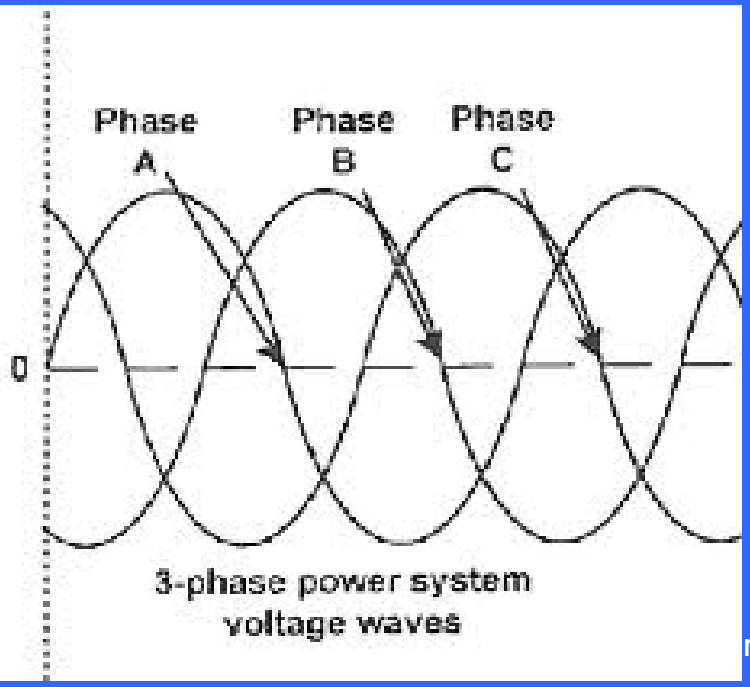
# بارهای نامتعادل در شبکه های توزیع

بهنام محمدی ایواتلو، دانشگاه تبریز

# سیستم سه فاز متعادل

- دامنه ولتاژهای خط در هر نقطه از سیستم با هم برابر باشند.
- دامنه جریان‌های خط در هر نقطه از سیستم با هم برابر باشند.
- دامنه ولتاژهای فاز در هر نقطه از سیستم با هم برابر باشند.

