

اسلایدهای آموزشی درس:

بررسی سیستمهای قدرت یک

(3 واحد - دوره کارشناسی برق - توزیع انتقال)

:

احمد رشتچی زاده

عضو هیئت علمی

وزارت نیرو

مجتمع عالی آموزشی و پژوهشی آذربایجان

آذرماه 87

فصل اوّل

بررسی اندوکتانس و مقاومت خطوط انتقال انرژی

تعاریف اولیه

طبق تعریف ولتاژ القاء شده در یک مدار از رابطه‌ی $e = \frac{d\phi}{dt} [v]$ حساب می‌شود. که مبین شار در برگیرنده‌ی (شار دورزننده) مدار بوده و بر حسب و بر - دور (Wb-T) بیان می‌شود.

$$e = \frac{d\phi}{dt} = \frac{d\phi}{di} \cdot \frac{di}{dt} = L \frac{di}{dt} \rightarrow e = L \frac{di}{dt}$$

همچنین داریم:

$L \frac{di}{dt}$ را به عنوان اندوکتانس مدار تعریف می‌کنیم و واحد آن هانری می‌باشد. به طور کلی اندوکتانس تابعی از جریان (i) است در مدارهای مغناطیسی خطی و یا به عبارت ساده‌تر در مدارهای مغناطیسی با نفوذپذیری مغناطیسی ثابت تغییرات شار در برگیرنده نسبت به جریان خطی خواهد بود و در نتیجه اندوکتانس ثابت می‌باشد:

$$L = \frac{\phi}{i} [H] \quad \text{یا} \quad \phi = Li [Wb - Turn]$$

اگر در رابطه‌ی فوق جریان را متناوب در نظر بگیریم خواهیم داشت:
 λ و λ مقادیر مؤثر شار در برگیرنده و $\lambda = LI$ یا $I = \frac{\lambda}{L}$ جریان بوده و البته دو کمیت هم‌فاز نیز هستند.

خطوط انتقال انرژی از هادی‌های موازی تشکیل شده‌اند و فرض می‌کنیم که طول آن‌ها زیاد است. ابتدا یک هادی حامل جریان با طول بلند را در نظر می‌گیریم و شار در برگیرنده آن را بررسی می‌کنیم. فرض می‌کنیم هادی استوانه‌ای شکل و مسیر برگشتی آن در فاصله بسیار دور (بی‌نهایت) از این هادی قرار داشته باشد. شار در برگیرنده هادی را می‌توان به دو قسمت تقسیم کرد:

الف) شار داخلی Internal flux

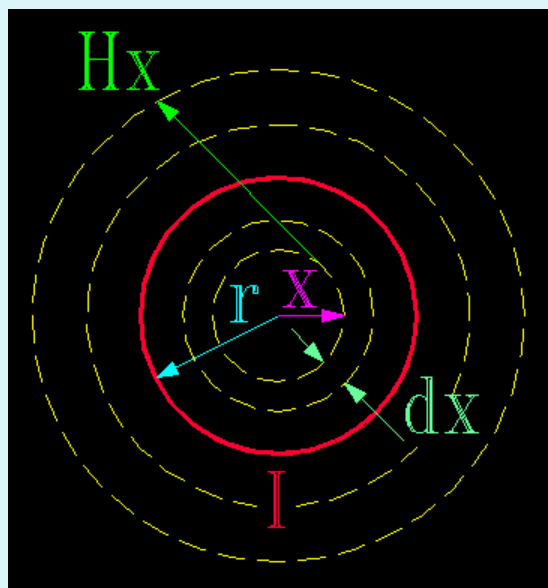
ب) شار خارجی External flux

لازم به توضیح است که با عبور جریان از هادی موجب تولید میدان مغناطیسی در اطراف آن می گردد . خطوط شار مغناطیسی به صورت دایره های بسته و هم مرکزی هستند که جهت آنها توسط قانون دست راست تعیین می شود . هنگامی که جریان تغییر می کند شار تغییر نموده و ولتاژی در مدار التاء می شود طبق تعریف اندوکتانس (L) مواد غیر مغناطیسی نسبت کل شار

$$L = \frac{\lambda}{I} \text{ می باشد . برابر است با :}$$

البته یک هادی به طول بی نهایت دارای میدان شعاعی E نیز علاوه بر میدان مغناطیسی H هست . در شروع محاسبه از اثر مغناطیسی استفاده می کنیم .

یک هادی بلند با شعاع r و جریان I را مطابق شکل داریم:



$$\oint_0^{2\pi x} H_m ds = I_x \Rightarrow H_x 2\pi x = I_x, H_m = \frac{I_x}{2\pi x}$$

$$\left[\frac{A. Turn}{m} \right]$$

در این جا فرض بر آن است که چگالی جریان یکنواخت می باشد. زیرا در فرکانس 50^{cps} این

فرضیه کاملا منطقی است. شدت میدان مغناطیسی (H_m) در اطراف دایره ای به شعاع x ثابت بوده

و مماس بر آن دایره است.

الف) محاسبه اندوکتانس ناشی از شار پیوند داخلی: $[L_{int}]$

$$\frac{I}{\pi r^2} = \frac{I_m}{\pi x^2} \Rightarrow I_m = \frac{x^2}{r^2} I$$

$$H_x = \frac{I_x}{2\pi x} = \frac{\frac{I_x^2 x}{r^2}}{2\pi x} = \frac{I_x^2}{2\pi x r^2} = \frac{x}{2\pi r^2} I \quad \left[\frac{A \cdot T}{m} \right]$$

$$B_x = \mu_0 H_m = \frac{\mu_0 I}{2\pi r^2} x \left[\frac{wb}{m^2} \right], \quad B_x = \frac{d\phi_x}{dA}, \quad dA = 1 * dx$$

$d\phi_x = B_x dx * 1$ (شار کلی، ولی $d\lambda$ قسمتی از $d\phi$ و شار در برگیرنده‌ی داخلی است.)

$$\frac{I_x}{I} = \left(\frac{x}{r} \right)^2 \Rightarrow d\lambda_x = \left(\frac{x}{r} \right)^2 d\phi_x = \frac{\mu_0 I}{2\pi r^4} x^3 dx$$

$$\lambda_{\text{int}} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r^4} \int_0^r x^3 dx = \frac{\mu_0 I}{8\pi} = \frac{4\pi * 10^{-7} I}{8\pi} = \frac{1}{2} I * 10^{-7}$$

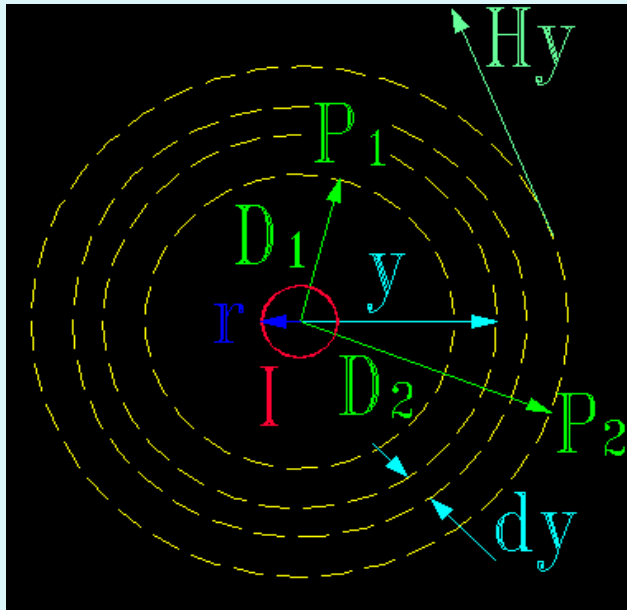
$$\Rightarrow L_{\text{int}} = \frac{\lambda_{\text{int}}}{I} = \frac{\frac{1}{2} I * 10^{-7}}{I} = 0.5 * 10^{-7} \text{ [H/m]}$$

$$L_{\text{int}} = 0.5 * 10^{-7} \text{ [H/m]}$$

اندوکتانس ناشی از شار مغناطیس داخلی عددی ثابت است (در واحد متر) که اندوکتانس داخلی

هادی برابر $0.5 * 10^{-7}$ هانری بر متر است .

ب) محاسبه‌ی اندوکتانس ناشی از پیوند خارجی: $[L_{ext}]$



شکل روبرو را در نظر بگیرید که در آن هادی به شعاع r نشان داده شده و دو نقطه‌ی p_1 و p_2 به فواصل D_1 و D_2 از آن هادی به نمایش گذاشته شده‌اند. فرض می‌کنیم جریان I از هادی عبور می‌کند. در این صورت میدان مغناطیسی در خارج هادی دوایر متحدالمرکزی هستند که هادی را دور می‌زنند. در نتیجه کل شار محصور شده مابین نقاط p_1 و p_2 استوانه مابین این‌ها است.

$$I_y = I = \oint H_y \cdot dy = H_y y 2\pi \Rightarrow H_y = \frac{I}{2\pi y} \quad \left[\frac{\text{A.Turn}}{m} \right]$$

نسبت بین شار کلی و شار پیوندی یک شده یعنی این دو باهم برابرند.

$$By = \mu_0 H_y, \quad d\lambda = 1 * d\phi$$

$$By = \frac{d\phi_y}{dA_{=dy*1}} \Rightarrow d\lambda = d\phi = Bydy$$

$$\Rightarrow d\lambda = \frac{\mu_0 I}{2\pi y} dy \Rightarrow \lambda_{ext} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_{D_1}^{D_2} \frac{dy}{y} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \ln y \Big|_{D_1}^{D_2}$$

$$= \frac{4\pi * 10^{-7} I}{2\pi} \ln \frac{D_2}{D_1} \Rightarrow L_{ext} = 2 * 10^{-7} \ln \frac{D_2}{D_1} \text{ [H/m]}$$

اندوکتانس ناشی از شار پیوندی خارجی بیرون از هادی بین نقاط D_1 و D_2 .

اگر $r = D_1$ نقطه‌ی روی هادی و $D = D_2$ نقطه‌ای در بیرون هادی باشد داریم:

$$L_{ext} = 2 * 10^{-7} \ln \frac{D}{r} \text{ [H/m]}$$

L_{ext} ، اندوکتانس ناشی از شار پیوند خارجی بین نقطه‌ی روی هادی و یک نقطه‌ی دلخواه بیرون هادی می‌باشد .

محاسبه اندوکتانس کل هادی: $[L_T]$

$$L_T = L_{int} + L_{ext} = \frac{1}{2} * 10^{-7} + 2 * 10^{-7} L_n D/r$$

$$= 2 * 10^{-7} \left[\frac{1}{4} + L_n D/r \right] = 2 * 10^{-7} \left[\frac{1}{4} L_n e + L_n D/r \right]$$

$$= 2 * 10^{-7} \left[L_n e^{\frac{1}{4}} + L_n D/r \right] = 2 * 10^{-7} \left[L_n \frac{e^{\frac{1}{4}} D}{r} \right] = 2 * 10^{-7} L_n \frac{D}{r e^{\frac{-1}{4}}}$$

$$\Rightarrow L_T = 2 * 10^{-7} L_n \frac{D}{r * 0.7788} , K = 0.7788 \Rightarrow L_T = 2 * 10^{-7} L_n \frac{D}{kr}$$

$$r' = Kr \Rightarrow L_T = 2 * 10^{-7} L_n \frac{D}{r'} = 0.461 \log \frac{D}{r'}$$

رابطه‌ی نهایی اندوکتانس

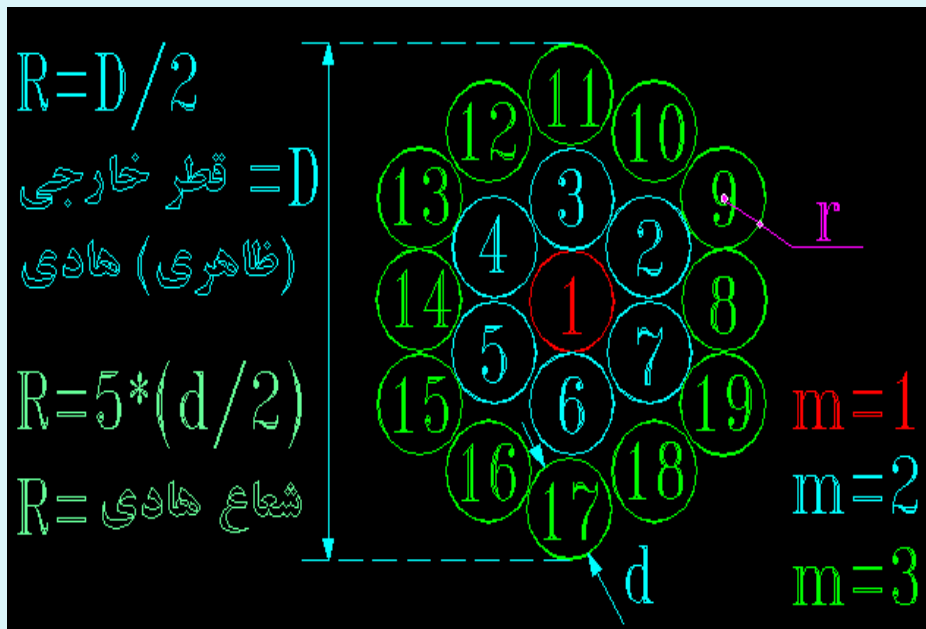
دقت کنید که: مقدار اندوکتانس کل به: 1- فاصله‌ی مورد نظر تا هادی، 2- شعاع هادی
3- به K مورد نظر بستگی دارد.

انواع هادی‌ها و ضریب K:

اگر m تعداد لایه‌ها و t تعداد رشته‌ها در نظر گرفته شود در این صورت رابطه‌ی زیر همواره
برقرار است.

$$t = 3m^2 - 3m + 1$$

البته باید خاطر نشان ساخت که در رابطه‌ی فوق تک رشته‌ی مرکز هادی به عنوان لایه شماره یک
محسوب می‌شود و در لایه‌ی بعدی یا بعدی‌ها مثلاً $m=2$ تعدادی کل هادی‌ها برابر 7 رشته
می‌باشند که یکی مربوط به لایه اول است و 6 تای دیگر در لایه دوم، $m=2$ هستند.



$D = (2m-1)d \rightarrow$ قطر هر رشته
 قطر هادی
 لایه m ام

پس اگر مثلا هادی سه لایه باشد، قطر ظاهری برابر $D = ((2*3)-1) d = 5d$ و پنج برابر قطر

هر رشته هادی می شود که شعاع هادی برابر می شود با:

$$R = \frac{5}{2} d$$

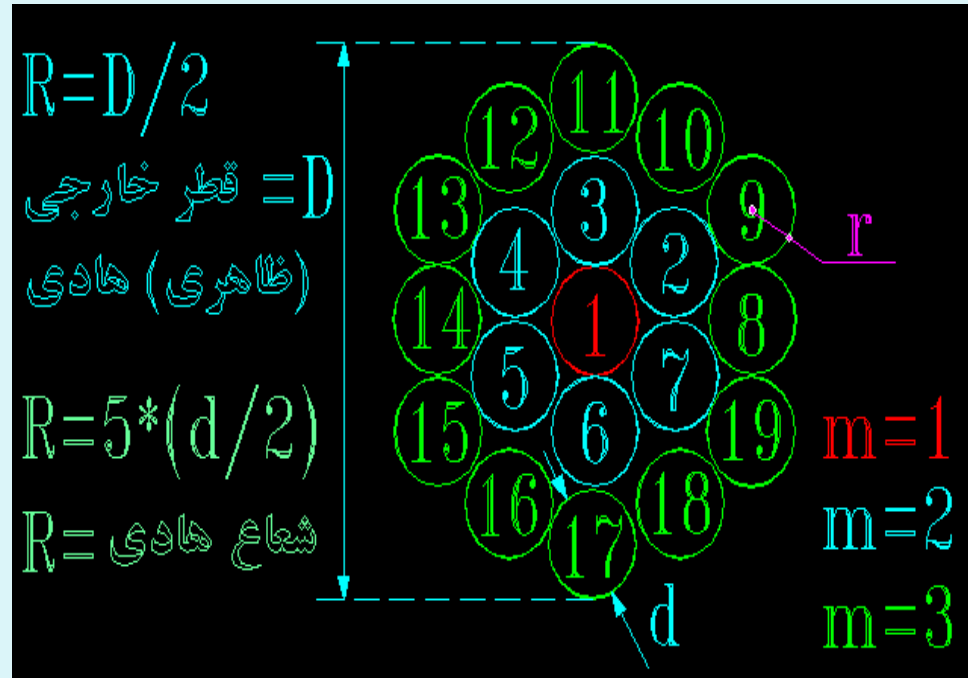
تعداد کل رشته ها

تعداد لایه

ضریب K شعاع هادی

شعاع هر رشته = r

m	t	R	K
1	1	r	فشاریم
2	7	3r	0.725
3	19	5r	0.757
4	37	7r	0.768
5	61	9r	0.772
6	91	11r	0.774
7	127	13r	0.775
⋮	⋮	⋮	⋮
∞	∞	∞r	0.7788

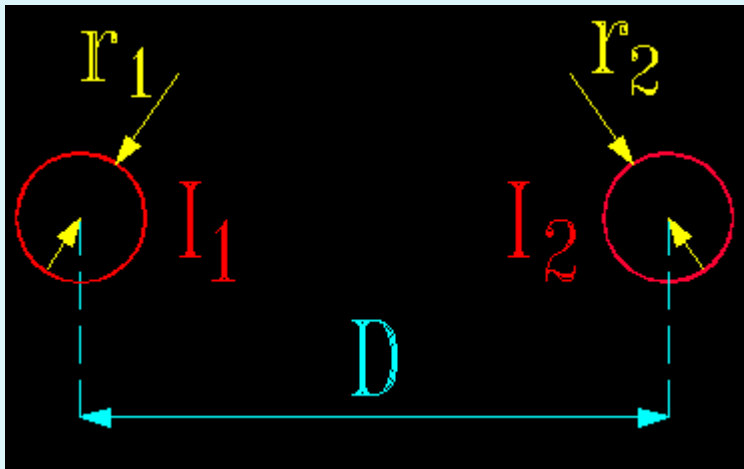


* جدول مربوط به Kهای مختلف را با توجه به تعداد لایه هایشان مشاهده می کنید. که اگر

اطلاعات مربوط به رشته را نداده باشند، جهت انتخاب K مقدار $k=0.7788$ را در نظر

می گیریم و در صورت نداشتن سطح مقطع رشته ها مقدار یک را قرار می دهیم.

محاسبه‌ی اندوکتانس یک سیستم تکفاز دوسیمه:



$$L_1 = 2 * 10^{-7} L_n \frac{D}{r_1'}$$

$$L_2 = 2 * 10^{-7} L_n \frac{D}{r_2'}$$

$$\Rightarrow L_T = L_1 + L_2 = 2 * 10^{-7} (L_n \frac{D}{r_1'} + L_n \frac{D}{r_2'}) = 2 * 10^{-7} L_n (\frac{D}{\sqrt{r_1' r_2'}})^2$$

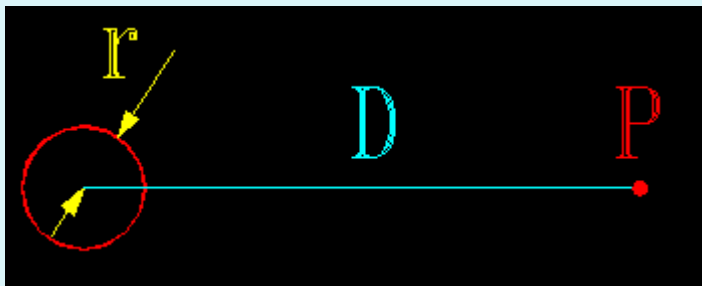
$$\Rightarrow L_T = 4 * 10^{-7} L_n \frac{D}{\sqrt{r_1' r_2'}} \left[\frac{H}{m} \right], r_1' = r_2'$$

$$\Rightarrow L_T = 4 * 10^{-7} L_n \frac{D}{r_1'} \left[\frac{H}{m} \right], L_T = 0.921 \text{ Log } D/r' \left[\frac{H}{m} \right]$$

$$\Rightarrow l_{\tau} = 4 * 10^{-7} I_m \frac{D_1}{D_2} = 4 * 10^{-7} I_m \frac{D_m}{D_s} = 4 * 10^{-7} I_m \frac{G.M.D}{G.M.R}$$

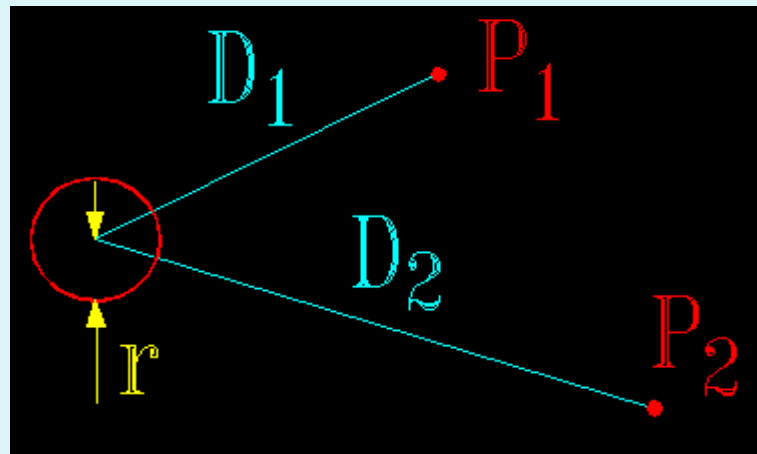
$$\Rightarrow \begin{cases} D = D_1 = D_m = G.M.D & \text{همیشه منعکس کننده فاصله بیرونی هادی است.} \\ r' = D_2 = kr = D_s = G.M.S & \text{همیشه منعکس کننده فاصله درونی هادی می باشد.} \end{cases}$$

شار دربرگیرنده‌ی یک هادی در یک سیستم حاوی n هادی :



$$\lambda = 2 * 10^{-7} L_n \frac{D}{r_1'}$$

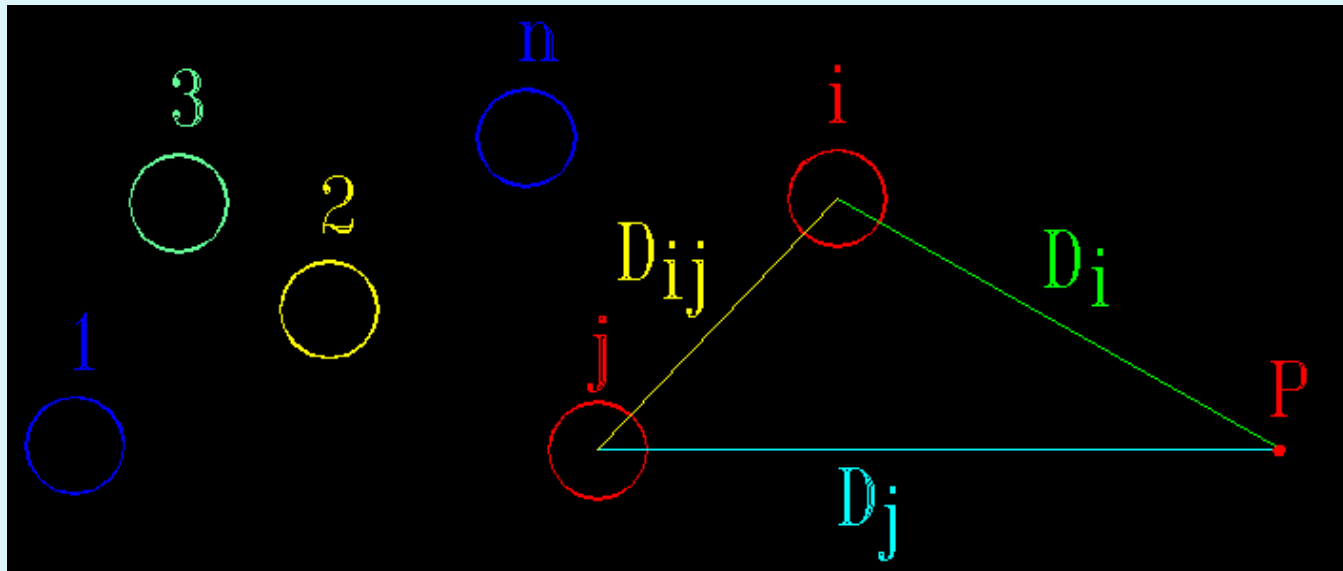
روی هادی و بیرون هادی به فاصله D



$$\lambda_{12} = 2 * 10^{-7} L_n \frac{D_2}{D_1}$$

بین دو نقطه بیرون هادی

شکل زیر را در نظر بگیرید که در آن n هادی موازی با جریان‌های I_1 و I_2 و ... و I_n نشان داده شده‌اند و فرض بر آن است که مجموع این جریان‌ها برابر صفر باشد. نقطه‌ی P در بیرون از هادی‌ها مفروض است و فاصله‌ی هادی‌ها از این نقطه را با D_1 و D_2 و ... و D_n نشان می‌دهیم.



نسبت پیدا کردن رابطه‌ی مربوط به کل شار دربرگیرنده‌ی هادی i فقط شار تا نقطه‌ی P را مورد بررسی قرار می‌دهیم که این شار دربرگیرنده‌ی هادی i به خاطر جریان همان هادی (I_i) از رابطه‌ی

هادی از رابطه‌ی $\lambda_{ij} = 2 * 10^{-7} I L_n \frac{D_i}{r'_i}$ استفاده شد. تکرار رابطه‌ی اخیر برای سایر هادی‌ها می‌توان کل شار دربرگیرنده‌ی هادی i را تا نقطه‌ی P حساب کرد.

$$\begin{aligned}
 \lambda_i &= \lambda_{i1} + \lambda_{i2} + \lambda_{i3} + \dots + \lambda_{ij} + \dots + \lambda_{in} + \lambda_{ii} \\
 &= 2 * 10^{-7} \left(I_1 L_n \frac{D_1}{D_{i1}} + I_2 L_n \frac{D_2}{D_{i2}} + \dots + I_j L_n \frac{D_j}{D_{ij}} \right. \\
 &\quad \left. + \dots + I_n L_n \frac{D_n}{D_{in}} + I_i L_n \frac{D_i}{r'_i} \right) \\
 &= 2 * 10^{-7} \left[\left(I_1 L_n \frac{1}{D_{i1}} + I_2 L_n \frac{1}{D_{i2}} + \dots + I_n L_n \frac{1}{D_{in}} \right) \right. \\
 &\quad \left. + (I_1 L_n D_1 + I_2 L_n D_2 + \dots + I_n L_n D_n) \right]
 \end{aligned}$$

$$I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0 \Rightarrow I_n = -(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_{n-1})$$

$$A = (I_1 \ln D_1 + I_2 \ln D_2 + \dots - I_1 \ln D_n) - I_2 \ln D_n - I_3 \ln D_3 - \dots - I_{n-1} \ln D_n$$

$$= I_1 \ln \frac{D_1}{D_n} + I_2 \ln \frac{D_2}{D_n} + \dots + I_{n-1} \ln \frac{D_{n-1}}{D_n}$$

$$\lambda_i = 2 * 10^{-7} [(I_1 \ln \frac{D_1}{D_{i1}} + I_2 \ln \frac{1}{D_{i2}} + \dots + I_n \ln \frac{1}{D_{in}})$$

$$+ (I_1 \ln \frac{D_1}{D_n} + I_2 \ln \frac{D_2}{D_n} + \dots + I_{n-1} \ln \frac{D_{n-1}}{D_n})$$

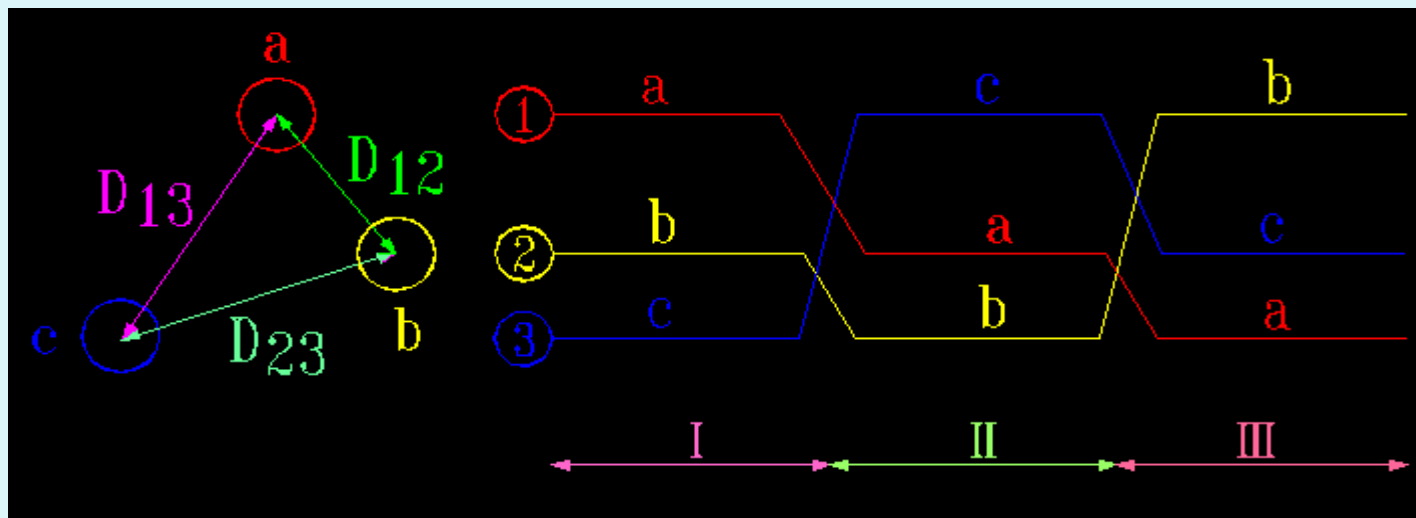
جهت محاسبه‌ی کل شار دربر گیرنده‌ی هادی i نقطه‌ی P را به سمت بینهایت سوق می‌دهیم لذا

قسمت دوم عبارت به صفر میل می‌کند.

$$\lambda_i = 2 * 10^{-7} (I_1 \ln \frac{D_1}{D_{i1}} + I_2 \ln \frac{1}{D_{i2}} + \dots + I_n \ln \frac{1}{D_{in}})$$

- این رابطه کلی است مثلاً در سیستم سه فاز که جزئی و حالت خاصی از این رابطه می باشد $n=3$ می شود .

