

White Paper

파워 아날라이저와 스코프코더의 고속 연산 기능을 이용한 영구자석동기모터(PMSM)의 클라크&파크 변환에 따른 회전 좌표계 dq 축 파라미터 연산

1. 서론

영구자석 동기전동기 (Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM)는 유도 전동기에 비해 손실이 작은 고효율 전동기로 가전 제품의 에어컨이나 냉장고 뿐만 아니라 EV와 같은 높은 에너지 절약 성능이 요구되는 분야 등에서도 널리 사용되고 있습니다. 일반적으로 PMSM의 제어는 회전 좌표계인 dq 축 파라미터를 이용하고 있습니다. 3상 교류를 직교 좌표인 $\alpha\beta$ 좌표계로 변환(클라크 변환)한 후 다시 회전 좌표계인 dq 좌표계로 변환(파크 변환)해서 구해지는 dq 축 파라미터는 직류로 취급할 수 있어 PMSM 제어가 매우 간단해 집니다.

YOKOGAWA의 파워 아날라이저 WT5000과 스코프코더 DL950은 전기각을 측정할 수 있어, 이 기능을 이용해 PMSM의 dq 축 파라미터 연산을 할 수 있습니다. WT5000과 DL950을 이용한 dq 축 파라미터 연산 방법과 실측 방법을 설명하도록 하겠습니다.

2. 회전 좌표계 dq 축 파라미터

회전 좌표계 적용 시 전제 조건입니다.

- 자속 분포는 정현파 형태
- 철손은 무시
- 3상 교류 고조파 성분 무시

클라크&파크 변환에 의한 회전 좌표계의 벡터도는 다음과 같습니다.

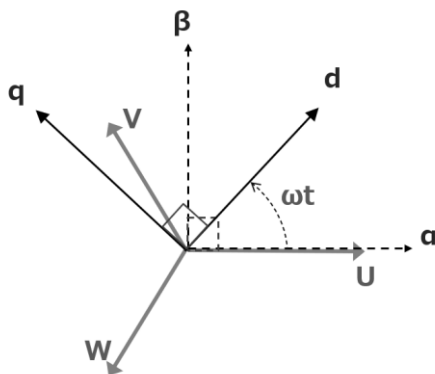


그림 1 클라크&파크 변환에 의한 회전 좌표계 벡터도

첫번째로 대칭 3상 교류에서 $\alpha\beta$ 좌표계로 변환(클라크 변환)할 때 삼상 전류 i_u, i_v, i_w 중 u 상 전류와 α 축을 일치시킨 $\alpha\beta$ 좌표로 나타내면 전류 i_α, i_β 는 (1)식과 같습니다.

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos 0 & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(-\frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin 0 & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(-\frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_u \\ i_v \\ i_w \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (1)$$

위 행렬식의 계수 $\sqrt{2/3}$ 는 순시전력을 불변으로 하는 절대 변환에서의 계수이며 전류의 진폭을 불변으로 하는 상대 변환의 경우에는 $2/3$ 가 됩니다. 본서에서는 절대 변환의 방식을 기본으로 합니다.

다음으로 $\alpha\beta$ 좌표에서 θ [rad] 앞선 좌표를 dq 좌표로 할 경우(파크 변환) 그 변환 행렬은 (2)식과 같습니다.

$$C = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (2)$$

위 (1), (2)로부터 dq 좌표의 i_d, i_q 는 (3)식과 같습니다.

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin \theta & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_u \\ i_v \\ i_w \end{bmatrix} \quad \dots\dots (3)$$

여기서 3상 교류 전류를 (4)식으로 합니다.

I 는 상전류의 실효값이고 γ 는 u 상 전류 I_u 가 d 축에서 γ [rad] 앞서고 있음을 나타냅니다.

$$\begin{bmatrix} i_u \\ i_v \\ i_w \end{bmatrix} = \sqrt{2}I \begin{bmatrix} \sin(\omega t + \gamma) \\ \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3} + \gamma\right) \\ \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3} + \gamma\right) \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (4)$$

(3), (4)식에서 $\alpha\beta$ 좌표에서 앞선 회전각 θ [rad]를 ωt ($\theta = \omega t$) 로서 i_d, i_q 를 구하면 (5)식과 같습니다.

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \sqrt{3}I \begin{bmatrix} \sin \gamma \\ -\cos \gamma \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (5)$$

(5)식에 따라 dq 좌표에서는 전류가 직류가 되는 것을 알 수 있습니다.

q 축에서 전기자 전류 벡터의 앞선 회전각을 β [rad]라고 하면, $\gamma = \beta + \pi/2$ 가 됩니다. 이것을 (5)식에 대입하면 (6)식을 얻을 수 있습니다. (상대 변환일 경우 계수는 $\sqrt{2}$ 가 됩니다.)

