論 文
57-12-2

변압기 병렬운전시 순환전류 추정

Estimation of the Circulating Currents in the Parallel Operation of Transformers

姜 龍 澈* · 李 美 善† · 李 炳 銀** · 崔 在 宣*** · 張 成 一§ · 金 容 均§§ · 柳 永 植§§§
(Yong-Cheol Kang · Mi-Sun Lee · Byung-Eun Lee · Jae-Sun Choi · Sung-Il Jang · Yong-Gyun Kim · Young-Sik Lyu)

Abstract – This paper proposes an algorithm to estimate the circulating currents in the transformers in parallel in an ultra high voltage system. For the Y-Y-Δ transformers operated in parallel, there exist two kinds of the circulating currents i.e. one is between the tanks and the other between the banks of the delta side. As the former is 90 deg out of phase of the load current, it is estimated by decomposing the line current into the component 90 deg out of phase of the load current in the frequency domain. The latter is estimated in the time domain from applying the Kirchhoff's voltage law on the delta winding which gives a first-order differential equation in terms of the delta winding currents. To estimate the circulating currents between the tanks, the performance of the proposed algorithm is investigated when the impedances of the two transformer tanks are different or the taps of the on-load tap changer of the transformers are mismatched temporarily. To estimate the circulating currents between the banks, the performance of the proposed algorithm is also examined under magnetic inrush and over-excitation. Test results indicate that the algorithm can estimate the two kinds of the circulating currents successfully.

Key Words : Circulating current, Parallel transformer, Parallel operation

1. 서 론

고압/초고압/극초고압 계통에서는 신뢰도 높은 전력을 공급하기 위해 두 대 이상의 변압기를 병렬운전하고 있다. 변압기 병렬운전은 변압기의 크기와 손실을 감소시켜 경제적인 운영이 가능하고 원활한 유지보수를 가능하게 한다. 또한, 보수 유지 등으로 인하여 한 탱크를 운전하지 못하더라도 다른 한 탱크로 지속적인 전력 공급이 가능하다. 그런데, 변압기 병렬운전을 하기 위해서는 두 탱크간의 권선비, 임피던스, 저항과 누설 인덕턴스의 비가 같도록 운전해야 한다[1]. 이와 같은 조건을 만족하지 못했을 경우 변압기 병렬운전시 순환전류가 발생하여, 손실이 증가하고, 변압기의 노화를 촉진하며, 각종 변압기 보호 계전기의 오동작을 유발할 수 있다.

변압기 병렬운전시 발생할 수 있는 순환전류는 크게 두 탱크간을 흐르는 탱크간 순환전류와 변압기 3차측 델타결선을 이루는 뱅크간을 흐르는 뱅크간 순환전류로 나눌 수 있다. 탱크간 순환전류는 두 탱크의 임피던스가 다르거나, 순간적으로 탭절환기의 탭이 불일치할 경우 발생한다. 뱅크간 순환전류는 여자돌입, 과여자와 같은 과도상태시에 크게 발생한다.

변압기 병렬운전시 순환전류 추정은 변압기 보호계전기의 성능을 향상시킨다. 특히 765kV 변전소의 변압기 보호용 전류차동 계전기의 감도를 높이고자 권선전류를 측정하기 위한 변류기를 변압기 내부에 설치하고 있다. 이로 인하여 변압기의 크기를 증가시키고, 제작비용을 상승시킨다. 따라서 권선전류에 포함된 뱅크간 순환전류의 추정은 변압기 보호용 전류차동 계전기의 신뢰도를 향상시킬 뿐만 아니라, 극초고압 계통에서 변압기 제작비용을 감소시킬 수 있다. 또한 순환전류는 변압기 열화를 모니터링 할 수 있게 한다.

변압기 병렬운전시 탱크간 순환전류를 추정하기 위한 방법이 제안되었다. 첫 번째 방법은 두 탱크가 부하전류를 반절씩 담당한다고 가정하여, 한 탱크를 통해 흐르는 부하전류 즉, 부하전류의 절반과 선전류의 차를 순환전류로 본다[2]. 이러한 추정 알고리즘은 두 탱크의 임피던스가 같을 경우에만 성립한다. 두 탱크의 임피던스가 다르게 되면 부하전류를 정확히 반절씩 담당한다는 가정이 모순이 된다.