اندوکتانس خطوط انتقال انرژی سه فاز ترانسپوز شده با فواصل نامساوی بین هادی ها:



$$\lambda_a = (\lambda_{aI} + \lambda_{aII} + \lambda_{aIII})/3 \rightarrow D_{equ} = \sqrt{D_{12}D_{23}D_{31}}$$

$$\lambda_{aI} = 2 * 10^{-7} (I_a \ln \frac{1}{r'_a} + I_b \ln \frac{1}{D_{21}} + I_c \ln \frac{1}{D_{31}})$$

$$\lambda_{aII} = 2 * 10^{-7} (I_a \ln \frac{1}{r'_a} + I_b \ln \frac{1}{D_{32}} + I_c \ln \frac{1}{D_{12}})$$

$$\lambda_{aIII} = 2 * 10^{-7} (I_a \ln \frac{1}{r'_a} + I_b \ln \frac{1}{D_{13}} + I_c \ln \frac{1}{D_{23}})$$

$$\lambda_a = 2 * 10^{-7} (I_a \ln \frac{1}{r'_a} + I_b \ln \frac{1}{(D_{21} D_{32} D_{13})^{1/3}} + I_c \ln \frac{1}{(D_{31} D_{12} D_{23})^{1/3}})$$

$$I_a + I_b + I_c = 0 \Rightarrow I_b + I_c = -I_a$$

$$\lambda_a = \left(I_a \ln \frac{1}{r'_a} + \ln \frac{1}{(D_{12} D_{23} D_{31})^{1/3}} [I_b + I_c] \right) * 2 * 10^{-7}$$

$$\Rightarrow \lambda_a = \left(I_a \ln \frac{1}{r'_a} - I_a \ln \frac{1}{(D_{12} D_{23} D_{31})^{1/3}} \right) * 2 * 10^{-7}$$

$$= 2 * 10^{-7} I_a \left(\ln \frac{1}{r'_a} - \ln \frac{1}{(D_{12} D_{23} D_{31})^{\frac{1}{3}}} \right) = 2 * 10^{-7} I_a \left(\ln \frac{1}{r'_a} - \ln \frac{1}{D_{eyt}} \right)$$

$$\Rightarrow \lambda_a = 2 * 10^{-7} I_a \ln \frac{D_{equ}}{r'_a} \quad , \quad I_a = \frac{\lambda_a}{I_a}$$

$$\Rightarrow L_a = 2 * 10^{-7} \ln \frac{D_{equ}}{r'_a} [H/m] = 0.461 \text{ Log} \frac{D_{equ}}{r'_a} (H/m)$$

$$\begin{cases} D_{equ} = D_m = \text{G.M.D} \Rightarrow r_a = r_b = r_c \Rightarrow L_a = L_b = L_c \\ r'_a = D_s \cdot \text{G.M.S} \end{cases}$$

$D_{12} = D_{23} = D_{31} = D_{ey} = D$ اگر فواصل هادی‌ها باهم برابر باشند لذا داریم:

$$L_a = 2 * 10^{-7} \ln \frac{D}{r'_a} [H/m] \quad , \quad L_a = L_b = L_c \Leftrightarrow r_c = r_b = r_a \quad \text{اگر}$$

تمرین 1: اندوکتانس خط سه فاز زیر را حساب کنید اگر هر هادی 19 رشته و قطر خارجی 10

میلی متر باشد و $t = 19 \Rightarrow K = 0.757$

$$r = \frac{d}{2} = \frac{10 * 10^{-3}}{2} = 5 * 10^{-3} \text{ m}$$

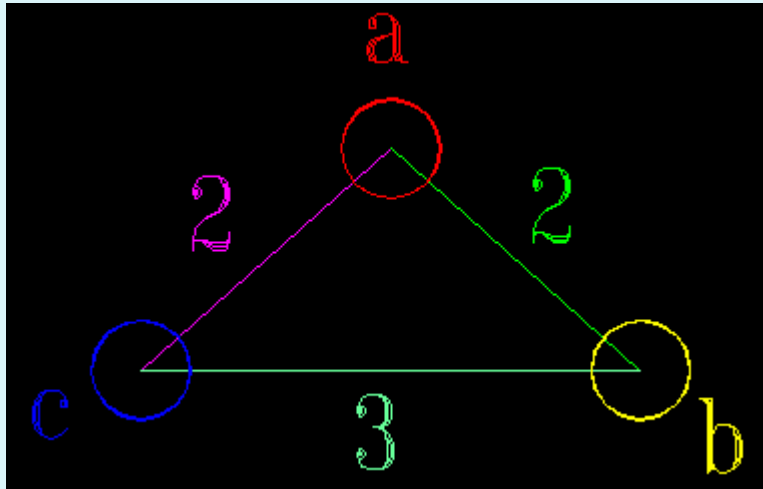
$$r' = Kr = 0.757 * 5 * 10^{-3}$$

$$D_{equ} = \sqrt[3]{2 * 2 * 3} = 2.280 \text{ m}$$

$$D_s = r' = Kr = 3.785 * 10^{-3}$$

$$L = 2 * 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_s} = 2 * 10^{-7} \ln \frac{2.280}{3.785 * 10^{-3}} = 1.280 * 10^{-6} [\text{H/m}]$$

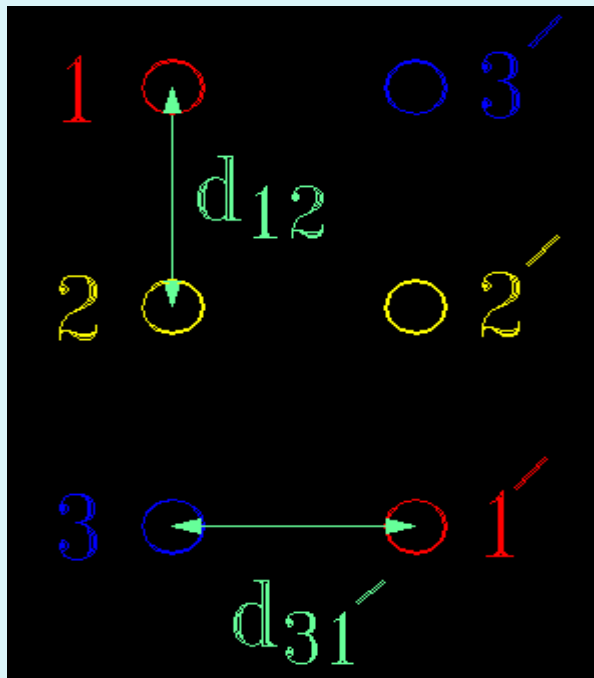
$$\Rightarrow L = 1.280 * 10^{-8} \frac{\text{H} * 1000}{\text{m}} = 1.28 [\text{mH/Km}]$$



$$w = 314 \Rightarrow X_l = Lw = 0.402 [m\Omega/Km]$$

اگر همین مسئله با تعداد رشته‌های 37 تکرار می‌شد فقط مقدار K مربوطه عوض می‌شد و شاید هم قطر سیم و نوع آرایش و در نتیجه اندازه‌ی هادی‌ها از هم فرق داشته بود. که باید دقت کرد.

خط دو مدارهی ترانسپوز شده:



$$D_m = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}}$$

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

$$D_{23} = \sqrt[4]{d_{23} d_{2'3} d_{23'} d_{2'3'}}$$

$$D_{31} = \sqrt[4]{d_{31} d_{3'1} d_{31'} d_{3'1'}}$$

$$D_s = \sqrt[3]{D_{11'} D_{22'} D_{33'}} \quad D_{11'} = \sqrt{r' d_{11'}}$$

$$D_{22}' = \sqrt{r' d_{22}'} \quad , \quad D_{33}' = \sqrt{r' d_{33}'} \quad , \quad (r' = kr)$$

در انواع آرایش‌ها فقط اندازه‌ها فرق می‌کند و بقیه همان است .

هادی‌های باندد شده :

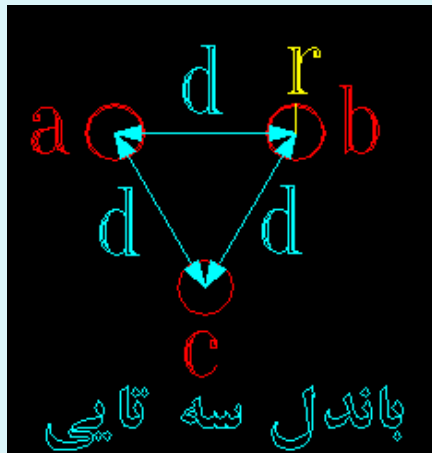
رابطه‌ی کلی برای D_s در باندد‌ها (انواع n تایی)

$$D_b^s \text{ یا } D_s^b = \sqrt[n^2]{(r'a \ d_{ab} \dots d_{an}) (d_{ba}r'b \dots d_{bn}) \dots (d_{na} \dots r'n)}$$



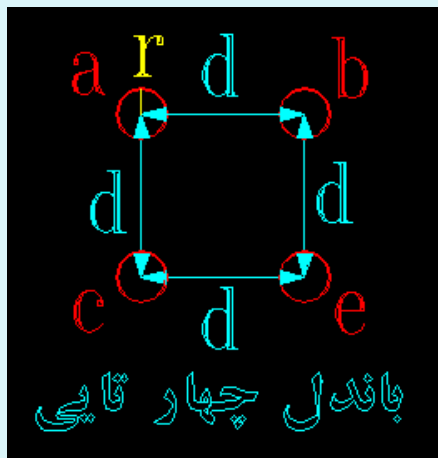
$$D_s^b = \sqrt[4]{(r'd)(r'd)} = \sqrt{r'd}$$

$$n=2$$



$$D_s^b = \sqrt[3]{(r' dd)(dr' d)(ddr')} = \sqrt[3]{r' d^2}$$

$$n=3$$



$$D_s^b = \sqrt[4]{(r' dd\sqrt{2}d)(dd\sqrt{2}dr')(d\sqrt{2}ddr')(\sqrt{2}dddr')}$$

$$= \sqrt[4]{r' d^3 \sqrt{2}} = 1.1 \sqrt[4]{r' d^3}$$

$$n=4$$

در مدارهای مختلف D_m فرق نمی کند.

الگوریتم پیدا کردن D_S :

مثبت: با توجه به تعداد رشته داریم: $D_S = Kr$

1- آیا هادی چند رشته می باشد؟

منفی: (نمی دانیم یا بی نهایت است)

$$D_S = Kr, \quad K = 0.7788$$

مثبت: از طریق D_S^b حساب می کنیم.

2- آیا فاز باندل می باشد؟

منفی: D_S را با روش معمولی بالا داریم.

مثبت: D_m و D_S مربوط به دو مداره را حساب می کنیم.

3- آیا دو مداره است؟

منفی: D_S معمولی با روش بالا را حساب می کنیم.

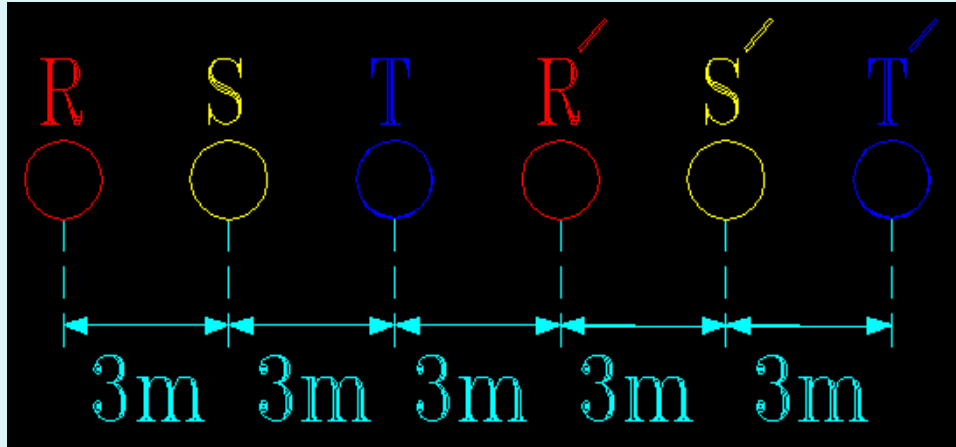
4- آیا دو مداره باندل است؟
 مثبت: پس جهت محاسبه‌ی D_S در زیر داریم:
 منفی: پس ساده می‌باشد و با روش بالا.

جهت محاسبه‌ی D_S^b مربوط به دو مدار بودن به جای r' مقدار D_S^b جایگزین می‌شود:

$$D_S^b = \sqrt{r' \cdot d} \Rightarrow D_S = \sqrt[3]{D_{11}' D_{22}' D_{33}'},$$

$$D_{11}' = \sqrt{r' d_{11}'} \Rightarrow D_{11}' = \sqrt{D_S^b d_{11}'}$$

مثال: در خط دو مداره‌ی روبرو تعداد رشته‌های هادی‌ها 19 رشته و به شعاع هر رشته 1.4mm است. مطلوب است محاسبه‌ی اندوکتانس L در مدار زیر؟



$$L = 2 \times 10^{-7} \text{Ln} \frac{D_m}{D_s} \quad ,$$

$$D_m = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}} \quad ,$$

$$D_s = \sqrt[3]{D_{11}' D_{22}' D_{33}'}$$

$$D_{12} = \sqrt[4]{d_{12} d_{1'2} d_{12}' d_{1'2}'} = \sqrt[4]{3 * 6 * 12 * 3} = 3\sqrt[4]{8}$$

$$D_{23} = \sqrt[4]{d_{23} d_{2'3} d_{23}' d_{2'3}'} = \sqrt[4]{3 * 6 * 12 * 3} = 3\sqrt[4]{8}$$

$$D_{31} = \sqrt[4]{d_{31} d_{3'1} d_{31}' d_{3'1}'} = \sqrt[4]{6 * 3 * 15 * 6} = 3\sqrt[4]{20}$$

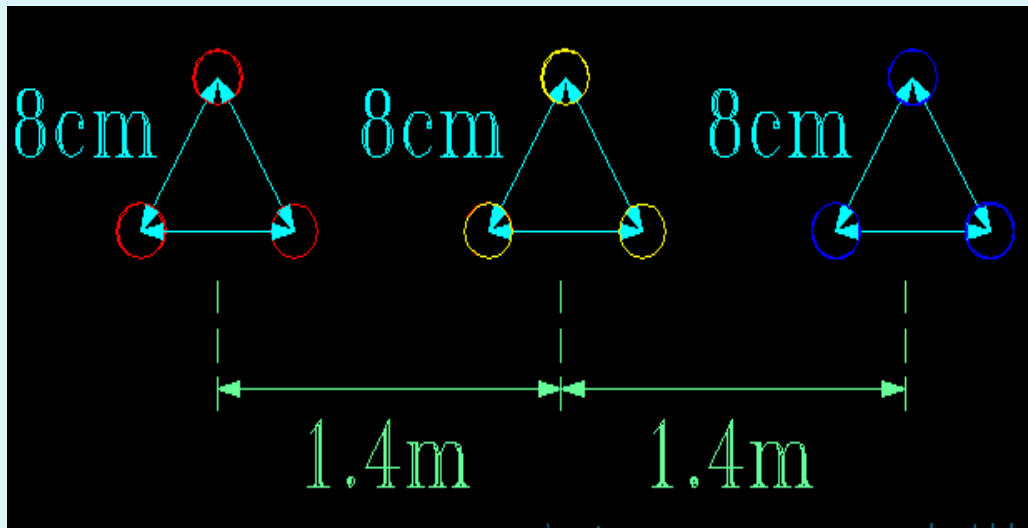
$$\Rightarrow D_m = \sqrt[3]{(3\sqrt[4]{8})(3\sqrt[4]{8})(3\sqrt[4]{20})} = 5.44\text{m}$$

$$D_{11}' = \sqrt{r' d_{11}'} = \sqrt{Kr d_{11}'} = \sqrt{0.757 * \underbrace{1.4 * 10^{-3} * 5 * 9}_{\text{شعاع ظاهری هادی}}} = 0.2183\text{m}$$

$$\Rightarrow D_{11}' = D_{22}' = D_{33}' = 0.2183\text{m} \Rightarrow L = 2 * 10^{-7} \text{Ln} \frac{5.44}{0.2183}$$

$$\Rightarrow D_s = \sqrt[3]{(D_{11}')^3} = 0.2183\text{m} = 0.643 \text{ mH/Km/phase}$$

تمرین 2: در مدار روبرو هر هادی 7 رشته و شعاع هر رشته 1.5mm است. مطلوب است محاسبه L ؟



$$L = 2 \times 10^{-7} \text{Ln} \frac{D_m}{D_s}$$

$$D_m = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} = \sqrt[3]{1.4 * 1.4 * 2.8} \Rightarrow D_m = 1.4\sqrt[3]{2} \text{ m}$$

$$D_s^b = \sqrt{r' \cdot d^2} = \sqrt{0.725 * 1.5 * 10^{-3} * 3 * 8 * 10^{-2}}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \text{Ln} \frac{1.4\sqrt[3]{2}}{D_s^b} = 8.319 * 10^{-7} \text{ H/m} \quad \boxed{f=50}$$

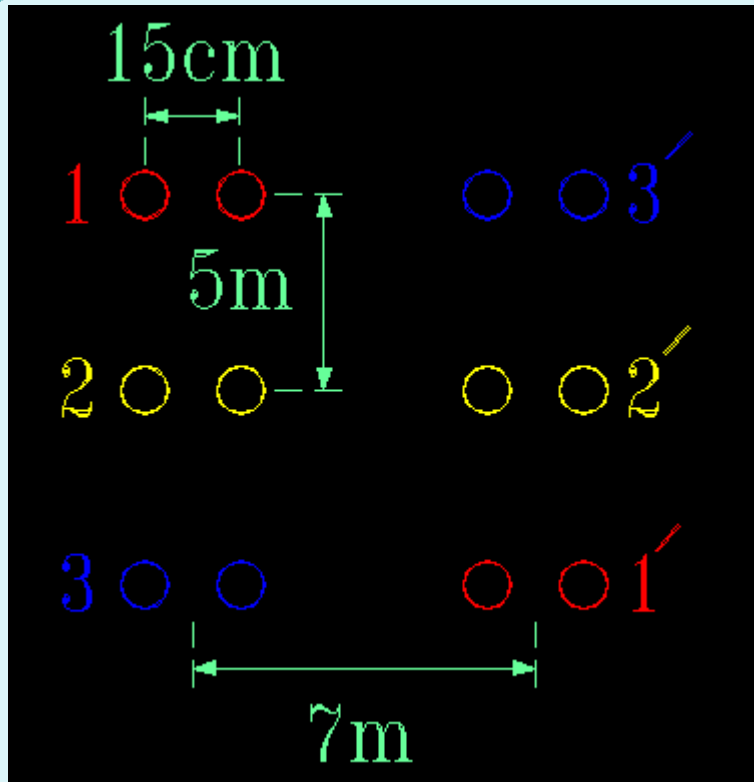
$$X_L = 8.319 * 10^{-7} \text{ H/m} * \omega = \Omega/\text{m} * 10^{+3} = \Omega/\text{Km}/\text{phase}(0.2612)$$

تمرین 3: یک شبکه‌ی دو مداره دو باندا ترانسپوز شده مطابق شکل روبرو مطلوب است. هادی 7

رشته و قطر خارجی آن 1.5 cm است مطلوب است محاسبه‌ی L در این شبکه؟

$$D_m = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} \quad ,$$

$$D_{12} = \sqrt[4]{d_{12} d_{1'2} d_{12'} d_{1'2'}} = \sqrt[4]{5 * \sqrt{74} * \sqrt{74} * 5} = 6.55\text{m}$$



$$D_{23} = \sqrt[4]{d_{23} d_{2'3} d_{23'} d_{2'3'}}$$

$$= \sqrt[4]{5 * \sqrt{74} * \sqrt{74} * 5} = 8.36 \text{ m}$$

$$D_{13} = \sqrt[4]{d_{13} d_{1'3} d_{13'} d_{1'3'}}$$

$$= \sqrt[4]{5 * \sqrt{149} * 7 * 10} = 6.55 \text{ m}$$

$$D_m = 7.104 \text{ m}$$

$$D_s^b = \sqrt{r' \cdot d} = \sqrt{Krd} = \sqrt{0.725 * \frac{1.5}{2} * 10^{-2} * 15 * 10^{-3}} = 0.0285 \text{ m}$$

$$D_s = \sqrt[3]{D_{11'} D_{22'} D_{33'}} \quad , \quad D_{11'} = \sqrt{r' d_{11'}} = \sqrt{D_s^b d_{11'}} = 0.589 \text{ m}$$

$$D_{22}' = 0.4466 \text{ , } D_{33}' = 0.589 \text{ m}$$

$$D_s = \sqrt[3]{(0.589)^2(0.4466)} = 0.53 \text{ m}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \text{Ln} \frac{D_m}{D_s} = 2 \times 10^{-7} \text{Ln} \frac{0.704}{0.537} = 5.1644 * 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$= 5.1644 * 10^{-4} \text{ H/Km} \text{ , } \omega = 314 \text{ , } X_L = 1621.62 * 10^{-4} \text{ } \Omega/\text{Km}$$

$$X_{L_t} = 1621.62 \text{ } \Omega/\text{Km} * 100\text{Km} = 16.2 \text{ } \Omega \text{ چون طول خط } 100\text{Km} \text{ است پس}$$

تمرین 4- یک خط انتقال بار 80 MW را با ضریب قدرت 0.8Lag به فاصله‌ی 100Km با

ولتاژ 132 Km و مقاومت هر هادی $0.2 \text{ } \Omega/\text{Km}$ و هادی 7 رشته و قطر خارجی 1.5cm

است. مطلوب است ولتاژ جریان و ضریب قدرت در ابتدای خط.
www.spowpowerplant.blogfa.com همه چیز درباره نیروگاه

تمرین 5: یک خط سه فاز به قدرت 6MW با ولتاژ انتهای خط 11Kv و به طول 10Km

کشیده شده است. تلفات اکتیو خط، 10% قدرت انتهای خط می باشد و ضریب قدرت

مصرف کننده 0.8 Lag و فرکانس شبکه 50 Hz، فاصله ی هادی ها از هم 5.1 m و هادی ها

از رشته های مسی به مقاومت $14 \Omega \text{mm}^2 / \text{Km}$ ساخته شده اند. مطلوب است محاسبه ی:

الف) مقاومت اسمی خط؟

ب) شعاع هادی ها؟ $p = 6 \text{MW}$ ، فاصله هادی ها از هم $= 1.5 \text{m}$

پ) راکتانس خط؟ $U_R = 11 \text{kv}$ ، مقاومت مخصوص $= 14 \Omega \text{mm}^2 / \text{Km}$

ت) تلفات راکتیو خط؟

ث) ولتاژ ابتدای خط؟ $\Delta P = \% 10 p_R$ ، طول خط $= 10 \text{ Km}$

$P_{FR} = 0.8 \log$ ، $F = 50 \text{ cps}$

$$P = \sqrt{3} UI \cos\phi \Rightarrow I = \frac{6 * 10^6}{\sqrt{3} * 11 * 10^3 * 0.8} \Rightarrow I = 393 \text{ A}$$

$$\Delta P = 3RI^2 = \%10 * 6 = 3 * R * (393)A \Rightarrow R = 1.29\Omega$$

$$R = \rho \frac{L}{A} \Rightarrow 1.29 = 14 * \frac{10}{5} \Rightarrow S = 109 \text{ mm}^2 \quad \text{سطح مقطع هادی}$$

چون سطح مقطع هر رشته گفته نشده است پس مقدار آن را 1 mm^2 در نظر می گیریم.

$$\text{تعداد رشته‌ها} = \frac{S_{\text{کل}}}{S_{\text{یک رشته}}} = \frac{109}{1} = 109 \text{ رشته}$$

$$S = \pi r^2 \Rightarrow 109 = \pi r^2 \Rightarrow r = 5.89 \text{ mm} \quad \text{شعاع هادی}$$

چون فاصله 1.5 m داده شده است و هر سه فاز با هم 1.5 m را دارد پس آرایش فازها به صورت

مثلث می باشد .

