철도차량용 IGBT 추진제어 장치

IGBT propulsion system for rolling stock

정은성* 박윤환** 장경현*** 김진선**** 한성수*****
E.S. Chung* Y.H. Park** K.H. Jang*** J.S. Kim**** S.S. HAN*****

ABSTRACT

In this pager, we present IGBT VVVF inverters as a 1C1M propulsion system for electric car. This inverters are composed of high power IGBT's and controlled by compact control units. The control unit performs full digital control by using 32bit DSP and microconteroller. By using CAN-bus, high speed network is constructed within four control units.
The stack is simplified and optimized by using plate bus and IGBT driver units of hybrid-type.

1. 서 론

최근 대중교통수단으로 자동차와 함께 중요한 위치를 차지하고 있는 철도차량은 도로 포화상태로 인한 자동차의 수송능력의 한계성에 의해 더욱 그 비중이 커지고 있다. 이런 철도차량은 장거리 수송수단뿐만 아니라 대도시의 복잡한 교통문제의 해결책으로 제시되면서 그 수요는 계속 증가 될 것으로 생각되어진다.
이렇게 중요성이 더해지고 있는 철도차량에서, 전동차용 추진제어장치는 그 동안의 전력전자 기술의 진보에 따라 저항제어장치에서 Chopper 제어장치, 그리고 최근에는 유도전동기의 구동을 위한 인버터 장치로 발전되어 왔다.
인버터장치는 주회로 소자로 GTO Thyrister가 주류를 이루었으나 최근에는 IGBT가 새로운 스위칭 소자로 사용되어지기 시작되었다. IGBT는 GTO에 비해 고스위칭 주파수, 저소음 및 게이트 드라이버의 간단성 등의 장점을 가지고 있어 여타 산업용 인버터에서는 널리 사용되어왔으나 철도차량용 인버터에 사용되어지지 못했던 주된 이유는 IGBT 소자의 용량이 GTO의 용량에 비해 부족했기 때문이다. 하지만 최근에 일본 및 유럽의 여러 IGBT 제조회사에서 비교적 대용량의 IGBT(3300V 1200A)가 개발되므로써, 이제 철도차량용 인버터에도 IGBT가 채용될 수 있게 된 것이다.
국내의 철도차량 시장은 전세계적으로도 결코.작다고 볼 수 없는 시장인데, 그 동안 철도차량용 추진제어장치의 상당부분을 외국 전장품 업체에 의존해 왔던 것도 사실이다. 하지만 최근에는 국

* 대우중공업 철차연구소 연구원, 비회원
** 대우중공업 철차연구소 주임연구원, 비회원
*** 대우중공업 철차연구소 주임연구원, 비회원
**** 대우중공업 철차연구소 선임연구원, 비회원
***** 대우중공업 철차연구소 수석연구원, 비회원

내철도차량제작사 및 연구기관에서도 전장품, 특히 추진제어장치의 국산화 및 연구개발이 매우 활발하게 진행되고 있다. 금번 논문에서 소개되고 있는 철도차량용 IGBT 추진제어장치 개발은 순수 국내기술에 의해 개발된 것으로써 금후 수입대체 효과에 크게 기여하리라 생각된다.

본 철도차량용 IGBT 추진제어장치는 개별제어, 벡터제어, IGBT의 적용으로 고점착성능(23%), 시스템 운용성 향상, 소형경량화, 소음저감, Maintenance free화등을 이루었다.

2. 시스템 구성

본 철도차량용 IGBT 추진제어장치의 주회로도는 그림 1과 같으며 시스템은 START부, FILTER부, INVERTER부로 구성되어 있다. START부는 시스템의 기동 및 정지제어에 관련되는 HSCB(High Speed Circuit Breaker)와 Contact등으로 구성되어 있으며, FILTER부는 Low Pass Filter인 Reactor 및 Capacitor로 구성되어 있다. INVERTER부는 전력변환을 하는 인버터장치인 IGBT Stack과 인버터제어를 담당하는 Control Unit등으로 되어 있다.

