

계통의 고장전류 계산 (Ⅱ) - ②

글 / 강창원 (주)피에스디테크 대표이사·기술사
 이성우 (주)서울유일엔지니어링 실장·기술사



목 차

1. 접지방식과 지락전류
2. 지락전류 계산
 - 2.1 1선지락시의 지락전류 계산 기본식
 - 2.2 직접접지(다중접지) 계통의 지락전류 계산
 - 2.3 저항접지 계통의 지락전류 계산
 - 2.4 비접지 계통의 지락전류 계산

그림 2.5와 같이 154/22kV 변압기 2차 Y 중성점을 직접 접지하지 않고, NGR을 통하여 접지하는 방식이다.

2.3.2 NGR 설치시 고장전류 계산

식 2.13에서

$$I_k = 3I_0 = \frac{3 E}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3R_f}$$

저항접지의 경우 $Z_0 \gg Z_1, Z_2$ 이고, $Z_0 = 3R_N$ 이므로

$$I_k = \frac{3 E}{Z_0 + 3R_f} = \frac{3 E}{3R_N + 3R_f} = \frac{E}{R_N + 3R_f}$$

이다.

〈식 2.15〉

2.3 저항접지 계통의 지락전류 계산

2.3.1 계통 구성

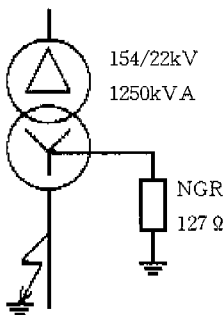


그림 2.5

따라서, 1선 지락전류는

$$I_k = 3I_0 = \frac{3 E}{Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3R_f}$$

$Z_0 \gg Z_1, Z_2$ 이고, 고장점 저항(R_f)을 무시하면

$$Z_0 = 3 \times R_N = 3 \times 127$$

$$I_k \approx \frac{3 E}{Z_0} = \frac{3 \times 22000 / \sqrt{3}}{3 \times 127} = 100A$$

이며 저항 접지방식의 지락전류와 전위상승의 크기는 그림 2.6과 같다.

RESISTANCE GROUND

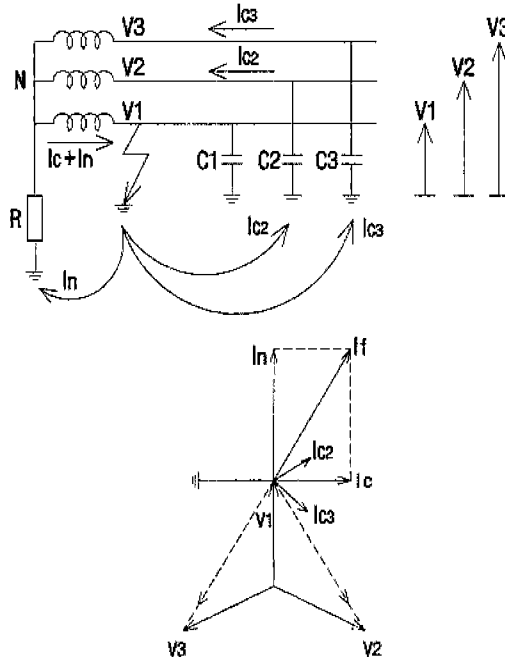


그림 2.6

$$I_r = I_n + I_c$$

$$I_N = V/R$$

$$I_r = V/R + j3C\omega V$$

$$|I_f| = V\sqrt{1/R^2 + C^2\omega^2 9}$$

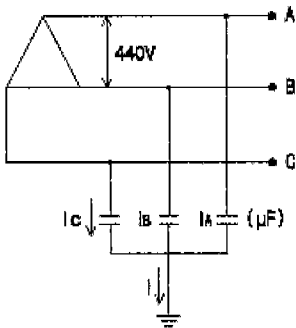
$$U_{12} = \sqrt{3} \times V$$

$$U_{31} = \sqrt{3} \times V$$

$$V_{NE} = V$$

2.4 비접지 계통의 지락전류 계산

2.4.1 정전용량만 존재하는 경우



[그림 2.7]

【 예 1 】

그림 2.7과 같은 440V 계통에서 A상 지락시 지락전류 크기는? 단, 1상당 대지정전용량은 1μF이다.

