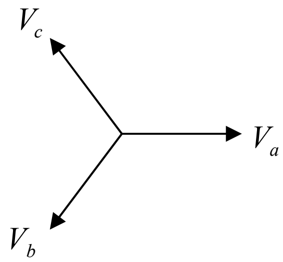
ادامه فصل دوم

مولفه هاي متقارن

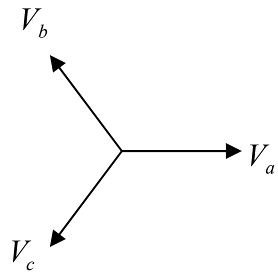
(Symmetrical Components)

abc (positive sequence)



$$\overline{V}_a = \overline{V}_a$$
$$V_b = a^2 V_a$$
$$V_a = aV_a$$

acb (negative sequence)



$$V_a = V_a$$
$$V_b = aV_a$$
$$V_a = a^2 V_a$$

$$a = e^{j120} \qquad a = e^{j240} \quad = e^{-j120} \quad = a^*$$
$$(a^2)^* = a \qquad a^3 = 1 \qquad 1 + a + a^2 = 0$$

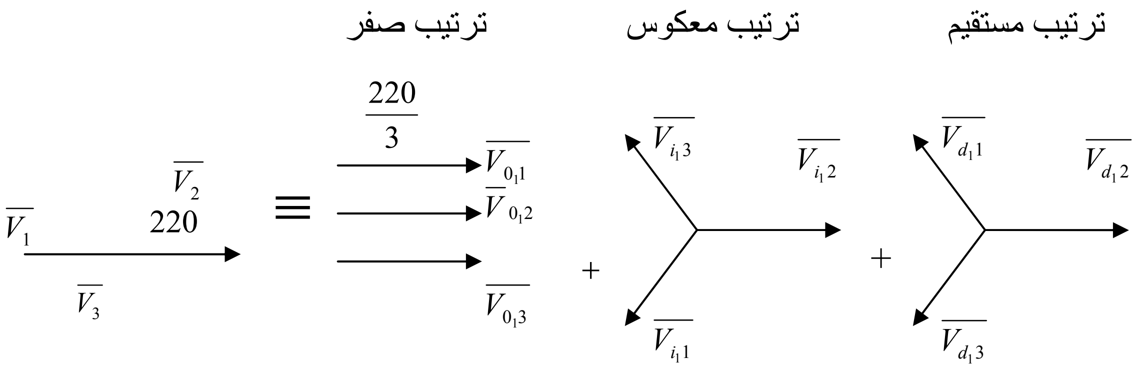
مثال- مولفه هاي هموپولر و معكوس و مستقيم سر ولتاژ در حالت رژيم دايم زير بدست آوريد.

$$\overline{V}_1 = 0 \qquad\qquad V_1(t) = 0$$
$$\overline{V}_2 = 220\angle 0^\circ \quad \rightarrow \quad V_2(t) = 220\sqrt{2}\sin 314t$$
$$\overline{V}_3 = 0 \qquad\qquad V_3(t) = 0$$

مولفه هاي فاز ۱ عبارتند از:

$$\bar{a} = e^{j120} = 1\angle 120^\circ$$
$$\bar{a}\bar{V}_1 = \bar{a}^2\bar{V}_1 = 0$$
$$\bar{a}\bar{V}_2 = 220\angle 120^\circ \quad \bar{a}^2\bar{V}_2 = 220\angle 240^\circ$$
$$\bar{a}\bar{V}_3 = \bar{a}^2\bar{V}_3 = 0$$

$$\bar{V}_{0,1} = \frac{1}{3}(\bar{V}_1 + \bar{V}_2 + \bar{V}_3) = \frac{220}{3}\angle 0^\circ$$
$$\bar{V}_{i,1} = \frac{1}{3}(\bar{V}_1 + \bar{a}^2\bar{V}_2 + \bar{a}\bar{V}_3) = \frac{1}{3}(0 + 220\angle 240^\circ + 0) = \frac{220}{3}\angle 240^\circ$$
$$\bar{V}_{d,1} = \frac{1}{3}(\bar{V}_1 + \bar{a}\bar{V}_2 + \bar{a}^2\bar{v}) = \frac{1}{3}(0 + 220\angle 120^\circ + 0) = \frac{220}{3}\angle 120^\circ$$



مثال- در يك شبكه قدرت مولفه هاي جريانهاي اتصال كوتاه به طرف محل اتصال عبارتند از (فاز ۱ بعنوان فاز مبنا):

$$\begin{cases}\bar{I}_0 = 1\,\text{pu} \\ \bar{I}_i = j\,\text{pu} \\ \bar{I}_d = 0\,\text{pu}\end{cases} \rightarrow \begin{cases}\bar{I}_{0,1} = 1\,\text{pu} \\ \bar{I}_{i,1} = j\,\text{pu} \\ \bar{I}_{d,1} = 0\,\text{pu}\end{cases}$$

مطلوب است جريانهاي هر يك از فازهاي سيستم سه فاز $\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3$، اگر فاز ۱ بعنوان بردار مبنا باشد.

$$\bar{a} = e^{j\frac{2\pi}{3}} = 1\angle 120^\circ$$

$$\begin{bmatrix}\overline{I}_1\\ \overline{I}_2\\ \overline{I}_3\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1&1&1\\1&\overline{a}&\overline{a}^2\\1&\overline{a}^2&\overline{a}\end{bmatrix}.\begin{bmatrix}\overline{I}_{0,1}\\ \overline{I}_{i,1}\\ \overline{I}_{d,1}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1&1&1\\1&\overline{a}&\overline{a}^2\\1&\overline{a}^2&\overline{a}\end{bmatrix}.\begin{bmatrix}1\\ j\\ 0\end{bmatrix}\ \text{pu}$$

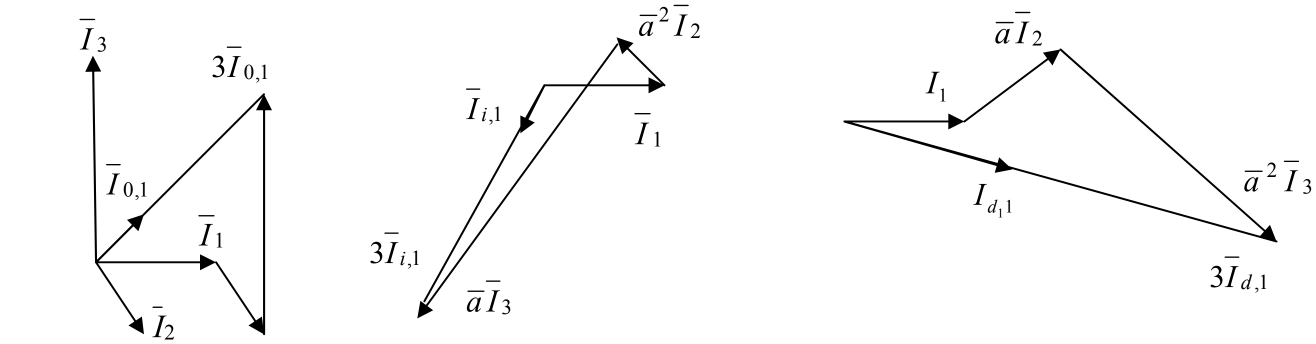
$$\overline{I}_1=1+j\ \text{pu}=\sqrt{2}\angle 45^\circ$$

$$\overline{I}_2=1+j\overline{a}\ \text{pu}=1+1\angle 210^\circ\ \text{pu}=(1-\frac{\sqrt{3}}{2})-j\frac{1}{2}\ \text{pu}$$

$$\overline{I}_3=1+j\overline{a}^2\ \text{pu}=1+1\angle 330^\circ\ \text{pu}=(1+\frac{\sqrt{3}}{2})-j\frac{1}{2}\ \text{pu}$$

