

## 고효율 이중 포워드-플라이백 컨버터

손갑상\* · 김용\* · 백수현\* · 권순도\*\* · 김필수\*\* · 윤석호\*\*\*  
동국대학교\* · 대림전문대학\*\* · 한국전력연구원\*\*\*

### High-efficiency Double Forward-Flyback Converter

Gab-Sang Son\* · Yong Kim\* · Soo-Hyun Back\*  
Soon-Do Kwon\*\* · Pill-Soo Kim\*\* · Suk-Ho Yoon\*\*  
Dongguk University\* · Daerim College of Tech\*\* · KEPRI\*\*\*

**Abstract** - The active-clamped double forward-flyback converter is studied in this paper. The converter reduces the voltage stress of the switches and decreases switching loss, EMI. The energy stored in the magnetic core is transferred to both the input voltage source and the flyback output. This makes it possible the output circuit of the flyback to operate at CCM without complex control circuit. The MOSFET is used at output stage, which decreases switching loss.

### 1. 서 론

일반적으로 1, 2차 절연 전원장치의 전력손실은 주 스위치, 정류기, 변압기 및 출력 인덕터, 스너버, 전해콘덴서, PCB 패턴저항, 기동저항, 피드백 및 제어회로에서 발생된다. 주 스위치에서의 손실은 온 저항에 의한 도통 손실과 스위치 온-오프시 손실인데, 온 저항의 손실이 크다. 능동클램프를 이용하여 손실, 전압 스트레스, EMI를 감소시킬 수 있다[1].

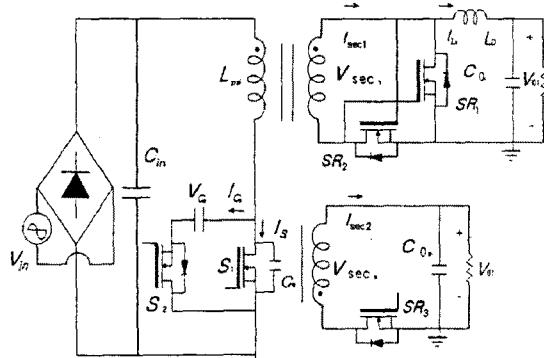


그림1. 제안된 이중 포워드-플라이백 회로  
Fig1. The proposed double forward-flyback circuit  
또한, 변압기의 리셋을 능동 클램프 방식과 플라이-

백 2차측 부하저항을 이용하여 함께 수행함으로 안정된 리셋을 구현할 수 있으며, 기존의 이중 포워드-플라이백 컨버터에서는 플라이백 동작이 변압기 리셋을 위해 대부분 DCM으로 동작되었으며, CCM 동작시에는 출력에 많은 제한이 따르게 될 뿐 아니라 제어도 복잡하게 된다[2,3]. 따라서, 본 연구에서는 능동클램프 방식을 도입하여 한 개의 출력변수 제어로 플라이백 출력단을 CCM으로 동작시키며, 주 스위치의 온-오프시 에너지를 출력단에 전달시킴으로써 같은 출력의 포워드 또는 플라이백 다중 출력 컨버터보다 주 스위치의 전류레벨을 낮출 수 있다. 또한 출력단은 다이오드의 온저항에 의한 손실이 크므로 다이오드를 MOSFET로 대체하여 효율을 향상시키고자 한다[4].

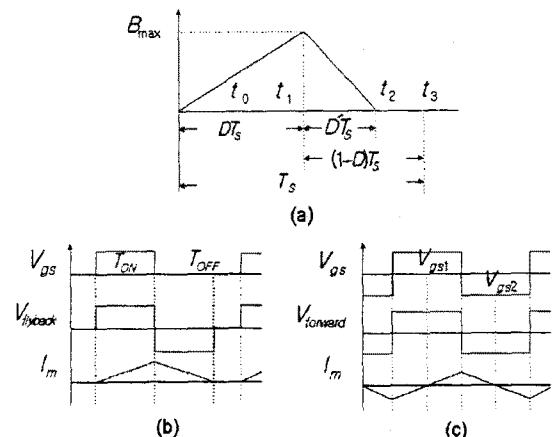


그림2. 변압기 리셋 방법: (a) 자속밀도 전개도 (b) 이중 포워드-플라이백 컨버터의 리셋 (c) 능동클램프에 의한 포워드 컨버터의 리셋

Fig2. Transformer reset: (a) evolution of the flux density in the transformer (b) transformer reset of the double forward-flyback converter (c) transformer reset of the forward converter used active-clamp.