(가) 건전상태의 전류

$$I_A = I_B = I_c = 2\pi fcE$$

$$= 2\pi \times 60 \times 1 \times 10^{-6} \times \frac{440}{\sqrt{3}} = 95.8\text{mA}$$

그러나, 3상 합성전류

$I = I_A + I_B + I_c = 0$ 이므로 전류가 흐르지 않는다.

(나) A상 지락의 경우

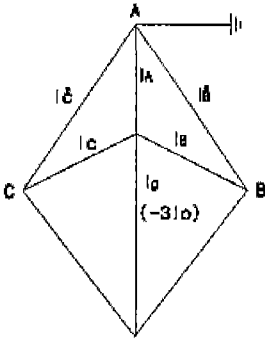


그림 2.8

A상이 지락되면 중성점이 그림 2.8과 같이 A점으로 이동하므로 건전상의 대지전위는 $\sqrt{3}$ 배가 된다.

따라서,

$$\begin{aligned} I_{a'} &= I_{c'} = 2\pi f c E' \\ &= 2\pi \times 60 \times 1 \times 10^{-6} \times 440 \\ &= 165.9\text{mA} \end{aligned}$$

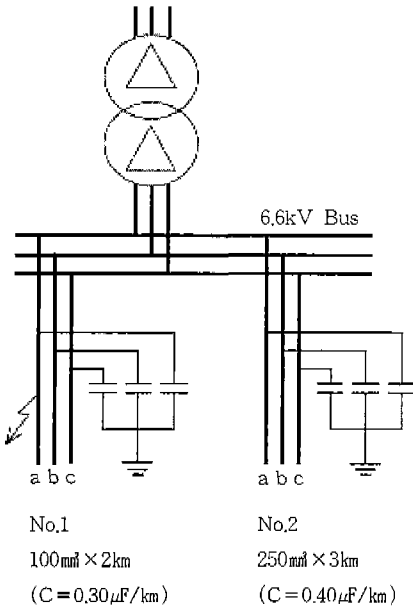


그림 2.9

$$\begin{aligned} |I_x| &= |I_a + I_c| \text{ 이므로} \\ &= \sqrt{3} \times 165.9 = 287.3\text{mA} \end{aligned}$$

또한, $I_x = 3I_0$ 이므로
 $= 3 \times 95.8 = 287.4\text{mA}$ 이다.

【 예 2 】

그림 2.9와 같은 지중 배전계통에서 No.1 Feeder는 Cable 100mm², No.2 Feeder는 Cable 250mm²가 포설되어 있다. No.1 Feeder의 a상이 지락되었을 경우 지락전류의 크기는?

(가) 비접지계통의 각상 케이블에는 충전용량이 있기 때문에 당연히 충전전류가 흐른다.

그러나 3상이 평형되어 있는 경우에는 3상의 충전전류합은 0이 되기 때문에 충전전류는 외부로 나타나지 않는다.

(나) a상이 지락되면 a상의 대지전위는 완전지락의 경우 0V로 되기 때문에 a상의 충전전류는 흐르지 않고 그림 2.9에서와 같이 b, c상의 충전전류는 모선을 향하여 흐르게 되고, 변압기 Δ권선을 통하여 지락점 a상으로 흐르게 된다.

즉, 지락전류

$$\dot{I}_a = \dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a2}$$

로 되며 케이블 정전용량은 표 2와 같다.

