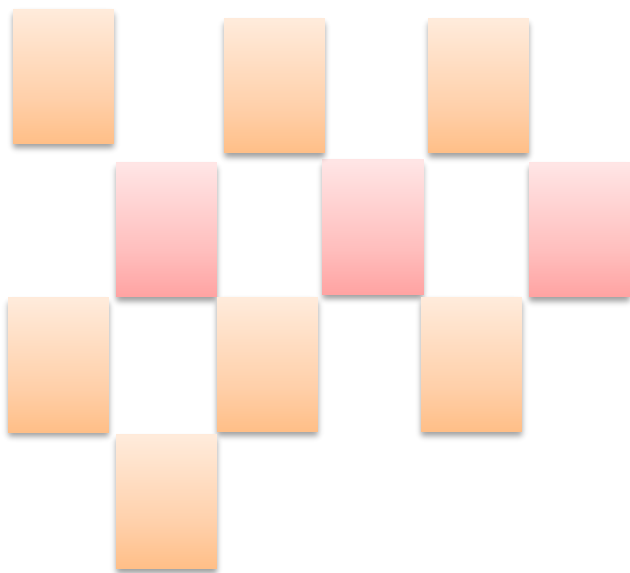




دانشگاه فنی حرفه ای انقلاب اسلامی
دانشکده مهندسی برق

آموزش مجازی درس
بررسی سیستم قدرت ۱

جلسه هفتم

بررسی مدار معادل خطوط توزیع و انتقال
(محاسبه ظرفیت خازنی خطوط انتقال)

ارائه دهنده: دکتر علیرضا ناطقی

شدت میدان الکتریکی اطراف یک هادی باردار با بار یکنواخت q

شدت میدان الکتریکی اطراف یک هادی با شعاع r و بار q کولن بر متر با انتخاب سطح استوانه ایی فرضی که هادی در وسط آن قرار دارد و اعمال قانون گوس، به صورت زیر بدست می آید:

$$E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 x}$$

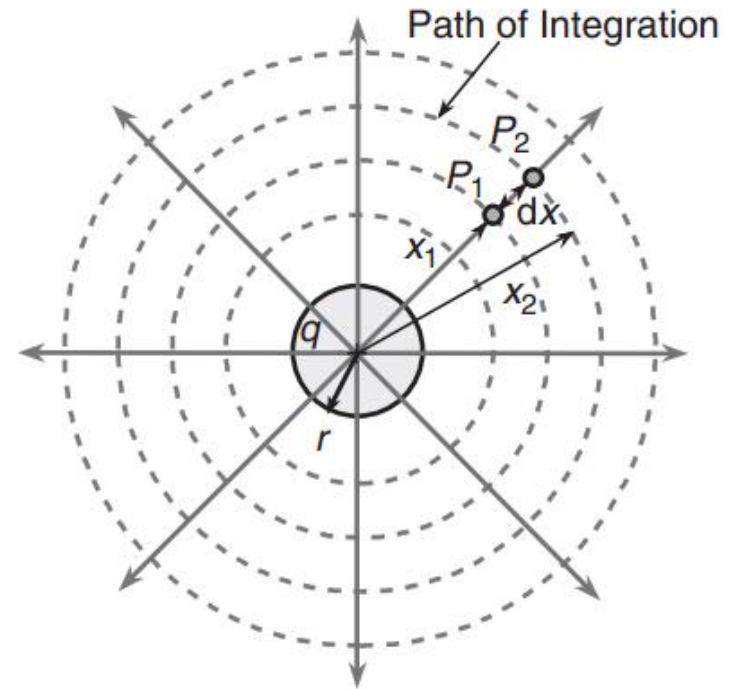
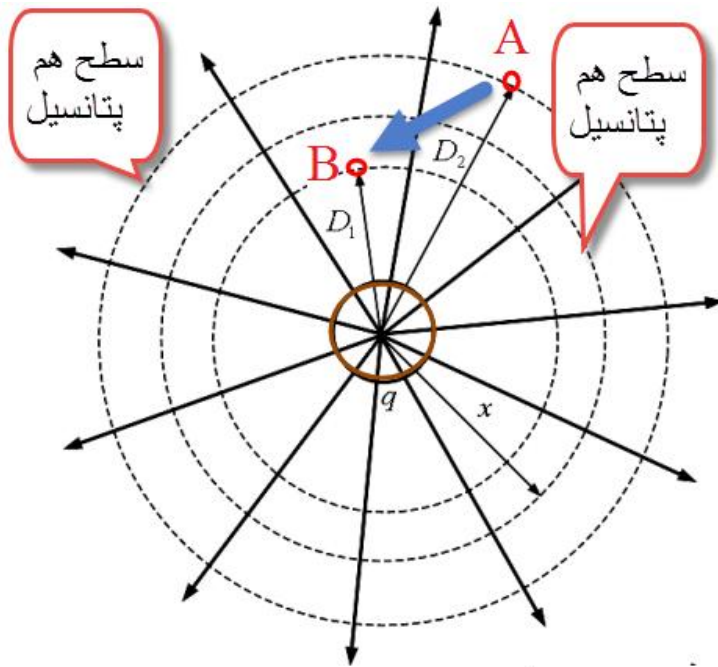
$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

ضریب نفوذ پذیری

الکتریکی هوای آزاد:

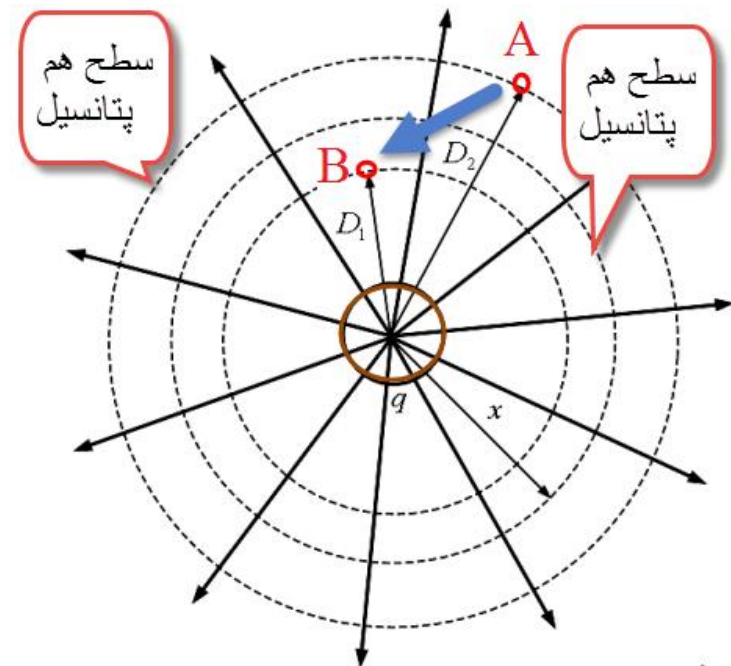
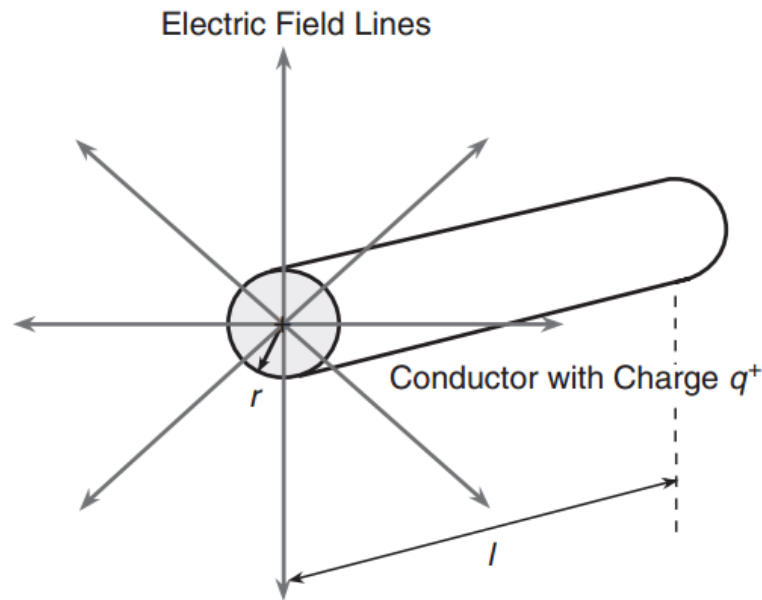
سطوح هم پتانسیل بوده :

استوانه های هم مرکز فرضی هادی را احاطه می کنند. در سطوح جانبی این استوانه ها همواره اندازه **شدت میدان** ثابت و بردار آن عمود بر سطح است.



اختلاف پتانسیل بین دو نقطه اطراف یک هادی باردار: V_{ab}

میزان کار انجام شده برای جابجایی بار آزمون از نقطه b به نقطه a



محاسبه اختلاف پتانسیل بین دو نقطه اطراف یک هادی باردار

الف- تعیین اندازه و جهت شدت میدان الکتریکی اطراف هادی باردار.

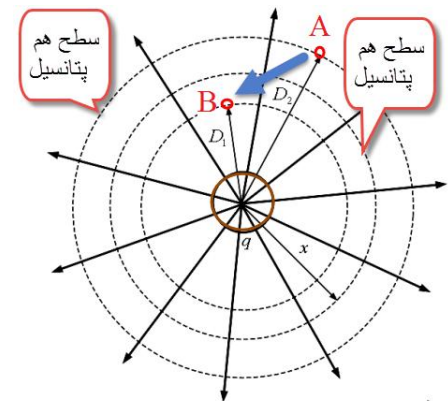
ضریب نفوذ پذیری الکتریکی هوای آزاد:

$$E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 x} \quad \epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

ب- تعیین اختلاف پتانسیل بین دو استوانه هم مرکز در فاصله های D_1 و D_2 تا هادی.

✓ اختلاف پتانسیل بین استوانه ها از نقطه D_1 تا D_2 به صورت کار انجام شده بر اثر حرکت دادن یک بار واحد یک کولنی از نقطه D_2 به D_1 و از میان میدان الکتریکی تولید شده توسط بار روی هادی تعریف می شود:

$$V_{12} = \int_{D_1}^{D_2} E \cdot dx = \int_{D_1}^{D_2} \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dx}{x} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D_2}{D_1}$$



ج- محاسبه ظرفیت خازنی (با کمک رابطه بین شدت میدان الکتریکی ، اختلاف پتانسیل و ظرفیت خازن)

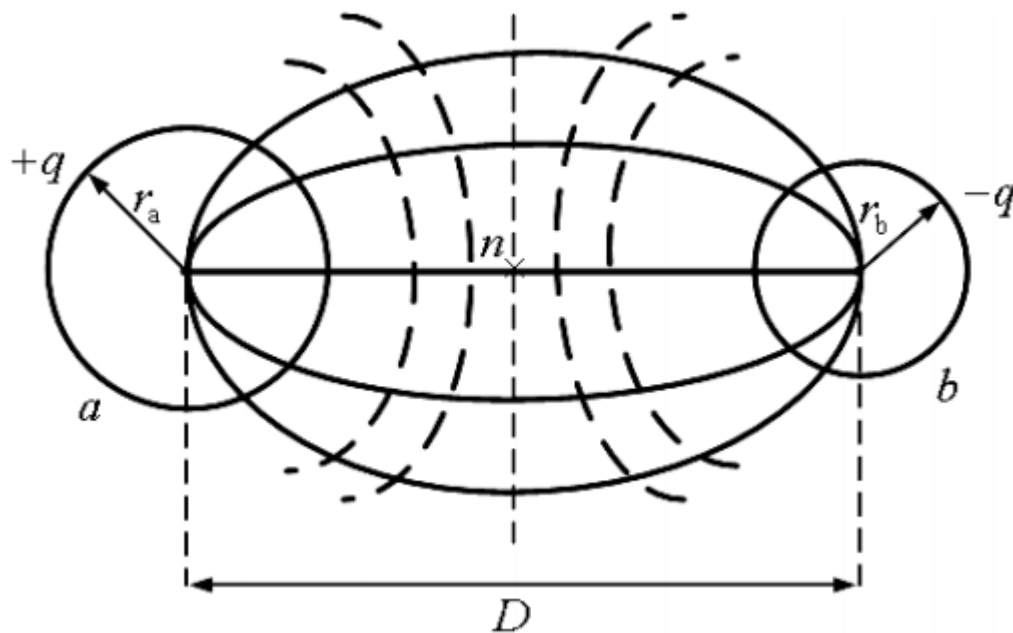
$$V_{12} = \int_{D_1}^{D_2} E \cdot dx = \int_{D_1}^{D_2} \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{dx}{x} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D_2}{D_1}$$

