

배전 계통에서의 3상 변압기의 EMTP 모델링

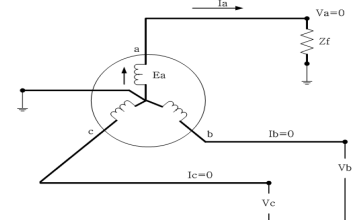
박준상, 푸준, 김철환
성균관대학교

EMTP modeling of 3-phase Transformer in Distribution System

Jun-Sang Park · Fu Jun · Chul-hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - 본 논문은 실제 배전계통에서 사용하는 다양한 형태의 변압기의 고장상태 결과를 제시하였다. 변압기는 Y결선과 Δ결선을 이용하여 여러 가지 결선형태를 만들 수 있으며, 똑같은 조건의 고장이 발생하더라도 결선에 따라 고장상태 해석 또한 다르게 나타난다. 본 논문에서는 이론적 분석과 컴퓨터 시뮬레이션을 바탕으로 다양한 변압기들이 똑같은 조건에서 고장이 발생했을 때 나타나는 고장전류와 건전상의 전압, 전류 등을 구하여 비교, 분석해 보았다.

지일 경우엔 $Z_f = 0$ 로 하여 구할 수 있다.)



<그림 1> 무부하 발전기의 1선 지락고장

$$\therefore V_a = Z_f I_f = Z_f I_a, \quad I_b = I_c = 0 \quad (3)$$

위의 상영역 고장조건을 가지고 다음과 같은 고장전류와 건전상의 전압을 구할 수 있다[2].

$$I_a = I_0 + I_1 + I_2 = \frac{3E_a}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f} \quad (4)$$

$$V_b = V_0 + a^2 V_1 + a V_2 = \frac{(a^2 - 1)Z_0 + (a^2 - a)Z_2}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \times E_a \quad (5)$$

$$V_c = V_0 + a V_1 + a^2 V_2 = \frac{(a - 1)Z_0 + (a - a^2)Z_2}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \times E_a \quad (6)$$

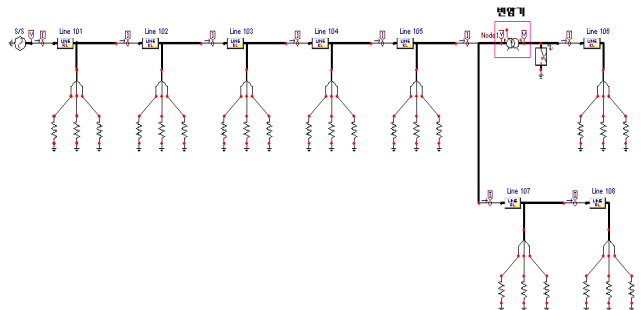
여기서, Z_0, Z_1, Z_2 는 고장회로의 영상, 정상, 역상의 %임피던스이다.

2.2 EMTP를 이용한 고장해석

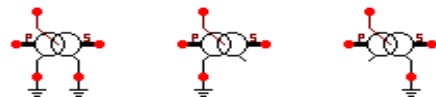
EMTP는 Bergeron법을 이용해 만든 모든 전력계통 구성요소를 포함한 전력계통용 과도현상 해석 프로그램이다. EMTP를 이용한 과도현상 해석은 물리적 실체를 통한 과도현상의 직접적인 체험이 아니고, 수학적 형식과 수식적 모델에 의한 간접적인 근사 추정임에도 불구하고, 결과의 정밀함과 신뢰도는 충분히 입증되었다[3].

2.2.1 1선 지락 시뮬레이션

그림 3은 본 논문의 변압기가 사용된 배전계통의 고장 회로를 보여준다. 시뮬레이션에 사용된 변압기는 그림 4와 같이 Y-Y결선, Δ-Y결선, Δ-Δ결선의 3가지 형태이다.