از روش هندسي مي توان مولفه ها را نيز براحتي بدست آورد

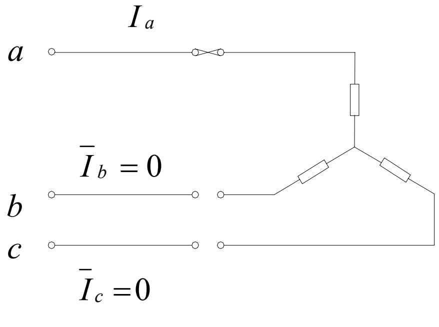
$$\overline{I}_0=\frac{1}{3}(\overline{I}_1+\overline{I}_2+\overline{I}_3)\qquad \overline{I}_i=\frac{1}{3}(\overline{I}_1+\overline{a}^2\overline{I}_2+\overline{a}\overline{I}_3)\qquad \overline{I}_d=\frac{1}{3}(\overline{I}_1+\overline{a}\overline{I}_2+\overline{a}^2\overline{I}_3)$$



و يا از روي مولفه ها نيز مي شود از طريق هندسي به خود بردارهاي اصلي رسيد:

اساسا ژنراتورها تشكيل شبكه سه فاز متعادل را خواهند داد،پس خود شبكه اساسا يك شبكه قدرت كاملا متقارن سه فاز است.امپدانس هر فاز در خطوط هوايي و ترانس ها و موتورها ودر بارها اساسا تقسيم و توزيع متعادلي است.ذاتا يك شبكه قدرت يك شبكه متقارن سه فاز است.نا متعادلي وقتي پيش مي آيد كه در شبكه يك اتصال كوتاه نا متقارن وصل شود، مثلا يك فاز به زمين وصل شود و پتانسيل آن با پتانسيل زمين يكي مي شود.يك لحظه قبل از وقوع عيب مولفه هاي ولتاژ و جريان(مولفه مستقيم وجود دارد و مولفه هاي معكوس و هموپولر صفر هستند)

تمرين- بار سه فازمتقارني با اتصال ستاره و جريان ۳۰ آمپر از طريق يك خط ۴ سيمه سه فاز متعادل تغذيه مي شود.اگر فيوزهاي دو عدد از فازها (b,c) قطع شوند ، با استفاده از روش مولفه هاي متقارن ،جريان خط ها را قبل و بعد از حالت نامتقارني محاسبه نماييد.



الف- قبل از قطع فيوزها:

$$\overline{I}_a = 30\angle 0^\circ \text{ A} \quad \overline{I}_b = 30\angle 240^\circ \text{ A} \quad \overline{I}_c = 30\angle 120^\circ \text{ A}$$

$$\overline{I}_{0,a} = \frac{1}{3}(\overline{I}_a + \overline{I}_b + \overline{I}_c) = \frac{1}{3}(30\angle 0 + 30\angle 240 + 30\angle 120) = 0 \text{ A} \rightarrow \begin{cases} \overline{I}_{0,b} = 0 \\ \overline{I}_{0,c} = 0 \end{cases}$$

$$\overline{I}_{i,a} = \frac{1}{3}(\overline{I}_a + \overline{a}^2\overline{I}_b + \overline{a}\overline{I}_c) = \frac{1}{3}(30\angle 0 + (1\angle 240)(30\angle 240) + (1\angle 120)(30\angle 120)) = 0 \text{ A}$$

$$\rightarrow \begin{cases} \overline{I}_{i,b} = 0 \\ \overline{I}_{i,c} = 0 \end{cases}$$

$$\overline{I}_{d,a} = \frac{1}{3}(\overline{I}_a + \overline{a}\overline{I}_b + \overline{a}^2\overline{I}_c) = 30\angle 0 = \overline{I}_a \rightarrow \begin{cases} \overline{I}_{d,b} = \overline{a}^2\overline{I}_{d,a} = 30\angle 240 = \overline{I}_b \\ \overline{I}_{d,c} = \overline{a}\overline{I}_{d,a} = 30\angle 120 = \overline{I}_c \end{cases}$$

ب- بعد از قطع فيوزها:

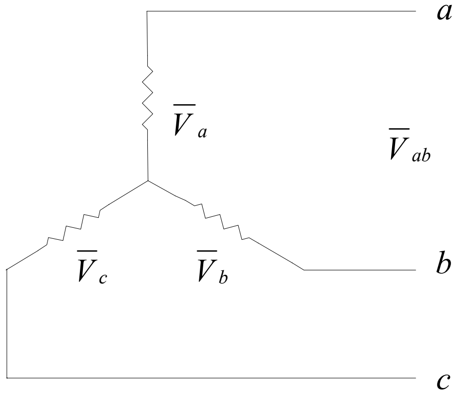
$$\overline{I}_a = 30\angle 0^\circ \text{ A} \quad \overline{I}_b = 0 \text{ A} \quad \overline{I}_c = 0 \text{ A}$$

$$\begin{cases} \overline{I}_{0,a} = \frac{1}{3}(\overline{I}_a + \overline{I}_b + \overline{I}_c) = \frac{1}{3}(\overline{I}_a + 0 + 0) = \frac{1}{3}\overline{I}_a = 10\angle 0^\circ \text{ A} \\ \overline{I}_{0,a} = \overline{I}_{0,b} = \overline{I}_{0,c} = 10\angle 0^\circ \text{ A} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \overline{I}_{i,a} = \frac{1}{3}(\overline{I}_a + \overline{a}^2\overline{I}_b + \overline{a}\overline{I}_c) = \frac{1}{3}(\overline{I}_a + 0 + 0) = \frac{1}{3}\overline{I}_a = 10\angle 0^\circ \text{ A} \\ \overline{I}_{i.b} = \overline{a}\overline{I}_{i,a} = (1\angle 120^\circ)(10\angle 0^\circ) = 10\angle 120^\circ \text{ A} \\ \overline{I}_{i.c} = \overline{a}^2\overline{I}_{i,a} = (1\angle 240^\circ)(10\angle 0^\circ) = 10\angle 240^\circ \text{ A} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \overline{I}_{d,a} = \frac{1}{3}(\overline{I}_a + a\overline{I}_b + \overline{a}^2\overline{I}_c) = \frac{1}{3}(\overline{I}_a + 0 + 0) = \frac{1}{3}\overline{I}_a = 10\angle 0^\circ \text{ A} \\ \overline{I}_{d.b} = \overline{a}^2\overline{I}_{d,a} = (1\angle 240^\circ)(10\angle 0^\circ) = 10\angle 240^\circ \text{ A} \\ \overline{I}_{d.c} = \overline{a}\overline{I}_{d,a} = (1\angle 120^\circ)(10\angle 0^\circ) = 10\angle 120^\circ \text{ A} \end{cases}$$

تمرين- در يك سيستم سه فاز با اتصال ستاره فرض كنيدولتاژ فازها برابر $\overline{V}_a$ ، $\overline{V}_b$ ، $\overline{V}_c$ بوده و همان سيستم با اتصال مثلث داراي ولتاژهاي خط $\overline{V}_{ab}$ ، $\overline{V}_{bc}$ و $\overline{V}_{ca}$ باشد. در اينصورت ارتباط ميان مقادير مولفه هاي متقارن ولتاژ را در اين دو اتصال پيدا كنيد.



