

레졸버 옵션 파라미터 자동 튜닝 방법

이은우, 김희성, 윤홍민, 박철현, 이정준

LS Electric

Automatic Procedure for Setting Resolver Interface Option Parameters

EUN-WOO LEE, HOI-SUNG KIM, HONG-MIN YUN, CHEOL-HYUN PARK, JEONG-JOON LEE

LS Electric

ABSTRACT

레졸버는 전동기의 회전자에 부착하여 회전자의 절대적인 위치를 알 수 있도록 해주는 센서의 일종이다. 또 다른 위치센서인 엔코더에 비해서 충격이나 먼지 등에 의해서 쉽게 고장나지 않아서 전기 자동차에서 사용한다. 본 논문에서는 산업용 인버터에서 레졸버를 사용할 경우, 레졸버의 극수와 옵셋을 자동으로 튜닝할 수 있는 방법에 대해서 설명한다.

1. 서론

산업용 AC 인버터를 사용하여 영구자석형 동기기를 운전할 수 있는 기능은 영구자석형 동기기의 사용이 증가하면서 대부분의 인버터에서 지원하고 있다. 영구자석형 동기기를 벡터제어하기 위해 사용되는 위치센서는 EnDAT, Sin/Cos, 절대형 엔코더, 레졸버 등 종류가 다양하다. 본 논문에서는 레졸버 옵션을 사용하여 영구자석형 동기기를 제어할 때, 옵션의 하드웨어와 회로적인 부분은 잘 동작한다고 가정하며, 이 때 모터 극수 대비 레졸버 극수, 방향 그리고 레졸버 옵셋각을 제안한 자동튜닝방법을 통해서 알아낸다. 전동기와 레졸버에 대한 정보가 없는 경우에 이러한 오토튜닝 기능을 사용함으로써 시운전을 쉽게 할 수 있다.

2. 본문

2.1 이론적 배경

기존의 연구로는 고정자 D, Q전류의 각을 이용한 방법^[1]과 전기자동차에서 전동기가 운전 중일 때 전동기 전압 방정식을 사용하여 옵셋각을 추정하는 방법이 있다^{[2][3]}. 이와 같은 방법은 옵셋각 오차가 일정값보다 작아서 운전이 가능한 경우로 한정된다. 따라서 옵셋각을 알 수 없는 경우에 사용이 불가능하다. [1]의 방법은 전동기와 완전히 정지한 상태에서도 옵셋의 추정이 가능하다. 참고문헌의 방법들은 옵셋에 대한 추정은 가능하나, 레졸버 극수 또는 전동기 극수 대비 레졸버 극수의 비에 대한 추정 방법이 없어서 산업용 AC 드라이브 제품에서 발생하는 다양한 전동기의 시운전시에 발생하는 문제를 해결하기 어려운 점이 있다.

영구자석형 동기기를 벡터제어 할 경우 회전자의 위치를 나타내는 값은 정지좌표계를 동기좌표계로 변환할 때 사용하는 값으로 sin, cos 함수의 인자로 사용된다. 팬, 펌프 등의 부하에서 한 방향으로 무한히 회전하는 경우에 있어서 전기각을

처리할 때에는 전기각을 나타내는 변수가 0~360도의 범위를 가지도록 제한하는 기법을 사용한다. 정수형 변수를 사용하는 경우에는 해당 변수의 최대값(부호형 16비트 변수인 경우, 2¹⁵-1이고, 부호형 32비트 변수인 경우 2³¹-1)이 360도가 되도록 하여 각도가 최대값에서 더 증가할 경우 오버플로가 발생하면서 자동적으로 360도가 감소하여 다시 0도부터 시작하는 방식을 사용한다. 실수형 변수를 사용하는 경우에도 전기각이 무한히 증가하도록 하는 경우, 표현값에 오차가 발생하게 되므로 각도가 360도 이상이 되는 경우에는 360도를 빼주는 연산을 수행한다.

