

부분공진기법에 의한 고효율 인버터 시스템

⁰김영철

쌍용중공업

이현우

경남대학교

High Efficiency Inverter System by Partial Resonant Method

Y.C. Kim

H.W. Lee

SsangYong Heavy Indus. KyungNam University

<ABSTRACT>

A large number of soft switching topologies included a resonant circuit have been proposed. But these circuits increase number of switch in circuit and complicate sequence of switching operation. In this paper, the authors propose power conversion system, DC-AC inverter of high efficiency and high power factor with soft switching mode by partial resonant method. The switching devices in a proposed circuits are operated with soft switching by the partial resonant method, that is, PRS²MPC (Partial Resonant Soft Switching Mode Power Converter). The result is that the switching loss is very low and the efficiency of system is high. And the snubber condenser used in partial resonant circuit makes charging energy regenerated at input power source for resonant operation.

1. 서론

현재 사용되는 DC-AC 인버터들은 승압부와 인버터부를 별도로 두어 각각의 역할분담을 수행하는 회로구조를 가지고 있다.^{1)~5)} 더우기 인버터부에 사용되는 스위치들을 소프트 스위칭으로 만들기 위해서 LC 공진부를 첨가한 구조로서 많은 연구들이 보고되고 있다.^{6)~8)} 그러나 이들 인버터들은 구성

소자의 수가 증대되어 변환기의 효율이 급격히 감소되고, 각 부에 사용되는 스위치들의 제어기법이 복잡하고 난이한 문제점들이 나타난다. 그래서 제안되는 부분공진 소프트 스위칭 DC-AC 인버터는 승압과 소프트 스위칭이 동시에 이뤄지는 회로구조로서 앞서의 문제점을 개선시키고자 한다.

또한 PWM(Pulse Width Modulation) 제어에 의해 구동되는 인버터부의 스위치들은 부분공진 회로부의 스위치들과 서로 동기화되어 소프트 스위칭으로 동작하여 스위칭 손실이 저감되고, 스위칭 제어기법이 간단하게 된다. 그리고 기존의 DC-AC 인버터에서 발생하는 각 상의 스위칭 아암 단락에 의한 소자 손상의 영향이 제거되는 장점도 얻게 된다.

이상의 과정에서 부분공진 소프트 스위칭 모드 전력변환 회로들을 해석하고, 또한 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 타당성과 효율성을 입증하고자 한다.

2. 주회로 및 동작원리

2.1 주회로설계

부분공진 승압형 DC-AC 인버터의 주 회로도를 Fig. 1에 나타낸다. 회로구성은 직류 입력측과 인버터부 사이에 부분공진 기법이 적용된 소프트 스위칭 모드 승압형 컨버터를 접속한다.

부분공진 회로부는 제어소자들과 승압용(&공진용) 인덕터 그리고 로스레스 스너버

콘덴서로 구성되며, 콘덴서에 축적된 에너지는 스위치 S_1, S_2 의 턴-온 시에 전원측으로 회생되는 모드를 가진다. 스위치 S_1, S_2 의 턴-온은 인덕터 L_r 의 전류가 불연속적으로 제어되므로 영전류 스위칭으로 되고, 턴-오프는 C_r 의 전압이 영으로 될 때 동작하므로 영전압 스위칭으로 된다. 또한 회로에 사용된 클램프 콘덴서 C_d 는 공진용 콘덴서 C_r 의 전압을 출력전압으로 클램프 시키기 위하여 사용되며, 이것은 공진동작에 의해 발생하는 공진 피크값을 억제시키는 역할을 한다.

2.2 동작원리

출력 부하측 인덕턴스가 공진용 인덕턴스와 비교하여 충분히 큰 것으로 가정하면, 공

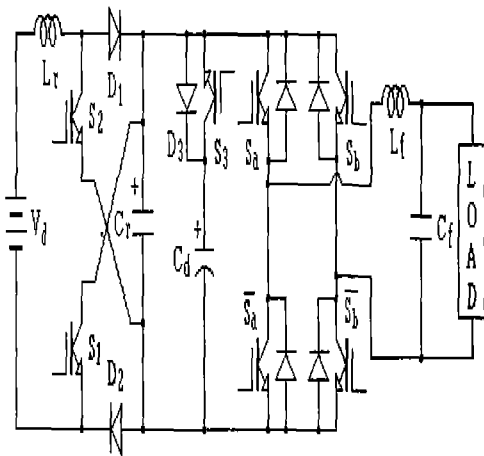


Fig. 1 DC-ACboost inverter by partial resonant method

진 1주기 동안에는 인버터부를 정전류원 I_0 로 보는 것이 가능하다.

