

단로기 조작 시 변압기 단자에서 측정된 VFTO의 상승률 분석

이지영, 오윤식, 서훈철, 김철환
성균관대학교

Analysis of Rate-of-rise of VFTO Measured in Transformer During the Operation of Disconnecter

Ji-Young Lee, Yun-Sik OH, Hun-Chul Seo, Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - 단로기와 회로 차단기의 스위칭 동작에 의해 발생하는 Very Fast Transient Overvoltage(VFTO)는 변압기, 회로차단기 등 GIS 전력소자에 큰 충격을 주어 잠재적인 위험이 된다. VFTO는 전력기기 소자 및 절연체 손상의 주된 원인이므로 시스템을 설계할 때 반드시 VFTO 최대값을 고려해야 한다. 본 논문에서는 550kV Gas Insulated Substation(GIS)를 분포정수회로기반으로 모델링하여 다양한 투입위상각에 따른 VFTO 상승률을 모의하였다. 이때, EMTP-RV를 이용하여 변압기로 전파된 VFTO를 측정하여 그 경향을 분석하였다.

coupling feeders와 550kV의 정격 전압원으로 구성된 GIS에서 전압의 진행과 특성을 고려해 각 소자는 집중정수 및 분포정수 선로로 구성된 전기적 등가회로로 표현할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 표 1과 같이 IEEE에서 추천한 값을 사용하여 GIS를 모델링하였다[4]. 그림 2는 본 논문에서 고려된 GIS 모델을 나타낸다.

1. 서 론

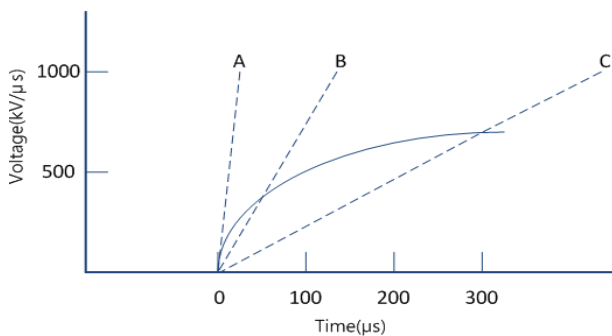
GIS는 소자 압축도가 높고 오염물질로부터 보호, 유지가 쉬워 전력시스템에 많이 사용된다. 하지만 단로기와 회로 차단기의 스위칭 동작 시 GIS 구성요소에 큰 충격을 주는 VFTO가 발생되어 회로소자가 파괴된다는 단점이 있다[1]. VFTO는 짧은 시간동안의 전압변화로 주로 100kHz ~ 50MHz의 고주파 대역에서 발생된다. VFTO로 인한 절연열화에 의해 GIS 내부 코일에서 임펄스 전압보다 더 큰 전압이 가해져 절연체 및 시스템소자가 손상된다. VFTO의 크기가 Basic Insulation Level(BIL)보다 작다고 하더라도, 잦은 충격으로 인해 시스템이 손상되어 소자교체 주기가 짧아진다. 그러므로 안전한 GIS시스템 구현을 위해 시스템 설계 시 VFTO의 크기와 상승률을 고려하는 것이 필요하다[2].

본 논문은 EMTP-RV를 이용하여 550kV GIS의 변압기 단자에서 VFTO의 크기와 상승률을 측정하였다. GIS 각 구성요소는 분포선로 모델과 집중선로 모델을 이용한 등가모델로 모델링되었다.

2. 본 론

2.1 상승률

VFTO 상승률은 단위 시간 당 전압의 변화로 정의되며(kV/μs) 계산방법은 그림 1과 같다[3].



〈그림 1〉 전압 상승률의 계산방법

그림 1의 전압 상승률 계산방법은 다음과 같다.

- (1) A : t=0에서의 기울기
- (2) B : trigger 신호 후 sampling interval 50μs 동안 상승전압의 기울기
- (3) C : t=0에서의 최대전압 측정값까지의 기울기

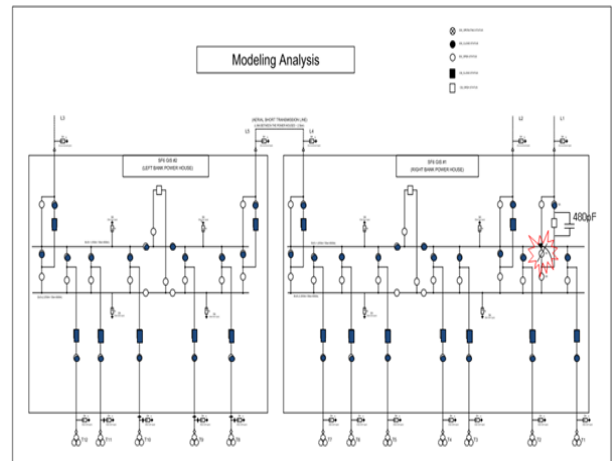
본 논문에서는 그림 1의 C방법을 이용하여 변압기 단자의 VFTO 상승률을 계산하였다.