<그림 2> 1선 지락 사고를 나타내는 배전계통 회로



<그림 3> 시뮬레이션에 사용한 Y-Y결선, Y-Δ결선, Δ-Y결선

1. 서 론

발전소로부터 멀리 떨어진 수용가에 이르는 전송선로에서는 여러 가지 원인으로 고장이 발생할 수 있다. 구조물이 외부에 노출되어 있는 경우가 대부분이기 때문에 계통의 방대함에 의해 고장이 발생하기 쉽기 때문이다. 고장 발생의 원인에는 수목 접촉, 까치 등의 조류에 의한 접촉, 차량 충돌등과 같은 일반인의 과실에 의한 고장, 시공 불량, 자연열화, 비, 바람, 낙뢰, 태풍 등에 의한 자연현상, 고객설비에 의한 타사고 과급 등 다양하다[1]. 전송 선로에 고장이 발생하면 정상전류보다 큰 고장전류가 흐르기 때문에 변압기와 부하 등의 전력설비에 나쁜 영향을 주며 전압 저하로 인해 전송전력도 감소하게 된다. 따라서 고장시에 전력설비 보호를 위한 차단기의 용량결정과 차단기를 동작시키기 위한 계전기의 정정 등에 고장전류값이 사용되므로 고장 계산은 전력계통 설계의 필수 요소이며 최소시간 이내에 비정상 상태로부터 계통을 복구하기 위함이다. 본 논문에서는 계통 회로망이 전기적으로 불평형이 되는 1선 지락 고장상태 해석의 이론적 바탕을 제시하고 고장이 일어나는 계통망을 EMTP를 이용해 모델링을 하였다. 그리고 다양한 결선 방식을 가지는 변압기 모델링을 통해 똑같은 조건으로 주어진 고장상태에 따라서 달라지는 각 변압기의 전류-전압 특성곡선을 비교, 분석하였다.

2. 본 론

2.1 배전 계통의 고장 상태 해석 이론

3상 고장처럼 각 상이 평형된 고장에서는 고장점을 중심으로 여기에 걸리는 전압과 임피던스를 구해서 쉽게 해석해 나갈 수 있다. 그러나 각 상이 불평형한 고장의 경우 각 상에 걸리는 전압을 따로따로 구하여야 하는데 실제적으로 매우 복잡한 계산을 요구한다. 본 논문에서는 대칭좌표법을 이용하여 3상회로의 불평형 문제를 다룬다.

2.1.1 불평형 3상의 대칭성분

대칭성분전압은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \Rightarrow V = M^{-1} V_P \quad (1)$$

$$\therefore a = 1 \angle 120^\circ = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

여기서, V_P 는 상성분 전압벡터, V 는 대칭성분 전압벡터, M 은 대칭성분을 상성분으로 바꾸는 변환행렬이다.

전류에 대해서도 마찬가지로 식 (1), (2)의 V 를 모두 I 로 바꾸어서 대칭성분을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \Rightarrow I = M^{-1} I_P \quad (2)$$

2.1.2 1선 지락고장

부하가 없는 발전기의 a상이 고장점 임피던스 Z_f 를 통하여 접지되었을 경우, 다음과 같은 단계를 걸쳐 고장상태를 해석할 수 있다. (직접접

위 회로에서 사용된 각종 파라미터 값은 다음과 같다.
 © Source V_s : 22.9[kV] (rms value)

표-1 Line parameters

| 구간 | 공장[m] | 정상임피던스[Ω] | 영상임피던스[Ω] |
|-----|-------|---------------------|---------------------|
| 101 | 565 | 0.1029995+j0.220378 | 0.2572615+j0.677418 |
| 102 | 602 | 0.1097446+j0.234810 | 0.2741087+j0.721780 |
| 103 | 325 | 0.1573546+j0.140837 | 0.2718986+j0.435165 |
| 104 | 634 | 0.1162116+j0.247293 | 0.2836845+j0.770728 |
| 105 | 875 | 0.1603866+j0.341296 | 0.3915205+j1.063703 |
| 106 | 786 | 0.1440730+j0.306581 | 0.3516973+j0.955509 |
| 107 | 39 | 0.0113524+j0.006073 | 0.0145793+j0.004032 |
| 108 | 1593 | 0.2919953+j0.621353 | 0.7127910+j1.936546 |

