

도시철도차량용 VVVF인버터 본선시운전 시험

김길동*, 한영재*, 박현준*, 성낙규**
한국철도기술연구원*, 명지대학교**

A Routine Test VVVF Inverter for Urban Rail Traction

Gil-Dong Kim*, Young-Jae Han*, Hyun-Jun Park*, Nark-Kuy Sung**
Korea Railroad Research Institute*, Myongji University**

ABSTRACT

In this paper, we studies VVVF inverter for 1C4M propulsion system of urban rail traction. This inverter is consisted of inverter stack, DB unit, and control unit. To prove performance of inverter carry out main track test. From test for VVVF inverter verifies excellent performance.

1. 서 론

현재 국내에서는 대중교통수단의 증가와 생산기반이 급격하게 확대되고 있으나 교통시스템이 이를 수용하지 못해 물류수송비가 다른 선진국에 비하여 훨씬 더 많이 들어가고 있다. 이를 충족시키기 위해 대용량 수송시스템인 철도차량에 대한 수요가 더욱 급증하고 있다.

따라서 이에 대비하고자 많은 신규노선을 계획하고, 이와 함께 신설되는 노선에 대해서는 시스템 운영 효율의 극대화를 위해 노선별로 고속전철과 지하철, 경전철, 그리고 자기부상열차 시스템 등 여러 가지 방식을 검토 중에 있다.

한편 철도차량 구동용인버터는 고내압, 대용량 IGBT의 실용화로부터 고성능화, 장치 소형화, 경량화가 진행되고 있다. 그 일환중의 하나로 도시철도 표준화사업을 진행하였고, 이를 통해 도시철도차량 추진제어장치인 IGBT인버터(3.3kV, 1200A)를 개발하였다.

2레벨에 의한 구조적 소형, 경량화를 추구하고 회생효율 등 점착성능향상의 한층 높은 알고리즘을 적용하고, 모터제어의 정밀도 향상, 고속토크 제어가 가능한 벡터 제어를 채용하여 IGBT의 특징을 살리는 고성능제어를 실현하였다.^{[1][2][3][4]}

본 논문에서는 표준화사업의 일환으로 우진산전과 함께 개발한 도시철도차량용 VVVF IGBT인버터 본선시운

전 시험결과에 대하여 언급하고 있다.^{[5][6]}

2. 주회로 시스템

IGBT인버터 시스템의 주회로구성을 그림 1에 표시하였다. 시스템구성은 입력단에 고속차단기, 과전압방지회로와 2level인버터를 통해 견인전동기를 제어하는 방식이다. IGBT인버터 정격출력은 1100kW이상의 출력을 확보하고 200kW견인전동기 4대를 병렬 운전하도록 설계하였다.

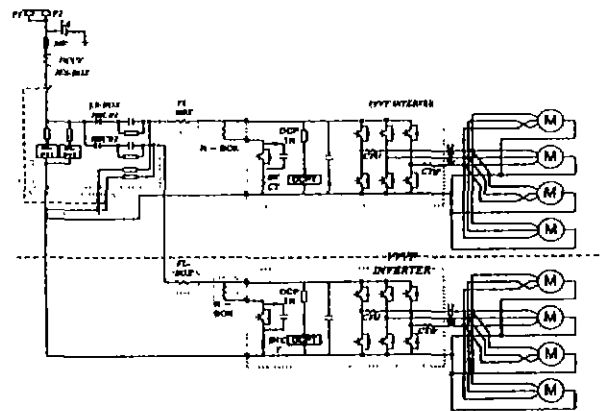


그림 1. 주회로도

제작된 인버터의 주요제원은 다음과 같다.

- 1) 주회로방식 : 1C4M (일괄제어방식)
- 2) 방식 : PWM 변조방식 전압형 VVVF 인버터
- 3) 정격
 - 입력 : DC 1500V(1000~1800V)
 - 최고속도 : 100km/h
 - 운행최고속도 : 80km/h
 - 가속도 : 3.0km/h/s

- 감속도 : 3.5km/h/s(상용최대),
4.45km/h/s(비상)
- 표정속도 : 35km/h

- 4) 냉각방식 : Heat Pipe 자연냉각방식
- 5) 제어전원 : DC 100V(70~110V)

2.1 인버터 Box구성

인버터 Box의 내부구조는 인버터 Stack(U상, V상, W상), DB unit, 제어장치, 인터페이스 장치로 구성된다. SS41계의 일반 강철로 외함을 구성하고 있으며 유지보수의 편리성을 고려하여 유니트별로 유지보수할 수 있도록 분리하여 설계하였다.

