

2중주파 합성시험회로의 TRV 패턴 분류 및 파라미터 계산 방법

이용한
한국전기연구원

TRV Pattern Classification and Parameter Calculation Method for Double-Frequency Synthetic Test Circuit

Lee, Yong-Han
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - In this paper analytical pattern classification of TRV waves created by double-frequency synthetic test circuit was proposed. According to the classified patterns of the TRV wave, calculation methods of 3 reference lines and 4 parameters characterizing the TRV wave were proposed. These methods can be utilized to optimize test facility and to standardize test quality.

1. 서 론

2중주파 합성시험회로의 회로구성요소를 최적으로 튜닝하여 시험설비 효율을 증대시키거나, 정형화된 시험품질을 제공하기 위해서는 규격이나 사용자가 요구하는 과도회복전압(Transient Recovery Voltage, TRV)을 발생시킬 수 있어야 한다. 이를 위해서는 2중주파 합성시험회로의 임의의 회로구성요소 값에 대한 TRV 발생 패턴을 분류할 수 있어야 하며, 분류된 패턴에 따른 크기, 상승률 등의 특성 파라미터를 수학적 또는 수치적으로 계산할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 4-파라미터 TRV를 발생시키기 위한 2중주파 합성시험회로에서 임의의 회로구성요소 값에 대한 TRV 패턴을 해석적으로 분류하고, 분류된 패턴에 따른 TRV 파라미터를 해석적으로 도출할 수 있는 알고리즘을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 4-파라미터 TRV 합성시험회로

송전계통에서 발생하는 TRV는 통상 2개 이상의 주파수 성분을 갖게 되는데, IEC 등의 국제규격에서는 그림 1과 같이 2개의 주파수 성분이 중첩된 파형을 3개의 기준선들(reference lines)의 교점 좌표에 의한 4개의 파라미터, 즉 t_1, u_1, t_2, u_2 에 의해 정의하고 있다.

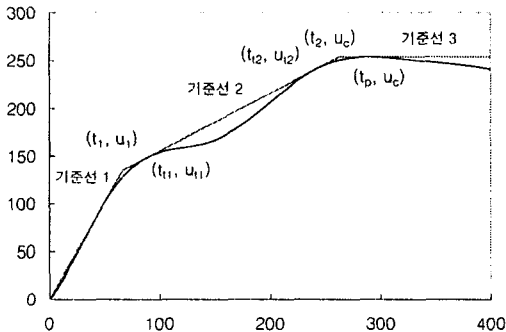


그림 1. 4-파라미터 TRV의 표현 방법

4-파라미터 TRV 파형을 발생시키기 위한 합성시험회로는 여러 가지가 있는데, 대표적인 것으로 2중주파 합성시험회로와 Weil-Dobke 합성시험회로가 널리 사용되고 있으며, 본 논문에서는 그림 2에 나타난 2중주파 합성시험회로에 대해서만 검토하였다.

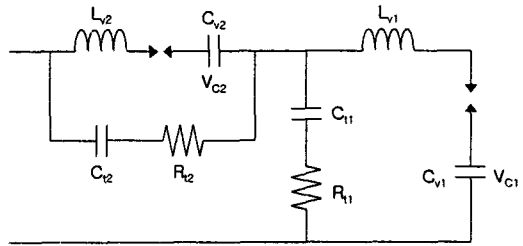


그림 2. 2중주파 4-파라미터 TRV 합성시험회로

TRV 파형을 특징짓는 요소로 모선이나 분선 등의 누설 커패시턴스에 의한 TRV 파형 초기 부분의 상승 억제 정도를 나타내는 지연시간 파라미터도 있으나, 통상 합성시험회로에 병렬 커패시터를 부가하여 조절할 수 있으므로, 본 논문에서는 고려하지 않았다.

2.2 2중주파 합성시험회로의 TRV 패턴

2.2.1 2-파라미터 합성시험회로의 TRV 함수

2중주파 4-파라미터 합성시험회로의 각 단의 2-파라미터 TRV 발생특성은, 회로의 진동특성에 따라 다음과 같은 3가지 형태로 구분된다.

