فصل پنجم

ماتريس هاي ادميتانس و امپدانس شبكه (معادلات شبكه)

معادلات شبكه و راه حل ها

۵-۱ دياگرام تك خطي شبكه (single – line – diagram)

اولين قدم در تحليل شبكه هاي قدرت دستيابي به دياگرام تك خطي شبكه مي باشد (از روي سيستم سه فاز شبكه) اغلب روي شبكه هاي سه فاز تقارن فقط از دياگرام تك خطي يك فاز استفاده مي شود . براي ساده سازي ترسيم شبكه نيز از ترسيم خط نول صرفنظر مي گردد .

اصطلاحات شبكه (Network Terminology)

هر شبكه الكتريكي (مدار الكتريكي) از اجزاي زير تشكيل يافته است :

شاخه (خط انتقال) گره (شين) و حلقه

عناصر موجود در شبكه الكتريكي شامل عناصر اكتيو و پسيو هستند .

اجزاي اكتيو : ولتاژ منابع e(t) ، جريان منابع i(t)

اجزاي پسيو : مقاومت R ، سلف L ، خازن C

اجزاي خطي اجزائی هستند كه داراي معادله ديفرانسيل خطي بوده وجواب خطي به تمام ورودیها بدهد .

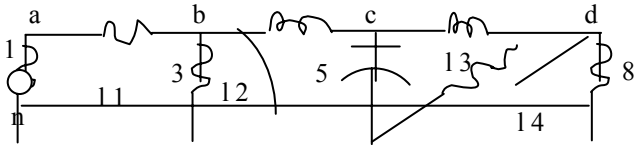
شاخه : شامل يك يا مجموعه اي از اجزاي الكتريكي است كه بصورت سري يا موازي بين دو ترمينال متصل مي باشند .

گره : نقطه اي از شبكه كه محل اتصال بين چند شاخه باشند (دو يا چند شاخه)

حلقه : هر مسير ايجاد شده بين دو ياچند شاخه تشكيل يك حلقه يامش را مي دهند .

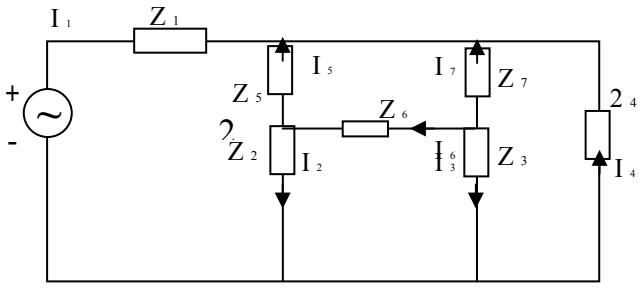
www.jozve.org

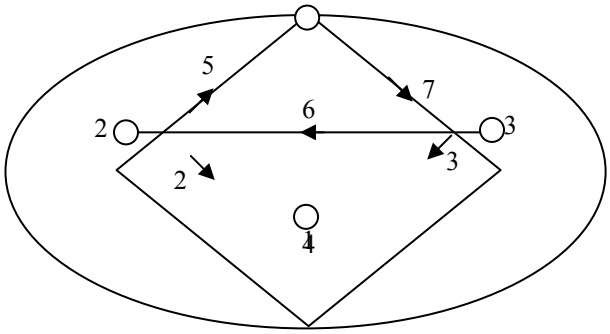
براي مثال شبكه الكتريكي زير داراي گروههاي a ، b ، c ، d و e ، است . و ٨ شاخه ، يك منبع ولتاژ چهار عدد حلقه يامش L_1, L_2, L_3, L_4 اساسي است .



٥-٣ تئوري گراف ها (Graph Theory)

در شبكه هاي الكتريكي پيچيده مي توان از قوانين كرشف استفاده نمود كه توليد دستگاه معادلات براي شبكه را مي دهد . بنابر اين براي تحليل شبكه بايستي دستگاه معادلات حل گردند . براي شبكه هاي كوچك تحليل اين معادلات ساده بوده ولي در شبكه هاي بزرگ تئوري گرافها بطور گسترده استفاده مي شوند . در اين تئوري ، شبكه الكتريكي تبديل به يك گراف جهت دار مي شود .





زير گراف Sub – Graph

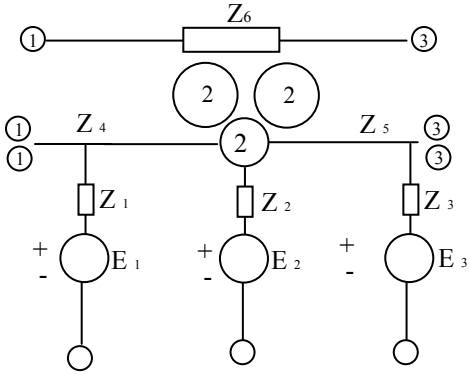
....

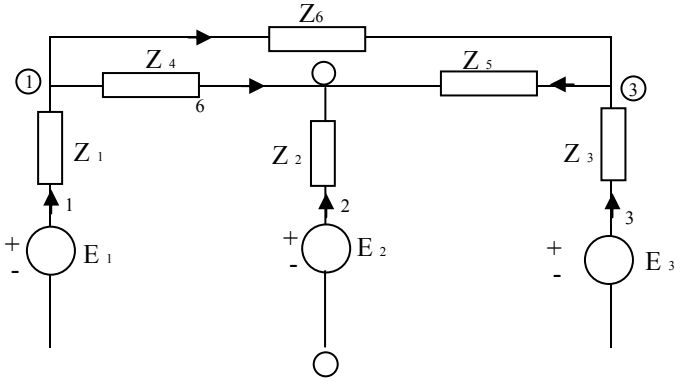
درخت و هم درخت Tree + co-tree

....

٥-٤ شبكه اوليه (Primitive Network)

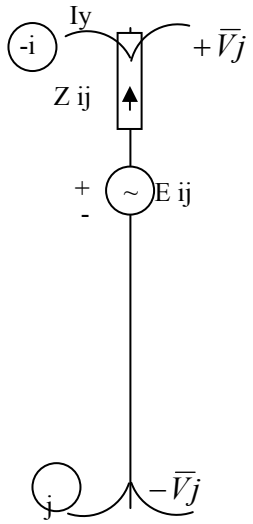
مجموعه اي از شاخه هاي غير متصل از شبكه داده شده را شبكه اوليه مي نامند . هر شاخه ممكن است شامل تعدادي اجزاي پسيو يا اكتيو باشد . (در مثال تعداد ٦ شاخه كه ٣ شاخه از آنها شامل منبع تغذيه مي باشد .)



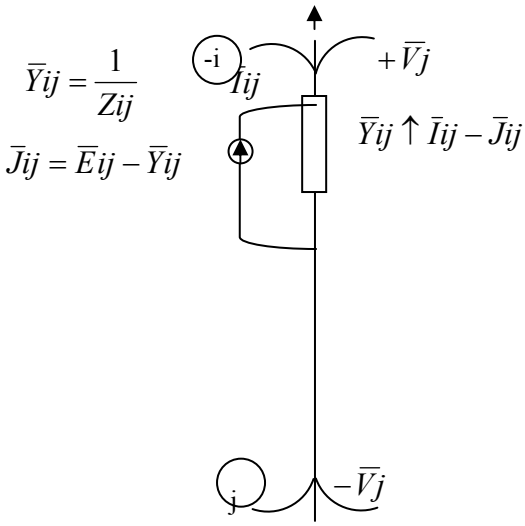


www.jozve.org

براي هر شاخه غير متصل از شبكه مي توان آنرا از فرم امپدانسي (با منبع ولتاژ) به فرم ادميتانسي (با منبع جريان) تبديل كرد .



شاخه اي شبكه با فرم امپدانسي شامل منبع ولتاژ



شاخه اي از شبكه با فرم ادميتانسي شامل منبع جريان

اختلاف پتانسيل يا ولتاژ شاخه ij	$\overline{V_{ij}} = \overline{V_i} - \overline{V_j} = -\overline{V_{ji}}$
منبع ولتاژ (تغذيه) شاخه ij	$\overline{E}ij$
جريان جاري از شاخه ij (از گره I به سمت گره j)	$\overline{I}_{ij} = -\overline{I}_{ji}$
جريان منبع موازي با ادميتانس Y ij	$\overline{J}_{ij}$
امپدانس و ادميتانس شاخه ij	$\overline{Z}_{ij} = \frac{1}{\overline{Y}_{ij}}$

معادلات مربوط به خطوط (شاخه ها)

$$\overline{E}_{ij} - \overline{I}_{ij}\overline{Z}_{ij} = \overline{V}_{ij}$$
$$\overline{E}_{ij} - \overline{V}_{ij} = \overline{I}_{ij}\overline{Z}_{ij}$$

بنابراين معادلات به فرم ماتريسی بصورت زير نوشته می شوند.

$$\begin{cases} \overline{E}_{line} - \overline{V}_{line} = \overline{Z}_{line}\,\overline{I}_{line} \\ \overline{Y}_{line}\,(\overline{E}_{line} - \overline{V}_{line}) = \overline{I}_{line} \end{cases}$$

www.jozve.org

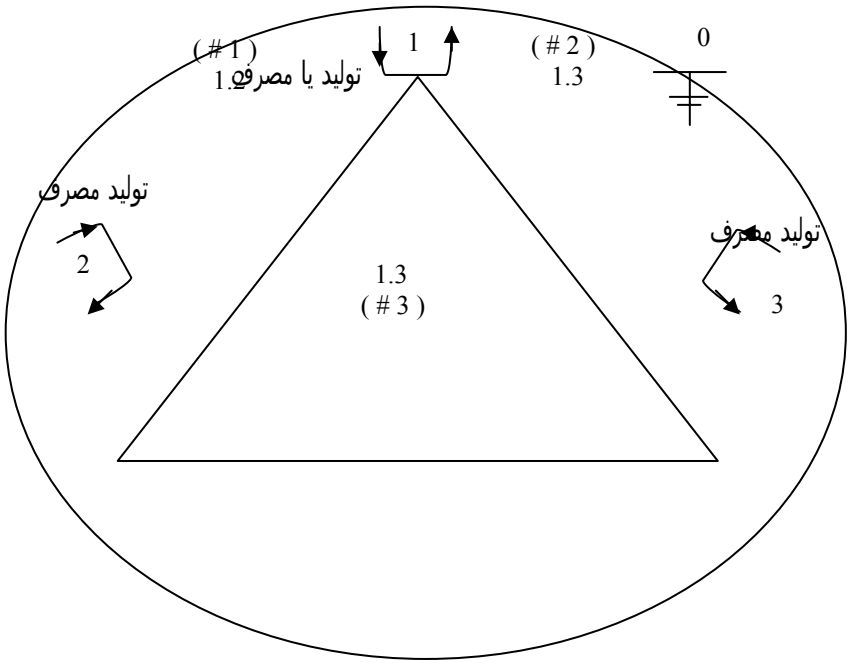
$$\overline{E}_{line} = \begin{bmatrix} \overline{E}_1 \\ \overline{E}_2 \\ \vdots \\ \overline{E}_{nl} \end{bmatrix} \qquad \overline{V}_{lline} = \begin{bmatrix} \overline{V}_1 \\ \overline{V}_2 \\ \vdots \\ \overline{V}_{nl} \end{bmatrix} \qquad \overline{I}_{line} = \begin{bmatrix} \overline{I}_1 \\ \overline{I}_2 \\ \vdots \\ \overline{I}_{nl} \end{bmatrix}$$

$$\overline{Z}_{line} = \begin{bmatrix} \overline{Z}_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \overline{Z}_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \overline{Z}_{n_l} \end{bmatrix} \qquad \overline{Y}_{line} = \overline{Z}_{line}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\overline{Z}_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\overline{Z}_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{\overline{Z}_{n_l}} \end{bmatrix}$$

