

고주파 링크 전류원 인버터의 제어기법

김석환*, 임정규*, 정세교*, 이현우**

*경상대학교 전기전자공학부, **경남대학교 전기공학과

Control Technique for High Frequency Link Current-Fed Inverter

Seok-Hwan Kim*, Jung-Gyu Lim*, Hyun-Woo Lee**, Se-Kyo Chung*

*Dept of Electrical & Electronic Engineering, Gyeongsang National University

**Dept of Electrical Engineering, Kyungnam University

ABSTRACT

This paper describes a control technique for a high frequency (HF) link current-fed inverter with a single power conversion stage. The switching and control techniques for the primary full-bridge inverter and secondary cycloconverter are presented for generating a sinusoidal output voltage. The simulation and experimental results are provided to show the validity of the proposed control technique.

1. 서론

최근 들어 배터리를 이용한 포터블 기기와 연료 전지, 태양광 등과 같은 대체 에너지 원의 사용이 증가함에 따라 이와 같은 에너지원을 상용전원으로 변환하기 위한 효과적인 전력변환 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

일반적으로 배터리 또는 연료전지에서 발생하는 직류전압을 상용의 교류로 변환하기 위해서는 2단의 전력변환 과정을 거치게 된다. 즉, 낮은 직류전압을 승압하기 위한 직류/직류 변환 단계와 직류를 교류로 변환하기 위한 직류/교류 변환 단계를 거치게 된다. 그러나 이러한 기존 방법의 경우 큰 사이즈의 직류 링크 (DC link) 단이 필요하여 전력변환 시스템의 사이즈가 커지게 되며 2단계의 전력변환 과정을 거치므로 손실이 커지게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 근래에 와서 고주파 링크를 사용한 전력변환 방법에 대한 연구 결과가 제시되고 있다^{[1][2][4]}. 고주파 링크 전력 변환 방식은 전류원 및 전압원 방식이 있으며 전류원 방식은 낮은 입력전압을 높은 출력전압으로 변환하는데 적합하다^[4]. 따라서 본 논문에서는 배터리 또

는 연료전지용 직류/교류 변환을 위하여 단일 전력 단을 가진 고주파 링크 전류원 인버터의 구성을 제안하였으며 인버터의 동작 및 제어기법에 해서 기술하였다. 그리고 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통하여 제안된 회로 및 제어기법의 타당성을 검증하였다.

2. 고주파 링크 전류원 인버터

2.1 인버터의 회로 구성

그림 1은 본 논문에서 제안된 고주파 링크 전류원 인버터의 구성을 나타내고 있다. 인버터의 입력 전압은 48V의 직류이며 출력전압은 220V 교류이다. 제안된 회로는 1차측 인덕터 (L_s), 풀브릿지 (full bridge) 인버터 회로 (M_1 - M_4), 고주파 변압기, 2차측에 양방향 스위치 (S_1 , S_2) 및 출력 커패시터 (C_{oa} , C_{ob})로 구성되어 있다. 그리고 풀브릿지 회로 스위치가 모두 오프될 때 1차측 인덕터에 저장된 에너지를 회수하기 위해 플라이백 권선이 연결되어 있다.

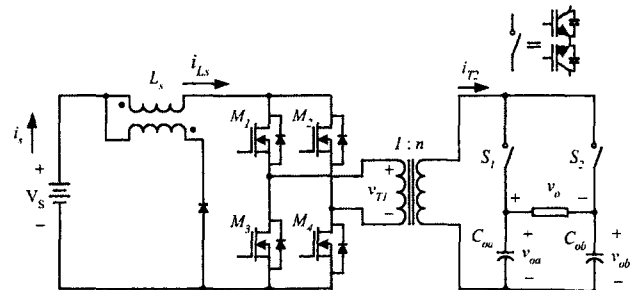


그림 1 고주파 링크 전류원 인버터
Fig. 1 High frequency link current-fed inverter

2.2 인버터 회로의 동작

본 논문에서 제안된 고주파 링크 전류원 인버터의 동작을 설명하면 다음과 같다. 먼저 직류전압은

1차측 인덕터와 풀브릿지 회로의 동작에 의해 정현파 전류로 변조되어 변압기를 통해 2차측으로 전달된다. 그리고 2차측으로 전달된 전류는 양방향 스위치의 동작에 의해 출력측 커패시터에 정현파 전압을 발생한다. 전체 인버터 시스템의 동작 모드는 power transfer, boost, and reset 모드로 나눌 수 있다. 각 모드의 동작은 그림 2에 나타내었고 다음의 설명과 같다.

