

무부하 충전케이블 개방시 잔류전압에 의한 과전압계전기 동작현상 연구

김영한 최종혁 윤기섭  
한국전력공사 남서울전력관리처

A Study of Over Voltage Ground Relay Operation Status at Opening of No-load Charged Cable

Yeong Han Kim · Jong Hyuck Choi · Ki Seob Yoon  
NamSeoul Transmission District Office, KEPCO, Seoul, Korea

Abstract

Fault current is flowed into 154/23kV M.Tr when line-to-ground fault occurs in power system. NGR(Neutral Grounded Reactor) is set up in order to prevent M.Tr fault by limiting magnitude of fault currents. Here, disconnection of NGR causes voltage increase by L-C resonance and line-to-ground fault in an unearthed system results in voltage increase at healthy phases. So Over Voltage Ground Relay(OVGR) is used for tripping M.Tr. Also, buses at second phases of M.Trs are all connected with section circuit breakers closed for the purpose of parallel operation and load shedding. In case of speciality buses are comprised of power cable in part for GIS connection. When no-load charged cable or bus is open by a section CB, unbalanced voltage charged on the bus is induced. Also discrepant opening time for circuit breakers on different phases gives rise to unbalanced zero sequence voltage. It was observed that this zero sequence voltage detected in the 22.9kV P.T (Potential Transformer for bus) mal-operated 59GT and tripped M.Tr. The zero sequence voltage of which vanishing time is longer than relay operating time came out by EMTDC simulation. Also, it was shown that the voltage waves of actual test are similar to those of simulation. On the basis of above results, R-C circuit complement on the relay without any effect on a power system made operating time of the relay longer than vanishing time of distorted waves. Consequently, operating time of the relay was delayed and magnitude of distorted waves was decreased by increasing time constant of the relay.

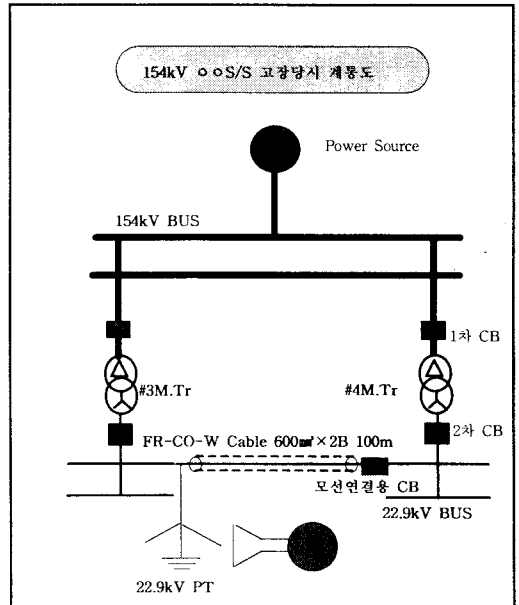
1. 서 론

전력계통에서 발생하는 각종 지락고장시 154/22.9kV 전력용변압기에 유입되는 고장전류의 크기를 제한하여 변압기의 사고를 감소시키고자 NGR(중성점접지리액터)를 설치하여 운영하고 있다. 그러나 변압기 NGR회로 단선시 L-C공진에 의한 전압상승 및 비접지시(NGR 단선) 지락고장을 고속으로 제거하여 건전상의 전위상승을 예방할 목적으로 59GT(변압기 트립용 과전압계전기, 영상 과전압계전기)를 사용하고 있으며, 변압기 2차간에 병렬운전 및 무하절체를 위하여 Cable 및 동대로 모선연결 운전하고 있으나, 무부하로 충전된 모선연결용 Cable 또는 동대를 모선분리 차단기(Section CB)로 개방시 모선에 충전된 비대칭 잔류전압과 차단기 동작시간 개리차에 의하여 22.9kV P.T(모선용 변성기)에서 영상전압(3V<sub>0</sub>)을 검출, 59GT가 불필요하게 동작하여 변압기를 정전시키는 사례가 발생하여 이에 대한 EMTDC Simulation 및 실증시험을 통하여 원인을 분석하여 본다

2. 본 론

2.1 무부하 충전케이블 개방시 59GT동작

154kV ○○S/S의 #4M.Tr-#3M.Tr간의 22.9kV 모선이 케이블로 연결되어 있어 무부하 상태에서 충전된 케이블(100m)개방시에 22.9kV Bus에 비대칭 왜과전압이 발생하여 59GT가 동작하면서 전력용 변압기 1,2차CB가 Trip되는 고장이 발생하였다.



