

ULTC 탭차에 의한 765kV용 변압기 탱크간 순환전류 해석에 의한 보호계전기 정정지침에 관한 연구

論 文
53A-4-1

A Study on the Protective Relay Setting Rule for the Circulation Current Caused by ULTC Tap Mismatch between 765kV Transformer Banks

崔 勉 松* · 裴 玲 浚**
(M,S Choi · Y,J Bae)

Abstract - The 765[kV] transformer is operated using two parallel tanks because of its high capacity. The protective relay (61) for the current phase balance of a 765[kV] transformer would misoperate by excessively, circulation current of each tanks caused by a mismatch of ULTC Tap. In this paper, the phenomenon was analyzed, and the setting rules of relay for bank protection are studied. The result of analysis is verified by the simulation of 765[kV] transformer with the Power Systems Computer Aided Design(PSCAD). Thereby an appropriate setting rule of the current phase balance relay is recommended.

Key Words : Current phase balance Relay, Relay Setting Rule, Circulation current, ULTC Tap, PSCAD

1. 서 론

초고압 송전의 전환에 따라 종래의 345[kV] 계통에 적용되던 보호계전요소인 주보호 및 후비보호계전기의 동작은 765[kV]의 도입에 따라 고속화 및 높은 고장 검출감도, 피보호설비에 대한 신뢰도 등에 대한 요구가 증가되었다. 또한 초고압 송전의 고장에 따른 대전원의 탈락은 계통안정 유지에 치명적인 영향을 미치므로 이런 고장은 사전에 판단 및 제거 되어야 한다. 이와같이 765[kV] 같은 초고압 송전의 고장은 계통에 큰 파급을 가져오므로 각 계전기 역시 보호요소별로 신뢰도와 신속성에서 피보호 설비의 특성에 맞게 설정되어야 한다.[1]

일반적으로 변압기 주보호는 변압기 내부고장을 검출하는 목적으로 사용되며, 주로 전류차동계전기를 사용하며 그 정정값은 가압시 변압기 내부구조에 의해 발생하는 불평형 여자 돌입전류 및 외부고장에 의해 오동작하지 않도록 설정되어야 한다.[2]

765[kV]용 변압기의 주보호 보호계전기는 탱크 보호용으로 비율차동계전기(87)계전기를 사용하며, 탱크 보호용으로는 전류평형계전기(61)를 사용한다.

현재 사용하고 있는 정정지침에 의하면 전류평형계전기

(61)의 정정값으로 임계동작값은 두 탱크간 전류차이가 기준 전류의 30%로서 전류차이가 이 이상이면 동작한다. 이 보호 요소는 변압기의 내부고장 검출이 목적이며, 정정값은 변류기(CT:Current Transformer)오차, 보호계전기 계산오차 및 두 탱크간 임피던스 차이와 여유를 고려한 값이다.

765[kV]용 변압기는 대용량으로 한 탱크는 2개의 탱크가 병렬로 연결되어 사용되고 있다. 그리고 운전중에 전압조정을 위하여 두 탱크의 ULTC 탭을 기계적으로 동시에 변경하고 있다. 그러나 고장이 아닌 정상적인 상태에서도 두 탱크의 동시적인 탭 변경 시 기계적인 탭 이동중의 짧은 순간에 두 탱크간 전기적인 탭 불일치가 일어나며 이에 따라 두 탱크간 큰 순환전류가 발생하여 전류평형계전기(61)의 오동작을 유발하는 경우가 있었다.

본 논문에서는 두 대의 단권변압기에서 탭차가 발생할 때 생기는 순환 전류를 해석하였으며 이를 바탕으로 765[kV]용 변압기 보호 중 탱크보호에 사용되는 전류평형계전기(61)의 적절한 정정값을 알아보았다. 먼저 두 대의 단권변압기 운전시 탭차에 의해서 발생하는 전류차이를 분석하기 위하여 변압기 등가회로를 제시하였으며, 이를 수식적으로 해석하여 탭차에 의해서 두 대의 변압기 사이에 흐르는 순환전류의 크기에 대해서 알아보았다. 그리고 수식적 해석의 타당성을 뒷받침할 수 있도록 전자기 과도해석 프로그램(PSCAD)의 시뮬레이션을 통하여 두 대의 변압기 탭차시 순환전류의 크기를 검증해 보았으며 이 실험적 결과를 바탕으로 전류평형계전기(61)의 정정지침의 근거를 제시하였다.

* 正 會 員 : 明知大學 電氣工學科 教授 · 工博

** 正 會 員 : 明知大學 電氣工學科 碩士課程

接受日字 : 2003年 2月 18日

最終完了 : 2004年 1月 13日

2. 765[kV] 변압기 보호

2.1 765[kV] 변압기 권선구조

765[kV] 변압기는 단권변압방식이며, 이 방식은 저압측 권선을 변압권선의 일부로 공용하기 때문에 통과용량에 비해 자기용량이 적어도 되므로 변압기의 소형화, 저손실화 측면에서 유리한 점이 있다. 반면에 자기용량이 적으므로 일반 변압기와 같은 통과 임피던스를 얻으려면 내부 임피던스는 765[kV]/345[kV] 변압기의 경우 2권선 변압기에 비해 1.82배 만큼 커져야 한다. 또한 보호계전기 정정시 고장검출감도 및 계통 분리 후 계통전압이 회복될 때 과전압으로 인한 변압기 과여자시 발생하는 과여자전류 중 제5고조파분의 증가에 따른 오동작을 고려하여야 한다. 그림 1은 765[kV] 변압기의 내부 권선배치도 및 단선도이다.[1]