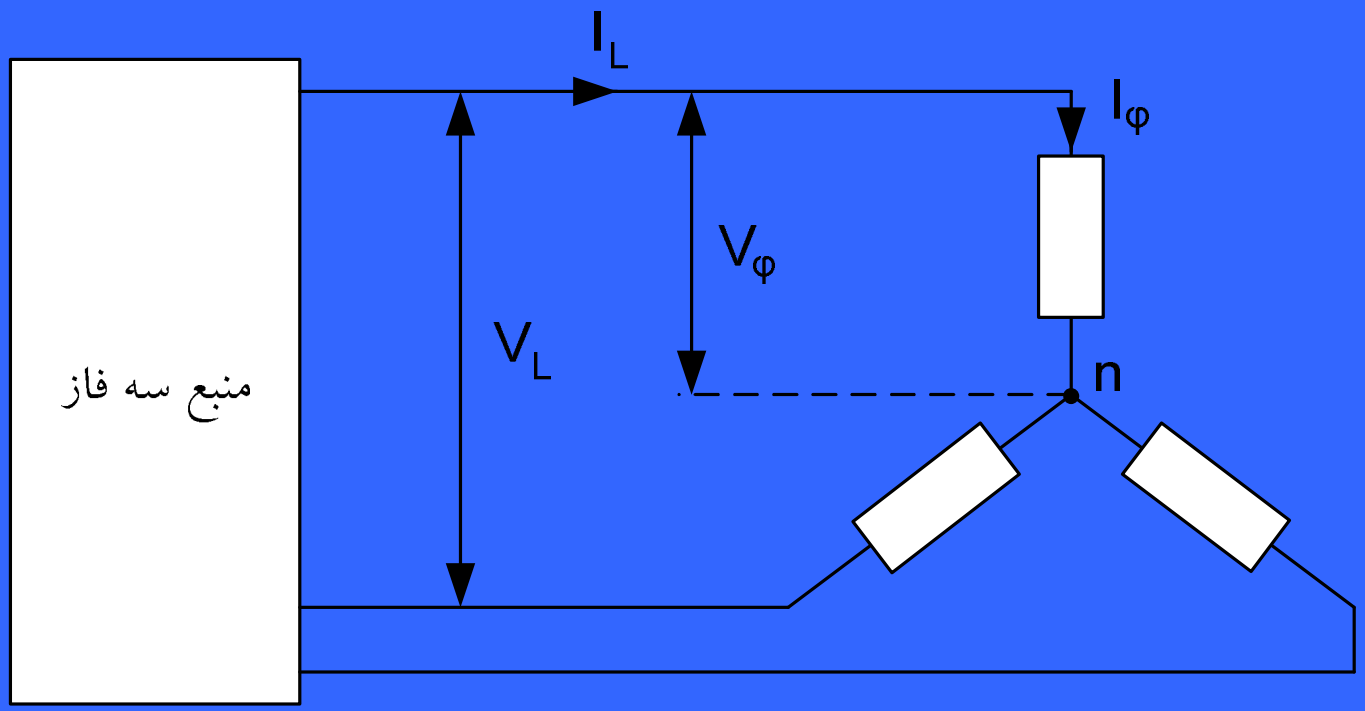


3-phase power system voltage waves

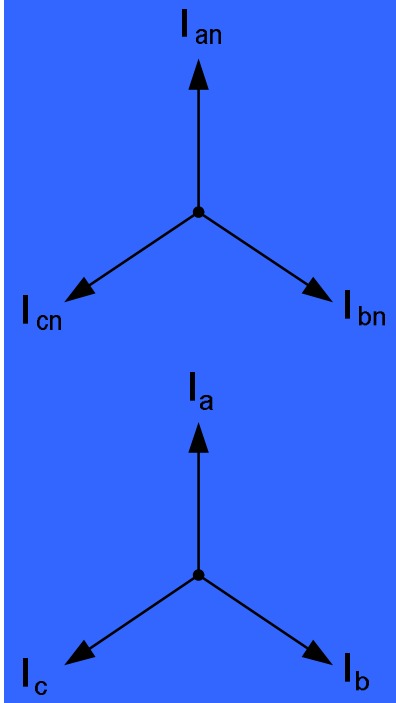
# سیستم سه فاز متعادل

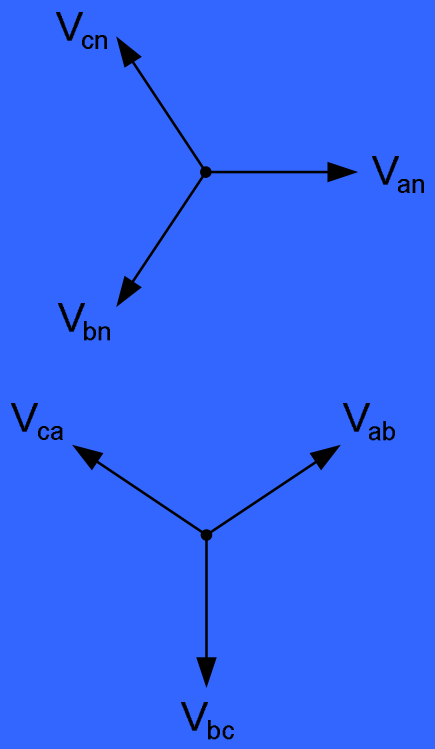
- دامنه جریان‌های فاز در هر نقطه از سیستم با هم برابر باشند.
- اختلاف فاز ولتاژها یا جریان‌ها (چه خط به خط و چه فازی) در هر نقطه از سیستم، برابر درجه (یا  رادیان) باشد.

