بنام خدا

مبحث اول

ماشینهای الکتریکی III

ماشینهای الکتریکی III

کلیات ماشین سنکرون

معرفی ژنراتور و موتور سنکرون

بیان ویژگیها

دلیل استفاده

رنج قدرت
- حداکثر قدرت در ایران 1 Mwatt – 400 Mwatt
- حداکثر قدرت در دنیا 1200 Mwatt

جنس هسته

$$M_5 \rightarrow 1.2W/Kg \quad \text{(تلفات)} \quad \begin{cases} f = 50HZ \\ B = 1.0T \end{cases}$$

روشهای خنک سازی

معرفی ژنراتور و موتور سنکرون

قسمتهای تشکیل دهنده

ماشین سنکرون از دو قسمت تشکیل شده است

- روتور
  - هسته
  - سیم‌پیچی تغذیه شده توسط جریان dc
- استاتور
  - هستهٔ مغناطیسی (فولاد مغناطیسی)
  - سیم‌پیچی (اکثراً سه فاز)

ماشینهای سنکرون با توجه به شکل روتورشان به دو گروه تقسیم می شوند ماشینهای قطب صاف و ماشینهای قطب برجسته

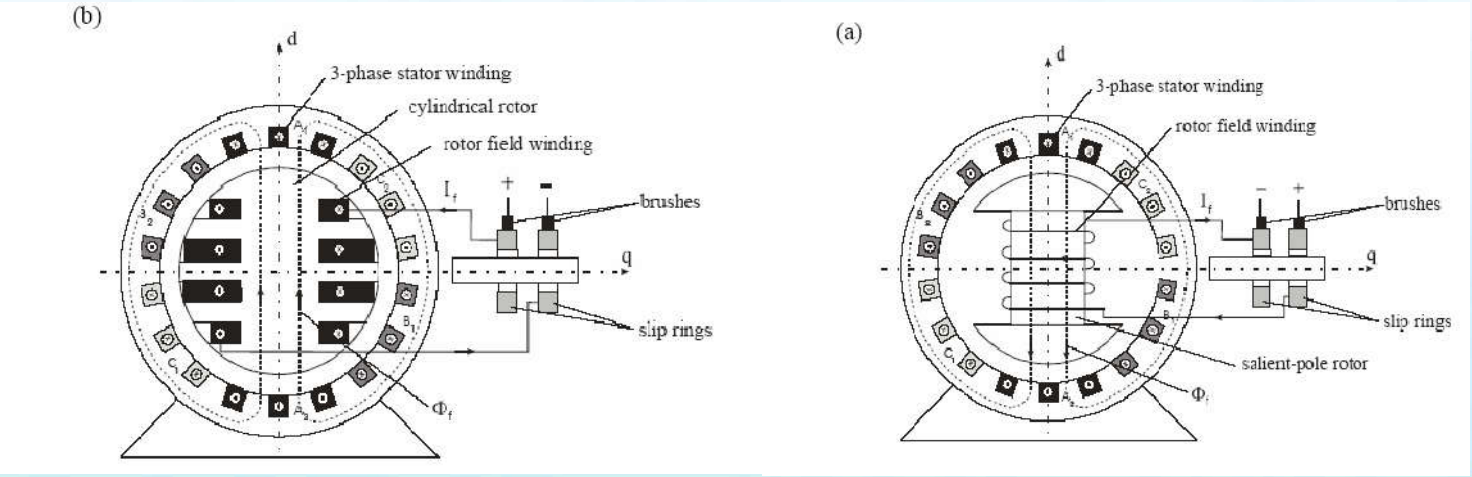


Figure 16.2a
Stator of a 3-phase, 500 MVA, 0.95 power factor, 15 kV, 60 Hz, 200 r/min generator. Internal diameter: 9250 mm; effective axial length of iron stacking: 2350 mm; 378 slots.
(*Courtesy of Marine Industrie*)

Synchronous Generator: Rotor

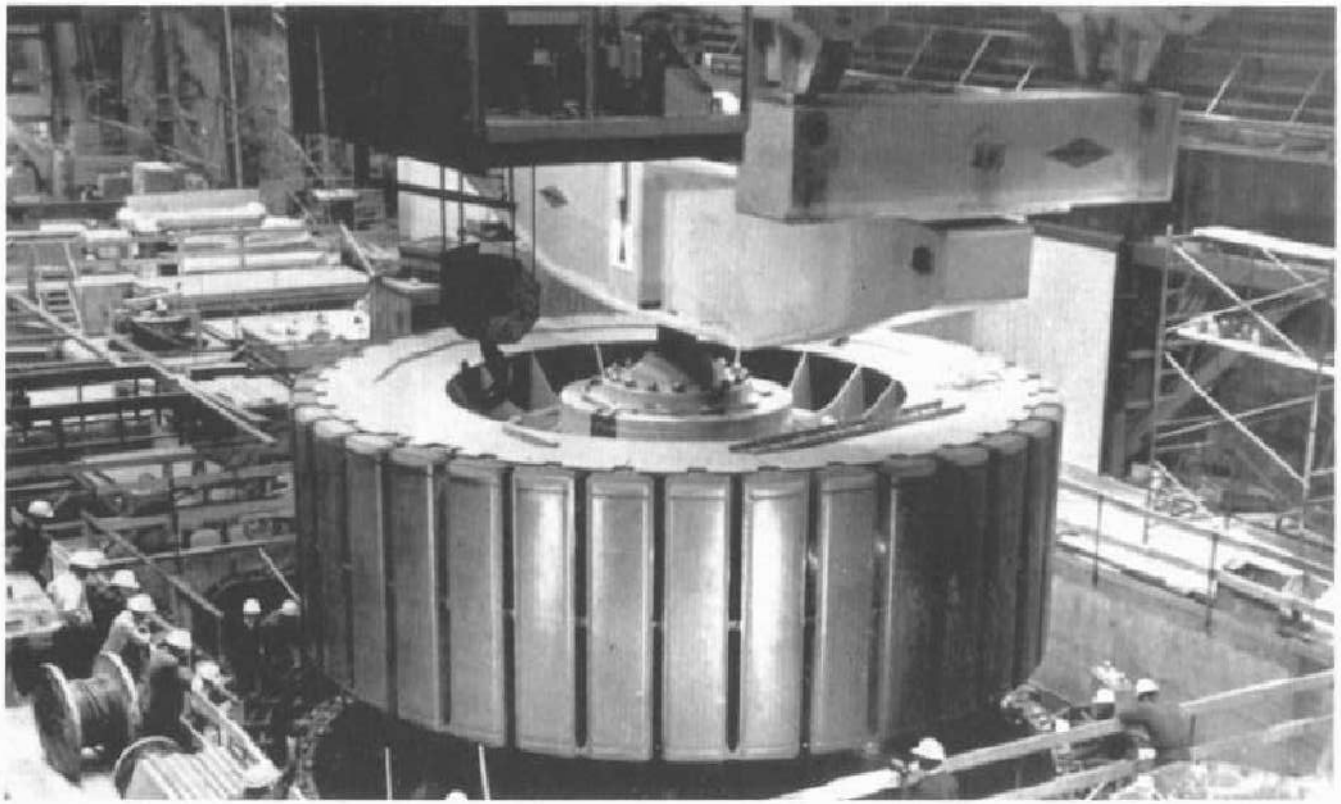


Figure 16.4
This 36-pole rotor is being lowered into the stator shown in Fig. 16.2. The 2400 A dc exciting current is supplied by a 330 V, electronic rectifier. Other details are: mass: 600 t; moment of inertia: 4140 t·m^2; air gap: 33 mm.
(*Courtesy of Marine Industrie*)

Synchronous Generator: Rotor

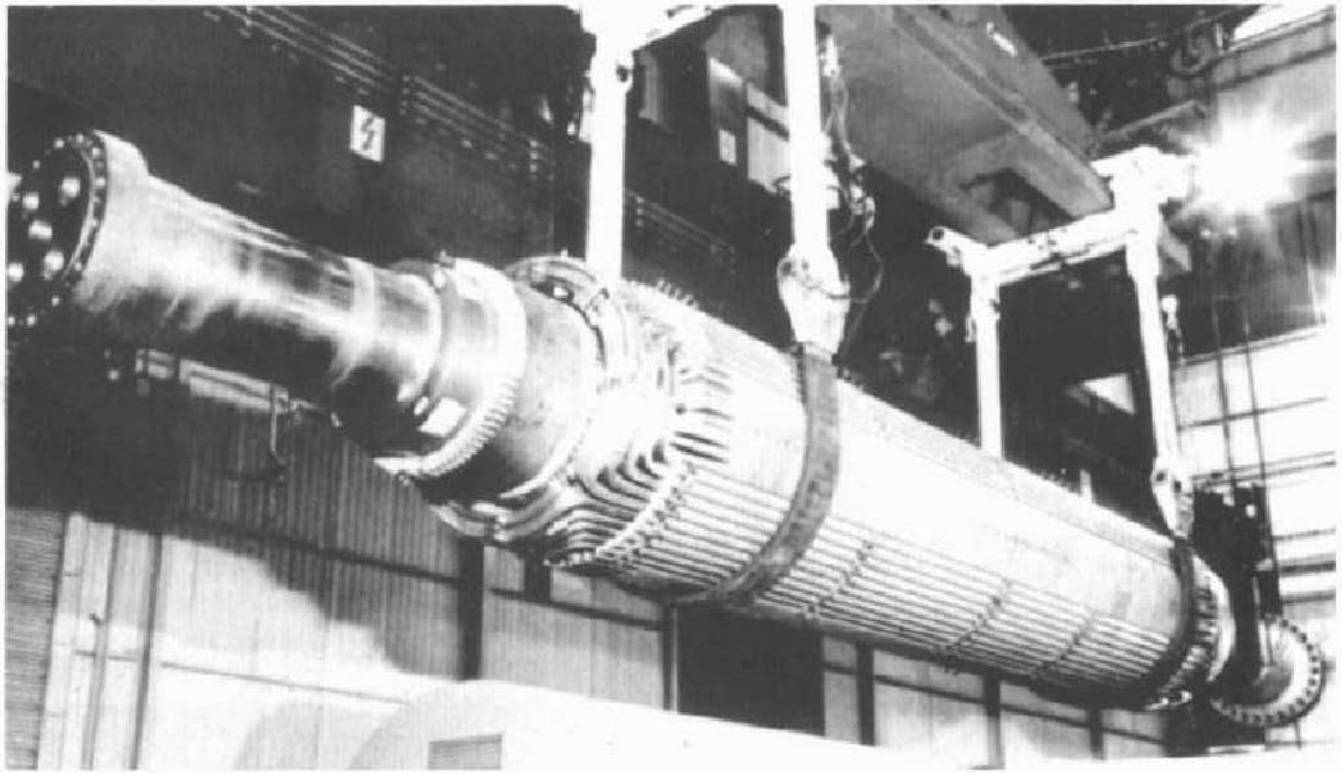
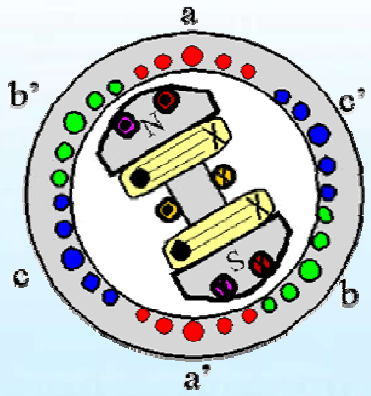


Figure 16.7b
Rotor with its 4-pole dc winding. Total mass: 204 t; moment of inertia: 85 t·m^2; air gap: 120 mm. The dc exciting current of 11.2 kA is supplied by a 600 V dc brushless exciter bolted to the end of the main shaft.
(Courtesy of Allis-Chalmers Power Systems Inc., West Allis, Wisconsin)

اصول کار ژنراتور و موتور سنکرون

اصول کار ژنراتور سنکرون



ماشين هاي سنكرون سه فاز

ژنراتور هاي سنكرون سه فاز

موتور هاي سنكرون سه فاز

ژنراتور هاي سنكرون :

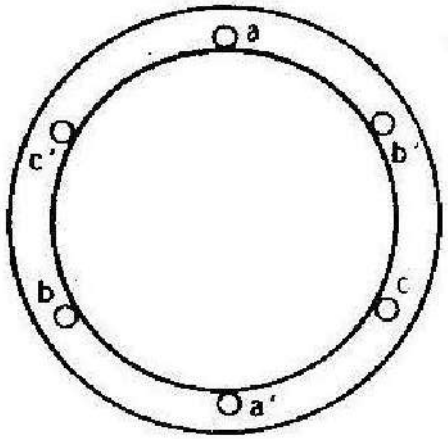
امروزه ژنراتورهاي سنكرون سه فاز به عنوان ستون فقرات شبكه هاي برق در جهان مي باشند

موتور هاي سنكرون :

معمولا براي سرعت هاي ثابت (بااستفاده از كنترل دوربراي سرعت هاي متفاوت)

ساختمان اين ماشينها متشكل از دو بخش است:

استاتور كه شامل هسته و سيم بندي هاي سه فازكه درون شيارهاي استاتور جا سازي مي شود(همانند ماشين القايي)



استاتور

ماشینهای سنکرون سه فاز

رتوركه متشكل از هسته و سيم بندي است. اين سيم پيچي از طريق حلقه هاي لغزان به يک منبع dc متصل است.

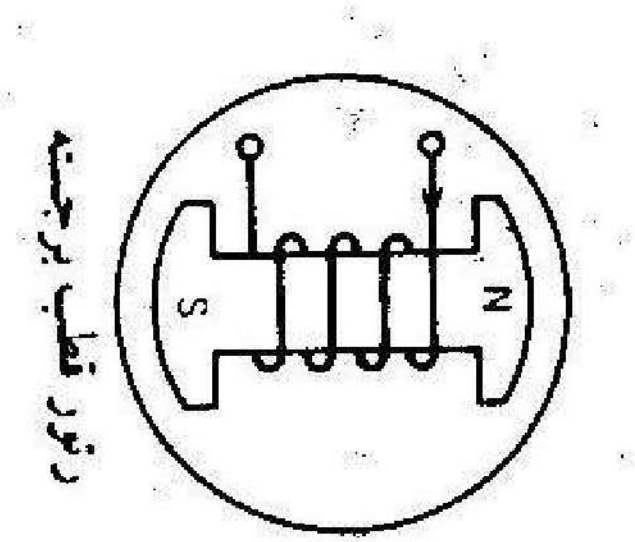
پس ماشين سنكرون براي كار كردن، همواره به يک منبع تغذيه dc نياز دارد.

روتور ماشين سنكرون دو نوع است :

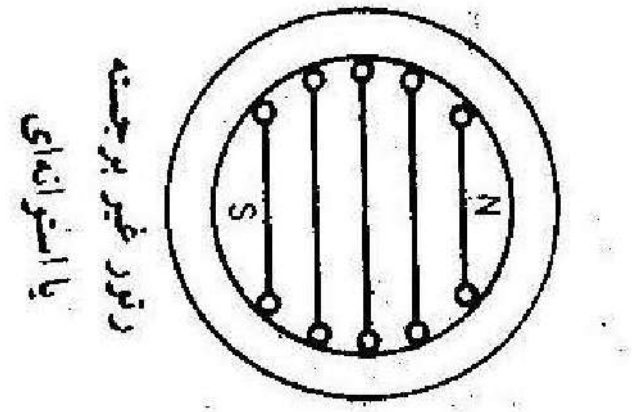
۱- سيلندري يا استوانه اي كه روتور همانند استوانه اي است كه سيم پيچي روي آن قراز گرفته و فاصله هوايي يكنواخت دارد. معمولا در كاربردهاي سرعت بالا بكار ميرود.

۲- قطب برجسته كه فاصله هوايي غير يكنواخت دارد و معمولا در كاربردهاي سرعت پايين بكار ميرود.

Q axis
D Axis

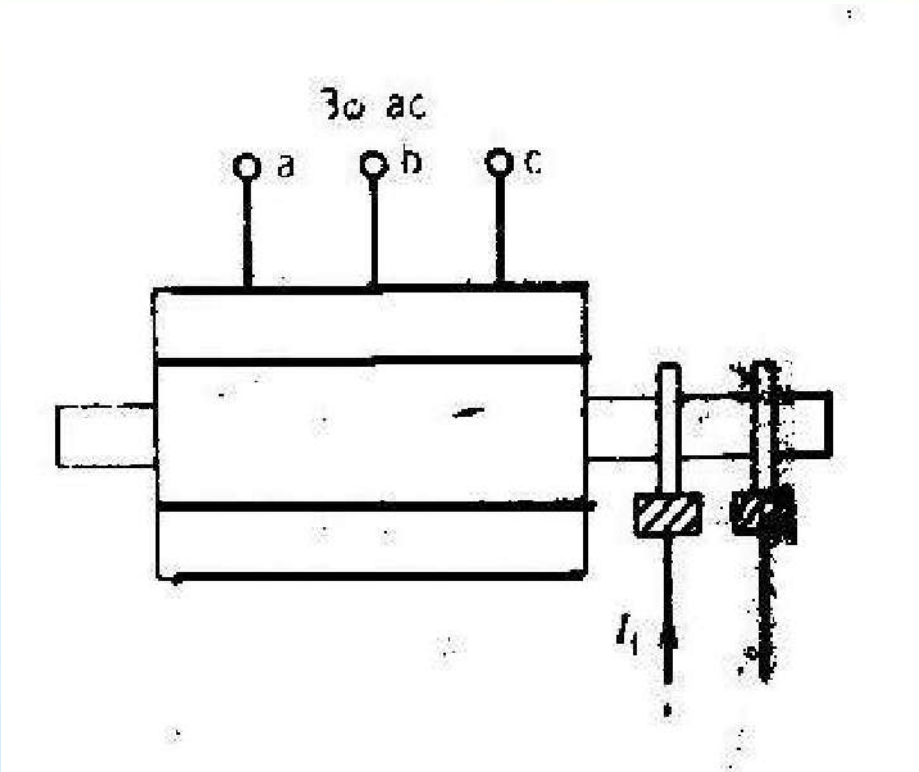


روتور قطب برجسته



روتور غیر برجسته
با استوانه‌ای

از استاتور سه پايانه خارج مي شود و تغذيه جريان DC از طريق حلقه هاي لغزان موجود بروي محور رتور ماشين انجام مي گيرد



بنام خدا

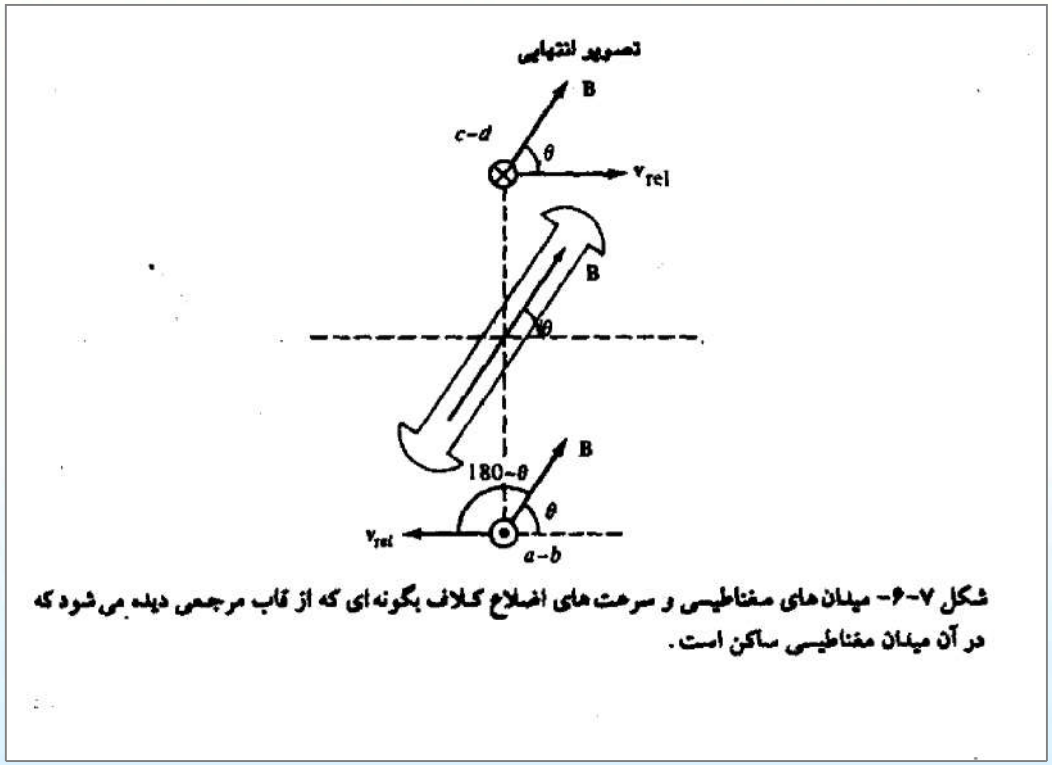
مبحث دوم

ماشینهای الکتریکی III

ماشینهای الکتریکی III

بررسی تئوریک پدیدهٔ القای ولتاژ

بررسی تئوریک پدیدهٔ القای ولتاژ در یک هادی (تمام مباحث مربوط به ماشین قطب صاف است)



شکل ۷-۶- میدان‌های مغناطیسی و سرعت‌های اضلاع کلاف بگونه‌ای که از قاب مرجعی دیده می‌شود که در آن میدان مغناطیسی ساکن است.

فرض می کنیم
۱- توزیع میدان به شکل سینوسی
۲- خطوط شار به صورت شعاعی از روتور به استاتور وارد می شود.

بررسی تئوریک پدیدهٔ القای ولتاژ در یک هادی (ادامه)

$$e_{ind} = (\vec{v} \times \vec{B}).l \begin{cases} e_{aa'} = vBl\sin\theta \\ e_{bb'} = vBl\sin(\pi - \theta) = vBl\sin\theta \end{cases}$$

$$\left.\begin{array}{l} e_{ind} = e_{aa'} + e_{bb'} = 2vBl\sin\theta \\ v = r\omega \\ \theta = \omega t \end{array}\right\} \Rightarrow e_{ind} = 2r\omega Bl\sin\theta \xrightarrow[A \times B = \varphi]{2rl = A} e_{ind} = \varphi\omega\sin\omega t$$

بررسی تئوریک پدیدهٔ القای ولتاژ در یک هادی (ادامه)

در سیستم سه فازه و برای کلافهای N دوره خواهیم داشت

$$Ea = N\phi\omega\sin\theta$$

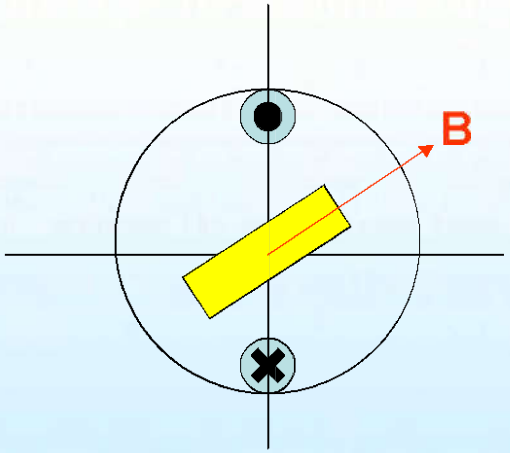
$$Eb = N\phi\omega\sin(\theta - 2\frac{\pi}{3})$$

$$Ec = N\phi\omega\sin(\theta + 2\frac{\pi}{3})$$

بررسی تئوریک پدیدهٔ القای ولتاژ در یک هادی (ادامه)

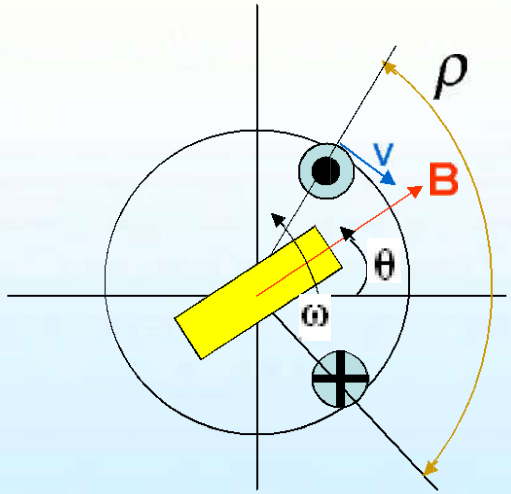
- هارمونیکهای مزاحم و راه های کاهش آنها
- سیم پیچ با گام کسری

گام کامل



$$e_{ind} = 2vBl\sin(\omega t)$$

گام کسری



$$e_{ind} = 2vBl\sin(\omega t)\times \sin(\rho/2)$$

بررسی تئوریک پدیدهٔ القای ولتاژ در یک هادی (ادامه)

$$E_a = BVl\sin(\vec{B},\vec{V}) \Rightarrow$$

$$\begin{cases} E_a = -BVl\sin\left(\theta - \dfrac{\pi}{2} + \dfrac{\rho}{2}\right) \\ E_{a'} = BVl\left(\pi - \theta - \dfrac{\pi}{2} + \dfrac{\rho}{2}\right) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} E_a = -BVl\left[\cos\theta\cos\rho/2 - \sin\theta\sin\rho/2\right] \\ E_{a'} = BVl\left[\cos\theta\cos\rho/2 + \sin\theta\sin\rho/2\right] \end{cases}$$

بررسی تئوریک پدیدهٔ القای ولتاژ در یک هادی (ادامه)

$$E_{rms} = K_P 4.44 N \varphi f$$

$$K_P = \sin \frac{\rho}{2}$$

ضریب گام کوتاه

این ضریب براي مولفه اصلي است براي هارمونيهاي

مراتب بالاترمثلا از مرتبه ν **:**

$$K_P = \sin \frac{\nu \rho}{2}$$

بررسی تئوریک پدیدهٔ القای ولتاژ در یک هادی (ادامه)

مثال:

یک ژنراتور سنکرون دو قطب دارای استاتوری با نسبت گام سیم پیچی $\frac{5}{6}$ می‌باشد.
ضریب گام برای هارمونیهای موجود در ماشین را بدست آورید.

$$5/6 \Rightarrow \rho = \frac{5\pi}{6} = 150°$$

بررسی تئوریک پدیدهٔ القای ولتاژ در یک هادی (ادامه)

ضريب گام را به ترتيب براي هارمونيهاي ۱و۳و۵و۷و۹ بدست مي آوريم .
توجه داريد كه هارمونيهاي مزاحم ماشين سنكرون هارمونيهاي ۵و۷ هستند

$$K_{p1} = \sin 150/2 = 0.966$$

$$K_{p3} = \sin \frac{3\times 150}{2} = -0.707$$

$$K_{p5} = \sin \frac{5\times 150}{2} = 0.259$$

$$K_{p7} = \sin \frac{7\times 150}{2} = -0.259$$

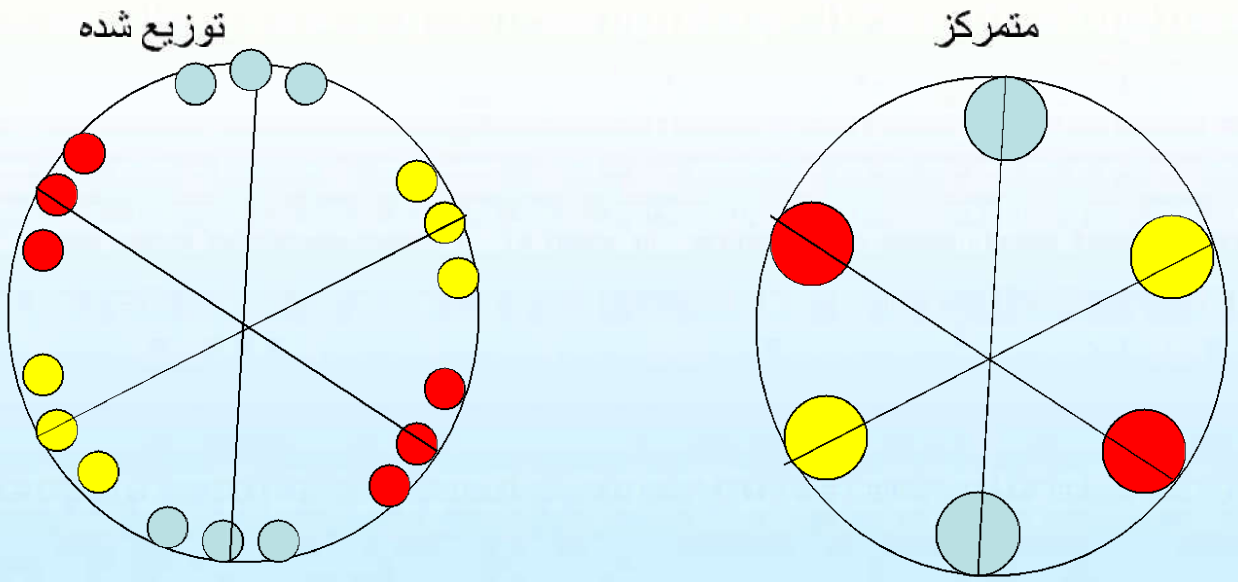
$$K_{p9} = \sin \frac{9\times 150}{2} = -0.707$$

بررسی تئوریک پدیدهٔ القای ولتاژ در یک هادی (ادامه)

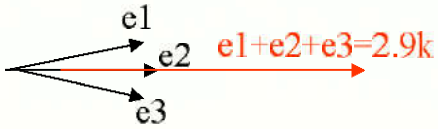
سیم پیچهای گسترده

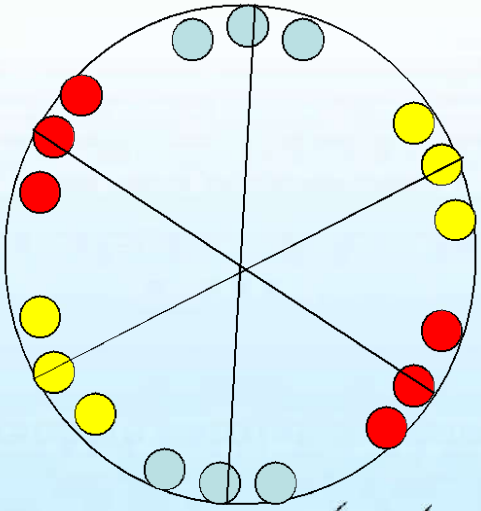
یکي ديگر از روشهاي متعادل کردن هارمونيها استفاده از سيم پيچي گسترده است.

