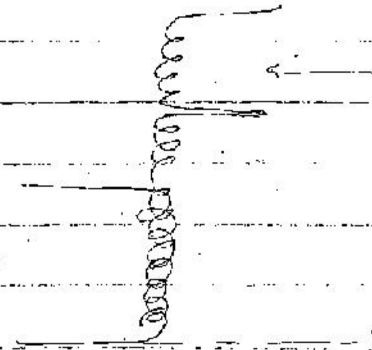


$$\vec{V}'_{A\,sec} = \vec{V}_{A\,sec} + \Delta\vec{V}_{B\,sec}$$

$$\vec{V}_{A\,sec} = \vec{V}'_{A\,sec} + \Delta\vec{V}_{B\,sec}$$

تپ چنجر (tap changer) ولتاژ را بالا می‌برد؟

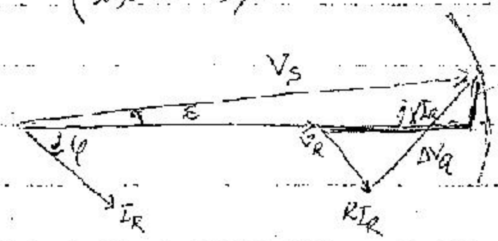
تپ چنجرها می‌توانند هم فاز باشند هم غیر هم فاز باشند

- ممکن است off-load باشند، برای تغییر آن باید بار را قطع کرد

- ممکن است on-load باشند، یعنی می‌توان زیر بار آن را تغییر داد

- تغییرات ولتاژ توسط تپ چنجر در حدود ده است (±10 درصد)

کنترل مقدار ولتاژ - توان راکتیو



تقریب ΔV_Q زمانی درست است که ε کوچک باشد.

$$\Delta V_Q \cong V_S - V_R = R I_R \cos\varphi + X I_R \sin\varphi = \frac{R P_R + X Q_R}{V_R}$$

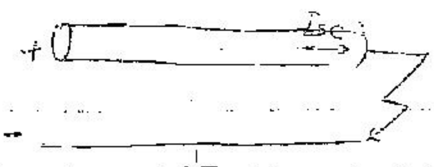
$$\frac{\partial P_R}{\partial V_R} = \frac{V_S - 2V_R}{R} \qquad \frac{\partial Q_R}{\partial V_R} = \frac{V_S - 2V_R}{X}$$

$$dV_R = \frac{dP}{\partial P_R/\partial V_R} + \frac{dQ}{\partial Q_R/\partial V_R} = \frac{X}{V_S - 2V_R}\left[\frac{R}{X}dP + dQ\right], \quad \frac{R}{X} \ll 1$$

$$dV_R = \frac{X}{V_S - 2V_R}\cdot dQ \quad , \quad dQ = \frac{V_S - 2V_R}{X}\cdot dV_R \cong \frac{V_S}{X}\, dV_R$$

جریان اتصال کوتاه در محل مصرف کننده

[illegible]



$$\boxed{dQ = -I_{sc}\cdot dV_R}$$

اگر بخواهیم ولتاژ را افزایش دهیم $dQ<0$ خازن باید بگذاریم

- افت ولتاژ 〃 〃 〃 کم 〃 〃 $dQ>0$ راکتور 〃 〃

$dV_R<0$

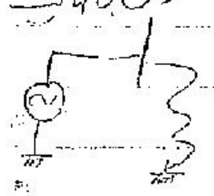
بررسی صلابت شبکه باس

سطح اتصال کوتاه

$$\boxed{dQ = -\left(\frac{S_{SC}}{\sqrt{3}\,V_{LL\,nominal}}\right) dV_R}$$

هر چه سطح اتصال کوتاه بیشتر باشد (جریان اتصال کوتاه بیشتر باشد)، تغییر در ولتاژ مشکل‌تر است.

شین بی‌نهایت



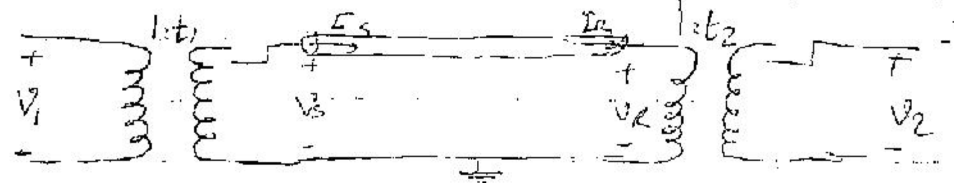
سطح اتصال کوتاه = ∞

نمی‌توان در ولتاژ شبکه تغییری ایجاد کرد.

شبکه ضعیف: سطح اتصال کوتاه پایین، تغییر ولتاژ راحت است.
امپدانس تونن پشت شین زیاد است.

شبکه قوی: سطح اتصال کوتاه بالا، تغییر ولتاژ دشوار.
امپدانس پشت شین کوچک است.

کنترل مقدار ولتاژ به تنظیم کننده ولتاژ:



$$\bar{V}_S = \bar{V}_R + \bar{I}_R \vec{Z} \qquad V_S \approx V_R + \Delta V_Q = V_R + \frac{R P_R + X Q_R}{V_R}$$

$$t_1 V_1 = \frac{V_2}{t_2} + \frac{R P_R + X Q_R}{V_2/t_2} \qquad t_1 t_2 V_1 V_2 = V_2^2 + t_2^2 (R P_R + X Q_R)$$

$$\boxed{t_1 t_2 = k} \qquad \boxed{\frac{V_2}{V_1} = m} \qquad \boxed{t_2^2 = \frac{V_1 V_2 (k-m)}{R P_R + X Q_R} \approx \frac{V_{nominal}^2 (k-m)}{R P_R + X Q_R}}$$

[illegible]

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{t_1} & 0 \\ 0 & t_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{t_2} & 0 \\ 0 & t_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{t_1} & 0 \\ 0 & t_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{t_2} & 0 \\ 0 & t_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{A}{t_1 t_2} & B\frac{t_2}{t_1} \\ C\frac{t_1}{t_2} & D t_1 t_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

حـ ۸/۲۲

ماحصل انتقال توان ـ تلفات الکتریکی:

اهمیت تلفات الکتریکی در آن است که هزینه جاری است پس باید تا حد ممکن کاهش یابد.

تلفات در خط تکفاز:

$$P_{Loss} = Re\left[\vec{S}_{loss}\right] = Re\left[\vec{S}_S - \vec{S}_R\right]$$

$$\vec{S}_{loss} = \vec{V}_S \vec{I}_S^* - \vec{V}_R \vec{I}_R^* \underset{\vec{I}_S = \vec{I}_R}{=} \vec{V}_S \vec{I}_R^* - \vec{V}_R \vec{I}_R^*$$

$$= (\bar{V}_S - \bar{V}_R)\,\bar{I}_R^* = (\bar{V}_S - \bar{V}_R)\,\frac{(\bar{V}_S - \bar{V}_R)^*}{\bar{Z}^*}$$

با جایگذاری رابطه تلفات توان را بدست آوریم

$$\bar{Z} = Z\angle\theta_Z \quad , \quad \vec{V}_S = V_S\angle\delta \quad , \quad \vec{V}_R = V_R\angle 0$$

$$P_{loss} = \frac{\cos\theta_Z}{Z}\left[V_S^2 + V_R^2 - 2V_S V_R \cos\delta\right]$$

$\bar{V}_S$ و $\bar{V}_R$ ولتاژ فاز به زمین

$$\text{سه فاز } P_{loss} = \overset{\text{کل}}{3 P_{loss}} = \frac{\cos\theta_Z}{Z}\left[V_{LLS}^2 + V_{LLR}^2 - 2V_{LLS} V_{LLR} \cos\delta\right]$$

$$\vec{S}_R = \vec{V}_R \vec{I}_R^* = \vec{V}_R \left(\frac{\bar{V}_S - \bar{V}_R}{\bar{Z}}\right)^*$$

$$P_R = \frac{1}{R^2+X^2}\left[R V_R V_S \cos\delta + X V_R V_S \sin\delta - R V_R^2\right]$$

$$Q_R = \frac{1}{R^2+X^2}\left[X V_R V_S \cos\delta - R V_R V_S \sin\delta - X V_R^2\right]$$

$$P_{loss} = R\frac{P_R^2 + Q_R^2}{V_R^2}$$ تعریف جدید :

$$P_{loss} = \frac{R}{R^2+X^2}\left[V_S^2 + V_R^2 - 2V_S V_R \cos\delta\right]$$ نتیجه قبلی :

با توجه به روابط فوق، اشکال دیگری که توان راکتیو در خطوط انتقال ایجاد می‌کند تلفات است.
بنابراین کاهش تلفات مستلزم کاهش توان راکتیو است

$$S_S = \bar{V}_S \bar{I}_S^* = \bar{V}_S\left(\frac{\bar{V}_S - \bar{V}_R}{\bar{Z}}\right)^*$$

$$P_S = \frac{1}{R^2+X^2}\left[-R V_R V_S \cos\delta + X V_R V_S \sin\delta + R V_S^2\right]$$

$$Q_S = \frac{1}{R^2+X^2}\left[-X V_R V_S \cos\delta - R V_R V_S \sin\delta + X V_S^2\right]$$

$$P_{loss} = R\,\frac{P_S^2 + Q_S^2}{V_S^2}$$ تعریف جدید :

$$P_{loss} = \frac{R}{R^2+X^2}\left[V_S^2 + V_R^2 - 2V_S V_R \cos\delta\right]$$ نتیجه قبلی

$$P_{loss} = R\,\frac{P_S^2 + Q_S^2}{V_S^2} = R\,\frac{P_R^2 + Q_R^2}{V_R^2}$$

عوامل موثر بر کاهش تلفات :

۱. مقاومت خط انتقال

۲. توان راکتیو عبوری از خط انتقال

$$P_{loss}\big|_{3\phi} = 3P_{loss}\big|_{1\phi}$$

$$P_{loss}\big|_{3\phi} = R\,\frac{P_{3\phi S}^2 + Q_{3\phi S}^2}{U_\phi^2} = R\,\frac{P_{3\phi R}^2 + Q_{3\phi R}^2}{U_\phi^2}$$

U ولتاژ خط به خط است

مفاهیم انتقال توان - کنترل توان راکتیو :

با توجه به تاثیر عبور توان راکتیو از خطوط بر مقادیر ولتاژ شین‌ها و تلفات خطوط

میزان توان راکتیو عبوری در خطوط چه مقداری باشد؟
یا عبور کردن باید چه مقداری محدود کنیم؟

کنترل توان راکتیو { تنظیم کننده ولتاژ در ترانسفورماتورها
کنترل توان راکتیو

برای این کار چه مقدار باید هزینه کنیم؟
سرمایه گذاری در خرید و نصب خازن و راکتور برای نقاط مختلف شبکه و لوازم اندازه گیری و حفاظت مربوط و هزینه جاری نگهداری از آن ها

هدف از اقدام فوق { ۱) رضایت مشتری
۲) کاهش تلفات

- چون تلفات یک هزینه جاری است به صرفه ترین کار مینیمم کردن تلفات می باشد.

~~هدف~~
- با توجه به تغییر لحظه ای بار مصرف کننده ها عملیات بهینه سازی مقدار توان راکتیو عبوری از خطوط باید به صورت مداوم انجام شود.

هدف در کنترل توان راکتیو:
۱) کمینه کردن تلفات:
با صرف نظر کردن از تاثیر توان راکتیو در زاویه ولتاژ:

$$\frac{dP_{loss}}{dV_R} = 2V_R - 2V_S \cos\delta = 0$$

$$\rightarrow V_R = V_S \cos\delta$$

مشخصات:

$$V_R < V_S$$

$$P_{loss} = \frac{V_S^2}{Z} \cos\theta_Z \sin^2\delta = (P_{loss})_{min}$$

$$P_R = \frac{V_S^2}{Z} \cdot \sin\delta \cdot \cos\delta \cdot \sin\theta_Z$$

جبران سازی خط انتقال

۲. صفر کردن توان راکتیو بار :

توان راکتیو مورد نیاز مصرف کننده را صفر می کنیم :

$$Q_R = \frac{V_S V_R}{Z}\sin(\theta_Z - \delta) - \frac{V_R^2}{Z}\sin\theta_Z = 0$$

$$V_R = V_S\frac{\sin(\theta_Z - \delta)}{\sin(\theta_Z)}$$

<u>شرایط</u> :

$V_R < V_S$

$$P_{loss} = \frac{V_S^2}{Z}\cos\theta_Z \frac{\sin^2\delta}{\sin^2\theta_Z}$$

$$P_R = \frac{V_S^2}{Z}\sin\delta \cdot \frac{\sin(\theta_Z - \delta)}{\sin^2\theta_Z}$$

که مقادیر فوق با حالت قبل تفاوت دارد و از مقدار حالت قبل بیشتر است .

۳. صفر کردن افت پتانسیل روی خط :

<u>شرایط</u> :

$V_R = V_S$

$$P_{loss} = \frac{V_S^2}{Z}\cos\theta_Z\left(4\sin^2\frac{\delta}{2}\right)$$

$$P_R = \frac{V_S^2}{Z}\sin\delta \cdot \frac{\sin(\theta_Z - \delta/2)}{\cos\delta/2}$$

ملاحظه می شود مقادیر این حالت نیز با حالتهای قبلی متفاوت است .

۴. صفر کردن توان راکتیو ورودی به خط :

$$Q_S = \frac{V_S^2}{Z}\sin\theta_Z - \frac{V_S V_R}{Z}\sin(\theta_Z + \delta) = 0$$

$$V_R = V_S\frac{\sin\theta_Z}{\sin(\theta_Z + \delta)}$$

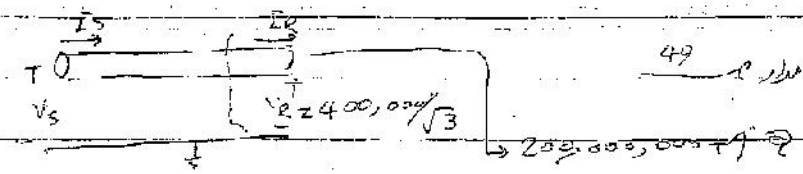
<u>شرایط</u> :

$V_R > V_S$

$$P_{loss} = \frac{V_S^2}{Z}\cos\theta_Z \frac{\sin^2\delta}{\sin^2(\delta + \theta_Z)}$$

$$P_R = \frac{V_S^2}{Z}\sin\theta_Z \cdot \frac{\sin(\theta_Z - \delta)}{\sin^2(\theta_Z + \delta)}$$

مثال - امتحان 49

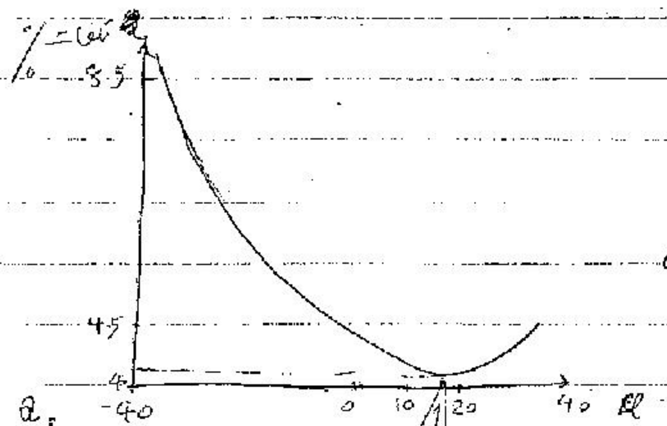


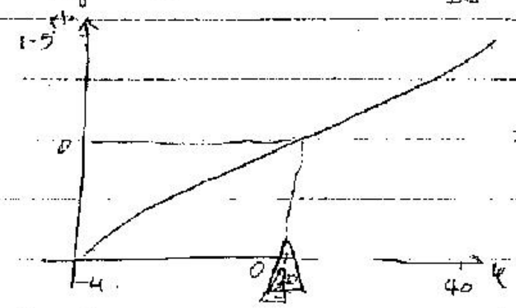
مشخصات کمینه:

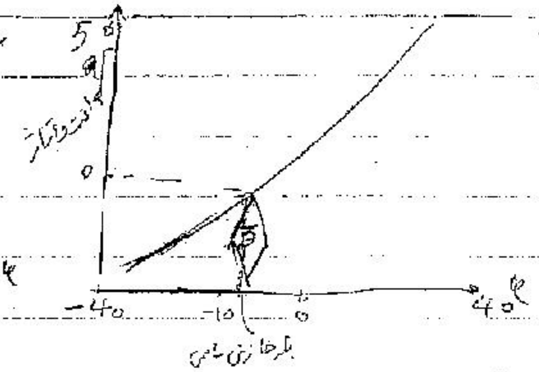
۲. ضریب قدرت یک

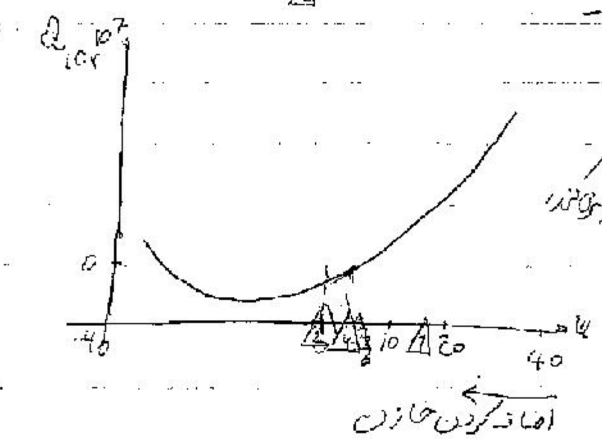
۳. افت ولتاژ صفر

۴. صفر کردن توان راکتیو عبوری







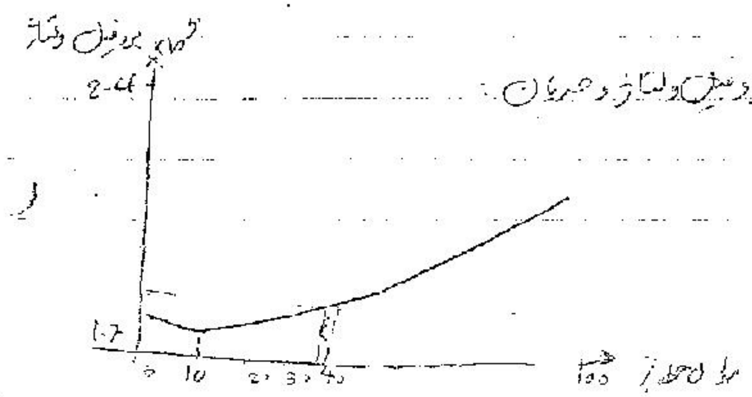


- با تغییر توان راکتیو، ولتاژ و جریان تغییر کند؛

بعد از مینیمم شدن ولتاژ و جریان،

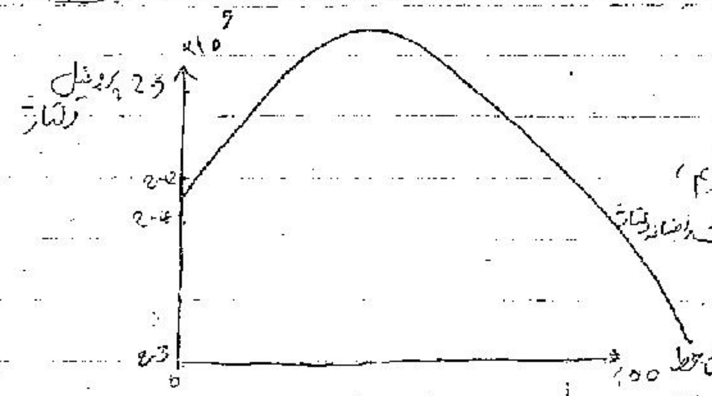
باید [illegible]

توان راکتیو به شبکه وارد کنیم -



مفاهیم انتقال توان - رسم پروفیل ولتاژ و جریان:

- اضافه ولتاژ دارد.



