

## 전동차 견인용 IGBT VVVF 인버터

정은성, 박윤환, 장경현, 이상준, 배본호, 김진선\*, 김상훈\*\*

\*대우중공업 철도차량연구소, \*\*강원대학교

## IGBT VVVF INVERTER AS A PROPULSION SYSTEM FOR ELECTRIC CAR

E.S. Chung, Y.H. Park, K.H. Jang, S.J. Lee, B.H. Bae, J.S. Kim\*, S.H. Kim\*\*

\*Rolling Stock R&D Center, Daewoo Heavy Industries LTD, \*\*Kang-Won National University

### Abstract

In this paper, we present IGBT VVVF inverters as a 1C1M propulsion system for electric car. These 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 microcontroller. 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

최근의 교통문제에 있어서 철도차량 특히 전동차가 거의 유일한 해결책으로 생각되어지고 있다.

경부고속철도등의 장거리 수송 수단으로는 물론 대도시의 복잡한 교통문제의 해결책으로 제시되고 있는 지하철 및 경전철에 이르기까지 전동차의 수요는 계속 유지 증가될 것으로 생각되어진다.

이렇게 그 중요성이 더해지고 있는 전동차의 견인용 구동장치는 그동안의 전력전자 기술의 진보에 따라 저항제어장치에서 Chopper 제어장치, 그리고 최근에는 유도전동기의 구동을 위한 인버터 장치로 발전되어 왔다. 또한 사용소자의 변천으로 보아도 Chopper 제어장치에서 사용되었던 Thyristor에서 인버터장치에는 GTO Thyristor가 사용되어오다가 최근에는 IGBT가 새로운 스위칭 소자로 사용되어지기 시작되었다. GTO에 비해 스위칭 주파수나 소음 및 GDU의 간단성 등의 장점을 가지고 여타 산업용 인버터에서는 널리 애플리케이션되었던 IGBT가 철도차량 구동용 인버터에는 사용되어지지 못했던 주된 이유는 IGBT 소자의 용량이 GTO의 용량에 비해 부족했던 것이었다. 하지만 최근에 일본 및 유럽의 여러 IGBT 제조회사에서 비교적 대용량의 IGBT가 생산되므로써, 이제 철도차량용 인버터에도 IGBT가 채용될 수 있게 된 것이다.

한편 인버터의 제어방식도 초기의 V/f 일정제어에서 근래에는 벡터제어방식이 널리 사용되기에 이르렀다. 물

론 이러한 인버터의 제어장치도 많은 변천을 거듭해 온 것도 당연하다 하겠다.

국내의 철도차량 시장은 전세계적으로도 결코 작다고 볼 수 없는 시장인데, 그동안 철도차량용 견인장치의 상당부분을 외국 전장품업체에 의존해 왔던 것도 사실이다. 하지만 최근에는 국내 철도차량제작업체내에서도 전장품, 특히 견인용 구동장치의 국산화 및 자체개발이 매우 활발하게 진행되고 있다. 금번 논문에서 소개되고 있는 이 IGBT VVVF 인버터의 개발도 순수 국내기술에 의한 자체개발이라는 면에서 그 중요성을 찾아볼 수 있다.

이 IGBT VVVF 인버터는 1C1M용으로 그 제어특성이 우수하고 승객들의 승차감 및 정숙성에서도 장점이 있다고 할 수 있다. 또한 제어기의 우수성 및 그 인버터 구조의 간단성등도 인버터의 장점이라 할 수 있다.

### 2. 시스템 구성

본 논문에서 소개된 추진용 인버터는 1대의 인버터가 1대의 전동기를 제어하여 점착성능을 향상시키는 개별제어(1C1M) 방식을 채택하고 있다. 본 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 견인전동기의 분리제어시의 견인력 제어특성을 가지기 위하여 최신 견인력 제어기법을 운용하기 위해 고성능 Digital Signal Processor인 32bit의 TMS320C31을 주 제어용 프로세서로 적용하였다.

또 인버터 고장시 인버터 전원을 차단하기 위한 차단기를 반도체 소자인 GTO Thyristor를 사용하여 고속차단함으로써 과전류 및 단락전류등의 중고장으로 인한 고장 확산을 방지하고, 각 인버터마다 1개씩 사용하므로써 1인버터가 고장났을 경우에 그 인버터만을 차단하고 나머지 인버터를 정상운전하게 하므로써 편성의 용장성이 향상되도록 하였다.