- n تعداد شيار مربوط به هر فاز در هر قطب
- γ گام شيار (در شکل زير ۲۰ درجه)

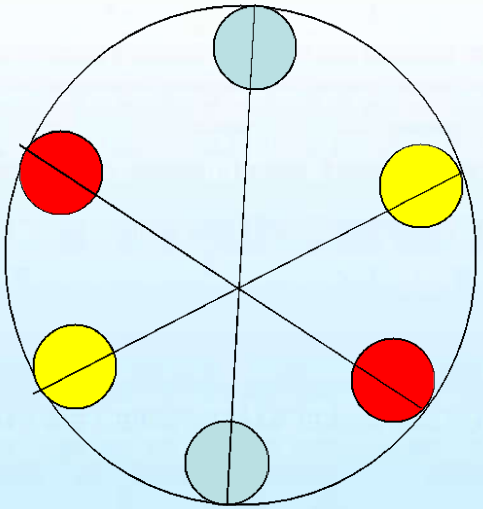


بررسی تئوریک پدیدهٔ القای ولتاژ در یک هادی (ادامه)





$$e_{ind} = 2vBl\sin(\omega t)\times\left(\frac{\sin(n\gamma/2)}{n\sin(\gamma/2)}\right)$$

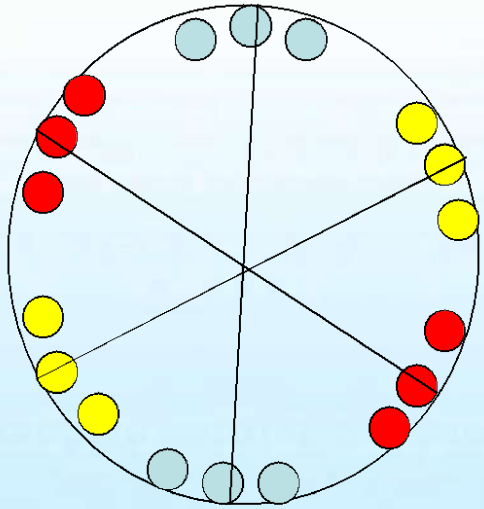


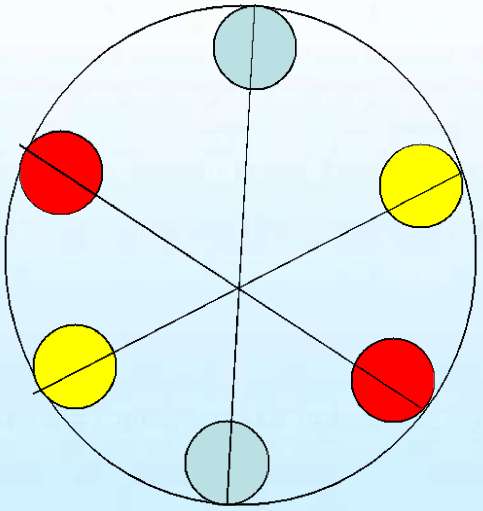
$$e_{ind} = 2vBl\sin(\omega t)$$

بررسی تئوریک پدیدهٔ القای ولتاژ در یک هادی (ادامه)

$$e_{ind} = 2vBl\sin(\omega t) \times K_d$$

$$K_d = \left(\frac{\sin(n\gamma/2)}{n\sin(\gamma/2)} \right) \quad \Rightarrow \quad K_d = \left(\frac{\sin(n\gamma\nu/2)}{n\sin(\gamma\nu/2)} \right)$$

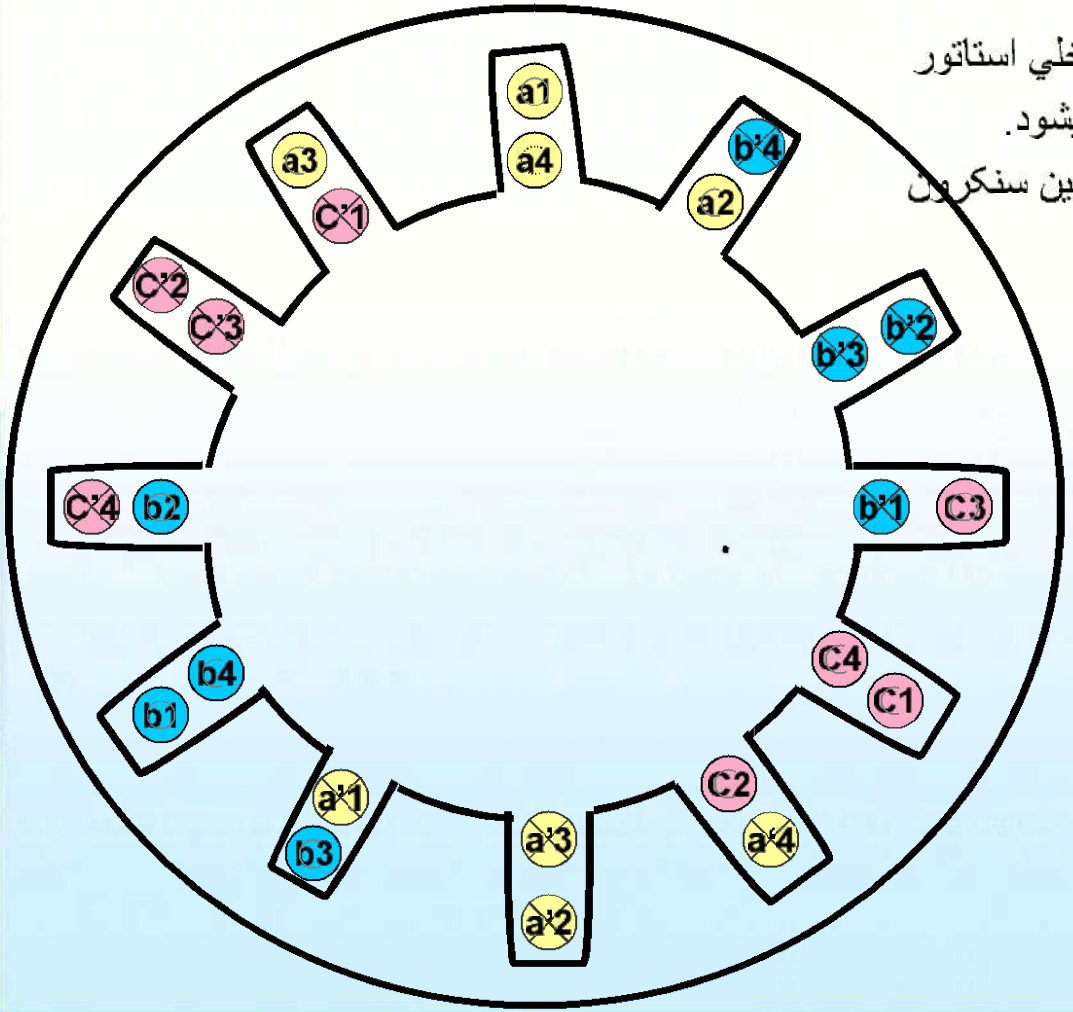




بررسی تئوریک پدیدهٔ القای ولتاژ در یک هادی (ادامه)

سیم پیچهای دو طبقه

براي استفاده بهينه از فضاي داخلي استاتور
از شيارهاي دو طبقه استفاده ميشود.
در شکل مقابل استاتور يک ماشين سنکرون
با شيار دو طبقه ديده ميشود



بنام خدا

مبحث سوم

ماشینهای الکتریکی III

ماشینهای الکتریکی III

مدار معادل ماشین سنکرون

مدار معادل ماشین سنکرون

برای پیش بینی رفتار ماشین سنکرون مدار به معادل آن نیاز داریم.

اثراتی که در مدار معادل باید در نظر گرفته شود، عبارتند از ::

۱- ولتاژ القائی بی باری

۲- اثر عکس العمل آرمیچر

۳- مقاومت آرمیچر

۴- اثر شارهای پراکنده

$$\left.\begin{aligned} E_{rms} &= K_W\, 4.44 N f \varphi \\ K_W &= K_P K_d \end{aligned}\right\} \Rightarrow E_{rms} = K \varphi\, \omega$$

مدار معادل ماشین سنکرون

۱- ولتاژ القائی بی باری

ولتاژ اقايي در استاتور را با یک منبع ولتاژ مدل میکنند.

۲- اثر عکس العمل آرمیچر

وقتي كه روتور ژنراتور سنكرون مي‌چرخد در سيم پيچهاي استاتور آن ولتاژ EA القاء مي‌شود. اگر باري به پايانه‌هاي ژنراتور متصل باشد, جرياني از آن مي‌گذرد. اما اين جريانهاي سه فاز در ماشين ميدان مغناطيسي خودشان را توليد مي‌كنند. اين ميدان مغناطيسي استاتور شكل ميدان مغناطيسي اصلي روتور را تغيير داده و در نتيجه ولتاژ فاز را نيز تغيير مي‌دهد. اين اثر را عكس‌العمل آرميچر مي‌نامند و آنرا با يک المان سلفي مدل ميكنند..

مدار معادل ماشین سنکرون

۳:- مقاومت آرمیچر

مقاومت آرميچر (افت اهمي حاصل از مقاومت سيم پيچي استاتور) سيم پيچهاي استاتور داراي مقاومت اهمي هستند كه باعث افت ولتاژ و افزايش تلفات ميگردد كه اين اثر با المان اهمي در مدار در نظر گرفته ميشود.

۴- اثر شارهای پراکنده

شار پراكندگي شاري است كه فقط يكي از سيم پيچها را در بر مي‌گيرد. مثلاً شار پراكندگي استاتور شاري است كه فقط استاتور را حلقه مي‌كند و روتور را در بر نمي‌گيرد. »عمولا آنرا يا يک سلف که مبين افت ولتاژ است مدل ميكنند.

مدار معادل ماشین سنکرون

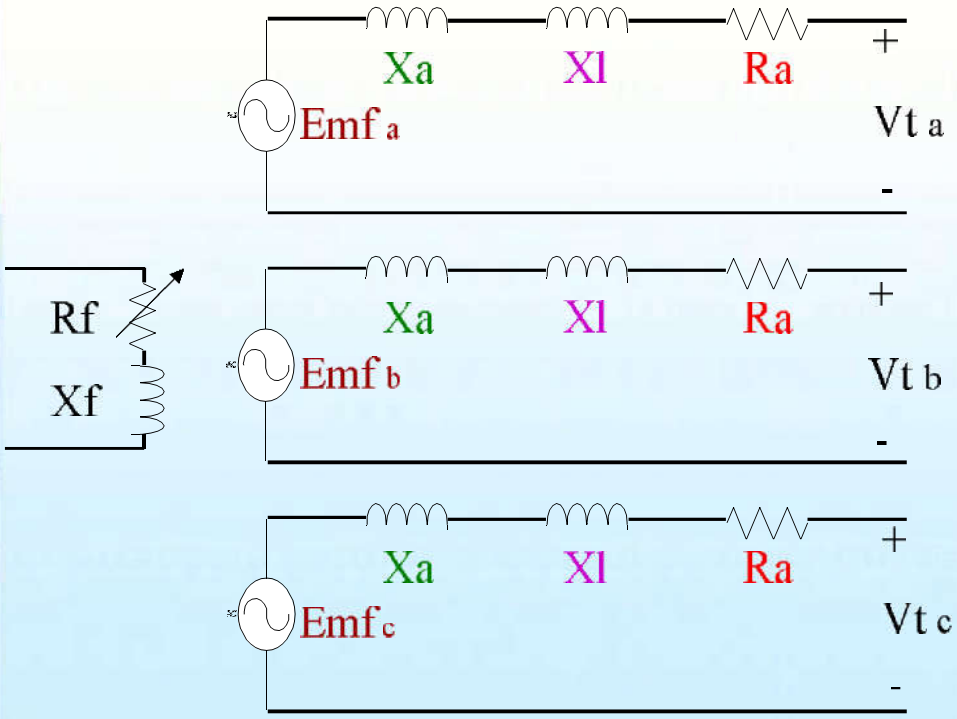
عواملی که در تعیین مدار معادل در نظر می گیریم :

۱- ولتاژ القائی بی باری

۲- اثر عکس العمل آرمیچر

۳- مقاومت آرمیچر

۴- اثر شارهای پراکنده



چگونگی محاسبهٔ پارامترهای مدل ماشین سنکرون (آزمایشهای ماشین سنکرون)

این پارامترها عبارتند از :

۱- Raمقاومت اهمی استاتور

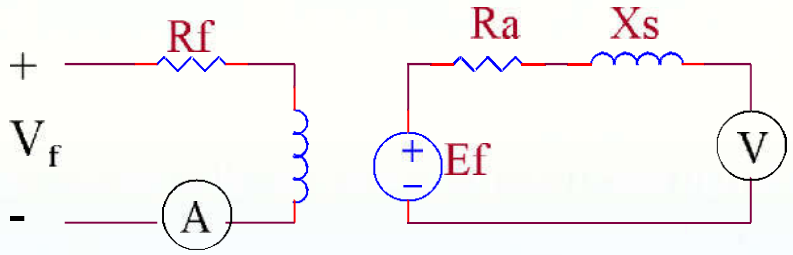
۲-Xs راکتانس سنکرون (شامل راکتانس پراکندگی و راکتانس ناشی از عکس العمل آرمیچر)

مقاومت اهمی استاتور با استفاده از یک اهم متر و با در نظر گرفتن اثر پوستی و حرارت بدست می آید . (برای در نظر گرفتن اثر پوستی $Rac = K\ Rdc$)

راکتانس سنکرون با استفاده از آزمایشهای مدار باز و اتصال کوتاه محاسبه می شود .

چگونگی محاسبهٔ پارامترهای مدل ماشین سنکرون (آزمایشهای ماشین سنکرون)

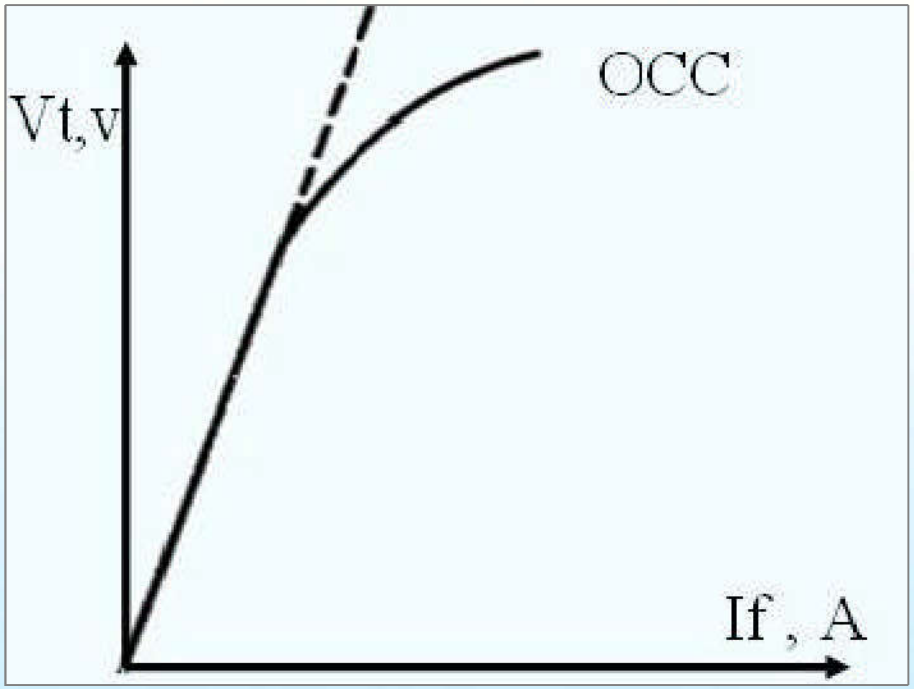
آزمایش مدار باز



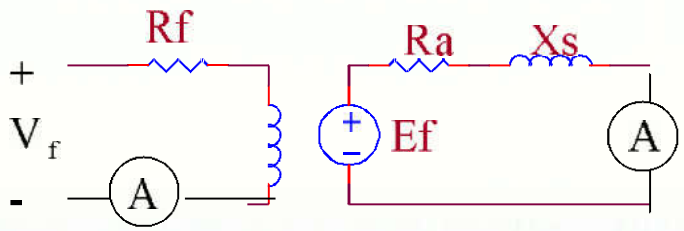
- رتور در سرعت نامي مي گردد
- جريان تحريک ابتدريج از صفر افزايش ميابد.
- ولتاژ ترمينالها که باز هستند، اندازه گيري و ثبت ميشوند.

چگونگی محاسبهٔ پارامترهای مدل ماشین سنکرون (آزمایشهای ماشین سنکرون)

مشخصهٔ مدار باز



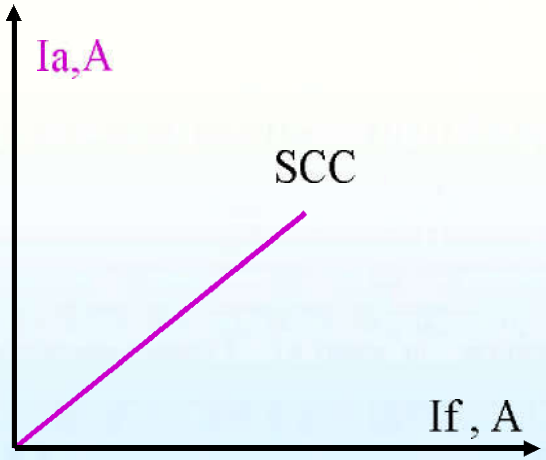
آزمایش اتصال کوتاه



- رتور در سرعت نامي مي گردد
- جريان تحريک ابتدريج از صفر افزايش ميابد.
- جريان ترمينال که اتصال کوتاه شده است، اندازه گيري و ثبت ميشوند.

چگونگی محاسبهٔ پارامترهای مدل ماشین سنکرون (آزمایشهای ماشین سنکرون)

مشخصهٔ اتصال کوتاه



$$Zs = V / I \quad \text{و} \quad Zs = Ra + j\,(Xa + Xl)$$

بنام خدا

مبحث چهارم

ماشینهای الکتریکی III

ماشینهای الکتریکی III

دیاگرام برداری ماشین سنکرون

دیاگرام برداری ماشین سنکرون (و بررسی اثر بارگذاری ماشین در کیفیت این بردارها)

میدانهای موجود در فضای داخلی ماشین :

۱) میدان ناشی از شار روتور

۲) میدان ناشی از شار استاتور (عکس العمل آرمیچر)

میدان استاتور خود به دو فاکتور وابسته است :

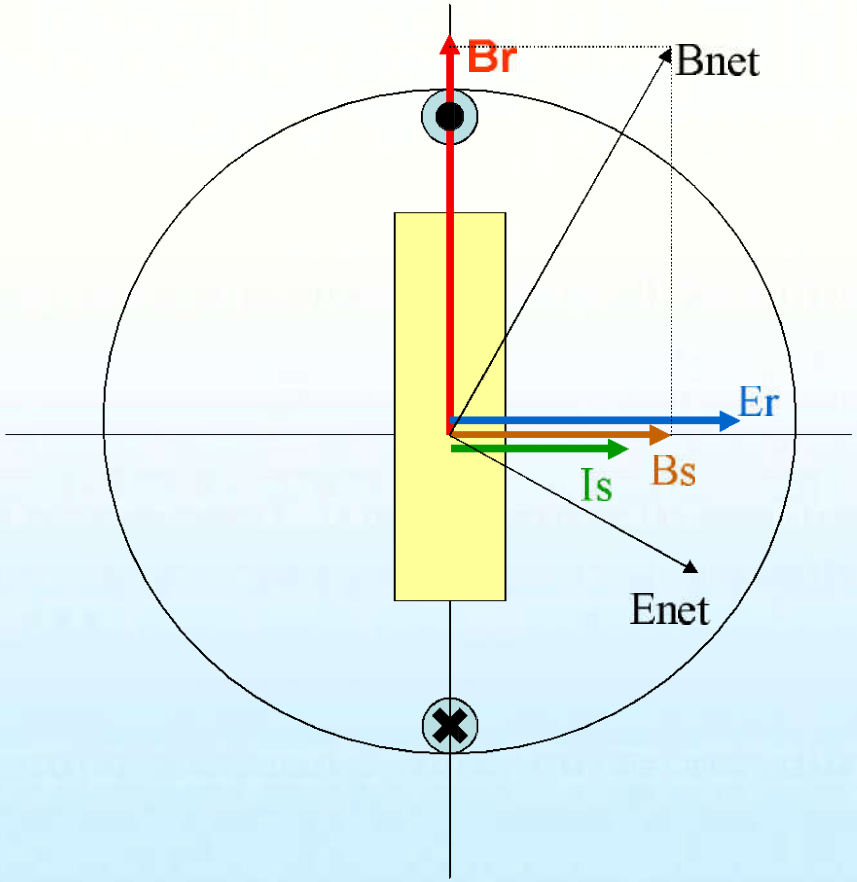
۱) دامنهٔ جریان استاتور (آرمیچر)

۲) زاویهٔ بار ($\cos\phi$)

در شکلهای صفحات بعد این موضوع برای حالتهای مختلف نشان داده شده است

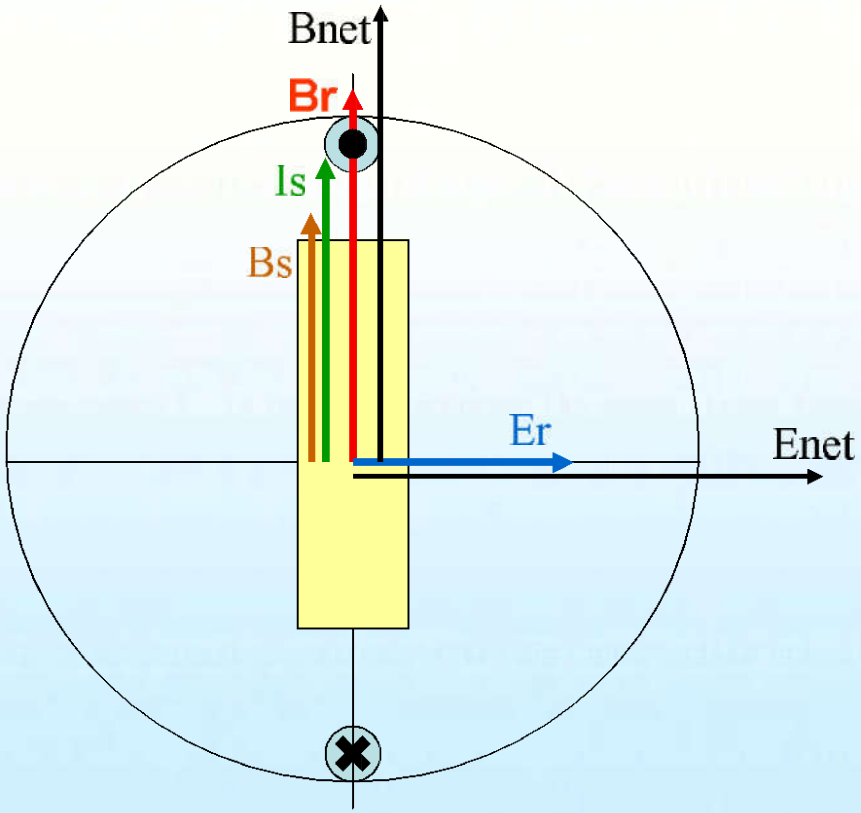
دیاگرام برداری ماشین سنکرون (و بررسی اثر بارگذاری ماشین در کیفیت این بردارها)

اثر **دگرگون** کنندگی عکس العمل آرمیچر در حالتی که ضریب قدرت بار **یک** است



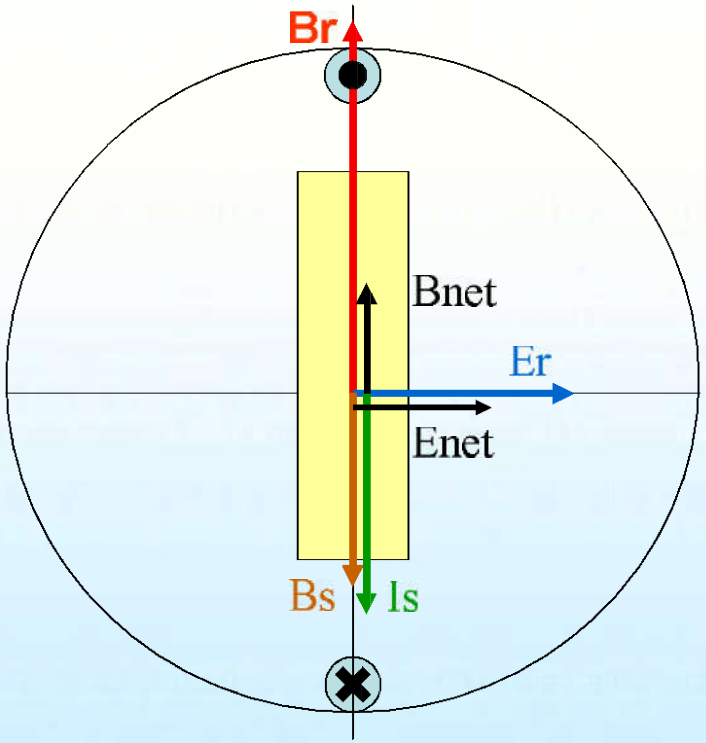
دیاگرام برداری ماشین سنکرون (و بررسی اثر بارگذاری ماشین در کیفیت این بردارها)

اثر **تقویت** کنندگی عکس العمل آرمیچر در حالتی که ضریب قدرت بار **صفر پیش فاز** است

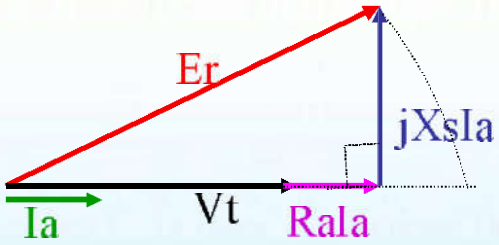


دیاگرام برداری ماشین سنکرون (و بررسی اثر بارگذاری ماشین در کیفیت این بردارها)

اثر **تضعیف** کنندگی عکس العمل آرمیچر در حالتی که ضریب قدرت بار **صفر پس فاز** است



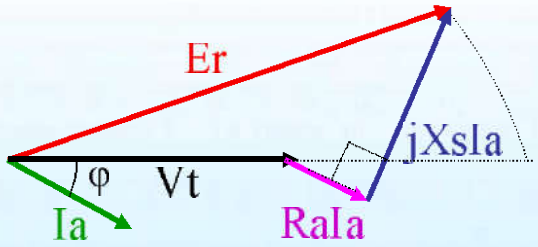
نمودار برداری ولتاژ و جریان (برای ژنراتور قطب صاف و تحت بارهمفاز)



$$\cos(\varphi)=1$$

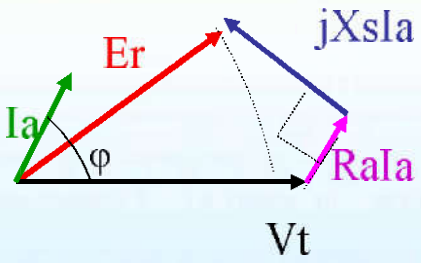
نمودار برداری ولتاژ و جریان (برای ژنراتور قطب صاف و تحت بار پسفاز)

$$\cos(\varphi) = 0 \quad \text{lag}$$



نمودار برداری ولتاژ و جریان (برای ژنراتور قطب صاف و تحت بار پیشفاز)

$$\cos(\varphi) = 0 \quad \text{lead}$$



بنام خدا

مبحث پنجم

ماشینهای الکتریکی III

ماشینهای الکتریکی III

رگولاسیون ولتاژ

رگولاسیون ولتاژ

در قسمت قبل دیدیم که بسته به اینکه جریان بار پیشفاز یا پسفاز باشد ولتاژ ترمینال ژنراتور می تواند کوچکتر ، مساوی یا بزرگتر از ولتاژ القائی باشد . رگولاسیون یا تنظیم ولتاژ، شاخصی برای سنجش تغییرات ولتاژ ترمینال از بی باری تا بار کامل میباشد که رابطهٔ آن به شکل زیر است :

$$R\% = \frac{E_0 - V_{FL}}{V_{FL}}$$

توجه شود که در رابطه فوق اندازه ولتاژ در نظر گرفته میشود.

رگولاسیون ولتاژ

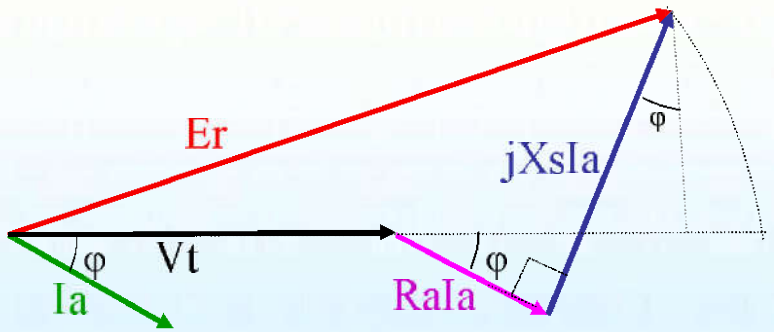
روشهای محاسبهٔ رگولاسیون ولتاژ

- روش مستقیم (برای ماشینهای کوچک)
- روشهای غیر مستقیم
  - روش امپدانس سنکرون
  - روش آمپر دور
  - روش پوتیه

روش امپدانس سنکرون

با داشتن مقادیر راکتانس سنکرون و مقاومت اهمی میتوان مقدار رگولاسیون را برای بارهای مختلف محاسبه کرد بعنوان مثال برای یک بار پس فاز :.

$$R\% = \frac{E_0 - V_{FL}}{V_{FL}}$$

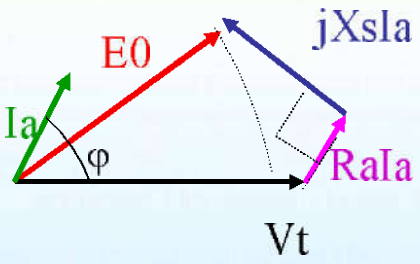


$$E_o = \sqrt{(V + RI_a \cos\varphi + X_s I_a \sin\varphi)^2 + (-RI_a \sin\varphi + X_s I_a \cos\varphi)^2}$$

روش امپدانس سنکرون

برای یک بار پیشفاز داریم :

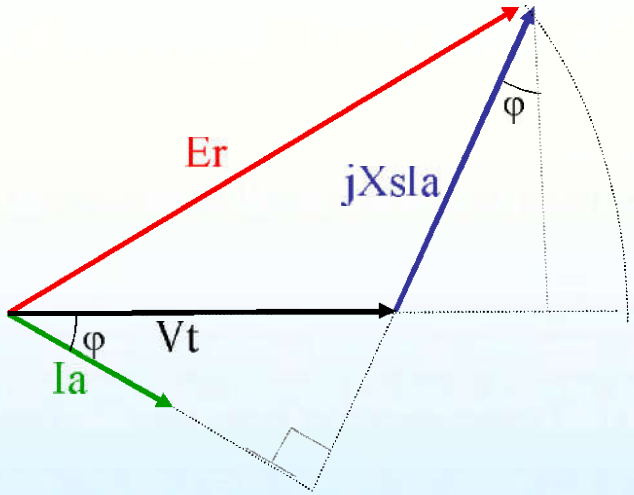
$$R\% = \frac{E_0 - V_{FL}}{V_{FL}}$$



$$E_o = \sqrt{(V + RI_a\cos\varphi - X_s I_a \sin\varphi)^2 + (RI_a \sin\varphi + X_s I_a \cos\varphi)^2}$$

روش امپدانس سنکرون

معمولا در محاسبهٔ رگولاسیون ، از مقاومت اهمی بدلیل کوچکی آن ، صرفنظر می شود



$$E_o = \sqrt{(V + X_s I_a \sin\varphi)^2 + (X_s I_a \cos\varphi)^2}$$

روش آمپردور

در روش امپدانس سنکرون ماهیت عکس العمل آرمیچر و شار پراکندگی بصورت افت ولتاژ در نظر گرفته میشود.

