

창립
40주년학술대회
논문87-J-20-1

고주파 공진형 PWM 인버터 제어 DC/DC 컨버터

이종무, 위상봉, 구헌희, 김요희
한국전기연구소, 전력전자연구실

A Novel High-Frequency Resonant Type PWM DC/DC Converter

Jongmo Lee, Sangbong Wee, Heunhoi Koo, Yohee Kim

Power Electronics Lab., Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

This paper proposes a novel high-frequency resonant DC/DC converter having PWM(Pulse Width Modulation) inverter control function. The operating characteristics of this converter circuit are discussed from a theoretical point of view and compared with experimental results.

The results of operating characteristic analysis are given leading to complete designing data.

1. 서론

Computer를 중심으로 하는 정보처리 관련장치 및 통신기기 뿐만 아니라 산업용 전자응용기기 등의 구동을 위해서는 전원을 필요로 한다. 이들을 고정도로 동작시키기 위해서는 안정화된 직류 전원이 필요하다는 것은 언급할 여지가 없다. 최근, IC기술의 급속한 발전에 따라 전자응용기기의 소형,경량화가 실현되고 있으나, 전원기술은 IC기술의 적용이 곤란하므로 독자적인 기술로서 소형,경량화 및 고효율, 저 Cost화를 시키기 위한 개발,연구가 성행되어 지고있다.^(1,2) 현재 직류 안정화전원 시스템기술(AC/DC 컨버터 회로기술과 제어 기술)은 소형,경량화, 고출력화 등의 관점에서 종래의 시리즈 레귤레이터 방식에서부터 스위칭 레귤레이터 방식으로 기술변화가 이루어지고 있다. 특히, 고주파 스위칭용 전력 반도체 소자와 부품, 재료의 진보에 따라 스위칭 레귤레이터의 고주파화에 관한 연구가 활발하다.^(3,4) 고주파 스위칭 레귤레이터의 회로 기술에는 고주파 쇼퍼방식, 고주파 인버터 제어방식, 고주파 인버터 링크방식이 있으나 이들은 반도체 Power -

Electronics영역에 있어서 신 전원기술의 하나로써 많은 주목을 받고 있다.

본 논문은 이와같은 배경으로, 소형 자기 소포형 반도체 소자를 대상으로한 고주파 공진형 PWM 인버터 제어 DC/DC 컨버터 회로를 제안함과 동시에 회로의 동작원리 및 특성에 관하여 논하고 있다.

2. 고주파 공진형 인버터 제어 DC/DC 컨버터

(1) 제안 회로

그림 1 (a)(b)는 인버터 제어형 DC/DC 컨버터회

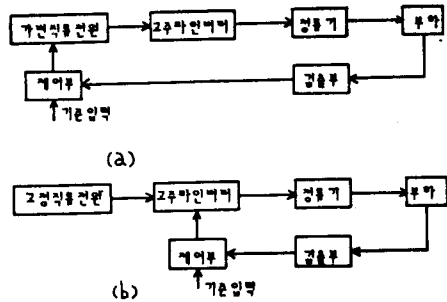


그림1. 인버터 제어형 DC/DC 컨버터의 Block도

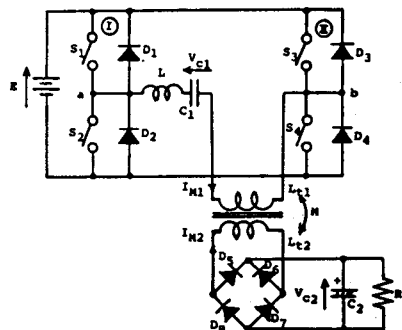


그림2. 고주파공진형 PWM인버터제어 DC/DC컨버터

로의 BLOCK도를 나타낸다. (a)는 가변 직류전압에 의해 출력전압을 제어하는 방식이며, (b)는 고정된 직류전압을 고주파 인버터의 전원으로 사용하면서, 인버터에 제어기능을 부여하여 출력전압을 제어하는 방식이다. 최근 DC/DC 컨버터에 공진을 이용하는 방향으로 기술이 변천을 하는데 그배경으로는 1) 시스템 전체의 소형,경량화, 2) 제어성의 향상, 3) 전송전력의 고밀도화등을 들수 있으며 더욱이, 어떤 동작조건하에서는 dv/dt , di/dt 가 완화되어 전자 환경상 문제로 되는 EMI도 저감시키기 때문이다.

