

جهت خرید فایل word به سایت www.kandooen.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

بررسی و تحلیل درایوهای

تراکشن جریان مستقیم و القایی

پیشگفتار

در گذشته بیشتر ماشین های حمل و نقل از ولتاژ DC ثابت ریل سوم بوسیله درایوهای DC تغذیه می شدند. موتورها بوسیله کنترل کننده های نوع مقاومتی، که شتاب لازم را برای ماشین فراهم می کردند، کنترل می شدند. این سیستم ها همچنین شامل ترمز دینامیکی برای کم کردن شتاب و شامل سیستم های ترمز سایشی جهت پشتیبانی یا تکمیل سیستم های ترمز دینامیکی می باشند.

ولی امروزه الکترونیک قدرت عامل عمده در بهبود سیستم های محرکه پیشرفته شده است. وجود عناصر نیمه هادی و تولید اینورترها باعث کاهش هزینه های راهبری شده اند. گام اول جایگزینی کنتاکتورها با مقاومت ها و بوسیله یکسو کننده های کنترل شده و چارهای DC جهت کنترل توان موتورهای DC بوده است. در گام دوم کاربرد موتورهای قفس سنجابی با پیشرفت اینورترهای با ولتاژ و فرکانس متغیر ($VVVF$) ممکن شده است. حتی در این زمینه، راه آهن به عنوان پیشگام در سیستم های الکترونیک قدرت شناخته شده است.

سیستم محرکه AC درجه بالایی از ترمز احیا کننده را با مقدار بسیار کم تجهیزات ایجاد می کند. مقدار توان احیا شده به فاکتورهای زیادی از جمله مکان ایستگاه و شدت ترافیک بستگی دارد. مطالعات رایانه ای نشان داده اند که احیای توان در سیستم های محرکه AC ، ۴۰ تا ۵۰ درصد در مقایسه با ماشین های معادل که با کنترل کننده های مقاومتی و ترمز دینامیکی کار می کنند بیشتر می باشد.

در نتیجه در حال حاضر اهداف طراحان، سازندگان و استفاده کنندگان سیستم های تراکشن الکتریکی بر اساس قابلیت اطمینان حداکثر، دسترسی آسان، حداقل سرویس و نگهداری و ... همگی با لوکوموتیوهای مدرن با تراکشن القایی تحقق یافته است. در واقع رسیدن به این هدف ناشی از موارد زیر می باشد

الف) امکان استفاده از موتورهای تراکشن القایی ساده و محکم.

ب) الکترونیک قدرت و کنورترهای مدرن .

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

پ) کنترل و نظارت میکروپروسسوری قوی و خیلی سریع.

این پایان نامه به بررسی و تحلیل درایوهای تراکشن جریان مستقیم و القایی می پردازد.

امید است گردآوری این مجموعه سرآغاز مطالعات و تحقیقات بیشتر در این زمینه گردد.

www.kandoo.cn.com
www.kandoo.cn.com
www.kandoo.cn.com

فصل اول

کشش الکتریکی

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

برای بررسی خصوصیات روشهای مختلف محرک لوکوموتیو، ابتدا باید مشخصات حرکتی
(*Synematic Characteristics*) لوکوموتیوها در حالت کلی بررسی شود و سپس روشهای مناسب
برای ایجاد آن مشخصات حرکتی انتخاب گردد.

در این فصل، ابتدا معادلات حرکتی و دینامیکی (*Synematic & Dynamic Equations*)
حاکم بر قطار بدست آمده و در نهایت ویژگیهای موتورهای الکتریکی لوکوموتیو در حالت ایده آل نتیجه
خواهد داد.

۱-۱) تعیین مشخصات حرکتی قطار

همانطور که می دانید، برای تعیین نحوه حرکت قطارها در هر مسیر از راه آهن، از یک جدول زمانبندی (*Time Table*) استفاده می شود که دارای سه بعد: ۱- شماره قطار، ۲- مسافت قطار، ۳- زمان می باشد. از طرفی تعیین جدول زمانبندی یک مسیر نیازمند دانستن دو دسته اطلاعات برای هر قطار است.

دسته اول شامل اطلاعات مربوط به لحظات خارج بودن قطار از مسیر هستند مانند: زمان توقف در هر ایستگاه (*Dwell Time*)، زمان تعویض مسیر (*Shunting Time*) و ... که با توجه به طراحی اولیه معلوم فرض می شوند.

دسته دوم شامل اطلاعات مربوط به لحظات حرکت قطار در مسیر هستند که از حل معادلات حرکتی قطار بدست می آیند. برای حل این معادلات، باید در هر لحظه نیروهای وارد بر قطار را که شامل نیروی کششی (*Tractive Effort*) قطار، نیروی مقاوم (*Drag Resistance*) یا نیروی کند کننده قطار و نیروی ترمزگیری (*Braking Effort*) یا متوقف کننده قطار هستند، تعیین شوند. در ادامه به محاسبه این نیروها می پردازیم.

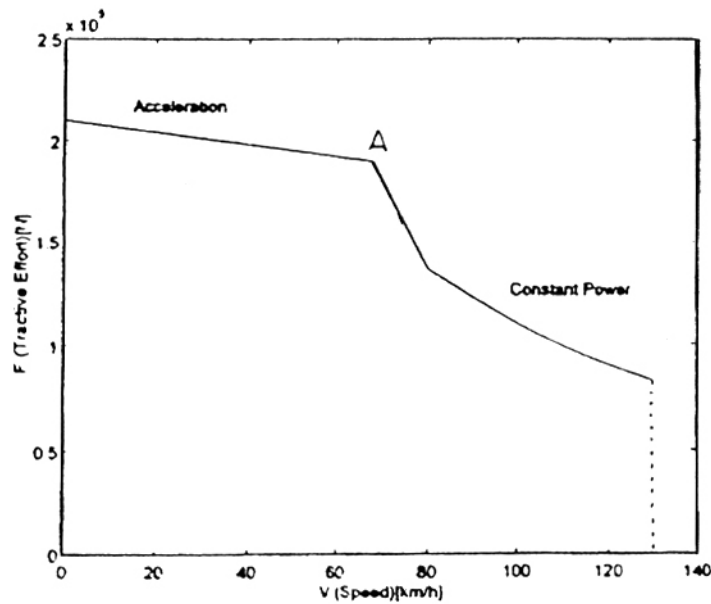
۱-۱-۱) نیروی محرک قطار

به طور کلی نیروی محرک قطار، تابع نوع موتورهای کششی (*Traction Motors*) موجود در لکوموتیو و سیستم کنترل آنها بوده و مشخصه این نیرو توسط کارخانه سازنده برای هر نوع لکوموتیو بصورت منحنی نیروی کششی بر حسب سرعت قطار تعیین می گردد.

شکل (۱-۱) منحنی نیروی کششی F بر حسب سرعت V یک لکوموتیو را نشان می دهد. همانطور که می بینید این منحنی شامل دو ناحیه است. در ناحیه اول نیروی محرک زیاد و بطور تقریباً ثابتی از لحاظ راه اندازی تا سرعت پایه (*Base Speed*) به لکوموتیو اعمال می شود، بنحویکه سرعت قطار با شتابی

زیاد و بصورت تقریباً ثابتی افزایش یابد. در ناحیه دوم که قطار دارای سرعتی بیش از سرعت پایه است، نیروی محرک قطار با افزایش سرعت، کاهش می یابد، بنحویکه حاصلضرب آنها که همان توان مکانیکی قطار است تقریباً ثابت بماند. بنابراین چنانچه نوع لکوموتیو معلوم باشد، نیروی محرک در طول مسیر، تابعی از سرعت قطار خواهد بود. بنابراین داریم:

$$F = f_F(V) \quad (1-1)$$



شکل (۱-۱) منحنی نیروی کششی F بر حسب سرعت V لکوموتیو

۱-۱-۲) نیروی مقاوم قطار (Train Resistance)

بطور کلی، نیروی مقاوم قطار در طول مسیر حرکت آن ثابت نیست. این نیرو از مؤلفه هایی که تابع نوع، وضعیت و مشخصات حرکتی قطار هستند، تشکیل می شود. در ادامه به معرفی این مؤلفه ها می پردازیم.

الف) مقاومت مخصوص چرخشی:

(Specific Rolling Resistance)

مقاومت مخصوص چرخشی R_r ، تابع سرعت قطار V بوده و شکل عمومی آن عبارتست از:

$$R_r = C_0 + C_1.v + C_2.v^2 \quad (1-2)$$

در این رابطه ضریب C_0 ناشی از مقاومت غلتشی بوده و شامل اصطکاک یاتاقانها و مقاومت مسیر نیز می باشد. ضریب C_1 ناشی از تکانهای مزاحم واحد جلو برنده قطار است و ضریب C_2 نیز ناشی از مقاومت هوا می باشد.

یکی از روابط تجربی متداول برای مدل کردن مقاومت مخصوص چرخشی، رابطه شاتوف (Sauthoffs formula) می باشد که بصورت زیر بیان می شود:

$$R_r = [a + 0.0025.v + 0.48.F_e[(nw + 2.7)/w][(v + 15)/10]^2]G \quad (1-3)$$

R_r مقاومت مخصوص چرخشی بر حسب $[N/t]$

a ضریبی وابسته به نوع یاتاقانها

v سرعت قطار بر حسب $[Km/h]$

F_e ضریبی وابسته به سطح جلویی واگنها

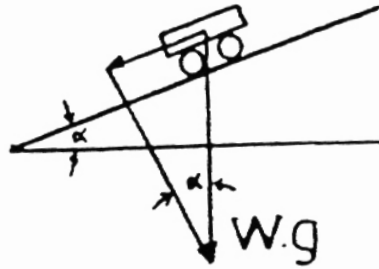
W جرم قطار بر حسب $[t]$

nw تعداد واگنها

g شتاب جاذبه بر حسب $[m/s^2]$

ب) مقاومت مخصوص شیب (Specific Grade Resistance):

مقاومت شیب، مولفه ای، از نیروی جرم قطار است که در جهت عکس قطار و یا در جهت حرکت آن اعمال می شود. بنابراین هنگامیکه شیب مثبت باشد، موجب کندی سرعت قطار شده و در حالیکه شیب منفی است موجب افزایش سرعت آن می شود. بعبارت دیگر، این مقاومت تابع وضعیت قطار بر روی مسیر است.



شکل (۱-۲) اثر مقاومت شیب بر روی سرعت قطار

مطابق شکل (۱-۲) می توان نوشت:

$$Rg = g \cdot \sin \alpha \cdot 10^3 \quad (1-4)$$

Rg مقاومت مخصوص شیب بر حسب $[N/Kg]$

g شتاب جاذبه بر حسب $[m/s^2]$

α زاویه بین سطح قطار و سطح افق

رابطه (۴) معمولاً بصورت زیر بیان می شود:

$$Rg = g \cdot s \quad (1-5)$$

مقدار s برای نقاط مختلف مسیر بصورت جدول داده می شود.

این مقاومت ناشی از لغزش بین چرخ قطار و ریل در قسمتهای خمیده مسیر است و در نتیجه، تابع

وضعیت قطار بر روی مسیر می باشد. یکی از روابط تجربی متداول برای محاسبه مقاومت مخصوص

قوس، رابطه عمومی (*Universal Formula*) می باشد که بدین صورت بیان می شود:

$$R_a = [(153S + 1000d) / R]G \quad (1-6)$$

R_a مقاومت مخصوص قوس بر حسب $[N/t]$

S فاصله بین سطوح چرخ های گرداننده محور قطار بر حسب $[m]$

d مقدار متوسط طول کلیه پایه های نگهدارنده چرخها بر حسب $[m]$

g شتاب جاذبه بر حسب $[m/s^2]$

R شعاع قوس بر حسب $[m]$

ت) مقاومت مخصوص شتاب:

(Specific Acceleration Resistance)

بر اساس قانون دوم نیوتن، این مقاومت ناشی از اینرسی قطار بوده و به شتاب قطار بستگی دارد. در عمل، جرم مؤثر قطار متحرک را کمی بیشتر از جرم واقعی آن در نظر می گیرند و بنابراین می توان

نوشت:

$$R_{ac} = 1060.a$$

(۱-۷)

R_{ac} مقاومت مخصوص شتاب بر حسب $[N/t]$

a شتاب قطار بر حسب $[m/s^2]$

ث) مقاومت مخصوص راه اندازی:

(Specific Starting Resistance)

گذر از حالت سکون به حرکت قطار، همراه با مقاومت می باشد. این مقاومت که تنها در لحظه راه

اندازی وجود دارد، به نوع یاتاقانهای قطار بستگی دارد. بنابراین می توان نوشت:

$$15 < R_{st} < 70$$

(۱-۸) برای یاتاقانهای چرخنده

$$120 < R_{st} < 260$$

(۱-۹) برای یاتاقانهای مسطح

در اینجه R_{st} بر حسب $[N/t]$ می باشد.

تا اینجا روش محاسبه مولفه های نیروی مقاوم بیان شد. بنابراین، نیروی مقاوم یک قطار در حال حرکت

بدین صورت محاسبه می شود:

$$R = W (R_r + R_g + R_a + R_{ac}) \quad (1-10)$$

R نیروی مقاوم قطار بر حسب $[N]$

W وزن قطار بر حسب $[t]$

R_r و R_g و R_a و R_{ac} مولفه های نیروی مقاوم بر حسب $[N/t]$

بنابراین چنانچه نوع قطار معلوم باشد، نیروی مقاوم را می توان تابعی از مسافت x ، سرعت v و شتاب a

قطار در طول مسیر دانست.

$$R = f_R(x, v, a) \quad (1-11)$$

۱-۱-۳) نیروی ترمز گیری قطار

همانطور که می دانید برای توقف قطار در انتهای هر مسیر و یا در مواقع اضطراری به نیروی مقاومی

برای ترمز گیری احتیاج داریم. در حالت کلی این نیرو می تواند به دو طریق مکانیکی و یا الکتریکی

تأمین شود.

از آنجا که ترمز گیری مکانیکی (*Mechanic Braking*) دارای استهلاک زیادی است، بنابراین از آن

فقط در سرعت های پائین و در زمانیکه ترمز گیری الکتریکی میسر نباشد، استفاده می شود. ترمز گیری

الکتریکی (*Electric Braking*) نیز به دو صورت امکان پذیر است. در روش اول، کل انرژی ذخیره

شده در میدان مغناطیسی موتورهای کششی در یک مقاومت الکتریکی بصورت انرژی حرارتی تلف می

شود و بنابر این قطار هیچگونه مبادله انرژی با شبکه برق رسانی انجام نمی دهد. این روش را ترمز گیری

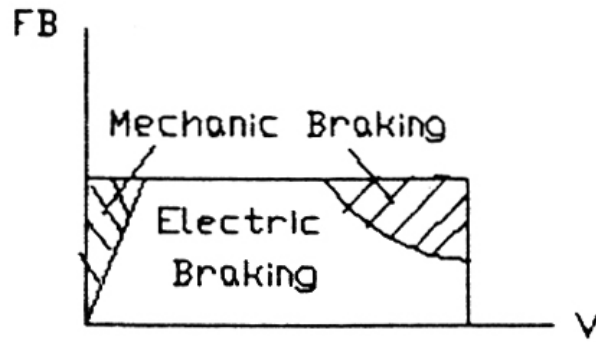
دینامیکی (*Dynamic Braking*) یا مقاومتی (*Resistance Braking*) و یا رئوستایی

(*Rheostatic Braking*) می نامند.

در روش دوم، موتورها درحالت ترمزگیری بصورت ژنراتور عمل کرده و بخشی از انرژی جنبشی قطار را که در میدان مغناطیسی موتور ذخیره شده است، بصورت انرژی الکتریکی به شبکه برق رسانی باز می گردانند. در این نوع ترمزگیری، مسأله مهم یافتن یک مصرف کننده دیگر در لحظه ترمزگیری یک قطار است.

باید به این نکته توجه داشت که برای کاهش جرک (*Jerk*) و ترمزگیری سریع، سعی براینست که نیروی ترمزگیری قطار با کاهش سرعت آن ثابت بماند. در عمل برای ثابت ماندن نیروی ترمزگیری از هر دو روش ترمزگیری مکانیکی و الکتریکی استفاده می شود، بنحویکه همواره سعی بر آنست، تا حد ممکن از ترمزگیری الکتریکی استفاده می شود و در سرعتهایی که نیروی ترمزگیری الکتریکی محدود شود نیروی ترمزگیری مکانیکی این نقصان را جبران نماید. بنابر این در نهایت مجموع نیروهای ترمزگیری الکتریکی و مکانیکی ثابت خواهد بود.

از طرفی نیروی ترمزگیری الکتریکی در دو حالت می تواند محدود شود. حالت اول در سرعتهای بالاتر از دور نامی موتورهای الکتریکی قطار است که بدلیل محدودیت ولتاژ و توان الکتریکی موتورهای کششی و همچنین جلوگیری از افزایش ولتاژ خط برق رسانی، قادر به تأمین گشتاور مورد نیاز در سرعتهای بالاتر از دور نامی نیستند. حالت دوم در سرعت پائین (حدود ۱۰ درصد دور نامی موتورهای الکتریکی) تا لحظه توقف است که بدلیل کاهش ولتاژ دو سر موتورها در حالت ژنراتوری قادر به تأمین گشتاور مورد نیاز نخواهیم بود. از اینرو همانطور که بیان شد در هر دو حالت فوق، از ترمزگیری مکانیکی نیز استفاده می شود. شکل (۳-۱)، منحنی نیروی ترمزگیری قطار که شامل ترمزگیری الکتریکی و مکانیکی درسرعتهای مختلف است را نشان می دهد.



شکل (۱-۳) منحنی نیروی ترمزگیری قطار شامل ترمزگیری الکتریکی و مکانیکی در سرعت‌های مختلف

باید توجه داشت که در عمل موتورهای کششی قادر به تحمل ولتاژ و توان بالاتر از مقدار نامی نیز بوده و با روشهایی که در قسمتهای بعد بیان خواهد شد، می توان نیروی ترمزگیری الکتریکی را حتی در سرعت‌های بالاتر از دور نامی ثابت نگهداشت. از آنچه که بیان شد، می توان نتیجه گرفت که نیروی ترمزگیری مقدار ثابتی است:

$$F_B = \text{const} \quad (1-12)$$

۱-۱-۴ محاسبه منحنی سرعت بر حسب زمان

این منحنی، نشانگر سرعت قطار در هر لحظه در فاصله بین دو ایستگاه است. شکل (۱-۴)، منحنی های سرعت بر حسب زمان و نیروی محرک بر حسب سرعت قطار را نشان می دهد. منحنی سرعت بر حسب زمان را می توان حداقل به پنج ناحیه تقسیم کرد و در هر ناحیه، معادلات حرکتی قطار اعمال نمود.

در حالت کلی، مجموعه نیروهای وارده بر قطار را که شامل نیروی محرک F یا نیروی ترمزی F_B است بصورت F_t و مجموعه نیروهای مقاوم در مقابل حرکت قطار را بصورت R نشان دهیم، می توان نوشت:

$$F_t - R = 0 \quad (1-13)$$

باید توجه داشت که F_t مطابق شکل (۱-۴) در ناحیه اول ودوم و سوم ، مطابق رابطه (۱-۱۴) تابع

سرعت قطار V بوده و در ناحیه چهارم صفر است . همچنین F_t در ناحیه پنجم ، برابر نیروی ترمزگیری

F_B بوده و مطابق رابطه (۱-۱۲) مقدار ثابتی است ، بنابراین در مجموع می توان F_t را تابعی از سرعت

قطار دانست :

$$F_t = f_t(v) \quad (1-14)$$

با جایگذاری روابط (۱-۱) و (۱-۱۱) در (۱-۱۳) داریم :

$$f_t(v) - f_R(x,v,a) = 0 \quad (1-15)$$

بنابراین با استفاده از رابطه (۱-۱۵) شتاب قطار در هر لحظه بصورت تابعی از سرعت و مسافت قطار

بدست می آید:

$$a = f_a(x,v) \quad (1-16)$$

در نتیجه می توان با استفاده از رابطه (۱-۱۶) معادلات حالت حرکتی قطار را در ناحیه بصورت زیر بیان

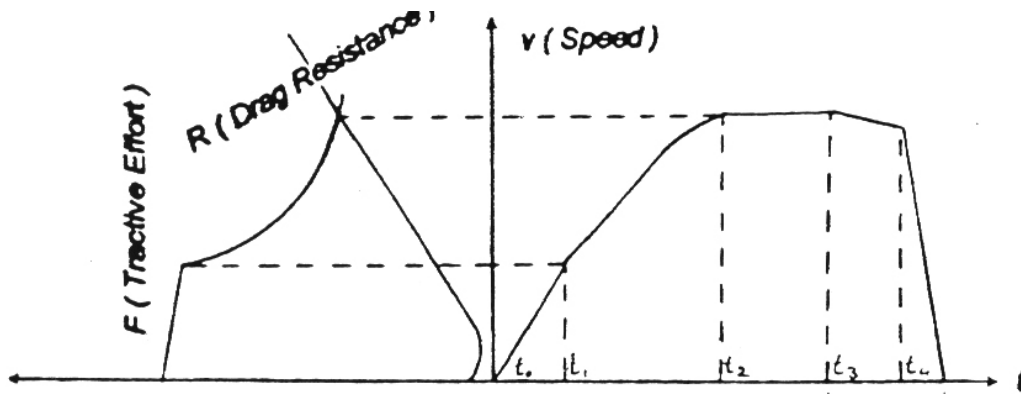
کرد:

$$dx/dt = v \quad (1-17)$$

$$dv/dt = f_a(x,v) \quad (1-18)$$

حال که روش کلی حل معادلات حرکتی قطار در هر ناحیه بیان شد، به بررسی مشخصات دینامیکی و

حرکتی قطار در هر ناحیه از منحنی سرعت بر حسب زمان می پردازیم .



شکل (۱-۴) منحنی های سرعت بر حسب زمان و نیروی محرک بر حسب سرعت قطار

ناحیه ۱ از لحظه t_0 تا t_1 :

این قسمت از منحنی را ناحیه شتابگیری (*Acceleration*) می نامند. زیرا در این ناحیه نیروی محرک زیاد و بطور تقریباً ثابتی به قطار اعمال می شود. در این حالت چون نیروی مقاوم به علت سرعت کم قطار، کوچک است، با شتاب تقریباً ثابتی افزایش می یابد. در نتیجه، توان الکتریکی موتورهای کششی در حال افزایش خواهد بود.

ناحیه ۲ از لحظه t_1 تا t_2 :

این قسمت از منحنی را ناحیه توان ثابت (*Constant Power*) می نامند. زیرا مطابق شکل (۱-۴)، مقدار نیروی محرک بتدریج با افزایش سرعت کاهش می یابد، بنحویکه توان الکتریکی موتورهای کششی تقریباً ثابت بماند.

ناحیه ۳ از لحظه t_2 تا t_3 :

این قسمت از منحنی را ناحیه سرعت ثابت (*Constant Velocity*) می نامند. زیرا در این حالت، کاهش نیروی محرک تا جایی ادامه یافته که مجموع نیروی های اعمال شده به قطار صفر شده است. در این حالت، سرعت قطار ثابت بوده و توان الکتریکی موتورهای قطار نیز ثابت خواهد بود، این ناحیه،

معمولاً در خطوط راه آهن بین شهری وجود داشته و در خطوط راه آهن حومه شهری که فاصله بین ایستگاهها در حدود ۳ تا ۵ کیلومتر است، وجود ندارد.

ناحیه ۴ از لحظه t_3 تا t_4 :

این قسمت از منحنی را ناحیه خلاصی (*Coasting*) می نامند. زیرا در این حالت، قطار بدون در یافت توان الکتریکی از شبکه به حرکت خود ادامه می دهد و بنابر این، تنها نیروی مقاوم به قطار اعمال می شود. اگر چه استفاده از ناحیه خلاصی موجب صرفه جویی در مصرف انرژی الکتریکی می شود، ولی در مقابل زمان بیشتری برای حرکت قطار در مسیر صرف خواهد شد. بهمین دلیل، برای ارزیابی مدت زمان خلاصی قطار، شاخصی را بنام زمان ذخیره (*Reserve Time*) تعریف می کنند که بدین صورت بیان می شود:

فرض کنید در یک مسیر، دو ایستگاه به فاصله D از یکدیگر قرار گیرند و t_{min} حداقل زمان لازم برای حرکت قطار بین دو ایستگاه باشد، بنحویکه در این مدت قطار از حالت خلاصی استفاده نکند. همچنین t_c زمان لازم برای حرکت قطار بین همان دو ایستگاه بشرط استفاده از حالت خلاصی باشد. در این صورت، زمان ذخیره $T.R$ به این صورت می تواند باشد:

$$T.R = (t_c - t_{min}) / D \quad [S/Km] \quad (1-19)$$

در عمل با مصالحه بین مدت زمان ذخیره و مقدار انرژی مصرفی قطار، مقدار بهینه ای برای مدت زمان خلاصی قطار بدست می آورند.

ناحیه ۵ از لحظه t_4 تا t_5 :

این قسمت از منحنی را ناحیه ترمز گیری (*Braking*) می نامند. زیرا در این حالت، نیروی ناشی از اعمال ترمزها به همراه نیروی مقاوم در خلاف جهت حرکت قطار هستند و باعث ایجاد یک شتاب کند کننده تقریباً ثابت می شوند، بنحویکه در مدت کوتاهی قطار از حرکت می ایستد.

۲-۱) تعیین مشخصات موتورهای کششی

در این قسمت مشخصات کلی موتورهای الکتریکی بکار رفته در لکوموتیو، صرفنظر از نوع آن و با توجه به ویژگیهای حرکتی بیان شده برای قطار در قسمت قبل، مورد بررسی قرار می گیرد.

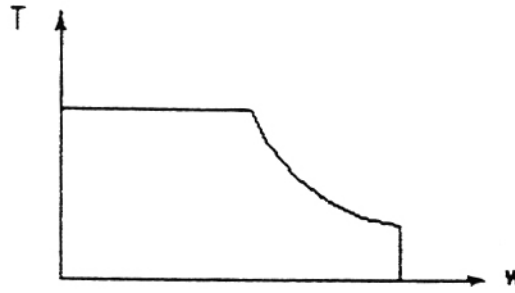
۱-۲-۱) مشخصه گشتاور - سرعت موتورهای الکتریکی

همانطور که می دانید، نیروی محرک قطار توسط انتقال حرکت دورانی محور موتورهای الکتریکی به وسیله چرخ دنده ها به چرخ قطار صورت می گیرد بنابر این با دانستن تبدیل چرخ دنده ها (*Gear Ratio*) و شعاع چرخهای قطار *r*، می توان ارتباط بین نیروی محرک قطار *F* با گشتاور الکتریکی موتورهای آن *T* و همچنین سرعت حرکت قطار *V* با سرعت زاویه ای موتورهای آن ω را مطابق معادلات زیر بدست آورد:

$$F = T / (G.r) \quad (1-20)$$

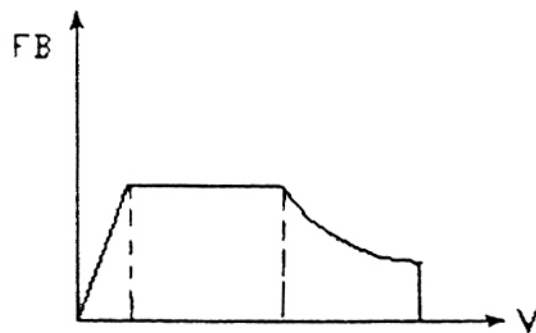
$$V = (G.r) \omega \quad (1-21)$$

بنا بر این با توجه به شکل (۱-۱) و رابطه (۱-۲۰) و (۱-۲۱) منحنی گشتاور الکتریکی بر حسب سرعت هر موتور را می توان بصورت شکل (۱-۵) نمایش داد. همانطور که مشاهده می شود این منحنی نیز دارای دو ناحیه کاری است. در ناحیه اول گشتاور الکتریکی زیاد و بطور تقریباً ثابتی از ابتدای راه اندازی تا سرعتی در حدود دور نامی موتور وجود دارد. در ناحیه دوم و در بالاتر از دور نامی موتور، گشتاور الکتریکی موتور با افزایش سرعت کاهش می یابد، بنحویکه حاصلضرب آنها که همان توان الکتریکی موتور است ثابت بماند. بنابراین یک موتور کششی باید در محدوده وسیعی از راه اندازی تا حدود دو برابر سرعت نامی کنترل شود. ضمن آنکه باید دارای گشتاور راه اندازی بالایی باشد.



شکل (۱-۵) منحنی گشتاور الکتریکی بر حسب سرعت موتور

از طرفی همانطور که بیان شد موتورهای الکتریکی در حالت ترمزگیری قطار، به ژنراتور تبدیل می شوند تا انرژی خود را تلف کرده و یا به شبکه باز گردانند. شکل (۱-۶) منحنی گشتاور بازدارنده الکتریکی را بر حسب سرعت نشان می دهد.



شکل (۱-۶) منحنی گشتاور باز دارنده الکتریکی بر حسب سرعت

همانطور که می بینید این منحنی دارای سه ناحیه کاری است. در ناحیه اول در بالاتر از دور نامی ژنراتور، گشتاور مقاوم با کاهش سرعت، افزایش می یابد بنحویکه حاصلضرب آنها که توان الکتریکی ژنراتور است ثابت بماند. باید توجه داشت در بعضی مواقع که ماشین قادر به تحمل ولتاژ و توان الکتریکی بالاتر از مقدار نامی است با استفاده از مدار های مناسب توانسته اند، گشتاور الکتریکی ماشین را در حالت ژنراتوری و در ناحیه اول ثابت نگه دارند، این حالت به وسیله خط چین در شکل (۱-۶) نشان داده شده است.

در ناحیه ی دوم ، گشتاور الکتریکی مقاوم زیاد و به طور ثابتی بین دور نامی موتور تا حدود ده درصد دور نامی آن وجود دارد .

در ناحیه سوم ، که دور موتور کم است گشتاور الکتریکی مقاوم با افت سرعت کاهش می یابد، تا به مقدار صفر برسد. بنابراین یک موتور کششی در حالت ژنراتوری نیز باید در محدوده وسیعی از سرعت کنترل شود.

۱-۲-۲) عملکرد موازی

از آن جائیکه در سیستم حمل و نقل ریلی معمولاً چندین موتور کششی از یک منبع برق رسانی تغذیه می شوند، بنابراین باید بتوانند بصورت موازی بایکدیگر کار کنند ، بنحویکه اگر اختلاف جزئی در سرعت گردش موتور ها (مثلاً به اختلاف قطر چرخهای لکوموتیو) بوجود آمد، تفاوت زیادی بین گشتاور الکتریکی و یا جریان بار کشیده شده توسط موتور از منبع تغذیه ایجاد نشود .

۱-۲-۳) نوسانهای ولتاژ

از آنجا که ولتاژ تغذیه کنده ی موتورهای الکتریکی بدلیل جابجائی قطار و افت ولتاژ خطوط برق رسانی تغییرات و نوسانات زیادی دارد، بنابراین لازم است موتورهای کششی و یا مدارهای کنترل آنها را در مقابل این نوسانات مقاوم باشند.

۱-۲-۴) محدودیت وزن و حجم

همانطور که می دانید برای یک توان ثابت هر چه وزن موتور کششی بیشتر باشد، انرژی بیشتری برای حرکت در آوردن لکوموتیو لازم است و از آنجا که تعداد موتورهای کششی در سیستم های حمل و نقل شهری زیاد است بنابر این باید نسبت توان الکتریکی به وزن موتورها تا حد ممکن افزایش یابد . همچنین همانطور که می دانید در هر لکوموتیو هر چه فضای بیشتری وجود داشته باشد مقدار کالا یا مسافر بیشتری جابجا می شود بنابر این باید موتورها و مدارهای کنترل آنها دارای حجم کمی باشند.

فصل دوم:

موتورهای تراکشن جریان مستقیم

تاریخچه سیستم های حمل و نقل الکتریکی DC

پس از آنکه ورنر زیمنس (*Werner Von Siemens*) در سال ۱۸۶۶ موفق به اختراع ژنراتور الکتریکی و در نتیجه تولید توان الکتریکی از نظر اقتصادی شد، ایده استفاده از توان الکتریکی در حمل و نقل برقی در ذهنش درخشید.

برای اولین بار در ۳۱ می ۱۸۷۹ اولین لکوموتیو جریان مستقیم در شهر برلین با قدرت ۲/۲ کیلو ولت ولتاژ ۱۵۰ ولت برای مسیری بطول ۳۰۰ متر مورد بهره برداری قرار گرفت.

از سال ۱۸۹۲، جریان مستقیم با ولتاژ ۶۰۰ ولت برای سرویس دهی به سیستم های حمل و نقل شهری تشخیص داده شد. پس از آن با تولید جریان متناوب برای اولین بار در سال ۱۹۲۸ اولین سیستم یکسوساز چرخشی (*Rotary Rectifier*) مورد استفاده قرار گرفت و در سال ۱۹۶۰ برای اولین بار از یکسوسازهای سیلیکونی بهره جستند.

در سال ۱۹۶۵ برای اولین بار در مونیخ از سیستمی با سرعت ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت با روش کنترل *CATC* (*Continuous Automatic Train Control*) استفاده شد. ولتاژ جریان مستقیم ۶۰۰ ولت توسط یک چاپر تریستوری تغذیه می شد. و در سال ۱۹۸۴ از تعداد ۱۶۵ لکوموتیو با کلاس مشخصه *7E* (*107*) با سیستم کنترل چاپر و ولتاژ ۳۰۰۰ ولت جریان مستقیم برای سرویس حمل و نقل در آفریقای جنوبی استفاده شد که هم اکنون مشغول سرویس دهی می باشد.

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

همانطور که در فصل قبل بیان شد، موتورهای الکتریکی مورد استفاده در صنعت حمل و نقل ریلی باید ویژگی های خاصی را دارا باشند. از طرفی موتورهای جریان مستقیم بر حسب نوع اتصال بین مدار آرمیچر و میدان به سه دسته تحریک موازی، تحریک مجزا و تحریک سری تقسیم می شوند. در زیر به بررسی و مقایسه رفتار این موتورها برای کار در سیستم های حمل و نقل ریلی بویژه سیستمهای سریع حمل و نقل درون شهری (*Rapid Transit*) می پردازد.

