

전력유도 현상과 차폐계수

Phenomenon of Power Interference and Screening Factor

황종선, 김영민, 이경욱, 김재준

(Jong-Sun Hwang, Yeong-Min Kim, Kyoung-Wook Lee, Jae-Joon Kim)

Abstract

A metal sheath provides a cable with electrostatic screening and a degree of magnetic screening. The presence of a screen on a cable also reduces the induction arising from the high-frequency components of transients caused by power-line switching and also induced transients from lightning strokes; such transient induced voltages are of increasing importance with the increasing use of miniaturized telecommunication equipment with very small thermal capacity. This paper describes electrostatic induction and electromagnetic induction caused by power interference. Also screening factors are proposed.

Key Words : Power Interference, Screening Factor, Telecommunication Line

1. 서론

전력유도 현상은 전기공작물(주로 송배전선로 및 전기철도)의 전압에 의한 정전유도 작용이나, 전류에 의한 전자유도 작용에 의하여 인근 유선통신 시설에 미치는 영향이 어느 한계를 초과할 경우 통신설비의 소손 및 운용방해를 유발하고 직접 간접으로 인체에 위험을 초래할 수 있는 현상을 말한다. 이러한 전력유도 현상을 저감시키기 위해서 통신시설측과 전력측의 설비에 대한 다양한 저감 대책이 필요하게 된다. 본 연구에서는 통신회선에 발생되는 정전유도현상과 전자유도현상의 원리를 연구 검토하고, 현행 유도예측계산식에 적용되고 있는 전기통신선의 차폐계수와 가공송전선의 차폐계수 및 분류계수에 대해 고찰하고자 한다.

2. 전력유도의 현상

2.1 정전유도

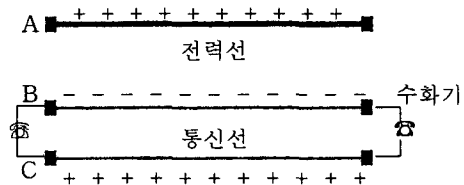


그림 1. 정전유도

Fig. 1. Electrostatic Induction

“A”를 전력선이라 하고 “B” “C”를 통신선이라 하면, “A”에 많은 양의 전하가 존재하므로 “A”에 가까운 쪽 “B”에는 “A”와 반대의 전하가 생기고, 먼쪽 “C”에는 “A”와 같은 종류의 전하가 발생한다. 따라서 “B” “C”간에는 수화기를 통해서 전하가 흐르게 된다. “A”에 가해지는 것은 일반적으로 교류인데 “A”의 전하부호가 변화하기 때문에 “B” “C”간의 전하도 교차로 이동하게 된다. 전하 이동

담양대학 초고속정보통신공학부
(전남 담양군 담양읍 향교리 담양대학,
Fax: 061-380-8466
E-mail :jshwang@damyang.damyang.ac.kr)

량의 시간적 변화율이 전류이므로 “A”와 같은 주파수의 전류가 전화기에 흐른다. 이것을 정전유도라 하며 잡음전압의 원인이 된다.

2.1.1 정전유도전압

정전유도에 의한 절연된 도체의 대지전압은 완전 절연되어 있는 경우 다음식으로 표현되나 단상 배전선로의 경우 성립이 되지 않아 실제 적용하기는 어려운 점이 많다.

$$V_0 = \frac{C_m}{C_m + C_0} \cdot V$$

- V_0 : 도체의 대지전압
- V : 전력선의 대지전압
- C_m : 전력선과 도체간의 정전용량
- C_0 : 전력선과 대지간의 정전용량

2.1.2 정전유도의 특성

- 기유도원이 전압이므로 전압이 높을수록 유도작용이 심해진다.
- 전력선과 피유도체간의 이격거리가 멀어짐에 따라 유도작용이 급격히 감소하며 그 범위가 전압이 높은 경우라도 수 100(m) 정도 밖에 안 된다.
- 3상 전력선 각상 대지전압의 합은 “0”이므로 피유도체간 이격거리가 같다면, 피유도체에서 유도현상은 상쇄되어 일어나지 않을 것이지만 전선간의 간격이 달라 유도현상이 일어난다.

