

시험용 변압기를 이용한 개폐충격전압 발생 연구
Generation of switching impulses using
High - voltage Testing transformer

신	대	승	한국전기연구소
조	연	옥	"
* 김	광	화	"
류	희	석	"

I. 서 론

최근의 연구결과에 의하면 외부 절연의 상간 대지간 절연강도는 상관관계가 있다고 밝혀졌다.^{<1>} 다시 말하면, 대지로 방전할 확률은 대지간 전압 뿐만 아니라 상간전압에도 관계가 있다.

이에 관련하여 300KV 이상의 정격전압에 대해서는 상간 개폐충격전압 절연시험의 표준화가 고려되고 있다. IEC기술위원회 그룹28은 상간 절연시험에서는 한 상에 대지간 정극성(RSIWL) 정격개폐충격전압을 인가하고 다른 상에 부극성의 개폐충격전압을 525(KV) 이하의 계통에 대해서는 0.5(RSIWL), 525(KV) 이상의 계통에 대해서는 0.65(RSIWL)을 인가하도록 제안하고 있다. 또한 정극성 전압에 대해서는 파두시간 250 μ S, 부극성 전압의 파두시간은 250 μ S 이상을 규정하고 있다.^{<3>}

위와 같은 상간 절연시험을 수행하기 위해서는 2 대의 충격전압발생기가 필요하며, 상반된 극성의 두 전압을 동기화시켜야 한다.

절연시험에 대한 상기와 같은 경향에 대비하여 한국전기연구소는 절연시험 표준화(IEC 등

에 의해) 전에 상간절연시험을 수행할 수 있는 시설을 검토하기에 이르렀다.

이중, 본 고찰에서는 당 연구소에서 보유하고 있는 시험용 변압기를 이용하여 부극성 개폐 충격전압을 발생하는 방법을 소개한다 이는 새로운 충격전압발생기 설치로 야기되는 시설비와 설치공간을 줄일수 있는 장점이 있어, 시험용 변압기를 보유하고 있는 중전압업체에서 이용할 수 있는 고전압 측정기술이라고 사료된다.

2. 개폐 충격전압의 발생방법

충격전압은 뇌충격전압과 개폐충격전압으로 분류된다. 이들의 충격전압은 일반적으로 충격전압발생기로 발생시키며 고압용 변압기의 충격전압시험이나 2 대 이상의 충격전압발생기가 필요한 경우 이들 변압기 이용하여 충격전압을 발생시킬 수 있다.

그러나 변압기를 이용한 충격전압 발생은 인가시간이 짧은 뇌충격전압은 발생시킬 수 없고 인가시간이 긴 개폐충격전압을 발생시키는 것은 가능하므로 변압기를 개폐충격발생기로 이용할 수 있다.^{<4>}

변압기를 이용한 충격전압의 발생방법은 다음과 같은 3가지 방법이 있다.

첫째는 교류전압 여자방법으로 변압기 저압 권선에 콜리는 교류전압을 싸이리스터나 이그니터로 인가전압의 위상을 제어하면 변압기 고압측에서 개폐충격전압을 얻을 수 있다. <5>

둘째는 직류전류 차단방법으로 변압기의 저압 권선에 일정 직류전류를 흘리고 이 전류를 순간적으로 차단하면 변압기의 고압측에서 개폐충격전압을 얻을 수 있다.

셋째는 캐패시타의 방전을 이용하는 방법으로 캐패시타에 일정 직류전압을 충전시키고 캐패시타에 충전된 전압을 변압기의 저압 권선에 구배 등으로 방전시킴으로 변압기의 고압측에 개폐충격전압을 발생시킬 수 있다. <4.6>

일반적으로 변압기를 이용한 개폐충격전압 발생방법은 위의 3가지 방법중 첫째와 셋째 방법이 이용되고 있으며 다음 고찰에서는 캐패시타의 방전을 이용한 충격전압 발생방법에 대하여 고찰하였다.

2.1 EMTP(Electromagnetic transient program)에 의한 등가회로 해석 <7>

캐패시타를 이용한 개폐충격전압 발생회로는 그림 1과 같은 등가회로로 나타낼 수 있으며, 여기서 발생하는 개폐충격전압은 그림 1의 등가회로정수를 해석함으로써 예측할 수 있다.

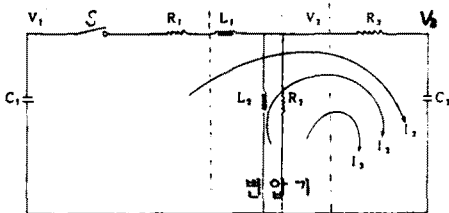


그림 1 개폐 충격전압 발생 등가회로도

그림 1의 회로에서 직류전압으로 충전된 캐패시타 <C1>를 구배 <S>으로 방전시켜 변압기의 저압 권선을 여자시키면 변압기 고압측을 통하여 부하 <C2>에 개폐충격전압이 발생되며 이때 발생된 개폐충격전압은 위의 회로정수에 의하여 결정된다.

