ساختمان موتور های القایی

استاتور: شامل یک مدار مغناطیسی است ک از هسته مورق وسیم پیچ های معمولا توزیع شده در داخل شیار تشکیل شده است و قسمت ساکن موتور القایی است

رتور:رتور موتور القایی قسمت متحرک و چرخنده آن است ک به دو دسته زیر تقسیم میشود :

1) رتور سیم پیچی شده: که یک سیم پیچ سه فاز مانند استاتور است و در شیار های یک هسته مغناطیسی مورق قرار دارد.
2) رتور قفسه ای: که تشکیل شده از یک هسته مورق مغناطیسی استوانه ای شکل و با سوراخ های محوری که با آلومینیوم پر شده و دور دو طرف بالا و پایین اتصال کوتاه شده و یک مدار بسته پدید می آید.

تولید گشتاور در یک موتور القایی:

چنانچه استاتور یک موتور القایی سه فاز به شبکه وصل شود. میدان دواری در فاصله ی هوایی بین استاتور و رتور با سرعت سنکرون شروع به چرخش می‌کند این میدان دوار میله ی رتور را که در یک لحظه ساکن هستند را قطع می کنند لذا یک ولتاژ در آن القا می‌شود که به علت اتصال کوتاه بودن رتور این ولتاژ القایی باعث ایجاد جریان در هادی های رتور می‌شود. وجود این جریان سبب می شود که رتور نیز یک میدان دوار ایجاد می‌کند که این میدان نیز با سرعت سنکرون و در همان جهت می‌گردد.

پس تاثیر این دو میدان گشتاور بر مجموعه رتور و استاتور وارد می‌شود و چون استاتور ساکن است پس رتور در جهت گشتاور ایجاد شده شتاب میگیرد .

- ✓ اگر سرعت رتور به سرعت سنکرون برسد چه اتفاقی می افتد؟

اگر سرعت رتور برابر سرعت سنکرون شود سرعت نسبی رتور و استاتور صفر شده لذا ولتاژ القایی در رتور و در نتیجه جریان و میدان رتور و گشتاور القایی صفر می‌شود در نتیجه سرعت شروع به کاهش میکند اما در این موقع ک سرعت شروع به کاهش می کند ولتاژ القایی در رتور افزایش یافته و سرعت دوباره بالا می‌رود در نتیجه در عمل سرعت بی باری موتور های القایی کمی کمتر از سرعت سنکرون است.

مفهوم لغزش در موتور های القایی: به اختلاف سرعت میدان دوار رتور و سرعت محور رتور سرعت لغزش میگویند.

$$\Delta n = n_r - n_m$$

$$S = \frac{\Delta n}{\Delta r} = \frac{n_r - n_m}{N_r} * 100$$

$$N_s = \frac{120 * F}{P}$$

سرعت میدان دوار رتور برابر است با سعت میدان دوار استاتور←←$N_r - N_s$

$$N_m = N_s(1 - S)$$

- مثال:در یک موتور سه فاز 50^Hو 4 قطب سرعت برداری رتور 1440^{rpm}لغزش این موتور چند درصد است؟

$$N_s = \frac{120 * 50}{4} = 1500$$

$S = \frac{1500 - 144}{1500} * 100 = 4\%$

مثال:در یک موتور 60^Hو 6 قطب سرعت بار کامل 1150^{rpm}است:

الف:لغزش موتور را محاسبه کنید؟

$$N_s = \frac{120 * 60}{6} = 1200$$

$S = \frac{1200 - 115}{1200}$

S%=4.1%

ب:سرعت میدان دوار استاتور تسبت به استاتور 1200 است.

ج:سرعت محور رتور نسبت به استاتور مطابق صورت سوال 1150 است.

چ:سرعت کیدان دوار رتور نسبت بهمحور رتور50=1150-1200است.

خ:سرعت محور رتوربه میدان دوار $N_m - N_s \rightarrow 1150 - 1200 = -50$است.

د:سرعت میدان دوار رتور نسبت به میدان دوار استاتور0=1200-1200است.

حدود تغیرات لغزش در ماشین های القایی:

1:چنانچه $0 \leq s \leq 1$ باشد یعنی $N_m < N_s$ بوده و ماشین در ناحیه موتوری بوده به طوری که S=1مربوط به لحظه ی راه اندازی و S=0 مربوط به حالت بی باری است.

