

بنام خداوند جان و خرد

جزوه درس:

# بررسی سیستمهای قدرت ۱

## فصل اول :

### مفاهیم اولیه :

$$V = V_m \cos wt, i = I_m \cos(wt - \theta) \quad (1)$$

$V, V_a =$  ولتاژ لحظه ای ، نشان دهنده ولتاژ متغیر با زمان ،  $V_m =$  ولتاژ ماکزیمم ،  $V =$  ولتاژ موثر

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \text{ ولتاژ موثر}$$

توان لحظه ای متغیر با زمان  $p(t) = V \cdot i$

$$p = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad \text{توان متوسط} \quad (2)$$

$$(1), (2) \Rightarrow p(t) = P(1 + \cos 2wt) + Q \sin 2wt$$

که : توان موهومی  $Q = V \cdot I \cdot \sin \theta$  توان حقیقی  $P = V \cdot I \cdot \cos \theta$

فازور :

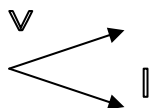
$$v = V_m \cos(wt + \theta) \rightarrow \hat{V} = V e^{j\theta}$$

توان ظاهری :

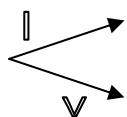
$$S = P + jQ = \hat{V} \cdot \hat{I}$$

$$\hat{V}_+ \rightarrow \text{---} \square$$

پس فاز و پیش فاز :



بار سلفی ← توان موهومی مصرف می کند ← جریان از ولتاژ عقب تر است ←



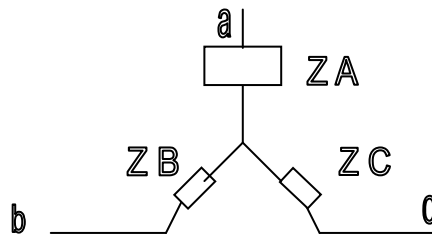
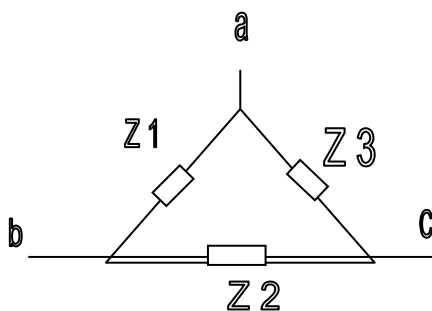
بار فازی ← توان موهومی تولید می کند ← جریان از ولتاژ جلوتر است ←

## سیستم سه فاز :

$$\begin{cases} V_a = V_m \cos wt \\ V_a = V_m \cos(wt - 120^\circ) \\ V_a = V_m \cos(wt + 120^\circ) \end{cases} \quad \begin{cases} iaI_m \cos(wt - p) \rightarrow ia = I_m \cos(wt - p) \\ ibI_m \cos(wt - 120^\circ - p) \rightarrow ib = I_m \cos(wt - 120^\circ - p) \\ icI_m \cos(wt + 120^\circ - p) \rightarrow ic = I_m \cos(wt - 120^\circ - p) \end{cases}$$

توان لحظه ای سه فاز  $P(+)=V_a i_a + V_b i_b + V_c i_c$

توان متوسط ( $I, V$  مقادیر موثر)  $P = 3V.I.\cos \rho$



تبدیل ستاره به مثلث :

$$\begin{cases} Z_A = \frac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \\ Z_B = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \\ Z_C = \frac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \end{cases} \quad \begin{cases} Z_1 = \frac{Z_A Z_B + Z_A Z_C + Z_B Z_C}{Z_C} \\ Z_2 = \frac{Z_A Z_B + Z_A Z_C + Z_B Z_C}{Z_A} \\ Z_3 = \frac{Z_A Z_B + Z_A Z_C + Z_B Z_C}{Z_B} \end{cases}$$

## پریونت - در واحد P.U.

اختصارات : LL خط به خط ، LN خط به نول ، یک فاز ، 1Q = یک فاز ، 3Q = 3ph سه فاز

$b \equiv \text{پایه} , \text{ مینا}$

معمولاً بزرگترین عدد به عنوان مینا انتخاب می شود و پریونت  $p.u. = \frac{\text{عدد}}{\text{مینا}}$  (عدد) کوچکتر از

واحد است .

## یونت تک فاز :

توان ظاهری یک فاز  $Vb = VLN$  ، ولتاژ فاز  $P_b = Q_b = S_b = VA_1Q$

$$I_b = \frac{S_b}{V_b} A, Z_b = \frac{V_b^2}{S_b} = \frac{V_b}{Z_b} \Omega \text{ محاسبه می شود :}$$

## پریونت سه فاز :

$$V_b = V_l - l, P_b = Q_b = S_b = Va3\phi$$

فرض می شود توان ظاهری سه فاز

$$I = \frac{S_b}{\sqrt{3}V_b} A, Z_b = \frac{V_b^2}{Z_b} \text{ محاسبه می شود}$$

در حالت سه فاز می توان از مبناهای تک فاز نیز استفاده کرد ولی کاربرد کمتری دارد .

$$V_{b1\phi} = VL_n, S_{b1\phi} = VA_1, \phi I_b = \frac{S_{b1\phi}}{V_{b1\phi}} = \frac{S_b 3\phi}{\sqrt{3}V_b L - L}$$

$$Z_b = \frac{V_b L - L^2}{sb3\phi} = \frac{V_{b1\phi}}{I_{b1\phi}} = \frac{V_{b2\phi}}{s_{b1\phi}}$$

## تبدیل یک امپدانس پریونت از یک مبنا به مبنای دیگر :

$$(1): S_{b1}, V_{b1}, Z_{b1} \quad , (2): S_{b2}, V_{b2}, Z_{b2}$$

$$Z_{1p.u.} = \frac{Z}{Z_{b1}}, Z_{2p.u.} = \frac{Z}{Z_{b2}}$$

$$\Rightarrow \frac{Z_{2p.u.}}{Z_{1p.u.}} = \left( \frac{V_{b1}}{V_{b2}} \right)^2 \times \frac{S_{b2}}{S_{b1}}$$

## پریونت کردن یک ترانسفورماتور :

توان مبنا برابر توان ظاهری ترانس و ولتاژ مبنا در طرف فشار ضعیف برابر ولتاژ فشار ضعیف و در طرف

فشار قوی برابر ولتاژ فشار قوی است . مثلاً در ترانس  $220V/440V$  و  $10KVA$  داریم :

$$S_b = S_T = 10KVA, \quad v_b = 220V \text{ فشار ضعیف}, \quad V = 440V \text{ فشار قوی}$$

به عبارت دیگر ولتاژ مبنا از یک طرف ترانسفورماتور به طرف دیگر با نسبت تبدیل تغییر می کند.

**نکته :**

تمام روابط مربوط به توان ظاهری ، حقیقی و موهومی ، ولتاژ و جریان باید برای مبناها نیز صادق باشد .

$$S_{3\phi} = \sqrt{3}V_L I_L, S_b 3\phi = \sqrt{3}V_b I_b - L, I_b \quad \text{بطور مثال :}$$

## سؤالات فصل اول

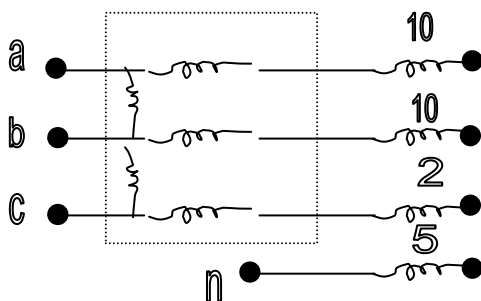
۱. توان ورودی به خطی با امپدانس  $Z = 5 + j60\Omega$  و ولتاژ  $S = 210mw + j30mAv, 220Kv$  می باشد .

ولتاژ و توان در انتهای خط و همچنین توان مصرفی را بدست آورید .

$$\left[ \hat{V}_L = 214.6k \angle -15.29^\circ, S = p + jQ = 4.648Mw + j55.78m \text{ var} \right]$$

۲. در شکل مقابل بار سه فاز نامتقارنی را مشاهده می کنید از دو واتمتر جهت محاسبه توان مصرفی آن

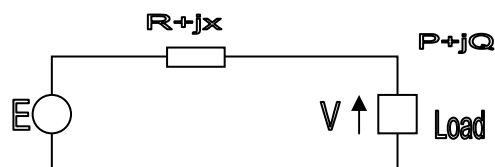
استفاده کرده ایم . هر یک از واتمترها چه مقدار توان را نشان می دهند . توان مصرفی چقدر است ؟



$$V_{LN} = 900V$$

$$\text{ج : } P_1 = 121.5kw, P_2 = 337.5kw, p = 422.9kw$$

۳. با توجه به شکل مقابل ، ولتاژ ابتدای خط ابتدای خط را بر حسب ولتاژ انتهای خط و توان حقیقی و



موهومی بدست آورید ؟

$$\left[ E^2 = (V + (RP + xQ)/V)^2 + (Ra - Xp)^2 / V^2 \right]$$

۴. خط انتقال سه فازی با امپدانس  $Z_S = 0.5 + j2\Omega$  بار ستاره ای در انتهای خط را تغذیه می کند ، بار

مذکور در ضریب قدرت 0.8 پس فاز و ولتاژ خط ۱۰kv توان 200 kW را ضرب می کند ؟

الف ) مطلوبست ولتاژ ابتدای خط و توان حقیقی و موهومی تولید در ابتدای خط  $[V_S = 5797]$

ب ) اگر ولتاژ ابدای خط 10 Kv و بار انتخای خط دارای امپدانس  $Z_l = 18 + j45\Omega$  بصورت مثلث باشد .

ولتاژ انتهای خط را محاسبه کنید .

$$[V_{l-l} = 8876]$$

ج ) اگر بخواهیم ضریب قدرت بار در حالت (الف) به 0.98 برسد ، به چه مقدار خازن نیازمندیم

$$[c = 3.5.NF]$$

د ) برای اینکه ولتاژ را در انتهای خط در قسمت (ب) به 10 kv برسانیم سه خازن مساوی با بار بصورت

ستاره موازی می کنیم . خازنها را محاسبه کنید .

$$f = 5 : Hz$$

$$[c = 3.817mf]$$

۵. دو ماشین الکتریکی با ولتاژهای  $\hat{E}_1 = 100 < 30^\circ V$  ,  $\hat{E}_2 = 120 < V$  از طریق امپدانس  $Z_S = 2 + j5\Omega$  به

یکدیگر متصل شده اند معین کنید که کدامیک از ماشینها به عنوان مولد و کدامیک بصورت موتور

عمل می کنند . توانهای حقیقی و موهومی هر ماشین را بیابید .

$$[S_1 = 1008 - i480.9, S_2 = 759.2 - i1104.7]$$

۶. یک ماشین حفاری در هنگام حفاری توان 0.1 MVA در ضریب قدرت 0.8 پس فاز معرف می کند و

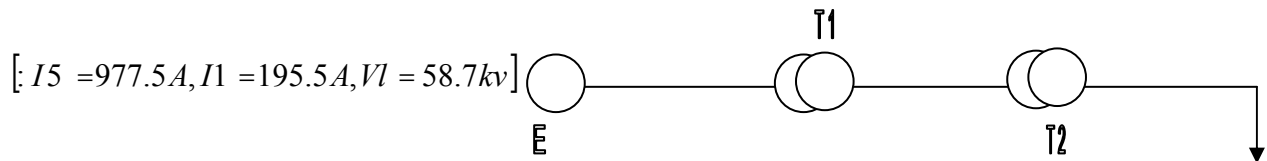
هنگام تخلیه بیل ، توان 0.1 MVA در ضریب قدرت 0.5 پیش فاز تولید می کند . در انتهای دوره

استخراج ، تغییر در اندازه جریان منبع باعث قطع کردن رله ها حفاظتی می شود . بنابراین لازم است تغییر جریان را مینیمم کنیم . می توان از سه خازن در ترمینالها استفاده نمود . مطلوبست مقدار خازنها ،

$$V_{l-l} = 36.5kv$$

$$[c = 6.44NF]$$

۷. سیستم زیر مفروض است . ولتاژ ترمینال ژنراتور 13.2 kV می باشد . مطلوبست محاسبه جریان ژنراتور ، جریان و ولتاژ بار و توانی که توسط بار جذب می شود .



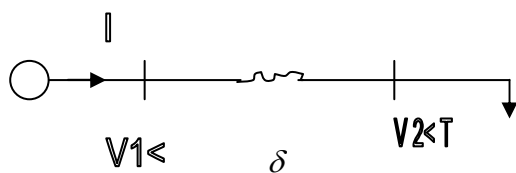
$$T1 = (13.2kv\Delta - 132kvY, 5MVA, XT1 = 0.1p.u)$$

$$T2 = (138kvY - 69kv\Delta, 10MVA, XT2 = 0.05p.u)$$

## فصل دوم :

بار : در بار امیدانس اگر ولتاژ ۱٪ کاهش یابد ، توان مصرفی ۲٪ کاهش می یابد و اگر فرکانس ۱٪ کاهش یابد توان  $(0.02 \sin^2 p)$  افزایش می یابد .

خط شعاعی ، یکسو تغذیه :

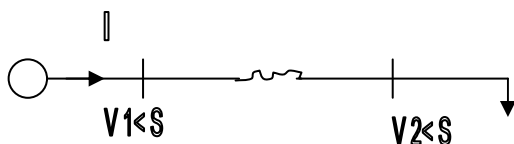


$$s_2 = p_2 \quad (Q = 0)$$

$$\Rightarrow P_{12} = P_2 = P_1 = \frac{V_1^2 \sin \delta}{2x}, \cos \delta = \frac{V_2}{V_1}$$

$$P_{max} = \frac{V_1^2}{2x}, s = 45^\circ$$

توان ماکزیمم در خط شعاعی :



$$S_1 = P_1 + iQ$$

$$S_2 = P_2 + iQ_2$$

## خط دو سو تغذیه :

$$P_1 = P_2 = P_{12} = \frac{V_1 V_2}{x} \sin(\delta_1 - \delta_2)$$

$$Q_1 = \frac{V_1^2 - V_1 V_2 \cos \delta}{x}$$

$P_1$  = توان تولیدی ژنراتور

$$Q_2 = \frac{-V_1 V_2 \cos \delta - V_2^2}{x}$$

$P_2$  = توان مصرفی ژنراتور

$$P_{\max} = \frac{V_1 V_2}{x}, \delta = 90^\circ$$

$P_{12}$  = توان انتقالی از ژنراتور ۱ به ۲

## توان ماکزیمم در خط دو سو تغذیه :

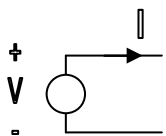
تفاوت خط دو سو تغذیه با یکسو تغذیه در اینست که در خط دو سو تغذیه ، باس دوم دارای ولتاژ ثابتی

است و بوسیله ژنراتور و یا خازن کنترل می شود .

$$\delta = Tg^{-1} \frac{x}{R}$$

## توان ماکزیمم در خط دو سو تغذیه با خط دارای مقاومت :

### تعریف توان مصرفی و تولیدی :

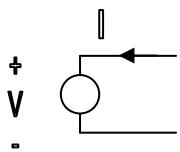


$$Z = P + iQ = \tilde{V} \tilde{I}$$

$$\begin{cases} P > 0 \\ P < 0 \end{cases}$$

تولید کننده توان  $\begin{cases} Q > 0 \\ Q < 0 \end{cases}$  تولید کننده

مصرف کننده  $\begin{cases} Q < 0 \end{cases}$  مصرف کننده توان حقیقی



$$Z = P + iQ = \tilde{V} \tilde{I}$$

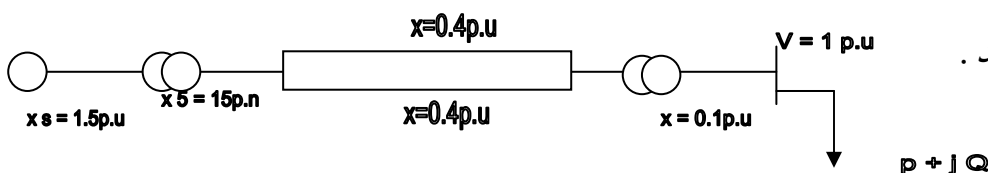
$$\begin{cases} P > 0 \\ Q < 0 \end{cases}$$

تولید کننده  $\begin{cases} P < 0 \\ Q < 0 \end{cases}$  مصرف کننده

تولید کننده  $\begin{cases} Q < 0 \end{cases}$  مصرف کننده

## سؤالات فصل دوم

۸. شکل زیر مفروض است . مطلوبست ماکزیمم توان انتقالی در دو حالت زیر :



الف) هر دو خط وصل باشد .



۹. در سیستم شکل مقابل، مطلوبست  $Q_{G2}$  برای اینکه  $V_2 = 1$  شود. ابتدا  $V_1 < 1$  را محاسبه کنید.



SO = توان مصرفی  $[Q_{G2} = 0.268]$

۱۰. اگر خط انتقال علاوه به  $x$  دارای مقاومت  $R$  نیز باشد، رابطه توان انتقالی و زاویه حداکثر توان را



$$\left[ \delta = \tan^{-1} \frac{x}{R} \right]$$

۱۱. در یک بار امپدانس تغییرات توان مصرفی  $\left[ \frac{\Delta p}{p} \right]$  را در ازای تغییرات ولتاژ  $\left[ \frac{\Delta V}{V} \right]$  و تغییر فرکانس

$$\left[ \frac{\Delta p}{p} = 2 \frac{\Delta V}{V}, \frac{\Delta p}{p} = -2 \sin^2 T \frac{\Delta f}{f} \right] \text{ بیااید.}$$

۱۲. خطی با مشخصات  $p = \frac{1}{2} P_{\max}$  بار مقاومتی را تغذیه می کند.  $V_2, \delta$  را در دو حالت

زیر محاسبه کنید؟

الف) خط یکسو تغذیه است      ب) باس بار کنترل ولتاژ است

$$\left[ \delta = 15^\circ, V_2 = \cos 15^\circ, \text{ الف}; \delta = 30^\circ, V_2 = \cos 30^\circ, \text{ ب} \right]$$

## فصل سوم:

**پدیده کرونا:** یونیزه شدن هوای اطراف سیم ولتاژ بالا در اثر شدت میدان الکتریکی زیاد

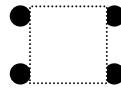
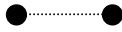
**اثرات کرونا:** تلفات - تداخل امواج مخابراتی

**باندل کردن:** اگر به جای یک هادی از چند هادی استفاده کنیم که از یکدیگر فاصله کمی داشته

باشند به این کار باندل کردن می گوئید .

