

حالت گذرای سیستم قدرت - تجزیه تحلیل اتصالکوتاه متقارن (

("Electric Energy systems theory" Olle I. Elgerd-Chapter 10)

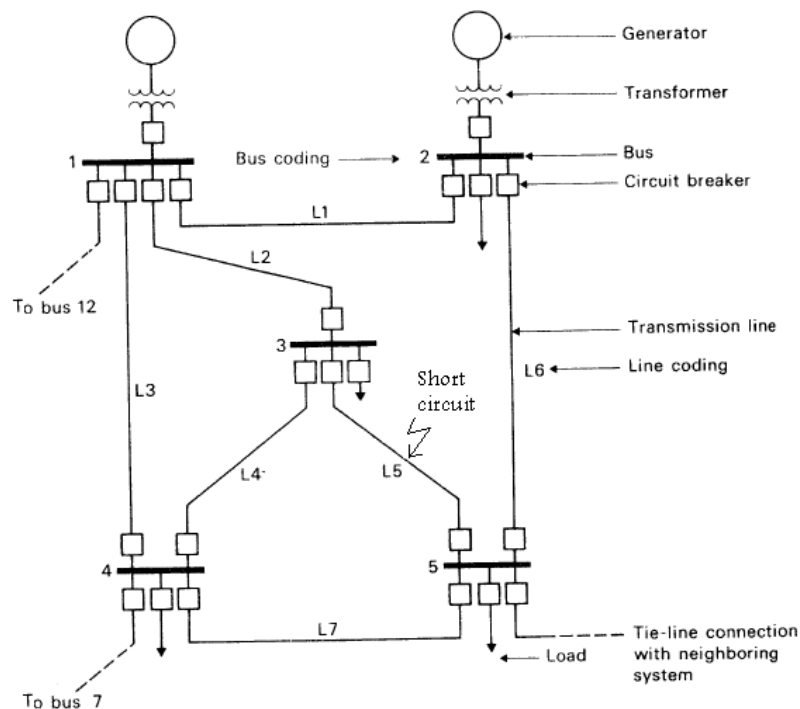
در فصل قبل تغییرات کوچک در سیستم مثل تغییر بار شبکه بررسی گردید در این فصل اتفاقات مهم که به آن حالات گذرا یا transient گفته می شود مورد بررسی قرار می گیرد. بسته به سرعت تغییرات حالات گذرا به سه دسته تقسیم می شود:

- کلاس A: گذراهای فوق سریع مثل رعد و برق
- کلاس B: گذراهای متوسط و سریع مثل اتصالکوتاه ها
- کلاس C: گذراهای کند مانند تغییر سرعت محور توربین ژنراتور متاثر از گذراهای کلاس B

در این بخش درس تنها به گذراهای کلاس B یعنی انواع اتصالکوتاه می پردازیم.

۱- اتصالکوتاه متقارن

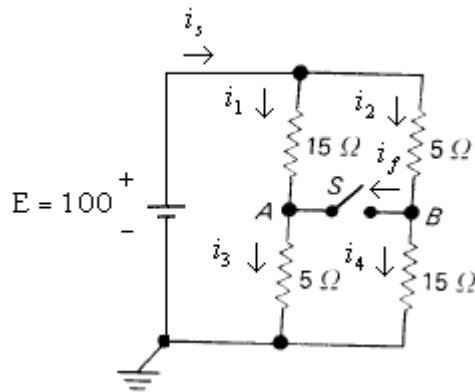
برای بیان این مساله فرض کنید در خط شماره ۵ نشان داده شده در شکل (۱) یک اتصالکوتاه سه فاز متقارن رخ دهد. در این حالت ژنراتورهای شماره ۱ و ۲ و ژنراتورهای سایر نواحی شروع به تزریق جریان در محل اتصالکوتاه می نمایند.



شکل (۱) بخشی از یک شبکه بزرگ

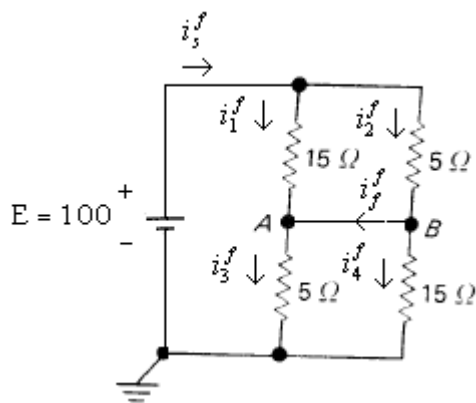
۱-۱ قضیه تونن: فرض کنید شبکه ای در حال کار بوده و ناگهان بین دو نقطه آن اتصالکوتاه رخ دهد. این بدین معناست که منبع ولتاژی مجازی با پلاریته معکوس در محل اتصالکوتاه قرار گرفته است، لذا کافیسیت جریانهها و ولتاژهای قبل از اتصالکوتاه را محاسبه و آنها را با جریانهها و ولتاژهای حاصله از منبع مجازی جمع نمود تا جریانههای حاصله از اتصالکوتاه بدست آید.

مثال ۱: فرض کنید در شکل (۲) بین نقاط A و B اتصالکوتاه رخ دهد. مطلوبست محاسبه کلیه جریانههای مدار پس از اتصالکوتاه



شکل (۲) مدار مربوط به مثال (۱)

روش حل ۱: در صورت اتصال کوتاه بین نقاط A و B مدار منتهی به صورت شکل زیر در خواهد آمد.



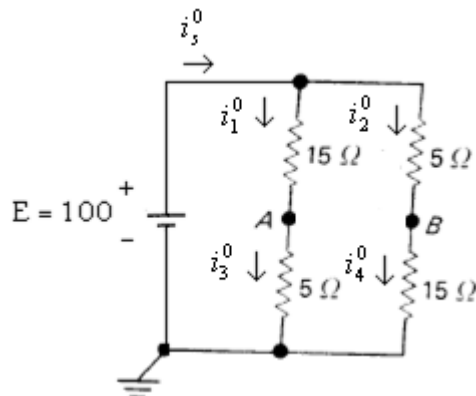
$$i_s^f = \frac{100}{5 \parallel 15 + 5 \parallel 15} = \frac{100}{3.75 + 3.75} = 13.33 \text{ A}$$

$$i_1^f = 13.33 \frac{5}{20} = 3.33 \text{ A} \quad i_2^f = 13.33 \frac{15}{20} = 10 \text{ A}$$

$$i_3^f = 13.33 \frac{15}{20} = 10 \text{ A} \quad i_4^f = 13.33 \frac{5}{20} = 3.33 \text{ A}$$

$$i_f^f = i_2^f - i_4^f = 10 - 3.33 = 6.67 \text{ A}$$

روش حل ۲: حال استفاده از قضیه تونن را بررسی می کنیم. قبل از اتصال کوتاه مدار بصورت زیر بوده و جریانهای قبل از اتصال کوتاه عبارتست از:



