

시험용 자기부상열차의 전력변환장치 개발 특성

송 병 문* 홍 준 표** 김 기 회** 오 성 철*

* 한국전기연구소 ** 한국모토로닉스(주)

Development Characteristics of a Power Conversion System in a Maglev.

Song, Byeong-Mun* Hong, Jun-Pyo** Kim, Ki-Hoi** Oh, Sung-Chul*

* KERI ** Hankook Motronics CO., LTD.

Abstracts

Power conversion system for a magnetically levitated vehicle consists of propulsion inverter to drive linear motor, levitation chopper to drive magnet and power source unit.

This paper presents the characteristics of power conversion system in prototype Maglev system. In order to improve performance of electrical equipment, IGBT is adopted in a main circuit. Audible noise is reduced to below 60 dB and size is also reduced to 1/3.

This system is verified through experiment.

1. 서 론

상전도 자기부상열차의 핵심 전력변환장치는 크게 추진을 위한 인버터와 부상을 위한 쇼퍼 및 차내 보조전원장치로 구분된다. 이들 전장품에 대한 연구 개발은 '93 EXPO 전시모델 사업으로 인하여 과학 기술처의 자기부상열차 국책사업단 및 현대,대우 등 여러 기관에서 활발히 진행되고 있으며 어느 정도 기술자립의 여건이 형성되어 있는 실정이다.

사업단에서는 지난 3년간 모듈 차량의 시험을 통해 각종 전장품의 특성을 개선하는 데 주력하여 기능 구현측면에서의 안정성은 입증되었으나 차량용으로서의 탑재성은 아직도 초보적인 실정이다.

본 고에서는 4차년도 사업단의 전장품 가운데 차내 보조전원장치, 부상용 쇼퍼, 추진용 인버터의 특성과 시험중에 발생되었던 제반 문제점 및 해결방안을 제시하고자 한다.

2. 핵심 전장품의 개발 특성

2.1 차내 보조전원장치

차내보조전원장치(Power Source Unit,PSU)는 집전선에서 직류 고압을 받아 부상용 전원 및 공조, 조명,제어 등의 저압전원으로 변환하는 장치이다. 회로의 구성은 Full-Bridge 방식을 이용하여 고주파 DC-DC Converter를 적용하였으며 이 컨버터는 30KVA급으로 고속 스위칭 소자 IGBT를 사용하였다.

개발된 PSU의 특징은 다음과 같다.

- 전압제어가 가능하고 Feedback제어는 Isolation type 적용
- 전류제한는 Foldback type 적용
- 스위칭소자는 IGBT를 채택 (f=15KHz)
- 중간 변압기 재질은 Ferrite채택
- PI 제어기 적용(전압 PI제어기+전류 PI제어기)

그림2.1는 주회로를 나타내고 있다.

입력전원은 DC 600V를 받아 Full-bridge방식에

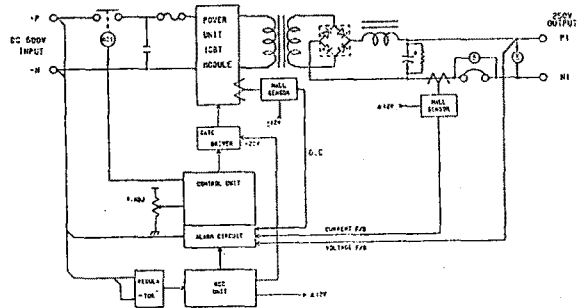


그림 2.1 PSU의 주회로

의한 구형파의 고주파 스위칭을 이용하여 중간 변압기에의 전압은 고주파 교류전원을 발생시키고 이 전압을 전파 정류방식으로 직류전압을 얻는다. 장치의 제어특성을 향상시키기 위해 전압과 전류를 Feedback 받아 PI제어하는 경우에 정상상태 및 과도상태의 제어특성을 향상시킨다.

2 Module용 PSU인 경우 용량은 75KVA로 무게는 475Kg로 설계.제작되었으나 급변의 PSU는 Power TR방식에서 IGBT의 신소자를 적용하여 고주파 스위칭함으로써 30KVA 용량에 70Kg로 줄일 수 있었다.

