

LSM 섹션전환시험을 위한 시스템 설계

조정민*, 한영재*, 이창영*, 신승권*
한국철도기술연구원*

System Design for LSM Section Switching Test

Jeong-Min Jo*, Young-Jae Han*, Chang-Young Lee*, Seung-Kweon Shin*
Korea Railroad Research Institute*

Abstract - LSMs are installed under girders along the long track. In order to improve the efficiency of the LSM, long stator LSM should be divided into the specified length and the propulsion inverters should have the system topology to generate high voltage and current for LSMs. This paper presents a system topology with two-step inverter in order to generate high voltage in inverter. A LSM propulsion system is developed and implemented in Matlab/Simulink. A system model of the two-step Inverter is applied to developed model. This paper demonstrates through simulation, advantages of multi-step inverter. The conclusions can serve the design of LSM propulsion system.

1. 서 론

자기부상시스템은 기계적 접촉으로 인한 마찰을 제거할 수 있는 수단으로서 연구자들의 관심을 끌어들였다. 자기부상시스템은 자기베어링, 고속 자기부상열차, 민감한 기기의 진동 차단, 유도가열기의 용융금속의 부상 및 제조공정 중 금속판 부상 이송장치 등과 같은 다양한 분야에 널리 활용될 수 있다[1-3].

자기부상시스템에서 LSM은 궤도를 따라 길게 설치되어 있으나 추력을 발생시킬 수 있는 차량의 2차축 마그네트는 상대적으로 작은 일부분에 해당하므로, LSM의 효율을 매우 낮아지게 된다. 따라서 LSM의 운전효율을 개선시키기 위해서는 LSM의 2차축 계자가 설치되어 있는 자기부상열차 차량의 길이와 최고속도를 고려하여 LSM섹션을 구성하기 때문에 추진용 인버터 설계시 LSM 섹션전환기술 개발이 필수적이다. 또한 초고속으로 주행하는 구간의 LSM 선로는 저속으로 운행하는 LSM 섹션에 비하여 상대적으로 긴 LSM섹션 구성됨으로 고속구간에 추진전력을 공급하는 추진인버터는 장계자 구성으로 인한 고 임피던스를 고려하여 고전압 대전류의 전력을 공급할 수 있도록 구성되어야 한다.

본 논문에서는 LSM의 섹션전환기술을 개발하기위해서 3개로 나뉘어진 LSM 섹션을 궤도를 따라 양측에 루프형으로 구성된 LSM 섹션전환 시험 장치에 대하여 기술하고 있다. 그리고 장계자형 LSM의 추진전력을 공급하는 추진인버터의 고유의 토폴로지를 고려한 제어기술 개발을 위해서 2대의 출력변압기를 이용하여 단상인버터 2대를 직렬로 합치시킨 2스텝 인버터 토폴로지를 제시하였다.

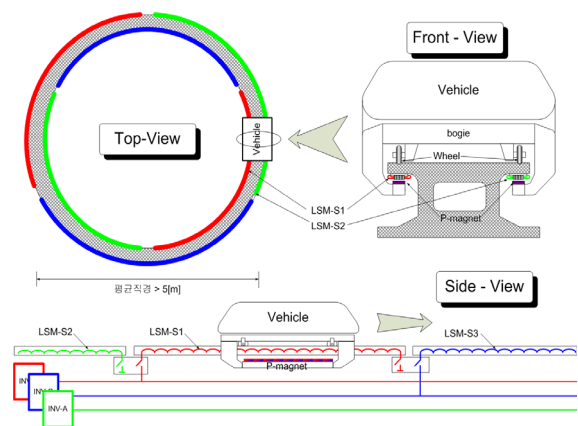
2단계로 구성된 인버터 토폴로지의 가용성 검증을 위해 인버터 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 제시된 인버터 시뮬레이션 모델은 DC링크전압이 500VDC급인 2스텝 인버터로써, 인버터의 지령 출력 전압 및 주파수 증가에 따라서 두 대인 인버터의 출력이 선형적으로 고전압을 발생시키는 것이 가능함을 확인시켜 주었다.

