

ARCP(Auxiliary Resonant Commutated Pole) 인버터의 특성분석

하요철*, 박상호*, 김희중*, 한병문*, 김현우**
 *명지대학교 전기공학과, **경민대학 소방안전관리과

Performance Analysis of ARCP Inverter for Power System Interconnection

Yo-Chul Ha*, Sang-Ho Park*, Hee-Joong Kim*, Byung-Moon Han*, Hyun-Woo Kim**
 *Myongji University, **Kyungmin Junior College

Abstract - This paper describes performance analysis of ARCP Inverter, which can offer zero voltage switching at nominal voltage stress. The system consists of a voltage-source inverter with soft-switching module. Each main switch is connected in parallel with resonant capacitor and two auxiliary switches are placed in series with a resonant reactor for soft-switching capability. The described ARCP inverter could be effectively applied for active power filter, reactive power compensator, and UPS.

1. 서 론

최근 전력전자장비들은 점차적으로 고속화와 정확성 그리고 효율성 면에서 기술적으로 많은 성과를 이루었다. 이러한 성능향상을 위해서 많은 연구가 진행중이고 그 대표적인 경우가 기존의 하드 스위칭 방식에서 스위칭 손실을 줄이는 소프트 스위칭 방식이다. 소프트 스위칭에는 영전류 스위칭과 영전압 스위칭 방식이 있다. 이 방법은 스위치로 흐르는 전류나 전압이 영점을 지날 때 온 또는 오프 동작이 되도록 하여 높은 스위칭 주파수에서 스위칭 손실을 줄일 수 있는 방법이다. [1][2][3][4] 따라서 본 논문은 단상 하프 브릿지 인버터의 하드 스위칭 방식의 스위칭 손실로 인한 스위칭 주파수의 고속화와 효율성 측면에서의 성능저하 문제점을 해결하기 위하여 소프트 스위칭을 위한 공진 리액터 L_r 과 공진 캐패시터 C_r 를 이용한 별도의 보조 공진 회로를 구성하여 단상 하프 브릿지 인버터 스위칭 동작시 영전압 스위칭(ZVS)과 영전류 스위칭(ZCS)의 환경을 제공하여 소프트 스위칭 동작을 수행 하드 스위칭의 단점인 스위칭 손실로 인한 효율저하 문제를 보완할 수 있게 하였다.

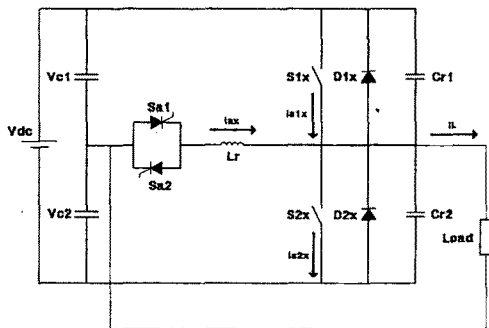


그림 1. ARCP 인버터 회로도

2. 본 론

2.1 ARCP 단상 하프 브릿지 인버터

그림 1은 ARCP 단상 하프 브릿지 인버터를 보이고 있다. 그 구성은 그림과 같이 기존의 단상 하프 브릿지 인버터에 소프트 스위칭을 하기 위한 보조회로가 필요로 하게되는데 그 보조회로의 구성은 공진 리액터 L_r 과 공진 캐패시터 C_r , 그리고 보조 스위치 S_{a1} 과 S_{a2} 로 구성 된다.

2.2 동작원리

동작원리를 설명하기 위해 다음과 같은 사항을 가정한다. ARCP 인버터에 사용되는 모든 스위치들은 이상적으로 동작한다. 그리고 부하전류 I_L 는 짧은 전류기간(a short commutation interval)동안 변화하지 않고 일정하다고 한다. 그림2는 ARCP인버터의 주 스위치와 보조 스위치의 이론적인 동작 전압과 전류의 파형이다.

