

# dc/dc 컨버터의 스위칭 소자의 전압 스트레스

마근수, 최진호, 김양모  
충남대학교 전기공학과

## Voltage Stress of Switching Device in dc/dc Converter

K.S.Ma, J.H.Choi, and Y.M.Kim

Dep't of Electrical Engineering  
Chung-nam National University

### ABSTRACT

This paper deals with the stress of the converters using the resonant switches. It is represented the reduction of the voltage and current stresses. According to the configuration of the multiple poly-phase converter. Especially, about buck ZVS-QRC it is studied the reduction of the voltage stress, and represented the result of simulation.

### 1. 서론

전자기기의 경량화, 박형화와 함께 전원에도 소형, 경량화가 요구되어 스위칭 주파수를 높임으로써 전력인덕터, 출력필터의 크기 및 중량을 감소시킬 수 있었다. 그런데 스위칭 주파수가 높아짐에 따라 스위칭 소자의 턴 온, 턴 오프시 스위칭 손실이 증가하게 되는데 이 손실을 줄이기 위하여는 ZCS(Zero Current Switching), ZVS(Zero Voltage Switching)과 같은 공진형 스위치가 사용되고 있다.

그림 1에서 보는 바와 같이, 종래의 강제 턴 오프 스위칭 동작은 순간적으로 높은 전압, 전류의 지역을 지나게 된다. 반면, 공진 스위치는 부하폭선이 전압, 전류의 0축을 따라 움직인다. 그러므로 공진 스위치는 순간적으로 높은 전압, 전류가 나타나지 않기 때문에 스위칭 소자의 스위칭 스트레스와 손실을

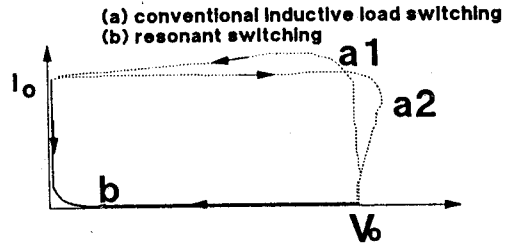


그림 1. ZV /ZC 부하폭선

최소화할 수 있다.

이 공진형 스위치는 스위칭 손실을 줄일 수 있는 반면, 문제점을 포함하고 있는데 그 중 대표적인 것으로 ZCS에서는 스위칭 소자의 전류 스트레스, ZVS에서는 전압 스트레스가 발생하며 이들 스트레스는 공진회로의 회로 정수값과 부하조건에 의해 결정된다.

스위칭 소자의 정격전류보다 부하전류가 큰 경우 전류 흐름의 다중화에 의해 전류제한을 극복하게 되는데 이때 다중화와 함께 다상회로로 구성되어 사용하는 것이 일반적이던 본 논문에서는 dc-dc 컨버터를 다상다중화 시키고 스위치는 공진형 스위치를 사용할때 스위치의 전압 및 전류 스트레스에 대하여 해석하여 보았다.

### 2. 공진형 스위치와 컨버터

2-1 QRC(Quasi-Resonant Converter)와 MRC(Multi-Resonant Converter)

공진형 스위치는 반도체 스위치 S와 공진요소  $L_r, C_r$ 로 이루어지며 그 기능에 따라 Zero Current(ZC)와 Zero Voltage(ZV)로 나눌 수 있다. 그림 2(a)는 전통적 PWM 스위치를 나타내고

