

A-SCR을 사용한 전압 공진형 DC-DC 컨버터

정원영 · 황돈하 · 배기훈 · 노채균 · 배진호
영남대학교 전기공학과

Voltage-Resonant Type DC-DC Converter Using A-SCR

Won-Young Jung Don-Ha Hwang Ki-Hoon Bae Chae-Cyun Ro Jin-Ho Bae
Dept. of Electrical Eng. Yeungnam Univ.

(Abstract)

This paper discussed the operational principles and characteristics of Voltage-Resonant Type DC-DC Converter of HF-Bridge Inverter Switching Control using A-SCR as switching elements.

The characteristics of DC-DC Converter circuits were analyzed using the diagrams of design circuits and dimensionless control variables.

1. 서론

최근 정보처리장치, 전자통신 응용기기를 비롯하여 산업용 기기의 고밀도 복잡화에 따라 대용량의 직류·교류전원의 수요가 증대하고 있어 속응성 및 신뢰성이 높고, 소형·경량이면서 전력밀도가 큰 제어용 전원장치의 개발이 요구되어 지고 있다. (1)(2)

대전력용 전원장치는 응용 및 신뢰성등의 관점에서 입력측과 출력측을 전기적으로 분리하여 구성시키는 것이 유리하다. 이 요구에 부응하는 전력용 DC-DC 컨버터의 회로구성은 다수 있으나, 직렬공진을 이용한 인버터형 DC-DC 컨버터는 직(병)렬 공진형 고주파 인버터에서 발전한 공진전류를 변성기에 의해 전기적으로 절연시켜 정류하여 직류를 얻는 방식으로 단위시간당의 전송전력이 크고, 소형·경량화가 용이하다는 등의 장점이 있다. (3)

한편, 신형 반도체 스위칭 소자의 개발도 활발히 진행되어 MOSFET, SIT 등의 자기소호형 소자가 다수 출현됨과 동시에 자기소호능력은 없으나 종래의 역저지 3단자 Thyristor의 문제점으로 지적된 Turn-off시간을 현저히 개선한 ASCR (Asymmetrical Silicon Controlled Rectifier) 등도 출현되었다. (4)(5)

ASCR의 구조는 종래의 Thyristor와 동일하지만, Turn-off시 Gate-Cathode間에 역 Bias를 인가함으로써 Turn-off시간을 짧게 할 수 있는 반면, 소자의 내압특성이 순방향에 비해 역방향에 적은 단점도 있다.

본 연구는 상기의 ASCR을 이용한 고주파 직렬공진 인버터형 스위칭 제어 DC-DC 컨버터를 제안하고 있으며, 그 동작원리 및 정상회로 해석과 특성에 대해 기술하고 있다.

2. 회로구성 및 동작양식

그림 1은 본 연구에서 제안하는 고주파 스위칭 제어형 DC-DC 컨버터의 주회로 구성을 나타내고 있다. 이 회로는 전원전압 분할형 H-F 직렬 인버터를 고주파 링크회로로 사용하고 있다. 회로구성에서 알 수 있듯이 입력력이 전기적으로 절연되어 있으며, Diode가 스위칭소자와 역병렬로 연결되어 있어 A-SCR의 적용이 유리하며, 고주파 동작을 하므로 소형·경량화가 가능하다.

그림 1에 나타낸 회로의 동작양식은 스위칭 주파수에 의해 분류할 수 있으나, 여기서는 고주파 링크회로에 흐르는 공진전류의 연속·불연속에 의해, I) 공진전류 불연속, II) 공진전류 연속으로 구분되며, 이때의 정상적인 각부 동작파형은 그림 2 (a), (b)에서 볼 수 있다.

3. 정상회로 해석

그림 1의 회로구성에서 변성기를 생략하고 전원전압 분할용 콘덴서를 전압원으로 등가시켜서 그림 3에 나타내고 있다.