هر گاه منابع ولتاژ موجود نباشد در آنصورت ديده مي شود :

$$\overline{V}_{line} = \overline{Z}_{line}\,\overline{I}_{line}$$
$$\overline{Y}_{line}\,\overline{V}_{line} = \overline{I}_{line}$$

همانطور كه گفته شد ارتباط ميان اجزاي شبكه بصورت روابط جريان و ولتاژ كرشف KVL ، KCL و قوانيني اهم قابل بيان است . براي محاسبه تعداد nl جريان در شاخه هاي شبكه نياز به تعداد nl معادله مي باشد . براي دستيابي به اين مجهولات مي توان از دو روش گره يا حلقه استفاده نمود .



www.jozve.org

با انتخاب زمين بعنوان شين مرجع ، تعاريف و قوانين زيرا خواهيم داشت :

۱ـ تعريف ادميتانسها (Y) ، ولتاژها (V) ، و جريانهاي خطوط (I) :

$$\overline{Y}_{i.j}=\overline{Y}_{j.i}=\overline{Y}_{i.j}\angle-\theta_{i.j} \qquad \overline{V}_i=V_i\angle\delta_i$$

$$\overline{V}_{i.j}=-\overline{V}_{j.i} \qquad \overline{V}_{i.j}=\overline{V}_i-\overline{V}_j \qquad i.j=1,...,n$$

Definition

$$\overline{I}_{i.j}=-\overline{I}_{j.i}$$

۲ـ روابط KCL براي جريان شينها :

$$\overline{I}_i=\sum_{j=1}^{n_i}\overline{I}_{i.j} \qquad i=1,...,n_{bus} \qquad (۱-۵)$$

KCL $(\sum_{i=1}^{n_b}\overline{I}_i=0)$ جريان تزريقي (Injecting current)

nlbi تعداد خطوط متصل به شين I مي باشد . براي شبكه شكل ۲ـ٤ روابط KCL بصورت زير است .

$$\overline{I}_1=\overline{I}_{1.2}+\overline{I}_{1.3}$$
$$\overline{I}_2=\overline{I}_{2.1}+\overline{I}_{2..3}$$
$$\overline{I}_3=\overline{I}_{3.1}+\overline{I}_{3.2}$$
$$\overline{I}_1+\overline{I}_2+\overline{I}_3=0$$

۳ـ روابط KVL براي ولتاژ حلقه ها :

KVL

$$\sum_{i.j=1}^{n_{ll,k}}\overline{V}_{i.j,k}=0 \quad k=1,...,(n_{line}-n_{bus}+1) \qquad (۲-۵)$$

$n_{ll,k}$ تعداد خطوط موجود در حلقه k مي باشد . در شبكه شكل ۲ـ٤ روابط KVL بصورت زير است .

OHM:

$$\overline{V}_{1.2}+\overline{V}_{2.3}+\overline{V}_{3.1}=0$$

٤ـ روابط OHM براي خطوط و شينها بر حسب ادميتانسها :

$$\overline{I}_i=\overline{Y}_i\overline{V}_i=\left|\overline{Y}_i\overline{V}_i\right|\angle\delta_i-\theta_i$$
$$\overline{I}_{i.j}=\overline{Y}_{i.j}\overline{V}_{i.j}=\left|\overline{Y}_{i.j}\overline{V}_{i.j}\right|\angle\delta_{i.j}-\theta_{i.j} \qquad i,j=1,...,n_b \qquad (۳-۵)$$

براي شبكه روابط OHM بصورت زير است .

$$\overline{Y}_{1.2}\overline{V}_{1.2}=\overline{I}_{1.2}$$
$$\overline{Y}_{2.3}\overline{V}_{2.3}=\overline{I}_{2.3}$$
$$\overline{Y}_{1.3}\overline{V}_{1.3}=\overline{I}_{1.3}$$

۵ـ روابط قدرتها (S ، P ، Q) براي شينها :

www.jozve.org

POWER:

$$\overline{S}_i = \overline{V}_i \overline{I}_i^*$$
$$\overline{S}_i^* = P_i - jQ_i = \overline{V}_i^* \overline{I}_i \qquad i.j = 1,...,n_b \qquad (٤-٥)$$
$$\overline{S}_{i.j} = \overline{V}_{i.j} \overline{I}_{i.j}^*$$

۵-۵ معادلات مرجع پايه

در آنصورت تعداد 2nb معادله خواهيم داشت كه برابر با تعداد مجهولات شبكه مي باشند در روش RCD سعي مي شود تا با استفاده از اندازه گيريهاي توانهاي تزريقي ، جاري و اندازه ولتاژها ، بتوان توانهاي تزريقي شينها را مورد بررسي قرار داد هرگاه توانهاي تزريقي حقيقي و غير حقيق يشينها در دست قابل محاسبه باشند در آ،صورت می توان گفت كه براساس روابط پخش بار اندازه و زاويه فاز ولتاژ تمام شينها ي شبكه رويت پذير خواهند شد . البته اينكار بايستي با فيلتر كردن اندازه گيريها توام باشد كه باعث مي شود مشئله پخش بار تبديل به مسئله تخكين حالت گردد . بنابراين در روش RCD از روابط KCL, KVL تواني استفاده مي شود و هر گاه اندازه گيري اندازه ولتاژ شين داده شده باشد به توان غير حقيقي تزريقي همان سين تبديل مي شود براي نمايش ارتباط بين المانها ي هر شبكه دو فرم اساسي وجود دارد .

۱- فرم مرجع پايه شين : در اين فرم ارتباط بين اجزا شبكه قدرت بصورت تعداد nb-1 معادله گره يا kcl برحسب ماتريس امپدانس Zbus يا ادميتانس ybus شين هاي شبكه نوشته شده اند .

$$\overline{V}_{bus} (\text{or } \overline{E}_{bus}) = \overline{Z}_{bus} \overline{I}_{bus}$$
$$\overline{I}_{bus} = \overline{Y}_{bus} \overline{V}_{bus}$$

۲- فرم مرجع پايه حلقه : در اين فرم ارتباط عناصر شبكه بااستفاده از تعداد nl-nb+1 معادله حلقه اساسي شبكه بصورت روابط kvl بر حسب ماتريس امپدانس zloop يا ادميتانس Yloopحلقه هاي شبكه نوشته مي شود .

$$\overline{V}_{loop} (\text{or } \overline{E}_{loop}) = \overline{Z}_{loop} \overline{I}_{loop}$$
$$\overline{I}_{loop} = \overline{Y}_{loop} \overline{V}_{loop}$$

كه درآن vloop و I loop بردارهاي ولتاژ و جريان حلقه هاي اساسي مي باشند

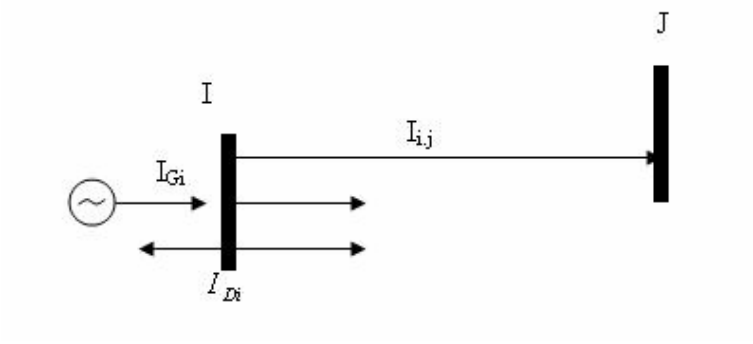
براي بررسي رئابط شبكه مي توان از يكي از مراجع فوق و يا تركيبي از آنها استفاده نمود . در فرم مرجع پايه شين ، توان تزريقي شين I و توان جاري خط i.j با صرفنظر كردن از ادميتانسهاي موازي دو طرف خطوط و با توجه به شكل بصوزت زير تعريف مي شوند كه در آن مثلثهاي توان تزريقي شين iو توان جاري خط i.j با صرفنظر كردن از ادميتانسهاي موازي دو طرف خطوط و با توجه به شكل بصورت زير تعريف مي شوند كه در آن مثلثهاي توان مربوط به تزريق شين ه و توان جاري خط $I_{,j}$ بصورت مي باشد .

www.jozve.org

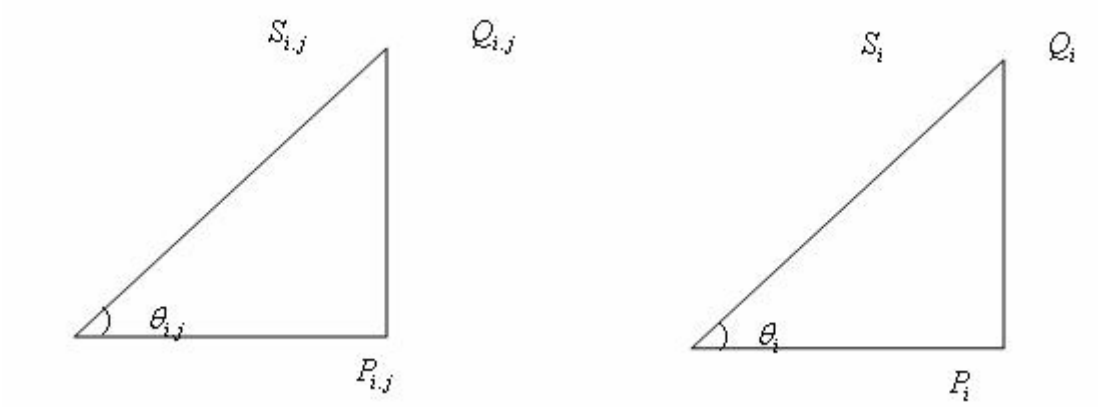
$$S_i = V_i I_i^* = \left| Y_i V_i^2 \right| \angle \theta_i = P_i + jQ_i$$

$$S_{i.j} = V_{i.j} I_{i.j}^* = \left| Y_{i.j} V_{i.j}^2 \right| \angle \theta_{i.j} = P_{i.j} + jQ_{i.j}$$

$$\begin{cases} \bar{I}_i = \bar{I}_{Gi} - \bar{I}_{Di} \\ \bar{I}_i = \sum_{j=1}^{n_i} \bar{I}_{i.j} \qquad i = 1,\ldots,n_{bus} \end{cases}$$



