

ادامه فصل دوم

مولفه های متقارن

(Symmetrical Components)

ترانسفورماتور دو پیچکه

چون این المان در سیستم های سه فاز يك المان استاتیك است، لذا توالی مستقیم و معکوس برای آن فرقی نکرده و یکسان است پس داریم:

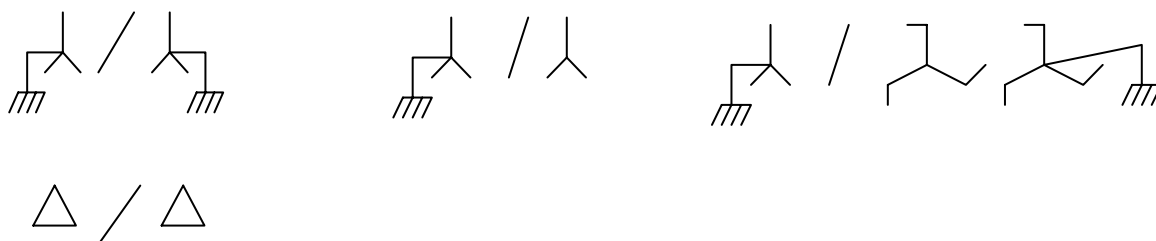
$$X_i = X_d = X_{cc} = \text{راکتانس اتصال کوتاه}$$

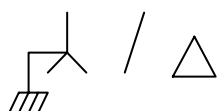
بسته به نوع ترانسفورماتور مقدار این راکتانس (V_i^2 / S_b) در رنج ۱۷-۴٪ تغییر می کند. برای ترانسفورماتورهای معمولی در حدود ۱۰٪، برای ترانسفورماتورهای بزرگ در حدود ۱۷٪ و برای ترانسفورماتور های کوچک در حدود ۴٪ می باشد. اگر بخواهیم در رنج MVA این راکتانس را بررسی کنیم می توان تقسیم بندی زیر را داشت.

برای ترانسفورماتور های چند MVA حدود ۴٪، برای ترانسفورماتور های بزرگ مثل ۱۰۰MVA حدود ۷-۱۳٪ و برای ترانسفورماتور های بزرگتر در شرایط خاص ۱۷٪ به بالا می باشد.

راکتانس هموپلر بستگی به نوع اتصالات سیم پیچی های اولیه و ثانویه و نوع کوپلاژ مغناطیسی (مدار مغناطیسی) ترانسفورماتور خواهد داشت.

انواع ترانسفورماتور ها

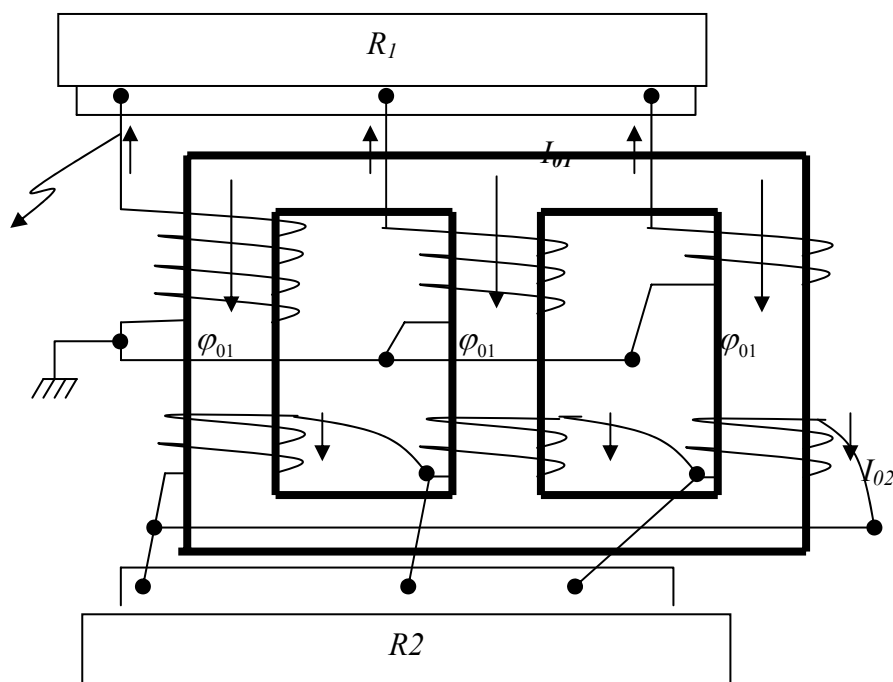
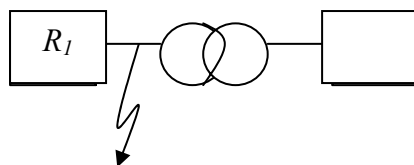




اتصال مثلث/ ستاره زمین شده:

برای اتصالات مثلث/ ستاره زمین شده، Z_0 موقعی وجود دارد که نا متعادلی مثل اتصال کوتاه باشیم.

حال باید دید مقدار Z_0 چقدر است



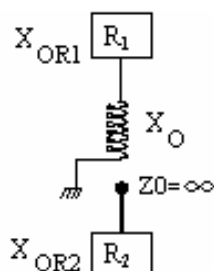
در اتصال کوتاه تکفاز، سیستم به توالی های هموپلر، معکوس و مستقیم تجزیه می شود. با عبور جریان I_{01} فلوهای که در مدار مغناطیسی ایجاد خواهد شد، در سیم پیچی های ثانویه جریانی عبور خواهد داد که با عبور فلوی مربوطه می بایستی مخالفت کند. φ_{02} ، جریان I_{02} را از ثانویه ها عبور خواهد داد.

فلوی ضعیف جهت مغناطیس کردن هسته ترانسفورماتور $\varphi_{01} - \varphi_{02}$

$$\frac{I_{01}}{I_{02}} = \frac{N_2}{N_1}$$

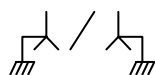
جریان I_{02} فقط در داخل مثلث گردش کرده و سیم پیچی ثانویه را گرم خواهد کرد. این جریان گردشی بوده و به بیرون هیچ راهی پیدا نمی کند. بنابراین الگم در طرف اتصال کوتاه تکفازی روی داده باشد، مولد هموپلر به طرف ثانویه یا شبکه R_2 سرایت نخواهد کرد. این نوع ترانسفورماتور ها نقش مهمی که دارند جریان هموپلر را ایزوله می کنند. همچنین هارمونیک ۳ رابه تله می اندازند. چرا که هارمونیک ۳ در سیستمهای سه

فاز، سینوسی بوده و با هم همفاز هستند (شبیه هموپلر). دردیگرام T_k خطی این نوع ترانسها، طرف مثلث برای سیستم هموپلر مدار باز خواهد بود. راکتانس از طرف اولیه برابر با $X_0 = X_{cc}$ است.

