

Delta-Modulation 기법을 적용한 병렬 공진형 소프트 스위칭 인버터

최광수*, 김영호*, 김준구*, 원중연*, 정용채**, 오동성***
 성균관대학교*, 남서울대학교**, 삼성전기(주)***

Parallel Resonant Soft Switching Inverter based on Delta-Modulation Method

Kwang-Soo Choi*, Young-Ho Kim*, Jun-Gu Kim*, Chung-Yuen Won*, Yong-Chae Jung**,
 Dong-Sung Oh***

*School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

**Department of Electronic Engineering, Namseoul University

***SAMSUNG ELECTRO-MECHANICS CO., LTD

ABSTRACT

In this paper, we have proposed a Parallel Resonant Soft Switching Inverter based on Delta-Modulation Method. The conventional full-bridge inverter generates switching losses due to the hard switching. The proposed inverter operates soft switching using a DC-link switch and resonant circuit. So, all of the switches in the proposed inverter operates soft switching. Therefore the proposed inverter can reduce not only switching loss but also capacity and size of passive devices due to the resonant elements. The validity of the proposed inverter is verified thorough the theoretical analysis and simulation.

1. 서 론

최근 전력전자 분야에서 소형화, 경량화가 요구됨에 따라 스위칭 소자의 스위칭 주파수가 점차 증가되어지고 있다. 그러나 스위칭 주파수의 증가에 따라 MOSFET, IGBT와 같은 스위칭 소자에서 발생하는 스위칭 손실이 증가되는 문제점이 발생되어지고 이로 인해 전체 시스템의 효율을 저감시키게 된다.^[1] 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 공진 회로를 포함하는 소프트 스위칭 컨버터 및 인버터에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 기존의 소프트 스위칭 부스트 컨버터는 단상 full-bridge 인버터를 적용시 컨버터부에서는 소프트 스위칭 동작을 하는 반면, 단상 full-bridge 인버터부에서는 하드 스위칭으로 인해 스위칭 손실이 발생하는 하는 문제점을 가지고 있다.^[2]

따라서 본 논문에서는 delta-modulation 기법을 적용한 병렬 공진형 소프트 스위칭 인버터를 제안한다. 제안된 인버터의 스위치는 DC-link단의 전압이 0[V]일 때 스위칭 함으로써 ZVS(zero-voltage-switching)동작을 수행한다. 결과적으로 컨버터부와 인버터부의 모든 스위치가 소프트 스위칭 하여 스위칭 소자의 스위칭 손실을 저감시킬 수 있다. 시뮬레이션을 통해 제안된 인버터의 타당성을 검증하였다. ^{[1]~[4]}

2. 제안된 소프트 스위칭 인버터

2.1 제안된 소프트 스위칭 인버터의 구성

그림 1은 제안된 delta-modulation 기법을 적용한 병렬 공진형 소프트 스위칭 인버터이다. 제안된 인버터는 공진 인덕터 L_r 과 공진 커패시터 C_r 의 공진을 통해 단상 full-bridge 인버터의 입력 전압이 0[V]일 때 인버터의 스위칭 동작을 수행함으로써 영전압 스위칭(ZVS)을 한다. 따라서 제안된 소프트 스위칭 인버터는 기존 단상 full-bridge 인버터에서 하드 스위칭으로 인해 발생하는 스위칭 손실을 줄일 수 있다.

