

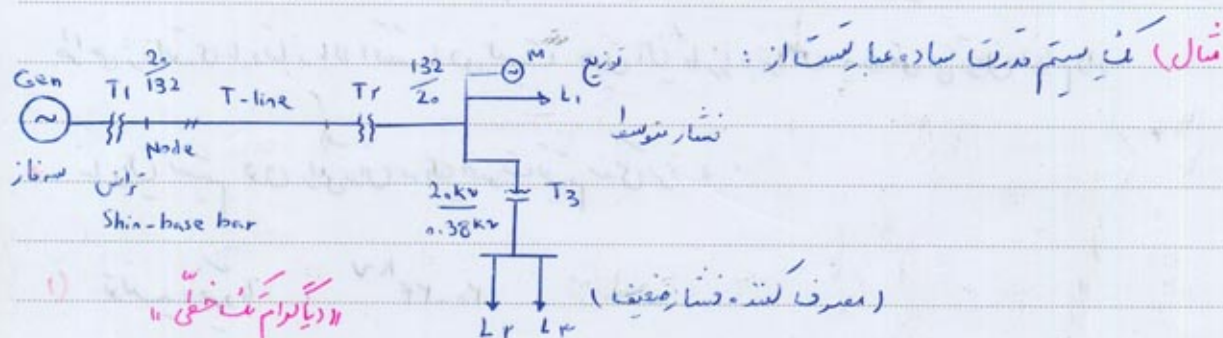
«بررسی سیمای قدرت» «به نام خداوند بخشنده مهربان»

سیستم های قدرت را در حالت دائم در نظر می گیریم. در اینجا ولتاژ و جریان AC است و سیستم قدرت

سه فاز است. اتصال سه فاز است. البته به مصرف کننده که می رسد می تواند سه فاز یا تک فاز باشد.

۱) تعریف سیستم قدرت الکتریکی: مجموعه انباری که برق را تولید می کند، اتصال می دهد و به مصرف کننده می رساند.

تمام اتصال زیر ۳ فاز است و تنها بابت خط نمایش داده می شود.



ولتاژ که از ترانسور تولید می کند سن ۲۰-۲۴ kV (به دناز (به فاز و بول) تولید می کند.

$T_1$  ولتاژ را افزایش می دهد بعد اتصال  $T_2$  و  $T_3$  ولتاژ را کاهش می دهند.



در ترانس  $T_2$ ؟ اولی آن فرقی نمی کند که  $\Delta$  یا  $Y$  باشد ولی از آن جهت که  $\Delta$  است.



ترانس ۳ فاز: (R و S و T) تک فاز: (T و S و R و N)

آبر از قسمت ۲۰ kV به مصرف کننده برسانیم، نشان نمایی و از ۲۰۰ ولتاژ برسانیم.

فشار ضعیف گفته می شود.

**سؤال:** چرا ابتدا ولتاژ را بالا می برند و در بعضی ولتاژ را پایین می آورند؟

۱) در توان ثابت اگر ولتاژ را بالا ببریم، جریان کم می شود بنابراین تلفات کم می شود = برای کاهش تلفات

۲) افت ولت کمتری شود (به دلیل خاصیت سلفی در سیر انتقال)

۳) وقتی ولتاژ را افزایش می دهیم توان انتقالی از خط افزایش می یابد و مجذوری هم افزایش می یابد

به این سه دلیل خطوط انتقال ولتاژ بالا طراحی می کنند.

طراحی زیربنای با ولتاژ بالا اقتصاد نیست چون این کار را با ترانس به راحتی می توان انجام داد.

\* بنابراین سیستم فوق را می توان به این صورت تقسیم بندی کرد:

۱) تولید - نبرد:  $20-24^{kv}$

۲) انتقال:  $EHV - HV - UHV$   
خطوط هوایی  $132 - 320 - 400$

۳) زیر انتقال - فوق توزیع:  $23^{kv}$

۴) توزیع:  $\left. \begin{array}{l} 1 - فشار متوسط: 20^{kv} - 6^{kv} \\ 2 - فشار ضعیف: 0.22^{kv} / 0.38^{kv} \end{array} \right\}$

۵) مصرف کننده

① متغذ از تکیس سیستم های قدرت بدست آوردن یک سری کمیات است مثل ولتاژ، جریان، تلفات توان ...



مثلاً برای محاسبه جریان : 
$$P = \sqrt{3} V I \cos \phi \rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \phi}$$

مخصوص باید دلتا را در node ها (شین ها) و جریان خطوط انتقال را باید بیابیم.

برای انتخاب کامل مورد نظر می بایست ابتدا جریان را از رابطه  $I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \phi}$  که مشخصه های توان و ضریب قدرت

را از روی دستگاه بخوانیم و بر اساس آن سیم ۸، ۴، ۳، ۲ و ۱ را انتخاب کرده و باید دقت بر فن افت فشار میزان

دلتا مصرف کننده را در نظر می گیریم.

۲) هدف از بررسی سیستم های قدرت: بدست آوردن اطلاع از وضعیت شبکه یعنی بدست آوردن وضع دلتا،

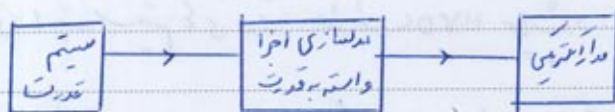
جریان، ... تا بینیم سیستم در چه ایستگاه تباری خود هست یا نه یعنی خطی اضافه بار شده و ...

۳) برای رسیدن به این هدف باید کمتهای اکثریتی را محاسبه کنیم که مهم ترین آنها دلتا و بارها است. جریان خطوط

۴) نحوه محاسبه کمتهای: برای محاسبه کمتهای با توجه به دیتایم تک خطی و اطلاعاتی که در اختیار ما قرار داده اند

سیستم های قدرت اکثریتی را به مدار اکثریتی تبدیل می کنیم. به درونش مش node که در این درس بیشتر از روش

node استفاده می شود.



\* اجزاء اصلی سیستم قدرت: ۱) ژنراتور، سکون سه فاز ۲) ترانسفورماتور قدرت

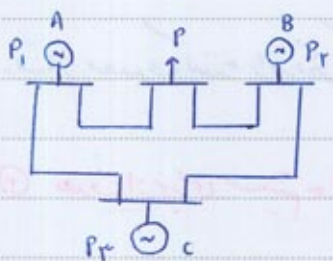
۳) خطوط انتقال - توزیع ۴) بارهای مصرفی

\* رشد سیستم های قدرت: (۱) رشد شبکه ها یعنی زیاد شدن تعداد نیروگاه ها و مصرف کننده ها

(۲) با بزرگتر شدن شبکه ، سطوح ولتاژ هم بالا رفته است

قبلاً نیروگاه ها بهم ارتباطی نداشتند اما امروزه تمام نیروگاه های یک کشور به شبکه همگامی برق و بهم متصل

هستند پس امروزه شبکه های بهم پیوسته (inter connected system) بوجود آمده است



فرایه: (۱) افزایش قابلیت اطمینان سیستم: یعنی مصرف کننده می تواند از

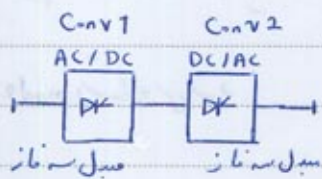
چند منبع تغذیه شود پس اگر یک نیروگاه قطع شود از نیروگاه دیگر تغذیه می شود

(۲) هر نیروگاه غیر از تلف برق باید به اندازه رزرو برای تلفات یکبار داشته باشد

از نیروگاه ها بهم وصل باشند می توانند از هم کمک بگیرند و سطح رزرو پایین می آید (امگا تبادل انرژی

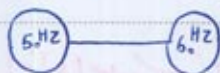
و کاهش سطح رزرو)

(۳) تبادل انرژی بین مناطق مختلف کشور



(۴) همزمان با رشد سیستم های قدرت خطوط HVDC برپایه

برای فواصل کم یا برای ارتباط برق بین دو کشور که دارای فرکانس متفاوت است



(۵) نیروگاه ها هم سان در اتصال اند یا به عبارتی یک شبکه HV داریم که تمام نیروگاه ها به این وصل می شوند

امروزه نیروگاه های کوچک پراکنده بوجود آمده و تولیدگر کننده DG (Distributed Generation) P4PCO

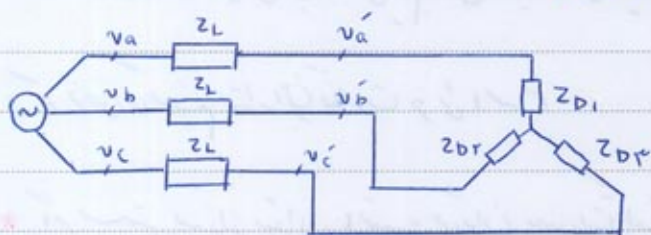


نیز دماهایی که کوکت اند در محل توزیع نصب می شوند پس دمای تلفات انتقال را ندارند.

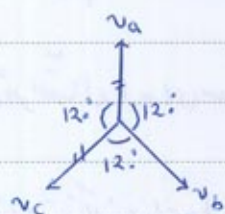
کارخانجات توان را کسور را از بارهای خازنی تأمین می کنند و توان استو خود را از سردها تأمین می کنند.

## فصل دوم: یادآوری مفاهیم و کمیت های الکتریکی:

در سیستم قدرت جریان متناوب  $f = 50 \text{ Hz}$  است.



سیستم قدرت سه فاز: ۱) معادل  
۲- نام معادل



$$\begin{cases} v_a = \sqrt{2} |V| \sin \omega t \\ v_b = \sqrt{2} |V| \sin (\omega t - 120^\circ) \\ v_c = \sqrt{2} |V| \sin (\omega t + 120^\circ) \end{cases}$$

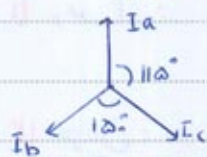
۱۲. درجه نصب کرد

در سیستم معادل:

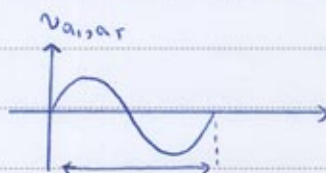
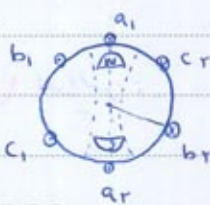
اگر اندازه امدانسی میره  $Z_L$  با هم برابر و  $Z_D$  با هم برابر باشند یعنی امدانسی خطوط با هم برابر باشند

چون ولتاژ متعادل اعمال شده جریان عبوری از خطوط هم (از لحاظ اندازه) با هم برابر است:  $I_{a1} = I_{b1} = I_{c1}$

در سیستم نام معادل: ۱) اگر  $Z_{D1} \neq Z_{D2} \neq Z_{D3}$  باشد جریان ها برابر نیستند. زاویه بین آنها هم با هم برابر نیست.



۲) حالت دیگری که موجب نامتعادلی می شود در شرایط غیر عادی است که مثلاً بین



دو خط اتصال ایجاد شود یا یک خط قطع شود.

در دو ترمینال نقاط نامزهای a و b که وارد می شوند

\* بنابراین شرایط عادی مربوط به مصرف کننده در میان بودن منابع مصرف کننده است.

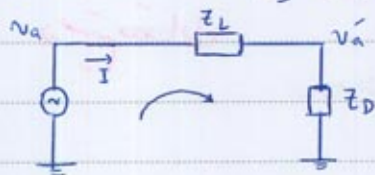
شرایط غیر عادی مربوط به اتصال کوتاه، قطع خط و... است.

توجه: در بررسی فرض می‌کنیم همیشه شرایط عادی است و سیستم را معادل فرض می‌کنیم یعنی سیستمی

قدرت را در حالت نرفال بررسی می‌کنیم ضمن اینکه در شرایط عادی یک نامعادلی ناشی از مصرف کننده داریم.

که فرض می‌کنیم مدار این تفاوت خنثی است.

\* اگر سیستم سه فاز معادل باشد، می‌توان معادلات فاز یک سیستم سه فاز را نمایش داد.



پس اگر اتصال بارهای مصرفی صورت ساده باشد:

نقشه اشتراک فازها را در اتصال ساده مصرفی کنیم بنابراین نمایش فاز:

$$I = \frac{v_a}{Z_L + Z_D} \quad \text{و} \quad v_a = Z_D \cdot I$$

برای فاز یک می‌گیریم ۱۲۰° شیف می‌دهیم:

که گویای آن که در این سیستم با آن سر و کار داریم:

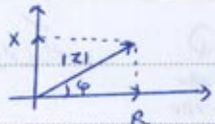
۱) ولتاژ:  $v = |v| \angle \theta$        $v, \text{ kV}$       (نمایش فازوری)


۲) جریان:  $I = |I| \angle \phi$        $A, \text{ kA}$

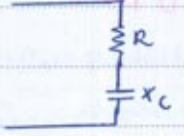
۳) امدان:  $Z = \frac{V}{I} = |Z| \angle \varphi$        $\text{ohm } (\Omega)$

**P4PCO**  $Z = \underbrace{|Z| \cos \varphi}_{R \text{ مقاومت اسی}} + j \underbrace{|Z| \sin \varphi}_{X \text{ راکتانس}}$



ایمانش  
 $Z = R + jX$   
 رزیتانس راتانس  
  
 $|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$   
 $\tan \varphi = \frac{X}{R}$   
 راتانس: (X) (۱۴)

  
 $X_L = L\omega$   
 $Z = R + j\omega L$   
 راتانس سلفی: (۱)

  
 $X_C = \frac{1}{C\omega}$   
 $Z = R + \frac{j}{C\omega}$   
 راتانس خازنی: (۲)

$Y = \frac{1}{Z} = \frac{I}{V} = |Y| \angle \varphi$  (۵) or (۵۵)  
 ادیمانس: (۵)

$Y = |Y| \cos \varphi + j |Y| \sin \varphi$  (سی ناراست)  
 $\rightarrow G \leftarrow B$

$Y = G + jB$   
 B (سوسپانس)، G (کندانس)

$G = \text{Re}[Y]$  ,  $B = \text{Im}[Y]$

آورد الکتریکی موازی باشند بهتر است ادیمانس حساب کنیم چون ادیمانسها بهم جمع می شوند.

