پيشگفتار

ماشينهاي الكتريكي جريان يكسو ژنراتورهايي هستند كه انرژي مكانيكي را به انرژي الكتريكي جريان يكسو تبديل مي‌كنند يا موتورهايي كه انرژي الكتريكي جريان يكسو را به انرژي مكانيكي تبديل مي‌كند. بيشتر ماشنيهاي جريان يكسو از اين جهت كه درونشان ولتاژها و جريانهاي متناوب سينوسي دارند با ماشينهاي جريان متناوب سينوسي مشابهند. علت داشتن خروجي جريان يكسو وجود مكانيزمي است كه ولتاژ متناوب دروني را در پايانه‌هاي ماشينها به ولتاژ يكسو تبديل مي‌كند. اصول كار پايه‌اي ماشينهاي جريان يكسو بسيار ساده‌اند، متاسفانه، اين اصول به علت ساختمان پيچيده اين نوع ماشينها تا حدودي در پرده ابهام مي‌مانند. اين ماشينها با قابليت همه كاره بودن خود مشخص مي‌شوند، با كمك تركيبهاي مختلف سيم پيچ ميدان تحريك بصورت مستقل، سري و شنت مي‌توانند مشخصه‌هاي ولت ـ آمپر يا سرعت ـ

گشتارو مختلفي براي هر دو عمل حالت ماندگار و ديناميكي از خود نشان دهند. سيستمهاي ماشينهاي جريان يكسو به دليل سهولت كنترلشان اغلب در كاربردهايي كه محدوده سرعتي گسترده اي با كنترل دقيق خروجي نياز دارند مورد استفاده قرار مي‌گيرند. در سالهاي اخير تكنولوژي (فن‌آوري) سيستمهاي محرك ماشينهاي متناوب از نوع حالت جامد، در حدي پيشرفت كرده است كه اين سيستمها، به تدريج در كاربردهايي ظاهر مي‌شوند كه قبلاً بطور انحصاري در اختيار و حطيه ماشينهاي جريان يكسو بوده است. ليكن ماشينهاي جريان يكسو، همچنان كاربرد خواهند داشت زيرا در مقايسه با ماشينهاي جريان متناوب، داراي قابليت انعطاف و سادگي نسبي بيشتر در سيستمهاي محرك خود هستند.

يك ماشين جريان يكسو هم مي‌تواند به صورت ژنراتور به كار رود و هم به صورت موتور، اين كه واقعاً به كدام صورت كار مي‌كند تنها به جهت عبور توان در آن بستگي دارد. موتورهاي جريان

يكسو ماشينهاي جريان يكسويي هستند كه به صورت موتور به كار مي‌روند. اين موتورها كاربردهاي خاصي دارند مثلا در جاهايي كه منبع توان يكسو در دسترس است.

موتورهاي جريان يكسو مشخصات متغييري دارند و بطور گسترده اي در محركهاي با سرعت متغيير به كار مي‌روند. اين موتورها گشتاور راه اندازي بالايي ايجاد كرده و مي‌توانند براي كنترل سرعت در محدوده وسيعي بكار روند و روشهاي كنترل سرعتشان معمولاً ساده‌تر وارزانتر از محركهاي جريان متناوب است. نيز نقش مهمي در محركهاي صنعتي امروزي ايفا مي‌كنند. هر دو نوع موتورهاي جريان يكسو با تحريك مستقل و تحريك سري براي محركهاي سرعت متغيير بكار مي‌روند ولي موتورهاي با تحريك سري بيشتر براي كاربردهاي سنگين (گشتاور زياد) استفاده مي‌شوند. البته نوع معمول اين موتورها به علت داشتن كموتاتور براي سرعتهاي بسيار زياد مناسب نبوده و نگهداري بيشتري لازم دارند.

با توجه به پیشرفت اقتصادي و صنعتي كشور عزيزمان ايران يكي از نيازهاي اساسي كه براي ادامه و رسيدن به اهداف مشخص ضروري به نظر مي‌رسد، توسعه حمل و نقل و انتقالات بين شهري و كشوري مي‌باشد. با توجه به وسعت و گستردگي كشور ترانزيت كالا از بنادر و پستهاي مرزي به اقصي نقاط كشور و شهرهاي مهم يكي از اقدامات ضروري و مهم مي‌باشد. بدين منظور بايد شبكه ارتباطي گسترده‌اي در سراسر كشور بوجود آيد. عمده انتقال كالا و مسافر از طريق جاده‌ها و ريل‌هاي راه‌آهن صورت مي‌گيرد. سعي عمده بر اين است كه حداقل هزينه مصرفي بكار رود، ضمن اينكه حجم تبادل كالا و مسافر نيز بسيار مهم است.