2.2 전자유도

전력선에 흐르는 전류의 자속에 의한 전자유도작용으로 인근 유선통신선에 기전력이 유기되는 전압을 전자유도전압이라 한다.

2.2.1 전자유도전압

전자유도전압의 크기는 인접한 두 폐회로의 한쪽에 전류의 크기가 변화하면 두 회로를 쇠교하는 상호인덕턴스 M에 의하여 Faraday의 법칙을 적용하면 전자유도전압의 기본식은 다음과 같다.

$$E = -jM \frac{di}{dt} [V]$$

- E : 유도기전력 [V]
- M : 상호인덕턴스 [H/m]

I : 기유도전류 [A]

2.2.2 전자유도의 특성

- 전력량에 따라 시간적 변화가 심하다.
- 전력공급 부하의 불평형 전류에 비례한다.
- 기유도원과 병행거리가 길고 이격거리가 가까울수록 유도전압의 크기는 증가한다.
- 접지와 차폐층이 있어도 발생한다.

2.2.3 대지귀로전류와 전자유도

전류는 루프회로를 형성하여 흐르므로 전자유도를 생각할 때는 그림 2와 같이 전원측에서 부하측으로 흐르는 전류(왕로전류)와 부하측에서 전원측으로 흐르는 전류(귀로전류)를 동시에 고려해야 한다. 두 전류의 방향은 반대이므로 양자의 자속은 서로 상쇄되어 유도전압은 극히 작거나 발생하지 않는다. 그러나 1선지락고장시 대지를 통하여 전원측으로 흐르는 전류는 대지가 완전 도체가 아니므로 깊은 곳까지 분산되어 흐를 것이다.

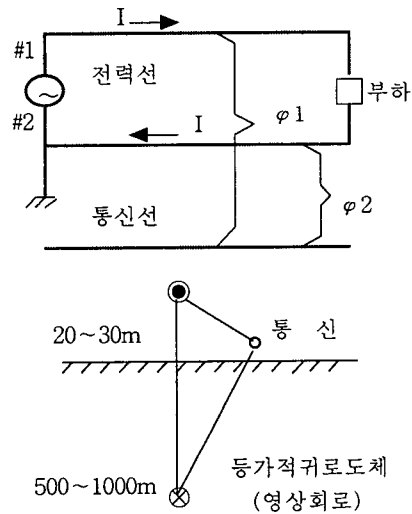


그림 2. 대지귀로전류와 전자유도
Fig. 2. Earth return current and Electromagnetic Induction

분산된 전류는 제 조건 계산시 적용이 어려우므로 그림 2와 같이 등가적 귀로도체를 가상하여 지하 어느 깊이를 집중적으로 흐른다고 하면 이는

지표에서 상당히 멀리 떨어져(수백~수천m) 영상 회로에 나타나는 자속의 영향은 지상의 도체에 비하여 매우 적어지게 된다.

3. 차폐계수

3.1 차폐계수의 개요

케이블의 금속 차폐에 의한 차폐 효과는 주로 다음과 같은 것에 달려 있다:

○ 유도 기전력의 주 주파수 (16 2/3 Hz, 50 Hz, 60 Hz)의 제한은 인명 및 설비의 안전 측면에서 케이블을 선택하는데 결정적인 요인이다. 한편, 보다 높은 주파수에서의 차폐 인자는 간섭에 대해 장비를 보호할 방법도 찾는 것을 고려해야 한다.