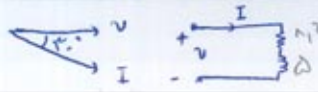
$G = \text{Re}[Y]$   $B = j\omega C$  سوسپانس خازنی ← در مورد خازن همیشه از سوسپانس استفاده می کنیم.

$B = \text{Im}[Y]$

$X_L = j\omega L$  راتانس سلفی. در مورد سلف از راتانس استفاده می کنیم.

$V = 100 \angle 20^\circ$   
 $I = 10 \angle 100^\circ$   
 $\Rightarrow Y = \frac{10}{100} \angle 40^\circ = 0.1 \angle 40^\circ$  مثال (۱)

در اینجا جریان از ولتاژ ۴۰ درجه عقب تر است یعنی در مدار سلف داریم.

$Z = 100 - j50 \Omega$   
 $\Rightarrow Z = \frac{100}{10} \angle 30^\circ = 10 \angle 30^\circ$   
 $= 10 \cos 30^\circ + j 10 \sin 30^\circ = 8.7 + j5$  مثال (۲)  
  
 اما در:  $V = 100 \angle 0^\circ$   
 خازنی:  $I = 10 \angle 30^\circ$

۶ توان: توان اکتیو  $\phi$  ، توان متوسط  $P_{av}$  ، توان لحظه‌ای  $p(t)$

$W$   $VAR$   $KVAR$   $MVAR$

توان اکتیو  $P$  ، توان فکته  $S$  ، توان ظاهری  $|S|$

$W$   $KW$   $MW$   $VA$   $KVA$   $MVA$

توان لحظه‌ای:

$$p(t) = V_m \sin \omega t \cdot I_m \sin (\omega t - \phi) = V_m I_m \sin \omega t \sin (\omega t - \phi)$$

$$= \frac{1}{2} |V| |I| \sin \omega t \sin (\omega t - \phi) = |V| |I| \cos \phi (1 - \cos 2\omega t) - |V| |I| \sin \phi \sin 2\omega t$$

متوسط توان =  $\cos \phi$  (ضریب توان)  $\sin 2\omega t$  (متوسط صفر)

توان متوسط:

$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = |V| |I| \cos \phi$$

توان حقیقی (اکتیو):

$$P = |V| |I| \cos \phi \quad \text{or} \quad P = V_{rms} I_{rms} \cos \phi$$

فاصله درخت  $\phi$  (زاویه)

$$P = Z I \cdot I \cos \phi = \underbrace{Z \cos \phi}_R |I|^2 = R |I|^2$$

$$V = 100 \angle 0^\circ$$

$$I = 10 \angle -30^\circ \rightarrow P = 100 \times 10 \cos (+30^\circ) = 866 W$$

در حالتی که مدار همی باشد:  $P = VI \Leftrightarrow \phi = 0$  ,  $\cos \phi = 1$

\* توانی که معادمت مصرف می کند توان اکتیو و توانی که سلف مصرف می کند توان راکتیو است چون آنر

معادمت مصرف باشد اختلاف فاز و ساز و جریان سلف ۹۰ است و توان راکتیو نامرئی و توان اکتیو

صفر خواهد شد.

توان راکتیو:

$$Q = V I \sin \phi \Rightarrow Q = X |I|^2$$

توان فکته:

$$S = V I^* \quad \text{و} \quad S = |V| |I| \angle \phi \quad (\text{به فرم قطبی})$$

نزدج جریان  $I^*$



فرم کمپلکس دگاری:  $S = \frac{|V||I| \cos \varphi}{P} + j \frac{|V||I| \sin \varphi}{Q} = P + jQ$  \*\*

توان واقعی      توان راکتیو

اگر نسبت موجی منفی باشد، نشان دهنده وجود خازن در مدار است و اگر مثبت بود نشان دهنده وجود

سلف در مدار است و اگر توان راکتیو صفر بود حتماً مدار مقاوم است.

$P = \text{Re}[S]$  و  $Q = \text{Im}[S]$  که  $S = VI^*$

در بدست آوردن  $Q$  به روش علامت را باید خودتان بگذاریم. یعنی باید ببینیم مدار سلفی است یا خازنی.

اگر خازنی بود منفی بگذاریم و اگر سلفی بود علامت مثبت بگذاریم و می‌درروش \* تغییر لازم نیست به علامت دقت کنیم.

$S = |S| \angle \varphi$  VA

$|S| = |V||I|$

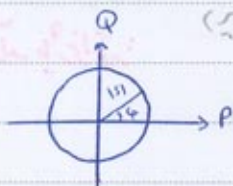
توان ظاهری:

توان واقعی

$\tilde{S} = |S| \angle \varphi$

$Q = |S| \sin \varphi$

$P = |S| \cos \varphi$



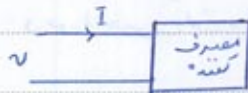
پس توان راکتیو صفر می‌توان نشان داد.

\* خاصیت مصرف کننده (از بی طرفی، خازنی، مقاوم):

مصرف آتیو

$S = VI^* = P + j0$   $P > 0$   $Q = 0$

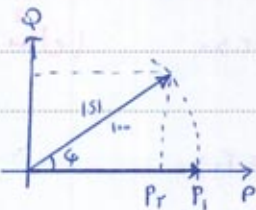
اجم: جریان دواریم دارند



مصرف آتیو

$S = VI^* = P + jQ$   $P > 0$   $Q > 0$

سلفی: جریانی که از عبور از حلقه



تولید راکتیو

$S = VI^* = P - jQ$   $P > 0$   $Q < 0$

خازنی: جریان از دینار عبور حلقه

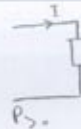
\* توان آتیو مقدار متوسط دارد. توان راکتیو توان سینوسی رفت و برگشتی است که مقدار متوسط آن صفر است.



$$S = V I^*$$

$$P > 0 \rightarrow \text{تولید}$$

$$Q > 0 \rightarrow \text{مصرف}$$



$$P > 0 \rightarrow \text{مصرف}$$

$$Q > 0 \rightarrow \text{مصرف}$$

$$P > 0 \rightarrow \text{تولید}$$

$$Q > 0 \rightarrow \text{مصرف}$$

به کار می رود

تولید می کند

توان از راه سلف شدن - از راه بار دایره جبر به کمتر

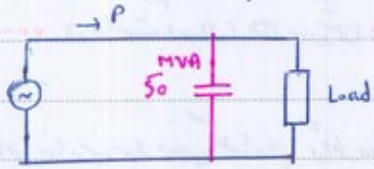
زمانیکه بار دارد توان را می تواند مصرف می کند و توان را می تواند تولید می کند.

زمانیکه مصرف کننده فقط متاد می باشد تمام ۱۵۱ را می توان به P تبدیل کرد یعنی  $(P = 0.9)$   $100 \text{ MW} \rightarrow 100 \text{ MVA}$

اما اگر متاد می خالص نباشد باید از توان انبوی  $(P_2 < P_1)$  که تولید می کند کم کند چون می خواهد توان Q

تولید کند که در حجم Q بیشتری خواهد تولید کند باید P کمتری تولید کند.

\* بجای اینکه توان را می تواند درگاه تولید شود می توان در هر کارخانه تولید کرد به این ترتیب که ابتدای ورود برق



$$S = P + jQ$$

$$S = 100 + j50$$

$$\text{MW} \quad \text{MVAR}$$

به یک کارخانه یک خازن می گذاریم:

چون در محل مصرف کننده خازن توان را می تواند تولید می کند.

\* خاصیت تولید کننده مولد یا ژنراتور:



SG; (Generator)

در مورد مولد:  $P > 0 \rightarrow$  تولید انبوی  $Q > 0 \rightarrow$  تولید را می تواند

در مورد مصرف کننده:  $P > 0 \rightarrow$  مصرف انبوی  $Q > 0 \rightarrow$  مصرف را می تواند

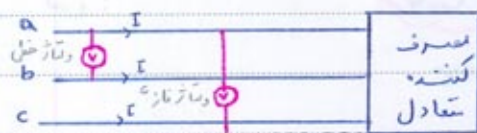
سوال ۱  $S_G = 20 + j5 \text{ VA}$   $Q = 5 > 0 \rightarrow$  تولید را می تواند  $P = 20 > 0 \rightarrow$  تولید انبوی

$S_G = 20 - j5$   $Q = -5 < 0 \rightarrow$  مصرف را می تواند  $P = 20 > 0 \rightarrow$  تولید انبوی

یعنی از نظر توان را می تواند سلف شده - سلف توان را می تواند مصرف می کند، خازن توان را می تواند تولید می کند.



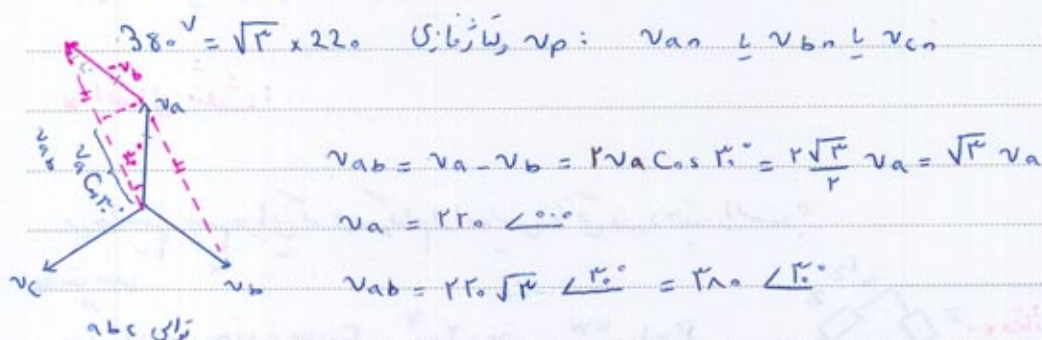
سیستم سه فاز:



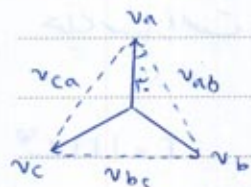
چون مصرف کننده متعادل است، از هر سه خط جریان  $I$

عبور می کند. بین خطوط باید ولتاژی تعریف کنیم. ولتاژ بین دو فاز: ولتاژ خطی و ولتاژ بین فاز و نول: ولتاژ فاز. نامیده می شود. در حالت تعادل فقط ولتاژ فاز داریم:

$$V_L = \sqrt{3} V_p \quad \text{ولتاژ خطی} \quad V_L \text{ یا } V_{ab} = V_{bc} = V_{ca}$$



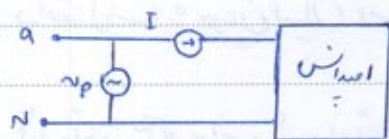
ولتاژ خطی  $\sqrt{3}$  برابر ولتاژ فاز است. از نظر زاویه  $30^\circ$  با هم اختلاف فاز دارند.  $V_{ab}$  از  $V_a$   $30^\circ$  جلوتر است.



می بینیم که  $V_a < V_{ab}$  و  $30^\circ$  اختلاف فاز دارند.

$$P_{\text{کل}} = V_p \cdot I \cdot \cos \varphi$$

در حالت تعادل: توان:



در حالت سه فاز: توان:

$$P = 3 V_p I \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot \underbrace{\sqrt{3} V_p I}_{V_L} \cos \varphi = \sqrt{3} V_L I \cos \varphi$$

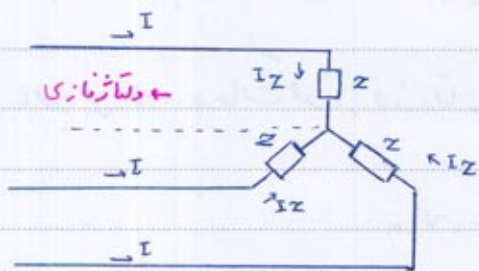
چون سه فاز داریم

$$P = \sqrt{3} |V| |I| \cos \varphi$$

$$P = 3 V_p I_p \cos \varphi$$

\* نول جریان ندارد مگر نامعادله باشد. برای سیستم متوازن یک دات متوازن است اگر نامعادله باشد ۳ دات متوازن.

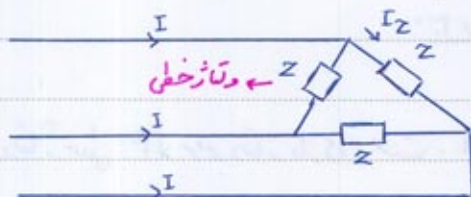
\* اتصال ستاره:



جریان که از امپدانس بار عبور می کند خطی است.

