

3상 고역률 Flyback 컨버터를 이용한 전압형 인버터의 고조파 제거

서기영*, 권순걸*, 이현우*, 고태연***, 김영문**, 문상필*, 장우신*
 경남대학교 전기공학과*, 마산대학 전기과**, 동의대학교 전기공학과***

Elimination of Harmonics Voltage-fed Inverter using Flyback Converter with Three-Phase High Power Factor

K. Y. Suh*, S. K. Kwon*, H. W. Lee*, T. E. Ko***, Y. M. Kim**, S. P. Mun*, W. S. Jang*
 Kyung-nam Univ.*, Masan College**, Dong-eui Univ.***

Abstract - A new three-phase voltage-fed inverter using partial resonant converter with high power factor and high efficiency is proposed.

The proposed Flyback converter is constructed by using a resonant network in parallel with the switch of the conventional converter.

The devices are switched zero voltage or zero current eliminating the switching loss.

This paper introduces elimination of harmonics compared with conventional SPWM inverter and three-phase voltage-fed inverter using Flyback converter.

1. 서 론

최근 반도체 제조기술의 발달은 전력용 스위치의 고출력 스위칭을 가능케 하였다. 이에 대해서 스위치 모드 전력 변환장치는 스위칭 주파수를 높임으로써 변환기의 소형화, 경량화 그리고 저잡음화 등을 성취하였다. 그러나 이들 변환기에 사용된 스위치들은 높은 스위칭 주파수에 의해 스위칭 손실이 크며 많은 스트레스를 받게 되어 변환기의 효율을 현저히 감소시킨다. 또한 전력변환기들은 하드 스위칭 동작에 의한 스위치를 보호하기 위해서 스위치 주변에 스너버 회로를 이용하여 보완하지만 출력전류가 증가할 경우 스너버 손실이 크게 되어 효율은 더욱 감소된다. 이들을 개선하기 위하여 스위치의 동작을 소프트 스위칭 즉, 영전압 스위칭 또는 영전류 스위칭으로 만들어 스위칭 손실 및 스너버 손실을 감소시키는 회로 토폴로지들이 많이 연구되고 있다.¹⁻³⁾

인버터에 있어서 리액터, 콘덴서등의 소형화, 출력전압 및 전류 파형의 개선, 응답성 향상을 목적으로 스위칭 주파수를 고주파화 한다. 스위칭주파수의 고주파화는 인버터출력 고조파전압의 저감을 가능하게 하고, 교류 리액터와 출력필터를 소형화 시킨다. 그러나 스위칭 고주파화에 따른 스위칭손실의 증가와 전자노이즈의 발생을 방지하기 위하여 LC공진회로를 이용하여 영전압 또는 영전류 스위칭 방법이 사용되고 있다.⁴⁻⁸⁾

본 논문에서는 컨버터의 지속적인 공진으로 인하여 공진용 소자들의 손실과 스트레스가 증가되는 등의 문제점들을 해결하기 위해서 부분공진의 기법을 전력변환기에 적용시킨 부분공진 컨버터를 제안하고, 직류측 맥동을 감소시키기 위하여 제어신호를 정현파 주파수 정(+)의 반주기에만 스위칭 동작하고, 부(-)의 반주기는 휴지하는 기간으로 설정한 3상 전압형 인버터를 구성하여, 스너버에 축적된 에너지를 전원으로 회생시켜 고효율화를 실현하며, 또한 입력 전류를 불연속적으로 동작하게 함으로써 입력 전류를 정현파로 만들어 고역률화를 시도하여, 전압형 인버터의 출력 기본파 성분을 증가시키고, 또 출력 필터를 이용하여 출력 시간전압 파형을 정현파화하여 고조파를 제거를 분석하고 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 입증하고자 한다.