باندل سه تایی

باندل دو تایی



باندل چهار تایی

$$l_{int} = \frac{N}{8\pi} \frac{H}{M}$$

**اندوکتانس داخلی یک هادی توپر :**

$$L_{ext} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r}$$

**اندوکتانس خارجی یک هادی توپر :**

$$L = 210^{-7} \ln \frac{D}{r}, r' = 0.7788r$$

**اندوکتانس یک هادی توپر :**

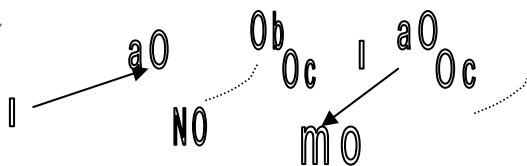
$$\left( \sum_{i=1}^n T_i = 0 \text{ فرض} \right)$$

**فلوی یک هادی در بین گروه n هادی :**

$$\lambda_1 = 2 \times 10^{-7} (I_1 \ln \frac{1}{D_{11}} + \dots + I_n \ln \frac{1}{D_{1n}})$$

**ولتاژ القاء شده در یک هادی :**

$$V = j\omega\lambda$$



**اندوکتانس خطوط مرکب :**

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR}$$

$$GMD = \sqrt[n]{(D_{aa'} \cdot D_{ab'} \dots D_{am}) \dots (D_{aa'} \dots D_{nm})}$$

**فاصله متوسط هندسی**

$$GMR = \sqrt[n]{(D_{aa} \cdot D_{ab} \dots D_{an}) \dots (D_{an} \dots D_{nn})}$$

**شعاع متوسط هندسی**

هادی توپر  $D_{aa} = r'$  هادی تو خالی  $D_{aa} = r$

(از روی جدول A. 1) هادی رشته ای  $D_{aa} = D_s$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{D_{aa}}$$

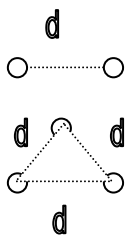
(D) اندوکتانس خط سه فاز با فواصل مساوی :

اندوکتانس خط سه فاز با فواصل نامساوی و ترانسپوز شده: (فازها با فواصل مساوی جابه جا شده اند)

$$L = 2 * 10^{-7} \ln \frac{Deh}{DS}, Deq = \sqrt[3]{D12.D13.D23}$$

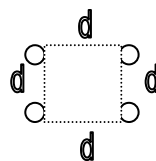
$$L = 2 * 10^{-7} \ln \frac{GmD}{GMR}$$

خط سه فاز باندل شده؛ از اثر باندل در GMR صرف نظر می شود.



$$GMR = \sqrt{Ds.d}$$

$$GMR = \sqrt[3]{Ds.d^2}$$



$$GMR = \sqrt[8]{2} \cdot \sqrt[4]{Ds.d^3}$$

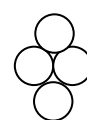
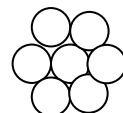
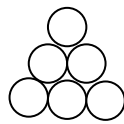
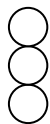
خط سه فاز دو مداره: از روابط باندل استفاده می شود. در این حالت از اثر باندل در GMD صرف نظر نمی شود.

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

### سؤالات فصل سوم:

۱۳. شعاع هندسی هریک از هادیهای زیر را به حساب شعاع هر هادی (r) محاسبه کنید. فرض کنید

هادیها توخالی هستند.



(الف)

(ب)

(ج)

(د)

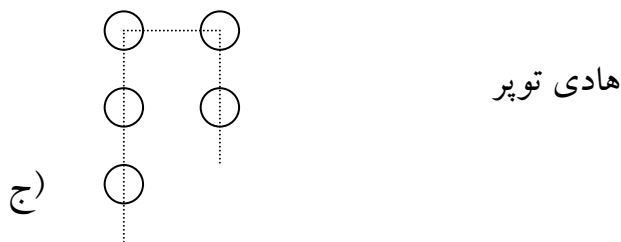
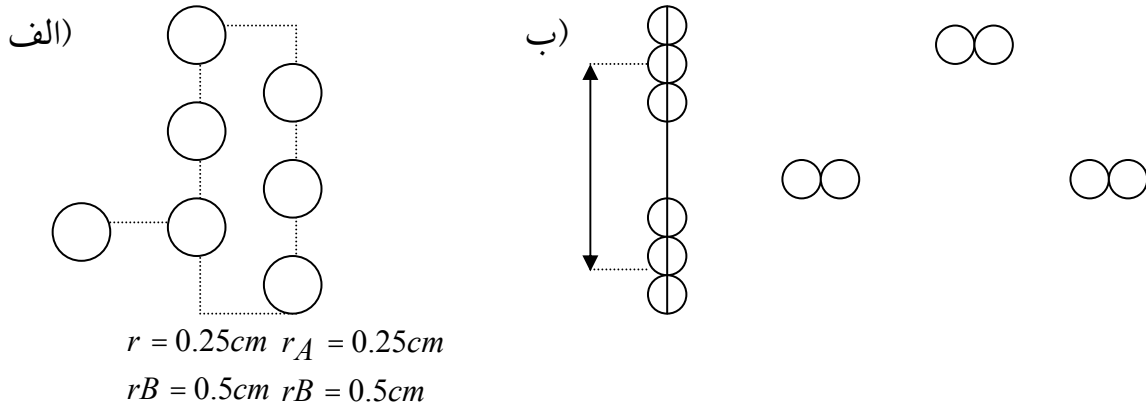
(ه)

(ی)

[الف:  $1.587r$     ب:  $1.834r$     ج:  $1.852r$     د:  $2.192r$     ه:  $2.256r$     ی:  $1.8017r$ ]

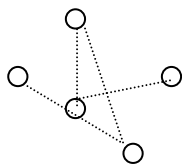
۱۴. در خطوط انتقال تک فاز اشکال زیر، اندوکتانسهای رفت و برگشت و اندوکتانسهای کل را بدست آورید.

هادی توخالی،  $O = 15d$ ،  $d = 10r$

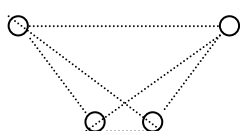


$[L = 10.68 * 10^{-7} \text{ (الف)}$   $14.28 * 10^{-7} \text{ (ب)}$   $14.72 * 10^{-7} \text{ H/m (ج)}$ ]

۱۵. ثابت کنید در شکل مقابل، اگر خطوط سه فاز جابه جا شده باشند. کل شار در برگیرنده خط تلفن  $t_2, t_1$  صفر خواهد بود. سیستم متعادل است.



۱۶. یک خط تلفن موازی یک خط انتقال انرژی تک فاز مطابق شکل مقابل مفروض است. ولتاژ القایی در هر کیلومتر از مدار تلفن را محاسبه کنید. جریان عبوری از خط انتقال 100 A و جریان در سیم تلفن صفر است.

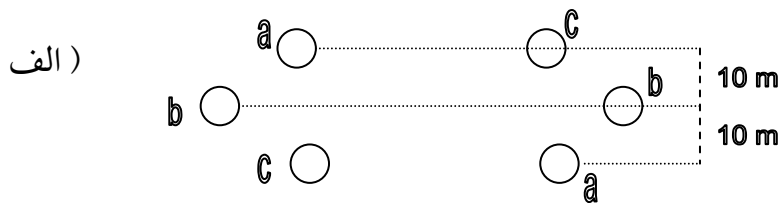


صفر است.  $f = 50$

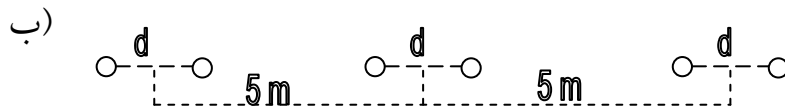
$[|v| 2.381 \text{ V/km}]$

۱۷. در اشکال زیر اندوکتانس هر فاز را محاسبه کنید. عمل جابجایی در فازها انجام شده و نوع سیمها

$$Ds=0.3>3ft = 11.37 \text{ mm} , \quad O=27.81\text{mm} \quad \text{قطر می باشد. (Drake)}$$



هر فاز بانندل سه تایی است



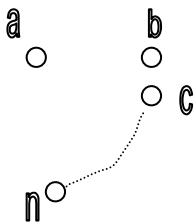
$$\left[ \text{الف) } L = 16.244 * 10^{-7} \quad \text{ب) } 9.208 * 10^{-7} \quad \frac{H}{m} \right]$$

## فصل چهارم :

$$Q = cV \quad , \quad V = E.d \quad , \quad E = \frac{q}{2\pi x} \quad , \quad E = E0 \times Er \quad , \quad E0 = 8.85 * 10^{-12} \frac{f}{m}$$

تذکر! تفاوت اصلی محاسبه خازن با اندوکتانس در اینست که در محاسبه خازن از شعاع هادی استفاده

می شود ® و از  $Ds$  استفاده نمی شود.



**ولتاژ دو هادی در بین گروه n هادی :**

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi E0} (qa.Ln \frac{Dab}{ra} + qb.Ln \frac{rb}{Dab} + \dots + qn.Ln \frac{Dba}{Daa})$$

**ولتاژ نقطه p در بین گروه هادی :**

$$V_p = \frac{1}{2\pi E0} (qa.Ln \frac{1}{Dnp} + \dots + qn.Ln \frac{1}{Dnp})$$

**خازن در سیستم تک فاز :**

$$Cab = \frac{\pi \epsilon_0}{Ln \frac{D}{r}} \quad , \quad Can = \frac{2\pi \epsilon_0}{Ln \frac{D}{r}}$$

$$\hat{I}_c = jcabw\hat{V}_{ab}$$

**جریان شارژ :** (جریان عبوری از خطوط در حالت بی باری)

$$C_{an} = 2\pi \epsilon_0 / \ln \frac{D}{r}$$

خازن در سیستم سه فاز با فواصل مساوی D:

$$C_{an} = 2\pi \epsilon_0 / \ln \frac{D_{eq}}{r}$$

خازن در سیستم سه فاز با فواصل نامساوی و جابه جا شده :

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{13} \cdot D_{23}}$$

خازن در سیستم سه فاز با بانددل :  $C_{an} = 2\pi \epsilon_0 / \ln \frac{D_{ea}}{D_{sb}}$  و شعاع متوسط بانددل  $D_{sb}$

خازن در سیستم سه فاز دو مداره : مانند محاسبه اندوکتانس عمل می شود :  $C_{an} = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{D_{seq}}}$

اثر زمین در محاسبه خازن : زمین بصورت یک صفحه خنثی عمل می کند که باید ولتاژ روی آن صفر شود .

$$C_{an} = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D \cdot D_{aa'}}{r \cdot D_{ab'}}} \text{ سه فاز و } C_{an} = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D_{eq} \cdot H}{r \cdot H_s}} \text{ تک فاز}$$

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

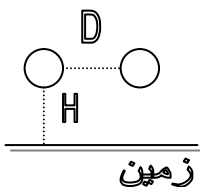
$$H_s = \sqrt[3]{D_{ab'} \cdot D_{ac'} \cdot D_{bc'}}$$

$$H = \sqrt[3]{D_{aa'} \cdot D_{bb'} \cdot D_{cc'}}$$

( $a'$  تصویر فاز  $a$  نسبت به زمین است)

### سؤالات فصل چهارم :

۱۸. در شکل مقابل و در دو حالت زیر ، خازن بین یک فاز و زمین را محاسبه کنید .



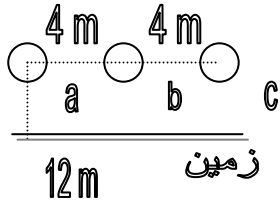
الف) از اثر زمین صرف نظر کنید  $D=5m$  ,  $H=20m$  , pheasant

ب) اثر زمین را در نظر بگیرید (ابتدا رابطه خازن با اثر زمین را ثابت کنید)

$$\left[ \text{الف) } C_{an} = 9.838 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \quad \text{ب) } 9.582 \cdot 10^{-12} \text{ f/m} \right]$$

۱۹. خازن خط انتقال سه فاز ، ترانسپوز شده ، 230kv را در دو حالت زیر بدست آورید . همچنین جریان

شارژ خط را در یک کیلومتر محاسبه کنید .  $f = 50\text{Hz}$  ,  $r = 17.55\text{ mm}$

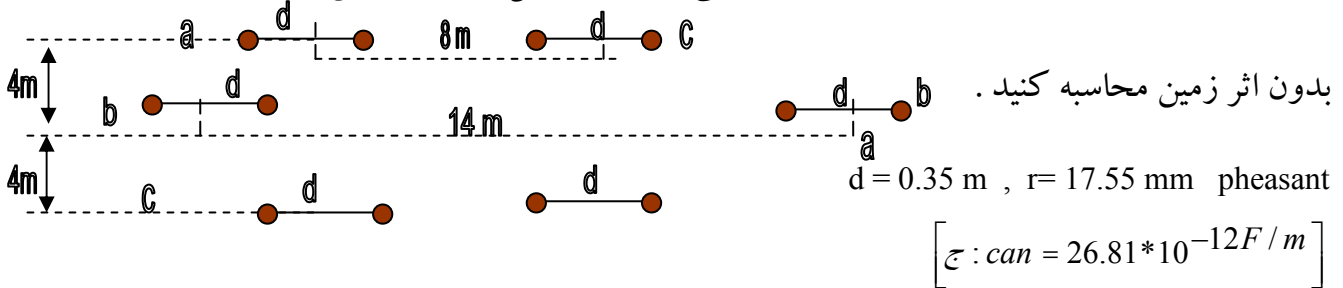


الف) اثر زمین صرف نظر کنید .

ب) اثر زمین را منظور کنید ( رابطه خازن با اثر زمین را ثابت کنید )

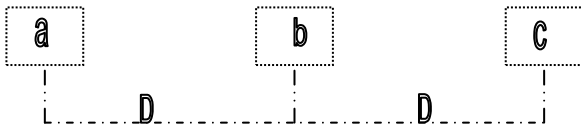
$$\left[ \begin{array}{l} \text{الف) } C_{an} = 9.824 * 10^{-12}, |I| = 0.4098 A/um, \\ \text{ب) } c_{an} = 9.8709 * 10^{-12}, |I| = 0.4118 A/um \end{array} \right]$$

۲۰. یک خط انتقال سه فاز دو مداره با باندل دوتایی بصورت شکل زیر مفروض است . خازن خط را



۲۱. شکل زیر مفروض است . ولتاژ خط 765 kv می باشد . در دو حالت زیر رابطه ماتریسی بین ولتاژ

فازها و بار هر یک از آنها را بدست آورید .  $D=12$  ,  $d=0.4\text{m}$  ,  $r=15\text{mm}$



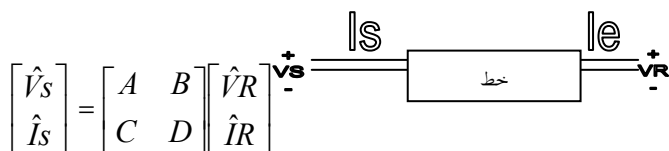
الف) سیم ترانسپوز شده است .

ب) سیم ترانسپوز نشده است . [.....:ج]

### فصل پنجم :

### انواع خطوط :

۱) خط کوتاه  $L < 50\text{ mile}$  80km (۲) خط متوسط  $L < 150\text{ mile}$  240 km (۳) خط بلند  $L < 150\text{ mile}$

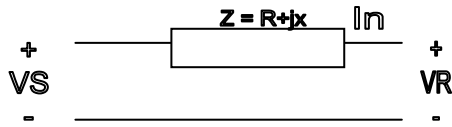


240km

مدل تمام خطوط :

در هر مدل خط، مقادیر ثوابت خط (ABCD) مشخص می شود.

(۱) مدل خط کوتاه:  $e < 80 \text{ km}$



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

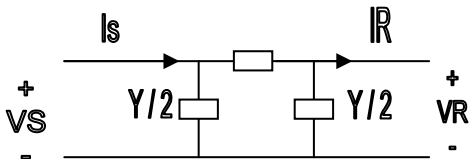
تنظیم ولتاژ (رگولاسیون):

$$\text{Reg\%} = \frac{VN.LVF.L}{VN.L} * 100$$

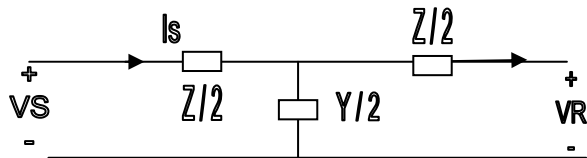
$$\text{Reg\%} \approx \frac{RI \cos pR + I \sin PR}{VR} * 100 = \frac{R.PR + x.QR}{VR^2}$$

(۲) مدل خط متوسط:  $L < 240 \text{ km}$  ( دو مدل T, TT )

$Z = R + jx$ : امپدانس سری خط،  $Y = G + jB$ : ادیتمانس موازی خط



و مدل TT:  $\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{2Y}{4} & z \\ Y(1 + \frac{zY}{4}) & 1 + \frac{zY}{4} \end{bmatrix}$



و مدل T:  $\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{2Y}{4} & Y(1 + \frac{zY}{4}) \\ Y & 1 + \frac{zY}{4} \end{bmatrix}$

(۳) مدل خط بلند  $L < 240 \text{ km}$

$\bar{\gamma}$  = امپدانس واحد طول،  $y$  = ادیتمانس واحد طول و  $L$  = طول خط و  $Z = \bar{\gamma}.L$ ،  $Y = z.L$

$$Zc = \sqrt{\frac{Z}{y}} = \sqrt{\frac{Z}{Y}}, \quad \gamma = \sqrt{Z.y}, \quad \gamma.L = \sqrt{Z.Y}$$

$Zc$  = امپدانس مشخصه خط  $c = \gamma$  ثابت انتشار

$$\begin{bmatrix} \hat{V}_S \\ \hat{I}_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma L & Zc \sinh \gamma L \\ \frac{\sinh \gamma L}{Zc} & \cos \gamma L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{V}_R \\ \hat{I}_R \end{bmatrix}$$



مدل TT : معادل خط بلند :

$$Z' = Z \cdot \frac{\sinh \gamma}{\gamma L} \quad , \quad \frac{Y'}{2} = \frac{Y}{2} \cdot \frac{\operatorname{tgh} \frac{\gamma L}{2}}{\frac{\gamma L}{2}}$$

مدل T معادل خط بلند :

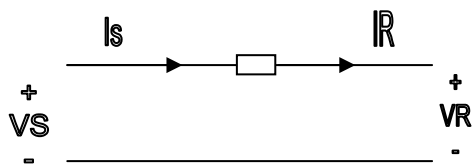
$$\frac{Y'}{2} = \frac{Y}{2} \cdot \frac{\sinh \gamma}{\gamma L} \quad , \quad Z' = Z \cdot \frac{\operatorname{tgh} \frac{\gamma L}{2}}{\frac{\gamma L}{2}}$$

مدل دو خط سری :

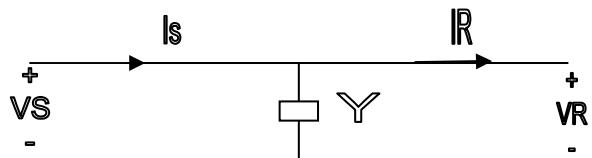
اگر دو خط باثوابت  $A_1 B_1 C_1 D_1$  ,  $A_2 B_2 C_2 D_2$  صفرمی شوند . خطا جدید دارای ثوابت زیر است

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix}$$

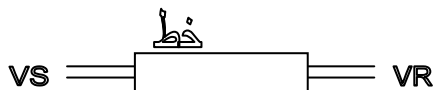
ثوابت یک امیدانس سری و ادیمتانس موازی :



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



$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}$$



تنظیم ولتاژ یا رگولاسیون :

(۱)  $V_S$  ثابت : ولتاژ بار در حالت بارداری  $V_{RF.L}$

$$V_{RN.L} = \text{ولتاژ بار در حالت بی باری} \Rightarrow R\% = \frac{V_{RN.L} - V_{RF.L}}{V_{RN.L}} \times 100$$

(۲)  $V_R$  ثابت : ولتاژ منبع در حالت بارداری  $V_{RF.L}$

$$V_{RN.L} = \text{ولتاژ منبع در حالت بی باری} \Rightarrow R\% = \frac{V_{RF.L} - V_{SNL}}{V_{SNL}} \times 100$$

درصد افت ولتاژ :

$$\Delta V\% = \frac{V_S - V_R}{V_S} \times 100 \text{ . این رابطه هم برای حالت بی باری و هم برای بارداری صادق است .}$$

سئوالات فصل پنجم

۲۲. در یک مقدار انتقال سه فاز به طول 50 km ، بار انتهای خط توان 100 Mw را در ضریب قدرت 0.8

پس فاز و ولتاژ 132 kV ، جذب می کند . مقاومت و اندوکتانس خط به ترتیب 0.0308??? و 0.095 mH

برای هر کیلومتر می باشد . ولتاژ ابتدای خط و تنظیم ولتاژ را محاسبه کنید .  $f = 50\text{Hz}$

$$\left[ \text{از برنامه T1: } 20 : \hat{V}_S = 81999 \angle 4.21^\circ, \text{Reg\%} = 7.596\% \right]$$

۲۳. ثوابت ABCD یک خط انتقال سه فاز عبارتند از :

$$A = D = 0.936 \angle 0.98^\circ, \quad B = 142 \angle 26.4^\circ, \quad C = (-5.18 + j914) \times 10^{-6}$$

باری با توان مصرفی 50Mw ، ولتاژ 220 kV و ضریب قدرت 0.9 پس فاز موجود است . اندازه ولتاژ

ابتدای خط و تنظیم ولتاژ را بیابید .

$$\left[ \text{از برنامه ABCD: } 20 : \hat{V}_S = 133.248, \angle 7.77^\circ, \text{Reg\%} = 12.08\%, \Delta V = 4.68\% \right]$$

۲۴. یک خط انتقال بطول 20.km ژنراتور تکفازی را به باری با توان 5 MW و ضریب قدرت 0.707 پس

فاز مرتبط می سازد . مقاومت و اندوکتانس خط به ترتیب  $0.0195\Omega / Km$  ,  $0.63mH / K^m$  می باشد .