동작모드는 전부 네가지 동작모드는 스위치 S_1, S_2 그리고 S_3 의 스위칭 한주기 동작에 대한 것으로써 스위칭 일정 듀티율에 의해 지속적으로 반복된다.

그 결과 콘덴서 C_r 의 전압은 지속적인 부분공진 동작에 의해 클램프된 진폭을 가진 공진 펄스열의 파형으로 되어 인버터부의 입력단에 가해진다.

인버터부의 PWM 제어신호에 의해 동작하는 스위치들은 일정 듀티율로 동작하는 부분공진 회로부의 스위치들과 동기화되어

콘덴서 C_r 의 전압이 영으로 될 때 동작하여 소프트 스위칭을 이룬다.

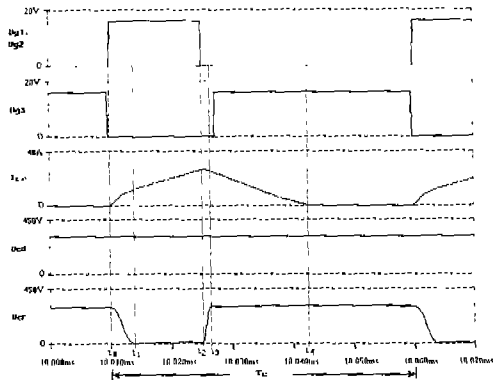
3. 시뮬레이션 결과 및 검토

제안한 부분공진 승압형 DC-AC 인버터의 부분공진 회로부의 동작을 확인하기 위하여 스위치 동작에 대한 각부 시뮬레이션 파형을 Fig. 3에 나타낸다. 여기서 인버터부는 정전류원 I_0 로 간주하며, 제어 스위치는 가변 저항 스위치로 가정하고, 그 외 소자는 이상적인 소자로 하여 PSpice에 의한 시뮬레이션을 실행한 결과이다. 부분공진 회로부의 시뮬레이션에 사용된 회로정수들을 Table 1에 나타낸다. Fig. 3 (a)는 스위치 S_1, S_2, S_3 의 스위치 한주기에 상당하는 게이트 신호와 그에 따른 각부 파형을 나타내고 있다. Fig. 3 (b)는 이 때의 스위치 S_1, S_2 그리고 S_3 에 흐르는 전류와 스위치의 양단 전압을 나타낸다.

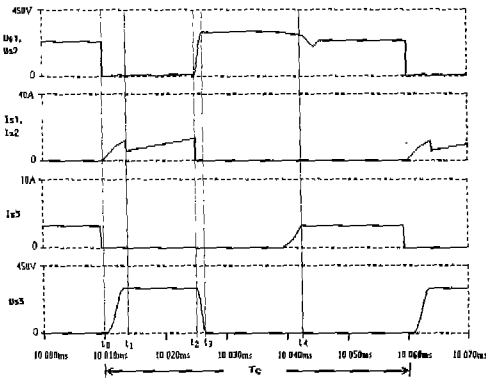
스위치 S_1 과 S_2 는 듀티를 일정으로 동일한 동작과 특성을 가지므로 동일한 파형에 나타내었다. 또한 Fig. 3에는 각 모드의 구간에 대해서 나타내고 있으며, 시각 t_0 에서 스위치 S_1, S_2 그리고 S_3 를 턴-온하면, LC 직렬 공진회로에 의한 콘덴서 C_r 이 방전을 시작하고 인덕터 L_r 는 에너지를 축적하게 된다.

이 때의 스위치 S_1, S_2 를 통하는 전류는 인덕터 전류 i_{Lr} 와 같으므로, 스위치들은 ZCS로 동작을 한다. 이 시점에서 스위치 S_3 의 턴-오프 동작은 스위치 양단의 전압이 영이므로 ZVS로 된다. 시각 t_1 에서 콘덴서 전압 v_{cr} 이 영으로 되면, 제어 스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 L_r 의 전류는 직선적으로 증가하며 에너지를 축적한다. 이 시점의 인덕터 전류는 스위치 S_1 와 S_2 로 분류되므로 스위치의 도통 손실이 반으로 감소된다.

