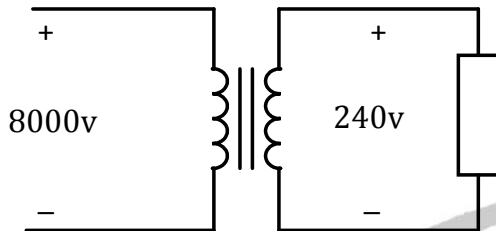


نمودار فازوری ترانسفورماتور:

عموماً صورت مسئله به صورت ارائه مشخصات بار می باشد .

مثال : ترانسفورماتور فوق در بار نامی با ضریب توان 0.8 lag



20kVA

PF=0.8 lag

بار نامی : توان ظاهری نامی ، جریان نامی

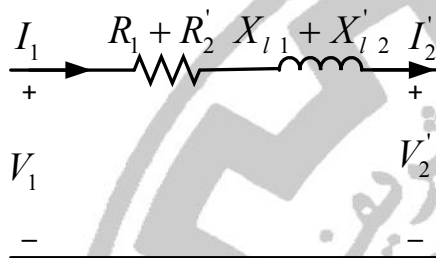
Lag : پس فاز \Leftarrow موجود سلفی است!

عموماً از جریان شاخه موازی صرف نظر می شود

(به دلیل بزرگ بودن امپدانس های موازی)

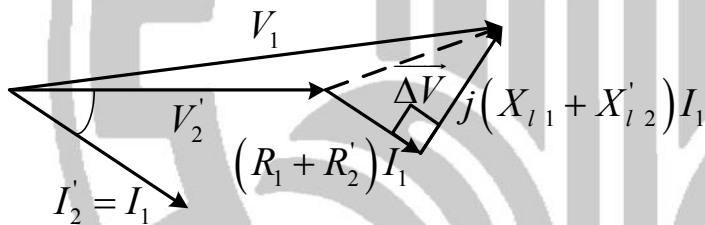
مدل ساده شده تقریبی ترانسفورماتور :

رگولاسیون ولتاژ (تثبیت ولتاژ)

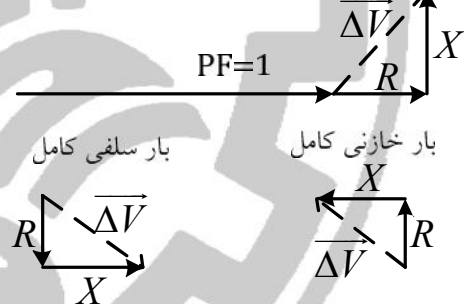


$$KVL: -V_1 + (R_1 + R_2')I_1 + j(X_{l1} + X_{l2}')I_1 + V_2' = 0$$

نکته مهم : پس فاز یعنی جریان پس از ولتاژ می آید (در جهت مثلثاتی). همیشه مبنای فاز ولتاژ است



حالت های حدی



مثال :

$$S_n = 10 \text{ kVA}, 2200 \text{ V} / 220 \text{ V}, 60 \text{ Hz}$$

$$OC(LV): 220 \text{ V}, 2.5 \text{ A}, 100 \text{ W}$$

$$SC(HV): 150 \text{ V}, 4.55 \text{ A}, 215 \text{ W}$$

$$I_{nHV} = \frac{S}{V_{nHV}} = 4.55 \text{ A}$$

OC:

$$R_{C(L)} = \frac{V_{OC}^2}{P_{OC}} = \frac{220^2}{100} = 484\Omega$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{(220 \times 2.5)^2 - 100^2} \Rightarrow X_{m(L)} = \frac{V_{OC}^2}{Q_{OC}} = 89\Omega$$

$$R_{C(H)} = R_{C(L)} \times \left(\frac{2200}{220}\right)^2 = 48400\Omega$$

$$X_{m(L)} = 89 \times (10)^2 = 8900\Omega$$

SC:

$$(R_1 + R_2') I_{SC}^2 = P_{SC} \Rightarrow (R_1 + R_2')_H = \frac{215}{4.55^2} = 10.4\Omega$$

