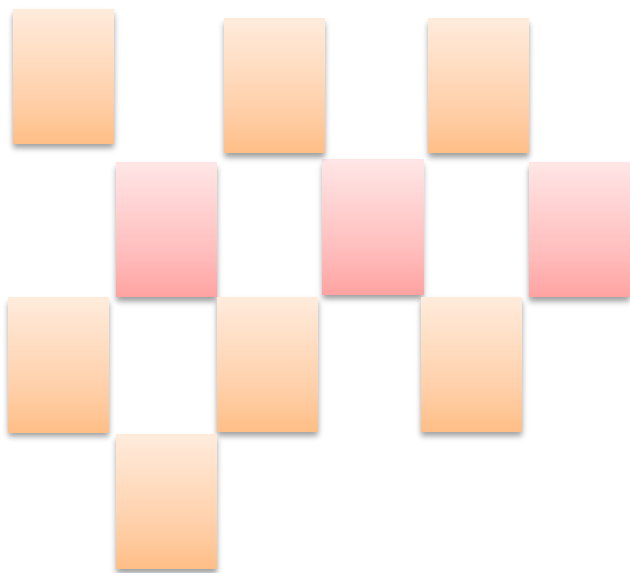




دانشگاه فنی حرفه ایی انقلاب اسلامی  
دانشکده مهندسی برق

آموزش مجازی درس  
مدارهای بررسی سیستم قدرت ۱

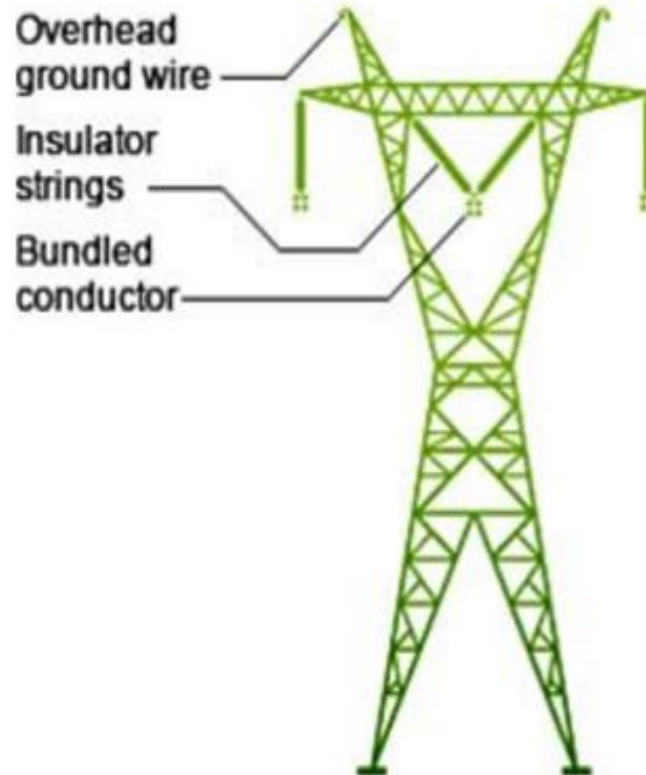
جلسه ششم  
بررسی مدار معادل خطوط توزیع و انتقال

ارائه دهنده: دکتر علیرضا ناطقی

## آشنایی با خطوط فشار قوی

استانداردهای ولتاژ در ایران:

$400^{kv}$  ,  $230^{kv}$  ,  $63^{kv}$  ,  $20^{kv}$  ,  $380^v / 220^v$   
انتقال      فوق توزیع      توزیع      توزیع فشار ضعیف



# انواع خطوط سه فاز

ساده: از سه سیم تشکیل شده

یک مداره (روی یک دکل یک سیستم سه فاز)

باندل: هر کدام از فازها از دو یا سه یا چهار سیم تشکیل شده است. در واقع به جای سه تک سیم، سه دو سیمه، سه سه سیمه و یا سه چهار سیمه داریم.

ساده

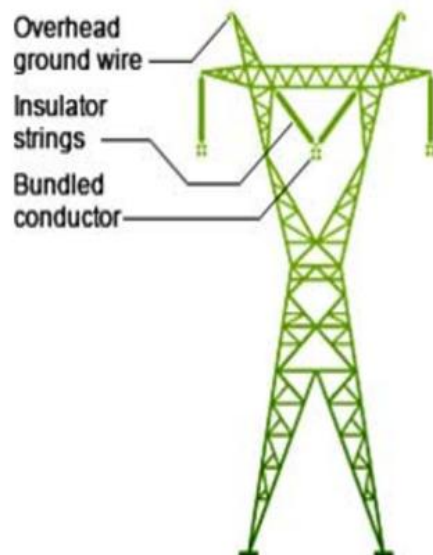
دو مداره (روی یک دکل دو سیستم سه فاز)