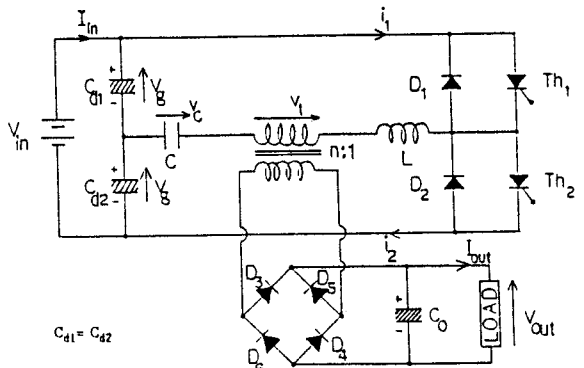


그림 1. 주회로 구성

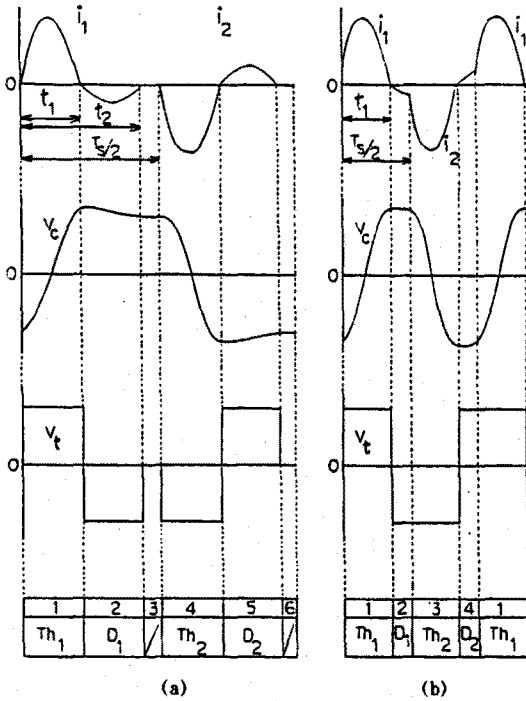


그림 2. 각부의 파형

본 회로의 해석은 그림 3의 동작회로를 사용하였으며, 변압기의 결합계수는 1로 하여 누설자속이 없는 것으로 하고, 사용소자는 전부 이상적인 소자로 하였으며, 전류-전압의 방향은 그림 3에 나타난 바와 같다.

I) 공진전류 불연속양식의 회로방정식

Mode 1. ($0 \leq t \leq t_1$)

$$L \frac{di_1}{dt} + v_c + v_t = V_g$$

$$i_1 = C \frac{dv_c}{dt}$$

Mode 2. ($t_1 \leq t \leq t_2$)

$$L \frac{di_1}{dt} + v_c - v_t = V_g$$

$$i_1 = C \frac{dv_c}{dt}$$

Mode 3. ($t_2 \leq t \leq \frac{T_s}{2}$)

$$i_1 = 0$$

$$v_c = \text{Constant}$$

II) 공진전류 연속양식의 회로방정식

Mode 1. ($0 \leq t \leq t_1$)

$$L \frac{di_1}{dt} + v_c + v_t = V_g$$

$$i_1 = C \frac{dv_c}{dt}$$

Mode 2. ($t_1 \leq t \leq \frac{T_s}{2}$)

$$L \frac{di_1}{dt} + v_c + v_t = V_g$$

$$i_1 = C \frac{dv_c}{dt}$$

회로특성평가의 일반성을 부여하기 위해 다음과 같이 무차원화 제어변수를 도입한다.

$$v^* \approx \frac{v}{V_g}, \quad i^* \approx \frac{i}{V_g/Z_o}, \quad v_t^* \approx \frac{v_t}{V_g}$$

$$\alpha \approx \frac{V_{out}}{V_g/n}, \quad p^* \approx \frac{p}{V_g^2/Z_o}, \quad Z^* \approx \frac{t}{T_s}$$

$$\lambda \approx \frac{R}{Z_o}, \quad \lambda' \approx \frac{n^2 R}{Z_o}, \quad \mu \approx \frac{f_s}{f_o}$$

표 1은 제특성을 동작양식별로 정리하여 나타내고 있다. Z_o 는 Thyristor의 역 Bias 시간을, δ 는 리플을음을 나타내고 있다. δ 의 평가는 정상해석에서는 $v_{ov} \approx V_{out}$ (일정)으로 가정하였기 때문에 그대로는 평가되지 않으나, 정류용 Diode의 출력전류를 사용하여 다음 식에 의해 평가할 수 있다. 즉,

$$\delta = \frac{\sqrt{i_{rms}^*{}^2 - i_{ave}^*{}^2}}{i_{ave}^*}$$

단, i_{rms}^* : 평할전의 공진전류의 실효치

i_{ave}^* : 평할전의 공진전류의 평균치

4. 특성평가

그림 4는 μ - α 특성을 λ' 를 파라메타로 하여 표시한 것이다. 그림에서 $\mu=0.5$ 는 동작양식 I, II의 경계를 나타내고 외곽과 선은 동작한계를 나타내고 있다.

