

모듈형 파워 서플라이를 이용한 철도 신호용 전원장치

A Railway signal power supply system using the module type power supply

노성재*, 이유허**, 김수홍***

Sung-Chae Roh, Yoo-Kyung Lee, Soo-Hong Kim

ABSTRACT

This paper presents a power supply of railway signal system using a Z-source inverter. The Z-source inverter overcomes the conceptual and theoretical barriers and limitations of the tradition voltage-source inverter and current-source inverter and provides novel power conversion concept.

The Z-source inverter is a Buck-Boost inverter that has a wide range of obtainable voltage.

1. 서론

철도신호시스템은 열차의 안전운전을 담당하는 중요한 철비로서 시스템의 안정성이 요구된다. 그리고 신호용 전원 시스템 또한 안정성이 요구된다. 현재의 철도 신호용 시스템은 2개의 전원을 수전 받고 있으며, 정전시를 대비하여 무정전 전원장치를 이용한 비상전원을 가지고 있다. 철도공사 변전소를 통한 상시전원과 한국전력에서 철도공사 변전소를 경유하지 않고 공급받는 전원을 사용하여 철도공사 전원의 정전에 대비하고 있다. 또한 철도공사 전원과 한전 전원이 모두 정전되는 것을 대비하여 축전지를 이용한 비상전원을 보유하고 있다.

그러나 기존선의 전원 시스템은 계전기를 이용한 전환방식을 사용하고 있어 철도신호 시스템이 컴퓨터와 되면서 전환시의 순간정전에 대비하지 못하고 있는 상태이다.

본 연구에서는 철도 신호용 전원시스템의 전환 시 순간정전을 방지하고 보수의 용이성을 위하여 모듈형 전원장치를 이용한 부하분담형 인버터 시스템을 사용하여 신호용 전원 시스템을 구성하고 시뮬레이션을 수행하여 보았다.

2. 철도신호용 전원 시스템

철도 신호용 전원장치는 신호용 단독 변압기를 사용하여 신호선비에 안정된 전원을 공급하는 전원선비로 배전반, 정류기, 무정전 전원장치로 구성되어 있으며 정전시 예비전원 또는 축전지로부터 전원을 공급받아 교류전원을 공급하여 항상 신호 시스템이 작동할 수 있도록 안정된 전원을 공급하는 것이 목적이다. 철도 신호용 전원설비는 철도 교양 배전선로에서 신호용 변압기를 통하여 수전하고 수전계통을 2중화 이상으로 한다. 따라서 보전의 전원공급계통이 가장 확실한 By-Pass 전원을 확보하도록 하기 위하여 상용(철도전원)과 예비전원(한전전원)으로 2중화 되어 있다. 정상 동작시에는 상용전원을 사용하며, 상용전원의 정전이나 교양, 지전압일 경우 자동으로 예비 전원으로 절체되어야 하며, 복구 시 원상으로 환원되도록 구성한다. 신호시스템은 24시간 상시 가동되는 부하로서 상용전원과 예비전원의 정전시 축전지를 사용하여 무정전 전원장치로 전원을 공급하여야 한다. 특히 열동장치나 CTC장치 등 주요 신호선비에는 무정전 전원장치를 이용한 정전압, 정 주파수의 안정된 전원이 공급되어야 한다.^[1]

신호용 전원장치는 전기연동장치를 사용하는 구간과 전자연동장치를 사용하는 구간에 따라 시

* 동아대학교 대표이사

** 한국철도공사 기술2팀장

*** 중앙대학교 전력전자연구실

시스템의 구성은 아래 표와 같다.