نام گذاري مي كنيم

$$\begin{cases}\overline{V}_a = V_a\angle 0^\circ \\ \overline{V}_b = V_b\angle 240^\circ \quad (\overrightarrow{\overline{V}_a\overline{V}_b\overline{V}_c}) \\ \overline{V}_c = V_c\angle 120^\circ\end{cases} \rightarrow \begin{cases}\overline{V}_{ab} = \overline{V}_a - \overline{V}_b = \sqrt{3}V_a\angle 0+30^\circ \\ \overline{V}_{bc} = \overline{V}_b - \overline{V}_c = \sqrt{3}V_b\angle 240+30^\circ \quad (\overrightarrow{\overline{V}_{ab}\overline{V}_{bc}\overline{V}_{ca}}) \\ \overline{V}_{ca} = \overline{V}_c - \overline{V}_a = \sqrt{3}V_c\angle 120+30^\circ\end{cases}$$

ولتاژ ترتيب صفر تمام فازهاي اتصال مثلث صفر هستند. يعني در ترتيب صفر جرياني وارد مثلث نمي شود و جريان داخل مثلث و خارج آن صفر هستند.

استثنا: اما در ترانسفورماتور با اتصال مثلث و ستاره زمين شده، جريان خارج مثلث صفر هستند (از لحاظ الكتريكي) و جريان داخل مثلث ناشي از عبور جريان از طرف ستاره صفر نيستند (از لحاظ مغناطيسي).

در حالت متعادل و نامتعادل داريم:

$$\overline{V}_{0,ab} = \frac{1}{3}(\overline{V}_{ab} + \overline{V}_{bc} + \overline{V}_{ca}) = \frac{1}{3}[(\overline{V}_a - \overline{V}_b) + (\overline{V}_b - \overline{V}_c) + (\overline{V}_c - \overline{V}_a)] = 0$$

$$\overline{V}_{i,ab} = \frac{1}{3}(\overline{V}_{ab} + \overline{a}^2\overline{V}_{bc} + \overline{a}\overline{V}_{ca}) = \frac{1}{3}[(\overline{V}_a - \overline{V}_b) + \overline{a}^2(\overline{V}_b - \overline{V}_c) + \overline{a}(\overline{V}_c - \overline{V}_a)]$$

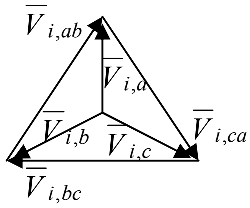
$$= \frac{1}{3}[(\overline{V}_a + \overline{a}^2\overline{V}_b + \overline{a}\overline{V}_c) - (\overline{a}\overline{V}_a + \overline{V}_b + \overline{a}^2\overline{V}_c)]$$

$$= \frac{1}{3}[(\overline{V}_a + \overline{a}^2\overline{V}_b + \overline{a}\overline{V}_c) - \overline{a}(\overline{V}_a + \overline{a}^2\overline{V}_b + \overline{a}\overline{V}_c)]$$

$$= \frac{1}{3}(1-\overline{a})(\overline{V}_a + \overline{a}^2\overline{V}_b + \overline{a}\overline{V}_c)$$

$$= (1-\overline{a})\overline{V}_{i,a}$$

$$= (\sqrt{3}\angle -30^\circ)\overline{V}_{i,a}$$



$$\overline{a} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \qquad \overline{a}^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \qquad 1-\overline{a} = \frac{3}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}\angle -30^\circ$$

$$\overline{V}_{d,ab} = \frac{1}{3}(\overline{V}_{ab} + \overline{a}\overline{V}_{bc} + \overline{a}^2\overline{V}_{ca}) = \frac{1}{3}[(\overline{V}_a - \overline{V}_b) + \overline{a}(\overline{V}_b - \overline{V}_c) + \overline{a}^2(\overline{V}_c - \overline{V}_a)]$$

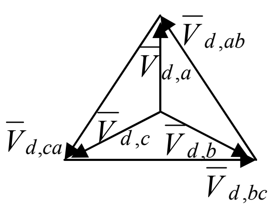
$$= \frac{1}{3}[(\overline{V}_a + \overline{a}\overline{V}_b + \overline{a}^2\overline{V}_c) - (\overline{a}^2\overline{V}_a + \overline{V}_b + \overline{a}\overline{V}_c)]$$

$$= \frac{1}{3}[(\overline{V}_a + \overline{a}\overline{V}_b + \overline{a}^2\overline{V}_c) - \overline{a}^2(\overline{V}_a + \overline{a}\overline{V}_b + a^2\overline{V}_c)]$$

$$= \frac{1}{3}(1-\overline{a}^2)(\overline{V}_a + \overline{a}\overline{V}_b + \overline{a}^2\overline{V}_c)$$

$$= (1-\overline{a}^2)\overline{V}_{d,a}$$

$$= (\sqrt{3}\angle +30^\circ)\overline{V}_{d,a}$$



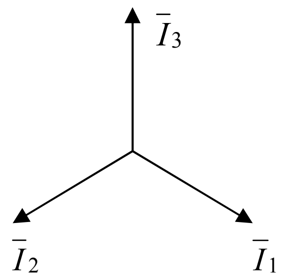
$$\overline{a}^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \qquad 1-\overline{a}^2 = \frac{3}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}\angle +30^\circ$$

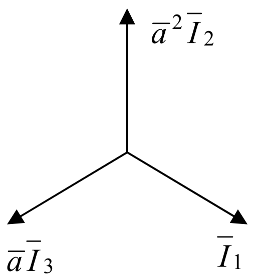
سیستم سه فاز متقارن

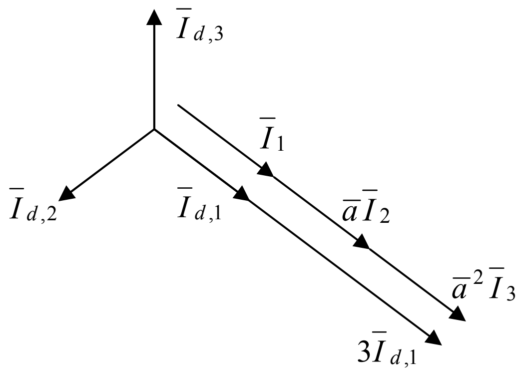
$$\bar{I}_{0,1}=\frac{1}{3}(\bar{I}_1+\bar{I}_2+\bar{I}_3)=0$$