그림 1의 등가회로 해석을 EMTP를 이용하면 각 지로의 선형의 회로소자와 비선형의 회로소자의 해석이 가능하다.

지로 <A, m>에서 인덕턴스는 다음과 같이 표시된다.

$$e_A - e_m = L \cdot (di_{A,m} / dt) \text{-----} <1>$$

식 <1>을 적분식으로 바꾸면 식 <2>와 같다.

$$i_{A,m}(t) = i_{A,m}(t - \Delta t) + \frac{1}{L} \int_{t-\Delta t}^t (e_A - e_m) dt \text{-----} <2>$$

식 <2>를 수치해석적 방법 <trapezoidal rule>으로 풀이하면 식 <3>과 같다.

$$i_{A,m}(t) = (\Delta t / 2L) (e_A(t) - e_m(t)) + I_{A,m}(t - \Delta t) \text{-----} <3>$$

지로 <A, m>에서 캐패시턴스는 다음과 같이 표시된다.

$$e_A(t) - e_m(t) = \frac{1}{C} \int_{t-\Delta t}^t i_{A,m}(t) dt + e_A(t - \Delta t) - e_m(t - \Delta t) \text{-----} <4>$$

식 <4>를 수치해석적 방법 <trapezoidal rule>으로 풀이하면 식 <5>와 같다.

$$i_{A,m}(t) = (2C / \Delta t) (e_A(t) - e_m(t)) + I_{A,m}(t - \Delta t) \text{-----} <5>$$

지로 <A, m>에서 저항의 해석은 식 <6>과 같다.

$$i_{A,m}(t) = (1/R) \cdot (e_A(t) - e_m(t)) \text{-----} <6>$$

위의 각 회로소자 특성을 등가회로에 적용하여 해석(nodal equation)을 하면 다음과 같은 계의 상태식으로 표시할 수 있다.

$$[Y] [e(t)] = [i(t)] - [I] \quad \text{---> (7)}$$

[Y] : modal conductance

[e(t)] : column Vector of node voltage at time t

[i(t)] : column vector of injected mode current at time t

[I] : known column vector

등가회로에서 변압기는 비선형의 인덕턴스로 해석이 되므로 EMTP의 비선형 인덕턴스로 해석이 된다.

$$\psi = f(i_{A,m})$$

으로 표시되며 전체의 자속은 다음과 같다.

$$\psi(t) = \int_0^t (e_A(t) - e_m(t)) dt + \psi'(0) \quad \text{---> (8)}$$

수치해석적방법(trapezoidal rule)을 적용하면 식(9)와 같다.

$$e_A(t) - e_m(t) = (1/\Delta t) f(i_{A,m}(t)) - C(t-\Delta t) \quad \text{---> (9)}$$

식(9)의 C는 다음과 같다.

$$C(0) = (1/\Delta t) \psi(0) + e_A(0) - e_m(0) \quad \text{---> (10, a)}$$

$$C(t-\Delta t) = C(t-2\Delta t) + 2(e_A(t-\Delta t) - e_m(t-\Delta t)) \quad \text{---> (10, b)}$$

2.2 소형 변압기를 이용한 모의실험과 EM

TP의 결과비교

시험용 변압기를 사용하여 개폐충격전압을

발생시키기 전에 소형 변압기로 모의실험을 하고 EMTP로 계산된 결과와 비교하였다.

모의실험 방법은 소형 변압기(24/220) 2대를 직렬중속전속하고 그림2와 같이 충전용 캐패시타, 파형 조정용저항, 부하 커패시터를 연결하였다.

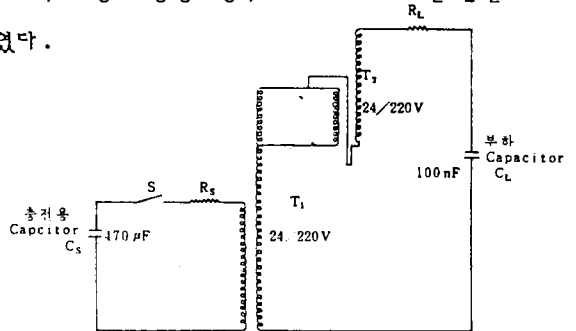
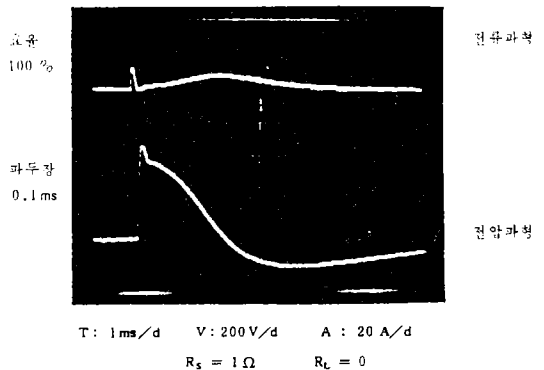