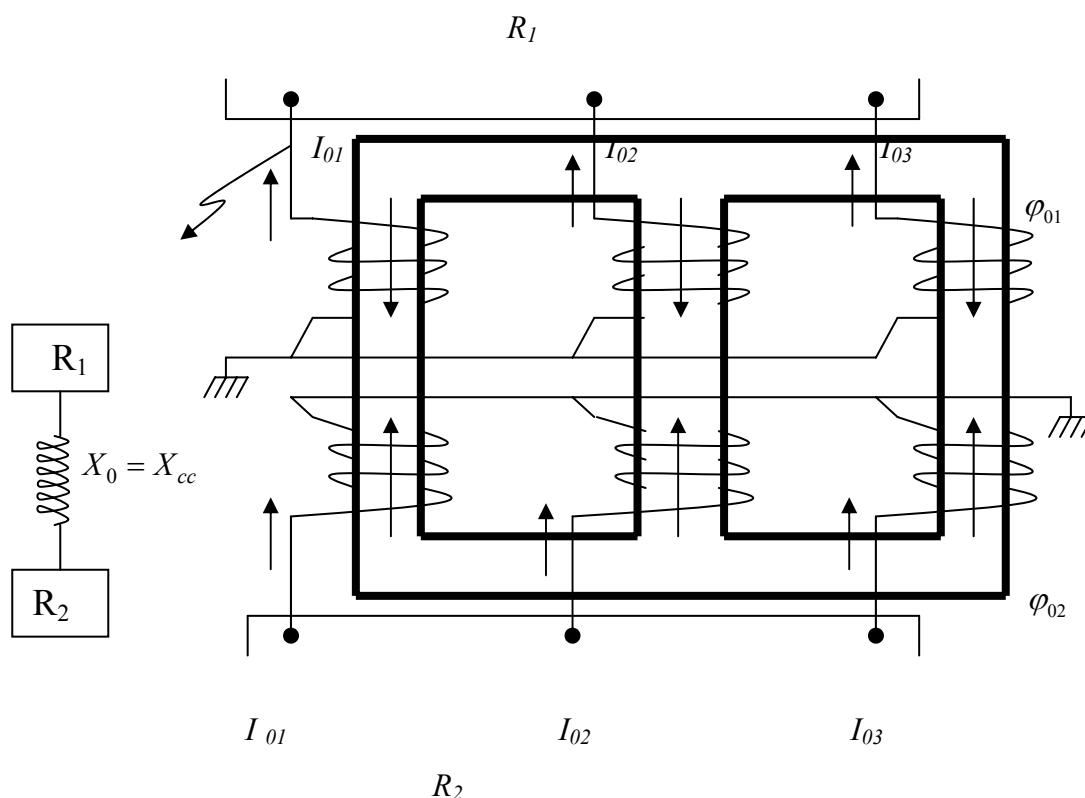


به عبارت دیگر جریانه‌ها در طرف اتصال ستاره با هم برابر بوده ($\bar{I}_{01\lambda} = \bar{I}_{02\lambda} = \bar{I}_{03\lambda} = \bar{I}_0/3$) و بصورت هم فاز، هم جهت و مساوی هم می‌باشند. در صورتی که نقطه صفر اتصال ستاره زمین شده باشد $\bar{I}_0 \neq 0$ و در صورتی که نقطه صف زمین نشده باشد $\bar{I}_0 = 0$. با عبور جریان از طرف اتصال ستاره جریانه‌های متناظر فازها از سیم پیچهای اتصال مثلث عبور کرده و بخاطر هم فاز، هم جهت و مساوی بودن فقط در داخل مثلث جریان داشته و در خارج آن وجود نخواهند داشت. ($\bar{I}_{01\Delta} = \bar{I}_{02\Delta} = \bar{I}_{03\Delta}$)

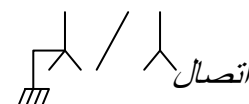
اتصال ستاره زمین شده / ستاره زمین شده:



در سیستم یریونیت خواهیم داشت: $\bar{I}_{1\lambda} = \bar{I}_{1\Delta}$



اتصال Δ / Δ $Z_o = \infty$ ثانویه و $Z_o = \infty$ اولیه



اگر عاملی در ثانویه وجود داشته باشد که φ_{01} را خنثی کند φ_{01} رو به اشباع می رود و هسته گرم می شود در این صورت هیچ جریان \bar{I}_0 در شبکه R_2 نداریم و فقط جریان ناشی ترانسفورماتور موجود است. در این صورت \bar{I}_0 مربوط به شبکه R_1 مقدار بزرگی نبوده و $X_0 = \infty$ می باشد. به عبارت دیگر مسیر φ_{01} از طریق هوا بسته شده است. در حالت ۴ ستونه، رلوکتانس هر مسیر به صورت زیر می باشد (رلوکتانس هوایی) مقاومت مغناطیسی از طریق مسیر شار از طریق هوا: \Re_f مقاومت مغناطیسی هر ستون \Re_n

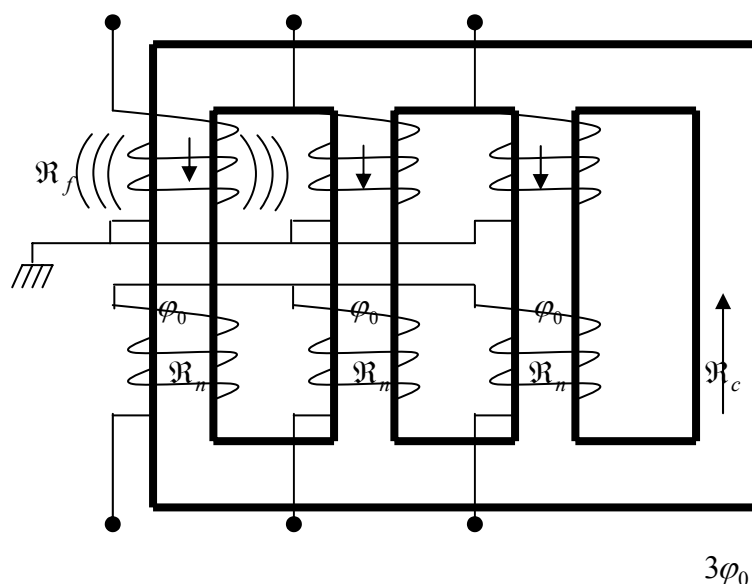
برای اتصال هسته سه ستونه داریم:

$$X_o = L_o \omega = \frac{K \omega}{\Re_n + \Re_f} \approx \frac{K \omega}{\Re_f}$$

$$\varphi_0 = \frac{K I_0}{\Re} \rightarrow \varphi_0 = L_o I_0 \rightarrow \frac{\varphi_0}{I_0} = L_o \rightarrow L_o \omega = \frac{K \omega}{\Re}$$

در این حالت راکتانس نسبت به حالت قبل بیشتر است.

$$X_o \approx (10-15) X_{cc}$$



برای اتصال هسته چهار ستونه داریم:

$$\varphi_0 = \frac{KI_0}{\mathfrak{R}_t}$$

$$\mathfrak{R}_t = \mathfrak{R}_n + 3\mathfrak{R}_{common}$$

$$\varphi_0 = \frac{KI_0}{\mathfrak{R}_n + 3\mathfrak{R}_c}$$

\mathfrak{R}_c و \mathfrak{R}_n راکتانس بستگی به پرمابلیته آهن دارد.

$\mathfrak{R}_n + 3\mathfrak{R}_c$ مقدار کوچکی بوده و $\mathfrak{R}_n + \mathfrak{R}_f$ ناشی از مقدار بزرگی می باشد.

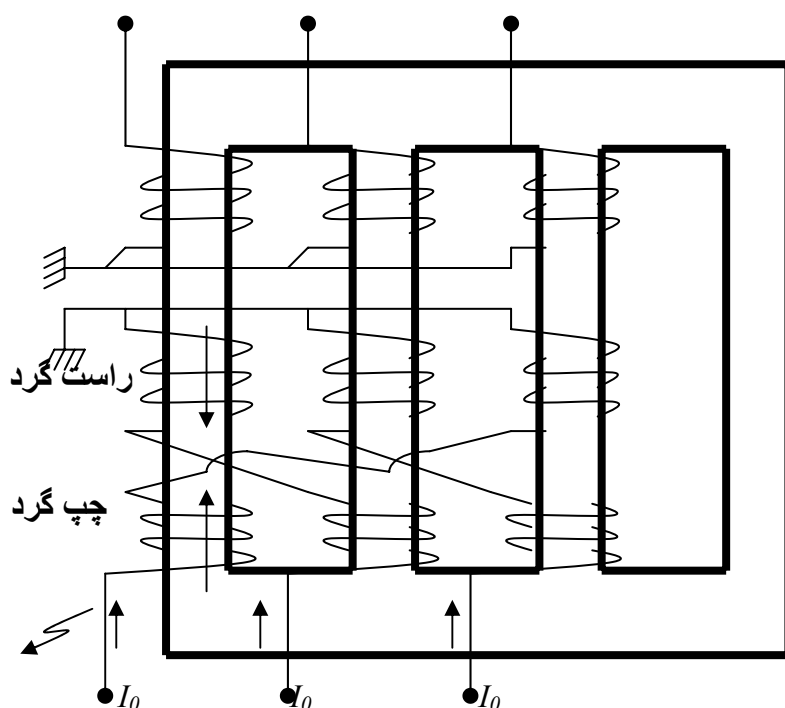
$$L_0\omega = \frac{\varphi_0}{I_0}\omega = \frac{K\omega}{R_n + 3R_c} \rightarrow L_0\omega = \infty$$

$$\frac{K\omega}{R_n + 3R_c} = X_0 \gg X_0 = \frac{K\omega}{R_f + R_n}$$

در حالت ۴ ستونه I_{0l} کوچکتری برای اشباع هسته لازم است. چون فلو خیلی آزاد مسیر خود را می بندد يك جریان چند دهه امپری کافی است تا هسته را اشباع کند ولي در ۳ ستونه از طریق هوا مسیر خود را می بندد و جریان بیشتری را نسبت به حالت ۴ ستونه می کشد .