ـ اضافه ولتاژ انتهای را با نصب راکتور کنترل می‌کنیم، اما در وسط خط ممکن است اضافه ولتاژ داشته باشیم. [بستگی] به انتقال کوتاه و جبرانی ایجاد شود.

ـ پیشنهاد می‌شود در طول خط چند راکتور قرار داده شود.

مفاهیم انتقال توان ـ راندمان خط انتقال:

معرفی باری که تا به آن منتهی ... در خط انتقال تغذیه شده است.

(با استفاده از بار طبیعی افت ولتاژ را صفر کردیم)

$$\eta = \frac{Re[\vec{V}_R \vec{I}_R^*]}{Re[\vec{V}_S \vec{I}_S^*]}$$ = راندمان خط انتقال

در یک خط انتقال: $A=D$, $AD-BC=1$

$$\vec{I}_R = I_R \angle -\varphi \ , \ \vec{V}_R = V_R \angle 0$$

$$Re[\vec{V}_R \vec{I}_R^*] = V_R I_R \cos\varphi$$

$$Re[\vec{V}_S \vec{I}_S^*] = V_R^2 \, Re(\vec{A}\vec{C}^*) + I_R^2 \, Re(\vec{B}\vec{A}^*) + V_R I_R [A^2\cos\varphi + Re(\vec{B}\vec{C}^*)\cos\varphi + Im(\vec{B}\vec{C}^*)\sin\varphi]$$

شرط دستیابی به حداکثر راندمان: $\frac{\partial \eta}{\partial I_R} = 0$, $\frac{\partial \eta}{\partial V_R} = 0$, $\frac{\partial \eta}{\partial (\cos\varphi)} = 0$

بار optimum: $Z_{opt} = \frac{V_R}{I_R} = \sqrt{\frac{Re(\vec{B}\vec{A}^*)}{Re(\vec{A}\vec{C}^*)}}$ ـ مقدار امپدانس بهینه

زاویه: $(\sin\varphi)_{opt} = \frac{-Im(\vec{B}\vec{C}^*)}{2\sqrt{Re(\vec{A}\vec{C}^*)\cdot Re(\vec{B}\vec{A}^*)}}$ ـ زاویه امپدانس بهینه

از روابط فوق می‌خواهیم که Z در φ مربوطه به پارامترهای خط انتقال وابسته است.

$\cos\varphi = \dfrac{V_R^2}{B\sqrt{\frac{L}{C}}}$

$$\frac{P_{opt}}{SIL} = \sqrt{\frac{L}{C}}\;\frac{\left\{4Re(\vec{A}\vec{C}^*)\,Re(\vec{B}\vec{A}^*) - \left[Im(\vec{B}\vec{C}^*)\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}}}{2Re(\vec{B}\vec{A}^*)} = \frac{V_R \overset{\frac{V_R}{Z_{opt}}}{I_R} \cos\varphi}{\frac{V^2}{\sqrt{\frac{L}{C}}}} = \sqrt{\frac{L}{C}}\cdot\frac{\cos\varphi}{Z_{opt}}$$

$$\eta_{max} = A^2 + Re(\vec{B}\vec{C}^*) - 2\frac{Re(\vec{B}\vec{A}^*)}{\sqrt{\frac{L}{C}}}\,\frac{P_{opt}}{SIL}$$

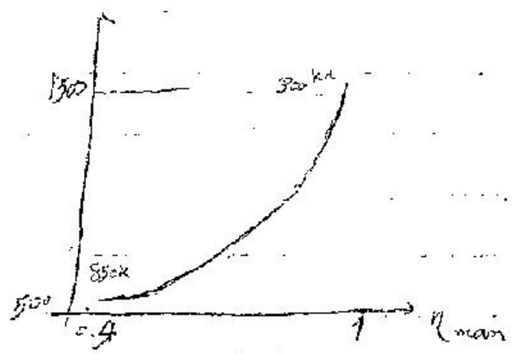
$(\sin\varphi)_{opt} =$ ____________

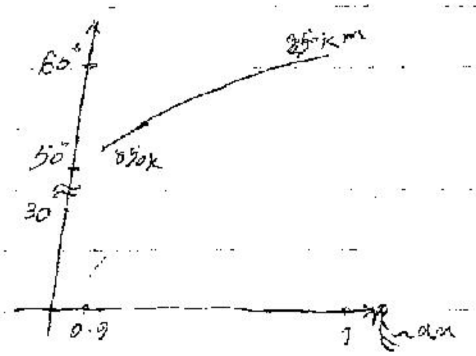
$$-Im(\vec{B}\vec{C}^*) = -Im\left[\left(\sqrt{\frac{Z}{Y}}\sinh\gamma l\right)\left(\sqrt{\frac{Y}{Z}}\sinh\gamma l\right)^*\right]$$

$$= -Im\left[|\sinh\gamma l|^2\sqrt{\frac{ZY^*}{YZ^*}}\right] = -Im\left[|\sinh\gamma l|^2\sqrt{\frac{ZY^*\,Y^*Z}{Z^*Y\,Y^*Z}}\right]$$

$$-Im(\vec{B}\vec{C}^*) = -Im\left[|\sinh\gamma l|^2\frac{ZY^*}{|YZ|}\right] = -Im\left[|\sinh\gamma l|^2\frac{(R+j\omega L)(-j\omega C)}{|YZ|}\right]$$

$-Im(\vec{B}\vec{C}^*) > 0 \longrightarrow (\sin\varphi)_{opt} \geq 0 \rightarrow$ بار به صورت اهمی سلفی

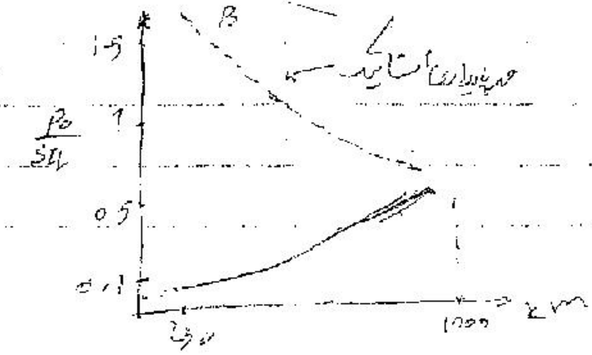




مقدار امپدانس بار

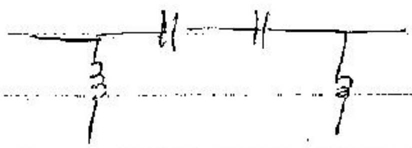
حداکثر راندمان خط بلند = 0.9

0.99 = خط کوتاه ″ ″

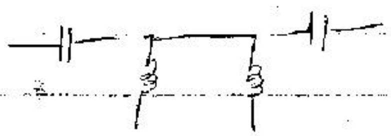


- علی رغم این که تلفات مینیمم و راندمان ماکزیمم است، با افزایش طول خط ناپایداری حاصل می‌گردد.

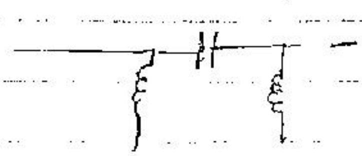
تأثیر جبران‌کننده‌ها بر راندمان خط:



$\eta_{max} = 95.87\%$



$\eta_{max} = 95.87\%$



$\eta_{max} = 95.75\%$

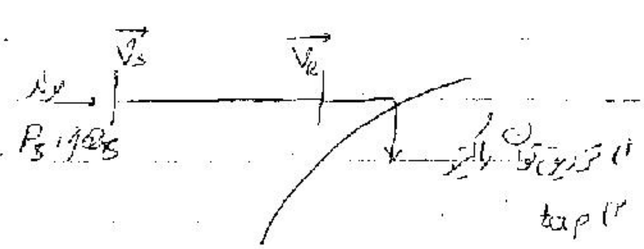
$\eta_{max} = 95.21\%$ — خط بدون جبران‌کننده

- حداکثر راندمان برای شبکه:
با شرایط خط انتقال است، با این تفاوت که $A \neq D$:

$$Z_{opt} = \sqrt{\frac{Re(\bar{B}\bar{D}^*)}{Re(\bar{A}\bar{C}^*)}} \qquad (\sin\varphi)_{opt} = \frac{Im(\bar{A}\bar{D}^* - \bar{B}\bar{C}^*)}{2\sqrt{Re(\bar{A}\bar{C}^*)\cdot Re(\bar{B}\bar{D}^*)}}$$

$$\eta_{max} = Re\left(\bar{D}\bar{A}^* + \bar{B}\bar{C}^*\right) - \left\{4Re(\bar{D}\bar{C}^*)\cdot Re(\bar{B}\bar{A}^*) - \left[Im(\bar{B}\bar{C}^* - \bar{D}\bar{A}^*)\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}}$$

ماکزیمم انتقال توان - مشخصه ترانسفورماتورها:
فرض می‌کنیم از لحاظ ولتاژ در وضعیت مطلوب بود:

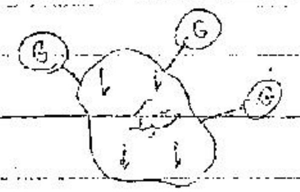


$V \rightarrow$ محدوده مقدار

$\delta \rightarrow$ استحکام پایداری

$P \rightarrow P_{max}$

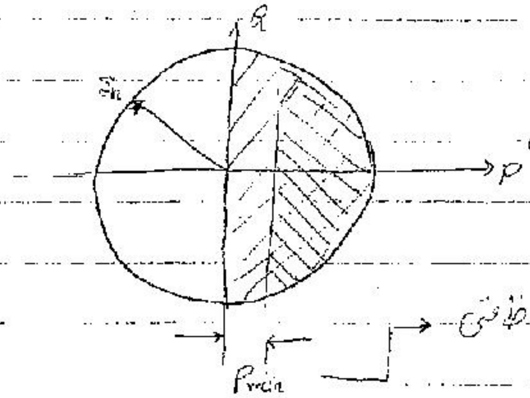
تلفات $\rightarrow$ قابل قبول



- محدودیت ژنراتور :

- تأمین توان ورودی ـ تأمین تلفات

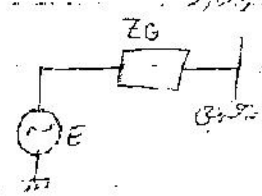
- بنابراین باید ببینیم که آیا توان بدست آمده برای ورودی، توسط ژنراتورها قابل تأمین است یا خیر



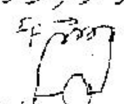
- ژنراتور تولید کننده توان اکتیو است، بنابراین P منفی قابل قبول نیست

- تولید توان اکتیو کمتر از یک مقدار معین، از لحاظ فنی امکان پذیر نیست

- وقتی $Q<0$، ژنراتور از نظر توان راکتیو نقش خازن را دارد



- ولتاژ در ژنراتور توسط جریان تحریک تأمین می‌شود

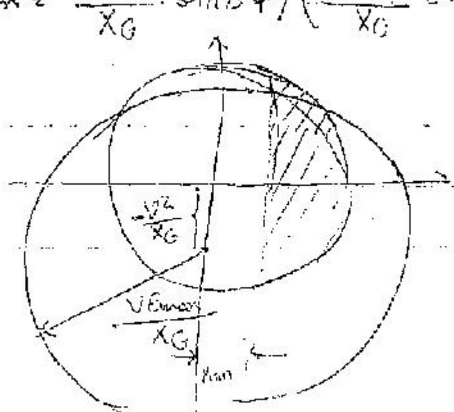


- حالت محدودیت جریان تحریک : مقدار زیاد ولتاژ داخلی، افزایش جریان تحریک ← تلفات حرارتی

سقف تلفات حرارتی، E_{max} را به ولتاژ داخلی تحمیل می‌کند،

$$E \leq E_{max} \quad ; \quad \vec{S} = \vec{V}\vec{I}^* = \vec{V}\left(\frac{\vec{E}-\vec{V}}{jX_G}\right)^*$$

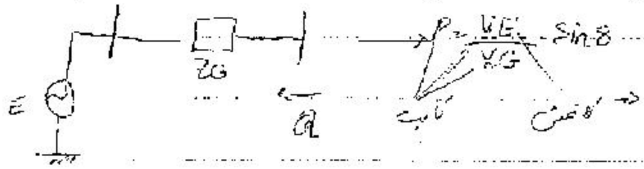
$$\vec{S}_{max} = \frac{VE_{max}}{X_G}\sin\delta + j\left(\frac{VE_{max}}{X_G}\cos\delta - \frac{V^2}{X_G}\right) \rightarrow |S| \rightarrow$$ دایره زیر



- بنابراین بعضی از نقاط، به دلیل وجود سقف جریان تحریک حذف می‌شوند.

حالت تولید زیر تحریک :

مقدار نزدیک جریان تحریک ژنراتور ، کاهش مقدار ولتاژ داخلی ، افزایش اختلاف



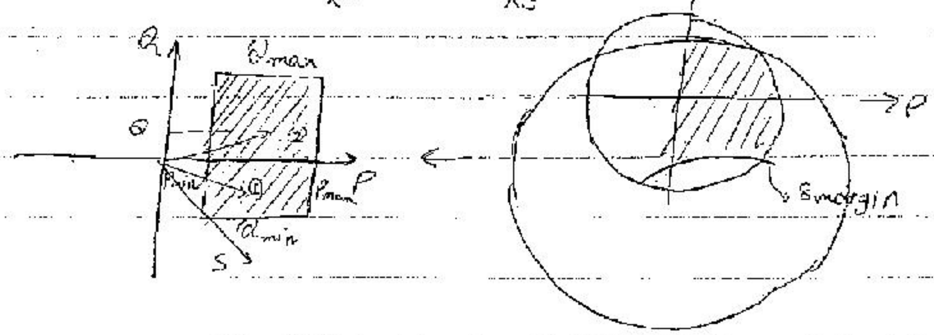
$\rightarrow$ کاهش $\Rightarrow$ افزایش $\sin\delta \uparrow$

زاویه ولتاژ داخلی و ترمینال ، کاهش حاشیه پایداری

$\delta \leqslant \delta^\circ \rightarrow \delta^\circ = \delta_{max} - \delta_{margin}$

$P = \frac{EV}{X_\circ}\sin\delta^\circ$

$\rightarrow Q = \frac{EV}{X_\circ}\cos\delta^\circ - \frac{V^2}{X_G}$



$P_{min} < P < P_{max}$; $Q_{min} < Q < Q_{max}$: $\boxed{\text{شرایط مطلوب}}$

$P < P_{min}$: یک توربو ژنراتور را خاموش می‌کنیم $\quad Q > Q_{max}$

$P > P_{max}$: ژنراتور اضافه می‌کنیم $\quad$ شبکه خازنی اضافه می‌کنیم .

$Q < Q_{min}$: به کارگیری راکتور در محل پست نیروگاه برای جذب توان راکتیو اضافی)

(اینکه به صورت خازنی در کار است به لحاظ پدیده فرانتی)

یعنی آن قدر راکتور قرار می‌دهیم که ژنراتور توان راکتیو تحویل بدهد (حالت ۱)

زیرا حالت ۲ ناپایدار می‌شود E کم باشد .

تحلیل شبکه‌های قدرت:

اهداف:

۱) محاسبه توان اکتیو و راکتیو عبوری از خطوط

۲) محاسبه زاویه و مقدار ولتاژ شین‌ها ← (اختلاف زاویه کم باشد، مقدار نزدیک مقدار نامی)

۳) محاسبه تلفات توان در خطوط و شبکه

به مجموعه تحلیل‌های فوق پخش بار گویند

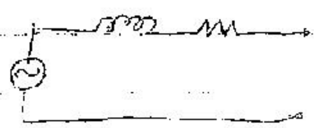
مفروضات:

۱) تقارن فیزیکی خطوط انتقال (مدل استاندارد)

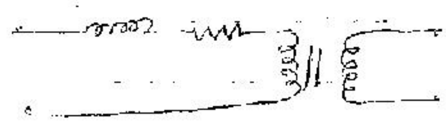
۲) تعادل بار (تعادل ولتاژ و جریان - یا برابری توان‌ها در سه فاز) | بحث در توالی مثبت و گفتار

۳) پایدار ماندن وضعیت شبکه در حالت ماندگار ← بحث در حوزه فازور و فرکانس

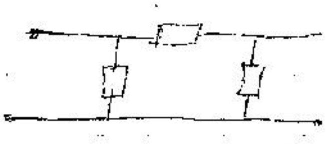
نحوه مدل سازی اجزای تجهیزات شبکه:



۱) ژنراتورها



۲) ترانسفورماتورها



۳) خطوط انتقال و توزیع

۴- بارها
- متمرکز ← در یک نقطه از شبکه ولتاژ یا توان می‌گیرند.
- گسترده (تیرک‌ها هر کدام یک بار متمرکز، مجموعه بار گسترده)

توان ثابت
امپدانس ثابت ←

$$P = P_0 + \left(\frac{\partial P}{\partial f}\Delta f + \frac{\partial P}{\partial V}\Delta V\right)$$

صرف‌نظر از تغییر فرکانس

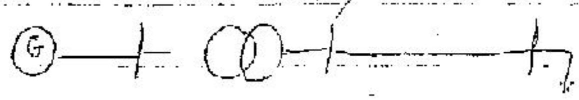
$$Q = Q_0 + \left(\frac{\partial Q}{\partial f}\Delta f + \frac{\partial Q}{\partial V}\Delta V\right)$$

مدل دینامیکی بار

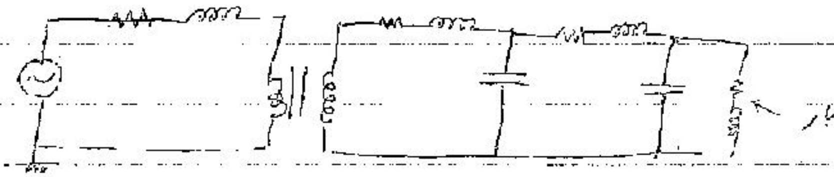
برای این که هر دو ثابت باشند باید $\frac{\partial P}{\partial V} = 0$, $\frac{\partial Q}{\partial V} = 0$

رسم شبکه:

۱. دیاگرام تک خطی



۲. مدار معادل تک فاز:



نمایش اطلاعات:

۱. مقادیر واقعی

۲. مقادیر برحسب واحد (پریونیت) (Per Unit = $\frac{\text{مقدار واقعی}}{\text{مقدار مبنا}}$

هدف

الف) حذف اثر ترانسفورماتورها در نمایش اطلاعات (۲۳۱/۲۰ → ۱:۱)

ب) ارائه وضعیت بهره‌برداری از شبکه (در پارامترهای ولتاژ، جریان و توان)

۱. انتخاب مقادیر مبنا: S . V . I . Z

واحد VA ولت آمپر

- معمولاً ۲ پارامتر را مستقل می‌کنیم و بقیه‌ی دیگر را بر اساس آن‌ها به دست می‌آوریم.