در روش آمپر دور ماهیت عکس العمل آرمیچر و شار پراکندگی بصورت میدانی در نظر گرفته میشود.

فرض کنیم ماشین در بار کامل بوده و ولتاژ نامی را به ما می دهد . جریان تحریک در این حالت I_f شامل مولفه های زیر است . (مولفه ای که I_{fE} را تولید می کند و مولفه ای که اثر عکس العمل آرمیچر را خنثی می کند یا I_{fXs})

روش آمپردور

روش بدست آوردن هر یک از این مولفه ها بصورت زیر است:

- از منحنی مدار باز جریان تحریکی را بدست می آوریم که ولتاژ بی باری ناشی از آن با ولتاژ نامی برابر باشد .این جریان همان I_{fE} است .
- از منحنی اتصال کوتاه جریان تحریکی را بدست می آوریم که جریان اتصال کوتاه ناشی از آن برابر جریان نامی باشد . این جریان همان I_{fXs} است .

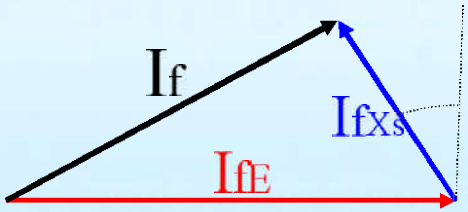
این دو جریان را با توجه به نوع بارترکیب کرده ، I_f و با استفاده از منحنی بی باری، E_o را بدست می آوریم .

.

روش آمپردور

در نهایت با استفاده از این رابطه رگولاسیون محاسبه می شود .

$$R\% = \frac{E_0 - V_{FL}}{V_{FL}}$$



تمرین

نتایج زیر از آزمایش بر روی یک ژنراتور ۶۶۰۰ ولت بدست آمده است .

If(A): 16 25 37.5 50 70

E(V): 3100 4900 6600 7500 8300

یک جریان تحریک ۲۰ آمپری جهت به گردش در آوردن جریان بار کامل در اتصال کوتاه مورد نیاز می باشد . از طریق روش آمپر دور و روش امپدانس سنکرون رگولاسیون بار کامل را در ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز حساب کنید . از مقاومت سیم پیچی آرمیچر صرفنظر کنید .

تمرین

پاسخ :

روش آمپر دور

$$If = If1 + If2$$

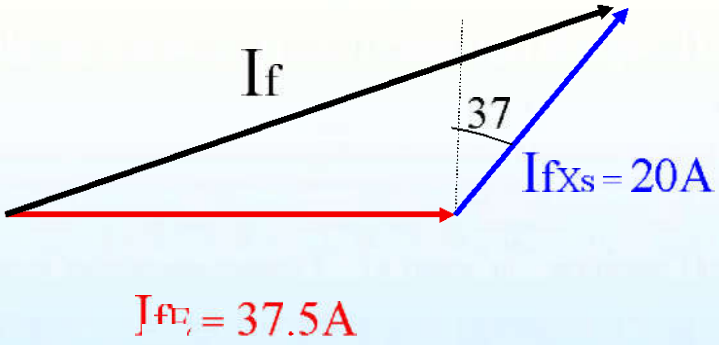
$$\begin{pmatrix}\text{تولید کنندهٔ ولتاژ}\\ \text{نامی در بار کامل}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{تولید کنندهٔ ولتاژ}\\ \text{نامی در بی باری}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{جریان غلبه کننده بر}\\ \text{عکس العمل آرمیچر}\end{pmatrix}$$

از جدول :

$If1=37.5$ $If2=20$

ادامهٔ پاسخ تمرین

با ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز، زاویهٔ قدرت -۳۷- می باشد در نتیجه :



$$I_{fT} = \sqrt{(37.5 + 20 \times 0.6)^2 + (20 + 0.8)^2} = 52$$

ادامهٔ پاسخ تمرین

از روی منحنی بی باری برای If =۵۶ A ولتاژ بی باری برابر ۷۶۰۰ بدست می آید:

$$I_{fT} \xrightarrow{O.C.C} E$$

$$52 \xrightarrow{O.C.C} 7600$$

$$R\% = \frac{7600 - 6600}{6600} \times 100 = 15\%$$

پاسخ تمرین بروش امپدانس سنکرون :

$$x_s = \left.\frac{E_{oc}}{I_{sc}}\right|_{I_f = cte}$$

. مقدار جریان اتصال کوتاه بازای جریان تحریک بی باری را حساب میکنیم:

$$I_f \rightarrow I_{sc}$$

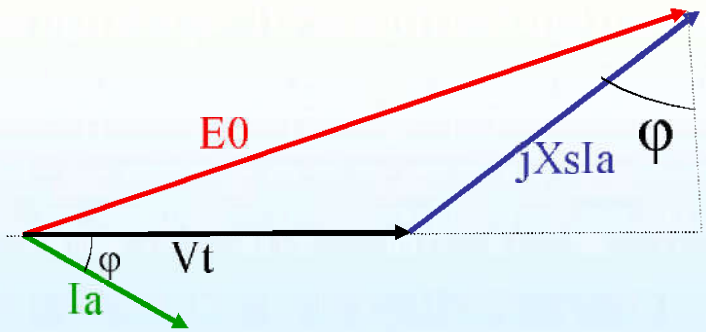
$$20 \rightarrow 1$$

$$37.5 \rightarrow ? \Rightarrow 1.88$$

پاسخ تمرین بروش امپدانس سنکرون :

. مقدار امپدانس سنکرون را حساب میکنیم:

$$x_s = \frac{E_{oc}}{I_{sc}}\Big|_{I_f=37.5} = \frac{1}{1.88} = 0.53$$



$$E_o = \sqrt{(V + X_s I_a \sin\varphi)^2 + (X_s I_a \cos\varphi)^2} = 1.387$$

پاسخ تمرین بروش امپدانس سنکرون :

. مقدار تنظیم ولتاژرا حساب میکنیم:

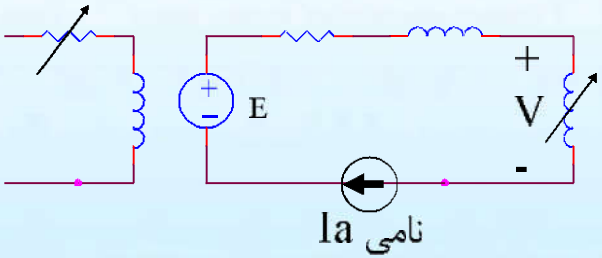
$$R\% = \frac{E_0 - V_{FL}}{V_{FL}} = \frac{1.387 - 1}{1} = 38.7\%$$

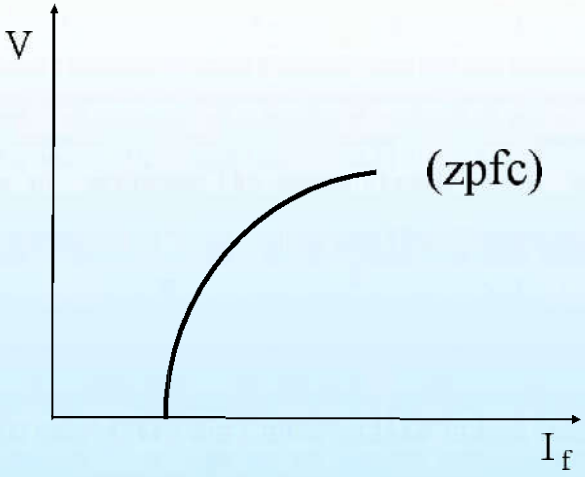
روش پوتیه

ملزومات این روش

- منحنی مشخصهٔ بی باری (occ)
- منحنی مشخصهٔ ضریب قدرت صفر (zpfc)

روش بدست آوردن منحنی مشخصهٔ ضریب قدرت صفر

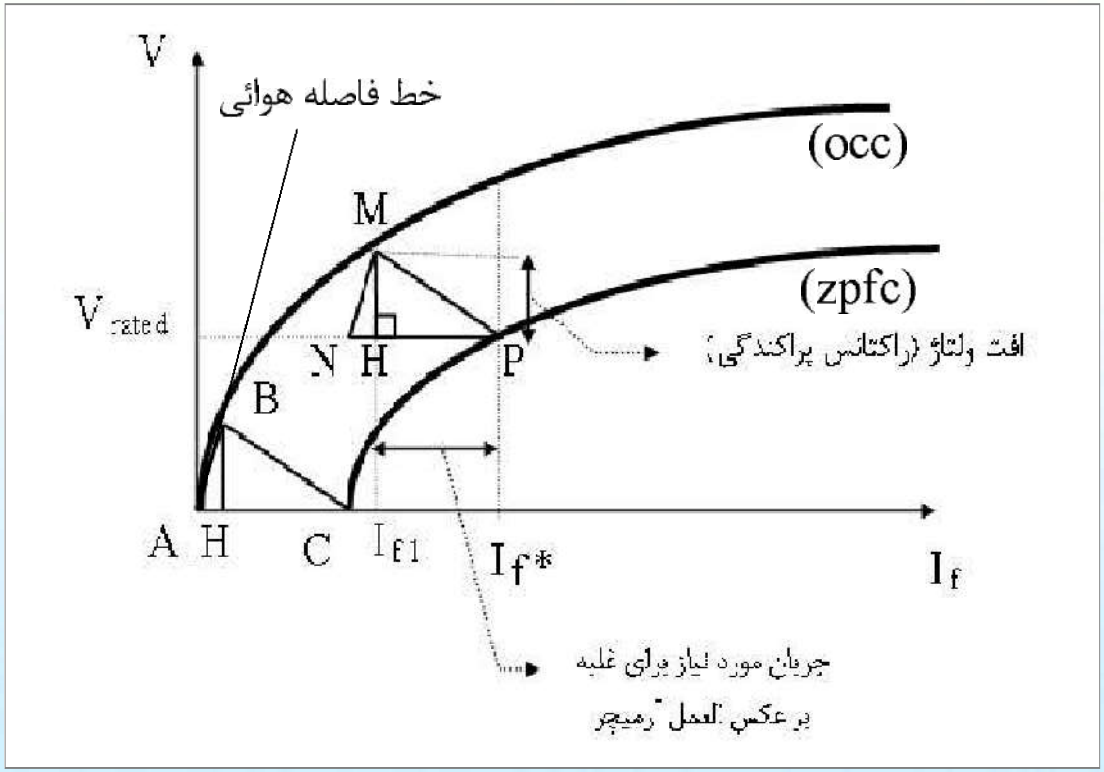




در مقادیر مختلف راکتانس بار ، جریان تحریک را آنگونه تنظیم می کنیم که جریان نامی از آرمیچر اخذ شود .

روش پوتیه

روش رسم مثلث پوتیه



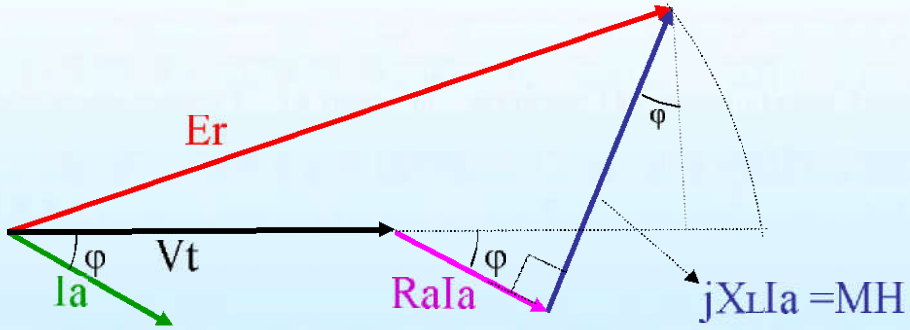
مراحل بدست آوردن رگولاسیون ولتاژ با استفاده از روش پوتیه

۱- رسم و بدست آوردن مثلث پوتیه

۲- تعیین میزان افت ولتاژ ناشی از راکتانس پراکندگی (MH)

۳- تعیین میزان جریان عکس العمل آرمیچر با استفاده از مثلث پوتیه

۴- محاسبهٔ نیرو محرکهٔ بیرونی (جمع برداری نیرو محرکهٔ القائی و افت ولتاژ عکس العمل آرمیچر)



نیرو محرکهٔ بیرونی $|E| = \sqrt{(V + R_a I_a \cos\varphi + X_L I_a \sin\varphi)^2 + (X_S I_a \cos\varphi - R_a I_a \sin\varphi)^2}$

مراحل بدست آوردن رگولاسیون ولتاژ با استفاده از روش پوتیه(ادامه)

۵- تعیین جریان تحریک لازم برای ایجاد نیرو محرکهٔ بیرونی (IfE) با استفاده از (occ)

۶- جمع برداری جریان تحریک بدست آمده در ۵ با جریان تحریک بدست آمده در ۳

(این کار به همان صورتی که در روش آمپردور انجام شد صورت می گیرد)

۷- تعیین نیرو محرکهٔ داخلی از روی منحنی بی باری با استفاده از جریان تحریک بدست آمده در ۶

۸- محاسبهٔ رگولاسیون با استفاده از رابطهٔ زیر

$$R\% = \frac{|E| - |V_t|}{|V_t|} \cdot 100$$

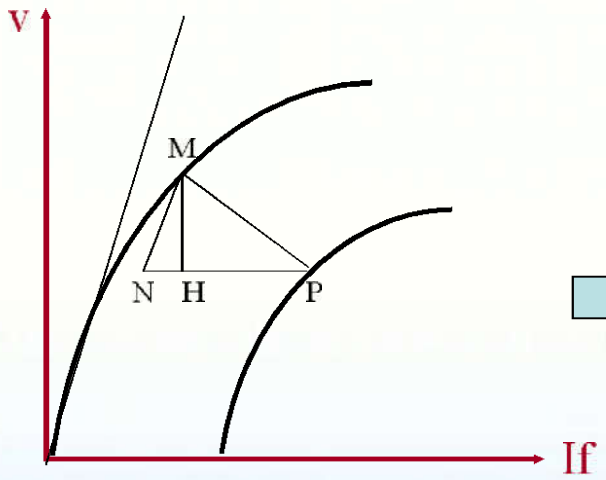
مثال

یک ژنراتور سنکرون سه فاز 11KV ، 1000KVA متصل شده به صورت ستاره دارای مقاومت 2^{Ω} در فاز می‌باشد مشخصه‌های بی باری و ضریب قدرت صفر این ژنراتور به شرح زیر است.

If(A) :	40	50	110	140	180
E(V):	5800	7000	12500	13750	15000
VZPFC(V):	0	1500	8500	10500	12500

تنظیم ولتاژ در جریان بار کامل تحت ضریب قدرت ۸/ پس فاز را از روش پوتیه بدست آورید .

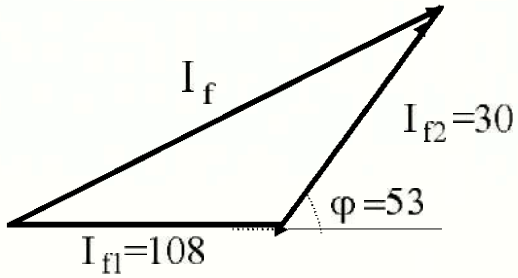
پاسخ



$$NP = 40A$$
$$MH = X_1 I_a = 1000V$$
$$HP = 30A$$

$$E = \sqrt{(V_t \cos\varphi + R_s I_a)^2 + (V_t \sin\varphi + X_1 I_a)^2}$$
$$= \sqrt{(6850 \cdot 0.8 + 2 \cdot 52.5)^2 + (6850 \cdot 0.6 + 1000)^2} = 7080$$
$$E = 7080$$
$$I_{f1} = 108\ A$$

پاسخ



$$I_f = 128.3A \qquad E = 7700V$$

$$Reg\% = \frac{7700 - 6350}{6350} \cdot 100 = 21\%$$

بنام خدا

مبحث ششم

ماشینهای الکتریکی III

ماشینهای الکتریکی III

سیستمهای تحریک

انواع سیستمهای تحریک

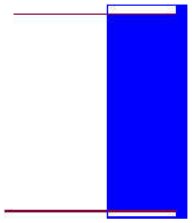
- سیستمهای پایلوت اکسایتر
- سیستمهای استاتیک
- سیستمهای دینامیک

Dynamic EXC

قسمت متحرک
قسمت ساکن
بقیه ی مدار
چپ سیم پیچ
تحریک
اصلی
چپ سیم پیچ
سه فاز
استاتور

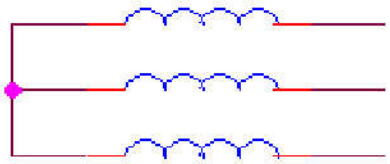
تحریک با آهنرباي دائم

قسمت متحرک



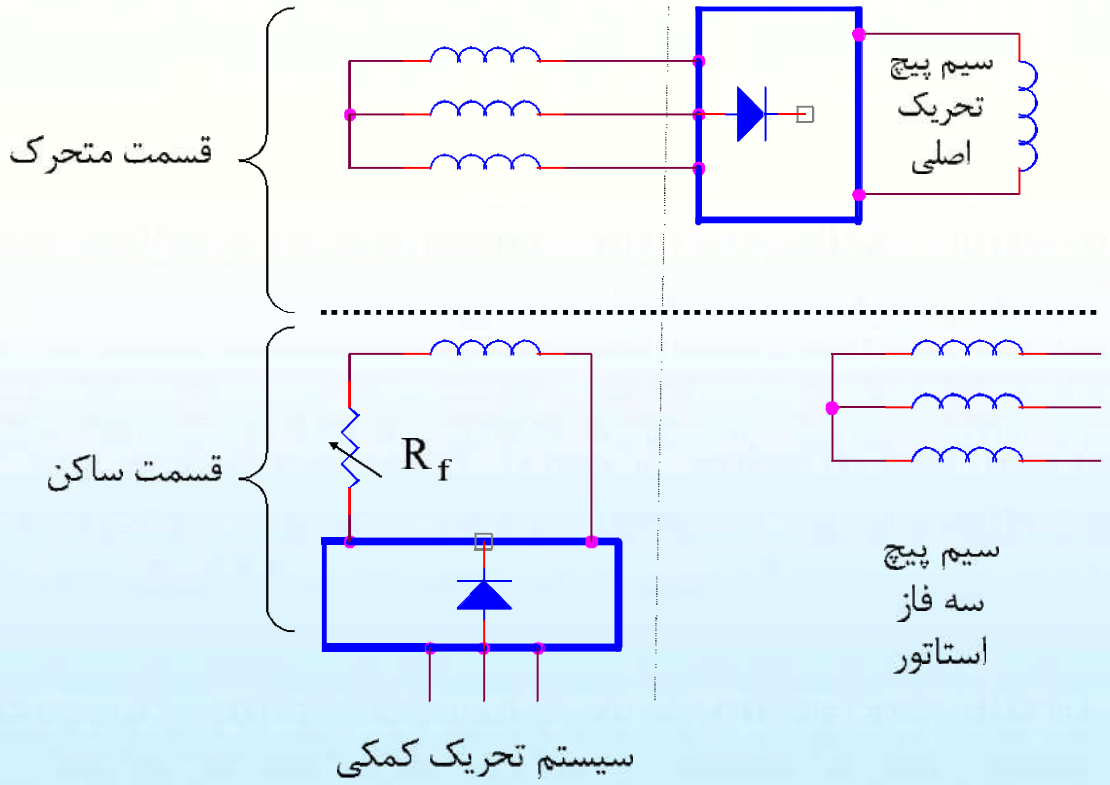
تحریک اصلی با آهنربای دائم

قسمت ساکن

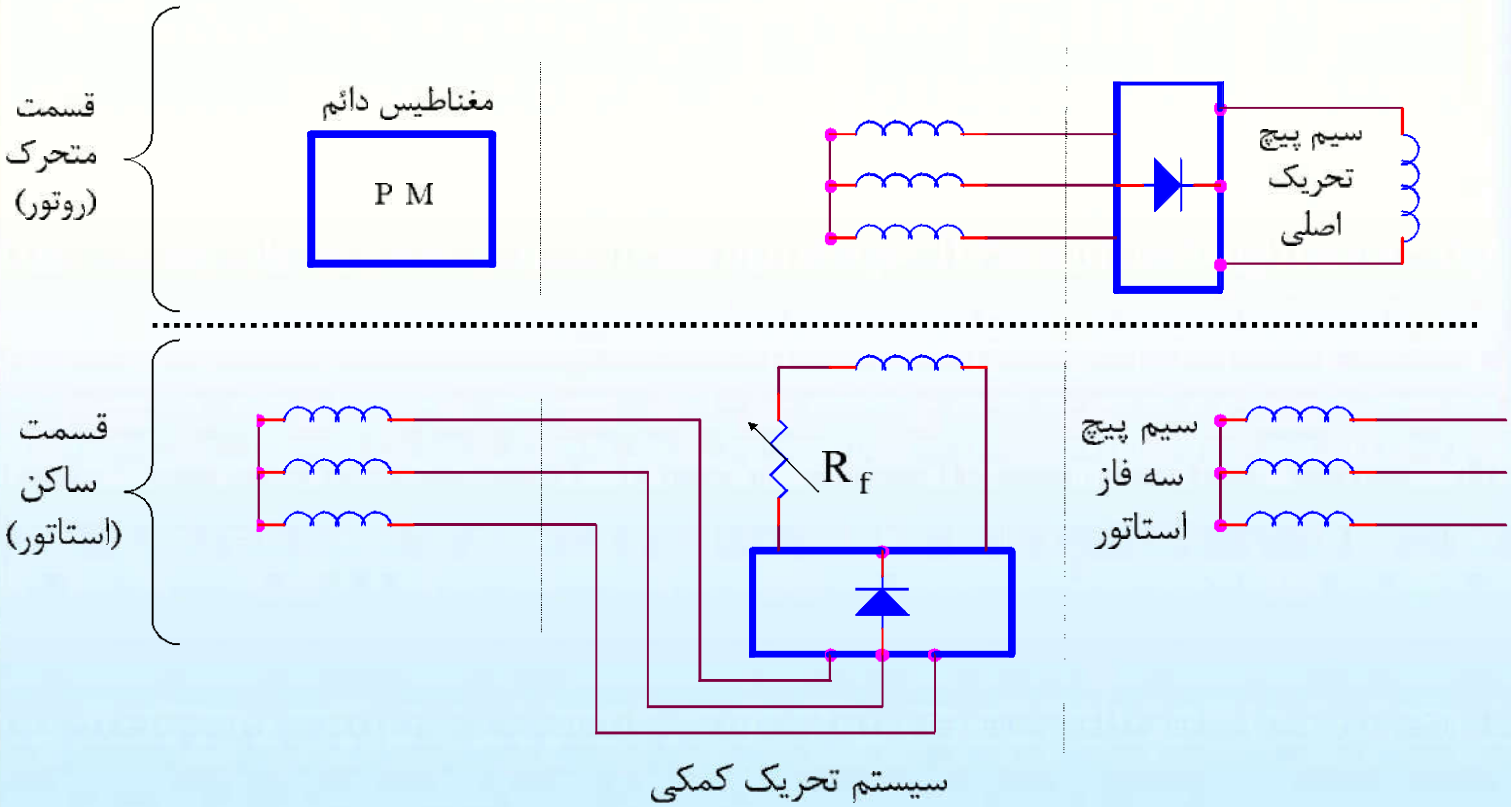


سیم پیچ سه فاز استاتور

Brushless EXC



Pilot EXCITER



سیستم تحریک کمکی

بنام خدا

مبحث هفتم

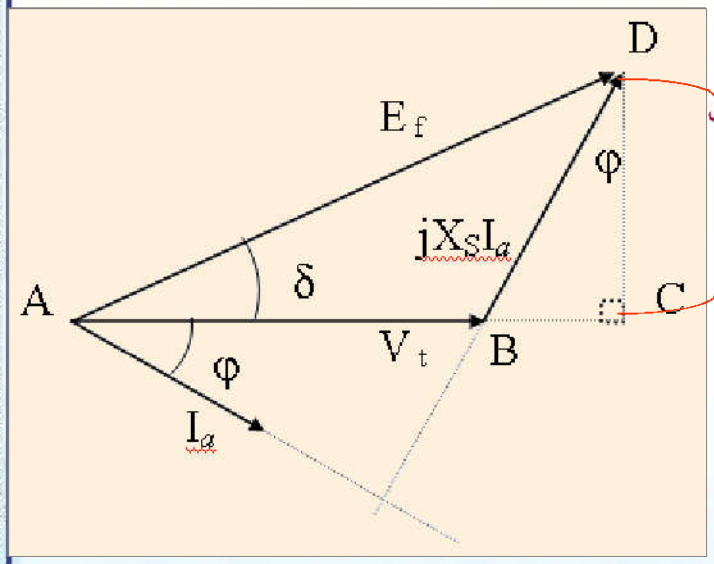
ماشینهای الکتریکی III

ماشینهای الکتریکی III

توان در ژنراتور سنکرون

توان در ژنراتور سنکرون

فرض کنیم $Ra = 0$



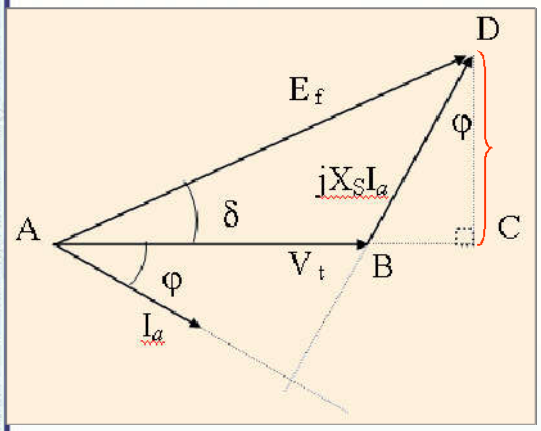
توان اکتیو متناسب با این طول است

$$P = 3V_{Ph}I_{Ph}\cos\varphi$$

$$\overline{E} = \overline{V}_t + \overline{I}_a\left(\overbrace{R_s}^{0} + jX_s\right)$$

$$\Delta ADC\,,\Delta BDC \Rightarrow X_sI_a\cos\varphi = E\sin\delta \Rightarrow I_a\cos\varphi = \frac{E\sin\delta}{X_s}$$

توان در ژنراتور سنکرون

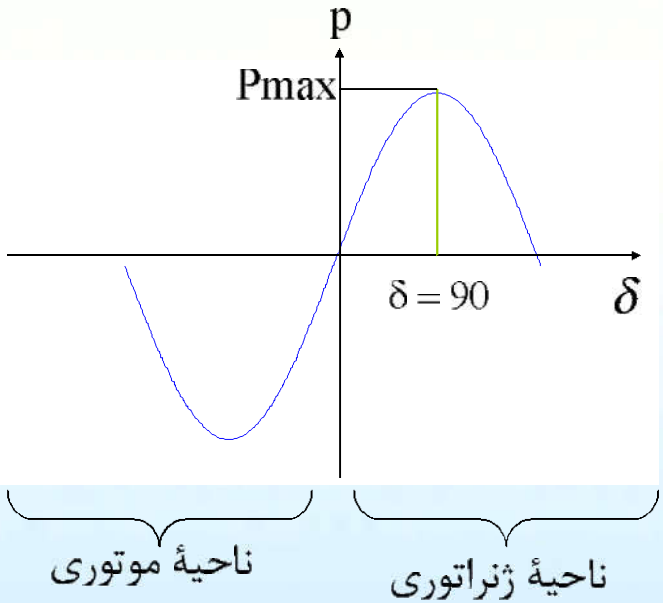


$$P = 3V_t I_a \cos\varphi = 3V_t \frac{E\sin\delta}{X_s} \Rightarrow P = \frac{3V_t E}{X_s}\sin\delta$$

