

مقدمه - در اغلب موارد انتقال و مصرف انرژی الکتریکی بوسیله جریان متناوب انجام میگیرد و برای تبدیل این انرژی بانرژی مکانیکی از سه نوع اصلی موتور جریان متناوب استفاده میگردد: موتورهای با کلکتور - موتورهای سنکرون - موتورهای آسنکرون.

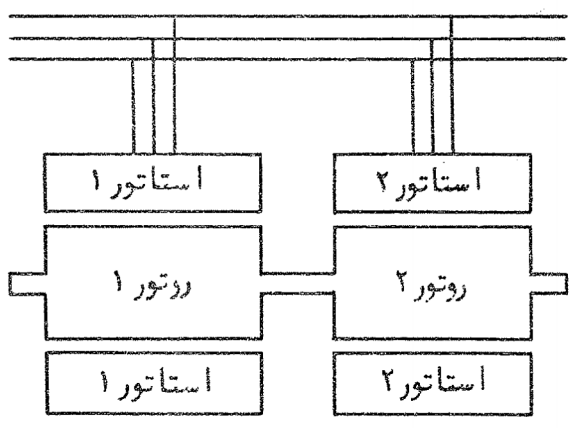
وجود يك كلكتور در موتور مشکلات زیادی از نقطه نظر کوتا سیون بخصوص در جریان متناوب ایجاد مینماید و از این نوع موتورها فقط در موارد بخصوصی استفاده میگردد.

گرچه موتورهای سنکرون دارای این مزیت هستند که سرعت آنها ثابت میباشد ولی استفاده عملی از آنها بخاطر احتیاج بسراه انداز و لزوم تحریک آنها بوسیله جریان مستقیم استفاده از آنها را بخصوص برای رژیم سرعت متغیر محدود مینماید.

برعکس ماشینهای آسنکرون بخاطر سادگی و استحکام مورد استفاده صنعتی بسیار دارند. برای تغییر سرعت این موتورها عملاً از کنترل قدرت موجود در روتور آنها استفاده میشود. بدین ترتیب مقداری از قدرت روتور یا در مقاومتهایی که در روی روتور بسته شده اند مصرف میشود و یا با استفاده از یکسو کنند ها و میدلهای فرکانس، بشبکه برگردانیده میشوند.

موتور آسنکرون چند فازه با سرعت متغیر که بشرح آن میپردازیم بدون کلکتور و حلقه بوده و در نتیجه ساختن آن بسادگی انجام پذیر میباشد از طرف دیگر اصول آن بترتیبی مورد مطالعه قرار گرفته است که تغییرات سرعت در فاصله زیادی امکان پذیر باشد.

اصول: این ماشین دارای يك قسمت گردنده است که دو سیم پیچی مساوی بر روی آن قرار گرفته اند که مشابه سیم پیچی يك ماشین آسنکرون معمولی میباشد و در جهت عکس یکدیگر متصل شده اند و يك استاتور که بدو قسمت مساوی تقسیم شده و شبیه سیم پیچی استاتور ماشینهای آسنکرون معمولی است (شکل ۱) با این تفاوت که سیم پیچی استاتور ۲ میتواند نسبت به سیم پیچی ثابت استاتور ۱ تغییر مکان یابد.



شکل ۱ - موتور آسنکرون با سرعت متغیر

از نقطه نظر الکتریکی استاتورها بوسیله یک شبکه چند فازه تغذیه میشوند و دو میدان گردنده تولید مینمایند .

اتصالات استاتورها بشبکه بترتیبی انجام میشود که میدان های گردنده تولید شده در یک جهت باشند و چون بوسیله یک شبکه تغذیه میشوند سرعت زاویه ای آنها نیز برابر خواهد بود .