- i. $\omega_0^2 - \alpha^2 > 0$ 일 때

$$u = V_R \left\{ 1 - e^{-\alpha t} \left(\cos \omega t - \frac{\alpha \beta}{\omega} \sin \omega t \right) \right\}$$
- ii. $\omega_0^2 - \alpha^2 = 0$ 일 때

$$u = V_R \left\{ 1 - e^{-\alpha t} (1 - \alpha \beta t) \right\}$$
- iii. $\omega_0^2 - \alpha^2 < 0$ 일 때

$$u = V_R \left\{ 1 - e^{-\alpha t} \left(\cosh \omega_n t - \frac{\alpha \beta}{\omega_n} \sinh \omega_n t \right) \right\}$$

단, $V_R = V_C \cdot \frac{C_v}{C_v + C_t}$

$$\alpha = \frac{R_t}{2L_v}$$

$$\beta = 1 + 2 \frac{C_t}{C_v}$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{L_v} \left(\frac{1}{C_v} + \frac{1}{C_t} \right)$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 - \alpha^2 > 0, \omega_0^2 - \alpha^2 > 0$$
 일 때

$$-\omega_n^2 = \omega_0^2 - \alpha^2 < 0, \omega_0^2 - \alpha^2 < 0$$
 일 때

2.2.2 2중주파 합성시험회로의 TRV 패턴 분류

2중주파 합성시험회로에서 발생하는 TRV는 각 단계에서 발생하는 TRV의 합으로 나타나며, 임의의 파형에 대한 TRV 패턴은, 원점과 파고시점 구간에서 2차 미분 TRV 함수의 영점 통과개수(Nzero)에 따라 표 1과 같이 분류할 수 있으며, TRV 패턴을 분류하기 위한 알고리즘을 그림 3에 나타내었다.

표 1 TRV 패턴 분류

패턴	Nzero	2중주파 합성시험회로 조건
I	0~1	<ul style="list-style-type: none"> ● 2단 모두 과제동 ● 1단 과제동, 1단 부족제동 (단, 부족제동회로 초기전압이 과제동회로 초기전압보다 큰 경우) ● 2단 모두 부족제동 (단, 빠른 주파수 성분이 주로 지배하여 늦은 주파수 성분 영향이 파고 이후에 나타날 때)
II	2~3	<ul style="list-style-type: none"> ● 1단 과제동, 1단 부족제동 (단, 부족제동회로 초기전압이 과제동회로 초기전압보다 작은 경우) ● 2단 모두 부족제동
III	4~5	<ul style="list-style-type: none"> ● 2단 모두 부족제동
IV	6 이상	<ul style="list-style-type: none"> ● 2단 모두 부족제동

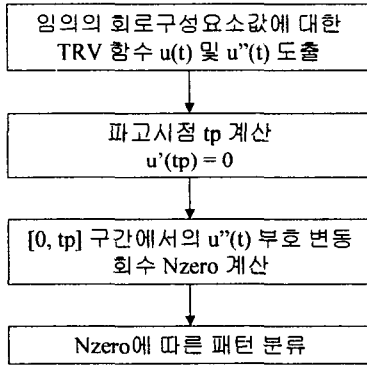


그림 3. TRV 패턴 분류 알고리즘

2.3 2중주파 합성시험회로의 TRV 파라미터

위와 같이 분류된 TRV 패턴에 대한 파라미터는 다음과 같이 기준선들을 도출하여 그들의 교점을 구함으로써 계산할 수 있다.