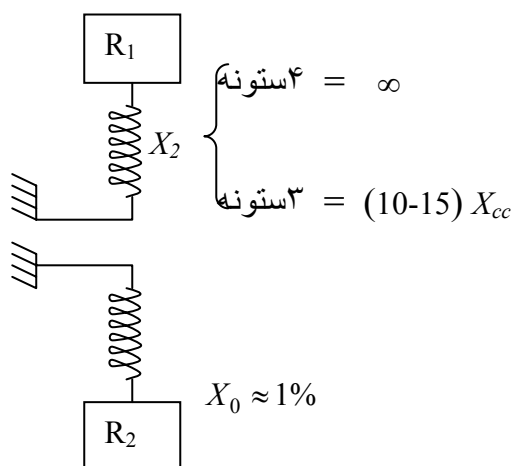
اتصال

اگر اتصال کوتاه در طرف زیگزاگ باشد جریان همو پلر را هر قدر بتوانیم می توانیم عبور دهیم چون فلو ها اثر همدیگر را خنثی می کنند وفلوی ضعیفی باقی خواهد ماند. $X_0=1\%$ در طرف ثانویه زیگزاگ خیلی کم بوده و مربوط به فلو های نشستی می باشد. هیچ اثری در طرف اولیه از این اتصال کوتاه نخواهیم داشت

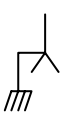
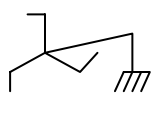
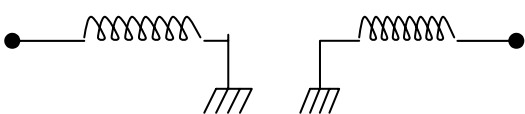
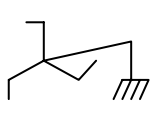

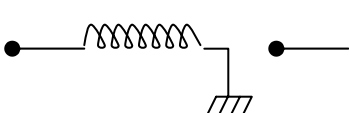
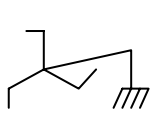

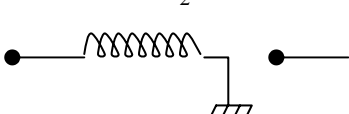


اگر اتصال کوتاه در طرف اول (ستاره) باشد سه جریان هموپلر و سه فلو در اولیه خواهیم داشت. اما این پیچک ها نمی توانند با این فلو ها به مقابله برخیزند. چون در هر نصف سیم پیچ که مقابله شده، در نصف سیم پیچ بعدی و در فاز دیگر مخالف آن تولید خواهد شد، مثل این که هیچ فلویی تولید نشده است. پس از دید اولیه مشخصات

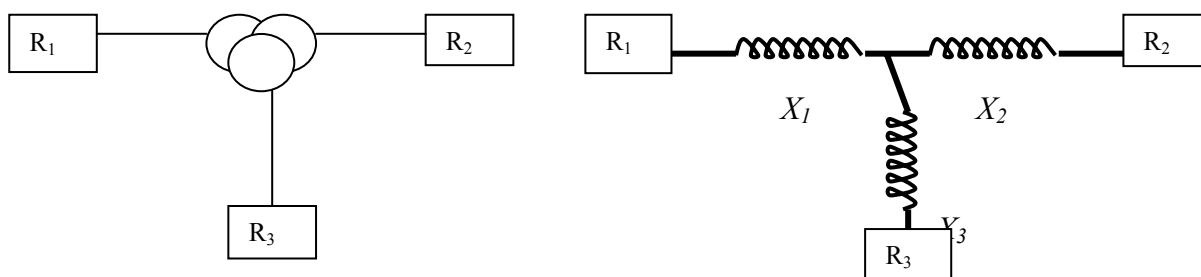
را داشته و بستگی به نوع ساختمان ترانس که ۳ ستونه یا ۴ ستونه باشد دارد.



کوپلاژ				شمای معادل
ثانویه		اولیه		$X_{cc} = (4 - 17)\%$
نوع سیم پیچی	نقطه خنثی	نوع سیم پیچی	نقطه خنثی	
	متصل به زمین		متصل به زمین	
	متصل به زمین		ایزوله	
	متصل به زمین		ایزوله	 $X_2 = \infty$ ستونه ۵ یا ۴ $X_2 = (10 - 15)X_{cc}$ ستونه ۳
	متصل به زمین		ایزوله	

				$X_2 = \infty$ یا ۵ ستونه $X_2 = (10-15)X_{cc}$ ۳ ستونه
	متصل به زمین		متصل به زمین	X_2 1% 
	متصل به زمین		ایزوله	X_2 
	متصل به زمین		ایزوله	X_2 

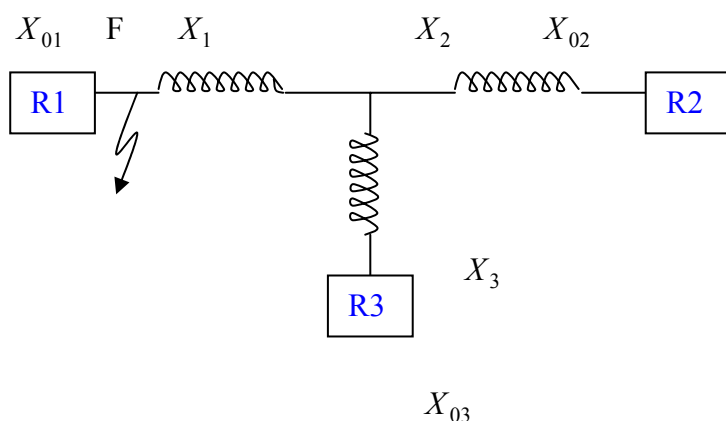
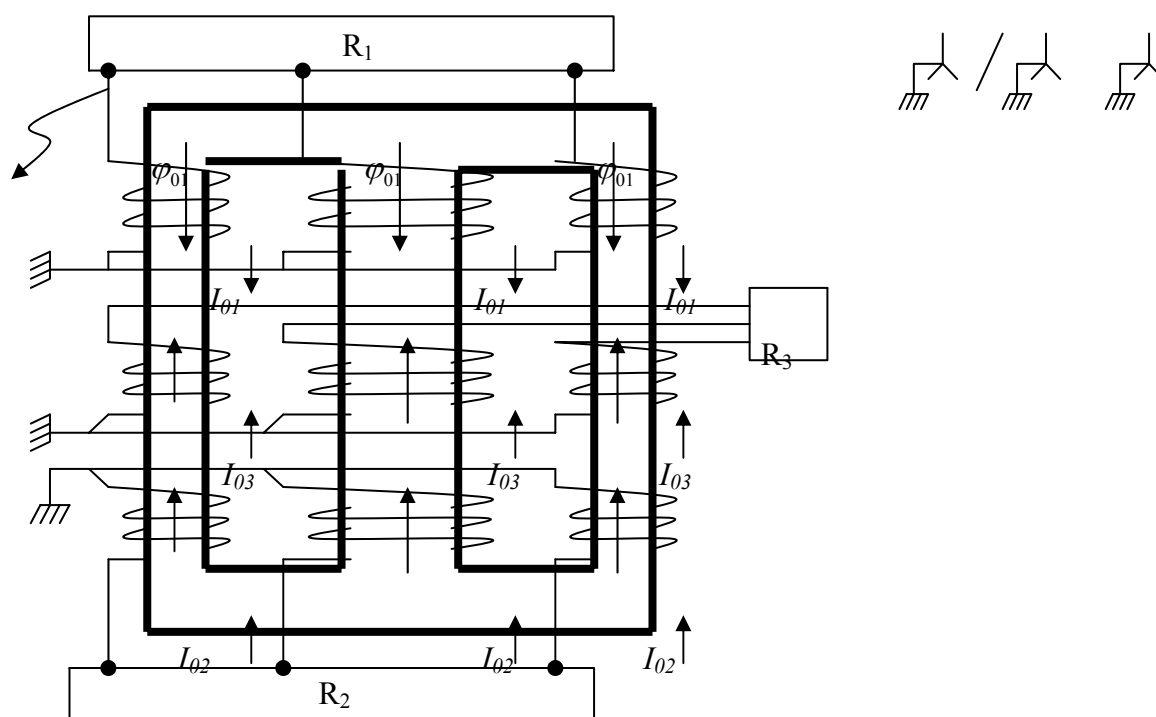
ترانسفورماتور سه پیچکه



