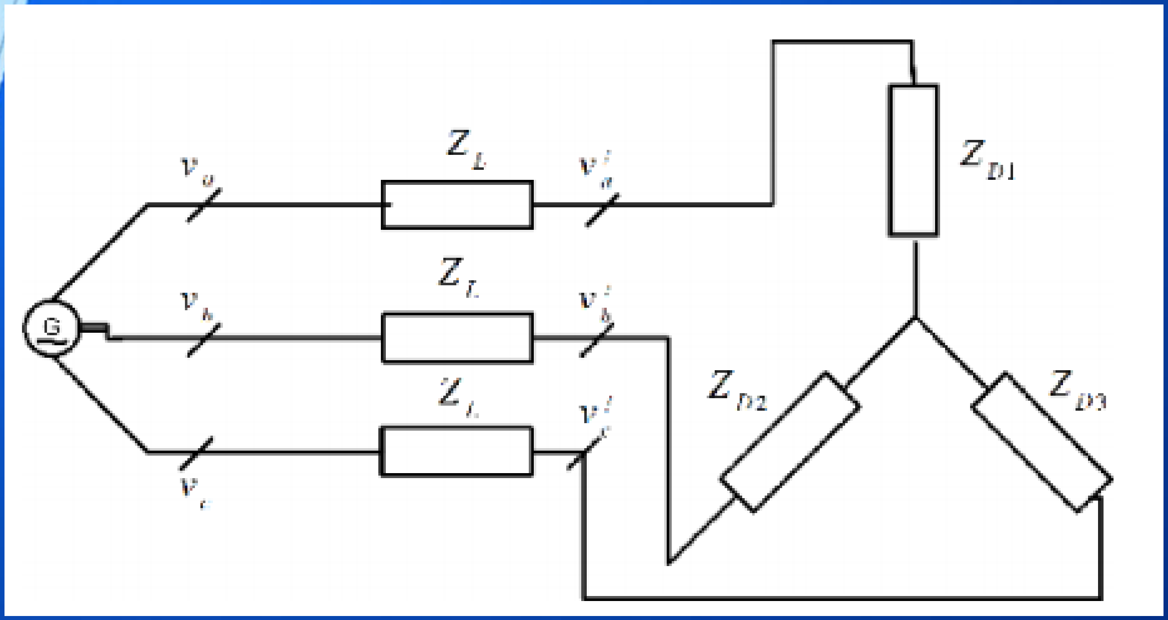
جلسه هفتم

بهروز آدینه

بررسی سیستم های قدرت I

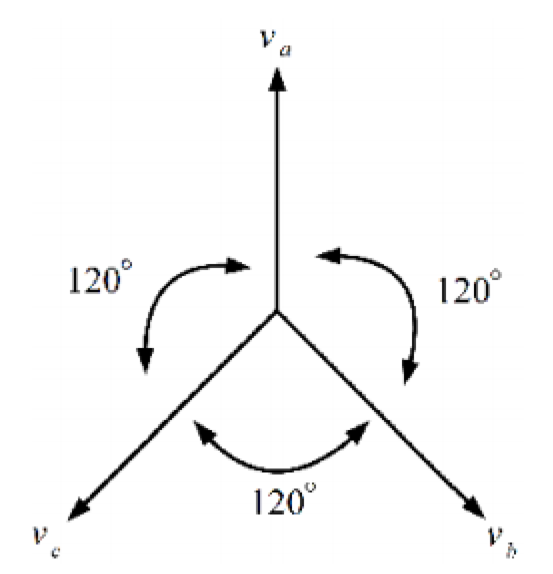
مدارهای سه فاز (متعادل، متقارن، نامتعادل و نامتقارن)

در سیستم قدرت جریان متناوب و فرکانس ۵۰Hz است.



