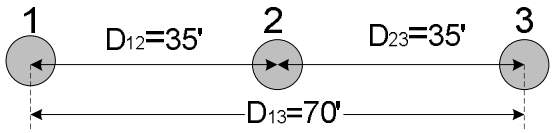
1. สายไฟฟ้า 3 เฟสของระบบแรงดัน 230 kV ความยาว 50 km แต่ละเฟสประกอบด้วยสาย ACSR ขนาด 1,272,000 cmil, 45/7 Bittern ซึ่งจัดเรียงในแนวระนาบดังภาพที่ 1. สายไฟฟ้าแต่ละเส้นมีเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ 1.345 นิ้วและมีค่า *GMR* 0.5328 นิ้ว จงหาค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุ และค่ารีแอคแตนซ์ทางไฟฟ้าต่อระยะทางกิโลเมตรของสายแต่ละเฟส



ภาพที่ 1.

<u>วิธีทำ</u>

$$r = \frac{1.345}{2 \times 12} = 0.056 \text{ ft. } ; \;\; GMR_L = \frac{0.5328}{12} = 0.0444 \text{ ft.}$$

$$GMD = \sqrt[3]{35 \times 35 \times 70} = 44.092 \text{ ft.}$$

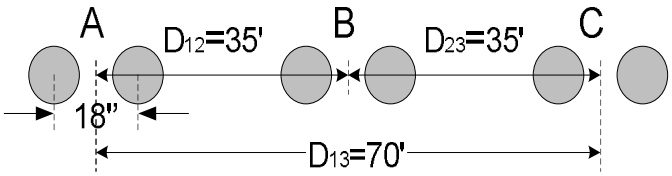
$$\therefore Inductance, L = 0.2\ln\frac{\text{GMD}}{\text{GMR}_\text{L}} = 0.2\ln\frac{44.092}{0.0444} = \mathbf{1.38\ mH/Km}.$$

$$Capacitance, C = \frac{0.0556}{\ln\frac{\text{GMD}}{\text{r}}} = \frac{0.0556}{\ln\frac{44.092}{0.056}} = \mathbf{0.0083\ \mu F/Km}.$$

$$Inductive\ reactance, X_L = 2\pi\text{fL} = 2\pi \times 50 \times 1.38 \times 10^{-3} = \mathbf{0.4335\ \Omega/Km}.$$

$$Capacitive\ Reactance, X_C = \frac{1}{2\pi\text{fC}} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 0.0083 \times 10^{-6}} = \mathbf{0.3835\ M\Omega/Km}.$$

2. จากตัวอย่างที่ 1.สายไฟฟ้าในข้อที่ 1. ถูกเปลี่ยนเป็นสายควบคู่ขนาน ACSR ขนาด 636,000 cmil, 54/7 Rook จำนวน 2 สาย ความยาว 50 km. ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดของอลูมิเนียมรวมเท่ากับสายตัวนำ Bittern ที่ใช้ในข้อที่ 1. ระยะห่างของสายไฟฟ้าแต่ละเฟสวัดจากจุดกึ่งกลางของสายคู่ขนานมีค่าเดิมดังแสดงในภาพที่ 2. เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำเท่ากับ 0.977 นิ้ว และมีค่า Ds 0.3924 นิ้ว ระยะห่างระหว่างสายคู่ขนานเท่ากับ 18 นิ้ว จงหาค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุและค่า รีแอคแตนซ์ ทางไฟฟ้าต่อระยะทางกิโลเมตรของสายแต่ละเฟสและเปรียบเทียบค่าที่ได้กับข้อที่ 1.



ภาพที่ 2.

<u>วิธีทำ</u>

$r = \frac{0.977''}{2 \times 24} = 0.0407$ ft. ; $d = \frac{18''}{12} = 1.5$ ft. ; $GMD = 44.097$ ft. ; $D_s = \frac{0.3924''}{12} = 0.0327$ ft.

$GMR_L = \sqrt{d \times D_s} = \sqrt{1.5 \times 0.0327} = 0.22147$ ft.