다른 추정 방법은, 각 탱크에 흐르는 선전류를 상전압의 위상을 기준으로 유효 비순환전류와 무효 순환전류로 나눈다[3]. 이 방식은 유효전력과 무효전력의 관점에서 순환전류를 해석함을 의미한다. 하지만, 이 방식은 탱크에 흐르는 선전류가 같은 경우에도 역률에 따라 추정한 무효 순환전류의

* 正 會 員 : 全北大 大學院 電氣工學科 副敎授 · 工博
† 교신저자, 學生會員 : 全北大 電氣工學科 碩士課程
E-mail : sagomaker@chonbuk.ac.kr
** 正 會 員 : 全北大 電氣工學科 博士課程
*** 學生會員 : 全北大 電氣工學科 碩士課程
§ 正 會 員 : 全北大 電氣工學科 硏究敎授 · 工博
§§ 正 會 員 : 韓國IED Eng. 代表理事
§§§ 正 會 員 : 韓國電力去來所 系統保護팀 課長
接受日字 : 2008年 9月 10日
最終完了 : 2008年 10月 13日

크기가 달라지는 문제를 가진다.

한편, 뱅크간 순환전류를 추정하기 위한 기존 방법은 보고된 바 없다.

본 논문은 3상 3권선 Y-Y-△ 변압기 병렬운전시 순환전류 추정 알고리즘을 제안한다. 순환전류는 크게 탱크간 순환전류와 델타결선 측 뱅크간 순환전류로 나눌 수 있다. 탱크간 순환전류는 주로 기본파 성분으로 이루어지므로 주파수 영역에서 해석한다. 제안한 알고리즘은 탱크에 흐르는 선전류를 변압기 입(출)력전류와 동상 성분인 비순환전류와 수직성분인 순환전류로 나누어 추정한다. 한편, 뱅크간 순환전류는 주로 dc 성분과 3의 배수조파로 구성되어 있으며, 여자돌입, 과여자와 같은 과도상태시에 많이 발생하므로 시간영역에서 해석한다. 변압기 델타권선 측 루프에 전압 방정식을 적용하여 얻은 미분 방정식을 해석하여 뱅크간 순환전류를 추정하였다. 제안한 알고리즘의 성능을 탱크간 순환전류가 많이 발생하는 임피던스 차 또는 탭절환기의 순간적인 탭불일치에 의한 경우와, 뱅크간 순환전류가 많이 발생하는 과여자 여자돌입과 같은 과도상태시에 검증하였다.

2. 변압기 병렬운전시 순환전류 추정

그림 1은 병렬운전하는 3상 3권선 Y-Y-△ 변압기 결선을 나타낸다. 그림 1에서 굵은 선은 변압기 탱크간 순환전류를 나타내고, 델타결선 측 내부를 회전하는 원은 뱅크간 순환전류를 의미한다. 그림 1에서 보는 바와 같이 5개의 순환전류가 발생하며, 5개의 순환전류는 크게 2가지 종류로 구분할 수 있다. 하나는 1차, 2차, 3차측의 탱크간 순환전류이며, 다른 하나는 A탱크와 B탱크 델타 결선 측 내부를 순환하는 뱅크간 순환전류이다.

2.1 탱크간 순환전류

변압기 병렬운전시 탱크간 순환전류는 부하로 흐르지 않고, 두 탱크사이를 순환하는 전류를 말한다. 탱크간 순환전류는 주로 기본파 성분으로 이루어지기 때문에 주파수 영역에서 해석할 수 있다. 본 논문에서는 전압 정보를 이용하지 않고, 변압기 입(출)력 전류를 기준전류로 하여 탱크간 순환전류를 추정한다.

각 탱크에 흐르는 선전류를 기준전류와 동상 성분인 비순환전류와 수직성분인 순환전류로 나눌 수 있다. 그림 2는 1차측 탱크간 순환전류를 추정하는 페이저도이다.

I_1은 두 탱크의 1차측으로 흐르는 입력전류(기준전류)이고, 각 탱크에 흐르는 선전류 I_{A1}과 I_{B1}의 합과 같다.

$$I_1 = I_{A1} + I_{B1} \tag{1}$$

A탱크 선전류 I_{A1}는 I_1과 동상성분인 비순환전류 I_{A1p}와 수직성분인 탱크간 순환전류 I_{A1cir}로 나눌 수 있다.

$$I_{A1} = I_{A1p} + I_{A1cir} \tag{2}$$

마찬가지로, B탱크 선전류 I_{B1}은 비순환전류 I_{B1p}와 탱크간 순환전류 I_{B1cir}로 나누어진다.

$$I_{B1} = I_{B1p} + I_{B1cir} \tag{3}$$

식 (2)와 (3)을 식 (1)에 대입하면 A탱크와 B탱크에 흐르는 순환전류의 크기는 같고, 방향은 반대임을 알 수 있다.

$$I_{A1cir} = -I_{B1cir} \tag{4}$$

A, B탱크를 흐르는 비순환전류는 식 (5), 식 (6)과 같이 표현된다.

$$I_{A1p} = (|I_{A1}|\cos\theta_A) \tag{5}$$

$$I_{B1p} = (|I_{B1}|\cos\theta_B) \tag{6}$$

A, B탱크를 흐르는 순환전류는 식 (7), 식 (8)과 같이 구할 수 있다.

$$I_{A1cir} = (|I_{A1}|\sin\theta_A)\angle -90^\circ \tag{7}$$

$$I_{B1cir} = (|I_{B1}|\sin\theta_B)\angle 90^\circ \tag{8}$$

변압기 1차측 탱크간 순환전류는 식 (7)과 식 (8)을 이용하여 추정할 수 있으며, 2차측과 3차측을 흐르는 탱크간 순환전류도 위와 같은 방법으로 추정한다.

