

하나의 2-level 3-leg 인버터를 이용한 3상 및 단상 표면부착형 영구자석 동기 전동기의 가변속 운전

박다혜, 김민, 김미성, 이욱진
충남대학교

A driving method of two-PMSMs using a two-level three-leg three-phase voltage source inverter

Da-Hye Park, Min Kim, Mi-Seong Kim, Wook-Jin Lee
Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문에서는 단일 2-level 3-leg 전압형 인버터를 사용하여 직렬 연결된 3상 및 단상 표면부착형 영구자석 동기전동기 (SPMSM)를 가변속 운전하는 기법을 제안한다. 일반적으로 두 영구자석 동기전동기를 독립적으로 가변속 운전하기 위해서는 각각의 인버터가 필요하지만, 본 논문은 오프셋(Offset) 전압을 사용한 전압 펄스 폭 변조(PWM) 방식으로 인버터를 제어하여 단일 인버터를 사용한 3상 및 단상 전동기 동시 운전이 가능하다. 제안된 방식은 전력용 반도체 소자 수를 줄여 전동기 구동 시스템의 가격을 절감시킬 수 있으며, PLECS 시뮬레이션을 통하여 제안된 토폴로지의 유효성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 영구자석 동기전동기(PMSM)는 고효율, 고출력 밀도 등의 장점으로 인하여 산업분야에서 널리 사용되고 있다. 교류 전동기 분야에서 인버터를 이용한 가변속 운전은 가전제품 및 전기 자동차 등의 다양한 응용분야에서 적용된다. 3상 전동기 구동 시 6개의 전력용 반도체 스위치 및 다이오드로 구성된 2-level 3-leg 전압형 인버터(VSI)가 자주 사용되지만, 전동기 구동시스템의 가격절감을 위해 4개의 스위치 및 다이오드로 구성된 2-level 2-leg 인버터를 사용한 가변속 운전에 대한 여러 연구가 진행되어 왔다.^[1] 하지만, 2-leg 인버터는 전고조파 왜곡이 증가하고 단자전압 사용률이 감소한다. 이러한 단점을 보완하고자 본 논문은 하나의 2-level 3-leg 인버터를 사용하여 3상 및 단상 전동기를 독립적으로 구동하는 방식을 제안한다. 본 토폴로지는 산업에서 널리 사용되는 기존의 3-leg 인버터를 사용하며, 3상 전동기의 중성점과 인버터의 DC-link 캐패시터 중성점 사이에 단상 전동기를 직렬 연결한다. 오프셋(Offset) 전압을 이용한 펄스 폭 변조(PWM) 방식으로 인버터를 제어하여 3상 및 단상 전동기의 독립적인 운전이 가능하다. 또한 단상 전동기 운전 시, DC-link 캐패시터 중성점 전압을 유지하기 위한 제어를 설계하였다. 본 논문에서는 표면형 영구자석 동기 전동기(SPMSM)를 사용하였으며 제안하는 토폴로지의 유효성을 PLECS 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. 제안된 토폴로지 이론

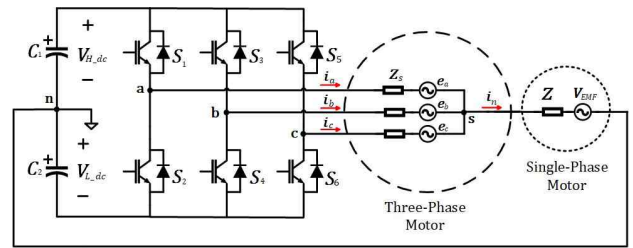


그림 1. 제안된 전동기 구동 시스템의 회로도

2.1 제안된 토폴로지의 동작 원리

그림 1은 단일 인버터를 사용하여 3상 및 단상 전동기를 구동하기 위해 제안된 전동기 구동 시스템을 나타낸 것이다. 단일 인버터는 2-level 3-leg 전압형 인버터이며, 스위치 6개 $s_1 \sim s_6$ 로 구성된다. DC-link 캐패시터는 위상 캐패시터 C_1 와 아랫상 캐패시터 C_2 로 나뉘어져 있으며, 두 캐패시터의 정전 용량은 같다. ($C_1 = C_2 = C$)

