

154kV 송수전용 변압기 중성점 접지시 문제점과 해결방안

전명수
신우디앤씨(일렉연구소)

The Problems and Solutions for 154kV Power Transformer Neutral Point Ground

M. S. JEON
SINWOO DnC CO., LTD.(ELEC RESEARCH INSTITUTE)

Abstract - To restrain abnormal voltage and effective operation in protect system, some of customer in Korea earth their own transformer in 154kV power system.

The above ground system has some problems if ground fault occurs in other related area such as ground relay errors, under count register in two element register system. There for most huge customers opens the ground neutral and it causes errors in insulate and protection coordination and register system. In this paper presents the solution for above system.

1. 서 론

우리나라의 154kV 전력계통은 유효접지 계통으로 운용되고, 유효접지 조건을 충족시키기 위하여 일부 수용가와 발전 사업자의 계통 연계용 변압기의 중성점을 직접 접지하여 운전하고 있다.

이에 따라 동일 계통에 연계된 타 154kV 송전 선로에 지락고장시 영상전류의 과급으로 고장선로와 무관한 수용가의 지락계전기가 동작되어 Trip 하는 사례가 있어 정전으로 인한 피해가 크게 발생하므로 중성점 접지가 필요한 변압기의 중성점 접지용 DS를 개방 운전 하는 곳이 많으며, 이에 따라 전력계통이 불안정해지고 지락 보호가 곤란하게 된다.

또한 선로정수 또는 부하전류의 불평형에 의해 계통전압의 대칭이 깨질 때 즉 중성점에 영상전압이 발생할 경우 3상 3선식 2소자 계량 방식 전력량계에는 과부족 계량이 되므로 전력거래가 불공정하게 되는 사례가 발생한다

2. 본 론

2.1 계통접지용 변압기 운용 상황

우리나라의 154kV 전력계통의 계통연계용 변압기의 중성점을 접지 하는 곳은 발전소 또는 구내에 계통과 병렬 운전되는 발전기가 있어 송수전이 가능한 장소와 일부 수전용 발전소의 수전용 변압기 중성점이 접지되고 있으나, 이는 한국전력공사 변압기이며, 일반수용가의 수전용 변압기는 접지하지 않는다.

2.2 중성점 접지 변압기 선정

계통 연계용 변압기의 중성점을 접지하는 이유로는 1선 지락 고장시의 건전상의 전위상승을 억제하고 지락전류값을 적당히 조절하여 전력설비의 절연강도를 저감하고 유도장해를 경감할 수 있으며, 지락계전기의 선택 차단이 용이하도록 적절한 지락 전류가 흐르도록 전력계통의 영상 임피던스 값이 되도록 필요한 변압기의 중성점을 접지하며, 그 기준은 우선적으로 발전기가 계통에 연계 되는 곳의 154kV측 동일 BUS에 연결된 변압기 중성점을 1대 이상 접지하며, 전계통의 접지 개소는 아래 조건이 만족하도록 접지 개소를 선정한다.

$$\frac{R_0}{X_1} \leq 1, \frac{X_0}{X_1} \leq 3$$

R_0 : 실제 계통의 영상 저항

X_0 : 실제 계통의 영상 리액턴스

X_1 : 실제 계통의 정상 리액턴스

위식에서 R_0, X_0 값은 변압기 중성점 접지 개소에 따라 변하게 되며, 위와 같은 식의 조건이 유지되면 1선 지락시에 건전상의 최대 대지전위(C상)은 선간 전압의 80%이하 (상전압의 1.38배)로 되고 이와 같은 계통을 유효접지 계통이라 하며, 우리나라의 154kV 이상 계통에서는 유효접지 계통으로 운영되고 있다.

