موضوع: سینکروها

استاد: سپیده بهر آور

اعضای گروه:

محمد رضا تارانی – محمد حسین عبداللهی – سید محمد مجتبی حسینی- علی میدانی پور – سعید طهماسبی

سینکروها

فهرست

فصل پنجم: سینکروها

۵-۱ مقدمه ۵
۵-۲- سلسین سه فاز(قدرت)..... ۵
۵-۲-۱-محاسبه گشتاور درمحور الکتریکی متعادل ۱۲
۵-۳-سینکروها..... ۲۰
۵-۳-۱-خصوصیات ساختاری..... ۲۰
۵-۳-۲-روابط ولتاژ..... ۲۴
۵-۳-۳- کاربردها..... ۲۷

۵-۱ مقدمه

در اغلب شاخه های صنایع حالتی پدید می آید که دو نقطه دور از هم بایستی دارای سرعت یکسانی باشند. پل های متحرک، دهانه سدها، جرثقیل و تسمه نقاله ها و ... مواردی از این دسته اند. در چنین حالاتی (که معمولاً اتصال دو محور به صورت مکانیکی مقدور نیست) هر قسمت را توسط یک موتور به کار در می آورند به طوری که دور دو موتور یکسان نگه داشته شود. جهت مساوی نگه داشتن دور موتور هایی که از هم فاصله زیادی دارند از سیستم های سلسین استفاده می شود. در این سیستم ها، موتورها به وسیله چند رشته سیم به هم مرتبط می گردند و چون توسط این کابل ها، کوپل از یک ماشین به ماشین دیگر منتقل می شود به این اتصالات ، محورهای الکتریکی می گویند. عبارت سلسین مخفف شده self synchronous به معنای اتوسنکرون می باشد.

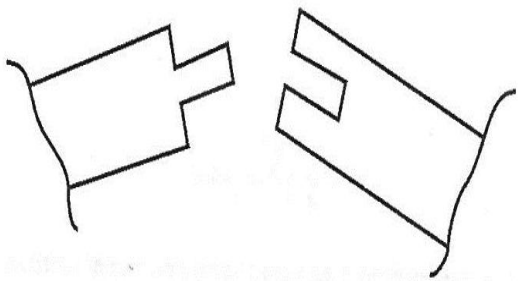
در سیستم هایی که قدرت احتمالی بین دو محور برای سنکرون ماندن یاد باشد از سلسین های سه فاز استفاده می شود. سلسین های با قدرت کم، تک فازند و «سینکرو» (synchro)
نامیده می شوند. سینکرو ها در سیستم های کنترل برای انتقال موقعیت و وضعیت محور و هم چنین برای تثبیت همزمانی بین دو یا چند محور به کار می روند.
synchro

selsyn

۵-۲ سلسین سه فاز (قدرت)

شکل (۵-۱) نمونه ای از کاربرد یک نوع سیستم سلسین را نشان می دهد. در این شکل یک پل متحرک بر روی رودخانه ای قرار می گیرد و در مواقع لازم، مثلا به هنگام عبور کشتی، پل از وسط باز می شود و هر نیمه آن توسط یک موتور مستقل حول محور خود واقع در طرفین رودخانه چرخانده می شود. موقع بستن مجدد پل، هر دو موتور به طور همزمان روشن می شوند و به طور همزمان می چرخند و دو سر جدا شدهٔ پل، به طور همزمان به هم می رسد و پل برقرار می شود.
سلسین ها در صنایع کاغذ سازی، کارخانجات نورد و موارد دیگری که در آن ها دو محور باید به صورت سنکرون کار می کنند، به کار می روند. سلسین های قدرت به سه دسته عمده می توان تقسیم بندی نمود:

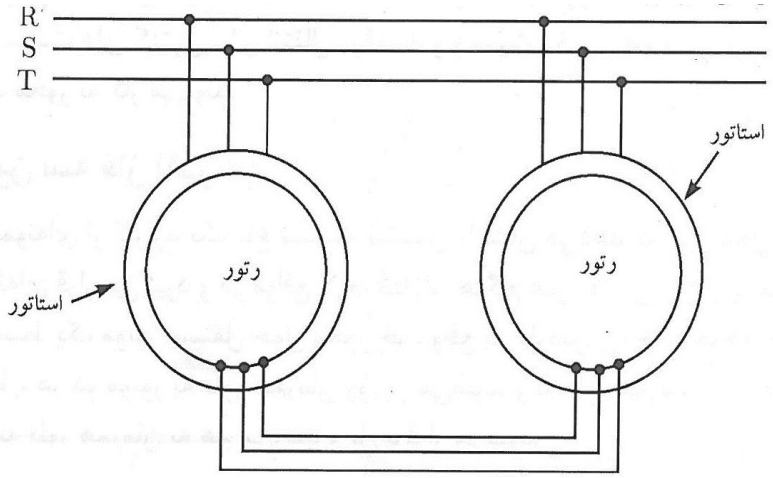
محور های الکتریکی متعادل
محور های الکتریکی کار (متحرک)
محور های الکتریکی هدایت کننده



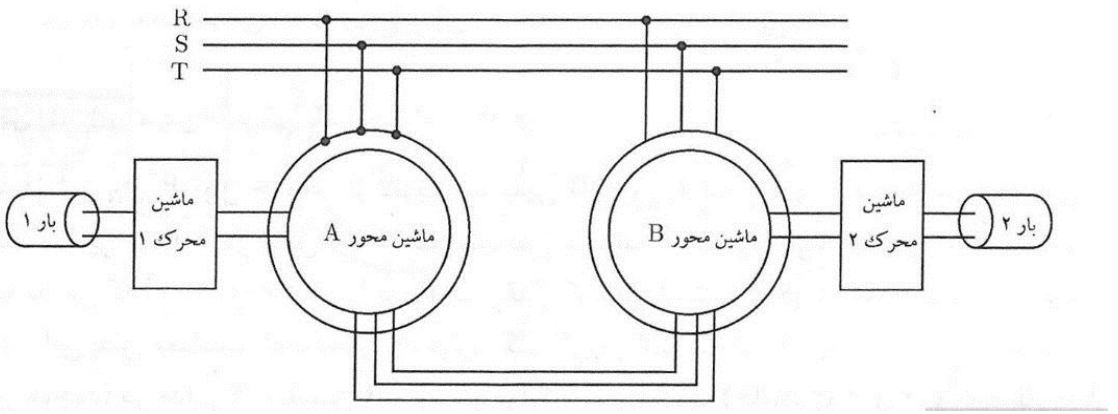
شکل (۵-۱): نمونه ای از کاربرد سلسین در یک پل متحرک

مطابق شکل (۵-۲)، محور الکتریکی از دو ماشین آسنکرون سه فاز مشابه از نوع رتور سیم پیچی شده تشکیل شده است که استاتورهای آن به یک شبکهٔ سه فاز و رتورهای آن به یکدیگر متصل اند. ابتدا فرض کنید که رتورها به هم متصل نشده اند. در فاصله هوایی ماشین ها، میدان گردان ایجاد می شود و در حالت سکون در رتورها، ولتاژ های مساوی با فرکانس های یکسان القا می گردد. اگر محورهای مغناطیسی رتورها نسبت به استاتورها وضعیت یکسانی داشته باشند ولتاژهای القایی در هر دو رتور علاوه بر هم دامنه بودن و هم فرکانس بودن، هم فاز نیز خواهند بود. پس در حالت سکون می توان محورها را طوری تنظیم کرد که ولتاژ ها هم فاز باشند و رتورها را به هم وصل کرد بدون این که از رتورها جریانی عبور کند. حال اگر یکی از رتورها را به حرکت درآوریم در این صورت ولتاژ آن با ولتاژ رتور دیگر اختلاف فاز پیدا می کند و در نتیجه رتورها تفاوت ولتاژ پیدا می کنند و در رتورها جریان جاری می گردد و این باعث ایجاد گشتاور طبق قانون لنز با عامل به وجود آورندهٔ خود مخالفت می کند و در نتیجه رتوردوم را به حرکت درمی آورد که اختلاف فاز به وجود آمده صفر گردد پس می توان گفت رتور یکی را هر قدر که به حرکت درآوریم رتور ماشین دیگر هم به همان میزان و با همان سرعت به گردش در خواهد آمد.

