

# 델타결선 영구자석 동기 전동기를 고려한 직류단 선트 저항을 이용한 상전류 추정방법

이상봉, 김장목  
부산대학교 전기공학과

## Phase Current Restruction Method of Delta-Connected PMSM using DC-Link Shunt Resistor

Lee Sang Bong, Kim Jang Mok  
Department of Electrical Engineering., Pusan National University

### ABSTRACT

영구자석 동기 전동기(PMSM)의 결선방법에 따라 전동기의 전압과 전류는 그 크기와 위상에 차이가 발생한다. 따라서, 결선을 고려한 영구자석 동기 전동기의 제어가 필요하다. 본 논문에서는 와이 결선과 델타 결선된 전동기의 등가회로를 모델링하고, 델타 결선된 영구자석 동기 전동기의 구동 시스템에서 직류단 선트저항을 이용한 3상 전류 추정 알고리즘을 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

### 1. 서 론

하이브리드 및 전기자동차의 개발로 인하여 엔진의 동력을 이용한 기계식 워터펌프는 사용에 제한을 받게 되었다. 이를 해결하기 위해 독립적인 제어가 가능한 EWP(Electric Water Pump)가 개발되고 있다.

EWP시스템을 구동하기 위해 자동차의 배터리 전압인 12V를 이용하고, 저전압에서 충분한 출력을 내기위해 높은 전류를 사용하기 때문에 높은 전류에 대해 강점을 가지는 델타결선방법의 영구자석 동기전동기가 EWP시스템에서 사용된다.

일반적으로 사용하는 와이결선의 제어방법을 델타결선에 변환 없이 적용 할 경우 위상의 차이와 전압과 전류의 크기 차이가 발생 하여 효율이 떨어지는 운전을 한다.

본 논문에서는 와이결선과 델타결선 된 전동기 각각의 등가회로를 모델링하고, 델타 결선된 영구자석 동기전동기의 구동 시스템에서, 전류와 전압에 대한 와이/델타 변환 방법을 적용하여, 직류단 선트 저항을 이용한 상전류 추정 방법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘의 타당성을 검증한다.

### 2. 와이결선과 델타결선 등가회로

와이 결선과 델타결선의 등가회로는 그림 1과 같다. 그림 1로부터 와이결선과 델타결선의 관계를 정리하면 표 1과 같다. 와이/델타 변환 알고리즘을 고려하지 않고 전압을 인가하게 되면 실제 모터의 3상전압은 인가된 전압보다  $\sqrt{3}$  배 크게 나타난다. 따라서 델타결선의 모터를 구동하기 위해 인가되는 상전압 지령을 선간지령으로 변환이 필요하고 직류단 선트로부터 얻은 선간전류 정보는 상전류로 변환이 필요하다.

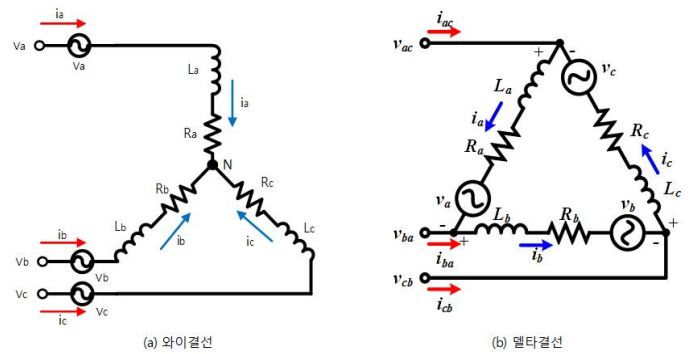


그림 1 와이결선과 델타결선 등가회로

표 1 와이/델타의 상관관계

	Y 결선	Delta 결선
전압	선간전압 = $\sqrt{3}$ * 상전압	선간전압 = 상전압
전류	선간전류 = 상전류	선간전류 = $\sqrt{3}$ * 상전류

전류제어기의 출력인 상전압 지령을 선간지령으로 변환 할 경우, 3상 평형의 와이/델타 전압과 전류의 관계식은 각각 식 (1)과 (2)와 같다.

$$V_{ac} + V_{ba} + V_{cb} = 0 \quad (1)$$

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad (2)$$

델타 결선에서의 3상 전압은 식 (3)와 (4)의 연립방정식과 식 (1)의 대입으로 변환 된다.

$$V_a = V_{ac} - V_{ba}, V_c = V_{ba} - V_{cb}, V_c = V_{cb} - V_{ac} \quad (3)$$

$$V_{ac} = \frac{V_a - V_c}{3}, V_{ba} = \frac{V_b - V_a}{3}, V_{cb} = \frac{V_c - V_b}{3} \quad (4)$$

또한 한 개의 직류단 선트로부터 얻은 선간전류 정보를 상전류로 변환하는 방법은 식 (4)와 (5)의 연립방정식과 식2의 대

입으로 변환되어 진다.

$$i_{ac} = i_a - i_c, i_{ba} = i_b - i_a, i_{cb} = i_c - i_b \quad (5)$$

$$i_a = \frac{i_{ac} - i_{ba}}{3}, i_b = \frac{i_{ba} - i_{cb}}{3}, i_c = \frac{i_{cb} - i_{ac}}{3} \quad (6)$$

### 3. 와이-델타 변환 알고리즘 시뮬레이션

시뮬레이션 환경은 실제 EWP 시스템에 사용된 표 2 진동기 제정수를 이용하여 시뮬레이션 하였다. Matlab 시뮬레이션에서 지원하지 않는 델타결선 PMSM같은 경우 그림 3과 같이 모델링하였다.