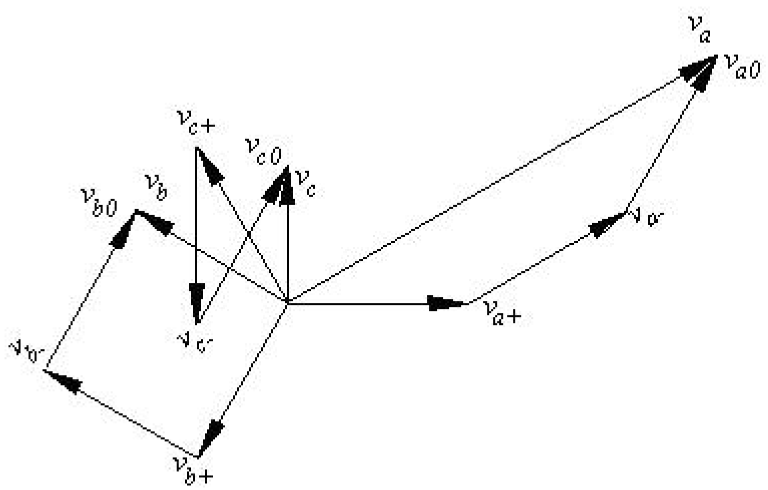
$$\bar{I}_{i,1}=\frac{1}{3}(\bar{I}_1+\bar{a}^2\bar{I}_2+\bar{a}\bar{I}_3)=0$$

$$\bar{I}_{d,1}=\frac{1}{3}(\bar{I}_1+\bar{a}\bar{I}_2+\bar{a}^2\bar{I}_3)=\bar{I}_1$$

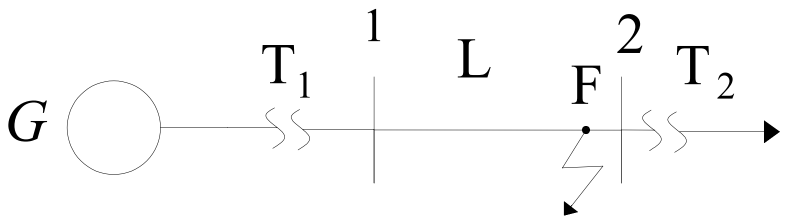






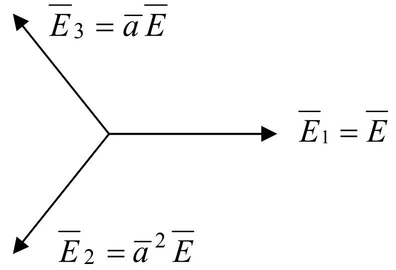


مولفه هاي مستقيم در ژنراتورها محرك هستند و مولفه هاي معكوس و هموپولر صفر هستند. در دياگرام تک خطی شبکه قدرت زير داريم:

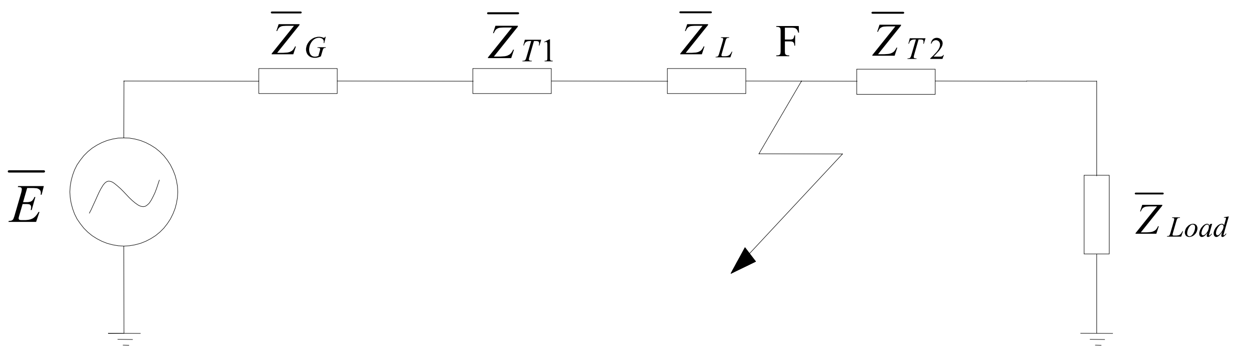


نيروهاي محرك اين ژنراتور يك سيستم سه فاز متقارن مستقيم است.

$$\overline{E}_1 = \overline{E}$$
$$\overline{E}_2 = \overline{a}^2 \overline{E}$$
$$\overline{E}_1 = \overline{a}\,\overline{E}$$



چون شبكه وبار متعادل ومتقارن است ،اگر در يك جايي از شبكه يك اتصال كوتاه پيش آيد ،شبكه عيب تكفاز با زمين (فاز ۱ با زمين در نقطه P)با اين اتصال كوتاه با زمين معادلات شبكه به چه صورت پيش مي آيد.قبل از عيب دياگرام تك خطي براي حل مساله كافي است.



ولي در حالت اتصال كوتاه ديگر اين دياگرام تك خطي را نمي شود رسم كرد ،چون اين دياگرام براي حالت سالم مدار است و ولتاژها وجريان ها متعادل ومتقارن خواهد بود. بايستي هم ژنراتور و هم المانهاي مدار را در سه سيستم (هموپولر، مستقيم و معكوس) نوشت و KVL را نيز نوشت.

در نقطه عیب ولتاژها وجریانهاي نامتعادل داریم ولي در سر ژنراتور ولتاژها و جریانهاي متعادل داریم و نا متعادلي در سر عیب و نامتعادلي در سر افت ولتاژهاي خط ها باعث مي شود که ولتاژ در دو سر ژنراتور در همان حالت متعادل باقي بماند.

در حالت متعادل و نا متعادل

$$G\begin{cases}\overline{E}_1=\overline{E}\\ \overline{E}_2=\overline{a}^2\overline{E}\\ \overline{E}_3=\overline{a}\,\overline{E}\end{cases}\quad\rightarrow\quad\begin{cases}\overline{E}_0=0\\ \overline{E}_i=0\\ \overline{E}_d=\overline{E}\end{cases}$$

مقادیر L و C هاي بدست آمده در بررسي سیستم های قدرت ۱ در حالت متعادل است چون آنها براي شرط $\overline{I}_1+\overline{I}_2+\overline{I}_3=0$ بدست آمده بودند (در سیستم مستقیم). در سیستم هاي دیگر لازم نیست L و C را حساب کرد. اگر $\overline{Z}_G$ امپدانس ژنراتور باشد درآنصورت امپدانس های ترتیب های صفر، منفی و مثبت ژنراتور به قرار زیر می باشند.

$$\overline{Z}_{0,G}$$
$$\overline{Z}_{i,G}$$
$$\overline{Z}_{d,G}$$

در موتورها و در سیستم دینامیك $\overline{Z}_d\neq\overline{Z}_i$ اگر جاي دو فاز با هم عوض شوند، جهت چرخش نیز عوض مي شود. در ژنراتورها در سیستم استاتیك $\overline{Z}_d=\overline{Z}_i$ می باشند.