No.1 Feeder $0.30 \times 2 = 0.6\mu\text{F}$

No.2 Feeder $0.40 \times 3 = 1.2\mu\text{F}$

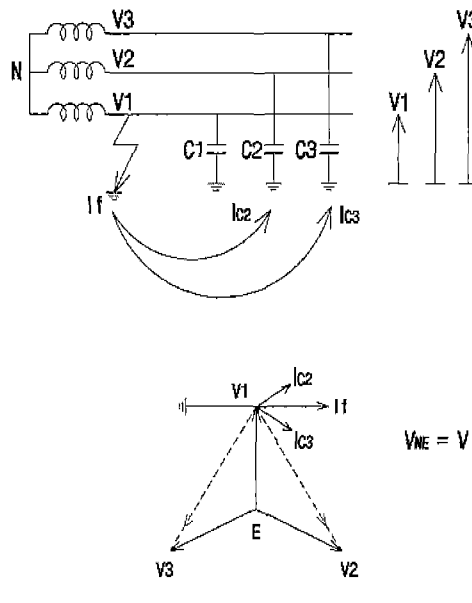
$$\dot{I}_s = \dot{I}_{a1} + \dot{I}_{a2} \quad (I_s = I_g)$$

$$\begin{aligned} I_x &= \sqrt{3} \times 2 \times 3.14 \times 60 \times 1.8 \times 10^{-6} \times 6600 \\ &= 7.76(\text{A}) \text{ 이며 비접지 방식의 지락전류와 전위상승 크기는 그림 2.10과 같다.} \end{aligned}$$

표 2 CV케이블의 정전용량
ohm사 현장의 전기계산기법(제3집)

공칭단면적 [mm ²]	최대도체저항 (20°C) [Ω /km]	표준정전용량(20°C) [μ F/km]		
		3kV	6kV	10kV
500	0.0347	0.63	0.56	0.47
400	0.0459	0.55	0.51	0.42
325	0.0572	0.57	0.45	0.39
250	0.0722	0.52	0.40	0.35
200	0.0955	0.45	0.37	0.31
150	0.119	0.48	0.37	0.31
125	0.151	0.44	0.34	0.29
100	0.195	0.37	0.30	0.25
80	0.246	0.34	0.26	0.23
60	0.304	0.31	0.25	0.21
50	0.878	0.29	0.23	0.20
38	0.479	0.31	0.21	
30	0.626	0.28	0.19	
22	0.852	0.24	0.18	
14	1.30	0.20	0.14	
8	2.32	0.17	0.12	

