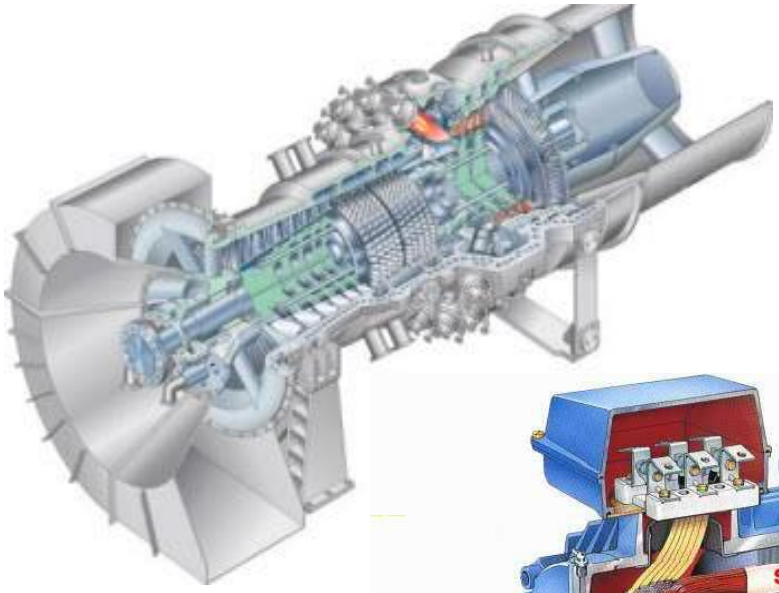
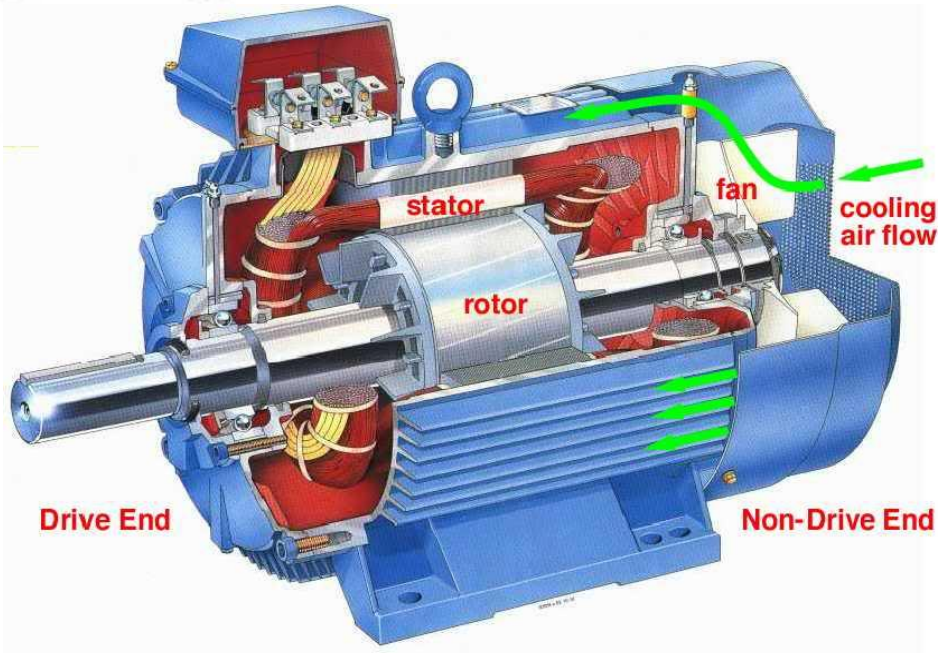
ماشین‌های الکتریکی ۳

{دانشگاه فنی و حرفه‌ای - دانشکده فنی و کشاورزی واحد فسا}





تهیه و تنظیم:

علی کاظمی وکیل‌آبادی

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

سرفصل درس

الف- مقدمه

ب- ماشین‌های الکتریکی آسنکرون

ج- ماشین‌های الکتریکی سنکرون

منابع

1. P.C. Sen, Principles Of Electric Machines And Power Electronics
2. A.E .Fitzgerald ,Charles Kingsley, Jr., Stephen D. Umans., Electric machinery
3. S.T. Chapman, Electric machines fundamentals

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مقدمه

ماشین های الکتریکی به گروهی از مبدل های الکترومکانیکی اطلاق می شود که قادرند انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی یا بلعکس و بطور پیوسته تبدیل کنند. به عبارت دیگر، ماشین الکتریکی در حالت کلی واسطه‌ای بین وسیله‌ای الکتریکی و وسیله‌ای مکانیکی؛ که باهمدیگر عمل مبادله انرژی انجام می دهند، گفته می‌شود. با تکنولوژی فعلی تقریبا تمام انرژی الکتریکی جهان توسط ژنراتورهای الکتریکی در نیروگاه ها تولید می‌گردد و بخش قابل توجه ای از این انرژی توسط موتورهای الکتریکی در صنایع، لوازم خانگی و کشاورزی به مصرف می رسد.

ماشین های الکتریکی اعم از موتور و ژنراتور الکتریکی، از دیدگاه نوع جریان به دو دسته جریان مستقیم (DC[1]) و جریان متناوب (AC[2]) طبقه بندی می شوند. ماشین های DC دارای قابلیت انعطاف بسیاری در کنترل گشتاور و سرعت بوده، که در صنایع کاربرد وسیعی دارند. انواع ماشین‌های DC با توجه به ساختمان آن‌ها بصورت زیر می باشند:

۱) **ماشین جریان مستقیم با تحریک مستقل**
۲) **ماشین جریان مستقیم با تحریک شنت**
۳) **ماشین جریان مستقیم با تحریک سری**
۴) **ماشین جریان مستقیم با تحریک کمپوند**