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \sqrt{3}I \begin{bmatrix} -\sin \beta \\ \cos \beta \end{bmatrix} \dots\dots\dots (6)$$

마찬가지로 q 축에서 전기자 전압 벡터의 앞선 위상을 δ [rad]라고 하면, V 는 u 상 전압의 실효값으로 전압 v_d, v_q 는 (7)식과 같습니다. (전류와 마찬가지로 상대 변환의 경우 계수는 $\sqrt{2}$ 가 됩니다.)

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \sqrt{3}V \begin{bmatrix} -\sin \delta \\ \cos \delta \end{bmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

β 와 δ 는 각각 q 축에서 u 상 전압까지의 위상차, q 축에서 u 상 전류까지의 위상차 즉 전기각이 됩니다. 이 값들을 측정함으로써 dq 축 파라미터를 구할 수 있습니다.

dq 좌표에서의 전압 방정식은 다음과 같습니다.

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a + pL_d & -\omega L_q \\ \omega L_d & R_a + pL_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \Psi_a \end{bmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

- R_a : 전기자 권선저항 [Ω]
- $p = d/dt$: 미분 연산자
- L_d, L_q : dq 축 인덕턴스 [H]
- Ψ_a : V/ω , 영구 자석에 의한 dq 축의 전기자 쇄교 자속 (V : 무부하 유기 전압의 기본파 전압)
- ω : $2\pi f$ (f : 전압, 전류의 주파수)

모터가 정상상태라고 가정하면 미분 연산자 항목을 무시할 수 있으므로 그림 2와 같은 벡터도를 얻을 수 있습니다.

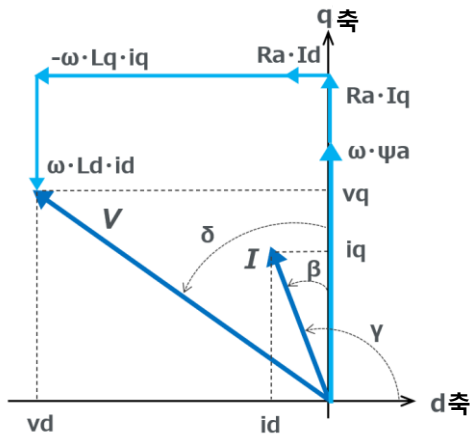


그림2 PMSM의 벡터도

dq 축 인덕턴스 L_d, L_q 는 아래와 같습니다.

$$L_d = \frac{v_q - R_a i_q - \omega \Psi_a}{\omega i_d} \dots\dots\dots (9)$$

$$L_q = \frac{R_a i_d - v_d}{\omega i_q} \dots\dots\dots (10)$$

3. 전기각 측정 원리와 순서

3-1 전기각 측정 원리와 보정

WT5000의 모터 평가 기능(옵션)을 이용하여 엔코더 Z상 신호의 하강 엣지부터, 전기각 측정 대상인 전압, 전류 파형의 1주기 또는 8주기를 FFT 연산합니다. 이 연산을 통해 Z상 신호의 하강 엣지부터 전압, 전류 기본파의 상승 제로 크로스 지점까지의 위상차를 구할 수 있습니다. 이 FFT 연산 결과의 위상차를 전기각으로 표시합니다.

여기서 Z상 신호의 하강 엣지와 전압 또는 전류 파형의 상승 제로크로스 지점이 일치할 때 전기각을 0°로 설정하고 있습니다. 그리고 모터의 위치에 따라 Z상 신호의 하강 엣지와 전기각 0°가 일치하지 않을 때를 위해, 전기각 측정값에서 Z상 신호와의 위상차를 보정하는 기능을 가지고 있습니다.

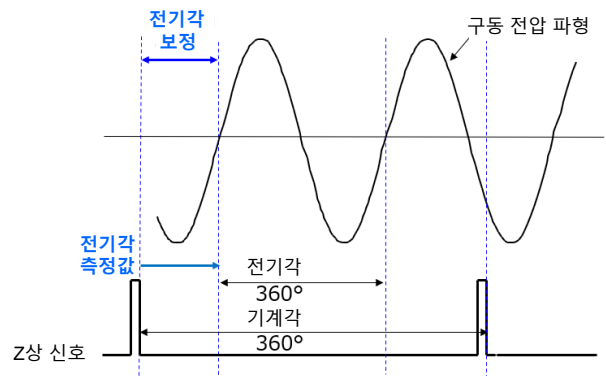


그림3 전기각 측정과 보정

3-2 무부하 유기 전압 측정과 엔코더

dq 축 파라미터 측정에 앞서, 부하측에서 모터를 회전시켜 발생하는 무부하 유기 전압을 측정하고 무부하 유기 전압의 기본파 성분을 회전속도 ω 로 나누어 전기자 쇄교 자속 Ψ_a 를 구할 필요가 있습니다. 무부하 유기 전압 측정 시 동시에 측정되는 전기각은 q 축과 Z상 신호 간의 위상차를 포함하므로 아래와 같이 위상차를 보정할 필요가 있습니다.