ISOLATED NEUTRAL SYSTEM



$$\vec{I}_f = \vec{I}_{c2} + \vec{I}_{c3} = \vec{I}_c$$

$$I_{c2} = j \omega C U_{12}$$

$$U_{12} = \sqrt{3} \times V$$

$$I_{c3} = j \omega C U_{31}$$

$$U_{31} = \sqrt{3} \times V$$

$$I_r = I_c = 3C \omega V$$

그림 2.10

2.4.2 GPT 접지계통의 지락전류 계산

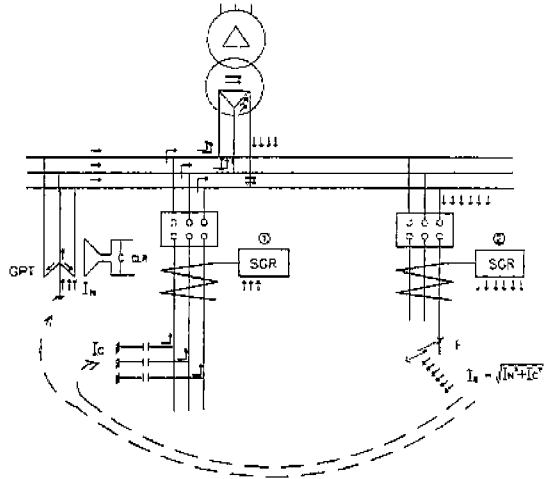


그림 2.11

① 등가회로 그리는 법

- i) 전원측을 단락하고 3상을 단상으로 취급
- ii) 지락점에 영상전압과 지락점 저항을 삽입

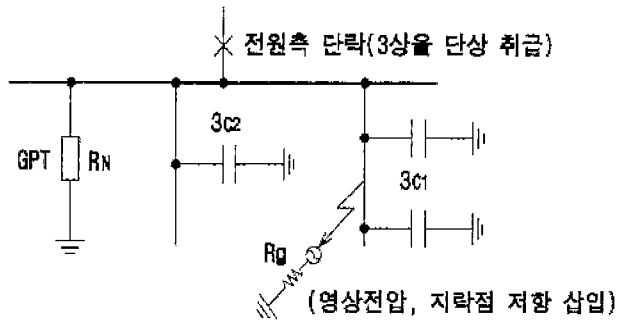


그림 2.12

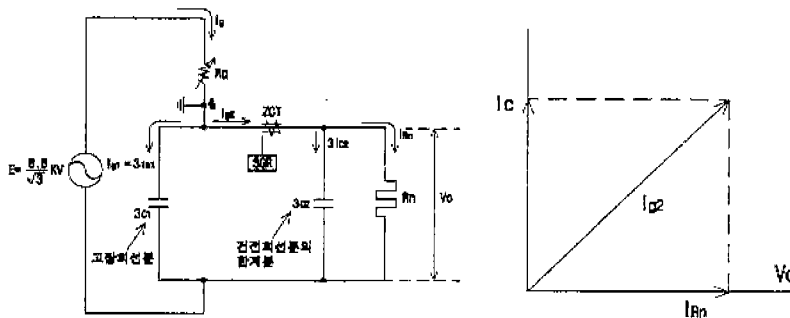


그림 2.13

그림 2.14

② 지락전류

그림 2.14와 같이 ZCT를 통하여 흐르는 전류는 영상전압과 동상성분의 유효분 전류(GPT를 통하여 흐르는 전류)와 90° 앞선 계통의 충전전류와의 Vector합으로 나타난다.

GPT는 1차가 직접 접지되어 있지만 GPT 3차에 삽입되어 있는 CLR(Current Limit Register)의 크기 만큼 제한되어 실제로는 수백mA 정도이다(국내 정보 계전기의 경우 380mA 정도임).

GPT로 그림 2.11과 같이 1차 Y, 3차 Open Delta로 접속되어 있고 그 개방단에 CLR을 설치하는데 일반적으로 3.3kV 계통은 50Ω, 6.6kV 계통은 25Ω, 22kV 계통은 8Ω을 적용하고 있으며 이 크기는 제작사별 차이가 있다.

6.6kV 계통의 25Ω을 1차로 환산하면

$$R_N = \frac{1}{9} n' r N$$

$$= \frac{1}{9} \left(\frac{6600}{\sqrt{3}} / \frac{190}{3} \right)^2 \times 25$$

$$\approx 10.000 \Omega \text{ 의 크기로 된다.}$$

지락전류 계산 기본식

$$I_g = \frac{3E}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3R_g} \text{ 에서}$$

일반 수용가의 배전 계통에서는 $Z_0 \gg Z_1, Z_2$ 이므로 정상. 역상분을 무시하면 그림 2.16의 등가회로에서

$$I_g = \frac{3E}{Z_0 + 3R_g} = \frac{3E}{\frac{1}{\frac{1}{3R_N} + j\omega C} + 3R_g}$$

$$= \frac{\left(\frac{1}{R_N} + j3\omega C \right) \cdot E}{\left(1 + \frac{R_g}{R_N} \right) + j3\omega C R_g} \quad \text{(A)} \quad \langle \text{식 2.16} \rangle$$