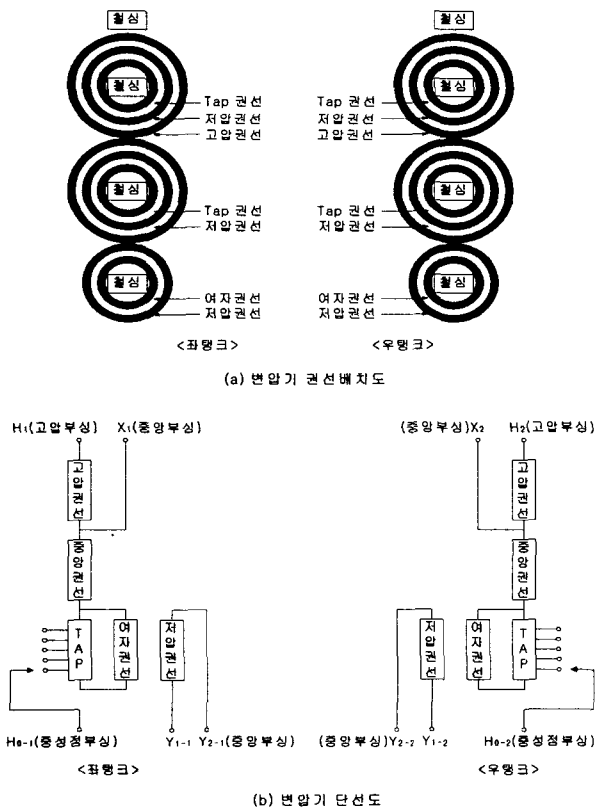


그림 1. 765[kV] 변압기 내부 구조
Fig. 1. 765[kV] Autotransformer structure

2.2 765[kV] 변압기 보호계전 방식

2.2.1 주 보호계전 방식

그림 2는 765[kV]용 변압기 보호 계전기의 결선도이다. 765[kV]용 변압기의 경우 용량이 200만[kW]로 345[kV]나 이전의 변압기 용량에 비해 매우 크기 때문에 두 개의 변압기를 병렬로 연결하여 한상을 공급한다. 이와 같이 765[kV]용 변압기는 대용량이고 %임피던스가 커서 고장검출감도가 저하되기 때문에 검출 감도가 높은 계전기를 사용하여야 한다.

765[kV]의 경우 변압기 한 대를 Tank라 하며, 이 탱크 2대가 1상을 이루며 Tank 2대씩 3묶음 하여 3상을 공급하고 이 한상을 공급하는 변압기 2대를 Bank라 한다. 변압기보호는 크게 주보호와 후비보호로 나뉘며 주보호는 다시 Tank와 Bank 보호용으로 구분된다. 주보호 중 Tank 보호용으로는 비율차동계전기(87)를 사용하며, Bank 보호용으로는 전류평형계전기(61)를 사용한다. Tank 보호용 비율차동계전기(87M)는 1-Tank 운전시 각 권선(1차, 2차, 3차)의 층간·단락 고장 검출을 목적으로 적용된다. 그리고 비율차동계전기(87)는 765[kV]측과 345[kV]측 단자의 단락·지락검출 및 1차·2차 권선의 지락검출용으로, 비율차동계전기(87T)는 3차권선 및 3차회로 인출부의 단락고장을 검출한다. Bank 보호용 전류평형계전기(61)은 Bank 간 1차권선(61S), 2차권선(61C), 3차권선(61T)의 각 권선간 고장 검출에 적용된다.[3][4]

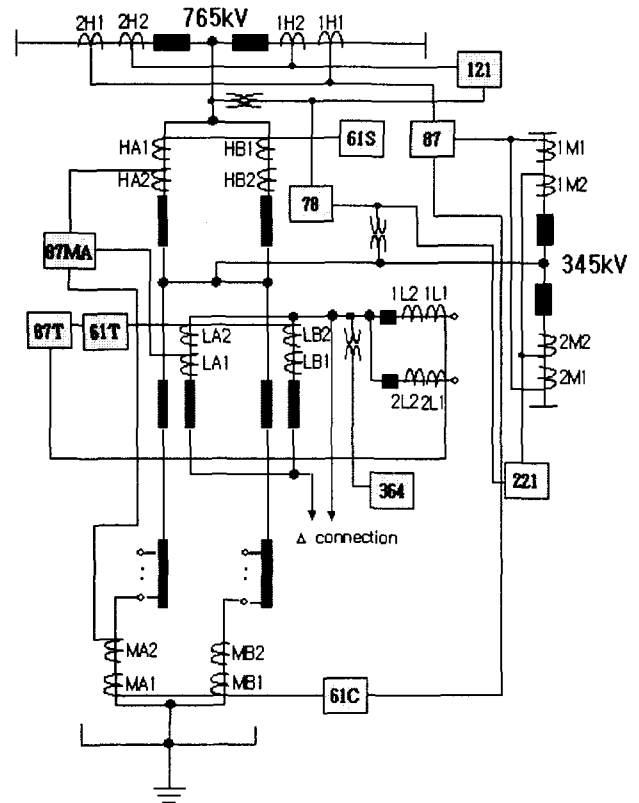


그림 2. 변압기 보호 계전기 결선도
Fig. 2. Connection diagram of Protective Relay for 765[kV] transformer

2.2.2 변압기 후비보호계전 방식

765kV 변압기의 후비보호방식으로는 변압기 1차측(H)과 2차측(M)의 보호로 단락거리계전기(121S, 221S)가 사용되며, 거리계전기 성능은 선로 후비보호용 거리계전기의 경우와 동일하고, 동작 방향은 변압기 내부 방향이다. 외부지락고장에는 변압기 중성선측에 지락과전류계전기(121G, 221G)로 보호한다.

변압기 3차측(L) 후비보호는 단락보호로서 한시과전류계전기(351), 지락보호에 영상전압으로 동작하는 한시지락과전압계전기(364V)가 사용되며, 변압기 탱크내 고장은 충격압력계전기(Sudden Pressure Relay)로서 보호한다.[1][4]

2.3 전류평형계전기(61)

765[kV] 변압기 뱅크보호용 전류평형계전기(61)은 두 대의 Tank간 전류불평형 검출용으로써 주변압기 직렬, 분로, 3차 각 권선의 층간 단락 보호를 목적으로 적용되었다. 그림 3은 전류평형계전기(61)와 변류기(CT) 연결도이다.

변압기 권선 내부 층간단락 고장시에는 두 대의 탱크 사이에 전류가 불평형을 이루게 되고 평상시 부하전류나 여자돌입전류는 평형을 이루는 특징을 활용하여 직렬권선, 분로권선, 3차 권선의 각 각 개별 탱크간 전류를 비교하여 동작하게 된다.

