

제작소가 상이한 단상 주변압기 병행 운전시 불평형전압의 검토

심응보* 우정욱* 객주식* 조성훈** 허용호** 한상욱***
 한전 전력연구원* 한국전력공사** 충남대학교***

The Calculation of Unbalanced Voltage on the tertiary bus of a single phase auto transformer in case of Parallel Operation with Different Manufacturer

E. B. Shim* J. W. Woo* J. S. Kwak* S. H. Joe** Y. H. Hur** S. O. Han***
 KEPR*I KEPCO** Chungnam National University***

Abstract - This paper described the unbalanced voltage on the tertiary bus of a single phase auto transformer in the case of parallel operation with different manufacturer at each phase. The unbalanced capacitances between primary to secondary winding, secondary to tertiary winding and primary to tertiary winding makes unbalanced bus voltage in the tertiary bus side. The unbalanced voltage let the surge arrester to operate in the power frequency range, and it causes the arrester to burn out. The failure of the arrester at one phase makes line to ground fault, which lead to the surge arrester failure of the other two phase on the tertiary bus.

원인을 알아보기 위하여 3차측의 모선 등에서 지락고장 여부를 육안으로 점검하던 중 피뢰기가 소손되는 고장이 발생하였다. 이 고장의 파급으로 주변압기가 트립되었으며 피뢰기는 3상이 모두 파손되고 그 중에 2상은 파손 정도가 매우 심하였다.

1. 서 론

제작소가 상이한 단상 3권선 단권변압기에서 1차-2차간, 2차-3차간 및 1차-3차간의 정전용량이 매우 다른 경우, 변압기를 병렬운전하는 경우 3차측 모선전압의 불평형 정도를 규명하고, 전압 불평형에 의한 피뢰기의 동작 가능성을 모의 계산하였다. 범용 과도해석 프로그램인EMTP(Electro-Magnetic Transient Program)를 이용하여 변압기의 권선과 정전용량, 3차측 모선 및 피뢰기의 특성을 모의하였다. 해석결과 정전용량의 불평형은 154kV 모선에서는 나타나지 않았으며, 23kV 측에서 심하게 나타났다. 이 불평형 전압에 의하여 1상의 피뢰기가 장시간에 걸쳐 먼저 소손되고, 피뢰기 소손에 의한 지락고장에 의하여 건전상의 전위가 높아져 피뢰기가 급속히 소손된 것으로 추정된다.

2.2 고장 모의계산의 개요

고장의 모의는 345kV 주변압기측 A상의 완전지락 및 23kV 모선 A상 피뢰기의 고장을 가정하였으며, 345kV 계통 및 154kV 계통은 본 계산에 영향을 미치지 않을 것으로 보아 상세한 모의는 생략하였다.

2.2.1 3차측 모선 및 기기의 모의

23kV 모선측은 고장점 부근이므로 현장의 기기 설치상황을 상세히 모의하도록 하였다. 각각 주변압기 3차측에서 3차 모선까지의 거리, 도체의 간격 지표상의 높이, 상각의 이격거리 등을 고려하였다. 3차측의 모선은 길이가 매우 짧으므로 분포정수선로 모델을 사용할 수 없으므로 π 등가모델 또는 정전용량으로 모의하였다. 지락시 아크의 동특성은 고려하지 않았으며, 지락저항값은 0.1 Ω 으로, 피뢰기 고장시의 지락저항은 5~1000 Ω 을 상정하였다. 23kV 모선의 결선 및 기기의 배치는 그림 1과 같다.

2. 본 론

$\frac{345kV}{\sqrt{3}} / \frac{154kV}{\sqrt{3}} / 23kV$ 단상 단권변압기는 단상 고

장시 정격이 다른 제작사의 변압기와 병렬로 운전하는 경우가 발생한다. 345kV 변전소에서 제작사가 다른 변압기의 병렬운전중 3차측 23kV 모선에 설치된 피뢰기가 소손된 경우가 발생하여, 이에 대한 원인을 규명하기 위한 계산을 하였다. 고장의 원인으로는 변압기 내부에서 지락고장의 발생에 의한 파급고장으로 우선적으로 추정하였으며, 변압기 권선간의 정전용량 차이가 매우 심한것에 착안하여, 이에 의한 전압 불평형의 가능성을 후에 검토하였다.