[표. 1] 신호용 전원장치 구성

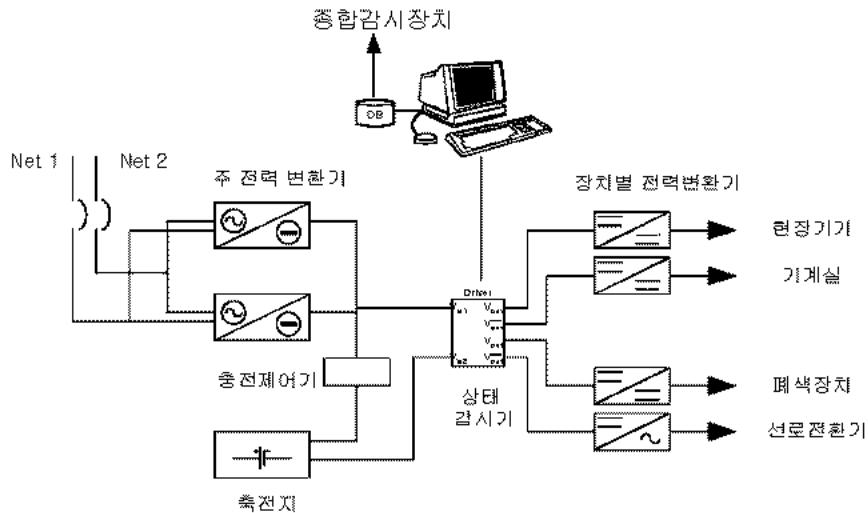
장치별	무정전전원장치	배전반	정류기	축전지	
				UPS용	정류기
전기연동장치	×	○	○	×	○
전자연동장치	○	○	○	○	○

3. 모듈형 파워 서플라이를 이용한 신호용 전원장치

철도 신호 시스템은 보수성과 안전성, 신뢰성이 높은 시스템 구성 방식이 채택되어야 한다. 철도신호용 전원시스템이 불안하면 연동장치를 비롯한 철도신호 시스템의 안전성을 보장할 수 없다. 따라서 신호용 전원시스템도 안전성과 보수성을 고려하여 고 신뢰성 제품을 사용하여야 한다.

모듈형 전원장치는 전원장치의 각 부분을 모듈로 구성하여 보수의 편리성을 도모하고 시스템을 병렬 운전함으로써 병렬시스템의 신뢰도를 확보할 수 있는 장점을 가지고 있다.

따라서 신호용 전원 시스템을 상태감시 시스템과 연계하여 구성하면 다음 그림과 같다.



[그림 1] 신호용 전원장치 구성도

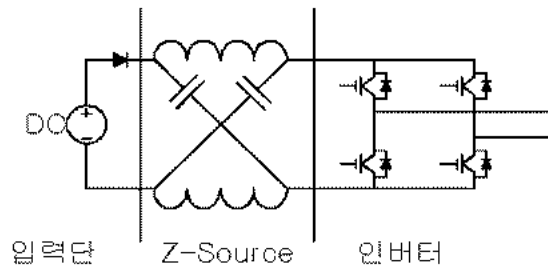
위 그림은 감시장치가 시설된 전원장치의 구성을 보여주고 있다. 두 개의 전원을 공급받아 주 전력 변환기를 거쳐 교류전원을 직류전원으로 변환하여 충전 제어기를 거쳐서 비상용 전원으로 사용할 수 있는 축전지를 충전하고 상태감시 모듈을 거쳐서 각 필요한 장치별로 별도의 직류/직류 또는 직류/교류 변환기를 거쳐서 각 현장 기기와 열차제어 설비에 전원을 공급하게 된다.

상태감시 모듈에서는 각 전력변환기의 온도, 전압, 전류 등을 감시하고 공급받는 전원의 상태를 감시하게 되며, 축전지 상태를 감시하게 된다. 공급받는 전원에 이상이 발생하면 보수자에게 통보하게 되고, 축전지를 이용하여 신호 시스템을 자동으로 가동하게 된다. 축전지가 일정 비율 이상으로 방전이 되면 상태감시 장치는 보수자에게 통보하고 현장기기를 자동으로 정지 시킨다.

또한 이러한 변화내용들은 상태감시 컴퓨터에 연결하여 기록하고 보수자로 하여금 기동 중에도 시스템의 상태를 판단하여 예방보수를 시행할 수 있도록 되어야 한다.