سیستم متعادل:

$$
\begin{cases}
v_a = \sqrt{2}|V|\sin \omega t \\
v_b = \sqrt{2}|V|\sin(\omega t - 120) \\
v_c = \sqrt{2}|V|\sin(\omega t + 120)
\end{cases}
$$



اگر اندازه امپدانس مسیرها Z_L با هم برابر و Z_D ها هم با هم برابر باشند

$$I_{a1} = I_{b1} = I_{c1}$$

سیستم نامتعادل:

$$Z_{D1} \neq Z_{D2} \neq Z_{D3}$$

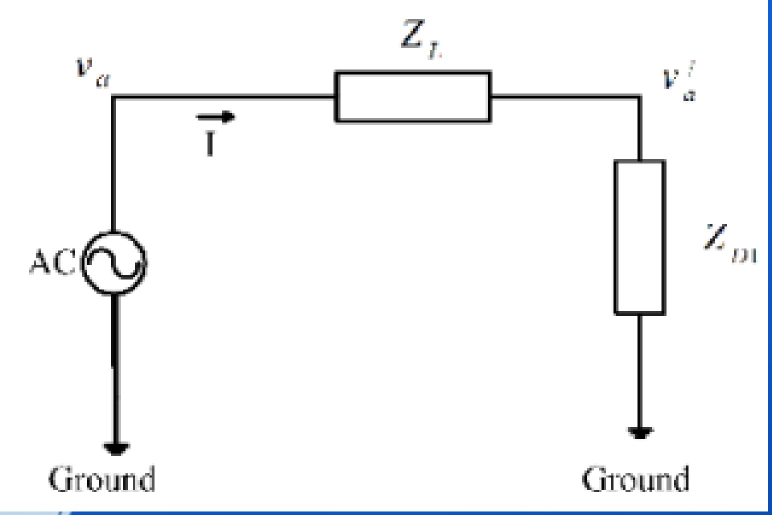
جریان‌ها با هم برابر نیستند. زاویه بین آنها با هم برابر نیست.

حالت دیگری که موجب نامتعادلی می‌شود در شرایط غیر عادی است که مثلا بین دو خط اتصال کوتاه ایجاد شود یا یک خط قطع شود.

بنابراین شرایط عادی مربوط به مصرف‌کننده و یکسان بودن مقادیر مصرف‌کننده‌هاست.

شرایط غیرعادی مربوط به اتصال کوتاه، قطعی خط و ... است.

اگر سیستم سه فاز متعادل باشد، می‌توان به صورت تک‌فاز آنرا نمایش داد.



$$I=\frac{v_a}{Z_L+Z_D} \quad ,v'_a=Z_D.I$$

برای فازهای دیگر ۱۲۰ درجه شیفت می‌دهیم

کمیت‌هایی که در این سیستم با آن سر و کار داریم:

۱) ولتاژ: (نمایش فازوری)

$$v = |V| \angle\theta \quad V, kV$$

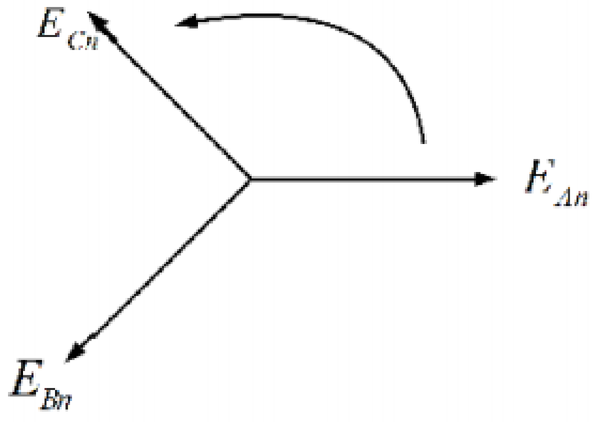
۲) جریان:

$$i = |I| \angle\alpha \quad A, kA$$

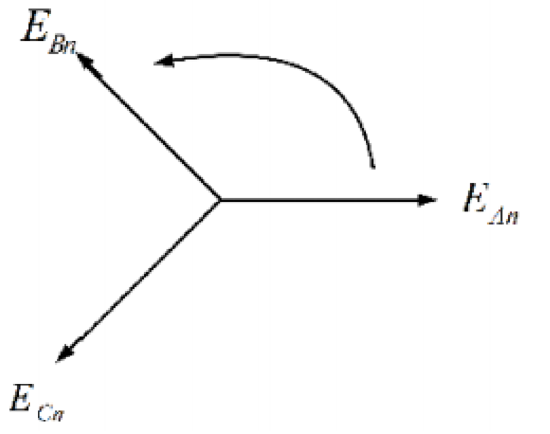
۳) امپدانس:

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{|V| \angle\theta}{|I| \angle\alpha} = |Z| \angle\varphi \quad ohm\,(\Omega)$$

$$Z = |Z| \cos\varphi + j\,|Z| \sin\varphi$$



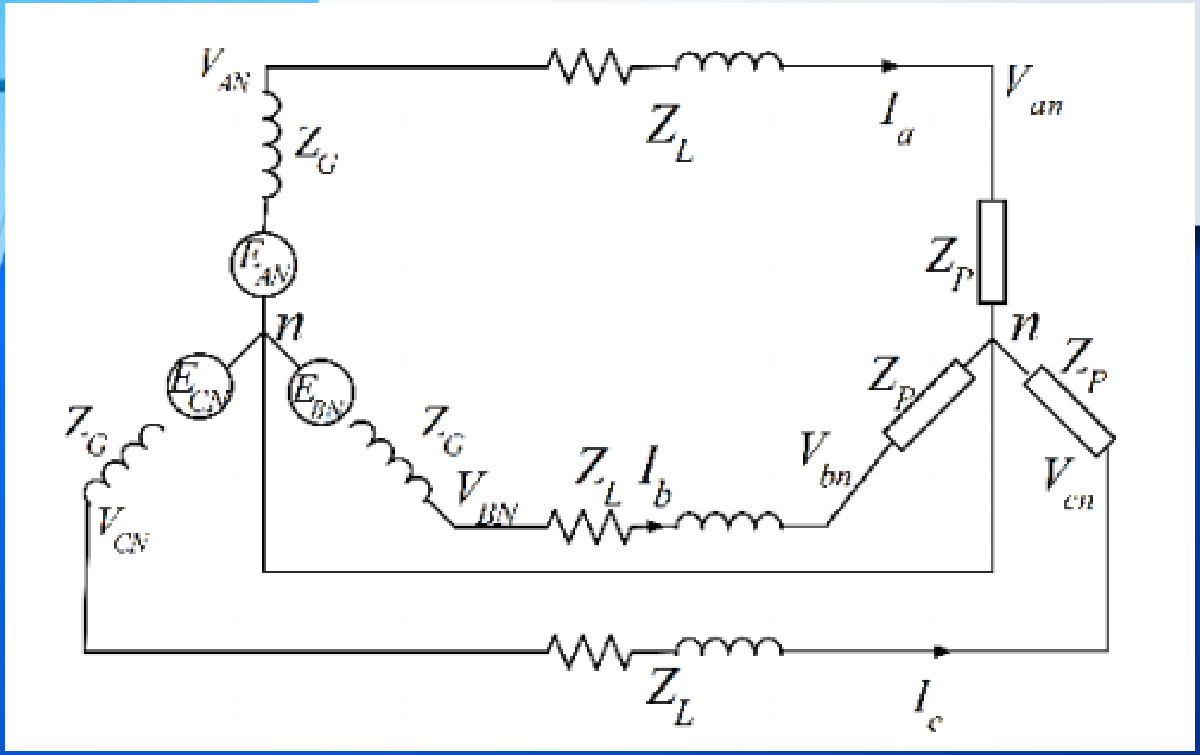
توالی فاز منفی یا ACB.



توالی فاز مثبت یا ABC.

در یک سیستم سه فاز، توان لحظه‌ای تحویل داده شده به بارهـای خـارجی بـرخلاف مـدار یکفـاز کـه ضربانی است، ثابت است. همچنین، موتورهای سه فاز دارای گشتاور ثابت بوده و راه‌انـدازی و کـارکرد آنها بسیار بهتر از موتورهای یکفاز است. این ویژگی توان سه فاز، همراه با بازده ذاتی بهتر انتقال آنها در مقایسه با مدارهای یکفاز(سیم کمتر در توان تحویلی یکسان) دلیل عمده کاربرد عمومی آن است.

یک سیستم قدرات دارای ژنراتورهایی با اتصال ستاره و معمولا شامل بارهایی با هر دو اتصال ستاره یـا مثلث می‌باشد. ژنراتورها به ندرت دارای اتصال مثلث هستند، زیرا اگـر ولتاژهـا کـاملا متعـادل نباشـند، جمع‌برداری ولتاژها صفر نبوده و در نتیجه جریان چرخشی در داخل مثلث بوجود خواهد آمد. همچنین، ولتاژ فازها در اتصال ستاره ژنراتور پایین‌تر بوده و در نتیجه عایق‌بندی کمتری مـورد نیـاز خواهـد بـود.