그림 2. 모의실험회로

먼저 충전용 캐패시타와 변압기 사이의 스위치(S)를 개방시킨 다음 충전용 캐패시타에 직류 전압 30V로 충전시켰고 스위치를 닫아 변압기의 저압측에 방전시켰다. 이 결과 부하 캐패시타(\$C_L\$)에 개폐충격전압이 발생하였다.

위와 같은 실험방법으로 파형조정용 저항 \$R_S\$와 \$R_L\$을 변화시키면서 실험한 결과는 그림3(a)과 같다.

모의실험과 같은 회로정수 값으로 EMTP를 통해서 계산한 결과는 그림3(b)와 같다.



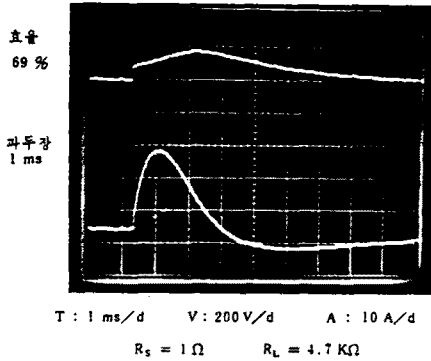


그림 3(a) 실험결과

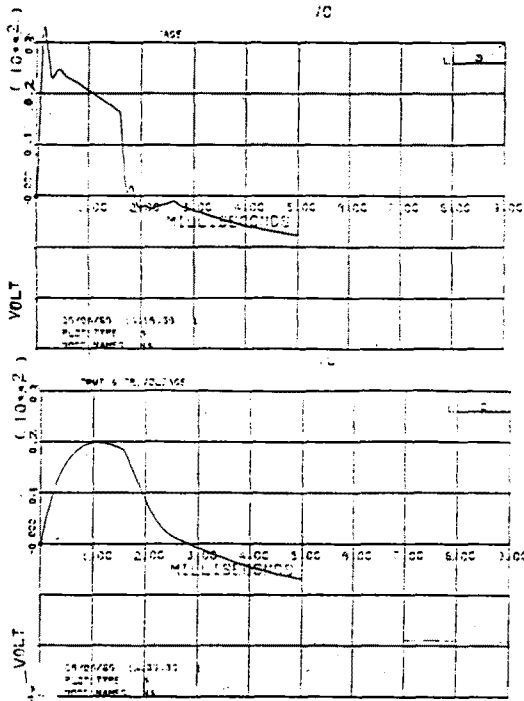


그림 3(b) EMTP결과

3. 결론

이상과 같이 변압기를 이용한 개폐충격전압 발생방법 고찰에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 변압기를 이용하여 파두장이 250 μ s 이 상인 부극성 개폐충격전압을 얻는 것이 가능하였다.
2. 모의실험과 EMTP 계산을 비교한 결과는

거의 일치하였다.

3. 시험용 변압기를 이용한 개폐충격발생기 설계에 있어서 EMTP를 이용함으로써 충전용 캐패시터와 파형 조정용 저항의 최적 설계가 가능하고, 개폐충격전압의 계산이 가능한 것으로 사료된다.

1. IEC TC33 "phase - to - phase Insulation", Electra 64, 1979, 137.

2. IEC TC28 "Supplement to publication 71 Insulation Coordination" 1975.

3. CIGRE TF33 - 03.03 "Switching test Procedure for Phase - to - phase Air Insulation" Electra 30, 1973, 55.

4. A. A. ALGBRANT, A.E. BRIERLEY, N. HYL TEN - CAVALLIS "Switching Surge Testing of Transformers" IEEE PAS - 85 No.1 1966. p54-61.

5. H. Anis, G. Giao Trinh, D. Train "Generation of Switching Impulses Using high Voltage testing Transformers" IEEE PAS - 94 No.2 1975. p187-197.

6. L. Thione, A. Spinelli, A. Bossi, E. Sesvo. "Switching Impulse Tests of EHV and UHV Transformers" IEEE PAS-99 No.2. 1980. p779-789.

7. HERMANN W. DOMMEL "Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single and Multiphase Networks" IEEE PAS-88 No.4. 1969. p388-399.