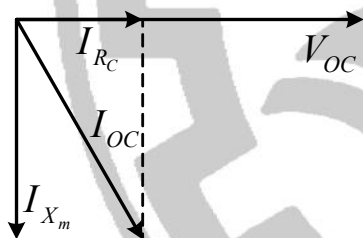
$$Q = \sqrt{(150 \times 4.55)^2 - 215^2}$$

$$(X_{l1} + X_{l2}') I_{SC}^2 = Q \Rightarrow X_{l1} + X_{l2}' = 31.4\Omega$$

$$X_{eq} = (X_{l1} + X_{l2}')_L = \frac{31.4}{10^2}$$

$$(R_1 + R_2')_L = \frac{10.4}{10^2}$$

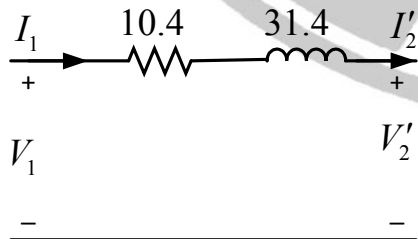
نمودار فازوری OC:



رگولاسیون ولتاژ ترانسفورماتور فوق را در بار 0.6 نامی و ضریب توان 0.75 پس فاز بدست آورید.

مدار معادل را منعکس شده به یکی از دو سمت در نظر می گیریم (مثلا سمت HV). از شاخه موازی صرف

نظر می کنیم.

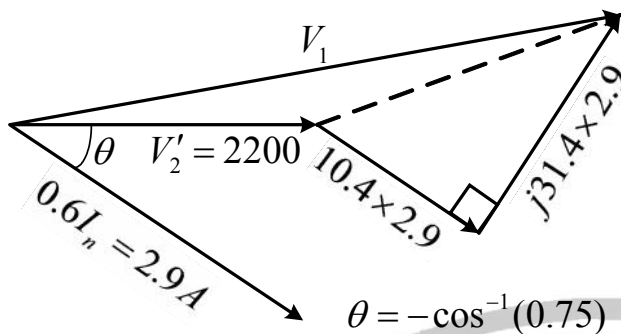


فرض می کنیم بار دارای ولتاژ نامی باشد.

$$V'_2 = 2200v \Rightarrow I'_2 = \frac{0.6 \times 10kVA}{2200} \approx 2.9A$$

$$|\Delta V| = (\sqrt{10.4^2 + 31.4^2})(2.9)$$

نمودار فازوری :



$$\Rightarrow V_1 = 2306 \angle 0.9^\circ$$

$$V.R. = \frac{2306 - 2200}{2200} \times 100 = 4.8\%$$

رگولاسیون ولتاژ :

همین مثال را با بار پیش فاز دوباره بررسی کنید!

محاسبات بر واحد (Per Unit) :

در این حالت مقادیر پایه ای برای V و S در نظر گرفته می شود که معمولاً مقادیر نامی می باشد.

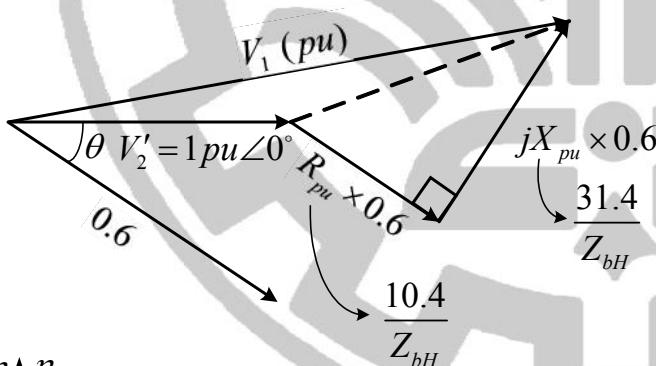
$$S_b = S_n, V_b = V_n \quad (V_{bH} = V_{nH}, V_{bL} = V_{nL})$$

تمام مقادیر پایه جریان و امپدانس و ... از روی همین دو مقدار پایه (V و S) بدست می آیند.

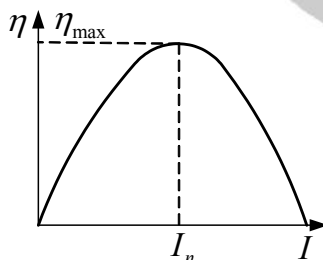
$$I_b = \frac{S_b}{V_b} \quad Z_b = \frac{V_b^2}{S_b}$$

اکنون تمام پارامترها و متغیرها را به مقادیر پایه خود تقسیم می کنیم.