جریان که از امپدانس بار عبور می کند بار جریان خطی است.  $I_Z = I$

\* اتصال مثلث:



می خواهیم بینم جریان که از هر کدام از امپدانس ها می گذرد چقدر است؟

$$P = 100 \text{ kW} \quad V = 400 \text{ V} \quad \cos \varphi = 0.8$$

چون سه فاز است ولتاژ  $V = 400 \text{ V}$  خطی است.

$$I_Z = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

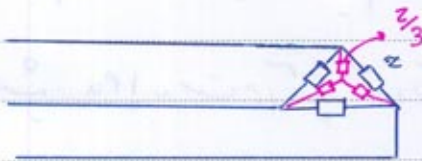
$$P = \sqrt{3} V I \cos \varphi = 100000 = \sqrt{3} \times 400 \times |I| \times 0.8 \Rightarrow |I| = \frac{100000}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.8} \quad I = |I| \angle \varphi$$

در اتصال ستاره جریان کمین است، ولتاژ فازی است اما در اتصال مثلث جریان بینم بر  $\sqrt{3}$  شده.

اما ولتاژ  $\sqrt{3}$  برابر شده (ولتاژ خطی) - توان در هر دو حالت کمین است.

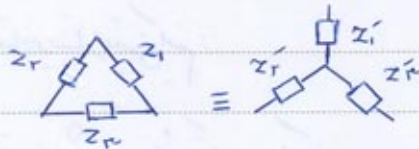


\* اگر بخواهیم تلفات را به ستاره تبدیل کنیم:



$$Z_1' = \frac{Z_1}{3}$$

دلتا خطی



تبدیل تلفات به ستاره:

$$S = \sqrt{3} V I^* \quad \text{توان فکله}$$

$$161 = \sqrt{3} \cdot 1711 \cdot I$$

در سیستم به فاز: توان ظاهری

$$P = \sqrt{3} V I \cos \phi \quad \text{توان اکتیو}$$

$$Q = \sqrt{3} V I \sin \phi \quad \text{توان راکتیو}$$

\* سیستم پریونیت (Per Unit): در سیستمی قدرت مرجع می دهیم بجای اینکه با کمتهای واقعی کار کنیم

در واحد

کمتهای را به پریونیت تبدیل کنیم. یعنی کمتهای را بدون (بایاسون) کنیم. برای این کار باید کمتهای انتخاب کنیم بعد از آنها.

کمتهای مبدا (base): (تعیین آن اختیاری است)

$$\text{معمولاً مقدار نامی را مبدا انتخاب می کنند.} \quad \text{کمتهای واقعی} = \frac{\text{کمتهای پریونیت شده}}{\text{کمتهای مبدا}}$$

$$V = 200 \angle 30^\circ \text{ V}$$

مسئله ۱)

$$V_{\text{base}} = 200 \text{ V} \Rightarrow V = \frac{200 \angle 30^\circ}{200} = 1 \angle 30^\circ \text{ pu}$$

$$V_b = 20 \text{ kV}$$

$$V = 24 \text{ kV} \angle 10^\circ$$

مسئله ۲)

$$\Rightarrow V = \frac{24 \angle 10^\circ}{20} = 1.2 \angle 10^\circ \text{ pu}$$

مابقی نقاط می تخمین که ۲۰٪ افت افتاد داریم.

در سیستم های قدرت همیشه می خواهیم که ولتاژ ما  $P_u$  شود. یعنی اگر ولتاژ نامی باشد  $V$  مورد نظر

همیشه  $P_u$  بدست می آید. اگر ولتاژ  $P_u$  را داشتیم و ولتاژ واقعی را خواستیم باید در ولتاژ مضرب کنیم.

\* همیشه قبل از حل مسئله باید مقادیر مبنا را تعیین کنیم:

مقادیر مبنا	
$V_b$	فازی
$I_b$	فازی
$S_b$	تلفاز
$Z_b$	تلفاز
$Y_b$	تلفاز

این مقادیر مبنا مقادیر تلفاز هستند. همیشه در مسائل تلفاز حل می کنیم.

در حالت پریونیت می توان مقدار  $V$  را خطی هم در نظر گرفت.

چون طبق روبرو مقدار دیگر با هم برابر می شود:  $V = \frac{400}{\sqrt{3}}$

$$V = 400$$

$$V = \frac{400}{\sqrt{3}}$$

$$V_b = 400$$

$$V_b = 230$$

\* محاسبه base سایر کمیتها:

فرض کنیم مقادیر  $S_b$  و  $V_b$  معلوم می خواهیم مقادیر  $I_b$  و  $Z_b$  و  $Y_b$  را محاسبه کنیم:

مقدارند - رادین

$$\begin{cases} S_b \\ V_b \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_b \\ Z_b \\ Y_b \end{cases}$$

$$Z_b = \frac{V_b^2}{S_b} \quad I_b = \frac{S_b}{V_b} \quad Y_b = \frac{1}{Z_b}$$

∴ حال اگر نخواهیم بر حسب خطی  $V_{bL}$  و تلفاز  $S_{b3\phi}$  در نظر بگیریم و تعدادی نخواهد کرد چون:



$$Z_b = \frac{3 V_{bL-L}^2}{3 S_{b1\varphi}} = \frac{(\sqrt{3} V_{bL-L})^2}{S_{b3\varphi}} = \frac{V_{bL-L}^2}{S_{b3\varphi}}$$

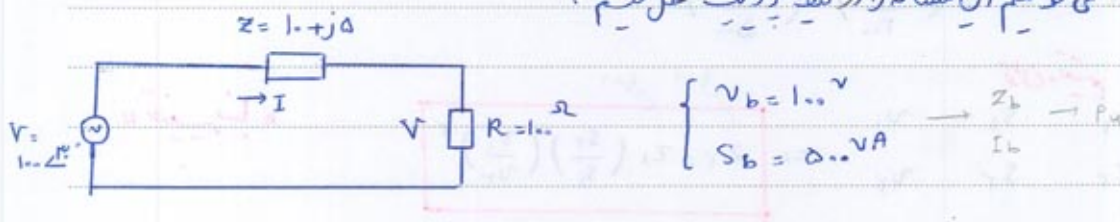
$$I_b = \frac{3 S_{b1\varphi}}{3 V_{bL-L}} = \frac{S_{b3\varphi}}{\sqrt{3} V_{bL-L}} \Rightarrow I_b = \frac{S_{b3\varphi}}{\sqrt{3} V_{bL-L}}$$

اما در مورد جریان عبور می کنند؟

امپدانس مربوط به یک فاز است، چون هر فاز یک امپدانس دارد پس امپدانس ۳ فاز معادل دارد.

در صورت سلفی دقتی مهمت از ولتاژ می شود، ولتاژ خطی و توان، توان ۳ فاز می باشد.

**تغییر مبدا:** می خواهم این مسئله را در یک سیستم حل کنیم:



$$Z_b = \frac{V_b^2}{S_b} = \frac{100^2}{500} = \frac{100 \times 100}{500} = 20 \Omega$$

برای ریزش روی زاویه اثر ندارد.

$$Y_b = \frac{1}{Z_b} = 0.05 \text{ S}, \quad I_b = \frac{S_b}{V_b} = \frac{500}{100} = 5 \text{ A}$$

$$V = \frac{100 \angle 0^\circ}{100} = 1.0 \angle 0^\circ \text{ pu}$$

$$Z = \frac{1 + j5}{20} = 0.05 + j0.25 \text{ pu}, \quad R = \frac{100}{20} = 5 \text{ pu}$$

$$I = \frac{V}{Z + R} = \frac{1.0 \angle 0^\circ}{0.05 + j0.25 + 5} = \frac{1.0 \angle 0^\circ}{5.05 + j0.25} = \frac{1.0 \angle 0^\circ}{\sqrt{5.15^2 + 0.25^2} \angle \tan^{-1} \frac{0.25}{5.15}} = |I| \angle \varphi$$

$$\Rightarrow V = R I = 5 \times |I| \angle \varphi \text{ pu}$$

\* نابراین باید تمام مسئله را بر اصل همین  $V_b$  و  $S_b$  در نظر بگیریم.

∴ اما اگر حال در مبدا مانند ورود داشته باشیم می‌توانیم:

$$\text{if } R_1 = \Delta P_u \Rightarrow \begin{cases} V_{b1} = 100 \text{ V} \\ S_{b1} = 500 \text{ VA} \end{cases} \quad \& \quad \begin{cases} V_{br} = 100 \text{ V} \\ S_{br} = 400 \text{ VA} \end{cases}$$

$$\Rightarrow Z_{b1} = \frac{V_{b1}^2}{S_{b1}} = \frac{100^2}{500} \Omega \Rightarrow R_1 = \frac{100^2}{500} \times \Delta \Omega$$

$$\text{but } Z_{br} = \frac{V_{br}^2}{S_{br}} = \frac{100^2}{400} \Rightarrow R_r = \frac{100^2 \times \Delta}{400} / \frac{100^2}{400} P_u$$

$$\Rightarrow R_r = \Delta \left( \frac{100}{100} \right)^2 \left( \frac{400}{500} \right)$$

توان تقسیم

$$\begin{matrix} P_u & Z_1 & S_1 & V_1 \\ P_u & Z_r & S_r & V_r \end{matrix} \Rightarrow \boxed{Z_r = Z_1 \left( \frac{S_r}{S_1} \right) \left( \frac{V_1}{V_r} \right)^2}$$

«تغییر مبدا»

\* مثال) یک ترانزفورماتور ۲۰ کیلو و ۵۰ مگا واری راتانس  $x = 0.1 P_u$  است.

حالا به عنوان مبدا می‌خواهیم ۱۰۰ مگا و ۵ کیلو راد تغییر بدیم. حال راتانس راد مبدا می‌جود باید.

$$X_r = 0.1 \left( \frac{100}{50} \right) \left( \frac{20}{5} \right)^2 = 16 \times 2 \times 0.1 = 3.2 P_u$$

$$\text{or } Z_{b1} = \frac{V_1^2}{S_1} \Rightarrow Z_{br} = X_r = \frac{0.1 \times \frac{20^2}{50}}{\frac{5^2}{100}} = 0.1 \left( \frac{20}{5} \right)^2 \left( \frac{100}{50} \right) = 3.2 P_u$$

فصل سوم: مدلسازی خطوط انتقال:

استانس سری  $Z = R + j\omega L$

استانس موازی  $Y = G + j\omega C$

در اثر عبور جریان از سیم و ولتاژ  $V_r$  از یک نکته است به دلیل مقاومتی که سیم دارد.

$$Z = R + j\omega L$$

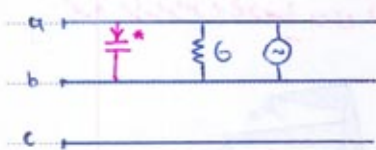
P4PCO

خطوط انتقال به ناز هستند.





\* جریان خازنی یا Capacity خط  $B = \omega C$



اگر دلائر خط از حدی بالاتر برود خطوط بین هم عایق می شوند و لذا یک جریان

نشی خواهیم داشت. بدان خط یک اد میانس دارد. از  $G$  محاسبات می توانیم شود.  
برای مدل کردن آن از  $G$  استفاده می کنیم، آن خط به یک منبع می شود در خط  $G$  می توانیم

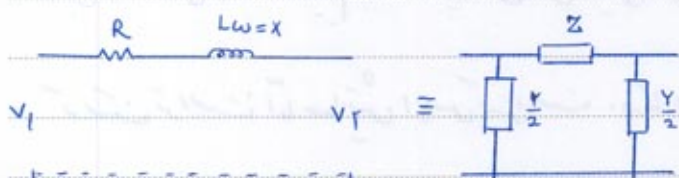
$$Y = G + j\omega C$$

$$Y = j\omega C$$

دری خاصیت خازنی وجود دارد.

لذا پارامترهای خطوط:  $C$ ،  $G$  و  $L$  و  $R$

اگر مدل خط انتقال کم باشد  $C$  خیلی کوچک است لذا از  $C$  هم می توانیم بسازیم پس فقط  $R$  و  $L$  باقی می ماند.



لذا مدل یک خط بصورت دوپورت می باشد:

« مدل  $\pi$  »

نابراین برای مدلسازی خط باید مقادیر  $R$ ،  $L$  و  $C$  را داشته باشیم. در این نام محاسبه  $R$  و  $L$  (میدان سری خط)

می پردازیم. در فصل چهارم به محاسبه  $G$  و  $C$  می پردازیم.

\* خطوط هدایی

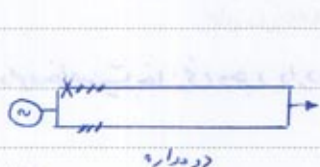
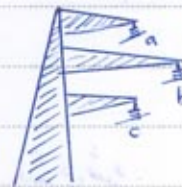
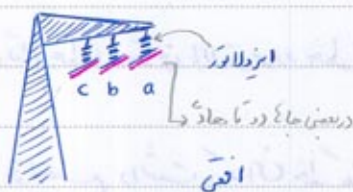
قبل از آغاز محاسبه یک اطلاعات کلی از خطوط انتقال را باید بدانیم: خطوط انتقال

قابل زیرزمینی

عمدتاً خطوط هدایی هستند چون هزینه کمتری است ولی در قابل زیرزمینی است خطوط عبور است.

در خطوط هدایی عایق آنها هواست.

نمونه توارش در دهی های : (۱) افقی (۲) قائم (۳) شیب



دکل در مدار

دو مدار (در صورت قطع خط)

انواع دهی : جادهای استاندارد شده به صورت رشته ای است که بافته شده است و سطح مقطع آن به این شکل است :



حسب رشته ای می تواند آلومینم باشد. چون مس جنس سنگینی دارد پس از آلومینم استفاده می شود.

که سبک تر است اما هدایتش از مس کمتر است. در کابل های زیر زمینی وزن مهم نیست، قیمت ملاک است.