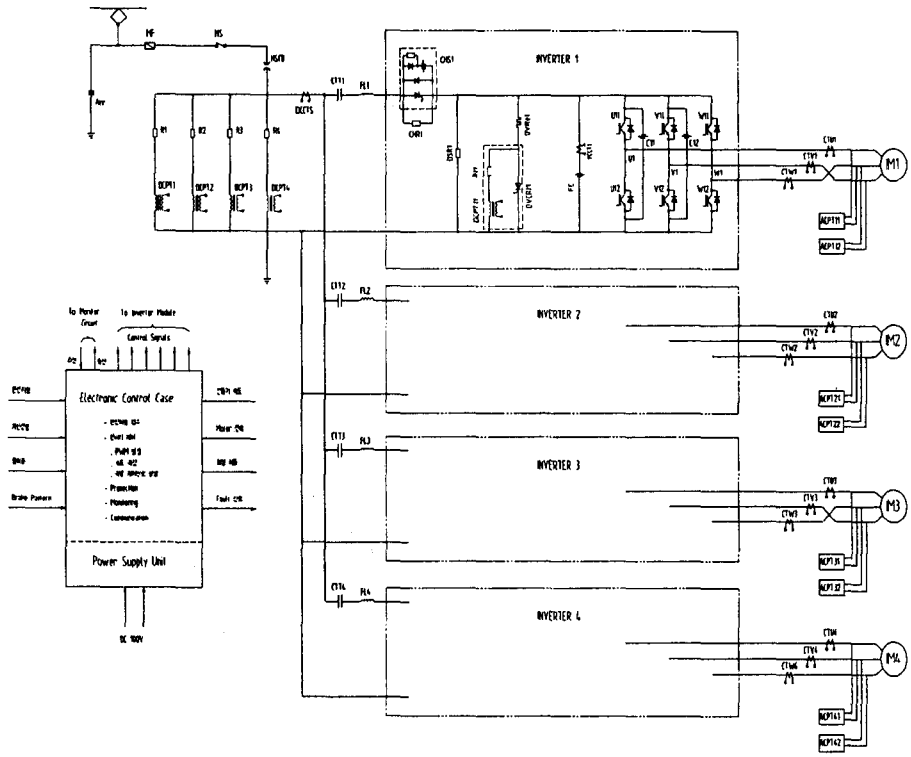

그림 1 주회로도

시스템의 주요사양은 표 1과 같다.

표1 주요 사양

항 목		내 용
시스템 구성	형 식	1C1M IGBT VVVF 인버터
	냉각시스템	Heat Sink 자연냉각 방식
	연속정격용량	247KVA × 4대
	입력전압	DC 900 ~ 1800 V
	출력전압	0~1100Vrms
	출력 주파수	0~168Hz
제어	제어방식	Vector제어 SVM (Space Vector Modulation) 자동 가감속제어(회생제동부)
	통신방식	CAN (Controller Area Network)

본 논문에서 소개된 철도차량용 IGBT 추진제어장치는 1대의 인버터가 1대의 전동기를 제어하여 점착성능을 향상시키는 개별제어(1C1M) 방식으로 시스템에 사용된 인버터 스위칭 소자는 3300V/800A용량을 갖는 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)이며, 소자의 냉각은 Heat Sink를 이용한 자연 냉각 방식을 적용하였고 각 인버터별로 Maintenance free가 가능하도록 구성하였다. 뿐만 아니라 최신 견인력 제어기법을 운용하기 위해 고성능 Digital Signal Processor인 32bit의 TMS320C31를 주 제어용 프로세서로 적용하였다.

또한 인버터 고장시 인버터 전원을 차단하기 위한 차단기를 반도체 소자인 GTO Thyristor를 사용하여 고속차단 함으로써 과전류 및 단락전류등의 중고장으로 인한 고장확산을 방지하고, 1인버터 고장시 그 인버터만을 Cutout하고 나머지 인버터를 정상운전하게 함으로써 편성의 운용성을 향상되도록 하였다.