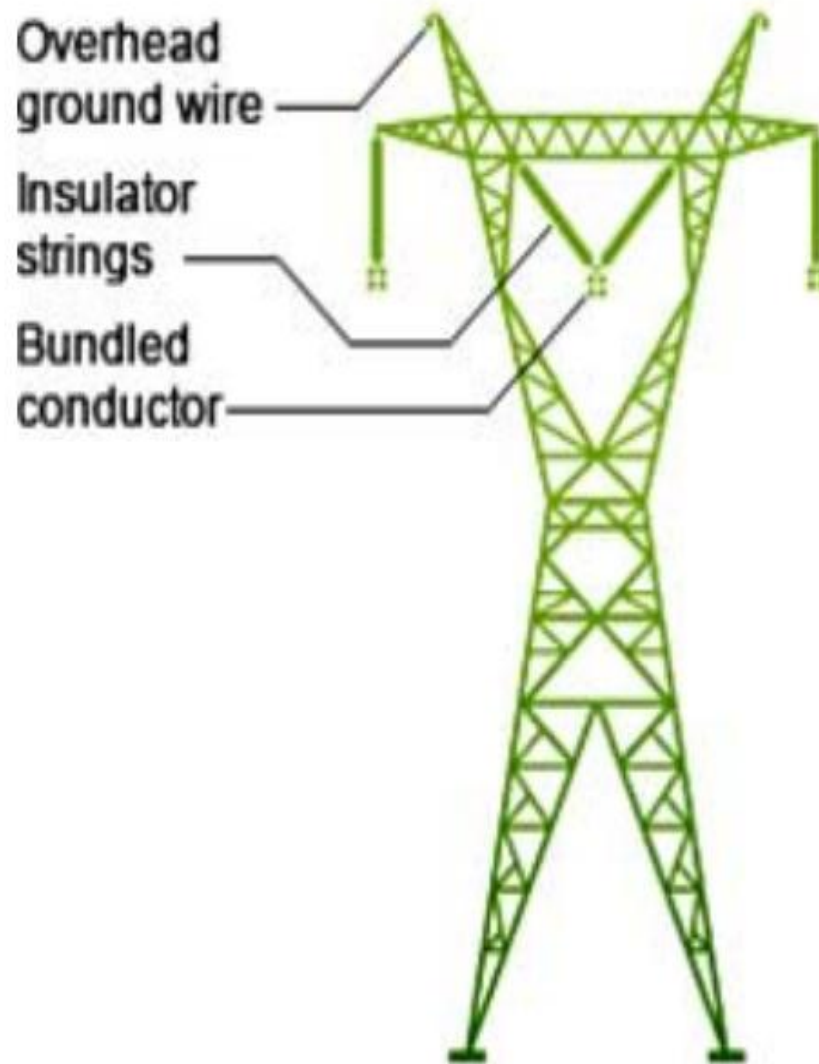
دو سیمه

سه سیمه

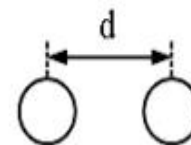
چهار سیمه

باندل

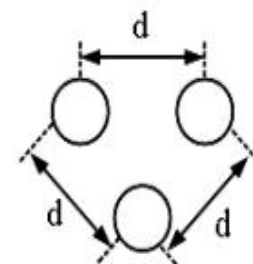




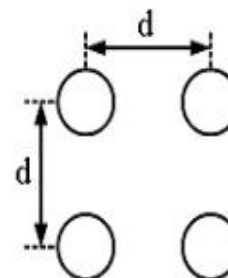
✓ خطوط سه فاز یک مداره



دو سیمه:



سه سیمه:



چهار سیمه:

## • انواع هادی ها

➤ جنس هادی ها

|                           |
|---------------------------|
| مس ← خطوط فشار ضعیف       |
| آلومینیوم ← خطوط فشار قوی |

➤ مزایای مس: هدایت الکتریکی بهتر، قدرت کششی مکانیکی بهتر

➤ مزایای آلومینیوم: معمولاً ارزان تر، سبک تر و به طور نسبی سطح مقطع بزرگ تر



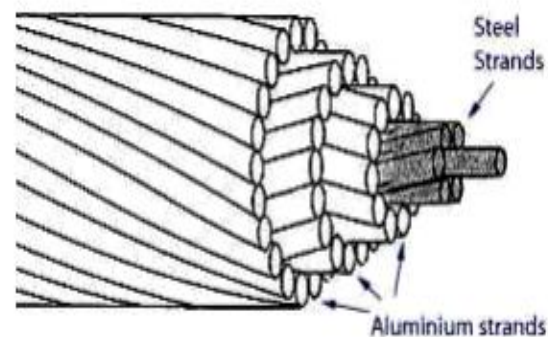
از لحاظ پدیده کرونا بهتر است.

➤ پدیده کرونا (corona):

✓ یونیزه شدن هوای اطراف سیم های هادی و پدید آمدن یک هاله نورانی اطراف سیم

➤ هادی رشته ای متداول: A.C.S.R: Aluminum Conductor Steel Reinforced

آلومینیوم تقویت شده با فولاد (هسته مرکزی از رشته های فولادی)



- پارامترهای خط

✓ شامل:  $R$  یا مقاومت،  $L$  یا اندوکتانس،  $C$  یا ظرفیت خازنی و  $G$  یا رسانایی

✓  $G$  یا رسانایی، بین هادی ها یا بین هادی ها و زمین: عامل ایجاد جریان نشتی در مقره های خطوط هوایی و در عایق بندی کابل ها

✓ معمولاً از جریان های نشتی به علت ناچیز بودن صرفه نظر می کنند.