اما ازطرفی به دلیل گسترش شبکه های جریان متناوب و سادگی ساختمان و عمر مفید بیشتر و نیز تعمیر و نگهداری راحت‌تر، ماشین‌های جریان متناوب نسبت به ماشین‌های جریان مستقیم دارای کاربردهای بیشتری هستند. که به دو گروه اصلی تقسیم بندی می شوند:

۱) **ماشین‌های الکتریکی آسنکرون که سرعت میدان دوار با سرعت روتور برابر نیست، در عوض دارای ساختمان ساده و ارزان تر بوده و بیشتر به عنوان موتور بکار گرفته می شوند.**
۲) **ماشین‌های الکتریکی سنکرون که سرعت میدان دوار و سرعت روتور در آن‌ها با هم برابر می‌باشند و دارای ساختمان پیچیده و گران قیمتی بوده و اغلب به عنوان ژنراتور استفاده می شوند.**

1 Direct Current, DC
2 Alternating Current, AC

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

فصل اول: موتورهای القایی جریان متناوب آسنکرون

ساختمان موتورهای القایی

استاتور: شامل سیم بندی سه فاز بوده، که این سیم بندی با اختلاف فاز زمانی و مکانی ۱۲۰ درجه در شیار های استاتور جای گرفته اند.

روتور: قسمت گردنده ماشین را روتور می گویند، که به دو دسته تقسیم می شوند:

۱) روتور سیم پیچی شده: یک سیم پیچی سه فاز مانند استاتور است و در شیار های یک هسته مغناطیسی مورق قرار دارد که توسط سه عدد رینگ لغزان به بیرون راه دارد.
۲) روتور قفسه ای: از یک هسته مغناطیسی مورق استوانه ای شکل تشکیل شده است. هادی های روتور قفسه ای از جنس مس یا آلومینیوم می باشند، که این هادی ها در دو طرف روتور اتصال کوتاه شده اند.

در هر دو نوع روتور، سیم پیچی ها باید اتصال کوتاه باشند تا مداری بسته برای جاری شدن جریان پدید آید. به منظور کاهش تلفات فکو، هسته استاتور و رتور کلیه ماشین های AC بصورت مورق ساخته می شوند.

بین رتور و استاتور فاصله هوایی وجود دارد، اندازه این فاصله هوایی باید تا حد امکان کوچک باشد، در غیر این صورت حرارت زیادی در ماشین تولید می شود، ضمنا کاهش فاصله هوایی سبب کاهش تلفات و کاهش جریان مغناطیس کننده و جریان بی باری می شود و ضریب قدرت موتور نیز بهبود می یابد.

تولید گشتاور در موتور القایی

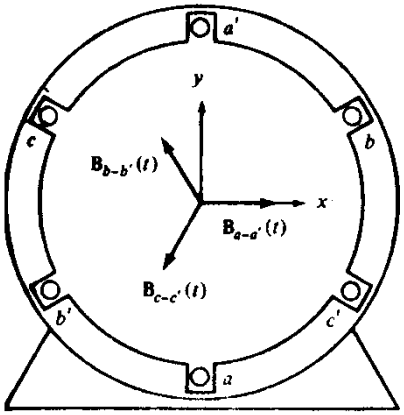
چنانچه استاتور یک موتور القایی سه فاز به شبکه وصل شود، میدان دوار B_{net} در فاصله هوایی بین استاتور و روتور با **سرعت سنکرون** شروع به چرخش می کند. این میدان، میله های روتور که در این لحظه ساکن هستند را قطع می کند، لذا ولتاژی در آن القا می شود. به علت اتصال کوتاه بودن روتور این ولتاژ القایی باعث ایجاد جریانی در هادی های روتور می شود، وجود این جریان سبب می شود که رتور نیز یک میدان دوار ایجاد کند، که این میدان نیز با همان سرعت سنکرون و در همان جهت می گردد. از تاثیر متقابل این دو میدان گشتاوری بر مجموعه روتور و استاتور وارد می شود و چون استاتور ساکن است پس روتور در جهت گشتاور ایجاد شده شتاب می گیرد.

اگر سرعت روتور برابر سرعت سنکرون شود **ولتاژ القایی در روتور و در نتیجه جریان، میدان روتور و گشتاور القایی روتور صفر می شوند**، لذا در عمل سرعت بی باری موتور های القایی کمی کمتر از سرعت سنکرون است. در نهایت طبق توضیحات فوق، سرعت روتور موتور القایی هیچ وقت نمی تواند برابر سرعت سنکرون شود، لذا به آن **موتور آسنکرون** می‌گویند.

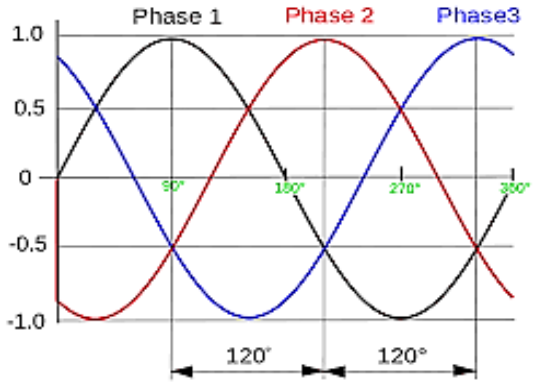
تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

میدان مغناطیسی دوار

اگر استاتور توسط سه دسته سیم‌پیچ با اختلاف فاز مکانی ۱۲۰ درجه سیم پیچی کنیم و این سیم پیچ ها را توسط یک دسته جریان سه فازه با اختلاف فاز زمانی ۱۲۰ درجه تغذیه کنیم، درآن حالت یک میدان مغناطیسی دوار با دامنه ثابت ایجاد می شود.



یک دسته جریان سه فاز مطابق روابط زیر به استاتور اعمال کنیم:



در اثر عبور جریان از کلاف ها سه میدان مغناطیسی به معادلات زیر ایجاد می شود:

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

درنتیجه در سرعت زاویه‌ای‌های مختلف (wt های مختلف) برآیند میدان، محاسبه میشوند.