اگر ولتاژ انتهای خط در 10kv ثابت بماند مطلوب است :

$$\left[ \text{الف ( ولتاژ ابتدای خط و درصد تنظیم ولتاژ } \hat{V}_S = 12.304K \angle 8.34^\circ, R\% = 23.04\% \text{ ) : } 20 : \right]$$

ب ( مقدار خازنی که باید موازی بار نصب شود تا تنظیم ولتاژ 5% کاهش یابد .

ج) راندمان خط در حالت الف و ب

۹۷/۷۹٪ (ب) ۹۶/۲۵٪ (الف) (ج) و  $C=95.49\text{NF}$ : روش دقیق و  $C=82.19\text{NF}$ : روش تقریبی (ب): 20

۲۵. یک خط انتقال انرژی تک فاز مفروض است (خط کوتاه). در ابتدای خط، توان تولیدی 2 mw و

ضریب قدرت 0.8 پس فاز می باشد و امپدانس سری خط  $0.4 + j0.4\Omega$  و ولتاژ انتهای خط 3kv می

باشد. بار انتهای خط، ضریب توان بار و ولتاژ ابتدای خط را محاسبه کنید.

$$[ \text{ج} : I = 732.14 A \quad , \quad \cos P_R = 0.812 \quad , \quad V_S = 3.41KV ]$$

۲۶. یک خط انتقال با ثوابت ABCD بطول L مفروض است ثابت کنید:

الف) رابطه  $A^2 - BC = 1$  برای هر سه نوع خط کوتاه، متوسط و بلند صادق است.

$$\text{ب) ثوابت خطی بطول } L/2 \text{ بصورت مقابل می باشد: } a = d = \sqrt{\frac{1+A}{2}}, b = \frac{B}{2a}, c = \frac{C}{2a}$$

که abcd ثوابت خط بطول L/2 و ABCD ثوابت خط بطول L است.

[2:.....]

۲۷. در یک خط انتقال سه فاز 320 kv بطول 400 km را کتانس سری خط  $0.61\Omega/Km$  و مقاومت آن

$0.113\Omega/Km$  و ادیمانس موازی خط  $3.2 \times 10^{-6} V/Km$  می باشد. بار انتهای خط، توان 200Mw را

در ولتاژ 230 kv و ضریب قدرت 1، جذب می نماید. ولتاژ و جریان ابتدای خط را محاسبه کنید. از سه

$$[ \text{مدل زیر استفاده شود. } \hat{I}_S = 454.66 \angle 22.12^\circ, \hat{V}_S = 184.711K \angle 43.16^\circ \text{ الف) } (TTT) : \text{ج} ]$$

الف) مدل T, TT (فرض کنید خط متوسط است) ب) مدل خط بلند ج) مدل خط کوتاه

$$\left[ \hat{V}_s = 175.861x \angle 41.75^\circ, \text{ (برنامه T3): (ب) } \right] \left[ \hat{V}_s = 179.149k, \text{ (برنامه T1): (ج) } \right] \left[ \hat{V}_s = 197.94 \right]$$

۲۸- یک خط انتقال سه فاز بطول 400km یک بار 400MVA را در ضریب قدرت 0.8 پس فاز و ولتاژ 345 kv تغذیه می کند. ثوابت خط عبارتند از:

$$A = D = 0.818 \angle 1.3^\circ, B = 172.2 \angle 84.2^\circ, C = 0.001933 \angle 90.4^\circ$$

(الف) ولتاژ و جریان در ابتدای خط و درصد افت ولتاژ و درصد تنظیم ولتاژ را بیابید.

(ب) ولتاژ انتهای خط، جریان ابتدای خط و درصد تنظیم ولتاژ را در حالت بی باری محاسبه کنید.

(ج) ثوابت خط 200 km را بدست آورید. (از مسئله ۲۶ استفاده کنید)

(د) یک بانده خازنی با امپدانس  $46.6\Omega$  از - را بصورت سری در نقطه وسط خط 400 km نصب می

کنیم. ثوابت ABCD خط جدید را بدست آورید. همچنین قسمتهای (الف) و (ب) را برای خط جدید

$$\text{تکرار کنید. } A = D = 0.598 \angle 1.178^\circ, B = 42.44 \angle 63.78^\circ, C = 0.002084 \angle 90.39^\circ$$

(ه) یک  $250 \text{ MVAr}$  ،  $345 \text{ kc}$  را که ادمتیانس آن  $0.0021j$  می باشد به انتهای خط موازی

می شود. ثوابت ABCD خط جدید را بیابید و با استفاده از آن ولتاژ انتهای خط و جریان ابتدای خط را با

قسمت (ب) مقایسه کنید.

$$\left[ A = 1.178 \angle -0.875^\circ, C = 0.00217 \angle 83.26^\circ \right] \text{ (ه: ح)}$$

بدون تغییر B,D

۲۹. یک خط انتقال سه فاز ،  $230 \text{ kv}$  با ثوابت ABCD زیر مفروض است

$$A = D = 0.94j0.02, B = 32.7 + j154, C = j0.00109$$

الف) در حالیکه ابتدای خط تحت ولتاژ 225 kv قرار دارد و ضمن اینکه از انتهای خط توان 80 MW معرف می شود، ولتاژ انتهای خط را در 225 kv تثبیت کرده ایم. در این شرایط توان موهومی مصرفی یا تولیدی بار را محاسبه کنید.

$$[ج : QR = 09.349mrAr]$$

ب) اگر مصرف کننده ای با مشخصات  $p = 80Mw$ ،  $\cos\phi = 0.9$  پس فاز و  $V = 225 kv$  را به انتهای خط وصل نماییم و ولتاژ انتهای خط همان 2250kv باشد. مقدار توان موهومی لازم برای تثبیت ولتاژ در این حالت چقدر است؟

$$[ج : Qc = -48.095MVar, c = 9.07nF]$$

## فصل ششم :

خط بدون تلفات :  $r = 0, g = 0, \gamma = \alpha + jB = \sqrt{Z \cdot y} = \sqrt{(jLw)(jcw)} = jw\sqrt{Lc}$

که  $C =$  لاپاسیتانس واحد طول ،  $L =$  راکتانس واحد طول  $\Rightarrow B = w\sqrt{Lc}$

سرعت حرکت و طول موج :

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{1}{f\sqrt{Lc}}$$

امپدانس مشخصه  $Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$  ،  $V = f\lambda = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  : سرعت موج

موجهای رفت و برگشت :  $V_{x1} =$  موج رفت ،  $V_{x2} =$  موج برگشت  $V_x = V_{x1} + V_{x2}$

$$V_{x1} = \frac{VR + Zc \cdot IR}{2} \cdot e^{j\alpha x}, V_{x2} = \frac{VR - Zc \cdot IR}{2} \cdot e^{-j\alpha x}$$

بار امپدانس ضربه (SIL) یا بار طبیعی :

در این حالت موج برگشت نداریم و درصد تنظیم ولتاژ صفر است و خط را اصطلاحاً بی نهایت می گویند .

اثر فرانتی: اگر خط بدون بار باشد ولتاژ انتهای خط افزایش می یابد.

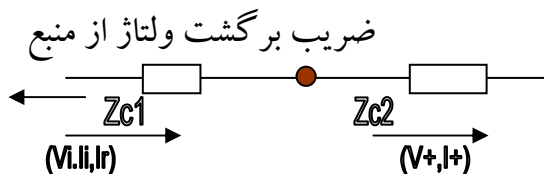
محاسبه ولتاژ با استفاده از روش ترسیمی ( لایتس دیاگرام )

$$V_R = V_R^+ + V_R^-, V_R^- = KR.V_R^+ \text{ ولتاژ برگشت} \equiv V_R^-, \text{ ولتاژ رفت} \equiv V_R^+$$

$$\begin{cases} P_R = -KR \\ L_S = -K_S \end{cases} \text{ ضریب برگشت جریان از بار}$$

**ضریب برگشت جریان از منبع**

$$\begin{cases} K_R = \frac{Z_R - Z_C}{Z_R + Z_C} \\ K_S = \frac{Z_S - Z_C}{Z_S + Z_C} \end{cases} \text{ ضریب برگشت ولتاژ از بار}$$



**ضرایب رفت و برگشت در محل تلاقی در خط**

$$B_{12} = \frac{2Z_{c1}}{Z_{c1} + Z_{c2}} \text{ ضریب رفت ولتاژ از ۱ به ۲} , B_{21} = \frac{2Z_{c1}}{\alpha_{21} = \beta_{21} - 1} \text{ ضریب رفت از ۲ از ۱}$$

$$B_{12} = \frac{2Z_{c1}}{Z_{c1} + Z_{c2}} \text{ ضریب برگشت ولتاژ از ۱ به ۲} , B_{21} = \frac{2Z_{c1}}{\alpha_{21} = \beta_{21} - 1} \text{ ضریب برگشت ولتاژ از ۲ به ۱}$$

**مسائل فصل ششم :**

۳۰. یک منبع ولتاژ  $v = DC = 1250$  ایده آل به یک خط با امپدانس مشخصه متصل شده است . T مدت

زمانی است که موج به انتهای خط می رسد . در دو حالت زیر ، جریان را با روش ترسیمی و تغییرات آن

را ثبت به زمان رسم کنید .

الف) انتهای خط باز است

ب) انتهای خط اتصال کوتاه شده است.

۳۱. یک ژنراتور DC, E ولت با مقاومت داخلی  $\frac{R_0}{3}$  به یک خط با امپدانس مشخصه  $R_0$  متصل شده

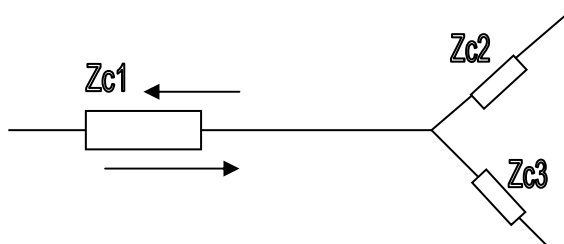
است و T مدت زمانی است که موج به انتهای خط می رسد و انتهای خط اتصال کوتاه شده است. ولتاژ

و جریان ابتدای خط را با روش ترسیمی و تغییرات هریک را ثبت به زمان رسم کنید.

۳۲. در شکل زیر ولتاژها و جریانهای رفت و برگشت را در محل تلاقی سه خط با امپدانس مشخصه

$Z_{c1} = 100\Omega, Z_{c2} = 1000\Omega, Z_{c3} = 600\Omega$  بدست آورید. اگر  $Z_{c3}, Z_{c2}, Z_{c1}$  و موج ولتاژ داده

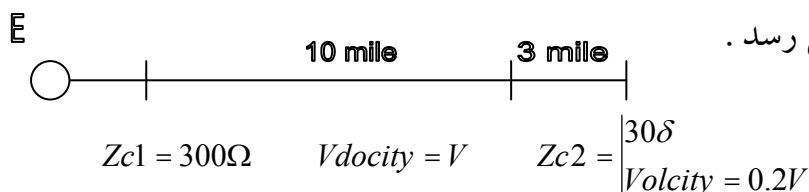
شده 2KV باشد هر یک از ولتاژها را محاسبه کنید.



۳۳. در شکل زیر و با مشخصات داده شده ولتاژ نقطه اتصال دو خط را به روش ترسیمی رسم کرده و

تغییرات آن را نسبت به زمان مشخص کنید. انتهای خط باز است و منبع DC' ایده آل است و T مدت

زمانی است که موج به نقطه اتصال می رسد.



(۱) برنامه عمومی حل معادله درجه ۲

$$Ax^2 + Bx + C = 0$$

$$\text{if } \begin{cases} \Delta = B^2 - 4AC \geq 0 & \Rightarrow x_2, x_1 \\ \Delta < 0 & \Rightarrow Rx \pm jIx \end{cases}$$

$$\text{مثال: } \begin{cases} 4x^2 + 4x + 5 = 0 & \Rightarrow x = -0.5 \pm j1 \\ x^2 - 5x + 6 = 0 & \Rightarrow x_1 = 2, x_2 = 3 \end{cases}$$

[97 step]

$EQ$	$L7$ "X1" $G+H$
$L1$ $L\Delta \phi: \{ABC\}$	$L8$ "X2" $G0+0\phi$
$L2$ $I=2A$	$L9$ $LbI$ 1
$L3$ $D=B^2-4AC$	$L10$ $G$
$L4$ $G=-B/I$	$L11$ "RX" $\sqrt{-L5}$ $D<\phi \Rightarrow G0+0$ 1 $H=\sqrt{D/I}$
$L5$ $D<Q$	
$L6$ $G-H$	$L12$ "IX"

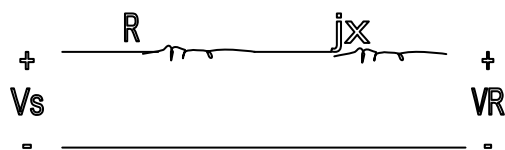
(۲) جمع سه عدد مزدوج (عمومی) [38 STEP]  $A \angle B + C \angle D + E \angle F = V \angle W$

$S \cup M$

$$V = POj(A \cos B + V \cos D + EcoisF, A \sin B + C \sin D + E \sin F)$$

$W = W$

$$je: 1 \angle 40^\circ + 3 \angle 20^\circ + 5 \angle 30^\circ = 8.9359 \angle 24.458^\circ$$





۳) محاسبه ولتاژ ابتدای خط مدل خط کوتاه: [64 STEP]

$$\begin{cases} \hat{V}_S = (R + jx).I < F + V < T \\ R\% = \left(\frac{V_S - U}{U}\right) * 100 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} & T1 \\ & R * IFUT \\ & POL(U \cos T + RI \cos F - XI \sin F, RI \sin F \\ & + XI \cos F + U \sin T \end{aligned}$$

۴) محاسبه ولتاژ و جریان ابتدای خط - مدل خط متوسط دو نوع T, TT [208STEP]

$$\begin{cases} \hat{V}_R = V_R \angle \varphi \equiv V \angle \varphi \\ \hat{I}_R \equiv I \angle F \end{cases} \quad \begin{cases} \hat{V}_S \equiv V_S \pi \angle \langle V_S \pi \rangle \\ \hat{V}_S \equiv V_S T \angle \langle V_S T \rangle \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{در مدل TT} \\ \\ \text{در مدل T} \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \Delta & \Delta & \\ Z \approx R + jx & Y \approx G + jB & [2 + step] \end{array}$$

(در این برنامه ابتدا ولتاژ و جریان در مدل TT و سپس ولتاژ و جریان در مدل T محاسبه می شود)

نام	$T\pi$	L8	$K = RD - XE$
L1	$RXGBUIF$	L9	$L = RE + XD$
L2	$A = .5(RG - XB$	L10	$M = DH - EC$
L3	$C = .5(RB + XG$	L11	$N = EH + DC$
L4	$H = 1 + A$	L12	$O = c/2$
L5	$J = 1 + A/2$	L13	$pol(HV + K, VC + L$
L6	$D = I \cos F$	L14	$"VS\pi"W$
L7	$E = I \sin F$	L15	$"\langle" Pol(M + U(CT - Bo, N + U(BI + Go$
L16	$"IS\pi"W$	L19	$"\langle" pol(GU + M, BU + N$
L17	$"\langle" Pol(HV + Jk - Lo, Uc + IE + Ko$	L20	$"IST" PolW$
L18	$"VST"W$	L21	$"\langle"$

[2 + 1step]

۵) محاسبه ولتاژ و جریان ابتدای خط - مدل خط بلند

$$\begin{cases} \hat{V}_R = VR \angle 0 = U \angle 0 \\ \hat{I}_R = I \angle F \end{cases} \quad \text{ولتاژ فاز} \quad Z = R + jx \quad , \quad Y = G + jB \quad \text{طول خط} = L$$

=Z امیدانس سری واحد طول ، =Y ادمیتانس موازی واحد طول ،

$$CL = \gamma L = \alpha + jB = RGL + jIGL$$

	T3	
	RXGBLUIF	L2    $A \text{pol}(R, X)$
نام	E = W	L4    $C = \text{pol}(G, B)$
L1	D = W	
L3	$M \text{RGL} \text{Re } c(L \sqrt{AC}, .5(E + D.N \text{IGL}) = W \quad N = 180N / \pi$	
L5	$K \text{Zc} = \sqrt{(A/c} \quad O \text{ } \zeta = .5(E - O \quad P \text{cosh } G1 = \text{pol}(\cosh M \cos N, \sinh M \sin N$	
L6	$Q \text{ } \zeta = W \quad E \text{sinh } GL = \text{pol}(\sinh M \cos N, \cosh M \sin N \quad S \text{ } \zeta = W \quad T = EIK$	
L7		L10    $Z = EU / K$
L8	$A = O + S + F$	L12    $D = Q + F$
L9	$C = S - O$	
L11	$\text{pol}(PU \cos Q + T \cos A, PU \sin Q + T \sin A$	
L13	"Vs" W	
L14		L15    $\text{pol}(Zco + PI \cos D, Z \sin c$
L16	"Is" W $\alpha$	L15    $+ PI \sin D$
		L17    $\text{ } \zeta$

مثال ،  $U = VR = \frac{230K}{\sqrt{3}}$  ، ولتاژ فاز انتهای خط ،  $R = 0.113 \Omega / Km$  ،  $X = 0.61 (\Omega / km)$

$G = \varphi$  ،  $B = 3.2 \times 10^{-6} (V / Km)$  ،  $L = 400(km)$  ،  $I = IR = 502.04(A)$  ،  $F = \phi$

$$\begin{cases} RGL = \alpha = 0.052 \\ IGL = \beta = 0.561 \end{cases} \quad \begin{cases} Zc = 440.305 \angle -5.2 + 7^\circ \\ \cosh GL = \cos \gamma L = 0.8 + 8 \angle 1.854^\circ \end{cases}$$

(۶) محاسبه ولتاژ و جریان ابتدای خط با داشتن ثوابت ABCD خط

$$\hat{A} = Ae^{i \angle A} \quad , \quad \hat{B} = Be^{j \angle B} \quad , \quad \hat{C} = Ce^{j \angle c} \quad , \quad \hat{D} = De^{i \angle O}$$

$$\hat{V}_R = U \angle \phi \quad , \quad \hat{I}_R = I \angle F \quad [149 \text{step}]$$

نلم	ABCD	
L1	ABCDUIF	
L2	$L \langle U \rangle : E \langle A \rangle : C \langle B \rangle : H \langle C \rangle : O \langle O \rangle$	
L3	$J = G + F : K = O + F : M = E + L : N + H + L$	
L4	$pol(AU \cos M + BI \cos J, AU \sin M + BI \sin J)$	
L5	"VS"W	$L6 \langle \phi \phi (1 - U / V)$
L7	"DV%" $1\phi\phi(V / AU - 1$	
L8	"R%" $pol(CU \cos N + DI \cos K, CU \sin N + OI \sin K)$	
L9	"IS"W	$L10 \langle \rangle$

۱. اگر در یک خط بلند انتقال انرژی الکتریکی  $A = O = 0.9 \angle 1^\circ$  ،  $B = 145 \angle 80^\circ$  باشد ، قدر مطلق امپدانس مشخصه این خط کدام است ؟

الف (  $130\Omega$  )      ب (  $230\Omega$  )      ج (  $330\Omega$  )      د (  $430\Omega$  )

۲. یک خط انتقال  $230KV$  بطول  $200KM$  دارای امپدانس مستقیم معادل  $Z_1 = 0.017 + j0.2$  پریونت است . در صورتیکه مقاومت اهمی هر فاز  $0.045$  اهم بر کیلومتر محاسبه شده باشد ...  
الف ( مقدار مقاومت محاسبه شده صحیح نیست .

