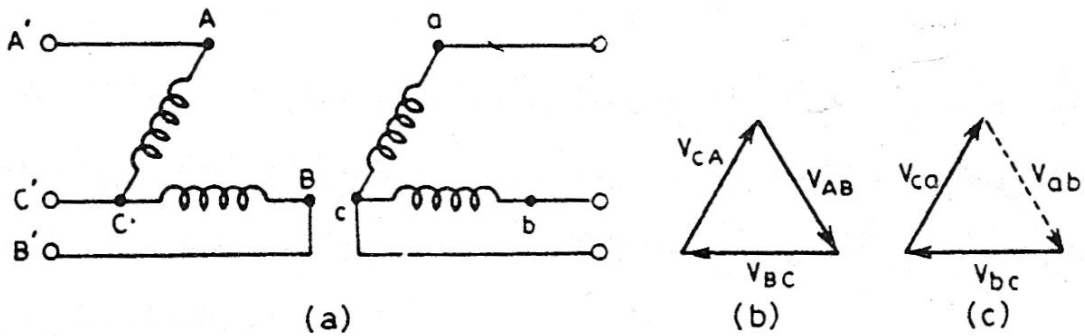
مبحث پانزدهم:

آرایش‌های خاص ترانسفورماتورهای سه فاز

- اتصال مثلث باز (V-V)
- اتصال اسکات
- ترانسهای سه فاز چند مداره
- اتوترانسفورماتور سه فاز (واریاک)

❑ اتصال مثلث باز یا اتصال V شکل

- ✓ فرض کنید که از یک بانک ترانس شامل سه ترانس تکفاز و بصورت اتصال مثلث –مثلث (Dd) برای تغذیه یک بار سه‌فاز استفاده می شود.
- ✓ بعضی مواقع در صورت بروز خطا در یکی از ترانسها، تعمیرات اضطراری و یا عدم نیاز به همه آنها (در صورت کم بودن بار)، یکی از ترانسها می تواند از مدار خارج شود و بانک ترانس بصورت اتصال مثلث باز یا (Vv) با توان کمتر نسبت به حالت Dd بار را تغذیه کند.
- ✓ در اتصال مثلث باز نیز ولتاژهای خط در ثانویه تشکیل یک سیستم سه فاز متعادل را می‌دهند.
- ✓ کاربرد: علاوه بر موارد ذکر شده، در خطوط انتقال و سیستم‌های توزیعی که به تازگی مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند و هنوز بار خط و یا سیستم توزیع زیاد نشده است، می توان از یکی از ترانسها به صورت دوره‌ای استفاده ننمود.



➢ توان نامی:

❖ در اتصال مثلث – مثلث (Dd):

$$\begin{cases} V_L = V_{ph} \\ I_L = \sqrt{3}\, I_{ph} \end{cases} \Rightarrow S = 3V_{ph}I_{ph} = \sqrt{3}\, V_L I_L \qquad (1)$$

❖ در اتصال مثلث باز (Vv): (۲)

$$\begin{cases} V_L = V_{ph} \\ I_L = I_{ph} \end{cases} \quad \text{اما} \quad S \neq 2V_{ph}I_{ph} \quad \text{و} \quad S = \sqrt{3}V_{ph}I_{ph}$$

$$\Rightarrow \frac{\text{توان ظاهری اتصال مثلث باز}}{\text{توان ظاهری اتصال مثلث - مثلث}} = \frac{\sqrt{3}V_{ph}I_{ph}}{3V_{ph}I_{ph}} = 0.577 \qquad (3)$$

➢ ضریب ارزیابی (ضریب استفاده):

$$\frac{\text{توان ظاهری واقعی مورد استفاده}}{\text{مجموع توان ظاهری ترانسفورماتورهای نصب شده}} \qquad (٤)$$

❖ در اتصال مثلث – مثلث (Dd): برابر یک است.

