park clarke transformation

Microsemi 자료

- Microsemi.pdf

Introduction

3상 기계의 동작에 있어서 이는 전압(V)과 전류(I)의 방정식으로 설명됨. 이는 전자회로가 상대적으로 움직인다면 자속 쇄교(the flux linkages), 유도 전압 및 전류가 지속적으로 변하기에 복잡한 경향이 있다. 이는 수학적 변환으로 변수 분리 후 공통 기준 틀에 맞춰 시간에 따라 방정식을 풀게 된다. 이때 사용하는 변환은 Clarke Transformation과 Park Transformation을 사용하는 듯?

- Clarke Transformation : balanced 3-phase quantities를 balanced 2-phase quadrature(구적법) quantities로 변환
- Park Transformation : balanced 2-orthogonal(직교) stationary(고정) system을 orthogonal rotating reference frame으로 변환

1. Three-phase reference frame, in which Ia, Ib, and Ic are co-planar three-phase quantities at an angle of 120 degrees to each other.
2. Orthogonal stationary reference frame, in which Iα (along α axis) and Iβ (along β axis) are perpendicular to each other, but in the same plane as the three-phase reference frame.
3. Orthogonal rotating reference frame, in which Id is at an angle θ (rotation angle) to the α axis and Iq is perpendicular to Id along the q axis.

Figure 1 shows the three reference frames.

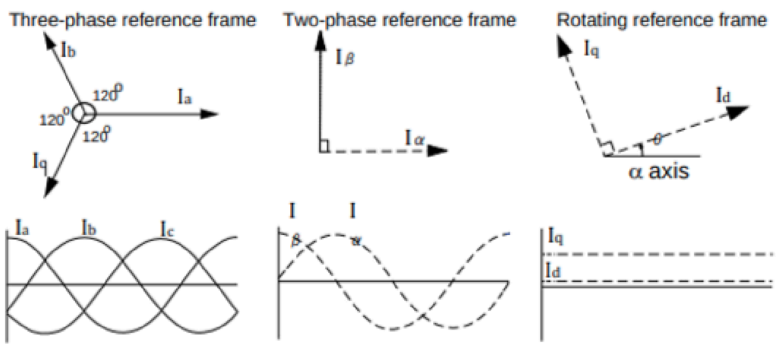


Figure 1 · Reference Frames

The combined representation of the quantities in all reference frames is shown in Figure 2.

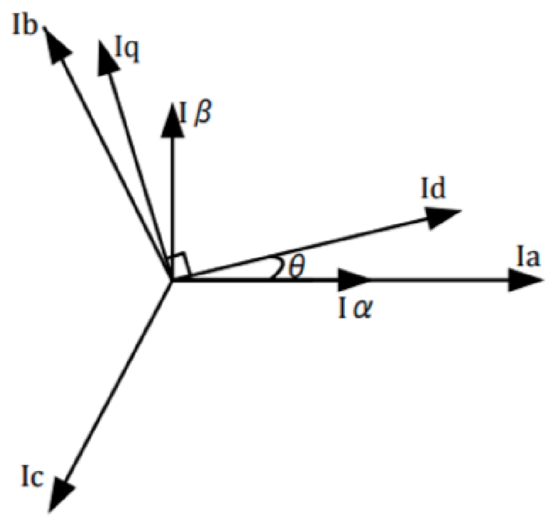
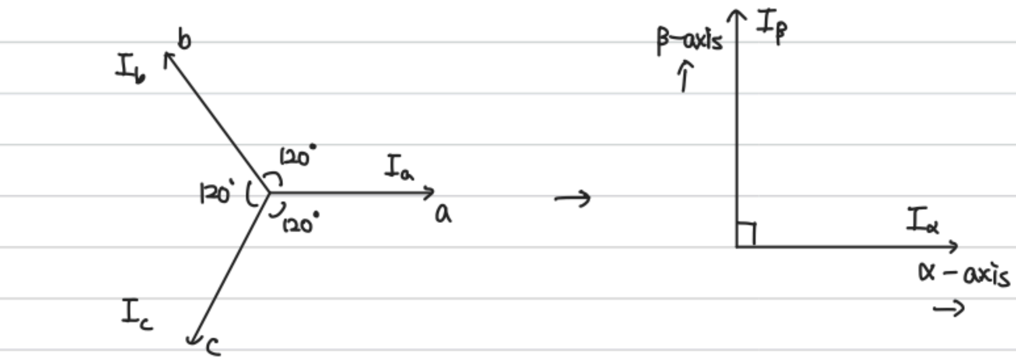


Figure 2 · Combined Vector Representation

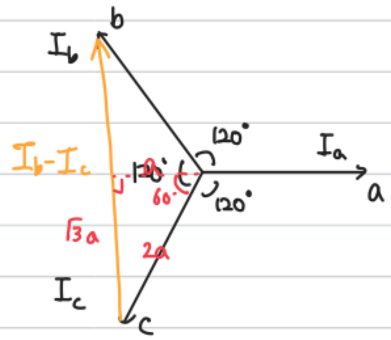
Clarke Transformation

Clarke Transformation



$$I_\alpha = \frac{2}{3} I_a - \frac{1}{3}(I_b - I_c)$$

$$I_\beta = \frac{2}{\sqrt{3}}(I_b - I_c)$$



where, $I_{a.b.c}$: 3-phase quantities.

