

직류구간 모진에 의한 전동차 주변압기 손상방지에 관한 연구

A Study on the Protection of Main Transformer when Train falls into DC Transmit Area

윤차중*, 이을재[†], 김재문**

Chajung Yun*, Euljae Lee[†], Jaemoon Kim**

초 록 본 논문은 전철 교류구간 및 직류구간을 교차 운행하는 전동차에서 직류구간으로 모진한 차량의 주변압기 과전류 발생을 신속히 방지하는 방법에 대하여 설명한다. 제안된 방법에서는 판토품의 채터링이나 변압기 돌입전류에 의한 직류성분 제거를 위해 디지털신호연산장치(DSP)와 직류 변류기(DCCT)를 적용하고 입력되는 전류신호에 대해 직류 및 교류 성분의 증폭 및 강조를 위한 전처리를 수행하였다. 이후 각각의 판별항목에 대하여 가중치를 다르게 부여한 다수결 회로를 적용하여 100ms 이내에 직류 및 교류전류를 판별한다. 부가적으로 차량의 접촉기 신호를 입력하여 판단 항목을 추가할 수 있으며 이 경우 판별의 정확도가 상승한다. 시뮬레이션과 축소모델을 통해 제안된 방법의 유효성을 검증하였다.

주요어 : 전철차량, 주변압기, 직류/교류 전차선, DSP, 직류변류기

1. 서 론

수도권 및 근교를 운행중인 광역전동차량의 경우 교류(25kVac)구간 및 직류(1.5kVdc)구간에서 교차운행이 가능한 가변전원용 전동차량이 상당수 운행되고 있다. 이 차량은 전차선 공급전원이 변경되기 전에 차량의 동작상태를 교류 혹은 직류로 변경해야 하고 사구간을 통과하고 나면 자동적으로 해당 전원에 동기되어 차량이 운행된다. 이 과정은 현재 대부분 수동으로 동작되며 2021년 이후 출시되는 전동차량에서는 전환과정이 자동으로 수행될 예정이다. 수동전환의 경우 차량의 동작속도, 사구간의 길이 및 여타의 이유에 의하여 종종 전원스위치의 전환조작이 완료되기 전에 새로운 전압 전차선으로 모진하여 차량의 고장을 유발하는 경우가 발생한다.

차량의 모진에서 특히 문제가 되는 것은 교류전원에서 직류전원으로 진입하는 경우이다.

이 경우 차량의 전원시스템은 주변압기를 포함한 교류시스템으로 설정되어 있는데 갑자기 인가된 직류전압은 주변압기에 이론상 무한대의 전류가 흐르게 하므로 심각한 손상을 초래한다. 이를 방지하기 위하여 주변압기 직전 단에 보호용 퓨즈가 직렬로 삽입되어 과전류가 발생하면 전원이 차단되도록 설계되었다. 하지만 퓨즈의 경년변화에 따른 오동작, 서지 및 고조파 전류 등에 의하여 정상상태에서도 퓨즈가 끊어지는 사고가 빈번히 발생하여 운행에 심각한 차질을 일으키고 있다[2]. 본 논문에서는 교류상태에서는 동작하지 않지만 직류 전류가 유입되면 신속히 동작하여 변압기의 손상이 발생하기 전에 차량전원을 차단시키도록 하는 주변압기 손상방지 방법에 대하여 제안한다.

2. 본 론

2.1 교류/직류 검출장치 동작조건

Fig. 1은 교류/직류 가변차량의 전원입력부를 간략히 나타낸 것이다. 그림에서 주차단기(MCB)는 차량고장 발생시 전차선과 차량을

[†] 교신저자: 이경산전주식회사
(euljae@e-kyoung.com)

* 한국철도공사(Korail) 연구원

** 한국교통대학교 교통대학원

신속히 분리하는데 사용된다. 교류/직류의 변환은 교직전환스위치(ADCg) 스위치에 의해 수행된다. 주퓨즈(MF)는 ADCg의 후단에 위치하므로 직류구간에서는 동작하지 않는다. 점선으로 표시된 부분은 본 논문에서 제안하는 보호장치로 주변압기에 흐르는 전류의 형식을 판별하고 직류구간 모진으로 판단되면 MCB에 트립신호를 전송한다.

