

د. ماتریس های شبیه: Y_{bus} (ماتریس admittance بار) Z_{bus} (ماتریس impedance امپدانس شبکه)

فصل اول: مفاهیم اولیه توان

فازور: آلترن موج سینوسی داشته باشیم. چون تحلیل آفنا سخت است در نتیجه می آیم از بردارها (فازور) استفاده می کنیم. فازور یک بردار گردان است به جای موج سینوسی استفاده می کنیم

و تاثیر موثر

اندازه بردار فازور $\frac{V_m}{\sqrt{2}}$ است

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

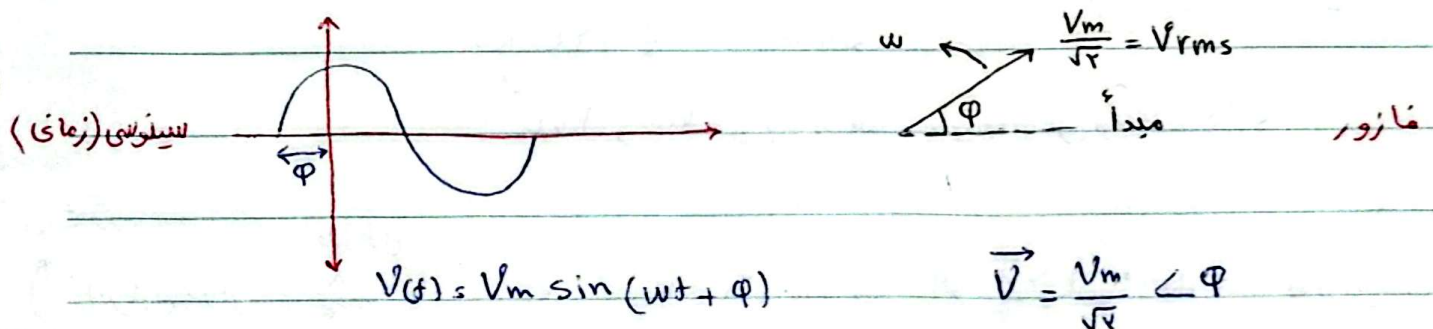
تحلیل این روش سخت است



$$\begin{cases} V_m \sin \omega t \\ I_m \sin(\omega t - \varphi) \end{cases} \quad P(t) = V_m \sin \omega t \times I_m \sin(\omega t - \varphi)$$

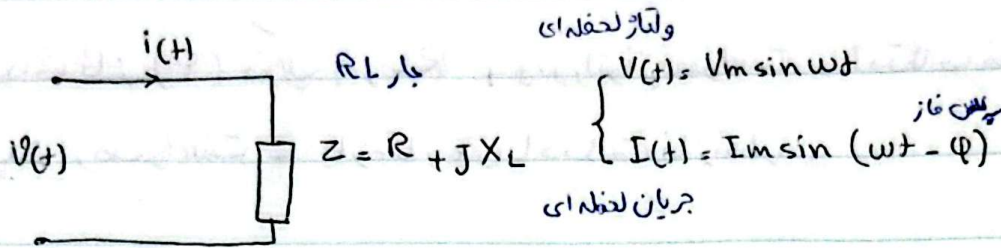
بر اساس زاویه ها، جای بردار فازور عوض می شود.

* چون محاسبات یا موج های سینوسی معمولاً مشکل و نیازمند استفاده از روابط مثلثاتی است در نتیجه به جای موج سینوسی از فازور (بردار گردان (چرخان)) استفاده می شود. اندازه بردار برابر مقدار موثر و زاویه آن مقدار اختلاف فاز موج نسبت به مبدأ می باشد.



$$V(t) = V_m \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\vec{V} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \angle \varphi$$

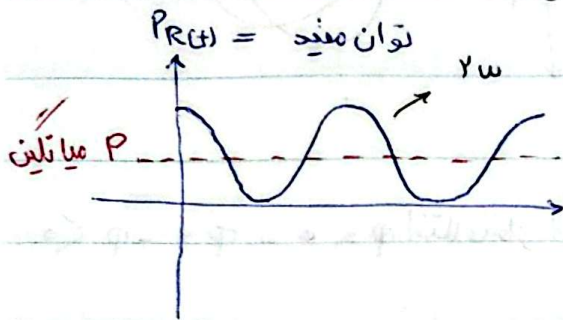


مفاهیم توان:

$$P(t) = V(t) \cdot i(t) \Rightarrow V_m \sin \omega t \times I_m \sin(\omega t - \varphi)$$

* رابطه توان لحظه‌ای یک سیستم تک‌فاز:

$$P(t) = P(1 + \cos 2\omega t) + Q \sin 2\omega t$$

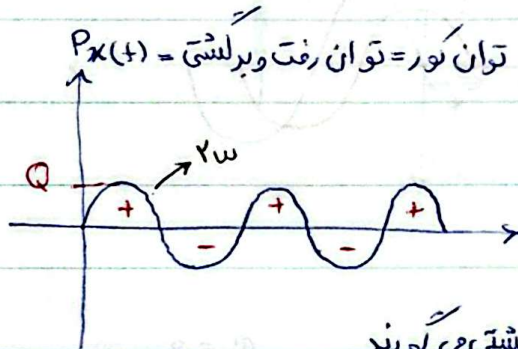
توان الکتریکی لحظه‌ای $P_R(t)$ توان الکتریکی لحظه‌ای $P_X(t)$ * فرکانس نوسانات ولتاژ و جریان ω فرکانس نوسانات توان 2ω

$$\varphi = \angle V - \angle I \quad *$$

$$P_R(t) \text{ میانگین} \Rightarrow P = V_{rms} I_{rms} \cos \varphi$$

توان مفیدی که برای ماکار انجام می‌دهد

در موتورها به گشتاور و نیروی مکانیکی تبدیل می‌شود

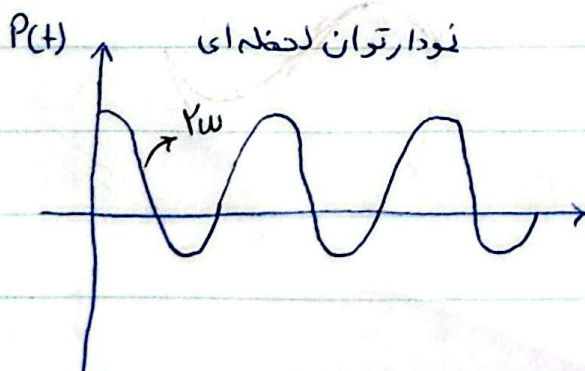


چون قسمت + و - آن برابر است به آن توان کواریانت و برگشتی می‌گویند

این توان برای ماکاری انجام نمی‌دهد ولی برای ایجاد میدان مغناطیسی در موتورها لازم است و بدون این

$$P_X(t) \text{ ماکزیمم} \Rightarrow Q = V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \sin \varphi$$

توان، موتورها کار نمی‌کنند



از مجموع دو نمودار توان الکتریکی لحظه‌ای و توان

را الکتریکی لحظه‌ای، نمودار توان لحظه‌ای $P(t)$

به دست می‌آید.

Date: / /

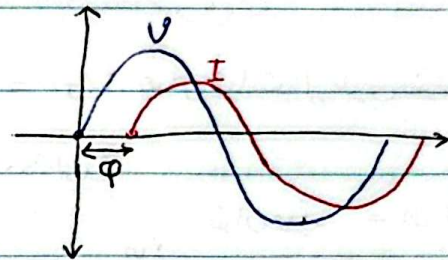
Sat Sun Mon Tue Thu Wed Fri

Subject: -----

* اختلاف فاز (φ) در یک بار RL + و بزرگتر از صفر است - اختلاف فاز در یک بار RC - و کوچکتر از صفر است - بار مقاومتی اختلاف فاز ندارد.

RL (مقاومت-سلف) $\varphi = 0 - (-\varphi) = \varphi > 0$ جمع ضلعاتی

جریان پس فاز

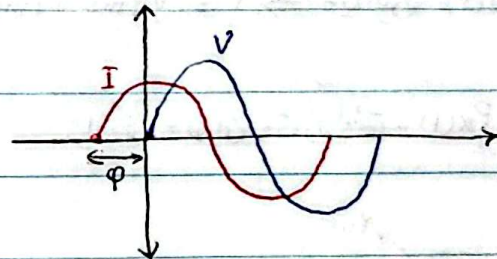


$Q_{RL} > 0$ چون بستگی به علامت φ دارد

RC (مقاومت-خازن)

اختلاف فاز $\varphi = 0 - \varphi = -\varphi < 0$

جریان پیش فاز



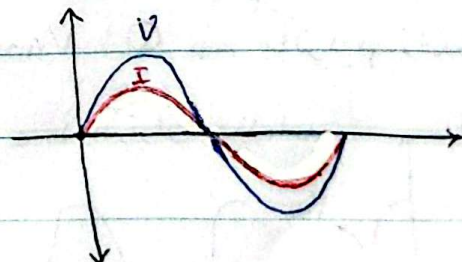
$Q_{RC} < 0$

R (مقاومتی)

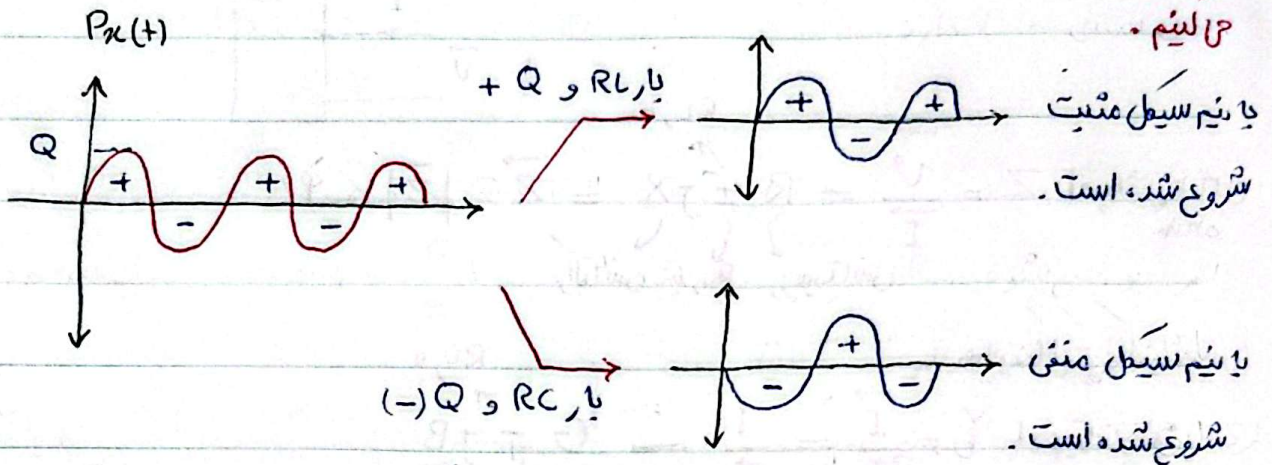
$\varphi = 0$

هم فاز (الکت ها)

$Q_R = 0$



* قرارداد: برای تعیین علامت Q به نیم سیکل اول $P_{\Sigma}(t)$ (توان را لبتو لحظه ای) نگاه می کنیم.



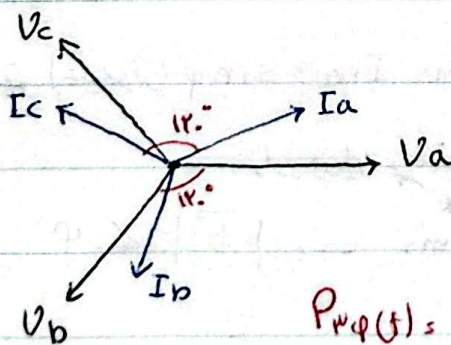
اگر این دو دامنه با هم برابر یا شوند می توانند همدیگر را خنثا کنند. (سلف و خازن عکس هم می مانند)

* رابطه $P(t)$ برای یک سیستم کلفاز است و اگرهای سیستم سه فاز داشته باشیم که از سه تا فاز که با هم اختلاف 120° زمانی و مکانی دارند، تشکیل شده است، توان لحظه ای به صورت زیر است. (توانی که موتور سه فاز دریافت می کند یک توان ثابت است و لذا توان هم نسبت به کلفاز بهتر است)

a $P_a(t) = P(1 + \cos 2\omega t) + Q \sin 2\omega t$

b $P_b(t) = P(1 + \cos 2\omega t) + Q \sin 2\omega t$

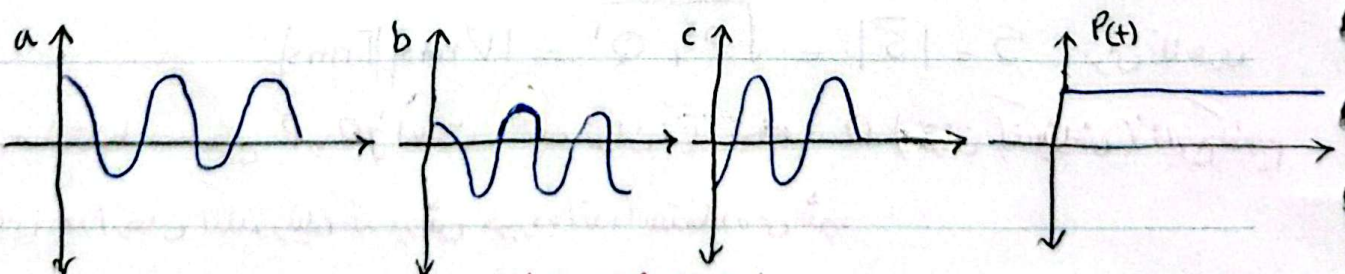
c $P_c(t) = P(1 + \cos 2\omega t) + Q \sin 2\omega t$



$$P_{\Sigma\phi}(t) = P_a(t) + P_b(t) + P_c(t)$$

یک عدد ثابت به ما می دهد به حسب زمان تغییر نمی کند

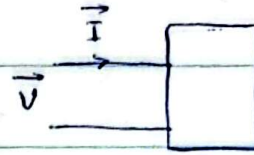
$$P_{\Sigma\phi}(t) = 3 V_p I_p \cos \phi = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi$$



* با توجه به اختلاف 120° بین فازها

$$R = \frac{V}{I} \leftarrow \text{DC دانی}$$

مثلت امپدانس



$$Z = \frac{V}{I} = R + jX = \vec{Z} = |\vec{Z}| \angle \varphi$$

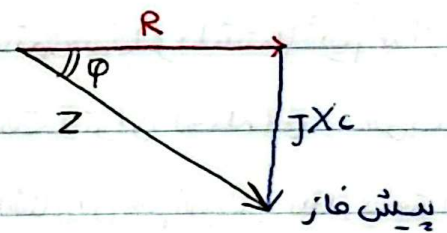
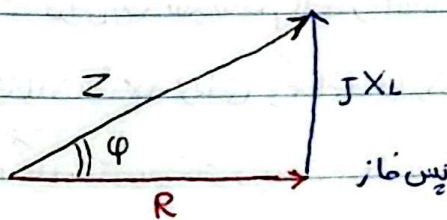
$\swarrow$ $\searrow$ $\swarrow$ $\searrow$
 امپدانس (ohm) با R_L با X_L با R_C با X_C
 رزیستانس راکتانس

هدایت الکتریکی (عکس امپدانس)

$$Y = \frac{I}{V} = \frac{1}{Z} = G + jB$$

$\swarrow$ $\searrow$ $\swarrow$ $\searrow$
 سولسیفیکانس با G با B با G با B
 کنڈولٹانس با R_C با X_C با R_L با X_L

زیمپنس یا mho



مثلت توان

$$P_R(t) \xrightarrow{\text{میانگین}} P \rightarrow P = V_{rms} I_{rms} \cos \varphi \quad \text{توان الیو (موثر)}$$

$$P_X(t) \xrightarrow{\text{میانگین}} Q \rightarrow Q = V_{rms} I_{rms} \sin \varphi \quad \text{توان الیو (غیر موثر)}$$

زاویه جریان پرمغنی می‌لند

$$\vec{S} = P + jQ = \vec{V}_{rms} \cdot \vec{I}_{rms}^* = |\vec{S}| \angle \varphi \quad \text{توان مختلط}$$

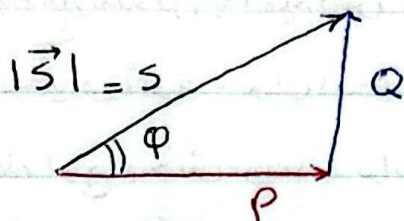
$$S = |\vec{S}| = \sqrt{P^2 + Q^2} = |V_{rms}| |I_{rms}| \quad \text{توان ظاهری}$$

* توان مختلط مجموع P و jQ است. یک توان دیگر به نام P (توان راکتیو اغتشاشی) داریم که برای مدارهای الکتریکی که برش خورده اند استفاده می‌شود

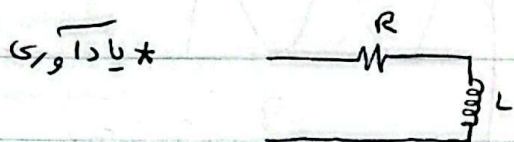
Date:

Sat Sun Mon Tue Wed Fri

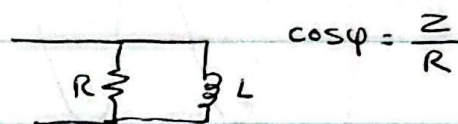
Subject:



رابطه هم $\cos \varphi = \frac{P}{S}$

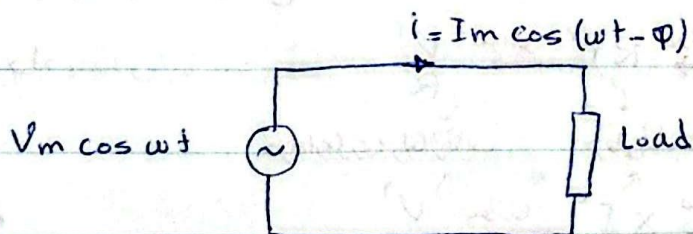


$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$



$$\cos \varphi = \frac{Z}{R}$$

مثال: در سیستم قدرت زیر در صورتی که توان لحظه‌ای بار به صورت $P(t) = k_1(1 + \cos 2\omega t) + k_2 \sin 2\omega t$ باشد، ضریب توان بار کدام است.



$$\frac{k_1 \cos \varphi}{k_1 \cos \varphi + k_2 \sin \varphi} \quad (1)$$

$$P(t) = \underbrace{P}_{k_1} (1 + \cos 2\omega t) + \underbrace{Q}_{k_2} \sin 2\omega t$$

$$\frac{k_1 \cos \varphi}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{k_1^2 + k_2^2}$$

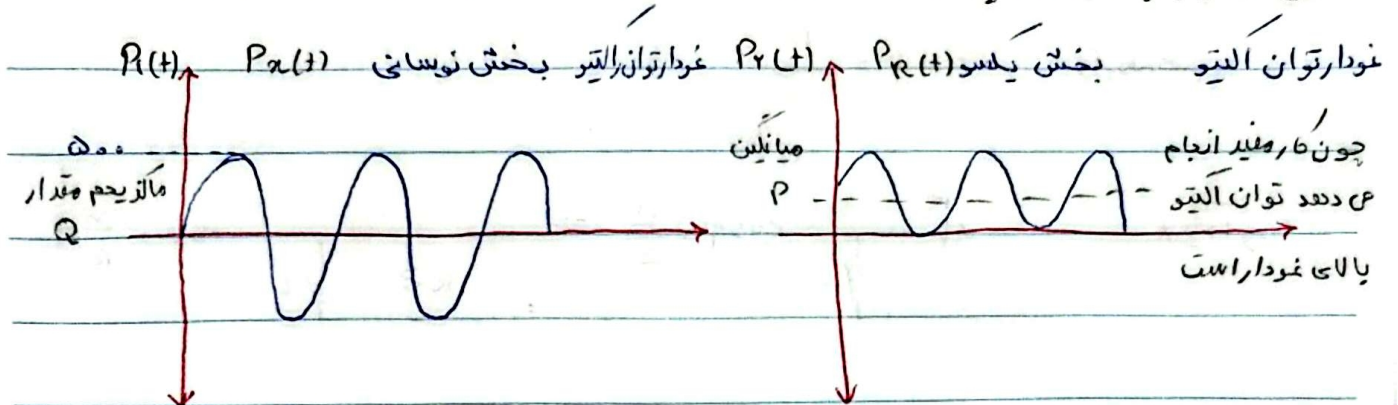
$$\frac{k_1}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}} \quad (3)$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$\rightarrow \cos \varphi = \frac{k_1}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}$$

$$\frac{k_2}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}} \quad (4)$$

مثال ۱۴.۳ یک بار سه فاز متعادل یا امپدانس هر فاز برابر با $Z = (1.73 + j10)\Omega$ توان الکترونیکی منبع متعادل تغذیه می شود، توان لحظه ای هر فاز مطابق شکل دارای دو بخش پلس و توان الکترونیکی است، اگر نقطه اوج بخش نوسانی برابر ۵۰۰ باشد آنگاه توان ظاهری سه فاز تحویلی به بار چند ولت آمپر است؟



* توان ظاهری یک تعریف است ولی توان الکترونیکی و توان الکترونیکی در توان توسط نمودارها و موج های $\cos$ و $\sin$ توان لحظه ای توان الکترونیکی توان الکترونیکی

$$P = V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \cos \phi \xrightarrow{\text{مدار سری}} R I^2 \xrightarrow{\text{موازی}} \frac{V^2}{R}$$

جریان ثابت (در مدار سری) در مدار موازی ولتاژ ثابت

$$Q = V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \sin \phi \xrightarrow{\text{مدار سری}} X I^2 \xrightarrow{\text{موازی}} \frac{V^2}{X}$$

* عبور سریال موج های توان الکترونیکی و توان الکترونیکی را داده است و مقدار $Q = 500$ است چون ماکزیمم مقدار بخش نوسانی همان Q است. یا توجه به داده های مسئله و برای راحتی حل از رابطه دوم توان ها (مدار سری) استفاده می کنیم

$$\begin{cases} Q = X I^2 \Rightarrow 500 = 10 \times I^2 \Rightarrow I^2 = 50 \text{ A} \\ P = R I^2 \Rightarrow P = 1.73 \times 50 \Rightarrow P = 86.5 \end{cases}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \Rightarrow S = \sqrt{(86.5)^2 + 500^2} \xrightarrow{\text{فاکتور پیر}} \sqrt{500^2 (1.73^2 + 1)} \xrightarrow{\text{از ۲.۵}} 2 \sqrt{500^2}$$

$$S = 2 \times 500 = 1000 \text{ VA}$$

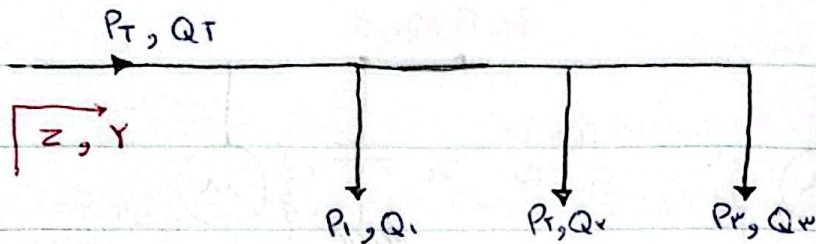
* نکته سوال این است که توان ظاهری سه فاز را

$$\begin{cases} S_{1\phi} = 1000 \text{ VA} \\ S_{3\phi} = 3 \times 1000 = 3000 \text{ VA} \end{cases}$$

