

세탁기 구동을 위한 단일 외부 전원 공급형 권선형 전동기 및 그 제어 방법

한용수*, 이가현*, 하정익*, 정태철**, 이주**

*서울대학교 전기정보공학부 전력전자센터 (SPEC), **한양대학교 전기공학과

Single External Feeding Wound Machine and Control Method for Washing Machine Drive

Yongsu Han*, Kahyun Lee*, Jung-ik Ha*, Tae-chul Jeong**, Ju Lee**

*Seoul national University Power Electronic Center (SPEC),

**Hanyang University Electrical Engineering.

ABSTRACT

2. 본 문

본 논문에서는 단상 전원과 고정자가 직접 연결되고 회전자에는 독립된 하나의 인버터가 적용되는 전동기 구동 시스템에 대한 분석을 진행한다. 이와 같은 전동기 구동 시스템의 구조는 양방향 운전이 가능하며, 인버터의 직류단 전압을 자유롭게 제어할 수 있다. 또한 입력단에 어떠한 추가적인 장치도 요구하지 않으므로 전동기를 단상 계통에 직접 연결할 수 있어 가전 제품의 적용에 용이하다. 본 논문에서는 이러한 권선형 전동기의 구동 방식을 설명하고, 세탁기 운전을 그 목표로 하여 권선형 전동기의 설계 및 FEM 시뮬레이션을 진행한다. 시뮬레이션은 Maxwell 로 설계된 전동기 FEM 모델을 Simplorer 시뮬레이션을 통해 연동해석을 진행하였다.

1. 서 론

전력 변환 시스템을 적용한 전동기 가변속 구동 시스템은 산업계 전반에서 다양한 목적으로 사용되고 있다. 세탁기, 에어컨과 같은 가전제품에서는 전체 시스템의 효율 증가와 사이즈 감소 등을 위해 인버터와 같은 전력 변환 장치를 적용하고 있다. 이러한 가전제품에 적용되고 있는 인버터에서는 일반적으로 안정적인 직류단 전압을 필요로 하므로, 교류 단상 전원을 이용하는 경우 추가의 장치들이 요구된다. 일반적으로 다이오드 정류기나 추가의 인버터 회로를 적용하게 되는데, 이러한 계통과 전력 변환 회로 간의 연결에서는 계통의 규제 만족을 위해 입력 필터의 적용이 필수적이다. 이러한 장치들은 전체 시스템의 사이즈 및 효율을 증가 시키므로 이를 줄이기 위한 다양한 연구들이 꾸준히 이루어져 왔다.

본 논문에서는 최근에 제안된 단상계통에 직접 연결되는 단일 전원 공급형 인버터내장 권선형 전동기 (Single External Source Feeding of Single phase Doubly Fed Wound Machine, SEF-SDFWM)^[1]의 구동 방법을 세탁기 시스템에 적용하고 그 제어 방식 및 특성을 분석한다. 세탁기 시스템은 요구되는 운전속도의 범위가 매우 크고, 각 운전속도에서의 요구 토크 차이도 매우 크기 때문에 효율적인 전동기 설계에 어려움이 있다. 본 논문에서는 기존 3상 권선형 전동기의 구조를 가지는 인버터 내장형 권선형 전동기의 세탁 및 탈수 운전을 위한 설계를 진행하고, 이를 FEM 모델을 기반으로 simplorer 프로그램을 이용하여 연동해석을 진행하였다.