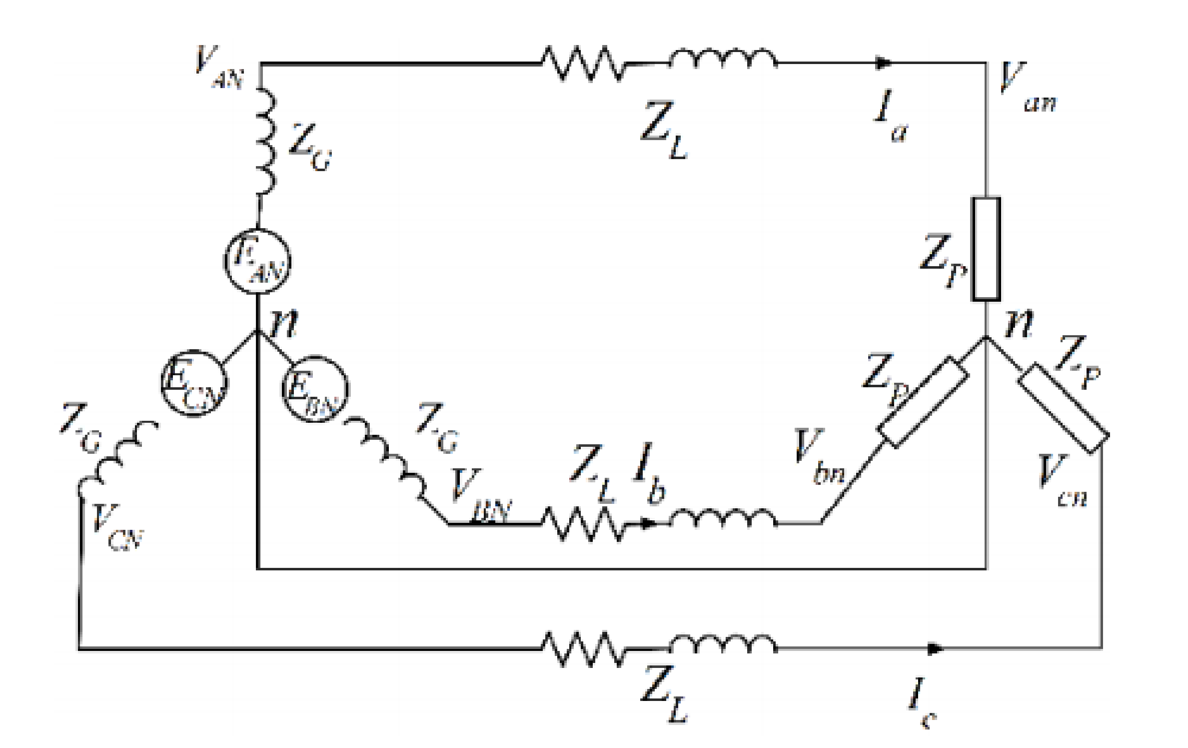


با فرض توالی فاز مثبت (ترتیب فاز ABC) ولتاژهای تولید شده عبارتند

$$E_{An} = |E_p| \angle 0^\circ$$

$$E_{Bn} = |E_p| \angle -120^\circ$$

$$E_{Cn} = |E_p| \angle -240^\circ$$



در ولتاژ سیستم‌های قدرت، توجه زیادی به تضمین تعادل بارهای خطوط انتقال می‌شود. برای بارهای متعادل، ولتاژ پایانه‌های ژنراتور V_{AN}, V_{BN}, V_{CN} و ولتاژ فازها V_{an}, V_{bn}, V_{cn} در پایانه‌های بار، متعادل می‌باشند. برای فاز A این ولتاژها به صورت زیر می‌باشند:

$$V_{AN} = E_{AN} - Z_G I_a$$
$$V_{an} = V_{AN} - Z_L I_a$$

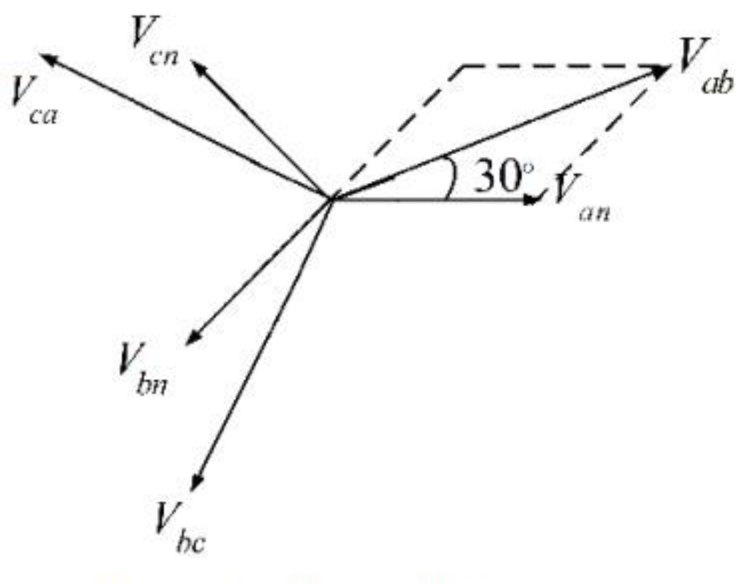
برای تعیین ارتباط بین ولتاژهای خط[۳۴] (ولتاژهای خط به خط) و ولتاژهای فاز[۳۵] (ولتاژهای خط به خنثی)، توالی فازها را مثبت یا ABC فرض می‌کنیم. به طور دلخواه ولتاژ خط به خنثی در فاز a به عنوان مرجع انتخاب می‌شود. در نتیجه:

$$V_{an} = |V_p| \angle 0^\circ$$
$$V_{bn} = |V_p| \angle -120^\circ$$
$$V_{cn} = |V_p| \angle -240^\circ$$

که در آن $|V_p|$ اندازه ولتاژ (ولتاژ خط به خنثی) را نمایش می‌دهد.

ولتاژهای خط در پایانه‌های بار برحسب ولتاژهای فاز با کاربرد قانون ولتاژ کیرشهف (KVL) تعیین شده‌اند:

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} = |V_p| \left(1\angle 0^\circ - 1\angle -120^\circ\right) = \sqrt{3}|V_p| \angle 30^\circ$$
$$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn} = |V_p| \left(1\angle -120^\circ - 1\angle -240^\circ\right) = \sqrt{3}|V_p| \angle -90^\circ$$
$$V_{ca} = V_{cn} - V_{an} = |V_p| \left(1\angle -240^\circ - 1\angle 0^\circ\right) = \sqrt{3}|V_p| \angle 150^\circ$$



نمایش فازوری ولتاژهای خط و فاز.

اگر مقدار موثر هر یک از ولتاژهای خط با V_L نشان داده شود، آنگاه یکی از مشخصه‌های مهم بـار سـه فاز با اتصال ستاره را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$V_L = \sqrt{3}\left|V_p\right|\angle 30^\circ$$

در نتیجه، در بارهایی با اتصال ستاره اندازه ولتاژ خط $\sqrt{3}$ برابر اندازه ولتاژ فاز بوده و برای تـوالی فـاز مثبت مجموعه ولتاژهای خط به اندازه ۳۰ درجه جلوتر از مجموعه ولتاژهای فاز می‌باشد

$$I_a = \frac{V_{an}}{Z_p} = |I_p| \angle -\theta$$

$$I_b = \frac{V_{bn}}{Z_p} = |I_p| \angle(-120-\theta)$$

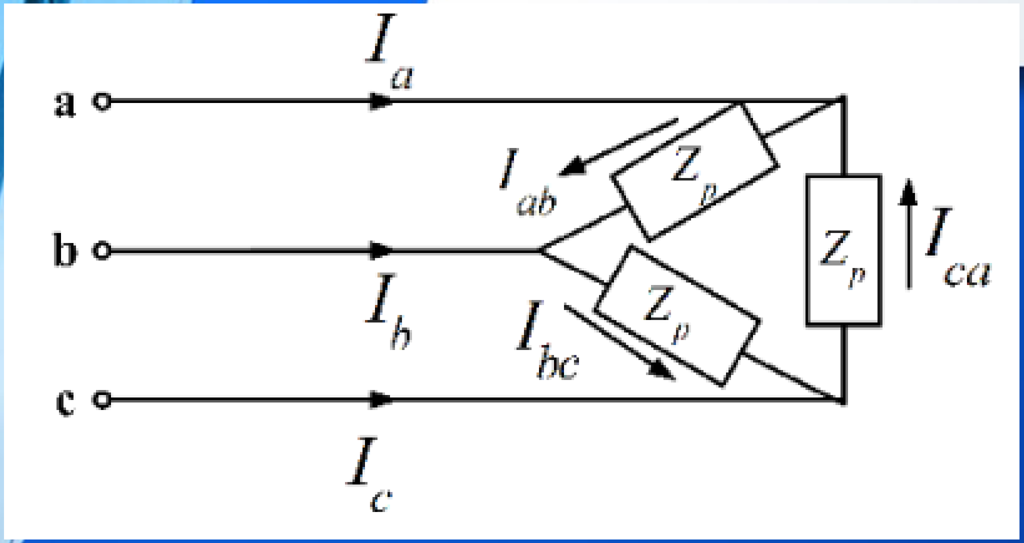
$$I_c = \frac{V_{cn}}{Z_p} = |I_p| \angle(-240-\theta)$$

که در آن θ زاویه امپدانس می‌باشد.

