

전동차내 임펄스 전압인가에 따른 인버터구동형 유도전동기의 PD 특성

이강원, 김명룡
한국철도기술연구원

PD Characteristics of inverter-fed AC motor subjected to impulse voltage in electric train

Kang-Won Lee, Ryong-Myung Kim

KRRI

Abstract : AC induction motor equipped in electric train is driven by VVVF inverter which produces switching pulse like impuse. Impulse voltage is more dangerous than continuous alternative voltage for the insulating performance of AC induction motor. This paper has investigated PD characteristics caused by impuse voltage for stator coils inserted in AC induction motor.

1. 서론

교류/직류용 전동차에 사용되는 유도전동기는 인버터에 의해 구동되며 스위칭시 발생되는 빠른 상승시간을 가진 임펄스성 서지전압에 지속적으로 영향을 받게 되며 이에 의한 절연성능의 저하가 우려된다. 이때 유도전동기내에서 더욱 고려대상이 되는 것은 mica와 kepton등의 절연체로 둘러싸인 고정자이며, 이 고정자에 대해서는 상용주파 교류전압하에서의 절연성능평가가 주로 이루어 지고 있으나 임펄스성 서지전압하에서 고정자권선의 절연성능평가부분의 연구는 계속적으로 요구되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 임펄스성 서지전압하에서 고정자권선에 대한 절연성능평가방법을 새로이 제시하고자 임펄스성 서지전압하에서의 기중방전거동을 표준형 CT를 이용하여 살펴보고, 이를 이용하여 서지전압이 인가된 고정자권선에 흐르는 전류파형을 측정 및 분석하였으며, 서지전압하에서 고정자권선에 대한 노이즈 및 다른결함원들과의 식별가능성을 확인하였다.

2. 실험방법

전동차의 추진을 위해 사용되는 유도전동기내부에 설치된 고정자에 대한 임펄스성 서지전압의 영향과 그 결과를 분석하기 위하여 surge generator LSS-15AX를 사용하여 1.2/50 μ s의 서지전압을 절연된 고정자 권선에 인가하였고, 이때 흐르는 전류를 측정하기 위하여 표준형 CT(pearson 2877, 300[Hz] ~ 200[MHz], 1V/A)를 접지측에 설치하였다. CT에 측정된 전류파형은 디지털 오실로스코프(TDS754C 500MHz, 2GS/s)에 측정 및 저장되어 분석되었다.

3. 결과 및 고찰

인버터구동형 120kW급 유도전동기 고정자권선에 대해 서지전압을 인가하기전 서지전압인가시 발생될 수 있는 노이즈성 신호성분의 간섭을 확인하기 위하여 고정자권선을 연결하지 않은 상태에서 서지출력부와 접지부 연결단자를 약 30cm 이격시킨후 3kV(1.2/80 μ s)의 정극성 서지전압을 인가

하였다. 그림 1은 인가된 서지전압을 Tektronics 1000:1 프로브(P6015A)를 이용하여 측정한 결과이며, 그림 2는 서지전압인가시 접지부를 관통한 CT로 접지부에 흐른 전류파형을 측정한 결과를 나타내고 있다.

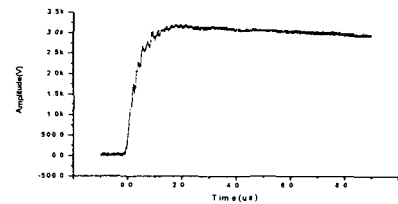


그림 1. 서지전압

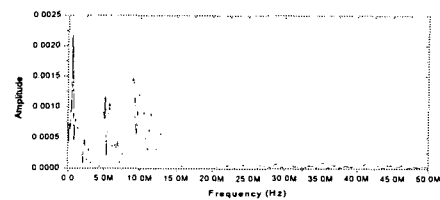
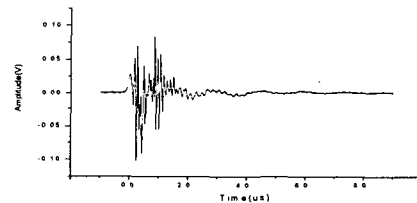


그림 2. 미연결부 서지인가시 전류파형 및 주파수분포

서로 연결되어 있지 않아도 전류의 크기(1V/A)는 첨두치간 약 0.2[V]정도로 측정되었으며, 1[μ s]의 주기를 가진 진동파에 수[ns]의 펄스가 부가되어어진 형태를 나타내고 있다. 이것은 그림 2(b)의 신호파형에 대한 FFT(fast fourier transformation) 분석에 따른 주파수 분포를 살펴보면 더욱 확실해진다. 그림 2(b)의 주파수분포에서 첨두치는 1[Mhz], 5[MHz], 10[MHz]의 3부분에서 나타나며 1[MHz]의 첨두치가 다른 두 개의 첨두치보다 크다는 것을 알 수 있

다. 아무것도 연결되지 않은 상태에서 측정된 전류이므로 전압의 변화 즉 전하량의 변화에 의한 용량성 전류성분임을 추측해 볼수 있으며, 본 용량성 전류는 전하 축적시 흐르는 충전전류와 연결단자의 날카로운 에지부근에서 불평등한 전계분포하에 공간으로 발생한 기중 부분방전에 의한 방전전류, 두가지 성분에 의한 것임을 추측할 수있다. 그림 3은 본격적인 기중 부분방전을 일으키기 위한 실험구성으로서 대표적인 침대평판전극구조하에서 서지전압을 인가한 경우에 CT로 측정된 신호파형을 보여주고 있다. 침과 평판간의 간격은 5mm로하여 3kV의 서지전압에서도 방전이 용이하게 일어날 수 있도록 구성하였다. 그림 3(a)에서 보여주는 신호파형은 그림 2(a)의 신호파형과 비교하여 짧은 주기의 펄스들이 보다 많이 발생되어 있다는 것을 확인하였으며 이러한 결과로서 그림 3(b)의 주파수분포에서는 1[MHz]의 첨두치는 5[MHz]와 10[MHz]의 첨두치에 비해 적었으며 또한 그림 2(b)에는 없는 18[MHz] 부근의 첨두치가 보여지고 있다.

