

PWM 인버터 전원을 고려한 유도기동형 영구자석 동기전동기의 특성 해석

류동완, 오영진, 이인우, 최태식
(주)효성 중공업연구소

Characteristic Analysis of Line-start Permanent Magnet Synchronous Motor considering PWM Inverter

Ryu Dong Wan, Oh Young Jin, Lee In Woo, Choi Tae Sik
R&D center, Power & Industrial Performance Group, Hyosung Co.

Abstract - This study investigates the characteristic analysis of Line-start Permanent Magnet Synchronous Motor considering PWM Inverter. The effects of the PWM inverter on machine characteristic are analyzed by using direct co-simulation of Matlab Simulink and Flux2D. Validity of analysis method is confirmed by the analysis result of Sin-wave power Model.

1. 서 론

산업용 전동기 분야에는 가격이 저렴하고 상용전원구동이 가능할 뿐 아니라 인버터를 이용할 경우에도 단순한 V/f 제어로 운전이 가능한 유도전동기가 많이 사용되어 왔다. 하지만 산업 기기의 발달과 양적 팽창으로 환경 문제가 국내외적으로 대두됨에 따라 효율 측면의 규제가 강화되고 있다. 또한 고성능 영구자석의 보급이 활발해지고 가격이 저렴해지면서 상용전원 구동이 가능하고 범용 인버터로 V/f 제어 운전이 가능한 유도기동형 영구자석 동기전동기(Line-start Permanent Magnet Synchronous Motor)에 대한 연구가 활발해지고 있다.

유도기동형 영구자석 동기전동기(Line-start PM Motor)는 기존의 유도전동기에서 회전자에 영구자석을 채택하여 유도기의 특성과 동기기의 특성을 동시에 이용하므로 별도의 구동회로가 필요 없으며 영구자석의 특성을 이용하므로 고효율이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 유도기동형 영구자석 동기전동기의 구동에 PWM 인버터를 사용할 경우 인버터 스위칭에 의해 발생하는 전원의 고조파 성분으로 정현파 전원의 경우와는 특성이 달라진다. 이러한 경우에는 PWM 인버터 전원을 고려한 특성해석이 필요하므로, 본 논문에서는 Matlab Simulink와 Flux2D를 Direct co-Simulation으로 인버터 전원을 고려한 해석을 수행하였다. 또한 그 결과를 정현파 전원에 의한 해석결과와 비교하였다.

2. 본 론

2.1 유도기동형 영구자석 동기전동기 구조

일반적으로 유도기동형 영구자석 동기전동기는 회전자에 영구자석을 매입한 구조를 사용하고 유도 기동토크를 얻기 위해 농형의 cage가 삽입되어 있다. 또한 영구자석의 측면 부분은 철심으로의 누설을 방지하기 위한 자속 장벽이 존재한다. 고정자 권선은 일반적인 유도기와 동일한 권선을 사용한다. 그림 1은 유도기동형 영구자석 동기전동기의 구조를 나타낸다.

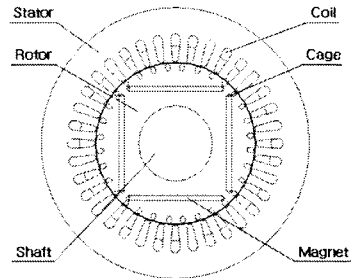


그림 1. 유도기동형 영구자석 동기전동기의 구조

2.2 인버터 전원을 고려한 해석모델의 모델링

2.2.1 Flux2D를 이용한 모델링

본 절에서는 PWM 인버터 전원을 고려한 유도기동형 영구자석 동기전동기의 특성해석 방법을 기술한다. 해석 대상을 전동기 부분과 인버터 전원부분으로 나누어서 모델링 하는데 전동기 부분의 경우 상용 해석 툴인 Flux2D를 이용하였다. 표 1은 해석모델의 사양을 나타 내었다. 해석 모델은 전체 형상의 1/4을 모델링 하였다. 기존의 해석모델 모델링에서는 형상 및 회로를 모델링 한 후 해석 과일을 만드는 "Physical" 과정에서 각 회로 component 값을 직접 정의하였지만 인버터 전원을 입력 할 경우에는 전압원의 값을 임의의 정수를 입력하여 Flux2D 모델링을 마치고 Matlab simulink에서 인버터 전원을 모델링 하여 전압을 인가하게 된다.