제안한 장치는 직류구간에 모진한 차량의 주변압기를 보호하는 것이 목적이므로 하기와 같은 조건에서 동작하는 것을 목표로 설계되었다.

- 1) MF의 유무와 무관하게 모진에 따른 주변압기의 손상방지 기능이 유지될 것
- 2) 사구간에서 오동작하지 않을 것
- 3) 교류구간 진입시 돌입전류에 의한 직류성분 판별이 가능할 것
- 4) 직류구간에서 판토타터링에 의한 교류전류 판별이 가능할 것

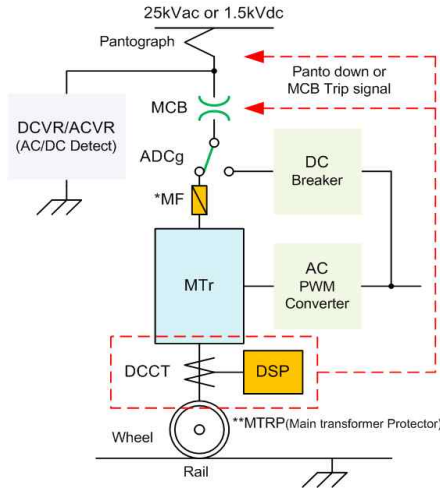


Fig. 1 The main transformer connection in AC/DC train and proposed protection system(MTRP).

2.2 교류/직류 전류 판별 알고리즘

주변압기에 흐르는 전류의 형태를 판별하기 위해 디지털신호연산장치(DSP)와 직류변류기(DCCT)를 이용한다. 전류의 시간 기울기, 크기, 주기성 및 변화량 등을 종합하여 모진여부를 판별한다. DCCT를 통해 검지되는 전류에 대해 직류 및 교류성분을 증폭하고 강조하기 위해 아날로그필터와 디지털필터를 이용하여 전처리(Preprocessing)를 수행한다.

아날로그 필터부에서는 저역통과필터(LPF)를 사용하여 검출된 신호에 포함된 고주파수 노이즈를 제거하였고 디지털 필터부에서는 직류강조를 위한 이동평균필터(MAF)와 주기성강조를 위한 대역통과필터(BPF)를 구현하였다. 이동평균필터는 넓은 주파수 범위에 걸쳐 발생하는 백색잡음(white noise)에 대하여 감쇄 능력이 뛰어나며 시간영역의 스텝값과 같은 비선형 값(Pantograph의 이선 등에 해당)에 대해서는 대체적으로 통과시키는 특성이 있어서 직류성분과 교류성분을 동시에 강조해야 하는 본 연구에 매우 적합하다.

Fig. 2는 본 연구에 적용된 교류/직류 판별 알고리즘을 나타낸 것이다.

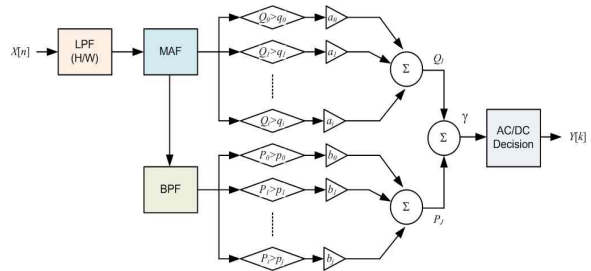


Fig. 2 The algorithm of AC/DC decision logic for proposed system(MTPR).

직류/교류 판정 알고리즘은 다음과 같다. 디지털 필터의 출력으로 발생된 전처리 값에 대해 프로그램 내에서 여러 가지의 비선형 알고리즘을 적용하고 각각의 출력값에 대하여 가중치를 곱해 합산한 후에 최종적으로 이 값이 문턱값을 초과하는 경우 직류 혹은 교류로 판별한다.

$$\gamma = \sum_{i=0}^I a_i Q_i + \sum_{j=0}^J b_j P_j \quad (1)$$

$$\text{if } \gamma > (Q_{sh} - P_{sh}) \text{ then AC} \quad (2)$$

$$\text{if } \gamma > (P_{sh} - Q_{sh}) \text{ then DC} \quad (3)$$

식 (1)은 직류/교류 증폭 함수식이고, 식 (2)와 (3)은 문턱값 처리식이다.