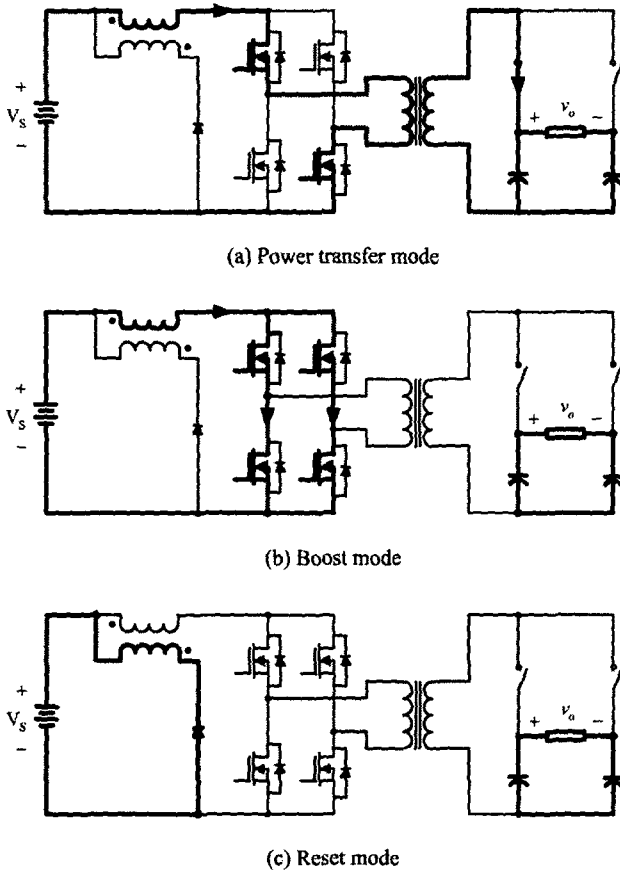


그림 2 고주파 링크 전류원 인버터의 동작모드
Fig. 2 Operating modes of HF link current-fed inverter

- Power transfer mode: 이 모드에서는 두개의 대칭적인 스위치 (M_1, M_3 또는 M_2, M_4)가 온 (on) 상태가 된다. 인덕터 전류는 풀브릿지 인버터에서 정현적으로 변조되며 변압기를 통해서 2차측으로 전달된다. 2차측으로 전달된 전류는 양방향 스위치의 동작에 의해 출력 커패시터에 정현파 전압을 유지하게 된다. 이때 2차측 양방향 스위치는 스위칭 손실을 최소화 하기 위해 링크 전류가 영일 때 스위칭을 하게 된다.
- Boost mode: 이 모드는 스위치 M_1, M_2 또는 M_3, M_4 가 켜지거나 모든 스위치가 켜질 때 발생한다. 이 모드에서는 1차측 인덕터 전류가 2차측으로 전달되지 않으며 인덕터 전류는 V_s/L_s 의 기율

기로 증가한다.

- Reset mode: 이 모드는 풀브릿지 인버터의 모든 스위치가 오프 (off) 될 때 발생한다. 이 모드에서도 인덕터의 전류는 2차측으로 전달되지 않으며 인덕터에 저장된 에너지는 플라이백 권선을 통해 전원으로 회수된다.

위와 같은 동작을 종합하면 1차측 인덕터 전류는 power transfer mode에서 2차측으로 전달되며 인덕터 전류는 boost와 reset 모드의 적절한 선택에 의하여 제어하게 된다.

3. 고주파 링크 전류원 인버터의 제어

3.1 제어 회로 구성

그림 3은 본 논문에서 제안된 고주파 링크 전류원 인버터 제어회로의 구성을 나타내고 있다. 제어회로는 크게 두 부분으로 구성되며 인버터의 출력 전압을 제어하는 전압제어 부분과 1차측 인덕터의 전류를 제어하는 전류제어 부분으로 나눌 수 있다. 각 부분을 설명하면 다음과 같다.

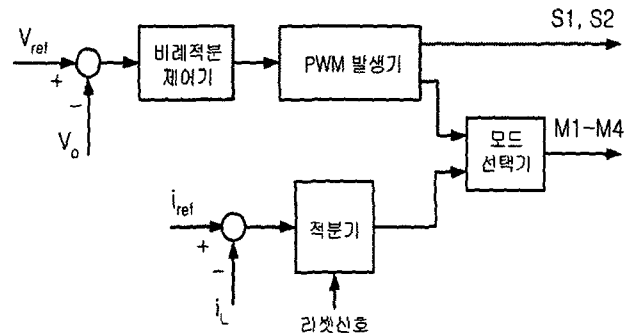


그림 3 고주파 링크 전류원 인버터 제어회로
Fig. 3 Control circuit for HF link current-fed inverter

3.2 출력전압 제어

기준전압과 출력전압의 오차로부터 비례적분 제어기에서 얻어진 제어입력은 풀브릿지 회로에서 PWM 되며 변압기를 통해 2차측으로 전달된다. 2차측으로 전달된 전류는 전류와 제어입력의 극성에 따라 제어되는 양방향 스위치를 통해 출력 커패시터에 정현파 전압을 발생하도록 한다. 2차측 양방향 스위치의 동작은 그림 4와 같다.

