مبحث سوم:

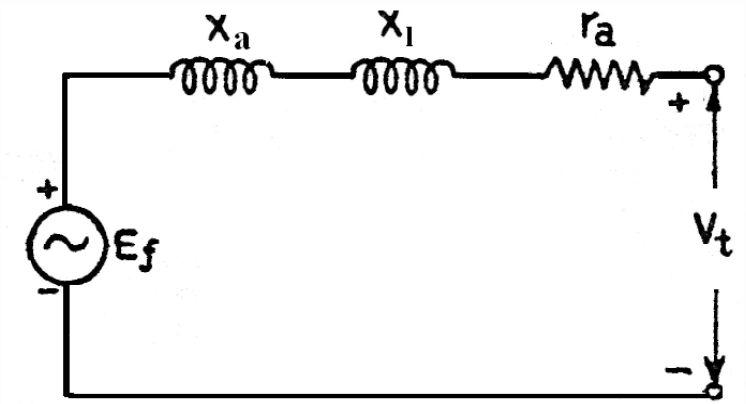
مدل ژنراتور سنکرون با روتور استوانه‌ای

- مدار معادل ژنراتور سنکرون استوانه‌ای
- منحنی‌های بی‌باری، اتصال کوتاه و منحنی ضریب قدرت صفر
- دیاگرام برداری ژنراتور استوانه‌ای

❑ مدار معادل ژنراتور سنکرون استوانه‌ای

➢ اجزای مدار معادل:

✓ برای پیش‌بینی رفتار ماشین سنکرون به مدار معادل آن نیاز داریم.



مدار معادل ماشین سنکرون

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

۱- ولتاژ القایی بی‌باری (E_f یا E_a)

۲- اثر عکس‌العمل آرمیچر (X_a)

۳- اثر شارهای پراکندگی (X_l)

٤- مقاومت آرمیچر (r_a)

۱- ولتاژ القایی بی‌باری:

ولتاژ القایی بی‌باری با یک منبع ولتاژ مدل می‌شود.

$$E_f = \sqrt{2}\pi k_w f N_{ph} \varphi \qquad (۱)$$

$$k_w = k_p \times k_d \qquad (۲)$$

$$\Rightarrow \boxed{E_f = K \varphi \omega} \qquad (۳)$$

۲- اثر عکس‌العمل آرمیچر:

عکس‌العمل آرمیچر بواسطه عبور جریان از سیم‌پیچ های آرمیچر بوجود می‌آید که در نتیجه آن ولتاژ القایی بی‌باری ناشی از تحریک دچار دگرگونی می شود. اثر عکس‌العمل آرمیچر را با یک راکتانس سلفی (X_a) نمایش می‌دهند.

چرا اثر عکس‌العمل آرمیچر با راکتانس سلفی نمایش داده می شود؟

اولا، ولتاژ E_a ناشی از عکس‌العمل آرمیچر در زاویه‌ای قرار دارد که ۹۰ درجه عقب‌تر از صفحه F_a جریان I_a است.

ثانیا دامنه ولتاژ بوجود آمده متناسب با دامنه شار و یا نیروی محرکه مغناطیسی (mmf) و در نتیجه جریان است.

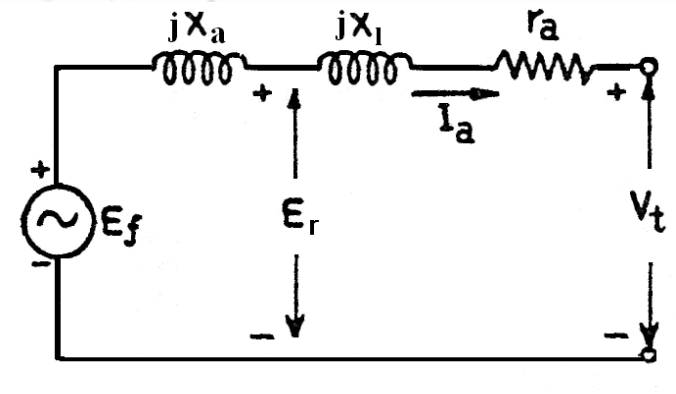
لذا عکس‌العمل آرمیچر را می توان با رابطه زیر بیان کرد:

$$\vec{E}_a = -jX_a\vec{I}_a \qquad (٤)$$

$$\vec{E}_r = \vec{E}_f - jX_a\vec{I}_a \qquad (٥)$$

$$\vec{E}_r = \vec{V}_t + (jX_l + r_a)\vec{I}_a \qquad (٦)$$

$$\vec{V}_t = \vec{E}_f - j(X_a + X_l)\vec{I}_a - r_a\vec{I}_a \qquad (٧)$$

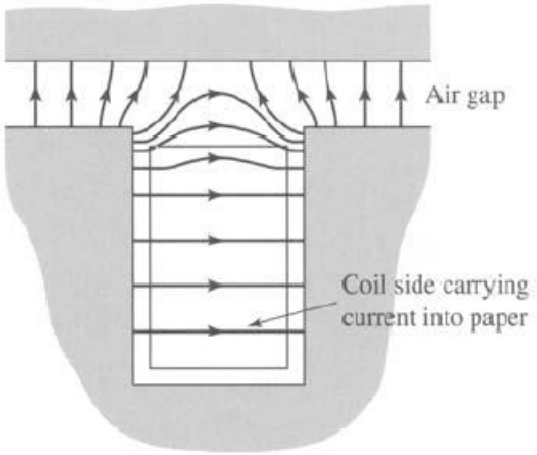


مدار معادل ژنراتور سنکرون

E_a = ولتاژ ناشی از عکس‌العمل آرمیچر یا F_a φ_a

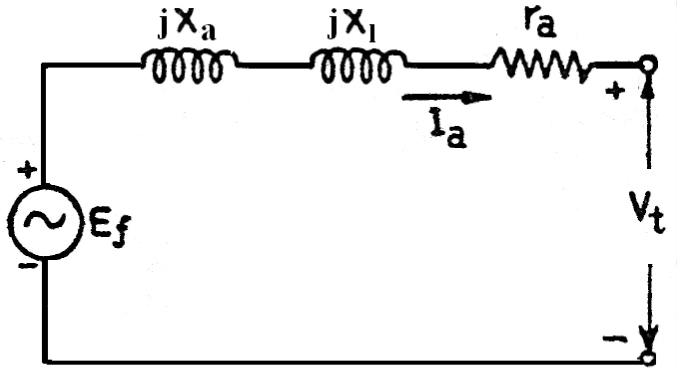
E_r = ولتاژ بیرونی یا ولتاژ ناشی از شار فاصله هوایی φ_r

۳- اثر شارهای پراکندگی:



شار پراکندگی یا نشتی شاری است که فقط در سیم‌پیچ بوجود آورنده خود را در بر می‌گیرد و روتور را در بر نمی‌گیرد. عموما آن را با یک سلف که مبین افت ولتاژ است مدل می‌کنند.

٤- مقاومت آرمیچر:



سیم‌پیچ‌های استاتور دارای مقاومت اهمی هستند که باعث افت ولتاژ و اتلاف توان می‌گردد.

❑ مدار معادل ژنراتور سنکرون استوانه‌ای

➢ نمودار برداری عمومی ژنراتور استوانه‌ای:

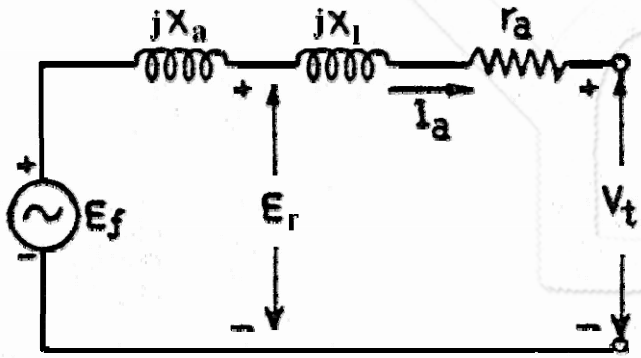
$$\vec{E}_r = \vec{V}_t + (jX_l + r_a)\vec{I}_a \qquad (۸)$$

$$\vec{F}_r = \vec{F}_f + \vec{F}_a \qquad (۹)$$

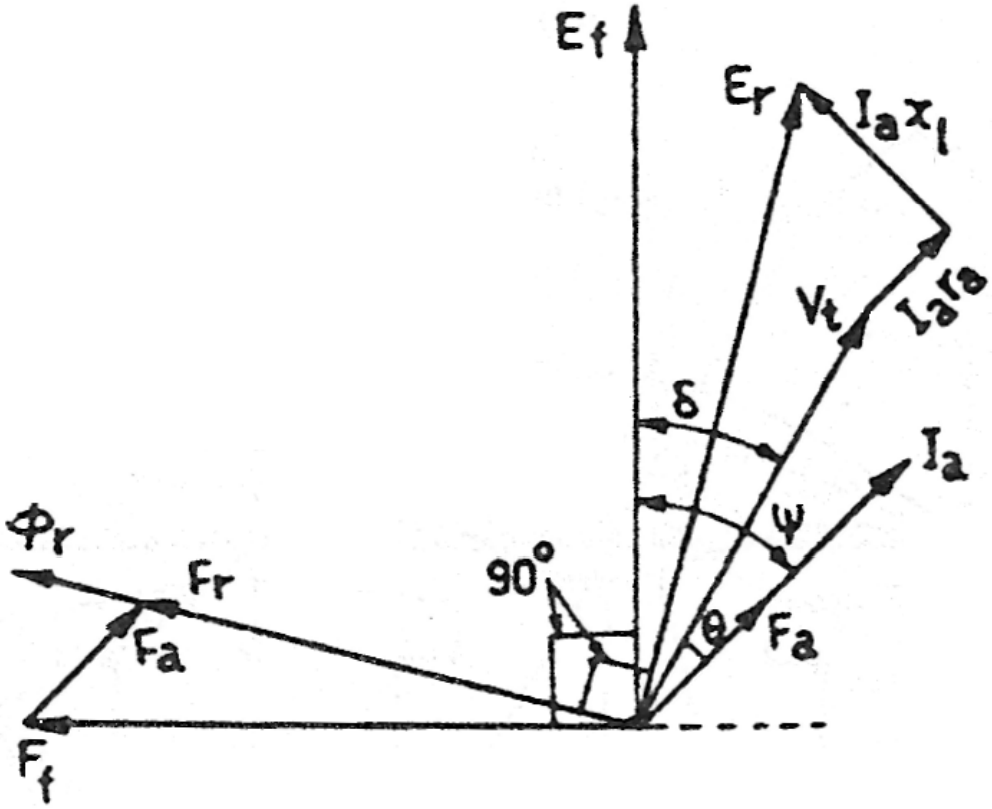
زاویه ضریب قدرت (توان) داخلی = زاویه بین E_f و I_a = ψ