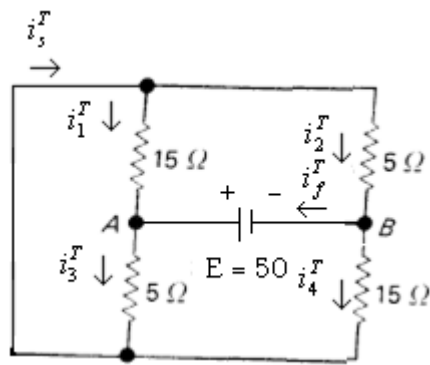
$$i_s^0 = \frac{100}{(5+15) \parallel (5+15)} = \frac{100}{10} = 10 \text{ A}$$

$$i_1^0 = i_2^0 = i_3^0 = i_4^0 = 5 \text{ A}$$

$$i_f^0 = 0 \text{ A}$$

$$V_{BA}^0 = 15 \times 5 - 5 \times 5 = 50 \text{ V}$$

مدار حاصل از اعمال منبع مجازی با پلاریته معکوس بصورت زیر بوده و جریانهای حاصله عبارتست از:



$$i_f^T = \frac{50}{5 \parallel 15 + 5 \parallel 15} = \frac{50}{3.75 + 3.75} = 6.67 \text{ A}$$

$$i_1^T = -6.67 \frac{5}{20} = -1.67 \text{ A} \quad i_2^T = 6.67 \frac{15}{20} = 5 \text{ A}$$

$$i_3^T = 6.67 \frac{15}{20} = 5 \text{ A} \quad i_4^T = -6.67 \frac{5}{20} = -1.67 \text{ A}$$

$$i_s^T = i_1^T + i_2^T = -1.67 + 5 = 3.33 \text{ A}$$

حال از جمع جریانهای قبل از اتصال کوتاه و جریانهای حاصل از منبع مجازی با پلاریته معکوس جریانهای واقعی بدست می آید.

$$i_1^f = i_1^0 + i_1^T = 5 - 1.67 = 3.33 \text{ A}$$

$$i_2^f = i_2^0 + i_2^T = 5 + 5 = 10 \text{ A}$$

$$i_3^f = i_3^0 + i_3^T = 5 + 5 = 10 \text{ A}$$

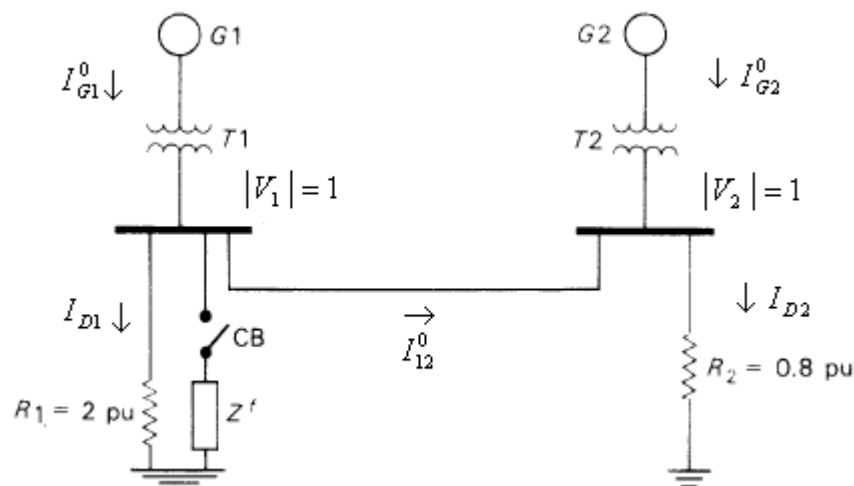
$$i_4^f = i_4^0 + i_4^T = 5 - 1.67 = 3.33 \text{ A}$$

$$i_s^f = i_s^0 + i_s^T = 10 + 3.33 = 13.33 \text{ A}$$

$$i_f^f = i_f^0 + i_f^T = 0 + 6.67 = 6.67 \text{ A}$$

۲-۱ محاسبات اتصال کوتاه یک شبکه دو باسه

سیستم دارای دو باس شکل (۳) را در نظر بگیرید. در این شکل ژنراتورها و ترانسها 300 MVA بوده و امپدانس خط انتقال 0.2 pu بر مبنای 300 MVA و مقاومت و ظرفیت خازنی خط قابل اغماض است. راکتانس ترانسها 0.12 pu و راکتانس فوق گذرای ژنراتورها 0.1 pu است. فرض کنید اندازه ولتاژ هر دو باس برابر 1 pu بوده و دو ژنراتور بار را به تساوی بین خود تقسیم می کنند. هدف محاسبه جریانهای حاصل از اتصال کوتاه سه فاز متقارن در باس ۱ می باشد. امپدانس اتصال کوتاه را صفر فرض کنید.



شکل (۳) اتصال کوتاه در یک شبکه دو باس

برای حل مساله باید دو حالت زیر حل شود:

الف) محاسبه ولتاژها و جریانها قبل از خطا:

$$P_{D1} = \frac{1^2}{2} = 0.5 \text{ pu}$$

$$P_{D2} = \frac{1^2}{0.8} = 1.25 \text{ pu}$$

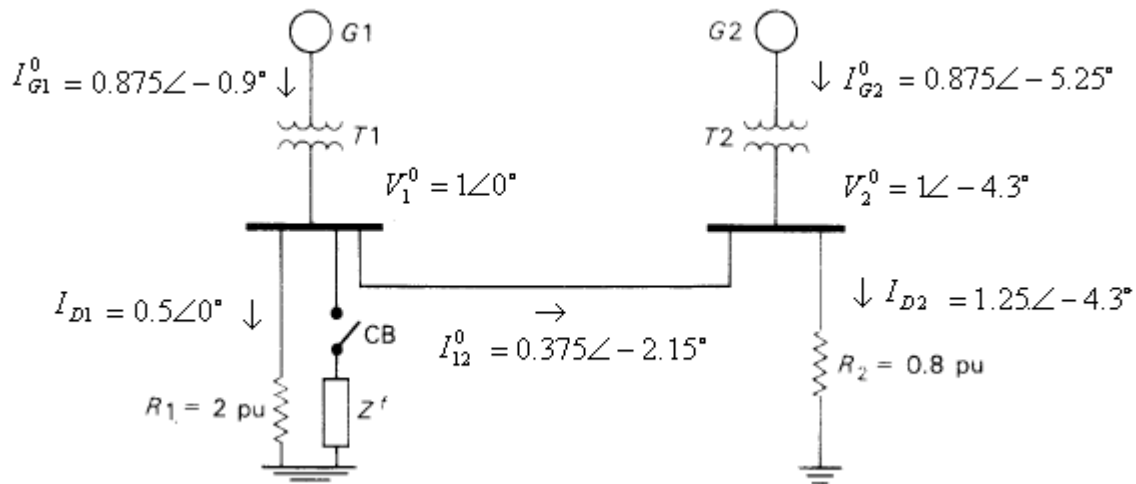
$$P_{G1} = P_{G2} = \frac{P_{D1} + P_{D2}}{2} = 0.875 \text{ pu}$$

$$P_{12} = 0.875 - 0.5 = \frac{|V_1||V_2|}{X_L} \sin \delta = 5 \sin \delta \quad \Rightarrow \quad \delta = 4.3^\circ \quad V_1^0 = 1 \angle 0^\circ \quad V_2^0 = 1 \angle -4.3^\circ$$

$$I_{12}^0 = \frac{V_1^0 - V_2^0}{jX_L} = 0.375 \angle -2.15^\circ \quad I_{G1}^0 = I_{D1} + I_{12}^0 = 0.5 \angle 0^\circ + 0.375 \angle -2.15^\circ = 0.875 \angle -0.9^\circ$$