4. Z-Source 인버터

Z-Source 인버터는 X자 모양으로 된 L_1 , L_2 와 C_1 , C_2 의 2단자망 회로를 이용하여 직류 전원과 인버터를 연결하는 임피던스 소스를 이용 전압원과 전류원으로 동시에 사용할 수 있도록 한 형태이다. Z-Source 인버터는 Buck형과 Boost형을 동시에 이룰 수 있는 구조로 전압형 인버터나 전류형 인버터가 가지고 있는 입력 전원에 의한 출력전원의 제약을 극복할 수 있는 구조를 이루고 있다. 아래의 그림은 Z-Source 인버터의 구조를 보여주고 있다.^{[2],[3],[4]}



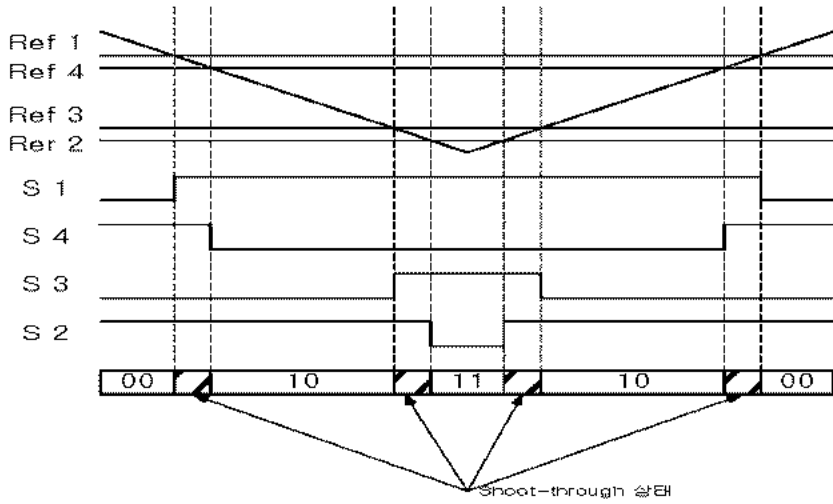
[그림 2] Z-Source 인버터 구조

일반적으로 전압형 인버터에서 단락상태를 금지하고 있으나, Z-Source 인버터는 이러한 상태를 허용하고 이를 통하여 인버터가 Buck형태로 동작할지, Boost형태로 동작할 지를 결정하여 준다.

1) Z-Source 인버터 동작

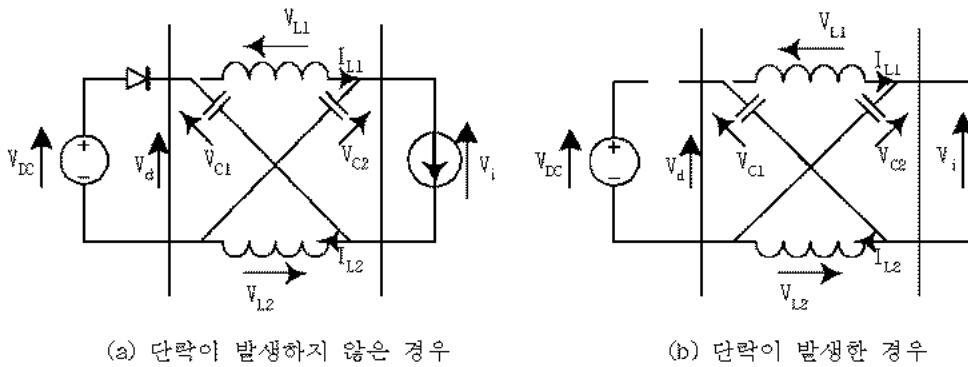
Z-Source 인버터는 일반적인 전압형 인버터나 전류형 인버터에서 금지하고 있는 스위치의 단락 상태를 이용하여 입력단의 임피던스 네트워크의 에너지 탕을 조정하여 Buck형 또는 Boost형을 결정하는 방법으로 동작한다. 따라서 일반적인 PWM 방식보다는 개선된 PWM방식을 사용한다.

Z-source 인버터에서 입력전압이 출력전압보다 높을 경우 일반적으로 사용하는 PWM 방식을 사용하여 단락상태를 없게 함으로 Buck형 인버터로 동작시키게 되며, 입력전압보다 높은 출력전압이 요구되면 아래의 그림에서의와 같이 단락상태를 만들기 위하여 게이트 신호를 위상변환 시켜 줌으로 Boost 인버터로 동작시킬 수 있다.