استال آلومینم این است که استحکام مکانیکی آن کم است که برای جبران آن در کارخانه کف ماده دیریم به آلومینم

اضافه کرده اند (آلیاژ آلومینم) آلومینم با هسته فولاد مس  $ACSR \rightarrow$

هسته رشته ای هادی آلومینم  $AAAC \rightarrow$

آلیاژ آلومینم  $AAAC \rightarrow$

رشته ای آلومینم با هسته آلومینم  $ACAR \rightarrow$

آلومینم با هسته آلومینم

در شرکت مپنا عدم هادی هایی که استفاده می کنند  $ACSR$  است و مقعران فولاد است.



$$\frac{27AL}{4ST}$$

بعضی از دکل ها طوری است که از صرناز در هادی می گذرد.

a b c

در اینجا دو تا هادی شکل یک فاز ردیف از دکل داده اند.

از دکل تر : برای مانع کردن دکل از خطوط و جلوگیری از اتصال

P4P4 R S T



از ۲ تا ۳ می تواند بیشتر باشد مثلاً سه یا چهار تا که به آن باندل گروهی می گویند. **باندل گروهی**  $\rightarrow$  سه تایی  $\rightarrow$  دو تایی  $\rightarrow$  چهار تایی

علت این که باندل می کنند: دسی ولتاژ برای خطوط بالا، بالایی رود میدان استری می اطراف از یک مقداری

که بگذرد محیط اطراف یونیزه می شود شش می کنند به آن پدیده کرونا (Corona) می گویند. آلودگی میدان



از ۳۰۰ کیلو ولت برتر بیشتر شود. **عوارض نامطلوب**  $\rightarrow$  تلفات انرژی  $\rightarrow$  تداخل نامرئی

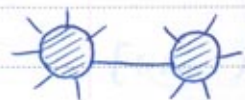
برای رفع مشکل سطح مقطع هادی را زیاد می کنیم در همان ولتاژی که بوده، شدت میدان مغناطیسی ضعیف تر می شود.



$$A_2 > A_1$$

$$E_2 < E_1$$

در وزن مساوی سطح مقطع آلومینم از مس بیشتر است و لذا کاربرد آلومینم بهتر است.



روش دوم این است که از دو هادی استفاده کنیم که جمع د سطح با  $A_1$  برابر باشد.

$$E_2 \rightarrow E_3 < E_1$$

هرچه فاصله دو هادی در تر باشد میدان مغناطیسی ضعیف تر می شود. به همین ترتیب می توان از ۳ یا ۴ تا استفاده کرد.

که شدت میدان مغناطیسی کمتر می شود. پس یکی از دلایل باندل کردن فیلتری از وقوع پدیده کروناست.

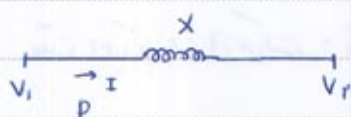
هرچه سطح ولتاژ بالاتر رود احتمال رخ دادن پدیده کرونا بیشتر است. به همین دلیل است که عمل باندل کردن در

مقاطع ولتاژ بالا است. وی را کاهش می یابد. هرچه  $A$  کمتر باشد بهتر است چون  $L$  باعث افت ولت

$$P = R |I|^2 \quad Q = X |I|^2 \quad \text{می شود توان را به مصرف می کند}$$

$$P_{APCO} \quad V_1 = V_2 + \overbrace{RI + jXI}^Z \rightarrow V_2 = V_1 - RI - jXI$$

پس هر چه  $X$  کمتر باشد بهتر است از طرفی هر چه  $X$  کمتر باشد توان انتقالی از خط هم بیشتر می شود.



$$P = \frac{|V_1| |V_2|}{X} \cos \delta$$

دلیل باندل کردن: (۱) غیر سری از وقوع پدیده نوسان

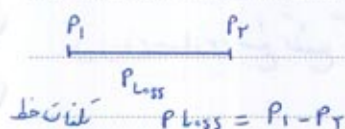
(۲) رانندگی ماشین بد می کند. هر چه کمتر باشد بهتر است چون افت ولتاژ ایجاد کرده

و توان را تلف می کنند.

با توجه به نوع هادی و آرایش فازها بردی کل  $R$  و  $L$  خط را محاسبه می کنیم.

مماسی  $R$ : ۱- استاندارد از جدول

$$P_{loss} = R |I|^2$$



$$R_{ac} = \frac{\text{طیافت خط}}{|I|^2}$$

$$R_{dc} = \rho \frac{L}{A} \quad \text{۲- استاندارد از جدول}$$

$$R_{r0} = P_{r0} \frac{L}{A} \rightarrow R_{d0} = R_{r0} [1 + \alpha (\Delta_0 - r_0)] \rightarrow R_{tr} = R_{t0} [1 + \alpha (t_r - t_0)]$$

$R_{ac} > R_{dc}$  (۱- به دلیل اثر پوستی) (تا فرودی  $A$ )  $R_{ac}$  یک چند درصدی از  $R_{dc}$  کمتر است.

(۲- ماریتی بودن سیم به  $\epsilon$  تا فرودی  $A$ )

اثر پوستی: اگر جریان نلزد از آنی کمتر در جدول استاندارد نمی کنیم. در حالت  $\epsilon$  سطح مقطع که در جدولی داریم کمتر است.



مثال ۱ فرض کنیم:  $R_{dc} = 20 \Omega$  و ماریتی بودن سیم به  $\epsilon$  و اثر پوستی  $\leftarrow 2\%$

$$R_{dc} = 20 \Omega \Rightarrow R_{ac} = 20 \times 1.02 = 20.4 \Omega$$



$$Z = R + j\omega L$$

محاسبه امپدانس خط سری :

$$R = R_1 \frac{T + t_r}{T + t_i} \quad T = r r_n \quad T = \text{نسبت حرارتی} \quad R_r = R_1 [1 + \alpha(t_r - t_i)]$$

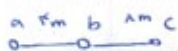
در صورت ثابت بودن دما

$$\frac{V}{I} = R$$

$$R_r = R_1 [1 + \alpha(t_r - t_i)]$$

با استفاده از این فرمول :

نابراین  $R_r$  نسبتی به میزان  $\alpha$  دارد. همچنین باید اثر پوستی و یاری پی بودن سیم پیچ که داریم در نظر بگیریم.



در محاسبه  $R$  هادیهای دیرینش ندارند یعنی لازم نیست آرایش هادیهای دیر را بدانیم.



اما بعد از این سیم که آرایش هادیها در محاسبه اندوکتانس نسبی دارد.

محاسبه اندوکتانس : در محاسبه اندوکتانس بین شار و جریان باید رابطه خطی است به روشنی به هادی و در ناحیه اشباع

$$\frac{\Phi}{I} = L$$

نشد. یعنی اگر  $\Phi$  را زیاد کنیم  $I$  هم زیاد می شود اما این نسبت آنجا ثابت است :



\* برای محاسبه اندوکتانس این خط : در نقطه رادیکالی بگیریم. وقتی جریان عبور می کند

در اطراف هادی شار ایجاد می شود. ابتدا شاری را ایجاد می شود در نقطه اول و حساب می کنیم بعد از آن نقطه

واردی سطح میاد و هم شار کل بدست می آید.



$$dx = l = 1m$$

$$d\Phi = dx \cdot l \cdot B \rightarrow d\Phi = B \cdot dx$$


$$B = \mu \cdot H$$



$$I = \oint H ds \Rightarrow I = H \cdot 2\pi r \Rightarrow H = \frac{I}{2\pi r}$$

$$\Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \Rightarrow d\Phi = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} dx$$


P4PCO


 $\phi_{1r} = \frac{M_0}{r_0} \ln \frac{D_r}{D_1}$

$$\Phi_{ir} = \int_{D_1}^{D_2} \frac{\mu \cdot I}{r \ln x} dx \Rightarrow \Phi_{ir} = \frac{\mu \cdot I}{r \ln} \int_{D_1}^{D_2} \frac{dx}{x} = \frac{\mu \cdot I}{r \ln} \ln \frac{D_2}{D_1}$$

$$\Phi_{lr} = \left[ \frac{\mu_0}{r_n} L_n \frac{D_r}{D_l} \right] I \rightarrow L = \frac{\mu_0}{r_n} L_n \frac{D_r}{D_l} \text{ H/m}$$

نابیرائی فرمول اندولائی استوانہ:

$$W = \frac{\mu_0}{r_R} \ln \frac{D}{r} \quad H/m$$


$$L_r = r \times 10^{-V} \quad \text{L.o. } \frac{D}{r} \quad \text{U.S.: } \mu_o = r \pi \times 10^{-V}$$

گفته این است که چون استخوانه خوب است در داخل جراحی هم شمار داریم پس درما شمار داریم که باید با هم جمع کنیم :

پس برای محاسبه  $L$  داخلی بیگ آن در سطح مقطع در نظر می گیریم:

$$\Phi = \int_0^r d\phi$$

$$= \int_0^a \left( \frac{r}{ar} \right) \frac{\mu_0 I r}{2\pi a r} dr = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

سیم اندک آن داخلی هم به همین ترتیب حساب می شود. لذا اندک آن هم کل جادی خواهد بود:

$$L = L_1 + L_2 \rightarrow L = \frac{\mu_0}{\mu_R} + \frac{\mu_0}{\mu_R} L_n \frac{D}{r}$$

در نهایت رابطه را به فرمهای مختلف نوشته اند مثلاً:

$$L = \frac{\mu_0}{\gamma_D} \left( \frac{1}{r} + \ln \frac{D}{r} \right)$$

$$L = r \times 10^{-V} \left( \frac{1}{r} + \ln \frac{D}{r} \right) \rightarrow L = r \times 10^{-V} \left( \ln \frac{D}{e^{-\frac{1}{r}} r} \right) \Rightarrow L = r \times 10^{-V} \ln \frac{D}{r}$$

$$L = r_{XL}^{-V} L_n \frac{D}{r'}$$

شماره اولی دما فرست شد : اندک مانده ای را هم در دست گرفته

$r' = 0.7778 \times r$  شعاع معادل  $= r^-$

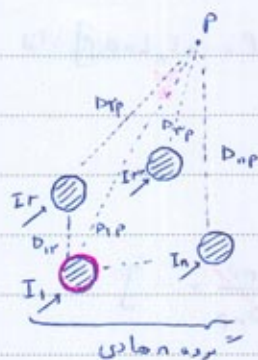
از این فرمول

$$L = 2 \times 10^{-v} L_n \frac{D}{r}$$

از اندک دانش داخلی صرف نظر

$$r = \text{شعاع } \{ \text{دی} \}$$





\* اما در عمل همیشه چند هادی داریم پس حالای خواصم اندکشان چند هادی را محاسبه کنیم

نتیجه: شار یونید باقی هادی واقع در گروه n هادی :

حال اگر آن گروه هادی یک هادی مثلاً هادی ۱ را در نظر بگیریم

$\phi_1 = ?$

از هادی ۱ یک شار  $I_1$  عبور می کند و یک شار ناشی از  $I_2, I_3, \dots, I_n$

پس کل شار یونید با هادی ۱ را محاسبه می کنیم :

$$\phi_1 P_1 + \phi_1 P_2 + \dots + \phi_1 P_n$$

شار ناشی از جریان  $I_1$       شار ناشی از جریان  $I_2$

جمع شار کل       $\phi_1 P = \phi_1 P_1 + \phi_1 P_2 + \dots + \phi_1 P_n$

$$\phi_1 P_1 \propto I_1 \quad , \quad \phi_1 P_1 = k \cdot I_1$$

$$\phi = L i$$

شار ناشی از هادی  $P_1$  کمترین نقطه  $P_1$  و با هادی ۱ لینج دارد

$$\phi_1 P_1 = 2 \times 10^{-7} I_1 L_n \frac{D_{1P}}{r_1}$$

شار ناشی از هادی  $P_2$  کمترین نقطه  $P_2$  و با هادی ۱ لینج دارد

$$\phi_1 P_2 = 2 \times 10^{-7} I_2 L_n \frac{D_{2P}}{r_2}$$

$$\phi_1 P_3 = 2 \times 10^{-7} I_3 L_n \frac{D_{3P}}{r_3}$$

$$\phi_1 P_n = 2 \times 10^{-7} I_n L_n \frac{D_{nP}}{r_n}$$

$$\phi_1 P = 2 \times 10^{-7} \left[ I_1 L_n \frac{D_{1P}}{r_1} + I_2 L_n \frac{D_{2P}}{r_2} + \dots + I_n L_n \frac{D_{nP}}{r_n} \right]$$

$$I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0$$

اما یک فرض هم برای ساده سازی داریم :

$$\Psi_P = \gamma \times 10^{-7} \left[ I_1 \ln \frac{1}{r_1} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + \dots + I_n \ln \frac{1}{D_{1n}} \right] + \gamma \times 10^{-7} \left[ I_1 \ln D_{1P} + I_2 \ln D_{2P} + \dots + I_n \ln D_{nP} \right] \quad \text{نکته}$$

$$* I_n \ln D_{nP} = (-I_1 - I_2 - I_3 \dots - I_{n-1}) \ln D_{nP}$$

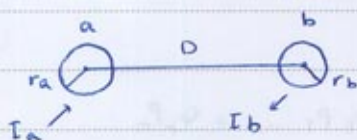
در نهایت  $D_{1P} = D_{nP}$

$$\Psi_P = \gamma \times 10^{-7} [ \dots ] + \gamma \times 10^{-7} \left[ I_1 \ln \frac{D_{1P}}{D_{nP}} + I_2 \ln \frac{D_{2P}}{D_{nP}} + I_3 \ln \frac{D_{3P}}{D_{nP}} + \dots \right]$$

$$\Psi_P = \gamma \times 10^{-7} \left[ I_1 \ln \frac{1}{r_1} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + \dots \right]$$

شماره پتانسیل ها

$$\rightarrow \Psi_P = \gamma \times 10^{-7} \left[ I_1 \ln \frac{1}{D_{11}} + I_2 \ln \frac{1}{D_{12}} + I_3 \ln \frac{1}{D_{13}} + \dots \right]$$



$$L_a = ? \quad L_b = ?$$

معمولاً اندوختن خط موازی: (ساد)

یعنی در صورتی که دایره داریم

اندوختن متقابل  $I_a = I_b$

$$\Phi_a = \gamma \times 10^{-7} \left[ I_a \ln \frac{1}{r_a} + I_b \ln \frac{1}{D_{ab}} \right] = \gamma \times 10^{-7} I_a \left[ \ln \frac{1}{r_a} - \ln \frac{1}{D} \right]$$

$$\Phi_a = \gamma \times 10^{-7} I_a \ln \frac{D}{r_a} \rightarrow \Phi_a = \left[ \gamma \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r_a} \right] I_a$$

$$L_a = \gamma \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r_a}$$

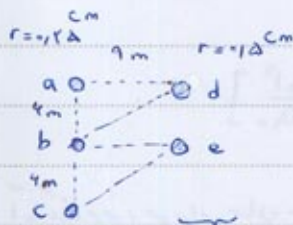
$$L_b = \gamma \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r_b}$$

$L_a$   
 $H_m$

$$r_a = r_b = r \Rightarrow L_a = L_b = L = \gamma \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r}$$

آمار عمل در شب خط موازی:

پس می بینیم که اندوختن به فاصله و نحوه آرایش که می باشد دارد.