فرض کنیم که هیچگونه اختلاف مکانی بین استاتور ۱ و ۲ وجود نداشته باشد . دو میدان گردنده ایجاد شده بوسیله استاتورها دارای ضربان مساوی بوده و هم فاز باشند . اگر فرض کنیم که سیم پیچی روتور سه فاز باشد در نتیجه نیروهای محرکه الکتریکی القا شده در فازهای ۱ و ۲ و ۳ روتور ۱ در خلاف جهت نیروهای محرکه الکتریکی القا شده در فازهای ۱ و ۲ و ۳ روتور ۲ میباشد بنابراین هیچگونه جریانی در سیم پیچهای روتور بوجود نیاید و روتور بدون حرکت خواهد ماند . نیروی محرکه الکتریکی منتهی در یک فاز روتور مساوی اختلاف نیروهای محرکه الکتریکی القا شده در روتور ۱ و ۲ میباشد و برای اینکه در لحظه راه افتادن موتور جریان روتور و در نتیجه کوپل ماکزیمم باشد بایستی که نیروهای محرکه الکتریکی القا شده در فازهای روتور ۱ و ۲ هم جهت باشند . برای حصول باین نتیجه کفایت استاتور ۲ را با اندازه ۱۸۰ درجه الکتریکی نسبت با استاتور تغییر مکان دهیم .

همانطوریکه نشان داده خواهد شد کوپل ایجاد شده m تابع دو متغیر میباشد . یکی اختلاف مکانی استاتور ۲ نسبت با استاتور ۱ که بوسیله زاویه الکتریکی $P\theta_0$ نشان داده میشود و دیگری با لغزش s موتور یعنی $f = f(g, P\theta_0)$ چون برای یک کوپل معین و مفروض میتوان $P\theta_0$ را تغییر داد بنا براین s نیز تغییر مینماید و تغییرات باعث تغییر سرعت موتور خواهد شد .

● معادلات عمومی ماشین
 $V_1 =$ فشار در دوسر سیم پیچی اول با فرکانس f
 $R_2 =$ مقاومت یک فاز یک استاتور
 $R_1 =$ مقاومت یک فاز یک روتور
 $L_1 =$ اندوکتانس کل یک فاز یک استاتور
 $L_2 =$ اندوکتانس کل یک فاز یک روتور
 $m =$ اندوکتانس متقابل بین روتور و استاتور
 $I_{11} =$ جریان در سیم پیچی استاتور ۱
 $I_{12} =$ جریان در سیم پیچی استاتور ۲
 $I_2' =$ جریان با فرکانس f ولی با همان مدول و همان فاز جریان در دوسیم پیچی ثانویه باشند معادلات ماشین با صرف نظر کردن از R_1 چنین خواهد بود :

$$V_1 = zL_1 \omega I_{11} + z m \omega I_2'$$

$$V_1 = zL_1 \omega I_{12} - z m \omega I_2' \frac{P\theta_0}{g}$$

$$0 = 2 \left(\frac{R_2}{g} + zL_2 \omega \right) I_2' + j m \omega I_{11} - j m \omega I_{12} \frac{P\theta_0}{g}$$

در این معادلات فرض کرده ایم که اگر فقط استاتور ۱ تغذیه شود جریان ثانویه در همان جهت جریان سیم پیچی روتور ۱ عبور میکند بنابراین جریان در سیم پیچی روتور ۲ بنا

فرض که شده در جهت عکس جریانی خواهد بود که اگر فقط استاتور ۲ تغذیه میشد و فرض کرده ایم که زاویه θ_0 مثبت است و تیکه محور فاز ۱ استاتور ۲ در جلوی محور فاز ۱ استاتور ۱ در همان جهت میدانهای گردنده قرار گیرد.