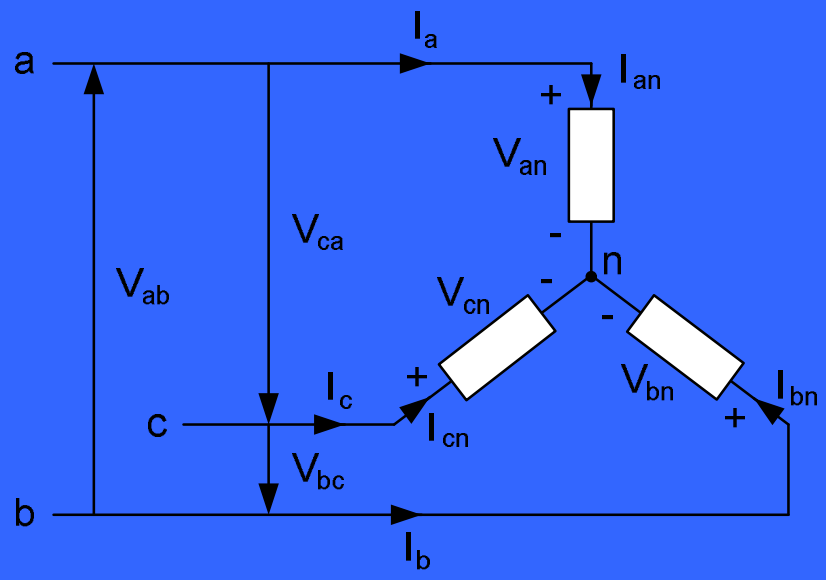
# سیستم سه فاز متعادل-ستاره



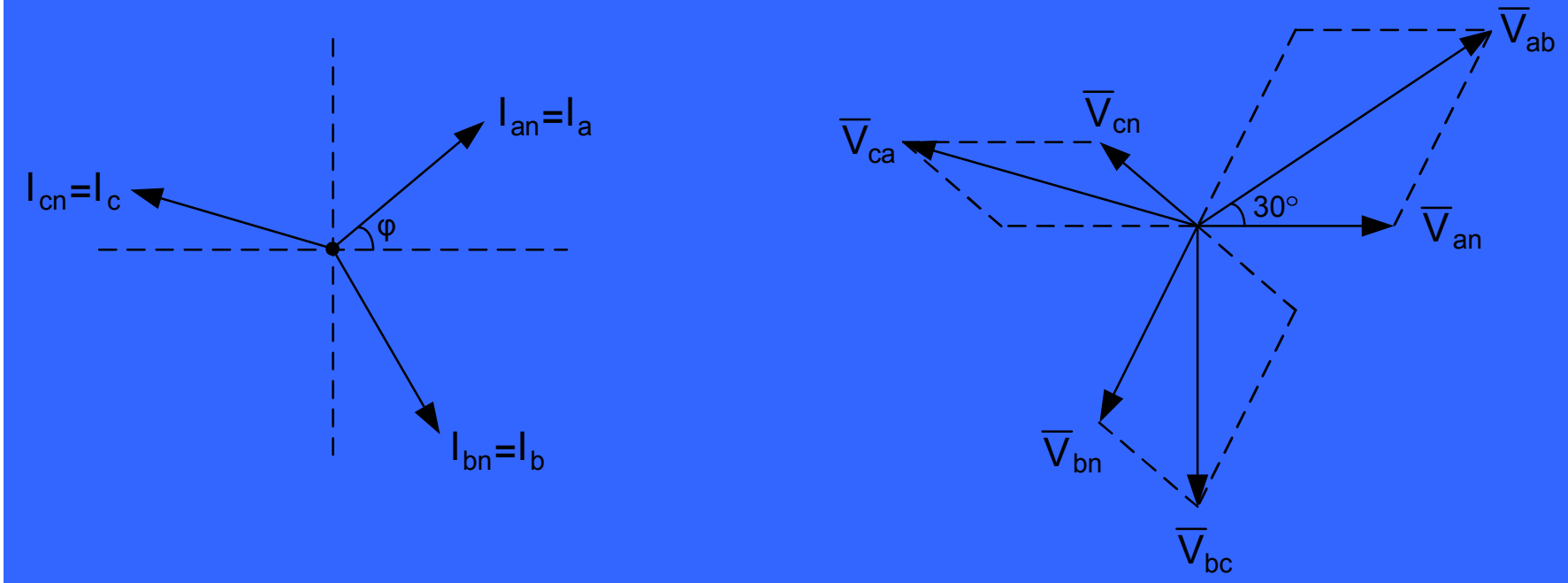
# سیستم سه فاز متعادل-ستاره



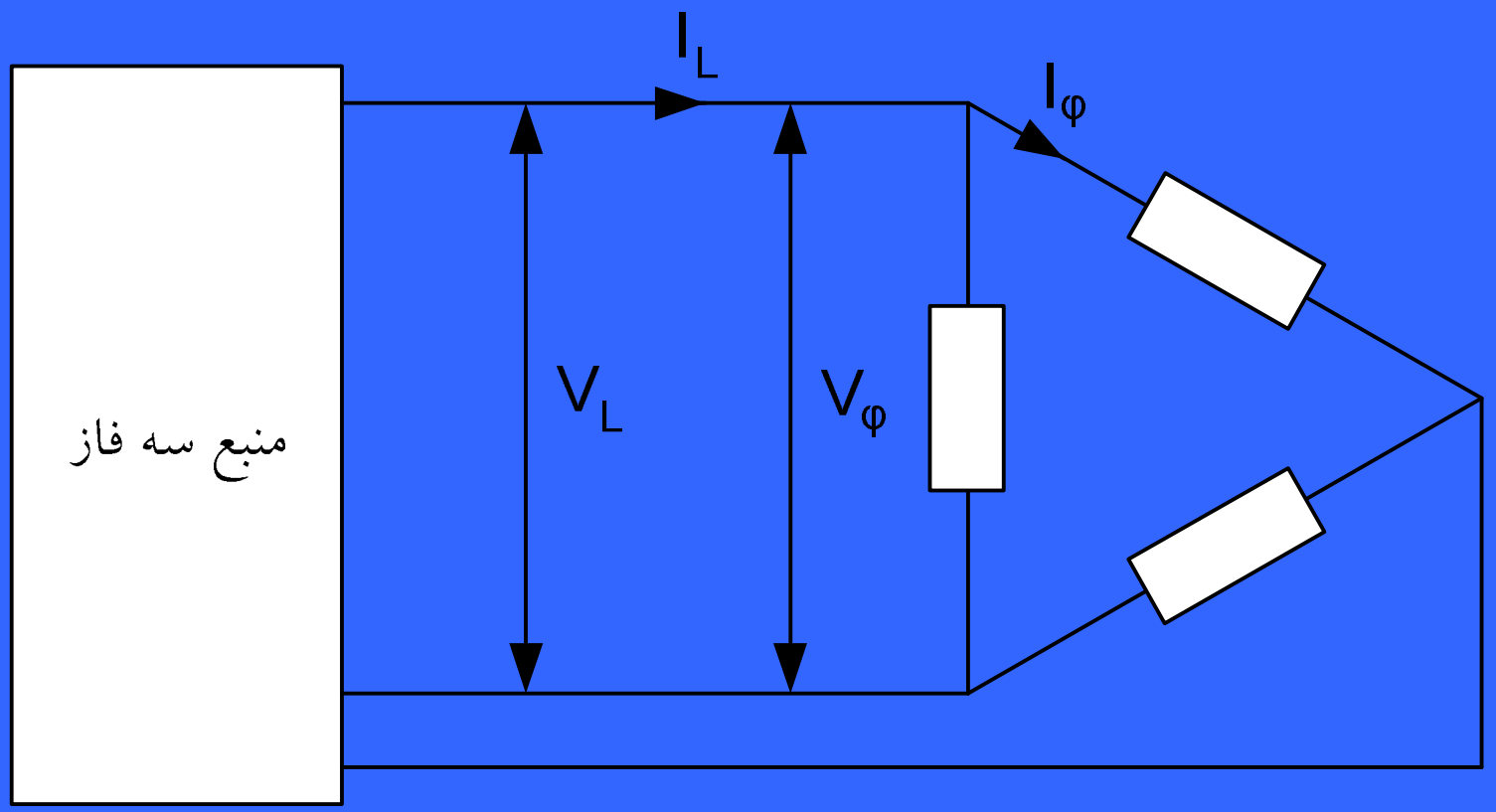



# سیستم سه فاز متعادل-ستاره

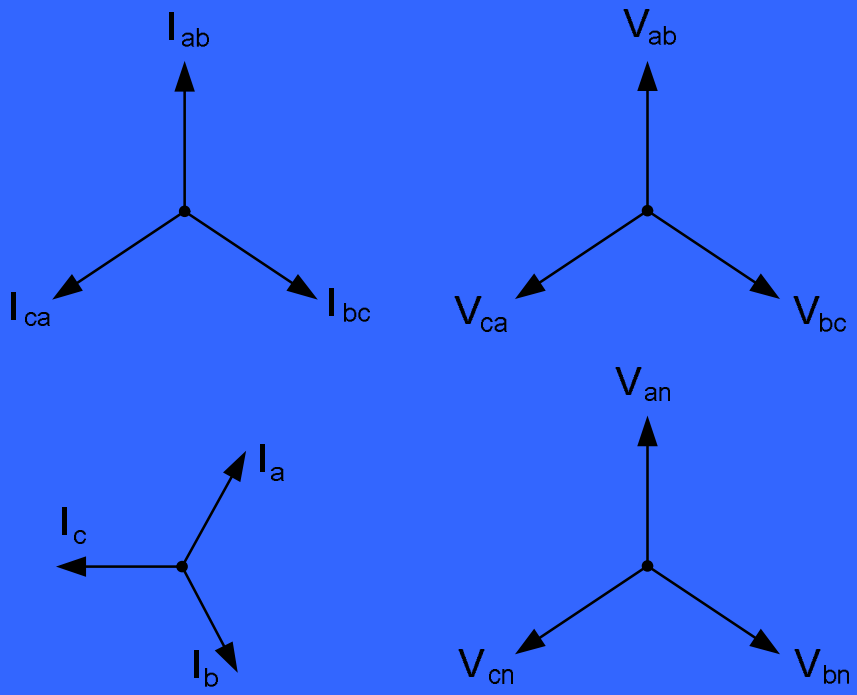