우선, 레졸버를 통해서 얻은 각도와 전기각 사이의 각도의 상관관계는 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$\theta_e = n(\theta_{res} + \theta_{offset}) \quad \text{식 (1)}$$

θ_e 는 회전자의 전기각을 나타내며, θ_{res} 는 레졸버에서 계산한 각도이고, θ_{offset} 은 기계적인 조립상의 오차를 보정하기 위해서 레졸버에서 계산한 각도를 보정해주는 소프트웨어적인 값이다. n은 레졸버의 극수와 전동기의 극수의 비를 나타내며, 식 (2)와 같다.

$$n = \frac{\text{전동기 극수}}{\text{레졸버 극수}} \quad \text{식 (2)}$$

식 (1)의 우변을 전개하면 식 (3)과 같으며, 옵셋각을 레졸버 절대각 단위가 아닌 전동기의 전기각 단위에서 설정할 수 있도록 θ_{offset_e} 라는 변수를 도입한다.

$$n(\theta_{res} + \theta_{offset}) = n\theta_{res} + n\theta_{offset} = n\theta_{res} + \theta_{offset_e} \quad \text{식 (3)}$$

앞에서 설명한 것과 같이, 360도로 각도를 제한하는 연산을 포함하는 경우, 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다. MOD(a, b) 함수는 a를 b로 나눈 나머지를 계산하는 함수이다.

$$\theta_e = \text{MOD}(n\theta_{res} + \theta_{offset_e}, 2\pi) \quad \text{식 (4)}$$

그림 1에 n=2인 경우에 대해서 레졸버 절대각($n\theta_{res}$ + θ_{offset_e})과 전기각(θ_e)의 관계를 도시하였다.

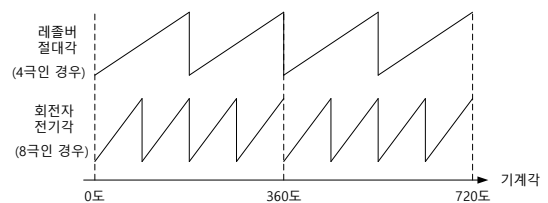


그림 1. n=2인 경우, 레졸버 절대각과 회전자 전기각의 관계

그림 2는 레졸버의 극수가 전동기의 극수보다 큰 경우에 회전자 전기각에 중복성이 발생하므로 레졸버의 극수는 전동기의 극수와 같거나 더 큰 것을 사용해야 함을 보여준다.

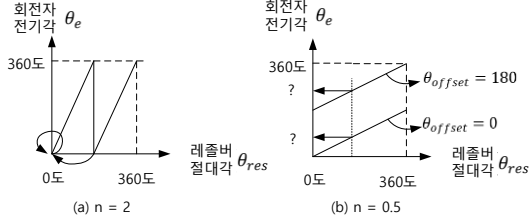


그림 2. 극수비에 따른 레졸버 절대각과 회전자 전기각 대응 관계

2.2 제안한 방법

본 논문에서 제안한 방법은 그림 3과 같은 시스템 구성을 사용하여 동작한다. R/D컨버터는 Analog Devices나 Tamagawa 부품을 사용할 수 있으며 SPI통신이나 버스방식으로 레졸버의 절대각을 제공하며, A/B펄스도 함께 제공한다. 운전 시작시 SPI통신으로 절대각을 읽어서 전기각을 초기화한 후에 A/B펄스로 각도를 추적하는 방식을 사용하였다.

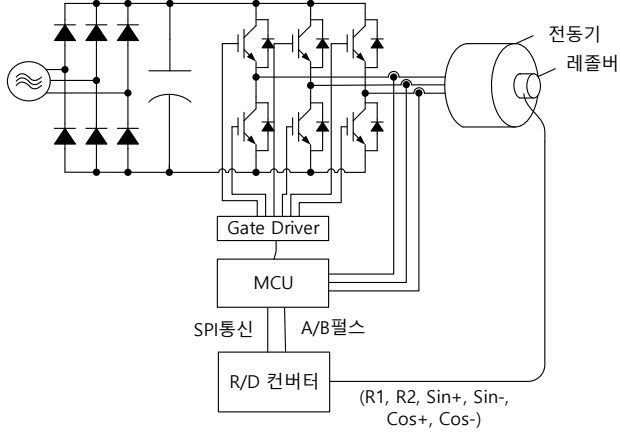


그림 3. 전체 시스템 구성도

n 과 θ_{offset} 을 구하기 위하여, U상과 V상에 직류전류를 인가한다. 영구자석은 고정자 전류에 의해 형성되는 자속으로 인하여 힘을 받게 되고 회전자의 D축이 U상과 V상으로 이동한다. 이를 수식으로 나타내면 식 (5), 식 (6)과 같고, 식 (7)과 같이 n 을 구할 수 있다.