표 1. 해석모델 사양

Item	Unit	value
Out power	W	1500
Pole number		4
Rated speed	rpm	2280
Phase number		3
Pole number		4
Magnet	Material	Nd-Fe-B
	Br	T
		1.17

2.2.2 Matlab simulink를 이용한 인버터 전원 모델링

그림 2는 Matlab simulink로 구현된 인버터 전원을 나타낸다. 인버터는 PWM 파형을 출력해주는 인버터부와 V/f 제어 조건을 설정해주는 제어부로 나누어져 있다. 인버터에 의한 선간전압의 실효치 V_{LLrms} 는 식 (1)과 같다.

$$V_{LLrms} = \frac{m}{2} \times \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} V_{dc} = m \times 0.612 \times V_{dc} \quad (1)$$

따라서 제어조건 입력 시 DC Link 전압 V_{dc} 와 변조계수 m 을 통해 선간전압의 실효치를 결정하고 정상상태 도달시간, 바이어스 전압 및 정상상태 주파수를 통해 V/f 제어조건을 결정하게 된다. Flux2D Time step은 Flux2D를 활용하여 유한요소해석을 수행할 때 적용할 one step의 시간을 입력하면 된다. 인버터의 switching frequency도 설정할 수 있다.

그림 3은 제어될 전압과 주파수의 변화 패턴을 보여주고 있다. 그림의 예는 바이어스 전압을 50[V]로 설정하기 때문에 초기 전압이 오프셋 되어 있다.

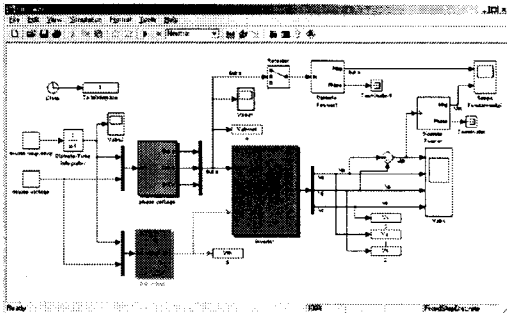


그림 2. Matlab simulink로 구현된 인버터 전원 모델

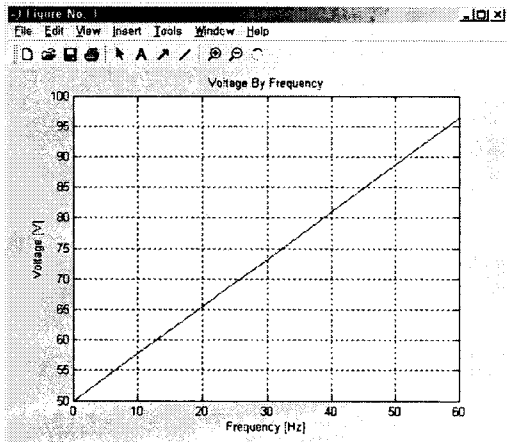


그림 3. 주파수에 따른 전압의 크기

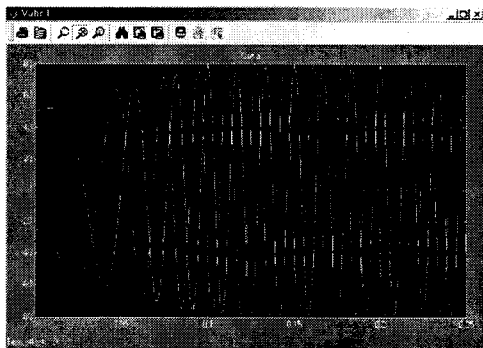


그림 4. Reference 전압 파형(Phase voltage)