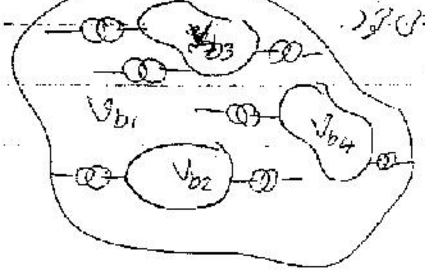
چون پارامترهای فوق به یکدیگر وابسته‌اند.

می‌توان S و V را به عنوان مبنا انتخاب کرد و سایر پارامترهای مبنا را بر اساس آن تعیین کرد.

توان کل از مبنا:

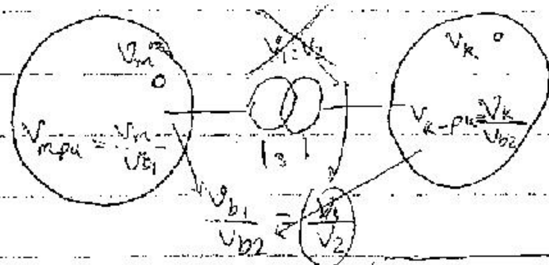
- توان مبنا برای تمام نقاط شبکه یکسان انتخاب می‌شود.

چون توان با عبور از ترانسفورماتور، تغییر نمی‌کند.



ولتاژ فاز به زمین مبنا (V_b):
به مکان بستگی دارد و برای هر سطح ولتاژ، متفاوت انتخاب می‌شود

چون می‌خواهیم نسبت ترانسفورماتور یک به یک شود، بنابراین ضریب مبنا در دو طرف ترانس فرق می‌کند



S V I Z

مستقل ← S_b برای تمام نقاط یکسان

مستقل ← V_{b_i} برای یک سطح ولتاژ

V_{b_k} — V_{b_2} ← فرمول فوق (رابطه ترانسفورماتورها)

نکته:

معمولاً: ولتاژ مبنا در هر ناحیه (سطح ولتاژ) به ولتاژ نامی آن سطح ولتاژ می‌شود [الزامی نیست]

$V_{b_i} = V_{nom-i}$ $\qquad$ $S_b = S_{nom-max}$

توان نامی بزرگترین دستگاه شبکه

بنابراین، مقادیر یکه‌ای نشان دهنده مقادیر پارامترهای بهره‌برداری برحسب مقادیر نامی است

۲. محاسبه سایر مقادیر مبنا:

امپدانس میان فاز و زمین (نقطه صفر) مبنا: $Z_{b_i} = \frac{V_{b_i}^2}{S_b}$ $\qquad$ جریان فاز مبنا $I_{b_i} = \frac{S_b}{V_{b_i}}$

پس برای مثلث‌ها: امپدانس ستاره

$\frac{Z_\Omega}{Z_{b_i}}$

ما در اینجا کلاً تک‌فاز کار می‌کنیم و اگر امپدانس مثلث بود، ابتدا آن را به ستاره تبدیل می‌کنیم

۳. تبدیل مقادیر واقعی به مقادیر یکه‌ای:

$\vec{S}_{i-pu} = \vec{S}_i / S_b$ $\qquad$ $\vec{V}_{i-pu} = \vec{V}_i / V_{b_i}$ $\qquad$ $\vec{I}_{i-pu} = \vec{I}_i / I_{b_i}$

$\vec{Z}_{i-pu} = \vec{Z}_i / Z_{b_i}$

- با انتخاب مناسب V_{bi} ها، ترانسفورماتورها به صورت یک به یک در می آیند

نکات :

1) $V_{LLbi} = \sqrt{3} V_{bi} \Rightarrow V_{LLi}/V_{LLbi} = V_i/V_{bi} = V_{i-pu}$

با این کار، با داشتن V_{pu}، دیگر فاز یا خط بودن ولتاژ اهمیت ندارد، مثلاً:

$V_s = 0.95pu$ — $\times V_{bs} =$ Volt ولتاژ فاز به زمین

$V_s = 0.95pu$ — $\times \sqrt{3} V_{bs} =$ Volt ولتاژ خط به خط

2) $S_{3\phi b} = 3 S_b \Rightarrow S_{i-3\phi}/S_{3\phi b} = S_i/S_b = S_{i-pu}$

مراحل حل مسئله :

دیاگرام تک خطی / مدار معادل امپدانسی < رسم شبکه یا شبکه رسم شده

نمایش اطلاعات < مقادیر واقعی / pu < عناصر / اطلاعات

- حل پخش بار

- محاسبه مجهولات ← pu ← مقادیر واقعی

تبدیل مقادیر پریونیت به مقادیر واقعی ← (زاویه تغییری نمی کند)

$\overline{V}_{i-pu} \times V_{bi} = \overline{V}_i \qquad \overline{V}_{i-pu} \times V_{LLbi} = V_{i-pu} \times (\sqrt{3} V_{bi}) = V_{LLi} (\sqrt{3} V_i)$

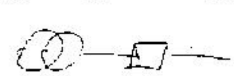
$\overline{S}_{i-pu} \times S_b = \overline{S}_i \qquad \overline{S}_{i-pu} \times S_{3\phi b} = \overline{S}_{i-pu} \times (3 S_b) = \overline{S}_{i-3\phi} = (3 \overline{S}_i)$

$\overline{I}_{i-pu} \times I_{bi} = \overline{I}_i \qquad \overline{Z}_{i\,pu} \times Z_{bi} = \overline{Z}_b$

تبدیل مقادیر پریونیت با مبناهای متفاوت به یکدیگر :

$Z_{b1} = \dfrac{V_{b1}^2}{S_{b1}}$ — V_{n1} , S_n

$\dfrac{X_{T1}}{Z_{b1}} = /20$



$Z_{b2} = \dfrac{V_{b2}^2}{S_{b2}}$ — V_{n2} , S_b

$\dfrac{X_{T2}}{Z_{b2}} = /20$

برای به دست آوردن مقادیر واقعی باید مسیر را برعکس طی کنیم و دوباره با توجه به شبکه دوباره به pu تبدیل کنیم.

$$X_{pu}^{n} = \frac{X(\text{واقعی})}{X_b^{n}} = \frac{X_{pu}^{o} \cdot X_b^{o}}{X_b^{n}}$$

$$Z_{pu}^{n} = Z(\Omega)/Z_b^{n} = \frac{Z_{pu}^{o} \cdot Z_b^{o}}{Z_b^{n}} = Z_{pu}^{o}\left(\frac{V_b^{o}}{V_b^{n}}\right)^2 \frac{S_b^{n}}{S_b^{o}}$$

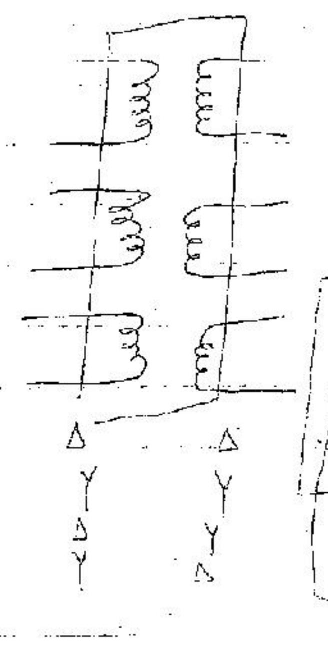
مهم‌ترین کاربرد در امپدانس ژنراتور و ترانسفورماتورهاست.

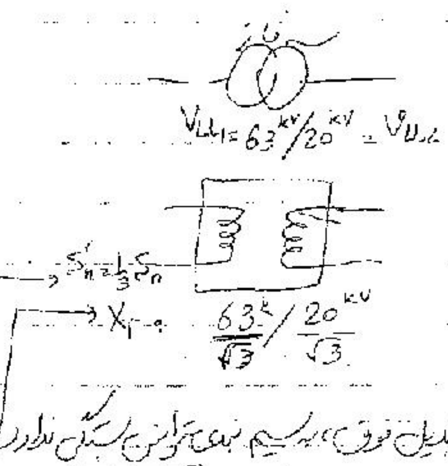
نکات:

1. معمولاً در ترانسفورماتورها و ژنراتورها مقادیر امپدانس‌ها بر حسب مقادیر نامی آن‌ها به صورت پریونیت داده شده و به شکل % ارائه می‌شوند.

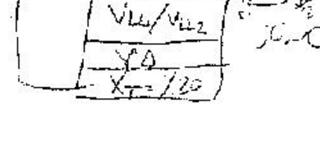
2. در ترانسفورماتورهای تک‌فاز، این امپدانس درصدی می‌تواند متعلق به اولیه یا ثانویه باشد.

3. در ترانسفورماتورهای سه‌فاز، ابتدا باید ترانسفورماتور تک‌فاز معادل جایگزین گردد، نسبت تبدیل این ترانسفورماتور معادل برابر نسبت ولتاژهای خط به خط اولیه و ثانویه ترانسفورماتور سه‌فاز است. بر این اساس، امپدانس درصدی ارائه شده می‌تواند متعلق به اولیه یا ثانویه ترانسفورماتور معادل باشد.



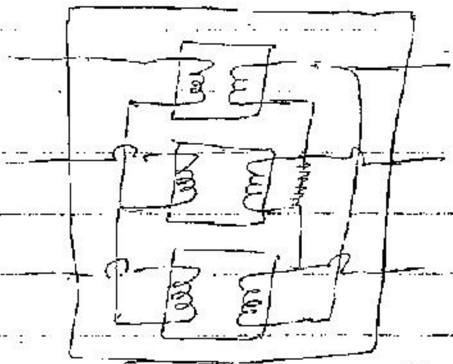


نسبت تبدیل فوق، به سیم‌بندی ترانس بستگی ندارد.



پلاک ترانس سه فاز

۱- سه ترانسفورماتورهای سه فازی که از سه ترانسفورماتور تک فاز تشکیل و نسبت تبدیل به صورت تک فاز ارائه شده است، نسبت تبدیل سه فاز (یا خط به خط اولیه به ثانویه) به صورت زیر به دست می‌آید :



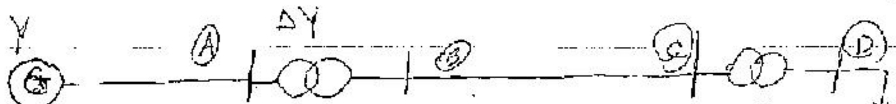
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \Rightarrow \frac{V_{LL1}}{V_{LL2}} = \frac{k_1 N_1}{k_2 N_2} = \frac{k_1}{k_2} a$$

$$k_1 \text{ or } k_2 \Rightarrow \begin{cases} \sqrt{3} & \text{for Y windings} \\ 1 & \text{for } \Delta \text{ windings} \end{cases}$$

S_n
V_1/V_2
$X_T = \%20$

$\rightarrow$

$S_n = 3S_n$
$V_{LL1} / V_{LL2} = \frac{\sqrt{3}V_1}{V_2}$
Y Δ
$X_T = \%20$



$S_n = 40$ MVA, $V_n = 3.3$ kV, $X_G = \%21.3$

3×14 MVA, $3.3kV/38.1$ kV, $X = \%21.4$

$Z = 11.7424\ \Omega$, $Y = j0.0046\ \mho$

50 MVA, $56^{kV}/5.6^{kV}$, $X_T = \%21.3$

40 MW, 15 MVAr

$$S_{b3\phi} = 50 \text{ MVA} \Leftarrow S_b = \frac{50}{3} \text{ MVA}$$

$$V_{bA} = \frac{3.3\text{ kV}}{\sqrt{3}} = 1.905 \text{ kV} \Rightarrow V_{bLLA} = 3.3 \text{ kV}$$

$$I_{bA} = \frac{\frac{50}{3}}{3.3/\sqrt{3}} \times 10^3 = 8.75 \text{ kA} \quad , \quad Z_{bA} = \frac{[3.3/\sqrt{3}]^2}{\frac{50}{3}} = 0.218\ \Omega$$

ناحیه A

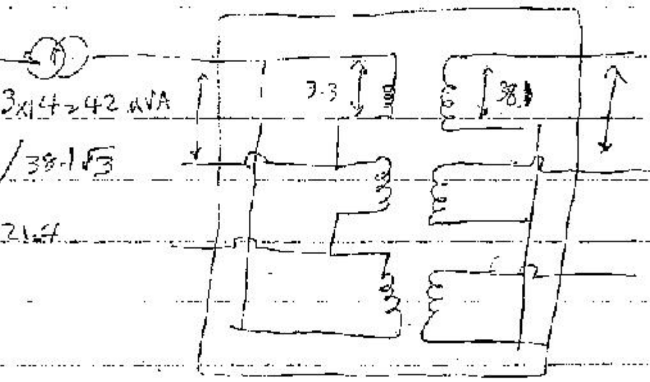
$$X_G^{(pu)} = 0.213 \times \left[\frac{3.3/\sqrt{3}}{\frac{40}{3}}\right]^2 / 0.218$$

$$= 0.213 \times \left[\frac{(3.3/\sqrt{3})^2}{(3.3/\sqrt{3})^2}\right] \left[\frac{\frac{50}{3}}{\frac{40}{3}}\right] = 0.266 \text{ PU}$$

$3 \times 14 = 42$ MVA

$3.3 / 38.1\sqrt{3}$

$X_T = \% 21.4$



$$V_{bB} = V_{bA} \times \frac{66}{3.3} \approx \frac{66\,kV}{\sqrt{3}} = 38.1\,kV \Rightarrow V_{BLLB} = 66\,kV$$

$$I_{bB} = \frac{50/3}{66/\sqrt{3}} \times 10^3 = 440\,A \quad , \quad Z_{bB} = \frac{\left[66/\sqrt{3}\right]^2}{\frac{50}{3}} = 87.12$$

ناحیه B

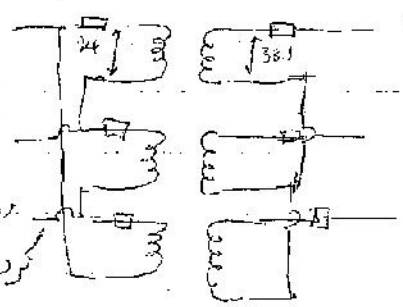
$$X_{T-Y} = 0.214 \times \frac{\left[66/\sqrt{3}\right]^2}{42/3} \Big/ 87.12 = 0.255\ PU$$

$$X_{T\Delta} = 0.214 \times \frac{\left[\frac{3.3}{\sqrt{3}}\right]^2}{42/3} \Big/ 0.218 = 0.255$$

$$X_{T2} = 0.214 \times \frac{(38.1)^2}{14}$$

$1\phi \to 3\phi \to 1\phi$ معادل ۱ را دیدگاه

سوال: چرا انتصاب راکتانس سه فاز برحسب درصد به ترانس یکفاز درست است.



دو ترانسفورماتور یکفاز تکرار از راکتانس یکفاز در حالت سه فاز است با استفاده کرده‌ایم. بنابراین امپدانس یکفاز و سه فاز ستاره یکی است.

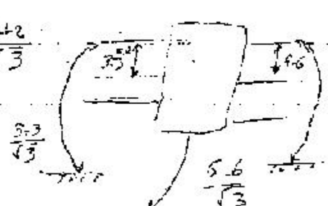
$$X'_{T1} = 0.214 \times \frac{(3.3)^2}{14} \times \frac{1}{3} \leftarrow \text{تبدیل به ستاره شده است}$$

بنابراین فارغ از نوع اتصال سه فاز، راکتانس سه فاز همان راکتانس یک فاز است.

$1\phi \to 3\phi \to 1\phi$ معادل

1ϕ		3ϕ		1ϕ
$S_{n1\phi}$	$\to$	$3 \times S_{n1\phi} \; S_{n3\phi}$	$\to$	$\frac{1}{3} S_{n3\phi}$
$\frac{V_1}{V_2}$	$\to$	$\frac{V_{LL1}}{V_{LL2}} = \frac{k_1 V_1}{k_2 V_2}$	$\to$	$\frac{V_{LL1}}{\sqrt{3}} \Big/ \frac{V_{LL2}}{\sqrt{3}}$
X_T	$\to$	X_T	$\to$	X_T

اگر اطلاعات اولیه بصورت سه فاز باشد



به صورتی که سیم‌پیچ‌های ترانس ستاره بسته شده باشند.

اگر ترانسها ۳ فاز باشند، مستقیماً مدار معادل تک‌فاز را محاسبه می‌کنیم،
ولی اگر ترانسها تک‌فاز باشند ابتدا به سه فاز تبدیل کرده و سپس مدار معادل تک‌فاز را می‌سازیم.

$$\Rightarrow X_{T1} = X_{T2} = X_T = 0.253 \ p.u$$

منطقه B: CB بین

امپدانس خط در pu: $Z_{line} = j\,1.7424 / 87.12 = j0.02 \ pu$

$$Y_{line} = j0.0046\,(87.12) = j0.4 \ pu$$

منطقه C: که امپدانس مبنا را برای سطح تعیین می‌کنیم، حالا خط فوق امپدانس مبنا تعریف می‌کنیم.

$$X_T = 0.213 \times \frac{(66/\sqrt{3})^2}{50/3} \times \frac{50/3}{(66/\sqrt{3})^2} = 0.213$$

منطقه D:

$$V_{bD} = V_{bB} \times \frac{6.6}{66} = 3.81 \rightarrow V_{bLLD} = 6.6 \ kV$$

$$I_{bD} = \frac{50/3}{6.6/\sqrt{3}} \times 10^3 = 4400 \ A \qquad Z_{bD} = \frac{(6.6/\sqrt{3})^2}{50/3} = 0.87 \ \Omega$$

$$X_T = 0.213 \times \frac{(6.6/\sqrt{3})^2}{50/3} \times \frac{50/3}{(6.6/\sqrt{3})^2} = 0.213 \ p.u.$$

$$S_R = \frac{[40 + j15] \times 10^6/3}{50 \times 10^6/3} = 0.8 + j0.3$$

نکته: ما یک شبکه را تا جایی که به ترانس نرسیم، ولتاژ مبنا را تغییر نمی‌دهیم، یا به تعبیر دیگر در یک شبکه
اگر ترانس نداشته باشیم، ولتاژ مبنا را تغییر نمی‌دهیم (هدف از تغییر ولتاژ مبنا pu کردن ترانس‌ها)
امپدانس به راحتی قابل [illegible] می‌شود.

$$\begin{bmatrix} \vec{V}_A \\ \vec{I}_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & +jX_T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{V}_B \\ \vec{I}_B \end{bmatrix} \quad ; \quad \begin{bmatrix} \vec{V}_B \\ \vec{I}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.998 & j0.02 \\ j0.3996 & 0.998 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{V}_C \\ \vec{I}_C \end{bmatrix}$$

با استفاده از مدل π قبلی

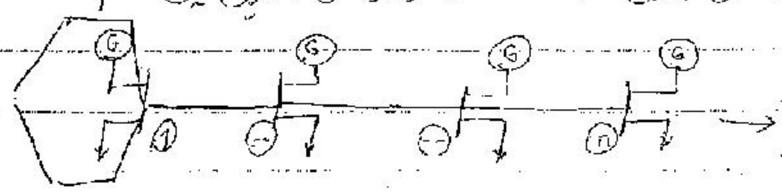
$$\begin{bmatrix} \vec{V}_C \\ \vec{I}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & +jX_T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{V}_D \\ \vec{I}_D \end{bmatrix}, \qquad \vec{I}_D = \frac{\vec{S}_D^*}{\vec{V}_D^*}$$

$$\begin{bmatrix} \vec{V}_A \\ \vec{I}_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & jX_T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \quad & \quad \\ \quad & \quad \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & jX_T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{V}_D \\ \vec{I}_D \end{bmatrix}$$

$$\xrightarrow{\text{درنهایت}} \begin{bmatrix} \vec{V}_A \\ \vec{I}_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.896 & j0.465 \\ j0.3226 & 0.913 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{V}_D \\ \frac{0.8-j0.3}{\vec{V}_D^*} \end{bmatrix}$$

روش های محاسبه پخش بار انتقال :

✓ شبکه های شعاعی بدون شاخه - ولتاژ در محل آخرین باس معلوم است



→ ژنراتورها و بارها به صورت تک به تک درآمده اند.

