낮은 전압 Stress를 갖는 새로운 공진형 인버터

°정 용채, °조 규형
°한국 과학 기술원 전기및 전자공학과

A New Resonant Type Inverter with Low Voltage Stress

Yong-Chae Jung and Gyu-Hyeong Cho
Dept. of Electrical Enginnering, KAIST

ABSTRACT

A new soft-switching resonant type inverter is proposed to obtain the low voltage stress. In this proposed inverter, only one additional switch is used for the soft commutation. Therefore, a simple structure and a easy control can be available. Morcover, the PWM capability can be highly improved due to the convenient choice of switching condition. Based on the operational principle, analysis and design procedures are described. Through the simulation, the operation of the proposed inverter is verified.

1. 서 론

스위칭 손실을 줄이고 스위칭 주파수를 올려서 전체 시스템의 크기와 무게를 줄이려는 많은 연구들이 이루어졌다. 특히 공진형 DC/DC 콘버터에 관하여 많은 연구가 진행되었는데 수년전 이 개념이 처음으로 인버터에 적용되었고 그후 활기차게 공진형 인버터에 관한 연구가 이루어졌다.[1]-[5] 이러한 연구들의 목표는 첫째 초기의 공진형 인버터들의 단점인 전압 stress를 줄이는 것이고 둘째는 앞의 조건을 만족하면서 첨가되는 소자를 최소화하는 것이다. 세째는 PWM기능의 구현에 있고 마지막으로 공진형 인버터를 대전력에 응용하려고 한다. 하지만 아직까지위와 같은 목표를 모두 만족하는 공진형 인버터는 발표되지 않았다.

본 논문에서는 전압 stress를 dc-link 전압으로 제한하며 단지 1개의 능동소자와 수동소자 4개로 모든 스위치를 영전압 또는 영전류 스위칭을 하게 해주는 새로운 방식의 공진형 dc-link 인버터를 제안한다. 제안된 공진형 인버터는 구조가 간단하며 제어가 쉽다는 것이 장점이며 dc-link 전압을 마음대로 원하는 시간에 영전압으로 만들 수 있으며 다시 dc-link 전압 V_d로 올릴 수 있어서 PWM 방식의 응용이 용이하다. 동작원리와 설계절차를 자세하게 설명하고 시뮬레이션을 통해 제안된 공진형 인버터의 동작특성을 확인하였다.

2. 새로운 방식의 공진형 dc-link 인버터

새로운 방식의 공진형 dc-link 인버터의 회로는 그림 1과 같다. 기존의 인버터에 비해 1개의 능동소자와 공진 커패시터 그리고 3개의 센터탭낸 공진 인덕터가 인버터의 각 상에 있다. 여기에 사용되는 인덕터는 높은 주파수에서 동작하므로 크기가 작아 전체적으로 간단한 구조를 가진다. 또한 그림 1과 같이 입력단에 능동소자로 AC/DC 컨버터를 구성하면 4상한동작과 역률개선을 할 수 도있다.

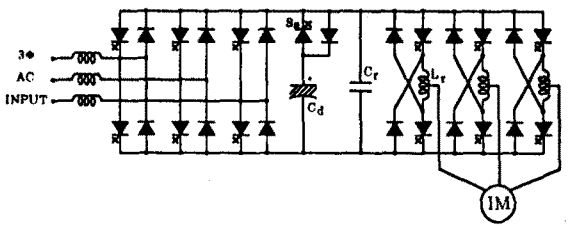


그림 1. 제안된 공진형 dc-link 인버터

3. 동작원리및 분석

제안된 공진형 인버터의 동작원리를 설명하고 분석을 하기위해서 다음과 같은 가정을 하자.

(1) 모든 소자들은 이상적이다.

(2) 출력이 스위칭시 전류원으로 보이도록 부하 인덕턴스가 공진 인덕턴스보다 훨씬 크다.

두번째 가정은 스위칭을 위한 dc-link부의 동작이 매우 짧은 시간에 이루어지므로 출력측을 전류원으로 볼 수 있다. 그림 2는 제안된 공진형 인버터의 각 동작 모드를 보여주며 그림과 같이 6개로 분류해서 설명하겠다.

