

EMTP-RV를 이용한 변압기 여자돌입전류 모델링

서훈철*, 여상민**, 김철환**, 유영식***, 조범섭***
기초전력연구원*, 성균관대학교**, 한국전력거래소***

Modeling of Transformer Inrush Current using EMTP-RV

*H. C. Seo, **S. M. Yeo, **C. H. Kim, ***Y. S. Yoo, ***B. S. Jo
* KESRI, **Sungkyunkwan University, ***KPX

Abstract - 본 논문은 EMTP-RV를 이용하여 변압기 여자돌입전류를 모델링하는 방법을 제시하였다. 우선, 변압기 여자돌입전류의 특성을 조사하였다. 그 다음으로, EMTP-RV의 변압기의 모델링 방법을 분석하여 변압기 여자돌입전류 모델링을 위한 적절한 방법을 선택하였다. 마지막으로, 다양한 조건에 대하여 여자돌입전류를 모델링하여 그 방법의 적합성을 증명하였다.

형 특성을 구한 후 모델링하는 방법, ⑤Hysteresis fitter와 Hysteretic reactor를 이용한 비선형 특성의 모델링 방법 등이 있다[1]. 각 방법들의 특징은 다음 표 1과 같다.

<표 1> EMTP-RV의 변압기 모델링 방법들의 특징

	장점	단점
포화변압기 모델을 이용하는 방법	① 변압기 모델 내부에서 전류-자속을 입력하여 포화특성을 모델링	① 잔류자속 모델링 불가능 ② 포화특성 모델링 시 전류-자속 데이터 필요
비선형소자를 이용한 모델링 방법	① 잔류자속 모델링 가능 ② 전류-자속 데이터를 이용하여 포화특성 모델링 가능	① 변압기 자체의 포화 특성을 무시(변압기 외부가지에 비선형 소자의 추가 필요) ② 포화특성 모델링 시 전류-자속 데이터 필요 ③ 히스테리시스 특성은 모델링 불가능
TRELE, BCTRAN 등의 보조루틴을 이용한 방법	① 변압기를 상호결합 브랜치로 등가화하여 표현	① 모델자체로 포화특성 모델링 불가(포화 모델링을 위하여 비선형 소자의 추가 필요) ② 잔류자속 모델링 불가능
L nonlinear Data function을 이용한 비선형 특성을 구한 후 모델링하는 방법	① 전류-자속 데이터를 이용하여 변압기 내부 혹은 비선형 소자에서 포화 및 히스테리시스 특성 모델링 가능	① L nonlinear Data function 자체로 변압기의 포화 특성을 모델링 할 수 없음 ② 잔류자속 모델링 불가능
Hysteresis fitter 와 Hysteretic reactor를 이용한 비선형 특성의 모델링 방법	① 히스테리시스 특성 모델링 가능 ② 포화특성 모델링 가능 ③ 잔류자속 모델링 가능 ④ 전류-자속 데이터 입력이 많을수록 더 정확한 값 추정	① Hysteresis fitter만으로는 사용 불가, 반드시 Hysteretic reactor와 동시에 사용해야 함

1. 서 론

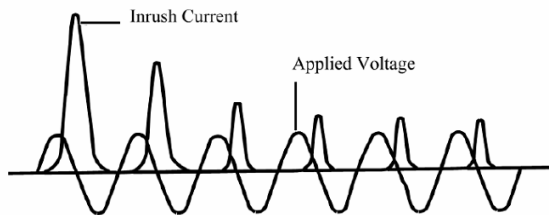
송전선로, 변압기, 차단기, 발전기 등에는 과전압, 공진, TRV, SSR, 여자돌입, 과여자 등의 여러 가지 과도현상이 발생한다. 이 중 변압기에서는 철심의 비선형 특성으로 인하여 여자돌입, 과여자 등의 과도현상이 발생하며, 이러한 과도현상은 변압기 보호계전기의 오동작을 유발할 수 있다. 따라서, 변압기 과도현상의 분석은 변압기 보호를 위하여 중요한 사항이며, 정확한 분석을 위해선 과도현상의 정확한 모델링이 필수적이다.