$$\sin\delta = 1 \Rightarrow P_{\max} = \frac{3V_t E}{X_s}$$

توان در ژنراتور سنکرون

نقطه $\delta = \pi/2$ حد پایداری استاتیکی ماشین سنکرون می‌باشد

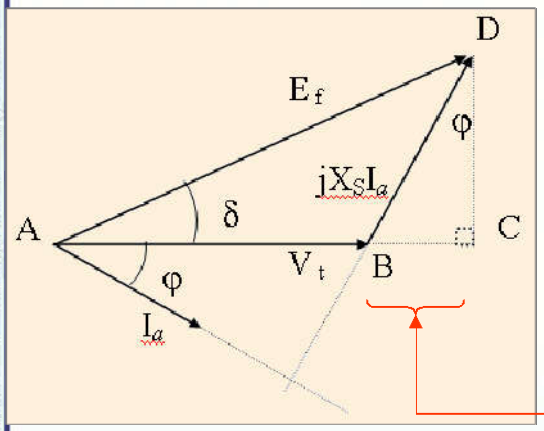


$$P = \frac{3V_t E}{X_s}\sin\delta$$

$$P_{max} = \frac{3V_t E}{X_s}$$

توان در ژنراتور سنکرون

فرض کنیم $Ra = 0$



$$\bar{E} = \bar{V}_t + \bar{I}_a\left(\overset{0}{R_s} + jX_s\right)$$

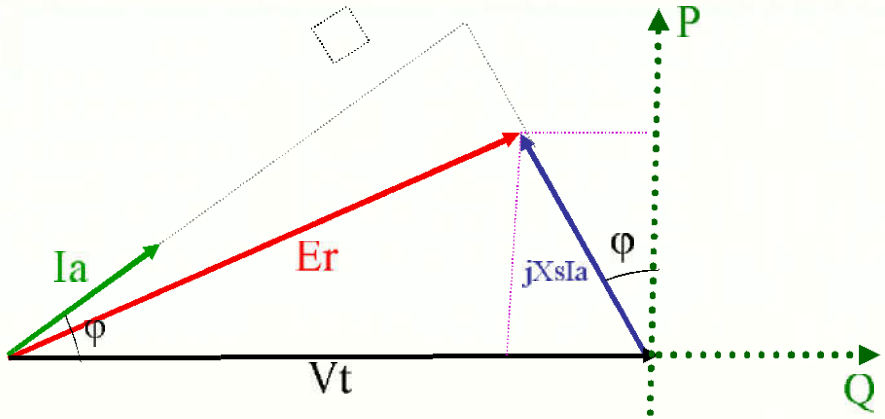
توان راکتیو متناسب با این طول است

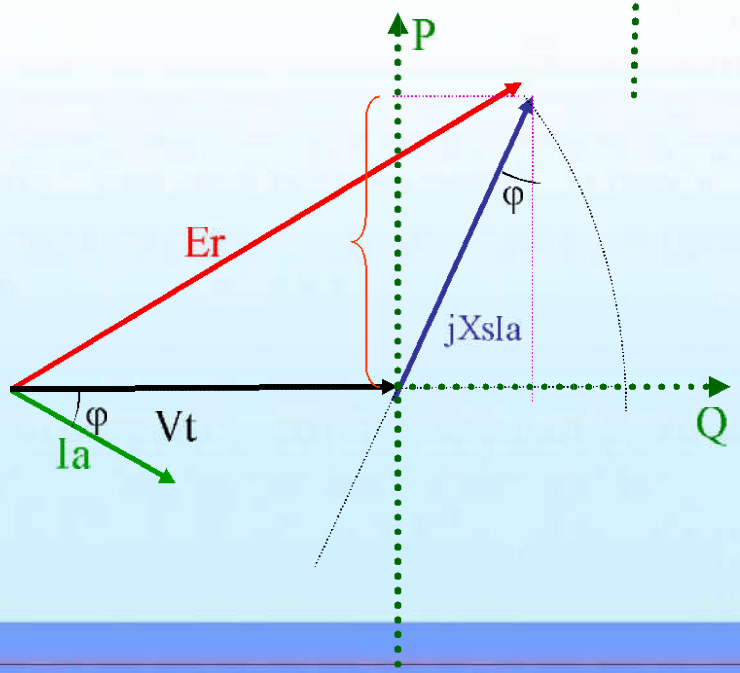
$$Q = 3V_{Ph}I_{Ph}\sin\varphi$$

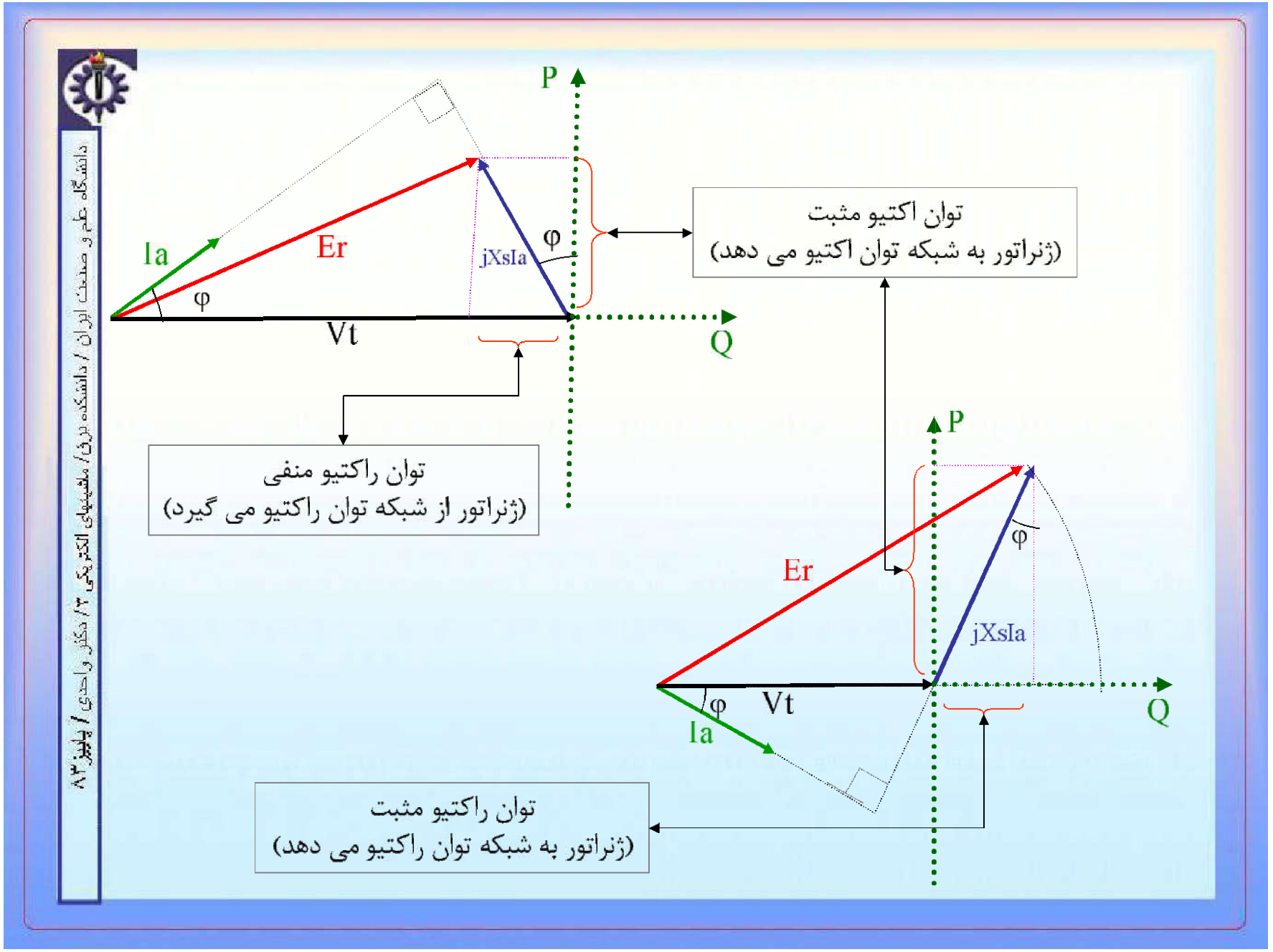
$$\Delta\, ADC, \Delta\, BDC \Rightarrow X_s I_a \sin\varphi = E\cos\delta - V_t \Rightarrow I_a \sin\varphi = \frac{E\cos\delta - V_t}{X_s}$$

$$Q = 3V_t I_a \sin\varphi = 3V_t \frac{E\cos\delta - V_t}{X_s} \Rightarrow Q = 3\left[\frac{V_t E\cos\delta - V_t^2}{X_s}\right]$$

کنترل ضریب قدرت



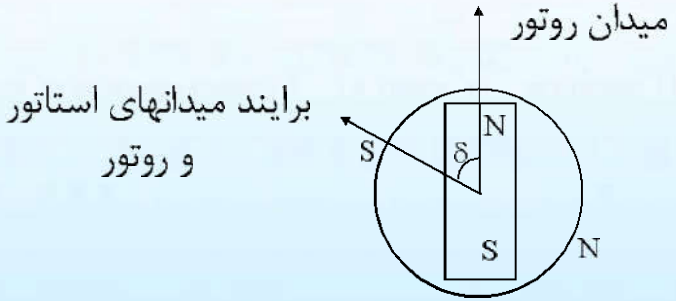



P
Ia
Er
φ
jXsIa
Vt
Q
توان اکتیو مثبت
(ژنراتور به شبکه توان اکتیو می دهد)
توان راکتیو منفی
(ژنراتور از شبکه توان راکتیو می گیرد)
P
Er
φ
jXsIa
Vt
Ia
Q
توان راکتیو مثبت
(ژنراتور به شبکه توان راکتیو می دهد)

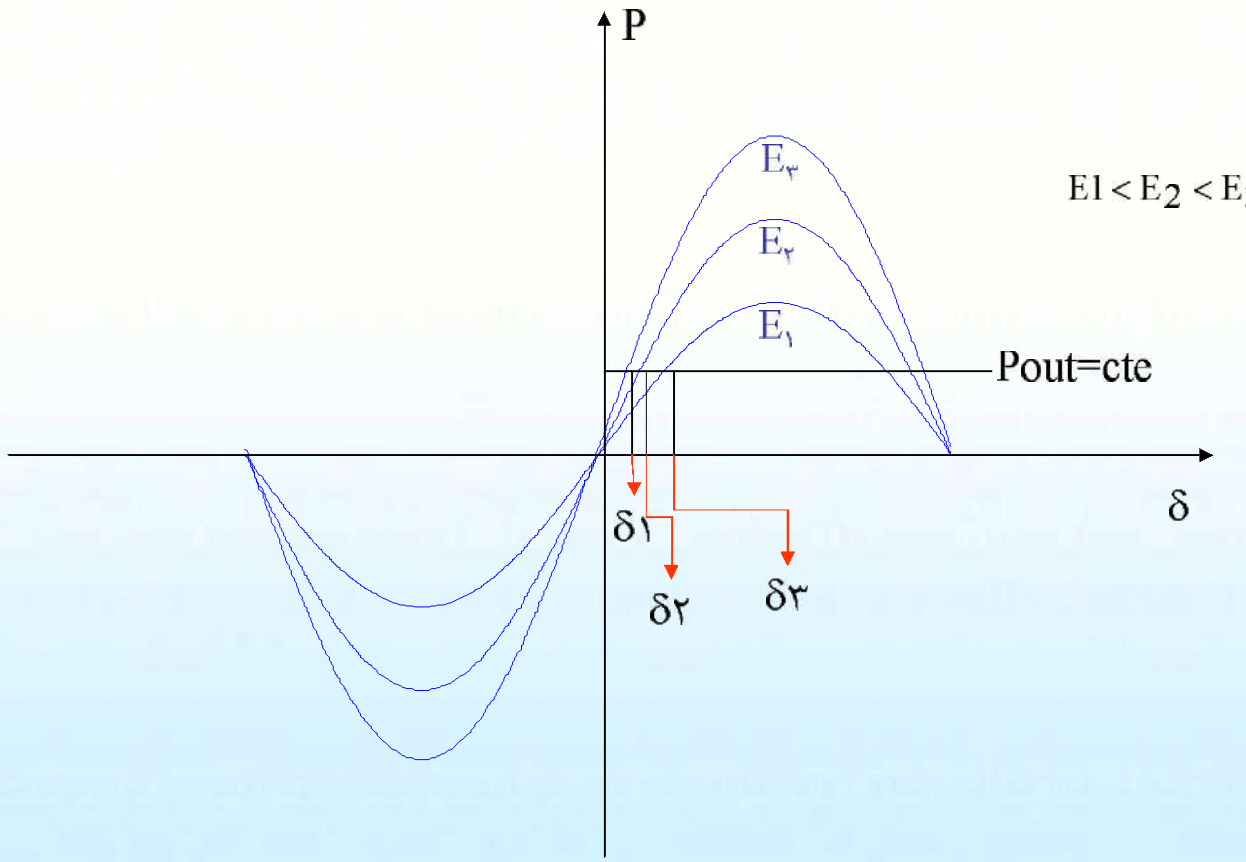
زاویه بار (δ)

میدان دوار برایند استاتور $F = K\cos(\theta - \omega t)$

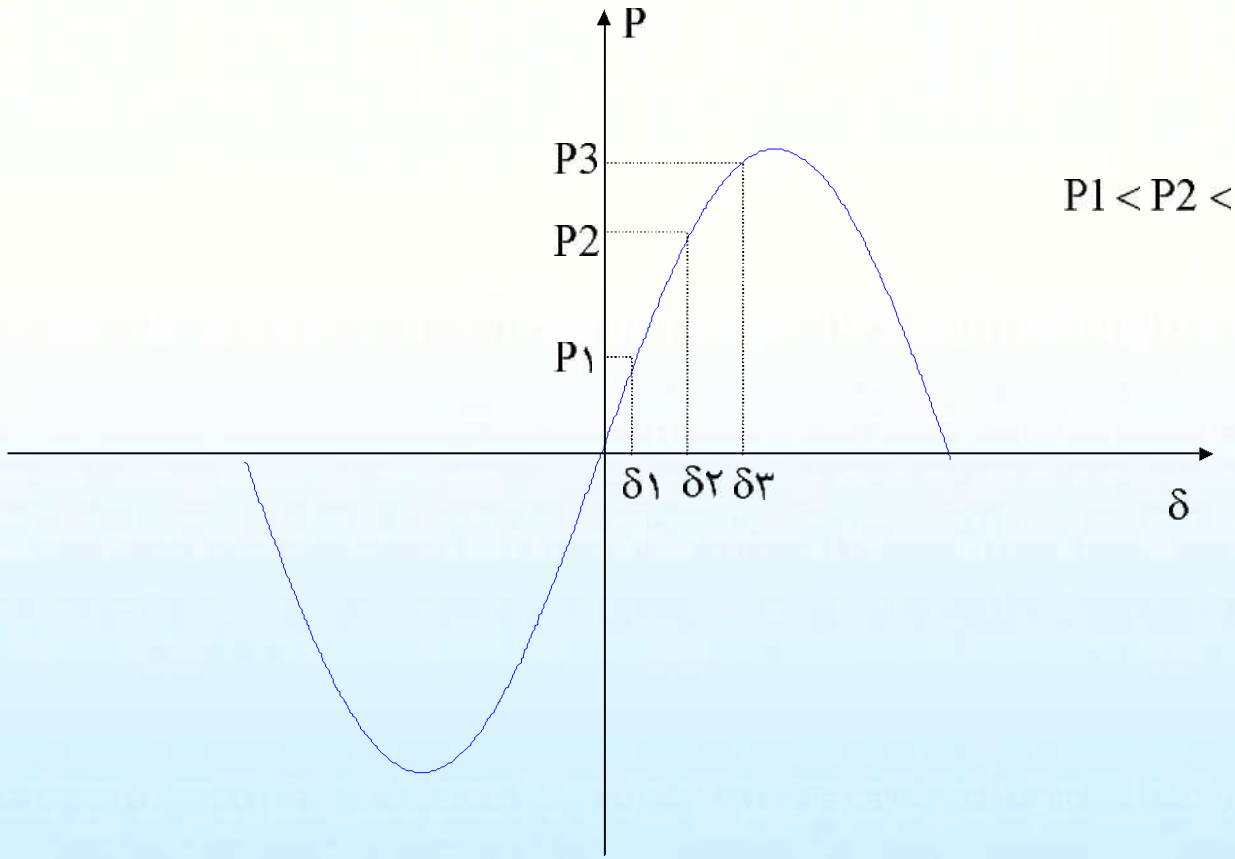
روتور با یک سرعت ω در حال چرخش است. قطبهای N و S (میدان) روی استاتور نیز با همان سرعت می‌چرخند. زاویه بین این دو میـــدان را δ گویند (زاویه بین میدان روتور و میدان استاتور = δ)



بررسی منحنی توان زاویهٔ قدرت



بررسی منحنی توان زاویهٔ قدرت



مکان هندسی توان مختلط و منحنی های قابلیت

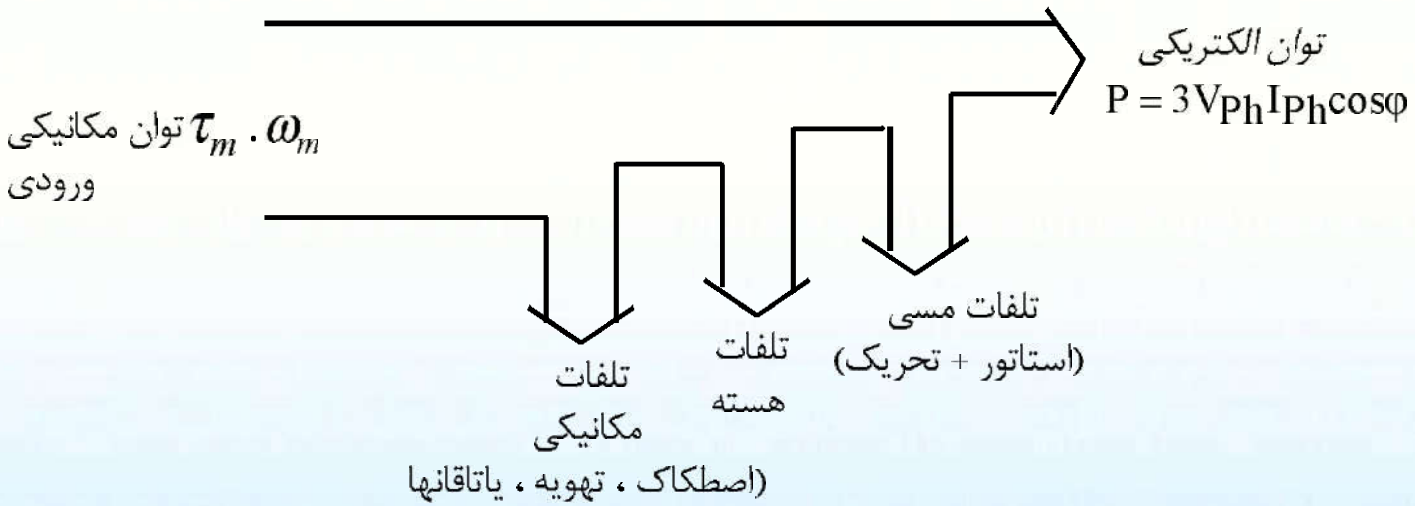
- مکان هندسي توان مختلط در صفحه S دايره اي است به شعاع $\frac{|V||E_f|}{X_s}$

و مرکز $\left(0\ ,\ \frac{-|V|^2}{X_s}\right)$

- بهره برداري از ماشين سنكرون با محدوديتهاي زير روبرو است :

۱. جريان آرميچر
۲. جريان تحريک
۳. حد پايداري استاتيک

پخش توان در ژنراتور سنکرون



بنام خدا

مبحث هشتم

ماشینهای الکتریکی III

ماشینهای الکتریکی III

موازی کردن ژنراتورهای سنکرون

موازی کردن ژنراتورهای سنکرون

هدف از موازی کردن ژنراتورها چیست ؟

- بالا بردن قابلیت اطمینان سیستم
- امکان برنامه ریزی برای تعمیرات دوره ای
- افزایش راندمان
- نیاز به واحدهای رزرو کوچکتر

شرایط لازم برای موازی کردن ژنراتورها

ردیف	شرط	ابزار تست برقراری شرط	راه حل در صورت بر قرار نبودن شرط
۱	دامنهٔ ولتاژ فازها یکی باشد	استفاده از ولت متر	تنظیم تحریک
۲	توالی فازها یکی باشد	استفاده از یک موتور القائی	جابجائی دو فاز
۳	ولتاژها هم فاز باشند	روش سه لامپ	تغییر فرکانس تا هم فاز شدن بعد تنظیم فرکانس
۴	برابری فرکانس ژنراتورها	فرکانس متر	تنظیم ست پوینت محرک اولیه

شرایط لازم برای موازی کردن ژنراتورها (ادامه)

نکته : اگر تمام شرایط لازم برای موازی کردن برقرار باشند و روش سه لامپ را پیاده سازی کنیم ، همهٔ لامپها خاموش خواهند بود .

سوال : در صورتیکه هر کدام از شرطهای فوق بر قرار نباشد چگونگی تغییرات نور لامپها را پیش بینی کنید .

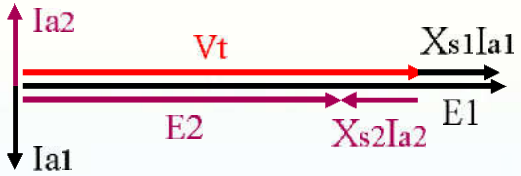
با استفاده از دستگاه سنکروسکوپ یا سنکروچک می توان شرایط موازی کردن ژنراتورها را بررسی کرد .

حالتهای مختلف موازی کردن ژنراتورها

- موازی کردن یک ژنراتور با شبکهٔ بی نهایت
- موازی کردن دو ژنراتور با یکدیگر
  - با بار
  - بی بار

موازی کردن دو ژنراتور با یکدیگر (بی بار)

فرض کنیم ولتاژ داخلی دو ژنراتور هم فاز ولی از نظر اندازه تفاوت دارند . می دانیم در این حالت جریان گردشی تولید می شود . اثر این جریان گردشی بر روی ولتاژ ترمینال Vt و گشتاورهای اعمالی به ژنراتورها چنین است (با صرفنظر از مقاومت) :



$$V_{toc} = E_1 \quad jI_cX_{s1} = E_2 + jI_cX_{s2}$$

ژنراتور ۲ ژنراتور ۱ را مثل بار خازنی می بیند لذا ولتاژ ترمینال آن بیشتر از ولتاژ داخلی آنست .

ژنراتور ۱ ژنراتور ۲ را مثل بار سلفی می بیند لذا ولتاژ ترمینال آن کمتر از ولتاژ داخلی آنست .

گشتاور ناشی از این جریانها صفر است .چرا؟

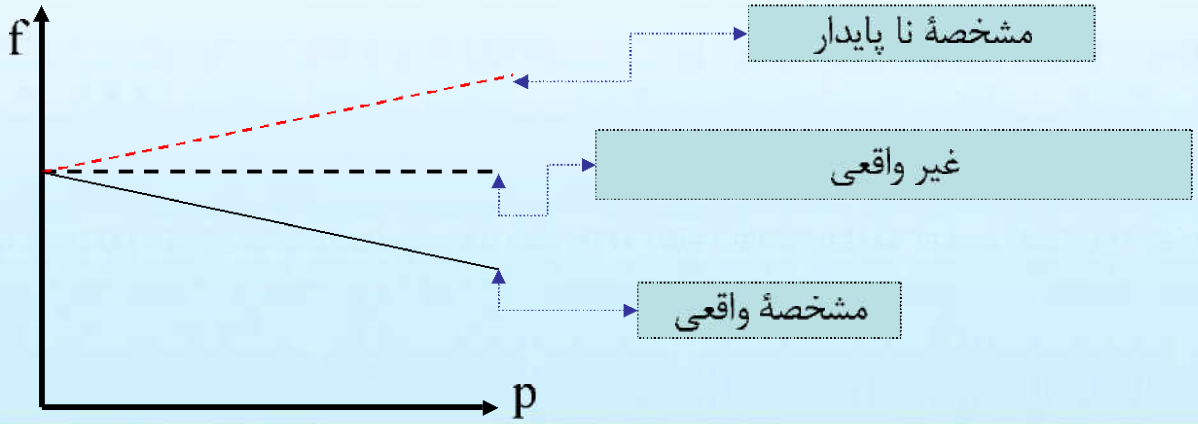
عیب این جریان گردشی چیست ؟

مباحث بالا را برای حالت توازی با دامنه ولتاژ برابر ولی زاویه های مختلف بررسی کنید .

موازی کردن دو ژنراتور با یکدیگر(دیاگرامهای خانه ای)

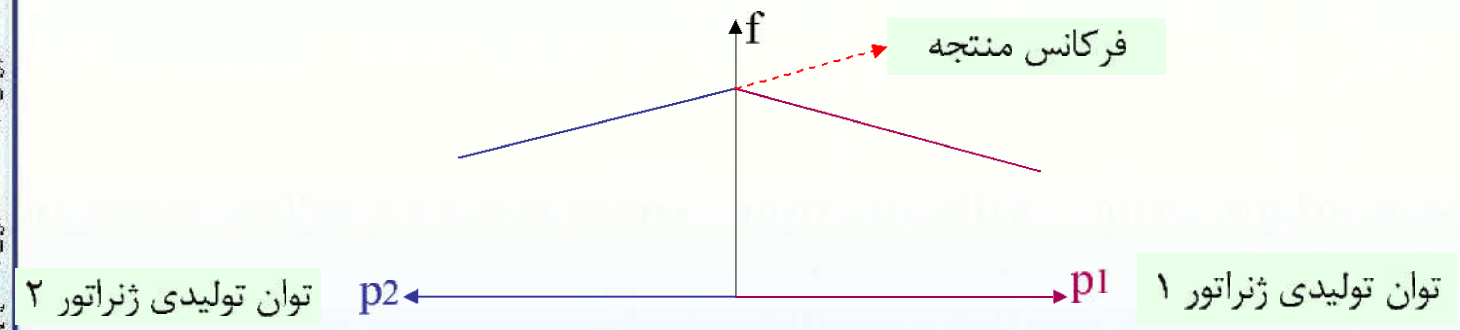
- دو ژنراتور که با هم موازی می شوند در صورتیکه تمام پارامترهای آنها (دامنه ولتاژها ،فرکانس و زاویهٔ آنها) مثل هم باشند هیچ توانی بین آنها رد و بدل نمی شود . حال اگر باری به ترمینال مشترک آنها وصل شود ، چگونه بین آن دو تقسیم می شود ؟
- این امر به مشخصهٔ گاورنر بستگی دارد . گاورنر وسیله ایست برای تنظیم توان تولیدی ژنراتور و دارای مشخصه ای بصورت زیر است : $P = Sf(fnl - f)$

Sf شیب مشخصه بر حسب کیلو وات یا مگاوات بر هرتز می باشد .

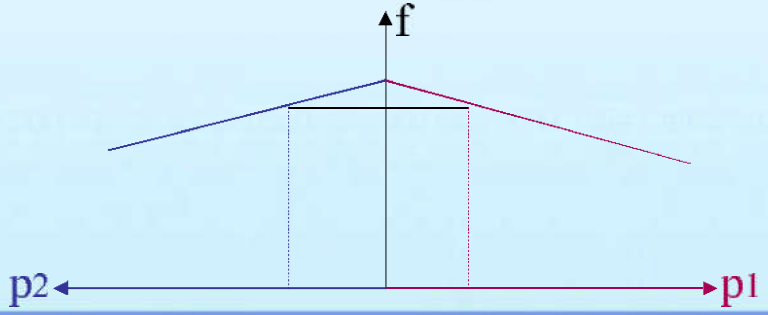


موازی کردن دو ژنراتور با یکدیگر (با بار)

دو ژنراتور بدون بار و شرایط یکسان به هم وصل شده اند و Set point آنها مثل هم تنظیم شده

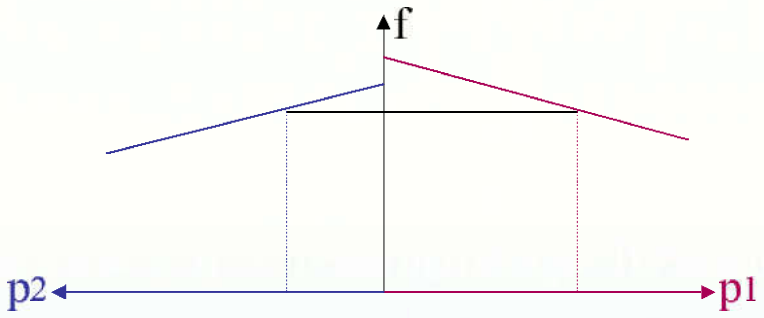


اگر در این حالت باری به این دو ژنراتور وصل شود ، همانگونه که از دیاگرام زیر پیداست فرکانس اندکی افت می کند و ژنراتورهای ۱ و۲ توانهائی را تولید می کنند که جمع آنها با توان مورد نیاز بار برابر است

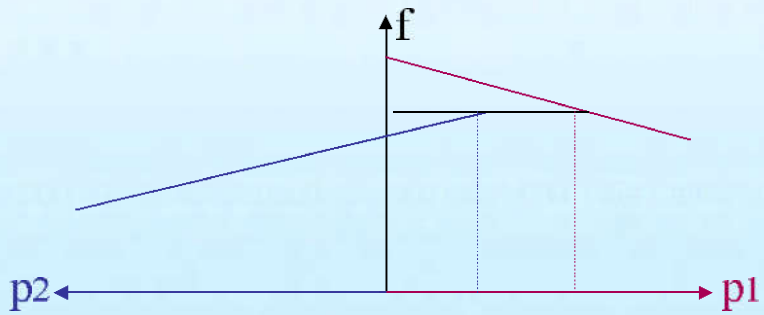


موازی کردن دو ژنراتور با یکدیگر (با بار)

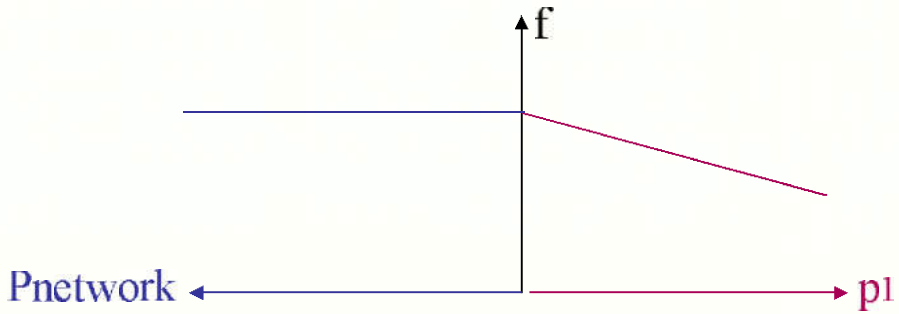
می توان میزان تولید ژنراتورها را با تنظیم Set point تغییر داد



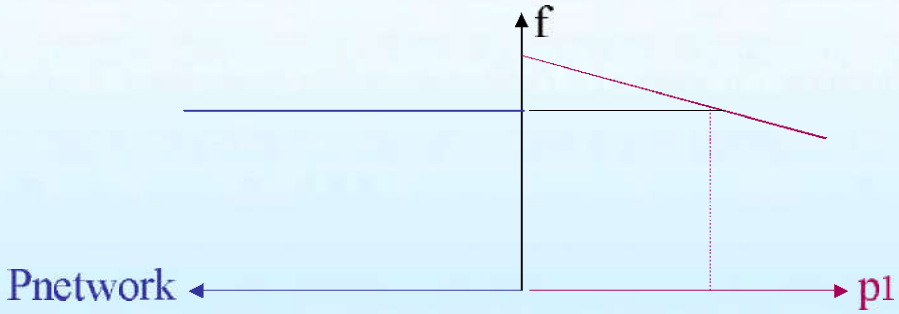
اگر Set point به طور مناسب تنظیم نشوند ممکن است حالتی رخ دهد که یکی از ژنراتورها به شکل یک بار برای دیگری عمل کند



ژنراتور موازی با (یا متصل به)شبکه

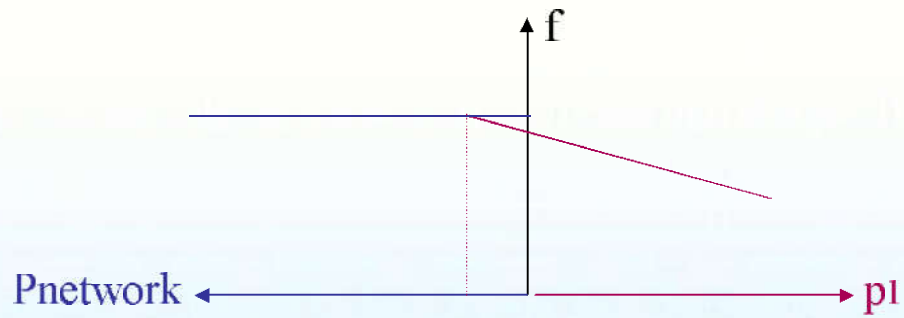


حالت شناور



حالت ژنراتوری

ژنراتور موازی با (یا متصل به)شبکه



حالت موتوری

بنام خدا

مبحث نهم

ماشینهای الکتریکی III

ماشینهای الکتریکی III

برخی مشخصه های ماشین سنکرون

برخی مشخصه های ماشین سنکرون

- منحنی قابلیت ژنراتور
- نسبت اتصال کوتاه

نسبت اتصال کوتاه

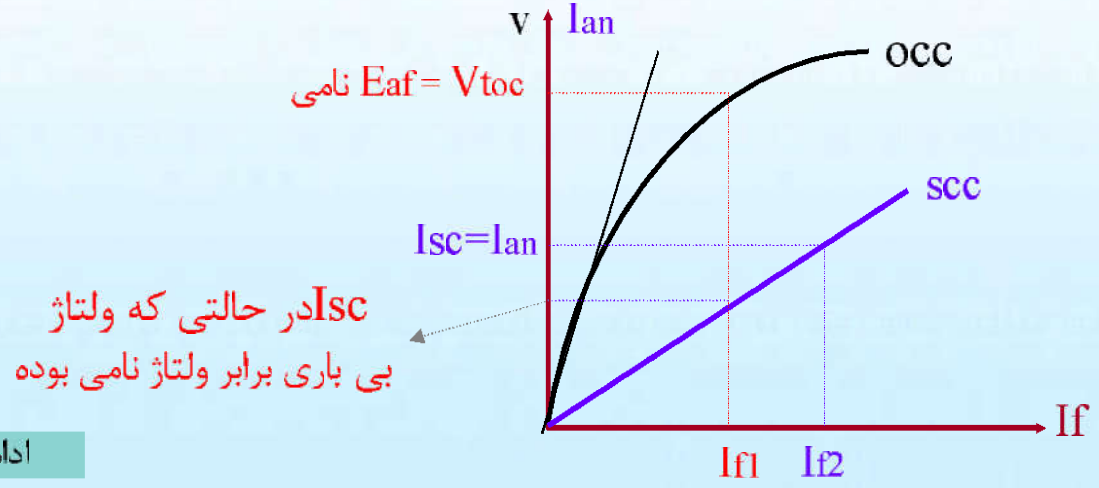
یادآوری : مقایسهٔ نسبی کمیات ماشین سنکرون :

