

## IGBT 전력반도체를 이용한 전동차 보조전원장치의 성능향상에 관한 연구

## A study on the performance improvement of the train auxiliary power unit using IGBT power semiconductors

박시영\*, 최덕수\*, 배명곤\*, 김현철\*, 신용원\*, 이성규\*, 김경섭\*<sup>†</sup>See-Young. Park\*, Duk-Soo. Choi\*, Myung-Gon. Bae\*, Hyun-Choel. Kim\*, Yong-Won. Shin\*, Sung-Kyu. Lee\*, Kyung-Seob. Kim\*<sup>†</sup>

**Abstract** Auxiliary power unit of the electric vehicles supplies a stable power supply for the train control circuit, lighting equipment, HVAC equipment and air compressor. Auxiliary power supply units of the conventional, as GTO double chopper, control input voltage of the transistor inverter for the voltage variations and load variations. It maintains a constant output voltage and also, is heavy as 1.5 ~ 2.5 tons weight per product and 1.5 ~ 2m<sup>3</sup> volumes. The IGBT type 150kVA auxiliary power supply units applied to Line 4 (VVVF train) was lighter approximately 47% than the existing auxiliary power unit, such as weight 800kg and volume 1.33m<sup>3</sup> also reduced 32% in size. In addition, is improved of the output voltage quality, the service life of power plant for electric vehicles are expected to also be increased. Applied resonant converter technology is expected to be expands as the virtually eliminating technology of the power conversion losses to turn on/off the power switch when the voltage is zero by installing capacitors.

**Keywords** : Auxiliary power unit, GTO, IGBT, resonant converters

**초 록** 전동차용 보조전원장치는 전동차의 제어회로, 조명장치, 냉난방장치, 공기압축기 등에 안정된 전원을 공급한다. 기존의 보조전원 공급장치는 GTO 이중 초퍼로서 가선전압 변동 및 부하 변동에 대해 트랜지스터 인버터의 입력전압을 제어한다. 이것은 출력전압을 일정하게 유지시켜 주며 제품 당 중량이 1.5~2.5톤, 부피 1.5~2m<sup>3</sup> 로서 무겁다. 4호선 VVVF 전동차에 적용된 IGBT형 190kVA급 보조전원 공급장치는 중량 800kg, 부피 1.33m<sup>3</sup> 로서 기존 보조전원장치에 비해 약 47% 가벼워졌고, 크기도 32%나 줄었다. 또한, 출력전압 품질도 향상시킴으로써 전동차용 전원설비의 사용연한도 증가될 수 있을 것으로 기대된다. 적용된 공진형 컨버터 기술은 캐패시터를 설치하여 전압이 0인 상태에서 전력변환 스위치를 켜고 꺼지게 하여 전력 변환 손실을 거의 없앤 기술로서 확대 적용이 예상된다.

**주요어** : 보조전원장치, GTO, IGBT, 공진형 컨버터

## 1. 서 론

다이오드, 트랜지스터, 싸이리스터, GTO 등의 전력반도체를 이용한 기술은 발전하고 있으며, 지금도 산업발전에 기여하고 있는 소자들이다. 작게는 발광회로에 적용되고 있으며, 크게는 우주정거장의 태양광 패널에 부착되어 뿜어져 나오는 태양광을 축적하여 에너지원으로 사용하고 있는 것이 전력반도체가 인류에게 기여하고 있는 현실이다. 전동차 기술이 발전하면서 소형화에 발맞추어 전동차 전장품에 구성요소로서 대용량화를 구현해야 하는 시대에

<sup>†</sup> 교신저자: 서울메트로 창동차량사업소, 공학박사([polraris7@seoulmetro.co.kr](mailto:polraris7@seoulmetro.co.kr))

\* 서울메트로 창동차량사업소

적절한 전력반도체로서 IGBT (insulated gate bipolar mode transistor)가 도입되면서 GTO방식으로 한계가 있던 전동차용 인버터에서 고속 스위칭이 가능하게 되면서 전력변환 손실을 줄일 수 있게 되었다. 그러나 고속 스위칭은 IGBT의 스위칭 손실과 전력회로에서 발생하는 열이 스위칭 주파수가 높아 질수록 같이 증가함에 따라 높은 스위칭 주파수에 의한 전력변환 손실을 줄이는 데는 한계가 있다. 따라서 더욱 고성능화된 냉각기술이 필요하게 되었으며, 적절한 주파수에서 최적의 운용을 할 수 있는 기술이 필요하게 되었다.

