

스너버 회로를 위한 TVS 소자의 활용 연구

이완윤*, 정교범**

*(주)오토닉스 제어계측연구소, **홍익대학교 전자전기컴퓨터공학부

A Study on the application of TVS for snubber

Wan-Yun Lee* and Gyo-Bum Chung**

*Autonics Corp., **Hongik University

ABSTRACT

The switching device in an inductive circuit is stressed by the over-voltage at the turn-off time. Thus if the peak value of the over-voltage is not properly limited, the switching device may be broken. Therefore, the snubber circuit should be added to protect the switching device from the over-voltage. The circuit designer must be familiar with the design of the snubber. This paper tests the possibility that TVS instead of the conventional snubber can be applied to the protection circuit of the switching device without using the complicated design equations, and shows that the rating of TVS can be easily selected by considering only several parameters of TVS. The experimental results show the reduced switching voltage of the switching device at the turn-off time.

1. 서 론

스너버(Snubber) 회로는 전력용 반도체 스위칭 소자의 턴-온 손실을 줄이거나 턴-오프와 환류다이오드(Free-wheeling diode)의 역회복 서지 전압(Recovery surge voltage)을 제어하는데 사용된다.

IGBT나 혹은 MOS-FET을 사용한 전력변환 회로에 사용되는 스너버는 일반적인 바이폴라 트랜지스터(Bipolar transistor)를 사용한 전력변환 회로의 스너버와는 다르게 설계되어진다. 즉, IGBT, MOS-FET은 바이폴라 트랜지스터에 비하여 우수한 안전동작영역(Safe Operating Area : SOA)을 가지고 있으므로 역바이어스 안전동작영역(Reverse Bias Safety Operating Area : RBSOA)에 대한 스

너버를 필요로 하지 않는다. 따라서 과도전압(Transient voltage)을 제어하기 위한 스너버만 필요로 한다. 그리고 IGBT나 MOS-FET을 사용한 전력변환 회로는 바이폴라 트랜지스터를 사용한 회로에 비하여 높은 주파수에서 동작하므로 스너버는 스위칭 소자를 통해 매 주기마다 원활하게 방전되어진다.^{[1][2]}

일반적으로 반도체 스위칭 소자의 턴-온시의 스트레스로 인한 손실을 줄이기 위해 RLD 스너버를 사용하며, 턴-오프시에는 역회복 서지 전압을 줄이기 위한 목적으로 RC, 혹은 RCD 스너버를 적용한다. 이 중 RC 스너버는 회로 자체에 손실이 크며, 고주파 회로에는 적당하지 않다. 또한 설계에 있어서 실제 스위칭 소자의 턴-오프시의 과도 전압을 관측하고 제한하고자 하는 전압 이하로 저감하기 위해 몇 가지의 식을 이용하여 설계한다. 그리고 이 설계과정에는 경험적인 요소를 많이 필요로 하며, RC를 하나의 패키지내에 사용한 RC-Unit가 있으나, 이것 역시 제한된 값으로만 사용되는 단점이 있다.^[3]

본 논문에서는 MOS-FET를 스위칭 소자로 사용하는 Flyback 형태의 SMPS에 기존의 RC 스너버 대신 고속 제너다이오드의 일종인 TVS를 적용한다. TVS의 스너버 회로 적용은 고주파 스위칭 회로에 적합하며, 계산 과정이나 혹은 경험적인 설계방법을 필요로 하지 않는다.

2. RC 스너버 회로

그림 1은 반도체 스위칭 소자에 RC 스너버를 적용한 회로이다. 이 회로에서 스위치에 흐르는 전류를 i_c 라 하고, 반도체 스위칭 소자 양단에 인가되는 전압을 v_{DS} 라 한다면 스너버 커패시터 C의 전

압 v_C 는 식(1)과 같이 계산된다.^[4]

$$v_C = v_{DS} e^{-t_{on}/RC} \quad [V] \quad (1)$$

식(2), (3)은 스위치 전압 상승 시간 t_r [us]와 하강 시간 t_f [us]에 따른 스너버 커패시터 C와 저항 R의 값을 각각 나타낸다.

$$C = \frac{i_c(t_r + t_f)}{v_{DS}} \quad [F] \quad (2)$$

$$R = \frac{t_{on}}{3C} \quad [\Omega] \quad (3)$$

여기서, 스너버 저항 R의 값은 식(4)의 스너버 방전 전류 i_{dis} 의 25[%]의 범위를 만족해야 하며, 이때의 저항의 최대 소비전력 P_R 은 식(5)와 같다.