2.3 중성점 접지와 전력 계량값의 과부족

154kV 일반 수용가의 경우 3상 3선식으로 수전만 하는 수전용 변압기의 중성점은 개방하고 발전기가 병렬운전 되는 곳은 중성점을 접지하는 것이 기본이다. 따라서 중성점을 접지하는 곳과 개방하는 곳이 있으나 중성점 접지 장소는 전체의 10%(60개소 정도)미만이며, 154kV 송수전 전력계통이 3상 3선식(2소자 계량) 방식으로 사용되어 왔다. 그러나 중성점을 접지한 변압기를 선택한 곳은 대지를 귀로로 하는 3상 4선식 공급방식과 등가되므로 2소자 계량방식(3상 3선 계량)으로는 중성점 전류 I_n 에 의한 과부족 계량이 되게 되며, I_n 은 선로정수 불평형에 의한 중성점 전압 V_0 와 영상 임피던스 Z_0 에 의해 정해지며, 계량값의 과부족량은 아래와 같다.

2.3.1 154kV 계통 거래용 계량방식 결선도

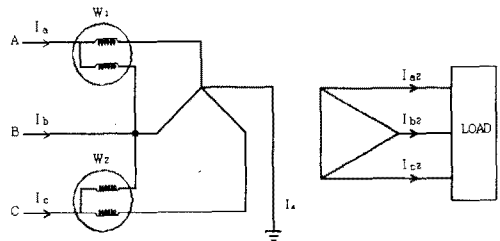


그림 1. 3상 3선식(2소자방식)

$$W = W_1 + W_2$$

$$= V_{ab} I_a + V_{cb} I_c = \sqrt{3} V_{ab} I_a$$

(단, 즉 $I_n = 0$ 일때는 3상 4선식의 방식과 동일하다.)

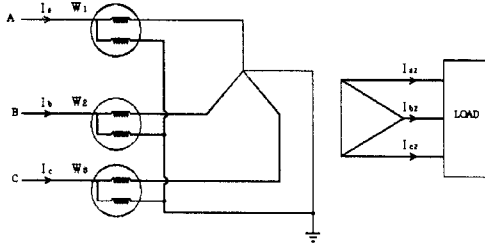


그림 2. 3상 4선식(3소자방식)

$$\begin{aligned}
 W &= W_1 + W_2 + W_3 \\
 &= V_a I_a + V_b I_b + V_c I_c \\
 &= 3V_{ab} I_a
 \end{aligned}$$

2.3.2 수전단이 비접지된 부하실비의 경우

2전력계법(2CT,3PT)에 의해 측정 한다면

역률 100% 일 경우 ($\cos\theta=1$)

$$\begin{aligned}
 W_1 &= V_{ab} I_a = (V_a - V_b) I_a \\
 W_2 &= V_{cb} I_c = (V_c - V_b) I_c \\
 W &= W_1 + W_2 \\
 &= (V_a - V_b) I_a + (V_c - V_b) I_c \\
 &= V_a I_a + V_c I_c - V_b (I_a + I_c) \\
 &= V_a I_a + V_c I_c + V_b I_b \\
 &= (V_{an} + V_n) I_a + (V_{bn} + V_n) I_b + (V_{cn} + V_n) I_c \\
 &= (V_{an} I_a + V_{bn} I_b + V_{cn} I_c) + V_n (I_a + I_b + I_c)
 \end{aligned}$$

키르히호프(Kirchhoff's)의 전류법칙에 의하여 $I_a + I_b + I_c = 0$ 가 되므로

$$\begin{aligned}
 W &= (V_{an} I_a + V_{bn} I_b + V_{cn} I_c) = 3V_{an} I_a = \sqrt{3} V_{ab} I_a \text{가 되며,} \\
 &V_n \text{ 크기에 관계없이}
 \end{aligned}$$

3상 전력 $W = V_{an} I_a + V_{bn} I_b + V_{cn} I_c$ 가 측정된다.

이와 같은 원리에 의해 수전단이 비접지일 경우

부하 결선방식(Y•Δ결선) 또는 부하 불평형에 불구하고 2전력 계법(2CT,3PT)에 의해 측정하여도 정확한 전력이 측정된다.