ترانسفورماتور سه پیچکه را بصورت سه راکتانس نشان می دهیم که به صورت ستاره به هم وصل شده اند. این راکتانس ها را از طریق اندازه گیری و به کمک آزمایش اتصال کوتاه در ترانس به دست می آیند. اگر ثالثیه مدار باز شده، ثانویه اتصال کوتاه و اولیه به سیستم تغذیه وصل شود X_{12} به دست می آید. به همین ترتیب X_{13} , X_{23} به دست خواهیم آمد. طبق شکل داریم:

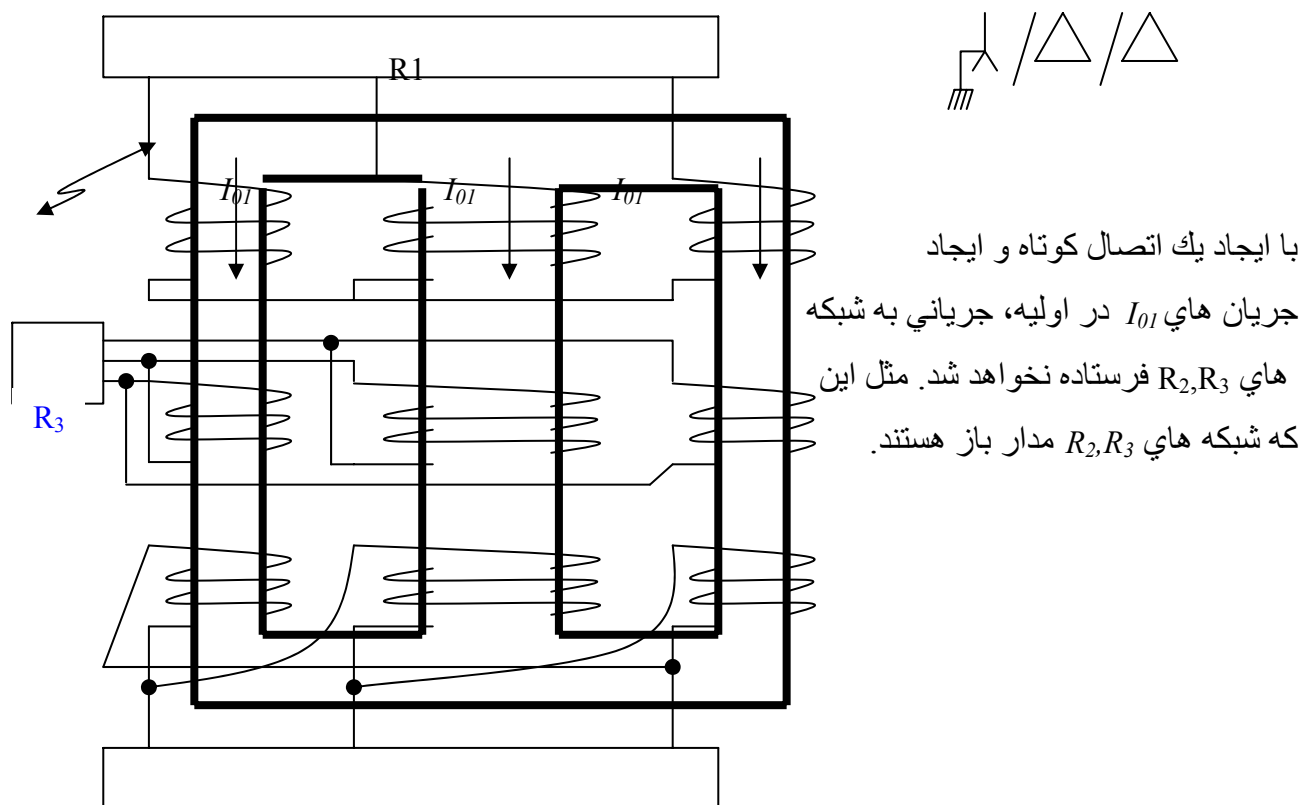
$$\begin{cases} X_1 + X_2 = X_{12} \\ X_1 + X_3 = X_{13} \\ X_2 + X_3 = X_{23} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} X_1 = \frac{1}{2}(X_{12} + X_{13} - X_{23}) \\ X_2 = \frac{1}{2}(X_{12} + X_{23} - X_{13}) \\ X_3 = \frac{1}{2}(X_{13} + X_{23} - X_{12}) \end{cases}$$

چون ترانسفورماتور يك سيستم استاتيک است پس امپدانس مستقيم و معكوس آن يکي است ولي در اندازه گيري راکتانس هموپلر بايستي نوع اتصالات را بررسي کرده و مدار معادل هموپلر را رسم کنيم.

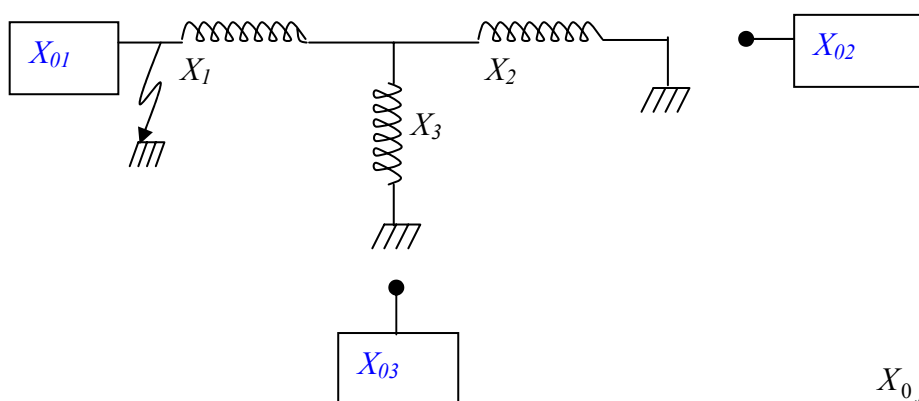


در اوليه ترانسفورماتور و در يك فاز اتصال کوتاهي پيش مي آيد و جرياني کشيده شده که داراي سه مولفه مي باشد. جريان هموپلر I_{01} را در نظر مي گيريم. بايستي جريان سيم پيچي I_{02} هاي ديگر با فلوي ناشي از I_{01} مقابله کنند و جريان هاي گذرنده از سيم پيچي هاي ثانويه و ثالثيه فلويي ايجاد مي کنند که با فلوي اوليه به مقابله برخيزد.