• مقاومت خط،  $R$

عوامل مؤثر:

❖ دما (درجه حرارت)

❖ اثر پیچش یا تاباندن رشته ها

❖ اثر پوستی

$$R_{dc} = \frac{\rho l}{A}, \quad \rho \text{ : ویژه مقاومت}$$

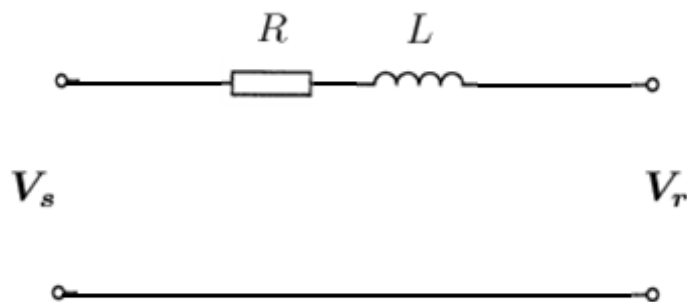


## مدلسازی خطوط انتقال

۱- خط کوتاه

طول خط کمتر از ۸۰ کیلومتر (ولتاژهای کمتر از ۲۰ کیلو ولت)

مدل RL خط



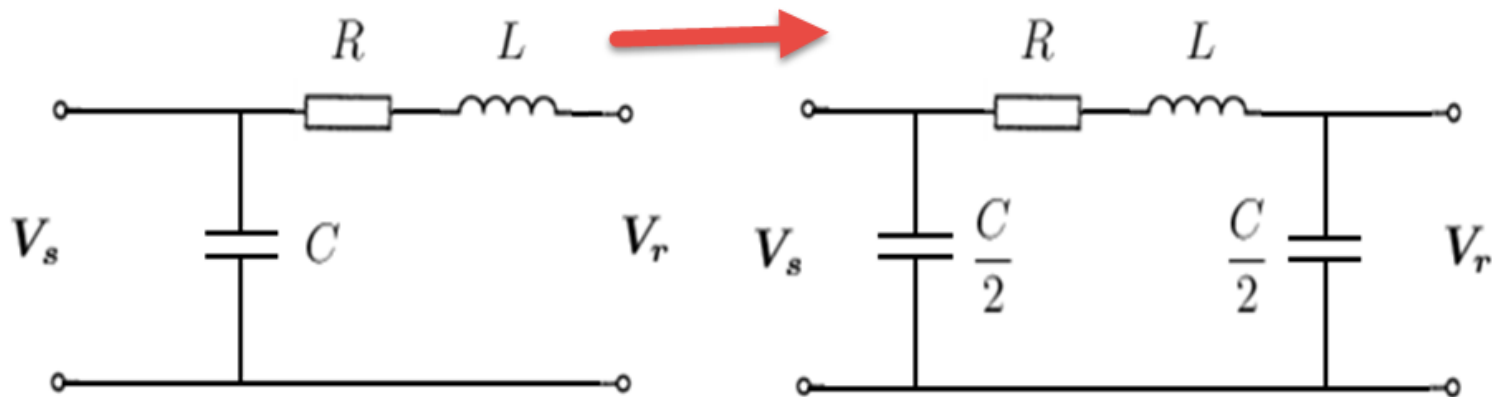
مدار معادل مقاومت و سلف

## مدلسازی خطوط انتقال

۱- خط متوسط

طول خط بین ۸۰ تا ۲۴۰ کیلومتر (ولتاژهای بین ۲۰ تا ۱۰۰ کیلو ولت)

در ولتاژهای بالاتر و خطوط طولانی‌تر، اثر خازن شنت قابل توجه است.

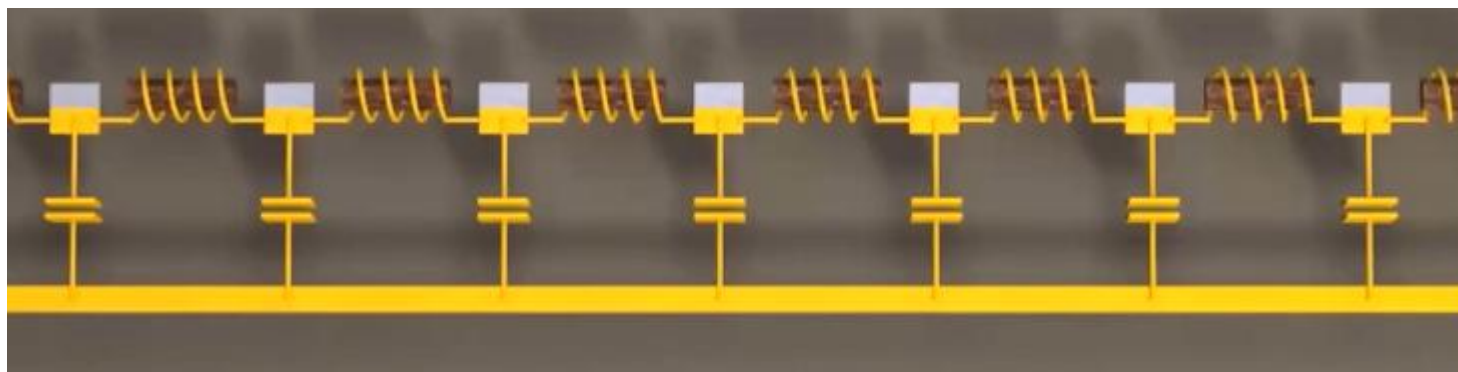


مدار معادل مقاومت، سلف و خازن

## مدلسازی خطوط انتقال

۱- خط بلند

طول خط بزرگتر از ۲۴۰ کیلومتر (ولتاژهای بزرگتر از ۱۰۰ کیلو ولت)