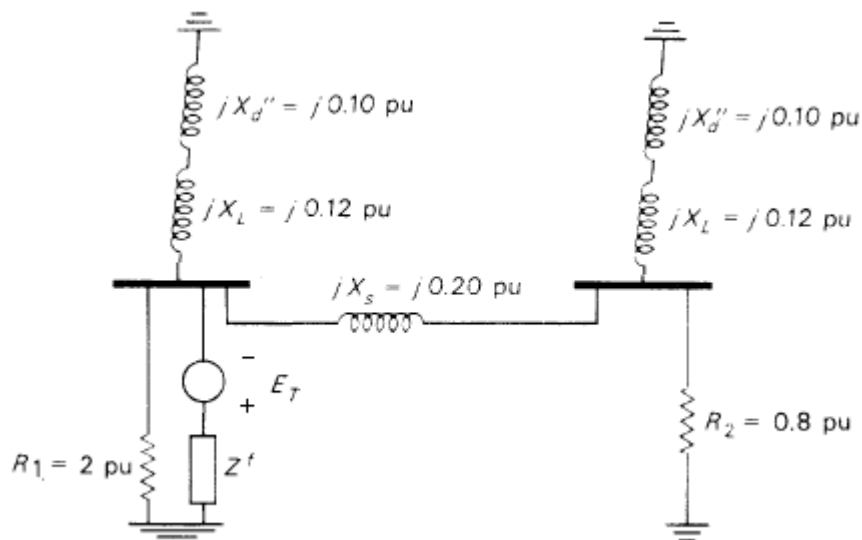
$$I_{G2}^0 = I_{D2} - I_{12}^0 = 1.25 \angle -4.3^\circ - 0.375 \angle -2.15^\circ = 0.875 \angle -5.25^\circ$$

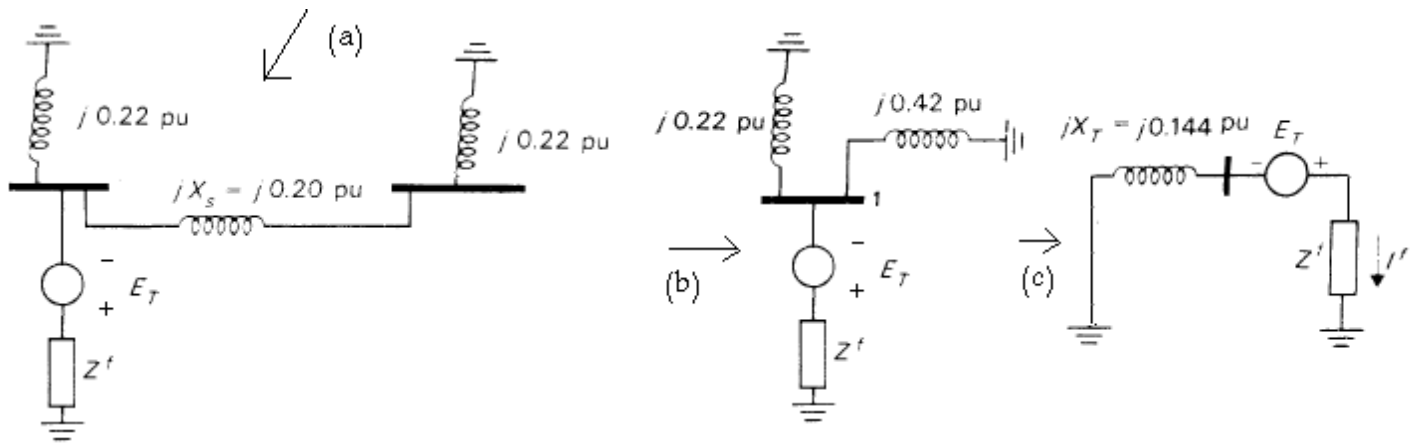
شکل زیر مقادیر ولتاژها و جریانهای سیستم قبل از اتصال کوتاه را نشان می دهد.



ب) محاسبه ولتاژها و جریانهای حاصل از منبع مجازی با پلاریته معکوس:

در این وضعیت باید یک منبع با پلاریته معکوس بصورت شکل زیر در مدار قرار داده و ولتاژ و جریان را محاسبه نمود.





$$I_f^T = \frac{E_T}{j0.144} = \frac{1\angle 0^\circ}{j0.144} = 6.94\angle -90^\circ \text{ pu kA}$$

$$I_{G1}^T = 6.94\angle -90^\circ \frac{j0.42}{j0.42 + j0.22} = 4.55\angle -90^\circ \text{ pu kA}, \quad I_{G2}^T = 6.94\angle -90^\circ \frac{j0.22}{j0.42 + j0.22} = 2.39\angle -90^\circ \text{ pu kA}$$

$$V_1^T = -1\angle 0^\circ \text{ pu kV} \quad V_2^T = -1\angle 0^\circ + 0.2j \times 2.39\angle -90^\circ = -0.513\angle 0^\circ \text{ pu kV}$$

$$I_{12}^T = -I_{G2}^T = -2.39\angle -90^\circ \text{ pu kA}$$

حال جریانهای واقعی پس از اتصال کوتاه عبارتست از:

$$I^f = I_f^0 + I_f^T = 0 + 6.94\angle -90^\circ = 6.94\angle -90^\circ \text{ pu kA}$$

$$I_{G1}^f = I_{G1}^0 + I_{G1}^T = 0.875\angle -0.9^\circ + 4.55\angle -90^\circ = 4.64\angle -79^\circ \text{ pu kA}$$

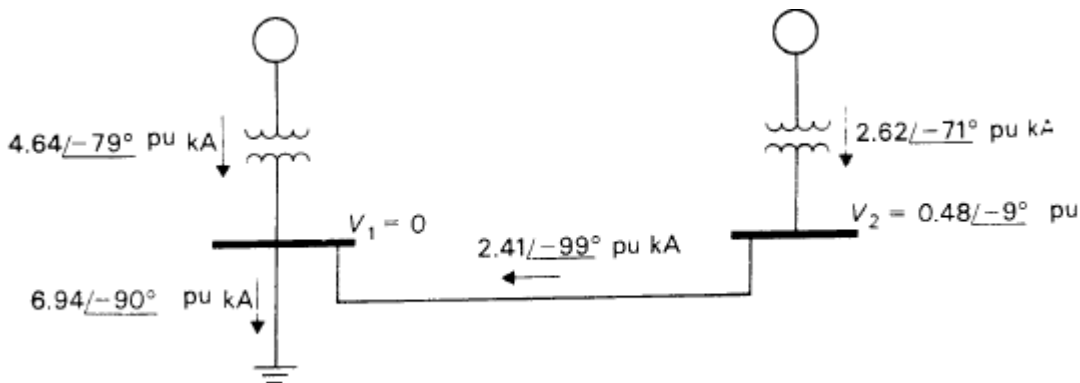
$$I_{G2}^f = I_{G2}^0 + I_{G2}^T = 0.875\angle -5.25^\circ + 2.39\angle -90^\circ = 2.62\angle -71^\circ \text{ pu kA}$$

$$I_{12}^f = I_{12}^0 + I_{12}^T = 0.375\angle -2.15^\circ - 2.39\angle -90^\circ = 2.41\angle 81^\circ \text{ pu kA}$$

$$V_1^f = V_1^0 + V_1^T = 1\angle 0^\circ + (-1\angle 0^\circ) = 0 \text{ pu kV}$$

$$V_2^f = V_2^0 + V_2^T = 1\angle -4.3^\circ - 0.513\angle 0^\circ = 0.48\angle -9^\circ \text{ pu kV}$$

شکل زیر ولتاژها و جریانهای پس از اتصال کوتاه را نشان می دهد.