نخست مقايسه‌اي بين جاده و ريل انجام مي‌دهيم :

۱- يكي از پارامترهاي مهم در هر طرحي آينده‌نگري مي‌باشد. در حمل و نقل نيز برنامه‌ريزي براي كنترل و انتقال حجم ترافيكي آينده مهم مي‌باشد. مسلماً هرچه زمان مي‌گذرد

با توجه به رشد جمعيت و پيشرفت اقتصادي حجم ترافيكي نيز افزايش مي يابد و راه آهن داراي اين مزيت است كه با هزينه كمتري قابل توسعه بيشتري مي‌باشد. زيرا در جاده‌ها ترافيك سنگين مي‌شود كه عوارض جانبي فراواني دارد.

۲- هزينه حمل و نقل كالا در يك كيلومتر براي جاده‌ها حدود ۳ برابر راه آهن مي‌باشد. و هزينه ترافيكي براي ترافيك يكسان در حدود شش برابر مسافرها و تقريباً چهاربرابر كالاها مي‌باشد.

مثلاً: هزينه خريد زمين براي كشيدن ريل حدود ٤ الي ۳/٥ برابر هزينه مشابه براي جاده‌ها مي‌باشد.

جدول زير مقايسه‌اي بين ريل‌ها و جاده‌ها انجام مي‌دهد.

بطوركلي مي‌توان گفت كه هزينه راه آهن كمتر از جاده‌ها مي‌باشد ضمن اينكه ايمني مسافرت با قطار بسيار بيشتر از اتوبوس و سواري مي‌باشد و اقتصادي اين است كه شبكه ارتباطي راه آهن گسترش يابد كه اين مهم با بهره‌برداري از ريل بافق ـ

بندرعباس و مشهد ـ سرخس ـ تجن که از لحاظ مهم بودن به جاده ابریشم شهرت یافته در کشور خودمان نیز به چشم میخورد.

جدول ظرفيت حمل و تفاوت هزينه‌هاي راه‌آهن و جاده‌ها

	مسافرها			محموله‌ها	
	ريل‌راه‌آهن	اتوبوس	اتومبيل	راه‌آهن	كاميون
حدود راه حريم جاده	۹/۳۰m	۰/٤۰m ۲٤	۰/٤۰m ۲٤	۹/۳۰m	۰/٤۰m ۲٤
ظرفيتها (بار)	هرواگن۱۵ مسافر	٤۰ مسافر	٤سرنشين	تن ۸۵۰	تن ۷
شتاب	دقيقه ۵	ثانيه ۳۰	ثانيه ۳	ثانيه ۵	ثانيه ۵
فركانس كار(دريك‌سال)	۲٤ بار	۳٦۰ بار	۳٦۰۰ بار	۲٤ بار	۲۱٦۰ بار
ظرفيت حمل در يك ساعت	۲۸۸۰۰مسافر (۱/۰۰)	مسافر ۱٤٤۰۰ (۵/۰)	نفر ۱٤۰۰۰ (۵/۰)	تن ۲۰٤۰۰ (۱/۰۰)	تن ۱۵۲۰ (۰/۷٤)
ظرفيت حمل	مسافر	مسافر	مسافر	تن	تن

براي ۱ متر عرض	۳۱۰۰ (۱/۰۰)	۶۰۰ (۰/۱۹)	۶۰۰ (۰/۱۹)	۲۱۹۰ (۱/۰۰)	۶۲۰ (۰/۱۸)

شبکه راه‌آهن را نيز مي‌توان به دو شاخه برقي و ديزلي تقسيم نمود. براي ادامه بحث مقايسه‌اي بين اين ترنها انجام مي‌دهيم.

