فهرست

۱-۱-مقدمه..... ۳
۱-۲- انواع اصلی ماشین خطی..... ۳
۱-۲-۱- تفاوت های اساسی انواع ماشین های خطی ۴
۱-۳- مشخصه نوعی سرعت- نیرو یک موتور خطی..... ۱۱
۱-۴- اثر انتهایی..... ۱۲
۱-۵- مثال ۱۳
۱-۶- تمرین های آخر فصل ۱۵

مرجع..... ۱۶

فصل ۴

موتورهای القایی خطی

۱-۱-مقدمه

موتورهای خطی از دهه ۱۹۷۰ به طور جدی مطرح شدند اما به واسطه پیچیدگی در کنترل و عملکرد ضعیف چندان مورد استفاده قرار نگرفتند. در دو دهه اخیر، پیشرفت های حاصله در الکترونیک قدرت و پردازشگرهای دیجیتال موانع و پیچیدگی ها را مرتفع ساخته است و تحقیقات گسترده ای در زمینه این نوع ماشین ها صورت پذیرفته است که نتایج آن ارائه انواع کاربردهای ماشین های خطی در جامعه و صنعت میباشد. از دیدگاه تئوری، هر ماشین دواری می تواند معادل «خطی» داشته باشد

۱-۲- انواع اصلی ماشین خطی

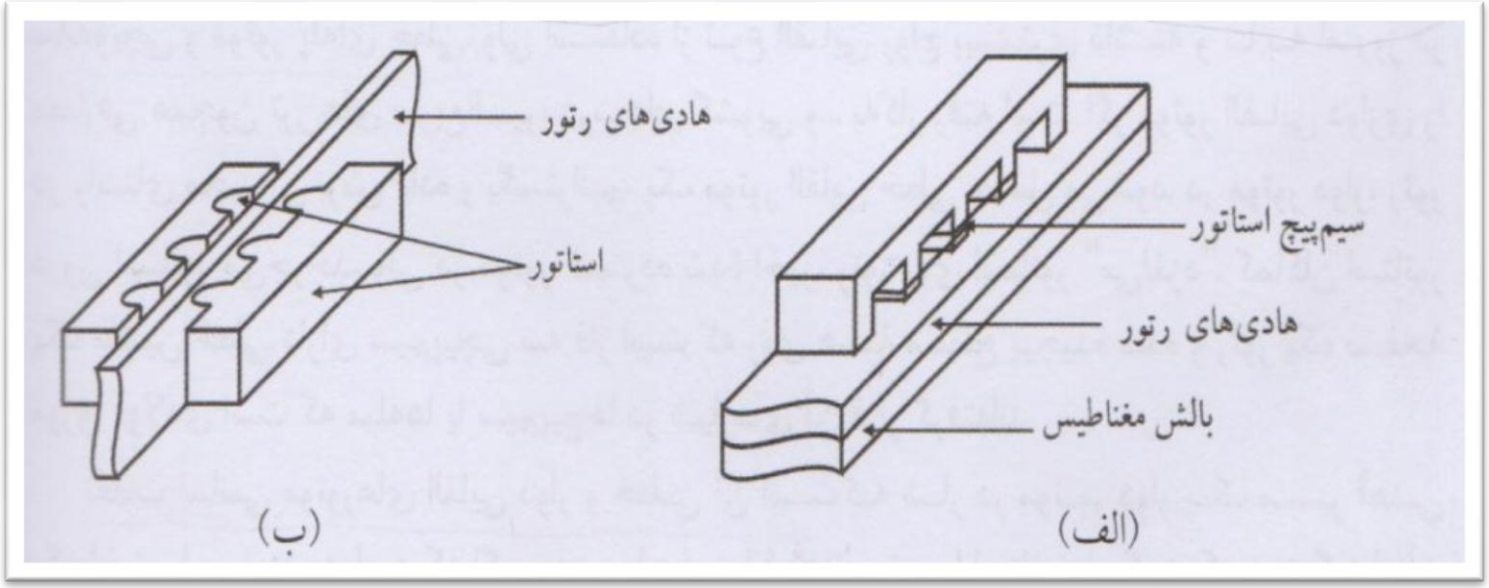
انواع اصلی ماشین های خطی عبارتند از: موتور خطی سنکرون اعم از نوع رتور سیم پیچی شده یا نوع مغناطیس دائم، موتور القایی خطی از نوع یک لبه (اولیه بلند، ثانویه کوتاه یا بالعکس) و دو لبه یا ساندویچی و موتور پله ای خطی. ولی استفاده از نوع القایی رواج بیشتری داشته و تا به امروز در مصارفی محور آن برش داده و بگسترانیم، یک موتور القایی خطی حاصل می شود. در موتور دوار، رتور درون استاتور می چرخد، ولی در موتور گسترده شده اخیر، رتور روی استاتور می لغزد. کماکان استاتور یک ماشین خطی دارای سیم پیچی سه فاز است که روی هسته مسطح پیچیده شده و رتور یک صفحه مورق فولادی است که میله ها یا سیم پیچ ها در شیارهای آن قرار گرفته اند.

