

여자 전류 제어를 이용한 유도 전동기 센서리스 토크 제어

전미림, 이은우, 이학준, 김정빈
LS산전

Sensorless torque control for induction machine using current excitation control

Mi Rim Jeon, Eun-Woo Lee, Hak-Jun Lee, Jeong Bin Kim
LSIS

ABSTRACT

산업용 인버터에서 전차원 적응 자속 추정기를 적용하여 유도 전동기 센서리스 제어를 하는 경우, 토크 제어 시 저속/저토크 영역에서 기동에 문제점을 보인다. 따라서 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 동기 좌표계 상의 d축 전류의 크기를 토크에 따라 변동 시키는 방법을 제안한다. 주어진 토크 지령에 따라 발생하는 토크를 유지하기 위해, d축 전류 변동에 따라 q축 전류의 크기를 변화 시킨다. 운전 조건에 따른 d축 전류 크기의 변동 범위를 식을 통해 도출하였고^[1], 복잡한 연산을 저 성능 제어기에 적용할 수 있도록, d축 전류 크기를 간략히 설정하는 방법을 제안한다. 실제 인버터에 제안하는 방법을 적용하여 기존에 비해 훨씬 더 작은 토크만으로 기동 및 재 기동하는 것을 확인하였다.

1. 서론

산업용 인버터는 다양한 분야에 적용되고 있으며, 이 중 Winder 제어 분야에서는 백터 제어와 같은 고성능의 제어가 요구되는 경우가 많다. 그러나 기계적인 제약이나 시스템 가격 및 부피를 줄이기 위해 회전자 위치 센서를 사용하지 않는 경우가 있다. 이 때 전동기의 센서리스 운전이 필요하다.

센서리스 속도 제어의 경우, 다양한 응용 분야에 대응이 가능하지만, 일부 응용 분야에서는 센서리스 토크 제어 운전이 필요한 경우가 있다.

본 논문에서는 유도 전동기 센서리스 제어 방식으로 적응 속도 관측기(Adaptive Speed Observer:ASO)^[2]를 이용한 방식을 적용하였다. 적응 속도 관측기 방식은 전압 모델을 기반으로 각 상태 변수를 관찰 및 추정하여 백터 제어에 필요한 회전자 자속의 기준값을 연산한다. 그러나 토크 모드 운전 시 저속, 저토크 운전 영역에서 측정 잡음 및 전압 오차에 의해 운전 성능이 부족하여, 기동 또는 재기동에 어려움이 있는 것을 확인하였다.

따라서 본 논문에서는 ASO 방식의 유도 전동기 센서리스 제어 적용 시 토크 제어 운전에서의 기동 성능 향상 방법을 제안하고, 이를 산업용 인버터에 적용하기 위해 사용된 연산을 간단히 적용하고자 한다.

2. 센서리스 토크 제어

2.1 개선된 센서리스 토크 제어

적응 속도 관측기 방식의 센서리스 토크 제어 운전에서 저속, 저토크 운전 영역의 성능을 개선하기 위해 여자 전류를 변경하여 제어하는 방식을 제안한다.

제안 하는 방식의 내용은 동기 좌표계 상의 d축 전류의 크기를 줄여 저 여자 상태를 만드는 것이다. 그리고 주어진 토크 지령에 따라 발생 토크를 유지하기 위해 d축 전류 변동에 따라 q축 전류의 크기를 변화 시킨다. 이 때 d축 전류의 크기는 운전 조건을 고려하여 설정한다.

토크가 일정할 때 d축 전류를 줄이는 경우, 상대적으로 슬립 주파수가 증가한다. 때문에 적응 속도 관측기에 인가되는 전압과 전류의 주파수가 증가하여 저속 영역에서도 운전이 안정화될 수 있다.

제안된 토크 제어 운전을 위해 고려해야 할 운전 조건은 총 네 가지가 있다. 이 조건들을 통해 d축 전류의 크기를 결정하는 변수 K 값을 도출하게 된다.

$$i_{ds} = K \cdot i_{ds_rated} \quad (1)$$

먼저, 전류 제한 조건을 만족시키는 K의 범위는 K_{min1} 으로 나타낼 수 있고, 전압 제한 조건 만족시키는 범위는 K_{min2} , K_{max} 로 나타낼 수 있다. 슬립 주파수 조건과 여자 전류 크기 조건을 통한 K의 범위는 K_{min3} , K_{min4} 로 도출된다.

K_{min1} , K_{min2} , K_{min3} , K_{min4} 의 상세 수식은 참고논문 [1]을 참조하여 확인할 수 있다.

위 조건들을 통해서 다음 식 (2)와 같이 최종 적인 K의 범위를 얻을 수 있다.

$$\text{Max}(K_{min1}, K_{min2}, K_{min3}, K_{min4}) < K \leq \text{Min}(1, K_{max}) \quad (2)$$

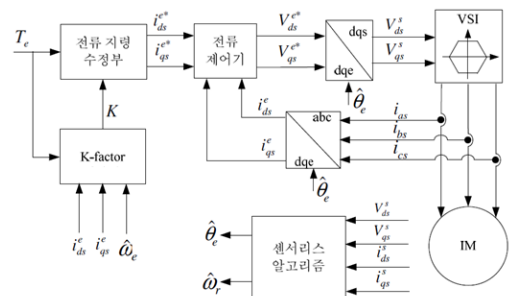


그림 1 센서리스 토크 제어 구성

K 값은 전동기의 제정수와 토크 지령, 운전

주과수에 따라 달라진다.