در مقايسه بين دونوع، لکوموتيو برقي (EL) و لکوموتيو ديزلي (DL) مي‌توان به پارامترهاي زير اشاره نمود :

۱- بازدهي بيشتر انرژي مصرفي

اگر راندمان نيروگاههاي توليد انرژي و تلفات خطوط انتقال برق را در نظر بگيريم : بازدهي موتورهاي برقي از موتورهاي ديزلي بيشتر مي‌باشد و اين براي کشورهايي که منافع نفتي مهمي ندارند بسيار مهم مي‌باشد ولي در کشور خودمان چندين ديدگاه وجود دارد که مي‌توان به دو گروه تقسيم نمود:

۱) استفاده از موتورهاي ديزلي چون منابع سرشار نفتي در كشورمان موجود است و نبايد نگران آينده بود.

۲) بهره وري مناسب از منابع و امكانات موجود، حتي به قيمت از دست رفتن بهاي زيادي ارز در اين راه.

به همين خاطر تاكنون شبكه وسيعي از ترنهاي برقي به چشم نمي‌خورد ولي در اغلب كشورهاي بدون نفت مانند ژاپن، كشورهاي اروپايي، هند، كشورهاي جنوب شرقي آسيا و آمريكاي جنوبي اين صنعت بطور قابل توجهي پيشرفت نموده است و هم اكنون (در چند ساله اخير) با عنوان شدن بحران انرژي در جهان كشور ما نيز به فكر روي كار آمدن شبكه‌هاي حمل و نقل برقي افتاده است كه بعنوان نمونه ميتوان به تنها خط برقي ايران تبريز ـ جلفا و نيز طرحهاي در دست مطالعه ديگر اشاره نمود.

۲- افزایش قدرت اجرایی وسایل بکار رفته در راه آهن برقي :

۱) نیروي کشش: در سرعتهاي متوسط نیروي کشش موتورهاي برقي از نوع دیزلي بیشتر است مثلا در سرعت $\frac{km}{h}$ ٤٠ نیروي کشش لکوموتیوهاي برقي حدود ۱/۸ قدرت مفید دیزلها میباشد.

یعني اگر نیروي کشش دیزل ۱۰/٥ تن باشد ترن میتواند ۱۸/۸ تن باشد و یا اگر وزنها برابر باشند (۱۰/٥t) اگر سرعت دیزل $\frac{km}{h}$ ٤٠ باشد، سرعت ترن میتواند $\frac{km}{h}$ ٦٥ باشد.

۲) افزایش سرعت : بخاطر بالا بودن نیروي کشش EL، در هنگام شروع حرکت شتاب EL نسبت به DL با یك وزن و همان زمان بیشتر میباشد.

۳) ظرفیت حمل: خطوط راه آهن را میتوان به دو کلاس تك خطي و دو خطي تقسیم نمود و براي هر کدام بطور جداگانه میتوان ظرفیت حمل را بر اساس پارامترها محاسبه نمود و نتیجه این که EL نسبت به DL برتري دارد.

۳- کاهش هزینه‌هاي کاربردي :

مي‌توان به پایین‌تر بودن هزینه‌هاي نگهداري اشاره کرد. معمولاً دیزل‌ها داراي قطعات قابل حرکت بیشتري هستند پس خرابي قطعات بیشتر و دوره سرویس کوتاهتر مي‌گردد. بطور کلي هزینه‌هاي نگهداري ترن‌هاي الکتریکي حدود ۳۰ تا ۵۰% کمتر از دیزلها مي‌باشد.

ماشین‌هاي EL براحتي مي‌توانند با یکدیگر کوپل شوند و یا از یکدیگر جدا شوند که این بستگي به شرایط ترافیکي دارد یعني کنترل سرعت راحت‌تر انجام مي‌گیرد.

٤- سریع‌تر بودن EL (لکوموتیو برقي) و صرفه جویي در زمان

٥- اثرهاي جانبي از سرمایه‌گذاري الکتریکي :

- که مي‌توان به ایجاد فرصت‌هاي شغلي جدید اشاره نمود که نسبت به DL بیشتر مي‌باشد.

آشنايي با سيستم راه آهن برقي

براي حركت كردن قطارها در راه آهن سه سيستم نيروي محركه وجود دارد.

۱- سيستم غيرالكتريكي :

در اين سيستم براي ايجاد نيروي محركه در هيچ قسمت از سيستم از انرژي الكتريكي استفاده نمي‌شود مانند سيستم لكوموتيو بخاري كه در آن با سوختن زغال سنگ در كوره آب ديگ به بخار تبديل شده و بخار حاصله ماشين بخار كوپل با چرخهاي لكوموتيو را بكار مي‌اندازد.

