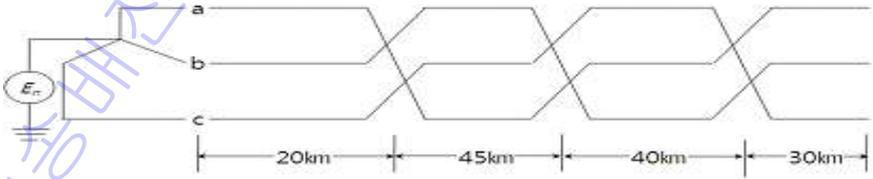


제6장 중성점 접지방식과 유도 장해

분류	no.	문제	회수	배점
중성점 접지	1	접지방식중 직접접지, 비접지, 고저항접지, 저저항접지에 대하여 장단점을 비교 표로 작성하시오.	83	10
"	2	중성점 접지방식의 종류를 열거하고 각각의 장단점을 설명하시오.	81	25
"	3	발전기 중성점 접지방식의 종류를 열거하고 간단히 설명하시오.	72	10
"	4	중성점 접지방식에는 중성점 접지 임피던스의 종류와 크기에 따라 여러방식이 쓰이고 있다. 보호계전기 동작이 가장 확실한 중성점 접지방식을 적고 그 이유를 간단히 설명하시오.	71	10
직접접지	5	초고압 송전계통에서 직접접지방식을 주로 채택하는 이유를 설명하시오.	89	25
중성점 접지	6	송전계통의 변압기 중성점 접지 방식 4가지를 나열하고 각 방식은 지락고장전류와 고장시 건전상 전위상승 측면에서 비교 기술하시오.	62	10
직접접지	7	전력계통의 중성점 접지 방식중 차단기의 용량이 가장 커야하는 방식은?	50	10
직접접지	8	전력계통의 직접접지 방식의 장, 단점을 설명하시오.	56	25
중성점 접지	9	변압기 중성점접지방식 4가지를 나열하고 보호계전 유도장해, 과도안정도, 1선 지락시의 전류와 전압관계를 비교 평가하시오.	57	25
비접지	10	중성점 비접지 방식 시스템의 특성을 요약하시오	59	20
유효접지	11	유효접지 방식의 의미에 대하여 설명하고, 초고압 계통에서 이를 적용하는 이유를 기술하시오.	95	25
유효접지	12	154kV급 이상 송전선로에서 사용중인 유효접지방식을 설명하고, 그 조건 및 장 • 단점에 대하여 상술하시오.	68	25
유효접지	13	유효접지방식을 채택한 송전계통에서 유효접지의 조건과 지락사고시 건전상의 전위상승에 대하여 설명하시오.	89	10
유효접지	14	접지시스템에서 접지계수와 유효접지에 대하여 설명하고, 이들의 관계에 대하여 언급하시오.	87	10
유효접지	15	유효접지 방식을 설명하고, 유효접지 방식의 특징을 기술하시오.	75	10
유효접지	16	직접접지 계통에서 유효접지의 의미와 유효접지 조건에 관하여 설명하시오.	71	25
유효접지	17	전력계통의 직접 접지계에서 유효접지 조건과 유효접지 조건을 만족시키기 위한 건전상의 전압상승, 영상전압, 1선 지락전류에 대하여 설명하시오.	63	10
유효접지	18	직접접지계통의 고장과 관련하여 유효접지의 의미와 유효접지 조건에 관하여 기술하라.	48	25
중성점 잔류전압	20	<p>154[kV]의 송전선이 그림과 같이 연계되어 있다. 대지정전용량은 위 선 0.005[$\mu\text{F}/\text{km}$], 가운데 선 0.0055[$\mu\text{F}/\text{km}$], 아래 선 0.006[$\mu\text{F}/\text{km}$]라 하고 다른 선로정수는 무시한다.</p> <p>(1) 잔류전압 E_n을 계산하시오. (2) 잔류전압 E_n을 0[V]로 하기 위한 선로구성을 다시하고 이를 증명하시오.</p> 	90	25
절연방식	21	전절연(full insulation)과 균등절연(uniform insulation)에 대하여 설명하시오.	86	10
절연방식	22	전력용변압기에 적용되는 저감절연과 단절연에 대해 설명하시오.	84	10
절연방식	23	전절연(Full insulation), 균등절연(Uniform insulation), 단절연(Graded insulation), 저감절연(Reduced insulation) 및 절연협조에 대해 설명하시오.	66	25
절연방식	24	변압기의 단절연 또는 저감 절연에 대해 간단히 기술하시오.	63	10
유도장해	19	전력선과 통신선 사이에 나타나는 전자 유도장해 현상과 경감대책을 설명하시오.	92	10

분류	no.	문제	회수	배점
유도전압	25	그림과 같이 345kV 송전선 2회선의 각상과 정지회선의 1선간의 상호정전용량은 $C_a : 0.002 \mu\text{F}/\text{kW}$, $C_b : 0.003 \mu\text{F}/\text{kW}$, $C_c : 0.004 \mu\text{F}/\text{kW}$ 이다. 대지간 작용정전용량은 $C_s : 0.005 \mu\text{F}/\text{kW}$ 이라고 할 때 1) 정지회선의 1선간에 생기는 상시 정전유도전압 V_s 를 구하시오. 2) 송전회선의 1선지락시에 정지회선 1선간에 생기는 유도전압을 구하시오.	57	25
유도장해	26	송전선과 통신선에 관련된 유도 장해(inductive interference)에 대해 다음 질문에 답하시오. ① 유도 장해란 무엇인가? ② 유도 장해가 발생하는 원인을 크게 2가지로 나누어 설명하시오. ③ 유도 장해의 방지 대책인 차폐선 효과에 대해서 설명하시오.	84	25
유도장해	27	전력계통의 1선지락고장 등의 원인에 의하여 전자유도장해가 발생한다. 이에 대한 전자유도 발생원리를 설명하고, 그 대책의 일환으로 가공송전선로의 첩탐에 차폐선을 설치하고자 할 경우의 유도장해 경감 및 차폐효과에 대하여 기술하시	78	25
유도장해	28	전력계통에서의 유도장해의 종류별 특성과 방지대책을 기술하시오.	66	25
유도장해	29	송전선로에 의한 전자유도 장해현상의 원인과 장해현상 및 근접 통신선에 유기되는 전자 유도전압 등을 설명하시오.	63	25
유도장해	30	통신선과 전력선이 접근되어 있는 경우 통신선에 대하여 전압 및 전류를 유도하여 장해를 일으킬 수 있다. 유도장해의 종류를 들고 영향을 주는 3인자를 설명하시오.	55	25
유도장해	31	특별고압 가공전선로에 의하여 발생하는 유도장해의 방지대책에 관한 기술기준을 설명하라	59	25

[중성점 접지 방식]

1. 개요

(1) 중성점 접지에 영향을 미치는 요소는 보호계전기의 동작, 통신선에의 유도장해, 송전선 및 기기의 절연설계, 차단기의 차단용량 선정, 피뢰기의 동작, 계통의 안정도 등이다.