## 2. 본 론

### 2.1 IGBT 전력반도체를 적용한 보조전원장치

#### 2.1.1 인버터 출력부

Fig 1은 IGBT를 이용한 6상 인버터 보조전원장치의 회로도이다. 인버터에서 출력된 전압은 캐패시터(ACC)로 구성된 교류필터에서 정현파로 만들어 지고 절연 변압기에서 출력값이 출력된다. 이 때 교류필터의 캐피시터 전압이 정현파이기 때문에 인버터 출력에 포함된 고조파전압은 모두 교류필터 리액터에 걸리게 되어 리액터로부터 다량의 열과 소음이 발생하게 된다. 따라서, 교류필터의 위치를 절연 변압기 후단에 설치하여 인버터에서 출력된 전압이 절연변압기를 통해 합쳐진 후 교류필터에 의해 정현파가 되도록 하며, 인버터에 인가되는 스위칭 신호에 위상차를 주게 되면 절연변압기에서 출력이 더해질 때 특정 고조파대역의 고조파가 제거되고 제거되지 않은 고조파들은 그 크기가 작으면서 넓게 분산되어 고조파에 의해 발생하는

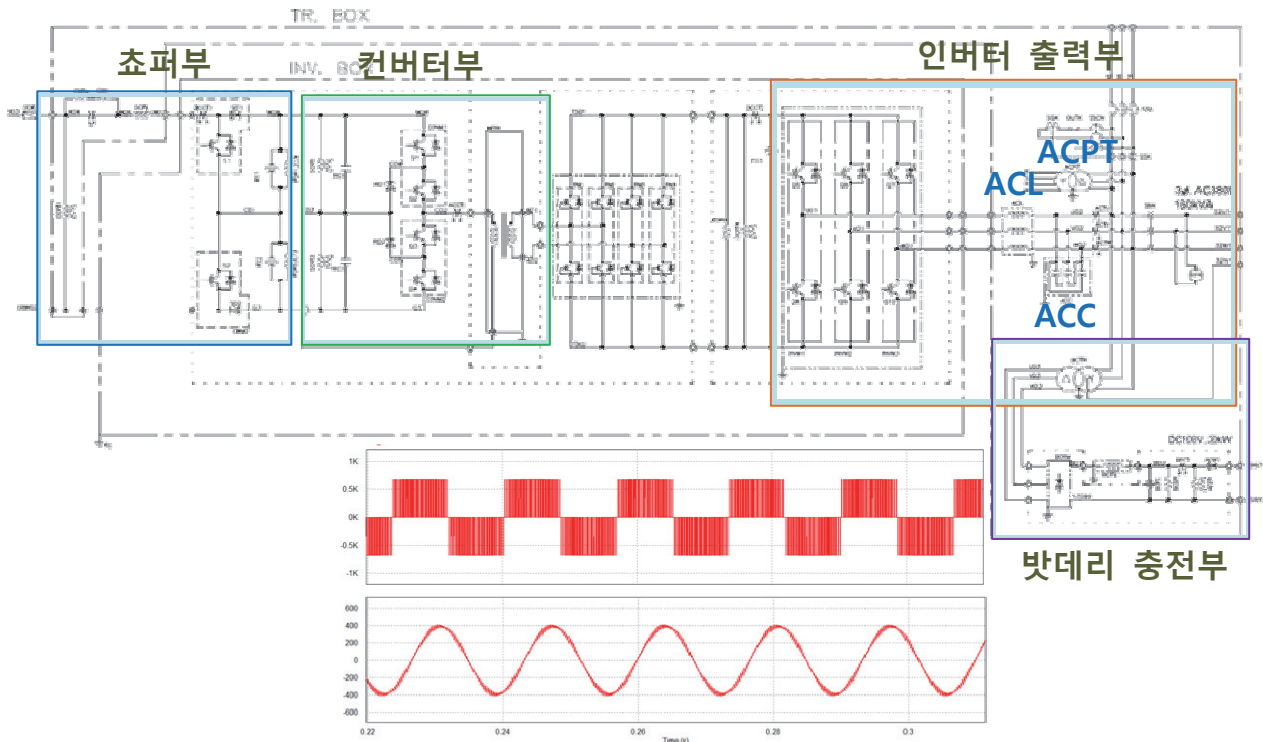


Fig 1 Inverter power circuit of auxiliary power unit

### 2.1.2 배터리 충전부

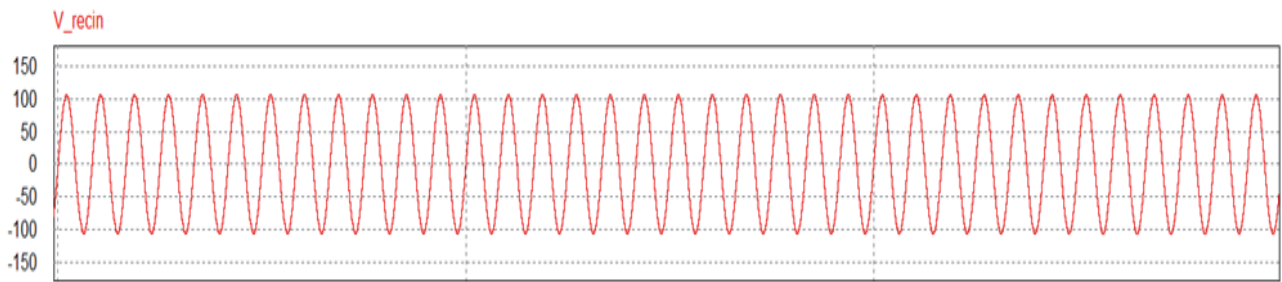