زاویه بار یا قدرت = زاویه بین E_f و V_t = δ

زاویه ضریب توان بار = θ یا φ



مدار معادل ژنراتور سنکرون



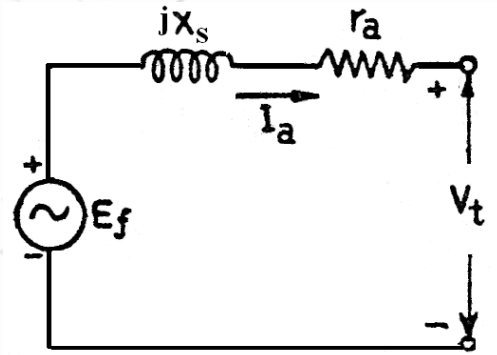
نمودار برداری عمومی ژنراتور سنکرون با روتور استوانه‌ای

❑ مدار معادل ژنراتور سنکرون استوانه‌ای

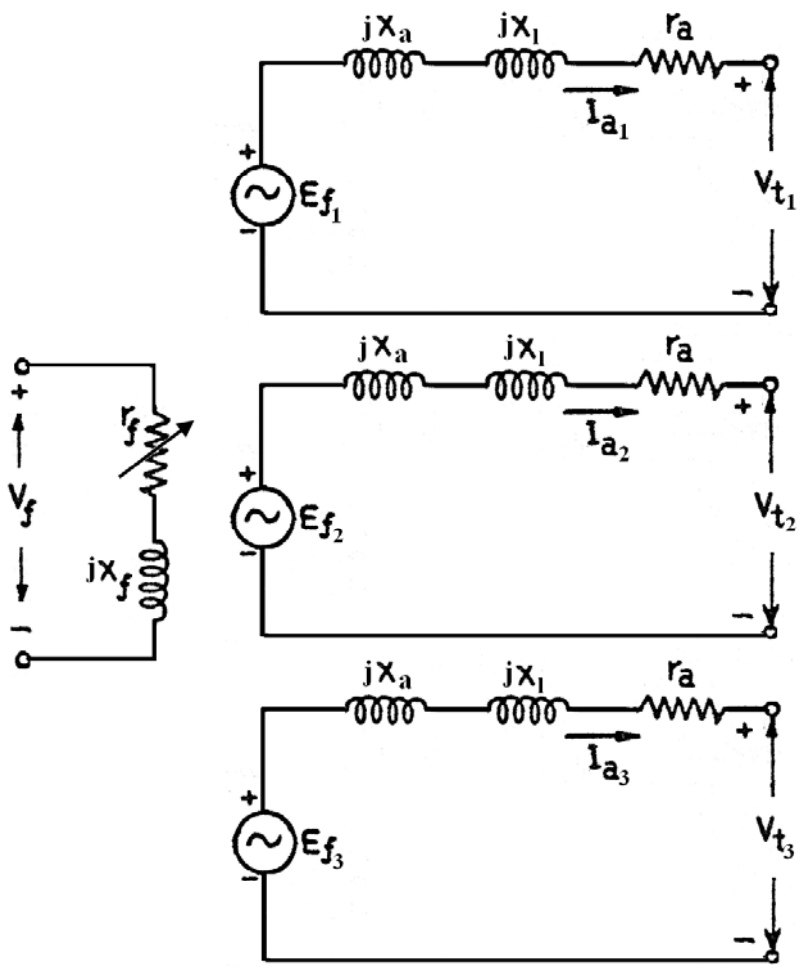
➢ مدار معادل ژنراتور سنکرون سه‌فاز:

به مجموع راکتانس ناشی از عکس‌العمل آرمیچر و راکتانس نشتی هر فاز، **راکتانس سنکرون** گفته و با X_s نمایش می‌دهند.