2. 중성점 접지 목적

- ① 지락 고장시 건전상의 대지 전위 상승을 억제해서 전선로 및 기기의 절연 레벨을 경감시킨다.
- ② 뇌, 아크 지락, 기타에 의한 이상 전압의 경감 및 발생을 방지한다.
- ③ 지락 고장시 접지 계전기의 동작을 확실하게 한다.
- ④ 소호 리액터 접지 방식에서는 1선 지락시의 아크 지락을 재빨리 소멸시켜 그대로 송전을 계속할 수 있게 한다.

3. 중성점 접지 방식의 종류

1) 유효 접지와 비유효 접지

(1) 유효 접지

- ① 1선 지락고장시 건전상 전압이 평상시 대지전압의 1.3배 이상이 넘지 않도록 접지하는 방식
- ② 건전상 전압이 낮아 기기의 절연레벨을 경감시켜 경제적으로 유리
- ③ 1선 지락고장시 지락전류가 커서 통신선에 대한 유도장해가 문제임.
- ④ 유효접지 조건 : 3상 1회선 계통에서 1선 지락고장시(a상), 건전상(b, c상)의 대지전위를 $\dot{E}_a, \dot{E}_b, \dot{E}_c$ 할 때

$$\dot{E}_b = \frac{(a^2-1)Z_0 + (a^2-a)Z_2}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \cdot \dot{E}_a \quad \text{--- ①}$$

$$\dot{E}_c = \frac{(a-1)Z_0 + (a-a^2)Z_2}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \cdot \dot{E}_a \quad \text{--- ②}$$

①식에서 $Z_0 = R + jX_0$, $Z_1 = R_1 + jX_1 \approx jX_1$, $X_2 = Z_1$ 을 대입하면

$$\frac{E_b}{E_a} = \frac{a^2 Z_0 - Z_0 + a^2 Z_1 - a Z_1}{Z_0 + Z_1}$$

여기서 분자에 $a^2 Z_1$ 를 더하고 빼면

$$\frac{E_b}{E_a} = \frac{a^2 Z_0 - Z_0 + a^2 Z_1 - a Z_1 + a^2 Z_1 - a^2 Z_1}{Z_0 + Z_1}$$

$$= \frac{a^2 Z_0 + a^2 Z_1 + a^2 Z_1 - Z_0 - a Z_1 - a^2 Z_1}{Z_0 + Z_1} = \frac{Z_0 + (a^2 + a) Z_1}{Z_0 + Z_1}$$

$$= a^2 - \frac{Z_0 + (a^2 + a) Z_1}{Z_0 + Z_1}$$

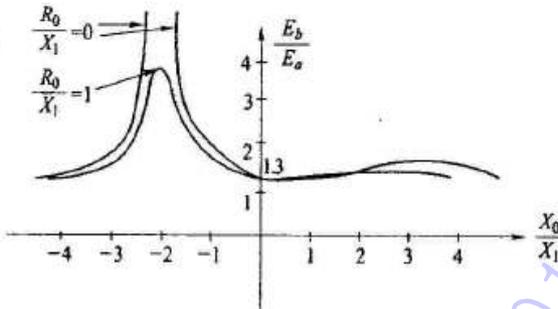
따라서 $1+a+a^2=0$ 이므로 $a^2+a=-1$ 을 대입하면

$$\frac{E_b}{E_a} = a^2 - \frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + 2Z_1} = a^2 - \frac{R_0 + jX_0 - jX_1}{R_0 + jX_0 + j2X_1}$$

분자를 jX_1 으로 나누면

$$= a^2 - \frac{\frac{R_0}{jX_1} + \frac{X_0}{X_1} - 1}{\frac{R_0}{jX_1} + \frac{X_0}{X_1} + 2} \quad \text{--- ③}$$

③식을 파라메타로 해서 그래프를 그리면



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

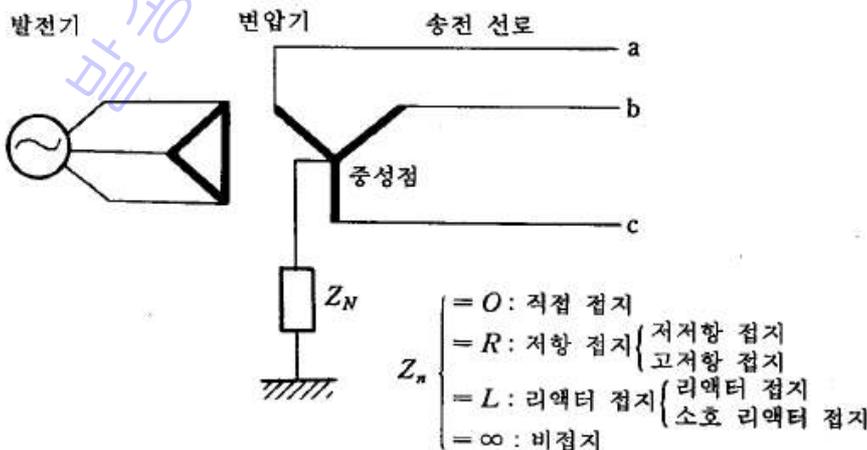
즉, 1선 지락사고시 어느 점에서든지 $\frac{R_0}{X_1} \leq 1, \frac{X_0}{X_1} \leq 3$ 의 범위 내에 유지되고, 1선 지락시의 건전상 전압상승이 선간전압의 75[%]를 초과하지 않는 접지계

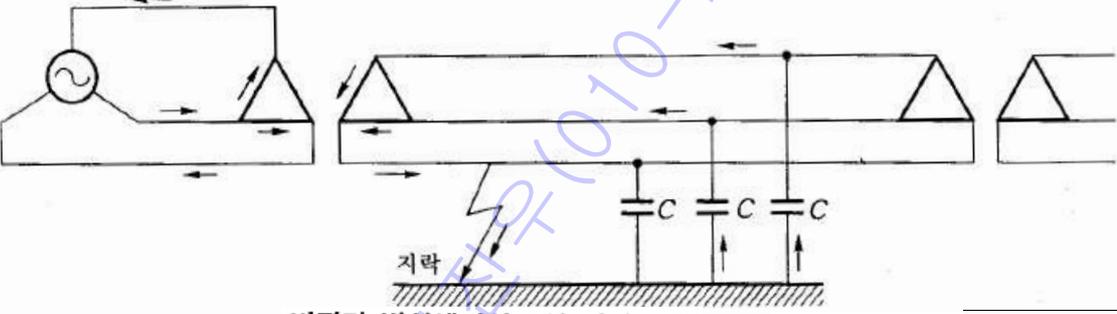
(2) 비유효 접지

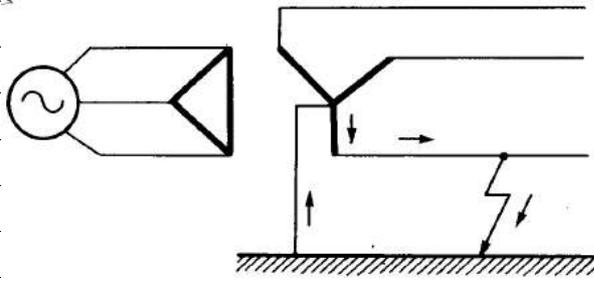
- ① 고저항 접지, 소호리액터접지 등 고임피던스 접지
- ② 1선 지락시 건전상의 전압상승이 유효접지보다 높아 경제적으로 불리
- ③ 지락전류가 작아서 통신선에 대한 유도장해가 적다.