[그림 3] Z-Source 인버터 게이트 파형

Z-Source 인버터 등가회로는 단락상태가 발생하지 않은 조건과 단락상태가 발생하였을 경우 2조건으로 구분하여 작성하여 보면 다음과 같다.



(a) 단락이 발생하지 않은 경우

(b) 단락이 발생한 경우

[그림 4] Z-Source 인버터 등가회로

단락 상태가 발생하지 않았을 경우 나타나는 전압관계식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_L = V_{DC} - V_C$$

$$V_d = V_{DC}$$

$$V_i = V_C - V_L = 2V_C - V_{DC}$$

$$V_C = \frac{T_1}{T_1 - T_0} V_{DC}$$

위 식에서 직류 입력 최고 전압 \widehat{V}_d 와 교류 출력 최고전압 \widehat{V}_i 은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\widehat{V}_i = 2V_C - V_{DC} = \frac{1}{1 - \frac{2T_0}{T}} V_{DC} = BV_{DC}$$

$$\widehat{V}_x = M \frac{\widehat{V}_i}{2} = B \left\{ M \frac{-V_{DC}}{2} \right\}$$

단락 상태가 발생하면 인덕터의 전압과 커패시터의 전압이 같아지며 $V_i = 0$ 이 된다.

즉

$$v_{L1} = v_{L2} = v_L = V_{C1} = V_{C2} = V_C$$

$$V_d = v_L + V_C = 2V_C$$

$$V_i = 0$$

5. Z-Source 인버터를 이용한 신호용 전원장치

신호용 전원장치는 앞에서 언급된 바와 같이 우수한 신뢰성을 요구하는 설비로서 단일 시스템으로 운전하는 것 보다 부하 분담형 병렬 시스템으로 운전하여 전원장치의 신뢰성을 향상시켜야 한다.

Z-Source 인버터 두 대를 병렬로 운전하면 한 대의 인버터가 분담하는 부하는 전부하의 50%로 운전할 수 있다. 그러나 한 대의 인버터가 이상이 발생하면 나머지 한 대의 Z-Source 인버터를 Boost형으로 운전하여 100%의 부하로 운전하여 전원을 안정적으로 공급할 수 있다.

본 연구에서는 Z-Source 인버터를 병렬운전하여 전원장치를 구성하였고, 한쪽전원의 이상이 발생하였을 때 나머지 인버터를 Boost형으로 운전하여 출력의 변화를 시뮬레이션 하여 보았다.

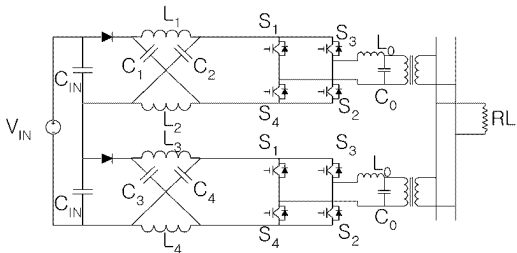


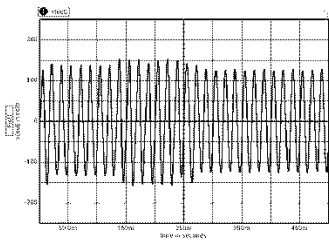
그림 5 | Z-Source 인버터를 이용한 병렬 인버터 구성도

8. 시뮬레이션 결과 및 고찰

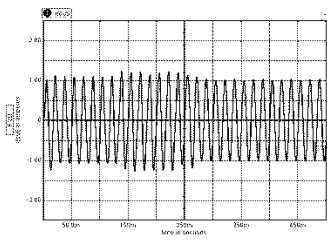
위 구조의 인버터를 ICAP4를 이용하여 시뮬레이션 하여 보았다. 입력전압은 DC 150V이고 Z-Source 네트워크의 L 과 C 는 각각 160 μ H와 1.000 μ F로 하였다.