۱-۲-۱ تفاوت های اساسی انواع ماشین های خطی

تفاوت اساسی موتورها ی القایی دوار و خطی آن است که شار در موتور دوار یک مسیر آهنی، یکنواخت را می بیند به طوری که اگر روی سطح استوانه آهنی رتور یا استاتور حرکت کند هرگز از آن بیرون نمی افتد. حال آنکه در موتورهای خطی، استاتور و رتور لبه دار هستند یعنی در مسیر حرکت روی سطح آنها جایی خواهد رسید که به پایان میرسند.

تفاوت دیگر آن است که در حالت خطی به جای سرعت زاویه ای و گشتاور (T) صحبت از سرعت خطی (V) و نیرو (F) است. برای دستیابی به یک نیروی مستمر و مداوم، معمولاً طول استاتور یا رتور نسبت به دیگری بسیار بلند تر است. مثلاً در ترن های برقی، از یک استاتور کوتاه و یک رتور بسیار طولانی (بلند) استفاده می شود که مسافت مبداء تا مقصد ترن را در بر می گیرد. در این حالت استاتور در واقع درون خود ترن است و رتور روی ریل ها میباشد.

۱-۲- انواع اصلی ماشین خطی

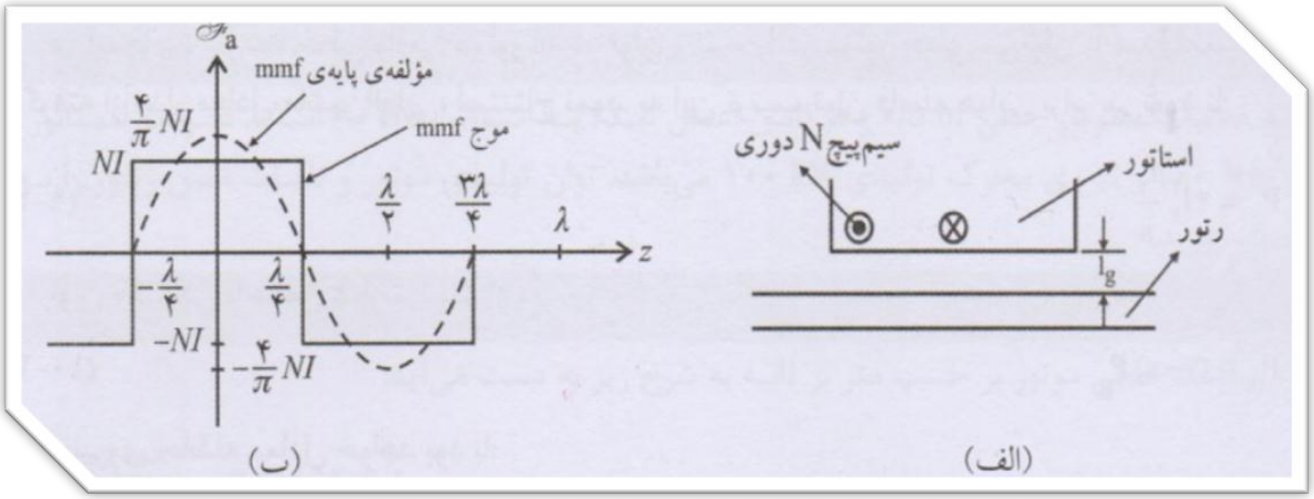


شکل (۴-۱) : انواع ماشین القایی خطی (الف): یک طرفه (ب): دوطرفه

موتور القایی خطی مطابق شکل (۴-۱) ممکن است به صورت یک طرفه یا دو طرفه ساخته شود. در حالت یک طرفه، برای کاستن از رلوکتانس مسیر مغناطیسی، علاوه بر صفحه فلزی که نقش سیم پیچ ها (یا میله ها) را در رتور ایفا می کند، یک بالش فرو مغناطیس (مثلاً از جنس آهن) نیز در نظر گرفته می شود.

۱-۲- انواع اصلی ماشین خطی

وقتی استاتور ماشین القایی خطی به تغذیه سه فازی وصل می شود، تولید یک میدان مغناطیسی متحرک میکند که با سرعت خطی سنکرون در فاصله هوایی شروع به حرکت مینماید. القاء جریان در رتور، به همان ترتیبی که در ماشین القایی دوار عمل میکند، باعث تمایل به حرکت خطی رتور در ایران راستا، با سرعتی اندکی کمتر از سرعت سنکرون میشود. چنانچه رتور را ثابت نگه داشته باشیم، این استاتور است که مجبور به حرکت در جهت عکس میشود.