※ 접지계수 = $\frac{\text{고장중 건전상의 최대 대지전압}}{\text{최대 선간전압}}$

2) 접지 방식의 종류



① 비접지 방식($Z_n = \infty$)	
② 직접 접지 방식($Z_n = 0$)	
③ 저항 접지 방식($Z_n = R$)	
④ 리액터 접지 방식($Z_n = jX_L$)	
(1) 비접지 방식	
① 정의 : 중성점을 접지하지 않는 방식(저전압 단거리 선로 한정)	
② 장점	
ㄱ) 1선 지락시 지락전류가 작아 그대로 송전 가능	
ㄴ) 주변압기를 Δ - Δ 결선 사용중 변압기 고장 및 점검 수리시 V결선으로 송전가능	
ㄷ) 선로에 3고조파 전류가 유입되지 않는다.	
③ 단점	
ㄱ) 고전압, 장거리 선로 적용시 1선지락 고장시 충전전류에 의하여 간헐아크 지락에 의한 이상전압 발생	
ㄴ) 절연레벨이 높아져 기기 및 선로의 절연비가 비싸다.	
 <p style="text-align: center;">비접지 방식에서의 1선 지락 고장</p>	
(2) 직접 접지	
① 정의 : 계통에 접속된 변압기의 중성점을 금속선으로 직접 접지하는 방식	
② 장점	
ㄱ) 1선 지락고장시 건전상의 대지전압 상승이 작아 기기절연레벨 경감 가능	
ㄴ) 개폐서지의 값을 저하할 수 있어 피뢰기 책무 경감 및 정격전압이 낮은 피뢰기 사용 가능	
ㄷ) 변압기 중성점은 항상 영전위 부근에 유지되기 때문에 단절연이 가능하므로 변압기 및 부속설비의 중량과 가격 저하	
ㄹ) 1선 지락고장시 지락전류가 커서 보호(접지) 계전기의 동작이 확실	
③ 단점	
ㄱ) 지락전류가 저역률 대전류 이므로 과도 안정도가 나쁘다.	
ㄴ) 지락고장시 통신선에의 전자유도장해를 주며 평상시에도 불평형 전류 및 변압기 3고조파로 유도장해를 준다.	
ㄷ) 지락전류는 기기에 대한 충격이 커서 손상을 준다.	
ㄹ) 계통사고의 대부분은 1선 지락 사고이므로 차단기가 대전류를 차단할 기회가 많다.	
④ 적용 : 154,345,765KV 계통	



직접 접지 방식

(3) 저항 접지

① 정의 : 계통에 접속된 변압기의 중성점을 저항으로 접지하는 방식

저저항 접지 : $R = 30\Omega$ 정도

고저항 접지 : $R = 100 \sim 1,000\Omega$ 정도

② 장점

ㄱ) 비접지 방식에 비해 1선 지락전류가 작아서 유도장해가 작다

③ 단점

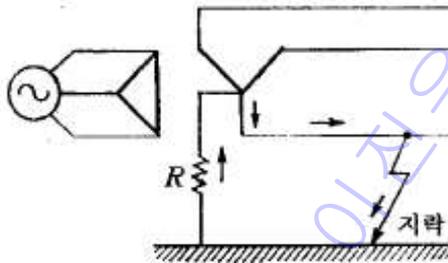
ㄱ) 접지저항이 작으면 1선 지락전류가 크서 유도장해가 크다

ㄴ) 접지저항이 크면 지락전류가 작아져서 계전기 동작이 어렵다

④ 적용

ㄱ) 비경제 적이어서 송전선로에는 적용치 않음

ㄴ) 초고압 인입선로에 접속하는 변압기 중성점에 지락전류 제한목적으로 일부채용



저항 접지 계통의 지락 고장

(4) 소호 리액터 접지

① 정의 : 계통에 접속된 변압기의 중성점을 선로의 대지 정전용량과 공진하는

리액터를 통해서 접지하는 방식(공진 조건 $WL = 1/3WC$)

② 장점

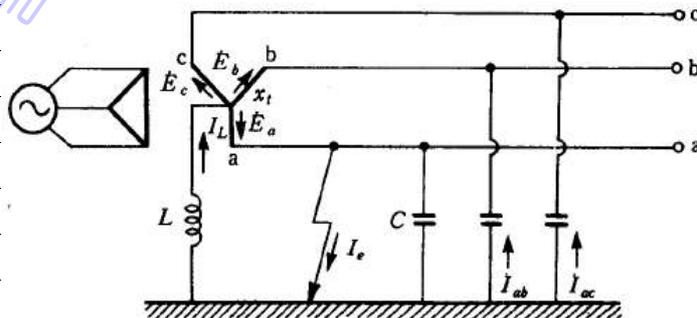
ㄱ) 1선 지락 전류가 최소이며 통신선에 대한 전자 유도 장해가 적다.

ㄴ) 1선 지락시에도 송전이 가능하며 과도안정도가 최대

③ 단점

ㄱ) 설치비가 비싸다.

ㄴ) 접지 계전기 동작이 곤란



소호 리액터 접지 계통의 지락 고장

여기서, 공진 조건 이라면 $I_g = 0$ 이므로

$$\frac{\dot{E}_a}{j\omega L} + j\omega C(\dot{E}_a - \dot{E}_b) + j\omega C(\dot{E}_a - \dot{E}_c) = 0 \quad \text{--- ①}$$

$$\dot{E}_a = E$$

$$\dot{E}_b = E\epsilon^{-j120} = \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)E \quad \text{--- ②}$$

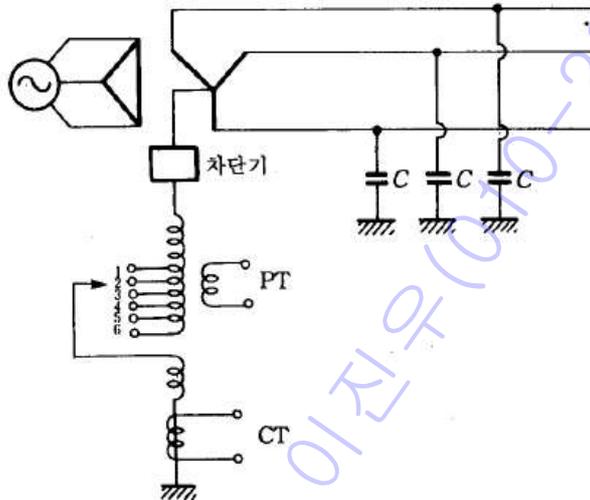
$$\dot{E}_c = E\epsilon^{-j240} = \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)E$$

1식에 2식을 대입하여 정리하면 $\omega L = \frac{1}{3\omega C}$

그러므로 L 의 값은 $1/3\omega^2 C$.

만일 이때 변압기의 임피던스 x_t 까지 포함시켜서 L 의 값을 구하고자 한다면

$$\omega L = \frac{1}{3\omega C} - \frac{x_t}{3}$$



소호 리액터의 탭

선로의 부분적 개폐라든가, 우천시 등의 경우 선로의 정전용량 C 가 달라지므로 소호리액터에는 탭을 설치하여 리액터 값을 선로 변화에 따라 조정하여 사용한다.