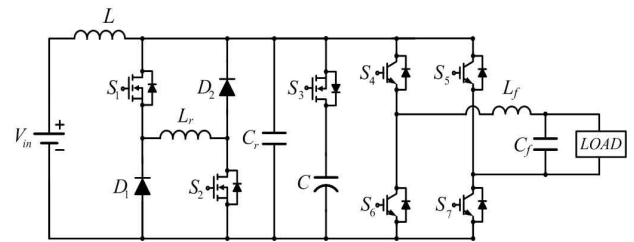


그림 1 제안된 소프트 스위칭 인버터
 Fig.1 The proposed soft switching inverter

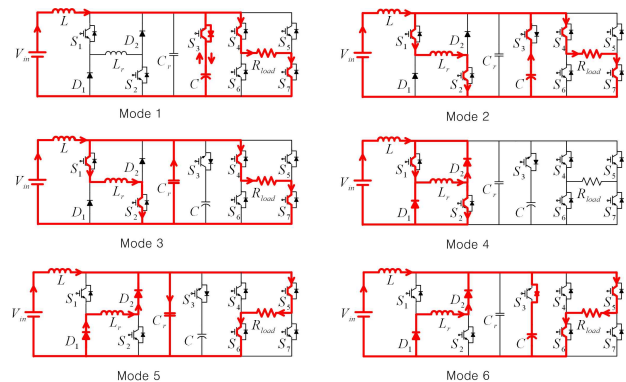


그림 2 제안된 소프트 스위칭 인버터의 동작모드
 Fig.2 Operation modes of the proposed soft switching inverter

2.2 동작 모드 분석

제안된 소프트 스위칭 인버터의 동작을 살펴보기 위해 다음 사항을 참고한다.

- Mode 1 ~ Mode 6은 반주기 동안의 동작모드이다.
- Mode 6 종료 후 Mode 1이 다시 시작되어 6개의 동작모드가 반복된다.

Mode 1 ($t_0 \leq t < t_1$)

스위치 S_3 는 ZVS 상태에서 턴-온되며, 인버터를 통해 부하에 전력을 공급하게 된다.

$$v_{Cr}(t) = V_{dc} \quad (1)$$

$$i_{Lr}(t) = 0 \quad (2)$$

Mode 2 ($t_1 \leq t < t_2$)

스위치 S_1, S_2 의 턴-온 신호와 함께 모드가 시작되며, 스위치 S_1, S_2 는 ZCS 턴-온 된다.

$$i_{Lr}(t) = \frac{V_{dc}}{L_r} t \quad (3)$$

Mode 3 ($t_2 \leq t < t_3$)

스위치 S_3 가 ZVS 턴-오프되며 모드가 시작된다. 공진 인덕터 L_r 과의 공진으로 인해 공진 커패시터 C_r 은 방전을 하게 되고, 공진 커패시터 C_r 이 완전 방전 시 모드가 종료 된다.

$$i_{Lr}(t) = (I_{min} - I_o) + \frac{V_o}{Z_r} \sin \omega_r t \quad (4)$$

$$v_{Cr}(t) = V_o \cos \omega_r t \quad (5)$$

$$Z_r = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \quad (6)$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} \quad (7)$$

Mode 4 ($t_3 \leq t < t_4$)

이 모드는 환류모드로, 메인인덕터 전류 i_L 과 공진인덕터 전류 i_{Lr} 이 다이오드 D_1, D_2 를 통해서 환류한다.

$$i_{Lr}(t) = i_{Lr}(t_3) \quad (8)$$

$$v_{Cr}(t) = 0 \quad (9)$$

Mode 5 ($t_4 \leq t < t_5$)

이 모드는 스위치 S_1, S_2 의 턴-오프와 함께 시작된다. 공진모드로 공진 커패시터 C_r 은 공진 인덕터 L_r 과의 공진을 통해 V_{dc} 까지 충전되어 진다.

$$i_{Lr}(t) = (I_{max} - I_{Lrmax}) \cos \omega_r t + I_{Lrmax} \quad (10)$$

$$v_{Cr}(t) = (I_{max} - I_{Lrmax}) Z_r \sin \omega_r t \quad (11)$$

Mode 6 ($t_5 \leq t < t_6$)

공진 캐패시터 C_r 이 완전히 충전된 후, 공진인덕터 L_r 의

전류가 0[A]가 될 때까지 공진인덕터 L_r 은 에너지를 방출한다.

$$i_{Lr}(t) = -\frac{V_{dc}}{L_r} t + I_{Lr}(t_5) \quad (12)$$

$$v_{Cr}(t) = V_{dc} \quad (13)$$

2.3 Delta-Modulation Method

delta-modulation 기법은 기준 전압 레퍼런스를 피드백 전압이 추종하도록 하는 방법이다. 그림 3은 delta-modulation 기법에 대한 블록도이다. 본 논문에서는 부하 조건에 따른 출력전압의 왜곡을 막기 위해, 일반적으로 사용되는 출력전압만을 피드백하는 기법이 아닌 필터커패시터 전류를 추가로 피드백하여 전압 왜곡을 보상하는 방법을 사용하였다.^[5] 그림 4는 delta-modulation 기법의 순서도이다. 인버터부의 소프트 스위칭을 위해 공진 커패시터 전압 V_{Cr} 이 0[V]가 된 후 컨버터부의 환류구간 시 인버터부의 스위치를 동작시켜 인버터부 또한 소프트 스위칭을 수행할 수 있도록 하였다.

