ماشینهای مخصوص الکتریکی

دکترحسن زارع

استادیار دانشگاه فنی وحرفه ای

پیشگفتار

در دنیای امروز استفاده ازماشینهای الکتریکی کلاسیک ومخصوص جزء ضروریات هر کشوری می باشد. با توجه اهمیت انرژی الکتریکی و کاربرد نسبتا زیاد آن در صنایع باید به چگونگی تولید و هم چنین مصرف آن پرداخت.تولید انرژی الکتریکی به طور معمول به صورت مولدها یا ژنراتورهای الکتریکی می باشد که اکثرا از نوع ماشین سنکرون می باشد. از طرفی مصرف کننده الکتریکی ، موتورهایی هستند که در صنایع انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می کنند و پرکاربرد ترین این نوع از موتورها ، القایی وانواع موتورهای مخصوص که در سیستم سرومکانیزم کاربرد دارند می باشد. هدف از ارائه این کتاب جمع آوری مطالب مربوط به ماشین های الکتریکی مخصوص بوده که براساس سرفصل درس ماشین مخصوص مطالب آن تهیه ومی تواند جهت استفاده دانشجویان مهندسی برق در درس ماشین مخصوص الکتریکی قرار گیرد.

این کتاب در شش فصل تهیه شده که درفصل اول موتورهای دوفاز وانواع موتورهای تکفاز مورد بررسی قرار گرفته ودرفصل دوم موتورهای کلکتوردار وکاربرد وسیعی در لوازم خانگی داشته مورد بررسی قرار گرفته وهمینطور در فصل سوم انواع موتورهای سنکرون وکاربرد آنها بررسی شده ودر فصل چهارم موتورهای خطی وکاربردآنها بررسی شده ودر فصل پنجم انواع موتورهای پله ای مورد تجزیه وتحلیل قرار گرفته ودرنهایت در فصل ششم انواع سیستم های سینکرو وسیستمهای وکاربرد آنها مورد بررسی قرار گرفته است.

در پایان از همه کسانی که این جانب را در تنظیم و گردآوری این کتاب یاری نموده اند صمیمانه سپاسگزاری مینمایم و در صورت مشاهده هر گونه ایراد و یا اشکال با ارائه نقطه و نظرات ما را در جهت اصلاح و تقویت مورد عنایت و لطف خود قرار دهند.

باتشکر :حسن زارع

بهار ۱۳۹۳

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه

۱-۱ اشاره به نظریه میدان دوار ۱۰

۱-۲- موتور القایی دو فازه: ۱۱

۱-۳- موتورهای القایی تکفاز مقدماتی ۱۳

۱-۴ - موتورهای فاز شکسته ۲۴

۱-۵ -موتورهای خازنی ۲۷

۱-۶ -موتور با خازن راه انداز ۲۸

۱-۷- ماشین القایی با خازن کار (دائم) ۳۰

۱-۸- موتور با خازن دائم کار و موقت ۳۰

۱-۹-موتور القایی از نوع قطب چاکدار ۳۲

۱-۱۰ -تحلیل موتورهای القایی دو فازه در شرایط نامتعادل ۳۴

۱-۱۱ -«مقایسه موتورهای القایی تکفاز باموتورهای القایی چندفاز با تغذیه متعادل» ۴۰

فصل دوم : موتورهای تکفاز کلکتوردار

۲-۱ مقدمه ۴۱

۲-۲ - بررسی پدیده ولتاژها در موتورها ۴۲

۲-۳ - موتورهای سری: (یونیورسال) ۴۴

۲-۴ موتور های رپولسیونی (دفعی) ۵۳

۲-۵ ساختمان موتور دفعی (ریپولسیونی) ۵۳

فصل سوم : موتورهای سنکرون تکفاز

۳-۱ مقدمه ۵۹

۳-۲- موتورهای سنکرون با مغناطیس دائم ۶۰
۳-۳ -موتورهای رلوکتانسی ۶۵
۳-۴ موتورهای هیسترزیس ۶۹
۳-۵ -موتورهای سنکرون کم‌سرعت ۷۳
۳-۶- موتور سنکرون با قطب پنجه‌ای ۷۴
۳-۷- موتورهای DC بدون جاروبک ۷۶

فصل چهارم : موتورهای خطی: *linier Indction Motor*
۴-۱- مقدمه ۸۵
۴-۲- ساختمان اساسی موتورهای خطی ۸۶
۴-۳ -موتورهای القایی خطی ۸۹
۴-۴- موتورهای خطی یکطرفه ۹۳
۴-۵- اثر ابتدا وانتها در موتورهای خطی ۹۵
۴-۶ - نقش بالشتک هوا در موتورهای خطی ۹۷
۴-۷ ماشین‌های خطی در عمل ۹۸
۴-۸ نمونه‌هایی از کاربردهای موتورهای خطی ۹۹

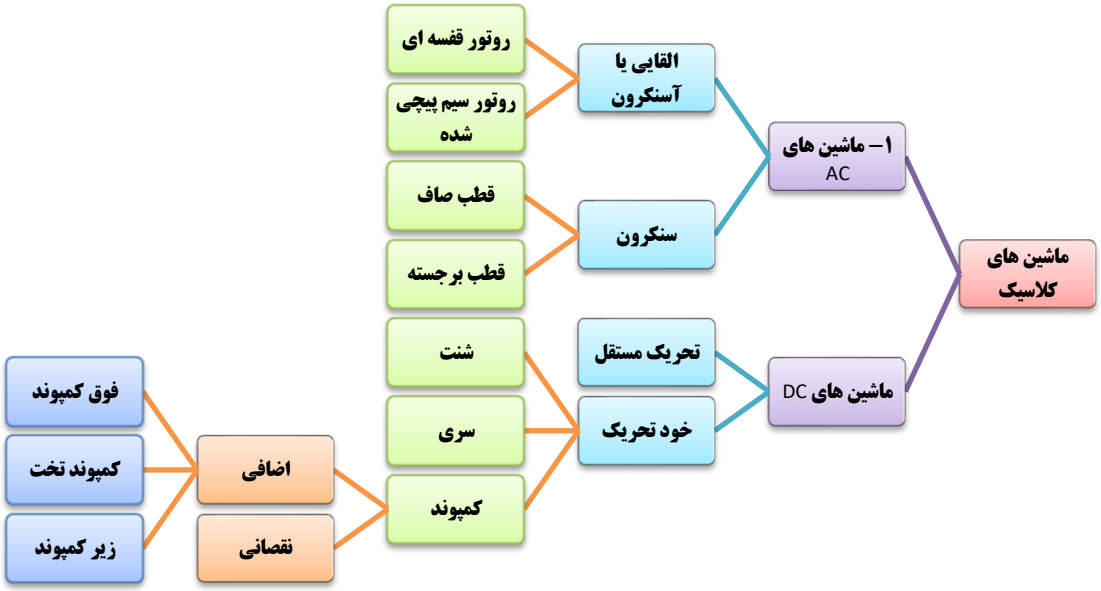
فصل پنجم : سرو موتور: *Servo motor*
۵- ۱- مقدمه ۱۰۵
۵-۲ - ویژگیهای یک سرو موتور ۱۰۵
۵-۳- انواع سروموتور ۱۰۶
۵-۴- چگونگی رساندن یک موتور به سرعت پاسخ بالا ۱۰۹
۵-۵ - تاکومترها: (تاکوژنراتور) ۱۱۲
۵-۶ -موتور قدم به قدم،(موتور پله‌ای): *Steper motor* ۱۱۵
۵-۷ -انواع موتورهای پله‌ای ۱۱۷
۵-۸- موتورهای پله‌ای خطی ۱۲۴
۵-۹ -موتورهای پله ای مختلط ۱۲۴
۵ -۱۰- مدارهای محرک ۱۲۶

فصل ششم : سیستمهای همزمان
۶-۱- مقدمه ۱۳۳
۶-۲- سلسین‌های سه فاز ۱۳۴

۶-۳- سلسین‌های تکفاز یا سینکروها ۱۳۷
۶-۴- سینکرو فرستنده ۱۳۸
۶-۵- سینکرو تبدیل کننده یا سینکرو ترانسفورماتوری CT ۱۳۹
۶-۶- سینکروی تفاضلی ۱۴۱
۶-۷- انتقال گشتاور ۱۴۵
۶-۸- تشخیص خطا *Error Detection* ۱۴۶
۶-۹ موتور شراگ:(موتور سه فاز کموتاتور ۱۴۸

مقدمه

امروزه ماشینهای الکتریکی نقش بسیار ارزندهای در زندگی بشر متمدن ایفا می کنند فی المثل نقش ژنراتور در تامین انرژی الکتریکی ، واز طرفی باید توجه نمود که اکثر لوازم موجود در خانه ها ، ادارات ، مراکز تجاری ، و مراکز صنعتی مجهز به موتور های الکتریکی هستند. به غیر از موتورهای القایی سه فاز و تکفاز ***AC*** که در مصارف خانگی و صنعتی کاربرد فراوان دارد، موتورهای مخصوص دیگری نیز وجود دارد که عمومیت موتورهای القایی را ندارند اما در موارد خاص مورد استفاده قرار می گیرند. ماشینهای الکتریکی به دوسته کلاسیک ومخصوص تقشیم بندی می شوند، از طرفی ماشینهای کلاسیک نیز به دو دسته ماشینهای ***AC*** و ***DC*** بصورت نمودار زیر تقسیم می گردند.



مبانی ماشین ***AC*** بر اساس میدان دوار واساس کار ماشین ***DC*** بر اساس تاثیر نیرو برسیم حامل جریان در میدان مغناطیسی (نیروی لورنس) می باشد. این تفاوتها مبتنی بر این نوع نظریه ها باعث این شد تا این دو ماشین ***AC*** و ***DC*** در ساختمان و رفتار و تحلیل جدا از هم باشد.

۱-۱ اشاره به نظریه میدان دوار:

اگر دو میدان دوار هم سرعت داشته باشیم از تاثیر متقابل این دو میدان که یکی توسط استاتور و دیگری توسط روتور ایجاد شوند گشتاوری حاصل می شود که متناسب با حاصلضرب خارجی این دو بردار می شود.

$$T=KB_S.B_r \Rightarrow T=KB_SB_r \qquad (۱-۱)$$

نکته ۱ : این دو بردار بایستی هم سرعت مخالف صفر باشد و هم همفاز نباشد.

نکته ۲ : ماشین ***AC*** چه سنکرون و چه آسنکرون باید از این نظریه تبعیت کند و از طرفی برای ایجاد میدان دوار دو روش قابل استفاده می باشد. در روش تئوری باگردش یک آهنربا حول محور خود میدانی حاصل می شود که کاربردی نیست بلکه تئوری است.

اما روشهایی که برای میدان دوار به کار می رود *عبارتند* از:

۱) سیم پیچ تحریک ***DC*** یا چرخ قطب

۲) استفاده از سیم پیچ چندفاز متقارن.

این دو میدان اگر به روش دوم استفاده شود ماشین القایی یا آسنکرون حاصل می شودو اگر یکی از این دو میدان که معمولاً روتور می باشد از روش اول استفاده شود ماشین حاصله ماشین سنکرون می باشد. میدان دوار در ماشین سه فازه به صورت $B_{nt}=\frac{3}{2}B_m\cos(\theta-\omega t)$ می باشد که $\mathbf{B_{n.t}}$ معادله برداری است که در جهت مثلثاتی به صورت دایره ای جابجا می شود از طرف دیگر.شرط اینکه فرمول بدست آمده معادله یک میدان دوار باشد این می باشد که:

۱) شار در هر نقطه تابع زمان باشد

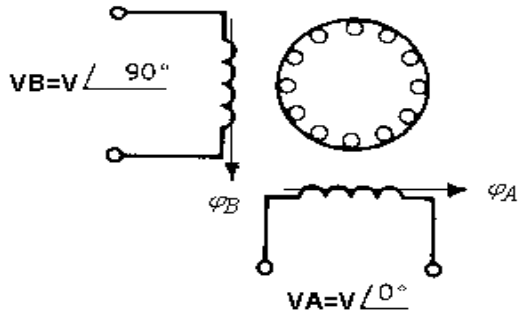
۲) شار در هر نقطه ای تابعی از وضعیت مکانی آن نقطه باشد که در اینجا وضعیت مکانی را با θ نشان داده ایم .

۳) دامنه شار ثابت باشد که در این جا $\frac{3}{2}B_m$ دامنه شار می باشد.

برای ایجاد میدان دوار متقارن لازم است که اولاً **m** کلاف مشابه در محیط ماشین به طور متقارن توزیع شده باشد ثانیاً این **m** کلاف توسط یک منبع **m** فازه کاملاً مشابه که اختلاف فاز آنها دقیقاً متقارن باشد وصل شود که رعایت تقارن زمانی فازها لازم می باشد.

۱-۲- موتور القایی دو فازه:

برای تحلیل موتورهای القایی تکفاز ابتدا باید موتور القایی دو فاز را مورد بررسی قرار داده شود.(شکل ۱) شمای یک موتور دوفاز را نشان می دهد.



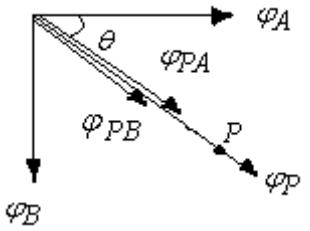
شکل (۱) شمای موتور دوفاز

موتور القایی دو فازه حاوی دو سیم پیچ است که محور مغناطیسی آنها از نظر مکانی و فضایی با هم ۹۰° درجه اختلاف فاز دارند و فرض کنید این دو سیم پیچ کاملاً مشابه در این صورت شار حاصله توسط این دو سیم پیچ برابر φ_A,φ_B می باشد و φ_m مقدار ماکزیمم شار می باشد.

$$\varphi_A=\varphi_m\cos wt$$

$$\varphi_B=\varphi_m\sin wt$$

فوران سیم پیچ در هر نقطه در فضای بین استاتور وروتور مانند شکل(۲) در نقطه ای مانند **P** برابر است با:



شکل (۲) نمودار موتور دوفاز

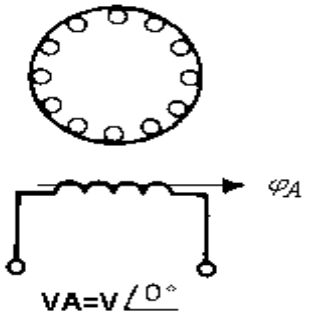
$$\varphi_{PA}=\varphi_A\cos\theta$$
$$\varphi_{PB}=\varphi_B\cos(90-\theta)=\varphi_B\sin\theta$$
$$\varphi_P=\varphi_{PA}+\varphi_{PB}=\varphi_A\cos\theta+\varphi_B\sin\theta$$
$$\varphi_P=\varphi_m\cos\omega t\cos\theta+\varphi_m\sin\omega t.\sin\theta$$
$$\varphi_P=\frac{\varphi_m}{2}[\cos(\omega t+\theta)+\cos(\omega t-\theta)+\cos(\omega t+\theta)+\cos(\omega t-\theta)]$$
$$\varphi_P=\varphi_m\cos(\omega t-\theta) \qquad (۲-۱)$$

کل فوران در نقطه ***P*** برابر است با:

با توجه به فرمول(۱-۲) فوران در هر نقطه مانند **P** تمامی شرایط گفته شده میدان دوار را داشته ، فقط فرق موتور دو فاز وسه فاز در مقدار دامنه می باشد.بنابراین موتور دوفاز متعادل همانند موتور سه فاز اختیاج به راه انداز کمکی نداشته ولی نسبت به موتور سه فاز یک سوم کم شده است.

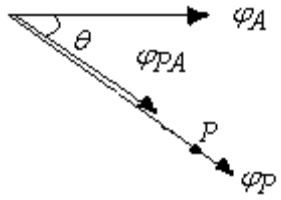
۳-۱- موتورهای القایی تکفاز مقدماتی:

به طور کلّی ساختمان یک موتور الکتریکی تکفاز، شکل (۳) مشابه یک موتور الکتریکی سه فاز یا دو فاز است؛ ولی آرایش سیم پیچی آن متفاوت است. استاتور این نوع موتور تنها یک سیم پیچی اصلی برای تولید قدرت در ماشین دارد. لکن، به علت آنکه موتور القایی تکفاز، فاقد گشتاور راه‌اندازی است (این موضوع در قسمت بعدی همین فصل مورد مطالعه قرار می‌گیرد)، ترتیبات لازم برای تولید این گشتاور به روشهای مختلف، از جمله اضافه کردن یک سیم پیچی فرعی دراستاتور، به عمل می‌آید.



شکل (۳) نمودار موتور تکفاز

در این موتوراگر ولتاژ **VA** را به سیم پیچ اعمال نماییم فورانی مانند φ_A درسیم پیچ در هر نقطه در فضای بین استاتور وروتورایجاد می شود شکل(۴)مقدار این فوران در هرنقطه ای مانند **P** برابر است با:



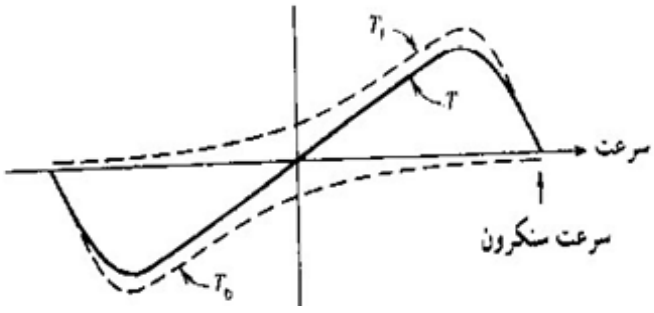
شکل **(۴)** نمودار موتور دوفاز

$$\varphi_A = \varphi_m \cos \omega t$$
$$\varphi_{PA} = \varphi_A \cos \theta$$
$$\varphi_P = \varphi_{PA} = \varphi_m \cos \omega t . \cos \theta \qquad (۳-۱)$$
$$\varphi_P = \varphi_m \cos \omega t . \cos \theta = \frac{\varphi_m}{2} [\cos (\theta - \omega t) + \cos (\theta + \omega t)]$$

با توجه به فرمول (۱-۳) فوران در هر نقطه مانند **P** دارای دو میدان با دامنه یکسان ولی یکی راستگرد ودیگری چپگرد می باشدکه این عملا باعث عدم راه اندازی این موتور می شود.

۱-۳-۱- بررسی کیفی یک موتور القایی تکفاز:

مطابق فرمول(۱-۳). اگر تنها سیم‌پیچی موجود در این ماشین با یک ولتاژ سینوسی تغذیه شود، دو میدان گردان هم با سرعتهای ω_s و $-\omega_s$ تولید خواهد شد، که هر کدام به نوبهٔ خود، مانند میدان گردان در یک موتور القایی معمولی رفتار و گشتاورهایی در دو جهت مخالف تولید می‌کنند. به همین دلیل گشتاورهای راه‌اندازی ناشی از هر دو مؤلفه نیز، برابر و در جهت های مخالف هم هستند و گشتاور منتجه آنها صفر می‌شود. به عبارت دیگر، موتور القایی تکفاز با یک سیم‌پیچی فاز فاقد گشتاور راه‌اندازی است.شکل (۵) چگونگی این موضوع را نشان می‌دهد.



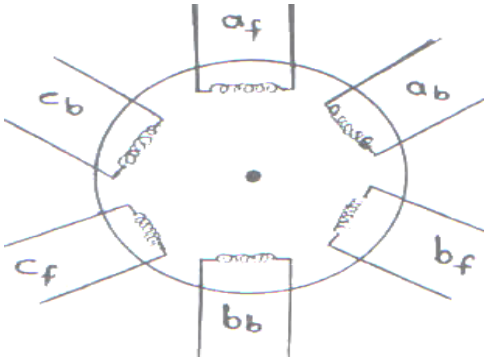
شکل(۵) مشخصه های گشتاور- سرعت یک موتور القایی تک فاز

در شکل (۵) منحنی‌های خط چین گشتاور تولید شده توسط هر یک از مؤلفه‌ها و خط پر جمع جبری دو گشتاور در سرعتهای مساوی را نمایش می‌دهند. مطابق شکل، جمع جبری مؤلفه‌های **Tf** و **Tb** تنها در سرعت صفر (سکون) برابر صفر است و در هر سرعت غیر صفر، دارای مقداری غیر صفر است. در نتیجه اگر موتور توسط هر عاملی، حتی یک عامل خارجی، در یک جهت گردانده شود، مؤلفه گشتاور تولید شده موتور در همان جهت، بر گشتاور مخالف خود غالب شده و موتور در جهت مزبور خواهد چرخید. لذا، برای استفاده از موتورهای تکفاز در مصارف مختلف، روشهای مختلفی به کار گرفته می‌شود تا گشتاور راه‌اندازی لازم را بر حسب مورد بوجود آورد. موتورهای القایی تکفاز بر اساس چگونگی روش راه‌اندازی دسته‌بندی می‌شوند. این موضوع در قسمت بعدی به طور کامل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

یادآوری می‌شود که فرض ثابت بودن دامنهٔ میدانهای تولید کنندهٔ گشتاور در سرعتهای مختلف یک فرض نادرست است ودر واقع اگرچنین بود، نه تنها دامنهٔ مؤلفه غالب میدان‌گردان، درمقایسه با کل میدان تولید شده توسط سیم‌پیچی چندان بزرگ نبود، بلکه مقدار زیادی از این میدان، توسط مؤلفه مخالف میدان‌گردان خنثی می‌شد. اما خوشبختانه شرایط موجود برای یک موتور در حال کار، وقتی که موتور در یک جهت (مثلاً جهت **f**) از حالت سکون به چرخش در می‌آید، فرکانس و اندازهٔ مؤلفهٔ متناظر جریان روتور، نسبت به حالت سکون، شروع به کاهش می‌کند و در عین حال ضریب توان مربوط به این مؤلفه، به علت کاهش فرکانس جریان روتور افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، فرکانس آن مؤلفه از جریان روتور که توسط میدان معکوس تولید می‌شود رو به افزایش می‌گذارد و به کاهش ضریب توان این مؤلفه منجر می‌شود. در نتیجه، نه تنهادامنهٔ گشتاور تولید شده توسط مؤلفهٔ مستقیم به طور قابل توجهی بیشتر ازمقدار متناظرناشی از **Fm** ۰.۵ می گردد بلکه گشتاور مخالف نیز کاهش می یابد وشرایط را بمراتب مساعدتر می‌سازد به طوری که در حدود لغزش ۰.۰۴ تا ۰.۰۵ گشتاور مستقیم چندین برابر گشتاور مؤلفهٔ معکوس می‌شود و گشتاور کل با گشتاور یک موتور با تغذیه از شبکهٔ متعادل، تفاوت چندان زیادی پیدا نمی‌کند. در موتورهای تکفاز فرکانس توان لحظه ای معادل دوبرابر فرکانس منبع تغذیه است،لذا یک مؤلفهٔ دیگر گشتاور با فرکانس دو برابر فرکانس تغذیه، در اثر عمل متقابل فلو و **mmf** منتجهٔ گردان در فاصلهٔ هوایی در دو جهت مخالف تولید می‌شود که مقدار متوسط آن صفر است. در اثر این مؤلفه یک گشتاور ضربانی تولید می‌شود که، موجب پر سر و صدا شدن موتور تکفاز می‌گردد. در عمل، با استفاده از اتصالات لاستیکی بین موتور و شاسی (محل نصب موتور)، اثر این ارتعاشات را به حداقل می‌رسانند.

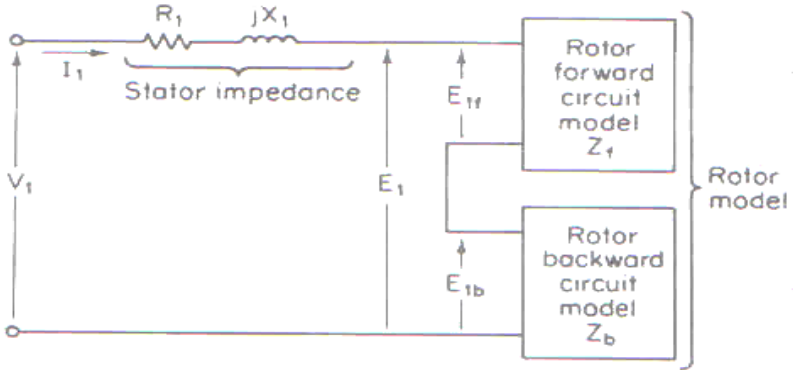
۱-۳-۲- قضیه لبلان

در حالت یک فازه دو موج چرخشی φ_b, φ_f شکل می گیرند که از نظر دامنه با هم برابر و هر کدام گشتاور مساوی اما مختلف الجهت ایجاد می کند طبق نظریه میدان دوار با یک فاز میدان دوار تولید نمی شود و میدان سیم پیچ یک فاز متغیر ولی ضربانی می باشد (قضیهٔ لبلان)طبق قضیه لبلان میتوان سیم پیچی یکفاز را که دارای میدان ضربانی می باشد به دو سیم پیچ سه فاز مطابق شکل(۶)در نظرگرفت که یک سیم پیچ مولد میدان راستگرد و دیگر مولد میدان چپگرد می باشد.



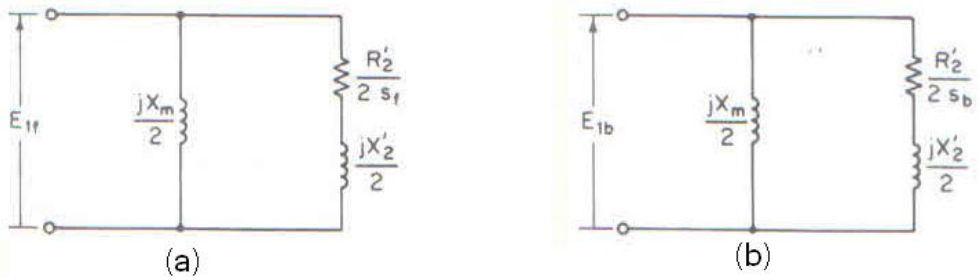
شکل (۶) شمای موتور یکفاز از دید لبلان

بنابراین سیم پیچ موتور تکفاز به سیم پیچ دو موتور سه فاز که دارای میدان راستگرد وچپگرد می باشند مطابق شکل (۷) تبدیل می شود



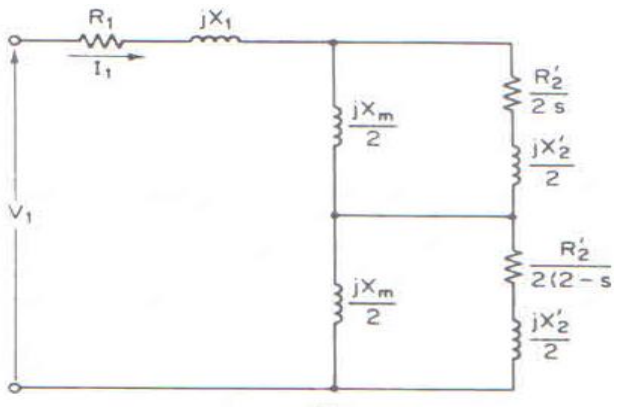
شکل (۷) مدار معادل بصورت مفهومی

هریک ازبلوک های راستگرد وچپگرد مطابق شکل (۸) دارای مدار معادلی شبیه به موتور سه فاز در حالت راستگرد نمودار **(a)** و حالت چپگرد نمودار **(b)** دارد.



شکل (۸) مدار معادل درحالت راستگرد وچپگرد

واگر بلوک های شکل (۸) را در شکل (۷) قرار دهیم شکل (۹) که مدار معدل موتور تکفاز مقدماتی می باشد بدست می آید



شکل (۹) مدار معادل موتور تکفاز مقدماتی

دراین شکل S_b, S_f لغزش درحالت راستگرد وچپگرد می باشد برابر است با:

$$E_1 f = E_1 b = \frac{E_1}{2}$$

$$S_f = S = \frac{ns - nr}{ns} = 1 - \frac{nr}{ns} \Rightarrow S_f = S \quad (۴-۱)$$

$$S_b = \frac{ns - (-nr)}{ns} = \frac{ns + nr}{ns} = 1 + \frac{nr}{ns} \Rightarrow S_b = 2 - S \quad (۵-۱)$$

امپدانس راستگرد برابر است با:

$$Z_f = \frac{(j\frac{x'_2}{2} + \frac{R_2}{2s}) j\frac{Xm}{2}}{j(\frac{x'_2}{2} + \frac{Xm}{2}) + \frac{R_2}{2s}} \quad (۶-۱)$$

و امپدانس چپگرد برابر است با:

$$Z_b = \frac{g(j\frac{x_2}{2} + \frac{R_2}{2(2-s)}) j\frac{x_m}{2}}{j(\frac{x'_2}{2} + \frac{x_m}{2}) + \frac{R_2}{2(2-s)}} \quad (۷-۱)$$

۱-۳- ۴توان و گشتاور:

دراین قسمت با فرض اینکه موتور تکفاز مقدماتی به صورت دستی راه اندازی وتحت لغزش S در حرکت باشد توان ورودی بصورت زیر تعیین می شود.

$$E_1 f = E_1 b = \frac{E_1}{2}$$

توان ورودی $Pin = V.I.\cos\varphi$ (۸-۱)

مقداری از توان ورودی صرف تلفات مسی استاتور می شود که برابراست با:

تلفات استاتور $P_{LS}=RI_1^2$ (۹-۱)

درصورتی که ازتوان ورودی تلفات استاتور کم شود، توان فاصله هوایی بدست می آید

توان فاصله هوایی $P_g=P_{in}-P_{LS}$ (۱۰-۱)

توان فاصله هوایی به دوقسمت راستگرد وچپگرد تقسیم می شود در نتیجه داریم :

$$\begin{cases} P_g=P_{gf}+P_{gb} & \text{توان فاصله هوایی کل} \quad (۱۱-۱) \\ P_{gf}=R_f.I_1^2 & \text{توان فاصله هوایی راستگرد} \\ P_{gb}=R_b.I_1^2 & \text{توان فاصله هوایی چپ گرد} \end{cases}$$

در این صورت تلفات مسی روتور درحالت راستگرد وچپگرد برابراست با:

تلفات روتور ناشی از فوران راستگرد $P_{Lrf}=S_f.P_{gf}=S.P_{gf}$ (۱۲-۱)

تلفات روتور ناشی از فوران چپگرد $P_{Lrb}=s_b.P_{gb}=(2-s)P_{gb}$ (۱۳-۱)

ودر صورتی که تلفات مسی از تلفات فاصله هوایی کم شود توان مکانیکی بدست می آید:

فوران مکانیکی راستگرد $P_{mf}=P_{gf}-P_{Lrf}=P_{gf}-SP_{gf}=P_{gf}(1-s)$ (۱۴-۱)

فوران مکانیکی چپگرد $P_{mb}=P_{gb}-P_{Lrb}=P_{gb}-SP_{gb}=P_{gb}(1-s)$ (۱۵-۱)

کل $P_m=P_{mf}+P_{mb}=P_{gf}(1-s)+P_{gb}(s-1)=(1-s)(P_{gf}-P_{gb})$ (۱۶-۱)

وتوان خروجی برابراست با: $P_o=P_m-P_{rot}-P_{core}\rightarrow \Delta P$ (۱۷-۱)

$$T_o=\frac{P_o}{\omega_r}$$

گشتاور خروجی موتور برابر است با:

که $\omega_r=\omega_s(1-s)$ ودرنتیجه گشتاور خروجی برابر است با:

$$T_o=\frac{P_o}{\omega_s(1-s)} \quad (۱۸-۱)$$

مثال:

مشخصات یک موتور القایی ۰.۲۵ اسب بخاری چهارقطب Hz ۵۰و ۱۱۰ ولت در لغزش ۵٪ به قرار زیر است:

$$Z_1=۱/۸۶+j۲/۵۶\Omega \qquad R_2=۳/۵۶ \qquad X_m=۵۳/۵\Omega \qquad X_2'=۲/۶\Omega$$

مطلوبست محاسبه الف) توان حاصله توسط موتور – توان خروجی و $\cos\varphi$

ب) توان ورودی – گشتاور خروجی – ضریب بهرهٔ تلفات ثابت ۱۵ وات است)

$$Z_f = \frac{(j۱/۳ + \frac{۳/۵۶}{۲\times۰/۰۵}) j\frac{۵۳/۵}{۲}}{j۱/۳ + \frac{۳/۵۶}{۲\times۰/۰۵} + j\frac{۵۳/۵}{۲}} \Rightarrow Z_f = ۱۲/۴ + j۱۶/۹۸$$

$$Z_b = \frac{(\frac{۳/۵۶}{۲(۲-۰/۰۵)} + j۱/۳) j\frac{۵۳/۵}{۲}}{\frac{۳/۵}{۲(۲-۰/۰۵)} + j۱/۳ + j\frac{۵۳/۵}{۲}} \Rightarrow ۰/۸۳ + j۱/۲۶$$

$$I_۱ = \frac{V_۱}{Z} = \frac{۱۱\angle ۰}{(۱/۸۶+۱۲/۴+۰/۸۳)+j(۲/۵۶+۱۶/۹۸+۱/۲۶)} = \frac{۱۱\angle ۰}{۵/۷\angle ۵۴/۰۵}$$

$$I_۱ = ۴/۲۵\angle -۵۴/۰۵$$

$$I_۱ = \frac{V_۱}{Z_۱ + Zf + Zb}$$

$$P_{in} = V_۱ . I_۱ \cos\varphi = ۱۱ \times ۴/۲۵ \times \cos ۵۴/۰۵ = ۲۷/۳۸۱$$

$$P_{Ls} = R_1 I_1^2 , 1.86 \times (4.25)^2 = 33.59$$

$$P_g = ۲۷/۳۸۳ - ۳۳/۵۹ = ۲۴۷/۷ \qquad P_{gf} = R_f . I_۱^۲ = ۱۲/۴ \times (۴/۲۵)^۲ = ۲۲۷/۱۲$$

$$P_{gb} = R_b . I_۱^۲ = P_g - P_{gf} = ۲۴۷/۷۸ - ۲۲۷/۱۲۵ = ۱۵/۶۵ W \quad P_{gb} = ۱۵/۶۵ W$$

$$P_{Lrf} = S P_{gf} = ۰/۰۵ \times ۲۲۷/۱۲۵ = ۱۷۳۵ W$$

$$P_{Lrb} = (2-s) P_{gb} = 30/51$$

$$P_{mf} = P_{gf} - P_{Lrf} = ۲۲۷/۱۲۵ - ۱۷۳۵ = ۲۱۵۷ W$$

$$P_{mb} = P_{gb} - P_{Lrb} = ۱۵/۶۵ - ۳۰/۵۱ = ۱۴/۸۶ w$$

$$P_m = P_{mf} + P_{mb} = ۲۱۵۷ - ۱۴/۸۶ = ۲۰۱/۸۲$$

$$\eta = \frac{P_\circ}{P_{in}} = \frac{۱۸۵/۸۴}{۲۷/۳۸۳} = \%۶۷$$

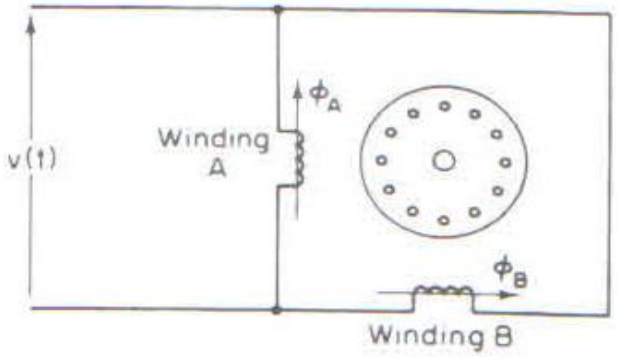
$$\omega_s = \frac{2\pi ns}{60} = 2\pi \times \frac{120f}{P} = \frac{2\pi}{60} \times \frac{120\times 50}{4} = 15$$

$$P_\circ = P_m - P_{rot} = ۲۰۱/۸۴ - ۱۵ = ۱۸۵/۸۴$$

$$T_\circ = \frac{P_\circ}{\omega_r} = \frac{185.84}{150(1-0/05)} = 1/24 N.m$$

۱-۳-۵- راه اندازی موتورهای القایی تکفاز:

موتورهای القایی تکفاز، بر اساس روش ایجاد گشتاور راه اندازی، دسته بندی می شوند. و انتخاب روش راه اندازی به رفتار مورد انتظار از موتور و بالاخص اندازه گشتاور راه اندازی مورد نظر بستگی دارد. قیمت این نوع موتورها به طور قابل توجهی تابع قدرت و روش راه اندازی است و در نتیجه در صورت نیاز به تعداد زیادی از یک نوع موتور برای کاربرد خاص، ممکن است طراحی و تولید یک موتور جدید از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر از استفاده از یک طرح موجود باشد.در تمام روشها، موتور تکفاز به طور موقت یا دائم به یک موتور دو فاز نامتعادل تبدیل می شود و گشتاور راه اندازی مورد نیاز را تولید می کند. برای ایجاد چنین شرایطی لازم است یک میدان دیگر علاوه بر میدان سیم پیچی اصلی در موتور بوجود آید، که از نظر مکانی و زمانی نسبت به میدان اصلی اختلاف فاز داشته باشد.شکل(۱۰) نمودار موتور تکفاز با یک سیم پیچ را انداز را نشان می دهد



شکل(۱۰) نمودار موتور تکفاز با سیم پیچ اضافه

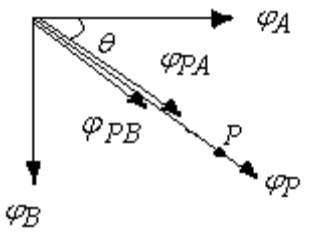
برای بدست آوردن مقدار فوران کل سیم پیچ درهر نقطه در فضای ماشین داریم:

$$\varphi_A=\varphi_m\cos\omega t \quad \varphi_P=\varphi_{PA}+\varphi_{PB}$$

$$\varphi_B=\varphi_m\cos(\omega t-\varphi) \quad \varphi_P=\varphi_A\cos\theta+\varphi_B\sin\theta$$

$$\varphi_{PA}=\varphi_A\cos\theta$$

مطابق نمودارشکل (۱۱)داریم:



شکل (۱۱) نمودار موتور دوفاز

فوران سیم پیچ B برابر است با:

$$\varphi_{PB}=\varphi_B\sin\theta$$

$$\varphi_P=\varphi_m\cos wt\cos\theta+\varphi_m\cos(wt-\theta)\sin\theta$$

$$\varphi_P\frac{\varphi_m}{2}[\cos(wt+\theta)+\cos(wt-\theta)+\cos(wt-\varphi+\theta)-\cos(wt-\varphi+\theta)]$$

فوران کل سیم پیچ برابر است با:

$$\varphi_P=\frac{\varphi_m}{2}[afr\cos(wt-\theta)+afi\sin(\theta-wt)-abr\cos(\theta+wt)+abi\sin(\theta+wt)]$$

$$afr=1+\sin\varphi \qquad abr=1-\sin\varphi$$

$$afr=\cos\varphi \qquad abr=\cos\varphi$$

$$\varphi_P=\frac{\varphi_m}{2}[af.\cos(\theta-wt-\alpha f)+ab\cos(\theta+wt+\alpha b)] \quad (۱۹-۱)$$

$$af=\sqrt{afr^2+afi^2}=\sqrt{(1+\sin\varphi)^2+\cos^2\varphi}=2+2\sin\varphi$$

$$af=\sqrt{abr^2+abi^2}=\sqrt{(1-\sin\varphi)^2+\cos^2\varphi}=2-2\sin\varphi$$

با توجه به اینکه afi بزرگتر از ab می باشد مؤلفه راستگرد برمؤلفه چپگرد ارجعیت دارد و موتور در جهت راستگرد به چرخش در می آید. با توجه به فرمول هر چقدر زاویه φ بزرگتر باشد فوران راستگرد بیشتر بوده و موتور با گشتاور راه اندازی بهتری بکار می افتد.