2. 부분공진 기법을 적용한 3상 Flyback 컨버터

그림 1은 무손실 스너버를 활용한 3상 소프트 스위칭 컨버터이다. 그림에서 SW가 1조의 무손실 스너버 스위치로 치환되어진 3상 소프트 스위칭 AC-DC 컨버터로서 턴-오프시에는 스위치 양단에 영전압의 상태에서 Cr을 충전하면서 SW1, SW2의 전압이 서서히 상승하기 때문에, ZVS로 동작되어 스위치의 전압 스트레스가 경감된다. 또한 스위치 온 구간에서 스위치에 흐르는 전류는 SW1-D2와 D1-SW2로 분할되어 흐르기 때문에 전류 부담을 반으로 줄였다. 하지만 스너버 콘덴서 Cr에 충전된 에너지는 스위치 턴-온시에 SW1, SW2와 6개의 정류 다이오드를 통하여 단락 되어 방전하므로 손실을 발생시킨다. 이 손실을 줄이기 위하여 S1, S2의 턴-온시에 스너버 콘덴서 Cr의 에너지를 회생시키기 위하여 리액터 Ld를 삽입하여 그림과 같이 배치하였다. 이러한 회로는 스위치 턴-온시에 Cr에 축적된 에너지를 리액터 Ld로 전송시켜 스너버 콘덴서 Cr을 무손실로 동작되게 한다.

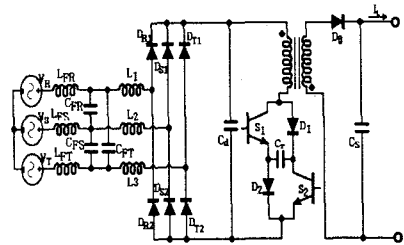


Fig.1 Three-phase Flyback converter using Partial resonant method

3. 3상 전압형 인버터

그림 2에 나타난 3상 전압형 인버터는 스위치 S1~S6로 이루어진 3상 브리지 회로로 스위치 S1, S2는 입력 신호 vi의 정(+)의 반주기 동안 PWM 스위칭 동작을 하며 부(-)의 반주기는 휴지하는 기간으로 되어 있다. 마찬가지로 스위치 S3, S4와 S5, S6도 입력 신호 vi의 반주기 뒤집 정(+)의 반주기동안 PWM 스위칭 동작을 하며, 부(-)의 반주기는 휴지하는 기간으로 되어 있다.

그림 3에 제어신호와 전류파형 IL를 나타내고, 3상 전압형 인버터의 PWM 제어신호는 정현파 입력신호 $v_i = V_m \sin \omega t$ 와 삼각파 캐리어신호 $v_c = V_{cm}(\omega_{ct})$ 을 비교하여 얻는다.

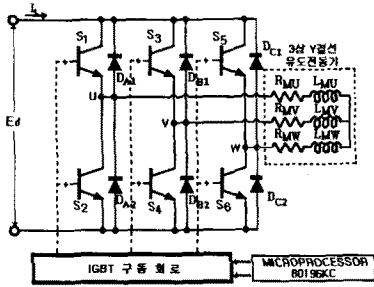


Fig.2 Three-phase voltage-fed inverter

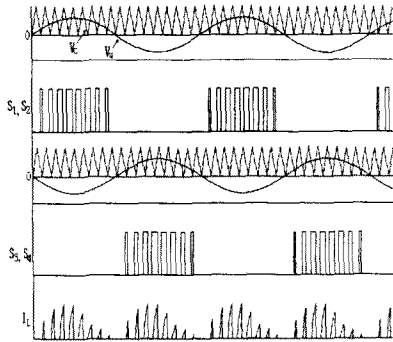


Fig.3 control signals and current waveform

삼각파 캐리어신호 주기 T_c , 스위칭 온기간 T_1 , 오프기간 T_2 에 대한 상태는 다음 식으로 정리된다.

$$T_1 = t_1 - t_0 = T_c a \sin \omega_i t_0 \quad (1)$$

$$T_2 = T_c - T_1 = T_c (1 - a \sin \omega_i t_0) \quad (2)$$

여기서, $\omega_i = 2\pi f_i$, a 는 변조율로 $a = V_{im} / V_{cm}$ 로 정의된다.

4. 시뮬레이션 결과 및 검토

제안한 "3상 고역률 Flyback 컨버터를 이용한 전압형 인버터"의 전체 회로도를 그림 4에 나타낸다. 시뮬레이션에서 제어 스위치는 가변저항 스위치로 가정하고 그 외 소자는 이상적인 소자로 하여 PSpice에 의한 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션에 사용된 회로정수들을 표 1에 나타낸다.