$$i_{dis} = \frac{v_{DS}}{R} \quad [A] \quad (4)$$

$$P_R = \frac{C v_{DS}^2 f}{2} \quad [W] \quad (5)$$

식(2)~(5)에 의해 구해진 RC 스너버는 반도체 스위칭 소자가 턴-오프 할 때 다음의 식(6)에 상당하는 에너지를 가지게 된다.

$$E = \frac{i_c v_{DS}(t_r + t_f)}{2} \quad [J] \quad (6)$$

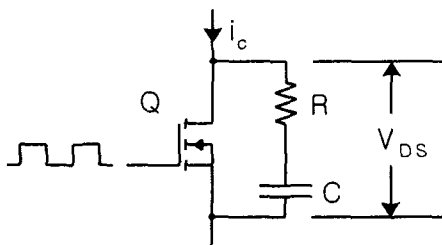


그림 1 RC 스너버 회로

그림 2는 그림 1의 반도체 스위칭 소자에 인가되는 전압 v_{DS} 의 파형을 나타낸다.

그림 2에서 스위치가 턴-오프 한 후 초기 과도 전압 ΔV_1 이 발생하며, t_{pp} 만큼의 시간이 흐른 후 스너버 커패시터가 충전되면서 과도전압 ΔV_2 가 발생하게 된다.

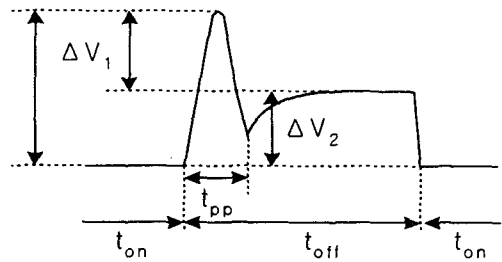


그림 2 스너버를 사용한 경우의 턴-오프 파형

3. TVS의 스너버 적용

TVS는 Spike 전압 등의 과도 상태의 전압으로부터 민감한 소자를 보호하기 위하여 적용하는 것으로 극히 짧은 시간동안 큰 에너지에 대하여 견딜 수 있어야 한다. TVS는 보통 400~5000[W] 정도의 정격 전력치를 가지며, 이 전력치는 1[ms] 시간동안의 에너지로 전환된다.^[5]

그림 3은 유니폴라 TVS의 전형적인 전압-전류 특성을 나타낸 것으로 각 파라미터의 설명은 다음과 같다.^[6]

1. V_{BR} [V] (Breakdown voltage) : TVS가 과도 상태에서 저임피던스 상태가 시작되는 점의 전압
2. V_{ST} [V] (Stand-off voltage) : 과도 전압 제한이 이루어지지 않는 최대 직류 전압
3. I_R [A] (Maximum reverse leakage current) : 동작 전압에서 측정되는 최대 전류
4. I_{PP} [A] (Maximum peak pulse current) : 허용 가능한 최대 썬지 전류
5. V_C [V] (Maximum clamping voltage) : 최대 썬지 전류가 TVS를 통해 흐를 때 양단에 나타나는 전압

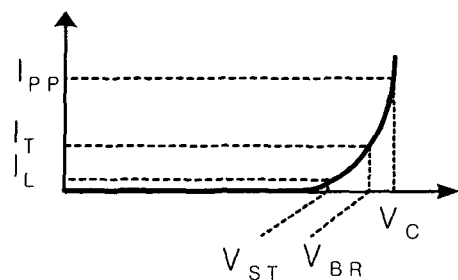


그림 3 유니폴라 TVS의 전압-전류 특성 곡선

TVS를 RC 스너버에 적용하기 위해서 우선 고려되어야 할 사항은 TVS의 최대 허용 전력치 P_{PK}

가 식(6)의 RC 스너버가 가지는 에너지와 같거나 커야한다. 이 관계를 수식으로 표현하면 식(7)과 같다.

$$E[J] \leq \frac{P_{PK}[W]}{t_{pp}[s]} \quad (7)$$

여기서 시간 t_{pp} 는 TVS가 반도체 스위칭 소자가 턴-오프한 후 초기 과도 전압이 발생하는 시간으로 반도체 스위칭 소자를 과도 전압으로부터 보호하기 위해 TVS가 저임피던스로 동작해야 할 시간이다.

다음으로 TVS를 스너버에 적용하기 위해서는 TVS의 항복전압 V_{BR} 이 그림 2의 반도체 스위칭 소자 양단에 나타나는 정상상태 전압 ΔV_2 와 같거나 커야하며, 식(8)과 같다.

$$\Delta V_2 \leq V_{BR} \quad (8)$$

4. 실험

본 논문에서 TVS를 스너버에 응용할 회로는 그림 4의 Flyback 형태의 SMPS이다. 표 1은 SMPS의 자세한 사양을 나타낸다.