شکل (۵-۲): اساس سلسین قدرت



شکل (۵-۳)، یک سیستم سلسین قدرت از نوع محورهای الکتریکی متعادل را نشان می دهد. در این شکل، دو موتور متحرک جهت چرخاندن دو بار مجزا به کار گرفته شده اند. برای آن که سرعت دو محور بدون اتصال مکانیکی یکسان بماند از دو ماشین القایی سه فاز مشابه با ساختار سلسین سه فاز مشابه با ساختار سلسین سه فاز استفاده شده است. چنانچه هر دو موتور با سرعت های مساوی چرخانده شوند نیروهای محرکه القاء شده در فازهای متناظر در دو رتور، مساوی و هم فازند و همدیگر را خنثی می کنند. لذا، جریان هر دو رتور صفر است و سلسین ها هیچ گونه گشتاور مثبت یا منفی تولید نمی کنند.



•شکل (۵-۳): محور الکتریکی متعادل

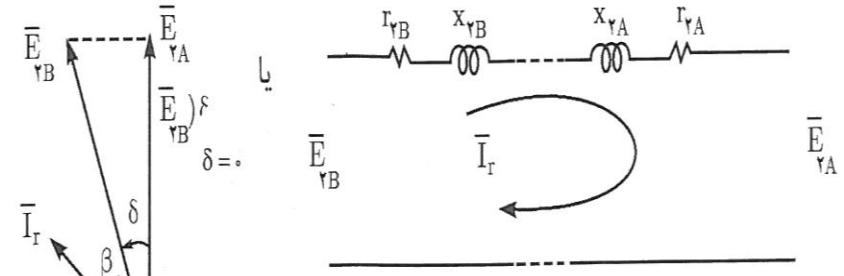
اینک حالتی را در نظر بگیرید که بار موتور متحرک ۲ اندکی کاهش یابد در حالی که بار موتور محرک ۱ هم چنان در مقدار قبلی خود باقی بماند. این عمل در شرایط عادی به افزایش سرعت موتور ۲ متحرک می شود. در سیستم فعلی، گرایش به افزایش سرعت موجب جلو افتادن موتور ۲ نسبت به موتور محرک ۱ می شود و نیروهای محرکه القاء شده در فازهای رتور سلسین B، نسبت به نیرو محرکه متناظر در فازهای رتور سلسین A پیش فاز می شود. در نهایت، نیروی محرکه منتجه در حلقه، موجب جاری شدن جریان مطابق شکل (۵-۴) در رتورهای هر دو سلسین می گردد. جهت جریان در رتورها طوری است که سلسین B را به حالت ژنراتوری و سلسین A را به حالت موتوری می برد. در نتیجه مقدار گشتاور مکانیکی بر محور سیستم B (به صورت بار) تحمیل می گردد و به همان مقدار از بار محورسیستم A برداشته می شود و بدین ترتیب تعادل لازم روی دو محور تأمین می گردد. توان مبادله دشه بین دو محور، توان سنکرونیزاسیون و جریان به وجود آمده در مدار رتورها، جریان سنکرونیزاسیون نامیده می شود.

بنابراین یک چنین سیستمی همانند یک محور مکانیکی عمل نموده و برابری گشتاور و دور بین دو ماشین محرک ۱و۲ ، همواره برقرار خواهد بود، لذا آن را محور الکتریکی متعادل می نامند. لازم به ذکر است که گشتاور لازم جهت ایجاد تعادل توسط دو ماشین محور تولید می گردد. به عبارت دیگر، ماشین های محور، اختلاف گشتاور را جبران می کنند. قدرت ماشین های سلسین معمولاً حدود ۱۰ درصد موتورهای اصلی انتخاب می شود.

به منظور بررسی کمی مطلب فوق ، توان مبادله شده بین دو سلسین با استفاده از شکل (۵-۴) مورد بررسی قرار می گیرد. در این مدار جهت مثبت جریان طوری انتخاب شده است که ثانویه سلسین B به صورت منبع الکتریکی و ثانویه A به صورت مصرف کننده الکتریکی باشد. با توجه به دیافراگم فازوری شکل (۵-۴-ب) می توان نوشت:

$$P_{out,B} = E_{2B} I_r \cos\beta \qquad W / phase$$

$$P_{in,A} = E_{2A} I_r \cos(\beta + \delta) \qquad W / phase$$



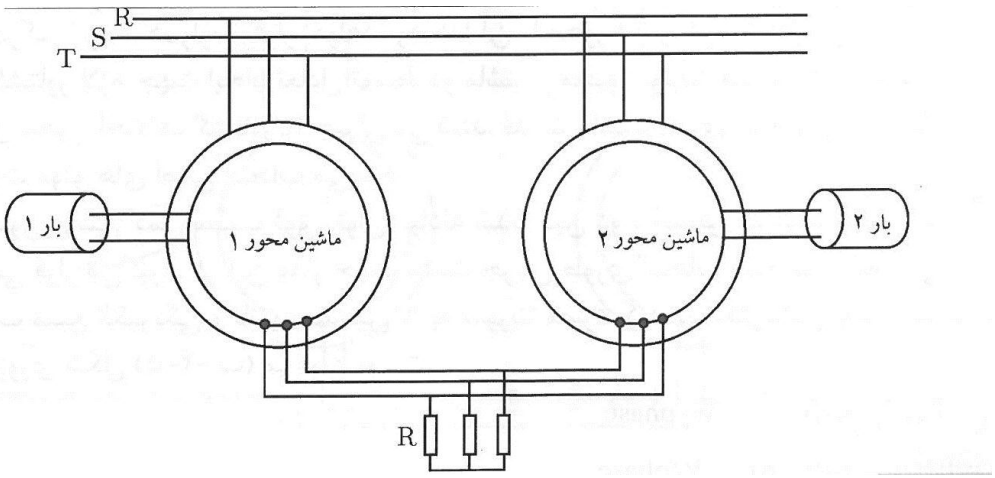
الف) مدار معادل الکتریکی یک فاز از زوج سلسین

ب) دیاگرام فازوری

که در آن توان خروجی از ثانویه سلسین B و توان ورودی به ثانویه A می باشد. مقادیر در شکل (۵-۴-ب) مشخص شده اند. معمولاً زاویهٔ کوچکی است. هم چنین با توجه به اینکه است و زاویه نیز مقدار کوچکی است پس هر دو مقدار توانایی فوق مثبت می گردد. این بدان معناست که سلسین β توان الکتریکی دریافت می کند (حالت موتوری و کمک به گشتاور موجود) در حالی که سلسین B، مولد توان الکتریکی است (حالت ژنراتوری و تحمیلی بار مکانیکی بر محور B).