با توجه به اینکه مقدار زاویهφ چه اندازه باشد انواع موتور تکفاز طبقه بندی می شوند که عبارتند از:

۱) موتور فاز شکسته ***Split Phase Motor***

۲) موتور با خازن راه انداز ***Capacitor Start Motor***

۳) موتور با خازن دائم کار ***Capacitor Run Motor***

۴) موتور با خازن دائم کار و راه انداز ***Capacitor Start / Capacitor Run motor***

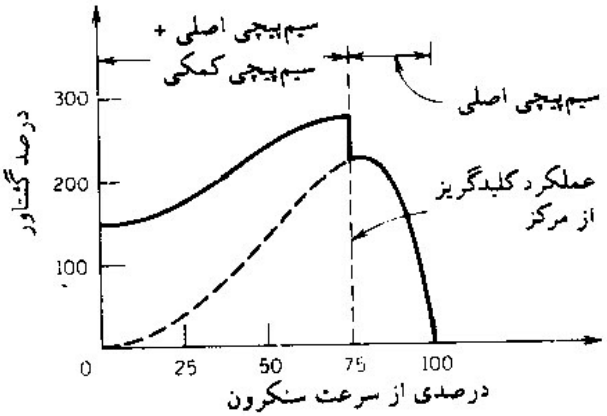
۵) موتورهای قطب چاکدار ***Shaded Pole Motor***

۱-۴ - موتورهای فاز شکسته:

۱-۴-۱ ساختمان موتور فاز شکسته

عبارت است از موتورهایی که طراح طوری طرح که که یک سیم پیچ شدیداً اهمی و یک سیم پیچ شدیداً القایی شود البته با این حال هر دو سیم پیچ به خاطر وجود سلف درمدار جریان عبوری از سیم پیچ ها نسبت به ولتاژ

دارای اختلاف فازی برای اینکه یک سیم پیچ اهمی تر شود از سیم نازکتر استفاده می شود. $\frac{R_a}{x_a} > \frac{R_m}{x_m}$ یعنی اینکه سیم پیچ کمکی اهمی تر باشد زاویه بین جریان طرفی مقدار گشتاور درموتور های تکفاز برابر است با: $T = K I_m I_a \sin\varphi$ که φ زاویه جریان بین سیم پیچی اصلی وکمکی می باشد .با توجه به این دو سیم پیچی از لحاظ ساختاری متفاوت می باشد بنابراین در موتور گشتاور راه اندازی مطابق شکل (۱۲) در موتور پدید می آید که باعث راه اندازی موتور می شود.



شکل (۱۲)مشخصه گشتاور سرعت موتور فاز شکسته

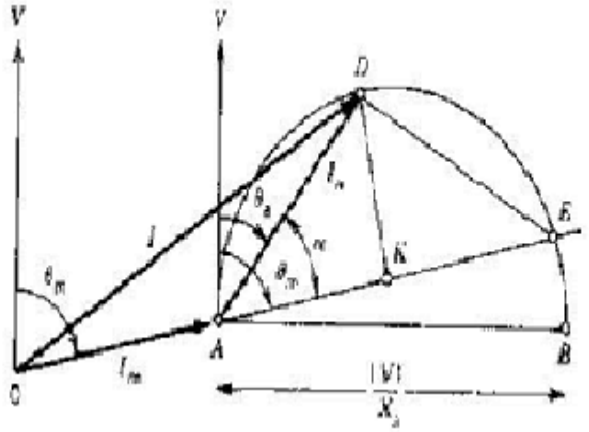
۱-۴-۲- بررسی ضرورت ابقاء یا حذف سیم پیچ کمکی پس از راه اندازی موتور فاز شکسته:

با توجه به نوع طراحی ماشین که در حالت راه اندازی و حالت کار عادی اختلاف فاز چقدر می باشد می توان سیم پیچ در مدار باشد یا نباشد. برای این کار منحنی مشخصه گشتاور سرعت در هر دو حالت بدست آورده و با توجه به مشخصه گشتاور بار تصمیم می گیریم که سیم پیچ کمکی را حذف کنیم یانه. بطور کلی در موتور فاز شکسته اگر در قدرتهای بالا که قدرت این موتورها چند وات تا چند صد وات است مورد استفاده قرار گیرد سیم پیچ کمکی را از مدار خارج نمی کنند چون استفاده از کلید گریز از مرکز با مشکلاتی مواجه است این موتورها معمولاً در قدرتهای $\frac{1}{30}$ الی $\frac{1}{8}$ اسب بخار استفاده می شود از این موتورها معمولاً در فنها، یخچالها و پمپهای گریز از مرکز استفاده می شود.در موتورهای فاز شکسته سیم پیچ اصلی طوری طراحی می شود که عملکرد موتور در شرایط کار عادی ارضا کننده باشد سیم پیچ کمکی در این موتورها به نحوی طراحی می شود تا در مجاورت سیم پیچ اصلی گشتاور راه اندازی مورد نیاز را بدون افزایش جریان راه اندازی پدید آوریم بر این اساس برای گشتاور راه اندازی مطلوب مقاومت به سیم پیچ کمکی اضافه می نمایم.

اگر $Z_m = R_m + jX_m$ =اصلی و $Z_A = R_A + jX_A$

نحوه محاسبه مقاومت کمکی جهت حداکثر گشتاور راه اندازی:

نمودار فازوری موتوردر شکل (۱۳) نشان داده شده است.



شکل (۱۳)نمودارفازوری موتورفاز شکسته

مطابق نمودار بالا مقدار گشتاور برابر است با :

$$T=KI_mI_a\sin\alpha$$

که درآن I برابر است با:

$$I=I_a+I_m$$

و α برابراست با:

$$\alpha=\Delta_m I_a \qquad \alpha=\theta_a-\theta_m$$

از طرفی مطابق نمودارشکل (۱۳) وقتی گشتاور حداکثر می شود که $\theta_a=\frac{\theta_m}{۲}$ و $I_a\sin\alpha$ حداکثر باشد پس بنابراین داریم:

وقتی $R_a=\infty$ داریم $I=I_m$ و وقتی $R_a=۰$ داریم $I_a=\frac{V}{X_a}$

وازطرفی داریم $\cot g\theta_a=\cot g\frac{\theta_m}{۲}$ و $\cot g\theta_a=\frac{R_a}{X_a}$

$$\cot g\frac{\theta_m}{۲}=\frac{\cos\frac{\theta_m}{۲}}{\sin\frac{\theta_m}{۲}}$$

$$\sin۲\theta_m=۲\sin\theta_m\cos\theta_m$$

$$\sin\theta_m=۲\sin\frac{\theta_m}{۲}-\cos\frac{\theta_m}{۲} \Rightarrow \sin\frac{\theta_m}{۲}=\frac{\sin\frac{\theta_m}{۲}}{۲\cos\frac{\theta_m}{۲}}$$

$$\cot g\frac{\theta_m}{۲}=\frac{\cos\frac{\theta_m}{۲}}{\frac{\sin\frac{\theta_m}{۲}}{۲\cos\frac{\theta_m}{۲}}}=\frac{۲\cos\frac{\theta_m}{۲}}{\sin\frac{\theta_m}{۲}}=\frac{۲(۱+\cos۲\theta_m)}{\sin\theta_m}=\frac{۱+\cos\frac{\theta_m}{۲}}{\sin\theta_m}$$

$$= \frac{1+\frac{R_m}{|Z_m|}}{\frac{X_m}{|Z_m|}} = \frac{|Z_m|+R_m}{X_m} \Rightarrow R_a = \frac{X_a}{X_m}(|Z_m|+R_m) \quad (۲۰-۱)$$

بنابراین موتور تکفاز فاز شکسته وقتی دارای حداکثر گشتاور راه اندازی می باشد که مجموع مقاومت سیم پیچ کمکی برابر **Ra** باشد.

۱-۵ موتورهای خازنی:

در این روش نیز یک سیم پیچی دیگر، به نام سیم پیچ کمکی یاراه انداز در استاتور قرار می دهند و موتور را عملاً به صورت یک موتور دو فاز نامتعادل در می آورند. در این روش یک یا دو خازن بر حسب مورد سری با سیم پیچی کمکی

بسته می گردد و مجموعه به صورت موازی با سیم پیچی اصلی از شبکه تکفاز تغذیه می شود. وجود خازن در مسیر سیم پیچی کمکی، موجب ایجاد اختلاف فاز لازم بین جریانهای دو سیم پیچی اصلی و کمکی می گردد و بنابراین این دسته موتورها را نیز می توان جزو گروه موتورهای با فاز تقسیم شده به حساب آورد.

موتورهای خازنی به سه دسته زیر تقسیم می شوند:

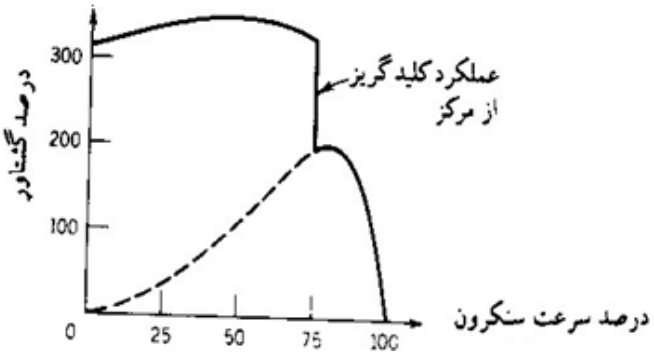
الف) موتورهای با یک خازن موقت (موتور با راه انداز خازنی)

ب) موتورهای با یک خازن دائم

ج) موتورهای دو خازنی شامل یک خازن دائم و یک خازن موقت

۱-۶ موتور با خازن راه انداز:

در ماشین با خازن راه انداز برای حالت راه اندازی، تعامد دقیق دو جریان را رعایت می کنیم این جریان دو فوران ضربانی متعامد را بوجود می آورد که جمع آنها میدان دوار را نتیجه می دهد شکل (۱۴) نمودار گشتاور سرعت در این حالت را نشان می دهد،از طرفی با افزایش سرعت ماشین، و تغیر لغزش بدلیل ثابت بودن مقدار خازن اختلاف فاز جریان های هر سیم پیچ کاهش می یابد. در واقع مصنوعی بودن فاز دوم لومیرود و نهایتاً به جایی می رسیم که در حالت عادی اختلاف فاز دو جریان بقدری کم است که عدم تقارن شدید میدان دیده می شود. در این حالت ترجیح می دهیم با قطع سیم پیچ کمکی ماشین به صورت تکفاز بکار خود ادامه دهد.



شکل(۱۴)نمودار گشتاور سرعت موتور تکفاز با خازن راه انداز

برای اینکه در این نوع موتورها حداکثر گشتاور را در لحظه راه اندازی داشته باشیم مقدارخازن X_C مورد نیاز برابر است با:

$$X_C = X_a + \frac{-X_m R_a + |Z_m|\sqrt{R_a(R_a+R_m)}}{R_m} \qquad (۲۱-۱)$$

بعد از راه اندازی با توجه به تغیرات لغزش مقادیرمدار معادل موتور تغیر نمود که باید با استفاده از کلید گریز ازمرکز خازن وسیم پیچ کمکی را از مدار خارج می کنند.

مثال: یک موتور القایی ۴ قطبی ۱۲۰ ولت **Hz** ۶۰ مفروض است در شرایط سکون و فرکانس اسمی داریم

$$Z_m = ۱/۵ + j۴ \quad Z_a = ۳ + j۶ \rightarrow X_a$$

الف- چه مقدار مقاومت اضافی به سیم پیچ کمکی بیافزاییم تا ماشین فاز شکسته دارای گشتاور راه اندازی ماکزیمم باشد.

$$R_a = \frac{X_a}{X_m}(R_m + |Z_m|)$$

ب- اگر بخواهیم ماشین همانند ماشین با خازن راه انداز مورد بهره برداری قرار گیرد چه مقدار خازن با سیم پیچ کمکی سری کنیم تا گشتاور ماکزیمم را دارا باشد.

$$X_C = ۶ + \frac{۳ + ۱/۵}{\sqrt{(۱/۵)^۲ + ۴^۲} + ۴} = ۶/۵۵ \qquad C = \frac{۱^۶}{X_{C.w}} = ۴۰۵\mu f$$

ج- حال می خواهیم گشتاور راه اندازی ماکزیمم به ازای جریان راه اندازی محاسبه شود.

$$XC = ۶ + \frac{-۴\times۳ + \sqrt{(۱/۵)^۲ + ۴^۲}.\sqrt{۲(۳+۱/۵)}}{۱/۵} = ۸/۶۲$$

$$C = \frac{۱^۶}{۸/۶۲\times۲\pi\times۶۰} = ۳۱۳\mu f$$

د- دیدیم که در فرضهای الف-ب – ج عاملهای خارجی را اعمال نماییم گشتاور و جریان سیم پیچ اصلی و کمکی را بدست آورید.

$$I_a = \frac{v}{za} = \frac{۱۲۰}{۳+j۶} = ۱۷/۸۸ \angle -۶۴/۴۳$$

$$I_m=\frac{V}{z_m}=\frac{۱۲۰}{۱/۵+۴j}=۲۸/۱\angle -۶۹/۴۵$$

$$T=KI_mI_a\sin\alpha \Rightarrow T=K'۱۷/۸\sin\alpha \quad \alpha=\angle I_a-I_m$$

$$T_S=K'۱۷/۸\sin۶/۰۱ \qquad -۶۴/۴۴-(-۶۹/۴۹)=۶/۰۱$$

$$I_a=\frac{V}{Z_a}=\frac{۱۲۰}{۸/۶۶+j۶}=۱۷/۳۹\angle -۳۴/۷۲ \quad \alpha=-۳۴/۷۲-(-۶۹/۴۹)=۳۴/۷۲$$

$$T_S=K'۳۹/۴۴\sin۷۹/۸۴=۳۸/۷۲K'$$

$$I_a=\frac{V}{Za}=\frac{۱۲۰}{۳+j۶-j۸/۴۴}۳۰\angle ۳۹/۲۵$$

$$\alpha=۳۹/۲۵+۶۹/۴۴=۱۰۸/۷۵$$

$$T_S=KI_a\sin\alpha=K'۳\sin۱۰۸/۷۹=۲۸/۴K'$$

۱-۷- ماشین القایی با خازن کار (دائم):

دراین ماشین خازن را طوری طراحی می کنیم که اختلاف فاز ۹۰° در حالت کار عادی داشته باشد در این حالت راه اندازی بدی داریم و گشتاور راه اندازی کمی داریم ولی گشتاور کار خوبی دارد یکی از مزیتهای این ماشین این می باشد که کلید گریز از مرکز نمی خواهد و همچنین تمام سیم پیچها در قدرت نقش دارد در این حالت تعداد شیارهای اصلی برابر سیم پیچ کمکی می باشد و محاسبات موتور را می توان از روابط موجود در موتورهای سه فاز دنبال کرد با این تفات به جای ***m=2 , m=3*** می گذاریم. مقدار خازن مورد نیازاز رابطه $C=\frac{Im}{2}\cdot\frac{\sin\alpha\times۱۰^{۶}}{\omega u}$ محاسبه می شود. درموتورهای با خازن دائم کار، مدار سیم پیچی کمکی، دیگر از مدار قطع نمی شود، ساختمان موتور نسبتاً ساده می باشد.

۱-۸- موتور با خازن دائم کار و موقت:

برای نیل به گشتاور راه اندازی خوب و در عین حال داشتن مشخصه کاری خوب از دو خازن که یکی از آنها به صورت موقت و دیگری به صورت دائم در مدار باقی می ماند. به طوری که در موقع راه اندازی ازمجموع دو خازن موجب تعامد دو میدان می شود و در موقع کار خازن دائم کار تقریباً موجب تعامد دو میدان شود پس از راه اندازی خازن بزرگتر از مدار قطع و خازن کوچکتر در مدار باقی می ملند. خازن دائم کار از نوع روغنی و خازن راه لندازی از نوع خشک و الکترولیتی که دارای ظرفیت بالا می باشد.در این حالت تعداد شیارهای اصلی مانند شیارهای کمکی است و دقیقاً مانند موتور سه فاز محاسبه می شود. ولی به جای ***m=۳ , m=۲*** می باشد و خازنها را از رابطه زیر محاسبه می کنند:

مقدار خازن دائم کار برابر $C_A=\frac{Im}{2}\cdot\frac{\sin\alpha.۱۰^{۶}}{\omega u}$ و مقدار خازن راه لندازکار برابر $C_B=\frac{3}{2}\cdot\frac{Im\sin\alpha}{\omega u}.۱۰^{۶}$ می باشد .

کاربرد:

۱) اگر گشتاور راه اندازی کم مورد نیاز باشد و همچنین موتور با سرو صدای کم مدنظر باشد میتوان از خازن دائمی استفاده شود مانند پنکه صنعتی، دهنده ها.

۲) اگر صدای کم مدنظر است ولی گشتاور راه اندازی زیاد را طلب کنیم در این صورت از موتورها دو خازنی ولی گران استفاده می شود. (مانند کمپرسورها و یخچالها)

۳) اگر محیط پر سر و صدایی نصب باشد در این صورت از موتورهای با خازن راه انداز که ارزان هم هستند استفاده شود. (مانند موتور آب)

مثال: یک موتور القایی با خازن راه انداز $\frac{1}{4}$ اسب بخار، چهار قطبی دارای مشخصات زیر است:

$r_m=1/9\Omega \quad x_m=2/6\Omega \quad r_2=3/6\Omega \quad x_2=2/6\Omega \quad x_m=56\Omega$ با فرض اینکه این موتور از یک منبع تغذیه تکفاز ۱۱۵ ولت، ۶۰ هرتز تغذیه می شود و سیم پیچی کمکی به وسیله کلید گریز از مرکز قطع شده است.

کل تلفات چرخشی نیز ۲۵ وات است. موتور زیر بار معینی بالغزش ۰/۰۵ کار می کند.

مطلوب است: جریان استاتور، قدرت خروجی، گشتاور و راندمان موتور

$$Z_m=1/9+j2/6\Omega$$

$$0/5Zf=j281(\frac{1/8}{0/05}+j1/3)=13/1+j17/3\Omega$$

$$0/5Zb=J281(\frac{1/8}{1/95}+j1/3)=0/84+j1/27\Omega$$

با فرض $V_m=115\angle 0^\circ$

$$Im=Imf=Imb=4/34\angle -53/24^\circ A$$

$$P_{in}=(115)(4/34)\cos(53/24^\circ)=299/3w$$

$$P_g=P_{gf}-P_{gb}=(4/33)(13.31-0/84)=2312w$$

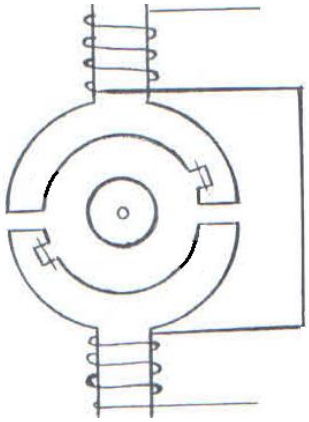
$$P_{out}=219/7-25=194/7w \qquad \eta=\frac{194/7}{299/3}=0/65$$

$$T=\frac{233/2}{6\pi}=1/23\ N.m \qquad P_{mech}=233/2(0/95)=219/7w$$

۱-۹-موتور القایی از نوع قطب چاکدار:

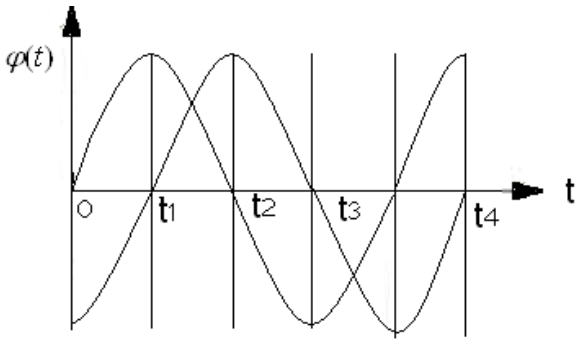
۱-۹-۱ ساختمان موتور

در توان های کمتر از ۰.۲۵ اســـب بخار وکمتر معمولا از این موتور ها جهت کاربردهایی که به ســـرعت ثابت نیاز دارند استفاده می شود این موتورها اغلب به صورت قطب برجسته و با سیم پیچی فشرده ساخته می شود، قسمتی از هر قطب توسـط یک یا چند حلقه اتصـال کوتاه به نام سـیم پیچ اتصـال کوتاه احاطه شـده اسـت. وچون درموتورهای تکفازبا یک سیم پیچی در لحظه راه اندازی گشتاور ضربانی تولید می شود. لذا یک روش تجارتی پیشنهاد کردند تا گشـتاور ایجاد شـود. اگر بیاییم در هر یک از دو قطب مطابق شـکل (۱۵)چاک ایجاد کرده و یک حلقه اتصـال کوتاه روی آن قرار دهیم با استفاده از این حلقه می توانیم میدان دوار تولید کنیم البته این میدان زیاد متقارن نیست.



شکل(۱۵) نمای موتور قطب چاک دار

اگر به سیم پیچ های این موتور ولتاژ $v(t)=v_m \sin \omega t$ اعمال نماییم یک جریان و به طبع یک فوران بصورت $\varphi(t)=\varphi_m \sin \omega t$ در موتور ایجاد شده ،که این فوران سیم پیچ اتصال کوتاه را قطع نموده و مطا بق قانون القای فارادی ولتاژ متناظر با $e(t)=-N\frac{d\varphi}{dt}=-N_2\varphi_m \cos \omega t$ در موتور ایجاد خواهد شد. شکل(۱۶) شکل موج ایجاد شده را نشان می دهد.



شکل(۱۶) نمودار فوران ایجاد شده در موتور

حال اگر فوران در زمان های مختلف با هم جمع برداری نماییم در لحظه $\mathbf{t_1}$ فوران سـیم پیچ اصـلی در حال زیاد شـدن می باشـد و فوران سـیم پیچ اتصـال کوتاه عکس جهت فوران اصـلی می باشـد. در لحظه $\mathbf{t2}$ فوران سـیم پیچ اتصـال کوتاه قابل صـرف نظر کردن می باشـد و در لحظه۳ و۴ فوران سیم پیچ در حال کم شـدن و فوران سیم پیچ اتصـال کوتاه دارای افزایش می باشـد به طور خلاصـه اثر سیم پیچ اتصـال کوتاه تغییر مکان محور قطبی می باشـد.از طرفی تغییر مکان محور قطبی یعنی حرکت روتور وایجاد گشتاور راه اندازی در موتور می باشد.

۱-۹-۲ - محور قطبی:

محوری است که توزیع فوران در دو سمت آن یکسان می باشد سیم پیچ اتصال کوتاه فقط مخالفت می کند یعنی هم با افزایش و هم با کاهش مخالفت می کند این عمل طبق قانون لنز می باشد جریان القا شده در سیم پیچ اتصال کوتاه باعث می شود که شار در ناحیه چاک هر قطب از شار در ناحیه بی چاک عقب بیافتد به عبارت دیگر شار در ناحیه چاک هر قطب پس از آنکه شار در قسمت بی چاک قطب به ماکزیمم رسید به حداکثر یا ماکزیمم می رسد دوران میدان از قسمت بی چاک به ناحیه چاکدار قطب می باشد.

بدلیل عدم تقارن شدید میدان ماشینهای قطب چاکدار، راه اندازی این موتورها کم بوده و معمولاً زیر٪۲۵ می باشد و سر و صدا و دارای لغزش بالاست بنابراین مناسب برای قدرت بالا نمی باشد ولی به دلیل سادگی ساختمان ، ارزان بوده و از آن در فن آشپزخانه، پمپ آب کولر استفاده می شود و پنکه، تهویه مطبوع و ماشینهای لباسشوئی کوچک است.بازده این موتورها ممکن است به ٪۲۰ تا ٪۵۰ افت کند.

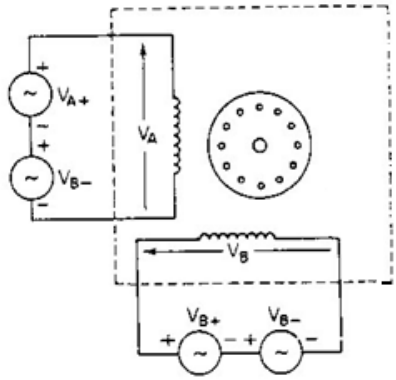
یادآوری می شود که در موتورهای کوچک در محدودهٔ چند وات تا ۲۵۰ وات ، ارزان قیمت بودن موتور بیشتر از بالا بودن بازده موتور مورد توجه است.در این نوع موتورها علاوه بر سیم پیچی اصلی، یک سیم پیچی کمکی (یا راه انداز) با فاصله مکانی ۹۰° الکتریکی نسبت به سیم پیچ اصلی پیچیده می شود و هر دو سیم پیچی به طور موازی به منبع تغذیه موتور متصل می گردند. در چنین موتورهایی سیم پیچی کمکی، دارای نسبت $\frac{R}{L}$ بزرگتری، نسبت به سیم پیچ اصلی است. از این رو جریان در سیم پیچ کمکی، I_a، قدری جلوتر از جریان در سیم پیچ اصلی، I_m، می باشد و در نتیجه یک میدان گردان با دامنه غیرثابت از طرف محور سیم پیچی کمکی، به طرف محور سیم پیچی اصلی ایجاد می شود و موتور را به حرکت در می آورد. در این حالت موتور را میتوان یک موتور دو فاز نامتعادل و با تغذیه نامتعادل تلقی کرد.

۱-۱۰ -تحلیل موتورهای القایی دو فازه در شرایط نامتعادل:

در به دست آوردن مدار معادل موتور دو فاز متعادل با تغذیهٔ نامتقارن و نیز مدار موتور تکفاز، تئوری میدانهای گردان به کار گرفته می شود. برای پیدا کردن مدار معادل موتور دو فاز نامتعادل نیز، از همین تئوری استفاده میشود. ولی شرایط موجود در این حالت با شرایط موتور متعادل متفاوت است. به علت عدم تعادل فازها در چنین موتوری، برخلاف موتور دو فاز متعادل، حتی اعمال ولتاژهای متعادل نیز به ظهور میدان نامتعادل بامولفه های راستگرد وچبگرد منجر می گردد. بنابراین، در صورت تغذیه نامتعادل آن، تجزیه ولتاژهای نامتعادل ورودی به مولفه های متقارن نیز نمی تواند در حل موتور کارگشا باشد. برای ایجاد یک میدان گردان با دامنه ثابت در یک موتور نامتعادل لازم است آمپر دورهای ایجاد شده توسط دو سیم پیچی شرایط لازم برای چنین عملی را داشته باشد.

منظور از شرایط متعادل آن است که ولتاژهای اعمال شده به دو سیم پیچ ۹۰° درجه با هم اختلاف فاز داشته و از نظر مقدار مؤثر با هم برابر باشند در صورتیکه مقدار مؤثر ولتاژ یا زاویه این دو سیم پیچ از ۹۰° خارج شده به این سیستم، سیستم نامتعادل گویند.

برای تحلیل موتورهای دو فاز در شرایط متعادل از مؤلفه های متقارن استفاده می کنند. V_A^+, V_B^+ یک سیستم دو فاز متعادل را تشکیل می دهد که توالی آن مشابه سیستم نامتعادل است و V_A^-, V_B^- یک سیستم متعادل دو فاز را تشکیل نمی دهد که توالی آن مخالف سیستم نامتعادل اصلی می باشدشکل (۱۷) مدار معادل در این حالت را نشان می دهد.



شکل (۱۷) مدار معادل موتور دوفاز نانتعادل

$$V_B^+ = -jV_A^+ = jV^+ \qquad V_B^- = -jV_A^- = jV^-$$

$$\begin{cases} V_A = V_A^+ + V_A \Rightarrow V_A = V_+ + V^- \\ V_B = V_B^+ + V_B^- \Rightarrow V_B = -jV^+ + jV^- \end{cases} \Rightarrow jv_A = jV^+ + jV^-$$

$$-j \Rightarrow \begin{cases} -jV_A = -jV^+ - jV^- \\ V_B = -jV^+ + jV^- \end{cases} \Rightarrow V^- = \frac{1}{2}(V_A - jV_B) \qquad (۲۱-۱)$$

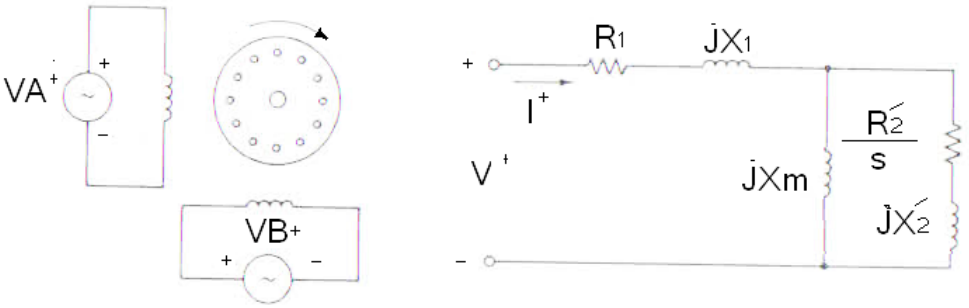
$$\Rightarrow V^+ = \frac{1}{2}(V_A + jV_B) \qquad (۲۲-۱)$$

$$I^+ = \frac{۱}{۲}(I_A + jI_B) \qquad (۲۳-۱)$$

از طرفی معادله جریان برابر خواهد شد با :

$$I^+ = \frac{۱}{۲}(I_A + jI_B) \qquad (۲۴-۱)$$

در واقع باتوجه به مدار معادل بالا یک موتور دوفاز نامتعادل تبدیل شده به دو موتور دوفاز متعادل تبدیل شده که یک سیم پیچ فوران راستگرد ودیگری فوران چپگرد تولید می کند شکل (۱۸) مدار معادل در حالت راستگرد رانشان می دهد.



شکل(۱۸) مدار معادل در حالت راستگرد

امپدانس ورودی برابراست با:

$$Z^{+}=\frac{jX_m(\frac{R_2}{S}+jX_2)}{\frac{R_2}{s}+j(X_m+X_2)}=R^{+}+jX^{+} \quad Z_{in}^{+}=Z_1+Z^{+} \qquad (۲-۱)$$

جریان ورودی در حالت راستگرد برابر است با:

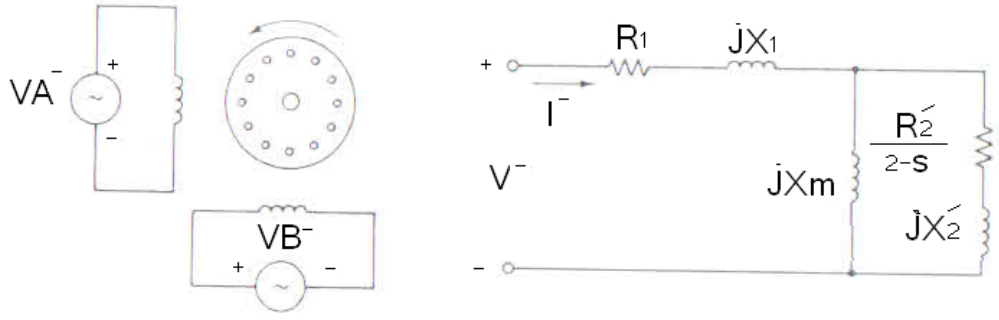
$$I^{+}=\frac{V^{+}}{Z_{in}^{+}} \qquad (۲۶-۱)$$

توان فاصله هوایی برابر است با :

$$P_g^{+}=2R^{+}(I^{+})^{+}\Rightarrow P_m^{+}=P_g^{+}-SP_g^{-} \qquad (۲۷-۱)$$

توان مکانیکی خروجی در حالت راستگرد برابر است با: $$P_m^{+}=P_g^{+}(1-s) \qquad (۲۸-۱)$$

در صورتی که مدار معادل حالت چپگرد شکل (۱۹) را ترسیم نماییم خواهیم داشت:



شکل (۱۹) مدار معادل موتور دوفاز نامتعادل در حالت چپگرد

امپدانس ورودی برابراست با

$$Z^{-}=\frac{jX_m(\frac{R_2}{2-s}+jX_2)}{\frac{R_2}{2-s}+j(X_m+X_2)}=R^{-}+jX^{-} \quad Z_{in}^{-}=Z_1+Z^{-} \qquad (۲۹-۱)$$

جریان ورودی در حالت چپگرد برابر است با:

$$I^- = \frac{V^-}{Zin^-} \qquad (۳۰-۱)$$

توان فاصله هوایی برابر است با :

$$P_g^- = ۲R^-(I^-)^۲ \; P_m^- = P_g^- - (۲-s)P_g^- \qquad (۳۱-۱)$$

$$P_m = P_m^+ + P_m^- \qquad (۳۲-۱)$$

توان مکانیکی کل برابر است با:

توان خروجی وگشتاور خروجی برابر است با:

$$P_\circ = P_m - P_{rot} - P_{coreh} \; T_\circ = \frac{P_\circ}{wr} \;\; w_r = w_S(1-s) \qquad (۳۳-۱)$$

تلفات استاتور موتور دوفاز برابر : $S = ۲(V^+.I^+ + V^-.I^-)$ (۳۵-۱) (۳۴-۱) یا

توان ورودی $\Rightarrow s = V_A.I_A^* + V_B I_B^*$

مثال ۱: یک موتور القایی بافرکانس $\boldsymbol{Hz}$ ۶۰ و با مشخصات زیر مفروض است :

$$X_۲' = ۳\Omega, X_m = ۷۵\Omega, X_۱ = ۲/۴\Omega, R_۲' = ۱\Omega, R_۱ = ۰/۶\Omega, V_B = ۲۲\angle -۸۵, V_A = ۲۴\angle ۰^\circ$$

تلفات ثابت ماشین ۱۵۰ وات و تحت لغزش ۵ درص کار می کند مطلوب است

الف) توان خروجی ، تلفات روتور و استاتور، توان ورودی، توان ظاهری

$$V^+ = \frac{۱}{۲}(V_A + jV_B) = \frac{۱}{۲}(۲۴\angle ۰^\circ + j۲۲\angle -۸۵^\circ) = ۲۲۹/۷\angle ۲/۳۹$$

$$V^- = \frac{۱}{۲}(۲۴\angle ۰ - ۲۲\angle -۸۵) = ۱۴/۱۵\angle -۴۲/۶۱$$

$$Z^+ = \frac{jX_m(\frac{R_۲}{s} + jX_۲')}{\frac{R_۲}{۲} + j(X_m + X_۲')} = ۱۷/۲ + j۷/۴۶$$

$$Z^- = ۰/۴۷۳ + j۲/۸۸ \Rightarrow Z_{in}^- = R_۱ + jX_۱ + ۰/۴۷۳ + ۲/۸۸ = ۱/۰۷۳ + j۵/۲ = ۵/۴\angle ۷۸/۵$$

$$I^+ = \frac{V^+}{Z_{in}^+} = \frac{۲۲۹/۷\angle ۲/۳۹}{۲۰/۳۶\angle ۲۹} = ۱۷۲۸\angle -۲۶ \qquad I^- = \frac{V^-}{Z_{in}^-} = \frac{۱۴/۱۵\angle -۴۲/۶۲}{۵/۴\angle ۷۸/۵} = ۲/۶۲\angle -۱۲۸/۱۲$$

$$P_g^+ = ۲R^+(I^+)^۲ = ۲\times ۱۷/۲\times (۱۷۲۸)^۲ = ۴۳۸۴۶۳w$$

$$P_g^- = ۲R^-(I^-)^۲ = ۲\times ۰/۴۷۳\times (۲/۶۲)^۲ = ۶/۵۳$$

$$P_m = P_m^+ + OP_m^- = P_g^+(۱-s) + P_g^-(s-۱)$$

$$P_m = (۱-s)(P_g^+ - P_g^-) = (۱-۰/۰۵)(۴۳۸۴۶۳ - ۶/۵۳) = ۴۱۵۸۲۵w$$

$$P_{out}=P_m-\Delta P=۴۱۵/۲۵-۱۵=۴۰۰/۲۵ \qquad w_s=\frac{۲\pi n}{۶۰}=\frac{۲\pi\times۱۸۰}{۶۰}$$

$$ns=\frac{۶۰\times f}{P} \qquad w_r=۶۰\pi(۱-۰/۰۵)=۱۷۰$$

تلفات روتور و استاتور و توان ورودی برابر است با:

$$P_{Lr}=sP_g^{+}+(۲-s)P_g^{-} \Rightarrow P_{Lr}=۰/۰۵\times۴۳۸۴۶۳+(۲-۰/۰۵)۶/۵۲=۲۳۴۱w$$

$$P_{Ls}=۲(R_1I^{+۲}+R_1I^{-۲})=۲(۰/۶\times(۱۷۲)^{۲}+۰/۶\times(۲/۶۲)^{۲})=۱۶۴۱۷w$$

$$P_{in}=P_{Ls}+P_g=۱۶۴۱۷+۴۳۸۴۶۳=۴۵۵۴۲۶$$

$$S_{in}=۲(V^{+}I^{+}+V^{-}I^{-})=۲[(۲۲۹۷۲/۳۹\times۱۱۲۸\angle-۲۶۰^{\circ})$$
$$+(۱۴\angle-۴۲/۶\times۲/۶۲\angle-۱۲/۱۹)]$$
$$S_{in}=۴۵۵۴۳۶+j۲۵۸۶۹۰$$

مثال ۲: یک موتور القایی دو فاز $V_B=۷۵\angle-۹۰^{\circ}, V_A=۱۱۵\angle۰^{\circ}$ با مشخصات زیر مفروض است:

توان ورودی فاز A تحت توان۰.۵۵ پس فاز معادل w ۶۰۰است. فروان ورودی به فاز B تحت ضریب توان ۰.۳۵ پس فاز معادل w ۱۶۰ وات است تلفات چرخشی هسته برابر ۳۰ وات مطلوبست محاسبه :.

الف)جریان فاز A , B و امپدانسهای A , B

ب)؟ ولتاژهای توالی مثبت و منفی و جریانهای توالی مثبت و منفی کدامند؟

ج)توان خروجی و ضریب بهره

۱-۱۱-«مقایسه موتورهای القایی تکفاز باموتورهای القایی چندفاز با تغذیه متعادل»

۱-میدان گردان در موتور باتغذیه چندفازه متعادل فاقد مولفهٔ معکوس است.

و در نتیجه دامنهٔ گشتاور تولید شده برحسب زمان، مقدار ثابتی است، در حالی که در یک موتور القایی تکفاز دامنهٔ گشتاور تولید شده، در اثر وجود مؤلفه منفی، نوسانی با فرکانس دو برابر سرعت سنکرون است. این عمل موجب پر سر و صداتر بودن موتور تکفاز در مقایسه با انواع سه فاز در شرایط مشابه می گردد.

۲- مؤلفه معکوس میدان، موجب تلفات آهن در روتور می گردد که این مولفهٔ تلفات در حللت کار متعادل موتور وجود ندارد. این عمل موجب پایین آوردن راندمان موتور می گردد.

۳- مولفهٔ منفی گشتاور به صورت یک بار مکانیکی بر موتور تحمیل این پدیده نیز موجب کاهش راندمان کل موتور در مقایسه با کار موتور از یک شبکه متعادل می گردد.

فصل دوم

موتورهای تکفاز کلکتوردار

۲-۱ مقدمه

در این نوع موتورها سیم بندی بصورت تکفاز پخش شده در شیارها و روتور آن مانند آرمیچر موتور های جریان مستقیم که مجهز به کلکتور است می باشد لیکن استاتور دارای سیم بندی تکفاز پخش شدهٔ در شیارها بوده که توسط جریان AC تغذیه می گردد و در نتیجه شار تحریک این نوع موتورها نوسانی خواهد بود این موتورها بنا به نحوهٔ انتقال انرژی از استاتور به روتور **به دو دسته تقسیم می شوند:**

الف: موتور یونیورسال (سری):که انتقال انرژی از طریق ارتباط فیزیکی است و سیم پیچی استاتور و روتور به صورت سری به یکدیگر وصل شده است.

ب:موتورهای دفعی (ریپولسیونی): در این نوع موتورها انتقال انرژی از طریق القاء(مانند موتورها اندوکسیونی) (رفتار ترانسفورمری) صورت می گیرد و ارتباط الکتریکی بین سیم پیچهای روتور و استاتور وجود ندارد.

۲-۲ - بررسی پدیده ولتاژها در موتورها:

در این نوع موتورها با دو نوع ولتاژ روبرو می شویم ترانسفورمری و حرکتی که هردو در دو سرجاروبکها ظاهر می گردد. تجزیه ولتاژ کل به دو نوع حرکتی و ترانسفورمری فقط جنبه ریاضی دارد، چون هر دو طبق قانون فارادهٔ در اثر تغییرات فوران $e=\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ ایجاد می گردد در ماشین جریان مستقیم فقط ولتاژ حرکتی القاء می شود.. ولی برای ولتاژ ترانسفورمری که در اثر نوسانی بودن نوع میدان ایجاد گردیده ، این تغییرات به روتور بستگی ندارد. (حتی در حالتی که روتور ساکن است نیز وجود دارد). ولی برای ولتاژ حرکتی این تغییرات فوران در اثر حرکت نسبی بین سیم بندی روتور و میدان ایجاد می گردد و فقط در حالتی که سرعت روتور مخالف صفر است ایجاد می شود.