- در مورد بارها جریانهای قبل از خطا مولفه اصلی بوده و جریانهای حاصله از مدل منبع مجازی قابل اغماض است.
- در مورد سایر المانهای شبکه جریانهای حاصله از مدل منبع مجازی مولفه اصلی بوده و جریانهای قبل از خطا قابل اغماض است.
- بدلیل بالا معمولا در محاسبات اتصالکوتاه، از جریانهای قبل از اتصالکوتاه اغماض می شود.
- اگر هدف محاسبه اتصالکوتاه برای دو یا سه سیکل پس از وقوع آن باشد، می توان از راکتانس گذرای ژنراتور سنکرون استفاده کرد.
- بخاطر مولفه dc جریان اتصالکوتاه، جریانهای سه فاز با هم برابر نبوده و برای محاسبه جریان واقعی باید مقدار محاسبه شده توسط روش تونن را در ضریبی ضرب نمود که این ضریب بصورت زیر است.

- ۱/۴ برای کلیدهای با سرعت قطع ۲ سیکل

- ۱/۲ برای کلیدهای با سرعت قطع ۳ سیکل

- ۱/۰ برای کلیدهای با سرعت قطع ۸ سیکل و بالاتر

۴-۱ ظرفیت اتصالکوتاه

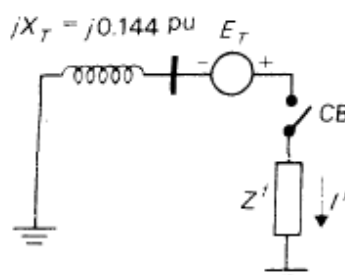
اگر از جریانهای قبل از اتصالکوتاه در محاسبات اغماض کنیم آنگاه جریان اتصالکوتاه در محل اتصالکوتاه از مدار تونن ساده شده بصورت زیر بدست می آید.

$$|I^f| = \frac{|E_T|}{X_T} \quad (۱)$$

حاصلضرب اندازه ولتاژ قبل از خطا در اندازه جریان پس از خطا در باس مورد محاسبه، ظرفیت اتصالکوتاه آن باس نام دارد و این مقدار معمولا بر حسب MVA بیان شده و انتخاب کلید قدرت بر اساس آن انجام می شود.

$$SCC = |E_T| |I^f| = \frac{|E_T|^2}{X_T} \approx \frac{1}{X_T} \text{ pu MVA} \quad (۲)$$

با توجه به اینکه اتصال بار به شبکه را نیز می توان یک اتصالکوتاه با امپدانس غیر صفر در نظر گرفت لذا مطابق شکل زیر هر چه امپدانس X_T کوچکتر باشد ولتاژ دو سر بار کوچکتر خواهد بود. به این مفهوم سفتی ولتاژ گویند. مشاهده می شود که کاهش X_T سبب افزایش ظرفیت اتصالکوتاه (نامناسب) و سفتی بهتر ولتاژ (مناسب) می شود.



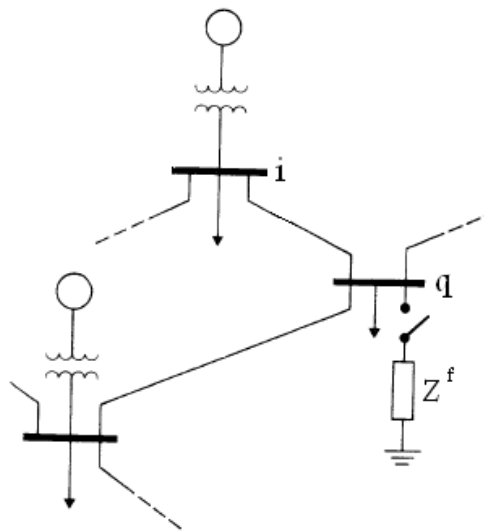
۲- محاسبات قانونمند اتصال کوتاه

روش بیان شده در مثال سه باسه فوق یعنی ساده کردن شبکه، برای سیستمهای کوچک قابل اعمال است. در این بخش روشی برای یک شبکه بزرگ n باسه ارائه می شود.

۱-۲ مدل شبکه

شکل ۴ قسمتی از یک شبکه بزرگ n باسه را نشان می دهد. فرض شده در باسه q ام اتصال کوتاه سه فاز متقارن رخ داده است. ولتاژهای باسه پیش از عیب از محاسبات پخش بار بدست می آید و عبارتست از:

$$V_{bus}^0 = \begin{bmatrix} V_1^0 \\ \vdots \\ V_q^0 \\ \vdots \\ V_n^0 \end{bmatrix} \quad (3)$$



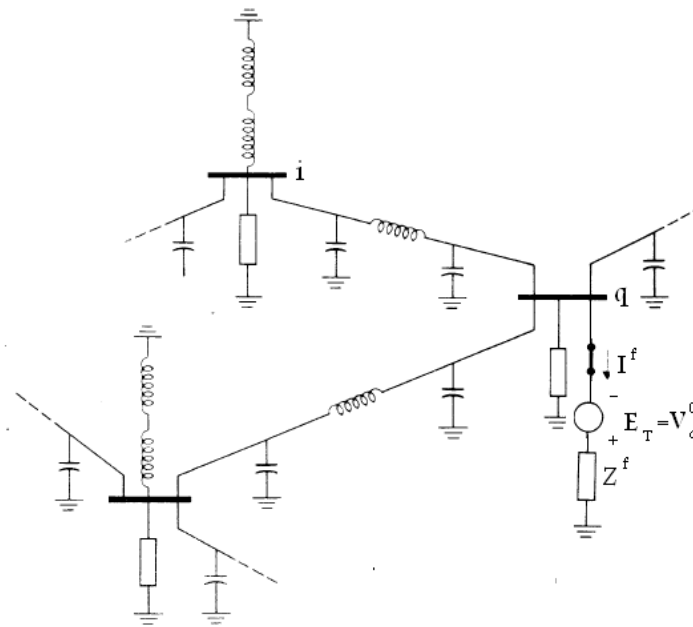
شکل (۴) بخشی از یک سیستم کلی

با صفر کردن منابع اکتیو و جایگزینی ژنراتورها و ترانسها با امپدانسهای متناظر شکل ۵ بدست می آید. در باسه q ام منبع مجازی با پلاریته معکوس قرار داده شده است. اگر ولتاژهای باسه در مدل تونن شکل ۵ را بدست آورده و با V_T نمایش دهیم داریم:

$$V_T = \begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ \vdots \\ \Delta V_q \\ \vdots \\ \Delta V_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

طبق قضیه تونن ولتاژهای پس از خطا عبارتست از:

$$V_{bus}^f = V_{bus}^0 + V_T \quad (5)$$



شکل (۵) مدار هم ارز تونن برای مدار شکل (۴)