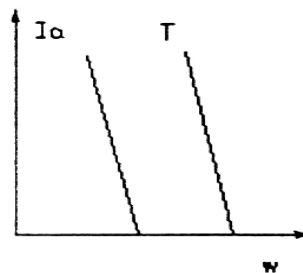
۲-۲) موتور جریان مستقیم با تحریک موازی

بطور خلاصه موتورهای تحریک موازی برای کاربردهای کششی در صنعت حمل و نقل مناسب نیستند. بهمین دلیل بدون ذکر معادلات موتور تحریک موازی، تنها بدلائیل عدم استفاده از این نوع موتور اشاره می کنیم:

شکل (۲-۱) مشخصه گشتاور الکتریکی T و جریان آرمیچر I_a را بر حسب سرعت ω یک موتور تحریک موازی نمونه نشان می دهد. همانطور که می بینید این موتور برای عملکرد در سرعت ثابت مناسب است در حالیکه موتورهای کششی باید در رنج وسیعی کنترل پذیر باشند. همچنین مشخص است که اگر این موتورها با هم موازی شوند. تغییر کوچکی در سرعت (که می تواند بعلت اختلاف قطر چرخ های قطار باشد) باعث تغییر زیادی در جریان یا گشتاور الکتریکی موتورهای فوق می شود. بعبارت دیگر موتورهای جریان مستقیم با تحریک شنت قادر به عملکرد موازی با یکدیگر نیستند.

در این موتورها بعلت تأثیر پذیری جریان تحریک بوسیله ولتاژ اعمالی به موتور، هارمونیکهای ولتاژ خط تأثیر قابل ملاحظه ای بر روی مقدار گشتاور الکتریکی می گذارد. بعبارت دیگر حساسیت گشتاور الکتریکی به تغییرات ولتاژ ورودی در موتورهای تحریک موازی زیاد است.

از آنجا که سیم پیچ میدان موتور با تحریک موازی دارای جریان ثابتی است، بنابراین افزایش گشتاور فقط باعث افزایش جریان آرمیچر می شود. بنابراین برای یک افزایش گشتاور معین، جریان کشیده شده بوسیله موتور تحریک موازی بیشتر از جریان کشیده شده از موتور تحریک سری مشابه است.



شکل (۲-۱) مشخصه گشتاور الکتریکی و جریان آرمیچر بر حسب سرعت ω موتور تحریک موازی

بطور کلی موتور تحریک موازی دارای جریان تحریک کمی است و بهمین دلیل گشتاور راه اندازه کمتری نسبت به موتور تحریک سری مشابه دارد.

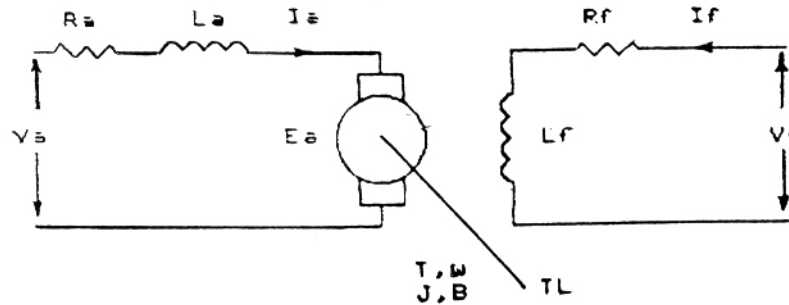
بنابراین چنانچه ملاحظه می کنید مشخصات موتورهای تحریک موازی با ویژگی های موتورهای کششی که در فصل قبل بیان شد متفاوت بوده و در سیستم های حمل و نقل ریلی استفاده نمی شوند.

۲-۳) موتورهای جریان مستقیم با تحریک مجزا

بطور کلی موتورهای تحریک مجزا بدلیل جدا بودن مدار آرمیچر و میدان دارای قابلیت کنترلی بسیار مناسب و ساده ای هستند و تنها عاملی که سبب محدودیت استفاده از این موتورها در صنعت حمل و نقل ریلی شده است، گشتاور راه اندازی پائین آنها در مقایسه با موتورهای تحریک سری می باشد که دلیل آن ضعیف بودن سیم پیچی میدان موتورهای تحریک مجزا نسبت به موتورهای تحریک سری است. از طرفی برای جبران این عیب در موتورهای تحریک مجزا، نوع خاصی از اینگونه موتورها برای عمل کشش در متروها طراحی شده است که از نظر ساختمان، مشابه موتورهای تحریک سری بوده و دارای سیم پیچی میدان ضخیم تری نسبت به موتورهای معمولی است بنحویکه جریان آرمیچر و جریان تحریک این نوع جدید موتور، درست همانند یک موتور تحریک سری می باشد، بدیهی است که چنین مشخصاتی باعث افزایش گشتاور راه اندازی موتورهای جدید در حد یک موتور سری خواهد شد.

۲-۳-۱) معادلات ماشین جریان مستقیم با تحریک مجزا

شکل (۲-۲) مدل یک ماشین مجزا را با فرض خطی بودن مشخصه مغناطیسی آن نشان می دهد.



شکل (۲-۲) مدل ماشین تحریک مجزا با فرض خطی بودن مشخصه مغناطیسی

V_f ولتاژ تحریک	V_a ولتاژ آرمیچر
I_f جریان تحریک	I_a جریان آرمیچر
R_f مقاومت تحریک	R_a مقاومت آرمیچر
L_f اندوکتانس تحریک	L_a اندوکتانس آرمیچر
J میزان اینرسی ماشین	E_a ولتاژ ضد محرکه آرمیچر
T_L گشتاور بار	T گشتاور الکتریکی
B ضریب اصطکاک	ω سرعت زاویه ای

گر چه در اینجا جهت جریان آرمیچر و گشتاور الکتریکی مطابق با عملکرد موتوری در نظر گرفته شده ولی این معادلات برای حالت ژنراتوری نیز صادق بوده و فقط در حالت ژنراتوری مقادیر دو کمیت مذکور منفی خواهند بود. مطابق شکل (۲-۲) معادلات حاکم بر مدل را می توان بصورت زیر نوشت:

$$v_a = R_a \cdot i_a + L_a \cdot di_a / dt + e_a \quad (2-1)$$

$$\omega \quad e_a = K \cdot i_a \quad (2-2)$$

$$v_f = R_f \cdot i_f + L_f \cdot di_f / dt \quad (2-3)$$

$$T = K \cdot i_f \cdot i_a \quad (2-4)$$

$$\omega / dt + B \cdot \omega \quad T = T_L + j \cdot d \quad (2-5)$$

$$P = T \cdot \omega \quad (2-6)$$

۲-۳-۲ کنترل ماشین جریان مستقیم با تحریک مجزا در حالت موتوری

در این قسمت تئوری روش کنترل یک ماشین تحریک مجزا در حالت موتوری برای کاربرد شتابگیری در حمل و نقل ریلی با توجه به معادلات آن بررسی می شود. همانطور که در فصل قبل بیان شد یک موتور کششی در دو ناحیه کنترل می شود. در زیر به نحوه ی کنترل موتور در دو ناحیه مذکور می پردازیم:

الف) ناحیه اول موتوری

همانطور که می دانید در ناحیه اول باید گشتاور الکتریکی موتور از لحظه راه اندازی تا سرعت نامی موتور ω_b ثابت بماند. پس برای ثابت نگهداشتن گشتاور T کفایت مطابق رابطه (۲-۴) مقادیر جریانهای I_a و I_f را ثابت نگهداریم. از طرفی با توجه به رابطه (۲-۳) جریان I_f را می توان بوسیله ولتاژ V_f کنترل نمود. همچنین مطابق رابطه (۲-۱) برای ثابت نگهداشتن جریان I_a باید تفاضل ولتاژ V_a

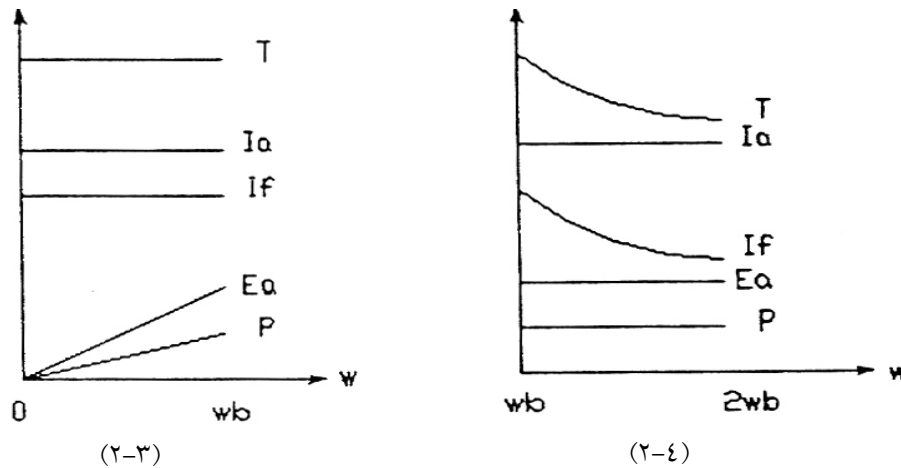
از ولتاژ E_a ثابت بماند و چون مطابق رابطه (۲-۲) مقدار ولتاژ E_a با افزایش سرعت ω بصورت خطی افزایش می یابد، بنابراین کفایت ولتاژ V_a را نیز بهمان ترتیب افزایش دهیم. در نتیجه همانطور که بیان شد، با کنترل ولتاژهای V_a و V_f می توان گشتاور موتور را در ناحیه اول ثابت نگهداشت. باید توجه داشت که بعلت ثابت ماندن گشتاور مقدار توان الکتریکی ماشین بصورت خطی با افزایش سرعت ω زیاد می شود.

شکل (۲-۳) چگونگی تغییر کمیت‌های الکتریکی بیان شده را در ناحیه اول موتوری نمایش می دهد.

ب) ناحیه دوم موتوری

همانطور که می دانید در ناحیه دوم باید توان الکتریکی موتور را در سرعت‌های بالاتر از دور نامی موتور ω_b ثابت نگهداریم. پس برای ثابت نگه داشتن توان کفایت مطابق رابطه (۲-۶) حاصلضرب گشتاور در سرعت ω ثابت بماند.

مطابق رابطه (۲-۵) مقدار گشتاور را می توانیم بوسیله کاهش جریان I_f و ثابت نگهداشتن جریان I_a کاهش دهیم. برای این منظور کفایت مطابق رابطه (۲-۳) جریان I_f را بوسیله کاهش V_f کم کنیم، بطوریکه حاصلضرب جریان I_f در سرعت ω ثابت بماند. در اینصورت مطابق روابط (۲-۱) و (۲-۲) جریان I_a را می توان با ثابت نگه داشتن V_a ، ثابت نگهداشت. در نتیجه همانطور که بیان شد با کنترل ولتاژهای V_a و V_f می توان موتور را در ناحیه دوم ثابت نگهداشت. شکل (۲-۴) چگونگی تغییر کمیت‌های الکتریکی بیان شده را در ناحیه دوم موتوری نشان می دهد.



(۲-۳)

(۲-۴)

شکل (۲-۳) منحنی مشخصه های موتور در ناحیه اول

شکل (۲-۴) منحنی مشخصه های موتور در ناحیه دوم

۲-۳-۳ کنترل ماشین جریان مستقیم با تحریک مجزا در حالت ژنراتوری

در این قسمت تئوری روش کنترل یک ماشین تحریک مجزا در حالت ژنراتوری برای کاربرد ترمز گیری در حمل و نقل ریلی با توجه به معادلات آن بررسی می شود. در فصل قبل بیان شد یک ژنراتور کششی در سه ناحیه کنترل می شود. در زیر به نحوه کنترل ژنراتور در سه ناحیه مذکور می پردازیم:

الف) ناحیه اول ژنراتوری

همانطور که می دانید این ناحیه در سرعت های بالاتر از دور نامی ماشین ω_b وجود دارد. در این ناحیه ژنراتور به دو صورت توان ثابت یا گشتاور ثابت ممکن است کنترل شود. در زیر به نحوه کنترل و دلیل استفاده از هر یک از دو حالت مذکور اشاره می کنیم.

فرض کنید که بخواهیم ژنراتور با توان الکتریکی ثابت در ناحیه اول کنترل شود. سپس مطابق رابطه (۲-۶) حاصل ضرب گشتاور T در سرعت ω ثابت بماند. بنحویکه با کاهش سرعت ω مقدار گشتاور T را افزایش دهیم. برای این منظور باید مطابق رابطه (۲-۴) جریان I_a را ثابت نگهداشته و در عوض جریان I_f را افزایش دهیم. پس کافیست جریان I_f در سرعت ω ثابت بماند. در اینصورت مطابق روابط (۲-۱)

و (۲-۲) جریان I_a را می توان با ثابت نگه داشتن V_a ثابت نگه داشت. در نتیجه همانطور که بیان شد

با کنترل ولتاژ های V_a و V_f می توان توان ژنراتور را در ناحیه اول ثابت نگهداشت. شکل (۲-۵)

چگونگی تغییر کمیت های الکتریکی بیان شده را در ناحیه اول ژنراتوری نشان می دهد.

باید توجه داشت که دلیل استفاده از حالت توان ثابت برای ترمز گیری در سرعت های بالاتر از دور نامی

ثابت نگهداشتن و محدود کردن ولتاژ E_a و توان الکتریکی ژنراتور در حد مقادیر نامی ماشین است که

این محدودیت به دو دلیل زیر انجام می شود:

۱- افزایش ولتاژ E_a از مقدار نامی باعث افزایش ولتاژ بین تیغه های کموتاتور شده و جرقه ایجاد

می کند. ضمن اینکه عایق های بکار رفته در ماشین نیز ممکن است آسیب ببینند. همچنین افزایش توان

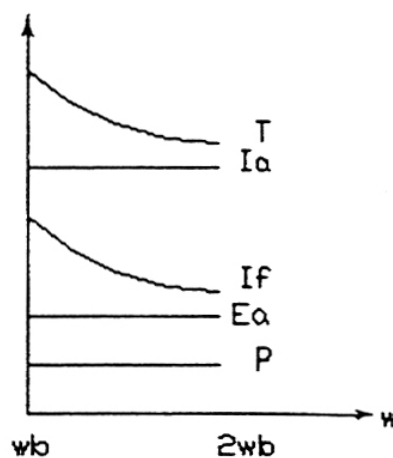
می تواند باعث بالا رفتن درجه حرارت ژنراتور از مقدار مجاز شده و به عایق های آن آسیب وارد نماید.

۲- همانطور که می دانید در حالت ترمز گیری با بازیابی انرژی ماشین به خط برق رسانی متصل است.

بنابراین هر گونه افزایش ولتاژ E_a باعث اضافه شدن ولتاژ خط برق رسانی می شود. چنانچه می دانید

ولتاژ خطوط برق رسانی به قطار نباید از ۲۰ درصد مقدار نامی آن تجاوز کند. از اینرو مجبور به محدود

کردن ولتاژ E_a بوسیله ثابت نگه داشتن توان ماشین هستیم.



شکل (۲-۵) منحنی مشخصه های ژنراتور در حالت توان ثابت در ناحیه اول

عیب عمده استفاده از حالت توان ثابت در اینست که گشتاور الکتریکی ژنراتور که بوجود آورنده نیروی

ترمزی قطار است، کم می باشد و برای جبران آن و ثابت نگهداشتن نیروی ترمز گیری بناچار باید از

ترمزگیری مکانیکی که دارای استهلاک نسبتاً زیادی می باشد، استفاده کنیم. بهمین جهت برای رفع

کاهش گشتاور، هر یک از دو محدودیت ذکر شده برای حالت توان ثابت را بنحوی حل کرده و ماشین

را در ناحیه دوم بصورت گشتاور ثابت کنترل کرده اند. در ادامه بنحوه کنترل ژنراتور بصورت گشتاور

ثابت و شیوه های بر طرف کردن محدودیت های آن اشاره می کنیم.

فرض کنید که بخواهیم با گشتاور ژنراتور ثابت در ناحیه اول کنترل شود. پس باید مطابق رابطه (۲-۴)

مقدیر جریانهای I_a و I_f ثابت بمانند. از طرفی با توجه به رابطه (۲-۳) جریان I_f را می توان بوسیله ولتاژ

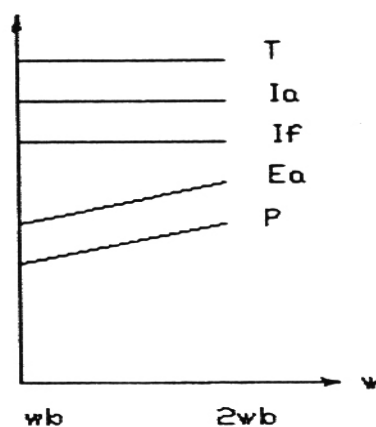
V_f کنترل نمود. همچنین مطابق رابطه (۲-۱) برای ثابت نگهداشتن جریان I_a باید تفاضل ولتاژ V_a از

ولتاژ E_a ثابت بماند و چون مطابق رابطه (۲-۲) مقدار ولتاژ E_a با کاهش سرعت ω بصورت خطی کم

می شود، بنابراین کفایت ولتاژ V_a را نیز به همان ترتیب کاهش دهیم. در نتیجه همانطور که بیان شد با

کنترل ولتاژهای V_a و V_f می توان گشتاور را در ناحیه اول ثابت نگه داشت. شکل (۲-۶) چگونگی

تغییر کمیت های الکتریکی بیان شده را در ناحیه اول ژنراتوری نشان می دهد.



شکل (۲-۶) منحنی مشخصه های ژنراتور در حالت گشتاور ثابت در ناحیه اول

چنانچه دیدیم ماشینهای کششی در این حالت باید قادر به تحمل ولتاژ و توان الکتریکی تا حدود دو برابر مقدار نامی خود باشند. باید توجه داشت که گر چه توان الکتریکی ماشین در این حالت افزایش می یابد، ولی این افزایش تنها بدلیل افزایش ولتاژ بوده و جریان موتور در حد مقدار کاری آن ثابت است. بعبارت دیگر در این حالت تلفات مس ماشین در حد مجاز بوده و با طراحی مناسب ماشین می توان از افزایش تلفات آهن آن و در نهایت افزایش درجه حرارت آن جلوگیری کرد. بنابراین در حالت ترمزگیری مقاومتی، بدلیل جدا بودن ماشین از شبکه برق رسانی براحتی می توان از حالت گشتاور ثابت در ناحیه اول استفاده کرد و شتاب ترمز گیری را ثابت نگهداشت. از طرفی برای جلوگیری از افزایش ولتاژ خط برق رسانی در حالت ترمزگیری با بازیابی انرژی از یک مقاومت سری بین مدار آرمیچر و خط برق رسانی در حالت گشتاور ثابت استفاده می کنند، بگونه ای که افت ولتاژ ناشی از این مقاومت بتواند اضافه ولتاژ E_a ژنراتور را جبران کرده و مانع افزایش ولتاژ خط از مقدار مجاز بشود. بدیهی است که در این حالت نیازی به ترمزگیری مکانیکی نداریم.

بنابراین همانطور که بیان شد یک ماشین کششی را در ناحیه اول ژنراتوری می توان بر حسب نوع آن و مدار کنترل آن به دو حالت توان ثابت یا گشتاور ثابت کنترل کرد.

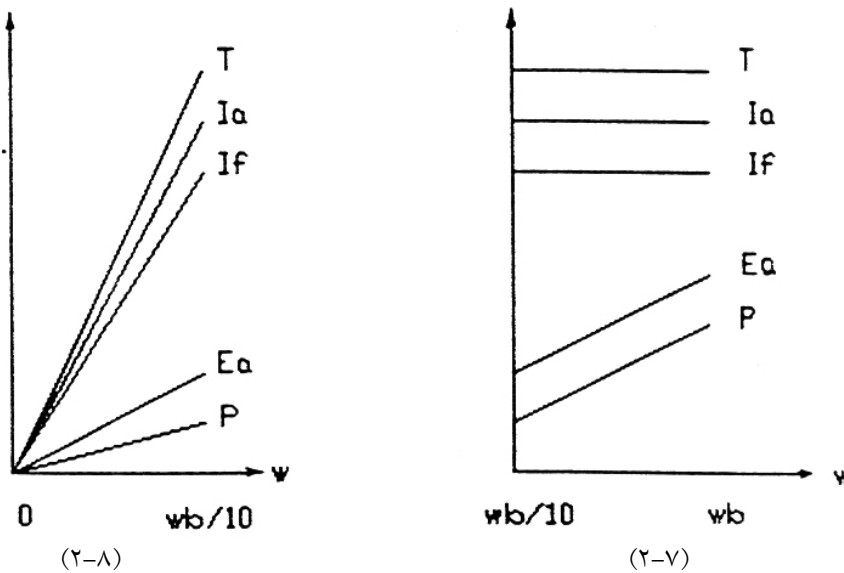
ب) ناحیه دوم ژنراتوری

همانطور که می دانید در ناحیه دوم گشتاور الکتریکی ژنراتور از سرعت نامی آن تا نزدیکی سرعت توقف (حدود ده درصد سرعت نامی ماشین) ثابت بماند. از آنجا که شیوه کنترل ژنراتور در این حالت کاملاً مشابه روش کنترل ژنراتور با گشتاور ثابت در ناحیه اول است، بنابراین نیازی به تکرار مجدد مراحل کنترلی نیست و با کنترل ولتاژهای V_f و V_a می توان گشتاور ژنراتور را ثابت نگهداشت. شکل (۲-۷) چگونگی تغییر کمیت‌های الکتریکی بیان شده را در ناحیه دوم ژنراتوری نمایش می دهد.

ج) ناحیه سوم ژنراتوری

همانطور که می دانید این ناحیه، در سرعتهای نزدیکی توقف ماشین (پائین تر از ده درصد سرعت نامی ماشین) وجود دارد. در این ناحیه بعلت کم شدن سرعت ω مطابق رابطه (۲-۲) ولتاژ E_a نیز کاهش یافته است، بنحویکه گشتاور الکتریکی ماشین ثابت نخواهد شد. در این حالت مدار آرمیچر بسته شده و ماشین از شبکه جدا می شود و بنابراین کلیه کمکهای الکتریکی ژنراتور و از جمله گشتاور آن با شیب تندی به صفر می رسد.

شکل (۲-۸) چگونگی تغییر کمتهای الکتریکی بیان شده در ناحیه سوم ژنراتوری را نشان می دهد. بدیهی است که در این حالت کمبود نیروی ترمزگیری بطور اتوماتیک بوسیله نیروی ترمزگیری مکانیکی جبران می شود تا نیروی ترمزگیری ثابت بماند. باید توجه داشت که در این ناحیه بعلت پایین بودن سرعت عمل ترمزگیری مکانیکی استهلاک زیادی را ایجاد نمی کند.



شکل (۲-۷) منحنی مشخصه های ماشین در ناحیه دوم ژنراتوری

شکل (۲-۸) منحنی مشخصه های ماشین در ناحیه سوم ژنراتوری

۲-۴) موتور جریان مستقیم با تحریک سری

از ابتدای حمل و نقل ریلی، موتورهای سری بدلیل مشخصه های ذاتی مناسبی که دارند مورد استفاده قرار گرفته اند. گرچه در چند دهه اخیر بعلاوه پیشرفت نیمه هادیها و ایجاد روشهای نوین پردازش قدرت بوسیله مدارهای الکترونیک قدرت، موتورهای جریان متناوب در بسیاری از کاربردهای صنعتی جایگزین موتورهای جریان مستقیم شده اند ولی همچنان استفاده از موتورهای جریان مستقیم در بعضی کاربردها ترجیح داده می شوند بطوریکه امروزه در اکثر متروهای دنیا و سیستم های حمل و نقل سریع شهری از موتورهای جریان مستقیم با تحریک سری استفاده شده است. در زیر به ویژگی های ذاتی موتور سری اشاره می کنیم.

۱- مشخصه گشتاور الکتریکی بر حسب سرعت موتور سری بنحوی است که در ابتدای راه اندازی گشتاور زیادی داشته و بتدریج با افزایش سرعت موتور گشتاورش کاهش می یابد و این مشخصه برای عمل کشش بسیار مناسب است.

۲- مشخصه های گشتاور بر حسب سرعت و جریان بر حسب سرعت در موتور سری دارای شیب تندی است. بنابراین در کاربردهای حمل و نقل ریلی که موتورها بطور موازی در مدار قرار می گیرند. هر گاه سرعت موتورها بدلیل اختلاف در قطر چرخهای قطار با یکدیگر اختلاف پیدا کند، بین گشتاور یا جریان مصرفی موتورها تفاوت زیادی به وجود نمی آید. بنابراین موتورهای فوق برای عملکرد موازی مناسب هستند.

۳- مشخصه گشتاور بر حسب سرعت موتور سری باعث پایداری سیستم کنترل می شود زیرا اگر مقدار گشتاور موتور از گشتاور بار بیشتر باشد در آن صورت سرعت موتور افزایش می یابد و در نتیجه گشتاور موتور کاهش خواهد یافت. بنابراین سیستم خیلی سریع بحالت پایدار می رسد.

۴- عمل کموتاسیون در ماشین سری بخوبی انجام می شود. زیرا در بارهای سنگین که جریان زیادی از آرمیچر عبور می کند، مقدار سرعت کاهش یافته و بنابراین مقدار نیروی ضد محرکه القایی در سیم پیچها که به حاصلضرب جریان موتور در سرعت موتور بستگی دارد ثابت می ماند و در نتیجه در کلکتورها، جرقه بوجود نمی آید.

۵- برای کنترل یک موتور سری روشهای متفاوتی وجود دارد و بعلاوه کنترل موتورهای جریان مستقیم ساده و کم هزینه است.

۶- همانطور که می دانید یک ژنراتور سری به یک منبع با ولتاژ ثابت وصل شده است که در شرایطی می تواند ناپایدار شود.

بنابراین برای استفاده از ترمز گیری با بازیابی انرژی در موتورهای سری نیاز به مدارهای با عملکرد سریع خواهیم داشت

۲-۴-۱) معادلات ماشین جریان مستقیم با تحریک سری

شکل (۲-۹) مدل یک ماشین تحریک سری با فرض خطی بودن مشخصه مغناطیسی آن نشان می دهد. گر چه در این جا جهت جریان آرمیچر و گشتاور الکتریکی مطابق با عملکرد موتوری در نظر گرفته شده ولی این معادلات برای حالت ژنراتوری نیز صادق بوده و فقط در حالت ژنراتوری مقادیر دو کمیت مذکور منفی خواهند بود. مطابق شکل (۲-۹) معادلات حاکم بر مدل را می توان بصورت زیر نوشت:

$$v_a = R_a \cdot i_a + L_a \cdot di_a / dt + R_f \cdot i_a + l_f \cdot di_a / dt + e_a \quad (2-7)$$

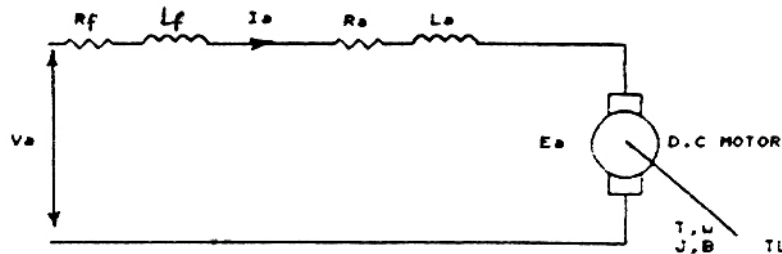
$$\omega e_a = K \cdot i_a \quad (2-8)$$

$$T = K_a \cdot i_a^2 \quad (2-9)$$

$$\omega / dt + B \cdot \omega T = T_L + j \cdot (2-10)$$

$$P = T \cdot \omega$$

$$(2-11)$$



شکل (۲-۹) مدل یک ماشین تحریک سری با فرض خطی بودن مشخصه مغناطیسی

۲-۴-۲) کنترل ماشین جریان مستقیم با تحریک سری در حالت موتوری

در این قسمت تئوری روش کنترل یک ماشین تحریک سری در حالت موتوری برای کاربرد شتابگیری در حمل و نقل ریلی با توجه به معادلات آن بررسی می شود. در زیر نحوه کنترل موتور در دو ناحیه موتوری می پردازیم.

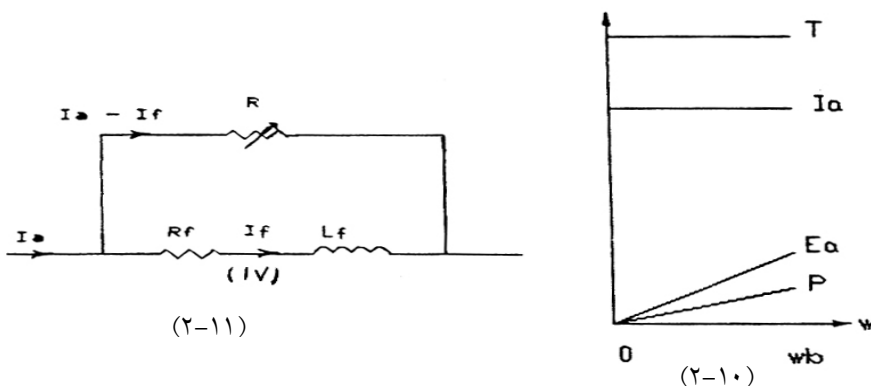
الف) ناحیه اول موتوری

همانطور که می دانید در ناحیه اول باید گشتاور الکتریکی موتور از لحظه راه اندازی تا سرعت نامی موتور ثابت بماند. پس برای ثابت نگهداشتن گشتاور T کفایت مطابق رابطه (۲-۹) جریان I_a را ثابت نگهداریم. برای این منظور باید مطابق رابطه (۲-۷) تفاضل ولتاژ V_a از ولتاژ E_a ثابت بماند و چون مطابق رابطه (۲-۸) مقدار ولتاژ E_a با افزایش سرعت ω بطور خطی افزایش می یابد، بنابراین کفایت ولتاژ V_a را نیز بهمان ترتیب افزایش دهیم. در نتیجه همانطور که بیان شد با کنترل ولتاژ V_a می توان گشتاور موتور را در ناحیه اول ثابت نگهداشت. شکل (۲-۱۰) چگونگی تغییر کمیت‌های الکتریکی بیان شده را در ناحیه اول موتوری نشان می دهد.

ب) ناحیه دوم موتوری

همانطور که می دانید در ناحیه دوم باید توان الکتریکی موتور را در سرعت های بالاتر از دور نامی موتور ثابت نگهداریم. پس برای ثابت نگهداشتن توان P کفایت مطابق رابطه (۲-۱۱) حاصلضرب گشتاور T در سرعت ω ثابت بماند. بنابراین باید گشتاور T را همزمان با افزایش سرعت ω کاهش دهیم. از طرفی همانگونه که برای موتور تحریک مجزا بیان شد، کاهش گشتاور باید بوسیله تضعیف میدان یا بعبارت دیگر کاهش جریان تحریک موتور انجام شود. این عمل در موتور سری امکان پذیر نیست، زیرا آرمیچر و میدان یکی بوده و هر گونه کاهش در جریان تحریک باعث کاهش جریان آرمیچر می شود و بنابراین یک موتور سری را نمی توان در ناحیه تضعیف میدان کنترل نمود. در عمل برای رفع این عیب موتور سری، از روش موازی کردن میدان استفاده می کنند. در این روش یک مقاومت قابل تنظیم را مطابق شکل (۲-۱۱) با سیم پیچ میدان موتوری موازی می کنند. این مقاومت در ناحیه اول کاملاً از مدار خارج بوده و کلیه K باز می شود ولی در ناحیه دوم، کلید K بسته شده و بخشی از جریان I_a از مقاومت عبور کرده و بدین ترتیب جریان گذرنده از مدار تحریک I_f کاهش می یابد. بنابراین می توان نوشت:

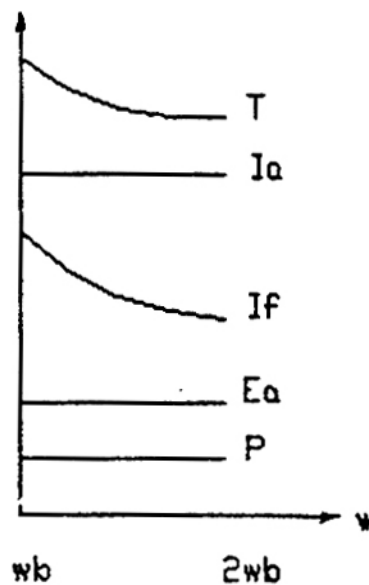
$$I_f = I_a \cdot (R_{11}R_f) / R_f = I_a \cdot R / (R + R_f) \quad (2-12)$$



شکل (۲-۱۰) منحنی مشخصه های ماشین سری در ناحیه اول موتوری

شکل (۲-۱۱) مقاومت قابل تنظیم برای کنترل ماشین در ناحیه دوم موتوری

پس در حقیقت با کمک یک مقاومت قابل تنظیم موازی با میدان موتور سری می توان جریانهای آرمیچر I_a و میدان I_f را مستقل از یکدیگر کنترل کرد بنحویکه مشابه یک موتور تحریک مجزا عمل نماید. بنابراین همانطور که برای ماشین تحریک مجزا بیان کردیم. برای کاهش گشتاور T در ناحیه دوم، کفایت مطابق رابطه (۲-۴) جریان I_f را کاهش داده و جریان I_a را ثابت نگهداریم. برای کاهش دادن I_f باید مطابق رابطه (۲-۱۲) مقدار مقاومت R را بتدریج کاهش دهیم. بنحویکه جریان I_f به نسبت عکس افزایش سرعت ω کم شود. همچنین برای ثابت نگهداشتن جریان I_a باید مشابه رابطه (۲-۱) و (۲-۲) موتور تحریک مجزا، ولتاژ V_a را بطور مناسب کنترل کرد بنحویکه تقریباً ثابت بماند. در نتیجه همانطور که بیان شد با کنترل ولتاژ V_a و مقاومت تنظیم R می توان موتور را در ناحیه دوم ثابت نگهداشت. شکل (۲-۱۲) چگونگی تغییر کمیت‌های الکتریکی بیان شده را در ناحیه دوم موتوری نمایش می دهد.