$0.005 < R_a < 0.02$

$X_a = 1(pu)$ تقریبا

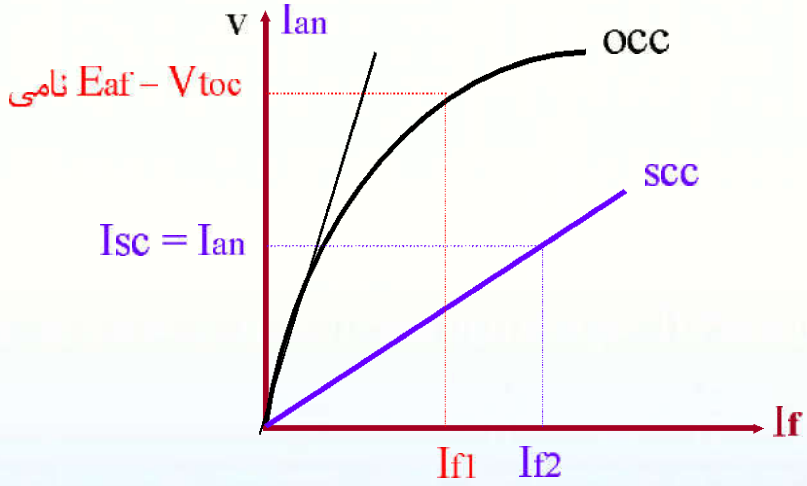
$E_{afnl} = V_{toc} = 1(pu)$

نتیجهٔ جالبی که از عبارت بالا حاصل می شود آنست که اگر یک ژنراتور که در حالت **بی باری** ولتاژ نامی تولید می کند ، اتصال کوتاه شود ، ممکنست جریان آن (در حالت دائمی) از جریان نامی بیشتر نگردد. مشخصهٔ زیر را در نظر بگیرید، آیا راکتانس سنکرون آن بیشتر از یک پریونیت است یا کمتر ؟



ادامه

نسبت اتصال کوتاه (ادامه)



$$SCR(\text{Short Circuit Ratio}) = \frac{|I_{f1}|}{|I_{f2}|} = \frac{I_a}{I_{an}} \quad , \quad X_s = \frac{V_{toc}}{I_a}$$

$$X_s(pu) = \frac{X_s}{(V_n / I_n)} = \frac{V_{toc} / I_a}{V_n / I_n} = \frac{V_{toc} / V_n}{I_a / I_n} = \frac{1}{SCR}$$

منحنی قابلیت ژنراتور

$$P = \frac{VE}{Xs}\sin\delta \quad , \quad Q = \frac{VE\cos\delta - V^2}{X_S}$$

$$\sin\delta = \frac{PX_S}{VE} \quad , \quad \cos\delta = \frac{QX_S + V^2}{VE}$$

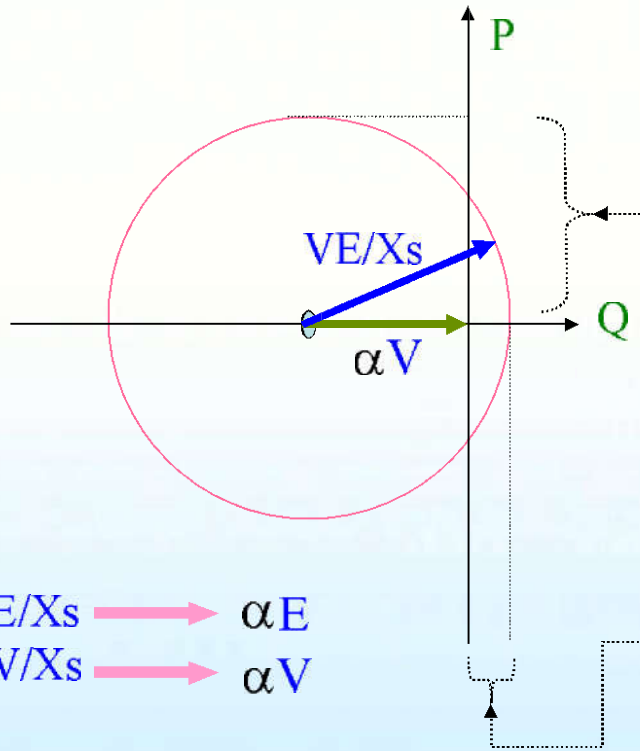
$$(\sin\delta)^2 + (\cos\delta)^2 = 1 \qquad \frac{P^2 X_s^2}{V^2E^2} + \frac{(QX_S + V^2)^2}{V^2E^2} = 1$$

$$P^2 + (Q + \frac{V^2}{X_S})^2 = \frac{V^2E^2}{X^2_S} = P_{max}^2$$

معادلهٔ یک دایره

ادامه

منحنی قابلیت ژنراتور (محدودیت جریان تحریک)



حداکثر توان اکتیو ناشی
از محدودیت جریان تحریک

VE/Xs → αE
VV/Xs → αV

حداکثر توان راکتیو ناشی
از محدودیت جریان تحریک

$$P^2 + \left(Q + \frac{V^2}{X_s}\right)^2 = \frac{V^2 E^2}{X^2_s} = P_{max}^2$$

بنام خدا

مبحث یازدهم

ماشینهای الکتریکی III

ماشینهای الکتریکی III

کلیات ماشین قطب برجسته

ماشین قطب برجسته

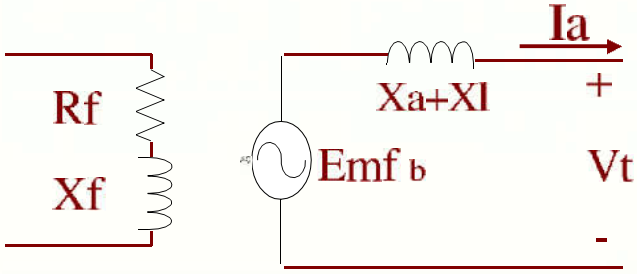
استاتور ماشینهای قطب صاف و قطب برجسته مثل هم هستند و تفاوتی ندارند .

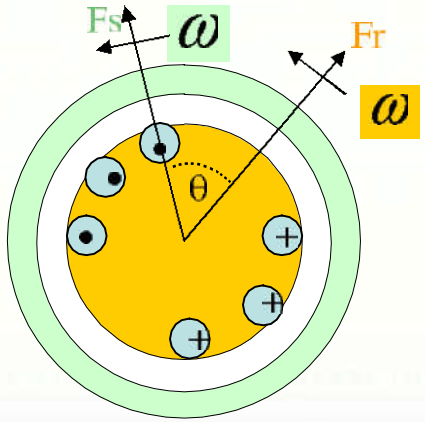
خصوصیات

- در این ماشینها روتورحالت و شکل سیلندری ندارد و اگر ناظری از جایگاه استاتور به روتور دواری نگاه کند ، در حالات مختلف رلوکتانسهای مختلفی را رویت می کند .
- در این ماشینها توزیع شار روتور سینوسی است و این کار با تنظیم فاصلهٔ کفشک قطبها از استاتور ، صورت می گیرد (این کار در ماشینهای قطب صاف ، با توزیع سینوسی سیم پیچها میسر می شود)

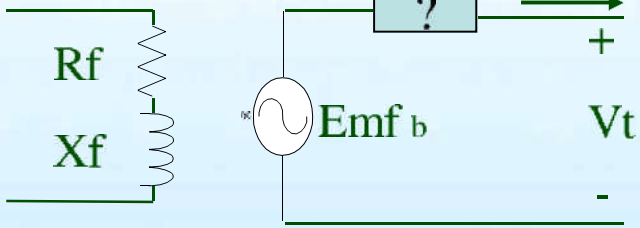
کاربردها : ماشینهای با روتور قطب برجسته در جاهائی استفاده می شوند که سرعت کم است لذا برای داشتن فرکانس الکتریکی خاص باید تعداد قطبها زیاد باشد(مثل ژنراتورهای موجود در نیروگاههای آبی) در سرعتهای بالا نیروهای گریز از مرکز قوی ، لزوم استفاده از ماشینهای قطب صا ف را بیشتر ایجاب می کند .

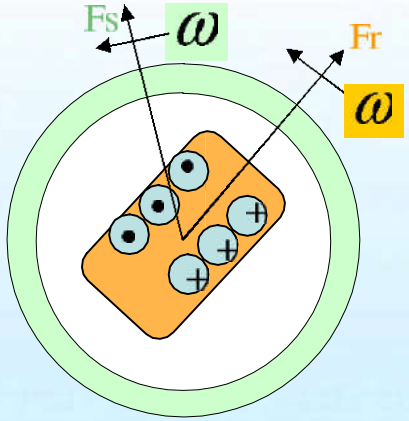
مدار معادل ماشینهای قطب برجسته (تئوری دومحوری بلوندل)





ماشین
قطب صاف





ماشین
قطب برجسته

میزان شار روتور و چگونگی توزیع آن در هر دو موتور قطب صاف و قطب برجسته یکسان است
لذا میزان Eدر هر دو حالت مشابه بوده و قسمت اول مدار معادل در هر دو حالت یکسان است .

مدار معادل ماشینهای قطب برجسته (تئوری دومحوری بلوندل) (ادامه)

شار استاتور یا شار عکس العمل آرمیچر به دو عامل وابسته است

- جریان آرمیچر
- مقدار رلوکتانس مسیر شار

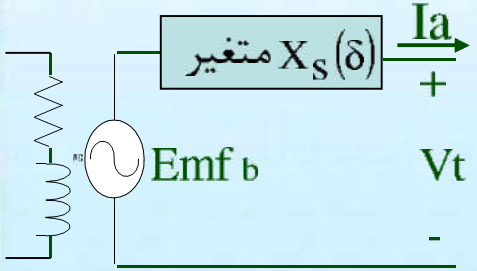
عکس رلوکتانس α X_S α شار عکس العمل

در قطب صاف رلوکتانس در تمام حالات یکسان است ⟸ X_S ثابت است

اما در قطب برجسته

حالت مینیموم < رلوکتانس < حالت ماکزیموم

$X_{min} < X < X_{max}$

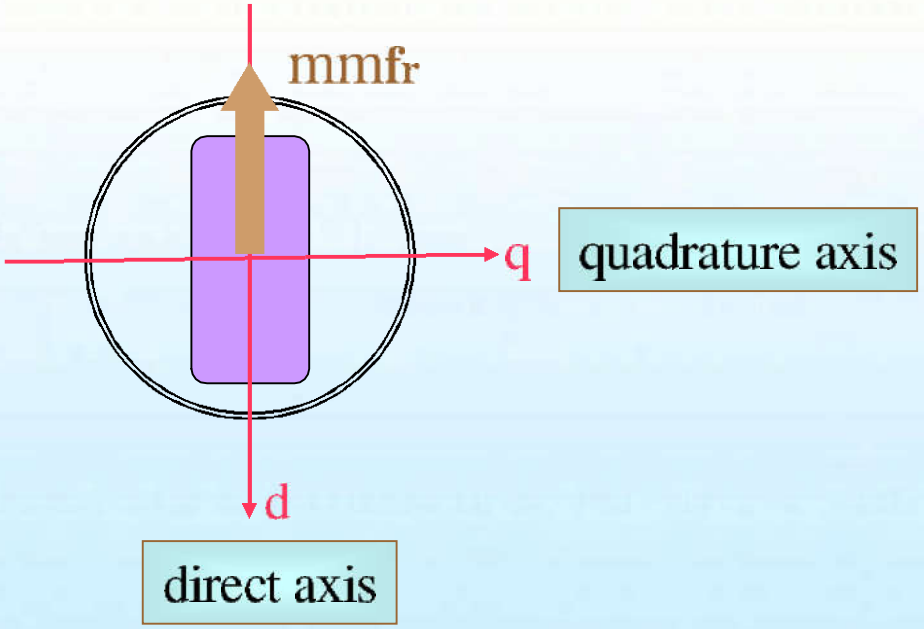


معرفی محورهای q و d و راکتانسهای Xq و Xd

برای اینکه راکتانس متغیر در محاسبات و تحلیل ها وارد نشود از تئوری دو محوری بلوندل بهره گرفته می شود .برای این کار ما دو جهت یا محور مستقیم (d) و عرضی (q) را تعریف می کنیم

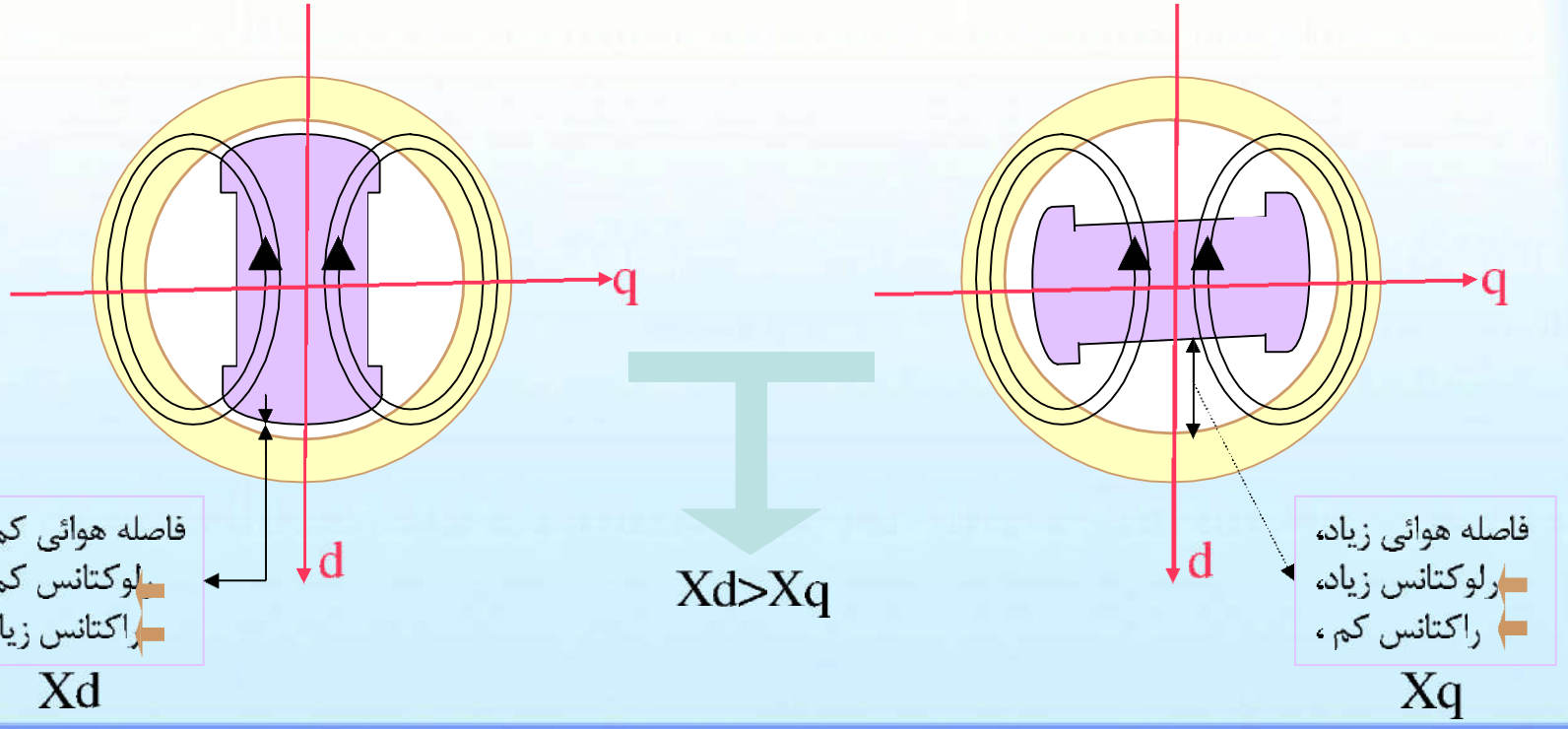
محور d هم راستا با محور روتوراست .

محور q عمود بر محور روتور است .



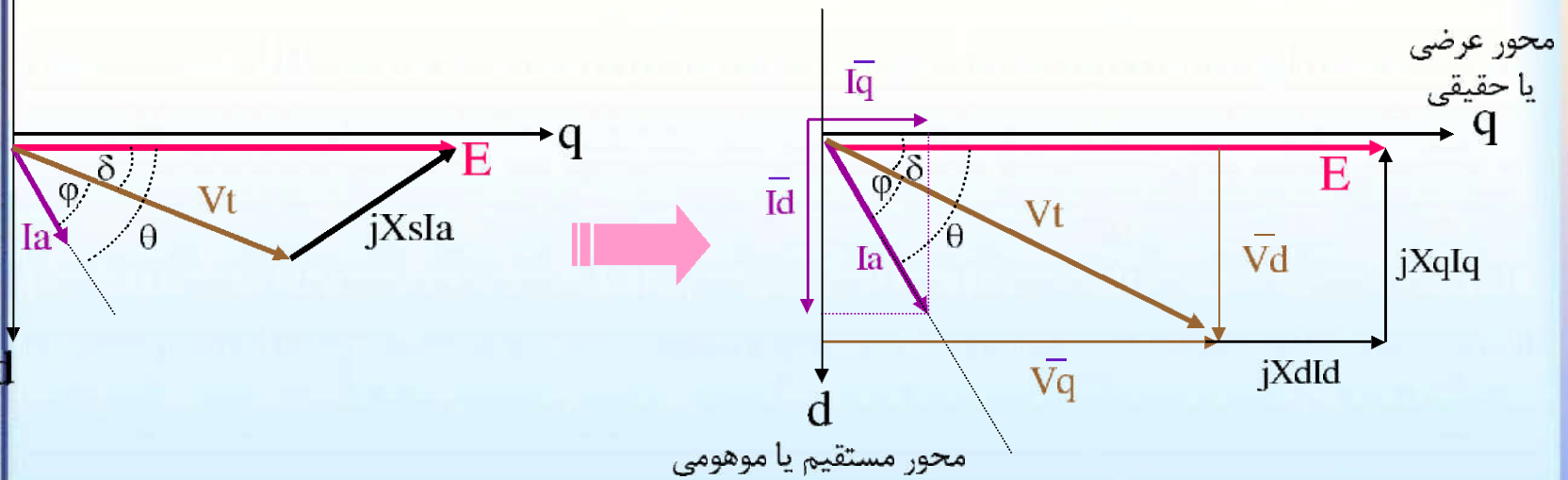
راکتانسها در راستای محورهای عرضی و مستقیم .

بسته به زاویهٔ بین مسیر شارهای عبوری از روتور و محور روتور ، راکتانسهای متفاوتی را می توان در نظر گرفت . در اینجا کمترین و بیشترین مقدار راکتانس معرفی شده است سایر مقادیر بینابینی باروشی که در ادامه می آید با ترکیبی از این مقادیر (به نوعی) بدست می آید .



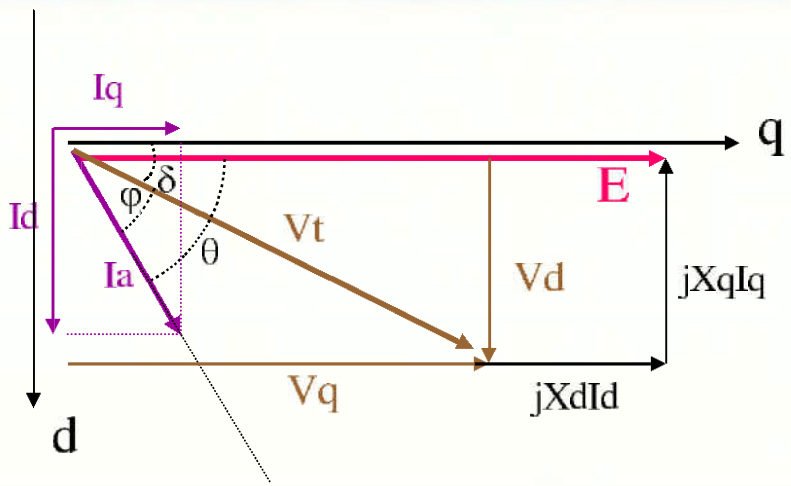
مدار معادل ماشینهای قطب برجسته (تئوری دومحوری بلوندل) (ادامه)

با دو روش متفاوت می توان به استخراج روابط و مدار معادل پرداخت که هر کدام در جای خود تسهیلات ویژه ای دارند . در روش اول کمیات $\bar{I}d$، $\bar{V}d$و $\bar{I}q$ ، $\bar{V}q$ ، را کمیاتی برداری در جهت محورهای d و q میدانیم پس روابط زیر را خواهیم داشت .



$$I_d = I_a \mathrm{Sin}\theta \qquad V_d = V_t \mathrm{Sin}\delta$$

$$I_q = I_a \mathrm{Cos}\theta \qquad V_q = V_t \mathrm{Cos}\delta$$



$$\bar{V}_t = \bar{V}_q + \bar{V}_d \quad (1)$$

$$\bar{I}_a = \bar{I}_q + \bar{I}_d$$

اما

$$\bar{V}_q = \bar{E} - jX_d\bar{I}_d \quad (2)$$

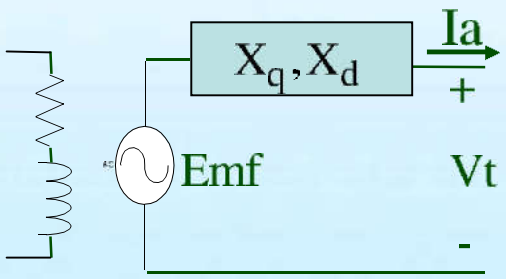
$$\bar{V}_d = -jX_q\bar{I}_q \quad (3)$$

(1) ←

$$\bar{V}_t = (E - jX_d\bar{I}_d) + (-jX_q\bar{I}_q) = E - jX_q\bar{I}_q - jX_d\bar{I}_d$$

یا

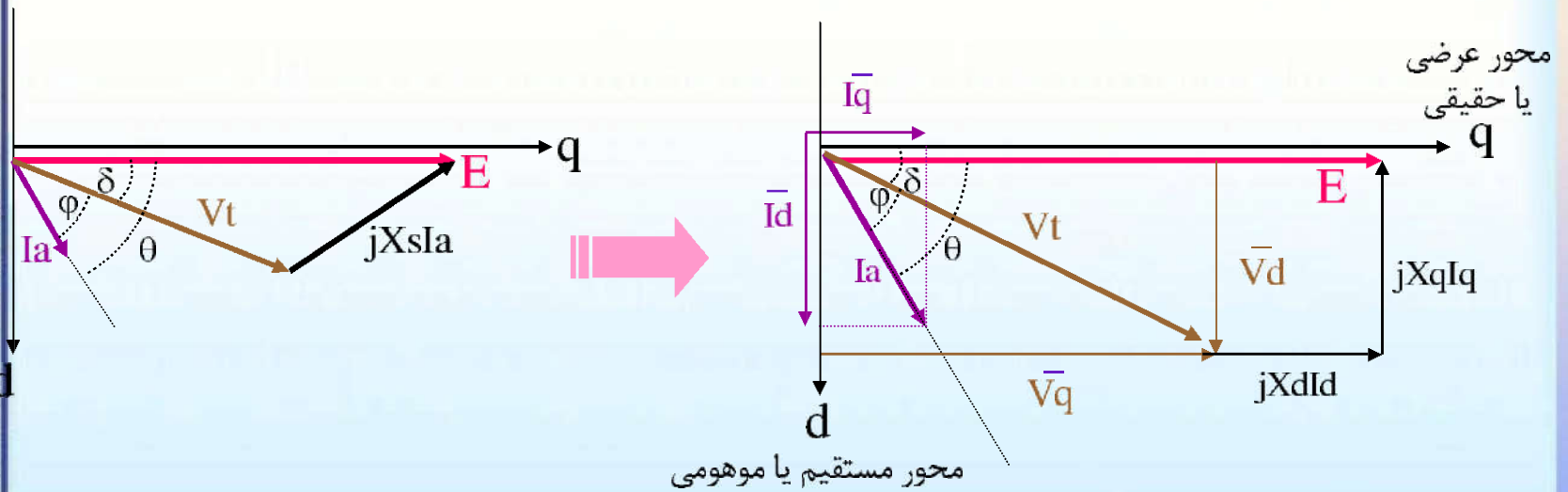
$$E = \bar{V}_t + jX_q\bar{I}_q + jX_d\bar{I}_d$$



مدار معادل ماشینهای قطب برجسته (تئوری دومحوری بلوندل) (ادامه)

در روش دوم کمیات Id ، Vd و Iq ، Vq ، را کمیاتی اسکالر در راستای محورهای d و q میدانیم

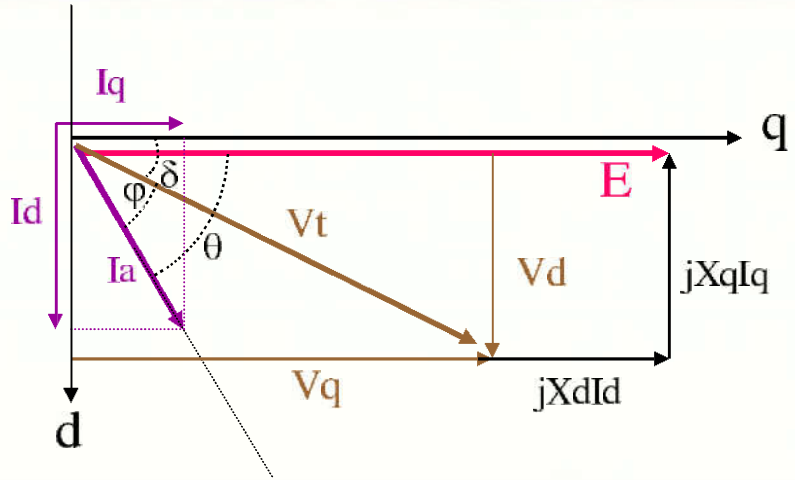
پس روابط زیر را خواهیم داشت .



$$I_d = I_a \mathrm{Sin}\theta \qquad V_d = V_t \mathrm{Sin}\theta$$

$$I_q = I_a \mathrm{Cos}\theta \qquad V_q = V_t \mathrm{Cos}\theta$$

بزرگی بردارهای ولتاژو جریان
(می توانند منفی هم باشند)



$$\bar{V}_t = V_q - jV_d \quad (1)$$

$$\bar{I}_a = I_q - jI_d$$

اما

$$V_q = E - X_d I_d \quad (2)$$

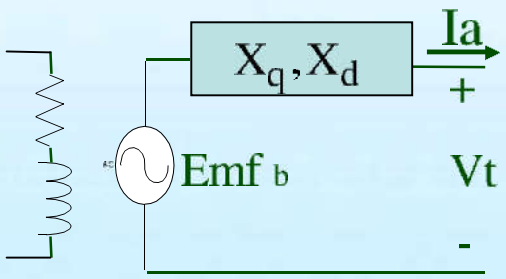
$$V_d = jX_q I_q \quad (3)$$

(2), (3) → (1)

$$\bar{V}_t = (E - X_d I_d) - (jX_q I_q) = E - X_d I_d - jX_q I_q$$

یا

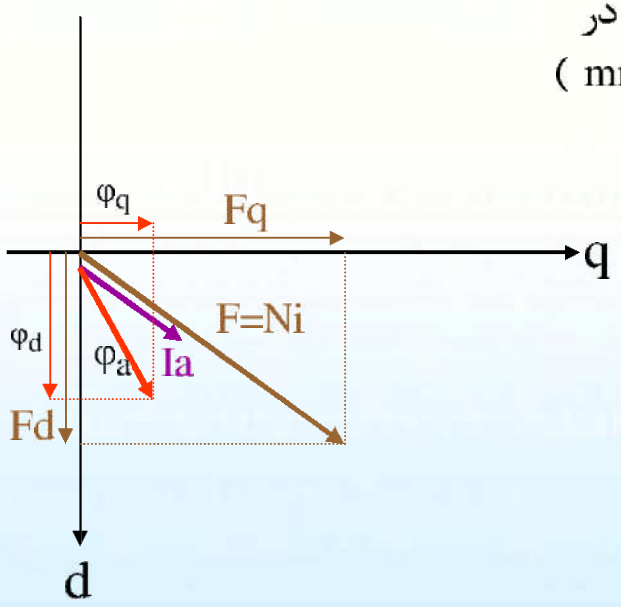
$$E = \bar{V}_t + X_d I_d + jX_q I_q$$



یکی از خصوصیات ماشینهای قطب برجسته

در این ماشینها نیروی محرکهٔ مغناطیسی (mmf) و شار مغناطیسی هم راستا نیستند .