۲- سيستم نيمه الكتريكي:

در اين سيستم براي ايجاد نيروي محركه در قسمتي از سيستم از انرژي الكتريكي استفاده مي‌شود مانند لكوموتيو ديزل ـ الكتريك كه در آن موتور ديزلي به يك ژنراتور برق كوپل شده و به چرخها نيز موتورهاي الكتريكي كوپل مي‌شوند با كار موتور ديزلي ژنراتور توليد برق نموده و انرژي الكتريكي

را به الکتروموتورهاي محرکه مي‌دهد و با کار الکتروموتورهاي محرکه لکوموتيو حرکت مي‌کند.

۳- سيستم تمام الکتريکي :

در اين سيستم براي ايجاد نيروي محرکه فقط از انرژي الکتريکي استفاده مي‌شود مانند سيستم راه‌آهن برقي که در آن الکتروموتورهاي محرکه لکوموتيو انرژي الکتريکي را از يك مدار الکتريکي نصب شده در بيرون از لکوموتيو متصل به يك منبع برق دريافت مي‌کنند.

مدار الکتريکي در راه‌آهن برقي

مدار الکتريکي در راه‌آهن برقي مانند هر مدار الکتريکي ديگر حداقل داراي دو هادي است که يکي به عنوان فاز و ديگري به عنوان نول بکار گرفته مي‌شوند. ريلهاي راه‌آهن که در سطح زمين گسترده هستند هميشه نول مدار الکتريکي راه‌آهن برقي مي‌باشند و به نول منبع برق متصل مي‌گردند. از طرف ديگر چرخهاي لکوموتيو که هميشه روي اين ريل‌ها قرار مي‌گيرند ضمن حرکت بر روي آنها به

دليل سنگيني لكوموتيو اتصال الكتريكي خوبي بين چرخها و ريلها بوجود مي‌آورند از اين رو چرخها هميشه نول لكوموتيو برقي هستند.

براي دايركردن فاز مدار الكتريكي راه‌آهن برقي هادي در دو نوع كشيده مي‌شود.

۱- نوع ريل سوم :

در اين نوع چنانچه از نامش پيداست يك ريل ديگر در كنار و بموازات دو ريل اصلي راه‌آهن در سطح زمين كشيده مي‌شود كه به آن ريل سوم گفته مي‌شود اين ريل سوم به فاز منبع برق متصل گشته و نسبت به زمين عايق‌بندي مي‌گردد نوع ريل سوم در جاهائيكه در دسترس عموم نيست (مترو) بكار مي‌رود.

۲- نوع خط بالاسري :

خط بالا سري عبارت از سيم كشي هوايي در بالاسر محور ريلهاي اصلي راه‌آهن است براي سيم‌كشي خط بالاسري تيرهايي دركنار ريلها و در فواصل معين نصب و بازوهايي عايق‌بندي شده به آنها بسته مي‌شوند تا خط بالاسري را درست در بالاي محور

ريلها نگه‌دارند اين خط بالاسري به فاز منبع متصل گشته و نسبت به تيرها و زمين عايق‌بندي مي‌شود.

در راه‌آهن برقي هادي فاز چه از نوع ريل سوم يا خط بالاسري را خط كنتاكت مي‌نامند پس راه‌آهن برقي داراي دو نوع خط كنتاكت است:

۱- خط كنتاكت ريل سوم

۲- خط كنتاكت بالاسري

دريافت جريان از مدار الكتريكي

لكوموتيو برقي يا واگن برقي در بدنه خود دستگاهي به نام پانتوگراف دارد كه براي دريافت جريان الكتريكي بايد در اتصال با خط كنتاكت باشد و اتصال خود را در هر سرعت قطار حفظ كند. با اين وضع پانتوگراف به فاز مدار و چرخها به نول مدار الكتريكي متصل هستند از طرف ديگر در داخل لكوموتيو برقي با واگن برقي پانتوگراف و چرخها به الكتروموتورهاي محرك وصل مي‌باشند و بدين طريق جريان برق مورد استفاده الكتروموتورهاي محركه از مدار الكتريكي دريافت مي‌گردد. اگر خط كنتاكت از نوع ريل سوم باشد پانتوگراف در زير يا بغل بدنه لكوموتيو برقي تعبيه شده و كفشك آن با فشار در شيار ريل سوم طوري قرار مي‌گيرد كه ضمن حفظ اتصال الكتريكي خود بتواند در هر سرعتي در آن شيار بلغزد اگر خط كنتاكت از نوع بالاسري باشد پانتوگراف در سقف لكوموتيو تعبيه شده و كفشك با فشار به ريل

بالاسري چنان مي‌چسبد كه ضمن حفظ اتصال الكتريكي خود بتواند در هر سرعتي در سطح خارج سيم بلغزد.