## 2. 본 론

### 2.1 변압기 리셋 방법

그림1은 본 연구에서 제안하는 회로이며, 그림2의 (a)는 변압기 리셋을 위한 3차 권선을 플라이백 2 차측으로 대체하므로 1개의 출력을 더 사용하면서 플라이백 2차측 부하저항에 의해 리셋하는 방법이다[2]. 그러나, DCM으로 동작해야하며, CCM 동작의 경우 포워드 출력과 함께 제어 해야하고 플라이백 2차측 출력이 제한된다. 그림 2의 (b)는 능동 클램프를 이용한 리셋 방법인데 전압 스트레스가 낮고, 자화에너지를 입력으로 환원할 수 있다[4].

### 2.2 제안된 회로의 동작해석 및 시스템구성

#### 2.2.1 제안된 회로의 특징

본 연구에서 제안한 회로는 플라이백 2차측의 CCM동작이 가능하며, 주 스위치의 전압 스트레스를 줄일 수 있고, 주 스위치가 영전압 스위칭을 하므로 손실을 줄일수 있으며, 능동 클램프에 의한 환원 에너지를 플라이백 2차측으로 전달함으로 1개의 출력을 더 사용할 수 있을 뿐만 아니라 주 스위치의 전류레벨을 낮출 수 있다.

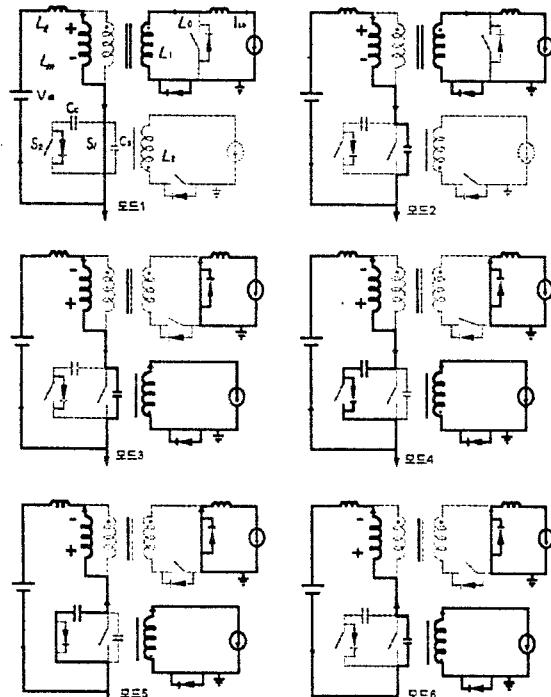


그림3. 제안된 회로의 모드별 동작특성

Fig3. Topological states of the proposed circuit.

