

## RPWM 기법을 이용한 능동클램프 ZVS 플라이백 컨버터 전도노이즈저감

김영규, 최태영, 원충연, 김재문\*, 김규식\*\*, 최세완\*\*\*  
 성균관대학교, \*현대모비스(주), \*\*서울시립대학교, \*\*\*서울산업대학교

### Conducted Noise Reduction in Active clamp ZVS flyback converter using Random Pulse Width Modulation

Young-Gyu Kim, Tae-Young Choi, Chung-Yuen Won, Jae-Moon Kim

Gyu-Sik Kim, Se-Wan Choi

Sungkyunkwan University, Hyun Dai Mobis, University of Seoul,  
 Seoul National University of Technology

#### ABSTRACT

In the conventional PWM converter, high-frequency switching techniques was used for high-density of energy, but occurred a lot of problems such as switching losses, switching voltage/current stresses, EMI(Electromagnetic Interference) and so on. To overcome these problems, various soft switching techniques have been presented. However these techniques are focused on reducing switching losses and voltage/current stresses.

The simulation and experimental results are shown that the active clamp ZVS flyback converter with the proposed RPWM(Random Pulse Width Modulation) technique reduces the conducted noise.

#### 1. 서론

플라이백 컨버터에 이용되는 하드스위칭 기법은 스위칭 주파수를 높여 전원공급장치의 고 효율화와 소형, 경량화를 모색하는데 한계가 있다. 이 문제점을 해결하기 위해 능동클램프회로를 추가하여, 반도체 스위칭 소자가 턴-오프시 기생 커패시터에 축적된 에너지를 저장하는 회로를 이용함으로써 스위치의 ZVS공진을 발생시켜 스위칭 손실을 줄이는 방식이 제안되었고, 기생 커패시터에 축적된 에너지를 출력측으로 회생시켜 효율을 증대하는 방식을 적용하여 플라이백 컨버터의 스위칭 손실 및 스트레스문제를 해결하였다.<sup>[1][2]</sup>

그러나, PWM 전원장치의 결정적인 단점은 스위칭 주파수가 증가됨에 따라 스위칭 손실 및 갑작스런 전압/전류의 변화에 의하여 전자파 장애가 증가

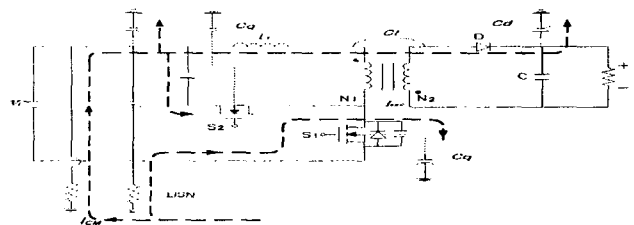
한다는 것이다. 그리고 공진형 컨버터의 경우 일반적으로 공진 주파수로 인해 전도노이즈 저감을 위한 스위칭 변조 방식의 적용이 어렵다.

하지만 능동클램프 회로를 이용한 공진형 컨버터인 경우 영전압 스위칭을 만족하는 범위에서는 스위칭변조가 가능하다.

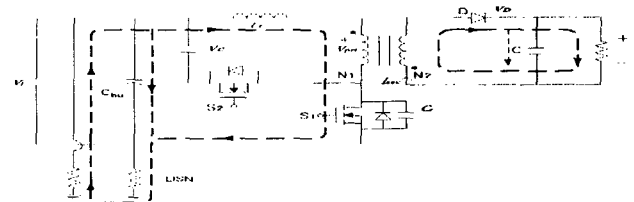
본 논문에서는 능동클램프 ZVS 플라이백 컨버터의 영전압 조건 범위에서 스위칭 변조에 대해 논하고 RPWM을 적용하여 이론의 타당성을 입증하고자 한다.

#### 2. 능동클램프 ZVS 플라이백 컨버터

##### 2.1 능동클램프 ZVS 플라이백 컨버터의 전도성 잡음원



(a) CM 전도노이즈 경로



(b) DM 전도노이즈 경로

그림 1. 능동 클램프 ZVS 플라이백컨버터의 CM/DM 노이즈 잡음원 및 전달경로

그림 1은 능동 클램프 ZVS 플라이백 컨버터에

대한 CM/DM 전도성 잡음원과 잡음 전달경로를 나타내고 있다. LISN의 50[Ω]저항단에서 측정되는 전압이 전도성 EMI 잡음으로 그림 1의 (a)는 CM 전도성 잡음원 및 전달경로이고, (b)는 DM 전도성 잡음원 및 전달경로이다.<sup>[3]</sup>

