

# Optocoupler 절연을 적용한 오프라인 전류모드제어 플라이백 변환기의 직류 바이어스 회로 해석 및 CTR 설계

이승준, 김한상, 최병조  
경북대학교

## DC Bias Circuit and CTR Design of Off-Line Current-Mode-Controlled Flyback Converters with Optocoupler Isolation

Seungjun Lee, Hansang Kim, and Byungcho Choi  
Kyungpook National University

### ABSTRACT

본 논문에서는 Optocoupler 절연형 오프라인 플라이백 변환기 궤환 단의 직류 바이어스 해석 기법을 제안한다. 직류 바이어스 해석을 통해 목표한 Current Transfer Ratio(CTR)를 얻고 Junction Capacitance( $C_j$ )를 측정하여 제어기 설계에 적용시켜 안정도 및 성능을 측정하였다. NCP1230, PC817, TL431 IC를 이용하여 플라이백 변환기의 제어회로를 제작하였고, 시뮬레이션을 이용해 직류 바이어스 해석 기법의 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

일반적으로 전자제품 제조업체들은 가격 경쟁력을 높이기 위해 낮은 가격에 전기적 절연능이 있는 변환기를 선호한다. 이러한 이유로 직류 직류 전력변환에 플라이백 변환기가 사용되며 특히 TL431과 Optocoupler의 구성을 이용한 피크전류모드 제어 기법은 산업계에서 널리 사용되고 있다. 하지만 대부분의 플라이백 변환기의 전류모드제어에 관한 연구 자료들이 비절연형 궤환을 다루기 때문에 Optocoupler를 이용한 절연형 궤환 제어의 설계가 쉽지 않다. 많은 엔지니어들이 실험적인 시행착오 과정을 겪으며 제어회로를 설계하고 있는 실정이다.

따라서 본 논문의 목적은 산업계에서 사용되고 있는 IC인 TL431, Optocoupler(PC817), PWM Controller(NCP1230)로 구성된 피크전류모드 제어회로의 직류 바이어스를 해석하고 이를 이용한 CTR 설계를 통해 올바른 설계 방향을 제시한다.

## 2. 직류 바이어스 회로 해석 및 CTR 설계

### 2.1 피크전류모드 제어의 구조와 동작 원리

그림 1은 Optocoupler와 TL431의 조합으로 궤환단을 구성한 절연형 전류모드제어 플라이백 변환기를 나타낸다. 동작원리는 피크전류모드 제어 기법에 따라 on time 동안 스위치 Q에 흐르는 전류  $i_Q$ 가  $R_{sense}$ 로 흘러 전압  $V_{sense}$ 로 감지가 된다. Sub harmonic 진동을 피하기 위해서는 식 (5)와 같이 보상 램프 전압과 스위치 전류가 감지된 전압의 합이 비교기의 입력 단에 인가되어야 한다. PWM 동작 특성에 의해 더해진 전압  $V_{add}$ 가 비교전압  $V_{con}$ 에 이르러 같아졌을 때 MOSFET이 turn off 되고 이때의 전압  $V_{con}$ 이  $V_{ce}$ 를 거쳐 Optocoupler를 통해 전달되며 변환기의 출력전압  $V_o$  궤환과 함께 연산증폭기로 사용되는 TL431의 출력 전압을 결정한다. TL431의 동작 조건으로 1mA 이상의 전류를 출력에 흘려주어야 하는데,  $R_a$ 를 Optocoupler에

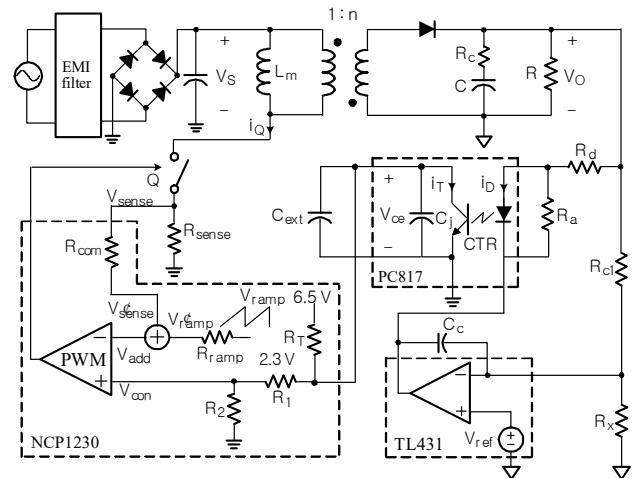


그림 1 Optocoupler 절연을 이용한 오프라인 플라이백 컨버터

병렬로 연결시켜 줌으로써 동작 조건을 만족 시킨다.  $R_x$ 는 출력전압의 regulation을 위해 필요한 저항이고  $R_a$ ,  $R_x$ 는 소신호 모델에 영향을 주지 않는다. 제어단의 보상기는  $C_c$ ,  $C_{ext}$ ,  $C_j$ ,  $R_d$ ,  $R_{cl}$ 와 연산증폭기로 2극점 1영점의 보상기를 구성한다.  $C_j$ 는 Optocoupler 내부의 capacitance로  $C_{ext}$ 와 더하여 저서 보상기 극점을 형성한다.