براي خطوط هوايي

$$\overline{Z}_{0,L}$$
$$\overline{Z}_{i,L}$$
$$\overline{Z}_{d,L}$$

براي ترانسفورماتورها

$$\overline{Z}_{0,T}$$
$$\overline{Z}_{i,T}$$
$$\overline{Z}_{d,T}$$

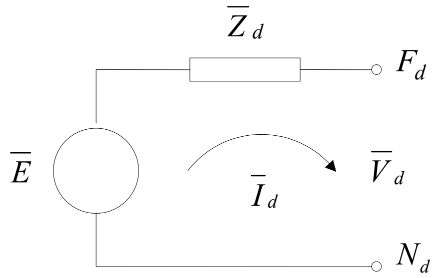
ولتاژها در محل اتصال (عیب) F

$$\begin{bmatrix}\overline{V}_1\\ \overline{V}_2\\ \overline{V}_3\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\overline{V}_{1,F}\\ \overline{V}_{2,F}\\ \overline{V}_{3,F}\end{bmatrix}\quad\rightarrow\quad\begin{bmatrix}\overline{V}_{0,1}\\ \overline{V}_{i,1}\\ \overline{V}_{d,1}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\overline{V}_{0,F}\\ \overline{V}_{i,F}\\ \overline{V}_{d,F}\end{bmatrix}$$

براي يكي از فازها داريم:

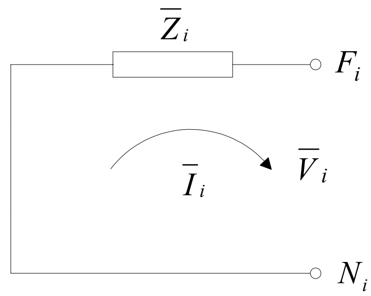
معادل تونن شبکه در سیستم ترتیب مستقیم (مثبت)

$$\overline{E} = \overline{Z}_d \overline{I}_d + \overline{V}_d$$
$$\overline{Z}_d = \overline{Z}_{d,G} + \overline{Z}_{d,T1} + \overline{Z}_{d,L}$$



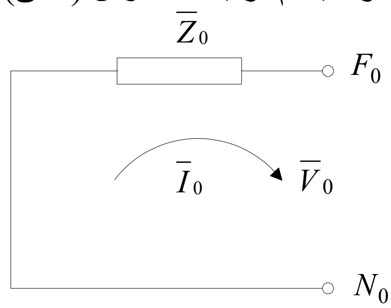
معادل تونن شبکه در سیستم ترتیب معکوس (منفی)

$$0 = \overline{Z}_i \overline{I}_i + \overline{V}_i$$
$$\overline{Z}_i = \overline{Z}_{i,G} + \overline{Z}_{i,T1} + \overline{Z}_{i,L}$$



معادل تونن شبکه در سیستم ترتیب معکوس (منفی)

$$0 = \overline{Z}_0 \overline{I}_0 + \overline{V}_0$$
$$\overline{Z}_0 = \overline{Z}_{0,G} + \overline{Z}_{0,T1} + \overline{Z}_{0,L}$$



با نمایش ماتریسی معادلات ترتیب های صفر، معکوس و مستقیم داریم:

$$\begin{bmatrix} \overline{V}_0 \\ \overline{V}_i \\ \overline{V}_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \overline{E} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \overline{Z}_0 & 0 & 0 \\ 0 & \overline{Z}_i & 0 \\ 0 & 0 & \overline{Z}_d \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} \overline{I}_0 \\ \overline{I}_i \\ \overline{I}_d \end{bmatrix}$$

$\overline{I}_0$ و $\overline{I}_i$ نمي توانند صفر باشند چون بايستي در آنصورت $\overline{V}_0$ و $\overline{V}_i$ صفر باشند. بنابراین در مواقع وقوع عیب از جمله اتصال کوتاه ها با ترکیب مدارهای معادل فوق در نقطه عیب مقادیر ولتاژها و جریان های ترتیب های مختلف و نیز مقادیر واقعی محاسبه می شوند.

اگر ژنراتور ولتاژ نامتعادل تولید کند،در شبکه قدرت $\overline{E}_d$ و $\overline{E}_i$ و $\overline{E}_0$ وجود داشته که در آن مولفه صفر و منفي مخالف صفر هستند و لذا تولید جریان در سیستم هاي معکوس و هموپولر خواهند کرد.

پس اتصال کوتاه نامتقارن در محل اتصال کوتاه ، تولید جریان مولفه معکوس و هموپولر خواهد کرد.

براي اجزاي استاتيك شبكه (ترانس-خط هوايي-بار غير موتوري) $\overline{Z}_d = \overline{Z}_i$ است در حاليكه براي اجزاي ديناميك شبكه (ترانس-خط هوايي-بار غير موتوري) $\overline{Z}_d \neq \overline{Z_i}$ است.

بررسي شبكه ترتيب صفر در ترانسفورماتورهای سه فاز

در ترانسفورماتورهاي قدرت $\overline{Z}_0$ بستگي به نحوه اتصالات اوليه و ثانويه دارد. اگر نحوه اتصالات اوليهΔ باشد ، $\overline{Z}_0$ اي را نمي شود از طرف Δ ترانسفورماتور عبور داد.

اگر نقطه صفر ستاره به زمین وصل نشود $I_0 = 0$ و KCL نقض مي شود.

در قسمت Δ نیز بایستي $I_0 = 0$ باشد .چون سه جریان همفاز که به يك گره وصل مي شوند بایستي بگونه اي باشد تا KCL نقض نشود.

اگر نقطه ستاره را با يك مقاومت $\overline{Z}_n$ زمین کنیم از این $\overline{Z}_n$ ، $3\overline{I}_0$ عبور مي كند پس در مدار معادلي كه امپدانس زمين $\overline{Z}_n$ است و جريان $3\overline{I}_0$ از آن عبور ميكند،بايد امپدانس $3\overline{Z}_n$ قرار داده وجريان $\overline{I}_0$ از آن عبور دهيم. اگر در يك ترانس ستاره/ مثلث كه در آن نقطه ستاره زمين نشده است خواهيم داشت

$$\overline{I}_0 = 0 \to \overline{Z}_0 = \infty$$

در صورتي كه در يك ترانسفورماتور ستاره / مثلث كه در آن نقطه ستاره زمين شده است خواهيم داشت

$$\overline{I}_0 \neq 0 \to \overline{Z}_0 \neq \infty$$

به عبارتي ديگر:

	از دید اولیه	از دید ثانویه
ΔY (ستاره زمین شده)	$\overline{Z}_0 = \infty$	$\overline{Z}_0 =$ مقداري مشخص

براي خط هوايي و عناصر استاتيك خواهيم داشت:

$$\overline{Z}_0 = \overline{Z}_{0L} \cong 3\overline{Z}_{dl} \cong 3\overline{Z}_{il}$$

براي بار نيز $\overline{Z}_0$ بستگي به نحوه اتصال بار دارد. اگر بار به صورت ستاره زمين نشده باشد امپدانس هموپولر آن وجود ندارد($\overline{Z}_0 = \infty$)ولي امپدانس توالي صفر باري كه به صورت ستاره وصل شده مي تواند مقداري داشته باشد.