$$0^\circ = n(\theta_{res1} + \theta_{offset}) \quad \text{식 (5)}$$

$$120^\circ = n(\theta_{res2} + \theta_{offset}) \quad \text{식 (6)}$$

$$n = \frac{120^\circ}{\theta_{res2} - \theta_{res1}} \quad \text{식 (7)}$$

θ_{offset} 을 계산하기 위해서 U상에 정렬한 조건을 사용하며, 이 조건에서 식 (4)는 식 (8)과 같다.

$$0 = \text{MOD}(n\theta_{res1} + \theta_{offset_e}, 2\pi) \quad \text{식 (8)}$$

식 (8)을 변형하면, 식 (9)와 같다.

$$\theta_{offset_e} = 2\pi - \text{MOD}(n\theta_{res1}, 2\pi) \quad \text{식 (9)}$$

n 이 음수인 경우에는 식 (10)과 같다.

$$\theta_{offset_e} = -\text{MOD}(n\theta_{res1}, 2\pi) \quad \text{식 (10)}$$

2.3 시험 결과

2개의 전동기에 대해서 시험을 진행하였다. 표 1과 같이 2개의 전동기에 대해서 시험을 진행하였으며, 결과는 표 2에 나타내었다. n 의 경우, 정수가 정확히 나오지 않는 경우가

있으며, 반올림을 통해 계산하였다. 하지만, n 의 소수점 이하 값이 0.4~0.6인 경우에는 R/D컨버터 이상이나 모터가 구속되어 있지 않은지 의심할 필요가 있다. 옵셋각이 약 30도의 차이를 가지는 이유는 회전자의 초기위치에 따라서 정렬된 위치가 달라지기 때문인데, 시계방향으로 회전하면서 정렬하는 경우와 반시계방향으로 회전하면서 정렬하는 위치가 차이를 보인다. 이 값을 입력하는 전류의 크기를 증가시키면 감소한다.

표 1. 시험 전동기 사양

	전동기 1	전동기 2
극수	8	16
레졸버 극수	2	16
정격주파수 [Hz]	133	400
정격속도 [r/min]	2000	3000

표 2. 시험 전동기 시험 결과

	전동기 1		전동기 2	
	n	θ_{offset_e}	n	θ_{offset_e}
1차	1	357.5	4	82.3
2차	1	326.5	4	77
3차	1	326	4	76.7
4차	1	357.5	4	82.3
5차	1	326.7	4	82.3

3. 결론

산업용 AC 드라이브 제품에서 사용하기에 적절한 정지형 레졸버 옵셋 및 극수 자동 검출방법을 제안하였다. 엘리베이터와 같이 완전 정지상태에서 튜닝이 필요한 경우에는 사용할 수 없는 단점이 있으나 팬과 펌프 등 약간의 회전이 허용되는 부하에서 사용이 가능하다. 인버터와 전동기의 결선의 상이 바뀐 경우에도 자동튜닝을 통하여 옵셋과 방향을 검출함으로써 시행착오 시간을 줄이면서 시운전이 가능하다.

참고 문헌

- [1] 김상훈, "레졸버 옵셋 보정 방법", 출원번호 10-2014-0074898
- [2] Joo-young Park, Young-kwan Ko, Do-young Jang, Mu-shin Kwak, Young-kook Lee, "Auto Calibration of Position Sensor While Driving ECO Vehicle", IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Busan, South Korea, 1-4 June 2016.
- [3] Jae-sung Bang, Tae-soo Kim, "Automatic calibration of a resolver offset of permanent magnet synchronous motors for hybrid electric vehicles", American Control Conference (ACC), Chicago, IL, USA, 1-3 July 2015.