M.Tr : Main Transformer(전력용변압기)  
59GT : Over Voltage Ground Relay  
( 변압기트립용 & 영상과전압 계전기)  
Bus : 모선 . Circuit Breaker(차단기) : 고장시 계전기의 명령에 의하여 개방

2.2 59GT 설치목적

변압기 중성점에 지락고장시 고장전류를 제한키 위하여 설치한 중성점 접지리액터(NGR)가 단선된 상태에서 지락고장 발생시 차단기를 Trip시켜 건전상의 전위상승을 방지하기 위하여 설치한다.

2.3 영상전압(Zero Sequence Voltage) 발생

불평형 3상전압속에서 各相 모두 위상이 같고, 크기가 같은 대칭요소를 말하며, 3상-대지간 정전용량 불평형, 차단기의 개폐가 동시에 이루어지지 않는 경우, 단선 사고등에서 나타난다.

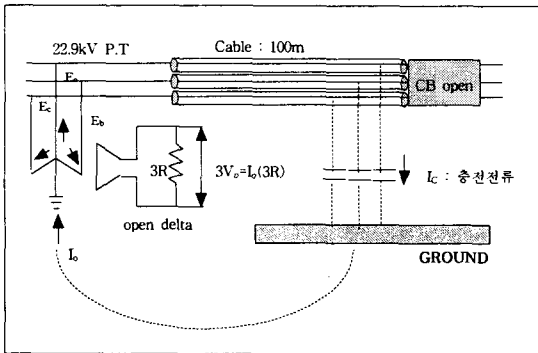
154/2.29kV 전력용 변압기의 22.9kV 계통 지락고장 시 발생하는 영상전압은

$$V_0 = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c)$$

$$3V_0 = \frac{3(Z_0 + 3Z_n)}{2Z_1 + Z_0 + 3Z_n} = 3I_0(3Z_n + Z_0)[P.U]$$

→ 3V<sub>0</sub> → 계전기 입력전압

즉, 완전지락 고장시(지락저항 : 0Ω)에서는 보호계전기 입력전압(3V<sub>0</sub>)은 상전압(110/√3 = 63.5V)의 3배인 190V 까지 나타날 수 있으나, 실제 지락고장은 완전지락은 거의 없고 고장점의 지락저항이 존재하기 때문에 190V까지는 나타나지 않음



$I_{CN} = jWC(E'_a + E'_b + E'_c)$ ,  $E'_a + E'_b + E'_c = E + a^2E + aE = 0$ 이므로  $I_{CN} = 0$  이나 3상 대칭전원이 탈락한 상태에서는 각 상전압이 120° 위상차를 유지하지 않으므로 즉, 다음과 같은 값( $E_a \neq E$ ,  $E_b \neq a^2E$ ,  $E_c \neq aE$ )을 가진다. 그러므로  $I_{CN} = I_0 \neq 0$  이고, 각 상전압의 비대칭에 의한 영상전압(3V<sub>0</sub>)이 발생하여 계전기를 동작시킨다.

## 2.4 분석에 필요한 검토내용

- 2.4.1 무부하 충전Cable 선로 개방시 발생하는 비대칭 충전전압에 의한 59GT 동작여부
- 2.4.2 차단기 OFF시 Discrepancy Time (부동시간, 개리차) 초과로 불평형전압 발생 여부
- 2.4.3 59GT 정동작 여부(개체시험)

## 2.5 실제통 적용시험 결과(Real Test Result)

### 2.5.1 무부하 충전Cable 선로 개방시 비대칭 충전전압 발생

[V]	CB ON시		CB OFF시		동작치이상 지속시간
	Peak-Peak[V]	歪波	Peak-Peak[V]	歪波	
찬류전압	4.60	-4.72	64	-108	40ms (2.4 cycle)