$GMR_C = \sqrt{1.5 \times 0.0407} = 0.2471$ ft.

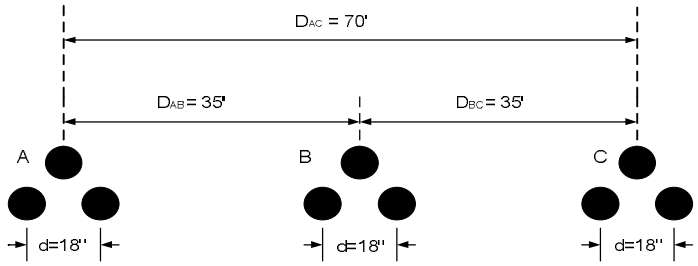
$\therefore Inductance, L = 0.2\ln\frac{\text{GMD}}{\text{GMR}_\text{L}} = 0.2\ln\frac{44.097}{0.22147} = \mathbf{1.0588\ mH/Km}$.

$Capacitance, C = \frac{0.0556}{\ln\frac{\text{GMD}}{\text{GMR}_\text{C}}} = \frac{0.0556}{\ln\frac{44.097}{0.2471}} = \mathbf{0.0107\ \ \mu F/Km}$.

$Inductive\ reactance, X_L = 2\pi\text{fL} = 2\pi \times 50 \times 1.0588 \times 10^{-3} = 0.3326\ \Omega/\text{Km}$.

$Capacitive\ Reactance, X_C = \frac{1}{2\pi\text{fC}} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 0.0107 \times 10^{-6}} = 0.2975\ \text{M}\Omega/\text{Km}$.

3. สายไฟฟ้าควบคู่ขนาน ACSR ขนาด 636,000 cmil , 54/7 Rook 50 Hz จำนวน 3 สายความยาว 120 km. ระยะห่างของสายไฟฟ้าแต่ละเฟสวัดจากจุดกึ่งกลางของสายคู่ขนานมีค่าแสดงในรูป เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำเท่ากับ (*r*)= 0.977 นิ้วและมีค่า *Ds* = 0.0327 ฟุต ระยะห่างระหว่างสายคู่ขนานเท่ากับ 18 นิ้ว จงหาค่าความเหนี่ยวนำ ค่าความจุทางไฟฟ้า และค่ารีแอคแตนซ์ ต่อระยะทางกิโลเมตรของสายแต่ละเฟส



ภาพที่ 3.

<u>วิธีทำ</u>

$$r = \frac{0..977}{12 \times 2} = 0.0407\ ft \quad , \quad d = \frac{18''}{12} = 1.5\ \text{ft}$$

$$GMD = \sqrt[3]{D_{AB} \times D_{BC} \times D_{AC}} = \sqrt[3]{35 \times 35 \times 70} = 44.097\ \text{ft}$$

$$GMR_L = \sqrt[3]{\mathrm{D_s} \times \mathrm{d^2}} = \sqrt[3]{0.0372 \times 1.5^2} = 0.4190\ \text{ft}$$

$$GMR_C = \sqrt[3]{\mathrm{rd^2}} = \sqrt[3]{0.0407 \times 1.5^2} = 0.4507\ \text{ft}$$

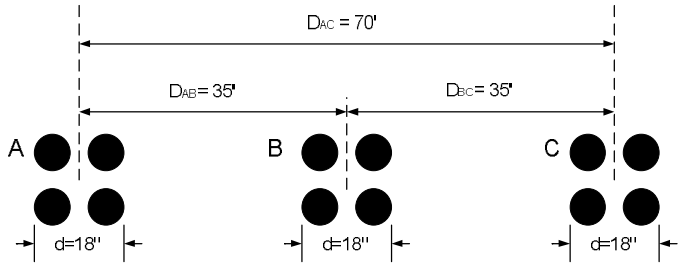
$$\therefore L = 0.2\ln\frac{\mathrm{GMD}}{\mathrm{GMR_L}} = 0.2\ln\frac{44.097}{0.4190} = \quad \mathbf{0.9312\ mH/Km}.$$

