

# 개선된 Forward-flyback DC/DC컨버터에 관한 연구

이승운, 현병철, 최규식, 최종문\*, 조보형  
 서울대학교 전기컴퓨터공학부, 삼성전자 프린터 사업부\*

## Analysis and Design of an Improved Forward-flyback DC/DC Converter

S. W. Lee, B. C. Hyeon, K. S. Choi, J. M. Choi\*, B. H. Cho

School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

Advanced R&D Group, Digital Printing Division, DM Business, Samsung Electronics Co. LTD, Korea\*

### ABSTRACT

본 논문은 개선된 형태의 Forward-flyback 컨버터 회로를 제안하고, 회로 동작 및 정상 상태를 분석한다. 제안된 회로는 단일 스위치와 다중 출력 변압기를 사용하여 Forward-flyback 컨버터를 구성하며, 기존의 Forward-flyback 회로보다 적은 수의 다이오드를 사용하여 회로를 구동한다. 또한 Flyback 부분의 경우 Forward 부분 출력단의 LC필터를 사용할 수 있도록 구성하여 전압 출력 특성에서의 개선 역시 얻을 수 있다. 기생 소자가 없는 경우에 대하여 회로의 동작 분석이 이루어 졌으며, 실험을 통해 이를 검증하였다.

### 1. 서론

최근 전원 장치 효율의 중요성이 점점 커지면서 여러 종류의 회로들이 새로이 개발되고 또한 변형되어 사용되고 있다. 절연형 컨버터 중 가장 널리 쓰여 지고 있는 것은 Forward 컨버터와 Flyback 컨버터이다. Forward 컨버터는 reset이 필요하다는 단점에 불구하고 높은 효율이라는 면에 있어 선호되고 있고, Flyback 컨버터는 간단한 회로 구성과 적은 수의 소자로 동작 할 수 있다는 장점으로 선호되고 있다.<sup>[1][2]</sup> 여기에서 변형된 것이 Forward-flyback 컨버터로 Forward 컨버터의 reset 권선을 turn-off시 Flyback 컨버터와 같은 방식으로 출력에 연결해 reset 권선에서 손실되는 에너지를 복원하겠다는 내용이다. 이 경우 기존 Forward 컨버터의 출력에서 사용되는 2개의 다이오드와 Flyback 출력 구현을 위한 추가 다이오드가 필요하게 되어 총 3개의 다이오드가 사용되는데, 이 때 Flyback 출력부를 연결하는 위치에 따라 각각 다른 동작 모드를 갖는다. 본 논문에서는 이 연결을 바꿔 필요 다이오드 개수를 줄이는 새로운 방식의 Forward-flyback 컨버터를 제안하고 그 동작을 분석하며 또한 20W급의 프로토타입 컨버터를 제작해 그 동작을 확인한다.

### 2. 회로 구성과 분석

#### 2.1 회로 구성

그림 1은 기존의 Forward-flyback 컨버터 회로이며 그림 2는 제안된 회로를 나타낸다. 본 논문은 기존의 Forward-flyback에서 Flyback 부 다이오드의 캐소드 연결 위