در $wt = 0$ میدان برایند بصورت زیر محاسبه می شود:

و همچنین در $wt = 90^{\circ}$ بصورت زیر است:

درنتیجه لحظات مختلف سرعت زاویه ای مطابق جدول زیر می باشد:

wt	0	90	180	270	360
B_{net}	$\frac{3}{2}Bm\angle -90$	$\frac{3}{2}Bm\angle 0$	$\frac{3}{2}Bm\angle 90$	$\frac{3}{2}Bm\angle 180$	$\frac{3}{2}Bm\angle 270$

اگر این بردارهای منتجه را لحظات مختلف را در صفحه ای نشان دهیم، مشاهده می شود که مکان هندسی انتهای همه‌ی بردارها روی محیط دایره ای به شعاع $\frac{3}{2}Bm$ جابجا می شود. به طور کلی در یک سیکل کامل جریان میدان نیز یک دور محیط دایره را طی می کند.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

درحالت کلی می توان رابطه چگالی شار مغناطیسی برایند را در جهت محورهای x و y بصورت زیر نوشت:

سرعت میدان دوار

سرعت میدان دوار با فرکانس شبکه رابطه مستقیم و با تعداد قطب های سیم‌پیچی استاتور رابطه عکس دارد. بنابراین می توان نوشت:

سرعت لغزش

در موتور های القایی آسنکرون، سرعت رتور از سرعت زاویه ای میدان دوار استاتور همیشه کمتر است، و اختلاف این دو سرعت را سرعت لغزش می‌گوییم. به همین علت است که این موتورها را آسنکرون می نامند.

لغزش

نسبت سرعت لغزش به سرعت میدان دوار را لغزش می گویند، که بصورت درصد نشان می دهند:

فرکانس جریان رتور

فرکانس جریان رتور درحالتی که رتور ساکن است (لحظه ی راه اندازی) بافرکانس شبکه برابر است:

$$F_r\,(start) = F_{net}$$

اما زمانی که رتور سرعت می گیرد فرکانس رتور با لغزش تغییر میکند:

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

*نکته: در موتورهای آسنکرون، سرعت میدان دوار رتور با سرعت میدان دوار استاتور برابر است. اما سرعت چرخش مکانیکی رتور همواره از سرعت میدان دوار کمتر است.

محدوده لغزش درموتورهای القایی

درموتور های القایی بیشترین لغزش درلحظه راه اندازی یعنی لحظه ای که استاتور به برق متصل میشود و رتور ساکن است، صورت میگیرد. و کمترین لغزش زمانی است که موتور تحت شرایط بی باری کامل قرار دارد و سرعت رتور و سرعت میدان دوار برابر میباشند.

محدوده لغزش در ماشین های القایی

الف) لغزش های بزرگ تر از واحد:

بنابراین اگر رتوردر جهت عکس میدان دوار چرخیده شود، لغزش بزرگ تر از یک اتفاق می افتد که به آن حالت ترمزی موتور آسنکرون می گویند.

ب)لغزش های کوچکتر از صفر:

بنابراین اگر سرعت رتور از سرعت میدان دوار بیشتر شود، لغزش منفی شده و این حالت را حالت مولدی ماشین آسنکرون می گویند.

پس بطور کلی محدوده لغزش در ماشین های القایی:

و همچنین محدوده فرکانس رتور در موتورهای القایی آسنکرون بصورت زیر می باشد:

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۱ :

یک موتور القایی با اتصال ستاره ۵۰ هرتز، ۴ قطب، ۱۰ اسب بخار، به ولتاژ ۲۰۸ ولتی متصل است. اگر این موتور در بار کامل دارای لغزش ۵٪ باشد، مطلوب است:

الف) سرعت سنکرون ب) سرعت رتور در بار نامی ج) فرکانس رتور در بار نامی

مثال ۲ :

یک موتور القایی سه فاز ۵ اسب بخاری، ۲۰۸ ولتی و ۶۰ هرتزی تحت سرعت ۱۷۴۶ دور در دقیقه می‌چرخد و توان خروجی نامی را تحویل میدهد.

الف) تعداد قطب های ماشین ب)لغزش در بار کامل ج)فرکانس جریان رتور

د)سرعت میدان گردان رتور را نسبت به استاتور و همچنین نسبت به میدان گردان استاتور محاسبه کنید.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

نکته: سرعت میدان گردان رتور، سرعت میدان گردان استاتور، سرعت میدان دوار و سرعت سنکرون در موتورهای القایی، مفهومی مشابه دارند و همچنین سرعت مکانیکی محور، سرعت رتور، سرعت ساختمان رتور و سرعت موتور نیز مفهومی مشابه دارند.

مثال۳ :

یک ماشین القایی سه فاز ۴۶۰ ولتی، ۱۰۰ اسب بخار، ۶۰ هرتز و ۶ قطبی در لغزش ۳٪ مثبت و در شرایط بار کامل کار میکند.

الف) سرعت موتور و جهت آنرا نسبت به میدان گردان تعیین کنید.

ب) فرکانس رتور

ج) سرعت میدان استاتور

د) سرعت میدان شکاف هوایی

ه) سرعت میدان رتور نسبت به موارد زیر تعیین کنید

۱) ساختمان رتور

۲) ساختمان استاتور

۳) میدان گردان استاتور

۴) میدان گردان رتور

۵) میدان شکاف هوایی

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مدارمعادل رتور

با اعمال ولتاژ به سیم پیچ های استاتور یک موتور القایی، ولتاژی در سیم پیچ‌های رتور القا می شود. در لحظه ی راه اندازی یا حالت رتور قفل شده ولتاژ القا شده در رتور بیشترین مقدار خود را القا می کند که آن را با E_2 نشان می دهند. مقدار این ولتاژ در هنگام کار رتور با لغزش تغییر کرده و از رابطه $E_r = S.E_2$ بدست می آید. امپدانس رتور درلحظه ی راه اندازی شامل R_2 مقاومت اهمی و X_2 راکتانس القایی رتور می باشد.