이러한 본 추진용 인버터의 주 회로도와 주된사양을 그림1과 표1에 나타내었다.

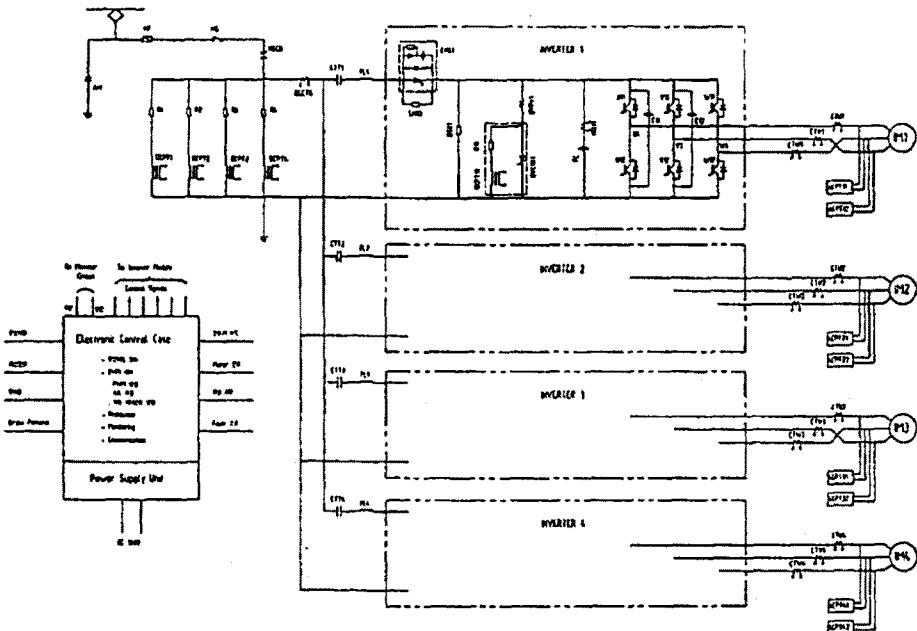


그림 1. 1C1M IGBT VVVF INVERTER  
주 회로도

표 1. 1C1M IGBT VVVF 인버터 사양

항 목		내 용
시스템 구성	주회로 방식	1C1M 개별제어
	시스템 구성	전압형 IGBT VVVF 인버터
	연속정격 용량	247KVA × 4대
	입력전압	DC 900 ~ 1800 V
	냉각시스템	Heat Sink 자연냉각 방식
제어	제어기	32 bit DSP TMS320C31
	제어방식	Vector제어
	통신방식	CAN (Controller Area Network)

### 3. 제어 유니트

IGBT 1C1M VVVF는 4개의 전동차 견인용 모터를 4개의 제어기 및 인버터가 각각 독립적으로 제어하는 구조로 구성된다. 본 시스템에서는 고성능의 제어특성을 얻기 위하여 벡터제어기법이 이용되었으며 넓은 범위의 출력전압을 얻기 위해 공간 벡터 방식의 PWM이 적용되었다.

이러한 제어알고리즘을 실시간으로 수행하기에는 계산속도가 빠른 고급 Digital Signal Processor가 유리한 반면, 통신 및 인터페이스의 면에서는 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 채널을 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 II 까지 지원하는 인텔의 82527을 사용하여 4개의 제어유닛간의 Network를 구성하여 속도정보, 상태정보 및 고장정보를 교환한다.

아날로그 및 디지털 신호의 입출력과 통신선 등의 외부 기기와의 인터페이스에는 전기적으로 완전히 분리시켜

제어유닛 외부에서의 신호선의 단락 등으로부터 제어기의 보호 및 내노이즈성을 보장했다.

#### 4. PWM 알고리즘

본 시스템에서는 고속의 IGBT 소자를 사용하여 1KHz의 스위칭주파수로 PWM제어를 행한다.

기존의 시스템에서는 비동기모드에서 6-STEP으로 넘어 가지전에 몇가지 동기모드를 삽입해야만 하므로 전체적으로 PWM모드의 종류가 많아지며 따라서 모드간의 이동시에 많은 문제를 야기시킨다. 본 시스템에서는 1KHz 비동기 모드에서 곧바로 6-STEP모드로 전환함으로써 이러한 문제를 줄였다.