شكل ٢-٦ ارتباط شين i باj و مقدار جريان توليد I_{Gi} و مصرف I_{Di} مربوط به شين i



شكل ٢-٧ مثلثهاي توان تزريقي شين i و توان جاري خطi.j

براي رسيدن به معادلات RCD كه بر پايه نمايش تواني معادلات KCL و KVL قرار گرفته اند بصورت زير عمل مي كنيم . براي اين ونظور لازم است تا ارتباط بين متغيرهاي جريان و ولتاژ شينها و خطوط را بدست آوريم . بعبارت ديگر بجاي متغيرهاي جريان و ولتاژ در روابط kcl و kvl متغير هاي تواني قرار مي گيرند . پس جريان تزريقي هر شين در حقيقت جريان بين آن شين و زمين مي باشد و براي جريان تزريقي شينها مي توان نوشت . $I_i = I_{i.0}$

در اينصورت معادله اهم براي شين iبرابر است با $I_{i.0} = Y_{i.0} V_{i.0}$

www.jozve.org

که در واقع $\overline{V}_i = \overline{V}_{i.0}$
$\overline{Y}_i = \overline{Y}_{i.0}$

بنابراين معادله اهم براي شين i با حذف نماد مربوط به زمين (۰)بصورت زير نوشته مي شود . $I_i = Y_i V_i$

از طرف ديگر معادله توان نزريقي براي شين iبصورت زير نوشته مي شود

٥-٦ معادلات شبكه در فرم مرجع پايه : Loop Frame of Reference

$$\overline{\boldsymbol{E}}_{\boldsymbol{loop}} = \overline{\boldsymbol{Z}}_{\boldsymbol{loop}} \overline{\boldsymbol{I}}_{\boldsymbol{loop}} \qquad \overline{\boldsymbol{Y}}_{\boldsymbol{loop}} \overline{\boldsymbol{E}}_{\boldsymbol{loop}} = \overline{\boldsymbol{I}}_{\boldsymbol{loop}}$$

$$\overline{\boldsymbol{E}}_{\boldsymbol{loop}} = \left[\overline{E}_1 \quad \overline{E}_2 \quad \cdots \quad \overline{E}_{n_{loop}}\right]^{\mathrm{T}}$$

$$\overline{\boldsymbol{I}}_{\boldsymbol{loop}} = \left[\overline{I}_1 \quad \overline{I}_2 \quad \cdots \quad \overline{I}_{n_{loop}}\right]^{\mathrm{T}}$$

$$\overline{\boldsymbol{Z}}_{\boldsymbol{loop}} = \begin{bmatrix} \overline{Z}_{11} & \overline{Z}_{12} & \cdots & \overline{Z}_{1n_{loop}} \\ \overline{Z}_{21} & \overline{Z}_{22} & \cdots & \overline{Z}_{2n_{loop}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{Z}_{n_{loop}1} & \overline{Z}_{n_{loop}2} & \cdots & \overline{Z}_{n_{loop}n_{loop}} \end{bmatrix}$$

در محاسبه $\overline{Z}_{loop}$يا $\overline{Y}_{loop}$ مقادير $\overline{Y}_{ii}, \overline{Z}_{ii}$ مقادير خود امپدانسي (Self-Impedance) و خود ادميتانسي-(Self Admittance) هستند.

مقادير $\overline{Y}_{ij}, \overline{Z}_{ij}$ مقادير امپدانس متقابل (Mutual-Impedance) و ادميتانس متقابل (Mutual-Admittance) هستند.

مقادير متقابل بسته به انتخاب جهت جريان داراي مقادير مثبت يا منفي خواهند بود .

شكل حلقه هاي اساسي شبكه الكتريكي داده شده

شكل ٥

در اين بررسي در وهله اول بايستي حلقه هاي اساسي Basic Loop مدار (يا درخت) انتخاب شوند .

با استفاده از KVL داريم :

$$\begin{cases} \text{Loop 1}: & \overline{E}_1 = \overline{Z}_1\overline{I}_1 + \overline{Z}_4(\overline{I}_1 - \overline{I}_3 - \overline{I}_4) \\ \text{Loop 2}: & \overline{E}_2 + \overline{E}_3 = \overline{Z}_2\overline{I}_2 + \overline{Z}_3(\overline{I}_1 + \overline{I}_3 + \overline{I}_4) \\ \text{Loop 3}: & \overline{E}_3 = \overline{Z}_4(\overline{I}_3 + \overline{I}_4 - \overline{I}_4) + \overline{Z}_5\overline{I}_3 + \overline{Z}_3(\overline{I}_3 + \overline{I}_4 + \overline{I}_2) \\ \text{Loop 4}: & \overline{E}_3 = \overline{Z}_4(\overline{I}_3 + \overline{I}_4 - \overline{I}_4) + \overline{Z}_6\overline{I}_4 + \overline{Z}_3(\overline{I}_3 + \overline{I}_3 + \overline{I}_4) \end{cases}$$

www.jozve.org

$$\begin{cases} \overline{E}_1 = (\overline{Z}_1 + \overline{Z}_4)\bar{I}_1 + 0 - \overline{Z}_4\bar{I}_3 - \overline{Z}_4\bar{I}_4 \\ \overline{E}_2 + \overline{E}_3 = 0 + (\overline{Z}_2 + \overline{Z}_3)\bar{I}_2 + \overline{Z}_3\bar{I}_3 + \overline{Z}_4\bar{I}_4 \\ \overline{E}_3 = -Z_4\bar{I}_1 + \overline{Z}_3\bar{I}_2 + (\overline{Z}_3 + \overline{Z}_4 + \overline{Z}_5)\bar{I}_3 + (\overline{Z}_3 + \overline{Z}_4)\bar{I}_4 \\ \overline{E}_3 = -Z_4\bar{I}_1 + \overline{Z}_3\bar{I}_2 + (\overline{Z}_3 + \overline{Z}_4)\bar{I}_3 + (\overline{Z}_3 + \overline{Z}_4 + \overline{Z}_6)\bar{I}_4 \end{cases}$$

$$\overline{\boldsymbol{E}}_{\boldsymbol{LOOP}} = \overline{\boldsymbol{Z}}_{\boldsymbol{LOOP}}\bar{\boldsymbol{I}}_{\boldsymbol{LOOP}} \qquad \overline{\boldsymbol{E}}_{\boldsymbol{LOOP}} = \begin{bmatrix} \overline{E}_1 \\ \overline{E}_2 + \overline{E}_3 \\ \overline{E}_3 \\ \overline{E}_3 \end{bmatrix} \qquad \bar{\boldsymbol{I}}_{\boldsymbol{LOOP}} = \begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \\ \bar{I}_4 \end{bmatrix}$$

$$\overline{\boldsymbol{Z}}_{\boldsymbol{loop}} = \begin{bmatrix} \overline{Z}_1 + \overline{Z}_4 & 0 & -\overline{Z}_4 & -\overline{Z}_4 \\ 0 & \overline{Z}_2 + \overline{Z}_3 & \overline{Z}_3 & \overline{Z}_3 \\ -\overline{Z}_4 & \overline{Z}_3 & \overline{Z}_3 + \overline{Z}_4 + \overline{Z}_5 & \overline{Z}_3 + \overline{Z}_4 \\ -\overline{Z}_4 & \overline{Z}_3 & \overline{Z}_3 + \overline{Z}_4 & \overline{Z}_3 + \overline{Z}_4 + \overline{Z}_6 \end{bmatrix}$$

پس

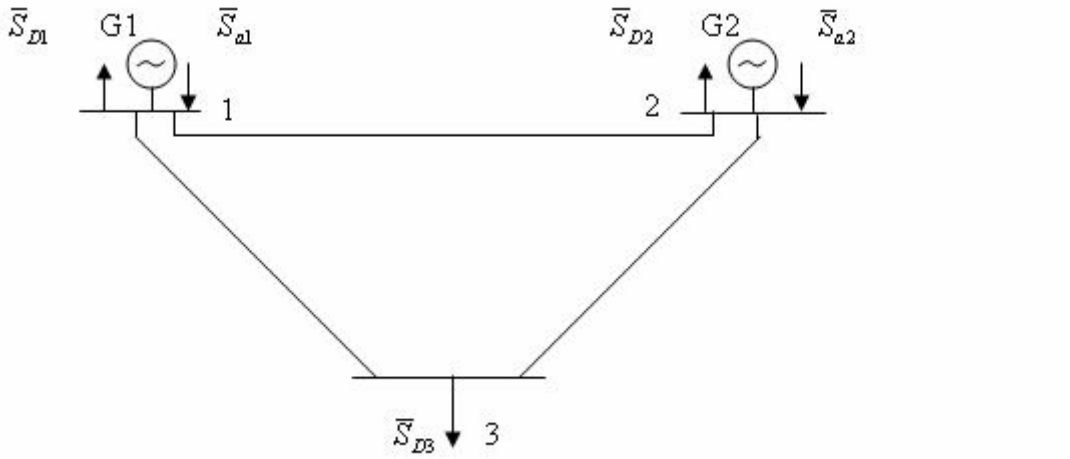
۵ـ۷ ماتریس شاخص حلقه

۵ـ۸ ماتریس های ادمیتانس و امپدانس حلقه

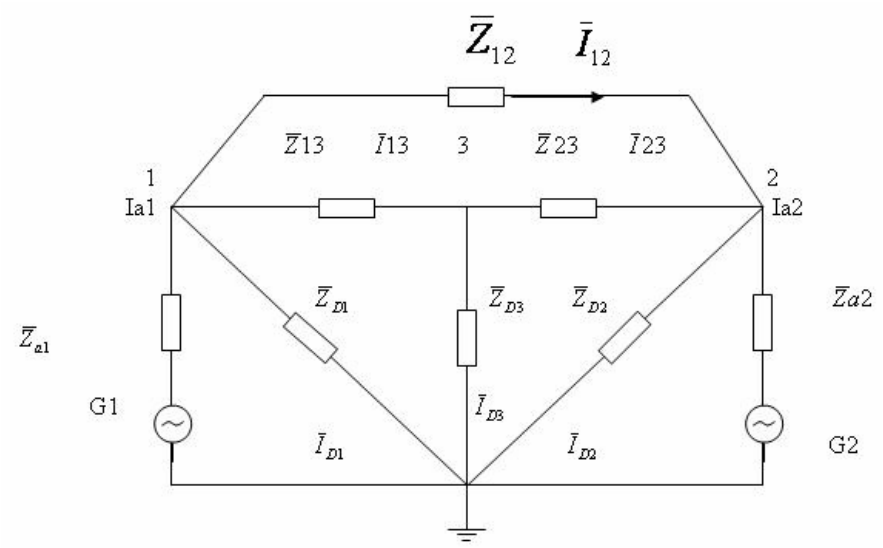
www.jozve.org

۹ـ تحلیل سیستم قدرت به روش حلقه

دیاگرام تک خطی شبکه قدرت نمونه



شکل(۵ـ۱۹)



