

## 병렬 PWM 컨버터를 이용한 철도차량 직류 전력 회생장치에 관한 연구

이종무\* · 장수진\* · 송상훈\* · 원충연\* · 안규복\*\* · 이준기\*\*  
(성균관대학교\*, · 인텍 FA\*\*)

### A Study on DC Power Regeneration for Railway using Parallel PWM Converter

Jong-Moo Lee\* · Su-jin Jang\* · Sang-Hun Song\* · Chung-Yuen Won\* ·  
Kyu-Bok Ahn\*\* · Joon-Gee Lee\*\*  
(SungKyunKwan University\*, · Intech-FA\*\*)

#### ABSTRACT

When the electric tractions are stopped or driven through the falling slope way, it occurred to surplus energy in the DC power line. At present, these energy are exhausted by breaking-system. The converter is not only capable of feeding energy back into the AC source during excessive regeneration. It is issued for this surplus energy regenerating system. These systems are faced with high vottage and high power for railway DC power regeneration. This paper proposed a parallel PWM converter how to solve these problem.

#### 1. 서 론

직류전력을 사용하는 철도 차량 시스템에서 차량의 하강 경사로 주행이나 감속 운행시 잉여분의 전력이 발생하게 된다. 이 에너지는 전동차를 가속하기 위해 투입된 에너지의 45~47%정도이다.

여기에서 약 20%정도는 전동차에서 소모되나 나머지 20~27%의 에너지가 잉여 전력으로 남고, 이 전력은 직류 가선 전압을 상승시킨다.

기존 급전 시스템의 경우 12펄스 다이오드 정류 시스템을 사용하므로 이러한 잉여분의 전력은 제동을 이용하여 열로 소모된다.

이러한 급전 시스템을 변경하려면 경제적 부담이 커지므로 현 상태를 유지하면서 회생 기능을 수행할 수 있는 전력변환 장치 개발이 연구되고 있다.<sup>[1][2]</sup>

본 논문에서는 기존 12펄스 정류 시스템을 유지하면서 정류 용량의 일부 에너지를 회생하기 위하여 3상 PWM

컨버터 2대를 DC전압에 병렬로 공유하는 방식을 제안하고 있다.<sup>[3]</sup>

이러한 전력변환기를 이용하여 잉여분의 전력을 교류 모선으로 회생시킬 경우 직류 가선전압의 상승을 억제할 수 있고, 회생 시키는 에너지만큼 에너지 절약을 기대할 수 있다.

본 논문에서는 병렬 PWM컨버터의 제어 알고리즘의 시뮬레이션 결과와 축소타입 하드웨어 설계에 대하여 제시하였다.

#### 2. 제안된 직류전력 회생장치

철도 차량 시스템에서 차량의 하강 경사로 주행이나 감속 운행시 투입된 에너지의 20~27%의 에너지가 잉여 전력으로 발생하게 된다.<sup>[3]</sup>

이 잉여전력을 회생하기 위하여 기존의 PWM 컨버터 2대를 병렬로 운전하여 반도체 소자의 전류 용량 부담을 줄일 수 있도록 한다.

인버터에 의해 발생하는 고조파를 저감시키고, 필터 설계를 용이하게 하기 위해 다중 펄스 PWM 기법이 사용되고 있다.<sup>[4][5]</sup>

대용량 컨버터의 스위칭 손실로 인한 캐리어 주파수를 올리는 문제를 보완하기 위하여 변압기를 이용한 PWM 이중화 방법을 사용하여 빠른 스위칭 주파수를 갖게 하였다.

본 논문에서는 사용한 최대용량 1.5MVA 컨버터 2대의 IGBT소자를 사용한 전력 변환기를 DSP 제어기로 제어하여 저고조파의 전력 회생기능 갖는 전력 변환기를 설계한다. 현재 이론적 타당성을 검증하기 위하여 10KVA 인버터 축소모델을 설계하고 제작중에 있다.

