

# Primary Side Regulator의 부하 전류 예측 알고리즘

서동현, 금문환, 최윤, 오동성\*, 한상규†  
 국민대학교 POESLA, 삼성전기\*

## Load current prediction algorithm for Primary Side Regulator (PSR)

Dong-Hyun Suh, Moon-Hwan Keum, Yoon Choi, Dong-Seong Oh\*, Sang-Kyoo Han  
 Power Electronics System Laboratory, Kookmin University, Samsung Electromechanics\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 PSR(Primary Side Regulator)에 적용 가능한 새로운 방식의 부하 전류 예측 알고리즘을 제안한다. 기존의 부하 전류 예측 방식은 DCM(Discontinuous Conduction Mode) 및 BCM(Boundary Conduction Mode) 동작만이 가능하다. 하지만 제안된 방식은 Power Balance Rule을 적용한 간단한 알고리즘을 통해 CCM(Continuous Conduction Mode) 동작에서도 정확한 부하 전류 예측이 가능하다. 따라서 높은 출력을 요구하는 어플리케이션에서 고효율 달성에 유리하고, CC(Constant Current) 제어가 우수하다. 제안 알고리즘의 우수성과 신뢰성 검증을 위하여 12W급 플라이백 컨버터의 시작품을 제작하였고, 이를 이용한 실험 결과를 바탕으로 타당성을 확인한다.

### 1. 서론

최근 대기전력 규제가 강화됨에 따라 플라이백 컨버터에서 2차 측 제어부를 제거하고 1차 측에서 출력을 간접 제어 하는 PSR 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1][2]. 그림 1에 나타난 기존의 PSR 방식에서 플라이백 컨버터가 그림 2와 같이 DCM 동작하는 때에, 스위치  $M_1$ 이 On 되어 있는 시간동안 자화 인덕턴스에 저장된 에너지는  $M_1$ 이 Off시에 모두 2차 측으로 전달된다. 따라서 출력 다이오드 전류의 평균은 부하 전류와 같은 값을 갖게 되고, 식 (1)과 같이 1차 측 전류 첨두값과 변압기 보조 권선의 전압을 통해 검출된 출력 다이오드 도통 시간을 이용하여 부하 전류를 예측한다. 여기서 출력 다이

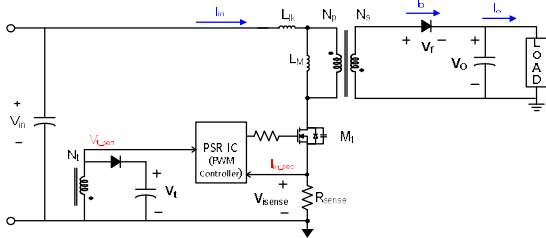


그림 1 기존 PSR 방식 플라이백 컨버터  
 Fig. 1 Conventional PSR Flyback Converter

$$\langle i_D \rangle = I_O = \frac{1}{2} \cdot i_{pk} \cdot \frac{N_P}{N_S} \cdot \frac{T_{off1}}{T_S} \quad (1)$$

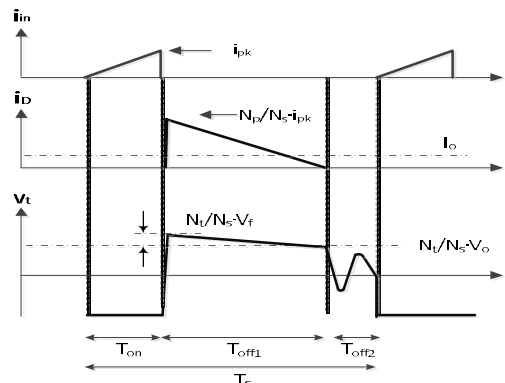


그림 2 기존 PSR 방식 플라이백 컨버터 DCM 동작 주요파형  
 Fig. 2 Key Waveform of Conventional PSR Flyback Converter (DCM)

오드의 도통 시간은 1차 측 자화 인덕터의 전류가 '0'이 되는 시점에서 검출하는데, 아날로그 방식으로 구현하는 경우에는 노이즈에 의한 오차가 발생할 수 있다. 따라서 정확한 부하 전류 예측이 어렵고 DCM 및 BCM 동작에만 적용 가능하므로 높은 전력 사양에는 불리하다는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 CCM 동작에도 적용 가능하고 오차가 발생하지 않는 새로운 부하 전류 예측 알고리즘을 제안한다.