۲-۲-۱ ولتاژ ترانسفورمری:

برای بررسی این پدیدهٔ ابتدا سیم پیچی کلکتوردار را می توان معادل یک سلنوئید در نظر گرفت که امتداد محور مغناطیسی آن در امتداد محور جاروبکها قرار دارد این محور مغناطیسی که به گردش آرمیچر بستگی نداشته و توسط موقعیت محور جاروبکها قرار می گیرد. هر گاه فورانی که توسط سیم پیچی استاتور در فاصله هوایی ایجاد می گردد به صورت $\varphi=\varphi_m \sin\omega t$ باشد در اثر تغییرات این فوران در دو سر جاروبکها ولتاژ *ترانسفورمری* $e=\sqrt{2}E_{tr}\cos\omega t$ *القاء می گردد که درآن* $E_{tr}(\alpha)$ *مقدار موثر ولتاژ که تابعی از وضعیت جاروبکها* (α) نسبت به محور قطبهای اصلی می باشد. حال اگر زاویه محور میدان استاتور یا قطبها و محور جاروبکها را با نمایش می دهیم اگر $\alpha=0$ باشد محور جاروبکها درامتداد محور استاتور قرار گرفته و تمامی فوران استاتور از سیم پیچی روتور عبور نموده و ماکزیمم ولتاژ ممکن در آن القاء می گردد. بنابراین بسته به موقعیت جاروبکها مقدار ولتاژ القایی متفاوت خواهد بود که معادله آن با فرض سینوسی بودن شار به صورت $e_{(t)}=\sqrt{2}E_{t(r)}\cos\alpha\cos\omega t$ خواهد بود.

با توجه به معادلهٔ ولتاژ ترانسفورمری برابر با خصوصیات زیر است:

۱) فرکانس آن برابر فرکانس تغذیه استاتور $f=\frac{\omega}{2\pi}$ و به سرعت روتور بستگی ندارد.

۲) مقدار مؤثر ولتاژ القایی بستگی به شار و ثابتهای سیم پیچی و موقعیت جاروبکها دارد و مستقل از سرعت روتور.

۳) همانطور که از معادلات فوق بر می آید معادلهٔ فوران و ولتاژ با هم ۹۰° اختلاف دارد.

۲-۲-۲ ولتاژ حرکتی (چرخشی):

در صورتی که حرکت نسبی بین سیم پیچی و میدان وجود داشته باشد ولتاژ القا شده در سیم پیچ را ولتاژ چرخشی می گویند که این ولتاژ می تواند Dc ویا **Ac** *باشد* .

۱) تغذیه استاتور با جریان دائم:

در ماشین جریان دائم میدان استاتور تغییرات زمانی ندارد و ازنوع ساکن و ثابت است حال اگر روتور کلکتوردار با سرعت nr در این میدان به گردش آید ولتاژ حرکتی در دو سر جاروبکها ظاهر می گردد که دارای مشخصات زیر است.

الف) در هر کلاف ولتاژی با فرکانس kn_r برقرار میگردد.

ب) ولتاژی که در دو سر جاروبکهای ساکن ظاهر می گردد از نوع دائم یا فرکانس صفر است. زیرا ولتاژ متناوب کلافها توسط کلکتور که یکسو کننده مکانیکی است یکسو می گردد و به صورت ولتاژ دائم در دو سر جاروبکها ظاهر می گرددکه این ولتاژ برابر است با:

$$e_{rot}=k\varphi\omega \qquad (۱-۲)$$

ج) مقدار ولتاژ بین جاروبکها بستگی به موقعیت جاروبکها دارد به طوریکه به ازای $\alpha=۰$ ولتاژ چرخشی برابر صفر و به ازای $\alpha=۹۰^{\circ}$ حداکثر می باشد.

۲) تغذیه استاتور با جریان *AC*:

در این حالت فوران استاتور از نوع سینوسی خواهد بود کافی است که در روابط کلی ولتاژ ماشین جریان دائم یعنی E_{rot} بجای φ , $\varphi_m \sin\omega t$ را قرار دهیم.

$$E_{rot}=K\varphi_m \sin\omega t \times nr$$

ولتاژ در حالت کلی برابر است با:

$$e_{rot2}=E_{tr}.\sin\omega t.\sin\alpha \qquad (۲-۲)$$

از معادلات بدست آمده معلوم می گردد که ولتاژ حرکتی دارای خصوصیات زیر است:

۱) فرکانس ولتاژ برابر است با فرکانس منبع تغذیه استاتور $f=\frac{\omega}{2\pi}$ که به سرعت روتور بستگی ندارد .

۲) مقدار مؤثر بستگی به فوران، سرعت روتور، ثابت سیم پیچی دارد.

۳) این ولتاژ هم فاز با شار استاتور می باشد.

۲-۲-۳ ولتاژ برآیند:

ولتاژ برآیند دو سر جاروبکها از جمع دو ولتاژ لحظه ای حرکتی و ترانسفورماتوری که هر دو دارای فرکانس تغذیه f می باشند. بدست می آید.

$$E=\sqrt{(e_{rot})^2+(e_{rot})^2} \qquad (۳-۲)$$

۲-۳ - موتورهای سری: (یونیورسال)

این موتورها بر دو نوعند:

الف) نوع قطب متمرکز (بدون سیم پیچ جبرانگر): برای موتورهای با قدرت پایین

ب) نوع قطب گسترده (باسیم پیچ جبرانگر): برای موتورهای قدرت بالا

وقتی در یک موتور سری جریان مستقیم پلاریته های مثبت و منفی را معکوس سازیم جهت دوران موتور تغییر نخواهد کرد پس نتیجه می گیریم با جریان متناوب نیز به راه می افتد.اصولاً این موتور به خاطر سرعت زیاد خود به ازای هر کیلو وزن خود قدرت بیشتر نسبت به سایر موتورهای دیگر دارد و مشخصه های آن هم در جریان متناوب و مستقیم مانند موتورهای سری DC می باشد سرعت بی باری آن زیاد و در حدود **۲۰۰۰۰** دور در دقیقه می باشد و آرمیچر آن طوری طراحی می شود که در این سرعت آسیب نبیند.

۲-۳-۱ ساختمان کلی موتور یونیورسال:

پیشرفت صنعت و افزایش زیاد تعداد دستگاههای الکتریکی مورد استفاده در منازل وادارات و کارگاههای کوچک نیاز شدید به الکترو موتورها را که قادر باشند، از منابع AC تکفاز که در اغلب محلهای یاد شده براحتی قابل دسترسی هستند تغذیه شوند، ایجاب کرد. موتورهای القایی تکفاز از جمله الکتروموتورها هستند که درصد قابل توجهی از نیروی محرکه دستگاههای مورد استفاده درکاربردهای فوق را تامین می کنند. با وجود این، به علت محدود بودن سرعت این موتورها، به واسطه محدود بودن فرکانس و تعداد قطب، نسبت قدرت به وزن این الکتروموتورها محدود است و برای بعضی لوزام الکتریکی قابل حمل و نقل مانند بعضی از انواع دریلهای الکتریکی و یا مکنده های الکتریکی (جاروبرقی) مناسب نیستند.استفاده از موتورهای AC سری با قدرتهای کوچک می تواند در این زمینه راهگشا باشد در چنین شرایطی موتور AC سری برای کار در سرعت بالا تا RPM ۱۰۰۰۰ طراحی می شد و در نتیجه وزن و حجم آن، برای تولید قدرت معین در مقایسه با یک موتور القایی هم قدرت بسیار کمتر می گردد. بعلاوه، مشخصه خوب $T\text{-}n$ این موتورها در اغلب موارد از اضافه بار شدن موتور جلوگیری می کند. از آنجا. موتورهای تکفاز سری

را می توان هم به منبع DC و هم به **منبع** AC وصل نمود لذا به آنها لفظ یونیورسال اطلاق می‌گردد.این موتورها در لوازم خانگی به وفور یافت می شوند. موتورهای AC سری بزرگ در سیستمهای حمل ونقل بکار می روند.موتورهای یونیورسال عمدتاً به برق AC وصل می‌شوند. لذا هسته‌های روتور و استاتور آنها لایه به لایه یا مورق است تا تلفات هسته کاهش یابد.

در موتورهای یونیورسال جریان آرمیچر و شار تحریک هم فاز و برابر است $T=k\varphi I_a$ اما به علت راکتانس بزرگ سیم پیچ تحریک و آرمیچر تلفات زیاد می باشد و جرقه زدن در جاروبکها عمل موتور سری را برای کار با جریان متناوب دشوار می‌کند.

موتور یونیورسال AC با اینکه شبیه موتور سری Dc می‌باشد ولی باید در ساختمان آن تغییراتی بوجود آورد تا عمل AC رضایت بخش باشد. برای اینکه تلفات مینیمم باشد موتور سری AC را از ماده‌ای با اتلاف هیسترزیس کم و تمامی مواد مغناطیسی را مورق می‌کنند. افت راکتانس در مدار آرمیچر ناشی از شار عکس العمل آرمیچر است که توسط جریان آرمیچر بوجود می‌آید. می‌توان در موتور سری بزرگ بوسیله نصب یک سیم پیچ جبران کننده این افت را حذف و یا آنکه به طور محسوس کم نمود. سیم پیچ جبرانگر به دو صورت در موتورهای سری بکار می رود. در روش اول سیم پیچ جبرانگر با سیم پیچی آرمیچرو تحریک به طور سری قرار می‌گیرد ولی سیم‌های آن در درون کفشک قطب به موازات سیم‌های آرمیچر نشان داده می‌شود.

به منظور کاهش مشکلات مربوط به کموتاسیون، در موتورهای یونیورسال میدان اصلی بسیار ضعیف انتخاب می شود و نیز جاروبکها بسیار باریک انتخاب می شود. همچنین جاروبکها از زغال با مقاومت زیاد انتخاب می شود، تا جریان دورانی در کلاف تحت کموتاسیون را هر چه بیشتر محدود سازد.

موتورهای یونیورسال با قدرت کم اغلب بدون قطبهای کمکی ساخته می شوند. زیرا جریان آرمیچر آن کوچک است و عملاً چندان مشکل ساز نیست. بعلاوه ضریب توان کم نیز در چنین موتورهایی با قدرت کم، کاملاً قابل تحمل است. هسته های استاتور و روتور در هر حال به صورت مورق ساخته می شوند.

*** از لحاظ کاری موتورهای یونیورسال را به دو دسته تقسیم کرد:**

۱) وسایلی که موتورهای آنها مانند جاروبرقی احتیاج به دور زیاد دارند.

۲) موتورهایی که احتیاج به گشتاور راه اندازی زیاد داریم مانند چرخ گوشت، دریل دستی و غیره ....

۲-۳-۲ -مقدارگشتاور ایجاد شده در موتور یونیورسال در حالت AC :

$$T=K\varphi_a i_a \qquad T=KI_a^2 \qquad I_a=I_m\sin\omega t$$

$$\varphi_a=\varphi_m\sin\omega t$$

$$T=K.\varphi_m\sin\omega t.I_m\sin\omega t=KI_m\varphi_m\sin^2\omega t$$

$$T=K\frac{I_m\varphi_m}{2}(1-\cos 2\omega t) \quad (۴-۲)$$

$$E_a = K\varphi_m \omega \qquad (۵-۲)$$

$$P_{mec} = E_a I_a \qquad T_o = \frac{P_o}{wr} \qquad (۶-۲)$$

در ماشینهای **DC** به خاطر داریم که گشتاور موتور **dc** متناسب بامجذور جریان می باشد که

$$T = K\varphi I_a = KI_a^2$$

وقتی که موتور تکفاز کلکتور دار را به برق **AC** بزنیم جریان آرمیچر I_a از سیم پیچ سری می گذرد که شار φ_d (شاری که ایجاد ولتاژ می کند) را بوجود می آورد این جریان از سیم پیچ آرمیچر می گذرد و شار φ_a را در امتداد عمود بر محور φ_d همان شار عکس العمل آرمیچر می باشد که در اثر جریان گردابی که روی سطح روتور ایجاد می شود بوجود می آید. اگرازجریان گردابی صرفه نظر شود $\varphi_a = ۰$ و $\varphi_d = ۰$ همان فوران کل سیم پیچ می باشد.

با توجه به فرمول گشتاور می بینیم که گشتاور به هیچ وجه منفی نمی شود و دارای گشتاور لحظه ای یک سویه است. لذا باعث کار موتور در یک جهت چرخش می شود. با توجه به فرمول فرکانس گشتاور لحظه ای دو برابر فرکانس منبع تغذیه است. لذا عملکرد موتور پرسروصدا می باشد از طرفی وقتی یک گشتاور نوسانی رابه یک محورمکانیکی می دهیم. اگر اینرسی یا لختی سیم صفر باشد متناسب بافرکانس نوسانات کاهش یا افزایش پی در پی سرعت محور را خواهیم داشت. همانند یک مقاومت اهمی که به یک منبع نوسانی وصل باشد جریان هم نوسانی خواهد بود.

همچنین اینرسی سیستم الکتریکی قابل توجه است (سلف و خازن) مانع از پاسخ صحیح محور به نوسانات گشتاور خواهد شد و بنابراین در موتورها با توجه به اینکه اینرسی سیستم قابل توجه است موتور عملاً میانگین این نوسانات راحس می کند.

$$T_{ave} = \frac{۱}{T}\int_{۰}^{T} T(t)\,dt \qquad (۷-۲)$$

۲-۳-۳ مقایسه تحریک Ac , Dc :

اگر جریان آرمیچر در تحریک **dc** با مقدار موثر جریان آرمیچر تحریک **Ac** برابر باشد در این صورت داریم:

$$E_{a(dc)} = K\varphi_{d(dc)} \cdot w_{(dc)}$$

$$E_a = \frac{K\varphi_{d(ac)} w_{ac}}{\sqrt{۲}} \Rightarrow K\varphi_{d(ac)} w_{ac} \qquad K = \frac{۲PZ}{a}$$

$$\Rightarrow \frac{E_{a(dc)}}{E_{a(ac)}} = \frac{W_{(dc)}}{W_{(ac)}} = \frac{n_{d(}}{n_{a(}} \qquad (۸-۲)$$

معادله ولتاژ ترمینال:

$$dc \rightarrow V_T = E_a + I_a(R_f + R_a)$$

$$Ac \rightarrow V_T = +E_a + I_a(R_f + R_a) + jI_a(X_a + X_f)$$

$$\frac{E_a(dc)}{E_a(ac)} = \frac{1}{\cos\theta} \qquad \frac{E_a(dc)}{E_a(ac)} = \frac{V_T - I_a(R_f + R_a)}{V_T\cos\theta - I_a(R_f + R_a)} \Rightarrow \frac{E_a(dc)}{E_a(ac)} = \frac{1}{\cos\theta} \quad (۹-۲)$$

از رابطه اخیر در می یابیم که اگر ولتاژ پایانه و جریان آرمیچر در دو شرایط AC, DC یکسان باشد (یعنی گشتاور یکسان) در اینصورت سرعت در تحریک AC کمتر از تحریک DC است. در تحریک AC گشتاور ضربانی حاصل می شود و ضریب توان موتور زیاد جالب نیست. همچنین در تحریک AC سرعت کمتر است.برای اینکه این اثر را در این حالت کم نماییم به ماشین سیم پیچ جبرانگر را متصل می نماییم.

۲ -۳-۴- اثرات سیم پیچ جبرانگر:

۱)سیم پیچ جبرانگر مقاومت R را به مدار می‌افزاید.

۲) اثر راکتانس آرمیچر توسط سیم پیچ جبرانگر کاهش می‌یابد(Xa)

۳) مقادیر E_a و سرعت را زیاد می‌کند.

۴) سیم پیچ جبرانگر θ را کم وضریب قدرت را بهبود می‌بخشد. سیم پیچ جبرانگر بازده را بالا می‌برد.

۲-۳- ۵- تفاوت موتور سری با یونیورسال:

اعم این تفاوتها عبارتند از:

۱)در موتور سری dc هسته استاتور یکپارچه می‌باشد ولی در یونیورسال با توجه به تغذیه ac و جلوگیری از تلفات هیسترزیس وفوکو هسته استاتور باید ورقه ورقه باشد ولی روتور در دو حالت باید مورق باشد.

۲)در موتورهای dc ولتاژ القایی ناشی از حرکت آرمیچر بوجود می‌آید (ولتاژ چرخشی) در صورتی که در موتورهای یونیورسال دو نوع ولتاژ القایی در آرمیچر بوجود می‌آید : الف) ترانسفورمری ب) حرکتی

۳)آرمیچر ماشین dc با قطبهایی که از آهنربای دائم می‌باشد می‌تواند کار کند در صورتی که آرمیچر موتورهای یونیورسال با جریان متناوب کار می‌کند.

۴)جاروبکهای ماشین dc روی کلکتور مقابل مرکز قطبها قرار دارد در صورتی که در موتورهای یونیورسال بین دو قطب در منطقه خنثی قرار دارد.

۵)قدرت موتور یونیورسال نسبت به ماشین dc خیلی کمتر است.

۶)گشتاور موتورهای یونیورسال نسبت به ماشین dc کمتراست.

*** تمرین:**

یک موتور یونیورسال ۱۲۰ ولتی ۶۰ هرتز ۰.۲۵ اسب بخار مفروض است. اگر به منبع ۱۲۰ ولت dc وصل شود سرعت آن ۲۰۰ دور بر دقیقه بوده و ۰/۶۵ آمپر از شبکه می شود. اگر به برق ۱۲۰ ولت Hz ۶۰ وصل شود. در صورتی که جریان موثر در این حالت ۰/۶ آمپر، سرعت، گشتاور، ضریب قدرت موتور را در حالت AC محاسبه کنید؟

$$R_a+R_f=۲۵\Omega$$

$$X_a+X_f=۰/۲۵H \qquad E_{adc}=V_T-I(R_a+R_f)=۱۲۰-۰/۶\times۲۰=۱۰۸V$$

$$X_L=۲\pi fl=۲\pi\times۶۰\times۰/۲۵=۹۴/۲۵\Omega$$

$$E_{aac}+I_aR=\sqrt{V_T^2-(I_aX)^2}=E_{a(ac)}=۰/۶+\sqrt{۱۲۰^2-(۰/۶\times۹۴/۲۵)^2}$$

$$E_{a(ac)}=۹۳/۸۴V$$

$$\frac{E_{a(dc)}}{E_{a(ac)}}=\frac{n_{(dc)}}{n_{(ac)}} \Rightarrow n_{ac}=\frac{۲۰۰\times۹۳/۸۴}{۱۰۸}=۱۷۳۷۷(RPM)$$

$$\cos\varphi=\frac{E_a+I_aR_a}{V_T}=\frac{۹۳/۸۴+۱۲}{۱۲۰}=۰/۸۸$$ پس فاز

$$P_{mec}=E_aI_a=۹۳/۸۴\times۰/۶=۵۶/۳ \qquad T=\frac{P_{mec}}{w_n}=\frac{۵۶/۳}{۱۷۳۷\times۲\pi\times۶۰}=۰/۳۰۹N.m$$

*** تمرین:**

* تمرین: یک موتور سری تکفاز ۱۲۰ ولتی و ۶۰ هرتزی مفروض بوده وامپدانس آن در حالت سکون بقرار زیر است:

۱) $Z_1=5+J2.5$ (بدون سیم پیچی جبرانگر)

۲) $Z_2=5.5+J3.5$(با سیم پیچی جبرانگر)

۳) الف)موتور بدون سیم پیچ جبرانگر:

موتور را به برق ۱۲۰ ولت با فرکانس ۶۰ هرتز وصل می‌کنیم و با سرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه می‌چرخد و ۱.۶ آمپر از شبکه می‌کشد. تلفات چرخشی ۳۰ وات منظور می‌گردد.

۱)ضریب توان منبع تغذیه را بدست آورید

۲ توان مکانیکی حاصله را حساب کنید

۳-بازده (بهره) را حساب کنید

ب) موتور با سیم پیچ جبرانگر:

موتور را به برق ۱۲۰ ولت با فرکانس ۶۰ هرتز وصل می کنیم وآنقدر بار بر روی آن می‌گذاریم تا ۱/۶ آمپر از شبکه بکشد.

۱-سرعت موتور را بدست آورید.

۲-ضریب توان منبع تغذیه را حساب کنید.

۳-توان مکانیکی حاصله را حساب کنید.

۴-بازده را بدست آورید.

تلفات چرخشی را ۳۰ وات بگیرید.

۲-۳-۶- کنترل سرعت در موتور های یونیورسال :

با توجه به فرمول (۲-۵) مقدار سرعت موتورهای یونیورسال از فرمول (۲-۱۰) بدست می آید:

$$E_a = k\varphi\omega = \frac{E}{K\varphi} = \frac{V_T - (RI_a + I_a)}{k\varphi} \quad (۱۰-۲)$$

بنابراین برای کنترل سرعت موتور یونیور سال باتوجه به فرمول (۲-۱۰) روشهای زیر استفاده می نماییم:

۱) روش مقاومت متغیر:

یک مقاومت متغیر را به صورت سری با موتور قرار داده و با تغییر مقاومت سرعت موتور را کنترل کرده نمونه کاربرد آن موتور چرخ خیاطی که با پدال پایی می‌توان موتور را کنترل کرد.

۲) روش میدان منشعب:

در این روش یک قطب میدان از نقاط مختلف منشعب شده و بوسیله تغییر دادن شدت میدان سرعت کنترل می‌شود.

۳)استفاده از مدارات کنترل الکترونیکی نیم موج وکنترل کننده تمام موج

این روش که بهترین نیز می باشد با استفاده از مدرات کنترل ولتاژ جریان متناوب می توان ولتاژ ورودی به موتور را کم وزیاد نموده که این عمل با توجه به فرمول کنترل سرعت باعث تغییر در سرعت موتور می شود.

۴)مکانیزم گریز از مرکز:

برای موتور یونیورسال است موتورهای یونیورسال به خصوص آنها که برای مخلوط کردن مایعات و غذاهای خانگی بکار می رود و دارای تعدادی سرعت می باشد. انتخاب بوسیله کلید گریز از مرکز واقع شده در داخل موتور به عمل می‌آید. اگر سرعت موتور بیش از حدی شود که اهرم کلید گریز از مرکز در آن حد قرار داده شده است دستگاه گریز از مرکز عمل کرده و باز شده و مقاومت $\boldsymbol{R}$ را وارد مدار می‌کند که بدین ترتیب باعث می‌شود سرعت موتور کاهش یابد هنگامی که موتور آهسته حرکت می‌کند دو بسته شده و مقاومت را اتصال کوتاه می‌کند بنابراین سرعت موتور را افزایش می‌دهد این عمل آنقدر سریع انجام می‌گیرد که تغییرات دیده نمی‌شود. دوسر کلید گریز از

مرکز خازن استفاده می کنند که عملکرد خازن C برای از بین بردن جرقه ناشی از باز و بسته شده کلید مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۴ موتور های رپولسیونی (دفعی)

در این نوع موتورها انتقال انرژی از طریق القاء(مانند موتورها اندوکسیونی) (رفتار ترانسفورمری) صورت می گیرد و ارتباط الکتریکی بین سیم پیچهای روتور و استاتور وجود ندارد.

۲-۴-۱ انواع موتورهای رپولسیونی (دفعی):

۱) موتور دفعی

۲) موتور دفعی کمپانزه

۳) موتور با کار اندوکسیونی و راه اندازی بر اساس نیروی دافعه

۴) موتور راندوکسیونی ریپولسیونی

۲-۵ ساختمان موتور دفعی (ریپولسیونی):

موتور دفعی از نظر ساختمان دارای یک سیم بندی استاتور قطب نوع غیربرجسته گسترده واقع در شیارهای یک استاتور تخت و صاف است. استاتور یک موتور ریپولیسونی مشابه سیم پیچی اصلی یک موتور القایی تکفاز است و در سطح استاتور گسترده شده است. روتور آن نیز مشابه روتور یک ماشین DC معمولی است و به کموتاتور متصل است. جاروبکها روی خود اتصال کوتاه شده و به هیچ مدار خارجی اتصال داده نشده است.

سیم بندی استاتوراین موتور از نوع، قطب غیربرجسته و گسترده شده در شیارهای استاتور تخت و صاف استاتور به طور کلی برای چهار و شش یا هشت قطب پیچیده میشود. و روتور آن از نوع هسته ی شیاردارو حامل یک سیم بندی گسترده (موجی یا حلقوی) که به کموتاتور متصل میشود. روتور از نظر ساختمان به آرمیچر جریان مستقیم شبیه است. وکموتاتوری که ممکن است از یکی از این دو نوع باشد: یک کموتاتور محوری با میله های موازی با محور یا یک کموتاتور شعاعی یا قائم متشکل از میله های شعاعی که روی آنها جاروبکها بطور افقی پرس (فشرده) میشوند. جاروبکهای کربنی (نصب شده درنگهدارنده های جاروبک) که روی کموتاتور سوار شده و برای هدایت کردن جریان از طریق سیم بندی آرمیچر (یعنی روتور) بکار می روند

فرق اساسی بین این موتور و موتور یونیورسال، در این است که در اولی آرمیچرنیزاز منبع خارجی (به صورت هدایت) تغذیه می‌شود، در حالی که در موتور ریپولسیونی روتور به صورت القایی جریان دار می‌شود. جریان روتور، میدانی در امتداد محور جاروبکها ایجاد می‌کند. محل استقرار جاروبکها در این موتور قابل تنظیم است و در نتیجه امتداد میدان روتور با چرخاندن مجموعه جاروبکها قابل تنظیم است.

استاتور به طور کلی برای ۴ یا ۶ یا ۸ قطب تعبیه می‌شود روتور از نظر ساختمان به آرمیچر جریان مستقیم شبیه است روتور آن از نوع هسته شیار دار حامل یک سیم بندی گسترده موجی یا حلقوی که به کموتاتور متصل می‌شود

می‌باشد. دارای کموتاتور همچون آرمیچر ماشینهای **dc** می‌باشد و جاروبکهای کربنی روی کموتاتور سوار شده شبیه است که برای هدایت کردن جریان از طریق سیم بندی آرمیچر بکار می‌رود برای درک و فهم آسان یک موتور دو قطبی با سیم بندی استاتور با ساختمان قطب برجسته را مانند شکل بالا در نظر می‌گیریم. در این شکل در $\alpha=0$ (زاویه بین محور مغناطیسی قطبها و محور جاروبکها می‌باشد) با عبور جریان متناوب در سیم بندی تحریک یا استاتور میدان ایجاد شده طوری است که یک قطب ***N*** در بالا و یک قطب ***S*** در پایین ایجاد می‌کند. فوران متناوب ایجاد شده توسط سیم بندی استاتور نیرو محرکه الکتریکی در هادیهای آرمیچر از طریق عمل ترانسفورمری القا خواهد کرده جهت نیرو محرکه القا شده رامی‌توان با اعمال قانون لنز پیدا کرد و ماکزیمم ولتاژ در آرمیچر القا می گردد و جریان آرمیچر نیز ماکزیمم خود را دارا باشد.ولی آرمیچر یک میدان مغناطیسی الکتریکی با قطب ***N*** در زیرقطب اصلی ***N*** و یک قطب ***S*** در زیر قطب اصلی ***S*** ایجاد می‌کند به دلیل این وضعیت هیچ گشتاوری ایجاد نخواهد گردید.

اگر جاروبکها تحت زاویه 90° در آیند در این حللت محور سیم پیچی روتورعمود برمحور میدان تحریک و در نتیجه هیچ ولتاژی در آرمیچر القاء نمی‌گردد به طوری که جریان در آرمیچر صفر شده و گشتاور برابر صفر می‌گردد. اگر جاروبکها در زاویه صفر و 90° وجود داشته باشد یک ولتاژ خالص بین ترمینالهای جاروبکها القا خواهد شد که جریان آرمیچر را ایجاد خواهد کرد. آرمیچر مجدداً به صورت یک الکترومغناطیس عملکرده و قطبهای ***N*** و ***S*** مربوط به خودش را به وجود خواهد آمد که در این حالت مستقیماً به قطبهای اصلی متناظر نخواهد بود. بنابراین قطب ***N*** روتور توسط ***N*** اصلی دفع شده و قطب ***S*** روتور نیز به همین ترتیب توسط ***S*** اصلی دفع خواهد شد. در نتیجه موتور در جهت عقربه‌های ساعت خواهد چرخید. چون نیروی حاصله برای چرخش دفعی هستند به همین دلیل به آنها موتورهای ریپولسیونی یا دفعی می‌گویند.

اگر جاروبکها در جهت مخالف عقربه ساعت میدان مغناطیسی انتقال یابد گردش نیز در جهت مخالف عقربه‌های ساعت خواهد بود.

گشتاور راه اندازی ماکزیمم در وضعیت‌هایی ایجاد می‌گردد که محور جاروبکها زاویه بین صفر و ۴۵ داشته باشد و به طور تجاری حداکثر گشتاور در زاویه بین 25° تا 35° بدست می‌آید. در ضمن سرعت موتور را می‌توان با جابجایی جاروبک کنترل کرد. $25<\alpha<35 \Rightarrow T=Ma.$

موتور دفعی کمپانزه شده:

این موتور در تمام موارد با موتور دفعی مشابه است باستثنای اینکه حامل یک سیم بندی استاتور اضافی می باشد که این سیم بندی جبران کننده (کمپانزه کننده) نامیده میشود مجموعه دیگری از دو جاروبک وجود دارد که در وسط مسیر بین مجموعه اضافه شده به طور سری به همدیگر متصل میگردد.

این یک طرح اصلاح شده از موتور دفعی است. این موتور دارای یک سیم بندی استاتور اضافی که سیم بندی جبرانگر خوانده می‌شود و کارآن:

۱)بالا بردن ضریب قدرت

۲)تنظیم یا رگولاسیون سرعت بهتر

این سیم پیچی کوچکتر از سیم بندی استاتور بوده و معمولاً در شیارهای داخلی هر یک از قطبهای اصلی پیچیده می‌شود و با آرمیچر از طریق یک مجموعه اضافی از جاروبکهای واقع شده در میان جاروبکهای اتصال کوتاه شده معمولی به طور سری متصل می‌گردد.

۲-۵-۱ موتور راه اندازی بصورت دفعی وکار بصور اندوکسیونی:

این موتور به صورت یک موتور دفعی راه می‌افتد. اما بعد از اینکه در حدود ٪۷۵ سرعت بار کاملش رسید یک وسیله‌ی اتصال کوتاه کننده از نوع گریز از مرکز کموتاتورش را اتصال کوتاه می‌کند بعد از اینکه دیگر کنتاکت وصل شود این موتوربه صورت یک موتور القایی یا اندوکسیونی با یک روتور قفسی اتصال کوتاه شده کارمی‌کند. بعد از اینکه کموتاتور اتصال کوتاه می‌شود. جاروبکها هیچ جریانی حمل نمی کنند از این رو ممکن است از روی کلکتوربلند شوند تا از بوجود آمدن غیر ضروری سائیدگی و تلفات و اصطکاک جلوگیری شود.

۲-۵-۲- موتورهایی با راه اندازی ریپولسیونی دارای دو طرح مختلف هستند:

این موتور بصورت یک موتور دفعی راه می افتد اما معمولاً به صورت یک موتور اندوکسیونی با مشخصه های سرعت ثابت کار می کند. این موتور شامل است بریک سیم بندی استاتور یک روتور که مشابه با سیم بندی آرمیچر جریان مستقیم است یک کموتاتورو یک مکانیزیم گریز از مرکز (سانتریفوژ) که میله های کموتاتور واقع در مسیر خودش را اتصال کوتاه میکند (به کمک یک طریق اتصال کوتاه کننده) هنگامیکه موتور تقریباً به ۷۵ درصد سرعت کاملش رسیده است.

۱)موتور با جاروبک بلند شوند که در آنها جاروبکها هنگام اتصال کوتاه شدن به طور اتوماتیک از روی کلکتور بلند می‌شود.

۲)موتوراز نوع جاروبک سوار شونده که جاروبکها به طور دائم روی کلکتور سوار است نوع اول موتور با قدرت زیاد و نوع دوم برای موتور با قدرت کم ساخته می‌شوند.

۲-۵ -۳- موتور اندوکسیونی ریپولسیونی:

این موتور بر پایه ی اصل مرکب از القاء و دفع کار میکند. این موتور مشتمل بر سیم بندی استاتور و سیم بندی روتورمی باشد که یکی قفسه ای و دیگری معمولاً سیم بندی جریان مستقیم متصل شده و به کموتاتورو یک مجموعه اتصال کوتاه ش ده از دو جاروبک می باشد.این موتور همانند روتور قفس سنجابی دوبل دارای دو دسته سیم روی روتورمی‌باشد که یکی از آنها در داخل آهن روتور قرار گرفته و روی خودش اتصال کوتاه می‌شود و دیگری در روی شیارهای سطحی روتور قرار می‌گیرد واز مفتولهای داخلی عایق می‌باشد به کلکتور متصل است.

در موقع شروع راه اندازی به علت امپدانس زیاد مفتولهای داخلی روتور جریان کمی از آنها عبور می‌کند. و گشتاور حاصله به طور کل توسط خاصیت دفع انجام می‌گیرد و موقعی که موتوردورمی‌گیرد امپدانس مفتولهای داخلی کم شده و آنها نیزگشتاوری تولید می‌کنند که با گشتاور مفتولهای سطحی جمع می‌شوند. موقعی سرعت از سرعت سنکرون زیادتر می‌شود که نیروی ضد محرکه در مفتولهای داخلی که به صورت القاء کار می‌کنند که باعث می‌شود که سرعت کم شود و سرعت این موتورها معمولاً کمی بیشتر از سرعت میدان سنکرون می‌باشد و بدین طریق تنظیم سرعت موتورها بهبود می‌بخشد وبه علت اینکه این نوع روتورها گشتاور زیادی دارند در بارهای سنگین ناگهانی مقاومت می‌کنند و در اندازه‌های بزرگ ساخته می‌شوند. و معمولاً برای ماشینهای ابزار، ماشین‌های صنعتی و پمپهای چاه های عمیق بکار می‌رود.

فصل سوم

موتورهای سنکرون تکفاز

۳-۱ مقدمه

موتورهای سنکرون معمولی، اعم از بزرگ و کوچک، دارای یک سیم‌پیچی AC ،معمولاً روی استاتور، و یک سیم پیچی DC ، معمولاً روی روتور هستند. یک قفس سنجابی روی قسمت حامل سیم‌پیچی DC نیز مسئولیت ایجاد گشتاور راه‌اندازی و سپس رساندن سرعت موتور به مقادیر بسیار نزدیک به سرعت سنکرون را به عهده دارد. متأسفانه به دلایل مختلف، چنین موتورهایی در سیستمهای کنترل چندان مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. نیاز چنین موتورهایی به دو منبع AC , DC و نیز داشتن سیستم جاروبک–حلقه لغزان، از جمله معایب اینگونه موتورها، بالاخص در مقیاسهای کوچک است.

در انواع موتورهای سنکرون کم قدرت مخصوص، که در سیستم‌های کنترل و دردستگاههای الکتریکی کوچک به کار می‌روند، مسائل فوق به طور کامل و یا به طور نسبی حل شده‌اند. متداولترین انواع موتورهای سنکرون مخصوص عبارتند از:

الف– موتورهای سنکرون با روتور مغناطیس دائم

ب– موتورهای رلوکتانسی

پ– موتورهای هیسترزیس

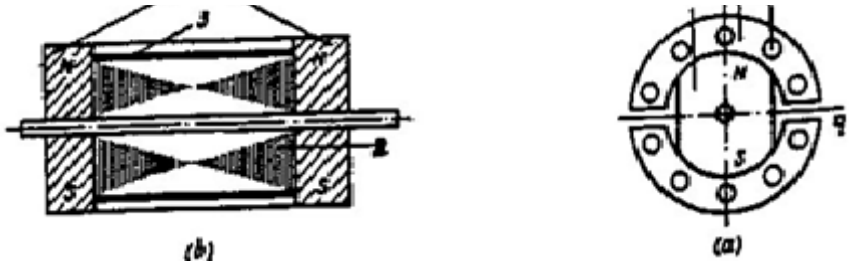
ت– موتورهای سنکرون کم سرعت

۳-۲- موتورهای سنکرون با مغناطیس دائم:

در این نوع موتورها، در جهت حذف منبعDC تحریک روتور، از یک مغناطیس دائم استفاده می‌شود. قسمت اصلی گشتاور تولید شده در این نوع موتور، از نوع تداخلی است و از تأثیر متقابل میدان‌گردان استاتور و میدان حاصله از مغناطیس دائم در روتور تولید می‌شود. مقدار متوسط این گشتاور در هر سرعتی بجزء سرعت سنکرون صفر است؛ لذا چنین موتوری نیز فاقد گشتاور راه‌اندازی است. به علاوه، لازم است پس از راه افتادن، سرعت آن توسط مکانیزم دیگری به مقدار سنکرون رسانده شود. این عمل معمولاً توسط یک قفس سنجابی یا مشابه آن، مثلاً یک استوانهٔ هادی، که روی قسمت روتور سوار می‌شود، انجام می‌گیرد. بدین ترتیب، موتور مانند یک موتور القایی راه‌اندازی می‌شود و سرعت آن تا نزدیکی‌های مقدار سنکرون آن صعود می‌کند و چنانچه شرایط دینامیکی قسمت‌گردان اجازه دهد، سرعت موتور تحت تأثیر گشتاور تداخلی موجود بین میدانهای روتور و استاتور به مقدار سنکرون کشانده می‌شود. شکل (۱) ساختمان اساسی روتور یک موتور سنکرون کوچک با تحریک مغناطیس دائم را نشان می‌دهد.

تئوری عملکرد این نوع موتور در حالت کلی، مشابه موتورهای سنکرون بزرگ با تحریک DC است و چنانچه مدار مغناطیسی متعادل فرض شود و نیز مقاومت اهمی سیم‌پیچی استاتور قابل صرفنظر باشد، گشتاور موتور در سرعت سنکرون از رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

$$T_s=\frac{qV_1E_a}{\omega_s X_s}\sin\delta_v \qquad (۳-۱)$$



شکل (۳-۱) موتور سنکرون کوچک با تحریک مغناطیس دائم

در رابطهٔ فوق، q تعداد فازها، V_1 ولتاژ فاز استاتور، E_a نیروی محرکهٔ القا شده در آن، ω_s سرعت سنکرون، X_s راکتانس سنکرون و بالاخره δ_v ، اختلاف فاز زمانی بین V_1 و E_a است. این زاویهٔ معادل الکتریکی زاویهٔ مکانی بین محورهای مغناطیسی روتور و میدان‌گردان استاتور است.

عملاً مدار مغناطیسی موتورهای سنکرون کوچک، متعادل نیست و در نتیجه راکتانس آن نیز در دو امتداد محورهای مغناطیسی طولی و عرضی یکسان نمی‌شود. بعلاوه، برخلاف موتورهای سنکرون بزرگ از مقاومت استاتور در مقایسه با راکتانسهای طولی و عرضی استاتور نمی‌توان صرفنظر کرد و در نتیجه معادله گشتاور اصلی تداخلی چنین موتورهایی به صورت زیر درمی‌آید:

$$T_e=\frac{qV_1E_a}{\omega_s}\left[\frac{X_q(R_1X_d-R_1X_q+X_dX_q)}{(X_qX_d+R_1^2)^2}\sin\delta_v+\frac{R_1(2X_q^2-X_qX_d+R_1^2)}{(X_qX_d+R_1^2)^2}\cos\delta_v\right] \qquad (۳-۲)$$

در این رابطه، X_q, X_d راکتانسهای استاتور در دو امتداد طولی و عرضی است و چنانچه مقاومت مغناطیسی ماشین در دورتادور فاصلهٔ هوایی یکنواخت باشد $X_s=X_d=X_q$ اگرمقدار R_1 نیز صفر باشد، رابطهٔ (Te) فوق به صورت سادهٔ

$$T_s=\frac{qV_1E_a}{\omega_s X_s}\sin\delta_v \qquad (۳-۳)$$

در می آید. عدم تساوی اندوکتانسهای طولی و عرضی موجب تولید یک مؤلفه گشتاور رلوکتانسی نیز می‌شود که مقدار آن علاوه بر پارامترهای فیزیکی مدار، تابع زاویهٔ δ_v نیز است. اندازهٔ این گشتاور از رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

$$T_{r_1}=\frac{qV_1^2}{2\omega_s}\cdot\frac{X_d-X_q}{(X_dX_q+R_1^2)^2}\left[(X_dX_q-R_1^2)\sin 2\delta_v+R_1(X_q+X_d)\cos 2\delta_v\right] \quad (۳-۴)$$

اندازهٔ گشتاور فوق در محدودهٔ تغییرات δ_v ممکن است مثبت، منفی و یا حتی صفر شود. قسمت عمدهٔ گشتاور موتور سنکرون از نوع تداخلی (رابطهٔ صفحه قبل) می توان انتظار داشت که همین رابطه، نقش اصلی را در تعیین مقدار δ_v در زیر بارهای مختلف ایفا کند.