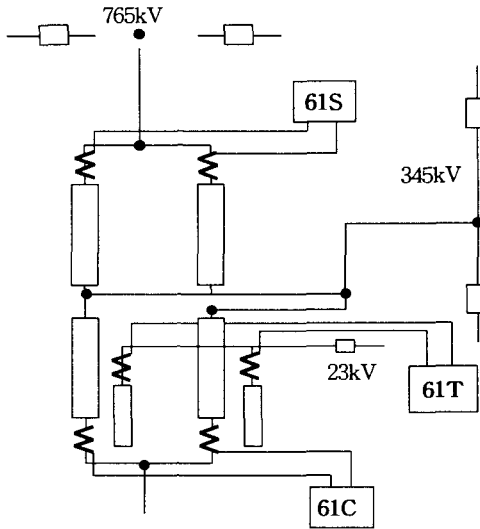


그림 3. 61S, 61C, 61T CT 회로
Fig. 3. 61S, 61C, 61T CT Connection diagram

이 계전기의 동작정지치의 최소동작치는 기준전류의 30, 40[%]이며, 비율특성은 40[%]로서 상시운전시 또는 여자돌입전류에 오동작하지 않는 값으로 해야 한다. 이때 정정시 주의할 점은 변압기 철심재료의 특성 및 변압기 철심 제작편차 등으로 인하여 두 대의 탱크간에 잔류자속 편차가 발생하면 변압기 가압시 탱크간에는 불평형 여자돌입전류가 발생하게 되며 이때 발생하는 돌입전류로 인하여 계전기가 오동작 할 수 있으므로 최소동작전류는 탱크간 불평형 여자돌입전류 이상으로 하여야 한다. 또한 OLTC 탭변환시 변압기 양간의 탭 차이로 인하여 발생하는 차전류로 보호계전기가 오동작하지 않도록 정정되어야 한다. 그림 3의 입력전류는 다음과 같다.[4]

- 61S, 61SF(1차권선 고장검출용) : IHA, IHB(1차권선전류)
- 61C, 61CF(공통권선 고장검출용) : IMA, IMB(공통권선전류)
- 61T, 61TF(3차권선 고장검출용) : ILA, ILB(3차권선전류)

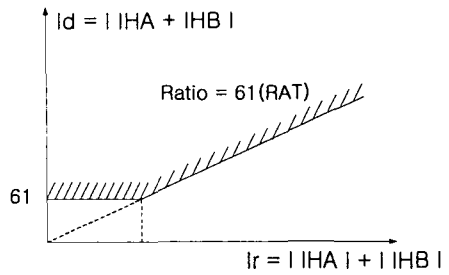


그림 4. 전류평형계전기 동작특성
Fig. 4. Ratio percentage characteristics of current phase relay(61)

그림 4는 전류평형계전기(61)의 동작특성이다. 현행 이 전류평형계전기(61)의 정정지침은 다음 표 1과 같다. 정정값은 각 변류기 오차 5%, 보호계전기 계산오차 5% 및 두 탱크간 임피던스 차이 10% 와 여유를 고려한 값이다.

표 1. 전류평형계전기(61) 정정지침
Table 1. The relay setting Rule of current phase balance relay(61)

구 분	최소동작전류	비율특성	비고
61S	기준전류의 30%	40%	여유:120%
61C	기준전류의 30%	40%	여유:120%
61T	기준전류의 40%	40%	여유:130%

3. 탭 차이 시 단권변압기간의 순환전류 해석

3.1 단권변압기 1-2차 회로에서 순환전류 해석

3.1.1 단권변압기의 내부임피던스를 1차로 변환한 등가 회로 이용

단권 변압기는 그림 5의 등가회로와 같이 하나의 철심에 1차와 2차권선이 직렬로 연결되어 있다.[5]

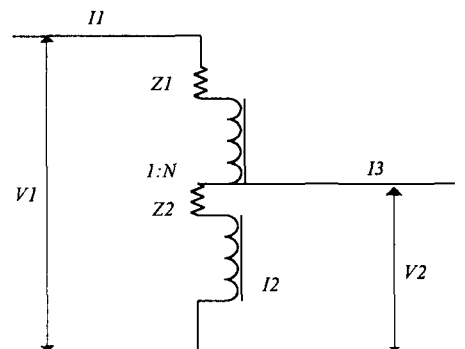


그림 5. 단권변압기
Fig. 5. Autotransformer

단권변압기의 해석을 간단하게 하기 위하여 그림 5를 일반 변압기처럼 1-2차측으로 나타내고, 1차측의 접지측을 2차측의 입력부에 연결시켜 그림 6의 등가회로와 같이 단권변압기를 해석할 수 있다.

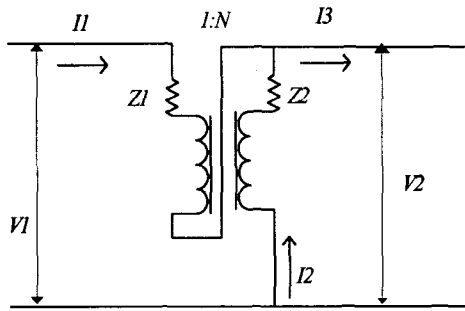


그림 6. 단권변압기
Fig. 6. Autotransformer

단권 변압기 등가회로를 좀 더 용이하게 해석하기 위하여 변압기 권선의 임피던스를 1차측 혹은 2차측으로 변환, 해석해야 한다. 일반 변압기에서는 간단한 연산으로 이루어지지만 단권변압기에서는 권선연결이 달라지기 때문에 일반변압기와는 다르다. 본 논문에서는 2차권선의 임피던스를 1차로 이동한 그림 7의 등가회로와 그림 8의 등가회로에서 1차전압, 2차전압, 1차전류는 같다는 사실에서 1차권선으로 이동한 2차권선의 임피던스를 다음 식 (1)과 같이 유도하였다.

$$Z_t = Z_1 + \frac{1}{N^2} Z_2 \quad (1)$$

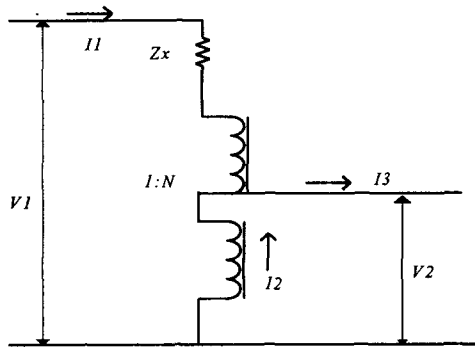


그림 7. 단권변압기 등가회로(1-2차 임피던스 기준)
Fig. 7. Autotransformer equivalent circuit (Based on 1st-2nd Imp)

765[kV]용 단권 변압기 병렬 운전중에 전압조정을 위하여 두 탭의 ULTC 탭의 변경 시 짧은 순간에 두 탭간 전기적인 탭 불일치가 일어나며 이에 따라 두 탭간 큰 순환전류가 발생한다. 본 논문은 이를 해석하기 위하여 먼저 그림 7의 단권 변압기 등가회로를 이용하여 두 대의 단권변압기를 병렬로 연결한 그림 8과 같은 회로를 이용하여 탭변환시 변

압기간 순환전류를 해석하였다. 그림 8은 두 대의 단권변압기의 병렬 운전시 발생하는 순환전류를 산정하기 위하여 변압기 1-2차의 권선임피던스를 1차 등가임피던스로 환산하여 나타낸 변압기 등가회로이다.