مفروضات :

1. توان تولیدی کلیه ژنراتورها به غیر از منبع شماره 1 (که وظیفه تأمین باقیمانده بار و تلفات شبکه را بر عهده خواهد داشت) معلوم است.

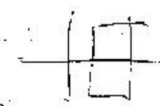
2. توان مورد نیاز کلیه مصرف کننده ها معلوم است.

3. کلیه اطلاعات (توان ها، امپدانس ها و ولتاژ) به تک فاز تبدیل شده اند و به همان ترتیب در برنامه به صورت پریونیت (p.u) استفاده می شود.

$$\underbrace{\sum_i S_G}_{\underbrace{S_{G_1}}_{\text{مجهول}} + \underbrace{\sum_{k=2}^{n} S_{G_k}}_{\text{معلوم}}} = \overbrace{\left(\sum S_{load}\right)}^{\text{معلوم}} - \overbrace{\sum S_{\text{تلفات}}}^{?}$$

ناشی از تلفات

- چون ممکن است توان G_1 کم تر از مقدار مشخصه باشد،



مقداری بار از دست G_1 قرار می دهیم

for $i = n$ to 2

$\vec{I}_{n,n+1} = 0$ (طرف خط انتقال) جریان عبوری از شین n به n+1

توان گذری خط
حرکت از آخر

$$P_i + jQ_i = -\left[(P_{Gi} - P_{Di}) + j(Q_{Gi} - Q_{Di})\right] + \vec{V}_i \, \vec{I}^{*}_{i,i+1}$$

$$V_{i-1} = \vec{A}_i \vec{V}_i + \vec{B}_i \frac{P_i - jQ_i}{\vec{V}_i^{*}}$$

$$\vec{I}_{i-1,i} = \vec{C}_i \vec{V}_i + \vec{D}_i \frac{P_i - jQ_i}{\vec{V}_i^{*}}$$

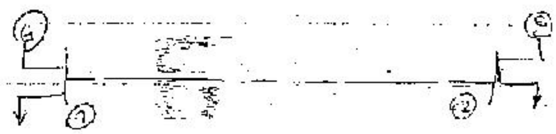
به این ترتیب ولتاژها و جریان‌های تمام قسمت‌ها را از انتها به ابتدا بدست می‌آوریم

$$P_1 + jQ_1 = \vec{V}_1 \vec{I}^{*}_{12}$$

- شبکه‌های شعاعی بدون شاخه، ولتاژ در محل اولین شین معلوم است.

مفروضات همان مفروضات قبلی است.

(الف) حالت خاص: شبکه شعاعی، متشکل از یک خط بدون تلفات است.



$\vec{V}_2 = V_x - jV_y = ?$, $\vec{A}_2 = A_2$, $\vec{B}_2 = jB_2$

$$V_1 \vec{V}_2^{*} = A_2 V_2^2 + jB_2 (P_2 - jQ_2)$$

$$\begin{cases} V_y = \dfrac{B_2 P_2}{V_1} \\ A_2 V_x^2 - V_1 V_x + \left(B_2 Q_2 + \dfrac{A_2 B_2^2 P_2^2}{V_1^2}\right) = 0 \end{cases} \Rightarrow V_x$$

مقدار حقیقی را در نظر می‌گیریم، دیگری متناظر با ناپایداری است

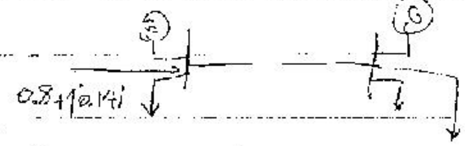
$$\boxed{P_1 + jQ_1 = \vec{V}_1 \vec{I}^{*}_{1,2}}$$

ادامه تا (ب): ابتدا اگر $V_D = 1\angle 0$ باشد

$$\vec{V}_A = 0.896(1\angle 0) + j0.465\left[\frac{0.8 - j0.3}{(1\angle 0)^*}\right]$$

$$= 1.0355 + j0.372 = 1.1\angle 19.8^\circ$$

$$\vec{S}_A = \vec{V}_A \vec{I}_A^* = 0.8 + j0.141$$



خازن های خط این تفاوت Q را تأمین می کنند

ب) اگر $\vec{V}_A = 1\angle 0$ و $I_D = 0$ باشد

$$\vec{V}_A = 0.896\vec{V}_D \Rightarrow \vec{V}_D = 1.116$$

$$\vec{S}_D = -\vec{V}_A \vec{I}_A^* = -j0.46$$

ج) اصلاح حالت الف:

$V_A = 1\angle\delta$

$$V_A = 0.896(1\angle 0) + j0.465\left[\frac{0.8 - j0.3 + jQ_C}{(1\angle 0)^*}\right]$$

$$\rightarrow \begin{cases} \cos\delta = 1.0355 - j0.465Q_C \\ \sin\delta = 0.372 \end{cases} \Rightarrow \boxed{Q_C = 0.231 \ pu}$$

خازن در محل بار نصب کنید

د) اصلاح حالت ب:

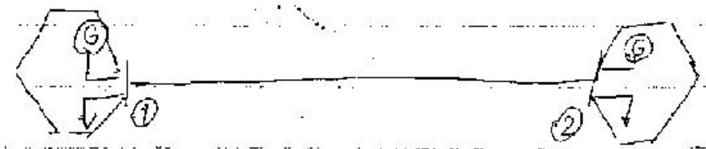
$\vec{V}_A = 1\angle 0$

$$V_A = 0.896(\vec{V}_D) + j0.465\left(\frac{-jQ_L}{\vec{V}_D^*}\right)$$

$$V_D = 1.05\angle\delta \rightarrow \vec{V}_D^* = 0.896 V_D^2 + 0.465 Q_L \Rightarrow Q_L = 0.235 \ pu$$

جلسه ۱۴/۹/۲

الف) روش گوس - شبکه شعاعی متشکل از یک خط است (با ۲ باس)



$$\vec{V}_2 = Re(V_2) + j\,Im(V_2) = ? \qquad \vec{A}_2 = \vec{A}_2 \;,\; \vec{B}_2 = \vec{B}_2$$

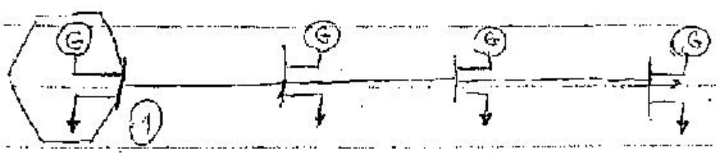
$$\vec{V}_2 = \frac{1}{\vec{A}_2} V_1 - \frac{\vec{B}_2}{\vec{A}_2} \frac{(P_2 - jQ_2)}{\vec{V}_2^*} = f(V_2)$$

$\vec{V}_{2(0)} =$ حدس اولیه V_1

$$\begin{cases} \text{for } m=0 \text{ to } m_{max} \\ V_2^{(m+1)} = f(V_2^{(m)}) \end{cases} \xrightarrow{\text{شرط خروج از تکرار}} \begin{cases} \left|Re[\vec{V}_2^{(m+1)}] - Re[\vec{V}_2^{(m)}]\right| < \varepsilon \\ \left|Im[\vec{V}_2^{(m+1)}] - Im[\vec{V}_2^{(m)}]\right| < \varepsilon \end{cases}$$

$$\boxed{P_1 + jQ_1 = \vec{V}_1 \vec{I}_{1,2}^*}$$

ب) روش نردبانی - شبکه شعاعی دارای n باس است



$\vec{V}_n^{(0)} =$ حدس اولیه

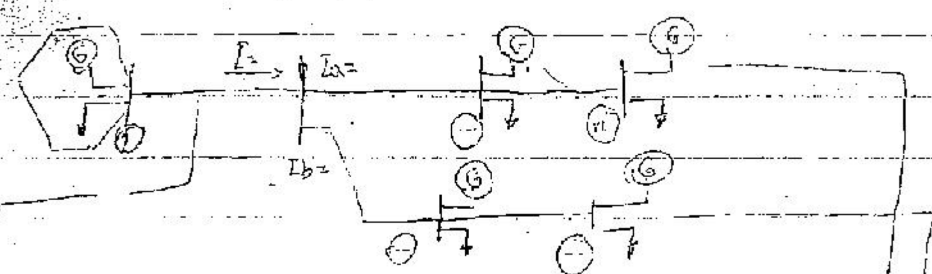
$$\begin{cases} \text{for } m=0 \text{ to } m_{max} \\ \text{For } i=n \text{ to } 2 \\ \vec{I}_{n,n+1} = 0 \\ P_i + jQ_i = -\left[(P_{Gi} - P_{Di}) + j(Q_{Gi} - Q_{Di})\right] + \vec{V}_i^{(m)} \vec{I}_{i,i+1}^* \\ \vec{V}_{i-1}^{(m)} = \vec{A}_i \vec{V}_i^{(m)} + \vec{B}_i \dfrac{P_i - jQ_i}{\vec{V}_i^{(m)*}} \\ \vec{I}_{i-1,i} = \vec{C}_i \vec{V}_i + \vec{D}_i \dfrac{P_i - jQ_i}{\vec{V}_i^{(m)*}} \end{cases} \Rightarrow \begin{array}{l} \Delta V_R = Re[\vec{V}_1^{(m)}] - Re[\vec{V}_1] \\ \Delta V_I = Im[\vec{V}_1^{(m)}] - Im[\vec{V}_1] \end{array}$$

شرط خروج از تکرار

$$\text{الگوریتم تکرار می‌شود} \Leftarrow \vec{V}_n^{(m+1)} = \vec{V}_n^{(m)} - (\Delta V_R + j\Delta V_I) \longleftarrow \begin{array}{l} |\Delta V_R| \le \varepsilon \\ \text{and} \\ |\Delta V_I| \le \varepsilon \end{array}$$

$$\boxed{P_1 + jQ_1 = \vec{V}_1 \vec{I}_{1,2}^*}$$

شبکه‌های شعاعی شاخه‌دار - ولتاژ در محل آخرین شین از یکی از شاخه‌ها معلوم است



شبکه‌های شعاعی بدون شاخه - ولتاژ در محل آخرین شین معلوم است

شبکه‌های شعاعی بدون شاخه - ولتاژ در محل اولین شین معلوم است

شبکه‌های شعاعی بدون شاخه - ولتاژ در محل آخرین شین معلوم است

شبکه‌های پیچیده‌تر

نوع شین	پارامترهای معلوم P_D	Q_D	P_G	Q_G	V	δ	پارامترهای مجهول P_G	Q_G	V	δ	شماره شین‌ها
مرجع	✓	✓			✓	✓	?	?			1
کنترل ولتاژ	✓	✓	✓		✓			?		?	2, ..., g
	✓	✓	✓	✓					?	?	g+1, ..., n

$$\sum S_G = \sum S_D + S_{loss}$$

$$S_1 + \sum_{k=2} S_{G_k} \rightarrow \underbrace{S_1}_{?} = -\sum_{k=2} S_{G_k} + \sum S_D + \underbrace{S_{loss}}_{?}$$

روش های حل:

پارامترهای مجهول	پارامترهای معلوم	الگو
$\delta_i - \delta_1 = \delta_i \quad i=2,\dots,n$ P_1 $Q_i \quad i=1,\dots,g$ $V_i \quad i=g+1,\dots,n$	$\delta_1 (=0)$ $P_i \quad i=2,\dots,n \quad P_D - P_G$ $Q_i \quad i=g+1,\dots,n \quad Q_D - Q_G$ $V_i \quad i=1,\dots,g$	اصلی

براساس روابط بین توان‌ها و ولتاژها (معادلات پخش بار) فقط می‌توان اختلاف زوایای ولتاژها را به دست آورد.

پارامترهای مجهول	پارامترهای معلوم	الگو
$\delta_i \quad i=1,\dots,n-1$ P_1 Q_1 $V_i \quad i=1,\dots,n-1$	$\delta_n (=0)$ $P_i \quad i=2,\dots,n$ $Q_i \quad i=2,\dots,n$ V_n	فرعی

بنابراین بیشتر با حالت اصلی سروکار داریم

مدل شبکه:

ماتریس ادمیتانس شین‌ها:

1. ماتریس مربعی با سطر و ستون برابر با تعداد شین‌های شبکه

2. بدون در نظر گرفتن گره زمین

3. بدون تأثیر بارهای توان ثابت، جبران‌کننده‌های موازی و ژنراتورها.

$$Y_{Bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1k} & \cdots & Y_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{k1} & \cdots & Y_{kk} & \cdots & Y_{kn} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{n1} & \cdots & Y_{nk} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix}$$

در مدار داشتیم:

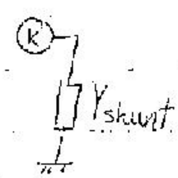
$$Y_n e = I_s$$

در اینجا منبع‌های ژنراتورها را داریم.

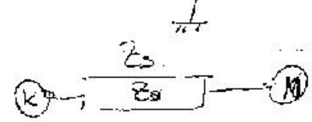
یک منبع جریان کنترل‌شده (قانون جانشینی)

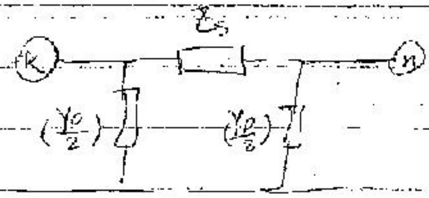
$Y_{kk} \to Y_{kk} + Y_{shunt}$

اگر به گره kام وصل شده باشد تنها به عنصر Y_{kk} اضافه می‌شود



$$\begin{cases} Y_{kk} \to Y_{kk} + Y_s \; , \; Y_{kn} - Y_s \leftarrow Y_{kn} \\ Y_{nk} \to Y_{nk} - Y_s \; , \; Y_{nn} + Y_s \leftarrow Y_{nn} \end{cases} \leftarrow$$





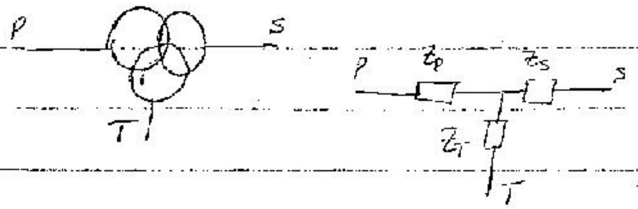
$Y_{KK} \rightarrow Y_{KK} + Y_S + \frac{Y_P}{2}$

$Y_{Kn} \rightarrow Y_{Kn} - Y_S$

$Y_{nK} \rightarrow Y_{nK} - Y_S$

$Y_{nn} \rightarrow Y_{nn} + Y_S + \frac{Y_P}{2}$

ترانس سه سیم پیچه :



امپدانس اندازه گیری شده در اولیه، درحالی که ثانویه اتصال کوتاه و ثالثیه (اتصال باز) = Z_{PS}

امپدانس اندازه گیری شده در اولیه، درحالی که ثانویه اتصال باز و ثالثیه اتصال کوتاه است = Z_{PT}

Z'_{ST} = — اولیه — با ثانویه

در طرف دوم اندازه گیری شده

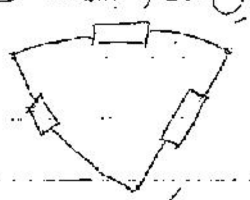
$$Z_{ST} = \left(\frac{N_P}{N_S}\right)^2 Z'_{ST}$$

$$Z_{PS} = Z_P + Z_S \quad ; \quad Z_{PT} = Z_P + Z_T \quad ; \quad Z_{ST} = Z_S + Z_T$$

$$\begin{cases} Z_P = \frac{1}{2}(Z_{PS} + Z_{PT} - Z_{ST}) \\ Z_S = \frac{1}{2}(Z_{PS} + Z_{ST} - Z_{PT}) \\ Z_T = \frac{1}{2}(Z_{PT} + Z_{ST} - Z_{PS}) \end{cases}$$

ارجاع اولیه

– چون اگر در روابط می خواهیم استفاده کنیم از تبدیل ستاره به مثلث استفاده می کنیم :



→ پریونیت کنیم

– می توانستیم در قسمت های قبل Z_{PS} و Z_{PT}، Z_{ST} را پریونیت کنیم در این حالت $Z_{ST} = Z'_{ST}$ ؛

– در ترانس سه سیم پیچه توان ورودی از P با مجموع توان خروجی از S و T برابر است.

جلسه ۸۲/۹/۱۷:

اگر $V_A = 1\angle 0$ باشد، V_D را بدست آورید؟

$$\vec{V}_A = 0.896\,\vec{V}_D + j0.465\,\frac{0.8 - j0.3}{\vec{V}_D^{*}}$$

$$\Rightarrow V_D = 1.116\,\vec{V}_A - j0.519\,\frac{0.8 - j0.3}{\vec{V}_D^{*}}$$

۱. روش گوس

$$\vec{V}_D^{(0)} = 0.8\angle 0 \longrightarrow \vec{V}_D^{(1)} = 0.921 - j0.519$$

$$\vec{V}_D^{(2)} = f(\vec{V}_D^{(1)}) = 0.795 - j0.269$$

$$\vdots$$

$$\vec{V}_D^{(9)} = 0.7 - j0.3745 \longrightarrow \boxed{V_D^{(10)} = 0.697 - j0.368}$$

که در روش گوس هر جواب را با جواب قبلی می‌سنجیم در این شکل است جواب همگرا شود ولی در نقطه‌ای که مورد نظر مسئله نیست

که در روش نیوتن جواب را با فرض مسئله مقایسه می‌کنیم.

و اگر جواب همگرا شود، پاسخ مسئله خواهد بود.

۲. روش نیوتن

$$\vec{V}_D^{(0)} = 0.8\angle 0 \Rightarrow V_A^{(1)} = 0.891 + j0.465$$

$$\Delta V = 0.109 - j0.465$$

$$V_D^{(1)} = V_D^{(0)} + \Delta V = 0.909 - j0.465 \Rightarrow V_A^{(2)} = 1.101 - j0.153$$

$$\Delta V = -0.101 + j0.153$$

$$V_D^{(2)} = V_D^{(1)} + \Delta V = 0.808 - j0.312 \Rightarrow$$

$$\vdots$$

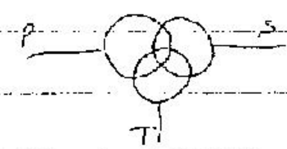
$$V_D^{(6)} = 0.7244 - j0.367 \Rightarrow V_A^{(3)} = 1.009 + j0.002$$

مثال - از ترانس سه سیم پیچ :

P : 200 MVA 13.8 kV Y

S : 200 MVA 230 kV Δ

T : 50 MVA 20 kV Δ



$X_{PS} = 10\%$; $X_{PT} = 15\%$; $X_{ST} = 15\%$

فرض کنید شبکه به صورت زیر باشد:

$S_b = 200/3$ MVA , $V_{bP} = \frac{13.8}{\sqrt{3}}$ kV

$V_{bS} = 230/\sqrt{3}$ kV , $V_{bT} = \frac{20}{\sqrt{3}}$ kV

$X_{PS} = 0.10$ pu

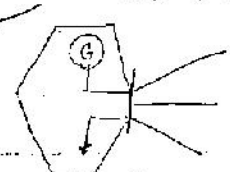
$X_{PT} = 0.15$ pu

$X_{ST} = 0.15 \times \frac{200}{50} = 0.6$ pu

با قرار دادن مقادیر فوق در فرمول‌های قبلی ، Z_P ، Z_S ، Z_T بدست می‌آید.

