

인버터의 손실저감을 위한 소프트 스위칭기법

곽 동 걸, *김 영 철, **이 현 우

동해대학교 전기공학과, *LG산전, **경남대학교 전기공학과

A Soft switching method for Loss reduction of Inverter

Dong-Kurl Kwak, Young-Chol Kim, Hyun-Woo Lee
Dept. of Electrical Engineering, Donghae Univ. *LG Ind.,
**Dept. of Electrical Engineering, Kyungnam Univ.
E-mail : lhwoo@kyungnam.ac.kr

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 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.

I. 서론

현재 사용되는 DC-AC 인버터들은 승압부와 인버터부를 별도로 두어 각각의 역할분담을 수행하는 회로구조를 가지고 있다.^{1)~2)} 더우기 인버터부에 사용되는 스위치들을 소프트 스위칭으로 만들기 위해서 LC 공진부를 첨가한 구조로서 많은 연구들이 보고되고 있다.^{3)~5)} 그러나 이들 인버터들은 구성소자의 수가 증대되어 변환기의 효율이 급격히 감소되고, 각 부에 사용되는 스위치들의 제어기법이 복잡하고 난이한 문제점들이 나타난다. 그래서 제안되는 부분공진 소프트 스

위칭 DC-AC 인버터는 승압과 소프트 스위칭이 동시에 이뤄지는 회로구조로서 앞서의 문제점을 개선시키고자 한다. 또한 PWM 제어에 의해 구동되는 인버터부의 스위치들은 부분공진 회로부의 스위치들과 서로 동기화 되어 소프트 스위칭으로 동작하여 스위칭 손실이 저감되고, 스위칭 제어기법이 간단하게 된다. 그리고 기존의 DC-AC 인버터에서 발생하는 각 상의 스위칭 아암 단락에 의한 소자 소손의 영향이 제거되는 장점도 얻게 된다. 이상의 과정에서 부분공진 소프트 스위칭 모드 전력변환 회로들을 해석하고, 또한 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 타당성과 효율성을 입증하고자 한다.

II. 회로설계 및 시뮬레이션 결과

2.1 회로설계 및 동작원리

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 전원으로 회생되는 모드를 가진다. 스위치 S_1 , S_2 의 턴-온은 인덕터 L_r 의 전류가 불연속적으로 제어되므로 영전류 스위칭으로 되

고, 턴-오프는 C_r 의 전압이 영으로 될 때 동작하므로 영전압 스위칭으로 된다.

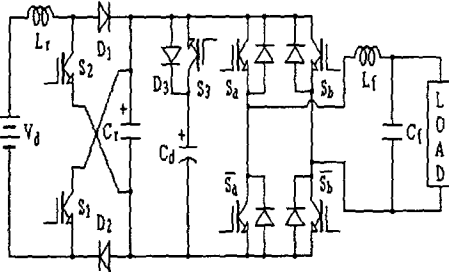


Fig. 1 DC-AC boost inverter by partial resonant method

출력 부하측 인덕턴스가 공진용 인덕턴스와 비교하여 충분히 큰 것으로 가정하면, 공진 1주기 동안에는 인버터부를 정전류원 I_o 로 보는 것이 가능하다.

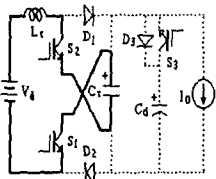


Fig. 2 (a) Mode 1

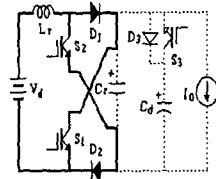


Fig. 2 (b) Mode 2

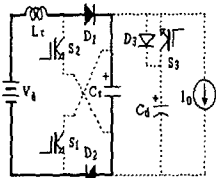


Fig. 2 (c) Mode 3

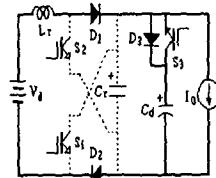


Fig. 2 (d) Mode 4

Fig. 2 Operating modes in one cycle switching

Fig. 2는 스위칭 한주기에서의 각 동작모드별 등가 회로를 나타내고 있으며 네가지 동작모드로 구분된다. 공진회로부의 초기조건으로 스위치 S_1, S_2 는 오프이고 S_3 은 온되어 있으며, 공진용 콘덴서 C_r 에는 클램프용 콘덴서 C_d 의 전압 V_{cr} 로 충전되어 있다.