علاوه بر دو مؤلفهٔ گشتاور فوق، دو مؤلفهٔ گشتاور ترمز کننده نیز، در چنین موتورهایی تولید می‌شود. چرخش روتور در فاصلهٔ هوایی دو مؤلفه نیروی محرکه به شرح زیر در مدار آرمیچر (استاتور) القا می‌کند:

الف- نیروی محرکهٔ ساعتی ناشی از چرخش فلوی اصلی در فاصلهٔ هوایی.

ب- نیروی محرکهٔ ناشی از عدم تساوی راکتانسهای طولی و عرضی.

مؤلفهٔ اول جریانی در مدار بسته آرمیچر به وجود می‌آورد و موجب اتلاف مقدار انرژی در آن می‌شود. فرکانس این نیروی محرکه و جریان، تابعی از سرعت است و از لحظهٔ راه‌اندازی تا سرعت سنکرون و حتی در سرعت سنکرون به وجود می‌آید. در واقع برای این مؤلفه از نیروی محرکه، ماشین سنکرون مانند یک ژنراتور عمل می‌کند و توان الکتریکی خروجی خود را در سیم‌پیچی استاتور تلف می‌کند. در نتیجه، این تلفات به صورت یک گشتاور منفی بر محور موتور تحمیل می‌شود. اندازهٔ این گشتاور در سرعت سنکرون به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$T_d=-\frac{qE_a^2}{\omega_s}\cdot\frac{R_1(X_q^2+R_1^2)}{(X_qX_d+R_1^2)^2} \quad (۳-۵)$$

علامت منفی بیانگر ترمزی بودن این گشتاور است.

عدم تساوی X_q, X_d روتور، موجب می‌شود که ترویج مغناطیسی سیم‌پیچ‌های فازهای مختلف آرمیچر، تابعی از وضعیت روتور گردد. لذا، چرخش روتور موجب تغییر فلوی پیوندی فازها می‌گردد و نیروی محرکه‌ای در فازهای مختلف استاتور القا می‌شود.جریان حاصله از این نیروی محرکه نیز، موجب اتلاف توان در سیم‌پیچی استاتور می‌گردد. این توان در اثر چرخش روتور در استاتور تلف می‌شود و در نتیجه برای تأمین آن مقداری گشتاور مخالف بر محور موتور تحمیل می‌گردد. اندازهٔ این گشتاور عبارتست از:

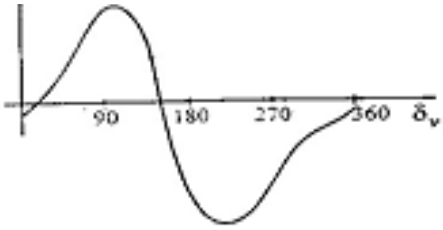
$$T_{r_2}=-\frac{qV_1^2}{2\omega_s}\cdot\frac{R_1(X_d-X_q)^2}{(X_dX_q+R_1^2)^2} \quad (۳-۶)$$

علامت منفی در این رابطه نیز بیانگر ترمزکنندگی این گشتاور است. از آنجا که دو مؤلفهٔ T_{r_1} و T_{r_2} از نوع رلوکتانسی‌اند، انتظار می‌رود که اندازهٔ هر دو مؤلفه در صورت برابر بودن X_q و X_d شکل روابط T_{r_1} و T_{r_2} این واقعیت را تأیید می‌کند.بالاخره، مقدار کل گشتاور تولید شده توسط یک موتور سنکرون با مغناطیس دائم، که مقاومت

استاتور آن قابل صرفنظر نیست و در آن $(X_d \neq X_q)$ است، در سرعت سنکرون به صورت مجموع گشتاورهای فوق در رابطهٔ زیر خلاصه می‌شود:

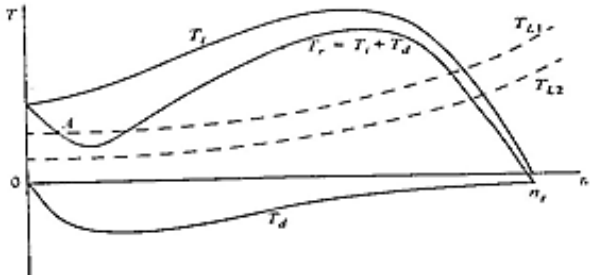
$$T_s = T_e + T_r + T_d + T_{r_2} \qquad (۷-۳)$$

چگونگی تغییرات T_s منتجه گشتاور موتور بر حسب تغییرات δ_v وقتی که موتور با سرعت سنکرون کار می‌کند، در شکل (۷)نشان داده شده است.



شکل(۳-۲) منحنی گشتاور زاویه بار

شکل (۳-۳)مشخصهٔ راه‌اندازی یک نمونه موتور سنکرون با روتور مغناطیس دایم و با راه‌انداز القایی را تا قبل از رسیدن به سرعت سنکرون نشان می‌دهد. در این شکل تغییرات T_d نیز بر حسب سرعت نشان داده شده است.



شکل(۳-۳) مشخصهٔ راه‌اندازی یک نمونه موتور سنکرون با روتور مغناطیس دایم

چنانچه قبلاً اشاره شد، این مؤلفه در تمام سرعتها $(\omega \neq 0)$ و با گشتاور القایی موتور مخالفت T_L ، می‌کند. گشتاور منتجه در این شکل با T_{res} نشان داده شده است.

چنانچه ملاحظه می‌شود، پیک منحنی T_d در سرعتهای کم در منحنی T_{res} ، یک تقعر به وجود می‌آورد و چنانچه مشخصهٔ گشتاور- سرعت بار، مانند T_L این قسمت را در محدودهٔ شیب منفی آن، مثلاً نقطهٔ A یک نقطه کار پایدار است. اندازهٔ گشتاور T_d در سرعت سنکرون با رابطهٔ داده شده است.

۳-۳ -موتورهای رلوکتانسی:

موتور رلوکتانسی نوعی موتور سنکرون است که نیازی به میدان DC در روتور ندارد و گشتاور آن، ناشی از اختلاف رلوکتانسهای طولی و عرضی فاصلهٔ هوایی است. نوع بسیار کوچک این موتورها تکفاز است و در جاهایی که سرعت دقیق سنکرون مورد نیاز است، استفاده می‌شود. از جملهٔ این کاربردها می‌توان به ساعتهای الکتریکی و دیگر ابزارهای زمان‌سنجی اشاره کرد.

علی‌رغم بزرگ بودن اندازه، نوع سه فاز این‌گونه موتورها نیز، در مقایسه با موتورهای سنکرون هم قدرت خود، بتدریج جای خود را در صنعت باز کرده است. دلیل این امر عدم نیاز به تحریک DC و نیز حلقه‌های لغزان و جاروبک است.

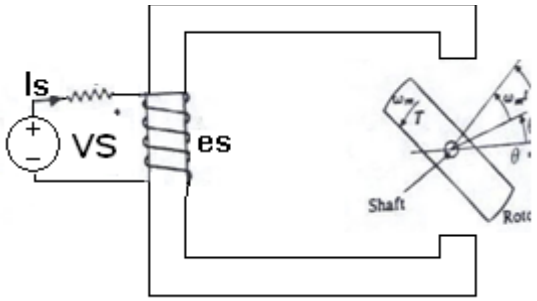
طی چند دههٔ اخیر با پیشرفت قطعات کلید الکترونیکی و نیز میکروکنترلها، از موتورهای رلوکتانسی به صورت موتورهای سنکرون با سرعت قابل تنظیم استفاده می‌شود. اینگونه موتورها SRM نامیده می‌شوند .

۳-۳-۱ موتورهای رلوکتانسی تکفاز:

هرگاه رلوکتانس فاصلهٔ هوایی یک ماشین، تابعی از موقعیت زاویه‌ای روتور آن باشد، ایجاد یک میدان مغناطیسی در فاصلهٔ هوایی، موجب پدید آمدن گشتاوری از نوع رلوکتانسی می‌شود. معادلهٔ این گشتاور از رابطهٔ (۳-۸) در مورد یک مدار مغناطیسی خطی به صورت زیر نتیجه می‌شود:

$$T_r = -\frac{1}{2}\Phi^2 \frac{dR}{d\theta_m} = -\frac{1}{2}\cdot\frac{P}{2}\Phi^2 \frac{dR}{d\theta} \qquad (۳-۸)$$

مطابق این رابطه، گشتاور رلوکتانسی در جهت کاهش مقاومت مغناطیسی فلو عمل می‌کند.شکل (۳-۴) ساده‌ترین ساختمان یک نوع موتور رلوکتانسی تکفاز دو قطبی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل هندسی روتور رلوکتانس مسیر فلو در مدار مغناطیسی که با R نشان داده می‌شود در حالت θ=۰ حداکثر و در θ= ۹۰ درجه حداقل است. چنانچه بتوان شرایطی به وجود آورد که تغییراتR بر حسب θ سینوسی باشد.



شکل (۳-۴) موتور تکفاز رلوکتانسی

$R_1 > R_0$

$$R_0 = \frac{g_0}{\mu A}$$ کمترین رلوکتانس

$$R_1 = \frac{g_1}{M.A}$$

$\theta = 0 \quad \pi, 2\pi$ $\qquad\qquad$ $\theta = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$

R_0: مقاومتی که هسته در برابر فوران دارد را رلوکتانس می‌گویند.

$L = \frac{N^2}{R}$ حداکثر $\qquad\qquad$ $\theta = 0 \quad \pi, 2\pi$ اندوکتانس

حداقل $\quad \theta = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$

$$L = a + b\cos 2\theta \qquad a = \frac{1}{2}(L_{max} + L_{im}) \qquad L_{max} = a + b$$

$$L_{min} = a - b \qquad b = \frac{1}{2}(L_{max} - L_{min})$$

$$2a = L_{max} + L_{mir}$$

$$a = \frac{L_{mzx} + L_{min}}{2} \qquad b = \frac{L_{mzx} - L_{min}}{2} \qquad L = \frac{L_{mzx} + L_{min}}{2} + \frac{L_{max} - L_{min}}{2}.\cos 2\theta$$

$$\theta = wt + \theta_0 \qquad w = \frac{1}{2} l I^2_{(t)} \qquad i_{(t)} = I_m \cos wt \qquad T_{fld} = \frac{\delta wc}{\delta \theta}$$

$$w_c = \frac{1}{4}((l_{max} + l_{min}) + (l_{min} + l_{max})\cos 2\theta) I_m^2 \cos^2 wt)$$

$$T_{fld} = \frac{5wc}{5\theta} = \frac{-Im^2 \cos^2 wt}{4}(L_{max} - L_{min}) 2\sin 2\theta$$

$$T_{fld} = \frac{-Im^2}{2}(L_{max} - L_{min})\cos^2 wt \sin 2\theta$$

$$T_{fld} = \frac{-Im^2}{4}(L_{max} - L_{min})(1 - \cos 2wt)\sin 2\theta$$

$$T_{fld} = \frac{-Im^2}{4}(L_{max} - L_{min})\sin 2\theta + \frac{I_m^2}{4}(L_{max} - L_{min})\cos 2wt \sin 2\theta \qquad (۹-۳)$$

معادله بدست آمده بصورت لحظه ای بوده وبرای اینکه مقدار متوسط آنرا بدست آوریم ازآن انتگرال می گیریم

در موتورهای سنکرون باید $w_s = w_r$ باشد در غیر این صورت یعنی در حالت $w_s > w_r$ و $w_s < w_r$ موتور از حرکت باز می‌ایستد.

$$T_{fld}=\frac{1}{T}\int_0^T T_{fld}dt \Rightarrow |wr|=|w\$$$
$$Tay=\frac{-\Delta LIm^2}{4}.\sin 2\theta. \qquad (۱۰-۳)$$

این موتورها اساساً شبیه موتورهای القایی تکفاز بوده که به یکی از صورتهای فاز شکسته، خازن دائم و خازن راه انداز بوده که سیم پیچ کمکی توسط کلید گریز از مرکز از مدار خارج می‌شود یا به صورت خازنی دائم می‌باشد. اما در ساختمان روتور برجستگی‌هایی وجود دارد. ایجاد برجستگی در روتور توسط برداشتن چند دندانه از روتور حاصل می‌شود. البته برداشتن دندانه‌ها باید طوری باشد که تعداد قطبهای مطلوب حاصل شود.

استاتور موتورهای رلوکتانسی تکفاز نیز حاوی سیم پیچی اصلی و سیم پیچی کمکی است هرگاه استاتور به منبع AC وصل گردد، موتور همانند موتور القایی تکفاز راه می‌افتد. ضریب توان این موتورها کم است زیرا برای تحریک به جریان راکتیو زیادی نیاز دارند. در این موتورها چون تحریک DC وجود ندارد گشتاور ماکزیمم کاهش می‌یابد. لذا موتورهای رلوکتانسی در تحت عنوان یکسان حجیم‌تر از موتورهای سنکرون با تحریک DC هستند.

همانطور که می‌دانیم گشتاور در ماشین های الکتریکی از حاصلضرب دو میدان بوجود می‌آید که در ماشین‌های AC دو میدان دوارو در ماشین DC دو میدان ثابت می‌باشد. اما نوع دیگری از گشتاور به وجود می‌آید که فقط با یک میدان و بر اساس رلوکتانس ایجاد می‌شود که به آن گشتاور رلوکتانسی می‌گویند که این گشتاور در اثر هر گونه دگرگونی که بتواند مقاومت مغناطیسی فاصله هوایی را به هنگام گردش روتور متناسب با زاویه روتور نسبت به سیم بندی درآورد و درماشین این گشتاور ظاهر می‌شود که قطبهای آن بر جسته می‌باشد.

و در ٪ ۷۵سرعت سنکرون کلید گریز از مرکز سیم پیچ کمکی را از مدار خارج می‌کند و بعد از راه اندازی میدان دوار روتور را مجبور می‌کند که همراه میدان با سرعت سنکرون حرکت کند. چون میدان می‌خواهد از کوتاهترین مسیر عبور کند لذا روتور را به همراه خود با سرعت سنکرون به گردش در بیاورد واین خاصیت ایجاد گشتاور رلوکتانس می‌باشد در این موتورها چون تحریک وجود ندارد. گشتاور ماکزیمم کاهش می‌یابد لذا موتورها رلوکتانسی در توان یکسان حجیم‌تر از موتور سنکرون با تحریک DC می‌باشد اما از مزایای آن سادگی ساختمان، هزینه کم، تعمیر و نگه‌داری ناچیز می‌باشد.کاربرد این موتورها در تایمرها و زمان سنج‌های ساعتهای الکتریکی و دوربینهای عکاسی بکار می‌رود.

۳-۴- موتورهای هیسترزیس:

۳-۴-۱ انواع هیسترزیس در موتورها

در اغلب مباحث ماشینهای الکتریکی (و ترانسفورماتور)، از پدیدهٔ هیسترزیس به همراه جریان فوکو به عنوان عوامل اتلاف انرژی، تحت عنوان تلفات آهن یاد می‌شود؛ ولی این امر همواره صحت ندارد. با لندکی توجه به ماهیت تلفات هیسترزیس در استاتور یک موتور القایی سه فاز و روتور یک ماشین DC دو نوع هیسترزیس می‌توان تعریف کرد:

۱-هیسترزیس ناشی از تغییرات زمانی، یا ترانسفورمری در حالتی پیش می‌آید که منبع تولید فلو، نسبت به محلی که پدیدهٔ هیسترزیس در آن مورد مطالعه است، ساکن باشد و تغییرات فلو تنها در اثر تغییرات زمانی فلو حاصل شود. پدیدهٔ هیسترزیس در هستهٔ یک ترانسفورماتور یا حتی استاتور یک موتور القایی از این نوع هستند.

۲- در هیسترزیس سرعتی، دامنهٔ فلو معمولاً ثابت است و تغییرات زمانی فلو در محل مورد مطالعه در اثر حرکت نسبی میدان و قسمت مزبور به وجود می‌آید. وقوع پدیدهٔ هیسترزیس در روتور یک ماشین DC معمولی و نیز در روتور یک موتور القایی از این نوع است.

در هر دو نوع فوق، مقدار معینی انرژی به ازای طی هر سیکل کامل حلقهٔ هیسترزیس، از منبع تولیدکنندهٔ میدان، جذب می‌شود و جذب این انرژی به وجود عکس‌العملی از طرف دریافت کنندهٔ انرژی نیاز دارد. در نوع اول، این عکس‌العمل به صورت تأخیر زمانی تغییرات B نسبت به H در قسمت مورد مطالعه صورت می‌گیرد؛ مثلاً در یک ترانسفورماتور با تحریک سینوسی، این تأخیر زمانی در نهایت به ایجاد یک مؤلفهٔ جریان هم فاز با ولتاژ منجر می‌شود و موجب جذب مقداری توان از منبع تغذیهٔ الکتریکی می‌گردد. به وجود آمدن تأخیر زمانی B نسبت به میدان به وجود آورنده اش، H را می‌توان ناشی از مخالفت B (یا به عبارت بهتر فلوی موجود در میدان) با تغییر زمانی تلقی کرد. چگونگی به وجود آمدن این اختلاف فاز در قسمتهای بعدی توضیح داده خواهد شد.

در هیسترزیس نوع سرعتی شرایط به طور کلی متفاوت است. در این نوع هیسترزیس، جذب انرژی لازم برای طی حلقه هیسترزیس، در اثر حرکت نسبی بین عضو حامل میدان و عضو مورد مطالعه اتفاق می‌افتد، مثلاً، تا وقتی که روتور

ژنراتور DC به چرخش در نیاید، هیسترزیس در آن رخ نمی‌دهد. همچنین اگر روتور یک موتور القایی با سرعت سنکرون و در جهت میدان‌گردان چرخانده شود، هستهٔ روتور هیچگونه تغییرات زمانی فلو را حس نخواهد کرد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که وقوع پدیدهٔ هیسترزیس در روتور یک ماشین DC یا القایی همراه با تولید یک گشتاور باشد، که با عامل تغییر مخالفت می‌کند. این مخالفت در واقع مانند یک گشتاور ترمز کننده، به قصد متوقف کردن حرکت نسبی عمل می‌کند و از این طریق توان تلف شده به صورت هیسترزیس را از منبع مکانیکی عامل چرخش دریافت می‌کند.

در یک ماشین DC که میدان اصلی استاتور در فضا ساکن است، پدیدهٔ هیسترزیس تنها در صورت به حرکت در آمدن روتور رخ می‌دهد و بنا به دلایل گفته شده، یک گشتاور ترمز کننده بر روتور وارد می‌شود، که عملاً به صورت یک گشتاور مخالف بر محور تحمیل می‌شود. این گشتاور قسمت تلفات هیسترزیس موتور را تأمین می‌کند. در صورتی که ماشین به صورت موتور کار کند، قسمتی از توان تبدیل شده به مکانیکی را به خود اختصاص می‌دهد و در حالی که ماشین به صورت ژنراتور کار کند، این توان از محرکهٔ اولیهٔ آن جذب و به حرارت تبدیل می‌شود.

ماهیت گشتاور ترمز کنندهٔ فوق در مورد ماشینهایی که دارای میدان گردان با دامنهٔ ثابت هستند متفاوت است. برای روشن شدن موضوع، یک موتور القایی را در حالت سکون در نظر بگیرید. ضمناً، برای تمرکز در مورد پدیدهٔ هیسترزیس سیم‌پیچی روتور مدار باز فرض می‌شود (مثلاً در موتور با روتور سیم‌پیچی شده)، در اثر چرخش نسبی

میدان ناشی از استاتور، پدیدهٔ هیسترزیس در هسته رخ خواهد داد و موجب خواهد شد که روتور، به منظور جذب انرژی مورد نیاز برای طی حلقهٔ هیسترزیس، در صدد ترمز کردن میدان مزبور برآید. به عبارت دیگر، از طرف روتور، گشتاوری بر میدان استاتور وارد می‌آید که در جهت خلاف چرخش میدان است. عکس‌العمل همین گشتاور بر خود روتور وارد می‌گردد و نهایتاً گشتاوری روی روتور ظاهر می‌شود که در جهت چرخش میدان است؛ به عبارت ساده‌تر، گشتاوری که ناشی از تلف انرژی (ناشی از سطح حلقهٔ هیسترزیس) به وجود می‌آید، روتور را در جهت چرخش میدان به حرکت در می‌آورد.

پدیدهٔ فوق اساس کار موتور هیسترزیس است. از مشخصه‌های مهم این نوع موتورآن است که گشتاور آن از سرعت صفر تا سرعت سنکرون تقریباً مقدار ثابتی است و چنانچه گشتاور بار در حین دور گرفتن از گشتاور تولیدی موتور تجاوز

نکند، سرعت محور را بدون توجه به اینرسی قسمت گردان، قطعاً تا مقدار سنکرون بالا می‌برد. با توجه به اینکه منشاء تولید این گشتاور ناشی از مقدار انرژی لازم برای تأمین تلفات هیسترزیس است، می‌توان انتظار داشت که هر چه حلقهٔ هیسترزیس ماده سازندهٔ روتور "چاق" تر باشد، گشتاور تولیدی نیز ارزش بیشتری می‌یابد.

یادآوری: تولید جریان فوکو در قسمتهای هادی را نیز مشابه به وجود آمدن پدیدهٔ هیسترزیس می‌توان به دو نوع تقسیم کرد. وقتی که تولید جریان فوکو در اثر تغییرات زمانی میدان مغناطیسی و بدون تغییر مکان فضایی باشد، آن را نوع ترانسفورمری می‌نامند. در این حالت توان تلف شده از منبع تولید کنندهٔ میدان مغناطیسی تأمین می‌شود. در نوع سرعتی این تلفات به صورت یک گشتاور عمل می‌کند و مانند آنچه در مورد پدیدهٔ هیسترزیس بحث شد. بسته به ساختمان ماشین ممکن است موجب تولید گشتاور مخالف یا موافق چرخش باشد.

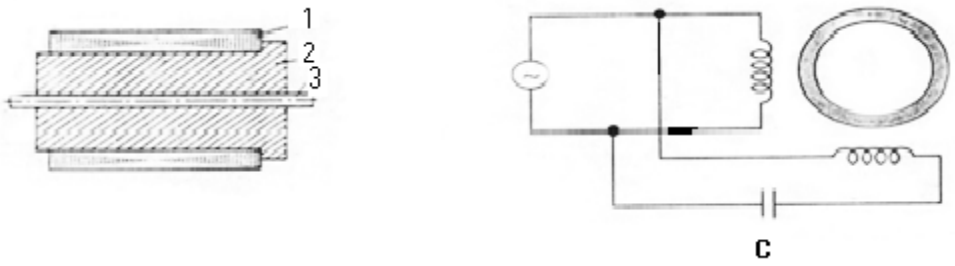
۳ -۴-۲- ساختمان موتور هیسترزیس:

قسمت اصلی روتور این موتور به صورت یک حلقهٔ استوانه‌ای است، که اصولاً باید دارای هیسترزیس مغناطیسی شدیدی باشد. این حلقه توسط یک مادهٔ دیگر (معمولاً غیر مغناطیسی) روی محور موتور قرار می‌گیرد. شکل (۳-۵) قسمتهای مختلف روتور این نوع موتور را نشان می دهد.

مواد مغناطیسی برای ایجاد گشتاور استفاده می‌شود. روتور این نوع موتورها از یک یا چند حلقه تشکیل شده که از خاصیت مغناطیس بسیار خوبی برخوردار سات مانند کروم، کبالت و فولاد ساخته می‌شوند این حلقه بر روی یک استوانه که از مواد مغناطیس نیست سوار می‌شود. استاتور این گونه موتورها شبیه موتورهای تکفاز القایی با خازن راه‌انداز است هرگاه استاتور به برق تکفاز وصل شود میدان دوار تشکیل می‌شود و آن میدان با سرعت سنکرون چرخش می‌کند. این میدان دوار درروتور که از ماده مغناطیسی بسیار خوب تهیه شده است جریان گردابی القا می‌کند به خاطر پدیده پس ماند مغناطیسی یا هیسترزیس میدان حاصله توسط روتور به اندازه زاویه Δ از استاتورعقبتر است زاویهΔ به حلقه هیسترزیس ماده روتور بستگی دارد. لذا گشتاور ثابتی تا سرعت سنکرون شکل می‌گیرد موقعی که روتور موتورهای القایی از یک دسته حلقه‌های فولادی نورد شده که خاصیت مغناطیسی را به خوبی در

خود نگه می‌دارد ساخته می‌شود. خاصیت هیسترزیس به خوبی بروز می‌نماید و خاصیت هیسترزیس فولاد با هر تغییری در پلاریته

مغناطیس موجود به شدت مخالفت می‌کند موقعی که موتور هیسترزیس به سرعت سنکررون می‌رسد توسط گشتاور هیسترزیس به گردش خود ادامه می‌دهد.



(۳-۵)ساختمان یک ماشین هیسترزیس ساده

۱)حلقه از ماده با هیسترزیس شدید ۲) بوش از جنس بوشن غیر مغناطیسی ۳)محور

فولاد روتور با خاصیت زیاد پسماند مغناطیسی تولید تلفات هیسترزیس زیاد می‌نماید و انرژی زیاد از میدان گردان برای تغییر جهت جریان در موتور مصرف می‌شود. در همین موقع میدان مغناطیسی حاصل از جریان فوکو باعث چرخش روتور می‌شود و همین که روتور دائم آهنربا شود قطبهای روتور با قطبهای میدان گردان قفل می‌شود و چون روتور هنچگونه سیم پیچ یا دندانه‌ای ندارد از این رو بسیار ملایم وبدون صدا کار می‌کند و گشتاور بسیار پایدار می‌باشداین نوع موتورهای هیسترزیس در وسایل صوتی و در اندازه‌های خیلی کوچک حدود ۰/۰۱ اسب بخار قرار می‌گیرد. نوع تجارتی این نوع موتورها معمولاً دو قطب دارد لذا آنها دارای سرعت ۳۰۰۰^{RPM} و تحت فرکانس $۵۰Hz$ از منبع تکفاز تغذیه می‌شوند این موتورها برای به حرکت در آوردن یک ساعت الکتریکی بکار می‌رود.

این موتور ازحالت سکون تقریباً آنی به سرعت کامل می‌رسد این موتور نمی‌تواند مانند موتورهای معمولی شتاب بگیرد. لذا یا با سرعت سنکرون حرکت می‌کند و یا به هیچ وجه کار نمی‌کند و دارای منحنی مشخصه گشتاوردورمقابل می‌باشد. در این نوع موتورها گشتاورالکترومغناطیسی ایجاد شده عامل چرخش می‌باشد که دارای دومولفه می‌باشد مؤلفه اول ناشی از جریان گردابی یا فوکو و مؤلفه دوم ناشی از تلفات هیسترزیس می‌باشد.

$$P_f = k_f f^2 B^2 \qquad T_f = \frac{p_f}{w_r} = \frac{k_f s^2 f_s^2 B^2}{sws} = k's \quad (۱۱-۳)$$

$$P_h = k_h f B^{1/6} \qquad T_h = \frac{p_h}{w_r} = \frac{k_h s f_s B}{sws} = k'' \quad (۱۲-۳)$$

با توجه به رابطه‌ی فوق مشاهد می‌شود گشتاور حاصل از تلفات هیسترزیس در تمام سرعت ثابت بوده و گشتاور گردابی متناسب با لغزش می‌باشد و می‌توان گفتت در سرعت سنکرون p_f صفر است. دراین موتورها تنها عامل چرخش موتور تلفات هیسترزیس می‌باشد.

۳-۵ -موتورهای سنکرون کم‌سرعت:

انواع موتورهای سنکرون که تا اینجا مورد بحث قرار گرفت. معمولاً از فرکانس ۵۰، ۶۰ ، ۴۰۰ و یا حتی ۱۰۰۰ هرتز تغذیه می‌شود و با توجه به تعداد قطبهایشان در سرعتهای زیاد کار می‌کنند. در بعضی سیستم‌های کنترل یا کاربردهای دیگر، موتورهایی مورد نیازند، که در سرعتهای بسیار کم، در حد چند دور در دقیقه و البته به صورت سنکرون بچرخند. در چنین شرایطی، استفاده از جعبهٔ دنده‌ای که دارای نسبت دور خروجی به ورودی معینی است، می‌تواند به عنوان اولین راه حل پیشنهاد شود. با وجود این، استفاده از چنین وسیله‌ای ضمن افزودن بر وزن کل دستگاه، موجب بروز نویز بیشتر نیز خواهد شد. بعلاوه، نیاز به سرویس و نگهداری دستگاه را افزایش می‌دهد. نکتهٔ قابل توجه آنکه، این عمل در بعضی کاربردهای خاص مانند کار در خلاء یا در محیط با دمای بالا عملی نیست؛ زیرا روغن به کار رفته در ساختمان جعبهٔ دنده در چنین محیط‌هایی براحتی تبخیر می‌شود.

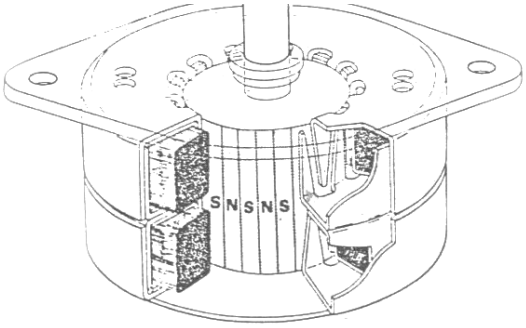
برای حذف جعبهٔ دنده یا مکانیزمهای مشابه، از موتورهای سنکرون خاصّی که سرعت آنها علی‌رغم فرکانس تغذیهٔ زیاد، بسیار کاهش یافته است استفاده می‌شود. در این قسمت اصول کار یک نوع از چنین موتورهایی باختصار توضیح داده می‌شود.

۳-۶- موتور سنکرون با قطب پنجه‌ای:

در این نوع موتور تعداد قطبهای استاتور به طور قابل توجهی افزایش داده می‌شود و سرعت میدان‌گردان بشدت کاهش داده می‌شود. بدیهی است این عمل نمی‌تواند به روش معمول و با قرار دادن به تعداد قطبها و یا حداقل به تعداد زوج قطبها سیم‌پیچی در دورتا دوراستاتور انجام شود. چنین عملی در یک موتور کوچک با استاتور به قطر چندین سانتیمتر نه تنها مشکل بلکه کاملاً غیرعملی است.

مدار مغناطیسی یک موتور پنجه‌ای چنان طراحی می‌شود که تنها یک سیم‌پیچی متمرکز با تحریک سینوسی تعداد قطبهای لازم را دردورتا دور فاصلهٔ هوایی ایجاد کند. شکل(۳-۶) ساختمان یک موتور پنجه‌ای را نشان می‌دهد.

چنانچه ملاحظه می‌شود، یک سیم‌پیچی متمرکز که روی یک هستهٔ استوانه‌ای پیچیده شده است، از یک منبع سینوسی تحریک می‌شود و یگانه تحریک AC ماشین را تشکیل می‌دهد. دو سازهٔ پنجه‌ای شکل از جنس مادهٔ مغناطیسی که هر کدام به یک طرف هستهٔ استوانه‌ای متصل شده‌اند، مدار مغناطیسی استاتور ماشین را کامل می‌کنند و به تعداد لازم، قطب ایجاد می‌کنند. چنانچه مشاهده می‌شود برآمدگیهای متصل به قسمتهای پایین و بالا به طور یک در میان در کنار هم قرار می‌گیرند.



شکل (۳-۶) طرحواره یک موتور پنجه ای

برای توجیه چگونگی عملکرد کار این ماشین، لحظه‌ای را در نظر بگیرید که جریان گذرنده از سیم‌پیچی در جهت نشان داده شده در شکل باشد و در نتیجه قسمت بالای آن پلاریتهٔ N و قسمت پایین آن پلاریتهٔ S مغناطیسی داشته باشد. در این صورت تمام برآمدگیهای متصل به طرف بالا قطب N و در همین لحظه کلیهٔ برآمدگیهای متصل به قسمت پایین قطبS را به خود می‌گیرند و با توجه به آرایش یک در میان دو گروه دندانه، یک ساختار P ایجاد می‌شود که در آن P تعداد برآمدگیهای موجود در هر یک از طرفین است. با تغییر جهت جریان در سیم‌پیچی قطبیت کلیهٔ قطبها تغییر می‌کند و گویی میدان مغناطیسی P قطبی به اندازهٔ $\frac{2\Pi}{P}$ رادیان چرخیده است. با توجه به همفاز بودن کلیهٔ N ها و همچنین S ها، این چرخش می‌تواند در هر یک از دو جهت در نظر گرفته شود. لذا، اگر فرکانس تغذیهٔ سیم‌پیچی f باشد. سرعت چرخش میدان در هر یک از دو جهت $\omega=\frac{2\Pi f}{p}$ می‌شود.

روتور چنین موتورهایی معمولاً از جنس مغناطیس دایم است و در نتیجه ماشین می‌تواند مانند یک موتور سنکرون با روتور مغناطیس دایم تلقی شود. در عمل به علت محدودیتهای مکانیکی و مغناطیسی، ممکن است روتور با تعداد کمتری از قطبهای استاتور درگیر شود. به عبارت دیگر تمام قطبهای استاتور به طور همزمان در تولید گشتاور شرکت نمی‌کنند وهمین عمل موجب می‌شود که گشتاور موتور به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد.

با توجه به اینکه مکانیزم کار این موتور، مشاه موتورهای سنکرون معمولی است؛ لذا نمی‌توان انتظار داشت که این موتور، بتولند خود به خود راه بیفتد. بنابراین معمولاً یک ورقهٔ آلمینیومی متصل به مغناطیس دایم روتور، عهده‌دار تولید گشتاور تا رسیدن دور به سرعت سنکرون است. نکتهٔ قابل توجه آن است که با وجود این صفحهٔ آلمینیومی، گشتاور راه‌اندازی موتور هنوز صفر خواهد بود؛ زیرا، میدان‌گردان موتور فاقد جهت مشخصی است. این حالت شباهت زیادی به راه‌اندازی یک موتور القایی تکفاز دارد. برای ایجاد گشتاور راه‌اندازی در جهت مورد نظر شکل قطبهای روتور طوری فرم داده می‌شود، تا گشتاور رلوکتانسی نیز در جهت مورد نظر ایجاد شود.

به طورخلاصه، این موتور با یک گشتاور رلوکتانسی در جهت مشخصی راه می‌افتد و سپس با گشتاور القایی به سمت سنکرون $\omega=\frac{2\Pi f}{p}$ حرکت می‌کند و بالاخره به سرعت سنکرون می‌رسد و با همین سرعت به حرکت

خود ادامه می‌دهد. با توجه به کوچک بودن سرعت و کم بودن بار موتور، چنین موتوری براحتی به سرعت سنکرون می‌رسد.

۳-۷- موتورهای DC بدون جاروبک:

موتور DC بدون جاروبک یک موتور سنکرون چند فازه با روتور آهنربای دائم است که کار آن مستلزم یک کنترل کنندهٔ الکتریکی است. به طور کلی می‌توان گفت که موتور DC بدون جاروبک، نوعی از موتور الکتریکی است، که از الحاق یک موتور AC (موتور سنکرون)، یک اینورتر و یک حس‌کنندهٔ موقعیت روتوربه وجود می‌آید."حس کنندهٔ موقعیت روتور موقعیت محور را به مدار کنترل اطلاع می‌دهد و این مدار سیگنالهای کنترلی با ترتیب مناسب برای روشن کردن اینورتر می‌فرستد.

موتور DC بدون جاروبک به عنوان یک موتورDC " وارونه" نیز نامیده می‌شود؛ زیرا، ساختمان آن وارونه شده ساختمان یک موتور DC مرسوم است. قطبهای میدان آهنربای دایم در یک موتورDC بدون جاروبک روی روتور و سیم‌پیچی آرمیچر چند فازه آن روی استاتور قرار دارد. عمل کموتاتور در موتورDC بدون جاروبک، توسط کموتاتور الکتریکی انجام می‌شود. همانطوری که در زیر باختصار توضیح داده شده است، این موتور نسبت به موتور DC مرسوم دارای چندین مزیت است.

الف) چون به کموتاتور مکانیکی و جاروبک نیازی نیست، موتورDC بدون جاروبک عمر طولانی‌تری دارد.

ب) مشکلات مربوط به فرکانس رادیویی و تداخل الکترومغناطیسی حداقل می‌شود.

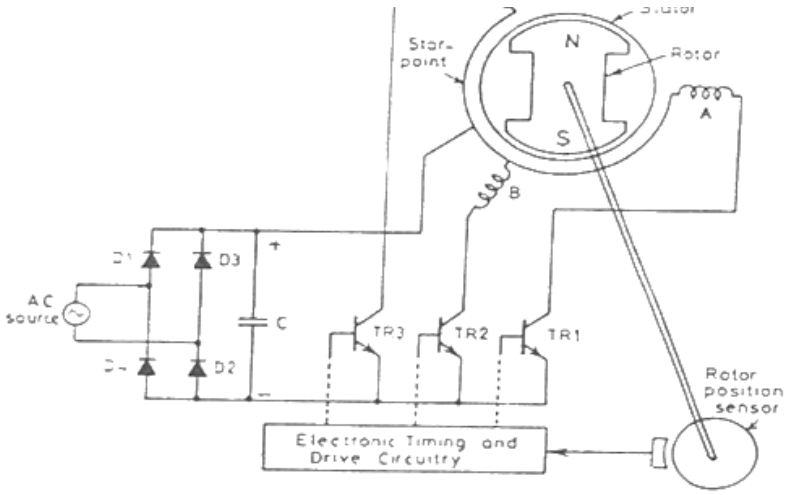
ج) موتورDC بدون جاروبک می‌تواند در سرعتهای بسیار بالاتری نسبت به موتورDC مشابه کار کند.

د) راندمان موتور DC بدون جاروبک بیشتر است.

ساختمان و عملکرد معمولترین نوع موتور DC بدون جاروبک در دنبالهٔ همین قسمت توضیح داده خواهد شد.

۳-۷-۱- موتور DC بدون جاروبک سه فاز سه پالسه (یا نیم موج):

شکل (۳- ۷) صورت ابتدایی موتورDC بدون جاروبک ۳ پالسه، ۳ فاز را به همراه کنترل‌کنندهٔ الکترونیکی آن نشان می‌دهد. استاتور حاوی یک سیم‌پیچی سه فاز است که به صورت ستاره متصل شده و نقطهٔ خنثی آن به ترمینال مثبت منبع DC متصل شده است.



شکل (۳-۷) موتور DC بدون جاروبکسه پالسه سه فاز

در مدار نشان داده شده مبدل دیودی تمام موج برای تبدیل ولتاژ AC به DC و خازن C به عنوان فیلتر به کار رفته است. سه ترانزیستور TR_3 ، TR_2 ، TR_1 با ترتیب خاصی روشن می‌شوند، تا گشتاور یک جهته‌ای تولید شود. هنگامی که TR_1 ، TR_2 یا TR_3 روشن می‌شوند، فازهای A ، B یا C به ترتیب تحریک می‌شوند.

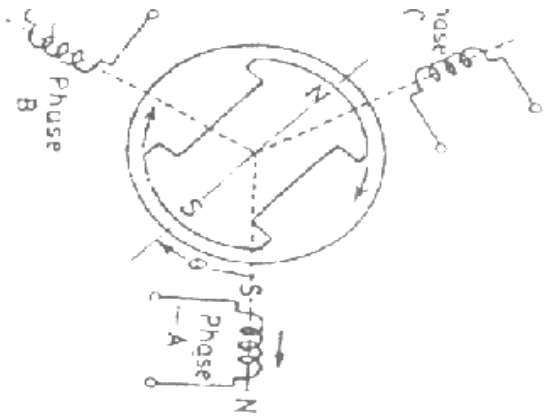
در این موتور تحریک سیم‌پیچی‌ها با ترتیب ABC موجب چرخش موتور در جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌شود. تغذیهٔ فازها با ترتیب ACB موتور را در جهت خلاف حرکت عقربه‌های ساعت می‌چرخاند. حس کنندهٔ موقعیت روتور که بر روی شفت موتور سوار شده است، اطلاعاتی از موقعیت مکانی روتور فراهم آورده سیگنالهایی به مدار محرکهٔ اینورتر می‌فرستد. سه ترانزیستور TR_1 تا TR_3 در این مدار در نقش اینورتر کار می‌کنند. در پاسخ به این سیگنالها، اینورتر اجازه می‌دهد تا جریان در سیم‌پیچی‌های فازهای استاتور، با ترتیب کنترل شده‌ای، طوری جاری شود که موتور بتواند گشتاور و سرعت موردنیاز را تولید کند.