شکل (۲-۱۲) منحنی مشخصه های ماشین سری در ناحیه دوم موتوری

۲-۴-۳) کنترل ماشین جریان مستقیم با تحریک سری در حالت ژنراتوری

در این قسمت تئوری روش کنترل یک ماشین تحریک سری در حالت ژنراتوری برای کاربرد ترمزگیری در حمل و نقل ریلی با توجه به معادلات آن بررسی می شود. چنانچه که می دانید یک ژنراتور کششی در سه ناحیه کنترل می شود. در زیر به نحوه کنترل ژنراتور در سه ناحیه مذکور می پردازیم:

ناحیه اول ژنراتوری

این ناحیه در سرعتهای بالاتر از دور نامی ماشین وجود دارد. در این ناحیه ژنراتور به دو صورت توان ثابت یا گشتاور ثابت ممکن است کنترل شود. در زیر بنحوه کنترل ماشین در هر یک از دو حالت مذکور می پردازیم:

فرض کنید که بخواهیم ژنراتور را با توان الکتریکی ثابت در ناحیه اول کنترل کنیم. پس همانطور که در قسمت قبل بیان کردیم، ژنراتور سری بوسیله یک مقاومت موازی R می تواند مانند یک موتور تحریک مجزا عمل نماید. بنابراین باید مطابق رابطه (۲-۶) حاصلضرب گشتاور T در سرعت ω ثابت بماند بنحویکه با کاهش سرعت ω مقدار گشتاور T را افزایش دهیم. برای این منظور باید مطابق رابطه (۲-۴) جریان I_a را ثابت نگه داشته و در عوض جریان I_f را افزایش دهیم. پس کفایت جریان I_f را مطابق رابطه (۲-۱۲) بوسیله افزایش مقاومت موازی R زیاد کنیم بنحویکه حاصلضرب جریان I_f در سرعت ω ثابت بماند. در اینصورت مشابه رابطه (۲-۱) و (۲-۲) جریان I_a را می توان با کنترل مناسب ولتاژ V_a ثابت نگهداشت. در نتیجه همانطور که بیان شد با کنترل ولتاژ V_a و مقاومت قابل تنظیم R می توان توان ژنراتور را در ناحیه اول ثابت نگهداشت. شکل (۲-۱۳) چگونگی تغییر کمیتهای الکتریکی بیان شده را در ناحیه اول ژنراتوری نمایش می دهد.

حال فرض کنید که بخواهیم ژنراتور با گشتاور الکتریکی ثابت در ناحیه اول کنترل شود. پس در این حالت مقاومت R بطور کامل از مدار خارج خواهد بود و باید مطابق رابطه (۲-۹) جریان I_a را ثابت

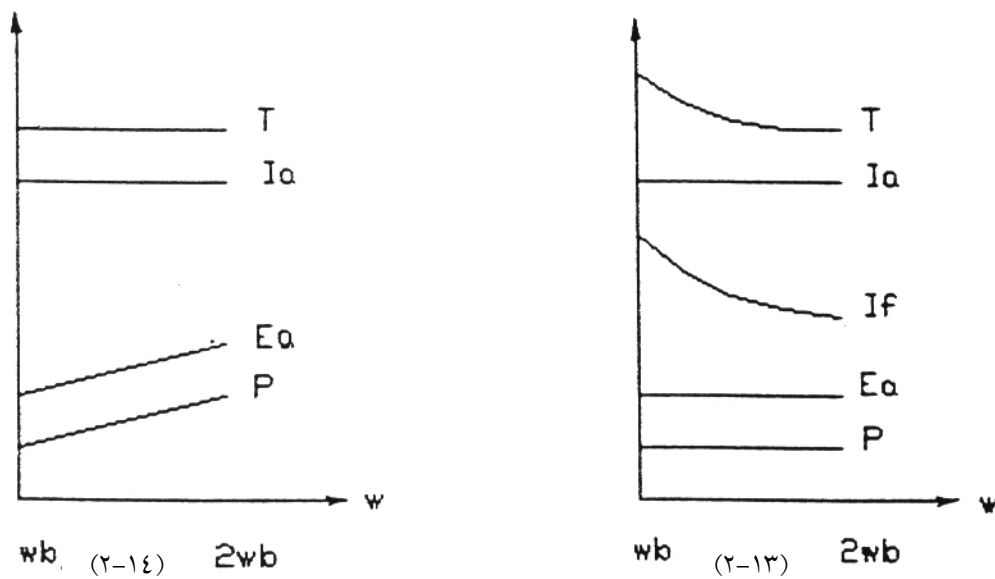
نگهداریم. از طرفی با توجه به رابطه (۲-۷) برای ثابت نگهداشتن جریان I_a باید تفاضل ولتاژ V_a از

ولتاژ E_a ثابت بماند و چون مطابق رابطه (۲-۸) مقدار ولتاژ E_a با کاهش سرعت ω بطور خطی کم می

شود بنابراین کفایت ولتاژ V_a را نیز بهمان ترتیب کاهش دهیم. در نتیجه همانطور که بیان شد با کنترل

ولتاژ V_a می توان گشتاور ژنراتور را در ناحیه اول ثابت نگهداشت. شکل (۲-۱۴) چگونگی تغییر

کمیت‌های الکتریکی بیان شده را در ناحیه اول ژنراتور نشان می دهد.



شکل (۲-۱۳) منحنی مشخصه های ماشین سری در ناحیه اول ژنراتوری در حالت توان ثابت

شکل (۲-۱۴) منحنی مشخصه های ماشین سری در ناحیه اول ژنراتوری در حالت گشتاور ثابت

بنابراین همانطور که برای یک موتور تحریک مجزا نیز بیان شد، یک ماشین کششی را در ناحیه اول

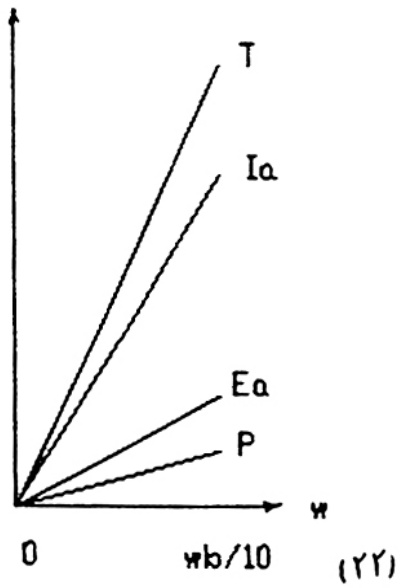
ژنراتوری می توان بر حسب نوع آن و مدار کنترل آن به دو حالت توان ثابت یا گشتاور ثابت کنترل کرد.

ناحیه دوم ژنراتوری

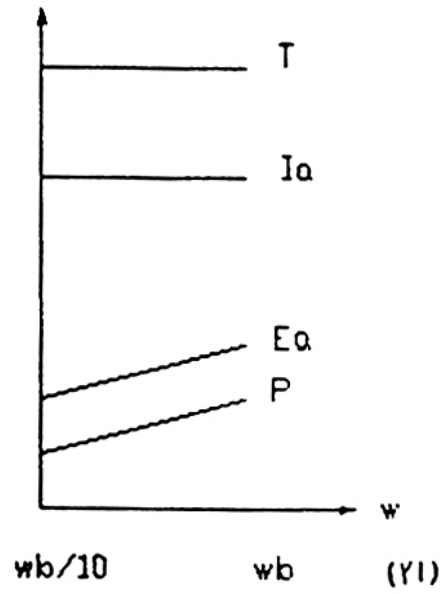
همانطور که می دانید در ناحیه دوم باید گشتاور الکتریکی ژنراتور از سرعت نامی آن تا نزدیکی سرعت توقف (در حدود ۱۰ درصد سرعت نامی ماشین) ثابت بماند. در این حالت با کنترل ولتاژهای V_f و V_a می توان گشتاور ژنراتور را ثابت نگه داشت. شکل (۲-۱۵) چگونگی تغییر کمیت های الکتریکی بیان شده در ناحیه دوم ژنراتوری نمایش می دهد.

ناحیه سوم ژنراتوری

این ناحیه در سرعت های نزدیک توقف ماشین وجود دارد. همانطور که برای یک موتور تحریک مجزا بیان کردیم، در این ناحیه بعلت کاهش سرعت ماشین قادر به تأمین گشتاور مورد نیاز برای تأمین ترمزگیری نبوده و از اینرو خروجی آن از شبکه جدا می شود و بنابراین کلیه کمیت های الکتریکی ژنراتور و از جمله گشتاور آن به صفر می رسد. شکل (۲-۱۶) چگونگی تغییر کمیت های الکتریکی بیان شده در ناحیه سوم ژنراتور را نشان می دهد.



(۲-۱۶)



(۲-۱۵)

شکل (۲-۱۵) منحنی مشخصه ماشین سری در ناحیه دوم ژنراتوری

شکل (۲-۱۶) منحنی مشخصه ماشین سری در ناحیه دوم ژنراتوری

فصل سوم:

مدارهای کنترل سیستم های

تراکشن جریان مستقیم

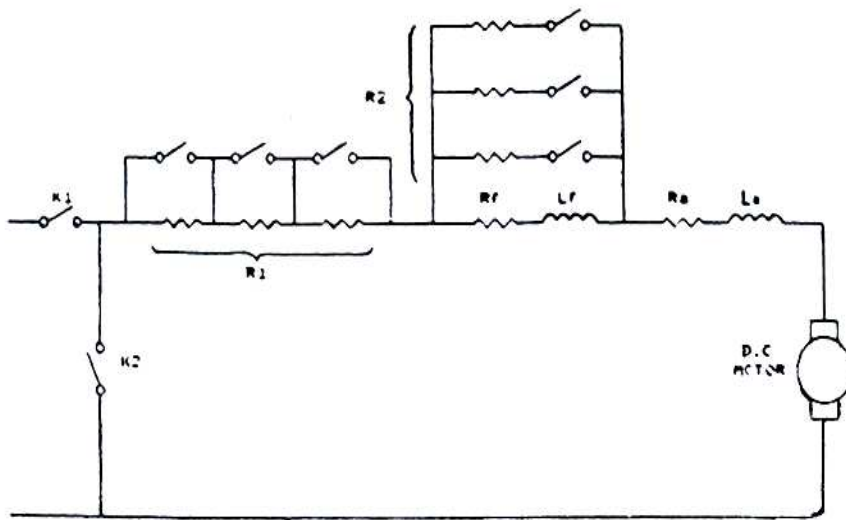
جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

در فصل گذشته تئوری روش کنترل یک ماشین کششی در حالت های مختلف موتوری و ژنراتوری بیان شد. باید توجه داشت که پیاده سازی این تئوری ها در عمل برحسب سطح تکنولوژی و یا هزینه به مدارهای متنوعی می انجامد.

چنانچه در این فصل خواهید دید در ابتدا مدارهای کنترل بدلیل استفاده از کنتاکتهای الکترواستاتیکی دارای کنترل ناپیوسته و قا بلیتهای کم بودند و در نهایت با پیشرفت نیمه هادیها و مدارهای الکترونیکی عمل کنترل بصورت پیوسته و با قابلیتهای زیاد انجام می شود.

۳-۱) موتور جریان مستقیم تحریک سری با کنترل مقاومتی

شکل (۳-۱) مدار کامل روش قدیمی کنترل موتور تحریک سری که در مترو بسیار متداول بوده است را نشان می دهد. مطابق شکل فوق در هنگام راه اندازی موتور کلید $K1$ بسته و کلید $K2$ باز می شوند که مجموعه مقاومت های سری $R1$ بطور کامل در مدار بوده و مجموعه مقاومت های سری $R1$ بطور کامل در مدار بوده و مجموعه مقاومت های موازی $R2$ نیز بطور کامل خارج از مدار قرار گیرند.



(۳-۱) مدار کامل روش قدیمی کنترل موتور تحریک سری

همانطور که در فصل قبل دیدید برای ثابت نگهداشتن گشتاور در ناحیه اول موتوری باید ولتاژ را بتدریج با افزایش سرعت زیاد کنیم. برای این منظور باید مجموعه مقاومت های سری $R1$ را در چند مرحله بوسیله بستن کنتاکت های الکترواستاتیکی کاهش دهیم تا جریان متوسط ورودی ثابت بماند. این حالت تا خارج شدن کلیه مقاومت های مذکور از مدار در نقطه کار نامی موتور ادامه می یابد.



شکل (۲-۳) چگونگی تغییر گشتاور موتور بوسیله مدار کنترل مقاومتی

همچنین برای ثابت نگهداشتن توان در ناحیه دوم موتوری کفایت عمل تضعیف میدان بوسیله وارد کردن مجموعه مقاومت‌های موازی $R2$ بوسیله کنتاکتهای الکترواستاتیکی بصورت مرحله ای انجام شود.

شکل (۲-۳) چگونگی تغییر گشتاور موتور را بوسیله مدار کنترل مقاومتی نشان می دهد. همانطور که

می بینید بدلیل تغییر مرحله ای مجموعه مقاومت‌های سری $R1$ و موازی $R2$ پرهایی در منحنی گشتاور

الکتریکی T بر حسب سرعت موتور ایجاد شده است. بهمین ترتیب برای ترمزگیری مقاومتی نیز باید

کلید $K1$ باز و کلید $K2$ بسته باشد. در این حالت برای ایجاد ناحیه توان ثابت در ناحیه اول ژنراتوری

کفایت بوسیله کنترل کنتاکتهای الکترواستاتیکی مجموعه مقاومت‌های سری $R1$ به مجموعه مقاومت‌های

موازی $R2$ بطور کامل در مدار قرار گیرد و سپس همزمان با کاهش سرعت مجموعه مقاومت‌های موازی

$R2$ را از مدار خارج کنیم تا اینکه در نقطه کار نامی، کلیه مقاومت‌های مذکور از مدار خارج شده باشند.

از این نقطه به بعد برای ثابت نگهداشتن گشتاور در ناحیه دوم ژنراتوری کفایت مجموعه مقاومت‌های

سری $R1$ را بتدریج از مدار خارج کنیم تا جریان موتور ثابت بماند. همانطور که در فصل دوم مشاهده

گردید. در ناحیه اول توانستیم حالت گشتاور ثابت را بوسیله خارج کردن مرحله ای مجموعه مقاومت‌های

سری $R1$ همانند ناحیه دوم ژنراتوری ایجاد نمائیم. از طرفی انتخاب ثابت نگهداشتن گشتاور یا توان در

ناحیه اول تنها به قابلیت تحمل ولتاژ و توان الکتریکی ماشین تراکشن بستگی دارد. همچنین در ناحیه

سوم ژنراتوری یعنی در سرعتهای پائین تر از ۱۰ درصد سرعت نامی همانطور که در فصل قبل بیان شد

مجموعه مقاومتهای $R1$ کاملاً از مدار خارج شده و بنا براین دو سر ماشین اتصال کوتاه می شود تا

گشتاور آن به صفر برسد. همانطور که دیدید طرز کنترل مجموعه مقاومتهای سری $R1$ و موازی $R2$

در حالت ژنراتوری است. در زیر به معایب استفاده از روش کنترل مقاومتی اشاره می کنیم:

۱- روش مقاومتی به علت استفاده از مجموعه مقاومتهای سری $R1$ دارای تلفات اهمی نسبتاً زیادی

است و این مسئله هزینه بهره برداری از مترو را که دارای مصرف انرژی زیادی است افزایش می دهد.

۲- در این حالت مجموعه مقاومتهای موازی $R2$ نیز دارای تلفات اهمی هستند که البته میزان اتلاف

بدلیل عبور تنها بخشی از جریان از این مقاومتها چندان قابل توجه نیست.

۳- منحنی گشتاور الکتریکی بر حسب دور ماشین دارای پرشهای نسبتاً زیادی است که این مسئله باعث

تغییر نیروی وارد بر قطار شده و تکانهای مزاحمی را برای مسافری ایجاد می کند. به عبارت دیگر باعث

افزایش جرمک و کاهش راحتی مسافری می شود.

۴- در روش کنترل مقاومتی استفاده از ترمزگیری با بازیابی انرژی امکانپذیر نبوده و بنابر این باید از

روش ترمزگیری مقاومتی که تلفات اهمی دارد استفاده کرد.

گرچه هر یک از معایب بالا عامل مهمی در بهره برداری از سیستم مترو می باشد ولی محدودیتهای

ناشی از تکنولوژی و اقتصاد سبب تداوم کاربرد این روش در بعضی از متروهای کشورهای دنیا شده

است. لازم به تذکر است که در بعضی از طرحها، مجموعه مقاومتهای سری $R1$ بوسیله ترکیبی از

کنتاکتهای الکترواستاتیکی و سوئیچهای نیمه هادی کنترل می شوند به نحویکه تغییر این مقاومتها بطور

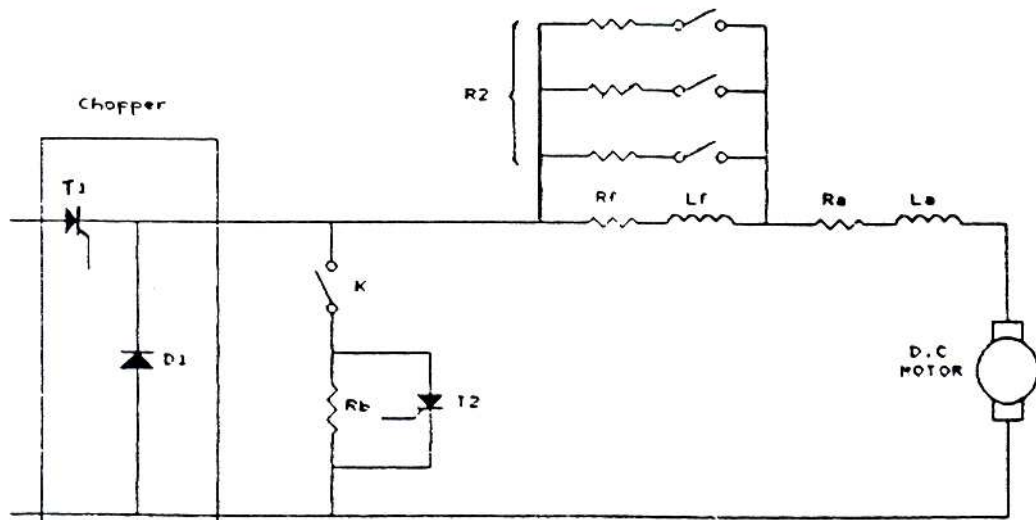
پیوسته انجام شود. بدیهی است که در این حالت منحنی گشتاور بر حسب دور ماشین دارای تغییرات

پیوسته و بدون پرش است و بدین ترتیب سومین عیب ذکر شده برای روش مقاومتی تا حد زیادی رفع

خواهد خواهد شد.

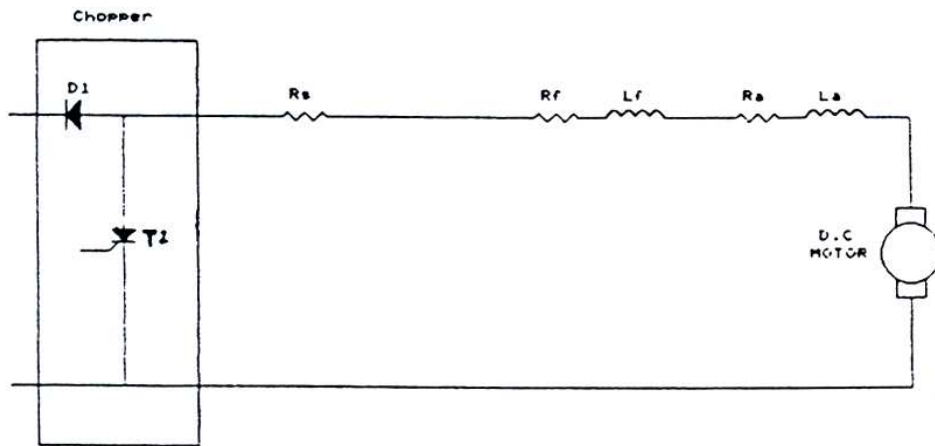
۲-۳) موتور جریان مستقیم تحریک سری با کنترل چاپر یک ربعی

با پیشرفت سوئیچهای نیمه هادی قدرت در چند دهه اخیر استفاده از آنها برای کنترل موتور سری را که بوسیله چاپر ورودی تغذیه می شود نشان می دهد. در این حالت وظیفه کنترل جریان آرمیچر برای ثابت نگهداشتن گشتاور موتور بوسیله کنترل دوره کاری (*Duty Cycle*) چاپر انجام می شود. از طرفی عمل تضعیف میدان در ناحیه توان ثابت نیز بوسیله مجموعه مقاومت‌های موازی $R2$ انجام می شود.



شکل (۳-۳) یک نمونه مدار کنترل موتور سری با استفاده از چاپر به عنوان منبع تغذیه ورودی

چنانچه مشاهده می کنید چاپر مذکور تنها توانائی عملکرد در یک ربع را دارد. در حالت ترمزگیری مقاومتی کافیسست کلید K بسته شده و مقاومت Rb بوسیله سوئیچ $T2$ بطور پیوسته تنظیم شود. بنابراین با کنترل مناسب مقاومت‌های موازی $R2$ بوسیله کنتاکتهای اکترواستاتیکی می توان حالت توان ثابت را بدست آورد و همچنین با کنترل پیوسته مقاومت Rb بوسیله سوئیچ $T2$ می توان حالت گشتاور ثابت را ایجاد نمود.



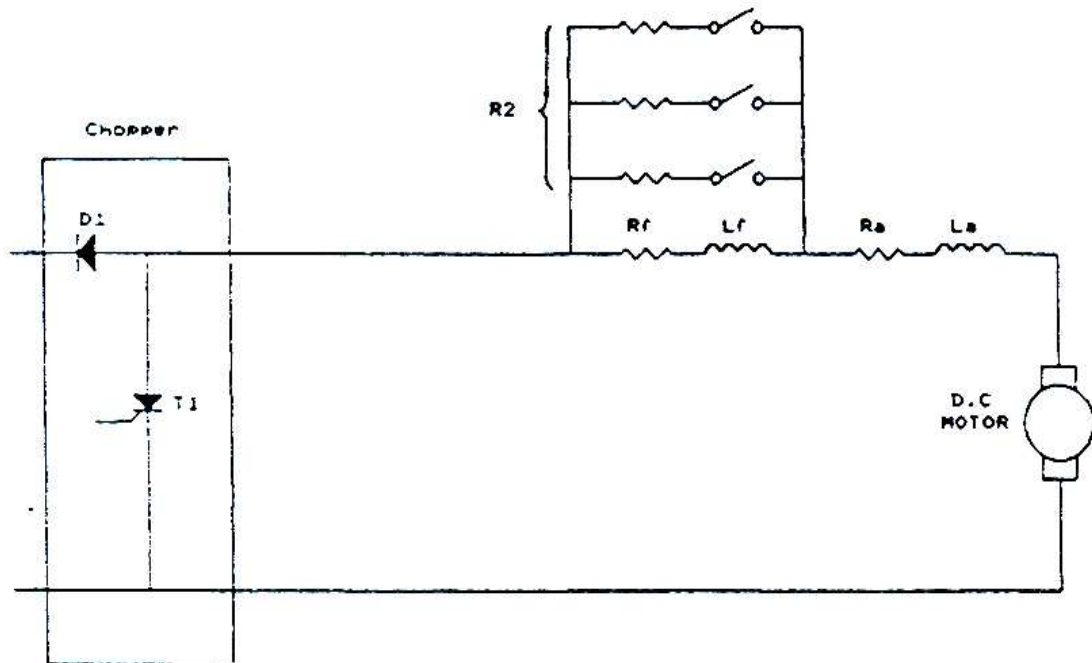
شکل (۳-۴) یک نمونه مدار کنترل ماشین سری با قابلیت بازیابی انرژی

در بعضی از طرحها برای ترمزگیری با بازیابی انرژی محل قرار گرفتن سوئیچ $T1$ و دیود $D1$ را بوسیله کنتاکتهای الکترواستاتیکی مطابق با شکل (۳-۴) با یکدیگر عوض می کنند. در این حالت چاپر ورودی توانایی باز گرداندن انرژی به منبع را فراهم می آورد. با استفاده از این مدار می توان حالت توان ثابت را در ناحیه اول ژنراتوری و حالت گشتاور ثابت را نیز در ناحیه دوم ژنراتوری بوسیله کنترل مناسب مجموعه مقاومتهای $R2$ و چاپر ورودی بدست آورد. از طرفی همانطور که در فصل قبل دیدید در بعضی طرحها توانسته اند گشتاور ثابت را در ناحیه اول ژنراتوری بوسیله اضافه کردن یک مقاومت سری مابین موتور و خط برق رسانی ایجاد نمایند. شکل (۳-۵) مدار مربوط به این طرح را نشان می دهد. در این مدار مقاومت سری Rs تنها در ناحیه اول ژنراتوری داخل مدار بوده و در سایر موارد بوسیله کنتاکت از مدار خارج می شود.

نکته قابل توجه اینست که چنانچه در طرح از روش ترمزگیری با بازیابی انرژی استفاده شود باید امکان ترمزگیری مقاومتی نیز در نظر گرفته شود. زیرا اگر در حالت بازیابی انرژی از ماشین به شبکه مصرف کننده ای در شبکه موجود نباشد، گشتاور الکتریکی مورد نیاز به علت کاهش جریان ژنراتور کم خواهد

شد و به عبارت دیگر نیروی ترمزگیری کاهش می یابد. پس برای تأمین نیروی ترمزگیری به ناچار باید

از ترمزگیری مقاومتی استفاده کنیم.



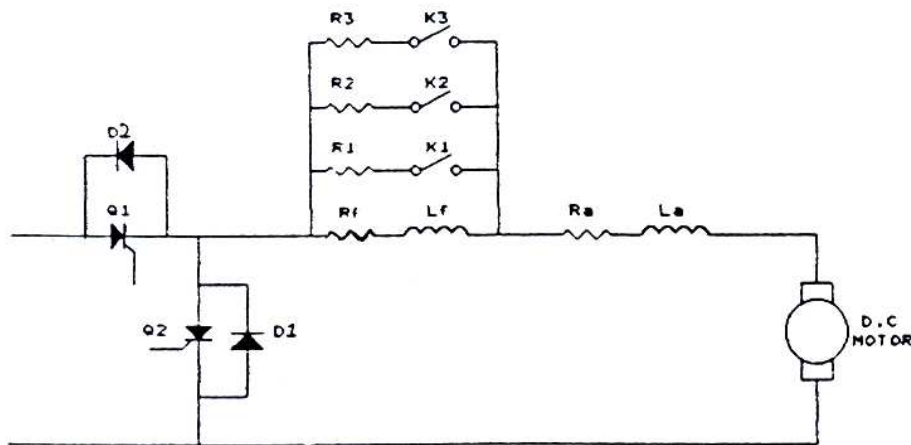
شکل (۳-۵) یک نمونه مدار کنترل با حالت گشتاور ثابت در ناحیه اول ژنراتوری

بطور خلاصه معایب روش کنترل بیان شده را می توان بصورت زیر بیان کرد:

- ۱- در این روش مجموعه مقاومت‌های موازی $R2$ باعث تلفات اهمی در حالت تضعیف میدان می شود.
- ۲- کنترل ماشین در ناحیه تضعیف میدان دارای پرشهایی در منحنی گشتاور بر حسب سرعت است .
- ۳- از آنجا که ولتاژ ماشین در ناحیه اول ژنراتوری بطور خطی با کاهش سرعت ماشین کاهش می یابد، بنابراین مقاومت $R2$ بدلیل ماندن جریان موتور برای بیشترین ولتاژ آرمیچر تعیین شده است و این امر باعث ایجاد تلفات نسبتاً زیاد می شود . در عمل برای کاهش تلفات ، مقدار سری Rs را بطور مرحله ای توسط کنتاکتهای الکترواستاتیکی و همزمان با کاهش سرعت ماشین کم می کنند .

۳-۳) موتور جریان مستقیم تحریک سری با کنترل چاپر دو ربعی

شکل (۳-۶) یک نمونه مدار کنترل موتور سری را که قابلیت عملکرد در دو حالت موتوری و ژنراتوری با استفاده از چاپر ورودی است نشان می دهد. در این حالت بر خلاف مدار قسمت قبل چاپر دو ربعی برای تغییر جهت جریان در حالت ژنراتوری نیازی به کنتاکتهای الکترواستاتیکی عوض کننده محل دیود و تریستور ندارد بلکه با استفاده از دیود و تریستور اضافی مطابق شکل می توانیم عمل کنترل را در دو حالت موتوری و ژنراتوری انجام دهیم. از آنجا که این مدار از نظر عملکرد هیچ تفاوتی با مدار قبلی ندارد. بنابراین نیازی به توضیح اضافه نیست.



شکل (۳-۶) یک نمونه مدار کنترل موتور سری با قابلیت عملکرد در دو حالت موتوری و ژنراتوری با

استفاده از چاپر ورودی

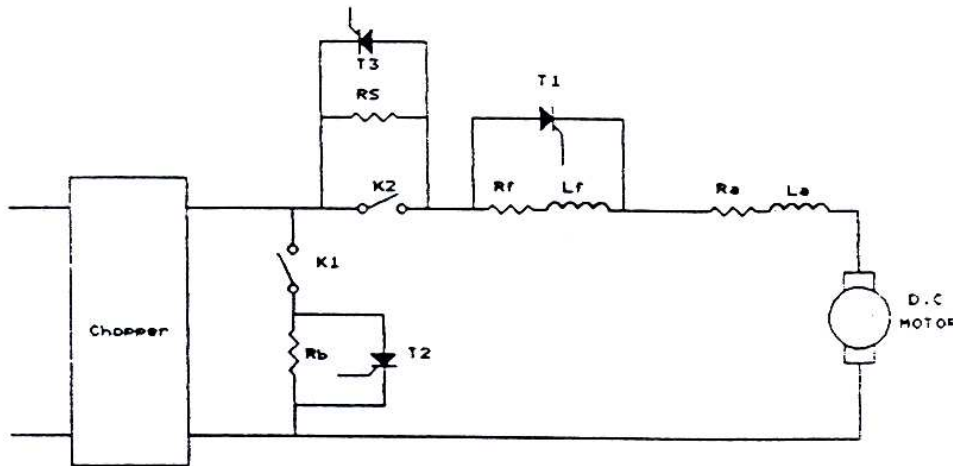
۳-۴) موتور جریان مستقیم تحریک سری با کنترل چاپر ترکیبی

(*Series DC Motor With Combined – Armature / field-Choppe Control*)

شکل (۳-۷) یک نمونه مدار کنترل چاپر ترکیبی را نشان می دهد. در این روش همانند آنچه که بیان شد از یک چاپر ورودی (که می تواند یک ربعی یا دو ربعی باشد) برای کنترل ماشین در ناحیه گشتاور ثابت استفاده می شود. بعلاوه برای تغییرات مقاومت $R2$ موازی با تحریک ماشین نیز بجای کنتاکتهای

الکترواستاتیکی از چاپر دیگری (سوئیچ $T1$) استفاده شده است تا کنترل ماشین را در ناحیه توان ثابت

بطور پیوسته و بدون پرش انجام گیرد.



شکل (۷-۳) یک نمونه مدار کنترل چاپر ترکیبی

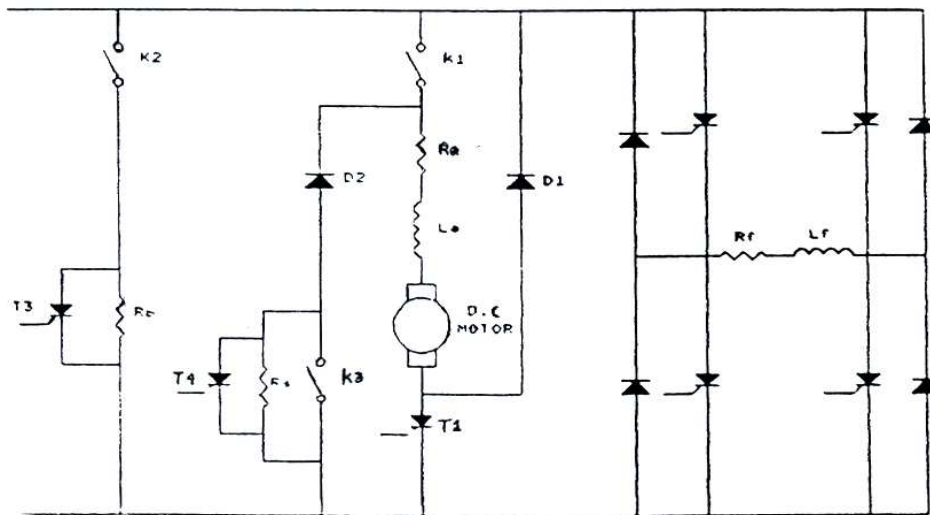
بدیهی است که چنانچه در عملکرد ژنراتوری بخواهیم از حالت توان ثابت استفاده کنیم، باید جهت قرار گرفتن سوئیچ در مدار (بوسیله کنتاکتهای الکترواستاتیکی یا قرار دادن یک سوئیچ موازی و معکوس دیگر) تغییر کند. از طرفی همانطور که مشاهده می کنید عمل ترمز گیری مقاومتی نیز با بستن کلید $K1$ و تنظیم مقاومت Rb توسط سوئیچ $T2$ انجام می شود.

همچنین در این مدار برای ثابت نگهداشتن گشاور در ناحیه اول ژنراتوری هنگام ترمز گیری با بازیابی انرژی از مقاومت سری Rs که بوسیله سوئیچ $T3$ قابل کنترل است استفاده شده است. در این حالت تغییر پیوسته Rs همزمان با تغییر ولتاژ آرمیچر ژنراتور باعث می شود که علاوه بر جلوگیری از افزایش ولتاژ خط برق رسانی، مقدار تلفات مقاومت Rs نیز بحداقل برسد. بنابراین همانطور که مشاهده می کنید، این مدار معایب مدارهای قبلی را تا حد زیادی برطرف کرده است.