$$C = \frac{0.0556}{ln\frac{GMD}{GMR_C}} = \frac{0.0556}{ln\frac{44.097}{0.4507}} \quad = \quad \mathbf{0.0121\ \mu F/Km}.$$

$$Inductive\ Reactanxce, X_L = 2\pi\mathrm{fL} = 2\pi \times 50 \times 0.9226 \times 10^{-3} = \mathbf{0.2926\ \Omega/Km}.$$

$$Capacitive\ Reactance, X_C = \frac{1}{2\pi\mathrm{fC}} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 0.0121 \times 10^{-6}} = \mathbf{0.2624\ M\Omega/Km}.$$

4. สายไฟฟ้าควบคู่ขนาน ACSR ขนาด 636,000 cmil , 26/7 Grosbeak 50 Hz จำนวน 4 สาย ความยาวของสายส่ง 200 km. ระยะห่างของสายไฟฟ้าแต่ละเฟสวัดจากจุดกึ่งกลางของสายคู่ขนานมีค่าแสดงในรูป เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำเท่ากับ (r) = 0.990 นิ้ว และมีค่า Ds = 0.0335 ฟุต ระยะห่างระหว่างสายคู่ขนานเท่ากับ 18 นิ้ว จงหาค่าความเหนี่ยวนำ ค่าความจุทางไฟฟ้า และค่ารีแอคแตนซ์ (X) ต่อระยะทางกิโลเมตรของสายแต่ละเฟส



ภาพที่ 4.

<u>วิธีทำ</u>

$$\mathrm{r} = \frac{0.990''}{12 \times 2} = 0.04125 \text{ ft} \qquad , \qquad \mathrm{d} = \frac{18''}{12} = 1.5 \text{ ft}$$

$$GMD = \sqrt[3]{D_{AB} \times D_{BC} \times D_{AC}} = \sqrt[3]{35 \times 35 \times 70} = 44.097 \text{ ft}$$

$$GMR_L = 1.09\sqrt[4]{D_S \times d^3} = 1.09\sqrt[4]{0.0335 \times 1.5^3} = 0.6318 \text{ ft}$$

$$GMR_C = 1.09\sqrt[4]{rd^3} = 1.09\sqrt[4]{0.04125 \times 1.5^3} = 0.6657 \text{ ft}$$

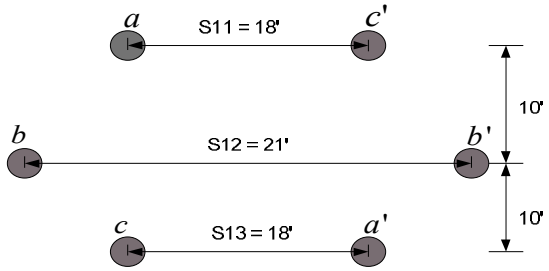
$$\therefore \; L = 0.2\ln\frac{\mathrm{GMD}}{\mathrm{GMR_L}} = 0.2\ln\frac{44.097}{0.6320} = \mathbf{0.8490\ mH/Km}$$

$$C = \frac{0.0556}{\ln\frac{\mathrm{GMD}}{\mathrm{GMR_C}}} = \frac{0.0556}{\ln\frac{44.097}{0.6658}} = \mathbf{0.0133\ \mu F/Km}$$

$$Inductive\ Reactance, X_L = 2\pi\mathrm{fL} = 2\pi \times 50 \times 0.8490 \times 10^{-3} = \mathbf{0.2667\ \Omega/Km}.$$

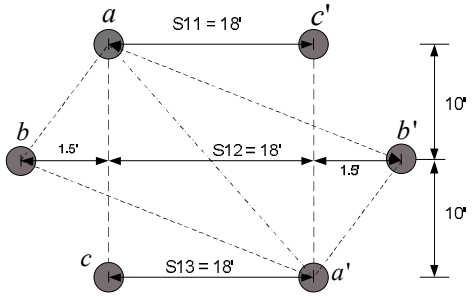
$$Capacitive\ Reactance, X_C = \frac{1}{2\pi\mathrm{fC}} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 0.0132 \times 10^{-6}} = \mathbf{0.2401\ M\Omega/Km}.$$