2.3.1 기준선 1 도출 방법

그림 1에 도시한 기준선 1은 TRV 곡선 상의 임의의 점과 원점을 지나는 직선 중에서 상승률이 가장 큰 직선으로서 다음과 같이 도출할 수 있다.

i. 도출 조건

$$\max\left(\frac{u(t)}{t}\right), t \geq 0$$

ii. 조건 방정식

$$u(t) - t \frac{du(t)}{dt} = 0 \Rightarrow t_s \text{ 계산}$$

iii. 기준선(l₁) 함수

$$l_1 = \frac{du(t_s)}{dt} t$$

2.3.2 기준선 3 도출 방법

그림 1에 도시한 기준선 3은 TRV 파고를 지나는 시점에 평행한 직선이므로 다음과 같이 도출할 수 있다.

i. 도출 조건

$$\max(u(t)), t \geq 0$$

ii. 조건 방정식

$$\frac{du(t)}{dt} = 0 \Rightarrow t_p \text{ 계산}$$

iii. 기준선(l₃) 함수

$$l_3 = u(t_p)$$

2.3.3 기준선 2 도출 방법

2.3.3.1 패턴 I에 대한 기준선 2 도출 방법

패턴 I 파형에서의 기준선 2는 그림 4에 도시한 2개 영역의 면적이 같게 되는 접선으로서 다음과 같이 구할 수 있다.

i. 도출 조건

$$(\text{면적 } 1) = (\text{면적 } 2), l_2 \geq u$$

ii. 기준선(l₂) 함수

$$l_2 = s_2 t + b_2$$

iii. 조건 방정식

$$\textcircled{1} \frac{du(t_s)}{dt} = s_2$$

$$\textcircled{2} \int_{t_1}^{t_2} (l_1 - u) dt + \int_{t_1}^{t_2} (l_2 - u) dt = 0$$

$$\int_{t_1}^{t_2} (l_2 - u) dt + \int_{t_2}^{t_c} (u_c - u) dt = 0$$

$$\Rightarrow s_2, b_2 \text{ 계산}$$

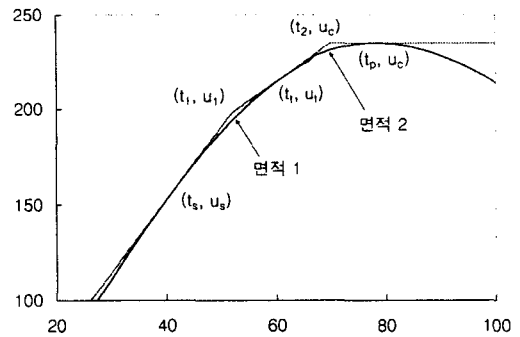


그림 4. TRV 패턴 I의 기준선 2 도출 방법

2.3.3.2 패턴 II에 대한 기준선 2 도출 방법

패턴 II 파형에서의 기준선 2는 그림 1에 도시한 것과 같이 [t₁, t₂] 구간의 2점 (t₁, u₁), (t₂, u₂)에서 TRV 곡선에 접하며, TRV 곡선보다 위에 존재하는 직선으로서 다음과 같이 구할 수 있다.

i. 도출 조건

$$\frac{du(t_n)}{dt} = \frac{du(t_e)}{dt}, t_1 < t_n < t_e < t_2, l_2 \geq u$$

ii. 조건 방정식

$$\textcircled{1} \frac{du(t_n)}{dt} = \frac{du(t_e)}{dt}$$

$$\textcircled{2} u(t_n) - \frac{du(t_n)}{dt} t_n = u(t_e) - \frac{du(t_e)}{dt} t_e$$

⇒ t_a, t_b 계산
 iii. 기준선(l_2) 함수

$$l_2 = \frac{cd(t_a)}{dt}(t-t_a) + id(t_a) = s_2t + b_2$$

2.3.3 패턴 III에 대한 도출 방법

패턴 III 파형은 4-파라미터 TRV 파형으로서는 그다지 적합하지 않으나 회로조건에 따라서는 적용할 수도 있으며, 이 경우의 기준선 2는 그림 5에 나타난 2개의 면적의 차가 가장 작게 되는 접선으로서 다음과 같이 구할 수 있다.

i. 도출 조건

$$\min[\text{abs}((\text{면적 1}) - (\text{면적 2}))], l_2 \geq u$$

ii. 조건 방정식

① $A_1 \geq B_1 \rightarrow t_c = t_{a1}$: 그림 6 참조

② $A_1 \leq B_1 \rightarrow t_c = t_{a2}$: 그림 7 참조

③ 기타 조건 : 패턴 I 과 같은 방법 적용

iii. 기준선(l_2) 함수

$$l_2 = \frac{cd(t_c)}{dt}(t-t_c) + id(t_c) = s_2t + b_2$$

패턴 IV는 4-파라미터 TRV 파형으로서는 매우 적합하지 않으며 실제 사용되지도 않으므로 본 논문에서는 다루지 않았다.