● روابط جریانها و قدرت و کویل

با قرارداد $N_2 = L_2 - \frac{m^2}{L_1}$ روابط زیر حاصل میشود:

$$I_{11} = \frac{V_1}{2jL_1\omega} \cdot \frac{2\left(\frac{R_2}{g} + jL_2\omega\right) - j\frac{m^2}{L_1}\omega(1 + \frac{-P\theta_0}{\omega})}{\frac{R_2}{g} + jN_2\omega}$$

$$I_{12} = \frac{V_1}{2jL_1\omega} \cdot \frac{2\left(\frac{R_2}{g} + jL_2\omega\right) - j\frac{m^2}{L_1}\omega(1 + \frac{P\theta_0}{\omega})}{\frac{R_2}{g} + jN_2\omega}$$

$$I_{11} + I_{12} = \frac{V_1}{2L_1\omega} \left[\frac{2\frac{R_2}{g} + j(N_2\omega + L_2\omega)}{\frac{R_2}{g} + jN_2\omega} - \frac{2j\frac{m^2}{L_1}\omega}{\frac{R_2}{g} + jN_2\omega} \right]$$

قدرت آکتیو و راکتیو مربوط به هر فاز:

الف) برای سیستم ۱

$$P_1 = \frac{V_1^2}{2} \left(\frac{m}{L_1}\right)^2 \frac{\frac{R_2}{g}(1 - \cos P\theta_0) + N_2\omega \sin P\theta_0}{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + N_2^2\omega^2}$$

$$Q_1 = \frac{V_1^2}{2L_1\omega} \left[\frac{2\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 - \frac{R_2}{g} \sin P\theta_0 (L_2\omega - N_2\omega)}{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + N_2^2\omega^2} \right]$$

$$+ \frac{N_2^2\omega^2(1 + \cos P\theta_0) + N_2\omega L_2\omega(1 - \cos P\theta_0)}{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + N_2^2\omega^2}$$

کویل ایجاد شده بر سیمه سیستم اول

صرف نظر کردن از تلفات طرف اول

$$P_1 = \frac{V_1^2}{2} \left(\frac{m}{L_1}\right)^2 \frac{P}{\omega} \frac{\frac{R_2}{g}(1 - \cos P\theta_0) + N_2\omega \sin P\theta_0}{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + N_2^2\omega^2}$$

ب) برای سیستم ۲

$$P_2 = \frac{V_1^2}{2} \left(\frac{m}{L_1}\right)^2 \frac{\frac{R_2}{g}(1 - \cos P\theta_0) - N_2\omega \sin P\theta_0}{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + N_2^2\omega^2}$$

$$Q_2 = \frac{V_1^2}{2L_1\omega} \left[\frac{2\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + \frac{R_2}{g} \sin P\theta_0 (L_2\omega - N_2\omega)}{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + N_2^2\omega^2} + \frac{N_2^2\omega^2(1 + \cos P\theta_0) + N_2\omega L_2\omega(1 - \cos P\theta_0)}{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + N_2^2\omega^2} \right]$$

کویل ایجاد شد به وسیله این سیستم مساویست با:

$$P_2 = \frac{V_1^2}{2} \left(\frac{m}{L_1}\right)^2 \frac{P}{\omega} \frac{\frac{R_2}{g}(1 - \cos P\theta_0) - N_2\omega \sin P\theta_0}{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + N_2^2\omega^2}$$

برای متوجه موتور میتوان نوشت:

$$P = V_1^2 \left(\frac{m}{L_1}\right)^2 (1 - \cos P\theta_0) \frac{\frac{R_2}{g}}{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + N_2^2\omega^2}$$

$$Q = \frac{V_1^2}{L_1\omega} \left[\frac{2\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + N_2^2\omega^2(1 + \cos P\theta_0)}{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + N_2^2\omega^2} \right]$$

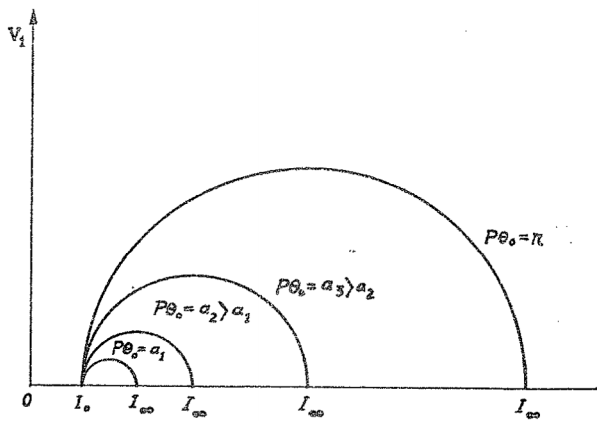
$$+ \frac{N_2\omega L_2\omega(1 - \cos P\theta_0)}{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + N_2^2\omega^2}$$

