전력전자학술대회 논문집 2003. 7. 14 ~ 7. 17

새로운 시분할 방식 전류형 고주파 인버터에 관한 연구

김해준, 원재선, 강진욱, 조규판*, 오승훈#, 민병재$, 정도영&
영남대학교, 김천대학*, 동해대학교#, 안동정보대학$, 삼척대학교&

A Study on the Novel Time Sharing Type Current Fed High Frequency Resonant Inverter

H.J. Kim, J.S. Won, J.W. Kang, G.P. Cho*, S.H. Oh#, B.J. Min$, and D.Y. Jung&
Yeungnam Univ., Gimcheon College*, Donghae Univ.#, Andong Info Tech$, Samcheok Nat'l Univ.&

ABSTRACT

This paper describes two novel current fed high frequency resonant inverter can be used as the power supply for wax-sealing. This two topology can be obtained higher output frequency than switching frequency by composing modified unit inverter based on conventional half-bridge serial resonant inverter in parallel with input power source. also, By using time-sharing gate control method, this proposed inverter can not only realize the output control of dependence irrespective of the switching frequency using phase-shift but also reduce switching loss because it has ZVS function. Simulation results through the Pspice have demonstrated the feasibility of the proposed inverter. This proposed inverter will be able to be practically used as a power supply in various fields as induction heating applications, DC-DC converter etc.

1. 서 론

최근, 스위칭 반도체 소자의 제조기술의 진보에 힘입어 신형 고주파 스위칭 소자가 속속 개발·실용화되어 전력변환장치의 출력주파수가 수[kHz]~수[MHz]까지 실현이 가능하게 되었고, 이러한 주파수대를 중에서 수십[kHz]에서 수백[kHz]의 주파수대를 중심으로 한 범위에서의 전력 변환과 제어에 관련된 고주파 전력전자 기술분야에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1][2][3].

고주파 공진형 전력변환장치의 회로방식으로는 전압형과 전류형으로 구별할 수 있는데, 전압형은 도통손실이 적은 반면에 정전 시와 부하단락 시에 보호가 어렵고 데드타임의 설계가 어렵다는 단점이 있고, 전류형은 과전류 보호가 용이한 반면에 일반적으로 역내압 때문에 스위칭 소자에 직렬로 다이오드를 접속하는 것이 필요하고 더욱이 도동손실도 크다는 단점이 있다. 또한, 전압·전류 절충형은 여러가지 장/단점이 있으며 이러한 문제점을 개선하는 방식에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다[4][5].

종래의 전압형, 전류형 인버터에 대하여 제안하는 새로운 ZCS를 이용한 전류형 고주파 공진 인버터는 종래의 전압형 하프 브리지형 고주파 인버터의 전원분할용 커패시터 앞단에 직류 리액터를 첨가하고 전원분할용 커패시터 사이에 중간탭 변압기를 연결함으로써 스위칭 주파수의 2배의 출력주파수를 얻을 수 있다는 장점을 가지는 동시에 전압·전류 절충형으로써의 특징을 가지도 있다.

또한, 본 논문에서 제안하는 ZCS를 이용한 전류형 고주파 공진 인버터를 단위 인버터로 하고 이 단위 인버터 2개를 입력 전원에 병렬로 접속하여 각 단위 인버터 내의 공진전류를 순시 합성하여 부하에 합의 전력를 공급함으로써 스위칭 주파수의 4배의 출력 주파수를 얻을 수 있고, 인버터 내부에 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)기능을 부여하여 출력전압·출력주파수를 제어할 수 있으며 더욱이, ZVS용 커패시터를 사용하지 않고도 ZVS 기능을 갖는 인버터로 동작할 수 있다는 특징을 가지고 있다[6][7][8][9][10].

따라서, 본 연구에서는 하프 브리지 전압형 직렬공진형 인버터 회로를 기본으로 한 새로운 방식의 2가지 토폴로지를 제안하고 그 기본동작원리 및 특성에 관하여 검토하였다. 연구대상 회로의 스위칭 소자로 MOSFET를 사용하고 wax-sealing을 유도가열부하로 상정하여 범용 시뮬레이션 툴인 Pspice를 통해서 이론해석의 정당성을 검토하였다.

