

과단면적 계수를 고려한 철심 변류기 설계 방법

이주훈* 강상희* 이승재* 강용철** 배주천*** 안준기***
 *명지대학교 **기초전력공학공동연구소 ***한국전력공사

An Iron-cored CT Design Considering Overdimensioning Factor

J. H. Lee* S. H. Kang* S. J. Lee* Y. C. Kang** J. C. Bae*** J. K. Ahn***
 *Myongji UNIV. **EESRI ***KEPCO

Abstract - Current transformer (CT) saturation may cause a variety of protective relays to malfunction. The conventional CT is designed that it can carry up to 20 times the rated current. However, the possibility of CT saturation still remains, because the fault current may have substantial amounts of ac and/or dc components.

This paper presents a iron-cored CT design method to prevent CT saturation. The proposed method employs the overdimensioning factor (K_m) considering dc components contained as well as symmetrical ac components in the fault current.

1. 서 론

변류기는 전력 시스템에 흐르는 전류의 크기를 축소하여 계전기에 입력하기 위하여 사용되는데, 주로 자로가 철인 철심 변류기 (iron-cored current transformer)를 사용하고 있다. 그런데, 철심 변류기는 자기 포화 특성이 있고, 변류기가 포화되면 계전기의 오동작/오부동작을 유발하거나, 계전기의 동작이 늦어지게 되어, 변류기가 포화되지 않도록 설계해야 한다. 특히 단락 용량이 크고, 시정수가 큰 시스템일수록 포화의 가능성이 크게 되어, 변류기 설계시 변류기 포화를 잘 고려해야 한다.

현재 우리나라에서 변류기 포화를 방지하기 위한 대책으로는 정격 전류의 20배가 흐르는 경우에 변류비 오차가 10%가 넘지 않도록 하는 방식이 사용되고 있다. 하지만 이 방식은 사고 전류의 정현 성분만에 대한 규격이다. 따라서, 사고 전류가 직류 성분도 포함되어 있는 경우에는, 그 크기가 정격 전류의 20배가 넘지 않아도 변류기가 포화될 수 있다. 그러므로, 직류 성분에 대한 영향을 고려하여 변류기를 설계하여야 한다.

본 논문에서는 과단면적 계수를 도입한 철심 변류기 설계 기법을 제시하고자 한다. 철심 변류기 설계에 필요한 매개변수는 다음의 4가지이다. 먼저, 정격 전류시의 오차로부터 비포화 영역에서의 자화 인덕턴스를 구하고, 직류분을 고려하여 포화되지 않는 포화점을 구하고, 자로의 길이를 구하는 방법을 제시한다. 기존의 방식과 제시한 방식으로 설계한 변류기를 EMTP로 구현하여 비교함으로써 타당성을 입증하였다.

2. 직류분을 고려한 변류기 설계 방법

2.1 비포화 영역에서의 자화인덕턴스(L_m)를 정하는 방법

그림 1에 간략화된 등가회로를 나타내었고, 저항성이 큰 부담일 때 포화에 의한 파형 왜곡이 크게 나타나므로 편의상 부담을 저항성 부담으로 간주하였다. 이 때 1차 전류와 자화전류(I_m)사이의 관계식은 다음과 같다.

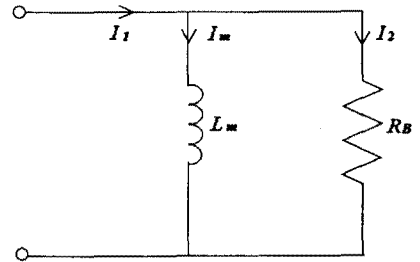


그림 1. 변류기의 등가회로

$$I_m = \left(\frac{R_B}{R_B + j\omega L_m} \right) \cdot I_1 [A] \quad (1)$$

여기서, 변류비 오차(Ratio error)는 다음과 같이 정의된다.

$$\epsilon_{st} = \frac{I_m}{I_1} \times 100 [\%] \quad (2)$$

위의 식을 간단히 정리하여 나타내면 아래와 같다.

$$L_m = \frac{R_B}{\omega \epsilon_{st}} \sqrt{1 - \epsilon_{st}^2} [H] \quad (3)$$

즉, 비포화 영역에서의 자화인덕턴스(L_m)는 정격 전류에서의 오차(ϵ_{st})가 정해지면 결정되는 것을 알 수 있다.