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_m}{D_s} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{1.5 * 1000}{0.775 * 5.89}$$

$$\Rightarrow L = 1.159 * 10^{-6} \text{ h/m}$$

$$X_L = \omega l = 314 * 1.159 * 10^{-3} = 364 \ \Omega/\text{km}$$

$$, L = 1.159 * 10^{-3} = \text{h/km} = X_L * 10\text{km} = 3.64\Omega$$

$$\Delta Q = 3 X_L I^2 = 3 * 3.64 * (393)^2 = 1.6865 \text{ MVAR} \quad \text{تلفات راکتیو خط در هر فاز}$$

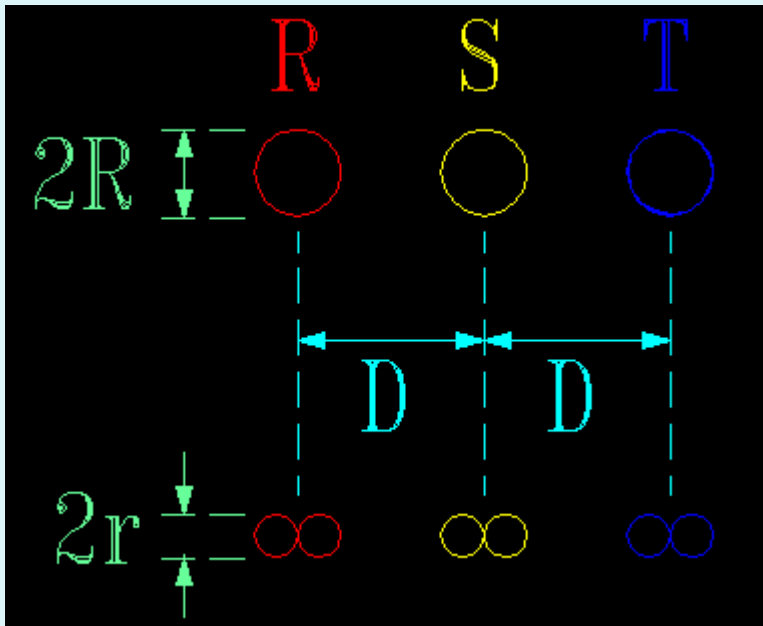
تمرین 6: یک خط سه فاز 12.5MVA با ضریب قدرت 0.8 پس فاز در فاصله 100 km بار

را تغذیه می کند. اگر ولتاژ انتهای خط 90kw و مقاومت هادی ها $0.3 \ \Omega/\text{km}$ و فاصله ی

مساوی آن ها از هم 3m باشد و هادی ها از رشته های مسی به مقاومت $14 \ \Omega\text{mm}^2/\text{Km}$ ساخته

شده باشند، مطلوب است تجزیه و تحلیل خط؟
 همه چیز درباره www.spowpowerplant.blogspot.com نیروگاه

تمرین 7: در یک خط انتقال با آرایش شکل زیر هر فاز با یک باندا دو تایی جایگزین می شود .
 تغییرات راکتانس سلفی - تغییرات راکتانس فازی، توان اکتیو و توان راکتیو را بررسی کنید.
 (جواب: توان اکتیو باندا شده $5/38$ درصد افزوده می شود و 28% راکتانس بیشتری نسبت به حالت باندا خواهیم داشت).



$$\frac{D}{R} = 300, \frac{D}{d} = 8.6$$

$$S_1 = \pi R^2 \Rightarrow 2 S_2 = S_1$$

$$S_2 = \pi r^2 \Rightarrow \pi R^2 = \pi r^2 \Rightarrow r = \frac{R}{\sqrt{2}}$$

$$L_1 = 2 \times 10^{-7} \text{Ln} \frac{D_m}{D_s} = 2 \times 10^{-7} \text{Ln} \frac{D\sqrt{2}}{0.7788R}$$

$$\text{حالت دوم: } L_2 = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_m}{D_s}, D_s = \sqrt{r' \cdot d} = \sqrt{r * 0.7788 * d}$$

$$L_2 = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D^3 \sqrt{2}}{0.7788 * d}$$

$$\Rightarrow L_1 = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{R300^3 \sqrt{2}}{0.7788R} = 1.2369 * 10^{-6} \text{ (H/m)}$$

$$L_2 = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{R300^3 \sqrt{2}}{\sqrt{\frac{R}{\sqrt{2}} 0.7788 \frac{R300}{8.6}}}$$

$$= 2 \times 10^{-7} \ln \frac{R300^3 \sqrt{2}}{R6.198} = 0.8914 * 10^{-4} \text{ (H/m)}$$

$$F = 50 \Rightarrow \omega = 314 = X_{L_1} = L_1 \omega = 0.388 \Omega/\text{km}, \quad X_{L_2} = 0.28 \Omega/\text{km}$$

$$\text{تغییرات} = \frac{0.388 - 0.28}{0.388} * 100 = \%28$$

راکتانس نسبت به حالت دوم 28% کاهش یافته است .

$$P = \frac{|V_1||V_2|}{X} \sin \delta \Rightarrow \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

$$\text{تغییرات توان اکتیو} = \frac{\frac{1}{X_1} - \frac{1}{X_2}}{\frac{1}{X_1}} * 100 = \frac{\frac{1}{0.388} - \frac{1}{0.28}}{\frac{1}{0.388}} * 100 = 38.5\%$$

$$P_1 \propto \frac{1}{X_1}, \quad P_2 \propto \frac{1}{X_2}$$

مقاومت خطوط انتقال انرژی :

مقاومت مؤثر ac این چنین تعریف می شود . که I مؤثر هادی بر حسب آمپر می باشد .

$$R_{ac}^{[\Omega]} = \frac{\text{متوسط تلفات در هادی (W)}^{[W]}}{I^2[A]}$$

همچنین مقاومت dc یک هادی گرد و تو پر در دمای مشخص برابر است با:

$$R_{dc}^{[\Omega]} = \rho \frac{l[m]}{A[m^2]}$$

- مقاومت هادی با سه عامل تغییر می کند : 1- فرکانس 2- تاباندن 3- دما

مقاومت مؤثر ac هنگامی با مقاومت اهمی dc برابر است که توزیع جریان در سطح مقطع هادی یکسان باشد.

هنگامیکه جریان ac از یک هادی عبور می کند . توزیع جریان در سطح مقطع هادی یکسان نبوده و چگالی جریان در سطح هادی بیشترین مقدار را دارد این اثر موجب می شود تا مقاومت ac کمی بیشتر از مقاومت dc گردد. این رفتار به اثر پوستی (skineffect) موسوم است . در فرکانس 60Hz، مقاومت ac تقریباً 2% بیشتر از مقاومت dc می باشد . از آنجا که هادی رشته ای تابانده شده است ، بنابراین طول واقعی هر رشته بیشتر از طول هادی است . از اینرو مقاومت هادی کمی

بیشتر از مقاومت از رابطه ی R_{ac} بالا می باشد .
$$R_t = R(1 + \alpha_0 t)$$

با افزایش درجه حرارت مقاومت نیز افزایش پیدا می کند .

ضریب حرارتی هادی در صفر درجه ی سانتیگراد $\alpha_0 =$

مقاومت در صفر درجه‌ی سانتیگراد $R =$

یا معلوم بودن مقاومت در درجه حرارت $(R_1)t_1$ می‌توان در درجه حرارت $(R_2)t_2$ را

حساب کرد.

$$\frac{R_{t_1}}{R_{t_2}} = \frac{1 + \alpha_0 t_1}{1 + \alpha_0 t_2}$$

- لازم به توضیح است که در فرکانس‌های بالا اثر پوستی به خوبی مشهود می‌باشد. به خاطر اثر

پوستی مقاومت ac از مقاومت dc بیشتر می‌باشد و لذا در خطوط انتقال انرژی AC تلفات توان

(در اثر مقاومت) بیشتر خواهد بود.

فصل دوّم

بررسی کاپاسیتانس خطوط انتقال انرژی

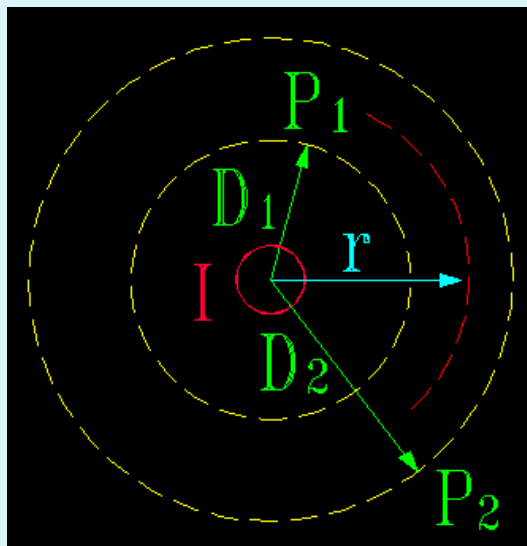
-هادی‌های خط انتقال به دلیل وجود اختلاف پتانسیل بین آن‌ها (میدان الکتریکی) نسبت به

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

یکدیگر ظرفیت خازنی دارند.

یک هادی بلند با شعاع r در هر متر طول دارای بار q کولن است در نظر بگیرید بار روی هادی

موجب تولید میدان الکتریکی با خطوط شار شعاعی (خطوط هم پتانسیل) در اطراف آن می‌گردد.



با استفاده از قانون گاوس چگالی شار الکتریکی در یک استوانه‌ای به

شعاع X برای یک متر طول از هادی برابر است با:

$$D = \frac{q}{A} = \frac{q}{2\pi r(1)} = \frac{q}{2\pi r}$$

چگالی بار الکتریکی

$$E = \frac{D}{\epsilon_0}, \quad \epsilon_0 = 8.85 * 10^{-12} F/m$$

ضریب نفوذپذیری الکتریکی هوای آزاد www.spcwppowerplant.blogfa.com شدت میدان الکتریکی

نیروگاه
تیزاب

$\epsilon_r = 1$ ضریب نفوذ الکتریکی نسبی هوا $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ ضریب نفوذ مطلق ماده ،

$\Rightarrow E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 r}$ \Rightarrow اختلاف پتانسیل بین استوانه ها از نقطه D_1 تا D_2 به صورت کار انجام شده بر اثر حرکت دادن یک بار واحد یک کولنی از نقطه D_2 به نقطه D_1 و از میان میدان الکتریکی تولید شده بر روی هادی تعریف می شود و این چنین

$$V_{12} = \int_{D_1}^{D_2} E dr = \int_{D_1}^{D_2} \frac{q}{2\pi\epsilon_0 r} dr = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \int_{D_1}^{D_2} \frac{dr}{r} \quad \text{داریم.}$$

$$= \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \ln r \Big|_{D_1}^{D_2} \Rightarrow V_{12} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D_2}{D_1}$$

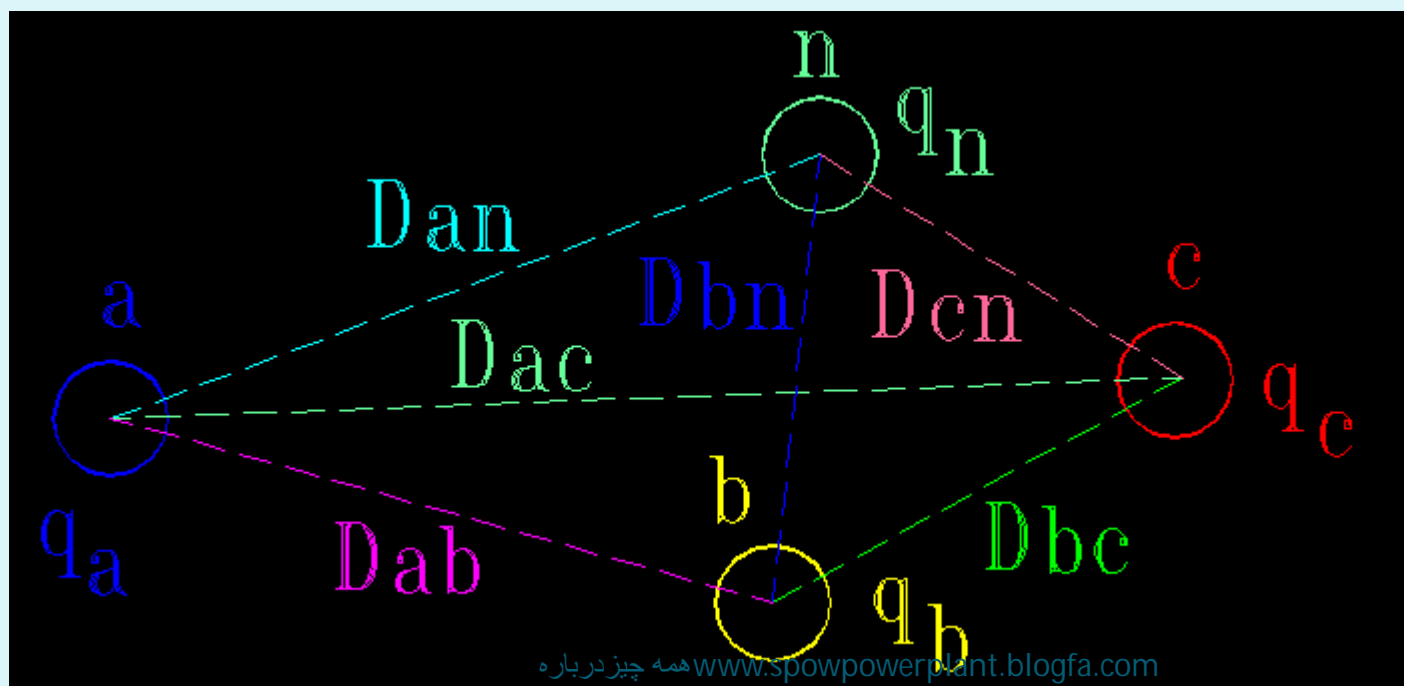
- نماد V_{12} نشان می دهد که افت ولتاژ از نقطه 1 به 2 است . یعنی نقطه 1 نسبت به نقطه 2

مثبت می باشد . بار q علامت خود را خواهد داشت . این رابطه ، رابطه کلیدی محاسبه ی

کاپاسیتانس برای یک هادی در دو نقطه بیرون از هادی است www.powerplant.blogfa.com همه چیز درباره نیروگاه

اختلاف پتانسیل بین دو هادی در میان هادی‌های گوناگون (آرایش هادی‌های متعدد):

اگر n هادی موازی باردار نشان داده شده را داشته باشیم و با فرض زیاد بودن فاصله‌ی هادی‌ها از زمین و همچنین فاصله‌ی هادی‌ها از هم، نسبتاً زیاد است. یعنی شعاع هادی‌ها نسبت به فواصل بین هادی‌ها کوچک است (مثل خطوط انتقال انرژی)



همچنین با فرض یکنواخت بودن توزیع بار بر روی هر هادی و با احتساب شده $q_1 + q_2 + q_n = 0$ و همچنین اثر غیر یکنواختی ناچیز و قابل صرف نظر باشد خواهیم داشت.

اختلاف پتانسیل بین هادی‌های A و B به واسطه‌ی حضور تمامی بارها با استفاده اصل جمع آثار:

$$V_{ab} \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_{k=1}^n q_k \ln \frac{D_{kb}}{D_{ka}} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[q_a \ln \frac{D_{ab}}{D_{aa}} + q_b \ln \frac{D_{bb}}{D_{ba}} + q_c \ln \frac{D_{cb}}{D_{ca}} \right]$$

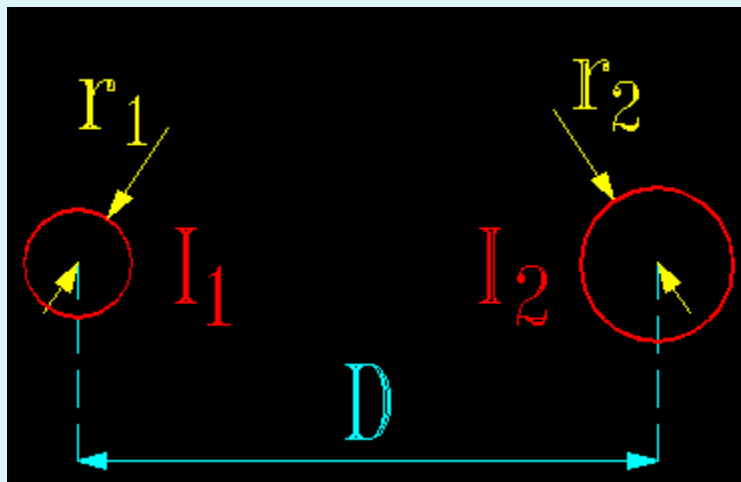
- اگر a و b با هم برابر باشند این فاصله بین مرکز تا سطح هادی می‌باشد یا به عبارت دیگر شعاع هادی r مورد نظر می‌باشد .

- اگر بار به صورت سینوسی تغییر کند و همچنین ولتاژ هم به صورت سینوسی باشد (خطوط انتقال انرژی ac) در این صورت رابطه‌ی | هنوز کاربرد داشته مشروط بر آن که با بار (کولمب در هر متر) و ولتاژ به صورت فازور (Phasor) برخورد شود.

لذا همین رابطه برای مقادیر لحظه‌ای و همچنین مقادیر سینوسی که بارها و ولتاژها به صورت فازور می‌باشند معتبر خواهد بود.

محاسبه‌ی کاپاسیتانس (ظرفیت خازنی) سیستم تک‌فاز:

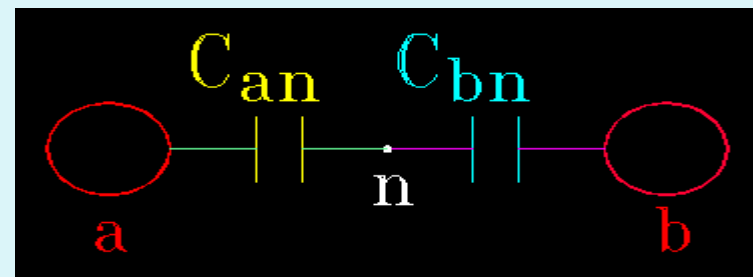
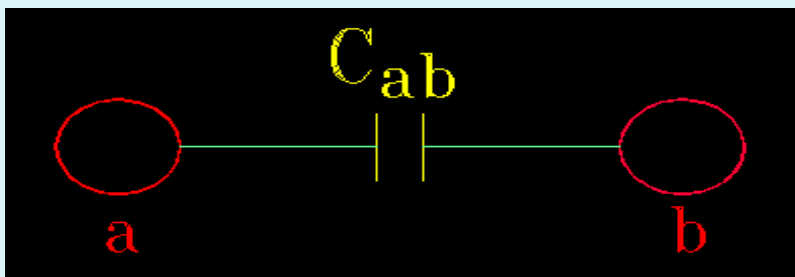
اگر سیستم تک‌فاز دو سیمه مطابق شکل روبرو را در نظر بگیرید که توسط منبع ac تغذیه می‌گیرد. در سیستم بر روی سیم‌ها بارهای متضاد سینوسی قرار می‌گیرد. q_a, q_b که $q_a = -q_b$ است با در نظر گرفتن فرض بی‌اثر بودن اثر زمین و همچنین بزرگ فرض شود و فاصله هادی‌ها از زمین بسیار زیاد است.



$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left(q_a \ln \frac{D_{ab}}{D_{aa}} + q_b \ln \frac{D_{bb}}{D_{ba}} \right) = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left(q_a \ln \frac{D}{r_a} + q_a \ln \frac{D}{r_b} \right)$$

$$\Rightarrow V_{ab} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D^2}{r_a r_b} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0} \ln \left(\frac{D}{\sqrt{r_a r_b}} \right)^2, \quad CV = Q$$

$$\Rightarrow C_{ab} \frac{q_a}{V_{ab}} = \frac{q_a}{\frac{q}{2\pi\epsilon_0} \ln \left(\frac{D}{\sqrt{r_a r_b}} \right)^2} = \frac{\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D}{\sqrt{r_a r_b}}} \Rightarrow C_{ab} = \frac{\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D}{\sqrt{r_a r_b}}} [F/m]$$



$$C_{an} = C_{bn} = 2 C_{ab} = C_n$$

$$C_n = C_{an} = C_{bn} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\text{Ln} \frac{D}{\sqrt{r_a r_b}}} [F/m], \Rightarrow r_a = r_b$$

$$\Rightarrow C_{an} = C_{bn} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\text{Ln} \frac{D}{r}} [F/m]$$

$$\text{Ln} = 2.3 \text{Log} \Rightarrow \epsilon_0 = 8.85 * 10^{-12}, \pi = 3.1415$$

$$\Rightarrow C_{an} = \frac{2 * \pi * 8.85 * 10^{-12}}{2.3 \text{Log} \frac{D}{r}} * 10^6 * 10^3$$

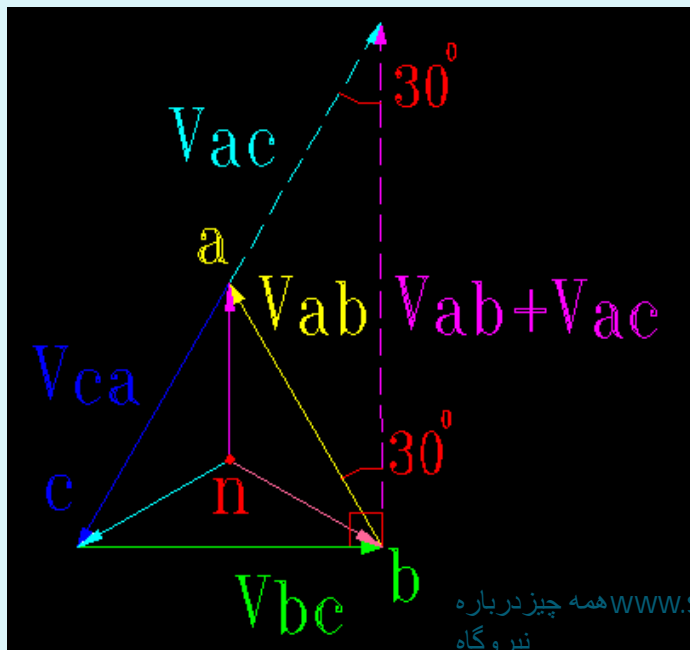
$$\Rightarrow C_{an} = \frac{0.0242}{\text{Log} \frac{D}{r}} [Mf/Km]$$

فرقی نمی کند اگر C_{an} به دست آمده در 2.3 ضرب شود فرمول به صورت Ln تبدیل می شود.

$$I_c = j\omega C_{ab} V_{ab} \text{ A/Km}$$

توجه کنید که رابطه‌ی به دست آمده در فرض توزیع بار در سطح هادی به صورت یکنواخت است ولی این فرضیه کاملاً صحیح نمی‌باشد ولی با یک تقریب خوبی قابل قبول است که همچنین در این رابطه سیم‌ها استوانه‌ای هستند (مقطع دایره‌ای شکل) اما در عمل سیم‌ها رشته‌ای (طنابی) هستند، اما باز هم خطای محاسبات ناچیز است.

کاپاسیتانس خطوط انتقال انرژی سه فاز با فواصل مساوی فازها از هم :



$$q_a + q_b + q_c = 0$$

$$V_a + V_b + V_c = 0$$

$$V_{ab} + V_{ac} = 2\sqrt{3} \cos(30) V_{an}$$

$$V_{ab} + V_{ac} = 3 V_{an} \quad , \quad r_a = r_b = r_c = r$$

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left(q_a \text{Ln} \frac{D_{ab}}{D_{aa}} + q_b \text{Ln} \frac{D_{bb}}{D_{ba}} + q_c \text{Ln} \frac{D_{cb}}{D_{ca}} \right)$$

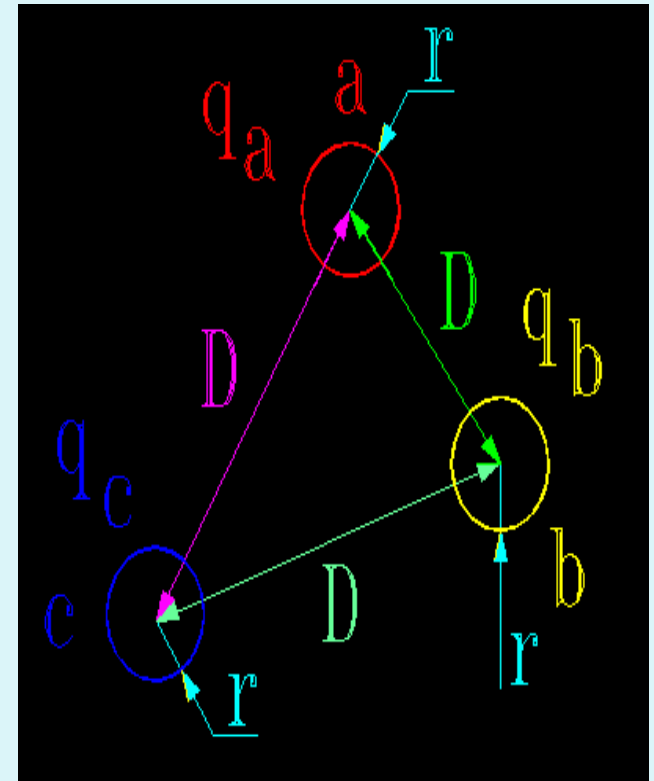
$$= \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left(q_a \text{Ln} \frac{D}{r} + q_b \text{Ln} \frac{r}{D} \right)$$

$$V_{ac} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left(q_a \text{Ln} \frac{D_{ac}}{D_{aa}} + q_b \text{Ln} \frac{D_{bc}}{D_{ba}} + q_c \text{Ln} \frac{D_{cc}}{D_{ca}} \right)$$

$$= \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left(q_a \text{Ln} \frac{D}{r} + q_c \text{Ln} \frac{r}{D} \right)$$

$$3V_{an} = V_{ab} + V_{ac} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left(2q_a \text{Ln} \frac{D}{r} + q_b \text{Ln} \frac{r}{D} + q_c \text{Ln} \frac{r}{D} \right)$$

$$= \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[2q_a \text{Ln} \frac{D}{r} + q_a \text{Ln} \frac{D}{r} \right] = \frac{3q_a}{2\pi\epsilon_0} \text{Ln} \frac{D}{r} \Rightarrow V_{an} = \frac{q_a \text{Ln} \frac{D}{r}}{2\pi\epsilon_0} [v/m]$$

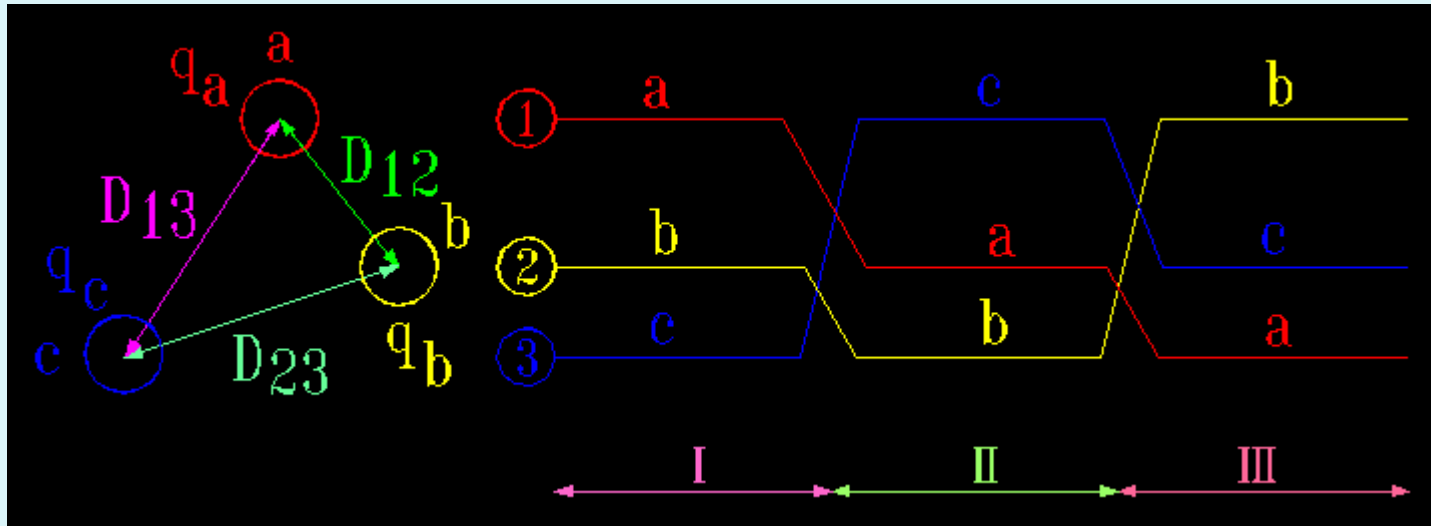


$$C_{an} = \frac{q_a}{V_{an}} = \frac{q_a}{\frac{q_a \ln \frac{D}{r}}{2\pi\epsilon_0}} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{r}{D}} \Rightarrow C_{an} = \frac{0.0242}{\log D/r} [\mu f / Km]$$

$$I_a = \frac{V_{an}}{-jX_c} = \frac{V_{an}}{-j \frac{1}{\omega C_n}} = j\omega C_n V_{an}$$

- توجه کنید که فرمول به دست آمده برای ظرفیت خط سه فاز با فاصله هادی‌های مساوی یا فرمول ظرفیت در سیستم تک فاز یکی می‌باشد .