## 2.2 능동클램프의 영전압 스위칭 조건

그림 2는 능동클램프 ZVS 플라이백 컨버터의 각부 파형을 나타내고 있다. 동작모드 설명은 제외하고 영전압 스위칭을 하기 위한 두 가지 조건에 대해서 설명한다.<sup>[1]</sup>

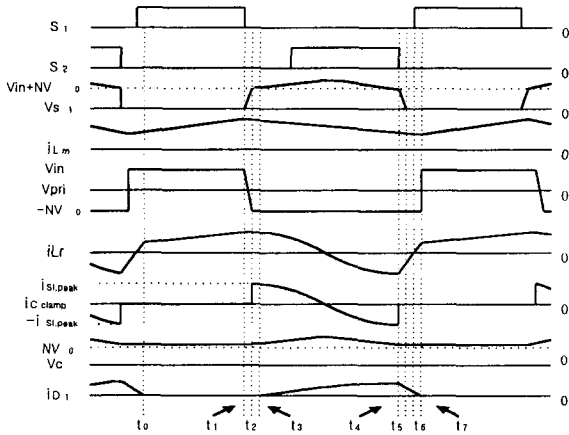


그림 2. 능동 클램프 ZVS 플라이백 컨버터 각부 파형

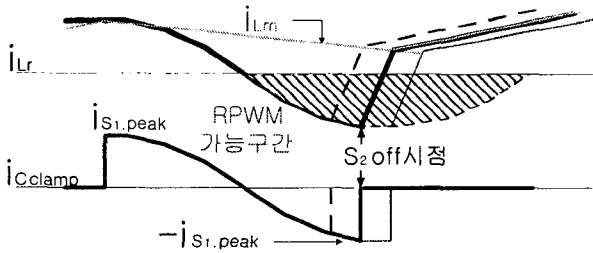


그림 3.  $i_{C,clamp}$ 와  $i_{Lr}$  확대파형

첫 번째 조건은 그림 2의  $t_2 \sim t_4$ 사이의  $i_{Lr}$ 을 식으로 나타내면 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$i_{Lr} = i_{Lr,max} \cos \omega_r t \quad (1)$$

( $\omega_r$ :  $L_r, C_{clamp}$  공진주파수)

식(1)은 그림 3과 같이 나타낼 수 있고  $i_{Lr}$  음의 구간에서 보조스위치( $S_2$ )가 턴오프하여 주스위치의 영전압 스위칭을 이루기 때문에 위 식에서 공진 전류가 0이하로 되는 지점에서 ZVS조건을 만족시킬 수 있다. 따라서 ZVS가능구간은 식(1)의 음의 반주기로 정의 될 수 있다. 그리고 두 번째 조건은  $S_1$ 이 ZVS를 되기 위해서  $t_5$ 와  $t_6$  사이에 스위치가

턴 온 되어야 한다. 만약 그렇지 않으면, 공진 인덕턴스 전류가 바뀌게 되어  $C_r$ 이 다시 충전된다. 그러면  $S_1$ 의  $V_{DS}$ 가 다시 양으로 되어 ZVS 조건을 잃게 된다. 이 지연시간의 최적값은  $L_r(L_{leakage}+L_r)$ 과  $C_r$ 에 의한 공진 주기의 1/4이다.

$$T_{\text{delay}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{L_r C_r} \quad (2)$$

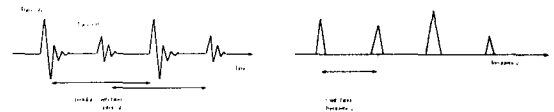
엄밀히 말해서,  $C_r$ 은 가해준 전압의 함수이지만, 특히 작은  $V_{DS}$ 에서, 그렇지 않다고 가정함으로써 식(2)를 간단한 식으로 본다. 또한  $S_1/S_2$ 의 지연 시간은  $S_1$ 스위치의 기생 캐패시터가 완전하게 방전할 수 있도록 하기 위해  $L_r$  내에 에너지가 충분히 저장될 수 있는 시간이어야 한다. 이 조건은  $t_4 \sim t_5$ 에서 유용하다. 결국 이 두 가지 조건을 만족하는 범위에서 스위칭 변조가 가능하다.<sup>[1]</sup>

## 3. Random 스위칭 주파수 변조제어

### 3.1 RPWM 스위칭 기법

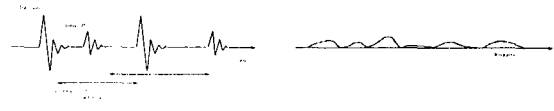
AC-DC컨버터에 있어서 일반적으로 출력전압은 주 스위치의 온-오프 주기를 변화시킴으로써 제어된다. 그림 4에서 보는 것과 같이 PWM제어는 정상상태에서는 컨버터의 온-오프 주기가 일정하므로 턴-온과 턴-오프의 노이즈는 규칙적인 간격으로 발생하며 간격은 컨버터의 스위칭 주기와 같게 된다. 일반적인 PWM의 스위칭 노이즈 스펙트럼의 경우 연속적인 형태로 발생하며 특정 주파수 혹은 스위칭 주파수의 배수로서 집중하게 된다.