3상 3선(3P3W)결선 또는 3전압 3전류(3V3A)결선에서 전압측만 결선합니다. 이 때 전압 결선 방식에 따라 전기각 보정값이 다르기 때문에 결선은 WT5000에서 권장하는 결선 방식을 이용합니다.

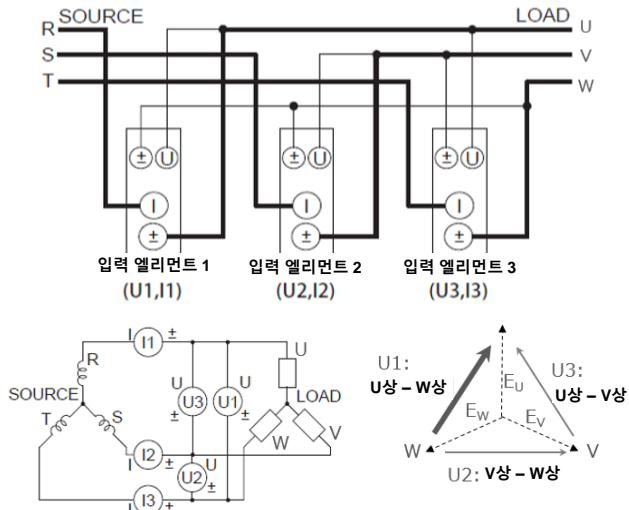


그림4 WT5000의 3 전압 3 전류 결선방식

엔코더의 A, B, Z 각 상 신호를 모터 입력의 B, C, D 단자(BNC)에 각각 접속합니다. 모터를 부하측에서 회전시켜 Z상 신호와 전압 U1 간의 전기각 EaM1U1을 측정합니다. 전기각은 여러 번 측정하여 평균값을 구하는 것이 좋습니다. (지수화 평균 기능 권장) 또한, 인버터에서 시험 모터 구동 시 dq 축 파라미터를 측정할 때와 같은 회전수로 전기각을 측정하는 것이 좋으며 회전 방향이 dq 축 파라미터 측정 시와 같은 방향인지도 확인합니다.

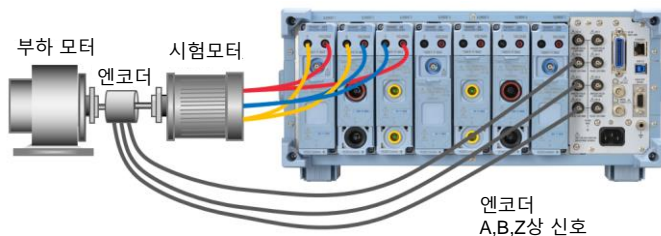


그림5 무부하 유기 전압 측정

3-3 Z상 신호와 모터 원점 위치 간 보정

위에서 구한 전기각은 Z상 신호의 하강 엣지에서 무부하 유기 전압 U1 기본파($u-w$ 선간전압)의 상승제로크로스 지점까지의 위상차이므로 원래 필요한 Z상 신호와 q 축 위상차와는 다릅니다. 따라서 전기각 보정 기능을 이용해 보정을 해야 합니다.

측정된 전기각을 θ 라고 하면 아래와 같이 보정합니다.

$$-180^\circ \leq \theta \leq -120^\circ : \text{보정값} = \theta + 180^\circ + 90^\circ + 30^\circ$$

$$-120^\circ < \theta \leq 180^\circ : \text{보정값} = \theta - 180^\circ + 90^\circ + 30^\circ$$

보정의 첫번째 항목 $+180^\circ$ 또는 -180° 는 무부하 유기전압 파형의 상승제로크로스 지점을 하강제로크로스 지점으로 바꾸기 위한 보정이며, WT5000의 전기각 보정 입력 범위가 $\pm 180^\circ$ 이므로 Z상 신호와 무부하 유기 전압과의 위상차에 따라 전기각 측정 부호가 달라집니다. 두번째 항목의 $+90^\circ$ 는 q 축의 위치가 무부하 유기 전압의 하강 엣지와 90° 차이가 나므로 보정합니다. 마지막 $+30^\circ$ 는 [2. 회전좌표계 dq 축 파라미터]에서 기술한 바와 같이 q 축은 선간 전압이 아닌 u상의 상전압이므로 결선에 의한 선간 전압 측정값에서 상전압 측정값으로 변경하기 위한 위상차가 됩니다. 또한 위상차는 시간 축에서 Z상 신호의 왼쪽 방향(지상)이 양수, 오른쪽 방향(진상)이 음수가 됩니다. 위 보정 결과를 전기각 보정값에 입력합니다.