مدار معادل مقاومت، سلف و خازن

# محاسبه اندوکتانس خط تکفاز دو سیمه

## اندوکتانس

اندوکتانس هادی برای دو سیم تکفاز خط انتقال، با رابطه زیر و برحسب هانری بر متر بیان می‌شود:

$$L_1 = \frac{\mu_0}{8\pi} \left( 1 + 4 \ln \frac{D}{r} \right)$$

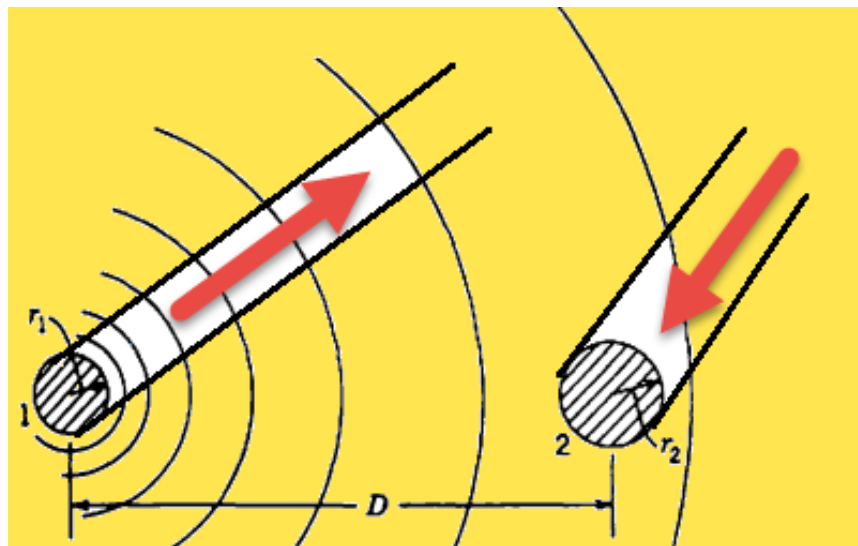
که در آن،  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$  (ضریب نفوذ هوا)،  $D$  فاصله بین مراکز هادی‌ها، و  $r$  شعاع آن‌ها است. بنابراین، اندوکتانس کل یا حلقه برابر است با

$$\begin{aligned} L &= 2L_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \left( 1 + 4 \ln \frac{D}{r} \right) \\ &= \left( 1 + 4 \ln \frac{D}{r} \right) \times 10^{-7} \quad \text{H/m} \end{aligned}$$

از آنجایی که  $\ln e^{1/4} = 1/4$ ، معادله بالا را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$L = 4 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'} \quad \text{H/m}$$

## محاسبه اندوکتانس خط تکفاز دو سیمه



$$L_2 = 2 * 10^{-7} \ln\left(\frac{D}{r_2'}\right)$$

$$L_1 = 2 * 10^{-7} \ln\left(\frac{D}{r_1'}\right)$$



$$\underline{L_{total} = L_1 + L_2}$$

$$r' = 0.7788r$$

$r'$  به عنوان شعاع متوسط هندسی (Geometrical Mean Distance) یا GMR هادی شناخته می شود.

## محاسبه اندوکتانس خط تکفاز دو سیمه \_ باندل دوتایی



$$L_1 = 2 * 10^{-7} \ln \left( \frac{GMD_1}{GMR_1} \right)$$

$$GMR = \sqrt[4]{r' d \cdot r' d} = \sqrt[2]{r' d}$$

میانگین هندسی فواصل در یک فاز

$$L_2 = 2 * 10^{-7} \ln \left( \frac{GMD_2}{GMR_2} \right)$$

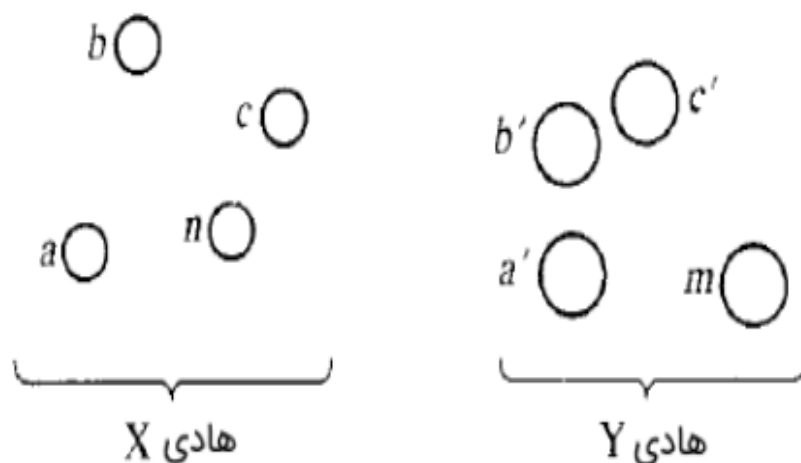
$$GMD = \sqrt[4]{d_{12} d_{12'} d_{1'2} d_{1'2'}}$$

