

Advanced Field Weakening Control for Maximum Output Power Operation of Induction Motor in a Limited Environment

Yong-Joo Seo*, Hee-Young Go* and Jang-Mok Kim*

Department of Electrical Engineering, Pusan University, Busan, 609-735, Korea

Abstract

A load motor used for warship or submarine is with limited volume and weight, also specific environmental tests like impact, vibration, noise, temperature and EMC/EMI have to be satisfied. Induction motors, synchronous motors, BLDC motor and etc, are used depending on the purpose of using military equipment. Induction Motors are used for a number of military equipment more commonly due to the robust structure and simple maintenance. Domestic and foreign warships have a wide range of voltages as the DC voltage sources with battery are mainly used for them. The Δ -connection operation of the induction motor is required to make the maximum power in a low voltage level. But the elements' temperature of the inverter increases due to high input current when it is in the Δ -connection operation. Therefore, the induction motor must be driven with the Y-connection. The lack of voltage needs to be with the field weakening control. This paper suggests the optimum field weakening control algorithm to drive the induction motor with maximum power in a limited thermal and DC voltage condition.

1. Introduction

선박 및 해양 플랜트에서는 엔진 및 발전기 등의 다양한 장비를 사용하고 있으며, 이와 같은 장비들을 해상에서 냉각하기 위해서 주로 해수냉각펌프가 사용되고 있다. 해수냉각펌프는 주로 구동이 쉽고 보수가 용이한 유도전동기를 많이 사용하고 있으며, 이를 구동하기 위한 인버터 시스템의 수요 또한 증가하고 있다. 특히, 군용선박이나 잠수함 등에 사용되는 해수냉각펌프 구동용 인버터는 제한된 부피와 중량의 조건을 가지고 있으며, 충격, 진동 및 EMC/EMI 등의 특수한 환경시험을 만족해야 한다. 해수냉각펌프 인버터는 충격 및 진동, 온도 시험을 만족하기 위해 내구성이 취약한 엔코더등의 속도센서의 사용이 힘들기 때문에 센서리스 벡터제어 방식을 사용해야만 한다 [2][3]. 또한 배터리 기반의 직류 전압원을 사용하기 때문에 전압 범위가 넓다. 낮은 영역의 전압에서 유도전동기 Y결선을 하는 경우, DC전압 부족으로 펌프 최대출력을 낼 수 없고, 유도전동기 Δ 결선을 하는 경우에는 최대 출력운전이 가능하지만 높은 입력 전류로 인하여 방열 팬, IGBT 용량, 대기 온도등 제한적인 환경 조건을 만족하기가 어렵다.

따라서 부족한 출력은 유도전동기 약계자 제어를 하여야 한다. 통상적인 약계자 방법은 회전자 속도 ω 에 반비례하여 계자분 전류를 감소하는 것이다[6]. 그러나 이 방법을 적용할 경우 회전자의 기준자속이 너무 높기 때문에 속도 증가에 따라 전류제어를 위한 여유 전압이 점점 부족하게 되어 정확한 전류제어가 불가능해 진다. 그 결과 $1/\omega$ 방법을 사용한 경우에는 주어진 전압과 전류의 제한조건하에서 전동기는 최대 출력운전을 할수 없다[4].

본 논문에서는 주어진 전압 및 특수한 환경조건을 만족 시키면서 최소의 상전류로 최대출력운전을 하는 유도전동기의 개선된 약계자 제어 알고리즘을 제안하였다.

2. Advanced Field weakening Control for maximum output operation[4][5]

해수냉각펌프 인버터는 DC단 전압이 가변해도 출력은 항상 일정해야 한다. 제안된 방법에서는 d축 전류와 상전류 제한 값을 적절히 제어함으로써 최대출력운전이 가능하다. 제안한 약계자 제어의 전압 제한원의 수식은 (2)와 같다.

$$\left(\omega_e \sigma L_s i_{s_limit}^*\right)^2 + \left(1 - \sigma^2\right) \left(\omega_e L_s i_{ds}^{e*}\right)^2 \leq V_{s_max}^2 \quad (2)$$

정격출력곡선 또한 d축전류와 상전류 제한값으로 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m^2}{L_r} i_{ds}^{e*} \sqrt{i_{s_limit}^* - i_{ds}^{e*}} \quad (3)$$

식 (2)와 (3)을 그림으로 나타내면 그림2와 같다. 540Vdc 일 때의 전압제한원과 정격출력곡선과 만나는 점 A가 정격출력 운전점이다. 전압이 450Vdc로 감소하여 전압제한원이 감소하면, 그림1와 같이 정격출력곡선과 전압제한원이 만나는 점이 D점으로 바뀌게 된다. 동작점 D는 정격에 서보다 d축전류가 감소하고 상전류 제한이 증가한 지점이다. 이는 최소의 상전류로 동일한 정격출력을 낼 수 있는 지점이다

DC단이 충분한 영역과 부족한 영역을 유도전동기의 정격 선간 전압으로부터 경계값을 식 (4)와 같이 정하였다.

$$V_{dc_th} = V_{ll_rate} \times \sqrt{3} \div \eta \quad (4)$$

이 값을 DC단 전압과 비교하여 약계자제어를 적용하는 영역과 적용하지 않는 영역으로 구분한다.

