

철도차량용 보조전원장치의 전향제어를 이용한 Flicker 제어

The Flicker Control by Feed-forward for Stabilization of CVCF Inverter

박 채 운*
Park Chae-Woon

신 형 진*
Shin Hyung-Jin

조 국 훈*
Cho Kook-Choon

원 충 연**
Won Chung-Yun

ABSTRACT

The auxiliary power supply system for passenger service of railway car has been developed from MA(Motor-Alternator) to CVCF Inverter (Static Inverter).

Generally, a customer wants to apply the new control method and device for auxiliary power supply of railcar. However, if the auxiliary power supply is supplied to extended existing line, the maintenance cost of the old system is less expensive than new developed system, so, the customer specifies that the auxiliary power supply has compatibility with existing one completely. At that time, the hardware is nearly same as existing system except small changes of accessories for better performance.

This paper describes the flicker control using feed-forward method of auxiliary power supply system for new 50 electric railcars, which are delivered to Korean National Railroad (KNR) Kwa-chon Line. The existing power supply system has damping resistor box to stabilize the DC input (1.5 kV). At this time, for better system efficiency the new system has not include resistor box but new control method including feed-forward control is applied. This control algorithm realizes the better stabilization of input power compared to the result of the existing system, which includes resistor box

1. 서론

철도차량용 보조전원 장치의 입력측의 전원 공진(이하 Flicker라 함)을 막기위한 방법으로 입력측에 저항을 설치하는 방법이 있으며 또한 소형 Band Pass Filter와 제어기의 제어기법을 사용하여 입력측의 전원 공진을 Damping하는 방법이 있다

Flicker를 억제하는 방법에는 다양한 방법이 있을 수 있겠으나, 본 논문에서는 당사에서 수주한 한국철도청 과천선(50R)에 설치된 보조전원장치의 전향제어를 이용한 Flicker 제어에 대하여 소개한다. 기존의 시스템에서는 저항기를 설치하여 Flicker를 억제하였으나 여기서는 기존 시스템의 주회로 및 제어기의 하드웨어는 변경하지 않고 시스템 종합효율 향상을 위해 저항기를 제거한 후 Flicker를 Band Pass Filter와 전향제어를 사용한 Flicker 제어기법을 사용하여 억제하는 방법을 소개한다. Flicker 제어기법을 도입하여 시험한 결과 저항기를 설치한 기존의 시스템과 동일하게 입력 전원의 Flicker를 억제하고 전원의 안정성을 유지할 수 있었다.

* 한국 철도차량㈜ 중앙연구소, 비회원

** 성균관대학교 전기공학과 교수, 비회원

2. 시스템 개요

2.1 기존 보조전원장치 개요

차량용 보조 전원장치는 가선의 전압을 이용하여 차량 내 승객서비스 전원을 얻어내는 장치이다. 아래의 그림은 기존 차량에 적용된 보조전원 장치의 시스템 주회로이다.

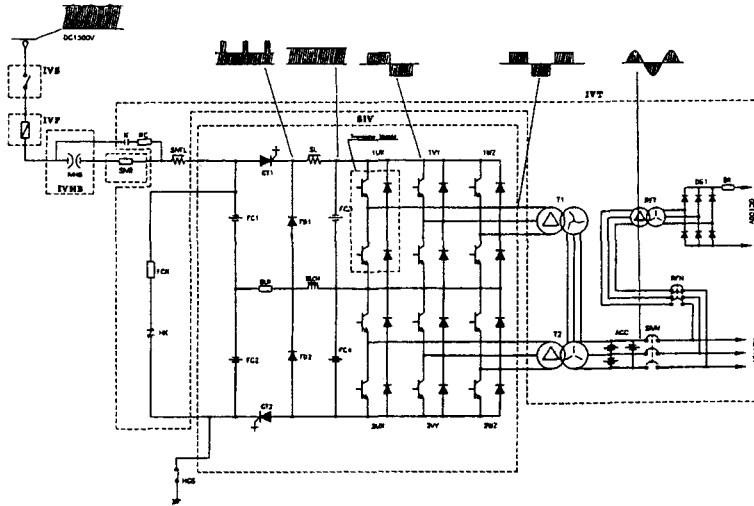


그림1. 보조전원 장치의 시스템 주회로도

주요 전력 시스템 구성은 입력 필터 및 초기충전 장치를 포함하는 입력부, 900V~1900V로 가변되는 입력전원을 안정된 중간전압(≈830V)으로 변경하는 2중 쇼퍼부, 중간 직류전압을 교류로 변경하는 인버터부와 출력 필터를 포함하는 출력부로 구분된다. 기존의 시스템에서는 입력전원의 Flicker 완화를 위해 저항기 박스를 설치하였다.