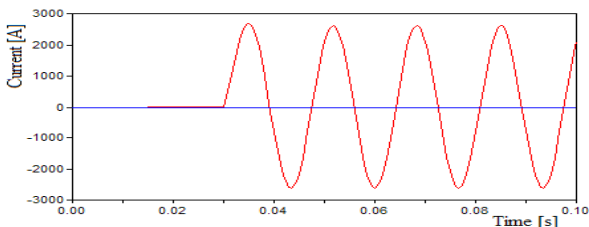
표-2 AC load impedance

| 구간 | 부하 번호 | 전력[kW] | 부하 임피던스[Ω] |
|-----|----------|--------|-------------|
| 101 | Load 101 | 1792 | 877.9185268 |
| 102 | Load 102 | 565 | 2784.477876 |
| 103 | Load 103 | 727 | 727.0009242 |
| 104 | Load 104 | 1194 | 1317.613065 |
| 105 | Load 105 | 1955 | 804.7212276 |
| 106 | Load 106 | 1282 | 1227.168487 |
| 107 | Load 107 | 305 | 5158.131148 |
| 108 | Load 108 | 4392 | 358.203551 |

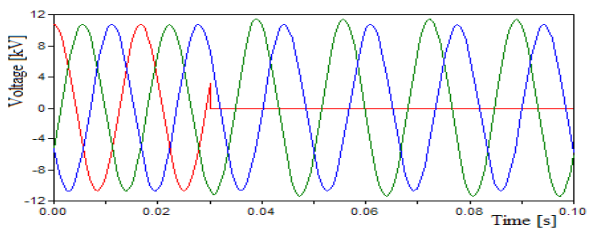
© transformer parameters

rated voltag : 22.9k V/13.2k V
 rated power : 10MVA
 rated impedance : 0.1 P.U
 low tension side : $Z = 1.7424 \angle 30^\circ$
 high tension side : $Z = 5.2441 \angle 30^\circ$

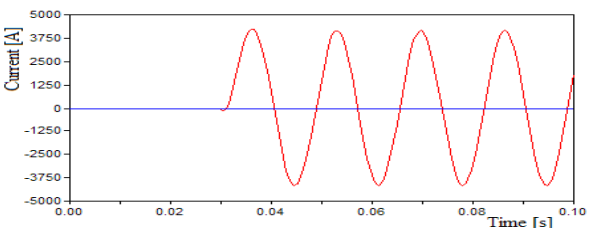
그림 1의 회로에 각종 파라미터값을 입력한 후 변압기의 2차측에 지락 스위치를 연결하여 지락 사고 시뮬레이션을 수행했다. 스위치가 close되는 시간은 $t=0.03[\text{sec}]$ 로 설정했으며 3가지 변압기에 사용되는 나머지 파라미터의 값은 변함이 없다.