$$C = \frac{q}{V}$$

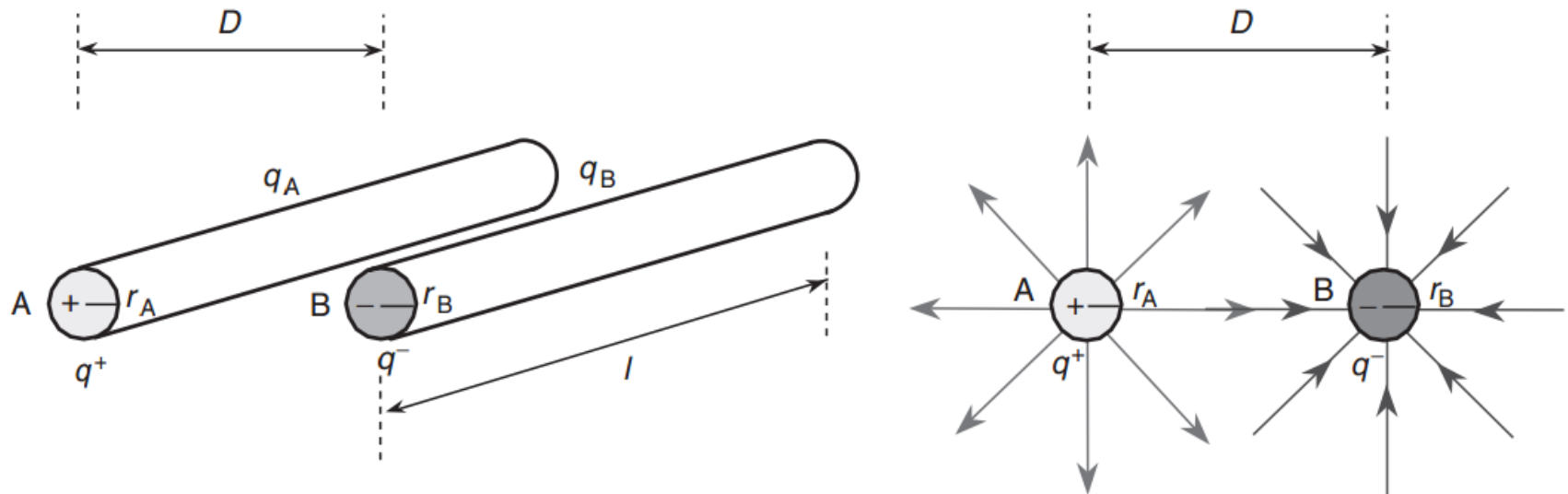
$$C = \frac{q}{\frac{q}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D_2}{D_1}} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D_2}{D_1}} F/m$$

محاسبه ظرفیت خازنی خط تکفاز دو سیمه

با فرض اینکه هادی ها به وسیله منبع ولتاژ برق دار شده اند و هادی a دارای بار یکنواخت $+q$ کولن بر متر و هادی b باریکنواخت $-q$ کولن بر متر است.

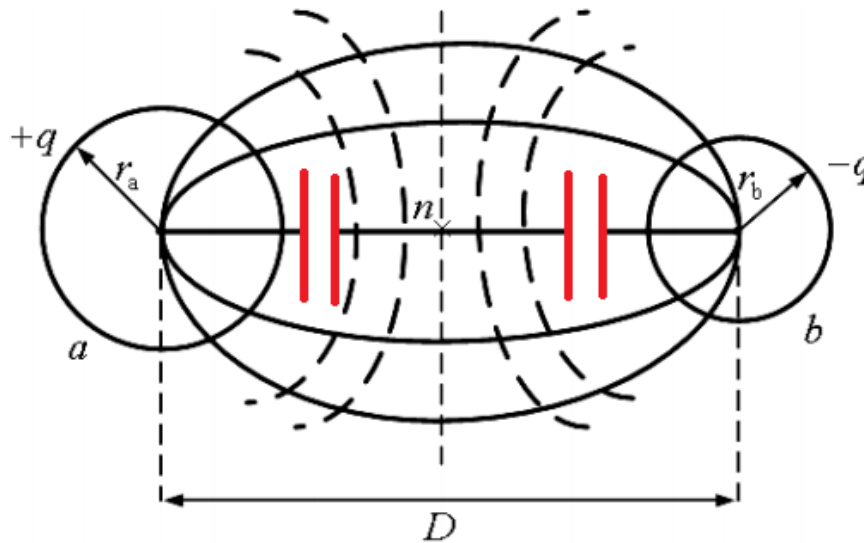


محاسبه ظرفیت خازنی خط تکفاز دو سیمه

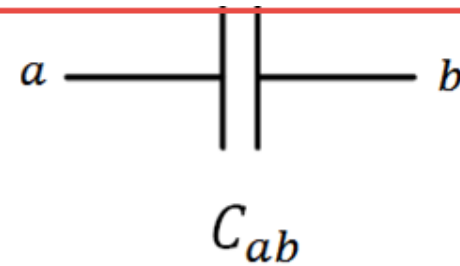


Electric field produced from a two-wire single-phase system.

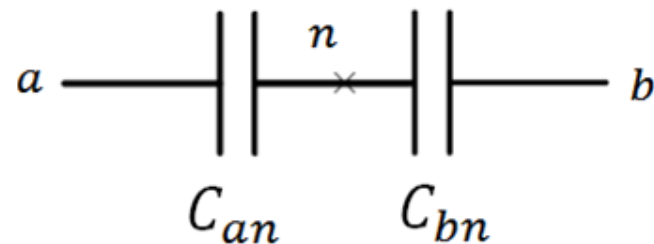
محاسبه ظرفیت خازنی بین خطوط تکفاز (دو سیمه)



$$C_{ab} = \frac{\pi \epsilon}{Ln \frac{D}{r}} \quad F/m$$



$$C_{an} = C_{bn} = \frac{2\pi \epsilon}{Ln \frac{D}{r}} \quad F/m$$



- مثال: یک خط تکفاز با فرکانس ۶۰ هرتز، شامل دو هادی مسی 4/00 ، ۱۲ رشته ایی است، فاصله بین مرکز هادی ۵ فوت و طول خط برابر ۲۰ مایل است. اگر ولتاژ خط ۲۰ کیلوولت باشد، مطلوب است:
- خازن معادل کل خط.
- توان راکتیو خازن خط

$$C_{xy} = \frac{\pi \epsilon}{\ln \left(\frac{d}{r} \right)} = \frac{\pi \epsilon}{\ln \left(\frac{d}{D_s} \right)} F/m$$

$$d = 5 \text{ ft}$$

$$D_s = 0.023 \text{ ft}$$

$$C_{xy} = \frac{\pi \varepsilon}{\text{Ln} \left(\frac{d}{r} \right)} = \frac{\pi \varepsilon}{\text{Ln} \left(\frac{d}{D_s} \right)} \quad F/m$$

$$C_{xy} = \frac{\pi(8.85 * 10^{-12})}{\text{Ln} \left(\frac{5}{0.023} \right)} = 5.16 * 10^{-12} \quad F/m$$

$$C_{xy} = (20 \text{ mile} * 1609 \text{ m/mile}) * 5.16 * 10^{-12} \text{ F/m}$$