❖ در اتصال Vv: برابر با ۰/۸٦٦ است.

$$= \frac{\sqrt{3}V_{ph}I_{ph}}{2V_{ph}I_{ph}} = 0.866$$

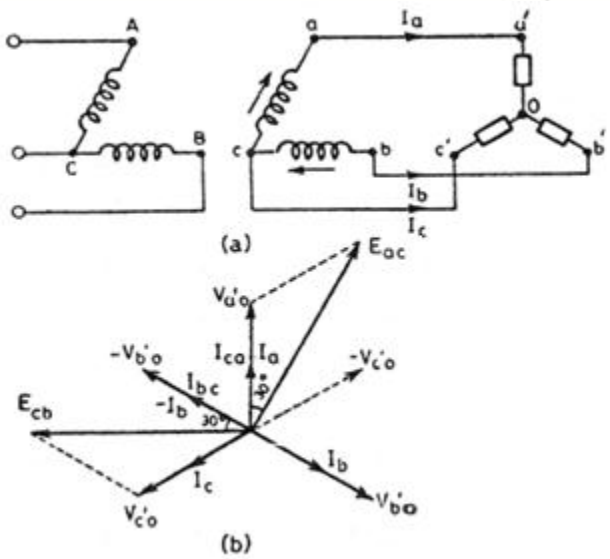
ولتاژ فاز ac ثانویه ترانس: (۵)

$$\mathbf{E}_{ac} = \mathbf{V}_{a'c'} = \mathbf{V}_{a'o} + \mathbf{V}_{oc'} = \mathbf{V}_{a'o} - \mathbf{V}_{c'o}$$

ولتاژ فاز cb ثانویه ترانس: (۶)

$$\mathbf{E}_{cb} = \mathbf{V}_{c'b'} = \mathbf{V}_{c'o} + \mathbf{V}_{ob'} = \mathbf{V}_{c'o} - \mathbf{V}_{b'o}$$

$$\begin{cases} \mathbf{I}_{ca} = \mathbf{I}_a \\ \mathbf{I}_{bc} = -\mathbf{I}_b \end{cases} \quad (۷)$$



توان تحویلی از ترانسفورماتور به بار سه فاز:

$$P_L = \mathbf{E}_{ac}\mathbf{I}_{ca}\cos(\mathbf{E}_{ac},\mathbf{I}_{ca}) + \mathbf{E}_{cb}\mathbf{I}_{bc}\cos(\mathbf{E}_{cb},\mathbf{I}_{bc}) \quad (۸)$$

$$= \mathbf{E}_{ac}\mathbf{I}_{ca}\cos 30^o + \mathbf{E}_{cb}\mathbf{I}_{bc}\cos 30^o \quad (۹)$$

چون برای هر فاز:

$$\begin{cases} \mathbf{E}_{ac} = \mathbf{E}_{cb} = \mathbf{E} \\ \mathbf{I}_{ca} = \mathbf{I}_{bc} = \mathbf{I} \end{cases} \quad (۱۰)$$

لذا:

$$P_L = \mathbf{EI}\cos 30^o + \mathbf{EI}\cos 30^o = \sqrt{3}\,\mathbf{EI} \quad (۱۱)$$

نتیجه: یکی از ترانسفورماتورها با ضریب توان پیشفاز 0.866 = cos 30 و دیگری با ضریب توان پسفاز 0.866 کار می کند.

$$P_L = E_{ac}I_{ca}\cos(E_{ac},I_{ca}) + E_{cb}I_{bc}\cos(E_{cb},I_{bc}) \qquad (۱۲)$$

$$= E_{ac}I_{ca}\cos(\theta-30^o) + E_{cb}I_{bc}\cos(\theta+30^o) \qquad (۱۳)$$

$$= \sqrt{3}EI\cos\theta \qquad (۱۴)$$

θ زاویه بار است.

نتیجه: یکی از ترانسفورماتورها با ضریب توان پسفاز با مقدار $\cos(\theta\text{-}30^o)$ و دیگری با ضریب توان پیشفاز $\cos(\theta+30^o)$ کار می کند.

مثال ۱: اگر بار القایی دارای ضریب توان ۰/۸٦٦باشد:

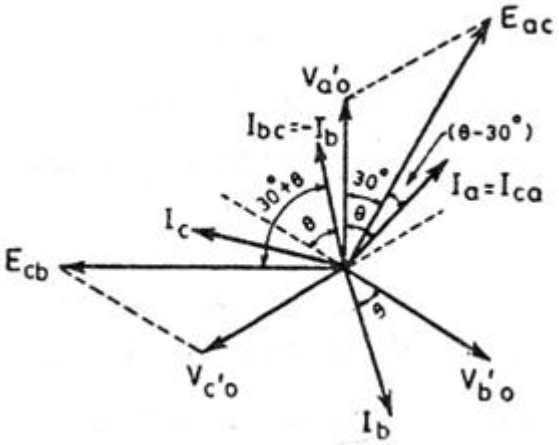
$$\cos\varphi_1 = \cos(\theta-30^o) = \cos(30^o-30^o) = 1$$
$$\cos\varphi_2 = \cos(30^o+30^o) = \cos(60^o) = 0.5$$

یعنی یکی از ترانسها دو برابر دیگری توان می‌دهد.