#### 2.2.2 동작해석

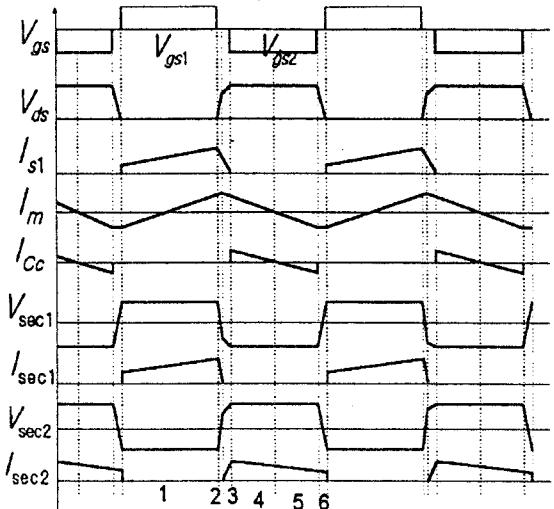


그림4. 제안된 회로의 동작파형

Fig4. Steady-states waveforms of the proposed circuit

#### • 모드 1.

$S_1$ 이 온되는 경우 변압기 양단 전압은 (+)방향으로 걸려 2차측으로 에너지가 전달되고, 자화전류  $I_m$ 은  $V_{in}/L_m$ 의 기울기로 증가하고, 인덕터전류  $I_{Lo1}$ 은  $((N_{pn}/N_{sec}) \cdot V_{sec1} - V_{o1})/L_o$ 의 기울기를 가지고 선형적으로 증가하게 된다.

#### • 모드 2.

$S_1$ 이 오프되면  $C_s$ 는  $I_m$ 과  $I_{Lo1}$ 의 두 성분에 의해 충전된다. 변압기 양단 전압은  $V_{in} - V_{ds}$ 로 (+)이므로 여전히 2차측으로 에너지가 전달된다.

#### • 모드 3.

$V_{ds} > V_{in}$ 이면 변압기 양단 전압은 (-)가 되어  $C_s$ 는 자화 전류와 플라이백 출력전류의 두 성분에 의해서 충전된다. 그리고, 포워드 출력 인덕터의 전류는  $SR_1$ 을 통해 프리휠링을 시작하고 출력 전류의 기울기는  $-V_{o1}/L_o$ 로서 감소한다.

#### • 모드 4.

$S_1$ 의 양단 전압이  $C_s$ 전압보다 커지는 순간  $S_2$ 의 내장 다이오드가 도통하여 전류는  $C_s$ 쪽으로 흐르게 되고, 이 전류는  $C_s$ ,  $L_m$ ,  $L_o$ 에 의한 공진 패턴으로  $C_s$ 를 충전하게 된다.

#### • 모드 5.

$C_s$ 가 충전되면  $C_s$ 를 흐르는 전류가 역방향으로 흐르게 되는 구간이 발생 되는데 이때  $S_2$ 의 내장 다이오드에 의해 미리 도통시켜 놓은 상태에서  $S_2$ 가 온 되므로 영 전류 스위칭이 가능하다.

#### • 모드 6.

클램프 스위치를 오프하는 경우  $L_m$ 과  $L_s$ 에 흐르던 전류는 계속 흐르려고 함으로 전류의 폐스가  $S_1$ 의  $C_c$ 와 입력측으로 형성되어  $S_1$ 의 양단 전압은  $S_1$ 의  $C_c$ 와  $L_m$ ,  $L_s$ 의 공진 패턴으로 감소하여 모드 1로 돌아가며, 이 구간 뒤에 주 스위치를 온 시키는 경우 영전압 스위칭이 가능하다.

### 2.2.3 시스템 구성

#### 2.2.3.1 변압기 설계

변압기의 1, 2차 권수와 코어 그리고, 권선의 굵기를 결정한다. 권수는 최대 시비율에서 결정한다

$$N_{pri} = \frac{V_{in(min)} \times D_{max} T_s}{\Delta B \times A_e} \quad (1)$$

$$N_{sec} = \frac{V_{in(out)} + V_f}{V_{in(min)}} \times N_{pri} \quad (2)$$

$$L_{pri} = \frac{V_{in(min)} \times D_{max} T_s}{I_{1(pk)}} \quad (3)$$

$\Delta B$  : 자속스윙(T)  $A_e$  : 보빈 단면적 ( $mm^2$ )

$V_f$  : 출력단 전압강화

식 (1), (2), (3)에 의해 1, 2차측 권수와 1차측 인덕턴스를 구할 수 있다.

