

전동차의 리액터 코일의
절연물 열화 모니터링 시스템 구축

Insulation deterioration monitoring system
construction of reactor coil of the rolling stocks

안종곤 김동민 황남훈 박순명 원봉의
Ahn jong kon, Kim dong min., Hwoang nam hoon, Park soon myung, Won bong eue

2008. 6.

서울 메트로
지축 차량사무소

전동차의 리액터 코일의 절연물 열화 모니터링 시스템 구축.
Insulation deterioration monitoring system for the reactor coil of
the electric trains .

안중곤 김동민 황남훈 박순명 원봉의
Ahn jong kon, Kim dong min., Hwoang nam hoon, Park soon myung, Won bong eue

ABSTRACT

All electric trains in the city should be run without any troubles of the equipments in order to offer good services to the passengers. But some breakdowns occur when they are operated due to the long time uses. There are mechanical troubles and electrical troubles included reactors. Most of them, the reason of the troubles can be found out easily after breakdown. But it is difficult to find out the reasons of the reactor troubles which disappear after operation. The reactors of the train filter the current which supplied from electrical lines and supply the current to the inverter and block the ripple of the current. Partial discharge occur from the reactor by the heat. accordingly, If the signals of discharge were perceived, it could be anticipate the deterioration degree of insulation. In this paper, on-monitoring system for reactor's troubles in trains is established and the output results of monitoring system are investigated.

1.서론

연구의 배경은 도심에서 운행되는 전동차는 승객들을 목적지에 신속 정확하게 안전수송을 하기 위해서는 전동차의 성능이 양호하여야 한다 그러나 장시간 운행으로 인하여 전동차 각 부의 장치 고장으로 운전 장애를 발생하여 안전운행에 지장을 초래하고 있다.

여러 종류의 고장이 발생되고 있으나 대체적으로 고장의 원인 분석이 가능하나 리액터의 고장 종류는 운전 중에는 측정이불가하며 리액터의 열화가 증가시 절연물을 파괴하여 전동차의 운행을 중지시키는 사고를 일으킨다 또한 정지시에는 열화의 정도가 감소되어 정상상태로 되며 절연물의 열화측정 및 원인 분석이 불가능하여 전동차 정비에 어려움을 겪고있다 전동차의 리액터는 전차선에서 고전압의 전원을 공급 받아서 전류를 평활하여 인버터에 전원을 공급하여 주며 또한 인버터내의 고조파성분을 가선으로 유입되는 것을 저지하는 역할을 하고 있으며 장기간 사용으로 인하여 리액터 내부의 돌발적인 사고로 고장이 발생하고 있다. 리액터 절연물의 열화로 인하여 코일의 단락이 발생하기 전에 부분방전이 발생 한다 그러므로 방전신호를 감지하면 절연물의 열화정도를 감지할 수 있다.

리액터 코일의 절연물의 열화 진단방법은 여러 가지 방법이 있으나 운전중의 진단방법으로 부분 방전 검출방법을 많이 채택하고 있다.안정적인 전기에너지 공급을 위해서는 리액터의 변화 상태 즉 리액터 코일의 절연물의 열화 진단 점검 및 확인하는 장치가 필요하다.

고압 절연기기의 절연물을 On-line으로 진단하고자 하는 연구가 선진국을 중심으로 광범위 하게 진행되고 있다.

2. 이론적 고찰

1) 리액터 역할

전기 회로에 시간에 따라 변하는 전류나 교류 전류를 흘려줄 때 그러한 전류의 흐름을 방해하는 저항의 정도. 전류가 도체 내에서 한 방향으로 일정하게 흐를 때는 전기저항 (electrical resistance)이라 부르는 저항이 생기지만 리액턴스는 생기지 않는다. 그러나 전류가 도체 내에 흐르면 저항뿐만 아니라 리액턴스도 생기게 된다. 리액턴스는 스위치를 닫거나 열면서 전류가 안흐르다가 정상상태로 되거나 그 반대로 되는 아주 짧은 순간에도 생겨난다.

2).열화 진단 방법

리액터 코일의 절연물 열화로 인하여 코일의 단락이 발생하기 전에 부분방전이 발생 한다 그러므로 방전신호를 감지하면 절연물의 열화정도를 감지할 수 있다.

리액터 코일의 절연물의 열화 진단방법은 여러 가지 방법이 있으나 운전중의 진단방법으로 부분 방전 검출방법을 많이 채택하고 있다.