مثال ۲: اگر بار القایی دارای ضریب توان ۰/۵باشد:

$$\cos\varphi_1 = \cos(60^o-30^o) = \cos(30^o) = \sqrt{3}/2$$
$$\cos\varphi_2 = \cos(60^o+30^o) = \cos(90^o) = 0$$

یکی از ترانسها توان نمی‌دهد و توان بار توسط یکی از ترانسها تامین می‌شود.

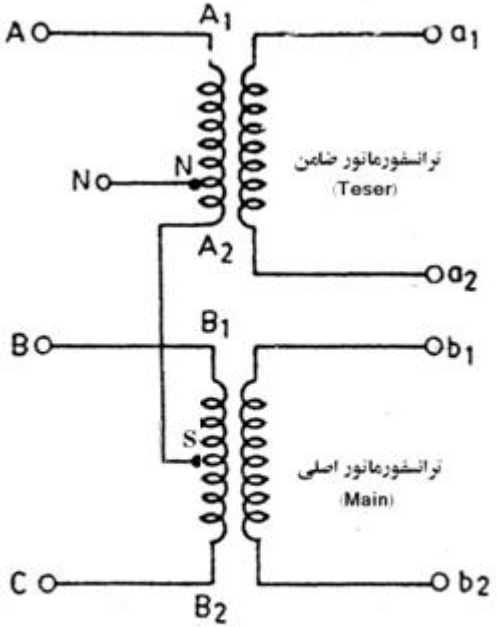


دیاگرام برداری اتصال مثلث باز در حالت تحویل بار القائی متعادل سه فاز با اتصال ستاره

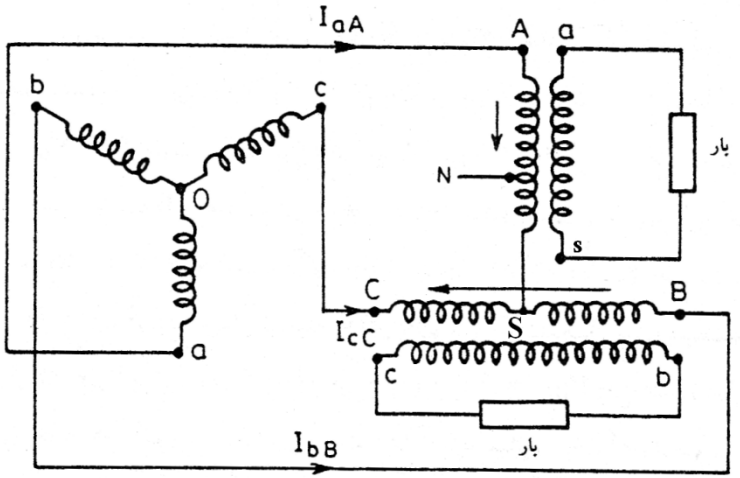
❑ اتصال اسکات (T) یا اتصال سه فاز به دو فاز

- از این اتصال برای تبدیل برق سه فاز به دو فاز و یا بالعکس استفاده می شود.
- آقای چارلز اسکات این اتصال را در طرح آبشار نیاگارا بکار برد که به افتخار خودش آنرا اتصال اسکات نامیده‌اند.

- ولتاژ سه فاز متقارن توسط منبع abc ایجاد و توسط ترانس اسکات به برق دو فاز تبدیل می‌شود.
- ولتاژهای موجود در دو سر a_1a_2 و b_1b_2 دو ولتاژ متقارن با اختلاف فاز ۹۰ درجه هستند.