مثال: محاسبه مجدد رگولاسیون ولتاژ مثال قبل به صورت P.U.



$$Z_{bH} = \frac{V_{bH}^2}{S_b} = \frac{2200^2}{10k} \Rightarrow V_{1 \text{ pu}} = 1.048 \angle \dots$$



بازده ترانسفورماتور :

$$P_{out} = VI \cos \theta$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + R_{eq} I^2 + P_{core}}$$

ترانسفورماتور های سه فاز :

فقط اتصال ترانسفورماتور سه فاز متعادل و متقارن مورد بررسی قرار می گیرد .

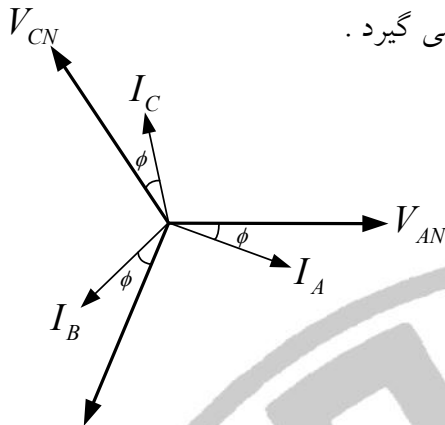
منظور از متعادل : جریان هر سه فاز سینوسی دارای دامنه

برابر و با اختلاف فاز 120 درجه نسبت به فاز دیگر

$$|I_A| = |I_B| = |I_C| = I$$

منظور از متقارن : ولتاژ ها سینوسی و با دامنه برابر و با

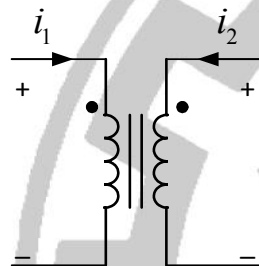
اختلاف فاز 120 درجه $|V_{AN}| = |V_{BN}| = |V_{CN}| = V_P$



قانون نقطه : برای دو سلف تزویج شده با در نظر گرفتن جهت های قراردادی اگر جریان به نقطه در هر دو

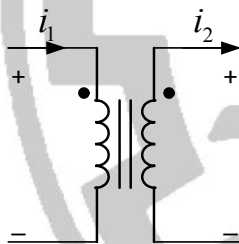
وارد یا خارج شود شار دو سیم پیچ موافق یکدیگر می باشد .