۳-۵) موتور جریان مستقیم موازی با کنترل چارچهار ناحیه ای

(Shunt DC Motor With Four Quadrant Chopper Control)

همانطور که در فصل دوم بیان شد برای استفاده از مزایای ذاتی موتورهای سری و کنترل ساده تر موتورهای تحریک مجزا، نوعی موتور تحریک مجزای جدید که دارای ساختمانی مشابه موتورهای سری هستند طراحی شده است که در صنعت حمل و نقل ریلی به آن موتور موازی نیز می گویند. در این موتور تحریک مجزای جدید کنترل مدار آرمیچر و میدان بطور مستقل انجام می گیرد.



شکل (۳-۸) یک نمونه مدار کنترل چارچهار ناحیه ای

شکل (۳-۸) یک نمونه مدار کنترل چارچهری موتور جریان مستقیم موازی را برای عملکرد در چهار ربع نشان می دهد. برای عملکرد در حالت موتوری کفایت کلید $K1$ بسته و کلید $K2$ باز شود در این صورت سوئیچ $T1$ و دیود $D1$ بعنوان چارچهر کنترل کننده آرمیچر برای ثابت نگهداشتن گشتاور در ناحیه اول موتوری عمل کرده و چارچهر میدان نیز برای ثابت نگهداشتن توان در ناحیه دوم موتوری بکار می رود

همچنین برای ترمزگیری مقاومتی کفایت کلید $K1$ باز و کلید $K3$ و $K2$ بسته شود. در این صورت مقاومت Rb بوسیله دیودهای $D1$ و $D2$ در دو سر آرمیچر ماشین قرار گرفته و بوسیله چاپر $T3$ می توانیم مقدار Rb را کنترل نمائیم. در این حال نیز جریان مدار تحریک توسط چاپر برای ایجاد حالت توان ثابت کنترل می شود. به همین ترتیب برای ترمزگیری با بازیابی انرژی باید کیلدهای $K1$ و $k2$ باز بمانند، تا توسط سوئیچ $T1$ بتوانیم جریان آرمیچر را کنترل کنیم. بعلاوه چنانچه بخواهیم از حالت گشتاور ثابت در ناحیه اول ژنراتوری استفاده کنیم کفایت کلید $K3$ باز شود تا مقاومت سری Rs در مدار قرار گرفته و مانع افزایش ولتاژ خط برق رسانی شود. در عمل همانطور که در قسمت قبل بیان شد مقدار مقاومت Rs می تواند برای کاهش تلفات قابل کنترل باشد. (سوئیچ $T4$).

همانطور که در شکل مشاهده می کنید چاپر مدار تحریک قابلیت عبور جریان و کنترل آن را در هر دو جهت داشته و بنابر این می توان از آن برای معکوس کردن جهت گردش ماشین استفاده نمود. همانطور که می بینید کنترل این مدار بسیار ساده بوده و تعداد کنتاکتهای الکترواستاتیکی آن نیز حداقل شده است. بعلاوه هیچگونه تلفات اهمی اضافه برای کنترل ماشین در دو ناحیه گشتاور ثابت و توان ثابت نداریم. بنابراین روش فوق یکی از مناسب ترین شیوه های کنترل موتورهای کششی است.

۳-۶ نتیجه گیری

همانطور که مشاهده گردید موتور سری بدلیل گشتاور راه اندازی بالا و پاسخ دینامیکی مناسب و سریع، ماشین مناسبی برای عمل شتابگیری در سیستم های حمل و نقل برقی است ولی دارای دو عیب قابل توجه است اول آنکه، کنترل آن در بالاتر از دور نامی تنها بوسیله موازی کردن مدار تحریک آن با یک مقاومت، میسر بوده و بنابر این، روش فوق پیچیده و دارای تلفات خواهد بود. دوم آنکه در حالت ترمزگیری که موتور به ژنراتور تبدیل می شود، ماشین بوسیله پسماند مغناطیسی مدار تحریک ولتاژ سازی می کند و بنابر این، زمان رسیدن به گشتاور ترمزی مورد نیاز نسبتاً زیاد است. در عمل برای رفع

**جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید**

این نقایص از موتور تحریک مجزایی که دارای سیم پیچی میدان قوی (همانند موتور سری) است استفاده می شود.

در این حالت کنترل موتور در هر حالت به علت مجاز بودن مدار آرمیچر و تحریک بسادگی انجام می شود.

بعلاوه در حالت ژنراتوری نیز بدلیل تغذیه شدن مجزای مدار تحریک، زمان رسیدن گشتاور موتور به مقدار دلخواه بسیار کم است. از طرفی همانطور که بیان کردیم صرفنظر از نوع ماشین می توانیم حالت‌های مختلف ترمزگیری را برای برگرداندن انرژی به منبع و یا بدون بازیابی از جمله تکنولوژیهای موجود، ترافیک خطوط، مصرف انرژی، نیروی انسانی، مسائل اقتصادی و بستگی دارد.

فصل چهارم:

ملاحظات کاربردی در سیستم های

تراکشن القایی

۴-۱) تاریخچه سیستم های حمل و نقل الکتریکی AC

در آستانه قرن بیستم تشخیص داده شد که مشخصه های گشتاور - سرعت و قابلیت احیا کنندگی (*Regeneration*) ذاتی موتورهای القایی سه فاز برای کار برد تراکشن الکتریکی ایده آل می باشد. بطوری که یک سیستم تراکشن سه فاز در آلمان آزمایش شد و کار منظم بر روی چندین خط راه آهن شامل خط *Bergdorf - Thun* در سوئد در سال ۱۸۹۹ و تونل راه آهن شمال آمریکا انجام شد. توان بوسیله سه خط بالا سری یا بوسیله دو خط بالا سری و ریلها به عنوان هادی سوم تحویل داده می شد. و کنترل سرعت لوکوموتیو به وسیله تغییر قطب موتور تراکشن همراه با کنترل ولتاژ یا کنترل مقاومت روتور انجام می شد. رقابت های تکنیکی اصلی در این زمان در زمینه تغذیه موتورهای سه فاز از یک خط تراکشن *DC* یا *AC* تک فاز و کنترل سرعت مؤثر موتور تراکشن بود.

یک طرح جدید که در سال ۱۹۲۸ توسط *Kondo* استفاده شد لوکوموتیوهایی بودند که از توان تک فاز ۵۰ هرتر و ۱۶ کیلو ولت استفاده می کردند. موتورهای تراکشن القایی با حلقه لغزان (*Slip - Ring*) از طریق مبدل های فاز چرخان (*Rotary Phase Converters*) تغذیه می شدند که فلوی ثابت را در فرکانس ثابت و با ولتاژی متناسب با ریشه دوم توان خروجی ایجاد می کردند.

توسعه ترستور قدرت در سال ۱۹۶۰ باعث پیدایش داریو های (*IM Induction Motor*) تغذیه شده توسط اینورتر شد. اما محدودیت ولتاژ و جریان پایین عناصر سبب شد که از تعدادی ترستور سری شده و یا موازی شده با یکدیگر استفاده شود تا توان کافی در خروجی بدست آید.

پیشرفت بعدی، ترستور کموتاسیون اجباری با توان بالا بود که باعث گسترش مبدل های منبع جریان (*CSIS*) در سال ۱۹۷۰ و در درایوهای تراکشن مترو که از توان *DC* تغذیه می شدند، گردید. ساخت ترستور *GTO* (*Gate Turn - Off Thyristor*) با توان بالا باعث

شد اینورتر منبع ولتاژ (*VSI*) یک موضوع عملی شود و *VSI* هم اکنون اینورتر تراکشن استاندارد شده است .

۲-۴) مقایسه کاربرد موتورهای القایی قفسه سنجابی با انواع دیگر سیستم های کشنده (*Traction*)

۱-۲-۴) مقایسه با موتور *DC*

در مقایسه با ماشین های *DC* موتورهای القایی قفسه سنجابی مزیت های زیر را برای سیستم های تراکشن دارند:

۱) سرعتهای زیاد :

این موتورها به خاطر قابلیت کار در سرعت های زیاد دارای وزن کمتر و ابعاد کوچکتر می باشند که باعث می شود طراحی بوژی آسان شود و جرم های غیر فنی در بوژی کاهش یابند .

۲) مقاومت و قابلیت بالا و هزینه نگهداری و تعمیرات کم :

هزینه نگهداری کم مهمترین مزیت موتورهای القایی قفسه سنجابی است که به علت مقاومت و قابلیت اطمینان بالای آنهاست .

۳) گشتاور یکنواخت بالا با قابلیت اضافه بار ذاتی :

این موتورها می توانند همیشه در نقطه بهینه مشخصه خود کار کنند و تلفات در این موتورها حداقل است .

۴) نسبت توان به وزن بالا:

به علت کاهش ابعاد و وزن موتور توان بیشتری را می توان در فضای موجود ایجاد کرد.

۵) قابلیت ترمز احیا کننده ذاتی :

موتور القایی در حالت ترمزی هم همان مشخصه حالت موتوری را دارد و به خاطر وجود ترمیستورهای
(*Gate Turn Off Thyristor GTO*) نظارت آن سوئچ سریع بین وضعیت موتوری و ژنراتوری
امکان پذیر می شود.

این موتورها قادر به ایجاد گشتاور ترمزی زیاد در سرعت های بالا می باشند در حالیکه گشتاور ترمزی
موتورهای *DC* توسط کموتاتورها محدود می شود. ترمز الکتریکی معمولاً در سرعت های بالا مفید
است، زیرا ترمز سایشی (لنتی) ، محدودیت وزن و محدودیت های بالا تر از 160KM/H دارد.

۶) مشخصه گشتاور - سرعت تند (*Hteep*) :

اگر یک مجموعه چرخ دچار لغزش (*Slip*) شوند این ویژگی باعث می شود تا بدون اینکه کاهش در
نیروی کششی (*Tractive Effort*) ایجاد شود، به سرعت لغزش چرخها از بین برود و بنابراین با
استفاده از این موتورها از نیروی چسبندگی (*Adhesion Force*) استفاده بهینه می شود.

۷) عملکرد پایدار با اتصال موازی :

ماکزیمم چسبندگی بین ریل و چرخ قدرت اعمالی بر محور را محدود می کند. بنابراین لازم است
اینورترهای تراکشن چندین موتور بصورت موازی را تغذیه کنند. در این صورت موتورها با فرکانس
یکسان تغذیه می شوند و با سرعت یکسان کار می کنند.

۴-۲-۲) مقایسه با موتور سنکرون :

جدول (۴-۱) موتور القایی را با موتور سنکرون مقایسه می کند. نکته قابل توجه آن است که موتور سنکرون در تمام سرعت ها (که سرعت صفر را هم شامل می شود) همواره نیاز به تحریک دارد که این خود از معایب این گونه موتور در کاربردهای تراکشن است.

جدول (۴-۱) مقایسه موتور القایی با موتور سنکرون

مشخصه	موتور القایی	موتور سنکرون
پیچیدگی	کم	متوسط
قابلیت اطمینان	کم	متوسط
قابلیت تعمیر	زیاد	متوسط
وزن	نسبتاً کم	نسبتاً کم
هزینه ساخت	کم	متوسط
تعداد اینورتر لازم در ماشین	یکسان	برای هر موتور متفاوت است
راندمان	زیاد	زیاد
حساسیت به تفاوت قطر چرخها	متوسط (مگر اینکه برای هر موتور یک اینورتر بکار رود)	ندارد (برای هر موتور یک اینورتر نیاز دارد)

۴-۲-۳) مقایسه با موتور سوئیچ رلوکتانس و سنکرون رلوکتانس

انواع دیگر موتور که می توانند جهت کاربردهای تراکشن بکار گرفته شوند، موتورهای سوئیچ رلوکتانس و سنکرون رلوکتانس هستند که قادرند مانند موتورهای القایی در سرعت های بالا کار کنند . موتور

سوئیچ رلوکتانس به خاطر سادگی و سختی رتورش می تواند در سرعت های بالاتر از موتور القایی هم کار کند و در نتیجه می تواند هزینه کمتر و توان بیشتری داشته باشد، ولی مشکلات گرمایی و ابزاری (*Gearing*) رتور آن در سرعت های بالا محدودیت ایجاد می کند.

مسئله دیگر در ارتباط با موتور سوئیچ رلوکتانس نویز صوتی است. همچنین اینورتر بایستی از یک توپولوژی غیر پلی استفاده کند و نیز باید از پایانه ای با بیش از ۳ سیم استفاده شود. ماشین سنکرون رلوکتانس همانند ماشین سوئیچ رلوکتانس کار می کند اما مزیت هایی از قبیل کاهش تلفات رتور و نویز صوتی، پایانه سه سیمی، قابلیت اتصال به اینورترهای پلی مرسوم را دارد.

همچنین به دلیل عدم وجود تلفات لغزشی، راندمان بار جزئی (*Partial Load*) آن از موتور القایی بهتر است معایب آن عبارتند از: مشکلات ساخت رتور و ظرفیت گشتاور ماکزیمم کمتر در مقایسه با موتور القایی.

امروزه در هیچ درایو تراکنشی از موتورهای سوئیچ رلوکتانس استفاده نمی شود.

۳-۴ مدار معادل تکفاز و معادلات حاکم بر موتور القایی در حالت دائمی سینوسی

ماشین های *AC* القایی در سیستم های محرک با سرعت متغیر همچون اسب های کاری می باشند و از این رو داشتن درک صحیح و روشن از آن ها و مشخصاتشان برای طراحی مجموعه سیستم محرک ضروری می باشد.

موتور القایی از نوع قفس سنجابی رایج ترین ماشین مورد استفاده در سیستم های محرک *AC* سرعت متغیر می باشد. در موتور القایی سه فاز تغذیه سیم پیچ های استاتور با ولتاژ *ac* سه فاز متعادل باعث القای جریان در سیم پیچ های اتصال کوتاه شده رتور در اثر عمل ترانسفورمری می گردد.

۴-۳-۱) ایجاد گشتاور در موتور القایی سه فاز

در موتور القایی سه فاز اگر از هارمونی‌ها که بدلیل توزیع غیر سینوسی سیم پیچها و نیز مقادیر سینوسی جریان و ولتاژ بوجود می آیند صرف نظر شود. می توان نشان داد که شار بوجود آمده در فاصله هوایی دارای توزیع سینوسی بوده و با سرعت سنکرون می چرخد :

$$N_e = \frac{120fe}{p} \quad (4-1)$$

که در این رابطه N_e سرعت میدان گردان استاتور بر حسب rpm و fe فرکانس استاتور بر حسب Hz و p تعداد قطب ها می باشد. اگر رتور در ابتدا ساکن باشد، هادیهای آن تحت یک میدان مغناطیسی گردان قرار گرفته و جریانی با همان فرکانس در آنها القا می شود. در اثر تداخل عمل شار فاصله هوایی و نیروی محرکه مغناطیسی رتور گشتاور در موتور ایجاد می شود. اگر رتور با سرعت سنکرون یعنی سرعتی برابر با سرعت میدان گردان استاتور بچرخد جریانی در آن القاء نشده و در نتیجه گشتاوری نمی تواند ایجاد کند پس برای ایجاد گشتاور در رتور تفاضل سرعت $N_e - N_r$ می بایست موجود باشد. مقدار لغزش (S) چنین بیان می شود :

$$S = \frac{N_e - N_r}{N_e} = \frac{\omega_e - \omega_r}{\omega_e} \quad (4-2)$$

که ω_e فرکانس زاویه ای استاتور و ω_r سرعت الکتریکی رتور بر حسب فرکانس زاویه ای می باشد.

اگر بخواهیم عبارتی برای گشتاور بنویسیم داریم :

$$\frac{3}{2} \left(\frac{P}{2} \right) \Phi_m I_m \sin \delta T_e = (4-3)$$

که در آن p تعداد قطب ها، $|\Phi_m|$ مقدار بیشینه چگالی شار فاصله هوایی برای هر قطب، $|I_m|$ مقدار

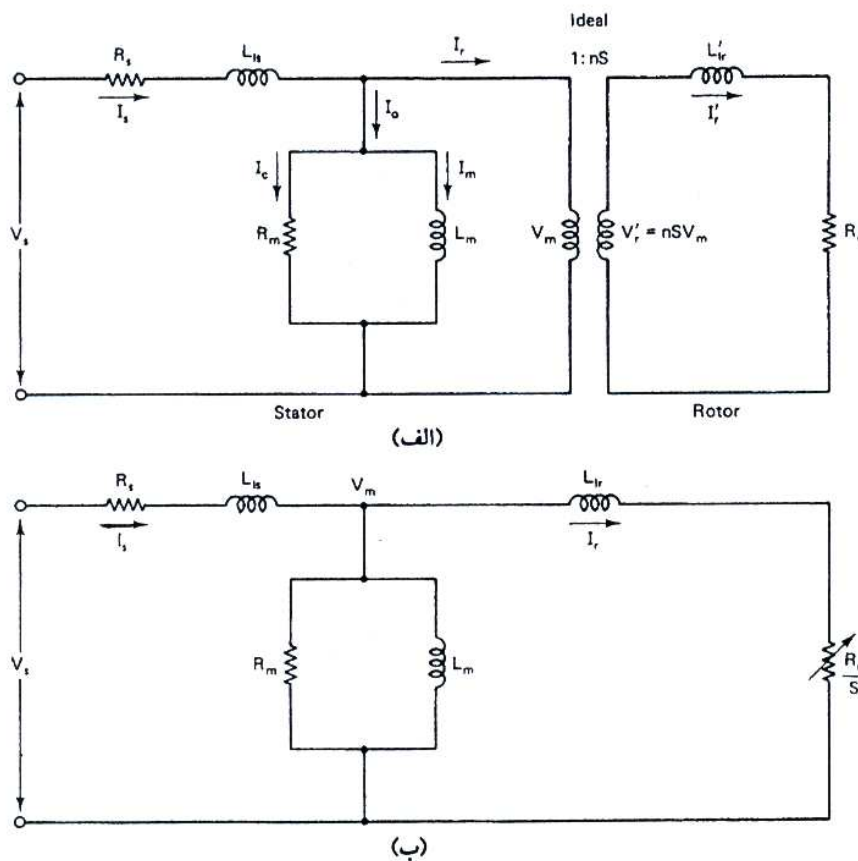
بیشینه جریان رتور و $\delta = \theta_r + 90^\circ$ (اختلاف فاز جریان القا شده در رتور ولتاژ استاتور است)

می باشد.

۴-۳-۲) مدار معادل تکفاز

برای موتور القایی سه فاز می توان یک مدار معادل تکفاز ترانسفورماتور گونه ارائه کرد. این مدار معادل

که در شکل (۴-۱) نشان داده شده برای تحلیل کارائی حالت ماندگار بسیار مهم است.



شکل (۴-۱) مدار معادل تکفاز موتور القایی

موج گردان شار فاصله هوایی که با سرعت سنکرون می چرخد نیروی محرکه V_m را تولید می کند. سپس

این نیروی محرکه به ولتاژ لغزشی $V_r = nsv_m$ در رتور تبدیل می گردد، که در آن n بیانگر نسبت تبدیل

دورهای رتور به استاتور و s بیانگر لغزش می باشد. جریان تحریک بی باری I_0 نیز از دو مولفه تشکیل

شده است که یکی از این مولفه ها مربوط به تلفات $\left(I_c = \frac{v_m}{R_n} \right)$ و دیگری مولفه مغناطیس

کنندگی $(I_m = V_m / \omega_e L_m)$ می باشد. R_m مقاومت معادل برای تلفات تحریک و L_m اندوکتانس مغناطیس

کنندگی می باشد. ولتاژ القا شده در رتور (V_r) باعث جاری شدن جریان I_r در فرکانس لغزشی

$\omega_{s1} (\omega_{s1} = \omega_e - \omega_r)$ می شود که این جریان از مقاومت رتوری R_r و امپدانس نشستی $\omega_{s1} L_{1r}$ عبور

می کند. جریان استاتور I_s متشکل از جریان تحریک I_0 و جریان منعکس شده رتور I_r می باشد. در

شکل (۱-۴ ب) مدار معادل در سمت استاتور نشان داده شده که در آن I_r برابر است با:

$$I_r = nI_r = \frac{n^2 sv_m}{R_r + j\omega_{s1} L_{1r}} \quad (4-4)$$

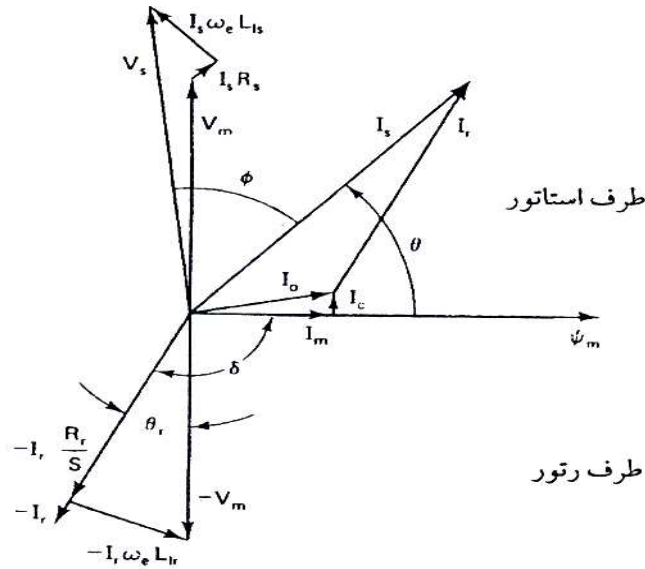
پارامترهای R_r و L_{1r} در رابطه بالا ارجاع شده به استاتور می باشند. در حالت سکون لغزش برابر با یک

$(s=1)$ بوده و بنابر این شکل (۱-۴ ب) بصورت ترانسفورماتور تکفاز اتصال کوتاه شده می باشد. در

سرعت سنکرون $(s=0)$ جریان رتور برابر با صفر بوده $(I_r=0)$ و ماشین فقط جریان تحریک I_0 را

جذب می کند. در سرعت زیر سنکرون $(0 < s < 1)$ و تحت مقادیر کوچک $I_r s$ عمدتاً متأثر از

R_r / S می باشد. $(R_r / S \gg \omega_e L_{1r})$



شکل (۲-۴) دیاگرام فازوری مدار معادل شکل (۱-۴) ب)

بر اساس دیاگرام فازوری شکل (۱-۴) ب) معادله گشتاور (۳-۴) را می توان به شکل زیر نوشت:

$$T_e = K\Phi_m I_r \sin \delta \quad (۴-۵)$$

که در این معادله Φ_m و I_r مقادیر مؤثر نشان داده شده در شکل (۲-۴) می باشد. اگر از مولفه مربوط به تلفات هسته I_r صرف نظر شود، داریم:

$$T_e = k I_m I_r \sin \delta = k I_m I_s \sin \theta = k I_m I_a \quad (۴-۶)$$

معادله گشتاورد (۳-۴) همانند معادله گشتاورد ماشین dc میباشد که I_m مولفه مغناطیس کنندگی یا مولفه شار جریان استاتور بوده و $I_a = I_s \sin \theta$ مولفه گشتاورد یا آرمیچر جریان استاتور و k نیز ثابت گشتاورد می باشد. مولفه های I_m و I_a از نظر کوپلاژ مغناطیسی متعامد یا مستقل می باشند.

رابطه های تلفات و توان ماشین را می توان به شکل زیر خلاصه نمود:

$$P_{in} = 3V_s I_s \cos \phi \quad (۴-۷) \text{ توان ورودی}$$

$$P_{cu_s} = 3I_s^2 R_s \quad (۴-۸) \text{ تلفات مسی استاتور}$$

$$P_c = 3 \frac{V_m^2}{R_m} \quad (۴-۹) \text{ تلفات هسته}$$

$$P_g = 3R_r I_r^2 \frac{R_r}{S} \quad (10-4) \text{ توان فاصله هوایی}$$

$$P_{cu_r} = 3I_r^2 R_r \quad (11-4) \text{ تلفات مسی رتور}$$

$$P_o = P_g - P_{cu_r} = 3I_r^2 R_r \frac{1-S}{S} \quad (12-4) \text{ توان خروجی}$$

$$P_{sh} = P_o - P_{fw} \quad (13-4) \text{ توان اعمالی به شافت}$$

P_{fw} تلفات اصطکاک و باد خوری می باشد. از آنجایی که توان خروجی حاصل ضرب گشتاور ایجاد شده T و سرعت ω_m و T_e را می توان بدین صورت نوشت:

$$T_e = \frac{P_o}{\omega_m} = \frac{3}{\omega_m} I_r^2 R_r \frac{1-S}{S} = 3 \left(\frac{P}{2} \right) I_r^2 \frac{R_r}{S \omega_e} \quad (14-4)$$

در این رابطه $\omega_m = \left(\frac{2}{P} \right) \omega_r$ سرعت مکانیکی رتور بر حسب (rad/s) می باشد. با جای گذاری رابطه

(10-4) در (14-4) رابطه زیر بدست می آید:

$$T_e = \left(\frac{P}{2} \right) \frac{P_g}{\omega_e} \quad (15-4)$$

این رابطه بیانگر آن است که گشتاور را می توان با استفاده از توان فاصله هوایی و با داشتن فرکانس استاتور بدست آورد. توان P_g اغلب به عنوان گشتاور در وات سنکرون بیان می شود.

در مدار معادل شکل (1-4) می توان از مقاومت مربوطه به تلفات هسته R_m صرف نظر کرد. این برای

ماشین هایی که در آنها $|R_s + j\omega_e L_m| \ll \omega_e L_m$ است صادق می باشد.

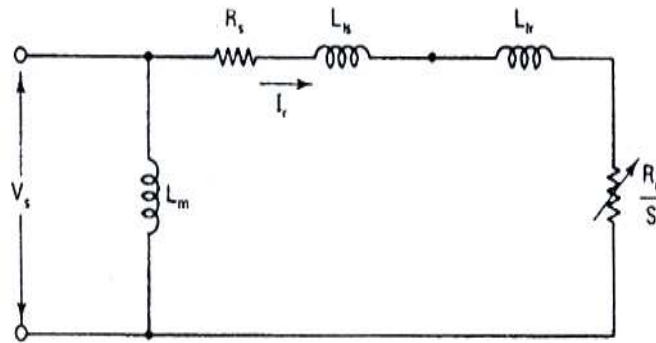
۳-۳-۴ ثابت V/f

اگر ولتاژ تغذیه و فرکانس آن ثابت باشد گشتاور T_e را به عنوان تابعی از لغزش S می توان اینگونه بدست آورد:

$$T_e = 3 \left(\frac{P}{2} \right) \frac{R_r}{S \omega_e} \frac{V_s^2}{(R_s + R_r/S)^2 + \omega_e^2 (L_{ls} + L_{lr})^2} \quad (16-4)$$

البته این رابطه بر پایه مدار معادل شکل زیر است که در آن از R_m یا مقاومت مربوط به تلفات هسته

صرف نظر شده است



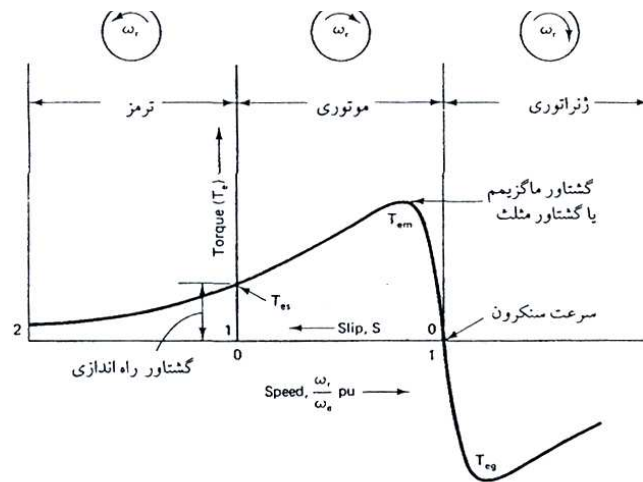
شکل (۳-۴) مدار معادل تقریبی

با توجه به مقادیر لغزش ناحیه های ترمزی ($1 \leq S \leq 2$) با موتوری ($0 \leq S \leq 1$) و ژنراتوری ($S < 0$) تعریف می شوند. در ناحیه موتوری برای $T=0$ ، $S=0$ بوده و با افزایش لغزش (کاهش سرعت) T_e به شکل تقریباً خطی افزایش پیدا کرده تا به نقطه شکست گشتاور T_{em} برسد. در این منطقه لنت استاتور کوچک و شار فاصله هوایی تقریباً ثابت است. بعد از نقطه شکست گشتاور T_e با افزایش S کاهش می یابد. گشتاور راه اندازی ماشین T_{es} در لغزش $S=1$ و طبق معادله (۴۹) اینگونه بیان می شود:

$$T_{es} = 3 \left(\frac{P}{2} \right) \frac{R_r}{\omega_e (R_s + R_r)^2 + \omega_e^2 (L_{1s} + L_{1r})^2} \frac{V_s^2}{\omega_e} \quad (۴-۱۷)$$

در ناحیه ترمزی رتور در جهت خلاف شار فاصله هوایی چرخیده و بنابراین $s > 1$ می باشد. حالت ترمزی هنگامی پیش می آید که هنگام چرخش موتور ترتیب فازهای آن عوض شود یا این که رتور بوسیله یک محرک خارجی در جهت عکس بچرخانیم.

گشتاور ایجاد شده در ناحیه ی ترمزی گشتاور ترمزی نام دارد. انرژی ناشی از ترمز به صورت انرژی حرارتی ظاهر شده و باعث افزایش دمای ماشین می شود.



شکل (۴-۴) منحنی گشتاور-سرعت در فرکانس و ولتاژ ثابت

در ناحیه ژنراتوری رتور در جهت شار دوار فاصله هوایی و با سرعت سنکرون می گردد در نتیجه لغزش منفی شده و گشتاور ژنراتوری یا گشتاور منفی ایجاد می شود. لغزش منفی باعث ایجاد مقاومت منفی در مدار معادل شکل (۴-۳) می شود. مقاومت مثبت R_r/S در ناحیه موتوری انرژی را مصرف می کند و مقاومت منفی R_r/S باعث تولید انرژی شده و آنرا به منبع باز می گرداند و بدین ترتیب ماشین القایی به صورت ژنراتور کار می کند. در یک سیستم محرک فرکانس متغیر موتور القایی، فرکانس استاتور را به گونه ای می توان کنترل کرد که از فرکانس رتور کمتر باشد ($\omega_e < \omega_r$). بدین ترتیب اثر ترمز ژنراتوری را خواهیم داشت. البته برای کاربرد ماشین القایی به صورت ژنراتور بایستی محور توسط یک محرک مکانیکی با سرعتی بیش از سرعت سنکرون چرخانده شود.

برای بدست آوردن گشتاور شکست موتوری از معادله (۴-۱۶) نسبت به لغزش مشتق گرفته و برابر صفر قرار می دهیم:

$$S_m = \pm \frac{V_s^2}{\sqrt{R_s^2 + \omega_e^2 (L_{1s} + L_{1s})^2}} \quad (4-18)$$

S_m بدست آوردن لغزش مربوط به گشتاور شکست T_{em} می باشد. با جایگذاری $S_m +$ در معادله (۱۶-۴)

گشتاور شکست موتوری بدست می آید :

$$T_{em} = \frac{3}{4} \frac{p}{\omega_e} \frac{V_s^2}{\sqrt{R_s^2 + \omega_e^2 (L_{1s} + L_{1r})^2 + R_s}} \quad (۱۹-۴)$$

در این رابطه $S_m -$ گشتاور شکست در حالت ژنراتوری به دست می آید:

$$T_{eg} = \frac{3}{4} \frac{p}{\omega_e} \frac{v_s^2}{\sqrt{R_s^2 + \omega_s^2 (L_{12} + L_{12})^2 - R_s}} \quad (۲۰-۴)$$

در صورت صرف نظر کردن از مقاومت استاتور $|T_{eg}|$ با $|T_{em}|$ برابر می شود. برای ماشین های القایی با قدرت بیشتر از یک اسب بخار و برای کارکرد در سرعت بیش از ۱۰٪ سرعت نامی می توان از پارامترهای استاتور R_s و L_{1s} صرف نظر کرد. در این صورت معادله گشتاور به صورت زیر ساده می شود:

$$T_e = 3 \left(\frac{p}{2} \right) \left(\frac{v_s}{\omega_e} \right)^2 \frac{\omega_{s1} R_r}{R_s^2 + \omega_{s1} L_{12}^2} \quad (۲۱-۴)$$

در ناحیه با لغزش پایین می توان معادله (۲۱-۴) را به شکل زیر نوشت :

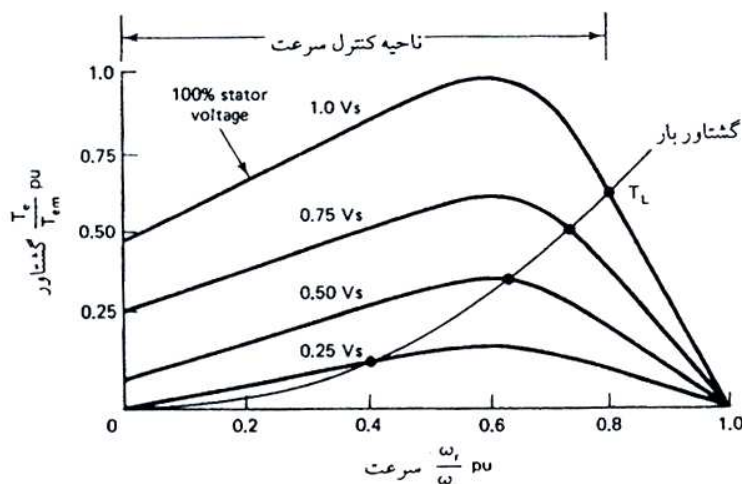
$$T_e = 3 \left(\frac{p}{2} \right) \frac{1}{R_2} \phi_m^2 \omega_{s1} \quad (۲۲-۴)$$

در این منطقه $R_r^2 \gg \omega_{s1}^2 L_{12}^2$ می باشد. معادله (۲۲-۴) بیانگر این نکته است که در سرعت ω_{s1} ثابت T_e با ϕ_m^2 متناسب بوده و در شار ϕ_m ثابت T_e با ω_{s1} متناسب است.