반면에 그림 5에서와 같이 스위칭 주파수를 랜덤하게 변화시킨다면 주파수 스펙트럼 상에서 노이즈의 피크치가 감소하게 된다. 이러한 방법은 컨버터의 출력전압을 제어하면서 스위칭을 랜덤화 함으로써 얻어질 수 있다. 스위칭 노이즈는 랜덤한 스위칭에 의하여 특정 주파수나 스위칭 주파수의 배수에 집중하지 않게 되어 일반적인 PWM방법보다 전도노이즈 레벨이 감소하게 된다.



(a) 파형 (b) 스펙트럼

그림 4. PWM 스위칭노이즈 파형과 스펙트럼



(a) 파형 (b) 스펙트럼

그림 5. RPWM 스위칭 노이즈 파형과 스펙트럼

### 3.2 스위칭 변조에 의한 주파수 특성

그림 6은 주파수 변조 효과를 나타내는데,  $f_c$ 는 반송파(carrier) 주파수이고  $f_m$ 는 변조주파수,  $\Delta f$ 는 주파수 변화의 크기,  $A_{RPWM}(t)$ 는 변조파이다. 이들 결과식은 식(3)과 같다.

$$A_{RPWM}(t) = A_1 \cos \omega_1 \left( 1 + \frac{\Delta f}{f_c} \cos \omega_m t \right) \quad (3)$$

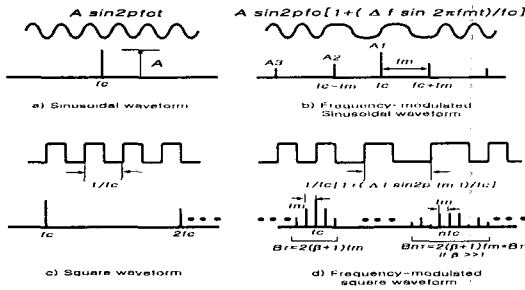


그림 6. 변조된 신호의 스펙트럼

그림 6(a)에서  $f=f_c$ 인 경우 변조되지 않은 신호와 형태보다 변조된 파형의 크기가 감소함을 알 수 있다. 또한 그림 6(b)에서 그림 6(a)의 크기가 분산됨을 알 수 있고 반송파 주파수를 기준으로 분산되는 밴드의 폭은 변조주파수의 배수로서 이산된다.

변조지수는  $\beta = \Delta f / f_m$ 에 따라 신호의 크기와 이산된 정도가 결정되는데, 이 변조지수( $\beta$ )를 결정하는 방법에는 칼슨(Carson)의 법칙과 베셀(Bessel) 함수표를 이용하는 방법이 있다. 이 방법들을 이용함으로써 변조지수에 의해 신호의 크기나 이산된 정도를 알아낼 수 있다.<sup>[4][5][6]</sup>

### 4. 시뮬레이션 및 실험결과

능동클램프 ZVS 플라이백 컨버터의 전도 노이즈 저감을 위한 RPWM기법의 타당성을 입증하기 위해 입력전압 AC 110[V], 출력전압 DC 48[V], 출력력 300[W]급의 능동클램프 ZVS 플라이백 컨버터를 설계하여 시뮬레이션 및 실험을 수행하였다.

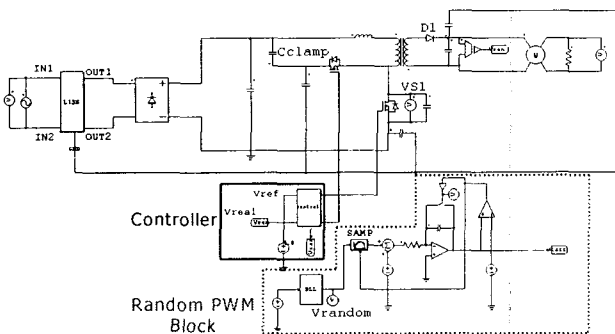
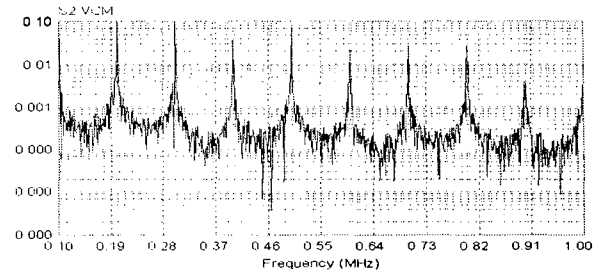
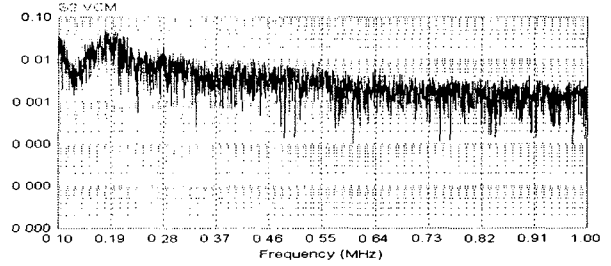