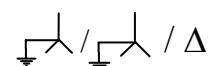
$$X_{0fn} = X_{01} \parallel [X_1 + (X_2 + X_{02}) \parallel (X_3 + X_{03})]$$



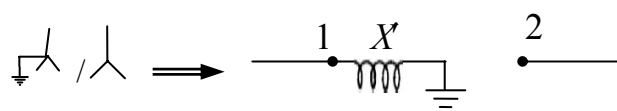
اگر اتصال کوتاه در ثانویه و در طرف مثلث باشد بینهایت موازی با X_{02} خواهد بود



$$X_{0fn} = X_{01} \parallel [X_1 + (X_2 \parallel X_3)]$$

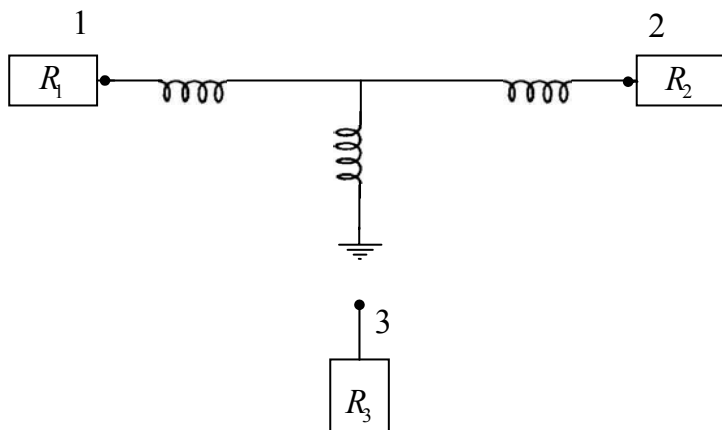


راکتانس در اینجا علاوه بر نوع اتصالات به مدار مغناطیسی ترانسفورماتور نیز بستگی دارد در ترانسفورماتور دو پیچکه داریم:

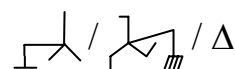


$X' = \infty$ فلوی آزاد ۴ یا ۵ پیچکه

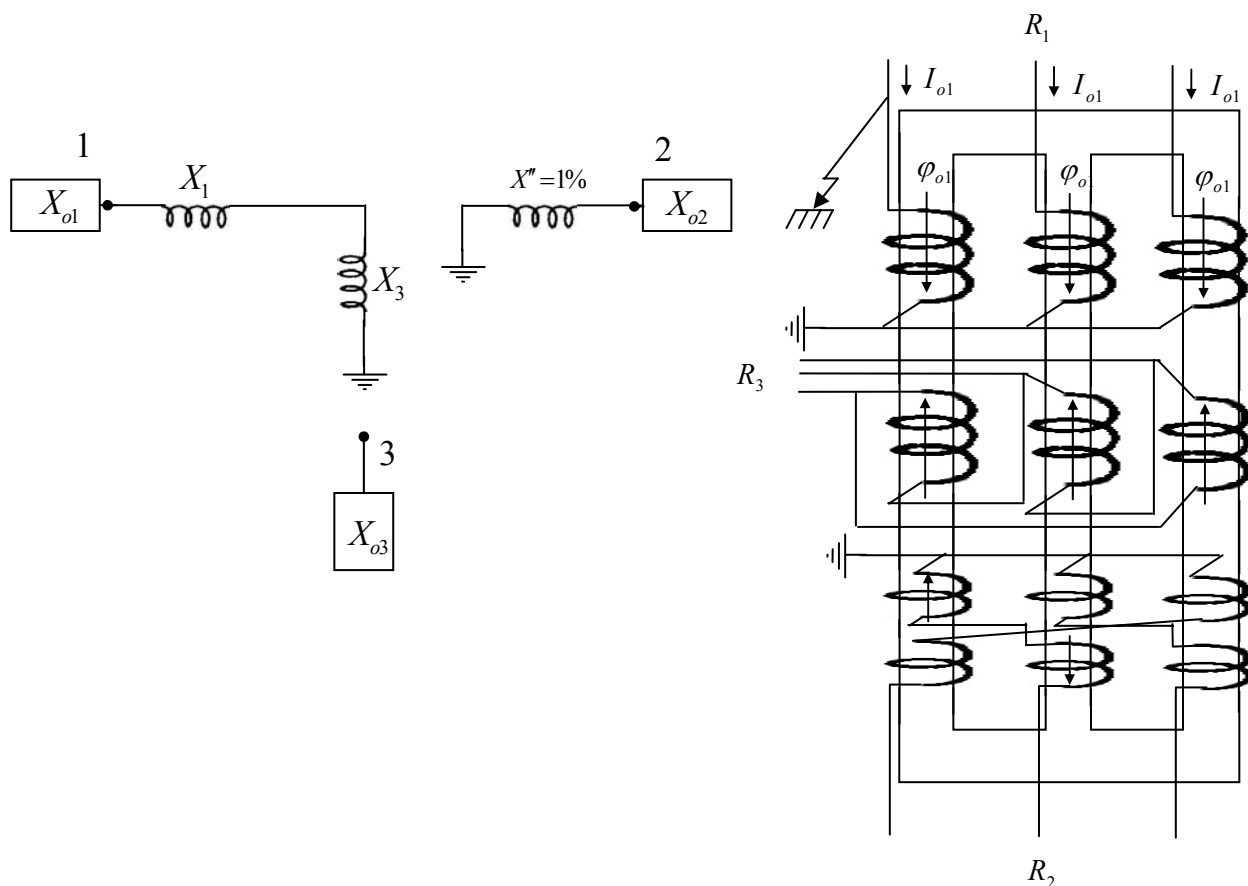
$X' = (10-15) X_{cc}$ فلوی فشرده ۳ پیچک






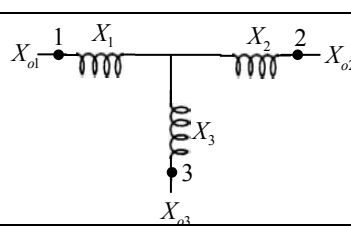
بین اولیه و ثانویه X_l و X'




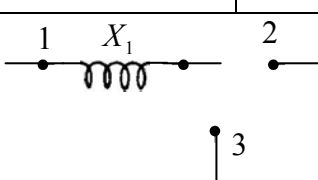



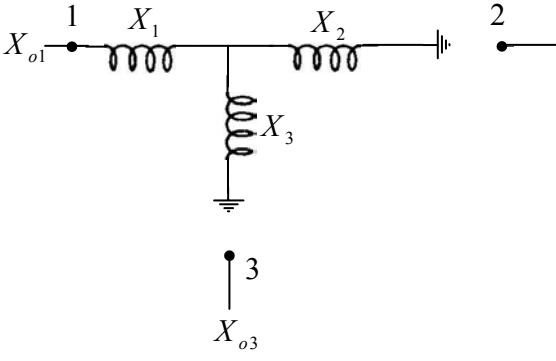
اگر اتصال کوتاه در اولیه رخ دهد سه جریان همپولر I_{O1} را خواهیم داشت. در ثالثیه سه جریان گردشی در داخل Δ ایجاد شده و سبب گرم شدن Δ می شود ولی در R_3 جریانی نداریم. اگر در یک پیچک زیگزآگ فلویی به بالا ایجاد کند، در پیچک دومی که درخلاف جهت پیچک اولی پیچیده شده و با آن سری است فلویی در جهت پایین ایجاد خواهد کرد و نخواهد توانست به مقابله با I_{O1} برخیزد لذا تنها فلوهای مقابله کننده با I_{O1} همان فلوهای ایجاد شده در داخل Δ در ثالثیه است.



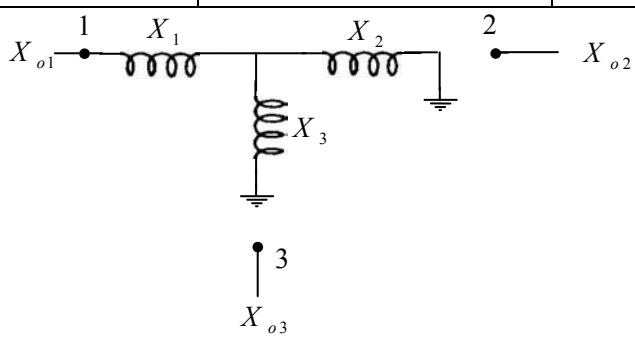




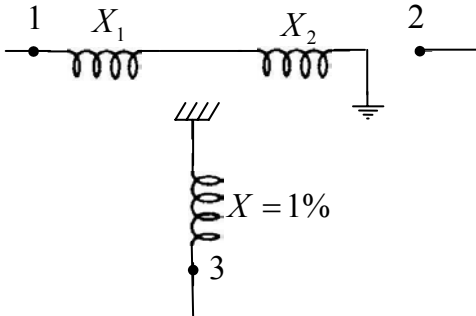
اگر اتصال کوتاه تکفازی در طرف Δ داشته باشیم جریانهای در پیچکهای اولیه و فلوهای در همان جهت ایجاد می شود. ولی در نصف پیچک دوم فلوی مخالف با آن تولید شده و حذف می شود و اگر اتصال کوتاه باشد راکتانس کوچکی خواهیم داشت که هر جریانی هموپولر در ثانویه Δ می توان از آن کشید. به خاطر وجود فلوهای نشتی و فراری فلویی در حدود ۱٪ در نظر میگیرند. اگر اتصال کوتاه در طرف Δ باشد $X_{0fn} = \infty \parallel X_{03}$ است.