○ 차폐의 경우에 있어서 단위 길이당 유도기전력의 레벨은 강자성체에 의해 만들어진다. 그러한 케이블의 차폐효과는 주어진 단위 길이당 유도기전력 값에 최적이므로, 단위 길이당 고 유도기전력 감소에 대해 설계된 케이블은 단위 길이당 저 유도기전력에 대한 보호에는 실용적이 되지 못할 것이다.

○ 차폐 효과는 금속 차폐에 있어서 순환 전류 값에 의해 결정된다. 그러므로, 차폐 및 접지간에 전류를 흐르게 하는 부분의 저항이 결정된다. 절연 플라스틱 외피를 가진 케이블의 경우에, 만약 접지 연결이 종단에만 되어 있다면, 매우 낮은 저항이어야 한다.

3.2 정전유도 차폐

금속 차폐층이 있는 통신케이블에서 차폐층이 접지되어 있으면 전력선에 의한 전기력선은 모두 금속 차폐층에서 끝나고 그 내부에는 전계를 발생하지 않는다. 즉 정전유도는 도체상에 접지된 금속 피복이 있으면 거의 차폐된다. 또 통신선 근처에 접지된 도체가 있는 경우도 많은 차폐효과가 있다. 옥외선이나 SD Wire의 경우에 지지선을 접지하면 정전유도에 대하여 대단히 큰 차폐 효과가 있으며 실험에 의하면 차폐체가 없을 때 K=1로 볼때 접지된 도체가 있으면 차폐효과 K=0.1로 90%정도의 저감효과가 있다.

3.3 전자유도 차폐

통신선에 근접하여 양단을 접지한 도체를 두면 전자유도를 경감하는 효과가 있다. 그림 3과 같이 전력선, 통신선, 차폐선이 설치된 경우를 생각해

본다.

전력선에 흐르는 전류 I1에 의하여 통신선과 차폐선에 각각 E12, E13가 유기된다. 차폐선은 양단이 접지되어 있어서 유도된 기전력에 의하여 차폐선에 대지귀로전류 I3가 흐른다. 이 전류에 의하여 다시 통신선에 기전력이 발생하는데 이 기전력은 전력선으로부터 통신선에 직접 유도된 기전력과 방향이 180° 다르므로 통신선에 유도된 기전력을 상쇄하게 된다.

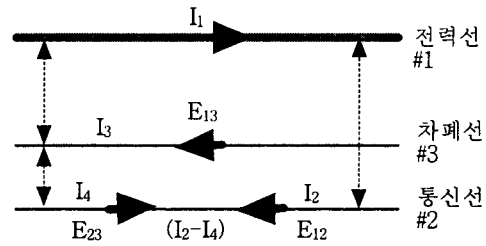


그림 3. 차폐원리

Fig. 3. Principal of Screening

※ Z21(전력선과 통신선간), Z31(전력선과 차폐선간), Z23(차폐선과 통신선간) 상호 임피던스

$$E12 = Z21 \times I1, \quad E13 = Z31 \times I1 = Z33 \times I3,$$

$$\therefore I3 = \frac{Z31 \times I1}{Z33}$$

$$E23 = Z23 \times I3 = Z23 \times \frac{Z31 \times I1}{Z33}$$

$$\begin{aligned} V &= E12 - E23 = Z21 \times I1 - Z23 \times \frac{Z31}{Z33} \times I1 \\ &= Z21 \times I1 \times \left(1 - \frac{Z23 \times Z31}{Z21 \times Z33}\right) \end{aligned}$$

3.3 차폐계수

차폐체가 있을 때의 유도전압과 차폐체가 없을 때의 유도전압의 비를 차폐계수라 하며 차폐계수(Screening Factor) K는

$$K = \frac{\text{차폐선이있을때유도전압}[V]}{\text{차폐선이없을때유도전압}[E12]}$$

$$= 1 - \frac{Z_{31}}{Z_{33}} = 1 - \frac{Z_m}{Z_s}$$

※ Z_s : 차폐선(가공지선, 중성선, 통신매설지선 등)의 자기 임피던스

Z_m : 차폐선과 전력선간 상호 임피던스

차폐원리에서 알 수 있듯이 전자유도는 정전유도와 달리 금속차폐층이 있는 케이블을 사용하여도 완전히 차폐할 수 없다.

