

진동신호 분석을 이용한 변압기 고장판별법 연구

박 수문⁰, 정 찬수
승실대학교 전기공학과

Fault determination of power transformer by using analysis of vibration signal

Park Su-mun , Chung Chan-soo
Dept. of Electrical Engineering, Soongsil University

Abstract

In power transformers, vibration occurs at winding, core and case due to current, voltage, temperature changing and winding deformation. Winding deformation and change of vibration signals are occurred due to electromagnetic force induced by fault current.

In this paper, in normal and fault states, the trends of fundamental waves and higher harmonics are considered. To inspect the factors that affect the fundamental waves and higher harmonics, the trends are considered with varying voltage and load. Determination functions are generated and applied to signals so that normal and fault state are determined by determination functions

1. 서 론

변압기에서는 전류, 전압, 온도변화와 권선변형 등에 의해 권선, 철심 및 외함에서 발생하는 진동신호의 경향이 변화한다. 진동신호를 상시 감시하고 변화경향을 이용하면 변압기 고장을 판별할 수 있다. 변압기의 고장전과 고장후 즉, 정상상태와 비정상상태에서는 권선과 철심의 변형에 의해 진동신호의 경향이 변화하고 기본파와 고조파의 경향이 변화한다. 본 논문에서는 이 변화경향을 이용한 변압기의 고장 판별 가능성을 살펴보았다. 변화경향에서 정상과 비정상의 구별이 가능한 경우 판별 함수를 구했다. 이 판별함수에 의해 변압기의 정상과 비정상의 판별이 가능한지 알아보기 위해 정상 변압기와 고장 변압기에서 취득한 신호를 예로 들어 살펴보았다.

2. 변압기 진동과 실험

2.1 변압기의 진동

변압기에서 진동은 크기 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째로 철심진동이 있다. 이는 자화에 의한 여기와 공극에서 발생하는 여기로 나눌 수 있다. 공극여기는 규소강판의 판과 판 사이에서 발생하고, 모서리에서도 발생한다. 두 번째로 권선진동이 있다. 이

는 누설자속과 권선전류의 상호작용에 의해 발생하는 로렌츠힘에 의해 발생한다.

2.2 실험장치

변압기 이상징후 검출을 위한 진동분석 시스템의 연구는 154[kV]급의 3상 45/60[MVA] 용량인 배전용 변전소의 주변압기를 대상으로 삼고 있다. 주변압기는 적철심형으로 되어 있고, 권선이 디스크 타입으로 설계된다. 주변압기가 단락 및 지락전류에 의해 손상을 입게 되면 권선지지 체계의 지지력이 약해지며 이로 인해 권선의 변형이 발생한다. 본 논문에서는 이 같은 고장특성을 지니는 5[kVA] 소형 변압기를 제작했다.

실제 배전용 주변압기를 모의하기 위해 권선을 디스크 타입으로 설계했으며, 디스크 타입 권선의 각 층에는 체기를 삽입하여 지지하도록 했다. 이 체기를 제거하여 진동의 변화를 유발하도록 하였다. 부하시험시 실부하 시험은 제어면에서 실행이 어렵다. 따라서 변압기에 철손과 동손만을 따로 공급하여 실부하 실험과 같은 효과를 내는 허부하 시험법을 사용했다. 이를 반환부하법이라 한다. 즉, 두 변압기 내에서 소비되는 손실만을 외부로부터 공급함으로써 실부하를 가한 것과 같은 상태에서 실부하를 모의할 수 있도록 구성한 실험장치이다.

2.3 실험방법

변압기의 정상상태와 비정상상태에서 기본파 및 고조파의 변화경향을 살펴보았다. 즉, 고정전과 고장후 각각의 기본파와 고조파의 변화경향을 살펴보았다. 권선, 철심과 외함에서 취득한 진동신호의 기본파의 변화경향을 부하와 전압을 변화시키며 살펴보았다. 고조파에 대해서는 정상상태의 120Hz를 기준으로 정상일 때의 신호와 비정상일 때의 신호의 상대 크기의 경향을 살펴보았다. 정상과 비정상의 판별이 가능한 경우 이 두 상태를 구분짓는 판별 함수를 구했다. 이 판별 함수에 의해 실제 운전중인 변압기의 고장 판별이 가능한지 알아보기 위해 임의의 진동신호를 예

로 들어 이 함수에 적용해 보았다. 판별가능성을 알아보았다.

3 실험결과

3.1 기본파 및 고조파의 변화경향

기본파와 고조파의 변화경향에서 정상과 비정상의 구별이 가능하며, 이 경우 판별함수를 만들었다. 부하의 각 지점에서 정상일때와 고장일때의 진동신호 크기의 평균을 구했다. 이 두 개의 평균값의 평균을 구해, 부하의 각 지점에서 이 평균값을 연결하는 함수를 구했다. 표1에 판별함수와 판별 가능범위를 정리했다.