그림2.2는 정격부상시의 전압,전류파형을 나타내고 있다. 정격 부상시 4대의 부상용 초퍼에 PSU가 공급하는 전류는 12A이고 출력전압은 250V로서 안정적으로 공급되고 있다. 그림2.3은 정격 부상시의 중간 고주파 변압기의 1차, 2차측의 전류파형을 나타내고 있다. 이 전류를 통하여 고주파 변압기의 특성평가를 할 수 있다. 그림을 살펴 보면 전류의 파형은 양호하며 불연속전류는 변압기 및 출력 인덕터의 리액턴스가 작은것에 기인한 것이다.

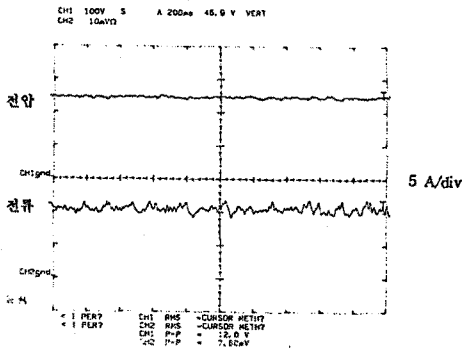


그림 2.2 정격부상시의 전압, 전류파형

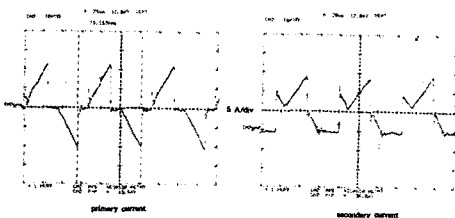


그림 2.3 정격부상시의 중간 고주파 변압기의 1차,2차측 전류파형

2.2 부상용 초퍼

부상용 초퍼는 차내 보조전원장치로부터 부상용

전자석에 부상에 필요한 전류를 공급하는 Magnet Driver이다.

주회로는 1-4상한 초퍼를 병렬로 연결시켜 상단의 초퍼와 하단의 초퍼사이 에 180도 스위칭 변위를 줌으로써 에너지의 효율을 극대화할 뿐 만아니라 스위칭에 따른 고조파 성분을 줄일 수 있다.

구동방식에 있어서 1대의 Magnet Driver는 IGBT 초퍼를 2개조로 하여 2개의 직렬접속된 Magnet Coil로 구성된 2개의 Magnet를 구동시킨다. 이때의 스위칭 주파수는 10KHz 이다. 또한 초퍼의 on/off는 ready signal에 의하여 magnet contactor로 구동되며 제어용 전원은 250V 입력을 내부에서 RCC방식에 의해서 구동한다.

개발된 부상용 초퍼의 특징은 다음과 같다.

- 스위칭시 발생된 Noise 및 Surge에 대한 Noise Filter 및 최적의 Snubber를 채용
- 스위칭소자는 IGBT를 채용하며 Short Protection이 가능한 Gate Driver 적용
- 전류 Feedback용 CT는 Isolation type 적용

그림2.4는 초기 부상시와 하강시 가속도 신호및 Magnet 전류파형을 나타낸다. 이 전류값의 의미는 부상시의 안정도 판별을 위한 것으로 부상시(no payload)는 최대전류 24A 이고 정상전류는 22A 로서 10%의 변동율을 갖는다. 또한 하강시에도 부상시와 같이 전류변동이 일어난다.

한편 추진시스템과 결합시켰을 때의 동작특성을 분석하기 위하여 인버터 운전시의 Magnet전류의 변동을 측정한다. 그림2.5는 인버터를 6.5Hz로 구동시킬때의 Magnet의 전류파형을 나타내고 있다. 이 파형에서는 LIM의 수직력이 부상시스템에 미치는 영향이 인버터를 구동하지 않을 때보다 20%증가됨을 알 수 있다.

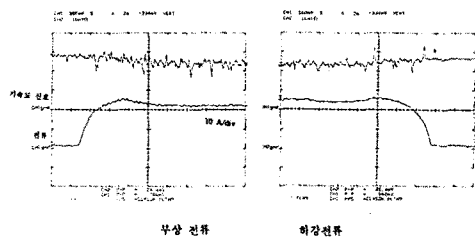


그림 2.4 부상시와 하강시 가속도 신호 및 Magnet전류 파형

2.3 추진용 인버터

추진용 인버터는 IGBT를 사용한 전압형 VVVF 인버터이며 추진제어기의 명령에 따라 주파수를 가

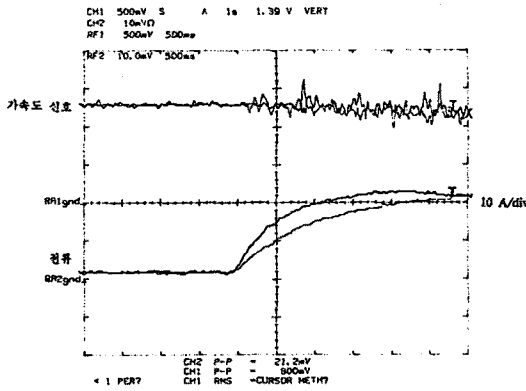


그림 2.5 인버터 운전시의 Magnet 전류의 변화 (f=6.5Hz)

