

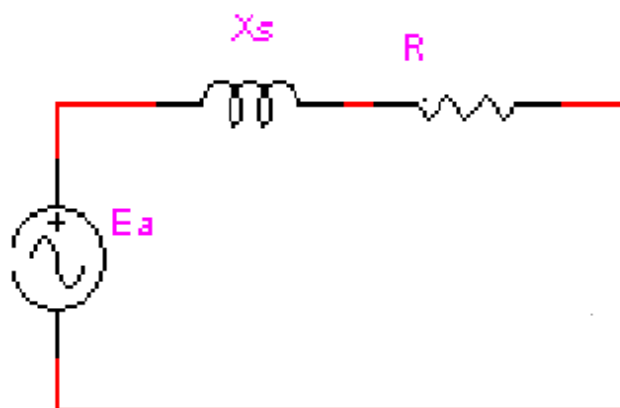
ادامه فصل چهارم: ماشینهای سنگرون

محاسبه پارامترهای مدار معادل

ارزش مدار معادل به این است که پارامترهای آن را بدست آوریم:

❖ مقاومت اهمی استاتور R_a

❖ راکتانس سنکرون X_s (شامل راکتانس پراکندگی و راکتانس ناشی از عکس العمل آرمیچر)

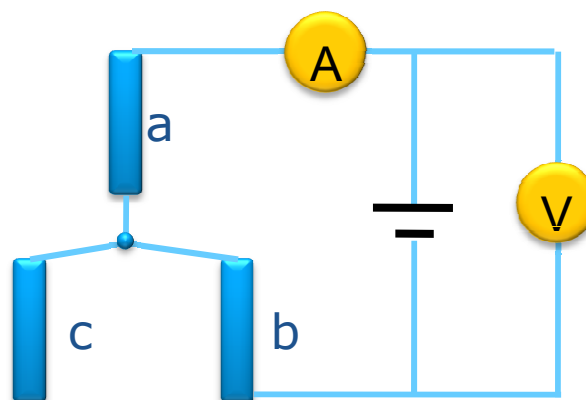


محاسبه پارامترهای مدار معادل

اندازه گیری مقاومت اهمی استاتور

❖ مقدار مقاومت dc با استفاده از تست dc قابل اندازه گیری است.

$$2R_{dc} = \frac{V}{I}$$



❖ نسبت مقاومت ac به مقاومت dc تابعی از فرکانس است. با افزایش فرکانس سطح مقطع موثر کاهش و مقدار مقاومت افزایش می یابد.

$$R_{ac} = R_{dc} \times K$$

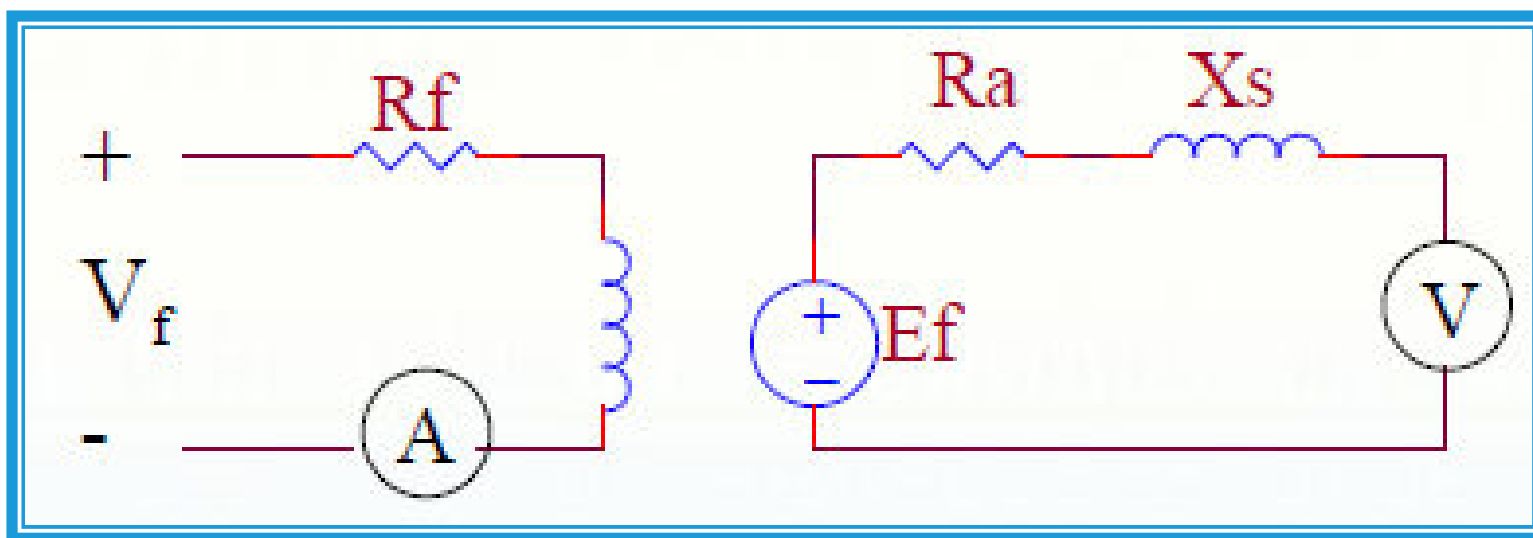
وابسته به فرکانس کاری، سطح مقطع، نوع سیم و ...

محاسبه پارامترهای مدار معادل

اندازه گیری راکتانس سنکرون

برای این منظور از آزمایشهای مدار باز و اتصال کوتاه استفاده می کنیم.

آزمایش مدار باز



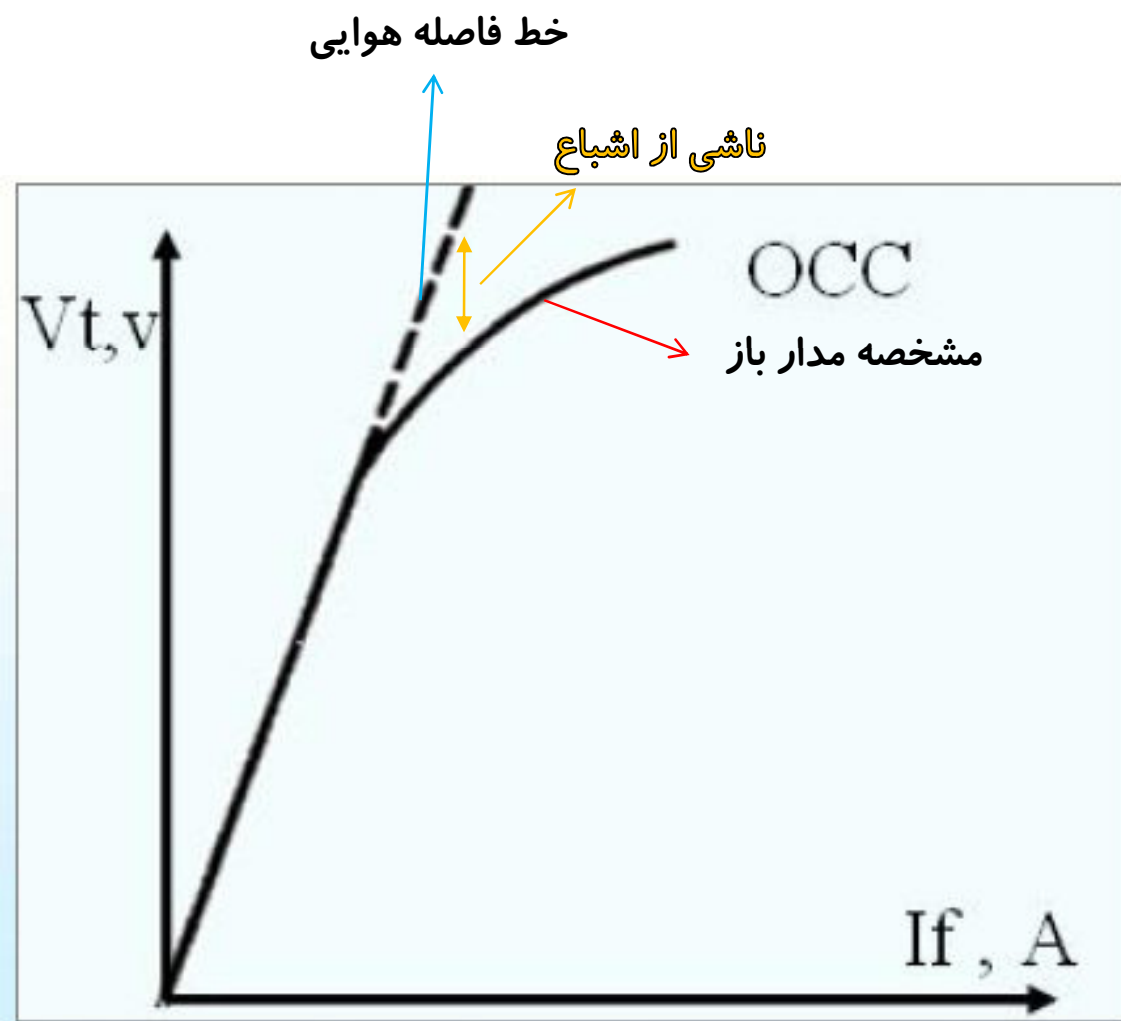
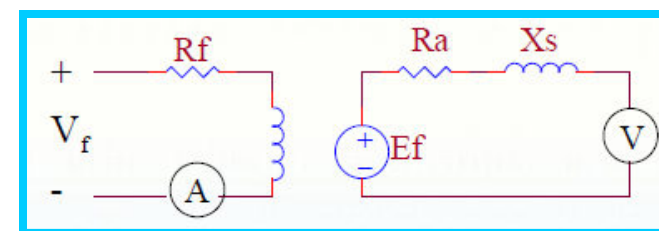
محاسبه پارامترهای مدار معادل