2.1 23kV급 피뢰기 소손 고장의 발생 상황

345kV 변전소에서 제작사가 다른 1상의 변압기를 기운전중인 다른 2상의 변압기와 병렬 운전을 하기위하여 무부하 상태에서 가압하여 놓았으며, 3차측에서 전압변성기의 개발 델타 권선에서 높은 전압이 발생하여 이의

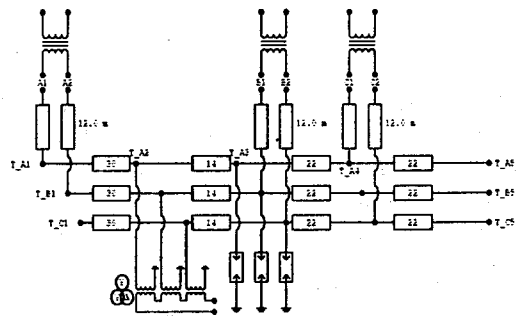


그림 1. 주변압기 3차측 23 kV 모선의 노드도

표 1. 24kV 피뢰기의 전압-전류 특성

전류(A) peak값	전압(V) peak값	비고
0.001	26440.0	MCOV 값
125.0	48300.0	
500.0	52000.0	
1000.0	54000.0	
5000.0	62000.0	
10000.0	66000.0	
20000.0	73000.0	

2.2.2 피뢰기 특성의 모의

24kV 피뢰기의 특성은 제작사의 제공 자료를 이용하여 EMTP에서 Type92(4444) 비선형 저항으로 모의하였다. 피뢰기의 전압-전류 특성은 표 1과 같다.

2.3 주변압기 A상 고장시 23kV측 파급고장 해석

주변압기 A상의 고장시 지락저항값을 0.1 Ω으로하여 계산한 결과 23kV측 모선 전압은 약 2~3주기동안 약 45kV 정도 발생하였다가 소멸되고, 지속적인 과전압은 약 33kV 정도 발생하고 있다. 고장전류의 크기는 지락이 발생한 순간에는 약 3000A 정도가 되나 지속적인 과전류는 250 A(peak)정도 지속되었다. 이때, PT 개방 델타권선의 전압은 약 200 V(rms)로 나타났으며, 피뢰기를 통하여 흐르는 통전전류는 최대 100 A(peak)이며 약 34 A(peak)값으로 수렴하였다.

그림 2는 23kV 모선의 과전압 발생 양상을, 그림 3은 고장전류의 크기를, 그림 4는 PT 3차측 개방 델타 권선의 발생전압을 나타내고 있다.

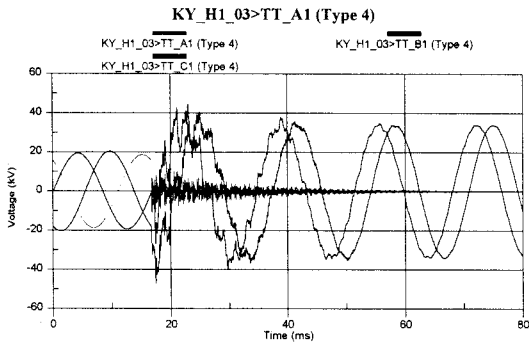


그림 2 23 kV 모선의 과전압 발생 양상

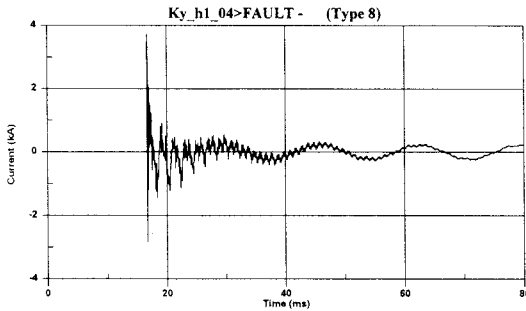


그림 3. 고장전류의 크기(고장 발생 상)