کاپاسیتانس خط انتقال انرژی سه فاز در سیستم ترانسپوز شده :



در حالتی که فاصله‌ی فازها نابرابرند یک متر از خط سه فاز بلند را که دارای سه هادی است ، داریم . شعاع هر یک از هادی‌ها r و فاصله‌ی آنها مطابق شکل می باشد ، داریم:

$$q_a + q_b + q_c = 0$$

با جمع ولتاژ در هر سه زون و تقسیم بر سه آن‌ها در دو مرحله برای دو ولتاژ، ولتاژ با زمین به دست آمده و با توجه به رابطه‌ی $C = \frac{q}{v}$ ظرفیت نسبت به زمین به دست می‌آید.

$$(I) \quad V_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left(q_a \text{Ln} \frac{D_{ab}}{D_{aa}} + q_b \text{Ln} \frac{D_{bb}}{D_{ba}} + q_c \text{Ln} \frac{D_{cb}}{D_{ca}} \right)$$

$$= \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left(q_a \text{Ln} \frac{D_{12}}{r} + q_b \text{Ln} \frac{r}{D_{21}} + q_c \text{Ln} \frac{D_{23}}{D_{31}} \right)$$

$$(II) \quad V_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left(q_a \text{Ln} \frac{D_{23}}{r} + q_b \text{Ln} \frac{r}{D_{23}} + q_c \text{Ln} \frac{D_{31}}{D_{12}} \right)$$

$$(III) \quad V_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left(q_a \text{Ln} \frac{D_{13}}{r} + q_b \text{Ln} \frac{r}{D_{13}} + q_c \text{Ln} \frac{D_{12}}{D_{23}} \right)$$

$$V_{ab} = \frac{(V_{ab} + V_{ab} + V_{ab})}{3} = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} \left[q_a \text{Ln} \left(\frac{\sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{13}}}{r} \right)^3 + q_b \text{Ln} \left(\frac{r}{\sqrt[3]{D_{21}D_{23}D_{13}}} \right)^3 + 0 \right]$$

$$\Rightarrow V_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[q_a \text{Ln} \frac{D_{eq}}{r} + q_b \text{Ln} \frac{r}{D_{eq}} \right]$$

به همان طریق به دست آوردن V_{ab} و V_{ac} را نیز به دست آوریم که عبارت است از:

$$\Rightarrow V_{ac} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[q_a \text{Ln} \frac{D_{eq}}{r} + q_c \text{Ln} \frac{r}{D_{eq}} \right], V_{an} = (V_{ab} + V_{ac})/3$$

$$3V_{an} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[2q_a \text{Ln} \frac{D_{eq}}{r} + q_b \text{Ln} \frac{r}{D_{eq}} + q_c \text{Ln} \frac{r}{D_{eq}} \right], q_b + q_c = -q_a$$

$$V_{an} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} q_a \text{Ln} \frac{D_{eq}}{r} \Rightarrow C_{an} = \frac{q_a}{V_{an}} = \frac{q_a}{\frac{1q_a}{2\pi\epsilon_0} \text{Ln} \frac{D_{eq}}{r}} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\text{Ln} \frac{D_{eq}}{r}}$$

$$C_{an} = \frac{0.0556}{\ln \frac{D_{eq}}{r}} [\mu f / Km / phase] , C_{an} = \frac{0.0242}{\text{Log} \frac{D_{eq}}{r}} [\mu f / Km / phase]$$

$$I_a = \frac{V_{an}}{-jX_{c_n}} = \frac{V_{an}}{-j(1/\omega c_n)} = j\omega c_n V_{an}$$

اثر گروه بندی یا بانندل کردن:

در این مورد به جای r از معادل آن یعنی r^b استفاده می شود که برابر است با:
 گروه بندی موجب تبدیل شعاع r به r^b است، اگر d فاصله گذاری میان هادی های
 فرعی یک گروه باشد، شعاع معادل چنین حساب می شود:

$$r^b = \sqrt{r * d} \quad (1) \text{ بانندل دوتایی:}$$

$$r^b = \sqrt[3]{r * d^2} \quad (2) \text{ بانندل سه تایی:}$$

$$r^b = 1.09 \sqrt[4]{r * d^3} \quad (3) \text{ بانندل چهار تایی:}$$

- تأثیر خطوط دو مداره ترانسپوز شده در کاپاسیتانس سیستم سه فاز:

برای این مورد هم در رابطه‌ی روبرو به جای r از R استفاده می‌شود که داریم:

$$C_{an} = \frac{0.0556}{\ln \frac{D_{eq}}{R}}$$

$$3 = \sqrt[3]{r_A r_B r_C}$$

$$r_A = \sqrt{rd_{11'}}, \quad r_B = \sqrt{rd_{22'}}, \quad r_C = \sqrt{rd_{33'}}$$

www.spowpowerplant.blogfa.com
چیز در باره
نیروگاه

سیستم سه فاز با باندل و دو مداره و تأثیر آن بر کاپاسیتانس :

در این حالت چنین می شود :

$$r_A = \sqrt{r^b d_{11}'}, \quad r_B = \sqrt{r^b d_{22}'}, \quad r_C = \sqrt{r^b d_{33}'}$$

$$R = \sqrt[3]{r_A r_B r_C}, \quad C_{an} = \frac{0.0556}{\text{Ln} \frac{D_{eq}}{R}}$$

فصل سوّم

مدل‌های الکتریکی خطوط انتقال انرژی و محاسبات مربوطه

مقدمه

معمولا بار خطوط انتقال سه فاز متعادل بوده و برای تحلیل اینگونه خطوط کافی است از مدار معادل تک فاز استفاده شود. جهت بررسی و تحلیل مدارهای معادل از تئوری مدارهای 4 قطبی کمک می گیریم و همان طور که می دانیم ولتاژ و جریان در ابتدا و انتهای شبکه 4 قطبی از رابطه‌ی زیر

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

حاصل می شود.

و می دانیم همواره:

$$AD-BC=1$$

*از این به بعد کمیت‌هایی که با اندیس S نشان داده می شوند مربوط به مقادیر ابتدای خط بوده و کمیت‌های با اندیس R مبین مقادیر انتهای خط می باشد.

* جهت بررسی خطوط انتقال انرژی آنها را از نظر طول تقسیم بندی می کنند:

1 - خطوط انتقال انرژی کوتاه (short line) که تا 80km (50mile)

2 - خطوط انتقال انرژی متوسط (Medium Line) از 80km تا 240km یا 50mile تا 150mile

3 - خطوط انتقال انرژی بلند (Long Line) از 240km به بالا یا از 150mile به بالا

لازم به ذکر است که بعضا خطوط کوتاه را تا 100km و خطوط متوسط را از 100 تا 300 کیلومتر و خطوط بلند را بیشتر از 300km هم نظر می گیرند که در این صورت حتما باید نوع خط مشخص شود مثلا اگر بگویید 90km ما آن را جزو خطوط متوسط در نظر می گیریم ولی اگر بگویند 90km کوتاه ما آن را برای خطوط کوتاه در نظر می گیریم (1mile=1.6km) برای تحلیل و بررسی هر یک از این خطوط باید ضرایب ABCD فوق الذکر شوند.

ضرایب ABCD به پارامترهای خطوط از قبیل اندوکتانس، کاپاسیتانس، مقاومت و کندوکتانس بستگی

دارد. در این فصل از کندوکتانس ناچیز خطوط ناشی از نشست مقره‌ها چشم‌پوشی می‌کنیم.

امپدانس سری هر فاز (واحد طول) $Z=$

کل امپدانس سری در هر فاز $Z=ZI$

ادمیتانس موازی هر فاز (واحد طول) $Y=$

کل ادمیتانس موازی در هر فاز $Y=yI$

طول خط انتقال انرژی $l=$

اندیس مبین کمیت‌های ابتدای خط (سر خط) $S=$

اندیس مبین کمیت‌های انتهای خط (ته خط) $R=$

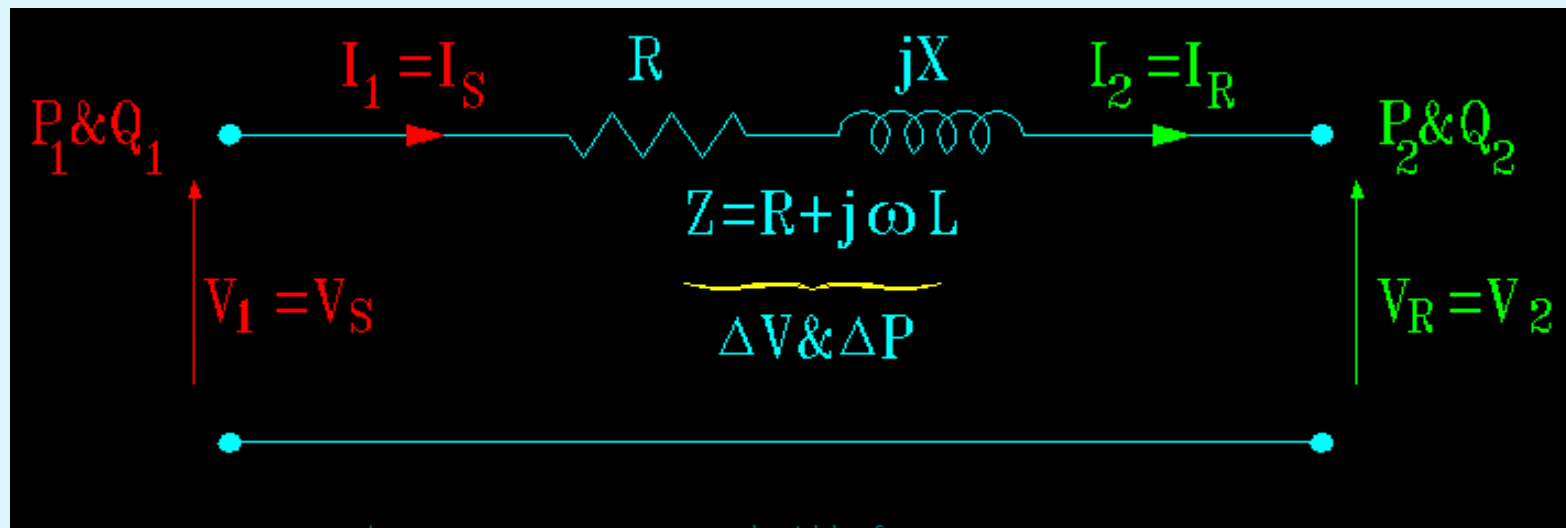
اندوکتانس واحد طول $L=$

خطوط انتقال انرژی کوتاه:

اگر طول خط کمتر از 80km (50mile) باشد یا ولتاژ بیشتر از 69Kv نباشد، اغلب می توان از طریق ظرفیت خازنی خط (ادمیتانس موازی (Y_p)) در فرکانس 50Hz بدون ایجاد خطای زیاد چشم پوشی کرد. امیدانس سری در مدل خط کوتاه از حاصل ضرب طول خط و امیدانس سری در

واحد طول به دست می آید.

$$Z = (r + j\omega l)l = R + jX$$



مدل خط کوتاه را مشاهده می کنید برای این مدل می توان روابط و نمودار فازور را رسم کرد:

$$I_1 = I_2 = I_3$$

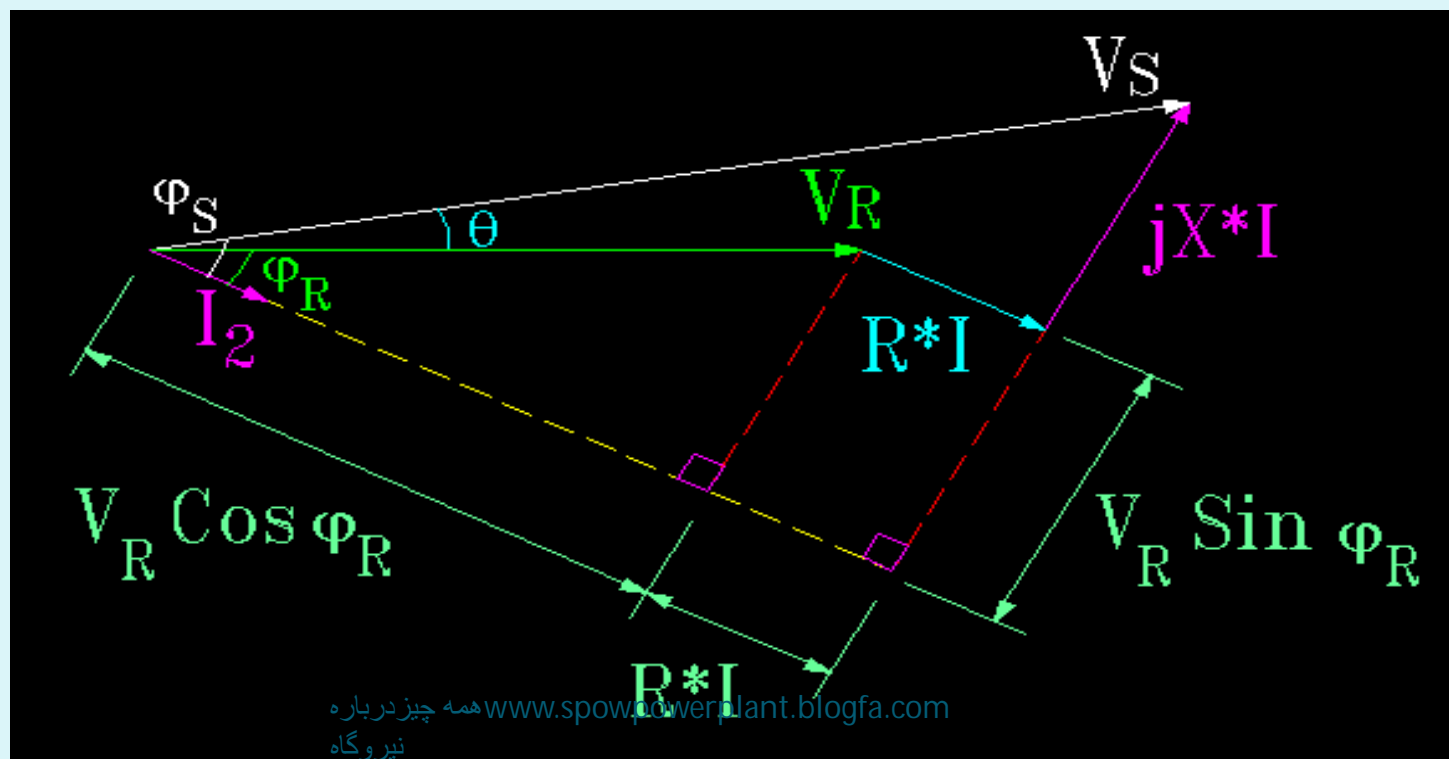
$$V_1 = V_2 + \Delta V = V_2(R + jX)I = V_2 + RI + jXI$$

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \varphi_1$$

$$Q_2 = V_2 I_2 \sin \varphi_1$$

$$Q_1 = V_1 I_1 \sin \varphi_1$$

$$P_2 = V_2 I_2 \cos \varphi_2$$



$$|V_s| = [((|V_R| \cos\phi_R)(RI))^2 + ((|V_R| \sin\phi_R)(IX))^2]^{1/2}$$

$$P_R = V_R I_R \cos\phi_R \Rightarrow V_R \cos\phi_R = \frac{P_R}{I_R}, V_R \sin\phi_R = \frac{Q_R}{I_R}, |V_s| = V_1$$

$$\rightarrow V_1 = \left[\left(\frac{P_2}{I_2} + RI_2 \right)^2 + \left(\frac{Q_2}{I_2} + XI_2 \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$V_1 = V_2 + \frac{RP_2 + XQ_2}{V_2} + j \frac{(XP_2 - RI_2)}{V_2} \Rightarrow \Delta V = V_p + V_q$$

بعد از خلاصه کردن خواهیم داشت:

اگر مقاومت اهمی خط را خیلی کوچکتر از راکتانس خط در نظر بگیریم ($R \ll X$)، می توان نوشت:

$$\Delta V = \frac{RP_2 + XQ_2}{V_2} \approx \frac{XQ_2}{V_2} \Rightarrow \Delta V = \frac{XQ_2}{V_2} \Rightarrow \Delta V \propto Q_2$$

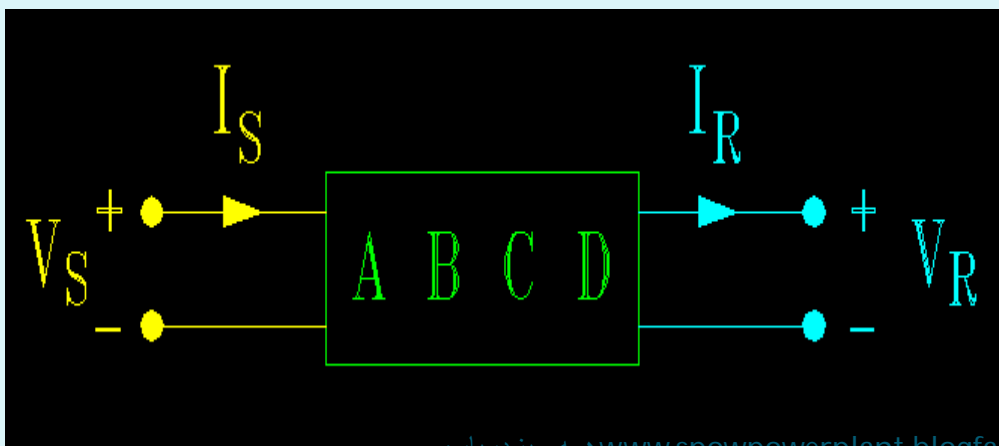
کنترل ولتاژ در سیستم‌های قدرت تابع قدرت راکتیو (Q) است و کنترل فرکانس تابع توان اکتیو (P) است.

$$\Delta P = 3RI^2 \quad \Delta Q = 3XI^2 \text{ سه فاز}$$

همان طوری که قبلا هم اشاره شد، خط انتقال ممکن است با یک شبکه‌ی دو قطبی مطابق شکل زیر نشان

داده شود و روابط بالا را می‌توان بر حسب ثابت‌های عمومی مدار (*Generalized Constants*) که

معمولا ثابت‌های *ABCD* نامیده می‌شوند، بدست آورد.



$$V_S = AV_R + BI_R$$

$$I_S = CV_R + DI_R$$

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

و یا به صورت ماتریسی خواهیم نوشت:

که برای مدل خط کوتاه خواهیم داشت:

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} A = 1 & B = Z \\ C = 0 & D = 1 \end{matrix}$$

$$\text{درصد تنظیم ولتاژ} = \frac{|V_{R0}| - |V_{RL}|}{|V_{RL}|} * 100 \quad \text{جهت تنظیم ولتاژ خطوط انتقال انرژی خواهیم داشت:}$$

$$|V_{R0}|$$

ولتاژ انتهای خط محصول حالت بی باری:

$$|V_{RL}|$$

ولتاژ انتهای خط در بار کامل تحت ضریب توان معین:

در خطوط کوتاه داریم:

$$|V_{RO}| = |V_S| \text{ و } |V_{RL}| = |V_R|$$

$$\Rightarrow \text{درصد تنظیم ولتاژ} = \frac{|V_S| - |V_R|}{|V_R|} = \frac{|I|R \cos \varphi_R - |I|X \sin \varphi_R}{|V_R|} * 100 = \frac{RP_2 + XQ_2}{|V_R|}$$

در رابطه‌ی بالا می‌توان گفت که :

1- اگر جریان نسبت به ولتاژ تأخیر داشته باشد (پس فاز) مثبت است.

2- واگر جریان نسبت به ولتاژ تقدم فاز داشته باشد (پیش فاز) منفی خواهد شد. و رابطه‌ی تنظیم ولتاژ برای

این حالت مطابق زیر حساب می‌شود:

$$\text{درصد تنظیم ولتاژ} = \frac{|I|R \cos \varphi_R - |I|X \sin \varphi_R}{|V_R|} * 100$$

هر گاه در رابطه‌ی بالا شرط زیر برقرار باشد تنظیم ولتاژ منفی خواهد بود.

$$X \sin \varphi_R > R \sin \varphi_R \quad \text{یا} \quad \tan \varphi_R > \frac{R}{X}$$

و باز با توجه به همین رابطه‌ی تنظیم ولتاژ با منفی، اگر شرط زیر برقرار باشد تنظیم ولتاژ صفر می‌شود.
یعنی:

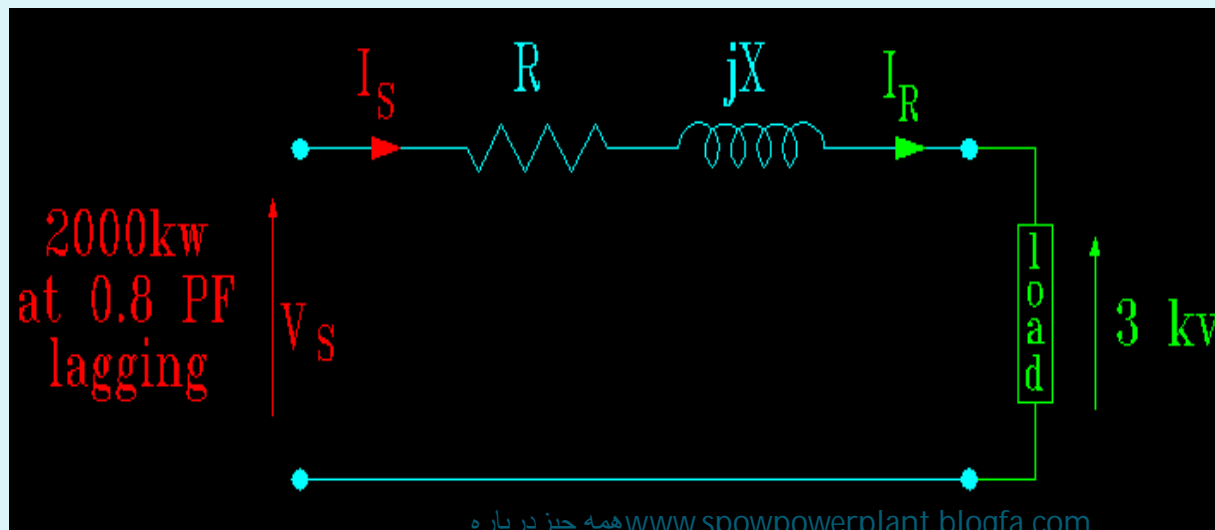
θ : زاویه‌ی امپدانس خط انتقال به شمار می‌رود.

$$\tan \varphi_R = \frac{R}{X} = \cot \theta \Rightarrow \quad \text{پیش فاز} = \varphi_R = \frac{\pi}{2} - \theta$$

پس نتیجه می گیریم که:

- 1 - تنظیم ولتاژ به ضریب توان بستگی دارد و در ضریب توان های گوناگون تغییر خواهد کرد.
- 2 - بهبود تنظیم ولتاژ (کاهش تنظیم ولتاژ) با افزایش ضریب توان در حالت (پس فاز) شروع شده در وضعیت پیش فاز به صفر می رسد.

تمرین 8: یک خط انتقال انرژی مطابق شکل زیر مفروض است (خط کوتاه) در ابتدای خط مقادیر مربوطه



به شرح زیر است:

توان: 2000Kw

ضریب توان = 0.8 پس فاز

امپدانس سری خط

$0.4 + j0.4$ اهم می باشد.

اگر ولتاژ انتهای خط 3KV باشد. مطلوب است:

1 - بار متصل شده به انتهای خط؟

2 - ضریب توان در انتهای خط؟

3 - ولتاژ ابتدای خط؟

با توجه به دو رابطه‌ی رو به رو به سهولت می‌توان دریافت که: $P_s = \Delta P_L + P_R, Q_s = \Delta Q_L + Q_R$

$$(I) \quad |V_s| |I| \cos\varphi_s = |V_R| |I| \cos\varphi_R + |I|^2 R$$

$$(II) \quad |V_s| |I| \sin\varphi_s = |V_R| |I| \sin\varphi_R + |I|^2 X$$

$$(III) \quad |V_s|^2 |I|^2 - |V_R|^2 |I|^2 + 2|V_R| |I|^2 (|I|R \cos\varphi_R + |I|X \sin\varphi_R) + |I|^4 (R^2 + X^2)$$

$$R^2 + X^2 = 0.32$$

حال اعداد مسئله را جایگزین می کنیم:

$$|V_s| |I| = \frac{2000 * 10^3}{0.8} = 2500 * 10^3$$

$$|V_s| |I| \sin\phi_s = 2500 * 10^3 * 0.6 = 1500 * 10^3$$

$$|V_s| |I| \cos\phi_s = 2500 * 10^3$$

از روابط (I) و (II) داریم:

$$|I| \cos\phi_R = \frac{2000 * 10^3 - 0.4|I|^2}{3000} \quad (IV)$$

$$|I| \sin\phi_R = \frac{1500 * 10^3 - 0.4|I|^2}{3000} \quad (V)$$

تمامی مقادیر را در رابطه‌ی (III) جایگزین می‌کنیم.

$$\begin{aligned} & (2500 * 10^3)^2 \\ &= 3000^2 |I|^2 + 2 * 3000 \\ & * |I|^2 \left[0.4 * \frac{2000 * 10^3 - 0.4|I|^2}{3000} + 0.4 \right. \\ & \left. * \frac{1500 * 10^3 - 0.4|I|^2}{3000} \right] + 0.32 |I|^4 \end{aligned}$$

با ساده کردن رابطه‌ی اخیر داریم:

$$0.32 |I|^4 - 11.8 * 10^6 |I|^2 + 6.25 * 10^{12} = 0 \quad \Rightarrow |I| = 725(A)$$

$$\cos\varphi_R = 0.82$$

با توجه به رابطه‌ی V / I و مقدار $|I|$ داریم:

لذا توان حقیقی (اکتیو) بار چنین حساب می شود:

$$P_R = |V_R| |I| \cos \varphi_R = 3000 * 725 * 0.82 = 1790 \text{ Kw}$$

می دانیم که:

$$|V_S| |I| \cos \varphi_R = 2000$$

پس:

$$|V_S| = \frac{2000}{725 * 0.8} = 3.44 \text{ Kv}$$

خطوط انتقال انرژی متوسط:

با افزایش طول خط جریان باردهی خط بیشتر شده و باید ظرفیت خازنی موازی را در نظر گرفت در این