روش گوس - سایدل :

$I = Y_{Bus} \cdot V$, $\vec{I}_i = \sum_{k=1}^{n} \vec{Y}_{ik} \cdot \vec{V}_k$ عنصر ماتریس Y_{Bus}



مجموع توان تزریقی بر روی خطوط متصل = توان تولیدی :

$$-(\vec{S}_i^{\,*}) = -[P_i - jQ_i] = \vec{V}_i^{\,*} \vec{I}_i = \vec{V}_i^{\,*} \left[Y_{ii} \vec{V}_i + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} Y_{ik} \vec{V}_k \right]$$

- اگر به شین خطی متصل نباشد به جای $\vec{I}_i$ می‌توان $\vec{V}_i y_{ii}$ قرار داد.

توان تولیدی

$$P_i = -[P_{Gi} - P_{Di}]$$
$$Q_i = -[Q_{Gi} - Q_{Di}]$$

(1) محاسبه برای باس‌های کنترل ولتاژ: δ_i , Q_i

$$\vec{V_i} = \frac{1}{\vec{Y_{ii}}}\left[\frac{P_i - jQ_i}{\vec{V_i}^*} - \sum_{\substack{k=1\\k\neq i}}^{n} Y_{ik} V_k\right]$$

مشکل رابطه بالا این است که ولتاژ تمام باس‌ها را لازم داریم.

$$\vec{V_i} = V_i \angle \delta_i \qquad \vec{V_k} = V_k \angle \delta_k \qquad \vec{Y_{ik}} = Y_{ik} \angle \gamma_{ik}$$

$$-(\vec{S_i}^*) = -[P_i - jQ_i] = \vec{V_i}^* \sum_{k=1}^{n} \vec{Y_{ik}} V_k$$

$$-(P_i) = \sum_{k=1}^{n} Y_{ik} V_i V_k \cos(\delta_k - \delta_i + \gamma_{ik})$$

$$-(Q_i) = -\sum_{k=1}^{n} Y_{ik} V_i V_k \sin(\delta_k - \delta_i + \gamma_{ik})$$

(2)
$$\begin{cases} (-P_i) = \sum_{k=1}^{n} Y_{ik} V_i V_k \cos(\delta_i - \delta_k - \gamma_{ik}) \\ -(Q_i) = \sum_{k=1}^{n} Y_{ik} V_i V_k \sin(\delta_i - \delta_k - \gamma_{ik}) \end{cases}$$

در این حالت برای همه باس‌ها حدس اولیه زد (معمولاً همه عدد یک است با زاویه صفر)

for $m=0$ to m_{max}

for $i=2$ to j

$$Q_{Gi}^{(m)} = \sum_{k=1}^{n} Y_{ik} V_i^{spec} V_k^{(m)} \sin(\delta_i^{(m)} - \delta_k^{(m)} - \gamma_{ik}) + Q_{Di} \quad \leftarrow (2)$$

$$Q_i^{(m)} = -[Q_{Gi}^{(m)} - Q_{Di}] \quad \leftarrow Q_{Gi}^{(m)} = Q^{limit} \ , \ \text{if } |Q_{Gi}^{(m)}| > |Q^{limit}|$$

For $i=2$ to n

$$V_i^{(m+1)} \angle \delta_i^{(m+1)} = \frac{1}{\vec{Y_{ii}}}\left[-\frac{P_i - jQ_i^{(m)}}{V_i^{(m)} \angle -\delta_i^{(m)}} - \sum_{\substack{k=1\\k\neq i}}^{n} \vec{Y_{ik}} V_k^{(m)} \angle \delta_k^{(m)}\right] \leftarrow (1)$$

گاهی اوقات به خاطر محدود بودن مقدار خازن، توان راکتیو دارای یک حد است
و نباید از آن بیشتر شود. در این حالت باید این مقدار لحاظ شود؛
می‌توان محدودیت نوع را نیز در توان در نظر گرفت.

For $i=2$ to j

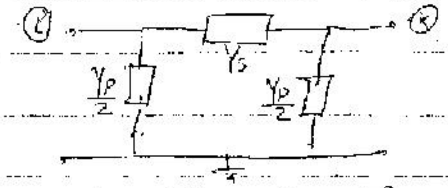
$$Q_{Gi}^{(m+1)} = \sum_{k=1}^{n} Y_{ik} V^{spec} V_k^{(m+1)} \sin(\delta_i^{(m+1)} - \delta_k^{(m+1)} - \gamma_{ik}) + Q_{Di}$$

را حل ، باس کنترل ولتاژ را باس بار فرض کرده و Q_{Gi} را
Q^{limit} قرار داده، محاسبات را تکرار می‌کنیم.

شرط خروج از تکرار: $\left|\vec{V}_i^{(m+1)} - \vec{V}_i^{(m)}\right| \leq \varepsilon \quad i=2,\dots,n$

$$(P_{G_i} - P_{D_i}) + j(Q_{G_i} - Q_{D_i}) = \sum_{k=1}^{n} Y_{ik} V_i V_k e^{j(-\delta_k - \gamma_{ik})} \qquad (۴)$$

$$I_{ik} = (V_i - V_k)Y_s + V_i \frac{Y_p}{2}$$



$$\vec{S}_{ik} = \vec{P}_{ik} + j\vec{Q}_{ik} = \vec{V}_i \vec{I}_{ik}^{*} = |V_i|^2\left(\vec{Y}_s^{*} + \frac{\vec{Y}_p^{*}}{2}\right) - \vec{V}_i \vec{V}_k^{*} \vec{Y}_s^{*} \qquad (۵)$$

$$\vec{S}_{ki} = \vec{P}_{ki} + j\vec{Q}_{ki} = \vec{V}_k \vec{I}_{ki}^{*} = |V_k|^2\left(\vec{Y}_s^{*} + \frac{\vec{Y}_p^{*}}{2}\right) - \vec{V}_k \vec{V}_i^{*} \vec{Y}_s^{*}$$

توان انتقالی بر روی خطوط

روش های تسریع همگرایی:

for $i=2$ to n

$$V_i^{(m+1)} \angle \delta_i^{(m+1)} = \frac{1}{Y_{ii}}\left[\frac{P_i - jQ_i^{(m)}}{V_i^{(m)} \angle -\delta_i^{(m)}} - \sum_{\substack{k=1 \\ k\neq i}}^{n} Y_{ik} V_k^{(m)} \angle \delta_k^{(m)}\right]$$

الف) استفاده از آخرین نتایج:

$$\sum_{\substack{k=1 \\ k\neq i}}^{n} Y_{ik} V_k \Rightarrow \sum_{k=1}^{i-1} \vec{Y}_{ik} V_k^{(m+1)} \angle \delta_k^{(m+1)} + \sum_{k=i+1}^{n} \vec{Y}_{ik} V_k^{(m)} \angle \delta_k^{(m)}$$

ب) استفاده از ضریب تسریع:

$$V_k^{(m+1)} = \alpha\left[V_k^{(m+1)} - V_k^{(m)}\right] + V_k^{(m)} \qquad k=2,\dots,n$$

$$\delta_k^{(m+1)} = \alpha\left[\delta^{(m+1)} - \delta_k^{(m)}\right] + \delta_k^{(m)} \qquad k=2,\dots,n$$

α ضریب تسریع که بزرگتر از یک (معمولاً بین ۱٫۵ و ۱٫۷) در نظر گرفته می‌شود.

بررسی نتایج :

۱. مقادیر ولتاژها ...... در محدوده ۵٪ ±

۲. زوایای ولتاژها ...... کم‌تر از ۴۵ درجه

۳. جریان (یا توان انتقالی) خطوط‌ها ...... کم‌تر از حد حرارتی خطوط

۴. توان ژنراتور مرجع ...... در محدوده عملکرد ژنراتور

۵. توان جبران کننده‌های موازی ...... کم‌تر از توان نصب شده

۶. تلفات ...... در شرایط قابل قبول

پنج راه حل جبران موارد فوق :

۱) نصب جبران کننده‌های موازی و یا تغییر تنظیم کننده‌ها در ترانسفورماتورها

۲) نصب خطوط دو مداره و یا نصب خازن سری و یا نصب خطوط جدید برای ایجاد مسیرهای موازی (تغییر Y_{Bus})

۳) نصب خطوط دو مداره و یا نصب خطوط جدید برای ایجاد مسیرهای موازی

۴) نصب ژنراتورهای جدید (برای زیاد بودن توان ظاهری تولیدی)
نصب راکتور (برای زیاد بودن توان اکتیو تحویلی)

۵) نصب جبران کننده‌های جدید (یا تغییر نوع شین به شین بار و تحلیل مجدد شبکه)

۶) نصب جبران کننده‌های موازی و یا تغییر تنظیم کننده‌ها در ترانسفورماتورها

جلسه ۹/۲۱ :

مدل شبکه قدرت ⟶ Y_{Bus}

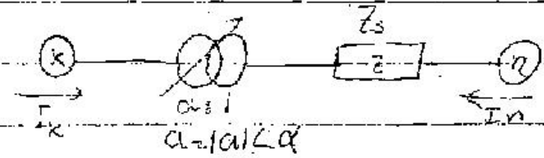
اطلاعات { امپدانس تجهیزات ⟶ واقعی ⟶ pu ⟶ Y_{Bus}

روش گوس سایدل :

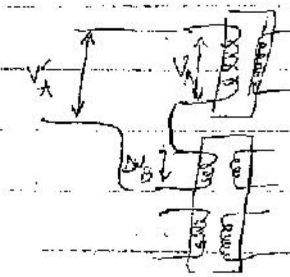
$$\vec{I} = Y_{Bus}\cdot\vec{V} \Rightarrow \left[-S^*/\vec{V}^*\right] = Y_{Bus}\cdot\vec{V}$$

$$\Rightarrow \vec{V} = Y_{Bus}^{-1}\left[-S^*/\vec{V}^*\right]$$

مدلسازی ترانسفورماتور با تنظیم کننده ولتاژ :



$V'_A = V_A + \Delta V_B$



$\boxed{a = 1\angle 0}$

$$I_k = Y_s (V_k - V_n)$$

$a = 1\angle 0$
$$I_n = Y_s(-V_k + V_n)$$

$$Y_{Bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1k} & \cdots & Y_{1k} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{k1} & \cdots & Y_{kk}+Y_s & \cdots & Y_{kn}-Y_s \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{n1} & \cdots & Y_{nk}-Y_s & \cdots & Y_{nn}+Y_s \end{bmatrix}$$

توان ثابت

$$I_k = \frac{1}{a^*}(-I_n) = \frac{Y_s}{aa^*}V_k - \frac{Y_s}{a^*}V_n \quad \Leftarrow \quad \frac{V_k}{V_n} = a \rightarrow \left(\frac{I_k}{I_n}\right)^* = \frac{1}{a}$$

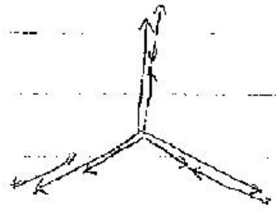
$$I_n = Y_s\left(-\frac{1}{a}V_k + V_n\right)$$

$a = |a|\angle\alpha$

$$Y_{Bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1k} & \cdots & Y_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{k1} & \cdots & Y_{kk}+\frac{Y_s}{aa^*} & \cdots & Y_{kn}-\frac{Y_s}{a^*} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Y_{n1} & \cdots & Y_{nk}-\frac{Y_s}{a} & \cdots & Y_{nn}+Y_s \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & \cdots & 0 & & 0 \\ 0 & & -Y_s+\frac{Y_s}{aa^*} & & Y_s-\frac{Y_s}{a^*} \\ 0 & & Y_s-\frac{Y_s}{a} & & 0 \end{bmatrix}$$

به ماتریس قدیم، ماتریس زیر را اضافه کنیم
تا ماتریس فوق حاصل گردد :



اگر تپ به صورت روبرو باشد و زاویه نداشته باشیم

در این حالت

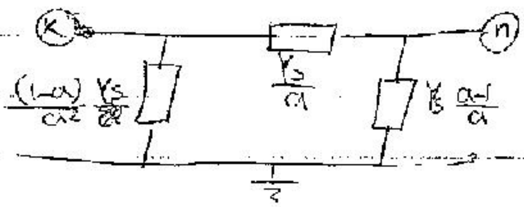
$$I_k = \frac{1}{a}(-I_n) = \frac{Y_s}{a^2}V_k - \frac{Y_s}{a}V_n$$

$$I_n = Y_s\left(-\frac{1}{a}V_k + V_n\right)$$

$$Y_{BUS} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1k} & \cdots & Y_{1n} \\ \vdots & & & & \\ Y_{k1} & \cdots & Y_{kk}+\frac{Y_s}{a^2} & \cdots & Y_{kn}-\frac{Y_s}{a} \\ & & & & \\ Y_{n1} & \cdots & Y_{nk}-\frac{Y_s}{a} & \cdots & Y_{nn}+Y_s \end{bmatrix}$$

در این حالت ماتریس متقارن است ، بنابراین در محاسبات کامپیوتری کار ساده‌تر است
فقط قطر بالای ماتریس را وارد می‌کنیم .

نکته :
شکل روبرو را بیابید .



روش‌های محاسبه پخش بار در انتقال

شرایط مسئله	روش گوس-سایدل	روش نیوتن-رافسون
شبکه‌های بزرگ	عدم امکان حل با زاویه‌های بیش از ۷۰ درجه	امکان حل حتی با زاویه‌ها ۹۰ درجه
شبکه‌های دارای امپدانس منفی	عدم امکان حل	حل آسان
شبکه با شین مرجع مشخص	نسبت به تعیین شین مرجع حساس است	نسبت به تعیین شین مرجع کم‌تر حساس است
شبکه با اتصال خطوط بلند و کوتاه	حساس‌تر	کم‌تر حساس
استفاده از ضرایب تسریع	می‌تواند به کاهش تعداد تکرارها بینجامد	نیاز ندارد .

روش dc loadflow :

$$-(\vec{S}_i^{*}) = -[P_i - jQ_i] = \vec{V}_i^{*}\vec{I}_i = \vec{V}_i^{*}\sum_{k=1}^{n} Y_{ik}\vec{V}_k$$

$$-(P_i) = \sum_{k=1}^{n} V_i V_k \left[\underbrace{\cancel{G_{ik}}}_{0}\cos(\delta_i-\delta_k) - \underbrace{B_{ik}}_{\boxed{\frac{1}{X_{ik}}}}\underbrace{\sin(\delta_i-\delta_k)}_{\boxed{\delta_i-\delta_k}}\right] \qquad i=2,\dots,n$$

چون زاویه کوچک است

$Y_{ik} = G_{ik} + j B_{ik}$

$$\xrightarrow{\text{با اعمال تقریب‌ها}} [-P_{load}] = [B][-\delta] \Rightarrow [\delta] = [B]^{-1}[-P_{load}]$$

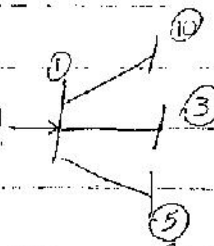
$$\bar{S}_{ik} = P_{ik} + j Q_{ik} = \vec{V_i} I_{ik}^{*} = |V_i|^2 \left(\vec{Y_s}^{*} + \frac{\vec{Y_p}^{*}}{2} \right) - \vec{V_i} \vec{V_k}^{*} \vec{Y_s}^{*}$$

$$P_{ik} = |V_i|^2 \left(\frac{R_{ik}}{R_{ik}^2 + X_{ik}^2} \right) - V_i V_k \left[\frac{R_{ik}}{R_{ik}^2 + X_{ik}^2} \cos(\delta_i - \delta_k) - \frac{X_{ik}}{R_{ik}^2 + X_{ik}^2} \sin(\delta_i - \delta_k) \right]$$

$$P_{ik} = \frac{1}{X_{ik}} (\delta_i - \delta_k)$$

$$-P_i = \sum_{k=2}^{n} A_{ik} (-P_{ik}) \qquad A_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{if } i, k \text{ are Connected} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

$P_{G_1} = (-P_1)$



سوال:
ماتریس B از روی dc load flow چیست؟
برحسب Y_{Bus} بیان کنید.

تفاوت‌های عمده شبکه‌های انتقال و توزیع:

الف) طول خطوط کوتاه‌تر است.
ب) نسبت R/X در خطوط توزیع بمراتب بزرگتر است ← (مدل ساده)
ج) توان انتقالی در خطوط توزیع به مراتب کم‌تر است.

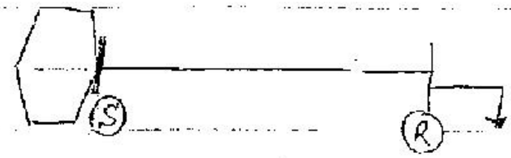
د) در فیدرهای فشار ضعیف، مجموعه بار به صورت گسترده از خط تغذیه می‌شوند.