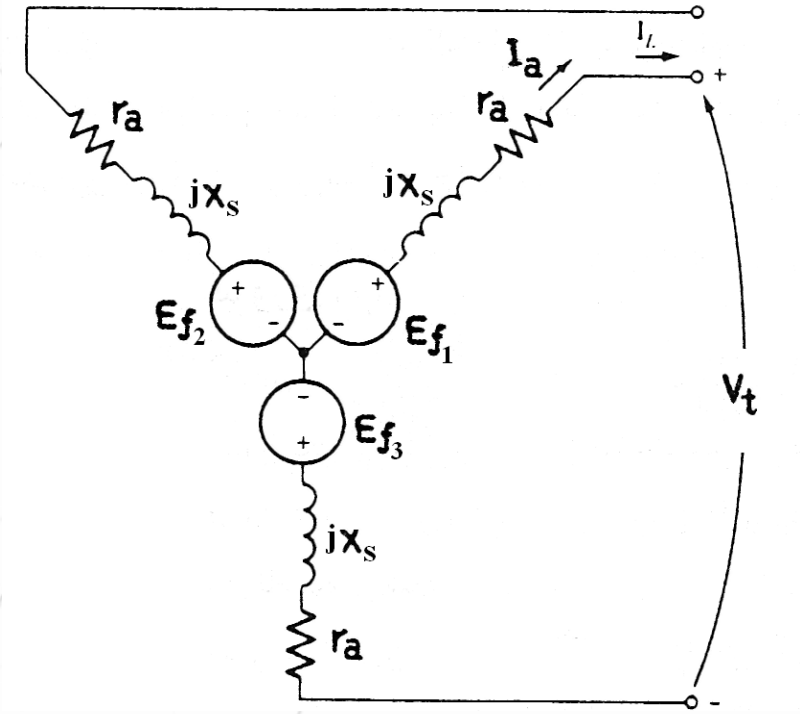
$$X_S = X_a + X_l \qquad (۱۰)$$



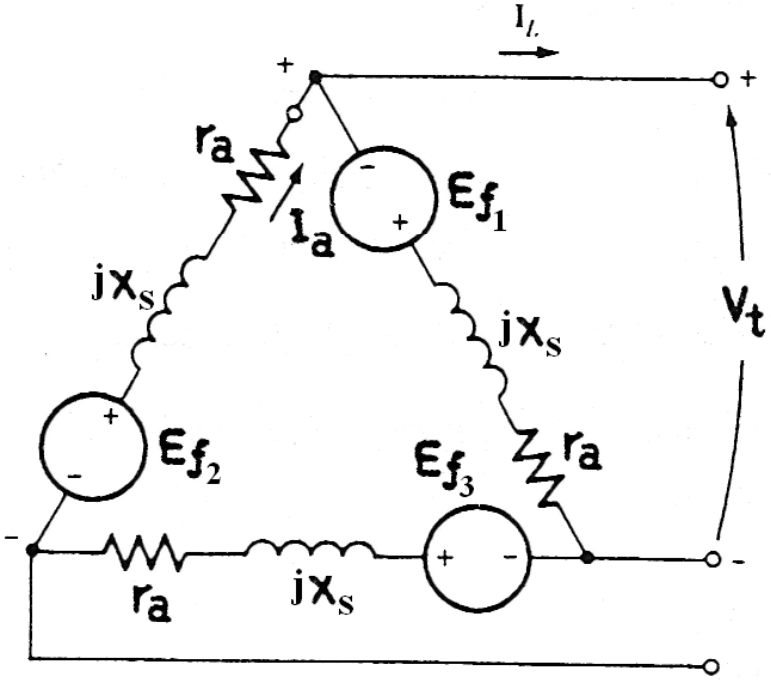
مدار معادل مختصر شده ژنراتور سنکرون سه فاز



مدار معادل کامل ژنراتور سنکرون سه فاز



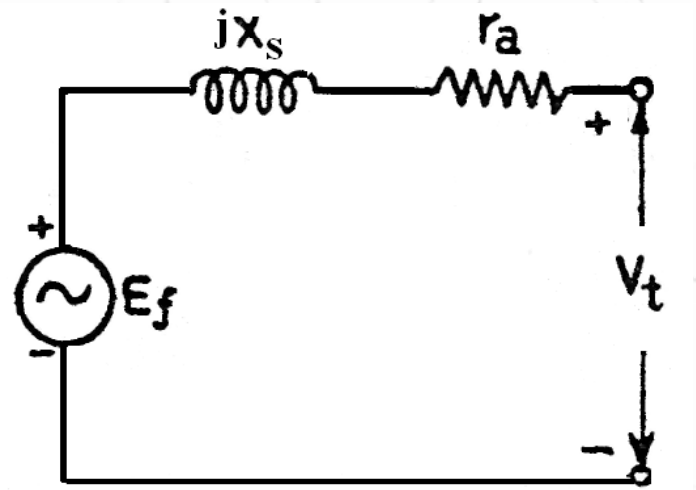
اتصال ستاره ژنراتور سنکرون سه فاز



اتصال مثلث ژنراتور سنکرون سه فاز

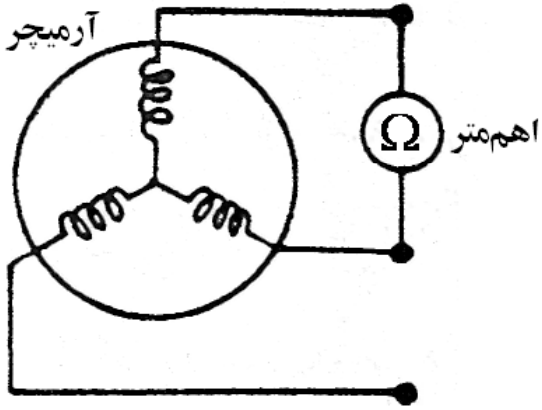
۱- مقاومت اهمی استاتور (r_a): به روش ولت‌متر – آمپرمتر و یا با استفاده از اهم‌متر

۲- راکتانس سنکرون: با استفاده از منحنی‌های اتصال کوتاه و بی باری محاسبه می‌شود.