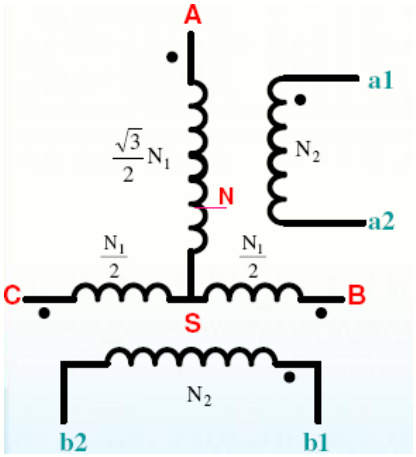
(الف) اتصال اسکات

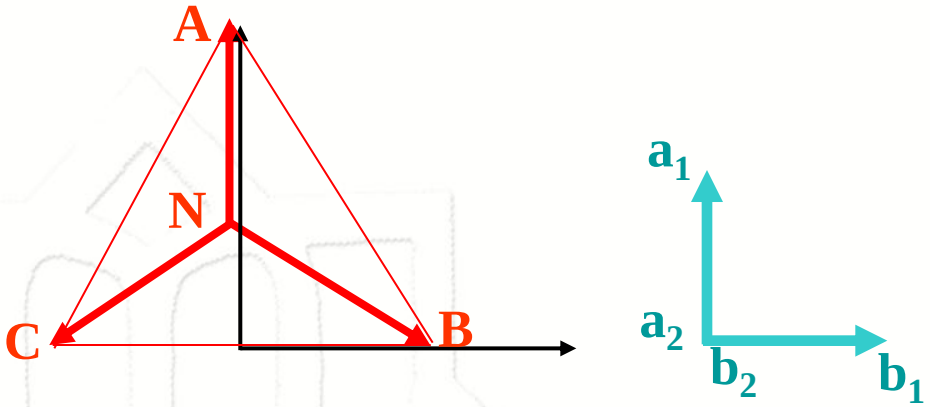


(ب) نمودار شماتیک اتصال اسکات

- نکته: تعداد دور اولیه ترانس ضامن (A_1A_2) برابر با $\frac{\sqrt{3}}{2}$ تعداد دورهای اولیه ترانس اصلی (B_1B_2) است.

❑ اتصال اسکات (T) یا اتصال سه فاز به دو فاز





بردارهای ولتاژ در اولیه و ثانویه اتصال اسکات

$$V_{AS} = V_{AB}\cos 30^o = \frac{\sqrt{3}}{2}V_L \qquad (۱۵)$$

$$V_{a_1a_2} = \frac{N_2}{\frac{\sqrt{3}}{2}N_1}V_{AS} = \frac{N_2}{N_1}\times\frac{2}{\sqrt{3}}\times\frac{\sqrt{3}}{2}V_L = \frac{N_2}{N_1}V_L \qquad (۱۶)$$

$$V_{b_1b_2} = \frac{N_2}{N_1}V_{BC} = \frac{N_2}{N_1}V_L \qquad (۱۷)$$

- در شکل فوق، تعداد دور اولیه ترانس ضامن (A_1A_2 یا AS) برابر با $\frac{\sqrt{3}}{2}$ تعداد دورهای اولیه ترانس اصلی (B_1B_2 یا BC) است.

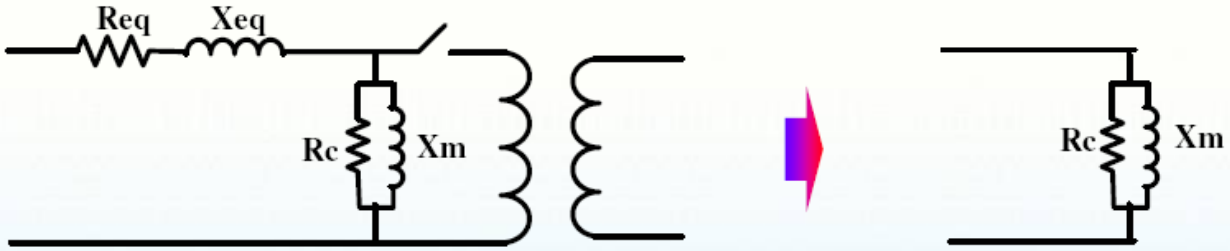
از دو آزمایش برای این کار استفاده می شود

- آزمایش اتصال کوتاه
- آزمایش مدار باز

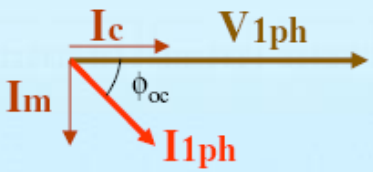
در ترانس سه فاز نتایج آزمایشهای بالا ممکن است در حالت اتصال ستاره یا مثلث بدست آمده باشند . ما همیشه با توجه به نوع اتصال مقادیر مربوط به یک فاز را ، بدست می آوریم سپس مطابق روشی که در ترانس تکفاز دنبال می شد به محاسبه پارامترها می پردازیم .

آزمایش مدار باز:

این آزمایش از طرف فشار ضعیف انجام می شود . مدار معادل به شکل زیر در می آید که مقادیر المانهای آنرا می توان بصورت زیر حساب کرد .