그림 1은 기존 다이오드 정류기 시스템에 제안한



전류제어 지령치  $i_d^{e*}$ 를 각 컨버터에  $\frac{i_d^{e*}}{2}$ 로 제어하여 전류 부담을  $\frac{1}{2}$ 로 한다. 또한, 두 컨버터 사이에 전력 균형을 위하여 두 컨버터 출력 전류의 불균형치를 보상하게 하여 두 컨버터의 출력이 동일하게 제어 되도록 하였다.<sup>[8][9]</sup>

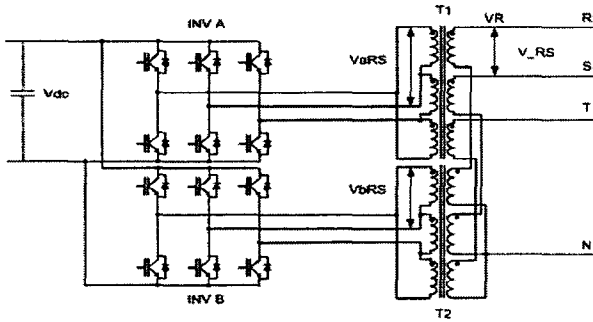


그림 4. 병렬형 PWM 컨버터 구성도  
Fig 4. Configuration of Parallel PWM Converter

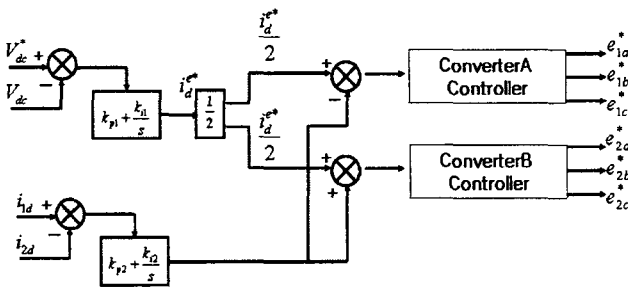


그림 5. 병렬형 PWM 컨버터 제어 블록도  
Fig 5. Parallel PWM Converter Control Block

### 2.3 PWM 컨버터의 다중 펄스 PWM과 PWM 이중화

그림 4와 같이 직류 전력을 교류모션으로 회생시키는 컨버터에서도 회생전력에 포함되어 있는 고조파로 인한 전력의 질 저하가 큰 문제로 대두되고 있다.

인버터에 의해 발생하는 고조파를 저감시키기 위해 사용되는 PWM기법에는 다중 펄스 PWM기법과 단일 펄스 PWM기법이 있다.

고조파 저감만을 목적으로 한다면 다중 펄스 PWM기법이 더 효과적이거나 빈번한 스위칭으로 인하여 스위칭 손실이 대폭 증가하므로 대용량에는 적용하기가 어렵다. 하지만, IGBT의 진보적인 발전으로 대용량에도 적용이 가능하며 스위칭 주파수도 단일펄스 PWM보다는 빠른 스위칭이 가능하다.

스위칭 손실을 고려한 다중 펄스 PWM기법에 컨버터를 스위칭 손실로 인하여 캐리어 주파수를 올리는 못하

는 점을 보완하기 위하여 컨버터 A와 컨버터 B의 캐리어는 서로  $180^\circ$ 의 위상차를 가지면서 동일한 지령치와 비교하는 삼각파 비교 방식으로 출력 하게 된다.