$$\phi_1 = L_{11}i_1 + L_{12}i_2$$

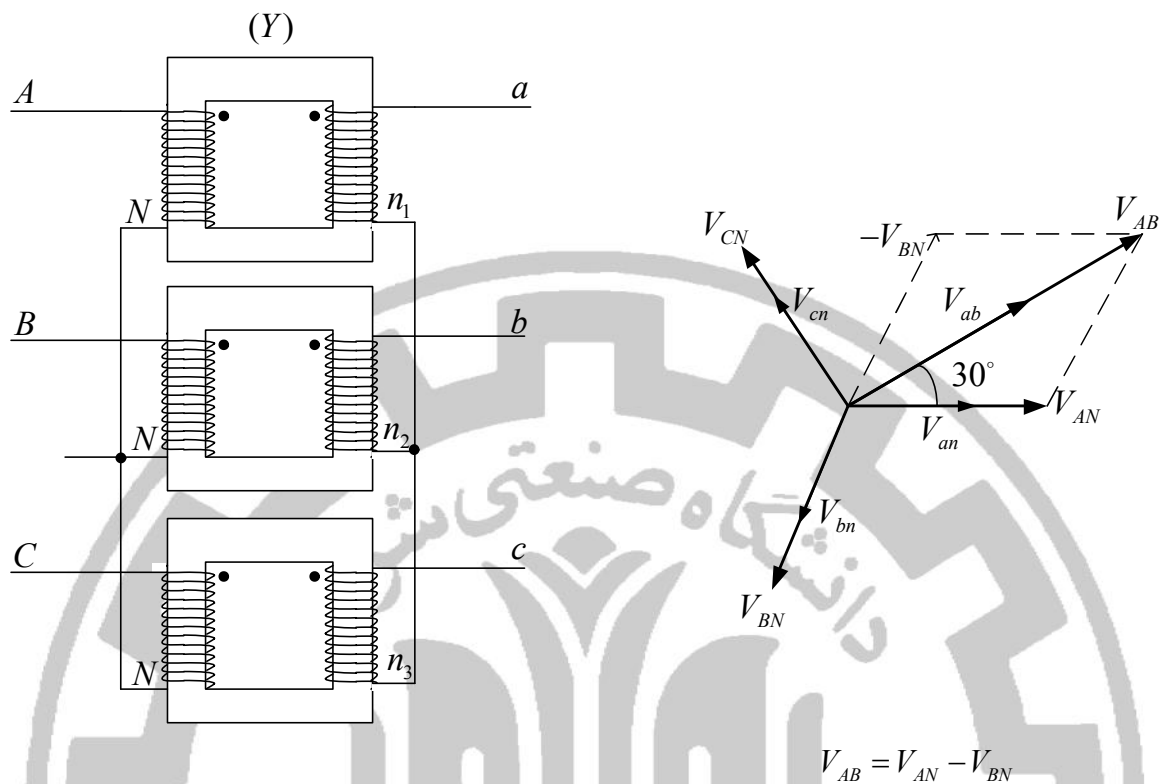


در نتیجه در یک ترانسفورماتور تکفاز اگر در یک سیم پیچ جریان به نقطه وارد شود ، در سیم پیچ دیگر باید

خارج شود .

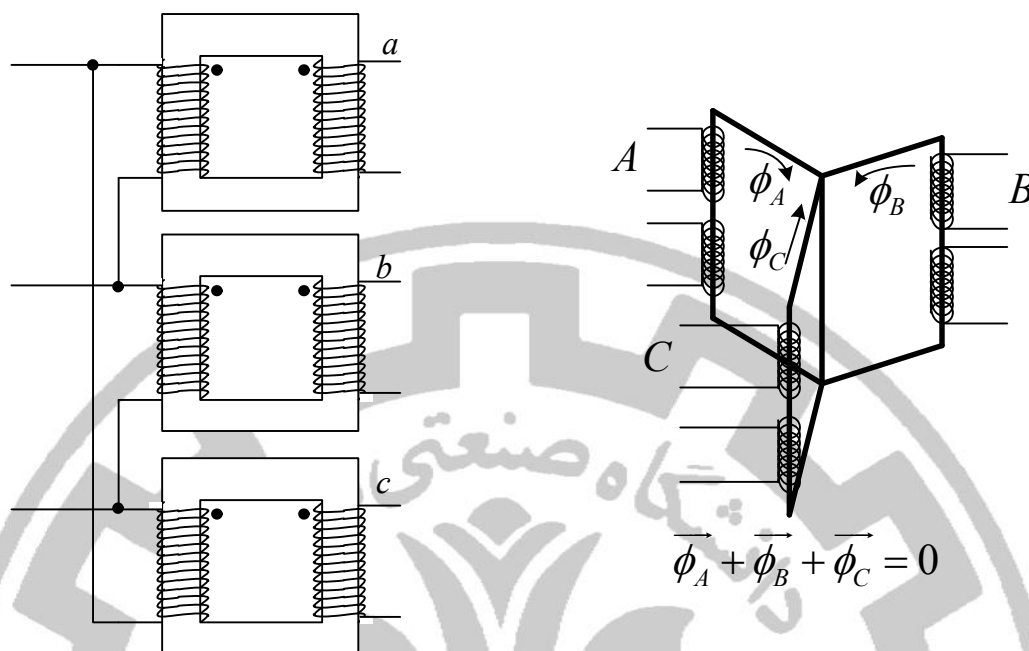


ساده ترین شکل اتصال سه فاز : (Y)