2.2 과단면적 계수를 결정하는 방법

과단면적 계수(K_m)는 사고 후에 대전류가 발생하더라도 포화가 발생하지 않도록 대칭분 단락전류만이 고려된 변류기에 직류 성분을 고려한 계수이며 다음과 같이 얻어진다.

1차측 전류가 식(4)과 같다고 하면, $\theta=0$ 에서 직류분을 최대 포함하는 사고전류에 의해서 발생하는 자화전류는 식(5)와 같게 된다. 단, 사고 개입 전에는 1차측 전류가 없는 것으로 본다.[1]

$$i_1(t) = \sqrt{2} \cdot I_{psc} \left[e^{-\frac{t}{T_s}} \cos \theta - \cos(\omega t + \theta) \right] \quad (4)$$

$$i_m = \sqrt{2} I_{psc} \left[\frac{T_p}{T_p - T_s} \left(e^{-\frac{t}{T_s}} - e^{-\frac{t}{T_p}} \right) - \frac{1}{\omega T_s} \sin(\omega t) \right] \quad (5)$$

여기서, I_{psc} 는 정격 1차단락전류, T_p 는 1차측 시정수이고 T_s 는 2차측 시정수이고, 이는 식(6)에 의해서 과도오차(ϵ_p)가 소비자에 의해서 정해지면 결정이 된다.[2]

$$\epsilon_{tr} = \left(\frac{T_p}{T_s} \right)^{\frac{T_s}{T_p - T_s}} [\%] \quad (6)$$

식(5)에서 2차 쇄교자속과 그 자속의 교류분의 최대 순시값의 비를 과도계수라고 하고, 특정한 기간동안 정확도 유지를 요구하는 경우를 만족하도록 한 것을 과단면적 계수 (K_{td})라고 하고 식(7)과 같이 나타내고 시간 $t = t_{max}$ 에서 최대가 된다.[2]

$$K_{td} = \frac{\omega T_p T_s}{T_p - T_s} (e^{-t/T_p} - e^{-t/T_s}) + 1 \quad (7)$$

$$t_{max} = \frac{T_p T_s}{T_p - T_s} \ln \frac{T_p}{T_s} \quad (8)$$

그러나, 일반적으로 t_{max} 는 계전기의 동작시간보다 상당히 길기 때문에 t_{max} 까지의 시간을 고려하지 않고 계전기의 동작시간인 1~2주기 내에 사고가 제거되는 것으로 보고 그 시간까지 포화가 발생하지 않도록 고려해준다.

2.3 단면적을 결정하는 방법

철심의 재질이 결정되면 그 재질에 대한 최대 자속밀도 (\hat{B})가 결정된다. 이때, 정격 전류가 흐르는 경우의 최대 자속을 유기하기 위한 단면적을 A 라고 하자. 본 논문에서는 정확도 한계 조건을 만족하는 유효 단면적을 식(9)와 같이 결정하였다. 단, ($\hat{}$)는 최대값을 나타낸다.[2]

$$A_{eff} = A \cdot K_{ssc} \cdot K_{td} [cm^2] \quad (9)$$

여기서, K_{ssc} 는 정격 대칭분 단락 전류계수이고, 식(10)과 같이 정의된다. 여기서 I_{pn} 은 정격 1차전류이다.

$$K_{ssc} = \frac{I_{psc}}{I_{pn}} \quad (10)$$

대전류 영역에서도 포화되지 않도록 고려한 유효단면적 (A_{eff})을 정해지면 식(11)과 같이 최대 자속 ($\hat{\phi}_{eff}$)이 결정되고, 이 값에 해당하는 전압 (V)이 식(12)와 같이 결정된다.

$$\hat{\phi}_{eff} = \hat{B} \cdot A_{eff} [Wb] \quad (11)$$

$$V = \frac{\omega \hat{\phi}_{eff} N}{\sqrt{2}} \quad (12)$$

식(9)에서 구한 유효단면적은 K_{ssc} 만을 고려한 기존 방식에 의해 구한 단면적보다는 K_{td} 배만큼 크게 되어, 포화점의 전압도 커지게 된다.