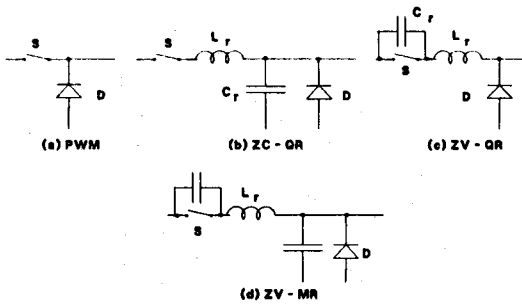


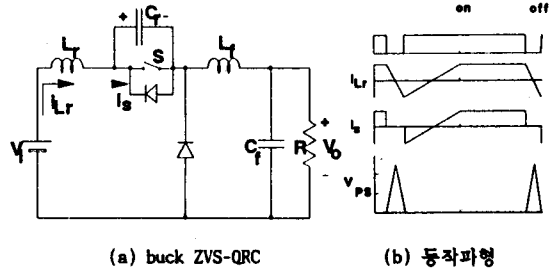
그림 2. 각종 스위치

(b)는 ZC스วิต치를, (c)는 ZV스วิต치를 나타내며 각각 스위치 S는 정역 반주기간의 공진을 허용하는 반파(half-wave)모드와 스위치 전류가 양방향으로 흐를 수 있는 전파(full-wave)모드로 동작시킬 수 있다. ZC, ZV스วิต치는 통상 PWM컨버터에 직접 이용될 수 있어 ZCS-QRC(Zero Current Switching - QRC)와 ZVS-QRC(Zero Voltage Switching - QRC)를 이루게 된다. ZCS-QRC의 주된 잇점은 turn-off시의 스위칭 손실을 줄일 수 있으나, 반도체 스위칭 소자의 누설 용량으로 인해 turn-on시의 손실은 피할 수 없고 ZCS으로 야기되는 스위칭 전류가 높아 전류 스트레스로 작용하고 있다.

한편, ZVS-QRC는 공진 캐패시턴스가 스위치와 병렬로 연결되어 있고 공진 인덕턴스가 다이오드와 직렬로 연결되어 있어 스위치는 ZV turn-on, turn-off로 동작되어 스위칭 손실은 줄일 수 있으나 다이오드에서는 ZCS로 작용되어 다이오드의 기생 캐패시턴스에 의한 스위칭 손실은 없앨 수 없으며 또한 스위치 양단의 역방향전압이 높아져 스위칭 소자의 전압 스트레스가 높아진다.

다이오드 기생 캐패시턴스의 on, off 손실을 줄이기 위하여 MRC(Multi-Resonant Converter)가 고안되어 사용되고 있고 MRC를 그림 2(d)에 나타내었다. ZVS-MRC에서는 모든 누설 캐패시턴스와 인덕턴스를 모두 공진회로에 삽입시켜 스위칭함으로써 ZCS-QRC, ZVS-QRC와 같이 스위칭 손실은 격감되지만 스위칭 소자의 역전압과 흐르는 전류의 RMS 및 평균값이 현격히 높게 나타난다.

## 2-2. 동작파형



(a) buck ZVS-QRC

(b) 동작파형

그림 3. buck ZVS-QRC의 회로 및 동작파형

공진형 컨버터의 동작을 보이기 위하여 buck ZVS-QRC회로 및 동작파형을 보이면 그림 3과 같다. 즉 그림 3(a)는 인덕턴스  $L_r$ , 캐패시턴스  $C_r$ 이 공진회로를 이룬 full-wave buck ZVS-QRC이고 그림 3(b)는 회로의 동작파형을 보인 것이다.

동작특성은 주로 공진회로  $L_r$ - $C_r$  값에 의존하며, 회로의 파라미터를 다음과 같이 정의한다. 특성임피던스  $Z_n$ 과 공진주파수  $f_n$ 은,

$$Z_n = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \quad (1)$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}} \quad (2)$$

이고, 부하 전류를  $I_0$ 라 할때 ZVS-QRC가 성립하기 위한 조건은,

$$I_0 \geq \frac{V_i}{Z_n} \quad (3)$$

이다. 이때 ZVS-QRC의 스위치 S의 피크전압은,

$$V_{ps} = V_i + Z_n I_0 \quad (4)$$

로 나타내어진다.

## 3. 다상다중화와 피크전압

### 3.1 다상 buck 컨버터

다중 다상화 buck 컨버터의 개념도를 그리면 그림 4와 같고 그림 4에서 각 상(phase)당 동작회로를 나타내면 그림 5와 같다.

