

# 하나의 감극성 커플드 인덕터 보조 회로를 갖는 발전된 영전압 천이 소프트-스위칭 인버터

임종엽, 소재환, 김래영\*  
한양대학교

## An Improved Single-Phase Zero-Voltage Transition Soft-Switching Inverter with A Subtractive Coupled Inductor Auxiliary circuit

Jong-Yeop Lim, Jae-Hwan Soh, Rae-Young Kim\*  
Hanyang University

### ABSTRACT

본 논문에서는 하나의 감극성 커플드 인덕터 보조 회로를 갖는 발전된 영전압 천이 소프트-스위칭 인버터를 제안한다. 기존에 제안된 소프트-스위칭 인버터의 큰 커패시터나 추가 회로의 필요성과 같은 구조적 단점을 극복하였다. 또한, 하나의 커플드 인덕터 보조 회로를 이용하여 풀-브리지 인버터를 구현하여 보조 회로의 소자 수를 줄여 가격과 부피에서 장점이 있다. 본 논문에서 제안된 회로의 동작 원리와 특성들을 다룰 것이며 시뮬레이션을 통하여 유효성을 검증하였다.

### 1. 서론

최근 산업계에서는 인버터의 소형화, 경량화 등을 위해 고주파수 스위칭 동작이 요구되고 있다. 이러한 스위칭 동작은 높은 스위칭 손실로 인한 전체적인 효율 감소를 야기할 수 있다. 이러한 손실을 저감하기 위하여 커패시터와 인덕터의 공진을 이용하는 다양한 소프트 스위칭 인버터들이 연구되고 있다<sup>[1]</sup>. 하지만 소프트 스위칭의 적용 시 추가되는 보조 회로에 의한 시스템의 부피와 가격이 커지는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 하나의 보조 공진 회로를 갖는 인버터가 제안되었지만 구조적 문제점이 여전히 남아있다<sup>[2]</sup>.

본 논문에서는 하나의 감극성 커플드 인덕터 보조 회로를 갖는 발전된 영전압 천이 소프트-스위칭 인버터를 제안한다. 커플드 인덕터를 사용하여 기존 하나의 보조 공진 회로를 갖는 소프트-스위칭 인버터의 큰 커패시터나 추가 회로의 필요성과 같은 구조적 단점을 극복하였다. 또한, 하나의 보조 회로를 이용하여 풀-브리지 인버터를 구현하여 보조회로의 소자 수를 줄여 전체 시스템의 부피와 가격을 줄일 수 있다. 변형된 단극성 펄스 폭 변조 방식을 이용하여 출력 전류의 고조파 성분을 개선하였다. 본 논문에서는 제안된 회로에 대한 모드 분석을 다루며 시뮬레이션을 통하여 유효성을 검증하였다.

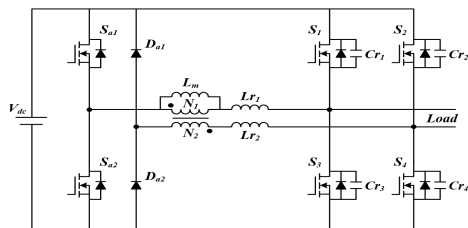


그림 2 제안한 영전압 천이 소프트-스위칭 인버터

### 2. 본론

#### 2.1 제안된 인버터의 구조

제안하는 소프트-스위칭 인버터 회로는 그림 1과 같다. 제안하는 회로는 일반적인 풀-브리지 인버터와 턴 수 N을 갖는 하나의 감극성 커플드 인덕터, 두 개의 스위치와 다이오드로 구성된다. 인버터는 두 개의 주파수로 동작하는 변형된 단극성 펄스 폭 변조 방식을 사용한다.

#### 2.2 동작 원리와 특성 분석

그림 2와 그림 3은 제안된 회로의 한 주기의 주요한 파형들과 각각 단계에서의 회로 동작을 보여준다. 각 단계의 모드 분석과 특성들은 다음과 같다.