شکل(۵ـ۲۱)

دیاگرام راکتانسی شبکه قدرت نمونه

گراف خطي شبکه قدرت نمونه (۸ شاخه، ۵ حلقه)

www.jozve.org

$$\bar{\boldsymbol{Z}}_{\boldsymbol{line}} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_1 & & & & & & & \\ & \bar{Z}_2 & & & & & & \\ & & \bar{Z}_3 & & & 0 & & \\ & & & \bar{Z}_4 & & & & \\ & & & & \bar{Z}_5 & & & \\ & & 0 & & & \bar{Z}_6 & & \\ & & & & & & \bar{Z}_7 & \\ & & & & & & & \bar{Z}_8 \end{bmatrix}_{8\times 8} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{G1} & & & & & & & \\ & \bar{Z}_{G2} & & & & & & \\ & & \bar{Z}_{D1} & & & 0 & & \\ & & & \bar{Z}_{D2} & & & & \\ & & & & \bar{Z}_{D3} & & & \\ & & 0 & & & \bar{Z}_{13} & & \\ & & & & & & \bar{Z}_{23} & \\ & & & & & & & \bar{Z}_{12} \end{bmatrix}_{8\times 8}$$

$$\boldsymbol{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{8\times 5} \qquad \bar{\boldsymbol{Z}}_{\boldsymbol{loop}} = \boldsymbol{C}^{\boldsymbol{T}}\, \bar{\boldsymbol{Z}}_{\boldsymbol{line}} \boldsymbol{C}$$

$$\bar{\boldsymbol{Z}}_{\boldsymbol{Loop}} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{G1} + \bar{Z}_{D1} & 0 & -\bar{Z}_{D1} & 0 & -\bar{Z}_{D1} \\ 0 & \bar{Z}_{G2} + \bar{Z}_{D2} & 0 & -\bar{Z}_{D2} & \bar{Z}_{D2} \\ -\bar{Z}_{D1} & 0 & \bar{Z}_{D1} + \bar{Z}_{D3} + \bar{Z}_{13} & \bar{Z}_{D3} & \bar{Z}_{D1} \\ 0 & -\bar{Z}_{D2} & \bar{Z}_{D3} & \bar{Z}_{D2} + \bar{Z}_{D3} + \bar{Z}_{23} & -\bar{Z}_{D2} \\ -\bar{Z}_{D1} & \bar{Z}_{D2} & \bar{Z}_{D1} & -\bar{Z}_{D2} & \bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{D1} + \bar{Z}_{D2} \end{bmatrix}_{5\times 5}$$

۱۰-۵ معادلات شبکه در فرم مرجع پایه شین (روش گره) Bus Frame of Reference

$$\bar{\boldsymbol{I}}_{\boldsymbol{bus}} = \bar{\boldsymbol{Y}}_{\boldsymbol{bus}} \bar{\boldsymbol{V}}_{\boldsymbol{bus}} \qquad \& \qquad \bar{\boldsymbol{Z}}_{\boldsymbol{bus}} \bar{\boldsymbol{I}}_{\boldsymbol{bus}} = \bar{\boldsymbol{V}}_{\boldsymbol{bus}}$$

$$\bar{\boldsymbol{I}}_{\boldsymbol{bus}} = \left[\bar{I}_1 \bar{I}_2 \ldots\ldots\ldots\ldots \bar{I}_{nbus}\right]^T = \begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \\ \bar{I}_{nbus} \end{bmatrix}_{nbus\times 1}$$

$$\bar{\boldsymbol{V}}_{\boldsymbol{bus}} = \begin{bmatrix} \bar{V}_1 \\ \\ \bar{V}_{nbus} \end{bmatrix}_{nbus\times 1} = \left[\bar{V}_1 \bar{V}_2 \ldots\ldots\ldots \bar{V}_{nbus}\right]^T$$

www.jozve.org

$$\bar{Y}_{bus} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11}\bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{1nbus} \\ \bar{Y}_{21}\bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{2nbus} \\ & \\ \bar{Y}_{nbus*1} & \bar{Y}_{nbus} * n_{bus} \end{bmatrix}_{Nbus*mbus}$$

$0 < \bar{Y}_{ii}$ مجموع ادميتانس هاي مستقل به شاخه iام

بين شاخه i و j شاخه اي وجود نداشته باشد .

$$\left.\begin{matrix} 0 = \\ 0 > \end{matrix}\right\} \bar{Y}_{ij}$$

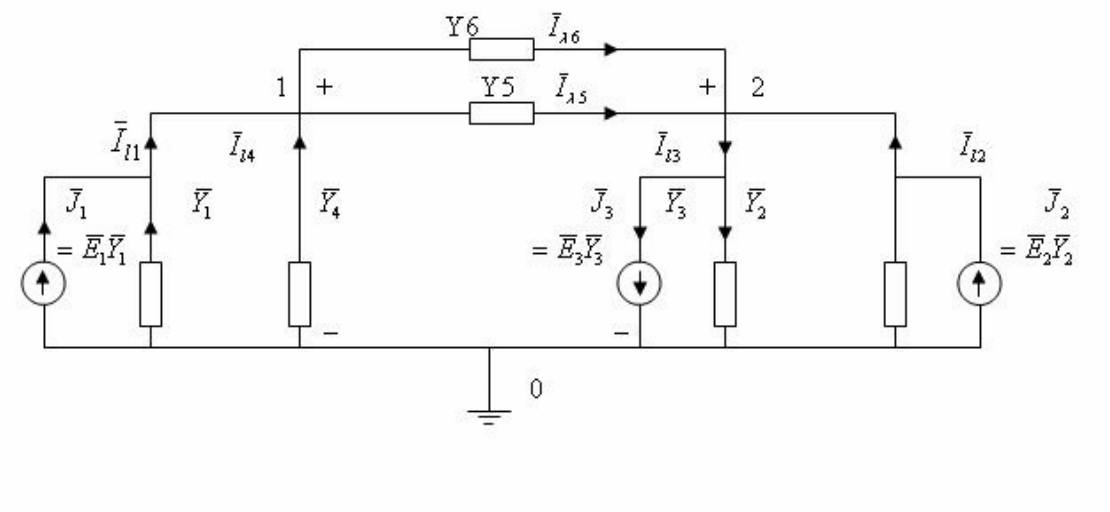
بين شاخه i،j شاخه وجود داشته باشد . (ادميتانس شاخه ij)

فرم اصلاح شده شبکه قبل بصورت

منابع جريان و ادميتانس ها

گره ۰ با پتانسيل انتخاب شده

و ولتاژها گرههاي ۱ و ۲ نسبت به آن سنجيده مي شوند .



شکل(۱۸-۵)

www.jozve.org

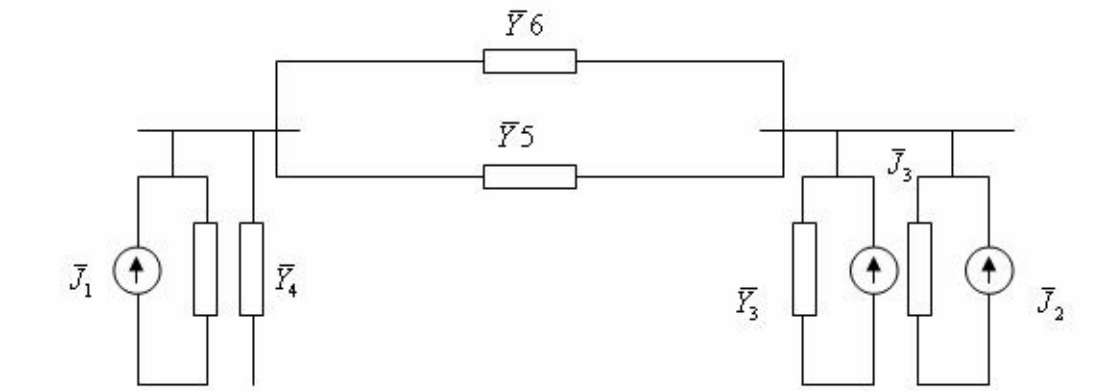
اعمال قوانين kcl در گره ها

جريان تزريقي شين ۱ از نظر بررسي مدار الكتريكي (بخاطر كم نكردن بار از جريان توليد)

$$\begin{cases} \bar{I}_{l1} + \bar{I}_{l4} - \bar{I}_{l5} - \bar{I}_{l6} = 0 \\ \bar{I}_{l2} - \bar{I}_{l3} + \bar{I}_{l5} + \bar{I}_{l6} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \bar{I}_{l1} = \bar{E}_1 \bar{Y}_1 - \bar{V}_{10} \bar{Y}_1 \\ \bar{I}_{l2} = \bar{E}_2 \bar{Y}_2 - \bar{V}_{20} \bar{Y}_2 \\ \bar{I}_{l3} = \bar{E}_3 \bar{Y}_3 + \bar{V}_{30} \bar{Y}_3 \\ \bar{I}_{l4} = \bar{V}_{10} \bar{Y}_4 \\ \bar{I}_{l5} = (\bar{V}_{10} - \bar{V}_{20})\bar{Y}_5 \qquad \bar{Y}_{11} = \bar{Y}_1 + \bar{Y}_4 + \bar{Y}_5 + \bar{Y}_6 \qquad \bar{Y}_{12} = -(\bar{Y}_5 + \bar{Y}_6) \\ \bar{I}_{l6} = (\bar{V}_{10} - \bar{V}_{20})\bar{Y}_6 \qquad \bar{Y}_{22} = \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3 + \bar{Y}_5 + \bar{Y}_6 \qquad \bar{Y}_{21} = -(\bar{Y}_5 + \bar{Y}_6) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \bar{Y}_1 \bar{E}_1 = (\bar{Y}_1 + \bar{Y}_4 + \bar{Y}_5 + \bar{Y}_6)\bar{V}_{10} - (\bar{Y}_5 + \bar{Y}_6)\bar{V}_{20} \\ \bar{Y}_2 \bar{E}_2 - \bar{Y}_3 \bar{E}_3 = -(\bar{Y}_5 + \bar{Y}_6)\bar{V}_{10} + (\bar{Y}_2 + \bar{Y}_3 + \bar{Y}_5 + \bar{Y}_6)\bar{V}_{20} \end{cases}$$