2. 루프형 LSM 소형시험장치

2.1 루프형 LSM 소형시험장치 개요

루프형 LSM 소형시험장치는 LSM 섹션전환기술 개발과 추진인버터의 2스텝 출력전압 제어기술을 개발하기위한 시험 장치로서, 3개의 섹션으로 구성된 LSM을 루프형 궤도를 따라 양측에 위치하도록 구성하고, 어느 하나의 LSM 소손시에도 연속적인 추진력을 발생시킬 수 있도록 LSM의 섹션 위치는 서로 교차하도록 구성하였다. 그림 1은 루프형 LSM 소형시험장치의 개념도를 나타낸 것으로써 루프의 평균직경은 대략 5m이며, LSM의 섹션의 구성은 그림과 같이 120° 호의 형태로 구성하였다. LSM 추진력에 의해 이동하는 차량은 4개의 바퀴에 의해 지지되며, 차량에는 영구자석이 설치되어 있어 LSM의 무빙계자역할을 담당한다. LSM의 추진전력 공급시 LSM의 슬롯사이에 설치되어진 코일의 전류와 차량의 영구자석에 의한 발생된 자속의 상호작용으로 추진력이 발생되어 차량은 궤도를 따라 이동하게 된다. LSM 선로는 루프형으로 설치하여 상대적으로 단거리 선로에서 높은 속도를 얻을 수 있도록 하

였다. 궤도의 내측 LSM과 외측 LSM 코어의 길이는 각각 4500mm와 5500mm이며, 차량의 영구자석 마그네트 배열을 궤도의 호를 따라 평행하게 설치하였다.

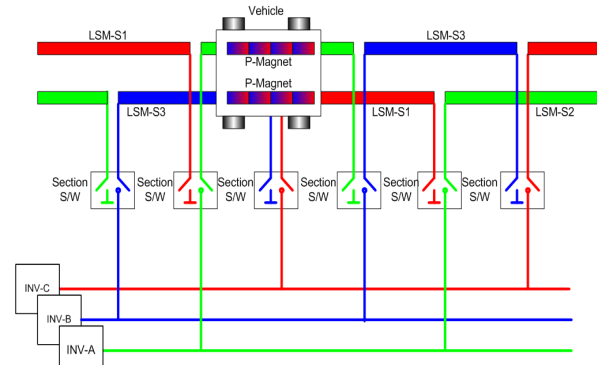


〈그림 1〉 루프형 LSM 소형시험장치 개념도

2.2 LSM 섹션전환시스템 구성

차량용 인버터는 3개의 그룹으로 구성되며 각각 INV-A, INV-B, INV-C로 구성하고 LSM 섹션별 인버터의 출력연결은 그림 2에 나타나 있다. 궤도 양측에 설치된 LSM은 그림 2와 같이 서로 교차하도록 구성하여 3대의 인버터중 1개의 인버터가 소손되더라도 연속적인 운전이 가능하도록 하였다.

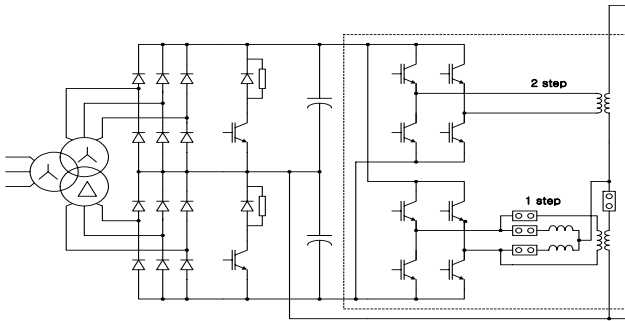
LSM의 섹션전환방식은 크게 Leapfrog법, Step by Step법 그리고 Three Step 법으로 구분되며 본 시스템에서는 3스텝법을 적용하였다. 3스텝법은 3개의 급전 케이블이 필요하며, 이웃한 고정자단은 서로 다른 급전케이블에 연결하여 1대의 인버터가 고장시에도 연속운전이 가능하다. 또한 섹션 전환시 전류가 일정하게 유지됨으로 추진력의 감소가 없어 차량의 전속도 영역에서 사용할 수 있다. 그러나 전력변환장치수는 3대 또는 6대로 이루어져 3가지 방식 중 가장 비용적이 부담이 큰 방식이기도 하다.