" سنسورهای اثر هال و نیز سنسورهای الکترونوری از جمله سنسورهای مرسوم به کار رفته در حس‌کننده‌های موقعیت روتور هستند. سنسور الکترونوری معمولاً شامل یک LED و یک ترانزیستور نوری است که روی یک چرخ شیاردار (یا سوراخ دار) متصل به شفت قرار داده می‌شود.

۳-۷-۲اصول کار موتور DC بدون جاروبک:

شکل(۳-۸) شکل ابتدایی سیم‌پیچی سه فاز استاتور و روتور دو قطبی آهنربای دایم یک موتورDC بدون جاروبک را نشان می‌دهد. هنگامی که فاز A تحریک می‌شود، قطبهای N وS در استاتور به صورتی که نشان داده شده است تولید می‌شوند. قطب S استاتور قطب S روتور را دفع و قطب N روتور را جذب می‌کند و بنابراین گشتاوری در جهت عکس مثلثاتی تولید می‌شود.مقدار این گشتاور با معادلهٔ زیر داده می‌شود:

$$T_e = K\Phi_s\Phi_r\sin\theta \qquad (۳-۱۳)$$



شکل(۳-۸) شکل ابتدایی موتورDC بدون جاروبک

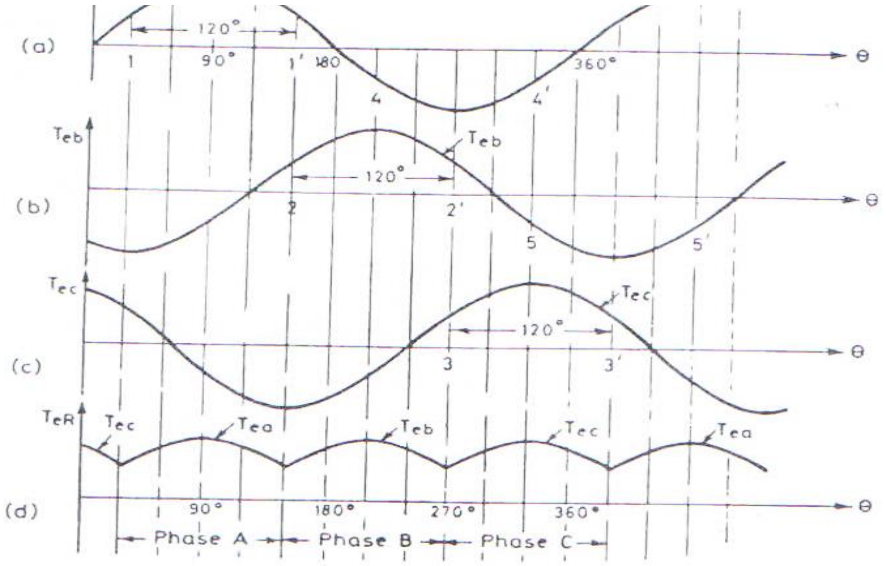
که در آن Φ_s فلوی میدان استاتور، Φ_r فلوی میدان روتور، θ زاویهٔ گشتاور معادل زاویهٔ بین محورهای فلوهای فوق و K ثابت گشتاور است. با توجه به استفاده از آهنربای دایم در روتور، اندازهٔ فلوی میدان روتور Φ_r ثابت است و در حالی که اندازهٔ فلوی استاتور Φ_s تابعی از جریان استاتور است. هنگامی که جریان استاتور ثابت باشد، مقدار این فلو هم می‌تواند ثابت در نظر گرفته شود. اگر مدار مغناطیسی ماشین خطی فرض شود، معادلهٔ گشتاور ناشی از تحریک فاز A ، از معادلهٔ صفحه قبل می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$T_{ea} = KI_a\sin\Phi \qquad (۳-۱۴)$$

که در آن I_a جریان ثابت استاتور در فاز A است.

در موتور شکل (۳-۸) به ازای هر مقدار ثابت I_a مقدار گشتاور تولید شده، طبق معادلهٔ فوق به صورت سینوسی با زاویهٔ گشتاورθ تغییر می‌کند (شکل (۳-۹). چنانچه محور سیم‌پیچی فازB در فاصلهٔ ۱۲۰° از محور فاز A فرض شود، مشخصهٔ گشتاور T_{eb} تولید شدهٔ آن فاز نیز، به همان اندازه نسبت به گشتاور تولید شده توسط فاز A جا به جا می‌شود.. به همین ترتیب مشخصه گشتاورT_{ec} تولید شده، به وسیلهٔ فاز C که در شکل (۳- ۹) رسم شده است، نسبت بهT_{eb} به اندازهٔ ۱۲۰° جا به جا می‌شود. برای چرخش این موتور، به عنوان یک موتور DC بدون جاروبک، سیم‌پیچی فاز A از طریق ترانزیستور TR_1 شکل (۳-۷) از لحظهٔ ۱ (θ= ۳۰°) تا لحظهٔ ۱´ (θ=۱۵۰°) تحریک می‌شود، به طوری که گشتاور مثبت T_{ea} تولید شود از لحظهٔ ۲ (θ=۱۵۰°) تا لحظهٔ ۲´ (θ=۲۷۰°) سیم‌پیچی فاز B از طریق ترانزیستور TR_2 تحریک می‌شود، تا گشتاور مثبت T_{eb} تولید شود. از موقعیت مکانی ۳ (θ=۲۷۰°)

تا ´۳ (θ= ۳۰˚) نیز سیم‌پیچی فاز C از طریق ترانزیستور TR_3 برای ۱۲۰˚ بعدی چرخش تحریک می‌گردد و گشتاور مثبت T_{ec} تولید می‌شود. بعد از این، به منظور دوران پیوستهٔ موتور DC بدون جاروبک در جهت به ترتیب فوق تحریک می‌شوند. چنانچه ملاحظه می‌شود در یک موتور DC بدون جاروبک سه پالسهٔ سه فاز، هر سیم‌پیچی به مدت ۱۲۰˚ از هر سیکل ۳۶۰˚ ای جریان‌دار می‌شود. بررسی شکلهای (۳-۹)نشان می دهد ، که اگر زمان هدایت ترانزیستورها به اندازهٔ ۱۸۰الکتریکی به تأخیر انداخته شود. جریان‌دار شدن سیم‌پیچی فاز A از لحظهٔ ۴ تا ´۴ صورت می‌گیرد. به همین ترتیب سیم‌پیچی فاز B ممکن است از لحظهٔ ۵ تا ´۵ و انجام می‌شود و عوض کردن جهت دوران موتور را ممکن می‌سازد . معکوس کردن جهت دوران روتور با معکوس کردن ترتیب روشن کردن سیم‌پیچی‌های استاتور نیز ممکن است.



شکل(۳-۹) منحنی مشخصه گشتاور زاویه موتور Dc بدون جاروبک

اگر سیم‌پیچی‌های فازها به طور همزمان و با جریانهای لحظه‌ای i_a، i_t i_c , تحریک شوند مطابق معادلهٔ $T_{ea}=KI_t\sin\Phi$ و شکل (۵۴) معادلهٔ گشتاور لحظه‌ای تولید شده توسط هر یک از فازها، می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$T_{ea}=Ki_a\sin\theta \qquad (۳-۱۵)$$

$$T_{eb}=Ki_b\sin(\theta-120) \qquad (۳-۱۶)$$

$$T_{ec}=KI_t\sin(\theta-240) \qquad (۳-۱۷)$$

با لندکی پیچیده‌تر کردن مدار کنترل، می‌توان شـــرایطی را فراهم آورد که جریان فازها نیز توســـط اطلاعاتی که از ســنســـور موقعیت محور دریافت می‌کنند، به صـــورت توابعی از θ تغییر کند. اگر فرض شـــود که جریانهای فازها به صورت سینوسی با θ تغییر کنند، به طوری که:

$$i_a = I_m \sin\theta \qquad (۳-۱۸)$$

$$i_b = I_m \sin(\theta - 120) \qquad (۳-۱۹)$$

$$i_c = I_m \sin(\theta - 240) \qquad (۳-۲۰)$$

باشد، معادلات گشتاور فازها به صورت زیر درمی‌آید:

$$T_{ea} = K I_m \sin^2\theta \qquad (۳-۲۱)$$

$$T_{eb} = K I_m \sin^2(\theta - 120) \qquad (۳-۲۲)$$

$$T_{ec} = K I_m \sin^2(\theta - 240) \qquad (۳-۲۴)$$

و برای گشتاور منتجه خواهیم داشت:

$$T_{eR} = T_{ea} + T_{eb} + T_{ec} \qquad (۳-۲۵)$$

$$= K I_m [\sin^2\theta + \sin^2(\theta - 120) + \sin^2(\theta - 240)] \qquad (۳-۲۶)$$

$$= K I_m \left[\frac{1-\cos 2\theta}{2} + \frac{1-\cos 2(\theta-120)}{2} + \frac{1-\cos 2(\theta-240)}{2}\right]$$

$$= \frac{3}{2} K_{im} \qquad (۳-۲۷)$$

معادلهٔ (۳-۲۷) نشان می‌دهد که تحت شرایط گفته شده، گشتاور الکترومغناطیسی مستقل از موقعیت روتور می‌شود و مشابه با موتور DC مرسوم متناسب با دامنهٔ جریان آرمیچر می‌گردد.

شـکل (۳-۹) نشـان می‌دهد که گشـتاور موتوری تولید شـده در یک موتور DC بدون جاروبک (با تغذیهٔ معمولی) دارای نوسـان (ضـربان) اسـت. اسـتفاده از موتور DC بدون جاروبک ۶ پالسـهٔ سـه فاز یا چهار پالسـهٔ سـه فاز یا چهار پالســهٔ چهار فاز و ۶ و پالســهٔ ســه فاز، هر ســیم‌پیچی به ترتیب در مدتهای معادل ^{o} ۹۰ و ^{o} ۶۰ چرخش تحریک می‌شود

۳-۷- ۳- کاربردهای موتور DC بدون جاروبک:

همانند یک موتور پله‌ای، سرعت موتورهای DC بدون جاروبک توسط فرکانس تحریک سیم‌پیچی‌های فازها تعیین می‌شود. اندازهٔ گشتاور آنها نیز می‌تواند با تنظیم دامنه جریانهای سیم‌پیچی فاز و نیز زاویهٔ بین محور مغناطیسی روتور و محور سیم‌پیچی فاز تحریک شده کنترل شود. با توجه به امکان ایجاد شرایط مختلف تحریک توسط مدار کنترل، می‌توان مشخصه‌های کاری مختلفی از موتورهای DC بدون جاروبک انتظار داشت. روند رو به کاهش سریع هزینهٔ کنترل کننده‌های الکترونیکی، موجب کاربرد فزایندهٔ موتورهای DC بدون جاروبک شده تا در جاهایی که قبلاً تحت تسلط موتورهای DC مرسوم بودند به کار گرفته شوند.

محرکه‌های اصلی چرخش نوار در ضبط صوتها، محرکه‌های دیسک سخت برای کامپیوترها، دستگاههای اندازه‌گیری کم‌هزینه، هواکشهای کوچک خنک کنندهٔ تجهیزات الکترونیکی از جمله کاربردهای موتورهای DC بدون جاروبک است. همچنین انواع همین موتورها ولی با توان نسبتاً بزرگتر کاربردهایی در سیستمهای هواپیما و ماهواره پیدا کرده‌اند. در آینده، وقتی قدرت نامی این موتورها افزایش یابد شاید از آنها در سیستمهای کشش الکتریکی (مانند اتومبیل،صندلی چرخدار) نیز استفاده شود.

فصل چهارم

موتورهای خطی:

linier Indction Motor

۴-۱- مقدمه

ماشینهای معمولی حرکت دورانی دارد و قدرتی برابر $p=w.T$ را می‌دهد در حالتی که در سیستم غیر دوار $P=F.V$ می‌باشد هر موتوری را با تمهیدات خاصی می‌توانیم به ماشینهای خطی تبدیل نماییم حتی ماشینهای غیر کلاسک هم می تواند خطی شـــود. حرکت دوارنی یک موتور چرخان را می‌توان توســط مبدلی به حرکت خطی تبدیل کرد ولی این حالت همیشـه سـاده تدین حالت نیسـت.اسـاساً برای هر موتور گردان، می‌توان یک مشـابه خطی نیز تصـور کرد، ولی نوع خطی مشکلات خاص خود را دارد. از جمله این مشکلات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

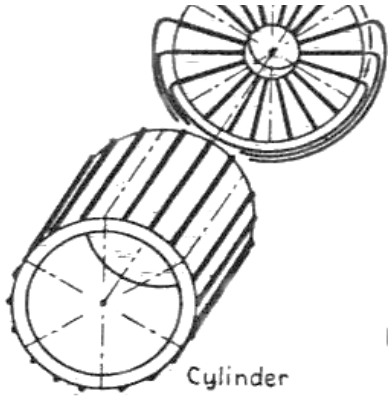
الف) مشکل ناشی از فراهم آوردن امکانات لازم برای درگیر ماندن دو قسمت ساکن و متحرک

ب)عدم تعادل مدار مغناطیسی در طول مسیر حرکت

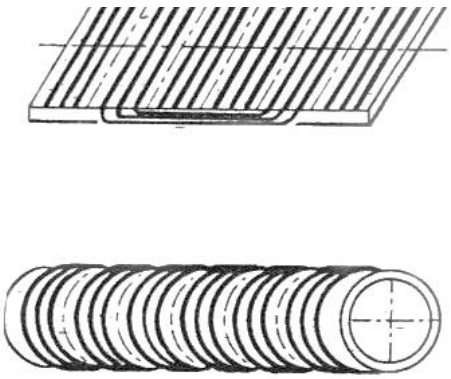
ج)وجود نیروی جاذبه بســیار بزرگ بین دو قســمت فعال موتور در صــورتی که هر دوقســمت فوق دارای هســته مغناطیسی باشند.

۴-۲- ساختمان اساسی موتورهای خطی:

یک موتور خطی می‌تواند از ایده تغییر شـکل خاص در یک موتورگردان معمولی حاصـل شـود.قسـمت فاصـلهٔ هوایی یکنواخت فعال، در یک موتور القایی گردان معمولی در شکل (۴-۱) نشان داده شده است. اگر این فضای استوانه‌ای در امتداد یکی از یال‌ها بریده شده و به صورت شکل (۴-۲) گسترده شود، موتور خطی حاصل می‌شود.

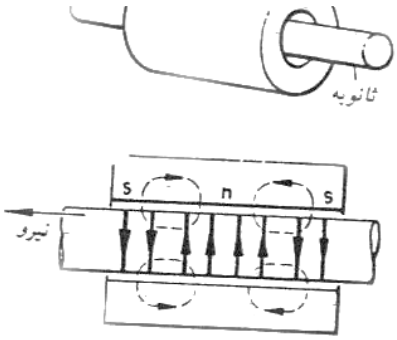


شکل (۴-۱)نمای یک موتور دوار



شکل(۴-۲) نمای بریده شده موتور دوار

چنانچه شکل گسترده شده در امتداد طولی خود (عمود بر امتداد جریان‌های نشان داده شده در شکل (۴-۱) لوله شود، قسمت فعال یک موتور خطی " لوله‌ای " حاصل می‌شود (شکل ۴-۳).



شکل(۴-۳) نمای یک موتور خطی لوله ای

از دو قسمت اساسی موجود در هر یک از دو موتور القایی فوق، یک قسمت " اولیه " است، که میدان مغناطیسی لازم را در فاصله هوایی مسطح و یا لوله‌ای ایجاد می‌کند. قسمت دیگر " ثانویه " است، که در اثر عمل متقابل بین جریان به وجود آمده در آن و میدان مغناطیسی موجود در فاصلهٔ هوایی نیروی کشش (یا رانش) موتور تولید می‌شود.

اساساً برای هر موتورگردان، می‌توان یک مشابه خطی نیز تصور کرد، ولی نوع خطی مشکلات خاص خود را دارد. از جمله این مشکلات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

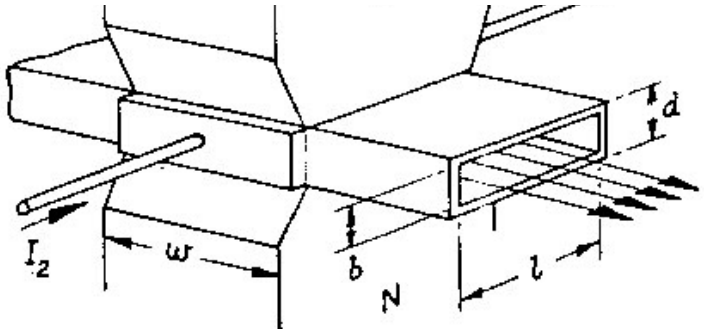
الف) مشکل ناشی از فراهم آوردن امکانات لازم برای درگیر ماندن دو قسمت ساکن و متحرک، ضمن حرکت خطی نسبی بین آن‌ها بخصوص اگر قرار باشد این عمل در یک مسیر طولانی انجام شود.

ب) عدم تعادل مدار مغناطیسی در طول مسیر حرکت.

ج) وجود نیروی جاذبهٔ بسیار بزرگ بین دو قسمت فعال موتور در صورتی که هر دو قسمت فوق دارای هستهٔ مغناطیسی باشند.

برای حل مشکل " الف " یکی از قسمت‌ها (ثابت یا متحرک) در تمام طول مسیر، که ممکن است از چند میلی‌متر تا چندین صد کیلومتر باشد، ادامه داده می‌شود. کوتاه بودن طول مسیر چنین موتوری، متناظر با یک عدم تقارن در یک موتورگردان است. در یک موتورگردان هر قطب ***N*** یا ***S*** در دو طرف خود، توسط قطب‌های مخالف خود احاطه شده است؛ در حالی که یک موتور خطی با طول محدود، دارای دو " انتها " است. کشش مغناطیسی بین دو قسمت ثابت و متحرک در یک ماشین‌گردان، با مدار مغناطیسی متقارن (و نیز یک موتور لوله‌ای)، توسط نیروهای مخالف در اطراف روتور خنثی می‌شود، ولی چنین حالتی در یک موتور خطی مسطح وجود ندارد، مگر آنکه موتور دو طرفه باشد و یا ثانویهٔ آن فاقد هستهٔ مغناطیسی باشد. در یک موتور دو طرفه، قسمت متحرک توسط دو قسمت ثابت (واقع در دو طرف آن) احاطه شده است. به هر حال تدابیر لازم برای جلوگیری از به هم چسبیدن دو قسمت ثابت و متحرک به هم باید انجام شود

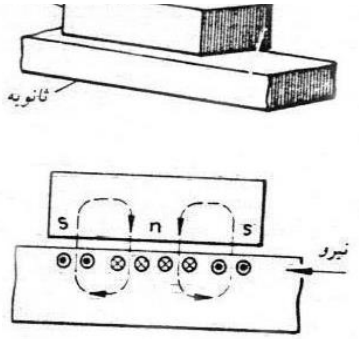
.ماشین‌های ***DC*** یا سنکرون نیز، می‌توانند به صورت خطی ساخته شوند، ولی عیب آن‌ها این است که هر دو قسمت آن‌ها باید از بیرون تغذیه شوند. شکل (۳-۴) طرحواره یک نمونه موتور ***DC*** خطی را، که به عنوان پمپ فلزات مذاب به کار می‌رود، نشان می‌دهد.



شکل (۴-۴) کاربرد موتور خطی DC به عنوان پمپ مواد فلزی مذاب

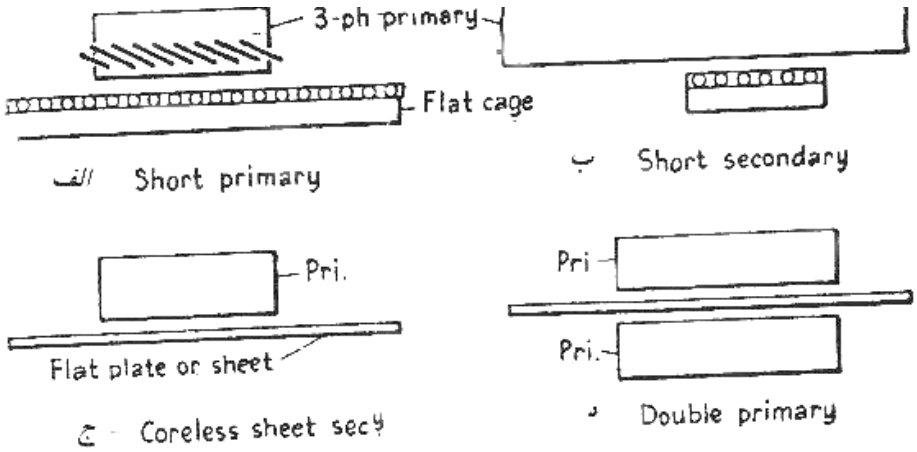
۴-۳ -موتورهای القایی خطی:

اولیه یک موتور القایی خطی از شبکه سه فاز تغذیه می‌شود. ثانویه نیز یک سیم‌پیچی صفحه‌ای با هسته آهنی یا بدون هسته آهنی است. هر یک از قسمت‌های اولیه یا ثانویه می‌تواند نقش عضو ثابت یا استاتور را به خود بگیرد. در این صورت قسمت دیگر، عضو متحرک موتور خواهد بود، که با توجه به ماهیت حرکت آن **"**دونده**"**نامیده می‌شود .شکل های (۴-۳) و(۴-۴) دو نوع این موتور ها را نشان می دهد



شکل(۴-۵) نمای یک موتور خطی یک طرفه

اساس کار یک موتور خطی القایی را می‌توان با مقایسه آن با یک موتورگردان قفسه‌ای توجیه کرد. بر همین اساس می‌توان چند طرح اولیه برای موتور خطی القایی مطابق شکل (۴-۶) پیشنهاد کرد. نوع " با اولیه کوتاه " (مطابق شکل (۴-۶- الف)) در مسیرهای طولانی مناسبتر است؛ زیرا بکارگیری سیم‌پیچی سه فاز در طول یک مسیر بلند، غیر اقتصادی است. استفاده از نوع " ثانویه کوتاه " (شکل ۴-۶- ب) به کاربردهای با مسیر حرکت کوتاه محدود می‌شود. در هر دو حالت فوق، ثانویه به صورت قفسه در سطح هسته ثانویه توزیع شده است.



شکل(۴-۶) اشکال مختلف موتور القایی خطی

موتور با ثانویهٔ از نوع ورقه‌ای بدون هستهٔ آهنی، ارزان قیمت است، ولی چون مدار مغناطیسی آن در محل فاصله هوایی باز است شکل میدان مغناطیسی در آن چندان منظم نیست. در نتیجه، مسیرهای جریان در ثانویه نیز در محل‌های خاص میدان چندان متمرکز نمی‌گردد و موجب کاهش شدید نیروی رانش می‌شود. علی‌رغم فاصله هوایی طولانی، به منظور حفظ فاصلهٔ کافی بین قسمت‌های ثابت و متحرک، با استفاده از اولیه دوتایی می‌توان ضعف‌های فوق را تا حدی برطرف ساخت. اگر دو اولیه واقع در طرفین ثانویه طوری تغذیه شوند، که قطب‌های متقابل، قطبیت

مخالف داشته باشند (که عملاً چنین نیز هست) نیروی جاذبه شدیدی بین دو اولیه به وجود می‌آید، ولی با توجه به ساختمان دستگاه، نگهداری دو قسمت ثابت فوق در فاصله معین از هم چندان مشکل نیست.

۴-۳- ۱-موتورهای خطی القایی با سه هدف مختلف به شرح زیر ساخته می‌شوند:

الف) ماشین‌های مولد نیرو (عمل کننده‌ها):

این نوع موتورها برای تولید نیرو در حالت سکون و یا برای حرکت کند در یک مسیر کوتاه به کار می‌روند. این موتورها معمولاً در اندازه‌های کوچک ساخته می‌شوند و به عنوان رقیبی برای مولدهای بادی یا هیدرولیکی به حساب می‌آیند. در این کاربرد نسبت نیروی تولید شده به تلفات اهمی (یعنی RI^2 کل ماشین) معیار طراحی محسوب می‌شود.

ب) ماشین‌های انرژی (شتاب‌دهنده):

در این حالت، هدف رساندن انرژی جنبشی به یک جرم و شتاب دادن آن است، تا آن را در یک مسافت معین از حالت سکون به سرعت زیاد برساند. معیار طراحی این کاربرد خاص میزان انرژی انتقالی به مقدار مفید شتاب است.

ج) ماشین‌های قدرت (محرّک‌ها):

ماشین‌های قدرت به منظور انتقال جرم و معمولاً در سرعت‌های زیاد و با ضریب بهرهٔ نسبتاً خوب ساخته می‌شوند. ماهیت این نوع کاربرد، قرار گرفتن اولیه و ثانویه را به ترتیب در استاتور و دونده ایجاب می‌کند.

یک موتور خطی می‌تواند هر تعداد قطب، اعم از فرد یا زوج راشته باشد. به فرض آنکه گام قطب در چنین موتوری Y(متر) باشد، طول موج میدان (متناظر با زاویهٔ 2Π رادیان الکتریکی در یک ماشین‌گردان) برابر $\lambda=2Y$ خواهد بود. اگر فرکانس زاویه‌ای جریان تغذیه موتور ω باشد، سرعت خطی سنکرون موج سیار میدان مغناطیسی به صورت زیر خواهد بود:

$$v_s=\omega_1\left(\frac{Y}{\Pi}\right)=\omega_1\left(\frac{\lambda}{2\Pi}\right) \qquad (۴-۱)$$

سرعت سنکرون میدان در یک ماشین خطی با طول موج ۱ متر، که از منبع با فرکانس ۵۰ هرتز تغذیه می‌شود، $v_s=50 m/sec$ و یا ۳ km/min و معادل ۱۸۰ km/h خواهد بود. بنابراین، ایجاد سرعت‌های انتقالی بالا توسط ماشین‌های قدرت امکان پذیر است. البته موتور دارای لغزش نیز است و با تعریفی مشابه آنچه در موتورهای گردان وجود دارد، می‌توان سرعت خطی "دونده" را به صورت زیر بدست آورد:

$$v=v_s(1-s) \quad =\omega_1\left(\frac{Y}{\Pi}\right)(1-s) \qquad (۴-۲)$$

تقسیم توان انتقالی به ثانویه (p_g) به اتلاف توان در قسمت متحرک R_2I^2 و توان تبدیل یافته به مکانیکی (p_m) مشابه موتورهای القایی گردان است.

۴-۳-۲- انواع موتورهای خطی شامل:

۱)موتورهای یک طرفه ***SLIM***

۲)موتورهای دو طرفه ***DLIM***

۳)موتورهای مارپیچی (لوله ای)

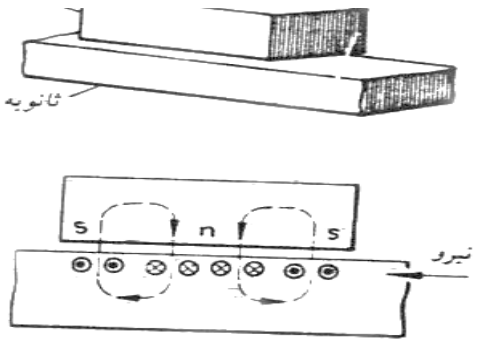
ماشین‌های ***DC*** یا سنکرون نیز، می‌توانند به صورت خطی ساخته شود ولی عیب آن‌ها این است که هر دو قسمت آنها باید از بیرون تغذیه شود و دو تحریکه محسوب میشوند.

ــ که این مسئله مهمی می‌باشد که موتور یک تحریکه باشد بنابراین از موتورهای خطی القایی در صنعت حمل ونقل استفاده می‌شود. موتورهای خطی القایی شامل ۳ قسمت: **۱) یک طرفه ۲) دوطرفه ۳) مارپیچی** می‌باشد. اولیه یک موتور القایی خطی از شبکه سه فاز تغذیه می‌شود. ثانویه نیز یک سیم پیچی صفحه‌ای با هسته آهنی یا بدون هسته است.

۴-۴- موتورهای خطی یکطرفه

موتورهای خطی القایی دارای همان اساس کار ماشینهای آسنکرون چند فازه متناوب هستند با این تفاوت که در طول یک مدار مغناطیس که در آن سیم بندی استاتور را از وسط برش داده و پهن کردیم به همان صورت روتور را برش دادیم. معمولاً در ماشینهای خطی واژه روتور و استاتور را به کار نمی‌برند و به جای آن از اولیه و ثانویه استفاده می‌شود.

شکل(۴-۷) نمای یک موتور خطی یک طرفه را نشان می دهد.



شکل(۴-۷) نمای یک موتور خطی یک طرفه

به طور کلی یک قطعه مکعب شکل که شیار روی آن را سیم بندی کنیم و یک صفحه آلومینیومی را زیر آن بگذاریم و اگر اولیه آن را به منبع سه فاز متصل کنیم یک میدان در اولیه ایجاد می‌شود که این میدان یک ولتاژ در ثانویه القا می‌کند که باعث ایجاد میدان در ثانویه می‌شود که در اثر این میدن نیرویی ایجاد می‌شود که باعث حرکت ثانویه یا اولیه می‌شود و چون ثانویه حرکت نمی‌کند اولیه با سرعت Vs به حرکت در می‌آید

$$V_S = 2\tau f \qquad (۳-۴)$$

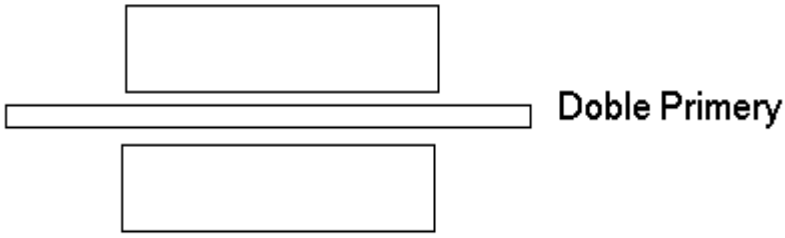
و اگر **s** لغزش درحین حرکت وسرعت تحت بار را Vr بنامیم بنابراین داریم:

$$S = \frac{v_s - v_r}{v_s} \qquad (۴-۴)$$

$$vr = vs(1-s) \qquad (۵-۴)$$

طبق طرح، اولیه و ثانویه فقط از آلومینیوم می‌باشد با توجه به اینکه در این حالت پراکندگی فوران زیاد می‌شود (به علت رلوکتانس زیاد) چون فوران دوست دارد از رلوکتانس کم استفاده کند به همین دلیل برای اصطکاک کمتر و رلوکتانس کمتر زیر صفحه آلومینیومی یک صفحه آهن می‌گذارند.

علت اینکه فقط آهن را به کار نمی‌برند زیرا خاصیت مغناطیس آهن کم می‌باشد. در عمل در مسیرهای طولانی احتیاج به آهن و آلومینیوم زیادی است بنابراین از موتور خطی دو طرفه استفاده می شودمطابق شکل(۴-۸) می سازند



شکل(۴-۸) نمای یک موتور خطی دو طرفه

در موتورهای **LIM** شکاف هوایی نسبتاً بزرگ است و عموماً بین ۱۵ تا ۳۰ میلیمتر می‌باشد. اما در موتورهای دوار شکاف هوایی در حدود ۱ تا **۱.5** میلیمتر می‌باشد لذا راکتانس مغناطیس کنندگی در موتورهای **LIM** نسبتاً کم است لذا تلفات عضو ثانویه زیاد می‌شود و بازده کم است. ضریب توان کم و درحالت عادی تحت لغزش بزرگی کار می‌کند. بنابراین از طرح موتور دو طرفه محسوب میشوند در این طرح همانند شکل صفحه فلزی بین دو سیم پیچ قرار گرفته بنابراین پراکندگی فوران کم شده و راندمان موثر بالا میرود.

۴-۵- اثر ابتدا وانتها در موتورهای خطی

پدیده‌ای که در موتورهای خطی القایی وجود دارد و در موتورهای القایی موجود نیست اثر انتها می‌باشد اولیه موتورهای القایی خطی دارای لبه ورودی است که هر هادی ثانویه از طریق آن به طور مداوم وارد فاصله بین آهن شده و از لبه خروجی آنرا ترک می‌کند طبق قانون لنز جریان ثانویه در منطقه ورودی از تولید شار در آن فاصله جلوگیری می‌کند همچنین طبق قانون لنز جریانی که تمایل دارد شار را نگه دارد بعد از اینکه هادی ثانویه لبه خروجی را ترک کرد در آن می‌ماند این جریان تلفات اهمی را بدون نیرو باعث می‌شود بنابراین اثر انتها یا لبه باعث می‌شود که مقاومت مؤثر ثانویه بزرگتر شده در نتیجه موتور بازده پایین‌تری داشته باشد. این اثر طبیعتاً در سرعتهای زیاد تشدید می‌شود، لازم به ذکر است که سه تفاوت عمده بین این نوع ماشین و ماشین آسنکرون وجود دارد: الف) در موتور با حرکت دورانی عموماً روتور شامل هادی‌هایی است که به صورت طبیعی از هم مجزا شده است یا به طوری قفس یا به صورت سیم پیچی شده می‌شود. در صورتی که در موتورهای خطی می‌توان روتوری داشت که از یک ورق یا صفحه سخت هادی ساخته شده باشد .

ب) در یک موتور گردان عموماً بیش از یک استاتور القاء کننده وجود ندارد. در صورتی که در یک موتور خطی می‌توان همواره به دو استاتور برخورد نمود که در مقابل هم قرار گرفته که بدین وسیله مسیر بسته شدن خطوط فوران را آسانتر نموده و همینطور اندازه اندوکیسون را در فاصله هوایی افزایش می‌دهد.

ج) در یک موتور آسنکرون گردان عموماً یک استاتور ثابت و یک روتورگردان موجود است در حالی که در یک موتور خطی می‌توان گاهی یک استاتور ثابت و استاتور متحرک و گاهی روتور ثابت و استاتور متحرک داشت. معمولاً انتخاب اینکه کدام یک متحرک و کدام یک ثلبت باشد بستگی به کاربرد مورد نظر دارد. برای نمونه در کاربردهای حمل و نقل معمولاً اولیه کوتاه و روی خودرو نصب می‌باشد و ثانویه طویل و روی مسیر می‌باشد.

۳) موتورهای خطی مارپیچی (لوله ای)

اگر سیم پیچی استاتور را روی یک محیط استوانه‌ای توخالی توزیع کنیم(شکل ۴-۸). وقتی سیم پیچها به منبع سه فاز وصل می‌شود یک نیروی جلو برنده ایجاد می شود با این کار یک حرکت خطی فراهم می‌شود واین حرکت تا وقتی ادامه دارد که روتور از سیم پیچی بیرون آید و نهایتاً می‌توان با این موتور ۱ مترالی ۲ متر جابجایی خطی داشته باشیم.

شکل(۴-۸) نمای یک موتور خطی لوله ای

موتورهای لوله ای برای حرکتهای ضربه ای کوتاه ، که شامل یک اولیه ساکن متشکل از یک سیم پیچی سه فاز لوله ای روی یک هسته مورق و یک ثانویه از میله فولادی نرم ، به صورت تجارتی ساخته میشود و در کاربردهایی نظیر، دریچه های بخاری، هیدرولیکی و یا بادی ، درهای جهنده ، دریچه های تخلیه مایعات و درهای کشویی استفاده میشود. این موتورها دارای قابلیت حرکت دو طرفه به صورت تند یا آهسته و یا حرکت به صورت پله ای هستند. اگر سیم پیچ های استاتور به صورت زاویه دار(مورب) ساخته شوند(مانند شیارهای روتور در یک موتور القایی) قسمت متحرک موتور علاوه بر نیروی محوری یک گشتاور نیز احساس کرده و به صورت مارپیچی حرکت خواهد کرد.

موتورهای القایی خطی کوچک برای استفاده در کنار زدن پرده، د رباز کن درها کشویی و غیره بکار می‌رود

مثال: یک موتور خطی یک طرفه دارای گام قطبی ۶۰ سانتی متر و در فرکانس ۵۰ ***Hz***، لغزش آن ۲۰ درصد باشد، اولیه این موتور با چه سرعتی بر حسب کیلومتر برساعت حرکت می کند.

$$V_s = 2\tau f = 2\times 60\times 10^{-2}\times 50 = 60\ m/s$$

$$V_r = V_s(1-s) = 60(1-0/2) = 48\ m/s \qquad \frac{3600}{1000} = 172.8\ km/h$$

۴-۶ - نقش بالشتک هوا در موتورهای خطی:

مانع اصلی در افزایش سرعت حمل ونقل اصطکاک می‌باشد لذا در موتورهای خطی برای گریز از این عمل از بالشتک هوا استفاده می‌شود. برای ابتکار از یک سیم پیچ ***dc*** استفاده می‌شود که وظیفه آن بالا برنده می‌باشد. این سیم پیچ را در شیارهای مجزایی آنرا قرار می‌دهند. و طوری قرار می‌دهند که نیروی دافعه ایجاد نماید که با این عمل اصطکاک به حداقل برسد.

مثال: یک موتور القایی خطی دارای ۵ قطب و گام قطب ۲۴۰ سانتیمتر است و دارای مدار معادل به شکل زیر می‌باشد و پارامترهای مدار معادل برابر است.

$$lm = 6\ mH \quad R_1 = 0.11\Omega \quad L_1 = 0.6\ mH$$
$$L_2' = 0.6\ mH \quad R_2' = 0.24\Omega$$

الف) سرعت سنکرون موتور را وقتی با منبع ۲۰ ***Hz*** کار می‌کند محاسبه نمایید

ب) نیرو یا فشار محوری، قدرت مکانیکی، جریان ورودی، ضریب توان وقتی موتور به منبع ۴۰ ***Hz*** و به ولتاژ ۳۰۰ ولت در سرعت $45\ km/h$ کار می‌کند تعیین نمایید.

الف) $v_s = 2\tau f = 2\times 240\times 10^{-2}\times 2($

ب)
$$x_m = wl = 2\pi f l_m = 2\pi\times 40\times 6\times 10^{-3} = 1.5\Omega$$
$$x_1 = 0.15\Omega\times 2 = 0.15$$

۴-۷ ماشین‌های خطی در عمل:

چنانکه می‌توان انتظار داشت، شرایط یک ماشین عملی، بخصوص در حالتی که ثانویه فاقد هسته آهنی باشد، با آنچه در مورد یک ماشین ایده‌آل گفته شد، متفاوت است. در این قسمت دو نوع از این ماشین‌ها بطور خلاصه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۷-۱ ماشین با " اولیه کوتاه":

در یک ماشین با اولیه کوتاه تنها قسمتی از ثانویهٔ هادی، که در داخل میدان مغناطیسی اولیه قرار دارد، فعال است و حرکت نسبی لازم را به وجود می‌آورد. بقیه ثانویه که در خارج میدان قرار گرفته است، از نظر الکتریکی " مرده" است. جریان ثانویه در جهت مخالف ***mmf*** اولیه ایجاد می‌شود و در نتیجه هر قسمت از ثانویه تنها، به هنگام گذر از فاصله هوایی فعال فلو تولید می‌کند و جریان در قسمتی از ثانویه، که فاصله هوایی را ترک می‌کند، میرا می‌شود. این عمل موجب می‌شود که مقداری توان به صورت تلفات ورود و خروج ظاهر شود. به هنگامی که موتور با لغزش **s** کار می‌کند، جریانی غیر همفاز با میدان سیار حاصله از اولیه ایجاد می‌شود و فلویی با توزیع غیر یکنواخت و تابع لغزش در فاصله هوایی فعال ایجاد می‌کند. در حقیقت، هر قسمت از یک موتور خطی با " اولیه کوتاه" حتی هنگامی که با سرعت ثابت حرکت می‌کند، در شرایط گذرا کار می‌کند و در نتیجه مدار معادل کلاسیک موتور القایی در مورد چنین موتوری چندان صحیح نیست.