مقدار R_2 با سرعت گرفتن رتور تقریبا ثابت است اما X_2 متناسب با فرکانس رتور و لغزش تغییر میکند و از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$X_r = S.X_2$$

باتوجه به این توضیح می توان مدار معادل رتور را بصورت زیر رسم کرد:

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مدار معادل موتور آسنکرون:

مدار معادل موتور القایی آسنکرون شبیه ترانسفورماتور است که اولیه آن استاتور و ثانویه آن رتور می باشد. جریان بی باری در موتورهای آسنکرون به مراتب بیشتر از جریان بی باری در ترانسفورماتورها می باشد و علت آن وجود فاصله هوایی بین رتور و استاتور است که موجب افزایش رلوکتانس می شود.

بنابراین مدار معادل آن بصورت زیر خواهد شد:

مدار معادل موتور القایی از دید استاتور:

همانند ترانسفورماتورمی توان پارامترهای ثانویه را به اولیه منتقل کرد. مدار معادل واقعی و تقریبی موتور القایی آسنکرون بصورت زیر می باشد:

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

انواع تلفات در موتور آسنکرون

با توجه به مدار معادل واقعی موتور آسنکرون تلفات را محاسبه می کنیم.

۱- تلفات مسی استاتور (P_{SCL}): این تلفات ناشی از عبور جریان مقاومت های سیم‌پیچی استاتور می باشد. که بصورت زیر محاسبه می شود:

۲-تلفات آهنی یا هسته(P_CیاP_{Fe}): معمولا به علت پایین بودن فرکانس جریان رتور، از تلفات آهنی رتور به دلیل ناچیز بودن صرف نظر می شود. بنا براین تلفات آهنی در موتورهای القایی آسنکرون عمدتا مربوط به استاتور است که بصورت زیر محاسبه می شود:

۳- تلفات مسی رتور (P_{RCL}): این تلفات ناشی از مقاومت اهمی هادی های رتور است و لازمه‌ی ایجاد گشتاور در موتور القایی می باشد که بصورت زیر محاسبه می شود:

۴- تلفات مکانیکی(P_{mec}): این تلفات به واسطه‌ی وجود اصطکاک بین محور و یاتاقان‌ها بوجود می آید.

۵- تلفات سرگردان(P_{misc}): بخشی اندکی از قدرت ماشین صرف اصطکاک هوای اطراف رتور می شود. که به تلفات سرگردان معروف است.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

دیاگرام توزیع توان در موتورهای القایی آسنکرون:

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

گشتاور در موتورهای القایی

گشتاور الکترومغناطیسی:

گشتاور راه اندازی: گشتاور راه اندازی یعنی گشتاور الکترو مغناطیسی در لحظه S=1

گشتاور خروجی یا مفید:

مثال ۴ :

مدار معادل یک موتور القایی۳ فاز - ۵۰ اسب بخار- ۴۶۰ ولتی - با اتصال ستاره - ۶۰ هرتزی - ۸ قطب که با سرعت ۸۷۳RPM می چرخد، نشان داده شده است. مقادیر خواسته شده را بدست آورید:

۱)جریان ورودی
۲)توان ورودی
۳)توان عبوری از فاصله هوایی
۴)تلفات مسی رتور
۵)توان مکانیکی حاصله در موتور
۶)توان خروجی
۷)بازده

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۵:

یک موتور القایی۳ فاز با ولتاژ ۴۴۰V و فرکانس منبع ۶۰HZ با اتصال ستاره و دارای ۶ قطب می باشد. پارامترهای هر فاز این موتور به صورت زیر است:

$$R_2 = 0.12\ \Omega\ ,\ R_1 = 0.1\ \Omega\ ,\ x_{e1} = 0.75\ \Omega\ ,\ Rfe = 161.3\ \Omega\ ,\ x_m = 14.3\ \Omega$$

در این موتورفرض براین است که تلفات مکانیکی و هسته برابرند. در صورتی که لغزش موتور ۰/۰۳ باشد مطلوب است محاسبه:

۱) جریان ورودی به موتور
۲) ضریب توان موتور
۳) توان مکانیکی خروجی
۴) گشتاور راه اندازی

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

محاسبه گشتاور برحسب لغزش:

درموتورهای القایی گشتاور الکترمغناطیسی متناسب با حاصلضرب فوران درهر قطب استاتور و جریان رتور و ضریب قدرت رتور می باشد.

مشخصه گشتاور – لغزش ($T = F(S)$)

در ناحیه موتوری که لغزش $0 \le S \le 1$ می باشد، می توان طبق رابطه فوق تغییرات گشتاور برحسب لغـزش را بصـورت زیـر رسم کرد.

مشخصه گشتاور – دور ($T = F(n)$)

گشتاور راه اندازی:

گشتاور بحرانی:

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

از روابط فوق می توان به نتایج زیر دست یافت:

۱- گشتاور ماکزیموم مستقل از مقاومت اهمی رتور می باشد.
۲- سرعت یا لغزشی که گشتاور ماکزیموم در آن اتفاق می افتد بوسیله مقاومت رتور تعیین می شود.
۳- گشتاور ماکزیموم با راکتانس القایی حالت سکون نسبت معکوس دارد. بنابراین باید سعی شود که راکتانس القایی حالت سکون کوچک نگه داشته شود.
۴- گشتاور ماکزیموم با مجذور ولتاژ رابطه مستقیم دارد.

نکته: در موتورهای رتور سیم پیچی شده با تغییر مقاومت راه اندازی می توان مقدار مقاومت اهمی رتور را کنترل کرد و در نتیجه لغزش معادل با گشتاور ماکزیموم را در هر نقطه ای که مدنظر باشد در منحنی گشتاور – دور تنظیم کنیم.