2.1 단일 전원 공급형 인버터 내장형 전동기 구조

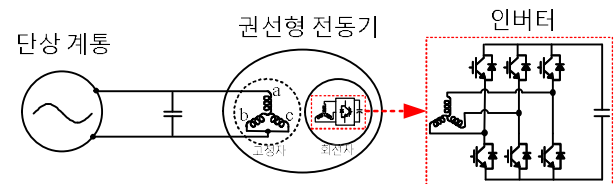


그림 1 단일 전원 공급형 인버터 내장 전동기 구조
Fig. 1 Configuration of SEF-SDFWM

그림 1은 단일 전원 공급형 인버터 내장형 전동기의 구조를 보여주고 있다. 단상 계통 전원은 고정자 단의 a상과 b, c 상 양단에 연결되며, 회전자 단은 외부 전원과 독립된 인버터가 연결된다. 이러한 구조에서는 인버터가 외부와 연결되지 않으므로 인버터는 별도의 슬립링이나 브러쉬와 같은 연결 장치 없이 회전자 권선에 연결될 수 있다. 여기서 고정자 단에 역률 보상용 커패시터가 추가적으로 적용될 수 있으나, 회전자 단의 전류제어를 통해 역률 보상이 가능하므로 계통의 역률 제어를 위하여 반드시 필요한 것은 아니다. 이러한 시스템은 단상 계통을 전원으로 하는 곳에서 계통 전원과 직접 연결되어 적용될 수 있으므로 기존의 시스템과 같이 인버터에 직류 전원 공급을 위한 별도의 장치를 필요로 하지 않는다.

2.2 단일 전원 공급형 인버터 내장형 전동기 제어 방법

본 시스템에서는 고정자 자속 좌표계를 기준으로 하는 벡터 제어를 적용한다. 단상의 필드를 두개의 삼상의 필드로 나타낼 수 있다는 점에 착안하여, 본 시스템에서는 정상분과 역상분의 전류를 제어하여 속도, 회전자 단 인버터 직류단 전압 및 고정자 단 역률을 제어한다. 그 블록도는 그림 2 와 같다. 그림에서 윗 첨자 p 와 n 은 각각 정상분의 고정자 자속 좌표계와 역상분의 고정자 자속 좌표계를 나타내며, 아랫 첨자의 p 와 n 은 각각 정상분과 역상분의 성분 임을 나타낸다. 따라서 윗첨자와 아랫 첨자가 (p,p) 혹은 (n,n) 으로 되어 있는 항들은 모두 일정한 직류의 값으로 나타내어 질 수 있으므로 각각 전류 지령은 PI 제어기로 설계 될 수 있다. 회전자 전류 제어기도 마찬가지로 기존의 동기 좌표계에서의 PI 제어를 적용하되, 정상분과 역상분의 전류제어기를 각각 구성하여 동작시키고, 그 최종 전압 지령을 회전자 좌표계 상에서 더하는 식으로 구현 될 수 있다. 자세한 제어 방식은 참고 논문^{[1],[2]}에

나타나 있다.

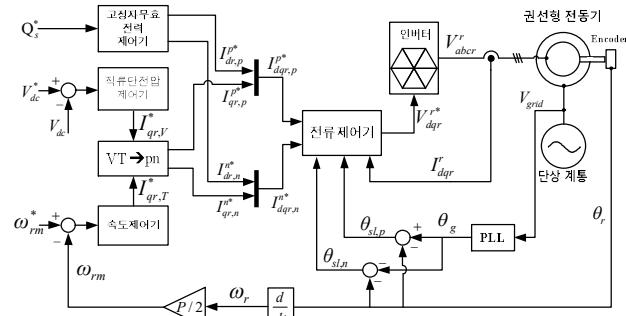


그림 2 단일 전원 공급형 인버터 내장형 전동기 전체 제어 블록

Fig. 2 Entire control block diagram of SEF-SDFWM

2.3 단일 전원 공급형 인버터 내장 전동기 설계

단일 전압 공급형 인버터내장 전동기의 설계를 위한 세탁기 세탁 및 탈수 운전의 조건은 표에 나타나 있다.

표 1 세탁기 운전 조건

	세탁 운전	탈수 운전
운전 속도	45 r/min	1200 r/min
요구 토크	32 Nm	2.5 Nm
요구 역률	>0.95	>0.95

$$T_e \approx -\frac{3 P L_m E}{2 L_s 3 \omega_g} (I_{qr,p}^n + I_{qr,n}^n) \quad (1)$$

$$I_{dr,p}^p = I_{dr,n}^n \approx \frac{E}{3 \omega_g L_m} \quad (2)$$

본 시스템에서 토크 및 단일 역률 제어를 위한 정상분과 역상분의 d축 전류의 크기는 수식 1 과 2 와 같이 정해진다. 또한 요구되는 전압이 계통 동기 주파수 이상에서 속도에 비례해 커지므로 고속 운전 속도를 계통 주파수 근처로 설정해 주어야 한다. 따라서 극수 설정과 상호 인덕턴스 선정이 가장 중요한 설계 항목이 된다. 표 2는 상호 인덕턴스 크기와 pole 수를 바꾸면서 요구되는 인버터의 VA 값을 계산한 결과이다.