2.2 뱅크간 순환전류

뱅크간 순환전류는 3차측 델타결선을 이루는 뱅크간을 순환하는 전류를 말한다. 뱅크간 순환전류는 여자돌입, 과여자와 같은 과도상태시에 발생하며 dc성분과 3의 배수조파 성분으로 이루어져 있기 때문에 주파수 영역에서 해석하기 어려우므로 시간영역에서 해석하여야만 한다. 3상 3권선 병렬 Y-Y-△ 변압기의 A탱크 3차 측 전압들은 식 (9)—(11)과 같이 표현된다. 여기서 R_{A3ab}, R_{A3bc}, R_{A3ca}는 A탱크 3차측 권선저항, L_{Al3ab}, L_{Al3bc}, L_{Al3ca}는 A탱크 3차측 누설 인덕턴스, e_{A3ab}, e_{A3bc}, e_{A3ca}는 A탱크 3차측 유기전압이다.

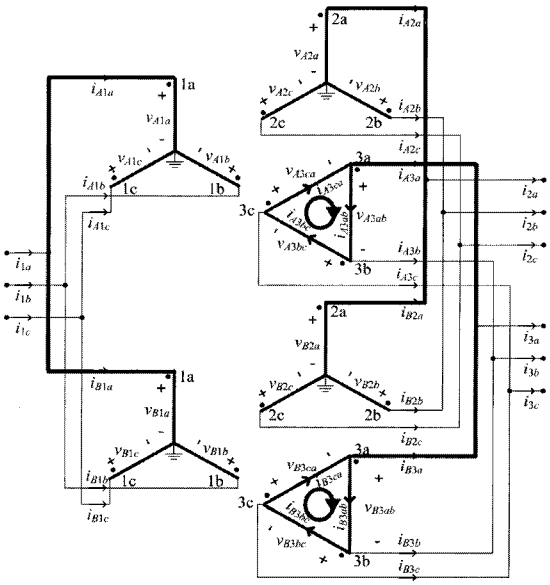


그림 1 병렬 Y-Y-△ 변압기

Fig. 1 Y-Y-Δ transformers operated in parallel

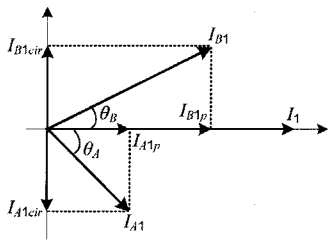


그림 2 I_1, I_{A1}, I_{B1}에 관한 페이저도

Fig. 2 Phasor diagram for I_1, I_{A1} and I_{B1}

$$v_{A3ab} = R_{A3ab} i_{A3ab} + L_{Al3ab} \frac{di_{A3ab}}{dt} + e_{A3ab} \quad (9)$$

$$v_{A3bc} = R_{A3bc} i_{A3bc} + L_{Al3bc} \frac{di_{A3bc}}{dt} + e_{A3bc} \quad (10)$$

$$v_{A3ca} = R_{A3ca} i_{A3ca} + L_{Al3ca} \frac{di_{A3ca}}{dt} + e_{A3ca} \quad (11)$$

변압기의 델타 권선전류 i_{A3ab}, i_{A3bc}, i_{A3ca}는 식 (12)—(14)와 같이 비순환성분 i_{A3pa}, i_{A3pb}, i_{A3pc}와 A탱크 뱅크간 순환전류 $i_{A\triangle}$로 나누어진다[4].

$$i_{A3ab} = i_{A3pa} + i_{A\triangle} \quad (12)$$

$$i_{A3bc} = i_{A3pb} + i_{A\triangle} \quad (13)$$

$$i_{A3ca} = i_{A3pc} + i_{A\triangle} \quad (14)$$

비순환성분은 식 (15)—(17)을 이용하여 선전류로부터 직접 구할 수 있다[4].

$$i_{A3pa} = \frac{i_{A3b} - i_{A3a}}{3} \quad (15)$$

$$i_{A3pb} = \frac{i_{A3c} - i_{A3b}}{3} \quad (16)$$

$$i_{A3pc} = \frac{i_{A3a} - i_{A3c}}{3} \quad (17)$$

그런데 A탱크 뱅크간 순환전류 $i_{A\triangle}$는 뱅크의 권선전류를 알 수 있으면 권선전류에서 식 (15)—(17)에서 비순환 성분을 빼면 추정할 수 있다. 하지만, 권선전류를 알기 위해서는 이를 측정할 수 있는 변류기를 변압기 내부에 설치해야 하고, 이는 변압기의 제작 단가를 높인다.