۴-۷-۲ ماشین با ثانویه صفحه‌ای:

موتورهای القایی خطی قادرند، در اثر برخورد میدان مغناطیسی تولید شده توسط یک یا چند سیم‌پیچی به عنوان اولیه و جریان فوکوی ایجاد شده توسط آن میدان در یک صفحه هادی به عنوان ثانویه، نیروهای ضربه‌ای تولید کنند. در شکل (۶-۴) نمونه‌ای از این موتورها نشان داده شده است.اولیه از یک سیم‌پیچی چند فاز تشکیل شده و میدان مغناطیسی حاصله از آن دارای حرکت خطی در امتداد محور حرکت موتور است. ثانویه فاقد میله‌های خاص برای ایجاد مسیر مشخص برای جریان ثانویه و حتی حلقه‌های انتهایی (مانند یک روتور قفسه‌ای) است و در نتیجه پیش‌بینی مسیر جریان در آن چندان دقیق نیست. اندازه نیروی تولید شده، به صورت خاصی به عرض نسبی اولیه و ثانویه بستگی دارد؛ به عنوان مثال، اگر عرض ثانویه بسیار بزرگتر از عرض اولیه باشد جریان ثانویه در مسیرهایی موازی با شیارهای اولیه ایجاد می‌گردد و تحت میدان اولیه نیرو تولید می‌کنند. در عمل عرض ثانویه ممکن است، فقط کمی بزرگتر و یا حتی کوچکتر از عرض اولیه باشد و در مواردی ممکن است از گام قطب نیز کوچکتر باشد. در نتیجه، جریان به وجود آمده در آن، دارای مسیرهای بیضی مانند می‌شود و قسمت زیادی از مسیر جریان در امتداد حرکت قرار می‌گیرد که در عین اتلاف مقداری انرژی از نظر تولید بلااستفاده است.

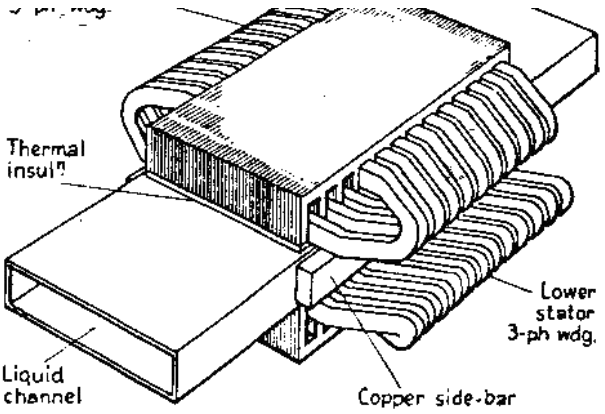
پیش‌بینی رفتار چنین موتوری تنها وقتی مقدور است، که چگالی فلو در فاصله هوایی و نیز مسیرهای جریان ثانویه با دقت کافی قابل پیش‌بینی باشد و چنانکه گفته شد به علت محدود بودن عرض ثانویه این عمل چندان ساده نیست.

۴-۸ نمونه‌هایی از کاربردهای موتورهای خطی:

موتورهای خطی قدرت در نقلله، بالابرها، پمپ‌های الکترومغناطیسی، جرثقیل‌های هوایی (ریل‌دار) و در قطارهای سریع‌السیر به کار می‌روند. همچنین ماشین‌های " شتاب دهنده " برای آزمایش‌های روی طناب و تصادم اتومبیل و همچنین برای پرتاب موشک‌های کوچک ساخته شده‌اند. مولدهای نیرو (عمل کننده‌ها) نیز ماشین‌هایی هستند که در هم‌زن‌ها و شیرهای الکتریکی و نیز ایجاد ضربه در فرم دادن بعضی فلزات به کار رفته‌اند.

۴-۸-۱ موتورهای قدرت:

پمپ الکترومغناطیسی؛ این پمپ‌ها اساساً برای جابه‌جا کردن فلزات مذاب با دمای زیاد (مانند سدیم، آلیاژ سدیم، پتاسیم یا بیسموت)، که در تاسیسات راکتورهای هسته‌ای، به به عنوان ماده انتقال حرارت به کار می‌روند، ساخته شده‌اند. یک موتور خطی مسطح با اولیه دوتایی (دو طرفه) در شکل (۵۹) نشان داده شده است. هر دو استاتور این موتور دارای هسته آهنی شیاردار با سیم‌پیچی سه فاز است. فاصله هوایی نیز یک کانال با مقطع مستطیلی است، که مسیر مواد مذاب را تشکیل می‌دهد. دو میله مسی قرار داده شده در دو لبه کانال نقش حلقه‌های انتهایی را بازی می‌کند و موجب می‌شود که جریان در ماده مذاب هر چه بیشتر در امتداد لازم (عمود برامتداد حرکت) سوق داده شود. کانال مایع از فرم دادن یک لوله و یا جوش دادن ورقه‌ها، به شکل لازم ساخته می‌شود. نیروی وارد شده، بر مایع، یک اختلاف فشار در طرفین آن در مسیر خود ایجاد می‌کند و مایع را به حرکت در می‌آورد. حاصل ضرب نیرو وسرعت مایع، معادل قدرت مکانیکی خروجی است. بازده این موتور نسبتاً کم است.

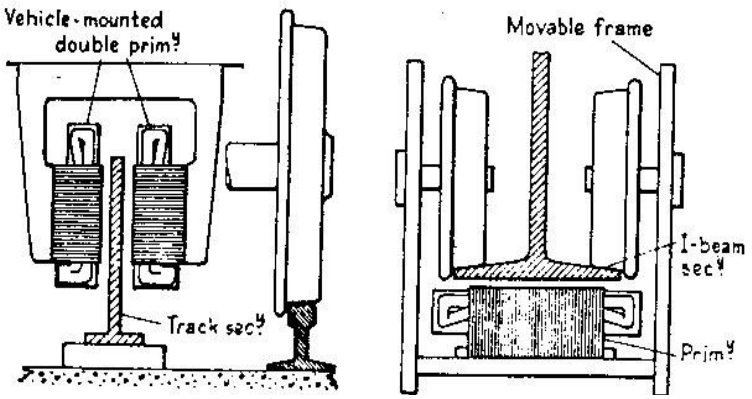


شکل (۴-۹) نمونه ای از کاربرد موتور خطی القایی در پمپ الکترومغناطیسی

مقدار قابل قبول بازده در قسمت ثانویه (**s**–۱) است، ولی در عمل تعدادی عوامل جانبی موجب کاهش آن می‌شود. دیواره فلزی مجرای مایع به ضخامت تقریبی ۲**mm** ، هم با مسیرهای فلوی مغناطیسی اولیه و هم با مسیرهای جریان ثانویه موازی قرار می‌گیرد و مقدار مفید هر کدام را به نوبه خود کاهش می‌دهد. اصطکاک بین مایع و دیوارهٔ داخلی مجرا نیز، مقداری از توان خروجی را به خود اختصاص می‌دهد. بعلاوه، زیاد بودن فاصلهٔ هوایی موجب افزایش جریان مغناطیس کننده و از آنجا پایین آوردن ضریب توان موتور می‌گردد. بالاخره، شرایط کار با دمای بالا مشکلاتی در عایق کاری مناسب بین سیم‌پیچی اولیه و ثانویه ایجاد می‌کند.

۹-۸-۲ جرثقیل‌های هوایی (ریل‌دار):

نوعی از این جرثقیل‌ها در شکل (۴–۱۰) نشان داده شده است. در این جرثقیل، یک اولیه یکطرفه، در هریک از دو انتهای عرضی قسمت متحرک، که روی ریل حرکت می‌کند، قرار می‌گیرد و خود ریل نقش ثانویه آن‌ها را بازی می‌کند. میزان کشش افقی توسط ولتاژ کنترل می‌شود. سادگی ساختمان و نبود قسمت گردان، چرخ دنده، کلاچ و محورهای کوپلاژ و بالاخره سادگی کنترل، از امتیازات این نوع جرثقیل است. یادآوری می‌شود که موتور خطی مزبور تنها جهت انتقال افقی جرثقیل روی ریل به کار رفته است و نیروی لازم برای بلند کردن اشیای سنگین بر عهدهٔ موتور دیگری است. این موتور تا سرعت $\frac{m}{s}$ ۲ ،می‌تواند حرکت کند و با توجه به مقاومت ویژهٔ فلز ثانویه و طول فاصله هوایی درحداکثر سرعت تا لغزش ۰.۲برسد.



شکل(۴–۱۰) نمونه ای از کاربرد موتور خطی در جرثقیل های ریلی

فرکانس بهینه، معمولاً کمتر از فرکانس معمولی شبکه است، ولی اغلب مواقع استفاده بهینه فدای راحتی کار در فرکانس معمولی شبکه می‌گردد. در نمونه شکل (۲۰) توان ظاهری معادل ۵ تا ۱۰ ولت آمپر برای تولید یک نیوتون نیروی کشش لازم است.

۴-۸-۳ همزن:

همزدن مواد مذاب داخل یک کوره، توسط یک موتور خطی با " اولیه کوتاه"، که به دیوارهٔ خارجی کوره متصل شده است، امکان‌پذیر است مشروط بر آنکه جداره کوره از ماده مغناطیسی ساخته نشود و به علاوه فرکانس نسبتاً کم باشد. در این صورت ماده مذاب نقش ثانویه موتور را بازی می‌کند. بازده عمل بسیار کم است، ولی عمل همزدن براحتی انجام می‌گردد و خواص متالوژیکی ماده بهتر می‌گردد.

۴-۸-۴- کشنده واگن‌ها در معدن:

یک روش برای کشیدن واگن‌های حمل بار در معادن اتصاال آنها به هم، جهت تشکیل قطاری با حداقل طول معین، مثلاً ۲۵۰ متر است. زیر هر واگن یک صفحه هادی نصب می‌شود و در روی زمین بین ریل‌ها،اولیه‌های کوتاه به تعداد زیاد و طبعاً به فواصل کمتر از طول هر واگن قرار می‌گیرد. به هنگام عبور واگن‌ها از روی ریل بین اولیه‌های ساکن و صفحات هادی زیر واگن‌ها، نیروی رانش مداومی به وجود می‌آید و موجب حرکت واگن‌ها در جهت مورد نظر می‌گردد.

۴-۸-۵ قطارهای سریع السیر:

قطارهای معمولی با سرعتهایی در حد ۲۰۰- ۱۵۰ کیلومتر در ساعت حرکت می‌کنند و سرعت‌های km/h ۳۰۰ یا بالاتر نیز در صورت فراهم بودن شرایط خط قابل حصول است. سرعت چنین قطارهایی توسط چسبندگی بین چرخ‌ها و ریل قطار محدود می‌شود. به عبارت دیگر، در اثر بالا رفتن بیش از حد سرعت، نیروی چسبندگی بین دو قسمت کاهش می‌یابد و امکان لیز خوردن چرخ محرک روی ریل پیش می‌آید. در نتیجه، درصدی از چرخش چرخهای محرک به صورت " درجا" می‌شود و نقشی در کشش قطار نخواهد داشت. موتورهای خطی از این نظر جالب است و روش خوبی برای تولید نیروی محرکه برای چنین کاربردی است. از مزایای دیگر این روش می‌توان به مستقل بودن آن از چسبندگی چرخ و ریل، توانایی ترمز کردن در حد عالی و نیز بالا بودن نسبت قدرت به وزن اشاره کرد.

قطارهای سریع السیر بدون چرخ و ریل‌های معمولی، مانند سیستم به کار رفته در هاورکرافت‌ها و یا قطارهای پرنده که به هنگام حرکت به فاصله چند میلی‌متر بالاتر از ریل حرکت می‌کنند. می‌توانند با سرعتهای بسیار بالا حرکت کنند. شرایط اقتصادی ایجاب می‌کند که اولیه متکی به قطار باشد و ثانویه در تمامی طول مسیر گسترده شود. در نتیجه، قدرت الکتریکی لازم در اولیه، باید از طریق اتصال‌های لغزان از خط انتقال موجود در مسیر گرفته شود و یا یک دیزل ژنراتور که برقطار سوار است تأمین گردد.

۴-۸-۶ شتاب دهنده‌ها:

نوع شتاب دهنده موتورهای القایی خطی، از نظر ایجاد انرژی جنبشی قابل توجه هستند؛ به عنوان نمونه، می‌توان به وسیله تست تصادم اتومبیل‌ها اشاره کرد. در این تست، اتومبیل یا کامیون‌های با جرم ۵۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلوگرم به دیوار بتونی برخورد می‌کند و سرعت آنها توسط یک موتور سه فاز خطی با اولیه دو طرفه کوتاه $50Hz$ و $3/3kV$ و kW ۴۰۰ از حالت سکون به $50\ km/h$ رسانده می‌شود. کل مدت شتاب گرفتن در حدود سه ثانیه و انرژی جذب شده در حدود $4\ MJ$ (۱ kWh) است.

روش‌های مختلفی برای بهینه کردن رابطه بین سرعت سنکرون، لغزش و نیروی شتاب‌دهنده در هر نقطه از مسیر، در موتورهای خطی شتاب‌دهنده قابل تصور است. اگر چنانچه اولیه در تمامی طول مسیر گسترده شده باشد، گام قطب ممکن است در طول مسیر **بتدریج افزایش داده شود؛ به طوری که، سرعت سنکرون موتور با سرعت دونده (قسمت متحرک) تطابق نسبی داشته باشد. در چنین حالتی فرکانس تغذیع ثابت می‌ماند. در روش دیگر، گام قطب اولیه ثابت می‌ماند، ولی فرکانس تغذیه با سریعتر شدن قسمت دونده بتدریج افزایش داده می‌شود. این روش برای موتورهای با اولیه کوتاه نیز قابل اجرا است. طرح سیستم نسبتاً پیچیده است؛ زیرا، ترکیبی از حالتهای گذرای الکتریکی و مکانیکی در آن وجود دارد، که هرگز به حالت ماندگار نمی‌رسد.**

مثال) یک موتور خطی القایی سه فاز دارای ۷ قطب ۳۰سانتی متر است و پارامترهای مدار معادل هر فاز به قرار زیر است: موتور LIM با منبع سه فاز ولتاژ و فرکانس متغیر وصل کرده‌ایم.ولتاژ ۳۰۰ ولت و فرکانس $50\ Hz$وسرعت متغیر $75\ km/h$ است.

الف) لغزش ب) توان ورودی، ضریب توان، توان فاصله هوایی، توان مکانیکی و تلفات در ثانویه و نیرو را حساب کنید.

فصل پنجم

سرو موتور: Servo motor

۵- امقدمه

طبق تعریف سرو موتورها موتورهایی هستند که در سیستم کنترل اتوماتیک عمل تبدیل انرژی را انجام می‌دهند در سیستم کنترل اتوماتیک یک وسیله‌ای می‌خواهیم که عمل نمونه برداری را انجام می‌دهد و آنرا ترانستیوسر می‌نامیم و یک وسیله می‌خواهیم که فرمان مورد نظر را ایجاد نماید البته خود ترانسیتوسر می‌تواند یک تاکومتر باشد سرو موتورها گاهی به نام موتورهای کنترل از آنها یاد می‌شود طوری طراحی و ساخته می‌شود که بتوان از آنها در سیستم‌های کنترل فیدبک استفاده نمود توان اسمی این موتورها بین دهم وات تا چند صد وات می‌باشد. سرعت این موتورها بسیار زیاد می‌باشد لذا اینرسی این موتورها کم می‌باشد. در نتیجه قطر این ماشینها کم ولی طول آن نسبتاً زیاد می‌باشد از این موتورها در رادار، ربات، و ماشین ابزار استفاده می‌شود. و آدم آهنی و کامپیوتر استفاده می شود

۵-۲ - ویژگیهای یک سرو موتور:

یک سرو موتور خوب باید دارای ۴ ویژگی زیر باشد:

۱)سرعت پاسخ بالا که تابعی از عکس ثابت زمانی سیستم می‌باشد.

۲)ضریب تقریب مناسب یعنی نسبت خروجی به ورودی مقدار قابل ملاحظه‌ای باشد.

۳) دارای پایداری باشد یعنی در مقابل ورودی محدود پاسخ محدود را داشته باشد.

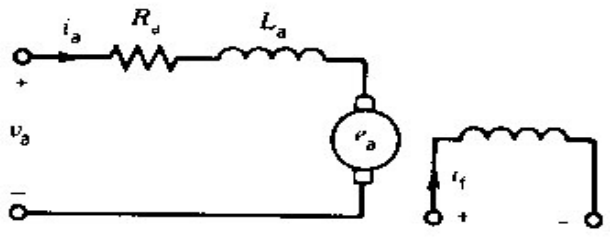
۴)حساسیت بالا یعنی نسبت تغییرات خروجی به ورودی مقدار مشخصی باشد.

۵-۳- انواع سروموتور :

الف) سرو موتورهای AC **ب)** سرو موتورهای DC

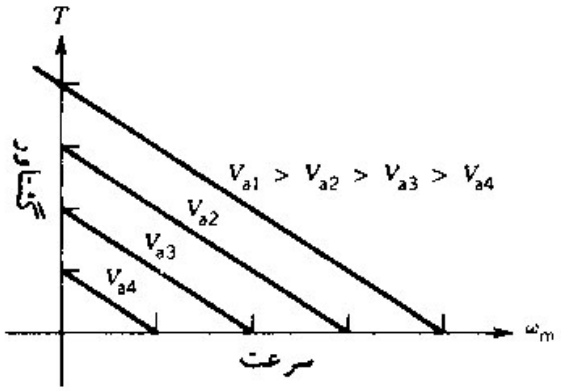
۵-۳-۱ سرو موتورهای Dc:

سرو موتورهای Dc در حقیقت یک موتور، DC تحریک جداگانه یا موتورDC با قطبهایی از آهنربای دائم است.شکل(۵-۱) یک نمونه از سرو موتور DCرا نشان می دهد . سرو موتورهایDC عمدتاً توسط ولتاژ آرمیچر کنترل می‌شود و آرمیچر را طوری طراحی می‌کنند که دارای مقاومت زیاد باشد لذا مشخصه گشتاور سرعت این موتورها خطی بوده و شیب منفی نسبتاً زیادی دارند. در ماشینهای DC نیروی محرکه مغناطیسی (MMF) آرمیچر و مدار تحریک متعامدند. لذا تغییر پله‌ای در ولتاژ آرمیچر یا جریان باعث می‌شود در موقعیت یا سرعت موتور تغییر سریع حاصل می‌گردد.



شکل(۵-۱) نمودار **سرو موتور** *Dc*

همانند موتورهای تحریک مستقل نقطه کار می‌بایستی مانند نمودار شکل(۵-۳)همیشه در شیب منفی باشد .



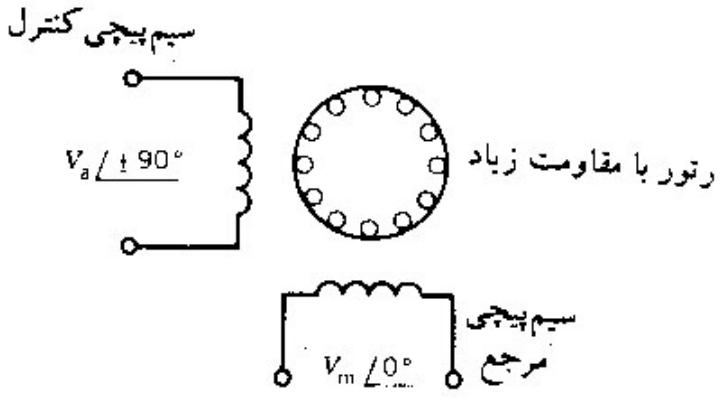
شکل(۵-۳) مشخصه گشتاور سرعت سروموتور

۵-۳-۲ سرو موتورهای *AC*:

در سرو موتور ***AC*** یا موتور کنترل دو فاز استاتور دارای دو سیم‌پیچی است که با زاویه 90° درجه الکتریکی فضایی نسبت به یکدیگر قرار دارند. یکی از آنها، که فاز ثابت یا مرجع نامیده می‌شود، از یک منبع ولتاژ ***AC*** با دامنه و فرکانس ثابت تغذیه می‌شود. فرکانس این منبع معمولاً ***۵۰Hz***، ***۴۰۰Hz***، ***۱۰۰۰Hz*** است. فاز دیگر، که در آن را فاز کنترل می‌نامند، توسط ولتاژی با همان فرکانس، ولی با اختلاف فاز تقریباً ۹۰ درجه نسبت به فاز ثابت تغذیه می‌شود. ولتاژ ورودی فاز کنترل، متناسب با سیگنال کنترل است از طریق یک تقویت کننده ***AC*** تامین می‌شود.

توان اسمی سرو موتورهای ***dc*** از چند وات یا چند صد وات می‌باشد. در حقیقت سرو موتورها با توان بالا از نوع ***dc*** می‌باشد. اما امروزه در توانهای کم از سرو موتورهای ***AC*** استفاده می‌شود سرو موتورهای ***AC*** چون اینرسی (لختی) آنها کم می‌باشد لذا از سرو موتورهای ***dc*** خود دارای پاسخ بهتری می‌باشد. اما باید متنبه شد که سرو موتورهای ***AC*** غیر خطی هستند و مشخصه گشتاور سرعت آنها به خوبی و ایده‌ال سرو موتورهای ***dc*** نمی‌باشد.

اکثر سرو موتورهایی که در سیستم کنترل قرار می‌گیرد از نوع موتور القایی دو فاز با روتور قفس سنجابی می‌باشد سرو موتورهای***AC*** شکل (۵-۲) حاوی دو فاز حاوی دو سیم پیچی است که دو طول محیط استاتور درون شیارها توزیع و سیم بندی شده‌اند.



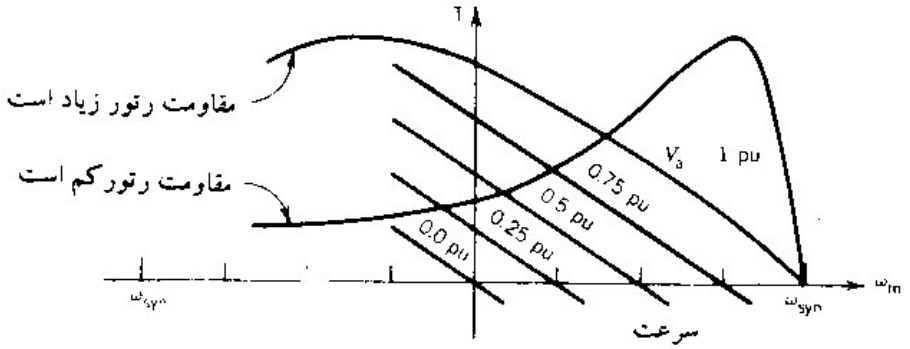
شکل(۵-۲) ساختمان سرو موتور دوفاز ***Ac***

این دو سیم پیچ عبارتند از:

۱)سیم پیچ اول یا سیم پیچ مرجع یا سیم پیچ فاز ثابت معروف است به منبع ولتاژ ثابت ***vm*** متصل است.

۲) سیم پیچی دوم که سیم پیچی کنترل فاز مرسوم می‌باشد و به منبع متغیر ***va*** متصل می‌باشد.

در این موتورها محورهای مغناطیسی دو سیم پیچ فوق ذکر بر هم عمودند و زاویه ولتاژ متغیر ***va*** همواره $\pm 90^\circ$ است و ولتاژ سیم پیچ کنترل فاز ی***va*** عمدتاً توسط خروجی یک تقویت کننده به نام تقویت کننده ***servo*** مهیا شده و به موتور اعمال می‌گردد. جهت چرخش موتور به اختلاف فاز ***va*** و ***vm*** و پس فاز و پیش فاز بودن ***va*** نسبت به ***vm*** بستگی دارد. منحنی مشخصه گشتاور سرعت این موتورها در مواقعی که مقاومت روتور کم است غیر خطی بوده و شبیه موتور القایی سه فاز می‌باشد چنین مشخصه‌ای جایگاهی در سیستم کنترل ندارد. اما اگر مقاومت روتور زیاد باشد مشخصه گشتاور سرعت تقریباً خطی می‌شود منحنی مشخصه *این موتور* همانن شکل (۵-۳) می باشد.



شکل(۵-۳) مشخصه های گشتاور سرعت

۵-۴- چگونگی رساندن یک موتور به سرعت پاسخ بالا:

معمولاً سرو موتورها دارای پاسخ سرعت قابل توجهی می‌باشند. ولی برای افزایش سرعت باید ثابت زمانی سیستم را کاهش داد **که شامل:**

۱) ثابت زمانی مکانیکی

۲) ثابت زمانی الکترومغناطیسی

معمولاً ثابت زمانی مکانیکی در حدود ثانیه و دهم ثانیه می‌باشد ولی الکترو مغناطیس در حدود میلی ثانیه می‌باشد.

* بنابراین باید ثابت زمانی مکانیکی را کاهش دهیم. برای این منظور باید جرم قسمت دوار را کم کرد تا پاسخ بالا برود به همین دلیل روتور اینگونه سرو موتورها را **به دو صورت:**

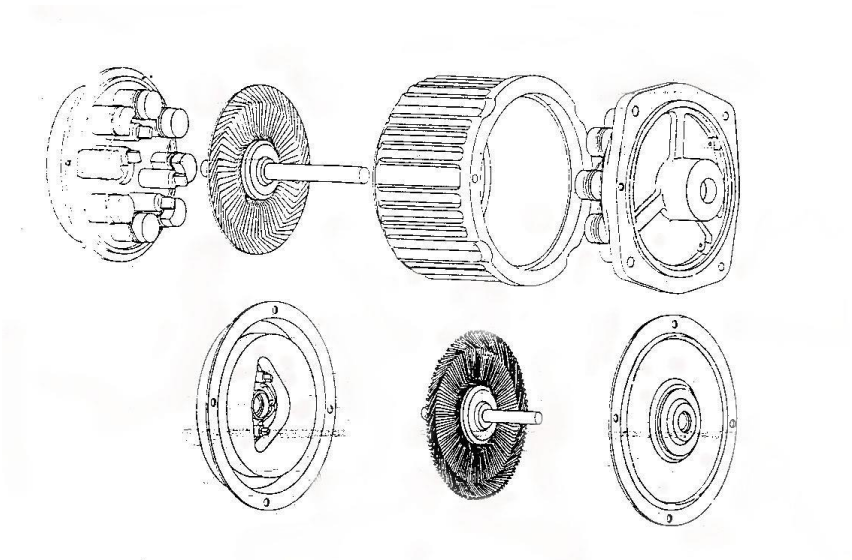
۱) روتور مدار چاپی **۲)** فنجانکی ***Drag-cup-rotor***

۵-۴-۱ روتور مدار چاپی:

یک فیبر مدار چاپی را به صورت دیسک نازک می‌باشد درمی‌آوریم و روی آن با سیمهای مدار چاپی به صورت سیم پیچ همانند شکل مقابل را درمی‌آوریم و از دو طرف این عمل انجام می‌شود وبا کنار هم گذاشتن چند دیسک روتور مدار چاپی را بسازیم.

در این نوع موتورها به دلیل عدم وجود شیارهها درآرمیچر و اثرات دندانه‌ای به علت تغییرات مقاومت مغناطیسی وجود ندارد و تغییرات گشتاور به علت محدودیت تعداد سیمها با مورب کردن سیمها از بین می‌رود و چون سیم‌های آرمیچر توسط آهن احاطه نشده‌اند لذا راکتانس آرمیچر بسیار کوچک ویک ثابت زمانی کوچک نیز ارائه می‌دهد.

شکل (۵-۴) ساختمان روتور فنجانکی شکل کششی

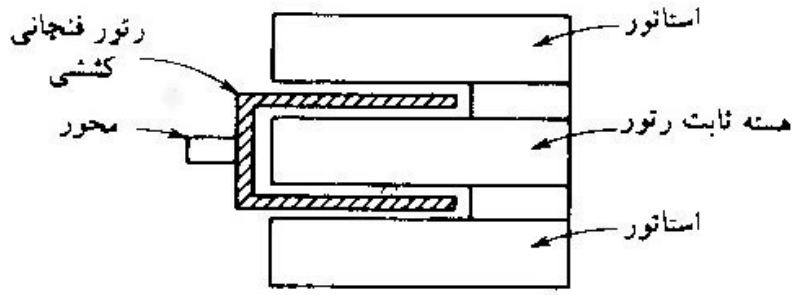


۵-۴-۲ روتور فنجانکی:

برای کاهش ثابت زمانی روش دیگری نیز وجود دارد که قسمت آهن روتور را ثابت و قفس روتور را به صورت دورانی روی محور در بیاوریم. برای این کار میله‌های آلومینیومی را از قسمت آهنی تفکیک می‌کنیم و قسمت آهنی را ثابت می‌کنیم و قفس آلومینیومی که در جداره خارجی چرخش می‌نماید. معمولاً این نوع سرو موتورها موتورهای کوچکی هستند و گشتاور زیادی ندارند.

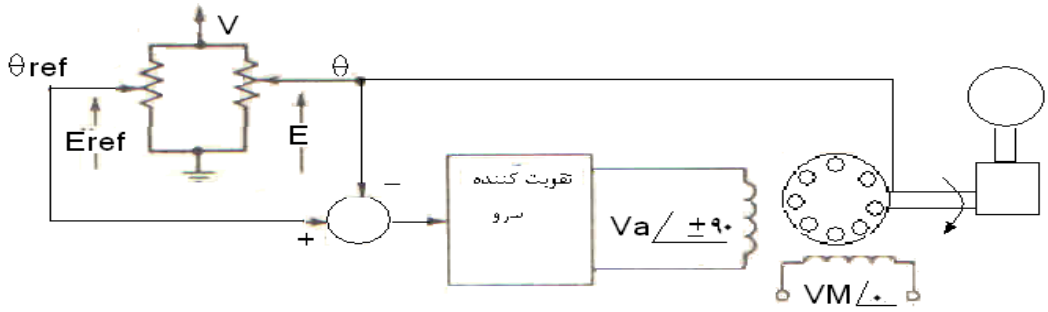
کمی اندوکتانس آرمیچر، زیاد بودن شتاب و گشتاور یکنواخت از ویژگیهای این نوع موتورهاست.

* در این نوع موتورها در یک میلی ثانیه دور موتور به ۱۲۰۰ می‌رسد در عمل چون آلومینیوم از استحکام مکانیکی خوبی برخوردار نیست قفسه این موتورها دارای شاسی آهنی می‌باشد.



شکل(۵-۵) ساختمان روتور فنجانکی شکل کششی

یکی از کاربرد های سروموتور ها کنترل وضعیت یا موقعیت را داراست.در شکل (۵-۵) یک سیستم کنترل با حلقه بسته را نشان می‌دهد. در این سیستم دو پتانسیومتر وجود دارد که به یک منبع چهار ولتی متصل است. پتانسیومتر مرجع ولتاژ $Eref$ را متناسب با سینگال موقعیت مطلوب یا θ_{rf} تولید می‌کند. پتانسیومتر دوم از محور سرو موتور فرمان می‌گیرد و ولتاژ E را متناسب با وضعیت محور θ ایجاد می‌کند تفاوت در ولتاژ فوق سیگنال خطا را ایجاد می‌کند. باید دانست که $Eerror$ متناسب با θ_{erro} است. سیگنال خطا به تقویت کننده اعمال می‌شود و این تقویت کننده ولتاژ مورد نیاز را در دوسر سیم پیچ v_a فراهم کرده و باعث حرکت کردن سرو موتور می باشد این حرکت آنقدر ادامه دارد که ولتاژ خطا برابرصفر شود.



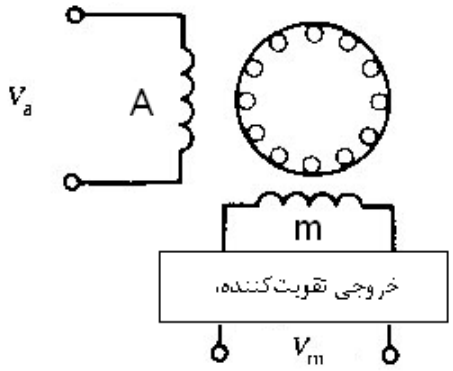
شکل (۵-۵) سیستم کنترل حلقه بسته جهت کنترل رادار

۵-۵ - تاکومترها: (تاکوژنراتور)

تاکتومتر وسیله‌ای است که سرعت زاویه‌ای یک محور را اندازه می‌گیرد و بر حسب ***RPM*** نشان می‌دهد.

اندازه گیری دورانی نسبتاً ساده است سرعت دورانی را می‌توان با میزان القاء ولتاژدر سیم پیچ اندازه گرفت که بر دو نوعند با خروجی ***AC*** و با خروجی ***DC***. تاکومترها جهت چرخش را مشـــخص می‌کنند با توجه به اینکه ولتاژ ورودی پس فاز یا پیش فاز باشد جهت چرخش مشخص می‌شود.

برای فیدبک سیستم‌های کنترل غالباً نیاز به اندازه‌گیری سرعت محور است. بدین منظور بهتر است که اندازه‌گیری به شکل متناوبی با فرکانس ثابت ظاهر گردد که این عمل با بکارگیری موتور القایی دو فاز ممکن می‌شود. سیم بندی ***m*** مینایی برای میدان ثابت یا میدان مبنا است که بوسیله ولتاژ منبع ثابت با فرکانس ثابت تغذیه می‌شود که ولتاژی با فرکانس ولتاژ تغذیه سیم بندی ***m*** در سیم بندی فرعی ***A*** تولید می‌شود که این ولتاژ به مدار تقویت کننده اعمال می‌شـود که خروجی تقویت‌کننده، خروجی فیدبک ما می‌باشـد که می توانیم به عنوان یک اطلاعات از آن اسـتفاده کنیم.



شکل(۵-۶) شمای تاکوژنراتور

بر مبنای نوع طراحی و اصول کار و نیز شکل ولتاژ خروجی، تاکوژنراتورها را می‌توان به دو صورت زیر دسته‌بندی کرد:

الف) تاکو ژنراتورهای ***DC*** شامل تاکوژنراتور با میدان تحریک و تاکوژنراتور با میدان مغناطیس دائم.

ب) تاکوژنراتورهای ***AC*** شامل تاکوژنراتورهای القایی و تاکوژنراتورهای سنکرون.

سیم بندی ***a*** را می‌توان به صورت مدار اتصال باز مجسم نمود. الزاماً مدار الکتریکی به گونه‌ایست که مقدار سیگنال ولتاژ تولید شـده در سـیم بندی ***a*** با سـرعت متناسـب بوده و زاویه فاز این ولتاژ نسـبت به ولتاژ منبع ***vm*** ثابت می‌ماند. می‌توان کار تاکومترها را با تئوری میدان گردان و مؤلفه‌های گردان توضـیح داد. چنانچه از سـیم‌بندی مبنای ***M*** بنگریم تاکومتر معادل با موتور القائی تکفازی است و از دید این سیم‌بندی مدار معادل موتور تکفاز می‌باشد.

ولتاژ دو سـر امپدانسـهای ***ZP*** و ***Zb*** مؤلفه ولتاژ القائی در سـیم بندی ***m*** به ترتیب بوسـیله میدانهای راسـتگرد و چپگرد می‌باشـد.همچنین این موجهای میدان موجب القاء ولتاژهایی در سیم‌بندی فرعی می‌شـود. اگر نسـبت مقادیر مؤثر دورهای سیم بندی ***a*** بر ***m*** برابر α باشـد. ولتاژ القائی در سیم بندی ***a***، α برابر ولتاژ القائی در سیم بندی ***m*** می‌شـود. مادامی که فلوی توزیع شـده اصـلی و فاصـله هوایی (***mmf***) بر هم عمود باشـند.در صـورتی که جهت

چرخش به گونه‌ای باشد که میدان راستگرد سیم بندی **a** را 90° قبل از سیم بندی **m** ببینید ولتاژ القائی **Eaf** ناشی از میدان راستگرد در سیم بندی **a** نسبت به ولتاژ القائی **Emf** در سیم بندی اصلی 90° پیش خواهد بود.

$$E_{mf} = I_m Zf \qquad (۱-۵)$$

$$E_{af} = jE_{mf} = jI_m Z_f \qquad (۲-۵)$$

$$E_{ab} = -jE_{mb} = -jI_m Z_b$$

$$E_{af} = jE_{mf} = jI_M Zf \qquad (۳-۵)$$

در این نسبت دور سیم پیچ مرجع به کنترل برابر یک است. میدان چپگرد در جهت عکس می‌چرخد بنابراین ولتاژ القائی **Eab** در سیم بندی **a** نسبت به ولتاژ القائی **Emb** در سیم بندی **m**، 90° تأخیر دارد.

$$E_{ab} = -jE_{mb} = -jI_m Z_b \qquad (۴-۵)$$

محل ولتاژ القائی سیم بندی **a** جمع ولتاژ القائی توسط هر دو میدان

$$V_a = jI_m(Z_f - Z_b) \qquad (۵-۵)$$

می‌باشد

در لحظه توقف میدانهای راستگرد و چپگرد با هم برابرند و هیچ ولتاژی در سیم بندی القا می‌شود و هنگامی که روتور در جهت راست می‌چرخد امپدانسهای میدان راستگرد افزایش می‌یابد و در همان حال امپدانس چپگرد کاهش می‌یابد (به خاطر وجود **s** در مدار معادل) تبادل بین امپدانسهای تابع سرعت است بنابراین ولتاژ القائی در سیم‌بندی **a** تابعی از سرعت می‌باشد. معکوس شدن جهت چرخش روتور فاز و ولتاژهای سیم بندی **a** را نیز معکوس می‌کند.

تأثیر نسبت راکتانس خودی به مقاومت روتور یعنی $\frac{X_2}{R_2}$ در درجه اول اهمیت است روتوری با $\frac{X_2}{R_2}$ کم یا با $\frac{X_2}{R_2}$ بزرگ تولید زاویه فازی می‌نماید تقریباً رابطه خطی بین ولتاژ خطی و سرعت میدان محدود وجود دارد.

حساسیت به شکل ولت بر دقیقه با به کارگیری روتور با $\frac{X_2}{R_2}$ کم، کاهش می‌یابد اما محدوده سرعت عریض‌تر می‌شود از سوی دیگر اگر روتوری با $\frac{X_2}{R_2}$ بزرگ بکار گرفته شود محدوده سرعت در فاصله ۰ تا سست بسیار کوچکی از سرعت سنکرون قرار می‌گیرد و ولتاژ خطی و زاویه فاز ثابت می‌ماند. برای کار مطمئن در صورتی که خطی بودن ولتاژ و زاویه فاز ثابت زیاد مدنظر نباشد در مقادیر متوسط **Q** می‌توان بدست آورد دستگاه اندازه‌گیری تاکومتر دارای تاثیر جزئی بر روی سیستم است که این وسایل بر روی آن نصب شده‌اند به عبارت دیگر گشتاور تاکومتر **ac** در مقایسه با گشتاورهای عامل در سیستم می بایست کوچک باشد و همچنین اینرسی تاکومترهای **ac**

در مواجه با تغییرات سریع سرعت در سیستم‌های کنترل اتوماتیک کوچک است برای به حداقل رساندن اینرسی از تاکومترهای روتور فنجانکی استفاده می‌کنیم.

۶-۵ موتور قدم به قدم،(موتور پله‌ای): *Steper motor*

موتور پله‌ای در واقع یک موتور ***AC*** است. فرمان ورودی به این موتور به شکل پالس‌های الکتریکی است. برای هر پالس ورودی، محور موتور به اندازه یک زاویه معین به نام پله می‌چرخد. وجه بسمیه این موتور نیز، بر اساس روش کار آن، یعنی پله‌ای بودن دوارن است. بنابراین موتور پله‌ای یک موتور ***AC*** است. که محور آن برای هر پالس ورودی به اندازه پله زاویه‌ای مشخصی می‌چرخد. در موتورهایی که در حال حاضر مورد استفاده‌اند، اندازه پله از $0/7\hat{2}$ تا $9\hat{0}$ تغییر می‌کند. در عمل می‌توان موتور پله‌ای را به عنوان یک وسیله الکترومکانیکی دیجیتال در نظرگرفت، که اطلاعات دیجیتال ورودی به شکل پالس‌های الکترومکانیکی دیجیتال در نظر گرفت، که اطلاعات دیجیتال ورودی به شکل پالس‌های الکتریکی را به پله‌های گسسته دوران محور تبدیل می‌کند. در کاربردهای کنترل موقعیت، اگر تعداد پالس‌های ورودی فرستاده شده به موتور معلوم باشد، می‌توان موقعیت نهایی قطعه به حرکت در آمده را بدست آورد.

یک سیستم کنترل موقعیت دیجیتال از یک موتور پله‌ای استفاده می‌کند، حرکت دورانی موتور پله‌ای به اندازه پله‌های دقیقاً معینی است که هر پله در پاسخ به یک پالس ورودی ملی می‌شود. اگر پالس‌ها به طور مداوم به موتور پله‌ای اعمال شوند. موتور پله‌ای به صورت تقریباً پیوسته و با سرعت ثابت، متناسب با فرکانس پالس حرکت می‌کند.

موتور پله‌ای و موتور *AC* دارای تفاوت‌های اساسی زیرند:

۱-محور موتور***AC*** به طور پیوسته می‌چرخد، در صورتی که موتور پله‌ای با پله‌های زاویه‌ای معین و به طورگسسته می‌چرخد.

۲- در کاربرد موتور پله‌ای در یک سیستم کنترل عموماً نیاز به حلقه فیدبک نیست در حالی که بکارگیری موتور ***AC*** معمولاً به حلقه فیدبک نیاز دارد.