2:چنانچه $S \leq 0$باشد یعنی $N_m > N_s$بوده است و ماشین به صورت مولدی یا ژنراتوری کار میکند.

3:چنانچه$S \geq 1$باشد یعنی N_sوN_mمعکوس هم بوده و ماشین در حالت ترمزی عمل میکند.

نکته: چنانچه f_s فرکانس منبع تغذیه استاتو باشد جریان هادی های رتورf_r از رابطه ی زیر بدست می آید $F_r = S.f_s$

-در لحظه راه اندازی چون S=1است پس$F_r = F_s$است.

- مثال:فرکانس جریان موتور القایی 208^vو50^H و4 قطب که در بار نامی با سرعت 1425دور در دقیقه می گردد چند هرتز است؟

$$F_r = S.F_s = 0.05 * 50 = 2.5^{hz}$$

$$N_s = \frac{120 * 50}{4} = 1500^{rpm}$$

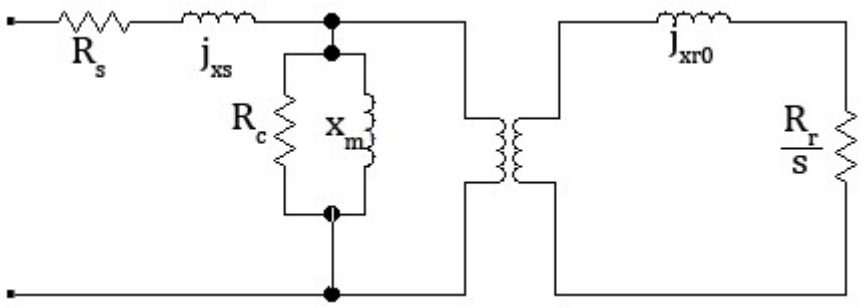
$$S = \frac{1500 - 1425}{1500} = 0.05$$

نکته:با تعویض دو فاز از سه فاز استاتور لغزش در لحظه ی تعویض جای دو فاز برابر با $S_{new} = 2 - S$ است.

مدار معادل موتور القایی:

مدار معادل موتور القایی شبیه ترانسفورماتور تک فاز می باشد با این تفاوت که 1ثانیه اتصال کوتاه است..2 فرکانس اولیه و ثانویه یکسان نیست.

از این رو مدار شکل زیر خواهد بود:



در این مدارمعادل X_rوR_rراکتانس پراکنده و مقاومت اهمی سیم پیچ های موتور بوده وX_sوR_sراکتانس پراکنده و مقاومت اهمی سیم پیچ های استاتور بودهR_cوX_mهم مدل کننده هسته می باشد.

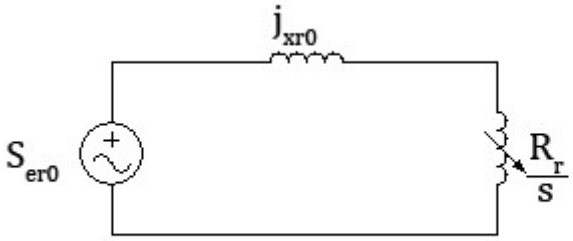
نکته:به علت وجود فاصله ی هوایی در موتور تزویج بین سیم پیچ های استاتور و رتور کمتر از ترانسفور ماتورهاست لذا مقدار X_mدر مدار معادل موتور القایی خیلی کمتر X_mترانسفورماتورهاست.

نکته:مقدار R_cدر موتورها بسیار زیاد بوده است بنابراین می توان تقریب منابع آن را از مدار معادل حذف نمود.

نکته:از آنجایی که در هنگام راه انداز تا بار کامل موتور القایی ولغزش دایما دو حالت تغییر است لذا مقدار فرکانس جریان رتور و در نتیجه پارامتر های مدار معادل رتور مانندX_rوE_rتغییر میکنند لذا معمولا مقادیرX_rوE_rدر موتور های القایی در حالت سکون یا راه اندازی به صورت E_{r0}یاX_{r0}داده می شود.