ب ( اعداد داده شده برای ایه خط بدون ذکر مبنا معنی ندارد

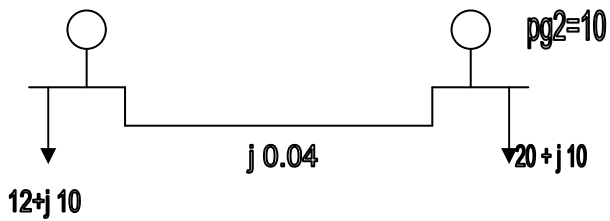
ج ( ولتاژ مبنی  $V_b = 230KV$  و توان مبنی  $P_b = 200KW$  است

د ( مقدار توان مبنا  $P_b = 100MW$  انتخاب شده است

۳. حداکثر توان قابل انتقال توسط این خط بطور تقریب با توجه به اینکه برای جلوگیری از ناپایداری استاتیکی  $\delta \leq 30^\circ$  باشد کدام است ؟

الف (  $2.5p.n.$  )      ب (  $300MW$  )      ج (  $500MW$  )      د (  $7.5P.n.$  )

۴. در سیستم شکل مقابل که در آن اعداد بر حسب واحد داده شده اند، مقدار جریان در خط ۱-۲



$(I_{1-2})$  برابر چند  $p.n.$  است؟

ب) ۸۰

الف) ۵/۵

د) ۱۲

ج) ۱۰

## فصل هفتم :

### بخش بار

هدف: در پخش بار، اطلاعات توانهای مصرفی و تولیدی موجود بوده و هدف محاسبه ولتاژ تمام باسها است.

روابط مداری لازم:  $S(VA - pn)$ ,  $p(W - p.n)$ ,  $\phi(VAr - Px)$

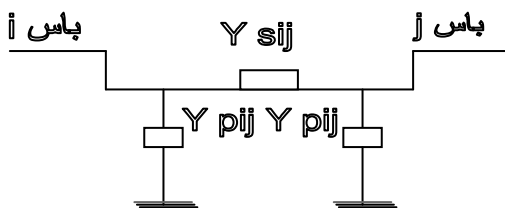
$$SG = PG + jQG$$

توان تزریقی به باس  $S = S_G - S_D = P + jQ$  ⇒ توان تولیدی باس

توان مصرفی باس:  $SD = PO + jQO$

ولتاژ باس  $V_c$  و جریان تزریقی به باس  $I =$  و  $V = |V| \angle \delta$  و  $S = VI$

مدل خط در بخش بار:  $Y = G + jB$



$Y_{sij}$  = admittance سری خط  $ij$

$Y_{pij}$  = admittance موازی خط  $ij$

ماتریس admittance شبکه:

$$Y_{ij} = -Y_{sij} \quad i \neq j$$

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \dots & Y_{1n} \\ \vdots & & \\ Y_{n1} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix}_{n \times n} \quad \text{و} \quad Y_{ii} = \sum_{j=1 \neq i}^n Y_{sij} + Y_{Pij}$$

$$, Y_{ij} = |Y_{ij}| \angle \gamma_{ij}$$

$$I_{bns_{n+1}} = Y_{bns} V_{bns_{n \times 1}} \quad I_{bns} = \text{جریان تزریقی به باسها} \quad V_{bns} = \text{ولتاژ باسها}$$

معادلات توان:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot V_j \quad , S_i = V_i I_i^* = P_i + jQ_i \quad \text{=I باس مورد نظر}$$

$$\Rightarrow \text{با حذف جریان} \begin{cases} P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) = P_i \\ Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) = Q_i \end{cases}$$

انواع باسها:

برای هر باس ۶ متغیر داریم:  $|V|, \delta, P_{Gi}, Q_{Gi}, P_{oi}, Q_{oi}$

(۱) باس مصرفی: در این باس ولتاژ  $|V|$  و  $\delta$  مجهول است Load Bus

(۲) باس کنترل ولتاژ: در این باس  $Q_G$  و  $\sigma$  مجهول است Voltage Controlled Bus

(۳) باس مرجع: در این باس  $P_G$  و  $Q_G$  مجهول است. Referme Bus or Slack Bus

در این باس معمولاً  $\gamma = \phi$  و  $|V| = 1$

معمولاً باس شماره یک باس مرجع و باسهای ۱ تا M باسهای کنترل ولتاژ و باسهای m+1 تا n باسهای مصرفی شماره گذاری می شوند. (این موضوع کلیت ندارد و برای سادگی حل مسئله فرض شده است)

n = تعداد کل باسها

نکته درباره باس کنترل ولتاژ: در باس کنترل ولتاژ، اندازه ثابت است اگر Q تولیدی در محدوده مجاز ( $Q_{min} \leq Q \leq Q_{max}$ ) باشد در غیر اینصورت به باس مصرفی تبدیل می شود و Q تولیدی در حدود

خود باقی می ماند ( $Q = Q_{min}$  یا  $Q = Q_{max}$ )

روشهای حل معادله غیر خطی  $F(x) = \phi$

الف) گوس - سایدل: ابتدا معادل ۱ را به معادله ۲ تبدیل کرده و  $F(x) = \phi \Rightarrow X = f(x)$

و رابطه ی تکراری بصورت زیر بدست می آوریم:

$$X^{(r+1)} = f(X^{(r)})$$

مقدار X در مرحله r ام

ب) نیوتن رافنون: از بسط تیلور استفاده می شود:  $F(x) = 0 \Rightarrow FLx(0) + \Delta x(0) = 0$

$$\Delta x(0) \approx \phi \Rightarrow F(x(0)) + \Delta x(0) \left[ \frac{\delta F}{\delta x} \right]^{(0)} + \frac{1}{2} [\Delta x(0)]^2 \left[ \frac{\delta^2 F}{\delta x^2} \right]^{(0)} + \dots = \phi$$

$$\Rightarrow F(x(1)) + \Delta x(0) \left[ \frac{\delta F}{\delta x} \right]^{(0)} = \phi \quad \text{با تقریب داریم:}$$

$$\Rightarrow \Delta x(0) = - \left( \left[ \frac{\delta F}{\delta x} \right]^{(0)} \right)^{-1} \cdot F(x(0))$$

$$\Rightarrow \text{رابطه تکراری: } X^{(r)} = X^{(r-1)} + \Delta x^{(r-1)}$$

مزایا و معایب روشها: مزیت روش گوس - سایدل: روابط بسیار ساده هستند. معایب: سرعت رسیدن به جواب کم است - ممکن است ناپایدار شود (به جواب نرسیم)

مزیت روش نیوتن رافنون: سرعت رسیدن به جواب زیاد است - روش پایداری است و بیشتر اوقات همگرا می شود تعداد تکرار لازم برای رسیدن به جواب کم است - تعداد تکرارها به تعداد باسها بستگی ندارد.

معایب: روابط لازم مشکل است.

ضریب تسریع:

$$X^{(r+1)} = X^{(r)} + \alpha \Delta X^{(r)}, \quad \alpha = \frac{\Delta}{\text{ضریب تسریع}}$$

معمولاً  $\alpha = 1.5$  در این روش پس از اینکه چند مرحله از ضریب تسریع استفاده شده،؟؟ را مساوی یک گرفته تا معادله از جواب اصلی رد نشود و نوسانی نشود.

(۱) معادله تکراری گوس - ژاکوبی:

$$S_i = V_i \cdot I_i^\phi = V_i \sum_{j=1}^n Y_{ij}^\phi \cdot V_j^\phi$$

$$\Rightarrow S_i^\phi = V_i^\phi \sum_{j=1}^n Y_{ij}^\phi \cdot V_j^\phi \Rightarrow \frac{S_i^\phi}{V_i^\phi} = Y_{ij} - V_i + \sum_{j=1, \neq i}^n Y_{ij}^\phi \cdot V_j^\phi$$

$$\Rightarrow V_i^{(r+1)} = \frac{P_i - j\phi_i}{Y_{ii} \cdot V_i^\phi(r)} - \sum_{K=1, \neq i}^n \frac{Y_{ik}}{Y_{ii}} \cdot V_k^{(r)} \quad i = 2, \dots, n$$

$V_i^{(r)}$  = ولتاژ باس i ام در مرحله r ام

(۲) معادله تکراری گوس - سایدل:

$$V_i^{(r+1)} = \frac{P_i - i\phi_i}{Y_{ii} - V_i\phi(r)} - \sum_{K=1}^{i-1} \frac{Y_{ik}}{Y_{ii}} V_K^{(r+1)} - \sum_{K=i+1}^n \frac{Y_{ik}}{Y_{ii}} V_K^{(r)} \quad i = 2, \dots, n$$

۴) روش نیوتن رافسون :

$$F(x) = \phi = \begin{bmatrix} \rho & f\rho \\ \phi & f\phi \end{bmatrix} = \phi \quad p = \begin{bmatrix} P_2 \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix}, \quad Q = \begin{bmatrix} Q_2 \\ \vdots \\ Q_n \end{bmatrix}$$

$$[J] = \left[ \frac{\delta F}{\delta x} \right] \quad \text{ماتریس ژاکوبین}$$

$$[J](r) \Delta X(r) = \Delta U(r) \quad , \quad X^{(r+1)} = X^{(r)} + \Delta X(r)$$

$$\Delta U = [\Delta P_2 \dots \Delta P_n \quad \Delta Q_2 \dots \Delta Q_n]^T = [\Delta p \quad \Delta Q]^T \quad \text{معلومات}$$

$$\Delta X = [\Delta \sigma_2 \dots \Delta \sigma_n \quad \Delta |V_2| \dots \Delta |V_n|]^T = [\Delta \delta \quad \Delta |V|]^T \quad \text{مجهولات}$$

$$X^{(0)} \quad \text{الف) حدس اولیه :}$$

$$\Delta P_i^{(0)} = p_i - f_{ip}(X^{(0)}) \quad , \quad \Delta Q_i^{(0)} = Q_i - f_{iq}(X^{(0)}) \quad \text{ب) محاسبه}$$

$$[I^{(0)}] \quad \text{ج) محاسبه}$$

$$\text{د) محاسبه } \Delta X^{(0)} \text{ از معادله a) ..... (مثلاً: } \Delta X^{(r)} = [J^{(r)}]^{-1} \Delta V^{(r)} \text{)}$$

$$X^{(1)} = X^{(0)} + \Delta X^{(0)} \quad \text{هـ)}$$

ی) تکرار معادلات بالا تا هنگامیکه  $Norm(\Delta V)$  به اندازه کافی کوچک شود.

$Norm(\Delta V) =$  بزرگترین اختلاف بین توانهای ورودی  $(\phi_i - p_i)$  یا توانهای محاسبه شده  $(f_{qi}, f_{pi})$  و

$$\sqrt{\sum_i (\Delta V_i)^2} \quad \text{یا}$$



ماتریس ژاکوبین :

$$J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} \Delta p \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}$$

$$J_1 = \frac{\partial p}{\partial \delta}, \quad J_2 = \frac{\partial p}{\partial |V|}, \quad J_3 = \frac{\partial q}{\partial \delta}, \quad J_4 = \frac{\partial q}{\partial |V|}$$

$$\begin{cases} J_1 & ik = |V_i| |V_k| |Y_{ik}| \sin(\delta_i - \delta_k - \gamma_{ik}) \\ J_2 & ik = |V_i| |Y_{ik}| \cos(\delta_i - \delta_k - \gamma_{ik}) \quad i \neq k \\ J_3 & ik = -|V_i| |Y_{ik}| |V_k| \cos(\delta_i - \delta_k - \gamma_{ik}) \\ J_4 & ik = |V_i| |Y_{ik}| \sin(\delta_i - \delta_k - \gamma_{ik}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} J_1 & ii = -|V_i| \sum_{k=1, \neq i}^n |Y_{ik}| |V_k| \sin(\delta_i - \delta_k - \gamma_{ik}) \\ J_2 & ii = |V_i| |Y_{ii}| \cos \gamma_{ii} + \sum_{k=1, \neq i}^n |Y_{ik}| |V_k| \cos(\delta_i - \delta_k - \gamma_{ik}) \\ J_3 & ii = |V_i| \sum_{k=1, \neq i}^n |Y_{ik}| |V_k| \cos(\delta_i - \delta_k - \gamma_{ik}) \\ J_4 & ii = -|V_i| |Y_{ii}| \sin \gamma_{ii} + \sum_{k=1}^n |Y_{ik}| |V_k| \sin(\delta_i - \delta_k - \gamma_{ik}) \end{cases}$$

*Decoupled Load Flow: OLF*

پخش بار جدا شده :

$$\begin{cases} \Delta p \approx J_1 \Delta \delta \\ \Delta q \approx J_4 \Delta |V| \end{cases}$$

از ماتریسهای  $J_3, J_2$  صرف نظر می شود

سرعت در این روش ۱۰ برابر می شود.

*Fast Decoupled Load Flow : FDLF*

پخش بار جدا شده ، سریع :

در این روش علاوه بر حذف ماتریسهای  $J_3, J_2$  برای سادگی معادلات ، فرض می شود :

$$\sin(\delta_i - \delta_k - \gamma_{ik}) \approx 1, \quad \cos(\delta_i - \delta_k - \gamma_{ik}) \approx 0$$

با این روابط ، سرعت خیلی بالا و دقت کم می شود .

اگر تعداد باسهای سیستم قدرت زیاد باشد ماتریسهای ادمیتانس و ژاکوبین از مرتبه بالایی هستند در حالیکه احتمالاً در هر سطر بیشتر از ۵ یا ۶ درایه غیر صفر نخواهند داشت و این درایه ها در اطراف قطر اصلی ماتریس متمرکز می باشند. برای کاهش حافظه مورد نیاز، فقط المانهای غیر صفر در حافظه ذخیره می شوند.

$$S = \frac{Z}{n^2} = \frac{\text{تعداد صفرها}}{\text{ابعاد ماتریس}} = (1-s)n^2$$

$$Z_{diag} = [5 \ 6 \ 7 \ 8]$$

مثال: بردار عناصر قطری

$$A = \begin{bmatrix} 5 & -9 & -10 & 0 \\ -9 & 6 & 0 & 0 \\ -10 & 0 & 7 & -11 \\ 0 & 0 & -11 & 8 \end{bmatrix} \quad \left. \begin{array}{l} Z_{offd} = [-9 \ -10 \ -9 \ -10 \ -11 \ -11] \\ I_{ROW} = [1 \ 1 \ 2 \ 3 \ 3 \ 4] \\ I_{col} = [2 \ 3 \ 1 \ 1 \ 4 \ 4] \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{بردار عناصر غیر قطری:} \\ \text{سطر عناصر غیر قطری} \\ \text{ستون عناصر غیر قطری} \end{array}$$

در صورتیکه بخواهیم از تقارن ماتریس استفاده شود می توان بصورت زیر عمل کرد:

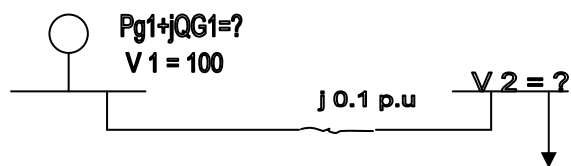
$$IR = [1 \ 1 \ 3] \quad , \quad Z_{offd} = [-9 \ -10 \ -11] \quad , \quad Z_{diag} = [5 \ 6 \ 7 \ 8]$$

$$Ic = [2 \ 3 \ 4] \quad , \quad NUM = [1 \ 0 \ 3 \ 0]$$

عدد (۱) بردار مشخص کننده یعنی عنصر غیر قطری سطر اول ماتریس A از اولین درایه بردار  $Z_{offd}$  شروع می شود.

مسائل پخش بار :

۱. خط انتقال بدون تلفات شکل مقابل را در نظر بگیرید. با توجه به اطلاعات داده شده در شکل،



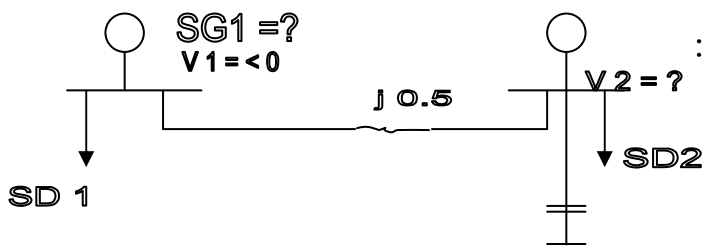
معادلات پخش بار را نوشته و برای حالت‌های

الف)  $S_{o2} = 1 + j1$  (ب)  $S_{o2} = 2 + j2$  (ج)  $S_{o2} = 2.5 + j3$  (د)  $S_{o2} = P_{o2} + j\phi_{o2}$

مجهولات را بدست آورید. چرا در حالت (ج) برای  $V_2$  مقداری بدست نمی‌آید. از نظر فیزیکی چه

اتفاقی افتاده است. در صورتیکه در باس شماره ۲ یک بانک خازنی قرار دهیم بطوریکه  $|V_2| = 1 = cte$

شود مجهولات را برای حالت (ج) بدست آورید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید.



۲. سیستم دو باسه شکل مقابل را در نظر بگیرید:

الف) در صورتیکه داشته باشیم  $S_{o2} = 0.5 + j1$  و از  $SG_2 = j1$ ،  $V_2$  را با استفاده از روش گوس

سایدل پس از چهار مرتبه تکرار بدست آورید و سپس  $S_1$  را محاسبه کنید.

ب) در صورتیکه کلیه بسته شود و داشته باشیم  $S_{o2} = 1 + j0.5$  و  $P_{G2} = 0.25$  و

$|V_2| = 1 = cte$  آنگاه مقادیر  $\sigma_2$  و  $\phi_2$  را با استفاده از روش تکراری گوس پس از چهار مرتبه

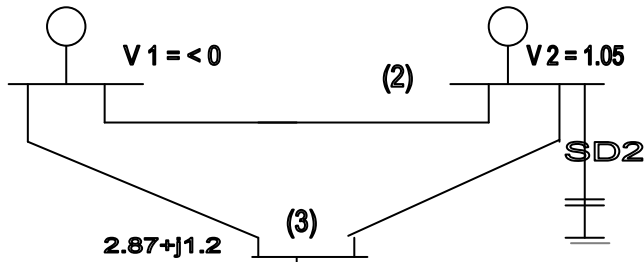
تکرار بدست آورید و سپس  $S_1$  را محاسبه کنید.

۳. با توجه به اطلاعات داده شده در شکل مقادیر  $\sigma_2$ ،  $|V_3|$ ،  $\delta_3$ ،  $SG_1$ ،  $QG_2$  را با استفاده از

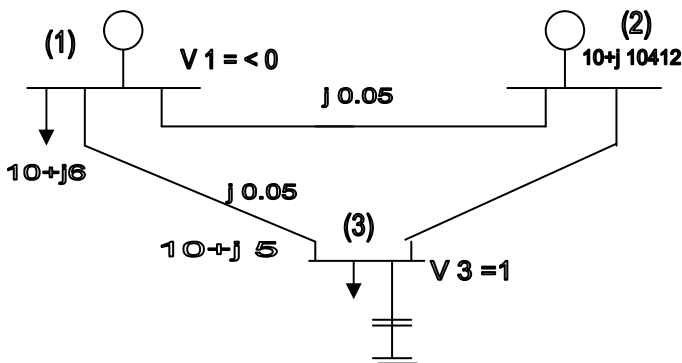
روش نیوتن-رافسون پس از یک مرحله تکرار با شرط اینکه (الف)  $0 \leq Q_2 \leq 1.2$

(ب)  $0 \leq Q_2 \leq 1$  بدست آورید. امپدانس سری کلیه خطوط  $Z_L = j0.1$  ادیتمانس موازی آنها

$Y_C = j0.01$  می باشد.