می توان با افزایش مقاومت اهمی مدار رتور به نتایج زیر دست یافت:

۱- گشتاور راه اندازی زیاد می شود.
۲- جریان راه اندازی کم می شود.
۳- لغزش معادل با گشتاور ماکزیموم افزایش می یابد.
۴- توان اکتیو جذب شده توسط رتور افزایش می یابد.
۵- سرعت بحرانی کم می شود.
۶- سرعت موتور کاهش می یابد.

نسبت گشتاور کار به گشتاور راه اندازی:

$$\frac{T}{Ts} = \frac{S(Sm^2 + 1)}{\mathrm{Sm^2 + S^2}}$$

نسبت گشتاور کار به گشتاور بحرانی:

$$\frac{T}{Tm} = \frac{2.S.Sm}{\mathrm{Sm^2 + S}}$$

نسبت گشتاور راه اندازی به گشتاور بحرانی:

$$\frac{Ts}{Tm} = \frac{2.Sm}{\mathrm{Sm^2 + 1}}$$

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۶ :

مطلوب است محاسبه گشتاور اعمال شده توسط یک موتور القایی سه فاز ۵۰ هرتز ۸ قطب که با ۴٪ لغزش کار کرده و گشتاور ماکزیموم $Kg-m$ ۱۵۰ را در سرعت ۶۶۰ دور در دقیقه تولید می‌کند. مقاومت هر فاز رتور را ۰/۵ اهم درنظر بگیرید.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۷ :

موتور القایی ۵۰ هرتز، ۴ قطب، ۳ فاز، دارای مقاومت رتور ۰/۰۳ اهم و راکتانس ۰/۱۲ اهم درهر فاز می باشد.

الف) سرعت در گشتاور ماکزیموم چقدر است؟

ب) مطلوب است تعیین مقدار مقاومت اضافی مورد نیاز در هر فاز مدار رتور جهت بدست اوردن ۷۵٪ گشتاور مـاکزیموم در راه اندازی.

ج) اگر بخواهیم گشتاور ماکزیموم در لحظه راه اندازی رخ دهد، چه مقاومتی باید به مدار رتور اضافه کنیم؟

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

راه اندازی موتور های القایی سه فاز

در موتورهای القایی **جریان راه اندازی چندین برابر جریان نامی می باشد** و موجب بروز مشکلات زیادی، مخصوصا در موتورهای پر قدرت صنعتی می شود، از جمله این مشکلات می‌توان به اسیب دیدن سیم بندی استاتور و نیاز به کلید ها و تجهیزات با جریان بیشتر، را برشمرد. لذا باید توسط روش های مخصوص جریان راه اندازی را در موتورهای پر قدرت کنترل نمود. انواع روش های راه اندازی موتور های القایی سه فاز بصورت زیر هستند:

۱- راه اندازی مستقیم

در این روش استاتور توسط یک کلید سه فاز، مستقیما به منبع وصل می شود. جریان موتور که در این حالت از شبکه دریافت می شود، بسته به نوع و قدرت موتور بین ۵ تا ۸ برابر جریان نامی می باشد.

۲- راه اندازی به کمک اتوترانسفرماتور

در این روش به کمک یک اتوترانسفرماتور، در ابتدای راه اندازی ولتاژ تغذیه موتور را کم نموده و متناسب با سرعت گرفتن موتور ولتاژ تغذیه را بالا می بریم.

۳- راه اندازی به روش ستاره – مثلث

در این روش در ابتدای راه اندازی اتصال کلاف های استاتور را بصورت ستاره درآورده، لذا طبق اتصال ستاره ولتاژ راه اندازی کاهش و جریان و گشتاور راه اندازی نیز کاهش می یابد. بعد از راه اندازی موتور، اتصال کلاف ها را به مثلث تبدیل می کنیم.

۴- راه اندازی توسط کنترل مقاومت روتور

در این روش یک مجموعه مقاومت اهمی در مسیر رتور نصب می شود. در ابتدای راه اندازی کلیه مقاومت ها در مدار رتور قرار دارند و با سرعت گرفتن رتور به صورت پله ای مقاومت ها از مدار خارج می شوند.

روش های کنترل سرعت موتور های القایی سه فاز

موتورهای القایی نسبت به موتور های جریان مستقیم دارای قابلیت های کمتری در کنترل سرعت می باشند ولی تا حدودی می توان سرعت انها را به کمک روش های زیر کنترل کرد:

۱- کنترل سرعت موتور های القایی از طریق کنترل ولتاژ

طبق رابطه گشتاور در موتور های القایی، گشتاور متناسب با مجذور ولتاژ تغییر می کند. در نتیجه با توجه به منحنی گشتاور – دور ، سرعت موتور القایی کنترل می شود.

۲- کنترل سرعت موتور های القایی از طریق کنترل فرکانس

سرعت میدان دوار(ns) موتور القایی با فرکانس متناسب می باشد.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

۳- کنترل سرعت موتور های القایی از طریق تنظیم همزمان ولتاژ و فرکانس

با تغییر ولتاژ یا فرکانس، سبب تغییر در مدار مغناطیسی ماشین و میدان دوار شده و در کـار عـادی ماشـین مشـکلاتی را بوجود می آورد. برای حل این مشکل باید سرعت و فرکانس را بطور همزمان تغییر دهیم. که در این حالت دامنـه میـدان دوار تغییر نخواهد کرد.

۴- کنترل سرعت موتور های القایی از طریق کنترل جفت قطب

طبق رابطه (ns)، سرعت میدان دوار با تعداد جفت قطب سیم بندی استاتور نسبت عکس دارد

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

فصل دوم: ماشین‌های القایی جریان متناوب سنکرون

ماشین های سنکرون به دو صورت زیرمورد استفاده قرار میگیرد:

۱. مولد سنکرون (ژنراتور) : دراین ماشین انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی جریان متناوب تبدیل میشود و به دلیل اینکه سرعت رتور و سرعت میدان دوار برابر می‌باشد به آن ژنراتور سنکرون می‌گویند.