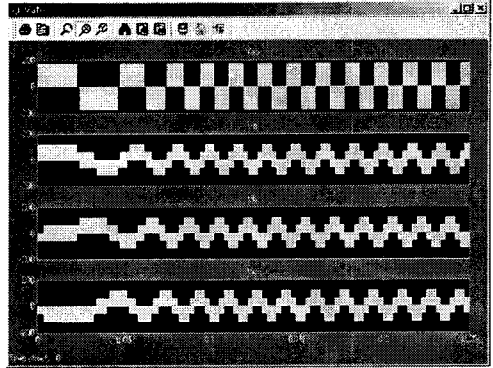


그림 5. 인버터 출력전압 파형

그림 4는 인버터 전압을 발생시키기 위한 Reference 전압을 나타낸다. 제어 조건에 의해 전압과 주파수가 정상상태 도달 시간까지 증가하여 정현적인 전압 파형을 발생시키고 있음을 알 수 있다.

그림 5는 인버터의 출력 선전압 및 상전압 파형을 나타낸다.

2.3 인버터 전원을 고려한 특성해석

2.3.1 Simulink와 Flux2D의 Direct co-Simulation

Direct co-Simulation을 위해서는 그림 2에서 모델링한 Matlab simulink의 인버터 전원 모델에 Flux2D coupling block을 추가하면 전체적인 모델링이 완료된다. 해석을 위한 최종 모델은 그림 6과 같다. Flux2D coupling block에서 정의하는 time step은 해석시간 간격을 나타내며, Matlab simulink 모델에서 정의되는 모든 Sample time과 일치해야 된다.

Direct co-Simulation을 위한 모델링이 완료되면 Matlab simulink를 실행시켜 계산을 시작하면 된다. 인버터 모델의 제어조건은 표 2에 나타내었다. 해석에 사용된 PM 전동기 모델은 1/4 모델이므로, 정격전압의 1/4이 인가되어야 한다. 따라서 실제 인버터의 제어 조건에 입력하는 전압은 식 (2)와 같다.

$$V_{LLms} = m \times 0.612 \times V_{dc} \times \frac{1}{4} \quad (2)$$

그림 7은 Matlab simulink의 Scope block에서 볼 수 있는 해석결과이다. 위에서부터 Pa상에 흐르는 전류, Pa상에 인가되는 전압, 시간에 따른 회전속도의 변화 및 토크의 변화를 나타낸 것이다.

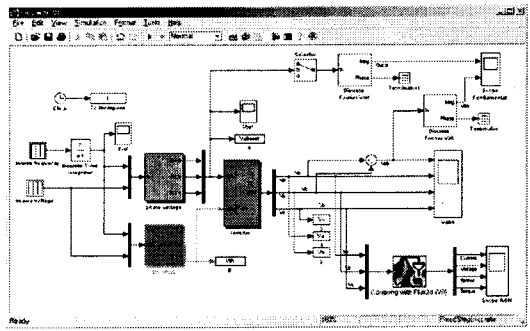


그림 6. Direct co-Simulation을 위한 Matlab simulink 모델

표 2. 인버터 제어 조건

Item	Unit	value
DC Link Voltage	V	175
Steady state time	sec	0.1
Modulation factor		0.887
Bios voltage	V	0
Steady state frequency	Hz	76

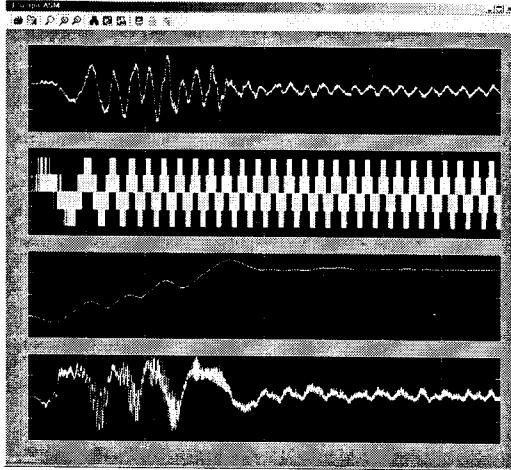
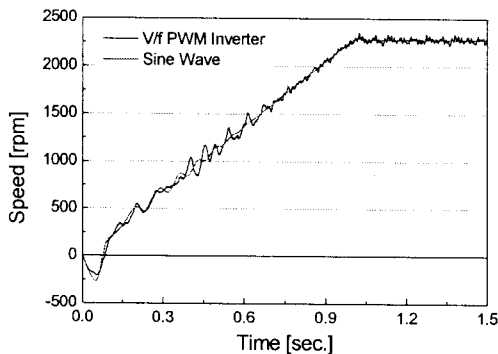