그리고 시각 t_1 에서 t_2 사이의 구간에서는 콘덴서 전압 v_{cr} 이 영이므로 정전류원으로 간주한 인버터부의 양단 전압도 영으로 되는 구간이 주어진다. 그래서 PWM 제어



(a)



(b)

Fig. 3 Simulation waveforms for switching operation

신호에 의해 동작되는 인버터부의 스위치는 이 구간에 동기시켜 스위칭 동작을 이루면 인버터부의 스위치들은 ZVS, 즉 소프트 스위칭으로 동작될 수 있다.

시각 t_2 에서 스위치를 오프 하면, 다시 LC 직렬 공진회로에 의한 콘덴서 C_r 이 충전 시작한다. 그리고 이 시점에서의 스위치 S_1, S_2 양단전압은 콘덴서 전압 v_{Cr} 과 같으므로, 스위치 S_1, S_2 는 ZVS로 동작을 한다. 그리고 시각 t_3 에서 콘덴서 전압 v_{Cr} 은 출력 클램프 콘덴서 전압 V_{cd} 로 되면, 인덕터 L_r 의 전류 i_{Lr} 는 다이오드 D_3 를 통하여 클램프 콘덴서 C_d 를 충전시키고, 동시에 부하측으로 유입되어 직선적으로 감소한다. 이 시점에서 스위치 S_3 의 턴-온 동작은 스위치 양단의 전압이 영이므로 ZVS로 동작된다. 시각

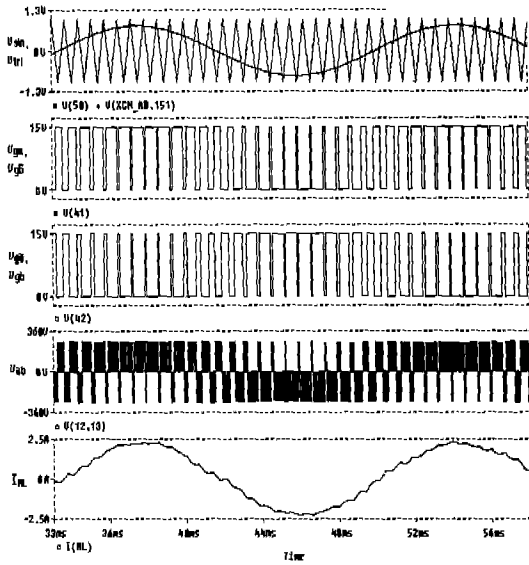
t_4 는 i_{Lr} 이 영으로 되는 시각이다. 구간 T_c 는 스위치 동작의 1 주기를 나타낸다.

직류를 교류로 변환시키는 간접변환 인버터에서 출력파형은 가변주파수, 가변전압의 정현파가 이상적이다. 직류 정전압을 전원으로 하는 인버터는 본래 방형파의 출력전압을 가지므로 파형개선을 필요로 한다. 인버터 자체에 의한 출력파형의 개선방법으로는 캐리어 신호와 변조신호의 펄스 패턴에 의해 특정 고조파를 제거하는 "PWM 방식"이 가장 많이 사용되고 있다. PWM 제어방식은 최근의 반도체 파워 스위칭 소자의 고성능화로 마이크로 컴퓨터의 활용에 의해 제어성능이 향상되어 적극적으로 활용되고 있다.

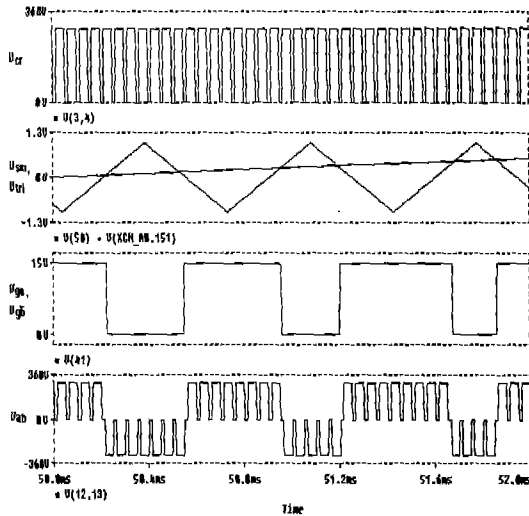
제한한 부분공진 승압형 DC-AC 인버터의 인버터 회로부의 동작을 확인하기 위하여 Table 2의 회로정수를 사용하여 Pspice에 의한 시뮬레이션을 하였다. Fig. 5는 Table 2의 인버터부 회로정수들과 Table 1의 부분