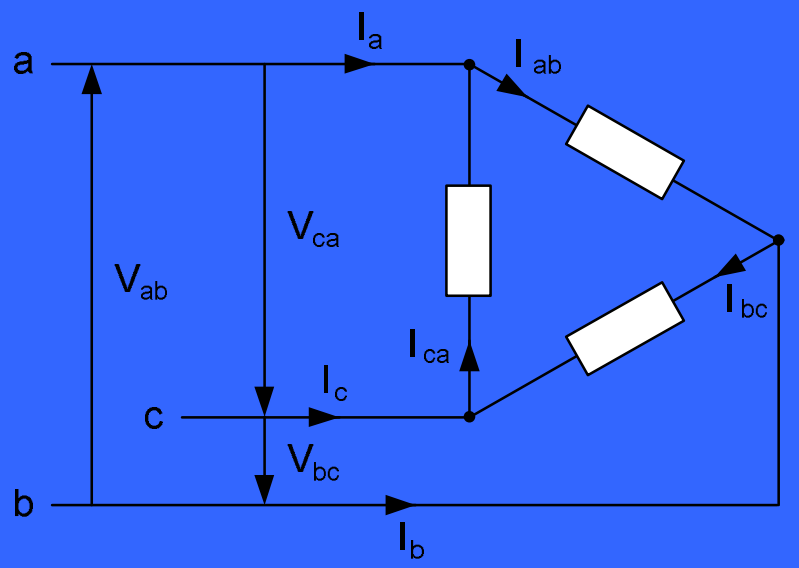

- در اتصال ستاره، جریان‌های خط و فاز با هم برابرند، ولی ولتاژهای خط $\sqrt{3}$ برابر ولتاژهای فاز هستند. زاویه فاز ولتاژ خط ۳۰ درجه از ولتاژ فاز متناظر جلوتر است.

