

PWM 인버터 탑재형 유도전동기 시스템 설계

신우석^o, 양순배 이돈시, 최규하
금성사 생활시스템 연구소^{*} 건국 대학교 전기공학과

Design of PWM Inverter-Mounted Induction Motor System

Woo-Seok Shin^o, Soon-Bac Yang

Living System Lab.,GoldStar Co. LTD

Don-Si Lee, Gyu-Ha Choe

Dept. of Electrical Engineering, KonKuk University

Abstract - This paper describes a compact design and control method of PWM inverter-mounted induction motor especially designed for reducing the size and weight considerably, which may be applied to the speed control system such as air conditioner, conveyor and textile mill, etc. To obtain higher power density without derating performance, a new mechanical configuration unifying the inverter circuit and motor is proposed. Also, through the use of current minimization control method during V/f operation it is possible to reduce the size of heat-sink related to the losses of power circuit. By the proposed design method, a compact inverter-mounted induction motor system of 1Hp is built and its validity can be verified through the experimental results.

1. 서론

기존의 인버터 가변속 장치는 범용인버터와 범용유도전동기를 부착하여 구동시키고 있으며 이 경우 정토크 및 정출력영역이 축소되어 운전특성이 저하되고 특정 주파수대역에서 인버터와 전동기의 적절한 결합이 어렵기 때문에 대체로 용량이 큰 인버터와 전동기를 사용하게 된다. 따라서 그러한 조합은 경제적으로 비합리적이며 부적합한 V/f 패턴의 선정으로 인해 효율 및 역률이 저하되고 방열 등이 비효율적으로 되는 많은 문제를 내포하고 있다[1][2]. 이러한 문제들은 전동기와 인버터의 부적합한 결합에 기인하므로 만약 인버터 및 유도전동기를 전용화하여 양자를 상호보완 설계한다면 정토크, 정출력 및 효율 등을 개선할 수 있고 또한 크기, 무게 및 가격을 크게 낮출 수 있다. 제한한 탑재형 구조는 전동기와 PWM인버터를 새롭게 설계하는 것과 동시에 서로간에 결합기술을 필요로 하며 따라서 본 시스템에서는 특성개선, 전체 크기 축소, 경제성에 입각하여 설계하였다. 유도전동기는 높은 전력밀도(Power Density)와 함께 인버터 탑재를 위해 사각형 철심으로 하여 일체화 시킴으로써 사용의 편리성과 더불어 방열구조를 개선하였으며 더불어 Compact한 구

조가 되도록 Frameless type으로 설계하였다. 또한 PWM 인버터는 속도 피드백 없이 부하상태를 감지된 전류신호에 의해 최소전류 운전을 위한 V/f신호를 스스로 생성하도록 하였다. 그리고 이러한 시스템 구현을 위해 전동기 설계는 개발된 PERMEANCE법을 이용한 프로그램과 유한 요소법에 의한 FEM 프로그램을 이용하였고 인버터제어를 위해 싱글칩 마이크로프로세서(TMS370C756)를 사용하였다.

2. 인버터 전용 유도전동기 설계

전동기에서 토크 특성을 좌우하는 것은 누설 리액턴스이며 인버터 구동 전동기의 경우 소프트 스타트 특성을 갖게되어 저 슬립에서 기동되고 전압 부스트 기능에 의해 기동시 토크 부스트가 가능하므로 기동시의 누설 리액턴스 설정에 제한을 받지 않는다. 따라서 누설 리액턴스의 축소는 정출력 영역을 확대하여 인버터 구동시 사용주파수 영역을 원하는 주파수까지 증가시키는 것이 가능하며 전력밀도를 높임으로써 전동기의 크기를 축소할 수 있다. 전동기 사용영역은 누설리액턴스에 의해 결정되며 식(1)과 같다[4][5].

$$\frac{f_3}{f_1} = \frac{\text{pull-out Torque}}{\text{nominal Torque}} \alpha \frac{1}{2(X_1 + X_2)} \quad (1)$$

X_1, X_2 는 Per Unit 값.

