مبانی مهندسی برق

دکتر پدرام پیوندی

مثال ۱۴ ـ ۷ (سیستم SI) :

یک ترانسفورماتور با مشخصات ذیل مفروض است .

ولت ۴۰۰/۴۰

= تعداددور سیم پیچ اولیه ۵۵۰

هسته این ترانسفورماتور از ماده‌ای ساخته شده که حداکثر (ماکزیمم) چگالی شار آن ۱/۲ تسلا میباشد . مطلوبست محاسبه حداقل (مینیمم) سطح مقطع هسته مورد نیاز در تحت شرایط زیر :

(الف) : فرکانس ۵۰ هرتز

(ب) : فرکانس ۴۰۰ هرتز

$$\phi_m = \frac{E_1}{4.44 f N_1}$$

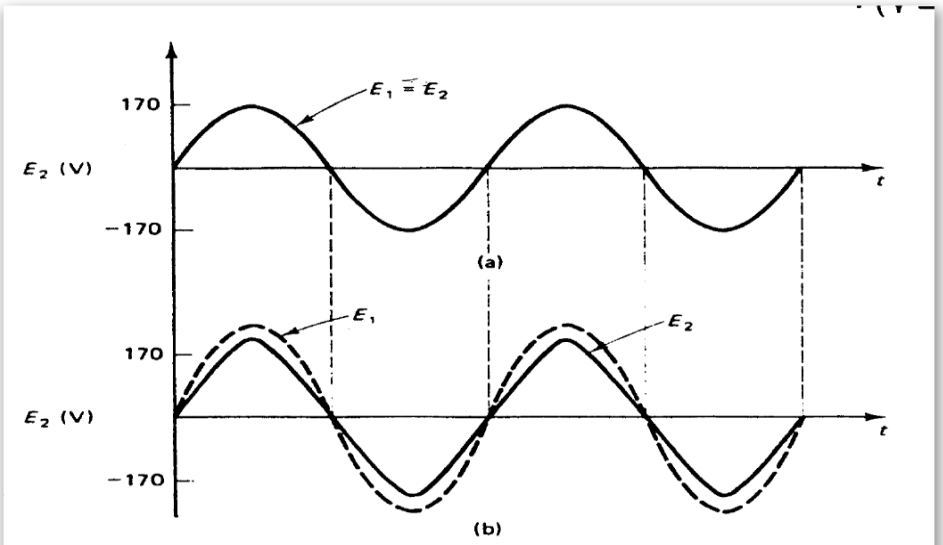
$$= \frac{440}{4.44 \times 50 \times 550}$$

$$= 3.6 \times 10^{-3}\ \text{Wb}$$

$$A_{min} = \frac{\phi_m}{B_{max}}$$

$$= \frac{3.6 \times 10^{-3}\ \text{Wb}}{1.2\ \text{T}}$$

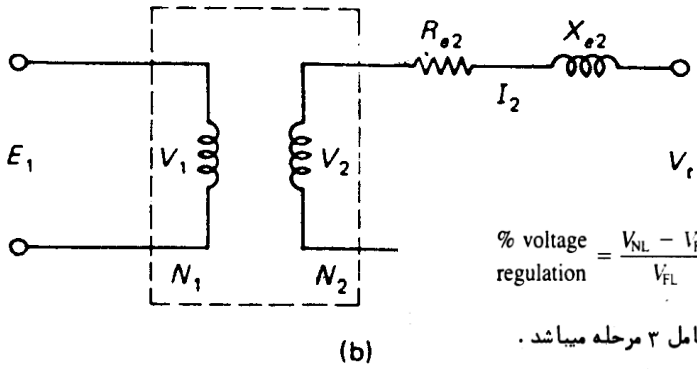
$$= 3 \times 10^{-3}\ \text{m}^2$$



شکل ۲۱ ــ ۷ : نمایش ولتاژ در ثانویه ترانسفورماتور
(a): ولتاژ اولیه با ولتاژ اسمی ترانسفورماتور برابر است
(b): ولتاژ اولیه ۵۰٪ از ولتاژ اسمی ترانسفورماتور بیشتر است .

۳ – ۳ – ۷ تنظیم ولتاژ:

7-3.3 Voltage Regulation



$$\%\ \text{voltage regulation} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 \qquad (7\text{-}37)$$

از نظر تئوری ، تخمین تنظیم ولتاژ در ترانسفورماتورها شامل ۳ مرحله میباشد .

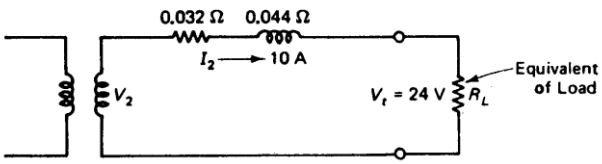
۱ – انجام آزمایش اتصال کوتاه برای بدست آوردن R_{e2} و X_{e2}.