이 때, 변압기 출력 파형은 그림 6과 같이 스위칭 주파수가 캐리어 주파수보다 빠른 스위칭 효과를 가지므로 스위칭 손실을 최대한 줄이면서 고조파를 저감시키고, 변압기와 필터 설계를 용이하게 하였다.<sup>[10]</sup>

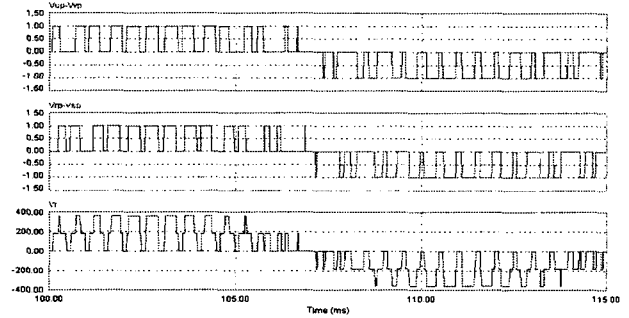


그림 6. 이중화 PWM 변압기 입력 및 출력 파형  
Fig 6. Transformer Input/Output of Interlaced PWM

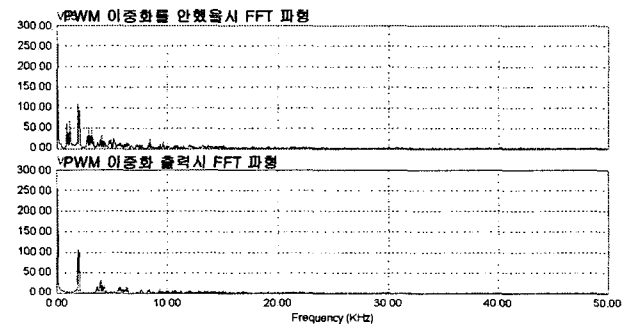


그림 7. 비 이중화 PWM출력과 이중화 PWM출력 FFT  
Fig 7. FFT analysis of Non-Interlaced PWM and Interlaced PWM

### 3. 축소모델 시뮬레이션

시뮬레이션은 PSIM을 이용하여 시뮬레이션 했으며, 제어블록은 DLL을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션은 적용가능 유무와 알고리즘 검증을 위해 축소모델의 설계를 하여야 한다. 축소모델 설계 기준으로 그림 8과 같이 시뮬레이션 하였다.

그림 9에서 보는 바와 같이 파형(a)는 Vdc 전압을 550V에서 400V까지 변화를 준 파형이다. (b), (c) 파형은 Vdc전압에 따른 컨버터A 제어기에  $i_d^*$ ,  $i_q^*$  지령치와 컨버터B 제어기에  $i_d^*$ ,  $i_q^*$  지령치 변화 파형이다. 보는 바와 같이 q축을 0으로 제어하고 d

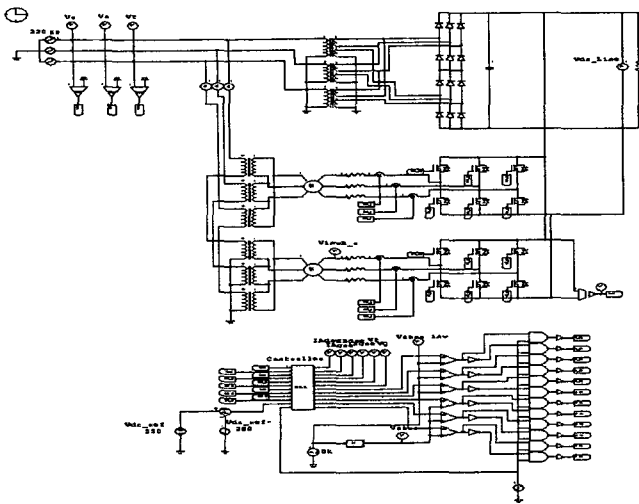


그림 8. 병렬형 PWM 컨버터 시뮬레이션도  
Fig 8. Parallel PWM Converter Simulation Circuit

축 전류를 제어 함으로서 유효전력 제어를 함을 알 수 있다. (d)는 0.05sec부터 컨버터가 정류모드 동작을 시작하다가 0.1sec에서 부터 회생모드 동작을 할때 전압과 전류파형을 보여 주고 있다.