표 1 SMPS 정격 사양

파라미터	값	단위
입력전압 V_i	110	[VAC]
출력전압 V_o	12	[VDC]
정격용량 P_o	50	[W]
스위칭 주파수 f_s	93.5	[kHz]

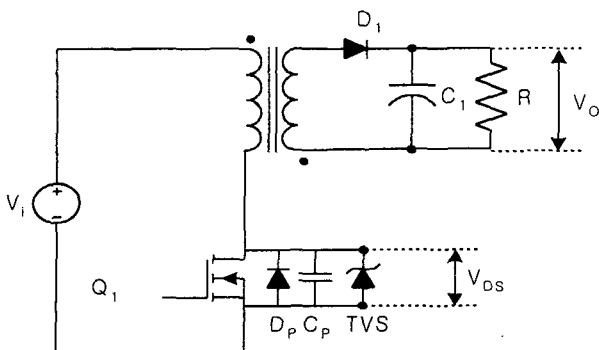


그림 4 적용된 Flyback 컨버터

사용한 MOS-FET은 2SK955로 자세한 사양은 표 2에 나타낸다.

표 2 사용한 MOS-FET의 파라미터

파라미터	값	단위
드레인-소스 전압 V_{DS}	800	[V]
드레인 전류 I_D	5	[A]
최대 전력 P_P	125	[W]
온-저항 R_{on}	2	[Ω]

실험에 사용된 TVS는 600[W]의 최대 허용 전력 P_{PK} 를 가지는 P6KE-200A로 자세한 파라미터는 표 3에 나타낸다.

표 3 적용된 TVS의 파라미터

파라미터	값	단위
Breakdown voltage	$V_{BR(max)}$	190 [V]
	$V_{BR(min)}$	210 [V]
Maximum reverse leakage current I_R	5	[A]
Maximum clamping voltage I_C	274	[V]

그림 5는 표 1의 사양을 가지는 SMPS에 식 (2)~(5)를 만족하는 범위내에서 0.1[nF]의 스너버 커패시터와 22[Ω]의 스너버 저항을 직렬 연결하고 무부하 상태에서 동작시켰을 경우의 RC 스너버 양단에 나타나는 전압 v_{DS} 를 관측한 것으로 최대 234[V]의 피크-피크값을 가진다.

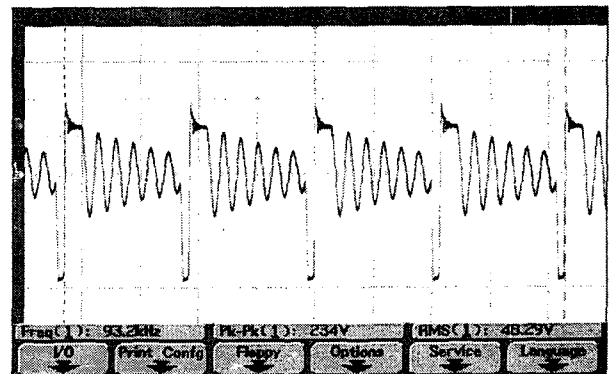


그림 5 무부하시의 RC 스너버 양단 전압 V_{DS}

그림 6은 정격 부하시의 RC 스너버 양단에 나타나는 전압 v_{DS} 로 MOS-FET이 턴-오프하는 순간에 최대 356[V]의 피크-피크 전압이 관측되었다.

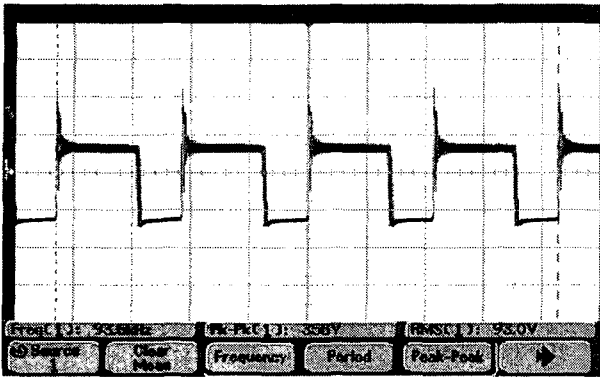


그림 6 정격 부하시의 RC 스너버 양단 전압 V_{DS}

그림 7은 RC 스너버 대체하여 표 3의 사양을 가지는 P6KE-200A TVS를 무부하 상태에서 적용한 경우의 MOS-FET 양단 전압 v_{DS} 이다. 관측된 파형의 피크-피크 전압은 최대 267[V]로 그림 5의 RC 스너버에 비하여 14.1[%] 증가하였다. 그러나 RC 스너버의 파형과 비교하여 진동이 현저히 줄어드는 것을 볼 수 있다.