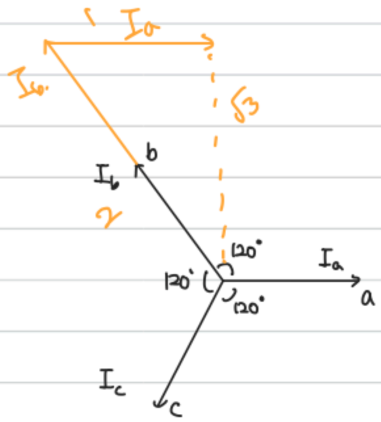
$I_{\alpha,\beta}$: stationary orthogonal reference frame quantities.

When I_α & I_a → 겹쳐짐.

$I_a + I_b + I_c = 0$.

$\Rightarrow I_\alpha = I_a$

$I_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}}(I_a + I_b \times 2)$



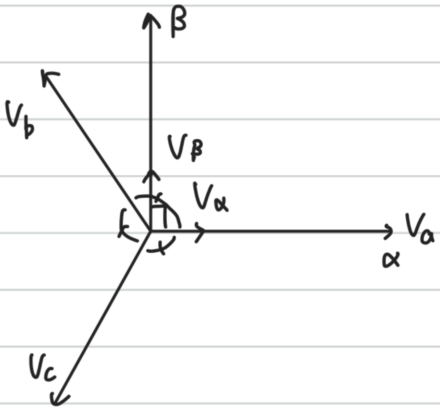
3 phase 모터에서 자속 기준제어에 필요한 수학적 변환. Clarke 변환은 3 phase 모터에서 서로의 각도가 120도 벌어져 있는 a, b, c 좌표계의 시간 성분을 직교 고정자좌표게(alpha-beta) 두 성분으로 분리한다. Park 변환은 Clarke 변환을 통해 얻은 alpha-beta 두 성분을 직교 회전자 기준 좌표계(d-q)로 변환한다. 이 변환을 순차적으로 수행함으로써 AC 신호를 DC로 변환해 계산을 간단히 할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

i_α는 실축의 전류성분, i_β는 직교축의 전류성분을 나타내며, i_0는 중성점 전류 성분을 나타나고, 균형된 시스템에선 0의 값을 가진다.

Inverse Clarke Transformation

Inverse Clarke Transformation



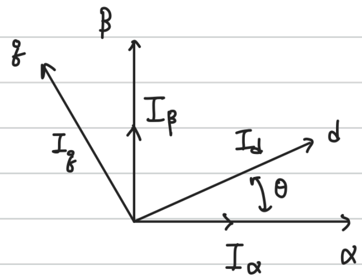
$V_a = V_\alpha$.

$$V_b = \frac{-V_\alpha + \sqrt{3}\cdot V_\beta}{2}$$

$$V_c = \frac{-V_\alpha - \sqrt{3}\cdot V_\beta}{2}$$

Park Transformation

Park Transformation.



$I_d = I_\alpha * \cos\theta + I_\beta * \sin\theta$

$I_q = I_\beta * \cos\theta - I_\alpha \sin\theta$

where, $I_{d,q}$: rotating reference frame quantities.

$I_{\alpha,\beta}$: orthogonal stationary reference frame quan..

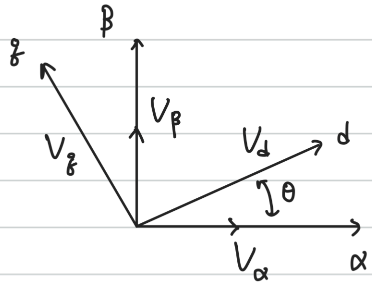
θ : rotation angle.

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}$$

i_d는 직류 성분, i_q는 는 직교선분을 의미. θ는 회전자의 각도를 의미

Inverse Park Transformation

Inverse Park Transformation



$$V_\alpha = V_d * \cos\theta - V_q * \sin\theta$$

$$V_\beta = V_q * \cos\theta + V_d * \sin\theta$$

where, $V_{d.q}$: rotating reference frame quantities.
$V_{\alpha\beta}$: orthogonal stationary reference frame quan..