شكل(۲۰-۵)

از نظر بررسی مدار الكتريكی

؟؟؟

$$\begin{cases} \bar{I}_1 = \bar{Y}_{11}\bar{V}_1 + \bar{Y}_{12}\bar{V}_2 \\ \bar{I}_2 = \bar{Y}_{21}\bar{V}_1 + \bar{Y}_{22}\bar{V}_2 \end{cases}$$

$$\bar{I}_{Bus} = \left[\bar{I}_1 \bar{I}_2\right]^T$$

$$\bar{V}_{bus} = \left[\bar{V}_1 \bar{V}_2\right]^T$$

$$\bar{Y}_{bus} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} \\ \bar{Y}_{21} & \bar{Y}_{22} \end{bmatrix}$$

از نظر بررسی پخش بار

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_{G1} - \bar{I}_{D1} - \bar{I}_{D4} = \bar{J}_1 - \bar{Y}_1\bar{V}_1 - \bar{Y}_4\bar{V}_4$$
$$\bar{I}_1 = \bar{I}_{G2} - \bar{I}_{D2} - \bar{I}_{G3} - \bar{I}_{D3} = \bar{J}_2 - \bar{Y}_2\bar{V}_2 - \bar{J}_3 + \bar{Y}_3\bar{V}_2$$
$$\bar{Y}_{11} = \bar{Y}_5 + \bar{Y}_6 \qquad \bar{Y}_{11} = -(\bar{Y}_5 + \bar{Y}_6)$$
$$\bar{Y}_{22} = \bar{Y}_5 + \bar{Y}_6 \qquad \bar{Y}_{21} = -(\bar{Y}_5 + \bar{Y}_6)$$

۵-۱۱ ماتريس تلاقي شين (گره) BUS Incidence Matrix(A)

با استفاده از اين ماتريس مي توان ولتاژ شاخه ها را نسبت به ولتاژ شين ها (گرهها) نوشت .

$\bar{V}_{line} = A\bar{V}_{bus}$ بردار ولتاژ شين ها A = بردار ولتاژ شاخه ها

در مورد شبکه مثال قبل مي توان نوشت :

$$\bar{V}_{l1} = -\bar{V}_{10} = -\bar{V}_1$$
$$\bar{V}_{l2} = -\bar{V}_2$$
$$\bar{V}_{l3} = \bar{V}_2$$
$$\bar{V}_{l4} = -\bar{V}_1$$
$$\bar{V}_{l5} = \bar{V}_1 - \bar{V}_2$$
$$\bar{V}_{l6} = \bar{V}_1 - \bar{V}_2$$

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} \bar{V}_{l1} \\ \bar{V}_{l2} \\ \bar{V}_{l3} \\ \bar{V}_{l4} \\ \bar{V}_{l5} \\ \bar{V}_{l6} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \\ 0 & 1 \\ -1 & 0 \\ 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} a_{ij} = 1 \\ a_{ij} = -1 \\ a_{ij} = 0 \end{cases}$$

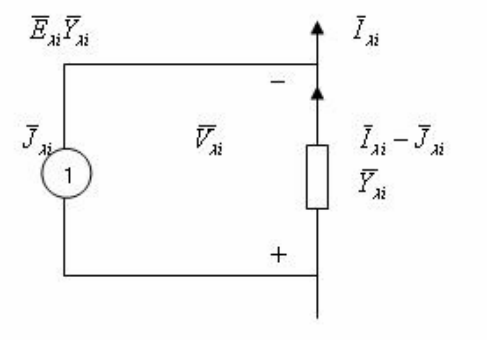
هرگاه i امين شاخه در تلاقي (شامل) با شين j بوده و جريان شاخه از گره j خارج شود

جريان شاخه به گره j وارد مي شود

هرگاه i امين شاخه در تلاقي با شين j نباشد .

www.jozve.org

۵-۱۲ ماتريس ادميتانس و امپدانس شين



شكل(۵-۱۷)

$$\begin{cases}\bar{Y}_{li}\bar{V}_{li}=\bar{I}_{li}-\bar{J}_{li}\\ \bar{J}_{li}=\bar{E}_{li}\bar{Y}_{li}\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}\bar{\boldsymbol{Y}}_{\boldsymbol{line}}\bar{\boldsymbol{V}}_{\boldsymbol{line}}=\bar{\boldsymbol{I}}_{\boldsymbol{line}}-\bar{\boldsymbol{J}}_{\boldsymbol{line}}\\ \bar{\boldsymbol{J}}_{\boldsymbol{line}}=\bar{\boldsymbol{Y}}_{\boldsymbol{line}}\bar{\boldsymbol{E}}_{\boldsymbol{line}}\end{cases}$$

$$\bar{Y}_{line}A\bar{V}_{bus}=\bar{I}_{line}-\bar{J}_{line}\rightarrow A^{T}\bar{Y}_{line}A\bar{V}_{bus}=A^{T}\bar{I}_{line}-A^{T}\bar{J}_{line}$$

$$A^{T}\bar{I}_{line}=0$$

- براساس قانون KCL (مجموع جريانهاي يك گره برابر صفر) كه مي توان در مورد مثال فوق نيز بررسي نمود .
- از طرف ديگر $-A^{t}\bar{J}_{line}$ جمع جبري جريانهاي منابع تزريق شن به شين ها را نشان مي دهد و برابر بردار جريان تزريقي شين ها (از نظر بررسي مدار الكتريكي و بدون در نظر گرفتن اثر مصارف و بارها) مي باشد . پس خواهيم داشت :

$$\begin{cases}-A^{T}\bar{J}_{line}=\bar{I}_{bus}\\ A^{T}\bar{I}_{line}=0\\ A^{T}\bar{Y}_{line}A=\hat{Y}_{bus}\end{cases}\Rightarrow\bar{I}_{bus}=\bar{Y}_{bus}\bar{V}_{bus}\quad,\bar{V}_{bus}=\bar{Z}_{bus}\bar{I}_{bus}\quad,\bar{Y}_{bus}=\bar{Z}_{bus}^{-1}$$

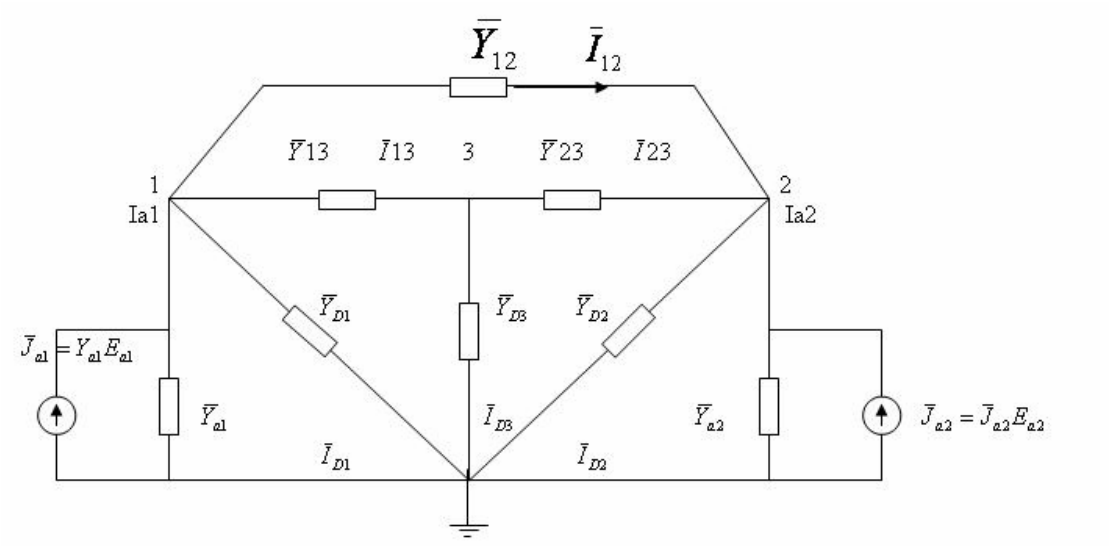
مثال- محاسبه ماتريس ادميتانس شين بر روي شبكه شكل ٥ و ٧ :

$$\bar{Y}_{line}=\begin{bmatrix}\bar{Y}_1 & & & & & \\ & \bar{Y}_2 & & & & \\ & & \bar{Y}_3 & & & \\ & & & \bar{Y}_4 & & \\ & & & & \bar{Y}_5 & \\ & & & & & \bar{Y}_6\end{bmatrix}_{nlin*nline} \qquad A=\begin{bmatrix}-1 & 0\\ 0 & -1\\ 0 & 1\\ -1 & 0\\ 1 & -1\\ 1 & -1\end{bmatrix}_{nline*nbus}$$

$$\bar{Y}_{lin}A=\begin{bmatrix}-\bar{Y}_1 & 0\\ 0 & -\bar{Y}_2\\ 0 & \bar{Y}_3\\ -\bar{Y}_4 & 0\\ \bar{Y}_5 & -\bar{Y}_5\\ \bar{Y}_6 & -\bar{Y}_6\end{bmatrix} \qquad \bar{Y}_{bus}=A^T\bar{Y}_{line}A=\begin{bmatrix}\bar{Y}_1+\bar{Y}_4+\bar{Y}_5+\bar{Y}_6 & -(\bar{Y}_5+\bar{Y}_6)\\ -(\bar{Y}_5+\bar{Y}_6) & \bar{Y}_1+\bar{Y}_4+\bar{Y}_5+\bar{Y}_6\end{bmatrix}_{nbus*nline}$$

بدون احتساب شين ٠ , شين زمين ماتريس ادميتانس از نظر بررسي مدارالكتريكي

مثال – محاسبه ماتريس ادميتانس بررسي شبكه شكل ٦ (تبديل منابع ولتاژ به منابع جريان)