본 논문에서는 변압기의 과도현상분석을 위하여 여자돌입의 모델링을 위한 방법을 소개하였다. 여자돌입전류의 특성에 대하여 필요한 요소 및 EMTP-RV에서의 변압기 모델링 방법을 조사하여 여자돌입전류의 모델링을 위한 소자를 선택하였다. 선택된 소자를 이용하여 변압기 여자돌입전류를 다양한 조건에 대하여 시뮬레이션 함으로서 여자돌입전류 모델링 방법의 타당성을 증명하였다.

2. 변압기 여자돌입전류

2.1 변압기 여자돌입전류

변압기 초기 가압시, 자속이 커졌다 작아졌다 하는 현상이 반복되어 권선 전류도 커졌다 작아졌다 하는 현상이 반복되는 것을 여자돌입전류라고 한다. 이때는 고장상태가 아니므로, 보호계전기가 동작해서는 안되지만, 이 전류는 변압기 정격 전류의 몇 배의 크기가 될 수 있기 때문에, 보호 계전기의 오동작을 유발할 가능성이 존재한다. 여자돌입전류는 많은 양의 고조파, 특히 2 고조파를 많이 포함하고 있다. 또한, 각 다음 그림 1과 같이 각 사이클 동안에 전류의 크기가 0인 시간이 존재한다.



<그림 1> 전형적인 여자돌입전류 파형

2.2 여자돌입전류의 크기를 제어할 수 있는 요소

변압기 여자돌입전류는 잔류자속과 투입위상각의 영향을 받는다. 잔류자속이 커질수록 여자돌입전류 또한 커진다. 0도 가압 시 여자돌입전류가 가장 많이 발생하며, 90도 가압 시 여자돌입전류 발생가능성이 적다. 잔류자속이 없는 상태에서 90도 가압 시 여자돌입전류는 발생하지 않는다.

3. EMTP-RV를 이용한 변압기 여자돌입전류 모델링

3.1 EMTP-RV에서의 변압기 모델링

EMTP-RV에서 변압기 모델링 방법에는 ①포화변압기 모델을 이용하는 방법, ②비선형소자를 이용한 모델링 방법, ③TRELE, BCTRAN 등의 보조루틴을 이용한 방법, ④L nonlinear Data function을 이용한 비선

3.2 EMTP-RV를 이용한 변압기 여자돌입전류 모델링

변압기 여자돌입전류의 정확한 모델링을 위해선 변압기의 포화특성 및 히스테리시스 특성을 모델링을 할 수 있어야 한다. 또한, 다양한 경우에 대하여 모델링을 하기 위해선 잔류자속을 모델링할 수 있어야 한다. 상기 표 1의 분석결과, 포화특성 및 히스테리시스 특성 모두를 모델링할 수 있는 방법은 Hysteresis fitter와 Hysteretic reactor를 이용한 비선형 특성의 모델링 방법이 유일하며, 잔류자속을 모델링할 수 있는바에는 Hysteresis fitter와 Hysteretic reactor를 이용한 비선형 특성의 모델링 방법과 비선형소자를 이용한 모델링 방법이 있다. 따라서, 가장 적절한 방법은 Hysteresis fitter와 Hysteretic reactor를 이용한 방법이라고 할 수 있다.

3.2.1 EMTP-RV의 히스테리시스 특성 모델링 원리[1]

EMTP-RV에서는 포화 함수와 비포화 함수를 이용하여 히스테리시스 특성을 모델링 한다. 포화함수는 포화자속(λ_{sat})과 비포화자속(λ_{unsat})의 관계를 나타내는 함수로서, 입력자속과 출력자속 사이의 포화 효과를 모델링하기 위한 것이다. 포화방정식은 쌍곡선의 형태로서 다음 식 1과 같고, 이를 그래프로 나타내면 다음 그림 2와 같다. 쌍곡선에서 (+) 부분만 선택한 후, (-) 부분은 대칭으로 최종포화곡선을 나타낸다.