Fig 2 Battery charging of the auxiliary power unit

교류 리액터에서의 노이즈와 열이 감소하도록 설계되는 경우도 있다.

### 2.1.3 컨버터부

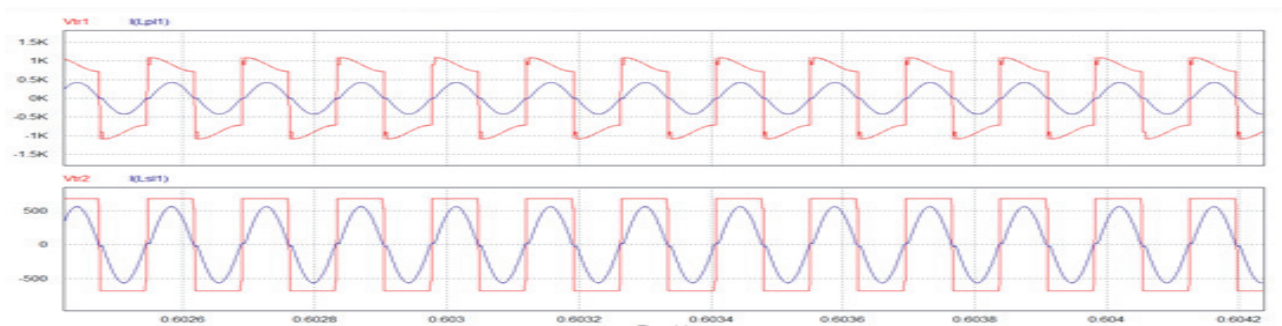


Fig 3 Converter of the auxiliary power unit

### 2.1.4 쇼퍼부

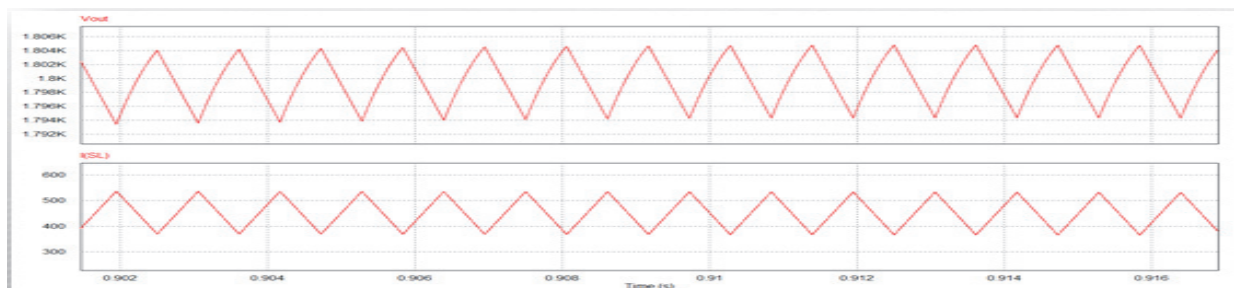


Fig 4 Chopper of the auxiliary power unit

## 2.2 스펙트럼 분산 스위칭[1]

기존의 인버터 스위칭은 삼각 반송파와 출력신호를 주파수 스펙트럼으로 보면 삼각반송파 주파수인 고조파가 집중되어 있는 것을 관찰할 수 있다. 이 스위칭 신호를 인버터회로에 적용시키면 인버터에 적용되는 스위칭 신호 사이에 위상차를 주면 이 때 절연 변압기의 출력 파형 주파수 스펙트럼은 여전히 큰 주파수로 남아 있는 경우와 고조파는 제거되지만 저주파가 존재하는 경우 등이 있을 수 있는데, 두 경우 모두 큰 고조파 성분을 가지므로 열에 취약한 문제를 지니게 된다. 스펙트럼 분산 스위칭은 기존의 삼각파 비교제어에서 기준신호에 변형을