$$P = P_1 + P_2 = V_1^2 \left(\frac{m}{L_1}\right)^2 \frac{P}{\omega} (1 - \cos P\theta_0)$$

$$\cdot \frac{\frac{R_2}{g}}{\left(\frac{R_2}{g}\right)^2 + N_2^2\omega^2}$$

● دیاگرام جریان کل بر حسب لغزش

جریان کل را بصورت زیر میتوان نوشت:



شکل ۲ دیاگرام دایره‌ای جریان اولیه برای مقادیر مختلف P_{θ_0}

$$I_{11} = \frac{V_1}{2L_1\omega} \left[\frac{L_1\omega(1-\cos P_{\theta_0}) + N_2\omega(1+\cos P_{\theta_0})}{\frac{R_2}{g} + jN_2\omega} + \frac{j(L_2\omega - N_2\omega)\sin P_{\theta_0} - 2j\frac{R_2}{g}}{\frac{R_2}{g} + jN_2\omega} \right]$$

برای $g = \infty$ ، $I_{110} = -j\frac{V_1}{L_1\omega}$ ، و برای $g = 0$ ،
جریان $I_{11\infty}$ برابر است با:

$$I_{11\infty} = \frac{V_1}{2jL_1\omega} \left[\frac{L_2\omega(1-\cos P_{\theta_0}) + N_2\omega(1-\cos P_{\theta_0})}{N_2\omega} + \frac{j\sin P_{\theta_0}(L_2\omega - N_2\omega)}{N_2\omega} \right]$$

از محاسبه $I_{11} - I_{110}$ بدست می‌آید:

$$I_{11} - I_{110} = \frac{V_1}{2L_1\omega} \frac{(L_2\omega - N_2\omega)(1 - \cos P_{\theta_0} + j\sin P_{\theta_0})}{\frac{R_2}{g} + jN_2\omega}$$

$$I_{11\infty} - I_{11} = \frac{V_1}{2L_1\omega} \cdot \frac{\frac{R_2}{g}}{jN_2\omega} \left[\frac{(L_2\omega - N_2\omega)}{\frac{R_2}{g} + jN_2\omega} \right]$$

$$\left[\frac{(1 - \cos P_{\theta_0} + j\sin P_{\theta_0})}{\frac{R_2}{g} + jN_2\omega} \right]$$

بنابراین I_{110} و I_{11} قطر دایره را نشان می‌دهد.

$$I = \frac{V_1}{L_1\omega} \left[\frac{N_2\omega(1+\cos P_{\theta_0}) + L_2\omega(1-\cos P_{\theta_0})}{jN_2\omega + \frac{R_2}{g}} - \frac{2j\frac{R_2}{g}}{jN_2\omega + \frac{R_2}{g}} \right]$$

وقتی که $P_{\theta_0} = 2K\pi$ باشد $\cos P_{\theta_0} = 1$ و $1 = \frac{2V_1}{jL_1\omega}$ و بنابراین جریان بستگی به g ندارد، در این حالت دیاگرام I به یک نقطه مبدل میشود (حالت بخصوص) در حالت عمومی رابطه فوق را بصورت زیر میتوان نوشت:

که در آن $A_0 = N_2\omega(1+\cos P_{\theta_0}) + L_2\omega(1-\cos P_{\theta_0})$

$$A_1 = -2j\frac{R_2}{g}$$

$$B_0 = jN_2\omega$$

$$B_1 = \frac{R_2}{g}$$

$$\gamma = \frac{1}{g}$$

برای $g = 0$ ، $\gamma = \infty$ و از آنجا:

$$I_0 = \frac{V_1}{L_1\omega} \cdot \frac{-2jR_2}{R_2} = \frac{2V_1}{jL_1\omega}$$

و جریان در این حالت بستگی بمقدار θ ندارد.

