

EMTP를 이용한 유도전동기의 스위칭 써지 영향 분석

송승엽* 김재철 이도훈 신중은 노광현
 송실대학교

The analysis for the effect of switching surge of induction motor using EMTP

Song Seung Youp* Kim Jae Chul Lee Do Hoon Sin Jung Eun Noh Kwang Hyun
 Soongsil University

Abstract - As the use of ASD due to developing of power electronics technology was increased, the failure of induction motor by switching surge also was increased.

This paper presented a switching surge modeling of inverter and a induction motor modeling using EMTP program. As a output waveform of square wave inverter and PWM inverter and the input terminal waveform of induction motor were shown, the effect of switching surge was analyzed.

1. 서 론

전동기의 가변속 구동은 고도의 제어성과 에너지 절약 을 목적으로 많은 산업분야에서 그 필요성이 증대되고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해 구조적인 단점에도 불구하고 직류전동기가 많이 사용되어 왔으나, 최근 고속대용량 반도체 소자의 발달과 고성능 마이크로 프로세서의 출현에 의한 전력전자 기술의 발전으로 운전 주파수를 연속적으로 변화시킬 수 있는 전력변환장치의 구성이 가능해짐으로써 구조가 간단하고 유지보수가 쉬운 유도전동기의 사용이 늘어나고 있다. 그러나 GTO나 IGBT같은 고속의 스위칭소자의 사용은 스위칭에 따른 전압과 전류의 매우 빠른 상승시간 때문에 전동기 권선에 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 예측된다[3].

이런 전력변환장치를 지속적으로 사용하는 시스템에서의 권선소손사고는 인버터에 의한 과전압 빈도수가 유도전동기 권선에 빈번한 전압 스트레스로 작용할 수 있는 것으로 볼 수 있다.

본 논문에서는 스위칭 써지에대한 이론적인 분석과 EMTP를 이용한 인버터의 스위칭 써지 모델링 및 유도전동기 모델링을 통하여 인버터 구동시 발생하는 스위칭 써지에 대한 영향을 분석하였다.

2. 이론적 배경 및 모델링

2.1 가변속 구동장치 (Adjustable Speed Drives)

그림 1은 가변속 구동장치의 구성도이다. 컨버터부에서 교류전원을 직류전원으로 변환한 다음, 인버터에 의해 다시 전동기에 필요한 가변주파수의 교류전원으로 변환하여 전동기에 공급한다. 이때 인버터부로 들어오는 직류전원의 종류에 따라 전압원 인버터(VSI: Voltage Source Inverter)와 전류원 인버터(CSI: Current Source Inverter)로 나누어진다.

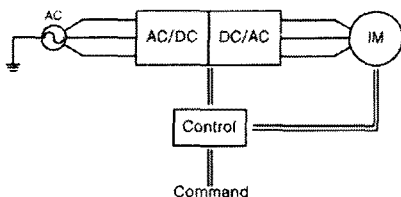


그림 1 가변속 드라이브 시스템

2.2 시스템 구성

전력계통 시스템의 과도현상을 해석하기 위해 개발된 전자계 과도 해석 프로그램(Electromagnetic Transient Program)은 시스템 전체 또는 개별 기기의 동작특성과 고조파 분석등을 할 수 있다.

그림 2는 가변속 드라이브 시스템의 구성도로서 전체 시스템은 스위칭 회로, 회전기기, 제어시스템으로 나누어진다.

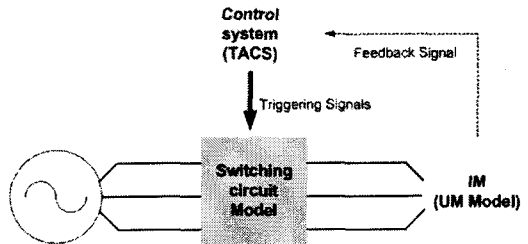


그림 2 가변속 드라이브 시스템의 EMTP 구성도

2.2.1 제어시스템(TACS)

그림 3에서 나타난 것과 같이 제어시스템(TACS)은 검출기(Sensors)에 의해 전력계통(Network)으로부터 신호를 받아들이고 이를 적절히 처리하여 필요한 지령을 전력계통에 발생시키게 된다. 스위칭 소자의 트리거 신호는 이 TACS 제어 전원에 의해 가변속 드라이브 시스템의 스위칭 회로를 동작시키게 된다[1].

