

고무차륜 경량전철 추진장치 시험

An Experimental Study on Traction System of Rubber Tired AGT

이 병 송*, 정 락 교**, 조 홍 식***, 정 상 기****, 김 진 선*****

Lee, Byung-Song Jeong, Rag-Gyo Cho, Hong-Shik Chung, Sang-Gi Kim, Jin-Sun

Abstract

This paper proposes an experimental study on the traction system of rubber tired AGT (Automated Guideway Transit). IGBT VVVF inverter is developed for 1C2M propulsion system of AGT, and it consists of inverter stack, gate control unit, control unit, and interface unit. The combination test was carried out to prove the performance of inverter, and test results show that the developed inverter is excellent.

1. 서 론

최근 들어 지하철 및 도로 교통의 한계성을 극복하기 위한 대안으로 건설/운영의 경제성, 도시 환경 친화성, 안전성, 정시성, 접근성이 양호한 경량전철 시스템의 도입이 국내의 주요 도시에 계획되고 있고, 노선별로 경량전철시스템의 여러 가지 방식을 검토 중에 있다. 따라서, 이에 대비하고자 시스템 건설비 절감 및 운영 효율의 극대화를 위하여 국내 경량전철 기술개발이 진행되어 왔다.

본 논문에서는 경량전철 기술개발사업의 일환으로 우진산전과 함께 개발한 경량전철 차량용 VVVF IGBT 인버터 관성부하시험 결과에 대하여 검토하였다.

신교통 수단인 경량전철시스템은 국내에서 처음으로 기술개발이 진행되는 시스템으로서 차량시스템의 개발분야에서 차량의 추진을 위한 구동용 인버터는 고내압, 대용량 IGBT의 실용화로부터 고성능화, 장치 소형화, 경량화를 목표로 개발되었다. 2레벨에 의한 구조적 소형, 경량화를 추구하고 회생효율 등 점착성능 향상의 한층 높은 알고리즘을 적용하고, 무인운전 구현을 위한 모터제어의 정밀도 향상, 높은 토오크 제어가 가능한 벡터제어 [1-3]를 채용하여 IPM IGBT의 특징을 살리는 고성능 제어를 실현하였다.

* 한국철도기술연구원, 시스템기술개발팀, 책임연구원, 정회원
** 한국철도기술연구원, 시스템기술개발팀장, 정회원
*** 한국철도기술연구원, 시스템기술개발팀, 선임연구원, 비회원
**** 한국철도기술연구원, 도시철도개발사업단장, 정회원
***** 우진산전(주) 연구소, 전력변환팀 부장, 비회원

2. 주회로 시스템

주회로 시스템의 구성을 그림1에 나타내었다. 경량전철차량 추진용 인버터 주회로 방식에서 550[V] 4P의 110kW 유도전동기 2대를 독립운전하였다.

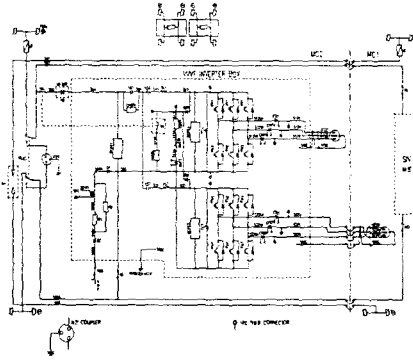


그림1. 주회로 시스템

견인용 인버터의 주요제원은 다음과 같다.

- 1) 주회로방식 : 1C2M(2군제어)
- 2) 제어방식 : PWM 변조방식 전압형 VVVF 인버터
- 3) 운전정격 :
 - 입력력 : DC 750V(500~900V)
 - 최고속도 : 70km/h
- 4) 냉각방식 : 강제냉각방식
- 5) 제어전원 : DC 100V(70~110V)

가. 인버터 Box구성

인버터 Box의 내부구성은 인버터 Stack (U상, V상, W상), 게이트제어유니트, 제어유니트, 인터페이스부로 구성된다. SS41계의 일반 강철로 외함을 구성하고 있으며 유지보수의 편리성을 고려하여 유니트별로 별도의 분리벽을 설치하였다. 또한 모듈형의 IPM (Intelligent Power Module) IGBT소자를 사용한 최적의 설계를 통해 신뢰성을 확보하고, 유지보수 편의성을 고려하였다.