ترانسفورماتور ستاره زمین نشده ـ مثلث

امپدانس طرف Y بدون نقطه زمین شده: $\overline{Z}_{0,Y} = \infty$ امپدانس طرف Δ : $\overline{Z}_{0,\Delta} = \infty$

الف- بررسی از لحاظ الکتریکي

مجموع جریان هاي خارج اتصال مثلث به دلیل همفاز بودن، صفر هستند. چون این سه جریان با هم همفاز هستند، پس وجود چنین جریان هایي در هر سه حلقه بخاطر عدم وجود فازها امکان پذیر نیست.

$$\overline{I}_{0,1} + \overline{I}_{0,2} + \overline{I}_{0,3} = 0 \;\rightarrow\; 3\overline{I}_{0,1} = 0 \;\rightarrow\; \overline{I}_{0,1} = \overline{I}_{0,2} = \overline{I}_{0,3} = 0$$

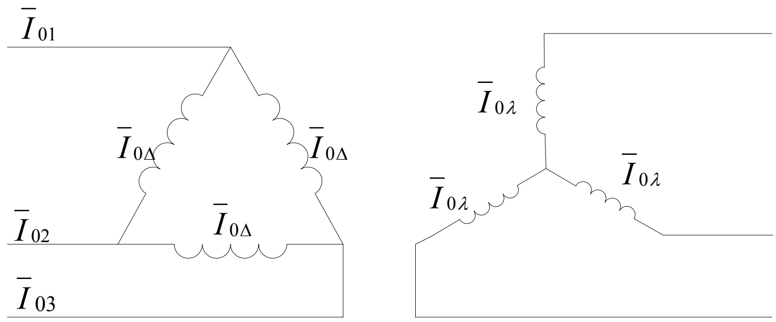
$$\overline{I}_{0,Y} = 0 \quad \Rightarrow \quad \overline{I}_{0,\Delta} = 0$$

پس مسیر عبور جریان وجود ندارد و امپدانس های دو طرف بی نهایت می باشند.

$$\overline{Z}_{0,Y} = \infty \quad , \quad \overline{Z}_{0,\Delta} = \infty$$

الف- بررسی از لحاظ مغناطیسی

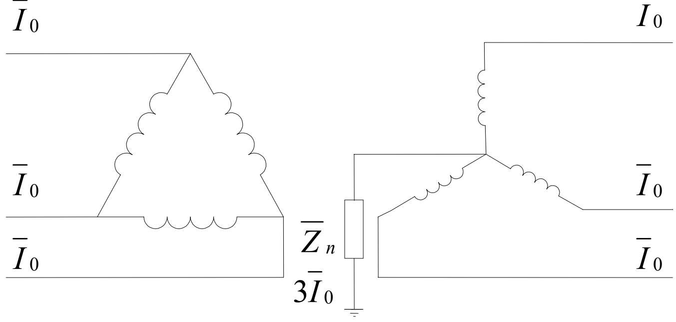
در این حالت نیز جریاني در داخل مثلث وجود ندارد



ترانسفورماتور ستاره زمین شده – مثلث

امپدانس طرف Y بدون نقطه زمین شده: $\overline{Z}_{0,Y} \neq \infty$ امپدانس طرف Δ : $\overline{Z}_{0,\Delta} = \infty$

در طرف با نقطه صفر زمین شده با امپدانس Z_n ، Z_0 وجود دارد در صورتي که در طرف مثلث این امپدانس برابر با بي نهایت است.



در حالت كلي داريم:

$$0 = \overline{Z}_0 \overline{I}_0 + \overline{V}_0$$

در صورتي كه شبكه از طريق يكي از فازها به زمين متصل شود داريم:

$$0 = \overline{Z}_n (3\overline{I}_0) + \overline{Z}\overline{I}_0 + \overline{V}_0$$
$$0 = (3\overline{Z}_n + \overline{Z})\overline{I}_0 + \overline{V}_0$$
$$\overline{Z}_0 = 3\overline{Z}_n + \overline{Z} + \ldots$$

به جاي سه نقطه در معادله بالا امپدانس هاي ديگر در مدار ترتيب صفر قرار مي گيرد.

از لحاظ الكتريكي در خارج اتصال Δ داريم :

$$\overline{I}_{0,1} + \overline{I}_{0,2} + \overline{I}_{0,3} = 0 \;\rightarrow\; 3\overline{I}_{0,1} = 0 \;\rightarrow\; \overline{I}_{0,1} = \overline{I}_{0,2} = \overline{I}_{0,3} = 0$$

در طرف اتصال Y به دليل برگشت جريان عيب از نقطه خنثي Y به طرف فازهاي آن $\overline{I}_{0,\mathrm{Y}} \neq 0$ است كه اين كار باعث القاي مغناطيسي در طرف Δ مي شود.

از لحاظ مغناطيسي، در داخل Δ جريان هاي توالي صفر اتصال مثلث با همديگر، هم فاز بوده و لذا صفر نمی باشند $\overline{I}_{0,\Delta,internal} \neq 0$ اما جيان خارج مثلث صفر بوده $\overline{I}_{0,\Delta,external} = 0$ و بنابراين امپدانس آن بی نهايت خواهد بود.

دیاگرام شبکه ترتیب صفر در ترانسفورماتورهای سه فاز

در رسم شبكه هاي توالي صفر ترانسفورماتورها بايد دقت بيشتري نمود زيرا شبكه هاي توالي صفر ترانسفورماتورها با اتصالات مختلف اوليه وثانويه با يكديگر تفاوت دارند.چنانچه از جريان مغناطيس كننده ترانسفورماتورها صرفنظر كنيم جريان اوليه و ثانويه با توجه به نسبت تبديل ترانسفورماتورها بر حسب يكديگر بدست مي آيند و اگر يكي از آنها صفر باشد ديگري نيز صفر خواهد بود.

در شكل زير انواع اتصالات ترانسفورماتورهاي سه فاز و شبكه توالي صفر آنها نشان داده شده است.

پيكان هاي نشان داده شده نمايش وجود جريانهاي توالي صفر در سيم پيچها ميباشند. حال به شرح مختصر هر يک از اين اتصالات مي پردازيم:

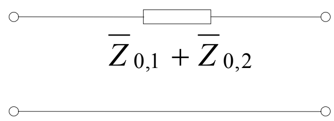
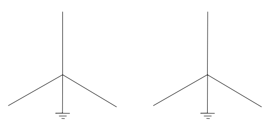
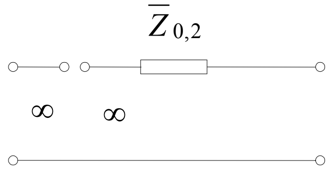
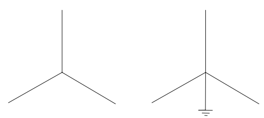
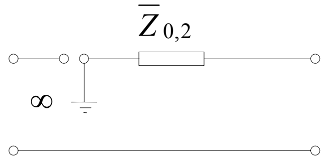
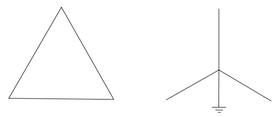
الف) ترانسفورماتور $Y-Y$ **با يک اتصال زمين :** اگر در يک طرف ترانسفورماتور نقطه صفر زمين نشده باشد عدم وجود جريان توالي صفر در آن طرف باعث مي شود تا طرف ديگر نيز بدون جريان باشد بنابراين در شبكه توالي صفر اين نوع اتصال مدار باز بين دو طرف ترانسفورماتور وجود خواهد داشت.