### 2. 본론

#### 2.1 새로운 부하 전류 예측 알고리즘의 플라이백 컨버터

제안 알고리즘을 적용한 플라이백 컨버터를 그림 3에 나타내었다. 입력 전압과 입력 전류를 1차 측에서 직접 검출하고, 변압기 보조권선에서 출력 전압을 검출한다. 이 세 가지 정보를 Multiplier 와 Divider 로 연산하여 부하 전류를 예측한다. 동작 원리는 다음에서 자세하게 설명하도록 한다. 제안 방식은 간단한 알고리즘으로 정확한 부하 전류를 예측할 수 있으며 DCM, BCM 뿐만 아니라 CCM 동작이 가능하다는 장점이 있다.

#### 2.2 동작 원리

제안 방식의 동작 원리를 설명하기에 앞서 다음과 같은 가정 을 한다.

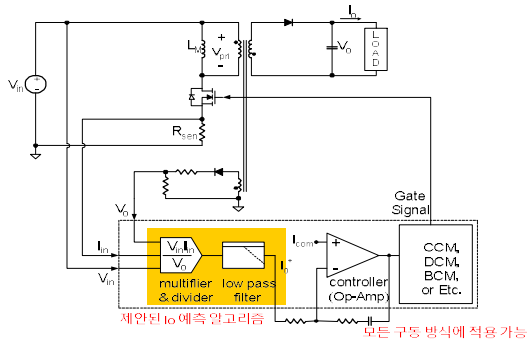


그림 3 제안 알고리즘 적용 플라이백 컨버터  
Fig. 3 Flyback Converter with proposed algorithm

- 회로 내에 손실은 없다고 가정함
- 트랜스포머의 1,2 차 측 및 보조권선 간의 결합계수는 '1'

회로 내에 손실이 없다고 가정 하였으므로, Power Balance Rule에 따라 입/출력 전력의 관계는 식(2)와 같다.

$$P_{IN} = P_O \rightarrow V_{IN} \cdot I_{IN} = V_O \cdot I_O \quad (2)$$

$$I_O = \frac{V_{IN} \cdot I_{IN}}{V_O} = I_{IN}^* \quad (3)$$

식(2)를 부하 전류  $I_o$  에 대하여 정리하면 식(3)과 같이 추정된 부하 전류  $I_o^*$  를 구할 수 있다. 입력 전압은 1차 측에서 직접 검출할 수 있고 출력 전압은 1차 측 보조권선을 통해 검출한다. 입력 전류는 식 (4)와 같이 스위치가 On 되는 시점의 중간에서 검출한다. 이렇게 검출된 값들은 Multiplier 와 Divider를 통해 연산이 되고 Low-pass Filter를 통해 일정 레벨의 DC 전압으로 변환된다. 그 후 OP-Amp 와 비교되어 출력을 제어하므로 침투값을 센싱받는 기존 방식에 비해 노이즈 측면에서 강한 장점이 있다. 제안 방식은 상기와 같이 비교적 간단한 알고리즘으로 부하 전류를 정확히 예측할 수 있다.

$$\langle I_{IN} \rangle = \frac{(I_{pk} + I_{mi})}{2} \cdot \frac{T_{on}}{T_s} \quad (4)$$