نیروی محرکهٔ مغناطیسی ناشی از جریان آرمیچر بوده و در دیاگرام برداری هم جهت با آن رسم می شود . (mmf=Ni)



$$\varphi_d = \frac{F_d}{R_d}$$

$$\varphi_q = \frac{F_q}{R_q}$$

$$R_d < R_q$$

بنام خدا

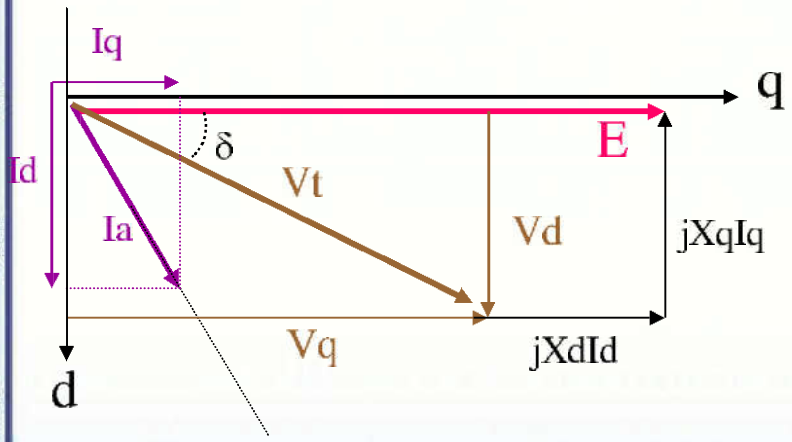
مبحث دوازدهم

ماشینهای الکتریکی III

ماشینهای الکتریکی III

توان و گشتاور در ماشین
سنکرون قطب برجسته

توان در ماشین سنکرون قطب برجسته



روش اول :

$$I_d = \frac{E - V_t\cos\delta}{X_d} \qquad I_q = \frac{V_t\sin\delta}{X_q} \quad \text{(۱)}$$

$$P = P_d + P_q = 3V_tI_d\cos(90-\delta) + 3V_tI_q\cos(\delta)$$

$$= 3V_tI_d\sin\delta + 3V_tI_q\cos\delta \xrightarrow{(۱)} P = 3V_t\frac{E - V_t\cos\delta}{X_d}\sin\delta + 3V_t\frac{V_t\sin\delta}{X_q}\cos\delta$$

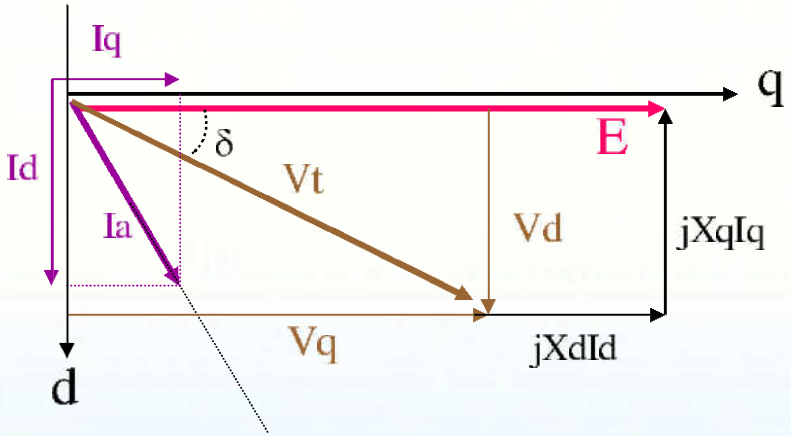
$$\rightarrow \quad P = 3\frac{EVt}{Xd}\sin\delta + 3\frac{Vt^2}{2}\left(\frac{1}{Xq} - \frac{1}{Xd}\right)\sin 2\delta$$

توان ناشی از تحریک — توان رلوکتانسی

دانشگاه علم و صنعت ایران / دانشکده برق / ماشینهای الکتریکی ۲ / دکتر واحدی / پاییز ۸۳

توان در ماشین سنکرون قطب برجسته(ادامه)

به همین ترتیب برای توان راکتیو هم داریم :



$$I_d = \frac{E - V_t\cos\delta}{X_d}$$

$$I_q = \frac{V_t\sin\delta}{X_q}$$

(۱)

$$Q = Q_d + Q_q = 3V_tI_d\sin(90-\delta) + 3V_tI_q\sin(-\delta)$$

$$= 3V_tI_d\cos\delta - 3V_tI_q\sin\delta \xrightarrow{(۱)} Q = 3V_t\frac{E - V_t\cos\delta}{X_d}\cos\delta - 3V_t\frac{V_t\sin\delta}{X_q}\sin\delta$$

$$\rightarrow Q = 3\frac{EVt}{Xd}\cos\delta - 3\frac{Vt^2\cos^2\delta}{X_d} - 3\frac{V_t^2\sin^2\delta}{X_q}$$

توان در ماشین سنکرون قطب برجسته(ادامه)

روش دوم : در این روش فرض ما بر آنست که
Vq و Iq ، Vd، Id کمیاتی اسکالر می باشند

$$S = P + jQ = 3V_t I_a^*$$

$$= 3(V_q - jV_d)(I_q - jI_d)^* = 3(V_q - jV_d)(I_q + jI_d) \quad (1)$$

(2) اما داریم :

$$\begin{cases} I_d = \dfrac{E - V_t\cos\delta}{X_d} \\ I_q = \dfrac{V_t\sin\delta}{X_q} \end{cases} \quad \text{و} \quad (3) \begin{cases} V_d = V_t\mathrm{Sin}\delta \\ V_q = V_t\mathrm{Cos}\delta \end{cases}$$

(1)(2)(3) $\rightarrow$

$$S = 3(V_t\cos\delta - jV_t\sin\delta)\left(\frac{V_t\sin\delta}{X_q} + j\frac{E - V_t\cos\delta}{X_d}\right)$$

$$= 3\left(\frac{V_t^2\sin 2\delta}{2X_q} + \frac{V_t E\sin\delta}{X_d} - \frac{V_t^2}{2X_d}\sin 2\delta\right) + j3\left(\frac{EV_t c}{X_d} - \frac{\delta}{-} + \frac{V_t^2\cos^2\delta}{X_d} - \frac{V_t^2\sin^2\delta}{X_q}\right)$$

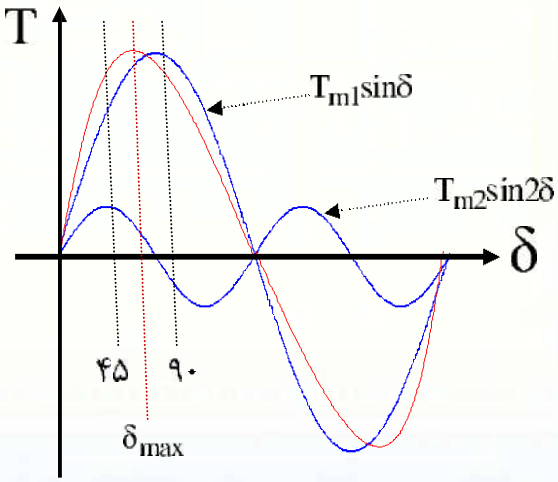
$$= 3\left(\frac{EV_t}{X_d}\sin\delta + \frac{V_t^2}{2}\left(\frac{1}{X_q} \quad \frac{1}{X_d}\right)\sin 2\delta\right) + j3\left(\frac{EVt}{Xd}\cos\delta - \frac{Vt^2\cos^2\delta}{X_d} - \frac{V_t^2\sin^2\delta}{X_q}\right)$$

گشتاور در ماشینهای قطب برجسته

$$P = T\omega$$

$$T = \frac{3}{\omega}\left(\frac{EV_t}{X_d}\sin\delta + \frac{V_t^2}{2}\left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d}\right)\sin 2\delta\right)$$

گشتاورناشی از تحریک — گشتاور رلوکتانسی



اگر فقط گشتاور رلوکتانسی باشد زاویهٔ حد پایداری $\delta = 45$ است .

اگر فقط گشتاور ناشی از تحریک باشد زاویهٔ حد پایداری $\delta = 90$ است .

در حالت کلی داریم : $45 < \delta_{max} < 90$

هرچه دامنهٔ E بزرگتر و اختلاف X_q و X_d کمتر باشد ، δ به ۹۰ درجه نزدیکترمی شود

و هرچه دامنهٔ E کوچکتر و اختلاف X_q و X_d بیشتر باشد ، δ به ۴۵ درجه نردیکتر می شود .

بنام خدا

مبحث سیزدهم

ماشینهای الکتریکی III

ماشینهای الکتریکی III

طریقهٔ رسم دیاگرام برداری

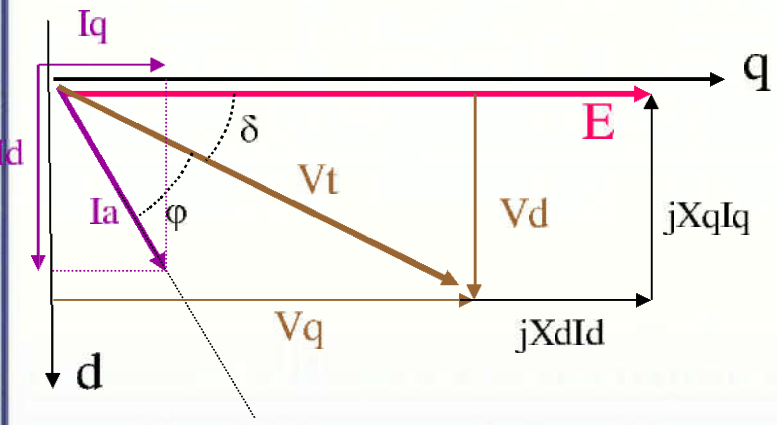
طریقهٔ رسم دیاگرام برداری

همانگونه که ملاحظه گردید ، برای رسم دیاگرامهای برداری و یا استفاده از روابط ماشینهای قطب برجسته لازم است زاویهٔ δو ولتاژ القائی E معلوم باشند . اما در عمل و از روی کمیات خارجی ماشین فقط می توانیم از مقادیر Ia ، Vt و φ اطلاع داشته باشیم لذا باید بتوانیم روشی را بیابیم که به کمک آن بتوانیم مقادیر δ و E را از روی کمیات قابل دسترسی ماشین تعیین کنیم . (البته با داشتن هرکدام از δ یا E می توانیم دیگری را هم محاسبه کنیم .)

برای اینکار دو روش وجود دارد

- روش محاسباتی
- روش ترسیمی

روش محاسباتی



$$I_d = I_a \sin(\delta + \varphi)$$
$$I_q = I_a \cos(\delta + \varphi) \quad (1)$$

$$V_t \sin\delta = X_q I_q \quad (2)$$

(1) (2) $\Rightarrow$ $V_t \sin\delta = X_q I_a \cos(\delta + \varphi) \Rightarrow V_t \sin\delta = X_q I_a (\cos\delta \cos\varphi - \sin\delta \sin\varphi)$

$$\sin\delta (V_t + X_q I_a \sin\varphi) = X_q I_a \cos\varphi \Rightarrow \tan\delta = \frac{X_q I_a \cos\varphi}{V_t + X_q I_a \sin\varphi}$$

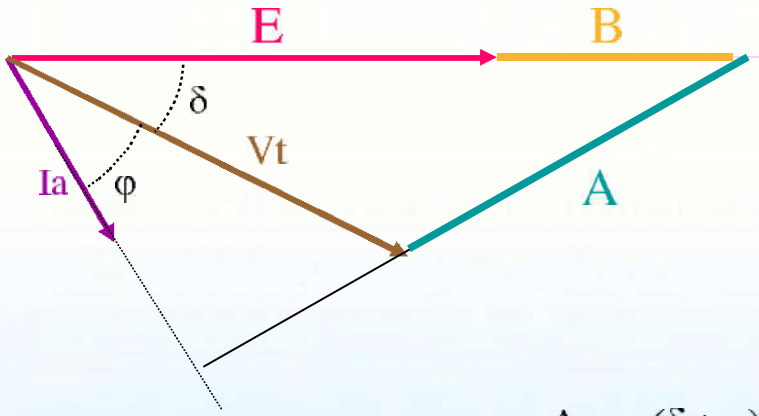
توجه : X_d و X_q از پارامترهای ثابت ماشین هستند و روی پلاک ماشین داده شده اند .

تمرین : روش محاسباتی فوق را برای حالت موتوری دنبال کنید .

تمرین : عملیات فوق را با در نظر گرفتن Ra مجددا تکرار کنید .

روش ترسیمی

برای فهم این روش فرض می کنیم تمام کمیات منجمله δ و E را داریم و می توانیم دیاگرام را رسم کنیم . حالا با استفاده از این دیاگرام روشی را برای رسم آن می یابیم .



۱- I_a را امتداد می دهیم

۲- از انتهای بردار V_t بر I_a عمودی رسم می کنیم و از طرف دیگر آنرا چنان ادامه می دهیم تا راستای بردار E را قطع کند . طول پاره خط از V_t تا E را A نامیم.

۳- برای بدست آوردن طول پاره خط A چنین داریم .

$$A\cos(\delta+\varphi) = X_q I_q = X_q I_a \cos(\delta+\varphi) \Rightarrow A = X_q I_a$$

۴- برای پیدا کردن انتهای بردار E باید طول پاره خط B معلوم باشد که برای محاسبهٔ آن چنین عمل می کنیم .

$$B = X_d I_d - A\sin(\delta+\varphi)$$

$$A\sin(\delta+\varphi) = X_q I_a \sin(\delta+\varphi) = X_q I_d$$

$$\Rightarrow B = X_d I_d - X_q I_d = I_d(X_d - X_q)$$

دانشگاه علم و صنعت ایران / دانشکده برق / ماشینهای الکتریکی ۳ / دکتر واحدی / پاییز ۸۳

بنام خدا

مبحث چهاردهم

ماشینهای الکتریکی III

ماشینهای الکتریکی III

تعیین پارامترهای Xd و Xq

تعیین پارامترهای Xd و Xq

روشهای تعیین پارامترهای Xd و Xq

۱- با استفاده از scc و occ
(فقط Xd قابل محاسبه است .)

۲- با استفاده از آزمایش لغزش

۳- روش موتور رلوکتانسی

۴- روش ماکزیموم جریان پس فاز

تعیین پارامتر Xd با استفاده از SCC و OCC

برای یک ماشین قطب برجسته می توان Xd را از دو آزمایش بی باری و آزمایش اتصال کوتاه بدست آورد .

در حالت اتصال کوتاه و با فرض Ra=0 دیاگرام برداری به صورت زیر است :

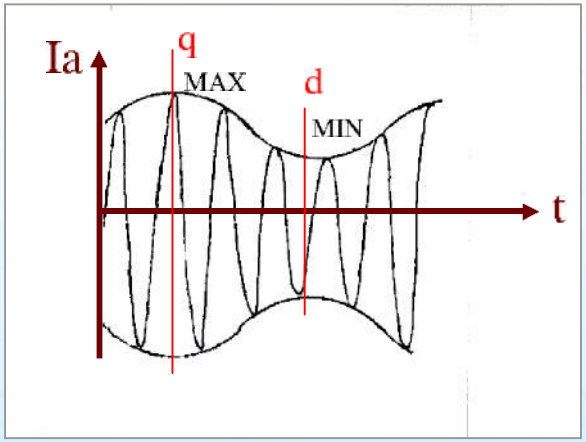
$$V=0$$
$$I_q=0$$
$$I_d=I_a$$
$$E = X_d I_d = X_d I_a$$

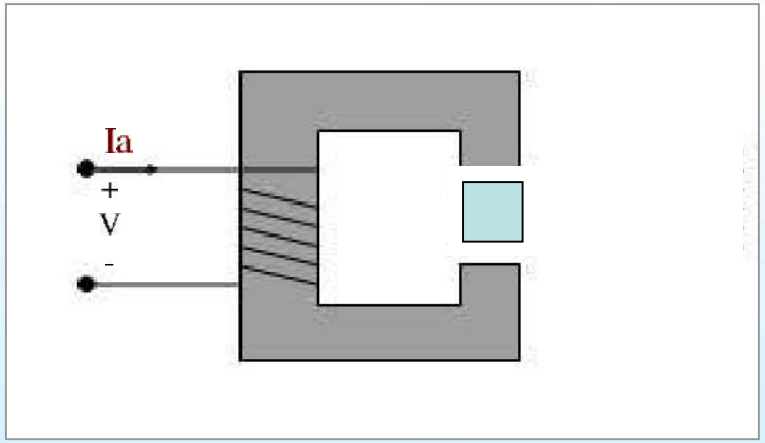
بنابراین برای بدست آوردن Xd داریم :

$$X_d = \left| \frac{E(occ)}{I_a(scc)} \right|_{I_f=cte}$$

تعیین پارامترهای Xd و Xq با استفاده از آزمایش لغزش

در این روش جریان تحریک صفر می باشد . ماشین سنکرون را به یک شبکهٔ سه فاز وصل می کنیم و روتور آنرا به کمک یک محرک خارجی با سرعتی که اندکی از سرعت سنکرون کمتر است می چرخانیم . ولتاژ در این آزمایش باید حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد ولتاژ نامی باشد منحنی جریان یک فاز در این آزمایش بصورت زیر است :





$$X_d = \frac{V_t}{I_{a(min)}} \qquad \text{و} \qquad X_q = \frac{V_t}{I_{a(max)}}$$

تعیین پارامترهای Xd و Xq با استفاده از روش موتور رلوکتانسی

در این روش نسبت $K=\frac{X_q}{X_d}$ را بدست می آوریم . روش کار چنین است که موتور را به منبع سه فازه وصل کرده و جریان تحریک روتور را وصل می کنیم . وقتی که موتور به سرعت سنکرون رسید جریان تحریک را به تدریج کم می کنیم تا به صفر برسد . در این حالت موتور در اثر گشتاور رلوکتانسی به کار خود ادامه می دهد . بار مکانیکی را آنقدر زیاد می کنیم تا موتور به حد پایداری خود $\delta=45$ برسد در این حالت مقادیر Vt، Ia و P را اندازه گیری می کنیم . روابط بدینگونه اند :

$$P=\frac{V_t^2}{2}\left(\frac{1}{X_q}-\frac{1}{X_d}\right)\sin 2\delta=\frac{Vt^2}{2Xq}\left(1-\frac{Xq}{Xd}\right)\sin 2\delta \xrightarrow{\delta=45} P_{max}=\frac{V_t^2}{2X_q}(1-K)$$

$$\left.\begin{aligned} V_t\sin\delta &= X_q I_q \\ V_t\cos\delta &= X_q I_d \end{aligned}\right\} \Rightarrow \left.\begin{aligned} I_q &= \frac{V_t\sin\delta}{X_q} \\ I_d &= \frac{V_t\cos\delta}{X_d} \end{aligned}\right\} \Rightarrow |I_a|=\sqrt{I_d^2+I_q^2} \xrightarrow{\delta=45}$$

$$I_a=\frac{V_t}{\sqrt{2}}\sqrt{\left(\frac{1}{X_q}\right)^2+\left(\frac{1}{X_d}\right)^2}=\frac{V_t}{\sqrt{2}X_q}\sqrt{1+K^2} \Rightarrow \frac{P_{max}}{I_a}=\frac{Vt}{\sqrt{2}}\cdot\frac{(1-K)}{\sqrt{1+K^2}}$$

بنام خدا

مبحث پانزدهم

ماشینهای الکتریکی III

ماشینهای الکتریکی III

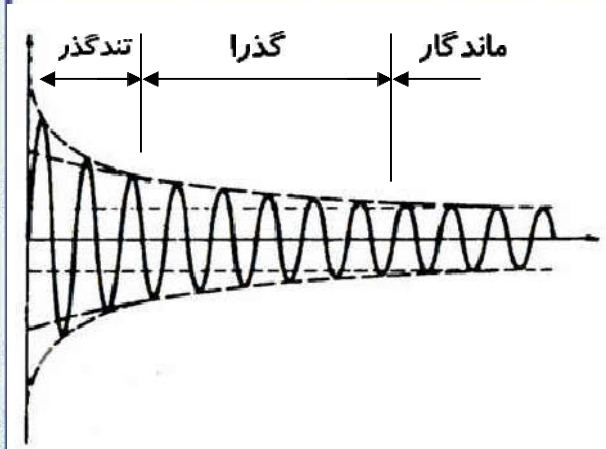
حالتهای گذرا در ماشین سنکرون

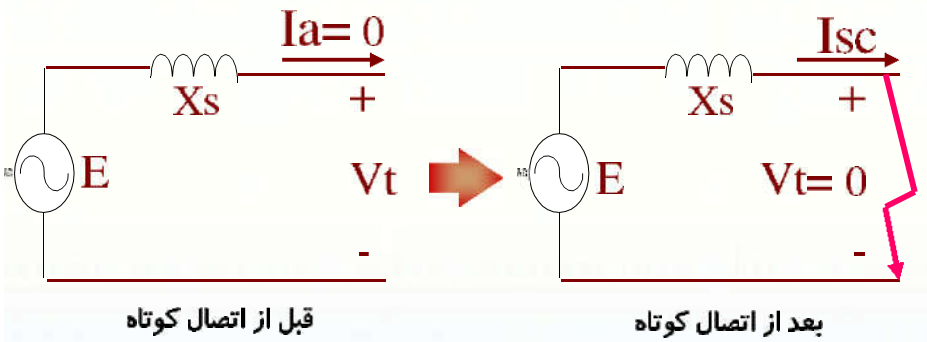
حالتهای گذرا در ماشین سنکرون

منظور اصلی از حالت گذرا در موتور و ژنراتور این موارد است .

۲- حالت موتوری : در حالت موتوری ، شرایط گذرا را می توان بعنوان تغییرات ناگهانی بار روی محور موتور تعبیر کرد .

بررسی اتصال کوتاه در ژنراتور



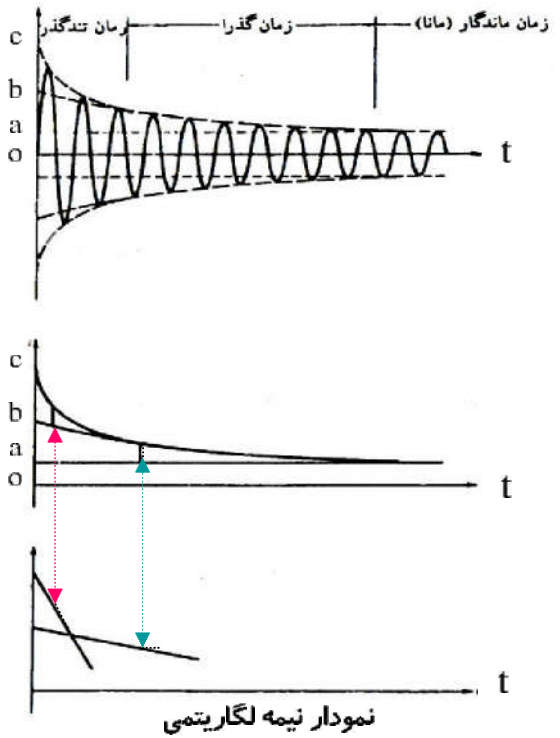


اگر ژنراتور را یک مدار سلفی معمولی می دانستیم انتظار داشتیم دامنهٔ مولفهٔ سینوسی ثابت بوده و فقط یک مولفهٔ dc میرا در جریان ظاهر می شد ولی همانگونه که در نمودار جریان فوق (که با صرفنظر از مولفهٔ dc رسم شده) دیده می شود ،دامنه جریان سینوسی ، تغییرات زیادی دارد . نکات مهمی که در این نمودار دارای اهمیت است به شرح زیرند :

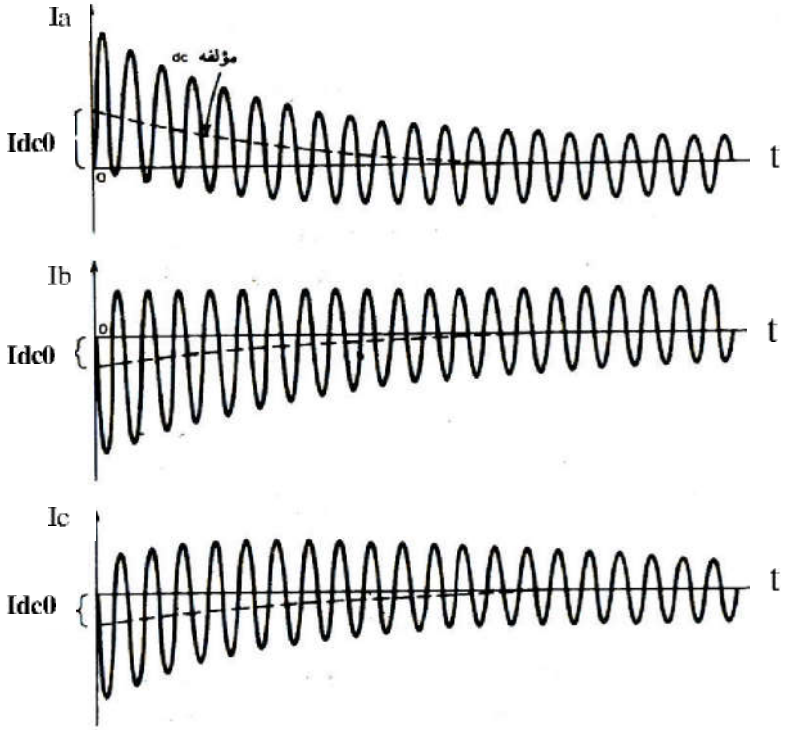
۱ – این نمودار را می توان به سه قسمت با زمانهای خاص خود تقسیم کرد .

۲ – علت وقوع این تغییرات در هر کدام از بازه های زمانی .

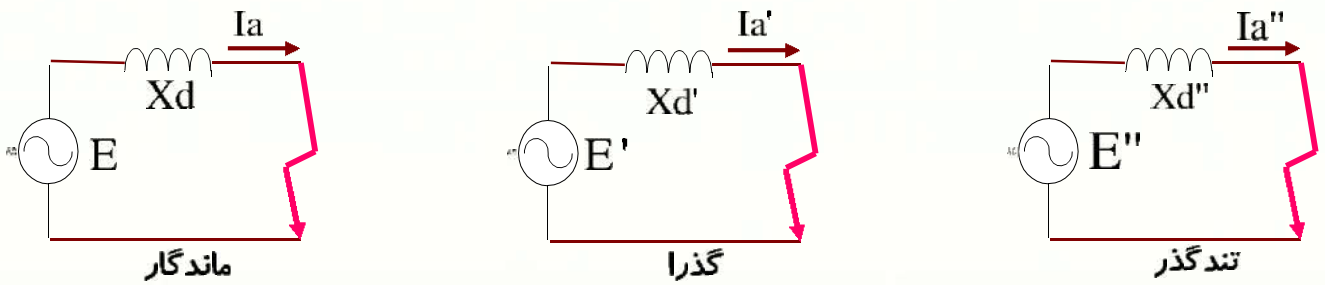
جریانهای اتصال کوتاه ژنراتور سه فاز در حالت بی باری



نمودار نیمه لگاریتمی



مدار معادل ژنراتور سنکرون در حالتهای اتصال کوتاه بی بار و باردار



مدار معادل ژنراتور اتصال وتاه شده در حالت بی باری و بارداری به همین صورت است تنها تفاوت آنها در مقدار ولتاژ القائی آنها می باشد . در حالت بی بار ولتاژهای القائی در تمام حالات یکسان و برابر ولتاژ بی بار ژنراتور می باشند .

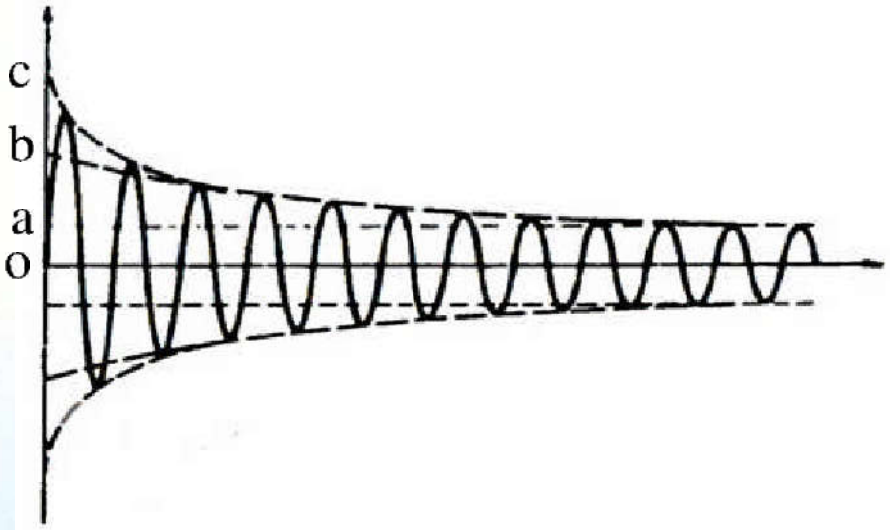
در حالت بار دار ولتاژهای القائی را بصورت زیر در نظر می گیرند :

$$E = V_t + jX_d I_a$$

$$E' = V_t + jX_d' I_a$$

$$E'' = V_t + jX_d'' I_a$$

رابطهٔ جریان اتصال کوتاه



$$i_{SC} = \sqrt{2}\left[\underbrace{\frac{E}{X_d}}_{oa} + \underbrace{\left(\frac{E}{X'_d} - \frac{E}{X_d}\right)e^{\frac{-t}{T'_{d0}}}}_{ab} + \underbrace{\left(\frac{E}{X''_d} - \frac{E}{X'_d}\right)e^{\frac{-t}{T''_{d0}}}}_{bc}\right] sin\omega t + I_{dco}e^{\frac{-t}{T_a}}$$

دانشگاه علم و صنعت ایران / دانشکده برق / ماشینهای الکتریکی ۳ / دکتر واحدی / پاییز ۸۳

بنام خدا

مبحث شانزدهم

ماشینهای الکتریکی III

ماشینهای الکتریکی III

بررسی پایداری ماشین سنکرون

بررسی پایداری ماشین سنکرون

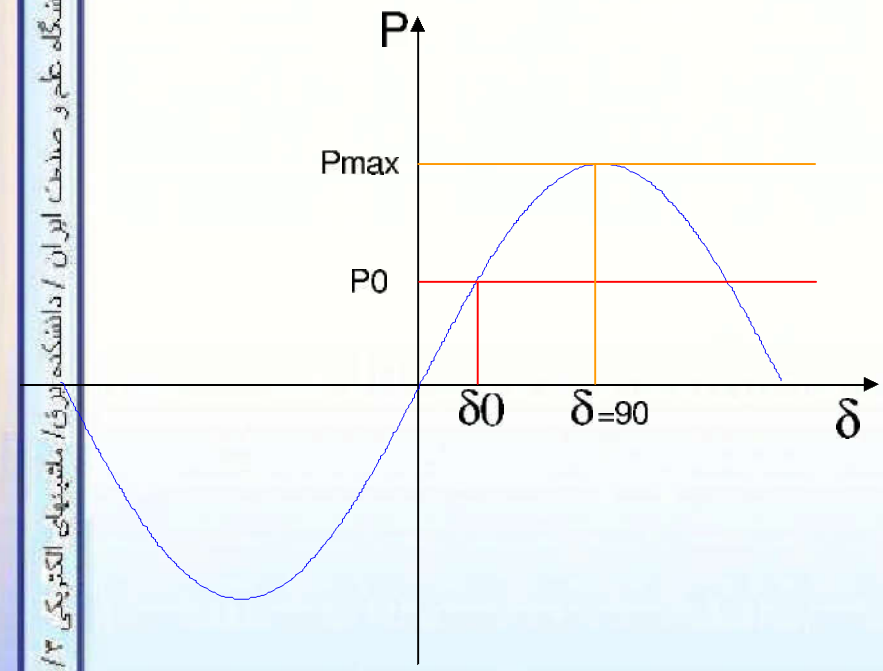
منظور از پایداری حالتی است که ورودیها و خروجیهای ماشین متعادل بوده و ماشین بطور عادی در حال کار است . یعنی در حالت پایدار معادله زیر باید بر قرار باشد :

$$P_m - P_l = 0$$

دو نوع پایداری برای ماشین سنکرون تعریف می شود

- پایداری حالت دایم (استاتیک)
- پایداری گذرا (دینامیک)

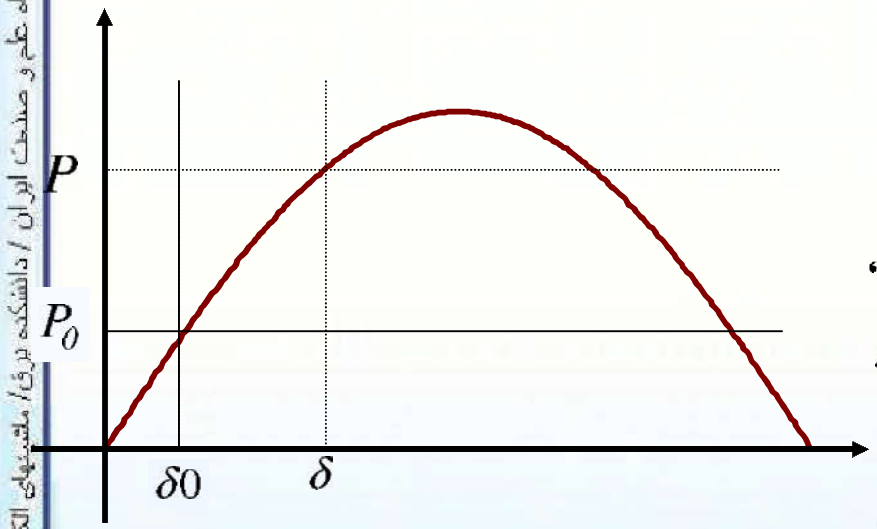
پایداری حالت دایم (استاتیک ، مانا)



فرض کنیم ماشین با توان اولیه P_0 و زاویه δ_0 مشغول به کار است . اگر بار روی ماشین به آرامی افزایش پیدا کند ، δ زیاد می شود و توان مکانیکی مورد نیاز بار تامین می شود . اگر این فرایند ادامه یابد تا $\delta = 90$ ، از آن به بعد دیگر با تغییر δ ، توان مکانیکی خروجی موتور بیشتر نخواهد شد و در صورت افزایش بار موتور زیر بار خواهد ایستاد . بنا بر این $\delta = 90$ (در موتور قطب صاف) حد پایداری استاتیک می باشد .