۲-۲ نمایش ماتریس امپدانس شبکه Z_{bus}

برای محاسبه جریانها در نقاط مختلف شبکه باید از ماتریس امپدانس شبکه کمک گرفت در این شرایط

$$V_{bus} = Z_{bus} I_{bus} \quad (۶)$$

با توجه به شکل ۵ بردار جریان باس عبارتست از:

$$I_{bus}^f = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ -I^f \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (۷)$$

لذا داریم

$$V_T = Z_{bus} I_{bus}^f \Rightarrow V_{bus}^f = V_{bus}^0 + Z_{bus} I_{bus}^f \quad (۸)$$

معادله فوق دارای $n+1$ (n ولتاژ باس و جریان باس q ام) مجهول است لذا به یک معادله دیگر نیاز داریم. در باس q ام داریم

$$V_q^f = Z^f I^f \quad (۹)$$

حال معادله (۸) بصورت زیر بازنویسی می شود.

$$\begin{aligned} V_1^f &= V_1^0 - z_{1q} I^f \\ &\dots\dots\dots \\ V_q^f &= V_q^0 - z_{qq} I^f \\ &\dots\dots\dots \\ V_n^f &= V_n^0 - z_{nq} I^f \end{aligned} \quad (۱۰)$$

$$I^f = \frac{V_q^0}{Z^f + z_{qq}} \quad (۱۱)$$

و با یافت شدن I^f ولتاژ باسها عبارتست از:

$$\begin{aligned} V_1^f &= V_1^0 - \frac{z_{1q}}{Z^f + z_{qq}} V_q^0 \\ &\dots\dots\dots \\ V_q^f &= V_q^0 - \frac{z_{qq}}{Z^f + z_{qq}} V_q^0 = \frac{Z^f}{Z^f + z_{qq}} V_q^0 \\ &\dots\dots\dots \\ V_n^f &= V_n^0 - \frac{z_{nq}}{Z^f + z_{qq}} V_q^0 \end{aligned} \quad (۱۲)$$

مثال ۲: شکل ۶ یک شبکه سه باسه را نشان می دهد. امپدانس فوق گذرای ژنراتورها بر حسب مقادیر نامی آنها $۰/۲$ پریونیت و امپدانس ترانسها بر اساس مقادیر نامی خود $۰/۱$ پریونیت است. امپدانس کلیه خطوط $۰/۲$ پریونیت بر مبنای ۱۰۰ مگاوات آمپر است. ولتاژ کلیه باسها یک پریونیت فرض می شود. الف) ظرفیت اتصالکوتاه در هر سه باس را بیابید.

ب) اگر باس ۳ اتصالکوتاه سه فاز متقارن بی واسطه رخ دهد مطلوبست ولتاژهای کلیه باسها و جریانهای حاصل از اتصالکوتاه در کلیه خطوط. حل: ابتدا با صفر کردن منابع اکتیو و جایگزینی ژنراتورها و ترانسها با امپدانسهای متناظر شکل ۷ بدست می آید. توجه کنید که امپدانسها باید بر حسب یک مبنای واحد انتخاب شود که در اینجا مبنای ۵۰ مگاوات آمپر انتخاب می شود.

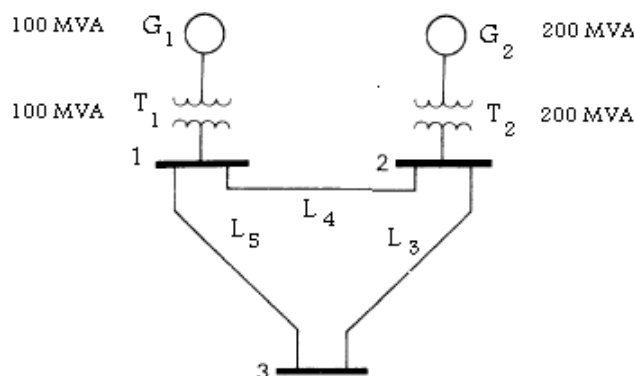
$$X_{G1} = 0.2 \frac{P_{base}^{new}}{P_{base}^{old}} = 0.2 \frac{50}{100} = 0.1 \text{ pu}$$

$$X_{G2} = 0.2 \frac{P_{base}^{new}}{P_{base}^{old}} = 0.2 \frac{50}{200} = 0.05 \text{ pu}$$

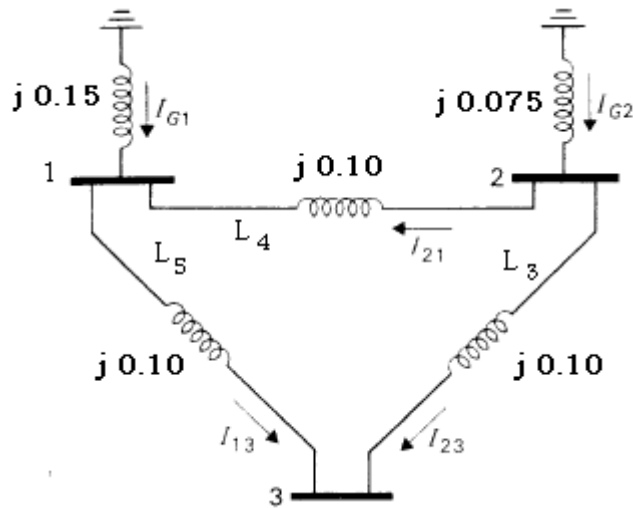
$$X_{T1} = 0.1 \frac{P_{base}^{new}}{P_{base}^{old}} = 0.1 \frac{50}{100} = 0.05 \text{ pu}$$

$$X_{T2} = 0.1 \frac{P_{base}^{new}}{P_{base}^{old}} = 0.1 \frac{50}{200} = 0.025 \text{ pu}$$

$$X_{L3} = X_{L4} = X_{L5} = 0.2 \frac{P_{base}^{new}}{P_{base}^{old}} = 0.2 \frac{50}{100} = 0.1 \text{ pu}$$



شکل (۶) شبکه سه باس مثال ۲



شکل (۷) مدار هم ارز تونن یک سیستم سه باسه

این مساله را می توان از طریق ساده کردن بدست آورد ولی برای راه حل سیستماتیک آن باید ماتریس امپدانس شبکه را محاسبه نمود. ماتریس ادمیتانس شبکه عبارتست از:

حال ماتریس امپدانس عبارتست از:

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} \frac{1}{j0.15} + \frac{1}{j0.1} + \frac{1}{j0.1} & -\frac{1}{j0.1} & -\frac{1}{j0.1} \\ -\frac{1}{j0.1} & \frac{1}{j0.075} + \frac{1}{j0.1} + \frac{1}{j0.1} & -\frac{1}{j0.1} \\ -\frac{1}{j0.1} & -\frac{1}{j0.1} & \frac{1}{j0.1} + \frac{1}{j0.1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j26.6 & j10 & j10 \\ j10 & -j33.33 & j10 \\ j10 & j10 & -j20 \end{bmatrix}$$

$$Z_{bus} = Y_{bus}^{-1} = \begin{bmatrix} j0.073 & j0.0386 & j0.0558 \\ j0.0386 & j0.0558 & j0.0472 \\ j0.0558 & j0.0472 & j0.1014 \end{bmatrix}$$