#### ○ 시험치 비교

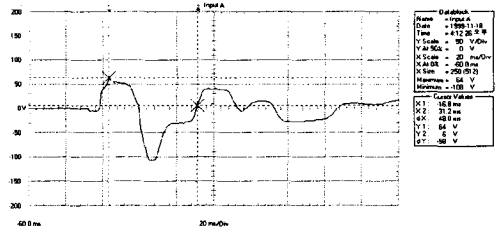
- 59GT Ry 시험치 109[V] 0.67 Cycle
- 왜과 전압 및 지속시간 : 108[V], 2.4Cycle

- 동작 지속시간 : 0.67 ≤ 2.4 Cycle 이므로 계전기 동작

- 동작전압 : 109[V] ≥ 108[V]

시험치 60[Hz], 109[V] 보다는 작지만 대칭분이 아닌 잔류전압 즉, 영상전압 108[V]에서 동작

- 개방시 전압파형 (Fluke社 Scope Meter 측정)



## 2.5.2 CB On/Off시 Discrepancy Time Check

CB	Closing Time[ms]			Tripping Time[ms]			개리차
	Aφ	Bφ	Cφ	Aφ	Bφ	Cφ	
	56	56	56	42	42.5	43	

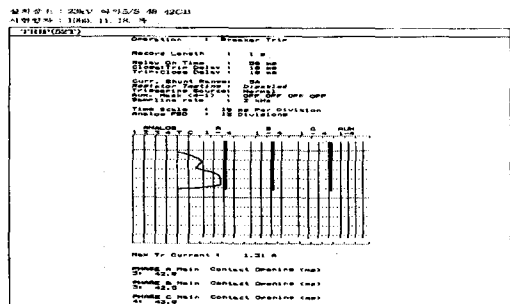
#### ○ Discrepancy Time(개리차)

: 차단기 3상간 동작시간의 차이를 나타내며, 기준치(72.5kV 이하) 6ms이내를 말함

#### ○ Circuit Breaker Trip Time(CB 트립시간)

: 개극시간과 Arc시간을 합한 것을 말하며 차단기는 정격전압 하에서 정격차단전류의 30%이상 전류를 차단할 때의 시간은 정격차단시간을 초과할 수 없다

#### ○ 차단기 개방시 개로시간



## 2.5.3 59GT 동작상태

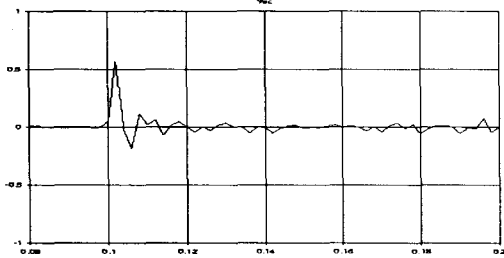
무부하 충전케이블 개방시 케이블에 잔류전압의 소멸시간이 계전기 동작시간보다 길어 계전기가 동작한다.

59GT	최소 동작시험	한시 동작시험	비고
#3M.Tr	양호	양호	순시동작 0.67 Cycle

## 2.6 EMTDC Simulation Data

잔류전압 최고 66V에서 계전기 동작시간보다 긴시간 (1.2Cycle이상)이 지속되므로 계전기가 동작한다  
Maximum:0.6pu(66V), Minimum:0.3pu(33V)  
Elapse time : 1.2Cycle

### ○ EMTDC Simulation 파형



## 2.6 검토결과 문제점

**2.6.1 변전소 22.9kV 모선구성상 불가피하게 모선간을 케이블로 연결한 경우,변압기 Trip 되는 사례발생 무부하로 충전된 Cable(22.9kV 모선간 연결용)의 Section 차단기를 개방시 59GT 동작으로 M.Tr Trip,정전을 초래하는 특이한 경우가 발생하고 있다.**

### 2.6.2 기존 적용계전기 검출기능 부적절

현재 적용되는 59GT는 60(Hz)기준 영상전압을 검출하여 트립시키고 있으나 Cable의 Capacitance 충전분을 개로시에는 비대칭 왜파성분 다량 포함되어 기존 적용계전기에 의하여 "C"성분을 포함하는 과도현상을 정상적인 영상전압과 구분 검출하기에는 부적절하다.