2.3 필터회로 시뮬레이션 결과

필터회로의 전처리 능력을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 회로는 주변압기에 교류 25kV와 직류 1.5kV를 선택적으로 연결하고 변압기 1차측 전류를 검출하여 설계된 디지털 필터가 정상적으로 동

작하는지 확인하였다. 검증내용은 다음과 같다.

- 1) 교류입력 : 주변압기 돌입전류에 의해 교류성분과 직류성분이 중첩되는 구간에서도 교류성분이 강조되는지 확인
- 2) 직류입력 : 채터링이 발생하여 순간 교류가 입력되어도 교류전원과 구분이 가능한지 확인

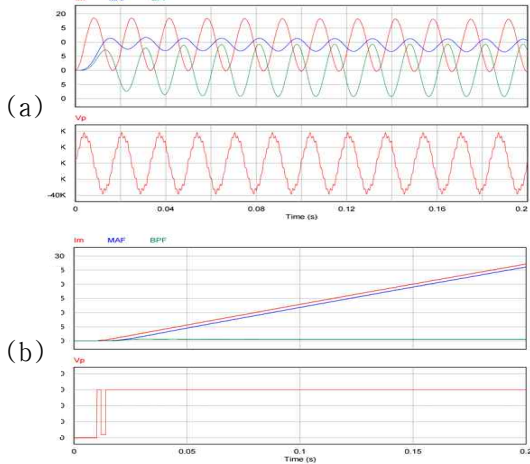


Fig. 3 Simulation results (a) AC with transformer inrush current, (b) DC with panto chattering.

Fig. 3은 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로 과도조건에서도 필터의 출력은 교류 및 직류의 특성이 잘 강조되어 보여지고 있다.

2.4 검증용 축소시스템 구축

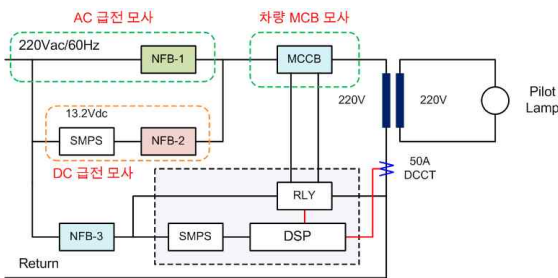


Fig. 4 Reduced system structure for verification.

제안된 시스템에 대하여 Fig. 4와 같이 모의 축소시스템을 구축하여 유효성을 검사하였다. 교류와 직류전압의 비는 25kV:1.5kV에 대하여 220V:13.2V로 적용하여 트랜스포머에 인가되는 전류의 비가 실제차량과 유사하도록 고려하였다. Fig. 5에 교류 및 직류를 순차적으로 인가하여 제안된 방안에 의해 주변

압기가 보호되는지 나타내었다. 설계에서 정의한대로 돌입전류가 포함된 AC 전압 인가시에는 MCB가 차단되지 않았으나 직류전압 인가의 경우 약 0.08초 이내에 MCB가 트립되어 변압기가 직류전류로부터 보호되었다.

Fig. 5 Exp. results (a) AC with no trip of MCB, (b) DC with trip of MCB.



3. 결론

본 논문에서는 기존시스템의 변경없이 간단히 DSP와 DCCT를 추가하여 직류구간 모진에 의한 주변압기의 손상을 방지하는 방법에 대하여 제안하였다. 제안된 방법은 시뮬레이션과 축소모델을 통하여 검증하였으며 직류전압 인가시 100ms 이내에 보호용 신호를 출력하였다. 제안된 장치는 구조가 매우 간단하므로 차량설치가 어렵지 않다. 또한, 복잡한 논리를 추가할 필요가 없기 때문에 시스템의 구조가 대폭 단순해지는 장점이 있으므로 경제적인 설치가 가능하다.

참고문헌

- [1] A. Guzman, et al (2001), A Current-Based Solution for Transformer Differential Protection – Part I: Problem Statement, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 16. No. 4.
- [2] Korail Report (2021), Malfunction of main fuse in Electric train(EMU), Dept. of Wide area trains.