۴-۳-۴ عملکرد ولتاژ متغیر

تغییر ولتاژ استاتور در فرکانس ثابت یک روش ساده و اقتصادی برای کنترل سرعت موتور القایی قفس سنجابی است. کنترل ولتاژ استاتور تحت فرکانس شبکه را می توان با کنترل زاویه فاز توسط تریستورهای که به صورت معکوس موازی در هر فاز قرار گرفته اند، انجام داد. در شکل (۵-۴) منحنی

های گشتاور- سرعت برای ولتاژ متفاوت استاتور بر طبق معادله (۱۶-۴) رسم شده است. همچنین منحنی گشتاور - بار برای در این شکل رسم شده که محل های برخورد این دو منحنی نقاط کار پایدار سیستم تنظیم سرعت می باشند. در این نوع تنظیم سرعت معمولاً از موتورهایی با لغزش S_m بزرگ استفاده می شود که مقاومت رتور این موتورها بزرگ بوده و در سیستم $NEMA$ در کلاس D قرار می گیرند. استفاده از این رتورها موجب ایجاد تلفات مسی زیاد در ماشین می گردد. در صورتیکه از ماشین با لغزش کوچک استفاده شود محدوده کنترل سرعت کاهش می یابد. از طرف دیگر اگر ماشین به گونه ی طراحی شده باشد که $S_m \geq 1$ باشد، بارهای گشتاور ثابت را می توان در محدوده کاملی از سرعت کنترل نمود. این روش کنترل سرعت معمولاً در موتور های دو فاز کلاسیک و موتورهای تکفاز وسایل خانگی بکار می رود. در این روش کنترل سرعت گشتاور تولیدی به ازای هر آمپر جریان استاتور با کاهش ولتاژ استاتور و بالطبع کاهش شار فاصله هوایی کاهش می یابد، بنابراین برای یک گشتاور بار ثابت جریان استاتور با کاهش سرعت افزایش می یابد که این امر باعث افزایش تلفات مسی شده و گرم شدن بیش از حد ماشین را بدنبال دارد.



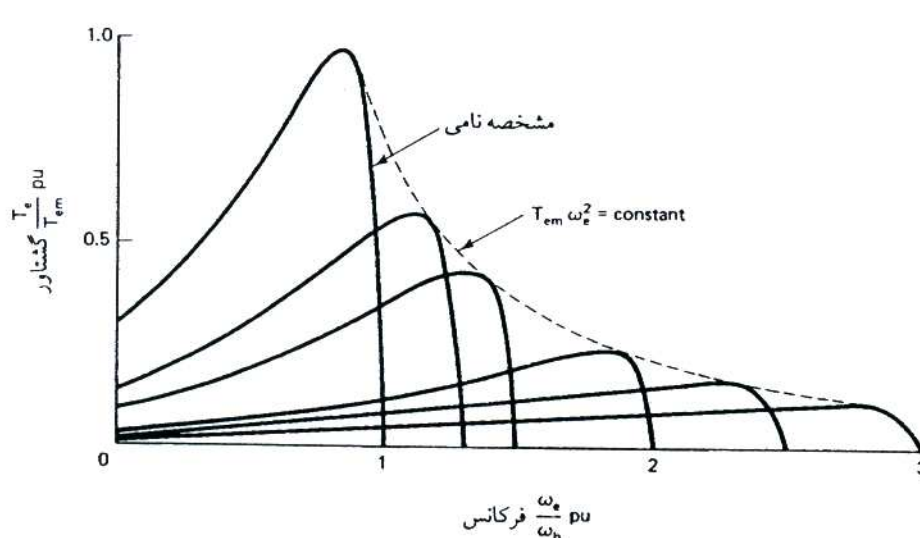
شکل (۵-۴) منحنی گشتاور- سرعت برای ولتاژهای متفاوت استاتور

۴-۳-۵) عملکرد فرکانس متغیر

اگر فرکانس تغذیه استاتور خارج از محدوده فرکانس نامی باشد منحنی های گشتاور - سرعت را می توان با استفاده از معادله (۴-۱۶) مطابق شکل (۴-۶) رسم نمود. شار فاصله هوایی و جریان استاتور با افزایش فرکانس کاهش یافته و به همین ترتیب گشتاور ماکزیمم نیز کاهش می یابد. رابطه گشتاور ماکزیمم با لغزش طبق رابطه (۴-۲۱) اینگونه بدست می آید:

$$T_{em} = 3 \left(\frac{P}{2} \right) \left(\frac{V_s}{\omega_e} \right) \frac{\omega_{s1m} R_r}{R_r^2 + \omega_{s1m}^2 L_{lr}^2} \quad (4-23)$$

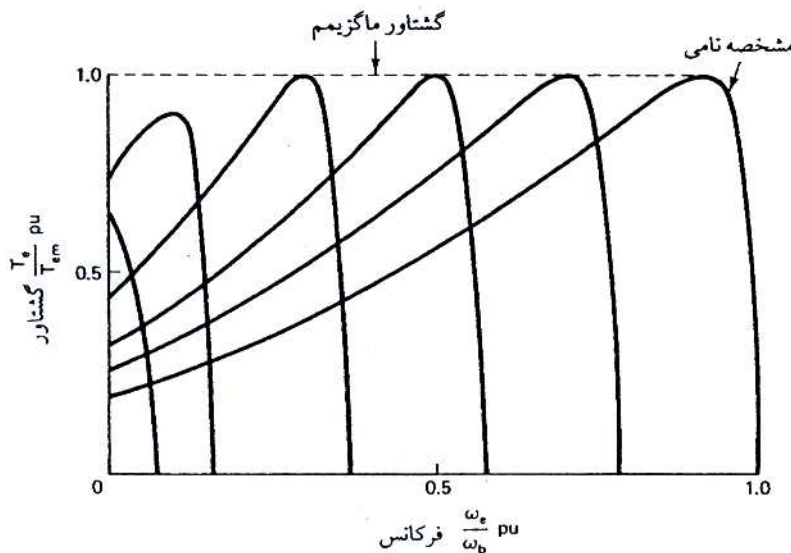
در این معادله $\omega_{s1m} = R_r / L_{lr}$ فرکانس لغزشی در گشتاور ماکزیمم می باشد. این رابطه بیانگر آن است که جمله $(T_{em} \omega_e^2)$ مقداری ثابت است. به عبارت دیگر ماشین القایی مانند یک موتور **dc** در کار کرد فرکانس متغیر کار می کند. اگر فرکانس تغذیه را در ولتاژ نامی کاهش دهیم شار فاصله هوایی اشباع شده و این باعث جاری شدن جریان اضافی در استاتور می شود. بنابر این برای ثابت نگهداشتن سطح شار فاصله هوایی در ناحیه زیر فرکانس نامی می بایست ولتاژ استاتور را متناسب با کاهش فرکانس



شکل (۴-۶) منحنی گشتاور - سرعت در فرکانس های مختلف

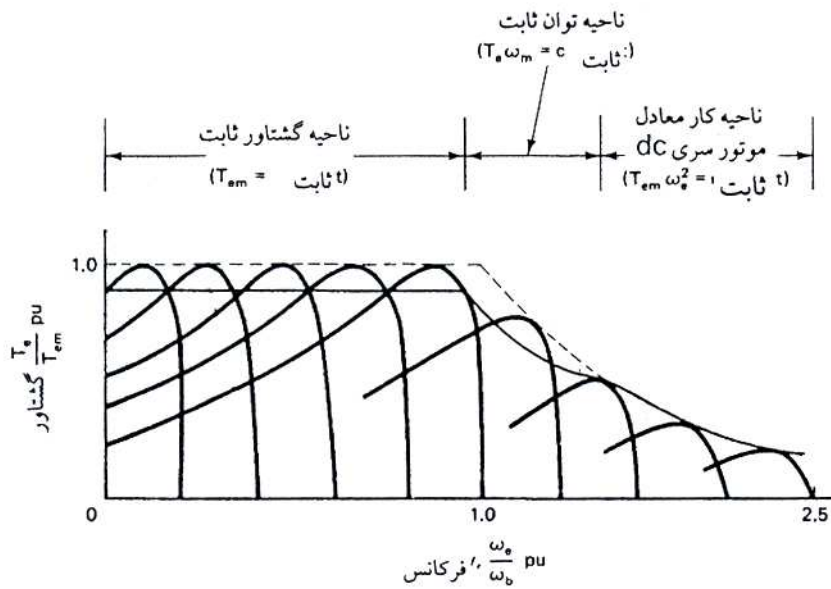
در منطقه فرکانس پائین برای اینکه گشتاور ماکزیمم تولید شود بایستی ولتاژ تقویت گردد. از آنجایی که موتور در منطقه گشتاور ثابت با شار فاصله هوایی ثابت کار می کند، حساسیت گشتاور نسبت به جریان استاتور خیلی زیاد بوده و این مسئله پاسخ سریع گذاری سیستم را میسر می کند. در سیستم محرک ولتاژ متغیر - فرکانس متغیر، معمولاً ماشین در لغزش پائین کار می کند، که این باعث بهبود کارایی یا بازده ماشین می گردد.

در شکل زیر منحنی های گشتاور-سرعت برای نسبت ثابت V_s / ω_e نشان داده شده:

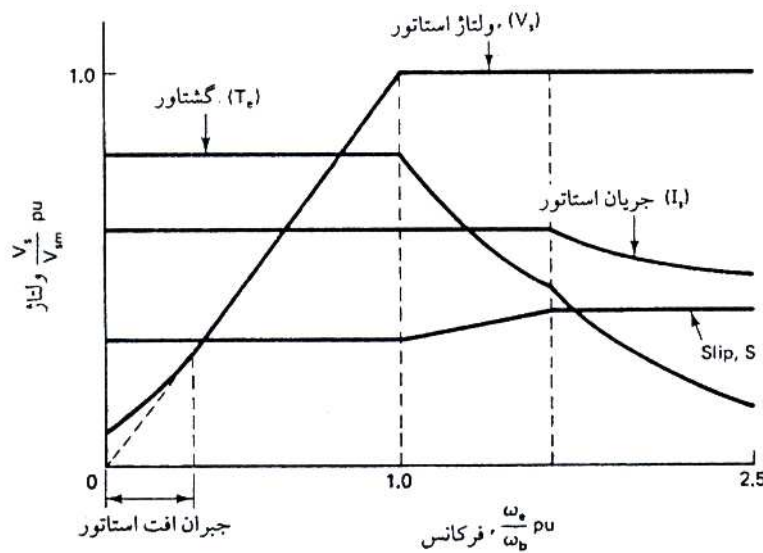


شکل (۷-۴) منحنی های گشتاور لغزش در نسبت ثابت (هرتز/ولت)

در فرکانس مینا اگر چه گشتاور راه اندازی کم است اما همان گونه که در شکل (۷-۴) نشان داده شده می توان ماشین را با گشتاور ماکزیمم راه اندازی نمود.



شکل (۸-۴) ناحیه های مختلف منحنی گشتاور - سرعت با منبع تغذیه فرکانس متغیر - ولتاژ متغیر



شکل (۹-۴) اتباط بین فرکانس - ولتاژ در ماشین القایی

۴-۳-۶) عملکرد جریان کنترل کننده استاتور

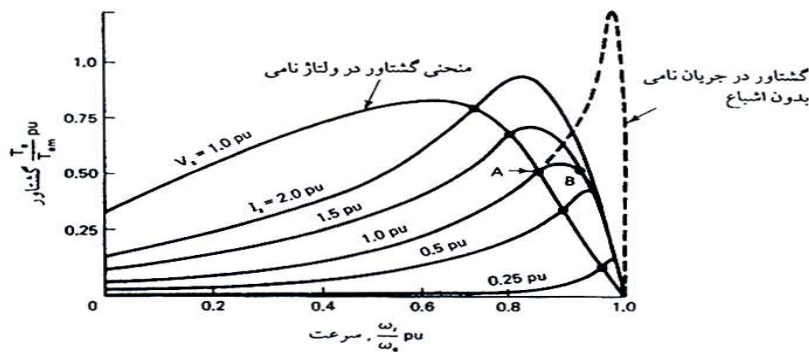
برای جریان گشتاور به جای کنترل ولتاژی می توان جریان استاتور را مستقیماً کنترل کرد. با کنترل جریان مشخصات گشتاور برای جریان ثابت استاتور وابسته به توزیع نسبی جریان مغناطیس کنندگی و جریان رتور بوده و از پارامترهای استاتور مثل R_s و L_{Is} مستقل می باشد. اگر از اندوکتانس نشتی و تلفات هسته صرف نظر کنیم توزیع جریان را به صورت زیر می توان نوشت:

$$I_m = \frac{R_r / S}{\sqrt{\omega_e^2 L_m^2 + (R_r / S)^2}} I_s \quad (۴-۲۴)$$

$$I_r = I_a = \frac{\omega_e L_m}{\sqrt{\omega_e^2 L_m^2 + (R_r / S)^2}} I_s \quad (۴-۲۵)$$

$$T_e = K T_s^2 \frac{S \omega_e R_r L_m}{R_r^2 + S^2 \omega_e^2 L_m^2} \quad (۴-۲۶)$$

معادله (۴-۲۶) گشتاور را به صورت تابعی از جریان استاتور، فرکانس و لغزش بیان می کند. منحنی های گشتاور - سرعت با فرکانس ثابت و مقادیر مختلف جریان در شکل (۴-۹) نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۰) منحنی گشتاور - لغزش با جریان های متفاوت استاتور

۴-۳-۷) عملکرد HP ثابت (Constant-Horse Power)

یک درایو تراکشن اغلب نیاز به آن دارد که با مشخصه **HP** ثابت کار کند. **HP** ثابت در بالای سرعت پایه اعمال می شود. در این ناحیه موتور القایی با یک ولتاژ استاتور ثابت تغذیه شده در نتیجه با افزایش فرکانس تغذیه شار فاصله هوایی کاهش می یابد. برای این عملکرد لازم است که گشتاور بطور معکوس با فرکانس تغییر کند. بوسیله کنترل مناسب ω_r در یک درایو با لغزش کنترل شده می توان گشتاور را متناسب با عکس ω_s ساخت.

معمولاً گشتاور ایجاد شده در موتور القایی بوسیله این رابطه بیان می گردد:

$$T_e = K \phi_1 I_r \cos \phi_2 \quad (۴-۲۷)$$

که $I_r \cos \phi_2$ جزء هم فاز جریان رتور است. در فرکانس های پایین رتور، $\cos \phi_2$ تقریباً برابر با یک بوده و با فرض s کوچک خواهیم داشت:

$$T_e = K \phi_1^2 \omega_r \quad (۴-۲۸)$$

مشاهده می شود که با شار فاصله هوایی ثابت و لغزش رتور کوچک، گشتاور مستقیماً متناسب با فرکانس رتور است. همچنین در فرکانس های بالا ϕ_1 متناسب با $\frac{V_s}{\omega_s}$ می باشد. پس:

$$T_e = K \left[\frac{V_s}{\omega_s} \right]^2 \omega_r \quad (۴-۲۹)$$

اگر ω_r به طور خطی با ω_s تغییر کند آنگاه داریم:

$$T_e \propto \frac{1}{\omega_s} \quad (۴-۳۰)$$

که متناسب با عملکرد **HP** ثابت است.

ممکن است لازم شود موتور در سرعت هایی بیشتر از مد **HP** کار کند. در این صورت ولتاژ و فرکانس لغزش موتور در بیشترین مقدار خود ثابت نگهداشته می شوند. بنابراین گشتاور با عکس مربع سرعت

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید

تغییر می کند. به این حالت موتوری سرعت بالا یا ناحیه فرکانس لغزش ثابت اطلاق می شود و معمولاً

از ۲ تا ۳ برابر سرعت نامی ادامه دارد.

$$TE = \frac{T_e G}{r} \quad (۴-۳۱)$$

که این رابطه TE نیروی کششی، G نسبت چرخ دنده و r شعاع چرخ است.

فصل پنجم

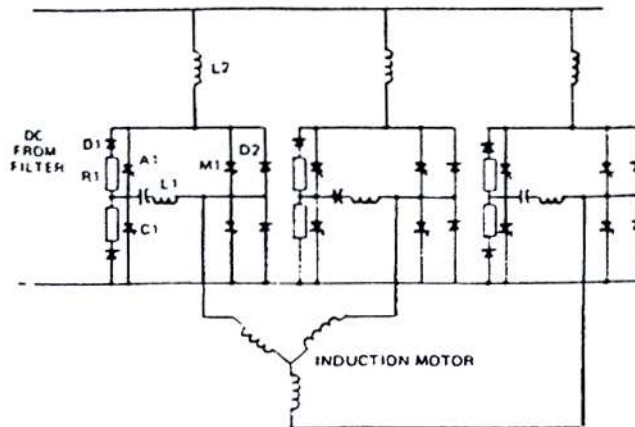
طراحی و مقادیر نامی موتور و اینورتر در

سیستم های تراکشن القایی

۵-۱) کلیات طراحی موتور و اینورتر در سیستم های تراکشن

شکل (۵-۱) مدار ساده شده اینورتر *PWM* (*Pulse Width Modulated*) را با استفاده از

تریستورهای مرسوم نشان می دهد.



شکل (۵-۱) مدار قدرت اینورتر *PWM*

برای یک سیستم ۶۰۰ ولتف هر نیمه هادی نشان داده شده شامل دو تریستور یا دیود سری شده می باشد

که به خاطر مقاومت در برابر گذارهای ولتاژ خط می باشد. این مدار اینورتر مک-موری (*MC Mury*)

استاندارد است که با افزودن مقاومت R_1 و دیود D_1 تغییر یافته است که اینها به شارژ ولتاژ خازن

کمو تاسیون C_1 هنگام کمو تاسیون جریان بار کمک می کند. تریستور M_1 مسیر جریان اصلی برای حالت

موتوری (عبور توان از طرف AC به طرف DC) می باشد. تریستور A_1 ، خازن C_1 ، سلف L_1 و دیود

D_2 مسیر جریان کمو تاسیون را تشکیل می دهند. این مسیر، مسیر عبور جریان بار را از SCR اصلی

برای تقریباً ۶۰ میکرو ثانیه منحرف می کنند تا اینکه تریستور فرصت کافی برای قطع را داشته باشد.

شکل (۵-۲) فیلتر خط، کنتاکتورها و مقاومت های ترمزی را نشان می دهد. فیلتر به حذف تداخل

سیستم سیگنالیگ از جریان های ضربانی کشیده شده بوسیله اینورتر کمک می کند. کنتاکتور FC و

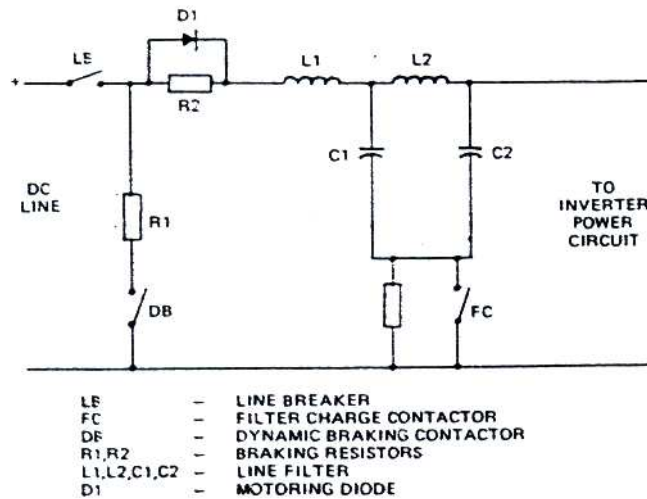
مقاومت مربوطه، هنگام شارژینگ اولیه فیلتر خط بکار می روند تا جریان هجومی

(*Inrush Current*) و بالازدگی ولتاژ را محدود کنند. مقاومت های ترمزی R_1 و R_2 دو قسمتند.

مقاومت R_2 هنگام وقوع عمل ترمز در مدار است. کار مقاومت R_2 این است که ولتاژ DC ایستور اجازه

می دهد از ولتاژ DC خط بیشتر شود تا اینکه توان ترمزی بیشتری بدست آید. مقاومت R_1 فقط در

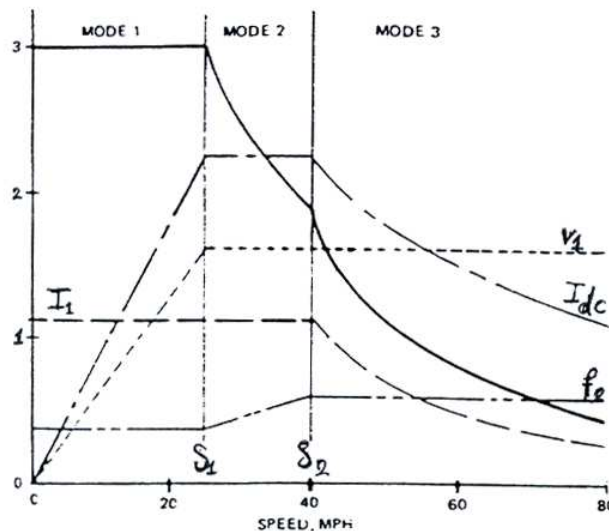
حالت ترمز دینامیکی (*Dynamic Braking*) بکار می رود و توسط کنتاکتور DB سوئیچ می شود.



شکل (۲-۵) فیلتر ورودی، کنتاکتورها و مقاومت ها

در شکل (۳-۵) مشخصه گشتاور - سرعت موتور در نواحی مختلف به همراه شکل موج های دیگر

نشان داده شده است.



شکل (۳-۵) مدهای کنترلی در حالت موتوری

در مد ۱، با ثابت نگهداشتن $\frac{V_1}{f_1}$ و فرکانس لغزش f_2 گشتاور ثابت بدست می آید. در مدهای ۲ و ۳ به

خاطر اینکه اینورتر در حالت موج مربعی است ولتاژ اعمالی (V_1) ثابت می باشد. در این مدها شار

فاصله هوایی موتور بطور معکوس با سرعت تغییر می کند. در مد ۲ با افزایش لغزش بطور متناسب با

سرعت، جریان I_1 موتور ثابت شده و این ناحیه، ناحیه HP ثابت است. بیشتر از سرعت S_2 لغزش

ثابت نگاهداشتن می شود و جریان موتور بطور معکوس با سرعت کاهش می یابد و گشتاور بطور

معکوس با مربع سرعت کاهش می یابد.

شکل (۴-۵) مشخصه های متناظر حالت ترمزی را نشان می دهد. در سرعت های بالاتر از S_3 (مد ۴)،

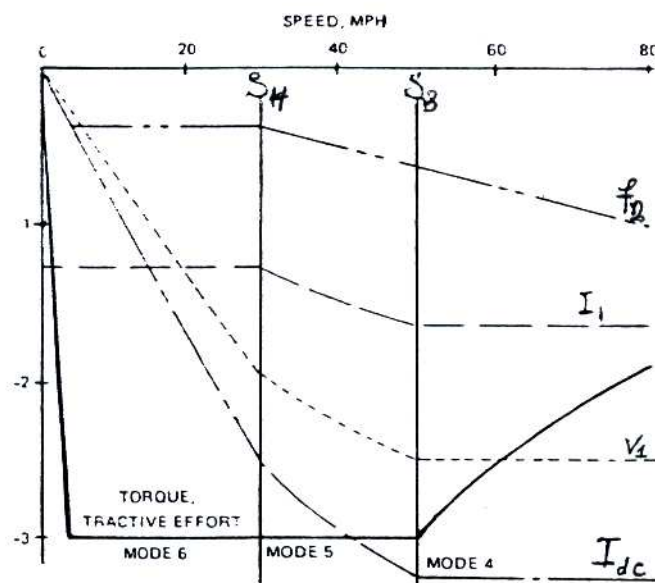
ولتاژ، جریان و در نتیجه توان ثابت نگهداشته می شوند. در این قسمت سیکل ترمزی، فرکانس لغزش f_2

متناسب با سرعت می باشد. از S_3 تا S_4 (مد ۵)، گشتاور ثابت نگه داشته می شود و توان مستقیماً با

سرعت تغییر می کند و ولتاژ جریان موتور تقریباً با ریشه دوم سرعت تغییر می کنند و فرکانس لغزش

متناظر با سرعت می باشد. از S_4 تا سرعتهای خیلی کم (مد ۶)، مشابه مد موتوری (مد ۱)

می باشد و شار فاصله هوایی، گشتاور و فرکانس لغزش ثابت نگهداشته می شوند.



شکل (۴-۵) مدهای کنترلی در حالت ترمزی

در دو شکل (۵-۳) و (۵-۴) جریان DC خط (I_{dc}) نیز نشان داده شده.

در شکل (۵-۳) جریان I_{dc} توان موجود در ریل با توان کشیده شده از خط DC مساوی قرار داده می شود. در سرعت S_1 ، توان موتوری بیشترین مقدار خود را دارد. بنابراین:

$$I_{dc} = \frac{200WA_1S_1}{V_{dc}\eta_c} \quad (5-1)$$

که در این رابطه: W جرم قطار بر حسب ($Tone$) و A_1 شتاب موتوری در S_1 بر حسب ($mi/h/s$) و S_1 سرعت در انتهای ناحیه ۱ بر حسب (mi/h)، V_{dc} ولتاژ خط dc بر حسب (V) و η_c راندمان مجموعه موتور، اینورتر، چرخ دنده ها و سایر اجزا می باشد.

برای محاسبه جریان موتور در این نقطه، فقط راندمان ضریب توان می بایست اضافه شود. بنابراین در

S_1 :

$$I_1 = \frac{148WA_1S_1}{V_{dc}Gs\phi\eta_m} \quad (5-2)$$

که در این رابطه η_m راندمان موتور می باشد.

معادلات داده شده برای I_{dc} و I_1 در حالت ترمزی مشابه هستند با این تفاوت که تلفات به نیروی ترمزی (**Braking Effort**) اضافه می شوند در حالیکه این تلفات از نیروی موتوری کم می شوند.

نیازهای کاربردی قطار طراحی های اینورتر و موتور را تعیین می کند. به عنوان مثال وزن قطار، سرعت موتوری S_1 و نرخ شتاب در سرعت S_1 بیشترین توان را در حالت موتوری تعیین می کنند. دو عامل اصلی تعیین کننده اندازه موتور نیز عبارتند از اندوکتانس نشتی موتور و گشتاور نامی پیوسته (**Continuous Rated Torque**). اندوکتانس موتور توسط نیازهای سرعت زیاد موتوری و ترمزی قطار تعیین می شود. گشتاور نامی پیوسته نیز توسط سیکل زمانی (**Duty Cycle**) قطار مشخص می گردد.

نقطه دارای بیشترین توان برای اینورتر، در سرعت ترمزی بالا اتفاق می افتد. مدارات کموتاسیون (در حالت استفاده از SCR) توسط شرایط موتوری یا ترمزی انتخاب می شوند. ولتاژ موتور تا سرعت S_1 بطور خطی با سرعت زیاد می شود که در این سرعت بیشترین ولتاژ بدست می آید. این شکل ولتاژ برای مینیم کردن جریان اینورتر و در نتیجه اندازه آن بکار می رود.

در تعیین اندوکتانس موتور، شرایط موتوری که در انتهای ناحیه توان ثابت (سرعت S_2) وجود دارد باید در نظر گرفته شود. در این نقطه گشتاور ماکزیمم ($Pull\ Out - Torque$) می بایست دست کم با گشتاور بار برابر باشد.

برای دستیابی به ماکزیمم قابلیت ترمزی یک اینورتر، ولتاژ در حالت ترمزی می بایست از یک مقدار مجاز کمتر باشد و نسبت جریان موتور در حالت ترمزی به جریان موتور در حالت موتوری نباید از نسبت ولتاژ dc ترمزی به ولتاژ dc موتوری تجاوز کند.

۵-۲) طراحی موتور القایی برای کاربردهای تراکشن

در این بخش معیار طراحی موتور القایی برای دسته ای از وسایل نقلیه الکتریکی که بوسیله ولتاژ حلقه DC و از طریق اینورترهای الکترونیکی (معمولاً اینورترهای PWM با کنترل جریان) و یا باطری تغذیه می شوند، بیان می شود. هدف از طراحی بدست آوردن ناحیه تضعیف شار (توان ثابت) وسیع می باشد که باعث محدود شدن ابعاد موتور و اینورتر می شود.

مشخصه های مورد نظر سیستم تراکشن الکتریکی مناسب بدین صورت خلاصه می شود:

الف) چگالی گشتاور بالا $[N.m/kg]$ ، چگالی توان بالا $[Kw/Kg]$ ، کمترین ابعاد.

ب) ناحیه توان ثابت وسیع، کمترین توان ظاهری اینورتر $[KVA]$.

پ) راندمان بالا.

ت) کمترین تعداد سنسورها، سختی مکانیکی، کاهش تعمیرات، هزینه پایین، نویز کم و غیره.

ملاحظات عمومی دیگر عبارتند از:

الف) ولتاژ DC اعمال شده به اینورتر ثابت نیست.

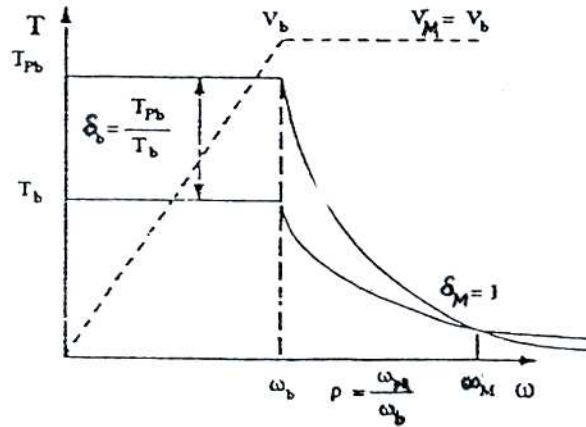
ب) در وسایل نقلیه شهری، نسبت توان ماکزیمم به توان متوسط بالایی نیاز است. همچنین نیازمند کار موتور در ناحیه توان ثابت برای مدت زمان زیادی هستیم.

۵-۲-۱) مشخصه های الکترومغناطیسی (*Electromagnetic Characteristic*)

در این بخش، اهداف خواسته شده به مشخصه های الکترومغناطیسی تبدیل شده که در ضمن طراحی موتور می بایست پی گیری شود. برای بدست آوردن توان بالا و حجم پایین برای موتور بهتر است از یک موتور با سرعت بالا استفاده شود. بنابراین سرعت پایه و ماکزیمم سرعت موتور به عنوان محدودیت های شروع طراحی است.

رسیدن به گشتاور بالا، افزایش فشارهای موادی (*Material Stresses*) را نیاز دارد. (بخصوص چگالی شار در هسته و چگالی جریان بر سیم پیچهای رتور و استاتور).

متأسفانه عملکرد تضعیف شار توسط محدودیت ولتاژ تغذیه در سرعت های بالا محدود می شود. چون گشتاور ماکزیمم متناسب با عکس مجذور فرکانس تغذیه کاهش می یابد شکل (۵-۵)، بنابراین موتور قادر به تأمین گشتاور خواسته شده در ماکزیمم سرعت نیست. در نتیجه، در موتور القایی یک قابلیت اضافه بار (نسبت گشتاور ماکزیمم به گشتاور نامی، بالا) جهت بدست آمدن ناحیه توان ثابت وسیع لازم است، تا از افزایش ابعاد موتور و یا اینورتر پرهیز شود.



شکل (۵-۵) ماکزیمم رنج توان ثابت با استفاده از ولتاژ تغذیه ثابت

با تعریف اضافه بار در سرعت پایه δ_b و ضریب اضافه بار در سرعت ماکزیمم δ_m و نسبت سرعت

توان ثابت φ داریم:

$$\delta_b = \frac{T_{pb}}{T_b} \quad (5-3)$$

$$\delta_M = \frac{T_{pM}}{T_M} \quad (5-4)$$

$$\varphi = \frac{\omega_M}{\omega_b} \quad (5-5)$$

که در روابط: T_{pb} ماکزیمم گشتاور موتور در سرعت پایه، T_b گشتاور بار خواسته شده در سرعت پایه،

T_{pM} ماکزیمم گشتاور موتور در ماکزیمم سرعت، T_M گشتاور بار خواسته شده در ماکزیمم سرعت،

ω_M ماکزیمم سرعت و ω_b سرعت پایه می باشند. ولتاژ در ماکزیمم سرعت از رابطه زیر بدست

می آید:

$$V_M = V_b \sqrt{\varphi \frac{\delta_M}{\delta_b}} \quad (5-6)$$

که V_b ولتاژ موتور در سرعت پایه می باشد.

در نتیجه به ازای یک نسبت توان ثابت معین، ولتاژ تغذیه وابسته به ضریب بار موتور در سرعت پایه می باشد. اگر ولتاژ حلقه DC کاهش یابد و امکان بکار بردن ولتاژ کامل در سرعت پایه نباشد از اینورتر درخواست جریان زیادی می شود. که در این صورت راندمان پایین و هزینه بالا خواهد بود.

گشتاور ماکزیمم در موتور القایی سه فاز توسط رابطه زیر بیان می شود:

$$T_p = \frac{3P}{\omega_s} V_s^2 \frac{R_r/S}{\left(\frac{R_r}{S}\right)^2 + (\omega_s L_r)^2} \quad (7-7)$$

بنابراین برای افزایش گشتاور ماکزیمم لازم است راکتانس نشتی رتور را با طراحی مناسب مدار الکترومغناطیسی قفس رتور به کمترین مقدار برسانیم.

طراحی اینورتر (با ولتاژ تغذیه معین) توسط ماکزیمم جریان موتور تعیین می شود. به ازای یک توان ماکزیمم معین برای موتور، با افزایش ضریب توان و قابلیت اضافه بار موتور، جریان موتور کاهش می یابد. در نتیجه برای به حداقل رساندن ابعاد اینورتر لازم است راکتانس های نشتی و راکتانس مغناطیس کننده موتور کمترین مقدار باشند.

