

스위칭 전원장치가 입력변압기에 미치는 영향

오 상 록*, 김 병권, 성 세진, 이 흥호, *한 경희
충남대학교 전기공학과 *한전기술연구원

Effects of switching power supply on input transformer

Sang-Rok Oh, Byung-Kweon Kim, Se-Jin Seong, Heung-Ho Lee, *Kyung-Hee Han
Dept. of Electrical Eng. Chungnam National Univ. * KEPCO Research Center.

Abstract

In this paper, it is considered spike voltage that is generated by ignoring the recovery time of switching device, turn on and turn off time.

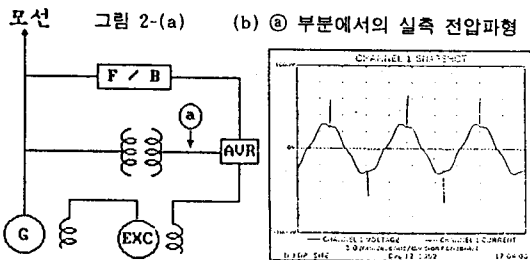
In the same principle, this spike voltage will be applicable to diode recovery time.

The spike voltage causes to break down insulation of input transformer. So, we will show how to remove spike voltage by optimizing value of R and C and using switching diode which have fast recovery time.

1. 서론

스위칭 전원장치는 소형, 경량, 고효율이라는 특성을 가지고 있기 때문에 전기전자기에 필수적인 존재가 되었다. 특히 전력용 반도체 스위칭 소자의 성능향상 및 개발과 더불어 전력전자분야의 응용이 산업체 전반으로 확산되면서 적용분야에 다양한 전력변환 장치가 요구되고 있다. 그러나 주스위칭소자의 턴온 및 턴오프 시간과 피드백 다이오드의 역회복시간을 무시한 경우에 발생하는 spike 노이즈는 타기에 심한 장애를 초래하여 고장을 야기시킨다. 본 논문에서는 발전기 여자에게 공급하는 가변 직류전원장치인 AVR에 의한 spike가 입력 변압기에 커다란 stress를 주어 소손되는 원인을 알아보고 PSPICE 시뮬레이션을 통해서 그 해결책으로 최적의 회복시간을 갖는 소자선택과 RC회로를 병렬로 구성하고자 한다.

2. 회로구성

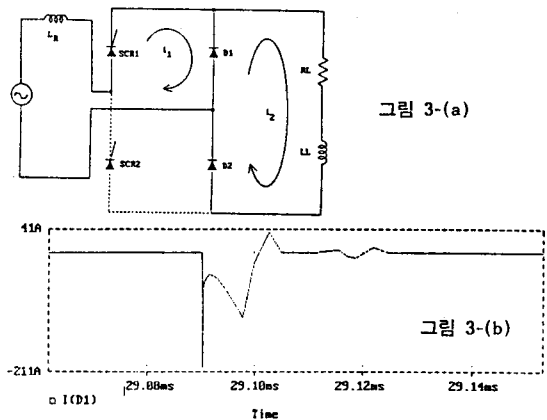


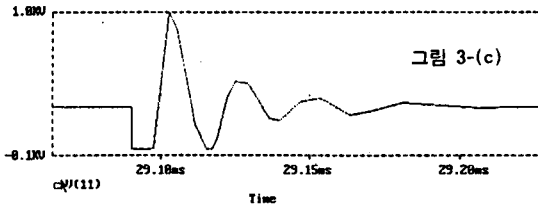
그림(2-a)는 발전기 여자에게 공급하는 가변 직류전원을 얻기 위한 그림이며, AVR은 단상혼합브리지를 사용한 회로이다. 그러나 이 혼합브리지에서 보통 전류중복현상으로 인한 spike전압으로 입력변압기에 stress를 주어 결국 입력변압기가 소손되는 결과를 초래한다.

3. 전류중복현상

그림 (3-a)에서 SCR1이 턴온 순간에 다이오드D1에는역전압이 유기되어 그림(3-b)와 같이 순간적인 역방향전류가 흐른다. 이는 다이오드 PN접합에 축적된 전하가 순간적으로 접합부분에서 소멸될 수 없다는 것이다. 전류는 그림(3-a)와 같이 흐른다. 이 비정상적으로 다이오드를 통한 큰 역방향전류에 대한 이유는 축적된 전하는 순간적으로 바뀔 수 없다는 것이다. 따라서 전류가 반전되는 바로 그때 접합의 전압은 $t=0$ 이전에 가지고 있던 순방향 바이어스에서의 값을 그대로 유지한다. 그래서 정상적인 역방향 포화전류보다는 훨씬 큰역방향전류가 축적전하의 재조정에 필요한 시간동안 다이오드 PN접합내부를 흐를 수 있다는 것이다.