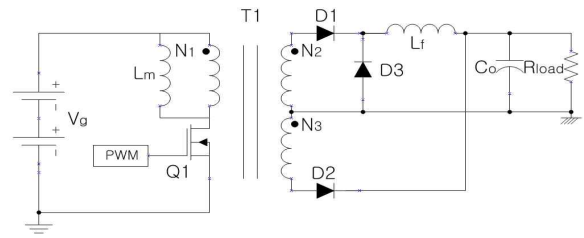


그림 1 기존의 Forward-flyback 회로  
 Fig. 1 Conventional Forward-flyback circuit model

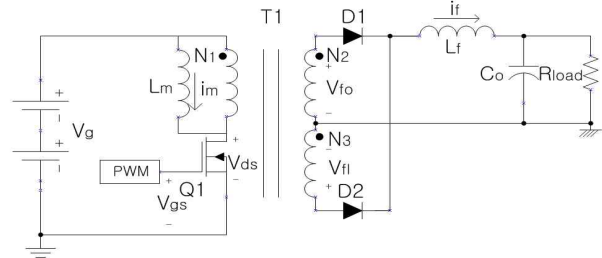


그림 2 제안한 Forward-flyback 회로  
 Fig. 2 Proposed Forward-flyback topology

치를 변경하여 기존의 것과 다른 동작 모드를 갖으며 또한 free-wheeling 다이오드를 제거하고, Flyback 단을 출력 필터 인덕터의 앞에 연결해 Flyback 의 출력으로 LC필터를 사용할 수 있도록 고안한다.

제안한 회로의 설계에 있어 turn-off 시  $L_f$ 에 흐르는 전류가  $(N_3/N_1)i_m(t_1)$ 보다 같거나 크도록 해야 하며 이 조건은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_m \left( \frac{N_2}{N_1} V_g - V_o \right) \geq \frac{N_1}{N_2} L_f V_g \quad (1)$$

#### 2.2 동작 분석

Forward-flyback 컨버터의 동작은 DCM의 경우 4가지의 동작 모드로 분석 할 수 있다. Turn-on상태, 전류 밸런싱 상태, turn-off상태, 그리고 영전류 상태이다. 그림 3은 각 상태에서 각 소자의 전압 및 전류 파형을 나타낸다.  $V_{T1}$ 은 1차측 변압

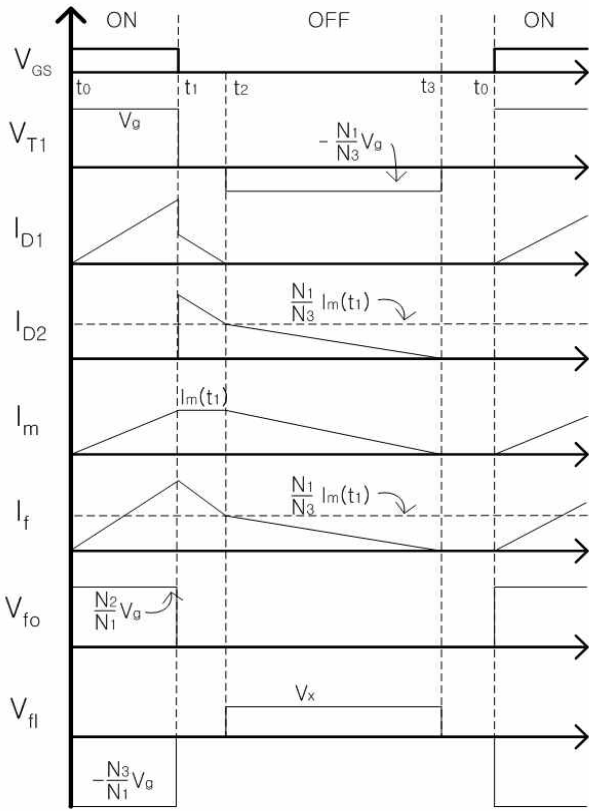


그림 3 제안된 컨버터의 동작모드별 파형  
Fig. 3 Operation waveform of proposed converter

기에 걸리는 전압을 나타내며,  $I_{D1}$ 는 Forward 다이오드의 전류,  $I_{D2}$ 는 Flyback 다이오드의 전류 파형을 나타내며,  $V_{fo}$ 는 Forward 다이오드의 anode전압,  $V_{fi}$ 는 Flyback 다이오드의 anode전압을 나타낸다.

### 1.2.1 Turn-on 상태( $t_o \rightarrow t_1$ )

그림 4는 turn-on 상태에서 제안한 Forward-flyback 컨버터의 동작 모델을 나타낸다.