افزایش راندمان موتور، کاهش مقاومت استاتور و روتور و راکتانس نشتی و افزایش راکتانس مغناطیس کننده را نیاز دارد و می بایست علاوه بر راندمان موتور، راندمان کل درایو (موتور به علاوه اینورتر) را بررسی نمود.

۵-۲-۲) معیار طراحی موتور

پس از تعیین مشخصات الکترو مغناطیسی خواسته شده گام بعدی تعیین پارامترهای طراحی موتور می باشد.

پارامترهای طراحی در نظر گرفته شده عبارتند از: تعداد قطب، نسبت طول رتور به قطر رتور (λ)، تعداد و شکل شیار استاتور و رتور، ضخامت فاصله هوایی، چگالی شار، چگالی جریان استاتور و رتور.

الف) تعداد قطب

چون به ازای یک چگالی شار ثابت با افزایش تعداد قطب، شار در قطب کاهش می یابد بنابراین با افزایش تعداد قطب ضخامت یوغ استاتور و رتور نیز کاهش می یابند. همچنین در یک قطر خارجی ثابت تعداد قطب بیشتر به معنی یوغ استاتور نازکتر و در نتیجه قطر رتور بزرگتر می باشد که این به معنی افزایش گشتاور است.

تعداد قطب بیشتر باعث کوتاهتر شدن طول دور آخر (*End Turn Length*) می شود که به معنی مقاومت استاتور کوچکتر، تلفات مسی کمتر و نشتی دو انتها (*End Turn*) کمتر می باشد.

در سرعت رتور یکسان راکتانس مغناطیس کننده با معکوس تعداد قطب متناسب است و بنابراین راکتانس مغناطیس کننده کمتر به معنی جریان مغناطیس کننده بیشتر است و این ضریب توان کمتر و جریان اینورتر بیشتر را سبب می شود.

در سرعت یکسان با افزایش تعداد قطب راکتانس نشتی افزایش یافته و با توجه به معادله جریان مغناطیس کننده (۵-۸) با افزایش تعداد قطب جریان مغناطیس کننده نیز افزایش می یابد.

$$I_m = \frac{\pi 2PF}{3\sqrt{2}K_\omega N_s} \quad (5-8)$$

که در آن F, mmf تولید شده می باشد. با توجه به مطالب ارائه شده در بالا، موتور ۴ قطب از نظر جنبه های یاد شده، کاهش ابعاد، کاهش راکتانس نشتی و دیگر جنبه های مناسب می باشد.

ب) نسبت طول رتور به قطر رتور (λ)

کاهش اینرسی موتور در کاربردهای تراکشن غیر مؤثر است، زیرا قسمت های مکانیکی متصل شده به موتور دارای اینرسی زیاد می باشند با حجم و وزن یکسان مقدار بیشتر λ باعث کاهش راکتانس نشتی رتور استاتور و در نتیجه گشتاور ماکزیمم زیاد می شود. اگر خنک سازی موتور فقط بر روی سطح استاتور انجام شود افزایش λ باعث افزایش سطح مبادله حرارتی می شود که اثرات خنک سازی را بهبود می بخشد. قطر زیاد رتور به توزیع سیم پیچی استاتور و رتور کمک می کند و با افزایش هزینه همراه است. تأثیرات ایجاد شده بر برخی مشخصه های یک موتور ۱۷ کیلو وات در جدول (۱-۵) نشان داده شده است.

جدول (۱-۵) تأثیر نسبت طول به قطر رتور (λ) بر مشخصه های موتور (P.U.)

نسبت طول به قطر موتور (λ)	۱	۱/۴	۱/۸
ماکزیمم گشتاور	۲/۲	۲/۷	۳
راکتانس نشتی (در فرکانس نامی)	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۲
ضریب توان (در فرکانس و توان نامی)	۰/۸۷	۰/۸۶	۰/۸۴
راندمان	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۵
وزن (مس + آهن) [kg]	۴۷	۴۸	۴۹

پ) تعداد شیار استاتور و رتور

در رابطه با استاتور تعداد زیاد شیارها جهت کاهش هارمونیک های فضایی لازم است. جدول (۲-۵)

تأثیر افزایش تعداد شیار استاتور را بر برخی مشخصه های موتور ۱۷ کیلووات بررسی می کند.

جدول (۲-۵) تأثیر تعداد شیارهای استاتور بر مشخصه های موتور (P.U.)

تعداد شیارهای استاتور	۳	۴	۵
ماکزیمم گشتاور	۱/۹	۲/۷	۳/۲
راکتانس نشتی (در فرکانس نامی)	۰/۲	۰/۱۴	۰/۱۱
ضریب توان (در فرکانس و توان نامی)	۰/۸۳	۰/۸۶	۰/۸۵
راندمان	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۶
وزن (مس + آهن) [kg]	۴۸	۴۸	۴۸

تعداد شیارهای رتور باید به گونه ای باشد که از گشتاور سنکرون (*Synchronous Torques*)

جلوگیری شود. تعداد شیارهای رتور می تواند بیش از شیارهای استاتور در نظر گرفته شود. اما این

روش یک روش کلی نبوده و می بایست هزینه های جوشکاری و غیره نیز در نظر گرفته شود. در هر

حال تعداد شیارهای رتور از درجه آزادی بیشتری نسبت به استاتور برخوردار است.

هم برای رتور و هم برای استاتور هدف طراحی، نشتی کم (شیار باز) جهت بهبود کار در ناحیه تضعیف

شار، می باشد.

ت) ضخامت فاصله هوایی

با افزایش تعداد قطب فاصله هوایی می تواند نازک تر انتخاب شود. افزایش ضخامت فاصله هوایی،

کاهش راکتانس نشتی و افزایش قابلیت اضافه بار موتور در حجم و وزن یکسان را بدنبال دارد. راندمان

و ضریب توان حساسیت زیادی در افزایش ضخامت فاصله هوایی از خود نشان نمی دهند. جدول (۳-۵)

این اثرات را نشان می دهد

جدول (۳-۵) تأثیر ضخامت فاصله هوایی بر مشخصه های موتور (P.U.)

۰/۷	۰/۵	۰/۲۵	ضخامت فاصله هوایی [mm]
۲/۹	۲/۷	۲/۲	ماکزیمم گشتاور
۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۸	راکتانس نشتی (در فرکانس نامی)
۰/۸	۰/۸۶	۰/۹	ضریب توان (در فرکانس و توان نامی)
۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۶	راندمان
۴۸	۴۸	۴۸	وزن (مس + آهن) [kg]

ن) همانطور که گفته شد، یک وسیله نقلیه الکتریکی اغلب در ناحیه تضعیف میدان کار می کند. بنابراین نباید همواره موتور در شرایط ماکزیمم شار را اعمال کرد. به عنوان یک راه حل می توان فقط در ضمن شتاب گیری و در شیب ها، ماکزیمم شار را اعمال کرد. به علت قابل صرف نظر بودن عملکردهای دینامیکی وسیله نقلیه الکتریکی این روش کنترل شار می تواند در عمل بکار رود. استفاده از فاصله هوایی بزرگ باعث می شود اثرات اشباع بر روی ضریب توان کاهش یابد. افزایش چگالی شار باعث افزایش تلفات آهنی می شود.

ج) چگالی جریان استاتور و رتور

از دیدگاه حرارتی، حاصل ضرب چگالی جریان بیرونی (*Peripheral Current Density*) در چگالی جریان مس می بایست با توجه به روش خنک سازی تعیین شود. در بسیاری از حالات استاتور شرایط خنک سازی خیلی بهتری نسبت به رتور دارد. حاصل ضرب گفته شده در مورد رتور می تواند

۲۰ تا ۳۰ درصد نسبت به استاتور کمتر باشد. وقتی رتور خنک سازی داخلی داشته باشد حاصل ضرب

بالا برای استاتور و رتور یکسان می شود. با فرض مساوی بودن حاصل ضرب ها داریم:

$$\frac{|\bar{J}_s|^2}{A_s} = \frac{|\bar{J}_r|^2}{A_r} \quad (5-9)$$

که در این رابطه \bar{J}_s و \bar{J}_r کل جریان های استاتور و رتور بوده و A_s و A_r سطح مقطع های مس معادل

می باشند. در صورت وجود جزء مغناطیس کننده، $|\bar{J}_s|$ یا $|\bar{J}_r|$ می باشد و معیار حرارتی $(1/1 - 1/2)$ $A_r \cong A_s$ را ارائه می دهد.

نسبت میان چگالی جریان استاتور و رتور با ضریب kj تعریف می شود. معلوم شده است که مقدار

بزرگتر kj منجر به افزایش جزئی اضافه بار موتور می شود. در جدول (۴-۵) اثرات kj بر برخی

مشخصه های موتور داده شده است.

جدول (۴-۵) تأثیر ضریب kj بر مشخصه های موتور (P.U.)

۱/۴	۱/۲	۱	ضریب kj
۲/۸	۲/۷	۲/۵	ماکزیمم گشتاور
۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۵	راکتانس نشتی (در فرکانس نامی)
۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۶	ضریب توان (در فرکانس و توان نامی)
۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۶	راندمان
۴۹	۴۸	۴۶	وزن (مس + آهن) [kg]

۵-۲-۳) سوئیچینگ تغذیه

تمام مطالب و مقادیری که گفته شد برای تغذیه سینوسی می باشد در حالیکه در کاربردهای تراکشن موتور همیشه توسط اینورتر استاتیکی تغذیه می شود. اثرات تغذیه استاتیکی بر راندمان و طراحی موتور بدین ترتیب می باشد:

الف) افزایش تلفات مسی استاتور در اثر هامونیک های جریان.

ب) افزایش تلفات هسته در اثر افزایش جریان های گردابی بوجود آمده در اثر سوئیچینگ فرکانس بالا.

استفاده از راکتانس نشتی کوچک تر باعث افزایش اضافه بار موتور می شود، اما اثرات فیلتر کردن جریان را کاهش می دهد و باید با استفاده از سوئیچینگ فرکانس بالا موتور را با شکل موج هایی تغذیه کنیم که جزء هامونیکی کوچکی دارند.

مشخص شده است که با افزایش فرکانس سوئیچینگ تلفات آهنی کاهش کمی می یابند. از این رو دیدگاه عناصر سوئیچینگ سریع به عنوان راه حل مناسب برای موتور در نظر گرفته می شود.

در جدول (۵-۵) مقایسه ای بین یک موتور صنعتی که از تولید معمولی بدست آمده و یک موتور طراحی شده با در نظر گرفتن ملاحظات فوق، انجام گرفته است.

جدول (۵-۵) مقایسه بین پارامترهای دو موتور: طرح معمولی و طرح مخصوص

پارامترها	طرح معمولی	طرح مخصوص
توان نامی [کیلو وات]	۱۵	۱۷
گشتاور نامی [نیوتن متر]	۹۸	۷۵
فرکانس نامی [هرتز]	۵۰	۷۴
ولتاژ نامی [ولت]	۳۸۰	۱۳۰
جریان نامی [آمپر]	۳۱	۱۲۰
نسبت طول روتور به قطر روتور (λ)	۱/۱۲	۱/۸
طرز اتصال	ستاره	ستاره
تعداد زوج قطب	۲	۲
تعداد فاز	۳	۳
تعداد شیارهای استاتور	۴۸	۴۸
تعداد شیارهای رتور	۴۰	۴۰
طول هسته [میلیمتر]	۱۸۰	۲۰۵
طول روتور [میلی متر]	۱۶۱	۱۳۵
قطر استاتور [میلیمتر]	۲۶۰	۲۱۶
فاصله هوایی [میلی متر]	۰/۵	۰/۵
مقاومت فاز استاتور [$P.U$]	%۳۳	%۱۶
راکتانس نشتی فاز استاتور (در فرکانس نامی) [$P.U$]	%۸۶	%۴۵
مقاومت فاز رتور [$p.u$]	%۶۲	%۱۶
گشتاور ماکزیمم [$P.U$]	۳	۴
ضریب توان (در توان و گشتاور نامی)	۰/۸۵	۰/۸۳
راندمان (در توان و گشتاور نامی)	۰/۸۹	۰/۸۶
روش خنک سازی	هوای طبیعی	هوای طبیعی

۵-۳) فاکتورهای احیا کنندگی (Regeneration Factors)

اینورتر PWM قابلیت عبور توان دو طرفه را دارد. بدون هیچ اتصال مجددی توان می تواند از ریل سوم قطار برای شتاب گیری یا از قطار به منبع برای کاهش شتاب، جریان یابد. هنگام ترمز الکتریکی قسمت زیادی از انرژی جنبشی قطارهای با شتاب کند شونده می تواند به سیستم توزیع بازگرداننده شود. مقدار توان احیا شده نیاز به آنالیز گسترده سیستم دارد و وابسته به چندین عامل است:

الف) راندمان مجموعه موتور، جعبه دنده و اینورتر که شامل تلفات در مقاومت های خط نیز می شود.

ب) مقاومت ریل سوم و ریل حرکت

پ) ماکزیمم ولتاژ مجاز در ریل سوم هنگام عمل احیا کنندگی.

ت) نزدیکی قطارهای در حال شتاب گیری و بارهای دیگر به قطار احیا کننده.

ث) ماکزیمم ولتاژ اینورتر و موتور هنگام ترمز.

به خاطر محدودیت های عملی مقاومت های ریل سوم و ریل حرکت، افزایش ولتاژ در قطار احیا کننده

جهت عبور جریان از طریق ریل به بار لازم است. این افزایش ولتاژ با افزایش جریان و فاصله تا بار

بیشتر می شود. بیشترین ولتاژ ریل سوم توسط آنالیز و تست تعیین می شود. یک اینورتر که توان AC را

در حالت موتوری به موتور القایی تحویل می دهد و توان را هنگام ترمز احیا کننده دریافت می کند،

ظرفیت کموتاسیون جریانی دارد که با ولتاژ ورودی تغییر می کند. هنگام ترمز احیا کننده با قرار دادن

یک مقاومت سری بین منبع توان DC و اینورتر ولتاژ ورودی زیاد می شود. شکل (۲-۵). بنابراین سطح

ولتاژ بیشتر از منبع DC شده و ظرفیت کموتاسیون جریان نیز افزایش می یابد. در نتیجه تولید توان

بیشتر شده و اثرات ترمزی بهتر را بدون ابعاد اینورتر یا موتور بدنبال خواهد داشت. اما با چنین سیستمی

هنگام عمل احیا کنندگی مقداری توان در مقاومت تلف می شود. در حالت موتوری این مقاومت اتصال

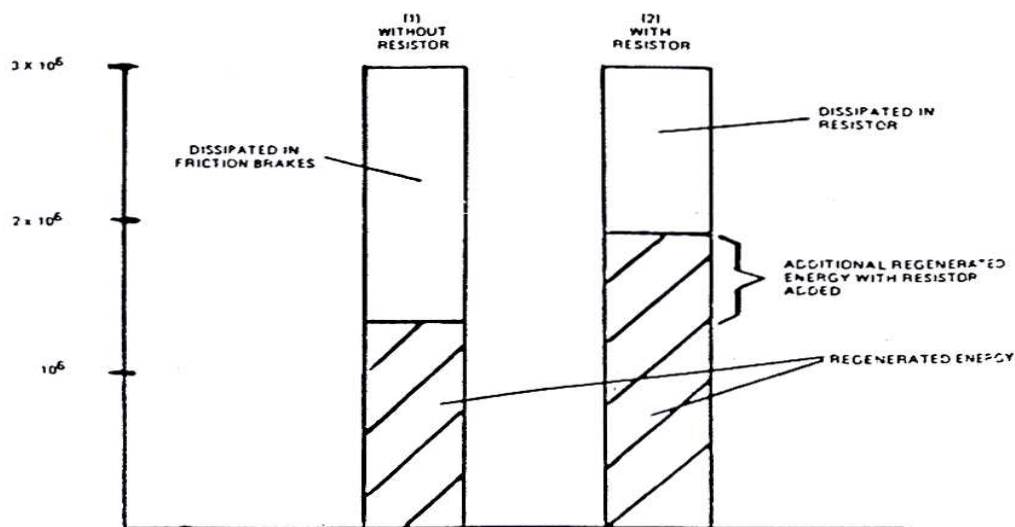
کوتاه می شود تا عبور جریان به موتور آسان شود.

در عمل بیشترین عبور توان در حالت ترمزی اتفاق می افتد. بنابراین مد ترمزی ابعاد سیستم را مشخص می کند.

اگر بخواهیم از مقاومت بین اینورتر و خط استفاده نکنیم در این صورت باید توان ترمزی در ولتاژ خط با ۵۵ درصد جریان بیشتر منتقل شود که این سیستم به مدارهای کموتاسیون بزرگتر و نیز نیمه هادی قدرت بزرگتری نیاز دارد. بنابراین هزینه، ابعاد و وزن تجهیزات قطار افزایش می یابد.

نمودار میله ای شکل (۵-۶) دو طرح اینورتری را با توجه به قابلیت احیا کنندگی شان با هم مقایسه می کند. اینورتر (۱) برای رسیدن به نیازهای موتوری طراحی می شود. ولی هیچ ظرفیت اضافی برای ترمز احیا کننده ندارد. این طرح ماکزیمم $P.U.$ ۱ را دارد که توان ترمزی را محدود می کند بطوریکه بیش از ۵۸ درصد انرژی می بایست توسط ترمزهای مکانیکی جذب شود.

اینورتر (۲) مقاومت های سری را بکار می برد و باعث می شود ولتاژ اینورتر ۵۵ درصد و توان آن ۲۴۰ درصد افزایش یابد. نتیجه آن است که جریان احیا شده ۳۰ درصد بیشتر شده و انرژی که به خط باز نگشته است در مقاومت سری تلف شود. بنابراین ترمزهای سایشی به مقدار کمی کاهش می یابد.



شکل (۵-۶) مقایسه احیاء کنندگی دو اینورتر

اگر قطارهایی که در حالت موتوری کار می کنند در نزدیکی موجود نباشند تا جریان احیاء شده را جذب کنند، می بایست از ترمزهای اضافی از قبیل ترمزهای دینامیکی و سایشی استفاده شود. مزیت ترکیب ترمزهای سایشی و احیاء کننده این است که وزن و حجم اشغال شده مقاومت های ترمز دینامیکی در قطار را ندارند. ترکیب ترمزهای احیا کننده با ترمزهای دینامیکی لازم می دارد که برخی وسایل فراهم شوند تا جریان را بین خط و مقاومت های ترمزی تقسیم کنند. یک نمونه از این ابزار مقاومت های پله ای است که با توجه به تغییر شرایط پذیرش خط در مراحل مختلف سوئیچ می شوند.

مقاومت های ترمز دینامیکی را می توان با استفاده از ایستگاههای فرعی پذیرا (*Receptive Substation*) جایگزین نمود تا ترمز احیا کننده بوجود آید.

ایستگاه های فرعی یا با استفاده از یکسو کننده های مبدل تریستوری کنترل شده (*Controlled Thyristor Inverting Rectifiers*) و یا با استفاده از مقاومت های طرف راه (*Way Side*) بصورت پذیرا در می آیند. در حالت اول، عمل تبدیل ایستگاه فرعی توان را به سیستم *AC* انتقال می دهد. در حالت بعدی، مقاومت ها بطور اتوماتیک و در پاسخ به افزایش ولتاژ خط به دو سر خط وصل می شوند تا جریان احیا شده اضافی که نمی تواند بوسیله قطارهای در حال شتاب گیری جذب شود را جذب کند. روش اخیر با ایستگاه های فرعی یکسو کننده دیودی انجام می شود.

۴-۵) بررسی نمونه عملی

حال به بررسی یک نمونه عملی از موتور تراکشن برای راه آهن می پردازیم که توسط قسمت تحقیق و توسعه راه آهن انگلستان ساخته شده. این نوع موتور، موتور القایی با محور لوله ای (*Tubular - axle*) نامیده می شود و برای قطار مسافر بری *APT-E* مناسب می باشد. این موتور تراکشن یک ماشین القایی وارونه (*Inside - out*) است که با این محور لوله ای ساخته شده و رتور در داخل لوله محوری (*Axle - Tube*) بسته می شود و به دور استاتور می چرخد و چرخها را

مستقیماً و بدون چرخ دنده به حرکت در می آورد. این شکل موتور باعث سادگی مکانیکی می شود زیرا جعبه دنده و اجزاء انتقال گشتاور حذف می شوند. همچنین موتور توسط ریل پشتیبانی می شود. سادگی مکانیکی باعث کاهش هزینه اولیه می گردد که همین کافی است تا هزینه اضافی اینورتر را در خیلی از کاربردها بپوشاند. در وضعیت هایی که شکل درایو پیچیده است انتخاب *TAIM* ها باعث کاهش هزینه می شود.

۵-۴-۱) نیازهای عملکردی

گشتاور لازم برای موتور، توسط مشخصه های عملکردی قطاری که موتور در آن کار می کند تعیین می شود. برای موتور فوق اهداف طراحی بدین صورت بوده اند:

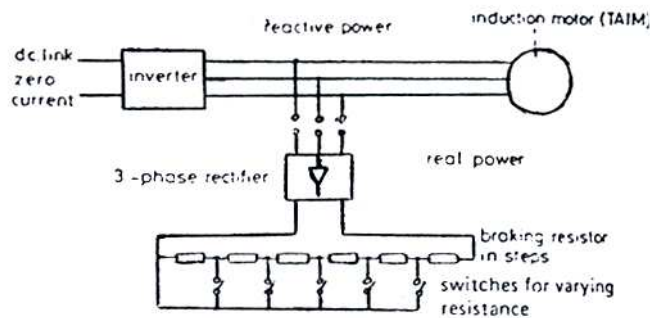
الف) شتاب اولیه 0.7 متر بر مجذور ثانیه با یک بار محوری 16 تن که متناظر با نیروی کششی 11 کیلو نیوتن می باشد.

ب) در سرعت های بالاتر، توان موتور بستگی زیادی به قدرت اینورتر محرک آن دارد. در ماکزیمم سرعت نیروی کششی بایستی به اندازه کافی باشد تا بر کشش (*Drag*) قطار غلبه کند. معمولاً 2 کیلو نیوتن در 200 کیلومتر بر ساعت انتخاب شده است و این متناظر با توان خروجی 111 کیلو وات می باشد.

۵-۴-۲) نیازهای ترمزی

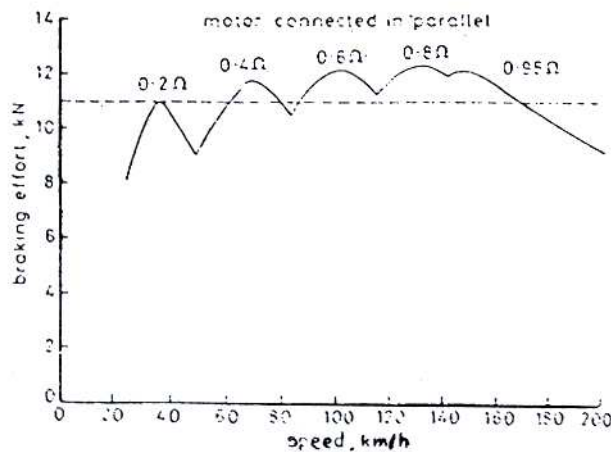
موتور می بایست نیروی کامل ترمزی را از سرعت کامل تا پایین 50 کیلومتر بر ساعت انجام دهد که در این نقطه ترمزهای سایشی عمل می کنند. نیروی ترمزی 11 کیلو نیوتن را می توان در تمام سرعت ها مشخص کرد. بنابراین توان در سرعت کامل 611 کیلو وات است و این مقدار توان بیشتر در بانک های مقاومتی تلف می شود تا اینکه به شبکه باز گردد. به دلایل اقتصادی نیازهای ترمزی نباید افزایش قابل توجهی در ظرفیت اینورتر ایجاد کنند و بنابراین سیستم ترمزی شکل (۷-۵) را در نظر می گیریم. توان حقیقی به طور مستقیم به بانک مقاومتی رفته و اینورتر بصورت یک منبع توان راکتیو که تحریک موتور

را ایجاد می کند بکار می رود. برای رسیدن به ۱۱ کیلو نیوتن موتور می بایست نزدیک اشباع کار کند چون ولتاژ سیستم متناسب با فرکانس است. برای ثابت نگاهداشتن گشتاور، توان می بایست متناسب با سرعت تغییر کند و این کار با تغییر مقدار مقاومت با سرعت بدست می آید.



شکل (۵-۷) دیاگرام شماتیکی سیستم ترمزی

منحنی های بدست آمده برای نیروی ترمزی بر حسب سرعت و برای مقاومت های مختلف در شکل (۵-۸) نشان داده شده اند.



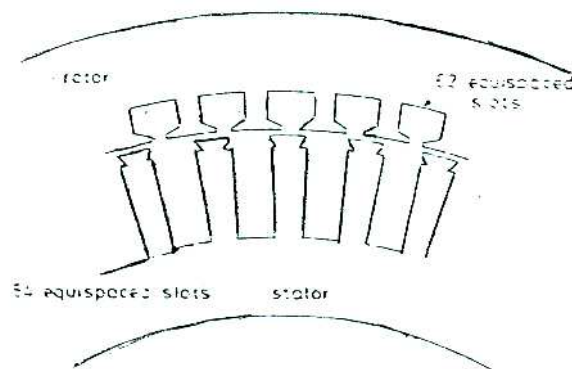
شکل (۵-۸) منحنی پیش بینی شده برای نیروهای ترمزی

حدود جریان و ولتاژ اینورتر، ۲۹۵ آمپر و ۵۰۰ ولت در نظر گرفته شده است.

عوامل گوناگون امکان ترمز گیری را تا توقف کامل و بدون تغذیه خارجی ممکن نمی سازند. موتور القایی یک ماکزیمم قابلیت گشتاور دارد که حاصل ضرب آن در سرعت رتور ظرفیت توان ماکزیمم را نتیجه می دهد. با کم شدن سرعت موتور توان ورودی به چرخ ها کمتر از تلفات سیستم شده و امکان ترمز خود تحریک (*Self-excited*) از بین می رود. همچنین تأخیری بین افزایش انرژی بازگشتی و تغییر فرکانس وجود دارد که باعث پایداری کمتر سیستم می شود. جلو افتادگی فاز با بکار بردن فیدبک از جریان حلقه *DC* می تواند این اثر را بهبود بخشد.

۵-۴-۳) طراحی الکتریکی

در اینگونه موتور، استاتور ۵۴ شیار باز و رتور ۶۴ شیار نیمه بسته همانند شکل (۹-۵) دارد. تحمل شیار استاتور توسط محدودیت های طراحی مکانیکی و تحمل شیار رتور توسط فضای شعاعی در دسترس محدود می شود.



شکل (۹-۵) شیارهای استاتور و رتور *TAIM*

سیم پیچی استاتور ۲ لایه ۳ فاز است. تعداد دورهای موجود در یک فاز پارامتر مهمی است که بر اندازه اینورتر مورد نیاز تأثیر می گذارد. با ولتاژ حلقه *DC* ریل سوم ۶۵۰ ولت، ولتاژ خروجی خط اینورتر در

حدود ۴۳۰ ولت مؤثر در بار کامل می باشد. اینورتر حدود ولتاژ جریان ثابتی دارد، در حالیکه نیازهای موتور با سرعت تغییر می کند. بنابراین اینورتر و موتور در تمام محدودیت سرعت با هم هماهنگ نمی باشند مگر اینکه برای اینورتر مقدار نامی بیشتری انتخاب شود. این مشکل را می توان تا حدودی با استفاده از تغییرات شکل سیم بندی و کاهش تعداد دورهای سری در فاز از بین برد. به عنوان مثال می توان تغییر شکل سری، موازی انجام داد. در حالت موتوری در سرعت های پایین، موتور بصورت سری و در در سرعت های بالا موتور به صورت موازی بسته می شود.

در حالت های ترمزی موتور در سرتاسر محدوده سرعت بصوت موازی بسته می شود. برای رسیدن به نیروی کششی ۱۱ کیلو نیوتن در ۲۰۰ کیلو متر بر ساعت، جریان راکتیو لازم می بایست ۲۹۵ آمپر باشد. بنابراین اینورتر ۲۹۵ آمپری در ۴۳۰ ولت یعنی ۲۲۰ کیلو وات آمپر انتخاب شده. باید توجه کرد که در صورت امکان پذیر نبودن تغییر شکل سیم بندی در سرعت های بالا می بایست یک اینورتر بزرگتر (از نظر مقدار نامی) انتخاب کرد تا نیروهای کششی و ترمزی معین را بدست آوریم.

۵-۴-۴) نوسان های گشتاور

بیشترین فرکانس سیستم با توجه به ماکزیمم سرعت، قطر چرخ و تعداد قطب موتور برابر با ۷۵ هرتز می باشد. در حالت تغذیه با موج سینوسی فرکانس تغذیه ۲ هرتز بهترین شرایط راه اندازی را مهیا می کند. اما طبیعت غیر سینوسی خروجی اینورتر سبب نوساناتی در گشتاور موتور می شود. نوسانهای گشتاور تقریباً متناسب با مربع چگالی شار فاصله هوایی بوده و با صرف نظر از بار، دامنه ۱۰ تا ۱۵ درصد گشتاور بار کامل را دارند. از طرفی سیستم مکانیکی موتور فرکانس طبیعی در حدود ۵۰ هرتز دارد. به خاطر اینکه فرکانس نوسانات گشتاور از ۱۲ تا ۴۵۰ هرتز می باشد، رزونانس مکانیکی بوجود آمده و گشتاورهای بزرگ مخرب ایجاد می شود. در عمل فرکانس طبیعی قسمت مکانیکی را به ۱۲ هرتز کاهش می دهند. همچنین حداقل فرکانس سیستم اینورتر را تا ۳ هرتز افزایش می دهند تا حداقل

**جهت خرید فایل word به سایت www.kandoo.cn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۰۵۱۱ تماس حاصل نمایید**

فرکانس نوسان گشتاور ۸۸ هرتز شده و از رزونانس مکانیکی جلوگیری گردد. در نتیجه نیروی کششی به

۸ کیلو نیوتن کاهش یافته ولی در سرعت ۲/۵ کیلومتر بر ساعت این مقدار به مقدار مطلوب یعنی ۱۱

کیلو نیوتن می رسد.

www.kandoo.cn.com
www.kandoo.cn.com
www.kandoo.cn.com

فصل ششم

درایوهای تراکشن اینورتری پیشرفته و

کنترل آنها

۶-۱) سیر تکامل درایو AC در سیستم های تراکشن

در سال ۱۹۷۰ لوکوموتیو برقی - دیزلی **DE2500** عملی و موثر بودن سیستم درایو AC قطار با تغذیه اینورتر را به اثبات رساند. کمپانی **ABB** بر روی اینورتر منبع جریان (**CSI**) و اینورتر منبع ولتاژ (**VSI**) آزمایش های خود را انجام داد و پس از ارزیابی به این نتیجه رسید که اینورتر منبع ولتاژ بهترین گزینه برای سیستم درایو قطار می باشد علت اصلی این موضوع آن است که اینورتور منبع جریان احتیاج به دوامبدل (**Converter**) دارد؛ یکی برای تولید منبع جریان ثابت و دیگری برای تولید شکل موج های سه فاز، در حالیکه اینورتر منبع ولتاژ تنها نیاز به یک اینورتر برای تولید ولتاژ متغیر و فرکانس متغیر (**VVVF**) دارد که باعث حذف مقدار قابل توجهی از سخت افزار می شود.

سیستم های عمومی نیروی محرکه برای وسایل نقلیه الکتریکی شامل دو موتور در هر اینورتور منبع ولتاژ می باشد ولی تعداد اینورترها در هر وسیله و تعداد موتورها در هر اینورتر با توجه به مسایل اقتصادی، نوع عملکرد و محدودیت های فضا تعیین می شود در طول توسعه تکنولوژی درایو AC محدودیت های توان وسایل نیمه هادی کاربرد تکنولوژی AC را غیر اقتصادی می ساخت.

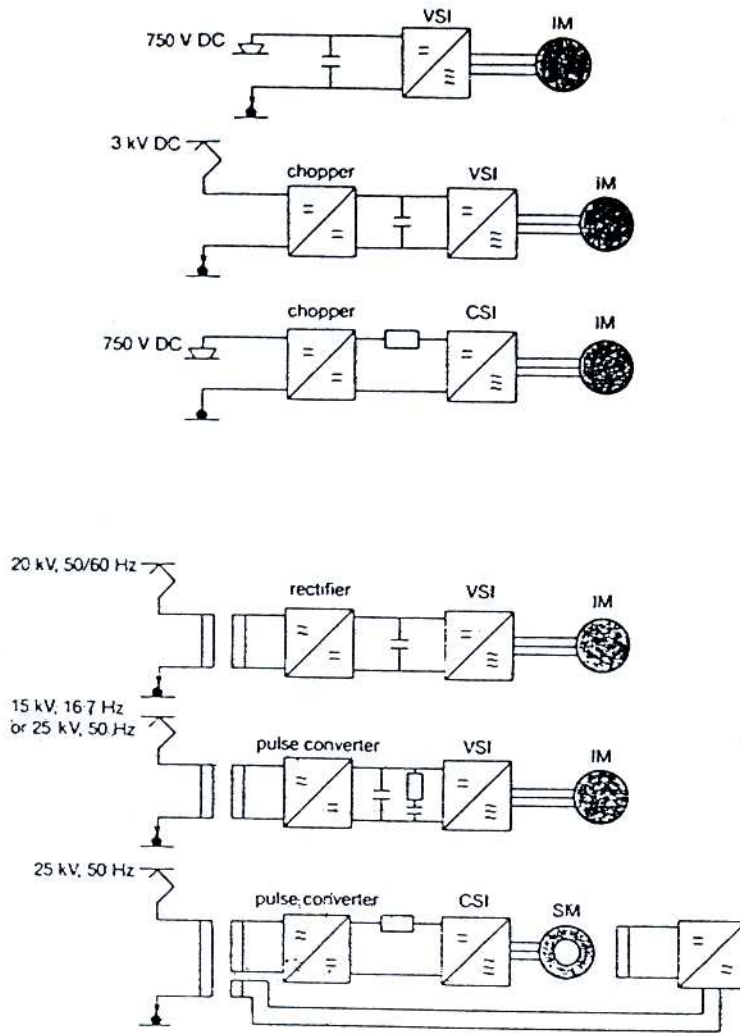
پیشرفت نیمه هادی های قدرت از سال ۱۹۷۰ به بعد منجر به تولید ابزارهای نیمه هادی با توان نامی و ولتاژ بیشتر گردید که این باعث تجاری شدن درایو AC به عنوان یک تکنولوژی جدید در صنعت حمل و نقل گردید.