사용 탭 전류를 I , 전대지 충전 전류를 I_c 라고 한다면

$$\text{합조도 } P = \frac{I - I_c}{I_c} \times 100 [\%]$$

$(\omega L = \frac{1}{3\omega C})$ 에는 합조도는 0

I 가 I_c 보다 클 경우 $(\omega L < \frac{1}{3\omega C})$ 에는 합조도는 정이 되는데 이것을 과보상의 상태

I 가 I_c 보다 작을 경우

$(\omega L > \frac{1}{3\omega C})$ 에는 는 부로 되고 이것을 부족 보상의 상태

라하는데 어떠한 경우에도 부족보상 상태로 사용해서는 안된다. 이유는 부족보상 상태에서 1선 지락 사고시 건전상에 이상 전압 상승이 발생되기 때문임

$$\text{리액터 용량 } W_L = \frac{V}{\sqrt{3}} \times 3\omega C \frac{V}{\sqrt{3}} = \omega C V^2$$

5. 중성점 접지 방식 비교표

구분 \ 종류	직접접지 방식	고저항 접지	비접지 방식 (GVT 접지)	소호리액터접지
1선지락시 건전상의 대지전위 (상전압의 배수)	거의 변화 없다 (1.3배 이하)	$\sqrt{3}$ 배	$\sqrt{3}$ 배	$\sqrt{3}$ 배 또는 그 이상
피뢰기	0.8 E~1.06 E	1.4 E	1.4 E~1.6 E	1.4 E
기기 절연 수준	최저, 단절연	중	최고	중
1선 지락전류	최대 전압에 따라 수십~수천[A]	5~100[A]	매우 작다	최소
전자유도장해	최대	적음	매우 적음	최소
과도안정도	최소	중	크다	최대
보호계전기 동작	확실, 신속, 보호방식 단순, 신뢰도 최대	소세력 지락계전기	지락보호 곤란, GVT, ZCT, SGR	선택지락계전기 적용 곤란
지락고장의 제거	확실	비교적 용이	곤란	자연 소호
단선 사고시 전압 상승	최소	중	중	최대
다중사고로의 확대 가능성	거의 없음	중	길이가 길수록 가능성 크다	중
적용 계통	22.9[kV] 154[kV] 345[kV] 765[kV]	발전기 중성점 공장, 빌딩 구내 등	3.3[kV] 6.6[kV] 22[kV-△]	66[kV]

[중성점 잔류 전압]

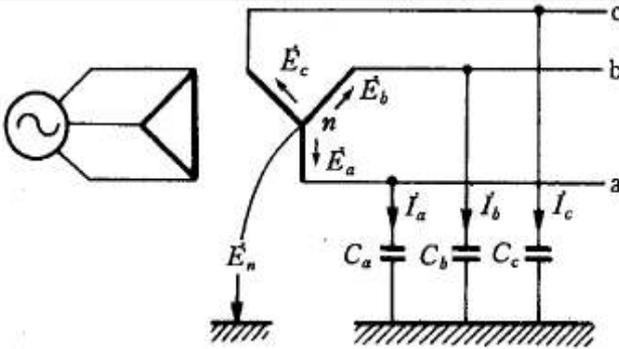
1. 개요

3상 대칭 송전선에 선로정수가 평형이라면 중성점 전위는 0이된다. 그러나 보통의 운전상태에서도 선로정수가 완전평형을 이룰수 없으므로 약간의 전압이 남게된다.

2. 원인

- 1) 연가 불충분으로 인한 3상 대지 정전 용량 불평형
- 2) 과도 상태에서 차단기의 개폐가 3상 동시에 이루어지지 않아 3상간 불평형
- 3) 단선 사고 등이 발생할 경우

3. 잔류 전압식 유도



중성점 잔류 전압

\dot{E}_a 를 기준 벡터로 잡으면 $\dot{E}_a = E_a$, $\dot{E}_b = a^2 E_a$, $\dot{E}_c = a E_a$

여기서, $a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$, $a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$

각 선로의 대지 전위는 각각 $(\dot{E}_n + \dot{E}_a)$, $(\dot{E}_n + \dot{E}_b)$, $(\dot{E}_n + \dot{E}_c)$ 로 되므로 각 선로의 충전 전류는

$$I_a = j\omega C_a (\dot{E}_n + \dot{E}_a)$$

$$I_b = j\omega C_b (\dot{E}_n + \dot{E}_b)$$

$$I_c = j\omega C_c (\dot{E}_n + \dot{E}_c)$$

이때 중성점은 비접지이므로 $I_a + I_b + I_c = 0$

$$\text{따라서 } \dot{E}_n = -\frac{C_a \dot{E}_a + C_b \dot{E}_b + C_c \dot{E}_c}{C_a + C_b + C_c}$$

\dot{E}_n 의 절대값을 알고 싶을 경우에는 위 식에 $\dot{E}_a = E$, $\dot{E}_b = a^2 E$, $\dot{E}_c = a E$ 라 두고 다시 선간 전압 $V = \sqrt{3}E$ 라고 둔다면

$$E_n = \frac{C_a + a^2 C_b + a C_c}{C_a + C_b + C_c} \times E = \frac{(C_a - \frac{C_b}{2} - \frac{C_c}{2}) - j\frac{\sqrt{3}}{2}(C_b - C_c)}{C_a + C_b + C_c} \times \frac{V}{\sqrt{3}}$$

위 식의 실수부와 허수부의 제곱을 취하여 E_n 의 크기를 구하면

$$|E_n| = E_n = \frac{\sqrt{(C_a - \frac{C_b}{2} - \frac{C_c}{2})^2 + \frac{3}{4}(C_b - C_c)^2}}{C_a + C_b + C_c} \times \frac{V}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{\sqrt{C_a^2 + \frac{C_b^2}{4} + \frac{C_c^2}{4} - C_a C_b + \frac{C_b C_c}{2} - C_a C_c + \frac{3}{4}(C_b^2 - 2C_b C_c + C_c^2)}}{C_a + C_b + C_c} \times \frac{V}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{\sqrt{C_a^2 + C_b^2 + C_c^2 - C_a C_b - C_b C_c - C_c C_a}}{C_a + C_b + C_c} \times \frac{V}{\sqrt{3}}$$

$$E_n = \frac{\sqrt{C_a(C_a - C_b) + C_b(C_b - C_c) + C_c(C_c - C_a)}}{C_a + C_b + C_c} \times \frac{V}{\sqrt{3}}$$

4. 잔류 전압의 영향

- 1) 중성점 접지시 기본주파의 단상전류로 인한 통신선 유도 장해
- 2) 3상 4선식 Y결선에서 단상 부하의 전위 상승에 따른 절연레벨 상승 필요

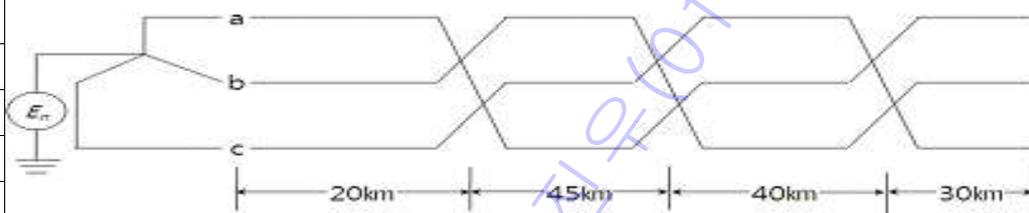
5. 잔류전압의 방지 대책

- 1) 충분한 연가(선로 정수의 불평형 방지)
- 2) 각상의 불형형이 있을때 소호리액터 탭값을 각 상의 정전용량 합과 공진 시킴

[154[kV]의 송전선이 그림과 같이 연계되어 있다. 대지정전용량은 위 선 0.004[μF/km], 가운데 선 0.0045[μF/km], 아래 선 0.005[μF/km]라 하고 다른 선로정수는 무시한다.]