۲ – با توجه به شکل (b ۱۸ – ۷) مقدار V_{NL} که همان V_2 است را حساب میکنیم .
باید توجه کرد که بجای V_t مقدار V_{FL} و بجای I_2 جریان اسمی ثانویه را قرار میدهیم .

۳ – با توجه به رابطه (۳۷ – ۷) میتوان تنظیم ولتاژ را حساب نمود .

مثال ۱۵ – ۷:

در مثال (۱۲ – ۷) تنظیم ولتاژ را حساب کنید مشروط بر آنکه بار اسمی را تحت ضریب توان واحد تغذیه نمائیه



شکل ۲۲ – ۷ مدار مربوط به مثال ۱۵ – ۷

$$V_{NL} = V_2 = \sqrt{(R_{e2}I_{2r} + V_{FL}\cos\theta)^2 + (X_{e2}I_{2r} \pm V_{FL}\sin\theta)^2}$$

(+ for lagging PF, − for leading PF)

مثال ۷/۱۶

یک ترانسفورماتور با مشخصات زیر مفروض است .

ولت ۲۴۰۰/۲۴۰ = ولتاژ ثانویه/ ولتاژ اولیه

کیلوولت‌آمپر ۶ = توان اسمی

اهم ۰/۱۲ = R_{e2}

اهم ۰/۲۲ = X_{e2}

درصد تنظیم ولتاژرا موقعی‌که ترانسفورماتور بار اسمی را در تحت شرایط‌زیر تغذیه میکنید حساب کنید .

(الف) : ضریب توان واحد

(ب) : ضریب توان ۰/۸۵ پس فاز

(ج) : ضریب توان ۰/۸۵ پیش فاز

۴ ــ ۳ ــ ۷ راندمان : ***7-3.4 Efficiency***

برای محاسبه راندمان (۱) ترانسفورماتور از فرمول کلی زیر استفاده میکنیم :

$$\eta\% = \frac{P_o}{P_i} \times 100 \qquad (7\text{-}39)$$

که در آن :

P_o = توان خروجی ترانسفورماتور

P_i = توان ورودی ترانسفورماتور

معمولا " توان خروجی معلوم بوده و توان ورودی اینچنین حساب میشود .

$$P_i = P_o + \text{total losses} \qquad (7\text{-}40)$$

معمولا " دو نوع تلفات در ترانسفورماتورها موجود است :

۱ ــ تلفات مسی که توسط‌آزمایش اتصال کوتاه محاسبه میشود .

۲ ــ تلفات هسته که توسط‌آزمایش مدار باز محاسبه میگردد .

مثال ۱۷ – ۷:

یک ترانسفورماتور با مشخصات زیر مفروض است .

ولت ۱۲۰/۴۴۰ = ولتاژ ثانویه/ولتاژ اولیه

کیلوولت‌آمپر ۳ = توان اسمی

این ترانسفورماتور بار اسمی را در تحت ضریب توان واحد تغذیه میکند . توان خروجی و جریانی ثانویه را بدست آورید .

مثال ۱۸ – ۷:

ترانسفورماتورمثال (۱۷ – ۷) را در نظر میگیریم این ترانسفورماتور نیمی از بار اسمی را درتحت ضریب توان ۰/۹ پس فاز تغذیه میکند . توان خروجی و جریان ثانویه را بدست آورید .

حل :

$$\eta\% = \frac{VA_{out} \times PF}{VA_{out} \times PF + P_{Cu} + P_{core}} \times 100$$

مثال ۱۹ – ۷:

یک ترانسفورماتور با مشخصات اسمی زیر مفروض است :

ولت	۲۲۰/۶۰۰	= نسبت ولتاژها
هرتز	۶۰	= فرکانس
کیلو ولت آمپر	۱۰	= توان اسمی

بر روی این ترانسفورماتور آزمایش اتصال کوتاه و بی‌باری انجام شده و نتایج در جدول زیر آمده است .