آزمایش مدار باز

➤ رتور در سرعت نامی می گردد.

➤ جریان تحریک به تدریج از صفر زیاد می شود.

➤ ولتاژ ترمینالها که باز هستند، اندازه گیری و ثبت می شوند.



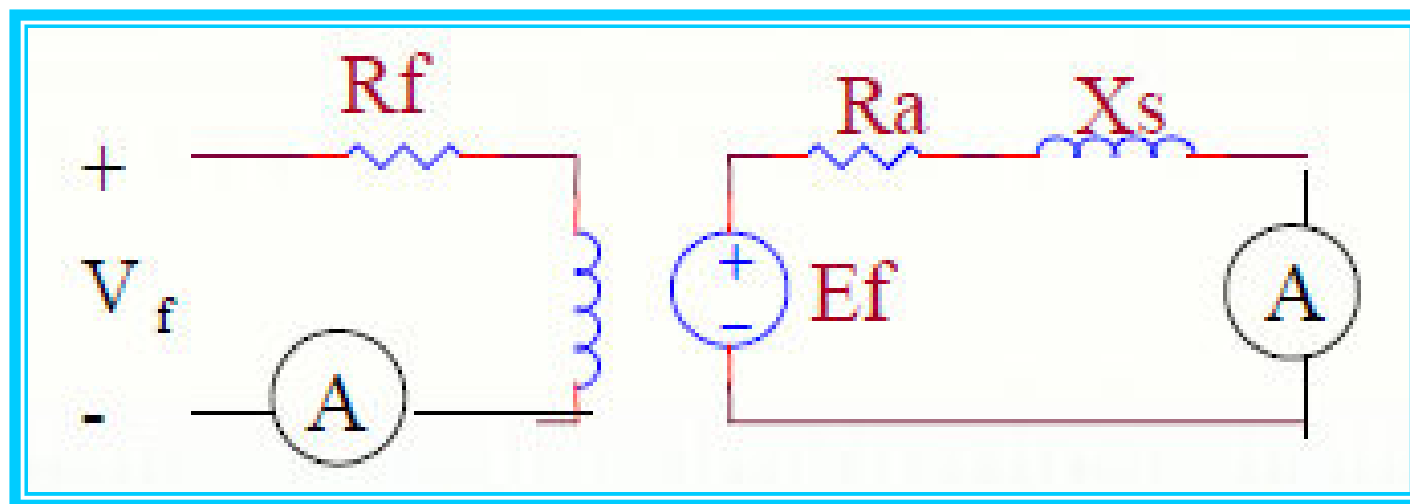
محاسبه پارامترهای مدار معادل

آزمایش اتصال کوتاه

➤ رتور در سرعت نامی می گردد.

➤ جریان تحریک به تدریج از صفر زیاد می شود.

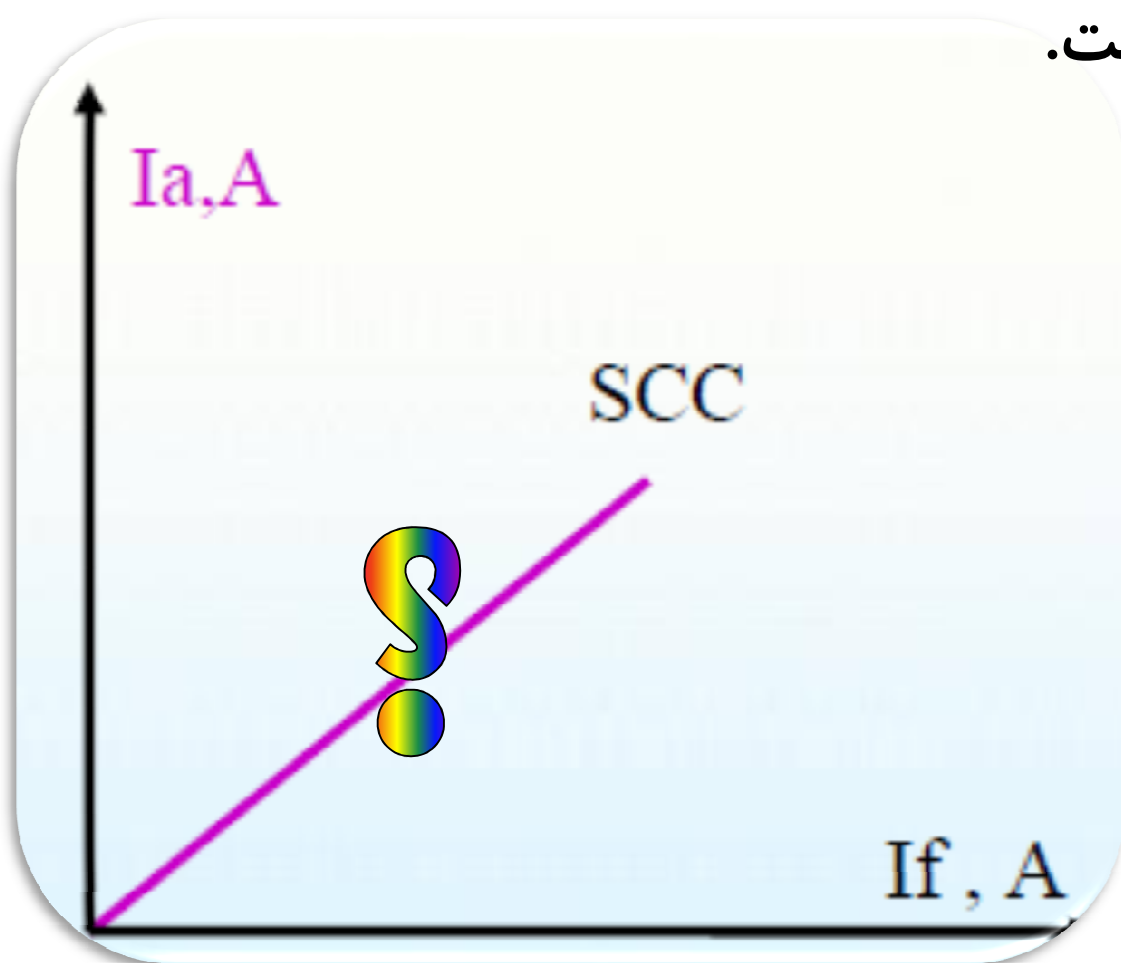
➤ جریان ترمینالها که اتصال کوتاه هستند، اندازه گیری و ثبت می شوند.



محاسبه پارامترهای مدار معادل

مشخصه اتصال کوتاه

این مشخصه کاملاً خطی است.