حال جریان اتصال کوتاه و ظرفیت اتصال کوتاه در باس ۱ عبارتست از:

$$|I^f| = \frac{1}{0.073} = 13.7 \text{ pu} \quad SCC = 13.7 \times 1 = 13.7 \text{ pu MVA} = 685 \text{ MVA}$$

جریان اتصال کوتاه و ظرفیت اتصال کوتاه در باس ۲ عبارتست از:

$$|I^f| = \frac{1}{0.0588} = 17.9 \text{ pu} \quad SCC = 17.9 \times 1 = 17.9 \text{ pu MVA} = 895 \text{ MVA}$$

جریان اتصال کوتاه و ظرفیت اتصال کوتاه در باس ۳ عبارتست از:

$$|I^f| = \frac{1}{0.1014} = 9.86 \text{ pu} \quad SCC = 9.86 \times 1 = 9.86 \text{ pu MVA} = 493 \text{ MVA}$$

در صورت اتصال کوتاه در باس ۳، ولتاژهای باسها پس از خطا عبارتست از:

$$V_1^f = 1.0 - \frac{j0.0558}{0 + j0.1014} \times 1.0 = 0.450 \text{ pu}$$

$$V_2^f = 1.0 - \frac{j0.0472}{0 + j0.1014} \times 1.0 = 0.535 \text{ pu}$$

$$V_3^f = 1.0 - \frac{j0.1014}{0 + j0.1014} \times 1.0 = 0$$

جریانهای اتصال کوتاه خطوط عبارتست از:

$$|I_{12}| = \frac{|0.450 - 0.535|}{|j0.1|} = 0.850 \text{ pu}$$

$$|I_{23}| = \frac{|0.535 - 0|}{|j0.1|} = 5.35 \text{ pu}$$

$$|I_{13}| = \frac{|0.45 - 0|}{|j0.1|} = 4.5 \text{ pu}$$

۳- الگوریتم تشکیل ماتریس امپدانس Z_{bus}

برای تشکیل ماتریس امپدانس می دانیم که:

$$V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2 + z_{13}I_3$$

$$V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2 + z_{23}I_3$$

$$V_3 = z_{31}I_1 + z_{32}I_2 + z_{33}I_3$$

استفاده از روش گام به گام تعیین ماتریس امپدانس بصورت زیر است.

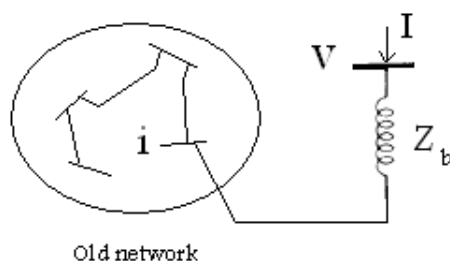
• اضافه شدن یک امپدانس به زمین



فرض کنید شبکه ای موجود و یک باس جدید در این شبکه بوجود آمده که توسط امپدانس Z_b به زمین وصل شده است. ماتریس امپدانس جدید عبارتست از:

$$Z_{bus}^{new} = \begin{bmatrix} Z_{bus}^{old} & 0 \\ 0 & Z_b \end{bmatrix}$$

• اضافه شدن یک امپدانس بین باس جدید و باس موجود



فرض کنید شبکه ای موجود و یک باس جدید در این شبکه بوجود آمده که توسط امپدانس Z_b به باس موجود آم وصل شده است. ماتریس امپدانس جدید عبارتست از:

$$Z_{bus}^{new} = \left[\begin{array}{c|c} Z_{bus}^{old} & \begin{matrix} z_{1i} \\ z_{2i} \\ \vdots \\ z_{ni} \end{matrix} \\ \hline \begin{matrix} z_{i1} & z_{i2} & \dots & z_{in} \end{matrix} & z_{ii} + z_b \end{array} \right]$$

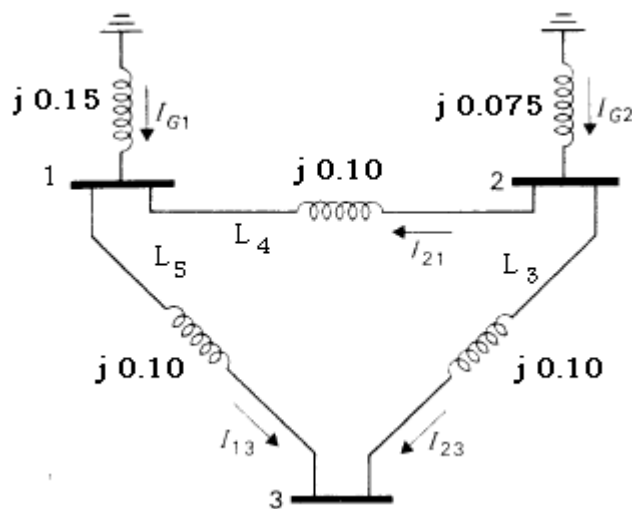
• اضافه شدن یک امپدانس بین دو باس موجود

فرض کنید شبکه ای موجود و یک باس جدید در این شبکه بوجود آمده که توسط امپدانس Z_b بین دو باس موجود i و j وصل شده است. ماتریس امپدانس جدید عبارتست از:

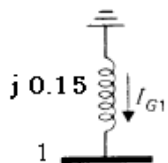
$$Z_{bus}^{new} = Z_{bus}^{old} - \frac{ab}{z_b + z_{ii} + z_{jj} - 2z_{ij}}$$

$$a = \begin{bmatrix} z_{1i} - z_{1j} \\ z_{2i} - z_{2j} \\ \vdots \\ z_{ni} - z_{nj} \end{bmatrix} \quad b = [z_{i1} - z_{j1} \quad \dots \quad z_{in} - z_{jn}]$$

مثال ۳ برای شبکه زیر ماتریس امپدانس را به شکل تدریجی بدست آورید.

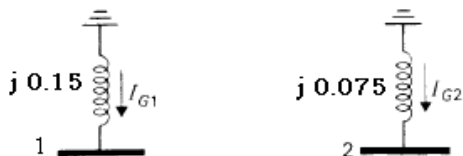


مرحله اول: اضافه کردن باس شماره ۱



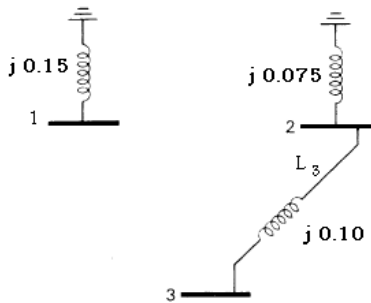
$$Z_{bus}^{new} = j0.15$$

مرحله دوم: اضافه کردن باس شماره ۲



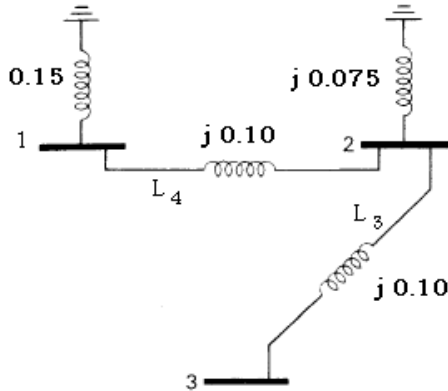
$$Z_{bus}^{new} = \begin{bmatrix} Z_{bus}^{old} & 0 \\ 0 & z_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j0.15 & 0 \\ 0 & j0.075 \end{bmatrix}$$