هـ) فیدرهای فشار ضعیف همواره به صورت سه فاز (به همراه نول) نصب می‌شوند
که شبکه به صورت نامتقارن در می‌آید (چون بار سه فاز نیست)

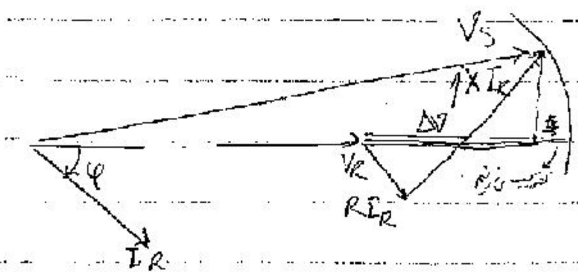
روش‌های محاسبه بخش مدار - توزیع:

روش اول:

(با فرض مصرف‌کننده نقطه‌ای)



در این روش‌ها محاسبات مربوط به تولید و انتقال را از توزیع جدا در نظر گرفته و فرض می‌کنیم محاسبات کمیت به صورت نسبی صورت پذیرفته.



$$\Delta V = V_S - V_R \cong R I_R \cos\varphi + X I_R \sin\varphi = \frac{P R_R}{V_R} + \frac{X Q_R}{V_R} \cong \frac{P R_R + X Q_R}{V_S}$$

$$\sqrt{3}\,\Delta V \cong \frac{\cancel{\sqrt{3}}}{\sqrt{3}} \frac{R P_R + X Q_R}{V_S} \Rightarrow \boxed{\Delta U \cong \frac{RP + XQ}{U_S}}$$

نکات:

۱. در صورتی که افت ولتاژ به دست آمده مطلوب نباشد، شرط آن که افزایش سطح مقطع هادی‌ها منجر به کاهش افت پتانسیل شود:

$$\Delta U \cong \frac{RP + XQ}{U_S}$$

$$\boxed{\frac{R_1 - R_2}{X_1 - X_2} > (-\tan\varphi)} \Leftarrow P(R_1 + X_1 \tan\varphi) > P(R_2 + X_2\, tg\,\varphi)$$

۲. محاسبه سطح مقطع مجاز برای تأمین مصرف‌کننده با قید مقدار افت ولتاژ ($\% e$)

الف) محاسبه سطح مقطع:

با صرف‌نظر از فاصله بین ترانس توزیع و مصرف‌کننده

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{1}{U^2}\left[\frac{l}{\sigma A} P + l X_{max} Q\right] = \frac{l P}{U^2}\left[\frac{1}{\sigma A} + X_{max} \tan\varphi\right] \leqslant \frac{e}{100}$$

جنس سیم

$$\Rightarrow A \geqslant \frac{100 P l}{\sigma\left[U^2 e - 100 \tan\varphi \cdot P X_{max} l\right]}$$

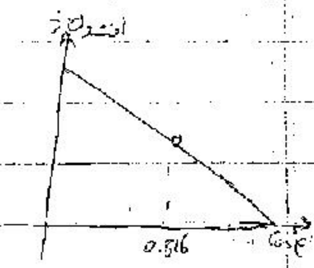
با توجه به جدول منحنی ← جداول مشخصات فنی هادی‌ها ← جریان مجاز ✓ با اکثر جریان وارد

ب) مقایسه جریان مجاز هادی (با سطح مقطع A) با جریان بار مورد نظر

افزایش سطح مقطع در صورت کمتر بودن جریان مجاز از جریان بار

۲. اثر تغییرات ضریب قدرت پس‌فازی بر افت پتانسیل:

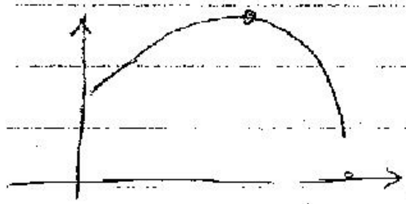
$$\Delta U = \frac{P}{U_s}\left(R + X\tan(\varphi)\right) = \frac{P}{U_s}\left(R + X\frac{\sqrt{1-\cos^2\varphi}}{\cos\varphi}\right)$$



مشتق

$$\frac{d\Delta U}{d(\cos\varphi)} = \frac{P}{U_s} X\left[\frac{-1}{\cos^2\varphi\sqrt{1-\cos^2\varphi}}\right] < 0$$

با زیاد شدن $\cos\varphi$، φ کم‌تر شدن تغییرات ولتاژ کم‌تر



$$\frac{d^2(\Delta U)}{d(\cos\varphi)^2} = \frac{P}{U_s} X \frac{2-3\cos^2\varphi}{\cos^3\varphi\left(\sqrt{1-\cos^2\varphi}\right)^3} = 0$$

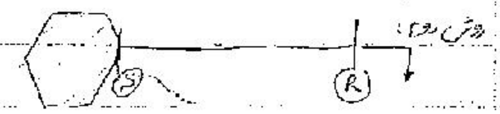
$\cos\varphi = 0.816$ مستقل از سایر پارامترها

کاهش افت پتانسیل نسبت به افزایش ضریب قدرت (یا کاهش افت پتانسیل نسبت به میزان نصب خازن) در شرایطی که ضریب قدرت بیش‌تر از نقطه عطف فوق باشد بیشتر است.

بنابراین بهتر است شرایطی فراهم کرد که $\cos\varphi$ شبکه معمولاً بزرگتر از 0.816 باشد.

حل: ۸۱/۹/۲۴

$$\vec{V_S} = \vec{V_R} + (R + jX)\frac{P_R - jQ_R}{\vec{V_R}^*}$$

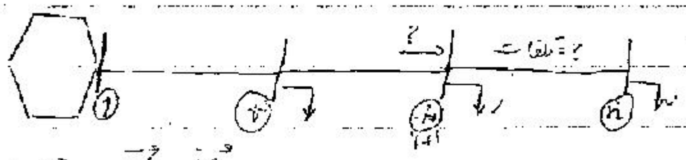


$$V_S^2 V_R^2 = V_R^4 + 2V_R^2 (RP_R + XQ_R) + (R^2+X^2)(P_R^2 + Q_R^2)$$

$$V_S^2 = V_R^2 + 2(RP_R + XQ_R) + (R^2+X^2)\frac{P_R^2+Q_R^2}{V_R^2}$$

$$U_R^2 \cong U_S^2 - 2(RP + XQ) - (R^2+X^2)\frac{P^2+Q^2}{U_S^2}$$

روش سوم : forward Sweeping Method



$$\begin{cases} \vec{I_i} = \dfrac{\vec{V_i} - \vec{V_{i+1}}}{R_i + jX_i} \\ P_{i+1} - jQ_{i+1} = \vec{V_{i+1}}^* \vec{I_i} \end{cases} \longrightarrow P_{i+1} - jQ_{i+1} = \frac{\vec{V_{i+1}}^* \vec{V_i} - \vec{V_{i+1}}^2}{R_i + jX_i}$$

$$\longrightarrow \begin{cases} P_{i+1}R_i + Q_{i+1}X_i + V_{i+1}^2 = V_i V_{i+1} \cos(\delta_i - \delta_{i+1}) \\ P_{i+1}X_i - Q_{i+1}R_i = V_i V_{i+1} \sin(\delta_i - \delta_{i+1}) \end{cases} \Rightarrow V_{i+1}^4 + \alpha V_{i+1}^2 + \beta = 0$$

(1)

$$V_{i+1} = \left\{ \left[(P_{i+1}R_i + Q_{i+1}X_i - \tfrac{1}{2}V_i^2)^2 - (R_i^2 + X_i^2)(P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2) \right]^{\frac{1}{2}} - (P_{i+1}R_i + Q_{i+1}X_i - \tfrac{1}{2}V_i^2) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$(\text{Loss of } P)_i = R_i \frac{P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2}{V_{i+1}^2}$$ (2)

$$(\text{Loss of } Q)_i = X_i \frac{P_{i+1}^2 + Q_{i+1}^2}{V_{i+1}^2}$$

حدس اولیه
$$\begin{cases} \text{for } i=1 \text{ to } n-1 \\ (\text{Loss of } P)_i^{(0)} = 0 \quad (\text{loss of } Q)_i^{(0)} = 0 \end{cases}$$

for $m=1$ to m_{max}

for $i=1$ to $n-1$

$PLoss_i = (\text{Loss of } P)_i^{(m-1)} \quad QLoss_i = (\text{Loss of } Q)_i^{(m-1)}$

$$P_{i+1} = \sum_{j=i+1}^{n} P_{ij} + \sum_{j=i+1}^{n-1} (\text{Loss of } P)_i^{(m-1)}$$

$$Q_{i+1} = \sum_{j=i+1}^{n} Q_{ij} + \sum_{j=i+1}^{n-1} (\text{Loss of } Q)_i^{(m-1)}$$

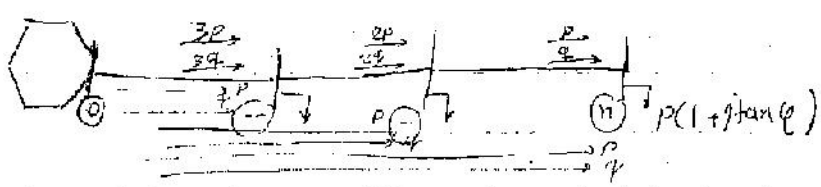
$$②, ① \longrightarrow (\text{Loss of } Q)_i^{(m)}, (\text{loss of } P)_i^{(m)}, V_{i+1}^{(m)} \text{ میدهد}$$

$$DPL_i^{(m)} = (\text{Loss of } P)_i^{(m)} - PLoss_i$$
$$DQL_i^{(m)} = (\text{Loss of } Q)_i^{(m)} - QLoss_i$$

$\Rightarrow$ شرط خروج از تکرار $\Rightarrow \begin{cases} \text{for } i=1 \text{ to } n-1 \\ \max(DPL_i) \leq \varepsilon \\ \text{and} \\ \max(DQL_i) \leq \varepsilon \end{cases}$

روش چهارم: تقریب بارهای مشابه در فواصل یکسان:

مثال ۱: چراغ‌های روشنایی در یک اتوبان



افت پتانسیل در آخرین نقطه $\Delta U = \frac{1}{U} \sum_{k=1}^{n} \frac{l}{n} \left[r.(kP) + x.(kP\tan(\varphi)) \right]$

که شامل مقاومت در واحد طول

$$= \frac{1}{U} \sum_{k=1}^{n} \frac{l}{n} \left[(r.k)P + (x.k)P\tan\varphi \right]$$

$$= \frac{1}{U} \cdot \frac{l}{n} (rP + xP\tan\varphi) \cdot \frac{n(n+1)}{2}$$

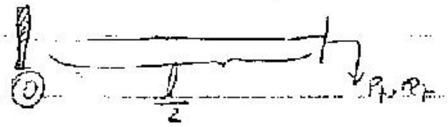
تعمیم روش اول به اینجا $\Longrightarrow \Delta U = \dfrac{R P_t + X Q_t}{U} \cdot \left(\dfrac{n+1}{2n}\right)$

رابطه فوق تقریب دارد،

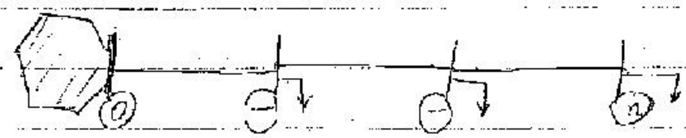
همه بر حسب ولتاژ معلوم پست صفر نوشته شده اند.

$$n \to \infty \Rightarrow \frac{n+1}{2n} \to \frac{1}{2}$$

در این حالت، محاسبه ولتاژ در انتها مانند حالتی است که فیدری با نصف طول قبلی داشته باشیم



روش چهارم: تغذیه بارهای غیر مشابه در فواصل غیر یکسان

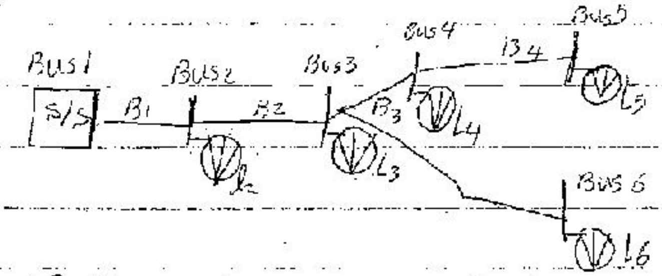


$$\boxed{\begin{aligned}\Delta U &= \frac{1}{U}\sum_{i=1}^{n}\left(R_i \sum_{k=i}^{n} P_k + X_i \sum_{k=i}^{n} Q_k\right)\\ &= \frac{1}{U}\sum_{k=1}^{n}\left(P_k \sum_{i=1}^{k} R_i + Q_k \sum_{i=1}^{k} X_i\right)\end{aligned}}$$

در شبکه توزیع چون توان انتقالی مقدار کوچکی است، زاویه ولتاژ مقدار کوچکی بوده و اهمیتی ندارد و حد پایداری استاتیک مطرح نیست

روش پنجم: Branch Based

مثال



$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix}$$

$[B] = [BIBC][I]$

Bus Injection to Branch Current Matrix

$[BIBC]_{m \times (n-1)}$ ← تعداد شاخه $m =$ ، تعداد باس‌ها $n =$

- تشکیل ماتریس فوق ...... (به روش سطر و ستون ...)

B_3 بین Bus_3 و Bus_6 قرار گرفته است.

Bus_3 ← Bus قدیم ، Bus_6 ← Bus جدید

$$\begin{bmatrix} 1 & \boxed{1} & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(روش فوق برای شاخه‌ای است که حلقه تشکیل نمی‌دهد)

چون B_5 جریان است و I_6 ایجاد می‌شود.

ستون مربوط به Bus 3 را عینا تکرار می‌کنیم

برای سطر آخر نیز، عنصر آخر را یک و بقیه را صفر قرار می‌دهیم.

$$V_2 = V_1 - B_1 Z_{12}$$

$$V_3 = V_2 - B_2 Z_{23}$$

$$V_4 = V_3 - B_3 Z_{34}$$

$$V_4 = V_1 - B_1 Z_{12} - B_2 Z_{23} - B_3 Z_{34}$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix}$$

$$[\Delta V] = [BCBV][B]$$

$(n-1)\times m$ → Branch Current to Bus Voltage Matrix

$$\begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \boxed{Z_{12} \quad Z_{23} \quad 0 \quad 0} & & & & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix}$$

چگونگی تشکیل BCBV:

به شرطی که شاخه جدید تشکیل حلقه ندهد

چون گره جدید است یک سطر و چون شاخه جدید است یک ستون به ماتریس اضافه می‌شود

- عنصر آخر سطر آخر را امپدانس شاخه قرار می‌دهیم، سایر درایه‌های ستون آخر را صفر می‌گذاریم

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] = [DLF][I]$$

$$\begin{cases} I_i^{(k)} = \left(\dfrac{P_i + jQ_i}{V_i^{(k)}}\right)^* \\ [\Delta V^{(k+1)}] = [DLF][I^{(k)}] \\ [V^{(k+1)}] = [V^{(0)}] \ominus [\Delta V^{(k+1)}] \end{cases}$$

بردار ولتاژ اولیه شین‌ها

$$\begin{bmatrix} V_2^{(0)} \\ V_3^{(0)} \\ \vdots \\ V_n^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_1 \\ \vdots \\ V_1 \end{bmatrix}$$

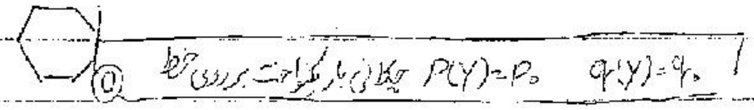
$$\Delta V = \underbrace{\begin{bmatrix} V_1 \\ V_1 \\ \vdots \\ V_1 \end{bmatrix}}_{V(0)} - \begin{bmatrix} V_2^{(k)} \\ V_3^{(k)} \\ \vdots \\ V_n^{(k)} \end{bmatrix}$$

شرط همگرایی از تکرار

$$\begin{cases} \text{for } i=1 \text{ to } n-1 \\ \max\left(|I_i^{k}| - |I_i^{k-1}|\right) \leq \varepsilon \end{cases}$$

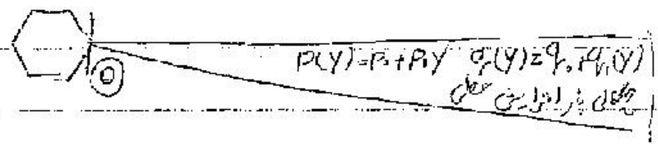
- در روش سوم برای شبکه شاخه‌دار، اشکال وجود دارد اما اینجا این مشکل وجود ندارد

روش ششم - تقریب بارهای گسترده



$$P+jQ=\int_0^l \left[P(y)+jq(y)\right]dy=P_0 l+jq_0 l$$

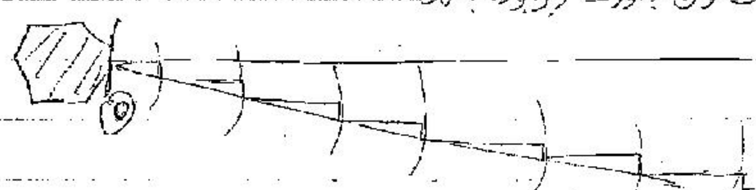
- بار خطی یکنواخت



حالت اول: چگالی بار روی خط = $\frac{\text{کل بار}}{\text{طول خط}}$

$$P+jQ=\int_0^l \left[P(Y)+jq(Y)\right]dy=\left(P_0 l+\frac{1}{2}P_1 l^2\right)+j\left(q_0 l+\frac{1}{2}q_1 l^2\right)$$

ممکن است حالت فوق به صورت زیر بوده باشد



خطی که متشکل از چند قسمت یکنواخت است

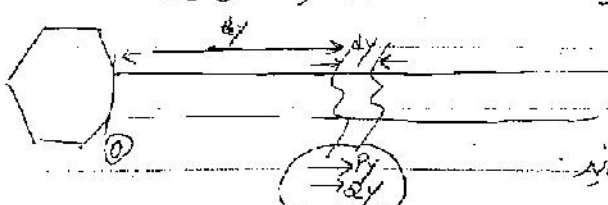
جلسه ۲۸/۴/۸۶

محاسبه افت ولتاژ در توزیع:

- تمرین: محاسبات برای بار یکنواخت خطی برای سایر بارهای خاص نیز روش همین است

- تمرین ۲: در امتحان می‌آید.

از بارهای کاهشی یا افزایشی استفاده‌ی خود حتماً تمرین کنید.



$$d(\Delta U) = \frac{r P_y + x Q_y}{U_s}\,dy \qquad P_y = \int_y^l p(y)\,dy = \int_y^l P_0\,dy = P_0(l-y)$$

$$\Delta U = \int_0^l \frac{r P_0(l-y) + x q_0(l-y)}{U_s}\,dy = \frac{1}{2}\left[\frac{(rl)(P_0 l) + (xl)(q_0 l)}{U_s}\right] = \frac{1}{2}\,\frac{R P_t + X Q_t}{U_s}$$

$$P_t = \int_0^l p(y)\,dy = \int_0^l P_0\,dy = P_0 l$$

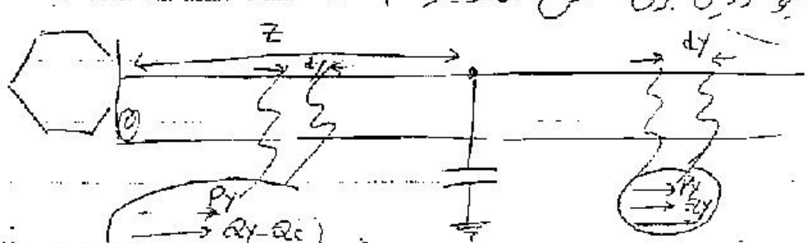
در یک طول معلوم اگر تعداد مشترکین به سمت بی‌نهایت برود، مشابه حالت بار گسترده است
در واقعیت تحقیق بشود، نوع چگالی بار مؤثر است.

$$d(P_{loss}) = r\,\frac{P_y^2 + Q_y^2}{U_s^2}\,dy$$

$$P_{loss} = \int_0^l r\,\frac{P_0^2(l-y)^2 + q_0^2(l-y)^2}{U_s^2}\,dy = \frac{1}{3}\,\frac{(rl)\left[(P_0 l)^2 + (q_0 l)^2\right]}{U_s^2} = \frac{1}{3} R\,\frac{P_t^2 + Q_t^2}{U_s^2}$$

مشاهده می‌شود در محاسبه توان برای بار گسترده و متمرکز یکسان است

محاسبه توان راکتیو تزریقی برای کاهش تلفات توان:



$$P_{loss} = \int_0^{z} r\,\frac{P_y^2 + (Q_y - Q_C)^2}{U_s^2}\,dy + \int_z^{l} r\,\frac{P_y^2 + Q_y^2}{U_s^2}\,dy$$

$$P_{loss} = P^{0}_{loss} - \underbrace{\frac{r Q_C z}{U_s^2}\left(2q_0 l - Q_C - q_0 z\right)}_{\int_0^z r\,\frac{Q_C^2 - 2Q_y Q_C}{U_s^2}\,dy}$$

$$\begin{cases} \dfrac{\partial P_{loss}}{\partial z} = 0 \\ \dfrac{\partial P_{loss}}{\partial Q_C} = 0 \end{cases} \Rightarrow z = \frac{2l}{3} \quad , \quad Q_C = \frac{2}{3}(q_0 l)$$