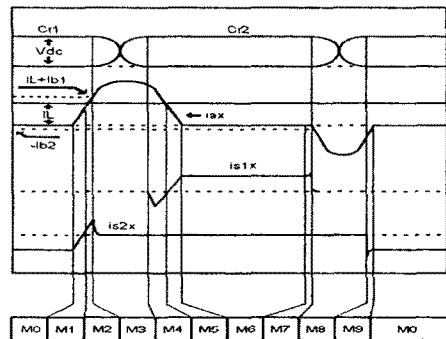


그림2. 이론적 ARCP인버터 전압과 전류파형

- ◆ Mode 0 : S_{2x} 는 온 상태이고 S_{1x} 는 오프상태에서 부하전류는 다이오드 D_{2x} 를 통해 프리휠링하고 있는 상태이다.
- ◆ Mode 1 : S_{a1} 는 영전류 스위칭(ZCS)환경에서 턴 온 한다. 이 때 공진 리액터 L_r 로 전류가 흐르기 시작하고 그 전류는 선형적으로 증가하는 반면 다이오드 D_{2x} 를 통해서 흐르는 전류는 선형적으로 감소한다.
- ◆ Mode 2 : 공진 리액터 L_r 로 흐르는 전류 i_L 가 부하전류 I_L 와 같아지는 순간 다이오드 D_{2x} 로 흐르는 전류는 감소하여 0이 된다. 이 때 주 스위치 S_{2x} 로 전

류는 선형적으로 증가하기 시작한다. 공진 리액터 L_r 전류는 증가하여 부하전류보다 증가하게 되고 $I_L + |I_b|$ 까지 증가하게 되는데, 이 순간 공진 리액터 L_r 에 축적되는 에너지는 공진 캐패시터 C_r 에 충전과 방전할 수 있을 정도의 크기가 된다.

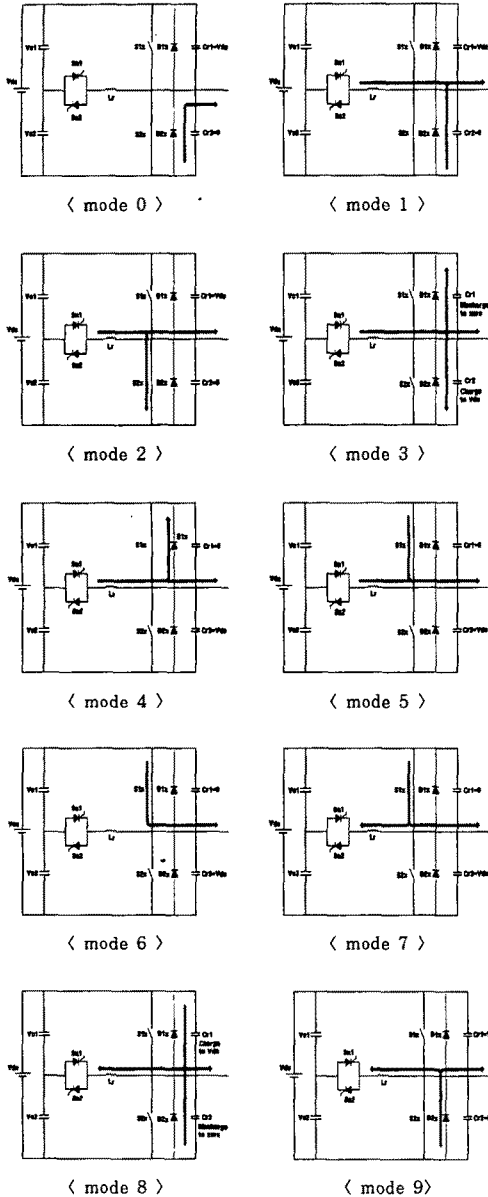


그림 3. ARCP 인버터의 각 모드별 동작

- ◆ **Mode 3** : 주 스위치 S_{2x} 가 영전압 스위칭(ZVS)로 턴 오프 된 후 공진 캐패시터 C_{r1} 은 0으로 방전하게 되고 이와 반대로 다른 공진 캐패시터 C_{r2} 는 V_{dc} 까지 충전되게 된다. 이것이 공진 리액터 L_r 과 공진 캐패시터 C_{r1}, C_{r2} 사이의 공진이다.
- ◆ **Mode 4** : 이 시점에서 다이오드 D_{1x} 로 전류가 흐

르게 되고 공진전류 i_{ax} 는 선형적으로 감소하고, 이 때 주 스위치 S_{1x} 는 영전압 영전류 스위칭(ZVS/ZCS)환경에서 턴 온하게 된다.