이 상태에서 동작은 일반 Forward 컨버터와 똑같으며, 식 (2)는 turn-on 동작에서의 자화 인덕터와 필터 인덕터의 전류를 일정한  $V_o$ 를 가정하여 풀이한 수식이다. 일반적인 Forward 컨버터와 다르게 Forward-flyback 컨버터는 자화인덕터의 전류를 turn-off시 Flyback 방식으로 2차단에 넘겨주기 때문에  $L_m$ 이 커야할 필요가 없다는 장점이 있다.

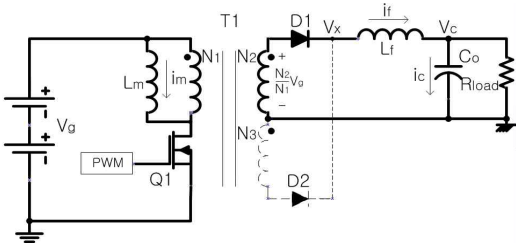


그림 4 Turn-on 상태 동작  
Fig. 4 Turn-on mode operation

$$i_m = \frac{V_g}{L_m}t + I_M(t_0)$$

$$i_f = \left(V_g \frac{N_2}{N_1} - V_o\right) \frac{1}{L_f}t + I_f(t_0) \quad (2)$$

### 1.2.2 전류 밸런싱 상태( $t_1 \rightarrow t_2$ )

그림 5는 전류 밸런싱 상태에서 제안한 회로의 동작 모델을 나타낸다.

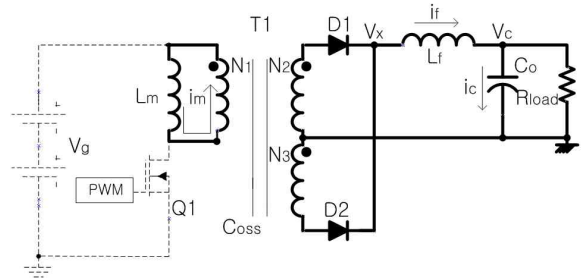


그림 5 전류 밸런싱 상태 동작  
Fig. 5 Current balancing mode operation

전류 밸런싱 상태에서  $V_x$ 의 전압은 0이 되어 변압기의 2차측은 short상태가 되며,  $D_1$ 과  $D_2$ 가 동시에 도통되게 된다. 이에 의해 변압기 1차측 양단에 걸리는 전압 역시 0이 되어 turn-on 상태에서 축적된  $L_m$ 의 전류는 free-wheeling을 하게 되며, 출력 인덕터에는  $-V_o$ 의 전압이 걸리게 되면서  $i_f$ 가  $(N_1/N_3)i_m(t_1)$ 와 같아질 때까지 줄어들게 된다. 식 (3)은 이 상태에서의  $i_m$ 과  $i_f$ 의 값을 수식으로 나타낸다.

$$i_m = i_m(t_1)$$

$$i_f = i_f(t_1) - \frac{V_o}{L_f}(t - t_1) \quad (3)$$

### 1.2.3 Turn-off 상태( $t_2 \rightarrow t_3$ )

그림 6은 turn-off 상태에서 제안한 컨버터의 동작 모델을 나타낸다.

Turn-off 상태에서는 일반 Flyback 컨버터와 같은 동작을 보인다. 식 (4)는 이 상태에서의 각 전류를 수식으로 나타낸다.

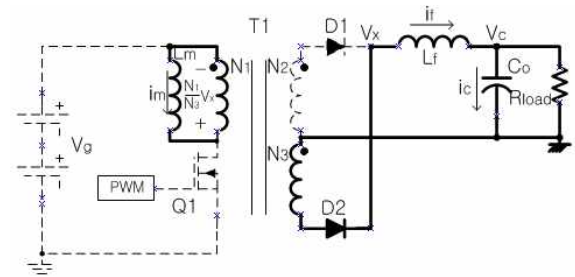


그림 6 Turn-off 상태 동작  
Fig. 6 Turn-off mode operation

$$i_f = \frac{N_1}{N_3} i_m$$

$$i_m = i_m(t_2) - \frac{N_1}{N_3} \frac{V_o}{L_m}(t - t_2) \quad (4)$$

### 1.2.5 영전류 상태( $t_3 \rightarrow t_0$ )

DCM에서 생기는 상태이며 출력 전압을 콘덴서가 유지시켜 준다. 출력 전압 및 출력 콘덴서의 전압, 전류를 제외하면 다른 소자의 전류 및 전압값은 모두 0이다.

