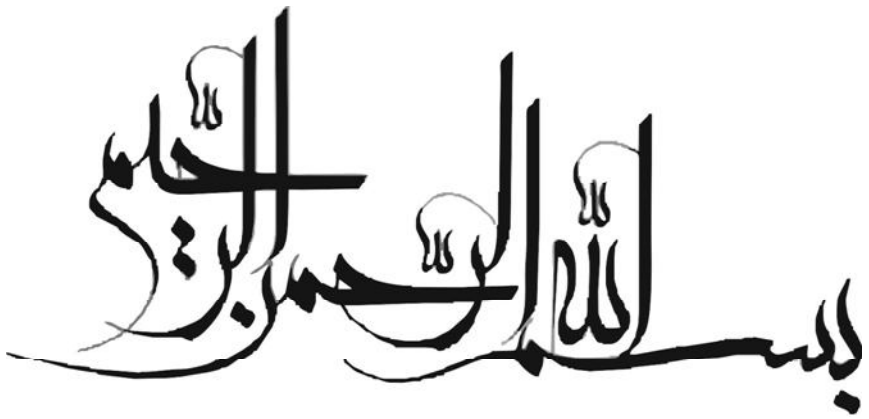


بررسي سيستم هاي قدرت

فـصل ا و ل :

مفاهيم اوليه :

$$V = V_m \cos wt, i = \mathrm{Im}\cos(wt - \theta) \qquad (1)$$

V, V_a=ولتـاژ لحظـه اي ، نـشان دهنده ولتـاژ متغير بـا زمـان ، V_m=ولتـاژ مـاكزيمم ، V=ولتـاژ موثر ، ولتاژ موثر $V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$

توان لحظه اي متغير با زمان $p(t) V.i$

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

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

كه :توان موهومي $Q = V.I.\sin\theta$ و توان حقيقي $p = v.I.\cos\theta$

فازور :

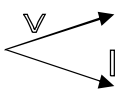
$$\upsilon = Vm\cos(wt+\theta) \rightarrow \hat{V} = Ve^{j\theta}$$

توان ظاهري :

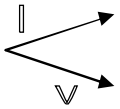
$$S = P + jQ = \hat{V}.\hat{I}$$

پس فاز و پيش فاز :

بار سلفي ←توان موهومي مصرف مي كند← جريان از ولتاژ عقب تر است ←



بار فازني ←توان موهومي توليد مي كند ←جريان از ولتاژ جلوتر است ←



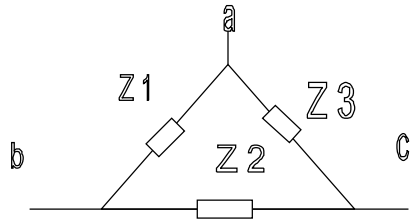
سیستم سه فاز :

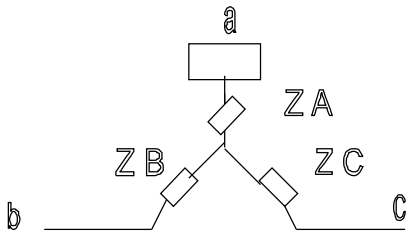
$$\begin{cases} V_a = V_m \cos wt \\ V_a = V_m \cos(wt - 120^O) \\ V_a = V_m \cos(wt + 120^O) \end{cases} \qquad \begin{cases} iaI_m \cos(wt - p) \rightarrow ia = \mathrm{Im}\cos(wt - \rho) \\ ibI_m \cos(wt - 120^O - p) \rightarrow ib = \mathrm{Im}\cos(wt - 120^O - \rho) \\ icI_m \cos(wt + 120^O - p) \rightarrow ic = \mathrm{Im}\cos(wt - 120^O - \rho) \end{cases}$$

توان لحظه اي سه فاز $P(+) = V_a ia + V_b ic + V_{cic}$

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

تبدیل ستاره به مثلث :





$$\begin{cases} Z_A = \dfrac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \\ Z_B = \dfrac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \\ Z_C = \dfrac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \end{cases} \qquad \begin{cases} Z_1 = \dfrac{Z_A Z_B + Z_A Z_C + Z_B Z_C}{Z_C} \\ Z_2 = \dfrac{Z_A Z_B + Z_A Z_C + Z_B Z_C}{Z_A} \\ Z_3 = \dfrac{Z_A Z_B + Z_A Z_C + Z_B Z_C}{Z_B} \end{cases}$$

پریونت – در واحد P . U .

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

$b \equiv base$ پايه ، مبنا

معمولاً بزرگترين عدد به عنوان مبنا انتخاب مي شود و پريونت $p.u. = \frac{\text{عدد}}{\text{مبنا}}$ (عدد کوچکتر از واحداست .

يونت تك فاز :

توان ظاهري يك فاز $P_b = Qb = Sb = VA_{1Q}$ ، ولتاژ فاز Vb=VLN

محاسبه مي شود : $Ib = \frac{Sb}{Vb} A, Zb = \frac{Vb^2}{Sb} = \frac{Vb}{Zb} \Omega$

پريونت سه فاز :

فرض مي شود توان ظاهري سه فاز

$$Vb = Vl - l, Pb = Qb = Sb = Va3\phi$$

محاسبه مي شود $I = \frac{Sb}{\sqrt{3}Vb} A, Zb = \frac{Vb^2}{Zb}$

در حالت سه فاز مي توان از مبناهاي تك فاز نيز استفاده كرد ولي كاربرد كمتري دارد .

$$Vb1\phi = VLn, Sb1\phi = VA1, \phi Ib = \frac{Sb1\phi}{Vb1\phi} = \frac{Sb3\phi}{\sqrt{3}VbL - L}$$

$$Zb = \frac{VbL - L^2}{sb3\phi} = \frac{Vb1\phi}{Ib1\phi} = \frac{Vb2\phi}{sb1\phi}$$

تبديل يك امپدانس پريونت از يك مبنا به مبناي ديگر :

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

$$Z_1 p.u. = \frac{Z}{Zb1}, Z_2 P.u = \frac{Z}{Zb2}$$

$$\Rightarrow \frac{Z_2\, p.u.}{Z_1\, p.u.} = \left(\frac{Vb1}{Vb2}\right)^2 \times \frac{Sb2}{Sb1}$$

پريونت كردن يك ترانسفورماتور :

توان مبنا برابر توان ظاهري ترانس و ولتاژ مبنا در طرف فشار ضعيف برابر ولتاژ فشار ضعيف و در طرف فشار قوي برابر ولتاژ فشار قوي است . مثلاً در ترانس 220V/440 V و 10KVA داريم :

Sb =ST =10KVA ، فشار ضعيف vb = 220 Vb ، فشار قوي V =440V

به عبارت ديگر ولتاژ مبنا از يك طرف ترانسفورماتور به طرف ديگر با نسبت تبديل تغيير مي كند.

نكته :

تمام روابط مربوط به توان ظاهري ، حقيقي و موهومي ،ولتاژ و جريان بايد براي مبناها نيز صادق باشد .

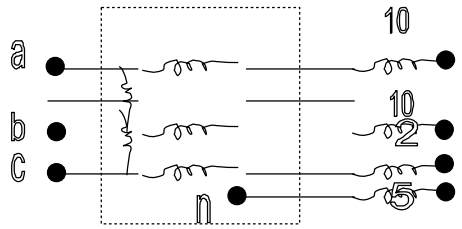
بطور مثال : $S_{3\phi} = \sqrt{3}VL.LI, S_{b3\phi} = \sqrt{3}V_bL - L, Ib$

سئوالات فصل اول

1. توان ورودي به خطي با امپدانس $Z = 5 + j60\Omega$ و ولتاژ $S = 210mw + j30mAv, 220Kv$ مي باشد . ولتاژ و توان در انتهاي خط و همچنين توان مصرفي را بدست آوريد .

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

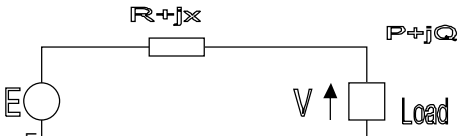
2. در شكل مقابل بار سه فاز نامتقارني را مشاهده مي كنيد از دو واتمتر جهت محاسبه توان مصرفي آن استفاده كرده ايم . هر يك از واتمترها چه مقدار توان را نشان مي دهند . توان مصرفي چقدر است ؟



$V_{LN} = 900V$

$ج : P1 = 121.5kw, P2 = 337.5kw, p = 422.9kw$

3. با توجه به شكل مقابل ، ولتاژ ابتداي خط ابتداي خط را بر حسب ولتاژ انتهاي خط و توان حقيقي و موهومي بدست آوريد ؟



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

4. خط انتقال سه فازي با امپدانس $Z_S = 0.5 + j2\Omega$ بار ستاره اي در انتهاي خط را تغذيه مي كند ، بار مذكور در ضريب قدرت 0.8 پس فاز و ولتاژ خط 10kv توان 200 kW را ضرب مي كند ؟

الف) مطلوبست ولتاژ ابتداي خط و توان حقيقي و موهومي توليد در ابتداي خط [$Vs = 5797$:]

ب) اگر ولتاژ ابداي خط 10 Kv و بار انتخاي خط داراي امپدانس $Zl = 18 + j45\Omega$ بصورت مثلث باشد . ولتاژ انتهاي خط را محاسبه كنيد .

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

ج) اگر بخواهيم ضريب قدرت بار در حالت (الف) به 0.98 برسد ،به چه مقدار خازن نيازمنديم

$[: c = 3.5.NF]$

د) براي اينكه ولتاژ را در انتهاي خط در قسمت (ب) به 10 kv برسانيم سه خازن مساوي با بار بصورت ستاره موازي مي كنيم . خازنها را محاسبه كنيد .

$f = 5 : Hz$

$[c = 3.817 mf]$

5. دو ماشين الكتريكي با ولتاژهاي $\hat{E}_2 = 120 < V, \hat{E}_1 = 100 < 30^{O} V$ ازطريق امپدانس $Z_S = 2 + j5\Omega$ به يكديگر متصل شده اند معين كنيد كه كداميك از ماشينها به عنوان مولد و كداميك بصورت موتور عمل مي كنند . توانهاي حقيقي و موهومي هر ماشين را بيابيد .

$[: S1 = 1008 - i480.9, S2 = 759.2 - i1104.7]$

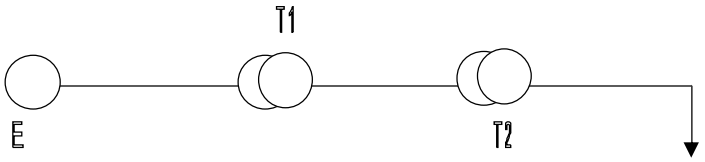
6. يك ماشين حفاري در هنگام حفاري توان c.1 MVA در ضريب قدرت 0.8 پس فاز معرف مي كند و هنگام تخليه بيل ، توان 0.1 MVA در ضريب قدرت 0.5 پيش فاز توليد مي كند . در انتهاي دوره استخراج ، تغيير در اندازه جريان منبع باعث قطع كردن رله ها حفاظتي مي شود . بنابراين لازم است تغيير جريان را مينيمم كنيم . مي توان از سه خازن در ترمينالها استفاده نمود . مطلوبست مقدار خازنها ،

$V_{l-l} = 36.5kv$

$[c = 6.44NF]$

7. سيستم زير مفروض است . ولتاژ ترمينال ژنراتور 13.2 kV مي باشد . مطلوبست محاسبه جريان ژنراتور ، جريان و ولتاژ بار و تواني كه توسط بار جذب مي شود .

$[: I5 = 977.5A, I1 = 195.5A, Vl = 58.7kv]$



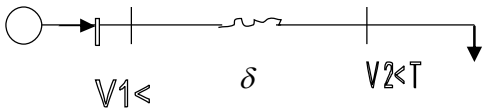
$T1 = (13.2kv\Delta - 132kvY, 5MVA, XT1 = 0.1p.u)$

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

فـصل د وم :

بـار : در بـار امپـدانس اگـر ولتـاژ 1% كـاهش يابـد ، تـوان مـصرفي 2% كـاهش مـي يابـد و اگـر فركانس 1% كاهش يابد توان $(0.02\sin^2 p)$افزايش مي يابد .

خط شعاعي ، يكسو تغذيه :

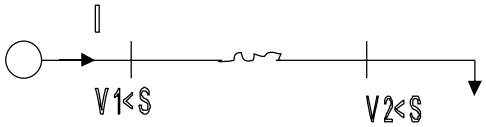


$$s2 = p2 \qquad (Q = 0)$$

$$\Rightarrow P12 = P2 = P1 = \frac{V_1^2 \sin\delta}{2x}, \cos\delta = \frac{V2}{V1}$$

توان ماكزيمم در خط شعاعي :

$$P\max = \frac{V_1^2}{2x}, s = 45^o$$



$$S1 = P1 + iQ \qquad S1 = P2 + iQ2$$

خط دو سو تغذيه :

$$P1 = P2 = P12 = \frac{V1V2}{x}\sin(\delta 1 - \delta 2)$$

P_1 = توان توليدي ژنراتور

$$Q1 = \frac{V_1^2 - V_1V_2\cos\delta}{x}$$

P_2 = توان مصرفي ژنراتور

$$Q2 = \frac{-V_1V_2\cos\delta - V_2^2}{x}$$

P_{12} = توان انتقالي از ژنراتور 1 به 2

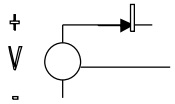
$$P\max = \frac{V1.V2}{x}, \delta = 90^o$$

توان ماكزيمم در خط دو سو تغذيه :

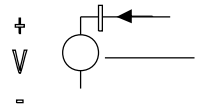
تفاوت خط دو سو تغذيه با يكسو تغذيه در اينست كه در خط دو سو تغذيه ، باس دوم داراي ولتاژ ثابتي است و بوسيله ژنراتور و يا خازن كنترل مي شود .