### 2.2 직류 바이어스 회로

스위치에 흐르는 전류  $i_Q$ 는  $R_{sense} \ll R_{com} + R_{ramp}$ 이므로  $R_{sense}$ 로 대부분 흐른다. 그러므로  $V_{sense}$ 는 스위치에 흐르는 전류와  $R_{sense}$ 의 곱셈(2)으로 나타나고,

$$i_Q = \frac{1}{1-D} n \frac{V_o}{R} + \frac{1}{2} \frac{V_s}{L_m} DT_s \quad (1)$$

$$V_{sense} = i_Q R_{sense} \quad (2)$$

비교기의 입력 단에는 전압분배에(3) 의해  $V'_{sense}$ 가 인가된다.

$$V'_{sense} = V_{sense} \frac{R_{ramp}}{R_{com} + R_{ramp}} \quad (3)$$

보상 램프전압 또한 분배된 전압(4)이 비교기의 입력 단에 더해지고, 최종적으로 비교기에는 더해진 전압이(5) 인가된다.

$$V'_{ramp} = V_{ramp(peak)} \frac{R_{com}}{R_{com} + R_{ramp}} D \quad (4)$$

$$V_{add} = V'_{sense} + V'_{ramp} \quad (5)$$

피크전류모드 제어에 의해 MOSFET이 turn off 되는 순간

비교기의 두 입력전압은 같아지는데, 이때  $V_{com}$  이 결정되고  $V_{com}$  에 의해 Optocoupler의  $V_{ce}$  (6)값이 결정된다.

$$V_{ce} = \frac{V_{com}}{R_2}(R_1 + R_2) \quad (6)$$

$$i_T = \frac{6.5 - V_{ce}}{R_T} - \frac{V_{ce}}{R_1 + R_2} \quad (7)$$

### 2.3 Optocoupler의 $i_{D1}$ - CTR 곡선을 이용한

#### CTR 설정 및 $C_j$ 측정

위의 직류 바이어스 해석을 통해 알게 된  $V_{ce}$ 와 그림 3의 회로를 이용해 그림 2  $i_{D1}$  CTR 곡선을 그릴 수 있다.