جریان‌های خطوط همان جریان‌های فاز (جریان‌های عبوری از امپدانس فازها) هستند. در نتیجه:

$$I_L = I_p$$

بارها با اتصال مثلث



بررسی این مدار نشان می‌دهد که ولتاژهای خط و فاز برابر هستند.

$$V_L = V_p$$

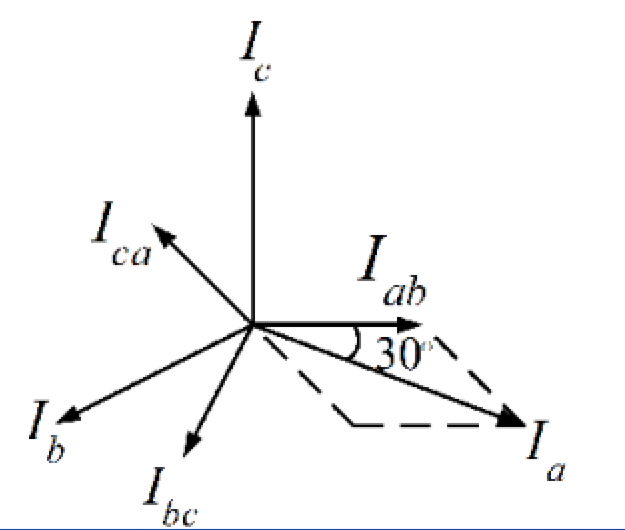
با توجه به نمایش فازوری که جریان فاز I_{ab} به صورت دلخواه به عنوان مرجع انتخاب شده است،

$$I_{ab} = |I_p| \angle 0^\circ$$
$$I_{bc} = |I_p| \angle -120^\circ$$
$$I_{ca} = |I_p| \angle -240^\circ$$

که در آن $|I_p|$ نشان‌دهنده اندازه جریان فاز است.

رابطه میان جریان‌های خط و فاز را می‌توان با بکارگیری قانون جریان کیرشهف (KCL) در گره‌های مثلث بدست آورد:

$$I_a = I_{ab} - I_{ca} = \left|I_p\right|(1\angle 0^\circ - 1\angle -240^\circ) = \sqrt{3}\left|I_p\right|\angle 30^\circ$$
$$I_b = I_{bc} - I_{ab} = \left|I_p\right|(1\angle -120^\circ - 1\angle 0^\circ) = \sqrt{3}\left|I_p\right|\angle -150^\circ$$
$$I_c = I_{ca} - I_{bc} = \left|I_p\right|(1\angle -240^\circ - 1\angle -120^\circ) = \sqrt{3}\left|I_p\right|\angle 90^\circ$$