مرحله سوم: اضافه کردن باس شماره ۳ از طریق خط شماره ۳ به باس دوم:



$$Z_{bus}^{new} = \begin{bmatrix} Z_{bus}^{old} & z_{1,2} \\ z_{2,1} & z_b + z_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j0.15 & 0 & 0 \\ 0 & j0.075 & j0.075 \\ 0 & j0.075 & j0.175 \end{bmatrix}$$

مرحله چهارم: اضافه کردن خط ۴ بین دو باس موجود ۱ و ۲:



$$Z_{bus}^{new} = Z_{bus}^{old} - \frac{ab}{Z_b + z_{11} + z_{22} - 2z_{12}}$$

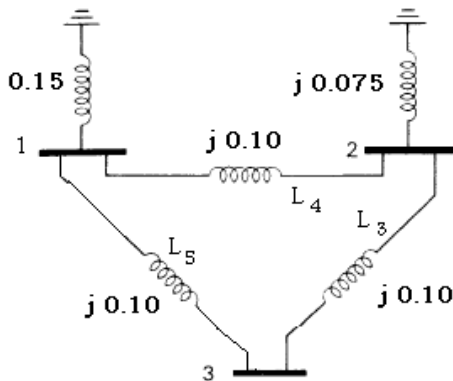
$$a = \begin{bmatrix} z_{11} - z_{12} \\ z_{21} - z_{22} \\ z_{31} - z_{32} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j.15 \\ -j0.075 \\ -j0.075 \end{bmatrix}$$

$$b = [z_{11} - z_{21} \quad z_{12} - z_{22} \quad z_{13} - z_{23}]$$

$$= [j0.15 \quad -j0.075 \quad -j0.075]$$

$$Z_{bus}^{new} = j \begin{bmatrix} 0.0808 & 0.0346 & 0.0346 \\ 0.0346 & 0.0577 & 0.0577 \\ 0.0346 & 0.0577 & 0.1577 \end{bmatrix}$$

مرحله پنجم: اضافه کردن خط ۵ بین دو باس موجود ۱ و ۳:



$$Z_{bus}^{new} = Z_{bus}^{old} - \frac{ab}{Z_b + z_{11} + z_{33} - 2z_{13}}$$

$$a = \begin{bmatrix} z_{11} - z_{12} \\ z_{21} - z_{22} \\ z_{31} - z_{32} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j0.0462 \\ -j0.0231 \\ -j0.1231 \end{bmatrix}$$

$$b = [z_{11} - z_{21} \quad z_{12} - z_{22} \quad z_{13} - z_{23}]$$

$$= [j0.0462 \quad -j0.0231 \quad -j0.1231]$$

$$Z_{bus}^{new} = j \begin{bmatrix} 0.0729 & 0.0386 & 0.0557 \\ 0.0386 & 0.0557 & 0.0471 \\ 0.0557 & 0.0471 & 0.1014 \end{bmatrix}$$

مسائل

۱- در مثال ۲ دیدیم که ظرفیت اتصالکوتاه باس ۲ ۸۹۵ مگاوات آمپر بدست آمد.

الف) اگر دو امپدانس ۰/۱ پریونیت بین ژنراتور و ترانس بصورت سری در مدار قرار دهیم مطلوبست ظرفیت اتصالکوتاه جدید در باس ۲

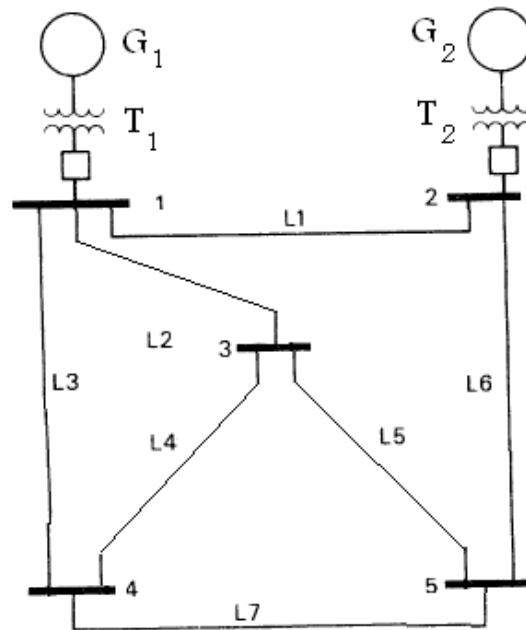
ب) اگر بخواهیم ظرفیت اتصالکوتاه باس ۲، ۵۰۰ مگاوات آمپر باشد چه امپدانسی بین ژنراتور و ترانس بصورت سری در مدار قرار دهیم؟

۲- در شکل زیر ژنراتور و ترانس ۱ دارای قدرت ۴۰۰ مگاوات آمپر و ژنراتور و ترانس ۲ دارای قدرت ۲۰۰ مگاوات آمپر می باشد. امپدانس فوق گذرای ژنراتورها بر حسب مقادیر نامی آنها ۰/۱ پریونیت و امپدانس ترانسها بر اساس مقادیر نامی خود ۰/۲ پریونیت است. امپدانس کلیه خطوط ۰/۲ پریونیت بر مبنای ۱۰۰ مگاوات آمپر است. ولتاژ کلیه باسها یک پریونیت فرض می شود. ولتاژ مبنای سیستم را ۱۰۰ مگاوات آمپر در نظر بگیرید.

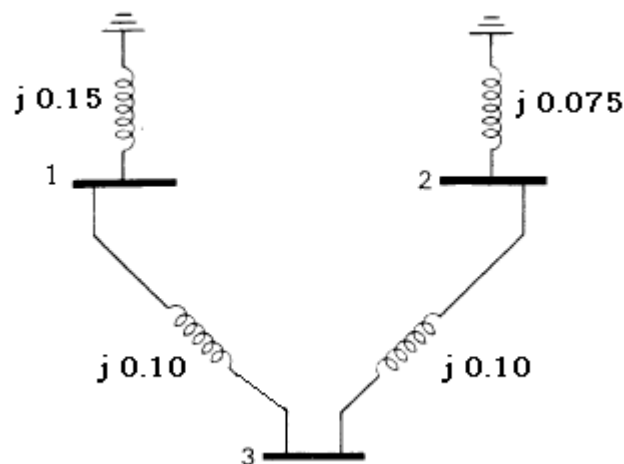
الف) ماتریس ادمیتانس شبکه را محاسبه کنید.

ب) با استفاده از روش تدریجی ماتریس امپدانس شبکه را بیابید.

ج) با استفاده از کامپیوتر و ماتریس ادمیتانس یافت شده در قسمت الف ماتریس امپدانس سیستم را یافته و با پاسخ قسمت ب مقایسه کنید.



۳- سیستم مقابل را در نظر بگیرید:

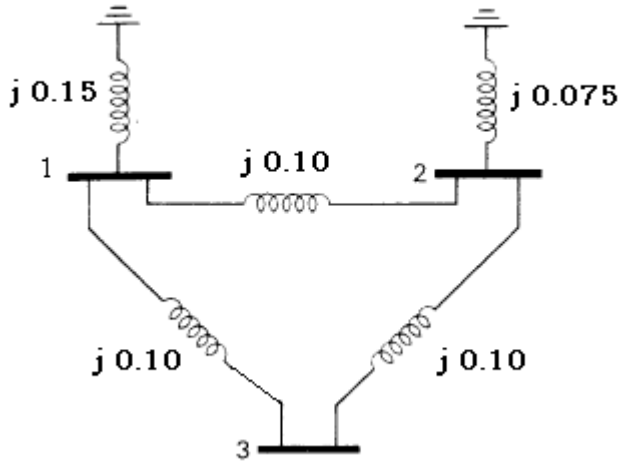


الف) ماتریس ادمیتانس شبکه را محاسبه کنید.