정상 모드 (그림 2-(a)) : powering or regenerating period
스위치 S_a가 도통하여 S_1을 통해 부하에 전력을 공급하는 기간으로 윗인덕터로 전류가 흐르고 있다.

모드 1 (그림 2-(b)) : initailizing period
스위치 S_2가 도통하여 인덕터 Lr에 dc-link전압을 가해 직선적으로 전류가 증가하는 기간이다.

$$i_{Lru} = \frac{V_d}{Lr}t + Io\,, \quad i_{Lrl} = \frac{V_d}{Lr}t \tag{1}$$

$$v_{Cr} = V_d$$

여기서 Io는 스위칭시의 출력전류이고 V_d는 dc-link 전압이다.

모드 2 (그림 2-(c)) : resonant period

스위치 S_a가 오프되어 Cr과 Lr사이에 공진이 발생하여 v_{Cr}이 영으로 떨어지는 기간이다.

$$i_{Lru} = \frac{V_d}{Zr}\sin\omega_r t + Ii\cos\omega_r t + Io \qquad (2)$$

$$i_{Lrl} = \frac{V_d}{Zr}\sin\omega_r t + Ii\cos\omega_r t$$

$$v_{Cr} = V_d\cos\omega_r t - Zr\,Ii\sin\omega_r t$$

여기서 $Zr = \sqrt{\frac{Lr}{Cr}}$, $\omega_r = \frac{1}{\sqrt{Lr\,Cr}}$, Ii는 초기화 전류

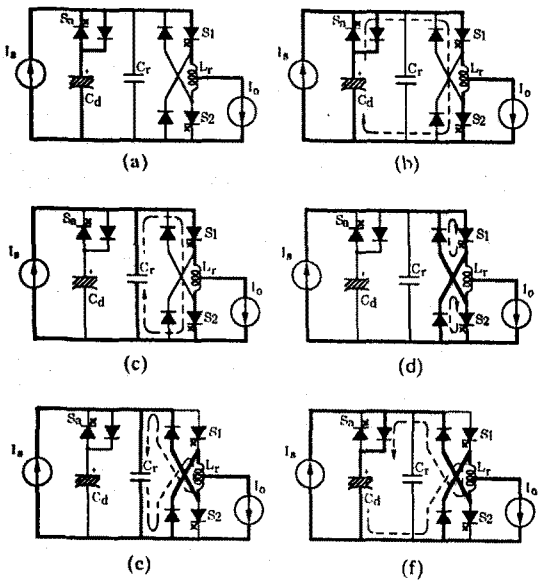


그림 2. 제안된 공진형 인버터의 각 동작 모드

모드 3 (그림 2-(d)) : freewheeling period

v_{Cr}이 영으로 떨어지면 이 모드가 시작된다. 이때 인버터와 입력 컨버터의 모든 스위치는 영전압 스위칭을 한다. 원하는 시간에 이 모드를 끝낼 수 있다.

$$i_{Lru} = I_2 + Io,\ i_{Lrl} = I_2,\ v_{Cr} = 0 \qquad (3)$$

여기서 I_2는 인덕터 피크치이다.

모드 4 (그림 2-(e)) : resonant charging period

스위치 S_1, S_2를 동시에 오프시키면 Lr, Cr이 다시 공진을 시작해 v_{Cr}을 dc-link 전압까지 상승시킨다.

$$i_{Lru} = I_2\cos\omega_r t + Io\ ,\ i_{Lrl} = I_2\cos\omega_r t \qquad (4)$$

$$v_{Cr} = Zr\,I_2\sin\omega_r t$$

모드 5 (그림 2-(f)) : discharging period

v_{Cr}이 V_d가 되면 스위치 S_a에 역병렬로 붙어 있는 다이오우드를 통해서 인덕터에 충전되어 있는 전류를 dc 커패시터로 되돌려 준다. 이 모드가 끝나면 공진에 이용된 인버터의 상을 영전류 조건으로 스위칭을 해준다.

$$i_{Lru} = -\frac{V_d}{Lr}t + I_3 + Io\ ,\quad i_{Lrl} = -\frac{V_d}{Lr}t + I_3 \qquad (5)$$

$$v_{Cr} = V_d$$

여기서 I_3는 모드 4의 최종 전류치

그림 3에 인버터의 한 상의 그림과 스위칭시의 각 부분의 파형을 모드별로 보여주고 있다.