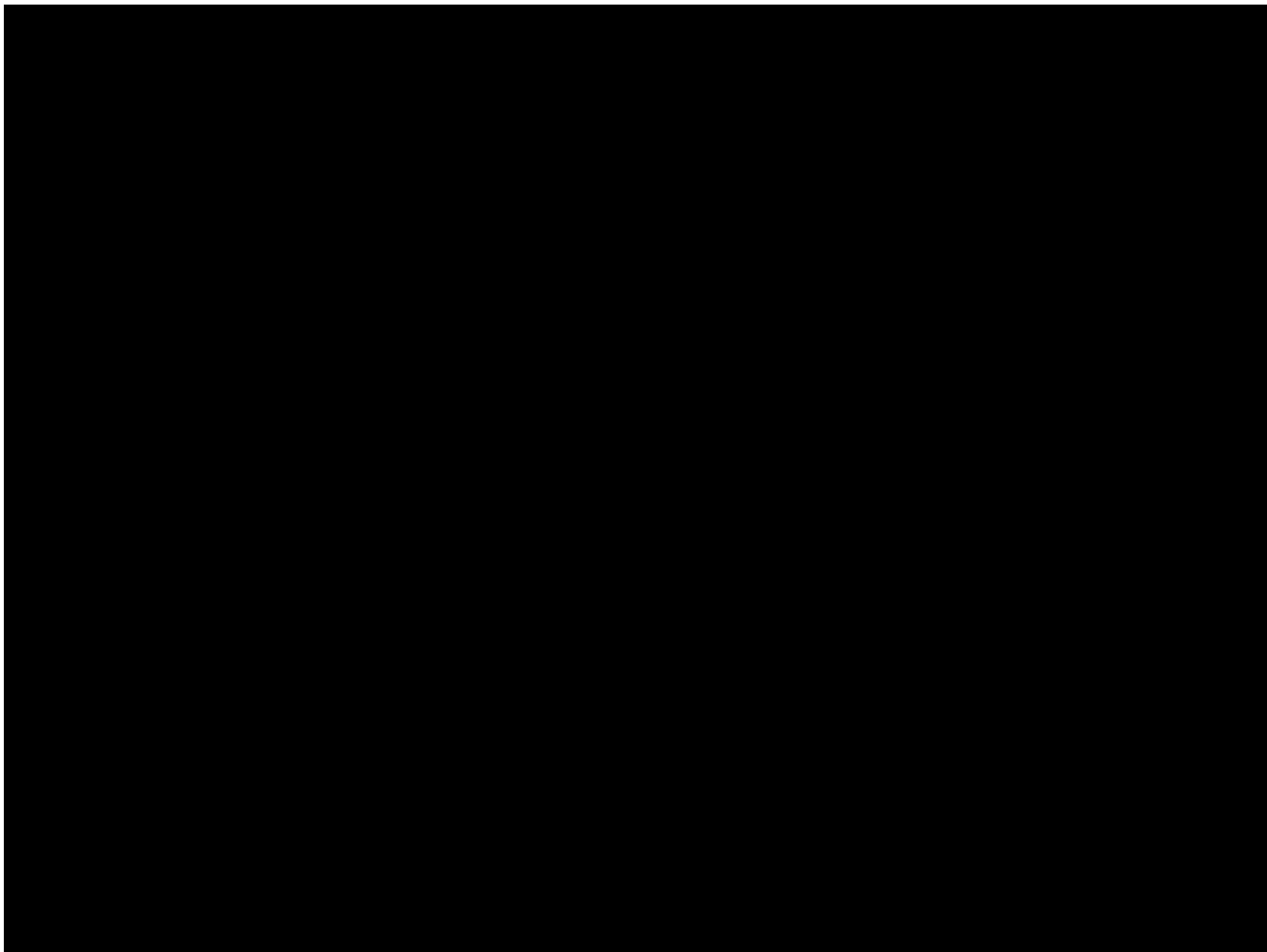
میانگین هندسی فواصل بین فازها

## هادی‌های مرکب

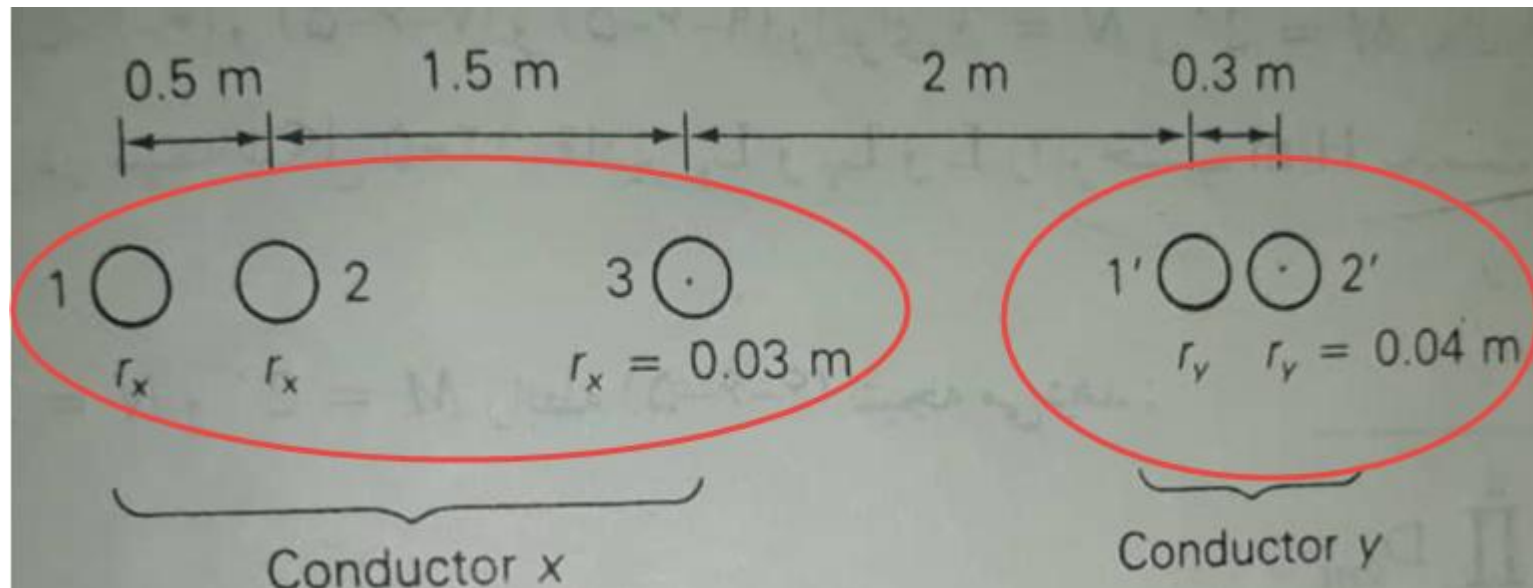
خط انتقال شامل هادی‌های مرکب

به‌طور خاص، فرض کنید یک خط تک‌فاز مطابق شکل ۲ از دو هادی مرکب تشکیل شده باشد. هادی  $X$  از  $n$  رشته مشابه و موازی تشکیل شده که از هر کدام جریان  $I/n$  می‌گذرد. هادی  $Y$  نیز که مدار برگشت جریان هادی  $X$  است، از  $m$  رشته مشابه و موازی تشکیل شده که جریان هر کدام از آن‌ها  $-I/m$  است. فاصله بین هر دو عنصر با  $D$  نشان داده می‌شود که اندیس مناسب نیز می‌گیرد. اندوکتانس  $L_x$  هادی  $X$  با رابطه زیر و برحسب هانری بر متر بیان می‌شود:

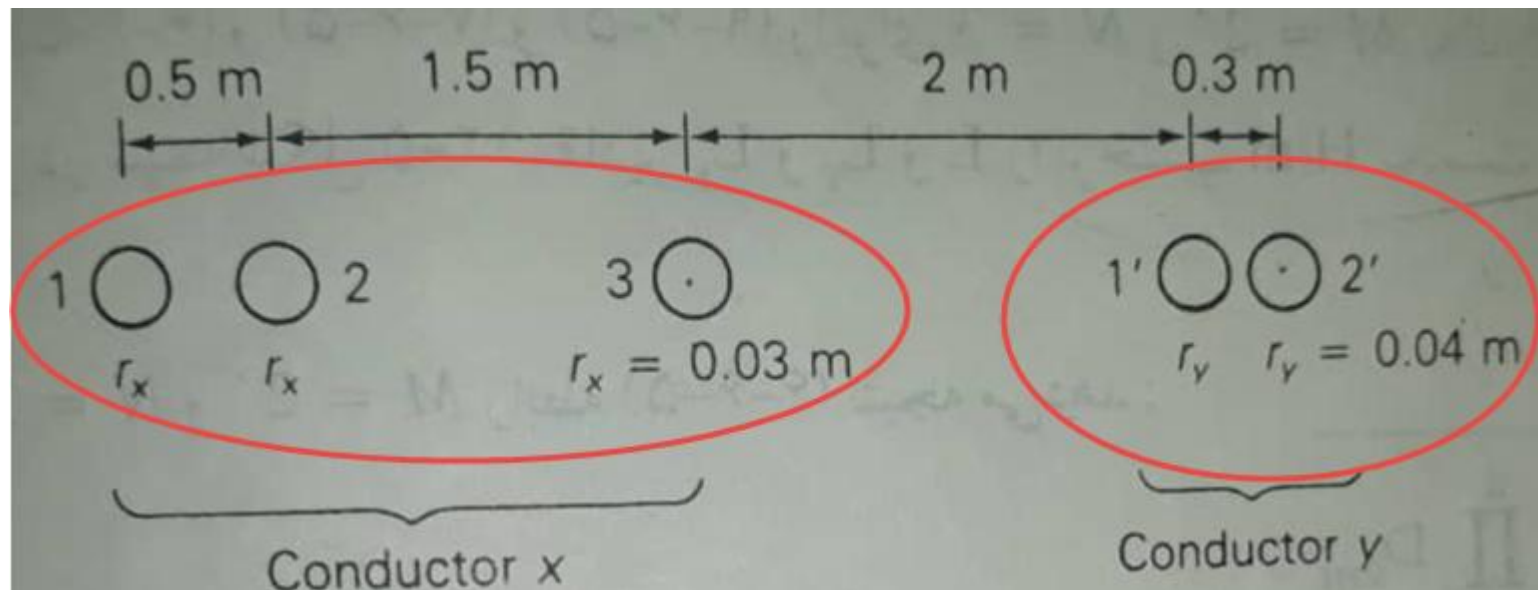








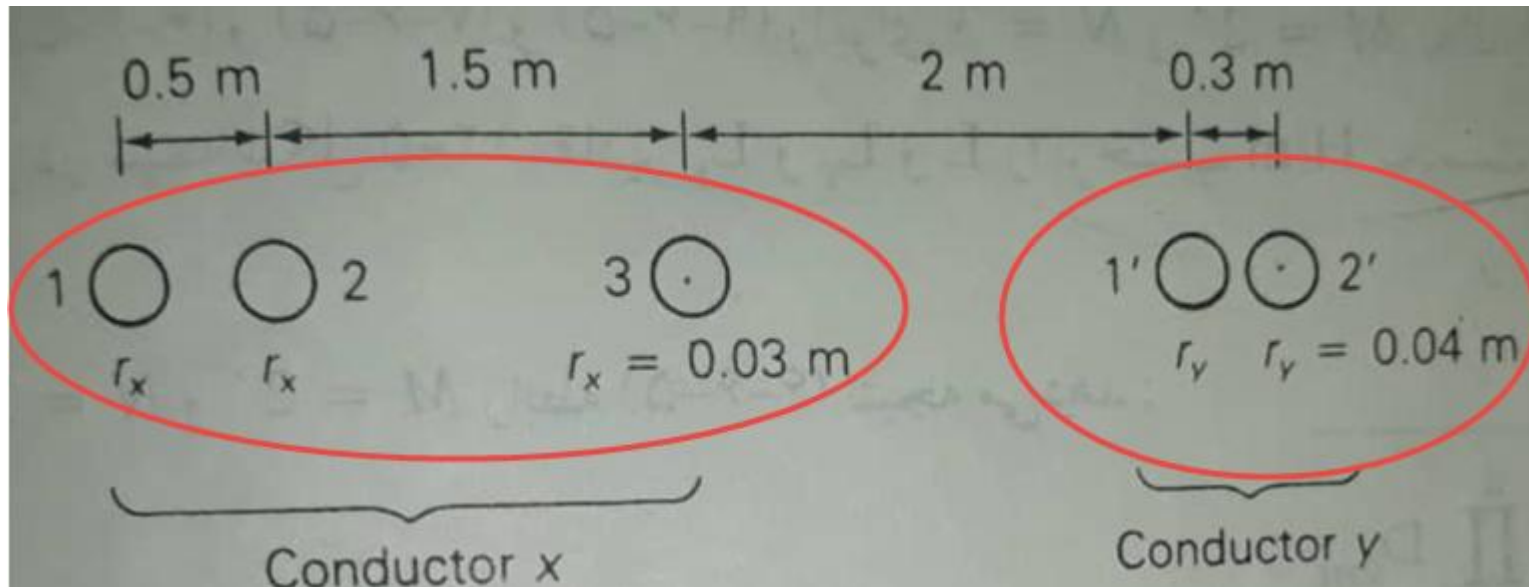
$$\begin{aligned}
 D_{11} &= 4 \text{ m} & D_{12} &= 4.3 \text{ m} & D_{21} &= 3.5 \text{ m} \\
 D_{22} &= 3.8 \text{ m} & D_{31} &= 2 \text{ m} & D_{32} &= 2.3 \text{ m} \\
 D_{xy} &= \sqrt[6]{(4)(4.3)(3.5)(3.8)(2)(2.3)} = 3.189 \text{ m} \approx GMD_x
 \end{aligned}$$



$$D_{11} = D_{22} = D_{33} = r'_x = e^{-1/4} r_x = (0.7788)(0.03) = 0.02336 \text{ m}$$

$$D_{21} = D_{12} = 0.5 \text{ m} \quad D_{23} = D_{32} = 1.5 \text{ m} \quad D_{31} = D_{13} = 2 \text{ m}$$

$$D_{xx} = \sqrt[9]{(0.02336)^3 (0.5)^2 (1.5)^2 (2)^2} = 0.3128 \text{ m}$$



$$D_{1'1'} = D_{2'2'} = r'_y = e^{-1/4} r_y = (0.7788)(0.04) = 0.03115 \text{ m}$$

$$D_{1'1'} = D_{2'1'} = 0.3 \text{ m}$$

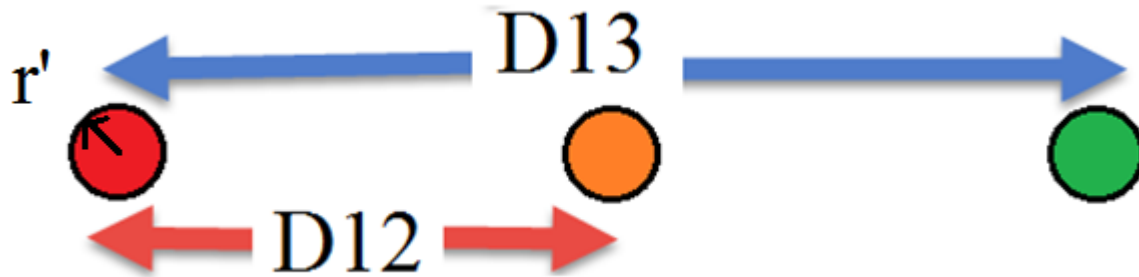
$$D_{yy} = \sqrt[4]{(0.03115)^2 (0.3)^2} = 0.09667 \text{ m}$$