- ◆ **Mode 5** : 이 시점에서는 다이오드 D_{1x} 로 통해 흐르는 전류는 주 스위치 S_{1x} 로 흐르게 된다. 그리고 공진 리액터 전류 i_{ax} 는 선형적으로 감소한다.
- ◆ **Mode 6** : 공진 리액터 전류는 선형적으로 감소하여 0이 되고, 보조 스위치 S_{d1} 는 턴 오프 된다. 따라서 부하전류는 주 스위치 S_{1x} 를 통해서만 흐르게 된다.
- ◆ **Mode 7** : 보조 스위치 S_{d2} 이 영전류 스위칭(ZCS) 환경에서 턴 온 한다. 공진 리액터 L_r 에 축적되는 에너지가 공진 캐패시터 C_{r1}, C_{r2} 를 충전 또는 방전시킬 수 있을 정도까지 공진 리액터 전류 i_{ax} 는 반대 방향으로 선형적으로 증가하게 된다.
- ◆ **Mode 8** : 주 스위치 S_{1x} 가 ZVS환경에서 턴 오프 한 후 공진 캐패시터 C_{r1} 은 V_{dc} 까지 충전하게 되고 이와 반대로 C_{r2} 는 0까지 방전하게 된다.
- ◆ **Mode 9** : 이 순간 다이오드 D_{2x} 가 턴 온하고 공진 리액터 전류 i_{ax} 는 반대 방향으로 선형적으로 감소하게 된다. 이 때 주 스위치 S_{2x} 는 영전압 영전류 스위칭(ZCS/ZVS)환경에서 턴 온 하게 된다. 그리고 공진 리액터 전류 i_{ax} 가 0이 될 때 보조 스위치 S_{d2} 는 턴 오프 하게 되고 **Mode 0** 으로 돌아가게 된다.

2.3 시뮬레이션

ARCP 인버터를 IsSpice를 이용하여 그림4와 같이 구성하여 표1과 같은 회로정수로 시뮬레이션 하였다.

표1. < 회로정수 >

Vdc	100V
Divided Voltage Capacitor	2200uF
Switching Frequency	4 kHz
Resonant Inductor :Lr	20 uH
Resonant Capacitor :Cr	0.08 uF

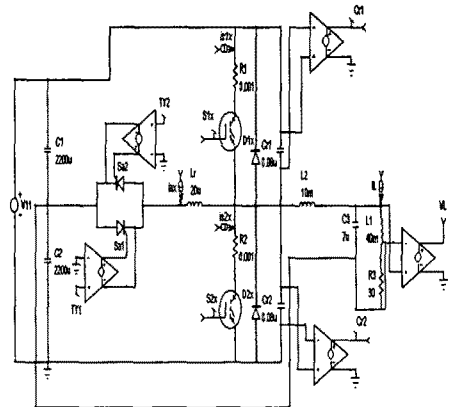
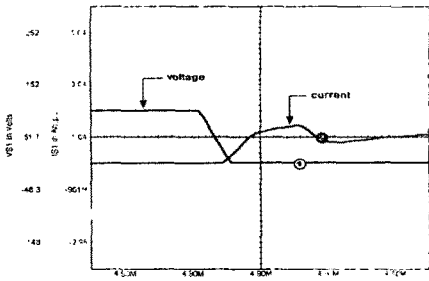
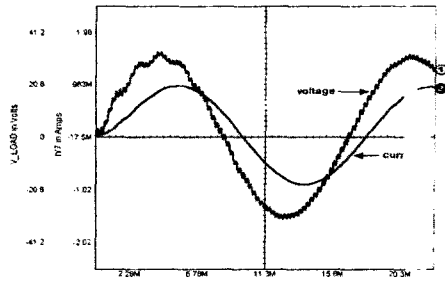