۲. موتور سنکرون: در این ماشین انرژی الکتریکی جریان متناوب به انرژی مکانیکی تبدیل میشود و به دلیل این که سرعت رتور و سرعت میدان دوار برابر می‌باشد به ان موتور سنکرون می‌گویند.

روش های تولید انرژی الکتریکی در مولدهای سنکرون: به طورکلی به سه روش انرژی الکتریکی تولید می-شود.

روش اول) القا کننده ساکن- القا شونده متحرک: دراین روش القا کننده از طریق یک منبع مستقل تغذیه می‌شود و القا شونده در قسمت گردان ماشین قرار گرفته وتوسط محرک به گردش در می آید. در اثر گردش هادی های القا شونده یک نیروی محرکه القایی سینوسی در دو سر هر کلاف بوجود می‌اید که نسبت به یکدیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز دارند. از این روش در مولدهای با قدرت کم استفاده می‌شود.

روش دوم) القا کننده متحرک و القا شونده ساکن: دراین روش القا کننده به وسیله یک محرک به گردش در می‌اید و در اثر حرکت آن یک میدان القایی گردان ایجاد میشود که این میدان القایی برروی هادی های القا شونده که در قسمت ساکن ماشین قرار دارند اثر القایی گذاشته و نیروی محرکه القایی در هادی های القاشونده ایجاد می‌شود. از این روش در مولدهایی با قدرت زیاد استفاده می‌شود.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

روش سوم) القا کننده و القا شونده هر دو نسبت به یکدیگر متحرک: در این روش القا کننده در قسمت گردان ماشین و القا شونده در قسمت استاتور قرار دارد و توسط محرک به گردش در می‌اید. در نتیجه هم القاکننده و هم القاشونده نسبت به هم متحرک می‌باشند. در صورتیکه اختلاف سرعت بین دو میدان القاکننده و القاشونده صفر باشد ولتاژ القایی نیز صفر می‌شود. و اگر اختلاف سرعت بوجود آید نیروی محرکه القایی نیز بوجود میاید. از این روش به عنوان مقایسه کننده در ماشین های مخصوص استفاده می‌گردد.

ساختمان مولد با قدرت کم:

در این مولد القاکننده در قسمت ساکن ماشین و هادی های القاشونده در قسمت متحرک قرار دارد. قطب های این مولد از نوع قطب برجسته می‌باشد و هادی‌های القاشونده توسط محرک در داخل میدان مغناطیسی به گردش در می‌اید. در این حالت انرژی الکتریکی سه فاز توسط رینگ از هادی های القاشونده که در قسمت گردان قرار دارند دریافت می‌شود. طرح ساختمانی و مدار معادل الکتریکی آن بصورت شکل‌های زیر می‌باشد.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

ساختمان مولد با قدرت زیاد:

در این نوع مولد القاکننده در قسمت گردان ماشین و هادی های القا شونده درقسمت ساکن ماشین قرار دارند. قطب‌های این نوع مولد به صورت صاف بوده. و انرژی الکتریکی از هادی های القاشونده که در قسمت ساکن ماشین قرار دارند (سیم پیچ استاتور) دریافت می‌شود. معمولا از این مولد در نیروگاه‌ها استفاده می‌شود، در صورتی که محرک آن ها موتور دیزل باشد به آن دیزل آلترناتور و اگر محرک ان ها توربین باشد به آن **توربو آلترناتور** می‌گویند. طرح ساختمانی و مدار معادل الکتریکی آن بصورت شکل‌های زیر می‌باشد.

انواع افت ولتاژدر مولد سنکرون :

به طور کلی در مولدهای سنکرون سه افت ولتاژ ایجاد می شود که باعث کاهش ولتاژ خروجی مولد می گردد:

الف) افت ولتاژ اهمی: چون هادی های القا شونده دارای مقاومت اهمی می‌باشند، بنابراین بر اساس عبور جریان بار از هادی های القاشونده، یک افت ولتاژ اهمی به نام ($R_a.I_a$) ایجاد میشود.

ب) افت ولتاژ راکتانس پراکندگی: چون تمام هادی های القاشونده توسط شار مغناطیسی القاکننده قطع نمی‌شوند و مقداری از شار مغناطیسی به صورت پراکندگی در فاصله هوایی به هدر میرود، بنابراین افت ولتاژ پراکندگی ناشی از شار پراکندگی به نام ($X_L.I_a$) در ماشین ایجاد میگردد.

ج) افت ولتاژ آرمیچر (عکس‌العمل آرمیچر): تاثیر دو میدان القا کننده و القاشونده بر یکدیگر باعث واکنش آرمیچر شده و باعث ایجاد افت ولتاژ آرمیچر به نام ($X_a.I_a$) می گردد.

در نتیجه هر سه افت ولتاژ فوق باعث کاهش ولتاژ خروجی مولد میگردد.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مدار معادل مولد سنکرون

با توجه به افت ولتاژ اهمی آرمیچر و افت راکتانس پراکندگی و همچنین افت واکنش آرمیچـر و نیـروی محرکـه القـایی مولـد، مدار معادل واقعی مولد سنکرون همراه با مدارمعدل تحریک به صورت زیر می‌باشد.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

محاسبه نیروی محرکه القایی

با توجه به مدار معادل، می توان نیرو محرکه القایی فازی و خطی را با درنظر گرفتن افت ولتاژهای داخلی ماشین و بصورت روابط قطبی (فیزوری) نوشت:

مثال ۸ :

یک ژنراتور سنکرون با قدرت ۱۰ کیلو ولت آمپر و فرکانس ۵۰ هرتز، ولتاژ ۴۰۰ ولت را تولید می‌کند. درصورتی که مقاومت اهمی آرمیچر ۲/ اهم، راکتانس پراکندگی ۴ اهم و راکتانس واکنش آرمیچر ۸ اهم درهر فاز باشد، مطلوب است محاسبه افت ولتاژ داخلی ماشین و همچنین نیرمحرکه خطی و فازی مولد.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

انواع تحریک مولد سنکرون

برای تحریک مولدهای سنکرون سه روش وجود دارد:

۱) تحریک مستقل: دراین روش سیم پیچ تحریک قطب ها از طریق یک منبع مستقل مانند باتری تغذیه می‌شود که به آن تحریک مستقل می گویند. از این روش معمولا در نیروگاه های قدیمی استفاده می‌شود.