۱	اولیه	ثانویه	ثالثیه
نوع کوپلاژ سیم پیچی ها			
مقدار راکتانس هموپولر از دید	$X_{01} \parallel [X_1 + (X_2 + X_{02}) \parallel (X_3 + X_{03})] = A$	A	A
 <p>شمای معادل تکفاز</p>			

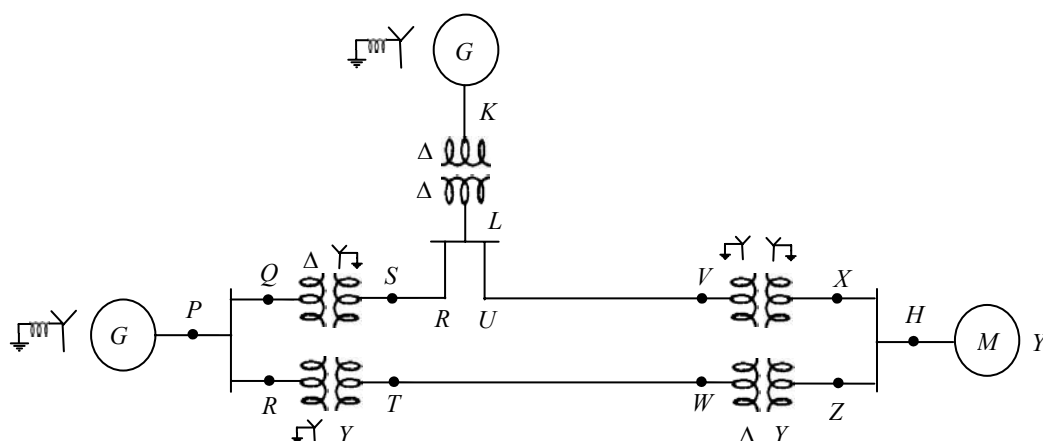
۲	اولیه	ثانویه	ثالثیه
نوع کوپلاژ سیم پیچی ها			
مقدار راکتانس هموپولر از دید	$X' = \infty$ $X' = 10X_{cc}$	∞	∞
 <p>شمای معادل تکفاز</p>			

ثالثیه	ثانویه	اولیه	نوع کوپلاژ سیم پیچی ها
Δ	Δ		نوع کوپلاژ سیم پیچی ها
∞	∞	$X_{o1} \parallel (X_1 + X_2 \parallel X_3)$	مقدار راکتانس هموپولر از دید
 <p>شمای معادل تکفاز</p>			

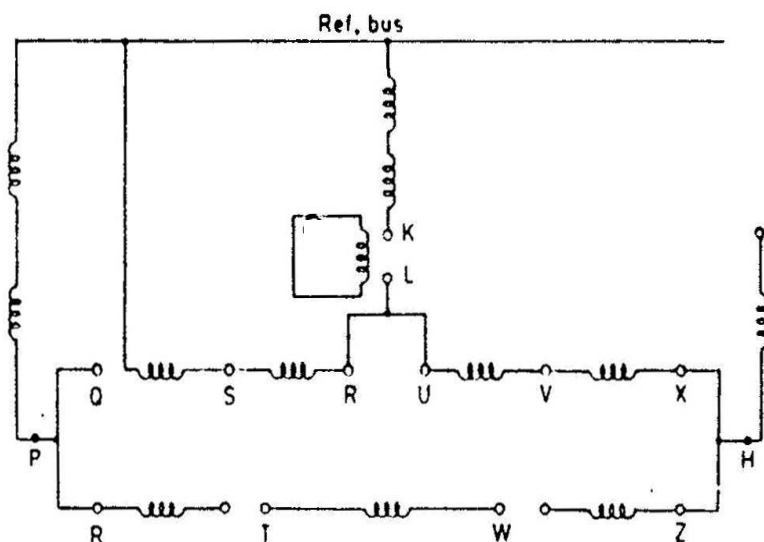
ثالثیه	ثانویه	اولیه	نوع کوپلاژ سیم پیچی ها
	Δ		نوع کوپلاژ سیم پیچی ها
∞	∞	$X_{o1} \parallel (X_1 + (X_3 + X_{o3}) \parallel X_2)$	مقدار راکتانس هموپولر از دید
 <p>شمای معادل تکفاز</p>			

ثالثیه	ثانویه	اولیه	نوع کوپلاژ سیم پیچی ها
	Δ		
۱٪	∞	$X_{01} \parallel (X_1 + X_2)$	مقدار راکتانس همپولر از دید
 <p>شمای معادل تکفاز</p>			

مثال- در دیاگرام تک خطی سیستم قدرت زیر شبکه توالی صفر سیستم را رسم نمایید



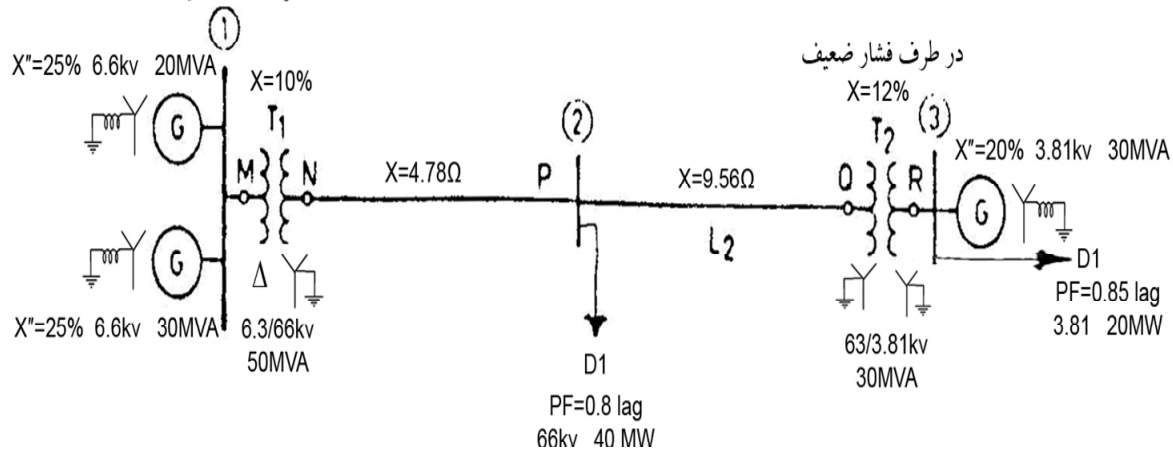
حل: با توجه به اتصال ترانسفورماتورها شبکه توالی صفر سیستم مطابق شکل زیر رسم می شود:



شبکه توالی صفر
مربوط به سیستم قدرت بالا

مثال: سیستم قدرت سه شینه در زیر نشان داده شده است. شبکه های توالی مثبت، منفی و صفر این سیستم را رسم کنید و مقادیر راکتانس ها را بر حسب pu روی آن مشخص نمایید. رسم این شبکه ها برای مطالعه اتصال کوتاه صورت می گیرد، لذا از جریان بارها صرف نظر کنید. راکتانس توالی منفی ژنراتورها با توالی مثبت آنها برابر است. راکتانس توالی صفر هر یک از ژنراتورها ۵٪ و راکتانس زمین آنها ۲٪ می باشند. امپدانس توالی صفر خطوط انتقال را ۲/۵ برابر امپدانس توالی مثبت آنها در نظر بگیرید.