본 시스템의 특징은 최종 출력을 만드는 인버터부가 피드백을 받아 출력 전압을 제어하지 않고 중간 쇼퍼 전압을 그대로 6-스텝으로 스위칭하여 출력변환기 및 필터를 거쳐 출력을 생성한다. 즉, 출력측의 전압제어(440V, AC, 3상)를 인버터부에서 제어하지 않고 쇼퍼출력 전압만을 제어하여 최종 출력전압을 제어하는 방식을 취하고 있다. 또한 제어기에서 사용하는 시스템 신호들은 입력측 필터 캐패시터 1, 2 전압신호 (FC1 - chv1, FC2 - chv2) 및 출력 전압신호(outv)로 구성되어 있다.

2.2 기존 시스템의 제어 Block Diagram

다음에 나타낸 그림2 는 기존 시스템에 적용된 제어 Block도이다. 시스템의 3상 출력전압을 전과 정류한 outv 신호를 이용하여 중간 쇼퍼전압의 설정치를 보상하며, 보상된 쇼퍼전압 지령치와 실제 쇼퍼전압과의 차이를 이용하여 쇼퍼전압을 제어한다. 또한 FC1,2의 전압 불균형을 해소하기 위해 각각의 GTO의 Turn on Time(t_1 , t_2)를 보정한다. 인버터부는 앞서 설명한 것과 같이 출력전압에 따른 전압 제어를 행하지 않고 단지 쇼퍼 출력전압을 이용하여 단순히 인버터 스위칭을 통하여 교류 파형을 생성한다.

입력측의 Flicker 완화를 위한 저항기 박스를 제거한 상태에서 측정된 FC 1,2 전압과 FC 3,4 (쇼퍼 출력)전압은 그림3 과 같다.

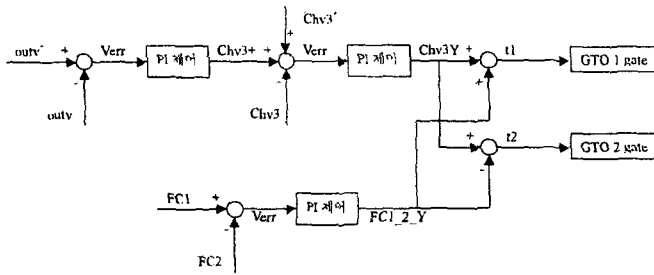


그림2. 기존의 제어 Block Diagram

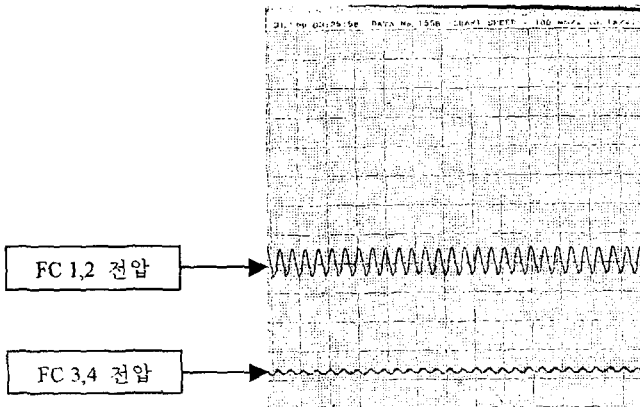


그림3. 시스템 입력전원 측정파형

그림3의 상부파형은 FC1,2 전압 파형으로 약 1450V를 기준으로 180V p-p를 갖는 맥동이 나타나며, 하부파형은 FC3,4 전압 파형으로 약 830V를 기준으로 30V p-p를 갖는 맥동이 나타난다. 그림3에 나타난 것과 같이, 효과 출력에 맥동이 포함되어 있으면 앞서 말한 바와 같이 인버터부는 별도의 제어를 행하지 않기 때문에 출력전압에도 그대로 전달되며 이것이 차량 객실 형광등 램프가 깜빡거리는 현상으로 나타난다.