표 2 극수 및 \$L_m\$ 에 따른 요구 인버터 VA rating

\$L_m\$	0.05	0.05	0.05	0.05
Pole	20	10	8	6
VA	14384.43	10318.46	9906.833	11027.27
\$L_m\$	0.075	0.075	0.075	0.075
Pole	20	10	8	6
VA	11774.21	9613.74	9262.093	12550.55
\$L_m\$	0.175	0.175	0.175	0.175
Pole	20	10	8	6
VA	9449.356	9452.764	13808.42	25510.1

제안된 시스템은 분포권 설계를 기본으로 하여 극수를 늘리는 것에 어려움이 있고, 계통 주파수와 고속 운전 주파수를 비슷하게 설정하기 위해 적절히 전동기 극수를 선택할 수 있다.

2.4 단일 전원 공급형 인버터 내장형 전동기 연동해석 시뮬레이션

위에서 설정한 극수 및 상호 인덕턴스 값에 맞추어 전동기의 FEM 모델을 설계하고, 그림 3과 같이 simplorer 프로그램을 이용하여 연동해석을 진행하였다.

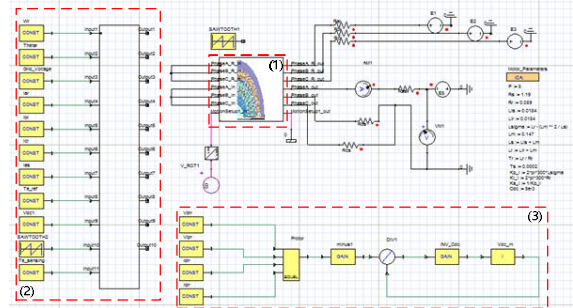


그림 3 연동해석 시뮬레이션 블록

그림 3에서 (1) 은 전동기 FEM 모델을 나타내고 (2)는 제어기 블록을 나타내며, (3) 은 인버터 출력 전압과 전동기 회전자 전류의 곱으로 회전자 파워를 계산하여 모의로 직류단 전압을 나타내어 주는 블록을 나타낸다. 실험 결과는 그림 4와 같다.

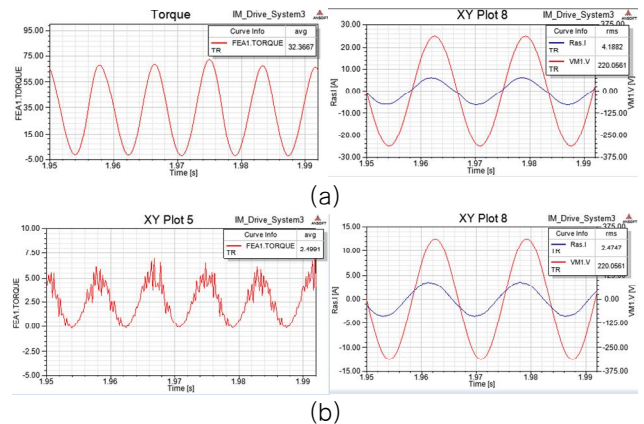


그림 4 연동해석 시뮬레이션 결과 (a)저속 운전과 (b)고속 운전에서의 토크 및 계통 전압 전류 파형

3. 결론

본 논문에서는 단일 전원 공급형 인버터 내장 전동기의 세탁기 시스템 적용을 위한 전동기 설계를 진행하였다. 설계된 전동기의 성능확인을 위한 연동해석을 진행하였다.

이 논문은 삼성전자(주) DMC 연구소의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [1] Y. Han and J. Ha, "Wound Rotor Machine Fed By a Single Phase Grid and Controlled by an Isolated Inverter," IEEE Trans. on Power Electronics, To be published.