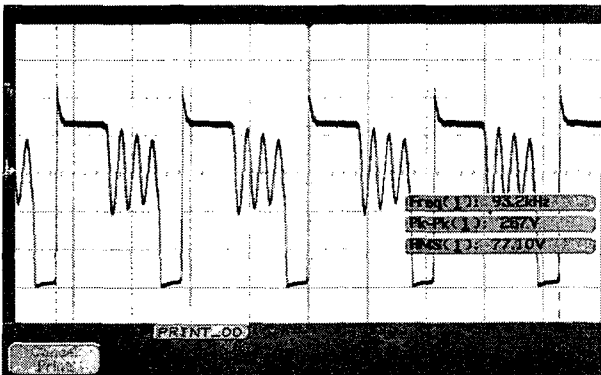


그림 7 무부하시의 TVS 양단 전압 V_{DS}

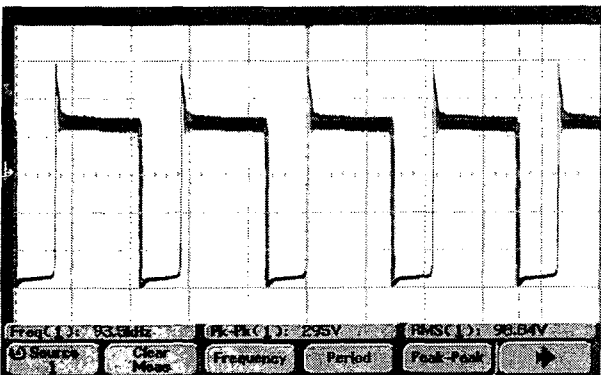


그림 8 정격 부하시의 TVS 양단 전압 V_{DS}

그림 8은 정격 부하시의 MOS-FET 드레인-소스 양단 전압 v_{DS} 를 관측한 것으로 그림 6의 RC 스너버의 경우와 비교하여 피크-피크 전압은 20[%]

이상 감소한 295[V]로 나타났다. 또한 MOS-FET 이 턴-오프 한 다음에 일어나는 진동이 감소함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 설계 과정에서 스너버 없이 반도체 스위칭 소자의 스위칭 파형을 관측하고 이를 토대로 일정한 계산 과정을 거쳐 선택되는 기존 RC 스너버를 대체하여 몇가지 파라미터만을 검토하여 적용할 수 있는 TVS 소자를 스너버 회로에 적용하였다.

실험 결과로는 무부하시 기존 RC 스너버에 비하여 14.1[%]의 피크-피크 전압이 증가하는 현상을 보였지만, 스위치 턴-오프후에 나타나는 진동 현상이 현저히 줄어들음을 볼 수 있었다. 또한 정격 부하에서의 실험에서는 피크-피크 전압이 20[%] 이상 감소하며, 진동 현상도 줄어드는 것을 알 수 있었다. 따라서 TVS를 스너버 회로에 적용한다면 낮은 정격 내압을 가지는 반도체 스위칭 소자를 사용할 수 있으며, 노이즈의 원인이 될 수 있는 스위칭 진동도 저감 할 수 있다.

실험한 회로는 정격 출력 50[W]의 Flyback 컨버터이다. 향후 100[W] 이상의 여러 형태의 컨버터에 대한 적용도 고려되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 이완윤, "PS-FB-ZVS PWM 컨버터를 이용한 마그네트론 구동용 전원장치 설계", 홍익대학교 석사학위논문, pp26~31, 2001. 12.
- [2] Mohan, Undeland, Robbins, "POWER ELECTRONICS Converters, Applications and Design, 2nd Edition", John Wiley & Sons, pp.669~695, 1995.
- [3] SHINSHIN Capacitor, "Capacitor selection guide", 2001. 7.
- [4] George chryssis, "High-frequency switching power supplies : Theory and design". McGRAW-HILL, pp60~63, 1984
- [5] Littelfuse Inc., "Transient suppression device and principles", application note, 1998. 1.
- [6] Bin Yu, etc., all, "Punch through Transient Voltage Suppressor for EOS/ESD Protection of Low-Voltage IC's", Journal of Electrical Overstress /Electrostatic Discharge Symposium Proceedings, Volume 2, pp 27~33, 1995. 9.