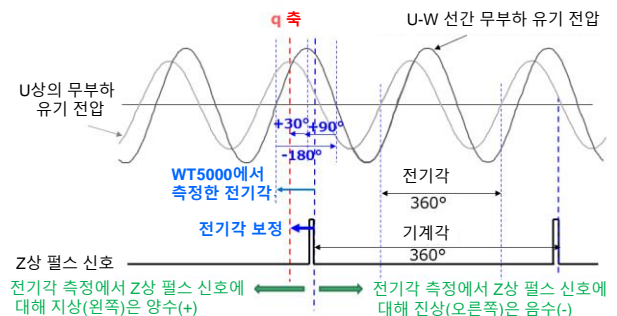


그림6 WT5000 결선방식(3P3W)에서 무부하 유기전압 측정을 통한 전기각 보정

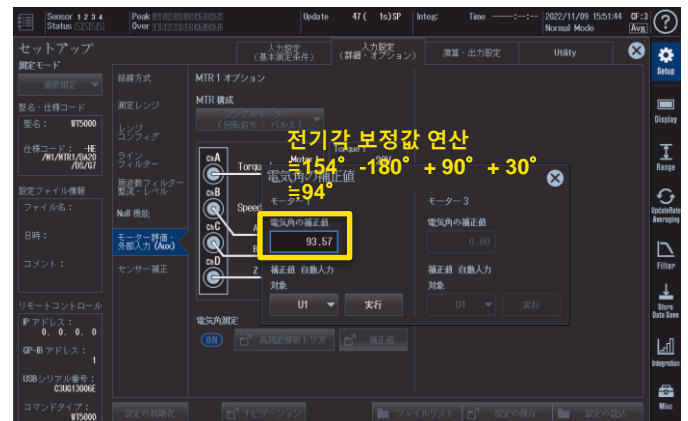
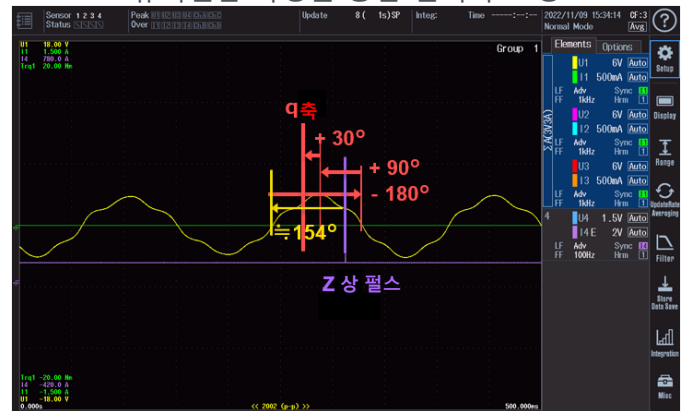


그림7 WT5000 전기각 측정과 보정 예 (Z상 신호는 채널4에서 측정)

3-4 전기자 권선 저항의 측정

dq 축 파라미터의 연산에 필요한 전기자 권선저항 R_a 는 직류저항 값으로 4단자법을 이용하여 DMM으로 측정합니다. 모터 동작 시 온도 변화까지 보정하면 더욱 좋습니다.

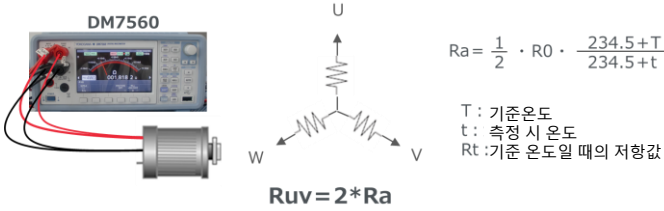


그림8 전기자 권선 저항 측정과 온도 보상

4. 회전 좌표계 dq 축 파라미터 연산 예

WT5000의 유저 정의 기능에서 사용하는 연산식은 아래와 같으며 연산식은 모두 절대 변환입니다. 상대 변환의 경우에는 F7, F8의 v_d , v_q 의 계수는 $\sqrt{2/3}$, F9, F10의 i_d , i_q 의 계수는 $\sqrt{2}$ 가 됩니다. 또한 3상 4선(3P4W)결선으로 측정할 경우 [3.전기각의 측정 원리와 순서]의 전기각 보정값에서 $+30^\circ$ 를 삭제하고 무부하 유기 전압, 전기각을 측정한 후 F7, F8의 계수를 $\sqrt{3}$ 으로 연산합니다. 3상 4선식으로 결선하여 상대 변환으로 할 경우 [3.전기각의 측정 원리와 순서]의 전기각 보정값에서 $+30^\circ$ 를 삭제하고 무부하 유기전압, 전기각을 측정한 후 F7, F8의 계수를 $\sqrt{2}$, F9, F10의 i_d , i_q 의 계수를 $\sqrt{2}$ 로 연산 합니다.