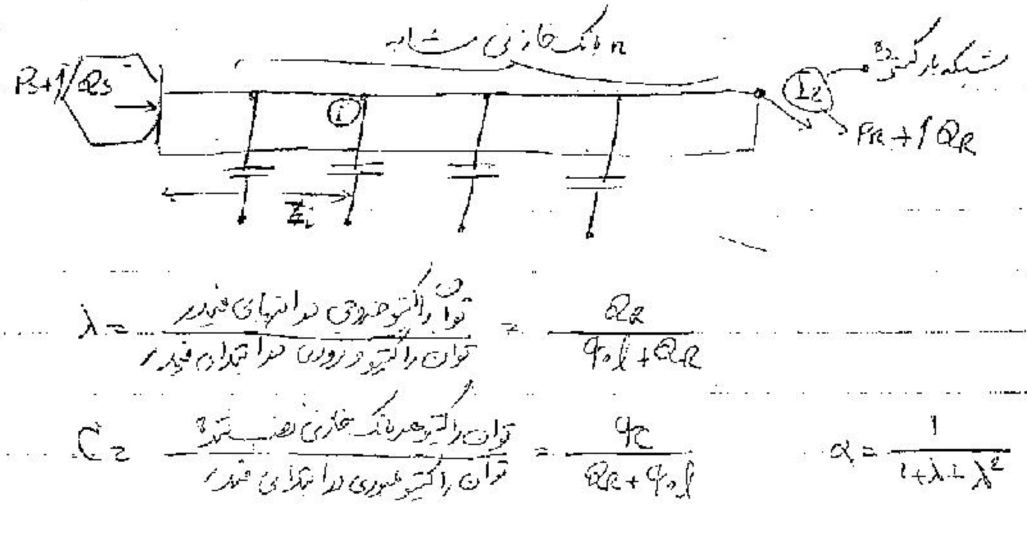
$$P^{0}_{loss} - P_{loss} = \frac{(rl)}{U_s^2}\left[\frac{8}{27}(q_0 l)^2\right]$$ مقدار کاهش تلفات :

- بهترین محل و مقدار خازن برای بار جمع : انتهای خط و برابر بار راکتیو

[محدودیت داشته باشیم] اگر z معلوم باشد $\rightarrow \dfrac{\partial P_{loss}}{\partial Q_C} = 0 \Rightarrow \boxed{Q_C = q_0\left(l - \dfrac{z}{2}\right)}$ $z =$ معلوم

- برای کاهش افت ولتاژ خازن باید در انتها نصب شود (حتی برای بار گسترده)

- روش آقای نیل : (از کتاب Power electrical distribution نوشته ...)



$$\lambda = \frac{\text{توان راکتیو عبوری در انتهای فیدر}}{\text{توان راکتیو ورودی در ابتدای فیدر}} = \frac{Q_R}{q_0 l + Q_R}$$

$$C = \frac{\text{توان راکتیو هر بانک خازنی نصب شده}}{\text{توان راکتیو عبوری در ابتدای فیدر}} = \frac{q_C}{Q_R + q_0 l} \qquad \alpha = \frac{1}{1+\lambda+\lambda^2}$$

$$P_{loss} = \frac{r}{U_s^2}\sum_{i=1}^{n+1}\int_{Z_{i-1}}^{Z_i}\left\{[P_0(l-y)+P_R]^2 + [q_0(l-y)+Q_R-(n-i+1)q_c]^2\right\}dy$$

با فرض خازن‌ها آخر ترازو

$$P_{loss} = P^0_{loss} + \frac{r}{U_s^2}\sum_{i=1}^{n}\int_{Z_{i-1}}^{Z_i}\left[-2q_0q_c(n-i+1)(l-y) - 2Q_Rq_c(n-i+1) + (n-i+1)^2 q_c^2\right]dy$$

$$\boxed{\Delta P_{loss} = P^0_{loss} - P_{loss} = -\frac{r}{U_s^2}\sum_{i=1}^{n}\left(q_cZ_i\{-2(q_0l+Q_R)+q_0Z_i+[2(n-i)+1]q_c\}\right)}$$

$$\frac{\partial \Delta P_{loss}}{\partial Z_i} = \frac{r}{U_s^2}\left\{-2q_c(q_0l+Q_R)+2q_0q_cZ_i+[2(n-i)+1]q_c^2\right\}=0$$

(*) $Z_i = \frac{l}{1-\lambda}\left[1-(n-i+\frac{1}{2})C\right]$ محل نصب بهینه خازن متناظر با

$\xrightarrow{\text{با جایگذاری } Z_i \text{ در } \Delta P_{loss}}$ $\Delta P_{loss} = -\frac{rl}{U_s^2}\frac{q_0^2l^2}{(1-\lambda)^3}\sum_{i=1}^{n}\left[-C-C^3(n-i+\frac{1}{2})^2+2C^2(n-i+\frac{1}{2})\right]$

$$\begin{cases}\sum_{i=1}^{n} A = nA \\ \sum_{i=1}^{n} iA = \frac{n(n+1)}{2}A \rightarrow \sum_{i=1}^{n}(n-i+\frac{1}{2})A = \frac{n^2}{2}A \\ \sum_{i=1}^{n} i^2A = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}A \Rightarrow \sum_{i=1}^{n}(n-i+\frac{1}{2})^2A = \frac{n(4n^2-1)}{12}A\end{cases}$$

$$\Delta P_{loss} = \frac{-rl}{U_s^2}\frac{q_0^2l^2}{(1-\lambda)^3}\left[-nC-\frac{n(4n^2-1)}{12}C^3+\frac{n^2}{2}2C^2\right]$$

$$\frac{\partial \Delta P_{loss}}{\partial C} = -\frac{rl}{U_s^2}\frac{q_0^2l^2}{(1-\lambda)^3}\left[-n-\frac{3n(4n^2-1)}{12}C^2+2n^2C\right]=0 \Rightarrow \boxed{C_{opt}=\frac{2}{2n+1}}$$

مقدار بهینه برای خازن‌ها شد

C_{opt} را در (*) $\rightarrow$ $\boxed{Z_{i\,opt} = \frac{l}{1-\lambda}\cdot\frac{2i}{2n+1}}$

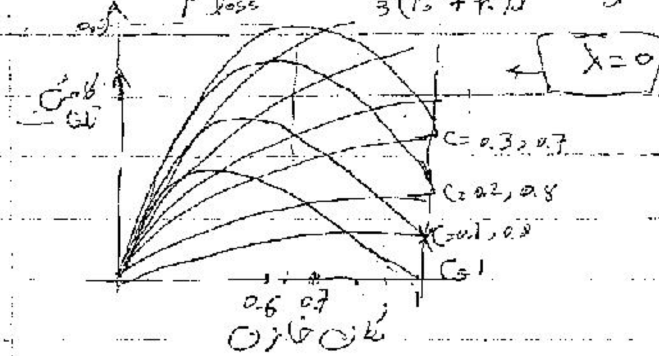
با جایگذاری C_{opt} و $Z_{i\,opt}$ در رابطه P_{losss} :

$$\Delta P_{loss.opt} = \frac{rl}{U_s^2}\frac{q_0^2l^2}{(1-\lambda)^3}\left[\frac{4}{3}\frac{n(n+1)}{(2n+1)^2}\right]$$

نتایج:

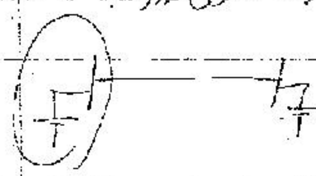
$$\frac{P^{\circ}_{loss}-P_{loss}}{P^{\circ}_{loss}}=\frac{q_1^2 l^2}{\frac{1}{3}(P_1^2+q_1^2)l^2}\,C\frac{Z_1}{l}\left[2-\frac{Z_1}{l}C\right]$$

تعداد خازن‌ها = ۱



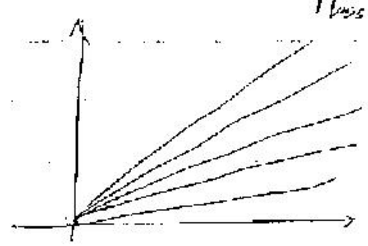
$$\begin{cases} C_{opt}=\frac{2}{3} \\ Z_{1\,opt}=\frac{2}{3}l \end{cases}$$

نمودار فوق نشان می‌دهد که قرار دادن خازن به اندازه ۲/۳ یا $0.9Q$ تفاوتی ندارد.
زیرا بار یکنواخت است و بار متمرکز وجود ندارد.



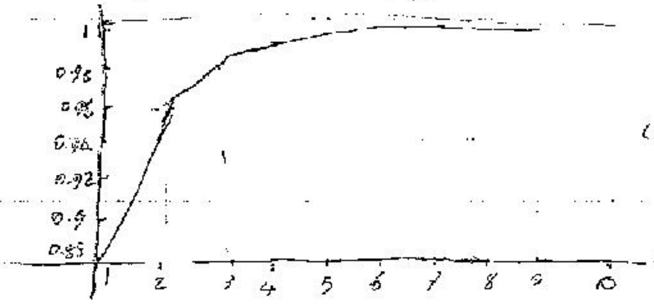
توان راکتیو مورد نیاز را خازن بیشتر در شبکه جبران می‌کند
و با توان ۲ با توان راکتیو رابطه دارد.

$$\lambda=1 \longrightarrow \frac{P^{\circ}_{loss}-P_{loss}}{P^{\circ}_{loss}}=\frac{1}{P_R^2+Q_R^2}\,C\frac{Z_1}{l}\left[2-C\right]$$



تأثیر تعداد خازن بهینه بر میزان کاهش تلفات:

$$\frac{P^{\circ}_{loss}-P_{loss}}{P^{\circ}_{loss}}=\frac{q_1^2 l^2}{(P_1^2+q_1^2)l^2}=\frac{4n(n+1)}{(2n+1)^2}$$

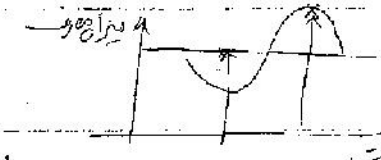


با افزایش تعداد خازن از یک عدد، کاهش تلفات تغییر چندانی نمی‌کند
که خواست سرمایه.

محاسبه توان راکتیو تزریقی برای کاهش تلفات انرژی

$$\Delta P_{loss} = -\frac{r}{U_S^2}\sum_{i=1}^{n}\left(q_c Z_i f - 2(q_0 l + Q_i R) + q_0 Z_i + [(2i-1)+1]\, q_c^2 f\right)$$

$$F_{L(i)} = \frac{\text{میانگین بار (راکتیو)}}{\text{حداکثر بار (راکتیو)}}$$

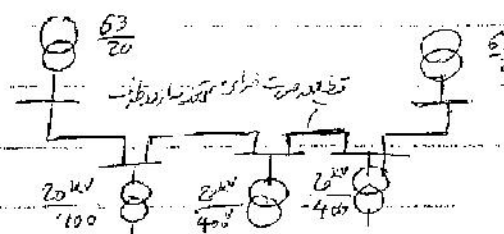


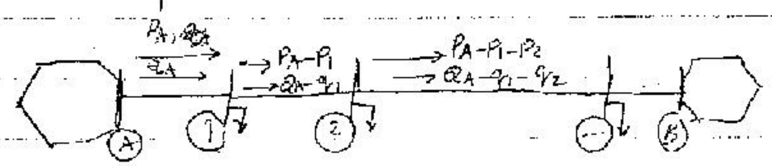
$$\Delta E_{loss} = -\frac{r}{U_S^2}\sum_{i=1}^{n} q_c Z_i \left(f - 2 q_0 l\right)$$

روش حلقوی — فیدرهای از دو سو تغذیه:

جلسه ۸۵/۱۰/۱:

در ایران اکثر فیدرها از یکسو تغذیه اند و اصطلاحاً رینگ باز می گویند یعنی امکان اتصال هست ولی وصل نمی کنند.





مفروضات:

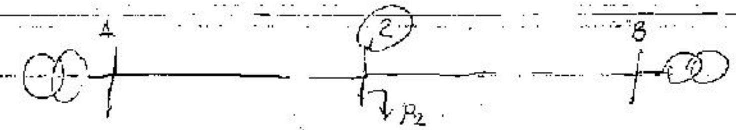
1. ولتاژ دو نقطه تغذیه با یکدیگر برابرند.
2. سطح مقطع در کل فیدر ثابت است.
3. از تلفات فیدر در محاسبه افت ولتاژ صرف نظر می شود.

الگوریتم:

الف) محاسبه توان های ورودی به فیدر AB (از نقطه A تا نقطه B)

$$P_A = \frac{\sum_k P_k R_{kB}}{R_{AB}} \quad ; \quad Q_A = \frac{\sum_k q_k R_{kB}}{X_{AB}}$$

ولتاژ A و B یکسان است؛ افت نهایی از هر طرف که محاسبه شود یکسان است.



$$\begin{cases} P_2 = P_A + P_B \\ \dfrac{P_A \cdot R_{2A}}{U_S} = \dfrac{P_B \cdot R_{2B}}{U_S} \end{cases} \Rightarrow P_A = ?$$

نکته

در روابط عنوان شده قبل برای محاسبه P_A، مقاومت در واحد طول از صورت و مخرج خط می‌خورد و به جنس هادی بستگی ندارد (سطح مقطع هادی) و تنها به فاصله مصرف‌کننده بستگی دارد.

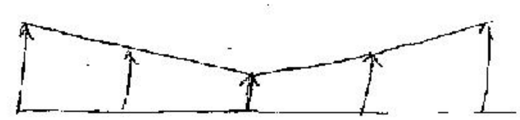
ب) تعیین توان‌های عبوری از فیدر (شروع از نقطه A یا B)

ج) تعیین نقطه ژرف در فیدر

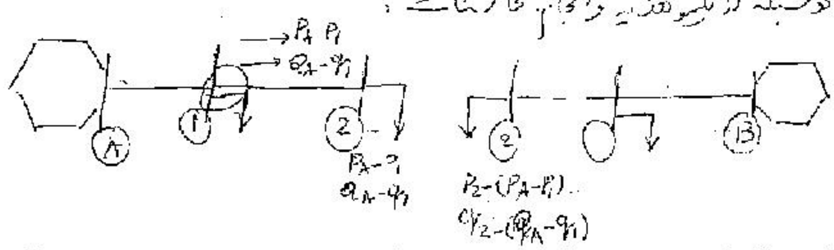
نقطه ژرف، نقطه تأمین بار که در مسیر محاسبه افت ولتاژ از یک سمت فیدر، مقدار بالا پس از آن منفی می‌شود که محل اتصال بار در سیستم

نقطه i: نقطه ژرف محسوب می‌شود ⇐ $R_{i,i+1}P_{i,i+1} + X_{i,i+1}Q_{i,i+1} < 0$

توان از سمت i+1



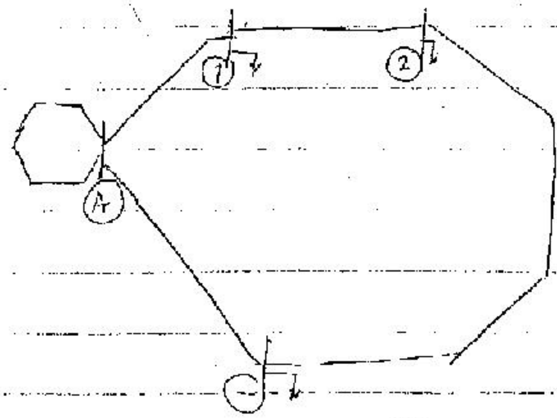
د) تبدیل به دو شبکه از یک سو تغذیه و انجام محاسبات:



- مقایسه افت ولتاژ در نقطه ژرف با مقدار مورد نظر در شرایط دو سو تغذیه (در شرایط عادی)
- مقایسه افت ولتاژ در آخرین نقطه‌ها با مقدار مورد نظر در شرایط قطع هر یک از تغذیه‌ها (شرایط اضطراری)

جلسه ۱۹

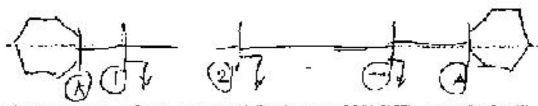
روش هشتم - فیدرهای حلقوی:



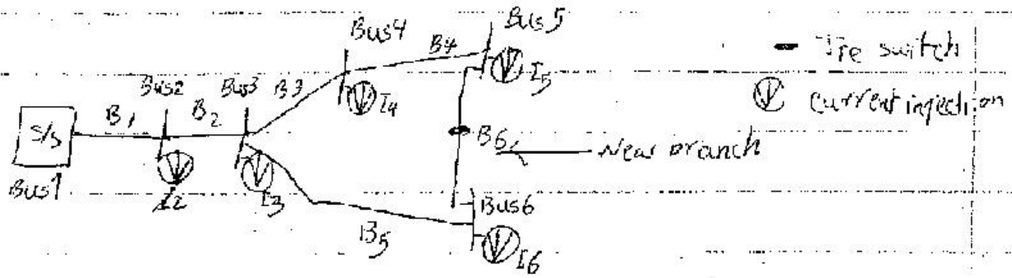
الگوریتم

الف) تبدیل شبکه از دو سو تغذیه به

ب) حل شبکه از دو سو تغذیه



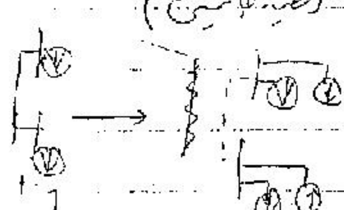
روش نهم: فیدرهای حلقوی (تکمیل روش هشتم)



- در این روش امپدانس ها ثابتند،
- در نتیجه سطح مقطع مشخص است،
- و برای تعیین سطح مقطع های روش چندان مناسب نیست.

$$I_5 = I_5 + B_6$$
$$I_6 = I_6 - B_6$$

- شاخه جدید را با منبع جریان جایگزین می کنیم؛ (قضیه جانشینی)



$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ \cancel{B_6} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ B_6 + I_5 \\ -B_6 + I_6 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \; \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_6 \\ -B_6 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \\ B_6 \end{bmatrix}$$

جریان یک در اثر حلقه
خاص به تعلق جهت
را ایجاد می‌کند

$$\begin{bmatrix} B \\ B_{New} \end{bmatrix} = [BIBC] \begin{bmatrix} I \\ B_{New} \end{bmatrix}$$

- ستون مرتبط با I_5 و I_6 را پیدا می‌کنیم (شاخه بین این دو ستون قرار گرفته)

- ستون مربوط به I_5 را از ستون مربوط به I_6 کم کرده و در ستون آخر قرار می‌دهیم. $(I_5 - I_6)$

- آخرین درایه سطر آخر را یک قرار می‌دهیم، بقیه درایه‌ها صفر

$$KVL \rightarrow Z_{34}B_3 + Z_{45}B_4 + Z_{56}B_6 - Z_{36}B_5 = 0$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ z_{12} & z_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ z_{12} & z_{23} & z_{34} & 0 & 0 & 0 \\ z_{12} & z_{23} & z_{34} & z_{45} & 0 & 0 \\ z_{12} & z_{23} & 0 & 0 & z_{35} & 0 \\ 0 & 0 & z_{34} & z_{45} & -z_{35} & z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta V \\ 0 \end{bmatrix} = [BCBV] \begin{bmatrix} B \\ B_{New} \end{bmatrix}$$

سطر مرتبط با B6 را از سطر مربوط به B5 کم می‌کنیم
سطر آخر حاصل می‌شود
المان آخر امپدانس شاخه جدید، سایر المان‌های
سطر آخر صفر

$$\begin{bmatrix} \Delta V \\ 0 \end{bmatrix} = [BCBV][BIBC] \begin{bmatrix} I \\ B_{New} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & M^T \\ M & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I \\ B_{New} \end{bmatrix}$$

روش حذف کرون

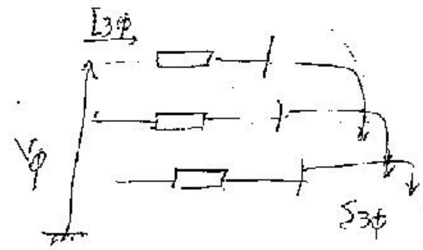
$$\Delta V = [A - M^T N^{-1} M][I] = [DLF][I]$$

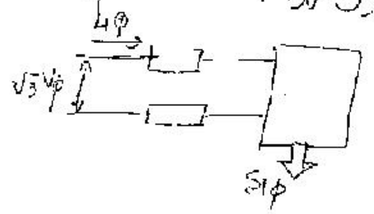
از اینجا به بعد مثل روش پنجم است

ص ۱۱۱

مقایسه خطوط نامتعادل و متعادل :

مدار تکفاز زمین نشده :





- مقایسه افت ولتاژ و تلفات در دو حالت فوق :

(امپدانس ها برابر)

$S_{1\phi} = S_{3\phi}$

$(\sqrt{3} \times V_\phi) \times I_{1\phi} = 3 \times (V_\phi \times I_{3\phi}) \Rightarrow I_{1\phi} = \sqrt{3}\, I_{3\phi}$

افت پتانسیل در شبکه سه فاز :

روش اول :

$\Delta V_{3\phi} = I_{3\phi}(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$

$\Delta V_{1\phi} = I_{1\phi}(k_R R\cos\varphi + k_X X\sin\varphi)$

کابلهای / خطوط هوایی : $k_R = 2$ ، $k_X = 2$

$k_X \approx 2$ ← بسته به سطح مقطع کابلها یا خطوط هوایی (2L.2M)

$\Delta V_{1\phi} = 2\sqrt{3} \times I_{3\phi}(R\cos\varphi + X\sin\varphi) = 2\sqrt{3} \times \Delta V_{3\phi}$.