توان ماکزیمم در خط دو سو تغذیه با خط داراي مقاومت : $\delta = Tg^{-1}\frac{x}{R}$

تعریف توان مصرفي و توليدي :



$Z=P+iQ=\tilde{\tilde{M}}$ توليد كننده توان $\begin{cases} P>0 \\ P<o \end{cases}$ مصرف كننده توان حقيقي $\begin{cases} Q>0 \\ Q<o \end{cases}$ مصرف كننده

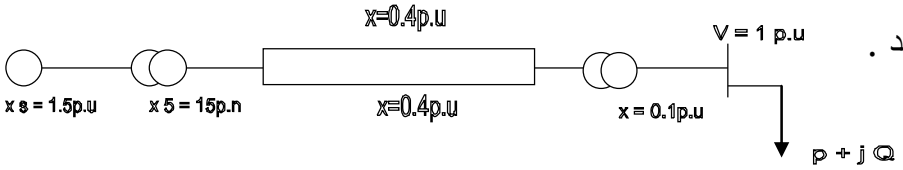


$Z=P+iQ=\tilde{\tilde{M}}$ مصرف كننده $\begin{cases} P>0 \\ Q<o \end{cases}$ توليد كننده $\begin{cases} P<0 \\ Q<o \end{cases}$ توليد كننده

سئوالات فصل دوم

8. شکل زیر مفروض است . مطلوبست ماکزیمم توان انتقالي در دو حالت زیر :

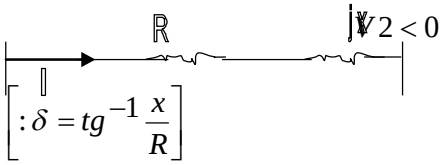
الف) هر دو خط وصل باشد .



9. در سیستم شکل مقابل ،مطلوبست Q_{G2} براي اینکه $V2 = 1$ شود . ابتدا $V1 <$ را محاسبه کنید .

SO = توان مصرفي $[: QG2 = 0.268]$

10. اگر خط انتقال علاوه به x داراي مقاومت R نیز باشد ، رابطه توان انتقالي و زاویه حداکثر توان را بیابید $(P2, \delta p\max = ?)$



11. در یك بار امپدانس تغییرات توان مصرفي $\left[\frac{\Delta p}{p}\right]$ را در ازاي تغییرات ولتاژ $\left[\frac{\Delta V}{V}\right]$ و تغییرا فرکانس بیابید .

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

12. خطي با مشخصات $p = \frac{1}{2}P\max$ بار مقاومتي را تغذیه مي کند . $V2, \delta 2 V_1 = 1 P.n.$ را در دو حالت زیر محاسبه کنید ؟

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

$$\left[; \text{الف}) \delta = 15^{o}, V_2 = \cos 15^{o}, \quad \text{ب}) \delta = 30^{o}, V2 = \cos 30^{o}\right]$$

فصل سوم :

پديده كرونا : يونيزه شدن هواي اطراف سيم ولتاژ بالا در اثر شدت ميدان الكتريكي زياد

اثرات كرونا :تلفات ـ تداخل امواج مخابراتي

باندل كردن :اگر به جاي يك هادي از چند هادي استفاده كنيم كه از يكديگر فاصله كمي داشته باشند به اين كار باندل كردن مي گوئيد .

باندل سه تايي

باندل چهار تايي

باندل دو تايي

اندوكتانس داخلي يك هادي توپر : $l\,\mathrm{int} = \frac{1}{8\pi}$ H/M

اندوكتانس خارجي يك هادي توپر : $Lext = 2\times10^{-7}$ $Ln\frac{D}{r}$

اندوكتانس يك هادي توپر : $L = 210^{-7}$ $Ln\frac{D}{r}, r' = 0.7788r$

فلوي يك هادي در بين گروه n هادي : $\left(\sum_{i=1}^{n} Ti = 0 \quad \text{فرض}\right)$

$$\lambda_1 = 2\times10^{-7}(I1Ln\frac{1}{D11}+...+InLn\frac{1}{D1n}$$

ولتاژ القاء شده در يك هادي :

$$V = jw\lambda$$

اندوكتانس خطوط مركب :

$$L = 2\times10^{-7}\,Ln\frac{GMD}{GMR}$$

فاصله متوسط هندسي

$$GMD = \sqrt[mn]{(Daa'.Dab'...Dam)....(Daa'.....Dnm)}$$

شعاع متوسط هندسي

$$GMR = \sqrt[n]{(Daa.Dab...Dan)....(Dan.....Dnn)}$$

هادي توپر $Daa = r'$ هادي تو خالي : $Daa = r$

(از روي جدول A . 1) هادي رشته اي : Daa = Ds

اندوكتانس خط سه فاز با فواصل مساوي : (D)

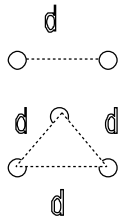
$$L = 2\times10^{-7}\,Ln\frac{D}{Daa}$$

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

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

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

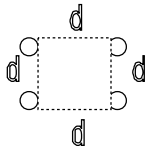
خط سه فاز باندل شده ؛ ازاثر باندل در GM0 صرفنظر مي شود .



$GMR = \sqrt{Ds.d}$

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

,



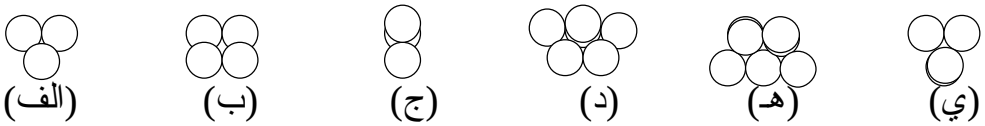
$GMR = \sqrt[8]{2}.\sqrt[4]{Ds.d^3}$

خط سه فاز دو مداره :از روابط باندل استفاده مي شود . در اين حالت از اثر باندل در GMD صرفنظر نمي شود .

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

سئوالات فصل سوم :

13. شعاع هندسي هريك از هاديهاي زير را به حساب شعاع هر هادي (r) محاسبه كنيد . فرض كنيد هاديها توخالي هستند .

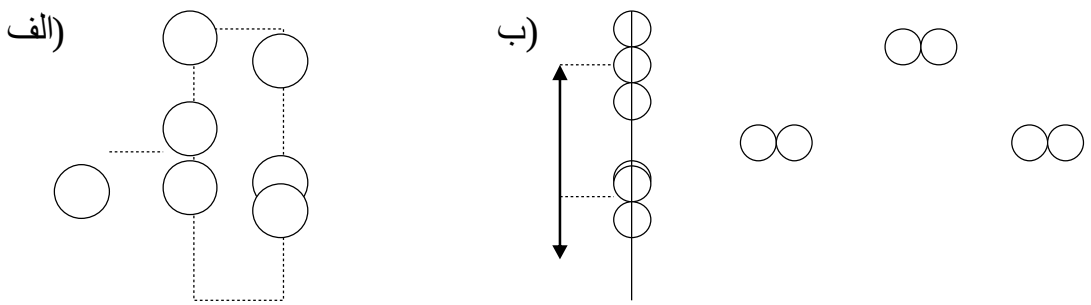


(الف) (ب) (ج) (د) (هـ) (ي)

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

14. در خطوط انتقال تك فاز اشكال زير ، اندوكتانسهاي رفت و برگشت و اندوكتانسهاي كل را بدست آوريد .

هادي توخالي ، O= 15 d , d= 10r

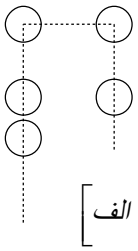


$r = 0.25cm \; r_A = 0.25cm$

$rB = 0.5cm \; rB = 0.5cm$

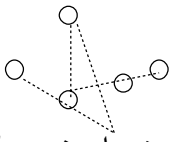
هادي توپر

ج)

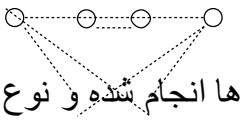


$\left[\text{الف} \quad :)L = 10.68*10^{-7} \qquad \text{ب})14.28*10^{-7} \qquad \text{ج} :)14.72*10^{-7} \; H/m\right]$

15. ثابت کنید در شکل مقابل ،اگر خطوط سه فاز جابه جا شده باشند . کل شار در برگیرنده خط تلفن $t2,t1$صفر خواهد بود . سیستم متعادل است .



16. يك خط تلفن موازي يك خط انتقال انرژي تك فاز مطابق شكل مقابل مفروض است . ولتاژ القائي در هر كيلومتر از مدار تلفن را محاسبه كنيد . جريان عبوري از خط انتقال A 100 و جريان در سيم تلفن صفر است . $f = 50$

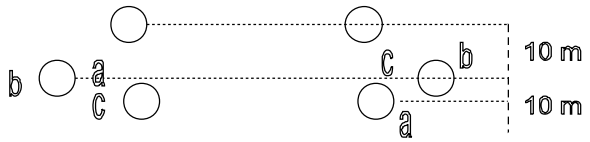


$[:|v|2.381 \quad V/km]$

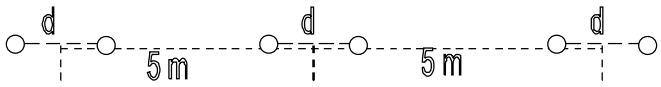
17. در اشكال زير اندوكتانس هر فاز را محاسبه كنيد . عمل جابجايي در فازها انجام شده و نوع سيمها (Drake) مي باشد . قطر Ds=0.3>3ft = 11.37 mm , O= 27.81mm

(الف

هر فاز باندل سه تايي است



ب)

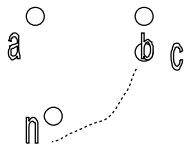


$\left[\text{الف} \quad :)L = 16.244*10^{-7} \qquad \text{ب})9.208*10^{-7} \qquad H/m\right]$

فصل چهارم :

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

تذكر ! تفاوت اصلي محاسبه خازن با اندوكتانس در اينست كه در محاسبه خازن از شعاع هادي استفاده مي شود ® و از Ds استفاده نمي شود .



ولتاژ دو هادي در بين گروه n هادي :

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

ولتاژ نقطه p در بين n گروه هادي : $Vp = \frac{1}{2\pi E0}(qa.Ln\frac{1}{Dnp} + . + qnLn\frac{1}{Dnp})$

خازن در سيستم تك فاز : $Cab = \frac{\pi \in o}{Ln\frac{D}{r}}, Can = \frac{2\pi \in o}{Ln\frac{D}{r}}$

جريان شارژ :(جريان عبوري از خطوط در حالت بي باري)

$$\hat{I}_C = jcabw\hat{V}ab$$

خازن در سيستم سه فاز با فواصل مساوي D: $Can = 2\pi \in o \Big/ Ln\frac{D}{r}$

خازن در سيستم سه فاز با فواصل نامساوي و جابه جا شده : $Can = 2\pi \in o \Big/ Ln\frac{Deg}{r}$

$$Deq = \sqrt[3]{D12.D13.D23}$$

خازن در سيستم سه فاز با باندل : $Can = 2\pi \in o / Ln\frac{Dea}{Dsb}$ و شعاع متوسط باندل Dsb

خازن در سيستم سه فاز دو داره :مانند محاسبه اندوكتانس عمل مي شود :

$$Can = \frac{2\pi \in o}{Ln\frac{Deq}{Dseq}}$$

اثر زمين در محاسبه خازن :زمين بصورت يك صفحه خنثي عمل مي كند كه بايد ولتاژ روي آن صفر شود .

$Can = \frac{2\pi \in o}{Ln\frac{Deq.H}{r.Hs}}$ سه فاز و $Can = \frac{2\pi \in o}{Ln\frac{D.Daa'}{r.Dab'}}$ تك فاز

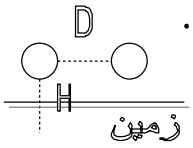
$$D = \sqrt[3]{Dab.Dac.Dbc}$$

$$Hs = \sqrt[3]{Dab'.Dac'.Dbc'} \qquad H = \sqrt[3]{Daa'.Dbb'.Dcc'}$$

(a' تصویر فاز a نسبت به زمین است)

سئوالات فصل چهارم :

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



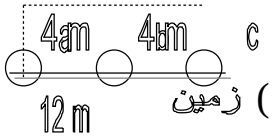
الف) از اثر زمین صرفنظر کنید D=5m , H= 20m , pheasant

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

$$\left[\text{الف} :)Can = 9.838*10^{-12}\,F/m \qquad \text{ب})9.582*10^{-12} \quad f/m\right]$$

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

همچنین جریان شارژ خط را در يك کیلومتر محاسبه کنید . f= 50Hz , r = 17.55 mm

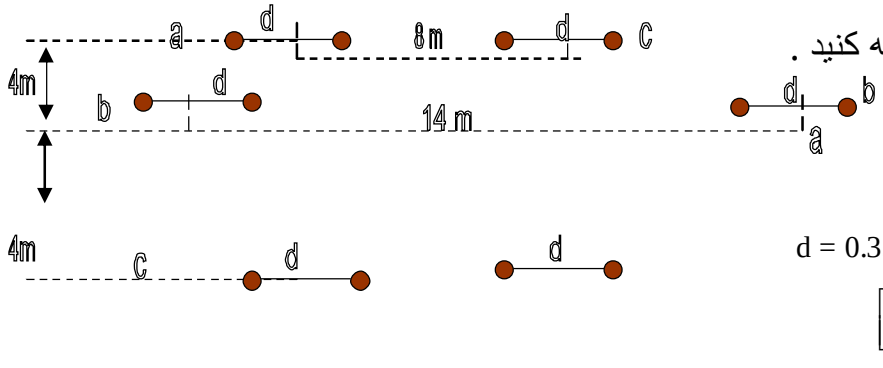


الف) ازاثر زمین صرفنظر کنید .

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

$$\left[\text{الف} :)Can = 9.824*10^{-12}, |I| = 0.4098A/um, \qquad \text{ب})can = 9.8709*10^{-12}, \quad |I| = 0.4118A/um\right]$$

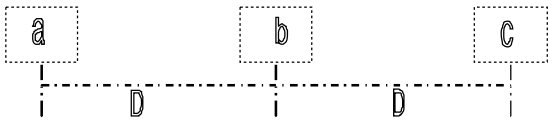
20. يك خط انتقال سه فاز دو مداره با باندل دوتايي بصورت شکل زیر مفروض است . خازن خط را بدون اثر زمین محاسبه کنید .



d = 0.35 m , r= 17.55 mm pheasant

$$\left[\text{ج} : can = 26.81*10^{-12}F/m\right]$$

21. شکل زیر مفروض است . ولتاژ خط 765 kv مي باشد . در دو حالت زیر رابطه ماتریسي بین ولتاژ فازها و بار هر يك از آنها را بدست آورید . D=12 , d= 0.4m , r= 15mm



الف) سیم ترانسپوز شده است .

ب) سیم ترانسپوز نشده است . [ج : .....]