#### 2.2.3.2 스위치 설정

스위치는 온 저항에 의한 손실이 크므로 온 저항이 작은 것을 선택한다. 테드타임은 스위치 온 시간에 비해 극히 작으므로 무시하기로 한다.

##### (1) 포워드로 동작하는 경우

$$V_{ds(max)} = V_{in(DC)max} \times (1 + \frac{D_{sl}}{D_{s2}}) \quad (4)$$

$$I_L = \frac{2 P_{out}}{\eta V_{in(DC)} D_{sl(max)}} \quad (5)$$

##### (2) 플라이백으로 동작하는 경우

$$V_{ds(max)} = V_{in(DC)max} \times (1 + \frac{D_{s2}}{D_{sl}}) \quad (6)$$

$$I_L = \frac{2 P_{out}}{\eta V_{in(DC)max} D_{s2(max)}} \quad (7)$$

$D_{sl}$ :  $S_1$ 의 시비율  $D_{s2}$ :  $S_2$ 의 시비율

$\eta$ : 효율

#### 2.2.3.3 클램프 커패시터 설정

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (\text{공진주파수}) \quad (8)$$

$$\pi \cdot \sqrt{(L_m + L_s) \cdot C_c} \gg T_{off(max)} \quad (9)$$

$$T_{off(max)} = T_s \cdot D_{s2(max)} \quad (10)$$

$L_m$ : 변압기 자화 인덕턴스  $L_s$ : 누설 인덕턴스

$C_c$ : 클램프 커패시터

### 2.2.4 시뮬레이션 및 실험결과

#### 시스템 설계조건

최대출력: 110W 스위칭 주파수: 100kHz

입력전압: 80~130(ac) 출력전압 리플: 5%

출력전압: 12V, 5A(포워드 출력)

5V, 10A(플라이백 출력)

최대 시비율: 0.7

제안된 설계방법에 의해 시스템을 설계하면

$L_m$ : 527uH  $L_s$ : 42uH  $C_c$ : 2uF

포워드로 동작할 경우 주 스위치 도통전류는 0.9A이고, 플라이백으로 동작할 경우에는 0.7A이다. 스위치의 최대 도통전류는 0.9A이다.

$S_1$ =SSH6N80 ( $BV_{ds}=800V$ ,  $R_{ds(on)}=1.9\Omega$ ,  $I_a=6A$ )

$S_2$ =SSH4N80 ( $BV_{ds}=800V$ ,  $R_{ds(on)}=3.5\Omega$ ,  $I_a=4A$ )

출력단 스위치는 온저항에 의한 손실이 크므로 온 저항이 작은 스위치를 선정한다.

$SR_1 = SR_2 = SSD2101$

(  $BV_{ds}=30V$   $R_{ds(on)}=0.03\Omega$ ,  $I_a=7A$  )

$SR_3 = SSP15N05$

(  $BV_{ds}=50V$ ,  $R_{ds(on)}=0.84\Omega$ ,  $I_a=16A$  )