2.2 EMTP-RV를 이용한 GIS모델링

단로기, 회로 차단기, 접지스위치, TR feeders, T/L feeders, busbars,

〈표 1〉 GIS의 구성요소 모델링 방법

GIS 구성요소	등가모델	
Bus bar	송전선로 모델(비연가)	
Circuit Breaker	open	- 2개의 송전선로 모델 - 직렬로 연결된 Resistance + Capacitance : 17Ω+2800pF - 대지 간 Capacitance : 20pF - 극간 Capacitance : 430pF
	close	- 3개의 송전선로 모델 - 대지 간 Capacitance : 20pF
Disconnecter Switch	open	- 2개의 송전선로 모델 - 직렬로 연결된 Capacitance : 20pF
	close	- 3개의 송전선로 모델
Surge Arrester	대지 간 Capacitance : 50pF	
Earth Switch	대지 간 Capacitance : 45pF	
Bushing	대지 간 Capacitance : 500pF	



〈그림 2〉 GIS 모델

2.3 시뮬레이션

2.3.1 시뮬레이션 조건

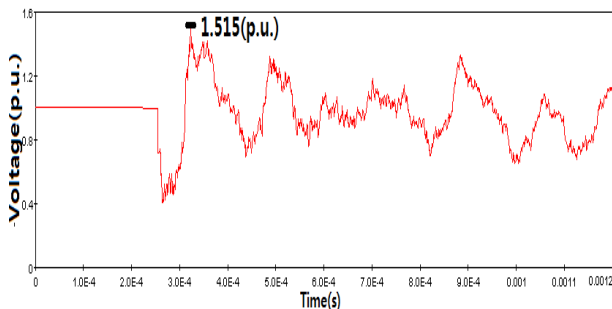
본 논문은 각각의 feeder에서 회로차단기의 closing 동작에 의해 발생하는 VFTO를 측정하였다. 표 2는 시뮬레이션 조건을 나타내며 단로기가 동작하는 feeder에 따라 Case를 달리할 뿐만 아니라 각각의 Case마다 투입위상각을 0°~330°까지 30°단위로 변화시켜 시뮬레이션을 수행하였다.

<표 2> 시뮬레이션 조건

구분	단로기 동작 feeder
Case 1	L1
Case 2	L2
Case 3	L3
Case 4	T1
Case 5	T4
Case 6	T7
Case 7	T8
Case 8	T10
Case 9	T12
Case 10	L4
Case 11	L5

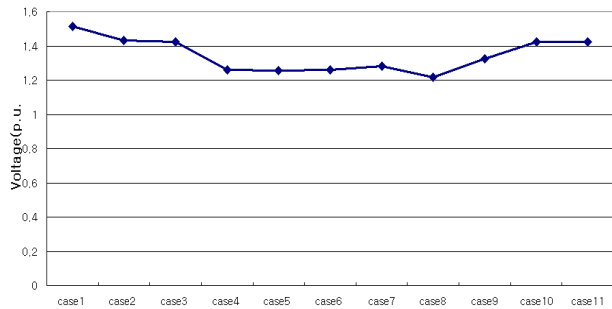
2.3.2 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 3은 Case 1의 경우, 투입 위상각의 크기가 90°일 때 변압기에서 측정된 VFTO를 p.u값으로 나타낸 파형이다. 변압기에 측정된 VFTO의 최대값은 1.515p.u.로 측정되었다.



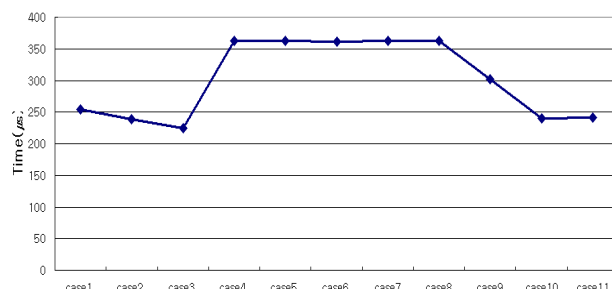
<그림 3> 투입위상각이 90° 일 때의 Case 1의 변압기 단자 전압

그림 4는 투입위상각이 90°일 때 각 Case별 VFTO 값을 나타낸다. 변압기에서 측정된 VFTO의 최대값은 Case 1일 때 1.515p.u.로 측정되었으며, 평균적으로 약 1.35p.u.의 VFTO가 발생된다.