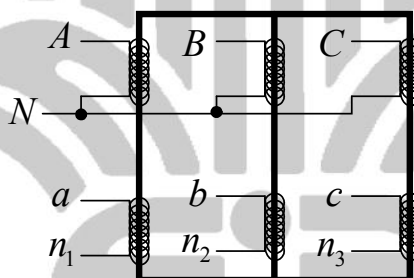


ولتاژ یک فاز عبارت است از ولتاژ یک خط نسبت به N

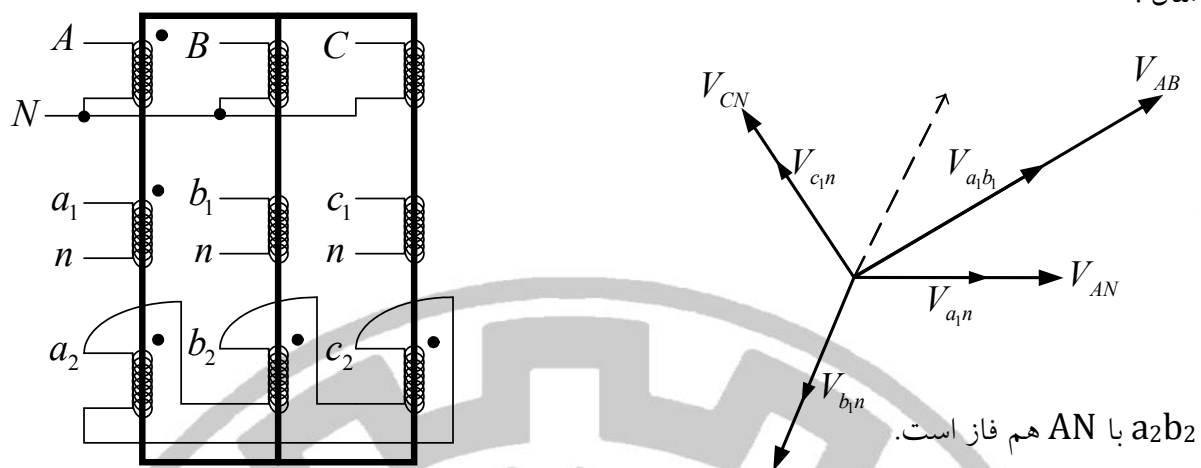
اتصال مثلث (Δ):



روی هر بازو سیم پیچی که به منبع ولتاژ مستقل وصل است را یافته و تمام سیم پیچ های دیگر آن بازو با ولتاژ این سیم پیچ هم فاز می شوند.



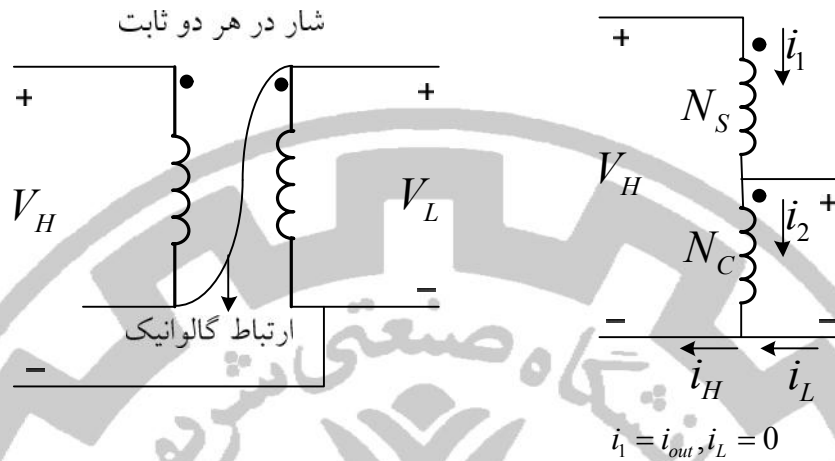
مثال :



تمام بحث های مدار معادل ، رگولاسیون ولتاژ و... برای ترانسفورماتور سه فاز در حالت متقارن و متعادل کاملاً مشابه با ترانسفورماتور تکفاز است . برای حل فقط یکی از فاز ها حل می شود و بقیه با دامنه برابر و تنها نسبت به پارامتر های تکفاز معادل $\pm 120^\circ$ اختلاف فاز خواهند داشت .