از ما خواسته و ۱۰۰۰ VA توان یک فاز است

پس توان ظاهری سه فاز برابر است با ۳۰۰۰ VA

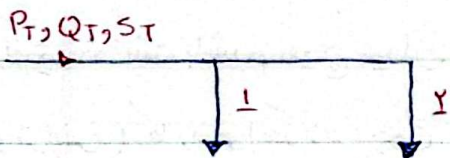
* مدارهای شامل چند بار:



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{توان الکتریکی} \quad P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots \\ \text{توان راکتیو} \quad Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots \end{array} \right. \Rightarrow \begin{array}{l} \text{توان ظاهری کل} \\ S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} \\ \cos \phi = \frac{P_T}{S_T} \\ Z = \frac{V}{I} \\ Y = \frac{I}{V} \end{array}$$

$$\vec{S}_T = \vec{S}_1 + \vec{S}_2 + \vec{S}_3 \quad \text{جازور (متراساده می شود)}$$

مثال: دو بار الکتریکی، یکی باتوان معروضی 100 kW و ضریب توان $\cos \phi = 0.8$ و دیگری باتوان ظاهری 100 kVA و همان ضریب توان $\cos \phi = 0.8$ از یک تابلو، تغذیه می شود، توان الکتریکی و راکتیو و ظاهری کلی را به دست آورید ($\cos 0.8 \leftrightarrow \sin 0.6$)



$$P = \frac{VI}{S} \cos \phi \Rightarrow P = S \cos \phi$$

$$Q = VI \sin \phi \Rightarrow Q = S \sin \phi$$

$$\tan \phi = \frac{Q}{P} \Rightarrow \frac{VI \sin \phi}{VI \cos \phi} = \frac{\sin \phi}{\cos \phi} = \tan \phi$$

$$\cot \phi = \frac{P}{Q} \Rightarrow \frac{VI \cos \phi}{VI \sin \phi} = \frac{\cos \phi}{\sin \phi} = \cot \phi$$

$$\text{بار اول: } P_1 = 100 \text{ kW}$$

$$\textcircled{1} (\tan \phi = \frac{Q}{P}) Q_1 = P \times \tan \phi_1 \Rightarrow 100 \times \frac{0.6}{0.8} = 100 \times \frac{3}{4} = 75 \text{ kVAR}$$

$$\textcircled{2} (\cot \phi = \frac{P}{Q}) \Rightarrow Q_1 = \frac{P}{\cot \phi} \Rightarrow \frac{100}{\frac{0.8}{0.6}} = \frac{100}{\frac{4}{3}} = \frac{300}{4} = 75 \text{ kVAR}$$

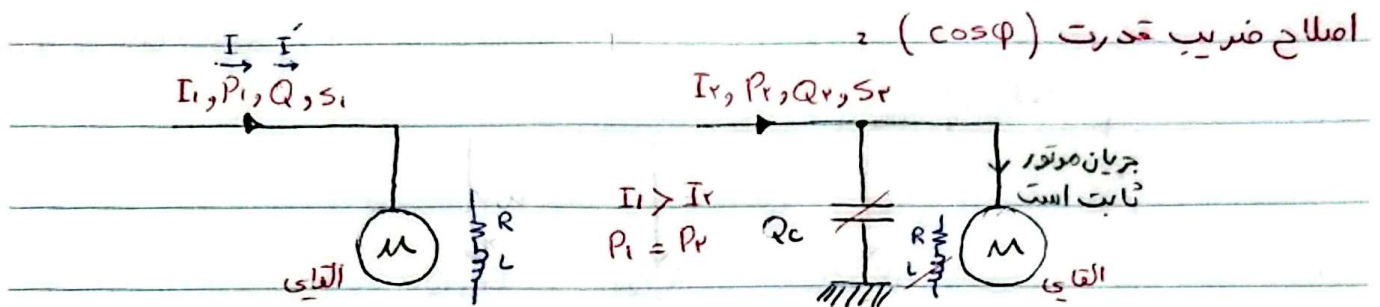
$$\textcircled{3} P = S \cos \phi \Rightarrow S = \frac{P}{\cos \phi} = \frac{100}{0.8} = 125 \text{ kVA} \Rightarrow Q = S \sin \phi = 125 \times 0.6 = 75 \text{ kVAR}$$

$$\text{بار دوم: } S_2 = 100 \text{ kVA} \Rightarrow Q_2 = S_2 \sin \phi_2 \Rightarrow 100 \times 0.6 = 60 \text{ kVAR}$$

$$P_2 = S_2 \cos \phi_2 \Rightarrow 100 \times 0.8 = 80 \text{ kW} \quad \textcircled{4} Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{100^2 - 80^2} = 60 \text{ kVAR}$$

$$P_T = P_1 + P_2 = 100 + 80 = 180 \text{ kW} \Rightarrow S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} = \sqrt{(180)^2 + (135)^2} = 225 \text{ kVA}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_T = Q_1 + Q_2 = 75 + 60 = 135 \text{ kVAR} \\ \cos \phi_T = \frac{P_T}{S_T} = \frac{180}{225} = 0.8 \end{array} \right. \quad \text{چون ضریب توان دو بار را هم برابر بودند}$$

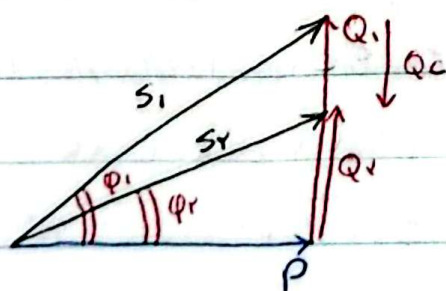
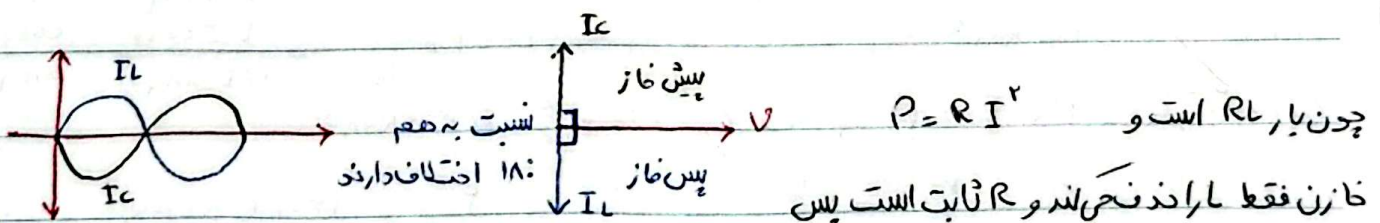


اختلاف بین جریان که توان الکترونی می‌کشد با جریان الکترونی که با هم ۹۰° است و برابر آن مقدار جریانی است که از شبکه کشیده می‌شود.

خازن و سلف مخالف یکدیگر هستند و هم دیگر را خنثی می‌کنند. در خازن ذخایر مقدار توان الکترونی ثابت می‌ماند و فقط توان الکترونی و توان ظاهری کاهش می‌یابد. اگر دو موتور همسایه داشته باشیم، موتوری که خازن دارد جریان کمتری از شبکه نسبت به موتوری که خازن ندارد می‌کشد.

در حالت عادی یک موتور توان الکترونی و توان از شبکه دریافت می‌کند، یا افزودن خازن، قسمتی از توان الکترونی در محل نصب موتور خودمان تأمین می‌کنیم در نتیجه توان الکترونی ورودی کاهش می‌یابد و در نتیجه توان ظاهری و جریان کلی ورودی هم کم می‌شود. طبق نمودار مثلث توان مشخص است ϕ کاهش می‌یابد در نتیجه $\cos \phi$ افزایش یافته و به ۱ نزدیکتر می‌شود.

اگر توان الکترونی داشته باشیم هیچ میدان مغناطیسی و آهنربایی نداریم و هیچ بار سلفی (موتوری و ترانزور و ترانس) کار نخواهد کرد، چون توان الکترونی سبب ایجاد میدان مغناطیسی در هسته موتورها و ترانزورها و ترانس ها می‌شود، پس ما هیچ وقت نمی‌توانیم یا خازن ذخایر مقدار Q را صفر کنیم.



$$P \text{ هم ثابت است} \quad Q_2 < Q_1 \quad S_2 < S_1$$

$$\phi_2 < \phi_1$$

$$\cos \phi_2 > \cos \phi_1 \Rightarrow \text{اصلاح ضریب قدرت:}$$

$$P_1 = P_2$$

شرکت های برق منطقه ای می‌ایند

مقدار $\cos \phi$ زیاد شود $\cos \phi \approx 1$ و مقدار I کم شود

دوقتی که ولتاژ یکسان و ثابت باشد:

ولتاژ ثابت

$$S \downarrow = V I \downarrow$$

با کاهش مقدار S مقدار I هم کاهش می یابد

همچنین بر اساس روابط مثلثاتی هر چند مقدار زاویه بین ولتاژ و جریان یا توان الکتریکی و ظاهری که همان

ϕ است کاهش یابد، مقدار $\cos \phi$ افزایش می یابد و مقدار $\sin \phi$ کاهش می یابد. پس:

ولتاژ ثابت

$$P = V I \cos \phi \uparrow$$

ولتاژ ثابت

$$Q \downarrow = V I \sin \phi \downarrow$$

توان الکتریکی ثابت می ماند

توان راکتیو کاهش می یابد

طبق مثلث توان داریم:

$$Q_2 = Q_1 - Q_c$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$Q_c = P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

فرمول هم

$$\begin{cases} \sin = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}} \\ \cos = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}} \\ \tan = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{ضلع مجاور}} \end{cases}$$

$$\tan \phi_1 = \frac{Q_1}{P} \Rightarrow Q_1 = P \tan \phi_1$$

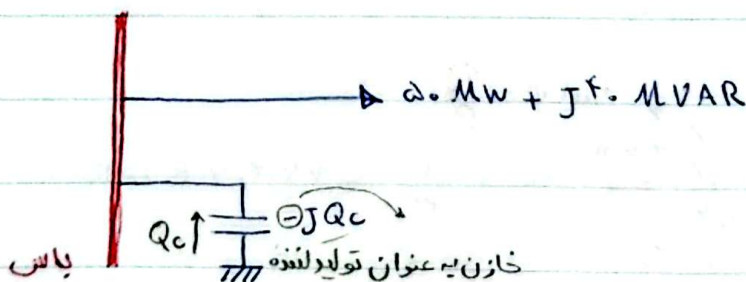
$$\tan \phi_2 = \frac{Q_2}{P} \Rightarrow Q_2 = P \tan \phi_2$$

چون P ثابت

است

مثال ۲: در سیستم شغل زیر، مقدار خازن را طوری بیابید که فزاید توان باس به ۰.۸ پس فاز برسد

$$\sin = \sqrt{1 - \cos^2}$$



$$Q_c = P (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

توان راکتیو است

$$\tan \phi_1 = \frac{Q_1}{P} = \frac{40}{50} = \frac{4}{5} = 0.8$$

$$\tan \phi_2 = \frac{\sin \phi_2}{\cos \phi_2} = \frac{0.4}{0.8} = \frac{4}{8} = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$Q_c = 50 \text{ MW} (0.8 - 0.5) = 50 \times 0.3 = 15 \text{ MVAR}$$

Date: / /

Sat. Sun. Mon. Tue. Thu. Wed. Fri.

Subject: -----

ب: ظرفیت خازن را طوری بیاورید که ضریب توان به 1 برسد.

راه ①: چون می خواهیم بار مقاومتی شود فقط باید توان الکتروداشته باشیم، در نتیجه باید Q_c

توان الکترو بار را خنثی نماید (یعنی هیچ بار الکترو نداشته باشیم) $Q_c = 4 \text{ MVAR}$

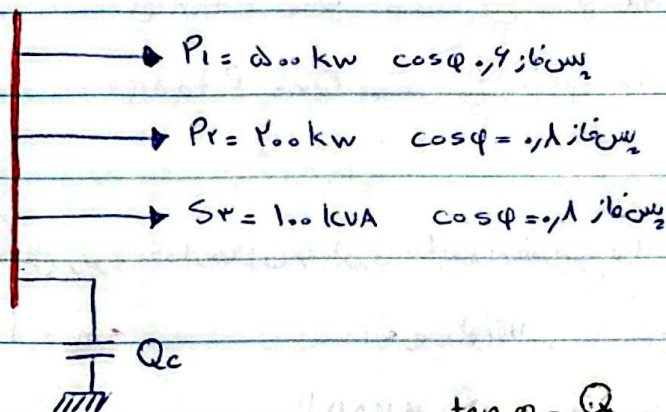
راه ②: براساس فرمول:

$$Q_c = P(\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \Rightarrow Q_c = P \tan \phi_1 = 500 \times 0.8 = 4 \text{ MVAR}$$

$$\text{if } \cos \phi_2 = 1 \rightarrow \sin \phi_2 = 0 \rightarrow \tan \phi_2 = 0$$

* مثال: در سیستم شغل زیر مقدار خازن را طوری بیاورید که ضریب توان به 1 برسد.

* چون می خواهیم ضریب توان 1 شود



پس باید کل توان الکترو حذف شود

و کل توان الکترو Q_c را به دست

آورده و همان مقدار Q_c می شود

$$\tan \phi = \frac{Q}{P}$$

$$\text{بار اول} = Q_1 = P_1 \tan \phi_1 = 500 \times \frac{0.8}{0.6} = 500 \times \frac{4}{3} = 666.7 \text{ kVAR}$$

$$\text{بار دوم} = Q_2 = P_r \tan \phi_2 = 200 \times \frac{0.6}{0.8} = 200 \times \frac{3}{4} = 150 \text{ kVAR}$$

$$\text{بار سوم} = Q_3 = S_3 \sin \phi = 100 \times 0.6 = 60 \text{ kVAR} \quad Q = \frac{VI \sin \phi}{S} \Rightarrow S \sin \phi$$

پس فاز پس فاز پس فاز

$$Q_c = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 666.7 + 150 + 60 = 876.7 \text{ kVAR}$$

* چون همه بارها پس فاز است مقدار Q_c + است و اگر بار پیش فاز بود علامت Q منفی می شود.

ب. مقدار خازن را طوری بیابید که ضریب توان ۰.۸ پس فاز گردد.

* در این سوال مقدار $\cos \varphi_2$ برابر ۰.۸ پس فاز داده شده است و باید مقدار Q_c را بیابیم به باعث ایجاد این ضریب قدرت می شود. باید مقدار P_t و Q_t را پیدا کنیم و مقدار $\tan \varphi_1$ را بیابیم و از فرمول اصلی استفاده کنیم. برای پیدا کردن مقدار P پس فاز یا پیش فاز بودن مهم نیست و فقط باید با هم جمع کنیم ولی در مقدار Q هم است و باید توجه کنیم

* مقدار $\tan \varphi$ می تواند عددی بیشتر از ۱ باشد مطابق شکل داریم:

$$P_1 = 500 \text{ kw} \quad P_2 = 200 \text{ kw} \quad P_3 = S_3 \cos \varphi_3 = 100 \times 0.8 = 80 \text{ kw}$$

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 = 500 + 200 + 80 = 780 \text{ kw}$$

پس فاز و پیش فاز هم نیست و همیشه با هم جمع می شود

$$Q_t = 174.4 \text{ kVAR}$$

در قسمت قبلی به دست آوردیم.

$$\tan \varphi_1 = \frac{Q_t}{P_t} = \frac{174.4}{780} = 1.12$$

$$\tan \varphi_2 = \frac{\sin \varphi_2}{\cos \varphi_2} = \frac{0.6}{0.8} = \frac{3}{4}$$

$$Q_c = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) = 780 (1.12 - 0.75) = 288.4 \text{ kVAR}$$

طرفیت خازن مورد نیاز جهت اصلاح ضریب قدرت به ۰.۸ پس فاز.

$$P_T = 780 \text{ kw}$$

$$Q_t = 174.4 \text{ kVAR}$$

$$S_t = \sqrt{P_t^2 + Q_t^2} = \sqrt{780^2 + (174.4)^2}$$

$$S_t = 1173.38 \text{ kVA}$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_t}{S_t} = \frac{780}{1173.38} = 0.66$$

مقدار $\cos \varphi_1$ برابر ۰.۶۶ بوده است و با خازن گذاری به ۰.۸ می رسانیم.

Date: / /

Sat. Sun. Mon. Tue. Thu. Wed. Fri.

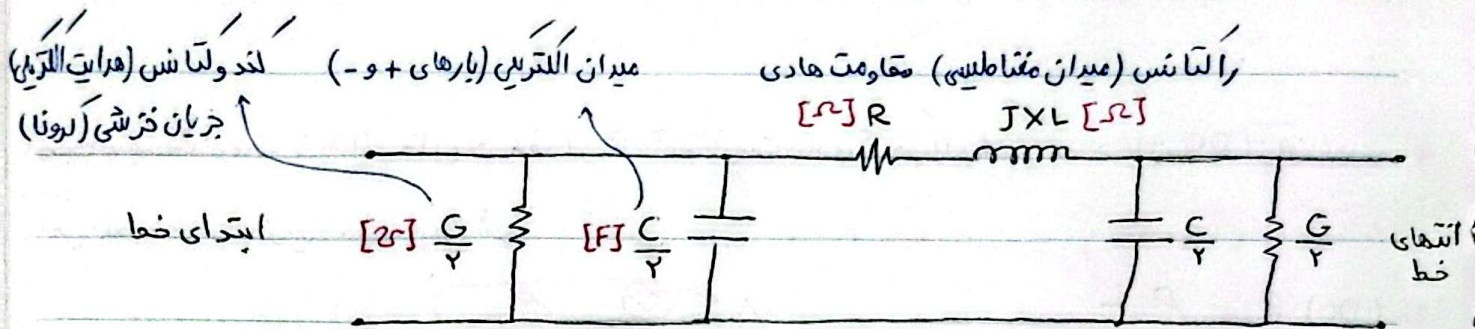
Subject: -----

* اگر در اثر خازن گذاری بیش از حد ضریب قدرت ما مثلاً ۸، به پیش فاز شود و لذا تأثیر شبکه افزایش پیدا
می کند و وسایل خانه می سوزد.

پس فاز (Lag به معنای عقب افتادن) پیش فاز (Lead به معنای جلوتر رفتن، پیشرو)

محاسبه R , L و C خط انتقال:

به منظور مل هر خط انتقال یک مدار معادل دارد که به صورت زیر رسم می شود.



R [مقاومت خط]: هر هادی یک مقاومتی دارد که در برابر عبور جریان مخالفت می کند.

jXL [رالتانس خط]: هر هادی در خطوط انتقال یک میدان اطراف خودش دارد که می تواند هادی های دیگر را در بریزد به این میدان ها. میدان های مغناطیسی می گویند که به علت اندولتانس (L) هادی ها در اطراف آنها شغل می گیرد. [هانری H] اندولتانس $X_L = 2\pi f L$ رالتانس (میدان مغناطیسی)

C [کاپاسیتانس یا ظرفیت خازنی خط]: روی خط انتقال بارهای الکتریکی + و - ایجاد می شود که باعث ایجاد ظرفیت خازنی بین خط ها و خط و زمین می شود که می تواند باعث تخلیه بارها شود (زمین هم در ظرفیت خازنی موثر است) در مدل کردن ظرفیت خازنی، نصف آن را در ابتدای خط و نصف آن را در انتهای خط قرار می دهند. علت وجود بارهای + و - میدان الکتریکی است.

G [کندولتانس یا هدایت الکتریکی]: در خطوط انتقال مقره هایی قرار دارند که به عنوان عایق بین هادی و دکل انتقال برق استفاده می شوند. چون هر عایق عایق کامل نیست، کمی جریان ناشی از بدنه مقره ها عبور می کند و به این جریان های ناشی، جریان های خزشی یا لرنا می گویند.

معایب هر کدام از پارامترهای خطوط انتقال:

R ← ۱: سبب افت ولتاژ ۲: اتلاف توان الیو

jXL ← افت ولتاژ (افت توان ایجاد نمی کند چون در سلف توان الیو نداریم)

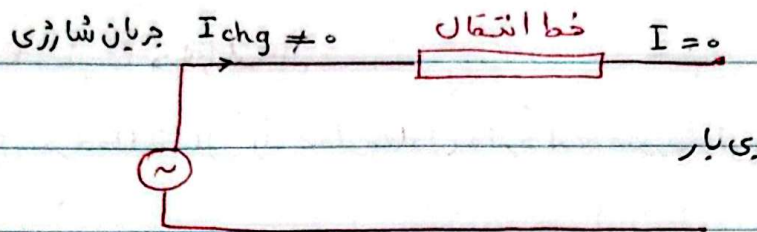
X_C ← سبب ایجاد جریان شارژی (جریانی که در حالت بی باری شبکه ایجاد می شود)

G ← صرف نظر می شود و محاسبه نمی شود.

Date: / /

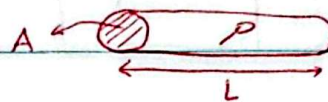
Sat. Sun. Mon. Tue. Thu. Wed. Fri.