그림 1-4는 정상 변압기와 고장 변압기의 구별이 가능한 대표적인 고조파의 변화 경향이다. 그림1은 권선전동의 기본파 신호로서 전압 변화에 따른 진동신호의 크기 변화가 고장에 의한 진동신호의 변화보다 작음을 나타낸다. 즉, 정상인 변압기의 진동신호는 굵은 선으로 표시된 곡선 $v=f(l)$ 의 밑에 놓이게 되고, 고장인 변압기의 진동신호는 이 곡선 위에 놓이게 된다. 그림 2, 3, 4도 이와 비슷하게 설명할 수 있다. 표1에서 (a)의 경우는 측정치가 판별함수보다 클때가 정상, (b)의 경우는 작을 때 정상에 해당한다.

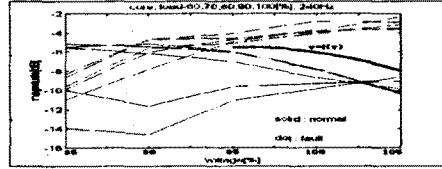


그림 4 철심에서의 240Hz의 변화경향

표1 기본파 및 고조파에서의 판별함수와 판별범위

전압변화시		판별범위
권선	600Hz $V=0.8v-75$	(1),(a) 85-105%
	960Hz $V=0.75v-83.75$	(2),(a) 85-105%
철심	120Hz $V=0.3v-102.7$	(3),(a) 95-105%
	240Hz $V=0.00099v^2 + 0.05549v - 19.4$	(4),(b) 95-105%
	360Hz $V=-0.003v^2 + 0.485v - 34.5$	(5),(b) 95-105%
외함	480Hz $V=-0.125v^2 + 24.63v - 11.97$	(6),(a) 95-105%
	960Hz $V=-0.082v^2 + 17.2v - 919$	(7),(b) 95-105%

부하변화시		판별범위
권선	120Hz $V=0.2v-81.2$	(8),(b)
	360Hz $V=-0.01833v^2 + 3.09v - 130.14$	(9),(a) 75-100%

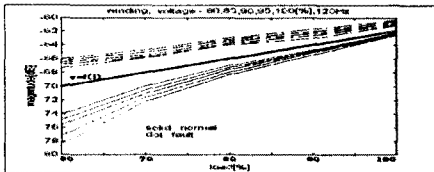


그림 1 권선에서의 기본파의 변화경향

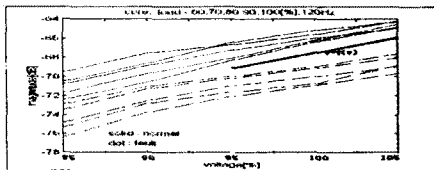


그림 2 철심에서의 기본파의 변화경향

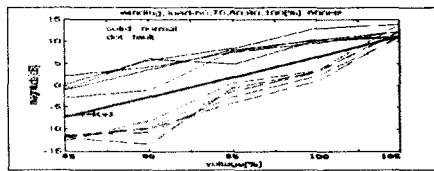


그림 3 권선에서의 600Hz의 변화경향

3.2 판별 적용예

변화경향과 판별함수에 의해 실제 운전중인 변압기의 고장 판별이 가능한지 알아보기 위해 다음과 같이 예를 들어 적용해 보았다. 정격전압 100% 정격부하 80% 상태에서 운전중인 변압기의 권선에서 취득한 신호의 기본파의 크기는 -74.7[dB]이다. 이 때 식(8)로 계산한 값은 -66.2[dB]이다. 즉, 측정값이 판별함수(8)로 계산한 값보다 작으므로 이 변압기는 정상이라 판별할 수 있다.

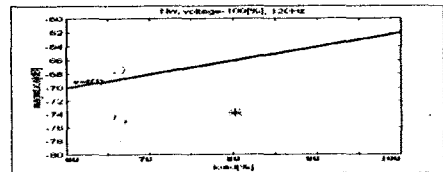


그림 5 기본파에 적용시 결과

3.4 정상 변압기와 고장 변압기의 적용

판별신뢰도를 높이기 위해 다음의 여러 신호를 예로 들어 적용했다. N_{w1} 와 N_{w2} 는 정상 변압기의 권선에서, F_{w1} 와 F_{w2} 고장 변압기의 권선에서 취득한 신호이다. N_{c1} 와 N_{c2} 는 정상 변압기의 철심에서, F_{c1} 와 F_{c2} 는 고장 변압기의 철심에서 취득한 신호

이다. N_{b1} 와 N_{b2} 는 정상 변압기의 의함에서, F_{b1} 와 F_{b2} 는 고장 변압기의 의함에서 취득한 신호이다. 이 신호들을 표1의 판별함수에 판별하면 표2와 같다.