مدار معادل مختصر شده ماشین سنکرون

اندازه‌گیری مقاومت اهمی:



اندازه‌گیری مقاومت با اهم‌متر

در حالت اتصال ستاره:

$$r_{dc} = \frac{1}{2} \times \frac{\text{ولتاژ خوانده شده}}{\text{جریان خوانده شده}} \qquad (11)$$

در حالت اتصال مثلث:

$$r_{dc} = \frac{3}{2} \times \frac{\text{ولتاژ خوانده شده}}{\text{جریان خوانده شده}} \qquad (12)$$

با درنظر گرفتن اثر حرارت و پوستی:

$$r_a = (1.2 \sim 1.5) \times r_{dc} \qquad (13)$$

(برای فرکانسهای پائین تر از ۱۰۰ هرتز)

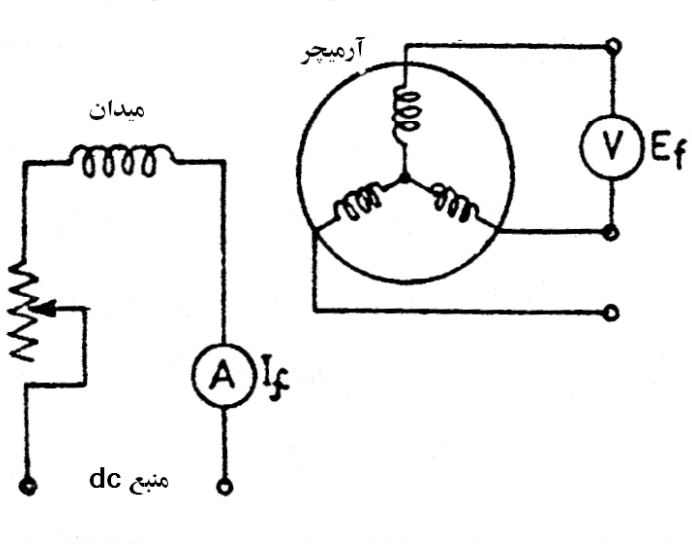
تعریف منحنی مدار باز : رابطه بین ولتاژ ترمینال در حالت بی‌باری (E_f) برحسب جریان تحریک (I_f).

مراحل بدست آوردن منحنی مدار باز :

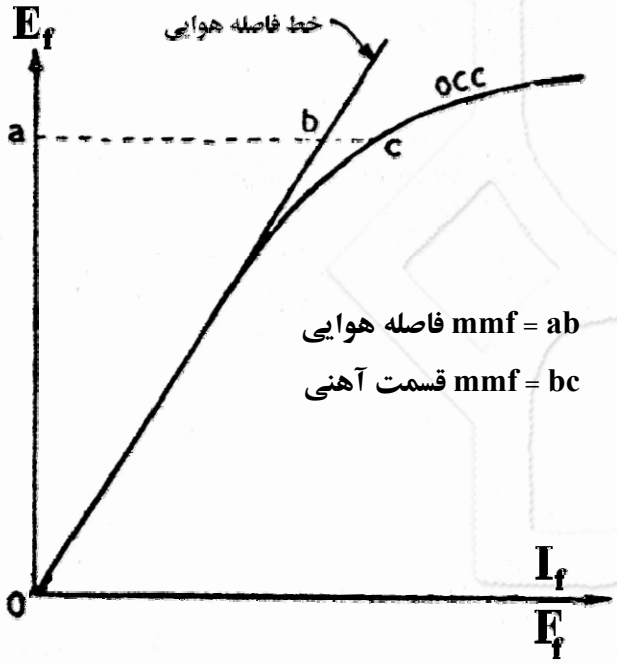
۱- روتور در سرعت نامی می‌چرخد.

۲- جریان تحریک به تدریج از صفر افزایش می‌یابد.

۳- ولتاژ دو ترمینال در حالت مدار باز اندازه‌گیری می شود.



الف- مدار برای رسم منحنی OCC



ب- منحنی OCC

منحنی اتصال کوتاه (SCC):

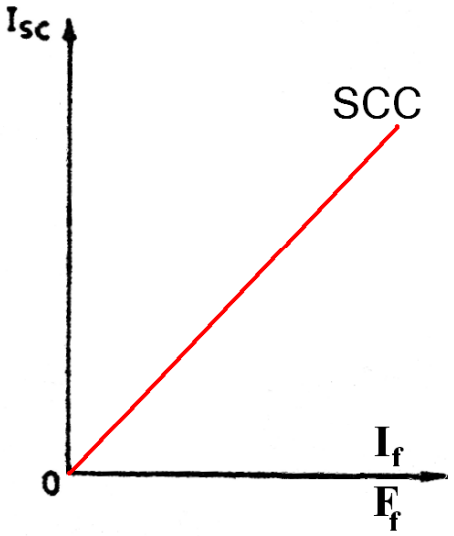
تعریف منحنی اتصال کوتاه : رابطه بین جریان آرمیچر ($I_{a,SC}$) برحسب جریان تحریک (I_f) در شرایط اتصال کوتاه.