شكل(١٦-٥)

www.jozve.org

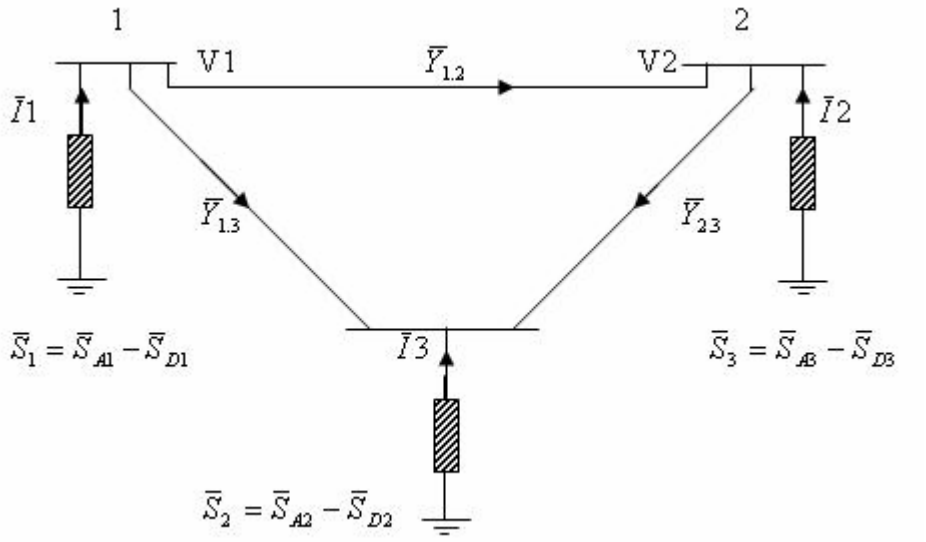
$$\bar{Y}_{line}=\begin{bmatrix}\bar{Y}_{a1} & & & & & & & \\ & \bar{Y}_{a2} & & & & & & \\ & & \bar{Y}_{D1} & & & & & \\ & & & \bar{Y}_{D3} & & & & \\ & & & & \bar{Y}_{13} & & & \\ & & & & & \bar{Y}_{23} & & \\ & & & & & & \bar{Y}_{12} & \end{bmatrix}_{8*8} \quad A=\begin{bmatrix}-1 & 0 & 0\\ 0 & -1 & 0\\ 1 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 1\\ 1 & 0 & -1\\ 0 & 1 & -1\\ 1 & -1 & 0\end{bmatrix}_{8*3}$$

$$\bar{Y}_{line}A=\begin{bmatrix}\bar{Y}_{a1} & 0 & 0\\ 0 & -\bar{Y}_{a2} & 0\\ \bar{Y}_{D1} & 0 & 0\\ 0 & \bar{Y}_{D2} & 0\\ 0 & 0 & \bar{Y}_{D3}\\ \bar{Y}_{13} & 0 & -\bar{Y}_{13}\\ 0 & \bar{Y}_{23} & -\bar{Y}_{23}\\ \bar{Y}_{12} & -\bar{Y}_{12} & 0\end{bmatrix}_{8*3}$$

$$\bar{Y}_{bus}=A^T\bar{Y}_{line}A=\begin{bmatrix}\bar{Y}_{a1}+\bar{Y}_{D1}+\bar{Y}_{13}+\bar{Y}_{12} & -\bar{Y}_{12} & -\bar{Y}_{13}\\ -\bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{a2}+\bar{Y}_{D2}+\bar{Y}_{23}+\bar{Y}_{12} & -\bar{Y}_{23}\\ -\bar{Y}_{13} & -\bar{Y}_{23} & \bar{Y}_{D3}+\bar{Y}_{13}+\bar{Y}_{23}\end{bmatrix}_{3*3}$$

؟؟؟

۵-۱۳ روش ولتاژ شین ها در مطالعات پخش بار سیستمهاي قدرت



شکل(۵-۱۵)

www.jozve.org

در حالت كلي برروي سيستم قدرت با تعداد n_{bus} شين وn_{line} خط انتقال داريم :

$\bar{I}_i$ = جريان تزريقي به شين i

$\overline{V_i}$ = ولتاژ شين i (اختلاف پتانسيل I و زمين)

$\bar{S}_i$ = قدرت ظاهري تزريقي (مختلط) در شين I مي توان نوشت :

$$\bar{S}_i = \overline{V}_i \bar{I}_i^*, \qquad i = 1,...,nbus$$

$$\bar{S}_i = \bar{S}_{Gi} - \bar{S}_{Di} = P_i + jQ_i$$

قدرت توليدي ظاهري درشين

$$\bar{S}_{Gi} = P_{Gi} + jQ_{ai} = i$$

قدرت مصرفي (بار)ظاهري در شين

$$\bar{S}_{Di} = P_{Di} + jQ_{Di} = i$$

بنابراين $\bar{S}_i$ تون ظاهري خالصي (net - power) و تزريق شده (injected) به شين i مي باشد .

در اينحالت شين i ام بصورت يك شين مختلط (complex bus) در نظر گرفته مي شود كه شامل مقادير توليدي و مصرفي است

حالتهاي ممكن در شين i:

١. شامل مقادير توليد و مصرف (شين مختلط) مثبت يامنفي

٢. فقط شامل مقادير توليد (شين توليد يا ژنرانوز) مثبت

٣. فقط شامل مقادير مصرف (شين مصرف يا بار) منفي

٤. شامل مقادير كنترل مصرف سلف و خازن (شين كنترل) خازن مثبت و سلف منفي

٥. بدون مقادير فوق (شين ارتباطي يا اتصالي) صفر

در حالت كلي :

$$\bar{I}_1 = (\bar{Y}_{12} + \bar{Y}_{13}).\bar{V}_1 - \bar{Y}_{12}\bar{V}_2 - \bar{Y}_{13}\bar{V}_3$$

$$\bar{I}_2 = -\bar{Y}_{21}\bar{V}_1 + (\bar{Y}_{21} + \bar{Y}_{23}).\bar{V}_2 - \bar{Y}_{23}\bar{V}_3$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \bar{I}_1 = \bar{Y}_{11}\bar{V}_1 + \bar{Y}_{12}\bar{V}_2 + \bar{Y}_{13}\bar{V}_3 \\ \bar{I}_2 = \bar{Y}_{21}\bar{V}_1 + \bar{Y}_{22}\bar{V}_2 + \bar{Y}_{23}\bar{V}_3 \\ \bar{I}_3 = \bar{Y}_{31}\bar{V}_1 + \bar{Y}_{32}\bar{V}_2 + \bar{Y}_{33}\bar{V}_3 \end{cases}$$

$$\bar{I}_3 = -\bar{Y}_{31}\bar{V}_1 - \bar{Y}_{32}\bar{V}_2 + (\bar{Y}_{31} + \bar{Y}_{32}).\bar{V}_3$$

$\bar{Y}_{ii} > 0$ مجموع ادميتانسهاي بين شين I و بقيه شينهاي متصل آن

$\bar{Y}_{ij} < 0$ ادميتانس بين شين I و شين j با علامت منفي

- دراين حالت بردار $\bar{Y}_{bus}, \bar{I}_{bus}$ با مقدارآن دربررسي مدارات الكتريكي متفاوت است

$$\bar{I}_{bus} = \bar{Y}_{bus}\bar{V}_{bus}$$

$$\bar{I}_i = \sum_{j=1}^{nbus} \bar{Y}_{ij}\bar{V}_i, \bar{I}_i = \bar{S}_i^*$$

www.jozve.org

٥-١٣-١ مزاياي روش ولتاژ گره Advantages of Nodal Method

روش جريان مش يا حلقه ، روش نسبتا ساده اي است كه در حالت كلي در مدارات الكتريكي قابل استفاده است ولي در شبكه هاي سيستم قدرت روش ولتاژ گرهها ابزاري قوي است زير ا :

١- تعداد گره ها در سيستماي قدرت اغلب كمتر از تعداد حلقه ها است . بنابراين معادلات ماتريس براحتي معكوس پذير هستند .

٢- اكثر شبكه هاي قدرت پراكنده Sparse هستند (اكثر شين ها خطوطي بين همه ؟؟؟) واين باعث مي شود تا ماتريسي ادميتانس مقادير زيادي صفر داشته باشد . پس اكثر كامپيوترهاي ديجيتال مادرند بااستفاده از روشهاي ماتريس هاي پراكنده از ذخيره سازي صفرها جلوگيري نمايند .

٣- شناسايي گره ها راحتتر ازحلقه ها مي باشد ، در اكثر شبكه هاي قدرت وجود خطوط متقاطع باعث پيچيدگي حلقه ها مي شود .

٤- در اين روش نيازي به تركيب نمودن خطوط موازي همديگر نمي باشند .

٥- اين روش با اندازه گيريهاي واقعي شبكه قدرت كه برروي ولتاژ شين ها تاكيد دارد همراست مي باشد .

٦- نمايش و تاثير ترانسفورماتورها با نسبت دور غير ثاني (nominal turns ratio–off) و ترانسفورماتورهاي شيفت فاز (Phase shifting trans) در ماتريس ادميتانس بسادگي صورت مي گيرد . (در قمست پخش بار).

٥-١٣-٢ معايب روش ولتاژ گره

١- در اين روش جريانها مستقيما بدست نمي آيند . (احتياج به محاسبات اضافي دارد)

٢- لزوم محاسبه ولتاژ شين ها برروي رسيدن به جريان شاخه ها بخاطر اختلاف كم بين مقادير آنها باعث وجود خطاهاي محاسباتي خواهد بود (مگر اينكه از حافظه با دقت مضاعف استفاده شود)

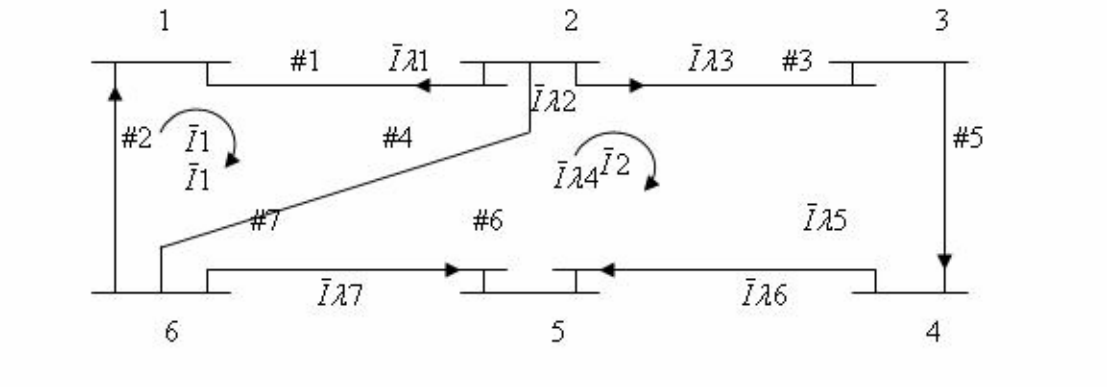
بكارگيري كامپيوترهاي ديجيتال و دقيق و سريع بودن آنها دو عيب فوق را منتفي مي كند