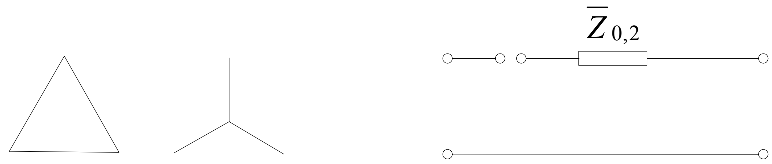
ب) ترانسفورماتور $Y-Y$ **با دو اتصال زمين :** اگر نقاط صفر هر دو اتصال ستاره به زمين متصل باشند در هر دو سيم پيچ جريانهاي توالي صفر وجود داشته و لذا اوليه و ثانويه ترانسفورماتور در شبكه توالي صفر از طريق امپدانس توالي صفر بيكديگر متصل مي باشند. در اين حالت شبكه توالي صفر دقيقاً مشابه شبكه هاي مثبت و منفي ترانسفورماتوراست.

ج) ترانسفورماتور $Y-\Delta$ با اتصال زمین نقطه صفر ستاره: در این حالت چون مسیر برگشت در طرف اتصال ستاره وجود دارد جریانهاي توالي صفر در هر دو سیم پیچ وجود خواهند داشت. جریانهاي توالي صفر در داخل مثلث یک جریان گردشي بوجود مي آورندو مولفه هاي توالي صفر جریانهاي خطي این اتصال صفر خواهند بود.بنابراین امپدانس توالي صفر ترانسفورماتور طرف ستاره را به شین مرجع متصل مي کند وبین طرف مثلث و شین مرجع مدار باز خواهند ماند.

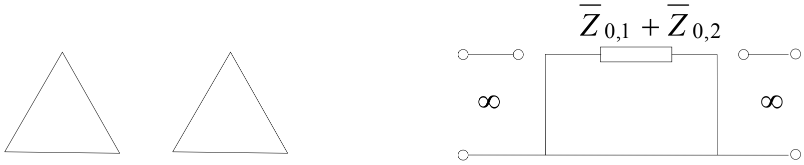
د) ترانسفورماتور $Y-\Delta$ بدون اتصال زمین: این اتصال حالت خاصي از قسمت (ج)بوده که در آن امپدانس بین نقطه صفر ستاره و زمین بجاي صفر بي نهایت مي باشد. در اینصورت در هیچیک از سیم پیچها جریان توالي صفر وجود نخواهد داشت.

ه) ترانسفورماتور $\Delta-\Delta$: در این حالت چون مسیر برگشت براي جریانهاي توالي صفر وجود ندارد جریانهاي خطي ترانسفورماتور فاقد جریانهاي توالي صفر بوده و فقط ممکن است داخل اتصالات مثلث جریانهاي گردشي توالي صفر وجود داشته باشد بنابراین شبکه توالي صفر این ترانسفورماتور در هر دو طرف داراي مدار باز خواهد بود. در یک سیستم قدرت با استفاده از شبکه توالي صفر عناصر و ترکیب آنها شبکه توالي صفر سیستم بدست مي آید.

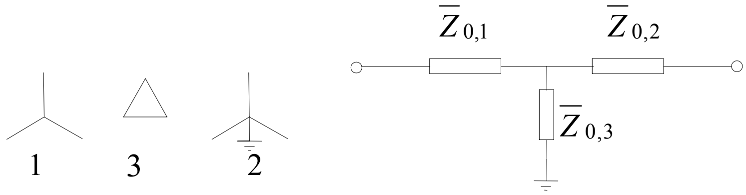
توضیحات	نمایش فاز هموپولر (صفر)	نوع اتصال ثانویه	نوع اتصال اولیه
جریان ترتیب صفر مي تواند آزادانه از اولیه به ثانویه انتقال یابد. $\overline{I}_0 \neq 0$			
مسیري براي عبور جریان از اولیه به ثانویه وجود ندارد. $\overline{I}_0 = 0$			
جریان مولفه صفر فقط داخلحلقه بسته مثلث و نه در خارج آن گردش خواهد کرد. $\overline{I}_{0,\Delta}=0$, $\overline{I}_{0,Y}\neq 0$			



هيچ جريان ترتيب صفردر
مدار ترتيب صفرعبور
نمي كند. $\overline{I}_0 = 0$

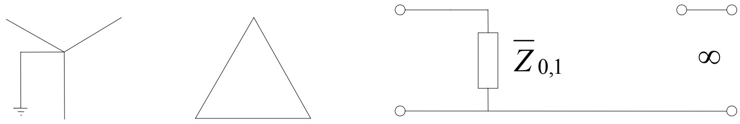


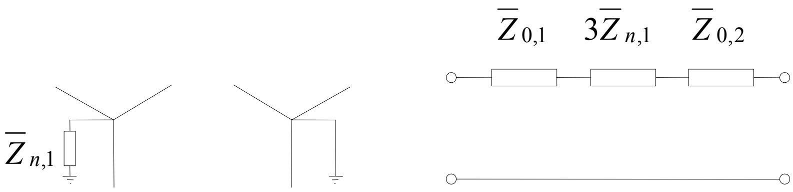
هيچ جريان ترتيب صفر
عبور نمي كند. $\overline{I}_0 = 0$

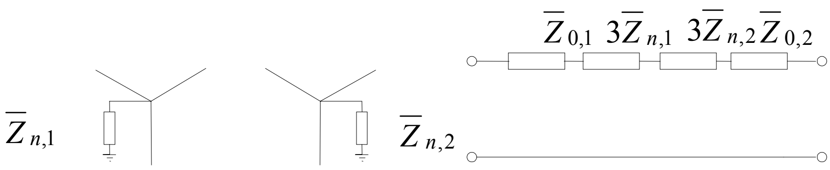


ترانسفورمر سيم پيچ ثالثيه
مي تواند جريان ترتيب صفر
را عبور دهد. $\overline{I}_0 \neq 0$