۲) تحریک مولدی: دراین روش برای تحریک قطب های مولد سنکرون ازیک ژنراتور شنت جریان مستقیم استفاده می‌شود. مولد شنت با محور توربین و محور مولد سنکرون کوپل مکانیکی می‌شوند بطوری که با حرکت توربین محور مولد سنکرون و محور مولد شنت به گردش در می آید. در نتیجه ولتاژ تولید شده در مولد شنت برای تحریک مولد سنکرون مورد استفاده قرار می‌گیرد، که به آن تحریک مولدی می گویند. نیرومحرکه القایی اولیه ناشی ازپسماند مغناطیسی می باشد.

۳) تحریک خودی: دراین روش از انرژی تولید شده در خروجی مولد سنکرون برای تحریک خود مولد استفاده می‌شود. به این ترتیب که جریان خروجی مولد سنکرون را به کمک یک مدار یکسوکننده به جریان مستقیم تبدیل می کنند و درنیجه برای تحریک خود مولد سنکرون استفاده می‌شود. در این روش نیز نیرو محرکه القایی اولیه ناشی از پسماند مغناطیسی میباشد.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

آزمایش بی باری مولد سنکرون

در این آزمایش مولد سنکرون را توسط یک محرک با سرعت ثابت به گردش در می آورند، سپس با تغییر جریان تحریک، تغییرات ولتاژ خروجی مولد را ثبت می کنیم. سپس مشخصه بی باری E بر حسب I_F را به ازای دور ثابت و به نام مشخصه بی باری رسم می کنیم.

آزمایش بارداری مولد سنکرون

در این آزمایش، ابتدا مولد را توسط محرک با یک سرعت ثابت به گردش در آورده و سپس با تغییر جریان تحریک، ولتاژ خروجی مولد را در ولتاژ نامی تنظیم می کنیم. سپس طی چند مرحله به مولد بار اضافه می کنند. تغییرات ولتاژ بار بر حسب تغییرات جریان بار را ثبت می کنیم. سپس مشخصه بارداری ان را به ازای دور ثابت و جریان تحریک ثابت رسم می کنیم. این مشخصه بستگی به نوع بار داشته، در صورتی که بار اهمی خالص یا اهمی سلفی باشد، با افزایش بار ولتاژ خروجی مولد کاهش پیدا می کند. و به علت اینکه در حالت بار اهمی سلفی تاثیر دو میدان القا کننده و القا شونده بر یکدیگر، تضعیفی است، این مشخصه پایین تر از مشخصه اهمی خالص قرار می گیرد و در صورتی که بار خازنی باشد، با افزایش بار تاثیر دو میدان القا کننده و القا شونده بر یکدیگر، تقویتی بوده که همین باعث افزایش ولتاژ خروجی مولد نسبت به مشخصه بی باری خواهد بود.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

آزمایش تنظیم ولتاژ مولد سنکرون

در ازمایش بارداری مولد سنکرون اگر هنگام افزایش بار، با تغییر جریان تحریک ولتاژ خروجی مولد را روی ولتاژ نامی ثابت نگه داریم. تغییرات جریان تحریک بر حسب تغییرات جریان بار به ازای دور و ولتاژ ثابت را مشخصه تنظیم ولتاژ مولد سنکرون می گویند. این مشخصه بستگی به نوع بار داشته، در صورتی که بار اهمی خالص یا اهمی سلفی باشد، جریان تحریک را افزایش می دهد و در صورتی که بار اهمی خازنی باشد جریان تحریک را کاهش می دهد. تا ولتاژ همواره ثابت بماند.

آزمایش اتصال کوتاه مولد سنکرون

در این آزمایش مولد سنکرون را با سرعت ثابت به گردش در اورده. در ابتدا جریان تحریک را روی صفر تنظیم می کنیم و خروجی مولد را توسط آمپر متر اتصال کوتاه می کنیم. و به تدریج جریان تحریک را افزایش داده تا زمانی که جریان اتصال کوتاه برابر جریان نامی مولد گردد. این مشخصه به صورت تابع خطی می باشد. علت خطی بودن آن این است که هنوز هسته مغناطیسی مولد به حالت اشباع نرسیده است و در ناحیه خطی کار می کند. در صورتی که دارای پسماند مغناطیسی باشد این مشخصه کمی بالا تر از مبدا شروع می شود.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

اهداف آزمایش مولد سنکرون

۱- تعیین مشخصه های بی باری، بارداری، تنظیم و اتصال کوتاه ژنراتور سنکرون.

۲- تعیین درصد تنظیم ولتاژ: در آزمایش بارداری می توان درصد تنظیم ولتاژ را بدست آورد. در صورتی که نوع بار خازنی باشد، علامت تنظیم ولتاژ منفی و اگر نوع بار اهمی یا اهمی سلفی باشد، علامت تنظیم ولتاژ مثبت می شود.
نکته: هرچقدر درصد تنظیم ولتاژ کمتر باشد، تنظیم ولتاژ راحت تر است.

۳- تعیین امپدانس سنکرون: با داشتن دو مشخصه بی باری و اتصال کوتاه می توان امپدانس سنکرون را تعیین کرد. از تقسیم ولتاژ بی باری فازی به جریان اتصال کوتاه، در جریان تحریک نامی، امپدانس سنکرون بدست می آید.

۴- تعیین راکتانس سنکرون: با داشتن امپدانس سنکرون و مقاومت اهمی آرمیچر می توان راکتانس سنکرون را بدست آورد.