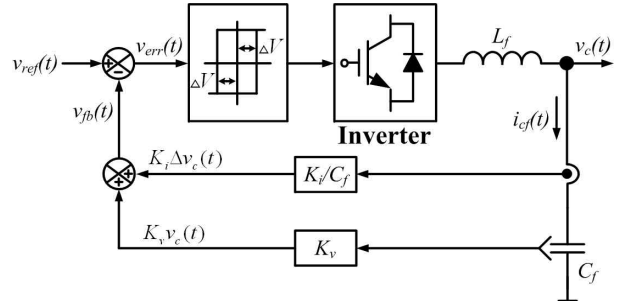


그림 3 Delta-modulation method 블록도

Fig. 3 Block diagram of the delta-modulation method

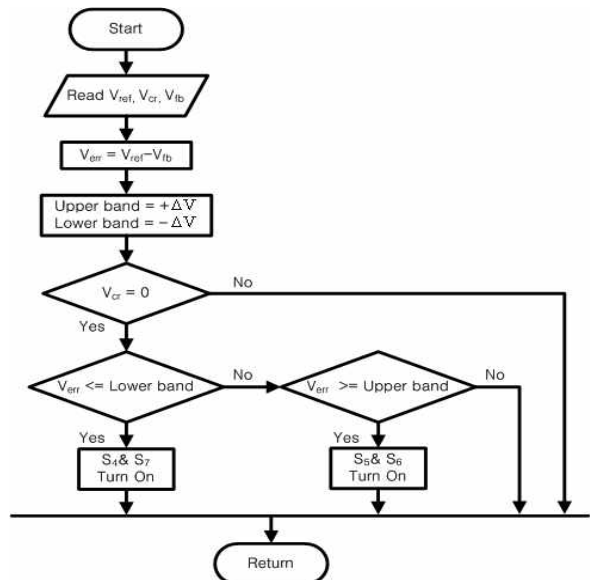


그림 4 Delta-modulation 기법 순서도

Fig. 4 Flow chart of the delta-modulation method

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 PSIM 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을 실행하였다. 표 1은 시뮬레이션 파라미터 값을 나타낸다.

표 1 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값

Table 1 The simulation parameters

Rated power	1.5 [kW]
Input voltage	340 [V]
DC-link voltage	400 [V]
Main inductor	3 [mH]
Resonant inductor	10 [μ H]
Resonant capacitor	40 [μ F]
DC-link capacitor	1000 [μ F]
Converter frequency	30 [kHz]

그림 5는 컨버터 스위치 S_1, S_2, S_3 의 전압, 전류 파형이다. 스위치 S_1, S_2 는 스위치 턴-온 시 ZCS 동작하고, 스위치 턴-오프 시 ZVS 동작한다. 스위치 S_3 는 턴-온, 턴-오프 시 ZVS 동작한다.