본 논문에서는 권선 전류를 측정하지 않더라도 $i_{A\triangle}$를 추정하는 방법을 제안한다. 표현의 편의성을 위해 $R_{A1a} \approx R_{A1b} \approx R_{A1c} \approx R_{A1}$, $L_{Al1a} \approx L_{Al1b} \approx L_{Al1c} \approx L_{Al1}$, $R_{A2a} \approx R_{A2b} \approx R_{A2c} \approx R_{A2}$, $L_{Al2a} \approx L_{Al2b} \approx L_{Al2c} \approx L_{Al2}$, $R_{A3a} \approx R_{A3b} \approx R_{A3c} \approx R_{A3}$, $L_{Al3a} \approx L_{Al3b} \approx L_{Al3c} \approx L_{Al3}$으로 가정하였다. 위와 같은 가정이 성립되지 않더라도 본 논문에서 제안하는 방식은 유효하다.

식(9)—(11)을 더하고 유기전압의 합에 대해 다시 정리하면 다음과 같다.

$$e_{A3ab} + e_{A3bc} + e_{A3ca} = -L_{Al3} \frac{d(3i_{A\triangle})}{dt} - R_{A3}(3i_{A\triangle}) \quad (18)$$

좌변의 유기 전압의 합을 구할 수 있으며, 식 (18)을 풀어서 $i_{A\triangle}$를 구할 수 있다.

e_{A3ab}, e_{A3bc}, e_{A3ca}는 식 (19)—(21)로부터 e_{A1a}, e_{A1b}, e_{A1c}를 구한 다음, 식(22)를 이용하여 구할 수 있다. 식 (19)—(21)은 변압기 A탱크 1차 측의 단자 전압에 관한 식을 유기전압에 대해 다시 정리한 것이다.

$$e_{A1a} = v_{A1a} - R_{A1a} i_{A1a} - L_{Al1a} \frac{di_{A1a}}{dt} \quad (19)$$

$$e_{A1b} = v_{A1b} - R_{A1b} i_{A1b} - L_{Al1b} \frac{di_{A1b}}{dt} \quad (20)$$

$$e_{A1c} = v_{A1c} - R_{A1c} i_{A1c} - L_{Al1c} \frac{di_{A1c}}{dt} \quad (21)$$

$$\frac{e_{A3ab}}{e_{A1a}} = \frac{N_3}{N_1}, \quad \frac{e_{A3bc}}{e_{A1b}} = \frac{N_3}{N_1}, \quad \frac{e_{A3ca}}{e_{A1c}} = \frac{N_3}{N_1} \quad (22)$$

앞에서 구한 e_{A3ab}, e_{A3bc}, e_{A3ca}를 이용하여 식 (18)에 대입하여 풀면 $i_{A\triangle}$를 구할 수 있다. 따라서 3차 측 델타결선 내부를 흐르는 뱅크간 순환전류를 추정할 수 있다. B탱크 뱅크간 순환전류도 같은 방법으로 추정한다.

3. 사례 연구

그림 3과 같은 모델 계통을 이용하여 제안한 알고리즘을 검증하였다. 탭절환기를 포함하는 두 대의 3상 3권선 Y-Y-△변압기(765/345/23kV, 1GVA)를 EMTP-RV를 이용하여 모델링 하였다. 샘플링 주파수는 주기당 64샘플이고, 포화점은 62.6A, 1823.7Vs이다.

3.1 탱크간 임피던스 차

변압기를 병렬운전 하기 위해서는 두 탱크의 임피던스가 같아야 한다. 그런데 탱크간 임피던스 차에 따른 별도의 변압기 보호 알고리즘이 필요로 하지 않는 범위에서 7.5%의 임피던스 차는 허용되고 있다[2]. 본 논문에서는 B탱크의 a, b, c상 누설 인덕턴스가 A탱크의 90%인 경우에 대해 사례연구를 행하였다.

변압기 병렬운전시 탱크간 임피던스 차에 의해 발생하는 탱크간 순환전류는 식 (7)과 식 (8)을 이용하여 추정할 수 있다. 1차측과 2차측의 탱크간 순환전류는 크게 발생하지 않아서 3차측 a상 탱크간 순환전류 추정 결과만을 표 1에 나타내었다. 추정한 A탱크의 순환전류 $\boldsymbol{I}_{A3cir}$는 $0.8541\angle -90°$, B탱크 순환전류 $\boldsymbol{I}_{B3cir}$는 $0.854\angle 90°$로, 크기는 서로 같고 방향은 반대이다. 탱크간 임피던스 차에 의해 발생한 A탱크 순환전류는 선전류 $\boldsymbol{I}_{A3}$의 11.56%, B탱크 순환전류는 선전류 $\boldsymbol{I}_{B3}$의 43.7%이다. 그림 4는 3차측의 추정 결과를 페이저도를 이용하여 나타낸 것이다.