그림 5의 동작회로에서 공진회로  $C_r, L_r$ 의 공진 주파수와 특성 임피던스가 (2), (3)식으로 주어진 경우, 스위치 양단의 피크전압은

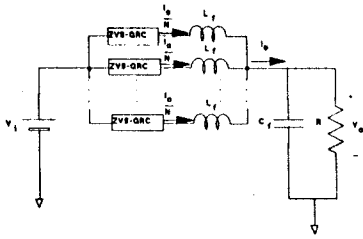


그림 4. N상 buck 컨버터의 개략도

$$V_{PN} = V_i + Z_n \frac{I_0}{N} \quad (5)$$

로 주어지 다상화에 따라 피크 전압이 감소함을 나타내고 있다. 따라서 다중다상화가 스위칭소자의 정격전류 제한에 대한 회로구성 방법인 것과 함께 스위치의 전압 스트레스의 저감효과도 피할 수 있다.

그림 6은 이 효과를 나타낸 것으로 스위칭소자의 입력전압에 일반화한 피크 전압을 부하저항에 일반화시킨 특성 임피던스  $r (=Z_n/R)$ 에 따라  $f_s/f_n$ 로 고쳐 표시하면,

$$\frac{V_{PN}}{V_i} = 1 + R \left( 1 - \frac{f_s}{f_n} \right) \quad (6)$$

이 되고, (3)식은

$$r \geq \frac{N}{1 - \frac{f_s}{f_n}} \quad (7)$$

이 되어 (7)식이 성립하는 부분을 그림 6에 가는 선으로 나타내었다.

한편 식 (5)로부터

$$\frac{V_{PN}}{V_i} = 1 + \frac{r}{N} \left( 1 - \frac{f_s}{f_n} \right) \quad (8)$$

이 되고 역시  $r$ 의 범위는

$$r \geq \frac{N}{1 - \frac{f_s}{f_n}} \quad (9)$$

이 되어 그림 6에 굵은 선으로 나타내었다.

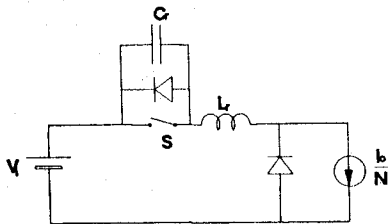


그림 5. 동기회로 / 相

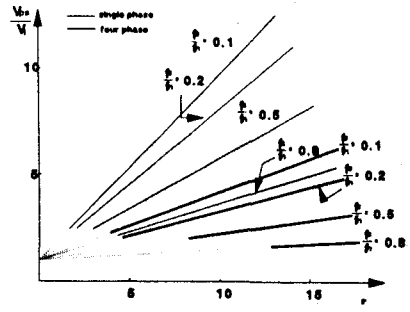


그림 6. 스위칭 소자의 전압파형

### 3.2 다른 공진형 컨버터에서의 다상화 효과

3.1에서는 ZVS-QRC의 전압 스트레스에 대해서만 언급되었지만 다상화에 따라 해당 부하전류의 감소로 말미암아 ZCS-QRC에서는 전류 스트레스의 저감효과를 보일 것이고 ZVS-MRC에서는 스위칭소자와 다이오드 공히 전압 스트레스를 감소시킬 수 있다.

### 4. 결론

본 논문은 공진형 스위치를 사용한 컨버터의 스트레스에 대해서 논하였는데 컨버터의 다중다상화에 따라 전류의 사용범위를 높일 수 있음과 함께 전압 및 전류 스트레스를 감소시킬 수 있음을 보였고, 특히 buck ZVS-QRC의 다상화에 따른 전압 스트레스의 감소에 대하여 논하였으며 시뮬레이션을 통한 결과를 나타내 보였다.

### 참고문헌

- [1]. K.H.Liu, R.Oruganti and F.C.Lee, " Resonant switches - topologies and characteristics ", IEEE ITEC, pp 344-351, 1984.11
- [2]. A.W.Lotfi, V.Vorperian and F.C.Lee, " Comparison of stresses in quasi-resonant and pulse-width-modulated converters ", IEEE PESC, pp 591-598, 1988
- [3]. N.Mohan, T.M.Undeland and W.P.Robbins, " Power electronics: converters, applications, and design ", John Wiley & Sons, Inc, pp 154-203, 1989