محاسبه پارامترهای مدار معادل

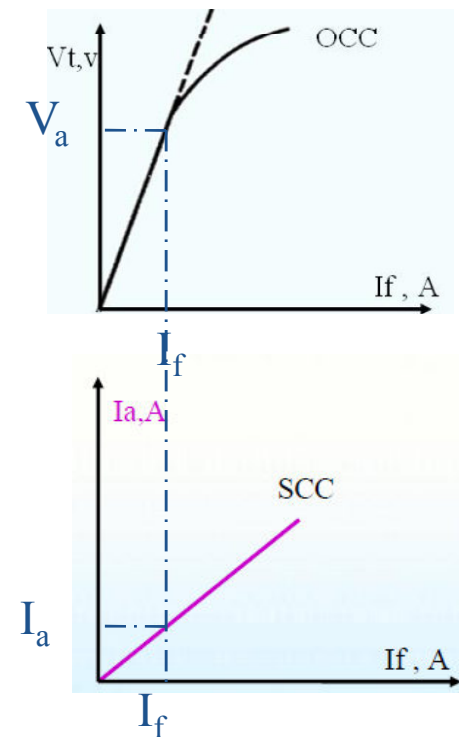
اندازه گیری راکتانس سنکرون

به ازای I_f مشخص از منحنی OCC ولتاژ V_a را تعیین می کنیم. به ازای همان جریان تحریک، I_a را از SCC می خوانیم:

$$Z_s = \frac{V_a}{I_a} = R_a + j \underbrace{(X_1 + X_a)}_{X_s}$$

از تست **dc** معلوم

مشکل این روش چیست؟



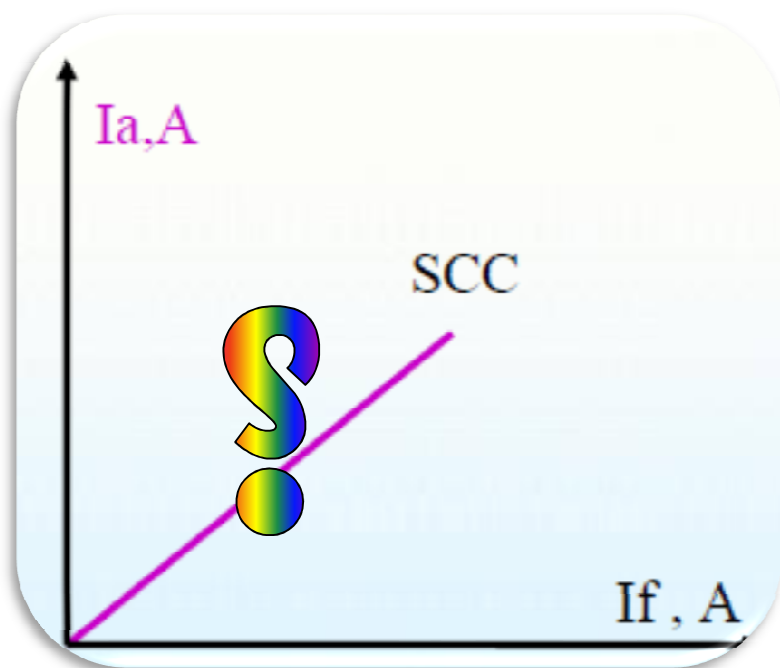
توجیه خطی بودن مشخصه اتصال کوتاه

برای این منظور باید وضعیت میدانهای ماشین را در فضای داخلی آن بررسی کنیم:

در این فضا دو میدان داریم:

❖ میدان ناشی از رتور

❖ میدان ناشی از عکس العمل آرمیچر

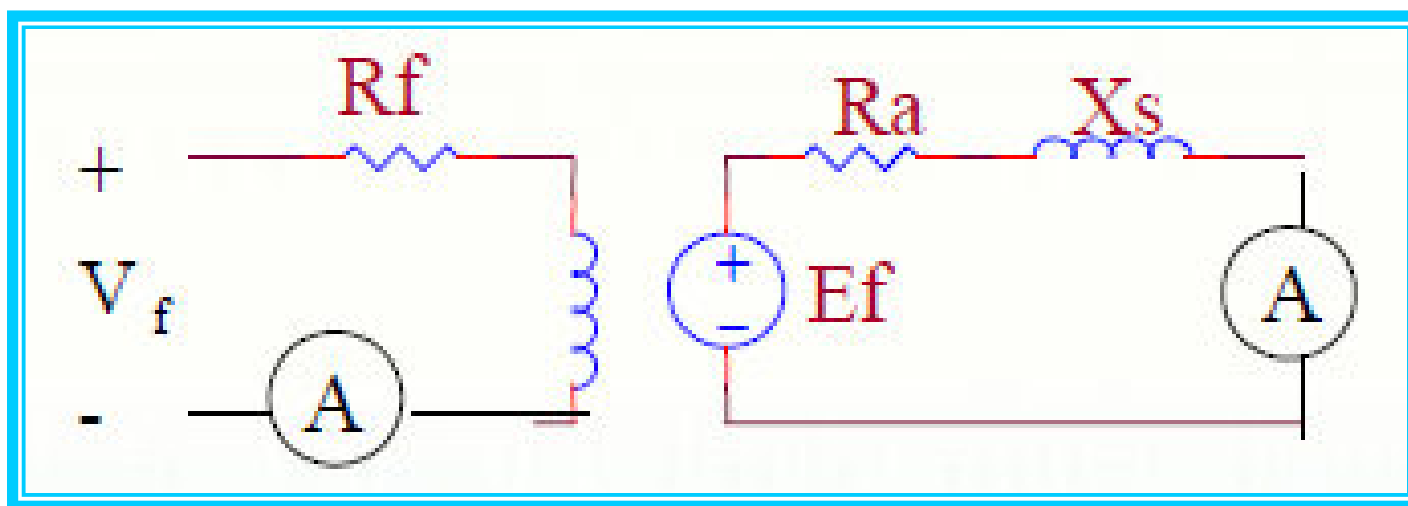


وابسته است به:

➤ دامنه جریان استاتور

➤ ضریب قدرت

توجیه خطی بودن مشخصه اتصال کوتاه

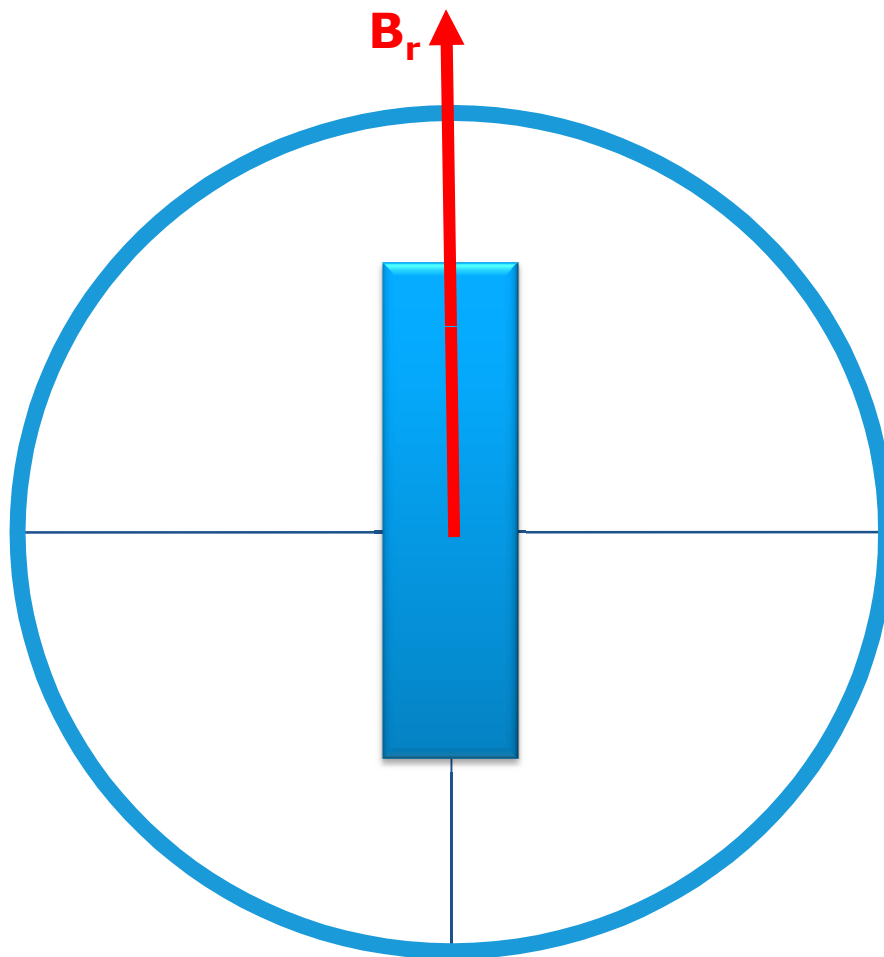


مقاومت استاتور در مقایسه با راکتانس سنکرون بسیار کوچک است. به نحوی که می توانیم از آن در مقایسه با راکتانس سنکرون صرف نظر کرد و در حالت ایده ال ضریب قدرت را صفر پسفاژ در نظر گرفت.