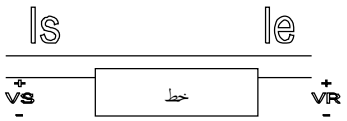
فصل پنجم :

انواع خطوط :

1) خط کوتاه 80km L< 50 mile 2) خط متوسط 240 km L < 150 mile 3) خط بلند L< 150 mile

240km

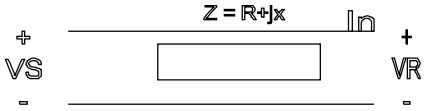
مدل تمام خطوط :



$$\begin{bmatrix} \hat{V}s \\ \hat{I}s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{V}R \\ \hat{I}R \end{bmatrix}$$

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

1) مدل خط کوتاه : e < 80 km



$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

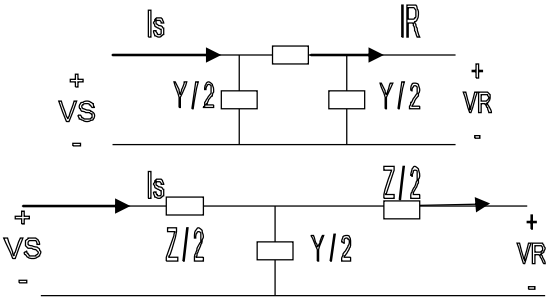
تنظیم ولتاژ (رگولاسیون):

$$\mathrm{Re}g\% = \frac{VN.LVF.L}{VN.L} * 100$$

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

2) مدل خط متوسط : L< 240 km (دو مدل TT, Tة

Z= R+jx : امپدانس سري خط ، $Y= G+jB$ ادمیتانس موازي خط



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

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

3) مدل خط بلند L < 240 km

ʒ = امپدانس واحد طول ، y = ادمیتانس واحد طول و L = طول خط و Y= z.L , Z= 3.L

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

$Zc = Zc^{o}$ امپدانس مشخصه خط $\gamma = c^{o}$ ثابت انتشار

$$\begin{bmatrix} \hat{Vs} \\ \hat{Is} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma L & Zc.\sinh \gamma L \\ \dfrac{\sinh \gamma L}{Zc} & \cos \gamma L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{VR} \\ \hat{IR} \end{bmatrix}$$

مدل TT : معادل خط بلند :

$$Z' = Z.\frac{\sinh\ \gamma}{\gamma L} \qquad ,\frac{Y'}{2} = \frac{Y}{2}.\frac{tgh\ \dfrac{\gamma L}{2}}{\dfrac{\gamma L}{2}}$$

مدلT معادل خط بلند :

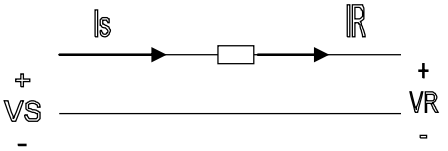
$$,\frac{Y'}{2} = \frac{Y}{2}.\frac{\sinh\ \gamma}{\gamma L} \qquad ,Z' = Z\ o.\frac{tgh\ \dfrac{\gamma L}{2}}{\dfrac{\gamma L}{2}}$$

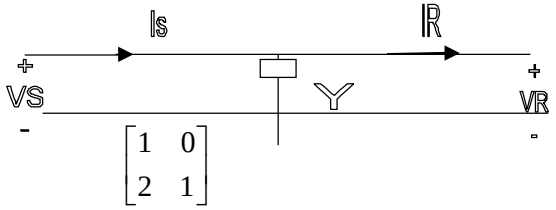
مدل دو خط سري :

اگر دو خط باثوابت $A_1B_1C_1D_1$, $A_2B_2C_2D_2$ صفرمي شوند . خطا جديد داراي ثوابت زير است

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A1 & B1 \\ C1 & D1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A2 & B2 \\ C2 & D2 \end{bmatrix}$$

ثوابت يك امپدانس سري و اديمتانس موازي :





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

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

تنظيم ولتاژ يا رگولاسيون :

1) VS ثابت : ولتاژ بار در حالت بارداري = $V_{RF.L}$

$$\Rightarrow R\% = \frac{V_{RN.L} - V_{RF.L}}{V_{RN.L}} \times 100$$

ولتاژ بار در حالت بي باري = $V_{RN.L}$

2) VR ثابت : ولتاژ منبع در حالت بارداري = $V_{RF.L}$

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

درصد افت ولتاژ :

اين رابطه هم براي حالت بي باري و هم براي بارداري صادق است . $\Delta V\% = \frac{V_S - V_R}{V_S} \times 100$

سئوالات فصل پنجم

22. در يك مقدار انتقال سه فاز به طول 50 km ، بار انتهاي خط توان 100 Mw را در ضريب قدرت 0.8 پس فاز و ولتاژ 132 kV ، جذب مي كند . مقاومت و اندوكتانس خط به ترتيب 0.0308??? و 0.095 mH براي هر كيلومتر مي باشد . ولتاژ ابتداي خط و تنظيم ولتاژ را محاسبه كنيد . f= 50Hz

$$\left[20 : (T1 \text{ازبرنامه}) : \hat{V}_S = 81999\angle 4.21^{O}, \text{Re}g\% = 7.596\%\right]$$

23. ثوابت ABCD يك خط انتقال سه فاز عبارتند از :

$$A = D = 0.936\angle 0.98^{O} \quad , \quad B = 142\angle 26.4^{O} \quad , \quad C = (-5.18 + ز914) \times 10^{-6}$$

باري با توان مصرفي 50Mw ، ولتاژ 220 kV و ضريب قدرت 0.9 پس فاز موجود است . اندازه ولتاژ ابتداي خط و تنظيم ولتاژ را بيابيد .

$$\left[20 : (ABCD \quad \text{ازبرنامه}) : \hat{V}_S = 133.248، \angle 7.77^{O}, \text{Re}g\% = 12.08\%, \Delta V = 4.68\%\right]$$

24. يك خط انتقال بطول 20.km ژنراتور تكفازي را به باري با توان 5 MW و ضريب قدرت 0.707 پس فاز مرتبط مي سازد . مقاومت و اندوكتانس خط به ترتيب $0.63mH/K^{m}, 0.0195\Omega/Km$ مي باشد . اگر ولتاژ انتهاي خط در 10kv ثابت بماند مطلوب است :

الف) ولتاژ ابتداي خط و درصد تنظيم ولتاژ $\left[20 : \hat{V}_S = 12.304K\angle 8.34^{O}, R\% = 23.04\%\right]$

ب) مقدار خازني كه بايد موازي بار نصب شود تا تنظيم ولتاژ 5% كاهش يابد .

ج) راندمان خط در حالت الف و ب

%97/79 (ب 96/25 % (الف (ج و C=95.49NF : روش دقيق و C=82.19NF : روش تقريبي (ب : 20

25. يك خط انتقال انرژي تك فاز مفروض است (خط كوتاه) . در ابتداي خط ،توان تولديي 2 mw و ضريب قدرت 0.8 پس فاز مي باشد و امپدانس سري خط $0.4 + j0.4\Omega$ و ولتاژ انتهاي خط 3kv مي باشد. بار انتهاي خط ، ضريب توان بار و ولتاژ ابتداي خط رامحاسبه كنيد .

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

26. يك خط انتقال با ثوابت ABCD بطول L مفروض است ثابت كنيد :

الف) رابطه $A^2 - BC = 1$ براي هر سه نوع خط كوتاه ،متوسط وبلند صادق است .

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

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

[2 : .....]

س27. در يك خط انتقال سه فاز 320 kv بطول 400 km راكتانس سري خط $0.61\Omega/Km$ و مقاومت آن $0.113\Omega/Km$ و ادميانس موازي خط $j3.2\times10^{-6}V/Km$ مي باشد . بار انتهاي خط ، توان 200Mw را در ولتاژ 230 kV و ضريب قدرت 1 ، جذب مي نمايد . ولتاژ و جريان ابتداي خط را محاسبه كنيد . از سه مدل زير استفاده شود.

$\left[ج : (TTT \quad \text{الف}) \quad 184.711K\angle 43.16^{\circ}, \hat{I}_S = 454.66\angle 22.12^{\circ}\right]$

الف) مدل T , TT (فرض كنيد خط متوسط است) ب) مدل خط بلند ج) مدل خط كوتاه

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

28- يك خط انتقال سه فاز بطول 400km يك بار 400MVA را در ضريب قدرت 0.8 پس فاز و ولتاژ 345 kv تغذيه مي كند . ثوابت خط عبارتند از :

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

الف) ولتاژ و جريان در ابتداي خط و درصد افت ولتاژ و درصد تنظيم ولتاژ را بيابيد .

ب) ولتاژ انتهاي خط ،جريان ابتداي خط و درصد تنظيم ولتاژ را در حالت بي باري محاسبه كنيد.

ج) ثوابت خط 200 km را بدست آوريد . (از مسئله 26 استفاده كنيد)

د) يك باند خازني با امپدانس 46.6Ω از – را بصورت سري در نقطه وسط خط 400 km نصب مي كنيم . ثوابت ABCD خط جديد را بدست آوريد . همچنين قسمتهاي (الف) و (ب) را براي خط جديد تكرار كنيد .

$$A = D = 0.598 < 1.178, B = 42.44 < 63.78^{O}, C = 0.002084 < 90.39^{O}$$

هـ) يك ؟؟؟؟ 250 MVAr , 345 kc را كه ادمتيانس آن $j0.0021\upsilon$ مي باشد به انتهاي خط موازي مي شود . ثوابت ABCD خط جديد را بياييد و با استفاده از آن ولتاژ انتهاي خط و جريان ابتداي خط را با قسمت (ب) مقايسه كنيد .

$$\left[ح : ه) A = 1.178 < -0.875, C = 0.00217 < 83.26^{O}\right]$$

بدون تغيير B,D

29. يك خط انتقال سه فاز ، 230 kV با ثوابت ABCD زير مفروض است

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

الف) در حاليكه ابتداي خط تحت ولتاژ 225 kv قرار دارد و ضمن اينكه از انتهاي خط توان 80 MW معرف مي شود ، ولتاژ انتهاي خط را در 225 kv تثبيت كرده ايم . در اين شرايط توان موهومي مصرفي يا توليدي بار را محاسبه كنيد .

$$\left[ج : QR = 09.349 mrAr\right]$$

ب) اگر مصرف كننده اي با مشخصات p= 80Mw ، cosl=0.9 پس فاز و V= 225 kv را به انتهاي خط وصل نماييم و ولتاژ انتهاي خط همان 2250kv باشد . مقدار توان موهومي لازم براي تثبيت ولتاژ در اين حالت چقدر است ؟

$$\left[ج : Qc = -48.095 MVAr, c = 9.07 nF\right]$$

فصل ششم :

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

که C = لاپاسیتانس واحد طول ، L = راکتانس واحد طول

$$\Rightarrow B=w\sqrt{Lc}$$

سرعت حرکت و طول موج :

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

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

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

$$V_{x1}=\frac{VR+Zc.IR}{2}.e^{\gamma x}, V_{x2}=\frac{VR-Zc.IR}{2}.e^{-\gamma x}$$

بار امپدانس ضربه (SIL) يا بار طبيعي :

در اين حالت موج برگشت نداريم و درصد تنظيم ولتاژ صفر است و خط را اصطلاحاً بي نهايت مي گويند .

اثر فرانتي: اگر خط بدون بار باشد ولتاژ انتهاي خط افزايش مي يابد.

محاسبه ولتاژ با استفاده از روش ترسيمي (لايتس دياگرام)

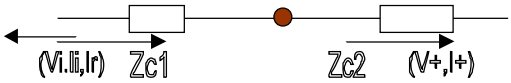
$\equiv V_R^+ =$ ولتاژ رفت ، $\equiv V_R^-$ ولتاژ برگشت $V_R=V_R^+ + V_R^-, V_R^- = KR.VR^+$

ضريب برگشت جريان از بار $\begin{cases} P_R=-KR \\ L_S=-Ks \end{cases}$

ضريب برگشت جريان از منبع

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

ضريب برگشت ولتاژ از منبع



ضرايب رفت و برگشت در محل تلاقي در خط

ضـــريب رفـــت از 2 از 1 $B_{21}=\frac{2Z_{c1}}{\alpha_{21}=\beta_{21}-1}$ ، ضـــريب رفـــت ولتـــاژ از 1 بـــه 2

$$B_{12}=\frac{2Z_{c1}}{Z_{c1}+Z_{c2}}$$

ضـــريب برگـــشت ولتـــاژ از 2 بـــه 1 $B_{21}=\frac{2Z_{c1}}{\alpha_{21}=\beta_{21}-1}$ ضـــريب برگـــشت ولتـــاژ از 1 بـــه

$$B_{12}=\frac{2Z_{c1}}{Z_{c1}+Z_{c2}}2$$

مسائل فصل ششم :

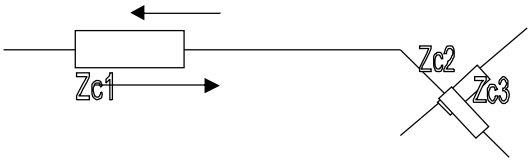
30. يك منبع ولتاژ DC v= 1250 ايده آل به يك خط با امپدانس مشخصه متصل شده است . T مدت زماني است كه موج به انتهاي خط مي رسد . در دو حالت زير ، جريان را با روش ترسيمي و تغييرات آن را ثبت به زمان رسم كنيد .

الف) انتهاي خط باز است

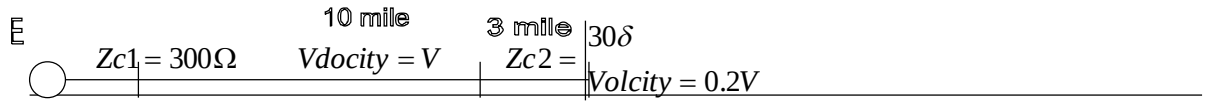
ب) انتهاي خط اتصال كوتاه شده است .

31. يك ژنراتور E, DC ولت با مقاومت داخلي $\frac{R\bullet}{3}$ به يك خط باامپدانس مشخصه $R\bullet$ متصل شده است و T مدت زماني است كه موج به انتهاي خط مي رسد و انتهاي خط اتصال كوتاه شده است . ولتاژ و جريان ابتداي خط را با روش ترسيمي و تغييرات هريك را ثبت به زمان رسم كنيد .

32. در شكل زير ولتاژها و جريانهاي رفت و برگشت را در محل تلاقي سه خط با امپدانس مشخصه Z_{c3},Z_{c2},Z_{c1} بدست آوريد . اگر $Z_{c3}=600\Omega,Z_{c2}=1000\Omega,Z_{c1}=100\Omega$ و موج ولتاژ داده شده 2KV باشد هر يك از ولتاژها را محاسبه كنيد .



33. در شكل زير و با مشخصات داده شده ولتاژ نقطه اتصال دو خط را به روش ترسيمي رسم كرده و تغييرات آن را نسبت به زمان مشخص كنيد . انتهاي خط باز است و منبع DC' ايده آل است و T مدت زماني است كه موج به نقطه اتصال مي رسد .