Open-circuit test (high side open)	Short-circuit test (low side shorted)
V = 220 V	V = 35 V
I = 1 A	I = rated current
W = 120 W	W = 200 W

راندمان این ترانسفورماتور را در تحت شرایط‌زیر بدست آورید :

(الف) : بار اسمی و ضریب توان واحد

(ب) : نصف بار اسمی و ضریب توان واحد

(ج) : بار اسمی و ضریب توان ۰/۸ پس فاز

(د) : نصف بار اسمی و ضریب توان ۰/۸ پس فاز

11

۵ – ۳– ۷ ترانسفورماتورهای چند سیم پیچه : 7-3.5 Multiple-Winding Transformers

اغلب اوقات در یک وسیله الکتریکی به چند ولتاژ نیاز داریم . لذا به عوض آنکه ترانسفورماتورهای گوناگون و مجزا تعبیه کنیم از ترانسفورماتورهای چند سیم پیچه استفاده مینمائیم . در این ترانسفورماتورها یک ولتاژ تک فازرا میتوان به چند ولتاژ بیشتر یا کمتر تبدیل نمود .

برای تحلیل اینگونه ترانسفورماتورها باید کمیت‌ها را بطرف اولیه یا ثانویه منتقل نمود (یا بالعکس)،چون در ترانسفورماتورهای چند سیم پیچه با چند ثانویه سروکار داریم لذا همه کمیت‌ها را بطرف اولیه میبریم .

مثال ۲۰ ــ ۷:

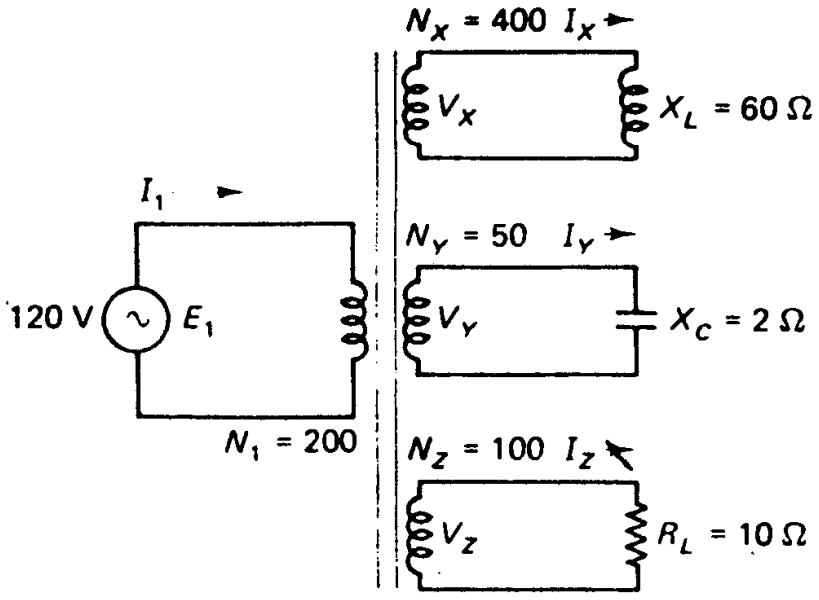
یک ترانسفورماتور ۴ سیم پیچه مطابق شکل (a ۲۴ ــ ۷) مفروض است سیم پیچ z در ثانویه به یک مقاومت خالص وصل شده است و سیم پیچ X به یک سلف خالص، و سیم پیچ Y در ثانویه به یک خازن متصل شده است. مطلوب است:

(الف): ولتاژ و جریان در هر سیم پیچ

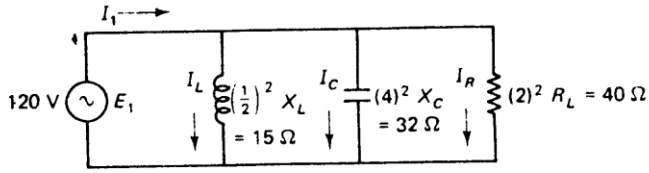
(ب): ضریب توان ترانسفورماتور

(ج): ولت آمپر تغذیه شده به هر سیم پیچ

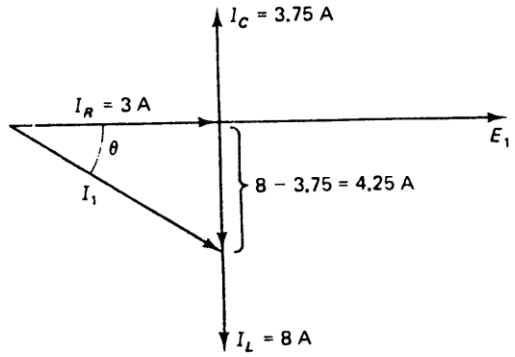
www.pedram-payvandy.com



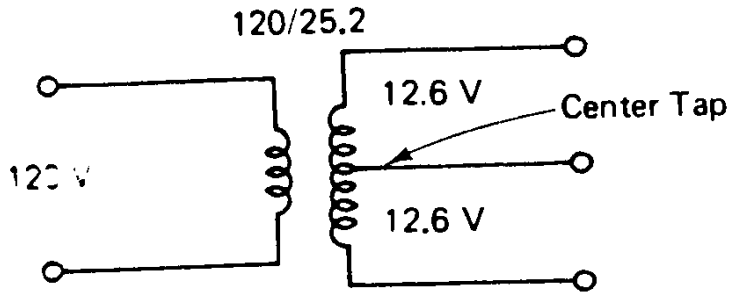
(a)