## 3. 실험 결과

표 1과 같이 프로토타입의 컨버터를 설계하여, 제작 및 실험하였다. 그림 7은 Open loop 실험 파형으로 제안된 컨버터가 분석과 같이 동작함을 확인할 수 있다.

표 1 제안된 컨버터의 프로토타입 설계사양

Table 1 The prototype design specification of the proposed converter

항목	값
DC 입력 전압	200 V
출력 전압	5 V
최대 출력 전력	20 W
스위칭 주파수	70kHz

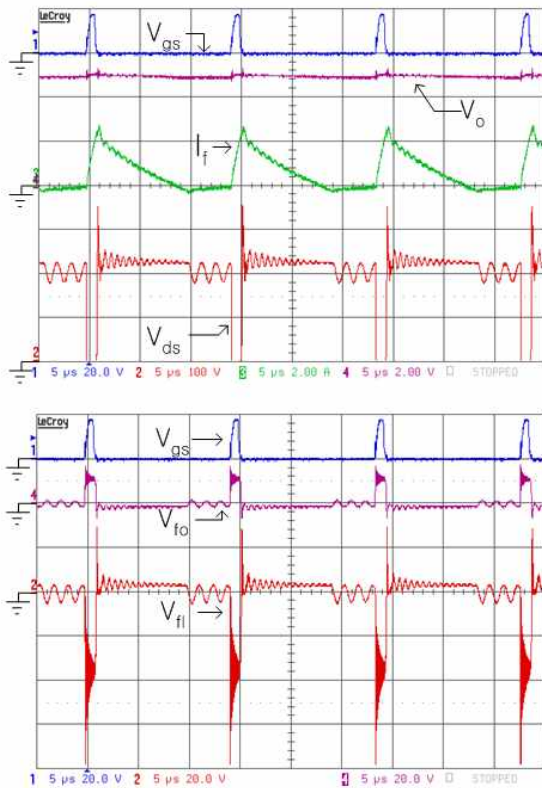


그림 7 주요 전압, 전류 파형  
Fig. 7 Experimental result

## 4. 결론

본 논문에서는 개선된 방식의 Forward-flyback 컨버터를 제안하고 그 동작을 분석했다. 제안한 컨버터는 종래의 Forward-flyback 컨버터보다 더 적은 수의 소자로 구동시켜 가격과 구성 회로의 크기 면에서 장점을 갖으며, turn-off 동작에서 Forward 컨버터를 동작시키기 위한 LC출력단을 출력 필터로 이용할 수 있어 turn-off 구간에서의 출력 전압 리플을 감소시키는 효과를 얻을 수 있다. 또한 제안된 컨버터의 동작을 확인하기 위해 20W설계의 프로토타입 컨버터를 만들어 실험을 통해 본 방식의 타당성을 검증하였다.

이 논문은 삼성전자 프린터 사업부의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

## 참고 문헌

- [1] Yoshito Kusuhara, Tamotsu Ninomiya and Shin Nakagawa, "Steady-State Analysis of a Novel Forward-Flyback-Mixed Converter", Proceeding of the EPE-PEMC, pp. 60-65, 2006, August.
- [2] Yonghan Kang, Byungcho Choi, and Wonseok Lim, "Analysis and Design of a Forward-Flyback Converter Employing Two Transformers", Proceeding of the IEEE, Vol. 1, pp. 357-362, 2001, June.