2.3.3 수전단이 중성점 접지된 부하실비 일 경우

역률 100% 일 경우 ($\cos\theta=1$)

$$\begin{aligned}
 W_1 &= V_{ab} I_a = (V_a - V_b) I_a \\
 W_2 &= V_{cb} I_c = (V_c - V_b) I_c \\
 W &= W_1 + W_2 \\
 &= V_{ab} I_a + V_{cb} I_c \\
 &= (V_a - V_b) I_a + (V_c - V_b) I_c \\
 &= V_a I_a + V_c I_c + V_b (I_b + I_n) \\
 &= (V_{an} + V_n) I_a + (V_{cn} + V_n) I_c + (V_{bn} + V_n) (I_b + I_n) \\
 &= (V_{an} I_a + V_{bn} I_b + V_{cn} I_c) + V_n (I_a + I_b + I_c) + V_{bn} I_n + V_n I_n
 \end{aligned}$$

한편 $I_a + I_b + I_c$ 가 $-I_n$ 이 되므로

$$W = (V_{an} I_a + V_{bn} I_b + V_{cn} I_c) + V_{bn} I_n \text{이 되어}$$

2전력계법으로 측정할 경우 3상 $V_{an} I_a + V_{bn} I_b + V_{cn} I_c$ 전력에 중성점 영상전류(중성점접지 변압기)로 인한 $|V_{bn} I_n|$ 만큼이 추가 계량 되므로 잠값

$V_{an} I_a + V_{bn} I_b + V_{cn} I_c - V_n I_n$ 과 비교해 볼 때

$|V_{bn} I_n + V_n I_n| = |V_b I_n|$ 만큼 과부족 계량이 된다. 따라서 수용가 또는 한국전력공사 어느측인가는 손해를 보게 되며, 수전할 경우 과계량인 경우는 역송할때에는 부족 계량이 되므로 손해를 보는 측은 송전수전 어떠한 경우에도 손해를 보게 되며, 이익을 보는 측은 송전수전 어떤 경우에도 이익을 보게 되는 불합리한 점이 있다.

2.3.4 3상 전력의 3CT 3PT방식 의한 계량값(참값)

역률 100% 일 경우 ($\cos\theta=1$)

$$\begin{aligned}
 W_1 &= V_a I_a \cos\theta = (V_{an} + V_n) I_a \\
 W_2 &= V_b I_b \cos\theta = (V_{bn} + V_n) I_b \\
 W_3 &= V_c I_c \cos\theta = (V_{cn} + V_n) I_c \text{가 되며,} \\
 \text{각상 전압은 } V_{an} &= Z_a I_a, V_{bn} = Z_b I_b, V_{cn} = Z_c I_c \text{가 되므로} \\
 &V_n \text{은 중성점 잔류 전압으로 나타나므로} \\
 W &= W_1 + W_2 + W_3 \\
 &= (V_{an} + V_n) I_a + (V_{bn} + V_n) I_b + (V_{cn} + V_n) I_c \\
 &= V_{an} I_a + V_{bn} I_b + V_{cn} I_c + V_n (I_a + I_b + I_c) \text{가 되며 키} \\
 &\text{르히호프의 전류법칙에 의하여 } I_a + I_b = -I_n \text{이 되므로} \\
 &\text{중성점 잔류전압 } V_n \text{의 크기에 따라 } V_n (I_a + I_b + I_c) \text{는} \\
 &= -V_n I_n \text{이 되므로 } W = (V_{an} I_a + V_{bn} I_b + V_{cn} I_c) - V_n I_n \text{에서} \\
 &\text{각상의 상전압과 상전류가 평형일 경우}
 \end{aligned}$$