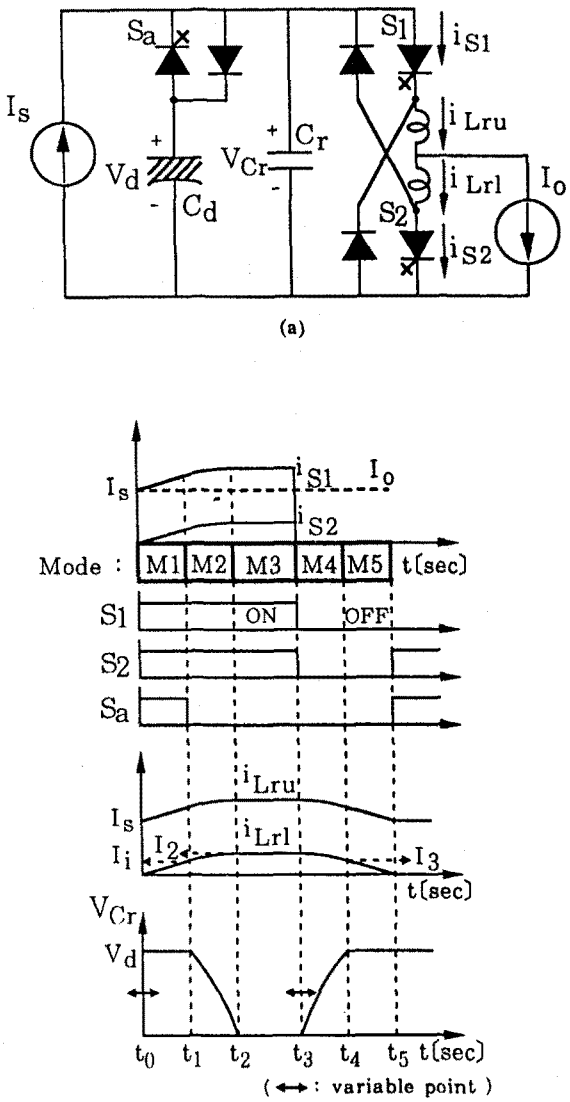


그림 3. (a) 인버터 한 상의 회로, (b) 스위칭시의 각 부분의 모드별 파형

4. 설계 절차

공진 인덕터와 커패시터의 설계를 위해서 고려해야 할 것은 초기화 전류를 얼마로 정하느냐에 달려있다. 왜냐하면 앞 절에서 설명한 것과 같이 공진부는 출력전류의 값에 관계없이 동작을 한다. 따라서 공진 인덕터에는 공진전류와 출력전류가 중첩되어 나타난다. 결국 초기화 전류는 공진시 인덕터와 커패시터의 내부저항에 의한 감쇄만 보상해 주면된다. 이러한 내부저항의 값이 매우적기 때문에 작은 전류만 초기화해도

된다. 만일 정격 전압과 전류가 주어지면dc-link 전압 V_d와 정격 전류 I_{rating}이 정해진다. 그러면 식 (1)과 (2)로부터 다음의 두 식이 구해진다.

$$Ii = \frac{V_d}{Lr} t_1 \tag{6}$$

$$I_2 = \frac{V_d}{Lr}\sqrt{Lr\,Cr + t_1^2} \le 0.5 \cdot I_{rating} \tag{7}$$

위의 두식에서 t_1과 Ii를 정하면 공진 인덕터와 커패시터의 값을 구할 수 있다. 그림 4는 t_1의 변화에 따른 Lr과 Cr의 변화 그래프이고 그림 5는 Lr에 따른 I_{rating}과 Cr의 변화 그래프이다.