IGBT Stack 구성은 그림 2와 같으며 스위칭 소자(IGBT)간의 배선으로 인한 Stray 인덕턴스의 최소화 및 Filter Capacitor와 인버터 Stack사이의 배선으로 인한 Stray인덕턴스의 최소화 목적으로 3층 Bus-Plate를 적용하였다. 또한 게이트 구동장치(GDU)에서는 인버터 Arm단락을 검지하여 Gate Off함으로써 소자를 보호하도록 하였으며 Stack구조를 Snubberless화로 단순화·소형화 하였다.

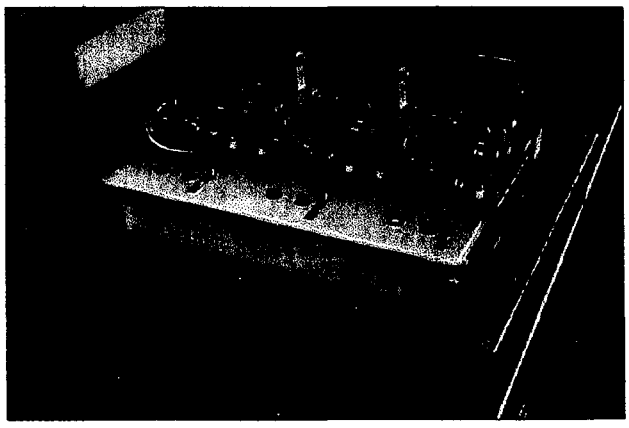

그림 2 IGBT Stack

3. 제어 유니트

본 철도차량용 IGBT 추진제어장치는 4대의 전동차 견인용 모터를 4대의 제어기 및 인버터가 각각 독립적으로 제어하는 구조로 구성하였다, 본 시스템은 고성능의 제어특성을 얻기 위하여 현재 산업용 전동기제어기법중 가장 널리 쓰이고 있는 벡터제어기법을 철도 차량에 적용하였으며 회전자 자속를 추정하여 제어하는 직접벡터제어 방법을 사용하였다. 또한 넓은 범위의 출력전압을 얻기 위해 공간 벡터 방식의 PWM이 적용되었다.

이러한 제어알고리즘을 실시간으로 수행하기 위해서는 계산속도가 빠른 고급 Digital Signal Processor가 유리한 반면, 통신 및 인터페이스면에서는 Microcontroller를 사용하는 것이 유리하다. 따라서 본 시스템의 제어유닛에서는 주 연산장치로 고성능의 32bit Digital Signal Processor인 TMS320C31과 다기능 16bit Microcontroller인 80C196KC20을 병렬로 사용하고 있다. DSP는 제어알고리즘의 수행에 이용되고 Microcontroller는 속도연산, 모니터링 및 유지보수, 4개의 유닛간 통신, TCMS와의 통신을 담당하고 있으며 두 프로세서는 양방향 램을 통해 연결된다.

특히 Microcontroller에 의한 모니터링 기능은 운전 상태의 실시간 현시 및 과거 고장정보의 Downloading을 지원하고 이를 PC에서 Graphic으로 처리할 수 있게 함으로써 유지보수를 지원한다.

본 시스템과 같은 1C1M형의 인버터에서는 제어 유닛간의 정보교환이 중요한 요소인데 본 시스템에서는 기존의 RS422 대신, ISO표준인 CAN(Controller Area Network) Protocol을 채택하였다.

CAN Protocol은 기존의 RS422 계열의 통신방식에 비해 프로세서의 부담을 줄일 수 있고 특수한 Message Priority 방식 및 Error의 실시간 처리 등을 이용하여 Latency time이 매우 작고 전송속도가 빠르기 때문에 Field bus 중 비교적 근거리에서 실시간 제어특성이 중요시되는 경우에는 우수한 기능을 발휘한다.

본 시스템에서는 CAN 통신 칩으로 최신의 CAN Protocol II까지 지원하는 인텔의 82527을 사용하여 4개의 제어유닛간의 Network을 구성하여 속도정보, 상태정보 및 고장정보를 교환한다.

아날로그 및 디지탈 신호의 입출력과 통신선 등의 외부기기와의 인터페이스에는 전기적으로 완전히 분리시켜 제어유닛 외부에서의 신호선의 단락등으로부터 제어기를 보호 및 내노이즈성을 보장했다.