(b)



(c)



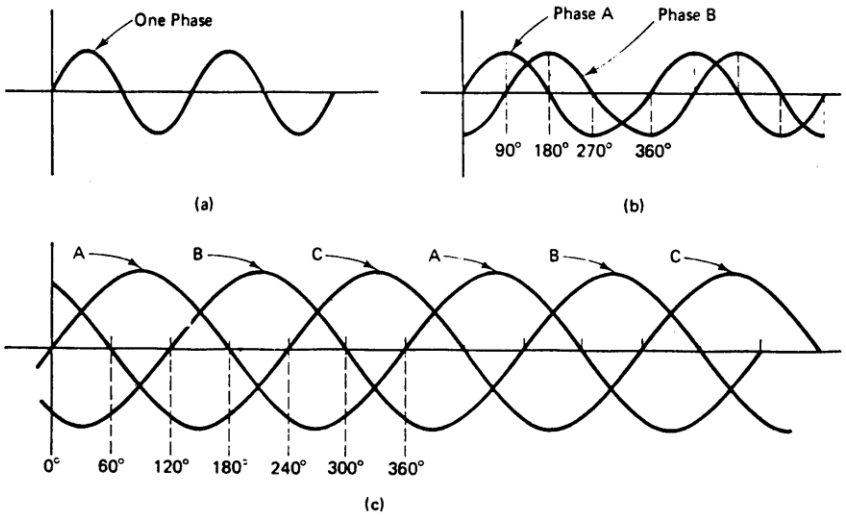
شکل ۲۵ ـ ۷ شمای یک ترانسفورماتور با انشعاب میانی

7-4 REVIEW OF THREE-PHASE AC THEORY

۴ – ۷ مروری بر تئوری مدارهای سه فاز AC:

تا بحال در این کتاب راجع به مدارهای تک فاز AC صحبت کرده‌ایم ، و معمولا "لوازم منزل با ولتاژ تک فاز کار میکنند و بخاطر همین موضوع برقهای منطقه‌ای اکثرا " برق تک فاز به منازل میدهند . اما مدارهای AC سه فاز (۱) دارای مزیتهای گوناگون میباشند . در مدارهای سه فاز مقدار ولتاژهای هر فاز مشابه یکدیگرند ولی این ولتاژها با یکدیگر اختلاف فاز دارند . لذا پیک (ماکزیمم) ولتاژها در مدارهای AC سه فاز با هم رخ نمیدهند . شکل (۲۹–۷) شمای سه ولتاژ مربوط به مدارهای AC سه‌فاز را نشان میدهد . البته در این شکل ولتاژهای مدارهای تک فاز و دو فاز نیز رسم شده‌اند . به سیستمهائی که بیش از یک ولتاژ در آنها وجود دارد اصطلاحا " سیستمهای چند فازه (۲) اتلاق میگردد ،

و متداول‌ترین سیستم چند فازه همان سیستم سه‌فاز است . طرز نام گذاری فازها را اصطلاحا " توالی فاز(۱) مینامند . توالی فاز برای سیستم سه فاز نشان داده شده در شکل (c ۲۹ – ۷) ABC یا BCA یا CAB میباشد . مزایای توان سه فاز عبارتست از:



۱ ــ ۴ ــ ۷ روابط مربوط به سیستمهای سه فاز : *7-4.1 Numerical Relationships*

معمولا" سیستمهای سه فاز یا سه سیمه(۳) بوده و یا چهار سیمه(۴) میباشند در سیستمهای سه‌فاز سه سیمه ولتاژ بین هر دو خط ولتاژ خط(۵) (V_L) نامیده میشود .