그림 2는 제안회로의 회로구성을 나타낸다. S1-S4는 자기소호 기능을 갖는 슈트칭소자 즉, MOSFET, SIT, IGBT 등이 적용 가능하며, L, C1은 공진용의 리액터 및 콘덴서, C2는 평활용의 콘덴서이다.

제안회로의 특징은 다음과 같다.

- I) VVVF 제어기능이 있어 출력전압의 고속응 제어.
- II) 필터 회로가 소형,경량화.
- III) 공진형이므로 di/dt 가 적어 EMI의 저감.
- IV) 존E급 동작에 의해 전력변환효율의 증대.
- V) 다중화 구성에 의한 대응량화.
- VI) 출력 트랜스의 소형,경량화.

(2) 회로 동작원리

회로의 기본동작은 LC공진회로를 이용하여 외란을 포함한 직류 또는 고정된 직류 즉, 직류 전원전압 E를 인버터 부에서 교류전압으로 변환하고 이것을 고주파 트랜스를 통하여 Double Bridge에 의해 전파경로를 하며 C2로 평활하여 리플이 작은 직류전압을 얻고 있다. 그림 3은 제안회로의 출력전압 제어원리를 나타내는 Gate 신호를 보여준다. (a)는 (S1, S4) 및 (S2, S3)의 위상차각 $\phi = 0^\circ$ 에서 상호 교번적으로 On/Off 동작을 시키고 있다. 이 경우 L-C1-고주파 트랜스의 양단에는 정 또는 부의 직류전압이 인가되어 출력전압



그림3. 게이트 신호에 따른 출력전압

은 최대로 된다. (b)는 (S1에 대하여 S4), (S2에 대하여 S3)를, 또 (S1,S2)의 반주기 위상차를 유지하면서 $\phi = 90^\circ$ 만큼 Shift 시킨 상태이다. 이 경우 L - C1 - 고주파 트랜스의 양단에 직류전압이 인가되는 비율은 $\phi = 0^\circ$ 의 1/2 로 되어진다. 이와 같이 ϕ 를 $0^\circ - 180^\circ$ 까지 Shift시키는 것에 의해 PWM 제어된 출력전압 제어를 실현시킬 수 있다.

3. 제안회로의 특성평가

자기 소호형 소자를 도입한 직렬공진 회로는 회로의 고유 주파수 f_{ref} (그림 2의 공진용 L, C1에 의한 공진 주파수)와 동작 주파수 f_o (스윗칭 주파수)의 대소관계 즉, $U = 1$ ($U = f_o/f_{ref}$) 을 중심으로 두개의 동작양식으로 대별된다. 본 회로에서는 고주파 트랜스의 누설 인덕턴스와 평활용 콘덴서가 f_{ref} 에 영향을 미치므로 공진용 L, C1 에 의한 고유 주파수와는 다른 값을 나타낸다. 상기의 점들을 그림 4에서 나타내고 있다.

그림 4 에서 고주파 트랜스의 누설 인덕턴스가 없는

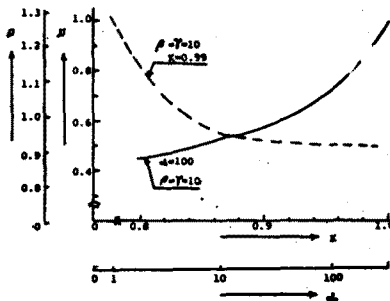


그림4. K, α 에 따른 U의 변화 ($\alpha=C2/C1$, $\beta=Lt1/L$, $\gamma=Lt2/L$, K: 결합계수, $f_{ref}=1/2\pi\sqrt{LC1}$)

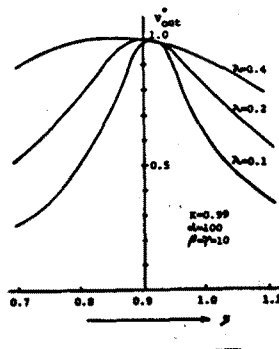


그림5. U - 출력전압 특성 ($V_{out}=V_{out}/K$, $\lambda=R/Zs$, $Zs=2\sqrt{L/C1}$)