شکل (۴-۲): نمای ساده ای از موتور القایی خطی و موج MMFآن

نکته: برای بررسی دقیق موتور القایی خطی به شکل (۴-۲ الف) دقت کنید: در این شکل برای سادگی تنها سیم پیچ های یکی از سه فاز استاتور نشـان داده شـده (مـثلاً فـاز a) این سیم پیچ N دور دارد و لذا آمپر دوری یا دامنه NI ایجاد می کند که در شکل (۴-۲ب) آمده است. اگر فقط هارمونیک اول موجMMFرا در نظر بگیریم و از سایر هارمونیک ها به علت کوچکی صرفن ظر کنیم داریم:

$$f_a = k_w \cdot \frac{2}{n\pi} i_a \cos\frac{2\pi}{\lambda} z \qquad (۱-۴)$$

در این رابطه k_ω ضریب سیم پیچی، جریان لحظه ای هارمونیک اول فاز a ،

طول موج میدان (گام قطب)، n تعداد دورها در طول رتور و z نقطه ای دلخواه از موتور خطی است.

موقعیت مکانی هر فاز از سیم پیچ استاتور نسبت به فاز بعدی به میزان $\frac{\lambda}{3}$ فاصله دارد و جریان های سه فاز، متعادل و با فرکانس زاویه ای ω فرض می شوند. در این صورت mmf برابر می شود با :

$$F(z,t) = \frac{3}{4} F_m cos\left(\omega t \frac{2\pi}{\lambda} z\right) \quad (۲-۴)$$

که:

$$F_m = \frac{2}{n\pi} k_w . NI_m \quad (۳-۴)$$

سرعت سنکرون خطی برای MMFمتحرک از برابر قرار دادن آرگومان کسینوس در معادله (۴-۲)، با یک عدد ثابت مثل k حاصل می شود:

$$\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} z = k \quad (۴-۴)$$

سرعت برابر با مشتق جابجایی z است:

$$v_s = \frac{dz}{dt} = \frac{\omega\lambda}{2\pi} \quad (۴-۵)$$

یا

$$v_s = \lambda . f \quad (۴-۶)$$

F فرکانس برق منبع تغذیه است. معادله اخیر را بر اساس گام قطب هم میتوان نوشت:

$$v_s = 2\tau . f \quad (۴-۷)$$

که τ بیانگر گام قطب (به متر) است. هر دو معادله اخیر نشان میدهند که سرعت سنکرون خطی مستقل از تعداد قطب های استاتور است.