2. 회로구성 및 회로해석

그림 1은 종래부터 사용되어 온 ZVS를 이용한 전압형 하프 브리지 고주파 공진 인버터의 주회로

구성을 나타내고 있다. 회로구성은 주스위치(S_1,S_2) 양단에 병렬로 ZVS 커패시터(C_{s1},C_{s2})를 연결하여 스위칭 시 소자에 발생하는 턴·오프 손실을 줄일 수 있는 회로구성으로 되어있다. 그림 2는 본 논문에서 연구대상회로로 제안한 ZVS를 이용한 전류형 고주파 공진 인버터의 회로구성을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이, 그림 1의 전압형 하프 브리지형 고주파 인버터의 전원 분할용 커패시터 앞단에 직류 리액터(L_d)를 첨가하고 전원분할용 커패시터(C_1, C_2) 사이에 중간탭 변압기를 연결함으로써 스위칭 주파수의 2개의 출력주파수를 얻을 수 있는 회로구성으로 되어있다. 그림 1의 공진 회로 구성은 공진 리액터 L과 공진용 커패시터(C_1 또는 C_2)로 구성되어 진다.

회로구성에서 알 수 있듯이 그림 2의 인버터는 i) 인버터의 리액터비(L_d/L)의 적절한 선정에 의해서 수[mH]의 L_d에 의해서 전압형보다도 입력직류전류의 리플률을 저감할 수 있고 ii) 정전, 부하 단락 시에 과전류 보호가 용이할 뿐만 아니라 iii) 출력주파수가 스위칭 주파수의 2배가 되기 때문에 종래의 전압형 하프 브리지 고주파 인버터보다도 주파수 한계를 넓힐 수 있다는 등의 장점을 가진다.

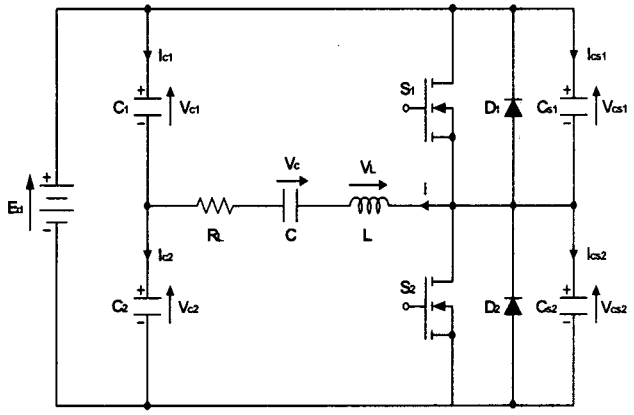


그림 1. ZVS 전압형 하프 브리지 고주파 인버터

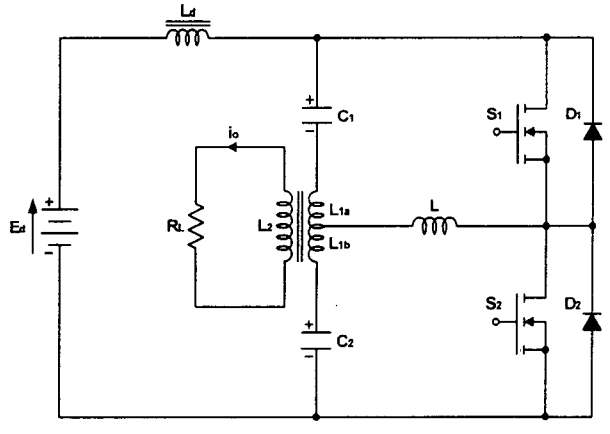


그림 2. ZCS를 이용한 전류형 고주파 인버터

그림 3은 그림 2의 인버터 회로를 단위 인버터로 하여 입력전원에 병렬로 또 하나의 래그를 추가하고 각각의 래그에서 중간탭 변압기 1차측의 중간탭에 공진용 리액터를 연결하는 구성으로 된 새로운 시분할 방식 전류형 고주파 인버터의 회로구성을 나타내고 있다.

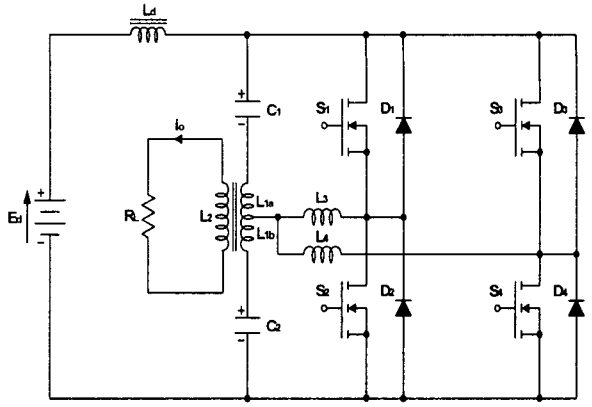


그림 3. 새로운 시분할 방식 전류형 고주파 인버터

회로구성에서 알 수 있듯이, 그림 3의 회로는 그림 2의 단위 인버터 2개를 입력 전원에 병렬로 접속하여 각 단위 인버터 내의 공진전류를 순시 합성하여 부하에 합의 전력를 공급함으로써 스위칭 주파수의 4배의 출력 주파수를 얻을 수 있고, 인버터 내부에 VVVF 기능을 부여하여 출력전압·출력주파수를 제어할 수 있으며 더욱이, ZVS용 커패시터를 사용하지 않고도 ZVS 기능을 갖는 인버터로 동작할 수 있다는 특징을 가지고 있다.