5. A 345-KV, 50 Hz 120 Km double circuit three-phase transposed line is composed of **one ACSR, 3,000,000-cmill 29/7 Ostrich.** Conductor per phase with vertical conductor configuration as show in Figure 1.1. The conductor have a diameter of 0.680 in and *GMR* or *Ds* of 0.0229 ft. **Find** the inductance,(*L*) capacitance,(*C*) inductive reactance,(*XL*) and capacitive reactance,(XC) per phase per kilometer of the line.



ภาพที่ 5.

วิธีทำ



$$D_{AB} = \sqrt[4]{D_{ab}D_{ab'}D_{a'b}D_{a'b'}} = \sqrt[4]{10.1 \times 21.9 \times 21.9 \times 10.1} = 14.8724 \text{ ft.}$$

$$D_{BC} = \sqrt[4]{D_{bc}D_{bc'}D_{b'c}D_{b'c'}} = \sqrt[4]{10.1 \times 21.9 \times 10.1 \times 21.9} = 14.8724 \text{ ft.}$$

$$D_{AC} = \sqrt[4]{D_{ac}D_{ac'}D_{a'c}D_{a'c'}} = \sqrt[4]{20 \times 18 \times 18 \times 20} = 18.9736 \text{ ft.}$$

$$\therefore GMD = \sqrt[3]{D_{AB}D_{BC}D_{AC}} = \sqrt[3]{14.8724 \times 14.8724 \times 18.9736} = 16.1302 \text{ ft.}$$

$$D_{SA} = \sqrt{D_S D_{aa'}} = \sqrt{0.0229 \times 26.9072} = 0.7844 \text{ ft.}$$

$$D_{SB} = \sqrt{D_S D_{bb'}} = \sqrt{0.0229 \times 21} = 0.6929 \text{ ft.}$$

$$D_{SC} = \sqrt{D_S D_{cc'}} = \sqrt{0.0229 \times 26.9072} = 0.7844 \text{ ft.}$$

$$\therefore GMR_L = \sqrt[3]{D_{SA}D_{SB}D_{SC}} = \sqrt[3]{0.7844 \times 0.6929 \times 0.7844} = 0.7526 \text{ ft.}$$

$$r = \frac{0.680 \text{ in}}{12 \times 2} = 0.0283 \text{ ft.}$$

$r_a = \sqrt{rD_{aa'}} = \sqrt{0.0283 \times 26.9027} = 0.8733$ ft.

$r_b = \sqrt{rD_{bb'}} = \sqrt{0.0283 \times 21} = 0.7716$ ft.

$r_c = \sqrt{rD_{cc'}} = \sqrt{0.0283 \times 26.9027} = 0.8733$ ft.

$\therefore GMR_C = \sqrt[3]{r_a r_b r_c} = \sqrt[3]{0.8733 \times 0.8733 \times 0.7716} = 0.8379$ ft.

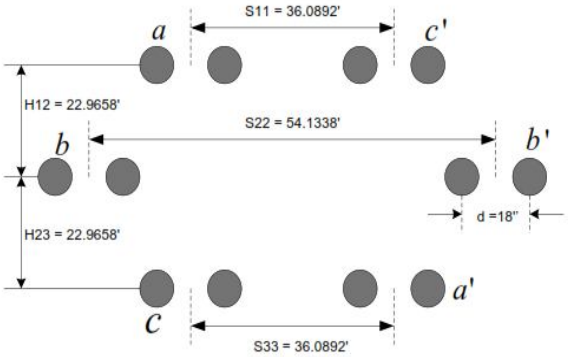
$$\therefore Inductance, (L) = 0.2\ln\frac{\text{GMD}}{\text{GMR}_\text{L}} = 0.2\ln\left(\frac{16.1301}{0.7541}\right) = \mathbf{0.6124\ mF/Km}.$$

$$Capacitance, (C) = \frac{0.0556}{\ln\frac{GMD}{GMR_C}} = \frac{0.0556}{\ln\frac{16.1301}{0.8372}} = \mathbf{0.0188\ \mu F/Km}.$$