또한 Press pack IGBT소자를 사용하여 Thermal cycle Tolerance를 높여 신뢰성을 확보하였다.



그림 2. 인버터의 외형도

2.2 벡터 제어

건인용 전동기의 벡터제어에 있어서, 선형영역과 과변조 영역은 기존의 벡터 제어를 적용하고, 원펄스 영역은 지령 자속에 대한 실제 전동기 자속의 미확보로 토크 응답이 불안정해지기 때문에 새로운 벡터제어를 도입한다. 이것에 대한 전체 제어 구성도는 그림 3과 같다.

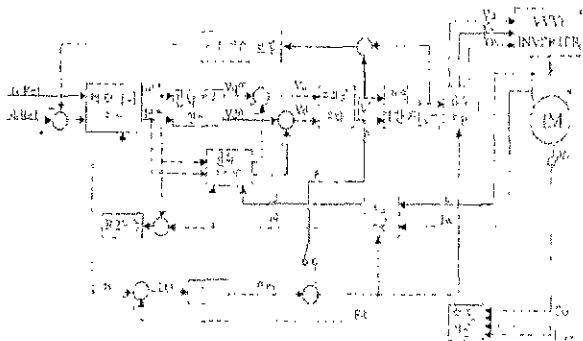


그림 3. 전체 제어 구성도

2.3 PWM 제어

PWM 제어는 벡터제어에 의해 발생한 전압 지령치의 변조율에 따라 세 가지 모드로 나눌 수가 있다. 변조율이 0에서 90.7%까지는 선형모드로 PWM을 발생하고 90.7%에서 100%까지는 선형모드와 원펄스 모드의 원활한 전환을 위해 과변조 모드를 도입한다. 또한, 변조율이 100%를 넘었을 경우 원펄스 모드로 PWM제어를 행한다. 그림 4는 인버터 PWM 제어방식을 보여주고 있다.

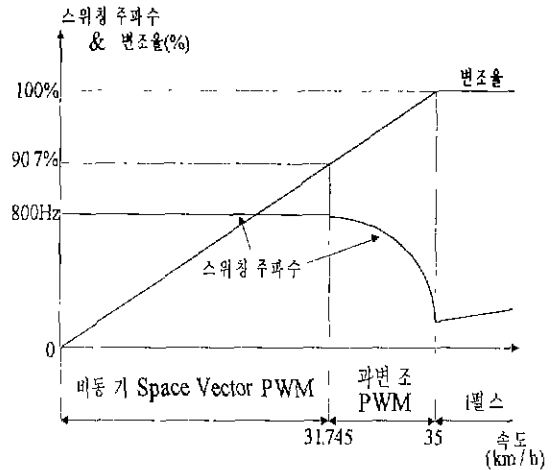


그림 4. 인버터의 PWM 제어모드

3. 시험결과

도시철도차량용 추진제어 인버터에 벡터제어를 적용하여 시험하였다. 본선시운전시험은 한국철도차량 상주 시험선(1.2km)에서 실제 조건(2M2T)으로 운행하면서 추진제어장치에 관한 전반적인 본선시운전시험을 실시하였다.

그림 5는 인버터의 역행 및 제동특성을 확인하기 위해 마스콘을 P3단으로 가속하고 B7으로 감속을 하여 역행 및 제동특성을 시험한 결과를 나타내고 있다. 역행 및 제동시 속도지령치에 대한 I_q^* 전류, I_d^* 전류, I_d^* 전류, I_d 전류가 순서적으로 제어되고 있음을 알 수 있다.

그림 6은 최고속도시험을 실시한 결과를 나타낸다. 최고속도를 97km/h까지 시험한 결과, 가속도가 3.0km/h/s 이상을 나타내었다. 그림 7은 회생제동 특성시험에 대한 결과로 마스콘을 P4→Notch off→B7→Notch off→B7을 반복하며 회생제동 특성시험을 수행한 결과로 전동기전류, 제동, 감속도 등에 관해 양호한 시험결과를 얻을 수 있었다.