< Mode 1 ; $T_1, t_0 < t \leq t_1$ >

시각 t_0 에서 스위치 S_1 과 S_2 를 턴-온 하고 동시에 스위치 S_3 를 턴-오프하면, 회로 경로는 V_d - L_r - S_2 - C_r - S_1 - V_d 의 직렬공진 회로로 된다. 턴-온 직전의 인덕터

L_r 의 전류 i_{Lr} 는 영이므로 S_1, S_2 는 ZCS로 동작한다.

< Mode 2 ; $T_2, t_1 < t \leq t_2$ >

모드 2는 콘덴서 전압 v_{cr} 이 영으로 되어 다이오드 D_1, D_2 가 도통되는 모드이다. 제어 스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 L_r 의 전류는 D_1 - S_1, S_2 - D_2 의 두 회로로 분류한다. 이 모드의 기간에서 인덕터 L_r 는 에너지를 축적한다. 이 때의 인덕터 전류 i_{Lr} 는 직선적으로 증가한다. PWM 제어신호에 의해 동작되는 인버터부의 스위치들은 이 기간에서 절환 동작이 되어 영전압 스위칭이 가능하다.

< Mode 3 ; $T_3, t_2 < t \leq t_3$ >

시각 t_2 에서 스위치 S_1, S_2 를 오프하면, 인덕터 L_r 의 전류는 D_1 - C_r - D_2 를 통하여 흐르며, 인덕터 L_r 와 콘덴서 C_r 는 직렬공진을 하여 C_r 를 충전시킨다. 콘덴서 C_r 와 병렬로 배치된 스위치들의 턴-오프 동작은 공진 초기 콘덴서 C_r 의 전압이 영이므로 ZVS로 동작된다.

< Mode 4 ; $T_4, t_3 < t \leq t_4$ >

콘덴서 C_r 의 전압이 클램프 콘덴서 C_d 의 전압으로 되면, 인덕터 L_r 의 전류 i_{Lr} 는 스위치 S_3 의 역병렬 다이오드 D_3 를 통하여 콘덴서를 충전시키고, 동시에 부하측으로 유입되어 직선적으로 감소한다. 모드 4는 인덕터 전류가 영이 되면 끝나며, 이 모드에서 스위치 S_3 를 턴-온 시켜 ZVS 동작을 만든다.

위의 네가지 동작모드는 스위치 S_1, S_2 그리고 S_3 의 스위칭 한주기 동작에 대한 것으로서 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.

2.2 시뮬레이션 결과 및 검토

스위치 동작에 대한 각부 시뮬레이션 파형을 Fig. 3에 나타낸다. 여기서 인버터부는 정전류원 I_o 로 간주하며, 제어 스위치는 가변저항 스위치로 가정하고, 그의 소자는 이상적인 소자로 하여 PSpice에 의한 시뮬레이션을 실행한 결과이다. Fig. 3은 스위치 S_1, S_2, S_3 의 스위치 한 주기에 해당하는 게이트 신호와 그에 따른 각부 파형을 나타내고 있다. 사용된 스위치 S_1, S_2 와 S_3 은 소프트 스위칭 동작을 하며, 각부의 동작은 이론의 해석과 합당한 결과를 보이고 있다.