3상 전동기 중성선에 흐르는 전류 i_n 와 3상 전동기 전류 i_a, i_b, i_c 의 관계식은 (1)로 나타낼 수 있다. 단상 전동기는 그림 1에서 보이듯 3상 전동기의 중성점과 DC-link 캐패시터 중성점 사이에 직렬로 배치되어 있으므로 중성선에 흐르는 전류 i_n 와 단상 전동기에 흐르는 전류 i_{1-ph} 는 같으며, 전동기 구동을 위해 i_{1-ph} 는 정현파 전류여야 한다.

$$i_a + i_b + i_c = i_n = i_{1-ph} \tag{1}$$

3상 전동기를 정지하고 단상 전동기를 일정한 속도로 구동하는 경우, 3상 전동기의 부하가 모두 동일한 크기의 임피던스를 갖는다고 가정하면 3상 전동기 권선의 전류는 식 (2)으로 표현된다.

$$i_a = i_b = i_c = \frac{i_{1-ph}}{3} \tag{2}$$

3상 및 단상 전동기가 동시에 구동 될 때, 3상 전동기 각 상의 권선에 흐르는 전류는 식 (3)-(5)로 표현된다. 식에서 i_A, i_B, i_C 항은 3상 전동기 구동에만 이용되는 정상분 전류이며,

$i_{1-ph}/3$ 항은 3상 전동기 구동에 영향을 끼치지 않는 영상분 전류이다.

$$i_a = i_A + \frac{i_{1-ph}}{3} \quad (3)$$

$$i_b = i_B + \frac{i_{1-ph}}{3} \quad (4)$$

$$i_c = i_C + \frac{i_{1-ph}}{3} \quad (5)$$

2.2 옹셋 전압을 이용한 전압형 인버터

식 (6)은 3상 인버터의 극전압 V_{an} 과 상전압 V_{as} , 옹셋 전압 V_{sn} 간의 관계식을 나타내며, 다른 b, c상도 이와 동일하다.

$$V_{an} = V_{as} + V_{sn} \quad (6)$$

3상 전동기의 부하 측에서는 식 (7)에서 볼 수 있듯이 선간 전압 V_{ab} 만이 실질적인 의미를 가지기 때문에 옹셋 전압은 3상 전동기의 운전에 영향을 미치지 않는다.

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} = V_{as} - V_{bs} \quad (7)$$

제한된 토폴로지에서 옹셋 전압 V_{sn} 은 3상 전동기의 중성점과 두 개로 분리된 DC-link 캐패시터의 중성점 사이의 전압이며, 이는 단상 전동기에 인가되는 전압이다.

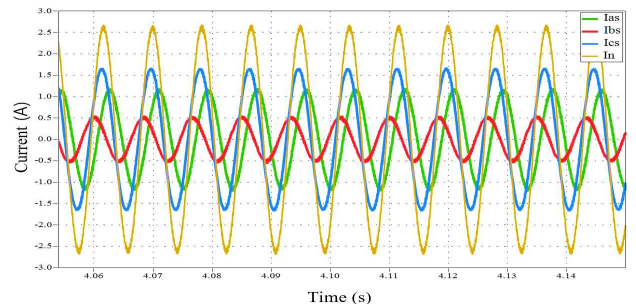
2.3 단상 전동기 운전을 위한 제어기

식 (1)을 통해 단상 전동기 전류 i_n 는 전류 센서로 측정된 3상 전동기 전류의 합으로 나타낼 수 있다. 단상 전동기 구동을 위한 적절한 지령 값 i_n^* 을 입력으로 하고 i_n 값을 폐환하는 비례적분(Proportional-Integral), PI제어기를 설계하여 단상 전동기에 전압 지령 값 V_{sn}^* 을 인가할 수 있다. 단상 전동기 전압 지령치 V_{sn}^* 는 2.2절에 다뤘던 옹셋 전압 V_{sn} 에 해당하며, 옹셋 전압은 상전압에 더해져 극전압을 이룬다.