در سال ۱۹۸۴ کمپانی های **ABB**، **Amtrak** برنامه آزمایشی بر روی محرکه AC لوکوموتیوهای مسافری را آغاز کردند در سال ۱۹۸۸ لوکوموتیو مسافری با سیستم نیروی محرکه سه فاز توسط **ABB** مورد بهره برداری قرار گرفت این لوکوموتیو نه تنها انتظارات را برآورد ساخت بلکه از حد قابل پیش بینی نیز فراتر رفت. این سیستم درایو با تریستور ساخته شده بود که از نظر هزینه و طراحی مشکل ساز بود.

با پیشرفت و توسعه **GTO** ها که قابلیت تحمل جریان و ولتاژ زیاد را دارند ، به سرعت **GTO** ها جایگزین تریستورها در اینورترهای **AC** شدند که این باعث حذف مدارهی کموتاسیون (خازن ها ، چوک ها و تریستورهای کمکی) شد این امر اساساً اندازه ، وزن ، نویز و هزینه را کاهش می دهد در حالیکه قابلیت اطمینان اینورتر نیز بالا می رود این مزایا در کنار مزایای موتور القایی تکنولوژی درایو **AC** را برای کاربردهای حمل و نقل عملی ساخت .

۶-۲) درایوهای تراکشن موتور القایی

شکل (۱-۶) انواع اصلی درایوهای تراکشن تغذیه شده از مبدل با موتورهای سه فاز را نشان می دهد در راه آهن های تغذیه **DC** موتورهای القایی می توانند از اینورتر منبع جریان یا منبع ولتاژ تغذیه شوند اینورتر منبع ولتاژ (**VSI**) مداری با ولتاژ و فرکانس متغیر (**VVVF**) است و چون معمولاً نیازی به منبع **DC** ثابت ندارد میتواند تحت تغییرات زیاد در ولتاژ خط تراکشن که به طور نمونه می تواند از ۵۰- درصد تا ۲۰+ درصد تغییر کند . کار کند استشنا در این مورد راه آهن های ۳ کیلو ولت **DC** است که در صورت استفاده از اینورتر **VSI** دو سطحی یک مبدل چاپری (**DC-DC(Chopper** **Converter** جهت محدود کردن ولتاژ معکوس بر روی عناصر قدرت مبدل لازم است اینورترهای منبع جریان (**CSI**) همیشه یک پیش مبدل برای ثابت نگهداشتن جریان حلقه نیاز دارند .



شکل (۱-۶) درایوهای تراکشن با موتورهای سه فاز

درایوهای با تغذیه AC مدتی پس از انواع تغذیه DC بوجود آمدند یک مبدل خط ($Line Converter$) برای یکسو کردن ولتاژ AC لازم است درایوهای اولیه که در ژاپن معرفی شدند از یکسو کننده کنترل شده فاز ($Phase - Controll Rectifire$) استفاده میکردند که فقط ترمز دینامیکی را ایجاد میکردند درایوهای بعدی از یک مبدل پالس چهار ناحیه ای ($Four- Quadrant Pulse Converter$) کنترل شده به وسیله PWM استفاده می کردند که ضریب توان را نزدیک واحد نگه

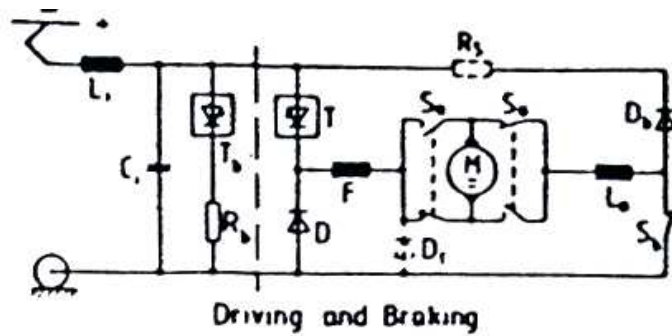
داشته و قادر به احیا کنندگی توان بودند برای این مدار به یک فیلترهارمونیکی مرتبه دوم در حلقه DC نیاز است

در شکل (۱-۶) یک درایو ماشین سنکرون با توان بالا و با تغذیه CSI نیز نشان داده شده که در فرانسه بکار گرفته شده است مزیت این درایو کموتاسیون خودی عناصر اینورتر است بنابراین میتوان در آن از تریستورهای استاندارد استفاده کرد
تمامی درایوهای احیاء کننده ترمزدینامیکی یک مقاومت که با چاپر کنترل می شود در اختیار دارند این مقاومت برای مواقعی است که خط تراکنش قادر به پذیرفتن انرژی احیاء شده نیست .

۶-۲-۱) چاپر DC (DC Chopper)

یک مدار چاپر در شکل (۲-۶) نشان داده شده است نوسانات ولتاژ سیم بالا سری و جریان های هارمونیکی توسط فیلتر ورودی ($Li-Ci$) حذف می شوند. چاپر با تریستور کموتاسیون اجباری T که به دیود هرزگرد D و سلف صاف کننده L_a متصل شده است به همراه دیود اضافی D_b و یک سوئیچ ترمزی - موتوری S_b به صورت اتصال پلی تکمیل می شود .

اغلب یک مقاومت ترمزی R_b در دو سر ورودی قرار داده می شد که به یک تریستور ساده یا یک چاپر مقاومتی T_b وصل می شود این مدار فقط وقتی وصل می شود که خط تغذیه نتواند تمام توان ترمزی را دریافت کند . برای ترمز در سرعت بالا گاهی اوقات یک مقاومت سری R_s می تواند جهت کاهش ولتاژ ترمزی زیاد تولید شده توسط ماشین در نظر گرفته شود .



شکل (۲-۶) مدار چاپر برای وسایل نقلیه

در موتورهای سری تضعیف میدان معمولاً توسط کنتاکتورها و مقاومت های موازی با سیم پیچ میدان انجام می شود (در این موتورها چاپرهای موازی مخصوص نیز مورد استفاده میباشند) در حالت ترمزی عبور جریان معکوس با توجه به میدان F و به وسیله سوئیچ های S_a انجام می شود اما در سرعت جریان میدان زیاد ولتاژموتور می تواند تا بالای ولتاژ ورودی افزایش یابد . بنابراین چاپر قابلیت کنترل را از دست میدهد و می توان با استفاده از دیود D_f این اثر را از بین برد .

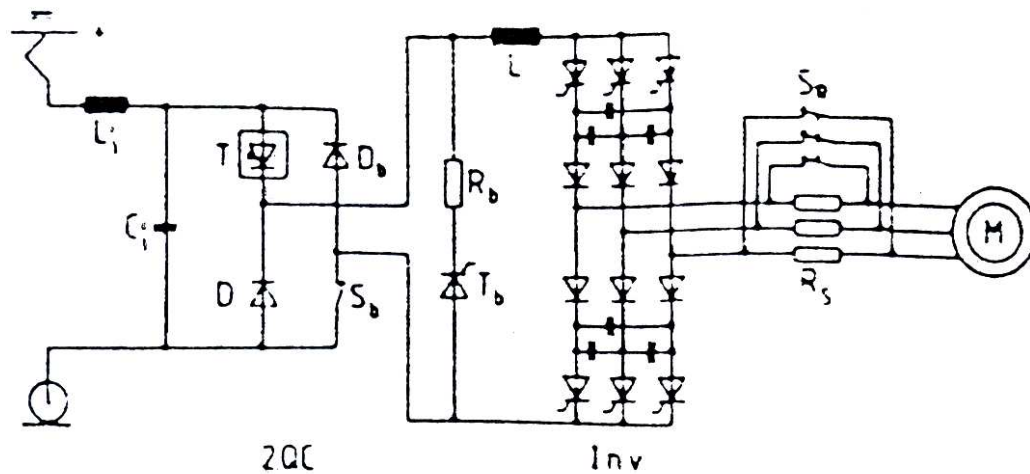
۲-۲-۶) درایوهای تراکشن اینورتر منبع جریان تغذیه DC

(DC-Fed Current Source – Inverter traction Drives)

CSI از یک منبع DC که دارای قابلیت جریان ثابت می باشد تغذیه می شود برای کاربردهای تراکشن به یک پیش مبدل چاپر برای ثابت نگه داشتن جریان منبع در حلقه DC نیاز است و جریان می بایست از طریق سیکل کاری چاپر تأمین شود چاپر احتیاج به ترستورهای با پاسخ تند ندارد و نیز قابلیت های اتصال کوتاه خوبی دارد و از آنجایی که جریان خط زمان صعود بزرگی دارد با مسدود کردن مبدل می توان از رسیدن جریان حلقه به سطح خطرناک جلوگیری کرد .

بدلیل کارکرد مدار با کموتاسیون طبیعی (خط) نیمه هادیهای قدرت میبایست در برابرولتاژ معکوس مقاومت کنند و لازم است که از ترستورهای مرسوم به جای **GTO** استفاده شود بهر حال تلفات توان کم و گشتاور راه اندازی بالاست.

در شکل (۳-۶) مدار قدرت یک **CSI** سه فاز نشان داده شده است فیلتر ورودی (**Li, Ci**) و چاپر ورودی (**Sb, Db, D, T**) متناظر با شکل (۳-۶) میباشند.



شکل (۳-۶) سیستم اینورتر منبع جریان با تغذیه DC

با در نظر گرفتن قدرت ترمزی زیاد متروی شهری می توان مقدار نامی مبدل را با توجه به ملزومات ترمز اضطراری تعیین کرد مقاومت های ترمزی سری **Rs** در حالت موتوری توسط کنتاکتورهای **SR** اتصال کوتاه می شوند. این مقاومت ها ولتاژ ترمزی را برای اینورتر کاهش میدهند اما مقدار نامی اینورتر با توجه به ماکزیمم ولتاژ لحظه ای تعیین می شود و با در نظر گرفتن شکل موج مستطیلی جریان مقدار پرش های ولتاژ کاهش می یابد کنترل جریان حلقه بسته لازم است زیرا نقطه کار نامی موتور القایی در قسمت پایدار مشخصه گشتاور سرعت است.

اساس کار شامل ثابت نگه داشتن شار موتور از طریق کنترل جریان مغناطیس کننده است که فرکانس رتور و جریان منبع به عنوان متغیر به کار می‌روند در سرعت های بالاتر از سرعت پایه، با افزایش فرکانس منبع و ثابت نگه داشتن ولتاژ حلقه و جریان منبع عملکرد تضعیف میدان و بنابراین عملکرد توان ثابت میسر می‌شود در یک سرعت معین فرکانس رتور در مقدار نامی نگه داشته می‌شود از این رو موتور در جریان ثابت نیاز به گشتاور بزرگتری نسبت به مقدار گشتاور شکست (*Break Down Torque*) دارد، برای جلوگیری از ایست موتور می‌بایست جریان کاهش داده شود.

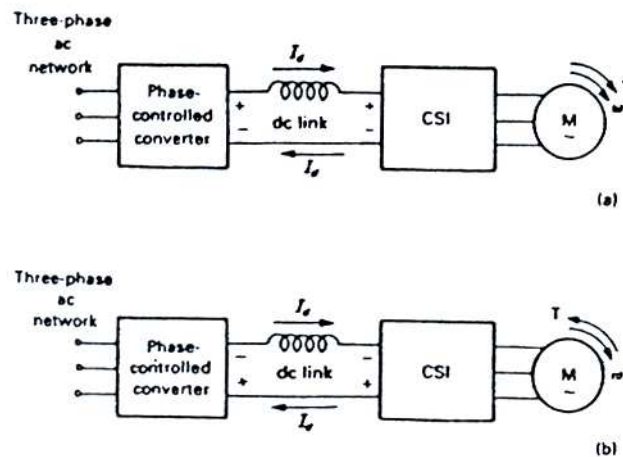
اینورتر منبع جریان، ریپل گشتاوری در شش برابر فرکانس نامی ایجاد میکند و در سرعت پایین میتواند باعث رزونانس مکانیکی شود با کموتاسیون تکراری بین دو فاز (*Repeated Alternating Commutation*) می‌توان این مشکل را برطرف ساخت با این کار دامنه ریپل گشتاور کاهش نمی‌یابد ولی فرکانس به مقادیر بالاتر شیفته شده می‌شود که در این صورت سیستم مکانیکی تضعیف خوبی ارائه می‌دهد بنابراین راه اندازی راحت و عملی می‌شود.

CSI در درایوهای تراکشن *IM* بر روی ریل سبک (*light*) تغذیه *DC* راه آهن های مترو در آلمان و سوئد و بر روی خط اصلی ۳ کیلو ولت *DC* در راه آهن آفریقای جنوبی بکار رفته است به عنوان مثال قطار زیر زمینی در *Munich* با یک درایو *CSI* چاپری که تغذیه کننده ۴ موتور تراکشن است تغذیه می‌شود هریک از موتورها توان نامی ۱۸۰ کیلووات را دارا می‌باشند وزن قطار ۵/۵ تن و سرعت ماکزیمم آن ۸۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد درایو در لحظه شروع ۱/۵ کیلو نیوتن نیروی کششی تولید کرده و با ولتاژ تغذیه ۷۵۰ ولت *DC* (۳۰- تا ۲۰+ تغییر) کار می‌کند.

۱-۲-۲-۶) ترمز احیاء کننده در درایوهای اینورتر منبع جریان

در درایو *CSI* ولتاژ ترمینال *DC* با بارگذاری اینورتر تغییر می‌کند. در موتور بدون بار ولتاژ *DC* اینورتر نزدیک به صفر است ولی در بار کامل ولتاژ حلقه *DC* بیشترین مقدار را دارد.

هنگام احیاء‌کنندگی جهت جریان ثابت بوده و جهت ولتاژ حلقه DC تغییر می کند بنابراین جهت ولتاژ خروجی مبدل DC هم تغییر می کند شکل (۶-۴) زاویه تأخیر مبدل نیز بیشتر از 90° درجه می شود (بوسیله حلقه کنترل) ، تا اینکه مبدل تبدیل به اینورتر شود و انرژی به شبکه بازگردانده شود بنابراین به اینورتر دومی جهت بازگرداندن انرژی به شبکه نیاز نیست .



شکل (۶-۴) وضعیت های حلقه DC یک درایو اینورتر منبع جریان

پس از CSI بطورذاتی قابلیت احیا کنندگی دارد با تغییر ترتیب فاز خروجی اینورتر میتوان جهت چرخش موتور را عوض کرد . بنابراین درایو CSI قادر به کار در چهار ناحیه است.

۶-۲-۳) درایوهای تراکشن اینورتر منبع ولتاژ تغذیه DC

(*DC-Fed Voltage –Source-Inverter Traction Drives*)

۶-۲-۳-۱) اینورتر منبع ولتاژ (VSI)

VSI یک ولتاژ و فرکانس متغیر به بار پسیو یا ماشین اعمال می کند شکل (۶-۵) مدار قدرت یک VSI سه فاز را نشان می دهد که برای وضوح مدارهای آتش و اسنابر آن حذف شده اند عناصر سوئیچینگ ترستورهای GTO هستند . VSI از یک منبع ولتاژ حلقه DC تغذیه می شود که جریان تغذیه توسط

توان منبع محدود می شودزوج های تریستور دیود به صورت سه نیم پل مرتب شده اند که بصورت

سوئیچ هایی هستند که هنگام آتش شدن $\frac{V_{dc}}{2} +$ یا $\frac{V_{dc}}{2} -$ را به هر سیم پیچ موتور اعمال می کنند

مد هدایت π در VSI های تراکشن بکار می رود تا از عناصر استفاده بهینه به عمل آید تریستورهای

GTO به ترتیب $Q1, Q6$ آتش می شوند . بنابراین $\frac{2\pi}{3}$ شیفت فاز بین نیم پل ها وجود دارد و سه

تریستور در هر لحظه هدایت می کنند خروجی ولتاژ خط اینورتر یک موج شبه مربعی با دامنه مساوی

دامنه ولتاژ خط است وقتی یک تریستور قطع می شود جریان از طریق دیود موازی و معکوس مربوط

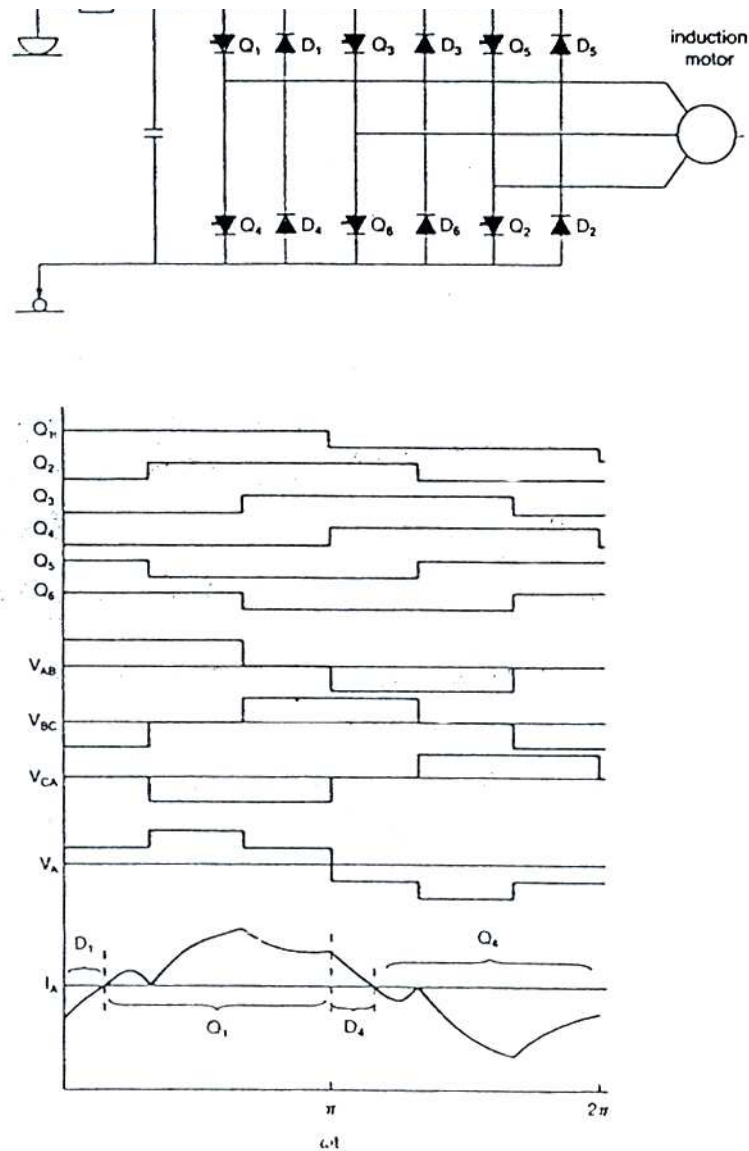
جریان می یابد که باعث می شود بارهای راکتیو توان را احیا کنند دامنه موج فاز همیشه $\frac{1}{3}$ تا $\frac{2}{3}$ ولتاژ

حلقه DC است همچنین هارمونیک های فرد از مرتبه $6n+1$ موجودند (با حذف هارمونیک های

مرتبه سوم) به خاطر اندوکتانس مغناطیس کنندگی بزرگ ماشین ، اجزاء هارمونیکی جریان مغناطیس

کننده و بالطبع شار فاصله هوایی کوچک هستند همچنین ضربان های گشتاور هارمونیک ($Harmonic$

$Torque Pulsations$) و هارمونیک های جریان خط پایین می باشند .



شکل (۶-۵) اینورتر منبع ولتاژ مدار قدرت و شکل موج ها

۲-۳-۲-۶ درایوهای تراکشن اینورتر دوسطحی

(Two-Level Inverter Traction Drives)

VSI نشان داده شده در شکل (۶-۵) یک اینورتر دو سطحی است زیرا ولتاژ فاز دو سطح مختلف را می تواند بگیرد و در صورت استفاده از مدولاسیون پهنای پالس (**PWM**)، کنترل **VVVF** در ناحیه شار ثابت می تواند با اتصال مستقیم به خط تراکشن انجام گیرد هر اینورتر معمولاً چندین موتور قفس سنجابی و حتی در صورت مساوی نبودن قطر چرخ عملکرد فوق به بهترین نحو انجام خواهد شد.

بنابراین بزرگترین چرخ می بایست بیشترین گشتاور را انتقال دهد که سائیدگی (*Abrasion*) را تنظیم خواهد کرد همچنین هیچ چرخ نمی تواند به تنهایی دچار لغزش سرعت بالا شود چون اگر یک موتور به تنهایی شتاب بگیرد گشتاور آن به سرعت کاهش می یابد این رفتار موتورهای قفس سنجابی موازی ، کنترل لغزش را آسان می کند .

برای اینکه موتور القایی بتواند به عنوان یک ژنراتور کار کند ، فرکانس اینورتر از سرعت ماشین پایین آورده شده و زاویه بار بین $-\frac{\pi}{2}$ ، $+\frac{\pi}{2}$ بوده و نیز دیودهای قدرت برای بیشترین زمان هدایت خواهند کرد بنابراین جهت جریان معکوس خواهد شد ولی جهت ولتاژ ثابت خواهد ماند اگر بار پذیرنده (*Receptive*) نباشد ولتاژ حلقه *DC* زیاد شده و می بایست یک مقاومت ترمز دینامیکی جهت جذب توان اضافی سوئیچ شود چون در ناحیه شار ثابت ، ولتاژ حلقه *DC* می تواند ثابت نگه داشته شود توسط *PWM* می توان گشتاور ترمز دینامیکی را تا سرعت صفر ثابت نگاهداشت .

برای راه آهن های *DC* ، اینورترهای دو سطحی بطور وسیعی بر روی ریل سبک، مترو و راه آهن های خط اصلی با ولتاژ های تغذیه تا ۱/۵ کیلو ولت *DC* در اروپا، ژاپن و شمال آمریکا بکار می روند.

۶-۲-۳) درایوهای تراکشن اینورتر سه سطحی

(*Three- Level Inverter Traction Drives*)

اینورتر دو سطحی فقط در سیستم هایی با ولتاژ کمتر از ۲/۸ کیلو ولت میتواند مستقیماً به خط تراکشن متصل شود که این موضوع کاربرد آنها را تا سیستم های ۱/۵ کیلو ولت *DC* محدود می کند.

توسعه اینورتر سه سطحی اتصال خط با کنترل *NPC* (*Neutral point Clamped*) ارائه دهنده یک روش ماندگار برای راه آهن های ۳ کیلو ولت *DC* است، زیرا در این مدار نیمی از ولتاژ *DC* در دو سر

هر عنصر ظاهر می شود برای تراکشن یک حالت ولتاژ صفر لازم است و اینورتر سه ولتاژ فاز ممکن

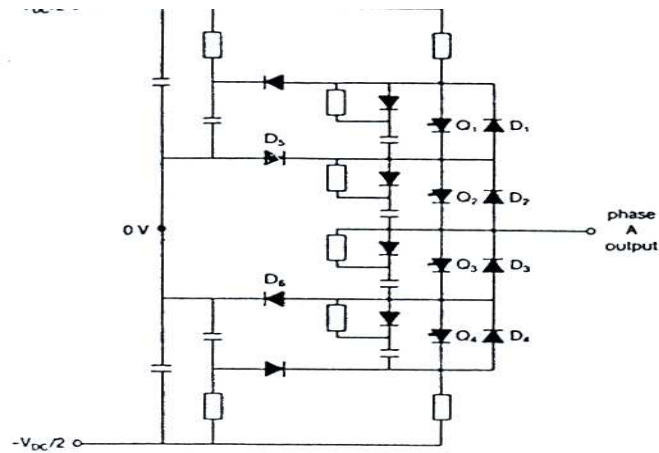
رادارد $\left(-\frac{V_{dc}}{2}, 0, +\frac{V_{dc}}{2}\right)$ که می توانند به ترمینالهای خروجی اینورتر سوئیچ شوند .

شکل (۶-۶) مدار قدرت یک فاز اینورتر NPC سه سطحی را نشان می دهد درحالتی که $Q1$ خاموش $Q2$ روشن است پتانسیل نقطه صفر ($Center - Tap$) از طریق دیود D_s و با جریان مثبت به خروجی A اینورتر وصل می شود .

همانطور که درجدول سوئیچینگ نشان داده شده همیشه دو تا از چهار تریستور خاموش می باشند و تریستورهای باقیمانده ولتاژ حلقه DC را بطور مساوی بین خود تقسیم می کنند .

مزیت بزرگ اینورتر NPC برای تراکشن ریل ، کیفیت بالای شکل موج ولتاژ موتور AC است و این کار میتواند با فرکانس سوئیچینگ پایین (به طور نمونه ۱۰۰ تا ۳۰۰ هرتز) بدست آید در نتیجه رپل جریان منبع DC کاهش یافته (۲۵ درصد کمتر ، به ازای ولتاژ حلقه DC و فرکانس سوئیچینگ یکسان) و ضربان های گشتاور و تلفات اینورتر نیز کاهش می یابند اما سیستم کنترل خیلی پیچیده است و احتیاج به کنترل تنظیم نقطه نوترال می باشد .

اینورتر NPC سه سطحی در درایوهای با قدرت بالا و برای سیستم تراکشن ۳ کیلو ولت DC ایتالیا استفاده شده است .



	$+V_{oc}/2$	0	$-V_{oc}/2$
O_1	1	0	0
O_2	1	1	0
O_3	0	1	1
O_4	0	0	1

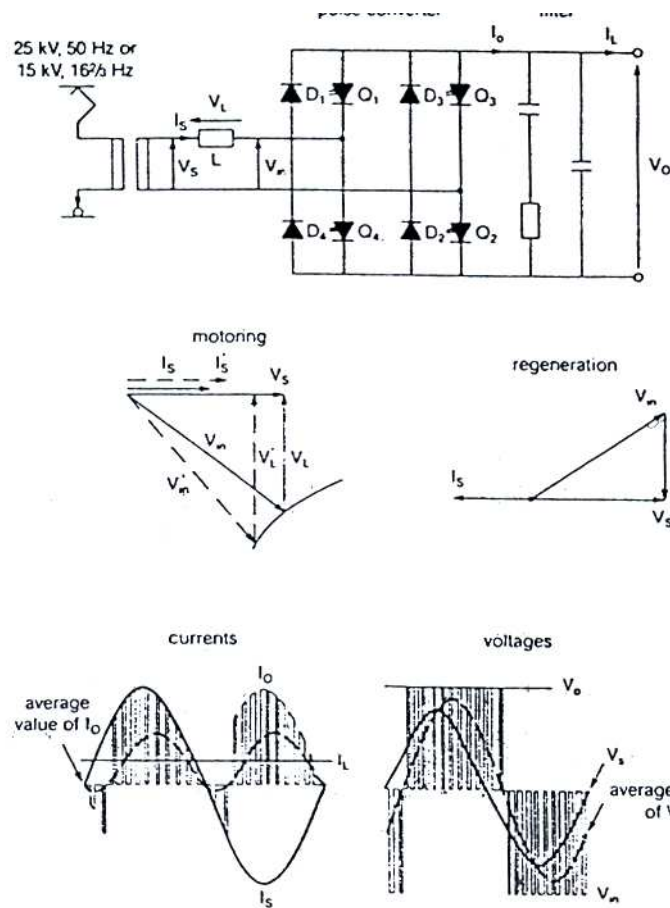
شکل (۶-۶) اینورتر منبع ولتاژ سه سطحی NPC -مدار قدرت و جدول سوئیچینگ

۶-۲-۴) درایوهای تراکشن VSI تغذیه AC مبدل پالس

(Pulse- Converter)

در درایوهای $VSI-IM$ تغذیه AC یک مبدل $AC-DC$ جهت تغذیه حلقه DC لازم است این مبدل پالس چهار ناحیه ای کنترل شده با PWM است که عملکرد ضریب توان واحد با قابلیت احیا کنندگی کامل را مقدور می سازد این مبدل، ابتدا در ژاپن برای قطارهای مسافربری با سرعت بالا بکار گرفته شد و هم اکنون بطور گسترده در اروپا برای لوکوموتیوهای توان بالا بکار می رود.

مدار قدرت و دیاگرام فازوری برای حالت موتور واحیا کنندگی و شکل موج های جریان وولتاژ مبدل چهار ناحیه ای در شکل (۶-۷) نشان داده شده است فلسفه کار مدار، گرفتن توان از خط تراکشن AC یا دادن توان به آن در ضریب توان واحد است همچنین ولتاژ حلقه در مقدار ثابتی نگه داشته می شود این ثابت نگه داشتن باید با صرف نظر از نیاز جریان حلقه DC و تغییرات ولتاژ خط تراکشن باشد.



مبدل مانند یک ترانس با نسبت متغییر عمل می کند که نسبت های ولتاژ و جریان بصورت سینوسی و با سرعت فرکانس خط تغییر می کنند مبدل یک ولتاژ ورودی سینوسی دارد که هم فاز با جریان ورودی است و لازم است که ولتاژ خروجی اش ریپل نداشته باشد.

جریان خروجی یک جزء سینوسی دارد که با VSI داده می شود و یک جزء AC با دو برابر فرکانس منبع دارد که به وسیله فیلتر رزونانسی جذب می شود اندوکتانس خط L علاوه بر محدود کردن ریپل جریان باعث می شود شیفت فاز صحیح بین ولتاژ منبع (V_s) و ولتاژ ورودی مبدل (V_{in}) ایجاد شود تا اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان ورودی (I_s, V_{in}) صفر شود.

در قسمتی از سیکل جهت جریان عکس می شود و بدین وسیله عملکرد مطلوب بدست می آید توان راکتیو مصرفی توسط سلف L از حلقه DC کشیده می شود.

از دیاگرام فازوری در حالت موتور می توان فازور ولتاژ ورودی مبدل V_{in} بعد از یک کاهش پله در ولتاژ منبع V_s دیده می شد وقتی V_s تغییر میکند V_{in} و I_s در نتیجه V_L ، نیز باید تغییر کند تا ضریب توان در مقدار واحد نگاهداشته شود از آنجایی که V_{in} هم تغییر می کند ولتاژ V_o می بایست با تنظیم مدولاسیون تریستورهای **GTO** ثابت نگاه داشته شود .

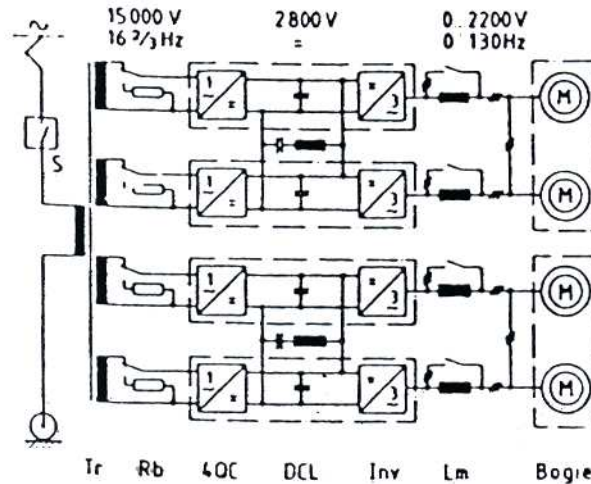
این مدار به طور ذاتی احیا کننده است اگر خطای ولتاژ حلقه به عنوان متغیر کنترل شده به کار رود آنگاه مثبت نشانگر حالت موتوری و مقادیر منفی نشانگر حالت ژنراتوری می باشند .

مزیت های این مدار برای کاربردهای تراکشن ، علاوه بر ضریب توان واحد ، حذف یا کاهش هارمونیکهای جریان خط با انتخاب استراتژی مدولاسیون و توانایی ترمز دینامیکی و احیا کننده می باشد به علاوه ، ولتاژ حلقه **DC** از پیک ولتاژ خط بیشتر می شد بنابراین موج های ولتاژ خط نمی توانند به عناصر قدرت صدمه بزنند . در صورت مواجهه با این موج ها دیودها هدایت کرده و ولتاژ V_{in} را در مقدار ولتاژ حلقه **DC** ثابت نگه می دارند سرانجام اینکه ولتاژ حلقه **DC** ثابت بوده و قابلیت های کموتاسیون مبدل و **VSI** مستقل از تغییرات ولتاژ خط تراکشن هستند و در نتیجه هیچ نیازی به مبدل هایی با مقدار نامی بالاتر نیست .

۶-۲-۵) سیستم نیرو محرکه توان بالای لوکوموتیو **BR120**

سیستم نیرومحرکه لوکوموتیو **BR120** راه آهن آلمان در شکل (۸-۶) مشاهده می شد در این سیستم از اینورتر منبع ولتاژ به همراه مبدل پالس (در شکل با **4QC** نشان داده شده) استفاده شده است . همانطور که در شکل مشاهده می شود لوکوموتیو شامل ۲ بوژی است که هر یک دارای ۲ موتور القایی می باشند توان کششی هر یک از این موتورها نیز ۱/۹ مگاوات می باشد.

همچنین ۴ واحد الکترونیک قدرت شامل مبدل پالس ، خازن صاف کننده (فیلترینگ) و اینورتر سه فاز وجود دارد دو اینورتر هر بوژی که در طرف **DC** موازی می شوند یک مدار جذب کننده معمولی به کار برده و در طرف **AC** نیز پس از اندوکتانس موتور **Lm** موازی می شوند .