مراحل بدست آوردن منحنی اتصال کوتاه:

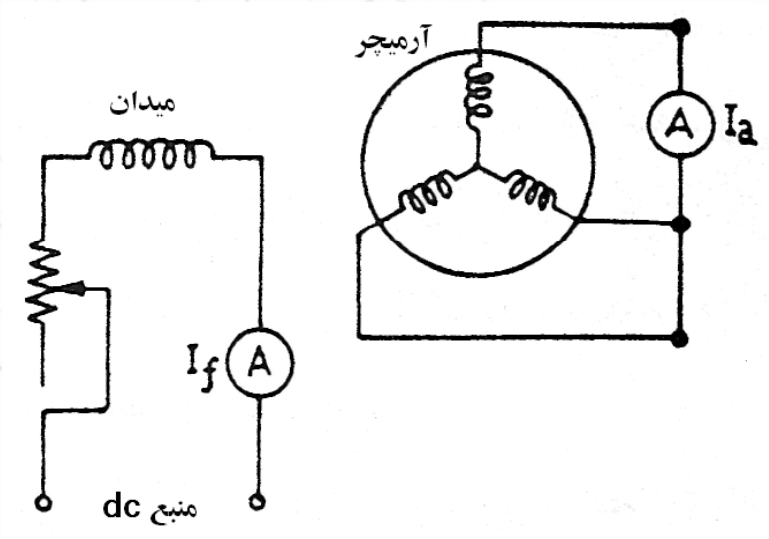
۱- روتور در سرعت نامی می‌چرخد.

۲- جریان تحریک به تدریج از صفر افزایش می‌یابد.

۳- جریان ترمینال اتصال کوتاه شده اندازه‌گیری می شود. جریان آرمیچر نباید از حد ۱۲۵ تا ۱۵۰٪ نامی بیشتر شود و قرائت‌ها باید سریع انجام گردد.



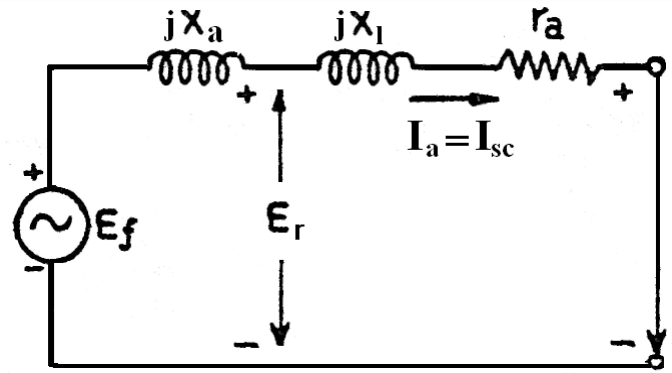
منحنی اتصال کوتاه



مدار برای رسم منحنی SCC

❑ منحنی‌های بی‌باری، اتصال کوتاه و منحنی ضریب قدرت صفر

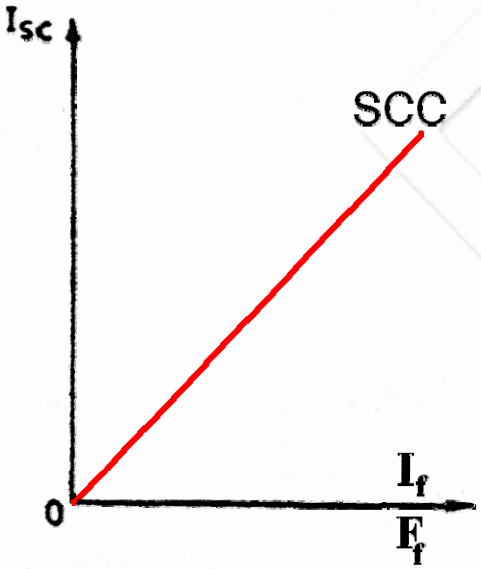
➢ محاسبه راکتانس سنکرون (X_s):



$$|Z_s| = \left.\frac{E_f}{I_{SC}}\right|_{I_f=\text{rated}} \qquad (١٤)$$

$$Z_s = r_a + j(X_a + X_l) = r_a + jX_s \qquad (١٥)$$

با داشتن مقدار r_a و محاسبه Z_s، مقدار X_s بدست می‌آید.



منحنی اتصال کوتاه

$$\vec{E}_r = (jX_l + r_a)\vec{I}_a \qquad (١٦)$$

- مقدار X_l بین ۰/۱ تا ۰/۲ پریونیت است. مقدار r_a نیز خیلی کوچک است. با توجه به در حد نامی‌بودن جریان اتصال کوتاه، مقدار ولتاژ E_r و یا شار فاصله هوایی متناظر با آن یعنی φ_r کمتر از مقدار نامی آن بوده و لذا آزمایش اتصال کوتاه در شرایط غیر اشباع کار می‌کند. بنابراین منحنی SCC یک منحنی خطی است.