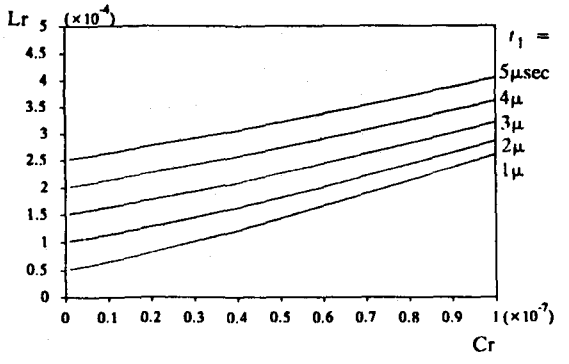
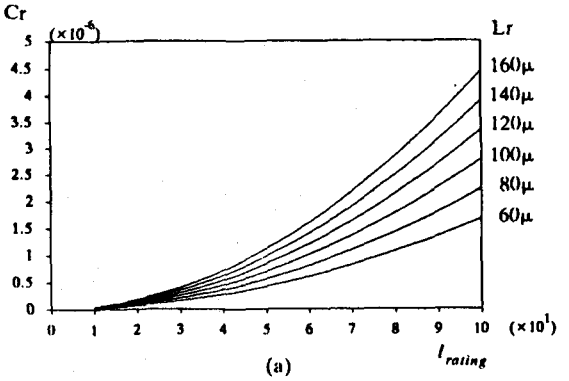


그림 4. t_1의 변화에 따른 Lr과 Cr의 변화 그래프



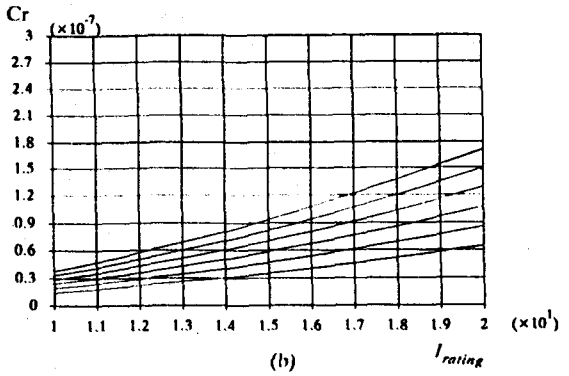


그림 5. Lr의 변화에 따른 I_{rating}과 Cr의 변화 그래프

5. 시뮬레이션 결과

제안된 공진형 인버터의 동작특성을 확인하기 위하여 다음과 같은 자료를 가지고 시뮬레이션을 수행했다.

(1) 공진 인덕턴스 : 100[μH], Lru = 50[μH], Lrl = 50[μH]

(2) 공진 커패시턴스 : 0.02[μF]

(3) 초기화 전류 : 2[A]

그림 6과 그림 7에 시뮬레이션 결과를 나타냈다. 그림 6은 스위칭시의 커패시터 전압과 각 인덕터 전류를 보이고 있는데 앞절의 분석내용과 잘 일치하며 그림 7은 원하는 시간에 스위칭 동작을 할 수 있음을 보여 주며 부하전류와 관계없이 공진전류는 일정함을 보이고 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 낮은 전압 stress를 갖는 새로운 방식의 공진형 인버터를 제안했다. 제안된 공진형 인버터는 단지 한개의 능동소자와 4개의 수동소자를 가지고 모든 능동소자가 영전압 또는 영전류 스위칭을 하게했다. 첨가되는 소자가 적어 구조가 간단하고 스위칭시 공진부가 부하와 독립적으로 동작하므로 설계와 제어가 용이하다. 또한 임의대로 스위칭을 할 수 있기때문에 PWM 방식의 응용이 쉽다. 이를 확인하기위해 제안된 공진형 인버터의 동작원리를 자세히 분석하고 설계절차를 제시했고 시뮬레이션을 통해 이를 확인하였다.

REFERENCES

[1] D. M. Divan, "The Resonant DC Link Converter-A New Concept In Power Conversion", *IEEE-IAS Annual Conference Records*, pp.648-656, 1986.