رابطه هم Z امپدانس سری کل خط بوده و همچنین Y ادمیتانس موازی کل خط است و از رابطه‌ی زیر

$$Y = (g + j\omega c)$$

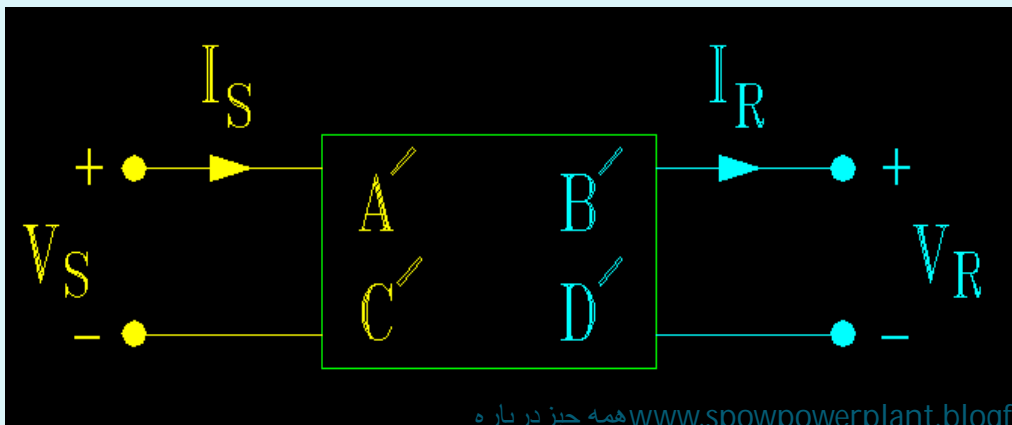
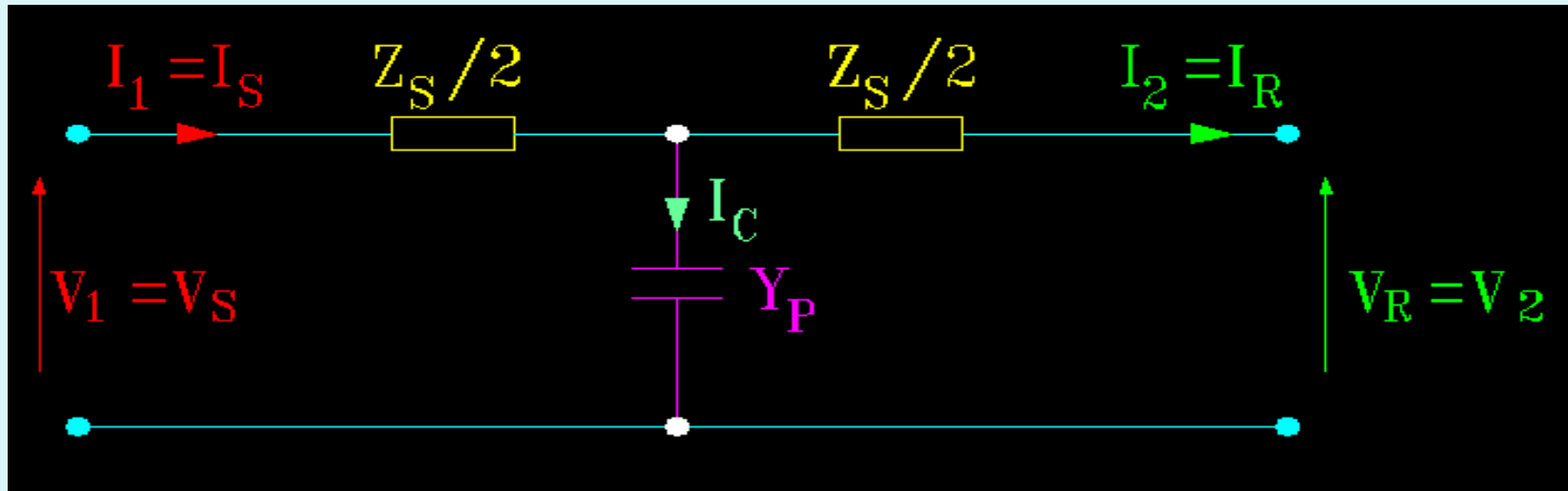
تعریف می‌شود:

در شرایط عادی رسانایی موازی در واحد طول که جریان نشتی مقره‌ها و ناشی از پدیده‌ی کرونا را نشان

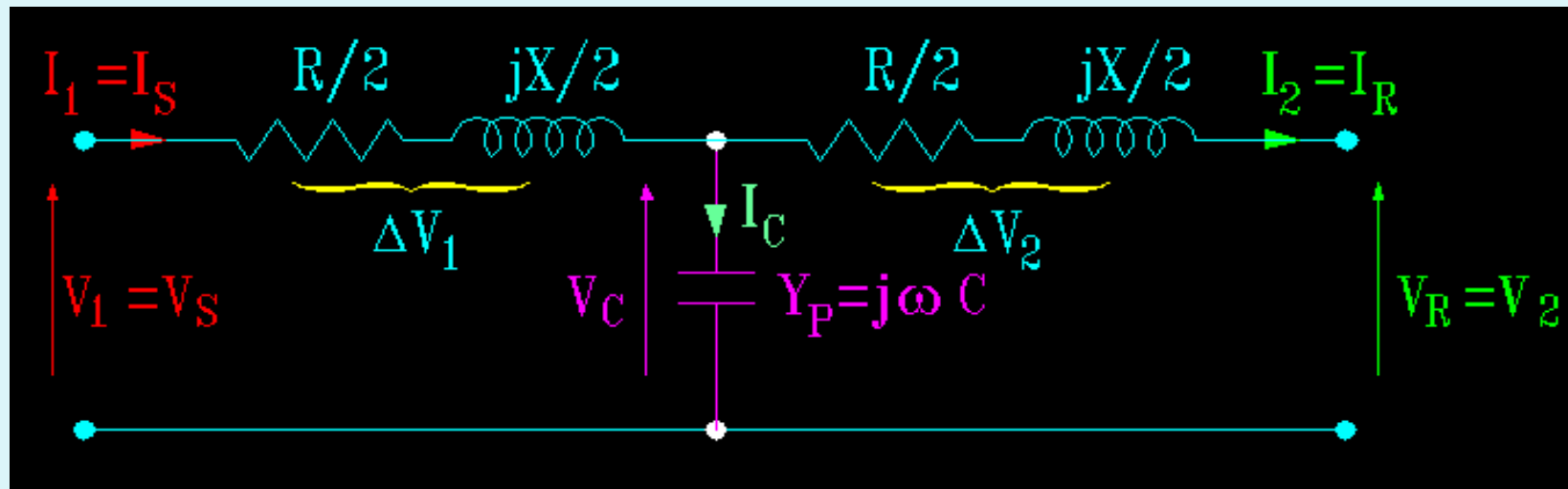
می‌دهد قابل چشم‌پوشی بوده و g برابر صفر فرض می‌شود.

در این جا C ظرفیت خازنی نسبت به خنثی در هر کیلومتر و L طول خط انتقال می‌باشد.

مدل T: شکل خط در مدل T به صورت روبرو است و خواهیم داشت:



$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$



$$\begin{cases} V_S = A'V_R + B'I_R \\ I_S = C'V_R + D'I_R \\ V_C = V_R + \frac{Z}{2}I_R \end{cases}$$

$$I_C = V_C Y = \left(V_R + \frac{Z}{2}I_R \right) j\omega C$$

$$I_C = V_R Y + \frac{ZY}{2}I_R$$

$$I_S = V_R Y + V_R + \frac{ZY}{2}I_R + I_R = V_R Y + I_R \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) \quad (1)$$

عناصر طرف اول را بر حسب عناصر طرف دوم به دست می آوریم:

$$V_s = V_c + \frac{Z}{2} I_s = V_R + \frac{Z}{2} I_R + \frac{Z}{2} \left[V_R Y + I_R \left(\frac{ZY}{2} + 1 \right) \right]$$

$$= V_R + \frac{Z}{2} I_R + V_R \frac{ZY}{2} + I_R \frac{ZY}{2} + \frac{Z^2 Y}{4} I_R$$

$$\Rightarrow V_s = V_R \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) + I_R Z \left(1 + \frac{ZY}{4} \right) \quad (II)$$

از دو رابطه ی (I) و (II) داریم:

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{ZY}{2} & Z \left(1 + \frac{ZY}{4} \right) \\ Y & 1 + \frac{ZY}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}, \begin{cases} A' = D' = 1 + \frac{ZY}{2} \text{ (بدون واحد)} \\ B' = Z \left(1 + \frac{ZY}{4} \right) \text{ (واحد اهم)} \\ C' = Y \text{ (واحد موهو)} \end{cases}$$

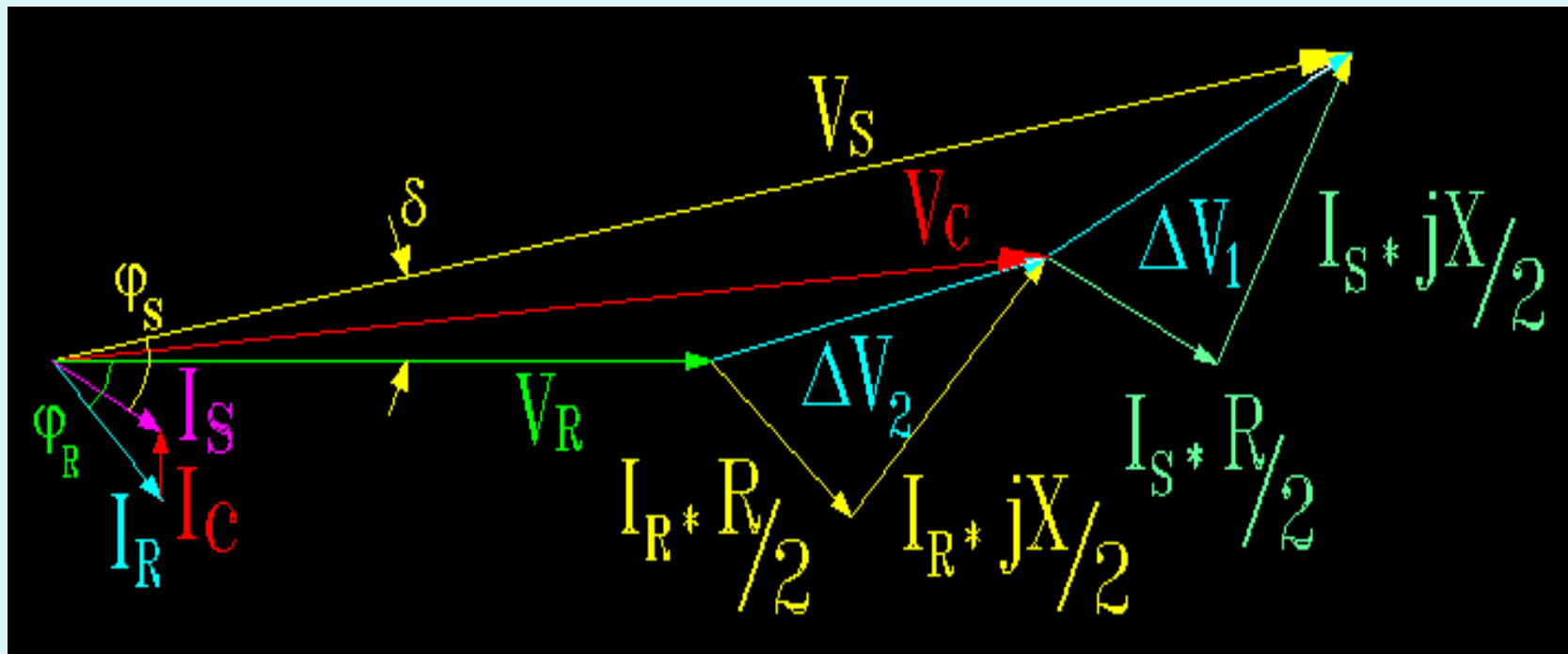
حالت خاصی از ماتریس‌ها:

$$\begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \Rightarrow A'D' - B'C' = 1$$

$$\begin{aligned} \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) - \left(ZY \left(1 + \frac{ZY}{4}\right)\right) &= \left(1 + \frac{ZY}{2}\right)^2 - ZY \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) \\ &= 1^2 + \frac{2ZY}{2} + \frac{Z^2Y^2}{4} - ZY - \frac{Z^2Y^2}{4} = 1 \end{aligned}$$

حالا می‌توان کمیت‌های انتهایی را بر حسب کمیت‌های ابتدایی نوشت یعنی:

$$D'A' - C'B' = 1, \quad \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D' & -B' \\ -C' & A' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{cases} V_R = D'V_S - B'I_S \\ I_R = -C'V_S + A'I_S \end{cases}$$

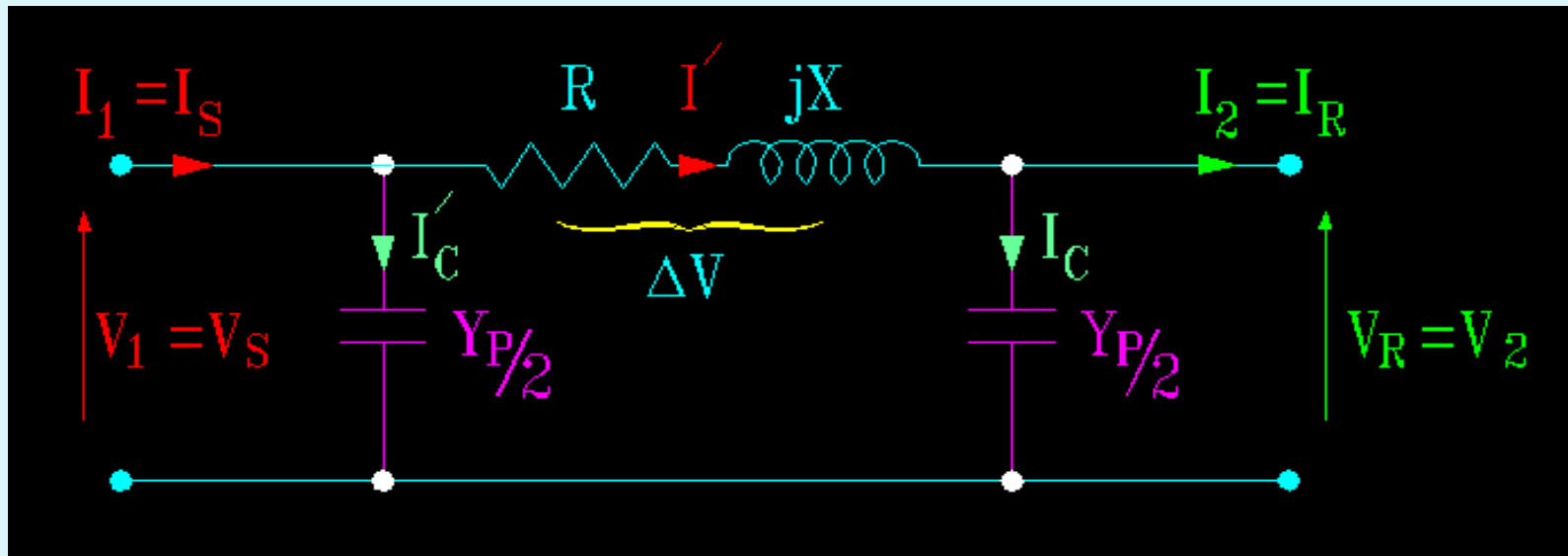


I_R برای خاصیت اندوکتیوی را در نظر می‌گیریم.

I_C جریان خازنی عمود بر ولتاژ خازن که به اندازه 90 درجه نسبت به ولتاژ یش فاز است.

کسینوس زاویه بین V_S و I_S ضریب قدرت اولیه می‌باشد و $I_S = I_C + I_R$

مدل π :



$$I' = I_C + I_R = \frac{V_R Y_P}{2} + I_R \quad , \quad I_C = \frac{V_R Y_P}{2} \quad , \quad V_S = V_R + ZI'$$

$$V_S = V_R + Z \left(\frac{V_R Y}{2} + I_R \right) = V_R + \frac{ZYV_R}{2} + ZI_R = V_R \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) + (ZI_R) (I)$$

$$I_s = I' + I'_c = \frac{V_R Y}{2} + I_R + \frac{V_R Y_P}{2} = \frac{V_R Y}{2} + I_R + \frac{1}{2} Y V_R + V_R \frac{ZY^2}{4} + \frac{1}{2} ZY I_R$$

$$= \frac{V_R Y}{2} + I_R + \frac{1}{2} Y \left[V_R \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) + Z I_R \right]$$

$$\Rightarrow I_s = V_2 Y \left(1 + \frac{ZY}{4} \right) + I_R \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) \quad (II)$$

با توجه به دو رابطه‌ی (I) و (II) داریم:

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A'' & B'' \\ C'' & D'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{ZY}{2} & Z \\ Y \left(1 + \frac{ZY}{4} \right) & 1 + \frac{ZY}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

باز هم A'' و D'' فاقد واحدند و واحد B'' اهم است و واحد C'' هم موهومی باشد.

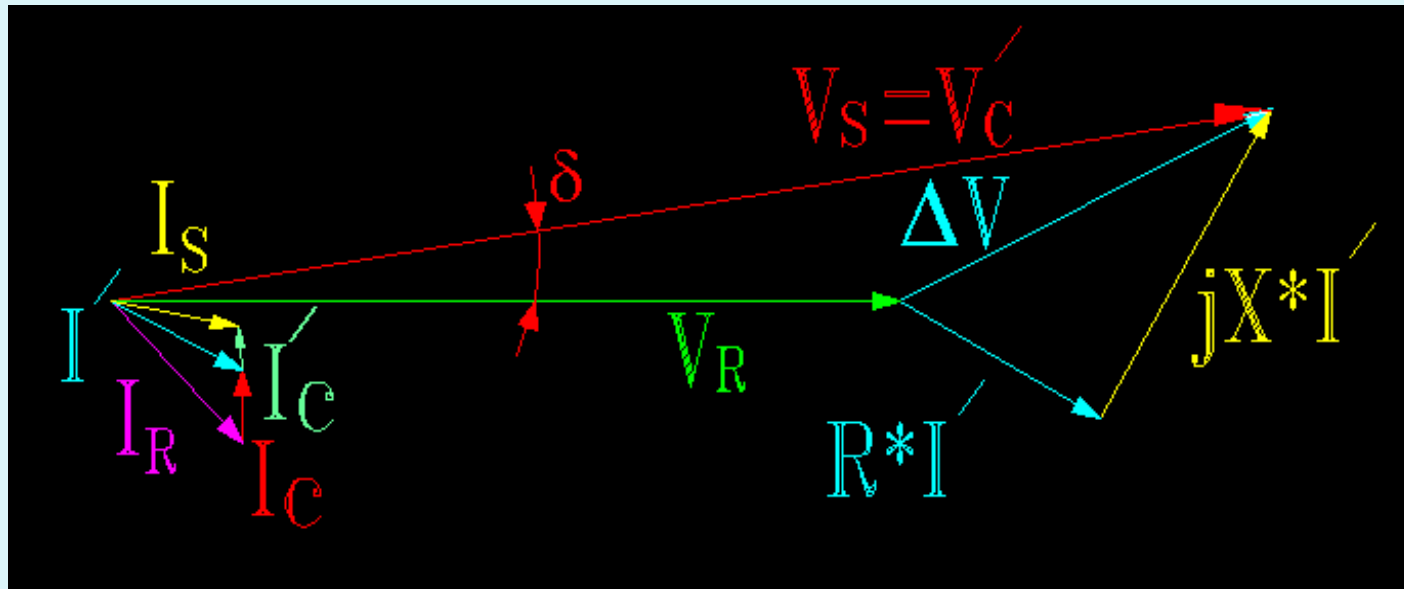
برای بدست آوردن از T و بالعکس فقط جای قطره‌ها را عوض کرده و جای Z و Y را عوض می‌کنیم.

$$\begin{cases} V_S = A'' V_R + B'' I_R \\ I_S = C'' V_R + D'' I_R \end{cases}$$

$$A'D' - B'C' = A''D'' - B''C'' = 1$$

و باز هم مانند مدل \bar{A} برای حالت خاص ماتریس خواهیم داشت.

$$\begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D'' & -B'' \\ -C'' & A'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{cases} V_R = D'' V_S - B'' I_S \\ I_R = -C'' V_S + A'' I_S \end{cases}$$



برای I_R خاصیت اندوکتیوی در نظر می گیریم.

δ عبارت است از زاویه‌ی بین V_S و V_R

I'_C نسبت به V_S یا V'_C 90° درجه پیش فاز است.

I_C نسبت به V_R ، 90° درجه پیش فاز است.

$$S_S = P_S + JQ_S = V_S \times I_S^*$$

$$I_S \text{ مزدوج} = I_S^*$$

$$S_R = P_R + JQ_R = V_R \times I_R^*$$

$$I_R \text{ مزدوج} = I_R^*$$

$$\begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D' & -B' \\ -C' & A' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{cases} V_R = D' V_S - B' I_S \\ I_R = -C' V_S + A' I_S \end{cases}$$

$$\Rightarrow B' I_S = D' V_S - V_R \Rightarrow I_S = \frac{D'}{B'} V_S - \frac{V_R}{B'}$$

$$\beta \text{ بتا} \quad \alpha \text{ آلفا}$$

$$\begin{cases} A' = |A'| \angle^\alpha \\ B' = |B'| \angle^\beta \end{cases}, \quad \begin{cases} C' = |C'| \angle^\gamma \\ D' = |D'| \angle^\Delta \end{cases}$$

$$\Delta \text{ دلتا} \quad \gamma \text{ گاما}$$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \Rightarrow V_S = A'V_R + B' I_R \Rightarrow I_R = \frac{V_S}{B'} - \frac{A'}{B'} V_R$$

$$\Rightarrow I_S = \frac{|D'|}{|B'|} \times |V_S| \angle (\Delta - \beta + \gamma) - \frac{|V_R|}{B'} \angle (-B)$$

$$I_R = \frac{|V_S|}{|B'|} \angle (\Delta - \beta) - \frac{|A'|}{|B'|} |V_R| \angle (\alpha - \beta)$$

$$S_R = V_R \times I_R^* = (V_R \angle 0) \left(\frac{|V_S|}{|B'|} \angle (\beta - \Delta) - \frac{|A'|}{|B'|} |V_R| \angle (\beta - \alpha) \right)$$

$$\Rightarrow S_R = |V_R| \left(\frac{|V_S|}{|B'|} \right) \angle (\beta - \Delta) - \frac{|A'|}{|B'|} |V_R|^2 \angle (\beta - \alpha)$$

$$S_R = \left(\frac{|V_R||V_S|}{|B'|} \right) \cos(\beta - \Delta) - \frac{|A'|}{|B'|} |V_R|^2 \cos(\beta - \alpha) +$$

$$j \left(\frac{|V_R||V_S|}{|B'|} \sin(\beta - \Delta) - \frac{|A'|}{|B'|} |V_R|^2 \sin(\beta - \alpha) \right)$$

$$P_S = \frac{|D'|}{|B'|} |V_S|^2 \cos(\beta - \Delta) - \frac{|V_S||V_R|}{|B'|} \cos(\beta + \Delta)$$

$$Q_S = \frac{|D'|}{|B'|} |V_S|^2 \sin(\beta - \Delta) - \frac{|V_S||V_R|}{|B'|} \sin(\beta + \Delta)$$

تمرین 9: یک خط سه فاز به طول 100Km بار 40MVA را با ولتاژ 132Kv با ضریب قدرت 0.75 پس فاز تغذیه می کند. مقاومت هر فاز 10 اهم و راکتانس هم در هر فاز 40 اهم است و ادمیتانس 3×10^{-40} بر هر فاز می باشد. با هر دو روش حل کنید. کلیدی مقادیر مجهول را ؟

تمرین 10: یک خط انتقال انرژی سه فاز به طول 250 کیلومتر مفروض است. در انتهای خط یک بار متعادل به مشخصات زیر مفروض است:

$$25 \text{ MVA} = \text{توان بار}$$

$$0.8 = \text{ضریب توان بار (پس فاز)}$$

$$132 \text{ K} = \text{ولتاژ بار (خط به خط)}$$

مشخصات خط به شرح ذیل است:

1 - فواصل فازها از همدیگر 3 متر است.

2 - مقاومت فازها 0.11 اهم در هر کیلومتر است.

3 - قطر مؤثر هادیها 1.6 سانتی متر می باشد.

با استفاده از مدل π نامی مطلوب است محاسبه ی: 1- ولتاژ ابتدای خط؟

2- تنظیم ولتاژ خط؟

$$L = 0.461 \text{ Log} \frac{D}{r'} = 0.461 \text{ Log} \frac{300}{0.7788 * 0.8} = 1.24 \text{ mH} / \text{Km}$$

$$C = \frac{0.0242}{\log \frac{D}{r}} = \frac{0.0242}{\log \frac{300}{0.8}} = 0.0094 \text{ } \mu\text{F} / \text{Km}$$

$$R = 0.11 * 250 = 27.5 \Omega$$

$$X = 2\pi fl = 2\pi * 50 * 1.24 * 10^{-3} * 250 = 97.4 \Omega$$

$$Z = (R + jX)l = 27.5 + j97.4 = 101.2 \angle 74/2^\circ \Omega$$

$$Y = j\omega cl = (314 * 0.0094 * 10^{-6} * 250) \angle 90^\circ$$
$$= 7.38 * 10^{-4} \angle 90^\circ \text{ S}$$

$$I_R = \frac{25 * 1000}{\sqrt{3} * 132} \angle -36.9 = 109.3 \angle -36.9^\circ \text{ A}$$

$$V_R \text{ (هر فاز)} = \frac{132}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 76.2 \angle 0^\circ$$

$$V_S = V_R \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) + ZI_R = 76.2 \left(1 + \frac{7.38 \times 10^{-4} \angle 90^\circ \times 101.2 \angle 74.2^\circ}{2}\right)$$

$$+ 101.2 \angle 74.2^\circ \times (109.3 \angle -36.9^\circ) \times 10^{-3}$$

$$= 82.6 \angle 5.2^\circ \text{ Kv}$$

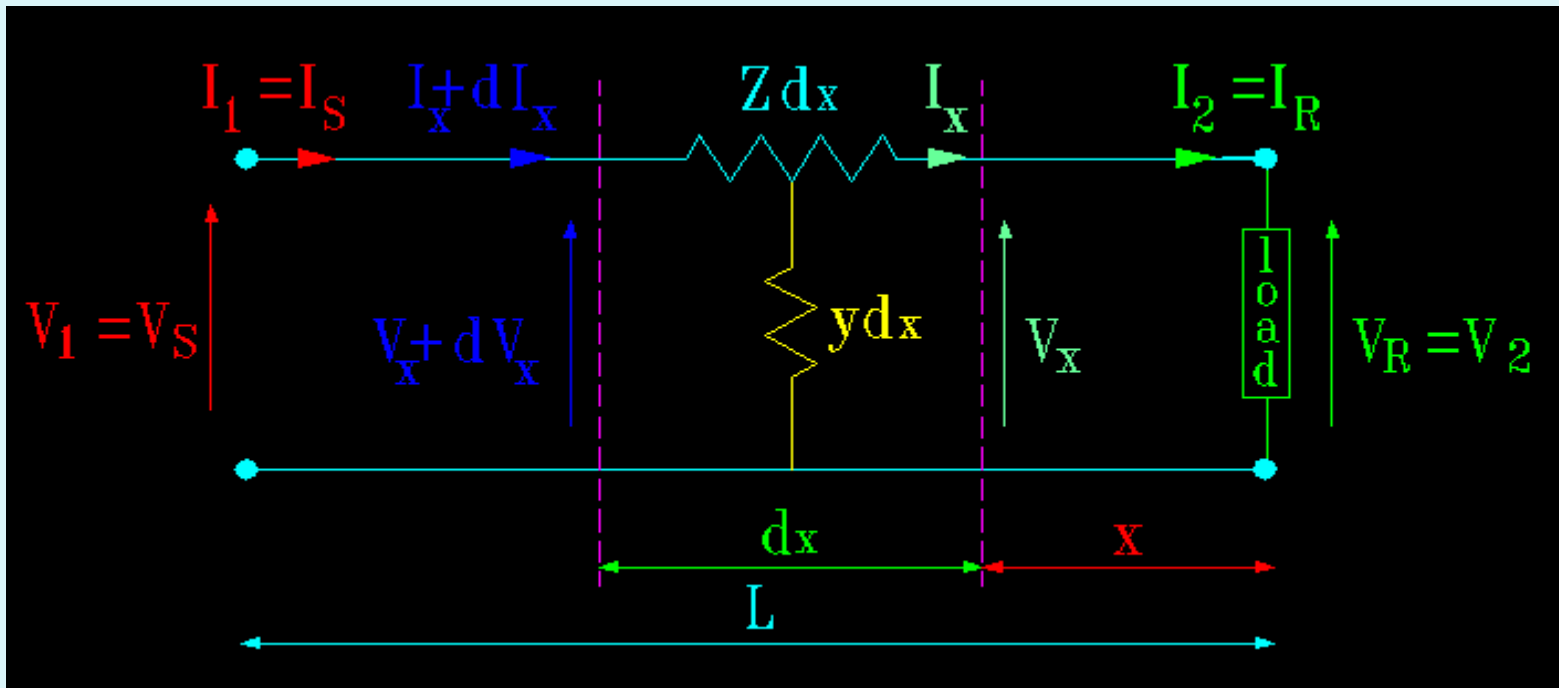
$$|V_S| \text{ (خط به خط)} = 82.6 * \sqrt{3} = 143Kv$$

$$|V_{RO}| \text{ (در حالت بی بار)} = \frac{143}{1 + \frac{ZY}{2}} = \frac{143}{0.964} = 148.3 Kv$$

$$\text{درصد تنظیم ولتاژ} = \frac{148.3 - 132}{132} \times 100 = 12.3\%$$

خطوط انتقال انرژی بلند:

اگر خط جزو خطوط بلند محسوب شود دیگر نمی توان پارامترهای خط را بصورت فشرده و در یک نقطه خاص متمرکز نمود و مدل سازی را بر این اساس انجام داد. بلکه برای جوابهای دقیق تر، باید اثر کامل پارامترهای گسترده Distributed خطوط را در نظر گرفت. یعنی باید پارامترها به طور یکنواخت به صورت پخش شده در طول خط در نظر گرفت. در مدار معادل تک فاز یک خط انتقال انرژی سه فاز امپدانس سیم برگشت صفر در نظر گرفته شده است. (که در زیر مشاهده می کنید طول جزیی dx را بر روی خط مشخص می کنیم بنابراین خواهیم داشت:



امپدانس موازی طول جزیی dx	$= Ydx$
امپدانس سری طول جزیی dx	$= Zdx$
افت ولتاژ در طول dx	$= dv_x$

نیرنگاه www.spowpowerplant.blogfa.com همه چیز در باره $m = \sqrt{zy}$ را ضریب انتشار خط گویند

$$\left. \begin{array}{l} d V_x = I_x z dx \\ d I_x = V_x y dx \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \frac{d V_x}{dx} = I_x y \\ \frac{d I_x}{dx} = V_x z \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \frac{d^2 V_x}{d x^2} = \frac{Z d I_x}{d x} \\ \frac{d^2 I_x}{d x^2} = \frac{d V_x y}{d x} \end{array} \right\}$$

$$\Rightarrow \frac{d^2 V_x}{d x^2} = Z V_x y \quad \Rightarrow \frac{d^2 I_x}{d x^2} = y I_x Z \Rightarrow \begin{cases} V_x = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx} \\ I_x = C_3 e^{mx} + C_4 e^{-mx} \end{cases}$$

$$\frac{d V_x}{dx} = m \dot{C}_1 e^{mx} - m C_2 e^{-mx} = I_x Z = Z (C_3 e^{mx} + C_4 e^{-mx}) \Rightarrow$$

$$m C_1 e^{mx} - m C_2 e^{-mx} = Z C_3 e^{mx} + Z C_4 e^{-mx}$$

$$\Rightarrow C_3 = \frac{m}{z} C_1 \text{ و } C_4 = \frac{-m}{z} C_2$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{y}} \text{ : امیدانس مشخصه خط}$$

$$I_x = \frac{m}{z} C_1 e^{mx} - \frac{m}{z} C_2 e^{-mx}$$

$$\Rightarrow I_x = \frac{\sqrt{z} \sqrt{y}}{\sqrt{z} \sqrt{z}} C_1 e^{mx} - \frac{\sqrt{z} \sqrt{y}}{\sqrt{z} \sqrt{z}} C_2 e^{-mx}$$

$$\Rightarrow I_x = \frac{C_1}{Z_c} e^{mx} - \frac{C_2}{Z_c} e^{-mx} \Rightarrow \begin{cases} V_x = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx} \\ I_x = \frac{C_1}{Z_c} e^{mx} - \frac{C_2}{Z_c} e^{-mx} \end{cases}$$

با اعمال شرایط حدی در $x = 0$ (انتهای خط) خواهیم داشت :

$$\begin{cases} V_2 = V_x = C_1 + C_2 \\ I_2 = I_x = \frac{C_1}{Z_c} - \frac{C_2}{Z_c} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C_1 = \frac{V_2 + Z_c I_2}{2} \\ C_2 = \frac{V_2 - Z_c I_2}{2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} V_x = \left(\frac{V_2 + Z_c I_2}{2} \right) e^{mx} + \left(\frac{V_2 - Z_c I_2}{2} \right) e^{-mx} \\ I_x = \left(\frac{V_2 + Z_c I_2}{2} \right) e^{mx} - \left(\frac{V_2 - Z_c I_2}{2} \right) e^{-mx} \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_x = V_2 \left(\frac{e^{mx} + e^{-mx}}{2} \right) + I_2 Z_c \left(\frac{e^{mx} - e^{-mx}}{2} \right) \\ I_x = \frac{V_2}{Z_c} \left(\frac{e^{mx} - e^{-mx}}{2} \right) + I_2 \left(\frac{e^{mx} + e^{-mx}}{2} \right) \end{cases}$$

حال می توان از توابع هیپربولیک نیز استفاده کرد و در $x = L$ خواهیم داشت :

$$\begin{cases} V_x = V_2 \text{Cosh}(mx) + I_2 Z_c \text{Sinh}(mx) \\ I_x = \frac{V_2}{Z_c} \text{Sinh}(mx) + I_2 \text{Cosh}(mx) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A_1 = D_1 = \text{Cosh}(mL) \\ B_1 = Z_c \text{Sinh}(mL) \\ C_1 = \frac{1}{Z_c} \text{Sinh}(mL) \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{cases} V_1 = A_1 V_2 + B_1 I_2 \\ I_1 = C_1 V_2 + D_1 I_2 \end{cases}$$

جهت محاسبه ضرایب A_1, B_1, C_1 روشهای مختلفی وجود دارند ، اما یک روش ساده و در عین

حال با تقریب خوب عبارتست از :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Cosh}(ml) = 1 + \frac{m^2 l^2}{2!} + \frac{m^4 l^4}{4!} + \dots \approx 1 + \frac{ZY}{2} \\ \text{Sinh}(ml) = ml + \frac{m^3 l^3}{3!} + \frac{m^5 l^5}{5!} + \dots \approx ml \left(1 + \frac{m^2 l^2}{3!} \right) = \sqrt{YZ} \left(1 + \frac{YZ}{6} \right) \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} A_1 = 1 + \frac{ZY}{2} \\ B_1 = Z_c \text{Sinh}(ml) = \sqrt{\frac{z}{y}} \sqrt{ZY} \left(1 + \frac{ZY}{6} \right) \Rightarrow B_1 = Z \left(1 + \frac{ZY}{6} \right) \\ C_1 = \frac{1}{Z_c} \text{Sinh}(ml) = \sqrt{\frac{y}{z}} \sqrt{Z} \sqrt{Y} \left(1 + \frac{ZY}{6} \right) \Rightarrow C_1 = Y \left(1 + \frac{ZY}{6} \right) \end{array} \right.$$

تمرین 11: یک خط انتقال انرژی به طول 300km با مشخصات زیر مفروض است، ولتاژ انتهای خط

220kV بوده و بار 50MW را تحت ضریب توان 0.8 پس فاز تغذیه می کند. مطلوبست محاسبه

ولتاژ، جریان، توان و ضریب توان در ابتدای خط از رابطه تقریبی؟

$$Z = 40 + j125 \Omega, Y = 10^{-3} \text{ موهو}$$

$$Z = 40 + j125 = 131.2 \angle 72.3^\circ \Omega$$

$$Y = 10^{-3} \angle 90^\circ$$

$$I_R = \frac{50}{\sqrt{3} \times 220 \times 0.8} \angle -36.9^\circ = 0.164 \angle -36.9^\circ \text{ kA}$$

$$V_R = \frac{220 \angle 0^\circ}{\sqrt{3}} = 127 \angle 0^\circ \text{ kV}$$

$$\left\{ \begin{aligned}
 A_1 = D_1 &= 1 + \frac{ZY}{2} = 1 + \frac{(131.2 \angle 72.3^\circ)(10^{-3} \angle 90^\circ)}{2} = 0.938 \angle 1.2^\circ \\
 B_1 &= Z \left(1 + \frac{ZY}{6} \right) = (131.2 \angle 72.3^\circ) \left(1 + \frac{(131.2 \angle 72.3^\circ)(10^{-3} \angle 90^\circ)}{6} \right) \\
 B_1 &= 128.5 \angle 72.7^\circ \\
 C_1 &= Y \left(1 + \frac{ZY}{6} \right) = (10^{-3} \angle 90^\circ) \left(1 + \frac{(131.2 \angle 72.3^\circ)(10^{-3} \angle 90^\circ)}{6} \right) \\
 C_1 &= (10^{-3} \angle 90^\circ)
 \end{aligned} \right.$$

$$V_S = A_1 V_R + B_1 I_R = ((0.938 \angle 1.2^\circ)(127 \angle 0^\circ)) + ((128.5 \angle 72.7^\circ)(0.164 \angle -36.9^\circ))$$

$$\Rightarrow V_s = 137 \angle 6.2^\circ kV \Rightarrow |V_s|_{L-L} = 137 \times \sqrt{3} = 237.3 kV$$

$$I_s = C_1 V_R + D_1 I_R$$

$$= ((0.001 \angle 1.2^\circ)(127 \angle 0^\circ)) + ((0.938 \angle 1.2^\circ)(0.164 \angle -36.9^\circ))$$

$$= 0.13 \angle 16^\circ$$

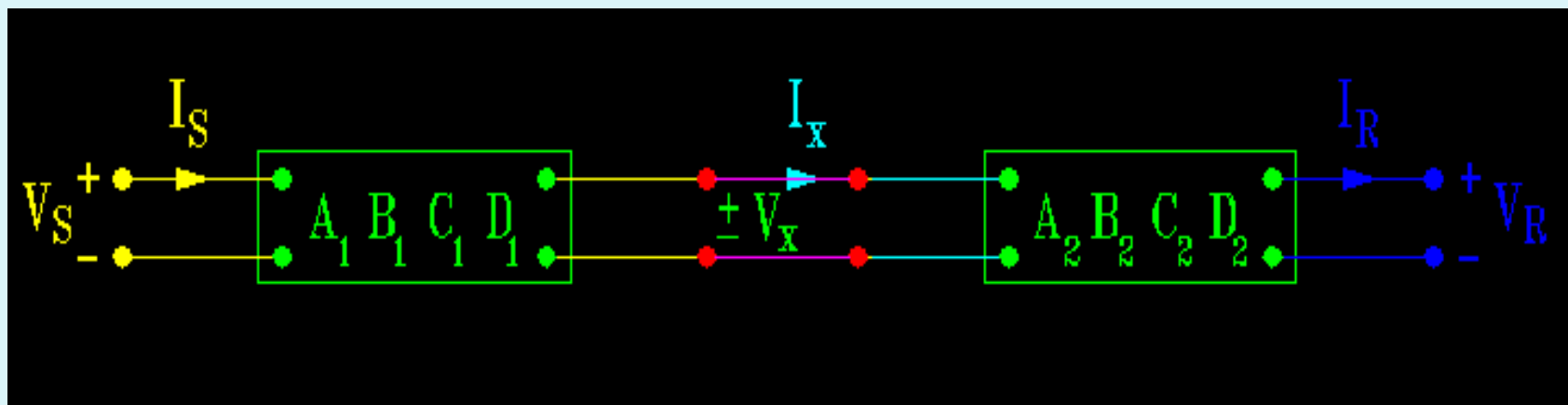
پیش فاز $\cos(16.5^\circ - 6.2^\circ) = 0.984$ ضریب توان در ابتدای خط

$$\text{توان در ابتدای خط} \quad P_s = \sqrt{3} \times 237.3 \times 0.13 \times 0.984 = 52.58 \text{ MW}$$

$$\text{تلفات توان} = P_s - P_R = 52.58 - 50 = 2.58 \text{ MW}$$

ضرایب $ABCD$ در شبکه های سری و موازی :

الف) شبکه های سری:



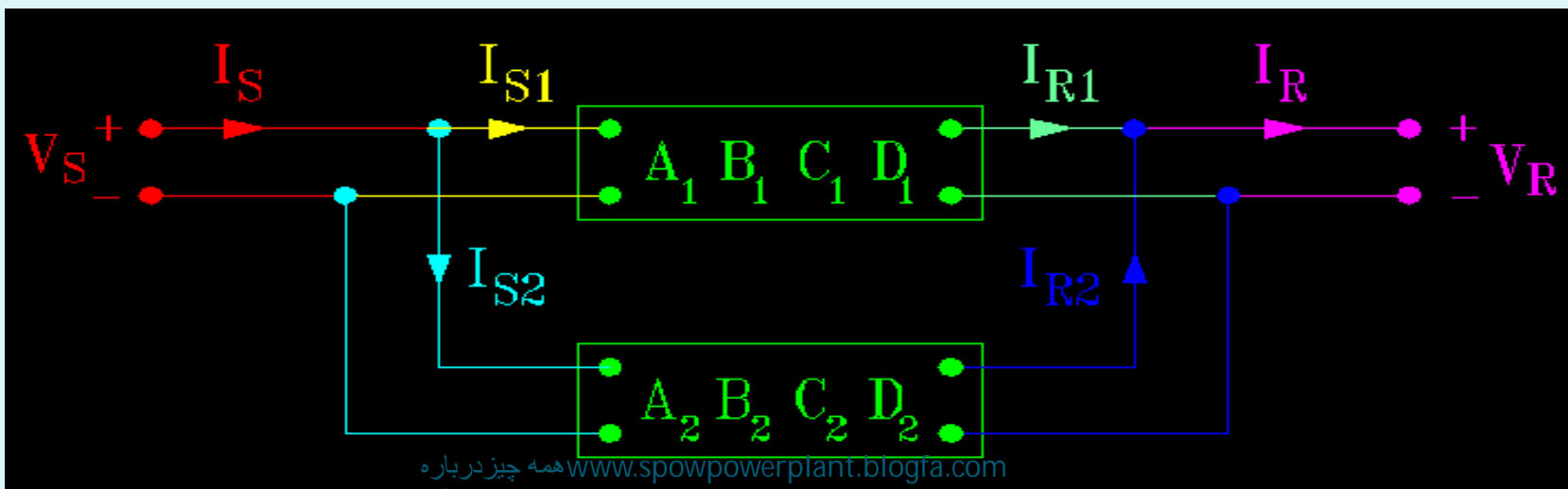
$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_X \\ I_X \end{bmatrix} \quad \& \quad \begin{bmatrix} V_X \\ I_X \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 A_2 + B_1 C_2 & A_1 B_2 + B_1 D_2 \\ C_1 A_2 + D_1 C_2 & C_1 B_2 + D_1 D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} A = A_1 A_2 + B_1 C_2 \\ B = C_1 A_2 + D_1 C_2 \\ C = A_1 B_2 + B_1 D_2 \\ D = C_1 B_2 + D_1 D_2 \end{cases}$$

(ب) شبکه های موازی:



$$A = \frac{A_1 B_2 + A_2 B_1}{B_1 + B_2} \quad C = C_1 + C_2 + \frac{(A_1 - A_2)(D_1 - D_2)}{B_1 + B_2}$$

$$B = \frac{B_1 B_2}{B_1 + B_2} \quad D = \frac{D_1 B_2 + D_2 B_1}{B_1 + B_2}$$

تمرین 12: اگر $ABCD$ در یک خطی مشخص باشند، (خط بلند) رابطه ای برای امپدانس

مشخصه خط پیدا کنید یا اینکه ثابت کنید $Z_c = \sqrt{\frac{B}{C}}$

$$\left. \begin{aligned} B &= Z_c \sinh(ml) \\ C &= \frac{1}{Z_c} \sinh(ml) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{B}{C} = \frac{Z_c}{\left(\frac{1}{Z_c}\right)} = Z_c^2 \Rightarrow Z_c = \sqrt{\frac{B}{C}}$$

تمرین 13: در یک خط بلند بی بار ثابت کنید ولتاژ انتهای خط از ولتاژ ابتدای خط بیشتر است؟

$$\left. \begin{array}{l} \text{Cosh}(jx) = \text{Cos}(x) \\ \text{Sinh}(jx) = \text{Sin}(x) \end{array} \right\} \& V_1 = \text{Cosh}(ml) V_2 + Z_c \text{Sinh}(ml) I_2$$

$$\text{No Load} \Rightarrow I_2 = 0$$

$$\Rightarrow V_1 = \text{Cosh}(ml) V_2 = \text{Cos}(ml) V_2 \Rightarrow V_1 \leq V_2 \text{ . کسری از } V_2 \text{ خواهد بود .}$$

تمرین 14: رابطه جریان و ولتاژ ابتدای خط بلندی را به دست آورید که بار امپدانس مشخصه خط

$$\left\{ \begin{array}{l} V_2 = V_1 \text{Cosh}(ml) - I_1 Z_c \text{Sinh}(ml) \\ I_2 = -\frac{V_1}{Z_c} \text{Sinh}(ml) + I_1 \text{Cosh}(ml) \end{array} \right. \text{ باشد؟}$$

[یا اگر $V_2 = Z_c I_2$ باشد ثابت کنید $V_1 = Z_c I_1$ است.]

$$\Rightarrow V_2 = V_1 \cosh(ml) - I_1 Z_c \sinh(ml) = I_2 Z_c$$

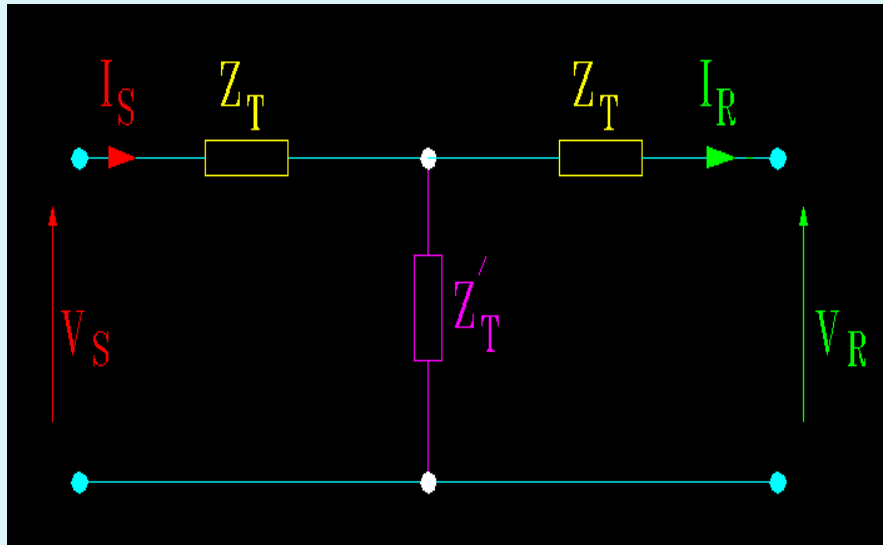
$$= Z_c \left[-\frac{V_1}{Z_c} \sinh(ml) + I_1 \cosh(ml) \right]$$

$$\Rightarrow V_1 \cosh(ml) + V_1 \sinh(ml) = I_1 Z_c (\sinh(ml) + \cosh(ml))$$

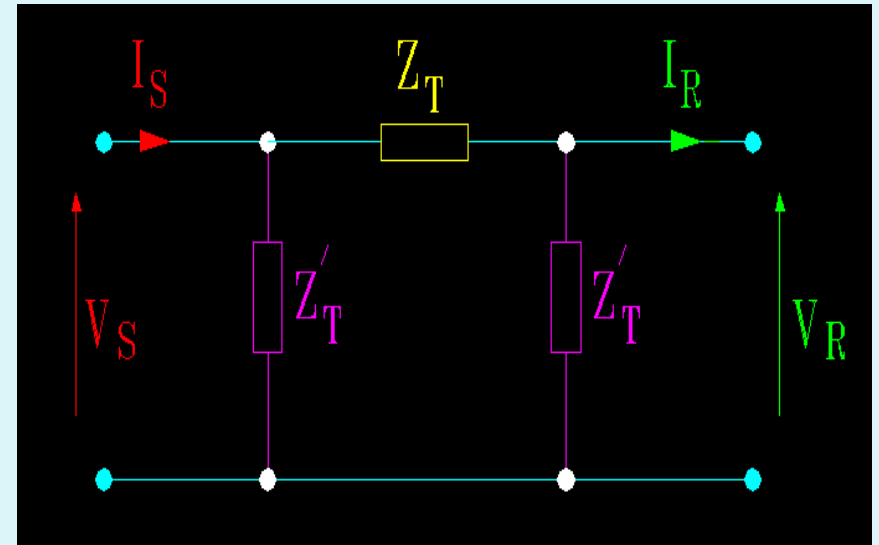
$$\sinh(ml) + \cosh(ml) = 1 \Rightarrow V_1 = I_1 Z_c$$

تمرین 15: با معلوم بودن پارامترهای خط متوسط $ABCD$ مدار معادل آن را در حالت T و π

بدست آورید؟



$$Z_T = B, Z'_T = \frac{B}{A-1}$$



$$Z'_T = \frac{1}{C}, Z_T = \frac{D-1}{C}$$

تمرین 16: یک خط بلند به طول 250km بار 100MW را تحت ولتاژ 230kv و ضریب

قدرت 0.9 پس فاز تغذیه می کند. هدف تجزیه و تحلیل خط می باشد.

$$l = 250 \text{ km}$$

$$\cos(\varphi_2) = 0.9 \text{ lag}$$

$$L = 1.9 \text{ mh/km}$$

$$P_2 = 100 \text{ MW}$$

$$C = 14.1 \text{ nf/km}$$

$$R = 0.16 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$U_2 = 230 \text{ kV}$$

$$Z_s = r + j X_L = 0.16 + j(2\pi * F * 1.9) = 0.617 \angle 74.9^\circ \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$Y = jc\omega = j(14.1 * 10^{-9} * 2\pi * f) = j4.429 * 10^{-6} \text{ v/km}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{0.617 \angle 74.9^\circ}{4.429 \times 10^{-6} \angle 90^\circ}} = 373.5 \angle -7.55^\circ$$

$$m = \sqrt{zy} = \sqrt{(0.617 \angle 74.9^\circ)(4.429 \times 10^{-6} \angle 90^\circ)}$$

$$= 1.653 \times 10^{-3} \angle 82.45^\circ \Omega/km$$

$$ml = 0.0539 + j0.41 \Omega$$

$$B \cong Z \left(1 + \frac{YZ}{6} \right) = 150.27 \angle 75.42^\circ$$

$$D = A \cong 1 + \frac{ZY}{2} = 0.918 \angle 1.34^\circ$$

$$C = 0.0011 \angle 90.42^\circ$$

$$V_2 = \frac{u_2}{\sqrt{3}} = \frac{230 \text{ kv}}{\sqrt{3}} = 132.79 \text{ kv}$$

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3} u_2 \cos \phi} = \frac{100}{\sqrt{3} * 230 * 0.9} = 2.789 \text{ kA}$$

$$\begin{cases} V_1 = AV_2 + BI_2 = 153.13 \angle 13.12^\circ \text{ kV} \\ I_1 = CV_2 + DI_2 = 0.23 \angle 9.73^\circ \text{ kA} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U_2 = 265.23 \angle 13.12^\circ \text{ kV}$$

$$S_1 = \sqrt{3} U_1 I_1^* = 3(153.13 \angle 13.12^\circ)(0.23 \angle -9.7^\circ)$$

$$\Rightarrow S_1 = 107.99 \text{ MW} + j6.397 \text{ MVAR}$$

$$\Rightarrow S_2 = 100 \text{ MW} + j42.26 \text{ MVAR}$$

$$\text{Cos } \varphi_1 = \text{Cos}(13.12 - 9.73) = 0.998 \text{ lag}$$

تمرین 17: یک خط سه فاز به طول 500km و $S = 90 + j30$ مگا ولت آمپر را تغذیه می

کند. ولتاژ و توان ابتدای خط را بدست آورید، اگر داشته باشیم: $R = 74 * 10^{-6} \Omega / m$

$$L = 1.212 * 10^{-6} H / m \quad G = 0, f = 50 \text{cps}, U_2 = 220 \text{kV}$$

$$C = 9.577 * 10^{-12} F / m \quad U_1 = ? \& S_1 = ? \& I_1 = ?$$

$$Z_s = R + jX_L = 74 * 10^{-6} + j(2\pi * 50 * 1.212 * 10^{-6})$$

$$= 74 * 10^{-6} + j380.76 * 10^{-6} \Omega / m$$

$$Y = jC\omega = j(9.577 * 10^{-12} * 2\pi * 50) = j3.0087 \text{ v/m}$$

$$m = \sqrt{zy} = 1.2927 \angle 85.39 \quad ml = 0.05185 + j0.6443$$

اگر با روش تحلیلی حل شود باید دقت شود که مقادیر زاویه ها بر حسب رادیان می باشد .

$$A = \text{Cosh}(ml) = \text{Cos}(0.05185 + j0.6443)$$

$$= \text{Cosh}(0.05185 \text{ rad}) * \text{Cos}(j0.6443 \text{ rad}) +$$

$$j\text{Sinh}(0.05185 \text{ rad}) * \text{Sin}(0.6443 \text{ rad})$$

$$D = A = 0.8006 + j0.03116$$

$$B = 32.08 + j213.5$$

تمرین 18: یک خط انتقال انرژی سه فاز به طول 400km مفروض است. ولتاژ در ابتدای

خط 220kv بوده و پارامترهای خط برای هر کیلومتر به شرح زیر اند:

$$r=0.125 \Omega \quad \& \quad x=0.4\Omega \quad \& \quad y=2.8 \times 10^{-6} \text{ موهو}$$

$$R=0.125 \times 400 = 50 \Omega \quad \& \quad X_L = j0.4 * 400 = j160 \Omega$$

$$Y = j2.8 * 10^{-6} * 400 = 1.12 \times 10^{-3} \angle 90^\circ$$

$$Z_s = R + jX = 50 + j160 \Omega = 168 \angle 72.6^\circ \Omega$$

$$YZ = 1.12 * 10^{-3} \angle 90 * 168 \angle 72.6^\circ = 0.188 \angle 162.6^\circ$$

الف اگر انتهای خط باز باشد ، (حالت بی باری یا مدار باز) در اینصورت ولتاژ انتهای خط و جریان

ابتدای خطبه صورت زیر حساب می شود :

$$I_R = 0 \Rightarrow V_S = AV_R, I_S = CV_R$$

$$A \cong 1 + \frac{YZ}{2} = 1 + \frac{0.188 \angle 162.6^\circ}{2} = 0.91 + j0.028, |A| = 0.91$$

$$C = Y \left(1 + \frac{YZ}{6} \right) = 1.12 \times 10^{-3} \angle 90^\circ \left(1 + \frac{0.188 \angle 162.6^\circ}{6} \right)$$

$$\Rightarrow C = 1.09 \times 10^{-3} \angle 90.55^\circ$$

$$V_R = \frac{V}{|A|} = \frac{220}{0.91} = 242 \text{ kv}$$

$$|I_s| = |C| |V_R| = 1.09 \times 10^{-3} \times \frac{242}{\sqrt{3}} \times 10^3 = 152 \text{ A}$$

می بینیم که در حالت بی باری (مدار باز) ولتاژ انتهای خط از ابتدای خط بیشتر می گردد. این پدیده به اثر فرانتی (Ferranti-Effect) موسوم است.