3.3 인덕터 전류 제어

기존의 전류원 인버터에서는 1차측 인덕터 전류를 제어하기 위해 buck 컨버터를 사용하였다. 그러나 제안된 인버터에서는 인덕터 전류가 2차측으로 전달되지 않는 구간에서 boost 및 reset 모드를 이용하여 인덕터 전류를 제어한다. 그림 5와 같이 기

준전류와 인덕터 전류의 오차를 적분한 신호 (x_k)를 제어신호로 사용하며 오차가 양 (+)일 경우 풀브릿지 회로를 boost 모드에서 동작하게 하며 오차가 음 (-)일 경우 reset 모드로 동작하게 한다.

$$mode = \begin{cases} boost & x_k > 0 \\ reset & x_k < 0 \end{cases} \quad (1)$$

여기서,

$$x_k = \int_{t_{k-1}}^{t_k} (i_{L_s}^* - i_{L_s}) dt \quad (2)$$

이며 샘플링 주기는 $T = t_k - t_{k-1}$ 이며 적분기는 매 샘플링 주기마다 리셋 된다.

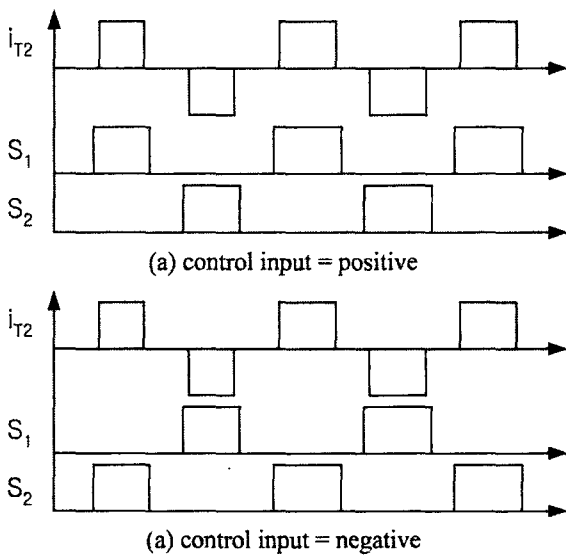


그림 4 양방향 스위치의 동작방법
Fig. 4 Operation method of bidirectional switches

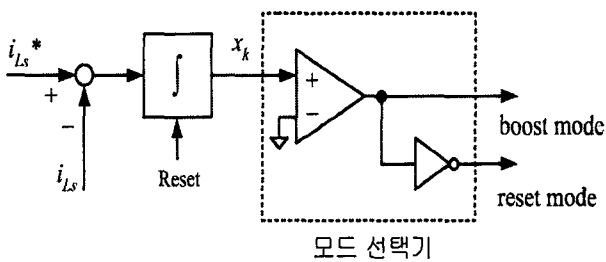


그림 5 1차측 인덕터 전류 제어기
Fig. 5 Current controller for primary inductor

4. 시뮬레이션 및 실험

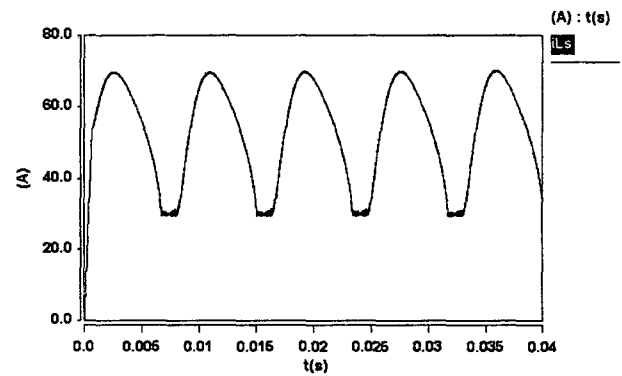
제안된 고주파 링크 전류원 인버터의 동작을 확인하기 위하여 시뮬레이션과 실험을 수행하였다. 시뮬레이션과 실험에 사용된 파라미터는 표1과 같다.