در اینجا از Xeq و Req بخاطر کوچک بودن در برابر Xm و Rc صرفنظر شده است .

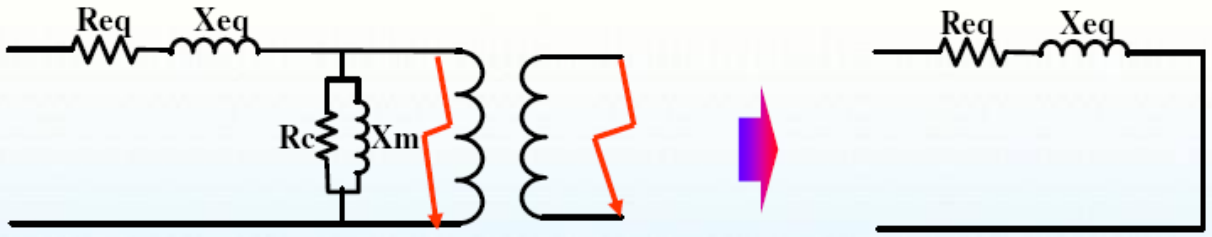


$$I_m = I_{1ph}\sin(\phi_{oc}) \qquad I_c = I_{1ph}\cos(\phi_{oc})$$

$$X_m = \frac{V_{1ph}}{I_m} \quad \text{و} \quad R_c = \frac{V_{1ph}}{I_c}$$

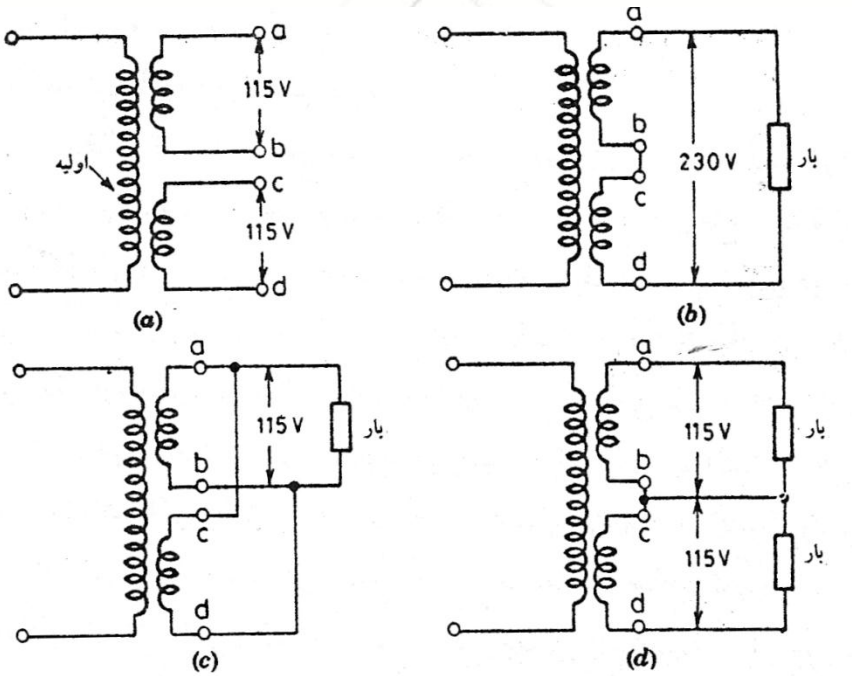
آزمایش اتصال کوتاه:

در این آزمایش که از طرف فشار قوی انجام می شود ، مدار معادل به شکل زیر در می آید که مقادیر المانهای آنرا می توان بصورت زیر حساب کرد .



$$R_{eq} = \frac{P_{SC_{1ph}}}{I^2_{1ph}} \quad و \quad Z_{eq} = \frac{V_{1ph}}{I_{1ph}} \quad و \quad X_{eq} = \sqrt{Z^2_{eq} - R^2_{eq}}$$