$\lambda'=0.9$ 의 경우 $\mu=0.87$ 부근에서 동작한계를 나타내는데 이는 $\alpha=1$ 로 되는 동작한계로 되기 때문이다. 또 $\lambda'=0.3$ 의 경우는 $\lambda'=0.5, 0.7, 0.9$ 에 비해서 α 가 적은 값을 갖고 있으나, $\mu=0.7$ 부근에서부터 μ 에 대한 α 의 증가비율은 커지고 있다. 그러나 전반적인 특성은 λ' 가 커질수록 μ 에 대한 α 의 증가는 직선적으로 증가함을 알 수 있다.

그림 5는 λ' 를 파라메타로 한 출력전류 리플률 δ 의 μ 특성을 나타내고 있다. λ' 가 적을수록 δ 는 적게 되고, μ 를 크게 하면 δ 는 적게 됨을 나타내고 있다.

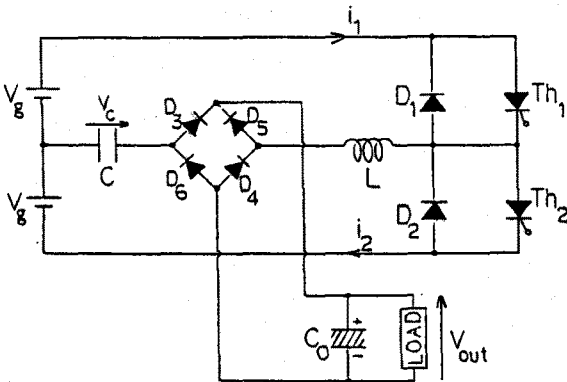


그림 3. 변압기를 생략한 회로구성

	동작양식 I	동작양식 II
α	$\frac{4\mu\lambda'}{\pi}$	$\frac{2\pi\mu^2\lambda'}{\pi^2(1+\cos\pi/\mu)+4\mu^2\lambda'^2(1-\cos\pi/\mu)} \times$ $\left[\frac{1}{\mu}(1+\cos\pi/\mu) + \sqrt{\frac{2}{\mu^2}(1+\cos\pi/\mu) + \frac{4\lambda'^2}{\pi^2}(1-\cos\pi/\mu)^2} \right]$
v_{cp}^*	2	$\sqrt{\frac{1}{1+\cos\pi/\mu} \{ 2 - (1-\cos\pi/\mu)v_{cs}^{*2} \}} + 1$
i_{thp}^*	$1+v_{cs}^*$	$\sqrt{\frac{1}{1+\cos\pi/\mu} \{ 2 - (1-\cos\pi/\mu)v_{cs}^{*2} \}} + v_{cs}^*$
i_{thave}^*	$\frac{2\mu}{\pi}(1+v_{cs}^*)$	$\frac{\mu}{\pi}(1+v_{cs}^*) \left[1 + \sqrt{\frac{1}{1+\cos\pi/\mu} \{ 2 - (1-\cos\pi/\mu)v_{cs}^{*2} \}} \right]$
i_{inave}^*	$\frac{16\mu^2\mu'}{\pi^2}$	$\frac{2\mu}{\pi} \left[1 + \sqrt{\frac{1}{1+\cos\pi/\mu} \{ 2 - (1-\cos\pi/\mu)v_{cs}^{*2} \}} \right] v_{cs}^*$
i_{outave}^*	$\frac{4\mu}{\pi}$	$\frac{2\mu}{\pi} \left[1 + \sqrt{\frac{1}{1+\cos\pi/\mu} \{ 2 - (1-\cos\pi/\mu)v_{cs}^{*2} \}} \right]$
P_{out}^*	$\frac{16\mu^2\mu'}{\pi^2}$	$\frac{2\mu}{\pi} \left[1 + \sqrt{\frac{1}{1+\cos\pi/\mu} \{ 2 - (1-\cos\pi/\mu)v_{cs}^{*2} \}} \right] v_{cs}^*$
Z_o	$\frac{\mu}{2}$	$\frac{1}{2} - \frac{\mu}{2} + \frac{\mu}{2\pi} \tan^{-1} \frac{1^*(0)}{1-v_{cs}^*+v_{cs}^*(0)}$
δ	$\frac{\pi}{4\mu} \sqrt{\mu(1+v_{cs}^{*2}) - v_{cs}^{*2}}$	