می توان تمامی اثرات مربوط به تغییر لغزش رتور را در مقاومت اهمی رتور جای داد در این صورت باید به جای R مقدار $\frac{R_r}{S}$ در مدار معادل قرار گیرد.

- مثال:مدار معادل رتور موتور القایی:



$$I_r = \frac{SE_{r_0}}{\frac{R_r}{S} + jx_{r_0}}$$

$$|I_r| = \frac{S|E_{r_0}|}{\sqrt{R_r^2 + SX_{r_0}^2}}$$

$$\cos\alpha = \frac{R_r}{\sqrt{R_r^2 + (SX_{r_0})}}$$

- مثال:رتور یک موتور القایی 4قطب 50^{HZ}در هنگام راه اندازی دارای0.025 اهم مقاومت اهمی و 1.1مقاومت القایی است اگر ولتاژ القایی است اگر ولتاژ القا شده در رتور در همین حالت (در هنگام راه اندازی) 45^{v}باشد جریان و ضریب توان رتور در لحظه راه اندازی چقدر است؟

$$|I_r| = \frac{S|E_{r_0}|}{\sqrt{R_r^2 + SX_{r_0}^2}} = \frac{1 * 45}{\sqrt{0.25^2 + 1.1^2}} = 39.5 \quad A$$

$$\cos\alpha = \frac{R_r}{\sqrt{R_r^2 + (SX_{r_0})}} = \frac{0.25}{\sqrt{0.25^2 + 1.1^2}} = 0.22$$

در مثال قبل اگر در بار نامی لغزش 10٪ باشد جریان و ضریب قدرت رتور این بار چقدر است؟

$$S=\%10=\frac{10}{100}$$

$$|I_r| = \frac{S|E_{r_0}|}{\sqrt{R_r^2 + SX_{r_0}^2}} = \frac{0.1 * 45}{\sqrt{0.25^2 + 1.1^2}} = 16.5 \quad \text{A}$$

$$\cos\alpha = \frac{R_r}{\sqrt{R_r^2 + (SX_{r_0})}} = \frac{45}{\sqrt{0.25^2 + (1.1 * 0.1)^2}} = 0.92$$

نتیجه گیری:با مقایسه دو مثال فوق دیده می شود که جریان راه اندازی بالا بوده وضریب توان رتور پایین(خراب) است. اما در بار کامل جریان پایین بوده و ضریب قدرت رتور بالا (خوب) است.

نکته: در رتور های سیم پیچی شده می توان مقدار R_rوX_rرا توسط امپدانس (سلف وخازن ومقاومت)در مسیر رتور تغییر داد تا بتوان جریان و ضریب قدرت را کنترل نمود.

- مثال: در مثال قبل اگر سرعت رتور در بار نامی باشد چه مقدار مقاومت به مدار رتور االضافه شود تا ضریب قدرت *0.95* شود؟

$$\cos\alpha = \frac{R_r}{\sqrt{R_r^2 + (SX_{r_0})}} = 0.95 = \frac{R_r}{\sqrt{R_r^2 + 1.1^2}} = Rr = 0.35$$

نکته: در گشتاور بار ثابت تغییر مقاومت رتور مستقیما روی لغزش تاثیر دارد به طوری که $\frac{S_1}{S_2} = \frac{R_{r1}}{R_{r2}}$ نسبت دارد.

- مثال: توسط یک رئوستا مقاومت رتور یک موتور القایی 2 قطب,50^{HZ},که با لغزش 10% کار می کند 5 برابر می شود چنانجه گشتاور بار ثابت باشد سرعت بار کامل رتو چقدر است ؟

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{R_{r1}}{R_{r2}} = \frac{0.1}{S_2} = \frac{R_{r1}}{5_{r1}} \rightarrow \frac{1}{S_2} = \frac{1}{5} = 0.5$$

$$N_s = \frac{120 * F}{P} = 3000rpm$$

$$S = \frac{N_s _ N_m}{N_s} = 0.5 = \frac{3000 * N_m}{3000} - 1500$$

تلفات در موتورهای القایی:

تلفات توان ΔP در موتورهای القایی از دو بخش ثابت و متغیر تشکیل می شود.

$$\Delta P = P_1 _ P_2 = P_{rot} + P_{cu}$$

الف :تلفات ثابت یا تلفات چرخشسی بی باری(P_{rot})

این تلفات مستقل از بار بوده و شامل سه قسمت زیر می شود:

1: تلفات هسته در رتور $P_{FE} = P_C$

2:تلفات ناشی از اصطحکاک P_{FE}

3:تلفات ناشی از تهویه P_W

نکته:به مجموعه تلفات ناشی از اصطحکاک و تهویه ,تلفات مکانیکی نیز میگویند و آن را با ΔP_{mec} نشان می دهند.