۳- موتور پله‌ای یک وسیله الکترومکانیکی دیجیتال (گسسته) است، در حالی که موتور ***AC*** یک وسیله الکترومکانیکی آنالوگ است.

در سیستم فرمان اتوماتیک از موتورهایی با فرکانس‌های پالس یا استپر موتور استفاده می‌شود که اساس ساختمان آن مانند موتورهای سنکرون با آهنربای دائم یا رلوکتاس متغیر می‌باشد و به گونه‌ای طراحی شده‌اند که حرکتهای معین و محدود زاویه‌ای را به ازای پالسهای الکتریکی صادر شده از سیستم کنترل اخذ می‌کنند. به عبارت دیگر اندازه یا گام پله‌ها **۲.۵** و**۵** و **۷.۵**و**۱۵** درجه به ازای هر پالس الکتریکی می‌باشد. در سیستم کنترل دیجیتال این موتورها کاربرد دارند. در این نوع سیستمهای کنترل موتور پله‌ای از یک سیستم فرمان حلقه باز به طور زنجیره‌ای در فواصل معین به منظور حرکت‌های محوری یا صفحه‌ای پالس دریافت می‌کنند و در این سیستم‌ها قطاری از پالسها ایجاد

می‌شـــود تا به صـــورت پله‌ای یا گام به گام محور موتور به چرخش درآید. معمولاً در این موتورها به حس کننده وضعیت و سیستمهای فیدبک جهت هماهنگی محور و پالس ورودی فرمان نیازی نیست.

در چاپگرهای کامپیوتر، کامپیوتر و محرکهای دیسـک کامپیوتر و آدم آهنی از این موتورها اسـتفاده می‌شـود. موتور پله‌ای غالباً دارای تعداد زیادی قطب با سیم بندی چند فاز استاتور می باشد که شباهتی به سیم بندی‌های ماشینهای عادی ندارد معمولاً سـیم بندی سـه یا چهار فاز می‌باشـد تعداد قطبها به وسـیله مقدار زاویه‌ای که در ازای هر پالس می‌باید جابجا شـود معین و محاسـبه می شـود روتور یا از نوع رلوکتانسـی متغیر اسـت یا از نوع مغناطیس دائم. و یا نوع کاملتر آن که معمولاً از جنس هایبرید یا مختلط می‌باشد.

موتورهای پله‌ای به وسـیله مدار منطقی یا لاجیتیک تحلیل می‌شـود بطوریکه از این مدار مجموعه‌ای از پالسـها به هر ورودی مدار محرکه اعمال می‌شود این مدارها جریان مناسب را به استاتور می‌رساند.

تا محور میدان فاصـله هوایی منطبق با این پالسـهای ورودی شـود و بسـته به میزان پالسـها و گشـتاور بار به انضـمام اثرات اینرسی، روتور موتور پله‌ای باید بتواند میدان فاصله هوایی را تعقیب نماید.

این گشتاور محرکه یا از نوع رلوکتانسی یا از نوع گشتاور مغناطیس دائمی و یا از نوع ترکیب آنها می‌باشد.

۵-۷ انواع موتورهای پله‌ای:

۱) موتورهای پله‌ای با مقاومت مغناطیسی (رلوکتانس) متغیر

۲) موتور پله‌ای از نوع مغناطیس دائم

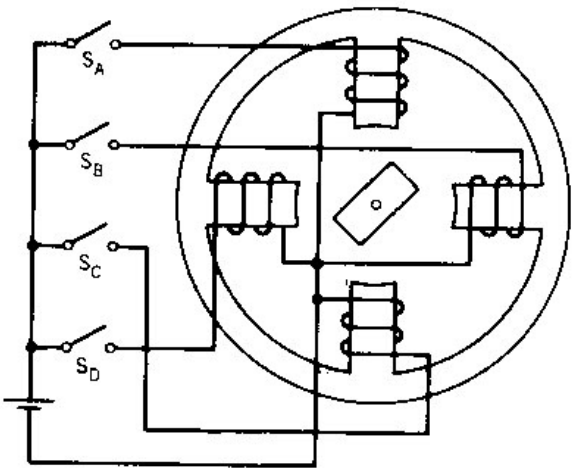
۳) موتور پله‌ای از نوع مختلط یا هایبرید

۵-۷ -۱ موتورهای پله‌ای با رلوکتانس متغیر:

این موتورها تک تکه یا چند تکه هستند.

موتورهای پله‌ای یک تکه یا تک پارچه: ***Single stack stepper motor***

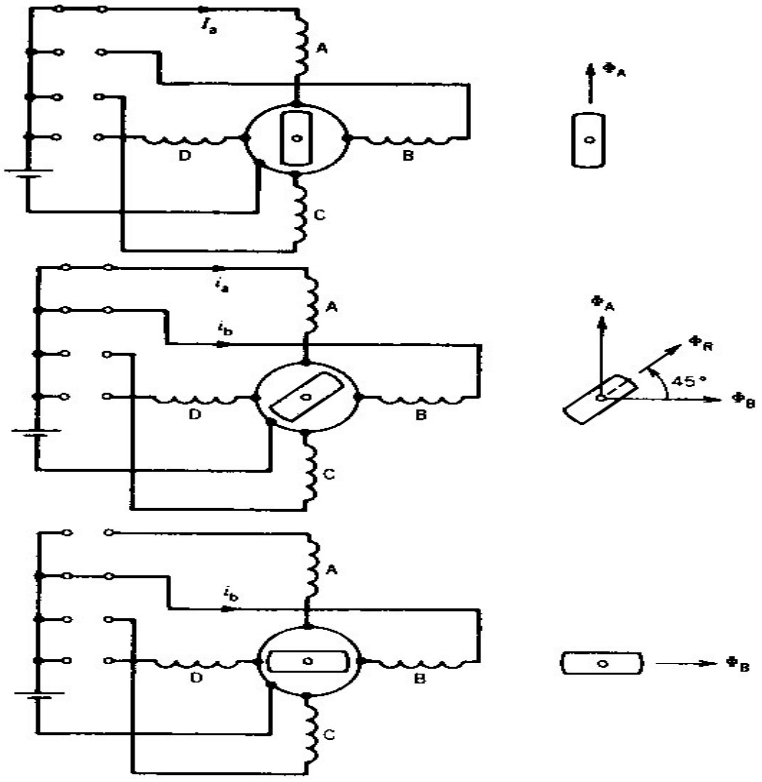
شکل (۵-۷) یک موتور پله ای دو قطب چهار فاز یک پارچه از نوع رلوکتانس متغیر را نشان می‌دهد. هرگاه فازهای استاتور به نوبت توسط جریان ***DC*** تحریک شوند فوران منتجه در شکاف هوایی تغییر وضعیت داده و روتور، محور مغناطیسی محور مغناطیسی فوران شکاف هوایی رابه خاطر ماهیت گشتاور رلوکتانسی تعقیب می‌کند.



شکل (۵-۷) موتور پله ای رلوکتانس متغیر یک تکه

گشتاور رلوکتانسی به خاطر اینکه روتور فرو مغناطیس مایل به همسو شدن با محور مغناطیسی شکاف هوایی می‌باشد پدید می‌آید هرگاه سیم‌پیچ ***A*** تحریک گردد روتور با محور سیم پیچی ***A*** تحریک می‌کند و هرگاه سیم پیچی ***B*** به تنهایی تحریک گردد چون فوران استاتور دوست دارد که با مسیری با رلوکتانس کمتر عبور نماید روتور را به طرف خود کشیده و این عمل ادامه پیدا می‌کند تا اینکه رلوکتانس بین روتور و استاتور به حداقل برساند در این لحظه گشتاور صفر می‌شود و محور روتور در راستای محور***B*** قرار می‌گیرد و یعنی روتور 90° در جهت خلاف عقربه‌های ساعت به گردش در می‌آید حال اگر در مرحله اول ***A*** و***B*** با هم تحریک می‌شوند چون فوران هر دو سیم پیچ ***A*** و***B*** دوست دارند از حداقل مسیر با رلوکتانسی کمتر عبور نمایند پله 45° خواهیم داشت و این چرخش می تواند با برق دار کردن کلیدهای ***S1*** تا ***S4*** پله‌های ۴۵ یا 90° داشت یعنی اگر کلیدها را به تنهایی بزنیم پله‌ها 90° و اگر کلیدها را به صورت جفتی بزنیم پله‌ها به صورت 45° خواهد بود اگر بخواهیم جهت چرخش را عوض نماییم برای اینکار توالی و ترتیب برق دار کردن سیم پیچها به صورت ***A*** و***A+D*** و***D*** و***C+D*** و***...***

اگر بخواهیم پله‌ها یا گام چرخش محور کمتر شود باید از روتورهایی با تعداد قطب بیشتر استفاده نماییم.



شکل(۵-۸) نحوه عملیات موتور با پله ها یا گامهای ۴۵ درجه

$$\frac{1}{Z_S}-\frac{1}{Z_r}=\frac{\alpha}{360}$$

$$\frac{1}{4}-\frac{1}{6}=\frac{\alpha}{360}$$

$$30+15=45 \qquad (۶-۵)$$

۵ -۷-۲ موتورهای پله‌ای برای گامهای ۱۵ درجه‌ای:

اگر سیم پیچ ***A*** برقدار گردد قطب ***p1*** در روتور خود را با محور فاز ***A*** همسو می‌کند. حال اگر فازهای ***A*** و ***B*** با هم تحریک شوند میدان منتجه 45 تغییر می‌دهد. در این صورت قطب ***P2*** که نزدیکترین قطب به میدان منتجه است خود را با میدان همسو می‌سازد. لذا روتور یک گام ۱۵ درجه‌ای در جهت خلاف عقربه‌های ساعت طی می‌نماید. حال اگر فاز ***B*** به تنهایی برق دار شود قطب ***P3*** خود را با میدان همسو می کند و این عملیات دائماً ادامه می‌یابد. بطور خلاصه می‌توان گفت اگرنحوه برق‌دار کردن فازها ***A*** و***A+B*** و***B*** و***B+C*** و**...** باشد روتور در جهت خلاف عقربه ساعت گامها یا پله‌های ۱۵ درجه‌ای را طی می‌کند.

۵-۷-۳ موتورهای پله‌ای چند تکه (چند پارچه): *Molti stack stepper motor.*

این موتورها نیز جزء موتورهای پله‌ای با رلوکتانس متغیر محسوب می‌شوند و برای گامها یا پله‌های کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه موتورهای پله‌ای وسیله‌ای هستند که می‌تواند میدان را با یک زاویه معین به

چرخش درآورد و وضعیت محور را در قبال گشتاور اعمال شده ثابت نگه دارد. موتور پله‌ای توسط سیگنالهای فرمان دیجیتالی کنترل می‌شوند و این پالسها جریان را به سیم پیچ استاتور موتور اعمال می‌کند.

شکل بالا یک نمونه از موتور پله‌ای با رلوکتاس متغیر سه تکه را نشان می‌دهد روتور و استاتور ۸ قطبی است روتور یک تکه و استاتور از سه تکه A و B و C که تکه‌ها کاملاً مشابه بوده ولی قطبهای آن نسبت به هم به میزان 15° در خلاف عقربه‌های ساعت جابجایی مکانی دارد قطبهای تکه C نیز به قطبهای تکه B به میزان 15° جابجایی مکانی روتور در جهت عقربه ساعت نسبت به سیم پیچ A باشد. در این صورت گشتاور فاصله هوایی به خاطر جریان در تکه A برابر است با:

$$W=\frac{1}{2}LI^2 \qquad (۷-۵)$$

$$T_{av}=\frac{-\Delta I}{4} i_a^2 l_m \sin\theta \qquad T=\frac{\delta w}{\delta\theta}=T_a=\frac{\Delta L I_m^2}{4}$$

$$T_a=-4\Delta L i_a^2 l_m \sin\theta$$

$$T_a=-i_m \Delta I . \sin A\theta \qquad (۸-۵)$$

و اگر جریان Ib از سیم استاتور بگذرد در تکه B نیز گشتاور به صورت:

$$T_b=i_m \Delta L . \sin A(\theta-15^{\circ}) \qquad T_C=-i_m \alpha \Delta L \sin A(\theta\beta-30^{\circ}) \qquad (۹-۵)$$

$$T_b=-4\Delta L i_b^2 L_m \sin A(\theta-15^{\circ}) \qquad T_a+T_b=-i_m \Delta I(\sin A\theta+\sin A(\theta-15^{\circ})) \qquad (۱۰-۵)$$

$$T_C=-4\Delta L i_c^2 L_m \sin A(\theta-30^{\circ}) \qquad (۱۱-۵)$$

از مطالب فوق در می‌یابیم اگر تکه A برقدار شود گشتاور باعث چرخش موتور به اندازه θ در جهت خلاف عقربه ساعت می‌گردد در این حال اندوکتانس LA کاهش یافته و گشتاور منفی در جهت عقربه ساعت بنام Ta توسط موتور حاصل می‌شود. اگر Ia را صفر کنیم

و Ib در تکه B برقدار نماییم روتور در جهت خلاف عقربه ساعت 15° می‌چرخد و اگر Ib را صفر کنیم و Ic را در تکه c برقرار نماییم محور ۱۵ درجه دیگر نسبت به ممحور B در خلاف عقربه ساعت می‌چرخد و حال اگر t را صفر کنیم و دوباره Ia را برقرار نماییم گردش 45° روتور کامل می‌شود اگر همزمان سیم پیچ A و B را یا B و C و C و A برقرار کنیم گشتاوری به صورت زیر برقرار می‌شود:

$$T_{ab}=T_a+T_b=-4\Delta L i_a^2 l_m \sin A\theta+(-4)\Delta L i_b^2 l_m \sin A(\theta-15^{\circ}) \qquad (۱۲-۵)$$

$$T_{ab}=-4\Delta L i^2 l_m[\sin A\alpha\theta+\sin A(\theta-15^{\circ}] \qquad (۱۳-۵)$$

$$\sin\alpha+\sin\beta=2\left(\sin\frac{\alpha+\beta}{2}.\cos\frac{\alpha-\beta}{2}\right)\qquad \sin a+\sin b=2\left(\frac{\sin(a+b)}{2}.\frac{\cos(a-b)}{2}\right)$$

$$T_{ab}=-4NLi^2lm\times 2\left(\sin\frac{(2\theta-15)}{2}\right)\times\cos\frac{15\times 8}{2} \qquad (۱۴-۵)$$

$$T_{ab}=-4NLi^2lm\sin 8(\theta-7/5).\cos 75$$

$$T_{ab}=-2i^2m^2N.\sin 8(\theta-7/5).\cos 75 \qquad (۱۵-۵)$$

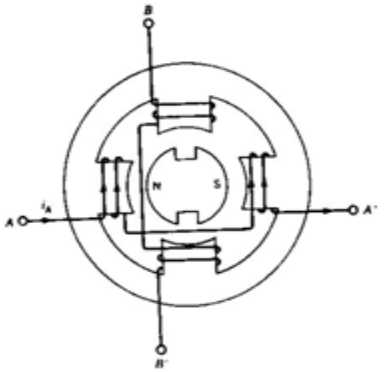
در این حالت در $\theta=7/5$ گشـــتاور صـــفر بوده یعنی اگر تکه ***A*** و ***B*** را با هم برقدار کنیم پله حرکتی ۷.۵درجه خواهد بود گیریم ***x*** تعداد دندانه‌های روتور و ***N*** تعداد تکه باشد یا فازها باشد.

$$\text{گام دندانه}=\frac{360}{x} \qquad (۱۶-۵)$$

$$\Delta\theta=\frac{360}{X\times N}\text{اندازه تکه} \qquad (۱۷-۵)$$

۵-۷-۴ موتور پله‌ای از نوع آهنربای دائم:

استاتور این موتورها شبیه موتورهای پله‌ای یک تکه‌ای از نوع رلوکتانس متغیر می‌باشد اما روتور آنها از نوع آهنربای دائم ساخته می‌شود. در برق ***DC*** شکل مقابل یک موتور پله‌ای دو قطبی از نوع آهنربای دائم را نشان می‌دهد.در این شکل اگرسیم پیچ فاز ***A*** تحریک شود روتور خود را هم جهت میدان حاصله می‌کند و اگر سیم پیچ ***B*** تحریک شود روتورخود را همسوی میدان ***B*** می‌نماید.



شکل (۵-۹) موتور پله ای از نوع آهنربای دائم

به عبارت دیگر گام یا پله 90 حاصـل می‌شـود. از آنجایی که سـاخت روتورهای کوچک با تعداد زیاد آهنربای دائم کار مشـکلی اسـت لذا گام یا پله‌های این نوع موتورها بزرگ بوده و بین ۳۰ تا 90 درجه می‌باشـد. برای سـیگنالهای فرمان به موتورهای پله‌ای عمدتاً از مدارهای منطقی و مدارهای ***TTL*** یا ***CMOS*** استفاده می‌شود.

نتایج مقایسه یک موتورپله‌ای مختلط با موتور پله‌ای با آهنربای دائم معمولی و نیز رلوکتانسی **به صورت زیر خلاصه می‌شود:**

الف) موتور پله‌ای مختلط می‌تواند با یک ساختار ساده آهنربای دائم، براحتی زوایای پله کوچکترین ایجاد کند. در حالی که یک موتور پله‌ای با آهنربای دائم معمولی، برای انجام چنین عملی به ساختار آهنربای دائم با تعداد قطب‌های متعدد نیاز است.

ب) چون قسمتی از تحریک این نوع موتور، توسط آهنربای دائم تامین می‌شود، لذا موتور پله‌ای مختلط در مقایسه با موتور پله‌ای رلوکتانس متغیر، برای تولید یک گشتاور معین به تحریک کمتری نیاز دارد.

ج) مشابه موتورهای پله‌ای با آهنربای دائم، موتور پله‌ای مختلط نیز در صورت قطع تحریک استاتور، برای نگاه داشتن موقعیت خود گشتاوری تولید می‌کند.

عملاً انتخاب نوع موتور پله‌ای برای یک کاربرد بخصوص، بر پایه مشخصه کاری مورد نیاز، قابلیت دسترسی، اندازه موتور و هزینه‌های مربوط صورت می‌گیرد. برخی از اصطلاحات قابل کاربرد برای موتورهای پله‌ای در زیر خلاصه شده‌اند.

لازم به ذکر است در مورد موتورهای پله‌ای با روتور آهنربا دائم، استاتور این نوع موتورهای پله‌ای، دارای قطب‌های برجسته و حاوی سیم پیچی‌های کنترل است تعداد جفت قطب‌های هر سیم پیچی کنترل، برابر تعداد جفت قطب‌های روتور است. روتور نیز دارای تحریک مغناطیس دائم است که می‌تواند به شکل یکپارچه یا چند پارچه، متشکل از قطعات مغناطیس دائم مجزا ساخته می‌شود.

و همچنین در مورد موتور پله‌ای با رلوکتانس متغیر، استاتور این موتورها دارای قطب برجسته با سیم پیچی‌های سه فاز یا چهار فاز و روتور آن‌ها نیز دارای قطب برجسته‌اند.

روتور از ورقه‌های فرو مغناطیسی ساخته می‌شود و فاقد سیم پیچی است.

گشتاور موتور از نوع رلوکتانسی است و همواره در جهتی عمل می‌کند که مقاومت مغناطیسی مسیر فلوی تولید شده توسط استاتور را به حداقل برساند.

۵-۸- موتورهای پله‌ای خطی:

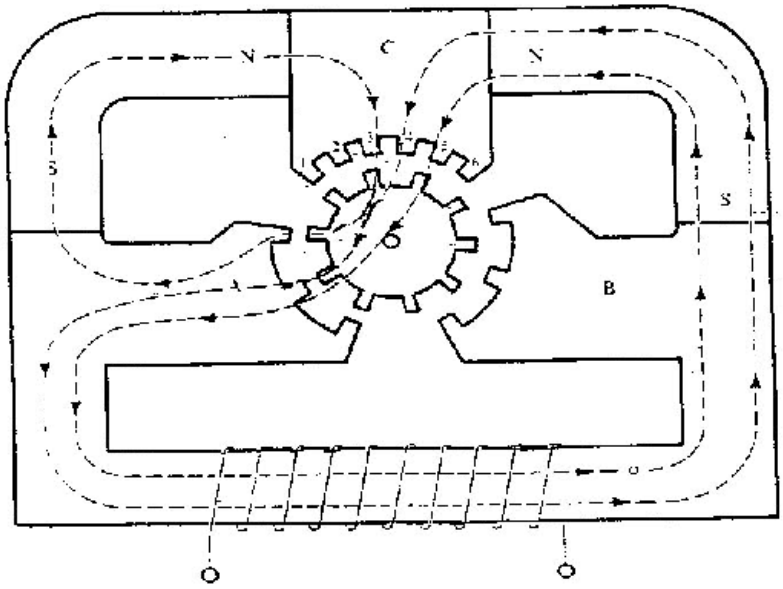
موتورهای پله‌ای خطی به جای این که به شکل گرد ساخته شوند به صورت تخت ساخته می‌شود و حرکت این نوع موتورهای به جای حرکت دورانی و چرخشی حرکت افقی و مستقیم می‌باشد.

در این صورت موتور از یک صفحه فلزی قسمتی که نیروی لازم برای حرکت را وارد می‌کند به نام ***Force*** ساخته می‌شوند. صفحه فلزی صاف قسمتی از موتور می‌باشد که محکم در جای خود ثابت شده است و دارای دندانه‌هایی روی خود می‌باشد این دندانه‌ها در هنگامی که موتور ایستاده است با دندانه‌های روی قطبهای ***Force*** درگیر می‌شوند ***Force*** یا قسمت وارد کننده نیرو معمولاً دارای چهار قطب مجزاست که روی هر گام این قطبها سر

دندانه وجود دارد. و از یک غلتک مکانیکی برای حرکت کردن بر روی صفحه فلزی و همچنین برای شکاف هوایی روی آنها استفاده می‌کنند. میدان مغناطیس قسمت وارد کننده نیرو با گذراندن و تغییر دادن جریان از داخل آن تغییر می‌کند. هنگامی که جهت جریان گذرنده از این قسمت معکوس می‌شود جهت حرکت نیز عکس خواهد شد و دارای درجه دقت بسیار بالایی می‌باشد یکی از کاربردهای این موتورها حرکت دادن ویفرسیلیکون و رساندن آن در زیر پرتولیزری می‌باشد.

۵-۹ -موتورهای پله ای مختلط:

با ترکیب موتورهای نوع اول و دوم موتور سومی که مختلط می باشد بدست می آید.(شکل۵-۱۰) یک نوع این موتورها را نشان می دهد



شکل(۵-۱۰) موتورهایبرید

در عمل بیشتر از استپ موتورهای نوع ترکیبی استفاده می کنند. ولی متاسفانه یک شکل کلاسیک ندارند یک نوع از اینها به نام syclonome سیکلونوم که روتور این موتور متقارن می باشد که شامل ۱۰ تیغه می باشد. پس هر تیغه ۳۶ درجه با تیغه مجاور فاصله دارد. استاتور از چهار قسمت تشکیل شده است که در قسمت چپ و راست بالایی آهنربای N و S قرار گرفته. دندانه های استاتور A و B نسبت به هم $36℘$ اختلاف فاصله و دندانه های قسمت c $18℘$ اختلاف فاصله دارند. وقتی که هنوز به سیم پیچ استاتور پالس اعمال نکردیم. قسمت آهنربایی استاتور فورانهای ثابتی را ایجاد کرده این فورانها مسیری بارلوکتانس کمتر را طی کنند با اعمال پالس به سیم پیچ استاتور یک فوران سومی نیز داریم که بستگی به پلاریته منبع دارد. اگر پالس اعمال شده به سیم پیچ طوری باشد که فوران ایجاد کند. این فوران بر روتور اعمال شده که باعث ایجاد گشتاور در روتور می باشد. چون موتور رلوکتانسی است و پالس اعمال شده دارای زمان مشخصی می باشد این گشتاور تا وقتی بر روتور اعمال می شود که فوران حاصل از سیم پیچ کمترین رلوکتانس را پیدا کند. که طبق فرمولهای گفته شده در این حالت گشتاور حاصل از سیم پیچ صفر شده در این حالت با توجه به پالس اعمال شده $135°$ چرخش داریم.

بعد از گرفته شدن پالس از سیم پیچ چون دو آهنربای N و S فوران ثابت را دارند و چون این دو فوران همیشه دوست دارند از مسیری پارلوکتاش کمتر عبور نمایند. 45° دیگر چرخش نموده و به طوری که در نهایت این موتور با هر بار اعمال پالس به سیم پیچ 17.5° چرخش می نماییم. با توجه به ساختار موتور این موتور نسبت به موتورهای رکولتانسی خالص و آهنربای دائم دارای راندمان بالاتری می باشد.

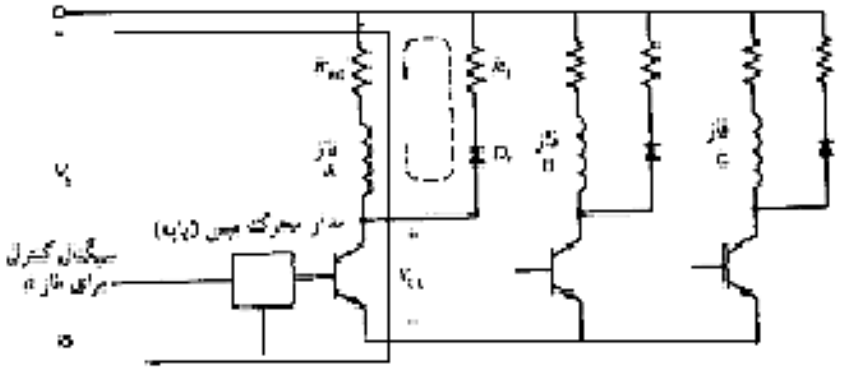
۵ -۱۰ مدارهای محرک:

سیگنالهای فرمان برای موتورهای پله‌ای عمدتاً توسط مدارهای منطقی با ***TTL***و ***Coms*** ساخته شده‌اند درست می‌شود. معمولاً ***TTL*** جریان ۲۰***Ma*** تحت ولتاژ ۵ ولت تحویل می‌دهد و ***cmos*** جریان ۱ میلی آمپر را تحت ولتاژ ۵ تا ۱۵ ولت مهیا می‌سازد. اما موتورهای پله‌ای بارلوکتانس متغیر معمولاً گشتاوری حدود $2N/m$ را ایجاد می‌کند وبه جریان تحریک ۱۳ آمپر تحت ولتاژ ۵ ولت نیاز دارد لذا به یک تقویت کننده بین موتور پله‌ای و منبع نیاز داریم. موتورهای پله‌ای با رلوکتانس متغیر به بیش از دو فاز نیاز دارند (معمولاً سه فاز ساخته می‌شوند). در حین بهره برداری از این موتورها کافی است فازها را به توالی خاموش یا روشن کنیم.انواع مدارهای محرک شامل:

۱) تک قطبی ۲) دو قطبی

۵-۱۰-۱ مدارهای محرک تک قطبی:

شکل (۵-۱۱) یک مدار محرک تک قطبی مناسب برای موتور پله‌ای با رلوکتانس متغیر سه فاز را نشان می‌دهند سیم پیچی هر فاز در استاتور توسط مدار جداگانه‌ای تحریک می‌شود. در این سیستم عمل کلید زنی یا سوئیچینگ ترانزیستور می‌باشد. برای تحریک سیم پیچی فازهای استاتور یک سیگنال کنترل به پایه یا بیس ترانزیستور اعمال می‌گردد.



شکل (۵-۱۱) مدار محرک تک قطبی

برای تحریک کردن سیم پیچی‌های فاز جریان نسبتاً زیادی از پایه بیس ترانزیستور عبور داده می‌شود. ترانزیستور اشباع می‌شود و مسیر امیترکلتور آن به مثاله اتصال کوتاه عمل کند در نتیجه ولتاژ **vs** در دو سر سیم پیچی فاز و مقاومت خارجی سری شده با سیم پیچی فاز یا **Rext** اعمال می‌گردد

$$V_S = I(R_W + R_{ext}) \quad (۱۸-۵)$$

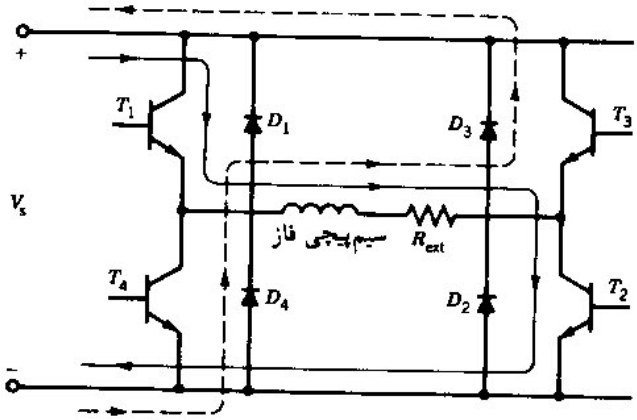
$$\tau = \frac{l}{R} \quad (۱۹-۵)$$

$$-VcE + IRf + v_s = 0$$
$$VcE_{max} = IRf + v_s \quad (۲۰-۵)$$

RW مقاومت سیم پیچی فاز می‌باشد اندوکتانس سیم پیچی فاز زیاد است. پس ثابت زمانی سیم پیچی فاز زیاد می‌باشد. لذا زمان زیادی طول می‌کشد که جریان به مقدار اسمی خود برسد که این امر باعث می‌گردد که در موتورهایی که پله‌ها یا گامهای سر نیاز داریم عملکرد موتور نامطلوب می‌گردد. وجود مقاومت خارجی **Rext** باعث کاهش ثابت زمانی شده و این نتیجه بر طرف می‌گردد. هرگاه برای خاموش کردن ترانزیستور جریان پایه یا بیس قطع شود ولتاژ القائی شدیدی توسط سیم پیچی فاز به دو سر ترانزیستور اعمال می‌شود که ممکن است به تارنزیستور صدمه بزند. که این نقیصه را می‌توان با ایجاد مسیری به نام مسیر هرزگرد یا **freewheel** برطرف کرد. لذا هرگاه ترانزیستور خاموش گردید جریان سیم پیچی فاز در مسیر هرزگرد شامل دیود و مقاومت **Rf** به چرخش در می‌آید.

۵-۱۰-۲ مدار محرک دو قطبی:

درمدار شکل (۵-۱۲) یک مدار دو قطبی را برای یک موتور پله‌ای نشان می‌دهد. این مدار برای تحریک موتورهای پله‌ای با آهنربای دائم بسیار مناسب می‌باشد ولی می‌توان آنرا برای سایر موتورها بکار برد. ترانزیستورها دو به دو روشن می‌شود تا جریان در جهت مورد نیاز در سیم پیچ فاز برقدار می‌گردد. مثلاً اگر ترانزیستورهای **T 1** و **T2** همزمان باهم روشن شوند جریان ازچپ به راست در سیم پیچی فاز برقدار می‌گردد و اگر ترانزیستورهای **T3** و **T4** هم زمان با هم روشن شوند جریان از راست به چپ در سیم پیچ فاز جاری می‌گردد.



شکل(۵-۱۲) مدار محرک دو قطبی برای یک فاز

دیودهای D_4, D_3, D_2, D_1 برای ایجاد مسیر هرزگرد در مدار قرار گرفته‌اند مثلاً در ترانزیستورهای ***T1*** و ***T2*** روشن شود جریان از منبع ***VS*** از طریق ***T1***، سیم پیچ موتور و ترانزیستور ***T2*** برقدار می‌گردد و دوباره به منبع بر می‌گردد و اگر ***T 1*** و ***T2*** خاموش شود (جریان بیس آنها قطع شود) در این صورت جریان سیم پیچی فاز به دلیل وجود اندوکتانس آناً نزول می‌کند. لذا جریان سیم پیچی فاز از طریق دیودهای ***D1*** و ***D2*** به منبع بر می گردد. از این بحث نتیجه می‌گیریم که مقداری از انرژی ذخیره شده در سیم‌پیچی فاز به منبع بر می‌گردد و این امر باعث بالا رفتن بازده سیستم شده و امتیاز بزرگی نسبت به محرک تک قطبی محسوب شود.

مثال: یک موتور پله‌ای سه فاز از نوع رلوکتانس متغیر مفروض است و داریم $R_W = 1\Omega$ و $L_W = 30mH$ جریان اهمی $I_n = 3A$. یک مدار تک قطبی را طوری طراحی کنید که ثابت زمانی الکتریکی آن در هنگام برقرارکردن سیم پیچی $\tau_{on} = 2ms$ و در هنگام قطع برق $\tau_{off} = 1ms$ این موتور ۳۰۰ پله یا گام در ثانیه را طی می‌کند.

$$\tau_{on} = \frac{L}{R} = \frac{L_W}{R_{ext} + R_W} \Rightarrow R_{ext} + Rw = \frac{L_w}{\tau_{on}} = \frac{30 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-3}} = 15$$

$$R_{ext} + 1 = 15 \Rightarrow R_{ext} = 14 \qquad P_{R_{EXT}} = R_{ext} \times I^2 = 14 \times 3^2 = 126w$$

$$W = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \times 30 \times 10^{-3} \times 3^2 = 0.135J$$

$$V_s = I(R_{ext} + R_w) = 3 \times (14 + 1) = 45$$

$$\tau_{off} = \frac{L}{R} = \frac{Lw}{R_W + R_f + R_{ext}} \Rightarrow 1 \times 10^{-3} = \frac{30 \times 10^{-3}}{R_f + 15} \Rightarrow R_f + 15 = 30 \Rightarrow R_f = 15$$

$$P_{RF} = 100 \times 0.0675 = 6.75w \qquad W_{RF} = \frac{0.135}{2} = 0.067$$

مثال: یک موتور پله‌ای با رلوکتانس متغیر مفروض است $L_W = 50mH$ و $R_W = 2\Omega$ و $In = 5A$ هر فاز توسط یک محرک تک قطبی کنترل می‌شود و داریم $R_{ext} = 10\Omega$ و $R_f = 5\Omega$

الف) ثابت زمانی τ_{on} و τ_{off} را بیابیم ب) v_s را حساب کنید. ج)ولتاژ و جریان اسمی هر ترانزیستور و دیودهرزگر را حساب کنید.

$$\tau_{on} = \frac{50 \times 10^{-3}}{2 + 10} = 4.16ms$$

$$\tau_{off} = \frac{50 \times 10^{-3}}{2 + 10 + 5} = 2.94ms$$

$$v_s = I(R_W + R_{ext}) = 5 \times (12) = 60$$

$$v_c = v_s + IR_f = 60 + 25 = 85$$
$$I_c = \ln = 5A$$

مثال: یک موتور پله‌ای توسط یک موتور دو قطبی تحریک می‌شود داریم:

$$R_W, R_{ext} = 15\Omega \quad , I_n = 3A \quad , L_W = 30mH$$

الف) هرگاه ترانزیستورها خاموش شوند زمانی که طول می‌کشد تا جریان سیم پیچی فاز صفر شود.

ب) چه مقدار از انرژی ذخیره در سیم پیچی فاز به منبع باز می‌گردد.

$$I = I_2(t) - I_1(t) \qquad I_2(t) = 3(1 - e^{-\frac{15}{30\times10^{-3}}t}) = 3(1 - e^{-500t})$$

$$I = -3 + 6e^{-500t} \quad I_1(t) = 3e^{-500t} \qquad I = -3 + 3e^{-500t} + 3e^{-500t}$$

$$I_{(t)} = -3 + 6e^{-500t}$$

$$0 = -3 + 6e^{-500t} \Rightarrow 3 = 6e^{-500t}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-500t} \Rightarrow \ln\frac{1}{2} = -500t \Rightarrow t = 1.4ms$$

$$w = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}\times30\times10^{-3}\times3^2 = 0.135j$$

$$w = \int_0^t p\,dt = \int_0^{1/4} v_S.I_t\,dt = \int_0^{1/4}(-3 + 6e^{-500t})45 = 0.081j$$

$$\text{در صد برگشت} = \frac{81}{135}\times100 = \%60$$

مثال: موتور پله‌ای توسط محرک دو قطبی کنترل می‌شود و داریم $In = 5A$ ، $RW = 2\Omega$ ، $LW = 50mH$ هرگاه ترانزیستور روشن باشد جریان اسمی از سیم پیچی فاز می‌گذرد و هرگاه ترانزیستور خاموش شود. جریان پس از $1ms$ صفر می‌شود vs و $Rext$ حساب نمایید.

$$I = I_{2(t)} - I_{1(t)}$$

$$I_{1t} = 5\left(1 - e^{-0.04\frac{R_{ext}}{l_W}}\right) \qquad I_{2(t)} = 5e^{-0.04\frac{R_{ext}}{l_W}}$$

$L_W = 30mH \quad RW = 2\Omega$

$$I_{(t)} = +5e^{-0.04\frac{R_{ext}}{l_W}} - 5 + 5e^{-0.04\frac{R_{ext}}{l_W}} = -5 + 10e^{-0.04\frac{R_{ext}}{l_W}}$$

$$0=-5+10e^{-0/04\frac{Rext}{lw}} \Rightarrow 5=10e^{-0/04}-e^{\frac{Rext}{50\times10^{-3}}\times10^{3}} \Rightarrow$$

$$0.52=e^{-\frac{Rext}{50}} \Rightarrow Rext=-50\times L_n 0.52 \Rightarrow Rext=32.6$$

مثال: یک موتور پله ای یک تکه ای ۴ فاز برای حرکت پله ای ۱۸ درجه مورد نیازاست تعداد قطبهای رو تور را بیابید و نحوه استاتور را بدست آورید.

مثال: یک موتور سه تکه چهار قطبی مفروض است و استاتور و روتور آن حاوی ۸ دندانه می باشد هرگاه تحریک از یک تکه به تکه دیگر اعمال شود میزان گام پله را بیابید.

فصل ششم

سیستم‌های همزمان

۶-۱ مقدمه

سیستمهای خودسنکرون(۱) که به نامهای سلسین، سینکرو و نیز اتوسنکرون معروفند. غالباً در مواردی به کار می‌روند که، لازم است موقعیت زاویه‌ای دو محور واقع در دو مکان مختلف، به طور همزمان تغییر کنند؛ ولی کوپله کردن دو محور به صورت مکانیکی مقدور نیست.

شکل (۶-۱) نمونه‌ای از کاربرد یک نوع سیستم سلسین را نشان می‌دهد. در این شکل یک پل متحرک بر روی رودخانه‌ای قرار می‌گیرد و در مواقع لازم، مثلاً به هنگام ورود کشتی، پل از وسط باز می‌شود و هر نیمه آن توسط یک موتور مستقل حول محور خود واقع در طرفین رودخانه چرخانده می‌شود. به هنگام بستن مجدد پل، هر دو موتور به صورت همزمان روشن می‌شوند و به طور همزمان می‌چرخند و دو سر جدا شده پل، به طور همزمان به هم می‌رسد و پل برقرار می‌شود.

شکل (۶-۱) نمونه ای از کاربرد سلسین در پل متحرک

در سیستمهایی که قدرت انتقالی بین دو محور برای سنکرون ماندن زیاد باشد، از سلسین‌های سه فاز استفاده می‌شود. سلسین‌های با قدرت کم تکفازند و " سینکرو" نامیده می‌شوند.

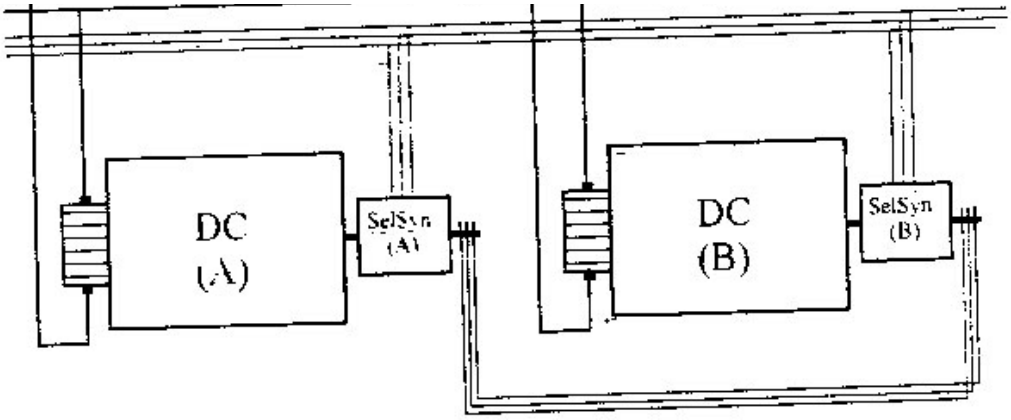
۶-۲- سلسین‌های سه فاز:

موتورهای القایی را آسنکرون هم می‌نامند، زیرا، وقتی این موتورها زیر بار می‌روند، سرعت آنها علی‌رغم ثابت ماندن فرکانس تغذیه، اندکی تغییر می‌کند. نباید این واقعیت را نیز از نظر دور داشت که، سرعت چنین موتورهایی را می‌توان با ثابت نگاه داشتن فرکانس " روتور" تثبیت کرد، پس اگر اولیه (استاتوری) دو موتور القایی سه فاز روتور سیم‌پیچی شده، با تعداد قطب‌های مساوی، از منبع واحدی تغذیه شوند و شرایطی فراهم شود که فرکانس یکسانی بر روتورهای

(۱) self synchronous

آن دو تحمیل شود، سرعت دو موتور مساوی خواهد ماند. مقدار این سرعت به فرکانس تحمیل شده بستگی دارد. دو یا چند موتور القایی، که تحت چنین شرایطی با سرعتهای بیشتر کار کنند. سلسین قدرت(۱) نامیده می‌شمند. عبارت سلسین مخفف شده Self cynchronising است.