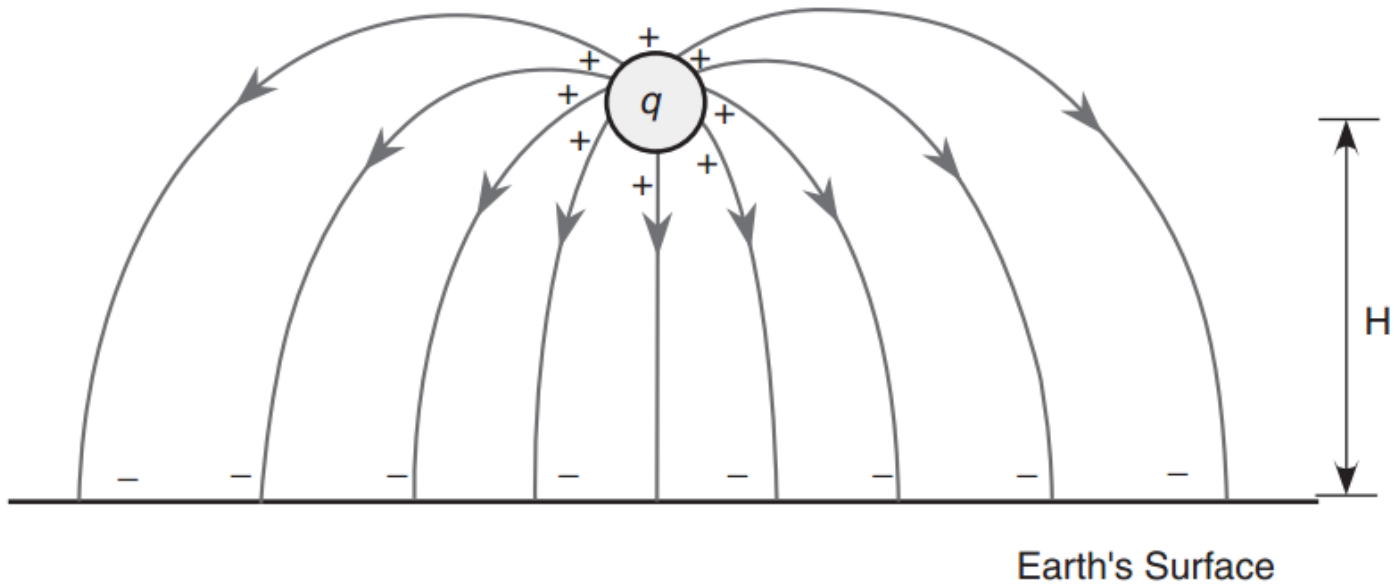
$$C_{xy} = 1.66 * 10^{-7} \text{ F}$$

$$Y_c = \frac{1}{X_c} = j2\pi fc = j6.27 * 10^{-5} \text{ Siemens (line to line)}$$

$$Q_c = \frac{V^2}{X_c} = Y_c \cdot V^2 = (6.27 * 10^{-5}) * (20 * 10^3) = 25.1 \text{ Kvar}$$

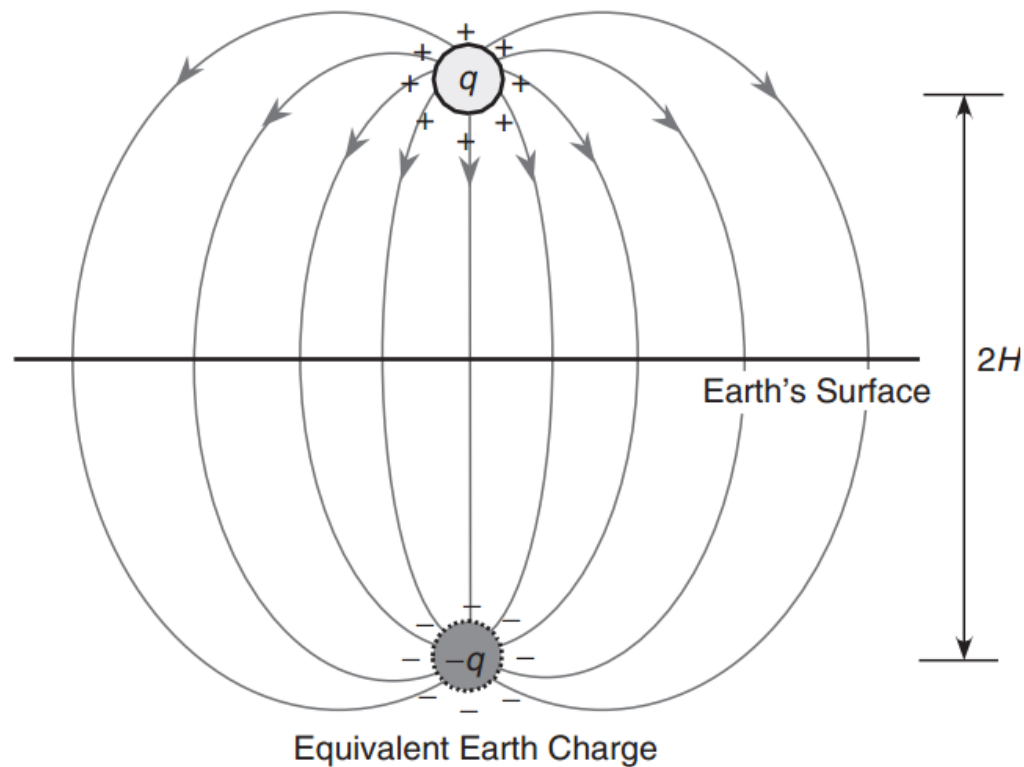
بررسی اثر زمین در ظرفیت خازنی خطوط انتقال