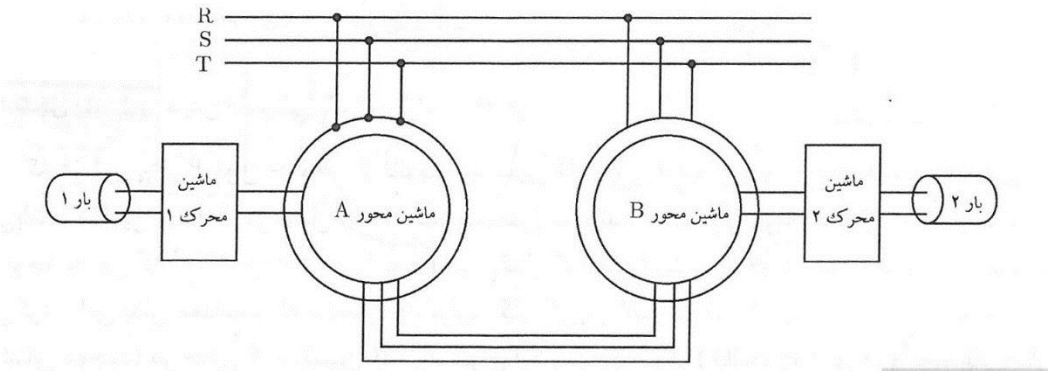
روشن است که چنان چه مدار رتورها در سیستم شکل (۵-۴) بدون تلف باشند توان خروجی از یک سلسین دقیقاً برابر توان ورودی به سلسین دیگر است. توجه کنید که در این صورت $\alpha = 90^\circ$ می شود.

معمولاً موتورهای متحرک ۱و۲ از نوع آسنکرونند. بنابراین در صورت امکان منطقی خواهد بود که از این ماشین ها در عین حال به عنوان ماشین محور نیز استفاده کرده و بدین ترتیب دو موتور را از سیستم شکل (۵-۴) حذف نمود. به این نوع سلسین های قدرت، محور های الکتریکی محرک (کار) گویند. در این حالت، هنگامی که اختلاف فاز دو رتور نسبت به استاتورشان برابر شود( ) ، ولتاژ های القایی در رتورها برابر بوده، جریان جاری نخواهد شد و گشتاوری پدید نخواهد آمد. به منظور تولید گشتاور بایستی مطابق شکل (۵-۵) مابین اتصال سیم پیچ رتورها از مقاومت های R استفاده گردد. این مقاومت ها به صورت ستاره یا مثلث بسته می شوند. در این حالت در حالت کلی کوپل طرفین می توانند نامساوی باشند. به علاوه توان تلفی مقاومت ها بایستی در بررسی مدنظر قرار گیرد.



شکل (۵-۵): محور الکتریکی محرک (کار)

شکل (۵-۶) نوع سوم سلسین قدرت یعنی محور الکتریکی هدایت کننده را نشان می دهد. در این نوع محور، ماشین محرک ۱، کوپل هر دو طرف را تولید می کند و محور الکتریکی، کوپل مورد نیاز بار ۲ را به آن منتقل می کند. در این حالت، ماشین محور ۱ فرستنده و ماشین محور ۲ گیرندهٔ کوپل است.

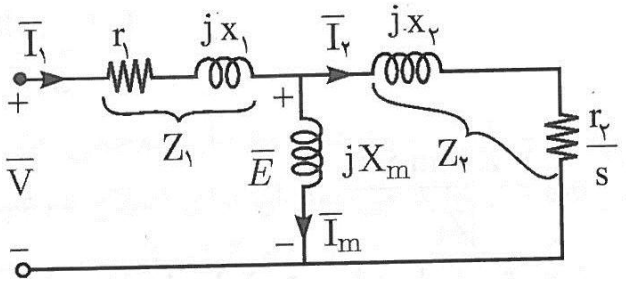


شکل (۵-۶): محور الکتریکی هدایت کننده

۵-۲-۱- محاسبهٔ گشتاور در محور الکتریکی متعادل

چنانچه در محور الکتریکی متعادل شکل (۵-۳)، سرعت رتورهای دو ماشین محور اندکی متفاوت شوند ولتاژ رتور B اختلاف زاویه پیدا خواهد نمود. اندازهٔ ولتاژ ها تقریباً ثابت است. فرض کنید محور رتور A به میزان از محور رتور B جلو بیافتد. حال بدون این که در دامنهٔ جریان ها تغییری حاصل شود این جلو افتادن رتور A نسبت به B را به ترتیب با جلو افتادن ولتاژ رتور A به اندازه و عقب افتادن ولتاژ رتورB به میزان نشان می دهیم.

اکنون مدار معادل ماشین آسنکرون را به صورت شکل (۵-۷) در نظر می گیریم.



شکل (۵-۷): مدار معادل تک فاز ماشین القایی سه فاز

در این صورت داریم:

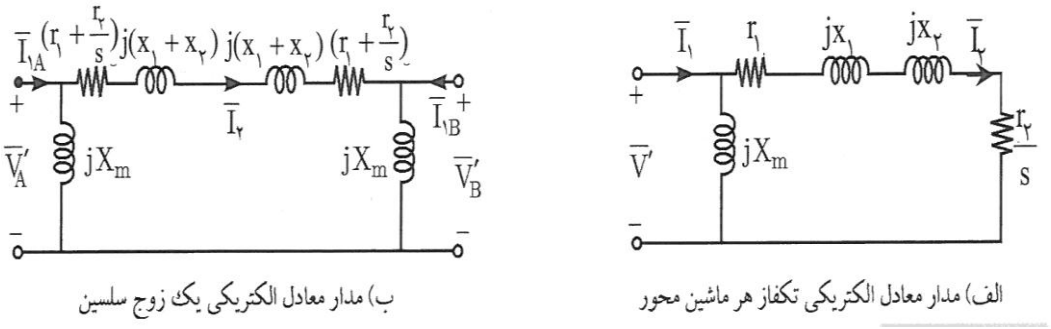
$$\left.\begin{aligned}\bar{V} &= \bar{I}_1 Z_1 + \bar{E}\\ \bar{I}_1 &= \bar{I}_m + \bar{I}_2\end{aligned}\right\} \Rightarrow$$

$$\left.\begin{aligned}\bar{V} = \bar{E} + \bar{Z}_1(\bar{I}_m + \bar{I}_2) = \bar{E} = Z_1\bar{I}_2 + Z_1\bar{I}_m\\ \bar{E} = Z_2\bar{I}_2 ; I_m = \frac{\bar{E}}{X_m}\end{aligned}\right\} \Rightarrow$$

$$\left.\begin{aligned} &\overline{V} = (Z_1 + Z_2)\overline{I}_2 + Z_1\frac{\overline{E}}{X_m} \\ &\frac{X_1}{X_m} \approx \frac{Z_1}{X_m};\ \overline{E} \simeq \overline{V} \text{ :فرض} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \overline{V}\left(1 - \frac{x_1}{X_m}\right) = \left(Z + Z_2\right)\overline{I}_2$$

$$\Rightarrow \overline{V}' = \left(Z_1 + Z_2\right)\overline{I}_2$$

تحقق مداری رابطه (۲-۵) به صورت شکل (۵-۸-الف) می باشد.