표 2 EWP 시스템 상수

정격 용량	350[W]	정격 속도	5000[rpm]
정격 전류	40[A]	고정자 저항	0.25[Ω]
입력 전압	12[V]	고정자 인덕턴스	33.63[uH]
극 수	6	역기전력 상수	0.0211[V/rad/s]

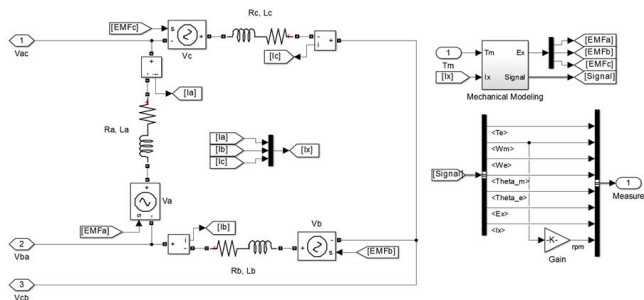


그림 2 델타결선 PMSM 모델링

전류제어기의 출력인 3상전압 지령과 선트로부터 얻은 선간 전류에 그림 3와 같이 와이 델타 변환 알고리즘을 적용하였다. 모터에 인가되는 와이/델타 변환을 거친 전압과 실제 모터에 걸리는 전압을 비교해보니 그림 4와 같이 모터의 실제전압과 같았고 선트로 측정된 전류와 와이/델타 변환을 거친 제어기에 사용된 전류가 같음을 그림 5에서 확인하였다.

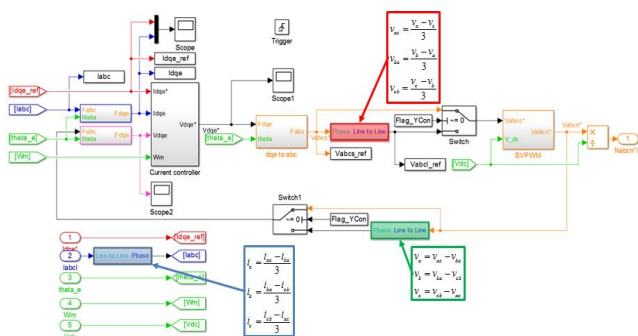


그림 3 제어기와 와이-델타 변환 블록도

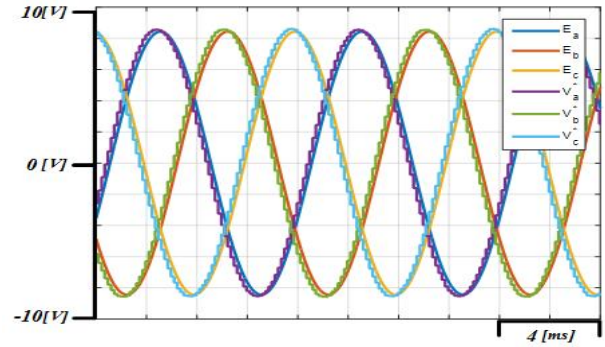


그림 4 와이-델타 전압 변환 결과

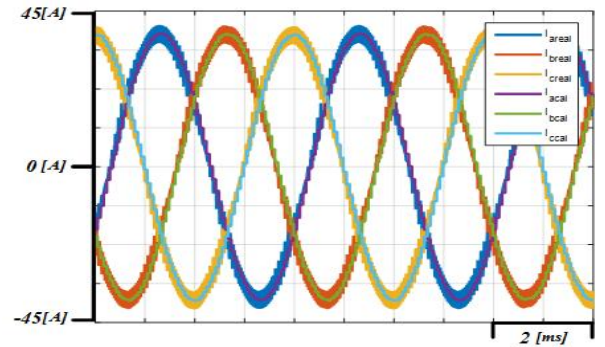


그림 5 와이-델타 전류 변환 결과

### 3. 결 론

본 논문에서는 델타결선 영구자석 동기전동기를 와이 델타 등가회로를 통하여 전압과 전류의 관계를 분석하였고 이를 이용하여 와이 델타 변환에 관한 알고리즘을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 경제협력관산업 육성사업으로 수행된 연구결과입니다  
[과제번호:R0003974].

### 참 고 문 헌

- [1] 김상훈. DC, AC, BLDC 모터제어. 북두 출판사, 2010.
- [2] Charles K. Alexander, Matthew N.O. Sadiku, Fundamentals of electric circuits, McGraw Hill Education,
- [3] 박의중, 김민석, 김선중, 오상진, 정상용, & 김용재. (2015). RE EV 용 EWP 구동모터의 극, 슬롯 수의 비율에 따른 속도별 설계 및 특성해석. 대한전기학회 학술대회 논문집, 170-172.
- [4] 김광식, 김동윤, 문중주, 최경용, 김형섭, & 김장목. (2014). 직류단 선트 저항을 이용한 SVPWM 의전류 측정 불가능 영역에서의 추정 기법. 전력전자학회 2014년도 하계학술대회 논문집, 512-513.