3. Flicker 현상과 대책

3.1 Flicker 현상 및 원인 분석

보조전원 장치의 Flicker현상은 그림4(a)에서와 같이 두대 이상의 보조전원 장치가 동일 전원 구간에서 운전될 때 입력단 필터 리액터(FL)와 필터 캐패시터(FC), 그리고 제어기의 상호 작용으로 발생하게 된다. 입력단 필터 FL과 FC는

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{(FC) * (FL)}}$$

의 공진 주파수로 공진하려는 속성을 가지고 있으며, 시스템의 부하변동 등으로 인하여 공진주파수 성분의 고조파 성분이 인버터부에서 발생하게 되면 이 속성이 발발한다.

이 Flicker 주파수 성분의 크기는 시스템의 손실 등과 맞물려 한정된 크기의 진폭을 갖는다. Flicker에 대한 등가회로는 그림4(b)와 같다. 따라서 Flicker를 쉽게 억제할 수 방법이 그림1에서 표시된 바와 같이 필터 리액터에 직렬로 저항기 박스를 설치하는 것이다. 그러나 이것은 직류

가 저항기에 통전되기 때문에 발열량이 대단히 커서 시스템 효율을 저하시키고 장치의 크기 및 가격의 상승을 초래한다.

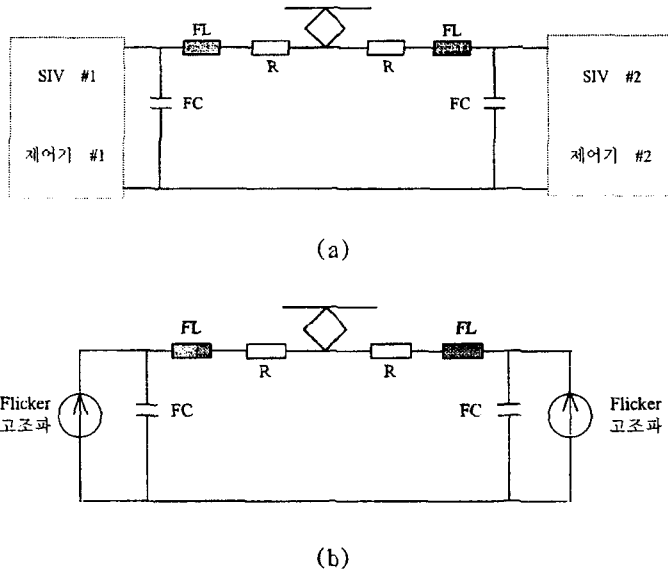


그림4. Flicker 발생 현상 (a) 두대의 보조전원 장치 동작상태, (b) Flicker 에서의 등가회로

또 다른 방법은 필터 리액터 FL 에 병렬로 Flicker 주파수 성분만을 통과시키는 RLC 로 구성되는 Band Pass Filter (BPF) 를 구성하는 것이다. 이 BPF는 직류성분의 전류는 통전하지 않기 때문에 직렬로 인가한 저항기 박스에 비해 효율이 개선된다. 그러나 BPF 만으로 Flicker 를 억제할 경우 용량이 커지게 되므로, 본 논문에서는 디지털 제어기 내에서 전향제어를 추가하여 BPF의 용량을 최소화하고 시스템의 효율은 증대 시키고자 하였다.

3.2 Flicker 현상에 대한 대책

앞서 간략히 소개한 대로 본 시스템에서 제어 입력으로 사용할 수 있는 신호는 FC1,2 전압(chv1, chv2) 과 출력전압 (outv) 신호이다. Flicker를 억제하기 위한 제어 Block Diagram을 그림5 에 나타내었다.

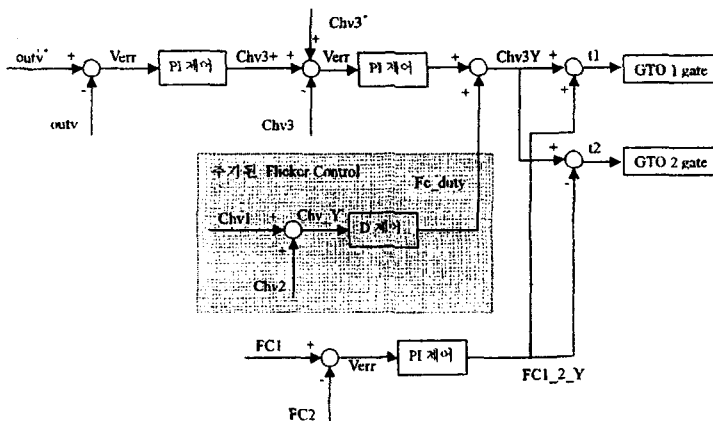


그림5. 새로운 제어기에 사용된 Block Diagram

FC1,2 전압으로부터 기울기를 감지하여 Flicker양을 감지하였고 이로부터 초과단의 on 시간을 보정하는 방법으로 출력전압의 부 궤환에 의하지 않고 바로 입력전압을 감지하여 전향제어 하였다. 또한 보조전원 장치가 고 전압 영역에서 운전되고 있을 때에는 Flicker 제어가 적절히 동작하지 않는 문제가 발생하였는데 이것은 다음과 같은 방법으로 해결하였다.