# سیستم سه فاز متعادل-مثلث

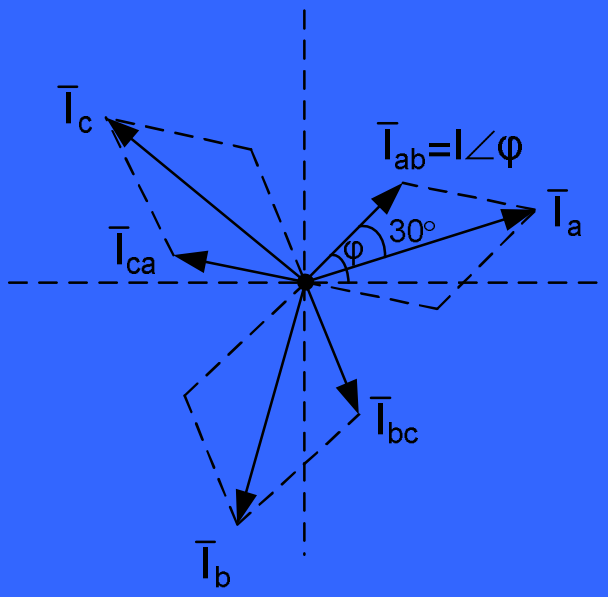


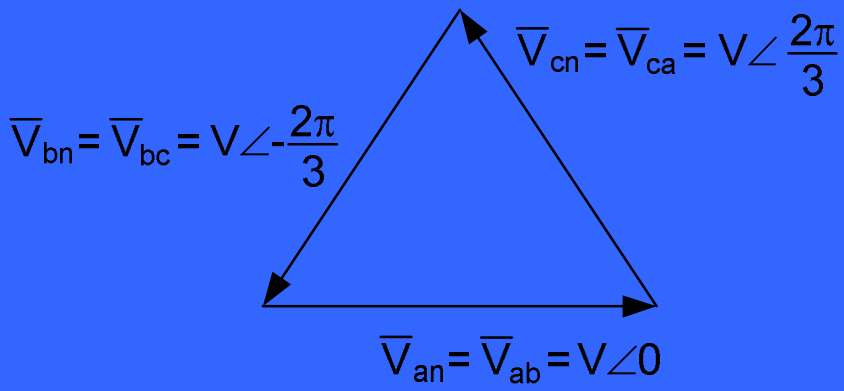
# سیستم سه فاز متعادل-مثلث



# سیستم سه فاز متعادل-مثلث




- در اتصال مثلث، ولتاژهای خط و فاز با هم برابرند، ولی جریان‌های خط $\sqrt{3}$ برابر جریان‌های فازی هستند. زاویه فاز جریان خط، ۳۰ درجه از زاویه فاز جریان فاز متناظر عقب‌تر است.

# مقایسه توان لحظه ای سه فاز متعادل با تکفاز

- توان لحظه ای تکفاز

$$p(t) = VI[cos(\theta_V - \theta_I) + cos(2\omega t + \theta_V + \theta_I)]$$
$$= VI\,cos(\theta_V - \theta_I) + VI\,cos(2\omega t + \theta_V + \theta_I)$$

- توان لحظه ای سه فاز

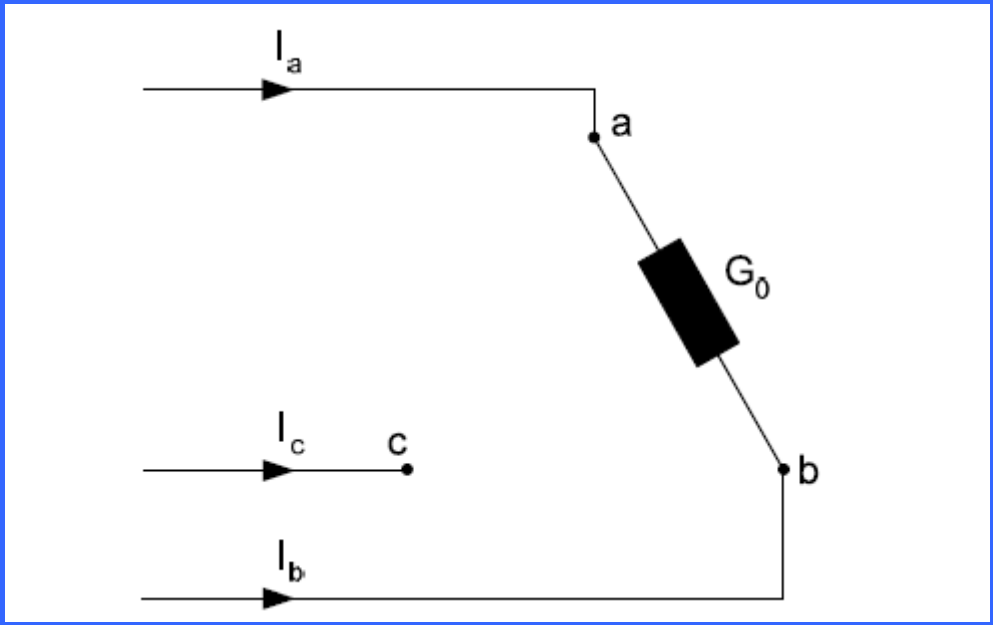
$$\begin{cases} p_a(t) = V_a(t)i_a(t) = 2V_aI_a\,cos(\omega t)\,cos(\omega t - \theta) \\ p_b(t) = V_b(t)i_b(t) = 2V_aI_a\,cos(\omega t - 120)\,cos(\omega t - \theta - 120) \\ p_c(t) = V_c(t)i_c(t) = 2V_aI_a\,cos(\omega t + 120)\,cos(\omega t - \theta + 120) \end{cases}$$

$$p_{3\varphi}(t) = 3V_aI_a\,cos\,\theta$$

- توان لحظه‌ای سه‌فاز، ثابت و مستقل از زمان است

# مقایسه تلفات سیستم سه فاز متعادل با تکفاز

- حالت اول: بار تکفاز بین دو فاز سیستم سه فاز




$$P_{\mathrm{L,S}1\phi} = 2 \times I_{1\phi}^2 R$$

$$P_{\mathrm{LS},3\phi} = 3 \times I_{3\phi}^2 R$$

# مقایسه تلفات سیستم سه فاز متعادل با تکفاز
## حالت اول: بار تکفاز بین دو فاز سیستم سه فاز

- توان مصرفی کل توسط بار در دو حالت یکسان است. پس

$$(\sqrt{3} \times V_s) I_{1\phi} = 3 V_s I_{3\phi} \quad \Rightarrow \quad I_{1\phi} = \sqrt{3} \times I_{3\phi}$$