$$C_{sat} = [\lambda_{unsat} - \frac{\lambda_{sat}}{S_{sv}} - X_{sv}] [S_{sh} \lambda_{unsat} - \lambda_{sat} + Y_{sh}] \quad (1)$$

여기서,

C_{sat} : 포화곡선을 정의, 곡선이 접근선에 얼마나 가까이 있는가를 제

어함,

S_{sv} : 수직점근선의 기울기, X_{sv} : 수직점근선의 X축 절편

S_{sh} : 수평점근선의 기울기, Y_{sh} : 수평점근선의 y축 절편

히스테리시스 함수는 비포화자속(λ_{unsat})과 전류의 관계를 나타내는 함수로서 순수 히스테리시스 효과를 모델링할 수 있으며, 잔류자속의 모델링 또한 가능하다. 포화 함수와 마찬가지로 쌍곡선의 형태로서 식 (2)와 같고, 그래프로 나타내면 다음 그림 3과 같다. 쌍곡선 중 원점에 가까운 부분을 선택한 후 대칭으로 전체 히스테리시스 곡선을 표현한다.

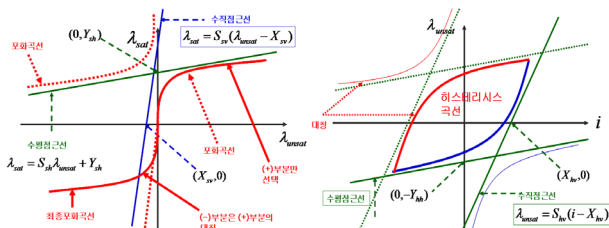
$$C_{hyst} = [i - \frac{\lambda_{unsat}}{S_{hv}} - X_{hv}] [S_{hh}i - \lambda_{unsat} - Y_{hh}] \quad (2)$$

여기서,

C_{hyst} : 포화곡선을 정의,

S_{hv} : 수직점근선의 기울기, X_{hv} : 수직점근선의 X축 절편

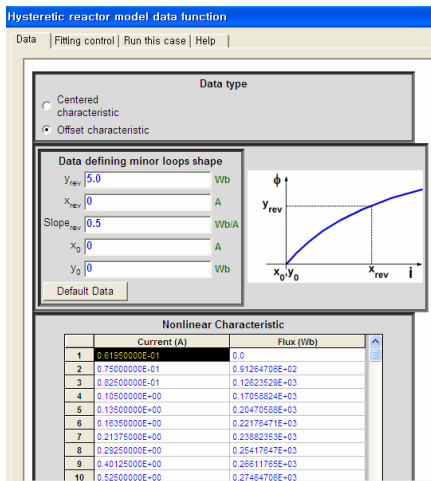
S_{hh} : 수평점근선의 기울기, Y_{hh} : 수평점근선의 y축 절편



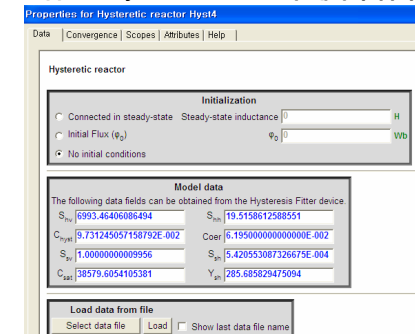
<그림 2> 포화함수와 히스테리시스 함수

3.2.2 Hysteresis fitter와 Hysteretic reactor

Hysteresis fitter와 Hysteretic reactor 소자의 데이터 입력량은 다음 그림 3, 4와 같다. Hysteresis fitter의 'Data defining minor loops shape'에서 히스테리시스 곡선을, 'Nonlinear Characteristic'에서 포화곡선을 추정하는데, 여기에서 식 (1)과 (2)의 계수값이 계산되어 Hysteretic reactor에 입력하면 된다.