FC1,2 전압을 Chv_Y 이라 하고, FC3,4 (초과출력) 의 전압을 Vo라 하였을 때 초과단의 dutyD 로부터 다음 관계식이 성립한다.

$$V_o = D * Chv_Y$$

따라서 duty D 에 ΔD 만큼의 변위를 가하였을 때의 초과전압의 변동폭 ΔV_o 는 다음과 같다.

$$\Delta V_o = \Delta D * Chv_Y$$

이와 같이 동일한 duty 에 대한 초과 출력전압의 변동폭은 입력전압의 크기에 의존하게 된다. 따라서 전향제어의 이득을 일정하게 했을 경우 초과 출력전압의 변동폭은 입력전압의 크기에 따라 변화하게 되어 마치 입력전압의 크기에 따라 이득이 변화하는 효과를 가져오게 된다. 즉 입력전압이 높은 경우는 이득이 증가하게 되고 낮은 경우는 이득이 감소하게 되어 고 전압 영역에서는 큰 제어 변동폭으로 인한 문제를 야기시키게 된다. 따라서 전향제어 이득을 그림6 과 같이 입력전압에 따라 가변화 하여 이러한 문제를 해결하였다.

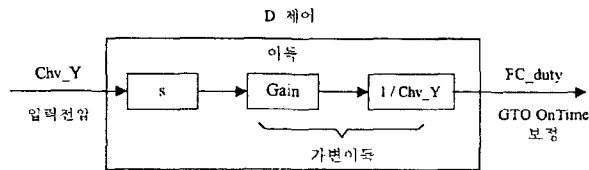


그림6. 가변이득을 갖는 전향제어

최종 출력 전압에 영향을 주는 입력전원의 Flicker를 억제 시키는 여러가지 방법을 사용하였으나, 본 절에서 사용한 방법으로 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 상기 제어기법을 사용하여 Flicker 제어를 행했을 때 측정된 파형을 그림5 에 나타내었다. 그림에 나타난 것과 같이 FC1,2 및 FC3,4 에 존재하던 맥동이 Flicker 제어에 의해 Damping되어 억제됨을 볼 수 있다.

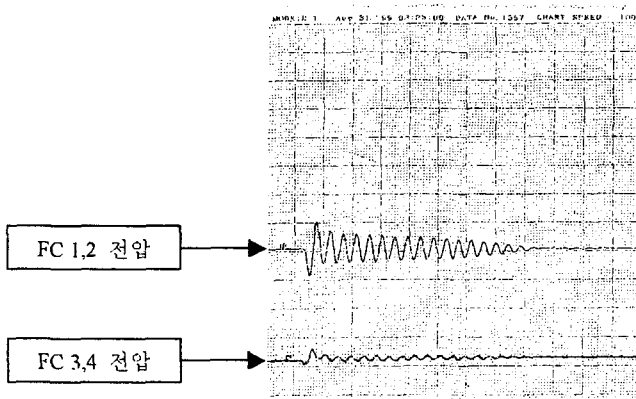


그림3. 시스템 입력전원 측정파형

4. 결론

본 논문에서는 다양한 사용자의 요구에 따르면서 주어진 사양을 만족하고 보다 향상된 성능을 달성하는 방법의 한 예를 소개 하였다.

입력 전원의 Flicker 억제를 위해 설치한 저항기 박스를 제거하여 전체적인 시스템 효율을 향상시켰으며, 이를 대체하기 위해 RLC 로 구성된 BPF를 설치하고, 이와 동시에 기존에 사용한 제어 기법에 입력 전압 전향제어를 사용한 Flicker 제어를 도입하여 Flicker를 억제하였다.

이 방법을 사용하여 보조전원 장치의 전 운전영역 (입력전압 및 부하) 에서 시험한 결과 기존의 저항기 박스를 설치한 시스템과 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

참고 문헌

1. MCS-96 Macro Assembler User's Guide for DOS System, Intel Corporation
2. 과천/분당선 인버터 제어 전동차 매뉴얼, 대우중공업, 1994