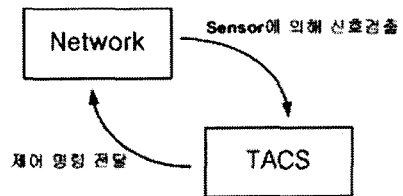


그림 3 TACS와 Network간의 상관관계

2.2.2 회전기기(UM Model)

EMTP에는 두 종류의 회전기 모델이 있는데 하나는 3상 평형 동기기만 모델링할 수 있는 SM(Synchronous machine) 모델과 유도기, 직류기, 동기기동 12종류의 회전기들을 모델링할 수 있는 UM(Universal Machine) 모델이 있다. 이 UM Model은 전기적인 회로는 d-q-0축으로 표현하나 기계적인 요소는 전기회로로 유사화하여 표현한다. 표 1은 전기계와 기계계사이의 상호관계를 나타낸다[1].

표 1. 전기계와 기계계 사이의 상호 관계

Mechanical	Electrical
T (Torque on Mass)	I (Current into Node)
ω_m (Angle Speed)	V (Node voltage)
θ_m (Angle)	Q (Capacitor charge)
J (Moment of inertia)	C (Capacitance to ground)
K (Spring constant)	Y_L (Reciprocal of Inductance)
D (Viscous Damping)	Y_R (Conductance)

전기계와 기계계를 결합한 시스템인 그림 2에서의 운동방정식은 식(1)과 같다.

$$T_m = J \frac{d\omega_m}{dt} + D\omega_m + T_e \quad (1)$$

식 (1)을 전기적 방정식으로 바꾸면 식(2)와 같이 된다.

$$I_m = C \frac{dV_m}{dt} + \frac{V_m}{R} + I_e \quad (2)$$

그러므로 전동기 관련 데이터는 전기계로 변환하여 입력시켜야 한다. 또 부하가 요구하는 부하토크를 전기적인 변수로 변환할 경우 전동기는 부(-)로, 발전기는 정(+)으로 된다.

2.3 가변속 구동장치 모델링

스위칭 회로 모델링은 그림 4와 같다.

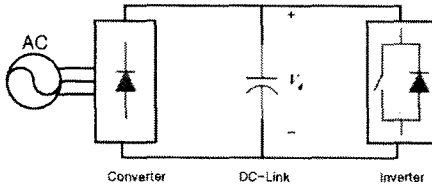


그림 4 스위칭 회로 모델

컨버터부는 다이오드 정류기를 사용했으며, 인버터부는 TACS와 연결된 스위치를 사용하여 구형파 인버터와 PWM 인버터로 동작할 수 있도록 모델링하였다.

구형파 인버터는 한 주기당 약간 낮은 속도로 턴 온과 턴 오프를 할 수 있어 매우 높은 정격레벨을 갖는 장점이 있지만, 출력전압의 크기를 조절할 수 없는 단점이 있다.

PWM 인버터는 구형파 인버터와 달리 컨버터를 통과한 직류전원으로 가변속 운전에 필요한 출력전압의 크기와 주파수를 둘다 제어할 수 있다[3].

그림 5와 그림 6은 정격전압 230[V], 47.619[Hz]로 가변속 했을 경우에 구형파 인버터의 출력파형과 DC전압, PWM 인버터의 출력파형과 DC전압이다.

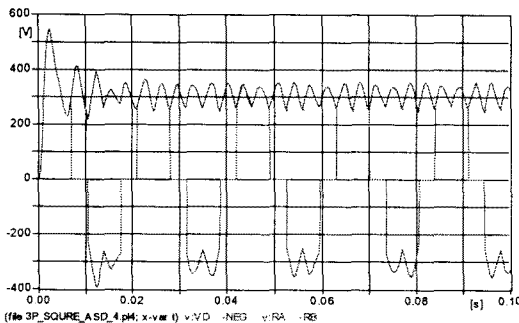


그림 5 구형파 인버터의 출력파형과 직류전압

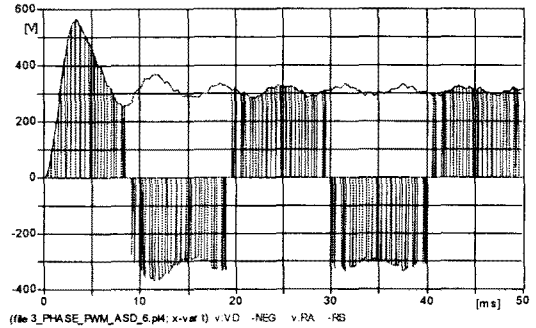


그림 6 PWM 인버터의 출력파형과 직류전압

MC's PlotXY - Fourier chart(s). Copying date: 2003-10-30
File 3P_SQURE_ASD_4.p4 Variable v.RA -RB [peak]
Initial Time: 0.08 Final Time: 0.1