3)부분 방전 (PD: Partial Discharge)

전동기 · 콘덴서 · 케이블 등 전기 기기의 절연체중에 미소한 공극장 결합등이 있으면, 그 부분에 전계가 집중해, 미약한 방전이 발생합니다. 이것이 부분 방전이라고 하며 이것에 의해 절연체가 열화 되어 장시간 후에는 절연 파괴에 이르는 일이 있습니다. 이러한 부분 방전에 수반하는 미약한 펄스 신호를 측정하는 것으로써, 절연 결함을 조사하는 것이 부분 방전 측정입니다.

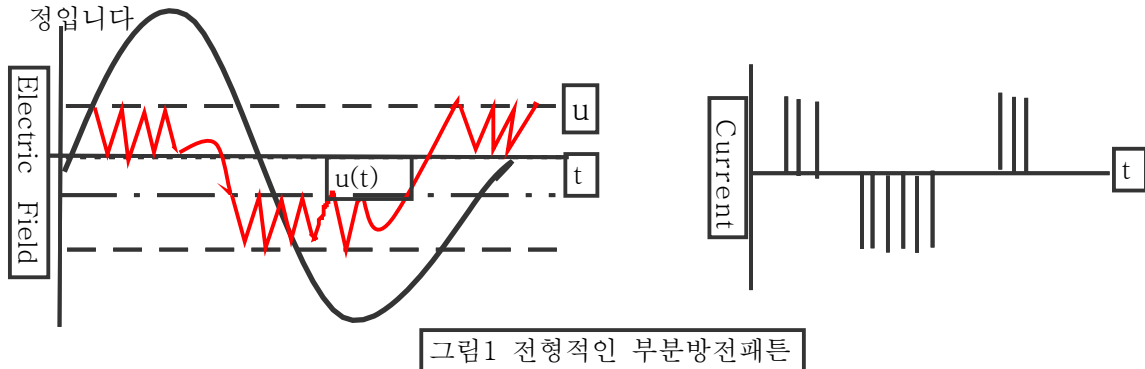


그림1 전형적인 부분방전패턴

4).외부 잡음의 제거 및 신뢰성 확보

문제점으로 운행중 선로주변에서 가능한 외부 잡음에 의한 영향이 적어야 하며, 측정 결과에 대한 신뢰성이 높아야 한다. 위의 사항들을 고려하여 전자파 감지 방식을 채택하였는데, 활선상태 진단이 가능하며 감도가 우수하고, 비접촉 또는 절연 접촉으로 측정 시스템 및 측정자의 안전이 보장된다.

방안으로, 그림 2와 같은 전자파(RF: radio frequency) 신호의 적분 결과를 이용하고, 무전기 전파와 같은 연속적인 고주파 노이즈 신호는 적분 결과가 DC 레벨로 나타남으로 적분 과정에서 제거시키는 방법을 채용하였고,

최종 획득 데이터의 주파수 스펙트럼 분석을 통해 외부 잡음의 영향을 최소화하면서 측정 결과의 신뢰도를 높였다.

5).잡음의 제거 방법

설계 회로는 그림 2에서 예측되는 RF 신호 파형과 RF 신호의 적분 결과 파형 및 이를 획득하기 위한 설계 회로이며. 부분방전에 의한 RF 신호는 그림에 나타낸 바와 같은 형태를 가지며 지속 시간은 최대 수십 μsec 로 매우 짧다. 하지만 이를 증폭하여 적분하면 안정된 값을 얻을 수 있고, 만약 연속적인 고주파 노이즈가 삽입된다면 적분 결과에 일정 레벨의 직류 성분이 더해지는 결과를 가지며, 디지털 데이터로 변환하는 과정에서 분석하여 제거시킨다. 적분 결과 파형에서 감쇄 부분은 저항 R2를 통한 방전에 의해 이루어지며, 지속적인 고주파 신호가 DC 레벨로 나타나는 이유도 저항 R2가 있기 때문이다.