아래의 결과에서 보면 250[ms]에서 V2에 이상이 발생하면 상단의 인버터가 Boost형 인버터로 구동되어 출력에는 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 또 이때에 상단의 인버터 Z-Source단의 인덕터에 흐르는 전류가 커져서 상단 인버터가 Boost형으로 구동되고 있음을 알 수 있다.

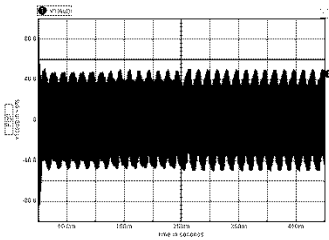
이상에서 알 수 있듯이 두 대의 인버터를 병렬로 50[%]의 부하에서 구동되게 함으로 전원장치의 신뢰성을 향상 시킬 수 있고, 특별한 부가 장치없이 인버터를 Buck형에서 Boost형으로 구동시킬수 있는 Z-Source형 인버터를 이용함으로써 경제적으로 전원장치를 구성할 수 있을 것이다.



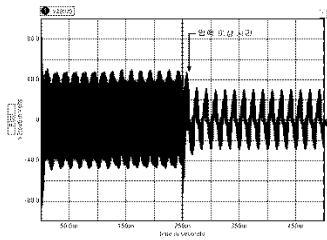
(a) 출력전압 파형



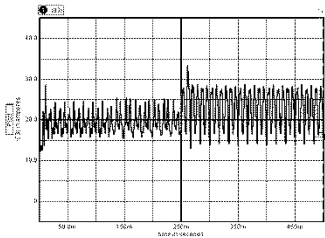
(b) 출력전류 파형



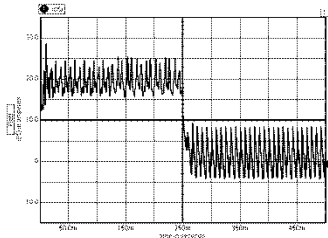
(c) 상단 인버터 출력 전압파형



(d) 하단 인버터 출력전압파형



(e) 상단 인버터 L1 전류파형



(f) 하단 인버터 L3 전류파형

[그림 6] 시뮬레이션 결과

7. 결론

신호용 전원시스템은 철도 신호시스템이 가지고 있는 신뢰성, 안전성을 이룰 수 있도록 하는 중요한 설비이다. 따라서 신호용 전원시스템 또한 신호 시스템에 맞는 신뢰성과 안전성을 보장할 수 있도록 구성되어야 한다.

본 연구에서는 신호용 전원장치의 형태를 절환방식이 아닌 인버터 병렬운전을 통한 부하 분담 방식으로 구현하고 시뮬레이션하여 보았다.

본 연구에서 사용한 Z-Source 인버터는 하나의 인버터를 이용하여 Buck형과 Boost형을 동시에 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 신호전원 중 한 전원에 이상이 발생하면 주 전원에 있는 인버터가 경직되고 이와 병렬 운전된 예비전원을 이용한 인버터가 100%의 부하로 구동되어 순간경전없이 주 전원의 경전에 대비할 수 있는 형태이다. 또한 전원장치를 모듈형으로 하여 인버터 자체의 이상이 발생하면 모듈 교환방식으로 신호용 전원시스템을 구현하고, 상태감시 시스템을 통하여 인버터의 이상을 보수자에게 통보하여 줄으로 보수의 편리성도 기할 수 있다.

참고 문헌

- [1] 한국철도공사, "철도신계신호편람" 한국철도공사, 2004
- [2] Fang Zheng Peng, "Z-Source Inverter", IEEE Transaction Application on industry applications, VOL. 39, NO. 2, 2003
- [3] Poh Chiang Loh, D. Mahinda Vilathgamuwa, Yue sen Lai, Geok Tin Chua and Yunwei Li, "Pulse-Width Modulation of Z-Source Inverters" IEEE, 2004
- [4] Xu Peng Fang, Zhao ming Qian, Qi Gao, Bin Gu, Fang Zheng Peng, Xiao ming Yuan, "Current Mode Z-Source Inverter-Fed ASD system", 2004 35th annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2004