٣- در اين روش اندوكتانس متقابل بين خطوط بدون استفاده از روش تحليل كانل شبكه قابل اعمال نيست .

www.jozve.org

مثال - برروي شبكه قدرت زير اطلاعات مربوط به امپدانس خطوط برحسب پريونيت در جدول داده شده است با احتساب شين ۰ بعنوان شين مرجع و خطوط ۳ و ٦ بعنوان لينك ماتريس هاي زير را بدست آوريد :

الف - ماتريس تلاقي حلقه **ب-** ماتريس تلاقي شين **پ -** ماتريس شبكه Z_{bus}, Z_{loop}



شكل(١٤-٥)

شماره خط	شين ابتدا	شين انتها	امپدانس خط
1	1	2	0.04
2	1	6	0.05
3	2	3	0.02
4	2	6	0.04
5	3	4	0.10
6	4	5	0.07

$$C=\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & -1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}_{nline*nloop,7\times 2} \qquad A=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} nline\times(nbus-1),7\times 5$$

$$\bar{Z}_{line} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_1 & & & & & & \\ & \bar{Z}_2 & & & & & \\ & & \bar{Z}_3 & & & & \\ & & & \bar{Z}_4 & & & \\ & & & & \bar{Z}_5 & & \\ & & & & & \bar{Z}_6 & \\ & & & & & & \bar{Z}_7 \end{bmatrix}_{7*7} = \begin{bmatrix} 0.4 & & & & & & \\ & 0.5 & & & & & \\ & & 0.2 & & & & \\ & & & 0.4 & & & \\ & & & & 0.1 & & \\ & & & & & 0.07 & \\ & & & & & & 0.03 \end{bmatrix} \angle\theta$$

???

$$\bar{Z}_{loop} = C^T \bar{Z}_{line} C = \begin{bmatrix} 0.13 & -0.04 \\ -0.04 & 0.26 \end{bmatrix}_{2*2} \angle\theta$$

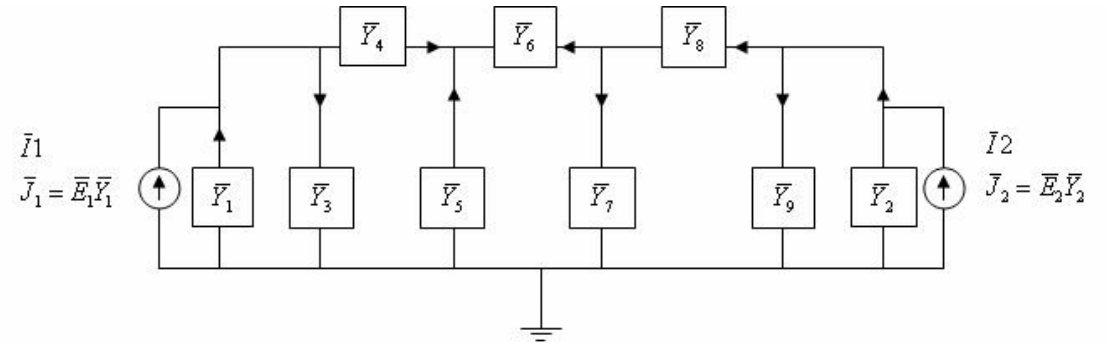
$$\bar{Y}_{line} = \bar{Z}_{linre}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{Z_1} & & & & & & \\ & \frac{1}{Z_2} & & & & & \\ & & \frac{1}{Z_3} & & & & \\ & & & \frac{1}{Z_4} & & & \\ & & & & \frac{1}{Z_5} & & \\ & & & & & \frac{1}{Z_6} & \\ & & & & & & \frac{1}{Z_7} \end{bmatrix}_{7*7} = \begin{bmatrix} 25 & & & & & & \\ & 20 & & & & & \\ & & 50 & & & & \\ & & & 25 & & & \\ & & & & 10 & & \\ & & & & & 14 & \\ & & & & & & 28 \end{bmatrix}$$

???

-

٥-١٤ حذف شين

در روش مرجع پايه شين برخي اوقات لازم است ، شين (گره)معيني حذف شود تا زمان محاسباتي و حجم محاسبات كامپيوتري مخصوصا در سيستمهاي قدرت با ابعاد بزرگ كاهش يابد . براي درك بهتر مسئله حذف شين شكل زير را در نظر بگيريد



شكل(١٢-٥)

در شكل فوق تعداد ٤شين با احتساب يكي از شين ها بعنوان شين مرجع و در نظر نگرفتن شين O بعنوان شين زمين وجوددارد .

از نظر بررسي مدارات الكتريكي:

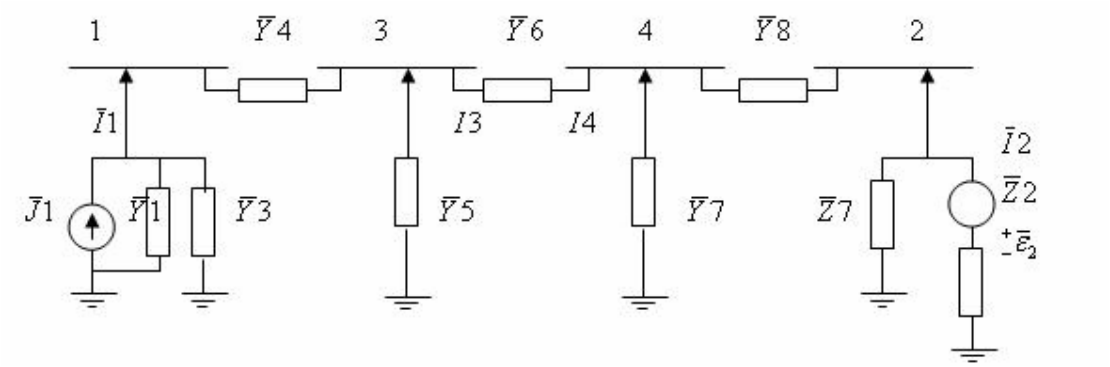
$$\left.\begin{aligned}
&\bar{I}_1 = \bar{J}_1 = \bar{E}_1\bar{Y} \\
&\bar{I}_2 = \bar{J}_2 = \bar{E}_2\bar{Y}_2 \\
&\bar{I}_1 = \bar{J}_1 = \bar{E}_1\bar{Y}_1 \\
&\bar{I}_3 = 0 \\
&\bar{I}_4 = 0
\end{aligned}\right\}_1 \Rightarrow \bar{I}_{bus} = \bar{Y}_{bus}\bar{V}_{bus}
\begin{cases}
\bar{Y}_{11} = \bar{Y}_1 + \bar{Y}_3 + \bar{Y}_4 \\
\bar{Y}_{12} = +\bar{Y}_{21} = 0 \\
\bar{Y}_{13} = \bar{Y}_{31} = -\bar{Y}_4 \\
\bar{Y}_{14} = \bar{Y}_{41} = 0
\end{cases}
\begin{cases}
\bar{Y}_{33} = \bar{Y}_4 + \bar{Y}_5 + \bar{Y}_6 \\
\bar{Y}_{34} = \bar{Y}_{43} = -\bar{Y}_6
\end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \\ \bar{I}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{13} & \bar{Y}_{14} \\ \bar{Y}_{21} & \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} & \bar{Y}_{24} \\ \bar{Y}_{31} & \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} & \bar{Y}_{34} \\ \bar{Y}_{41} & \bar{Y}_{42} & \bar{Y}_{43} & \bar{Y}_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \\ \bar{V}_3 \\ \bar{V}_4 \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases}
\bar{Y}_{22} = \bar{Y}_2 + \bar{Y}_8 + \bar{Y}_9 \\
\bar{Y}_{23} = \bar{Y}_{32} = 0 \\
\bar{Y}_{24} = \bar{Y}_{42} = -\bar{Y}_8
\end{cases}
\qquad
\{\bar{Y}_{44} = \bar{Y}_6 + \bar{Y}_7 + \bar{Y}_8$$

در اينجا شين هاي ٣و٤ داراي جريان توليدي نبوده يا انرژي به سيستم تزريق نمي كنند . (يا از نظر بررسي مدارات الكتريكي جريان تزريقي صفر دارند .) بنابراين مي توان قسمتي از بردارهاي جريان ولتاژ و ماتريس ادميتانس را كه مربوط به شين ٣و٤ هستند با نقطه چين علامت گذاشته و پس از تقسيم بندي آنها رااز عمليات حذف نمود .

- از نظر بررسي پخش بار در سيستمهاي قدرت المانهاي مربوط به بردار جريان تزريقي و ماتريسي ادميتانس شين ها تغيير مي يابند .



شکل(۱۳-۵)

$$\begin{bmatrix}\bar{I}_1\\ \bar{I}_2\\ \bar{I}_3\\ \bar{I}_4\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{13} & \bar{Y}_{14}\\ \bar{Y}_{21} & \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} & \bar{Y}_{24}\\ \bar{Y}_{31} & \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} & \bar{Y}_{34}\\ \bar{Y}_{41} & \bar{Y}_{42} & \bar{Y}_{43} & \bar{Y}_{44}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\bar{V}_1\\ \bar{V}_2\\ \bar{V}_3\\ \bar{V}_4\end{bmatrix} \rightarrow \begin{cases}\bar{Y}_{11}=\bar{Y}_4+\dots\\ \bar{Y}_{12}=\bar{Y}_{21}=0\\ \bar{Y}_{13}=\bar{Y}_{31}=-\bar{Y}_4\\ \bar{Y}_{14}=\bar{Y}_{41}=0\end{cases} \quad \begin{cases}\bar{Y}_{33}=\bar{Y}_4+\bar{Y}_6+\dots\\ \bar{Y}_{34}=\bar{Y}_{43}=-\bar{Y}_6\end{cases}$$

$$\begin{cases}\bar{Y}_{22}=\bar{Y}_8+\dots\\ \bar{Y}_{23}=\bar{Y}_{32}=0\\ \bar{Y}_{24}=\bar{Y}_{43}=-\bar{Y}_8\end{cases} \quad \{\bar{Y}_{44}=\bar{Y}_6+\bar{Y}_8+\dots$$

در اينصوت بردارهاي جريان تزريقي شين ها و ولتاژ شين ها به دو قسمت حفظ شده (retained) با علامت اختصاريr و حذف شده (elimiated)با علامت اختصاري e تبديل مي شود

$$\begin{bmatrix}\bar{I}_r\\ \bar{I}_e\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\bar{E} & \bar{F}\\ \bar{G} & \bar{H}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\bar{V}_r\\ \bar{V}_e\end{bmatrix}$$