$Inductive\ reactance, (X_L) = 2\pi\text{fL} = 2\pi \times 50 \times 0.6125 \times 10^{-3} = \mathbf{0.1924\ \Omega/Km}$.

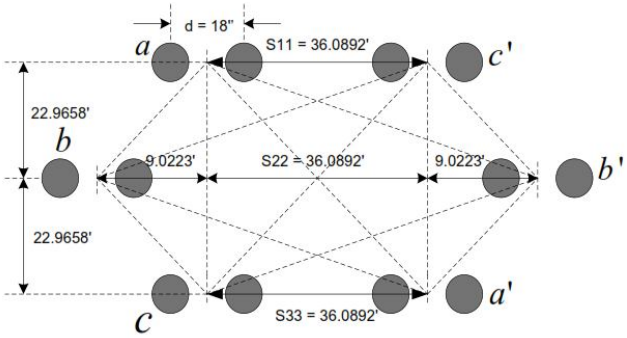
$Capacitive\ reactance, (X_C) = \frac{1}{2\pi\text{fC}} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 0.0188 \times 10^{-6}} = \mathbf{0.1691\ M\Omega/Km}$.

6. A 345-KV, 50 Hz 75 Km double-circuit thee phase transposed line is composed of **two ACSR, 1,431,000-cmill, 45/7 Bobolink**. Conductor per phase with vertical conductor configuration as show in Figure 6 The conductor has a diameter of 1.427 in and the GMR or *Ds* of 0.0470 ft. The double spacing in 18 in. Calculate the inductance, (*L*) capacitance, (*C*) inductive reactance, (*XL*) and capacitive reactance, (*XC*) per phase per kilometer of the line.



ภาพที่ 6.

วิธีทำ



ภาพที่ 6.

$$D_{AB} = \sqrt[4]{D_{ab}D_{ab'}D_{a'b}D_{a'b'}} = \sqrt[4]{24.6744 \times 50.6208 \times 50.6208 \times 24.6744} = 35.3417 \text{ ft.}$$

$$D_{BC} = \sqrt[4]{D_{bc}D_{bc'}D_{b'c}D_{b'c'}} = \sqrt[4]{24.6744 \times 50.6208 \times 24.6744 \times 50.6208} = 35.3417 \text{ ft.}$$

$$D_{AC} = \sqrt[4]{D_{ac}D_{ac'}D_{a'c}D_{a'c'}} = \sqrt[4]{45.9316 \times 36.0892 \times 36.0892 \times 45.9316} = 40.7140 \text{ ft.}$$

$$GMD = \sqrt[3]{D_{AB}D_{BC}D_{AC}} = \sqrt[3]{35.3417 \times 35.3417 \times 40.7140} = 37.0487 \text{ ft}$$

$$r = \frac{1.427\text{in}}{12 \times 2} = 0.0594 \text{ ft} \,;\, D_S = 0.0470 \text{ ft} \,;\, d = \frac{18\text{in}}{12} = 1.5 \text{ ft.}$$

$$D_S^b = \sqrt{\mathrm{D_S} \times \mathrm{d}} = \sqrt{0.0470 \times 1.5} = 0.2655 \text{ ft.}$$

$$D_{aa'} = 58.3950\, ft \;;\; D_{bb'} = 54.1338\, ft = D_{cc'} = 58.3950 \text{ ft.}$$

$$D_{SA} = \sqrt{D_S^b D_{aa'}} = \sqrt{0.2655 \times 58.3950} = 3.9375 \text{ ft.}$$