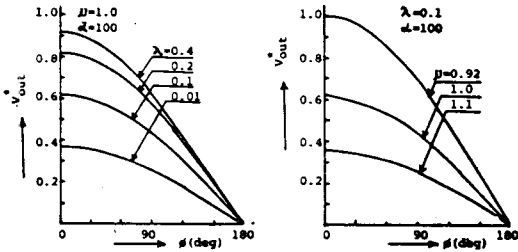


그림6. ϕ - 출력전압 특성

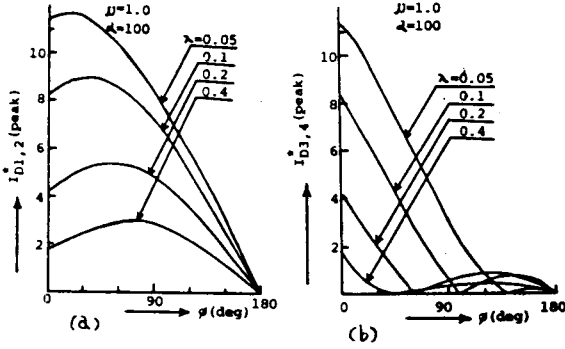


그림7. 전류 Peak 지

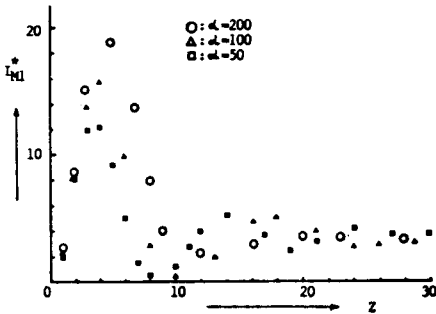


그림8. 기동시의 1차측 Peak 전류지

이상 변압기의 경우 ($K = 1$) $f_{erf} = f_o$ 로 되는 것은 $\mu = 1.0$ 이나, 누설인덕턴스가 크게 되어짐에 따라 μ 에 의한 영향이 현저히 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 그림 5는 스위칭 주파수에 따른 출력전압 제어 특성을 나타내고 있다. 이 특성은 그림2의 회로에서 $\phi = 0^\circ$ 의 경우 출력전압 특성에 대응된다. V_{out}^* 는 μ 에 따라 제어가 되고는 있으나 제어의 선형성이 없고, 경부하로 갈수록 μ 의 변화에 따라 V_{out} 가 급격히 변화되어 제어범위가 좁아지고 있는 것으로 보아 동작 주파수에 의한 제어는 그다지 바람직한 방법이 아니다.

그림 6은 각각의 부하 제어 변수와 정규화 주파수 μ 를 파라메타로 하여 위상차각을 변화시켰을 때의 출력전압 제어특성을 나타내고 있다. V_{out}^* 제어특성은 $\phi = 0^\circ$ 에서 최대출력, $\phi = 180^\circ$ 에서 출력이 영으로 된다. ϕ 의 증가에 따라 V_{out} 제어는 거의 선형성을 갖고 단순감소하는 특성을 갖고 있으며, 부하변동에 관계없이 제어특성이 거의 동일함을 알 수 있다.

그림 7 (a)(b)는 ϕ 에 따른 전력 회생용 Diode의 Peak 전류특성을 나타낸다. Diode에 흐르는 전류 Peak치는 ϕ 에 의해 (D1,D2)와 (D3,D4)가 전혀 다른 특성을 나타내고 있다. 즉, (D1, D2)에 흐르는 전류의 Peak치는 어떤 부하에 대해서도 ϕ 의 변화에 따라 서서히 감소하는 경향을 나타내고 있으나, (D3,D4)에 흐르는 전류 Peak치의 경우는 부하변동에 따라 어떤 위상차각에 있어서 영으로 되었다가 그 후, 다시 증가하여 180° 에서 영으로 되는 특성을 나타낸다. 이 특성은 회로 동작양식에 변화를 일으키고 있다는 것을 의미하고 있으므로 실제 운전시 (D3,D4)의 선택에 주의하지 않으면 안된다.

그림 8은 기동시의 1차측 전류 Peak치를 나타낸다. 그림에서 기동후 약 10 Cycle 후 정상상태로 들어가므로 응답이 빠른것을 알 수 있다.

4. 시작실험 결과 및 검토

그림 2에 나타난 제안회로에 IGBT를 도입하여 구성 실현한 고주파 공진형 PWM 인버터제어 DC/DC 컨버터 구성을 그림 9에 나타내고 있다.