۴. با توجه به شکل ولتاژ باسهای (۲) و (۳) را با استفاده از روش DLF پس از یک مرحله تکرار بدست

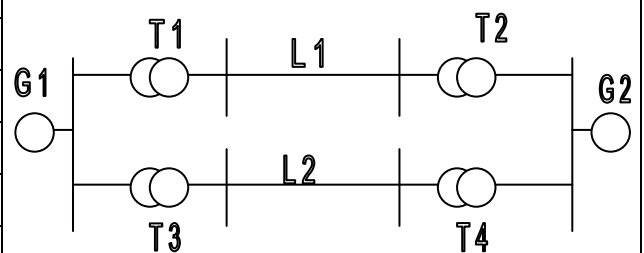


آورید.

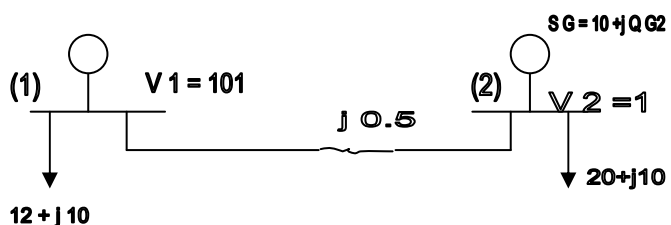
۱. سیستم قدرت شکل زیر را در نظر بگیرید با فرض توان مبنای 200 مگاوات آمپر و انتخاب ولتاژ  $G_1$  به

عنوان مبنا، سیستم را بصورت پریونیت در آورید.

اجزاء	توان نامی MVA	ولتاژ نامی KV	$X^{p.u.}$
$G_1$	100	20	0.1
$G_2$	200	13.2	0.2
$T_1$	400	20/230	0.4
$T_2$	200	230/13.2	0.3
$T_3$	600	20/230	0.75
$T_4$	200	575/33	0.02
$L_1$	200	230	0.15
$L_2$	150	220	0.18



$$Z_1 = Z_2 = 52.9 + j105.8 \Omega$$



۲. در سیستم شکل مقابل مطلوبست :

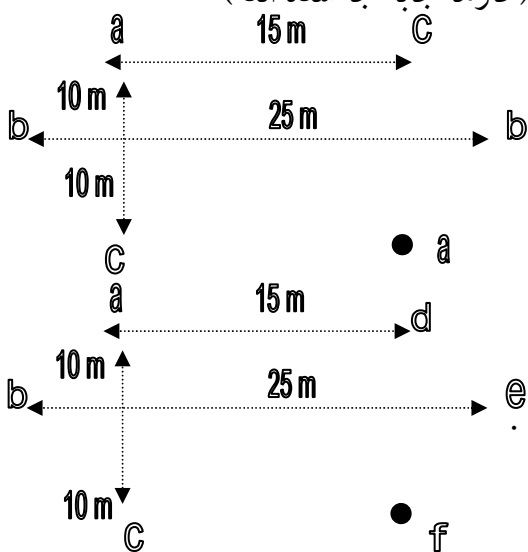
الف) جریان در خط ۱-۲  $(I_{1-2})$

ب) مقدار  $Q_{G2}$  برای اینکه  $V_2 = 1$  شود

ج) حداکثر توان قابل انتقال توسط این خط با توجه به اینکه برای جلوگیری از ناپایداری استاتیکی

$\delta \leq 30^\circ$  می باشد.

۳. اندوکتانس هر فاز دو خط انتقال زیر را با هم مقایسه کنید؟ ( فازها جابه جا شده اند )



قطر هادی :  $D = 27.81 \text{ mm}$

شعاع متوسط هادی  $D_s = 11.37 \text{ mm}$

هر فاز باندل سه تایی است .

۴. خازن مدار سؤال (۳- الف) را بدون اثر زمین محاسبه کنید.

۵. در یک خط انتقال بلند  $A = 0.848 \angle 1.874^\circ$ ,  $B = 235.6 \angle 80.03^\circ$  مقادیر مشخصه زیر را برای خط

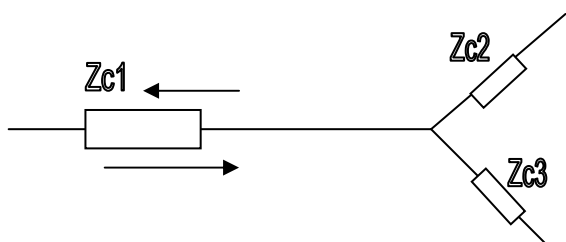
محاسبه کنید؟  $Z_c, \gamma L, Z, \gamma$

۶. اگر دو خط انتقال دارای ثوابت (ABCD) باشد. در یک سیستم دو مداره، ثوابت خط انتقال چقدر

است؟

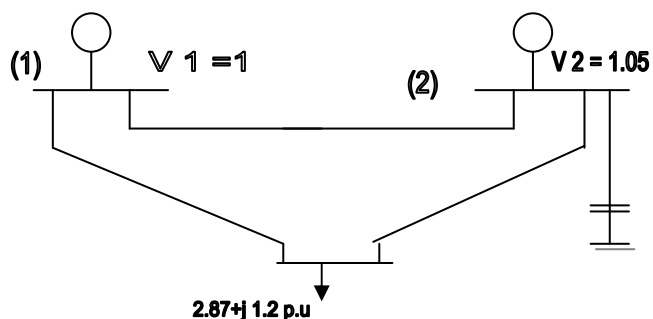
۷. در شکل مقابل ولتاژها و جریانهای رفت و برگشت را در محل تلاقی سه خط با امپدانس مشخصه  $Z$

$c_1, Z_{c2}$  بدست آورید.؟ ( ضرایب رفت و برگشت جریان و ولتاژ را محاسبه کنید )



۸. در شکل مقابل انجام پخش بار به روش نیوتن رافسون مد نظر می باشد ؟

الف) چنانچه در مدار معادل  $\pi$  هر خط  $Z = j0.2 p.u.$  و  $Y_p = \frac{Y}{2} = j0.02 p.u.$  باشد. آنگاه ماتریس

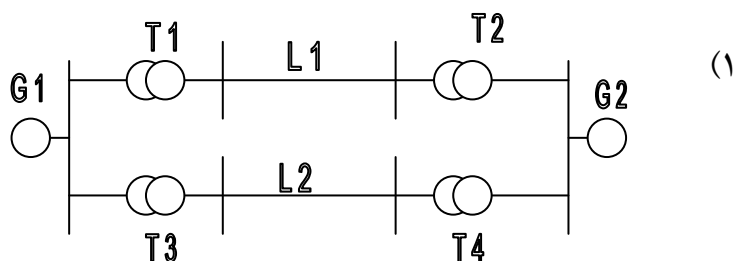


را بدست آورید.

ب) اگر ماتریس  $Y_{bvs}$  بصورت  $Y_{bvc} = j \begin{bmatrix} -19.98 & 10 & 10 \\ 10 & -19.98 & 10 \\ 10 & 10 & -19.98 \end{bmatrix}$  مفروض باشد. اندازه و

زاویه ولتاژ باسها را پس از یک بار تکرار محاسبه کنید. حدس های اولیه ولتاژ  $1 \angle 0$  می باشد. توان خازن در باس (۲) در محدوده  $0 \leq Q_2 \leq 1.2$  قرار دارد.

(رابطه و مقادیر  $f_{ip}$  ،  $f_{iq}$ ، ماتریس ژاکوبین (مقادیر لازم) .؟؟ و محاسبه ولتاژها و زوایای لازم)



$$Z_b = \frac{V_b}{S_b}$$

داریم:

$$\frac{Z_2}{Z_1} p.u. = \left( \frac{V_{b1}}{V_{b2}} \right)^2 \left( \frac{S_{b2}}{S_{b1}} \right)$$

$$X_{g1} = \frac{200}{100} \times 0.1 = 0.2 p.u.$$

$$X_{g2} = 1 \times 0.2 = 0.2 p.u. \quad , \quad X_{T1} = \frac{200}{400} \times 1 \times 0.4 = 0.2 p.u.$$

$$X_{L1} = 1 \times 1 \times 0.5 = 0.5 p.u.$$

$$Z_{b1} = \frac{V_b}{S_b} = \frac{(230k)^2}{200M} = 264.5 p.u. \quad , \quad Z_1 = 0.2 + j0.4 p.u.$$

$$X_{T2} = 1 \times 0.3 = 0.3 p.n.$$

$$X_{T3} = \frac{200}{600} \times 0.75 = 0.25 p.n.$$

$$X_{L2} = \frac{200}{150} \times \left( \frac{220}{230} \right)^2 \times 0.18 = 0.22 p.n. \quad , \quad Z_{b2} = \frac{V_b}{S_b} = \frac{(23000)}{200} = 264.5 p$$

$$P_{12} = p_{o2} - p_{G2} = 20.10 - 10 = 10 = \frac{V_1 V_2}{X} \sin \delta = \frac{1.1 \times 1}{0.04} \sin \delta \Rightarrow \quad \text{الف (2)}$$

$$S = \sin^{-1} \left( \frac{0.4}{1.1} = 21.32^\circ \right) \quad , \quad I_{12} = \frac{1.1 \angle 21.32^\circ - 1 \angle 0}{j0.04} = 10.02 \angle -3.54$$

$$Q_2 = \frac{V_2^2 - V_1 V_2 \cos S}{X} = \frac{1 - 1 \times 1.1 \cos 21.32}{0.04} = -0.017 = Q_{g2} - 10 \Rightarrow Q_{g2} = 9.383 \text{ (ب)}$$

$$P = \frac{1.1 \times 1}{0.04} \sin 30^\circ = 13.75 p.n. \quad \text{ج}$$

الف (3) -

$$L \times 10^{-7} \quad L_n \frac{G_n D}{G_{MR}}, \quad G_{MD} = \sqrt[3]{D_{apog} \quad D_{aceq} \quad D_{bceq}}$$

$$D_{abeq} = \sqrt[4]{D_{ab} \quad D_{ab'} \cdot D_{a'b} \cdot D_{a'b'}} = \sqrt[4]{125 \times 500} = 15.811 m$$

$$D_{aceq} = \sqrt[4]{D_{ac} \quad D_{ac'} \cdot D_{a'c} \cdot D_{a'c'}} = \sqrt[4]{20 \times 20 \times 15 \times 15} = 17.321 m$$

$$D_{bceq} = D_{apeq} = 15.811 m \quad \Rightarrow \quad G_{MD} = 16.299 m$$

$$G_{MR} = \sqrt[6]{(D_{se}, D_{qa'})^2 \times D_{se} \times D_{br'}} \quad , \quad D_{seq} = \sqrt[3]{D_s \times D^2} = 20641 mm$$

$$\Rightarrow G_{MR} = 0.7183 m \quad \Rightarrow \quad L = 6.2439 \times 10^{-7} \frac{H}{m}$$

ب -

$$L = 2 \times 10^{-7} \quad L_n \frac{GMD}{GMR}, \quad GMR = D_{eq} \cdot 2064 \text{ mm}$$

$$GMD = 15 \sqrt{(D_{ab} \cdot D_{ac} \cdot D_{ad} \cdot D_{ae} \cdot D_{af})^2 \cdot (D_{ba} \cdot D_{bc} \cdot D_{bd} \cdot D_{be} \cdot D_{bf})}$$

$$\Rightarrow 15 \sqrt{(\sqrt{115} \cdot 20 \cdot 18 \cdot \sqrt{500} \cdot \sqrt{125})^2 (\sqrt{125} \cdot \sqrt{125} \cdot \sqrt{500} \cdot 25 \cdot \sqrt{500})} = 17.755$$

$$\Rightarrow L = 3.5144 \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$C = \frac{2\pi E \cdot D_{eq}}{100 \cdot D_{seq}}, \quad D_{eq} = GMD = 16.299 \text{ m} \quad (\epsilon)$$

$$D_{se} = \sqrt[2]{r \times d^2} = 22.07 \text{ mm}$$

$$D_{seq} = \sqrt{(D_{se})^2 \times D_{aa'}^2 \times D_{nn'}} = 0.7428 \text{ m} \Rightarrow c = 18 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$A^2 - Bc = 1 \Rightarrow C = \frac{A^2 - 1}{B} = 1.2153 \text{ m} \angle 90.52^\circ \quad (\circ)$$

$$\frac{B}{C} = ZC^2 \Rightarrow Zc = \sqrt{\frac{B}{C}} = 440.3 \angle -5.25$$

$$A = \cosh \gamma L = 0.8475 + j0.0277 = A_1 + jB_1$$

$$\sinh \gamma L = \frac{B}{Z_e} = 0.5331 \angle 85.28 = 0.044 + j0.5333 = C_1 + jO_1$$

$$\Rightarrow \gamma L x j \gamma L y = \gamma L, \Rightarrow \gamma_1 x = \tanh^{-1} \left( \frac{c_1}{A_1} \right) = 0.052, \gamma_1 y = \cos^{-1} \left( \sqrt{A_1^2 - C_1^2} \right) = 0.5617$$

$$\Rightarrow \gamma L = 0.56 + j1 \angle 84.71^\circ ]$$

$$Z = Z_x \cdot \gamma L = 2 + j8.37 \angle 79.46^\circ ] , \quad Y = \frac{\gamma L}{Z_c} = 10281 \text{ m} \angle 689.96^\circ ]$$

(7)



$$\begin{bmatrix} I_p \\ I_{p1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A1 & B1 \\ C1 & D1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ I_{s1} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} V_p \\ I_{p1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A1 & B1 \\ C1 & D1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ I_{s1} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} V_p \\ I_{p1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_j \\ I_j \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} I_{p1} + I_{p2} = I_p \\ I_{s1} + I_{s2} = I_s \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_p = A_1 v_s + B_1 I_{s1} \\ V_p = A_1 v_j + B_1 I_{s2} \end{cases}, \begin{cases} I_p = C_1 v_s + D_1 I_{s1} \\ I_{p2} = C_1 v_s + D_1 I_{s2} \end{cases}$$

$$= (\Delta\Delta), \varphi \Rightarrow \begin{cases} Z_{vp} = 2A_1 v_j + B_1 I_s \\ I_p = 2C_1 v_s + D_1 I_s \end{cases} \Rightarrow \begin{bmatrix} V_p \\ I_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A1 & \frac{B1}{Z} \\ 2c1 & D1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix}$$

(v)

$$\begin{cases} V_j + V_r = V_t = V_{t2} = V_{t3} \\ I_j + I_r = I_{t2} + I_{t3} \end{cases}, \begin{cases} I_i = \frac{V_j}{Z_{c1}}, I_r = \frac{-V_r}{Z_{c1}} \\ I_{t2} = \frac{V_t}{Z_{c2}}, I_{t3} = \frac{V_t}{Z_{c3}} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{V_t}{Z_{c3}} - \frac{V_r}{Z_{c1}} = \frac{V_t}{Z_{c2}} + \frac{V_t}{Z_{c3}} \Rightarrow V_j - V_r = Z_{c1} + V_t \left( \frac{1}{Z_{c2}} + \frac{1}{Z_{c3}} \right)$$

$$\Rightarrow Z_{vj} = Z_{c1} \quad V_t \left( \frac{1}{Z_{c1}} + \frac{1}{Z_{c2}} + \frac{1}{Z_{c3}} \right) \Rightarrow \frac{V_t}{V_j} = \frac{2/Z_{c1}}{\frac{1}{Z_{c1}} + \frac{1}{Z_{c2}} + \frac{1}{Z_{c3}}} = \beta$$

$$\left[ \frac{I_r}{I_j} = -\frac{V_r}{V_j} = -a \right] \left[ \frac{I_{t2}}{I_j} = \frac{Z_{c1}}{Z_{c2}} \cdot \frac{V_t}{V_j} = \beta \frac{Z_{c1}}{Z_{c2}} \right] = \left[ \frac{I_{t2}}{I_j} = \frac{Z_{c1}}{Z_{c3}} \cdot \beta \right]$$

(ا)

$$\text{خط } y_s = -j5, y_p = j0.02, Y ::= \sum_{j=i}^m y_{sij} + y_{pij}, Y : j = -y_{sij}$$

الف \_

$$\Rightarrow Ybv = j \begin{bmatrix} -19.98 & 5 & 5 \\ 5 & -19.98 & 5 \\ 5 & 5 & -19.98 \end{bmatrix}$$

$$f_{jp} = \sum_{j=1}^m |v_j||v_j| \cdot 2ij |\cos|\delta_i - \gamma_j - t_{ij}|, f_{iq} = \sum_{j=1}^m |v_j||v_j| \cdot Y_{ij} |\sin|\delta_i - \delta_j - \gamma_j| \quad - \text{ب}$$

$$f_{2p} = \varphi, f_{3p} = \varphi$$

$$f_{2q} = 1, c_{2\varphi} \quad ] f_{3q} = -0.5L \quad ]$$

$$P = Pc - 10 \Rightarrow \begin{cases} p_2 = 0.67 \\ q_2 = qc_z \end{cases} \begin{cases} p_3 = -2.87 \\ q_3 = -1.2 \end{cases} \quad \begin{cases} q_2 = 1.028 < 1.2 \Rightarrow \\ |Vc1| = 1.05, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta p_i = p_2 = -f_{ip} \\ \Delta q_i = q_i - f_{iq} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta p_2 = 0.67 - 0 = 0.67 \\ \Delta q_3 = -2.87 - 0 = -2.87 \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta p_3 = -1.2 + 0.52 = -0.6 \\ \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \Delta p_2 \\ \Delta p_3 \\ \Delta q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_{p2}}{\partial j_1} & \frac{\partial f_{p2}}{\partial j_3} & \frac{\partial f_{p2}}{\partial |v_3|} \\ \frac{\partial f_{p3}}{\partial j_1} & \frac{\partial f_{p3}}{\partial j_3} & \frac{\partial f_{p3}}{\partial |v_3|} \\ \frac{\partial f_{q3}}{\partial j_1} & \frac{\partial f_{q3}}{\partial j_3} & \frac{\partial f_{q3}}{\partial |v_3|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta s_2 \\ \Delta s_3 \\ \Delta |v_3| \end{bmatrix}$$

$$\frac{\partial f_{p2}}{\partial s_2} = -|v_2||v_1||Y = 1| \cdot \sin(-\gamma = 1) - |v_2||v_3||Y = 3| \cdot \sin(-\gamma = 3) = 21 \quad ]$$

$$\frac{\partial f_{p2}}{\partial s_3} = -|v_2||v_1||Y = 3| \cdot \sin(\partial l \cdot \partial 3 - \gamma = 3) = 1.05 * 10 \sin(-90) = -10.5 \quad ]$$

$$\frac{\partial fp3}{\partial s2} = \frac{\partial fp2}{\partial s3} = -10.5 \quad ]$$

$$\frac{\partial fp3}{\partial s3} = -|v3||v1||Y = 3|. \sin(-\gamma = 3) - |v3||v2||Y = 2| \sin(-\gamma32) = 20.5 \quad ]$$

$$\frac{\partial fp2}{\partial |v2|} = |v2||Y = 3|. \cos(\partial2 - \partial3 - \gamma23) = \varphi \quad ]$$

$$\frac{\partial fp3}{\partial |v3|} = \varphi \quad ]$$

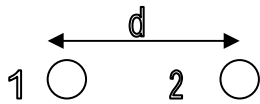
$$\frac{\partial fq3}{\Delta s2} = \varphi \quad ] \qquad \frac{\partial fq3}{\partial s1} \phi \quad ]$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial fp3}{\partial |v3|} &= -|v1||Y = 3|. \sin(-\gamma = 3) + |v2||Y = 2| \sin(-\gamma32) + 2|v3||Y3j| \sin(-\gamma33) \\ &= -10 - 10.5 + 2 + 19.98 = 19.46 \quad ] \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \tau = \begin{bmatrix} 21 & -10.5 & 0 \\ -10.5 & 20.5 & 0 \\ 0 & 0 & 19.46 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \Delta \partial2 \\ \Delta \partial3 \\ \Delta |v3| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.064 & 0.033 & 0 \\ 0.033 & 0.0064 & 0 \\ 0 & 0 & 0.051 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.67 \\ -2.87 \\ -0.68 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -0.052 \text{rad} \\ -0.167 \text{rad} \\ -0.035 \end{bmatrix} \qquad \Rightarrow v3 = 1 - 0.035 = 0.965$$

خط تکفاز دارای پنج هادی مشابه می باشد. ۳ هادی برای جریان رفت و دو هادی برای جریان برگشت.