<절대변환 & 3P3W>

F1 "Pole/2", "", "(극대수)"
 F2 "Ra", "Ohm", "(전기자 권선 저항)"
 F3 "Psi_a", "Wb", "(전기자 쇄교 자속)"
 F4 "omega_e", "rad/s", "F1()*2*3.14159*Speed(M1)/60"
 F5 "delta", "deg", "EAM1U(E1)-90+30"
 F6 "beta", "deg", "EAM1I(E1)-90"
 F7 "vd", "V", "NEG(Ufnd(E1)*SIN(F5()))"
 F8 "vq", "V", "Ufnd(E1)*COS(F5())"
 F9 "id", "A", "SQRT(3)*NEG(I fnd(E1)*SIN(F6()))"
 F10 "iq", "A", "SQRT(3)*(I fnd(E1)*COS(F6()))"
 F11 "Ld", "H", "(F8()-F2()*F10()-F4()*F3())/(F4()*F9())"
 F12 "Lq", "H", "(F2()*F9()-F7())/(F4()*F10())"

<절대변환 & 3P4W>

(절대변환 & 3P3W와의 차이점만)

F5 "delta", "deg", "EAM1U(E1)-90"
 F7 "vd", "V", "SQRT(3)*NEG(Ufnd(E1)*SIN(F5()))"
 F8 "vq", "V", "SQRT(3)*Ufnd(E1)*COS(F5())"

<상대변환 & 3P3W>

(절대변환 & 3P3W와의 차이점만)

F7 "vd", "V", "SQRT(2/3)*NEG(Ufnd(E1)*SIN(F5()))"
 F8 "vq", "V", "SQRT(2/3)*Ufnd(E1)*COS(F5())"
 F9 "id", "A", "SQRT(2)*NEG(I fnd(E1)*SIN(F6()))"
 F10 "iq", "A", "SQRT(2)*(I fnd(E1)*COS(F6()))"

<상대변환 & 3P4W>

(절대변환 & 3P3W와의 차이점만)

F5 "delta", "deg", "EAM1U(E1)-90"
 F7 "vd", "V", "SQRT(2)*NEG(Ufnd(E1)*SIN(F5()))"
 F8 "vq", "V", "SQRT(2)*Ufnd(E1)*COS(F5())"
 F9 "id", "A", "SQRT(2)*NEG(I fnd(E1)*SIN(F6()))"
 F10 "iq", "A", "SQRT(2)*(I fnd(E1)*COS(F6()))"

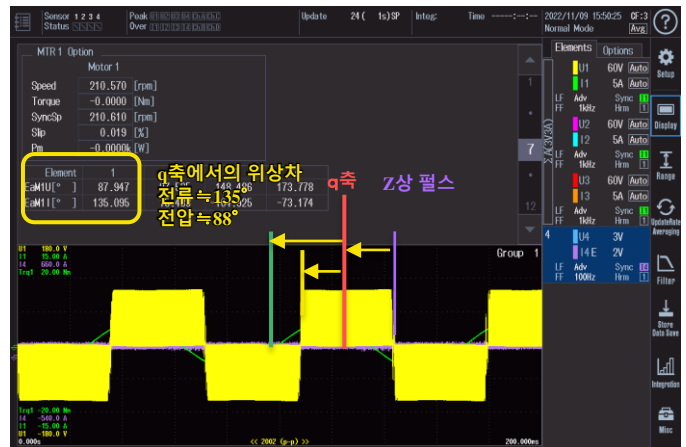


그림9 WT5000에서 dq 축 파라미터 측정 예 (Z상 신호의 파형은 채널4에서 측정)

5. 전기각 측정 시 주의 사항 (WT5000)

5-1 권장 설정

1) FFT 포인트수

전기각 측정은 고조파 측정 기능을 이용해 연산하고 있습니다. 고조파 분석에 있어 FFT 포인트 수는 창폭(파수)에 따라 측정 시간이 길어지는 것을 고려해서 1024(창폭 1파)를 권장합니다. 단 인버터의 캐리어 주파수, 모터 구동 주파수(기본 주파수)에 따라 전기각이 흔들릴 경우가 있으므로 이때에는 8192(창폭 8파)로 변경하여 측정해 보면서 보다 안정된 쪽으로 설정합니다.

