

출력전압 조정을 위한 전압제어기의 벡터 제어 적용

이은우
LSIS

Application of Voltage Controller on Vector Control for Adjusting Output Voltage

Eun-Woo Lee
LSIS

ABSTRACT

벡터제어는 V/F운전에 비해서 높은 기동 토크와 과부하시 효율적인 전류 제한이 가능한 장점으로 인하여 고성능이 요구되는 부하에 적용이 확대되고 있다. 하지만 출력전압이 V/F운전과 같이 주파수에 따라서 결정되지 않고, 모터파라미터와 D축전류에 의해 결정되므로 정격부하에서 출력전압이 작아지는 경우 출력전류가 정격전류 보다 지나치게 커지는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 기존 약자속 운전에 적용되었던 전압제어기를 사용하여 출력전압을 제어하는 용도로 사용하고자 한다.

1. 서론

유도전동기의 벡터제어 방법은 Field Orientation방법과 DTC방법으로 크게 구분된다. 유도전동기의 센서리스 운전 방법으로 고주파 주입에 의한 방법과 모터 파라미터에 기반한 자속 추정기를 이용하는 방법 등이 대표적이다^{[2][3]}. [2]에서는 모터 파라미터 오차에 따라서 자속의 위치에 대한 추정 오차를 분석하였다. 벡터제어는 자속을 제어하는 D축 전류와 토크를 제어하는 Q축 전류로 나누어서 제어한다. 유도기의 파라미터는 철심의 포화현상에 의해서 인덕턴스가 변하며 D축 전류를 일정하게 제어할 경우, 인덕턴스 감소에 의해서 자속이 감소하게 될 경우, 인버터 출력 전압이 작아지게 된다. [1]에서는 동기기의 고속 약자속 운전시 출력전압을 감소시키는 전압제어기를 제안하였다. 본 논문에서는 이 전압제어기를 출력 전압 감소시 증가시키기 위한 용도로 사용하는 방법을 제안한다.

2. 이론적 배경

2.1 유도기 벡터제어

유도기의 전압방정식은 (1), (2)와 같다.

$$V_{ds}^e = \left(R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) I_{ds}^e + \sigma L_s \frac{dI_{ds}^e}{dt} - \omega_e \sigma L_s I_{qs}^e - R_r \frac{L_m}{L_r^2} \lambda_{dr}^e \quad (1)$$

$$V_{qs}^e = \left(R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) I_{qs}^e + \sigma L_s \frac{dI_{qs}^e}{dt} + \omega_e \sigma L_s I_{ds}^e + \omega_r \frac{L_m}{L_r} \lambda_{dr}^e \quad (2)$$

정상상태를 가정하여 미분항을 제거하고, $\lambda_{dr}^e = L_m I_{ds}^e$ 를 대입하면 (3), (4)와 같다.

$$V_{ds}^e = R_s I_{ds}^e - \omega_e \sigma L_s I_{qs}^e \quad (3)$$

$$V_{qs}^e = \left(\omega_e \sigma L_s + \omega_r \frac{L_m^2}{L_r} \right) I_{ds}^e + \left(R_s + R_r \frac{L_m^2}{L_r^2} \right) I_{qs}^e \quad (4)$$

회전자 자속 기준 벡터제어에서 D축 전류를 일정하게 하여 회전자 자속의 크기를 일정하게 제어할 경우, 부하에 따라서 출력전압이 결정됨을 알 수 있다. 전압에 가장 큰 영향을

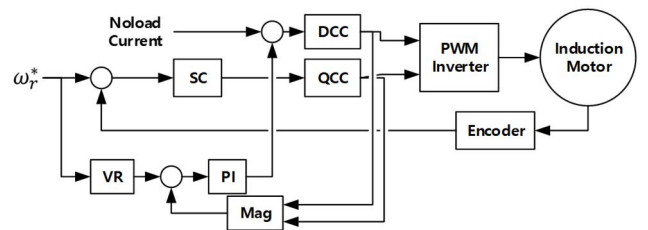
주는 값은 D축 전류에 의한 Q축 전압값으로 (5)와 같다.

$$\left(\omega_e \sigma L_s + \omega_r \frac{L_m^2}{L_r} \right) I_{ds}^e \cong \omega_r L_m I_{ds}^e \quad (5)$$

부하가 증가하여 전류가 커지면 철심의 포화에 의해서 인덕턴스가 감소하며 Q축 전압이 감소한다. 정격토크를 인가한 경우 전압이 감소함으로 인하여 모터의 명판에 기재된 정격전류보다 출력전류가 증가하는 현상이 나타나며 모터와 인버터의 과전류, 과열이 발생한다. 유도기의 V/F운전의 경우에는 출력주파수에 따라서 출력전압이 결정되며 부하토크의 크기가 변하여도 출력전압이 변하지 않고 전압의 적분이 자속이므로 자속이 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다.

2.2 전압제어기 적용

[2]에서 제안된 전압제어기는 모터 파라미터가 변하여 정확한 파라미터를 알 수 없을 경우에 유용하게 활용할 수 있다. [2]의 경우, 약자속 운전을 하기 위하여 자속을 감소시키는 용도로 전압제어기가 사용되었다. 따라서 PI제어기의 출력은 음의 값을 가지도록 동작한다. 하지만 본 논문에서는 정격주파수 이하의 영역에서도 전압제어기가 동작하며 출력전압이 작은 경우에 높여주는 역할을 하며 그림 1과 같이 구현할 수 있다. 그림 2는 전압지령블록의 계산 방법을 나타낸다. 운전주파수가 작은 경우에는 출력 전압이 0이 되므로 D축 전류가 작아지는 문제가 있으므로 일정 주파수 이상에서만 동작하도록 할 필요가 있다. 고속에서는 SVPWM의 최대 출력전압인 $V_{dc}/\sqrt{3}$ 로 제한하였다.