〈그림 2〉 LSM 섹션 및 인버터 회로 구성

2.3 2스텝 인버터의 구성

LSM의 추진력을 공급하기 위해서는 인버터 시스템이 필요하다. 그림 3은 2스텝 인버터의 1상 구조를 나타내는 것으로 그 구성은 2대의 단상 인버터를 출력변압기를 통하여 직렬로 연결한 형태이다.



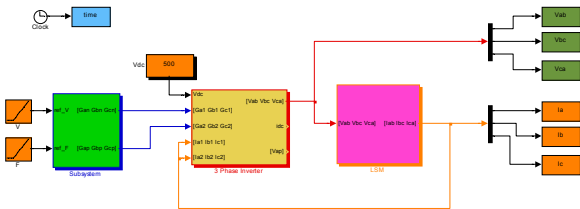
〈그림 3〉 2스텝 인버터의 구조도

LSM은 동기모터로써 차량의 속도에 비례하여 인버터의 출력전압주파수가 변하게 됨으로 0~20Hz의 저주파 영역에서는 출력 변압기가 포함될 수 있다. 따라서 1스텝 인버터의 출력단에 기계적 접점 스위치를 두어 0~20Hz의 저주파수 영역에서는 출력 변압기를 통하지 않고 직접 LSM에 전력을 공급하며, 20Hz 이상의 주파수에서는 기계적 접점 스위치를 조작하여 출력변압기에 의해 추진전력을 발생시키도록 하였다.

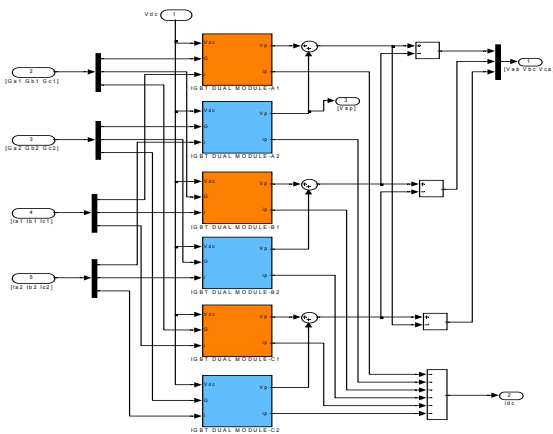
3. 시뮬레이션 및 고찰

본 논문에서는 2스텝으로 구성된 인버터가 LSM 추진 전력 발생을 위한 지령전압 및 주파수에 대하여 선형적으로 출력을 발생시키는지를 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다.

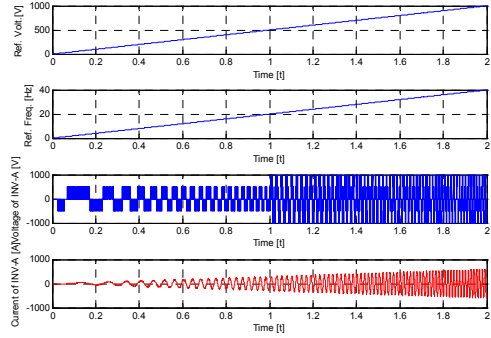
시뮬레이션을 위해서 Matlab/Simulink를 사용하였고, 2스텝 3상 인버터와 LSM 부하를 단순화한 R-L 부하를 시뮬레이션 모델로 구성하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 4는 2스텝 3상 인버터 시뮬레이션 모델을 나타내고 있으며, 그 구성은 지령 전압 및 전류 발생부, 2스텝 3상 인버터부 그리고 R-L 부하로 구성되어져 있다. 그림 5는 2스텝 3상 인버터의 시뮬레이션 모델을 나타내고 있다.