변시켜 속도를 제어하고 있다. 즉 추진용 인버터는 기존의 산업용 인버터의 V/F패턴을 조정하여 실험용 모듈에 적합하도록 운전하고 있다. 또한 LIM에서 발생하는 수직력의 영향을 최소로 하기위해서 슬립주파수 일정제어가 필요하다. 따라서 슬립주파수 일정제어를 위해서는 주행시 속도 Feedback이 필요하다. 본 연구에서는 광전형 근접스위치를 이용하는데 이미 알고 있는 2개의 등간격 근접 스위치 사이에 Cross Arm이 통과되었을 때의 시간을 측정하여 속도 측정을 한다.

현재는 속도 display만 하도록 추진 Controller를 이용하고 있고 향후에는 Close-loop Control를 행할 예정이다.

그림2.6은 슬립주파수 명령이 8.5Hz일때의 LIM의 전류파형으로서 (Free run mode) 전류의 피크전류는 52A이고 정현파에 가깝다. 또한 전압형 인버터임을 알 수 있다.

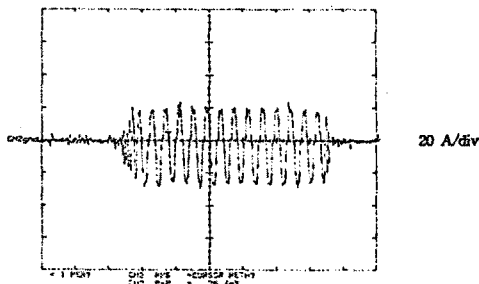


그림 2.6 인버터의 전류파형 (sf=8.5Hz)

3. 시험시 문제점 및 해결방안

자기부상열차에서의 전력변환장치는 시스템의 신뢰성에 가장 중요한 역할을 한다. 따라서 신뢰성있는 장치를 개발하기 위해서는 충분한 성능 시험후

Field Test가 필요한데 자기부상열차가 큰 시스템이므로 장치의 성능시험이 Test Module에 장착시킨 후 전장품의 평가가 주로 Field Test와 겸하여 이루어져 왔다.

이러한 과정에서 발생되었던 큰 문제점에 대하여 검토하고자 한다.

1) Noise에 의한 전원시스템의 불안정성

- 전류 Feedback 단에 Filter 설치
- IGBT의 Gate-Emitter간의 역 bias
- Chopper의 Controller 입력단에 Filter 설치
- Power line과 Control line간의 이격거리 증대

2) 접지대책

- 모든 전장품의 frame과 차체 frame과의 접지를 common시킴
- 인버터 입력단의 N과 frame접지를 common시킴
- sensor ground와 frame 접지와와의 isolation

3) 종합 검토

- 전반적으로 Controller의 Gain이 시스템에 미치는 영향이 커짐
- 스위칭 주파수가 높아짐으로 인하여 noise에 대한 철저한 대책이 필요함
- 스위칭 Surge에 의한 영향의 극소화시키는 대책이 필요함

4. 결 론

간략하게 전기연구소에서 개발되어 자기부상열차 사업단에 설치된 핵심 전력변환장치의 특성을 살펴 보았다.

향후 추진계획은 다음과 같다.

- 1) 전장품에 대한 충분 특성시험 및 정량적인 Data 분석
- 2) LIM 전용 인버터의 설계 및 제작
- 3) 슬립 주파수 일정제어를 통한 주행시험
- 4) 차량 탑재용 전장품의 설계, 제작 및 특성시험

지난 3년간 모듈의 실험 경험과 여러 기관에서의 활발한 연구개발로 인하여 이제 어느 정도 자기부상열차 개발에 대한 사회적 분위기가 확산되고 있고 또한 전장품의 제작기술은 해마다 높아지고 있다. 따라서 조만간에 전력변환장치의 주변 모든기술이 국산화되면서 차량시스템으로서의 안전성 및 신뢰성이 확보되리라 기대된다.

본 연구사업은 과기처 특정연구사업으로 이루어졌음