توجیه خطی بودن مشخصه اتصال کوتاه

اثر عکس العمل آرمیچر وقتی ضریب قدرت بار صفر پسفاز است:

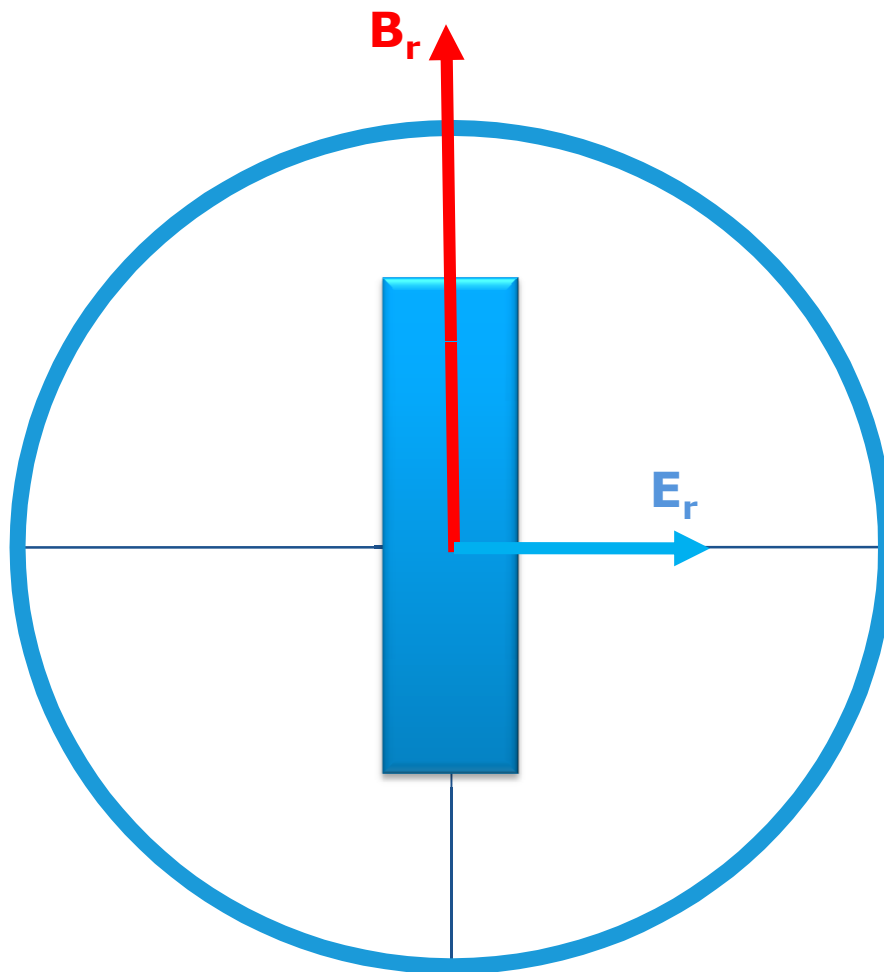
$$(R_a \ll X_s)$$



توجیه خطی بودن بودن مشخصه اتصال کوتاه

اثر عکس العمل آرمیچر وقتی ضریب قدرت بار صفر پسفاز است:

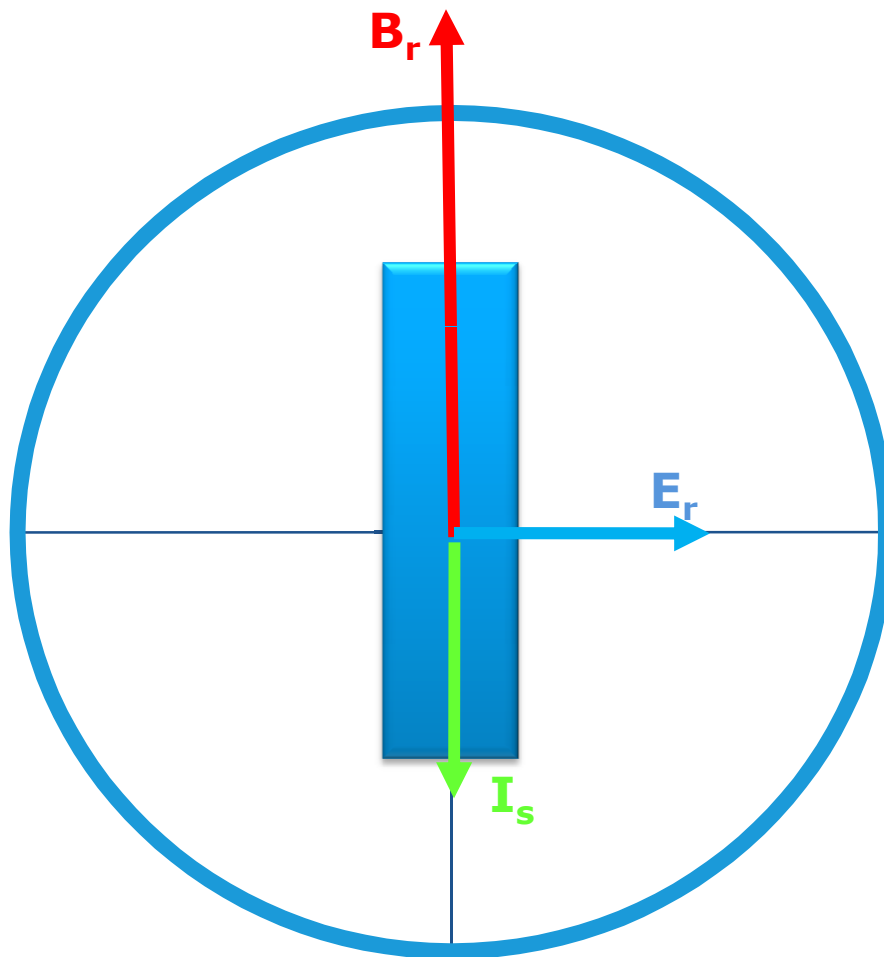
$$(R_a \ll X_s)$$



توجیه خطی بودن مشخصه اتصال کوتاه

اثر عکس العمل آرمیچر وقتی ضریب قدرت بار صفر پسفاز است:

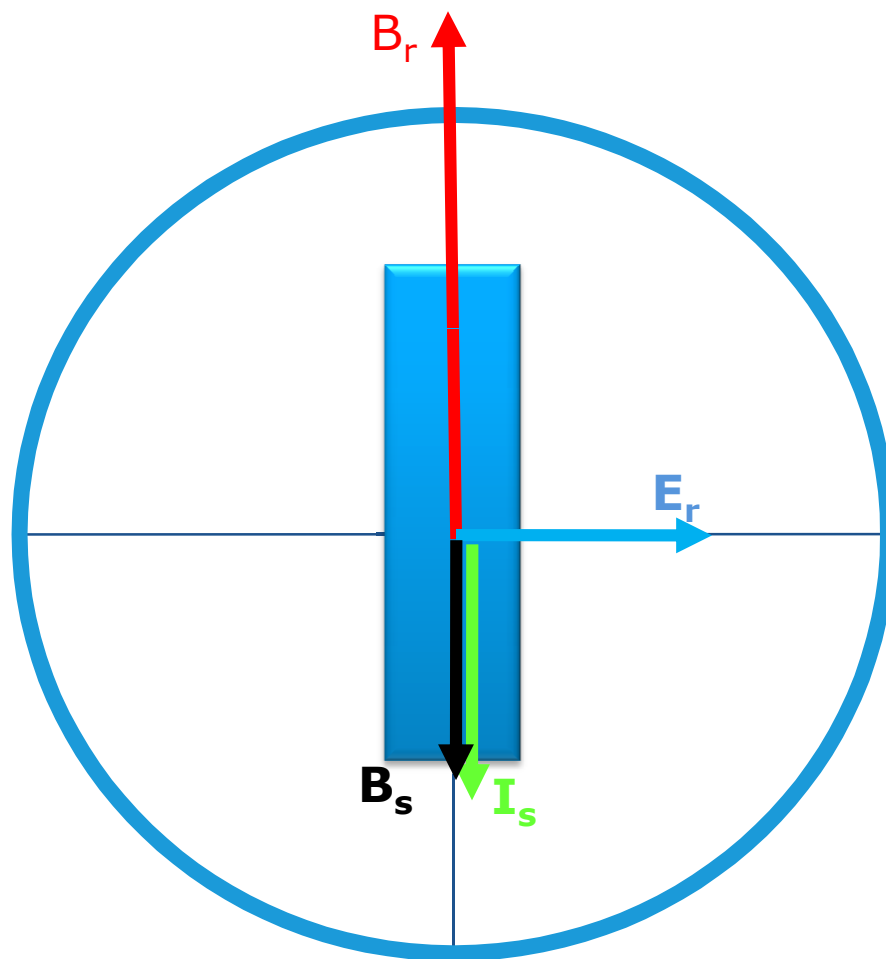
$$(R_a \ll X_s)$$



توجیه خطی بودن بودن مشخصه اتصال کوتاه

اثر عکس العمل آرمیچر وقتی ضریب قدرت بار صفر پسفاز است:

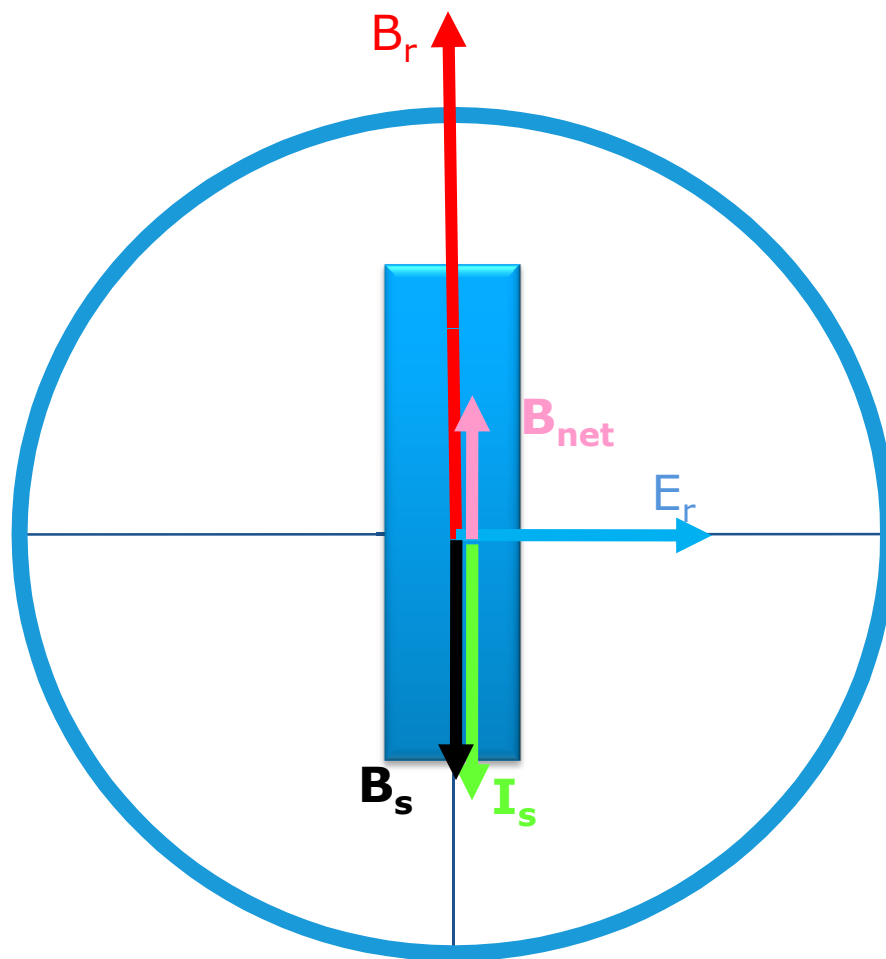
$$(R_a \ll X_s)$$



توجیه خطی بودن مشخصه اتصال کوتاه

اثر عکس العمل آرمیچر وقتی ضریب قدرت بار صفر پسفاز است:

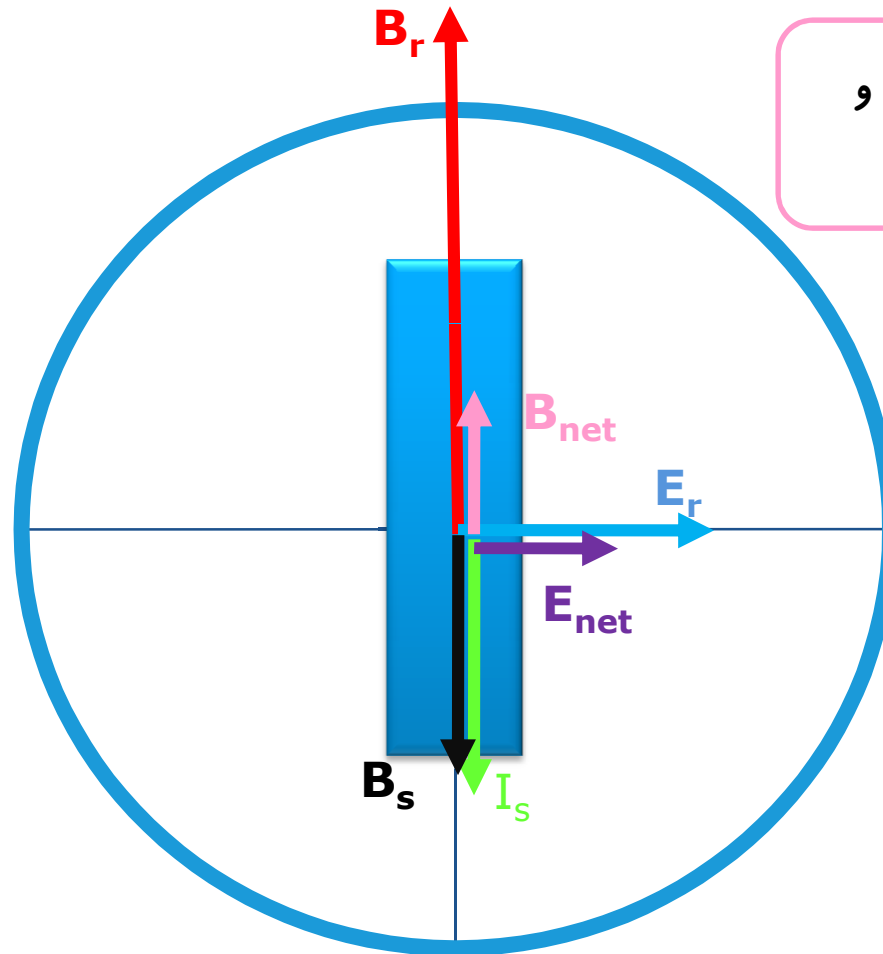
$$(R_a \ll X_s)$$



توجیه خطی بودن بودن مشخصه اتصال کوتاه

اثر عکس العمل آرمیچر وقتی ضریب قدرت بار صفر پسفاز است:

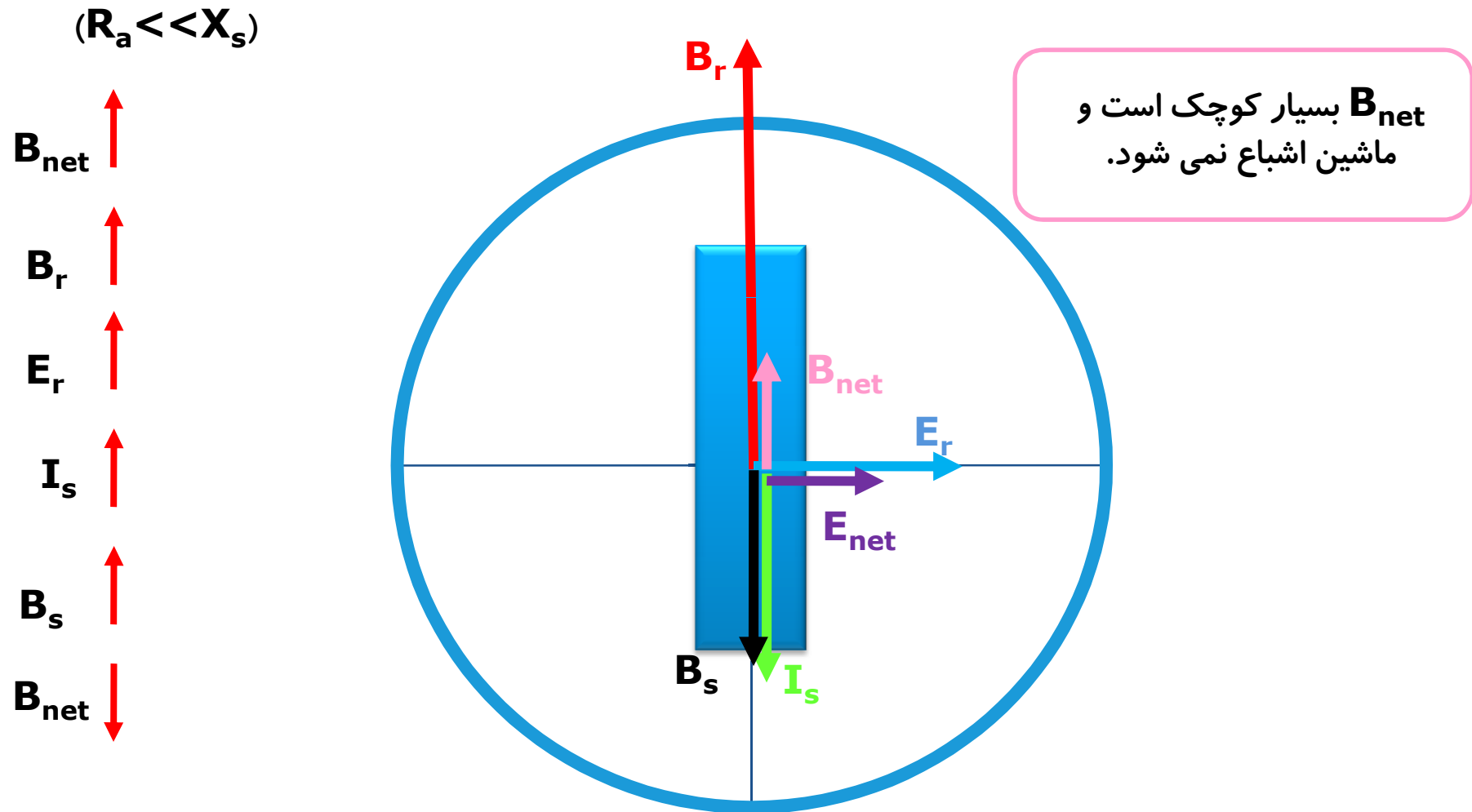
$$(R_a \ll X_s)$$



B_{net} بسیار کوچک است و ماشین اشباع نمی شود.

توجیه خطی بودن بودن مشخصه اتصال کوتاه

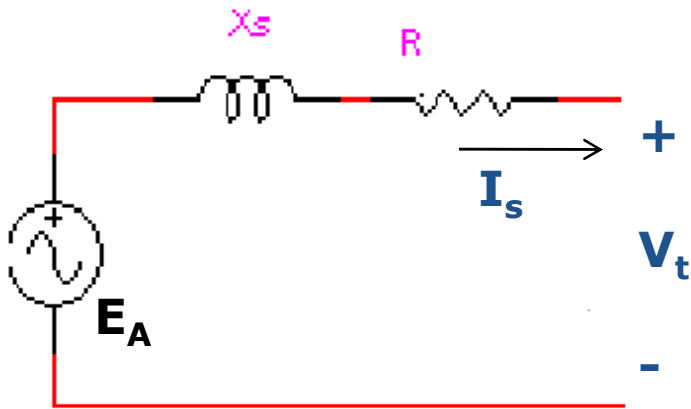
اثر عکس العمل آرمیچر وقتی ضریب قدرت بار صفر پسفاز است:



نمودار فازوری ژنراتور سنکرون

چون ولتاژها و جریانها در ماشین سنکرون ac هستند معمولا آنها را به شکل فازوری نمایش می دهند و رابطه بین اندازه و زاویه آنها را به صورت یک نمودار دو بعدی که نمودار فازوری نام دارد؛ نشان می دهند.

$$\vec{V}_t + (R + jX_s)\vec{I}_s = \vec{E}_A$$



نمودار فازوری ژنراتور سنکرون

در ضریب توان واحد (بار مقاومتی)

$$\bar{V}_t + (R + jX_s)\bar{I}_s = \bar{E}_A$$



نمودار فازوری ژنراتور سنکرون

در ضریب توان واحد (بار مقاومتی)

$$\vec{V}_t + (R + jX_s)\vec{I}_s = \vec{E}_A$$



نمودار فازوری ژنراتور سنکرون

در ضریب توان واحد (بار مقاومتی)

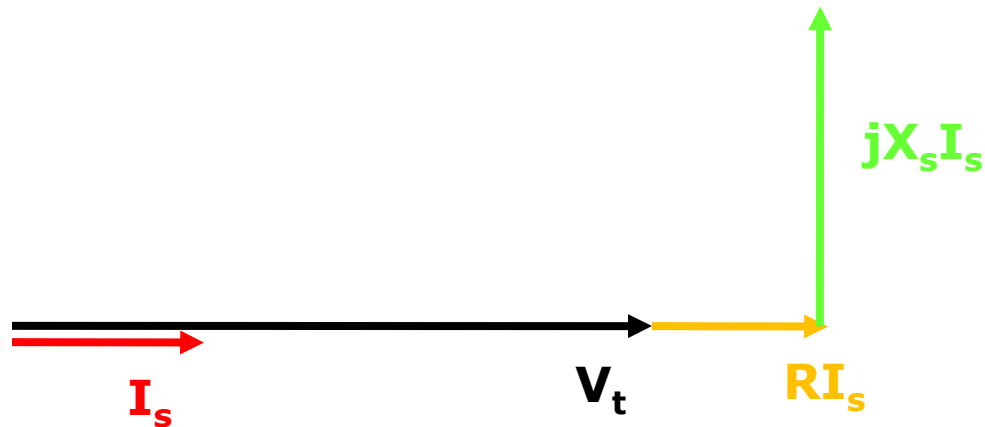
$$\bar{V}_t + (R + jX_s)\bar{I}_s = \bar{E}_A$$



نمودار فازوری ژنراتور سنکرون

در ضریب توان واحد (بار مقاومتی)

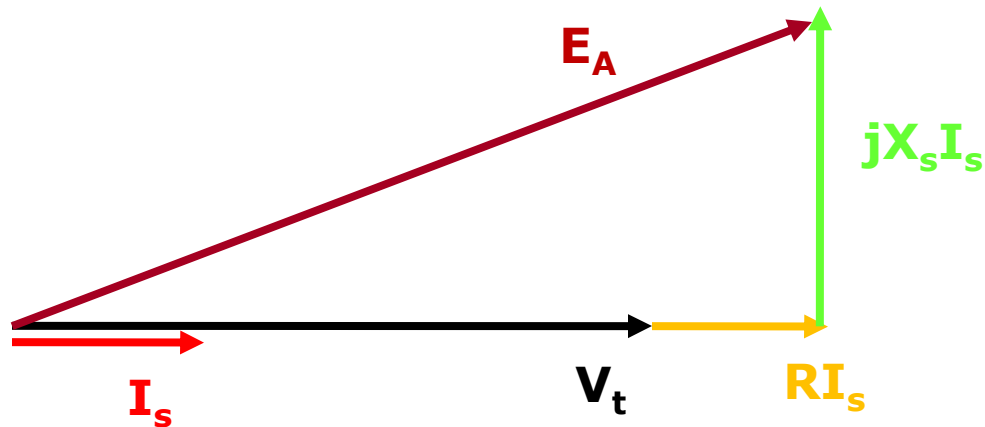
$$\bar{V}_t + (R + jX_s)\bar{I}_s = \bar{E}_A$$