그림2. 인버터의 외형도

나. 인버터 Stack

인버터 stack의 중요 포인트는 소자 방열과 취부 size를 효율적으로 처리하고 유지보수를 고려하여 설계하여야 한다. 멀티레이어를 갖는 buster를 설계하는 방식도 있지만 고장시 쉽게 발견할 수 없기 때문에 분산방식 구조로 3개 stack을 구성하고 구성품 중 커패시터의 위치가 IGBT 단자에 최단거리로 취부되어 표류전류를 최소화하고, 전압변동에 안정적일 수 있도록 stack을 설계하였다. 또한 IPM IGBT소자의 게이트 제어회로가 가지는 장점인 게이트 회로의 내장과 작은 전력소모, 보호회로의 내장에 의한 고장검지의 용이성을 최대한 활용하여 경량전철에 적합한 인버터로 구성하였다.

다. 게이트제어 유니트

게이트제어 유니트는 그림3과 같이 경량전철 차량의 추진에 필요한 제어신호 연산을 위한 부분으로 전류 검출용 센서를 설치하여 각 상의 전류를 검출하고 D,Q축의 기준전류와 실제전류를 비교 연산하는 전류 제어부로 구성된다. 또한, 이를 통해 전압지령을 연산하는 전압벡터 연산부, 각 상의 좌표를 변환하고 슬립 주파수 및 변조율을 연산하는 좌표변환부와 변조율 연산부, 슬립 주파수 연산부, 3-2상 변환부 등으로 구성되어 PWM을 제어하는 부분과, 제어입력신호 변환부, 주회로 귀환량 검출부, 보호논리회로, 회전방향 검출, 게이트 펄스발생회로 및 인터페이스 회로등으로 구성된다.

주요기능은 제어회로부터 노치(notch) 조건이나, 단류기 입력조건 등의 포토커플러 신호를 받아 그림4와 같이 U, V, W 각상의 출력에 대한 5[V]레벨의 전기신호로 변환하여 마이크로 컴퓨터로 전송하고, 역행, 회생, 정,역회전등의 제어를 위한 주회로의 귀환량을 임피던스 변환량으로 변화하며, PWM변조를 통한 인버터 상,하의 IPM 소자에 그림4와 같이 U, V, W의 각상의 출력에 대한 게이트 신호를 발생해서 전송하는 기능을 수행하는 구조로 설계되었다.

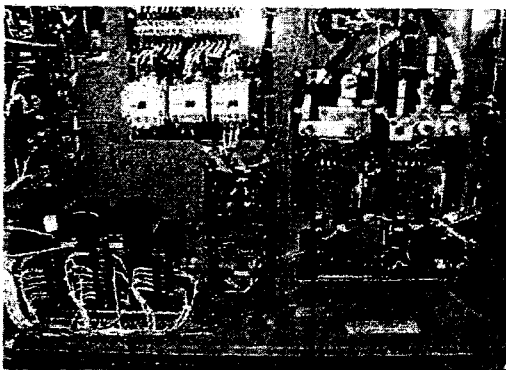


그림3. 게이트제어 유니트

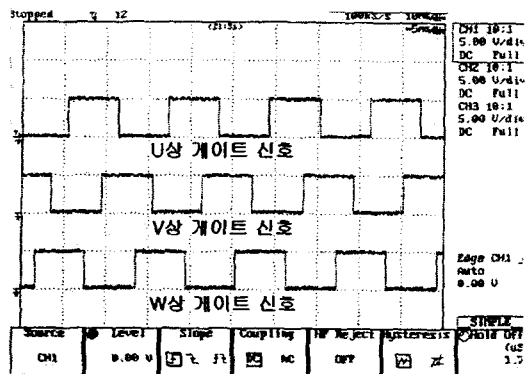


그림4. 게이트 출력파형

3. 시험결과

경량전철 차량 추진용으로 개발된 인버터의 조합시험을 위한 관성부하 설비는 차량의 운전상태를 고려하여 그림5와 같이 설계 되었다. 전압가변이 가능하여 차량의 급전 상태와 유사한 조건으로 전력을 공급하는 직류전원 공급장치 (DC100[V]~2000[V], 2250[kW])와 차량이 만차상태로 운전시의 조건을 모의한 등가관성 중량($GD^2=1460kg \cdot m^2$, 등가차량중량 36[t])으로 구성되어 있다.

