

발·송·배전기술사 실력배양 문제

이귀일 | 유석산업(주) 대표이사 e-mail : lki@unitel.co.kr

[과년도 문제1] 분포정수 회로에서 송전전압과 수전전압을 각각 한 쌍의 단자로 볼 때, 4차 정수를 구하여라. 단 기본식은 다음과 같다.

$V = A_1 \cosh \gamma x + \sinh \gamma x [V]$, $I = -\frac{1}{Z_0} (A_1 \sinh \gamma x + A_2 \cosh \gamma x) [A]$ 이며, 송전단 전압, 전류는 V_s, I_s 이고, 선로길이는 l 이다.

<Approach : 사전 공부로써, 장거리 송전선로의 4단자정수를 먼저 공부한다.>

[풀이] 장거리 송전선로의 거리 x 점에서의 미소증가분 dx 에 대한 임피던스와 어드미턴스 증가분의 기본식은,

$$\left. \begin{array}{l} Z = r + j\omega l \\ Y = g + j\omega c \end{array} \right) \text{가 된다.}$$

여기서, 특성 임피던스 Z_0 는 $Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$ 이고, 전파정수 γ 는 $\gamma = \sqrt{ZY}$ 가 된다.

미소부분 dx 에서의 전위 상승분 dV 와 전류 증가분 dI 는,

$$\left. \begin{array}{l} dV = -IZ dx \\ dI = -YV dx \end{array} \right) \text{①}$$

여기서, -부호는 감소방향을 나타낸다. ①식을 정리하면,

$$\left. \begin{array}{l} I = -\frac{1}{Z} \times \frac{dV}{dx} \\ V = -\frac{1}{Y} \times \frac{dI}{dx} \end{array} \right) \text{②}$$

②식에 주어진 식을 대입하면,

$$\begin{aligned} V &= -\frac{1}{Y} \frac{dI}{dx} = -\frac{1}{Y} \frac{d}{dx} \left(-\frac{1}{Z_0} A_1 \sinh \gamma x + \left(-\frac{A_2}{Z_0} \right) \cosh \gamma x \right) \\ &= \frac{\gamma}{YZ_0} (A_1 \cosh \gamma x + A_2 \sinh \gamma x) = A_1 \cosh \gamma x + A_2 \sinh \gamma x \end{aligned} \text{③}$$

$$\text{여기서, } \frac{\gamma}{YZ_0} = \frac{\sqrt{ZY}}{Y\sqrt{\frac{Z}{Y}}} = \sqrt{\frac{ZY^2}{Y^2Z}} = 1 \text{ 이 된다}$$

$$\begin{aligned} I &= -\frac{1}{Z} \frac{dV}{dx} = -\frac{1}{Z} \frac{d}{dx} (A_1 \cosh \gamma x + A_2 \sinh \gamma x) = -\frac{\gamma}{Z} (A_1 \sinh \gamma x + A_2 \cosh \gamma x) \\ &= -\frac{1}{Z\gamma Z_0} (A_1 \sinh \gamma x + A_2 \cosh \gamma x) \end{aligned} \text{④}$$

$$\text{여기서, } \frac{\gamma}{Z\gamma Z_0} = \frac{\sqrt{ZY}}{Z\sqrt{\frac{Z}{Y}}} = \sqrt{\frac{Y}{Z^2}} = \frac{1}{Z} \text{ 이 된다.}$$

③, ④식에서 $x=0$ 일 때, 송전단 전압 V_s , 전류 I_s 이므로,

$$\left. \begin{aligned} V_s &= A_1 \cosh 0 + A_2 \sinh 0 = A_1 \\ I_s &= -\frac{1}{Z_0} (A_1 \sinh 0 + A_2 \cosh 0) = -\frac{A_2}{Z_0} \end{aligned} \right) \text{————— ⑤}$$

또한, 송전단에서 $x=l$ 인 곳의 전압, 전류가 수신단 V_R, I_R 이므로, ③, ④식에서,

$$\left. \begin{aligned} V_R &= A_1 \cosh rl + A_2 \sinh rl \\ I_R &= -\frac{1}{Z_0} (A_1 \sinh rl + A_2 \cosh rl) \end{aligned} \right) \text{————— ⑥}$$

⑤식을 ⑥식에 대입하여 정리하면,

$$\begin{aligned} V_R &= V_s \cosh rl + (-I_s Z_0) \sinh rl = \cosh rl V_s - Z_0 \sinh rl I_s \\ I_R &= -\frac{1}{Z_0} \{ V_s \sinh rl + (-I_s Z_0) \cosh rl \} = -\frac{1}{Z_0} \sinh rl V_s + \left(\frac{1}{Z_0} I_s Z_0 \right) \cosh rl \\ &= -\frac{1}{Z_0} \sinh rl V_s + \cosh rl I_s \end{aligned}$$

$$\therefore \left. \begin{aligned} V_R &= \cosh rl V_s - Z_0 \sinh rl I_s \\ I_R &= -\frac{1}{Z_0} \sinh rl V_s + \cosh rl I_s \end{aligned} \right) \text{————— ⑦}$$

⑦식을 행렬식으로 표시하면,

$$\begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh rl & -Z_0 \sinh rl \\ -\frac{1}{Z_0} \sinh rl & \cosh rl \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} \text{가 된다.}$$

따라서, V_s, I_s 에 관하여 역행렬을 풀면,

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & -B' \\ -C' & D' \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh rl & -Z_0 \sinh rl \\ -\frac{1}{Z_0} \sinh rl & \cosh rl \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