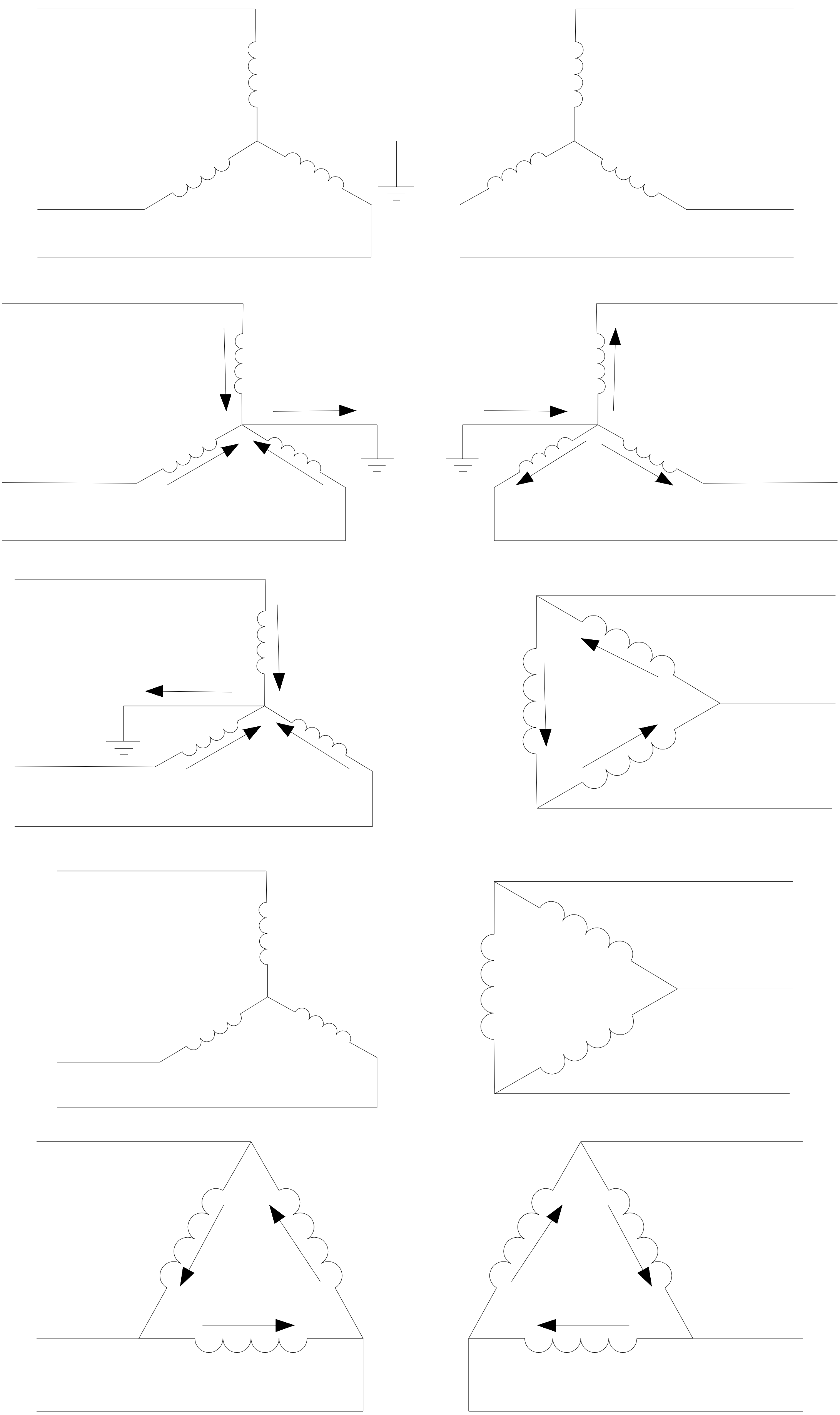
بايستي بر حسب نوع اتصال آنها را بررسي كنيم



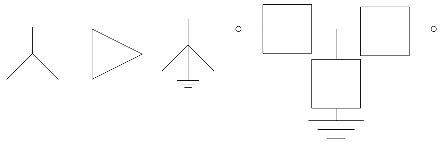




شبكه هاي توالي صفر اتصال هاي ستاره و مثلث ترانسفورماتورها



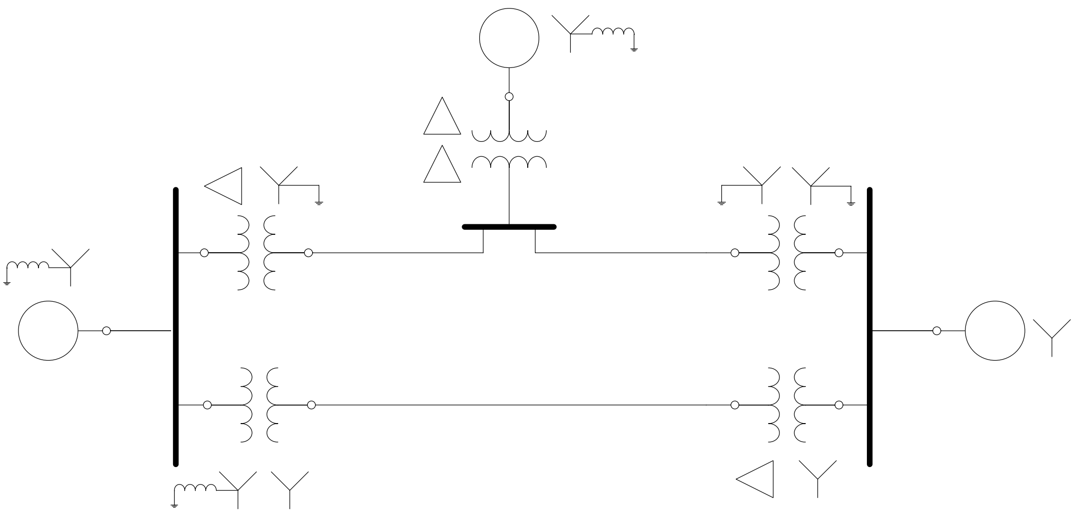
دیاگرام اتصال شبکه هاي توالي صفر ترانسفورماتورها



شبکه توالي صفر ترانسفورماتور سه سيم پيچه

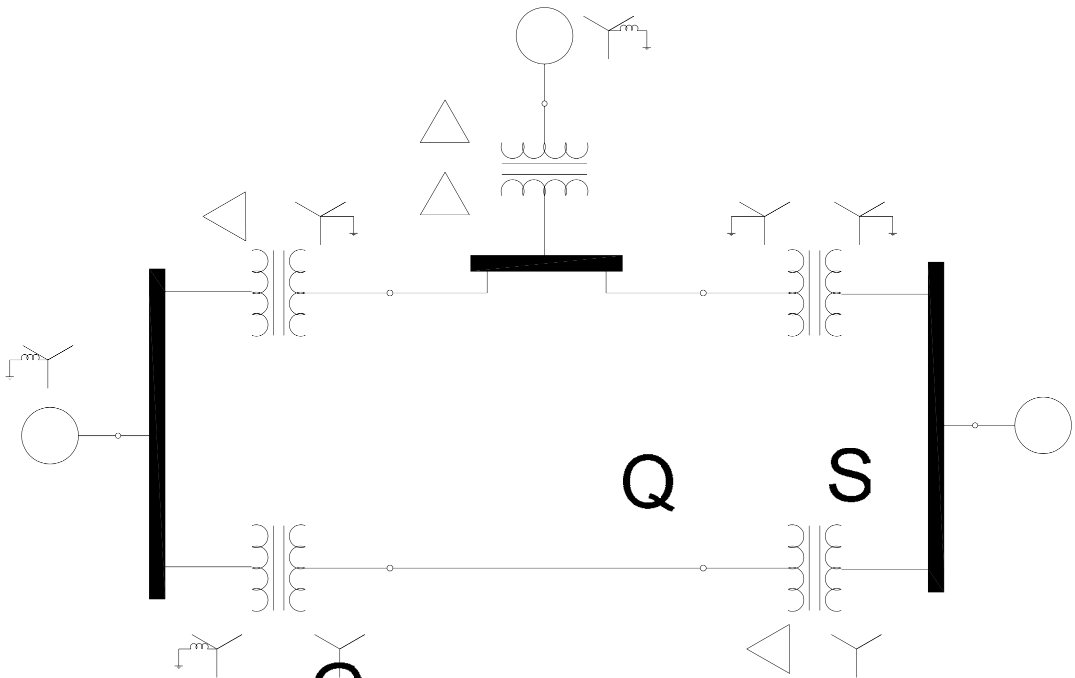
T

مثال- دياگرام تک خطي يک سيستم قدرت در شکل زير نشان داده شده است. شبکه توالي صفر اين سيستم را رسم کنيد.



G

K



G

P

R

T