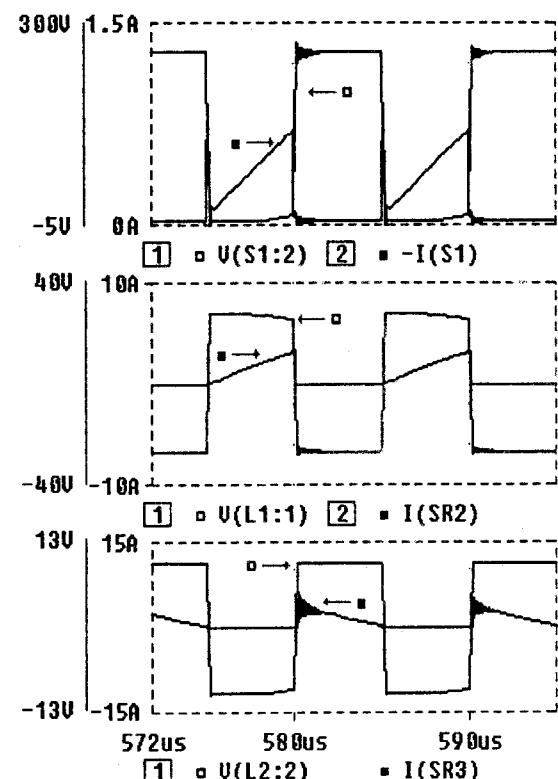
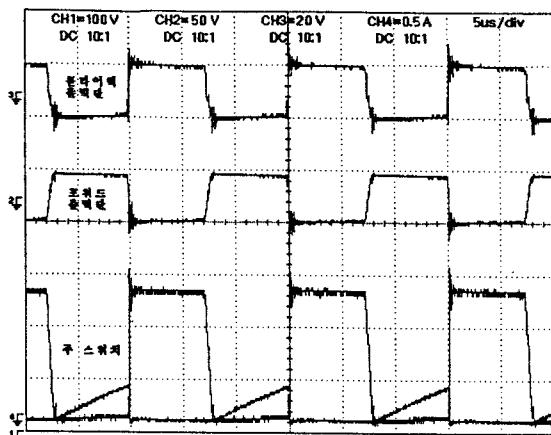


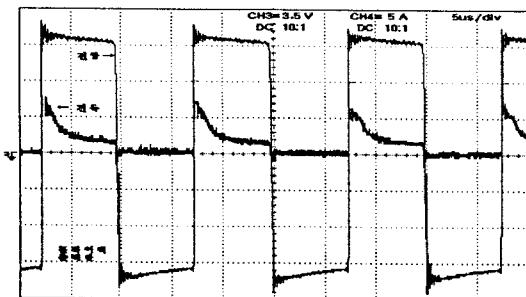
그림5. 각 부의 시뮬레이션 과정

(입력=140V(dc), 출력=5V.12V, D=0.5)

Fig.5 The simulation waveforms of each part  
(input=130V(dc), output=5V.12V, D=0.5)



(a)



(b)

그림6. 각 부의 실험파형 :

(a) 주 스위치 전류 및 전압파형, 포워드-플라이백 2차측 전압파형 (b) 포워드, 플라이백 2차측 전류 및 전압파형(입력=100V(ac), 출력=5V.12V D=0.5)

Fig6. The experimental waveforms of each part :

(a) current and voltage waveforms of main switch, voltage waveforms of forward-flyback second (b) current and voltage waveforms of forward-flyback second (input=100V(ac), output=5V.12V, D=0.5)

### 3. 결 론

제안된 회로를 통하여 주 스위치 손실과 전압 스

트레스를 줄일 수 있었으며, 한 개의 출력변수의 제어로 플라이백 2차측을 CCM으로 동작하게 할 수 있었다. 플라이백 출력단 스위치를 주 스위치와 동기시키고 포워드 출력단 Synchronous Rectifier을 도입하므로 온저항에 대한 손실을 줄일 수 있었다. 변압기기는 여러 가닥의 Litzwire를 사용하여 고주파 동작시 나타나는 표피효과를 줄여 효율을 향상시킬 수 있었다. 본 논문은 능동 클램프방식을 도입한 고효율 이중 포워드-플라이백 컨버터의 설계 및 동작원리를 제안한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] J.A. Cobas, O. Garcia, Uceda, J.Sebastian,E. De la Cruz, "Comparsion of High Efficiecy Low Output Voltage Forward Topologies", IEEE PESC Record, pp. 887-894, 1994
- [2] J. Sebastian and J. Uceda, "An Approach to Modelling Double Converter". IEEE PESC Record, pp. 264-271, 1986
- [3] J.N.Park and T.R.Zaloum,"A Dual Mode Forward-Flyback Converter". IEEE PESC Record, pp. 3-13, 1982
- [4] Wojciech A. Tabisz. Fred C. Lee and Dan Y. Chen,"A Mosfet resonant Synchronous Rectifier for High-frequency DC/DC Converter", IEEE PESC Record, pp. 769-779,1990