۵- تعیین امپدانس اتصال کوتاه: طبق آزمایش اتصال کوتاه، در حالتی که جریان اتصال کوتاه برابر جریان نامی مولد باشد، مولد را از حالت اتصال کوتاه خارج کرده و به کمک یک ولتمتر ولتاژ خروجی مولد یا ولتاژ اتصال کوتاه را بدست می آوریم. سپس از تقسیم ولتاژ اتصال کوتاه به جریان اتصال کوتاه، امپدانس اتصال کوتاه بدست می آید.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

مثال ۹ :

یک مولد سنکرون سه فاز مورد آزمایش بی باری و اتصال کوتاه قرار گرفته است. درصورتی که مقاومت اهمی ارمیچر ۱ اهم باشد، راکتانس سنکرون را حساب کنید.

(جریان تحریک نامی را ۳ آمپر درنظر بگیرید.)

دیاگرام پخش توان در مولد سنکرون

در این دیاگرام قدرت مکانیکی ورودی را با P_{mec} ، قدرت تحریک DC ورودی را با P_F ، تلفات مکانیکی را با ΔP_{mec} ، تلفات مسی رتور را با P_{cur} ، قدرت ورودی رتور را با P_r ، قدرت الکترومغناطیسی را با P_e ، تلفات مسی استاتور را با P_{cus} ، تلفات آهنی استاتور را با P_{fe} و قدرت مفید الکتریکی یا قدرت خروجی را با $P_۲$ نشان می دهیم.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

موازی کردن ژنراتورها

علت موازی کردن ژنراتورها: بطور کلی دو دلیل عمده برای موازی کردن ژنراتورها وجود دارد:

۱) به منظور توسعه قدرت نیروگاه‌ها
۲) به منظور تعمییر، سرویس و نگهداری ژنراتورها

شرایط موازی بستن ژنراتورها: برای موازی بستن ژنراتورها چهار شرط الزامیست:

۱) یکسان بودن ولتاز هر دو مولد.
۲) یکسان بودن فرکانس هر دو مولد.
۳) توالی فازها رعایت شده باشد. (یعنی: فاز R به R ، فاز S به S و فاز T به T اتصال داده شده‌باشند.)
۴) هردو مولد هم فاز باشند. (یعنی با هم به مینیموم و ماکزیموم برسند.)

درصورتی که دو ژنراتور دارای چهار شرط فوق باشند، به آن دو مولد سنکرون می گویند. که در این حالت می توان ژنراتورها را موازی اتصال داد.

طریقه موازی کردن دو ژنراتور سنکرون

برای موازی بستن دو ژنراتور سنکرون به ترتیب زیر عمل می کنیم:

۱) ژنراتور اول را توسط محرک راه اندازی کرده و با تغییر جریان تحریک ولتاژ خروجی مولد را در ولتاژ نامی تنظیم می‌کنیم.
۲) باتغییر دور محرک فرکانس خروجی مولدرا در فرکانس نامی تنظیم می‌کنیم.
۳) کلید k_1 را وصل کرده و ژنراتور را به شین‌های خروجی اتصال می‌دهیم.
۴) ژنراتور دوم را توسط محرک راه اندازی کرده و با تنظیم جریان تحریک، ولتاژ خروجی مولد دوم را برابر با ولتاژ خروجی مولد اول قرار می‌دهیم. همچنین با تنظیم دور محرک ژنراتور دوم فرکانس خروجی مولد دوم را برابر فرکانس خروجی مولد اول قرار می‌دهیم.
۵) با تغییرجزئی دور محرک و جریان تحریک ژنراتور دوم، بطور همزمان لامپ های فاز نما را به حالت خاموش سنکرون در می‌اوریم. در صورتیکه دستگاه سنکرون اسکوپ استفاده شده باشد، باید عقربه های آن روی صفر تنظیم شود.
۶) در این حالت سنکرون اتفاق می‌افتد. در نتیجه کلید K_2 را وصل کرده و ژنراتور دوم را با ژنراتور اول موازی یا پارالل می‌کنیم.

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

دستگاه فازسنج

برای تشخیص توالی فازها می توان از دستگاه فازسنج استفاده کرد. این دستگاه که دارای یک الکتروموتور می باشد، که در یک جهت خاص به گردش در می آید و دارای سه ترمینال خروجی $R - S - T$ می باشد. این دستگاه می تواند در قسمت خروجی ژنراتورها نصب شده و درصورتی که جهت چرخش موافق جهت فلش دستگاه باشد، ترمینال های $R - S - T$ را مشخص می کنیم.

لامپ های فازنما را می توان از سه طریق به کلید $K2$ اتصال داد:

۱- سنکرون خاموش: در این حالت در موقعی که تمام لامپ ها کاملا خاموش شوند، حالت سنکرون ایجاد می شود که به آن سنکرون خاموش می گویند.

۲- سنکرون روشن: اگر دوسر لامپ ها را از دو فاز مختلف بگیریم، در این حالت هنگامی که تمام لامپ ها کاملا روشن باشند حالت سنکرون برقرار می شود که به آن سنکرون روشن می گویند.

۳- سنکرون روشن – خاموش: در این حالت یکی از لامپ ها را از دو فاز هم نام و دو لامپ دیگر را از دو فاز مختلف انشعاب می گیریم.

در این حالت، درصورتی که توالی فازها رعایت نشده باشد می توان با جابجا کردن دو سر فازها حالت سنکرون روشن یا خاموش را بوجود آورد.

دستگاه سنکرونیزاسیون

تهیه و تنظیم: علی کاظمی وکیل‌آبادی
Ali_Kazemi@Ymail.com

این دستگاه شامل یک ولتمتر دوبل و یک دستگاه سنکرون اسکوپ می باشد، که برای موازی کردن ژنراتورها در نیروگاه هـا از آن استفاده می شود. در حالتی که هر دو ژنراتور با هم سنکرون شوند، عقربه سنکرون اسکوپ در مقدار صفر قرار می گیرد. که در این حالت می توان کلید سنکرون کننده (K2) را وصل کرد.

پایان