اثر زمین در ظرفیت خازنی خطوط انتقال

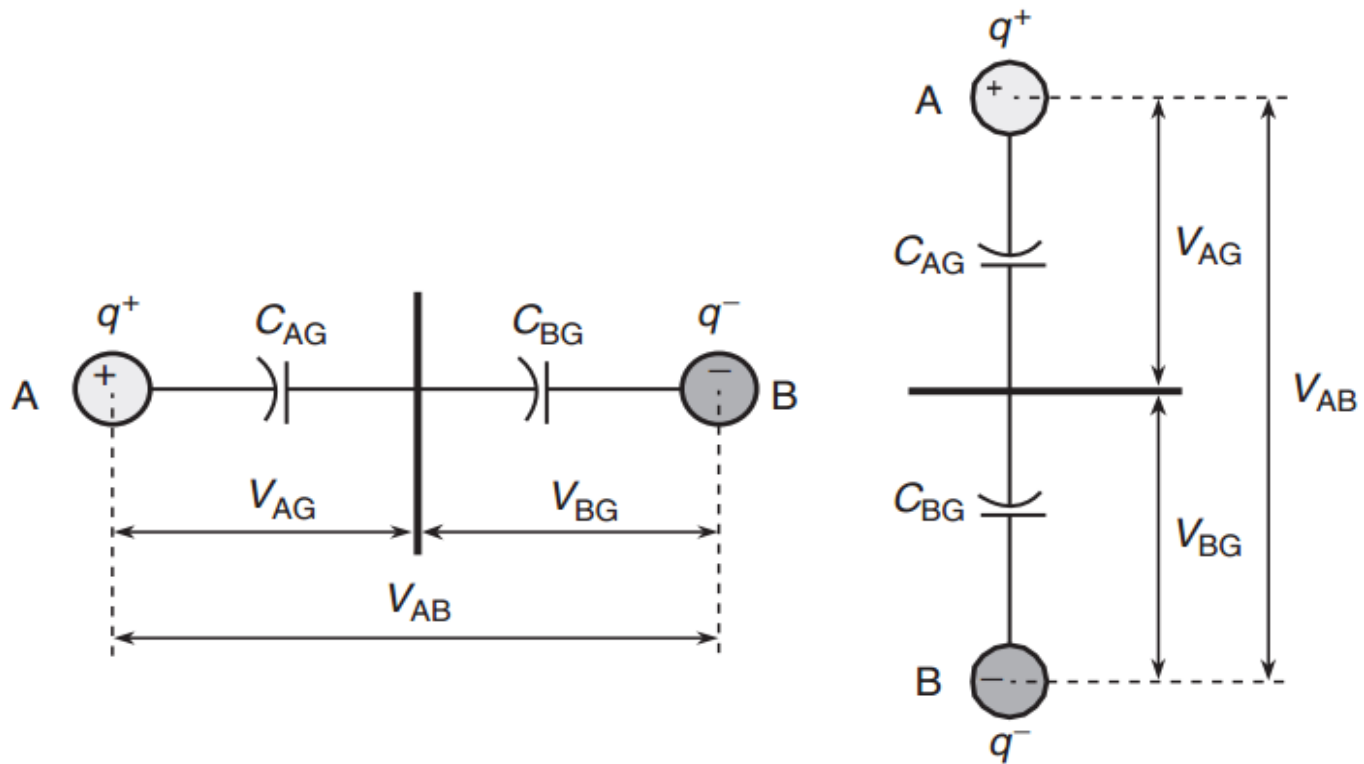


Distribution of electric field lines from an overhead conductor to earth's surface.

محاسبه ظرفیت خازنی خط بین یک هادی باردار و زمین

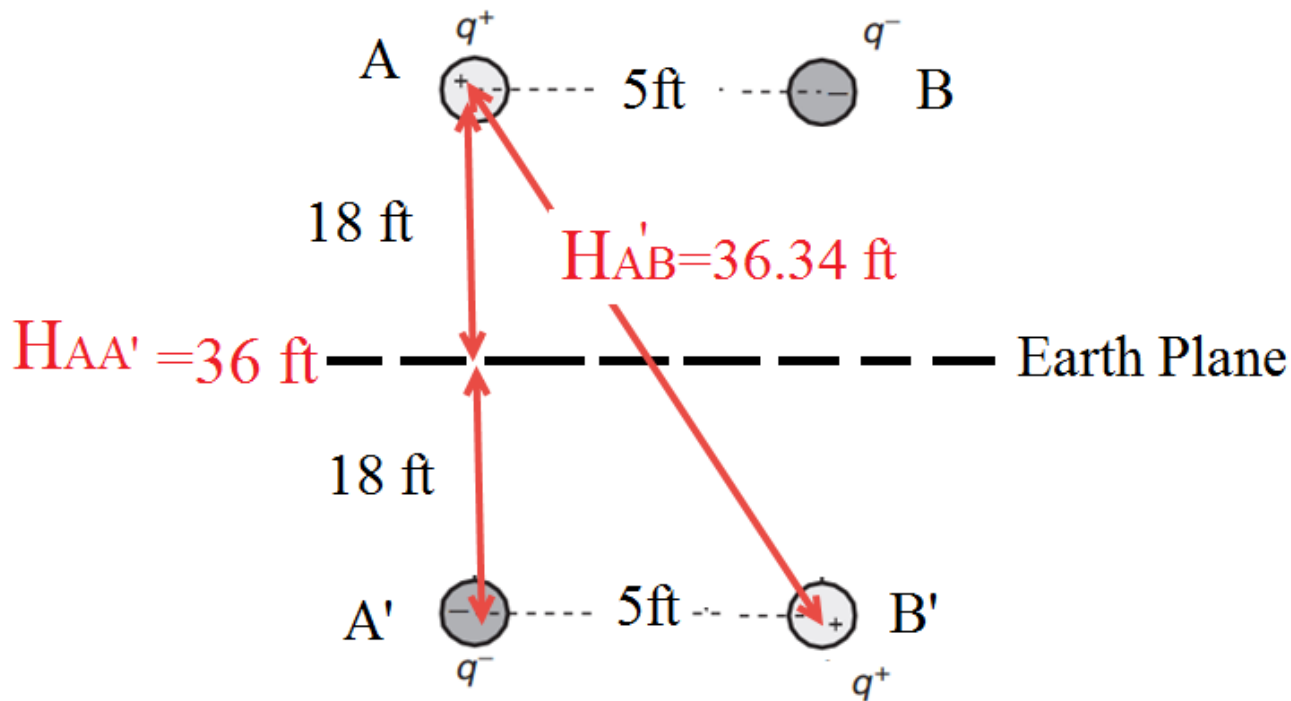


Equivalent image conductor representing the charge of the earth.