$$|V_{an}| = |V_{bn}| = |V_{cn}| \Rightarrow V_a$$

$$|I_a| = |I_b| = |I_c| \Rightarrow I_a$$

$$W = 3V_a I_a \text{가 되며, 선간전압 } V_{ab} = \sqrt{3} V_a \text{이므로}$$

$$W = \sqrt{3} V_{ab} I_a \text{가 된다.}$$

2.3.5 송수전시 과부족 계량

2전력계가 수전의 경우는 $(V_{bn} I_n + V_n I_n)$ 송전시는 $-(V_{bn} I_n + V_n I_n)$ 이 되는 것은 I_n 의 방향이 수전의 경우와 송전의 경우에 반대로 되기 때문이며, I_n 이 I_a, I_b, I_c 에 의해서 결정되어지는 것이 아니고 I_n 값에 따라 선전류 I_a, I_b, I_c 값이 변하기 때문이다. 이것은 I_a, I_b, I_c 가 "0", 즉 무부하인 경우에도 I_n 은 전력계통 구성 상태에 따라 거의 일정하게 흐르게 되기 때문이며, I_n 값에 비해 I_a, I_b, I_c 값(송전, 또는 수전량)이 적을 경우는 $V_{bn} I_n + V_n I_n$ 의 전력이 전체 전력의 크기를 좌우하게 된다. 따라서 수전시 $(V_{bn} + V_n)(+I_n) = (V_{bn} I_n + V_n I_n)$ 이 되고 송전시는 $(V_{bn} + V_n)(-I_n) = -(V_{bn} I_n + V_n I_n)$ 이 되므로 수전시 과계량일 경우는 송전시에는 부족계량이 되게 되며, 수전시 부족계량일 경우는 송전시에는 과계

량이 되게 된다.

2.4 과부족 전력량의 보정방법

2.4.1 비교계량

3상 3선식(2소자 계량)방식과 3상 4선식(3소자 계량)방식에 의한 편차를 3상 3선식 계량값에 가산할 수 있으나 CT비의 파다로 오차가 커서 실제 적용은 곤란하다.

2.4.2 직접계량

중성선 전류 I_n 과 V_b 만을 이용해서 과부족 전력을 계량해서 3상3선식 계량값에 가산하는 방법으로 기술적 경제적으로 가장 적합한 방법일수 있다.

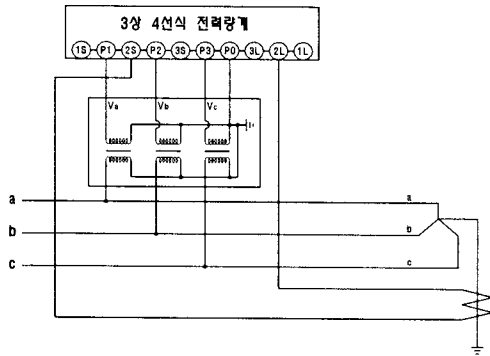


그림 3. 직접계량방식개략도

2.5 적합한 계량방식

우리나라 154kV 3상 3선식으로 송수전하는 경우라도 계통 연계용 변압기의 중성점이 접지된 경우에는 3상 4선식(3소자 계량)으로 계량하는 것이 바람직하며, 정전이나 개선 비용(2~3억)이 문제가 되는 기존 설비에는 기존에 설치된 2CT 3PT(3소자 계량)를 이용하고 154kV B상에 특고압 CT 1대 추가 대신 중성점 접지선에 저압 CT를 설치하여 기존 사용하고 있는 3상 4선식 계량기의 소프트웨어를 아래와 같이 수정하여 간단하게 3상 4선식 계량값과 동일한 값을 계량할 수 있다.

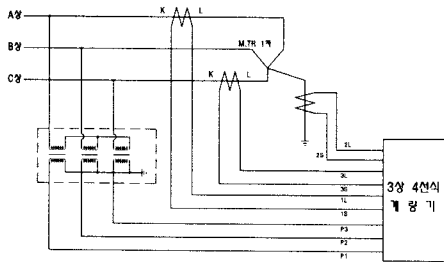


그림 4. 중성점 접지선 전류를 이용한 3상 4선식 계량 방식 개략

2.5.1 소프트웨어 개선 방법

3상 4선식 3CT 계량값

$$W_4 = V_A I_A + V_B I_B + V_C I_C$$

B상에 CT가 없으므로 중성점 전류 I_n 을 이용해서 I_B 를 소프트웨어로 연산하여 계산하여 적용한다.