(1) 잔류전압 En을 계산하시오.

(2) 잔류전압 En을 0[V]로 하기 위한 선로구성을 다시하고 이를 증명하시오.



$$C_a = 0.004 \times (20 + 30) + 0.0045 \times 40 + 0.005 \times 45 = 0.605 \text{ [}\mu\text{F]}$$

$$C_b = 0.004 \times 45 + 0.0045 \times (20 + 30) + 0.005 \times 40 = 0.605 \text{ [}\mu\text{F]}$$

$$C_c = 0.004 \times 40 + 0.0045 \times 45 + 0.005 \times (20 + 30) = 0.6125 \text{ [}\mu\text{F]}$$

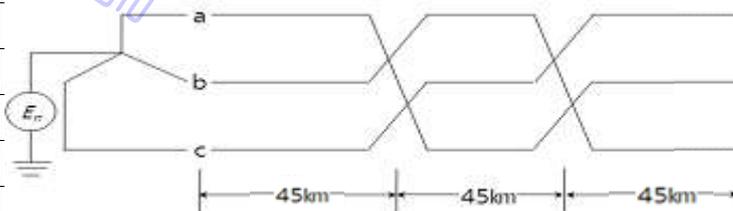
$$E_n = \frac{\sqrt{0.605(0.605 - 0.605) + 0.605(0.605 - 0.6125) + 0.6125(0.6125 - 0.605)}}{0.605 + 0.605 + 0.6125}$$

$$\times \frac{154,000}{\sqrt{3}} = 366 \text{ [V]}$$

중성점 잔류전압을 0으로 하기 위해서는 Ca, Cb, Cc가 같아지도록 연가를 다시한다.

$$C_a = C_b = C_c = 0.605 + 0.605 + 0.6125 / 3 = 0.6075 \text{ [}\mu\text{F]}$$

전체 선로길이가 135Km 이므로 45km 구간마다 연가를 실시하여 조정한다.



$$C_a = 0.004 \times 45 + 0.0045 \times 45 + 0.005 \times 45 = 0.6075 \text{ [}\mu\text{F]}$$

$$C_b = 0.004 \times 45 + 0.0045 \times 45 + 0.005 \times 45 = 0.6075 \text{ [}\mu\text{F]}$$

$$C_c = 0.004 \times 45 + 0.0045 \times 45 + 0.005 \times 45 = 0.6075 \text{ [}\mu\text{F]}$$

[전절연(Full insulation), 균등절연(Uniform insulation), 단절연(Graded insulation), 저감절연(Reduced insulation) 대해 설명하시오.]	
1. 전절연(Full Insulation)	
	발 • 변전소 등의 전력계통에 설치되는 변압기나 전기기기는 계통에 발생하는 여러 형태의 이상전압으로부터 보호되도록 제작되어 있는데, 이때 각기기에 맞게 절연강도를 일일이 바꾸는 일은 설계표준화의 면에서도 바람직하지 않기 때문에 적당한 간격을 두고 절연계급을 설정한 후 각 계급에 대응한 충격파 및 상용주파수의 내전압시험치를 제정, 이것에 의해 절연설계를 표준화하고, 주위의 조건에 맞추어 선택사용하는 방법이 널리 행해지고 있다. 절연계급의 각층은 수자에 의한 수로 나타내며 그 접속되는 계통의 공칭회로[kV]를 1.1로 나눈 값과 절연계급의 수치가 일치하는 경우를 전절연이라 하며, 일반적으로 비유효접지 계통에 접속되는 권선에 채용된다.
2. 균등절연(Uniform Insulation)	
	단절연으로 하면 권선중성점측의 지권선 또는 철심에 대한 주절연치수를 단축할 수 있으므로 경제적이며, 특히 고전압으로 될수록 그 효과가 크다. 단절연에 대해서 중성점 단자의 절연강도가 선로단자와 같은 경우 및 Δ 결선시의 권선절연을 균등절연이라 한다. 즉, 권선의 모든 부분이 대지에 대해 그 선로단자의 교류시험전압에 견디는 것을 말한다. 균등절연의 경우도 중성점피뢰기를 설치하는 것이 바람직하지만 경제적인 이유에서 Bushing 보호 gap으로 대응시키는 일도 있다. 그때 gap의 길이는 정극성표준화 충격전압에 대한 50% flashover 전압이 기준충격절연강도의 83%로 되도록 선택한다. 특별히 지정하지 않으면 변압기 권선중성점단자의 절연강도는 균등절연으로 한다.
3. 단절연(Graded Insulation)	
	중성점 유효접지 방식의 송전계통에서는 변압기 권선의 경우 선로단으로부터 중성점까지의 전위 분포를 직선적이 되도록 설계하면 권선의 절연도 이에 따라 중성점에 근접함에 따라 순차적으로 저감할 수 있다. 이러한 절연방식을 단절연이라 한다.
4. 저감절연(Reduced Insulation)	
	유효접지 계통에서는 1선접지 사고시 건전상의 대지전압이 비접지계통 또는 비유효접지 계통에 비해 낮으므로 정격전압이 낮은 피뢰기를 채용할 수 있다. 따라서 충격방전개시전압 및 제한전압도 저하하고 그에 협조하여 변압기 및 기타 기기의 절연을 저감할 수 있다. 절연계층의 수치가 공칭회로전압[kV]을 1.1로 나눈 값보다 낮은 경우를 저감절연이라 한다. 저감절연의 절연계급의 수치는 공칭회로전압의 약 80%로 되어 있고, 절연계급에서 1단 혹은 2단 저감되어 있다.
6. 저감절연 및 단절연 수치 예	
1) $V=154$ [kV]의 경우	
	① 절연레벨의 기준전압 : $E = \frac{V}{1.1} = \frac{154}{1.1} = 140$ [kV]
	② 전절연(140호)
	· 공칭전압을 1.1로 나눈 값과 일치하는 절연계급
	· 표준 $BIL = 5E + 50 = 5 \times 140 + 50 = 750$ [kV]
	③ 1단 저감절연(120호)
	· 공칭전압을 1.1로 나눈 값보다 낮은 수치를 적용. 전절연의 80[%]대
	· $5E + 50 = 5 \times 120 + 50 = 650$ [kV]