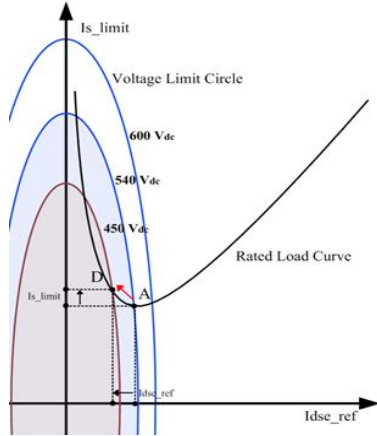


Fig. 1 The voltage limit circle and rated load curve of advanced field weakening control

$V_{dc} \geq V_{dc_th}$ 인 영역에서는 약계자 제어를 적용하지 않으며, 항상 정격 d축 전류와 정격 상전류 제한 값으로 운전한다.

$V_{dc} < V_{dc_th}$ 인 영역에서는 DC단 전압이 감소하여 전압제한원이 작아지게 되어 최대출력을 내기 위한 운전점이 그림 1과 같이 A에서 D로 이동해야 한다. 약계자 영역에서의 d축 전류는 전압제한원과 정격출력곡선의 교점으로 구할 수 있다. 식 (2)와 (3)으로부터 식(6)과 같이 d축 전류를 구할 수 있다. 또한 이 식으로부터 정격출력곡선으로부터 q축 전류와 상전류제한값을 식 (7)과 (8)와 같이 구할 수 있다.

$$i_{ds}^* = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (6)$$

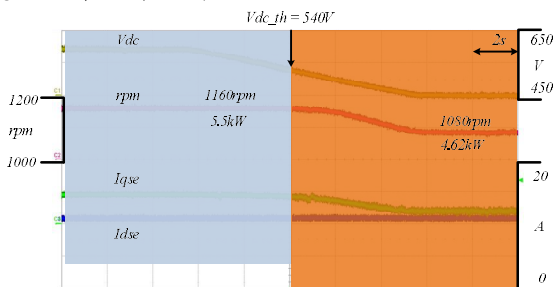
$$A = L_s^2 \quad B = -\frac{V_{s_max}^2}{\omega_e^2} \quad C = \sigma^2 L_s^2 \frac{T_e^2}{K_e} \quad (7)$$

$$i_{qs_lim}^e = \frac{T_e}{K_e i_{ds}^*} \quad (7)$$

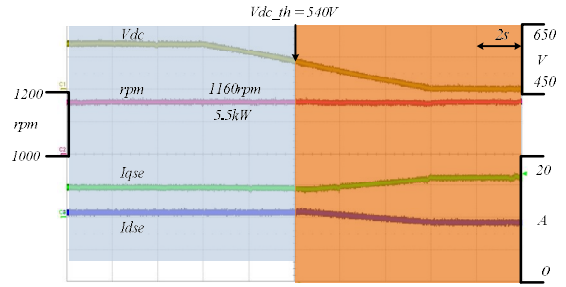
$$i_{s_lim} = \sqrt{i_{ds}^{*2} + i_{qs_lim}^{*2}} \quad (8)$$

3. Experiment Results[7]

알고리즘의 성능 확인을 위해서 DC단을 600V ~ 450V로 가변하였으며, 이 때 약계자 제어 알고리즘 적용 전 후의 파형은 그림 2와 같다.



(a) 약계자 제어 알고리즘 적용 전



(b) 약계자 제어 알고리즘 적용 후

Fig. 2 Advanced Field weakening algorithm graph

실험결과 알고리즘 적용전에는 DC단 전압이 감소하면 출력이 감소하였지만, 알고리즘 적용후에는 DC단 전압이 감소하여도 일정한 출력을 유지하는 것을 볼 수 있다.

4. Conclusion

본 논문에서는 주어진 전압 및 특수한 환경조건을 만족시키면서 최소의 상전류로 최대출력운전을 하는 유도전동기의 개선된 약계자 제어 알고리즘을 제안하였다.

제안한 약계자 제어 알고리즘은 실험을 통하여 성능을 검증하였다.

Acknowledgment

이 논문은 NIPA(국가 IT 산업 진흥원)에서 감독하는 로봇 지원사업의 인적 자원 개발 프로그램으로써 지식경제부에 의해 지원받았음. (NIPA-2012-H1502-12-1002)

Reference

- [1] H.C.j.de jong, "AC MOTOR DESIGN", Hemisphere Publishing, 1989
- [2] Zinger, D. ; Profumo, F. ; Lipo, T.A. ; Novotny, D.W. ; "A direct field oriented controller for induction motor drives using tapped stator windings ", Power Electronics Specialists Conference, 1988, vol.2, pp. 855 - 861
- [3] 김장환, "유도 전동기 벡터 제어를 위한 새로운 자속 추정기에 대한 연구", 서울대학교 공학 석사 학위논문, 2001
- [4] Sang-Hoon Kim and etc, "Maximum Torque Control of an Induction Machine in the Field Weakening Region", IEEE Trans, 1995, vol.31, pp. 787 - 794
- [5] Ohtani, T. ; Takada, N. ; Tanaka, K. ; "Vector control of induction motor without shaft encoder ", Industry Applications Society Annual Meeting, 1989, vol.1 , pp. 500 - 507
- [6] R. Joetten and H. Schierling, "Control of the Induction Machine in the Field Weakening Range," in Proc. IFAC 1983., pp.297 - 304
- [7] Kubota, H. ; Matsuse, K. ; Nakano, T. ; "DSP-based speed adaptive flux observer of induction motor ", Industry Applications Society Annual Meeting, 1991, vol.1, pp. 380 - 384