ناربرشت  $\gamma$   
ناربرشت  $\chi$

خط موازی مرکب:

\* خط موازی مرکب  
ساد



برای حل این مسئله مسافتی که در بین فازها و زمین در یک خط هادی هادی باشد (GMR)

قرار می دهند. برای فاز به زمین هم همین طور. پس فاصله بین دو فاز به طور متوسط در نظر می گیرند (GMD)



فاصله متوسط هادی  $GMD$

$$GMD = \sqrt[4]{ad \cdot ae \cdot bd \cdot be \cdot cd \cdot ce} \quad \text{در اینجا برای محاسبه } GMD:$$

$$= \sqrt[4]{9 \times \sqrt{117} \times \sqrt{117} \times 9 \times 15 \times \sqrt{117}} = 1.1743 \text{ m}$$

$$GMR = \sqrt[4]{r_a \cdot ab \cdot ac \cdot r_b \cdot ab \cdot bc \cdot r_c \cdot bc \cdot ac} \quad \text{فاصله هادی ها از خودش و از فازهای دیگر}$$

$$= \sqrt[4]{4.15 \times 10^{-2} \times 1.1743 \times \dots} = 0.141 \text{ m}$$

$$GMR = \sqrt[4]{r_d \cdot de \cdot re \cdot de} = \sqrt[4]{0.15 \times 10^{-2} \times 1.1743 \times \dots} = 0.153 \text{ m}$$

همین مثال نشان می دهد که باندل کردن شعاع های ریزه ای که پس از گذر از یک لوله می شود.

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

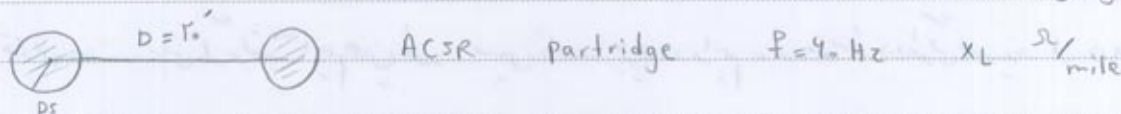
به همین دلیل است که می توانیم باندل کردن باعث کاهش اندوختگی می شود.

$$L_x = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{(GMR)_x} \quad (L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r} \text{ مشابه شود با})$$

$$\rightarrow L_x = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{1.1743}{0.141} = 7.122 \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$L_y = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{1.1743}{0.153} = 8.503 \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad x = 2\pi f L \quad \omega$$

مثال: رسانش آلمی ۱ mile (۱۶۰۹ m) در  $f = 60 \text{ Hz}$  دهادی از نوع ACSR Partridge فاصله بین آنها ۲۰ ft را حساب کنید.  
را حل اول:



$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{D_s} \text{ H/m} \quad \text{ACSR Partridge} \xrightarrow{\text{جدول A-1}} D_s = \text{GMR} = 0.10217 \text{ ft}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{20}{0.10217} \text{ H/m} \xrightarrow{L \omega} X = 2 \pi 60 \times 2 \times 10^{-7} \ln \frac{20}{0.10217} \times 14.9 = 0.18285 \text{ } \Omega/\text{mi}$$

را حل دوم استفاده از جدول:

$$X = 2 \times 10^{-7} \times 2 \pi 60 \ln \frac{D}{D_s} = 2 \times 10^{-7} \times 2 \pi 60 \ln \frac{1}{D_s} + 2 \times 10^{-7} \times 2 \pi 60 \ln D$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{X_a} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{X_d}$

رسانش در فاصله ۱ ft باشد (D=1) این فاصله در جدول وجود داشته باشد.

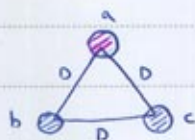
$X_a$  = رسانش آلمی برای فاصله در جداول (A-1) ،  $X_d$  = رسانش برای فاصله در جداول (A-2)

Parttridge  $\xrightarrow{\text{جدول A-1}}$   $X_a = 0.1495 \text{ } \Omega/\text{mi}$   $X_a$  با توجه به نوع هادی و دهنده آن به دست می آید.

$X_d$  به نوع کدسی نسبتی ندارد تنها به فاصله دو کدسی نسبتی دارد.  $\xrightarrow{\text{جدول A-2}}$  فاصله در جداول  $X_d = 0.13435 \text{ } \Omega/\text{mi}$

$$X = 0.18285 \text{ } \Omega/\text{mi}$$

مماسه اندوکسان (رسانش آلمی) خط سه فاز: سه فاز ساده (فاصل برابر) ، سه فاز باندل (سه فاز آلمی ، سه فاز آلومینیم)



$$L_a = L_b = L_c = L \text{ H/m}$$

(۱) مماسه اندوکسان خط سه فاز ساده: (با فاصل برابر)

$$X = 2 \pi f L \text{ } \Omega/\text{m} \times 1000 \text{ } \Omega/\text{km} \times 14.9 \text{ } \Omega/\text{mi}$$



برای محاسبه  $L$  باید از شار شروع کنیم:

$$P_a = r \times 10^{-V} \left[ I_a \ln \frac{1}{D_{sa}} + I_b \ln \frac{1}{D_{ba}} + I_c \ln \frac{1}{D_{ca}} \right]$$

$$P_a = r \times 10^{-V} \left[ I_a \ln \frac{1}{D_s} + \underbrace{(I_b + I_c)}_{-I_a} \ln \frac{1}{D} \right]$$

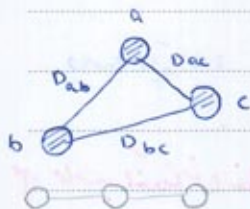
$$P_a = r \times 10^{-V} I_a \ln \frac{D}{D_s} = \left[ r \times 10^{-V} \ln \frac{D}{D_s} \right] I_a$$

$$\frac{P_a}{I_a} = L_a$$

نمایرانی شار عبوری از لکنتیج  $a$  را به جریان عبوری از خودش مرتبط کردیم.

$$\Rightarrow L_a = r \times 10^{-V} \ln \frac{D}{D_s} \quad H/m$$

۲) محاسبه اندوختن سه فاز ساده: (با فواصل نام برابر)



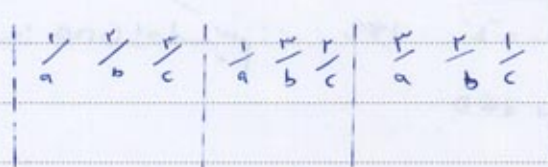
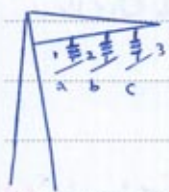
اگر فواصل هادیها برابر نباشند باید مثلث متساوی الاضلاع به طور تقریب جایگزین می کنیم.

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

$$L = r \times 10^{-V} \ln \frac{D_{eq}}{D_s}$$

پس در واقع ما را تقریب زدیم (این  $L$  را برای هر سه فاز تقویم می کنیم).  
 $L_a = L_b = L_c = L = r \times 10^{-V} \ln \frac{D_{eq}}{D_s}$

برای کاهش خطا فرض می کنیم: ۱) طول خطوط یک باشد ۲- عمل جابجایی (Transposition) عمل ترانسپوز:



سه قدم ترانسپوز:

یعنی میرا مثلاً به سه قسمت تقسیم می کنیم در ابتدا یک اول به در دستشیر می کنند در هر یک سه جای

ایزولاسیون که تغییر می کنند

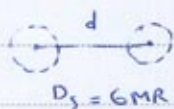
P4PCO

عمل جابجایی را برای خطوط طولانی انجام می دهند تا اندوختن متعادل هادیها متعادل می شود چون هرگاه هادی  
عمریم ناسازی بدن فاصله ها  
وسط قرار نگیرد اندوختن متعادل را داراست.

۳) محاسبه اندوختن خط سه فاز باندل: (فواصل برابر)



$$L = \sqrt[3]{\frac{GMD}{GMR}} \quad \text{باندل}$$

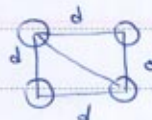


$$(GMR)^b = \sqrt{D_s \cdot d \cdot D_s \cdot d}$$

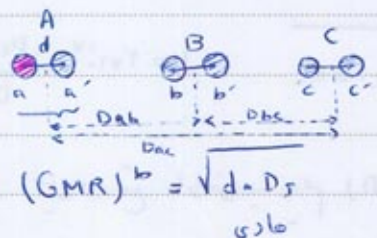
$$(GMR)^b = \sqrt{d \cdot D_s} = D_s^b$$

$$D_s^b = \sqrt{d \cdot D_s}$$

$$D_s^b = 1.09 \sqrt{d^3 \cdot D_s}$$



$$D_s^b = (GMR)^b = \sqrt{D_s \cdot d \cdot d \cdot \sqrt{2} d} = \sqrt{\sqrt{2} d^3 D_s} = 1.09 \sqrt{d^3 D_s}$$



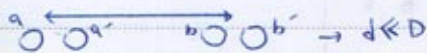
۴) محاسبه اندوختن خط سه فاز باندل: (با فواصل نابرابر)

$$(GMR)^b = \sqrt{d \cdot D_s} \quad \text{هادی}$$

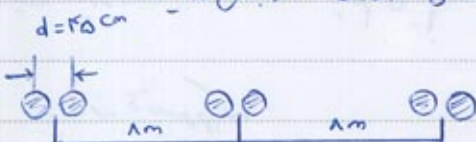
$$GMD = D_{eq} = \sqrt{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ac}}$$

چون فاصله هادیها است مرکز باندل که راس مربع برای D و دایره فاصله دو هادی (مثلاً a, b) از هم فاصله زیاد برداریم

$$D_{ab} = \sqrt{a \cdot b \cdot a \cdot b} \quad d \ll D$$



مثال) یک خط سه فاز از هادی ACSR با کد pheasant دارای آرایش افقی که در آن: (باندل دریا)



ان) راسانش افقی ۱ km و ۱ m افقی فاصله هادیها



۱) طول خط ۱۲۰ km و توان ۱۰ MVA و ولتاژ مبدا ۳۴۵ kV باشد. راسن آتاری را بر حسب پیریدیت حساب کنید.

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s} \frac{H}{m} \quad D_{eq} = \sqrt[3]{8 \times 8 \times 14} = 10.108 \text{ m}$$

$$D_s^b = \sqrt{d \cdot D_s} = \sqrt{0.125 \times 0.1044 \times 1.2 \times 1.2} = 0.108 \text{ m}$$

A-1 GMR از جدول

$$D_s = GMR = 0.1044 \text{ ft} \times 0.3048 = 0.0318 \text{ m}$$

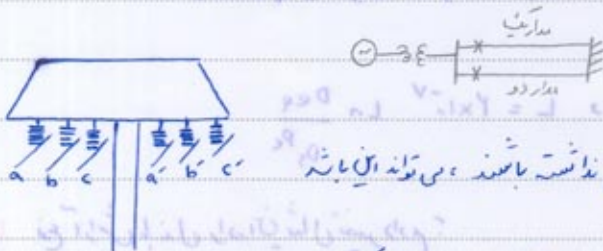
$$X = 2 \times 10^{-7} \times 2 \times 10^{-7} \ln \frac{10.108}{0.0318} \frac{1}{m} = 0.1425 \frac{\Omega}{\text{km}} \quad \text{تاز } \frac{\Omega}{\text{km}} \text{ یا } \frac{\text{mil}}{\text{ph}}$$

$$X_{14.9} = 0.1425 \frac{\Omega}{\text{km}} \times 14.9 = 2.123 \frac{\Omega}{\text{ph}}$$

$$X_{14.9} = 14.9 \text{ km} \times 0.1425 = 2.123 \Omega$$

$$Z_b = \frac{V_b^2}{S_b} = \frac{345^2}{100} = 1190 \Omega$$

$$X_{pu} = \frac{2.123}{1190} = 0.00178 \text{ pu}$$



\* خط انتقال در مدار ۰ (دول)

۱) روش تقریبی:

در صورتی که فاصله در مدار از هم زیاد باشد تا آنجا که متقابل نداشته باشند، می توان این باشد.