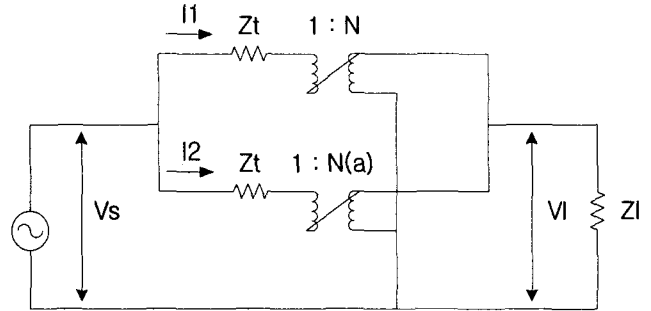


그림 8. 단권변압기 등가회로(1-2차 임피던스 기준)
Fig. 8. Autotransformer equivalent circuit (Based on 1st-2nd Imp)

여기서 정상적인 상태의 1-2차 변압기의 권수비는 $(N1:N2)$ 로서 $N = \frac{N2}{N1}$ 이며 1차와 2차의 전압비는 단권변압기 이므로 $(N1+N2:N2)$ 이다. 그리고 탭 불일치로 인하여 다른 변압기의 1차 전압비가 정상적인 상태보다 $1+a$ 배 높을 경우, 전압비는 $(N1 + N2)(1 + a) : N2$ 가 되며 권수비는 $N(a) = \frac{N2}{N1 + (N1 + N2)a}$ 가 된다. 그리고 Z_t 는 변압기 내부 등가임피던스이며 Z_1 은 정격부하 임피던스이다. 두 대의 변압기 사이의 차전류 비율은 1차측의 경우 $\beta = \frac{I_2 - I_1}{I_1} \times 100 = (\frac{I_2}{I_1} - 1) \times 100$ 이 된다. 전류비 $\frac{I_2}{I_1}$ 를 계산하기 위하여 그림 8의 등가회로 2차측 총전류에 임피던스를 곱하면 2차측 전압을 식 (2)와 같이 얻을 수 있다.

$$V_1 = (I_1 \times (1 + \frac{1}{N}) + I_2 \times (1 + \frac{1}{N(a)})) \times Z_1 \quad (2)$$

- 여기서 V_1 : 부하단 전압
- I_1, I_2 : 각 변압기 1차측 전류
- Z_1 : 부하단 등가임피던스
- Z_t : 변압기 등가임피던스
- $N, N(a)$: 각 등가 변압기 권선 비

변압기가 단권 변압기이므로 각 변압기의 변압비를 식 (3), (4)와 같이 다시 정의 할 수 있다.

$$c_1 = \frac{1+N}{N} \quad (3)$$

$$c_2 = \frac{1+N(a)}{N(a)} \quad (4)$$

그리고 식 (3), (4)을 이용하면 각 변압기 1차측 전압은 식 (5), (6)과 같다.

$$V_s - \Pi \times c1^2 \times Z_t = V1 \times c1 \quad (5)$$

$$V_s - \Pi \times c2^2 \times Z_t = V1 \times c2 \quad (6)$$

식 (2)와 식 (5), (6)을 정리하여 1차측 전압을 등가임피던스와 각 변압기 입력전류와의 관계를 식(7)과 같이 간단한 변수행렬로 정리할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} c1^2 \times (Z_t + Z_l) & c1 \times c2 \times Z_l \\ c1 \times c2 \times Z_l & c2^2 \times (Z_t + Z_l) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Pi \\ \Pi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_s \\ V_s \end{pmatrix} \quad (7)$$

식 (7)을 Π_1 과 Π_2 에 대해서 정리한 다음, 탭변환 시 발생하는 두 변압기간 순환전류의 크기 비율 β 는 식 (8)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{I_2 - I_1}{I_1} \times 100[\%] \\ &= \left(\frac{c1^2 Z_t + c1^2 Z_l}{c2^2 Z_t + c2^2 Z_l} - 1 \right) \times 100[\%] \\ &= \frac{(c1^2 - c2^2)(Z_t + Z_l)}{c2^2 Z_t + c2^2 Z_l - c1^2 Z_t} \times 100[\%] \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 $Z = \frac{Z_t}{Z_l}$ 는 변압기의 내부 퍼센트 임피던스이다. 식 (8)에 총부하 임피던스는 정격부하 시 1pu(즉 단위변압기당 부하임피던스 0.5pu 2대 병렬)로 고려하고, 변압기 1-2차측 임피던스는 5.83% 일 때 단권변압비는 420:345이고 두 변압기간에 탭차이로 인하여 변압비 차이가 1.4%(2탭 간격)이면 두 변압기간 전류차의 비율 β 는 약 23.5% 이다. 그러므로 이 전류차의 반에 해당하는 약 11.7%의 순환 전류가 흘러 이 순환전류의 두배의 전류차이를 발생한다고 볼 수 있다.