آرايش سيستم راه‌آهن برقي

سيستم راه‌آهن برقي از چندين منبع برق كه در فواصل معين خط كنتاكت را تغذيه مي‌نمايند تشكيل مي‌شود اساساً منبع برق در راه‌آهن برقي همان پست برق است كه خود از شبكه سراسري كشور تغذيه مي‌گردد و به آن پست كشش گفته مي‌شود در پستهاي كشش خط ورودي سه فاز و خروجي تكفاز است يعني خط كنتاكت بصورت تكفاز تغذيه مي‌شود هر پست كشش داراي دو فيدر خروجي غير همفاز است تا هر كدام يك مسير از خطوط كنتاكت را تغذيه نمايند.

توزيع سيكليك فازها

چون راه‌آهن برقي مصرف كننده‌اي تكفاز است براي هرچه متعادل‌تر شدن جريان فازها آنها را طوري در طول مسير توزيع مي‌كنند كه در هر پست كششي يكي از فازها به ريل و دو فاز ديگر به دو مسير خط كنتاكت وصل گردد كه در نهايت هر سه فاز C,B,A

به ریل متصل خواهند شد و بدین ترتیب نقطه صفر ستاره در اتصال فازها خواهد شد.

منطقه خنثي

براي پيوند دو مسير خط كنتاكت با فازهاي مختلف به همديگر قسمت ويژه‌اي در خط كنتاكت ايجاد مي‌شود كه به آن قسمت خنثي مي‌گويند منطقه خنثي جنس عايقي در مقابل فشار قوي داشته و دو خط كنتاكت طرفين خود را چنان پيوند مي‌دهد كه تداوم حركت پانتوگراف در موقع عبور از آنجا دچار مشكل نشود لكوموتيو برقي اين منطقه را با سرعت اوليه خود عبور خواهد كرد زيرا اين قسمت فاقد برق مي‌باشد.

پست جداساز

پست جداساز داراي يك كليد فشار قوي است تا بتواند بوسيله آن دو پست كشش مجاور خود را با همديگر پارالل يا از هم جدا كند.

انتخاب سيستم برق

سيستمهاي گوناگوني كه اينك در كشورهاي مختلف جهان براي برقي كردن راه آهن بكار گرفته مي‌شوند، سه گروهند :

۱- DC ۲-AC تكفاز ۳-AC سه فاز

هر گروه از بابت ولتاژ فركانس و تعداد فازها داراي سيستمهاي فرعي است. چندگونه بودن اين سيستمها به تاريخچه رشد و گسترش راه آهن برقي كشور برمي‌گردد هم اكنون راه آهن برقي برخي از كشورها سيستم AC با فركانسهاي $\frac{50}{3}, \frac{50}{2}$ و يا سيستم DC هستند كه اساس تاسيس آنها سازگاري با سيستم تغذيه واگنها و لكوموتيوهاي برقي است در سالهاي اخير بكارگيري سيستم AC تكفاز با فركانس صنعتي ۵۰ و يا ۶۰ هرتز متداول شده است.

مقايسه سيستمها

در زير سيستم DC و سيستم AC تكفاز با فركانس صنعتي مقايسه مي‌شوند.

سيستم DC : در سيستم DC برق AC از خطوط سراسري وارد پست كشش راه‌آهن شده و ولتاژ ورودي تبديل به اندازه ولتاژ تغذيه قطارها مي‌گردد و سپس توسط يكسو سازه‌هاي پست به DC تبديل مي‌شود و براي تغذيه به شبكه كنتاكت اتصال مي‌يابد.