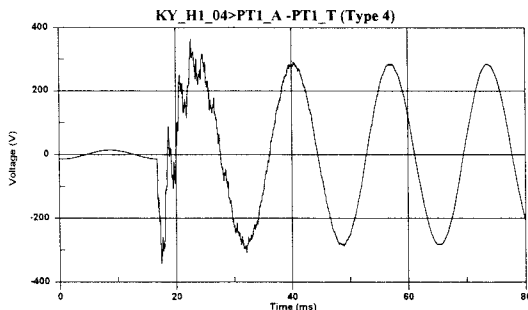


그림 4. PT 3차측 Open Delta 발생 전압

2.4 피뢰기 고장시 방전에너지의 해석

A상의 완전지락 고장시 다른 2상의 피뢰기는 상용주파수의 과전압이 지속적으로 가해져 많은 에너지를 방전시키고 있다. 계산결과 피뢰기는 1초동안에 약 400 kJ의 열을 발생시키며, 동작 카운터의 동작횟수 877회를 역산하면, 약 3.65초 정도의 시간 경과후에 피뢰기가 소손된 것으로 추정된다. 이때의 방전 에너지는 약 1460 kJ이며 그림 5는 피뢰기의 방전전류를, 그림 6은 피뢰기의 방전에너지를 나타내고 있다.

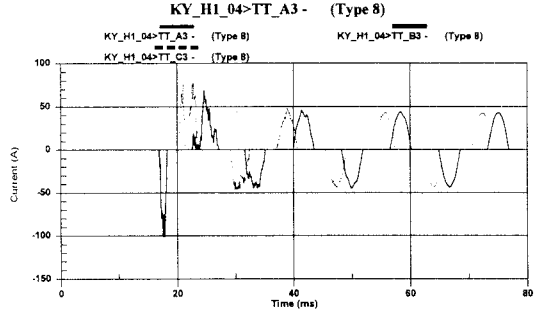


그림 5. 피뢰기의 통전 전류

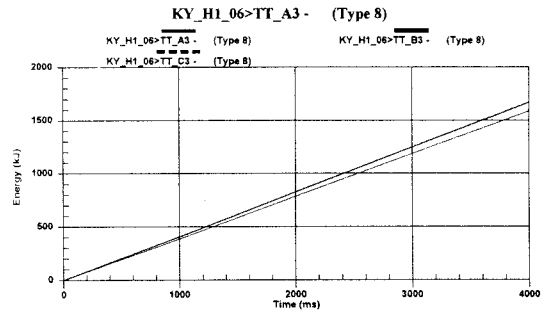


그림 6. 피뢰기의 방전 에너지

2.5 최초로 A상의 고장원인에 대한 추정

A상에 최초로 고장이 발생한 원인은 변압기 권선의 고장 또는 23kV 모선에 설치된 기기의 고장을 생각할 수 있으며, 어느 고장이 최초의 원인제공을 하였는지를 찾아야 한다. 변압기 내부의 고장을 최초의 고장원인으로 상정하였으나, 변압기 내부의 점검결과 지락고장의 흔적을 발견 할 수 없었으므로 변압기 특성차에 의한 불평형 전압을 추가로 고려하여 모의하였다.

2.5.1 제작사별 주변압기 정전용량의 비교

HS사 및 HD사의 주변압기의 1-2차간, 1-3차간 및 1-2차간 정전용량을 표 2에 나타내었다.

표 2. 제작사별 주변압기의 정전용량 비교

구분	HS사	HD사	비고
1차-대지간	3,409	4,279	단위: pF
2차-대지간	12,541	6,422	
3차-대지간	7,981	9,899	
1차-2차간	14,636	2,918	
1차-3차간	없음	1,600	
2차-3차간	25,716	3,544	

2.5.2 불평형 전압의 발생과 고장원인

표 2와 같은 특성을 반영하여 계산한 결과 23kV측 모선의 A상에 피뢰기가 동작할 수 있는 범위의 과전압이 발생하였다. 이 피뢰기의 동작으로 23kV 모선 전압의 왜형이 발생하였으며, 동작전류의 크기는 작으나 장시간에 걸친 피뢰기의 동작으로 열폭주가 발생하여 피뢰기가 소손된 것으로 추정할 수 있다. 이 피뢰기의 선행 고장에 의하여 다른 2상에 과전압이 발생하고, 단시간에 많은 에너지가 방전되면서 소손되었다고 생각된다.