Subject: -----



محاسبه مقاومت خط انتقال ۲ مقدار R [مقاومت هادی] در یک هادی به جریان DC از آن عبور می کند به صورت زیر محاسبه می شود

$$(DC) R = \frac{P L}{A}$$



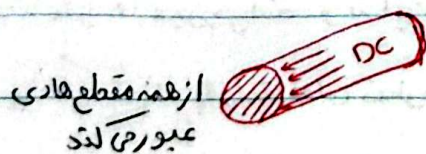
P مقاومت ویژه که بستگی به جنس ماده دارد. عکس آن هدایت ویژه است که با k نشان می دهند $P = \frac{1}{k}$ $k = 35$ آلومینیم $k = 59$ مس

در یک هادی به جریان DC از آن عبور می کند، چون جریان DC از کل سطح مقطع هادی عبور می کند (اصطلاحاً از مغز هادی می گذرد)، مقاومت به صورت رابطه بالا به دست می آید ولی در یک هادی به جریان AC از آن عبور می کند، چون جریان AC از پوسته هادی عبور می کند (اصطلاحاً جریان AC از مغز هادی عبور نمی کند)، مقاومت به صورت رابطه زیر به دست می آید و یک سری ضرایب دارند:

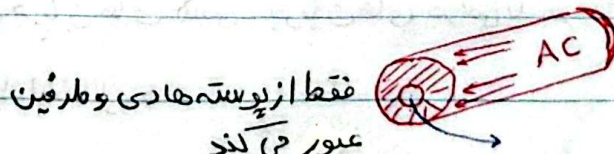
$$R = \frac{P L}{A} \times k \times 1.02 \quad (\text{در دمای } 20^\circ \text{C و AC})$$

k ضریب اثر پوستی (skin effect) بین ۱.۱ تا ۱.۳ در فرکانس ۵۰ و ۴۰ هرتز

۱.۰۲ ضریب اثر پیچش (در اثر پیچاندن هادی ها در یک سیم یا کابل (سیم های افشان و نیمه افشان))



از همه مقاطع هادی عبور می کند



فقط از پوسته هادی و طرفین عبور می کند

از مرکز هادی عبور نمی کند

طبق شکل بالا سطح مقطعی که در هادی با جریان AC است نسبت به هادی با جریان DC کمتر است

$$\uparrow R = \frac{P L}{A} \quad \text{در نتیجه}$$

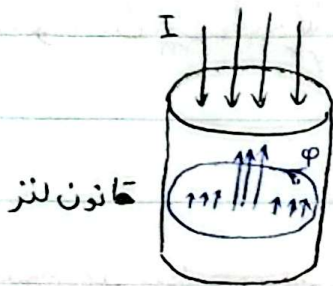
$$R_{DC} < R_{AC}$$

در نتیجه:

مقاومت در AC بیشتر از مقاومت در DC است.

بر اساس قانون لنز، جریان می خواهد با عامل به وجود آورنده خودش مخالفت کند در نتیجه وقتی از یک هادی جریان AC عبور می کند و تغییرات شار نسبت به زمان داریم، یک میدان مغناطیسی درون هادی ایجاد می شود و یک جریان مخالف جریان عبوری ایجاد می شود و این جریان در مرکز هادی بیشتر است و بر ایند جریان ها با هم مندر می شود و از مرکز هادی جریانی عبور نمی کند.

★ هادی های $ACSR$ که در خطوط انتقال و توزیع استفاده می شوند در مرکز آنها از فولاد استفاده می شود و اطراف آن از آلومینیوم. چون از مرکز آن جریان عبور نمی کند و همچنین برای استحکام هادی از فولاد استفاده می کنند.



★ ضریب اثر پوستی، جریان در AC دوست دارد از لایه ها و پوسته عبور کند و از مرکز هادی عبور نکند. علت آن قانون

لنز است. جریان متناوب یک شار متناوب تولید می کند و خود شار متناوب یک جریان نیز تولید می کند که بر اساس قانون لنز، این جریان مخالف جهت جریان اصلی است و این مقدار در مرکز هادی بیشتر است و باعث می شود که بر ایند جریان های اصلی و مخالف صفر شود و از مرکز هادی جریان عبور نکند. هر چه فرکانس بالاتر برود این مخالفت بیشتر است و از سطح مقطع بیشتری جریان عبور نمی اندازد. در پست های به فرکانس های بالا دارند معمولاً از لوله های توخالی برای انتقال برق استفاده می کنند.

اندولتانس خط انتقال تک فاز، اگر د و هادی رفت و برگشت داشته باشیم:

$$(N\Phi \rightarrow BA \rightarrow \int H \cdot dL = NI) \quad \text{شار دور}$$

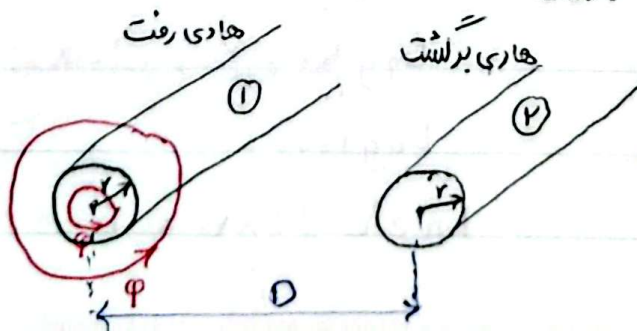
$$L = \frac{1}{I} [H] \quad \text{تعریف اندولتانس}$$

هر هادی دارای دو اندولتانس داخلی و خارجی

است چون Φ هم در داخل هادی است

و هم در بیرون هادی که بیرونی هادی های دیگر

تاثيرش ندارد.



Date: / /

Sat Sun Mon Tue Thu Wed Fri
 اندونتانس خارجی اندونتانس داخلی هاری

عدد ثابت است
 Subject:

$$L_1 = L_{in} + L_{ext} = \frac{1}{\gamma} \times 10^{-V} + \gamma \times 10^{-V} \ln \frac{D}{r}$$

اندونتانس یک سیم (هاری رفت) هاری

D: فاصله بین دو هاری و شعاع هاری ها

جواب بخای $\gamma \times 10^{-V} \ln \frac{D}{r'} \left[\frac{H}{m} \right]$

شعاع معادل $r' = r e^{-\frac{1}{\gamma}} = 0.7718 r$

$$L_v = \gamma \times 10^{-V} \ln \frac{D}{r'} \left[\frac{H}{m} \right]$$

اندونتانس هاری برگشت

$$L_{Total} = L_T = L_1 + L_v = \gamma \times 10^{-V} \ln \frac{D}{r'} \left[\frac{H}{m} \right]$$

اندونتانس کل خط

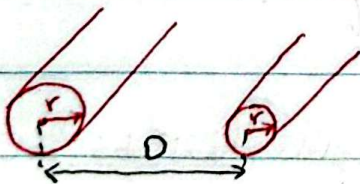
تلفاز (هاری رفت و برگشت)

مفهوم متوسط هندسی:

$$\text{متوسط حسابی } a \text{ و } b \text{ (میانگین)} = \frac{a+b}{2} \text{ و برای } n \text{ عدد } \frac{a+b+c+\dots+n}{n}$$

$$\text{متوسط هندسی } a \text{ و } b \text{ (میانگین)} = \sqrt[n]{a \cdot b} \text{ و برای } n \text{ عدد } \sqrt[n]{a \cdot b \cdot c \cdot \dots \cdot n}$$

* اگر شعاع ها با هم برابر نباشد L_T از رابطه زیر به دست می آید:



$$r = \sqrt{r_1 \cdot r_2} \quad r' = \sqrt{r_1' \cdot r_2'}$$

$$r_1 \neq r_2 \Rightarrow L_T = \gamma \times 10^{-V} \ln \frac{D}{\sqrt{r_1' \cdot r_2'}}$$

چند خاصیت $\ln$:

$$\ln(xy) = \ln x + \ln y$$

$$\ln 1 = 0$$

$$\ln\left(\frac{x}{y}\right) = \ln x - \ln y$$

$$\log_{10} 10 = 1 \rightarrow 10^1 = 10$$

$$\ln e = 1$$

$$\log_{10} 100 = 2 \rightarrow 10^2 = 100$$

$$\ln a^x = x \ln a$$

$$\log_{10} 1000 = 3$$

$$\ln e^x = x \ln e = x$$

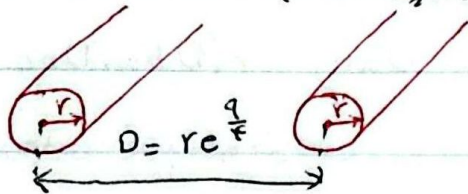
$$\ln e^x = x \ln e = x$$

Date:

Sat Sun Mon Tue Thu Wed Fri

Subject: مباحث پایه بر حسب مترابندی

مثال: در یک خط انتقال تلفاز فاصله میان هادی های رفت و برگشت برابر $re^{\frac{q}{f}}$ می باشد. اندولتانس کل خط تلفاز در واحد طول را بیابید. (هادی ها مفتولی و توپیر هستند)



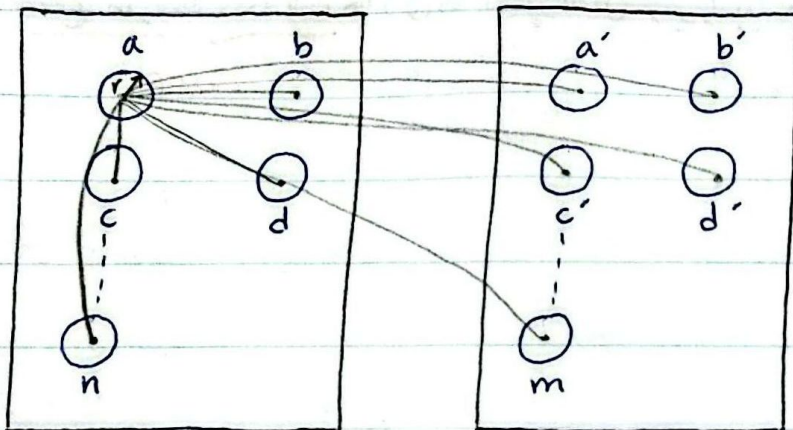
★ شعاع ها ثابت است و اندولتانس کل را می خواهد

$$L_T = f \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'} = f \times 10^{-7} \ln \frac{re^{\frac{q}{f}}}{re^{-\frac{1}{f}}} = f \times 10^{-7} \ln e^{\frac{q}{f} + \frac{1}{f}}$$

($r' = re^{-\frac{1}{f}}$)

$$\Rightarrow f \times 10^{-7} \ln e^{\frac{1}{f}} = f \times 10^{-7} \times \frac{1}{f} \ln e = 10^{-7} \times 1 = 10^{-7} \left[\frac{H}{m} \right]$$

$\ln e^x = x \ln e = x$



اندولتانس دو گروه چند رشته =

گروه γ (مثلاً هادی های برگشت)
گروه κ (مثلاً هادی های رفت)

$GMD =$ فاصله تک هادی ها نسبت به گروه بیدی (فاصله متوسط هندسی دو گروه)

$$GMD = \sqrt[mn]{(D_{aa'} \cdot D_{ab'} \cdots D_{am}) \cdot (D_{ba'} \cdot D_{bb'} \cdots D_{bm}) \cdots}$$

$D_{aa'}$: فاصله هادی a (گروه κ) نسبت به a' (گروه γ)

m تا جمله داریم که n بار تکرار شده اند پس فرجه را nm می شود.

Date: / /

Sat Sun Mon Tue Thu Wed Fri

Subject: -----

$GMR =$ شعاع متوسط هندسی یک لوله

$$GMR_x = \sqrt[n]{(r' \cdot D_{ab} \cdot D_{ac} \dots D_{an}) \cdot (r' \cdot D_{ba} \cdot D_{bc} \dots D_{bn}) \dots}$$

r' : فاصله هر هادی نسبت به خودش

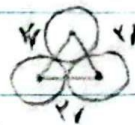
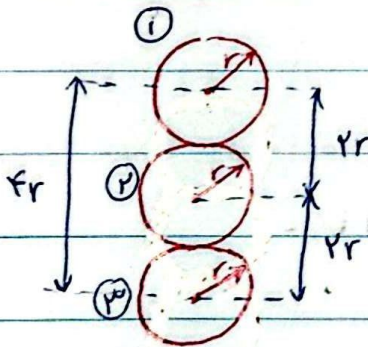
D_{ab} : فاصله هادی a تا هادی b (همان لوله)

$$GMR_y = \sqrt[m]{(r' \cdot D_{a'b'} \cdot D_{a'c'} \dots D_{a'm'}) \cdot (r' \cdot D_{b'a'} \cdot D_{b'c'} \dots D_{b'm'}) \dots}$$

r' : فاصله هر هادی نسبت به خودش

مثال: شعاع متوسط هندسی هادی‌ها توپر شکل زیر را بیابید

GMR



$$GMR = \sqrt[4]{(r' \cdot r' \cdot Fr) \cdot (r' \cdot r' \cdot Fr) \cdot (r' \cdot r' \cdot r')}$$

هادی شماره ۱

هادی شماره ۲

هادی شماره ۳

$$r' = r e^{-\frac{1}{4}} \approx 0.7788 r$$

$$(0.7788 r)^3 = 0.7788^3 \times r^3 \rightarrow \sqrt[4]{r'^3 \times r' \times Fr} = \sqrt[4]{(0.7788)^3 \times r^3 \times r}$$

$$\rightarrow r \sqrt[4]{(0.7788)^3 \times r} \approx 1.7 r$$

$$GMR' = \sqrt{GMR_x \cdot GMR_y} = \sqrt{3,53 \times 7788} = 1,45 \approx 1,44$$

$$LT = E \times 10^{-V} \ln \frac{151,5}{1,44} = F \times 10^{-V} \times 2,23 = 1,93 \times 10^{-V} \frac{H}{m}$$

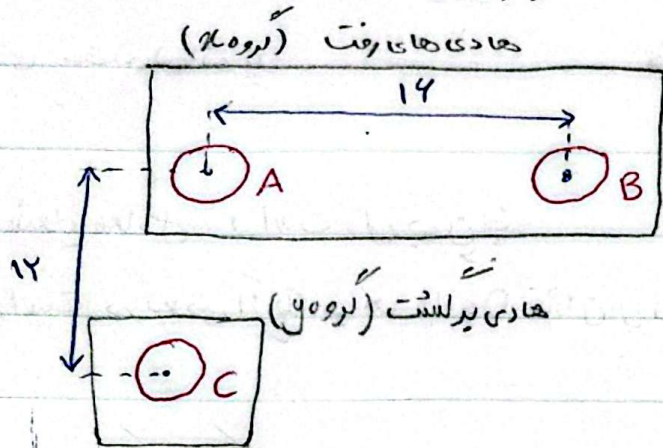
Date: _____

_____ Sun Mon Tue Wed Fri

Subject: _____

مثال: در شکل زیر هادی ها توپر هستند. اندوکتانس واحد طول خط انتقال تلفاز که هادی های

A و B هادی رفت و هادی C هادی برگشت است (r=1)



در این مسائل ابتدا باید هادی های رفت و هادی های

برگشت را در دو گروه جدا قرار بدهیم. بعد مقادیر

GMD و GMR (برای دو گروه) را حساب

کنیم و از طریق این دو مقدار اندوکتانس هر گروه و

سپس اندوکتانس کل را به دست آوریم.

شعاع متوسط هندسی گروه A:

$$GMR_x = \sqrt{r' \cdot 14 \cdot r' \cdot 14} = \sqrt{r'^2 \cdot 14^2} = \sqrt{r' \cdot 14} = 4\sqrt{r'}$$

شعاع متوسط هندسی گروه B:

$$GMR_y = r' = 7788 \quad r \xrightarrow[r=1]{\text{در صورت سوال}} \quad GMR_y = 7788$$

فاصله متوسط هندسی دو گروه:

$$GMD = \sqrt{D_{AC} \cdot D_{BC}} \Rightarrow \sqrt{12 \cdot 2} = \sqrt{24} = 4,9$$

فاصله DBC از طریق رابطه فیثاغورث به دست می آید

$$\sqrt{12^2 + 14^2} = 2$$

اندوکتانس گروه A:

$$L_x = 2 \times 10^{-V} \ln \frac{GMD}{GMR_x} = 2 \times 10^{-V} \ln \frac{151,5}{4\sqrt{3,53}} = 2 \times 10^{-V} \ln \frac{151,5}{4,4}$$

$$2 \times 10^{-V} \ln(4,4) = 2,94 \times 10^{-V} \frac{H}{m}$$

$$L_y = 2 \times 10^{-V} \ln \frac{GMD}{GMR_y} = 2 \times 10^{-V} \ln \frac{151,5}{7788} = 2 \times 10^{-V} \times \ln(19,9) = 4 \times 10^{-V} \frac{H}{m}$$

$$LT = L_x + L_y = 2,94 \times 10^{-V} + 4 \times 10^{-V} = 1,94 \times 10^{-V} \frac{H}{m}$$

* نکته: اگر هادی توخالی باشد چون جریان از مرکز عبور نمی‌کند، r در نظر می‌گیرند.

هادی مفتولی توپر

هادی توخالی (شعاع) r

یک هادی

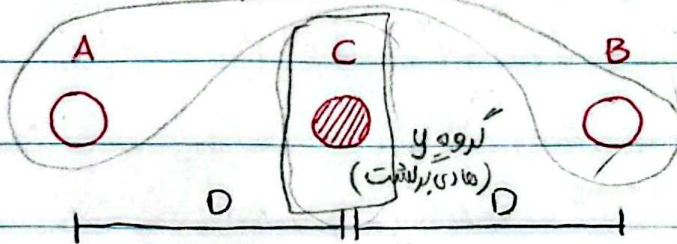
$GMR =$

هادی توپر (شعاع معادل) r'

همان شعاع معادل r' است ولی چون چند هادی رشته‌ای D_s

رشته است در بعضی از کتاب‌ها با D_s نشان می‌دهند

مثال: در خط تلفاز شکل زیر هادی‌های A و B هادی رفت و هادی C طرف برگشت است. با فرض اینکه $r = r' = \frac{D}{\lambda}$ اند و تانس خط چقدر است؟ گروه (هادی‌های رفت)



چون یک هادی است $GMR_{\text{گروه}} = r' = \frac{D}{\lambda}$

$$GMR_{\text{گروه}} = \sqrt{(r' \cdot 2D)(r' \cdot 2D)} = \sqrt{r'^2 \cdot 2D^2} \xrightarrow{\text{فصل ۱، ۴}} \sqrt{r' \cdot 2D}$$

گروه

$$\xrightarrow{\text{جایگزینی } r'} \sqrt{\frac{D}{\lambda} \cdot 2D} = \sqrt{\frac{D^2}{\lambda}} = \boxed{\frac{D}{\sqrt{\lambda}}}$$

$$GMD = \sqrt{D_{AC} \cdot D_{BC}} = \sqrt{D \cdot D} = \sqrt{D^2} = \boxed{D}$$

x و y

* همیشه در GMR و GMD تعداد عبارت‌های زیر رادیکال همان مقدار فرضیه رادیکال می‌باشد.

Date: _____

Sat Sun Mon Tue Wed Fri

Subject: _____

$$L_x = \gamma \times 10^{-v} \ln \frac{GMD}{GMR_x} = \gamma \times 10^{-v} \ln \frac{D}{\frac{D}{\gamma}} = \gamma \times 10^{-v} \ln \gamma \quad \leftarrow \ln \gamma^{\gamma}$$

$$L_y = \gamma \times 10^{-v} \ln \frac{GMD}{GMR_y} = \gamma \times 10^{-v} \ln \frac{D}{\frac{D}{\lambda}} = \gamma \times 10^{-v} \ln \lambda = \gamma \times 10^{-v} \ln \gamma$$

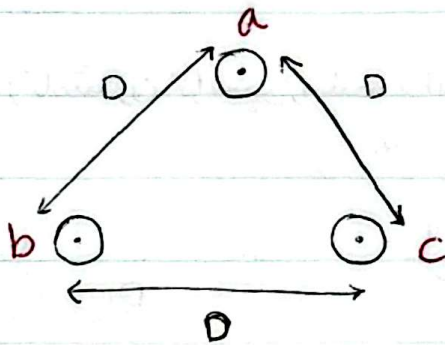
$$L_T = L_x + L_y = \gamma \times 10^{-v} \ln \gamma + \gamma \times 10^{-v} \ln \gamma = \lambda \times 10^{-v} \ln \gamma \quad \left[\frac{H_m}{m} \right]$$

$$GMR' = \sqrt{GMR_x \cdot GMR_y} = \sqrt{\frac{D}{\gamma} \cdot \frac{D}{\lambda}} = \sqrt{\frac{D^2}{\lambda \gamma}} = \left[\frac{D}{\epsilon} \right]$$

$$L_T = \epsilon \times 10^{-v} \ln \frac{GMD}{GMR'} = \epsilon \times 10^{-v} \ln \frac{D}{\frac{D}{\epsilon}} = \epsilon \times 10^{-v} \ln \epsilon \Rightarrow \lambda \times 10^{-v} \ln \gamma \quad \left[\frac{H_m}{m} \right]$$

$\ln \gamma^{\gamma} = \gamma \ln \gamma$

اندولت‌های خط سه فاز متعارف:



ما اندولت‌های یک خط سه فاز متعارف و متعادل

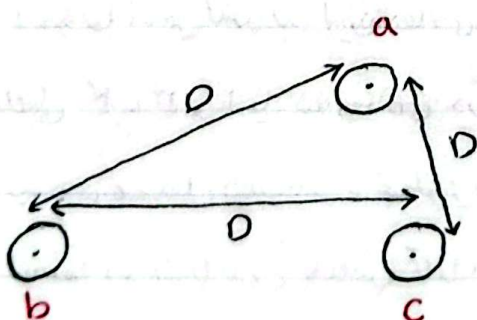
باشد (جمع برداری جریان‌ها برابر صفر باشد)

 $I_a + I_b + I_c = 0$ را از طریق محاسبه کردن

اندولت‌های یک فاز به دست می‌آوریم. در این

حالت اندولت‌های سه فاز a ، b و c با هم برابر است. در شکل بالا که یک مثلث متساوی‌الساق است، مقدار فاصله‌ها با هم برابر است، اندولت‌های یک فاز برابر است با:

$$L_a = \gamma \times 10^{-v} \ln \frac{D}{r'} \quad \leftarrow \text{اندولت‌های فاز } a$$

اگر رشته‌ای باشد برابر D و اگر توخالی باشد برابر r' 

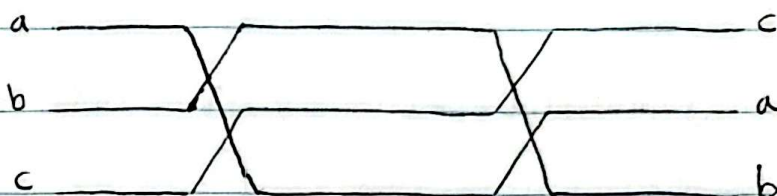
اندولت‌های خط سه فاز نامتعارف ترانسپوز شده:

در این حالت چون فاصله‌های نسبت به هم یکسان نیست و متعارف نیستند، مقدار اندولت‌های با هم فرق می‌کنند و در نتیجه مقدار افت ولتاژها، جریان‌ها و توان‌ها مشابه هم نیستند.