سيستم DC از ساليان گذشته در كشورهاي جهان بكار گرفته شده است موتورهاي با ولتاژ بالا از بابت عايق‌بندي و كموتاسيون مشكلاتي دارند كه اين امر مزيت آنها را پايين مي‌آورد همچنين در سيستم DC جريان الكتريكي شبكه كنتاكت نسبت به AC خيلي بالا بوده و افت ولتاژ زياد را همراه دارد در نتيجه فاصله پستهاي كشش كاهش مي‌يابد. براي جبران افت ولتاژ و افت ظرفيت الكتريكي شبكه كنتاكت بايد فيدرهاي كمكي به موازات آن كشيده شوند. دامنه ولتاژ سيستم DC نسبت به AC

پايين‌تر است از اين رو در DC عايق‌بندي شبكه كنتاكت و سيستمهاي كشش ساده‌تر بوده و فضاي آزاد عبور در تونلها و پلها كوچكتر است خلاصه اينكه تاريخچه سيستم DC بلندتر، تجربه بكارگيري آن بيشتر و از بابت تكنيكي ساده‌ترين سيستم براي برقي‌كردن خطوط است.

سیستم AC تکفاز :

اگرچه چندین سیستم AC تکفاز با فرکانسهاي گوناگون براي برقي کردن راه‌آهن بکار گرفته شده است اما هم اکنون سیستم AC تکفاز با فرکانس صنعتي ۵۰ و یا ۶۰ هرتز متداول مي‌باشد نیروي برق AC با فرکانس صنعتي را در هرجا مي‌توان براحتي از شبکه سراسري دریافت کرده و به پست کشش راه‌آهن رساند و با انتخاب فرکانس صنعتي براي راه‌آهن برقي نیازي به مبدل فرکانس در پست نخواهد بود. از این رو پست‌هاي کشش خطوط داراي ترانس قدرت بوده و تاسیسات ثابت آنها ساده‌تر است بعلاوه چون نیروي برق مورد نیاز قطارها از ترانسفورماتور پست کشش دریافت مي‌شود ولتاژ شبکه کنتاکت جریان الکتریکي و افت ولتاژ شبکه کاهش چشمگیري خواهد یافت از این رو مسافت بین سیستمهاي کشش خیلي بیشتر از سیستم DC مي‌شود و تعداد آنها نیز کاهش مي‌یابد. در سیستم AC اگر افت ولتاژ زیاد هم باشد مي توان با موازي کردن

فاز به شبکه کنتاکت آن را جبران نمود. که در سیستم DC این کار امکان ندارد. در سیستم AC با فرکانس صنعتي بر روي سیستم مخابرات حاشیه راه آهن برقي اثرات القایي پدیدار مي‌گردد که باید تدابیر ویژه اي براي جلوگیري از آن پیش‌بیني نمود.

ترانسهاي قدرت در پستهاي كششي

۱- ترانسهاي تكفاز : در اين نوع ترانس دو فاز ورودي به پست كشش وارد اوليه ترانسها شده و در خروجي يكي از آنها به ريل و فاز ديگر به خط كنتاكت متصل مي‌گردد.

۲- ترانسهاي سه فاز به تكفاز :

در اين نوع ترانس كه نمونه اصلي آن ترانس با اتصال اسكات مي‌باشد سه فاز ورودي به پست كشش وارد اوليه ترانس اسكات شده و خروجي آن در دو فاز غيرهمنام به دو مسير خط كنتاكت مختلف متصل مي‌شود.

لكوموتيو برقي در سيستم DC

ساده‌ترين ساختمان لكوموتيو برقي از آن سيستم DC است در اين سيستم الكتروموتورهاي محركه از نوع DC سري بوده كه انرژي الكتريكي را مستقيماً از پانتوگراف و چرخ لكوموتيو دريافت مي‌كند كنترل سرعت در اين نوع لكوموتيوها بوسيله تغيير جريان تحريك الكتروموتورهاي محركه انجام مي‌شود.

لکوموتیوهاي برقي در سیستم AC

در سیستم AC از نظر نوع موتورهاي محرکه اساساً دو نوع لکوموتیو داریم :

۱- موتورهاي محرکه DC : در این سیستم لکوموتیو برقي داراي یك ترانس کاهنده است که سیم‌پیچ اولیه آن بین پانتوگراف و چرخ لکوموتیو قرار مي‌گیرد. ثانویه ترانس ولتاژ قابل مصرف موتورهاي محرکه را تولید کرده و به یکسوساز لکوموتیو مي‌دهد. پس از یکسو شدن برق AC موتورهاي محرکه لکوموتیو که از نوع DC سري مي‌باشند تغذیه مي‌گردند.