[2] D. M. Divan and G. L. Skibinski, "Zero Switching Loss Inverters for High Power Application", *IEEE-IAS Annual Conference Records*, pp.627-634, 1987.

[3] Jung G. Cho, Hack S. Kim and Gyu H. Cho, "Novel Soft Switching PWM Converter Using A New Parallel Resonant DC-Link", *IEEE Power Electronics Specialist Conf. Rec.*, pp.241-247, 1991.

[4] Yong C. jung, Jung G. Cho and Gyu H. Cho, "A New Zero Voltage Switching Resonant DC-Link Inverter with Low Voltage Stress", *IEEE-IECON*, pp.308-313, 1991.

[5] Jin He and Ned Mohan, "Parallel Resonant DC Link Circuit - A Novel Zero Switching Loss Topology with Minimum Voltage Stresses", *IEEE Power Electronics Specialist Conf. Rec.*, pp.1006-1012, 1989.

[6] L. Malesani, et. al., "A Synchronized Resonant DC Link Converter for Soft-Switched PWM", *IEEE-IAS Annual Conference Records*, pp.1037-1044, 1989.

[7] G. Venkataramanan and D. M. Divan, "Pulse Width Modulation with Resonant DC Link Converters", *IEEE-IAS Annual Conference Records*, pp.984-990, 1990.

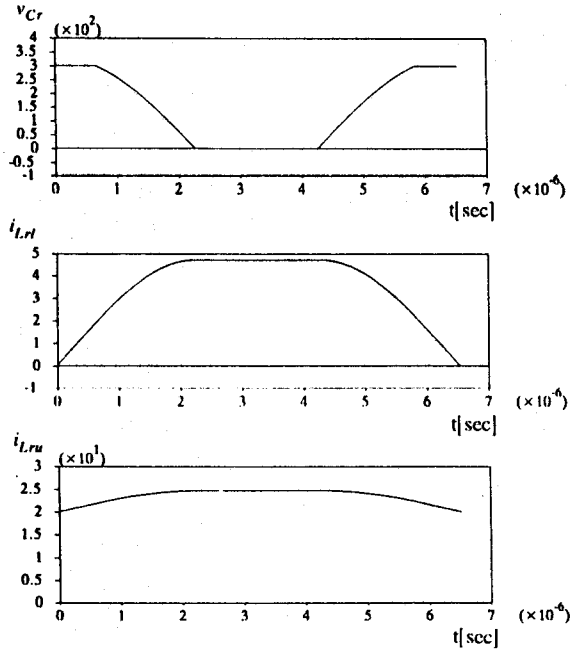


그림 6. 스위칭시의 커패시터 전압과 각 인덕터 전류파형

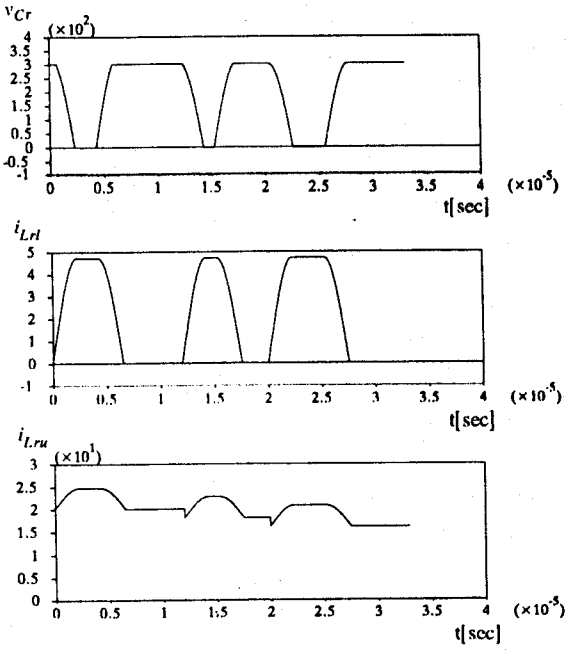


그림 7. 부하전류가 변할때 스위칭시의 커패시터 전압과 각 인덕터 전류파형