که نمی از مدار را در تقریب و بعد مقدار اندکشان بدست آمده و بر این قسم می کنیم.

۲) روش دقیق:

در واقع ابتدا از محاسبه ی فرض می کنیم که خط انتقال است که باطل شده است. در صورتی که در واقعیت باطل نیست.



در باطل واقعی؟  $d \ll D$  از فاصله ی فازهاست.

در اینجا که باطل واقعی نیست و  $d \ll D$

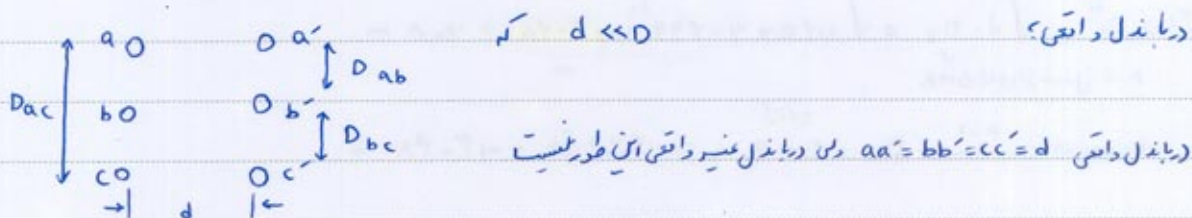
بنابراین برای محاسبه  $D_{eq}$  در محاسبه آن مجاز نیستیم مرکز  $a'a$ ،  $b'b$ ،  $c'c$

PAPCO

را نسبت به هم می یابیم.

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s^b} \quad , \quad D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ac}} \quad : \text{در باندل واقعی داریم} \\ d \ll D$$

$$D_s^b = (GMR)^b = \sqrt{d \cdot D_s} \quad \checkmark \quad d = aa' = bb' = cc'$$



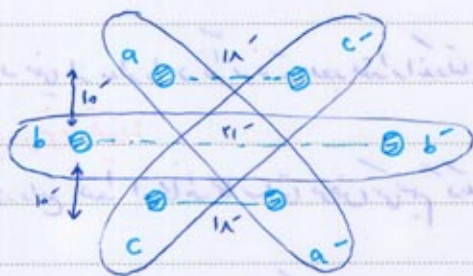
اما در باندل غیر واقعی: (مثل خط باندل در اینجا فرض کردیم)

$$D_{ab} = \sqrt{ab' \cdot ab \cdot a'b \cdot a'b'} \quad \& \quad D_{bc} = \sqrt{bc \cdot bc' \cdot b'c \cdot b'c'} \quad \& \quad D_{ac} = \sqrt{ac \cdot ac' \cdot a'c \cdot a'c'}$$

\* هر چه GMD کمتر و GMR بیشتر باشد، کاپاسیتانس خواهد شد و این نوع آرایش برای ما بهتر خواهد بود.

$$D_s^{aa'} = \sqrt{aa' \cdot D_s} \quad , \quad D_s^{bb'} = \sqrt{bb' \cdot D_s} \quad , \quad D_s^{cc'} = \sqrt{cc' \cdot D_s}$$

$$D_s^{Pc} = \sqrt{D_s^{aa'} \cdot D_s^{bb'} \cdot D_s^{cc'}} \quad \& \quad L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s^{Pc}} \quad (\text{متوسط هندسی})$$



مثال) نوع آرایش باندل را در این مثال تغییر دادیم؟

حال اگر فاصله مرکز نا زهار از هم در نظر بگیریم می بینیم که

ردی هم قرار می گیرند که نشان دهند این است که این تئوری

$$D_{ab} = \sqrt{ab' \cdot ab \cdot a'b \cdot a'b'} = \sqrt{71.9 \times 10.1 \times 71.9 \times 10.1} = 14.88^{ft}$$

$$D_{bc} = \sqrt{bc \cdot bc' \cdot b'c \cdot b'c'} = 14.88^{ft} \quad \& \quad D_{ac} = \sqrt{ac \cdot ac' \cdot a'c \cdot a'c'} = 14.88^{ft}$$

P4PCO



از جدول  
ACSR ostrich  $\Rightarrow D_s = 0.10229'$   
A-1

$$D_s^{aa'} = \sqrt{aa' \cdot D_s} = \sqrt{29.3 \times 0.10229} = 0.1718'$$

$$D_s^{bb'} = \sqrt{bb' \cdot D_s} = \sqrt{21 \times 0.10229} = 0.1493'$$

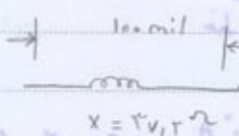
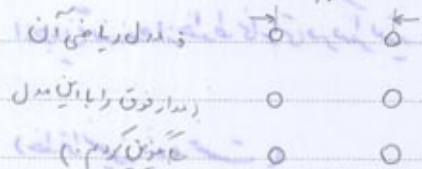
$$D_s^{cc'} = \sqrt{cc' \cdot D_s} = \sqrt{29.3 \times 0.10229} = 0.1718'$$

$$D_s^{pc} = \sqrt{0.1718 \times 0.1718 \times 0.1718} = 0.155'$$

$$D_{eq} = \sqrt{15.88 \times 18.98 \times 12.88} = 14.134'$$

$$L_p = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{14.134}{0.1718} = 7.14 \times 10^{-7} \frac{H}{m/ph}$$

$$x = r_n + L = 28 \times 7.14 \times 10^{-7} \times 10^3 = 0.1999 \text{ mile}$$



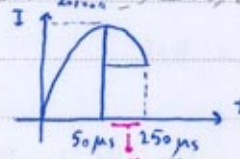
$$D_{eq} = \sqrt{ab \cdot bc \cdot ac} = \sqrt{10.1 \times 10.1 \times 20} = 12.783'$$

$$D_s = 0.10229' \Rightarrow L_p = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s}$$

$$L \times \text{را از این روش که حساب کردم نصف می بینیم حدود سه درصد خطا خواهیم داشت}$$

$$x = \frac{L}{r} \times \text{تقریبی} = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100 = +3\%$$

$$E\% = \frac{0.13831 - 0.1372}{0.1372} \times 100 = 0.8\%$$



برای محافظت سیم از خطه ط فاز مستقیم به زمین وصل می شود.  
سیم هایی که روی سیم بالایی وصل قرار دارند برق دار نیستند و سیم ها را محافظت از زمین می کنند.  
در صورت صاعقه منفی زیر را داریم:  
در مواقع ناشی از صاعقه برق موج ناشی از صاعقه و برق را به زمین وصل می کنند. فرجه موج به سیم ها برخورد نکند و به زمین می رود و سیم های فاز منفی را وصل.  
\* این فاصله آن شده کم است که می توان مانند Δ فرض کرد.

خط محافظ: این خط Ground line یا Ground wire نام دارد

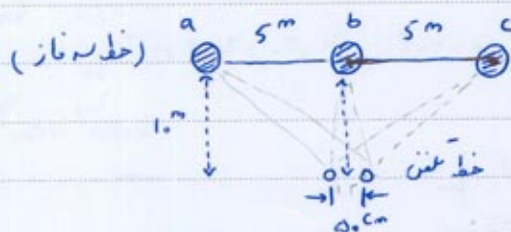
## آثار و مقادیر:

(۱) اثرات بی‌اثری: خطوط انتقال به علت عبور جریان میدان مغناطیسی ایجاد می‌کنند و به علت دینامیکی دارند

میدان الکتریکی ایجاد می‌کنند. روی بدن انسان اثراتی دارد.

(۲) اثرات داخلی مغناطیسی: خط انتقال اگر نزدیک خطوط مجاری باشد در خط مجاری ولتاژ القا کرده و در نتیجه ایج دینامیکی کند.

توزین: ولتاژ القا شده در هر یک از خطوط را می‌توانیم بیابیم.

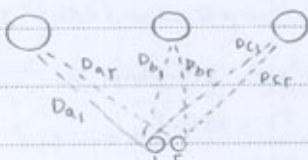


از جریان ندهنده از خطوط مجاری می‌توانیم بیابیم.

$$I_a = 200 \angle 0^\circ \text{ A} \quad I_b = 200 \angle -120^\circ \text{ A} \quad I_c = 200 \angle 120^\circ \text{ A} \quad (\text{خط ترانسفور شده نیست})$$

چون اگر ترانسفور باشد، ولتاژ القا شده صفر است. می‌خواهیم دینامیکی که در (۱) آتای شود  $V_a = j\omega \Phi_a$

می‌بایست شار یوگیت با خطوط مغناطیسی را بیابیم. سپس از آن مشتق می‌گیریم.



$$\Phi_{12} = 2 \times 10^{-7} \left[ I_a \ln \frac{D_{ar}}{D_{a1}} + I_b \ln \frac{D_{br}}{D_{b1}} + I_c \ln \frac{D_{cr}}{D_{c1}} \right]$$

شار یوگیت با خطوط مغناطیسی

$$D_{ar} = D_{c1} = \sqrt{1.5^2 + (5.0)^2} = 11.41$$

$$D_{a1} = D_{c1} = \sqrt{1.5^2 + 2.5^2} = 11.12$$

$$\Phi_{12} = 2 \times 10^{-7} \left[ 200 \angle 0^\circ \ln \frac{11.41}{11.12} + 200 \angle -120^\circ \ln \frac{11.12}{11.41} \right]$$

$$P_{12} = 2 \times 10^{-7} \times 200 \times 0.102 \left[ 1 \angle 0^\circ - 1 \angle 120^\circ \right] = 8 \times 10^{-7} \left[ 1.5 - j0.187 \right] = 1.3 \times 10^{-6} \angle -29.18^\circ$$



$$V = j\omega \Phi_{ip} = j 2\pi 30 \times 10^3 \times 4 \times 10^{-2} \angle -29.18^\circ = 1.52 \times 10^{-3} \angle 20.81^\circ$$

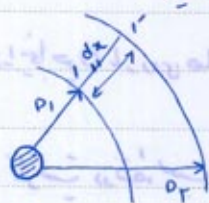
فصل چهارم ( محاسبه ادبیات موازی خطوط : محاسبه c  $Y = G + j\omega C$  )

برای آنکه ظرفیت را محاسبه کنیم، می‌بایست میدان الکتریکی اطراف بار را محاسبه کنیم:  
برای این منظور شدت میدان الکتریکی در اطراف استوانه هادی را بدست می‌آوریم:



$$E = \frac{q}{r^2 \epsilon_0 \epsilon_r} \quad \epsilon_r = \frac{E}{E_0} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

ضرب نفوذ الکتریکی



\* اختلاف پتانسیل در دونقطه خارج هادی:

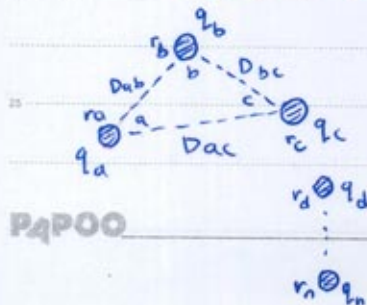
کار انجام شده برای انتقال بار از نقطه ۱ به ۲ صفر است چون میدان در دونقطه

۱ و ۲ با هم برابر است. اما برای آنکه بار واحد را از نقطه ۱ به ۲ ببریم نیاز به صرف انرژی دارد.

بنابراین: اگر اختلاف پتانسیل را به بار نسبت دهیم آن قسمت ثابت ظرفیت می‌شود.

$$V_{12} = \int_{D_1}^{D_2} \frac{q}{r^2 \epsilon_0 \epsilon_r} dx = \frac{q}{r^2 \epsilon_0 \epsilon_r} \int_{D_1}^{D_2} \frac{dx}{x} = \frac{q}{r^2 \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{D_2}{D_1}$$

$$V_{12} = \frac{q}{r^2 \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{D}{r} \rightarrow q = CV \quad \text{یا} \quad V = \frac{1}{C} q$$



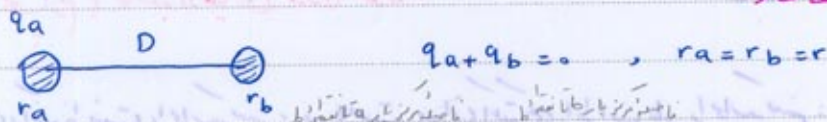
تفسیر: اختلاف پتانسیل بین دهادی واقع در میان n هادی

$$V_{ba} = \frac{q_b}{r_b \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{D_{ba}}{r_b} + \frac{q_a}{r_a \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{D_{ab}}{r_a} + \dots + \frac{q_n}{r_n \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{D_{na}}{r_n}$$

P4POO

$$V_{ab} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ q_a \ln \frac{D_{ab}}{r_a} + q_b \ln \frac{r_b}{D_{ab}} + q_c \ln \frac{D_{cb}}{D_{ca}} + \dots + q_n \ln \frac{D_{nb}}{D_{nb}} \right]$$

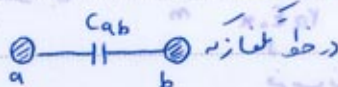
همانند کاپاسیتانس خط موازی



$$V_{ab} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ q_a \ln \frac{D}{r_a} + q_b \ln \frac{r_b}{D} \right] = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q_a \ln \frac{D}{\sqrt{r_a r_b}}$$