④ 변압기 권선	
· 선로측(1단 저감절연) → 650 BIL	
· 중성점(단절연)	
→ 350 BIL(접지하지 않은 중성점의 전위상승 73[kV]의 기준절연강도)	
→ 150 BIL(직접접지식일 경우)	
2) $V=345$ [kV]의 경우	
① 충격파 절연레벨의 기준전압 : $E = \frac{345}{1.15} = 300$ [kV]	
② 300호 → $BIL = 5 \times 300 + 50 = 1,550$ [kV]	
③ 충격파 건조내전압 : $345 \times \frac{1.15}{1.1} \times \sqrt{2} \times 2.3 \approx 1,175$ [kV] <전절연 BIL>	
④ 변압기 권선	
· 선로측(2단 저감절연, 200호) → $5 \times 200 + 50 = 1,050$ [kV]	
· 중성점측(단절연) → 450[kV]/150 BIL	

[유도 장해]

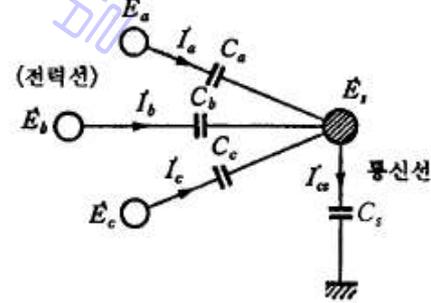
1. 개요

- 1) 정의
 전력선이 통신선에 근접해 있을 때 통신선에 전압, 전류를 유도해서 여러가지 장해 발생
- 2) 종류
- ① 정전 유도 : 전력선과 통신선과의 상호 정전 용량에 의해 발생하는 것
 - ② 전자 유도 : 전력선과 통신선과의 상호 인덕턴스에 의해 발생하는 것
 - ③ 고조파 유도 : 양자의 영향에 의하지만 상용 주파수보다 고조파의 유도에 의한 잡음 장해로 되는 것

2. 정전 유도 전압

1) 송전선로의 영상 전압과 통신선과의 상호 정전용량의 불평형에 의해 통신선에 정전적으로 유도되는 전압

2) 관련식 유도



3상 각 전선의 전위를 E_a, E_b, E_c ,
 통신선의 유도 전압을 E_s , 정전 용량을 C_a, C_b, C_c 및 C_s 라고 하면

$$I_a + I_b + I_c = I_s$$

$$\omega C_a(\dot{E}_a - \dot{E}_s) + \omega C_b(\dot{E}_b - \dot{E}_s) + \omega C_c(\dot{E}_c - \dot{E}_s) = \omega C_s \dot{E}_s$$

$$\dot{E}_s = \frac{C_a \dot{E}_a + C_b \dot{E}_b + C_c \dot{E}_c}{C_a + C_b + C_c + C_s}$$

$$|\dot{E}_s| = \frac{\sqrt{C_a(C_a - C_b) + C_b(C_b - C_c) + C_c(C_c - C_a)}}{C_a + C_b + C_c + C_s} \times E$$

3) 정전유도 전압은 주파수 및 양선로의 평행길이와 무관, 전력선의 대지전압에 비례한다.

4) 연가가 완전하다면 $C_a = C_b = C_c$ 가 되어 $E_s = 0$ 이므로 정전유도는 없다.

3. 전자 유도 전압

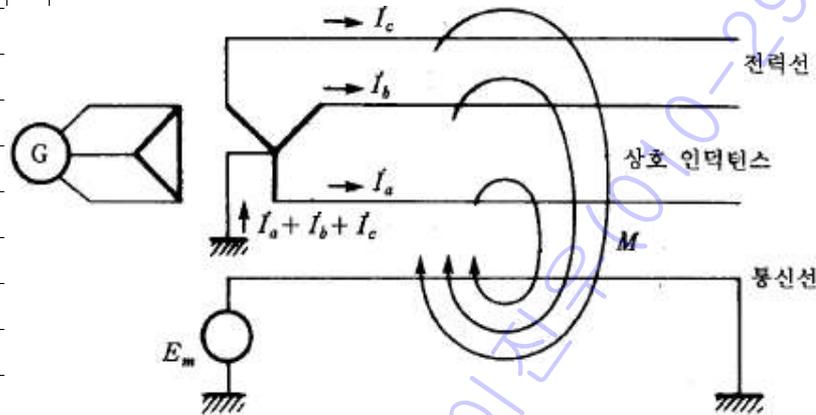
1) 송전선에 1선 지락사고 등이 발생해서 영상전류가 흐르면 통신선과의 전자적인 결합에 의해서 통신선에 커다란 전압 전류가 유도됨

2) 관련식

$$E_m = -j\omega M I (I_a + I_b + I_c) = -j\omega M I (3I_0)$$

l : 양선의 병행 길이 [km] $3I_0$: 3×영상 전류 = 지락 전류 = 기유도 전류 [A]

상호 인덕턴스를 M [H/km] (완전 연가라고 가정함)



3) 정상시에는 3상 평형이므로 I_0 는 0으로 전자 유도장해가 없지만 지락고장시에는 상당히 큰 I_0 가 흘러 전자 유도장해가 발생, 통신장해를 일으킨다.

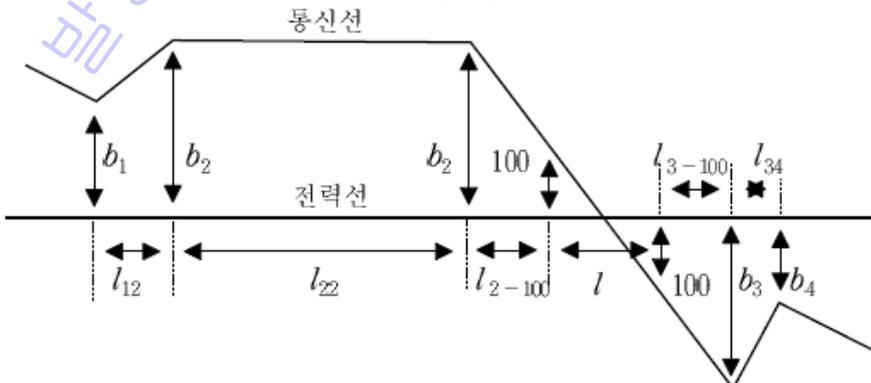
4) E_m 은 직접 구할 수 없고 계산식으로도 구할 수 없으며 실험식에 의해 구한다.