نمودار فازوری ژنراتور سنکرون

در ضریب توان واحد (بار مقاومتی)

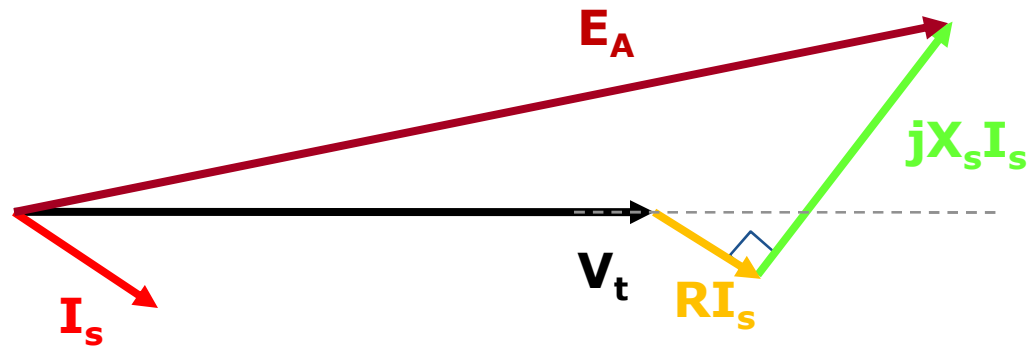
$$\vec{V}_t + (R + jX_s)\vec{I}_s = \vec{E}_A$$



نمودار فازوری ژنراتور سنکرون

در ضریب توان پسفاز (بار مقاومتی-القایی)

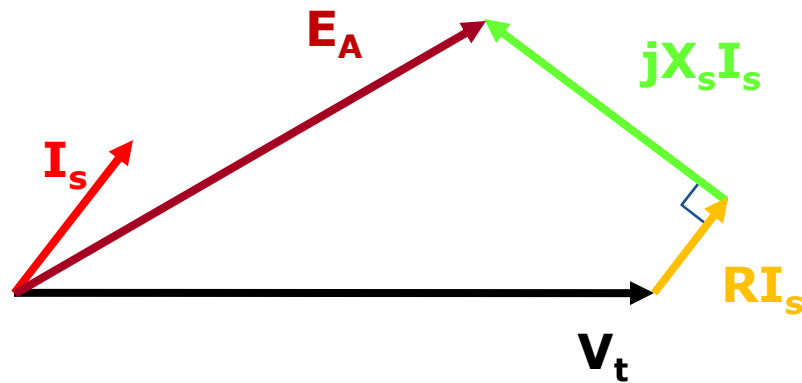
$$\vec{V}_t + (R + jX_s)\vec{I}_s = \vec{E}_A$$



نمودار فازوری ژنراتور سنکرون

در ضریب توان پیشفاز (بار مقاومتی-خازنی)

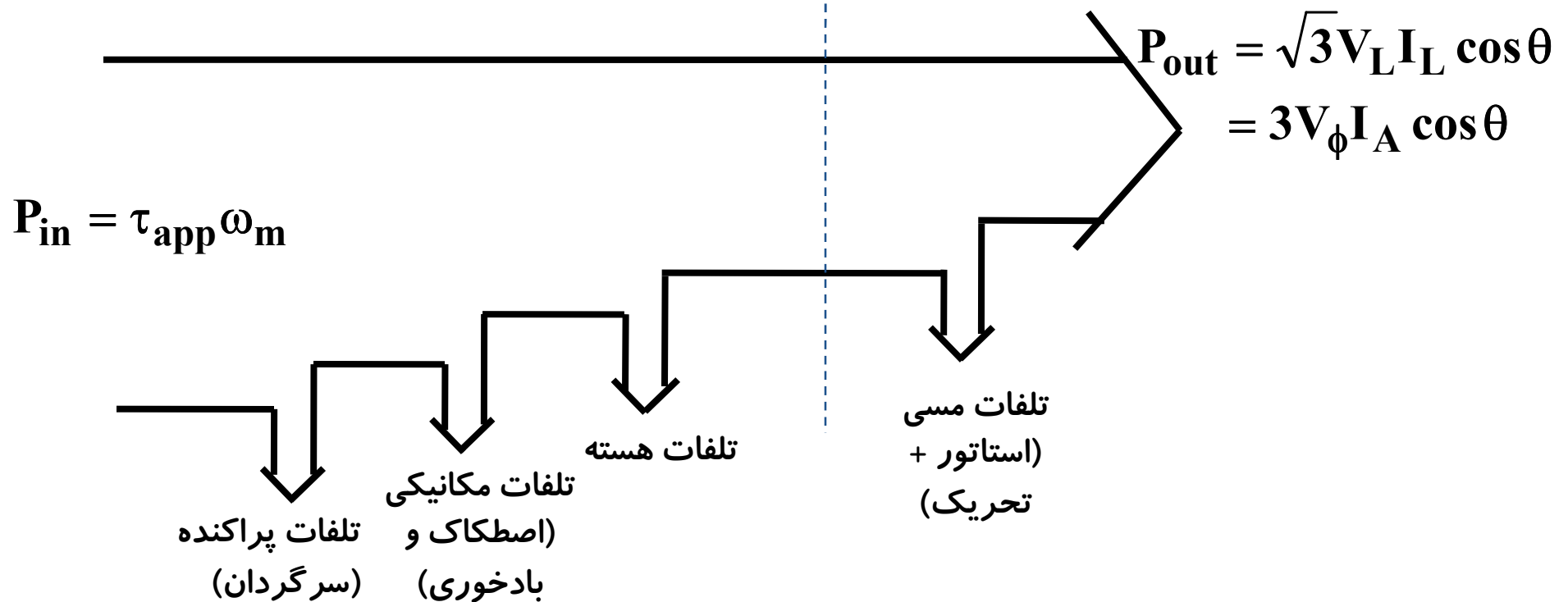
$$\vec{V}_t + (R + jX_s)\vec{I}_s = \vec{E}_A$$



توان و گشتاور ژنراتورهای سنکرون

توانی که از شکل مکانیکی به شکل الکتریکی تبدیل می شود.

$$P_{\text{conv}} = \tau_{\text{in}} \omega_m = 3E_A I_A \cos \overbrace{\angle(E_A, I_A)}^{\gamma}$$



توان و گشتاور ژنراتورهای سنکرون

توان الکتریکی اکتیو خروجی:

$$P_{out} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta = 3 V_\phi I_A \cos \theta$$

توان راکتیو خروجی:

$$Q_{out} = \sqrt{3} V_L I_L \sin \theta = 3 V_\phi I_A \sin \theta$$

با توجه به اینکه مقدار مقاومت اهمی سیم پیچی های استاتور در مقایسه با راکتانس سنکرون بسیار کوچک است، می توانیم از اثر آن صرف نظر کنیم و رابطه مفید دیگری که تقریب بسیار خوبی از توان خروجی ژنراتور است را بدست آوریم.

توان و گشتاور ژنراتورهای سنکرون

توان الکتریکی اکتیو خروجی:

$$P_{out} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta = 3 V_{\phi} I_A \cos \theta$$

توان راکتیو خروجی:

$$Q_{out} = \sqrt{3} V_L I_L \sin \theta = 3 V_{\phi} I_A \sin \theta$$

با توجه به اینکه مقدار مقاومت اهمی سیم پیچی های استاتور در مقایسه با راکتانس سنکرون بسیار کوچک است، می توانیم از اثر آن صرف نظر کنیم و رابطه مفید دیگری که تقریب بسیار خوبی از توان خروجی ژنراتور است را بدست آوریم.