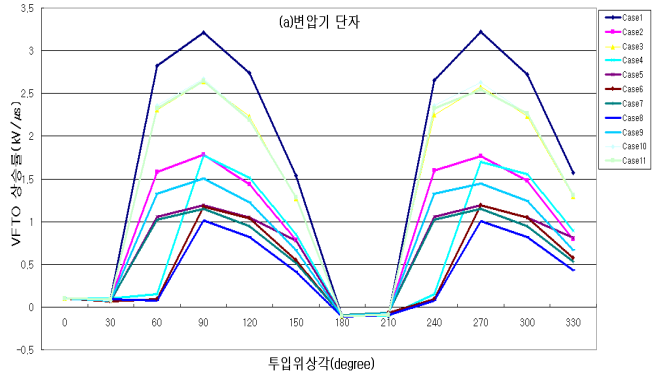
<그림 4> 투입위상각이 90° 일 때의 VFTO 값

그림 5는 투입위상각이 90°일 때의 각 Case별 VFTO 발생시간을 나타내며, 평균적으로 301.195μs가 걸린다. 이는 단로기로부터 발생된 VFTO가 선로를 통하여 변압기까지 전달되는 진행파의 특성을 잘 보여 주며, VFTO의 전파 속도는 213.785km/s로 계산되었다. 또한 TR feeder에서 단로기가 조작된 경우가 T/L feeder에서 단로기가 조작된 경우보다 변압기 단자까지 전파시간이 더 긴 것을 알 수 있다.



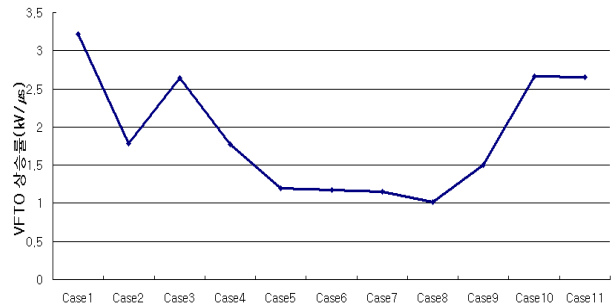
<그림 5> 투입위상각이 90° 일 때 각 Case별 VFTO 발생시간(μs)

그림 6은 다양한 투입위상각을 고려한 VFTO 상승률을 나타낸다. VFTO의 상승률은 투입위상각이 90°와 270°일 때 가장 크고 0°와 180°일 때 가장 작은 값을 나타낸다.



<그림 6> 투입위상각에 따른 VFTO 상승률

그림 7은 투입위상각이 90°일 경우 Case별 변압기에서의 VFTO 상승률을 나타내며 Case 1일 때 3.125kV/μs로 가장 크다.



<그림 7> 투입위상각이 90° 일 때의 Case별 VFTO 상승률

3. 결 론

본 논문은 EMTV-RV를 이용하여 GIS에서 동작 가능한 여러 가지 Case들을 고려하여 변압기의 VFTO 상승률을 측정하였다. 각 소자들은 전기적 등가회로로 표현하였으며, 다양한 Case에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 기반으로 한 분석결과는 다음과 같다.

- ① 투입위상각이 90°와 270°에 가까워질수록 VFTO 상승률은 증가하며 0°와 180°에 가까워질수록 감소한다.
- ② VFTO는 Case 1에서 가장 큰 값을 가지며, TR feeder에 비해 T/L feeder가 큰 값을 가진다.
- ③ 투입위상각이 같을 때 VFTO 발생시간은 TR feeder에 비해 T/L feeder가 더 빠르다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2010-0027789).

[참 고 문 헌]

- [1] A. Tavakoli1, A. Gholamil, A. Parizad, H.M Soheilipour , H.,Nouri, "Effective Factors on the Very Fast Transient Currents and Voltage in the GIS", IEEE T&D Asia,2009
- [2] V. Vinod Kumar, Joy Thomas M., and M. S. Naidu, "Influence of Switching Conditions on the VFTO Magnitudes in a GIS", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 16, NO. 4,OCTOBER 2001
- [3] Dean E. Perry, Richard C. Raupach, C. A. Edward Uhlig, "A Switching Surge Transient Recording Device", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-87, No. 4, pp. 1073-1078, April 1968.
- [4] 서훈철, 김철환, 정영환, 류석정, "EMTP-RV를 이용한 GIS에서 VFTO의 상승률 분석", 2010년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2010