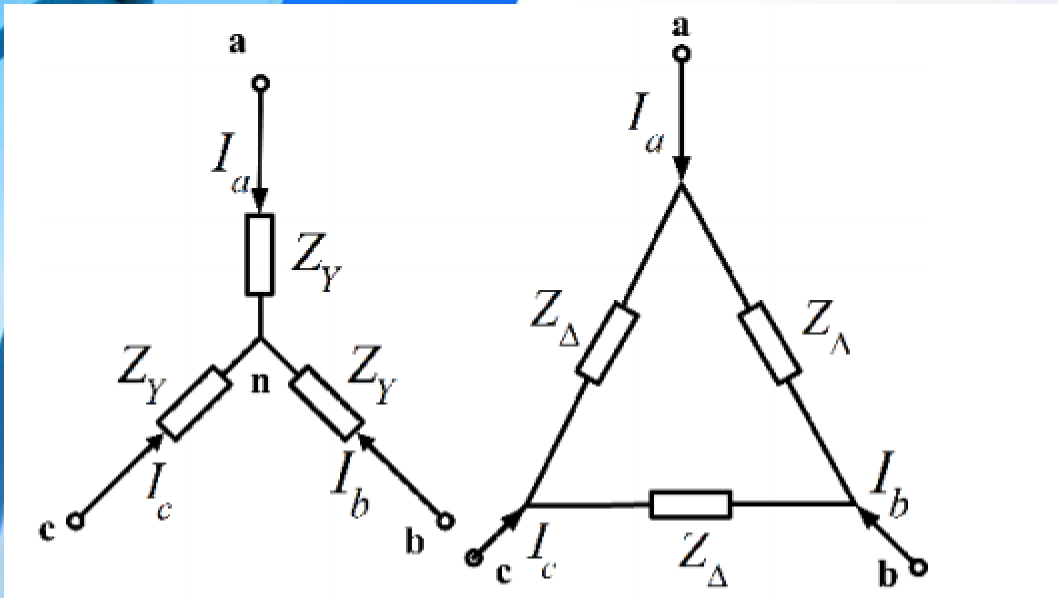


اگر مقدار موثر هر یک از جریان‌های خط با I_L نشان داده شود، آنگاه یکی از مشخصه‌های مهم بارهای سه فاز با اتصال مثلث را می‌توان با رابطه زیر ارائه نمود:

$$I_L = \sqrt{3}\left|I_p\right|\angle -30^\circ$$

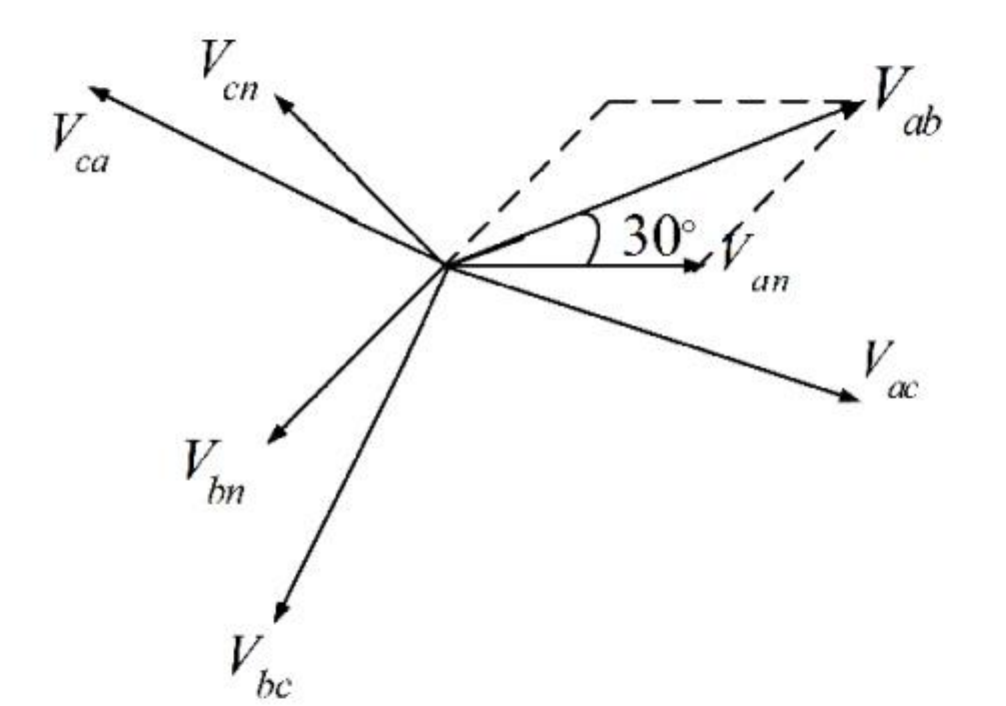
در نتیجه، در بارهایی با اتصال مثلث، اندازه جریان خط $\sqrt{3}$ برابر اندازه جریان فاز بوده و بـرای تـوالی فاز مثبت، مجموعه جریان‌های خط به اندازه ۳۰ درجه عقب‌تر از مجموعه جریان‌های فاز می‌باشد.