2.4 자로의 길이 (l)를 구하는 방법

자화인덕턴스 (L_m)와 자로의 길이 (l)는 아래와 같은 관계를 가지고 있다. 즉, 단면적 (A_{eff})와 자화인덕턴스 (L_m)이 결정되고 나면 자로의 길이 (l)를 결정할 수 있게 된다.

$$l = \frac{\mu A_{eff} N^2}{L_m} [m] \quad (13)$$

2.5 제시된 변류기 설계방식의 흐름도

제시한 변류기 설계방식의 흐름도는 그림 2와 같다. 그림 2에서 I_s 는 정격 1차전류, n_s 는 1차 권선수,

j 는 주파수, B 는 자속밀도, K_{ssc} 는 정격 대칭분 단락전류, R_b 는 2차 부담, T_p 는 1차 시정수, ϵ_{tr} 는 과도상태 오차, ϵ_{st} 는 정상상태 오차이다.

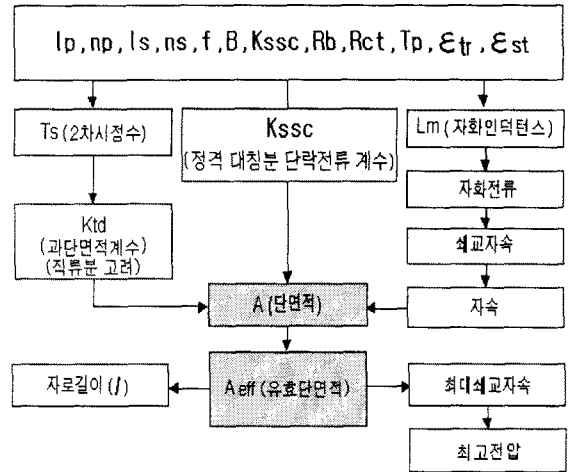


그림 2. 변류기 설계 흐름도

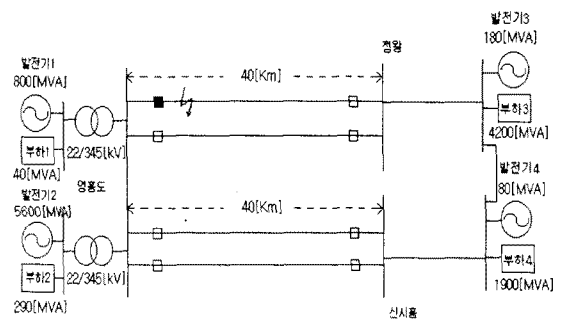


그림 3. 영흥도 모델 계통도

3. 사례 연구

영흥도에서 정왕 그리고 신시흥을 연결하는 그림 3과 같은 등가모델 계통에 구성하여 EMTP로 영흥도측 모선에서 정왕측으로 1[km], 20[km]와 39[km]지점에서 사고를 모의한 결과, 영흥도에서 정왕까지의 선로의 1[km]지점에서 1선 지락사고시 영흥도측에 가장 큰 사고전류가 발생하였고, 이 때의 사고전류에 대하여 변류기 (4,000 : 5)인 변류기에 대하여, 영흥도 측의 변류기 (■ 표시된 지점)가 1주기 또는 2주기 내에 포화가 발생하지 않도록 설계하였다. 단, 정상상태의 오차 (ϵ_{st})는 0.5[%], 과도상태의 오차 (ϵ_{tr})는 10[%]로 하였다.[3]

변류기를 정확하게 모델링하기 위해서 철심의 포화특성 및 히스테리시스 특성까지도 모의할 수 있는 Type-96소자를 이용하였다. 그리고 이 소자내의 히스테리시스 데이터는 EMTP내의 보조 프로그램인 HYSDAT를 이용하여 얻었다.[4]

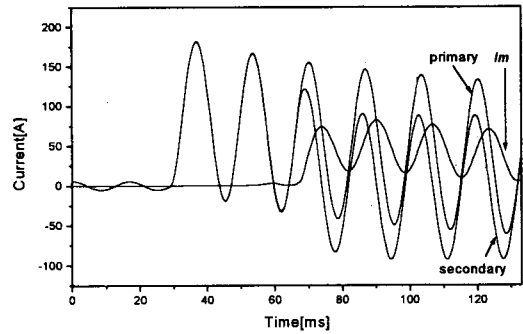
본 논문에서 제시한 방법으로 설계된 변류기와 기존의 변류기에 대한 비교는 아래의 표와 같다. 단, 자로의 길이는 기존 변류기와 같게 설계하였다.