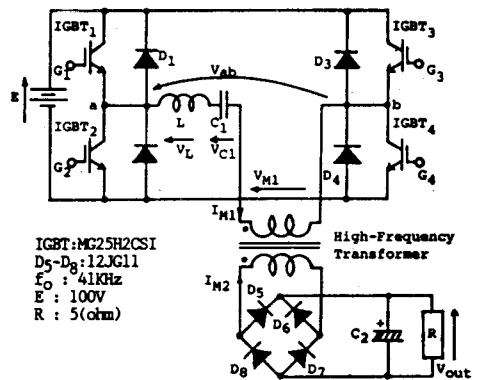


그림9. IGBT를 도입한 고주파 공진형 PWM 인버터제어 DC/DC 컨버터

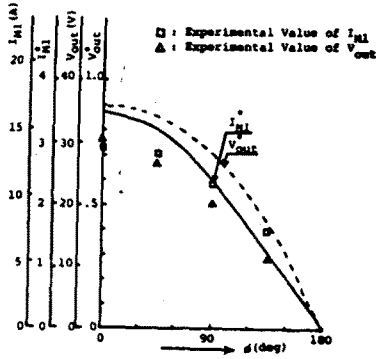


그림10. 출력전압 및 1차측 Peak전류의 이론치와 실험치

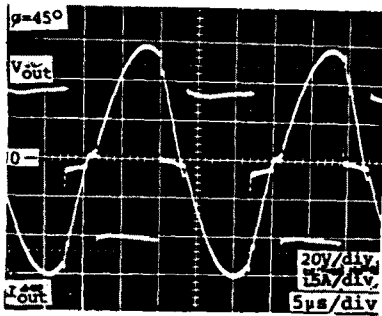


그림11. 실측 파형

시각회로에는 IGBT의 스윗칭 동작시에 발생하는 서지 전압을 Hardware적으로 해결한 결과 스너버 회로는 사용하지 않고 있다. 본 시각장치의 출력전압 제어를 위한 제어회로는 전자회로응용인 PLL 0° Lock 방식을 사용하여 LPF(Low Pass Filter)에 직류전압을 인가하여 위상각 ϕ 를 변화시켜 주고 있다. 그림 10은 시각장치에서 얻은 출력전압 및 1차측 Peak 전류의 실측치를 이론해석에서 얻은 이론치와 비교해서 나타나고 있다. 이론치와 실측치의 오차는 사용한 IGBT의 On 전압 (0.8-2.0 V)와 회로에 사용한 부품의 손실이 부하에 대하여 무시할 수 없어 생긴 것이라 생각된다. 또, 실험결과에서 출력전압의 제어특성이 직전성을 갖고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 그림 11은 시각장치에서 PWM 제어 전압과 1차측 전류의 실측파형을 나타내고 있다. 시각장치를 고유주파수 37 KHz, 또 동작주파수를 41 KHz로 선택하여($J=1.1$) 온전한 결과 Diode의 역회복시간 문제가 발생하지 않았다.

그 결과 IGBT 내부 Diode의 사용이 가능하여 성부품화가 되었다.

5. 결론

본 논문은 최근 실험 자기소호형소자로서 주목을 받고 있는 IGBT를 사용한 고주파 공진형 인버터 제어 DC/DC 컨버터 회로를 제안하여 그 동작원리 및 특징에 대해 논했다. 또, 제안회로의 해석결과에 의해 제어특성을 범용성있게 도시하여 실제 전단계에 필요한 특성평가에 대하여 기술했다. 더욱이 IGBT를 사용하여 실제 회로를 제작하여 제안한 고주파 공진형 PWM 제어 인버터 방식이 유효하다는 것을 확인함과 동시에 이론치와 실험치를 비교, 검토 하였다. 끝으로 본 논문에서 제안한 기본회로의 응용으로 고주파 인버터 링그형 UPS에 관해서도 연구 중에 있다.

참고 문헌

- (1). G.N. REAVAKER; "Voltage-Fed High Frequency Bridge Inverter", IEEE, Vol. IECI-21, No. 4 November, 1974
- (2). KIM DONGHEE; "Asymmetrical-SCR High-Frequency Parallel Inverter Controlled Resonant Converter with Choke-Input Filter Load and its Performance Analysis", 신학기보, Vol. 85, No. 51
- (3). R. KING et al; "A Normalized Model for the Half-Bridge Series Resonant Converter", IEEE Trans. On AFS, Vol AFS-17, No.2, 1982
- (4). LEE JONGMOO; "The Characteristic Analyses and Output Frequency Tracking Control of a HighFrequency Inverter", '87 한국 자동제어학술회의 논문집, Oct., 1987