الف) مدار معادل الکتریکی تکفاز هر ماشین محور

ب) مدار معادل الکتریکی یک زوج سلسین

شکل (۵-۸): مدار معادل الکتریکی محور الکتریکی متعادل

بدین ترتیب مدار معادل الکتریکی یک زوج سلسین قدرت مطابق شکل (۵-۸-ب) خواهد بود از آن جا که اختلاف S ها خیلی کم است (در حالی که با هم سنکرون نیستند) آن ها را مساوی می گیریم. اکنون می توان گفت:

$$\overline{V}'_A = \overline{V}' \angle \frac{\delta}{2} = \overline{V}' \left(\cos\frac{\delta}{2} + j \sin\frac{\delta}{2} \right)$$

$$\overline{V}'_B = \overline{V}' \angle -\frac{\delta}{2} = \overline{V}' \left(\cos\frac{\delta}{2} - j \sin\frac{\delta}{2} \right)$$

$$Z \triangleq \left(r_1 + r_{2/s} + j(x_1 + x_2) \right)$$

$$\overline{I}_2 = \frac{\overline{V}_A' - \overline{V}_B'}{2Z} = j \frac{\overline{V}' \sin\delta/2}{z} = j \frac{\overline{V}' Z^* \sin\delta/2}{|Z|^2}$$

بنابراین

لازم به ذکر است که صرفاً جهت مدل سازی، تغییرات ولتاژ رتورها را به ولتاژ استاتورها منتقل می کنیم هر چندکه استاتورها از یک منبع تغذیه مشترک تغذیه می شود.
به واسطه اختلاف فاز ایجاد شده، توان و گشتاور از یک سلسین به دیگری انتقال می یابد. توان فاصلهٔ هوایی در سلسین A برابر است با:

$$P_{gA} = 3\Re e\left\{\overline{E}_A \overline{I}_2^{\,*}\right\}$$

به طوری که

$$\overline{E}_A = \overline{V}_A^{\,'} - r_1 \overline{I}_2 = \overline{V}^{'}\left(\cos\delta/2 + j\left(\sin\frac{\delta}{2} - \frac{r_1 z^* \sin\delta/2}{|Z|^2}\right)\right)$$

با جایگذای رابطه (۵-۵) و (۵-۶) داریم:

$$P_{gA} = 3\Re e\left\{\overline{V}^{'}\overline{V}^{'*}\left(\cos\frac{\delta}{2} + j\left(\sin\frac{\delta}{2} - \frac{r_1 z^* \sin\delta/2}{|Z|^2}\right)\right)\times\left[-j\frac{z\sin\delta/2}{|Z|^2}\right]\right\}$$

بدین ترتیب برای توان حقیقی انتقالی در خروجی ثانویه سلسین A خواهیم داشت:

$$\Rightarrow P_{gA} = \frac{\overline{V}^{'2}}{|Z|^2}\left(\frac{(x_1+x_2)}{2}\sin\delta + \frac{r_1}{S}\sin^2\frac{\delta}{2}\right)$$

به کمک رابطهٔ توان، گشتاور انتقالی معادل است با:

$$T_{gA} = \frac{P_{gA}}{\omega_s} = \frac{3\overline{V}'^2}{\omega_s |Z|^2}\left(\frac{(x_1 + x_2)}{2}\sin\delta + \frac{r_1}{S}\sin^2\frac{\delta}{2}\right)$$

ω_s : سرعت سنکرون

به طور مشابه، توان فاصله هوایی در سلسین B برابر است با:

$$P_{gB} = 2\Re e\left\{\overline{E}_B \overline{I}^*_2\right\}$$

پس از انجام محاسبات می توان نشان داد که:

$$T_{gA} = \frac{P_{gA}}{\omega_s} = \frac{3\overline{V}'^2}{\omega_s |Z|^2}\left(\frac{(x_1 + x_2)}{2}\sin\delta + \frac{r_1}{S}\sin^2\frac{\delta}{2}\right)$$

زاویه ای که به ازای آن T_{gA} حداکثر می گردد برابر است با:

$$\frac{\partial T_{gA}}{\partial \delta} = 0 \Rightarrow tg\delta_A = -\frac{s\left(x_1 - x_2\right)}{r_1}$$

هم چنین در مورد T_{gB} داریم :

$$\frac{\partial T_{gB}}{\partial \delta} = 0 \Rightarrow tg\delta_B = +\frac{s\left(x_1 + x_2\right)}{r_2}$$

در صورتی که مقدار δ برای یک ماشین محور دیگر، این مقدار منفی خواهد بود. گشتاور محور را می توان به دو مؤلفه زیر تقسیم بندی نمود:

$$T_B = T_{gas} + T_{gs}$$

$$T_{gas} = \frac{3\overline{V}'^2}{\omega_s |Z|^2} \frac{r_2}{s} \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

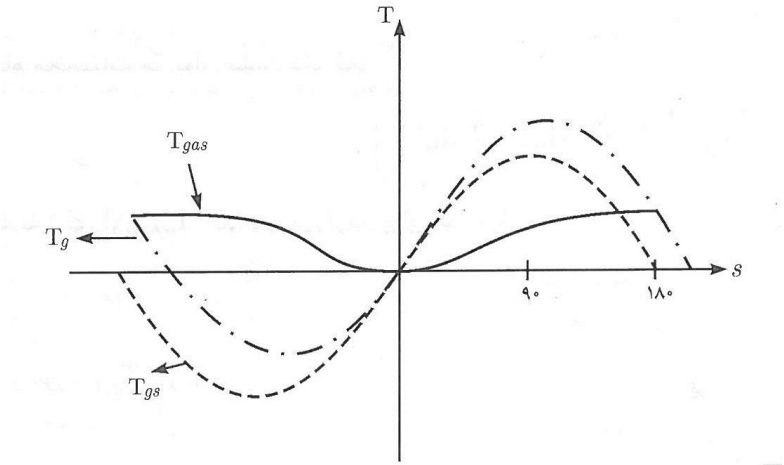
مؤلفه آسنکرون و

$$T_{gs} = \frac{3\overline{V}'^2}{\omega_s |Z|^2} \frac{(x_1 + x_2)}{2} \sin \delta$$

مؤلفهٔ سنکرون نامیده می شوند . مؤلفهٔ آسنکرون برای تمامی مقادیر δ

، گشتاور مثبت تحویل داده و در نتیجه عملکردی شتاب دهنده دارد. اما مؤلفه آسنکرون برای مقادیر مثبت و منفیδ

گشتاورهایی مخالف جهت تولید نموده و موتورها را هم سرعت نگه می دارد. در شکل (۵-۹) گشتاور محور الکتریکی متعادل برحسب δ رسم شده است. هرگاه یکی از ماشین های محور در حالت موتوری باشد دیگری در حالت ژنراتوری خواهد بود. گشتاور ماکزیمم برای زاویه ای در حدود $\delta = 120^\circ$ پدید می آید. گشتاور سنکرون برای $\delta = 180^\circ$ صفر گردد. از رابطه (۵-۱۳) مربوط به گشتاور مؤلفه آسنکرون نتیجه می شود که این گشتاور برای برابر گشتاور معمول ماشین آسنکرون می شود.