∴ 따라서, 4단자 정수 A, B, C, D 항에 대응 하는 정수는,

$$\left. \begin{aligned} A &= D = \cosh rl \\ B &= Z_0 \sinh rl \\ C &= \frac{1}{Z_0} \sinh rl \end{aligned} \right) \text{이 된다.}$$

< 전기 수학공부 >

$$\sinh x \text{ 미분 : } \frac{d}{dx} (\sinh x) = x' \times \cosh x \quad (\text{싸미코: 싸인을 미분하면 코사인})$$

cosh z 미분 : $\frac{d}{dx}(\cosh x) = -x' \times \cosh x$ (코미마싸: 코싸인을 미분 하면 마이너스싸인)

sinh 미분 : $\frac{d}{dx}(\sinh x) = x' \times \cosh x$ (싸미코)

cos x 미분 : $\frac{d}{dx}(\cosh x) = -x' \times \cosh x$ (코미마싸)

< GAUSS-JORDAN 소거법에 의한 역행렬식 >

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \text{의 역행렬은 } A^{-1} = \frac{1}{\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}} \begin{bmatrix} a_{22} & -a_{12} \\ -a_{21} & a_{11} \end{bmatrix} = \frac{1}{a_{11} \times a_{22} - a_{12} \times a_{21}} \begin{bmatrix} a_{22} & -a_{12} \\ -a_{21} & a_{11} \end{bmatrix}$$

예)

$$A = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 2 & 4 \end{bmatrix} \text{의 역행렬 } A^{-1} = \frac{1}{3 \times 4 - 1 \times 2} \begin{bmatrix} 4 & -1 \\ -2 & 3 \end{bmatrix} = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 4 & -1 \\ -2 & 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4 & -0.1 \\ -0.2 & 0.3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{즉, } A = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \text{의 역행렬 } A^{-1} &= \frac{1}{A'D' - B'C'} \begin{bmatrix} D' & -B' \\ -C' & A' \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{1} \begin{bmatrix} D' & -B' \\ -C' & A' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D' & -B' \\ -C' & A' \end{bmatrix} \text{가 된다.} \end{aligned}$$

[과년도 문제2] 전압 안정도 (Voltage Stability)에 대하여 설명하시오.

< Brief Description >

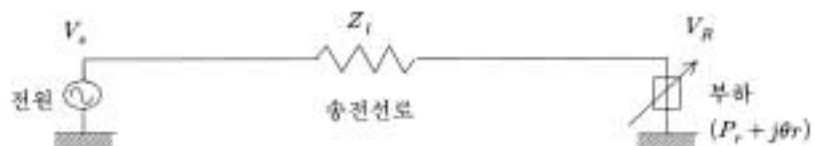
1. 전압 안정도의 개요

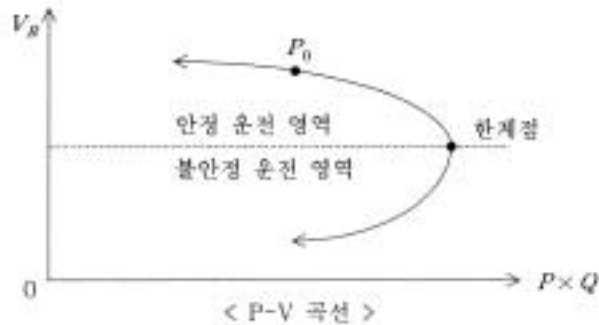
여름철 냉방부하의 공급 등 PEAK부하시에 부하는 급격히 증가하나 전력공급측이 장거리 송전선로, 불충분한 무효전력 공급등 전력공급이 신속, 원활하지 못하여 계통전압에 불안정한 현상이 발생한다. 계통전압 불안정이 크면 계통붕괴가 발생할 수도 있으므로 전압안정도를 정하여 적당 조상설비를 투입하여 조절한다.

2. 전압 불안정 현상

① 부하가 급증하면 발전기도 전력을 증가시키나, 송전선로의 한계용량 때문에 전력이 충분히 공급되지 못하므로 전압은 계속 저하하여 어떤점에서 계통붕괴에 이른다.

② 또한, 부하급증시에 무효전력 공급을 위한 조상설비의 응답속도가 늦어서 적절한 무효전력 공급이 지연되어 계통전압이 더욱 불안정하게 된다.





- ③ 계통운전이 P-V곡선의 한계점에서 정상운전 영역에 있을 때, 부하증가에 따라 무효전력이 공급되면, 전압은 상승되고, 전력도 증가 되어 안정운전 영역에 존재하게 된다.
- ④ 계통운전이 P-V곡선의 한계점에서 불안정운전영역에 있을 때, 부하증가에 따라 무효전력이 공급되면 전압을 오히려 더 떨어지는 불안정운전영역으로 심화하게 된다.
- ⑤ 즉, 불안정 영역에서는 무효전력을 공급해도 계통전압이 더 떨어지고 심하면 계통붕괴에 이른다.
- ⑥ 그러나 계통조정영역 한계 내에서 무효전력이 공급되면 전압이 상승되어 계통안정도가 향상된다.

3. 전압안정도의 향상대책

- ① 무효전력원의 신속한 공급이 가능한 SVC, FACTS 등을 사용한다.
- ② PEAK 부하를 상정하여 주어진 운전영역 내에서 P-V곡선의 한계점에 여유를 주어서 운전한다.
- ③ 계통을 연계하여 무효전력 공급이 원활하게 한다.
- ④ 송전선로의 한계용량에서 Margin을 주어서 평소의 운전 한계량을 설정하여 운전한다.
- ⑤ 송전선로의 한계용량에 맞는 계통전압을 승압한다. (345kV , 765kV 등)