3.1.2 단권변압기의 내부임피던스를 2차로 변환한 등가회로 이용

그림 6의 단권변압기의 해석을 위하여 이번에는 1차권선의 임피던스를 2차로 이동한 그림 9의 등가회로와 이 등가회로를 병렬로 연결한 그림 10의 등가회로를 사용하였다. 그림 9와 그림 10의 1차전압, 2차전압, 1차전류가 같다는 사실에서 2차측으로 이동한 등가임피던스 Z_t 는 다음 식 (9)와 같이 유도된다.

$$Z_t = \frac{N^2 Z_1 + Z_2}{N^2 + 2N + 1} \quad (9)$$

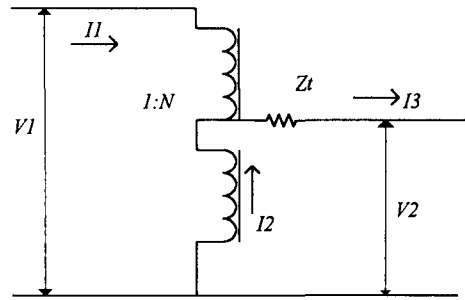


그림 9. 단권변압기 등가회로(2-3차 임피던스 기준)

Fig. 9. Autotransformer equivalent circuit (Based on 2nd-3rd Imp)

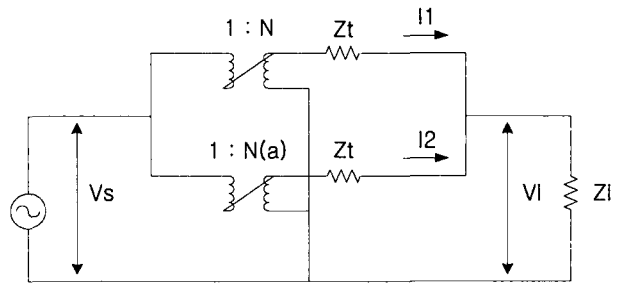


그림 10. 단권변압기 등가회로(2-3차 임피던스 기준)

Fig. 10. Autotransformer equivalent circuit (Based on 2nd-3rd Imp)

그림 10은 이를 이용한 두 대의 단권변압기의 병렬 운전시 발생하는 순환전류를 산정하기 위하여 변압기 1-2차의 권선 임피던스를 2차의 등가임피던스로 환산하여 나타낸 변압기 등가회로이다. 두 대의 변압기 사이의 차전류 비율을 계산하기 위하여 그림 10의 등가회로에 KVL을 적용하면 식 (10)과 같은 방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} V1 &= (I1 \times (1 + N) + I2 \times (1 + N(a))) \times Z_l \\ &= (I1 \times c1 + I2 \times c2) Z_l \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 $V1$: 부하단 전압

Π, Π : 각 변압기 1차측 전류

Z_l : 부하단 등가임피던스

Z_t : 변압기 등가임피던스

$N, N(a)$: 각 등가 변압기 권선 비

$$c1 = \frac{1 + N}{N}$$

$$c2 = \frac{1 + N(a)}{N(a)}$$

식 (10)을 이용하면 각 변압기간 양단전압은 다음과 같다.

$$V_s = (c1^2 Z_t + c2^2 Z_l) \Pi + c1 c2 Z_l I_2 \quad (11)$$

$$V_s = c_1 c_2 Z_l \Pi + (c_2^2 Z_t + c_2^2 Z_l) I_2 \quad (12)$$

「 Z_t : 변압기 내부 등가임피던스 」

식 (10)과 식 (11), (12)를 정리하면 공급전압을 등가임피던스와 각 변압기 입력전류와의 관계를 다음 식 (13)과 같이 간단한 변수행렬로 정리할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} c_1^2 \times (Z_t + Z_l) & c_1 \times c_2 \times Z_l \\ c_1 \times c_2 \times Z_l & c_2^2 \times (Z_t + Z_l) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Pi \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N V_s \\ N(a) V_s \end{pmatrix} \quad (13)$$

식 (13)을 Π 과 I_2 에 대해서 정리한 다음, 탭변환시 발생하는 두 변압기간 순환전류의 크기 비율 β 는 다음과 같다.

$$\beta = \frac{I_2 - I_1}{I_1} \times 100 = \left(\frac{M c_1^2 (Z + 1) - c_1 c_2}{c_2^2 Z + c_2^2} - 1 \right) \times 100 [\%] \quad (14)$$

여기서 $M = \frac{N(a)}{N}$, $Z = \frac{Z_t}{Z_l}$

그림 10의 등가회로에 대한 순환전류 해석결과 결과 식의 형태는 1차 등가 해석 식과 틀리지만 같은 결과를 주므로 해석방법의 오류가 없음을 알려준다.

3.2 단권변압기 1-3차 회로에서 순환전류 해석

765[kV] 변압기는 변전소 내 전력을 공급하기 위하여 3차 권선을 두고 있다. 1-3차 권선의 구성은 단권변압기 구조가 아니라 일반 2권선 변압기 구조이다. 변압기 내부임피던스를 2차회로로 이동한 등가임피던스는 일반변압기와 같이 간단하게 다음식 (15)와 같이 주어진다.

$$Z_x = N^2 Z_1 + Z \quad (15)$$

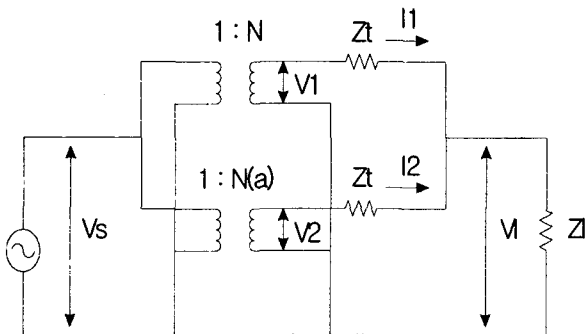


그림 11. 단권변압기 등가회로(1-3차권선)

Fig. 11. Autotransformer equivalent circuit (Based on 1st-3rd coil)

그림 11은 두 대의 단권 변압기 병렬 운전시 발생하는 순환전류를 산정하기 위하여 변압기 1-3차의 권선의 등가임피던스를 3차로 환산한 등가회로이다.

그림 11에서 각각의 변압기에 변압된 전압은 식 (16), (17)와 같다.

$$V_1 = N V_s = \Pi \times Z_t + (\Pi + I_2) \times Z_l \quad (16)$$

$$V_2 = \frac{N}{1+a} V_s = \frac{1}{1+a} V_1 = I_2 \times Z_t + (\Pi + I_2) \times Z_l \quad (17)$$

여기서 V_1 : 등가 부하단 전압

Π, I_2 : 각 등가 변압기 1차측 전류

Z_l : 등가 부하단 임피던스

Z_t : 변압기 등가임피던스

$N, N(a)$: 각 등가 변압기 권선 비

식 (16), (17)을 정리하면 각 변압기 2차측 전압에 대해 등가임피던스와 2차측 전류와의 관계를 다음 식 (18)과 같이 간단한 변수행렬로 정리할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} Z_t + Z_l & Z_l \\ Z_l & Z_t + Z_l \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Pi \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} \quad (18)$$

식 (18)을 Π 과 I_2 에 대해서 정리한 다음 탭변환시 발생하는 두 변압기간 순환전류의 크기 비율 β 는 식 (19)와 같다.

$$\beta = \frac{I_2 - I_1}{I_1} \times 100 = \left(\frac{Z_t - a Z_l}{Z_t + a(Z_t + Z_l)} - 1 \right) \times 100 = \frac{-a(1 + 2 \frac{Z_l}{Z_t})}{1 + a(1 + \frac{Z_l}{Z_t})} \times 100 [\%] \quad (19)$$

여기서 $Z = \frac{Z_t}{Z_l}$ 는 변압기의 내부 퍼센트임피던스이다.