ب) با استفاده از روش تدریجی ماتریس امپدانس شبکه را بیابید.

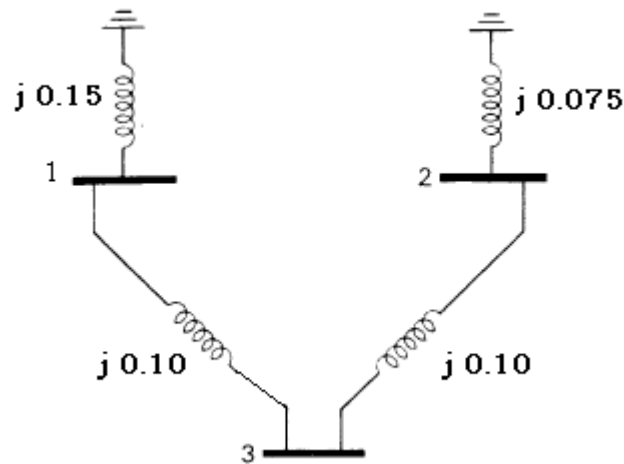
(راهنمایی: در صورت حل جواب عبارت خواهد بود از: $Z_{bus} = j \begin{bmatrix} 0.0971 & 0.0265 & 0.0618 \\ 0.0265 & 0.0618 & 0.0441 \\ 0.0618 & 0.0441 & 0.1029 \end{bmatrix}$)

۴- ماتریس امپدانس سیستم نشان داده شده در مقابل آن نشان داده شده است.



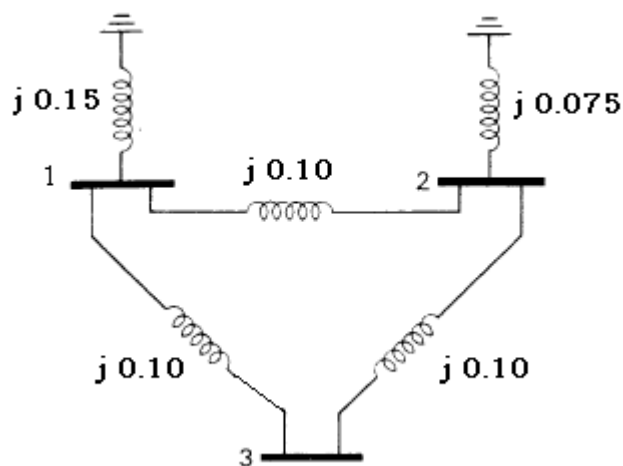
$$Z_{bus} = j \begin{bmatrix} 0.0729 & 0.0386 & 0.0557 \\ 0.0386 & 0.0557 & 0.0471 \\ 0.0557 & 0.0471 & 0.1014 \end{bmatrix}$$

با استفاده از ماتریس امپدانس داده شده برای سیستم فوق مطلوبست ماتریس امپدانس سیستم زیر:



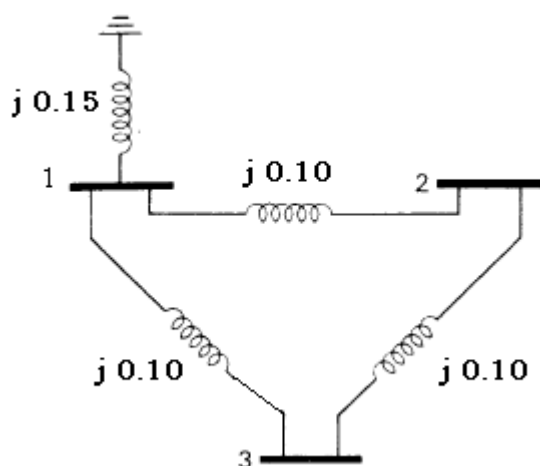
۵- الگوریتم تشکیل ماتریس امپدانس بصورت تدریجی را برای حالتی بدست آورید که یک شاخه جدید بین باس موجود و زمین اضافه شود.

۶- ماتریس امپدانس سیستم نشان داده شده در مقابل آن نشان داده شده است.



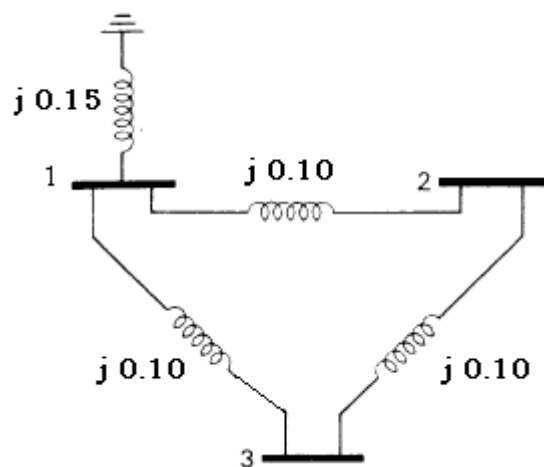
$$Z_{bus} = j \begin{bmatrix} 0.0729 & 0.0386 & 0.0557 \\ 0.0386 & 0.0557 & 0.0471 \\ 0.0557 & 0.0471 & 0.1014 \end{bmatrix}$$

با استفاده از الگوریتم بدست آمده در مساله ۵ ماتریس امپدانس سیستم زیر را محاسبه کنید.



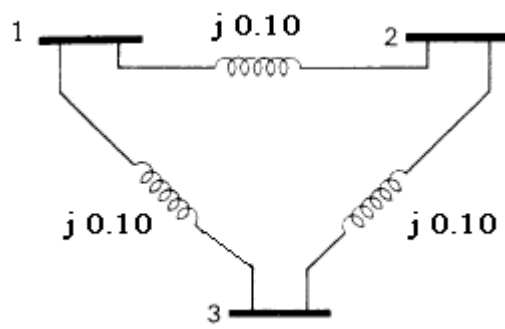
(راهنمایی: در صورت حل جواب عبارت خواهد بود از: $Z_{bus} = j \begin{bmatrix} 0.1500 & 0.1500 & 0.1500 \\ 0.1500 & 0.2167 & 0.1833 \\ 0.1500 & 0.1833 & 0.2167 \end{bmatrix}$)

۷- ماتریس امپدانس سیستم نشان داده شده در مقابل آن نشان داده شده است.



$$Z_{bus} = j \begin{bmatrix} 0.1500 & 0.1500 & 0.1500 \\ 0.1500 & 0.2167 & 0.1833 \\ 0.1500 & 0.1833 & 0.2167 \end{bmatrix}$$

با استفاده از الگوریتم بدست آمده در مساله ۵ ماتریس امپدانس سیستم زیر را محاسبه کنید.



(راهنمائی: اگر در حل مساله به مشکل برخورد کردید، برای تحلیل مشکل بوجود آمده سعی کنید که ماتریس امپدانس را از طریق معکوس کردن ماتریس ادمیتانس بدست آورده و تحلیل کنید)