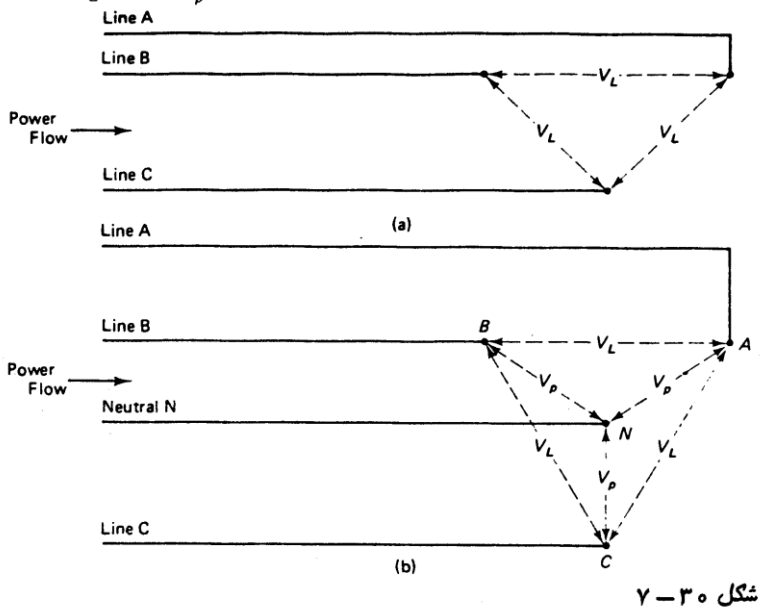
۱ ــ سه ولتاژ خط (V_{AB} ، V_{BC} و V_{CA}) با هم مساوی بوده ولی با یکدیگر اختلاف فاز دارند (مانند شکل c ۲۹ ــ ۷)

۲ ــ سه ولتاژ فاز (V_{AN} ، V_{BN} و V_{CN}) که همان V_p هستند با هم مساوی بوده ولی با یکدیگر اختلاف فاز دارند (مانند شکل c ۲۹ ــ ۷) .

۳ ــ اگر قانون کیرشف را در شکل (b ۳۰ ــ ۷) بکار بریم در اینصورت داریم :

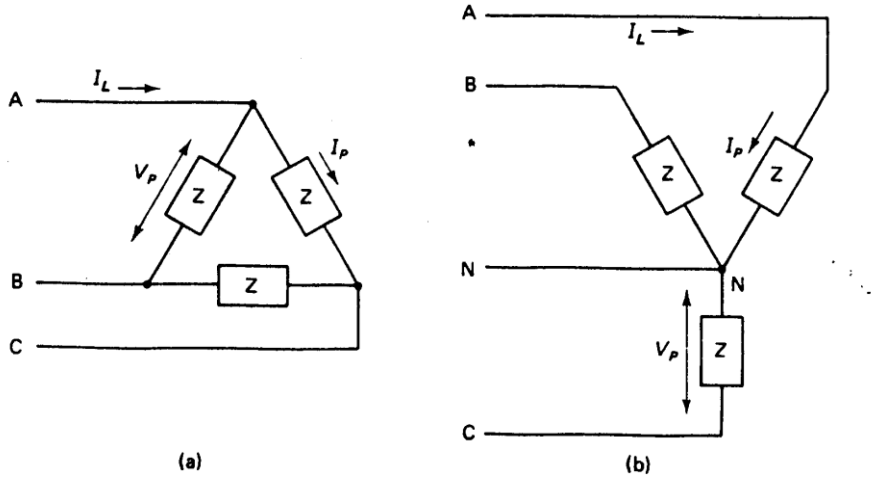
$$V_{AB} = V_{AN} + V_{NB}$$

$$V_L = \sqrt{3}\, V_p \qquad (7\text{-}43)$$



شکل ۳۰ ــ ۷

a : سیستم سه فاز سه سیمه (b) : سیستم سه فازچهار سیمه



شکل ۳۱ ــ ۷ بار سه فاز متعادل

(a) **اتصال مثلث یا** Δ (b) **اتصال ستاره یا** Y

در حالتی که بار بصورت مثلث (Δ) میباشد (شکل a ۳۱ ــ ۷) ولتاژ دو سر یک فاز از بار (V_p) معادل ولتاژ خط می‌باشد . جریان هر فاز در بار (I_p) از تقسیم V_p (یا V_L) بر Z حاصل میگردد . بطور کلی برای بار مثلث شکل (Δ) داریم :

$$\Delta \text{ load} \begin{cases} I_L = \sqrt{3}\, I_p & (7\text{-}44) \\ V_L = V_p & (7\text{-}45) \end{cases}$$

اگر بار بصورت ستاره (Y) باشد (شکل b ۳۱ ــ ۷) جریان خط با جریان هر فاز بار مشابه خواهد بود . اما ولتاژ دو سر هر فاز بار دیگر مساوی ولتاژ خط نخواهد بود . بطور کلی برای بار ستاره شکل داریم :

$$\text{Y load} \begin{cases} I_p = I_L & (7\text{-}46) \\ V_p = \dfrac{V_L}{\sqrt{3}} & (7\text{-}47) \end{cases}$$

روج

توان ظاهری در بار سه فاز اینچنین است .