회로구성에서 알 수 있듯이, 그림 2의 인버터의 회로의 장점 외에도 i) 입력전원에 병렬로 N개의 래그를 추가하고 각각의 래그에서 중간탭 변압기의 1차측의 중간탭에 공진용 리액터를 연결하는 구성로써 스위칭 주파수의 2N배가 되는 출력주파수를 얻을 수 있고 ii) 스위치 S_1과 S_2를 기본상으로 하여 S_3과 S_4의 위상차각(φ)을 이동시킴으로써 출력측에 전력제어가 가능하다는 등의 장점을 가진다.

그림 1의 인버터의 스위칭 동작모드는 스위칭 소자(S_1, S_2)와 다이오드(D_1, D_2)의 온·오프 동작에 의해 4개의 동작 모드로 분류되고, 그림 3의 인버터의 스위칭 동작모드는 구동신호 패턴에 따라 스위칭 소자(S_1~S_4)와 다이오드(D_1~D_4)의 온·오프 동작에 따라 여러 개의 동작모드로 분류되지만, 본 논문에서는 그림 2의 인버터 회로의 동작을 중심으로 설명하기로 한다.

그림 4는 그림 3의 인버터의 각각의 스위칭 동작모드에 대하여 스위칭 소자(S_1, S_2)에 인가되는 구동신호패턴과 이에 따른 각 소자에 나타나는 정성적인 전압 및 전류 파형을 나타내고 그림 5는 각각의 동작모드를 나타내고 있다.

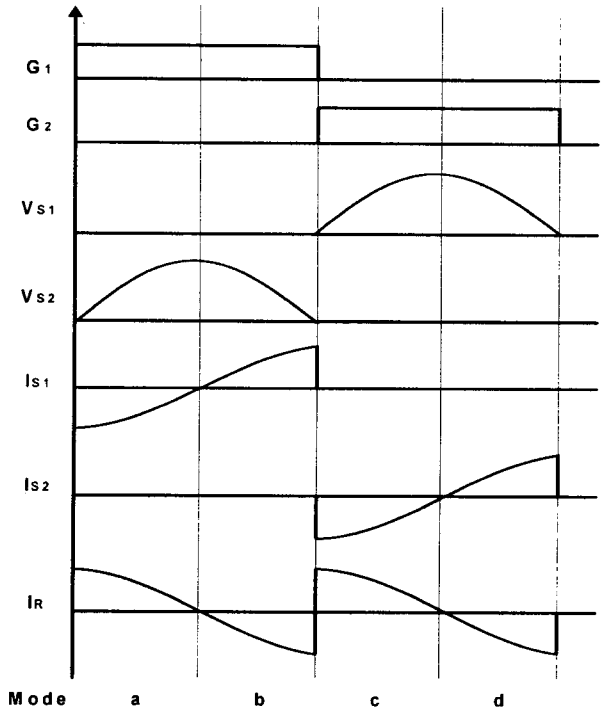


그림 4. 구동신호패턴과 정성적인 이론파형

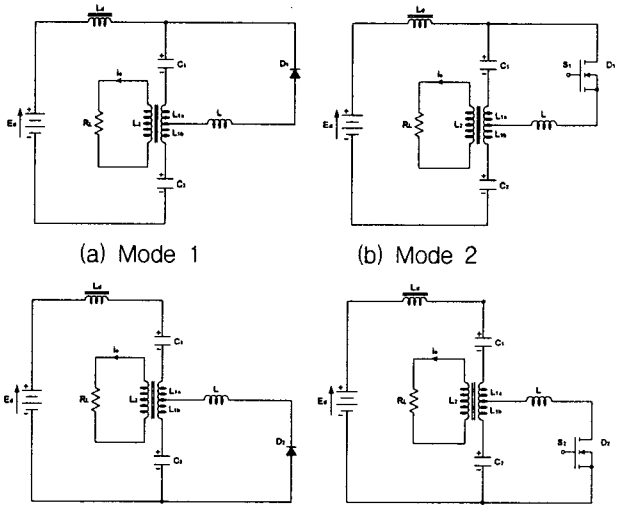


그림 5. 동작모드

<모드 a>

이 모드는 스위치 S_2가 턴·오프 한 후에 공진용 리액터 L에 축적된 에너지에 의해서 스위치 S_1의 역병렬 다이오드 D_1를 통해서 흘러 링크 커패시터 C_1으로 에너지를 회생하는 모드이다.