$$D_{SB} = \sqrt{D_S^b D_{bb'}} = \sqrt{0.2655 \times 54.1338} = 3.7911 \text{ ft.}$$

$$D_{SC} = \sqrt{D_S^b D_{cc'}} = \sqrt{0.2655 \times 58.7376} = 3.9375 \text{ ft.}$$

$$\therefore GMR_L = \sqrt[3]{D_{SA} D_{SB} D_{SC}} = \sqrt[3]{3.9375 \times 3.7911 \times 3.9375} = 3.8880 \text{ ft.}$$

$$r^b = \sqrt{rd} = \sqrt{0.0594 \times 1.5} = 0.2985 \text{ ft.}$$

$$r_a = \sqrt{r^b D_{aa'}} = \sqrt{0.2985 \times 58.3950} = 4.1750 \text{ ft.}$$

$$r_b = \sqrt{r^b D_{bb'}} = \sqrt{0.2985 \times 54.1338} = 4.0198 \text{ ft.}$$

$$r_c = \sqrt{r^b D_{cc'}} = \sqrt{0.2985 \times 58.3950} = 4.1750 \text{ ft.}$$

$$\therefore GMR_C = \sqrt[3]{r_a r_b r_c} = \sqrt[3]{4.1750 \times 4.0198 \times 4.1750} = 4.1226 \text{ ft.}$$

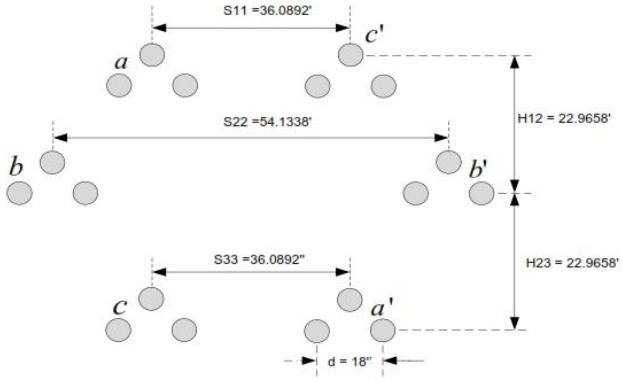
$$\therefore Inductance; (L) = 0.2\ln\left(\frac{\mathrm{GMD}}{\mathrm{GMR_L}}\right) = 0.2\ln\left(\frac{37.0486}{3.8880}\right) = \mathbf{0.4508\ mH/Km}.$$

$$\therefore Capacitance; (C) = \frac{0.0556}{\ln\frac{\mathrm{GMD}}{\mathrm{GMR_C}}} = \frac{0.0556}{\ln\frac{37.0486}{4.1226}} = \mathbf{0.0253\mu F/Km}.$$

$$Inductive\ reactance; (X_L) = 2\pi \mathrm{fL} = 2\pi \times 50 \times 0.4508 \times 10^{-3} = \mathbf{0.1416\ \Omega/Km}.$$

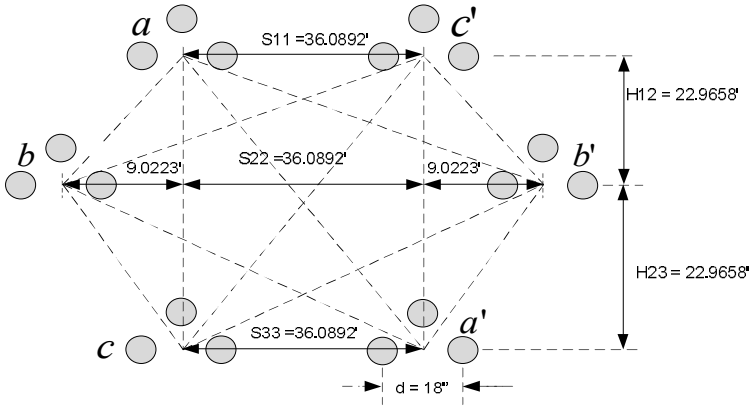
$$Capacitive\ reactance; (X_C) = \frac{1}{2\pi \mathrm{fC}} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 0.0253 \times 10^{-6}} = \mathbf{0.1258\ M\Omega.Km}.$$

7. **From the line in Example 6.** Conductor per phase with vertical conductor configuration as show in Figure 7.