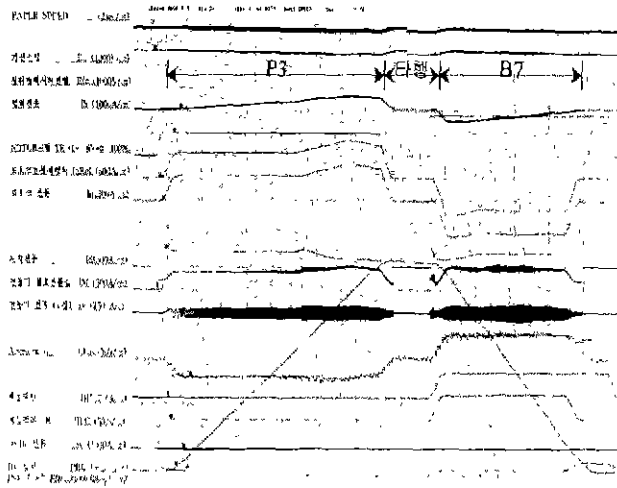


그림 5. 역행/제동 노치 특성시험 (P3 → B7)

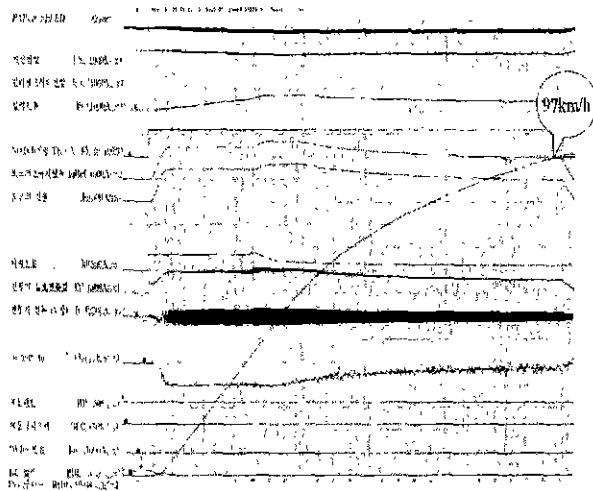


그림 6. 최고속도시험

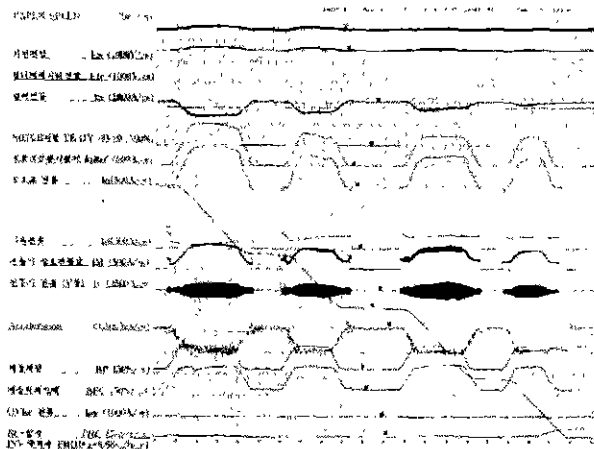


그림 7. 회생제동 특성시험

협과 복사성 간섭시험을 실시하였다. 전도성 인버터 시험은 입력부에 전류센서를 연결한 후에 수행하였다. 그림 8은 역행 6.4kHz에서 P4→80km/h로 운전하며 역행 및 회생시에 귀선전류 고조파를 확인한 결과로, 역행시 60Hz에서 6.9mA, 회생시 23.0mA를 나타내었다.

방사자계시험은 20km/h로 서행하면서 인버터와 모든 전기장치를 동작시키면서 수행하였다. 방사자계시험은 9kHz~1000MHz까지 시험하였다. 수평·수직모드로 변화해가며 양쪽 모두를 측정하였다.

그림 9는 60Hz에서 역행하면서 방사자계를 측정 한 시험파형으로, 양호한 성능특성을 확인하였다. 이와같은 본 선시운전을 통해 제작된 인버터의 성능 특성이 우수함을 확인하였다.