<ترسیم دوباره شکل ها - تغییر نام بار سمت راست به D2 - تاثیر بارها در دیاگرام توالی ها>
در طرف فشار ضعیف



دیاگرام تک خطی یک سیستم قدرت

حل:

ولتاژهای مبنای شین ها:

شین ۱ : 6.6kV

شین ۲ : $6.6 \times \frac{66}{6.3} = 69.16 \text{ kV}$

شین ۳ : $69.14 \times \frac{3.81}{63} = 4.18 \text{ kV}$

رابطه تبدیل امپدانس از یک سیستم قدیمی به یک سیستم جدید به صورت زیر است.

$$\bar{Z}_{pu,new} = \bar{Z}_{pu,old} \left(\frac{S_{base,new}}{S_{base,old}} \right) \times \left(\frac{V_{base,old}}{V_{base,new}} \right)^2$$

$$G_1 : X'' = j0.25 \times \frac{50}{20} = j0.625 \text{ pu}$$

$$G_2 : X'' = j0.25 \times \frac{50}{30} = j0.4167 \text{ pu}$$

$$G_3 : X'' = j0.2 \times \frac{50}{30} \times \left(\frac{3.81}{4.18} \right)^2 = j0.277 \text{ pu}$$

$$T_1 : X = j0.1 \times \left(\frac{6.3}{6.6}\right)^2 = j0.0911 pu$$

$$T_2 : X = j0.12 \times \frac{50}{30} \times \left(\frac{3.81}{4.18}\right)^2 = j0.166 pu$$

$$\bar{Z}_{base} = \frac{V_{base}^2}{S_{base}} = \frac{69.14 K^2}{50 m} = 95.6 \Omega$$

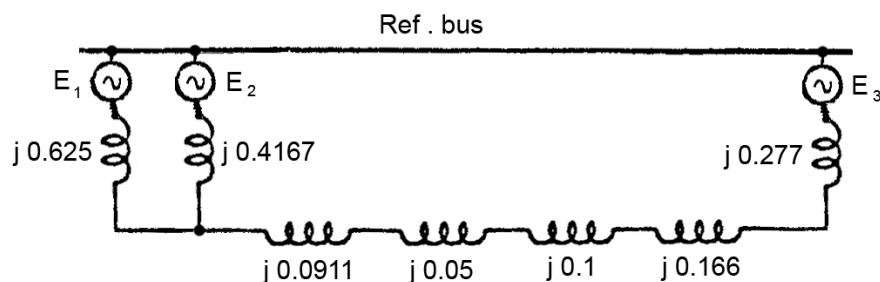
$$L_1 : X = j \frac{4.78}{95.6} = j0.05 pu$$

$$L_2 : X = j \frac{9.56}{95.6} = j0.1 pu$$

$$D_1 : \begin{cases} S_1 = \frac{P_1}{\cos \phi_1} = \frac{40}{0.8} = 50 MVA \\ |Z_1| = \frac{V_1^2}{S_1} = \frac{66 K^2}{50} = 87.12 \Omega \\ \bar{Z}_{base} = \frac{V_b^2}{S_b} = \frac{69.14 K^2}{50 m} = 95.6 \Omega \\ |Z_1| = \frac{87.12}{95.6} = 0.911 pu \\ \bar{Z}_1 = |Z_1| \angle \gamma_1 = 0.911 \angle \cos^{-1} 0.8 = 0.729 + j0.547 pu \end{cases}$$

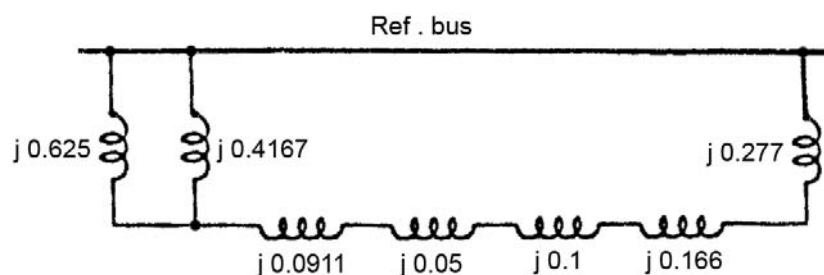
$$D_2 : \begin{cases} S_2 = \frac{P_2}{\cos \gamma_2} = \frac{20 m}{0.85} = 23.53 MVA \\ |Z_2| = \frac{V_2^2}{S_2} = \frac{3.81 K^2}{23.53} = 0.617 \Omega \\ \bar{Z}_{base} = \frac{V_b^2}{S_b} = \frac{4.18 K^2}{50 m} = 0.349 \Omega \\ |Z_2| = \frac{0.617}{0.349} = 1.766 pu \\ \bar{Z}_2 = 1.799 \angle \cos^{-1} 0.85 = 1.5 + j0.93 pu \end{cases}$$

با فرض اینکه محاسبات اتصال کوتاه مورد نظر است از جریانهای بار (تأثیر بارها) صرفنظر می شود.
 قدرت مبنا ۵۰ مگاوات آمپر است. شبکه توالی مثبت، همان دیاگرام امپدانس است که در شکل زیر رسم است.



شبکه توالی مثبت سیستم قدرت

امپدانس توالی منفی ترانسفورماتورها و خطوط انتقال با امپدانس توالی مثبت آنها برابر هستند. همچنین امپدانس توالی منفی ژنراتورها با امپدانس توالی مثبت آنها یکسان است. با توجه به اینکه نیروهای محرکه الکتریکی ژنراتورها در شبکه توالی منفی ظاهر نمی شوند، شبکه توالی منفی سیستم مذکور را مطابق شکل زیر رسم می کنیم.



شبکه توالی منفی سیستم قدرت

برای رسم شبکه توالی صفر، ابتدا راکتانس های توالی صفر و راکتانس های زمین ژنراتورها را در قدرت مبنای ۵۰ مگاوات آمپر بدست می آوریم.

راکتانس توالی صفر ژنراتورها ۵٪

راکتانس زمین ژنراتورها ۲٪

$$G_1 : X_{g0} = 0.05 \times \frac{50}{20} = 0.125 pu$$

$$\therefore X_n = 0.02 \times \frac{50}{20} = 0.05 pu$$

$$\therefore 3X_n = 0.15 pu$$

$$G_2 : X_{go} = 0.05 \times \frac{50}{30} = 0.0838 pu$$

$$: X_n = 0.02 \times \frac{50}{30} = 0.0333 pu$$

$$3X_n = 0.1 pu$$

$$G_3$$

$$: X_{go} = 0.05 \times \left(\frac{50}{30}\right) \times \left(\frac{3.81}{4.18}\right)^2 = 0.0692 pu$$

$$: X_n = 0.02 \times \frac{50}{30} \times \left(\frac{3.81}{4.18}\right)^2 = 0.0277 pu$$

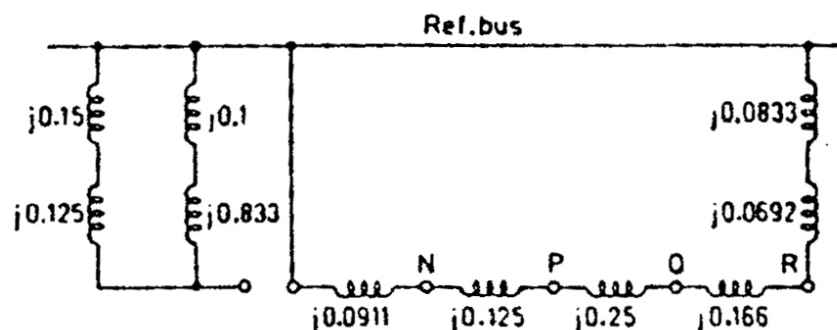
$$: 3X_n = 0.0831 pu$$

همچنین راکتانس توالی صفر خطوط انتقال را محاسبه می کنیم:
امپدانس توالی صفر خطوط ۲/۵ برابر توالی امپدانس مثبت است.