가하여 인버터에 인가될 스위칭 신호를 만든 후 이들 스위칭 신호 사이에 위상차를 주어 전압의 스펙트럼에서 큰 크기의 고조파는 없애고, 작은 크기의 고조파들은 넓은 주파수대에 분포하는 것이다. 기준신호의 변형은 3상 기준신호의 각 전압값이 최대/최소값과 그 근사값에 있을 때 스위칭 신호를 발생하지 않도록 그 근사값을 최대/최소값으로 증가시키거나 감소시키는 것이다. 이 때 한 상에서 변형된 양은 그 만큼 다른 상의 신호에 영향을 주어 3상 전압사이의 차는 변화가 없도록 한다. 이렇게 변형된 기준신호와 삼각 반송파와의 출력신호에 의한 절연변압기 출력을 스펙트럼하면, 삼각반송파 주파수인 가장 큰 고조파를 가지고, 그 부근에 고조파들이 모여 있는 것을 알 수 있다. 이들 고조파들을 제거하기 위해 인버터 스위칭 신호에 위상차를 주면 고조파는 거의 사라지고 그 외의 고조파들은 작은 크기를 가지면서 넓게 분산되어 있어 교류필터에 인가할 경우 리액터의 전류 리플이 획기적으로 줄어 리액터에서 발생하는 노이즈와 열방출이 감소하게 된다[2][3].

### 3. 결론

본 연구를 통하여 기존 보조전원장치(SIV)에 사용하던 GTO 이중 Chopper, 12상 인버터에서 190KVA, IGBT를 적용한 이중 Chopper, 공진형 컨버터 기술을 내포한 6상 IGBT인버터로 정상적인 전압, 전류 파형을 얻을 수 있었고, 인버터 성능에 전혀 영향을 주지 않으면서 교류필터에 인가된 리액터 리플을 획기적으로 줄여 리액터에서 발생하는 노이즈 및 열발생을 억제할 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] A.S. Noh, J.B. kim, K.H. Bae, etc.,(1998) A Study on Noise Reduction for Auxiliary Power Supply of Railway Vehicle Using IGBT, *The Korean Society for Railway*, pp.280-286
- [2] H.W. Van der Broeck,(1991) Analysis of the Harmonics in Voltage Fed inverter Drives Caused by PWM Schemes with Discontinuous Switching Operation, in Conf, Rec. of EPE'91, Vol.3, pp.261-266
- [3] D.W. Chung, S.K. Sul, (1997) Minimum-Loss PWM Strategy for 3-phase PWM Rectifier, PESC'97, pp.1020-1026

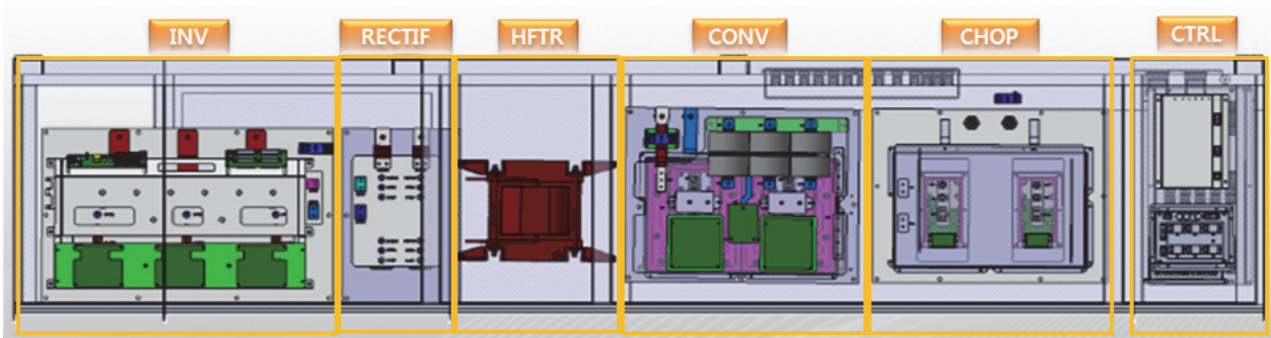


Fig 5 Electronics device design (Inverter Box)