نکته: به مجموع تلفات هسته و تلفات مکانیکی,تلفات چرخشی گفته می شود.

ب :تلفات متغیر: این نوع تلفات وابسته به بار می باشد و شامل دو قسمت است:

1:تلفات مسی استاتور :(P_{cu}) $P_{cu} = 3 . R_s . |I_{ph}{}^2|$

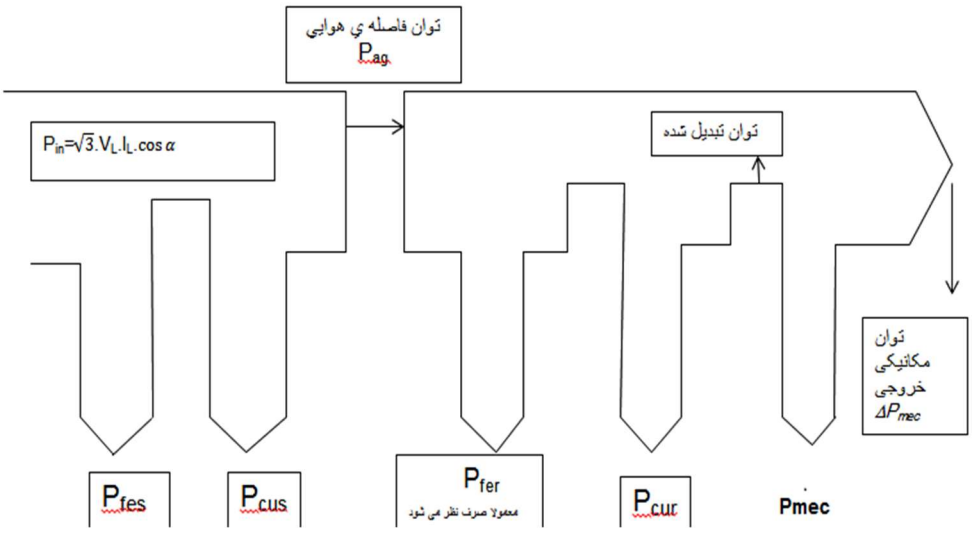
2:تلفات مسی رتور :(P_{cur}) $P_{cur} = 3 . R_r . |I_{ph}{}^2|$

برای به دست آوردن تلفات کل (مسی): $P_{cu} = P_{cur} + P_{cus}$

نکته :تلفات کل:

$$\Delta P = P_{rot} + P_{cu} = P_{fe} + (P_f + P_w) + (P_{cus} + P_{cur})$$

دیاگرام توازن قدرت و موتورهای القایی:



✓ مهم : در موتور های القایی سه فاز، توان الکتریکی ورودی پس از کسر به صورت توان خرجی مکانیکی خالص $P_{out} = P_{mec} \times w_m$ ظاهر می شود.

توان فاصله ی هوایی (p_{ag}) : توانیست که به صورت میدان مغناطیسی در فاصله هوایی موجود است و با آن اصطلاحاً قدرت ورودی به رتور یا توان منتقل شده به رتور نیز می‌گویند.

نکته : توان تبدیل شده (P_{cont}): از فرم الکتریکی به فرم مکانیکی یا توان تولیدی یا خروجی رتور یا توان خروجی نا خالص نیز می‌گویند .

نکته : در رابطه زیر توان های مختلف یک موتور القایی بر قرار است:

$$P_{cur} = S \cdot P_{ag}$$

$$P_{conv}=(1-s).p_{ag} \rightarrow p_{ag}= \frac{P_{conv}}{1-s}$$

نکته: قدرتی یا توانی که به عنوان مشخصه موتور داده می شود (مثلا ۲ کیلو وات) همان توان خروجی موتور است.