2) 주파수 필터

WT5000의 고조파 측정 기능은 PLL방식을 이용하고 있습니다. 따라서 PLL 소스 신호의 정확하고 안정된 주기 검출이 필요하므로 PLL 소스 신호에 대하여 주파수 필터를 ON함으로써 불필요한 신호를 제거하여 보다 정확한 주기를 검출할 수 있습니다. 컷오프 주파수는 인버터 스위칭 주파수의 1/10 정도로 설정하는 것을 권장합니다.

3) 라인 필터(안티 알리아싱 필터, 디지털 필터)

WT5000에는 여러 개의 라인필터가 준비되어 있습니다. 알리아싱 현상을 피하기 위해 안티 알리아싱 필터를 ON할 필요가 있습니다. 일반 측정과 고조파 측정 모두에 효과가 있는 컷오프 주파수 1MHz의 아날로그 필터를 ON하게 됩니다.

또한 고조파 측정용 디지털 필터로서 모터를 구동하는 인버터 기본 주파수에 대해 100배 정도 컷오프 주파수를 권장합니다. 단 라인필터는 측정 값에 직접 영향을 주기 때문에 컷오프 주파수는 조정이 필요합니다.

인버터에서 부하를 걸어 모터를 회전시킬 때 무부하 유기 전압 측정 시 설정한 컷오프 주파수를 변경하면 전기각 측정이 달라질 수 있습니다. 무부하 시와 동일한 컷오프 주파수를 설정해야 합니다.

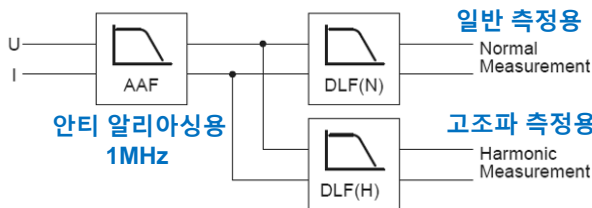


그림10 WT5000에 탑재되어 있는 라인 필터

4) 펄스 노이즈 필터

이 필터는 엔코더로부터 A, B, Z 각 상 신호를 측정할 때 노이즈의 영향을 감소시키는 효과를 기대할 수 있습니다. 컷오프 주파수는 인버터 캐리어 주파수에 따른 노이즈를 제거할 수 있고 전기각을 측정할 수 있는 주파수로서 100kHz정도를 권장합니다.

라인 필터와 마찬가지로 인버터에서 부하를 걸어 모터를 회전시킬 때 무부하 유기전압 측정 시 설정한 컷오프 주파수를 변경하면 전기각 측정 결과가 달라질 수 있습니다. 무부하시와 동일한 컷오프 주파수로 설정하는 것을 권장합니다.

5-2 3상 결선 방법 차이

[2.회전 좌표계 dq 축 파라미터]에서 기술한 바와 같이 v_d , v_q 는 상전압의 진폭과 위상으로부터 구할 수 있습니다. 그러나 일반적으로 모터에서는 중선선이 없기 때문에 상전압을 직접 측정할 수 없습니다.

이럴 경우 아래 3가지 방법을 생각할 수 있습니다.

- ① 앞에서 이야기한 것처럼 3P3W 결선또는 3V3A 결선으로 선간 전압을 측정하고 평형계통으로 가정하여 측정값에서 상전압이 되도록 진폭과 위상차를 보정하여 dq 축 파라미터를 연산합니다.
- ② 3P3W 결선 또는 3V3A 결선으로 선간 전압을 측정하고 선간 전압의(델타결선) 삼각형의 중심을 중선점으로 가정하여 선간 전압에서 상전압을 구해 연산합니다.
- ③ 모터의 케이스를 접지함과 동시에 인버터의 접지단자도 접지하고, 접지 전위를 중성점으로 가정하여 3P4W 결선으로 상전압을 측정합니다.

세가지 방법 모두 모터가 불평형일 경우에는 상전압을 정확하게 구할 수 없으며 어느 것이 우수하다고 할 수 없습니다. 이번 검증에서는 일반적으로 실시하고 있는 ①의 3V3A 결선에서 선간 전압을 측정하고 보정하여 상전압과 위상차를 연산하였습니다. 특히 2항 “회전 좌표계 dq 축 파라미터”에서 기술한 전제 조건에 대해 실제 측정 대상의 상황이 크게 다른 경우 측정 결과는 이론값과 다를 수 있습니다.

6. 고속 파형 연산을 이용한 dq 축 파라미터 연산

앞에서 말한 바와 같이 WT5000의 경우 측정값은 데이터 갱신주기(100ms에서20s)사이의 평균 값이 됩니다. 따라서 보다 순간적인 변화를 포착 하기 위해 스코프코더 DL950의 고속 파형 연산 기능을 이용하여 회전 좌표계 dq 축 파라미터를 구할 수 있습니다.