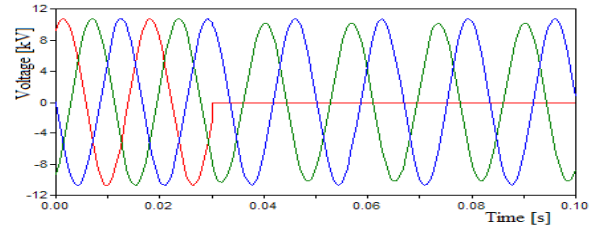
〈그림 4〉 Y-Y결선의 고장전류



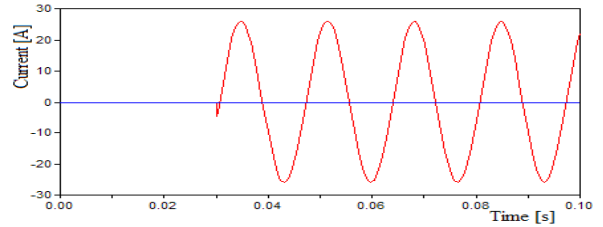
〈그림 5〉 Y-Y결선의 건전상의 전압



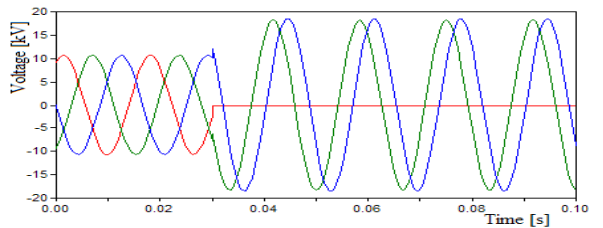
〈그림 6〉 Δ-Y결선의 고장전류



〈그림 7〉 Δ-Y결선의 건전상의 전압



〈그림 8〉 Y-Δ결선의 고장전류



〈그림 9〉 Y-Δ결선의 건전상의 전압

그림 4, 그림 5은 Y-Y결선에서 고장이 발생한 후의 전류, 전압파형을 보여준다. 전압은 지락 고장이난 A상이 0[V]가 되지만 B상과 C상의 경우 고장이 일어나기 전과 비교해서 많은 차이를 보이지 않는다. 하지만 전류의 경우 고장이 난 A상에 아주 큰 교류전류(peak값 : 약 2700A)가 흐르는 것을 확인할 수 있다. 그림 6, 그림 7의 Δ-Y결선은 Y-Y결선과 비슷한 결과가 나오는 것을 그래프를 통해 알 수 있다. 고장이 발생한 후의 전압파형의 모습과 전류파형의 모습이 유사하다.

하지만 그림 8, 그림 9의 Y-Δ결선의 경우 앞서 분석한 두 결선의 결과와는 다르다는 것을 알 수 있다. 고장이 발생시 A상에 흐르는 고장전류는 앞의 두 결선의 경우보다 훨씬 작은 값(peak값 : 약 27A)의 교류전류가 흐른다. 하지만 고장이 발생했을 시 B상과 C상에 걸리는 전압은 기존의 전압보다 2배 가까이 크기가 증가하는 것을 알 수 있다.

따라서 Y-결선에서의 지락사고가 발생했을 시엔 큰 고장전류가 발생하고, Δ-결선에서 지락사고가 발생한다면 큰 고장전압이 부하에 걸리는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 배전 계통내의 고전압용 3상 변압기를 결선 방법을 달리하여 설계하고 각각의 변압기에서 A상 1선 지락 사고가 발생했을 시에 나타나는 고장전류와 건전상 전압을 EMTF를 이용하여 모의하였다. Y-Y결선, Δ-Y결선의 변압기일 경우 아주 높은 값의 고장전류가 흐르며, Y-Δ결선 변압기는 부하에 아주 높은 고장전압이 걸리는 결과를 얻었다. 이로 인해 배전 계통에서 접속되어 있는 기기들은 전기적 및 기계적인 손상을 입게 된다. 현대 사회는 전자, 정보통신기술의 발전으로 다양한 분야에 컴퓨터 및 정보통신기기를 사용하고 있다. 이러한 기기들은 전기품질에 민감하게 작동하기 때문에 이러한 점을 충분히 고려하여 신뢰성과 안전성을 확보하는 전력 보호 시스템이 구축되어야 한다. 이를 위해 차단기의 용량결정 및 차단기를 동작시키기 위한 계전기의 정정, 고장전류를 줄이기 위한 리액터의 설치, 고장전압 피해 방지를 위한 써지 보호기의 설치 등을 고려해야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] 대한전기학회편, 최신 배전시스템공학, (주)북스힐, 2006
 [2] 이종범, 최신 전력전송공학, 청문각, 2007
 [3] Min-soo Kim, "A EMTF Simulation of High-Voltage Pulse Transformer for Pulsed Power System", 대한전기학회 하계학술대회, 7, 17-20, 2000