3.3.1 전기통신선의 차폐계수

전기통신선의 차폐계수는 다음표와 같다. 다만, 전력유도를 방지할 목적으로 사용하는 차폐케이블의 경우 고유한 차폐계수를 적용한다.

표 1. 전기통신선의 차폐계수

Table 1. Screening Factor of Lines

선종별	차폐계수	
	기본파(K_3) 60Hz	잡음(K_{3n}) 800Hz
1. 차폐층이 없는 것	1.0	1.0
2. 차폐층이 있는 LAP형 케이블	1.0	0.6
3. 차폐층이 있는 LAP 형 이외의 케이블	0.95	0.15

3.3.2 가공송전선의 적용계수

○ 가공지선의 차폐계수(K_{11})

$$K_{11} = 1 - \frac{Z_m}{Z_s}$$

Z_m : 가공지선의 대지귀로 상호임피던스(Ω/km)

Z_s : 가공지선의 대지귀로 자기임피던스(Ω/km)

○ 가공지선의 분류계수(K_{12})

$$K_{12} = 1 - \frac{I_{g1} \cdot I_{g2}}{I_{g1}} \cdot \frac{1}{r(l_2 - l_1)} \cdot \frac{\sinh \gamma \cdot l_2 - \sinh \gamma \cdot l_1}{\cosh \gamma \cdot l + \sinh \gamma \cdot l}$$

I_{g1} : 지락고장점에서 가까운 발·변전소로부터 고장전류(A)

I_{g2} : 지락고장점에서 먼 발·변전소로부터 고장전

류(A)

r : 가공지선의 대지귀로 전파정수 ($\sqrt{Z_s \cdot G}$)
($\text{Nep}/\text{km} + j\text{rad}/\text{km}$)

Z_s : 가공지선의 대지귀로 자기임피던스(Ω/km)

G : 가공지선의 대지콘덕턴스(S/km)

l : 지락고장지점에서 가까운 발·변전소까지의 거리(km)

l_1 : 가까운 발·변전소로부터 전기통신시설의 가까운 곳까지의 거리(km)

l_2 : 가까운 발·변전소로부터 전기통신시설의 먼 곳까지의 거리(km)

변전소 가까운 곳에서 고장이 나면 고장전류가 대지로 누설되지 않고 대부분 가공지선과 중성선으로 흐르기 때문에 유도장해는 적게 나타나지만 먼곳에서 고장이 나면 대부분의 전류가 대지로 흘러 기유도전류가 되므로 인접 통신선에 심한 유도장해를 주게 된다.

4. 결론

전기공작물의 높은 전압은 인근의 도체계에 정전유도현상을 일으키고, 전력선에 흐르는 전류의 자속에 의해 인근 유선통신선에 전자유도전압이 유기된다. 이때 유도되는 전압을 산출하기 위한 유도예측계산식에 각종 저감계수를 적용하는데 본 연구에서는 전기통신선의 차폐계수 및 가공송전선의 차폐계수를 검토하였다. 케이블의 차폐는 케이블 접합점에서 매우 낮은 저항으로 연장하는 것이 중요하므로 향후 유도대책을 강구하는데 활용하기 위해서는 케이블의 차폐계수와 설비운영측면의 다양한 요인을 반영해야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

[1] CCITT manual Directives concerning the protection of telecommunication lines against harmful effects from electricity lines, Vol. ix K14, ITU, Geneva, 1988

[2] CCITT manual The protection of telecommunication lines and equipment against lightning discharges, Chapter 4, 2.1 ITU, Geneva, 1974, 1978

[3] 전기통신협회 동해지부, 유도, 하권 p61~99, 일본, 1925