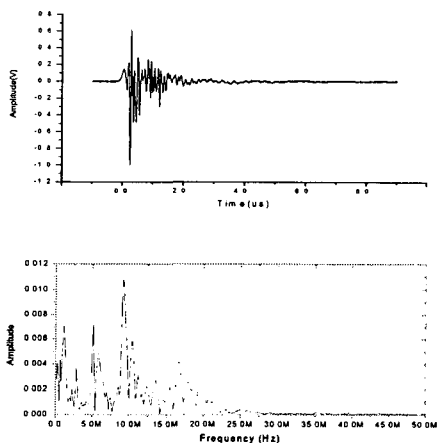


그림 3. 침대평판전극구조에 서지전압을 인가한 경우의 전류파형 및 주파수분포

일반적으로 기중 부분방전은 주로 50[MHz]이하에서 관찰되며 5[MHz]이상의 주파수 성분은 부분방전에 의한 방전전류에 의한 것으로 볼 수있다. 그러므로 5[MHz]이하에서 보여지는 첨두치를 가진 주파수 성분은 주로 충전전류성분이라는 것을 알 수있다. 다음으로 유도전동기용 고정자권선에 대해 서지전압을 인가시 CT에 의해 측정된 신호파형은 그림 4에서 보여진다. 본 실험에 사용된 고정자 권선은 내부결함이 없는 건전한 상태이다. 그림 4(a)에서 보여지는 바와 같이 건전상 고정자권선에 흐르는 서지전압에 의한 전류는 주로 충전전류로서 연결단자에서 발생한 기중 부분방전전류가 포함된 형태로 보여지고 있다. 그림 4(b)의 주파수 분포를 살펴보면 주파수 성분이 주로 5[MHz]이하에서 분포하고 있으며 약 3[MHz]에서 첨두치를 나타낸다는 것을 알수 있다. 이러한 5[MHz]이하에서 첨두치를 나타내는 주파수의 차이는 연결단자간 정전용량의 차이, 표준형 CT내부의 인덕턴스에 기인한 것으로 볼수 있을 것이다.

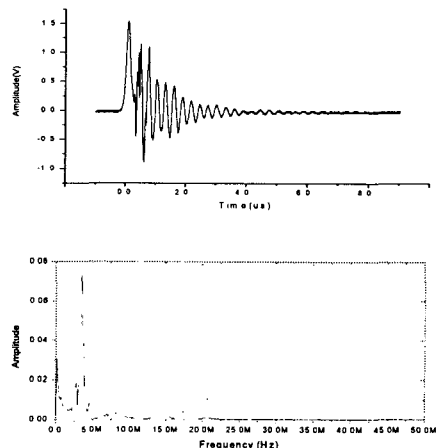


그림 4. 고정자 권선에 서지전압을 인가한 경우의 전류파형 및 주파수분포

앞에서 살펴본 세가지 경우의 차이를 보다 명확히 확인하기 위하여 이산웨이블릿 변환(discrete wavelet transform)에 의해 구해진 각 주파수영역별 계수들의 합을 비교한 결과를 그림 5에 나타내고 있다. 그림 5에서 변환에 사용된 파형들은 상호간 비교를 위하여 정규화 되었고 approximation 6의 계수는 주로 충전전류성분으로 서로간의 차이가 거의 없어 detail 1~5의 계수들만을 사용하였다. 아무것도 연결하지 않은 경우(A), 침대평판의 경우(B), 고정자(B)의 경우가 분리되어 분포되어 있으며, 이러한 결과는 더 나아가 고정자내 결함이 포함된 여러 가지 경우에도 응용이 되어 결함원의 분류방법으로서 매우 유용할 것으로 보인다.

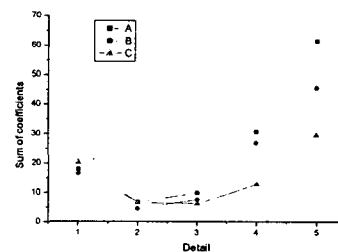


그림 5. 이산웨이블릿 다중필터(detail 1~5)계수들에 의한 각 경우들(A, B, C)의 분포비교

4. 결론

서지전압이 인가된 경우, 고정자권선에 주변 연결단자 또는 내부결함에 의해 부분방전전류가 발생되나 주된 전류성분은 충전전류임이 본 논문에서 확인되었다. 그러나 상대적으로 미약한 부분방전에 의한 전류파형들일지라도 이산웨이블릿 다중필터를 이용하여 결함원에 따른 분류 및 식별이 가능하다는 것을 확인하였다. 이 결과를 토대로 실제 전동차에 장착되어 인버터에 의해 구동되는 유도전동기의 절연을 해치는 다양한 결함의 식별에 적용한다면 좋은 성과가 있을 것으로 기대된다.