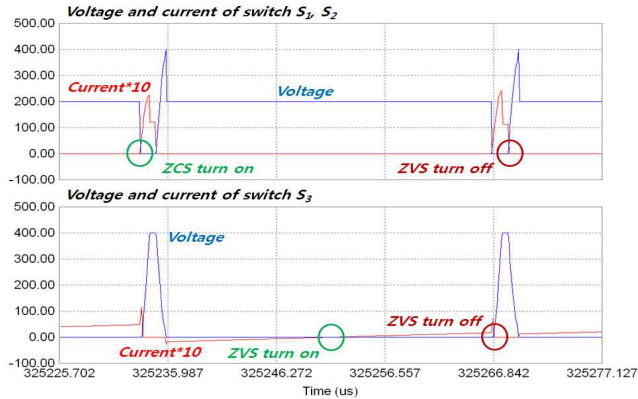


그림 5 컨버터부 스위치 S_1, S_2, S_3 전압 전류 파형

Fig.5 Voltage and current waveforms of switch S_1, S_2, S_3 in converter stage

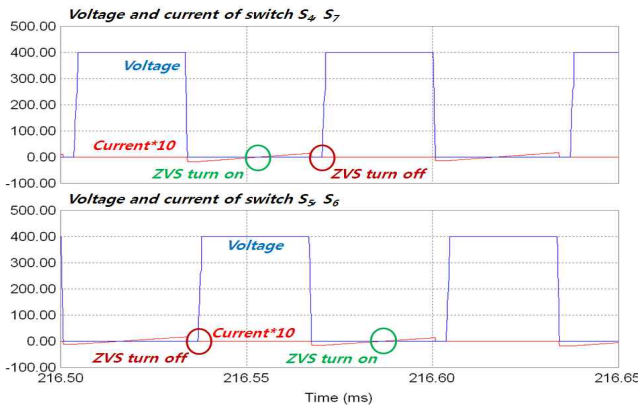


그림 6 인버터부 스위치 S_4, S_5, S_6, S_7 전압 전류 파형

Fig.6 Voltage and current waveforms of switch S_4, S_5, S_6, S_7 in inverter stage

그림 6은 인버터 스위치 S_4, S_5, S_6, S_7 의 전압, 전류 파형이다. 인버터부의 각 스위치들은 턴-온, 턴-오프 시 ZVS 동작한다.

그림 7은 제안된 시스템의 delta-modulation 전압 제어기법을 통하여 얻은 인버터 출력 전압 파형이다. 출력전압은 220[Vrms], 60[Hz]이며, THD는 3.8%이다.

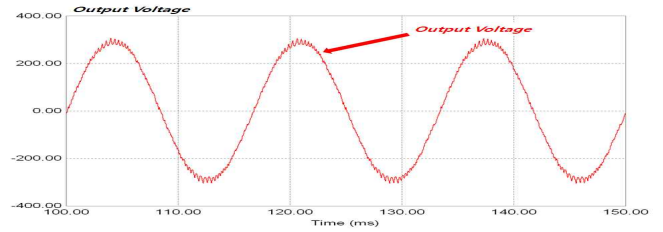


그림 7 Delta-modulation 기법을 이용한 출력 전압 파형

Fig.7 Output voltage waveform using delta-modulation method

5. 결론

본 논문에서는 delta-modulation 기법을 적용한 병렬 공진형 소프트 스위칭 인버터를 제안하였다. 제안된 인버터의 스위치는 DC-link단의 전압이 0[V]일 때 스위칭 함으로써 ZVS동작을 수행한다, 시뮬레이션을 통해 60[Hz], 220[Vrms]의 인버터 출력전압을 확인하였으며, 이를 통해 제안된 인버터의 타당성을 검증하였다. 실험을 통하여 향후 연구를 진행할 예정이다.

이 논문은 삼성전기(주)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [1] Kwang-Soo Choi, Chung-Yuen Won, Yong-Chae Jung, Jin-Wook Kim, "ZVS H-bridge Inverter using Soft Switching Boost Converter" Proceedings of the IEEE IP EMC 2009, pp. 1448-1492, May, 2009.
- [2] Gil-Ro Cha, Sang-Hoon Park, Chung-Yuen Won, Yong-Chae Jung and Sang-Hoon Song, "High Efficiency Soft Switching Boost Converter for Photovoltaic System", Proceeding of IEEE EPE-PEMC 13th, pp. 391-395, Sep, 2008.
- [3] Young-Ho Kim, Gil-Ro Cha, Young-Hyok Ji, Jae-Hyung Kim, Yong-Chae Jung, Chung-Yuen Won, "ZVS resonant DC-link inverter using soft switching boost converter", Proceedings of the IEEE, ICIT 2009, pp. 1-5, Feb, 2009.
- [4] Jia-You Lee, Yu-Ming Chang, Wen-Inne Tsai and York-Yih Sun, "A new soft switching transition PWM boost converter for power factor correction using parallel resonant tank", Proceeding of the IECON Vol. 2. pp. 942-947, Nov, 1993.
- [5] Gui-Xin Wang, Bin Wang, Yong Kang, Jian Chen, "A Novel Voltage-Controlled Delta-Modulated UPS Inverter Control Scheme", Proceeding of IEEE IECON 2004, Vol. 2, pp. 1833-1838, Nov, 2004