برنامه هاي مورد استفاده در بررسي سيستمهاي قدرت به زبان ماشين حساب FX-4500P

---

1) برنامه عمومي حل معادله درجه 2

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

$$if\begin{cases} \Delta = B^2 - 4AC \geq 0 \quad \Rightarrow \quad x2, x1 \\ \Delta < 0 \quad \Rightarrow \quad Rx \pm jIx \end{cases}$$

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

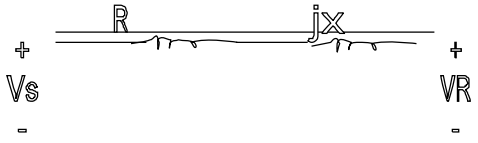
[97 step]

```
    EQ2                          L7  "X1"  G+H
L1  Lbl 1  φ:  {ABC¢             L8  "X2"  G0+0φ
L2  I=2A                         L9  LbI  1
L3  D=B^2−4AC                    L10  G
L4  G=−B/I                       L11  "RX"  √−L5  D<φ⇒G0+0  1  H=√D/I
L5  D<Q
L6  G−H                          L12  "IX"
```

2) جمع سه عدد مزدوج (عمومي) [38 STEP] $A < B + C < D + E < F = V < W$

$$\begin{cases} S \cup M \\ V = POj(A\cos B + V\cos D + EcoisF, A\sin B + C\sin D + E\sin F \\ W = W \end{cases}$$

$$je: 1 < 10^{O} + 3 < 20^{O} + 5 < 30^{O} = 8.9359 < 24.458^{O}$$



3) محاسبه ولتاژ ابتداي خط مدل خط كوتاه : [64 STEP]

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

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

4) محاسبه ولتاژ و جريان ابداي خط ـ مدل خط متوسط دو نوع T , TT $[208STEP]$

در مدل TT $\begin{cases}\hat{V}_R = V_R\angle\varphi \equiv V\angle\varphi \\ \hat{I}_R \equiv I\angle F\end{cases}$ $\begin{cases}\hat{V}_S \equiv V_{S\pi}\angle(\langle V_{S\pi}) \\ \hat{V}_S \equiv V_{ST}\angle(\langle V_{ST})\end{cases}$

در مدل T

$$\overset{\Delta}{Z} \approx R + jx \qquad \overset{\Delta}{Y} \approx G + jB \qquad [2 + step]$$

(در اين برنامه ابتدا ولتاژ و جريان در مدل TT و سپس ولتاژ و جريان در مدل T محاسبه مي شود)

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

5) محاسبه ولتاژ و جريان ابتداي خط ـ مدل خط بلند $[2 + 1step]$

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

Z= امپدانس سري واحد طول ، Y= ادميتانس موازي واحد طول ،

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

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

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

$$G = \varphi, \quad B = 3.2\times10^{-6}(V/Km) \quad , \quad L = 400(km) \quad , \quad I = IR = 502.04(A), F = \phi$$

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

6) محاسبه ولتاژ و جريان ابتداي خط با داشتن ثوابت ABCD خط

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

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

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

1. اگر در يك خط بلند انتقال انرژي الكتريكي $A = O = 0.9\angle 1^{O}$, $B = 145\angle 80^{O}$ باشد ، قدر مطلق امپدانس مشخصه اين خط كدام است ؟

الف) 130Ω ب) 230Ω ج) 330Ω د) 430Ω

2. يك خط انتقال $230KV$ بطول $200KM$ داراي امپدانس مستقيم معادل $Z_1 = 0.017 + j0.2$ پريونت است . در صورتيكه مقاومت اهمي هر فاز 0.045 اهم بر كيلومتر محاسبه شده باشد ...

الف) مقدار مقاومت محاسبه شده صحيح نيست .

ب) اعداد داده شده براي ايه خط بدون ذكر مبنا معني ندارد

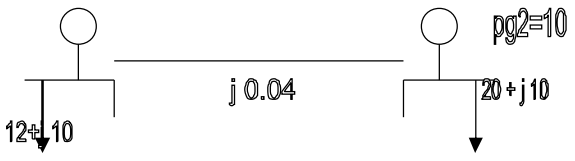
ج) ولتاژ مبني $V_b = 230KV$ و توان مبني $P_b = 200KW$ است

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

3. حداكثر توان قابل انتقال توسط اين خط بطور تقريب با توجه به اينكه براي جلوگيري از ناپايداري استاتيك $\delta \le 30^{O}$ باشد كدام است ؟

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

4. در سيستم شكل مقابل كه در آن اعداد بر حسب واحد داده شده اند ،مقدار جريان در خط 2-1 (I_{1-2}) برابر چند $p.n.$ است ؟



الف)5/5 ب)80

ج) 10 د) 12

فصل هفتم :

بخش بار

هدف :در پخش بار ، اطلاعات توانهاي مصرفي و توليدي موجود بوده و هدف محاسبه ولتاژ تمام باسها است .

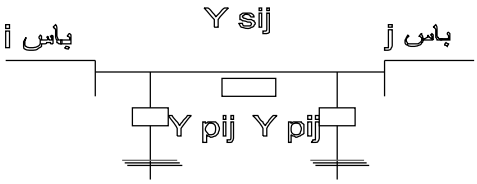
روابط مداري لازم : $p(W-p.n),\phi(VAr-Px)$ $\quad S(VA-pn),$

توان تزريقي به باس $S=S_G-S_{D=P+jQ}$ $\Rightarrow$ توان توليدي باس $SG=PG+jQG$

توان مصرفي باس : $SD=PO+jQO$

ولتاژ باس V_cو جريان تزريقي به باس $I=$ و $V=|V|\langle\delta$ و $S=VI$

مدل خط در بخش بار : $Y=G+jB$



ادميتانس سري خط ij $=Y_{sij}$

ادميتانس موازي خط ij $=Y_{pij}$

ماتريس ادميتانس شبكه :

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

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

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

ولتاژ باسها $=V_{bns}$ $\qquad$ جريان تزريقي به باسها $I_{bns}=$ $\qquad I_{bns_{n+1}}=Y_{bns}.V_{bns_{n\times 1}}$

معادلات توان :

I= باس مورد نظر $,Si=V_iI_i^{\phi}=P_i+jQ_i$ $\qquad I_i=\sum_{i=1}^{n} Y_{ij}.V_j$

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

انواع باسها :

براي هر باس 6 متغير داريم : $|V|, \delta$ ، Q_{oi} ، P_{oi} ، Q_{Gi} ، P_{Gi}

1) باس مصرفي :در اين باس ولتاژ $|V|$ و δ مجهول است Load Bus

2) باس كنترل ولتاژ :در اين باس Q_G و σ مجهول است Voltage Controoled Bus

3) باس مرجع : در اين باس P_G و Q_G مجهول است . Referme Bus or Slack Bus

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

معمولاً باس شماره يك باس مرجع و باسهاي 1 تا M باسهاي كنترل ولتاژ و باسهاي m+1 تا n باسهاي مصرفي شماره گذاري مي شوند . (اين موضوع كليت ندارد و براي سادگي حل مسئله فرض شده است)

n = تعداد كل باسها

نكته درباره باس كنترل ولتاژ :در باس كنترل ولتاژ ، اندازه ثابت است اگر Q توليدي در محدوده مجاز $(Q_{\min} \le Q \le Q_{\max})$ باشد در غير اينصورت به باس مصرفي تبديل مي شود و Q توليدي در حدود خود باقي مي ماند ($Q = Q_{\min}$ يا $Q = Q_{\max}$)

روشهاي حل معادله غير خطي $F(x) = \phi$

الف) گوس ـ سايدل : ابتدا معادل 1 را به معادله 2 تبديل كرده و $F(x) = \phi \Rightarrow X = f(x)$

و رابطه ي تكراري بصورت زير بدست مي آوريم : $X^{(r+1)} = f(X^{(r)})$

مقدار X در مرحله r ام

ب) نيوتن رافنون :از بسط تيلوز استفاده مي شود : $F(x) = 0 \Rightarrow FLx^{(0)} + \Delta x^{(0)}) = 0$

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

بـــ

$$\Rightarrow F\left(x^{(1.1)0}\right)+\Delta x^{(0)}\left[\frac{\delta F}{\delta x}\right]^{(0)}=\phi$$

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

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

مزايا و معايب روشها : مزيت روش گوس – سايدل : روابط بسيار ساده هستند . معايب :سرعت رسيدن به جواب كم است – ممكن است ناپايدار شود (به جواب نرسيم)

مزيت روش نيوتن رافنون :سرعت رسيدن بـه جواب زياد است – روش پايداري است و بيشتر اوقات همگرا مي شود تعداد تكرار لازم براي رسيدن به جواب كم است – تعدادتكرارها بـه تعداد باسها بستگي ندارد .

معايب :روابط لازم مشكل است .

ضريب تسريع :

ضريب تسريع= $\alpha \overset{\Delta}{=}$, $X^{(r+1)}=X^{(r)}+\alpha \quad . \quad \Delta X^{(r)}$

معمولاً $\alpha=1.5$در ايـن روش پـس ازاينكـه چند مرحلـه از ضـريب تـسريع اسـتفاده شده ، ؟؟ را مساوي يك گرفته تا معادله از جواب اصلي رد نشود و نوساني نشود .

1) معادله تكراري گوس – ژاكوپي :

$$Si=Vi.Ii^{\phi}=Vi\sum_{j=1}^{n}Y_{ij}{}^{\phi}.Vj^{\phi}$$

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

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

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

2) معادله تكراري گوس ـ سايدل :

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

4) روش نيوتن رافسون :

$$F(x) = \phi = \begin{bmatrix} \rho & f_\rho \\ \phi & f_q \end{bmatrix} = \phi \qquad p = \begin{bmatrix} P_2 \\ \mathrm{M} \\ P_n \end{bmatrix}, \quad Q = \begin{bmatrix} Q_2 \\ \mathrm{M} \\ Q_n \end{bmatrix}$$

$$[J] \overset{\Delta}{=} \left[\frac{\delta F}{\delta x} \right]$$ ماتريس ژاكوپين

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

معلومـــات

$$\Delta U = [\Delta P_2 ... \Delta P_n \quad \Delta Q_2 ... \Delta Q_n]^T = [\Delta p \quad \Delta Q]^T$$

مجهـــولات

$$\Delta X = [\Delta \sigma_2 ... \Delta \sigma_n \quad \Delta |V_2| ... \Delta |V_n|]^T = [\Delta \delta \quad \Delta |V|]^T$$

الـــــــــــــــــــــــــف) حـــــــــــــــــــــــــــــدس اوليـــــــــــــــــــــــــــــــه :

$X^{(0)}$

ب) محاســـ

$$\Delta X^{(0)} = [\Delta \sigma_2 ... \Delta \sigma_n \quad \Delta |V_2| ... \Delta |V_n|]^T = [\Delta \delta \quad \Delta |V|]^T$$

الـــــــــــــــــــــــــف) حـــــــــــــــــــــــــــــدس اوليـــــــــــــــــــــــــــــــه :

$X^{(0)}$

ب) محاســـ

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

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

ي) تكرار معادلات بالا تا هنگاميكه . $Norm(\Delta V)$ به اندازه كافي كوچك شود .

$Norm(\Delta V)$ = بزرگترين اختلاف بين توانهاي ورودي $(\varphi_i - p_i)$ يا توانهاي محاسبه شده (f_{qi}, f_{pi}) و يا $\sqrt{\sum_i (\Delta V_i)^2}$

ماتريس ژاكوپين :

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

$$J_1 = \frac{\partial fp}{\partial \delta}, \quad J_2 = \frac{\partial fp}{\partial |V|}, \quad J_3 = \frac{\partial f\varphi}{\partial \delta}, \quad J_4 = \frac{\partial f\varphi}{\partial |V|}$$

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

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

پخش بار جدا شده :

Decoupled Load Flow: OLF

از ماتريسهاي J_3, J_2 صرفنظر مي شود

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

سرعت در اين روش 10 برابر مي شود .

پخش بار جدا شده ، سريع :

Fast Decoupled Load Flow : FDLF

در اين روش علاوه بر حذف ماتريسهاي J_3, J_2 براي سادگي معادلات ، فرض مي شود :

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

با اين روابط ، سرعت خيلي بالا و دقت كم مي شود .

برنامـــــــــــه نويـــــــــــسي بـــــــــــصورت ماتريـــــــــــسهاي خلـــــــــــوت :

Sparsity

اگر تعداد باسهاي سيستم قدرت زياد باشد ماتريسهاي ادميتانس و ژاكوپين از مرتبه بالايي هستند در حاليكه احتمالاً در هر سطر بيشتر از 5 يا 6 درايه غير صفر نخواهند داشت و اين درايه ها در اطراف قطر اصلي ماتريس متمركز مي باشند . براي كاهش حافظه مورد نياز ، فقط المانهاي غير صفر در حافظه نخيره مي شوند .

$$\text{مقادير غير صفر} = (1-s)n^2 \qquad \text{خلوتي} = S = \frac{Z}{n^2} =$$

مثال : بردار عناصر قطري $\frac{\text{تعداد صفرها}}{\text{(ابعاد ماتريس)}}$

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

$$A = \begin{bmatrix} 5 & -9 & -10 & 0 \\ -9 & 6 & 0 & 0 \\ -10 & 0 & 7 & -11 \\ 0 & 0 & -11 & 8 \end{bmatrix}$$

بردار عناصر غير قطري :

$$Z_{offd} = [-9 \quad -10 \quad -9 \quad -10 \quad -11 \quad -11]$$

$$I_{ROW} = [1 \quad 1 \quad 2 \quad 3 \quad 3 \quad 4]$$

$$I_{col} = [2 \quad 3 \quad 1 \quad 1 \quad 4 \quad 4]3$$

سطر عناصر غير قطري

ستون عناصر غير قطري

در صورتيكه بخواهيم از فشارن ماتريس استفاده شود مي ت5وان بصورت زير عمل كرد :

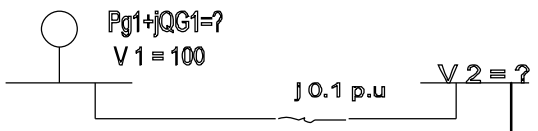
$$IR = [1 \quad 1 \quad 3] \quad , \quad Z_{offd} = [-9 \quad -10 \quad -11] \quad , \quad Z_{diag} : [5 \quad 6 \quad 7 \quad 8]$$

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

عدد (1) بردار مشخص كننده يعني عنصر غير قطري سطر اول ماتريس A از اولين درايه بردار Z_{offd} شروع مي شود .