$$L_x = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{3.189}{0.3128}\right) = 4.644 \times 10^{-7}$$

$$L_y = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{3.189}{0.09667}\right) = 6.992 \times 10^{-7}$$

$$L = L_x + L_y = 1.164 \times 10^{-6} \text{ H/m بر هادی}$$

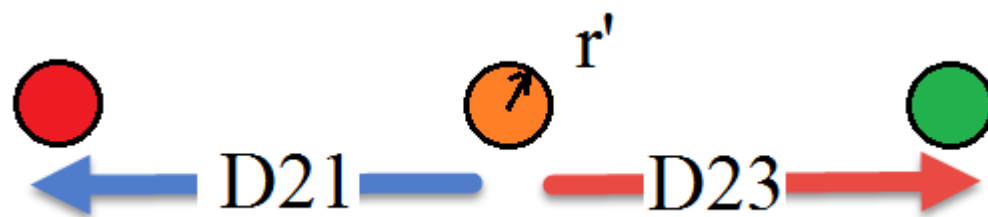
محاسبه اندوکتانس خط سه فاز  
(تک سیم در هر فاز)



$$L_1 = 2 * 10^{-7} \ln \left( \frac{GMD_1}{GMR_1} \right) \text{ H/m}$$

$$GMR_1 = r'$$

$$GMD_1 = \sqrt[2]{D_{12} D_{13}}$$



$$L_2 = 2 * 10^{-7} \ln \left( \frac{GMD_2}{GMR_2} \right) \quad H/m$$

$$GMD_2 = \sqrt[2]{D_{21} D_{23}}$$

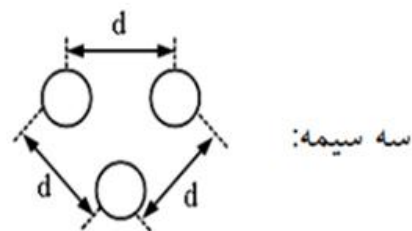
$$GMR_2 = r'$$

# میانگین هندسی فواصل خودی در کابل های رشته ایی با (باندلهای دو تایی- سه تایی و چهارتایی)

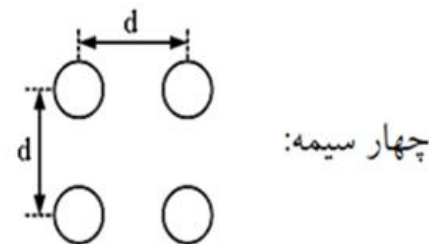
$$D_{sl} = \sqrt[4]{(D_s * d)^2} = \sqrt[2]{D_s * d}$$