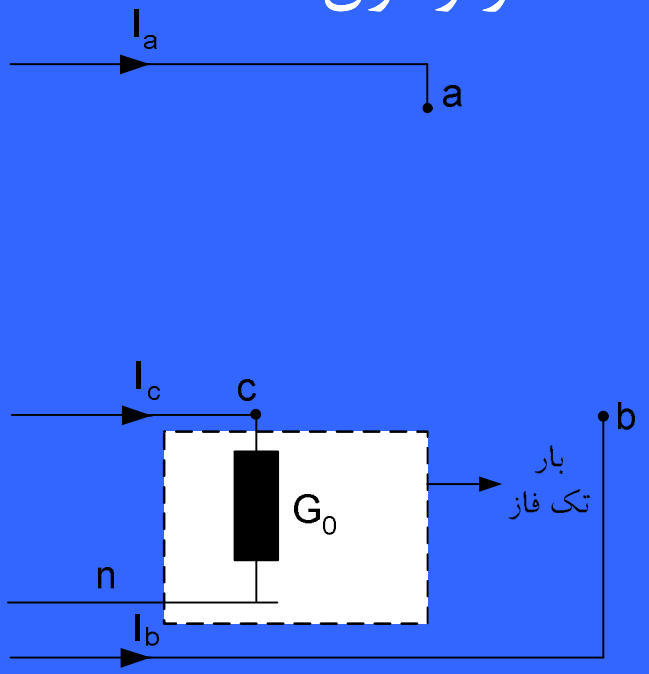
در نتیجه:

$$P_{LS,\,1\phi} = 2(\sqrt{3} \times I_{3\phi})^2 R \quad \Rightarrow \quad \frac{P_{LS,\,1\phi}}{P_{LS,\,3\phi}} = 2.0$$

- یعنی تلفات سیستم تکفاز برای تامین بار معین دو برابر سیستم سه فاز است.

# مقایسه تلفات سیستم سه فاز متعادل با تکفاز

- حالت دوم: بار تکفاز بین یک فاز سیستم سه فاز و نول




$$P_{\text{LS, }1\phi} = I_{1\phi}^2(2R) \quad \text{W}$$

$$P_{\text{LS, }3\phi} = 3 \times I_{3\phi}^2 R \quad \text{W}$$

# مقایسه تلفات سیستم سه فاز متعادل با تکفاز
# حالت دوم: بار تکفاز بین یک فاز و نول

- توان مصرفی کل توسط بار در دو حالت یکسان است. پس

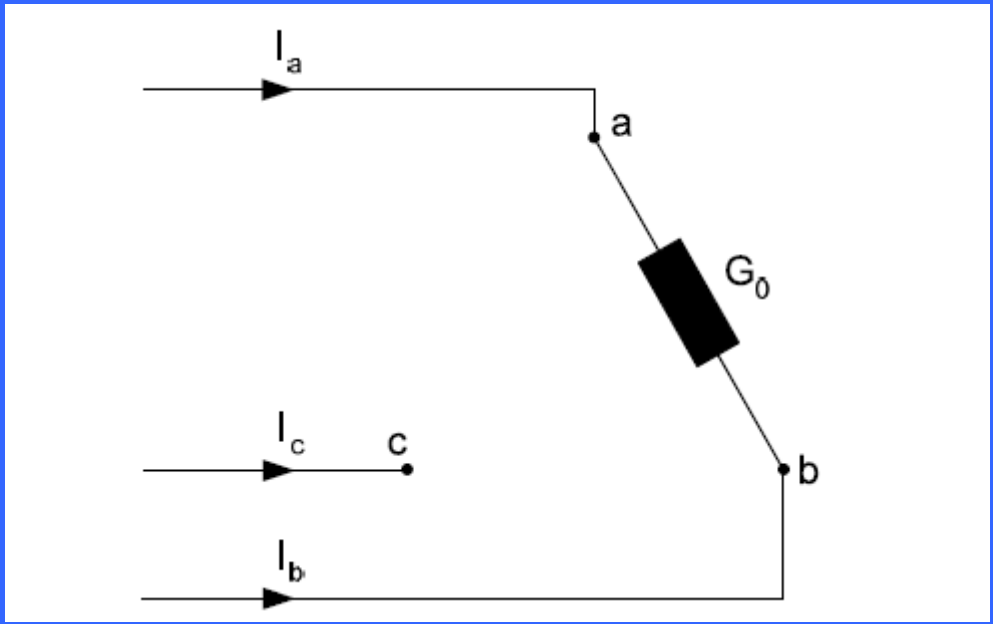
$$V_s \times I_{1\phi} = 3 \times V_s \times I_{3\phi} \quad \Rightarrow \quad I_{1\phi} = 3 \times I_{3\phi}$$

در نتیجه:

$$P_{LS,\,1\phi} = (3 \times I_{3\phi})^2 (2R) \quad \text{W} \quad \Rightarrow \quad \frac{P_{LS,\,1\phi}}{P_{LS,\,3\phi}} = 6.0$$

- یعنی تلفات سیستم تکفاز برای تامین بار معین ۶ برابر سیستم سه فاز است.