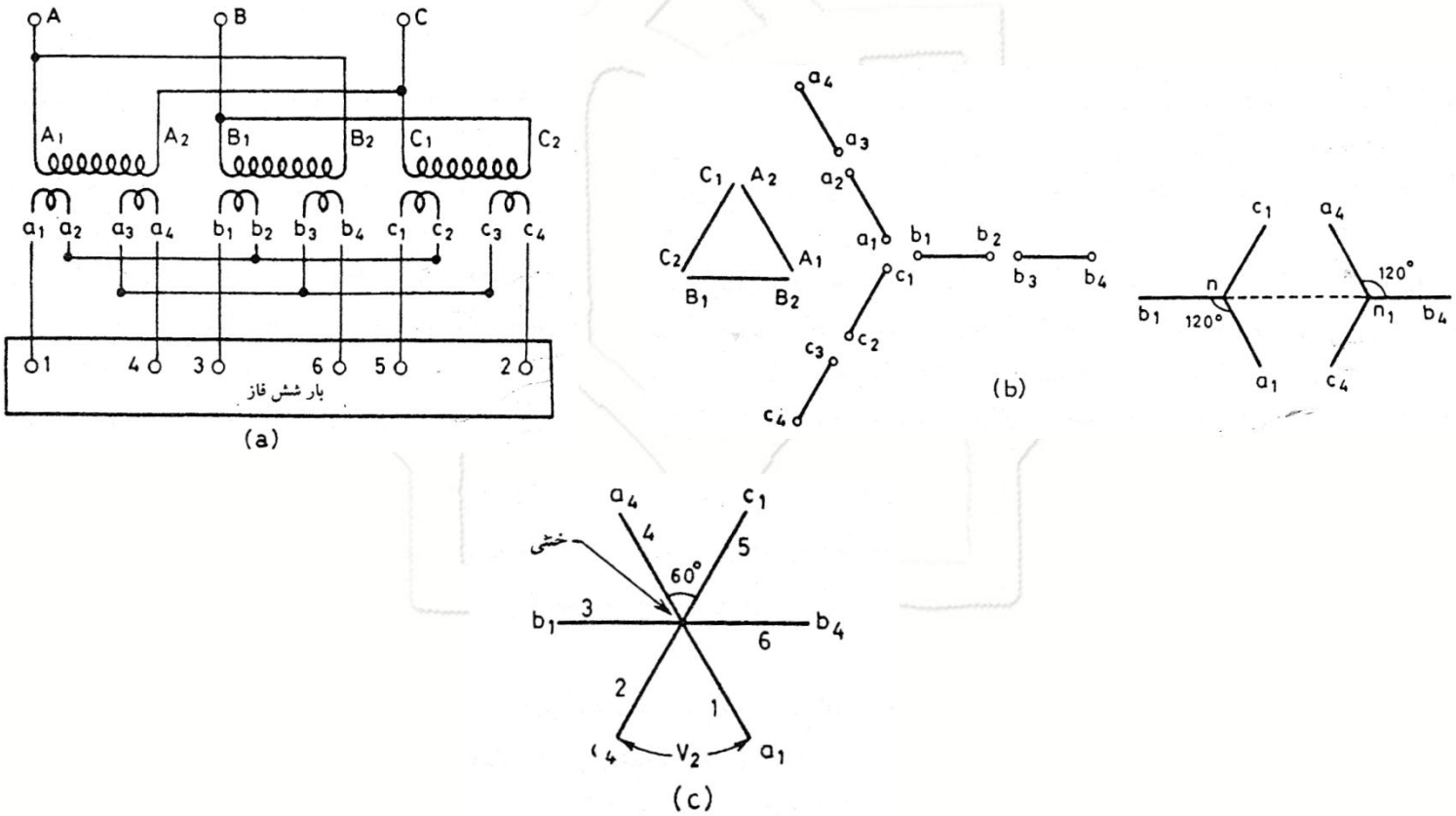
- ترانسفورماتورهایی که بیش از دو سیم‌پیچ جداگانه بر روی یک هسته مشترک دارند، ترانسفورماتورهای چند مداره و یا چند سیم‌پیچه نامند.