معمولاً  $r_a = r_b = r$   $\Rightarrow V_{ab} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q_a \ln \frac{D}{r} \Rightarrow V_{ab} = \left[ \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \ln \frac{D}{r} \right] q_a$

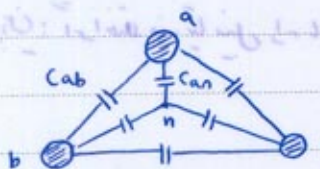
$$\Rightarrow C_{ab} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}}$$



در اینجا چون بار روی هادی است برابر با همه بار شمع است نه شعاع متوسط  $r$ .



$$C_{an} = C_{bn} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D_r}{r}} \quad \frac{C_{an}}{r} = \frac{C_{ab}}{r}$$

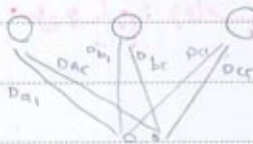


اهمیت این موضوع در خطوط سه فاز مشخص می شود:

$$P = \frac{V_b}{x} \left( \frac{P}{.3nV} \right) = \frac{V_b}{x} \frac{P}{\pi \cdot 3nV} = 1.1V$$

$$\frac{P}{4} \ln \frac{P}{.3nV} = 1.1V$$





$$\phi_{1r} = r \times 1.7 \left[ I_a \ln \frac{D_{ar}}{D_{a1}} + I_b \ln \frac{D_{br}}{D_{b1}} + I_c \ln \frac{D_{cr}}{D_{c1}} \right]$$

$$D_{ar} = D_{a1} \sqrt{1 + (0.01)^2} \approx 1.151$$

$$D_{ar} = D_{a1} \sqrt{1 + r^2} \approx 1.151$$

$$\phi_{1r} = r \times 1.7 \left[ \frac{11.5}{-1.7} \ln \frac{1.151}{1.151} + \frac{11.5}{-1.7} \ln \frac{1.151}{1.151} \right]$$

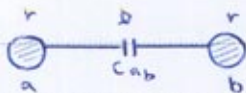
$$\phi_{1r} = r \times 1.7 \times 11.5 \times \frac{1}{-1.7} \left[ 1 - \frac{1}{1.151} \right] = 1.7 \times 1.7 \times 11.5 \times \frac{1}{-1.7} \left[ 1 - \frac{1}{1.151} \right]$$

$$V = j \omega \phi_{1r} = j \omega \times 1.7 \times 11.5 \times \frac{1}{-1.7} \left[ 1 - \frac{1}{1.151} \right] = -1.7 \times 11.5 \times \frac{1}{-1.7} \left[ 1 - \frac{1}{1.151} \right]$$

$$B_c = \frac{1}{X_c}$$

Subject:

Year: Month: Date: ۳۵

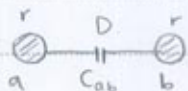


فصل چهارم: محاسبه کاپاسیتانس

$$C_{ab} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}} \quad \frac{F}{m}$$

مثال: سوسپانسیون خط تلفاز (مخازنی) با هادی های Partridge, ACSR

محاسبه کاپاسیتانس خط تلفاز (مخازنی) با هادی های



$$B_c = j\omega C = j2\pi f C$$

D = ۲.۰ و f = ۶۰ Hz را حساب کنید

$$C = \frac{\pi \times 1.1 \times 10^{-12}}{\ln \frac{D}{r}} \quad \frac{F}{m}$$

جدول A-1

$$r = 0.144 \text{ m} = 0.144 \text{ m}$$

$$B_c = j2\pi 60 \times C \times 1.49 = 2.55 \times 10^{-4} \quad \frac{V}{mi}$$

$$B_c = j2\pi 60 \times C \times 1.49 =$$

$$X_c = \frac{1}{2.55 \times 10^{-4}} = \frac{10^7}{2.55} = 0.3921 \times 10^7 \quad \frac{V}{mi}$$

رسانش مخازنی

$$X_c = X_a + X_d$$

$$X_a = 0.1074 \times 10^7 \quad \Omega - mi$$

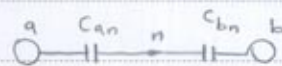
با استفاده از جدول:

$$X_d = 0.0889 \times 10^7 \quad \Omega - mi$$

$$X_c = 0.1973 \times 10^7 \quad \Omega - mi$$

$$B_c = \frac{1}{0.1973 \times 10^7} = \frac{1}{0.1973} \times 10^{-7} \quad \frac{V}{mi}$$

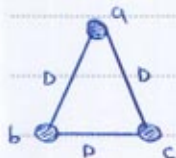
$$C_{an} = C_{bn}$$



$$C_{an} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}}$$

اگر کدام از آنها را تغییر دهیم در روش محاسبه می شود باید در آن می نوشتیم:

است برای خط تلفاز ما رسانش خط احصای داریم بنابراین اگر از جدول استفاده کنیم برای دهن  $C_{ab}$  باید  $C_{an}$  را در ۱/۲ ضرب کنیم یا  $X_c$  بدست آمده را در ۲ ضرب کنیم. در خط ۳ فاز  $C_{an}$  را لازم داریم و در خط تلفاز  $C_{ab}$  را لازم داریم.



محاسبه کاپاسیتانس خط سه فاز: (با فواصل مساوی)

$$V_{ab} = \frac{1}{\pi \epsilon_0} \left[ q_a \ln \frac{D_{ab}}{r_a} + q_b \ln \frac{r_b}{D_{ab}} + q_c \ln \frac{D_{bc}}{D_{ac}} \right]$$

P4PCO



$$V_{ab} = \frac{1}{r\epsilon_0} \left[ q_a \ln \frac{D}{r} + q_b \ln \frac{r}{D} + q_c \cancel{\ln \frac{D}{D}} \right]$$

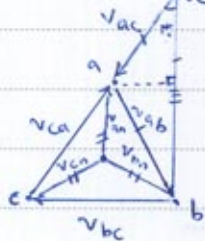
$$V_{ab} = \frac{1}{r\epsilon_0} \left[ q_a \ln \frac{D}{r} + q_b \ln \frac{r}{D} \right] \quad q_a + q_b + q_c = 0$$

$$V_{ac} = \frac{1}{r\epsilon_0} \left[ q_a \ln \frac{D}{r} + q_c \ln \frac{r}{D} + q_b \cancel{\ln \frac{D}{D}} \right]$$

$$\rightarrow V_{ab} + V_{ac} = \frac{1}{r\epsilon_0} \left[ r q_a \ln \frac{D}{r} + q_b \ln \frac{r}{D} + q_c \ln \frac{r}{D} \right] =$$

$$\frac{(q_b + q_c) \ln \frac{r}{D}}{-q_a}$$

$$= \frac{1}{r\epsilon_0} \left[ r q_a \ln \frac{D}{r} + q_a \ln \frac{D}{r} \right] = \frac{1}{r\epsilon_0} r q_a \ln \frac{D}{r}$$



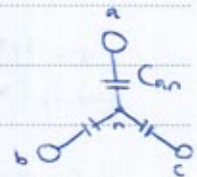
$$\frac{V_{ab} + V_{ac}}{r} = V_{ac} C_s r_0 = V_{ac} \frac{\sqrt{3}}{r}$$

در اینجا هم برداری:

$$V_{ab} + V_{ac} = \sqrt{3} V_{ac} = \sqrt{3} V_{ab}$$

$$V_{ab} + V_{ac} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} V_{an}$$

$$V_{ab} + V_{ac} = 3 V_{an} \rightarrow 3 V_{an} = \frac{r q_a}{r\epsilon_0} \ln \frac{D}{r}$$



$$V_{an} = \left[ \frac{1}{r\epsilon_0} \ln \frac{D}{r} \right] q_a$$

$$\frac{1}{C_n}$$

$$C_n = \frac{r\epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}}$$

$$C_n = \frac{r\epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}} F/m$$

۱۲. محاسبه کاپاسیتانس خط سه فاز با فواصل غیر مساوی:

$$D_{eq} = \sqrt{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ac}}$$

$$C_n = \frac{r\epsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{r}} F/m$$

۱۳. محاسبه کاپاسیتانس خط سه فاز با هادیهای گرد (مابندل):

$$C_n = \frac{r\epsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{r_b}}$$



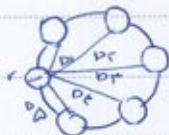
$$r_b = \sqrt{d \cdot r}$$

شعاع متوسط هندسی

\* اگر خط دوداره باشد در حالت تبدیل به فاصله بین مرکز دو هادی نزدیک هم است.  $d \ll D$

آنها در دو مدارها باید شتاع متوسط هندسی را حساب کنیم:

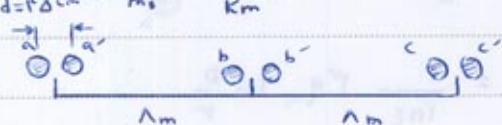
$$C_n = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln \frac{GMD}{GMR}}$$



برای محاسبه GMR چند هادی:

$$GMR = r_a \cdot D_{11} \cdot D_{12} \cdot D_{13} \cdot D_{14} \cdot D_{15}$$

مثال) راسن خازنی خط انتقال با اندک درآمی با آرایش افقی شتاع زیر را برآورد. (بر حسب  $\mu$  و  $\text{mi}$ )



فواصل هادیها برابر شتاع و با تبدیل هم درآمی است.

$$C_n = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{r_b}} \quad GMD = D_{eq} = \sqrt{1 \times 1 \times 1 \times 1} = 1.0 \text{ m}$$

$$(GMR)^b = r_b = \sqrt{r \cdot d}$$

$$r = \frac{1}{1.382} = 0.723 \text{ m} \quad x = 0.408 = 0.1755 \text{ m} \rightarrow (GMR)^b = \sqrt{0.1755 \times 0.145} = 0.1589$$

شتاع  $2 \times 1.2$  به شتاع

$$C_n = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{r_b}} = \frac{2\pi \times 8.85 \times 10^{-12}}{\ln \frac{1.0}{0.1589}} = 11.754 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

آنها این خط را برداشتم و یک شتاع معادلی الاصلاع قرار دادم که هر فاصله  $GMD = 1.0 \text{ m}$  است و دو هادی هر راس را

برداشتیم و معادلی قرار دادیم که  $GMR = 0.1589 \text{ m}$  است.

$$B_c = 2\pi \times 11.754 \times 10^{-12} \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \quad x_c = \frac{1}{B_c}$$

مثال) (خط سه تاره دوداره):  $GMD = D_{eq} = 1.41'$  ،  $(GMR)^b = D_s = r^b$



$$C_n = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{r_{pc}}}$$

$$D_{eq} = 14.1'$$

$$r_{pc} = \sqrt[3]{r_{aa'} \cdot r_{bb'} \cdot r_{cc'}} = 0.183V'$$

$$r_{aa'} = \sqrt{a a' \cdot r} = \sqrt{24.9 \times 10.283}$$

$$\text{Ostrich } r = \frac{0.283}{2 \times 12} = 0.0118V'$$

$$r_{bb'} = \sqrt{b b' \cdot r} = \sqrt{21 \times 10.283}$$

$$r_{cc'} = \sqrt{c c' \cdot r} = \sqrt{24.9 \times 10.283}$$

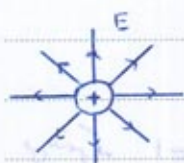
$$C_n = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{14.1}{0.183V'}}$$

$$F_m = 18,180.7 \times 10^{-12} \frac{F}{m} \times 1000 \frac{F}{km} \rightarrow x_c = \frac{1}{C W} \text{ s-km}$$

برای محاسبه گرایش خازن به استاز استاز محاسبه گرایش راجع به زمین.

توجه: اگر فاصله هادی از زمین زیاد نباشد بین هادی و زمین هم یک استازاری بوجود می آید بنابراین گرایش

نسبتی کند. در صورتی می توان از اثر زمین صرف نظر کرد که فاصله هادی از زمین زیاد باشد.

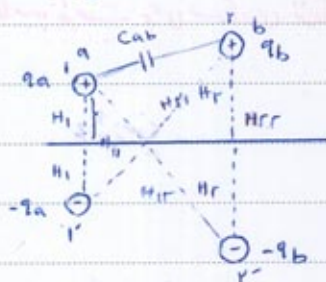


در تقریب از زمین در محاسبه گرایش:

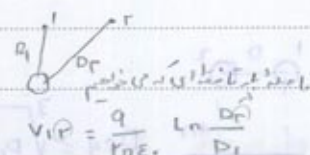
هر چه هادی از سطح زمین دورتر شود به مثل شعاعی نزدیکتری شود.