식 (19)에 총부하 임피던스는 정격부하 시 1pu(즉 단위변압기당 부하임피던스 0.5pu 2대 병렬)로 고려하고, 변압기 1-3차측 임피던스는 3.74% 일 때 변압기간 탭차이로 인하여 변압비 차이가 2.6%이면 두 변압기간 전류차의 비율 β 는 약 71% 이다. 그러므로 이 전류차의 반에 해당하는 약 35%의 순환 전류가 흘러 이 순환전류의 두배의 전류차이를 발생한다고 볼 수 있다. 따라서 3차측의 단권변압기에서는 1, 2차와는 달리 탭차이시 변압기 사이에 큰 순환전류가 발생할 수 있음을 알 수 있다.

4. 사례 연구

유도된 수식의 타당성을 검증하기 위하여 탭차이시 두 대의 변압기 사이에 발생하는 순환전류의 크기에 대해 PSCAD를 이용하여 사례연구를 하였다. 765[kV] 변압기에는 총 22개의 탭이 있으며, 탭 변동시 전압변압은 다음 표 2와 같다.

표 2. Tap 위치에 따른 전압·전류(666.7MVA 기준)
Table 2. Voltage, Current from ULTC Tap position

Tap 위치	고 압		중 압		저 압	
	전압	전류	전압	전류	전압	전류
1	$818550/\sqrt{3}$	1410.7	$345000/\sqrt{3}$	33471	25968	770.2
11	$765000/\sqrt{3}$	1509.5			23000	869.6
23	$711450/\sqrt{3}$	1623.1			20127	993.7

탭위치가 1에서 11까지 변할 경우 전압은 약 30[kV], 12에서 23까지는 약 26[kV]정도 전압차이가 난다. 따라서 사례연구에서는 한 개의 탭차이시 두 변압기 사이의 전압이 4.5~5.4[kV] 정도 차이나며 이때 발생하는 두 변압기 사이의 순환전류 크기를 비교해 보았다.

4.1 765[kV]용 변압기 모의 계통

사례 연구시 시뮬레이션 할 변압기 모델은 그림 12와 같으며 탭차이를 증가시키면서 두 변압기간 순환전류 크기의 변화에 대해서 모의하였다.

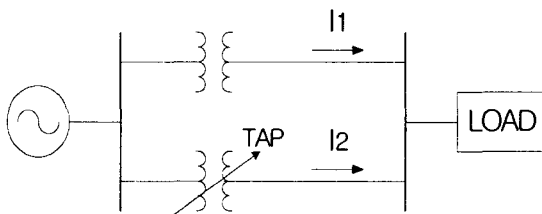


그림 12. 모의계통
Fig. 12. Simple diagram of circulation current from ULTC tap mismatch

전원은 765[kV], 두 대의 변압기 용량은 각각 333.3[MV], 부하는 정격부하인 292.6[Q]을 사용하였으며, 한 대의 변압기 탭을 바꿔가며 순환전류를 모의하였다.

4.2 탭차이시 변압기간 순환전류 모의 결과

그림 13, 14, 15는 탭차이시 두 대의 변압기 1차-2차 사이에 발생하는 차전류 크기를 보여주는 그림이다.

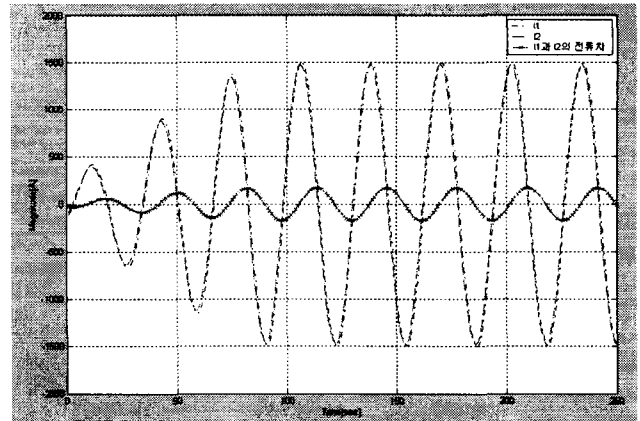


그림 13. 1 개의 탭차이시 차전류(1차-2차)
Fig. 13. The Circulation current from 1 tap mismatch (Based on 1st-2nd)

그림 13은 한개의 탭차이시 두 대의 변압기 사이에 발생하는 차전류를 보여준다. 차전류 크기는 정격전류에 비교하여 약 11.5[%] 정도이다.

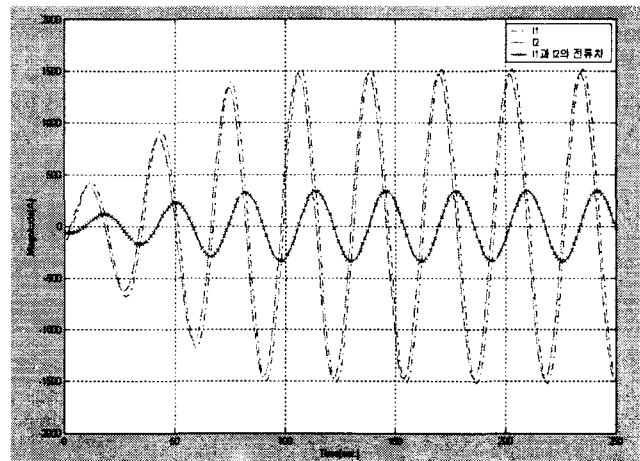


그림 14. 2 개의 탭차이시 차전류(1차-2차)
Fig. 14. The Circulation current from 2 tap mismatch (Based on 1st-2nd)

그림 14는 두개의 탭 차이시 두 변압기 사이에 발생하는 차전류 크기를 보여주는 그림으로 차전류는 정격전류와 비교하여 약 23.1[%] 정도임을 알 수 있다.