بنابراین از نظر افت ولتاژ، مدار تکفاز زمین نشده نامناسب‌تر است.

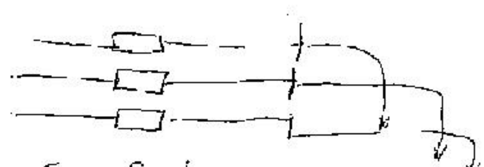
تلفات :

$P_{loss\,3\phi} = 3 \times R \times I_{3\phi}^2$

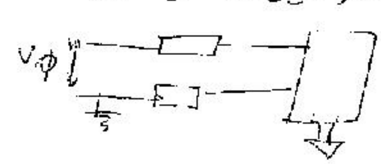
$P_{loss\,1\phi} = 2 \times R \times I_{1\phi}^2$ $\Rightarrow$

$\Rightarrow P_{loss\,1\phi} = 2 \times R \times (\sqrt{3}\, I_{3\phi})^2 = 2 \times P_{loss\,3\phi}$

تلفات تکفاز زمین نشده ۲ برابر حالت سه فاز است.



مدار تکفاز زمین شده در یک نقطه :



$S_{1\phi} = S_{3\phi}$

$V_\phi \times I_{1\phi} = 3 \times (V_\phi \times I_{3\phi})$

$\Rightarrow I_{1\phi} = 3 I_{3\phi}$

$$\Delta V_{3\phi} = I_{3\phi}(R\cos\phi + X\sin\phi)$$

$$\Delta V_{1\phi} = I_{1\phi}(k_R R\cos\phi + k_X X\sin\phi)$$

$k_R = 2$ ؛ جریان سیم نول صفر

$k_R > 2$ ؛ کوچکتر بودن سیم نول از فاز

$k_X = 2$ ؛ خطوط هوایی

$$\Delta V_{1\phi} = 3 \times I_{3\phi}(2R\cos\phi + 2X\sin\phi) = 6 \times \Delta V_{3\phi}$$

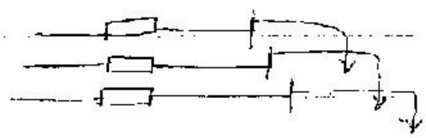
$$P_{loss_{3\phi}} = 3 \times R \times I_{3\phi}^2$$

$$P_{loss_{1\phi}} = 2 \times R \times I_{1\phi}^2$$

$$\Rightarrow P_{loss_{1\phi}} = 2 \times R \times (3 I_{3\phi})^2 = 6 \times P_{loss_{3\phi}}$$

حل ... ۸۲ ؛

هادی نول زمین شده در نقاط متعدد :



$$S_{1\phi} = S_{3\phi}$$

$$V_\phi \times I_{1\phi} = 3 \times (V_\phi \times I_{3\phi})$$

$$I_{1\phi} = 3 \times I_{3\phi} \quad , \quad I_n = \xi_1 I_{1\phi}$$

$$\Delta V_{3\phi} = I_{3\phi}(R\cos\phi + X\sin\phi)$$

$$\Delta V_{1\phi} = I_{1\phi}[k_R R\cos\phi + k_X X\sin\phi]$$

$$k_R = 1 + \xi_1 K \quad , \quad K = \frac{R_n}{R}$$

متعادل سازی زمین با تک سیم ، باعث عبور جریان سیم متعادل ساز برگشت داده شود.

$$0.25 \leqslant \xi_1 \leqslant 0.33$$

$$k_R < 2$$

$$k_X < 2$$

$$\boxed{\begin{aligned} & R I_R \cos\phi + R_n I_n \cos\phi = \\ & I_{1\phi}\left[R + R_n \frac{I_n}{I_{1\phi}}\right]\cos\phi = \\ & I_{1\phi}\left[\underbrace{R\left(1 + \frac{R_n}{R}\frac{I_n}{I_{1\phi}}\right)}_{k_R}\right]\cos\phi \end{aligned}}$$

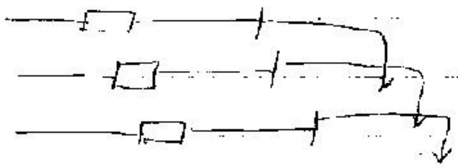
با توجه به سطح ولتاژ !

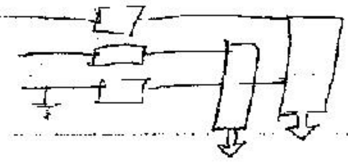
$$\Delta V_{1\phi} \cong 4 \times \Delta V_{3\phi}$$

$P_{loss\,3\phi} = 3 \times R \times I_{3\phi}^2$

$P_{loss\,1\phi} = (1+\xi^2 K) \times R \times I_{1\varphi}^2 \quad \Rightarrow P_{loss\,1\varphi} \cong 3.6 \times P_{loss\,3\phi}$

فیدر دو فاز - زمین شده :





$S_{2\phi} = S_{3\phi}$

$2 \times V_\phi \times I_{2\phi} = 3 \times (V_\phi \times I_{3\phi})$

$I_{2\phi} = 1.5 \times I_{3\phi}$

$\Delta V_{3\phi} = I_{3\phi}(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$

$\Delta V_{2\phi} = I_{2\phi}(k_R \cos\phi + k_X X \sin\varphi)$

$\Delta V_{2\phi} \cong \dfrac{\boxed{2}}{\boxed{2.1}} \times \Delta V_{3\phi}$

زمین شده یک نقطه

$P_{loss\,2\phi} \cong \dfrac{\boxed{2.25}}{\boxed{1.64}} \times P_{loss\,3\phi}$

زمین شده در نقاط متعدد

$\xi_2 = 3 \Leftarrow$ هم‌اندازه بودن سیم نول و فاز

$\xi_2 > 3 \leftarrow$ کوچکتر بودن سیم نول از فاز

روش دهم - شرایط نامتقارن : بار نامتقارن / فیدر نامتقارن

$V_S = V_R + Z \cdot I_R$

$V_{i\,ABC} = V_{(i+1)ABC} + Z_{i(i+1)ABC} \cdot I_{i\,ABC}$ روابط سه فاز :

چون شرایط نامتقارن است باید روابط سه فاز را بنویسیم .

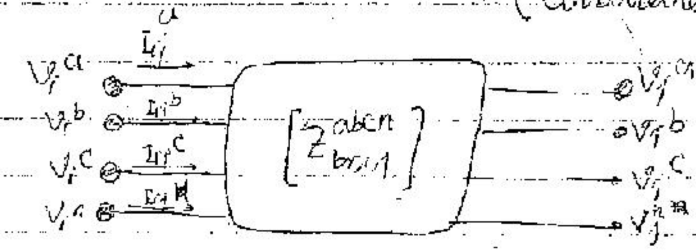
*نکته :

1. در روش‌های تکراری برای حل شبکه‌های نامتقارن باید حدس اولیه برای ولتاژ هر سه فاز صورت گیرد.

2. برای محاسبه تلفات توان در خطوط و فیدرهای نامتقارن ، محاسبه باید در سه فاز صورت گیرد.

$P_{loss} = Re\left[I_{i\,ABC}^T \cdot Z_{i(i+1)ABC}^T \cdot I_{i\,ABC}^* \right]$

روش [illegible] (Unbalance)

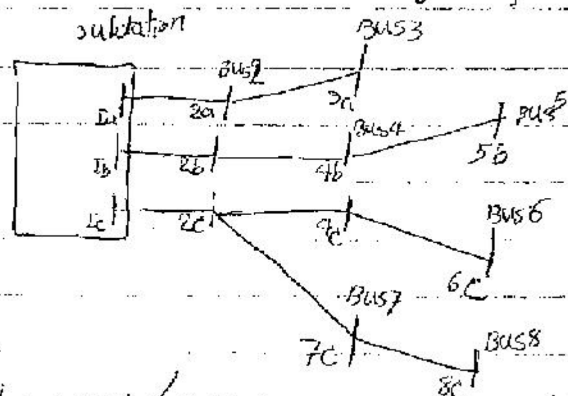


$$\left[Z^{abc}_{br,ij}\right] = \begin{bmatrix} Z_{ij}^{aa-n} & Z_{ij}^{ab-n} & Z_{ij}^{ac-n} \\ Z_{ij}^{ba-n} & Z_{ij}^{bb-n} & Z_{ij}^{bc-n} \\ Z_{ij}^{ca-n} & Z_{ij}^{cb-n} & Z_{ij}^{cc-n} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_j^a \\ V_j^b \\ V_j^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_i^a \\ V_i^b \\ V_i^c \end{bmatrix} - \left[Z^{abc}_{br,ij}\right] \begin{bmatrix} I_{ij}^a \\ I_{ij}^b \\ I_{ij}^c \end{bmatrix}$$

$$\left[V^{abc}_{br,ij}\right] = \left[Z^{abc}_{br,ij}\right]\left[I^{abc}_{br,ij}\right]$$

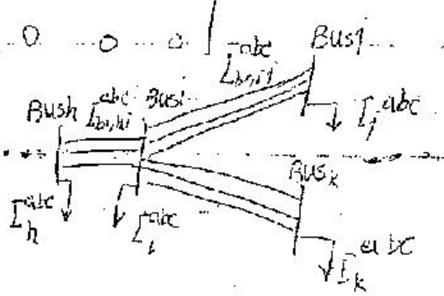
$$\left[I^{abc}_{br,ij}\right] = \left[Y^{abc}_{br,ij}\right]\left[V^{abc}_{br,ij}\right]$$



الف) درصورتی که دو فاز A, C به همراه نول نصب شده باشند

ب) درصورتی که فاز B به همراه نول نصب شده باشد

$$Z_{ABC}^{(1\Phi)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_{BB} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad Z_{ABC}^{(2\Phi)} = \begin{bmatrix} Z_{AA} & 0 & Z_{AC} \\ 0 & 0 & 0 \\ Z_{CA} & 0 & Z_{CC} \end{bmatrix}$$



$\sqrt{3}$ Bus Current Injection

ص ۱۱۲۵

$$\left[I_i^{abc} \right] = \left[Y_{br,hi}^{abc} \right] \left[V_{br,hi}^{abc} \right] - \left[Y_{br,ij}^{abc} \right] \left[V_{br,ij}^{abc} \right] - \left[Y_{br,ik}^{abc} \right] \left[V_{br,ik}^{abc} \right]$$

$$\text{1} \quad I_i^{cal} = h_i \left(V_{br,ij}^{abc} , Y_{br,ij}^{abc} \right) \qquad j \in \Omega_i , \; i = 1, \dots, n$$

(جریان تحویلی از تزریق)

$$S_i = \left(P_i^{spec} + j Q_i^{spec} \right) \qquad i = 1, \dots, N$$

$$I_i^{(k), spec} = \left(\frac{P_i^{spec} + j Q_i^{spec}}{V_i^{(k)}} \right)^*$$

$$\text{1}$$

$$CIM_i^{(k)} \left(V_{br} , Y_{br} \right) = I_i^{(k), spec} - I_i^{(k), cal} \qquad i = 1, \dots, N$$

$$f(x) = 0 = f(x_0) + \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{x = x_0} (x - x_0) + \cancel{\dots} \to 0$$

بسط $f(x)$ حول x_0 :

$$\Rightarrow x = x_0 - \frac{f(x_0)}{\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{x = x_0}}$$

x جواب تقریبی برای $f(x)$ است :

$$\left[\frac{\partial CIM}{\partial V_{br}} \right]^{(k)} \left[\Delta V_{br} \right]^{(k)} = \left[0 - CIM \left(V_{br}^{(k)} , Y_{br} \right) \right]$$

$$CIM (V_{br}) = 0 = CIM \left(V_{br}^{(k)} \right) + \left(\frac{\partial CIM}{\partial V_{br}} \right)^{(k)} \Delta V_{br}$$

ماتریس ژاکوبین

$$[J] \left[\Delta V_{br} \right]^{(k)} = \left[- CIM \left(V_{br}^{(k)} , Y_{br} \right) \right]$$

$$J = \begin{array}{c} k \\ \\ \\ \end{array} \begin{bmatrix} \frac{\partial CIM_k}{\partial V_{br1}} & \frac{\partial CIM_k}{\partial V_{br2}} & \cdots \\ & & \\ & & \end{bmatrix}$$

- آنگاه از رابطه فوق $[\Delta V_{br}]$ محاسبه شود.
~~[illegible]~~ V_{br} ها بروزرسانی شود.
این مقادیر را در رابطه جدید قرار داده و روش
تکرار می‌شود.

$$\left[V_{br} \right]^{(k+1)} = \left[V_{br} \right]^{k} + \left[\Delta V_{br} \right]^{(k)}$$

شرط خروج از تکرار :

$$\begin{cases} \text{for } i = 1 \text{ to } n-1 \\ \max \left(CIM_i^k \right) \leq \varepsilon \end{cases}$$

مقایسه کنید روش نهم و دهم را. در کدام [illegible] ابتدا ها در محاسبه ΔV متفاوتند

$$[J] = [D][DY]$$

$$
\begin{array}{c|cccccccccc|c}
\text{Branch} & 1\text{-}2a & 1\text{-}2b & 1\text{-}2c & 2\text{-}3a & 2\text{-}4b & 2\text{-}4c & 4\text{-}5b & 4\text{-}6c & 2\text{-}7c & 7\text{-}8c & \text{Bus} \\
\hline
 & Y_{12}^{aa} & & & & & & & & & & 2a \\
 & Y_{12}^{ba} & & & & & & & & & & 2b \\
 & Y_{12}^{ca} & & & & & & & & & & 2c \\
 & & & & & & & & & & & 3a \\
 & & & & & & & & & & & 4b \\
 & & & & & & & & & & & 4c \\
 & & & & & & & & & & & 5b
\end{array}
$$

$$
[J] =
\begin{array}{c|ccccccc|c}
 & 1\text{-}2 & 2\text{-}3 & 2\text{-}4 & 4\text{-}5 & 4\text{-}6 & 2\text{-}7 & 7\text{-}8 & \text{Bus} \\
\hline
 & [Y_{12}^{abc}] & -[Y_{23}^{a}] & -[Y_{24}^{bc}] & & & -[Y_{27}^{c}] & & 2 \\
 & & [Y_{23}^{a}] & & & & & & 3 \\
 & & & [Y_{24}^{bc}] & -[Y_{45}^{b}] & -[Y_{46}^{c}] & & & 4 \\
 & & & & [Y_{45}^{b}] & & & & 5 \\
 & & & & & [Y_{46}^{c}] & & & 6 \\
 & & & & & & -[Y_{27}^{c}] & -[Y_{78}^{c}] & 7 \\
 & & & & & & & [Y_{78}^{c}] & 8
\end{array}
$$

ماتريس [illegible]

$$
[DY] =
\begin{array}{c|ccccccc|c}
\text{Branch} & 1\text{-}2 & 2\text{-}3 & 2\text{-}4 & 4\text{-}5 & 4\text{-}6 & 2\text{-}7 & 7\text{-}8 & \\
\hline
 & [Y_{12}^{abc}] & & & & & & & 1\text{-}2 \\
 & & [Y_{23}^{a}] & & & & & & 2\text{-}3 \\
 & & & [Y_{24}^{bc}] & & & & & 2\text{-}4 \\
 & & & & [Y_{45}^{b}] & & & & 4\text{-}5 \\
 & & & & & [Y_{46}^{c}] & & & 4\text{-}6 \\
 & & & & & & [Y_{27}^{c}] & & 2\text{-}7 \\
 & & & & & & & [Y_{78}^{c}] & 7\text{-}8
\end{array}
$$

ص ۱۱۷

ماتریس جهانی

$$
I_D = \begin{array}{c} \\ \\ \end{array}
\begin{array}{ccccccc|c}
1\text{-}2 & 2\text{-}3 & 2\text{-}4 & 4\text{-}5 & 4\text{-}6 & 2\text{-}7 & 7\text{-}8 & \\
\hline
[I]_3 & -[I] & -[I]_2 & & & -[I]_1 & & 2 \\
 & [I]_1 & & & & & & 3 \\
 & & [I]_2 & -[I]_1 & -[I]_1 & & & 4 \\
 & & & [I]_1 & & & & 5 \\
 & & & & [I]_1 & & & 6 \\
 & & & & & [I]_1 & -[I]_1 & 7 \\
 & & & & & & [I]_1 & 8
\end{array}
$$

$ID^T \leftarrow$ رابطه ولتاژ شاخه‌ها و شین‌ها را نشان می‌دهد.

$$[ID][DY][\Delta V_{br}]^{(k)} = \left[-CIM\left(V_{br}^{(k)} \cdot Y_{br}\right)\right]$$

$$[X]^{(k)} = [DY][\Delta V_{br}]^{(k)} \qquad [ID][X]^{(k)} = \left[-CIM\left(V_{br}^{(k)} \cdot Y_{br}\right)\right]$$

DY ماتریس قطری است
وارون کردن DY ساده است.

ID ماتریس مثلثی است.
حل رابطه بالا به صورت Backward Substitution انجام می‌شود.

نیازی به وارون کردن نیست، مسئله خیلی راحت‌تر قابل حل است

$$[V_{br}]^{(k+1)} = [V_{br}]^{(k)} + [\Delta V_{br}]^{(k)}$$

$$[V_{br}]^{(k+1)} = -[ID]^T [V_{bus}]^{(k+1)}$$

$$[V_{bus}]^{(k+1)} = [V_{bus}]^{(k)} - [ID]^T [\Delta V_{br}]^{(k)}$$