Table 6 Parameters with simulation of inverter circuit

변조신호 주파수 f_o	60Hz
캐리어신호 주파수 f_c	1.44kHz
변조도 $a (E_o/E_d)$	0.8
출력측 필터 인덕터 L_f	7mH
출력측 필터 콘덴서 C_f	50 μ F
저항부하 R_L	100 Ω



(a) Simulation waveforms with full period



(b) Simulation waveforms with extended period

Fig. 4 Simulation waveforms for PWM control

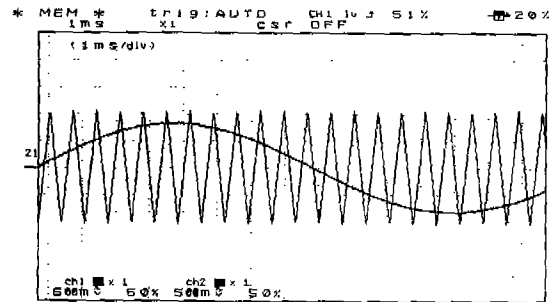
공진 회로부 정수들을 사용한 각 부 파형을 나타낸다.

Fig. 4 (a)는 출력 기본주파수 f_0 를 기준한 전 구간의 파형들을 보이고 있으며, Fig (b)는 PWM 동작과 그에 따른 각부 파형들을 확대하여 보이고 있다. Fig. 5에서 콘덴서 C_r 의 전압 v_{cr} 은 지속적인 부분공진 동작에 의해 전압 V_{α} 로 클램프된 진폭을 가진 공진

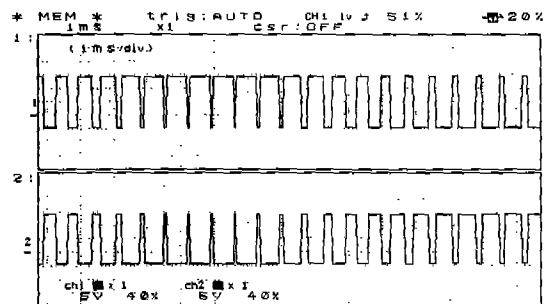
펄스열의 파형으로 된다. 또한 이 전압 파형은 인버터부 입력단에 가해지므로 인버터의 출력전압 v_{ab} 은 PWM 제어신호에 따른 펄스열의 형태를 가지게 된다. 그리고 PWM 제어에 의해 동작되는 인버터부 스위치 $S_a \sim \overline{S}_b$ 의 턴-온, 턴-오프는 공진주기와 서로 동기화되어 동작된다. 즉, 인버터부의 스위칭 동작은 콘덴서 전압이 영으로 될 때 실행되어 스위치들은 ZVS로 소프트 스위칭을 이룬다. 이 결과로써 스위칭 손실은 저감되고, 각 상에 사용된 아암 스위치들의 단락에 의한 소자 소손의 영향이 제거되는 장점을 얻을 수 있다.

IV. 실험결과 및 검토

Fig. 5은 PWM 인버터부에 대한 각부 실험파형을 나타낸다. Fig. 5 (a)는 S_PWM 제어신호로써 변조도 0.8, 주파수 60[Hz]의 정현파 변조신호, 주파수 1.44[kHz]의 삼각파 캐리어 신호를 나타낸다. Fig (b)는 이