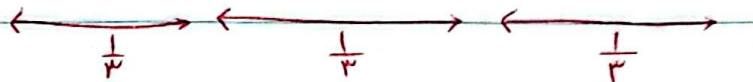
در خطوطی به فاصله‌های نامتعارف باشد در فاصله‌های مشابه جای فازها را عوض می‌کنیم تا اندولتانس هر سه فاز مشابه شوند. در نتیجه افت ولتاژها و توان منتقل شده توسط هر فاز مشابه خواهند شد. به این عمل ترانسپوز کردن می‌گویند.

$$L_a \neq L_b \neq L_c$$

اندولتانس‌ها برابر نیستند



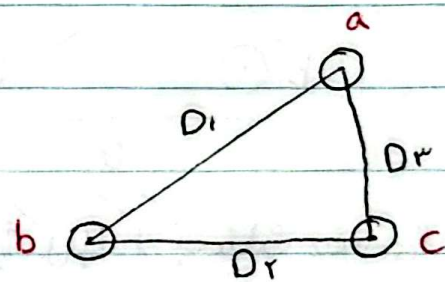
ترانسپوز کردن در فاصله‌های برابر



در شبکه سه فاز نامتعارف ترانسپوز شده، اندولتانس یک فاز بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{r'} \quad \text{اندولتانس فاز } a \text{ در خط سه فاز}$$

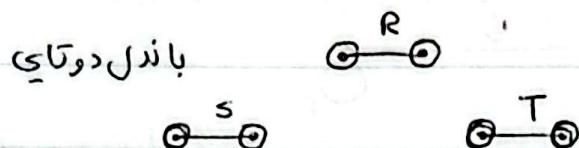
نامتقارن ترانسپوز شده



$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3} \quad \text{متوسط هندسی فاصله‌ها}$$

اندولتانس خط سه فاز باندل: در خط‌های انتقال به مسافت طولانی دارند، برای کاهش تلفات، سطح مقطع کابل‌ها را زیاد می‌کنند. قطر زیاد موجب افزایش میدان الکتریکی قوی و پدیده کرونا می‌شود. برای همین به جای یک هادی با مقطع بزرگ، از چند هادی با مقطع کم استفاده می‌کنند که این هادی‌ها توسط باندل به هم متصل هستند. به این طریقه باندل می‌گویند. یعنی ۳، ۴ یا ۵ هادی در هر فاز که به وسیله یک جداکننده (می‌تواند حبس عایق یا هادی باشد) به هم متصل هستند. قطر زیاد اثر شدیدی روی خط و سیگنال‌های مخابراتی می‌گذارد و دلیل استفاده از باندل کاهش تلفات کرونا و آسیب کمتر به خطوط و سیگنال‌های مخابراتی است.

هنگامی که میدان الکتریکی سطح یک هادی از قدرت عایقی هوای اطراف بیشتتر شود، هوای اطراف یونیزه می شود یعنی بین هادی و هوای اطراف جرقه یا تخلیه جزئی صورت می گیرد که به صورت صدای وزوز یا هاله نور بنفش رنگ دیده می شود که به آن کرونا گفته می شود. که به وسیله باذل کردن می توان آن را کاهش داد. باذل ها اغلب ۲، ۳ و ۴ و ۵ هادی هستند



D_2 همان شعاع معادل (r') است.

باذل دوتایی

همان GMR است

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

(شعاع متوسط یک توره)

$$GMR = \sqrt[4]{D_s \cdot d \cdot D_s \cdot d} = \sqrt[4]{D_s^2 \cdot d^2} = \sqrt{D_s \cdot d}$$

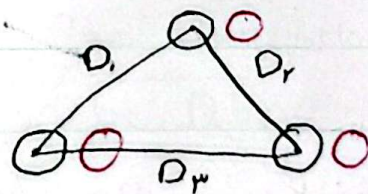
باذل سه تایی

$$D_s^b = \sqrt[3]{D_s \cdot d^2}$$

$$GMR = \sqrt[9]{D_s \cdot d \cdot d \cdot D_s \cdot d \cdot d \cdot D_s \cdot d \cdot d} = \sqrt[9]{D_s^3 \cdot d^6} = \sqrt[3]{D_s \cdot d^2}$$

باذل چهار تایی

$$D_s^b = \sqrt[4]{D_s \cdot d^3}$$



اندولتانش

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s}$$

فاصله

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'}$$

چون می خواهیم اندولتانش داخلی هادی هم به دست بیاوریم از r' (شعاع معادل) استفاده می کنیم $D_s = r'$

اگر D ها با هم برابر بودند یعنی از D ها را می گذاریم

و اگر D ها برابر نبودند مقدار D_{eq} را به دست

می آوریم

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3}$$

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

Date: / /

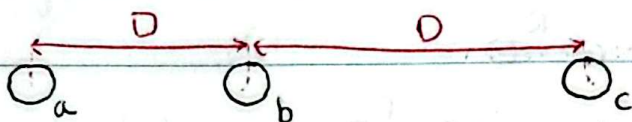
Sat. Sun. Mon. Tue. Thu. Wed. Fri.

Subject: _____

مثال ۱: در خطوط انتقال سه فاز شکل ۱ و ۲، شعاع موثر هر هادی D_s است مقدار d چقدر باشد تا اندولتانس دو خط برابر شود؟

(۱) $\frac{D_s}{\sqrt{2}}$ (۲) $2D_s$ (۳) $\sqrt{2}D_s$ (۴) برای برابری اندولتانس این دو خط همان نیست

* در یک سیستم سه فاز اندولتانس یک

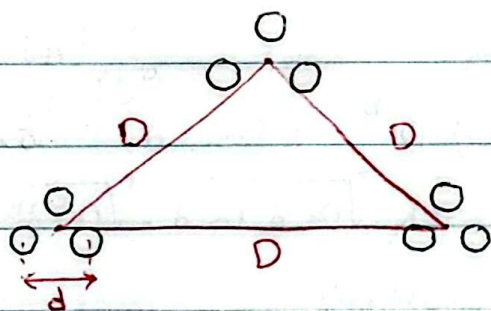


فاز را محاسبه می کنیم.

در شکل ۱: اندولتانس خط سه فاز نامتقارن

رایه دست می آوریم. $L_{a1} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s}$ شکل ۱

چون در صورت سوال $D_s = 2$ است.



در شکل ۲: چون حالت تقارن داریم همچنین

هادی ها با نل سه تایی است در نتیجه اندولتانس

یک فاز از طریق رابطه زیر به دست می آید

$$L_{a2} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s^b} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{\sqrt{D_s \cdot d}}$$

چون D ها برابر هستند

$$L_{a1} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s} \quad \text{باید برابر باشند} \quad L_{a2} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s^b}$$

* چون $2 \times 10^{-7} \ln$ در هر دو رابطه است پس حذف می شوند و فقط باید دو رابطه

$$\frac{D_{eq}}{D_s} = \frac{D_{eq}}{D_s^b}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{ab} \cdot D_{bc}} = \sqrt[3]{D \cdot 2D \cdot D} = \sqrt[3]{2D^3}$$

$$\Rightarrow D \sqrt[3]{2}$$

$$D_{s1} = D_s = 2$$

* جواب آخره $d = \frac{D_s}{\sqrt{2}}$: چون باید $d > D_s$ بزرگتر باشد (فاصله دو هادی) باید از مقدار شعاع موثر هادی ها بزرگتر باشد) پس امکانپذیر نیست و گزینه ۴ درست است.

Date: / /

Sat. Sun. Mon. Tue. Thu. Wed. Fri.

Subject: _____

چون متعارف هستند و D ها برابر هستند

$$Deq = \sqrt[3]{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3} = \sqrt[3]{D^3} = D$$

$$D_s^b = \sqrt[3]{D_s \cdot d^2}$$

با نول سه تایی

جایگزینی

$$\frac{Deq_1}{D_s} = \frac{Deq_r}{D_s^b} \rightarrow \frac{\sqrt[3]{2}}{D_s} = \frac{1}{\sqrt[3]{D_s \cdot d^2}} \Rightarrow D_s = \sqrt[3]{2 \cdot D_s \cdot d^2}$$

دو طرفه راه توان ۳
 در رسانیم تا رادیکال
 حذف شود

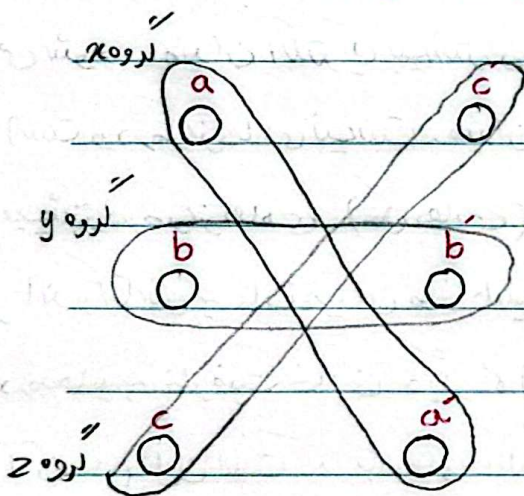
$$D_s^3 = 2 D_s d^2 \Rightarrow D_s^2 = 2 d^2 \Rightarrow D_s = \sqrt{2} d^2 \Rightarrow D_s = d \sqrt{2}$$

$$d = \frac{D_s}{\sqrt{2}}$$

مقدار D_s ، $\sqrt{2}$ برابر d است. یعنی شعاع موثر از فاصله d بیشتر است.

* مفهومی (جرامتجان نیست) : اندولتانس خط دومداره (پارالل) ترانسپوزر شده ۲

با این کار (جایه جایی فازها)، اندولتانس مشابهی داریم
 و توان انتقالی بیشتر است. این خطوط در انتهای به هم
 وصل می شوند چون هم فاز هستند.



$$\begin{cases} GMR_x = \sqrt[4]{D_s \cdot D_{aa'} \cdot D_s \cdot D_{a'a}} = \sqrt[4]{D_s \cdot D_{aa'}} \\ GMR_y = \sqrt[4]{D_s \cdot D_{bb'} \cdot D_s \cdot D_{b'b}} = \sqrt[4]{D_s \cdot D_{bb'}} \\ GMR_z = \sqrt[4]{D_s \cdot D_{cc'}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} GMD_{xy} = \sqrt[4]{D_{ab} \cdot D_{ab'} \cdot D_{a'b} \cdot D_{a'b'}} \\ GMD_{xz} = \sqrt[4]{D_{ac} \cdot D_{ac'} \cdot D_{a'c} \cdot D_{a'c'}} \\ GMD_{yz} = \sqrt[4]{D_{bc} \cdot D_{bc'} \cdot D_{b'c} \cdot D_{b'c'}} \end{cases}$$

* برای به دست آوردن اندولتانس یک فاز:

$$L_1 = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD_{\text{مادل}}}{GMR_{\text{مادل}}}$$

اندولتانس یک فاز

$$GMD_{\text{مادل}} = \sqrt[3]{GMD_{xy} \cdot GMD_{xz} \cdot GMD_{yz}}$$

$$GMR_{\text{مادل}} = \sqrt[3]{GMR_x \cdot GMR_y \cdot GMR_z}$$

* محاسبه ظرفیت خازنی خط انتقال

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

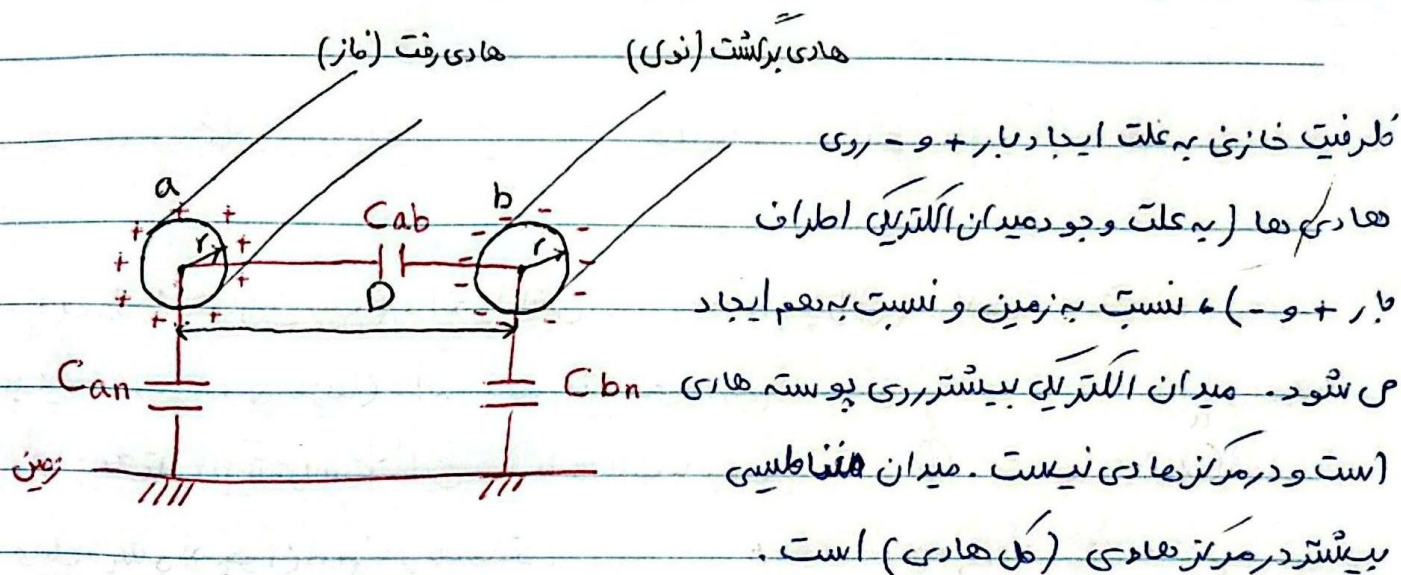
اندوکتانس از طریق این رابطه به دست می آید

$$C = \frac{q}{V} = \frac{\text{بار الکتریکی}}{\text{پتانسیل الکتریکی بین دو صفحه}}$$

ظرفیت خازنی از طریق این رابطه به دست می آید $[C/V]$

به طور کلی

ظرفیت خازنی یک خط تلفاز (هادی رفت و برگشت) (فاز و نول)



(اندوکتانس به علت میدان مغناطیسی است و ظرفیت خازنی به علت میدان الکتریکی است)

در محاسبه ظرفیت خازنی دیگره (شعاع معادل) مطرح نیست و فقط از r استفاده می کنیم و علت آن هم این است که بارهای الکتریکی روی هادی ها جمع می شوند و در مرکز هادی نیست.

$$C_{an} = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}} \quad \text{ظرفیت خازنی هادی } a \text{ نسبت به زمین}$$

$$C_{bn} = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}} \quad \text{ظرفیت خازنی هادی } b \text{ نسبت به زمین}$$

 ϵ_0 (ایسیلن صفر) ضریب نفوذپذیری الکتریکی خلا (هوا) (ضریب دی الکتریک خلا)

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$$

Date: / /

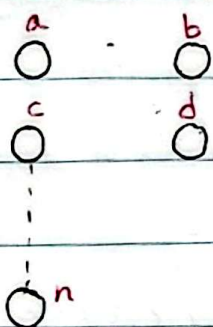
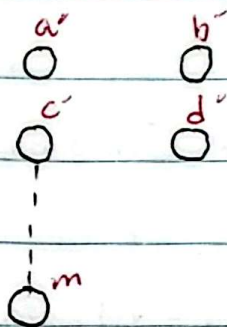
Sat. Sun. Mon. Tue. Thu. Wed. Fri.

Subject: -----

$$C_{ab} = \frac{C_{an} \times C_{bn}}{C_{an} + C_{bn}} \quad (\text{سری}) \quad \text{ظرفیت خازنی بین دو هادی a و b}$$

* خازن ها برعکس سلف و مقاومت است پس مقدار خازن معادل در یک مدار سری مانند رابطه سلف و مقاومت معادل دو مدار موازی است و برعکس حالت سری سلف و مقاومت است.

ظرفیت خازنی دو گروه چند رشته (یک گروه رفت، یک گروه برگشت)

گروه π گروه γ

فقط با r نوشته می شود $\rightarrow GMR$

* در این حالت GMR فقط r می گذاریم.

(دیگر r نمی گذاریم به علت اینکه بارهای الکتریکی روی هادی تکرار دارند و در مرکز هادی نیستند)

n^2 شعاع متوسط هندسی گروه π (در ظرفیت خازنی)

$$GMR_{c\pi} \Rightarrow \sqrt{(r \cdot D_{ab} \cdot D_{ac} \dots) (D_{ba} \cdot r \cdot D_{bc} \dots)}$$

$$C_{\pi} = \frac{\gamma \pi \epsilon_0}{\ln \frac{GMD}{GMR_{c\pi}}}$$

ظرفیت خازنی گروه π

$$C_{\gamma} = \frac{\gamma \pi \epsilon_0}{\ln \frac{GMD}{GMR_{c\gamma}}}$$

ظرفیت خازنی گروه γ

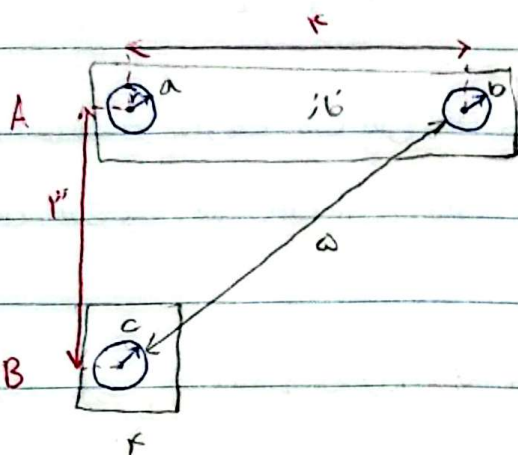
$$C_{\pi\gamma} = \frac{C_{\pi} \cdot C_{\gamma}}{C_{\pi} + C_{\gamma}} \quad \text{ظرفیت خازنی دو گروه}$$

$$C_{\pi\gamma} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \frac{GMD}{GMR'_{c\pi\gamma}}} \quad (\text{روش دوم})$$

$$GMR'_{c\pi\gamma} = \sqrt{GMR_{c\pi} \cdot GMR_{c\gamma}}$$

متوسط هندسی $GMR_{c\pi\gamma}$ دو گروه

مثال، در خط تلفاز شکل زیر، ظرفیت خازنی واحد طول (C_{AB}) بین مجموعه هادی های رفت A و هادی برگشت B چقدر است؟ $(r=1)$

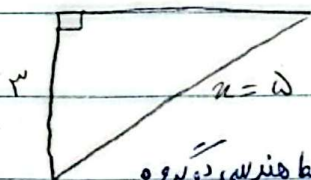


در این حالت، هادی ها باید محاسبه اندوکتانس، باید

دو توره تشکیل بدیم و GMR و GMD را

محاسبه کنیم. در محاسبه GMR باید r بگذاریم

و دیگر r مطرح نیست.



$$GMD = \sqrt{D_{ca} \cdot D_{cb}} = \sqrt{3 \cdot 12} = \sqrt{36} = 6$$

$$GMR_{cA} = \sqrt{(r \cdot D_{ab}) \cdot (r \cdot D_{ba})} = \sqrt{(r \cdot 15) \cdot (r \cdot 15)} = \sqrt{(r \cdot 15)^2}$$

$$\Rightarrow \sqrt{r \cdot 15} = r \sqrt{15} \xrightarrow[r=1]{\text{مطابق صورت سوال}} = \boxed{15}$$

$$GMR_{cB} = r \Rightarrow \boxed{1}$$

ظرفیت خازنی دو توره (باروش دوم) با استفاده از روش اول هم جواب بخایی برابر می شود.

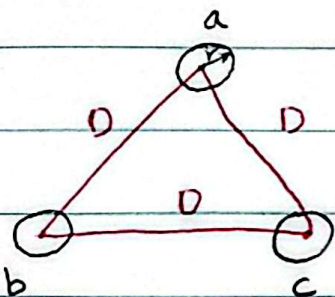
$$C_{AB} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \frac{GMD}{\sqrt{GMR_{cA} \cdot GMR_{cB}}}} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \frac{15}{\sqrt{15 \times 1}}} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \frac{15}{\sqrt{15}}} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \left(\frac{15}{1} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\Rightarrow \frac{\pi \epsilon_0}{\frac{1}{2} \ln \frac{15}{1}} = \frac{2 \pi \epsilon_0}{\ln \frac{15}{1}} = 2.17 \times 10^{-11} \left[\frac{F}{m} \right]$$

ظرفیت خازنی خط سه فاز تراشپوز شده:

اگر خط سه فاز متعادل و متقارن باشد (مقدار برآید جریان ها صفر و فاصله فازها نسبت به هم عدد ثابت D باشد همانند مثلث متساوی الاضلاع) . ظرفیت خازنی یک فاز نسبت به زمین به صورت زیر به دست می آید . (همانند اندوکتانس ، برای ظرفیت خازنی هم ما مقدار ظرفیت خازنی یک فاز را نسبت به زمین محاسبه می کنیم و نسبت به هم محاسبه نمی کنیم ، دلیلش هم این است که ما در مدار معادل ، یک فاز را تحلیل می کنیم)

حالت تقارن



$$C_{an} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}} \left[\frac{F}{m} \right]$$

ظرفیت خازنی فاز a نسبت به زمین

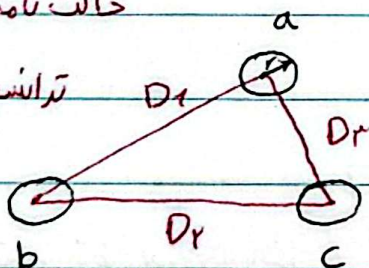
$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'} \left[\frac{H}{m} \right]$$

اندوکتانس فاز a * یادآوری

اگر خط سه فاز نامتقارن باشد و یا تراشپوز شده باشد ، مقدار D (فاصله هادی ها نسبت به هم) متفاوت باشد ، مقدار ظرفیت خازنی یک فاز از رابطه زیر محاسبه می شود .

حالت نامتقارن و

تراشپوز شده



$$C_{an} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{r}} \left[\frac{F}{m} \right]$$

ظرفیت خازنی فاز a نسبت به زمین

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3}$$

میانگین هندسی فاصله ها

$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{r'}$$

اندوکتانس فاز a * یادآوری

* در حالت ظرفیت خازنی دیگر توپرو تو خالی نداریم و همیشه r می گذاریم .