따라서 정출력 영역을 넓히기 위해 누설리액턴스를 감소 설계해야 하며 이와같이 하기위해 전동기 슬롯수를 증가시키고 슬롯 형태를 역삼각형의 Deep Bar 형태로 구성해야하며 Fill-Factor를 증가시켜야 한다[3]. 전동기 입력전류를 작게하는 것은 동일한 방열 조건에서 온도상승 저하로 인한 정토크 영역을 넓게 할 수 있을 뿐만 아니라 인버터의 손실을 축소시킴으로써 방열판 크기를 줄여 Compact한 설계를 가능하게하며 전동기의 저전류 설계는 또한 파워 소자의 용량을 낮출 수 있어 경제적으로 유리하다. 특히 제한된 인버터 탑재형 시스템에서는 방열판 크기가 커짐에 따라 전동기 위에 탑재 또는 일체화시 문제가 발생하므로 전동기의 저전

류 설계는 중요한 요소이다. 이러한 저전류 설계를 위해서는 사용 자속밀도에 적합한 철심재질 선정이 필요하며 공극의 크기를 가능한 낮추어야 한다.

그림 1은 이러한 기준에 의해 설계된 고정자와 회전자 철심을 유한요소법에 의해 1/2 모델로 전자장 해석한 것으로 한 주기동안 공극 부위의 공간 자속밀도 분포와 함께 공극의 회전력과 흡입력 성분의 크기를 각각 나타내고 있고 공극에서의 평균자속밀도는 약 0.77[T] 정도임을 알 수 있다.

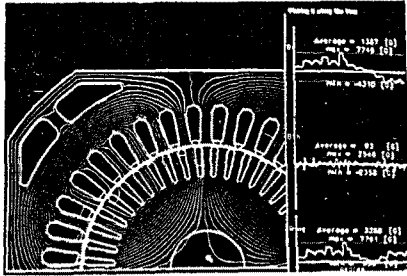


그림 1. 공극에서 자속밀도

3. 인버터 설계

인버터 제어기법의 선택은 탑재형 시스템의 특성을 결정하는 중요한 문제이다. 그중에서 최소전류운전을 적용한 V/f 제어는 본 시스템의 크기 축소, 손실 최소화, 경제성 관점에서 가장 적합하다. 그림 2는 유도전동기 등가회로로 부터 전동기의 토크와 전류제어는 유기기전력과 1차 주파수를 제어함으로써 가능하며 이때 부하에 비해 부속여자나 과여자가 되지 않도록 하여야 한다[1][2]. 본 논문에서 제안한 최소전류 운전은 부하변동에 따라 최소전류 운전점이 되는 E/f가 존재하며 따라서 V/f제어를 변화시킴으로써 최소전류 운전을 실현할 수 있다. 그때 전류가 최소가 되는 슬립주파수는 3상 유도전동기로부터 전류와 토크와의 관계는 다음과 같다.

$$T_{u1} = 3 \times I_1^2 \times X_m^2 \times (R_2/S) / [(R_2/S)^2 + X_2^2 + X_m^2 + 2 \times X_2 \times X_m] \quad (2)$$

T : 토크, I_1 : 고정자 전류, ω_1 : 동기 각속도
S : 슬립, R_2 : 회전자 저항, X_m : 자화 리액턴스
 X_2 : 회전자 리액턴스

이때 최소전류가 되는점에서 슬립 S_{min} 을 구하기 위해 식(2)를 슬립 S에 대해 미분하면

$$S_{min} = R_2 / (X_m + X_2) \quad (3)$$

따라서 식(3)을 가변속시스템에 적용하면 전류가 최소가 되는 슬립주파수는

$$f_{2min} = f_1 \times S_{min} = R_2 / (L_m + L_2) \quad (4)$$

식(4)에서와 같이 최소전류가 되는 슬립 주파수는 주파수의 변화에 상관없이 일정함을 알 수 있고 따라서 전 주파수대역에서 슬립주파수가 일정하게 되도록 V/f제

어를 제어함으로써 최소전류운전을 실현할 수 있으나 실제의 경우 저속에서 온도변화에 따라 파라미터가 변화하므로 본 논문에서는 그림 3과 같은 흐름도에 의해 최소전류운전을 실현하였다.