$$I_A + I_B + I_C + I_n = 0 \text{ 이 되는 키르히 호프 제1법칙에 의해}$$

$$\therefore I_B = -(I_A + I_C + I_n)$$

따라서 A,C상 CT와 중성점 접지선 전류를 이용하여 3

상 4선식 계량방식에 I_B 대신 $-(I_A + I_C + I_n)$ 을 이용하면 무정전, 경제적으로 3상 4선식과 동일한 계량값을 계량할 수 있으며, 그 값은 아래와 같다.

$$W_4' = V_A I_A + V_B [-(I_A + I_C + I_n)] + V_C I_C$$

$\therefore W_4 = W_4'$ 가 되어 동일하다.

2.6 중성점 접지와 지락계전기의 오동작

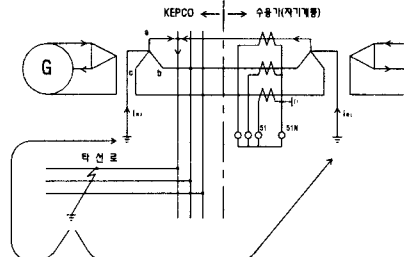


그림 5. 타선로 지락 고장시 고장 전류 흐름도

2.6.1 자기계통 51N(OCGR)의 오동작

<그림 5>에서 보듯이 타선로의 A상 지락 고장시 자기계통의 중성점을 통하여 I_{nL} 이 흐르게 되며, 정정값이 부적합 할 경우 타선로의 지락 고장시 자기계통 51N(OCGR) 및 A상 51(OCR)이 오동작하게 된다. 그러나 일반적으로 한국전력의 계전기 정정 지침에 의해 최대부하 전류의 30%이하로 정정하므로 중성점 접지계통에서는 대개의 수용가는 타선 지락 고장시 51N(OCGR)이 오동작 하게 된다. 그러므로 정전을 불허하는 공단 수용 대다수의 수용가는 중성점 접지를 개방 운전 하므로 유효 접지계통 조건으로 파괴로 계통의 대지 전위 상승 및 자기선로의 전원측 지락 고장시 OCGR의 부동작 전력설비의 절연 파괴의 원인이 된다.

그러므로 다음 조건이면 방향성 지락 과전류 계전기를 사용하는 것이 바람직하다.

$$\frac{\text{자기모선 사고시 상대단에서유입되는 최대고장전류}}{\text{상대단 모선 사고시 유출되는 최소고장전류}} \geq 0.25$$

3. 결 론

154kV 유효 접지계통을 선택하고 있는 우리나라는 전력설비의 절연 파괴 예방과 지락시의 지락계전기의 원활한 동작을 위하여 중성점 접지 대상 장소의 접지 운전 관리가 절대적으로 필요하며, 이를 위하여 OCGR의 정정기준을 중성점 비접지 장소와 구별하여 방향성 지락계전기의 선정 하고 정정 기준을 별도로 결정하여 오동작으로 인한 개방운전을 예방할 것이 요망되며, 중성점 접지 장소의 전력계량방식은 3상 4선(3소자 방식)으로 선택하여야 하며, 기존의 3상 3선식(2소자 방식)의 경우는 3상 3선식(2소자방식)과 중성선 CT를 이용하여 3상 4

선식 계량기의 B상 단자에 중성점 접지 전류 I_n 을 연결하고 계량기 내부에서 I_B 대신 $-(I_A + I_C + I_n)$ 을 소프트웨어적으로 연산하여 사용하는 것이 바람직 한 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 전기설비 기술 핸드북(의제출판)
- [2] Applied Protective Relaying (Westing house Electric Corporation Relay Instrument Division)
- [3] 회로이론 (발송배전-문운당)
- [4] 타사발전기 병렬운전 연계선로 보호업무지침(한국전력공사96.8)
- [5] 보호계전기정정 지침(한국전력공사)