شکل(۵-۹): منحنی گشتاورمحور δ الکتریکی متعادل

۵-۳-سینکروها

سینکروها وسایل الکترومغناطیسی ACای هستند که به وفور در سیستم های سرو به کار می روند. به علاوه در بسیاری از تأسیسات لازم است که موقعیت یک محور در اتاق فرمان نشان داده شود یا آن که موقعیت آن از اتاق فرمان تنظیم گردد. در حالی که خود محور ممکن است در دوردست قرار داشته باشد. سینکرو وسیله ای است که می تواند جا به جایی مکانیکی را به سیگنال الکتریکی مبدل سازد. بر همین اساس، سینکرو در سیستم های کنترل برای انتقال موقعیت و وضعیت محور و هم چنین برای تثبیت سنکرونیزم (هم زمانی) بین دو یا چند محور به کار می رود.
در این بخش به توصیف خصوصیات ساختاری و تئوری عملکرد سینکروها پرداخته می شود.

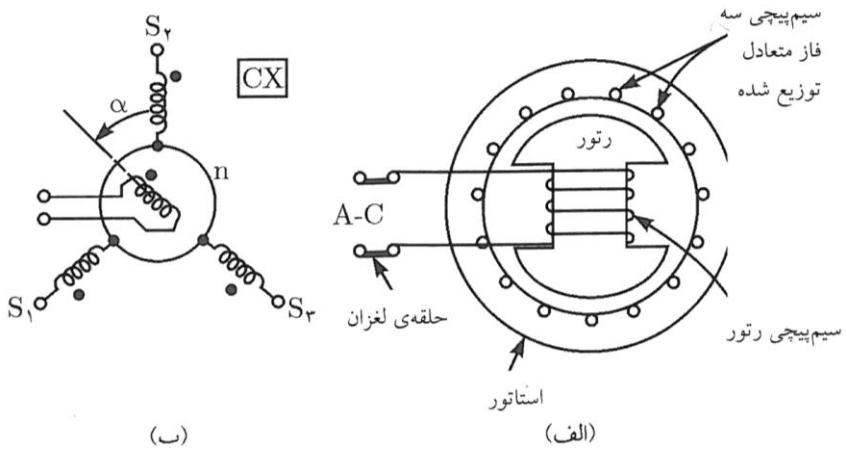
۵-۳-۱- خصوصیات ساختاری

انواع مختلفی از سینکرو ها کاربردهای گوناگونی از آن ها عبارتند از:
سینکروهای فرستنده (یا ژنراتوری) که با علامت اختصاری CX آن را مشخص می سازیم. "Synchro Control Transmitter"
سینکروهای گیرنده (یا موتوری) که با علامت اختصار CR آن را مشخص می سازیم. "Synchro Control Receiver"
سینکروی ترانسفر ماتوری (یا تبدیل کننده) باعلامت اختصاری CT
"Synchro Control Transformer"
سینکروی تفاضلی با علامت اختصاری CD از آن یاد می کنیم.
"Synchro Control Differential"

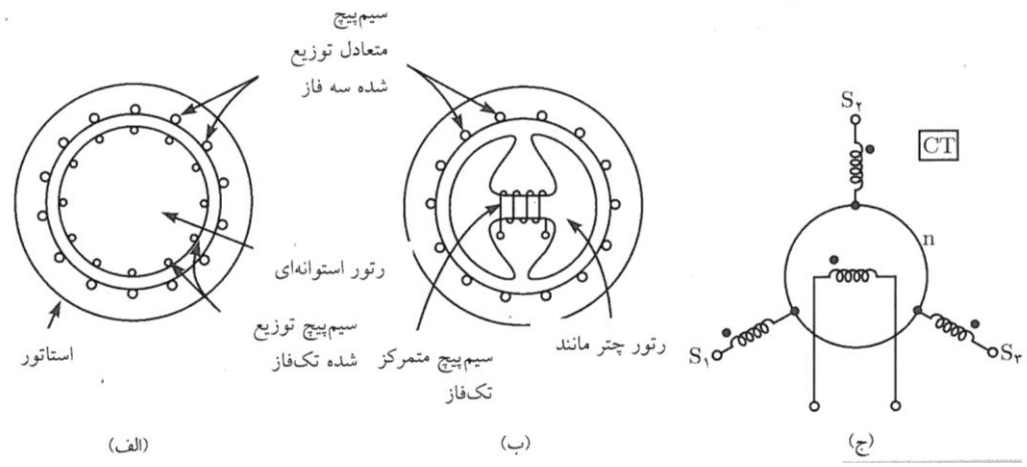
مطابق شکل (۵-۱۰)، سینکروی فرستنده (CX) دارای استاتور سه فازی شبیه ماشین های سنکرون استور تور این سینکروها از نوع قطب برجسته بوده که حاوی یک سیم پیچ است. اگر از طریق حلقه های لغزان به سیم پیچ رتور ، ولتاژ AC اعمال می گردد جریان تحریک جاری می شود و شار متناوبی در امتداد محور رتور شکل می گیرد. بر اساس تعریف وضعیت صفر الکتریکی رتور متناظر با ماکزیمم کوپلاژ با سیم پیچی استاتور انتخاب می گردد. به عبارت دیگر هنگامی که رتور در راستای محور مغناطیسی سیم پیچی قرار می گیرد این وضعیت را وضعیت صفر الکتریکی می نامند. اما از آن جا که رتور در دو وضعیت دارای ماکزیمم کوپلاژ می گردد. مطابق شکل (۵-۱۰-ب) به کمک قرارداد نقطه، یک صفر الکتریکی یکتا تعریف می شود. به علاوه دلیل اصلی دو قطبی بودن این ماشین ها، لزوم منحصر به فرد بودن زاویه الکتریکی با ماشین دور دست مبادله می گردد و تنها در صورت دو قطبی بودن ماشین، مکانیکی خواهد بود.

در شکل (۵-۱۰-ب) رتور در وضعیتی نشان داده شده است که نسبت به وضعیت صفر به میزان زاویه جابه جایی دارد. به واسطهٔ مشابهت ساختاری با ژنراتور سنکرون سه فاز می توان سینکرو فرستنده را به یک ژنراتور مینیاتوری قلمداد کرد. اما در ک تفاوت عملکردی این دو ماشین بسیار حائز اهمیت است. ژنراتور سینکرون با ولتاژ DC تحریک می شودو در سرعت ثابت چرخانده می شود و در ترمینال های استاتور آن یک ولتاژ سه فاز تولید می گردد. در مقابل، سینکرو با ولتاژ تک فاز AC تحریک می شود و اغلب به اندازه مقدار معینی از جابه جا می گردد و اساساً رتور حرکت دورانی مداوم ندارد و ساکن است (گاهاً از یک موقعیت به موقعیت دیگر می رود) و لذا ولتاژهای القایی تک فاز به خاطر عمل ترانسفورماتوری در سیم پیچ های استاتور ایجاد می گردد.

شکل (۵-۱۰): سینکروی فرستنده، ب) خصوصات ساختاری ب) شمای کلی.

