

Active NPC 인버터를 적용한 계통연계 전력변환 시스템의 제어

김성원, 서동우, 이교범
아주대학교

Control of Grid-Connected Power Conversion Systems using an Active NPC Inverter

Sung-Won Kim, Dong-Woo Seo, and Kyo-Beum Lee
Ajou University

ABSTRACT

This paper presents a control method for grid-connected Active-NPC inverter systems. NPC (Neutral Point Clamped) is widely used in power conversion systems. NPC has a loss of switching elements and voltage imbalance. Active NPC has been proposed to overcome these drawbacks. ANPC changed the neutral diode to IGBT to reduce the switching loss. This paper modeled a grid-connected Active-NPC inverter systems and analyzed its performance. DSOGI PLL was used as a phase control method for precise control of grid link voltage. The proposed method is verified by PSIM simulation.

1. 서론

신재생 에너지에서 발생하는 전력은 전력계통에 직접 전달하거나 에너지 저장소에 보관하여 사용하게 된다. 이를 위해 다양한 형태로 전압/전류를 제어하는 전력변환장치를 필요로 하며 직류 발전 설비와 전력계통을 연계하는 장치로 인버터의 사용이 필수적이다.

인버터의 효율적인 사용을 위해 3레벨 인버터 구조가 제안 되었으며, 대용량에서는 3-Level NPC (Neutral Point Clamped)가 주로 사용된다. 하지만 NPC는 각 IGBT마다 스위칭 손실이 균등하게 나타나지 않는 단점이 있다. 이로 인한 전력 손실을 보완하기 위해 NPC의 중성점 다이오드를 IGBT로 바꾼 ANPC(Active NPC)가 개발되었다. 계통 연계 전력변환 시스템은 인버터의 안정적인 제어를 위해 직류 전원과 다양한 계통 전압간의 적절한 위상 제어를 필요로 한다. 이를 위해 위상검출기, 루프필터, 제어발진기로 구성된 SRF PLL(Phase Locked Loop)제어 알고리즘이 널리 사용되었다. 최근에는 기존 알고리즘보다 향상된 성능을 나타내는 DSOGI PLL이 제안되었다. DSOGI PLL은 계통 전압의 위상 추정과 주파수 추정을 추출하는 것이 효율적이고 발전 및 고조파 리플을 감소시킨다.

본 논문에서는 ANPC 인버터를 적용한 계통연계 인버터를 모델링하고 DSOGI PLL 방식의 계통 연계 위상 제어 기법을 적용하여 제안한 기법의 성능을 확인한다. PSIM 시뮬레이션을 통해 시스템의 타당성을 검증하였다.^{[1][2]}

2. 계통 연계 ANPC 인버터 시스템

2.1 ANPC 인버터

그림1은 ANPC 인버터의 회로도를 나타낸다. ANPC인버터는 NPC 인버터의 중성점 다이오드를 IGBT로 대체하여 표1과 같이 0동작을 4가지로 구분하여 스위칭을 제어한다. 이를 통하여 1번,4번 IGBT의 손실을 분담할 수 있고 스위칭 손실의 불균형을 감소시킨다.

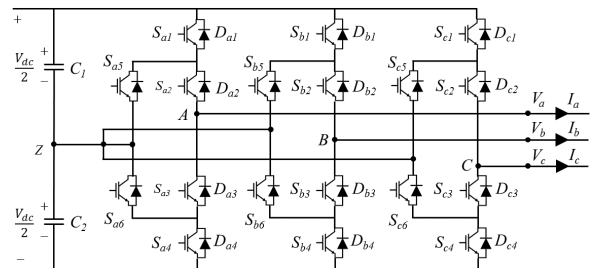


그림 1 ANPC 타입 3-레벨 인버터 회로도
Fig. 1 ANPC 3-level inverter circuit diagram

표 1 ANPC 출력 전압에 따른 스위칭 상태
Table 1 Switching state according to ANPC output voltage

State	S _{x1}	S _{x2}	S _{x3}	S _{x4}	S _{x5}	S _{x6}
P	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON
OU2	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
OU1	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF
OL1	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON
OL2	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON
N	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF

2.2 ANPC 인버터의 DSOGI PLL

ANPC 인버터의 계통 연계 위상 제어를 위해 DSOGI PLL을 적용하였다. 식 (1)은 SOGI의 특성 전달 함수를 나타낸다.

$$D(s) = \frac{v'}{v}(s) = \frac{k\omega' s}{s^2 + k\omega' s + \omega'^2} \quad (1)$$

$$Q(s) = \frac{qv'}{v}(s) = \frac{k\omega' s}{s^2 + k\omega' s + \omega'^2}$$

$$V_{dq}^+ = \begin{bmatrix} v_d^+ \\ v_q^+ \end{bmatrix} = [T_{dq}] V_{\alpha\beta}^+ ; [T_{dq}] = \begin{bmatrix} \cos\theta^+ & \sin\theta^+ \\ -\sin\theta^+ & \cos\theta^+ \end{bmatrix} \quad (2)$$

그림 3은 DSOGI PLL의 블록 다이어그램이다. 식(2)에서와 같이 양의 시퀀스 전압 벡터는 $\alpha\beta$ 의 고정기준 프레임을 dq축 회전기준 프레임으로 변환하여 나타낸다.