$$P_a = 3V_pI_p \qquad (7\text{-}48)$$

لذا کل توان ظاهری بار سه فاز عبارتست از :

$$P_a = \sqrt{3}\,V_LI_L \qquad (7\text{-}49)$$

رابطه اخیر با جایگزینی روابط (۴۷–۷) و (۴۶–۷) در رابطه (۴۸ – ۷) حاصل میگردد .
باید گفت که رابطه (۴۹ – ۷) برای هر دو نوع بار ستاره شکل (Y) یا مثلث شکل (Δ) صادق است (چرا؟) .
در سیستم سه فاز توان حقیقی و راکتیو تحویلی به بار اینچنین بدست می‌آید .

$$P_r = \sqrt{3}\,V_LI_L \sin\theta \qquad (7\text{-}50)$$

$$P_w = \sqrt{3}\,V_LI_L \cos\theta \qquad (7\text{-}51)$$

باید گفت که روابط فوق برای هر دو بار ستاره شکل (Y) یا مثلث شکل (Δ) صادق‌اند (چرا؟) در روابط (۵۰ – ۷) و (۵۱ – ۷) ، $\cos\theta$ ضریب توان بوده و θ زاویه امپدانس $\vec{Z}$ در شکل (۳۱ – ۷) میباشد . از گفتار فوق نتیجه میگیریم که معمولا" در سیستمهای سه‌فاز توانها برحسب کمیتهای خطوط (ولتاژ خط و جریان خط) بیان میشوند .

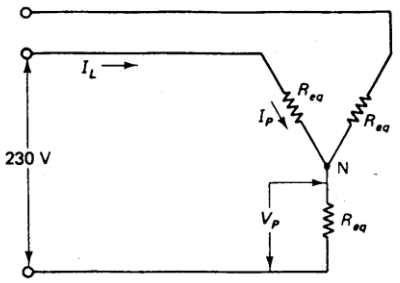
www.pedram-payvandy.com

مثال ۲۳ – ۷:

یک سیستم سه فاز ۲۳۰ ولتی مفروض است و توان ظاهری ۲ کیلو ولت آمپر را تحت ضریب توان واحد به یک‌بار متعادل سه فاز (ستاره شکل Y) تحویل میدهد . ولتاژها و جریانها را حساب کنید و مدار معادل بار را بدست آورید .

حل:

ابتدا مدار سیستم را رسم میکنیم و مجهولات مساله را بر روی آن مینویسیم . در شکل (۳۲ – ۷) بار بوسیله سه مقاومت (R_{eq}) نشان داده شده است ، زیرا ضریب توان در این مساله واحد فرض میگردد .



شکل ۳۲ – ۷ مدار مربوط به مثال ۲۳ – ۷

ولتاژ خط ۲۳۰ ولت بوده و ۲ کیلو ولت آمپر تحویل بار میشود . لذا از رابطه (۴۹ ـ ۷) داریم :

$$I_L = \frac{2000\ \text{VA}}{\sqrt{3} \times 230\ \text{V}} = 5.02\ \text{A}$$

برای بار ستاره شکل (Y) داریم :

$$I_p = I_L = 5.02\ \text{A}$$

$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{230\ \text{V}}{\sqrt{3}}$$
$$= 132.8\ \text{V}$$

از قانون اهم داریم :

$$R_{eq} = \frac{V_p}{I_p} = \frac{132.8\ \text{V}}{5.02\ \text{A}}$$
$$= 26.45\ \Omega$$

مثال ۲۴ ـ ۷:

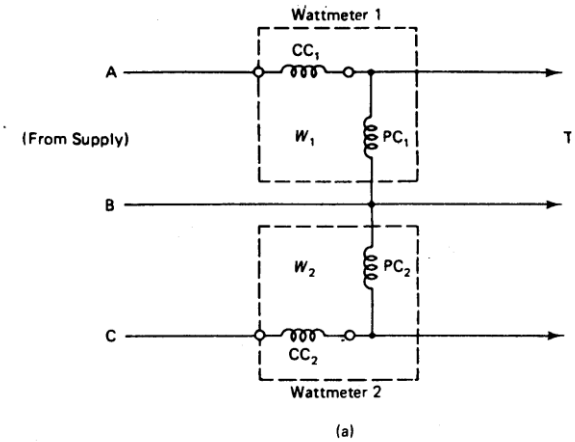
یک سیستم سه فاز ۴۴۰ ولتی و ۵۰ کیلو ولت آمپری بار اسمی را تحت ضریب توان ۰/۸ پس فاز تغذیه میکند . مطلوبست :