인버터의 손실저감을 위한 소프트 스위칭기법

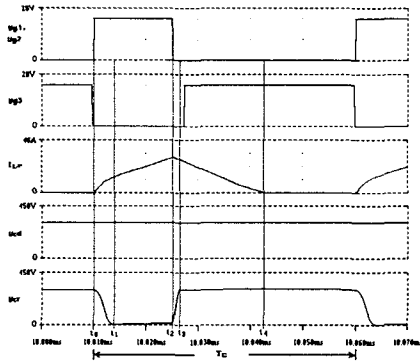
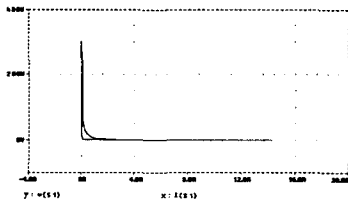
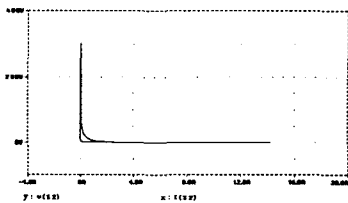


Fig. 3 Simulation waveforms for switching operation

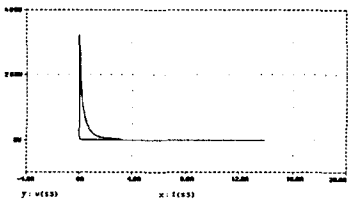
Fig. 4는 각 스위치들의 스위칭 특성을 나타낸 V-I 특성곡선이다. 특성곡선에서 둘러 싸인 면적이 스위치 손실과 비례되므로, 사용된 스위치들은 소프트 스위칭 동작에 의해 스위칭 손실이 매우 적음을 알 수 있다.



(a) Switching locus of switch S_1



(b) Switching locus of switch S_2



(c) Switching locus of switch S_3

Fig. 4 Switching locus of control device

Fig. 5는 PWM 동작과 그에 따른 각부 파형들을 확대하여 보이고 있다. 콘덴서 C_r 의 전압 v_{cr} 은 인버터부 입력단에 가해지므로 인버터의 출력전압 v_{ab} 은 PWM 제어신호에 따른 펄스열의 형태를 가지게 된다. 인버터부의 스위칭 동작은 콘덴서 전압이 영으로 될 때 실행되므로 ZVS로 동작되어 스위칭 손실을 저감시키며 각 상의 아암 단락을 제거하는 장점도 주어진다.

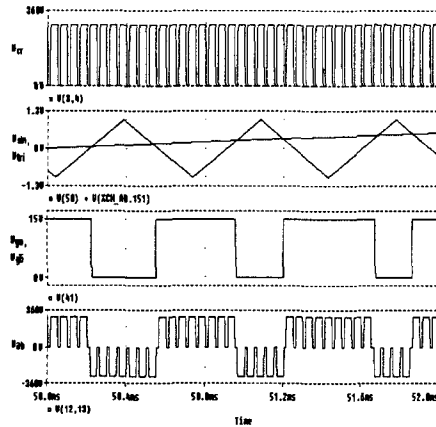


Fig. 5 Simulation waveforms for PWM control

III. 실험결과 및 검토

Fig. 6은 PWM 제어에 의한 인버터부의 스위치 $S_a \sim \overline{S_b}$ 의 게이트 제어신호이다. S_PWM 제어신호로써 변조도 0.8, 주파수 60[Hz]의 정현파 변조신호, 주파수 1.44[kHz]의 삼각파 캐리어 신호를 나타낸다