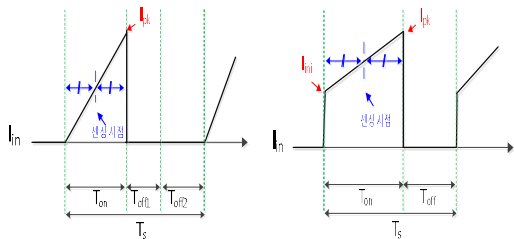


그림 4 DCM 및 CCM 구동 시 입력 전류 검출  
Fig. 4 Input Current Detection in DCM and CCM Operating

### 2.3 실험 결과

제안 알고리즘을 적용한 12W급 플라이백 컨버터를 제작하여 표1 조건에서 실험을 수행하였다. 그림 5는 입력 전압이 전 구간에서 변할 때의 부하 전류를 나타낸 것이고 CC 제어가 이루어지고 있음을 확인하였다. 그림 6은 전 구간 입력 전압에 대한 효율을 측정한 그래프이다. 제안 알고리즘으로 구현한 CCM 동작에서 약 86.5%의 효율로 기존 DCM 동작 보다 높은 효율을 달성하였다.

표 1 실험 조건

Table 1 Test Condition

$V_{in}$	90~260Vac	$V_o$	12V
Turn Ratio	88:11:12	$I_o$	1A
$L_m$	6mH	$P_o$	12W

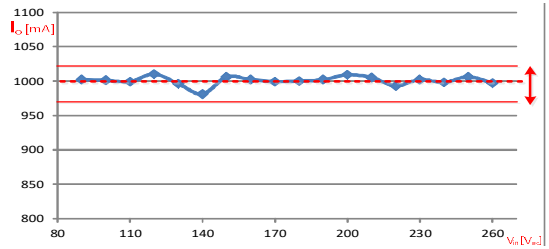


그림 5 입력 전압 변화 시 부하 전류 그래프

Fig. 5 Load current with input voltage variation

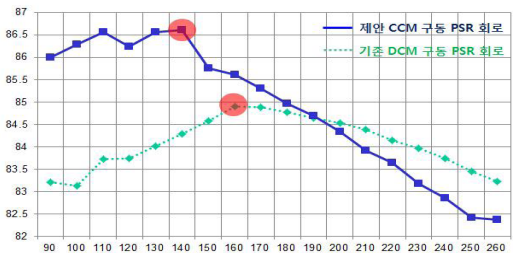


그림 6 입력 전압 변화 시 효율 그래프

Fig. 6 Efficiency graph with input voltage variation

### 3. 결론

본 논문에서는 PSR에 적용 가능한 새로운 부하 전류 예측 알고리즘을 제안하였다. 제안 방식의 동작 원리를 기존 방식과 비교하여 설명하였고, 12W급 플라이백 컨버터를 제작하여 실험 결과를 제시하였다. 기존 방식은 입력 전류의 침투값을 검출하여 부하 전류를 예측하는 방식으로 DCM 및 BCM 동작만 가능하다는 단점이 있다. 제안 방식은 입력 전류를 스위치가 On 되는 시점의 중간에서 검출하여 부하 전류를 예측하는 방식으로 CCM 동작이 가능하여 고효율 달성이 유리하다. 또한 CC 제어가 우수하므로 정확한 출력 제어가 가능하다는 장점이 있고 DCM, BCM 및 CCM 동작이 다 가능하므로 다양한 출력 사양의 어플리케이션에 사용될 수 있다고 생각된다.

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2013-H0301-13-2007)

### 참고 문헌

- [1] Jianguo Xiao, Jiande Wu, Wuhua Li and Xiangning He, "Primary-side controlled flyback converter with current compensation in micro-power applications", Power Electronics and Motion Control Conference, IEEE 6th international pp.1361-1366, 2009
- [2] Che-Wei Chang, and Ying-Yu Tzou, "Primary-side Sensing Error Analysis for Flyback Converters", Power Electronics and Motion Control Conference, IEEE 6th international pp.524-528, 2009