ภาพที่ 7.

<u>วิธีทำ</u>



$GMD = 37.0487$ ft ;

$r = 0.0594$ ft ; $D_s = 0.0470$ ft ; $d = 1.5$ ft ; $D_{aa'} = 58.3950$ ft ; $D_{bb'} = 54.1338$ ft ; $D_{cc'} = 58.3950$ ft.

$$D_S^b = \sqrt[3]{D_S \times d^2} = \sqrt[3]{0.0470 \times 1.5^2} = 0.4729 \text{ ft}$$

$$D_{SA} = \sqrt{D_S^b \times D_{aa'}} = \sqrt{0.4729 \times 58.3950} = 5.2550 \text{ ft.}$$

$$D_{SB} = \sqrt{D_S^b \times D_{bb'}} = \sqrt{0.4729 \times 54.1338} = 5.0596 \text{ ft}$$

$$D_{SC} = \sqrt{D_S^b \times D_{cc'}} = \sqrt{0.4729 \times 58.3950} = 5.2550 \text{ ft}$$

$$GMR_L = \sqrt[3]{D_{SA}D_{SB}D_{SC}} = \sqrt[3]{5.2550 \times 5.0596 \times 5.2550} = 5.1890 \text{ ft.}$$

$$r^b = \sqrt[3]{rd^2} = \sqrt[3]{0.0594 \times 1.5^2} = 0.5113 \text{ ft.}$$

$$r_A = \sqrt{r^b D_{aa'}} = \sqrt{0.5113 \times 58.3950} = 5.4642 \text{ ft.}$$

$$r_B = \sqrt{r^b D_{bb'}} = \sqrt{0.5113 \times 54.1338} = 5.2610 \text{ ft.}$$

$$r_C = \sqrt{r^b D_{cc'}} = \sqrt{0.5113 \times 58.3950} = 5.4642 \text{ ft.}$$

$$GMR_C = \sqrt[3]{r_A r_B r_C} = \sqrt[3]{5.4642 \times 5.2610 \times 5.4642} = 5.3956 \text{ ft.}$$

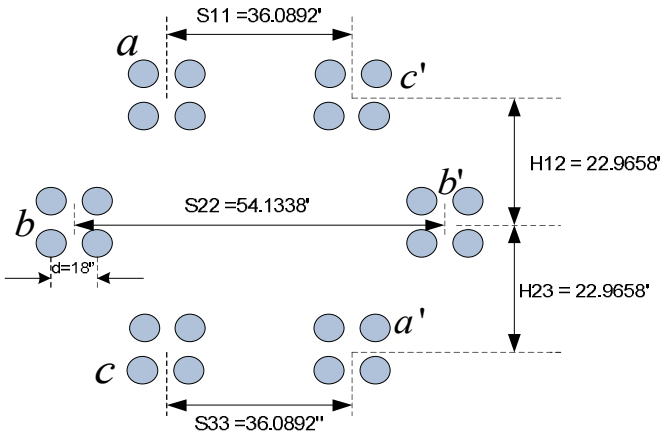
$$\therefore Inductance, (L) = 0.2\ln\frac{\text{GMD}}{\text{GMR}_\text{L}} = 0.2\ln\frac{37.0487}{5.1890} = \mathbf{0.3931\ mH/Km}.$$

$$Capacitance, (C) = \frac{0.0556}{\ln\frac{\text{GMD}}{\text{GMR}_\text{C}}} = \frac{0.0556}{\ln\frac{37.0487}{5.3956}} = \mathbf{0.0289\ \mu F/Km}.$$

$$Capacitive\ reactance, (X_L) = 2\pi\text{fL} = 2\pi \times 50 \times 0.3931 \times 10^{-3} = \mathbf{0.1235\ \Omega/Km}.$$