$$L_1 = X_o = 2.5 \times 0.05 = 0.125 pu$$

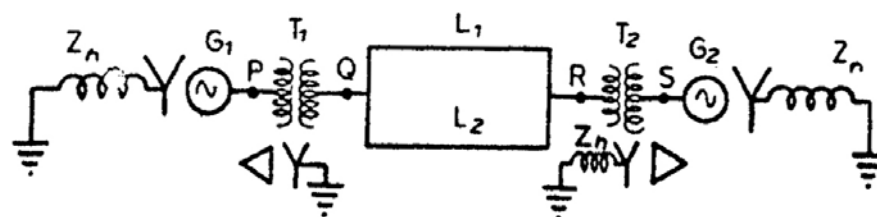
$$L_2 = X_o = 2.5 \times 0.1 = 0.25 pu$$

با توجه به این مقادیر و نحوه اتصال ترانسفورماتورها، شبکه توالی صفر این سیستم در شکل زیر نشان داده شده است:



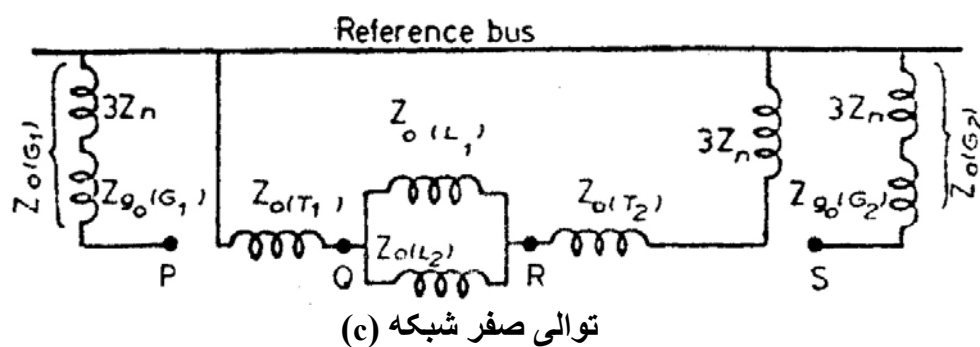
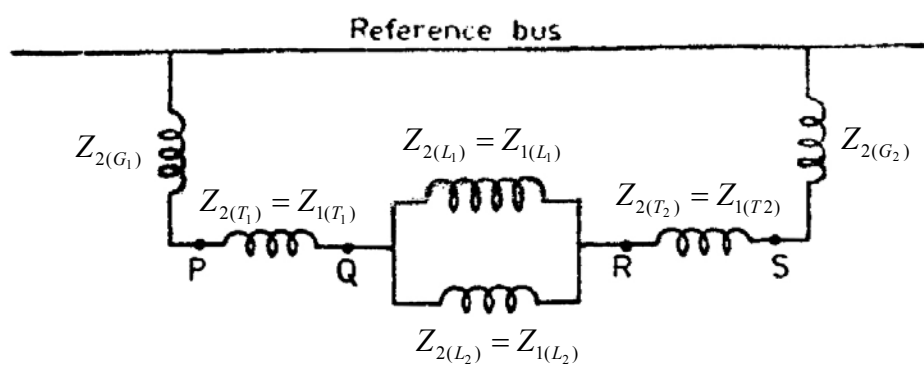
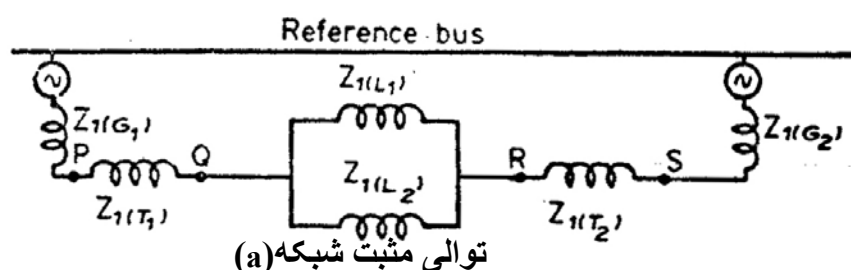
شبکه توالی سیستم قدرت

مثال: شکل زیر یک سیستم ساده قدرت متشکل از دو ژنراتور G_1 و G_2 که از طریق ترانسفورماتورهای T_1 و T_2 و دو خط موازی L_1 و L_2 به هم متصل است را نشان میدهد.



دیاگرام مداری یک سیستم قدرت

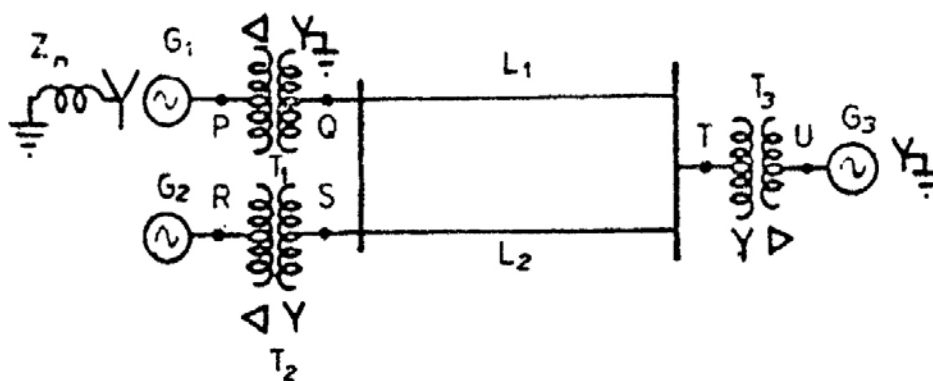
طرف فشار قوی T_2 از طریق یک راکتور محدود کننده با امپدانس Z_n به زمین متصل شده است. برای شبکه های توالی مثبت و منفی نقاط خنثای این ژنراتورها همان شین مرجع می باشد.



بنابراین شبکه های توالی صفر، مثبت و منفی در شکل‌های بالا نشان داده شده است. امپدانس توالی مؤلفه های سیستم قدرت در شبکه های متناظر با آنها نشان داده شده است. از آنجایی که مؤلفه ساکن و پایا (ایستا) موضوع بحث می باشد امپدانس های توالی مثبت و منفی شان با هم برابرند.

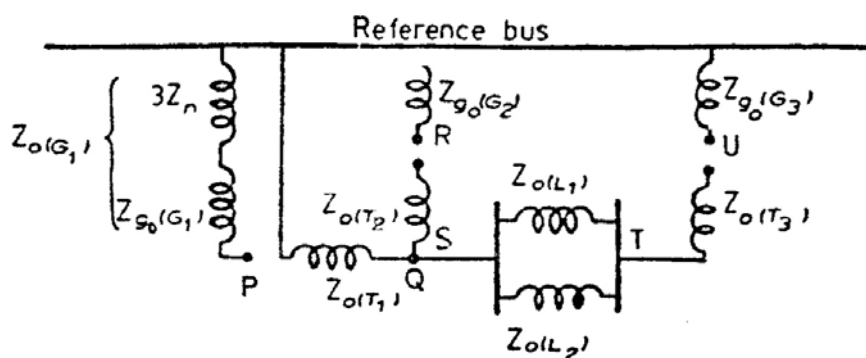
برای مثال همانطور که پیشاپیش توضیح داده شده است امپدانس های توالی مثبت و منفی یک ترانسفورماتور برابر امپدانس نشستی آن می باشد. در مورد شبکه توالی صفر باید گفت که هیچ جریان توالی صفری از ژنراتورهای G_1 و G_2 جاری نمی شود. اگر یک خطای نامتقارن بین دو نقطه Q و R شبکه بوجود آید توجیه این مسئله این است که سیم پیچی های اولیه هر دو ترانسفورماتور از نوع Δ می باشد. بنابراین جریان توالی صفر فقط می تواند در سیم پیچ Δ جریان پیدا کند و در جریان خط ظاهر نخواهد شد.

مثال: برای بررسی بیشتر نحوه استخراج توالی صفر مثال دیگری در زیر آمده است.



دیاگرام ساده یک سیستم قدرت

باید ذکر شود که امپدانس نشان داده شده در دیاگرام توالی متناظر با چه (KVA) و (KV) مرجعی است. شبکه توالی صفر سیستم در شکل زیر تشریح گردیده است.



شبکه توالی صفر سیستم قدرت ساده شده