변압기 병렬운전시 탱크간 임피던스 차에 의한 뱅크간 순환전류는 식 (18)로부터 추정하였다. 뱅크간 순환전류는 주로 3의 배수조파로 구성되어 있는데, 탱크간 임피던스가 다른 경우에는 3의 배수조파를 거의 발생시키지 않기 때문에 뱅크간 순환전류는 거의 발생하지 않았다. 따라서 그 결과는 본 논문에 포함하지 않았다.

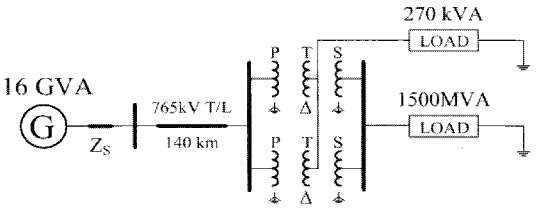


그림 3 모델계통

Fig. 3 Single line diagram of the simulated system

표 1 3차측 A, B탱크의 선전류와 탱크간 비순환전류, 순환전류

Table 1 Tertiary line currents, non-circulating currents and circulating currents between the tanks of A, B tanks

	크기 (A)	위상각 (°)		크기 (A)	위상각 (°)
$\boldsymbol{I}_3$	5.582	0			
$\boldsymbol{I}_{A3}$	7.388	-6.637	$\boldsymbol{I}_{B3}$	1.953	154.1
$\boldsymbol{I}_{A3p}$	7.399	0	$\boldsymbol{I}_{B3p}$	1.757	180
$\boldsymbol{I}_{A3cir}$	0.8541	-90	$\boldsymbol{I}_{B3cir}$	0.8541	90

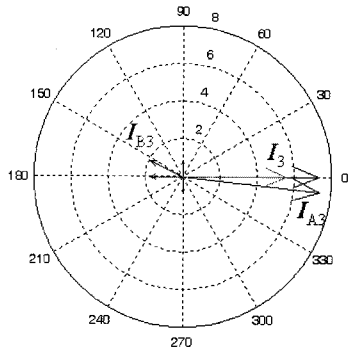


그림 4 3차측 페이저도

Fig. 4 Phasor diagram for the tertiary winding

3.2 탭절환기의 순간적인 탭 불일치

변압기 병렬운전시 탭절환기는 같은 권선비를 유지하기 위해 같은 탭에 위치해야 한다. 전압 조정을 목적으로 탭을 절환한다. 그런데 탭을 절환하는 과정에서 탭 절환기의 기계적인 절환 시간차나 셋팅값 차에 의해 탭이 순간적으로 같은 위치에 놓이지 않을 수 있으며, 이런 경우에는 순환전류가 발생하게 된다[2]. 이 경우에 발생하는 순환전류를 추정하기 위해 본 논문에서는 한 탭 간격인 정격전압의 약 1.67% 전압차의 탭을 조정하였으며, A탱크는 86ms, B탱크는 186ms에 탭절환하게 하므로써 100ms동안 불일치할 경우를 모의하였다.

그림 5와 그림 6은 부하전류 I_3을 기준 전류로 하여 I_{A3}와 I_{B3}를 각각 탱크간 비순환전류와 순환전류로 나눈 것을 표현하였다. 탭불일치동안 I_3는 $5.528\angle 0°$, I_{A3}는 $5.176\angle 73.38°$, I_{B3}는 $6.425\angle -50.81°$가 흐른다. 그림 5에서 A탱크 a상 선전류 I_{A3}에 포함된 비순환전류 I_{A3p}는 $1.458\angle 0°$, 순환전류 I_{A3cir}는 $4.977\angle 90°$이다. 그림 6의 B탱크 a상 선전류 I_{B3}에 포함된 비순환전류 I_{B3p}는 $4.091\angle 0°$, 순환전류 I_{B3cir}는 $4.977\angle -90°$이다. 두 탱크에 흐르는 탱크간 순환전류가 크기는 같고 방향이 반대임을 확인할 수 있다. A탱크 순환전류는 I_{A3}의 96.2%, B탱크 순환전류는 I_{B3}의 77.5%이며, 순간적으로 탭이 불일치하는 경우에도 순환전류가 많이 발생함을 알 수 있다. 그림 7에 3차측의 추정 결과를 페이저도를 이용하여 나타내었다.