تبدیل ستاره به مثلث



برای مدار با اتصال مثلث، جریان فاز I_a برابر است با:

$$I_a = \frac{V_{ab}}{Z_\Delta} + \frac{V_{ac}}{Z_\Delta} = \frac{V_{ab} + V_{ac}}{Z_\Delta}$$



$$V_{ab} + V_{ac} = \sqrt{3}\left|V_{an}\right|\angle 30^\circ + \sqrt{3}\left|V_{an}\right|\angle -30^\circ = 3V_{an}$$

$$I_a = \frac{3V_{an}}{Z_\Delta}$$

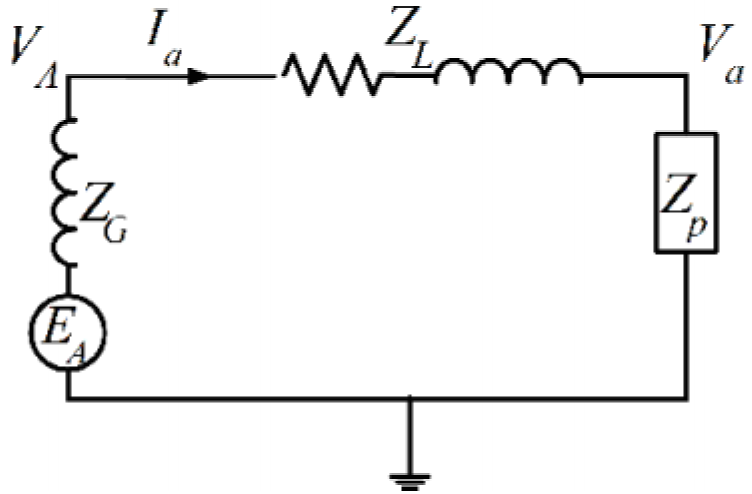
$$V_{an} = \frac{Z_\Delta}{3} I_a$$

$$V_{an} = Z_Y I_a$$

$$Z_Y = \frac{Z_\Delta}{3}$$

تجزیه و تحلیل براساس هر فاز

جریان سیم خنثی در بارهای اتصال متعادل Y



مدار یکفاز برای تجزیه و تحلیل براساس هرفاز.

اگر بار در مدار سه فاز به صورت مثلث وصل شده باشد، آن را می‌توان با استفاده از تبدیل $\Delta - Y$ به مدار Y تبدیل نموده و در بار متعادل، امپدانس هر فاز ستاره یک سوم امپدانس هر فاز مثلث، مطابق معادله (۲٤.٤)، است و به صورت مدار معادل تک فاز مدل‌سازی می‌شود.

توان در مدارهای سه فاز متعادل

$$v_{an} = \sqrt{2}\left|V_p\right|\cos(\omega t + \theta_v)$$
$$v_{bn} = \sqrt{2}\left|V_p\right|\cos(\omega t + \theta_v - 120)$$
$$v_{cn} = \sqrt{2}\left|V_p\right|\cos(\omega t + \theta_v - 240)$$

برای بار متعادل جریان‌های فاز عبارتند از

$$i_a = \sqrt{2}\left|I_p\right|\cos(\omega t + \theta_i)$$
$$i_b = \sqrt{2}\left|I_p\right|\cos(\omega t + \theta_i - 120)$$
$$i_c = \sqrt{2}\left|I_p\right|\cos(\omega t + \theta_i - 240)$$

که در آن $\left|V_p\right|$ و $\left|I_p\right|$ به ترتیب اندازه‌های موثر ولتاژ و جریان فاز هستند.

. توان لحظه‌ای کل

$$P_{3\phi} = v_{an} i_a + v_{bn} i_b + v_{cn} i_c$$

$$P_{3\phi} = 2|V_p||I_p|\cos(\omega t+\theta_v)\cos(\omega t+\theta_i) + 2|V_p||I_p|\cos(\omega t+\theta_v-120)\cos(\omega t+\theta_i-120)$$
$$+2|V_p||I_p|\cos(\omega t+\theta_v-240)\cos(\omega t+\theta_i-240)$$

با استفاده از رابطه مثلثاتی خواهیم داشت:

$$P_{3\phi} = |V_p||I_p|[\cos(\theta_v-\theta_i)+\cos(2\omega t+\theta_v+\theta_i)]$$
$$+|V_p||I_p|[\cos(\theta_v-\theta_i)+\cos(2\omega t+\theta_v+\theta_i-240)]$$
$$+|V_p||I_p|[\cos(\theta_v-\theta_i)+\cos(2\omega t+\theta_v+\theta_i-480)]$$

$$P_{3\phi} = 3|V_p||I_p|\cos\theta$$

که در آن $\theta = \theta_v - \theta_i$ اختلاف بین زاویه ولتاژ فاز و زاویه جریان فاز است که بـه زاویـه امپـدانس نیـز **موسوم** است.