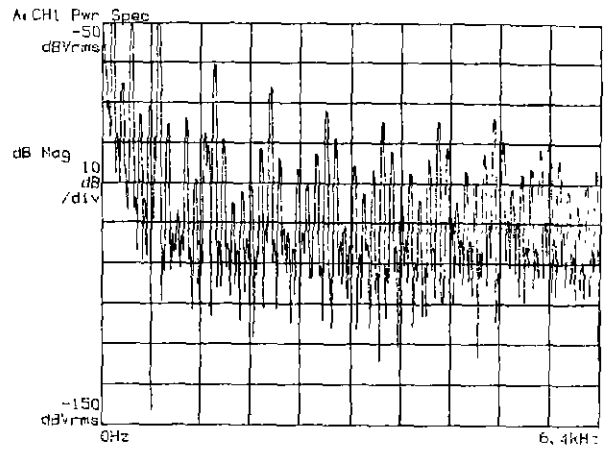


그림 8. 역행 6.4kHz, P4→80km/h 운전시험

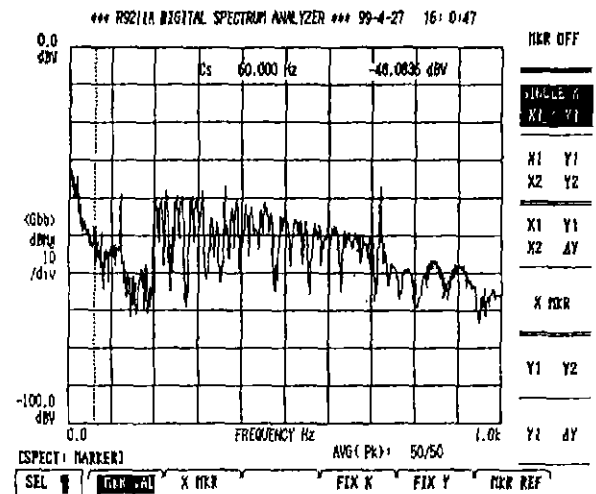


그림 9. 60Hz 역행에서 방사자계 파형

한편 표준전동차 유도장애시험을 위해 전도성 간섭시

제작된 IGBT인버터에 관한 연구를 통해 다음과 같은

4. 결론

결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 3300V, 1200A급 압접형 IGBT소자를 사용하여 신뢰성을 높였다.
- (2) 인버터 제어방식은 일괄제어방식을 적용하였다.
- (3) Heat Pipe를 사용한 자연냉각방식을 사용하였다.
- (4) 소형경량화, 소음 저감, 유지보수 등의 측면에서 GTO보다 유리한 IGBT stack을 제작하였고, 부품의 교체가 용이한 구조를 갖도록 인버터 장치를 설계하였다.
- (5) 토크 응답특성은 간접벡터제어방식을 적용하여 개선하였다.
- (6) 본선시운전시험을 통하여 IGBT인버터의 성능특성이 우수함을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국철도기술연구원, 우진산전 “추진제어장치연구개발 결과보고서”, 1998. 12
- [2] 이광주, 정만규, 고영철, 장성영, 방이석, “전동차용 고효율 저주파 동기 PWM을 이용한 관성부하시험”, 98 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp 233~240
- [3] Dong-Choon Lee, G-Myoung Lee, “A Novel Overmodulation Technique for Space-Vector PWM Inverters”, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 13, NO. 6, NOVEMBER 1998.
- [4] Silverio Bolognani and Mauro Zigliotto, “Novel Digital Continuous Control of SVM Inverters in the Overmodulation Range”, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 33, NO. 2, MARCH/APRIL 1997
- [5] 新井 静男, 菅谷 誠, 安藤 武, 安田 高司, 鈴木 優人, 仲田 清, 豊田 瑛一, “ベクトル制御の通勤電車駆動用 2レベル IGBT インバータへの適用”, 平成 9年電氣學會産業應用部門全國大會, pp 267~268
- [6] 新井 静男, 菅谷 誠, 仲田 清, 小澤 寛之, 堀江 哲, 金子 貴志, “3.3kV IGBTを應用した通勤電車駆動用2レベルIGBTインバータへの開發”, 平成 9年電氣學會産業應用部門全國大會, pp 265~266