이 축적된 전하는 접합 근처에서 없어진다. 즉 시간이 경과함에 따라 역방향 전류의 크기는 더욱 작아져서 축적된 전하가 0으로 된다. 다음 그림(3-c)은 전류 중복현상이 일어나고 있음을 보여주는 PSPICE에 의한 시뮬레이션 결과이다.





그림(3-a)에서 SCR1이 온되는 순간에 다이오드D1에는(그림 3-b)순간적인 역전류가 흐르는 전류 증폭 현상이 일어난다. 그림 (3-c)에서 보는것처럼 i_1 루프가 형성됨으로서 순간적 단락이 발생하여 입력전압이 0이 됨을 본다.

4. 역회복시간의 영향

턴 오프시 다이오드에 축적되는 전하의 현상을 역회복현상이라 하며, 다이오드에 축적된 전하에는 소수 캐리어에 의한 축적된 전하 Q_0 와 다수 캐리어에 의한 회복 전하 Q_r 이 있다. Q_0 는 내부에서 재결합에 의해 소거되지만 Q_r 은 역 회복전류 I_r 을 발생시켜 over-shoot, 발열, 기생 발전의 회복현상을 야기시킨다. 이 회복현상에 따라 다이오드를 분류하면 recovery 형태로 분류하면 progressive recovery diode와 fast recovery diode로 구분된다.

progressive recovery diode fast recovery diode

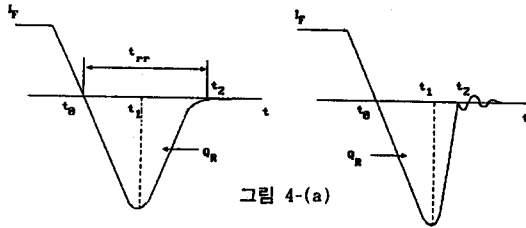


그림 4-(a)

역회복시간을 실제 실험을 통하여 구한 식은

$$t_{rr} = \sqrt{\frac{3Q_R}{\frac{di_F}{dt}}}$$

으로 표현할 수 있다. ($t_{rr} = t_2 - t_0$)

이 식으로 표현된 t_{rr} 의 영향이 입력변압기에 발생하는 spike전압의 크기에 영향을 미치고 있음을 다음과 같이 시뮬레이션을 통해 확인해 볼 수 있다.

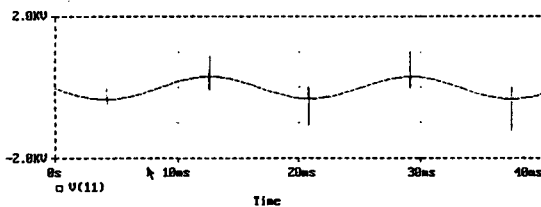


그림 4-(b)

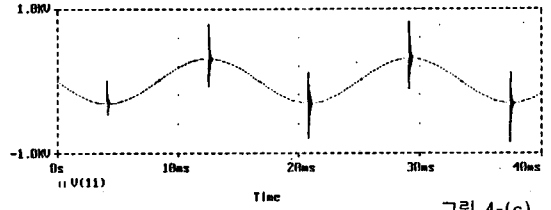


그림 4-(c)

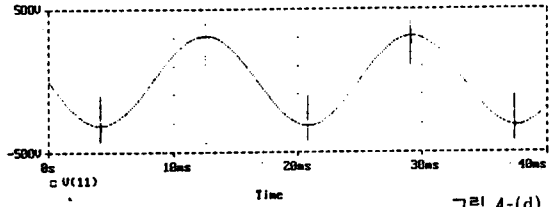


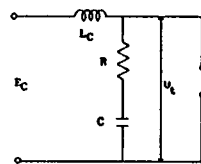
그림 4-(d)

t_{rr} 의 영향에 의해 커다란 spike 전압이 일어남을 알 수 있다. 그림 4- b) 1ms c) 500us d) 100ns 일때 t_{rr} 의 영향에 따라 spike전압이 큰차이가 있음을 볼 수 있었으며 t_{rr} 의 영향이 spike전압에 크게 미치고 있음을 알 수 있다.

5. RC 구성

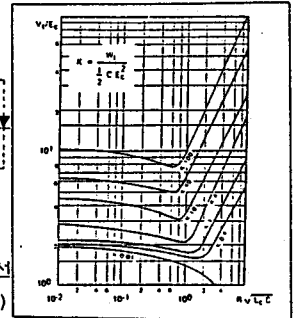
변압기의 누설 인덕턴스 L_c 에 축적된 에너지가 방전되지 않으면 서어지전압때문에 다이오드가 파괴될 수 있으므로, 그림 (5-a)와 같이 다이오드 양단에 RC회로를 병렬로 연결하여 보호해준다. 여기서 C는 L_c 에서의 에너지를 축적하고 R은 에너지를 소모해 주는 역할을 한다.