그림 7은 정전용량차에 의해 23kV 모선 A상에 과전압이 걸리고, 상간의 전압이 불평형이 되는 현상을 나타내었다. 그림 8은 모선에 피뢰기를 연결한 경우 피뢰기에 의해 과전압이 억제되면서 전압의 왜형이 발생되고 있음을 보여주고 있다.

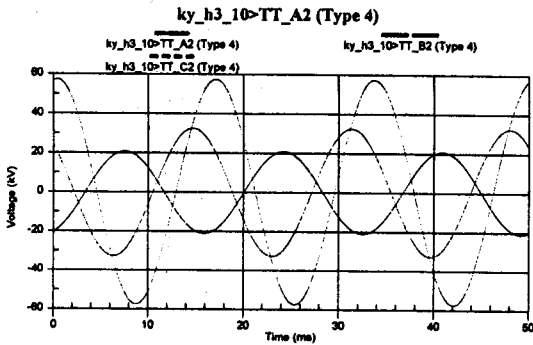


그림 7. 정전용량차에 의한 23kV 모선전압의 불평형

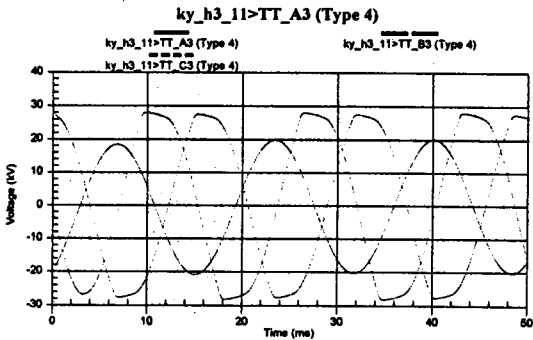


그림 8. 피뢰기 동작에 의한 23kV 모선전압의 왜형

3. 결 론

제작사가 다른 $\frac{345kV}{\sqrt{3}} / \frac{154kV}{\sqrt{3}} / 23kV$ 단상 단권 변압기를 병렬운전시 발생한 23kV 모선용 피뢰기 소손의 원인을 분석하였다. 제작사가 다른 단상 주변압기 운전시는 그 특성을 사전에 검토할 필요가 있으며, 분석된 내용을 요약하면,

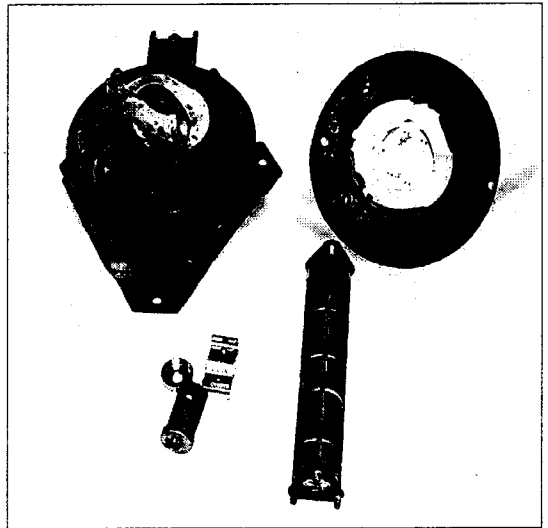
- 정전용량의 차이가 심하여 154kV 모선에는 영향을 주지 않으나, 23kV 모선에 심한 전압 불평형을 발생시킨다.
- 전압불평형에 의하여 최초 1상의 피뢰기가 장시간에 걸쳐 열적으로 소손될 가능성이 높다.

· 1상의 피뢰기 고장이 다른 2상의 건전상 전위를 상승시켜 수 초 동안에 피뢰기가 많은 에너지를 방전시키면서 소손된 것으로 판단된다.

(참 고 문 헌)

- (1) 한국전력공사, "설계기준 1031 (154kV 직접접지계의 절연협조기준)",
- (2) 전력연구원, "345kV 및 154kV Gapless형 피뢰기 정격 규격 및 기준정립 연구", 2000년
- (3) ATP, "EMTP Rule Book", 1996

(참 고 자 료)



A상 (외함 파손, 내부소자 비교적 양호(육안으로 구분))



B상, C 상 : 외함 파손, 내부소자 대전류 통전으로 인하여 파손, 애관내부가 주울열에 의해 열화됨