(الف) : جریان خط دربار کامل

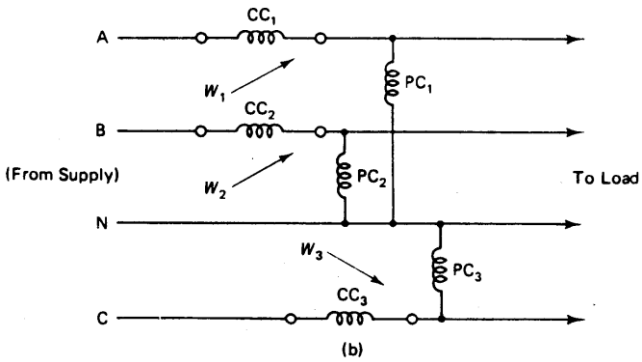
(ب) : توان حقیقی تحویلی به بار

(ج) : توان راکتیو تحویلی به بار

(د) : در تحت چه شرایطی حداکثر توان حقیقی انتقال میبابد .



(a)



(b)

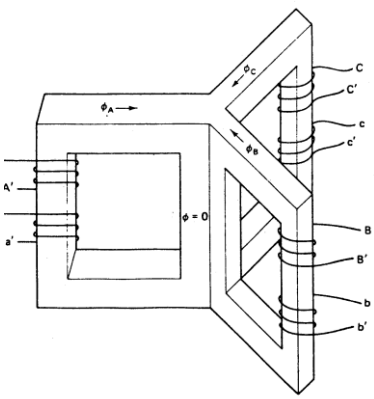
۵ ــ ۷ ترانسفورماتورهای سه فاز : ***THREE-PHASE TRANSFORMERS***

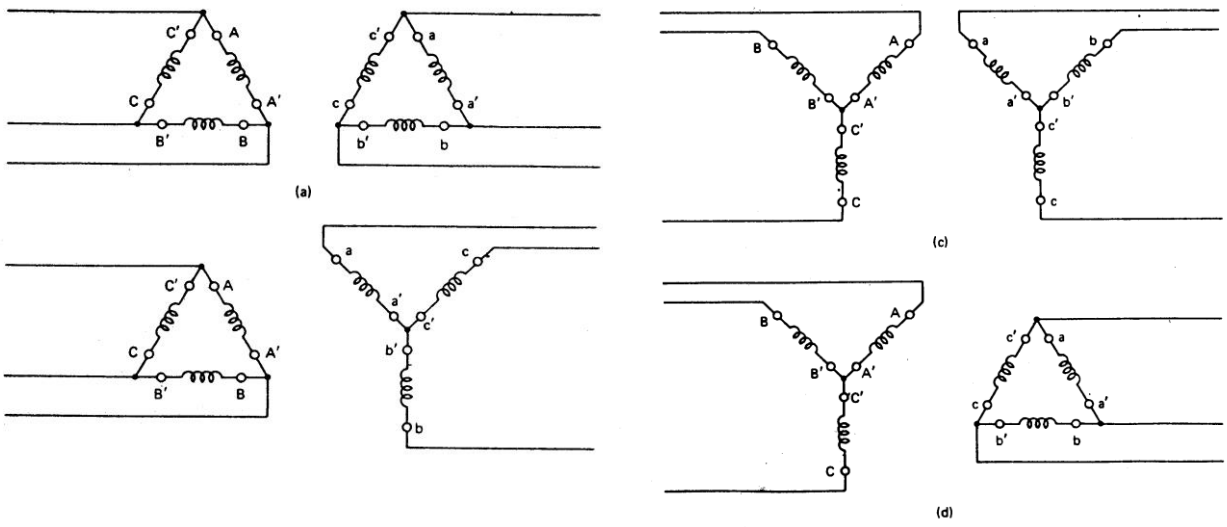
ترانسفورماتورهای سه فاز با ولتاژهای سه فاز کار میکنند . یکی از روشهای تولید ترانسفورماتورهای سه فاز استفاده از سه ترانسفورماتور مشابه تکفاز میباشد . در اینجا باید گفت :

۱ ــ اگر از سه ترانسفورماتورتکفاز استفاده شود ، در صورت خرابی یکی از ترانسفورماتورها میتوان از ۲ عدد دیگر استفاده کرد .

۲ ــ اما ترانسفورماتور سه فاز ارزانتر از ۳ عدد ترانسفورماتور تکفاز است .