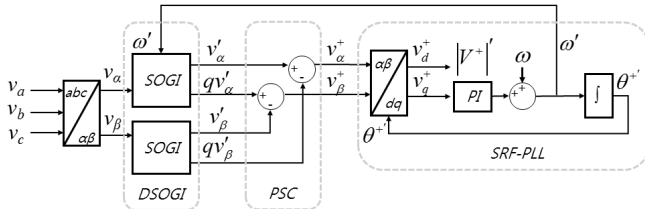


그림 3 DSOGI PLL의 블록 다이어그램
Fig 3 Block diagram of DSOGI PLL

3. 시뮬레이션

3.1 DSOGI PLL

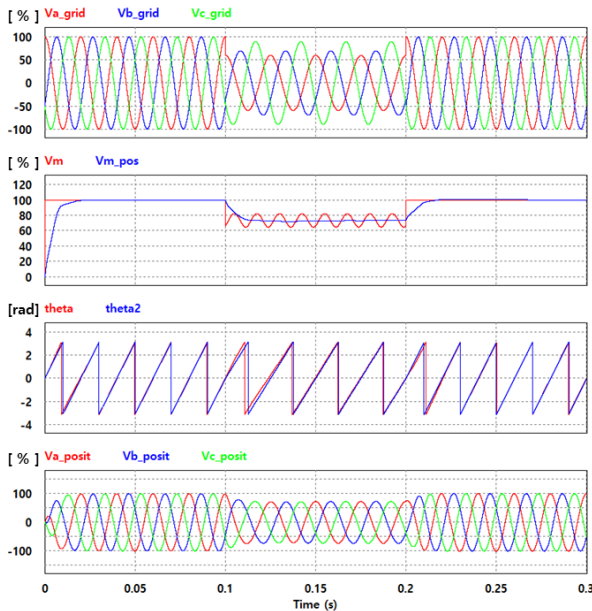


그림 4 DSOGI PLL 결과 파형
Fig 4 Simulation result of DSOGI PLL

3.2 ANPC 인버터의 전류 제어

그림 5는 계통 축 전류 제어 결과를 나타낸다. 계통 위상 각 추정이 끝나 후, 0.3초부터 전류 제어를 시작한다. q축 동기 좌표계 지령 전류는 10 A에서 20 A로 변경되었다. 지령 전류에 따라 3상 출력 전류의 크기가 10 A에서 20 A로 변경되었다

3.3 직류단 전압 제어

그림 6은 직류단 전압 제어 결과를 나타낸다. 위상각 추정이 이루어진 0.1초부터 전압제어가 시작된다. 0.1초 전까지는 계통전압의 크기 535V가 직류단에 나타나며 전압 제어가 실행 후, 지령 전압 600V를 정확히 추종한다. 0.2초부터 지령 전류 20A로 제어하는 결과를 확인할 수 있다.

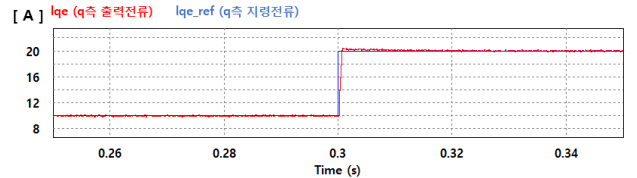
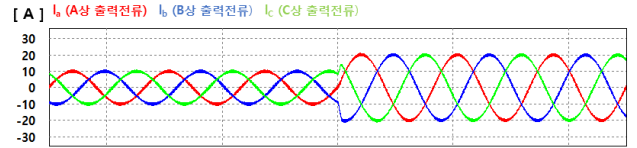


그림 5 계통 연계 전류 제어 파형
Fig 5 Simulation result of current control

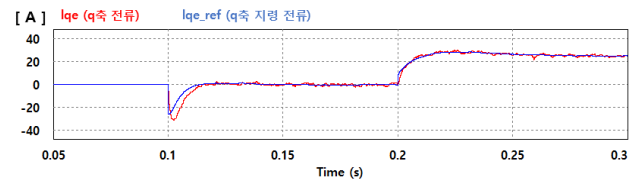
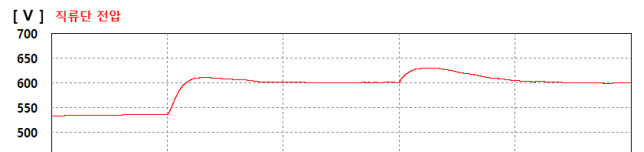


그림 6 직류단 전압제어 결과 파형
Fig 6 Simulation result of DC-link voltage control

3. 결론

본 논문은 계통 연계형 ANPC 인버터의 제어 방법을 분석한다. 기존에 널리 쓰이던 NPC 타입 인버터에서 나타나는 스위칭 소자의 손실 등을 보완하기 위해 NPC의 중성점 다이오드를 IGBT로 바꾼 ANPC(Active NPC) 타입 인버터를 사용하였다. ANPC 인버터의 특성을 분석하고, 이를 적용한 계통 연계형 인버터 시스템의 성능을 확인하였다. PSIM 시뮬레이션을 통해 제안하는 토폴로지 및 제어 기법의 성능과 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] June-Seok Lee and Kyo-Beum Lee, "New Modulation Techniques for a Leakage Current Reduction and a Neutral-Point Voltage Balance in Transformerless Photovoltaic Systems using a Three-Level Inverter," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 29, No. 4, pp. 1720-1732, April 2014.
- [2] Davide Barater, Carlo Concari, Emre Gurpinar, Dipankar De, "Performance Evaluation of a Three-Level ANPC Photovoltaic Grid-Connected Inverter With 650-V SiC Devices and Optimized PWM," *IEEE Trans. Ind. App.*, Vol. 52, No. 3, pp. 2475-2485, May/June 2016.