مسائل پخش بار :

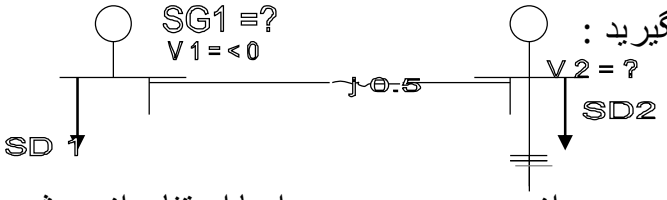
1. خط انتقال بدون تلفات شكل مقابل را در نظر بگيريد . با توجه به اطلاعات داده شده در شكل ، معادلات پخش بار را نوشته و براي حالتهاي



الف) $So_2 = 1 + j1$ ب) $So_2 = 2 + j2$ ج) $So_2 = 2.5 + j3$ د) $So_2 = Po_2 + j\phi o2$

مجهولات را بدست آوريد . چرا درحالت (ج) براي V_2مقداري بدست نمي آيد . از نظر فيزيكي چه اتفاقي افتاده است . در صورتيكه در باس شماره 2 يك بانك خازني قرار دهيم بطوريكه $|V_2| = 1 = cte$ شود مجهولات را براي حالت (ج) بدست آوريد . چه نتيجه اي مي گيريد .

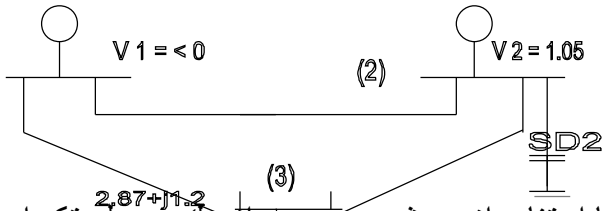
2. سيستم دو با سه شكل مقابل را در نظر بگيريد :



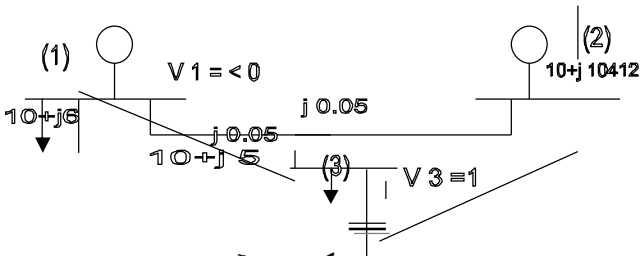
الف) در صورتيكه داشته باشيم $So_2 = 0.5 + j1$و از $SG_2 = j1$ ، V_2 را با استفاده از روش گوس سايدل پس از چهار مرتبه تكرار بدست آوريد و سپس $S1$را محاسبه كنيد .

ب) در صورتيكه كليه بسته شود و داشته باشيم $So_2 = 1 + j0.5$ و $P_{G2} = 0.25$ و $|V_2| = 1 = cte$آنگاه مقادير σ_2 و φ_2را با استفاده از روش تكراري گوس پس از چهار مرتبه تكرار بدست آوريد و سپس $S1$را محاسبه كنيد .

3. با توجه به اطلاعات داده شده در شكل مقادير $|V_3|, \sigma_2$ ، δ_3 S_{G1} ، Q_{G2}را با استفاده از روش نيوتن – رافسون پس از يك مرحله تكرار با شرط اينكه (الف) $0 \le Q_2 \le 1.2$ (ب)$0 \le Q_2 \le 1$بدست آوريد . امپدانس سري كليه خطوط $Z_L = j0.1$ادميتانس موازي آنها $Y_C = j0.01$مي باشد .

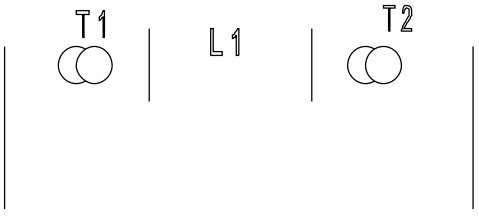


4.با توجه به شكل ولتاژ باسهاي (2) و (3) را با استفاده از روش DLF پس از يك مرحله تكرار بدست آوريد .

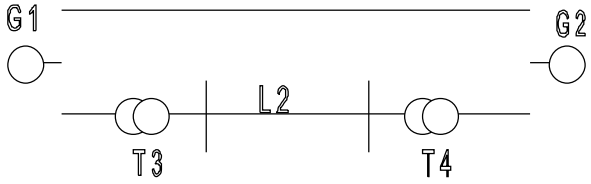


1. سيستم قدرت شكل زير را در نظر بگيريد با فرض توان مبناي 200 مگاوات آمپر و انتخاب ولتاژ G_1به عنوان مبنا ، سيستم را بصورت پريونيت درآوريد .

اجزاء	توان نامي MVA	ولتاژنامي KV	X p.n.
G_1	100	20	0.1
G_2	200	13.2	0.2

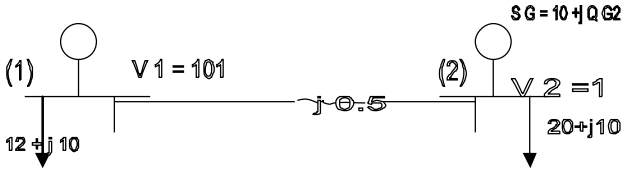


T_1	400	20/230	0.4
T_2	200	230/13.2	0.3
T_3	600	20/230	0.75
T_4	200	575/33	0.02
L_1	200	230	0.15
L_2	150	220	0.18



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

2.در سيستم شكل مقابل مطلوبست :

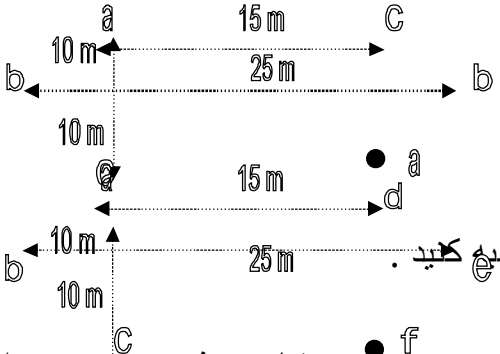


الف) جريان در خط 2-1 (I_{1-2})

ب) مقدار Q_{G2} براي اينكه $V_2 = 1$ شود

ج) حداكثر توان قابل انتقال توسط اين خط با توجه به اينكه براي جلوگيري از ناپايداري استاتيك $\delta \le 30^{o}$ مي باشد .

3.اندوكتانس هر فاز دو خط انتقال زير را با هم مقايسه كنيد ؟ (فازها جابه جا شده اند)



قطر هادي : D= 27.81 mm

شعاع متوسط هادي Ds= 11.37 mm

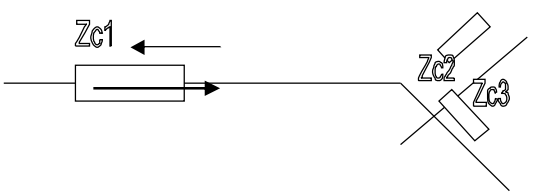
هر فاز باندل سه تايي است .

4. خازن مدار سئوال (3- الف) را بدون اثر زمين محاسبه كنيد .

5. در يك خط انتقال بلند $B = 235.6\angle 80.03^{o}, A = 0.848\angle 1.874^{o}$ مقادير مشخصه زير را براي خط محاسبه كنيد ؟ $Z_C, \gamma L, Z, \gamma$

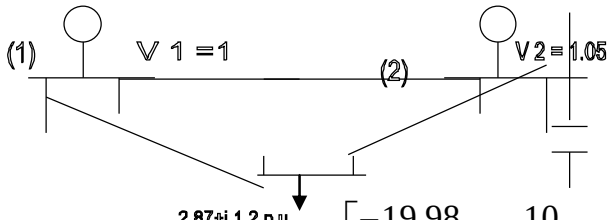
6. اگر دو خط انتقال داراي ثوابت (ABCD) باشد . در يك سيستم دو مداره ، ثوابت خط انتقال چقدر است ؟

7. در شكل مقابل ولتاژها و جريانهاي رفت و برگشت را در محل تلاقي سه خط با امپدانس مشخصه Z c1,Zc2 بدست آوريد . ؟(ضرايب رفت و برگشت جريان و ولتاژ را محاسبه كنيد)



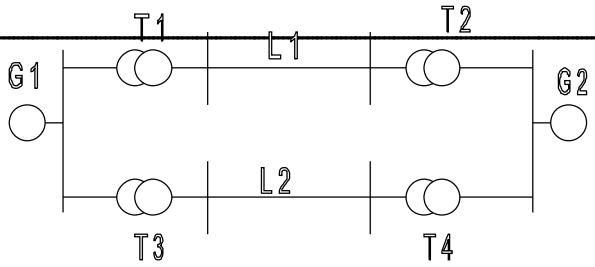
8 . در شكل مقابل انجام پخش بار به روش نيوتن رافسون مد نظر مي باشد ؟

الـف) چنانچـه در مـدار معـادل π هـر خـط $Z = j0.2 p.n.$ و $Y_p = \frac{Y}{2} = j0.02 p.n.$ باشـد . آنگـاه ماتريس Y_{bvs} را بدست آوريد .



ب) اگـر مـاتريس Y_{bvs} بـصورت $Y_{bvc} = j\begin{bmatrix} -19.98 & 10 & 10 \\ 10 & -19.98 & 10 \\ 10 & 10 & -19.98 \end{bmatrix}$ مفـروض باشـد . انـدازه و زاويـه ولتـاژ باسـها را پـس از يـك بـار تكـرار محـسابه كنيـد . حـدس هـاي اوليـه ولتـاژ $0\angle 1$ مي باشد . توان خازن در باس (2) در محدوده $0 \le Q_2 \le 1.2$ قرار دارد.

(رابطـه و مقـادير f_{ip} , f_{iq} ،مـاتريس ژاكـوبين (مقـادير لازم) . ؟؟و محاسـبه ولتاژ هـا و زوايـاي لازم)



(1

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

داريم :

$$\frac{Z_2}{Z_1} p.n. = \left(\frac{V_{b1}}{V_{b2}}\right)^2 \left(\frac{S_{b2}}{S_b 1}\right)$$

$$Xg_1 = \frac{200}{100} \times 0.1 = 0.2 P.n.$$

$$Xg_2 = 1 \times 0.2 = 0.2 p.n. \quad , \quad XT_1 = \frac{200}{400} \times 1 \times 0.4 = 0.2 p.n.$$

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

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

$$X_{T2} = 1 \times 0.3 = 0.3 p.n. \qquad X_{T3} = \frac{200}{600} \times 0.75 = 0.25 p.n.$$

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

2)الـــ

$$P_{12} = po_2 - p_{G2} = 20.10 = 10 = \frac{V_1.V_2}{X}\sin\delta = \frac{1.1\times 1}{0.04}\sin\delta \Rightarrow$$

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

$$Q_2 = \frac{V_2^2 - V_1V_2 = \cos S}{X} = \frac{1 - 1\times 1.1\cos 21.32}{0.04} = -0.017 = Qg2 - 10 \Rightarrow Qg2 = 9.383$$ ب)

ج)

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

3) الف -

$$L\,??2\times 10^{-7} \qquad L_n\frac{G_{nD}}{G_{MR}}, \qquad G_{MD} = \sqrt[3]{Dapog \quad Daceq \quad Dbceq}$$

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

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

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

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

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

ب-

$$L = 2\times 10^{-7} \qquad L_n\frac{G_{MD}}{G_{MR}} \quad , \quad G_{MR} = D_{eq}.2064mm$$

$$G_{MD} = \sqrt[15]{\left(D_{ab}.D_{ac}.D_{ad}.D_{ae}.D_{af}\right)^2.\left(D_{ba}.D_{bc}.D_{bd}.D_{be}.D_{bf}\right)}$$

$$\Rightarrow \sqrt[15]{\left(\sqrt{115}\times 20\times 15\times\sqrt{500}\times\sqrt{125}\right)^2\left(\sqrt{125}\times\sqrt{125}\times\sqrt{500}\times 25\times\sqrt{500}\right)} = 17.755$$

$$\Rightarrow L = 13.5144\times 10^{-7}H/m$$

(4

$$C = \frac{2\pi E.}{100\dfrac{D_{eq}}{D_{seq}}} \quad , \quad D_{eq} = GMD = 16.299m$$

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

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

(5

$$A^{2} - Bc = 1 \Rightarrow C = \frac{A^{2} - 1}{B} = 1.2153m \angle 90.52^{o}$$

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

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

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

$$\Rightarrow \gamma Lxj Ly = \gamma L, \Rightarrow \gamma_1 x = t_q h^{-1}(\frac{c1}{A1}) = 0.052, \gamma ly = \cos^{-1}(\sqrt{A_1^{2} - C_1^{2}} = 0.5617$$

$$\Rightarrow \gamma L = 0.56 + 1 < 84.71^{o} \ ]$$

$$Z = Zx.\gamma L = 2 + 8.37 < 79.46^{o} \ ] \quad , \quad Y = \frac{\gamma L}{Zc} = 10281m \quad 689.96^{o} \ ]$$

(6

$$\begin{bmatrix} Vp \\ Ip1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A1 & B1 \\ C1 & D1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Vs \\ Is1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} Vp \\ Ip1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A1 & B1 \\ C1 & D1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Vs \\ Is1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} Vp \\ Ip1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Vj \\ Ij \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} I_{p1} + I_{p2} = I_p \\ I_{s1} + I_{s2} = I_s \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Vp = A_1 vs + B_1 I_{s1} \\ V_p = A_1 vj + B_1 Is2 \end{cases}, \quad \begin{cases} I_p = C_1 vs + D_1 Is1 \\ T_{p2} = C_1 vs + D_1 Is2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (\Delta\Delta), \varphi \Rightarrow \begin{cases} Zvp = 2A_1 vj + B_1 Is \\ I_p = 2c_1 vs + D_1 Is \end{cases} \Rightarrow \begin{bmatrix} Vp \\ Ip \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A1 & \frac{B1}{Z} \\ 2c1 & D1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Vs \\ Is \end{bmatrix}$$

(7

$$\begin{cases} Vj + Vr = Vt = Vt2 = Vt3 \quad , \quad Ii = \frac{Vj}{Zc1}, Ir = \frac{-Vr}{Zc1} \\ Ij + Ir = It2 + Its \quad , \quad It2 = \frac{Vt}{Zc2}, It3 = \frac{Vt}{Zc3} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{Vt}{Zc3} - \frac{Vr}{Zc1} = \frac{Vt}{Zc2} + \frac{Vt}{Zc3} \quad \Rightarrow \quad Vj - Vr = Zc1 + Vt(\frac{1}{Zc2} + \frac{1}{Zc3})$$

$$\Rightarrow Zvj = Zc1 \quad Vt(\frac{1}{Zc1} + \frac{1}{Zc2} + \frac{1}{Zc3}) \Rightarrow \frac{Vt}{Vj} = \frac{2/Zc1}{\frac{1}{Zc1} + \frac{1}{Zc2} + \frac{1}{Zc3}} = \beta$$

$$\frac{Ir}{Tj} = -\frac{Vr}{Vj} = -a \;] \frac{It2}{Ij} = \frac{Zc1}{Zc2}.\frac{Vt}{Vj} = \beta \frac{Zc1}{Zc2} \;] = \frac{It2}{Ij} = \frac{Zc1}{Zc3}.\beta \;]$$