그림 1은 센서리스 기반 전류 제어기에 변수 K를 반영한 전류 지령 연산 부를 추가한 블록도이다.

2.2 제안된 토크 제어 간략화

제안된 센서리스 토크 제어는 네 가지 조건에 따라 복잡한 연산이 사용되기 때문에 이를 저 성능 제어기에 적용시키기 위해서는 조건 수식의 간략화가 필요하다.

운전 제한 조건을 간단히 하기 위해 2.1절에서 도출된 K 값에 대한 모의 시험을 진행하였다. 출력 토크에 따른 K값의 변화를 볼 수 있다.

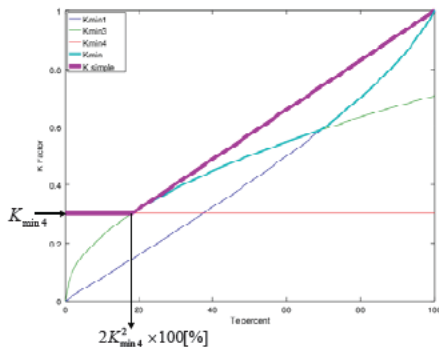


그림 2 K factor 모의 시험 및 간략화

그림 2 모의 시험에서 K_{max} 는 1 이상이며, K_{min2} 는 매우 작은 값이기 때문에 조건을 생략하였다. 여기서 K_{min} 값을 변수 K로 사용할 수 있다.

모의 시험 내용을 보면, 여자전류 크기 조건(K_{min4})이 슬립 주과수 조건(K_{min3})과 만나기 전까지 K값에 적용된다. 이후 슬립 주과수 조건에 의해 K가 적용되고, 다시 전류 제한 조건(K_{min1})과 만나면, 전류 제한 조건에 의한 K값이 적용된다.

연산을 간단히 적용하기 위해 위와 같은 K 연산을 다음과 같이 간략화 시켜 적용한다.

최종 적용된 K의 연산 수식은 다음 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$K = \begin{cases} K_{min4} & , \text{if } T_e \leq 2K_{min4}^2 \\ \left(\frac{1-K_{min4}}{1-2K_{min4}^2} \right) T_e + \left(1 - \frac{1-K_{min4}}{1-2K_{min4}^2} \right) & , \text{if } T_e > 2K_{min4}^2 \end{cases} \quad (3)$$

3. 실험 결과

제안된 센서리스 토크 제어 운전에 대한 유효성을 검증하기 위해 7.5[kW] 용량의 인버터와 모터를 사용하여 실험을 진행하였다.

먼저, 기동 성능에 대해 기존 센서리스 토크 제어와 제안된 토크 제어에 대해 비교 시험을 진행하였다. 표 1과 표 2에는 기존 방식과 제안된 방식의 기동 여부를 나타내었다.

표 1 기존 센서리스 토크 제어 기동 성능

횟수 토크지령	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3%	X	X	X	X	X	O	X	X	O	O
5%	X	O	O	X	O	O	X	O	X	O
10%	O	X	O	O	X	O	X	O	X	O
15%	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O
20%	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O

(O : 기동 성공, X 기동 실패)

표 2 제안된 센서리스 토크 제어 기동 성능

횟수 토크지령	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3%	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
5%	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
10%	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
15%	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
20%	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

다음으로 전동기의 기동이 성공한 후 부하 전동기로 구속 시킨 뒤 다시 부하를 제거하여 전동기가 재 기동하는 실험을 진행하여, 재 기동하는 것을 확인하였다.

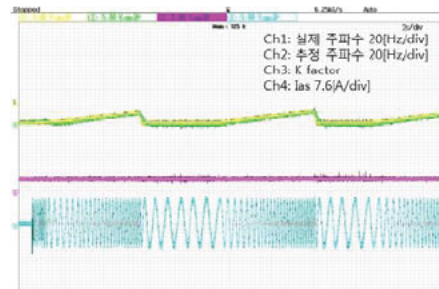


그림 3 제안 센서리스 토크 제어 재 기동

3. 결론

본 연구에서는 산업용 인버터의 센서리스 토크 제어에서 저속, 저토크 시의 기동 성능 향상을 위해 여자 전류의 크기를 조건에 따라 변화 시키는 방법을 제안하였으며, 이를 실제 저 성능의 제어기에 적용하기 위해 연산을 간단히 하는 방안을 제안하였다.

이를 검증하기 위해 기동 및 재 기동 시험을 진행하였으며, 제안된 방법을 통해 개선된 결과를 얻을 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Anno Yoo, Chanook Hong, Young-doo Yoon, "Sensorless Torque control of induction machine in low speed and low torque region", EPE'14-ECCE Europe 2014.
- [2] H.Kubota, K.Matsuse, and T.Nakano, "DSP-Based Adaptive Flux Observer of Induction Motor," IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol.29, No.2, March/April, 1993.