اتو ترانسفورماتور تکفاز :

در این مدل از تبدیل انرژی الکتریکی به ایزولاسیون ولتاژ مدنظر نمی باشد و اتصال آن به صورت زیر است :



$$\frac{V_H}{V_L} = \frac{N_S + N_C}{N_C}$$

رابطه جریانهها :

$$KCL : I_2 + I_L = I_H \Rightarrow I_2 = I_H - I_L$$

$$N_S I_1 + N_C I_2 = 0 \Rightarrow N_S I_H + N_C (I_H - I_L) = 0 \Rightarrow \frac{I_H}{I_L} = \frac{N_C}{N_S + N_C}$$

چون جریان در هر دو

شار ناشی از آمپر دور ها

سیم پیچ به نقطه وارد

باید صفر باشد ، زیرا شار

$$V_H I_H = V_L I_L \text{ می شود}$$

ثابت است

رابطه جریانهها از قانون آمپر بدست آمد، نه از قانون بقای انرژی

نامگذاری Sw (توان ظاهری نامی سیم پیچ):

$$S_w = V_S I_H = V_L I_2, V_H = \left(\frac{N_S + N_C}{N_S} \right) V_S \Rightarrow S_w = \left(\frac{N_S}{N_S + N_C} \right) (V_H I_H) \Rightarrow S_I = S_w \left(\frac{N_S + N_C}{N_S} \right)$$

توان ظاهری تحویلی به بار

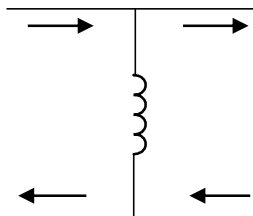
توان ظاهری که سیم پیچ

می تواند تحمل کند

$$\Rightarrow S_I > S_w \text{ در ترانسفورماتور تکفاز این طور نبود!}$$

$$S_w = 0 \Leftrightarrow S_I = \infty \quad (!) \Leftrightarrow N_S = 0 \text{ فرض}$$

که امکان پذیر نیست، مثل اینست که سلف را بزنیم به پریز برق! اتفاقی نمی افتد!



قابلیت رابطه $S_I = S_w \left(\frac{N_s + N_c}{N_s} \right)$ در N_s های کوچک است .

مثال : تبدیل ولتاژ 132kv به 110kv و $S=5000kVA$

چون نسبت تبدیل کم است در نتیجه قابلیت اتوترانسفورماتور را داریم :

$$\frac{132}{110} = \frac{N_s + N_c}{N_s} \Rightarrow \frac{N_s}{N_c} = \frac{1}{5}$$

$$S_I = S_w \left(\frac{N_s + N_c}{N_s} \right) \Rightarrow S_w = 5000 \times \frac{1}{1+5} = 833kVA$$

مثال : در یک ترانسفورماتور سه فاز که از سه ترانسفورماتور تکفاز با مقادیر

$$R_{eq} = 0.01 pu$$

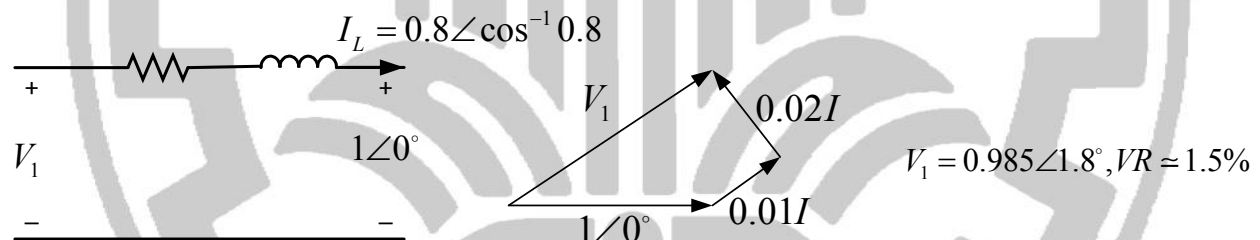
$$X_{eq} = 0.02 pu$$

$$20kv / 220v$$

با اتصال ستاره در ورودی

تشکیل شده است ، یک بار 0.8 مقدار نامی سه فاز تحت ولتاژ نامی در ضریب توان 0.8 پس فاز تحویل می دهد . رگولاسیون ولتاژ فلز را پیدا کنید .