نکته مهمی که در پایداری استاتیک مطرح است ، آنستکه در اینجا تغییرات بار آرام می باشد .

پایداری حالت دایم (استاتیک ، مانا)



در پایداری دینامیکی علاوه بر میزان تغییر بار ، سرعت تغییر بار نیز مطرح است. برای روشن شدن مطلب شکل روبرو را ملاحظه کنید :

اگر توان بار به آرامی از P_0 به P افزایش یابد ، زاویه ماشین از δ_0 به δ می رود . اما اگر تغییر توان ماشین از P_0 به P ناگهانی و بصورت پله ای باشد ، آیا باز هم ماشین پایدار خواهد ماند و قادر به تامین توان جدید خواهد بود ؟

ملاحظه شده که در تغییر پله ای بار ، حالت ماشین حول نقطه کار نهائی نوسان کرده تا در نهایت بوسیله عوامل میرا کننده در نقطه کار نهائی مقیم شود . در شرایط خاص این نوسانات ممکن است باعث ناپایداری ماشین شود که در بحث پایداری دینامیکی به این موضوع پرداخته می شود .

ادامه بحث پایداری دینامیکی

پیش از ارائه روابطی در این باره باید به دو نکته اشاره کرد :

اول **در نظر گرفتن اثر میرائی های موجود در سیستم (اصطکاک و بادخوری)به چند روش ممکن است:**

1. **آنها را بطور دقیق در روابط وارد کنیم**
2. **از داخل کردن آنها در روابط پرهیز کرده ولی در تفسیر نتایج، اثر آنها را در نظر بگیریم**

(در اینجا برای سادگی بیان مطلب از روش سوم بهره گرفته ایم .)

دوم **در بررسی پایداری دینامیکی این مساله مهم است که میزان تغییر ایجاد شده کوچک است یا بزرگ . در مورد تغییرات کوچک می توانیم از روش خطی سازی و سیگنال کوچک به بررسی مساله بپردازیم در حالی که در تغییرات بزرگ باید پاسخ معادلات حاکم را به روشی بطور دقیق بدست آوریم .**

ابتدا روش سیگنال کوچک بیان شده آنگاه در باب روش دوم مطالبی ارائه می گردد .

بررسی پایداری سیستم با وجود تغییرات کوچک

معادله مکانیکی حاکم بر ماشین چنین می باشد:

$$\sum_j T_j = J\frac{d^2\theta}{dt^2} + B\frac{d\theta}{dt} \quad (1)$$

که در اینجا J ممان اینرسی و B ضریب اصطکاک می باشد

گفتیم که ما در اینجا اثر اصطکاک را در تفسیر نتایج استفاده می کنیم و در روابط از آن صرفنظر می کنیم در نتیجه معادله ۱ به شکل زیر در می آید :

$$(1) \Rightarrow T_i - T_m = J\frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (2)$$

محرک

مقاوم

در ضمن با فرض ثابت بودن سرعت داریم :

$$\theta = \omega t + \delta \Rightarrow \frac{d\theta}{dt} = \omega + \frac{d\delta}{dt} \Rightarrow \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{d^2\delta}{dt^2} \quad (3)$$

که در اینجا δ زاویه بار ماشین می باشد .

بررسی پایداری سیستم با وجود تغییرات کوچک

معادله نوسان (swing equation) :

$$T_i - T_m = J\frac{d^2\delta}{dt^2} \quad (2)(3)$$

ضرب طرفین در ω

$$P_i - P_m = J\omega\frac{d^2\delta}{dt^2} \quad (4)$$

M ، مومنتوم

در مورد موتور سنکرون، با جایگذاري توان محرک و توان مقاوم داریم :

$$P_m = P_{\max}\sin\delta$$

جایگذاري

$$P_i - P_{\max}\sin\delta = J\omega\frac{d^2\delta}{dt^2}$$

همانطور که ملاحظه میشود این معادله غیر خطي است

حل سیگنال کوچک معادله نوسان

در حالت پایدار اولیه داریم : $P_i = P_{m0}$ و $P_{m0} = \frac{EV}{X}\sin\delta_0$

بعد از اعمال تغییر داریم: $P_m = P_{m0} + \Delta P_m$ و $\delta = \delta_0 + \Delta\delta$ (5)

(4) $P_i - P_m = M\frac{d^2\delta}{dt^2}$ (5) $\Rightarrow P_i - (P_{m0} + \Delta P_m) = M\frac{d^2(\delta_0 + \Delta\delta)}{dt^2}$

$\Rightarrow P_i - P_{m0} - \Delta P_m = M\frac{d^2\delta_0}{dt^2} + M\frac{d^2\Delta\delta}{dt^2}$ ($P_i - P_{m0} \to 0$, $\frac{d^2\delta_0}{dt^2} \to 0$)

$\Rightarrow -\Delta P_m = M\frac{d^2\Delta\delta}{dt^2}$

$\Rightarrow M\frac{d^2\Delta\delta}{dt^2} + \Delta P_m = 0$ (6)

در این مرحله ΔP_m را هم برحسب $\Delta\delta$ می نویسیم

حل سیگنال کوچک معادله نوسان(ادامه)

$$P_m = \frac{EV}{X}\sin\delta$$

$$P_{m0} + \Delta P_m = \frac{EV}{X}\sin(\delta_0 + \Delta\delta) = \frac{EV}{X}\sin\delta_0 + \underbrace{\frac{EV}{X}}_{P_{\max}} \times \frac{d\sin\delta}{dt}\Big|_{\delta_0}\Delta\delta$$

$$\Delta P_m = \frac{EV}{X}\cos\delta_0\Delta\delta = P_{\max}\cos\delta_0\Delta\delta \quad (7)$$

(6) (7)

$$M\frac{d^2\Delta\delta}{dt^2} + P_{\max}\cos\delta_0\Delta\delta = 0$$

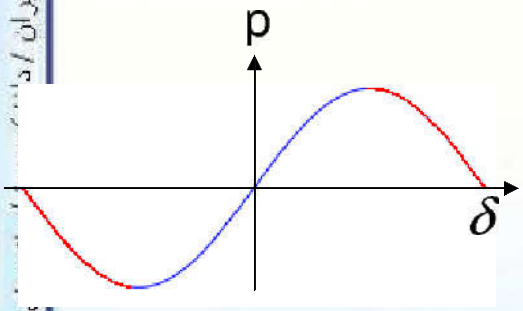
در حوزه لاپلاس

$$(MS^2 + P_{\max}\cos\delta_0)\Delta\delta = 0 \Rightarrow S = \pm\sqrt{\frac{-P_{\max}\cos\delta_0}{M}}$$

حل سیگنال کوچک معادله نوسان(ادامه)

تعبیر عبارت روبرو :

$$S = \pm\sqrt{\frac{-P_{\max}\cos\delta_0}{M}}$$



این رابطه می گوید اگر $P_{\max}\cos\delta_0$ منفی باشد مشخصه سیستم دارای دو ریشه حقیقی است ، یکی مثبت دیگری منفی ، که ریشه مثبت باعث ناپایداری ماشین می شود .این نواحی در شکل روبرو با رنگ قرمز نشان داده شده اند .

اگر $P_{\max}\cos\delta_0$ مثبت باشد مشخصه سیستم دارای دو ریشه موهومی است و در اثر بروز یک تغییر ماشین شروع به نوسان می کند که اگر اثر میرائی های موجود را در نظر بگیریم می توانیم بگوئیم که نوسانات بعد از مدتی میرا شده و سیستم به پایداری میرسد .

دانشگاه علم و صنعت ایران / دانشکده مهندسی الکتریکی / درس واحدی / پاییز ۸۳

بررسی پایداری دینامیکی ماشین سنکرون در حضور تغییرات بزرگ(معیار سطوح برابر)

گفتیم که در این حالت باید معادله نوسان را بطور دقیق حل کنیم که این کار دارای پیچیدگی نسبتا زیادی است . برای حل این مشکل روشی را ارائه می دهیم که با کمک آن بدون حل معادله نوسان بتوانیم یک برآورد کلی راجع به پایدار بودن یا نبودن سیستم تحت بررسی به عمل آوریم .

(4) $$P_i - P_m = M\frac{d^2\delta}{dt^2}$$

ضرب طرفین در $2d\delta/dt$ و گرفتن انتگرال

$$\int \frac{2d\delta}{dt}(P_i - P_m)dt = \int (M\frac{d^2\delta}{dt^2})\frac{2d\delta}{dt}dt$$

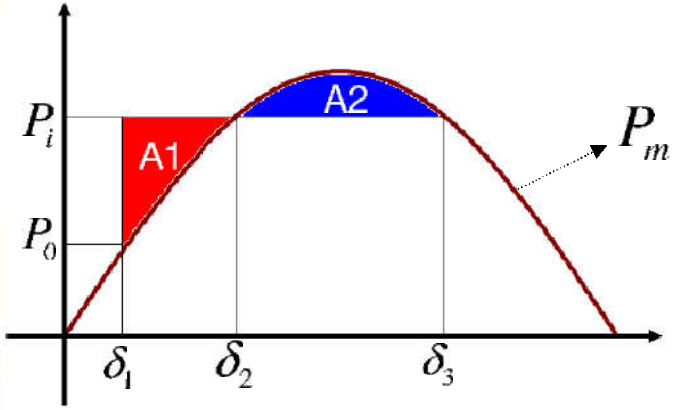
$$\frac{2}{M}\int (P_i - Pm)d\delta = \left(\frac{d\delta}{dt}\right)^2 \qquad (8)$$

معیار سطوح برابر(ادامه)

ممکنست ماشین چند بار نوسان کند بنا براین $d\delta$ چند بار در بازه δ_1 و δ_2 رفت و برگشت خواهد داشت . اما می توان ثابت کرد که اگر برای اولین نوسان انتگرال فوق برقرار باشد برای نوسانات بعدی هم برقرار خواهد بود لذا ما فقط یک حرکت رفت (از تعداد حرکات رفت و برگشت ممکن) را بررسی می کنیم .

$$\int_{\delta_1}^{\delta_3} (P_i - P_m)\, d\delta = 0 \qquad (8)$$

معیار سطوح برابر(ادامه)



اما مفهوم این رابطه چیست ؟

$$\int_{\delta_1}^{\delta_2}(P_i - P_m)d\delta + \int_{\delta_2}^{\delta_3}(P_i - P_m)d\delta = 0 \Rightarrow \int_{\delta_1}^{\delta_2}(P_i - P_m)d\delta = -\int_{\delta_2}^{\delta_3}(P_i - P_m)d\delta$$

$$\Rightarrow \int_{\delta_1}^{\delta_2}(P_i - P_m)d\delta = \int_{\delta_2}^{\delta_3}(P_m - P_i)d\delta$$

A1 area — A2 area

A1=A2 ⇒ پایداری مرزی

A1<A2 ⇒ پایداری برقرار می ماند

A1>A2 ⇒ سنکرونیزم از دست می رود

مثال

یک موتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است :

$$Xd = 0.8\,PU \qquad \text{و} \qquad X'd = 0.3\,PU$$

جریان تحریک طوری تنظیم شده که Ef=1PU و سنکرونیزم بین موتور و شبکه بی نهایت برقرار شده است .

الف) حداکثر گشتاوری که می توان به آرامی به موتور اعمال نمود تا موتور از حالت سنکرونیزم خارج نشود چقدر است ؟

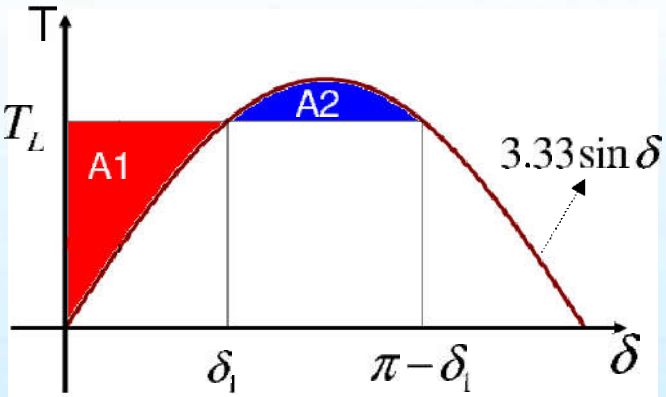
ب) حداکثر گشتاوری که می توان بطور ناگهانی به محور موتور اعمال نمود بدون اینکه موتور از حالت سنکرون خارج شود چقدر است ؟ آیا موتور می تواند تحت این بار بماند ؟

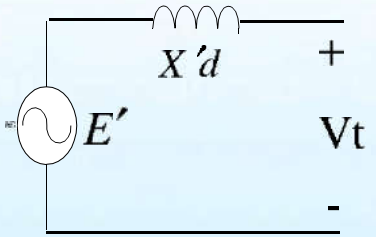
پاسخ

الف)

$$\sin\delta = 1 \Rightarrow T = \frac{V_t E_f}{X_d}(PU) = \frac{1}{0.8} = 1.25$$

ب) حد اکثر بار قابل اعمال به موتور مربوط به زمانیست که که سطح شتاب دهنده و سطح شتاب گیرنده مساوی باشند .





مدار معادل حالت گذرا

پاسخ (ادامه)

$$P = \frac{E'V}{X'd}\sin\delta \Rightarrow T = \frac{E'V}{\omega X'd}\sin\delta$$

$$E' = E - X'dI_a \quad \text{Ia=0} \quad \Rightarrow \quad E' = E = 1PU$$

$$\Rightarrow \quad T = \frac{1}{1\times 0.3}\sin\delta = 3.33\sin\delta$$

سطوح A1 و A2 را محاسبه کرده و با یکدیگر برابر قرار می دهیم تا δ_1 بدست آید

$$A1 = T_L\delta_1 - \int_0^{\delta_1}(3.33\sin\delta)d\delta = (3.33\sin\delta_1)\delta_1 + 3.33(\cos\delta_1 - 1)$$

$$A2 = \int_{\delta_1}^{\pi-\delta_1}(3.33\sin\delta)d\delta - T_L(\pi - 2\delta_1) = (6.66\cos\delta_1) - (3.33\sin)(\pi - 2\delta_1)$$

پاسخ (ادامه)

A1=A2 $\Rightarrow \delta_1 = 46.5 \Rightarrow T_L = 3.33 \sin \delta_1 = 2.42(pu)$

موتور نمی تواند تحت این بار به کار خود ادامه دهد چرا که این بار فراتر از حد پایداری استاتیکی ماشین می باشد

به نام خدا

مبحث هفدهم

ترانسفورماتور سه فاز

ترانسفورماتور سه فاز

کلیات ترانسفورماتور سه فاز

فهرست :

ترانسفورماتور سه فاز

مقدمه

بررسی اتصالات و آرایشهای تراسفورماتور سه فاز

آرایشهای خاص

آرایش زیگزاگ - آرایش اسکات – آرایش مثلث باز

مرور گروه بندی ترانسفورماتور سه فاز

مبحث ویژه

هارمونیکها در ترانسفورماتور سه فاز

مقدمه

دلیل استفاده از ترانسفورماتور در سیستم قدرت :

محدودیت ساخت ژنراتورها موجب شده که ولتاژ آنها از حدود بیست (و حداکثر سی) کیلو ولت تجاوز نکند که این ولتاژ برای انتقال قدرت مناسب نمی باشد و باعث بروز تلفات زیاد می گردد. لذا بحث استفاده از ترانسفورماتورهای سه فازه مطرح گردیده است .

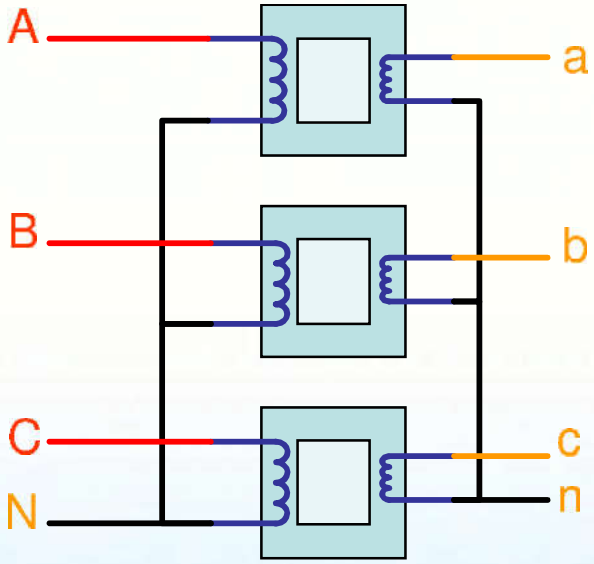
دسته بندی ترانسهای سه فاز از نظر رنج ولتاژ :

ترانسهای با ولتاژ ۱۱ ، ۲۰ کیلو ولت ← ترانس توزیع

ترانس با ولتاژ ۶۳ کیلو ولت ← ترانس فوق توزیع

ترانسهای با ولتاژ ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلو ولت ← ترانس انتقال

سیر تکاملی و انواع ترانسفورماتور سه فاز از نظر ساختمان



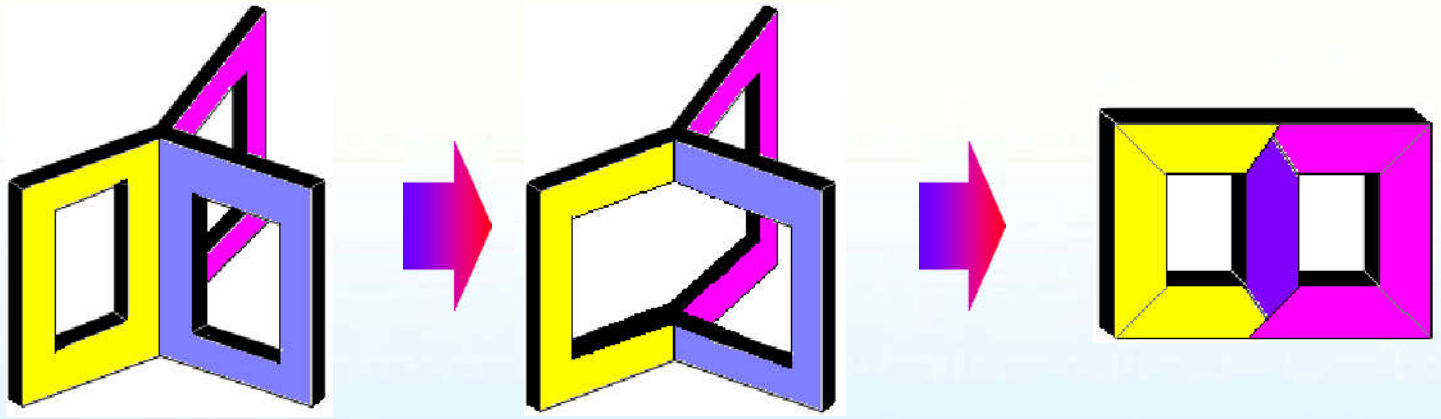
اتصال YNyn

اولین آرایشی که بعنوان ترانس سه فاز مطرح شده و بکار رفته است ، شامل سه ترانس تکفاز است که در کنار هم بصورت یک مجموعه تحت عنوان گروه ترانس سه فاز یا بانک ترانس سه فاز مورد استفاده قرار گرفته است .

یکی از محاسن چنین آرایشی ، امکان تعویض هر کدام از فازها در صورت بروز نقص در آن فاز است و این یعنی نیاز به واحد یدکی کوچکتر و بعلاوه در صورت نبودن واحد یدکی امکان تامین قسمتی از بار توسط دو ترانس باقی مانده (اتصال مثلث باز) وجود دارد تا زمانیکه ترانس معیوب تعمیر شود .

سیر تکاملی و انواع ترانسفورماتور سه فاز از نظر ساختمان(ادامه)

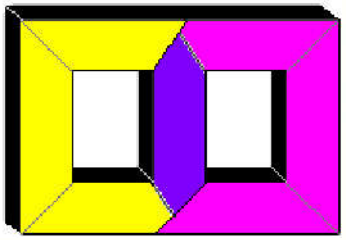
عیب آرایش قبل (بانک ترانس سه فاز) وزن بالای هسته آن است . برای رفع این عیب طرح زیر پیشنهاد شده است :



در کار متعادل شار عبوری از ستون وسط صفر است پس حذف آن بلا مانع می باشد .

ساخت چنین هسته ای مشکل و حجم مورد نیاز برای قرار دادن ترانس (حجم مخزن)زیاد است .

سیر تکاملی و انواع ترانسفورماتور سه فاز از نظر ساختمان(ادامه)

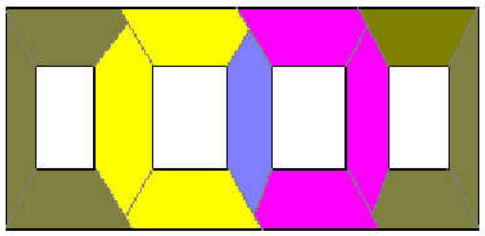


این هسته که آنرا هسته ستونی گویند دارای دو عیب است :

الف) یکسان نبودن مقاومت مغناطیسی مسیر شار فازهای مختلف

ب) در کار نا متعادل که جمع شارها صفر نیست شار منتجه مسیر خود را از داخل دیواره تانک می بندد که این باعث افزایش حرارت ترانس و کاهش راندمان می شود .

برای رفع عیب دوم گاهی از طرح زیر استفاده می شود :



هسته زرهی(پنج ستونه)

سیر تکاملی و انواع ترانسفورماتور سه فاز از نظر ساختمان(ادامه)

از نظر خنک کنندگی و نوع عایقکاری ترانسها را به انواع زیر تقسیم می کنند :

- ترانس خشک
- ترانس روغنی
  - ONAN
  - ONAF
  - OFAF

نکته: در ترانس روغنی ، روغن علاوه بر خنک کنندگی نقش عایقی نیز دارد

تقسیم بندی دیگری که در ترانسهای سه فاز انجام می شود برحسب نوع اتصال و سربندیهای فازهای آن می باشد که در ادامه به آن پرداخته می شود .

روش بدست آوردن پارامترهای ترانس سه فاز

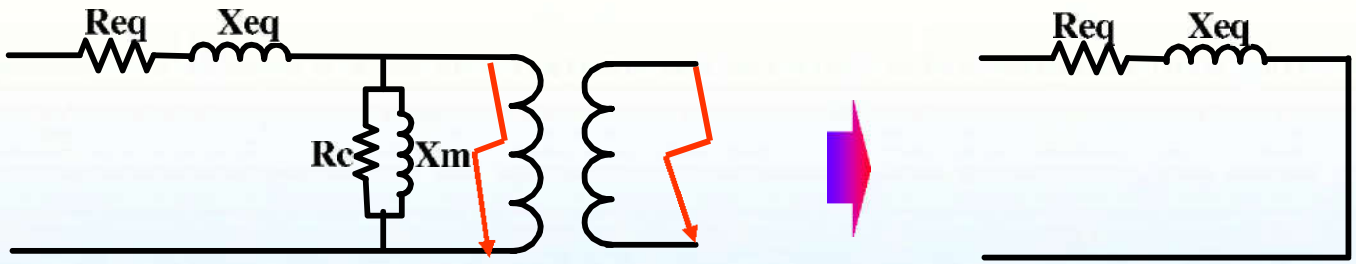
از دو آزمایش برای این کار استفاده می شود

- 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 .

روش بدست آوردن پارامترهای ترانس سه فاز (آزمایش اتصال کوتاه)

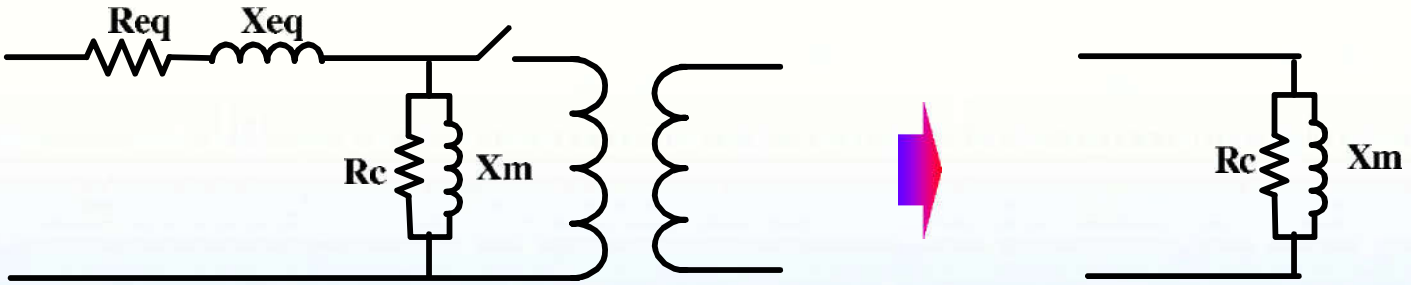
در این آزمایش که از طرف فشار قوی انجام می شود ، مدار معادل به شکل زیر در می آید که مقادیر المانهای آنرا می توان بصورت زیر حساب کرد .



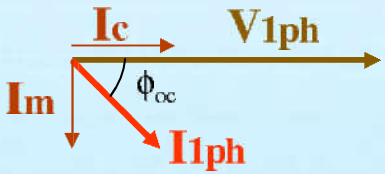
$$R_{eq} = \frac{P_{SC_{1ph}}}{I^2_{1ph}} \quad و \quad Z_{eq} = \frac{V_{1ph}}{I_{1ph}} \quad و \quad X_{eq} = \sqrt{Z^2_{eq} - R^2_{eq}}$$

روش بدست آوردن پارامترهای ترانس سه فاز (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 .



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

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

به نام خدا

مبحث هجدهم

ترانسفورماتور سه فاز

ترانسفورماتور سه فاز

انواع اتصالات در ترانس سه فاز

انواع اتصالات در ترانس سه فاز

معرفی نمادها و وضع قراردادها :

الف) از آنجا که اسامی اولیه و ثانویه بستگی به چگونگی قرارگیری ترانسفورماتور در مدار الکتریکی دارد و ماترانس را مستقل از شبکه بررسی می کنیم لذا ما از این عناوین استفاده نمی کنیم و به جای آنها از عبارات فشار قوی و فشار ضعیف برای نامیدن پیچکها استفاده می کنیم .

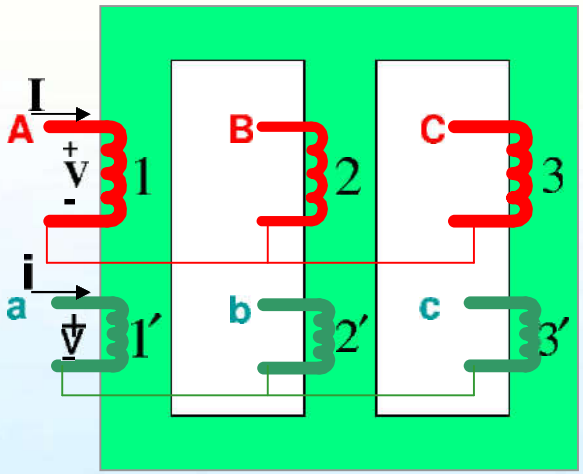
ب) حروف بکار رفته برای اسم گذاری کمیات سمت فشار قوی بصورت بزرگ و در طرف فشار ضعیف بصورت کوچک استفاده می شود .مثلا عبارت YNd معرف ترانسی است با اتصال ستاره دارای سر وسط در فشار قوی و اتصال مثلث در فشار ضعیف .

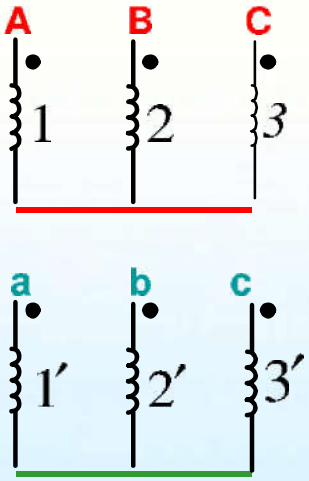
ج) نسبت تبدیل ترانس عبارتست از نسبت ولتاژ خط فشار قوی به ولتاژ خط فشار ضعیف مگر چیز دیگری غیر از آن تصریح شود .

انواع اتصالات در ترانس سه فاز(ادامه)

معرفی نمادها و وضع قراردادها (ادامه) :

د) با توجه به شکل قرار گیری پیچکها در یک ترانس واقعی ، بصورت نمادین آنها را به شکل زیر نشان می دهیم که در این شکل پیچکهای 1 و $1'$ روی یک هسته قرار دارند و ولتاژ القائی در آنها هم فاز می باشد





ه) اسامی ABC و abc کاملا دلخواه به پیچکها نسبت داده می شوند اما برای نشان دادن توالی ، ترتیب آنها در توالی مثبت همیشه به یکی از سه صورت زیر است :

ABC ، CAB ، BCA

انواع اتصالات در ترانس سه فاز(ادامه)

معرفی نمادها و وضع قراردادها (ادامه) :

ح) دامنه ولتاژ و جریان روی هر پیچک فشار قوی V و I و
دامنه ولتاژ و جریان روی هر پیچک فشار ضعیف v و i می باشد .