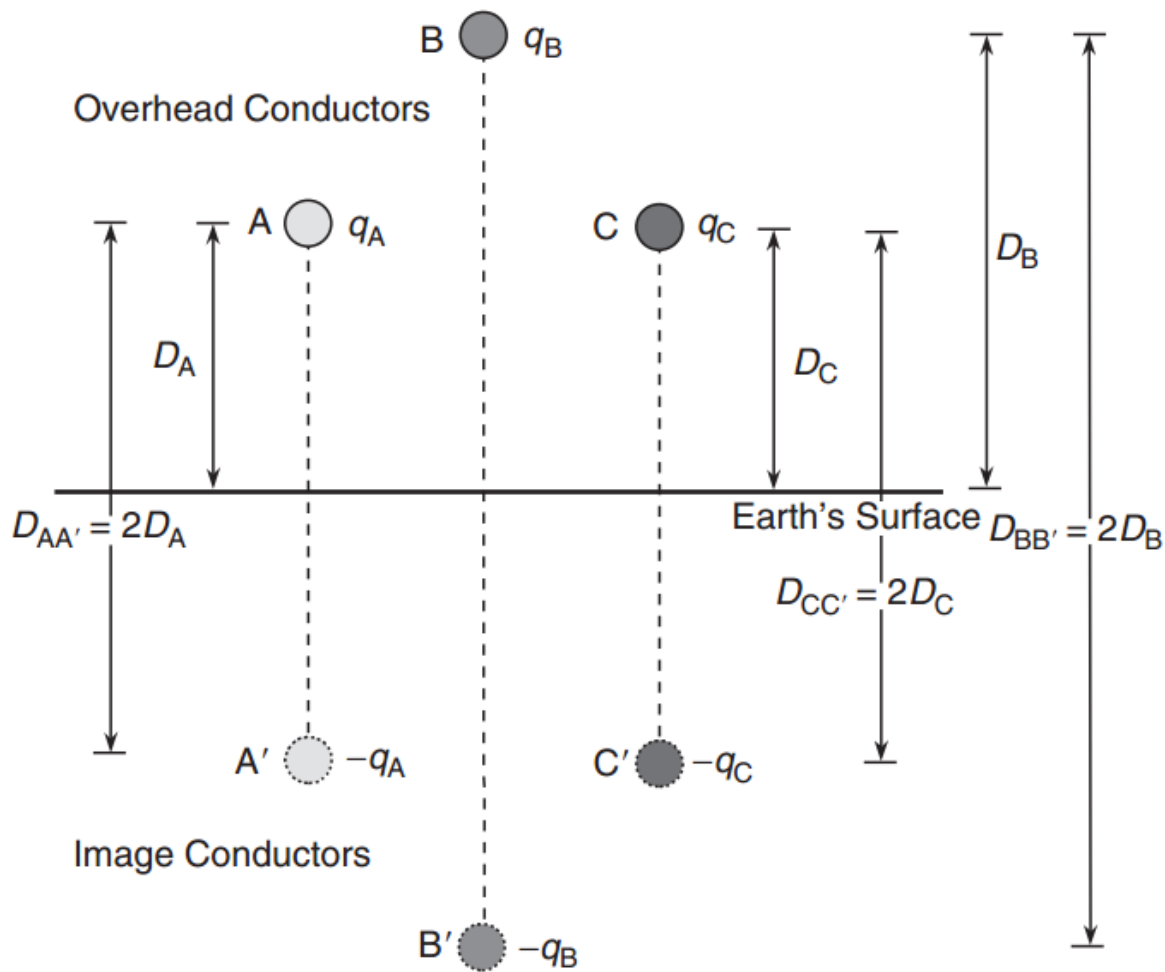
Capacitance between line to ground in a two-wire single-phase line.

$$C_{AN} = \frac{q_A}{V_{AN}} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\left[\frac{D}{r}\right]} \text{ (F/m)}$$



$$C_{xy} = \frac{\pi \epsilon}{\text{Ln} \left(\frac{d}{r} \right)} = \frac{\pi \epsilon}{\text{Ln} \left(\frac{d}{D_s} \right) - \text{Ln} \left(\frac{H_{AB'}}{H_{AA'}} \right)} F/m$$

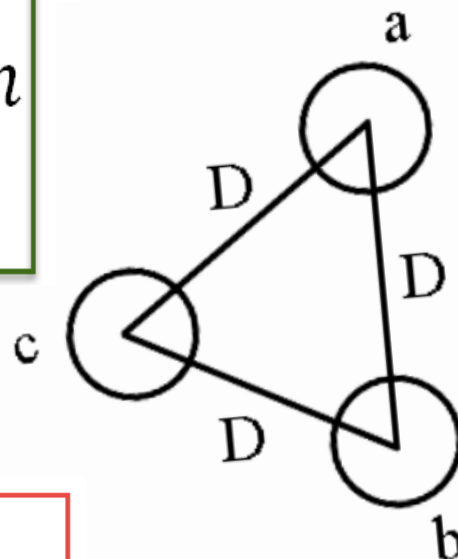
$$C_{xy} = \frac{\pi (8.85 * 10^{-12})}{\text{Ln} \left(\frac{5}{0.023} \right) - \text{Ln} \left(\frac{36.34}{36} \right)} = 5.178 * 10^{-12} \quad F/m$$



$$C_{AN} = \frac{q_A}{V_{AN}} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln\left[\frac{D}{r}\right] - \ln\left[\frac{\sqrt[3]{D_{AB'}D_{BC'}D_{CA'}}}{\sqrt[3]{D_{AA'}D_{BB'}D_{CC'}}}\right]} \quad (\text{F/m})$$

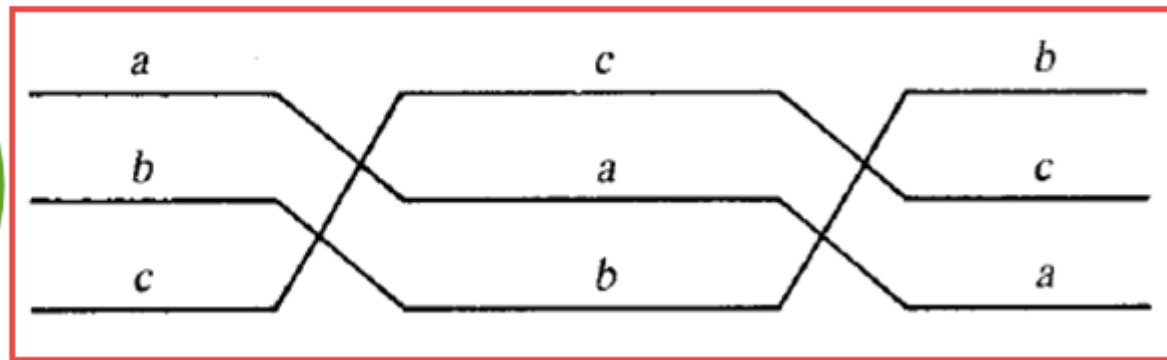
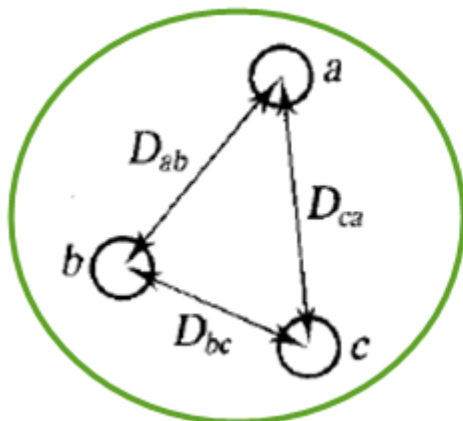
محاسبه ظرفیت خازنی خط سه فاز با فاصله متقارن