➢ منحنی ضریب قدرت صفر (ZPFC):

تعریف منحنی ضریب قدرت صفر: رابطه بین ولتاژ ورودی آرمیچر (V_t) و جریان میدان (I_f) در حالتی‌که جریان کاملا سلفی آرمیچر و سرعت در مقادیر نامی خود ثابت هستند.

کاربرد: نمودار ZPFC به همراه OCC، برای بدست آوردن راکتانس پراکندگی آرمیچر X_l و mmf آرمیچر F_a استفاده می‌شود.

مراحل بدست آوردن منحنی اتصال کوتاه:

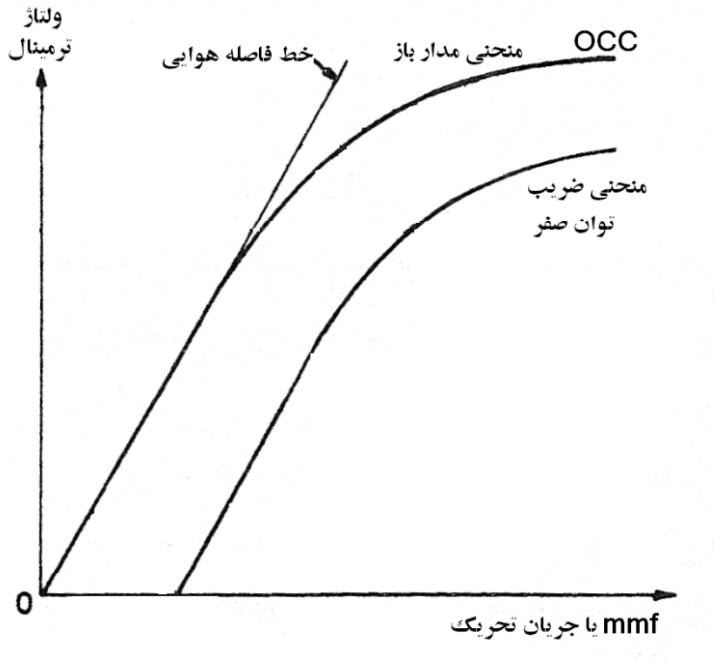
۱- روتور در سرعت نامی می‌چرخد.

۲- با اتصال یک بار القایی خالص (سلفی خالص) جریان تحریک به تدریج از صفر افزایش یابد تا جریان آرمیچر به جریان بار کامل برسد.

۳- با تغییر بار سلفی، تحریک به نحوی تغییر داده می شود تا جریان آرمیچر در مقدار جریان بار کامل ثابت بماند.

سیستم تست: با اتصال یک موتور سنکرون زیر تحریک به یک ژنراتور فوق تحریک می‌توان منحنی ZPFC را بطور عملی بدست آورد.

تغییرات ولتاژ خروجی ژنراتور برحسب جریان میدانش منحنی ZPFC است.



منحنی ضریب قدرت صفر

❑ دیاگرام برداری ژنراتور استوانه‌ای

➢ میدان‌های موجود در فضای داخلی ماشین:

۱- میدان ناشی از شار روتور (میدان تحریک)

۲- میدان ناشی از شار استاتور (عکس‌العمل آرمیچر)

میدان ناشی از شار استاتور یا عکس‌العمل آرمیچر به دو فاکتور وابسته است:

۱- دامنه جریان استاتور

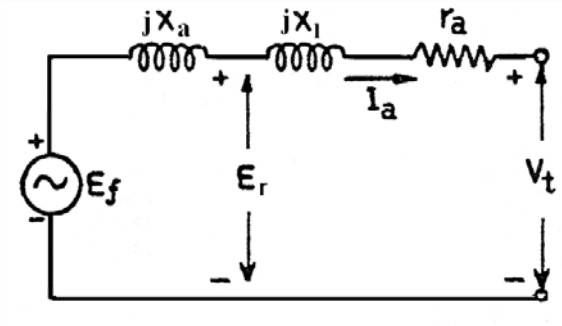
۲- زاویه ضریب توان بار ($\cos \varphi$)

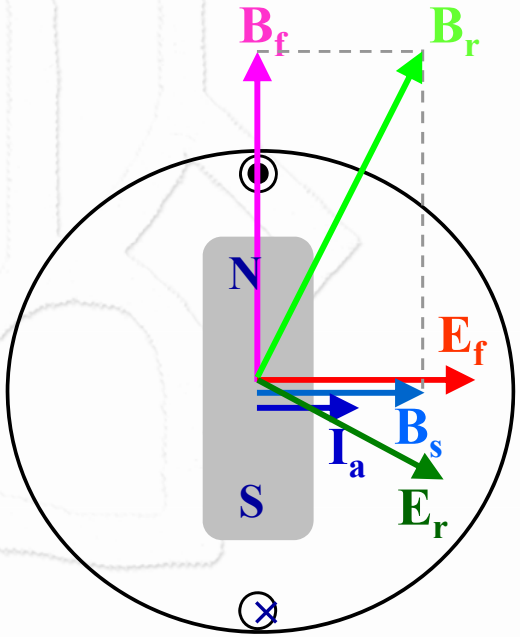
در ادامه برای حالات مختلف جریان و انواع بار بحث می‌شود.