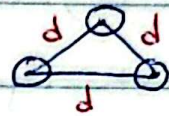
ظرفیت خارجی خط با نازل ۲

$$D_{sc}^b = \sqrt{r \cdot d} \quad \text{با نازل دو لایه‌ای}$$

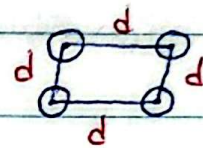
شعاع متوسط هندسی یک کره



$$D_{sc}^b = \sqrt[3]{r \cdot d^2} \quad \text{با نازل سه لایه‌ای}$$

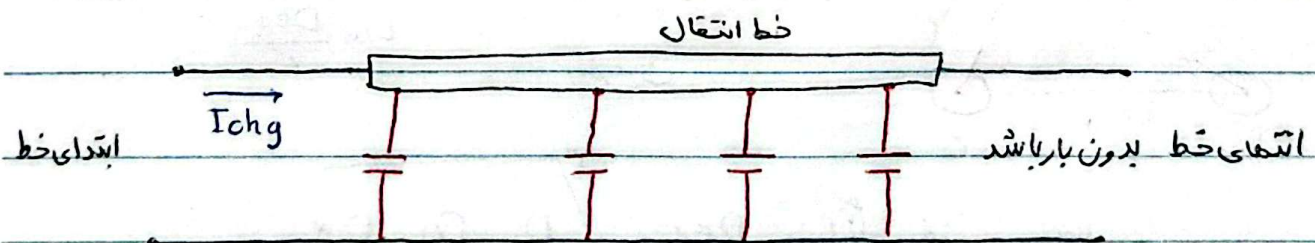


$$D_{sc}^b = 1.09 \sqrt[4]{r \cdot d^3} \quad \text{با نازل چهار لایه‌ای}$$



جریان شارژی خط انتقال ۲ اگر یک خط انتقال با طول زیاد را در نظر بگیریم و در پایان خط هیچ باری وجود نداشته باشد، می بینیم که در ابتدای خط جریانی کشیده خواهد شد. به این جریان به در اثر ظرفیت خارجی خط (نسبت به زمین) ایجاد می شود، جریان شارژی I_{chg} گفته می شود و برای محاسبه آن از قانون اهم استفاده می کنیم.

$$I_{chg} = \frac{V_{ph}}{X_c} = \frac{V_{ph}}{\frac{1}{\gamma \alpha f c}} \rightarrow \gamma \alpha f c V_{ph}$$



Date: / /

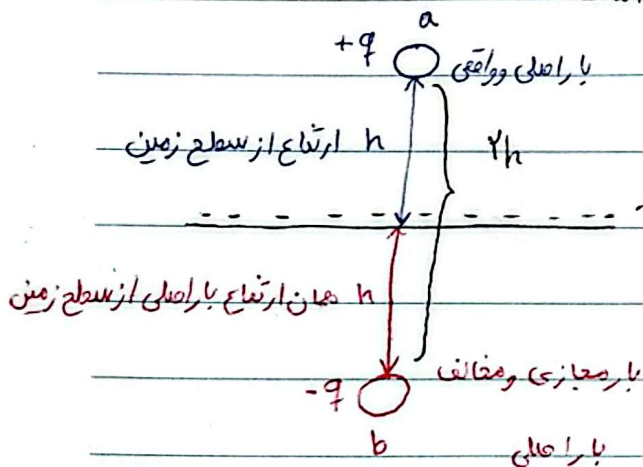
Sat Sun Mon Tue Thu Wed Fri

Subject: -----

اثر زمین در محاسبه ظرفیت خارجی خط انتقال، وجود زمین در زیر دکل‌های توانده نقش یک الکترود که بار الکتریکی بر روی آن به وجود می‌آید را ایجاد کند. در درس الکترود و غنایلیس اثر زمین را با روش تصویر (روش آینه‌ای) مدل‌سازی می‌کنند.

در روش تصویر، به جای اینکه زمین با کلی از بار منفی (که روی سطح آن است) را در نظر بگیریم، یک بار مجازی و مخالف بار اصلی در زیر سطح زمین به اندازه ارتفاع بار اصلی نسبت به زمین تشکیل می‌دهیم.

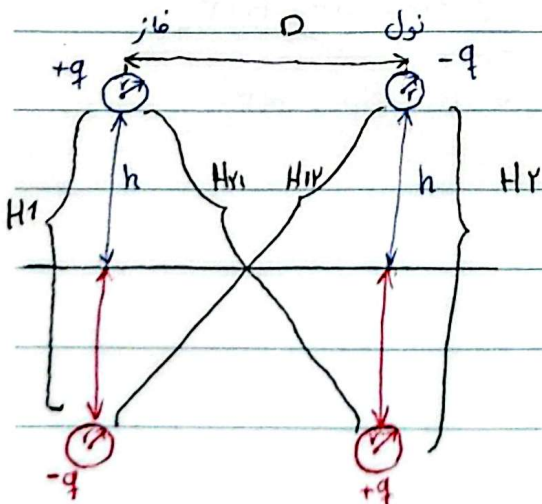
اثر زمین در حالت یک لایه: فرض می‌کنیم که زمین مانند یک آینه است و به همان ارتفاع بار اصلی از زمین یک بار مجازی زیر زمین قرار می‌دهیم که مخالف بار اصلی است.



زمین که دارای بار منفی زیادی بر روی سطح آن است. این بارها را دیگر در روش تصویر در نظر نمی‌گیریم.

فاصله بین هادی اصلی و مجازی $C_{an} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{2h}{r}}$ ظرفیت خارجی هادی a نسبت به زمین

اثر زمین در خط تلفاز: (یک هادی فاز و یک هادی نول)

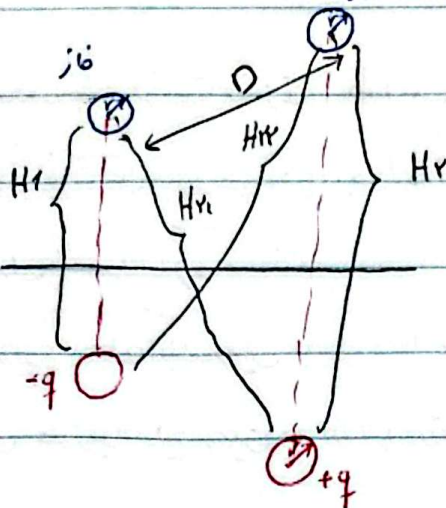


$$C_{an} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D}{r} - \ln \frac{\sqrt{H_{12} \cdot H_{21}}}{\sqrt{H_{11} \cdot H_{22}}}}$$

Date: / /

Sat Sun Mon Tue Thu Wed Fri

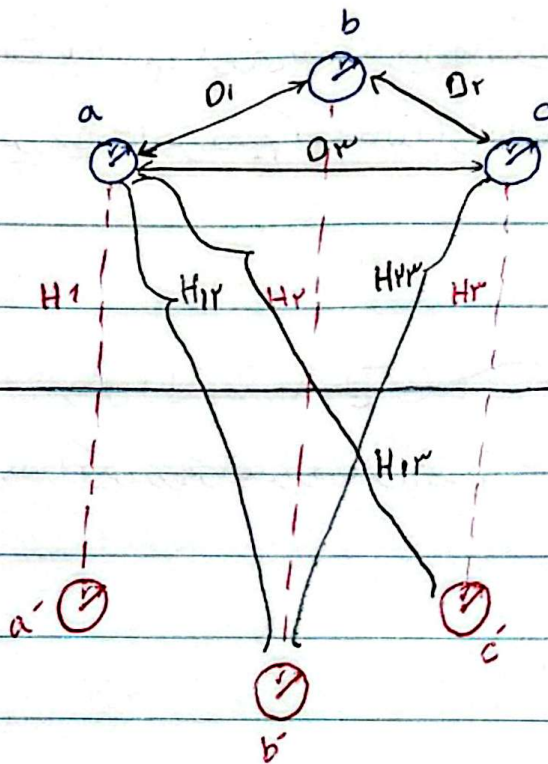
Subject: -----



حالت دوم

$$C_{an} = \frac{\gamma \pi \epsilon_0}{\ln \frac{D}{r} - \ln \frac{\sqrt{H_{1r} \cdot H_{1r}}}{\sqrt{H_1 \cdot H_r}}}$$

$$\ln \frac{D}{r} - \ln \frac{\sqrt{H_{1r} \cdot H_{1r}}}{\sqrt{H_1 \cdot H_r}}$$



الترزمین در خط سه سیم

زمین

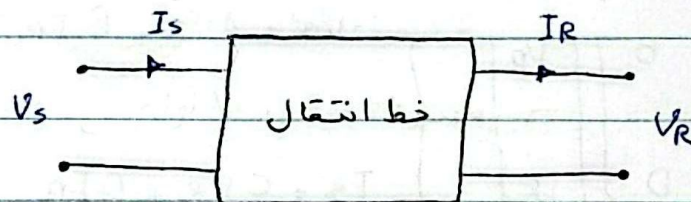
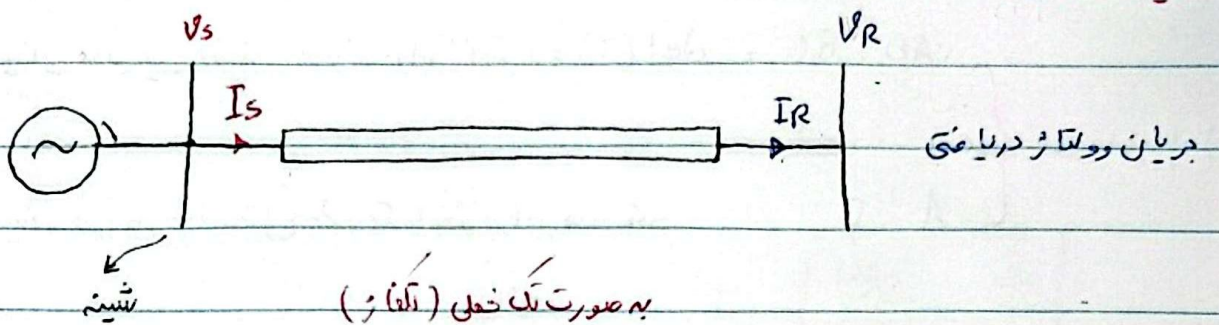
$$C_{an} = \frac{\gamma \pi \epsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{r} - \ln \frac{\sqrt[3]{H_{1r} \cdot H_{1r} \cdot H_{1r}}}{\sqrt[3]{H_1 \cdot H_r \cdot H_r}}}$$

$$\ln \frac{D_{eq}}{r} - \ln \frac{\sqrt[3]{H_{1r} \cdot H_{1r} \cdot H_{1r}}}{\sqrt[3]{H_1 \cdot H_r \cdot H_r}}$$

$$* D_{eq} = \sqrt[3]{D_1 \cdot D_r \cdot D_r}$$

send

Receive ماتریس انتقال خط ۲



به صورت دو قطبی

لیست های برق را عموماً با شینه نمایش می دهند (در لیست ها از شینه یا لوله ی مسی به اسم شینه برای گرفتن اشعاع استفاده می کنند و به دلیل اثر پوستی معمولاً از لوله ای شکل استفاده می شود). خط انتقال را با استفاده از نمادهای تک خطی و برای یک فاز می کشیم و یا به صورت دو قطبی نمایش می دهیم. ارتباط بین V_R و I_R (ولتاژ و جریان خروجی) و V_s و I_s (ولتاژ و جریان ورودی) یک ماتریس به نام ماتریس انتقال است. ماتریس انتقال یک ماتریس با ۴ درایه و دو سطر و دو ستون است.

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix}_{2 \times 1} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{2 \times 2} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}_{2 \times 1}$$

$$T [\text{Transfer}] = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

ماتریس انتقال

Date: / /

Sat Sun Mon Tue Thu Wed Fri

Subject: /

این مارتیس انتقال طری است

* مارتیس انتقال دو خاصیت تقابل و تقارن دارد. (برای خط انتقال)

تقابل: در مینال مارتیس انتقال همیشه برابر است $AD - BC = \det(T) = 1$

$$A = D$$

تقارن: همیشه در خطوط انتقال A, D با هم برابر هستند

طبق مارتیس انتقال داریم:

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \rightarrow \begin{cases} V_s = AV_R + BI_R \\ I_s = CV_R + DI_R \end{cases}$$

بدون بُد (بدون واحد) $A = \frac{V_s}{V_R}$ طرف ثانویه (نسبت بار) $\rightarrow$ open circuit $\rightarrow$ if $I_R = 0$ so

نسبت ولتاژ ورودی به جریان خروجی است. $B = \frac{V_s}{I_R} [\Omega]$ short circuit $\rightarrow$ if $V_R = 0$ so

نسبت جریان ورودی به ولتاژ خروجی است. $C = \frac{I_s}{V_R} [S] [محو]$ open circuit $\rightarrow$ if $I_R = 0$ so

بدون بُد (بدون واحد) $D = \frac{I_s}{I_R}$ short circuit $\rightarrow$ if $V_R = 0$ so

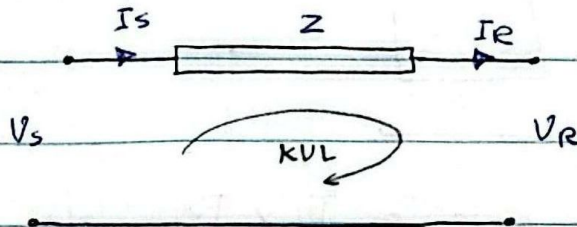
Date: / /

Sat. Sun. Mon. Tue. Thu. Wed. Fri.

Subject: -----

دالت‌های خاص ماتریس انتقال:

(1) امیدانش سری



$$T = \begin{bmatrix} 1 & Z \\ (A) & (B) \\ (C) & (D) \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

اثر یک امیدانش سری بین ورودی و خروجی قرار گرفته باشد. ماتریس انتقال به صورت بالا است.

* اگر در شکل بالا یک حلقه KVL بنویسیم:

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

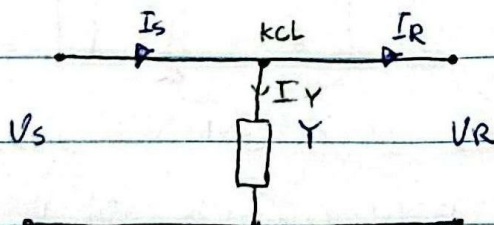
$$V_s = A V_R + B I_R$$

$$I_s = C V_R + D I_R$$

$$KVL \Rightarrow V_s = Z I_R + V_R \Rightarrow V_s = 1 V_R + Z I_R$$

$$I_s = I_R \Rightarrow I_s = 0 V_R + 1 I_R$$

(2) امیدانش موازی



$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix}$$

* اثر یک KCL در مدار بالا بنویسیم:

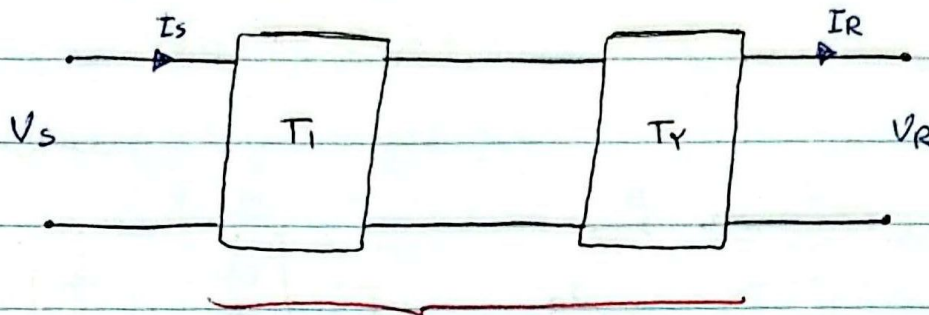
$$V_s = A V_R + B I_R$$

$$KCL \Rightarrow I_s = I_Y + I_R \Rightarrow I_s = Y V_R + I_R$$

$$I_s = C V_R + D I_R$$

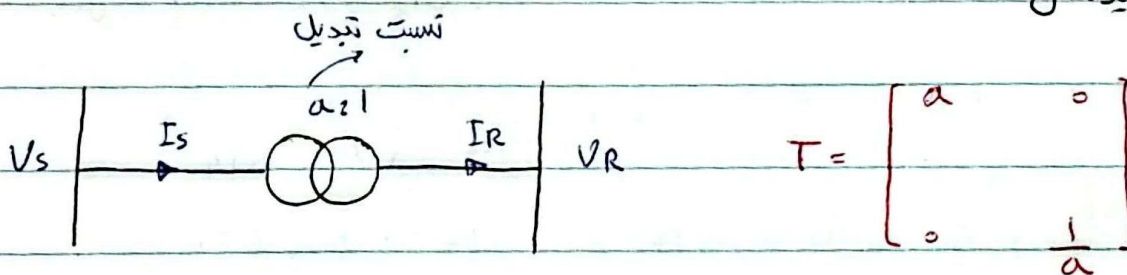
$$V_s = V_R \quad V_s = 1 V_R + 0 I_R$$

(۳) دو تئیه سری



$$T = \text{ماتریس انتقال کلی} = T_1 \times T_2$$

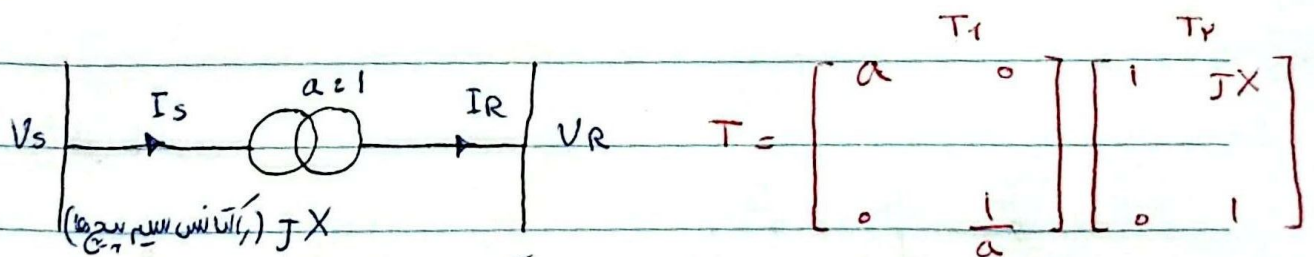
(۴) ترائس ایده آل



$$T = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & \frac{1}{a} \end{bmatrix}$$

* $A \neq D$ پس شرط تعارن ندارند. (ترائس های ایزوله معمولاً شرط تعارن دارند)

(۵) ترائس واقعی



$$T = \begin{bmatrix} T_1 & T_2 \\ a & 0 \\ 0 & \frac{1}{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 & T_2 \\ 1 & jX \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

در ترائس واقعی تلفات اهمی، مغناطیسی و رالئانی داریم. در خطوط انتقال مقاومت های اهمی و قابلیت موازی (رالئانس مغناطیسی) را در نظر نمی گیرند و فقط رالئانس سیم پیچ ها را در نظر می گیرند.

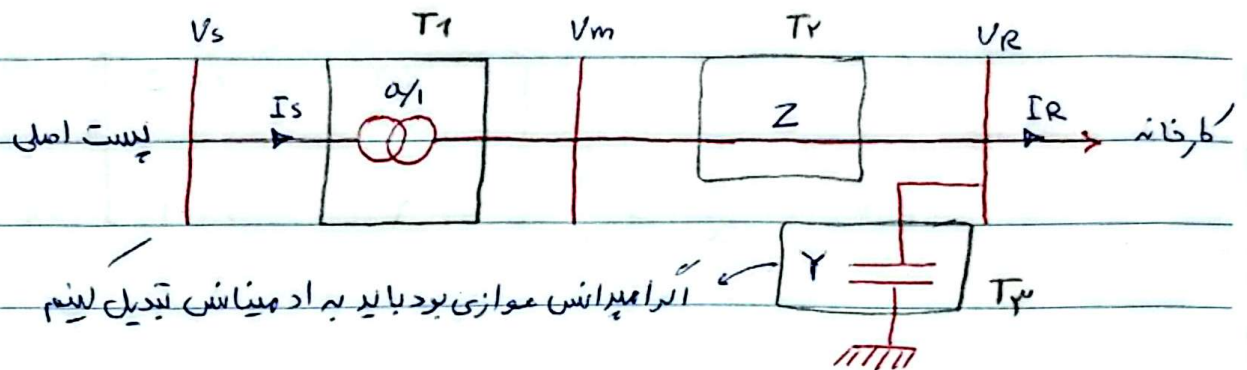
$$\text{نسبت تبدیل } a = \frac{V_s}{V_R} \Rightarrow V_s = a V_R$$

$$a = \frac{I_R}{I_s} \Rightarrow I_s = \frac{1}{a} I_R$$

مثال 2: در شکل زیر ماتریس انتقال کل را تارسیه به یک ماتریس با چهار درایه پیدا کنید.

دو ستون و دو ردیف و هر چیزی که داخل

ماتریس است باید ۴ تا باشد



اگر ابعادش موازی بود باید به ادمینش تبدیل کنیم

★ $JX_C \xrightarrow{\text{ادمینش}} \frac{1}{X_C} J$

★ در اینجا ما به ماتریس انتقال داریم که باید با ضرب آنها در هم به یک ماتریس کلی برسیم.

$$T_1 \times (T_2 \times T_3)$$

$$(T_1 \times T_2) \times T_3$$

$$T = T_1 \times T_2 \times T_3 \quad \text{ماتریس کلی}$$

$$T = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & \frac{1}{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix}$$

ماتریس ادمینش موازی ماتریس امپدانس ماتریس ترانس لیدر آبی

★ در این حالت ما باید دوباره دو ماتریس ها را با هم ضرب کنیم و بعد با ماتریس سوم ضرب کنیم. در اینجا

ما می توانیم ماتریس ۱ یا ۲ یا ۳ را ضرب کنیم (هم می توانیم اما ۳ را ضرب کنیم) بعد ماتریس

به دست آمد و در ماتریس باقی مانده ضرب کنیم

ضرب دو ماتریس

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} E & F \\ G & H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AE + BG & AF + BH \\ CE + DG & DH + CF \end{bmatrix}$$

Date: / /

Sat. Sun. Mon. Tue. Thu. Wed. Fri.