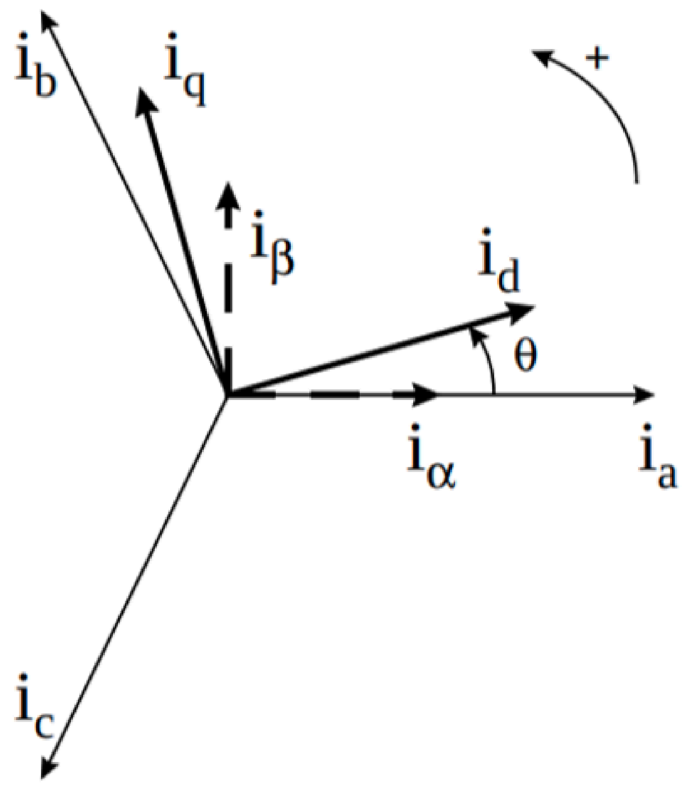
Ti.com 자료

- TI.com. pdf

Clarke and Park transforms in the Field Orientated Control(FOC)

FOC는 모터의 교류 전동기를 제어하는 기술인데, 이 제어 시스템은 induction motor(유도 전동기)의 dynamic model equations이 필요하며, 순간 전류와 전압을 계산 후 반환함.

AC induction motor의 electric torque는 rotor currents와 stator currents induction으로부터의 the flux wave resulting 사이의 상호작용으로 설명할 수 있음. Cage motors 으로부터 rotor currents가 측정이 안 될때부터, 이 current는 rotor flux에 따라 d, q라고 불리는 회전 시스템 좌표에 설명된 등가량으로 대체될 수 있다.



Stator current in the d,q rotating reference frame and its relationship with the a,b and c stationary reference frame.

3-phase currents: $i_a, i_b, i_c \rightarrow$ 2-phase orthogonal stator axis: $i_\alpha, i_\beta \rightarrow i_{sd}, i_{sq}$ (by Park transform) These currents i_{sd}, i_{sq} and the instantaneous flux angle(순간 자속 각도) ρ (calculated by the motor flux model) are used to calculate the electric torque of an AC induction motor.

After this transformation, the stator variables(currents and angle) are translated into a flux model. This flux model compared(비교되다) with the reference values and updated by a PI controller. 이후 필드에서 고정자 좌표로 역변환 한 후, 출력 전압은 PWM을 통해 기계에 적용된다.

MathWorks video 자료

- MathWorks video

park & clarke transformation

3상 AC 머신의 자속기준제어에서 주로 사용 abc $\rightarrow \alpha, \beta \rightarrow$ dq 이를 통해 AC 전류와 전압파형을 DC 신호로 변환해 계산을 단순화 할 수 있음.

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\theta) & \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

와 같이 변환이 가능하다.
제어에서는 `우리가 원하는 모터의 각도`, `속도` 등의 요소를 고려하여 이론값인 $i_d^\star$. $i_q^\star$를 계산해 최종적으로 구한 직류, 직교 성분에서의 제어를 진행한다.
이를 위해서는 park-clarke transformation의 inverse transformation이 필요하다. 이는 다음과 같다.