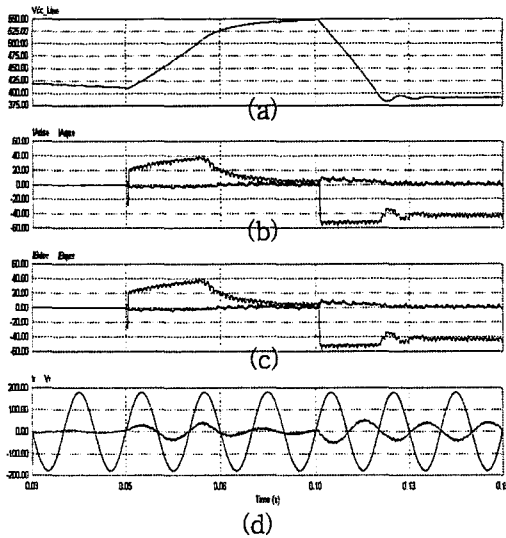


그림 9. 병렬형 PWM 컨버터 시뮬레이션 결과  
Fig 9. Parallel PWM Converter Simulation Result

#### 4. 결 론

본 논문에서는 직류를 전원으로 하는 전철 시스템에서 잉여분의 직류 전력을 교류모선으로 회생하면서 컨버터에 의해 발생하는 고조파를 저감시키고, 필터 설계를 용이하게 하기 위해 다중 펄스 PWM기법과 변압기를 이용한 PWM 이중화 기법을 연구하였다.

제안된 직류급전시스템은 시뮬레이션을 통하여 기존 다이오드 정류기 시스템보다 에너지 활용성 증가와 듀얼 방식에 따른 소자의 스트레스 감소 및 고조파가 저감되었다.

이 시스템을 직류전철 급전시스템에 적용 시 나타날 수 있는 문제점을 파악하고 현장 적용의 타당성을 검증하기 위하여 축소모형을 설계하여 제작중에 있다. 축소모형과 실제 시스템의 제어기를 동일하게 사용함으로써 축소모형에서 실제 시스템으로 용량 확대가 가능하다고 생각된다.

본 연구는 국가교통핵심기술개발사업(02'06.1~03'05.31)에서 지원된 차세대 전철 시스템 에너지회생장치 개발 과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 김경원, 윤인식, 서영민, 윤덕용, 홍순찬, “직류전력 회생시스템의 역률개선에 관한 연구” 전력전자학회 논문지, 제 6권, 제 5호, 2001.
- [2] 김경원, 서영민, 홍순찬, “회생전력 제어용 인버터 시스템의 구현에 관한 연구” 전력전자학회 논문지, 제 7 권, 제 2호, 2002.
- [3] 백병산, 김남해, “전기철도 급전시스템에 응용되는 전력전자 및 제어기술”, 전력전자학회지, 제 8권, 제 1호, 2003.
- [4] A.Horn, R.H.Wilkinson, T.H.R.Enslin, “Evaluation of converter topologies for improved power quality in DC traction substations”, ISIE of IEEE, Vol.2, pp.802-807, 1996.
- [5] P.J.Randewijk, J.H.R.Enslin, “Inverting DC traction substation with active power filtering incorporated”, PESC of IEEE, Vol.1, pp.360-366, 1995.
- [6] 박기태, “전원사고시의 전압불평형에 대비한 3상 승압형 PWM컨버터 설계”, 서울대학교 석사학위 논문, 1997.
- [7] 백승필, “멀티브리지 컨버터를 이용한 새로운 UPFC의 동특성 분석”, 명지대학교 박사학위 논문, 2003.
- [8] 한국철도기술연구원, “도시철도표준화 연구개발사업 2003년도 연구중간보고서”, 2003.
- [9] 산업자원부, “대용량 직류전력 회생인버터 시스템 기술개발에 관한 최종보고서”, 2001.
- [10] J.Shen, J.A.Taufiq, A.D.Mansell “Analytical solution to harmonic characteristics of traction PWM converters”, IEE Pro-Electr. Power Appl. Vol. 144, No. 2, March 1997.