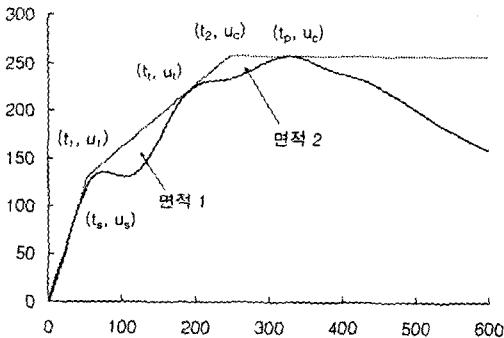


그림 5. TRV 패턴 III의 기준선 2 도출 방법

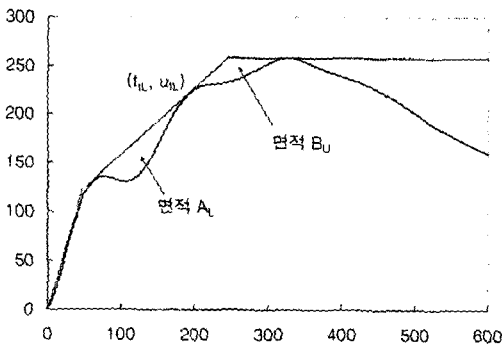


그림 6. TRV 패턴 III의 기준선 2의 도출 하한

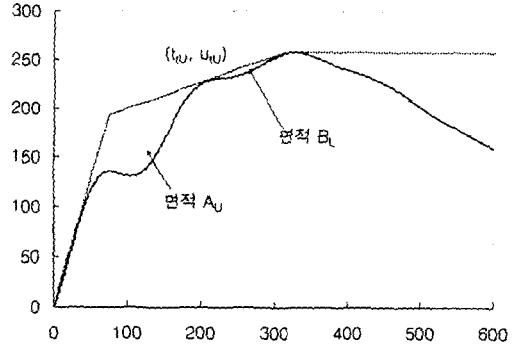


그림 7. TRV 패턴 III의 기준선 2의 도출 상한

2.3.4 TRV 파라미터의 계산

전술한 것과 같이 TRV 파형의 패턴을 분류하고, 분류된 패턴에 따른 기준선 도출 방법을 이용하여 3개의 기준선 l_1, l_2, l_3 이 도출되면, 도출된 기준선 함수들을 이용하여 다음과 같이 4개의 TRV 파라미터를 계산할 수 있다.

i. t_1 및 u_1 계산

$$t_1 = \frac{b_2}{\frac{cd(t_1)}{dt} - s_2}$$

$$u_1 = id(t_1)$$

ii. t_2 및 u_c 계산

$$t_2 = \frac{id(t_2) - b_2}{s_2}$$

$$u_c = id(t_2)$$

3. 결 론

일반적으로 가장 널리 사용되는 2중주파 합성시험회로에서 임의의 회로요소 값에 의한 TRV 파형을 해석적 방법에 의해 패턴을 분류하고, 분류된 패턴에 따른 3개의 기준선을 도출하는 방법을 제안하였다.

제안된 방법은 시험설비의 최적화, 시험품질의 규격화 및 정형화를 위한 기본 기술로 활용될 수 있을 것이며, 이를 위해서는 적절한 최적화 기법과 프로그래밍 방법 등에 대한 연구가 병행되어야 할 것이다.

[참고 문헌]

- [1] IEC 62271-100, "High-voltage alternating current circuit breakers", 2003. 5.
- [2] IEC 60427, "Synthetic testing of high voltage alternating current circuit breakers", 2000. 4.