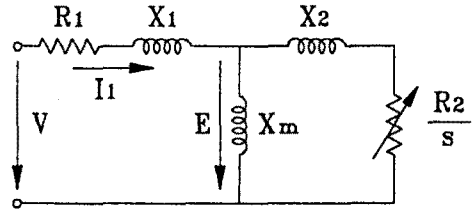


그림 2. 유도전동기 등가회로

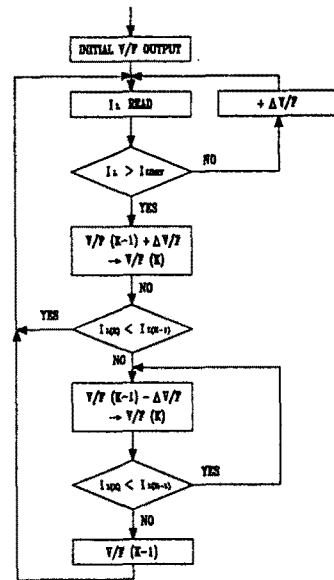


그림 3. 최소전류운전 알고리즘

4. 탑재형 시스템 구조

그림 4는 인버터 탑재형 유도전동기의 구조이다. 제안된 탑재형 시스템은 3개의 부분으로 나누어진다. Part(A)는 사각 철심과 Frameless 구조의 유도전동기이고, Part(B)는 전해 커패시터, 제동저항, Part(C)는 PWM 인버터와 제어회로부터. 그림 4에 보여준 것처럼 더욱더 크기를 줄이기 위해 전동기 뒤쪽 여분의 공간에 커패시터와 제동저항을 위치시켰고 인버터와 전동기를 직접 연결함으로써 인버터와 전동기의 결선의 복잡성을 해결하였다. 또한 탑재형 시스템에서는 일반 시스템과 달리 Fan Flow를 공용함으로써 방열의 용이성과 함께 경제성을 향상시켰다.

5. 실험 결과

인버터 일체형 시스템에서 설계된 인버터전동기는 750[W], 3상 4극 유도전동기이며 파라미터는 다음과 같다.

$R1 = 6.91[\Omega]$, $R2 = 5.75[\Omega]$
 $X1 = 4.9[\Omega]$, $X2 = 5.77[\Omega]$, $Xm = 185.6[\Omega]$

이 전동기의 실험에 의한 속도 - 토크 특성은 그림 5와 같으며 고속에서 정출력 특성을 고려하여 최대토크는 60[Hz]에서 400[%]이상으로 설계하였다. 인버터 구성을 위해 TMS370C756 싱글칩 마이크로프로세서를 사용하였으며 전체 인버터 구성은 그림 6과 같다. 전류 신호는 Chip 내부의 A/D 컨버터를 통해 50[Hz] 주기를 샘플링 하였으며 이 신호에 의해 최소전류운전을 위한 V/f 신호를 제어 할 수 있도록 하였으며 반한시 특성 구현에 의해 과부하시 전동기에 적합한 시간 테이블을 저장하여 단시간 동안 전동기의 능력을 최대한 이용할 수 있도록 하였다. V/f 제어신호는 A,B,C 포트에서 각각 발생하며 주 루프 시간은 50[Hz]로 타이머 2에서 제어를 하며 타이머 1에서는 현재 주파수 신호에 따라 인터럽트 주기를 연산하여 look up 테이블에 있는 250개의 데이터를 읽도록 설계하였다. 그림 7은 75[%]부하에서 자속량(V/f) 변화에 따른 전류특성을 나타내었다. 부하가 낮아 질수록 전압에 따른 전류 변화폭이 커짐을 알 수 있다. 그림 8은 30[Hz]에서 V/f 일정제어, 최적효율운전, 최소전류 운전의 set 효율을 각각 비교 한것으로 최소전류 운전은 V/f 일정제어에 비해 부하와 주파수가 낮아질수록 그 효과가 큼을 알 수 있다. 또한 최적효율운전과 비교시 효율 면에서 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