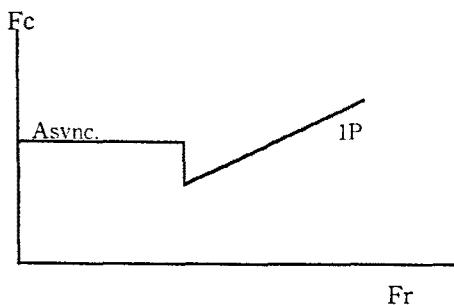


그림 2. PWM mode

#### 5. 실험결과

본 시스템을 당사가 보유하고 있는 시험설비를 이용하여 전동차 2량분에 해당하는 관성부하에 연결하여 특성을 시험하고자 하는 작업이 진행중이며 아래 그림3은 가속 시의 속도,  $I_q$  reference,  $I_q$  측정치, 및  $I_d$  측정치를 나타낸다. 전류가 목표치를 잘 추종하고 있으며  $I_q$ 와  $I_d$ 가 독립적으로 제어되고 있음을 보여준다. 그림4는 제어기의 제이트 신호와 실제 전동기에 투입되는 전류를 보여주고 있다.

EDDY Current 부하장치를 이용한 실험에서 각 인버터 당 시스템의 요구치인 162Kg.m의 토크를 잘 추종함을 확인했다.

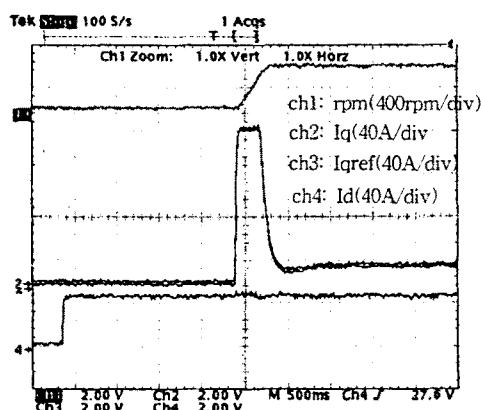


그림 3. 기동시의 속도 및 전류 파형

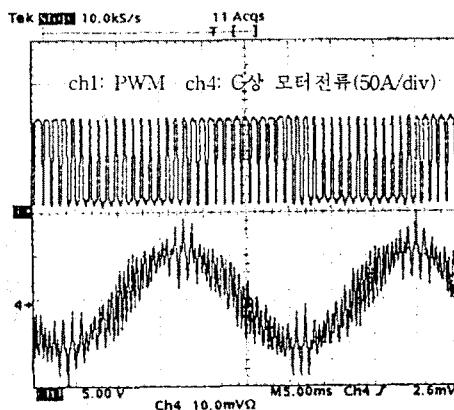


그림 4. 전동기 PWM 파형 및 전류 파형

#### 5. 결 론

본 논문에서는 최신의 대용량 IGBT를 주소자로 이용한 1C1M 개별제어형의 전동차 견인장치를 소개했다. 개별 제어에 의해 보다 우수한 제어 특성을 추구하였으며 고장시 구동력 손실이 작아 특히 경전철 등의 소편성에서는 적용이 유리한 특성을 보인다. 또 견인전동기의 벡터 제어를 채용하여 효과적인 제어특성을 구할 수 있었다. 특히 대용량 IGBT를 이용한 주회로에 있어서 판 부스(plate bus)를 적용하고 지능형 하이브리드화된 IGBT 구동회로를 적용하고 가장 단순화되고 효율적인 stack을 구성하였다. 제어유니트는 DSP와 마이크로콘트롤러의 다중 구조를 채택해 강력한 계산능력과 인터페이스 능력을 확보하고 하드웨어 및 소프트웨어의 이중의 보호회로를 구성했으며 CAN-bus에 의한 강력한 네트워크를 구성했다. 또한 국제구격의 EURO CARD규격을 만족하면서 유니트당 폭이 210mm이하의 소형화를 달성했다. Eddy current 시험장치를 이용한 부하시험을 통하여 벡터제어를 이용하여 필요 출력 토크가 충분히 달성되고 전체 방열이 목표치를 만족함을 확인했다.

#### (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 各軸インバータ)", 電氣車の科學, 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(營日比谷線 03系インバータ)", 電氣車の科學, pp.13-20, 1993.6