(a) S_PWM control signal

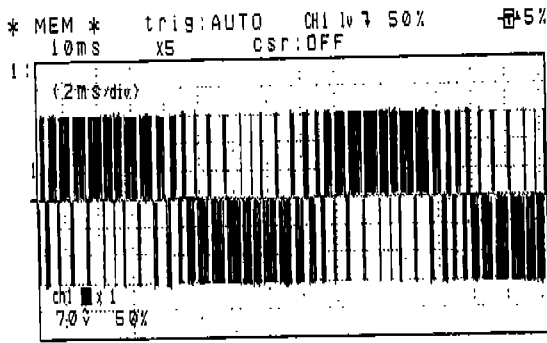


(b) Gate signal of switch $S_a \sim \overline{S}_b$

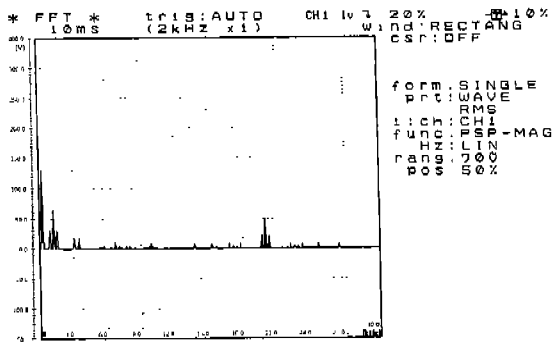
Fig. 5 PWM control signal and gate signal of switches

들 제어신호에 의한 인버터부의 스위치

$S_a \sim \overline{S_b}$ 의 게이트 제어신호이다.



(a) Output line voltage v_{ab}



(b) Frequency spectrum

Fig. 6 Output line voltage v_{ab} and frequency spectrum

Fig. 6 (a)는 출력 기본주파수 f_0 를 기준한 인버터부의 출력 선간전압 v_{ab} 를 나타내며, Fig (b)는 출력 선간전압의 주파수를 분석하기 위한 주파수 스펙트럼을 나타낸다.

인버터부의 입력전압 파형은 전압 V_{cd} 로 클램프된 공진 펄스열의 콘덴서 C_r 의 전압 파형이므로, 인버터의 출력전압 v_{ab} 은 PWM 신호의 한 신호 폭 내에 많은 펄스열의 형태를 가지게 된다. 출력전압의 주파수 분석 결과에서 인버터부의 출력 선간전압은 기본파 성분, 부분공진 회로부의 스위칭 주파수와 사이드 밴드 주파수 그리고 PWM 캐리어 신호의 주파수와 사이드 밴드 주파수들이 나타남을 알 수 있다.

이것은 사용된 스위치들의 스위칭 주파수를 높게할수록 사이드 밴드는 멀어지므로 출력단에 적당한 저역필터로써 이들 고주파 성분들을 제거할 수가 있다. Fig. 7은 출력

단 필터부를 거친 부하전압에 대한 파형이다.

또한 스위치들은 dv/dt , di/dt 의 영향이 없으므로 EMI 등의 전자유도 잡음이 나타나지 않았으며, 소자 과열에 따른 소자 방열기구들을 축소화 시킬 수 있었다. 또한 각 상에

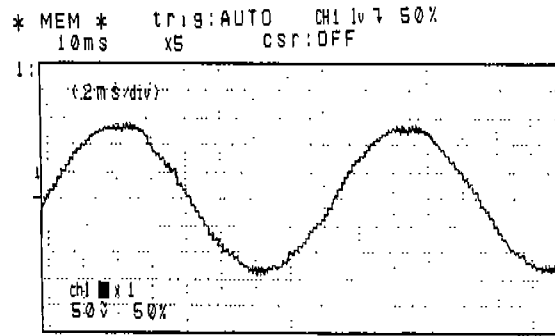


Fig. 7 Output load voltage v_{RL}

사용된 아암 스위치들의 단락에 의한 소자 손상의 영향이 제거되는 장점도 얻을 수 있었다.

이상의 실험파형들은 변조신호 주파수 60[Hz], 변조도 0.8에 대한 앞서의 PWM 인버터부의 시뮬레이션 결과들과 잘 일치한다.

V. 결론

본 논문에서는 부분공진의 기법에 의한 승압형 DC-AC 인버터를 제안하였다. 부분공진의 기법에 의해 사용된 스위치들은 소프트 스위칭에 의해 스위칭 손실이 저감되며, 공진 회로부는 부분공진으로 인하여 공진손실 및 공진용 소자들의 스트레스가 감소되며, 또한 스너버 콘덴서는 공진회로부의 동작에 의해 콘덴서에 축적된 에너지를 전 원측으로 회생시켜 무손실 스너버 콘덴서로 되어 변환기는 고효율로 동작되었다.

참고 문헌

1. K.H.Liu, R.Oruganti and Fred C.Y.Lee, "Resonant Switches-Topologies and Characteristics", IEEE PESC Rec., pp. 106- 116(1985)
2. D.M.Divan, et. al, "A Synchronized Resonant DC Link Converter for Soft Switched PWM", IEEE, pp. 493-503, Oct. (1989)