Subject: -----

$$T = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & \frac{1}{a} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix}$$

ضرب ۲ با ۳ $\Rightarrow$

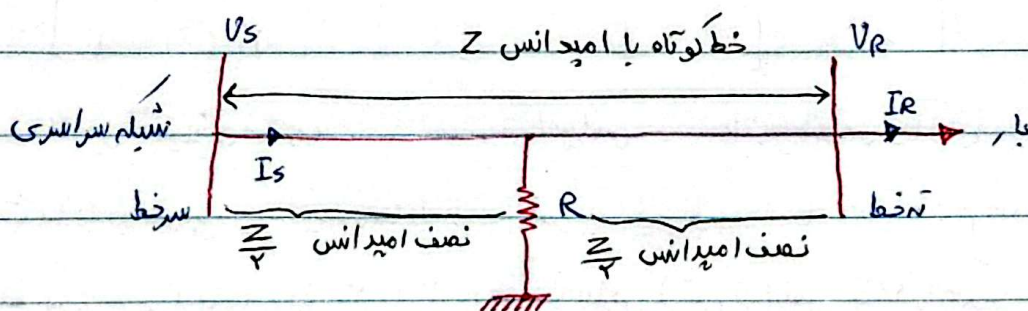
$$\begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & \frac{1}{a} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1+ZY & 0+Z \\ 0+Y & 0+1 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 1+ZY & Z \\ Y & 1 \end{bmatrix}$$

ضرب دو ماتریس باقی مانده $\Rightarrow$

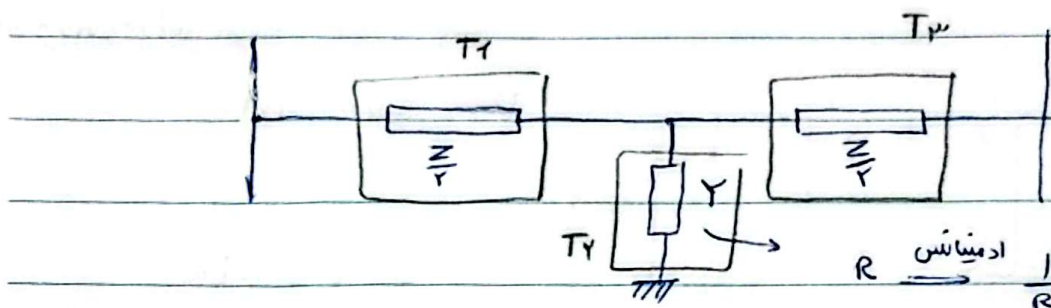
$$\begin{bmatrix} a(1+ZY)+0 & aZ+0 \\ 0(1+ZY)+\frac{Y}{a} & 0+\frac{1}{a} \end{bmatrix} \Rightarrow T = \begin{bmatrix} a(1+ZY) & aZ \\ \frac{Y}{a} & \frac{1}{a} \end{bmatrix}$$

* ماتریس انتقال رابطه بین ولتاژ و جریان ورودی با ولتاژ و جریان خروجی نشان می دهد.

مثال ۲ در شکل زیر ماتریس انتقال کل را در صورتی که مقاومت دقیقاً در وسط خط نصب شده باشد بیابید



* در اینجا با سه تا ماتریس داریم. هوتا $\frac{Z}{4}$ و یکی ماتریس ادمیتانس (مقاومت را به ادمیتانس موانع تبدیل کردیم). با ضرب این سه ماتریس، مقدار ماتریس انتقال کلی به دست می آید.



* نکته ای که باید رعایت کنیم این است که امپدانس جای جای در ماتریس ها، اندازیم و یا به ترتیب بنویسیم

ماتریس انتقال $T = T_1 \times T_2 \times T_3 \Rightarrow T =$

T_1	T_2	T_3
$\begin{bmatrix} 1 & \frac{Z}{Y} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{R} & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & \frac{Z}{Y} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

ماتریس امپدانس ماتریس ادmittانس ماتریس امپدانس

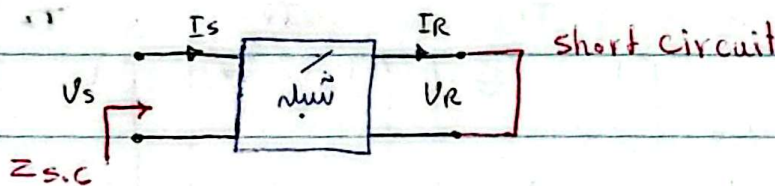
$$T = \begin{bmatrix} 1 + \frac{Z}{YR} & 0 + \frac{Z}{Y} \\ 0 + \frac{1}{R} & 0 + 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \frac{Z}{Y} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1 + \frac{Z}{YR}) + 0 & \frac{Z}{Y} + \frac{Z}{Y}(1 + \frac{Z}{YR}) \\ \frac{1}{R} + 0 & \frac{Z}{YR} + 1 \end{bmatrix}$$

ماتریس انتقال کلی $T =$

$$\begin{bmatrix} 1 + \frac{Z}{YR} & \frac{Z}{Y} + \frac{Z}{Y}(1 + \frac{Z}{YR}) \\ \frac{1}{R} & \frac{Z}{YR} + 1 \end{bmatrix}$$

چند مفهوم اساسی:

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} V_s &= A V_R + B I_R \\ I_s &= C V_R + D I_R \end{aligned}$$

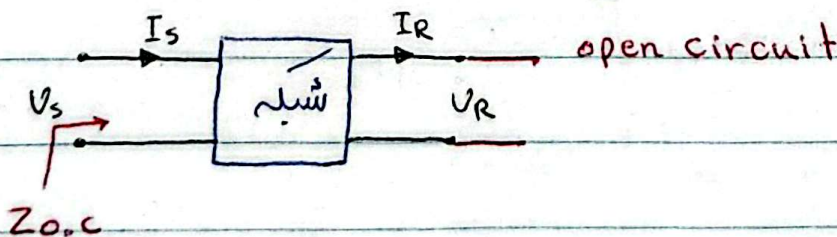
۱- امیدانس اتصال کوتاه (Z_{sc}): یعنی ثانویه اتصال کوتاه است و از دید اولیه مقدار امیدانس را

به دست می آوریم

$$\begin{aligned} V_s &= A V_R + B I_R && \xrightarrow{\text{در اتصال کوتاه}} && V_s = B I_R \\ I_s &= C V_R + D I_R && \xrightarrow{V_R = 0} && I_s = D I_R \end{aligned} \Rightarrow Z_{s.c} = \frac{V_s}{I_s} \bigg|_{V_R=0} = \frac{B}{D}$$

* ما می توانیم مقدار امیدانس اتصال کوتاه را از طریق ماتریس انتقال و رابطه زیر به دست آوریم

$$S.C. \Rightarrow V_R = 0 \Rightarrow Z_{s.c} = \frac{V_s}{I_s} \bigg|_{V_R=0} \Rightarrow \frac{B}{D}$$

۲- امیدانس مدار باز (Z_{oc}): یعنی ثانویه مدار باز باشد و مقدار $I_R = 0$ باشد و از دید اولیه به مدار نگاه کنیم و امیدانس را به دست آوریم.

$$\begin{aligned} V_s &= A V_R + B I_R && \xrightarrow{\text{مدار باز}} && V_s = A V_R \\ I_s &= C V_R + D I_R && \xrightarrow{I_R = 0} && I_s = C V_R \end{aligned} \Rightarrow \frac{V_s}{I_s} = \frac{A}{C}$$

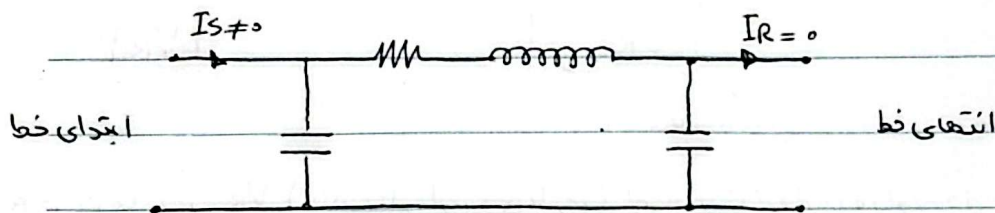
$$O.C. \Rightarrow I_R = 0 \Rightarrow Z_{o.c} = \frac{V_s}{I_s} \bigg|_{I_R=0} \Rightarrow \frac{A}{C}$$

Date: / /

Sat. Sun. Mon. Tue. Thu. Wed. Fri.

Subject: -----

۳- جریان شارژی (I_{chg}) به خاطر خاصیت خازنی خطوط انتقال، زمانی که انتهای مدار باز است و $I_R = 0$ است، در ابتدای خط یک مقدار جریان کشیده می شود و $I_S \neq 0$ است.



$$I_{chg} = \text{جریان شارژی} = I_S \Big|_{I_R=0} \Rightarrow \frac{C}{A} V_S$$

$$V_S = A V_R + B I_R$$

$$V_S = A V_R \Rightarrow V_R = \frac{V_S}{A}$$

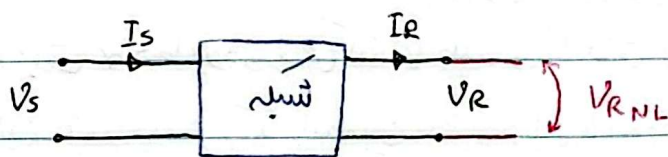
$$I_S = C V_R + D I_R$$

$I_R = 0$ مقدار

$$I_S = C V_R \xrightarrow{\text{جایگزینی}}$$

$$I_S = \frac{C}{A} V_S$$

۴- ولتاژی باری (V_{RNL}) حالتی که در ثانویه هیچ باری متصل نیست و مقدار $I_R = 0$ است.



$$V_{RNL} (\text{No Load}) = \text{ولتاژی باری} = V_R \Big|_{I_R=0} \xrightarrow{\text{بازای}} \frac{V_S}{A}$$

$$V_S = A V_R + B I_R$$

$$V_S = A V_R \Rightarrow V_R = \frac{V_S}{A}$$

$$I_S = C V_R + D I_R$$

$I_R = 0$ مقدار

$$I_S = C V_R \Rightarrow V_R = \frac{I_S}{C}$$

Date: / /

Sat Sun Mon Tue Thu Wed Fri

Subject: _____

۵- ولتاژ رگولاسیون ($V.R$) درصد تغییرات ولتاژ

$$V.R \text{ (ولتاژ رگولاسیون)} = \frac{|V_{RNL}| - |V_{RFL}|}{|V_{RFL}|} \times 100 \Rightarrow \frac{\frac{|V_S|}{|A|} - |V_R|}{|V_R|} \times 100$$

(Full Load)

★ چون مقادیر V_R (حالت بار داری و بی باری) به صورت برداری و زاویه دار هستند، در قدر مطلق می گذاریم که فقط اندازه آن را محاسبه کنیم.

۶- میانلین هندسی امپدانس مدار باز ($Z_{o.c}$) و امپدانس اتصال کوتاه ($Z_{s.c}$):

$$Z_c = \sqrt{Z_{s.c} \cdot Z_{o.c}} = \sqrt{\frac{B}{D} \cdot \frac{A}{C}} \xrightarrow{\text{همیشه در حالتین}} \sqrt{\frac{B}{C}}$$

انتقال $A=D$

$$Z_c = \sqrt{\frac{B}{C}}$$

که در خطوط تک مداره 400Ω - قابل اتش و تلویزیون 75Ω

(اضافه ولتاژی روی خط ایجاد می شود)

A وقتی که رعد و برق به خط برخورد می کند یا طید زنی اتفاق می افتد، ما این امپدانس را بیسیم

بینی اضافه ولتاژ این Z_c را می بیند و یک رابطه بین Z_c و جریان صاعقه وجود دارد: $Z_c \uparrow \rightarrow I \downarrow$ صاعقه
 $Z_c \downarrow \rightarrow I \uparrow$ صاعقه

۷- راندمان خط انتقال (η):

$$\eta = \frac{P_R}{P_S}$$

توان دریافتی Receive توان ارسالی send

انتقال

$$\Delta P = P_S - P_R \text{ تلفات خط انتقال}$$

حالت ملی بود

* مثال ۲: ثابت های یک خط انتقال بلند سه فاز برابر است با $A = D = ۸۰۰$ و $B = ۲۰۰$ و $C = ۹۰^\circ$ حالتی بود
در شرایط بار کامل اندازه ولتاژ است گیرنده ۸۰% اندازه ولتاژ سمت فرستنده می باشد، رگولاسیون
ولتاژ خط چند درصد است. (A و B و C و D اعداد مختلف هستند و یک اندازه و یک زاویه دارند)

$$V_R = \frac{1}{2} V_S$$

$$V.R = \frac{|V_{RNL}| - |V_{RFL}|}{|V_{RFL}|} = \frac{\frac{|V_s|}{|A|} - |V_R|}{|V_R|} = \frac{\frac{|V_s|}{\frac{1}{\mu}} - \frac{1}{\mu}|V_s|}{\frac{1}{\mu}|V_s|}$$

مخرج مشترک لیری

$$\frac{|V_S| - 0.44|V_S|}{0.8} = \left(\frac{0.36|V_S|}{0.8} - \frac{0.36|V_S|}{0.44|V_S|} \right) = 0.52 \text{ یا } 52\%$$

مقدار گلوکوز و لاکتات با درصد تغییرات و لاکتات ۵۶ درصد است

خط انتقال کوتاه و خطوطی که طول من آنها کمتر از 10 km است را خط انتقال کوتاه نامند.



مدل خط نوشتاری ۲۰۵

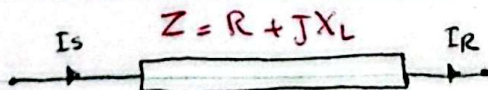
vs

$$v_R$$

در مدخل خاگوتاه دیوار ظرفیت خازن و خامست

خارجی ذہان اور نظریاتی یسیرم و دیلر [C] نڈاریم

(چون طول خدا کوتاہ است صرف نظر می شود)



در خط کوتاه مقدار جریان شارژی به علت صرف نظر از

 V_s

C ، نذایم و صنراست و مقدار Is (جریان ورودی) V_R

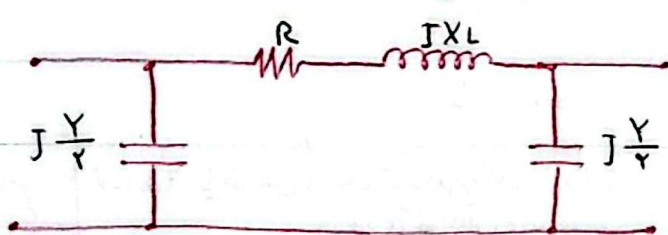
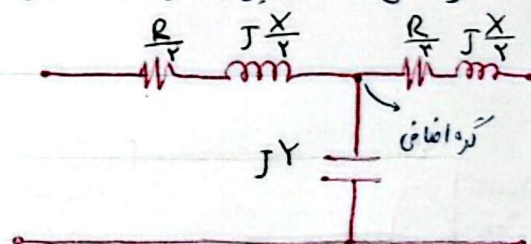
با مقدار I_R (جریان خروجی) برابر است. $I_S = I_R$

اگر توی نیز مدار باز باشد چون جریان شارژی نداریم مقدار I_R و I_S برابر صفر می شود.
در خط انتقال کوتاه ما فقط ماتریس امپدانس را داریم:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ماتریس انتقال خط کوتاه صفا
امپدانس است.

خط انتقال متوسط: خط انتقالی که طول آن بین $24 \text{ km} < l < 80 \text{ km}$ است، خط متوسط می گویند و در این حالت خاصیت خازنی خط در نظر گرفته می شود. برای غایش این خط دو مدل π و مدل T وجود دارد که معمولاً مدل π کاربرد بیشتری دارد

مدل π مدل T

$$T = \begin{bmatrix} 1 + \frac{ZY}{2} & Z \\ Y(1 + \frac{ZY}{4}) & 1 + \frac{ZY}{2} \end{bmatrix}$$

ماتریس انتقال
خط متوسط مدل π

* در مدل π ظرفیت خازنی را نصف می کنند
و در مدل T ، امپدانس سری را نصف
می کنند. بیشتر محاسبات که با نرم افزار
انجام می شود، مدل π است و از مدل T دیگر
استفاده نمی شود. در مدل π از گره ها

$$T = \begin{bmatrix} 1 + \frac{ZY}{2} & Z(1 + \frac{ZY}{4}) \\ Y & 1 + \frac{ZY}{2} \end{bmatrix}$$

ماتریس انتقال خط
متوسط مدل T

صرف نظر شده ولی مدل T یک
گره اضافه تولید می کند و محاسبات
آن سخت تر است.

Date: / /

Sat. Sun. Mon. Tue. Thu. Wed. Fri.

Subject: _____

خط انتقال بلند: اگر طول خط بیشتر از 24 km باشد، خط انتقال را بلند می‌گویند. در این حالت دیگر قوانین kV و kC در مدار صدق نمی‌کند و برای حل این مدار از معادلات دیفرانسیل استفاده می‌شود. در این حالت ماتریس انتقال از رابطه زیر به دست می‌آید:

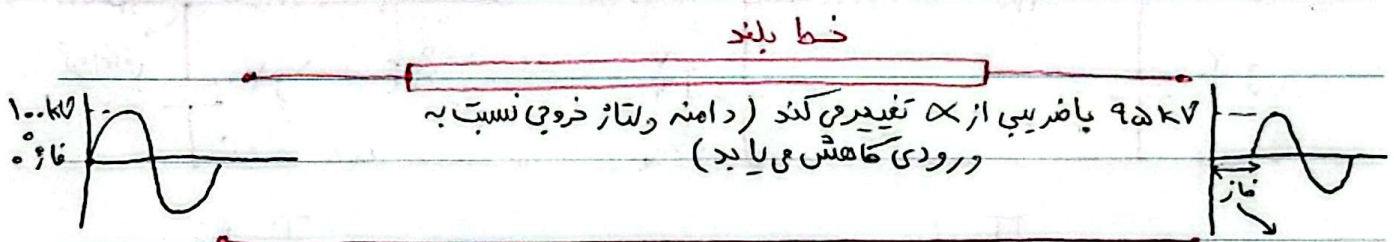
$$T = \begin{bmatrix} \cosh \gamma L & Z_c \sinh \gamma L \\ \sinh \gamma L & \cosh \gamma L \end{bmatrix}$$

ماتریس انتقال خط بلند

$$\cosh x = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

$$\sinh x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

γ = ضریب انتشار (گاما) L : طول خط Z_c = امپدانس مشخصه



با ضریبی از β تغییر می‌کند (موج ما دارای یک اختلاف فازی نسبت به ورودی می‌شود و جابه‌جا می‌شود)

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

ماده‌ای حقیقی عدد مختلط

ضریب فاز ضریب دامنه

اگر خط انتقال بلند داشته باشیم، وقتی در ابتدای موج ولتاژ سینوسی داریم، در انتهای خط (به خاطر تلفات و خاصیت فازی) مقدار دامنه این موج سینوسی و مقدار فاز (موقعیت زمانی) آن تغییر می‌کند. گاما یا ضریب انتشار یک عدد مختلط است که از دو قسمت α (آلفا) که ضریب دامنه و $j\beta$ (بتا) که ضریب فاز است تشکیل شده است.

ما می توانیم گاما (ضریب انتشار) را به صورت زیر نیز تعریف کنیم:

$$\delta = \alpha + \gamma \beta \quad \rightarrow \quad \delta = \sqrt{Z \cdot \gamma}$$

ضریب دامن
ضریب فاز
ضریب انتشار

Z : امپدانس واحد طول (برای فواصل زیاد مثل کیلومتر) $\left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$

γ یا γ : ادmittانس واحد طول

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{\gamma}} = |Z_c| \angle \theta_c$$

۱۵° - تا

اندازه در خطوط انتقال ۵۰۰ - ۱۰۰ در خط تک مدار ۴۰۰ و دو مدار ۲۰۰ است

(موج آخر خط بلند یا فربشی از β جابه جایی شود و اختلاف فاز پیدایش کند و دامنه هم با فربشی از α تغییر می کند)

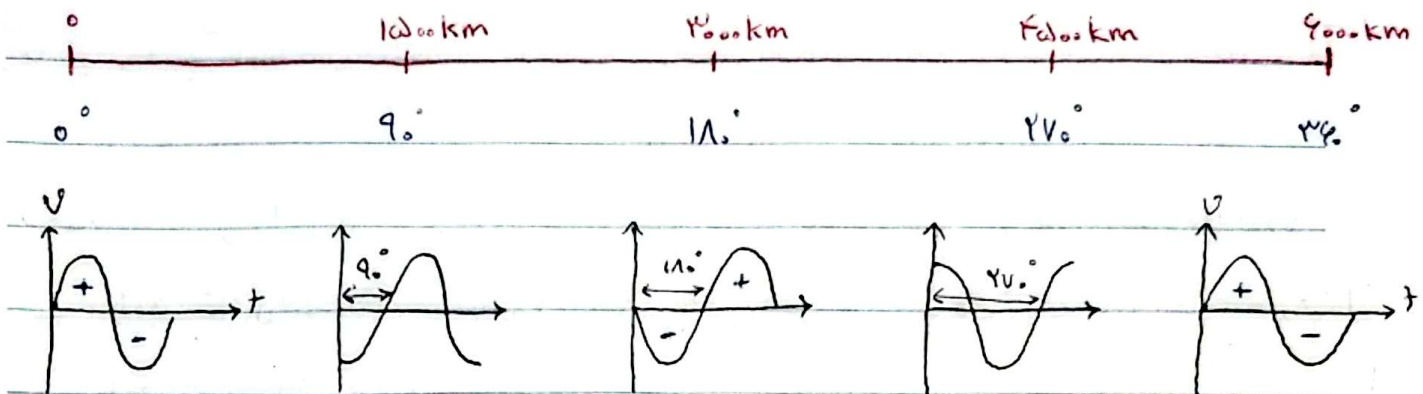
طول موج: طول موج فاصله مکانی است که موج یک سیکل کامل را طی می کند و مفهوم آن این است که موج در طی جابه جایی در خط انتقال به نقطه ای می رسد که دقیقاً هم فاز با موج ابتدای خط خواهد بود اگر سرعت موج را در حالت ایده آل، سرعت نور (۳۰۰ کیلومتر بر ثانیه) فرض کنیم، در فرکانس ۵۰ Hz طول موج، ۴۰۰ کیلومتر خواهد بود.

به این معنی است که اگر دو سیگنال در یک خط و یکی در ابتدای خط و یکی در ۴۰۰ km آن طرف خط بگذاریم در یک زمان، دوشکل موجی که نشان می دهند، همفاز هستند. اختلاف فاز نقطه اول یا نقطه آخر (۴۰۰ km) صفر است. در واقعیت با خط ۴۰۰ km نداریم. در نقطه ۳۰۰ km مقدار ۱۸۰° اختلاف فاز داریم. هر چه فرکانس بالاتر باشد این نقطه ها به هم نزدیک تر هستند مانند آنتن های تلویزیون یا گیرنده فرکانس های در دما مگاهرتز دارند.