توان و گشتاور ژنراتورهای سنکرون

$$R \ll X_s \Rightarrow R \approx 0$$

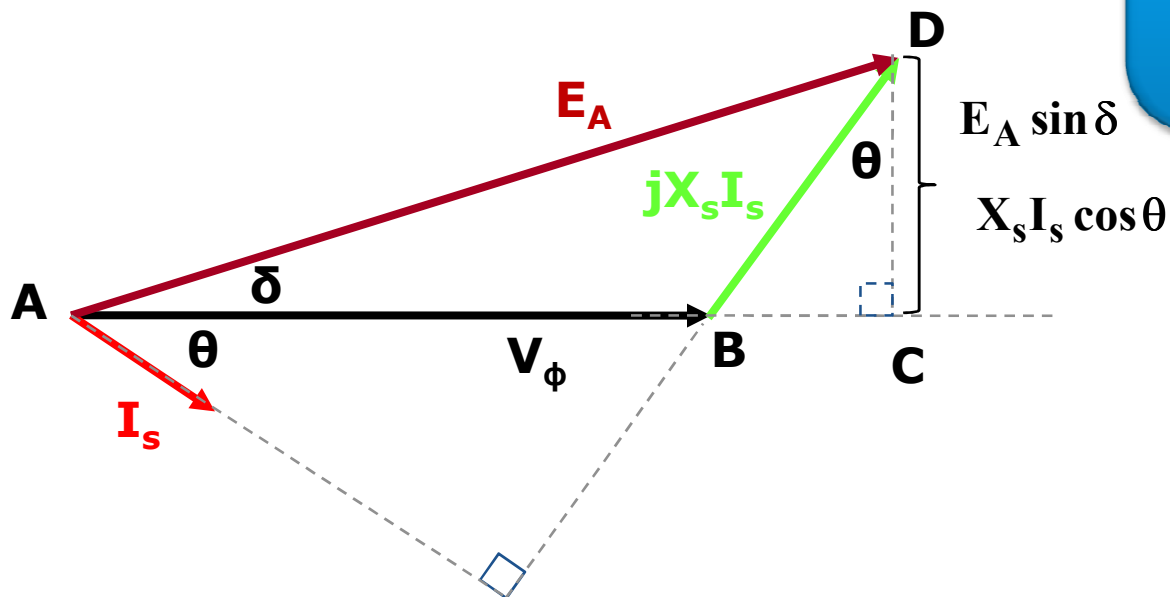
$$\vec{V}_\phi + (\underbrace{R + jX_s}_0) \vec{I}_s = \vec{E}_A$$

$$X_s I_s \cos \theta = E_A \sin \delta$$

$$\Rightarrow I_s \cos \theta = \frac{E_A \sin \delta}{X_s}$$

$$P_{\text{out}} = 3 V_\phi I_s \cos \theta$$

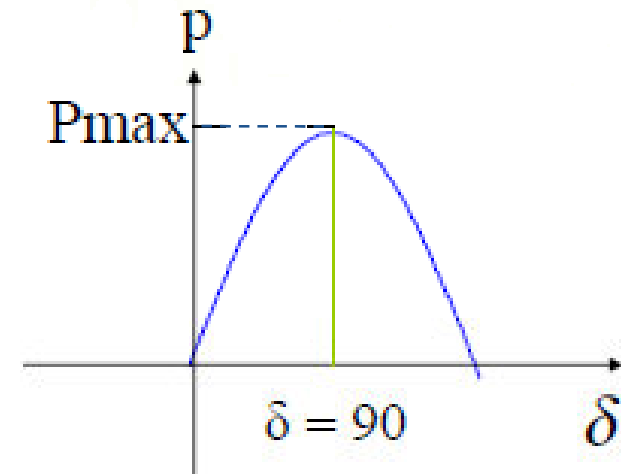
$$= \frac{3 V_\phi E_A \sin \delta}{X_s}$$



توان و گشتاور ژنراتورهای سنکرون

$$P_{out} = \frac{3V_{\phi}E_A \sin \delta}{X_s} \longrightarrow \text{زاویه گشتاور یا زاویه داخلی}$$

$$\delta = \frac{\pi}{2} \Rightarrow P_{max} = \frac{3V_{\phi}E_A}{X_s}$$



❖ این توان ماکزیمم، **حد پایداری ایستای ژنراتور** نام دارد. معمولا ژنراتورهای واقعی به این حد نزدیک هم نمی شوند.

❖ زاویه گشتاور بار کامل ماشین واقعی معمولا ۲۰ تا ۳۰ درجه است.

توان و گشتاور ژنراتورهای سنکرون

گشتاور القا شده در این ژنراتور:

$$\tau_{\text{ind}} = k\vec{B}_R \times \vec{B}_S = k\vec{B}_R \times \vec{B}_{\text{net}}$$

$$\tau_{\text{ind}} = k B_R B_{\text{net}} \sin \delta$$

از طرف دیگر:

$$\tau_{\text{ind}} = \frac{P_{\text{out}}}{\omega_m} = \frac{3 V_{\phi} E_A \sin \delta}{\omega_m X_s}$$

$$\delta = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \tau_{\text{max}} = \frac{3 V_{\phi} E_A}{\omega_m X_s}$$

❖ زاویه گشتاور بار کامل ماشین واقعی معمولاً ۲۰ تا ۳۰ درجه است.

مثال

یک ژنراتور سنکرون $360V$ ، $60Hz$ چهار قطب با اتصال ستاره دارای راکتانس سنکرون $1/0$ اهم بر فاز می‌باشد. مقاومت آرمیچر ناچیز است. جریان نامی آرمیچر $600A$ است. تلفات کل در شرایط نامی $2.5kW$ می‌باشد. جریان میدان ($/$ تحریک) به نحوی تنظیم شده است که ولتاژ ترمینال در حالت مدار باز $360V_{L-L}$ باشد.

الف) سرعت چرخش نامی ژنراتور چقدر است؟

ب) ولتاژ ترمینال را با جریان نامی و ضریب توان : (۱) 0.8 پسفاز، (۲) ضریب توان واحد و (۳) 0.8 پیشفاز بدست آورید.

پ) بازده ژنراتور در حال کار با جریان نامی و ضریب توان 0.8 پسفاز چقدر است؟

ت) در این حالت چه مقدار گشتاور باید به ژنراتور اعمال شود؟



$$N_s = \frac{120f}{P} = 1800 \text{ rpm}$$

(الف)

$$E_a = \frac{360}{\sqrt{3}} = 207.8$$

(ب)

$$V_t = E_a - jX_s I_a$$

$$(V_t + X_s I_a \sin \theta)^2 + (X_s I_a \cos \theta)^2 = E_a^2$$

$$(V_t + 0.1 \times 600 \times 0.6)^2 + (0.1 \times 600 \times 0.8)^2 = 207.8^2$$

$$V_t = 166.1802 \text{ V} \Rightarrow U = 287.8 \text{ V}$$

$$(V_t)^2 + (X_s I_a)^2 = E_a^2$$

$$(V_t)^2 + (0.1 \times 600)^2 = 207.8^2$$

$$V_t = 198.9493 \text{ V} \Rightarrow U = 344.6 \text{ V}$$



(ب)

$$(V_t - X_S I_a \sin \theta)^2 + (X_S I_a \cos \theta)^2 = E_a^2$$

$$(V_t - 0.1 \times 600 \times 0.6)^2 + (0.1 \times 600 \times 0.8)^2 = 207.8^2$$

$$V_t = 238.1802 \text{ V} \Rightarrow U = 412.5 \text{ V}$$

(پ)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} = \frac{3V_t I \cos \theta}{3V_t I \cos \theta + P_{loss}} = \frac{3 \times 166.2 \times 600 \times .8}{3 \times 166.2 \times 600 \times .8 + 2500} = 99\%$$

(ت)

$$T = \frac{p_{in}}{\Omega} = \frac{3 \times 166.2 \times 600 \times .8 + 2500}{1800 / 60 \times 2\pi} = 1282.8 \text{ N.m}$$

موتورهای سنکرون

تمرین

❖ یک ژنراتور سنکرون ۱۰ مگا ولت آمپر ، ۱۳.۸ کیلو ولت، ۲ قطب ۶۰ هرتز با اتصال ستاره، در جریان تحریک ۸۴۲ آمپر به ولتاژ آرمیچر نامی در بی باری می رسد. در حالت اتصال کوتاه سه فاز با جریان تحریک ۲۲۶ آمپر، جریان آرمیچر آن نامی خواهد بود. فرض کنید این ژنراتور به یک فیدر توزیع ۱۳.۸ کیلوولت با امپدانس ناچیز متصل است و توان خروجی آن ۸.۵ مگا وات در ضریب قدرت ۰.۸۵/ پسفاز است. راکتانس سنکرون، جریان تحریک و زاویه بار را برای این ژنراتور محاسبه کنید. از اشباع صرفنظر کنید و $R_a=0$ فرض کنید.