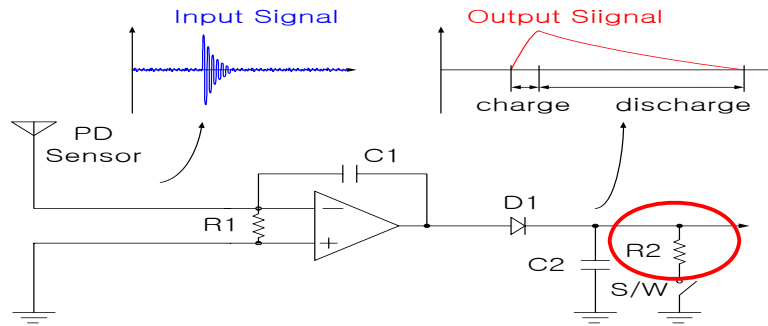


그림 2. 예측되는 RF 신호 파형과 RF 신호의 적분 결과 파형 및 설계 회로

6)부분 방전 감지방법

부분 방전 감지방법은 도체라인에 고주파전류 감지를위한 COUPLING CAPACITOR를 부착하는방법과 권선 중성점 접지선에 RFCT(radio frequency current transducer)를 장착하는 방법 및 RF antenna를 설치하는 방법이있다

가) COUPLING CAPACITOR방식

가장 정확한 방법이며 설비의 안정성을 저해한다

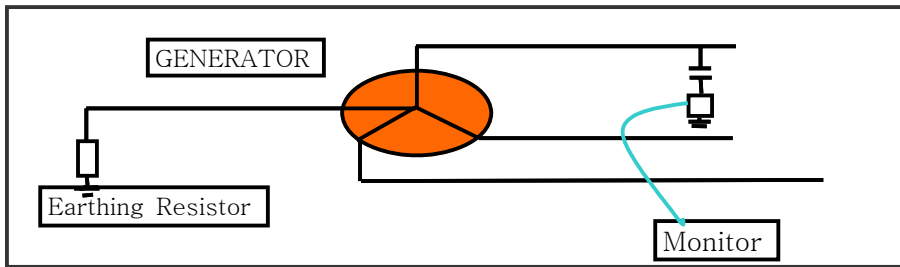


그림3 COUPLING CAPACITOR방식

나)RFCT방식

정확한 측정이 가능한 방법이며 설비 하기도 쉽다

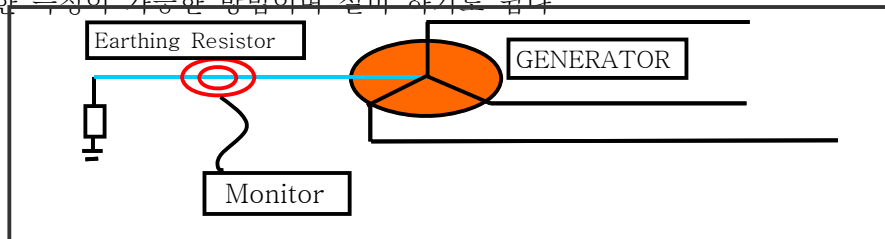
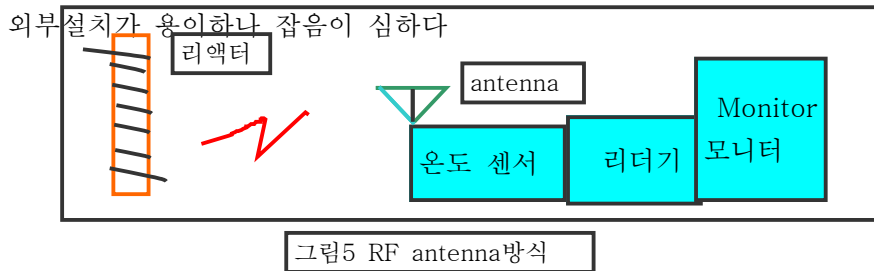


그림4 RFCT 방식

다) RF antenna방식



7).부분 방전량

부분방전에 의한 RF 신호대역은 50~500MHz 대역만 통과하도록 증폭 후 필터를 통과한다. 필터링 된 신호는 그림 6 같은 적분 회로를 통과하여 디지털 데이터로 변환되며, FFT에 의한 스펙트럼 분석을 통해 전원 주파수의 2배 주파수 성분을 추출할 수 있다.

부분 방전량은 부분방전이 발생하는 부분에 인가되는 전압 U1 과 정전용량 C1의 방전용량 Q1으로 표시된다.

즉, $U1=1kV$ 정전용량 $C1=1000pF$ 이면 방전용량 $Q1=U1*C1=1kV*1000pF=1000pC$ 이 된다.

방전용량에 따른 판단

기준은 지속적인 data 수집에 의한 변화를 관측함으로써 기준을 잡을 수 있으나 일반적인 기준은 하기와 같다.