그림 7. RPWM을 적용한 능동클램프 ZVS 플라이백 컨버터 시뮬레이션 회로도



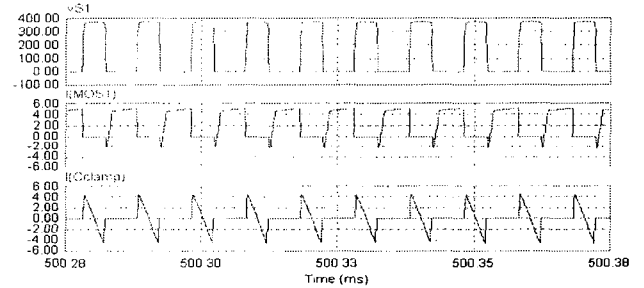
(a) PWM적용(100[kHz])



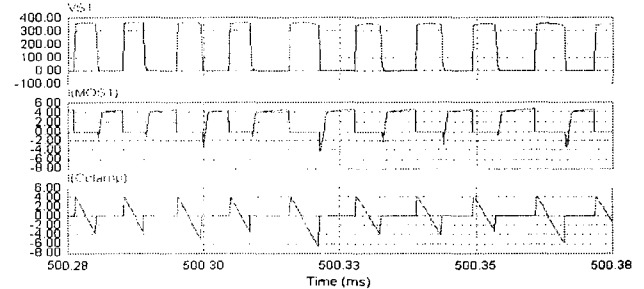
(b) RPWM적용(랜덤신호 20%주입)

그림 8. 전도성 잡음 주파수 스펙트럼

그림 8은 전도성 잡음 주파수 스펙트럼을 log scale로 나타낸 것으로 PWM을 적용했을 때는 스위칭 주파수 스펙트럼 레벨이 높게 나타나지만, RPWM을 적용했을 때는 주파수 스펙트럼 레벨이 고르게 분산되는 것을 볼 수 있다.



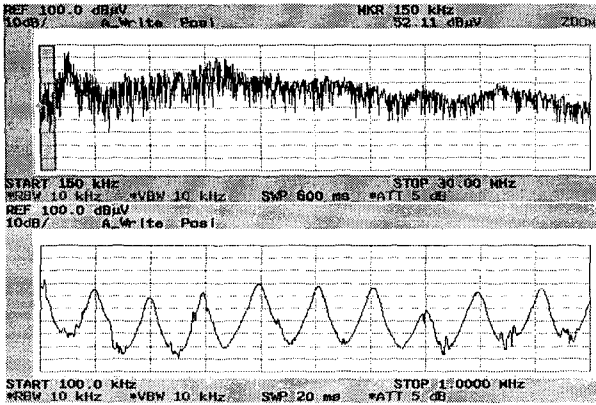
(a) PWM(100[kHz])



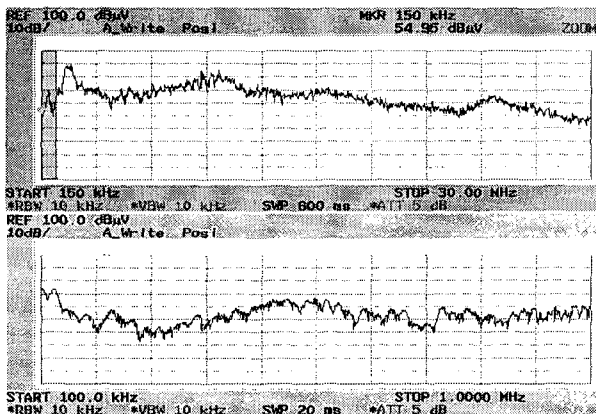
(b) RPWM(랜덤신호 20%주입)

그림 9. PWM, RPWM 입력시 회로 각부파형

그림 9에서  $S_1$ 은 주 스위치 양단의 드레인 소스 전압 파형과 주 스위치 전류  $I_{(MOS1)}$ 으로부터 영전압 스위칭이 이루어 짐을 확인할 수 있으며 클램프 커패시터( $C_{clamp}$ )로부터 기생성분이 클램핑 됨을 알 수가 있다.