DCC: D-axis Current Controller
QCC: Q-axis Current Controller
SC: Speed Controller
VR: Voltage Reference

그림 1 적용된 전압제어기

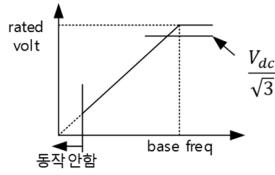


그림 2 전압지령

3. 실험 결과

본 논문의 방법을 검증하기 위하여 자사 HVAC전용 드라이브인 H100 제품 250kW-4 인버터와 220kW 유도기를 사용하여 시험을 진행하였다.

유도기의 명판 데이터는 표 1과 같다.

정격출력	220 kW	정격슬립	25 r/min
정격전압	380 V	극수	4
정격전류	416 A	제조사	효성

표 1 220kW 유도기 명판 데이터

30Hz에서 운전하면서 부하토크를 0%에서 100%까지 증가시킨 경우와 60Hz에서 운전하면서 부하토크를 0%에서 100%까지 증가시킨 경우에 대해서 제안된 전압제어기의 유무에 따른 출력전압과 출력전류를 비교하였다.

운전은 센서리스 방식을 사용하였으며, 사용된 모터 파라미터는 자사 오토튜닝 기능을 사용하여 측정된 값이며 표 2와 같다.

무부하전류	140.7 A	고정자인덕턴스	3.39 mH
고정자저항	10.80 mΩ	회전자시정수	937 ms
과도인덕턴스	0.212 mH		

표 2 모터 파라미터

그림 3, 그림 4에 30Hz와 60Hz에서 전압제어기 유무에 따른 인버터 출력전압과 전류의 비교 결과를 나타내었다. 30Hz에서는 전압제어기에 의해서 출력전압이 일정하게 잘 유지되고 있으며, 무부하와 25%부하를 제외하고 출력전류도 감소하는 효과가 있다. 60Hz에서는 부하가 증가함에 따라 DC링크 전압의 감소로 출력전압은 조금씩 감소하는 것을 알 수 있다. 전압제어기를 통해 100%부하에서 출력전압이 295V에서 350V까지 증가하였으나 출력전류는 모터 정격전류인 416A보다 큰 530A이며 그 원인은 출력전압이 모터 정격전압인 380V보다 작은 것과 부하토크를 증가할 때 토크센서가 아닌 부하인버터의 토크지령을 사용함으로써 부하토크가 정확하지 않을 수 있기 때문이다.

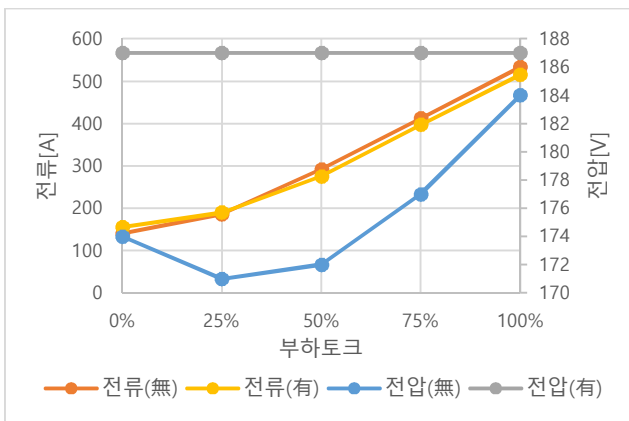


그림 3 30Hz운전시 전압제어기 유/무에 따른 전압/전류 비교

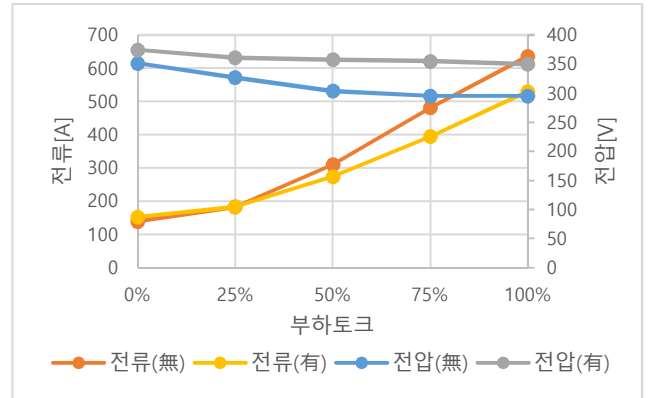


그림 4 60Hz운전시 전압제어기 유/무에 따른 전압/전류 비교

4. 결론

본 논문에서는 벡터제어시 모터 파라미터의 변동에 의한 출력전압 감소로 출력전류가 모터 정격전류 대비 증가하는 문제를 기존의 전압제어기를 사용함으로써 개선할 수 있음을 보였다. 향후에 연구가 필요한 부분으로는 전압제어기의 이득설정과 관련한 이론적인 연구가 필요하다. 전압제어기의 큰 이득은 전류 맥동을 일으킬 수 있기 때문이다.

참고 문헌

- [1] Jang-Mok Kim; Seung-Ki Sul, "Speed control of interior permanent magnet synchronous motor drive for the flux weakening operation," Industry Applications, IEEE Transactions on, Vol.33, pp43-48, 1997
- [2] P. L. Jansen; R. D. Lorenz, "A physically insightful approach to the design and accuracy assessment of flux observers for field oriented induction machine drives," Industry Applications, IEEE Transactions on, Vol.30, pp101-110, 1994
- [3] H. Kubota; K. Matsuse; T. Nakano, "DSP-based speed adaptive flux observer of induction motor," Industry Applications, IEEE Transactions on, Vol.29, pp344-348, 1993