4. 성 능

철도차량에서는 견인력을 얻기 위하여 일반적으로 토크제어를 하고 있으며 토크제어를 하기 위해서는 열차의 중량, 가속력, 감속력등을 고려하여야 하고 또한 견인용 전동기의 특성을 고려한 토크패턴을 구해야 한다. 본 시스템의 차량제원은 다음과 같으며 그림 3은 견인력 특성곡선이고 그림 4는 회생제동 특성곡선이다.

▶차량제원

- 열차편성 : 10량 (5M5T) - 차륜경 : 860mm (성능계산 : 820mm)
- 편성중량 : 557[ton] (승객하중 : 200[ton] 포함)
- 가속도 : 3.0[km/h/s] (20[ton/량]하중까지 일정)
- 감속도 : 3.5[km/h/s] (사용제동, 20[ton/량]하중까지 일정)
- 주행저항 : $r = 1.867 + 0.0359V + 0.000745V^2$[kgf/ton]
- 최대구배 : 30[‰] - 최고속도 : 100 [km/h]
- 가선전압 : DC 1500V

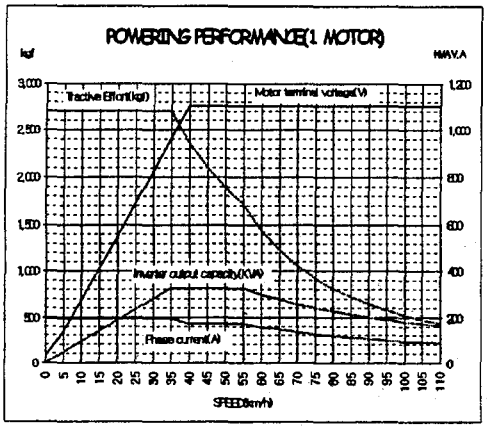

그림 3 견인력 특성곡선

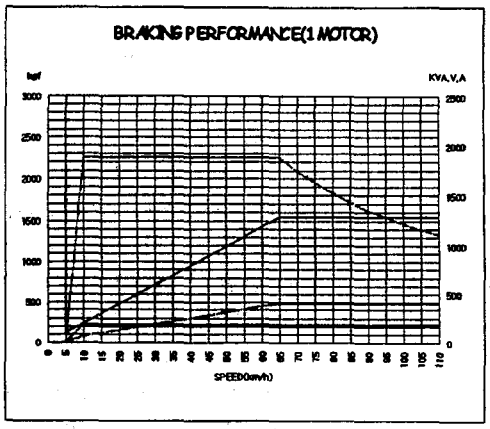

그림 4 회생제동 특성곡선

5. 실험결과

본 시스템을 당사가 보유하고 있는 조합시험설비를 이용하여 전동차 2량분에 해당하는 관성부하에 연결하여 특성을 시험하였으며 아래 그림 5는 기동시 속도지령치에 대한 속도, Iq 측정치 및 Id 측정치를 나타낸다. 전류가 목표치를 잘 추종하고 있으며 Iq와 Id가 독립적으로 제어되고 있음을 보여준다. 그림 6은 PWM파형 및 실제 전동기에 투입되는 전류를 보여주고 있다.

본 시스템의 성능확인을 위하여 먼저 Eddy Current Dynamometer부하장치를 이용한 실험에서 각 인버터당 시스템의 요구토크를 잘 추종함을 확인후 관성부하장치에 연결하여 조합시험하였다. 그 예로 그림 7은 성능시험 결과 파형이며, 그림 8은 전압급변시의 시험 파형이다. 그림 7의 파형에서 성능특성을 잘 추종함을 볼 수 있으며, 그림 8에서는 순간적인 전압급변때 시스템이 안정하게 제어됨을 볼 수 있다.