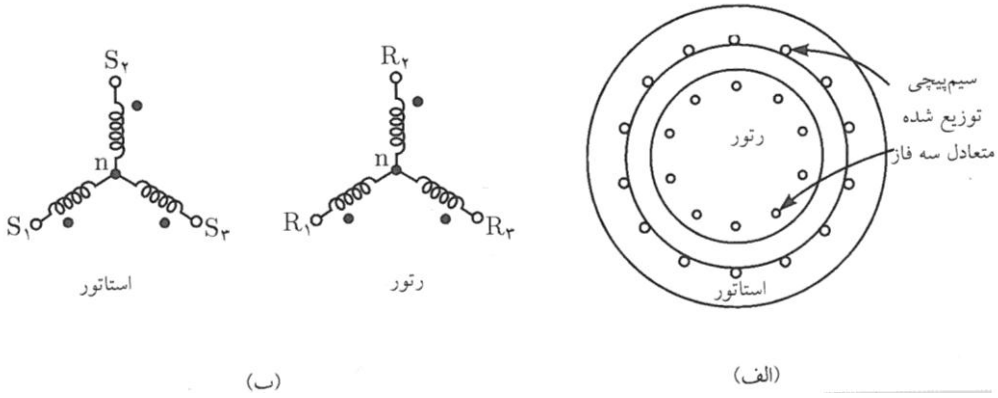


جزئیات ساختاری سینکروی ترانسفورماتوری (CI)، مطابق شکل (۵-۱۱)، تا حدودی با سینکروی فرستنده (CX) فرق دارد. یک تفاوت مهم فاصلهٔ هوایی یکنواخت با به کار گیری رتور استوانه ای یا رتور چتر مانند می باشد. علت یکنواختی فاصلهٔ هوایی آن است که جریان مغناطیس کنندگی کشیده شده توسط سینکروی ترانسفورماتوری می نیمم گردد. به علاوه پایانه های رتور CT عمدتاً به یک تقویت کننده وصل است و برای خروجی این تقویت کننده یک امپدانس ثابت صرف نظر از موقعیت رتور ایجاد می شود. تفاوت دیگر در نحوه تعریف صفر الکتریکی در CTها می باشد. در سینکروهای ترانسفورماتوری ، وضعیت صفر الکتریکی رتور متناظر با کوپلاژ صفر با سیم پیچ استاتور می باشد. این وضعیت متعامد رتور و سیم پیچ استاتور در شکل (۵-۱۱-ج) نشان داده شده است. گرچه در سینکروهای CT استاتور سه فاز است اما امپدانس هر فاز استاتور در سینکروهای CT از امپدانس هر فاز استاتور در سینکروهای CX بیشتر است این امر باعث می گردد که چندین سینکروهای CT از یک سینکروی CX تغذیه گردد.



شکل (۵-۱۱): سینکروی ترانسفورماتوری (CT) و الف و ب) خصوصیات ساختاری رتور استوانه ای و چتر مانند ج) شمای سینکرو هنگامی که رتور در وضعیت صفر الکتریکی قرار دارد.

در سینکروی دیفرانسیلی (CD) سیم پیچی رتور نیز به صورت سه فاز توزیع شده است و مطابق شکل (۵-۱۲-الف) استوانه ای است. اگرچه سیم پیچی ها سه فازند اما یادآوری می شود که این مجموعه ها منحصراً با ولتاژهای تک فاز مرتبطند.
ساختار اصلی سینکروهای گیرنده (CR) شبیه سینکروهای فرستنده (CX) می باشد. به عبارت دیگر سینکروهای CR نیز دارای استاتور سه فاز و رتور با قطب برجسته می باشد و رتور حاوی یک سیم پیچ تک فاز است. یک تفاوت سینکروی CR با CX ، وجود یک دمپر مکانیکی بر روی شافت آن می باشد. در شرایط نرمال، هر دو سیم پیچ رتور و استاتور با جریان های تم فاز تحریک می شوند. در نتیجه، از تقابل توزیع های امپر دو استاتور و رتور گشتاور ایجاد می گردد. هدف دمپر آن است که به رتور گیرنده اجازه دهد که به تغییر توزیع آمپر دو استاتور پاسخ دهد. بدون آن که جهش (overshot) قابل توجهی اتفاق افتد. چنانچه جهش بزرگ باشد ممکن است گشتاور متوسط تولید گردد و به گونه ای که گیرنده همانند یک موتور تک فاز شروع به چرخش کند.



شکل (۵-۱۲): سینکروی دیفرانسیلی؛ الف) خصوصیات ساختاری، ب) نمایش شماتیکی

۵-۳-۲-روابط ولتاژ

برای درک بهتر کاربرد های سینکرو، باید دریافت که چگونه ولتاژهای استاتور با تغییر مکان رتور عوض می شوند. شکل (۵-۱۳) شمای یک سینکروی فرستنده (CX) را نشان می دهد. به سیم پیچ رتور ولتاژ AC تک فاز اعمال می کنیم و وضعیت مکانی رتور را در زاویهٔ نسبت به صفر الکتریکی قرار می دهیم. ولتاژ رتور را به فرم زیر در نظر می گیریم:
در سیستم هایی که قدرت احتمالی بین دو محور برای سنکرون ماندن یاد باشد از سلسین های سه فاز استفاده می شود. سلسین های با قدرت کم، تک فازند و «سینکرو» (synchro)
نامیده می شوند. سینکرو ها در سیستم های کنترل برای انتقال موقعیت و وضعیت محور و هم چنین برای تثبیت همزمانی بین دو یا چند محور به کار می روند.

$$e_r(t) = \sqrt{2}E_r \sin \omega t$$

که در آن مقدار مؤثر ولتاژ القایی در سیم پیچی رتور می باشد. ولتاژهای القایی در سیم پیچ های سه فاز استاتور به کوپلاژ بین سیم پیچ های استاتور و تور بستگی دارند. فرض می کنیم:

$$a = \frac{\text{تعداد دورهای مؤثر استاتور}}{\text{تعداد دورهای مؤثر رتور}}$$

دراین صورت ولتاژ های القاء شده در هر فاز استاتور به خاطر عمل ترانسفورماتوری به قرار زیر است:

$$e_{1n}(t) = \sqrt{2}aE_r \sin\omega t \cos(\alpha - 120^\circ)$$

$$e_{2n}(t) = \sqrt{2}aE_r \sin\omega t \cos\alpha$$

$$e_{3n}(t) = \sqrt{2}aE_r \sin\omega t \cos(\alpha + 120^\circ)$$

مقدار مؤثر این ولتاژها به قرار زیر است:

$$E_{1n} = aE_r \cos(\alpha - 120^\circ)$$

$$E_{2n} = aE_r \cos\alpha$$

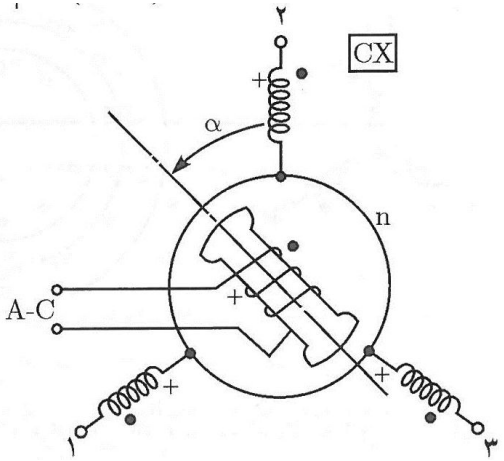
$$E_{3n} = aE_r \cos(\alpha + 120^\circ)$$