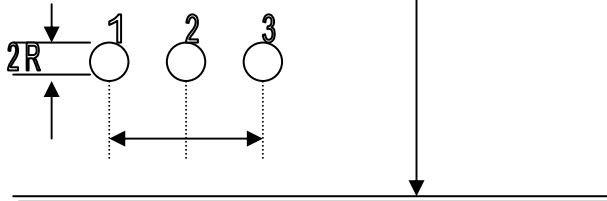


مطلوبست :

الف. مطلوبست اندوکتانس مسیر برگشت

ب. کل ظرفیت خازنی مسیر رفت و برگشت نسبت به

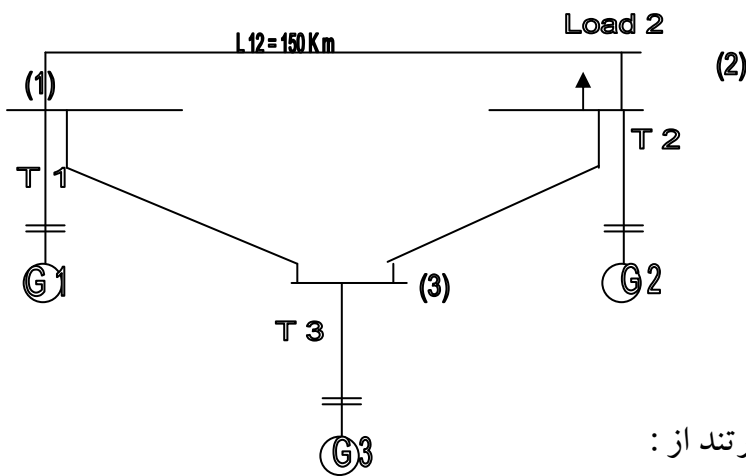
زمین ( با احتساب اثر زمین )



۲. دیاگرام تکخطی مدل سیستم قدرت زیر را بر حسب P.U مشخص نمایید. بنحویکه امپدانس کلیه

اجزاء سیستم قدرت ( در مبنای 400 MVA و 400 KV در سمت خطوط انتقال ) به همراه مدار معادل

الکتریکی آنها مشخص گردد .



مقادیر نامی و مشخصات اجزاء سیستم قدرت عبارتند از :

$$G1 : 80MVA, 11kv, X_{s1} = 0.1 P.u$$

$$L12 : R = 40\Omega, Xl = 80\Omega, y_c = 0.01$$

$$G1 : 160MVA, 20kv, X_{s2} = 0.1 P.u$$

$$L13 : R = 100\Omega, y_c = 0.01$$

$$G1 : 250MVA, 14kv, X_{s3} = 0.1 P.u$$

$$L23 : R = 60\Omega, Xl = 150\Omega, y_c = 0.02$$

$$T1 : 100MVA, 13kv / 400kv, XT1 = 0.15 P.u \quad R_{t1} = 0.05 P.u$$

$$T2 : 200MVA, 20kv / 400kv, XT2 = 0.15^{p.u} \quad Rt2 = 0.05^{p.u}$$

$$T3 : 400MVA, 14kv / 400kv, XT3 = 0.15^{p.u} \quad Rt3 = 0.05^{p.u}$$

مقادیر پارامترهای خط انتقال سه فاز بطول 500 km عبارتند از :

مطلوبست محاسبه ثابتهای A,B,C,D

$$R = 15 * 10^{-6} \Omega / k$$

$$L = 1.25 * 10^{-6} H / m$$

$$C = 10 * 10^{-12} F / m$$

$$F = 50Hz$$

۴. ثابتهای ABCD خط بر حسب پریونیت عبارتند از :

$$A = D = 0.95 < 0.5^\circ$$

توان مبنا سه فاز 320 MVA و ولتاژ مبنا 200 kv می باشد .

$$B = 0.72 < 85^\circ p.u$$

الف) در صورتیکه باس انتها باس مصرف باشد ،

$$C = 0.125 < 9.5^\circ p.u$$

اگر حداکثر ام ولتاژ مجاز ۱۵٪ و ضریب

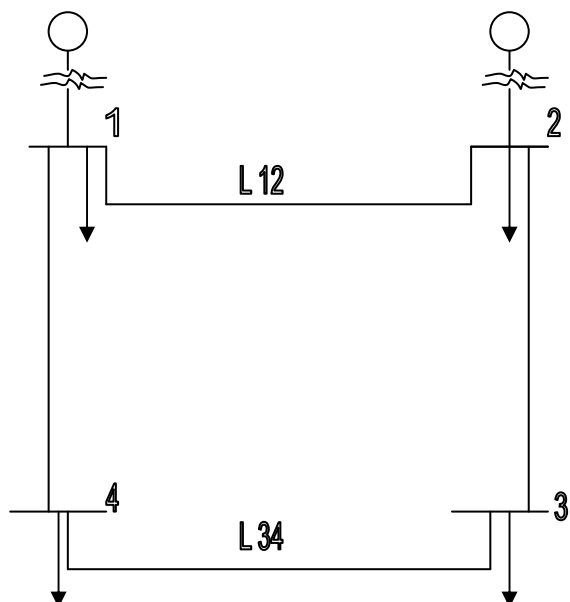
قدرت بار مصرفی 0.85 باشد ، آنگاه حداکثر توان انتقالی چقدر خواهد بود .

ولتاژ ابتدایی خط 400 kv و باس ابتدایی خط کنترل ولتاژ می باشد .

ب) در صورتیکه باس انتها باس کنترل باشد بنحویکه ولتاژ ابتدا و انتهای خط در تمام شرایط کار

همواره 400 kv ثابت بماند در هنگام عبور توان ماکزیمم ، توان راکتیو یا مصرفی در ابتدا و انتهای خط

( $Q_R, Q_S$ ) چقدر است .



۵. در دیاگرام تک خطی سیستم قدرت و باسهای

۴.۳ مصرف می باشند. در جداول زیر مشخصات امپدانس

خطوط توانهای تولیدی و مصرفی باسها و حدس اولیه

ولتاژ باسها ارائه شده است.

توان مبنا سیستم درست فشار قوی خطوط

انتقال 100 MVA, 138 kv می باشد.

نام خط	(طول km)	R(p.u)	Xl(p.u)	Yc(p.u)
L12	65	0.042	0.168	0.041
L23	48	0.031	0.126	0.031
L34	130	0.084	0.336	0.082
L48	80	0.053	0.21	0.051

الف) تکرار اول محاسبات پخش بار به روش گرس

سایدل را انجام دهید و میزان توان اکتیو و راکتیو

شماره باس	تولید		مصرف		حدس اولیه
	p(mw)	Q(MVAR)	p(mw)	Q(MVAR)	
1	?	?	65	30	1.01<0
2	180	?	115	60	1.01<0
3	0	0	85	40	1<0
4	0	10	70	30	1<0

تولیدی در باس ۱ را محاسبه کنید.

ب) ابعاد ماتریس ژاکوبین چقدر

است و عناصر سطر و ستون دوم

آنرا محاسبه کنید.

## آزمون شماره ۲ بررسی ۱

۱. سه بار موازی به یک منبع ولتاژ تک فاز با ولتاژ 1400V و فرکانس 60Hz متصل اند.

بار ۱: بار سلفی - 125 kva با ضریب توان 0.28

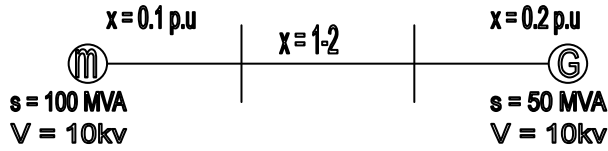
بار ۲: بار خازنی - 10kw و 40 kvar

بار ۳: بار مقاومتی - 15 kW

الف) کل توان حقیقی و موهونی و ضریب توان منبع را محاسبه کنید.

ب) یک خازن ایده آل با سه بار فوق موازی وصل می شود تا ضریب توان را به 0.8 پس فاز برساند  
مطلوب است نرخ KVAR خازن .

۲. نمودار تک خطی زیر را به یک پریونت یکسان تبدیل کنید .



حل ۱-

$$S1 = 125x \cos^{-1} 0.28 = 35xw + j120xvAr \quad (2)$$

$$S2 = 10kw - j40xvAr \quad (2)$$

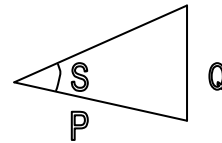
$$S3 = 15kw \quad (2)$$

$$St = s1 + S2 + S3 = 60kw + j80kvAr \quad (2)$$

$$\cos l = \cos^*(tg^{-1}\left(\frac{8}{6}\right)) = 0.6 \quad (2)$$

الف)

ب) می خواهیم



$$Q = p + gp$$

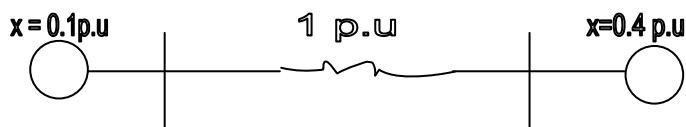
$$= p + y(\cos^{-1} 0.8), 60ktg(\cos^{-1} 0.8) = 45kvAr \quad (3)$$

$$\Rightarrow e^o = 80k - 45x = 35xvAr \quad (2)$$

توان موهومی خازن

$$Zb = \frac{Vb^2}{Sb} = \frac{(10x)^2}{100M} = 1\Omega$$

۲-  $V = 10xv, S = 100M$  همه جا



$$\leftarrow x2 = x1\left(\frac{s2}{s1}\right)\left(\frac{V1}{V2}\right)^2$$

XXXXXXXXXXXXXXXX

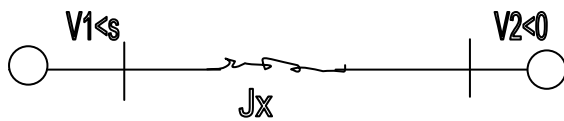
## آزمون شماره ۲ بررسی ۱

۱. دوامپدانس  $Z_1 = 0.8 + j5.6\Omega$ ,  $Z_2 = 2.8 - j16\Omega$  و یک موتور تک فاز به قدرت 5 kVA و ضریب

توان 0.8 پس فاز بصورت موازی به یکدیگر متصل شده اند و به منبع ولتاژ تک فاز 200v متصل اند .

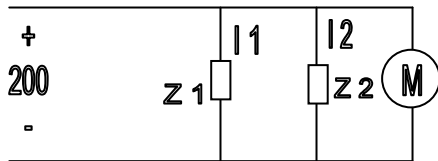
الف) ( مطلوب است محاسبه توان کل منبع و ضریب توان آن

ب) ( یک خازن موازی به سه بار وصل شده است تا ضریب توان به یک رسد مطلوب است : محاسبه



۲. در مدار زیر ثابت کنید :

$$Q_1 = \frac{V_1^2 - V_1 V_2 \cos \theta}{X}$$



حل ۱-

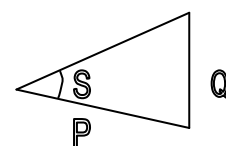
$$\begin{cases} S_i = \hat{V}_1 \cdot \hat{I}_1 \\ \hat{I}_1 = \frac{\hat{V}_1}{Z_1} \end{cases} \Rightarrow S_1 = \frac{V_1^2}{Z_1} \Rightarrow \begin{aligned} S_1 &= \frac{200^2}{0.8 - j5.6} = 1K + j7K \\ S_2 &= \frac{200^2}{8 + j16} = 1K - j2K \end{aligned}$$

$$S_m = 5K < \cos 0.8 = 4K + j3K$$

( الف

$$\Rightarrow S_t = S_1 + S_2 + S_3 = 6K^w + j8kvqr$$

$$\cos l = \cos\left(\tan^{-1} \frac{8}{6}\right) = 0.6$$





$$Q = pty(\cos^{-1} 1) = \phi \quad \Leftarrow \cos l = 1 \quad \text{می خواهیم}$$

(ب)

$$\Rightarrow Qc = 8k - \phi = 8KvAr \quad ]$$

$$P1 + jQ1 = s1 = \hat{V}1 \cdot \hat{I} = \hat{V}1 \left( \frac{\hat{V}1 - \hat{r}2}{jx} \right) = \frac{\hat{V}1^2 - V1V2}{-jx} = 0s$$

.۲

$$= \frac{\hat{V}1^2 - V1V2 \cos \partial - jV1V2 \sin \partial}{- \partial x} \Rightarrow Q1 = \frac{V1^2 - V1V2 \cos \partial}{- \partial x}$$

xxxxxxxxxxxxxxxx

۱. یک موتور سه فاز، ۶۰ اسب، ۴۴۰ ولت، در ضریب قدرت ۰/۷۵ پس فاز کار می کند.

الف) توان حقیقی، موهومی و توان ظاهری مصرفی یک فاز موتور را محاسبه کنید.

ب) مقدار R، X موتور را پیدا کنید اگر موتور با امپدانس ثابت R + jX مدل زده شود.

ج) قسمت الف و ب را تکرار کنید اگر راندمان موتور ۸۵٪ باشد. ۱ اسب = ۷۴۶ W

۲. الف) ثابت کنید که شعاع متوسط یک سیستم n بانده به شعاع بانده r و شعاع هادی Ds بصورت

زیر محاسبه می شود:

$$GMR = (nD_s r^{n-1})^{1/n}$$

ب) اندوکتانس هر فاز سیستم دو مداره و ۸ بانده زیر را محاسبه کنید. (فازها جابه جا شده اند)

$$D = 27.81 \text{ mm} = \text{قطر هادی}$$

$$D_s = 11.37 \text{ mm} = \text{شعاع متوسط هادی}$$

$$r = n 0.45 = \text{شعاع بانده}$$

ج) ثابت کنید رابطه خازن با اثر زمین بصورت زیر محسوب می شود:  $C_{an} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(GMD/GMR)}$

$$GMD = \left( \frac{(D_{ab}D_{ac}D_{bc})(D_{ab'}D_{ac'}D_{bc'})}{(D_{ab1}D_{ac1}D_{bc1})(D_{ab'1}D_{ac'1}D_{bc'1})} \right)^{1/3}$$

$$GMD = \left( \frac{(D_{aa}D_{bb}D_{cc})(D_{aa'}D_{bb'}D_{cc'})}{(D_{aa1}D_{bb1}D_{cc1})(D_{aa'1}D_{bb'1}D_{cc'1})} \right)^{1/3}$$

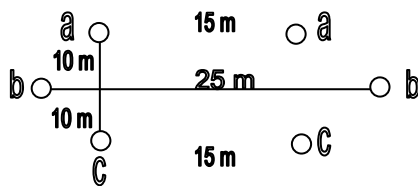
زیر نویس یک ۱ به سفارش تصویر هر هادی است.

۳. الف) ثابت کنید که شعاع متوسط یک سیستم n بانده به شعاع بانده r و شعاع هادی Ds بصورت زیر

محاسبه می شود:

$$GMR = (nD_s r^{n-1})^{1/n}$$

ب) اندوکتانس هر فاز سیستم دو مداره و ۸ بانده زیر را محاسبه کنید. (فازها جابه جا شده اند)



قطر هادی =  $D = 27.81 \text{ mm}$

شعاع متوسط هادی =  $D_s = 11.37 \text{ mm}$

شعاع بانده =  $r = n \cdot 0.45$

ج) ثابت کنید رابطه خازن با اثر زمین بصورت زیر محسوب می شود:

$$C_{an} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(GMD/GMR/GMR)}$$

$$GMD = \left( \frac{(D_{ab}D_{ac}D_{bc})(D_{ab'}D_{ac'}D_{bc'})}{(D_{ab1}D_{ac1}D_{bc1})(D_{ab'1}D_{ac'1}D_{bc'1})} \right)^{1/3} \quad GMD = \left( \frac{(D_{aa}D_{bb}D_{cc})(D_{aa'}D_{bb'}D_{cc'})}{(D_{aa1}D_{bb1}D_{cc1})(D_{aa'1}D_{bb'1}D_{cc'1})} \right)^{1/3}$$

زیر نویس ۱ به معنای تصویر هر هادی است (a1 تصویر a است)

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

۱. یک موتور سه فاز، ۶۰ اسب، ۴۴۰ ولت در ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز کار می کند.

الف) توان حقیقی، موهومی و توان ظاهری مصرفی یک فاز موتور را محاسبه کنید.

ب) فرض کنید موتور توسط یک خط انتقال با امپدانس  $0.5 + j0.3$  به منبع ولتاژ ۴۴۰ ولت (خط به خط) متصل شود. ولتاژ دو سر موتور، ضریب توان منبع و بازده خط انتقال را محاسبه کنید. ۱ اسب =

$$746 \text{ W}$$

۲. خط تک فازی دارای ۵ هادی تو خالی مشابه به شعاع  $r$  می باشد. ۲ هادی برای جریان رفت و ۳ هادی برای جریان برگشت.

الف) مطلوبست محاسبه اندوکتانس مسیر رفت، برگشت و اندوکتانس کل

ب) مطلوبست کل ظرفیت خازن مسیر رفت و برگشت نسبت به زمین (با احتساب اثر زمین). رابطه لازم را ثابت کنید.

$$(A) \quad \text{فاصله هادیهای برگشت (B) از زمین} = H$$

$$(B) \quad \text{فاصله هادیهای رفت از هادیهای برگشت} = D$$

$$\text{فاصله هادیها از یکدیگر} = d$$

$$\text{زمین} \quad H = 2D, \quad d = 10r, \quad D = 10d$$

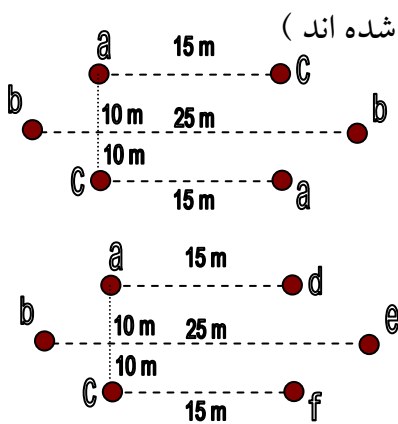
xxxxxxxxxxxx

۱. خط انتقال به فازی با امپدانس  $Z_S = 0.5 + j2(\Omega)$  بار ستاره ای در انتهای خط را تغذیه می کند. بار

مذکور در ضریب قدرت ۰.۹ پس فاز و ولتاژ خط ۱۰kv، توان ۲۰۰ kw را جذب می کند.

الف) مطلوبست ولتاژ ابتدای خط و توان حقیقی و موهومی تولیدی در ابتدای خط

ب) اگر بخواهیم ضریب قدرت بار به 0.98 برسد به چه مقدار خازن نیازمندیم ( $Q_c, C = ?$ )



قطر هادی :  $D = 27.81 \text{ mm}$

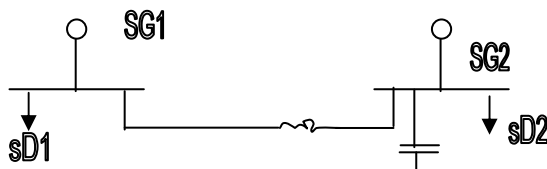
شعاع متوسط هادی  $D_s = 11.37 \text{ mm}$

هر فاز بانند چهارتایی است .

۳. خازن مدار سئال (۲ الف) را بدون اثر زمین محاسبه کنید .