제안한 3상 고역률 Flyback 컨버터를 이용한 전압형 인버터의 입력 선간전압, 상전압과 상전류 및 L1, L2, L3

Table 1 Parameters of simulated circuit

입력 전압 V_i	50[V]
필터 LFR, LFS, LFT	100[μ H]
필터 CFR, CFS, CFT	10[μ F]
인덕터 L1, L2, L3	50[μ H]
공진 인덕터 L_r	120[μ H]
공진 콘덴서 C_r	0.1[μ F]
평활용 콘덴서 C_s	1000[μ F]
스위칭 주파수 f_s	20[kHz]
튜티율 D	50[%]
캐리어 주파수 f_c	2160[Hz]
변조도 M	0.9
3상 부하 R	8.2[Ω]
3상 부하 L	88.37[mH]

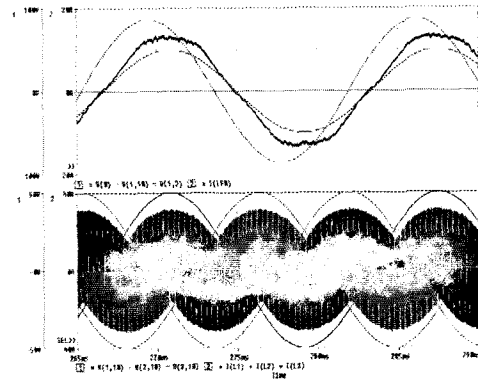


Fig.5 Input line Voltage, Phase Voltage, Phase Current and Discontinuous current wave-forms of proposed circuit

의 불연속 전류의 시뮬레이션 파형을 그림 5에 나타낸다.

그림 6는 그림 4의 회로에서 부분공진 컨버터에 대한 각 모드의 동작 파형으로서 리액터 전류가 영에서 시작함으로 스위치를 턴-온하면 ZCS 동작을 실현하고, 콘덴서 C_r 이 영에서 스위치가 턴-오프하는 구간으로서 ZVS가 실현된다.

그림 7은 스위치의 전압·전류 궤적을 나타내며 이것은 스위치 양단간의 전압과 전류의 곱으로서, 그림에서 보여지는 면적은 스위치 손실과 비례하므로 소프트 스위칭시의 스위칭 손실이 훨씬 줄었음을 보여주며, 이것은 고효율로 동작한다는 것을 의미한다.

그림 8에는 변조도 $M=0.9$, 기준파 $f=60$ [Hz], $f_c=2160$ [Hz]일 때의 기존의 3상 전압형 SPWM 인버터의 출력 상전압, 선간전압, 선간전류, 상전류 파형을 나타내고 있다. 그림 9에는 변조도 $M=0.9$, 기준파 $f=60$ [Hz], $f_c=2160$ [Hz]일 때의 기존의 3상 전압형 SPWM 인버터의 상전류, 선간전류, 상전압, 선간전압의 고조파 분석을 나타내고 있다.

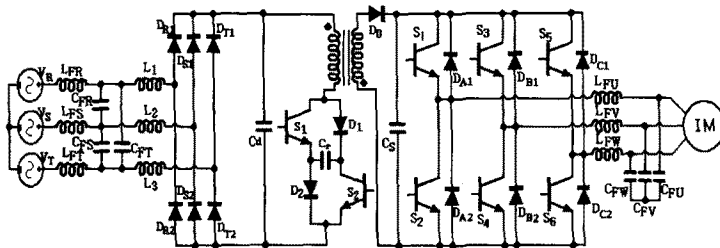


Fig. 4 Voltage-fed Inverter using Three-phase Flyback converter

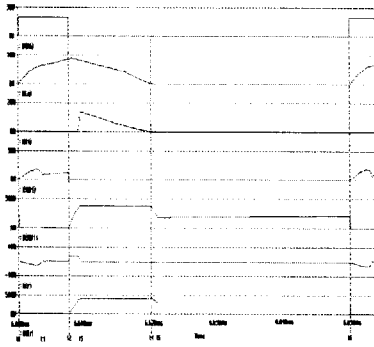


Fig.6 Operating Waveforms of Flyback Converter

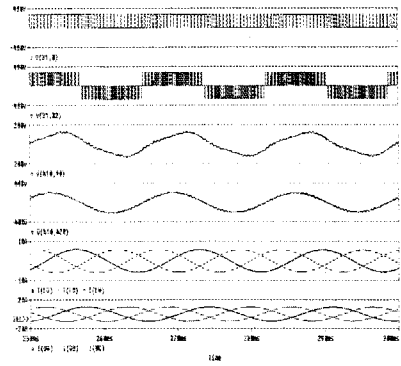


Fig.10 Output Waveforms of Voltage-fed Inverter using Flyback Converter (Low Pass Filter)