۳ ــ در اینجا متذکر میشویم که اگر ترانسفورماتور سه فاز خراب شود باید کل آنرا عوض





مثال ۲۵ ــ ۷:

یک ترانسفورماتورسه فاز با مشخصات زیر مفروض است:

کیلو ولت آمپر ۲۵ = توان اسمی ظاهری سه‌فاز

ولت ۲۰۸ = ولتاژ اسمی ثانویه

ولت ۱۲۰۰ = ولتاژ اسمی اولیه

اگر این ترانسفورماتور بار متعادلی را تغذیه کند، مطلوبست محاسبات زیر:

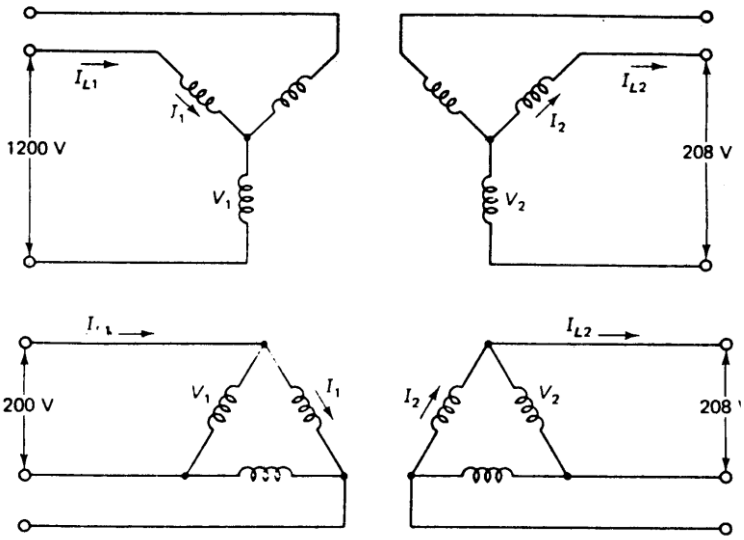
الف: کیلوولت آمپر اسمی و نسبت دور هر فاز

ب: جریان اولیه و ثانویه و ولتاژها

این مثال را در دو حالت زیر حساب کنید.

(۱ ــ الف): اتصال Y-Y

(۲ ــ ب): اتصال Δ-Δ



شکل ۳۷ ــ ۷ مربوط به فرض دوم مثال ۲۵ ــ ۷

مثال ۲۶ ــ ۷:

یک ترانسفورماتور سه فاز افزاینده به مشخصات زیر مفروض است .

ولت ۱۲۰۰/۱۳۲۰۰ = نسبت ولتاژها

کیلو ولت آمپر ۱۰۰ = توان اسمی ظاهری

مطلوبست محاسبات زیر

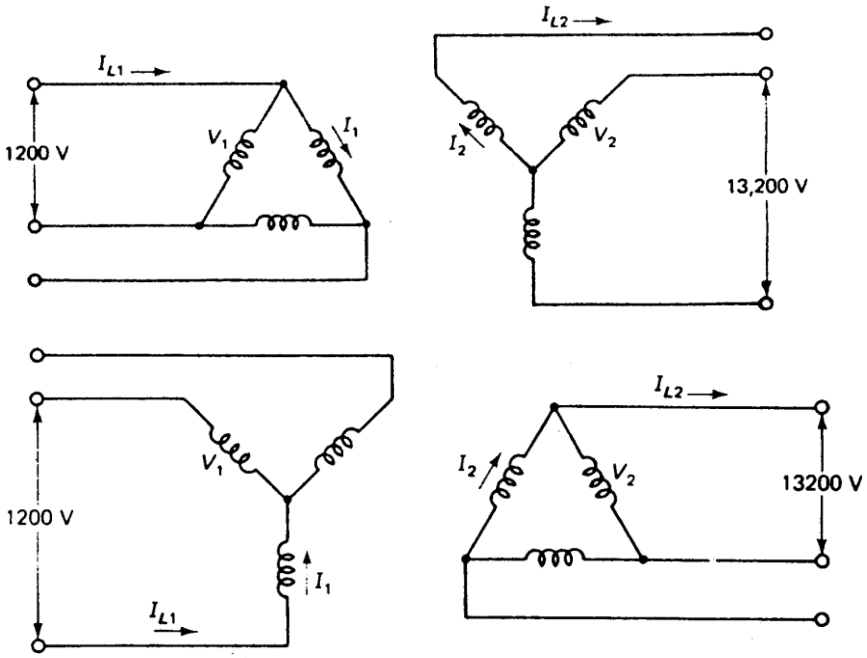
الف : جریانها وولتاژهای اولیه و ثانویه

ب : اگر ترانسفورماتور بار اسمی را تغذیه کند نسبت دورها را بدست آورید .

این مساله را در دو حالت زیز حل کنید .

(۱ ــ الف) : اتصال Δ-Y

(۲ ــ ب) : اتصال Y-Δ


I_{L1}
1200 V
V_1
I_1
I_{L2}
I_2
V_2
13,200 V
V_1
1200 V
I_1
I_{L1}
I_{L2}
I_2
V_2
13200 V

33