표 1. 동작양식에 따른 계특성

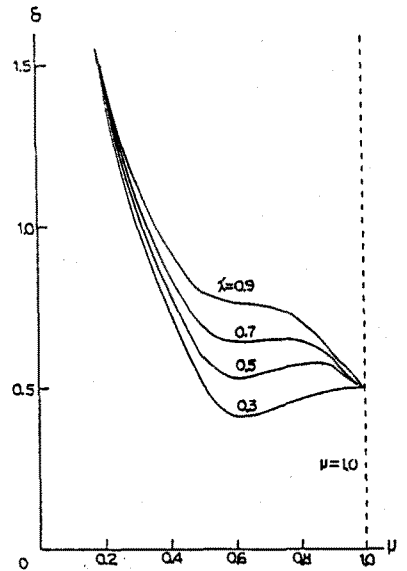


그림 5. 출력전류의 리플률

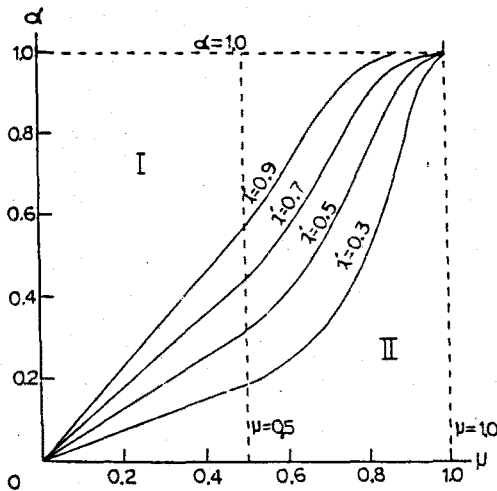


그림 4. μ - α 특성

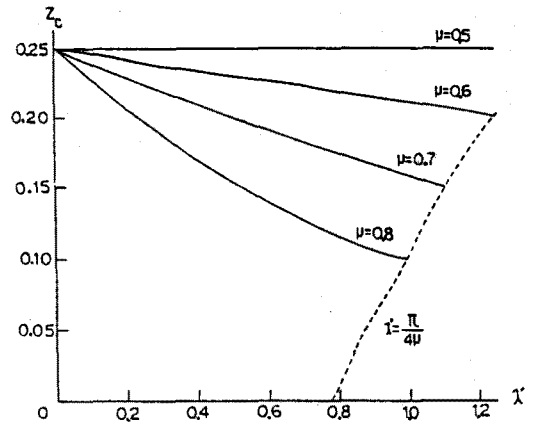


그림 6. 사이리스터 역 Bias 시간

그림 6은 μ 를 파라메타로 한 역 Bias 시간의 λ' 특성을 나타내고 있다. μ 가 일정할때 부하가 커질수록 Z_o 가 커져짐을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구는 직렬공진 고주파 인버터형 스위칭제어 DC-DC 콘버터의 특성을 무차원화 제어변수에 의해 그 특성평가를 일반성있게 행하였다.

향후 특성평가에서 얻어진 특성값을 기초로 하여 회로설계법에 관한 연구 및 H/W적으로도 충분한 검토를 행할 예정이다.

참고 문헌

1. R.King et al., "A Normalized Model for the Half-Bridge Series Resonant Converter", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1982.
2. R.R.Robson et al., "A 10-KW Series Resonant Converter Design and Base-Drive Optimization", PESC, 1982.
3. V.T.Rangthan et al., "A Regulated DC-DC Voltage Source Converter using a High Frequency Link", IAS, 1981.
4. Zung T.Chang, "ASCR Sin-Wave Inverter Produce Low EMI", Electronic Design, 1981.
5. J.J.Le Roux et al., "Application of the Asymmetrical Thyristor Switching Power Supply 15KHz Power 10KW" PCI SEP. Vol.5, 1982.