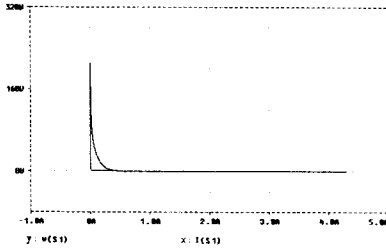


Fig.7 V-I locus of the switching device

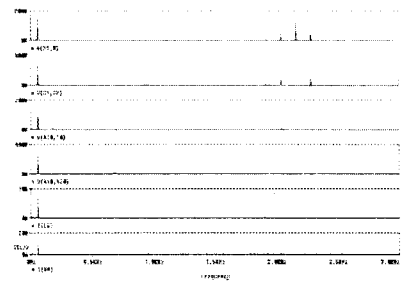


Fig.11 Harmonics of Voltage-fed Inverter using Flyback Converter(Low Pass Filter) 압, 선간전압, 상전류, 선간 전류의 출력 파형을 나타내고, 그림 11에는 이 때의 고조파 분석을 나타내고 있다.

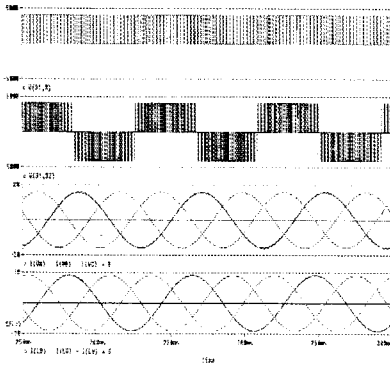


Fig.8 Output phase voltage, line voltage, line current, phase current Waveforms of voltage-fed SPWM inverter

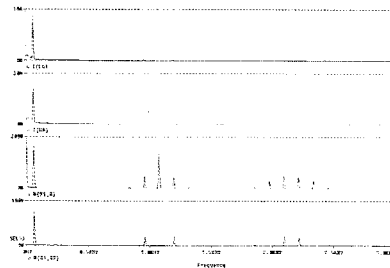


Fig.9 Harmonics of Voltage-fed SPWM Inverter

그림 10에는 변조도 $M=0.9$, 기준파 $f=60\text{[Hz]}$, $f_c=2160\text{[Hz]}$, 출력필터($L=1.92\text{[mH]}$, $C=30\text{[uF]}$)일 때의 제안된 Flyback 컨버터를 이용한 전압형 인버터의 상전

5. 결 론

본 논문에서는 회로가 간단하면서도 부분 공진 스위칭이 되는 "3상 고역률 Flyback 컨버터를 이용한 전압형 인버터"를 제안하였다. 사용된 스위치들의 동작은 스위치 동작 시에만 공진 회로를 형성시키는 부분 공진의 기법이 적용되어 스위치들의 스위칭 손실을 저감시키며, 부분 공진으로 인하여 공진 회로의 공진 손실 및 공진용 소자들의 스트레스를 감소시켜 주었다. 또한 컨버터를 이용함으로써 출력전압을 증대시킬 수 있으며, 한편 스위칭 주파수를 증가시키고, 출력측에 필터를 연결하여 저차 고조파를 제거할 수 있었다.

(참 고 문 헌)

1. D. M. Divan, "The resonant DC Link Converter - A New Concept in Static Power Conversion", Conf. Rec. of IEEE/IAS Annu Meeting, p. 648, 1986.
2. B. K Bose and J. S. Lai, "An Improved Resonant DC Link Inverter for Induction Motor Drives", Conf. Rec. of IEEE/IAS Annu Meeting, pp. 742-748, 1988.
3. W. McMurray, "Resonant Snubbers with Auxiliary Switches", IEEE/IAS conference Proceedings 1989, pp. 829-834, 1989.
4. J. He, N. Mohan and B. Wold, "Zero Voltages Switching PWM Inverter for High-Frequency DC-AC Power Conversion", IEEE IAS, Rec., pp. 1215-1221, 1990.
5. P. D. Garcia and I. Barbi, "A Family of Resonant DC-link Voltage Source Inverters", IEEE IECON, Rec., pp. 844-849, 1990.