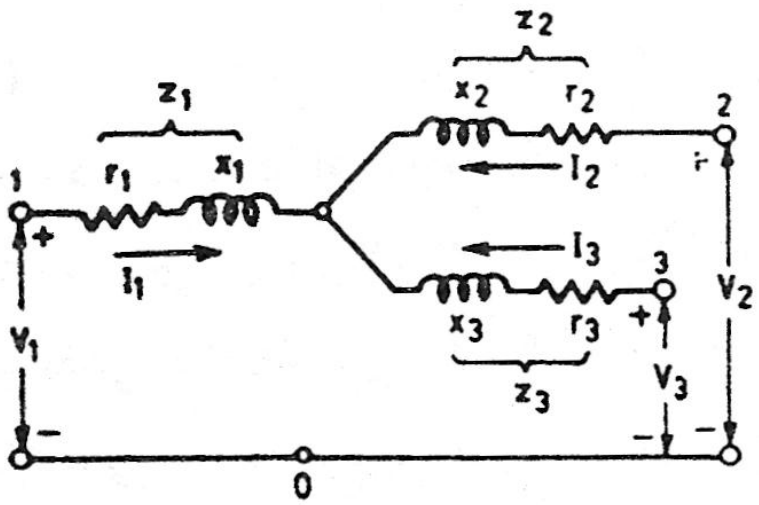


شکل ۷۷-۸: ترانسفورماتورهای چند مداره

- ✓ تغذیه دو یا چند بار با ولتاژهای تغذیه متفاوت در ثانویه.
- ✓ اتصال خطوط انتقال با سطح‌ولتاژهای مختلف توسط یک ترانسفورماتور چند مداره
- ✓ تصحیح ضریب توان یا تنظیم ولتاژ با اتصال خازن ساکن یا سنکرون به یک از سیم پیچ‌های ترانس چند مداره
- ✓ استفاده از ترانسفورماتورهای چند مداره برای تبدیل سه فاز به شش فاز و یا بیشتر

- مثلا با سربندی مناسب سیم‌پیچ‌های خروجی ترانس سه مداره، می توان برق شش فاز ایجاد نمود.





مقاومت سیم‌پیچ‌های ۱، ۲ و ۳: r_1 ، r_2 ،r_3

راکتانس نشتی معادل سیم‌پیچ ۱: x_1

راکتانس نشتی معادل سیم‌پیچ ۲: x_2

راکتانس نشتی معادل سیم‌پیچ ۳: x_3

امپدانس نشتی معادل هر یک از سیم‌پیچ‌ها: z_1 ، z_2 ،z_3

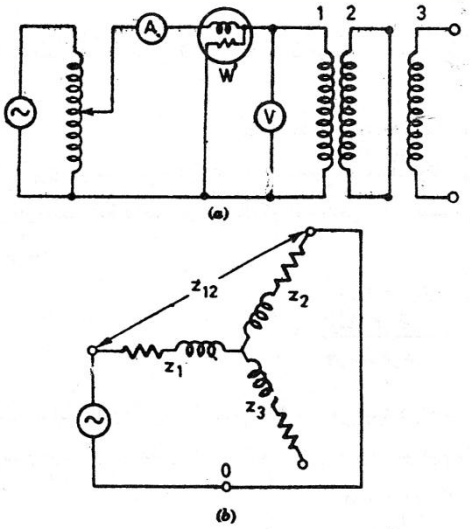
آزمایش اتصال کوتاه:

این آزمایش در سه مرحله انجام می‌شود:

۱- ابتدا وسایل اندازه‌گیری در سیم‌پیچ اولیه قرار داده شده، ثانویه اتصال کوتاه شده و ثالثیه باز نگهداشته می شود.

۲- سپس با حفظ وسایل اندازه‌گیری در سیم‌پیچ اولیه، ثالثیه اتصال کوتاه شده و ثانویه باز نگهداشته می شود.

۳- سپس با قرار دادن وسایل اندازه‌گیری در سیم‌پیچ ثانویه، ثالثیه اتصال کوتاه شده و اولیه باز نگهداشته می شود.



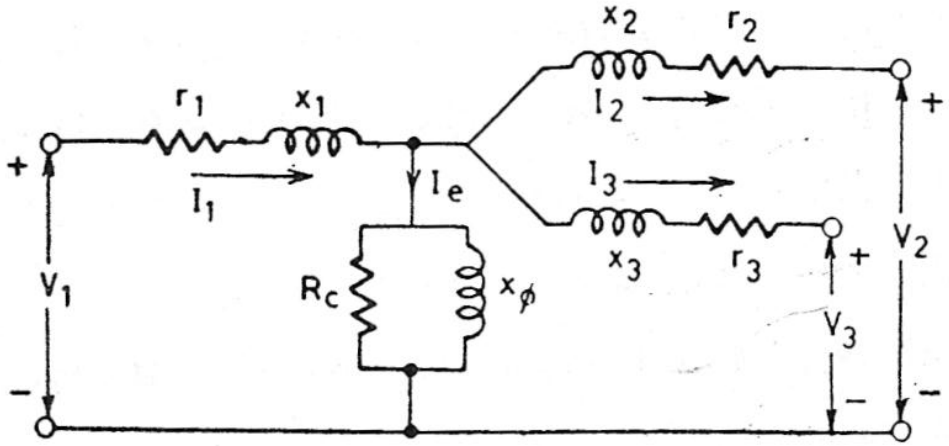
شکل ۸۱-۸: آزمایش اتصال کوتاه روی ترانسفورماتور سه سیم‌پیچه
a) نمودار مداری b) مدار معادل متناظر

