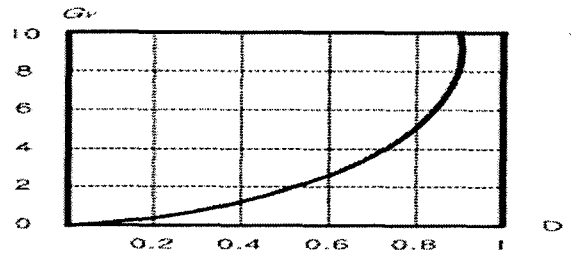


그림 5. 전압전달비(G<sub>V</sub>)와 통류율(D)의 관계  
Fig. 5. Relations between G<sub>V</sub> and D

### 3. Simulation

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

시뮬레이션 한 결과는 이론적 해석 파형과 동일한 순서로, V<sub>g</sub>는 주 스위치 SW의 게이트 구동전압, V<sub>DS</sub>는 주스위치 양단의 전압, I<sub>S</sub>는 주 스위치에 흐르는 전류, I<sub>D1</sub>는 SEPIC 모드시 Free-wheeling 다이오드에 흐르는 전류, I<sub>D2</sub>는 Flyback모드시 Forwarding 다이오드에 흐르는 전류, I<sub>L</sub>은 SEPIC의 출력 인덕터 전류를 나타내었다.

주 스위치 턴온시 SEPIC 모드의 Free-wheeling 다이오드와 Flyback 모드의 Forwarding 다이오드에는 전류가 흐르지 않음을 확인할 수 있고, 캐패

시터  $C_1$ 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 턴오프시 SEPIC 모드 Free-wheeling 다이오드와 Flyback 모드의 Forwarding 다이오드는 도통하는데 Free-wheeling 다이오드  $D_1$ 의 전류는 캐패시터  $C_1$ 과 인덕터  $L$ 을 통하여 Free-wheeling됨을 확인 할 수 있다. 이때 인덕터 전류는 감소함을 보이는데 이는 부하로 에너지가 전달되고 있음을 의미한다.

SEPIC 모드시의 출력 전압과 Flyback 모드시의 시뮬레이션 출력전압 파형을 통하여 제안된 SEPIC-Flyback 컨버터의 정상상태 입출력 특성을 확인하였다.

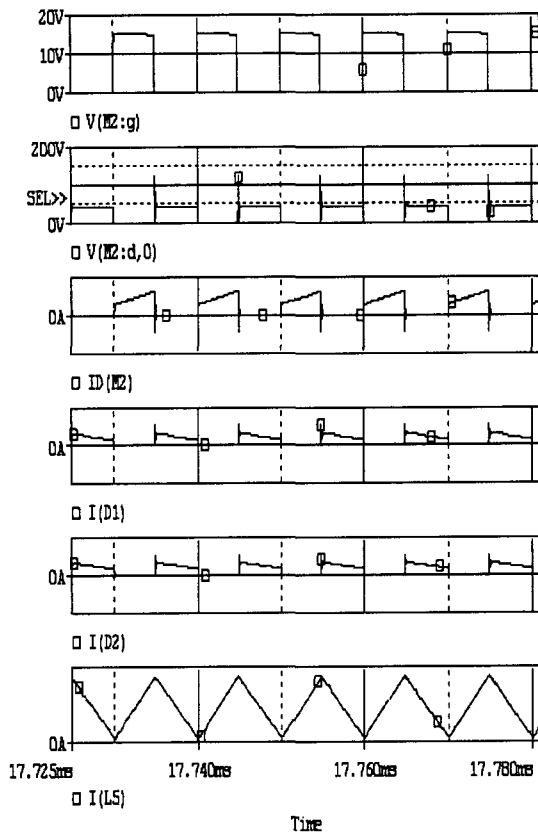


그림 6. 제안된 컨버터의 Pspice 시뮬레이션 결과  
Fig. 6. The simulation waveforms of the proposed converter ( $V_g$ ,  $V_{DS}$ ,  $I_S$ ,  $I_{D1}$ ,  $I_{D2}$ ,  $I_L$ )

## 4. 결 론

새로운 SEPIC-Flyback 컨버터는 인덕터 에너지 저장형인 Flyback 컨버터와 캐패시터 에너지 저장형인 SEPIC 컨버터를 혼합한 형태로 1차측과 2차측간에 절연을 위해 중간탭 방식의 변압기를 사용하여 다음의 결과를 얻었다.

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

2) 주 스위치가 턴온시에는 SEPIC 모드를 통하여 변압기 2차측으로 에너지가 전달되고, 주 스위치 턴오프시에는 Flyback 모드를 통하여 변압기 2차측으로 에너지가 전달됨으로써 한 주기를 기준으로 단위 스위칭당 에너지 밀도를 높일 수 있다.

제안된 컨버터의 동작특성 및 시뮬레이션의 고찰을 통해 그 타당성을 검증하였고, 향후 실험세트를 제작하여 추가 실험을 진행할 계획이다.

이 논문은 전기에너지 신기술연구센터의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

## 참 고 문 헌

- [1] 노의철, 정규범, 최남섭, "전력전자공학" pp187~270, 1997.
- [2] Robert W. Erickson, "Fundamentals of powere lectronics", second edition, Chapter 6, 1997
- [3] Buso, S, Spiazzi, G, Tagliavia, D, "Simplified control technique for high-power-factor flyback, cuk, and sepic rectifiers operation in CCM" IEEE pp1633~1638, 1999
- [4] L.H Dixon, " High Power Factor Preregulator Using the SEPIC Converter", unitrode Seminar SEM900, 1993
- [5] 김희준, "스위칭 전원의 기본 설계", 2002