هادی دقت نزدیک زمین است مثل این است که دو هادی داریم با بار مخالف هم و پس می توان بجای زمین هادی

دیسر با بار مخالف در نظر گرفت.



$$V_{ab} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ q_a \ln \frac{D_{ab}}{r_a} + q_b \ln \frac{r_b}{D_{ab}} + q'_a \ln \frac{H_{11}}{H_{12}} + q'_b \ln \frac{H_{21}}{H_{22}} \right]$$



$$V_{ir} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \ln \frac{D_r}{D_i}$$

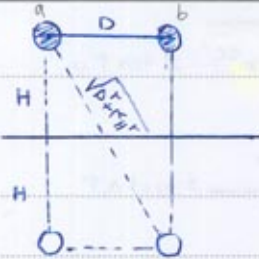
$$P4PCO \Rightarrow V_{ab} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \ln \frac{D_{ab}}{r_a} + \ln \frac{r_b}{D_{ab}} - \ln \frac{H_{21}}{H_{11}} + \ln \frac{H_{rr}}{H_{lr}} \right]$$

تا قبل از محاسبه کنیم.

$$V_{ab} = \frac{1}{r\epsilon_0} \left[ q_a \ln \frac{D}{r} + q_b \ln \frac{r}{D} + -q_a \ln \frac{\sqrt{D^2 + 4H^2}}{r_H} - q_b \ln \frac{r_H}{\sqrt{D^2 + 4H^2}} \right]$$

$$\text{Subject: } (q) = \frac{1}{r\epsilon_0} \left[ +q_a \ln \frac{r_H D}{r \sqrt{r_H^2 + D^2}} - q_b \ln \frac{r_H D}{r \sqrt{r_H^2 + D^2}} \right] \quad q_a = -q_b = -q$$

$$\text{Year: } \quad \text{Month: } \quad \text{Date: } \quad$$



$$V_{ab} = \frac{q}{r\epsilon_0} \ln \frac{r_H D}{r \sqrt{r_H^2 + D^2}}$$

$$V_{ab} = \left[ \frac{1}{r\epsilon_0} \ln \frac{r_H D}{r \sqrt{r_H^2 + D^2}} \right] q \rightarrow C_{ab}$$

$$\rightarrow C_{ab} = \frac{r\epsilon_0}{\ln \frac{r_H D}{r \sqrt{r_H^2 + D^2}}} = \frac{r\epsilon_0}{\ln \frac{D}{r \sqrt{1 + \left(\frac{D}{r_H}\right)^2}}} \quad k = \sqrt{1 + \frac{D^2}{r_H^2}}$$

$$\Rightarrow C_{ab1} = \frac{r\epsilon_0}{\ln \frac{D}{kr}} \quad \text{محاسبه } C_{ab} \text{ با در نظر گرفتن اثر زمین:}$$

$$C_{ab2} = \frac{r\epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}} \quad \text{C}_{ab} \text{ بدون در نظر گرفتن اثر زمین:}$$

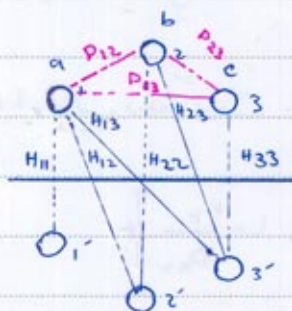
$$H = r_D$$

اگر فاصله هادیها از زمین را ۱ برابر فاصله هادیها در نظر بگیریم:

$$k = \sqrt{1 + \frac{D^2}{4 \times 16 D^2}} = \sqrt{1 + \frac{1}{64}}$$

می بینیم که  $k \approx 1$  می شود پس وقتی فاصله هادیها از زمین زیاد است می توان از اثر زمین مسره قهر کرد.

$$\epsilon\% = \frac{C_{ab1} - C_{abr}}{C_{ab1}} \times 100 \quad \text{درصد خطا}$$



محاسبه ظرفیت برای سه کدی نزدیک زمین:

$$C_{an} = \frac{r\epsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{r} - \ln \frac{H_m}{H_s}} \quad \text{با اثر زمین}$$

$$C_{an} = \frac{r\epsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{r}} \quad \text{بدون اثر زمین}$$



$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{13} \cdot D_{23}} \quad \text{فاصله متوسطی که به کار می آید}$$

$$H_m = \sqrt[3]{H_{12} \cdot H_{13} \cdot H_{23}}$$

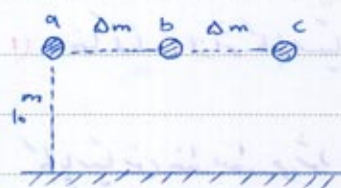
$$H_s = \sqrt[3]{H_{11} \cdot H_{12} \cdot H_{13}}$$



تمرین: یک خط انتقال ۱۳۲ کیلوولت دارای آرایش افقی مطابق شکل است. فاصله هادیهای مجاور ۵ متر، فاصله هادی میانی تا زمین ۱۰ متر.

اثر هادی از نوع ACSR باشد.  $\alpha$  (نسبت) محاسبه گویایی  $(F)$  و گویایی خازنی  $(\epsilon)$  را در آن سازه خازنی  $(\mu km)$  برای خط سازه باز در نظر گرفتن اثر زمین در بدن آن.

۱- محاسبه درصد خطا در اثر زمین در نظر گرفته نمی شود. ۲- محاسبه جریان شارژ خط بر حسب  $\frac{A}{km}$ .



$$D_{eq} = \sqrt{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ac}}$$

الف) بدون در نظر گرفتن اثر زمین:

$$D_{eq} = \sqrt{5 \times 5 \times 10} = 15.81 \text{ m}$$

$$A-1 \text{ جدول } \alpha: r = \frac{0.178 \times 10^{-3}}{2 \times 12} \times 0.1368 = 1.734 \times 10^{-3}$$

$$\Rightarrow C_n = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{r}} = \frac{2\pi \times 8.85 \times 10^{-12}}{\ln \frac{15.81}{1.734 \times 10^{-3}}} = \frac{5.57 \times 10^{-12}}{9.51} = 5.86 \times 10^{-13} \frac{F}{m} \times 1000 = 5.86 \frac{F}{km}$$

$$B_c = j\omega C_n = j2\pi \times 60 \times 5.86 \times 10^{-13} = 2.18 \times 10^{-11} \frac{A}{km} \quad \times C = \frac{1}{B_c}$$



$$C_{an} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{r} - \ln \frac{H_m}{H_s}}$$

ب) در نظر گرفتن اثر زمین:

$$H_m = \sqrt{H_{1r} \cdot H_{2r} \cdot H_{3r}} = \sqrt{\sqrt{\Delta^2 + r^2} \cdot \sqrt{\Delta^2 + r^2} \cdot \sqrt{\Delta^2 + r^2}} =$$

$$H_m = \sqrt{2.0171 \cdot 2.137 \cdot 2.0171} = 2.114 \text{ m}$$

$$H_s = \sqrt{H_{1s} \cdot H_{2s} \cdot H_{3s}} = \sqrt{2.0 \times 2.0 \times 2.0} = 2.0 \text{ m}$$

$$\Rightarrow C_{an} = \frac{2\pi \times 8.85 \times 10^{-12}}{\ln \frac{15.81}{1.734 \times 10^{-3}} - \ln \frac{2.114}{2.0}} = \frac{5.57 \times 10^{-12}}{9.51 - 0.0527} = 5.86 \times 10^{-13} \frac{F}{m} \times 1000 = 5.86 \frac{F}{km}$$

$$\epsilon\% = \frac{5.86 \times 10^{-13} - 5.86 \times 10^{-13}}{5.86 \times 10^{-13}} \times 100 = 0.1748\%$$

$$I_{ch} = B_c V = j\omega C V_{ph} = j2\pi \times 60 \times 5.86 \times 10^{-13} \times \frac{132}{\sqrt{3}} \text{ A/km}$$

P4PCO

فصل پنجم: ردایب دستگاه‌ها و جبران و مدلسازی خطوط انتقال:  $(R, L, C)$

برای مدل کردن خط، خط را به سه دسته تقسیم می‌کنیم: (۱) خط کوتاه:  $(S.T.L)$  :  $l < 50 \text{ mi}$  یا  $l < 80 \text{ km}$

(۲) خط انتقال متوسط:  $(M.T.L)$  :  $50 \text{ mi} < l < 150 \text{ mi}$  یا  $80 \text{ km} < l < 240 \text{ km}$

(۳) خط طولی:  $(L.T.L)$  :  $l > 150 \text{ mi}$  یا  $l > 240 \text{ km}$

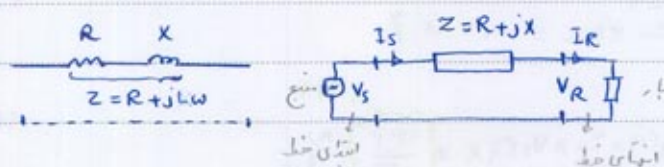
(۱) در خط کوتاه، اثرات کاپاسیتانس می‌تواند صرف نظر کرد چون مقدار آن ناچیز است. اما خطوط انتقال متوسط و بلند کاپاسیتانس خط متعده می‌شود.

(۲) در خطوط کوتاه، متوسط و بلند پارامترهای رفته رفته می‌شوند. اما در خط بلند پارامتر بخش به به پراکنده و تغییر گرفته می‌شود. وقتی یک مقاومت رافترده داریم جبرانی که وارد مقاومت می‌شود با جبرانی که از آن خارج می‌شود یکسان است. اگر ابعاد مدار در مقایسه با طول موج (مادش فرکانس خط) کوچک باشد ما آن را فترده و تغییر نمی‌دهیم.

بنابراین با افزایش فرکانس،  $\lambda$  کوچکتر می‌شود پس می‌توان مدار را فترده و تغییر گرفت. در این درس چون با فرکانس  $\lambda = \frac{c}{f}$

$50 \text{ Hz}$  سروکار داریم:  $\lambda = 5000 \text{ km}$  در مورد خط کوتاه و  $\lambda = 80 \text{ km}$  در مقایسه با  $\lambda$  خیلی کوچکتر است پس

می‌توان مدار را فترده و تغییر گرفت. اما در مورد خط بلند نمی‌توان مدار را فترده و تغییر گرفت.



(۱) مدلسازی خط کوتاه:



$$V_S = V_R + Z I_R$$

$$I_S = I_R \quad (\text{چون مدار بسته})$$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$\text{نادر: رابطه کلی: } \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

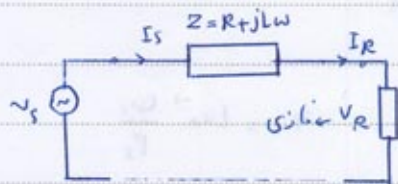
ثابت های خط: A, B, C, D

که در اینجا  $A=D=1$ ,  $B=Z$  و  $C=0$  بنابراین همیشه برای بدست آوردن رابطه و نادر

استدادهای خط باید با هم و این مارتین را می بینیم. ثابت های خط (در منبع و بارش می نازند) فقط به خط بستن دارند.

$$P_R = \sqrt{3} V_R I_R \cos \varphi_R$$

$$\rightarrow |I_R| = \frac{P_R}{\sqrt{3} V_R \cos \varphi_R}$$



$$Z_{Pa} = \frac{R + jX}{Z_b} \quad Z_b = \frac{V_b^2}{S_b}$$

$$\text{Regl} = \frac{|V_{RNL}| - |V_{RFL}|}{|V_{RFL}|} \times 100 = \frac{|V_S| - |V_R|}{|V_R|} \times 100$$

رولاسین نشان می دهد که دقت از آن باری کمتر و نادر چند در صداقت می کند.

$$\text{توان تلفات: } S_S = V_S I_S^* = P_S + j \Phi_S$$

$$\text{توان خروجی: } S_R = V_R I_R^* = P_R + j \Phi_R$$

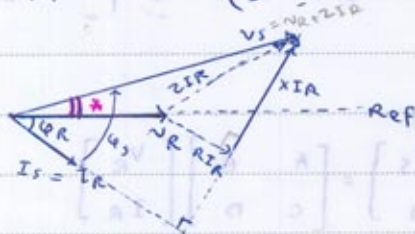
$$\Rightarrow P_{Loss} = P_S - P_R \quad I_S = I_R \rightarrow P_{Loss} = R |I|^2 \quad \text{نادر: } P_{Loss} = 3 R |I|^2$$

لکه آن رابطه را می تواند در خط کوتاه باری بریم  $I_S = I_R$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = \frac{P_R}{P_S} \times 100$$

مماسه انداز:

در رسم دیاگرام برداری، ولتاژهای خط معمولاً مرجع در نظر گرفته می شود (یا زاویه صفر)



دیاگرام برداری:

\* زاویه  $\phi$  و  $\phi_s$

$$I_R = |I_R| \angle \phi$$

$$\cos(\angle V_R, I_R) = \cos \phi_R$$

$$\cos(\angle V_S, I_S) = \cos \phi_S$$

$$S_S = V_S I_S^* = P_S + j\phi_S$$

مماسه  $\phi_S$  بدون داشتن دیاگرام برداری:

$$\Rightarrow \tan \phi_S = \frac{\phi_S}{P_S}, \quad \phi_S = \tan^{-1} \frac{\phi_S}{P_S}$$

مثال) یک خط سه فاز توان ۳ MW در ولتاژ ۱۱ kV تحمل بار می دهد. تلفات خط ۱۰٪ توان کومی است. اگر طول خط ۱۵ km

ضریب تلفات بار ۰.۸ سن فاز باشد ولتاژ ابتدای خط در ولتاژ ۱۱ kV باشد. خط سه فاز را با یک سیم خط سه فاز دارای آرایش مثلث

راندان خط و ضریب تلفات ابتدای خط

شعاع هادی ۵ mm است. فاصله هادی ها ۱.۷ m باشد. چون خط ۱۵ km = خط ۱۵ km

$$Z = R + j\omega L, \quad \begin{cases} V_S = V_R + Z I_R \\ I_S = I_R \end{cases}$$

موادلات خط توان به عبارت زیر:

$$P_{Loss} = \frac{1}{100} \times 3 \times 10^7 = 3 \times 10^5 \text{ W}, \quad P_{Loss} = 3 R |I|^2$$

مماسه  $R$  و  $L$ :

$$P_R = \sqrt{3} V_R I_R \cos \phi_R$$

$$I_R = \frac{3 \times 10^7}{\sqrt{3} \times 11000 \times 0.8} = 197 \Rightarrow R = \frac{3 \times 10^5}{3 \times 197^2} = 2.58 \Omega$$