그림 15는 3개의 탭차이시 발생하는 변압기간 차전류 크기를 보여주는 그림으로 차전류 크기는 정격전류에 비해 약 33.89[%]이다.

이 경우 차전류의 크기는 보호계전기의 오동작을 유발시킬 수 있는 크기이다. 그러므로 변압기간 전압조정을 위한 탭 변동시에 발생하는 ULTC 탭차이에 의하여 변압기 보호용 전류평형계전기(6IS)가 오동작하지 않도록 하려면 탭조정시 전류평형계전기의 정정은 CT 오차, 계전기 오차, 임피던스 오차 등을 고려하고, 이때 발생하는 차전류에 오동작하지 않도록 정정되어야 한다.

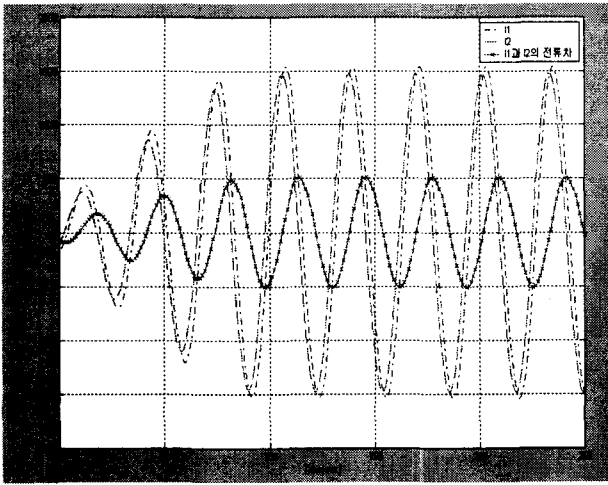


그림 15. 3 개의 탭차이시 차전류(1차-2차)
 Fig. 15. The Circulation current from 3 tap mismatch
 (Based on 1st-2nd)

그림 16, 17, 18은 탭차이시 두 대의 변압기 1차-3차측에서 발생하는 차전류를 시뮬레이션한 그림이다. 그림 16은 한 개의 탭차이시 두 대의 변압기 사이에 발생하는 차전류 크기를 보여주는 그림으로 한 개의 탭차이시 정격전류의 약 34.5[%] 정도의 차전류가 발생함을 알 수 있다.

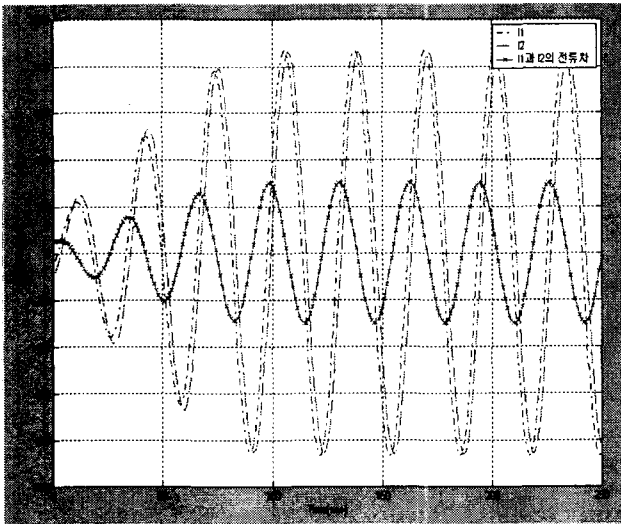


그림 16. 1 개의 탭차이시 차전류(1차-3차)
 Fig. 16. The Circulation current from 1 tap mismatch
 (Based on 1st-3rd)

그림 17은 두 개의 탭차이시 두 대의 변압기 사이에 발생하는 차전류 크기를 보여주는 그림으로 정격전류의 약 69.8[%] 정도의 차전류가 발생함을 알 수 있다.

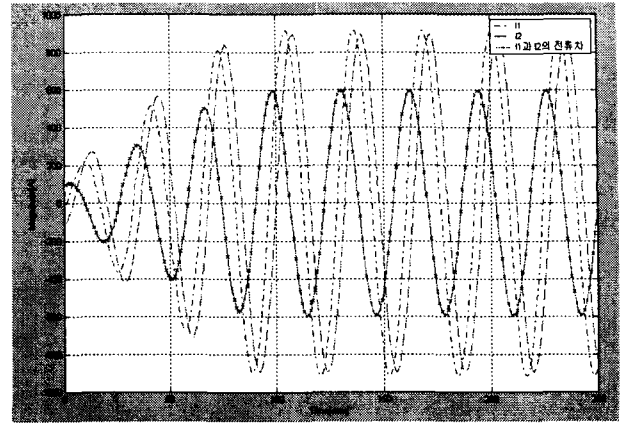


그림 17. 2 개의 탭차이시 차전류(1차-3차)
 Fig. 17. The Circulation current from 2 tap mismatch
 (Based on 1st-3rd)

그림 18은 변압기의 3차권선에 1권선단락시 발생하는 차전류이다. 1권선단락시 발생하는 전류는 정격전류의 약 80[%] 정도이다.

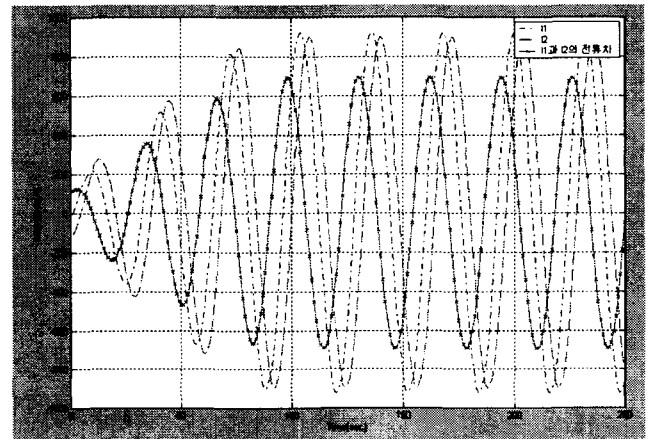


그림 18. 3차측 1 권선 단락시 차전류
 Fig. 18. Circulation current from 1 turn short fault of the 3rd winding