### 2.6.3 계전기의 동작시간이 비대칭 왜파 소멸시간 보다 짧음

계전기 동작시간:1Cycle <왜파 소멸시간 : 3Cycle

## 2.7 잔류전압 지속시간에 대한 대책연구

### 2.7.1 59GT 동작시간 지연 : 1Cycle → 3Cycle

59GT 계전기에 동작시간 관련회로에 추가로 회로를 보완함으로써 왜파 소멸시간보다 계전기 동작시간이 길어 계전기의 불필요한 동작으로 인한 변압기 정전을 예방할 수 있다.

### 2.7.2 왜파 소멸시간 단축 : 80~100ms → 30ms

왜파의 크기 및 소멸시간이 단축되어, 지락고장 발생시 전위상승시간이 순시이므로 설비피해를 최소한 억제할 수 있다.

### 2.7.3 時遲延 원리

○시정수 :  $\tau = RC = 3K\Omega \times 47\mu F = 0.141 \text{ Sec}$

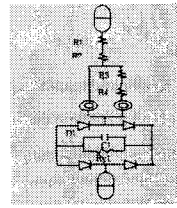
○콘덴서 방전전압  $V_c = V(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$  에서  $\tau = t$  일 때  $V_c = 24V$  이므로

$$V_c = (120V \times 150\%) \times (1 - e^{-1}) = 113.76[V]$$

$$24V = (120 \times 150\%) \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \text{에서}$$

$t = 0.0087\text{Sec} \approx 9\text{ms}$  이나 기계적인 동작시간등과 합하여 약 40~50ms에서 계전기 동작

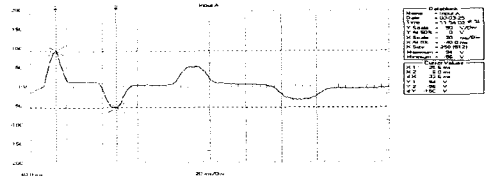
## < 계전기 추가회로 보완 >



時遲延을 위한 계전기 추가회로

번호	명칭	규격
Ry1	릴레이	DC 24V
D1	콘덴서	600V, 1A
C1	지항	147μF, 50V
R4	지항	2W, 150Ω
R3	지항	2W, 150Ω
R2	지항	20W, 2kΩ
R1	지항	20W, 1kΩ

## < 회로보완후 파형과 계전기 동작관계 분석 >



- ① 시험조건: 59GT(경보)+시지연회로(0.05sec) 부착
- ② 59GT 동작 여부 : 동작안함
- ③ 파형측정: Max94V, Min-56V, 지속시간 33.6ms
- ④ 분석결과: 왜파전압은 정격보다 낮으나 계전기 동작에 미치는 왜파 소멸시간이 계전기 정격(약 40~50ms) 보다 짧아 시지연후에는 계전기가 불필요하게 동작하지 않음

## 3. 결 론

무부하 충전케이블로 연결된 모선의 충전전류를 차단하면 전압보다 전류가 90° 앞서므로 선로측의 전압은 전원측 전압의 파고치에 상당하는 전원이 잔류한다. 이 잔류전압으로 인한 극간전압의 크기가 극간의 절연내력을 초과하면 재점호를 일으켜 이상전압을 발생시킨다. 일반적으로 인지하고 있는 이런 현상외에 무부하 충전케이블이 전원측에서 탈락하여 상간에 120° 위상차를 유지하지 못하고 비대칭성 전압으로 나타나 22.9kV P.T 2차측 Open Delta 에서 영상전압이 검출되어 59GT 계전기를 동작시키는 경우도 발생하고있다. 이 상황을 실증시험과 EMTDC Simulation Data를 비교분석한 결과 유사한 파형의 영상전압이 나타났다. 따라서 절연내력을 위협하는 과전압은 아니지만 영상전압 발생으로 인하여 59GT가 동작하므로써 변압기가 정전되는 사례와 이에 대한 대책을 연구한 결과, 시지연회로를 계전기에 추가로 보완하므로써 이러한 동작을 방지할 수 있었다.

### 참고문헌

1. Protective Relaying Theory and Applications : Walter A. Elmore 著
2. 送配電工學 : 동일출판사 송길영 著
3. Power System Analysis : Jhon J. Grainger 著
4. 電力電子 : 淸文閣 유지운 著