$$C_{ab} = C_{bc} = C_{ca} = \frac{\pi\epsilon}{Ln\frac{D}{r}} \quad F/m$$



$$C_{an} = C_{bn} = C_{cn} = \frac{2\pi\epsilon}{Ln\frac{D}{r}} \quad F/m$$

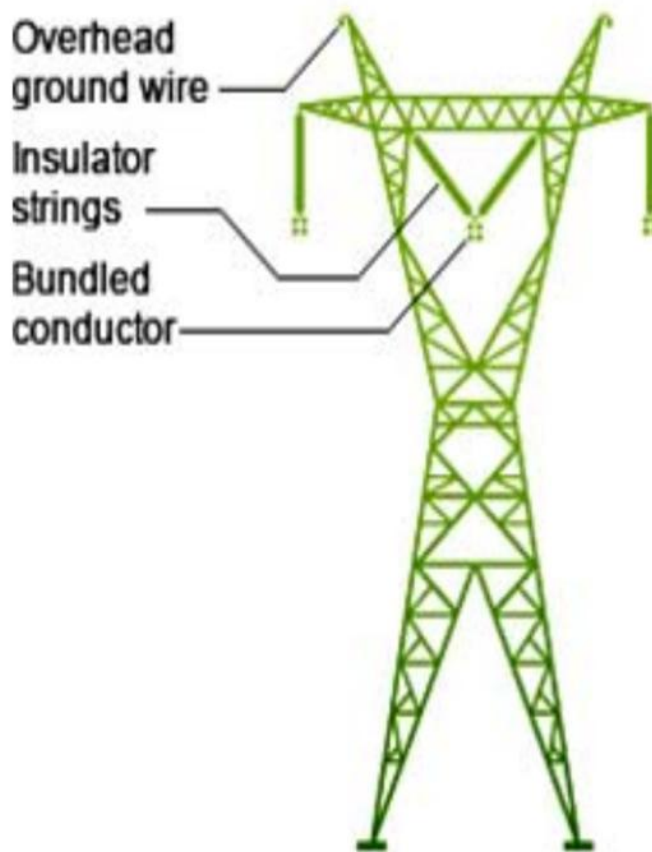
محاسبه ظرفیت خازنی خط سه فاز با فاصله نامتقارن (ترانسپوز شده)



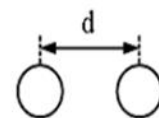
$$C_{\substack{an \\ bn \\ cn}} = \frac{q_a}{V_{an}} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{r}} \quad F/m$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ac}}$$

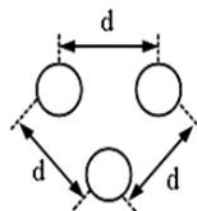
محاسبه ظرفیت خازنی خط سه فاز باندل ترانسپوز شده



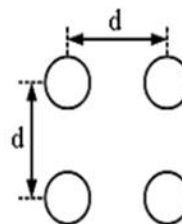
✓ خطوط سه فاز یک مداره



دو سیمه:



سه سیمه:

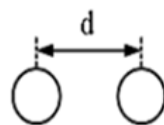


چهار سیمه:

میانگین هندسی فواصل در یک باندل

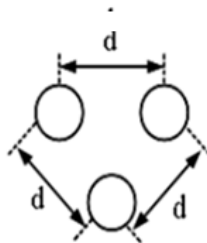
$$C = \frac{\pi \varepsilon}{\ln \left(\frac{D_{eq}}{D_{sc}} \right)} F/m$$

$$D_{sc} = \sqrt[2]{rd}$$



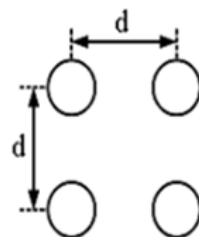
دو سیمه:

$$D_{sc} = \sqrt[3]{rd^2}$$



سه سیمه:

$$D_{sc} = \sqrt[4]{\sqrt{2}rd^3}$$



چهار سیمه:

$$D_{sc} = 1.091 \sqrt[4]{rd^3}$$

نکته: در صورتیکه از کابل رشته ای در خط انتقال استفاده شود، در رابطه خازن به جای شعاع کابل (r) از مقدار میانگین هندسی فواصل بین رشته، هادیهای موجود در کابل، D_s که از معلومات مسئله است، استفاده میشود.