(8

الف _ خط $y_S = -j5, y_p = j0.02, Y :; = \sum_{j=i}^{m} ysij + ypij, Y : j = -ysij$

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

ب _

$$fjp = \sum_{j=1}^{m} |vj||vj|.|2ij|\cos|\delta i - yj - tij|,\ f_{iq} = \sum_{j=1}^{m} |vj||vj|.|Yij|\sin\left|\delta i_i - \delta_j - \gamma ij\right|$$

$f_2 p = \varphi,\ f3p = \varphi$

$f2q = 1, c2\varphi\ ],\ f3q = -0.5L\ ]$

$$P = Pc - 10 \Rightarrow \begin{cases} p2 = 0.67 \\ q2 = qcz \end{cases}, \begin{cases} p3 = -2.87 \\ q3 = -1.2 \end{cases} \quad q2 = 1.028 < 1.2 \Rightarrow \quad |Vc1| = 1.05,$$

$$\begin{cases} \Delta pi = p2 = -fip \\ \Delta qi = qi - fiq \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta p2 = 0.67 - 0 = 0.67 \\ \Delta q3 = -2.87 - 0 = -2.87 \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta p3 = -1.2 + 0.52 = -0.6 \\ \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \Delta p2 \\ \Delta p3 \\ \Delta q3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial fp2}{\partial j1} & \frac{\partial fp2}{\partial j3} & : \frac{\partial fp2}{\partial |v3|} \\ \frac{\partial fp3}{\partial j1} & \frac{\partial fp3}{\partial j3} & : \frac{\partial fp2}{\partial |v3|} \\ \frac{\partial fp3}{\partial j1} & \frac{\partial fp3}{\partial j3} & : \frac{\partial fp2}{\partial |v3|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta s2 \\ \Delta s3 \\ \Delta |v3| \end{bmatrix}$$

$$\frac{\partial fp2}{\partial s2} = -|v2|.|v1|.|Y = 1|.\sin(-\gamma = 1) - |v2|.|v3|.|Y = 3|.\sin(-\gamma = 3) = 21\ ]$$

$$\frac{\partial fp2}{\partial s3} = -|v2|.|v1|.|Y = 3|.\sin(\partial l..\partial 3 - \gamma = 3) = 1.05 * 10\sin(-90) = -10.5\ ]$$

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

$$\frac{\partial fp3}{\partial s3} = -|v3|.|v1|.|Y=3|.\sin(-\gamma=3) - |v3|.|v2|.|Y=2|\sin(-\gamma 32) = 20.5 \ ]$$

$$\frac{\partial fp2}{\partial |v2|} = |v2|.|Y=3|.\cos(\partial 2 - \partial 3 - \gamma 23) = \varphi]$$

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

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

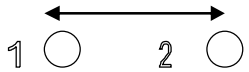
$$\frac{\partial fp3}{\partial |v3|} = -|v1|.|Y=31|.\sin(-\gamma=3) + |v2|.|Y=2|\sin(-\gamma 32) + 2|v3|.|Y3j|\sin(-\gamma 33)$$

$$= -10 - 10.5 + 2 + 19.98 = 19.46 \ ]$$

$$\Rightarrow \tau = \begin{bmatrix} 21 & -10.5 & 0 \\ -10.5 & 20.5 & 0 \\ 0 & 0 & 19.46 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \Delta\partial 2 \\ \Delta\partial 3 \\ \Delta|v3| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.064 & 0.033 & 0 \\ 0.033 & 0.0064 & 0 \\ 0 & 0 & 0.051 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.67 \\ -2.87 \\ -0.68 \end{bmatrix}$$

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

خط تکفاز داراي پنج هادي مشابه مي باشد . 3 هادي براي جريان رفت و دو هادي براي جريان برگشت.

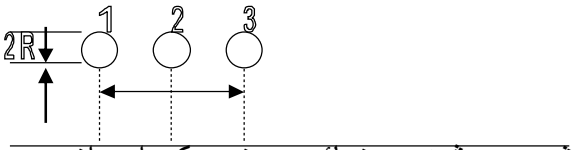


مطلوبست :

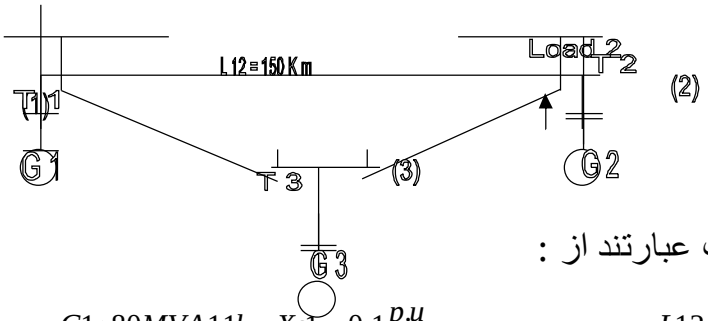
الف .مطلوبست اندوکتانس مسیر برگشت

ب. کل ظرفیت خازني مسیر رفت و برگشت نسبت به

زمین (با احتساب اثر زمین)



2. دیاگرام تکخطي مدل سیستم قدرت زیر را بر حسبP.U مشخص نمائید . بنحویکه امپدانس کلیه اجزاء سیستم قدرت (در مبناي 400 MVA و 400 KV در سمت خطوط انتقال) بهمراه مدار معادل الکتریکي آنها مشخص گردد .



مقادیر نامي و مشخصات اجزاء سیستم قدرت عبارتند از :

$G1: 80MVA, 11kv, Xs1 = 0.1^{p.u}$ $L12: R = 40\Omega, Xl = 80\Omega, y_C = 0.01$

$G1: 160MVA, 20kv, Xs2 = 0.1^{p.u}$ $L13: R = 100\Omega, y_C = 0.01$

$G1: 250MVA, 14kv, Xs3 = 0.1^{p.u}$ $L23: R = 60\Omega, Xl = 150\Omega, y_C = 0.02$

$T1: 100MVA, 13kv / 400kv, XT1 = 0.15^{p.u}$ $Rt1 = 0.05^{p.u}$

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

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

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

مطلوبست محاسبه ثابتهاي A,B,C,D

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

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

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

$F = 50Hz$

4. ثابتهاي ABCD خط بر حسب پريونيت عبارتند از :

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

$A = D = 0.95 < 0.5^{o}$

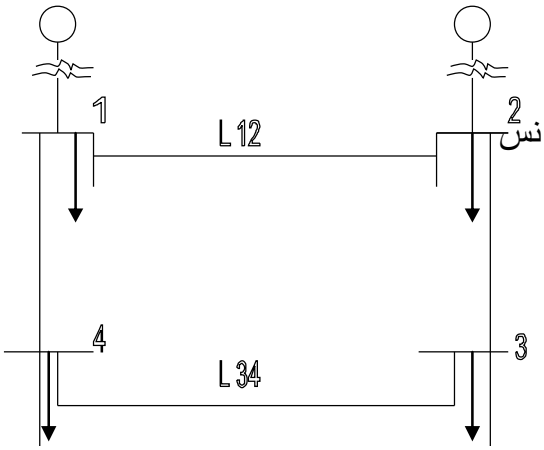
الف) درصورتيكه باس انتها باس مصرف باشد ، $B = 0.72 < 85^{o} p.u$

اگر حداكثر ام ولتاژ مجاز 15% و ضريب $C = 0.125 < 9.5^{o} p.u$

قدرت بار مصرفي 0.85 باشد ، آنگاه حداكثر توان انتقالي چقدر خواهد بود .

ولتاژ ابتدايي خط 400 kv و باس ابتدايي خط كنترل ولتاژ مي باشد .

ب) در صورتيكه باس انتها باس كنترل باشد بنحويكه ولتاژ ابتدا و انتهاي خط در تمام شرايط كار همواره 400 kv ثابت بماند در هنگام عبور توان ماكزيمم ، توان راكتيو يا مصرفي در ابتدا و انتهاي خط (Q_R, Qs) چقدر است .



5. در دياگرام تك خطي سيستم قدرت و باسهاي 4.3 مصرف مي باشند . در جداول زير مشخصات امپدانس خطوط توانهاي توليدي و مصرفي باسها و حدس اوليه ولتاژ باسها ارائه شده است .

توان مبنا سيستم درست فشار قوي خطوط انتقال 100 MVA,138 kv مي باشد .

نام خط	(طولkm)	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) تكرار اول محاسبات پخش بار به روش گرس سايدل را انجام دهيد و ميزان توان اكتيوو راكتيو توليدي در باس 1 را محاسبه كنيد

شماره باس	توليد		مصرف		حدس اوليه
	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

ب) ابعاد ماتريس ژاكوبين چقدر

است و عناصر سطر و ستون دوم

آنرا محاسبه كنيد .

آزمون شماره 2 بررسي 1

1. سه بار موازي به يك منبع ولتاژ تك فاز با ولتاژ 1400V و فركانس 60Hz متصل اند .

بار 1: بار سلفي – 125 kva با ضريب توان 0.28

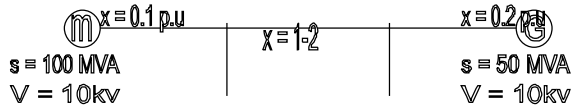
بار 2 : بار خازني – 10kw و 40 kvar

بار 3 : بار مقاومتي– 15 kW

الف) كل توان حقيقي و موهوني و ضريب توان منبع را محاسبه كنيد .

ب) يك خازن ايده آل با سه بار فوق موازي وصل مي شود تا ضريب توان را به 0.8 پس فاز برساند مطلوب است نرخ KvAr خازن .

2. نمودار تك خطي زير را به يك پريونت يكسان تبديل كنيد .

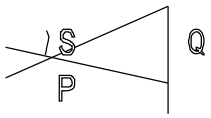


حل 1-

الف)

$$S1 = 125x < \cos^{-1} 0.28 = 35xw + j120xvAr \qquad (2)$$
$$S2 = 10kw - j40xvAr \qquad (2)$$
$$S3 = 15kw \qquad (2)$$
$$St = s1 + S2 + S3 = 60kw + j80kvAr \qquad (2)$$
$$\cos l = \cos^{*}(tg^{-1}\left(\frac{8}{6}\right)) = 0.6 \qquad (2)$$

ب) مي خواهيم

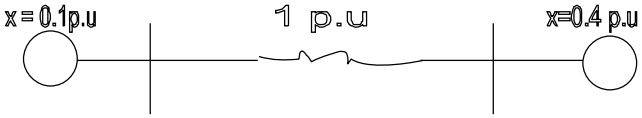


$$Q = p + gp$$
$$= p + y(\cos^{-1} 0.8), 60ktg(\cos^{-1} 0.8) = 45kvAr \qquad (3)$$
$$\Rightarrow eo = 80k - 45x = 35xvAr \qquad (2)$$

توان موهومي خازن

2- همه جا $V = 10xv, S = 100M$

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



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

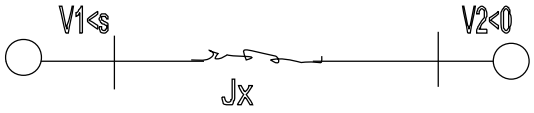
****

آزمون شماره 2 بررسي 1

1. دوامپدانس $Z1 = 0.8 + j5.6\Omega, Z2.8 - j16\Omega$ و يك موتور تك فاز به قدرت 5 kvA و ضريب توان 0.8 پس فاز بصورت موازي به يكديگر متصل شده اند و به منبع ولتاژ تك فاز 200v متصل اند .

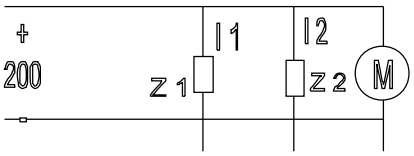
الف) مطلوب است محاسبه توان كل منبع و ضريب توان آن

ب) يك خازن موازي به سه بار وصل شده است تا ضريب توان به يك رسد مطلوب است : محاسبه توان توليدي خازن



2. در مدار زير ثابت كنيد :

$$Q1 = \frac{v_1^2 - V1V2\cos\partial}{X}$$



حل 1-

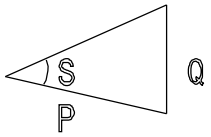
$$\begin{cases} Si = \hat{V}_1.\hat{I}_1 \\ \hat{I}_1 = \dfrac{\hat{V}_1}{Z_1} \end{cases} \Rightarrow \quad S1 = \frac{V_1^2}{Z_1} \Rightarrow \quad S1 = \frac{200^2}{0.8 - J5.6} = 1K + J7K$$

$$S2 = \frac{200^2}{8 + J16} = 1K - J2K$$

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

الف)

$$\Rightarrow St = S1 + S2 + S3 = 6K^{w} + j8kvqr$$



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

مي خواهيم $\cos l = 1 \Leftarrow$ مقدار توان موهومي كل $Q = pty(\cos^{-1}1) = \phi$

ب)

$$\Rightarrow Qc = 8k - \varphi = 8KvAr \ ]$$

$$P1 + jQ1 = s1 = \hat{V}1.\hat{I} = \hat{V}1(\frac{\hat{V}1 - \hat{r}2}{jx}) = \frac{\hat{V}1 - V1V = 0s}{-jx}$$

.2

$$= \frac{\hat{V}1 - V1V2\cos - jV1V2\sin\partial}{-\partial x} \Rightarrow Q1 = \frac{V_1^2 - V1V2\cos\partial}{-\partial x}$$

****

1. يك موتور سه فاز ، 60 اسب ، 440 ولت ، در ضريب قدرت 0/75 پس فاز كار مي كند.

الف) توان حقيقي ، موهومي و توان ظاهري مصرفي يك فاز موتور را محاسبه كنيد .

ب) مقدار R , X موتور را پيدا كنيد اگر موتور با امپدانس ثابت R + jX مدل زده شود .