$$\begin{cases} z_{12} = z_1 + z_2 = \dfrac{V}{I} \\ r_{12} = r_1 + r_2 = \dfrac{P}{I^2} \\ x_{12} = x_1 + x_2 = \sqrt{z_{12}^2 - r_{12}^2} \end{cases} \quad \begin{cases} z_{13} = z_1 + z_3 = \dfrac{V}{I} \\ r_{13} = r_1 + r_3 = \dfrac{P}{I^2} \\ x_{13} = x_1 + x_3 = \sqrt{z_{13}^2 - r_{13}^2} \end{cases} \quad \begin{cases} z_{23} = z_2 + z_3 = \dfrac{V}{I} \\ r_{23} = r_2 + r_3 = \dfrac{P}{I^2} \\ x_{23} = x_2 + x_3 = \sqrt{z_{23}^2 - r_{23}^2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} z_1 = r_1 + jx_1 = \dfrac{1}{2}(z_{12} + z_{13} - z_{23}) \\ z_2 = r_2 + jx_2 = \dfrac{1}{2}(z_{12} + z_{23} - z_{13}) \\ z_3 = r_3 + jx_3 = \dfrac{1}{2}(z_{13} + z_{23} - z_{12}) \end{cases}$$

❖ آزمایش مدار باز:

- این آزمایش را می توان روی هر یک از سیم‌پیچ‌های ترانس سه مداره انجام داد و مقادیر امپدانس مغناطیس کننده و مقاومت تلفات هسته را بدست آورد.



نکته: در ارجاع پارامترها به طرف های مختلف در هر دو آزمایش اتصال کوتاه و مدار باز، حتما نسبت تبدیل لحاظ گردد.

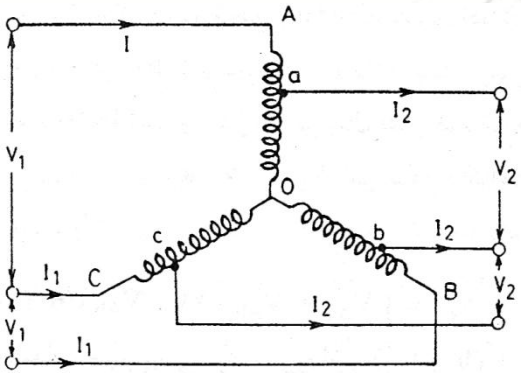
❖ **موارد کاربرد:**

۱- جهت بدست آوردن ولتاژ خروجی قابل تنظیم برای آزمایش مدارها و کاربردهای آزمایشگاهی

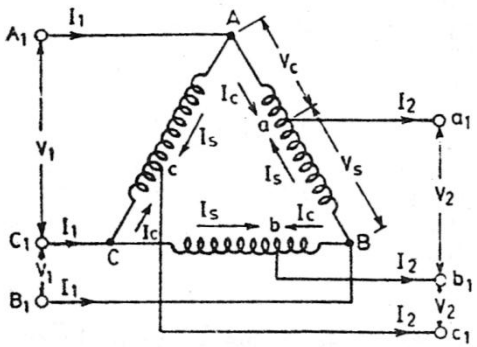
۲- برای متصل نمودن دو سیستم الکتریکی با ولتاژهای مختلف به یکدیگر

۳- به عنوان راه‌انداز برای موتورهای سنکرون و القایی

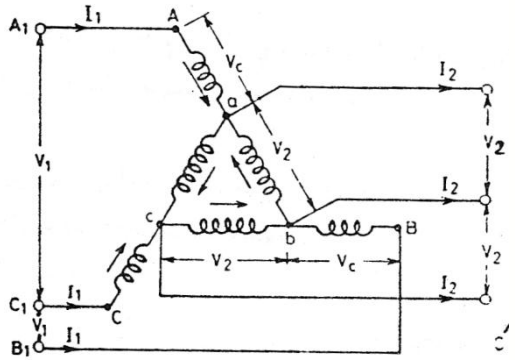
❖ **نکته: نحوه اتصال در اولیه و ثانویه اتوترانسفورماتور باید یکی باشد یعنی یا باید Yy و یا Dd باشند.**



(الف) اتو ترانس با اتصال ستاره



(ب) اتو ترانس با اتصال مثلث



(ج) اتو ترانس با اتصال مثلث گسترده