(1) 실험식(카슨 플라젝 식)

$$M = 0.2 \ln \frac{2}{\gamma d \sqrt{4\pi\omega\sigma}} + 0.1 - j \frac{\pi}{20} \text{ [mH/km]}$$

- $\gamma = 1.7811$ (Bessel 정수)
- d [m]: 전력선과 통신선의 이격거리
- σ : 대지의 도전율

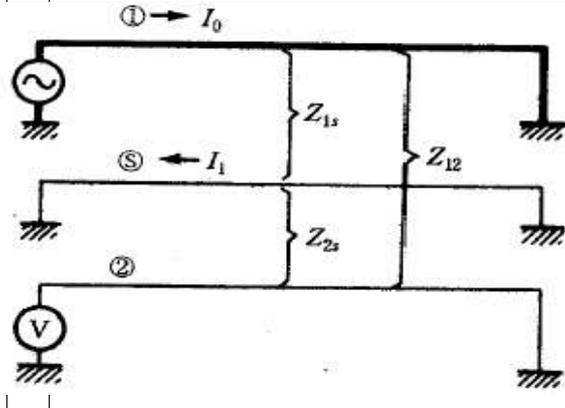
(2) 도면을 사용한 실험식: Fukao의 식



	·5만분의 1 지도에 기설 통신선로와 새로 건설할 전력선로를 그리고 양 선로간의 이격거리를 b , 각 구간의 병행 길이를 l 로 표시한다.
	·양 선로가 교차시 이격거리 100[m] 이내는 별도로 나타낸다.
	·이때 유도전류 1[A]당의 통신선 유도전압은 다음처럼 구할 수 있다.
	$e_m = Kf \left\{ \sum \frac{l_{ij}}{\frac{1}{2}(b_i + b_j)} + \sum \frac{l}{100} \right\} \quad [\text{V/A}]$
	$= Kf \left[\frac{l_{12}}{\frac{1}{2}(b_1 + b_2)} + \frac{l_{22}}{b_2} + \frac{l_{2-100}}{\frac{1}{2}(b_2 + 100)} + \frac{l}{100} + \frac{l_{3-100}}{\frac{1}{2}(100 + b_3)} + \frac{l_{34}}{\frac{1}{2}(b_3 + b_4)} \right]$
	- $K=0.0003\sim0.0008$ (산악지), 0.0004 (평지) : 지질계수
	- $f[\text{Hz}]$: 지락전류의 주파수
	전자유도전압은 병행 길이 l 에 비례하므로 이격거리 b 는 5[km] 정도까지 계산한다.
	전체 전자유도전압 : $E_m = e_m \times 3I_o [\text{V}]$
	계산 결과 E_m 의 값이 650[V]를 넘게 될 경우에는 별도의 경감 대책이나 송전선로의 루트 변경을 고려한다.
4.	유도장해 경감 대책
1)	정전유도 경감대책
	·전력선 및 통신선의 완전 연가
	·전력선과 통신선의 이격거리를 크게 한다.(C의 경감)
	·전력선 및 통신선을 케이블화해서 차폐효과를 높인다.
	·통신선을 접지한다.
	·차폐선이나 차폐 울타리를 설치한다.
	·수목이나 언덕이 있는 경우 차폐효과가 있으므로 적극 이용한다.
2)	전자유도 경감대책
①	전력선측 대책
	·송전선로를 될 수 있는 한 통신선에서 멀리 띄운다.(M의 저감)
	·지락전류가 적은 접지 방식을 채택한다.(소호 리액터 접지)
	·직접접지 방식의 경우 고속도 차단으로 빠른 시간 내에 고장을 제거한다.
	·전력선과 통신선간에 차폐선(가공지선)을 설치한다.(M의 저감)
	·양 선로가 교차할 경우에는 가능한 한 직각으로 교차시킬 것(M의 저감)
	·전력선의 연가를 충분히 시행한다.
②	통신선측 대책
	·차폐 케이블(연피 케이블)을 사용한다.(M의 저감)
	·통신선로의 도중에 중계 코일(일종의 절연 변압기)을 설치하여 병행 구간을 줄인다.

- 통신선에 피뢰기 등의 보안장치를 설치한다.
- 통신선을 배류 코일이나 중화 코일 등으로 접지하여 저주파성 유도전류를 대지로 방류한다.
- 통신선에 필터를 설치한다.

5. 차폐선의 차폐 이론



- Z_{12} : 전력선과 통신선간의 상호 임피던스
- Z_{1s} : 전력선과 차폐선간의 상호 임피던스
- Z_{2s} : 통신선과 차폐선간의 상호 임피던스
- Z_s : 차폐선의 자기 임피던스

차폐선의 차폐 효과

$$V_2 = -Z_{12} I_0 + Z_{2s} I_1$$

$$= -Z_{12} I_0 + Z_{2s} \frac{Z_{1s} I_0}{Z_s}$$

$$= -Z_{12} I_0 \left(1 - \frac{Z_{1s} Z_{2s}}{Z_s Z_{12}} \right)$$

여기서, I_0 : 전력선의 영상 전류
 I_1 : 차폐선의 유도 전류

차폐선의 차폐 계수 $\lambda = \left| 1 - \frac{Z_{1s} Z_{2s}}{Z_s Z_{12}} \right|$

만일 차폐선을 전력선에 접근해서 설치할 경우에는 $Z_{12} \approx Z_{2s}$ 로 되므로

$$V_2' = -Z_{12} I_0 \left(1 - \frac{Z_{1s}}{Z_s} \right)$$

이때의 차폐선의 차폐 계수 $\lambda' = \left| 1 - \frac{Z_{1s}}{Z_s} \right|$

차폐선을 통신선에 접근해서 설치할 경우에는 $Z_{1s} \approx Z_{12}$ 로 되므로

$$V_2'' = -Z_{12} I_0 \left(1 - \frac{Z_{2s}}{Z_s} \right)$$

이때의 차폐 계수 $\lambda'' = \left| 1 - \frac{Z_{2s}}{Z_s} \right|$

차폐선의 자기임피던스 Z_s 가 작은 값이 되도록 하면 전자유도전압의 크기를 줄이는데 유리하다는 것을 알 수 있다. 따라서 차폐선의 재질뿐만 아니라 접지저항을 낮추어야 한다. λ 의 값은 대체로 0.5~0.7 정도의 값인데 이는 전자유도 전압을 30~50[%] 정도 경감시키는 효과가 있음을 의미한다.

가공지선은 철탑 정상부에 위치하여 주로 직격뢰나 유도뢰에 대한 차폐의 기능을 수행하지만 동시에 지락고장시의 전자유도장해에 대한 차폐효과도 갖는다.

차폐선은 강심알루미늄선 또는 동피복강선을 사용하여 일반적으로 300[m](또는 50[m])마다 접지함으로써 차폐선의 자기임피던스를 작게 하여 유도전압을 낮추는 역할을 한다. 최근에는 안쪽에 광섬유케이블을 넣어서 통신선으로도 사용할 수 있도록 되어 있는 OPGW(광섬유복합 가공지선)도 사용되고 있다.

6. 유도 전압의 제한값 및 장해 내용

전압	구분	제한값	유도발생설비	장해내용
정전유도		150[V](일본)	전력선 전기철도 방송 고주파 발생	통신설비 절연 파괴 통화 잡음 및 기기 오동작 통신측 피뢰기 동작
전자유도	사고시 유도 위험전압	송전선 : 650[V] 배전선 : 430[V]	접지방식의 전력선 ·345, 154[kV] T/L	통신설비 절연 파괴 인명 감전 위험 통신측 피뢰기 동작
	상시 유도전압 (위험중전압)	인체 위험 : 60[V] 기기 오동작 : 15[V]	·66[kV] 저항접지 T/L ·22.9[kV-Y] D/L	인명 감전 위험 통신기기 오동작
	상시 유도 잡음 전압	통신 케이블 : 1.0[mV] ·중계회선 : 0.7[mV] ·가입자회선 : 0.5[mV]	교류전기철도	통화 잡음 발생 통화 품질 저하
대지전위 상승	650[V]		통신설비 절연 파괴 통화 잡음 및 기기 오동작 통신측 피뢰기 동작	

·유도전압의 제한값은 고장시 차단기 동작의 고속화에 힘입어 종래의 300[V]에서 650[V]로 완화되었다.