<모드 b>

이 모드는 스위치 S_1이 턴·온 됨에 따라 공진용 커패시터 C_1에 의해서 스위치 S_1을 통해서 공진용 리액터 L로 에너지를 축적하는 동시에 부하에 공진전류를 공급하는 모드이다.

<모드 c>

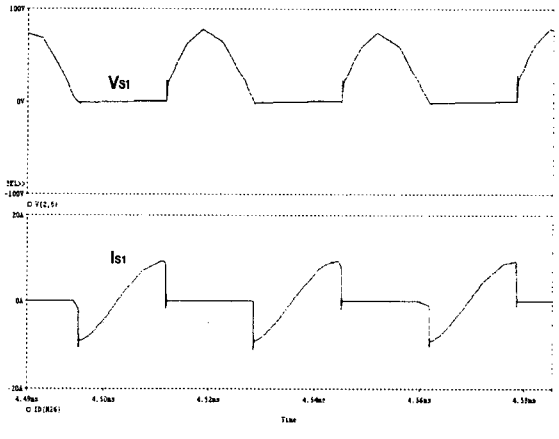
이 모드는 스위치 S_1가 턴·오프 했을 때 공진용 리액터 L에 축적된 에너지를 스위치 S_2의 역병렬 다이오드 D_2를 통해서 공진용 커패시터 C_2로 에너지를 회생하는 모드이다.

<모드 d>

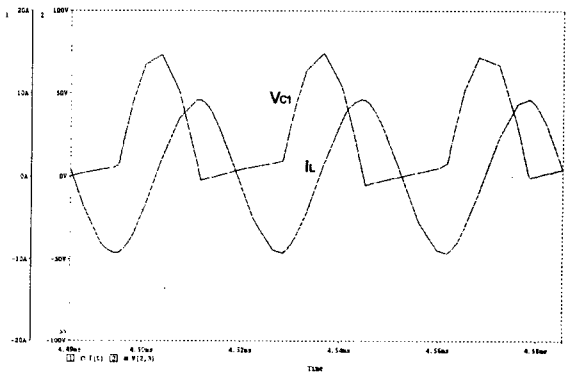
이 모드는 스위치 S_2가 턴·온 됨에 따라 공진용 커패시터 C_2에 의해서 S_2를 통해서 공진용 리액터 L로 에너지를 축적하는 동시에 부하에 공진전류를 공급하는 모드이다.

3. 시뮬레이션 및 고찰

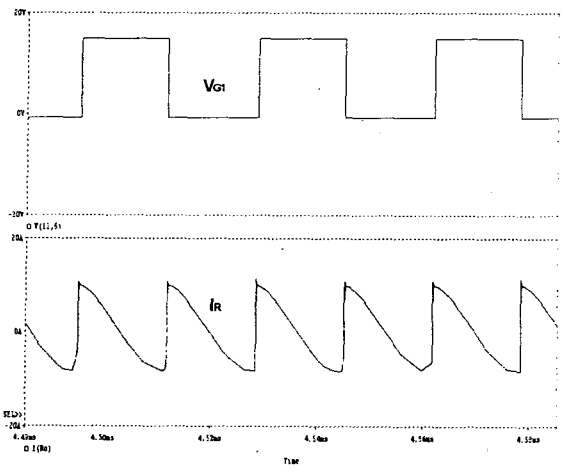
제안된 인버터 회로의 이론해석의 정당성을 입증하기 위해서 범용 시뮬레이션 툴인 Pspice를 통해서 시뮬레이션을 행하였다. 시뮬레이션에 사용된 시뮬레이션 정수는 Power-MOSFET를 스위칭 소자로 사용하고, E_d=50[V], L_d=1[mH], C_1=C_2=0.66[μF], L=42.5[μH], R_L=0.5[Ω]로 하여 회로를 구성하였다. 그림 5는 시뮬레이션을 통해 얻은 (a) 스위치 전류와 전압, (b) 공진용 커패시터 전압과 공진용 리액터 전류, (c) 게이트 전압과 부하전류의 이론파형 나타내고 있다.



(a) 스위치 전압과 전류 파형



(b) 공진용 커패시터 전압과 공진용 리액터 전류



(c) 게이트 전압과 부하전류

그림 6. Pspice 파형

그림에서 알 수 있듯이, 스위치 전류가 영인 상태에서 스위치 턴-온 되어 ZCS이 이루어 지는 것을 알 수 있다. 또한, 부하전류의 파형은 스위칭 주파수의 2개에 해당하는 출력 주파수로 정현파 상으로 진동하고 있음을 알 수 있다.