ج) قسمت الف و ب را تكرار كنيد اگر راندمان موتور 85% باشد . 1 اسب = 746 w

2. الف) ثابت كنيد كه شعاع متوسط يك سيستم n باندله به شعاع باندل r و شعاع هادي Ds بصورت زير محاسبه مي شود :

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

ب) اندوكتانس هر فاز سيستم دو مداره و 8 باندله زير را محاسبه كنيد . (فازها جابه جا شده اند)

قطر هادي = D= 27.81 mm

شعاع متوسط هادي = Ds = 11.37 mm

شعاع باندل = r =n 0.45

ج) ثابت كنيد رابطه خازن با اثر زمين بصورت زير محسوب مي شود

$$C_{an} = \frac{2\pi\varepsilon 0}{Ln(GMD/GMR)}:$$

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

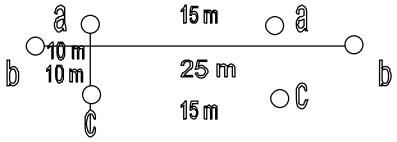
$$GMD = (\frac{(D_{aa}D_{bb}D_{cc})(D_{aa'}D_{bb'}D_{cc'})}{(D_{aa1}D_{bb1}D_{cc1})(D_{aa'1}D_{bb'1}D_{cc'1})})^{1/3}$$

زير نويس يك 1 به سفارش تصوير هر هادي است .

3. الف) ثابت كنيد كه شعاع متوسط يك سيستم n باندله به شعاع باندل r و شعاع هادي Ds بصورت زير محاسبه مي شود :

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

ب) اندوكتانس هر فاز سيستم دو مداره و 8 باندله زير را محاسبه كنيد . (فازها جابه جا شده اند)



قطر هادي = D= 27.81 mm

شعاع متوسط هادي = Ds = 11.37 mm

شعاع باندل = r =n 0.45

ج) ثابت كنيد رابطه خازن با اثر زمين بصورت زير محسوب مي شود :

$$C_{an} = \frac{2\pi \in_o}{Ln(GMD/GMR/GMR)}$$

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

زير نويس 1 به معناي تصوير هر هادي است (a_1 تصوير a است)

****

1. يك موتور سه فاز ، 60 اسب ، 440 ولت در ضريب قدرت 0/8 پس فاز كار مي كند .

الف) توان حقيقي ، موهومي و توان ظاهري مصرفي يك فاز موتور را محاسبه كنيد .

ب) فرض كنيد موتور توسط يك خط انتقال با امپدانس 0/3j +0/5 به منبع ولتاژ 440 ولت (خط به خط) متصل شود . ولتاژ دو سر موتور ، ضريب توان منبع و بازده خط انتقال را محاسبه كنيد . 1 اسب = 746 w

2. خط تك فازي داراي 5 هادي تو خالي مشابه به شعاع r مي باشد . 2 هادي براي جريان رفت و 3 هادي براي جريان 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) فاصله هاديهاي برگشت (B) از زمين = H

(B) فاصله هاديهاي رفت از هاديهاي برگشت = D

فاصله هاديها از يكديگر = d

زمين $D= 10d \quad , d= 10r \quad , H= 2D$

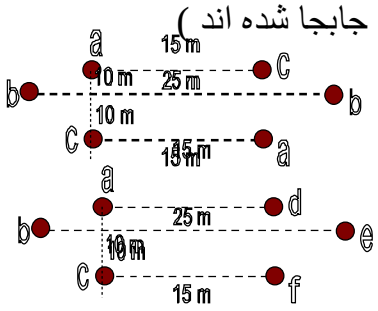
****

1. خط انتقال به فازي با امپدانس $Z_S = 0.5 + j2(\Omega)$ بار ستاره اي در انتهاي خط را تغذيه مي كند . بار مذكور در ضريب قدرت 0.9 پس فاز و ولتاژ خط 10kv ، توان 200 kw را جذب مي كند .

الف) مطلوبست ولتاژ ابتداي خط و توان حقيقي و موهومي توليدي در ابتداي خط

ب) اگر بخواهيم ضريب قدرت باربه 0.98 برسد به چه مقدار خازن نيازمنديم $(Q_C, C = ?)$

2. اندوکتانس هر فاز دو خط انتقال زير را با هم مقايسه كنيد ؟(فازها جابجا شده اند)



قطر هادي : D= 27.81 mm

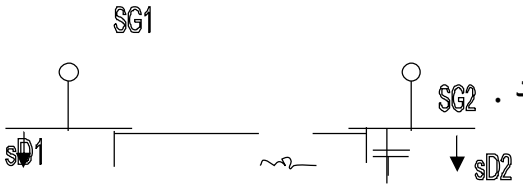
شعاع متوسط هادي Ds = 11.37 mm

هر فاز باندل چهارتايي است .

3. خازن مدار سئال (2 الف) را بدون اثر زمين محاسبه كنيد .

4. در يك خط انتقال به فاز به طول 400 km راكتانس سري خط $0.6\frac{\Omega}{km}$ ، مقاومت آن $0.11\frac{\Omega}{km}$وارميتانس موازي خط $3.2\times10^{-6}\,u/km$مي باشند مطلوبست محاسبه ثوابت ABCD خط

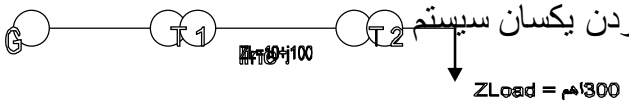
5. سيستم دو با سه شكل مقابل را در نظر بگيريد .



الف) در صورتيكه داشته باشيم $S_{D2} = 0.6 + j1$ و از S_{G2} ، با شرط اوليه $V2 = 0.99 < 0$ از روش گوس سايدل پس ازيك مرتبه تكرار V2 را بدست آوريد و سپس S1 را محسبه كنيد .

ب) درصورتيكه كليد بسته شود و بخواهيم $|V2| = 1$ باشد مقدار توان مورد نياز توليدي توسط خازن را پس از يك مرحله تكرار توسط گوس سايدل محاسبه كنيد .

6. در سيستم رو به رو مطلوبست پريونيت كردن يكسان سيستم



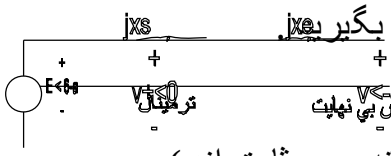
تـــ

ولتاژ مبنا در طرف ژنراتور =

****

1. خط سه فاز 2300V , 100 kvA را در نظر بگيريد . در بازه ، افت ولتاژ روي مقاومت و راكتانس خط به ترتيب و 3.6 درصد ولتاژ نامي است . اگر خط بار 60 kw را در ضريب توان 0.8 پس فاز و ولتاژ 2300v تغذيه كند مطلوب است توان بار ، توان مصرفي خط و توان ورودي به خط .

2.(تعيين منحني حد پايداري استاتيك يك ژنراتور سنكرون) مدل روبرو رو به رو را براي يك ژنراتور سنكرون كه به يك باس بي نهايت متصل است در نظر بگيريد.



اگر P , Q توان توليدي ژنراتور در ترمينال ژنراتور باشند : اولاً حداكثر توان توليدي P درجه زاويه اي اتفاق مي افتد ؟ (نكته E , V ثابت اند)

ثانياً : ثابت كنيد $E = \frac{Xt}{Xe}.Vt.\frac{\sin\theta}{\sin\delta}$

ثالثـاً : ثابـت كنيـد در زاويـه قـسمت (اولاً) رابطـه بـين P , Q بـه قـرار زيـر اسـت $P^2 + (Q - Qo)^2{}_o = R_0^2$:

$$Qo = \frac{Vt^2}{2}\left(\frac{1}{Xe} - \frac{1}{Xs}\right), \qquad Ro = \frac{Vt^2}{2}\left(\frac{1}{Xe} - \frac{1}{Xs}\right)$$

3. رابطه باندل n تا را ثابت كنيد اگر داشته باشيم : $\left[2\sin(\frac{\pi}{n})\right]\left[2\sin(\frac{2\pi}{n})\right]...\left[2\sin(\frac{(n-1)\pi}{n})\right] = n$

R = شعاع باندل

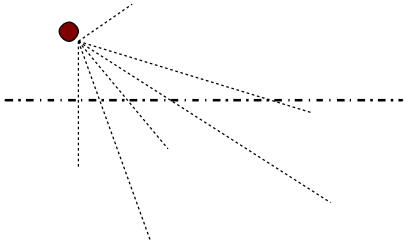
N = تعداد هاديهاي باندل

Ds = شعاع متوسط هر هادي

$$GMR = \sqrt[n]{n.Ds.R^{n-1}}$$

(هادي توپر) شعاع متوسط باندل را متوسط كنيد .

4. محاسبه خازن سيستم دو مدار با در نظر گرفتن زمين :



$$D_{c1b2}=D_{12'}$$
$$D_{a1a'2}=H_{11'}$$
$$D_{c1b'2}=H_{12'}$$

روش شماره گذاري : $\overset{o}{=}D$ براي فاصله فازهاي اصلي

$\overset{o}{=}H$ براي فاصله فازهاي از تصاوير

3.2.1 براي c,b,a –

$Ca = \dfrac{2C1\varepsilon 0}{Ln\dfrac{GMD}{GMR} - Ln\dfrac{Hm}{HR}}$ ثابت كنيد.

كه:

$$CMD = \sqrt[12]{(D_{12}D_{12'}D_{12'}D_{12'})(D_{13}D_{13'}D_{13'}D_{13'})(D_{23}D_{23'}D_{23'}D23')}$$

$$CMD = \sqrt[12]{r^{6}D11^{-2}D_{22'}^{2}D_{33'}^{2}}$$

$$Hm = \sqrt[12]{(H_{12}H_{12'}H1'2H1'2')(H13H13'H1'3H1'3')(H23H23'H2'3H2'3')}$$

$$H_R = \sqrt[12]{(h_1H_{1'}H_{12}^{2})(H2H2'H22^{2})(H3H3'H3^{-2})}$$

نكات حل :

(1

$$H11' = H1' \qquad ,D12' \neq H1'2, \qquad D12' \neq D1'2$$

2) ابتدا از رابطه ولتاژ $Va1,Vi=\sum\frac{9i}{2\pi\varepsilon}Ln\frac{1}{Dij}$ را در ازاي تمام بارها بدست آوريد (دقت كنيد چون دو سيستم متصل داريم رابطه در 1/2 ضرب مي شود)

3) رابطه بالا را به ساده ترين شكل بيان كنيد . مثلاً $Va1I=\frac{1}{4\pi\varepsilon o}(qaLn\frac{H1.H11'}{r.D11'}+...$

4) از رابطه گردشي $1\to2\to3$ استفاده كرد و $Va1II,Va1III$ را بنويسيد

5) ولتاژ Va1 را با متوسط گيري از VaII , Va1III بدست آوريد .

مـــ
\[
\Delta VR=RI=\frac{0.024*2300}{\sqrt{3}}=31.87 \qquad R=1.27\Omega
\]
\[
\Rightarrow
\]
\[
\Delta Vx=xI=\frac{0.036*2300}{\sqrt{3}}=47.80 \qquad x=1.90\Omega
\]
\[
In=\frac{100kvA}{2300\sqrt{3}}=25.10A
\]
\[
I_e=\frac{60kw}{\sqrt{3}*2300*0.8}=18.83A \qquad \Rightarrow \begin{cases} Pline=3RI_e^2=1351w \\ eline=3xI_e^2=2021vAr \end{cases}
\]

.1

\[
Se=\frac{60x}{0.8}<10^{-1}*0.8=60k+j+5k
\]
\[
\sin=Se+sLine=61.351+j47.021k
\]

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

$$\Rightarrow PMAX=\frac{E.V}{xt},\delta PMAX=90^{o}$$

2.اولاً

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

$$\Rightarrow e=\frac{XT}{XE}.vT.\frac{SIN\theta}{SIN\delta}\qquad(1)$$

ثانياً : رابطه توان را بين مي نويسيم :

ثالثاً :

رابطه توان را بين $E,V+$مي نويسيم :

$$\delta=90^{0},\begin{cases}P=\dfrac{E.Vt}{Xs}\sin(\delta-Q)\\ Q=\dfrac{E.Vt+\cos(\delta-\theta)-V_{+}^{2}}{Xs}\end{cases}$$

$$\delta=90^{0},\begin{cases}P=\dfrac{E.Vt+\cos\theta}{Xs}\\ Q=\dfrac{E.Vt+\sin\theta-V_{+}^{2}}{Xs}\end{cases}\qquad(2),(1)\Rightarrow E=V+.\frac{xt}{xe}\sin\theta\qquad(3)$$

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

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

$$\Rightarrow\begin{cases}P=\dfrac{.Vt^{2}}{2}\dfrac{(xs+ye)}{xs.ye}\sin 2\theta\\ Q=\dfrac{.Vt^{2}}{2}\dfrac{(xs-ye)}{xs.ye}-\dfrac{vt^{2}}{z}-\dfrac{(xs+ye)}{xs.ye}\cos 2\theta\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}P=R\,\text{osin}\,2\theta\\ Q=Q\,\text{o}-R\,\text{ocos}\,2\theta\end{cases}\Rightarrow p^{2}+(Q-Q)^{2}=R_{0}^{2}$$

.3

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

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

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

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

قسمت دوم :

$$D12L2R\sin\frac{\pi}{n} \qquad n = \delta, D12 = 0.4572$$

فاصله هر دو هادي $\Rightarrow R = \frac{0.4572}{2\sin\frac{\pi}{8}} = 0.5974m, GmR = \sqrt[n]{Ds.nR^{n-1}}$

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

.4

$$Va1I = \frac{1}{4nt.}(qaLn\frac{1}{r} + 9a'Ln + 9bLn + 9b'lLn\frac{1}{R12} + 9cLn\frac{1}{D13}$$

$$9-1Ln = \frac{1}{H13} + qa2Ln\frac{1}{D12} + qa'2Ln\frac{1}{H11'} + qb2Ln\frac{1}{D12} + qb'2Ln\frac{1}{H12'} +$$
$$qc2Ln\frac{1}{D13'} + qc'Ln\frac{1}{H13'})$$