❑ دیاگرام برداری ژنراتور استوانه‌ای

➢ اثر عکس العمل آرمیچر در حالت بار هم‌فاز (cos φ = 1):

در حالت بار هم‌فاز، عکس‌العمل آرمیچر، اثر دگرگون‌کنندگی دارد.





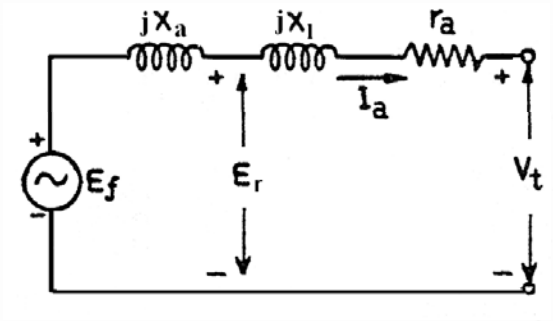
تحلیل کیفی اثر عکس‌العمل آرمیچر

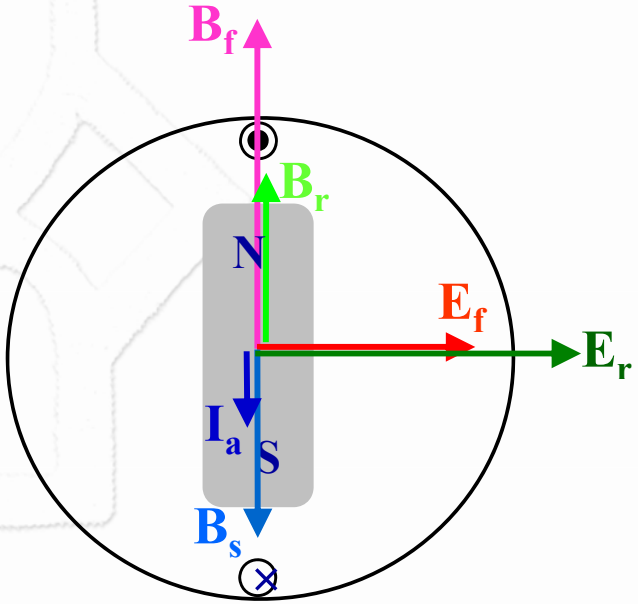
در حالت بار هم‌فاز

❑ دیاگرام برداری ژنراتور استوانه‌ای

➢ اثر عکس العمل آرمیچر در حالت بار کاملا پس‌فاز (سلفی):

در حالت بار کاملا پس‌فاز (صفر پس‌فاز)، عکس‌العمل آرمیچر، اثر تضعیف کنندگی دارد.





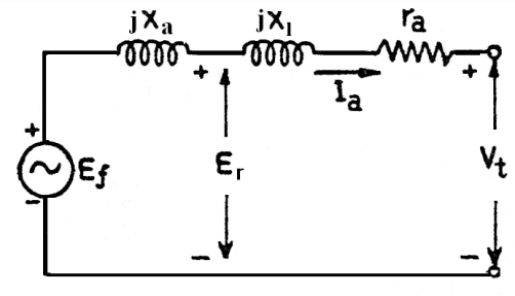
تحلیل کیفی اثر عکس‌العمل آرمیچر

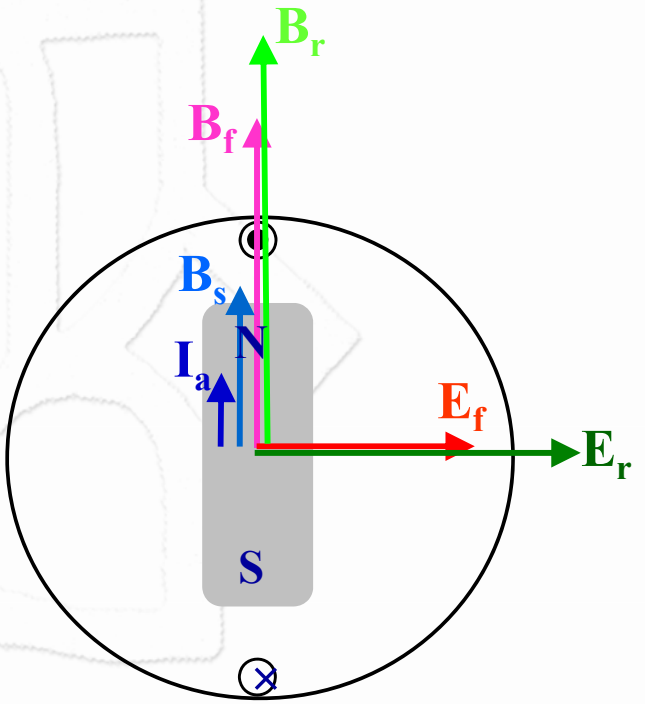
در حالت بار کاملا پس‌فاز

❑ دیاگرام برداری ژنراتور استوانه‌ای

➢ اثر عکس العمل آرمیچر در حالت بار کاملا پیش‌فاز (خازنی):

در حالت بار کاملا پیش‌فاز (صفر پیش فاز)، عکس‌العمل آرمیچر، اثر تقویت‌کنندگی دارد.





تحلیل کیفی اثر عکس‌العمل آرمیچر

در حالت بار کاملا پیش‌فاز