برای $g = \infty$ ، $\gamma = 0$ و از آنجا:

$$I = \frac{V_1}{jL_1\omega} \frac{N_2\omega(1+\cos P_{\theta_0}) + L_2\omega(1-\cos P_{\theta_0})}{N_2\omega}$$

برای مقادیر مختلف $\cos P_{\theta_0}$ دیاگرام دایره‌ای جریان استاتور در شکل ۲ نشان داده شده است.

● دیاگرام جریان های هر استاتور

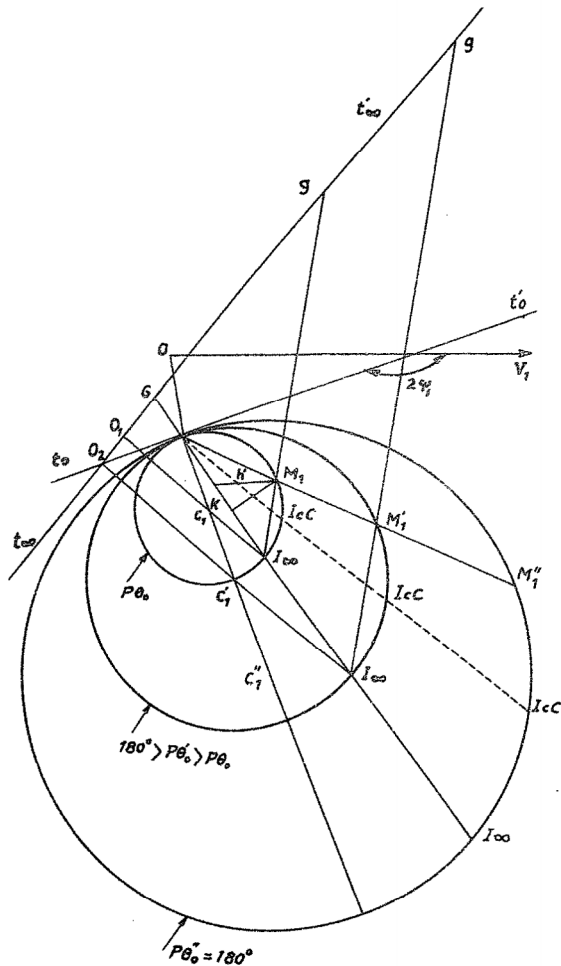
جریان در استاتور اول بصورت زیر نوشته

میشود:

دیاگرام جریان I_2' در شکل ۴ برای مقادیر مختلف $P\theta_0$ نشان داده شده است.

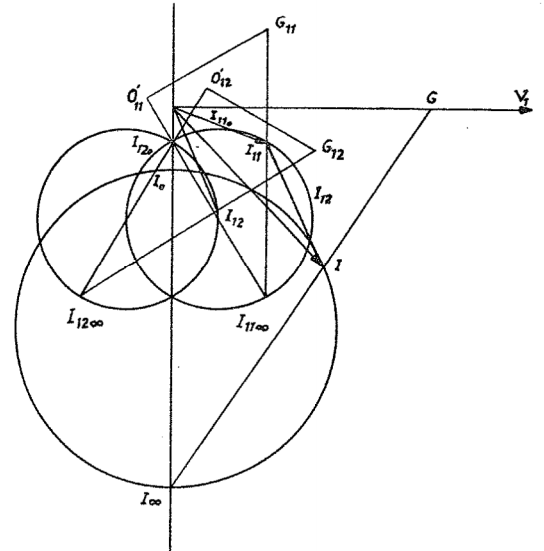
با در نظر گرفتن مقاومت سیم پیچهای استاتور ۱ و ۲ دیاگرام دایره ای جریانهای استاتور ۱ و ۲ و جریان کل استاتور برای زاویه $P\theta_0$ معین بصورت شکل ۵ خواهد بود.