ب) حداکثر طول از خط را طوری حساب کنید که ولتاژ انتهای خط در حالت مدار باز (بی باری)

$$U_R \leq 235 \Rightarrow L = ? \Rightarrow L < 400 \text{ km} \quad \text{از } 235\text{kV} \text{ تجاوز نکند :}$$

$$|A| = \left| \frac{V_S}{V_R} \right| = \frac{220}{2.35} = 0.936$$

$$A \cong 1 + \frac{YZ}{6} = 1 + \frac{1}{2} L^2 \times j2.8 \times 10^{-6} \times (0.125 + j0.4)$$

$$A = (1.056 \times 10^{-6} L^2) + j0.175 \times 10^{-6} L^2$$

چون مقدار موهومی ناچیز است ، لذا با تقریب خوبی داریم :

$$A = (1 - 0.56 \times 10^{-6} L^2) = 0.936$$

$$\Rightarrow L^2 = \frac{1 - 0.936}{0.56 \times 10^{-6}} \Rightarrow L = 338 \text{ km}$$

پ) در فرض حالت (الف) ماکزیمم فرکانس مجاز را طوری حساب کنید که ولتاژ انتهای خط در

حالت بی باری (باز بودن) از 250kV تجاوز نکند .

$$|A| = \left| \frac{V_S}{V_R} \right| = \frac{220}{250} = 0.88$$

$$A \cong 1 + \frac{YZ}{6} = 1 + \frac{1}{2} \times j1.12 \times 10^{-3} \times \frac{f}{50} \left(50 + j160 * \frac{f}{50} \right)$$

از قسمت موهومی صرف نظر می کنیم :

$$A \cong 1 + \frac{YZ}{6} = 1 - \frac{1}{2} \times 1.12 \times 10^{-3} \times 160 * \left(\frac{f}{50} \right)^2 = 0.88$$

$$\Rightarrow f = 57.9 [c.p.s]$$

فصل چهارم

• معادله انتقالی توان الکتریکی در خط انتقال

$$S_S = P_S + JQ_S = V_S \times I_S^*$$

$$I_S \text{ مزدوج} = I_S^*$$

$$S_R = P_R + JQ_R = V_R \times I_R^*$$

$$I_R \text{ مزدوج} = I_R^*$$

$$\begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D' & -B' \\ -C' & A' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{cases} V_R = D' V_S - B' I_S \\ I_R = -C' V_S + A' I_S \end{cases}$$

$$\Rightarrow B' I_S = D' V_S - V_R \Rightarrow I_S = \frac{D'}{B'} V_S - \frac{V_R}{B'}$$

بتا: β

آلفا: α

$$\begin{cases} A' = |A'| \angle^\alpha \\ B' = |B'| \angle^\beta \end{cases}$$

$$\begin{cases} C' = |C'| \angle^\gamma \\ D' = |D'| \angle^\Delta \end{cases}$$

دلتا: Δ

گاما: γ

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \Rightarrow V_S = A'V_R + B' I_R \Rightarrow I_R = \frac{V_S}{B'} - \frac{A'}{B'} V_R$$

$$\Rightarrow I_S = \frac{|D'|}{|B'|} \times |V_S| \angle (\Delta - \beta + \gamma) - \frac{|V_R|}{B'} \angle (-B)$$

$$I_R = \frac{|V_S|}{|B'|} \angle (\Delta - \beta) - \frac{|A'|}{|B'|} |V_R| \angle (\alpha - \beta)$$

$$S_R = V_R \times I_R^* = (V_R \angle 0) \left(\frac{|V_S|}{|B'|} \angle (\beta - \Delta) - \frac{|A'|}{|B'|} |V_R| \angle (\beta - \alpha) \right)$$

$$\Rightarrow S_R = |V_R| \left(\frac{|V_S|}{|B'|} \right) \angle (\beta - \Delta) - \frac{|A'|}{|B'|} |V_R|^2 \angle (\beta - \alpha)$$

$$S_R = \left(\frac{|V_R||V_S|}{|B'|} \right) \cos(\beta - \Delta) - \frac{|A'|}{|B'|} |V_R|^2 \cos(\beta - \alpha) +$$

$$j \left(\frac{|V_R||V_S|}{|B'|} \sin(\beta - \Delta) - \frac{|A'|}{|B'|} |V_R|^2 \sin(\beta - \alpha) \right)$$

$$P_S = \frac{|D'|}{|B'|} |V_S|^2 \cos(\beta - \Delta) - \frac{|V_S||V_R|}{|B'|} \cos(\beta + \Delta)$$

$$Q_S = \frac{|D'|}{|B'|} |V_S|^2 \sin(\beta - \Delta) - \frac{|V_S||V_R|}{|B'|} \sin(\beta + \Delta)$$

فصل پنجم

Per Unit System

سیستم پریونیت (به درصد) یا (به واحد)

- حل سیستم قدرت به هم پیوسته با چندین سطوح ولتاژ مختلف به تبدیلات پرزحمتی شامل تغییر تمامی امپدانس ها به یک سطح ولتاژ خاص نیاز دارد . با وجود این، مهندسان سیستم های قدرت سیستم نسبت به واحد را ابداع کرده اند . به طوری که کمیت های فیزیکی مختلف مانند توان، ولتاژ، جریان و امپدانس به صورت اعداد اعشاری یا ضربی از کمیت های مبنا بیان می شوند. در این سیستم سطوح ولتاژ مختلف از بین رفته و شبکه های قدرت شامل ژنراتورها، ترانسفورماتورها و خطوط (با سطوح ولتاژهای مختلف) به سیستمی از امپدانس های ساده تبدیل می شوند. مقدار پریونیت شده یا نسبت به واحد با علامت اختصاری (pu) و همچنین مقادیر مبنا با اندیس B مشخص می شوند.

امروزه در بررسی سیستم‌های قدرت رسم بر آن است که چهار پارامتر اصلی زیر بر حسب

پریونیت بیان شوند:

1- ولتاژهای شبکه‌ی قدرت

2- جریان‌های شبکه‌ی قدرت

3- امپدانس‌های سیستم قدرت

4- توان‌های سیستم قدرت

یکی از خصوصیات ویژه در سهولت محاسبات سیستم پریونیت این است که امپدانس به پریونیت در طرفین ترانسفورماتور یکسان است.

این چهار مقدار بالا بر حسب پریونیت که نوشته می‌شوند اگر در 100 ضرب شوند به صورت

درصد بیان می‌شوند و حتی جهت نشان دادن امپدانس داخلی غیراهمی پیشوند \angle نیز به آن اضافه

می‌شود که در ادامه‌ی موضوع به آن خواهیم رسید.

برای پریونیت کردن مقادیر فوق از رابطه‌ی کلی زیر استفاده می‌کنیم:

$$\text{مقدار واقعی کمیت} = \frac{\text{مقدار مینای مربوط به همان کمیت}}{\text{کمیت بر حسب نسبت به واحد (مقدار پریونیت شده‌ی یک کمیت)}}$$

- ابتدا یک سیم تک‌فاز را مورد مطالعه قرار می‌دهیم:

برای مقادیر مینا داریم:

$$(VA)_B = S_B = \text{توان مینا (ولت آمپر)}$$

$$V_B = \text{ولتاژ مینا (ولت)}$$

لذا خواهیم داشت:

$$I_B = \text{جریان مینا (آمپر)} = \frac{(VA)_B}{V_B} = \frac{S_B}{V_B}$$

$$Z_B = \text{امپدانس مینا (اهم)} = \frac{V_B}{I_B} = \frac{V_B^2}{(VA)_B} = \frac{V_B^2}{S_B}$$

$$S_{pu} = \frac{S}{S_B} , \quad V_{pu} = \frac{V}{V_B} , \quad I_{pu} = \frac{I}{I_B} , \quad Z_{pu} = \frac{Z}{Z_B}$$

حالا سیستم سه فاز را برای پریونیت بررسی می کنیم:

اگر داشته باشیم: ولتاژ مبنا (ولت) V_B و توان مبنا (ولت آمپر) S_B

خواهیم داشت:

$$S_B = \sqrt{3} U_B I_B \Rightarrow I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} U_B}$$

$$V_B = Z_B I_B \Rightarrow Z_B = \frac{V_B}{I_B} = \frac{U_B / \sqrt{3}}{\frac{S_B}{\sqrt{3} U_B}} = \frac{U_B * U_B * \sqrt{3}}{\sqrt{3} * S_B} = \frac{U_B^2}{S_B} = Z_B$$

$$S_B , U_B , I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} U_B} , Z_B = \frac{U_B^2}{S_B} \quad \text{پس :}$$

و دوباره خواهیم داشت:

$$S_{pu} = \frac{S}{S_B} , \quad U_{pu} = \frac{U}{U_B} , \quad I_{pu} = \frac{I}{I_B} , \quad Z_{pu} = \frac{Z}{Z_B}$$

لازم به ذکر است که در حالت پریونیت قوانین مدار نیز صادق هستند یعنی:

$$S_{pu} = V_{pu} * I_{pu}^* , \quad V_{pu} = Z_{pu} * I_{pu} , \quad S_{(3\Phi)} = 3V_{pu} I_{pu}^*$$

تغییر مبنا :

امپدانس هر یک از ژنراتورها و ترانسفورماتورها معمولاً توسط سازندگان برحسب درصد یا pu بر مبنای مقادیر نامی آنها ارائه می‌شود. امپدانس خطوط انتقال معمولاً برحسب مقادیر اهمی آنها بیان می‌گردند. تمامی امپدانس‌ها باید برحسب نسبت به واحد در مبنای مشترک سیستم بیان شود. به عنوان مثال امپدانس به درصد یک ترانس مختص S_B و U_B آن ترانس بوده و مشخص شده است .

و اگر یکی از این دو کمیت یا هر دو کمیت تغییر کنند باید امپدانس به درصد تازه‌ای را برای آن محاسبه کرد.

فرض کنید Z_{pu}^{old} امپدانس نسبت به واحد در توان مبنای S_B^{old} و ولتاژ مبنای V_B^{old} باشد و با رابطه‌ی زیر بیان می‌شود:

$$Z_{pu}^{old} = \frac{Z_{\Omega}}{Z_B^{old}} = Z_{\Omega} \frac{S_B^{old}}{(V_B^{old})^2}$$

با بیان Z_{Ω} در مبنای جدید توان و ولتاژ امپدانس نسبت به واحد جدید به صورت زیر بیان می‌شود:

$$Z_{pu}^{new} = \frac{Z_{\Omega}}{Z_B^{new}} = Z_{\Omega} \frac{S_B^{new}}{(V_B^{new})^2}$$

حالا با مساوی قرار دادن Z_{Ω} ها برای Z_{pu}^{new} خواهیم داشت:

$$Z_{pu}^{old} = Z_{\Omega} \frac{S_B^{old}}{(U_B^{old})^2} \Rightarrow Z_{\Omega} S_B^0 = Z_{pu}^0 (U_B^0)^2 \Rightarrow Z_{\Omega} = \frac{Z_{pu}^0 (U_B^0)^2}{S_B^0}$$

$$Z_{pu}^{new} = Z_{\Omega} \frac{S_B^{new}}{(U_B^n)^2} \Rightarrow$$

$$Z_{\Omega} = \frac{Z_{pu}^n (U_B^n)^2}{S_B^n}$$

$$\Rightarrow Z_{\Omega} = Z_{\Omega}$$

$$\Rightarrow$$

$$\frac{Z_{pu}^0 (U_B^0)^2}{S_B^0} = \frac{Z_{pu}^n (U_B^n)^2}{S_B^n}$$

$$\Rightarrow Z_{pu}^{new} = \frac{Z_{pu}^{old} (U_B^0)^2}{S_B^0} / \frac{(U_B^n)^2}{S_B^n}$$

$$\Rightarrow Z_{pu}^{new} = Z_{pu}^{old} \frac{S_{pu}^{new}}{S_{pu}^{old}} \left(\frac{U_B^{old}}{U_B^{new}} \right)^2$$

مشاهده می کنید که اگر توان مبنای قدیم و جدید یکی باشد عبارت $\frac{S_{pu}^{new}}{S_{pu}^{old}}$ مساوی یک شده و

در رابطه Z_{pu}^{new} بی اثر می شود و همچنین اگر ولتاژ مبنای قدیم و جدید یکی باشد تأثیر آن هم

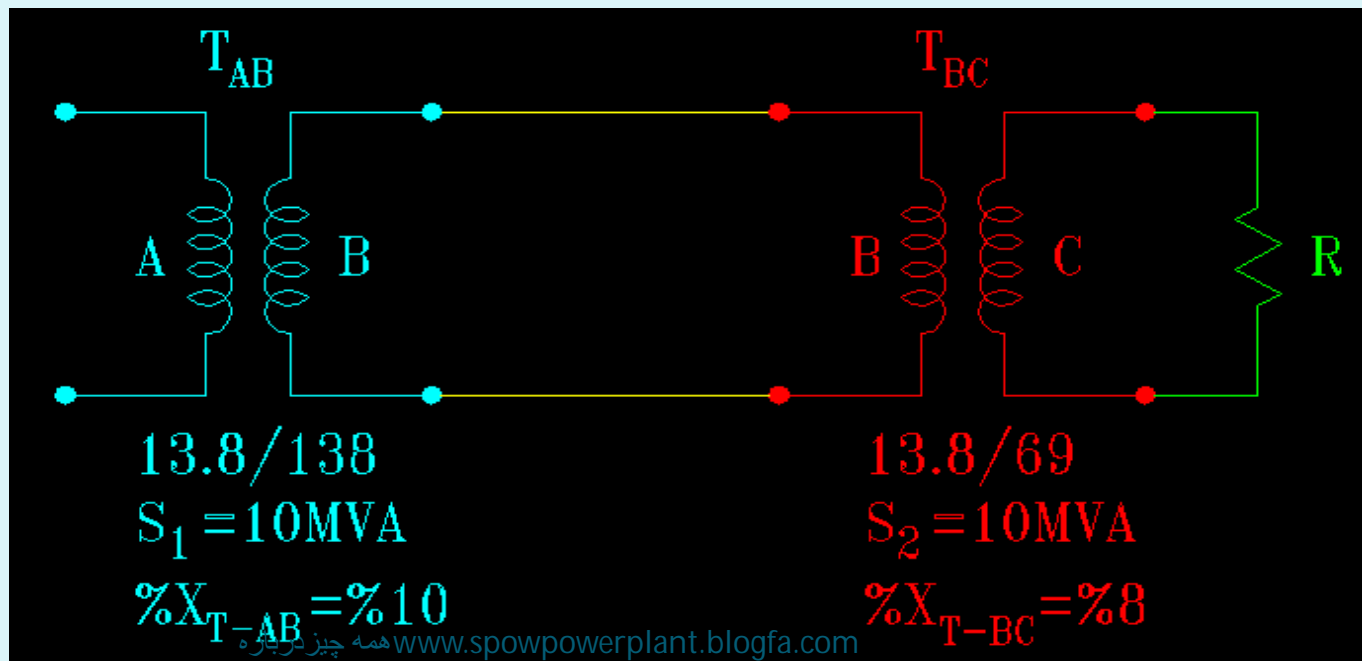
در رابطه بی اثر می شود حالا اگر هر دو کمیت ثابت بمانند رابطه $Z_{pu}^{new} = Z_{pu}^{old}$ همواره

برقرار است .

تمرین 19: سه قسمت از یک سیستم تکفاز A و B و C مطابق شکل روبرو، به کمک ترانسفورماتورهای AB و BC به هم مرتبط شده‌اند. یک بار 300Ω هم به آنها متصل است. اگر ولتاژ دوسر بار 66^{kv} باشد، مطلوب است:

الف) مقاومت به پریونیت بر مبنای A و B و C؟ ب) مدار معادل این شبکه به پریونیت؟
 پ) تنظیم ولتاژ؟ * چون ولتاژ 13.8^{kv} می‌باشد، پس همه‌ی مقادیر واقعی مبنا هستند.

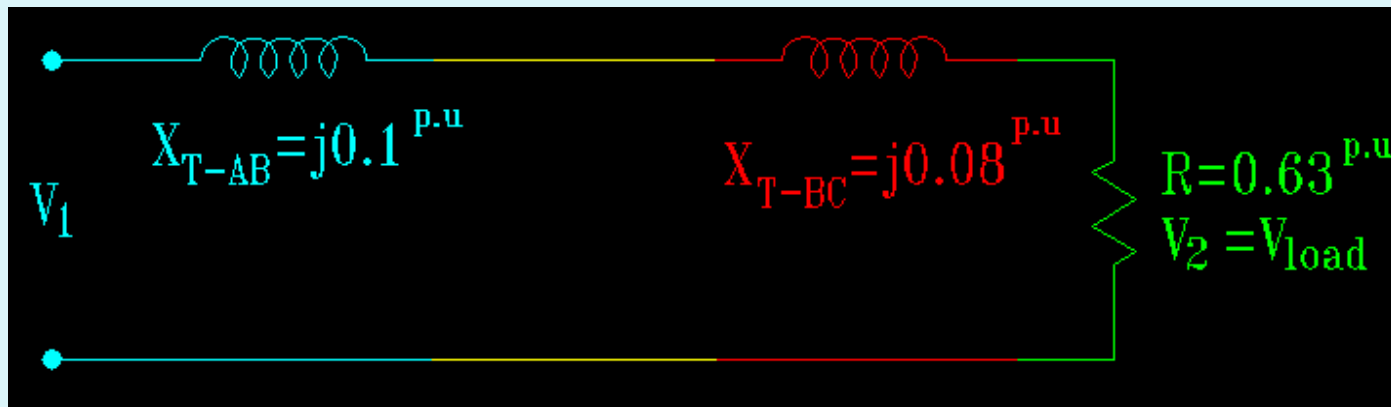
$$(U_b = 13.8^{kv}, S_b = 10^{MVA})$$



$$A: \begin{cases} S_b = 10^{MVA} \\ U_b = 13.8^{kv} \\ Z = \frac{V_B^2}{S_b} = \frac{(13.8)^2}{10} = 19.044\Omega \end{cases} \Rightarrow R_A = 300 \left(\frac{138}{69} \right)^2 \left(\frac{13.8}{138} \right)^2 = 12\Omega \Rightarrow R_{pu} = \frac{12\Omega}{19.044} = 0.63^{pu}$$

$$B: \begin{cases} S_b = 10^{MVA} \\ U_b = 138^{kv} \\ Z = \frac{V_B^2}{S_b} = \frac{(138)^2}{10} = 1904.4\Omega \end{cases} \Rightarrow R_{pu} = \frac{300 \left(\frac{138}{69} \right)^2}{1904.4} = 0.63^{pu}$$

$$C: \begin{cases} S_b = 10^{MVA} \\ V_b = 69^{kv} \\ Z = \frac{V_B^2}{S_b} = \frac{(69)^2}{10} = 476\Omega \end{cases} \Rightarrow R_{pu} = \frac{R_{re}}{Z_b} = \frac{300}{476/1} = 0.63^{pu}$$

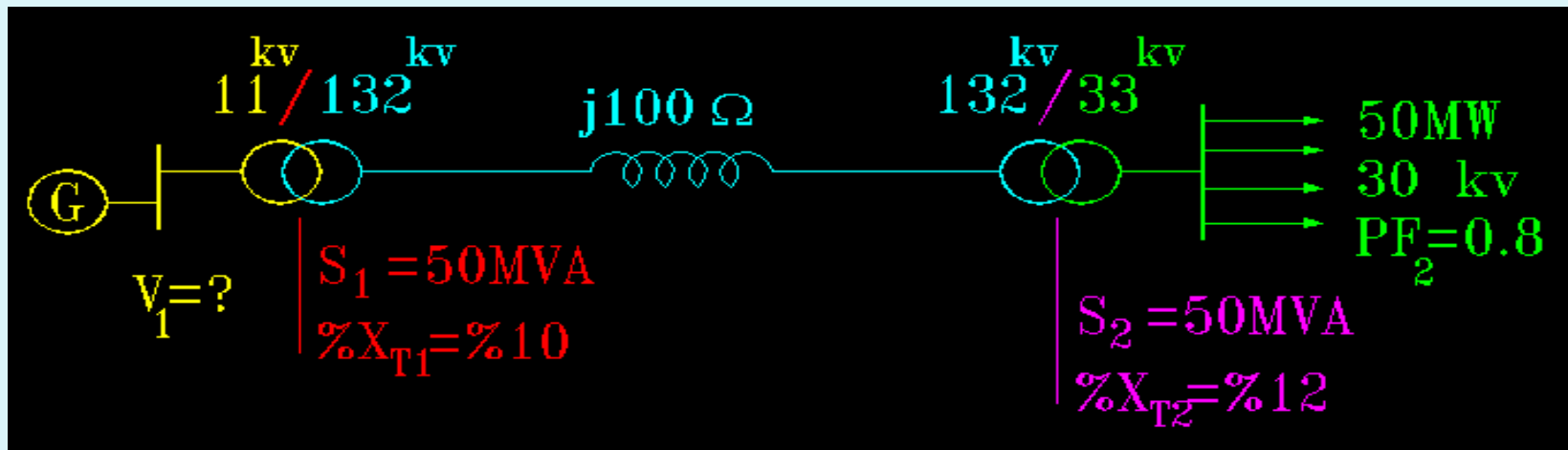


$$V_{load-pu} = \frac{V_{Re}}{V_b} = \frac{66}{69} = 0.957 \text{ pu} \Rightarrow I_{load-pu} = \frac{V_{pu}}{R_{pu}} = \frac{0.957}{0.63} = 1.52 \text{ pu}$$

$$V_{1pu} = V_{2-pu} + I_{pu} (jX_{T_1} + jX_{T_2} + R) = 0.957 + 1.52(0.63 + j(0.1 + 0.88))$$

$$= 0.957 + 1.52(0.63 + j0.18) = 0.957 + j0.2736 = 0.996 \angle 15.95^\circ$$

$$\rightarrow |V_{1-pu}| = 0.996 \quad \text{و} \quad \%IR = \frac{|V_{1-pu}| - |V_{2-pu}|}{|V_{1-pu}|} * 100 = \%3.91$$

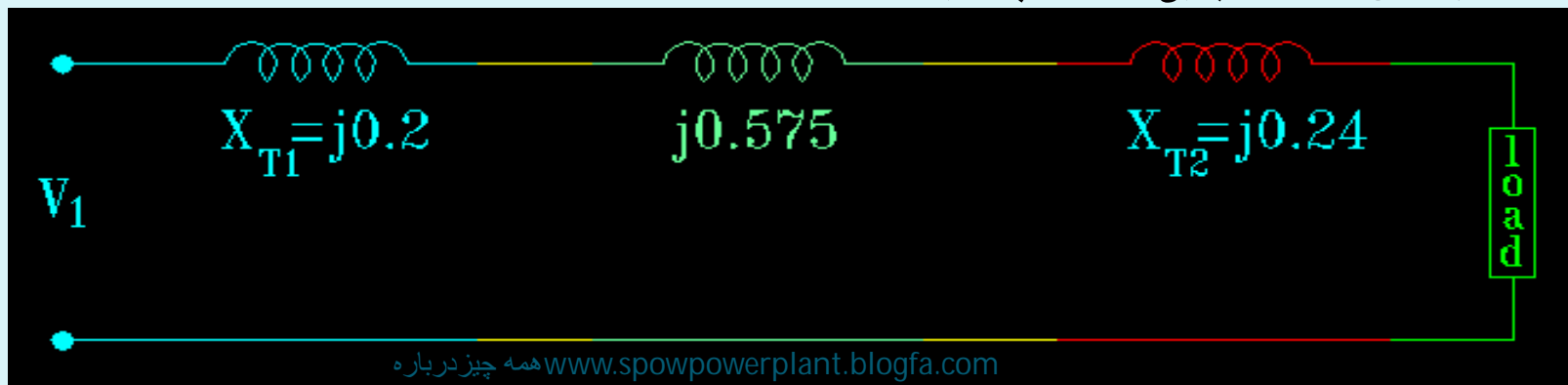


تمر

V_b

$S_b = 100MVA$

با انتخاب V_1 وولتاژ نامی ترانس ها در هر قسمت از شبکه به عنوان مقدار KV و pu و همچنین را حساب کنید؟



$$Z_{pu}^{new} = Z_{pu}^{old} \frac{S_{pu}^{new}}{S_{pu}^{old}} \left(\frac{U_B^{old}}{U_B^{new}} \right)^2$$

$$\Rightarrow X_{T_1}^n = 0.1 * \frac{100}{50} 1^2 = 0.2 \quad , \quad X_{T_2}^n = 0.12 \frac{100}{50} = 0.24$$

$$X_{h-line} = \frac{u_B^2}{S_h} = \frac{132^2}{100} = 174^{pu} \rightarrow X_{L, pu} = \frac{100}{174} = j0.575^{pu}$$

$$I_{Load} = \frac{P_L}{\sqrt{3} U \cos(\phi)} = \frac{50}{\sqrt{3} * 30 * 0.8} \rightarrow I_{Load} = 1.2^{KA} \quad , \quad V_{Load, pu} = \frac{30}{33} = 0.91^{pu}$$

$$I_{max-load} = \frac{S_h}{\sqrt{3} U_h} = \frac{100}{\sqrt{3} * 33} \Rightarrow 1.75^{KA} \rightarrow I_{L, -pu} = \frac{1.2}{1.75} = 0.688 \angle -36.8^\circ$$

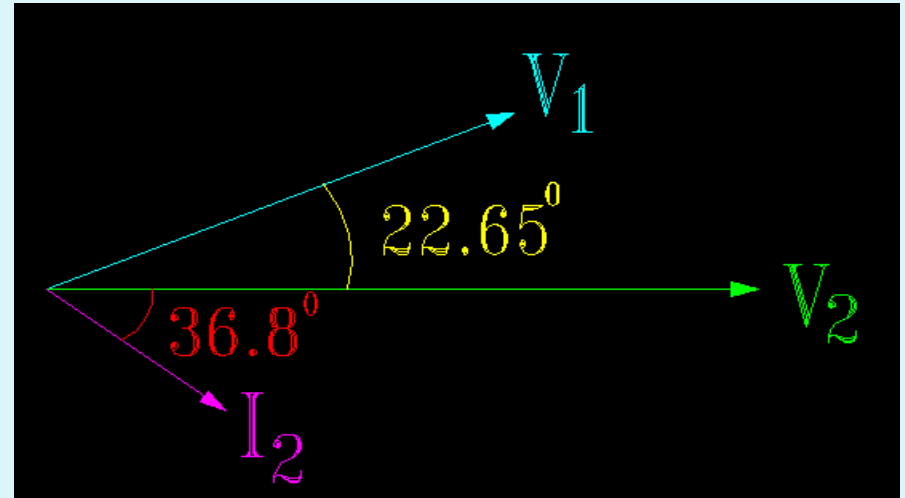
$$V_{1-pu} = I_{pu} (X_{T_1} + X_L + X_{T_2}) + V_{load} = (0.688 \angle -36.8)(j1.015) + (0.91 \angle 0)$$

$$= (0.551 - j0.412)(j1.015) + 0.91 \Rightarrow V_{1-pu} = 1.44 \angle 22.65$$

$$|V_1| = |V_{pu}| * V_B = 1.44 * 11 = 15.84^{kv}$$

$$\varphi = \varphi_v - \varphi_i = 22.65 - 36.8 = 59.4$$

$$\Rightarrow P.F = \cos 59.4 = \cos 60 = \frac{1}{2} = 0.5$$

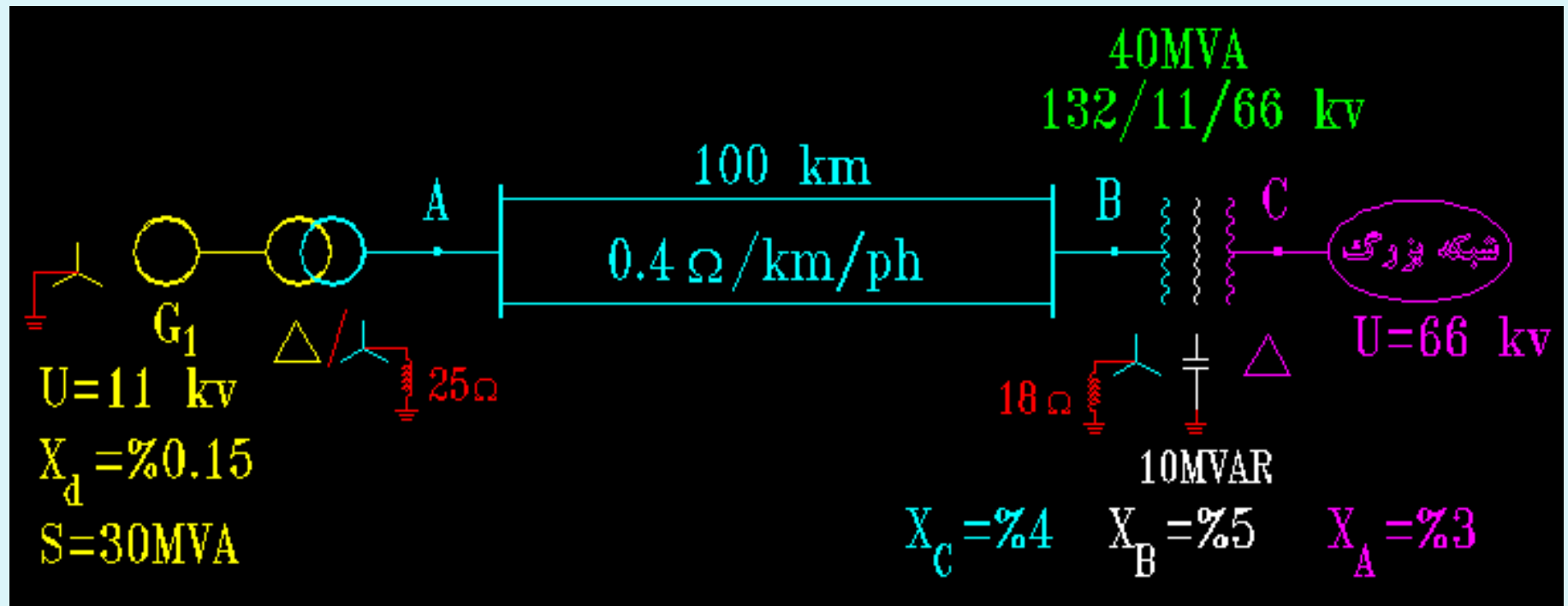


تمرین 21: دیاگرام تک خطی یک شبکه قدرت مطابق شکل زیر است. شبکه‌ی فوق را از بخش

C به یک شبکه‌ی بزرگ قدرت با قدرت اتصال کوتاه $S_{cc} = 1000^{MVA}$ متصل می‌باشد. دیاگرام

امپدانس یا شمای مستقیم این شبکه را رسم کنید؟ مقادیر به پریونیت در مبنای $S_b = 30^{MVA}$ و

$U_b = 132^{kv}$ می‌باشند.