1. $Q < 500pC$: 즉각적인 PD 불량은 아님
2. $500pC < Q < 5000pC$: PD 불량이 존재하나 계획된 정비기준으로 실시
3. $Q > 5000pC$: PD 불량이 위험한 상황이며 즉각적인 정비를 실시하여

리액터의 열화정도를 진단하여 신뢰성있는 data 및 이력관리로 사전예방정비가 가능하다

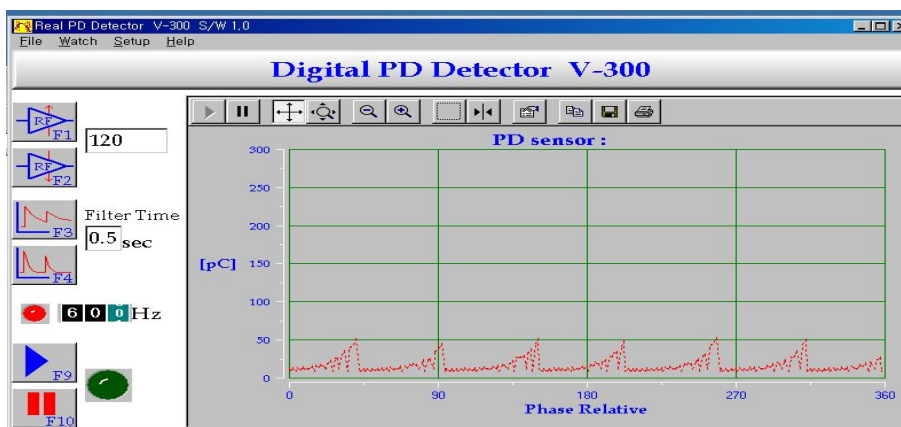


그림6 측정 data Sample

3. 전동차 리액터(FL/SL 변압기) 열화 및 검출

1) 전동차 리액터

전동차가 DC 1500V 가선전압을 받는 DC 구간에서 운행될 때 입력전압에는 많은 고조파 전압성분(Ripple 전압)이 포함되어 있다.

이 Filter Reactor는 후단에 연결된 Capacitor와 결합되어 L-C Filter를 구성하여 고조파 성분을 제거하기 위하여 사용되며, 이 Ripple 전압이 제거됨으로써 Inverter의 동작을 안정적으로 양호하게 한다.

또한 Filter Reactor의 특성을 어떠한 경우에도 양호하게 하기 위하여 자기 포화되지 않고 선형특성을 갖는 Air Core 방식으로 설계, 제작되어 있다.

표1 Filter Reactor 사양

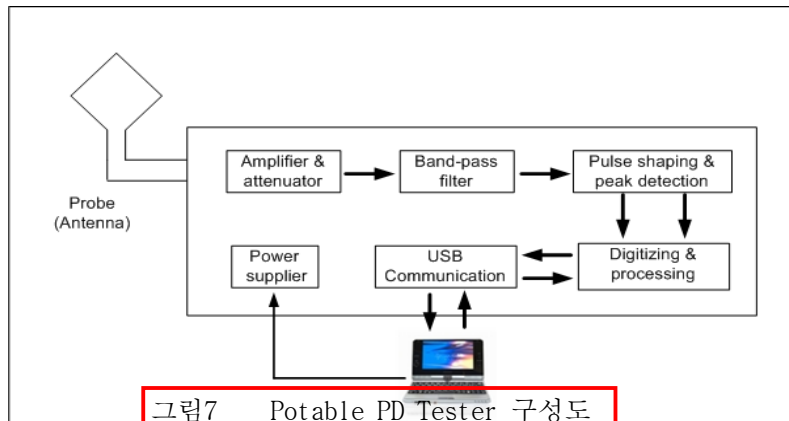
형 식	RT-41C
방 식	Air Core
냉 각 (주1)	건식강제 풍냉방식
정 격	연속
Inductance (mH)	8.0±10%(AT 1000A)
전 류 (A)	550A
회 로 전 압 (V)	1500 V
절 연 종 별	H
내 전 압 (V)	AC 3500V(1분간)
중 량 (Kg) (주2)	290

4. 검출 방법

1) RF antenna 방식

RF antenna를 설치하는 방법은 전동차량과 같이 움직이는 동체 및 활선상태의 고압기기를 안전하게 진단하는 방법으로 이를 적용한 **Potable PD Tester** 장비를 적용하고자 한다.

전동차량 FL/TR/SL 열화진단을 위한 부분방전 검출 장치개발은 전동차량의 주회로 전원제어가 VVVF인버터 제어방식이 주로 사용되면서 서지전압 및 전류에너지를 흡수하기 위한 리액터(FL/TR/SL 등)가 사용된다. 이러한 리액터는 고전압, 고전류로 인한 열화가 진행되면서 전력차단 및 절연물 발열로 인한 화재 등으로 문제를 야기 시킬 수 있다.