(a) 100kHz~30MHz와 100kHz~1MHz (PWM기법)



(b) 100kHz~30MHz와 100kHz~1MHz RPWM기법(랜덤신호 20%주입)

그림 10. 전도성 잡음 주파수 스펙트럼

그림 10은 PWM과 RPWM방식을 적용했을 때 나타난 전도노이즈 스펙트럼이다. 각각 1MHz구간까지 확대했을 때 시물레이션과 유사한 형태의 스펙트럼을 확인할 수 있다.

RPWM의 100kHz~30MHz구간까지의 스펙트럼은 약 5dB $\mu$ V정도의 피크치가 감소하였다.

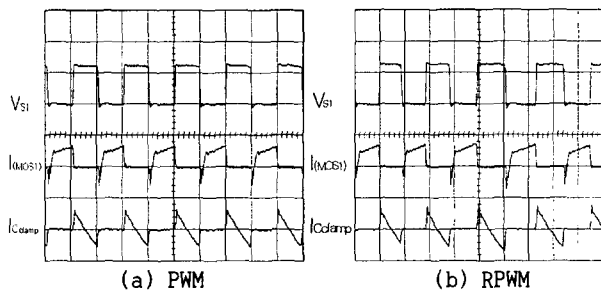


그림 11. PWM, RPWM 인가시 파형(300 V/div, 4 A/div)

PWM과 RPWM기법에 대하여 그림 9의 시물레이션 결과와 그림 11의 실험 결과가 서로 일치하였다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 능동클램프 ZVS 플라이백 컨버터

의 공진주파수를 능동클램프회로를 이용하여, 영전압 스위칭 조건하에 스위칭 랜덤화를 만들어 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 보조스위치를 이용한 능동클램프 ZVS 회로는 기존의 FM방식의 공진형 컨버터와는 달리 영전압 조건을 만족하는 범위에서 스위칭 변조가 가능하다.

2) RPWM방식의 랜덤화 변조율이 커질수록 출력전압 오차가 발생하게 된다. 그러므로 출력전압 추종과 전도 노이즈 저감을 고려할 필요가 있다.

하지만 ZVS조건을 만족하는 범위에서 변조를 하면 변조율이 작기 때문에 적은 출력전압오차가 생긴다.

3) 능동클램프 ZVS 플라이백 컨버터의 장점인 스위치 스트레스, 스위칭 손실, 기생에너지회생 특징에는 영향이 없었다. 그러나 약간의 출력전압, 전류의 맥동이 생긴다는 단점은 있다.

4) 제한된 RPWM방식을 통해 약 5dB $\mu$ V정도의 전도노이즈 레벨을 저감 할 수 있었다.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R01-2001-0306)지원으로 수행되었음

## 참 고 문 헌

- [1] Watson, R.; Lee, F.C.; Hua, G.C.; "Utilization of an active-clamp circuit to achieve soft switching in flyback converters," Power Electronics, IEEE Transaction on, Volume: 11 Issue: 1, Jan, 1996 pp. 162-169
- [2] 이우석외 4인; "RF발생기용 고성능 능동 클램프 ZVS 플라이백 컨버터에 관한 연구," 전력전자 학술대회 논문집 pp. 534-537 2001, 7
- [3] Ge Li, Shoyama M, Ninomiya T and Inoue T.; "Common-mode noise reduction in DC-DC converters by common source type active-clamp technique," power electronics specialists conference, 2001. PESC. 2001 IEEE 32nd Annual, Volume: 4. 2001 pp. 1773-1778 vol.4
- [4] 박석하, 김양모; "RPWM 제어를 통한 전도성 EMI와 EMI 잡음의 억제와 고조파 스펙트럼의 향상," 전자공학회논문지 pp. 116-123 1999, 3
- [5] F.Mihalic, T. Bezjak and M.Milanovic.; "Improved harmonic spectrum and reduced EMI in boost converter by using the random modulation," EPE '97 pp. 366-371, 1997.
- [6] Mahdavi, J.; Kaboli, S.; Toliyat, H.A.; "Conducted electromagnetic emissions in unity power factor AC/DC converters: comparison between PWM and RPWM techniques," Power Electronics Specialists Conference, 1999. PESC 99. 30th Annual IEEE, Volume: 2, 1999 pp. 881-885 vol.2