시뮬레이션에는 Saber package를 사용하였으며

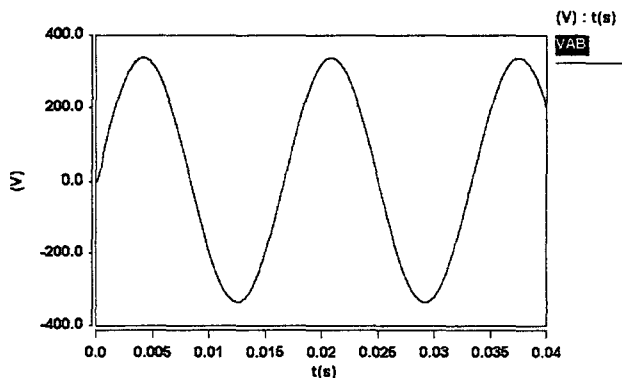
실험 시스템은 TMS320F2812를 이용하여 구현하였다. 그림 6은 시뮬레이션 결과를 나타낸 그림이다. 그림 6(a)는 인덕터 전류 (b)는 출력전압을 나타내고 있다. 전압명령은 308Vpp이며 인덕터 전류명령은 30A이다. 인덕터 전류는 전류가 2차측으로 전달되지 않는 구간을 사용하므로 전류의 제한 범위가 제한적이다. 따라서 power transfer mode에서 기준전류보다 큰 전류가 흐르게 된다.

표 1 시뮬레이션 및 실험 파라미터
Table 1 parameters for simulation and experiment

항목	값	항목	값
V_s	48V	스위칭 주파수(f_s)	20kHz
L_s	500uH	변압기 권선비	4
C_{oa}	47uF	C_{ob}	47uF



(a) 인덕터 전류



(b) 출력전압

그림 6 시뮬레이션 결과
Fig. 6 Simulation results

그림 7은 실험파형을 나타내고 있다. 기준전압은 $v_{ref} = 300\sin(2\pi 60t)$ 이며 출력전압이 기준전압을 잘 추종함을 볼 수 있다.

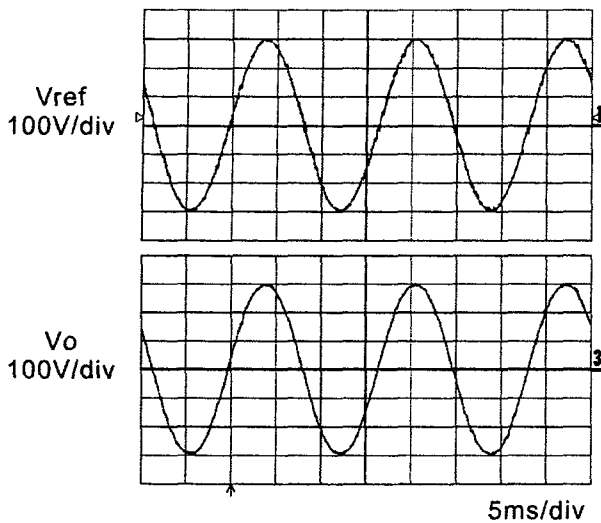


그림 7 실험 파형 (위: 기준전압, 아래: 출력전압)
 Fig. 7 Experimental waveform (upper: reference voltage, lower: output voltage)

5. 결 론

본 논문에서는 배터리 또는 연료전지 전원을 상용전원으로 활용하기 위한 고주파 링크 전류원 인버터에 대한 내용을 다루었다. 제안된 인버터는 단일 전력단으로 구성되어 간단하고 효율이 높으며 직류 링크커패시터가 없이 소형으로 구현이 가능하다. 제안된 방법에 대한 동작 및 제어기법을 설명하였으며 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 타당성을 검증할 수 있었다.

추후과제로는 제안된 인버터에 대한 추가적인 실험을 수행하여 인버터의 효율분석, 다양한 부하조건에서 제어특성 시험이 필요하며, 향후 실적용을 위해서는 상용저원에 적합한 용량의 시스템 개발이 진행되어야 할 것이다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축지원사업의 지원에 의하여 수행된 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] I. Yamato, N. Tokunaga, Y. Matsuda, H. Amano, and Y. Suzuki, "New conversion system for UPS using high frequency link," Conf. Rec. IEEE PESC'88, pp. 658-663, 1988.
- [2] M. Matsui, M. Nagai, M. Mochizuki, and A. Nabae, "High-frequency link DC/AC converter with suppressed voltage clamp circuits-naturally commutated phase angle control with self turn-off

- devices," IEEE Trans. on Ind. Appl., vol. 32, no. 2, 1996.
- [3] P. Tenti, L. Rossetto, L. Malesani, R. Borgatti, and R. Stefani, "Single stage current-fed DC/DC converter with time sharing control of output voltage and input current," IEEE Trans. Power Electr., vol. 5, no. 4, pp. 389-397, 1990.
- [4] P. J. Wolf, K. C. Kong, and G. F. Ledwich, "Single-phase converter with a high-frequency current-sourced link," IEEE Trans. Power Electr., no. 7, vol. 4, pp.638-692, 1992.