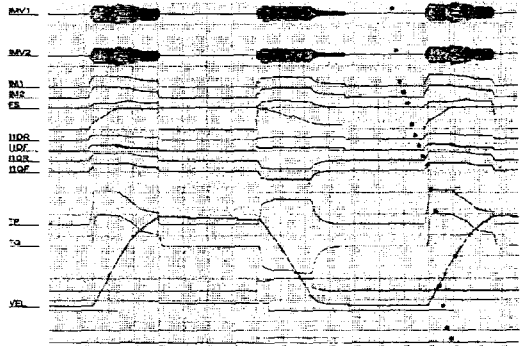


그림5. 차량등가 관성부하설비

또한, 차량의 회생제동시 제동력 및 회생효율을 측정하기 위한 등가부하로 수저항기(DC3000[V], 1500[kW])를 적용하여 조합시험을 수행하였다.

조합시험의 운전형식은 차량의 운행특성을 고려하여 그림6과 같이 역행운전과 타행운전, 그리고 회생제동 및 정지의 형식에 따라 운전 노치를 변경하는 과정으로 시험을 수행하였다.

그림7은 경량전철 차량의 운전특성을 고려한 설계에 따라 제어 알고리즘을 설정하여 인버터 및 견인전동기를 제작하여 조합시험을 수행한 결과이다. 주회로 방식은 1C2M(2군 제어) VVVF방식으로 견인전동기 1대당 1량의 차량을 견인하는 독립적인 인버터벡터제어를 구현하도록 제작되었다. 그림7의 결과에서 알 수 있는 바와 같이 토오크 명령(TP)에 따라 각각의 견인전동기 전류(IMV1, IMV2, IM1, IM2)가 잘 추종한 결과로 실제 견인전동기 토오크(TQ)를 발생함을 알 수 있고, 벡터제어를 수행함에 따른 Id*전류(IIDR), Id전류(IIDF), Iq*전류(IIQR), Iq전류(IIQF)가 순서적으로 제어되어 차량의 운행 상태를 고려한 설계를 조합시험 조건이 잘 만족하고 있음을 알 수 있다.



IMV1,IMV2:전동기1,2 전류순시치(1000[A/div])
 IM1,IM2:전동기1,2 전류실효치(500[A/div])
 FS:슬립주파수(4Hz/div), VEL:견인전동기속도
 TP,TQ:명령및발생토오크(1000Nm/div)
 IIDR:Id*전류(500[A/div]), IIDF:Id전류(500[A/div])
 IIQR:Iq*전류(500[A/div]), IIQF:Iq전류(500[A/div])

그림7. 견인 및 회생특성시험

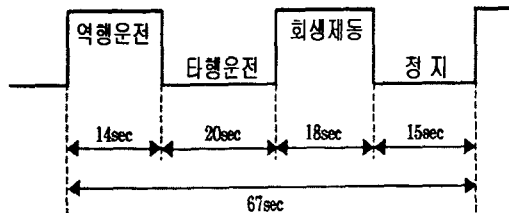


그림6. 조합시험 운전형식

4. 결 론

신교통 수단인 경량전철시스템은 국내에서 처음으로 기술개발이 진행되는 시스템으로서, 시스템의 일부분인 차량시스템의 개발분야에서 차량의 추진을 위한 구동용 인버터는 고내압, 대용량 IGBT의 실용화로부터 고성능화, 장치 소형화, 경량화를 목표로 개발되어 조합시험을 수행하여, 다음과 같은 결과를 확인하였다.

- (1) 1C2M VVVF방식의 백터제어 성능의 우수성 및 견인용 인버터의 양호한 운전특성 검증.
- (2) IPM(Intelligence Power Module) IGBT의 적용에 의한 소형, 경량화 구현 및 부품의 교체가 용이한 구조설계로 유지보수 측면에서 유리한 IGBT stack 제작기술 확보

참 고 문 헌

1. 한국철도기술연구원, 우진산전 “추진제어장치 연구개발 결과보고서”, 1998. 12
2. 이광주, 정만규, 고영철, 장성영, 방이석, “전동차용 고효율 저주파 동기 PMW을 이용한 관성 부하시험”, 98한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp 233~240
3. Dong-Choon Lee, G-Myung Lee, “A Novel Overmodulation Technique for Space-Vector PWM Inverters”, IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 13, No. 6, November 1998.