سلسین‌ها در صنایع کاغذ سازی و موارد مختلف دیگری که در آنها باید دو محور مکانیکی به صورت سنکرون کار کنند، به کار می‌روند. این در حالی است که محورهای فوق به صورت مکانیکی به هم کوپله نیستند؛ ولی مانند شرایطی که با هم اتصال مکانیکی داشته باشند کار می‌کنند. شکل (۶-۲) مدار الکتریکی چنین سیستمی را نشان می‌دهد.



شکل (۶-۲) مدار الکتریکی یک زوج سلسین

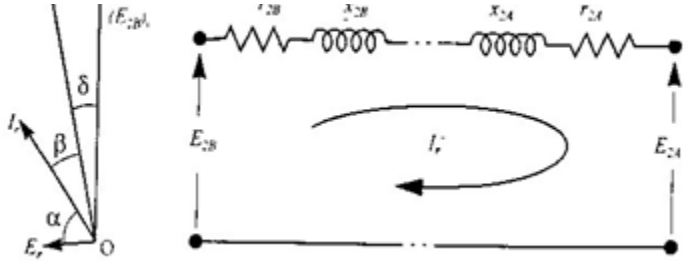
در شکل (۶-۲) دو موتور شنت DC مشابه A و B موظف به چرخاندن دو بار مجزا روی محورهای خود هستند. برای آنکه سرعت دو محور بدون اتصال مکانیکی یکسان بماند، یک ماشین القایی سه فاز با روتور سیم‌پیچی شده نیز بر هر یک از محورها کوپله شده است. دو ماشین القایی به کار رفته نیز مشابه هستند. استاتورهای هر دو ماشین القایی، به طور موازی به یک شبکه سه فاز متصل شده‌اند و فازهای روتورهای آنها نیز، به صورت برعکس به هم متصل شده‌اند. در چنین حالتی هر یک از ماشین‌های القایی یک سلسین نامیده می‌شود. چنانچه هر دو موتور با سرعتهای مساوی چرخانده شوند، نیروهای محرکه القا شده در فازهای متناظر در روتور، مساوی و هم‌فازند و همدیگر را خنثی می‌کنند. لذا، جریان هر دو روتور صفر است و سلسین‌ها، هیچگونه گشتاور مثبت یا منفی تولید نمی‌کنند.

اینک حالتی را در نظر بگیرید که بار موتور B اندکی کاهش یابد، در حالی که بار موتور A همچنان در مقدار قبلی خود باقی بماند. این عمل در شرایط عادی به افزایش سرعت موتور B منجر می‌شود. در سیستم حاضر گرایش به افزایش سرعت، موجب جلو افتادن موتورB نسبت به موتور A می‌شود و نیروهای محرکه القا شده در فازهای روتور سلسین B، نسبت به نیروهای متحرکه متناظر در فازهای روتور سلسین A پیش فاز می‌شود. در نهایت، E نیروی محرکه منتجه حلقه، موجب جاری شدن جریان I_r در روتورهای هر دو سلسین می‌گردد. جهت جریان در روتورها، طوری است که سلسین B را به حالت ژنراتوری و سلسین A را به حالت موتوری می‌برد. در نتیجه مقداری گشتاور مکانیکی بر محور سیستم B (به صورت بار) تحمیل می‌گردد و به همان مقدار از بار محور سیستم A برداشته می‌شود

(۱)Power Selsyn

و بدین ترتیب تعادل لازم روی دو محور تأمین می‌گردد. توان مبادله شده بین دو محور، توان سنکرونیزاسیون و جریان به وجود آمده در مدار روتورها جریان سنکرونیزاسیون نامیده می‌شود.

دیاگرام فازوری شکل (۶-۳) نیروهای محرکه مربوطه به دو فاز متناظر روتورها را به همراه جریان گذرنده از همان فازها نشان می‌دهد. نیروی محرکه منتجه E_r جریانی معادل I_r را در مدار روتورها برقرار می‌سازد که نسبت به E_r به اندازه α پس‌فاز است.



الف) مدار معادل یک فاز از زوج سلسین ب) دیاگرام فازوری مربوط به شکل الف

شکل(۶-۳) نمایش الکتریکی یک زوج سلسین

به منظور بررسی کمّی مطلب فوق، توان مبادله شده بین دو سلسین با استفاده از شکل (۶-۳) مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مدار جهت مثبت جریان طوری انتخاب شده است که ثانویه سلسین B به صورت منبع الکتریکی و ثانویه سلسین A به صورت مصرف کننده الکتریکی فرض شده است. با استفاده از دیاگرام فازوری می‌توان توان خروجی از ثانویه سلسین B (p_{outB}) و همچنین توان ورودی به ثانویه سلسین A را به صورت زیر نوشت:

$$p_{outB}=E_{2B}.I_r.\cos(\beta) \quad \text{W/فاز}$$

$$p_{inA}=E_{2A}.I_r.\cos(\beta+\delta) \quad \text{W/فاز}$$

مقادیر δ,β,α در شکل فوق مشخص شده‌اند. δ معمولاً زاویهٔ کوچکی است. همچنین، با توجه به اینکه $\alpha\approx 90^{o}$ است و زاویه β نیز مقدار کوچکی است، پس هر دو مقدار فوق مثبت می‌گردد. این بدان معناست که سلسین A، توان الکتریکی دریافت می‌کند (حالت موتوری و کمک به گشتاور موجود) در حالی که سلسین B، مولد توان الکتریکی است (حالت ژنراتوری و تحمیل بار مکانیکی بر محور B گشتاورهای تولید شده برای اصلاح سرعتها، باید به مقدار کافی بزرگ باشند و بیدرنگ تولید شوند تا هرگونه تغییر سرعت را به محض وقوع اصلاح کنند. بدین منظور لازم است تعداد قطبهای سلسین‌ها طوری انتخاب شود که لغزآنها در سرعت کار مورد نظر نسبتاً زیاد (معمولاً حوالی ۰.۵) باشد. در این حالت اندازه‌های E_2ها بزرگ می‌گردد و درنتیجه جریان روتور تولید شده به ازای تغییر فاز معین (مثلاً δ در شکل (۶-۳) بزرگتر می‌شود و گشتاور سنکرونیزاسیون بیشتری تولید می‌کند. در این بحث فرض می‌شود که سلسین‌ها در شرایط عادی، در جهت چرخش میدان گردان استاتور چرخانده می‌شوند، ولی آنها را می‌توان در جهت خلاف میدان گردان استاتور نیز چرخاند. در

این صورت لغزش آنها در سرعت مورد نظر باید، در حدود ۱.۵ باشد. در این صورت نقش موتوری و ژنراتوری سلسین‌ها در مثال شکل (۶-۳) نیز تغییر می‌کند.

۶-۳- سلسین‌های تکفاز یا سینکروها:

وقتی که شیر فلکه‌ای در محوطهٔ یک نیروگاه یا پالایشگاه، توسط یک اپراتور پیچانده می‌شود و دویست متر آن طرفتر، در اتاق فرمان، ماکت آن روی تابلو، به طور همزمان در جهت چرخش شیر فلکه به حرکت در می‌آید، چنین به نظر می‌آید که، محور شیر اصلی و ماکت آن به طور مکانیکی به هم متصلند، در حالی که وجود فاصله زیاد بین آنها این تصور را باطل می‌کند. این یکی از کاربردهای سلسین‌های تکفاز یا سینکروها است. عمل فوق که در واقع نمایش موقعیت یک محور دوردست در اتاق فرمان است، توسط یک زوج سینکروی فرستنده و گیرنده انجام می‌گیرد. این دو سینکرو تنها توسط چند رشته سیم، به هم اتصال یافته‌اند که، نقش یک محور مکانیکی رابط را بازی می‌کنند. انواع دیگری از سینکروها نیز، برای کاربردهای ویژه ساخته شده‌اند که، مثالهایی از کاربرد آنها در خلال این بخش ارائه خواهند شد.

به طور کلی سینکروها ماشینهای با توان کسر اسب بخار هستند و به صورتهای زیر ساخته می‌شوند:

الف – سینکروی فرستنده (یا ژنراتوری) که با علامت CX نشان داده می‌شود.

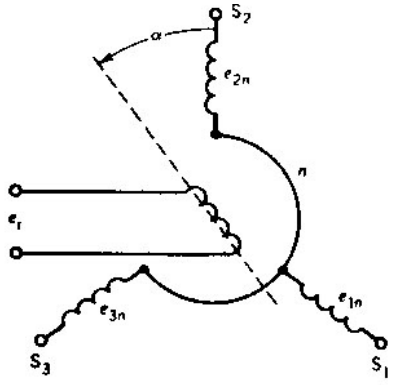
ب – سینکروی گیرنده (یا موتوری) که با علامت CR نشان داده می‌شود.

ج – سینکروی ترانسفورماتور که با علامت CT نشان داده می‌شود.

د – سینکروی تفاضلی که با علامت CD نشان داده می‌شود.

۶-۴- سینکرو فرستنده :

سینکرو فرستنده CX حاوی استاتور سه فازی شبیه ماشینهای سنکرون است. رتور این سینکروها از نوع قطب برجسته بوده که حاوی یک سیم پیچ است مانند شکل (۶-۴). اگر از طریق حلقه‌های لغزان به سیم پیچ روتور



شکل (۶-۴)شمای سینکرو فرستنده

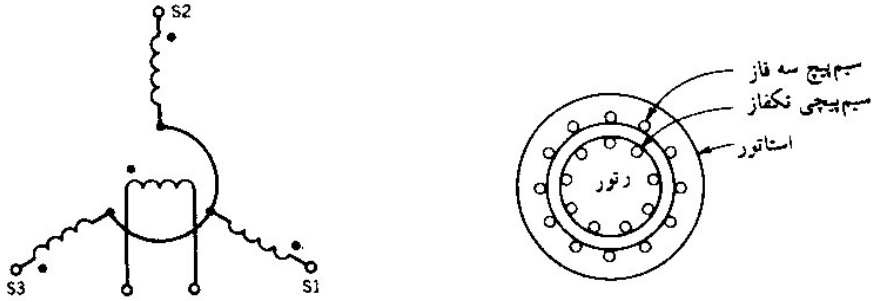
ولتاژ AC اعمال گردد،در امتداد محور روتور شار متناوبی شکل می‌گیرد.این شار متناوب بخاطر عمل ترانسفورماتوری، در سیم پیچ‌های استاتور ولتاژ القاء میکند. اگر روتور در راستای محور مغناطیسی سیم پیچی $S2$ قرار گیرد در

اینصورت شار دور این سیم پیچی استاتور ماکزیمم بوده و این وضعیت را وضعیت الکتریکی صفر می‌نامند. رتور در وضعیتی است که نسبت به وضعیت صفر بمیزان زاویه α جابجایی دارد.

$$e_2 = \sqrt{2}E\sin\omega t$$

۶-۵- سینکرو تبدیل کننده یا سینکرو ترانسفورماتوری CT :

در شکل(۶-۵) طرحواره سینکرو ترانسفورمری نشان داده شده و رتور آن استوانه ایست و لذا با شکاف هوایی یکنواخت روبرو هستیم. علت یکنواختی شکاف هوایی آنستکه پایانه‌های روتور عمدتاً به یک تقویت کننده وصل است و برای خروجی این تقویت کنند یک امپدانس ثابت صرفنظر از موقعیت روتور قرار می‌دهند.



شکل(۶-۵) شمای سینکرو فرسنده

موقعیت الکتریکی صفر برای این سنکروها در شکل (۶-۵) نشان داده شده است (وضعیت روتور و سیم پیچی S_2 در استاتور).در سنکروهای CT استاتور نیز سه فاز است، اما امپدانس هر فاز استاتور در سنکرهای CT از امپدانس هر فاز استاتور در سنکروهای CX بیشتر است. این امر باعث می‌گردد که چندین سنکرو CT سنکرو از یک سنکرو CX تغذیه گردند. سنکروهای گیرنده CR شبیه سنکروهای فرستنده CX هستند. بعبارت دیگر سنکروهای CR نیز حاوی استاتور سه فاز و روتور با قطب برجسته می‌باشند و روتور حاوی یک سیم پیچ تکفاز است.

برای درک بهتر کاربردهای سینکرو، باید دریافت که چگونه ولتاژهای استاتور با تغیر مکان روتور عوض می‌شوند. به سیم پیچ روتور ولتاژ AC تکفاز اعمال می‌کنیم و وضعیت مکانی روتور را از وضعیت الکتریکی صفر به موقعیت شکل دیگر تغییر مکان می‌دهیم *زاویه* α *ولتاژ روتور بقرار زیر است*:

ولتاژهای القایی در سیم پیچهای سه فاز استاتور به کوپلاژ بین سیم پیچهای استاتور و رتور بستگی دارند گیریم:

تعداد حلقه‌ها یا دوره‌هاي مؤثر استاتور $e_r = \sqrt{2}E_r \sin\omega t$

ضریب تبدیل=

ولتاژهای القاء شده در هر فاز استاتور بخاطر عمل ترانسفورماتوری بقرار زیر است:

$$e_{2n} = \sqrt{2}\alpha E_r \sin wt\cos\alpha$$
$$e_{3n} = \sqrt{2}\alpha E_r \sin wt\cos(\alpha - 120^\circ)$$

مقدار مؤثر این ولتاژها عبارتند از:

$$E_{1n} = \alpha E_f \cos(\alpha + 120^\circ)$$
$$E_{2n} = \alpha E_f \cos\alpha$$
$$E_{3n} = \alpha E_f \cos(\alpha - 120^\circ)$$

* ولتاژهای خط به خط بقرار زیراند:

$$E_{12} = E_{1n} - E_{2n} = \sqrt{3}\alpha E_f \sin(\alpha - 120^\circ)$$
$$E_{23} = E_{2n} - E_{3n} = \sqrt{3}\alpha E_f \sin(\alpha + 120^\circ)$$
$$E_{31} = E_{3n} - E_{1n} = \sqrt{3}\alpha E_f \sin\alpha$$

ولتاژهای پایانه سینکرو بر حسب موقعیت رتور یا محور (زاویه α) در هر موقعیتی برای هر فاز استاتور ولتاژ معینی ایجاد می‌کند که سه ولتاژ خطی با دامنه‌های برابر و اختلاف فازی 120° درجه می‌باشد.

روتور سینکروهای فرستنده و گیرنده دارای یک سیم‌پیچی تکفاز (معمولاً از نوع متمرکز) است که از یک منبع ولتاژ سینوسی به نام ولتاژ مرجع تغذیه می‌شود. استاتور هر چهار نوع سینکروی فوق و نیز روتور سینکروی تفاضلی دارای سیم‌پیچی‌های توزیع شده مشابه یک سیم‌پیچی سه فاز هستند. یادآوری می‌شود که تنها منبع ولتاژ موجود در کلیه این سیستمها، منبع ولتاژ سینوسی یاد شده است و در شرایطی که هر یک از سینکروها در حالت تعادل استاتیکی خود باشند (سکون)، کلیه نیروهای محرکه موجود در سیم‌پیچی‌های مختلف، از نوع ترانسفورمری و همگی با هم همفاز خواهندبود؛ هرچند که دامنه آنها ممکن است بر حسب موقعیتهای نسبی آنها متفاوت، و منفی، صفر یا مثبت باشد.

سیم‌پیچی‌های شبه سه فاز از طریق سه سیم، به نام " خطوط اطلاعات" به هم متصل می‌شوند. ولتاژ و فرکانس مرجع و نیز ولتاژ بین دو خط خطوط اطلاعاتی

در سینکروهای ساخته شده توسط سازندگان مختلف، معمولاً به یکی از سه صورت زیر است:

الف – ولتاژ مرجع ۱۱۵ ولت مؤثر، فرکانس مرجع ۶۰ هرتز و ولتاژ بین دو خط اطلاعاتی ۹۰ ولت مؤثر

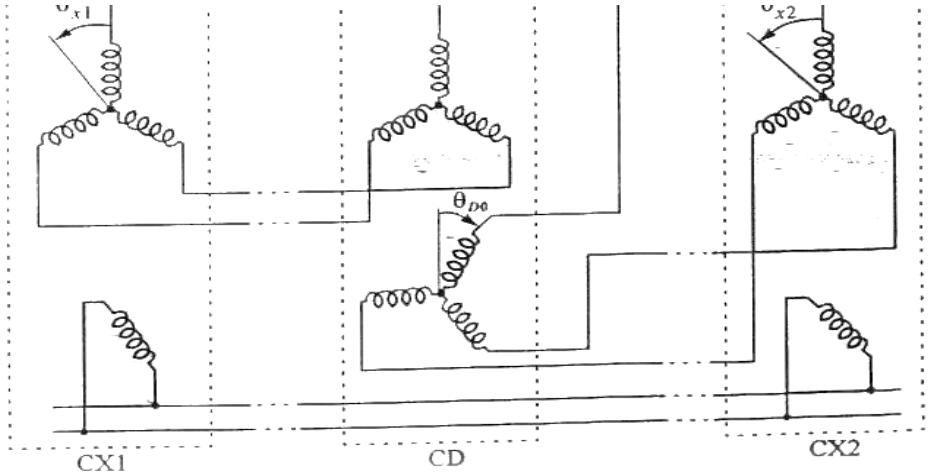
ب – ولتاژ مرجع ۱۱۵ ولت مؤثر، فرکانس مرجع ۴۰۰ هرتز و ولتاژ بین دو خط اطلاعاتی ۹۰ ولت مؤثر

ج – ولتاژ مرجع ۲۶ ولت مؤثر، فرکانس مرجع ۴۰۰ هرتز و ولتاژ بین دو خط اطلاعاتی ۱۱۰ ولت مؤثر

۶-۶- سینکروی تفاضلی:

شرایط لازم در نمایش بعضی از سیستمها ایجاب می‌کند که مجموع یا تفاضل موقعیتهای زاویه‌ای دو محور (احتمالاً دوردست) در اطاق فرمان نشان داده شود. سینکروی تفاضلی که با علامت CD نشان داده می‌شود، نقش گیرنده را برای دو سینکروی فرستنده بازی می‌کند و قادر است این عمل را انجام دهد. شکل (۶-۶) دو سینکروی فرستنده را که به دو محور مورد نظر متصلند، به همراه سینکروی تفاضلی نشان می‌دهد. چنانکه ملاحظه می‌شود، در سینکروی تفاضلی سیم‌پیچی روتور نیز به صورت سه فاز است. تغذیه روتورهای دو سینکروی فرستنده از منبع سینوسی

صورت می‌گیرد، درحالی که استاتور فرستنده‌های اول و دوم از طریق خطوط اطلاعاتی به ترتیب به استاتور و روتور سینکروی تفاضلی متصل شده است. در این کاربرد روتور CD آزاد است و زاویهٔ خروجی را تولید می‌کند.

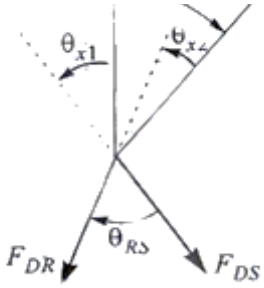


شکل(۶-۶) نمودارسینکروی تفاضلی

در اثر عبور جریان از سیم‌پیچی استاتور و روتور این سینکرو گشتاوری بر محور وارد می‌شود و موجب انحراف آن می‌گردد. انحراف موتور تا وقتی ادامه می‌یابد که گشتاور آن به صفر برسد. برای بدست آوردن زاویه انحراف نهایی روتور CD، که با θ_D نشان داده می‌شود، گشتاور وارده بر آن به طور کیفی مطالعه می‌شود و شرایط لازم برای تعادل روتور که متناظر با صفر شدن این گشتاور است، بررسی می‌گردد. θ_D زاویه‌ای است که محور فاز α روتور با محور فاز A استاتور می‌سازد. گشتاورCD با حاصل ضرب برداری فلوهای تولید شده توسط میدانهای استاتور و روتور متناسب است. با یادآوری اینکه دو فلوی مزبور، با در نظر گرفتن جهات مثبت جریانها در مسیرهای مختلف، از نظر زمانی همفازند مقدار متوسط گشتاور وارد شده بر محور آن را می‌توان به صورت رابطهٔ زیر بیان کرد:

$T_D=-KE_{DS}F_{DR}\sin\theta_{RS}$ در رابطه فوق $\theta_{RS}F_{DR}F_{DS}$ به ترتیب آمپر دور منتجهٔ اســتاتور، آمپر دور منتجهٔ روتور و زاویه مکانی بین محورهای مغناطیسی (فازهای متناظر) روتور و استاتور CD است. این گشتاور سعی دارد زاویهٔ θ_{RS} را به سمت صفر سوق دهد. در واقع شرط $\theta_{RS}=0$ حالت تعادل نهایی CD را تعیین می‌کند ولی نباید این زاویه با θ_D، زاویه چرخش روتور CD در حالت تعادل اشتباه شود. در زیر این موضوع به وضوح توضیح داده شده است.برای تعیین مقدارθ_D، فرض می‌شود که روتور CD در محل دلخواهی مانندθ_{D0} قرار دارد. سپس موقعیت‌های مکانی $F_{DR}F_{DS}$ در فضا استخراج می‌شود و با صفر قرارا دادن زاویهٔ مکانی ان دو در فضا رابطه‌ای برایθ_D بشرح زیر حاصل می‌شود. در این بحث دیاگرام مجموعه سینکروهای شکل (۶-۷) مورد استفاده قرار گرفته است. اگر سینکروی فرستندهٔ CX که به استاتور CD متصل است در موقعیت θ_{X1} قرار

داشته باشد mmf حاصل از جریان‌های مبادله شده بین استاتور CX و استاتور CD که در موقعیت (۱۸۰) + ^{o} θ_{x1} نسبت به محور فاز A استاتور CD خواهد بود. این میدان در شکل (5-8) با F_{DS} نشان داده شده است.



شکل (۶-۷) دیاگرام سینکروی تفاضلی

بطریق مشابه، اگر فرستنده ۲ $(CX)_2$ که با روتور CD در ارتباط است در موقعیت θ_{x2} می‌سازد قرار گرفته باشد mmf حاصله از جریان‌های مبادله شده بین استاتور CX_2 و روتور CD در محلی که با محور فاز α روتور CD (و نه استاتور آن) زاویه θ_{x2} می‌سازد قرار خواهد گرفت. این میدان نیز در شکل (۷۸) با F_{DR} نشان داده شده است.

زاویهٔ بین دو میدان $F_{DR}F_{DS}$ که با θ_{RS} نشان داده می‌شود طبق شکل (۶-۷) بصورت زیر است:

$$\theta_{RS}=(\theta_{D0}+\theta_{x1})-\theta_{x2}$$

با توجه به رابطهٔ فوق غیر صفر بودن θ_{RS} موجب ایجاد گشتاوری در جهت صفر شدن این زاویه می‌شود. چنانچه این زاویه به صفر برسد گشتاور وارد بر محور CD صفر شده و موقعیت زاویه‌ای آن از θ_{D0} به θ_D تغییر می‌نماید. مقدار θ_D با صفر قرار دادن θ_{RS} در رابطهٔ فوق حاصل می‌شود:

$$\theta_D=\theta_{x2}-\theta_{x1}$$

برای آنکه زاویهٔ θ_D مجموع دو زاویه باشد کافی است ترتیب اتصال فازهای B , C از CX_1 به CX عوض شوند.

کاربرد اساسی دیگر این سینکرو در اضافه یا کم کردن مقدار معینی (قابل تنظیم) بر موقعیّت زاویه‌ای یک محور و نشان دادن آن توسط یک CR است. در این صورت یکی از CXهای شکل (۳۴) مثلاً CX_1 تبدیل به CR می‌شود. این CR می‌تواند مجموع یا تفاضل زوایای مربوط به محور CX و CD را نشان دهد. در این حالت مقدار

زاویه‌ای که لازم است بر موقعیت زاویه‌ای CX اضافه یا کم شود به وسیله CD اعمال می‌شود. به عبارت دیگر، محور CD در زاویهٔ دلخواه مورد نظر قفل می‌گردد در حالی که CX توسط محوری که به آن متصل است (مانند محور یک آنتن یا شیر فلکه) می‌تواند چرخانده شود. مقدار θ_R ،زاویه‌ای که توسط CR در حالت تعادل نشان داده می‌شود معادل مجموع یا تفاضل زاویهٔ θ_{X1} با θ_D است. به عبارت دیگر :

$$\theta_R=\theta_{X1}\pm\theta_D$$

مثبت یا منفی بودن علامت در رابطه فوق به طریقه اتصال بین سینکروها بستگی دارد.

کاربردها:

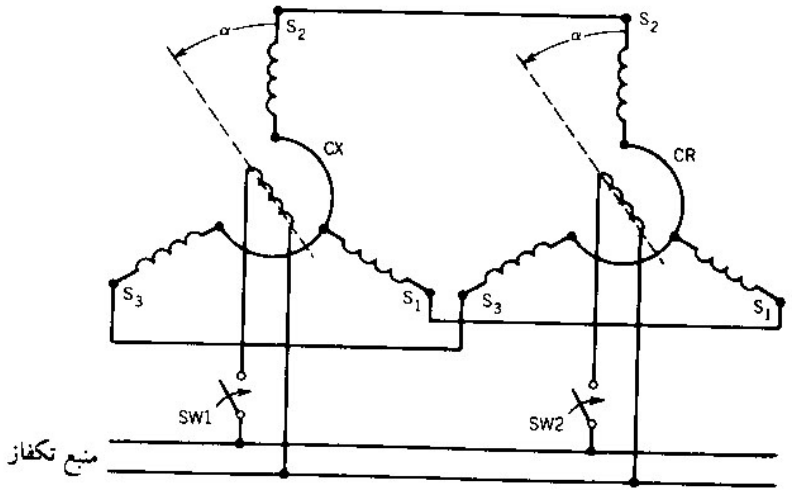
-سینکروها به وفور در سیستمهای کنترل و سرو مکانیسم بکار می‌روند. در این جا دو مورد کاربرد این ماشینها را بررسی می‌کنیم.

۶-۷- انتقال گشتاور :

از سینکروها می‌توان استفاده نمود تا گشتاور را در مسافتی طولانی بدون وجود اتصال مکانیکی منتقل نمود. شکل(۶-۸) شمای چنین سیستمی را برای هم سو سازی دو محور نشان میدهد.

در این سیستم از دوسینکرو گیرنده CR و فرستنده CX استفاده می‌شود. در این سیستم، سیم پیچی‌های استاتور دو سینکرو بهم وصلند و روتور آنها از یک منبع AC تکفاز تغذیه می‌شوند. گیریم کلید SW_1در شکل بسته باشد و روتور سینکرو فرستنده بمیزان زاویه α جابجائی پید کند. در اینصورت در استاتور سینکرو فرستنده ولتاژ القاء می‌شود و در نتیجه در سیم پیچهای سینکرو گیرنده جریان بر قرار می‌شود. حال اگر روتور سینکرو گیرنده برق دار گردد (کلید SW_2 بسته شود) در اینصورت میدان در جهت محور روتور سینکرو گیرنده برقرار می‌شود. در اثر تداخل میدان روتور و میدان استاتور در سینکرو گیرنده گشتاور پدید میاید. این گشتاور روتور را در سینکرو گیرنده بحرکت در می‌آورد و به وضعیتی مشابه روتور در سینکرو فرستنده می‌برد (زاویه α در شکل). در این وضعیت ولتاژ القاء شده در استاتور سینکرو گیرنده مشبه ولتاژ القاء شده در استاتورفرستنده خوهد بود.

لذا جریان بین روسینکرو برقرار نشده و گشتاوری حاصل نمی‌شود. حال اگر روتور سینکرو فرستنده به وضعیتی جدید منتقل شود، روتور سینکرو گیرنده هم به همان وضعیت منتقل خواهد شد.



شکل(۶-۸) استفاده از سنکرو فرستنده*(CX)* و سنکرو گیرنده *(CR)* برای هم سو سازی دو محور

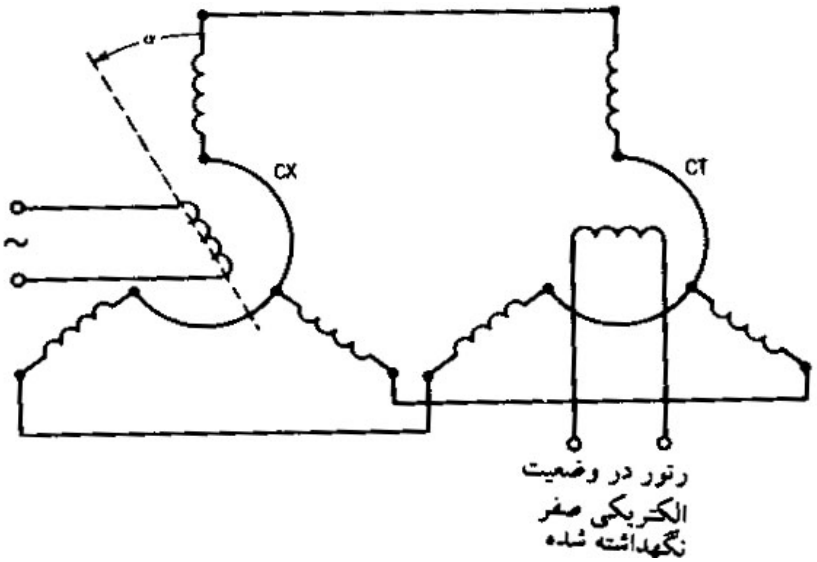
۶-۸- تشخیص خطا *Error Detection*:

از سینکرو میتوان برای تشخیص خطا در سیستمهای کنترل استفاده نمود. شکل(۶-۹)چنین سیستمی را نشان میدهد. در این سیستم از یک سنکرو فرستنده CX و یک سنکرو ترانسفورماتوری CT استفاده شده است. گیریم روتور در سینکرو فرستنده رتور بمیزان زاویه α جابجا شود در این صورت در استاتور سینکرو فرستنده ولتاژ القاء شده و چون در استاتور سنکروها بهم وصلند، جریان برقرار می‌گردد جریان استاتور در CT میدانی در امتداد زاویه α ایجاد میکند. اگر روتور CT در وضعیت الکتریکی صفر نگهداشته شود، مقدار مؤثر ولتاژ القاء شده در روتور CT بصورت $E=E_{max}\sin\alpha$ خواهد بود، E_{max} حداکثر ولتاژ مؤثر القایی است که در $\alpha=90^{\circ}$ رخ میدهد. اگر α_x وضعیت روتور سنکرو فرستنده CX و α_t وضعیت روتور سنکرو ترانسفورماتوری CT باشد،در اینصورت مقدار مؤثر ولتاژ القایی در روتور سنکرو- سینکرو ترانسفوماتوری بقرار زیر است:

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

ولتاژ لحظه‌ای القایی چنین خواهد شد. $e(t)=\sqrt{2}E_{max}\sin(\alpha_x-\alpha_T)\sin wt$

باید دانست α_x و α_T نسبت به وضعیت الکتریکی صفر سینکروها اندازه‌گیری می‌شوند



شکل(۶-۹) استفاده از سنکرو برای تشخیص خطا

- کاربرد سینکرو در تشخیص خطا در سیستمهای کنترل وضعیت همچون شکل (۶-۹) نشان داده شده است. هدف از چنین سیستمی آنست که محور خروجی، جابجایی زاویه‌ای محور ورودی را بشدت تعقیب کند و خود را همسو با آن نمایند. محور ورودی همان محور روتورسینکرو فرستنده CX است و همانطور که از شکل (۶-۹) پیداست محور خروجی، محور روتورسینکرو ترانسفورماتوری میباشد. دو سر سیم پیچ روتور CT به تقویت کننده متصل است. موقعیت الکتریکی صفر دو روتور در این دو سینکرو 90° درجه نسبت به یکدیگر جابجایی دارد. لذا با مادامیکه این اختلاف ۹۰ درجه‌ای وجود دارد. ولتاژ خطا (e) صفر بوده و لذا ولتاژ ورودی سرو موتور V_a نیز صفر است و سرو موتور نمی‌چرخد. اگر محور ورودی چرخانده شود تا این اختلاف ۹۰ درجه‌ای بین محورها بهم بخورد، در اینصورت ولتاژ خطا (e) حاصل شده و پس از تقویت بصورت V_a به سرو موتور اعمال می‌شود. در اینحال موتور به حرکت در آمده و به نحوی می‌چرخد که ولتاژ خطا صفر شود و بعبارت دیگر جابجایی نسبی ۹۰ درجه‌ای بین محورها حادث گردید.

از دیگر کاربردهای ماشینهای سینکرو در نیروگاه می‌باشد. و در قسمت موقعیت شیر بخار که از دو ماشین سنکروی کوچک استفاده می‌شود. یک موتور روی شیربخار قرار میگردد و موتور دیگری در اتاق فرمان. اگر شیر بخار به طریقی تغییر کند در نتیجه چون روتور موتور اولی چرخید سپس موتوری که در اتاق فرمان می‌باشد می‌چرخد. در این کاربرد به نکته باید توجه داشت که اگر روتور ماشین اولی (گیرنده) را بچرخانیم روتور ماشین اولی یا فرستنده نمی‌چرخد چون روتور آن به شیر به بخار وصل می‌باشد که احتیاج به گشتاور زیادی دارد.

تمرین: در یک سیستم سنکرو فرستنده وگیرنده مقدار موثر ولتاژ القایی در سیم پیچ S_2 در وضعیت الکتریکی صفر ۵۰ ولت است. اگر روتور در جهت عقربه ساعت به میزان 30° نسبت به وضعیت الکتریکی صفر بچرخد ولتاژ موثرالقایی در سیم پیچ استاتور را بیابید.

$$e_{1n} = a\sqrt{2}E_r \cos(\alpha - 120) = 50\cos(30 - 120) = 0$$
$$e_{2n} = a\sqrt{2}E_r \cos\alpha = 25\sqrt{3} = 43.3$$

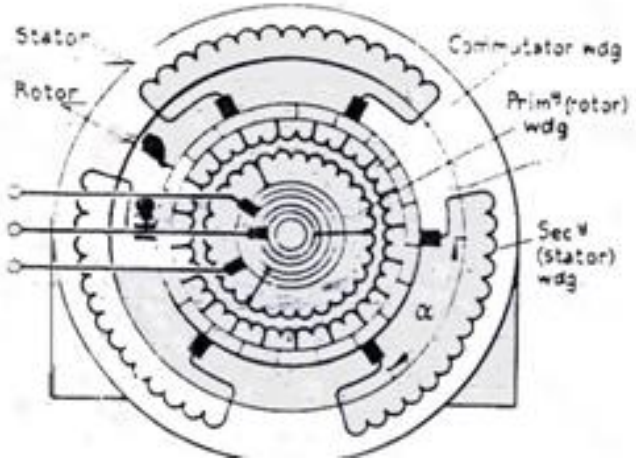
$$e_{3n} = a\sqrt{2}E_r \cos(\alpha + 120) = 25\sqrt{3} = 43.3$$

تمرین۲) یک سیستم سنکرو مطابق شکل (۶-۳) مفروض است حداکثر ولتاژ القایی در موتور سنکرو CT $10V$ می باشد روتور CT در وضعیت صفر الکتریکی قرار دارد. اگر روتور CX نسبت به وضعیت الکتریکی خود $20°$ چرخانده شود در روتور CT چه ولتاژی القا می شود؟

۶-۹ موتور شراگ:

۶-۹-۱موتور سه فاز کموتاتور فاز:

یک روش کنترل سرعت موتورهای القایی تزریق ولتاژ، به مدار روتور می‌باشد که لازمه این کار استفاده از مبدل های ولتاژی ، فرکانسی در مدار می باشد و با توجه به مشکلات و پیچیدگی این مبدل (دینامیک کار) یک انجام دادند که عمل تزریق ولتاژ را بصورت دیگری انجام دهد. که انواع مختلفی را پیشنهاد کردند که کاملترین این پیشنهاد روش شراک می‌باشد. در واقع نقش مبدل فرکانسی را یک کموتاتور انجام می‌دهد.شکل (۶-۱۰) شمای یک موتور شراک را نشان می دهد.



شکل(۶-۱۰)شمای موتور شراک

۶-۹-۲ساختمان موتور شراک:

۱- شراک شامل یک سیم‌پیچ سه فاز به صورت ستاره در مدار روتور که توسط سه ذغال و سه رینگ از ماشین بیرون می‌آید که به سه فاز وصل می‌شود.

۲- یک سیم‌پیچی DC روی روتور (یا سیم‌پیچی تعدیل که به کموتاتور وصل می‌شود) روی روتور موجود می‌باشد که به کموتاتور وصل می‌شود.

۳- یک عدد کموتاتور روی روتور که در سیم‌های اتصالات این سیم‌پیچی تنزیل روی تیغه های کموتاتور وصل می‌شود.

۴- یک سیم‌پیچی سه فاز روی استاتور می‌باشد که سیم‌پیچی ثانویه نامیده می‌شود. این سه سیم‌پیچ، بواسطه با سه جفت ذغال با زاویه قابل تنظیم به تیغه‌های کموتاتور وصل می‌شود.

تذکر۱: زاویه α همزمان برای سه سیم‌پیچ ثانویه قابل تنظیم است.

تذکر ۲: ساختمان کموتاتور که α می‌تواند صفر و یا حتی منفی شود.

به عبارت دیگر: مناسب با زاویهα سه حالت کاری در ماشین شراک قابل تعریف است.

تذکر ۳: کنترل زاویه α را معمولاً با دست انجام نمی‌دهند، بلکه با استفاده از یک موتور کنترل بنام پیلوت موتور استفاده می‌کند.

۲-۸-۷ نحوه عملکرد موتور شراک

با وصل سیم‌پیچی اولیه به سه فاز یک میدان دوار در داخل ماشین ایجاد می‌شود. در زمان راه‌اندازی این میدان مدار هم سیم‌پیچی اولیه و هم ثانویه و هم سیم‌پیچی تنزیل را با سرعت سنکرون قطع می‌کند.

پس در هر سه گروه سیم‌پیچ ولتاژ القاء می‌شود. چون مدار سیم‌پیچی ثانویه از طریق سیم‌پیچی تنزیل بسته شده است. در فازهای سیم‌پیچ ثانویه یک سیستم جریانی سه فاز القاء می‌شود. (در واقع کلاف ها از لحاظ مکانی ۱۲۰ درجه ولتاژ سینوسی با زاویه ۱۲۰ درجه ایجاد می‌شود). تا اینجا با یک ماشین شبیه موتور القایی داریم، با این تفاوت که اولیه روی روتور و ثانویه روی استاتور. با ورود سیم ثانویه یک میدان دوار دوم پا به صفحه مدار مغناطیسی ماشین می‌گذارد. اثر متقابل این دو میدان عبارتست از ظهور یک گشتاور در ماشین می‌باشد. به اقتضای طبیعت ماشین القایی روتور می‌خواهد استاتور را به چرخش درآورد ولی چون استاتور ساکن می‌باشد روتور در جهت خلاف میدان فوران اولیه می‌چرخد. در اینجا سیم‌پیچی تنزیل وارد مدار می‌شود.

منابع و مأخذ

۱) پ .س.سن ، ۱۳۷۲ ، ماشین های الکتریکی ، مهرداد عابدی و محمد تقی نبوی ،بصیر

۲) ال هاوری محمد ، ۱۳۷۹ ، ماشین های الکتریکی ، مهرداد عابدی و جلال نظرزاده، صفار

۳) فیضی محمدرضا،۱۳۸۰ ، ماشین های الکتریکی مخصوص ، دانشگاه تبریز

۴) سلمون ، ۱۳۷۱، ماشین های الکتریکی ، حمید لسانی ، امیر کبیر

۵) ثابت مرزقی اسحق ، ۱۳۷۰ ، کنترل سرعت ماشین های الکتریکی ، دانشگاه تهران