시뮬레이션 결과로서 두 대의 변압기의 병렬운전 중 탭변환시 탭의 불일치는 두 변압기간 차전류를 발생시킨다. 특히 변압기 1차-3차에서 발생하는 차전류는 1차-2차에서는 발생하는 차전류보다 매우 큰 전류이며, 이것이 변압기 보호계전기를 오동작 시킬 수 있다. 이와 같은 결과는 "765[kV] 초기가압 운전시 제반현상 분석 및 검증에 대한 연구"에서도 보고된 바 있다.[6]

따라서 765[kV]용 변압기 보호용으로 적용된 전류평형계전기(61)의 정정시 고려 사항은 변류기(CT), 계전기, 임피던스 오차와 변압기 초기가압시 발생할 수 있는 탭크간 불평형 여자돌입전류, 외부고장 및 ULTC 탭변경시 발생할 수 있는 차전류에 오동작 하지 않도록 정정되어야 한다. 그러나 변압기 전류평형계전기의 원래 목적은 변압기 권선의 층간 단락 고장에서 변압기를 보호하는 것이므로 보호계전기의 정정값이 너무 높아 원래 보호목적 상실했어도 안된다. 전압조

정을 위한 기계적인 탭의 이동시에 발생하는 탭차이가 2개 정도까지는 일어날 수 있으며 이때에 보호계전기가 오동작하지 않도록 하고 정상시에는 3개의 탭차이는 일어나지 않고 만약 일어나더라도 이때에는 계전기가 동작하도록 하려면 1차권선과 2차권선 보호용 전류평형 61S,와 61C는 CT오차, 계전기 오차 등을 고려하여야 한다.

사례연구 결과를 바탕으로 변압기의 병렬운전 중 탭 변환시 탭의 불일치로 인한 차전류로 전류평형계전기가 오동작하지 않으려면 1차-2차 권선간에 탭차이로 인한 전류는 최대 두 개의 탭 차이 시 차전류는 정격전류에 대하여 23.1[%]이므로 1개의 탭차이시는 약 16.5[%]로서 1차 권선보호용 전류평형계전기(61S) 2차권선보호용 전류평형계전기(61C)의 정정값은 CT오차, 계전기 오차와 여유를 고려하여 차전류가 정격전류의 30[%] 이상 되었을 때 동작하도록 하는 것이 타당하다고 사료된다.

그러나 1차-3차권선간은 변압기 권선의 내부 임피던스가 작아 한 개의 탭차이시 차전류가 정격전류의 34.5[%]이며 두 개의 탭 차이 시 차전류는 정격전류의 69.8% 이다. 그리고 3차권선에서 1권선단락 시 발생하는 차전류는 정격전류의 약 80[%] 정도이다. 그러므로 변압기 3차권선을 보호하는 전류평형계전기(61T)가 정정값은 고장시 차전류값인 정격전류의 80[%] 이하가 되어야 하며 CT오차, 계전기 오차와 여유를 고려하면 80[%] 보다 훨씬 작아야 한다. 만약에 1개의 탭 불일치로 인하여 오동작하지 않도록 하려면 정정값은 34.5[%] 이상 69.8% 이하이어야 한다. 그리고 2개의 탭 불일치에 오동작하지 않도록 하려면 정정값은 69.8%이상 80[%] 보다 작아야 한다. 그러나 이렇게 정정할 경우에는 CT오차, 계전기 오차로 인하여 권선단락시에 부동작 할 수 있으며 2개의 탭 불일치에 오동작 할 가능성이 있다. 그러므로 탭 불일치로 인하여 오동작하지 않게 하고 권선단락고장은 검출할 수 있게 하려면 CT오차, 계전기 오차로 인한 여유를 두어 60[%] 정도로 하는 것이 타당하다고 사료된다.

5. 결 론

본 논문에서는 765[kV]용 두 대의 단권 변압기의 병렬운전 중 전압조정을 위한 탭 변동시 순간적으로 발생하는 변압기간 순환전류의 크기를 등가회로를 이용하여 해석하였으며, 이를 PSCAD를 이용한 시뮬레이션으로 확인하였다. 또한 이 결과를 바탕으로 765[kV]용 변압기 보호계전기 중 전류평형계전기(61) 정정의 적합성을 판단하여 보았다. 전류평형계전기는 변압기 내부 고장을 판단하는 계전기로서 정정시 여자 돌입전류 및 외부고장, 또한 두 대의 765[kV]용 변압기 병렬 운전시 발생하는 변압기간 탭차이에 의해서 발생하는 차전류에 의해 동작하지 않도록 정정되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 시뮬레이션을 통하여 변압기간 탭차이시 발생하는 전류크기를 알아보았으며, 보호계전기 정정시 보다 정확한 정정 지침을 할 수 있도록 그 근거를 제시하였다.

본 연구를 통하여 보다 정확한 보호계전기 정정률 적용함으로써 765[kV]용 변압기 보호계전기 동작의 신뢰도 및 신속성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램과 한국전력거래소의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 김일동, "765kV 초고압 보호계전 방식에 관한 연구", 한국전력연구원, KRC-92S-J08, pp. 92-94, 114-127, 1994. 12.
- [2] Roger Hedding, "IEEE Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers", IEEE std, vol. C37.91-2000, pp. 4-6, March 2000
- [3] 배영준, 이승재, "오차를 고려한 765kV 변압기 보호 계전 정정률 고찰", 대한전기학회 논문집, pp. 229-231, 2002. 7.
- [4] Youho Electric IND., "765kV M.TR Protection Relay", Instruction Manual, vol. M32ETPKR02, pp. 4.12-14
- [5] Charles A. Gross, "Power System Analysis", Auburn University, pp. 198-204, June 1986.
- [6] 김기일, "765kV 초기 가압 운전시 제반 현상 분석 및 검증", 전력연구원, pp. 1-10, 2002. 2. 20.

저 자 소 개

최 면 송(崔勉松)



1967년 4월생. 1989년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 전기공학과 졸업(공학박). 1995년 Pennsylvania State Univ. 방문연구원. 1992년 기초전력공학 공동연구소 선임연구원. 현재 명지대 학교 공대 전기공학과 부교수.

Tel : 031-330-3367, Fax : 031-330-6816,

E-mail : mschoi@mju.ac.kr

배 영 준(裴玲浚)



1977년 10월 18일 생. 1999년 명지대 전기전자공부 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국수력원자력공사 재직중.

Tel : 031-335-2068, Fax : 031-330-6816

E-mail : captin_1@lycos.co.kr