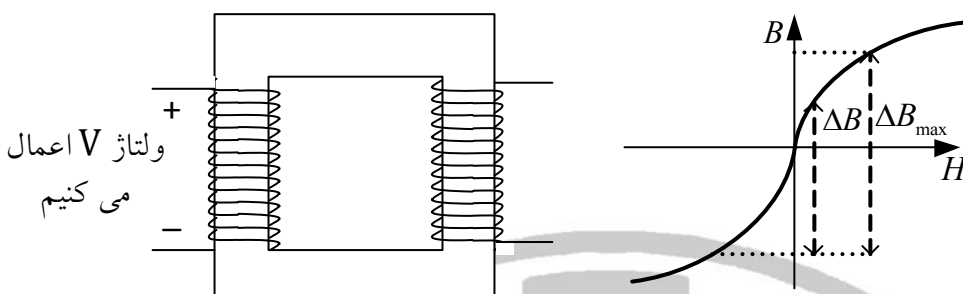
از آنجا که مسئله متعادل و متقارن است ، کافیت آن را فقط برای یکی از فازها حل کنیم (به مثلث یا ستاره بستن بستگی ندارد ، چون تنها با ضریب $\sqrt{3}$ می توان این دو را به هم تبدیل کرد)



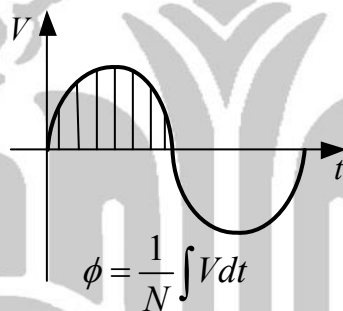
$$V_{LL} = \sqrt{3} \times 20kv \times 0.985$$

سوال : ولتاژ سه فاز ورودی چند است ؟

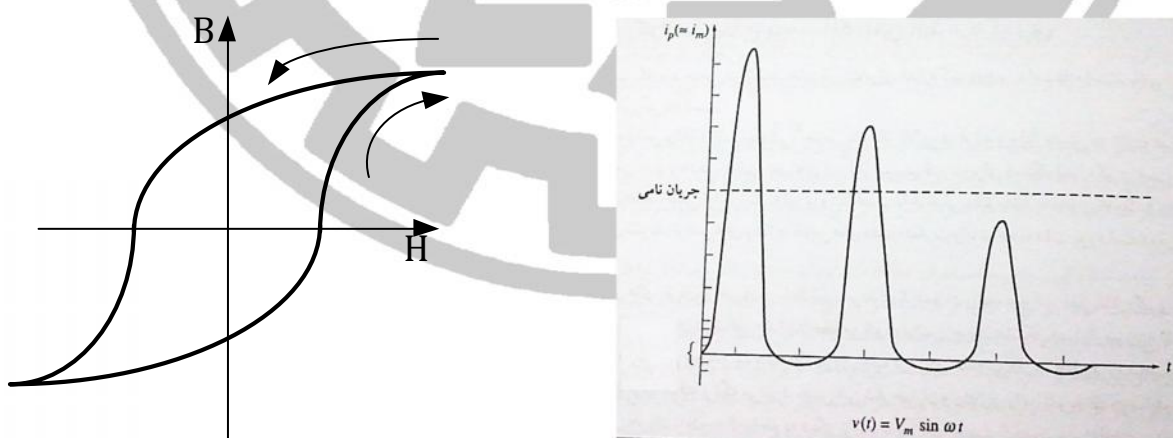
حالت گذرای startup در ترانسفورماتور:



با افزایش B و گذشتن از اشباع \Leftarrow جریان $\uparrow \Leftarrow$ افت ولتاژ روی R و $X_l \uparrow \Leftarrow$ حالت گذرا خوب نیست!
 (1) از آنجا که طراحی ترانسفورماتور برای B_M الی $-B_M$ انجام می شود بنابراین اگر در نقطه $B=H=0$ باشیم و کلیدزنی در ولتاژ صفر انجام شود، ترانسفورماتور حتماً به اشباع می رود.



(2) نوع (پلاریته) و میزان به اشباع رفتن ترانسفورماتور به لحظه ای که کلیدزنی انجام می شود ربط دارد و تحت کنترل نیست.
 روش رفع این پدیده: در عمل منحنی $B-H$ دارای هیستریزیس است.



اشکال های حالت گذرا:

افت ولتاژ غیر سینوسی (شکل فوق) و...