تغییرات کوپل بر حسب لغزش موتور برای مقادیر مختلف $P\theta_0$ شکل ۶ داده شده است، ملاحظه میشود که اگر $P\theta_0 = 180^\circ$



شکل ۵ دیاگرام جریان کل استاتور بر حسب لغزش g با در نظر گرفتن مقاومتهای سیم پیچ اول. نقاط M_1 ، M_1' ، M_1'' دارای لغزش مساوی هستند.

با ملاحظه رابطه I_{12} نتیجه میشود که I_{12} را میتوان از عوض کردن علامت $\sin P\theta_0$ از رابطه I_{11} بدست آورد. شکل ۳ دیاگرام این دو جریان را نشان میدهد:



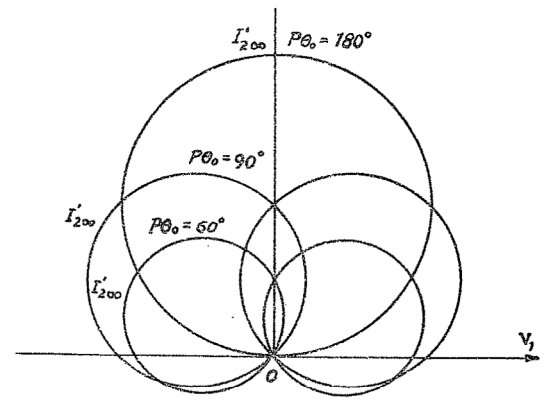
شکل ۳ دیاگرام جریانهای هر یک از استاتورها دیاگرام جریان I_2'

جریان در ثانویه از رابطه زیر بدست میآید:

$$I_2' = \frac{1}{2} \left(\frac{m}{L_1} \right) \frac{V_1 (-1 + \cos P\theta_0)}{j N_2 \omega + \frac{R_2}{g}}$$

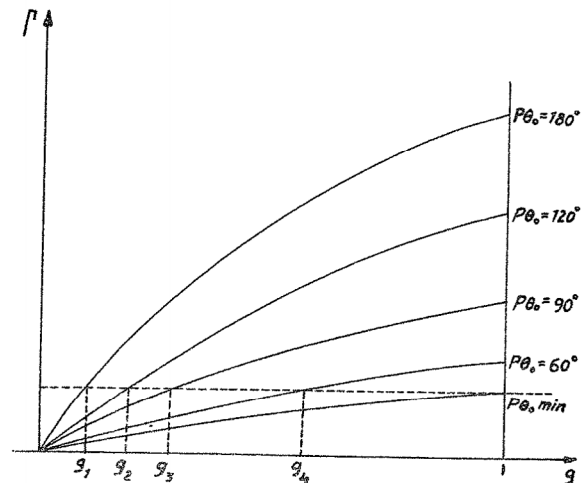
برای $g = 0$ جریان ثانویه صفر خواهد بود و بستگی بمقدار $P\theta_0$ ندارد. برای $g = \infty$:

$$I_{2\infty}' = \frac{1}{2} \frac{m}{L_1} \frac{1}{j N_2 \omega} (-1 + \cos P\theta_0 - j \sin P\theta_0)$$



شکل ۴ دیاگرام جریان I_2' برای مقادیر مختلف $P\theta_0$

باشد برای $g = 1$ کوپل ماکزیم خواهد بود و این کوپل راه اندازی میباشد. در حالتیکه کوپل مقاوم ثابت است با تغییر P_{0_0} سرعتهای مربوطه بلغرشهای g_1, g_2, g_3 و را خواهیم داشت.



شکل ۶ تغییرات P بر حسب لغزش برای مقادیر مختلف P_{0_0}

روابط و معادلاتی که مورد مطالعه قرار گرفتند ثابت میکنند که تغییرات سرعت بسیار امکان پذیر بوده و بخصوص این تغییرات میتواند در فاصله زیادی انجام پذیر باشد.

توضیح :

این مقاله از روی رساله^{*} Pierre Lalangue که در دانشکده علوم تولوز معرفی شده تهیه گردیده.