〈그림 4〉 2스텝 3상 인버터 시뮬레이션 모델의 구성

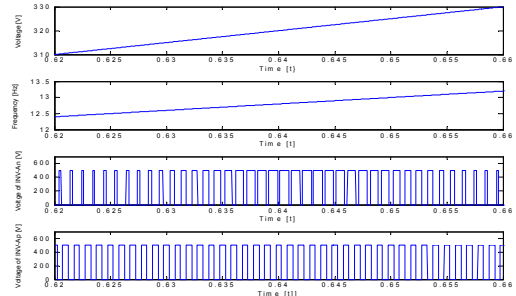


〈그림 5〉 2스텝 인버터의 시뮬레이션 모델 블록도



〈그림 6〉 인버터 지령에 대한 PWM출력 및 전류

시뮬레이션 조건은 DC링크 전압이 500VDC인 인버터를 2스텝 형태로 구성하고, 인버터의 출력 전압 및 주파수를 각각 0~1000VAC, 0~40Hz로 선형적으로 증가시킨 경우이다. 이에 대한 결과는 그림 6에서 볼 수 있듯이 선형적으로 증가하는 지령 전압 및 전류에 대하여 연속적으로 PWM 출력 전압이 2레벨에서 3레벨로 변하는 것을 확인할 수 있으며, 인버터의 출력전류도 연속적으로 증가하는 것을 볼 수 있다.



〈그림 7〉 1step 인버터 구동시 각각의 인버터 출력전압

그림 7은 1 스텝 인버터만 구동시 각각의 인버터 출력전압을 나타낸 것으로 지령 전압 및 주파수는 대략 320V와 13Hz로 스텝 1의 인버터의 출력은 지령 전압 및 주파수에 따라 PWM 출력이 발생되고 있으며, 스텝 2의 인버터는 0.5의 듀티비로 일정하게 출력됨을 알 수 있다. 즉 각 상의 PWM 전압이 0.5의 듀티비를 가짐으로 선간전압은 0이 됨을 확인하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 LSM의 색선전환기술을 개발하기 위해서 3개로 나뉜 LSM 색선을 제도를 따라 양측에 루프형으로 구성된 LSM 색선전환 시험장치구성하고, 장계자형 LSM의 추진전력을 공급하는 추진인버터의 고유의 토폴로지를 고려한 제어기술 개발을 위해서 2대의 출력변압기를 이용하여 단상인버터 2대를 직렬로 합치시킨 2스텝 인버터 토폴로지를 제시하였다.

2스텝 인버터 토폴로지의 가용성 검증을 위해 인버터 시뮬레이션 모델을 개발하였고, 인버터의 지령 출력 전압 및 주파수 증가에 따라서 두 대 인 인버터의 출력이 선형적으로 고전압을 발생시키는 것이 확인하였다.

본 연구는 국토해양부에서 시행하는 기술료사업의 “루프형 LSM 소형시험장치 및 차량 제도시스템 간의 인터페이스 기술 개발”과제로 부터 지원을 받아 수행한 연구 결과입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Toshiko Nakagawa and Mikio Hama, “Magnetic Levitation Control of a Thin Steel Plate by Means of Gap Length Correction Commands”, Electrical Engineering in Japan, Vol. 135, No. 2, 2001
- [2] G. H. Bohn, “Calculation of Frequency Responses of Electromagnetic Levitation Magnets”, IEEE Trans., Vol. MAG-13, No. 5, September 1977
- [3] Anselmo Bittar, Jose Jaime da Cruz and Roberto moura Sales, “A New Approach to the Levitation Control of an Electromagnetic Suspension Vehicle”, Proceedings of the 1998 IEEE, Italy 1-4 Sep. 1998.