۴. در یک خط انتقال به فاز به طول  $400 \text{ km}$  راکتانس سری خط  $0.6 \frac{\Omega}{\text{km}}$ ، مقاومت آن

$0.11 \frac{\Omega}{\text{km}}$  و ارمیتانس موازی خط  $3.2 \times 10^{-6} \text{ u/km}$  می باشند مطلوبست محاسبه ثوابت ABCD خط



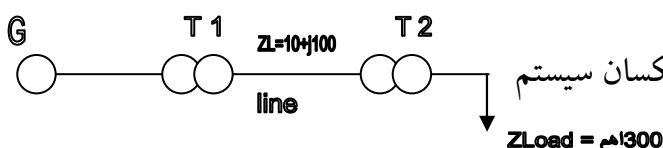
۵. سیستم دو با سه شکل مقابل را در نظر بگیرید .

الف) در صورتیکه داشته باشیم  $S_{D2} = 0.6 + j1$  و از  $S_{G2}$ ، با شرط اولیه  $V_2 = 0.99 < 0$  از روش گوس

سایدل پس از یک مرتبه تکرار  $V_2$  را بدست آورید و سپس  $S_1$  را محاسبه کنید .

ب) در صورتیکه کلید بسته شود و بخواهیم  $|V_2| = 1$  باشد مقدار توان مورد نیاز تولیدی توسط خازن را

پس از یک مرحله تکرار توسط گوس سایدل محاسبه کنید .



۶. در سیستم رو به رو مطلوبست پریونیت کردن یکسان سیستم

$$G: S_n = 10MVA, V_n = 13.2kv, X_G = 0.1p.n$$

$$T1: S_n = 5MVA, 13.2kv/132v, XT1 = 0.1p.n$$

$$G: S_n = 10MVA, 138kv/69kv, XT2 = 0.08p.n$$

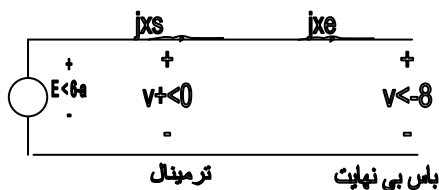
$$\left\{ \begin{array}{l} 10 MVA \leftarrow = \text{توان مینا} \\ 13.2 kv \end{array} \right.$$

ولتاژ مینا در طرف ژنراتور =

xxxxxxxxxx

۱. خط سه فاز 2300V ، 100 kVA را در نظر بگیرید . در بازه ، افت ولتاژ روی مقاومت و راکتانس خط به ترتیب و 3.6 درصد ولتاژ نامی است . اگر خط بار 60 kw را در ضریب توان 0.8 پس فاز و ولتاژ 2300v تغذیه کند مطلوب است توان بار ، توان مصرفی خط و توان ورودی به خط .

۲. (تعیین منحنی حد پایداری استاتیکی یک ژنراتور سنکرون) مدل روبرو رو به رو را برای یک ژنراتور



سنکرون که به یک باس بی نهایت متصل است در نظر بگیرید .

اگر P , Q توان تولیدی ژنراتور در ترمینال ژنراتور باشند :

اولاً حداکثر توان تولیدی P در چه زاویه ای اتفاق می افتد ؟ ( نکته E , V ثابت اند )

$$E = \frac{X_t}{X_e} V_t \frac{\sin \theta}{\sin \delta} \quad \text{ثابت کنید}$$

ثالثاً: ثابت کنید در زاویه قسمت (اولاً) رابطه بین P , Q به قرار زیر است :  $P^2 + (Q - Q_0)^2 = R_0^2$

$$Q_0 = \frac{V_t^2}{2} \left( \frac{1}{X_e} - \frac{1}{X_s} \right), \quad R_0 = \frac{V_t^2}{2} \left( \frac{1}{X_e} + \frac{1}{X_s} \right)$$

۳. رابطه بانند n تا را ثابت کنید اگر داشته باشیم :  $\left[ 2 \sin\left(\frac{\pi}{n}\right) \right] \left[ 2 \sin\left(\frac{2\pi}{n}\right) \right] \dots \left[ 2 \sin\left(\frac{(n-1)\pi}{n}\right) \right] = n$

R = شعاع بانند

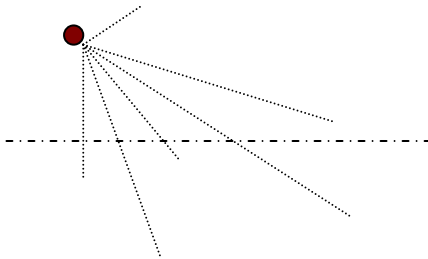
N = تعداد هادیهای بانند

$$GMR = \sqrt[n]{n \cdot D_s \cdot R^{n-1}}$$

$D_s$  = شعاع متوسط هر هادی

(هادی توپر) شعاع متوسط باندا را متوسط کنید.

۴. محاسبه خازن سیستم دو مدار با در نظر گرفتن زمین:



$$D_{c1b2} = D_{12'}$$

$$D_{a1a'2} = H_{11'}$$

$$D_{c1b'2} = H_{12'}$$

روش شماره گذاری:  $D = \overset{\circ}{D}$  برای فاصله فازهای اصلی

$H = \overset{\circ}{H}$  برای فاصله فازهای از تصاویر

۳.۲.۱ برای c,b,a -

$$Ca = \frac{2C1\epsilon_0}{Ln \frac{GMD}{GMR} - Ln \frac{Hm}{HR}}$$

ثابت کنید.

که:

$$CMD = \sqrt[12]{(D_{12}D_{12'}D_{12'}D_{12'})(D_{13}D_{13'}D_{13'}D_{13'})(D_{23}D_{23'}D_{23'}D_{23'})}$$

$$CMD = \sqrt[12]{r^6 D_{11}^{-2} D_{22'}^2 D_{33'}^2}$$

$$Hm = \sqrt[12]{(H_{12}H_{12'}H_{12'}H_{12'})(H_{13}H_{13'}H_{13'}H_{13'})(H_{23}H_{23'}H_{23'}H_{23'})}$$

$$HR = \sqrt[12]{(h_1H_1'H_1'^2)(H_2H_2'H_2'^2)(H_3H_3'H_3'^2)}$$

نکات حل:

$$H_{11'} = H_1', \quad D_{12'} \neq H_{1'2}, \quad D_{12'} \neq D_{1'2} \quad (1)$$

(۲) ابتدا از رابطه ولتاژ  $V_{a1}, V_i = \sum \frac{9i}{2\pi\epsilon} \ln \frac{1}{D_{ij}}$  را در ازای تمام بارها بدست آورید (دقت کنید چون دو

سیستم متصل داریم رابطه در  $1/2$  ضرب می شود)

$$V_{a1I} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} (qa \ln \frac{H1.H11'}{r.D11'} + \dots \text{مثلاً})$$

(۴) از رابطه گردش  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$  استفاده کرد و  $V_{a1III}, V_{a1II}$  را بنویسید

(۵) ولتاژ  $V_{a1}$  را با متوسط گیری از  $V_{a1III}, V_{a1II}$  بدست آورید.

$$V_{a1} = \frac{1}{12\pi\epsilon_0} (qa \ln \frac{H1H11'.H2H22' \dots}{r^3 D11'.D \dots} + \dots \text{مثلاً})$$

(۶) ولتاژ  $V_{a2}$  را از رابطه ۵ با تغییر: با (ر)  $\leftrightarrow$  بدون (ر) بدست آورید:

$$H11' = H1'1, \quad D12' \neq D1'2, \dots \quad \text{دقت کنید:}$$

(۷) از  $V_{a1}$  متوسط گیری کنید و  $va2$  را محاسبه کنید.

$$V_{a1} = \frac{1}{24\pi\epsilon_0} (qa \ln \frac{H1H11'^2 \dots}{r^6 D11'^2 \dots} + \dots)$$

(۸) از  $qb + qc = -qa$  استفاده کنید و  $C_a$  را مرتب نمائید.

xxxxxxxxxx

پاسخ میان ترم بررسی ۱

$$\Delta VR = RI = \frac{0.024 * 2300}{\sqrt{3}} = 31.87$$

$$R = 1.27\Omega$$

⇒

$$\Delta Vx = xI = \frac{0.036 * 2300}{\sqrt{3}} = 47.80$$

$$x = 1.90\Omega$$

$$I_n = \frac{100kVA}{2300\sqrt{3}} = 25.10A$$

$$I_e = \frac{60kw}{\sqrt{3} * 2300 * 0.8} = 18.83A$$

$$\Rightarrow \begin{cases} P_{line} = 3RI_e^2 = 1351w \\ e_{line} = 3xI_e^2 = 2021vAr \end{cases}$$

۱.

$$S_e = \frac{60x}{0.8} < 10^{-1} * 0.8 = 60k + j + 5k$$

$$s_{in} = S_e + s_{Line} = 61.351 + j47.021k$$

$$p = \frac{E.V}{xt} \sin(\delta - \theta - (-\theta)) = \frac{E.V}{xt} \sin \delta, xt = s + xe$$

$$\Rightarrow P_{MAX} = \frac{E.V}{xt}, \delta P_{MAX} = 90^\circ$$

۲. اولاً

$$P \cdot \frac{E.V}{xt} \sin \delta = \frac{VT.v}{xE} \sin \theta$$

$$\Rightarrow e = \frac{XT}{XE} \cdot vT \cdot \frac{\sin \theta}{\sin \delta} \quad (1)$$

ثانياً: رابطه توان را بین می نویسیم:

ثالثاً:

$$\delta = 90^\circ, \begin{cases} P = \frac{E.Vt}{Xs} \sin(\delta - Q) \\ Q = \frac{E.Vt + \cos(\delta - \theta) - V_+^2}{Xs} \end{cases}$$

رابطه توان را بین  $V, E$  می نویسیم:

$$\delta = 90^\circ, \begin{cases} P = \frac{E.Vt + \cos \theta}{Xs} \\ Q = \frac{E.Vt + \sin \theta - V_+^2}{Xs} \end{cases} \quad (2), (1) \Rightarrow E = V + \frac{xt}{xe} \sin \theta \quad (3)$$



$$\delta = 90^0, \begin{cases} P = \frac{Vt^2 + xt}{Xs.Xe} \cos \theta \\ Q = \frac{Vt^2 + \sin^2 \theta .xt}{Xe.xs} - \frac{vt^2}{xs} \end{cases} \quad \begin{cases} P = \frac{Vt^2 + xt}{2Xs.Xe} \sin 2\theta \\ Q = \frac{Vt^2 + xt(1 - \cos \theta)}{zXe - .xs} - \frac{vt^2}{xs} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} P = \frac{Vt^2 + xt}{Xs.Xe} \sin 2\theta \\ Q = \frac{Vt^2 .xt}{2Xe.xs} - \frac{vt^2}{xs} - \frac{Vt^2 .xt}{2Xe.xs} \cos 2\theta \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P = \frac{Vt^2 + xt}{2Xs.Xe} \sin 2\theta \\ Q = \frac{Vt^2 (xt - 2xe)}{zXe - .xs} - \frac{Vt^2 .xt}{2Xe.xs} \cos 2\theta \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} P = \frac{Vt^2}{2} \frac{(xs + ye)}{xs.ye} \sin 2\theta \\ Q = \frac{Vt^2}{2} \frac{(xs - ye)}{xs.ye} - \frac{vt^2}{z} - \frac{(xs + ye)}{xs.ye} \cos 2\theta \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P = R \circ \sin 2\theta \\ Q = Q \circ -R \circ \cos 2\theta \end{cases} \Rightarrow p^2 + (Q - Q)^2 = R_0^2$$

.۳

$$\frac{D12}{2} = R \sin \frac{\pi}{n} : \text{ با توجه به شکل}$$

$$D13 = 2R \sin \frac{2\pi}{n} \text{ به همین ترتیب}$$

$$D1n = 2R \sin \frac{(n-1)\pi}{n}$$

$$\Rightarrow GMR = \sqrt[n]{Ds * D12 * \dots * D1n} = \sqrt{Ds * (2R \sin \frac{\pi}{n}) \dots (2R \sin \frac{(n-1)\pi}{n})} = \sqrt[n]{Ds R^{n-1} * x}$$

قسمت دوم :

$$D_{12}L_2R \sin \frac{\pi}{n} \quad n = \delta, D_{12} = 0.4572$$

$$\text{فاصله هر دو هادی} \Rightarrow R = \frac{0.4572}{2 \sin \frac{\pi}{8}} = 0.5974m, GmR = \sqrt[n]{D_s \cdot n R^{n-1}}$$

$$D_s = \frac{4.572 * 10^{-2}}{2} * 0.7788 = 17.8 * 10^3 m \Rightarrow GMR = \sqrt[8]{D_s * 8 * (0.597)^7} = 0.499$$

.۴

$$Va_{1I} = \frac{1}{4nt} (qaLn \frac{1}{r} + 9a'Ln + 9bLn + 9b'Ln \frac{1}{R_{12}} + 9cLn \frac{1}{D_{13}}$$

$$9 - 1Ln = \frac{1}{H_{13}} + qa_2Ln \frac{1}{D_{12}} + qa'_2Ln \frac{1}{H_{11'}} + qb_2Ln \frac{1}{D_{12}} + qb'_2Ln \frac{1}{H_{12'}} +$$

$$qc_2Ln \frac{1}{D_{13'}} + qc'_2Ln \frac{1}{H_{13'}})$$

$$\text{داریم: } qa'_1 = -qa, qa'_2 = -g_2, qa_2 = qa_1$$

$$Va_{1I} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} (qaLn \frac{H_1.H_{11'}}{r.D_{11'}} + qaLn \frac{H_{12}.H_{12'}}{D_{12}.D_{12'}} + qaLn \frac{H_{13}.H_{13'}}{D_{13}.D_{13'}})$$

$$\Rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$$

$$Va_{1II} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} (qaLn \frac{H_2.H_{22'}}{r.D_{22'}} + qaLn \frac{H_{23}.H_{23'}}{D_{23}.D_{23'}} + qaLn \frac{H_{21}.H_{21'}}{D_{21}.D_{21'}})$$

$$Va_{1III} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} (qaLn \frac{H_3.H_{33'}}{r.D_{33'}} + qaLn \frac{H_{31}.H_{31'}}{D_{31}.D_{31'}} + qaLn \frac{H_{32}.H_{32'}}{D_{32}.D_{32'}})$$

$$Va_1 = \frac{Va_{1I} + Va_{1II} + Va_{1III}}{3}$$

$$Va_1 = \frac{1}{12\pi\epsilon_0} (qaLn \frac{H_1.H_2.H_3.H_{11'}.H_{22'}.H_{33'}}{r^3 . b_{11'}.D_{22'}.D_{33'}} + qbLn \frac{H_{12}..H_{23}.H_{31}.H_{12'}..H_{23'}.H_{31'}}{D_{12}..D_{23}.D_{31}.D_{12'}..D_{23'}.D_{31'}})$$

$$+ qcLn \frac{H_{13}..H_{21}.H_{32}.H_{13'}.H_{21'}.H_{32'}}{D_{13}.D_{21}.D_{32}.D_{13'}.D_{21'}.D_{32'}})$$

بدون (ر) ↔ با (ر): تبدیل  $H = 11' = H1'1$

$$V_{a1} = \frac{1}{12\pi\epsilon_0} (qa \ln \frac{H1'.H2'.H3'.H11'.H21'.H33'}{r^3.b11'.D22'.D33'} + qb \ln \frac{H1'2'..H2'3'.H3'1'.H12'..H23'.H31'}{D1'2'..D2'3'.D3'1'.D12'..D23'.D31'} + qc \ln \frac{H1'3'.H2'1'.H3'2'.H1'3.H2'1.H3'2}{D1'3'.D2'1'.D3'2'.D1'3.D2'1.D3'2})$$

با متوسط گیری داریم  $vA = (vA1 + vA2) / 2$

$$V_{a1} = \frac{1}{12\pi\epsilon_0} (qa \ln \frac{H1.H2.H3.H1'.H2'.H3'.h11'^2.h21'^2.H33'^2}{r^3.b11'^2.D22'^2.D33'^2} +$$

$$(qb + qc) \ln \frac{H12..H23.H31.H12'.H23'.H31'.H1'2'.H2'3'.H3'1'.H1'2'..H2'3'.H3'1'.H1'2.H2'3.H3'1}{D12..D23.H31.D12'.D23'.D31'.D1'2'.D2'3'.D3'1'.D1'2'..D2'3'.D3'1'.D1'2.D2'3.D3'1}) = \frac{qa}{ca}$$

$$\Rightarrow V_a = \frac{1}{24\pi\epsilon_0} (qa \ln \frac{HR^{12}}{GMR^{12}} - qa \ln \frac{Hm^{12}}{GMR^{12}}) \frac{qa}{ca}$$

$$\Rightarrow C_a = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{GMR}{GMR} - \ln \frac{Hm}{HR}}$$

xxxxxxxx

۱. در سیستم سه فاز دو مدار  $c'b'a'0abc$  که  $ca', bb', ac'$  هم راستا و موازی سطح زمین می باشند فاصله

راستاها از یکدیگر 10m می باشند. عمل جابجایی فازها انجام شده است. بقیه مشخصات عبارتند از:

قطر  $D = 27.81mm$  فاصله باندل  $d = 0.35m$ ,  $D_{ac'} = 15m = D_{ca'}$ ,  $D_{bb'} = 25m$ ,

هر هادی باندل سه تایی است.  $D_s = 11.37mm$  (شعاع متوسط)

مطلوب است محاسبه سلف و خازن خط

۲. یک خط انتقال سه فاز ، 230 KV با ثوابت ABCD زیر مفروض است:

$$A = D0.94 + j0.02, B = 32.7 + j154, c = j0.00109$$

در حالیکه ابتدای خط تحت ولتاژ 225 KV قرار دارد و ضمن اینکه از انتهای خط توان 80 MW مصرف می شود، ولتاژ انتهای خط را در 225 KV تثبیت کرده ایم. در این شرایط توان موهومی مصرفی یا تولیدی بار را محاسبه کنید.

۳. در یک خط انتقال بلند  $A = 0.848 < 1.874^\circ$ ,  $B = 235.6 < 80.03^\circ$  مقادیر زیر را برای خط محاسبه کنید:

$$Z_C, \gamma, L, Z, Y$$

۱.۳ اگر دو طرف خط انتقالی با امپدانس  $Z$ ، ترانسهای با تپ چنجر  $(1: T_r, t_s)$  وجود داشته باشد با فرض معقول رابطه ای برای  $t_s$  بر حسب ولتاژ ابتدا و انتهای خط، توان حقیقی و موهومی بار و امپدانس خط بیابید.