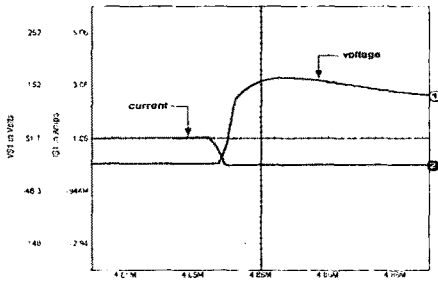
그림 4. 시뮬레이션 회로도



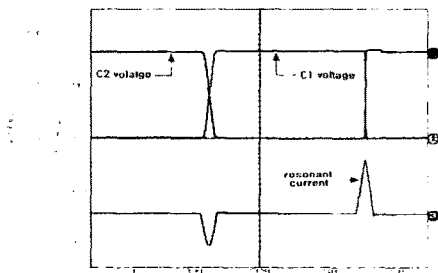
(a) 스위치 온시 전압과 전류 파형



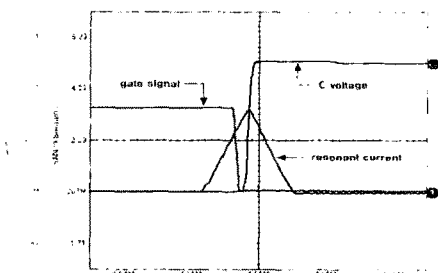
(e) ARCP 인버터의 부하전류와 전압파형



(b) 스위치 오프시 전압과 전류 파형



(c) 캐패시터 전압과 공진 전류 파형



(d) 스위치 오프시 공진 전류, 게이트 신호, 캐패시터 전압 파형

그림 5. 시뮬레이션 결과 파형

그림5. (a)는 ARCP 인버터의 주 스위치 온시 전압과 전류 파형을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 주 스위치 온시 영전압 영전류 스위칭(ZVS/ZCS)환경에서 동작하는 것을 알 수 있다. 그림5. (b)는 주 스위치 오프시 전압과 전류 파형이다. 여기서도 주 스위치 오프시 영전압 스위칭(ZVS)환경에서 동작하는 것을 볼 수 있다. 그림 5. (c)는 소프트 스위칭을 위한 공진 캐패시터 C_r 의 전압과 공진 리액터 전류 i_{ax} 의 파형이다. 공진 전류와 공진 캐패시터 전압을 비교하여 보면 그림2의 형태로 동작하는 것을 볼 수 있다. 즉 공진 리액터 L_r 과 공진 캐패시터 C_r 의 공진으로 인한 공진 캐패시터의 충전 또는 방전시 공진 리액터 전류 i_{ax} 의 파형을 알 수 있다. 그림5. (d)는 주 스위치 오프시 주 스위치 게이트 신호와 공진 캐패시터 C_r 그리고 공진 전류 i_{ax} 파형이다. 여기서는 주 스위치 게이트 신호 전에 공진 캐패시터 C_r 과 공진 리액터 L_r 의 공진으로 인한 공진 전류 i_{ax} 가 흘러서 주 스위치 오프시 영전압 스위칭(ZVS)환경을 제공함을 알 수 있다. 그림5. (e)는 ARCP 인버터의 부하전류와 전압 파형이다.

3. 결 론

본 논문에서는 ARCP 인버터의 특성을 분석하기 위해 각 동작 모드별로 동작회로로 나누어 이론적으로 접근하였다. 또한 IsSpice를 이용한 시뮬레이션 모형을 개발하고 시뮬레이션을 실시하여 동작을 확인하였다. 이러한 시뮬레이션 결과는 실제 하드웨어를 개발하는데 효과적으로 활용 가능할 것으로 보인다. 하드웨어 구현의 타당성을 검토하기 위해 현재 축소모형을 제작하여 실험을 실시 중에 있으며 여기서 얻어지는 결과를 토대로 ARCP 인버터에 의한 무효전력보상기나 능동전력필터로 확장할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] R. W. De Doncker, J. P. Lyons, "The auxiliary resonant commutated pole converter", IEEEIAS Conf. Rec., 1990, pp. 1228-1235.
- [2] R. W. De Doncker, "Hard and Soft-switched Voltage Source Inverters", PESC'94, Taiwan, R.O.C
- [3] E. Hiraki, H. Hattori, M. Nakaoka, "Feasibility Study of Distributed Auxiliary Resonant Commutation Snubber Linked Three Phase Voltage Source ZVS Inverter with Digital Servo Control Implementation", ICPE'98, pp. 341-344.
- [4] H. J. Beukes, "Integrated Active Snubber for High Power IGBT Modules", PESC'97, pp 161-166.