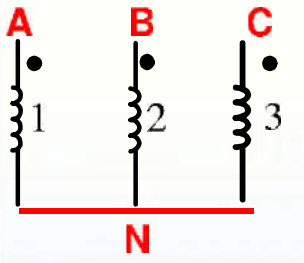
ط) K عبارتست از نسبت تبدیل فاز یا نسبت بین ولتاژ پیچکهای قرار گرفته روی یک ستون

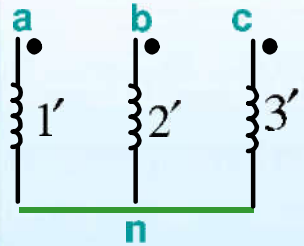
$$\frac{V}{v} = \frac{N}{n} = K \qquad \text{یا} \qquad \frac{I}{i} = \frac{n}{N} = \frac{1}{K}$$

انواع اتصالات در ترانس سه فاز(ادامه)

بسته به اینکه اولیه و ثانویه به چه شکلی سربندی شده باشند ، اتصالات گوناگونی برای ترانس ایجاد می شود که در زیر با بیان این اتصالات ارتباط مقادیر خط و فاز و نسبت تبدیل هر یک ازاین اتصالات را بیان می کنیم .

۱) اتصال ستاره ستاره

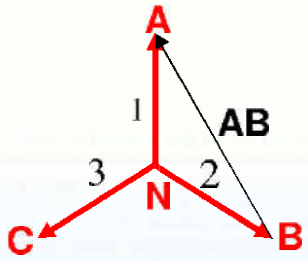


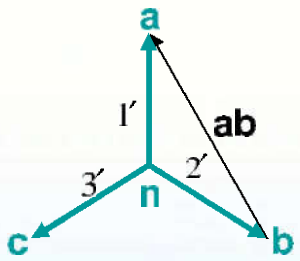


YNyn

$$|V_{AN}| = V$$

$$|v_{an}| = v$$





$$|\overline{V}_{AB}| = |\overline{V}_{AN} - \overline{V}_{BN}| = \sqrt{3}V$$

$$|\overline{v}_{ab}| = |\overline{v}_{an} - \overline{v}_{bn}| = \sqrt{3}v$$

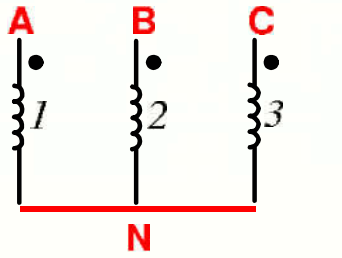
$$\left|\frac{\overline{V}_{AB}}{\overline{v}_{ab}}\right| = \frac{\sqrt{3}V}{\sqrt{3}v} = \frac{V}{v} = K$$

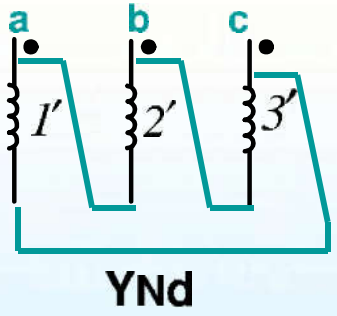
از این اتصال زمانی استفاده می شود که ولتاژ زیاد و جریان کم است یا به سر وسط نیاز می باشد .

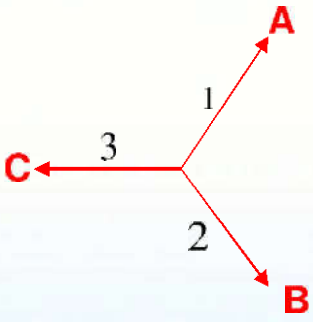
انواع اتصالات در ترانس سه فاز (ادامه)

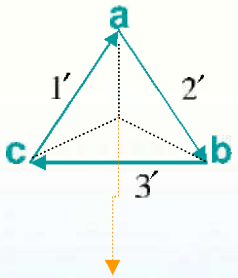
۲) اتصال ستاره مثلث

از این اتصال جائی استفاده می شود که ولتاژ کم و جریان بالا باشد یا بخواهیم هارمونیکهای خاصی را حذف کنیم .









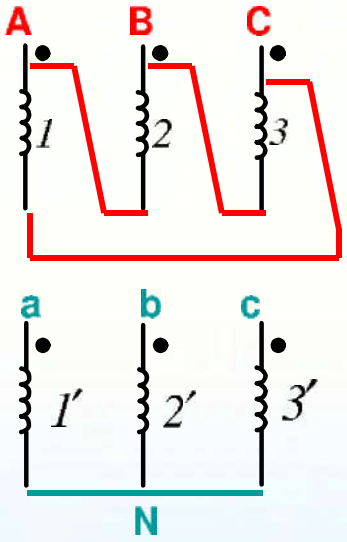
نقطه خنثی مجازی

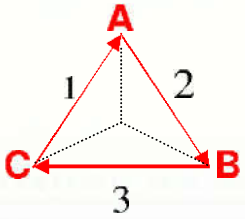
$$\left.\begin{aligned} \left|\overline{V}_{AB}\right| &= \left|\overline{V}_{AN} - \overline{V}_{BN}\right| = \sqrt{3}V \\ \left|\overline{V}_{ab}\right| &= v \end{aligned}\right\} \Rightarrow \left|\frac{\overline{V}_{AB}}{\overline{V}_{ab}}\right| = \frac{\sqrt{3}V}{v} = \sqrt{3}\frac{V}{v} = \sqrt{3}K$$

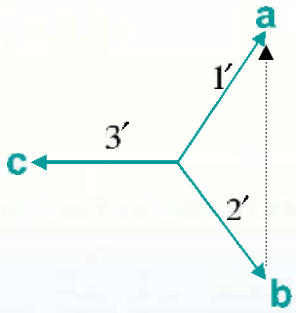
تمرین : برای جریان نسبت تبدیل را بدست آورید .

انواع اتصالات در ترانس سه فاز(ادامه)

۳) اتصال مثلث ستاره

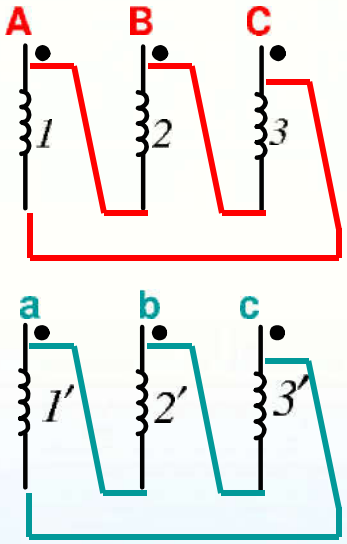




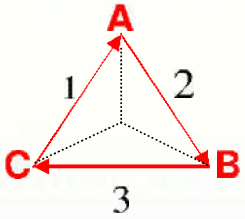


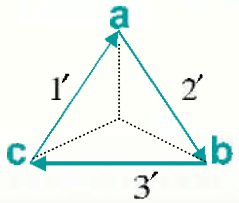
$$\left.\begin{aligned} |\overline{V}_{AB}| &= V \\ |\overline{v}_{ab}| &= |\overline{v}_{an} - \overline{v}_{bn}| = \sqrt{3}v \end{aligned}\right\} \Rightarrow \left|\frac{\overline{V}_{AB}}{\overline{v}_{ab}}\right| = \frac{V}{\sqrt{3}v} = \frac{1}{\sqrt{3}}\frac{V}{v} = \frac{K}{\sqrt{3}}$$

انواع اتصالات در ترانس سه فاز(ادامه)



۳) اتصال مثلث مثلث

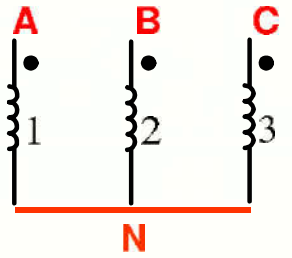


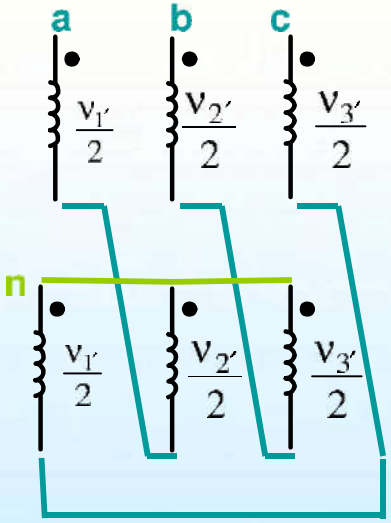


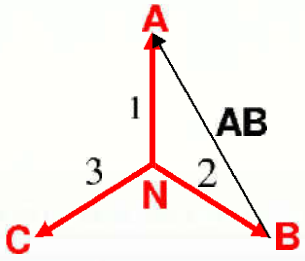
$$\left.\begin{aligned}|\overline{V}_{AB}| &= V\\ |\overline{v}_{ab}| &= v\end{aligned}\right\} \Rightarrow \left|\frac{\overline{V}_{AB}}{\overline{v}_{ab}}\right| = \frac{V}{v} = K$$

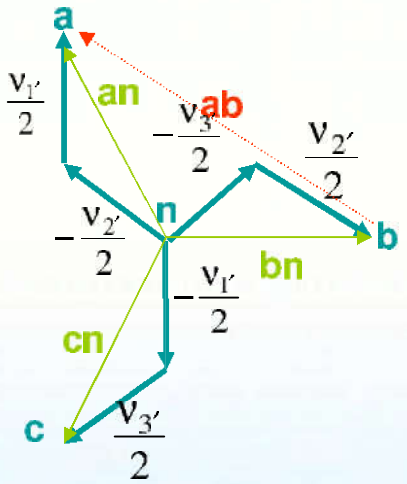
انواع اتصالات در ترانس سه فاز (ادامه)

۴) اتصال ستاره زیگزاگ Inter connected star









$$|v_{an}| = \left|\frac{\overline{v}_{1'}}{2} - \frac{\overline{v}_{2'}}{2}\right| = \sqrt{3}\frac{v}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}v$$

$$|v_{an}| = |v_{bn}| = |v_{cn}| = \frac{\sqrt{3}}{2}v$$

$$|v_{ab}| = |\overline{v}_{an} - \overline{v}_{bn}| = \sqrt{3}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}v\right)$$

$$|V_{AB}| = |\overline{V}_{AN} - \overline{V}_{BN}| = \sqrt{3}V$$

$$\frac{V_{AB}}{v_{ab}} = \frac{\sqrt{3}V}{3/2 \times v} = \frac{2}{\sqrt{3}}K$$

انواع اتصالات در ترانس سه فاز (ادامه)

حسن ترانس با اتصال زیگزاگ آنست که نا متعادلی را کم می کند . با توجه به شکل صفحه قبل اگر جریانی از یک فاز فشار قوی عبور کند بین دو فاز فشار ضعیف تقسیم می شود و به اینصورت نا متعادلی را کمتر می کند .

بعنوان تمرین نشان دهید که :

$$\frac{i_a}{I_A} = \frac{2}{\sqrt{3}} K$$

به نام خدا

مبحث نوزدهم

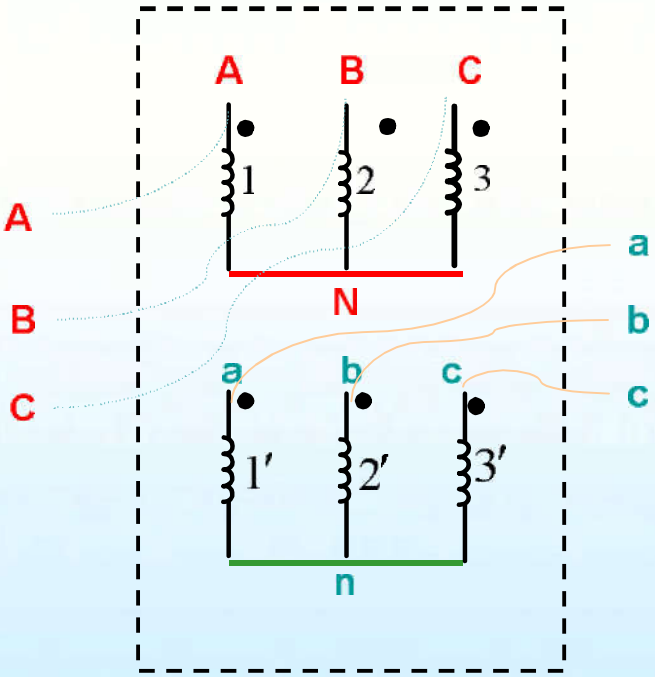
ترانسفورماتور سه فاز

ترانسفورماتور سه فاز

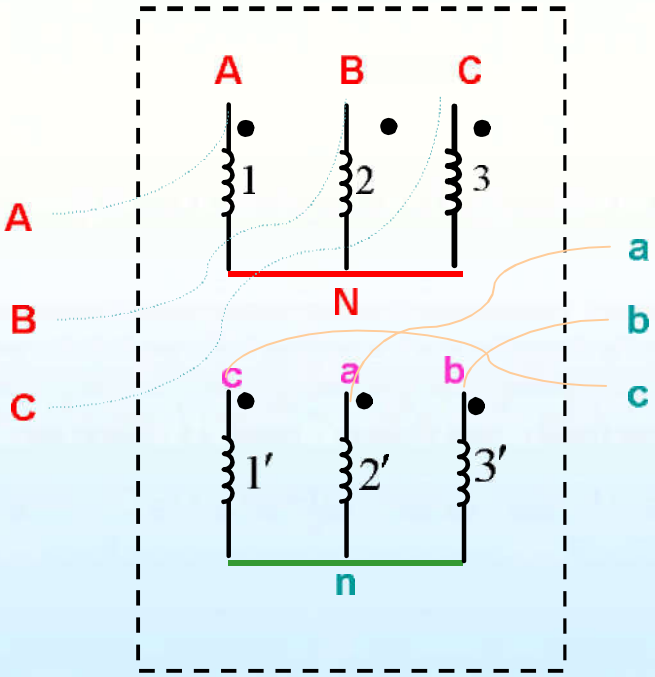
گروه برداری

گروه برداری

به دو شکل شماتیک زیر نگاه کنید . همانگونه که گفتیم می توانیم ترمینالهای خروجی را به دلخواه اسم گذاری کنیم . آیا دو آرایش زیر، ترانسهای مختلفی را نتیجه می دهند ؟



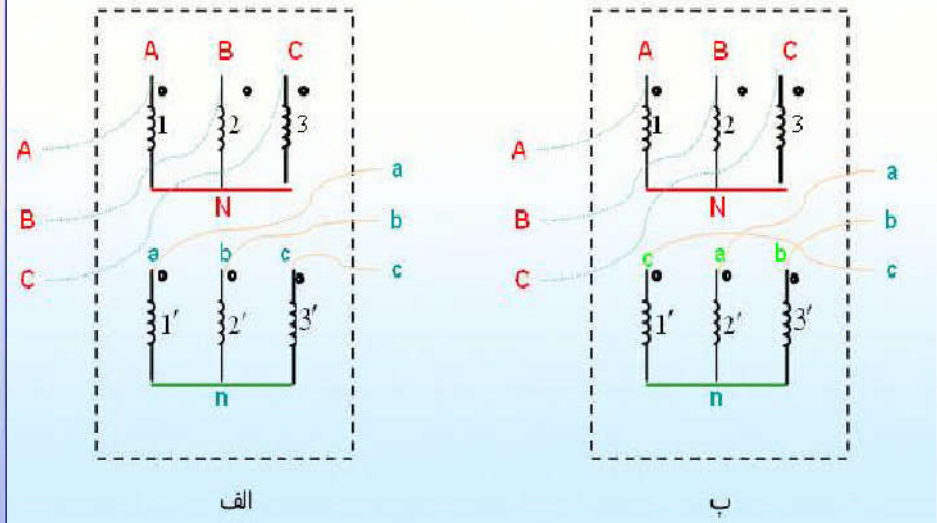
الف



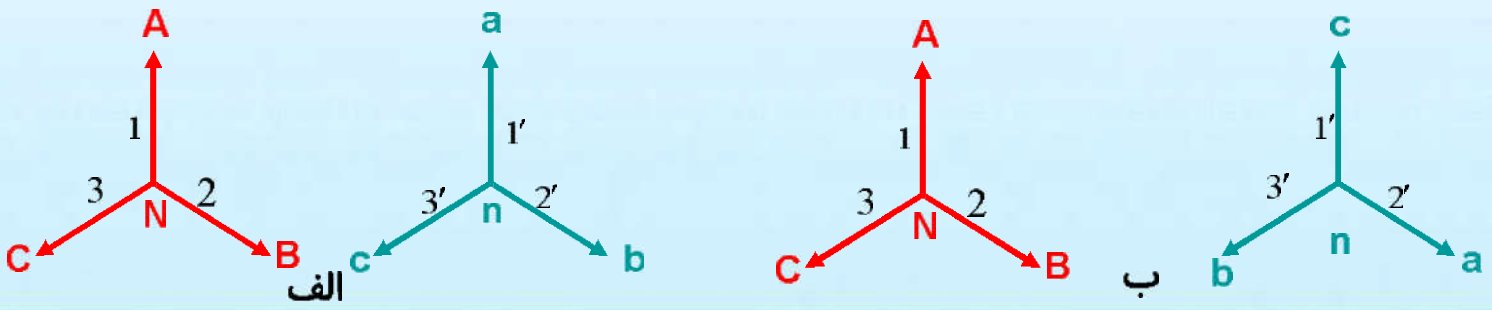
ب

گروه برداری (ادامه)

پاسخ مثبت است . با اینکه نسبت تبدیل ثابت می ماند ولی بین فاز های هم نام در هر کدام از ترانسها اختلاف فازهای مختلفی ایجاد می شود. در ترانس (الف) اختلاف فاز بین فاز a با A بدلیل اینکه روی یک ستون بسته شده اند ، برابر صفر درجه است حال آنکه در ترانس (ب) بخاطر آنکه فاز های a و A از سیم پیچهای بسته شده روی دو ستون مجاور هم گرفته شده اند ، دارای اختلاف زاویه ۱۲۰ درجه می باشند . شکل زیر گویای این مطلب است .



الف ب



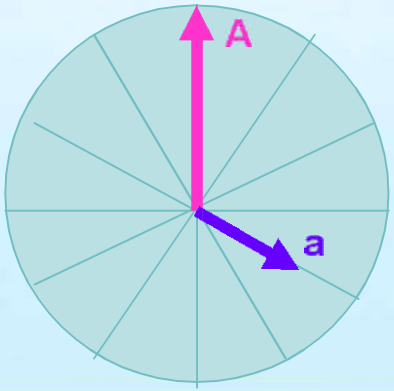
الف ب

گروه برداری (ادامه)

برای نشان دادن این تمایز بین دو ترانس فوق از توصیف ویژه ای تحت عنوان گروه برداری یا ساعت ترانس استفاده می شود .

ترانس الف را با گروه برداری Yy0 یا ساعت صفر می نامیم . ترانس (ب) ترانسیست با گروه برداری Yy4 یا ساعت چهار .

برای یافتن ساعت ترانس یا گروه برداری آن از قاعده زیر استفاده می شود . بردار ولتاژ فشار قوی را عقربه دقیقه شمار فرض کرده و راستای آنرا در امتداد ساعت ۱۲ فرض می کنیم . بردار ولتاژ فشار ضعیف را عقربه ساعت شمار در نظر می گیریم.

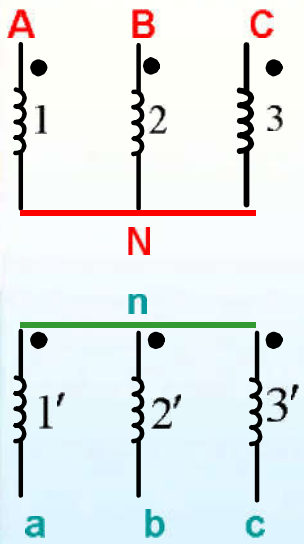


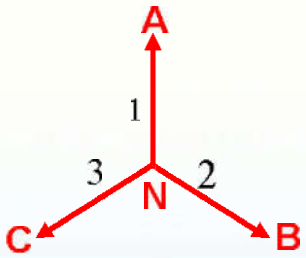
هر ساعت معادل ۳۰ درجه اختلاف فاز بین فازهای هم نام است .

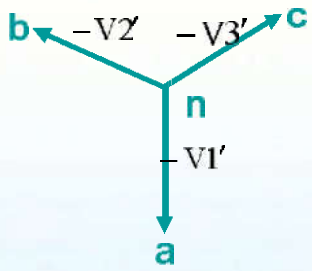
گروه برداری (ادامه)

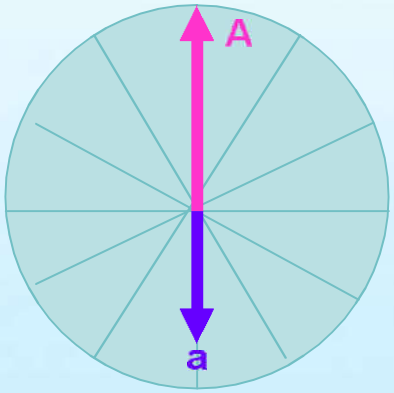
علاوه بر تغییراسم گذاریها ، تغییر پلاریته پیچکها هم می تواند به گروههای برداری متفاوت بیانجامد .

شکل زیر را ببینید :







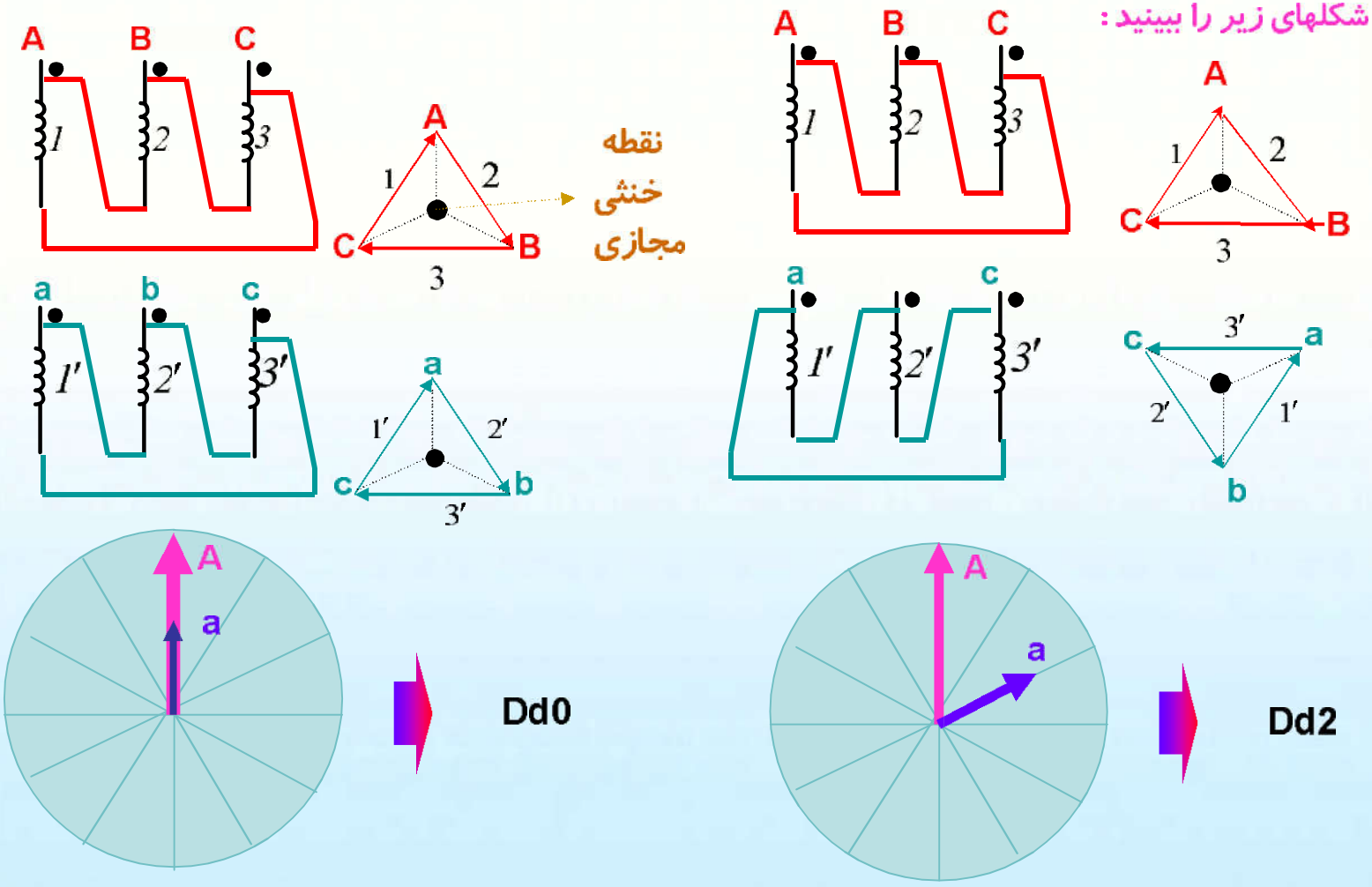


Yy6

گروه برداری (ادامه)

در اتصال مثلث علاوه بر تغییراسم گذاریها ، تغییر سربندی پیچکها هم می تواند به گروههای برداری متفاوت بیانجامد

شکلهای زیر را ببینید :



گروه برداری (ادامه)

نکاتی در مورد تعیین گروه برداری :

۱) گروه برداری همیشه برای کمیات سه فاز متعادل بیان می شود

۲) برای یافتن گروه برداری همیشه باید نقطه صفر (حقیقی یا مجازی) را بیابیم و اختلاف زاویه دو خط ** **(یا فاز هم نام a و A) را در جهت ساعت گرد بیابیم . از آنجائیکه این اختلاف همیشه مضربی از ۳۰ درجه است لذا هر ۳۰ درجه معادل یک ساعت می باشد .**

۳) بردارهای $1'$ با 1 ، $2'$ با 2 و $3'$ با 3 همیشه بصورت موازی رسم می شوند . چگونگی اتصال سر به ته این بردارها را شکل شماتیک نشان می دهد .

** **گروه برداری اختلاف بین کمیات خطی هم نام با یکدیگر ، یا کمیات فازی هم نام با یکدیگر می باشد . یعنی برای یک ترانس با گروه برداری Yy4 ولتاژفاز V_{AN} فشار قوی ازولتاژ فاز v_{an} سمت فشار ضعیف و یا ولتاژ خط V_{AB} از ولتاژ خط v_{ab} ، ۱۲۰ = ۳۰ × ۴ درجه جلوتر می باشد برای جریانها نیز به همین صورت است .**

گروه برداری (ادامه)

در بحث گروه برداری معمولا
با دو نوع مساله مواجه هستیم

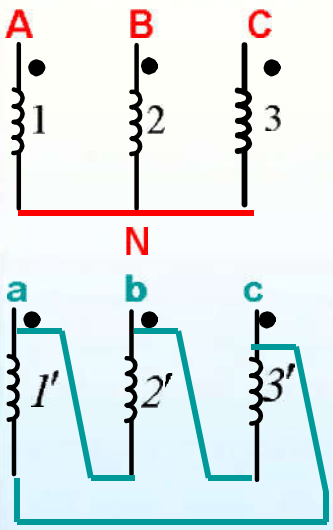
اتصالات ترانس داده شده و هدف تعیین گروه برداری ترانس است . (همیشه یک جواب منحصر به فرد دارد)

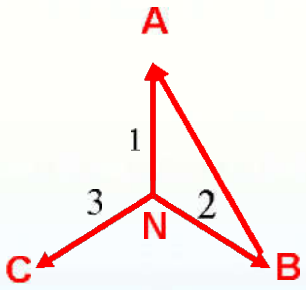
گروه برداری داده شده و هدف تعیین اتصالات و سر-بندیهای ترانس است . (ممکن است بیش از یک جواب منحصر به فرد داشته باشد .)

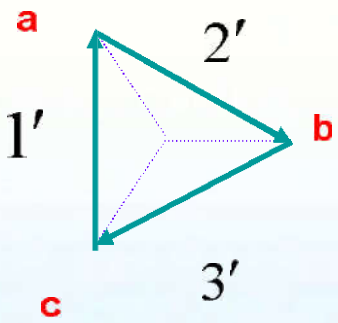
گروه برداری (ادامه)

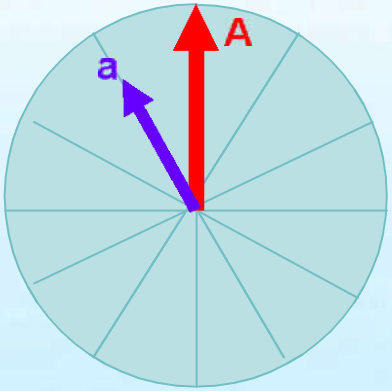
مثال :

گروه برداری ترانس دارای طرح شماتیک زیر را بیابید .







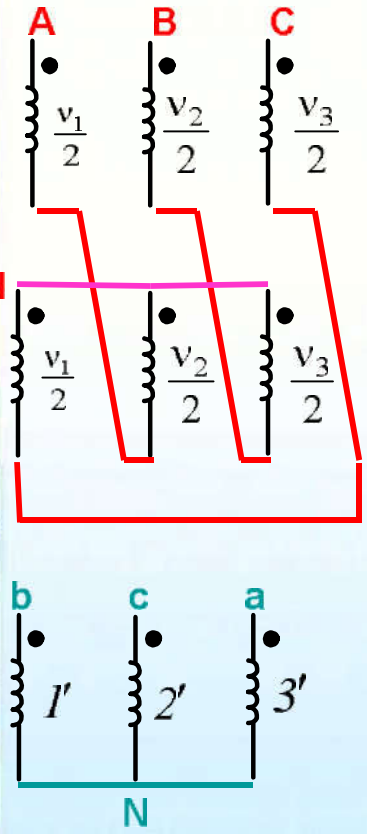


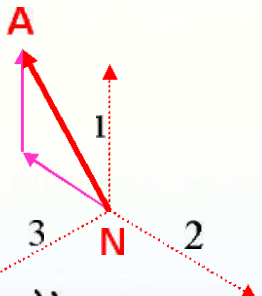
Yd11

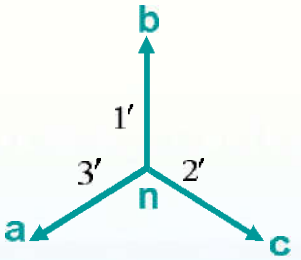
گروه برداری (ادامه)

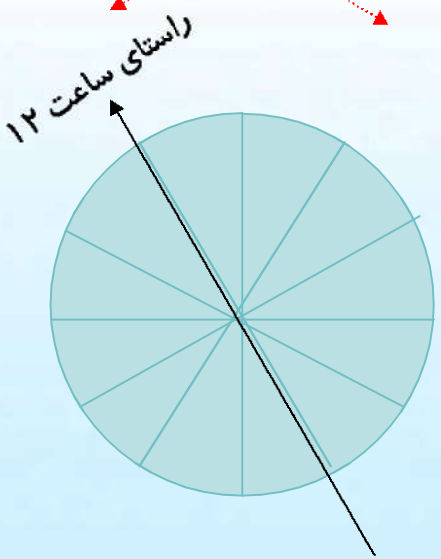
مثال :

گروه برداری ترانس دارای طرح شماتیک زیر را بیابید .









Zy9

گروه برداری (ادامه)

تمرین :

بعنوان تمرین چگونگی بدست آوردن اتصالات و سربندیهای ترانس را برای هر گروه برداری دلخواه ، بررسی کنید .