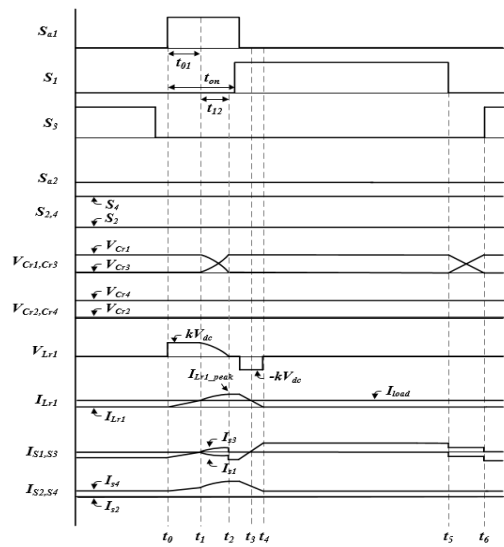


그림 3 제안한 회로의 스위칭 한주기 파형

STEP 1 [ $t < t_0$ , (a)]: 메인 스위치  $S_a$ 와  $S_b$ 의 역 병렬 다이오드를 통해 부하 전류가 흐르고 있다.

STEP 2 [ $t_0 < t < t_1$ , (b)]: 보조 스위치  $S_{a1}$ 이 켜지면 보조 인덕터  $L_r$ 에는  $V_{dc}$ 의 전압이 걸리게 되어 전류가 선형적으로 증가한다. 이 때 관계를 수식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$kV_{dc} = L_{r1} \frac{di}{dt} \text{ where } k = \frac{N^2}{1+N^2} \geq \frac{1}{2} \quad (1)$$

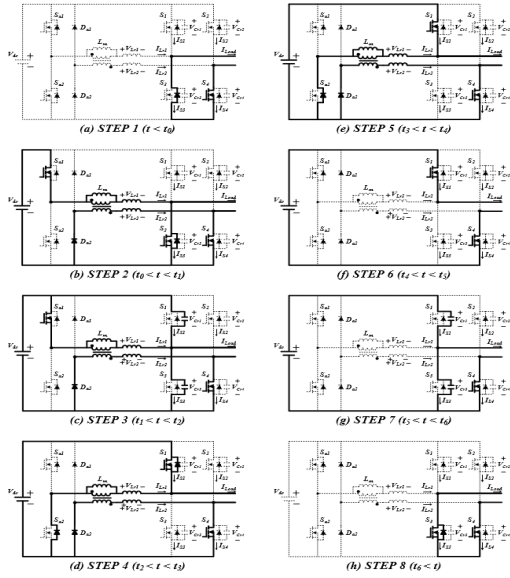


그림 4 제안된 회로의 단계별 다이어그램

STEP 3 [ $t_1 < t < t_2$  (c)]: 보조 인덕터  $L_{r1}$ 의 전류가 부하 전류의 크기와 같아지면, 보조 인덕터  $L_{r1}$ 와  $C_{r1}$ ,  $C_{r3}$ 에 의한 공진이 발생하여  $C_{r1}$ 에 충전되어 있는 전압  $V_{Cr1}$ 을 방전시키고,  $C_{r3}$ 의  $V_{Cr3}$ 을 충전시킨다. 이때의 공진 주파수는 식(2)로 표현할 수 있다.

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{2C_r \cdot L_{r1}}} \quad (2)$$

STEP 4 [ $t_2 < t < t_3$  (d)]: 두 개의 보조 커패시터  $C_r$ 를 각각 충전과 방전 시킨 후 여분의 전류  $I_{Lr}$ 가  $S_2$ 의 역병렬 다이오드를 통해 흐르게 된다. 이 구간에서 메인스위치  $S_1$ 은 ZVS 해줄 수 있다. 이때 메인스위치를 온 시키는 시간은 STEP2와 STEP3의 시간보다 길어야 하고 이를 식 (3)으로 표현할 수 있다.

$$t_{on} = t_{01} + t_{12} = \frac{L_{r1} \cdot I_{Lr1}}{k \cdot V_{dc}} + \frac{\pi \sqrt{2C_r \cdot L_{r1}}}{2} \quad (3)$$

STEP 5 [ $t_3 < t < t_4$  (e)]: 전류  $I_{Lr}$ 가 부하 전류보다 작아지면 메인스위치  $S_1$ 에 흐르는 전류  $I_{S1}$ 의 방향이 바뀌고 스위치가 도통하게 된다.

STEP 6 [ $t_4 < t < t_5$  (f)]: 보조 인덕터  $L_{r1}$ 의 전압이 0이 되고 메인스위치  $S_2$ 와  $S_4$ 를 통해 부하 전류가 흐르게 된다.