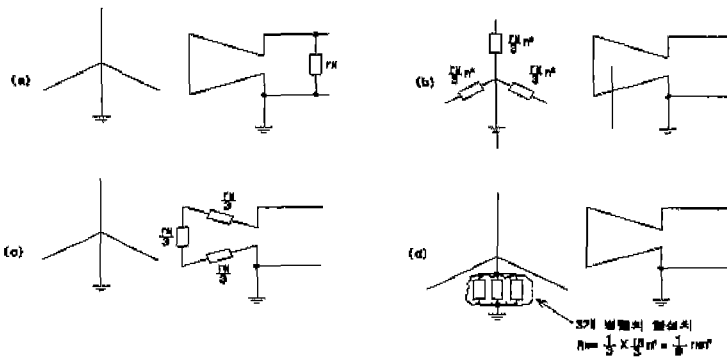


그림 2.15

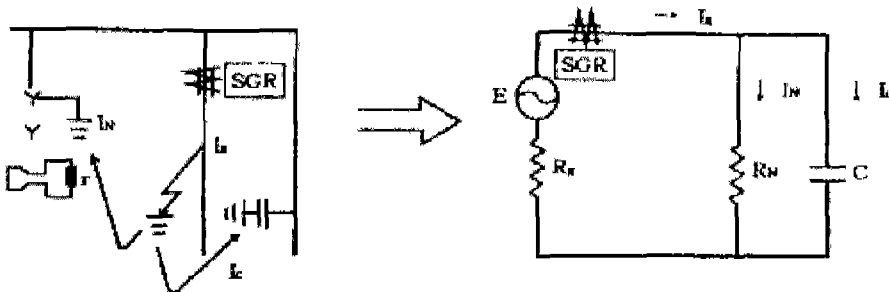


그림 2.16



완전지락시 $R_g = 0$ 인 경우

$$I_g = 3E \left(\frac{1}{3R_N} + j\omega C \right) = \frac{3E}{3R_N} + j\omega 3CE$$

$$= \frac{E}{R_N} + j\omega C_0 E = \sqrt{I_N'^2 + I_C'^2} \quad (A)$$

$$\text{위상각 } \theta = \tan^{-1} \frac{I_C}{I_N} = \tan^{-1} \frac{\omega C_0}{1/R_N}$$

$$= \tan^{-1} \omega C_0 R_N$$

여기서, I_g : 지락전류 (A)

E : 상전압 (V)

R_g : 지락점 저항 (Ω)

Z_1, Z_2, Z_0 : 정상, 역상, 영상 임피던스

R_N : 3차 전류제한저항 rN 을 1차로 환산한 3상 일괄 등가저항

$$= \frac{n^2 r N}{9}$$

C : 1상당 대지 정전용량 (F)

C_0 : 3상 일괄 대지 정전용량 (F)

I_N : GPT 중성점을 통하여 흐르는 지락전류

$$= \frac{E}{R_N}$$

I_C : 3상 일괄 대지 충전전류

$$= j\omega C_0 E$$

<식 2.16>에서 계통의 충전용량을 무시하면

$$I_g = \frac{E}{R_N} = \frac{6600/\sqrt{3}}{10.000} = 380mA$$

즉, 완전지락시 지락점 저항과 계통정전용량을 무시하면 계통에 흐르는 지락전류는 380mA(ZCT 2차 SGR에 흐르는 전류는 $380mA \times 1.5/200$)가 된다.

③ 영상전압

$$V_0 = \frac{E}{\left(1 + \frac{R_g}{R_N}\right) + j3\omega C R_g} \quad (V)$$

GPT 3차측 영상전압

$$V_{0\Delta} = \frac{3}{n} V_0 = \frac{3}{n} \times \frac{E}{\left(1 + \frac{R_g}{R_N}\right) + j3\omega C R_g} \quad (V)$$

여기서, V_0 : GPT 1차측 영상전압 (V)

$V_{0\Delta}$: GPT 3차측 영상전압 (V)

n : GPT 권수비

E : 상전압

R_g : 지락점저항 (Ω)

R_N : 3차 전류제한저항 rN 을 1차로 환산한 3상 일괄 등가저항

$$= \frac{n^2 r N}{9}$$

C : 1상당 대지 정전용량 (F)

【예 3】 비접지계통 지락전류 및 영상전압 계산 예

3.3kV 비접지 계통 GPT를 1개소 설치한 경우

CV 케이블 $100mm \times 1km$ ($C=0.37\mu F/km$)

$250mm \times 1km$ ($C=0.52\mu F/km$)

시설되어 있는 경우, 지락점에 4000(Ω) 지락시 GPT 3차 영상전압 및 지락전류는? (단, 계산 편리상 케이블 정전용량은 $1\mu F$ 으로 한다.)