탭절환기의 순간적인 탭 불일치시에 발생하는 뱅크간 순환전류 추정 결과를 그림 8에 나타내었다. A탱크 델타 결선측 뱅크를 흐르는 비순환전류는 탭 불일치시 전류가 증가하는 과도현상을 보이다가, 탭이 일치하게 되면 다시 정상상태로 회복한다. 그런데 뱅크간 순환전류는 탭이 불일치하는 순간에도 크게 변화하지 않는다. 그 이유는 뱅크간 순환전류는 주로 3의 배수조파로 이루어져 있고, 탭절환기의 탭 불일치가 3의 배수조파를 증가시키지 않기 때문이다. 3차측 뱅크간 비순환전류와 순환전류의 합인 델타 권선전류는 그림 8(c)와 같다.

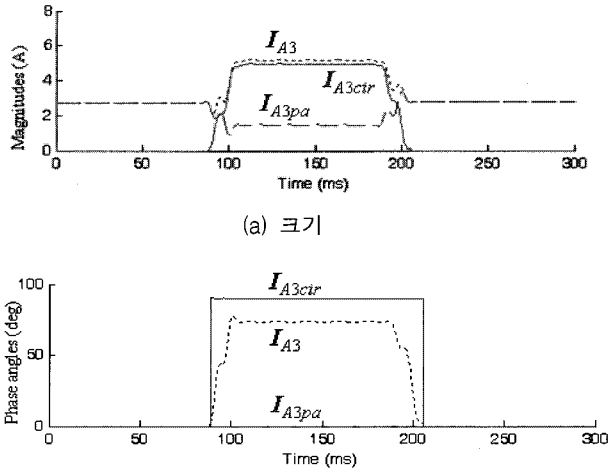


그림 5 A탱크 3차측 탱크간 비순환전류, 순환전류, 출력전류

Fig. 5 Tertiary non-circulating, circulating currents between the tanks and load currents of A tank

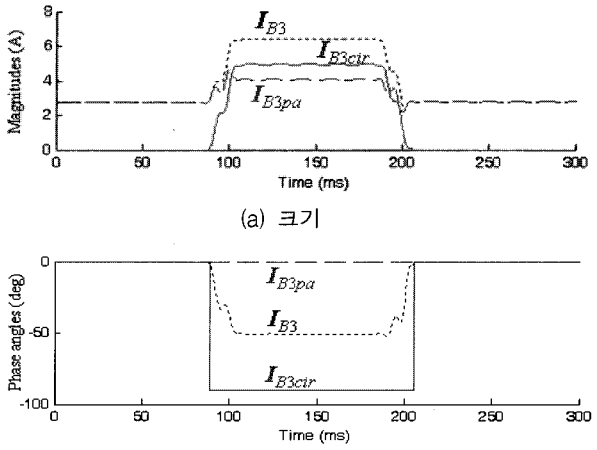


그림 6 B탱크 3차측 탱크간 비순환전류, 순환전류, 출력전류

Fig. 6 Tertiary non-circulating, circulating currents between the tanks and load currents of B tank

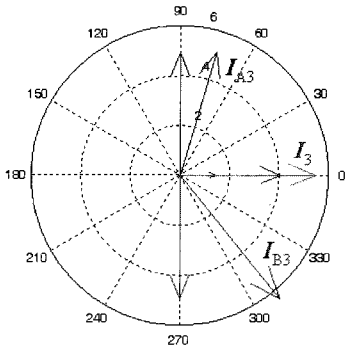
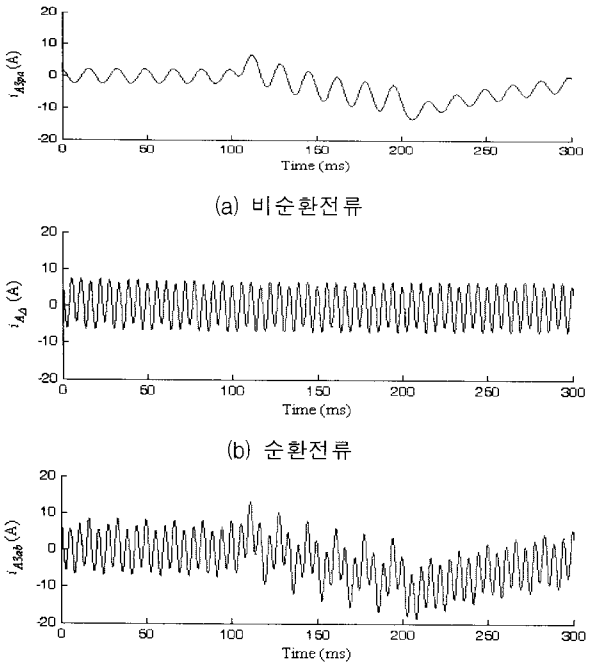


그림 7 3차측 페이저도

Fig. 7 Phasor diagram for the tertiary winding



(a) 비순환전류

(b) 순환전류

(c) 권선전류

그림 8 3차측 *A*탱크 뱅크간 비순환전류, 순환전류, 권선전류
Fig. 8 Tertiary non-circulating, circulating currents between the banks and winding currents of *A* tank