그림 5-(a)



RC 특성곡선

그림 5-(b)



스위치가 개방되는 순간 누설 인덕턴스 L_c 에 축적되는 에너지는

$$W_L = \frac{1}{2} L_c i^2 \text{ 으로 되고}$$

$$E_C = L_c \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt \text{ 이므로}$$

캐패시턴스 양단전압을 V_c 라 하면

$$E_C = L_c C \frac{d^2 V_c}{dt^2} + R C \frac{dV_c}{dt} + V_c \text{ --- (4-1)}$$

로된다.

(4-1) 식으로 부터 임계 damping인 경우

$$R^2 C^2 - 4L_c C = 0$$

$$\frac{R}{\sqrt{\frac{L_c}{C}}} = 2$$

저항 R의 선택은 $0.1 \leq \frac{R}{\sqrt{\frac{L_c}{C}}} \leq 1$ 의

조건에 맞게 설정되어야 한다.

$$\frac{dI_F}{dt} = \frac{E_c}{L_c} = \frac{314}{2 \times 10^{-4}} = 1.57 \text{ [A/}\mu\text{s]}$$

에너지 손실은

$$W_t = E_c \times Q_R = L_c \left(\frac{dI_F}{dt} \right) Q_R$$

$$= 2 \times 10^{-4} \times 1.57 \times 10^6 \times 20 \times 10^{-6} = 0.0625 \text{ (J)}$$

(Q_R 은 다이오드 특성곡선에 의하여 $20\mu\text{C}$)

서어지 전압은 628 (V)라 가정하면

$$Q = \frac{V_t}{E_c} = \frac{628}{314} = 1.68 \quad K = \frac{W_t}{W_c} = \frac{W_t}{0.5CE_c^2}$$

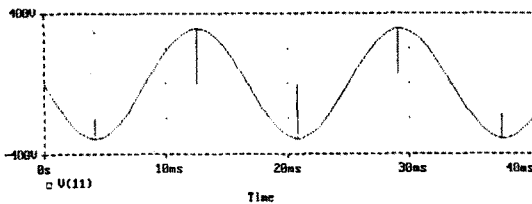
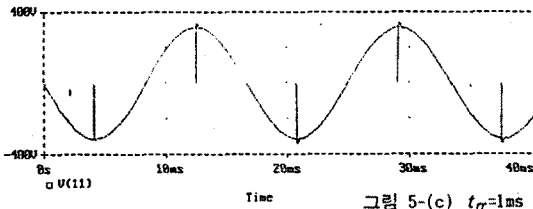
$$C = \frac{2W_t}{KE_c^2} = 2 \times \frac{0.0625}{14 \times 314^2} = 3.18 \times 10^{-6} \text{ [F]}$$

$R/\sqrt{L_c/C} = 0.8$ 이라하면

$$R = 0.8\sqrt{L_c/C} = 0.8\sqrt{(2 \times 10^{-4})/(3.18 \times 10^{-6})}$$

$$= 6.34 \text{ [}\Omega\text{]}$$

로써 파라미터를 결정할 수 있고 이 값에 의한 PSPICE 시뮬레이션에 의한 파형은 다음과 같이 개선됨을 알 수 있다.



실제회로에는 RC snubber 가 붙어있으나 그값이 적당치

못해 spike 전압이 생김을 알 수 있었고 전원측에 snubber 회로의적당한 R,C 값을 선정하여 시뮬레이션한 결과 t_r 의 영향을 줄이고 spike전압이 거의 무시할 정도로 줄어듬을 확인 할 수 있었다.

6. 결론

위와 같은 고찰로부터 입력변압기를 소손시키는 원인은 다이오드의 전류중복현상에 의해 야기된 spike전압임을 확인하였다. 또한 이 spike전압을 감소시킬 수 있는 방안을 제시하였다.

1. free wheeling diode 로써 fast recovery time 갖는 switching diode를 채택함으로써 spike의 값을 감소시킬 수 있다.
2. 입력측에 RC회로를 병렬로 삽입하여 입력전압파형을 개선 하였다.

결론적으로 회로내의 적당한 스너버회로의 R,C 값선정과 free wheeling diode 로써 fast recovery time 갖는 스위칭 다이오드를 사용해야 한다는 결론에 도달하였다.

참고 문헌

1. Grundlagen der leistungselektronik K.Heumann B.G Teubner stuttgart p 69 - 78
2. H.Tunia and A.wojciak surge suppressor's design by means of nomograms IFAC p 345 - 353 (1978)
3. Solid state Electronic Devices BEN G. STREETMAN p 166 -190
4. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONIC, VOL. 36 AUGUST 1989, P 451-455