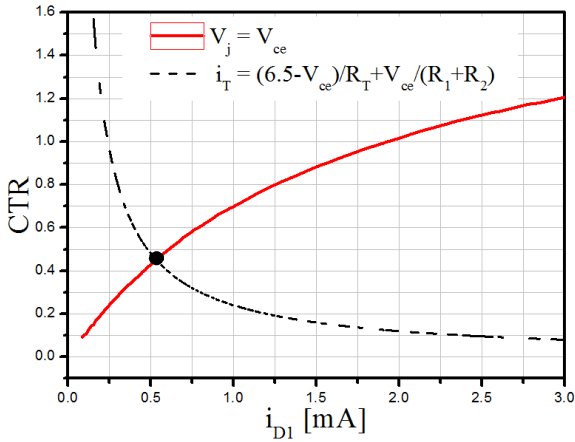


그림 2 CTR 설정을 위한  $i_{D1}$  - CTR 곡선

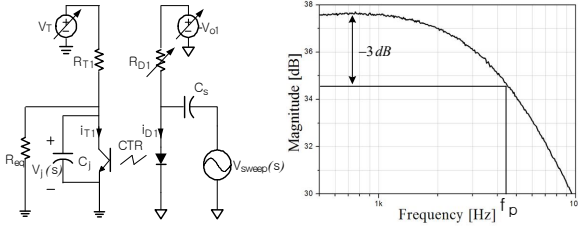


그림 3 CTR 설정 및  $C_j$  측정을 위한 회로

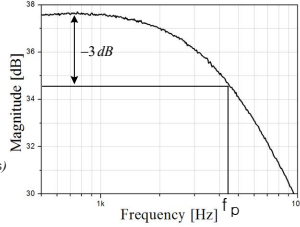


그림 4  $v_j(s)/v_{sweep}(s)$  전달함수 측정

$$CTR = \frac{i_{T1}}{i_{D1}} \quad (8)$$

그림 2  $i_{D1}$  CTR 그래프의 굵은 선은 그림 3 회로의  $R_{eq}$ 를 개방 시키고 식 (6)을 이용해 알게 된  $V_{ce}$  값을  $V_j = V_{ce}$ 의 조건으로 유지한 상태로  $i_{D1}$ 을 증가시켜 CTR 곡선을 그린 것이다. 점선은 식 (7)을 통해 알게 된  $i_{T1}$  값을 유지하는 조건으로  $i_{D1}$  CTR 곡선을 식 (8)을 이용해 그린 것이다. 이때 두 곡선이 만나는 지점이 Optocoupler의 동작점이 되고 변환기의 CTR을 결정한다. 또한 동작점은  $R_{T1}$ 을 조절하여 굵은 곡선을 따라 이동시킬 수 있다. 식 (7)을 통해  $R_{T1}$ 에 따른  $i_{T1}$ 을 알 수 있기 때문에 원하는 CTR이 있는 지점에 점선을 위치시킬 수 있다. 즉  $R_{T1}$ 을 조절하여 원하는 CTR을 얻을 수 있다.

Optocoupler의  $C_j$ 는 그림 3의 회로를 이용하여 측정 하는데, 임피던스 분석기를 이용하여 측정한다. 입력과 출력을 각각  $V_{sweep}(s)$ ,  $V_j(s)$ 로 하여 전달함수(9)를 측정하면,  $C_j$ 와  $(R_{eq})//R_{T1}$ 에 의한

$$\frac{v_j(s)}{v_{sweep}(s)} = \frac{i_D}{v_{sweep}(s)} \frac{i_T}{i_T} \frac{v_j(s)}{i_T} \quad (9)$$

극점을 찾을 수 있고, 그림 3과 같이 크기가 3dB 차이 나는 주파수에서 극점의 주파수를 알 수 있다.

이때 저항  $R_{eq}//R_{T1}$ , 극점의 주파수와 식 (10)을 이용하면  $C_j$ 를 알 수 있다.

$$C_j = \frac{1}{2\pi f_p (R_{eq} // R_{T1})} \quad (10)$$

### 3. 시뮬레이션 및 실험

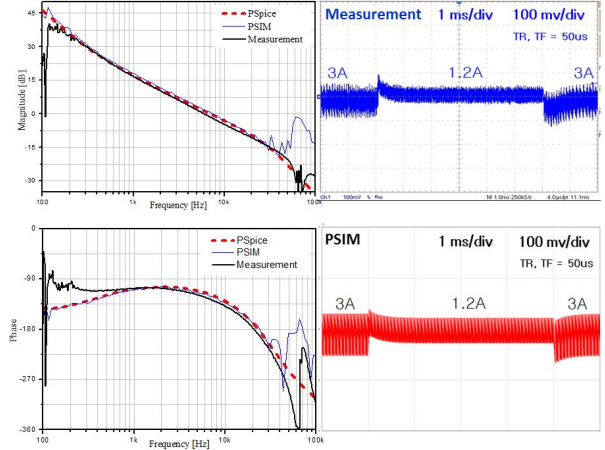


그림 4 PSIM, PSpice 시뮬레이션과 실험의 루프이득 비교 및 계단부하 응답 비교

위의 그림 4는 플라이백 변환기의 루프이득과 계단부하 응답을 나타내는데, 직류 바이어스 해석을 통해 측정된 CTR,  $C_j$ 를 플라이백 변환기 설계에 사용하였다. 그림에서 보는바 같이 시뮬레이션과 실험결과가 거의 일치하였고 루프이득의 측정을 통해 51°의 위상여유를 가지는 것을 알 수 있는데, 이로써 변환기가 안정적이고 페루프 성능이 우수할 것이라 예측할 수가 있다. 계단부하 응답 비교 또한 시뮬레이션과 실험결과가 일치했고 출력저항의 전달함수 극점에서 중 정착시간을 결정하는 우세극점인  $w_{zc}$ 를 통해 이론적인 정착시간  $3/w_{zc}$ 의 계산 값 1.55[ms]을 그림 4에서도 확인할 수 있었다.

### 4. 결론

본 논문에서는 피크전류모드 제어를 이용한 오프라인 플라이백 변환기의 직류 바이어스 해석을 통해 Optocoupler 절연형 변환기의 설계에 필요한 CTR을 설정하고,  $C_j$ 를 측정하는 방법을 제시하였다. 위의 해석방법은 절연형 플라이백 변환기에 국한된 것이 아니기에 Optocoupler를 사용하는 다양한 변환기의 절연 케환단의 해석 및 제어에도 사용이 가능하다.

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학CT연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP 2015 H8501 15 1006)

### 참고 문헌

- [1] B. Choi, "Pulse Width Modulated DC to DC Power Conversion Circuits, Dynamics, and Control Designs", WILEY Publishing co, 2013.