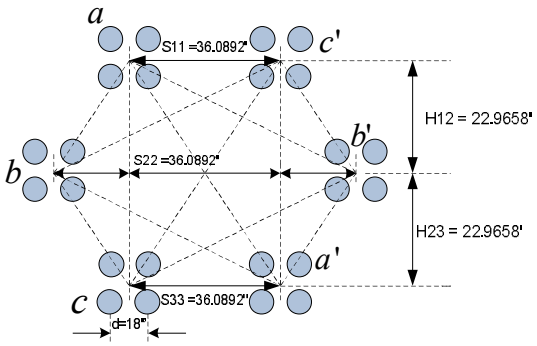
$$Inductive\ reactance, (X_C) = \frac{1}{2\pi\text{fC}} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 0.0289 \times 10^{-6}} = \mathbf{0.1101\ M\Omega/Km}.$$

8. **From the line in Example 6.** Conductor per phase with vertical conductor configuration as show in Figure 8.



ภาพที่ 8.

<u>วิธีทำ</u>



$GMD = 37.0487$ ft ;
$r = 0.0594$ ft ; $D_s = 0.0470$ ft ; $d = 1.5$ ft ; $D_{aa'} = 58.3950$ ft ; $D_{bb'} = 54.1338$ ft ; $D_{cc'} = 58.3950$ ft.

$$D_S^b = 1.09\sqrt[4]{D_S \times d^2} = 1.09\sqrt[4]{0.0470 \times 1.5^3} = 0.6878 \text{ ft.}$$

$$D_{SA} = \sqrt{D_S^b \times D_{aa'}} = \sqrt{0.6878 \times 58.3950} = 6.3375 \text{ ft.}$$

$$D_{SB} = \sqrt{D_S^b \times D_{bb'}} = \sqrt{0.6878 \times 54.1338} = 6.1019 \text{ ft.}$$

$$D_{SC} = \sqrt{D_S^b \times D_{cc'}} = \sqrt{0.6878 \times 58.3950} = 6.3375 \text{ ft.}$$

$$GMR_L = \sqrt[3]{D_{SA}D_{SB}D_{SC}} = \sqrt[3]{6.3375 \times 6.1019 \times 6.3375} = 6.2580 \text{ ft.}$$

$$r^b = 1.09\sqrt[4]{rd^3} = 1.09\sqrt[4]{0.0594 \times 1.5^3} = 0.7294 \text{ ft.}$$

$$r_A = \sqrt{r^b D_{aa'}} = \sqrt{0.7294 \times 58.3950} = 6.5263 \text{ ft.}$$

$$r_B = \sqrt{r^b D_{bb'}} = \sqrt{0.7294 \times 54.1338} = 6.2837 \text{ ft.}$$

$$r_C = \sqrt{r^b D_{aa'}} = \sqrt{0.7294 \times 58.3950} = 6.5263 \text{ ft.}$$

$$GMR_C = \sqrt[3]{r_A r_B r_C} = \sqrt[3]{6.5263 \times 6.2873 \times 6.5263} = 6.4456 \text{ ft.}$$

$$\therefore Inductance, (L) = 0.2\ln\frac{\text{GMD}}{\text{GMR}_\text{L}} = 0.2\ln\frac{37.0487}{6.2580} = \mathbf{0.3557\ mH/Km}.$$

$$Capacitance, (C) = \frac{0.0556}{\ln\frac{\text{GMD}}{\text{GMR}_\text{C}}} = \frac{0..0556}{\ln\frac{37.0487}{6.4456}} = \mathbf{0.0318\ \mu F/Km}$$

$$Inductive\ reactance, (X_L) = 2\mu\text{fL} = 2\pi \times 50 \times 0.3557 \times 10^{-3} = \mathbf{0.1117\ \Omega/Km}.$$

$$Capacitive\ reactance, (X_C) = \frac{1}{2\pi\text{fC}} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 0.0318 \times 10^{-6}} = \mathbf{0.1001\ M\Omega/Km}.$$