<그림 3> Hysteresis fitter의 데이터 입력창

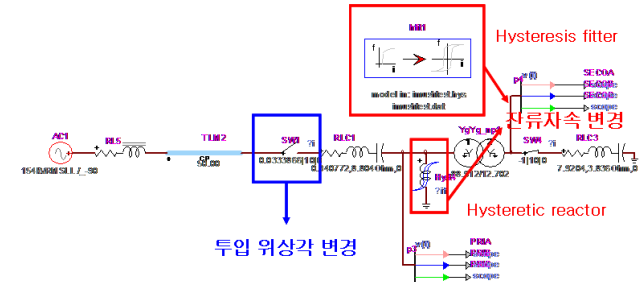


<그림 4> Hysteretic reactor의 데이터 입력창

3.3 시뮬레이션

3.3.1 계통모델

EMTP-RV를 이용하여 다음 그림 5와 같은 계통모델을 구현하였다. 스위치 시간을 통하여 투입위상각을 변경하고, 그림과 같이 Hysteresis fitter와 Hysteretic reactor를 이용하여 히스테리시스 특성을 표현하고 잔류자속을 변경하였다.



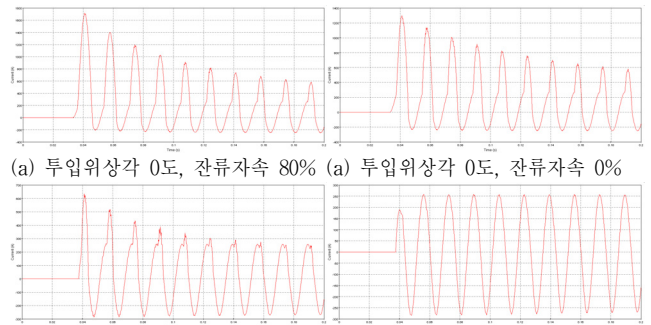
<그림 5> EMTP-RV를 이용하여 구현한 변압기 여자돌입전류 시뮬레이션을 위한 계통모델

3.3.2 시뮬레이션 결과

투입위상각이 0도, 90도, 잔류자속이 80%, 0%인 경우에 대하여 시뮬레이션 하였으며, 그 결과는 다음 그림 6과 같다. 투입위상각 0도, 잔류자속 80%인 경우가 최대 1714[A]의 여자돌입전류가 발생하여 여자돌입전류의 크기가 가장 크며, 투입위상각 90도, 잔류자속 0%인 경우는 여자돌입전류가 발생하지 않은 것을 확인할 수 있다. 또한, 전체 경우에 대한 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

- 투입위상각이 같은 경우 잔류자속이 클수록 여자돌입전류가 큼
- 잔류자속이 같은 경우 투입위상각이 0도인 경우가 여자돌입전류가 큼
- 투입위상각 90도, 잔류자속 0% 인 경우 여자돌입전류는 발생하지 않음
- 투입위상각 0도, 잔류자속 80% 인 경우 여자돌입전류가 가장 큼

이러한 분석결과는 여자돌입전류의 이론적 해석과 일치한다. 따라서, EMTP-RV에서 Hysteresis fitter와 Hysteretic reactor를 이용하여 변압기 비선형 특성을 표현함으로써 여자돌입전류를 적절하게 모델링할 수 있다.



(a) 투입위상각 0도, 잔류자속 80% (a) 투입위상각 0도, 잔류자속 0%

(c) 투입위상각 90도, 잔류자속 80% (a) 투입위상각 90도, 잔류자속 0%

<그림 6> 변압기 여자돌입전류의 시뮬레이션 결과

4. 결 론

본 논문은 새로운 과도현상 해석 도구인 EMTP-RV 소프트웨어에서의 변압기 여자돌입전류의 모델링 방법에 대하여 제시하였다. EMTP-RV에서 변압기 모델링의 방법 중 Hysteresis fitter와 Hysteretic reactor의 히스테리시스 모델링 원리 및 방법에 대하여 나타내었으며, 변압기 여자돌입전류의 시뮬레이션 결과를 통하여 모델링 방법의 타당성을 증명하였다. 이러한 변압기의 여자돌입전류 모델링 방법은 추후 변압기의 초기 가압 시 생기는 여자돌입전류의 정확한 분석을 위하여 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] DCG-EMTP(Development coordination group of EMTP) Version EMTP-RV, Electromagnetic Transients Program. [Online]. Available : <http://www.emtp.com>