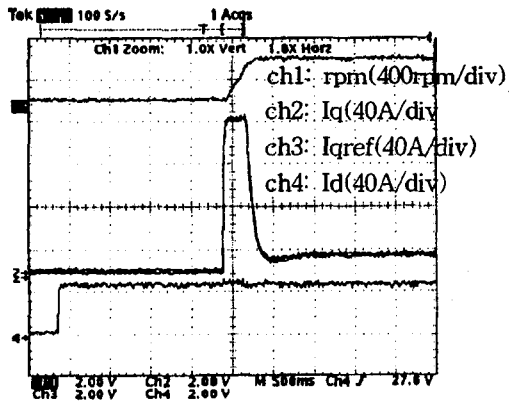

그림 5. 기동시 속도 및 전류 파형

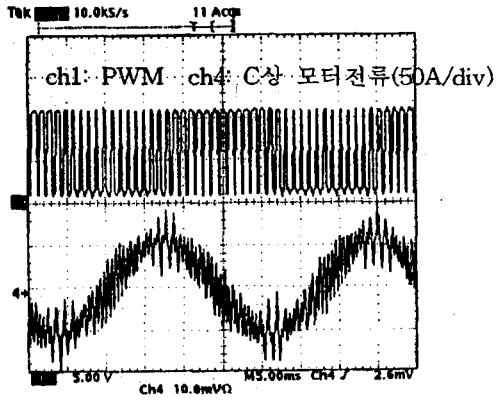

그림 6. PWM 파형 및 전동기 전류 파형

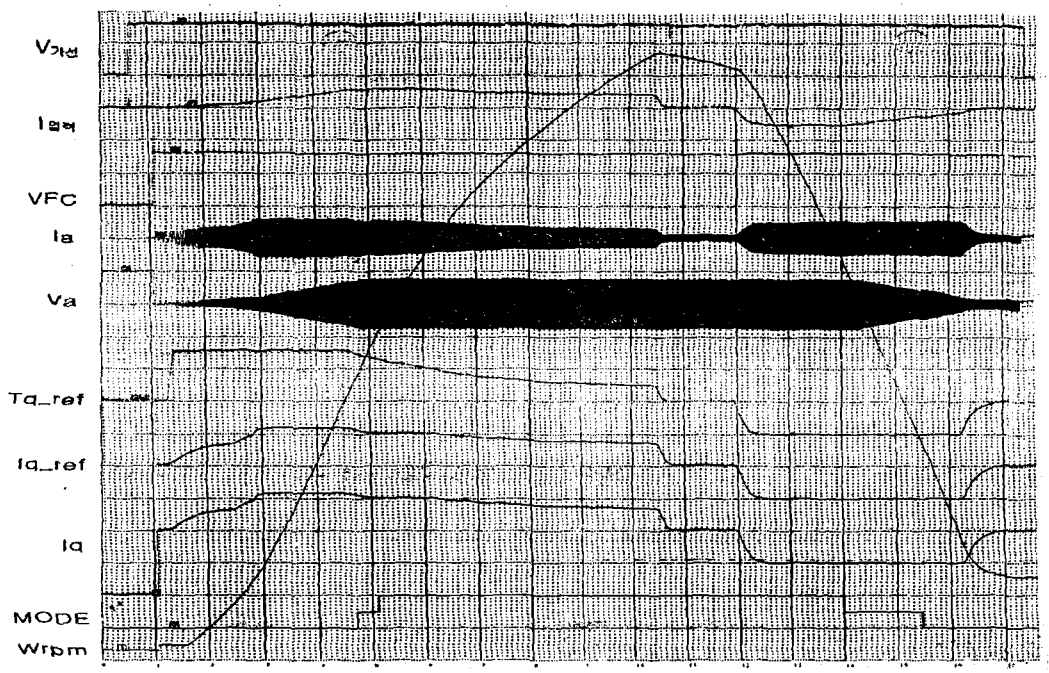

그림 7 역행 및 회생 성능특성

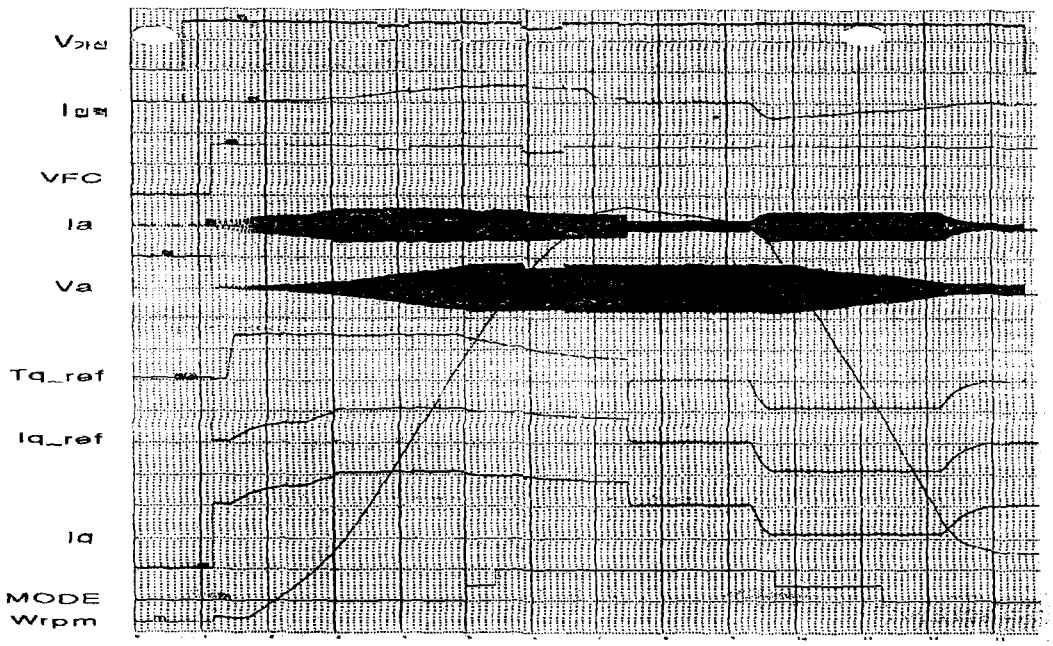

그림 8 전압급변 시험

6. 결 론

본 논문에서는 최신의 대용량 IGBT를 주소자로 이용한 1C1M 개별제어형의 철도차량용 추진제어장치를 소개했다. 개별제어에 의해 보다 우수한 제어 특성을 구현하였으며 1인버터 고장시 1모터 Cut-Out이 가능하므로 운용성이 향상되었다. 또한 제어방식으로 벡터제어를 채용하여 효과적인 제어특성을 구할수 있었다. 특히 대용량 IGBT를 이용한 주회로에 있어서 Stray 인덕턴스를 최소화한 3층 Bus Plate 를 적용하고 보호기능을 갖는 지능형 하이브리드화된 IGBT 구동회로를 적용하여 단순화되고 효율적인 Stack을 구성하였다. 따라서 본 철도차량용 IGBT 추진제어장치는 개별제어, 벡터제어, IGBT의 적용으로 고점착성능(23%), 시스템 운용성 향상, 소형경량화, 소음저감, Maintenance free화등을 실현하였다.