DL950의 경우 유저 정의 연산의 MATH 기능에 2항 “회전 좌표계 dq 축 파라미터”에서 기술한 행렬식을 입력함으로써 연산합니다. 회전 속도는 실시간 연산 기능을 이용하여 엔코더의 회전속도 신호 A, B, Z 각 상의 신호를 DL950에 입력하여 산출합니다.

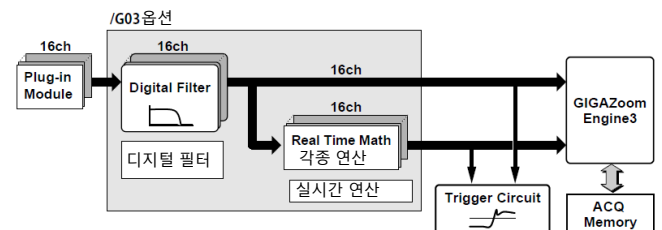


그림11 DL950의 실시간 연산 기능

앞에서 말한바와 같이 유저 정의 연산식은 [2.회전 좌표계 dq 축 파라미터]에서 사용한 행렬식을 사용해 전압, 전류를 구합니다. 극대수, 전기자 권선 저항, 전기자 쇄교 자속 등의 정수는 미리 MATH식에 계수로 입력합니다. Z상 펄스 신호와 q 축과의 위상차 보정은 측정된 파형과 연산한 파형의 윗셋값으로 보정을 합니다. 선간 전압에서 상전압으로의 변환에 대해서는 행렬식 중에서 위상차 보정을 하여 연산을 실시합니다.

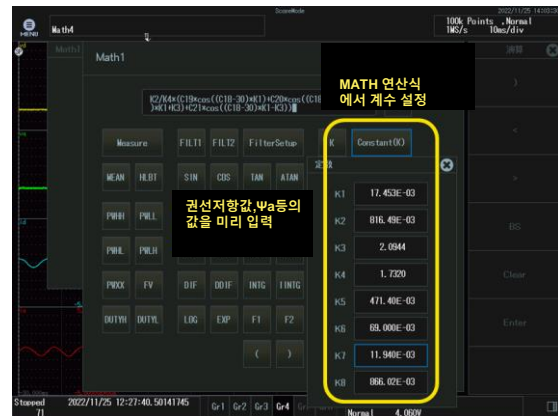
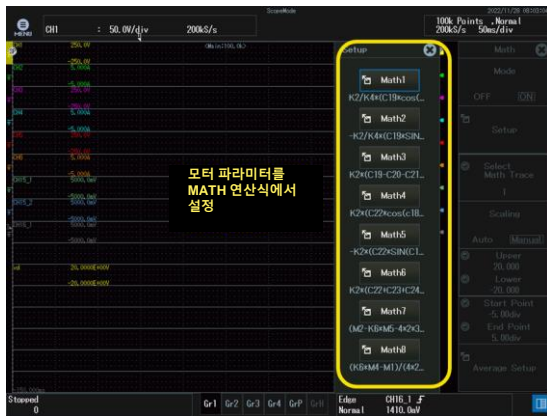


그림12 DL950에서 dq 축 파라미터와 계수 설정 예 (사용자 정의의 연산 기능)



그림 13 DL950에서 A, B, Z 상 신호 측정 시 설정과 측정 예



그림 14 DL950에서 전기각 보정 설정과 측정 예

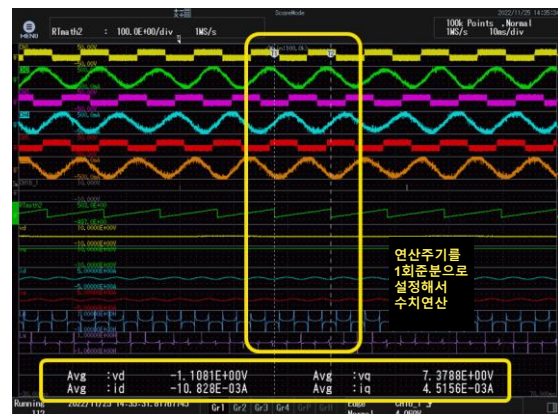
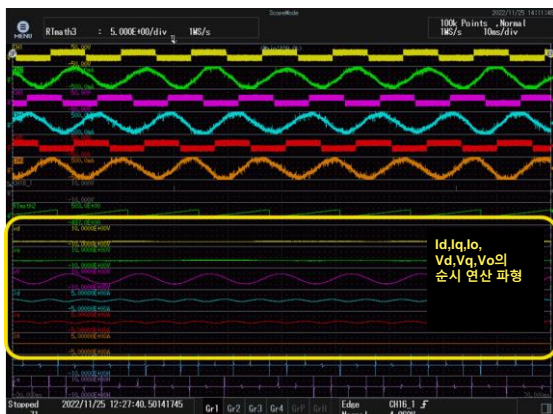