داريم: $qa'1 = -qa, qa'2 = -g2, qa2 = qa1$

$$Va1I = \frac{1}{4\pi\varepsilon_{\circ}}(qaLn\frac{H1.H11'}{r.D11'} + qaLn\frac{H12.H12'}{D12.D12'} + qaLn\frac{H13.H13'}{D13.D13'}$$
$$\Rightarrow 1 \to 2 \to 3$$

$$Va1II = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}(qaLn\frac{H2.H22'}{r.D22'} + qaLn\frac{H23.H23'}{D23.D23'} + qaLn\frac{H21.H21'}{D21.D12'}$$

$$Va1III = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}(qaLn\frac{H3.H33'}{r.D33'} + qaLn\frac{H31.H31'}{D31.D31'} + qaLn\frac{H32.H32'}{D32.D32'}$$

$$Va1 = \frac{Va1I + VaII + Va1III}{3}$$

$$Va1 = \frac{1}{12\pi\varepsilon_o}(qaLn\frac{H1.H2.H3.H11'.H22'.H33'}{r^3.b11'.D22'.D33'} + qbLn\frac{H12..H23.H31.H12'..H23'.H31'}{D12..D23.D31.D12'..D23'.D31'}$$

$$+ qcLn\frac{H13..H21.H32.H13'.H21'.H32'}{D13.D21.D32.D13'.D21'.D32'})$$

با تبديل: $(ر)$با $\leftrightarrow$ $(ر)$بدون $H = 11' = H1'1$

$$Va1 = \frac{1}{12\pi\varepsilon_o}(qaLn\frac{H1'.H2'.H3'.H11'.H21'.H33'}{r^3.b11'.D22'.D33'} + qbLn\frac{H1'2'..H2'3'.H3'1'.H12'..H23'.H31'}{D1'2'..D2'3'.D3'1'.D12'..D23'.D31'}$$

$$+ qcLn\frac{H1'3'.H2'1'.H3'2.'H1'3.H2'1.H3'2}{D1'3'.D2'1'.D3'2.'D1'3.D2'1.D3'2})$$

با متوسط گيري داريم: $vA = (vA1 + vA2)/2$

$$Va1 = \frac{1}{12\pi\varepsilon_o}(qaLn\frac{H1.H2.H3.H1'.H2'.H3'.h11'^2.h21'^2.H33'^2}{r^3.b11'^2.D22'^2.D33'^2} +$$

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

$$\Rightarrow Va = \frac{1}{24\pi 6}(qaLn\frac{HR^{12}}{GMR^{12}} - qaLn\frac{Hm^{12}}{GMR^{12}})\frac{qa}{ca}$$

$$\Rightarrow Ca = \frac{2\pi\varepsilon_o}{Ln\frac{GMR}{GMR} - Ln\,Hm/HR}$$

****

1. در سيستم سه فاز دو مدار $c'b'a'0abc$ كه ca', bb', ac' هم راستا و موازي سطح زمين مي باشند فاصله راستاها از يكديگر $10m$ مي باشند . عمل جابجايي فازها انجام شده است . بقيه مشخصات عبارتند از :

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

هر هادي باندل سه تايي است . (شعاع متوسط

$D_S = 11.37mm$)

مطلوب است محاسبه سلف و خازن خط

2. يك خط انتقال سه فاز ، 230 KV با ثوابت ABCD زير مفروض است :

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

در حاليكه ابتداي خط تحت ولتاژ 225 KV قرار دارد و ضمن اينكه از انتهاي خط توان 80 MW مصرف مي شود ، ولتاژ انتهاي خط را در 225 KV تثبيت كرده ايم . در اين شرايط توان موهومي مصرفي يا توليدي بار را محاسبه كنيد .

3. در يك خط انتقال بلند $B = 235.6 < 80.03^{o}, A = 0.848 < 1.874^{o}$ مقادير زير را براي خط محاسبه كنيد :

$Z_C, \gamma L, Z, Y$

3.اگر دو طرف خط انتقالي با امپندانس Z ، ترانسهاي با تپ چنجر $(1.t_S, T_r : 1)$ وجود داشته باشد با فرض معقول رابطه اي براي t_S بر حسب ولتاژ ابتدا و انتهاي خط ،توان حقيقي و موهومي بار و امپدانس خط بيابيد.

4. براي سيستم سه باسه اي با مشخصات زير ، پخش بار را به روش گوس سايدل و يك مرتبه تكرار حل كنيد :

براي مرحله دوم چه كارهايي بايد كرد؟ (دقت كنيد آيا باس 3 ، كنترل ولتاژ مي ماند يا نه ؟)

باس يك ، باس مرجع است .

$Z12 = 0.02 + j.04\,pu, Z13 = .01 + j0.03\,pu, Z_{23} = 0.0125 + j0.025\,pu$

$V1 = 1.05 < 0, |V3| = 1.04, V2^{(0)} = 1 < 0, p_{g3} = 200MW, P_{d2} = 400MW$

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

باس ا و 3 باس ژنراتور و باس 2 باس بار است .

*****

حل بعضي از تمرينات بررسي 1

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

خط كوتاه است :

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

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

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

$$\text{Re}\, g\% = \frac{142.027 - 132}{132} * 100 = \frac{VsF.L. - VsN.L.}{VsN.L.} * 100 = 7.596\%$$

.2

الف)

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

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

$$\Rightarrow \hat{V}_S = \hat{V}_R + Z0\hat{I}R = 12.304k < 8.34^{\circ}, R\% = \frac{Vs - VR}{VR} * 100 = 23.04\%$$

ب) با دو روش تقريبي و دقيق حل مي كنيم :

روش تقريبي :

$$R = 0.5 * 23.04 = 11.52\% = \frac{RP + XQ}{VR^2}$$

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

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

روش دقيق : $R = 0.0052 = \frac{Vs - VR}{VR} = \frac{Vs - 10x}{10x} \Rightarrow Vs = 11.152xv$

از مسئله 10 داریم :

$$p2 = \frac{1}{R^2 + X^2}(R(v1.V2\cos - V_2^2) + x.V1.V2.\sin\delta)$$

که :

$$p2 = 5m, V2 = VR, V1 = Vs$$

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

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

با استفاده از روش تکراري نيوتن مسئله را حل مي كنيم :

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

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

$$538.7 < -21.86$$

$$\Rightarrow Q2 = VR.IR.\sin PR = 10k * 538 - 7.\sin 21.86 = 2M$$

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

ج)

$$\eta 1 = \frac{p0ut}{p\,\text{int} + pLoss} = \frac{58 * 100}{5M + 0.39 * (707.2)^2} = 96.25\%, Ploss = RI^2$$

(روش دقیق) :

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

4. الف)

در خط کوتاه: $A^2 - BC = 1 - 0 = 1$

در خط متوسط :

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

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

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

ب) ارتباط بين ثوابت نصف خط و تمام خط بصورت زير مي باشد :

A=D,a=d

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

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

5. الف)

$$\hat{VR} = \frac{3+5}{\sqrt{3}} < 0, \hat{IR} = \frac{400M}{354\sqrt{3}} < \cos^{-1} o.8$$

$$\hat{IR} = 669.4 < -\cos^{-1} 0.8, \begin{bmatrix} \hat{Vs} \\ \tilde{Is} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \hat{VR} \\ \tilde{IR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 256.673k < 20.15^{\circ} \\ 447.67 < 8.54^{\circ} \end{bmatrix}$$

درصد افت ولتاژ :

$$DV\% = \frac{Vs - VR}{Vs} = \frac{256.737 - 345/\sqrt{3}}{256.737} = 22.42\%$$

درصد تنظيم (فرض مي شود LvR ثابت است)

$$\begin{cases} R\% = \frac{VsFL - VsNL}{VsNL} = 57.57\% \\ \text{که} : Vsf.l = 256.737x, vsnl = AvR = 162.939k \end{cases}$$

ب) در حالت باري :

$$\hat{Vs} = A\hat{v}R, \hat{Is} = C\hat{V}z$$

$$\Rightarrow \hat{V}_S = 256.737\,k < 20.15^{\circ} \Rightarrow \hat{VR} = 313.859 < 18.85^{\circ}$$

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

درصد تنظيم ولتاژ (Vs =Lثابت)

$$\Rightarrow yR = 57.57\%$$

ج) از مسئله

.6

ج) از مسئله 26 داریم :

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

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

$$b=\frac{172.2<84.2}{2a}=90.31<8391, c=\frac{c}{2a}=0.00101+<90.11^{o}$$

د) $z=-j146.6$, ثوابت $=\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & z \\ 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$

$\Rightarrow$ خط جدید

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

ثوابت $=\begin{bmatrix} 0.9598<1.178^{o} & 42.44<63.78^{o} \\ 0.002084<90.39^{o} & 0.9597<1.178^{o} \end{bmatrix}$

الف) تکرار قسمت $\begin{bmatrix} \hat{V}s \\ \hat{I}s \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 217.|2|k & <4.43^{o} \\ 520.49 & <4.44^{o} \end{bmatrix}, \begin{cases} Dv\%=8.26\% \\ R\%=13.57\% \end{cases}$

ب) تکرار قسمت $\hat{V}s=217.121k<4.43, \hat{V}R=\frac{\hat{V}s}{A}=\frac{\hat{V}s}{0.9598<i,178}$

$$=226.215x<3.25^{o}, \hat{I}s=C\hat{V}R=0.00208+<90.39*\hat{V}R=471043<93.64^{o}$$

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

هـ) $Y=-j0.0021\upsilon$, ثوابـت خـط $=\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix}$

جدید

ثوابت جدید $=\begin{bmatrix} 1.t78 & <-0.875 & B \\ 0.000217<83.26 & & D \end{bmatrix}$,

تکـــ
تکـــ

$$\begin{cases}\Delta p2 = p2 - f2p = p2 = p92 - pd2 = 10 = 10 \\ \Delta p3 = p3 - f3p = p3 = p93 - pd13 = 0 - 10 = -10\end{cases}$$

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

به همین ترتیب :

$$[\tau 4] = \begin{bmatrix}40 & -20 \\ -20 & 40\end{bmatrix}, \begin{bmatrix}\Delta|V2| \\ D|v3|\end{bmatrix} = [J4]^{-1}\begin{bmatrix}\Delta q2 \\ \Delta q3\end{bmatrix}$$

$$\begin{cases}\Delta q2 = q2 - f2q = q2 = q92 - qd2 = 10412 - * = 104/2 \\ \Delta q3 = q3 - f3q = q3 = q93 - qd13 = 3.5 - 5 = 1.5\end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix}\Delta|V2| \\ D|v3|\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\frac{1}{30} & \frac{1}{60} \\ \frac{1}{60} & \frac{1}{30}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}10412 \\ -1.5\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0.0221 \\ -0.0265\end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix}V2 \\ V3\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 \\ 1\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}0.0221 \\ -0.265\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1.0221 \\ 0.9735\end{bmatrix}$$

مرحلـــ

سه فاز $\begin{cases} p_{out} = 60*7*6 = 44.76kw \\ Q = ptyp = 39.475kvAr \\ S = \dfrac{p}{\cos p} = 59.68kvA \end{cases}$ تکفاز $\rightarrow$ $\begin{cases} pr_{out} = 14.92kw \\ Qr = 13.158x \text{ var} \\ Sr = 19.89kvA \end{cases}$

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

ب :

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

ج : الف)

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

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

ب)

$$Z = \frac{V1^*}{IR}2.6\Omega \qquad R = \frac{18.65x}{97.86^2}1.95\Omega$$

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

الف :

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

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

$$\Rightarrow D12 = 2r\sin\frac{\theta}{2}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} D12 = 2r\sin\dfrac{\pi}{n} \\ D13 = 2r\sin\dfrac{2\pi}{n} \\ \text{M} \\ D1 \qquad n = 2r\sin\dfrac{(n-1)\pi}{n} \end{cases} , GMR\sqrt[x]{Ds*12*...D1n}$$

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

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

ب :

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

$$L = 2*10^{-7}\,Ln\frac{GMD}{GMR}, GMD = \sqrt[3]{Dabeq*Dacey*Dbceq}$$

$$Dabeq = \sqrt[4]{DabDab'.Da'b.da'b'} = \sqrt[4]{(5^2+10^2)(10^2+20^2)} = 15.81$$

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

$$Dbceq = Dabeq = 15.81 \qquad \Rightarrow GMD = 17.75$$

$$GMR = \sqrt[6]{(DsA)^3*Daa'*Dbb'*Dcc'} = \sqrt[6]{(0.3685)^7*15^2*25} = 2.56$$

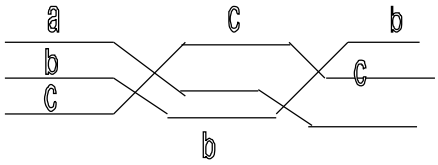
$$\Rightarrow L = 2*10^{-7}\,Ln\frac{17.75}{2.56} = 3.873*10^{-7}$$

· ج

o*a* o*a*′

o*b* o*b*′

o*c* o*c*′



o*a*1 o*c*′1

o*b* 1 o*b*′1

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

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

$$\Rightarrow Va_I = \frac{1}{2\pi \in o}(qaLn\frac{Daa'.Daa'1}{ra.Daa'} + qbLn\frac{Dab1.Dab'1}{Dab.Dab'} +$$

$$qcLn\frac{Dac1.Dac'1}{Dac.Dac'})$$

$$\Rightarrow VaII = \frac{1}{2\pi\varepsilon o}(qaLn\frac{Dbb1.Dbb'1}{ra.Dbb'} + qbLn\frac{Dbc1.Dbc'1}{Dbc.Dbc'} + +qcLn\frac{Dba1.Dba'1}{Dba.Dba'})$$

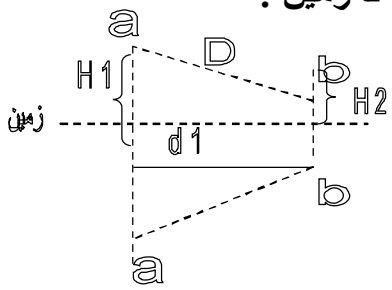
$$VaIII = \frac{1}{2\pi\varepsilon o}(qaLn\frac{Dcc1.Dcc'1}{ra.Dcc'} + qbLn\frac{Dca1.Dca'1}{Dca.Dca'} + +qcLn\frac{Dcb1.Dcb'1}{Dcb.Dcb'})$$

$$\Rightarrow Va = \frac{VaI + VaII + VaIII}{3} = \frac{1}{6\pi \in o}(ga\ln\frac{Daa1.Dbb1.Dcc1.Daa'1.Dbb'1.Dcc'1}{ra^3.Daa'.Dbb'.Dcc'}$$

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

$$\Rightarrow Va = \frac{qa}{2\pi \in o}Ln\frac{GMD}{GMR} \Rightarrow can = \frac{20160}{Ln\frac{GMD}{GMR}}$$

اثبات رابطه خازن با اثر زمين در حالت عدم شادي فاصله فازها تا زمين :



$$Va = \frac{1}{2\pi \in o}(qaLn\frac{1}{ra} + qbLn\frac{1}{D} + (-ga)Ln\frac{1}{2H1} + (-qb)Ln\frac{1}{Dab'}), qa = -qb = q$$

$$= \frac{q}{2\pi \in o}Ln\frac{D*2H1}{ra*Dab'}$$

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

$$\Rightarrow can = \frac{2\pi\varepsilon o}{Ln\frac{D*2H1}{ra\sqrt{D^4 + DH1H2}}}$$

$$Dab' = \sqrt{d_1^2 + (H1+H2)^2} = \sqrt{D^2 + 4H1H2}$$