그림 7은 그림 3의 인버터 회로의 스위치 S_1과 S_2를 기본상으로 하여 S_3과 S_4의 구동신호펄스의 위상차각(φ)의 변화에 따른 최대 부하전류 특성을 나타내고 있다. 특성도에서 알 수 있듯이, φ의 증가에 따라 부하 전류의 최대값은 감소하는 경향을 나타내고 있다.

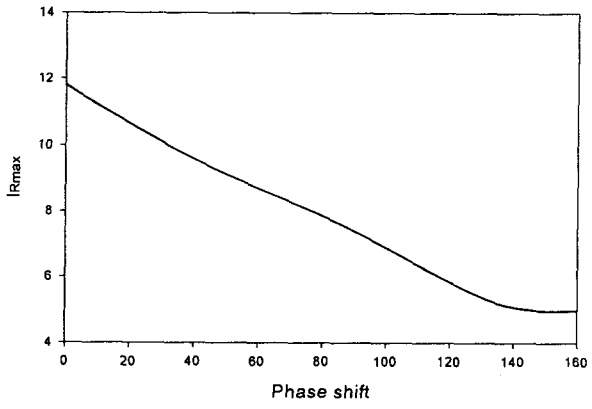


그림 7. 위상차각(φ)의 변화에 따른 최대 부하 전류

4. 결 론

본 논문에서는 종래의 하프 브리지 전압형 직렬공진형 인버터 회로를 기본으로 새로운 방식의 전류형 고주파 공진 인버터 토폴로지를 제안하고 그 기본동작원리 및 특성에 관하여 검토하였다.

제안한 회로는 스위칭 주파수보다 높은 출력주파수를 얻을 수 있고 인버터 내부에 VVVF 기능을 부여하여 출력전압·출력주파수를 제어할 수 있으며 더욱이, ZVS용 커패시터를 사용하지 않고도 ZVS 기능을 갖는 인버터로 동작할 수 있다는 특징을 가지고 있다.

연구대상 회로의 스위칭 소자로 MOSFET를 사용하고 wax-sealing을 유도가열부하로 상정하여 범용 시뮬레이션 툴인 Pspice를 통해서 고주파 전원으로서의 실용가능성을 확인하였다.

향후, 제안한 인버터는 유도가열 응용을 비롯하여 고주파 발진을 이용한 DC-DC 컨버터 및 중·대용량의 전력변환 장치에 그 응용이 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Mustansir H.K, "Coaxially Wound Transformer for High-Power High-Frequency Applications", IEEE TRANS on PE. Vol 7, pp. 54~62, Jan. 1992.

[2] Bimal K. Bose, "Evaluation of Modern Power Semiconductor Devices and Future Trends of Converters", IEEE TRANS on IND APP, Vol. 28, pp. 403~413, APRIL 1992.

[3] Thomas A. Lipo, "High Frequency Series Resonant dc Link Power Conversion", IEEE TRANS on IND APP, Vol 28, No. 6, pp. 1277~1285, Nov/Dec. 1992.

[4] Rudy Severns, "MOSPOWER Applications Handbook", Siliconix, pp. 139~142, 1984.

[5] Alan H. Weinberg, "A New Zero Voltage and Zero Current Power-Switching Technique", IEEE TRANS on PE, Vol. 7, NO. 4, pp. 655~665, Oct. 1992.

[6] Richard Redl, "A Novel Soft-Switching Full-Bridge DC/DC Converter: Experimental Results at 1.5kW, 100Khz", IEEE TRANS on PE, Vol. 6, No. 3, pp. 408~418, July 1991.

[7] Romeo Letor, "Static and Dynamic Behavior of Paralleled IGBT's", IEEE TRANS on IND APP, Vol. 28, No. 2, pp. 395~402, MAR/APR, 1992.

[8] LOUISE. E. FRENZEL, "Communication electronics", McGRAW-HILL, pp. 172~185, 1989.

[9] 조규판, 원재선 김동희 외 3인, "시분할 방식 VVVF형 고주파 공진 인버터의 특성해석", 조명·전기설비학회 논문지, Vol. 16, No. 3, pp. 20~28, 5, 2002.

[10] 이봉섭, 원재선, 김동희, "구동신호 제어기법에 의한 부하병렬형 고주파 인버터의 특성비교", 조명·전기설비학회 논문지, Vol. 17, No. 1, pp. 94~102, 1, 2003.