6. 결 론

인버터와 전동기의 상호 결합 설계를 통해 기존 시스템의 60[%]까지 크기와 무게를 감소시켰다. 전동기의 Frameless 형태와 누설리액턴스를 기존에 비해 약 30[%] 감소 설계함으로써 전체크기 축소,방열문제 및 고속에서 전동기 토크를 향상시켰다. 또한 전동기를 10[%] 저전류 설계하고 V/f에 의한 최소전류운전을 실현함으로써 인버터 방열판 크기 축소와 시스템 효율을 거의 최적 효율값까지 개선시킬 수 있었다. 전체 시스템은 싱글칩 마이크로프로세서를 구성하여 시스템의 크기 축소,신뢰성 및 유연성을 증대시켰고 실험을 통해 본 논문의 유효성을 입증하였다.

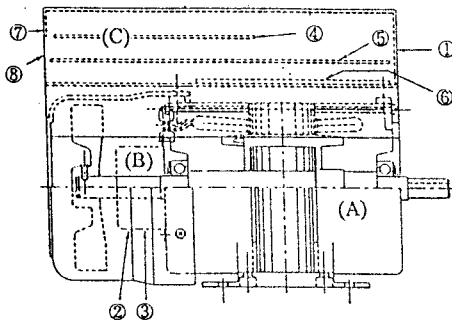


그림 4. 인버터 탑재형 유도전동기 구조

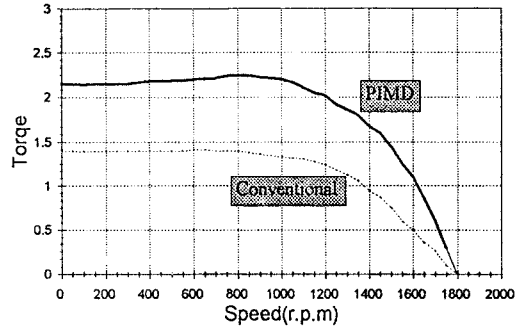


그림 5. 인버터 전용 전동기 속도-토크

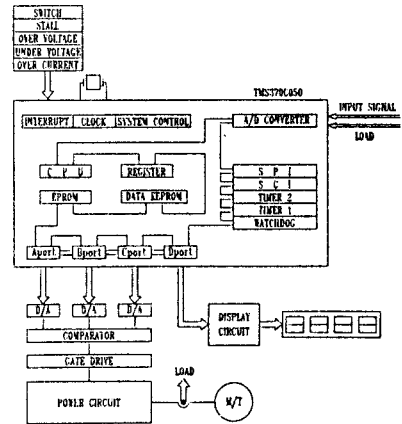


그림 6. 인버터 시스템

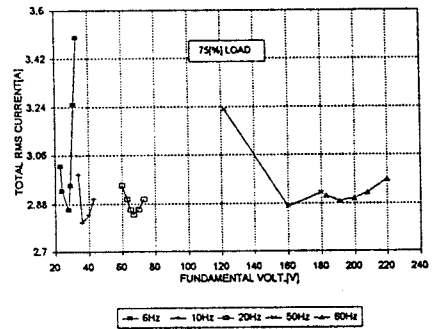
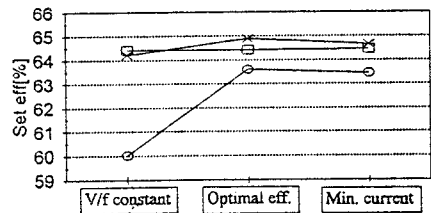


그림 7. V/f변화에 따른 전류특성 (75[%] 부하)



⊖ 100%LOAD(0.423Kg.m) * 75% LOAD(0.317Kg.m)
 ⊕ 50%LOAD(0.212Kg.m)

그림 8. Set 효율(30[Hz])