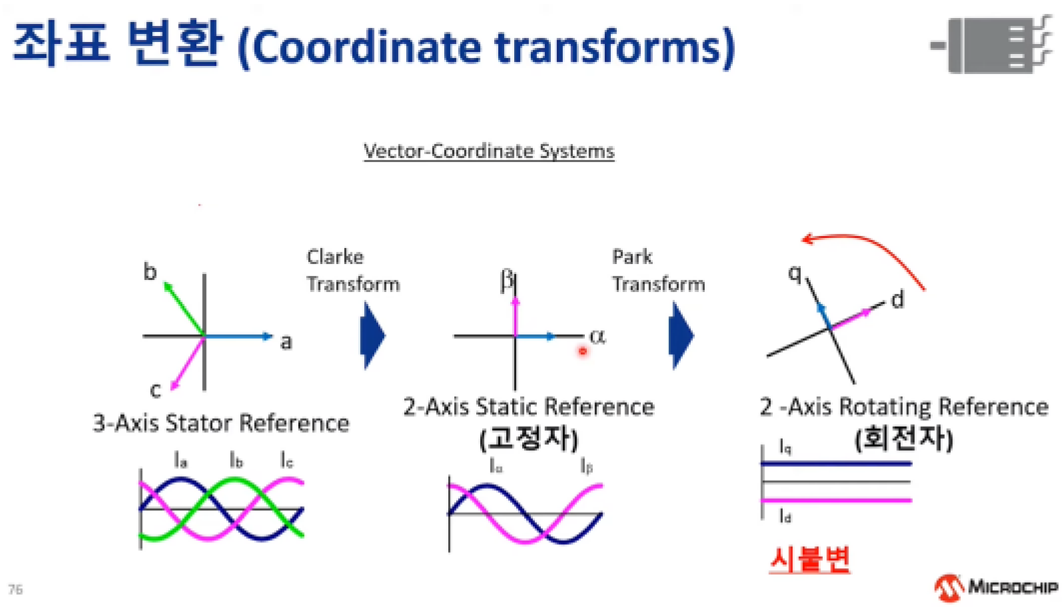
$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix}$$

이는 간단히 하면 아래와 같다.

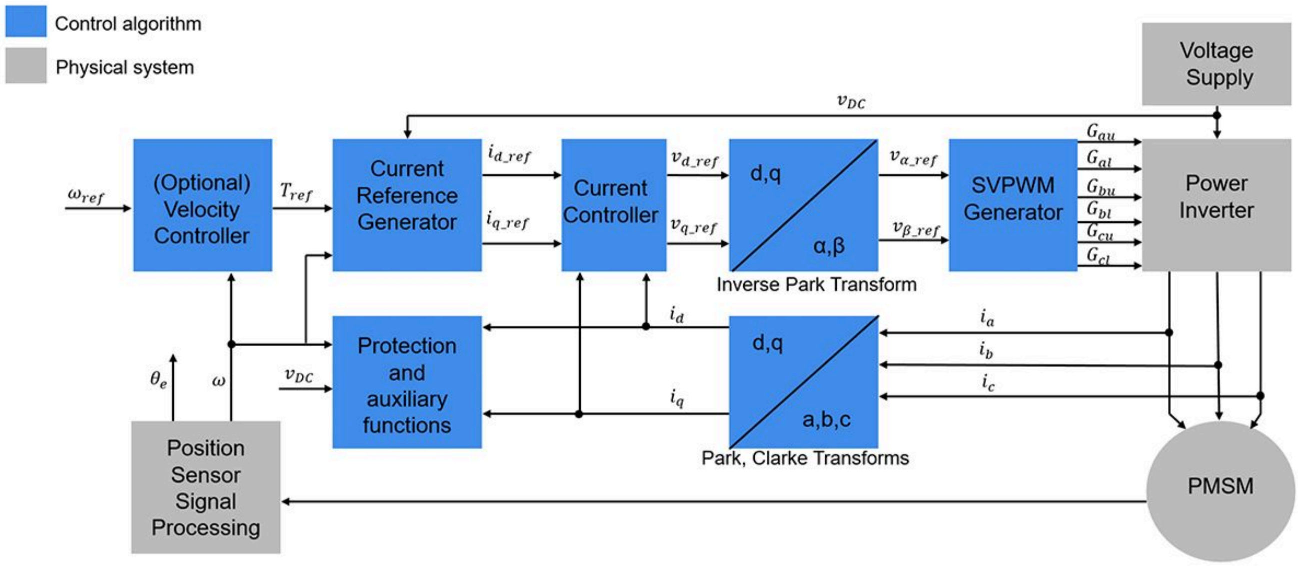
$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix}$$

자속기준제어(FOC)

수학적 행렬곱에 의한 좌표 변환을 활용한 제어이다. 다소 복잡한 3상 인코더 의 제어 방법을 단순히 전류를 조절하여 제어하는 것이 가능하게 한다. 3상 제어 신호(정류)를 Clarke transform을 통해서 두 개의 축으로 표현한다. 아래 그림에서는 b와 c 성분을 합성하여 beta 성분을 만든다. 최종 합성된 벡터의 크기를 일정하게 하기 위해서 alpha와 beta 축을 모터의 회전 속도와 동일한 속 도로 함께 회전시킨다. 이를 통해 단순히 I_q(토크 조절)와 I_d(자기장 flux 조절) 의 크기만 변경하는 것으로 3상 제어와 같은 효과를 낼 수 있게 된다.



FOC



PMSM 제어의 내부 전류 제어 루프