Date: / /

Sat Sun Mon Tue Thu Wed Fri

Subject: -----



* دلیل اینکه پرنده های روی خطوط انتقال (یا توزیع) را برق نمی گیرند به دلیل همین مسئله طول موج است. فاصله بین پای پرندگان خیلی کم است در نتیجه شکل موج تغییری نمی کند. یعنی اختلاف فاز بین دو پای پرنده وجود ندارد که موجب برق گرفتگی شود (دلیل برق گرفتگی وجود اختلاف پتانسیل و اختلاف فاز بین دو موج است) * طول موج: در شبکه با فرکانس 60 Hz 4000 km 90 Hz 4000 km است.

$$V = f \lambda \quad \text{ضریب فاز} \quad \lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad \text{طول موج}$$

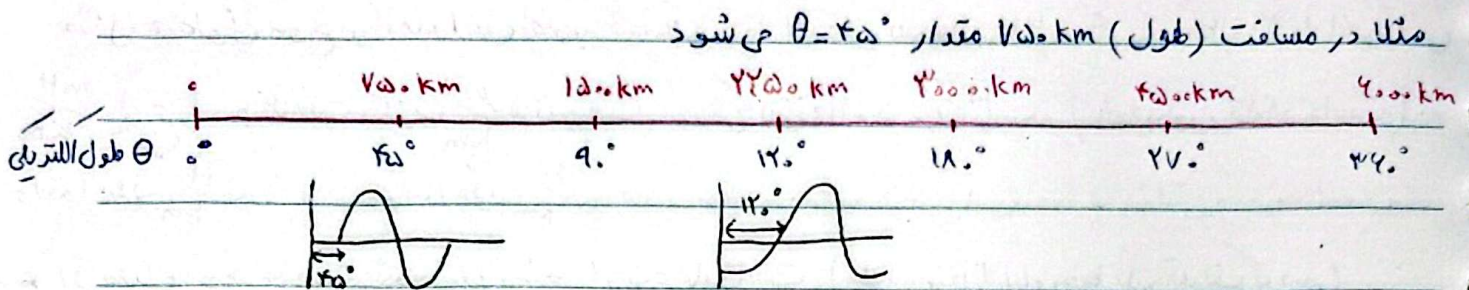
فرکانس

خط بلند بدون تلفات: اگر از مقاومت خط انتقال صرف نظر شود ($R=0$)، آنگاه به خط بدون تلف یا بدون اتلاف گفته می شود، در این حالت $\alpha=0$ خواهد بود یعنی $\gamma=j\beta \Rightarrow \delta=j\beta$ خواهد بود و ماتریس انتقال دیگر $\sinh$ و $\cosh$ (هیپربولیک) نخواهد داشت.

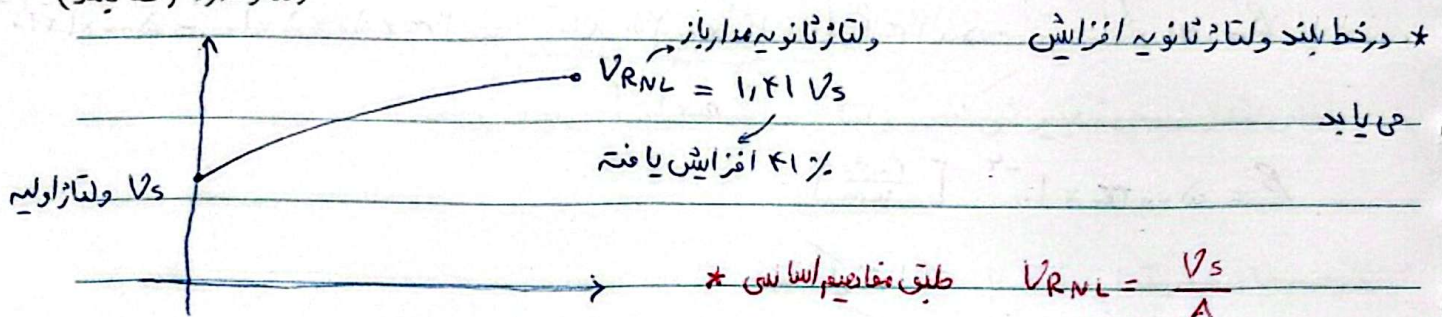
$$T = \begin{bmatrix} \cos \beta L & j Z_c \sin \beta L \\ j \frac{\sin \beta L}{Z_c} & \cos \beta L \end{bmatrix} \quad \text{ماتریس انتقال خط بلند بدون تلفات}$$

* نکته: طول الکتریکی هر خط انتقال از رابطه $\theta = \beta L$ یافت می شود.

θ طول الکتریکی خط اندازای است که فاز ما تغییری نکند. در شکل بالا در مسافت 1500 km مقدار $\theta = 9^\circ$ است یعنی فاز ما به اندازه 9° تغییر کرده است.



مثال: در یک شبکه برق 50 Hz ، انتهای مدار باز یک انتقال دارای اضافه ولتاژی باری نسبت 41% به ابتدای خط است. با فرض خط بدون تلف طول تقریبی آن چند کیلومتر است. به خاطر اینکه در خروجی اضافه ولتاژ دارد (خط بلند)



معادل $\sqrt{2}$

$$\Rightarrow V_{RNL} = \frac{V_s}{A} = 1.41 V_s = \frac{V_s}{A} \Rightarrow \sqrt{2} V_s = \frac{V_s}{A} \Rightarrow A = \frac{1}{\sqrt{2}} \xrightarrow{\text{تویا کردن}} A = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

ولتاژ

$$\cos \beta L = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \boxed{\beta L = 45^\circ} = \theta$$

* چون فرکانس 50 Hz است

45° 4500 km $\Rightarrow \boxed{\lambda = 750 \text{ km}}$

* نکته: در خطوط بدون تلف که L و C خط انتقال داده شود، فرمول ها به صورت زیر نوشته می شود:

* $\gamma = \sqrt{Z \cdot Y} \xrightarrow{R=0} \sqrt{\frac{r_{re} f L}{\omega} \cdot \frac{r_{re} f c}{\omega}} = \sqrt{\omega^2 L c} = \omega \sqrt{L c} = \beta$

* $Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \xrightarrow{R=0} \sqrt{\frac{r_{re} f L}{r_{re} f c}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$

$$\beta = \omega \sqrt{L c}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$$

$$v = f \lambda$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

* دیگر برابر هم و مساوی نیست و باید حساب کنیم

Date: / /

Sat Sun Mon Tue Thu Wed Fri

Subject: -----

مثال 2: طول موج و امپدانس ضربه‌ای یک خط انتقال سه فاز ۴۰۰ kV و ۲۰۰ km با اندوکتانس $L = 1 \frac{mH}{km}$ و ظرفیت خازنی $C = 0.025 \frac{\mu F}{km}$ در فرکانس ۵۰ Hz را بیابید (خط بدون تلفات است)

$\frac{H}{km}$ ← وادامی
 $\frac{F}{km}$ ← وادامی

* از طول موج صحبت نشده پس خط از نوع بلند است (طول موج را برای خط بلند تعریف کردیم)

* امپدانس موجی، امپدانس ضربه‌ای وقتی خط بدون تلف است همان امپدانس مشخصه Z_c است

$$\beta = \omega \sqrt{L \cdot C} \Rightarrow 2\pi f \sqrt{1 \times 10^{-3} \times 0.025 \times 10^{-6}} = 2\pi \times 50 \times 5 \times 10^{-4} = 500\pi \times 10^{-4}$$

$$\beta = 500\pi \times 10^{-4} \left[\frac{rad}{km} \right]$$

در نظر گرفته است

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \Rightarrow \frac{2\pi}{500 \times 10^{-4}} = 4000 \text{ km}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \Rightarrow \sqrt{\frac{1 \times 10^{-3}}{0.025 \times 10^{-6}}} = \sqrt{4 \times 10^4} = 200 \Omega$$

* در اینجا مقدار L و C را دادند در نتیجه طول موج ما دیگر ۴۰۰۰ km نیست.

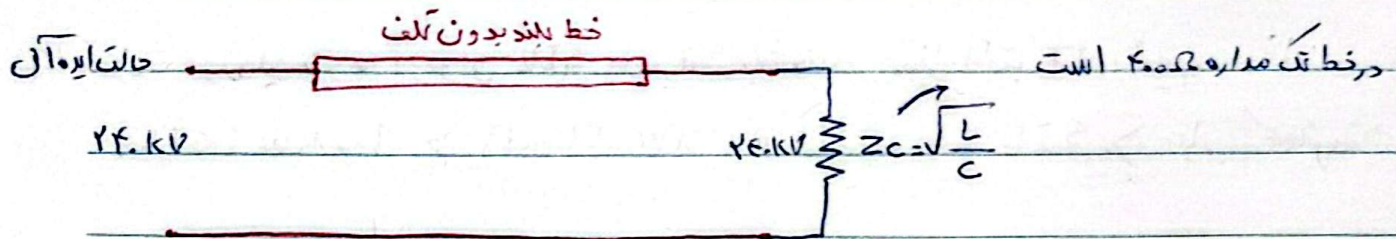
* طول الکتریکی خط را در ۲۰۰ km به دست آورید.

$$\theta = \beta L \Rightarrow 500\pi \times 10^{-4} \times 200 = 0.1\pi \Rightarrow 0.314 \text{ rad}$$

$$D = \frac{rad \times 180}{\pi} = \frac{0.314 \times 180}{\pi} = 18^\circ$$

خط بدون تلف با بارگذاری امپدانس موجی (SIL) Surge Impedance Loading

در شبکه خط متوسط یا بلند که در آخر خط یک بار با امپدانس Z_c (امپدانس مشخصه) وصل کنیم و این خط هم بدون تلف باشد ($R=0$)، چند خاصیت جالبی دارد:



۱- مقدار ولتاژ خروجی تغییر نمی کند و ولتاژ در همه طول خط یکسان است.

۲- در همه جای خط مقدار Z_c با Z_c برابر است.

$$Z(x) = Z_c$$

فاصله از ته خط x

۳- مقدار $\cos \phi$ همیشه و در همه جای خط برابر ۱ است.

در نتیجه مقدار توان راکتیو صفر است و هیچ توان راکتیوی در خط جاری نمی شود.

$$\cos \phi_x = 1 \rightarrow Q(x) = 0$$

توان راکتیو در خط جاری نمی شود

اگر خط انتقال بدون تلفی به یک بار مقاومتی با اندازه امپدانس مشخصه سیستم متصل شود در این حالت

اندازه ولتاژ و جریان در همه جای خط یکسان است و فقط از نظر زاویه متفاوت می باشد در این حالت ضریب توان

دیده شده از هر نقطه برابر ۱ است و توان راکتیوی در خط جاری نمی شود و امپدانس دیده شده از هر نقطه خط

برابر امپدانس مشخصه می باشد. راندمان این خط ۱۰۰٪ است و توان راکتیو در نقطه را با SIL نایش

می دهند که از رابطه زیر یافت می شود.

$$P(x) = SIL = \frac{V_n^2}{Z_c}$$

ولتاژ نامی

امپدانس مشخصه

و اعداد آن بیشتر MW [مگاوات] است.

Date: / /

Sat Sun Mon Tue Thu Wed Fri

Subject: -----

توان الکتوی نه در هر نقطه از خط وجود دارد را با SIL نشان می دهند.

SIL یک معیار است و حالت های زیر به وجود می آید:

۱- اگر مقدار توان بار ما از توان SIL ما بیشتر باشد در خروجی افت ولتاژ داریم:

$$100 \text{ MW [SIL]} > 150 \text{ MW [Load]} \Rightarrow \text{بار کاهش ولتاژ}$$

۲- اگر مقدار توان بار ما کمتر از توان SIL ما باشد افزایش ولتاژ در خروجی به وجود می آید:

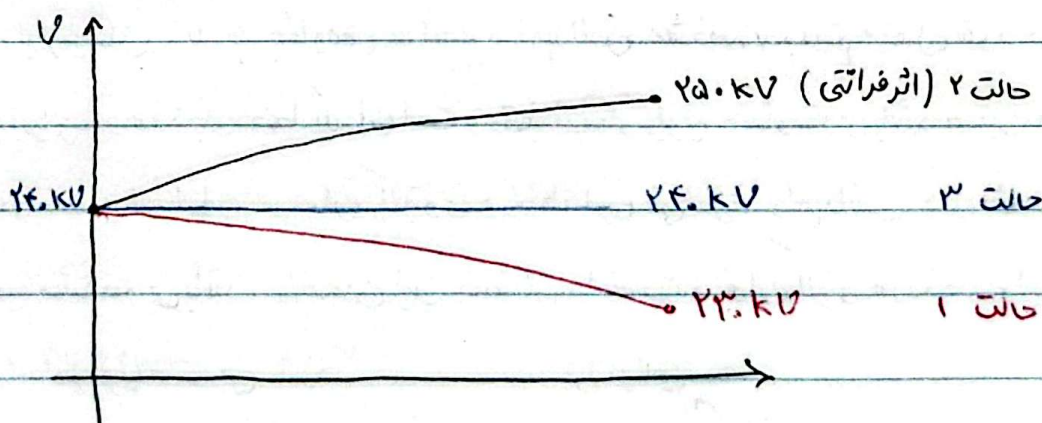
اثر فرآیندی: افزایش ولتاژ خط در اثر بار کم یا بی باری را اثر فرآیندی می گویند.

$$100 \text{ MW [SIL]} < 150 \text{ MW [Load]} \Rightarrow \text{بار افزایش ولتاژ}$$

۳- مقدار توان بار ما با مقدار SIL با هم برابر هستند و در این حالت ولتاژ خروجی ثابت و ماند و ولتاژ

ورودی است:

$$100 \text{ MW [SIL]} = 100 \text{ MW [Load]} \Rightarrow \text{بار تثبیت ولتاژ}$$



Date: / /

Sat	Sun	Mon	Tue	Thu	Wed	Fri
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Subject: -----

مثال ۲: در یک خط انتقال 50 Hz و 100 kV بدون تلفات با مشخصات مدار معادل V_n و $X_L = 0.1 \frac{\Omega}{\text{km}}$

و $Y_C = 5 \times 10^{-4} \frac{\text{S}}{\text{km}}$ [یا $\frac{\Omega}{\text{km}}$] اگر بار انتهای خط برابر 30 MW باشد در فریب توان واحد ($\cos \phi = 1$)

آنگاه ولتاژ انتهای خط افزایش می یابد یا کاهش؟ باید مقایسه انجام بدهیم

چون خط بدون تلف و مقدار $\cos \phi$ برابر ۱ است در نتیجه باید توان SIL را حساب کنیم

$$P_{(n)} = SIL = \frac{V_n^2}{Z_C} \Rightarrow \frac{(100 \text{ k})^2}{f_{00}} = \frac{10000 \text{ MW}}{f_{00}} = \boxed{25 \text{ MW}}$$

$$\Rightarrow Z_C = \sqrt{\frac{L}{C}} \xrightarrow[\text{سازی}]{\text{معادل}} \sqrt{\frac{LW}{C_W}} \xrightarrow{X_L} \sqrt{\frac{X_L}{Y_C}} = \sqrt{\frac{0.1}{5 \times 10^{-4}}} = 447.2 \Omega$$

$$\star X_C = \frac{1}{C_W} \Rightarrow Y_C = C_W$$

$SIL > 30 \text{ MW}$ یا $30 \text{ MW} > 25 \text{ MW}$ در نتیجه افت ولتاژ داریم

★ می توانستیم مقدار L و C را جدا حساب کنیم و بر اساس آنجا مقدار Z_C را مقایسه کنیم

$$L = \frac{X_L}{\omega}$$

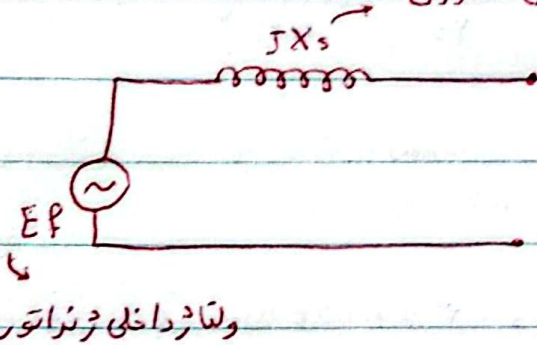
$$C = \frac{Y_C}{\omega}$$

مدلسازی و پریونیت سازی شبکه :

برای تحلیل شبکه های قدرت ، معمولاً از مدل تک خطی عناصر مختلف شبکه استفاده می شود ، یعنی یک فاز شبکه را تحلیل کرده و سپس برای محاسبه ولتاژ، جریان و یا توان از ضرایب 3×3 یا 3×1 استفاده می نماییم . به همین دلیل ، لازم است مدل اجزای مختلف شبکه را بشناسیم .
ما از یک سری مدار معادل های ساده شده در حالت دائمی برای مدل کردن تجهیزات به کار می بریم . این مدار معادل ها برای یک فاز از شبکه خارج شده و همگی از ساده سازی مدار واقعی به دست آمده اند .

۱- مدل ژنراتور سنکرون ۲

رآئانس سنکرون



مدل ساده شده یک فاز ژنراتور سنکرون :

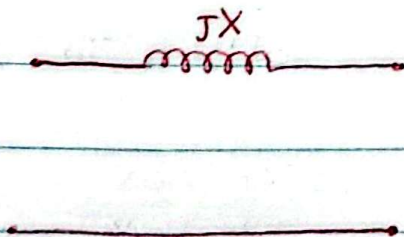
از مقاومت و شاخه های موازی صرف نظر می کنیم .

ولتاژ داخلی ژنراتور

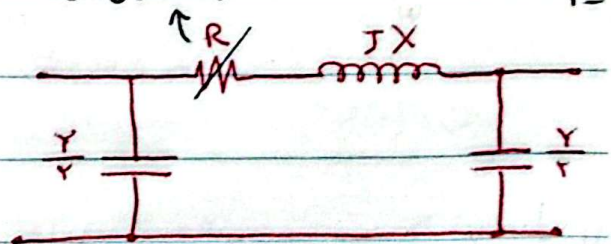
۲- مدل خط انتقال ۲

معمولاً برای خطوط متوسط به کار می رود و مقدار R آن را صرف نظر می کنیم .

صرف نظر می شود

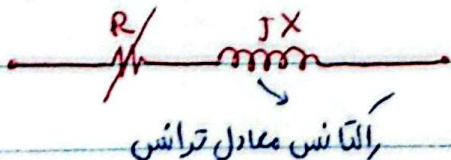


مدل خط کوتاه بدون تلف



مدل خط متوسط بدون تلف

صرف نظر می شود

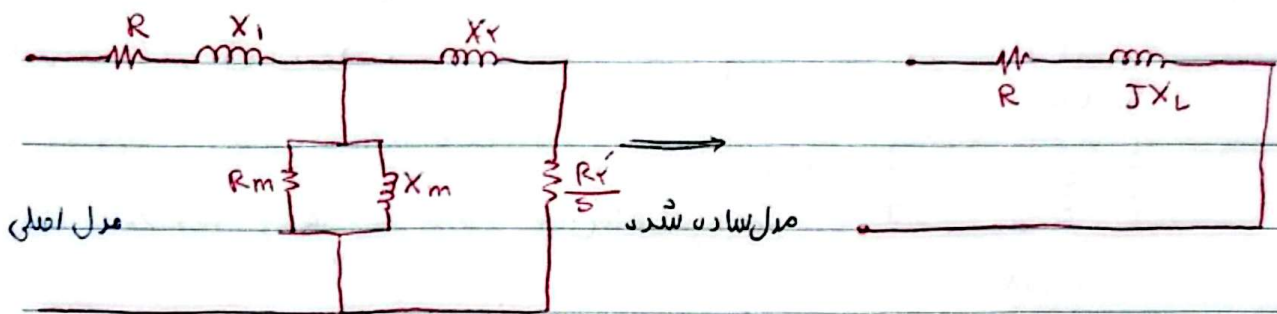


رآئانس معادل ترانس

۳- مدل ترانس قدرت ۲

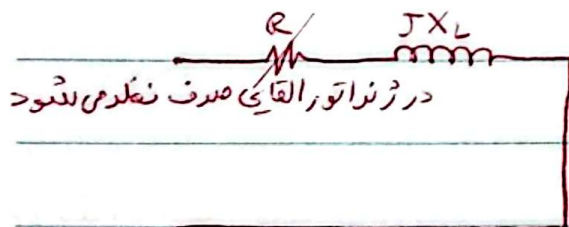
مقدار R و مقدار رآئانس های موازی را در نظر نمی گیریم

۴. مدل موتور القایی:



۵. مدل ژنراتور القایی (ژنراتور القایی توان آلتيو توليدي کند):

در موتورهای القایی اگر دور موتور از دور میدان دوار بیشتر شود، موتور القایی به ژنراتور القایی تبدیل می شود. در داخل مدار معادل ژنراتور القایی منبع ولتاژ نیست چون توان آلتيو توليدي کند (منبع ولتاژ هم توان آلتيو توليدي کند هم آلتيو). از مقاومت هم صرف نظر می شود. مقاومت اگر منفی باشد توان آلتيو توليدي می شود ولی توان آلتيو توليدي می شود.



اصول مدل سازی شبیه :

۱. پریونیت کردن: (pu) به دلیل اینکه ما در شبیه قدرت با اعدادی در حد kV و MW سروکار داریم و جایه جای بین این واحدها و اعداد نسبتاً بزرگی که با آن سروکار داریم، سیستمی به نام پریونیت (Per unit) (ذرواد، ذریک) پیشنهاد شده است که باعث می شود که اعداد کوچک شوند (معمولاً عددی بین ۱ و ۱۰) و نسبت تبدیل تراش ها از محاسبات حذف گردد.

هر چیزی

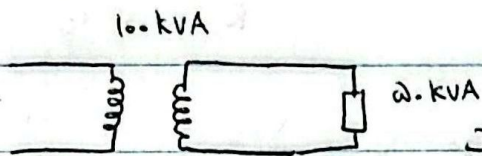
فرمول کلی پریونیت به صورت زیر می باشد. مقدار حقیقی یا واقعی $\propto p.u. = \frac{\propto_{real}}{\propto_{Base}}$ مقدار بیس یا پایه (ولتاژ، جریان، توان و ...)

Date: / /

Sat.	Sun.	Mon.	Tue.	Thu.	Wed.	Fri.
------	------	------	------	------	------	------

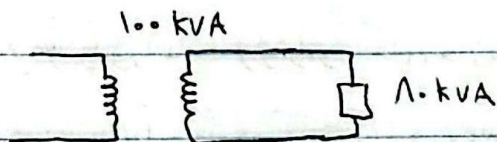
Subject: -----

پریونیت همان در صد است و تقسیم بر ۱۰۰ می کنیم نه فقط عدد باشد و این از مزیت های آن این است که واحدها از بین می رود.



$$S_{p.u} = 0.5 \text{ یا } 50\%$$

$$\frac{50 \text{ kVA}}{100 \text{ kVA}} = 0.5$$



$$S_{p.u} = 0.1 \text{ یا } 10\%$$

$$I_{p.u} = \frac{I}{I_{base}} \quad \text{جریان پریونیت} \quad V_{p.u} = \frac{V_{real}}{V_{base}} \quad \text{ولتاژ پریونیت}$$

$$S_{p.u} = \frac{S}{S_{base}} \quad \text{توان ظاهری پریونیت}$$

* نکته: مقادیر بیس فقط اندازه دارند (مقادیر بیس Base). اما مقادیر حقیقی و پریونیت هم اندازه و هم فاز دارند.