2). Potable PD Tester의 내부 기능.

가. Amplifier and attenuator

안테나에서 잡히는 부분방전 신호는 아주 미소하기 때문에 미소 방전을 계측단계까지 전송하기 위해서 신호의 증폭이 필요하다. Amplifier에서 최대 1000배까지 증폭하며 부하의 영향을 덜 받도록 발진회로의 안정성(주파수, 출력레벨)을 개선하기 위해 감쇠기가 사용된다.

나. Bandpass filter

안테나에서 측정된 RF파형은 전원주파수, 노이즈, 부분방전 펄스신호 등 여러 가지 신호들이 복합적으로 포함되어 있다. 이 신호들 중에서 결함에서 발생된 진성 부분방전을 검출하기 위해서는 필터의 설계가 필수적이다. Band Pass Filter를 사용하여 주파수 분석법에 의해 탁월한 노이즈 저감효과와 50-300MHz 대역의 부분방전 신호를 필터링한다.

다. Pulse shapping and peak detection

필터링된 신호는 적분 회로를 통과하여 변동 성분의 피크값 만을 확보하여 디지털이징을 위한 신호를 추출한다.

라. Digitizing and processing

적분회로를 통과한 디지털 데이터로 변환되며, FFT에 의한 스펙트럼 분석을 통해 전원주파수의 2배 주파수 성분만 취함으로써 발생하는 산발적 잡음을 제거할 수 있다.

마. USB Communication

TI3410을 통한 USB 통신으로 프로세서의 data를 노트북의 운영 프로그램에 송수신한다.

바. Monitor

측정된 PD data를 화면에 display한다.

사. Power supply

전원 및 컨트롤 전원을 공급한다.

6. 결론

리액터의 고장 종류는 운전 중에는 측정이불가하며 리액터의 열화가 증가시 절연물을 파괴하여 전동차의 운행을 중지시키는 사고를 일으키며 장기간 사용으로 인하여 리액터 내부의 돌발적인 사고로 고장이 발생하고 있다. 리액터 절연물의 열화로 인하여 코일의 단락이 발생하기 전에 부분방전이 발생 한다 그러므로 방전신호를 감지하면 절연물의 열화정도를 감지할 수 있다. 안정적인 전기에너지 공급을 위해서는 리액터의 변화 상태 즉 리액터 코일의 절연물의 열화 진단 점검 및 확인하는 장치가 필요하다.

지하철 전동차량의 전력시스템 및 리액터의 열화정도를 진단하기위한 여러 가지 방법 중에서 Potable PD Tester 장비는 사용이 간편하면서도 신뢰성있는 data 및 이력관리로 인해 사전예방정비가 가능할 것으로 판단된다..

참고 문헌

1. 서울메트로 일산선 전동차 정비메뉴얼
2. 김희동, “고압전동기 고정자 권선의 절연열화 특성”
3. 박현준, “전동차 AC 견인전동기의 가속열화에 관한 연구”, 대한전기학회 2001 하계학술대회 논문집. pp1257-1259, 2001
4. Seung-Hee Lee, Tae-Joon Park, Mu-Ho Han, Ju-Hyeong Lee, "Noise rejection in partial discharge signal",proceeding of ICEMS2004
5. 이성희, 박태준, 한무오, 박영훈, “기력 발전기 권선 열화 모니터링 시스템 구축”, RIST 연구논문지 2007
6. 이왕하, 이성희, 정희돈, 김덕규, 이동영, “RF 감지 방식 on-line 케이블 접속재 진단”, 전기학회 2003
7. E. Lemke, P. Schmiegel, "Fundamentals of the PD probe measuring technique"
8. Hiroshi HATA, Takashi MAEDA and Naoto TAGAWA, "Improvement of Insulation Tests for Traction Motors", QR of RTRI, Vol.38, No. 1, p.31, 1997
- 9 C. Petrarca, L. Egiziano, V. Tucci, and M. Vitelli, "Investigation on Performance of Insulation Materials for Inverter-fed Traction Motors", Proceedings of the 1998 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena - Volume 2, p.564, 1998
- 10.Austien H. Bonnett, "Available Insulation Systems for PWM Inverter-Fed Motors", IEEE Ind. App. Mag. Vol.4 No.1, p.14, 1998