N_{w1} 의 120Hz 경우 측정값이 판별함수에 의한 계산값 보다 작으며 정상으로 판별된다. 그림 1의 기본파의 변화경향에서 측정값이 계산값 보다 작을때가 정상이므로 올바르게 판별된다. F_{w1} 의 경우 측정값이 계산값 보다 작으며 정상으로 판별된다. 그림 1의 기본파의 변화 경향에서 측정값이 계산값 보다 클때가 고장이므로 올바르게 판별된다. 이 같은 방법으로 적용신호를 판별했다.

표2 적용신호의 판별결과

취득 신호	주파수 [Hz]	운전상태[%]	측정값	비교	계산값	판별	확인
N_{w1}	120	V 100 L 80	-74.71	<	-66.2	정상	T
	360	V 100 L 80	-0.336	>	-4.56	정상	T
	600	V 100 L 80	+10.34	>	+6.25	정상	T
	960	V 100 L 80	-2.854	>	-7.88	정상	T
N_{w2}	120	V 100 L 90	-74.70	<	-64.2	정상	T
	360	V 100 L 90	-1.931	>	-6.55	정상	T
	600	V 100 L 90	+10.27	>	+6.12	정상	T
	960	V 100 L 90	-1.964	>	-7.11	정상	T
N_{c1}	120	V 100 L 80	-68.93	<	-67.8	고장	F
	240	V 100 L 80	-8.710	<	-6.12	정상	T
N_{c2}	120	V 100 L 90	-69.51	<	-69.2	고장	F
	240	V 100 L 90	-9.291	<	-5.88	정상	T
N_{b1}	480	V 100 L 80	+5.217	>	+2.56	정상	T
	960	V 100 L 80	-6.222	<	+2.45	정상	T
N_{b2}	480	V 100 L 90	+7.327	>	+0.56	정상	T
	960	V 100 L 90	-11.41	<	-4.51	정상	T

취득 신호	주파수 [Hz]	운전상태[%]	측정값	비교	계산값	판별	확인
F_{w1}	120	V 100 L 80	-74.05	<	-66.2	정상	F
	360	V 100 L 80	-11.91	<	-4.56	고장	T
	600	V 100 L 80	+2.152	<	+6.25	고장	T
	960	V 100 L 80	-11.93	<	-7.88	고장	T
F_{w2}	120	V 100 L 90	-72.98	<	-64.2	정상	F
	360	V 100 L 90	-14.01	<	-6.55	고장	T
	600	V 100 L 90	+0.996	<	+6.12	고장	T
	960	V 100 L 90	-11.70	<	-7.11	고장	T
F_{c1}	120	V 100 L 80	-72.35	<	-67.8	고장	T
	240	V 100 L 80	-3.840	>	-6.12	고장	T
	360	V 100 L 80	-11.24	>	-15.7	고장	T
F_{c2}	120	V 100 L 90	-72.18	<	-69.2	고장	T
	240	V 100 L 90	-2.796	>	-5.88	고장	T
	360	V 100 L 90	-9.884	>	-15.1	고장	T
F_{b1}	480	V 100 L 80	-0.697	<	+2.56	고장	T
	960	V 100 L 80	+5.357	>	+2.45	고장	T
F_{b2}	480	V 100 L 90	-0.109	<	+0.56	고장	T
	960	V 100 L 90	+5.361	>	-4.51	고장	T

정상 변압기의 신호를 적용시켜 보았을 때 철심의 경우 기본파에서와, 고장 변압기의 신호를 적용시켜 보았을 때 권선의 기본파에서만 올바르게 판별되었다. 적용신호의 판별결과 총 3

6개의 경우중 32개의 경우에서 올바르게, 4개의 경우에서 올바르게 판별되었다. 88%의 판별률을 보였다.

4 결론

기본파와 고조파의 변화경향에서 정상과 비정상의 구별이 가능한 경우 판별함수를 만들었다. 판별함수에 의해 변압기의 정상과 고장의 판별이 가능한지 예를들어 적용해 보았다. 88%의 판별률을 보였다. 그러므로 위의 변화경향과 판별함수를 이용하면 실제 운전중인 변압기의 신뢰성 있는 고장 판별에도 적용될수 있을 것이다.

[참고문헌]

- [1] Lavelle Juan C, "Failure Detection in Transformer using Vibration Analysis", Department of Electrical Eng. and Computer Science, MIT, Cambridge, MA, 1986
- [2] L Ljung, " System Identification Theory for the Users", Prentice-Hall, 1986
- [3] 이성호, " 전력용 변압기의 예방진단을 위한 권선진동 크기의 모형화 ", 숭실대학교 석사학위 논문, 1994
- [4] 김영석, " 진동신호 분석을 이용한 전력용 변압기의 예방진단에 관한 연구 ", 숭실대학교 석사학위 논문, 1995
- [5] 권혁승, " 전력용 변압기 진동의 모형화 ", 숭실대학교 석사학위 논문, 1993
- [6] 김현식, " 변압기 진동신호의 소음제거 ", 숭실대학교 석사학위 논문, 1995