* نکته: معمولاً فقط مقادیر ولتاژ و توان بیس داده می شود و از روی آنها مقادیر امپدانس و جریان بیس را می توان یافت.

$$V_B \text{ ولتاژ بیس (مینا)} \Rightarrow \text{امپدانس بیس} = Z_B = \frac{V_B^2}{S_B} \text{ یا } Z_B = \frac{V_B}{I_B}$$

$$S_B \text{ توان ظاهری بیس (مینا)}$$

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} V_B} \quad \text{جریان بیس}$$

$$S_B = \sqrt{3} V_{B-L} I_B$$

(خط) Line

الگوریتم P.M (پروینیت) سازی شبکه 2

برای مدل سازی شبکه مراحل زیر را انجام می دهیم :

۱- الگورتراش سه فاز سه تله (بانک تراش) داشتیم ، ابتدا با توجه به ستاره یا مثلث بودن طرف فشارقوی

(HV) و فشارضعیف (LV) ، تغییرولتاژو توان می دهیم . (سه تاتراش تکفاز)

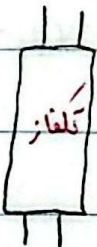
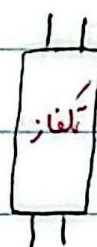
(تراش های پست های هوای در ایران به صورت یک تله است ، ولی درکشورهای اروپایی یا آمریکایی سه تاتراش

تکفاز است که هر کدام دوسرورودی و دوسرxfروبی دارند و در بیرون به صورت جدا سریندی ستاره یا مثلث

انجام می شود.

تراش سه فاز سه تله

از رو



اولین مزیت آن این است که امکان جابجایی

در صورت سوختن یکی از فازها را دارد و همچنین

مزیت دوم آن ایجاد اتصال مثلث چهار سر است .

۲- تمام بارها ، موتورها ، ژنراتورها و تراش ها و خطوط انتقال و ... اگر به صورت پروینیت نیستند را

در مبنای خودشان به پروینیت تبدیل می کنیم و سپس در هنگام حل شبکه به مبنای جدید می بریم .

۳- در حل شبکه ، توان مبنا ((S_B (Base)) را ثابت در نظر می گیریم ، اما ولتاژ مبنا ((V_B (Base)) با

توجه به نسبت تبدیل تراش ها در هر ناحیه یافت می شود.

۴- امپدانس ها ، راکتانس ها و مقاومت ها را در مبنای جدید یا فرمول زیر پیدا می کنیم .

$$Z_{P.M} = Z_{P.M} \text{ قدیم } \left(\frac{S_B \text{ جدید}}{S_B \text{ قدیم}} \right) \left(\frac{V_B \text{ قدیم}}{V_B \text{ جدید}} \right)^2$$

می تواند امپدانس ، راکتانس

و مقاومت باشد

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} V_B} = \frac{300 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 23 \text{ kV}} = 753.45 \text{ A}$$

$$① Z_B = \frac{V_B}{I_B} = \frac{23 \text{ kV}}{753.45} = 30.41 \Omega$$

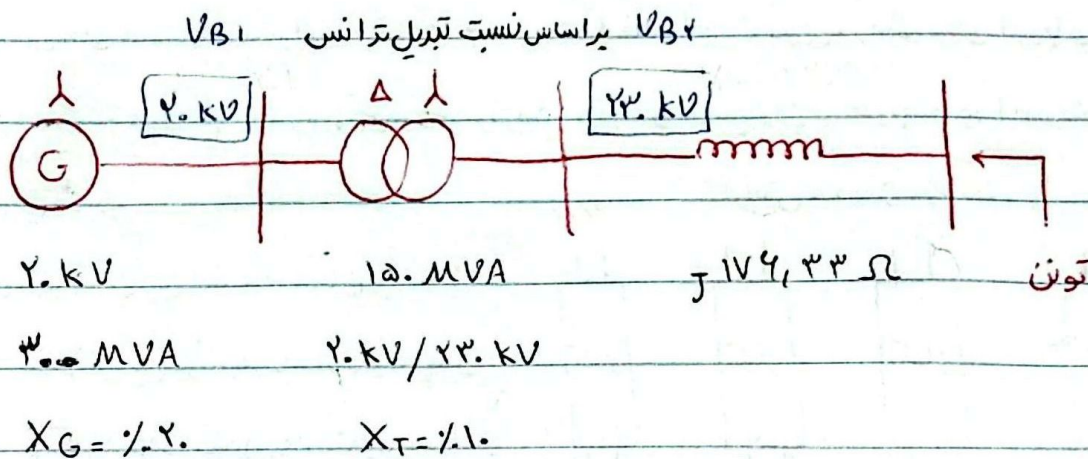
Date: / /

Sat. Sun. Mon. Tue. Thu. Wed. Fri.

Subject: $Z_B = \frac{V_B}{\sqrt{3} I_B} = \frac{23 \text{ kV}}{\sqrt{3} \times 753.45} = 174.33 \Omega$

۵- مدار معادل پریونیت شبکه را رسم کرده و مدار معادل خواسته شده را می یابیم.

مثال ۲- در شبکه زیر، راکتانس معادل تونن به صورت پریونیت از دید انتهای خط کدام است؟
(مقادیر نامی ترناتورها را به عنوان مقادیر مبنا در نظر بگیرید)



طبق صورت سوال مقادیر ترناتورها باید مقادیر مبنا قرار دهیم.

$$V_B = 20 \text{ kV} \quad S_B = 300 \text{ MVA} \quad X_G = 2 \text{ p.u.}$$

طبق مراحل گفته شده توان بیس به عنوان توان مبنا برای کل شبکه در نظر گرفته می شود و ثابت است و V_B را باید بر اساس نسبت تبدیل ترانس ها پیدا کنیم.

$$S_B = 300 \text{ MVA} \text{ در همه جای مدار}$$

بعد از مشخص کردن ولتاژ بیس، مقدار امپدانس بیس خط انتقال را (که در شکل برای ما مشخص کرده است) را به دست می آوریم.

$$Z_B = \frac{V_B^2}{S_B} = \frac{(23 \text{ kV})^2}{300 \text{ MVA}} = 174.33 \Omega$$

ترانس است

در شکل مشخص کرده است

بعد به صورت پریونیت تبدیل می کنیم.

$$Z_{p.u.} = \frac{Z_{\text{واقعی}}}{Z_B} = \frac{174.33 \Omega}{174.33 \Omega} = 1 \text{ p.u.}$$

Date: / /

Sat Sun Mon Tue Thu Wed Fri

Subject: -----

بعد باید راکتانس تمام تجهیزات (ترانسفورماتور، ژنراتور، خط انتقال) را به صورت پیرویته بنویسیم

* در توانش $X_T = 10\%$ یعنی ۱۰٪ است. این راکتانس برای ولتاژ ۲۰ kV یا ۲۳۰ kV و توان ۱۵۰ MVA است و وقتی توان بیس تغییر کرده است پس باید X_T جدید را بر حسب پیرویته و رابطه صفحه قبل پیدا کنیم.

چون مبنا است $X_G = 0.2 \text{ p.u.}$

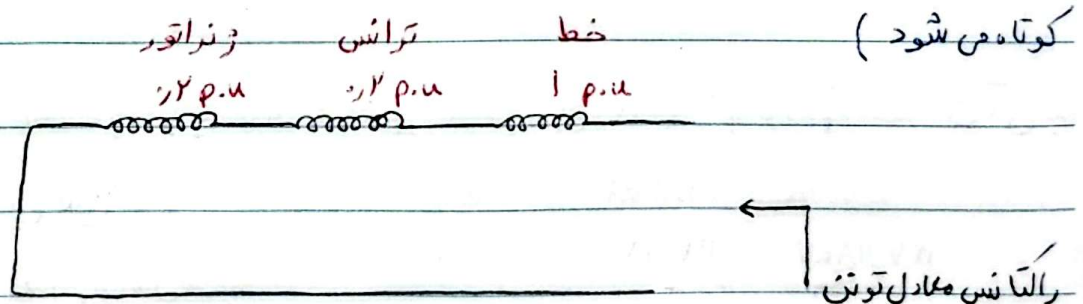
$$X_{T \text{ جدید}} = X_{T \text{ قدیم}} \left(\frac{S_{B \text{ جدید}}}{S_{B \text{ قدیم}}} \right) \left(\frac{V_{B \text{ قدیم}}}{V_{B \text{ جدید}}} \right)^2$$

چون ولت و چه ثانویه را در نظر بگیریم یا ولتاژ بیس برابر است

$$\Rightarrow X_{T \text{ جدید}} = 10 \left(\frac{300}{150} \right) \left(\frac{20}{20} \right)^2 = 10 \times 2 = 0.2 \text{ p.u.}$$

$$X_{\text{خط انتقال}} = 1 \text{ p.u.}$$

مدار معادل تونن را می‌کشیم که راکتانس تونن به دست آوریم. (ژنراتور چون منبع ولتاژ است اتصال کوتاه می‌شود)



$$X_{Th} = 0.2 + 0.2 + 1 = 1.4 \text{ p.u.}$$

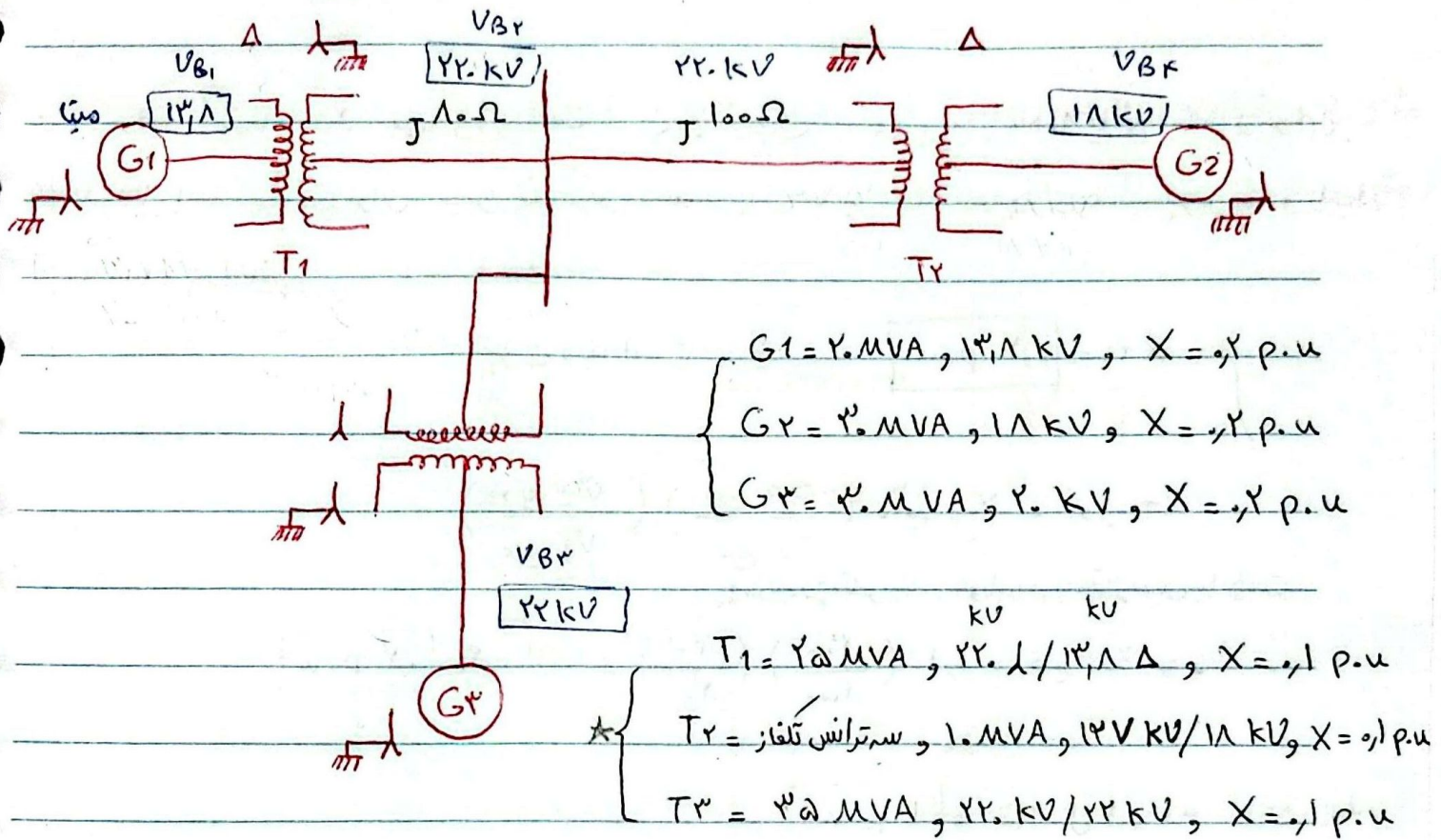
$$X_{Th} = 1.4 \text{ p.u.}$$

Date: / /

Sat Sun Mon Tue Thu Wed Fri

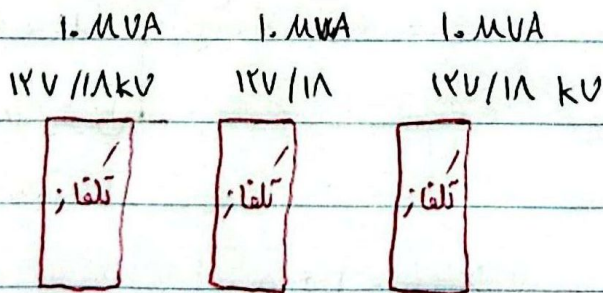
Subject: -----

مثال ۲: در شکل زیر مدار مادل تک خطی پریونیت را رسم کنید.



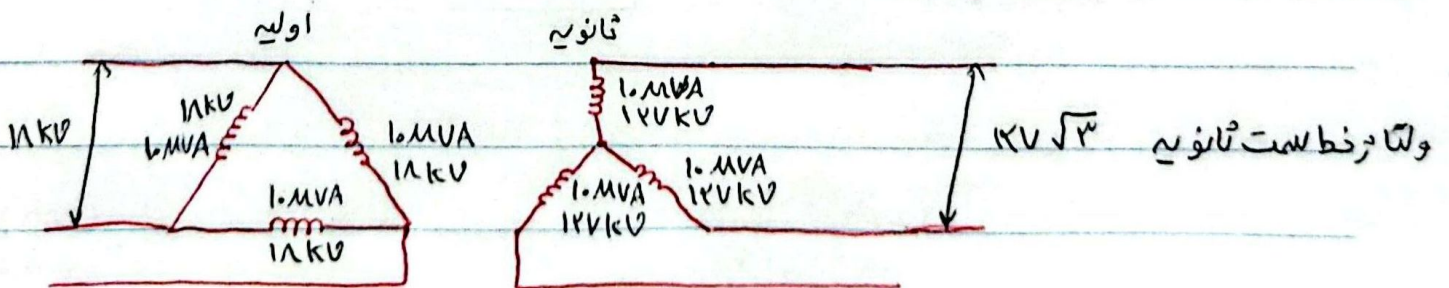
توان پایه (مینا) ۱، ۵۰ MVA و ۱۳.۸ kV، در سر ژنراتور ۱، بلیزید ۱۳.۸ kV و ۵۰ MVA $S_B = 50 \text{ MVA}$

۱) طبق مراحل گفته شده ابتدا باید بانک ترانس (در این سوال T_2) را با توجه به اتصالات آن به یک ترانس سه فاز تبدیل کنیم.



طبق شکل در هنگام اتصال ترانس ها به

صورت تلفاز توان آنها با هم جمع می شود و توان ترانس سه فاز ۳ MVA می شود



$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} V_{BL}} \Rightarrow$$

$$Z_B = \frac{V_{BL}}{\sqrt{3} I_B}$$

Date: / /

Sat. Sun. Mon. Tue. Thu. Wed. Fri.

Subject: -----

طبق شکل اطلاعات جدید ترانس T_2 به صورت زیر است:

$$T_2 = 30 \text{ MVA}, \quad 22 \text{ kV} / 11 \text{ kV}, \quad X = 0.1 \text{ p.u.}$$

از بالا ثانویه

② $S_B = 50 \text{ MVA}$ در همگی مدار

③ ولتاژهای بیس را بر اساس نسبت تبدیل ترانس با دایره آبی در شکل نشان می دهیم

④ خط های اهی را به $p.u$ تبدیل می کنیم. چون یک خط است ولتاژ بیس 22 kV دارد Z_B را به صورت کلی محاسبه می کنیم و بعد برای هر بخش $Z_{p.u}$ جدا بر اساس مقدار واقعی خودشان حساب می کنیم.

$$Z_B = \frac{V_B^2}{S_B} = \frac{(22 \text{ kV})^2}{50 \text{ MVA}} = 941 \Omega$$

$$Z_{p.u} = \frac{Z_{\text{واقعی}}}{Z_B} = \frac{10 \Omega}{941 \Omega} = 0.0106 \text{ p.u}$$

$$Z_{p.u} = \frac{Z_{\text{واقعی}}}{Z_B} = \frac{100 \Omega}{941 \Omega} = 0.106 \text{ p.u}$$

⑤ طبق رابطه روبرو مقدار امپدانس های هر تجهیز را به صورت $p.u$ محاسبه می کنیم.

$$Z_{p.u} \text{ جدید} = Z_{p.u} \text{ قدیم} \left(\frac{S_B \text{ جدید}}{S_B \text{ قدیم}} \right) \left(\frac{V_B \text{ قدیم}}{V_B \text{ جدید}} \right)^2$$

$$X_{G1} = 0.2 \text{ p.u}$$

چون مبنا است.

Sat. Sun. Mon. Tue. Thu. Wed. Fri.

$$X_{T, \infty} = 0.1 \left(\frac{2 \cdot \text{MVA}}{20 \text{ MVA}} \right) \left(\frac{13.8 \text{ kV}}{13.8 \text{ kV}} \right)^2 = 0.1 \times 1 = \boxed{0.1 \text{ p.u.}}$$

X خط اول = 0.12 p.u

X خط دوم = ۰/۱۰۳ p.u

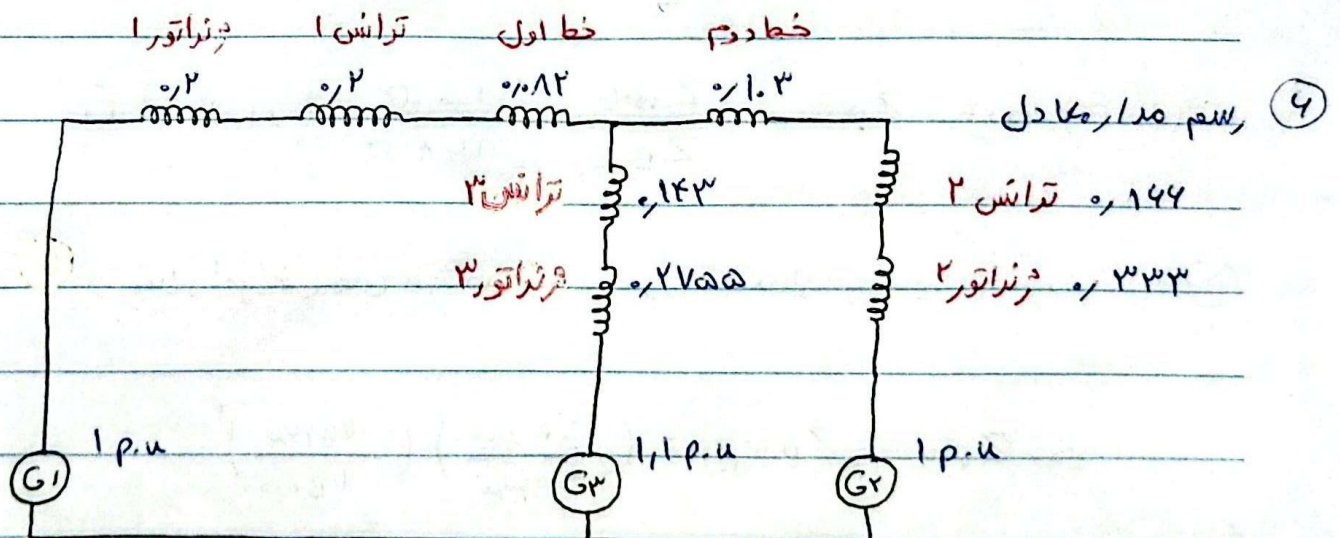
$$X_{TP} = 0.1 \left(\frac{20 \text{ MVA}}{20 \text{ MVA}} \right) \left(\frac{22 \text{ KV}}{22 \text{ KV}} \right)^2 = 0.1 \times 1 = 0.1 \text{ p.u.}$$

$$X_{G \text{ جديد}} = \frac{\omega \cdot \text{MVA}}{\gamma \cdot \text{MVA}} \left(\frac{\gamma \cdot \text{KV}}{\gamma \gamma \text{KV}} \right)^2 = \boxed{\gamma V \omega \omega \text{ p.u}}$$

$$X_{TR} \text{ جزئی} = 0.1 \left(\frac{20 \text{ MVA}}{30 \text{ MVA}} \right) \left(\frac{22 \text{ KV}}{22 \text{ KV}} \right)^2 = 0.1 \times 1.44 = \boxed{0.144 \text{ p.u.}}$$

$$X_{Gr \text{ up}} = \gamma \left(\frac{2 \cdot \text{MVA}}{\gamma \cdot \text{MVA}} \right) \left(\frac{1 \text{ kV}}{1 \text{ kV}} \right)^2 = \gamma \times 1.44 = \boxed{0.7776 \text{ p.u.}}$$

* در صورتی که مقدار G^3 مقدار V_B قدیم برابر 2.47 و مقدار V_B جدید بر اساس نسبت تبدیل ترانس T برابر 22 است.



$$V_{p.u.} = \frac{13.8 \text{ kV}}{13.8 \text{ kV}} = 1 \text{ p.u.}$$

$$V_{p.u} = \frac{V_{pkv}}{V_{kv}} = 1.1 \text{ p.u.}$$

$$V_{p.u.} = \frac{1 \text{ kV}}{1 \text{ kV}} = 1 \text{ p.u.}$$