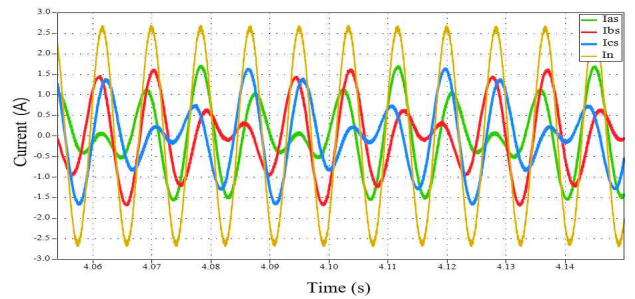
또한, 그림 1에서 볼 수 있듯이 단상 전동기는 두 개로 분리된 DC-link 캐패시터의 중성점과 연결되어 있다. 두 캐패시터의 용량이 같기 때문에, 단상 전류에 흐르는 전류는 절반의 전류 값이 위상 캐패시터와 아랫상 캐패시터에 나뉘어 흐른다. i_n 이 양의 전류라면 위상 캐패시터는 방전되고 아랫상 캐패시터는 충전되며, i_n 이 음의 전류라면 위상 캐패시터는 충전되고 아랫상 캐패시터는 방전된다. 두 캐패시터의 충전방전에 의해 중성점 전압에 불균형이 발생하며, 이는 인버터의 제어 성능에 악영향을 끼치므로 중성점 전압을 밸런싱하기 위한 PI 제어기 추가 설계가 필요하다. DC-link 전압의 절반의 지령값을 입력으로 하고 아랫상 캐패시터의 전압을 측정된 V_{LDC} 값을 폐환하는 비례적분 제어기를 설계하여 전압 밸런싱을 위한 전류 i_{bal}^* 을 출력한다. 이 때, 단상 전동기 구동을 위한 지령치 i_{1-ph}^* 와 i_{bal}^* 의 합은 단상 전동기 제어를 위한 비례적분 제어기 입력 i_n^* 값이 된다.

3. 시뮬레이션 결과

단일 인버터를 사용하여 3상 및 단상 전동기를 동시에 가변속 제어하는 토폴로지의 유효성을 검증하기 위해 PLECS을 이용한 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션은 3상 및 단상 전동기를 같은 주파수로 구동하였을 경우와 서로 다른 주파수로 구동하였을 경우로 나누어 진행하였다. 시뮬레이션의 3상 및 단상전동기 전류 파형을 관찰함으로써 3상 및 단상 전동기는 독립적으로 가변속 될 수 있음을 확인하였다.



(a)



(b)

그림 2. (a) 운전주파수가 같을 경우(120Hz) (b) 운전 주파수가 다를 경우(단상 전동기는 120Hz, 삼상 전동기는 90Hz)

4. 결론

본 논문에서는 단일 2-level 3-leg 전압형 인버터를 사용하여 직렬 연결된 3상 및 단상 SPMSM을 동시에 가변속 운전하는 기법을 제안한다. 3상 및 단상 전동기의 독립적인 운전을 위해 적절한 제어 알고리즘을 사용하였고, 모의실험을 통해 제안된 기법의 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] HEINZ W. VAN DER BROECK, A Comparative Investigation of a Three-Phase Induction Machine Drive with a Component Minimized Voltage-Fed Inverter under Different Control Options, 1984
- [2] 정대웅, Unified Analysis of PWM Method for Three Phase Voltage Source Inverter Using Offset Voltage, 2000