واضح است که مقدار ولتاژهای مؤثر خط به خط در پایانه های استاتور عبارتند از:

$$E_{12} = E_{1n} - E_{2n} = \sqrt{3} a E_r \cos(\alpha - 150^\circ)$$

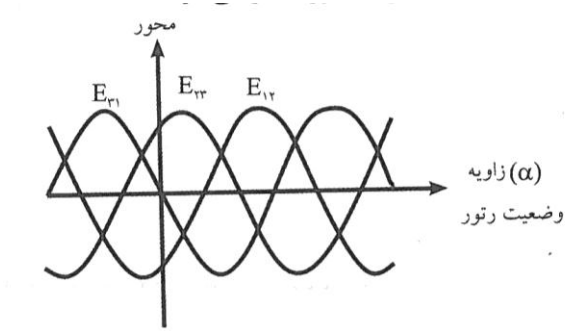
$$E_{23} = E_{2n} - E_{3n} = \sqrt{3} a E_r \cos(\alpha - 30^\circ)$$

$$E_{31} = E_{3n} - E_{1n} = \sqrt{3} a E_r \cos(\alpha + 90^\circ)$$



شکل (۵-۱۳): مدار به کار رفته جهت به دست آوردن تغییرات ولتاژهای رتور و استاتور در یک سینکرو فرستنده

بنابراین مشاهده می گردد که با اعمال یک ولتاژ تک فاز به سیم پیچ رتور، سه ولتاژ همفاز با دامنه های مختلف در سیم پیچ های استاتور القاء می گردد. ولتاژهای مؤثر پایانه سینکرو بر حسب موقعیت رتور با محور در شکل (۵-۱۴) نشان داده شده اند. می بینیم در هر موقعیت ، ولتاژ معینی در بین پایانه های استاتور و همچنین در هر فاز استاتور ظاهر می شود.



• شکل (۵-۱۴): تغییرات ولتاژهای مؤثر ترمینال های سینکرو فرستنده بر حسب

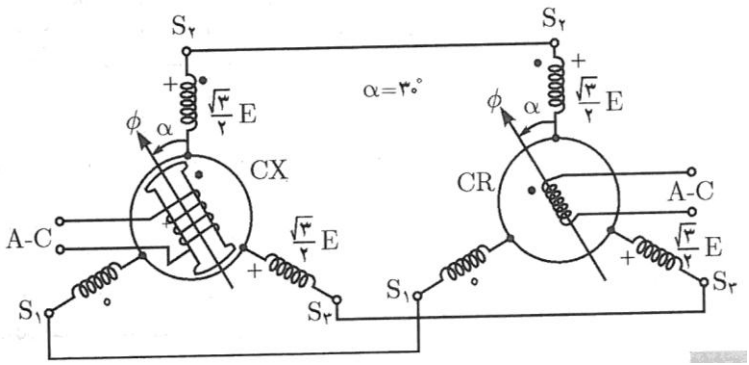
۵-۳-۳- کاربردها

سینکرو ها به وفور در سیستم های کنترل و سرومکانیزم به کار می روند. در ادامه به بعضی از کاربردهای متداول آن ها اشاره می گردد.

انتقال گشتاور

از سینکرو ها می توان برای انتقال گشتاور در مسافتی طولانی بدون وجود اتصال مکانیکی استفاده نمود. شکل (۵-۱۵) شمای چنین سیستمی را برای همسوسازی دو محور نشان می دهد.

در این سیستم از دو سینکرو گیرنده (CX) و فرستنده (CR) استفاده می شود. در این سیستم، سیم پیچی های استاتور دو سینکرو به هم وصل اند و رتور آن ها از یک منبع AC یک فاز تغذیه می شود. ابتدا فرض کنید رتور سینکرو فرستنده تغذیه گردد و به میزان (در این جا در نظر گرفته شده است) ، جابه جا شود. در این صورت در استاتور سینکرو فرستنده ولتاژ القاء می شود. و بالطبع سیم پیچ های استاتور سینکروی گیرنده جریان مغناطیس کنندگی می کشند. مقادیر این جریان های فاز استاتور CR باید به گونه ای باشد که شار منتجه در فاصلهٔ هوایی سینکرو گیرنده ، ولتاژ های معادل و مختلف الجهت نسبت به ولتاژهای استاتور (CX) در سیم پیچ ها القاء نماید تا قانون ولتاژی کیرشهف برقرار گردد. در نتیجه ، جهت شار منتجه (تولید شده توسط جریان های فاز استاتور فرستنده) در موقعیتی دقیقاً مشابه با محور رتور سینکرو فرستنده قرار می گیرد. حال اگر رتور سینکرو گیرنده برقرار گردد مبدلی در جهت محور رتور سینکرو گیرنده برقرار می شود.



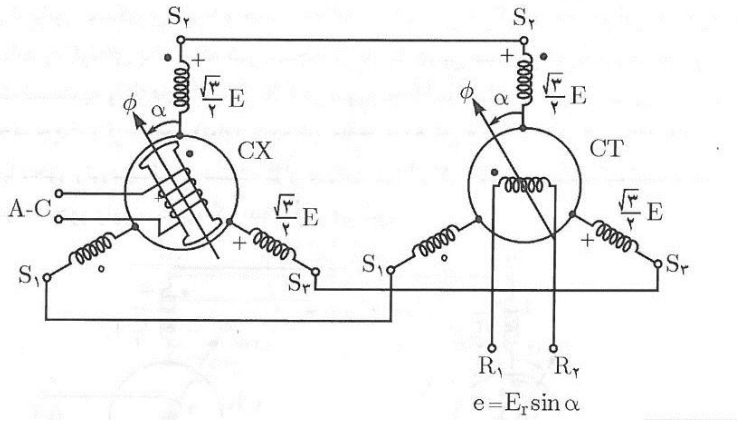
شکل (۵-۱۵): استفاده از سینکروهای CX و CR جهت همسوسازی دو محور (انتقال گشتاور)

در اثر تداخل در میدان رتور و استاتور در سینکرو گیرنده، گشتاور الکترومغناطیسی پدید می آید. این گشتاور، رتور سینکرو گیرنده را به حرکت در می آورد و به وضعیتی مشابه رتور در سینکروی فرستنده می برد. در این وضعیت ولتاژ القاء شده در استاتور سینکرو گیرنده مشابه ولتاژ القاء شده در استاتور فرستنده خواهد بود. لذا جریان بین دو سینکرو برقرار نشده و گشتاوری حاصل نمی شود. حال اگر رتور سینکرو فرستنده به وضعیتی جدید منتقل شود رتور سینکرو گیرنده هم به همان وضعیت منتقل خواهد شد.

تشخیص خطا

از سینکرو می توان برای تشخیص خطا در سیستم های کنترلی استفاده نمود. شکل (۵-۱۶) چنین سیستمی را نشان می دهد. در این سیستم ، از یک سینکروی فرستنده (CX) و
یک سینکروی ترانسفورماتوری (CT) استفاده شده است. فرض کنید رتور در سینکروی فرستنده به میزان زاویهٔ جابه جا می شود. در این صورت در استاتور سینکرو فرستنده ولتاژ القاء شده و چون دو استاتور سینکروها به هم وصلند، جریان برقرار می گردد. جریان استاتور در CT میدانی در امتداد زاویه ایجاد می کند. اگر رتور CT در وضعیت الکتریکی صفر نگه داشته شود (شکل(۵-۱۶))، مقدار مؤثر ولتاژ القاء شده رتور CT به قرار زیر است:

$$E = E_{max} \sin\alpha$$



شکل (۵-۱۶): استفاده از سینکرو برای تشخیص خطا

وضعیت α_x روتور سینکروی ترانسفورماتوری باشد، در این صورت مقدار مؤثر ولتاژ القایی در رتور سینکروی ترانسفورماتوری به قرار زیر می شود:

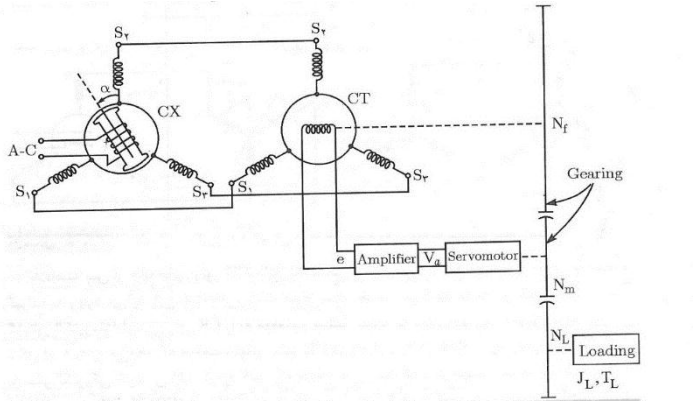
ولتاژ لحظه ای القایی به قرار زیر است:

$$E = E_{\max} \sin\left(\alpha_x - \alpha_T\right)$$

$$e(t) = \sqrt{2} E_{\max} \sin\left(\alpha_x - \alpha_T\right) \sin \omega t$$

لازم به ذکر است که و نسبت به وضعیت صفر الکتریکی سینکروها اندازه گیری می شوند. کاربرد سینکرو ها در تشخیص خطا در سیستم های کنترل وضعیت در شکل (۵-۱۷) نشان داده شده است. هدف از چنین سیستمی آن است که محور خروجی، جابه جایی زاویه ای محور ورودی را به شدت تعقیب می کند و خود را همسو نماید. محور ورودی همان محور رتور سینکروی فرستنده (CX) است و همانطور که از شکل پیداست محور اخراجی ، محور رتور سینکرو ترانسفورماتوری (CT) می باشد. دو سر سیم پیچ رتور CT به تقویت کننده متصل است.

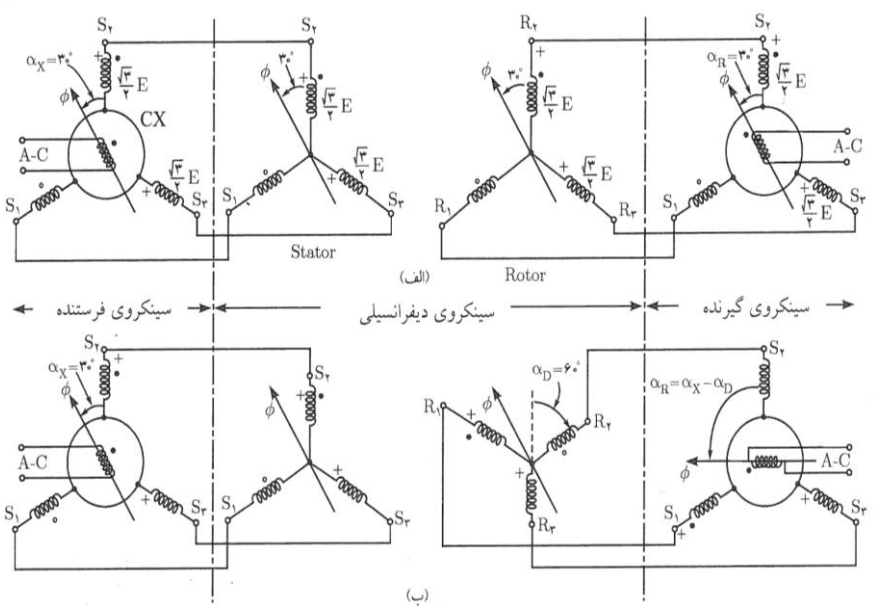
موقعیت صفر الکتریکی دو رتور در این سینکرو ها نسبت به هم جابه جایی دارد. لذا مادامی که این اختلاف ای وجود دارد ولتاژ خطا (e) صفر بوده و لذا ولتاژ ورودی سروموتور ( ) نیز صفر است و سروموتور نمی تواند بچرخد. اگر محور ورودی چرخانده شود تا این اختلاف ۹۰ درجه ای بین محورها بهم بخورد دراین صورت ولتاژ خطا (e) حاصل شده و پس از تقویت به صورت ( ) به سروموتور اعمال می شود. در این حال موتور به حرکت درآمده و به نحوی می چرخد که ولتاژ خطا صفر شود و به عبارت دیگر جابه جایی نسبی ای بین محور ها حادث گردد.



شکل (۵-۱۷): استفاده از سیستم تشخیص خطا در کنترل

استفاده از یک سینکروی دیفرانسیلی جهت افزودن یا کاستن از زاویه در یک سیستم انتقال گشتاور در شکل (۵-۱۸) به تصویر کشیده شده است. در قسمت (الف) این شکل، توزیع ولتاژ در سیم پیچ های فازهای استاتور سینکرو به ازای جابه جایی درجه ای رتور (CX) در جهت مثبت (یا خلاف عقربه ساعت) نشان داده شده است. با فرض ثابت نگه داشتن سینکروی دیفرانسیلی در موقعیت صفر الکتریکی، مشخصهٔ انتقال هیچ تفاوتی با شکل (۵-۱۵) نخواهد داشت و رتور سینکروی گیرنده با چرخش در جهت خلاف عقربه ساعت به میزان ۳۰درجه (معادل با) عکس العمل نشان می دهد تأکید می گردد که جابه جایی (CX) در جهت خلاف عقربه های ساعت باعث جابه جایی رتور گیرنده در خلاف جهت عقربه های ساعت می شود

اثر ایجاد یک جابه جایی α_D در سینکروی دیفرانسیلی در شکل (۵-۱۸-ب) نشان داده شده است). برای سادگی فرض کنید $\alpha_D = -60^\circ$ باشد. علامت منفی بیانگر چرخش رتور سینکروی دیفرانسیلی در جهت عقربه ساعت است. چون محور میدان شار در سینکروی دیفرانسیلی توسط α_x تعیین می گردد، جابه جایی ای -60° رتور CDباعث القاء ولتاژ صفر در سیم پیچ رتور r_2 و لتاژهای $\frac{\sqrt{3}}{2}E$ با پلاریته های نشان داده شده بر روی شکل (۵-۱۸) می شود.



شکل (۵-۱۸): استفاده از سینکروی دیفرانسیلی در اضافه نموده یک زاویه به سیستم انتقال گشتاور

بلافاصله پس از جابه جایی رتور CD، ولتاژ نامتعادلی بین رتور سینکروی دیفرانسیلی و استاتور گیرنده به وجود می آید. این نامتعادلی، باعث جاری شدن جریان می گردد. به نحوی که با تولید یک گشتاور الکترومغناطیسی ، رتور CRرا به موقعیتی منتقل سازد که تعادل ولتاژی تضمین گردد. بررسی شکل (ب) نشان می دهد که موقعیت نهایی رتور CR در زاویه در خلاف جهت عقربه ساعت نسبت به صفر الکتریکی خود می باشد. توجه کنید که جابه جایی رتور گیرنده (CR) در خلاف جهت عقربه ساعت گردید. توصیف ریاضی ساختار شکل (۵-۱۸) به فرم زیر می باشد:

$$\alpha_R = \alpha_X - \alpha_D$$

مقادیر مثبت زاویه ها برحسب درجه برای جابه جایی در خلاف جهت عقربهٔ ساعت و مقادیر منفی برای جابه جایی در جهت عقربهٔ ساعت به کار می رود.