3.3 여자돌입

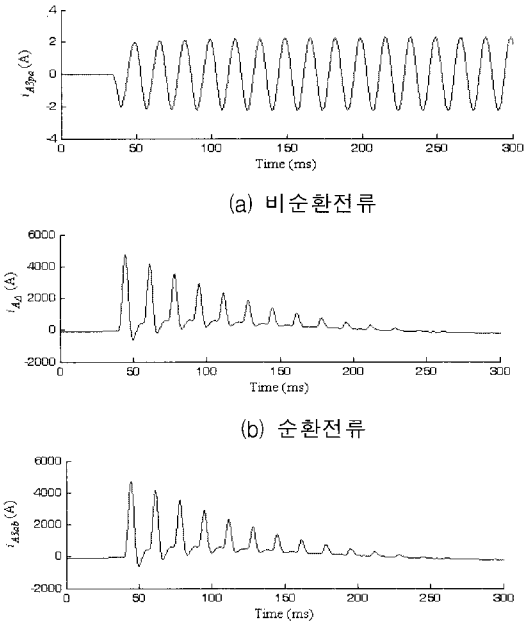
뱅크간 순환전류는 과도상태시에 주로 발생하므로, 본 논문에서는 여자돌입과 과여자의 경우를 모의하였으며, 이 경우에는 각 탱크의 임피던스 및 탭 위치가 같도록 모델링하였다. 따라서 탱크간 순환전류는 거의 발생하지 않는다.

그림 9는 부하를 연결한 상태에서 변압기를 34ms에 투입한 결과, 즉 *A*탱크 델타 결선의 뱅크간 비순환전류, 순환전류와 권선전류를 나타낸다. 이 경우에 잔류자속 0%, 투입위상각 0°이다. 비순환전류는 변압기 투입 후 정격전류를 유지한다. 반면 뱅크간 순환전류는 변압기 투입 후 매우 크게 발생하고 시간이 지남에 따라 크기가 감소한다. 뱅크간 순환전류의 최대값은 4735A이고, 3차측 정격전류 435A의 10배에 이른다. 3차측의 뱅크를 흐르는 델타 권선전류는 비순환전류와 뱅크간 순환전류의 합이다. *B*탱크의 뱅크간 순환전류는 *A*탱크와 같은 결과를 나타낸다. 본 사례연구 결과, 여자돌입에 의한 뱅크간 순환전류가 매우 크게 발생함을 알 수 있다.

3.4 과여자

본 절은 과여자시 뱅크간 순환전류 추정 결과를 보여준다. 변압기는 34ms에 정격전압의 150%, 1147.5kV의 전압이 인가되었다. 여자돌입의 사례와 마찬가지로 각 탱크의 임피던스 및 탭 위치가 같도록 모델링되었으며, 탱크간 순환전류는 발생하지 않았다.

그림 10은 과여자가 발생했을 경우의 *A*탱크 뱅크간 비순환전류, 순환전류, 델타 권선전류를 나타낸다. 비순환전류는 과여자 후 3.214A의 전류가 흐른다. 뱅크간 순환전류는 과여자 순간 크게 발생하며 최대값은 5136A이다. 이 값은 3차측 정격전류의 12배에 해당하는 수치이다. 비순환전류와 뱅크간 순환전류의 합인 델타 권선전류는 그림 10(c)에 나타나있다. 과여자 순간 매우 큰 델타 권선전류가 뱅크에 흐르고, 시간이 지남에 따라 그 크기가 감소한다. *B*탱크의 뱅크간 순환전류는 A탱크의 순환전류와 같기 때문에 본 논문에는 포함하지 않았다.

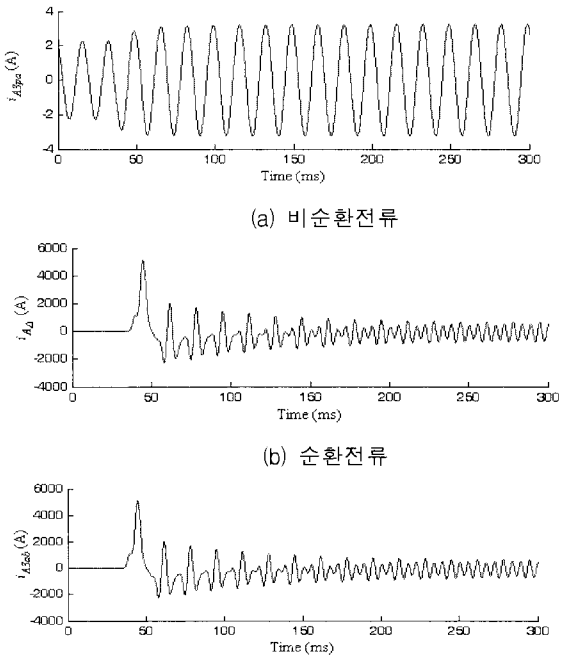


(a) 비순환전류

(b) 순환전류

(c) 권선전류

그림 9 3차측 *A*탱크 뱅크간 비순환전류, 순환전류, 권선전류
Fig. 9 Tertiary non-circulating, circulating currents between the banks and winding currents of *A* tank