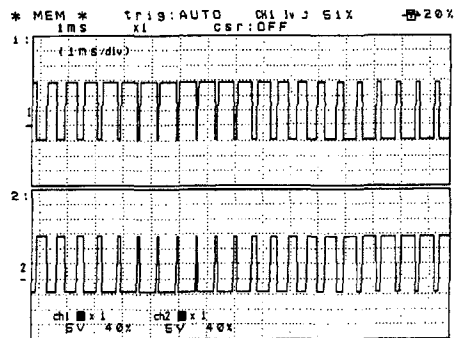
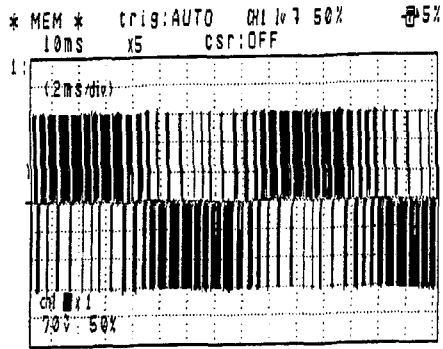
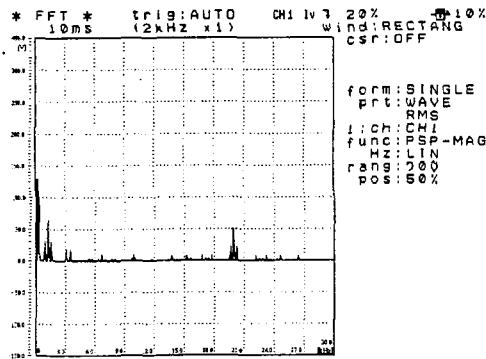


Fig. 6 Gate signal of switch $S_a \sim \overline{S_b}$



(a) Output line voltage v_{ab}



(b) Frequency spectrum

Fig. 7 Output line voltage v_{ab} and frequency spectrum

Fig. 7 (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. 출력전압의 주파수 분석에서 인버터부의 출력 선간전압은 기본파 성분, 부분공진 회로부의 스위칭 주파수 그리고 PWM 캐리어 신호의 주파수와 각각의 사이드밴드 주파수들이 나타남을 알 수 있다. 그 결과 출력단에 적당한 저역필터로써 이들 고주파성분들을 제거할 수가 있음을 알 수 있다.

Fig. 8은 출력단 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 사용된 아암 스위치들의 단락에 의한 소자 소손의 영향이 제거되는 장점도 얻을 수 있었다. 이상의 실험파형들은 변조신호 주파수 60[Hz],

변조도 0.8에 대한 앞서의 PWM 인버터부의 시뮬레이션 결과들과 잘 일치한다.

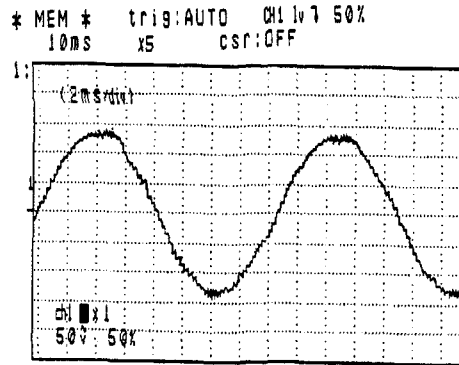


Fig. 8 Output load voltage v_{RL}

IV. 결론

본 논문에서는 부분공진의 기법에 의한 승압형 인버터를 제안하였다. 부분공진의 기법에 의해 사용된 스위치들은 소프트 스위칭에 의해 스위칭 손실이 저감되며, 공진 회로부는 부분공진으로 인하여 공진손실 및 공진용 소자들의 스트레스가 감소되어 변환기는 고효율로 동작되었다. 인버터부의 S_PWM 제어에 의해 구동되는 스위치들은 부분공진 회로부의 스위치들과 서로 동기화 되어 소프트 스위칭으로 동작하여 스위칭 손실이 저감되고, 제어기법이 간단하였다.

참고문헌

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)
3. D.M.Divan, "Design Trade OFFIN Soft Switching Inverter", Proc. of IEEE-ISPE, pp. 275-279, Apr.(1992)
4. 谷口 勝則, 小見山 慎一, "部分共振ゼロ電壓スイッチング PWM 인버터", 電氣學會産業應用部門全國大會, 138(1992)
5. D.K.Kwak, K.Y.Suh, S.K.Kwon, H.W.Lee, "Novel soft-switching DC-DC converter of high efficiency", ICPE '95 Proc, pp. 730- 735(1995)