شکل (۸-۶) سیستم نیرو محرکه لوکوموتیو BR120

۶-۲-۶ بررسی انواع روش های PWM

(Pulse Width Modulated)

مدار یک اینورتر **PWM** پل سه فاز (**Three – phase Bridge PWM Inverter**) در شکل (۵-۶)

نشان داده شده است منتها ترتیب سوئیچینگ نسبت به اینورتر منبع ولتاژ شش پله یا شبه مربعی (**Quasi – Square-Wave**) که در مباحث قبلی معرفی شد . پیچیده تر است کنترل ولتاژ با مدوله

کردن ولتاژ خروجی اینورتر به دست آید و به ولتاژ حلقه **DC** قابل تنظیم نیاز نیست بنابراین میتوان از

یک یکسو کننده پل غیرکنترل شده استفاده کرد. در اینورترهای **PWM** هدف این است که بریدگیهایی

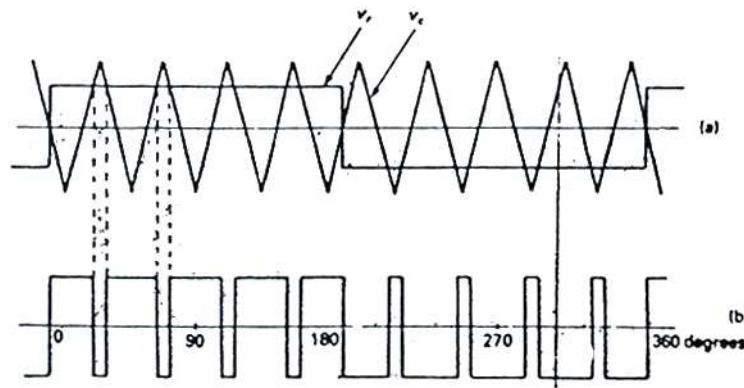
در ولتاژ موج مربعی بریدگی داشته باشیم تا اینکه هارمونیک های سوئیچینگ در فرکانس های بالا باشند

و اندوکتانس موتور هارمونیک های جریان را از بین ببرند.

کنترل فرکانس خروجی ، با تغییر سرعت سوئیچینگ عناصر اینورتر انجام می شود وقتی از PWM استفاده می کنیم هارمونیک های فرکانس پایین در جریان موتور از بین رفته و در نتیجه نوسان های گشتاور ($pulsating\ Torque$) در سرعت های پایین از بین می روند اما به خاطر سرعت سوئیچینگ بالا ، تلفات سوئیچینگ نسبت به اینورتر شش پله افزایش می یابد.

۶-۲-۱) PWM موج مربعی (Square – Wave PWM)

در این روش مطابق شکل (۶-۹) برای هر فاز یک موج حامل ($Carrier\ Wave$) مثلثی با یک موج مدوله کننده سنکرون شده موج مربعی داریم .



شکل (۶-۹) شکل موج های ورودی و خروجی مقایسه کننده یک اینورتر PWM موج مربعی

(a) ولتاژهای ورودی مقایسه کننده

(b) ولتاژ خروجی مقایسه کننده و ولتاژ قطب

ولتاژ خروجی مقایسه کننده مطابق شکل ؛ ولتاژ قطب اینورتر می باشد فرکانس این موج با فرکانس

موج مربعی یکسان است تعداد بریدگیها در یک نیم سیکل توسط نسبت فرکانس حامل به مرجع

(P) تعیین می شود در این شکل $P=9$ می باشد اندیس مدولاسیون m نسبت دامنه موج مربعی V_r

به دامنه موج حامل V_c است که بین صفر و یک تغییر می کند m عرض پالس موج خروجی را

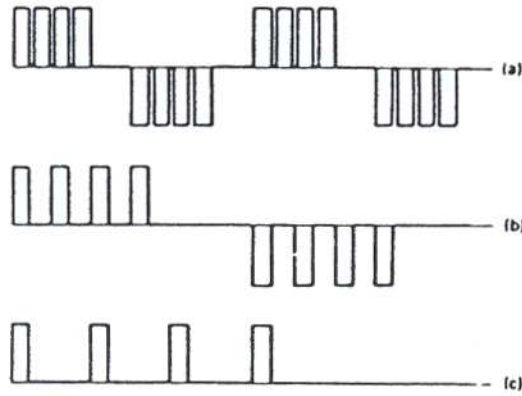
تعیین میکند معمولاً دامنه موج حامل ثابت بوده و دامنه موج اندیس مدولاسیون و ولتاژ خروجی را کنترل می کند اگر m به یک نزدیک شود پالس ها به یکدیگر نزدیک شده و ولتاژ خروجی شش پله خواهد شد .

عملکرد $\frac{V}{f}$ ثابت PWM موج مربعی

در شکل (۶-۹) مشاهده می شود که مدت زمان (*Duration*) هر پالس ولتاژ خط به خط متناسب با اندیس مدولاسیون m و دوره تناوب موج مرجع T است بنابراین مدت زمان هر پالس T_p متناسب با mT یا $\frac{m}{f}$ است .

اگر دامنه موج مرجع با فرکانس متناسب باشد آنگاه $\frac{m}{f}$ ثابت خواهد بود و T_p مستقل از فرکانس ثابت به معنی $\frac{v}{f}$ ثابت خواهد بود .

شکل (۶-۹) تغییرات ولتاژ خط با فرکانس را نشان میدهد در فرکانس پایه اندیس مدولاسیون نزدیک به یک است و ولتاژ خروجی تبدیل به موج شش پله می شود که متناظر با ماکزیمم ولتاژ است پایین فرکانس پایه پالس های ولتاژ جدا هستند ولی مدت زمان پالس ثابت باقی می ماند که $\frac{v}{f}$ ثابت را نتیجه می دهد در فرکانس های پایین اندیس مدولاسیون کوچک است و پالس ها به صورت جدا هستند که این اعوجاج هارمونیکی زیادی را باعث می شود اندکتانس ماشین نیز تأثیر بسیار کمی در صاف کردن جریان در این فرکانس ها دارد برای از بین بردن این اعوجاج هارمونیکی، در فرکانس های پایین یک افزایش $\frac{v}{f}$ انجام می شود (با افزایش اندیس مدولاسیون) در بالای فرکانس پایه عملکرد ولتاژ ثابت با موج ولتاژ خروجی شش پله امکان پذیر می باشد .

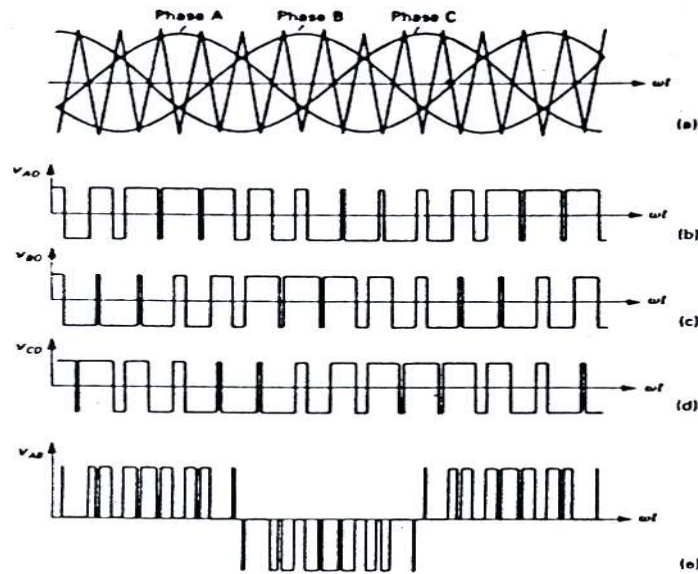


شکل (۹-۶) خروجی اینورتر PWM موج مربعی در حالت $\frac{v}{f}$ ثابت

(a) نزدیک فرکانس پایه (b) نصف فرکانس پایه (c) یک چهارم فرکانس پایه

۶-۲-۶-۲) PWM سینوسی (Sinusoidal PWM)

در اینورتر موج مربعی هارمونیک های مرتبه پایین موج مرجع در ولتاژ خروجی اینورتر ظاهر می شود در حالیکه موتور باید تقریباً با موج سینوسی کار کند بنابراین از یک موج مرجع سینوسی استفاده می کنیم شکل (۱۰-۶) کنترل ولتاژ خروجی با تغییر دامنه موج سینوسی بدست می آید در P های بالا، اینورتر ولتاژ خروجی ای را تحویل می دهد که در آن هارمونیک های غالب از مرتبه بالا هستند چرخش موتور حتی در سرعت های پایین یکنواخت شده نوسانهای گشتاور که در اینورتر شش پله و PWM موج مربعی وجود دارند حذف می شود البته در فرکانس های خیلی پایین ایجاد موج سینوسی با فرکانس پایین مشکل است.



شکل (۱۰-۶) شک موج های ولتاژ یک اینورتر PWM سینوسی سه فاز

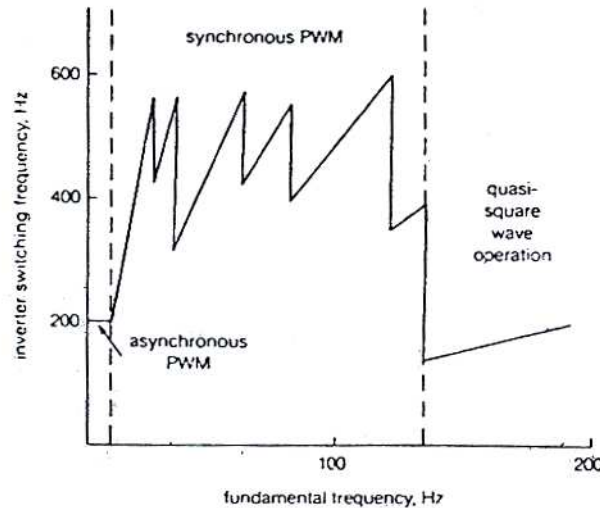
عملکرد $\frac{v}{f}$ ثابت PWM سینوسی

در حالت PWM سینوسی نیز برای اینکه نسبت $\frac{v}{f}$ ثابت داشته باشیم باید اندیس مدولاسیون بطور خطی با فرکانس موج مرجع تغییر کند در فرکانس بالا P کاهش داده می شود تا فرکانس سوئیچینگ اینورتر و در نتیجه تلفات سوئیچینگ کاهش یابد همانطور که فرکانس اصلی کاهش می یابد P در پله های گسسته از قبل تعیین شده افزایش می یابد، تا فرکانس سوئیچینگ اینورتر بین حدود بالا و پایین از پیش تعیین شده برسد .

انتخاب فرکانس حامل معمولاً باتوجه به تلفات کموتاسیون انجام می شود مثلاً اگر نیاز باشد که فرکانس سوئیچینگ تا ۵۰۰ هرتز محدود شود یک موج حامل مثلی با فرکانس ثابت ۵۰۰ هرتز با موج مربع سینوسی مقایسه می شود در این حالت ، نسبت فرکانس موج حامل و موج مرجع عدد غیر صحیحی است با افزایش فرکانس سوئیچینگ می بایست اینورتر به مد کاری شش پله تغییر یابد در سرعت نامی ، روش های PWM به خصوصی انجام می شود تا انتقال تدریجی به حالت شش

پله ، بدون افزایش بیش از حد پرش های ولتاژ میسر گردد . شکل (۱۱-۶) نواحی مدولاسیون گفته

شده در بالا را برای قطار *Eurostar* نشان می دهد.



شکل (۱۱-۶) روش مدولاسیون برای قطار *Eurostar*

۶-۲-۳ PWM با کنترل جریان

(Current Controlled PWM)

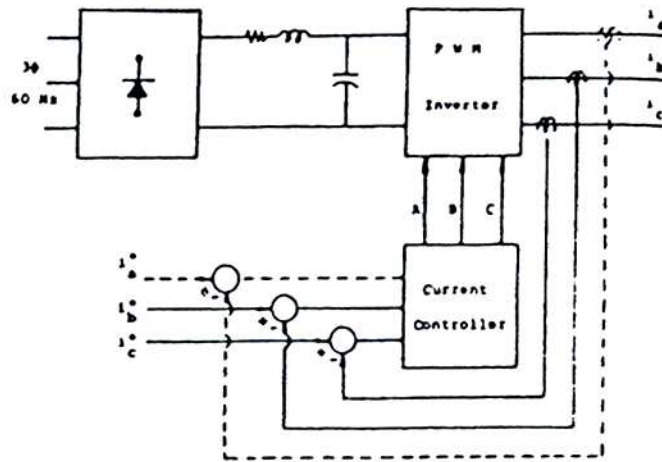
روش های *PWM* به دو دسته کلی تقسیم می شوند دسته اول *PWM* از پیش برنامه ریزی شده نامیده می شود. کلیه روش هایی که تا اینجا مورد بررسی قرار گرفتند از این نوع بودند این دسته روش ها ، پاسخ حالت پایدار (*Steady State*) خوبی دارند ولی پاسخ دینامیکی و حالت گذاری مناسبی ندارند دسته دوم *PWM* کنترل شده با فیدبک لحظه نامیده می شود در این روش ها ، از جریان موتور نمونه برداری می شود و با توجه به سیگنال جریان نمونه برداری شده موج *PWM* به صورت داخل خط *Online* تولید می شود به این ترتیب شکل موج *PWM* تولید شده متناسب با وضعیت موتور خواهد بود بنابراین منطقی است که پاسخ دینامیکی این دسته روش ها خیلی بهتر از

دسته اول باشد ضمن اینکه با یک کنترلر مناسب توان پاسخ حالت ماندگار قابل قبولی نیز بدست آورد.

شکل (۱۲-۶) طرح ساده اینورتر منبع ولتاژ سه فاز $VSI-PWM$ را با استفاده از کنترل کننده جریان نشان می دهد در این شکل مشاهده می شود که سیستم از یک منبع تغذیه DC قدرت (معمولاً کنترل نشده) و اینورتر منبع ولتاژ سه فاز تشکیل شده و یک بلوک کنترل جریان هم وجود دارد که با توجه به فرمان های مرجع ورودی و نمونه هایی از جریان واقعی ، وضعیت اینورتر را کنترل می کند

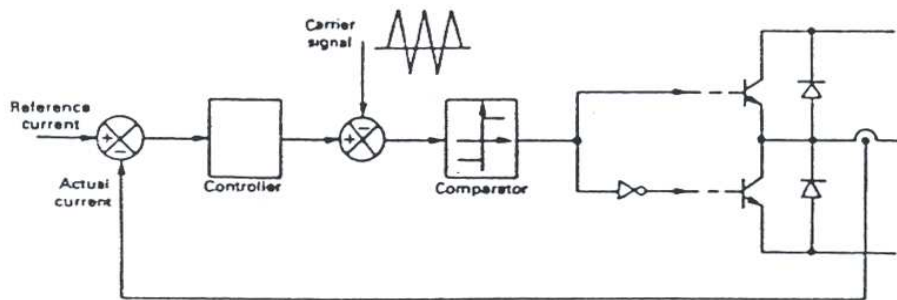
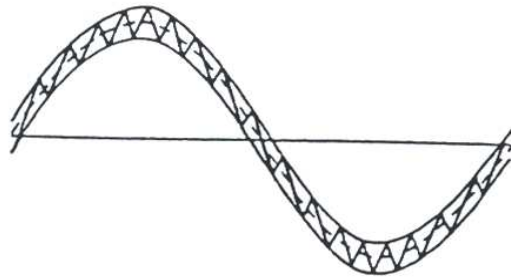
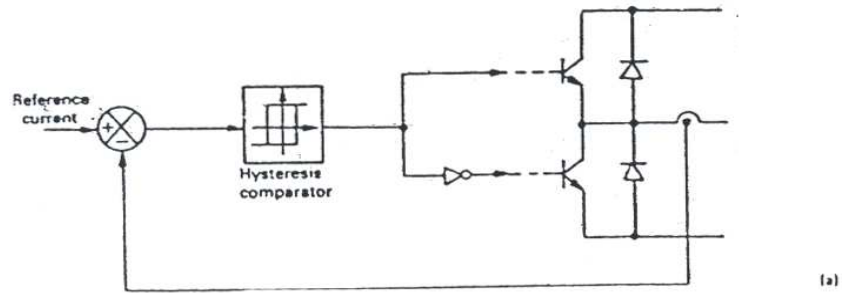
کنترل کننده جریان وظیفه دارد وضعیت سوئیچ های اینورتر را طوری تعیین کند که جریان موتور جریان مرجع ورودی را دنبال کند سیگنال های مرجع ورودی عموماً سینوسی سه فاز متقارن می باشند پس در حالت ایده ال همانند آن است که موتور توسط منبع جریان سینوسی تغذیه شود . از آنجایی که کنترل کننده های جریان بر اساس فیدبک لحظه ای از جریان واقعی مدار ، اینورتر را کنترل میکنند درحالت های گذرا خطای خیلی کمی را نسبت به روش های PWM دسته اول تولید می کنند در صورتی که روش های PWM دسته اول جریان موتور در حالت های گذرا می توانست به چند برابر جریان نامی موتور برسد . در نتیجه اینورتری که برای جریان نامی طراحی شده می بایست تحمل چند برابر جریان را داشته باشد که این مشکل توسط کنترل کننده های جریان بطور قابل ملاحظه ای کاهش یافته و این مسئله باعث می گردد که از اینورترهای قدرت کوچکتر و ارزان تری استفاده شود .

کنترل کننده جریان اشکال مختلفی می تواند داشته باشد معمولاً یک جریان مرجع سینوسی و جریان واقعی موتور به یک مقایسه کننده داده می شود ساده ترین روش خطای مقایسه کننده را برای سوئیچ های اینورتر به کار می برد بطوریکه خطای جریان لحظه ای را محدود کند.



شکل (۱۲-۶) سیستم کنترل کننده جریان PWM در حالت کلی

در شکل (۱۳-۶) a کنترل برای یک بازوی اینورتر به همراه شکل موج تولید شده نشان داده شده است اگر جریان فاز موتور خیلی بیشتر از جریان مرجع باشد عنصر بالایی خاموش و عنصر پایین روشن می شود و سبب می گردد که جریان موتور کاهش یابد و بر عکس مقایسه کننده یک باندهیستریس دارد که انحراف مجاز جریان را از جریان مرجع، قبل از سوئیچینگ اینورتر تعیین می کند در هر سیستم سه فاز معمولاً برای هر فاز اینورتر یک کنترل کننده جریان مستقل وجود دارد



شکل (۱۳-۶) اینورتر PWM با کنترل جریان

(a) کنترل هیستریزیس برای یک بازوی اینورتر

(b) شکل موج جریان تولید شده بوسیله کنترل هیستریزیس

(c) کنترل PWM با فرکانس ثابت برای یک بازوی اینورتر

در روش دیگر خطای جریان با یک موج مثلثی فرکانس ثابت مقایسه می شود شکل (۱۳-۶) C بنابراین خطای جریان به عنوان یک موج مرجع یا مدوله کننده می باشد. سیگنال PWM حاصل یک سیکل کاری آن متناسب با خطای جریان است. مانند قبل سوئیچینگ را کنترل میکند هر فاز یک مدار جداگانه دارد ولی موج دندانان اره ای در هر سه فاز یکسان است و هر بازوی اینورتر در فرکانس موج حامل سوئیچ می شود در صورت داشتن موج مربع سینوسی و نسبت حامل بالا، جریان موتور تقریباً سینوسی میباشد که فقط شامل هارمونیک های مرتبه بالاست مقایسه جریان در شکل (۱۳-۶) C در یک کنترل کننده جریان با جبران P یا PI انجام می شود.

در هر یک از روش های مربوط به شکل (۱۳-۶) برای آن که جریان خروجی بتواند جریان مرجع ورودی را دنبال کند لازم است که ولتاژ DC به اندازه کافی بزرگ باشد این مسئله بویژه وقتی که دامنه ولتاژ ضد محرک القایی EMF زیاد می شود اهمیت بیشتری پیدا می کند بطوریکه با افزایش ولتاژ EMF به جایی می رسیم که کنترل کننده دیگر نمیتواند جریان مورد نظر را تولید کند در این شرایط شکل موج ولتاژ خروجی اینورتر به سمت شکل موج مربعی میل میکند و شکل موج ولتاژ خط نسبت به نول به صورت شبه مربعی درمی آید.

پیوست ۱

مقایسه سیستم های محرک انواع لوکوموتیو و انتخاب

سیستم مناسب برای حمل و نقل ریلی

۱- مقدمه:

در حدود دو قرن است که از شروع اولین وسیله نقلیه ریلی می گذرد و در این مدت تغییرات زیادی بر روی سیستم محرکه لکوموتیوها بوجود آمده است. در حال حاضر سه نوع سیستم محرکه بخاری، الکتریکی و دیزل الکتریکی بیش از انواع دیگر لکوموتیوها متداول هستند. در این فصل ابتدا هر سه سیستم مذکور بطور کامل بررسی شده و سپس مورد مقایسه قرار می گیرند، بنحوی که در نهایت سیستم بهینه ای با توجه به وضعیت مسیر انتخاب شود.

۲- لکوموتیو بخاری:

در این نوع لکوموتیو، از موتور بخار بعنوان سیستم محرکه آن استفاده شده است و یکی از قدیمیترین روشهای بکار رفته در راه آهن برای عمل کشش (*Traction*) می باشد. بطور خلاصه لکوموتیوهای بخاری دارای خصوصیات زیر هستند:

- چنانچه می دانید یک موتور بخار به دو عامل سوخت فسیلی و آب نیاز دارد. بنابراین در اینگونه از لکوموتیوها باید فضایی اضافی جهت حمل سوخت و همچنین منبع آب در نظر گرفته شود.

بدلیل نوع موتورهای بخار و همچنین وجود بویلر در لکوموتیو، جرم آن افزایش می یابد. بدیهی است که این افزایش اینرسی باعث محدودیت هایی در منحنی حرکت قطارها و در نهایت جدول زمانبندی (*Time Table*) حرکت قطارها می شود.

۳- لکوموتیو الکتریکی:

بیش از یک قرن است که استفاده از موتورهای الکتریکی تغذیه شده بوسیله منبع برق خارجی در صنعت حمل و نقل معمول شده است. از طرفی همزمان با پیشرفت صنعت برق تغییرات زیادی برای بهبود موتورهای تراکشن الکتریکی، روشهای کنترل آنها و همچنین روشهای برق رسانی به لکوموتیوهای الکتریکی انجام گرفته است. بطور خلاصه لکوموتیوهای الکتریکی دارای خصوصیات زیر هستند:

- برای تغذیه لکوموتیوها، به پستهای برق و خطوط برق رسانی مجاور مسیر نیاز دارند و بنابراین دارای هزینه سرمایه گذاری اولیه زیادی می باشند.

- موتورهای الکتریکی دارای حجم و وزن کمی هستند، بنحوی که اینرسی لکوموتیوهای الکتریکی کاهش می یابد.

- هزینه تعمیرات و نگهداری موتورهای الکتریکی بسیار کمتر از موتورهای بخاری می باشد.

- لکوموتیوهای الکتریکی دارای گشتاور راه اندازی بالاتری هستند بنحوی که حداکثر شتاب آنها در حدود ۱/۵ تا ۳ کیلومتر بر ساعت می باشند.

- عمل ترمز گیری در این لکوموتیوها می تواند بوسیله تلف کردن انرژی الکتریکی موتورها در مقاومت الکتریکی صورت گیرد. ضمن آنکه در روشهای ترمز گیری با بازیافت انرژی (*Regenerative Braking*) می توان بخشی از انرژی الکتریکی به شبکه برق رسانی باز گرداند.

- هزینه تعمیرات و نگهداری (*Capital Investment Cost*) موتور بخار بکار رفته در این نوع لکوموتیوها بسیار بالا می باشد.

- مدت زمانی برای تولید بخار در لحظه شروع بکار تلف می شود. بنابراین این لکوموتیوها نمی توانند به سرعت داخل سرویس کاری شوند.

- دارای گشتاور راه اندازی (*starting Torque*) کمی می باشند. بطوریکه حداکثر شتاب آنها در حدود ۰/۶ تا ۰/۸ کیلومتر بر ساعت است.

- تنها روش ترمزگیری در این نوع لکوموتیوها استفاده از ترمزگیری مکانیکی است که علاوه بر عملکرد کند آن، استهلاک زیادی را ایجاد می کند.

- شتاب تند شونده و کند شونده کم این قطارها باعث کاهش ظرفیت ترافیکی مسیر و عدم استفاده بهینه از آن خواهد شد، بنحوی که هر چه مسیر دارای ایستگاههای نزدیکتر به یکدیگر باشد، اتلاف زمان و انرژی بیشتر خواهد بود.

- راندمان لکوموتیوهای بخاری بسیار کم و در حدود ۵ تا ۷ درصد است.
- بعلت مصرف سوخت های فسیلی و راندمان کم موتورهای بخاری ، این لکوموتیوها یکی از منابع آلوده کننده محیط زیست هستند .

از آنجا که شتاب تند شونده و کند شونده لکوموتیوهای الکتریکی زیاد است بنابراین ظرفیت ترافیکی مسیر نیز افزایش می یابد بنحویکه از هر مسیر استفاده مناسبی خواهد شد .

- لکوموتیوهای الکتریکی دارای راندمان بالایی در حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد می باشد.
- این نوع لکوموتیوها هیچگونه آلودگی برای محیط زیست ایجاد نمی کنند و بنابراین برای محیط های سرپوشیده مانند مترو بسیار مناسب هستند.

- در لکوموتیوهای الکتریکی بدلیل نیاز به شبکه برق رسانی به قطار و عبور جریان از ریل، اثر تداخل امواج (*Interference*) بر روی تجهیزات مخابراتی مجاور مسیر ایجاد خواهد شد. بدیهی است که با روشهای مناسب می توان این پدیده نامطلوب را تا حد مناسبی کاهش داد.

۴- لکوموتیوهای دیزل - الکتریک:

این نوع لکوموتیو از یک موتور دیزل که گشتاور مکانیکی یک ژنراتور الکتریکی را برای تولید انرژی الکتریکی تأمین می کند، تشکیل شده است، بنحویکه برق خروجی ژنراتور مذکور، موتورهای الکتریکی محرک لکوموتیو را تغذیه می کند.

بنابراین لکوموتیوهای فوق، از نظر موتورهای تراکشن و چگونگی حرکت، مشابه لکوموتیوهای الکتریکی بوده و تنها از جهت چگونگی تأمین برق مورد نیاز این نوع موتورها متفاوت است، بنحویکه نیازی به منبع خارجی برق ندارد.

بطور خلاصه لکوموتیوهای دیزل - الکتریک دارای خصوصیات زیر هستند:

- سیستم محرک داخل لکوموتیو که شامل موتور دیزل، ژنراتور الکتریکی و موتورهای الکتریکی می باشند نسبتاً پیچیده و پر هزینه است.

- نیازی به پستها و شبکه برق رسانی نداشته و بنابراین هزینه اولیه کمتری نیاز دارد.

- برای تولید گشتاور راه اندازی موتور دیزل نیاز به یک منبع هوای فشرده و یا باطری تغذیه کننده ژنراتور کوپل شده با موتور دیزل خواهیم داشت.

- تعمیرات و نگهداری لکوموتیوهای دیزل - الکتریک پیچیده تر و پر هزینه تر از سیستم الکتریکی می باشد.

- از نظر مشخصات شتابگیری و یا ترمزگیری، مشابه لکوموتیوهای الکتریکی می باشد با این تفاوت که هنگام ترمزگیری انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی موتورهای الکتریکی در یک مقاومت الکتریکی تلف شده و قابلیت بازگشت انرژی به منبع را مانند لکوموتیوهای الکتریکی ندارد.

- راندمان لکوموتیوهای دیزل الکتریک کمتر از راندمان لکوموتیوهای الکتریکی بوده و در حدود ۲۶ تا ۳۰ درصد می باشد.

- بعلت استفاده از سوخت فسیلی در موتور دیزل، یکی از منابع آلوده کننده محیط زیست می باشد و بنابراین در محیط های سر پوشیده مانند مترو قابل استفاده نیست.

- از نظر تداخل امواج بر روی تجهیزات مخابراتی مجاور مسیر هیچ مشکلی ایجاد نمی کند.

۵- نتیجه گیری:

با توجه با مشخصات ذکر شده می توان چنین نتیجه گیری کرد که لکوموتیوهای بخاری بدلیل عدم استفاده مناسب از ظرفیت ترافیکی خط، هزینه های نصب و بهره برداری بالا، راندمان کم و آلودگی قابل رقابت با لکوموتیوهای دیگر نبوده و به همین دلیل نیز امروزه استفاده از لکوموتیوهای بخاری منسوخ شده است.

از طرفی لکوموتیوهای الکتریکی و دیزل - الکتریکی دارای منحنی های حرکتی مشابه بوده و هر دو بنحوه مطلوبی از ظرفیت ترافیکی مسیر استفاده می کنند.

باید به این نکته توجه داشت که گرچه لکوموتیوهای الکتریکی بعلت نیاز به شبکه برق رسانی دارای هزینه سرمایه گذاری اولیه بالاتری هستند ولی بعلت امکان استفاده از ترمزگیری با بازیافت انرژی، هزینه مصرف انرژی را در هنگام بهره برداری اقتصادی کاهش می دهند، ضمن آنکه هیچ آلودگی برای محیط زیست ایجاد نخواهند کرد.

از اینرو در حالت کلی می توان نتیجه گرفت که اگر مسیر در نزدیکی شبکه سراسری برق و یا در محیط های سرپوشیده واقع شده باشد، استفاده از لکوموتیوهای الکتریکی مقرون بصرفه خواهد بود. بهمین دلیل امروزه در راه آهن شهری و حومه شهری از لکوموتیوهای الکتریکی استفاده شده و در راه آهن های بین شهری که دور از منابع برق قرار گرفته باشند از لکوموتیوهای دیزل - الکتریک استفاده می شود.

پیوست ۲

داده های مربوط به موتورهای کششی

SE189/SE211 / SE208 , TM7362

منابع و مآخذ:

1. Andrew , H.I. :Railway Traction , Elsevier Science Publishres , 1986
2. Bose , B.K. & Steigerwald , R.L. :A DC Motor Control System For Electric Vehicle Drive , IEEE Trans . On Industry Applications , vol . IA-14 , No. 6 , 1987 , pp. 190-194
3. Flinders , F. , etc : Energy Savings Through Regenerative Braking Using Retrofit Converters , IEEE / ASM Joint Rail Road Con. , 1994 ,pp. 55-61
4. Hill , R.J. : Electric Traction & DC Traction Motor Drives , Power Engineering Journal , 1994 , pp.47-56
5. Katta , T. : Actual Results on the Chopper Control Electric Railcar with Regenerative Brake , Teito Rapid Transit Authority, TOKYO, 1992
6. Spooner , E. : DC Traction Motor with Slotless Armature , IEE Proceedings , vol. 132 , pt-B , No. 2, 1985,pp.61-71
7. Uppal, S. : Electric Power , ninth edition, Khanna , New Delhi , 1983
8. Werner Teich , D.I. : Traction Vehicle Technic For All Application , 1st edition , ABB Henschel , Manheim , 1990
9. R.J. Hill " Traction Drives With Three Phase Induction Motors " , Power Engineering. Journal , June 1994, PP . 143-152.
10. J.M.D. Murphy , F.G. Turnbull " Power Electronic Control of Ac Motors " , Pergamon Press , 1988.
11. K. Kawahire , T. Kanzaki and Y. Minami " Ac Motor Drive System For Electric Vehicles " , Toshiba Review , No . 159, Spring , 1987.

12. A. Boglietti , M. Lazzari " Induction Motor Design Criteria For Tracion Application ", EPE / LEME , 1994 , PP . 543-548 .

13. R.J. Hill, " Electic Traction And Dc Traction Motor Drives ", Power Engineering Journal , February 1994, PP. 47-61 .

14. D.M Brod , D.W. Novotny, " Current Control Of VSI-PWM Inverters " , IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-21 , No.4,May/June 1985, PP.562-570.

15. T. Tsuboi , K. NaKamura, " Control System For Traction Drives " , Hitachi Review , Vol. 35 , No. 6 , 1986, PP. 311-316.

16. K. NaKamura, A. Kimura " Inverter Drive System For Ac Electric Rolling Stocks ", Hitachi Review , vol. 37, No. 6, 1988 , PP . 371-376.

۱۷. ج - ر - سلمون و ۱- استراون ، " ماشین های الکتریکی " ، ترجمه دکتر حمید لسانی ، چاپ دوم ۱۳۷۴.

۱۸. م - ه - رشید ، " الکترونیک قدرت - مدارها ، عناصر و کاربردها " ، ترجمه دکتر سیدابراهیم افجه ای - مهندس مجید مهاجر ، چاپ چهارم ، ۱۳۸۲.

۱۹. ج - ک - دابی ، " کنترل موتورهای الکتریکی با مبدل های الکترونیک قدرت " ، ترجمه دکتر جعفر میلی منفرد - مهندس همایون مشگین کلک ، ۱۳۷۶.

۲۰. B.K.Bose ، " الکترونیک قدرت و کنترل ماشین های الکتریکی AC " ، ترجمه دکتر ابوالفضل واحدی - دکتر سعید افشارنیا ، ۱۳۷۹.

۲۱. دکتر محمد ابراهیمی ، " کنترل درایوهای الکتریکی (AC - DC) " ، نشر جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان ، ۱۳۸۱.

۲۲. پروفیسور بیم بهارا ، " ماشین های الکتریکی - تئوری ، عملکرد و کاربردها " ، ترجمه دکتر جعفر سلطانی - دکتر حمید لسانی ، ۱۳۷۸.

جهت خرید فایل word به سایت www.kandoocn.com مراجعه کنید
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۵۱۱ تماس حاصل نمایید

Filename: Document1
Directory:
Template: C:\Documents and Settings\hadi tahaghoghi\Application
Data\Microsoft\Templates\Normal.dotm
Title: پیشگفتار
Subject:
Author: 2
Keywords:
Comments:
Creation Date: 3/28/2012 4:50:00 PM
Change Number: 1
Last Saved On:
Last Saved By: H.H
Total Editing Time: 0 Minutes
Last Printed On: 3/28/2012 4:50:00 PM
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 134
Number of Words: 19,722 (approx.)
Number of Characters: 112,421 (approx.)