·상시 정전유도전류의 제한

- 전압 60[kV] 이하에서는 통신선로 길이 12[km] 마다 유도전류가 2[μA]를 넘지 않을 것
- 전압 60[kV] 넘는 경우 통신선로 길이 40[km] 마다 유도전류가 3[μA]를 넘지 않을 것

7. 등가 방해 전류(EDC) 제한치

·전력계통의 고조파전류에 의한 인접 통신선에의 유도장해를 규제하기 위하여 등가방해전류를 규정하고 있으며, 다음과 같이 정의한다.

$$EDC = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (S_{fn}^2 \cdot I_n^2)}$$

여기서 S_{fn} : 통신선 유도계수 I_n : 영상분 고조파전류

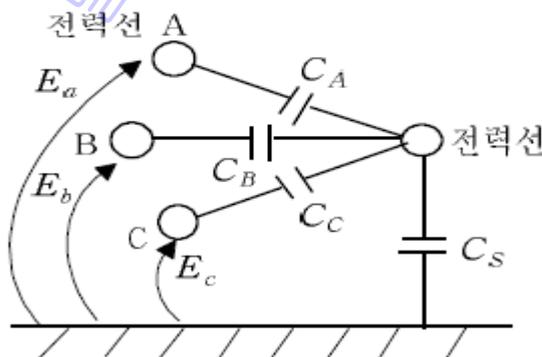
- 전기공급규정 : 154[kV] 이상 지중선로의 경우 3.8[A] 이하

[그림과 같이 345kV 송전선 2회선의 각상과 정지회선의 1선간의 상호정전용량은

Ca : 0.002μF/km Cb : 0.003μF/km, Cc : 0.004μF/km이다. 대지간 작용정전용량은

Cs : 0.005μF/km이라고 할 때

- 1) 정지회선의 1선간에 생기는 상시 정전유도전압 Vs를 구하시오.
- 2) 송전회선의 1선지락시에 정지회선 1선간에 생기는 유도전압을 구하시오.]



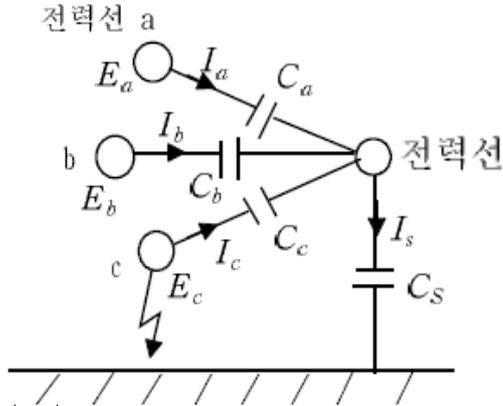
1. 상시 정전 유도 전압

$$|V_s| = \frac{\sqrt{0.002(0.002-0.003) + 0.003(0.003-0.004) + 0.004(0.004-0.002)}}{0.002 + 0.003 + 0.004 + 0.005} \times 345,000 / \sqrt{3}$$

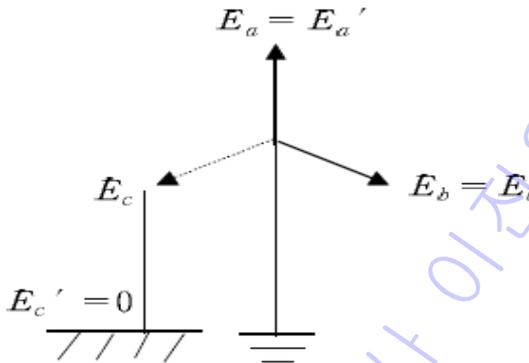
$$\approx 24,642V$$

2. 1선 지락시 유도 전압

1선 지락시에 발생하는 유도 전압은 정전 유도 전압과 전자 유도 전압이 있는데 문제의 조건에서는 전자 유도 전압을 계산하기 위한 상호 인덕턴스, 선로의 병행 길이, 기유도 전류가 제시되지 않았으므로 전자 유도 전압은 구할 수 없다.



1) 직접 접지 계통의 1선 지락시 정전 유도 전압



<c상 지락시 벡터도>

직접접지 계통의 경우에는 1선 지락시 나머지 건전상의 전위가 거의 변동이 없다. 따라서 c상 지락시 a상 및 b상의 크기와 위상은 고장 전과 동일한 상태로 보면

$$E_c' = 0, \quad E_b' = E = \frac{V}{\sqrt{3}}, \quad E_a' = E \angle 120^\circ = \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \frac{V}{\sqrt{3}}$$

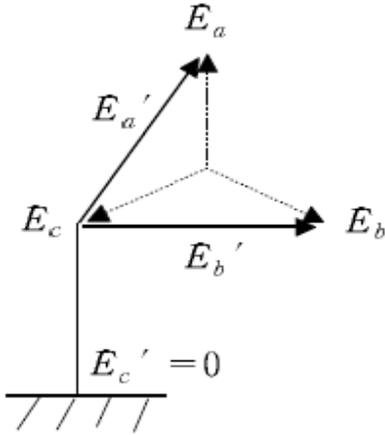
$$E_s' = \frac{C_a E_a' + C_b E_b'}{C_a + C_b + C_c + C_s} = \frac{C_a \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) + C_b}{C_a + C_b + C_c + C_s} \times \frac{V}{\sqrt{3}}$$

$$\therefore |E_s'| = E_s' = \frac{\sqrt{\left(-\frac{C_a}{2} + C_b\right)^2 + \frac{3}{4} C_a^2}}{C_a + C_b + C_c + C_s} \times \frac{V}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{C_a^2 + C_b^2 - C_a C_b}}{C_a + C_b + C_c + C_s} \times \frac{V}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{\sqrt{0.002^2 + 0.003^2 - (0.002 \cdot 0.003)}}{0.002 + 0.003 + 0.004 + 0.005} \times \frac{345,000}{\sqrt{3}}$$

$$\approx 37,642[V]$$

2) 비접지 계통의 1선 지락시 정전 유도 전압



<1선(C상) 접지시 벡터도>

$$E_c' = 0, \quad E_b' = V, \quad E_a' = V \angle 60^\circ = \left(\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)V$$

$$\therefore E_s = \frac{C_a E_a' + C_b E_b'}{C_a + C_b + C_c + C_s}$$

$$E_s = \frac{C_a E_a' + C_b E_b'}{C_a + C_b + C_c + C_s} = \frac{C_a \left(\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) + C_b}{C_a + C_b + C_c + C_s} V$$

$$\therefore |E_s| = E_s = \frac{\sqrt{\left(\frac{C_a}{2} + C_b\right)^2 + \frac{3}{4}C_a^2}}{C_a + C_b + C_c + C_s} V = \frac{\sqrt{C_a^2 + C_b^2 + C_a C_b}}{C_a + C_b + C_c + C_s} V$$

$$= \frac{\sqrt{0.002^2 + 0.003^2 - (0.002 \cdot 0.003)}}{0.002 + 0.003 + 0.004 + 0.005} \times 345,000$$

$$\approx 65,200 \text{ [V]}$$