بردارهاي جريانهاي تزريقي شين حذف شده $\bar{I}_e=\begin{bmatrix}\bar{I}_3\\ \bar{I}_4\end{bmatrix}$ بردار جريان تزريقي شين حفظ شده

$$\bar{I}_r=\begin{bmatrix}\bar{I}_1\\ \bar{I}_2\end{bmatrix}$$

_بردارجريانهاي حذف شده ازنظربررسي مدارات الكتريكي برداري صفر مي باشد . $\bar{I}_e=0$

_ بردار جريانهاي تزريقي شين حذف شده از نظر بررسي پخش بار سيستمهاي قدرت برداري منفي مي باشد $\bar{I}_e=0$

$$\bar{I}_r = \bar{E}\bar{V}_r + F\bar{V}_e$$

$$\begin{cases} \bar{I}_e = F^T\bar{V}_r + H\bar{V}_e \\ \bar{G} = F^T \end{cases} \Rightarrow \bar{V}_e = \bar{H}^{-1}\bar{I}_e - H^{-1}F^T\bar{V}_r$$

$$\bar{I}_r = \bar{E}\bar{V}_r + F(\bar{H}^{-1}\bar{I}_e - H^{-1}F^T\bar{V})$$

$$\begin{cases} \bar{I}_r = FH^{-1}\bar{I}_e + (E - FH^{-1}F^T)\bar{V}_r \\ \bar{Y}_r = E - FH^{-1}F^T \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \bar{I}_r = FH^{-1}\bar{I}_e + \bar{Y}_r\bar{V}_r \\ \bar{I}_r = \bar{Y}_r\bar{V}_r \end{cases}$$

مثال - بررسي شبكه نشان داده شده و با اطلاعات امپدانس و منابع زير با استفاده از بررسي از نقطه نظر يا ديدگاه مدارات الكتريكي شينهاي ۳ و ٤ ا از شبكه و معادلات آن حذف نمائيد .

$$\bar{E}_1 = 1.0\angle 0^\circ\ pu(v), \qquad \bar{E}_2 = 1.2\angle 30^\circ\ pu(v)$$

$$\begin{aligned}
\bar{Z}_1 &= j0.1pu \quad \Omega & \bar{Y}_1 &= -j10\,pu \\
\bar{Z}_2 &= j0.05pu \quad \Omega & \bar{Y}_2 &= -j20\,pu \\
\bar{Z}_3 &= j0.2pu \quad \Omega & \bar{Y}_3 &= -j5\,pu \\
\bar{Z}_4 &= j0.4pu \quad \Omega & \bar{Y}_4 &= -j2.5\,pu \\
\bar{Z}_5 &= j0.5pu \quad \Omega \quad \Rightarrow & \bar{Y}_5 &= -j2\,pu \\
\bar{Z}_6 &= j0.2pu \quad \Omega & \bar{Y}_6 &= -j5\,pu \\
\bar{Z}_7 &= j0.4pu \quad \Omega & \bar{Y}_7 &= -j2.5\,pu \\
\bar{Z}_8 &= j0.25pu \quad \Omega & \bar{Y}_8 &= -j4\,pu \\
\bar{Z}_9 &= j0.1pu \quad \Omega & \bar{Y}_9 &= -j1.0\,pu
\end{aligned}$$

۵-۱۵ ديدگاه بررسي مدارهاى الكتريكي

جريان تزريقي ← فقط مقاديرتوليدي شين ها :

$$\bar{I}_1 = \bar{J}_1 = \bar{E}_1\bar{Y}_1 = \frac{1.0\angle 0^\circ}{j0.1} = 10\angle -90^\circ\ pu = -j10\,pu$$

$$\bar{I}_2 = \bar{J}_2 = \bar{E}_2\bar{Y}_2 = \frac{1.2\angle 30^\circ}{j0.08} = 15\angle -60^\circ\ pu = -j15\angle 30^\circ\ pu$$

$$\bar{Y}_{bus} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_1+\bar{Y}_3+\bar{Y}_4 & 0 & -\bar{Y}_4 & 0 \\ 0 & \bar{Y}_2+\bar{Y}_8+\bar{Y}_9 & 0 & -\bar{Y}_8 \\ -\bar{Y}_4 & 0 & \bar{Y}_4+\bar{Y}_5+\bar{Y}_6 & -\bar{Y}_6 \\ 0 & -\bar{Y}_8 & -\bar{Y}_6 & \bar{Y}_6+\bar{Y}_7+\bar{Y}_8 \end{bmatrix} = -j\begin{bmatrix} 17.5 & 0 & -2.5 & 0 \\ 0 & 25 & 0 & -4 \\ -2.5 & 0 & 9.5 & -5 \\ 0 & -4 & -5 & 11.5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E & F \\ G & H \end{bmatrix}$$

www.jozve.org

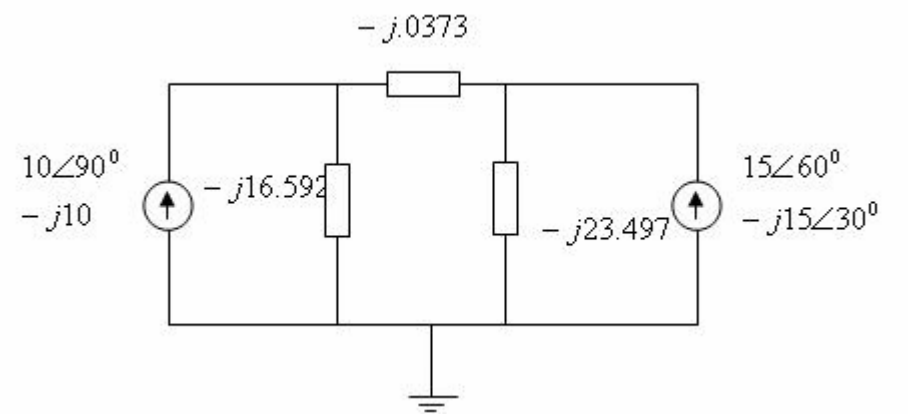
$$\bar{I}_r = \begin{bmatrix} \bar{I}_1 & \bar{I}_2 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 10\angle -90^\circ & 15\angle -60^\circ \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} -j10 & 15\angle 30^\circ \end{bmatrix}^T \quad pu$$

$$\bar{I}_r = \bar{Y}_r \bar{V}_r \qquad \bar{V}_r = \begin{bmatrix} \bar{V}_1 & \bar{V}_2 \end{bmatrix}^T$$

$$\bar{Y}_r = E - FH^{-1}F^T$$

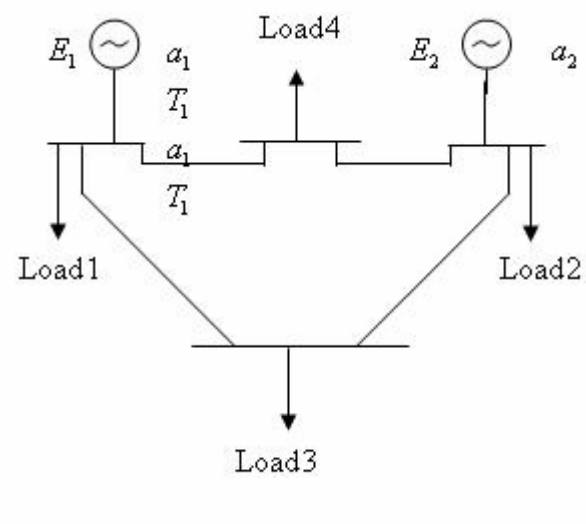
$$H^{-1} = \frac{-j}{134.25}\begin{bmatrix} 11.5 & 5 \\ 5 & 4.5 \end{bmatrix}$$

$$\bar{Y}_r = -\begin{bmatrix} -j16.965 & +j0.373 \\ +j0.373 & -j23.87 \end{bmatrix}$$



شکل(۵-۱۱)

تمرین- درشبکه زیر داریم :



شکل(۵-۱۰)

$ewf : \bar{E}_1 = 1.1\angle 0^\circ\, pu \qquad \bar{E}_2 = 1.5\angle 10^\circ\, pu$

$Line : \bar{X}_{13} = j0.05\, pu \qquad \bar{X}_{12} = j0.025\, pu \qquad \bar{X}_{23} = j0.03\, pu$

$Load : \bar{X}_{10} = j3\, pu \qquad \bar{X}_{20} = j1.0\, pu \qquad \bar{X}_{30} = j1.0\, pu$

$Generator : \bar{X}_{G1} = j0.3\, pu \qquad \bar{X}_{G2} = j0.2\, pu$

www.jozve.org

با بررسي شبكه از ديدگاه بررسي مدارات الكتريكي مجهولات زير را بدست آوريد .

الف – رسم مدار الكتريكي شبكه نسبت به شين زمين

ب – ماتريس ادميتانس شين

پ – حذف شين ۳ در ترسيم مدارالكترويكي شبكه جديد

ت – محاسبه ولتاژهاي شين هاي توليد.

تمرين - در شبكه قدرت زير داريم :

$ewf : \overline{E}_1 = 2\angle 0^\circ \qquad \overline{E}_2 = 2.5\angle 10^\circ \qquad \overline{E}_3 = 2.2\angle 20^\circ$

$reac\tan ce : \qquad MVA$

$Generator / transformers$

$G_1T_1 = j1.0 \qquad G_2T_2 = j0.25 \qquad G_3T_3 = j2.5pu$

$Load =$

$\overline{X}_{10} = j1.5 \qquad \overline{X}_{20} = j2 \qquad \overline{X}_{30} = j1.25 \qquad \overline{X}40 = j2pu$

$Line =$

$\overline{X}_{13} = j0.015 \qquad \overline{X}_{14} = j0.02 \qquad \overline{X}_{24} = j0.03 \qquad \overline{X}_{23} = j0.04$

با بررسي شبكه از ديدگاه بررسي پخش بار سيستمهاي قدرت مجهولات زير را بدست آوريد : (بدون احتساب شين زمين و نامشخص بودن شين مرجع)

الف – محاسبه ماتريس تلاقي حلقه C و ماتريس تلاقي شين A

ب – محاسبه ماتريس امپدانس حلقه $\overline{Z}_{loop}$ و ماتريس ادميتانس شين $\overline{Y}_{bus}$

پ – نوشتن معادلات و عناصر روشهاي جريان حلقه و ولتاژ شين ها جهت محاسبه جريان حلقه ها و ولتاژ شين هاي شبكه

www.jozve.org