제어유니트는 DSP와 마이크로콘트롤러의 다중 구조를 채택해 우수한 계산능력과 인터페이스 능력을 확보하고 하드웨어 및 소프트웨어의 이중 보호회로를 구성하였고 CAN-bus에 의한 강력한 네트워크를 구성하였으며 Eddy Current Dynamometer시험장치를 이용한 부하시험을 통하여 시스템에 필요한 출력 토크를 추종함과 전체 방열이 목표치를 만족함을 확인하였으며, 당사가 보유하고 있는 전동차 2량분에 해당하는 관성부하에 연결하여 조합시험을 통하여 성능을 확인였다.

[참 고 문 헌]

[1] J. Holtz, "PWM-A Survey", Conf. Record of IEEE PESC'92, pp.11-18, 1992

[2] 김준석, 설승기, "공간전압벡터 PWM의 새로운 기법", 전기학회 논문지 44권 7호 pp,865-874, 1995

[3] 東濱·忠良, 中澤 英樹, 金田順一郎, 菊池高弘, "IGBT應用 VVVF INVERTER 制御裝置(營團次世代車輛 各軸 INVERTER" ,電氣車 科學, pp.21-27, 1993.6

[4] 東濱 忠良, 中澤 英樹, 神所 佳司, 張仁浩, "IGBT應用 VVVF INVERTER 制御裝置(營團日比谷線 03系 INVERTER" ,電氣車 科學, pp13-20, 1993.6