(a) 비순환전류

(b) 순환전류

(c) 권선전류

그림 10 3차측 *A*탱크 뱅크간 비순환전류, 순환전류, 권선전류
Fig. 10 Tertiary non-circulating, circulating currents between the banks and winding currents of *A* tank

4. 결 론

본 논문에서는 변압기 병렬운전시 순환전류를 추정하는 알고리즘을 제안하였다. 변압기 병렬운전시 발생하는 순환전류는 탱크간 순환전류와 3차측 델타결선 내부를 순환하는 뱅크간 순환전류가 있다. 탱크간 순환전류는 선전류를 입(출)력전류를 기준으로, 동상성분인 비순환성분과 수직성분인 순환전류로 나누어 추정하였다. 뱅크간 순환전류는 변압기 델타권선 측 루프에 전압 방정식을 적용하여 유도되는 순환전류에 관한 미분 방정식을 풀어서 추정하였다.

제안한 알고리즘은 탱크간 임피던스 차 또는 탭절환기의 순간적인 탭불일치로 인한 탱크간 순환전류를 주파수 영역에서 추정함을 확인하였다. 또한 본 알고리즘이 여자돌입, 과여자와 같은 과도상태 시에 발생하는 뱅크간 순환전류를 시간영역에서 추정함을 보였다.

변압기 병렬운전시 순환전류 추정은 변압기 보호계전기의 성능을 향상시키고, 변압기 열화를 모니터링 할 수 있게 한다. 특히 765kV 변전소에서는 변압기 제작비용을 감소시키고 변압기 크기를 줄일 수 있다.

참 고 문 헌

[1] C. I. Hubert, "Electric machines theory, operation, applications, adjustment, and control", 2nd. Prentice Hall, pp. 104 - 106, 2002.

[2] P. Okanik, B. Kurth, J. H. Harlow, "An update on the paralleling of OLTC Power transformers", IEEE Transmission and Distribution Conference 1999, vol. 2, pp. 871-875, April 11-16 1999.

[3] V. P. Thornley and N. J. Hiscock, "Improved voltage quality through advanced in voltage control techniques", IEE Developments in Power System Protection 2001, pp.355 - 358, 2001.

[4] M. S. Sachdev, T. S. Sidhu, and H.C. Wood, "A Digital Relaying Algorithm for Detecting Transformer Winding Faults," IEEE Trans. on PWRD, vol. 4, no. 3, pp. 1638 - 1648, Jul. 1989.

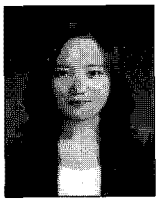
저 자 소 개

강 용 철 (姜 龍 澈)

1964년 8월 2일생. 1991년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업 (공박). 현재, 전북대학교 전자정보공학부 부교수.

Tel : 063-270-2391 Fax : 063-270-2394

E-mail : yckang@chonbuk.ac.kr



이 미 선 (李 美 善)

1983년 9월 10일생. 2007년 전북대학교 전자정보공학부 졸업. 2007년~현재 전북대학교 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 063-270-2391 Fax : 063-270-2394

E-mail : sagomaker@chonbuk.ac.kr

이 병 은 (李 炳 銀)

1975년 11월 7일생. 1999년 전북대 공대 전기공학과 졸업, 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

Tel : 063-270-2391 Fax : 063-270-2394

E-mail : mpeclab@chonbuk.ac.kr

최 재 선 (崔 在 宣)

1981년 12월 19일생. 2008년 전북대 전자정보공학부 졸업. 2008년~현재 전북대학교 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 063-270-2391 Fax : 063-270-2394

E-mail : tonot@chonbuk.ac.kr

장 성 일 (張 成 一)

1971년 8월 30일생. 1996년 강원대학교 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업 (공박). 현재 전북대학교 대학원 전기공학과 BK21 연구교수

Tel : 063-270-2389 Fax : 063-270-2394

E-mail : sijang@chonbuk.ac.kr

김 용 균 (金 容 均)

1973년 7월 4일생. 1993년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2005년~현재 한국IED Eng. 대표이사

Tel : 02-529-2113 Fax : 02-571-9207

E-mail : ygkim@hankookied.com

유 영 식 (柳 永 植)

1963년 2월 11일생. 1989년 광운대학교 전기공학과 졸업. 현재 한국전력거래소 계통보호팀 과장

Tel : 02-3456-6752 Fax : 02-3456-6757

E-mail : lyu21@kpx.or.kr