مشابه با موتور القایی دوار، لغزش را میتوان برای موتور القایی خطی هم تعریف کرد:

$$s = \frac{v_s - v_m}{v_s} \quad (۸-۴)$$

در اینجا v_m سرعت خطی واقعی موتور است. توان و نیرو را در موتور خطی میتوان با مدار معادلی بر گرفته از مدار معادل ماشین القایی، استنتاج نمود. به این ترتیب توان فاصله هوایی برابر می شود با:

$$P_g = 3I_2^2 \frac{r_2}{s} \quad (۹-۴)$$

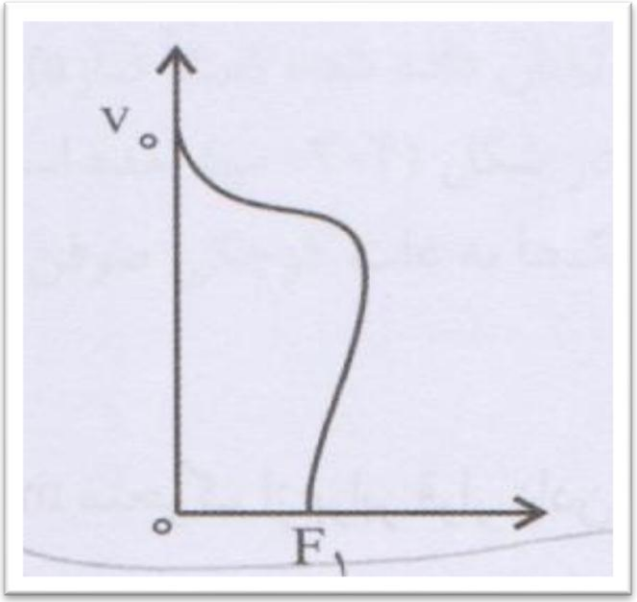
توان مکانیکی ناخالص عبارت است از:

$$P_d = (1 - s)P_g \quad (۱۰-۴)$$

و نیروی حاصله معادل خواهد بود با:

$$F_d = \frac{P_d}{v_m} = \frac{P_g}{v_s} = 3I_2^2 \frac{r_2}{sv_s} \quad (۴-۱۱)$$

مشخصه نوعی سرعت- نیرو برای یک موتور خطی، مانند شکل (۴-۳) است. اگر نیرو از حدی بیشتر شود، سرعت خطی موتور به شدت سقوط می کند، لذا این موتورها اغلب در لغزش کم کار میکنند.



شکل (۴-۲): مشخصه نوعی سرعت – نیرو برای یک موتور القایی خطی

اثر انتهایی

در موتورهای خطی، به دلیل قطع شدن هسته در هر طرف، پدیده ای به نام اثر انتهایی وجود دارد که در ماشین های دوار دیده نمی شود. اثر انتهایی به دو صورت استاتیک و دینامیک ممکن است ایجاد شود. اثر انتهایی استاتیک به ندرت دیده می شود و نتیجه وجود یک فرم نامتقارن در استاتور است. این نامتقارنی، اندوکتانس های متقابل سیم پیچ های فازی مختلف استاتور را با یکدیگر متفاوت می کند. در نتیجه توزیع نامتقارن شار در فاصله هوایی سبب القای ولتاژهای متفاوت می شود.
اثر انتهایی دینامیک، به واسطه حرکت نسبی بین استاتور و رتور ایجاد می شود. هنگامی که استاتور روی رتور حرکت می کند، در هر لحظه از زمان، یکی از هادی های رتور به زیر لبه جلویی استاتور می رود و از طرف دیگر یکی از هادی های رتور از زیر لبه عقبی آن بیرون می آید. هادی ای که به زیر لبه جلویی می رود، با شار مغناطیسی فاصله هوایی مخالف می کند، حال آنکه هادی ای که از زیر لبه عقبی بیرون می رود با آن موافق است.