فصل ششم

مطالعات پخش بار در سیستمهای قدرت

هدف از محاسبات پخش بار:

هدف از محاسبات تقسیم بار (پخش بار) را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

I- تعیین امکان انتقال انرژی از تعداد معینی مولد به بارهای موجود در شبکه.

II- تعیین ولتاژ کلیه شین های سیستم و بررسی آن که این ولتاژها از مقادیر حدی تعیین شده برای هر شین تجاوز ننماید.

III- تعیین مقدار توان راکتیو انتقال داده شده در خطوط انتقال.

IV- بررسی آن که خطوط و کلیدهای قطع در تحت شرایط عادی و یا در موقع قطع بعضی از خطوط بیش از حد اسمی بار تحمل ننماید.

در مواقع طرح سیستم اگر مسئله تقسیم بار برای شرایط مختلفی حل شود نتیجتاً "امکان بروز

اختلافات در سیستم به حداقل ممکن تقلیل می یابد.

با استفاده از مطالعات پخش بار به نتایج زیر می رسیم :

۱- نقاط ضعف شبکه.

۱۱- نقاط نصب نیروگاههای جدید ، ترانسفورماتورهای جدید ، افزایش ظرفیت ترانسفورماتورها ،

توسعه خطوط ، تغییر سطح مقطع سیم های خطوط ، نصب کاپاسیتور ، نصب راکتور ، تغییر درجه

کارتپ چنجر ترانس ، ...

در حقیقت :

از مطالعه پخش بار جهت کار ایده آل ، بهینه سیستم استفاده می نمائیم.

از آن جایی که سیستم های قدرت به صورت سه فاز متعادل تحت شرایط ماندگار یا پایدار

(Steady State) مورد بهره برداری قرار می گیرند. بنابراین در بحث پخش بار (Load Flow) فقط

معادل مثبت (مستقیم) شبکه مورد تجزیه قرار می گیرد یعنی :

سیستم در حالت نرمال و متقارن :

ترتیب مثبت وجود دارد.

ترتیب منفی و صفر (هموپولر) وجود ندارد.

دسته بندی نوع باس بارها (شین ها) :

Type(1) -1 شین بار (Load bus)

Type(2) 2 - شین ژنراتور یا شین مربوط به نیروگاهها

(Generation bus) یا (Voltage Controlled bus)

Type(0) 3 - شین مبنی یا اسلگ (Swing or slack bus) یا (Reference bus)

که در حقیقت شین بی نهایت سیستم می باشد. یا بزرگ ترین شین سیستم یا شین نزدیک به بزرگ ترین نیروگاه در شبکه.

کمیت هر شین :

به طور کلی در هر یک از شین های یک شبکه قدرت چهار نوع پارامتر اصلی داریم که عبارتند از :

P : قدرت اکتیو تزریق شده و یا جذب شده.

Q : قدرت راکتیو تزریق شده و یا جذب شده.

$|V|$: مدول ولتاژ در شین.

θ : زاویه فاز ولتاژ در شین.

و همان طوری که قبلاً بیان گردید در بررسی تقسیم بار شینه های یک سیستم قدرت به سه گروه اصلی

تقسیم گردیدند.

شین ژنراتور یا شین مولد :

به شینی اطلاق می شود که به آن مولد اتصال داده شده است و در یک سیستم انرژی معمولاً " وجود وسائل کنترل تحریک و کنترل توربین باعث تنظیم و ثابت نگهداشتن ولتاژ و توان می شوند فلذا روی اینگونه شین ها P و $|V|$ ثابت فرض می شوند (مقادیر معلوم) Q و θ به عنوان مقادیر مجهول بایستی به دست آورد.

شین بار یا شین مصرف:

چون تغییرات کم ولتاژ روی توان حقیقی و غیر حقیقی بسیاری از بارهای مصرفی تاثیر زیاد نمی گذارند ، لذا $MVAR$ و MW این شینه ها مستقل از ولتاژ در نظر گرفته می شوند بنابراین P و Q ثابت (مقادیر معلوم) و $|V|$ و θ متغیر (مقادیر مجهول) که بایستی تعیین گردند.

شین مبنی :

که در آن $|V|$ و θ ثابت فرض می شوند و این شین جهت تعیین اختلاف فاز به عنوان مبنا انتخاب

می شود و در آن $\theta = 0$ فرض می شود.

بنابراین :

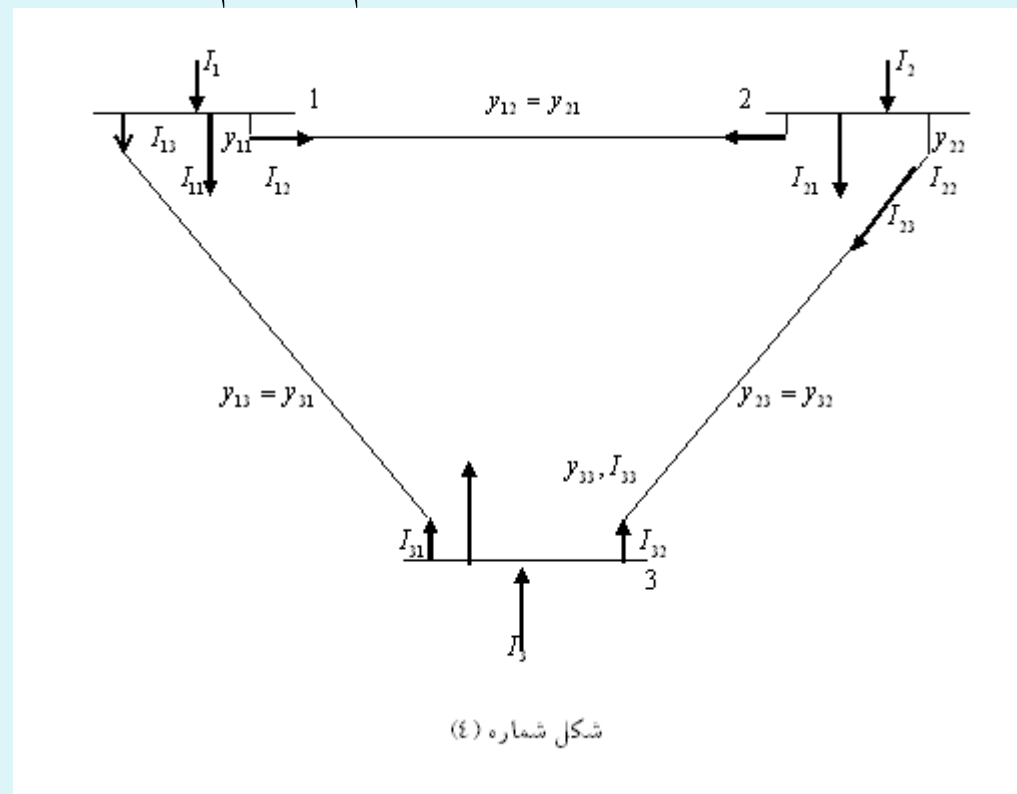
در شین مولد Q و θ ، در شین مصرف $|V|$ و θ و در شین مبنی بر P و Q بایستی تعیین و پس از

مشخص گردیدن مقادیر فوق به آسانی قدرت انتقالی و تلفات موجود را در هر یک از المان های شبکه

می توان تعیین نمود.

ماتریس ادمیانس شبکه ی سه باس باره:

اگر ماتریس اطلاعات را برای شبکه سه شینه نیز بررسی کنیم خواهیم داشت:



از طرفی می دانیم که :

$$y_{11} = 1 \text{ بار متصل به شین 1}$$

$$y_{22} = 2 \text{ بار متصل به شین 2}$$

$$y_{33} = 3 \text{ بار متصل به شین 3}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 = I_{11} + I_{12} + I_{13} \\ I_2 = I_{22} + I_{21} + I_{23} \\ I_3 = I_{31} + I_{32} + I_{33} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 = y_{11}V_1 + (V_1 - V_2)y_{12} + (V_1 - V_3)y_{13} \\ I_2 = y_{22}V_2 + (V_2 - V_1)y_{21} + (V_2 - V_3)y_{23} \\ I_3 = y_{33}V_3 + (V_3 - V_1)y_{31} + (V_3 - V_2)y_{32} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 = y_{11}V_1 + y_{12}V_1 - y_{12}V_2 + y_{13}V_1 - y_{13}V_3 \\ I_2 = y_{22}V_2 + y_{21}V_2 - y_{21}V_1 + y_{23}V_2 - y_{23}V_3 \\ I_3 = y_{33}V_3 + y_{31}V_3 - y_{31}V_1 + y_{33}V_3 - y_{32}V_2 \end{array} \right\}$$

ویا

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 = V_1(y_{11} + y_{12} + y_{13}) - V_2y_{12} - V_3y_{13} \\ I_2 = V_1y_{21} + V_2(y_{22} + y_{21} + y_{23}) - V_3y_{23} \\ I_3 = V_1y_{31} - V_2y_{32} + V_3(y_{31} + y_{32} + y_{33}) \end{array} \right\}$$

از طرفی می دانیم که: $y_{12} = y_{21}$ ، $y_{13} = y_{31}$ و $y_{23} = y_{32}$

و فرض می کنیم که:

ادمیتانس کل معادل شین (1)

$$y_{11} + y_{12} + y_{13} = Y_{11}$$

ادمیتانس کل معادل شین (2)

$$y_{21} + y_{22} + y_{23} = Y_{22}$$

ادمیتانس کل معادل شین (3)

$$y_{31} + y_{32} + y_{33} = Y_{33}$$

$$- y_{21} = - y_{12} = Y_{12}$$

$$- y_{13} = - y_{31} = Y_{13} = Y_{31}$$

$$- y_{23} = - y_{32} = Y_{23} = Y_{32}$$

بعد از جایگذاری در روابط قبلی خواهیم داشت :

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3 \\ I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3 \\ I_3 = Y_{31}V_1 + Y_{32}V_2 + Y_{33}V_3 \end{array} \right.$$

حال اگر معادلات فوق را به صورت ماتریسی شکل در بیاوریم خواهیم داشت :

برای یک سیستم سه شینه

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix}$$

$$[I_{bus}] = [Y_{bus}][V_{bus}]$$

و در نهایت برای یک سیستم n شینه اگر توسعه دهیم خواهیم داشت :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \dots Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \dots Y_{2n} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \dots Y_{3n} \\ \cdot & \cdot & \dots \\ \cdot & \cdot & \dots \\ \cdot & \cdot & \dots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & Y_{n3} \dots Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ V_n \end{bmatrix}$$

رابطه کلی برای باس P :

$$I_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_q \quad P = 1, 2, \dots, n$$

برای حالت خاص 2 باس خواهیم داشت :

$$I_2 = \sum_{q=1}^n Y_{2q} V_q = Y_{21} V_1 + Y_{22} V_2 + Y_{23} V_3 + Y_{24} V_4 + \dots \quad p = 2$$

$(diagonal\ element) = Y_{pp}$ یا جمع ادمیتانس های متصل به شین p

(المان های قطری) ماتریس ادمیتانس

$(Off\ diagonal\ element) = Y_{pq}$ - یا منهای ادمیتانس بین شین p و q

البته رابطه کلی $I_p = \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_q, p=1, \dots, n$ را می توان به صورت زیر نوشت :

$$I_p = Y_{pp} V_p + \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_q$$

$q \neq p, p = 1, 2, \dots, n$
www.spcpowerplant.blogfa.com همه چیز درباره
نیروگاه

$$(I) \quad V_p = \frac{1_p}{Y_{pp}} - \frac{1}{Y_{pp}} \sum_{q \neq 1}^n Y_{pq} V_q$$

$$q \neq p, \quad p = 1, 2, \dots, n$$

می دانیم که :

$$S = VI^* \quad I = |I| \angle a \Rightarrow I^* = |I| \angle -a \quad I^* = \frac{S}{V} \quad \text{و یا} \quad I = \frac{S^*}{V^*}$$

داشتیم ،

$$[I_{bus}] = [Y_{bus}][V_{bus}]$$

$$\left[\frac{S^*}{V^*} \right] = [Y_{bus}][V_{bus}]$$

و برای شین p می توان نوشت :

$$S_p = V_p I_p^* \rightarrow I_p^* = \frac{S_p}{V_p} \Rightarrow I_p = \frac{S_p^*}{V_p^*}$$

$$S_p = P_p + jQ_p \Rightarrow S_p^* = P_p - jQ_p$$

$$(II) \quad I_p = \frac{P_p - jQ_p}{V_p^*}$$

فذا:

اگر رابطه // را در معادله | جایگذاری کنیم خواهیم داشت:

$$V_p = \frac{\frac{P_p - jQ_p}{V_p^*}}{Y_{pp}} - \frac{1}{Y_{pp}} \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_q$$

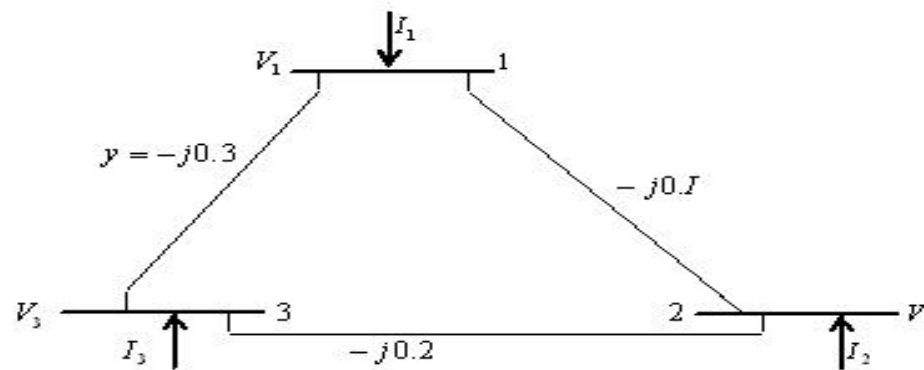
$$q \neq p, \quad p = 1, 2, \dots, n$$

$$(III) \quad V_p = \frac{1}{Y_{pp}} \left[\frac{P_p - jQ_p}{V_p^*} - \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_q \right]$$

$$q \neq p, \quad P = 1, 2, \dots, n$$

معادلات II و III معادلات اساسی *Load flow* می باشند که معادلات غیر خطی بوده و به راحتی با دست امکان حل آن ها وجود نخواهد داشت و با استفاده از روش های تحلیل عددی در قسمت های بعدی مختصراً " توضیح داده خواهد شد توسط برنامه های کامپیوتری حل خواهد گردید.

تمرین 22: Y_{bus} شبکه سه شینه زیر را به دست آورید.



$$[Y_{bus}] = \begin{vmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -j0.4 & +j0.1 & +j0.3 \\ +j0.1 & -j0.3 & +j0.2 \\ -j0.3 & +j0.2 & -j0.5 \end{vmatrix}$$

روش های تحلیل عددی:

1 - روش گوس سیدال (*Gauss-Seidel*)

2 - روش تکرار نیوتن رافسون (*Newton Raphson*)

اساس این روش ها بر مبنای تکرار استوار است و بدین جهت آن ها را روش های تکراری می نامند طبق این روش ها دائما " تخمین های دقیق تری از مقادیر مجهول محاسبه شده و بالاخره پس از چندین تکرار جواب نسبتا " دقیقی به دست می آید. هنگامی که مسئله به جواب رسید اصطلاحا " گویند که حل مسئله همگرا می باشد.

به طور کلی می توان گفت که روش های تکراری بر این پایه استوارند که از مجهولات به

دست آمده در تکرار مرحله K می توان این مجهولات را برای تکرار مرحله $K+1$ تخمین زد.
در مسائل مربوط به پخش بار نیز از روش های متداول تکراری کمک می گیریم.
تقریباً " در تمامی برنامه های کامپیوتری جهت مسائل پخش بار از دو روش تکراری فوق الذکر استفاده می گردد.

1 - روش گوس سیدال:

با استفاده از مثال زیر به بررسی روش گوس سیدال می پردازیم.

$$x + \sin x - 2 = 0$$

$$x = -\sin x + 2$$

$$x = 0 \quad \text{تخمین اولیه}$$

مرحله 1

$$x = -\sin 0 + 2 = 2$$

مرحله 2

$$x = -\sin 2^{rad} + 2 = 2 - \sin 2^{rad} = 1.09$$

مرحله 3

$$x = 2 - \sin 1.09^{rad} = 1.113$$

مرحله 4

$$x = 2 - \sin 1.113^{rad} = 1.1028$$

مرحله 5

$$x = 2 - \sin 1.1028^{rad} = 1.1075$$

مرحله 6

$$x = 2 - \sin 1.1075^{rad} = 1.1054$$

مرحله 7

$$x = 2 - \sin 1.154^{rad} = 1.1063$$

مرحله 8

$$x = 2 - \sin 1.1063^{rad} = 1.1059$$

مرحله 9

$$x = 2 - \sin 1.1059^{rad} = 1.10612$$

مرحله 10

$$x = 2 - \sin 1.10612^{rad} = 1.10603$$

مرحله 11

$$x = 2 - \sin 1.10603^{rad} = 1.10607$$

مرحله 12

$$x = 2 - \sin 1.10607^{rad} = 1.10605$$

مرحله 13

$$x = 2 - \sin 1.10605^{rad} = 1.10602$$

مرحله 14

$$x = 2 - \sin 1.106062^{rad} = 1.106059$$

مرحله 15

$$x = 2 - \sin 1.106059^{rad} = 1.106060$$

یعنی 1.106060 جواب مسئله می باشد.

$$\Delta x < \varepsilon$$

جواب زمانی حاصل می گردد که :

Δx : عبارتست از اختلاف جواب مسئله با جواب یک مرحله قبل از آن مثلا " در مثال بالا

جواب مسئله 1.106060 و جواب یک مرحله قبل از آن 1.106059 می باشد در واقع :

$$\Delta x = 1.106060 - 1.106059 = 1 \times 10^{-6}$$

ε : عبارتست از یک عدد معین که جزو داده ها می باشد.

اگر تکرار به پاسخ منجر گردد در آن صورت مسئله همگرا است.

اگر تکرار به پاسخ منجر نگردد در آن صورت مسئله واگرا است.

www.spowpowerplant.blogfa.com همه چیز در باره

نیروگاه

2 - روش نیوتن رافسون:

برای محاسبات مربوط به پخش بار در سیستم های بزرگ ، گاهی استفاده از روش گوس سیدال طولانی بوده و تعداد تکرارها زیاد می باشد حتی گاهی اوقات روش گوس سیدال واگرا نیز خواهد بود و به جواب منتهی نمی گردد.

در سیستم های بزرگ برای محاسبات پخش بار از روش نیوتن رافسون استفاده می شود.

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1(x_1, x_2, \dots, x_n, \dots, x_{2n}) = 0 \\ F_2(x_1, x_2, \dots, x_n, \dots, x_{2n}) = 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ F_{2n}(x_1, x_2, \dots, x_n, \dots, x_{2n}) = 0 \end{array} \right. \quad \text{روش حل معادلات به روش نیوتن رافسون :}$$

اگر $2n = N$

همه چیز در بار www.powerplant.blogfa.com نیروگاه

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1(x_1, x_2, \dots, x_N) = 0 \\ F_2(x_1, x_2, \dots, x_N) = 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ F_N(x_1, x_2, \dots, x_N) = 0 \end{array} \right.$$

حال $2n$ معادله $2n$ مجهولی خواهیم داشت ،

در مرحله اول جواب ها را تخمین می زنیم :

محاسبه می نمائیم	حدس می زنیم
Δx_1	x_1
Δx_2	x_2
Δx_3	x_3
.	.
.	.
.	.
Δx_N	x_n

معادلات فوق الذکر را به صورت زیر در می آوریم:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, x_3 + \Delta x_3, \dots, x_N + \Delta x_n) = 0 \\ F_2(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, x_3 + \Delta x_3, \dots, x_N + \Delta x_n) = 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ F_N(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, x_3 + \Delta x_3, \dots, x_N + \Delta x_n) = 0 \end{array} \right.$$

به سری تیلر بسط می دهیم خواهیم داشت:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 F_1(x_1, x_2, \dots, x_N) + \frac{\partial F_1}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial F_1}{\partial x_2} \Delta x_2 + \frac{\partial F_1}{\partial x_3} \Delta x_3 + \dots + \frac{\partial F_1}{\partial x_N} \Delta x_N + \text{مشتق سوم} + \text{مشتق دوم} + \dots = 0 \\
 F_2(x_1, x_2, \dots, x_N) + \frac{\partial F_2}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial F_2}{\partial x_2} \Delta x_2 + \frac{\partial F_2}{\partial x_3} \Delta x_3 + \dots + \frac{\partial F_2}{\partial x_N} \Delta x_N + \text{مشتق سوم} + \text{مشتق دوم} + \dots = 0 \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 F_N(x_1, x_2, \dots, x_N) + \frac{\partial F_N}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial F_N}{\partial x_2} \Delta x_2 + \frac{\partial F_N}{\partial x_3} \Delta x_3 + \dots + \frac{\partial F_N}{\partial x_N} \Delta x_N + \text{مشتق سوم} + \text{مشتق دوم} + \dots = 0
 \end{array} \right.$$

به شکل ماتریس در می آوریم :

$$\begin{array}{c}
 F_1 \\
 F_2 \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 F_N
 \end{array}
 \left| \begin{array}{c}
 \frac{\partial F_1}{\partial x_1} \quad \frac{\partial F_1}{\partial x_2} \quad \dots \quad \frac{\partial F_1}{\partial x_N} \\
 \frac{\partial F_2}{\partial x_1} \quad \frac{\partial F_2}{\partial x_2} \quad \dots \quad \frac{\partial F_2}{\partial x_N} \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \frac{\partial F_N}{\partial x_1} \quad \frac{\partial F_N}{\partial x_2} \quad \dots \quad \frac{\partial F_N}{\partial x_N}
 \end{array} \right|
 +
 \begin{array}{c}
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot
 \end{array}
 *
 \begin{array}{c}
 \Delta x_1 \\
 \Delta x_2 \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \Delta x_N
 \end{array}
 = 0$$

ماتریس ژاکوبین J

با صرف نظر کردن مشتق دوم و به بعد :

$$[F] + [J][\Delta x] \cong 0$$

$$[\Delta x] \cong -[J]^{-1} \cdot [F]$$

$[F]$ ماتریس ستونی

$[J]$ ماتریس ژاکوبین

در مرحله نخست پیدا می شود.

تمرین 23: دو معادله دو مجهولی غیر خطی زیر را به روش نیوتن رافسون حل کنید.

$$\begin{cases} 2x_1 + x_1x_2 - 1 = 0 \\ 2x_2 + x_1x_2 - 1 = 0 \end{cases}$$

تخمین اولیه :

$$\begin{cases} x_1^{(0)} = 0 \\ x_2^{(0)} = 0 \end{cases}$$

به جای x_1 و x_2 در معادلات صفر قرار داده و ماتریس ستونی F را پیدا می کنیم:

$$F^{(0)} = \begin{bmatrix} -1 \\ +1 \end{bmatrix}$$

ماتریس J (ژاکوبین) را که عبارتست از $\begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x_1} & \frac{\partial F_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial F_2}{\partial x_1} & \frac{\partial F_2}{\partial x_2} \end{bmatrix}$ می باشد به دست می آوریم:

$$[J] = \begin{bmatrix} 2 + x_2 & x_1 \\ -x_2 & 2 - x_1 \end{bmatrix}$$

تخمین اولیه $x_2^{(0)} = 0, x_1^{(0)} = 0$ را در ماتریس ژاکوبین جایگذاری می نمائیم.

$$[J] = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \quad [J]_{(0)}^{-1} = \frac{[J]_{adj}^{(0)}}{\Delta} = \frac{\begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}}{4} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

$$[\Delta]^{(0)} = -[J]_{(0)}^{-1} [F]^{(0)} = - \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 \\ +1 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} \\ +\frac{1}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} +\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \end{bmatrix}$$

در مرحله بعدی :

$$\begin{cases} x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)} = x_1^{(0)} = 0 + \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \\ x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)} = x_2^{(0)} = 0 - \frac{1}{2} = -\frac{1}{2} \end{cases}$$

$$F^{(1)} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{4} \\ +\frac{1}{4} \end{bmatrix}, [J]^{(1)} = \begin{bmatrix} +\frac{3}{2} & +\frac{1}{2} \\ +\frac{1}{2} & +\frac{3}{2} \end{bmatrix}$$

$$[J]_{(1)}^{-1} = \frac{[J]_{adj}^{(1)}}{\Delta} = \frac{\begin{bmatrix} +\frac{3}{2} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & +\frac{3}{2} \end{bmatrix}}{2} \quad \Delta = \frac{9}{4} - \frac{1}{4} = \frac{8}{4} = 2$$

$$[J]_{(1)}^{-1} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} +3/2 & -1/2 \\ -1/2 & +3/2 \end{bmatrix}, \quad [\Delta x]^{(1)} = -[J]_{(1)}^{-1} [F]^{(1)} = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} +3/2 & -1/2 \\ -1/2 & +3/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1/4 \\ +1/4 \end{bmatrix}$$

$$\Delta x^{(1)} = \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \end{bmatrix}^{(1)} = \begin{bmatrix} -3/4 & +1/4 \\ +1/4 & -3/4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1/4 \\ +1/4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} +1/4 \\ -1/4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} +0.25 \\ -0.25 \end{bmatrix}$$

با یکی دو بار تکرار دیگر جواب دقیق تر به دست می آید.

$$\begin{cases} x_1^{(2)} = x_1^{(1)} + \Delta x_1^{(1)} = \frac{1}{2} + 0.25 = 0.75 \\ x_2^{(2)} = x_2^{(1)} + \Delta x_2^{(1)} = \frac{1}{2} - 0.25 = -0.75 \end{cases}$$

در روش نیوتن رافسون زودتر از روش گوس

سیدال به جواب می رسیم.