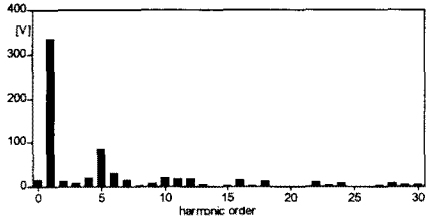


그림 7 구형파 인버터의 출력파형 고조파 스펙트럼

MC's PlotXY - Fourier chart(s). Copying date: 2003-10-30
File 3_PHASE_PWM_ASD_6.p4 Variable v.RA -RB [peak]
Initial Time: 0.03 Final Time: 0.05

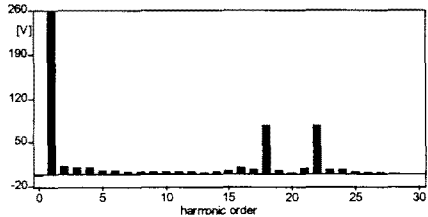


그림 8 PWM 인버터의 출력파형 고조파 스펙트럼

그림 7과 8은 구형파 인버터와 PWM 인버터의 고조파 스펙트럼 분석을 한 것이다. 여기서 구형파는 저차의 고조파에 영향을 받는 반면, PWM 인버터는 고차의 고조파에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

2.4 유도전동기 모델링

EMTP로 유도전동기를 모델링하기 위해 제작자의 유도전동기 파라메타를 이용하였다.

표 2는 제작자에게 받은 농형 유도전동기 파라메타이다.

표 2. 3[hp] 농형 유도전동기

3상 230[V _{L-L}] 60[Hz], 3hp	
stator resistance	0.435 [Ω]
rotor resistance	0.816 [Ω]
stator leakage inductance	0.754 [Ω]
rotor leakage inductance	0.754 [Ω]
mutual inductance	26.126 [Ω]
moment of inertia	0.089 [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]
switching frequency	1 [kHz]

그림 9와 10은 유도전동기를 직입기동한 결과이다. 회전속도는 181.28[rad/s]이며, A상 고정자 전류의 기동전류 피크치는 약 90[A] 정도 된다. 여기서 토크곡선이 0을 중심으로 negative 영역에 있으면 전동기로 동작하며, positive 영역으로 올라가면 발전기로 동작된다.

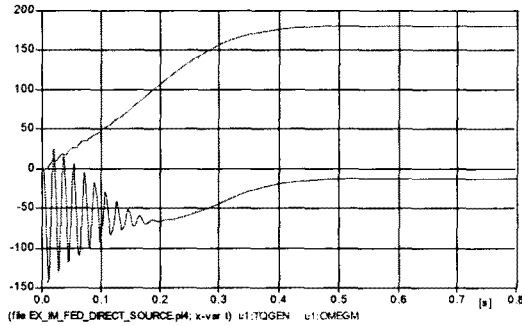


그림 9 직입기동시 3[hp] 유도전동기의 토크[Nm]와 회전속도[rad/s]

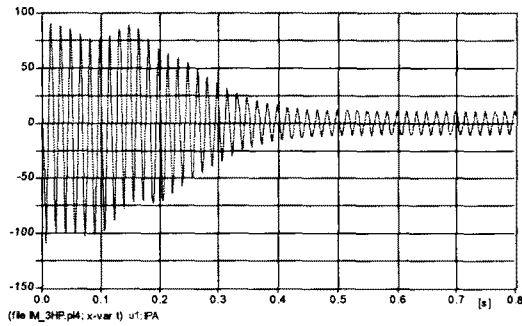


그림 10 직입기동시 3[hp] 유도전동기의 A상 고정자 전류

3. 가변속 구동장치에 의한 유도전동기 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서는 구형과 인버터와 PWM인버터, 3[hp] 농형 유도전동기를 모델링하였으며 가변속 구동장치 시뮬레이션 결과 구형과 인버터의 출력은 저차의 고조파가 지배적이며, PWM 인버터는 고차의 고조파에 지배적이라는 결과를 얻었다. 이런 고조파에 대한 유도전동기의 영향을 분석하고자 한다.