표1.설계 변류기 비교표(자로의 길이=0.3[m]일 때)

1차시정수	설계 변류기		기존 변류기
	82[ms]		
계전기동작시간	1주기	2주기	
자화인덕턴스[H]	57.53	96.03	13.4
최고 전압[V]	3434.95	5733.43	800
최대자화전류[A]	3.036	5.068	0.16
유효단면적[cm ²]	63.27	105.6	14.7
자로의 길이[m]	0.3	0.3	0.3

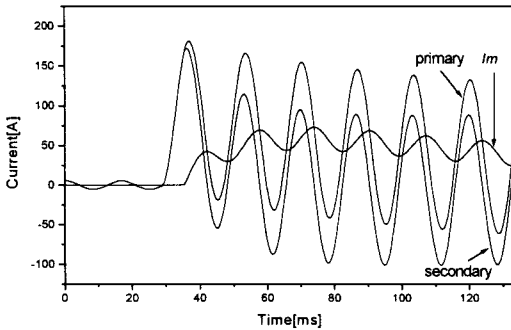
설계된 변류기의 포화 여부는 기존의 변류기가 포화되는 위와 같은 사고시의 1차측 전류를 변류비를 고려하여 2차측 전류와의 비교를 통하여 검증하였다.

모의 결과 기존 변류기는 정격 대칭분 단락계수 (K_{sc})를 20으로 하였지만, 그림 4. a)와 같이 1/4 주기정도 이내에 포화가 발생했다. 그렇지만 직류 오프셋의 영향을 고려하여 본 논문에서 제시한 방식으로 설계된 변류기는 설계대로 그림 4. b)에서는 1주기이내, 그림 4. c)에서는 2주기이내에 포화가 되지 않음을 확인할 수 있었다.

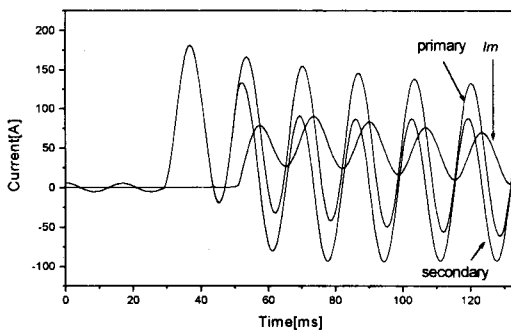


c) 설계 변류기(2주기내 포화방지)

그림 4. 영흥도에서 정왕까지의 선로 1[Km]지점에서 1선 지락사고시의 영흥도측의 변류기



a) 기존 변류기



b) 설계 변류기(1주기내 포화방지)

4. 결 론

본 논문은 포화 방지를 위한 직류분을 고려한 변류기의 설계방법을 제시하였다. 직류분을 고려하여 포화점을 구하는 방식을 제시하였고, 자로의 길이를 구하는 방식을 제안하였다. 기존의 방식과 제시한 설계기법에 의해서 설계된 변류기의 포화 여부를 EMTP를 이용하여 모의 하여 검증하였다.

향후에는 재폐로를 고려하는 경우의 변류기 설계와 공극을 가지는 공극 변류기의 특성과 설계에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Stanley H. Horowitz, "Power system relaying", pp56-58, 1992
- [2] "IEC Standard 44-6", pp21 1992
- [3] "ANSI/IEEE C57.13", pp23, 1978
- [4] M. Kezunovic, Lj. Kojovic, A. Abur, C. W. Fromen, F. Phillips, "Experimental Evaluation of EMTP-Based Current Transformer Models for Protective Relay Transient Study", IEEE Trans. PWRD, vol. 9, no. 1, pp 405-413, 1994