STEP 7 [ $t_5 < t < t_6$  (g)]: 메인스위치  $S_2$ 가 꺼지면 일정한 부하 전류에 의하여  $C_{r1}$ 과  $C_{r3}$ 가 충, 방전을 한다.

STEP 8 [ $t_6 < t < t_7$  (h)]: 보조 커패시터  $C_{r3}$ 가 완전히 방전을 하면 메인스위치  $S_3$ 은 ZVS상태에서 온 시켜준다. 메인스위치  $S_2$ 와  $S_3$ 의 역 병렬 다이오드를 통해 부하 전류가 흐르게 되고 STEP1으로 돌아가게 된다.

### 3. 시뮬레이션

그림 4는 제안된 회로에서 영전압 스위칭의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림 4의 (a)는 부하전류의 극성이 양인 경우와 그림 4의 (b)는 부하전류의 극성이 음인 경우이다. 부하전류의 방향에 따라 모두 영전압 스위칭이 일어나는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 출력 전압과 출력 전류 시뮬레이션 결과 파

형이다. 출력전압이 300V에서 0V 또는 0V에서 -300V로 변동하는 파형을 통하여 단극성 펄스 폭 변조 방식을 사용하였다는 것을 확인할 수 있다.

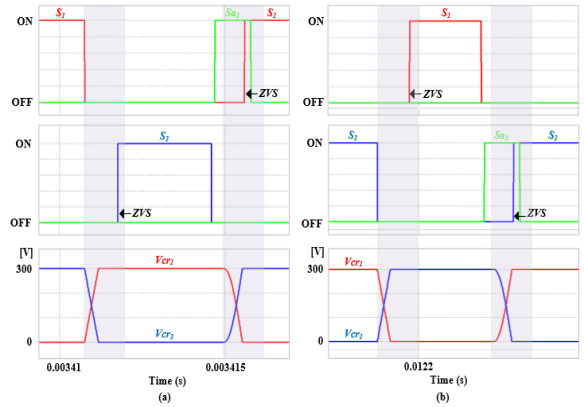


그림 4 부하 전류 방향에 따른 영전압 스위칭 시뮬레이션 파형

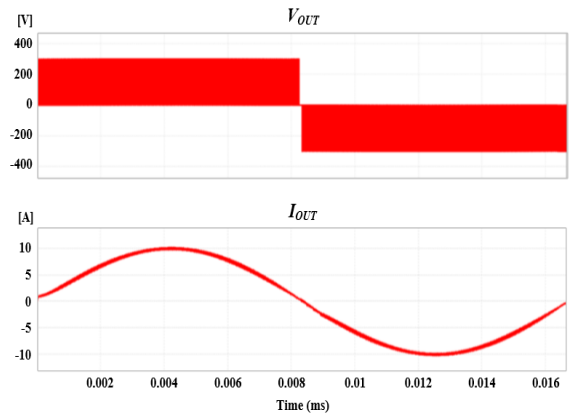


그림 5 출력전압과 출력전류 시뮬레이션 파형

### 4. 결론

본 논문에서는 하나의 감극성 커플드 인덕터 보조 회로를 갖는 영전압 전이 소프트-스위칭 인버터를 제안하였다. 커플드 인덕터를 사용하는 소프트-스위칭 회로이기 때문에 기존에 제안된 소프트-스위칭 인버터의 단점인 큰 커패시터나 추가 회로의 필요성과 같은 문제를 극복하였다. 또한, 하나의 보조 회로를 사용함으로써 전체 시스템의 부피와 가격을 줄일 수 있고, 단극성 펄스 폭 변조 방식을 이용하여 출력 전류의 고조파 성분을 개선하였다. 시뮬레이션을 통하여 회로의 동작 가능성을 검증하였다.

### 참고 문헌

[1] Jih-Sheng Lai, "Fundamentals of A New Family of Auxiliary Resonant Snubber Inverters", IECON 97, 23rd International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, Page(s): 645-650, 1997.  
 [2] Moah-Chin Jiang; Wei-Shiang Wang; Huang-Kai Fu; Kuei Wu-Chang; Min-Lun Tsai; Kao-Ui Lu, "A Novel Single-Phase Soft-Switching Unipolar PWM Inverter," ECCE Asia, pp.2874-2879, 2011.