بنابراین، توزیع شار دچار اعوجاج می شود. شدت اعوجاج در لبه جلویی شدیدتر از لبه عقبی است. بنابراین، توزیع شار دچار اعوجاج می شود. شدت اعوجاج در لبه جلویی شدیدتر از لبه عقبی است. علاوه بر این اثر اعوجاج دهنده چون هادی خارج شونده از زیر لبه عقبی تا لحظاتی همچنان جریاندار باقی می ماند، در تولید تلفات مشارکت می کند ولی در تولید نیروی محرک کمکی نمیکند. لذا افزایش تلفات در رتور منجر به کاهش بازده کلی سیستم خواهد شد.

مثال ۱: گام قطب یک موتور خطی ۵/۰m و فرکانس اعمال شده به استاتور ۶۰HZ است. سرعت استاتور ۲۰۰km/h و نیروی محرک تولیدی ۱۰۰KN می باشد. توان تولیدی موتور و تلفات مس رتور را به دست آورید.

حل:

سرعت خطی موتور بر حسب متر بر ثانیه به شرح زیر به دست می آید .

$$v_m = \frac{200 \times 10^3}{3600} = 55/55 m/s$$

توان تولیدی:

$$P_d = F_d . v_m = 100 \times 10^3 \times 55/55 = 5555 \times 10^3 w$$

سرعت سنکرون خطی:

$$v_s = 2\pi f = 2 \times \frac{0}{5} \times 60 = 60 m/s$$

لغزش در این شرایط:

$$s = \frac{v_s - v_m}{v_s} = \frac{60 - 55/55}{60} = 0/074$$

تلفات مس روتور:

$$P_{cu} = 3I_2^2 r_2 = F_d . s . v_s = 1000 \times 10^3 \times \frac{0}{074} \times 60 = 444 \times 10^3 w$$

4Ω

تمرین های فصل

۱- یک موتور خطی با گام قطب50cm در ترنی استفاده شده که مسافتی ۱۰ کیلومتری را طی میکند. مقاومت و جریان روتور، ارجاع شده به استاتور، و 500A میباشد. نیروی محرک تولیدی موتور در حالی که در فرکانس HZ ۶۰ و لغزش ۲۵٪ کار میکند را به دست آورید.

۲- یک موتور القایی خطی HZ ۵۰، V ۶۶۰ در یک ترن برقی به کار رفته و در لغزش ۲۰٪ کار میکند. این موتور ۵ قطب دارد و گام قطب آن ۳۰CM است. پارامترهای دیگر مدار معادل عبارتند از:

در سمت استاتور:

$$r_1 = 0/15\Omega \ , x_1 = 0/5\Omega$$

در سمت روتور:

$$r_2 = 0/3\Omega \ , x_2 = 0/3\Omega$$

راکتانس مغناطیس کننده:

$$x_m = 3\Omega$$

با صرفنظر از تلفات هسته مطلوب است:

الف) سرعت سنکرون

ب) توان تحویلی به بار

ج) نیروی محرکه تولیدی

د) جریان ورودی

ه) ضریب قدرت

۳- نیروی محرکه یک ترن برقی مجهز به سیستم تعلیق مغناطیسی (یعنی دارای تلفات مکانیکی ناچیز) N ۱۰۰۰ و از طریق اعمال ولتاژ HZ ۱۶ به موتور القایی خطی آن حاصل میشود. تلفات مس این موتور به ازای گام قطب CM ۱۰ و لغزش ۵/۰ چند KW است؟

۴- دو تفاوت اساسی ماشین القایی دوار با نوع خطی آن چیست؟ ماشین القایی خطی چه کاربردهایی دارد؟