그림 11은 47.619[Hz]로 가변해서 PWM 인버터 구동한 유도전동기에 대한 토크와 회전속도이다.

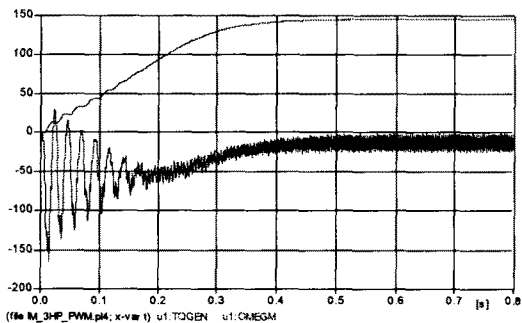


그림 11 47.619[Hz]로 PWM 인버터 구동한 3[hp] 유도전동기의 토크[Nm]와 회전속도[rad/s]

회전속도는 약 145[rad/s]이며 임의로 케이블 정수를 $R=0.02[\Omega]$, $L=0.0005[mH]$ 로 입력해서 시뮬레이션하였다. 또한 스위칭 써지에 의한 전동기 입력단에 대한 출력은 그림 12에 나타내었다.

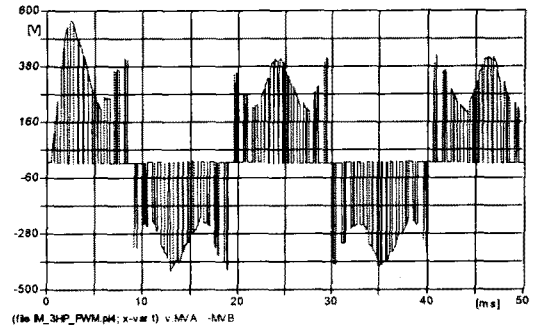


그림 12 47.619[Hz]로 PWM 인버터 구동한 3[hp] 유도전동기의 입력단자 전압

그림 6의 PWM 인버터 출력파형과 비교하였을 때 훨씬 더 커진 것을 알 수 있다. 이는 인버터 출력단에서 고조파를 가진 써지 전압이 케이블을 따라 유도전동기로 들어갈 때 케이블 특성임피던스와 전동기 특성임피던스 간의 임피던스 부정합(mismatch)으로 인해 전압이 반사되기 때문이다. 그러므로 이런 써지전압을 고려한 전동기 설계가 이루어져야 한다.

4. 결 론

본 논문은 EMTP의 TACS와 UM Model을 이용하여 가변속 구동장치와 유도전동기를 모델링하였으며, 구형과 인버터 출력은 저차의 고조파가 지배적이며, PWM 인버터 출력은 고차 고조파가 지배적이라는 것을 확인하였다. 또한 PWM 인버터 가변속 구동 유도전동기 시뮬레이션을 통해서 출력전압보다 전동기 입력단의 전압이 더 커진다는 것을 확인함으로써 스위칭 써지에 대한 유도전동기의 영향에 대해 심각하게 분석할 필요가 있음을 밝혔다.

앞으로 대용량, 고전압화 되어짐에 따라 인버터용 대용량 유도전동기에 대한 사고를 미연에 방지하기 위한 연구가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 논문은 에너지 관리공단의 연구비 지원으로 진행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] EMTP/ATP Rule Book, vol. 1, 2, 1986
- [2] Boldea Nasar, "The Induction Machine Handbook", CRC Press, 2002
- [3] 김종걸, "전자계 과도해석 프로그램을 이용한 가변속 구동 시스템의 특성 해석", 대한전기학회 논문지, 제47권, 제8호, pp. 1135-1141, 1998
- [4] E. Persson, "Transient Effect in application of PWM Inverters to Induction Motor", IEEE Trans. on Industry applications, vol.28, no.5, pp.1095-1101, 1992
- [5] Ned. Mohan, "Digital Simulation of Field-Oriented Control of Induction Motor Drives using EMTP", IEEE Trans, Vol.101, No. 6, pp. 1342-1351, 1988