① GPT 3차 영상전압

$$V_{0\Delta} = \frac{3}{n} V_0 = \frac{3}{n} \times \frac{E}{\left(1 + \frac{R_g}{R_N}\right) + j3\omega C R_g}$$

$$(\because n = \frac{(3300/\sqrt{3})}{(190/3)} = 30,$$

$$R_N = \frac{n^2 r N}{9} = \frac{30^2 \times 50}{9}$$

$$= 5000[\Omega])$$

$$= \frac{3}{30} \times \frac{3300 / \sqrt{3}}{\left(1 + \frac{4000}{5000}\right) + j3 \times 2 \times \pi \times 60 \times 1.0 \times 10^{-6} \times 4000}$$

= 30.2 (V)

위의 결과에서 완전지락시 $R_g = 0$, 케이블 정전용량을 무시하면

$$V_{0\Delta} = \frac{3}{30} \times \frac{3300 / \sqrt{3}}{\left(1 + \frac{1}{5000}\right)} = 190.5(V)$$

② 지락전류

$$I_g = \frac{\left(\frac{1}{R_N} + j3\omega C\right)}{\left(1 + \frac{R_g}{R_N}\right) + j3\omega CR_g} \times E$$

$$= \frac{\left(\frac{1}{5000} + j3 \times 2 \times \pi \times 60 \times 1.0 \times 10^{-6}\right)}{\left(1 + \frac{4000}{5000}\right) + j3 \times 2 \times \pi \times 60 \times 1.0 \times 10^{-6} \times 4000}$$

$$\times \frac{3300}{\sqrt{3}} = 0.4 (A)$$

위의 결과에서 완전지락시 $R_g = 0$ 인 경우

$$I_g = \left(\frac{1}{R_N} + j3\omega C\right) \times E$$

$$= \left(\frac{1}{5000} + j3 \times 2 \times \pi \times 60 \times 1.0 \times 10^{-6}\right)$$

$$\times \frac{3300}{\sqrt{3}}$$

$$= 2.2(A)$$



비 접지 계통에서는 변압기 용량이 5MVA 이상 또는 GPT 설치 개소가 7~8개소 이상되는 계통은 영상전압을 효과적으로 검출 할 수 없는 경우가 있으며 방향성 지락 계전기를 동작시키기 곤란한 영역이 나타나게 된다. 따라서 계통 규모에 따른 보호계통의 기술적 검토 필요성이 요구된다.

[비접지 < 저항접지 < 직접접지]



에너지절약 20가지 실천사항

1. 조리의 불꽃은 적절히 조절해서 사용하자.
2. 열의 흡수가 잘되는 밀바닥이 넓은 조리기구를 사용하자.
3. 압력밥솥을 사용하여 조리시간을 단축하자.
4. 목욕물을 아껴쓰자.
5. 사용하지 않는 가전제품의 플러그를 빼 전력손실을 방지하자.
6. 불필요한 TV시청을 최소화하자.
7. 냉장고에 음식물은 가득 채우지 말고 반드시 식혀서 넣자.
8. 적정용량의 냉장고를 사용하고 냉장고문을 불필요하게 여닫지 말자.
9. 세탁물은 모아서 세탁하자.
10. 다림질은 전력소비가 많은 시간을 피해서 한번에 모아 하자.
11. 고효율 조명기기 정부지정 에너지절약 전문기업을 이용 하시면 1석 3조의 효과가 있다.
12. 조명기기 및 반사판을 자주 닦아주자.
13. 컴퓨터를 사용하지 않을 때는 꺼둔다.
14. 엘리베이터 함께 타기로 에너지 절약을 한다.
15. 적정 실내온도 유지는 에너지절약은 물론 건강유지에 도움이 된다.
16. 보일러는 자주 청소하여 열효율 저하를 방지한다.
17. 승용차 운전시에는 급출발, 급제동, 급가속을 자제한다.
18. 승용차 운행시 경제속도를 준수한다.
19. 불필요한 엔진 공회전 시간을 줄인다.
20. 승용차 함께타기를 실천하고 대중교통을 이용한다.

◆ 에너지관리공단 제공