그림 15 DL950에서 dq 축 파라미터 측정 예 (파형과 수치)

측정 화면과 같이 전압, 전류, 위상차의 순시측정 데이터(샘플링 데이터)에 대해 dq 축 파라미터가 연산되어 파형으로 표시됩니다. 또한 모터 1회전분의 값을 보고 싶으면 커서 2개를 이용하여 설정할 수 있습니다.

dq 축 파라미터 측정에 있어서 WT5000과 DL950의 차이는 다음과 같습니다.

표1 WT5000 과DL950의 dq 축 파라미터 연산 차이

모델	WT5000	DL950
연산주기	데이터 갱신주기(평균값)	파형 샘플링 (전력은 주기마다)
결선방식	권장하는 결선 방식 (3P3W/3V3A)	결선 방식 선택 가능
측정확도	고확도	기준 입력에 의한 교정 필요
활용수단	수치 데이터의 주기별 통신 출력	2M포인트 이내의 측정 기간에 대한 데이터 변화 분석 또는 갱신 주기별 모니터
제약사항	모터 회전 주파수와 관련된 전압,전류 구동 주파수에 따라 데이터 갱신 주기를 길게 할 필요가 있음.	파형 연산은 최대 2M포인트까지(2M포인트 이내가 되도록 샘플 레이트와 T/div을 정해서 측정)

7. 정리

WT5000과DL950에서 PMSM의 전기각을 측정하는 기능을 이용하여 회전 좌표계 dq 축 파라미터의 연산 방법에 대해 설명했습니다. 모터의 제어에서는 엔코더에 의한 회전 각도, 전류와 전압의 측정값으로부터 i_d , i_q 를 구하고 필요로 하는 회전 속도와 토크를 발생하도록 선간 전압을 제어하고 있습니다. 이를 위해 WT5000을 이용해 측정 정밀도가 높은 시간 평균 dq 축 파라미터의 연산, DL950의 실시간 파라미터 연산은 PMSM 개발 및 제어에 있어 매우 효과적인 방법입니다.

이번에는 이미 탑재되어 있는 기능을 이용하여 dq 축 파라미터 연산을 했지만 현장에 있는 고객의 요구에 맞추기 위해 향후에는 측정 정밀도의 향상 및 실시간성의 추구, 조작성의 개선을 목표로 새로운 기능 추가 및 측정 방법을 제안하는 것으로 하도록 하겠습니다.

참고 문헌 :

에너지 절약 모터의 원리와 설계법 모리모토 시게오, 마사유키
PM모터의 dq 등가 회로 정수 측정 방법

모리모토 시게오, 히라사 타카오, 전기학회 논문지D, Vol.113(1993)No.11 pp.1330-1331

YOKOGAWA 
한국요코가와전기

한국요코가와전기 계측 영업 본부
경기도 용인시 기흥구 기흥로 58-1 기흥 ICT밸리 SK V1
A동 407호

TEL : 02-2628-3813

FAX : 02-2628-3899

Homepage : www.koreayokogawa.com

고정밀 파워 아날라이저 WT5000



- 세계 최고 전력 확도
- 모듈 구조의 플렉서블한 확장성
- 최대 10 MS/s, 18 bit 분해능
- 최대 7 입력 동시 전력 측정
- 최대 4 모터 평가 기능(옵션)
- 터치 스크린 10.1 WXGA 디스플레이
- 전류 센서를 직접 연결하는 전류 센서 모듈
- 최대 2 MS/s 파형 스트리밍 (옵션)

스코프코더 DL950



- 200 MS/s 고속 데이터 로거
- 절연형 오실로스코프로 사용 가능
- 전압/전류/온도/진동/스트레인 동시 측정
- 높은 내노이즈 성능
- 최대 32 CH, 절연 1000 V 입력
- 5 대연결로 최대 160 CH (옵션)
- 최장 기록 시간 50일
- 터치 스크린 12.1 XGA 디스플레이
- 실시간 연산·전력연산기능 (옵션)

종합측정 소프트웨어 플랫폼 IS8000

- 측정기 제어, 데이터 수집, 분석, 보고서 작성
- WT5000과DL950을 사용한 전력 연산값과 다양한 파형 데이터의 고정밀 동기 측정
- 16 채널독립 FFT와 풍부한 연산 기능
- 고속 카메라와 적외선 카메라 영상과 동기 표시

본문에서 사용하고 있는 회사명 및 상품명은 각사의 등록 상표 또는 상표입니다.