۴. برای سیستم سه باسه ای با مشخصات زیر، پخش بار را به روش گوس سایدل و یک مرتبه تکرار حل کنید:

برای مرحله دوم چه کارهایی باید کرد؟ (دقت کنید آیا باس ۳، کنترل ولتاژ می ماند یا نه؟)  
باس یک، باس مرجع است.

$$Z_{12} = 0.02 + j0.04 pu, Z_{13} = .01 + j0.03 pu, Z_{23} = 0.0125 + j0.025 pu$$

$$V_1 = 1.05 < 0, |V_3| = 1.04, V_2^{(0)} = 1 < 0, p_{g3} = 200 MW, P_{d2} = 400 MW$$

$$Q_{d2} = 250 MVar, P_{base} = 100 MVA, 100 MVar < Q_{g3} < 200 MVar$$

باس ۱ و ۳ باس ژنراتور و باس ۲ باس بار است.

xxxxx

حل بعضی از تمرینات بررسی ۱

$$V\hat{R} = \frac{132}{\sqrt{3} < 0} IR = \frac{100M}{132k\sqrt{3} * 0.8} \Rightarrow \hat{I}_R = 546.7 < -\cos^{-1} 0.8 \quad .1$$

خط کوتاه است :

$$Z = (0.0308 + j2\pi * 50 * 0.95m) * 50 \Rightarrow Z = R + jx = 1.54 + j14.92\Omega$$

$$\Rightarrow \hat{V}_S = \hat{V}_R + \hat{Z}I_R = \frac{132x}{\sqrt{3}} < 0(1.54 + j14.92) * 546.7 < -\cos^{-1} 0.8$$

$$\Rightarrow \hat{V}_S = 81999 < 4.21, V_{sL-L} = 142027V$$

$$\text{Reg\%} = \frac{142.027 - 132}{132} * 100 = \frac{V_{sF.L.} - V_{sN.L.}}{V_{sN.L.}} * 100 = 7.596\%$$

.۲

$$Z = R + jx = 20(0.0195 + j2\pi * 50 * 0.63m) = 0.39 + j3.958$$

$$\Rightarrow Z = 3.977 < 84.37^\circ, V_R = 10k < 0, I_R = \frac{5m}{\sqrt{10k * 0.707}} = 707.2 < -45^\circ \quad (\text{الف})$$

$$\Rightarrow \hat{V}_S = \hat{V}_R + Z\hat{I}_R = 12.304k < 8.34^\circ, R\% = \frac{V_S - V_R}{V_R} * 100 = 23.04\%$$

ب) با دو روش تقریبی و دقیق حل می کنیم :

$$R = 0.5 * 23.04 = 11.52\% = \frac{RP + XQ}{VR^2} \quad \text{روش تقریبی :}$$

$$Q2 = Q1 + Q2 \Rightarrow \frac{0.39 * 5M + 3.958Q}{(10K)^2} \Rightarrow Q2 = 20418MVA$$

$$\Rightarrow 2.582 = 2\pi * 50 * C * 1101^2 \Rightarrow C = 52.19Nf$$

$$R = 0.0052 = \frac{V_S - V_R}{VR} = \frac{V_S - 10x}{10x} \Rightarrow V_S = 11.152xv \quad \text{روش دقیق :}$$

$$p_2 = \frac{1}{R^2 + X^2} (R(v_1 V_2 \cos \delta - V_2^2) + x V_1 V_2 \sin \delta)$$

از مسئله ۱۰ داریم :

$$p_2 = 5m, V_2 = V_R, V_1 = V_s$$

که :

$$\Rightarrow 5m = \frac{1}{(0.39)^2 + (3.958)^2} \left[ 0.39(11.152k * 10k \cos \delta - (10x)^2) + 3.958 * 10x * 11.152k \sin \delta \right]$$

$$\Rightarrow 43.49 \cos \delta + 441.4 \sin \delta - 118.09 = 0$$

با استفاده از روش تکراری نیوتن مسئله را حل می کنیم :

$$\Rightarrow f(\delta) \rightarrow \delta^{(x+1)} = \delta^{(x)} + \frac{f(\delta^{(x)})}{f'(\delta^{(x)})}$$

$$\Rightarrow \delta = 9.814^0 \Rightarrow \hat{I} = \frac{11.152x \angle 9.814 - 10k \angle 0}{0.39 + j3.958}$$

$$538.7 \angle -21.86$$

$$\Rightarrow Q_2 = V_R I_R \sin \theta = 10k * 538 - 7 \sin 21.86 = 2M$$

$$Q_c = -3M = -B|V|^2 \Rightarrow c = 95.49NF$$

$$\eta_1 = \frac{p_{out}}{p_{int} + p_{Loss}} = \frac{58 * 100}{5M + 0.39 * (707.2)^2} = 96.25\%, P_{Loss} = RI^2$$

( ج )

$$\eta_2 = \frac{5M}{5M + 0.30 * (538.7)^2} * 100 = 97.79\%$$

( روش دقیق ) :

۴. الف )

$$\text{در خط کوتاه: } A^2 - BC = 1 - 0 = 1$$

$$A^2 - BC = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right)^2 - \left(1 + \frac{ZY}{4}\right)ZY = 1 + \frac{Z^2Y^2}{4} + ZY - ZY$$

در خط متوسط:

$$\frac{Z^2Y^2}{4} = 1$$

خط بلند:  $A^2 - BC = (\cosh \gamma L)^2 - (\sin \gamma L)^2 = 1$

ب) ارتباط بین ثوابت نصف خط و تمام خط بصورت زیر می باشد:  $A=D, a=d$

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{cases} a^2 + bc = A \\ 2ab = B \\ a^2 - bc = 1 \end{cases}, \begin{cases} 2ac = C \\ a^2 - bc = 1 \end{cases}$$

$$\Rightarrow 2a^2 = A + 1 \Rightarrow a = \sqrt{\frac{1+A}{2}} = d, b = \frac{B}{2a}, c = \frac{C}{2a}$$

۵. الف)

$$\hat{V}R = \frac{3+5}{\sqrt{3}} \angle 0, \hat{I}R = \frac{400M}{354\sqrt{3}} \angle \cos^{-1} 0.8$$

$$\hat{I}R = 669.4 \angle -\cos^{-1} 0.8, \begin{bmatrix} \hat{V}_s \\ \tilde{I}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{V}R \\ \tilde{I}R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 256.673k \angle 20.15^\circ \\ 447.67 \angle 8.54^\circ \end{bmatrix}$$

$$DV\% = \frac{V_s - V_R}{V_s} = \frac{256.737 - 345/\sqrt{3}}{256.737} = 22.42\% \quad \text{درصد افت ولتاژ:}$$

درصد تنظیم (فرض می شود LVR ثابت است)

$$\begin{cases} R\% = \frac{V_{sFL} - V_{sNL}}{V_{sNL}} = 57.57\% \\ \text{که } : V_{sfl} = 256.737x, v_{snl} = AvR = 162.939k \end{cases}$$

$$\hat{V}_s = A\hat{V}R, \hat{I}_s = C\hat{V}z \quad \text{ب) در حالت بی باری:}$$

$$\Rightarrow \hat{V}_S = 256.737k \angle 20.15^\circ \Rightarrow \hat{V}_R = 313.859 \angle 18.85^\circ$$

$$\hat{I}_S = 606.69 \angle 109.25^\circ, \%R = \frac{VRN.L - VRF.L}{VxF.L} = \frac{313.859 - \frac{345}{\sqrt{3}}}{\frac{345}{\sqrt{3}}}$$

$$\Rightarrow yR = 57.57\%$$

درصد تنظیم ولتاژ (Vs = ثابت L)

ج) از مسئله

۶.

$$a = \sqrt{\frac{1+A}{2}} = d, b = \frac{B}{2a}, c = \frac{C}{2a}$$

ج) از مسئله ۲۶ داریم:

$$\Rightarrow a = d = \frac{\sqrt{1+0.818 \angle 1.32}}{2} = 0.9534 \angle 0.29^\circ$$

$$b = \frac{172.2 \angle 84.2}{2a} = 90.31 \angle 83.91^\circ, c = \frac{c}{2a} = 0.00101 \angle 90.11^\circ$$

$$\Rightarrow \text{ثوابت خط جدید} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}, z = -j146.6$$

د)

$$\Rightarrow \text{ثوابت جدید} \begin{bmatrix} a & 51.01 \angle -78.365 \\ c & 1.102 \angle 0.266 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$$

$$\text{ثوابت} = \begin{bmatrix} 0.9598 \angle 1.178^\circ & 42.44 \angle 63.78^\circ \\ 0.002084 \angle 90.39^\circ & 0.9597 \angle 1.178^\circ \end{bmatrix}$$

$$\text{تکرار قسمت (الف)} \begin{bmatrix} \hat{V}_S \\ \hat{I}_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 217.2k \angle 4.43^\circ \\ 520.49 \angle 4.44^\circ \end{bmatrix} \begin{cases} Dv\% = 8.26\% \\ R\% = 13.57\% \end{cases}$$

$$\text{تکرار قسمت (ب)} \hat{V}_S = 217.121k \angle 4.43^\circ, \hat{V}_R = \frac{\hat{V}_S}{A} = \frac{\hat{V}_S}{0.9598 \angle 1.178^\circ}$$

$$= 226.215x \angle 3.25^\circ, \hat{I}_S = C\hat{V}_R = 0.00208 \angle 90.39^\circ * \hat{V}_R = 471043 \angle 93.64^\circ$$



$$R\% = \frac{VRN.LVR.FL}{VRFL} * 100 = \frac{226.215 \frac{3*5}{\sqrt{3}}}{\frac{3*5}{\sqrt{3}}} * 100 = 13.57\%$$

$$\text{ثوابت خط جدید} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix} \quad Y = -j0.0021v \quad (\text{هـ})$$

$$\text{ثوابت جدید} = \begin{bmatrix} 1.178 & \angle -0.875 & B \\ 0.000217 & \angle 83.26 & D \end{bmatrix}$$

$$\hat{V}_R = \frac{\hat{V}_S}{1.178 \angle -0.875} = 217.943k \angle 21.03^\circ \quad \text{تکرار قسمت ب:}$$

$$\hat{I}_S = C\hat{V}_R = 42.29 \angle 104.3^\circ \quad \text{جریان و ولتاژ کاهش یافته است.}$$

xxxxxxxxxx

مسائل بخش بار

$$Y_{bus} = j \begin{bmatrix} -40 & 20 & 20 \\ 20 & -40 & 20 \\ 20 & 20 & -40 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} V1 = 1 \angle 0 \\ V2 = 1 \angle 0 \\ V3 = 1 \angle 0 \end{matrix}$$

۴. حدس

$$\Rightarrow fa3 = \sum_{j=1}^3 |V3||Vj||Y3j| \sin(\delta3 - \delta j - \gamma3j)$$

$$= |V3|(|V1||Y31| \sin(\delta3 - \delta1 - \gamma31) + |V2||Y32| \sin(\delta3 - \delta2 - \gamma32)$$

$$+ |V3||Y33| \sin(\delta3 - \delta3 - \gamma33))$$

$$= 1 * (20 \sin(0 - 0 - 90^\circ) + 20 \sin(0 - 0 - 20)$$

$$+ 40 \sin(0 - 0 + 90^\circ)) = 0$$

برای مرحله (.)

$$fq2 = G1$$

$$fq3 = qG - qD \Rightarrow qG = fq3 + qd = 0 + 5 = 5 \Rightarrow 4 < 3.5 \Rightarrow$$

به همین ترتیب:

$$qG3 = 3.5 = QG3 \max$$

باس (۳) کنترل ولتاژ نیست لذا داریم:

$$\Rightarrow \frac{\delta f 2 p}{\delta s 2} = 40, \frac{\delta f 2 p}{\delta s 3} = -20, \frac{\delta f a 2}{\delta |V 3|} = -20,$$

$$\Rightarrow \frac{\delta f a q}{\delta |V 2|} = 40 \Rightarrow T1 = \begin{bmatrix} 40 & -20 \\ -20 & 40 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \Delta p 2 \\ \Delta p 3 \end{bmatrix} = [\tau 1] \begin{bmatrix} \Delta \delta 2 \\ \Delta \delta 3 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \Delta \delta 2 \\ \Delta \delta 3 \end{bmatrix} = [\tau 1]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta p 2 \\ \Delta p 3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} \Delta p 2 = p 2 - f 2 p = p 2 = p 9 2 - p d 2 = 10 = 10 \\ \Delta p 3 = p 3 - f 3 p = p 3 = p 9 3 - p d 1 3 = 0 - 10 = -10 \end{cases}$$

$$[\tau 1]^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 30 & 60 \\ 1 & 1 \\ 60 & 30 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \Delta \delta 2 \\ \Delta \delta 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 6 \\ 1 \\ 6 \end{bmatrix}^{vad} = \begin{bmatrix} 9.549^\circ \\ -9.549^\circ \end{bmatrix}$$

$$[\tau 4] = \begin{bmatrix} 40 & -20 \\ -20 & 40 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \Delta |V 2| \\ D |v 3| \end{bmatrix} = [J 4]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta q 2 \\ \Delta q 3 \end{bmatrix}$$

به همین ترتیب :

$$\begin{cases} \Delta q 2 = q 2 - f 2 q = q 2 = q 9 2 - q d 2 = 10412 - * = 104 / 2 \\ \Delta q 3 = q 3 - f 3 q = q 3 = q 9 3 - q d 1 3 = 3.5 - 5 = 1.5 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \Delta |V 2| \\ D |v 3| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 30 & 60 \\ 1 & 1 \\ 60 & 30 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 10412 \\ -1.5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0221 \\ -0.0265 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} V 2 \\ V 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.0221 \\ -0.265 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0221 \\ 0.9735 \end{bmatrix}$$

$$f q 3 = \dots =$$

مرحله بعدی :

$$\begin{aligned} |V 3| (|V 1| |V 3.1| \sin(\delta 3 - \gamma - \gamma 31) + |V 2| |Y 32| \sin(\delta 3 - \delta 2 - \gamma 32)) + \\ |V 3| |Y 33| \sin(\delta 3 - \delta 3 - \gamma 33) \\ = -0.0971 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow q G 3 = f q 3 + q D = -0.0971 + 5 = 4.9029 \rightarrow$$

باز هم کنترل ولتاژ نیست

xxxxxxx

حل میان ترم

۱.

$$\text{سه فاز} \begin{cases} p_{out} = 60 * 7 * 6 = 44.76kw \\ Q = p_{typ} = 39.475kvar \\ S = \frac{P}{\cos p} = 59.68kVA \end{cases} \xrightarrow{\text{تکفاز}} \begin{cases} pr_{out} = 14.92kw \\ Qr = 13.158x \text{ var} \\ Sr = 19.89kVA \end{cases}$$

$$V1^* = \frac{440}{\sqrt{30}} \Rightarrow IR \frac{sr}{VR} = 78.3A$$

$$Z = \frac{V1^*}{IR} = 3.24\Omega \begin{cases} p = RI^2 \Rightarrow R = \frac{14.42k}{(78.3)^2} = 2.43\Omega \\ Q = xI^2 \Rightarrow x = 2.15\Omega \end{cases} \quad \text{ب:}$$

$$\begin{cases} Pr = 18.65kw = \frac{14.92}{0.8} xw \\ ar = \frac{13.158}{0.8} xvAr = 16.45xvAr \\ Sr = \frac{19.89kVA}{0.8} = 24.86kVA \end{cases}$$

ج: الف)

$$V1^* = \frac{440}{\sqrt{3}}, IR = \frac{sr}{vr} 97.86A$$

$$Z = \frac{V1^*}{IR} 2.6\Omega \quad R = \frac{18.65x}{97.86^2} 1.95\Omega \quad \text{ب)}$$

$$x = \frac{16.45x}{97.86^2} = 1.72\Omega$$

الف:

$$\theta = \frac{2\pi}{n}, \quad D_{12}^2 = r^2 + r^2 - 2r^2 \cos \theta$$

$$= 2r^2 - 2r^2 \cos \theta = 2r^2(1 - \cos \theta) = 2r^2 \left(2 \sin \frac{\theta}{2}\right)$$

$$\Rightarrow D_{12} = 2r \sin \frac{\theta}{2}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} D_{12} = 2r \sin \frac{\pi}{n} \\ D_{13} = 2r \sin \frac{2\pi}{n} \\ \vdots \\ D_{1n} = 2r \sin \frac{(n-1)\pi}{n} \end{cases}, GMR = \sqrt[n]{D_s * 12 * \dots * D_{1n}}$$

$$, (2 \sin \frac{\pi}{n}) * (2 \sin \frac{2\pi}{n}) * \dots * (2 \sin \frac{(n-1)\pi}{n}) = n$$

$$\Rightarrow GMR = \sqrt[n]{D_s * r^{n-1} * n}$$

$$GMR = \sqrt[8]{(11.37m) * (0.45^7 * 8) = 0.3685 = D_s A}$$

: ب

$$L = 2 * 10^{-7} \text{ Ln} \frac{GMD}{GMR}, GMD = \sqrt[3]{D_{abeq} * D_{aceq} * D_{bceq}}$$

$$D_{abeq} = \sqrt[4]{D_{ab} D_{ab'} \cdot D_{a'b} D_{a'b'}} = \sqrt[4]{(5^2 + 10^2)(10^2 + 20^2)} = 15.81$$

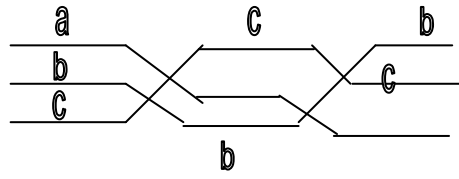
$$D_{aceq} = \sqrt[4]{(20)^2 (15^2 + 20^2)} = 22.36$$

$$D_{bceq} = D_{abeq} = 15.81 \quad \Rightarrow GMD = 17.75$$

$$GMR = \sqrt[6]{(D_s A)^3 * D_{aa'} * D_{bb'} * D_{cc'}} = \sqrt[6]{(0.3685)^7 * 15^2 * 25} = 2.56$$

$$\Rightarrow L = 2 * 10^{-7} \text{ Ln} \frac{17.75}{2.56} = 3.873 * 10^{-7}$$

$\circ a$                      $\circ a'$   
 $\circ b$                          $\circ b'$   
 $\circ c$                          $\circ c'$   
 $\circ a1$                      $\circ c'1$   
 $\circ b_1$                      $\circ b'1$   
 $\circ c1$                      $\circ a'1$



· 2

$$+ qa'1Ln \frac{1}{Daa'1} + qb'1Ln \frac{1}{Dab'1} + qc'1Ln \frac{1}{Dac'1}$$

$$qa1 = -qa, qa', qa. (c, b)$$

$$\Rightarrow VaI = \frac{1}{2\pi \epsilon_0} \left( qa \ln \frac{Daa'.Daa'1}{ra.Daa'} + qb \ln \frac{Dab1.Dab'1}{Dab.Dab'} + \right.$$

$$\left. qc \ln \frac{Dac1.Dac'1}{Dac.Dac'} \right)$$

$$\Rightarrow VaII = \frac{1}{2\pi \epsilon_0} \left( qa \ln \frac{Dbb1.Dbb'1}{ra.Dbb'} + qb \ln \frac{Dbc1.Dbc'1}{Dbc.Dbc'} + qc \ln \frac{Dba1.Dba'1}{Dba.Dba'} \right)$$

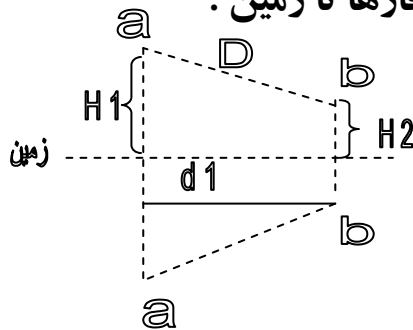
$$VaIII = \frac{1}{2\pi \epsilon_0} \left( qa \ln \frac{Dcc1.Dcc'1}{ra.Dcc'} + qb \ln \frac{Dca1.Dca'1}{Dca.Dca'} + qc \ln \frac{Dcb1.Dcb'1}{Dcb.Dcb'} \right)$$

$$\Rightarrow Va = \frac{VaI + VaII + VaIII}{3} = \frac{1}{6\pi \epsilon_0} \left( qa \ln \frac{Daa1.Dbb1.Dcc1.Daa'1.Dbb'1.Dcc'1}{ra^3.Daa'.Dbb'.Dcc'} \right)$$

$$+ (qb + ac) \ln \frac{(Dab1.Dbc1.Dca1).(Dab'1.Dbc'1.Dca'1)}{(Dab.Dbc.Dca).(Dab'.Dbc'.Dca')}$$

$$\Rightarrow Va = \frac{qa}{2\pi \epsilon_0} \ln \frac{GMD}{GMR} \Rightarrow can = \frac{20160}{\ln \frac{GMD}{GMR}}$$

اثبات رابطه خازن با اثر زمین در حالت عدم شادی فاصله فازها تا زمین :



$$Va = \frac{1}{2\pi \epsilon_0} \left( qa \ln \frac{1}{ra} + qb \ln \frac{1}{D} + (-ga) \ln \frac{1}{2H1} + (-qb) \ln \frac{1}{Dab'} \right), qa = -qb = q$$

$$= \frac{q}{2\pi \epsilon_0} \ln \frac{D * 2H1}{ra * Dab'}$$

$$d1 = \sqrt{D^2 - (H1 - H2)^2}$$

$$\Rightarrow can = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D * 2H1}{ra \sqrt{D^4 + DH1H2}}}$$

$$Dab' = \sqrt{d1^2 + (H1 + H2)^2} = \sqrt{D^2 + 4H1H2}$$