مثال: الف)در یک موتور ۳ فاز 10^{kw}تلفات مکانیکی 700^{w}و تلفات کل استاتور 1000^{w} می باشد. در لغزش ۴٪ توان فاصله ی هوایی را بدست آورید.

P_{out} =۱۰kw و ΔP_{mec}= ۷۰۰w و $P_{fe_s}+P_{cu_s}$= ۱۰۰w

ب) مقدار تلفات مسی رتور را بدست آورید .ج) توان ورودی را بدست آورید.

الف) $P_{conv}= P_{out} + P_{mec}$= ۱۰w+ ۰/۷kw=۱۰/۷kw

P_{conv}= (۱-S).P_{ag}= $P_{ag}=\frac{P_{conv}}{1-s}=\frac{10/7}{1-0/04}$ = ۱۱/۱k

ب) P_{cur}= SP_{ag}= ۰/۰۴×۱۱/۱=۴۴۴w

ج) P_{in}= $P_{ag}+P_{cu_s}+P_{fe_s}$= ۱۱/۱*۱=۱۲/۱kw

$\eta\%=\frac{P_{out}}{P_{in}}=\frac{10\text{kw}}{12/1kw}$=۲٪

راندمان موتورهای القایی:

در موتورهای القایی نیز راندمان به صورت نسبت توان خروجی به توان ورودی بیان می شود.

کل تلفات:

$$\eta\%=\frac{P_{out}}{P_{in}}=\frac{P_{out}}{P_{out}+\Delta P}=\frac{P_{in}-\Delta P}{P_{in}}\times 100$$

نکته:به نسبت توان خروجی به توان ورودی از فاصلهٔ هوایی بازدهٔ ایده آل با بازدهٔ داخلی گفته می شود.

$$\eta\%=\frac{P_{out}}{P_{ag}}\times 100=(1-S)\times 100$$

در یک موتور القایی سه فاز 4 قطب، 50^{Hz} که با سرعت 1440^{rpx} در حال دوران است.راندمان داخلی آن را به دست آورید؟

$n_S=\frac{120\times f}{P}=\frac{120\times 50}{4}=1500\ rpx$

$$S=\frac{n_s-n_m}{n_s}=\frac{1500-1440}{1500}=0.04$$

$\eta\%=(1-S)\times 100=96\%$

- مثال)سرعت یک موتور القایی سه فاز 10^{kw}و4 قطب در بار کامل 1475^{rpm} است.در صورتی که تلفات مسی استاتور1^{kw}باشد و تلفات آهنی استاتور0.5^{kw} باشد و از سایر تلفات هم چشم پوشی گردد، راندمان را محاسبه کنید؟

$$N_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500$$

$$S=\frac{N_{s-}N_m}{n_s} = \frac{1500-1475}{1500} = 0.016$$

چون گفته شده از تلفات صرف نظر کنیم برابر P_{out} قرار می دهیم:

$$P_{out} = P_{conv} = 10\ kw$$

$$P_{ag} = \frac{P_{conv}}{1 - S^1} = \frac{10}{1 - 0.0167} = 10.17\ kw$$

$$P_{in} = P_{ag} + P_{cus} + P_{fes} = 10.17 + 1 + 0.5 = 11.67\ kw$$

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = \frac{10}{11.67} \times 100 = 85.7\ \%$$

- مثال)توان ورودی یک موتور القایی سه فاز 50^{Hz}،قطب 970^{rpm}معادل 50^{kw} است.تلفات اهمی استاتور 1^{kw}،تلفات گردشی 1.6^{kw} و از بقیهٔ تلفات چشم پوشی می شود،راندمان موتور را به دست آورید؟

$$n_s = \frac{120 \times 50}{6} = 1000$$

$$S= \frac{n_s - n_m}{n_s} = \frac{1000-970}{1000} = 0.03$$

$$P_{conv} = (1 - S) \times P_{ag}$$

$$P_{ag} = P_{in} - P_{fes} = 50 - 1 = 49\ kw$$

$$P_{conv} = (1 - 0.03) \times 49 = 47.53$$

$$P_{out} = P_{conv} - \Delta P_{rmec} = 47.53 - 1.6 = 45.93\ kw$$