$$C_{xy} = \frac{\pi \epsilon}{\ln \left(\frac{D_{eq}}{D_{sc}} \right)} F/m$$

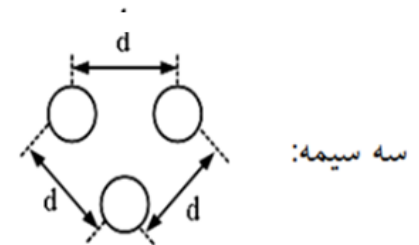
$$D_{sc} = \sqrt[2]{r d}$$

D_s

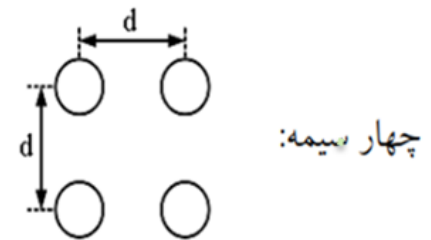


$$D_{sc} = \sqrt[3]{r d^2}$$

D_s



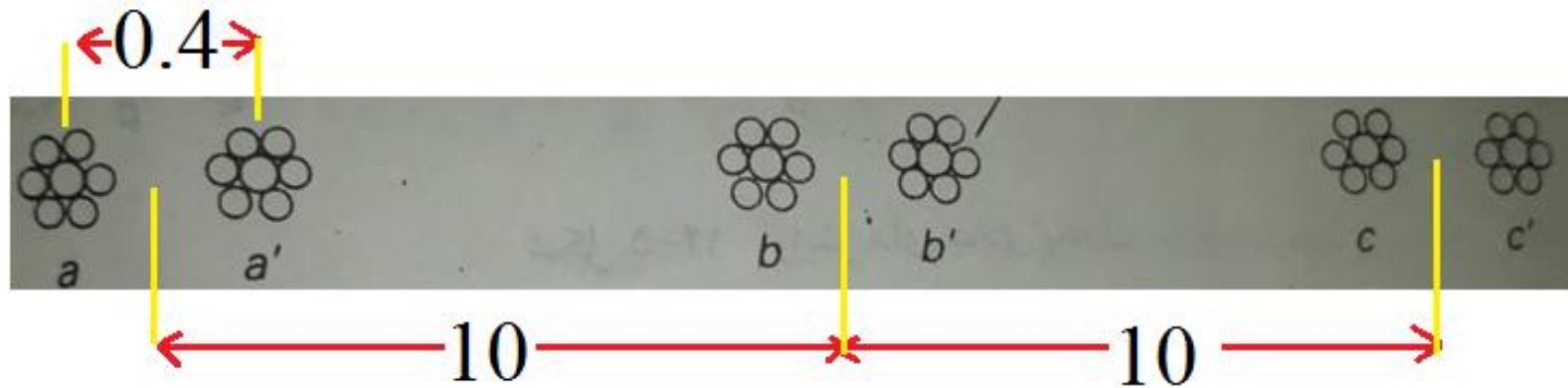
$$D_{sc} = \sqrt[4]{\sqrt{2} r d^3}$$



$$D_{sc} = 1.091 \sqrt[4]{r d^3}$$

D_s

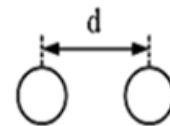
محاسبه ظرفیت خازنی بین خطوط یک خط انتقال سه فاز با فواصل نامتقارن با دو هادی در هر فاز (باندل دوتایی) و (ترانسپوز شده)



$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12}D_{13}D_{23}}$$

$$D_{sc} = \sqrt[2]{r_d}$$

D_s



دو سیمه:

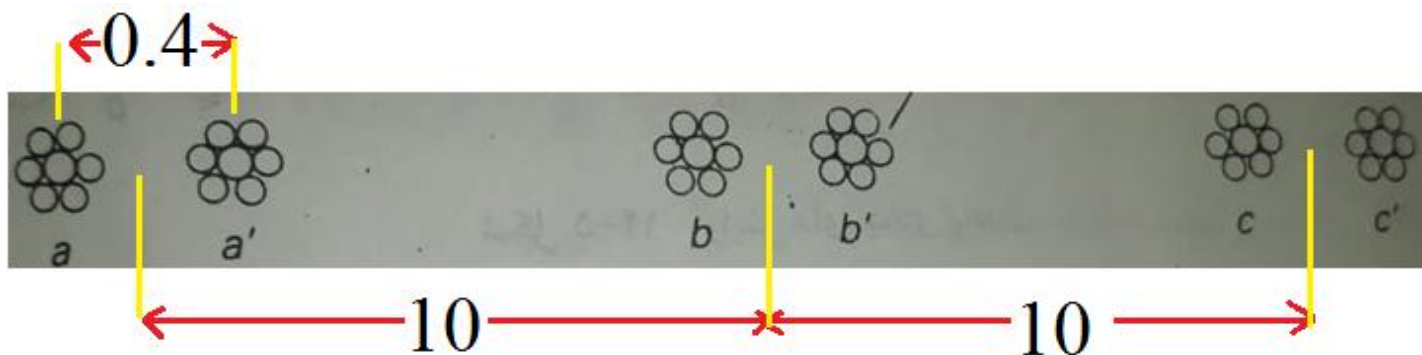
$$C_{xy} = \frac{\pi \epsilon}{\ln \left(\frac{GMD}{GMR} \right)} \rightarrow C_{xy} = \frac{\pi \epsilon}{\ln \left(\frac{D_{eq}}{D_{sc}} \right)} \quad F/m$$

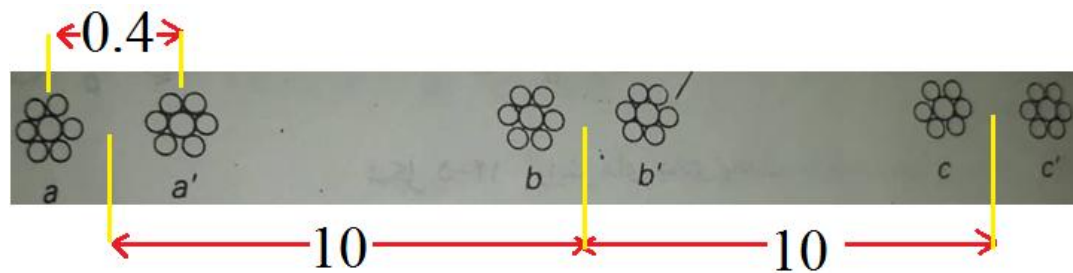
مثال:

در یک خط سه فاز با ولتاژ خط ۳۴۵ کیلو ولت، مطلوب است:

- خط جریان شارژ
- توان راکتیوی ایجاد شده توسط ظرفیت خازنی خط

$D_s = 0.0141 \text{ m}$





$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12}D_{13}D_{23}} = 12.6 \text{ m}$$

$$D_{sc} = \sqrt[2]{rd} = \sqrt[2]{D_s d} = \sqrt[2]{(0.0141)(0.4)} = 0.075 \text{ m}$$

$$C_{XN} = \frac{(2\pi)(8.85 * 10^{-12})}{\ln\left(\frac{12.6}{0.075}\right)} \frac{F}{m} * \left(1000 \frac{m}{km} * 200 \text{ km}\right)$$

$$C_{XN} = 2.17 * 10^{-6} F$$

• جریان شارژ

$$I_{charg} = \frac{V_{LN}}{Z_C} = V_{LN} \cdot Y_C = \left(\frac{345}{\sqrt{3}} \right) (8.19 * 10^{-4}) = 0.163 \text{ KA/phase}$$

$$Y_C = j\omega C = j(2\pi f)(2.17 * 10^{-6}) \text{ Siemens}$$

• توان راکتیوی ایجاد شده توسط ظرفیت خازنی خط

$$Q_c = \frac{V^2}{X_c} = Y_c \cdot V^2 = (8.19 * 10^{-4}) * (345 * 10^3)^2 = 97.5 \text{ Mvar}$$