# مقایسه افت ولتاژ سیستم سه فاز با تکفاز




$$VD_{3\phi} = I_{3\phi}(R\cos\theta + X\sin\theta) \quad V$$

$$VD_{1\phi} = I_{1\phi}(2R\cos\theta + 2X\sin\theta) \quad V$$

# مقایسه افت ولتاژ سه فاز متعادل با تکفاز
# حالت اول: بار تکفاز بین دو فاز سیستم سه فاز

- توان مصرفی کل توسط بار در دو حالت یکسان است. پس

$$(\sqrt{3} \times V_s) I_{1\phi} = 3 V_s I_{3\phi} \quad \Rightarrow \quad I_{1\phi} = \sqrt{3} \times I_{3\phi}$$

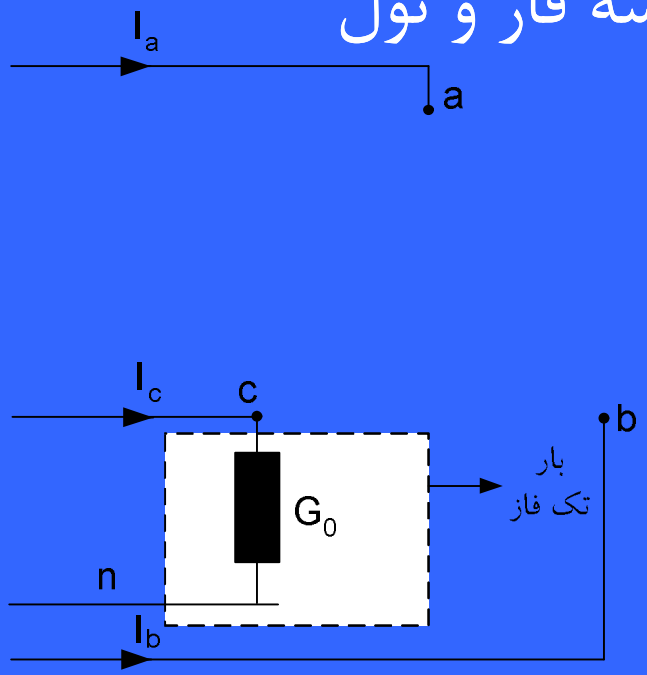
در نتیجه:

$$\mathrm{VD}_{1\phi} = 2\sqrt{3} \times I_{3\phi} (R \cos\theta + X \sin\theta) \quad \Rightarrow \quad \frac{\mathrm{VD}_{1\phi}}{\mathrm{VD}_{3\phi}} = 2\sqrt{3}$$

- یعنی افت ولتاژ سیستم تکفاز برای تامین بار معین ۳/۴۶ برابر افت ولتاژ سیستم سه فاز است.

# مقایسه افت ولتاژ سه فاز متعادل با تکفاز

- حالت دوم: بار تکفاز بین یک فاز سیستم سه فاز و نول




$$VD_{3\phi} = I_{3\phi}(R\cos\theta + X\sin\theta) \qquad V$$

- برای حالتی که اندازه سیم نول و فاز یکی باشد:

$$VD_{1\phi} = I_{1\phi}(2R\cos\theta + 2X\sin\theta) \qquad V$$

# مقایسه افت ولتاژ سه فاز متعادل با تکفاز
# حالت دوم: بار تکفاز بین یک فاز و نول

- توان مصرفی کل توسط بار در دو حالت یکسان است. پس

$$V_s \times I_{1\phi} = 3 \times V_s \times I_{3\phi} \quad \Rightarrow \quad I_{1\phi} = 3 \times I_{3\phi}$$

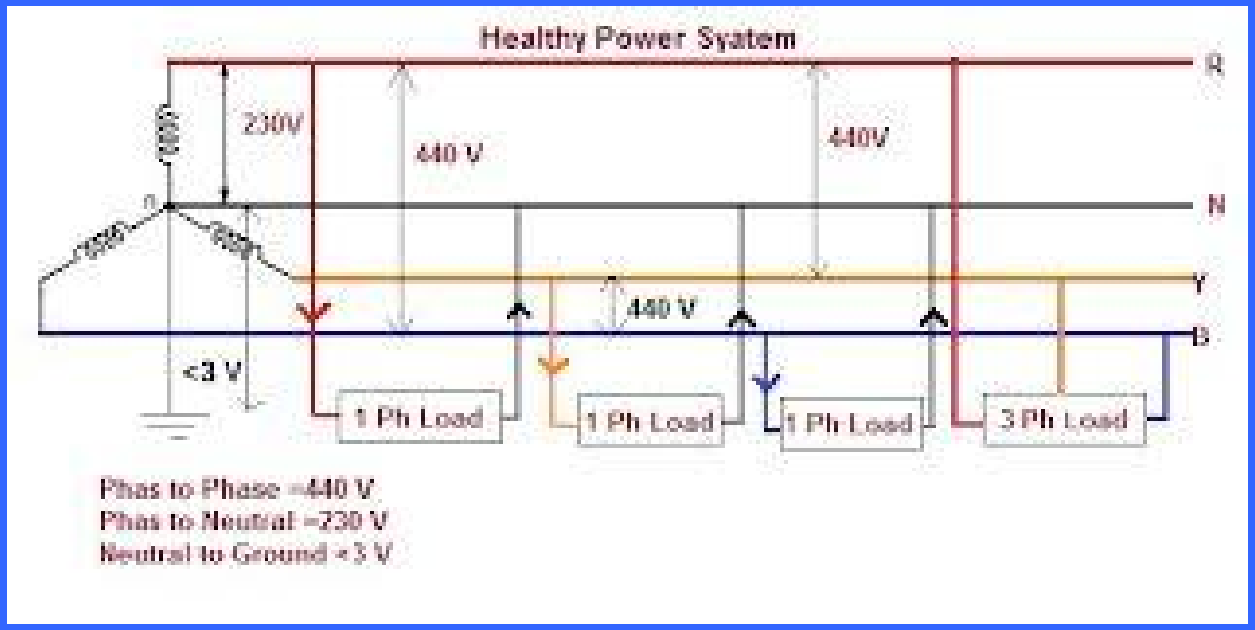
در نتیجه:

$$\mathrm{VD}_{1\phi} = 6 \times I_{3\phi}(R\cos\theta + X\sin\theta) \quad \Rightarrow \quad \frac{\mathrm{VD}_{1\phi}}{\mathrm{VD}_{3\phi}} = 6.0$$

- یعنی افت ولتاژ سیستم تکفاز برای تامین بار معین ۶ برابر سیستم سه فاز است.

# عوامل و عوارض نا متعادلی

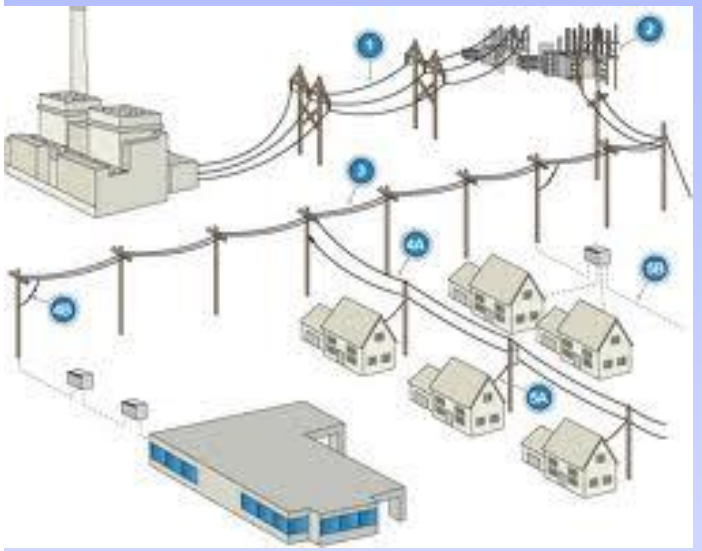
- نا متعادلی: از بین رفتن یکی از شرایط سیستم متعادل
- عوامل: هر عاملی که باعث از بین رفتن یکی از شرایط تعادل گردد. در سیستمهای توزیع عمده ترین عامل بارهای تکفاز است.




- عوارض: دور شدن از مزایای سیستم سه فاز و نزدیک شدن به معایب سیستم تکفاز

# عوامل ایجاد نامتعادلی

- در شبکه فعلی توزیع، برای برق رسانی به مشترکین، از سیستم سه فاز چهار سیمه استفاده می شود که سه هادی، هادی فاز بوده و هادی چهارم به عنوان نول است که به نقطه ستاره ترانسفورماتور وصل می باشد.



- منشا اصلی عدم تعادل:
- ۱- توزیع ناهمگون و غیر یکنواخت مشترکین تکفاز بین فازهای مختلف
- ۲- رفتار تصادفی و غیر همزمان مشترکین تکفاز

# سایر عوامل ایجاد نامتعادلی

- متقارن نبودن امپدانس خطوط در اثر ترانسپوز ناقص یا عدم ترانسپوز
- عدم تقارن در سیم بندی ترانسفورمرها
- استفاده از بانکهای ترانسفورمری دلتا-باز و ستاره-باز
- بارهای سه فاز نامتقارن مثل کوره های قوس الکتریکی
- اتصالات امپدانس بالا (مثل اتصالات شل کنتاکتورها و ...)
- سیم بندی نامتقارن موتورهای القایی
- و ...

# عوارض نامتعادلی

- افزایش تلفات (در سیمهای فاز و نول)
- اثر نامطلوب بر روی موتورهای القایی
- افت ولتاژ
- جریان دار شدن سیم نول
- اثر نامطلوب بر روی ترانسفورمرها
- اشغال ظرفیت شبکه
- اثر نامطلوب بر روی دستگاههای اندازه گیری
- اثر نامطلوب بر روی دستگاههای حفاظتی
- و ...

# افزایش تلفات  در اثر نامتعادلی

- افزایش تلفات (در سیمهای فاز و نول)
- افت ولتاژ
- جریان دار شدن سیم نول
- اثر نامطلوب بر روی ترانسفورمرها
- اثر نامطلوب بر روی موتورهای القایی
- اشغال ظرفیت شبکه
- و ...