$$D_{sl} = \sqrt[9]{(D_s * d * d)^3} = \sqrt[3]{D_s * d^2}$$



$$D_{sl} = \sqrt[16]{(D_s * d * d * d * \sqrt{2})^4} = 1.091 \sqrt[4]{D_s * d^3}$$



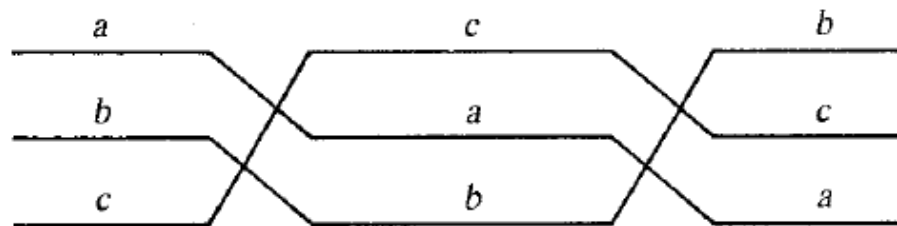
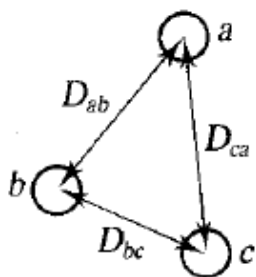
$$L = 2 * 10^{-7} \ln \left( \frac{GMD}{\text{GMR}} \right) \quad L = 2 * 10^{-7} \ln \left( \frac{GMD}{D_{sl}} \right) \text{ H/m}$$

# ترانسپوز کردن خطوط انتقال

در عمل، سه هادی خط سه فاز، به ندرت فاصله متوازی دارند. این فاصله نامتقارن، سبب تولید اندوکتانس‌های نابرابر و در نتیجه افت ولتاژهای متفاوت در سه فاز و عدم تعادل خط می‌شود.

برای متعادل کردن این عدم تعادل، موقعیت هادی‌ها در بازه‌های مشخصی در طول خط تغییر می‌کند.

این کار را «ترانهش» یا جابه‌جایی (Transposition) می‌نامند که در شکل ۱ نشان داده شده است.

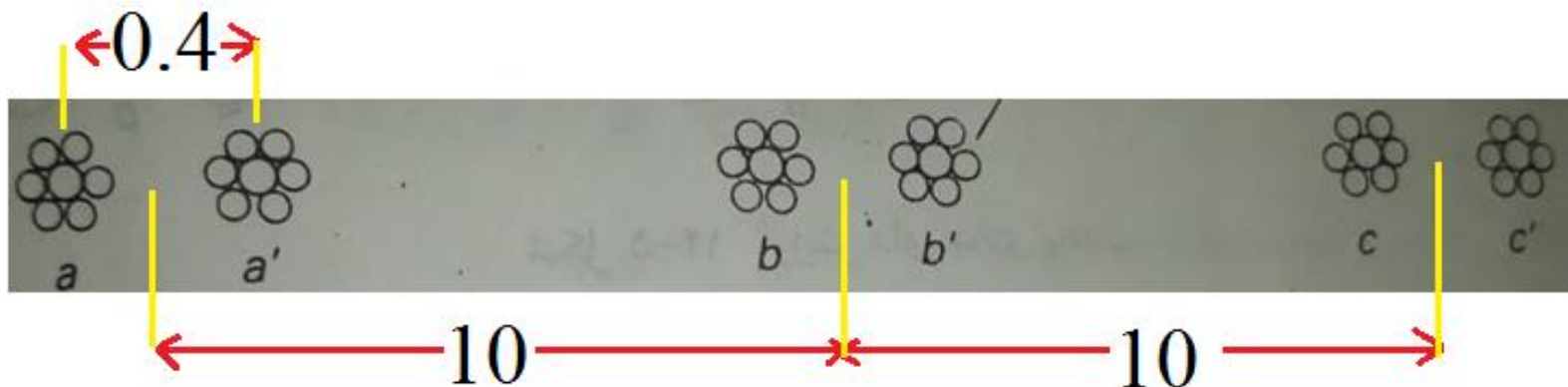


$$L = 2 * 10^{-7} \ln \left( \frac{GMD}{GMR} \right)$$

$$GMD = D_e = (D_{ab} D_{bc} D_{ca})^{1/3}$$



# راکتانس خط سه فاز با باندل دوتایی ترانسپوز شده با کابل رشته ایی



$$L = 2 * 10^{-7} \ln \left( \frac{\sqrt{D_{12} \cdot D_{13} \cdot D_{23}}}{\sqrt{D_s \cdot d}} \right) \quad H/m$$

$$L = 2 * 10^{-7} \ln \left( \frac{\sqrt{10 * 10 * 20}}{\sqrt{0.0159 * 0.4}} \right) \quad H/m$$

$$L = 2 * 10^{-7} \ln \left( \frac{12.6}{0.0676} \right) \quad H/m$$