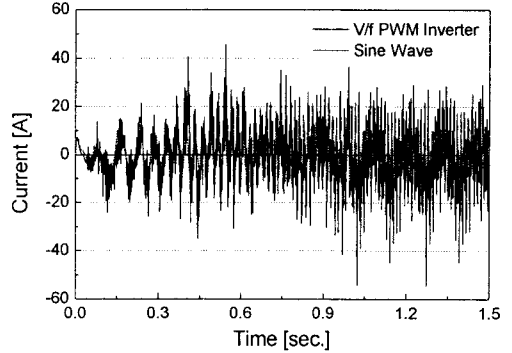
그림 7. Scope block에서 본 해석결과

2.3.2 특성해석 결과

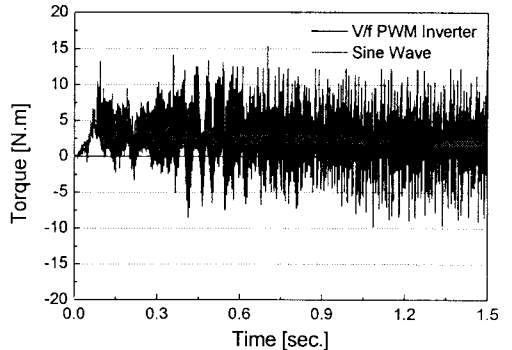
그림 8은 위의 인버터 전원 특성해석 결과와 정현파 전원 특성해석 결과를 각 항목별로 비교한 것으로 각각 시간에 따른 속도 특성, 상전류 특성, 토크 특성을 나타낸 것이다. 결과에서 시간에 따른 토크 특성을 보면 해석 대상 전동기의 동기속도인 2280[rpm]으로 동기화되어 회전하고 있음을 알 수 있다. 그리고 인버터 전원 모델과 정현파 전원 모델의 해석 결과를 비교하면 인버터 전원 모델이 정현파 전원 모델에 비해 리플이 크게 발생하였으며, 발생 토크의 경우 토크 리플의 크기가 정현파 모델에 비해 약 10배 정도 크게 나타났다.



(a) 시간에 따른 토크 특성



(b) 시간에 따른 전류 특성



(c) 시간에 따른 토크 특성

그림 8. 인버터 전원 모델과 정현파 전원 모델 특성비교

3. 결 론

본 논문에서는 전동기 특성해석에서 인버터 전원을 고려하기 위한 방안에 대하여 설명하였다. 그 결과 정현파 전원 모델에 비해 인버터 전원 모델의 결과에 인버터 전원의 고조파 성분에 의한 리플 성분이 각 특성에 현저하게 크게 나타남을 알 수 있다. 하지만 이는 인버터 전원의 고조파 성분에 의한 영향 뿐 아니라 해석 시간 및 결과 데이터의 양을 줄이기 위해 요구되는 time step보다 time step을 크게 하여 해석하였기 때문이기도 하다. 따라서 향후 인버터 전원을 고려한 해석 시에는 보다 정확한 결과를 나타내기 위해 time step을 작게 하면서 해석 시간과 결과 데이터의 양을 줄일 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] T.J.E. Miller, "Synchronization of Line-Start Permanent Magnet AC Motors", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS 103, No. 7, 1984
- [2] E. S. Hamdi, "Design of Small Electrical Machines", JOHN WILEY & SONS, 1994
- [3] Chee-Mun Ong, "Dynamic simulation of Electric Machinery", Prentice-Hall, 1998
- [4] 정 승, "제어시스템 분석과 Matlab 및 Simulink의 활용", 청문각, 2002
- [5] 조동혁, 김도원, 한문규, 오시덕, "유도기동성 영구자석 전동기의 기동 특성 해석", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, p128-130, 2001
- [6] 강규홍, 남혁, 홍정표, "단상 영구자석형 유도동기기의 정상 상태 특성 해석", 대한전기학회논문지, p53-60, 2003