۲- موتورهاي محرکه AC: در این سیستم موتورهاي محرکه از نوع AC مي‌باشند وجود توام اینورتور ـ کانورتر براي کنترل سرعت موتور از طریق تغییر فرکانس و ولتاژ مي‌باشد.

مزایا و معایب استفاده از سیستم برقي یا دیزلي

مزایاي سیستم برقي :

۱) هزینه سالانه سیستم برقي به جهت کاهش هزینه‌هاي نگهداري و تعمیرات کمتر مي‌باشد. (البته در صورتیکه بار خالص مورد نظر وجود داشته باشد در صورت عدم وجود بارخالص هزینه‌هاي سیستم برقي به مراتب بیشتر خواهد شد که نتیجه آن هزینه بهره‌برداري بالا مي‌باشد):

الف) لکوموتیو برقي با توجه به کم بودن متعلقات و استفاده از انرژي الکتریکي آماده به حجم عملیات و زمان تعمیرات کمتري نسبت به لکوموتیوهاي دیزلي نیاز دارد و با توجه به اینکه تعمیر و نگهداري یکي از عوامل مهم در راندمان راه‌آهن مي‌باشد این پارامتر با اهمیت تلقي مي‌گردد.

ب) قابلیت دسترسي (بهره‌برداري) لکوموتیو برقي با توجه به کاهش زمان تعمیرات بیشتر است، طبق اطلاعات منابع اسکاپ و بانك جهاني يك لکوموتیو برقي در سال ۲٤ روز در تعمیرگاه است این در حالي

است كه اين مدت براي لكوموتيو ديزلي ٤٤ روز است.

ج) زمان راه اندازي كمتر و قدرت بيشتر بويژه در سرعتهاي بالا از ديگر مزاياي استفاده از لكوموتيو برقي است.

د) در توانهاي مشابه لكوموتيو برقي سبكتر از لكوموتيو ديزلي مي‌باشد يعني تعداد محور كمتري لازم دارد و اين موجب كاهش استهلاك خواهد شد.

هـ) در صورت استفاده از لكوموتيو برقي براي حمل مسافر سرعت زياد اين قطارها قدم مثبتي در جهت بهبود وضعيت مسافربري و جلب رضايت مسافرين است.

٣) استفاده از سيستم برقي موجب توسعه شبكه برق خواهد بود و اثرات مثبتي بر مناطقي كه در مسير مي‌باشند خواهد داشت (اثرات توسعه كشاورزي ، صنعتي و ...)

٤) با توجه به اينكه سوخت برخي نيروگاهها گاز مي‌باشد و در آينده گاز بعنوان سوخت اصلي نيروگاهها خواهد بود و با توجه به فراواني

منابع گاز (ذخیره بیش از ۲۰۰ سال در کشور) در صورت استفاده از سیستم برقي صرفه‌جویي در مصرف سوختهاي دیگر در جهت سیاست کلي کشور مبني بر جایگزیني گاز به جاي دیگر سوختها حرکت شده است. در صورت تولید برق با استفاده از سوختهاي غیرفسیلي مانند برق آبي و هسته‌اي و عدم وابستگي قیمت برق به قیمت نفت استفاده از انرژي الکتریکي ارزانتر تمام مي‌شود.

ه) در صورتیکه به منظور محاسبه هزینه انرژي در دو سیستم برقي و دیزلي نرخ بین المللي این دو انرژي در نظر گرفته شود هزینه سالیانه سیستم برقي کاهش بسیار بیشتري را نشان خواهد داد. قابل ذکر است طرفداران این نظریه دلیل خود را اینگونه بیان مي‌کنند که با توجه به امکان صادرات گازوئیل و واردات برق این نوع روش محاسبه هزینه‌ها عقلاني است و در روش محاسبه موجود در کشور میزان سوبسید در نظر گرفته نمي‌شود. مخالفین این نظریه راه‌آهن را به عنوان یك مجموعه

صرفاً حمل و نقلي مي‌بينند كه مسئوليت اينگونه مسائل را نداشته و بعنوان يك مشتري با مقايسه قيمت دو انرژي برق و گازوييل بررسي اقتصادي كرده و مصلحت شركت را در نظر مي‌گيرند.

٦) استفاده از برق در ساعات شب در تعادل شبكه مفيد است.

معايب سيستم برقي:

١) حجم بالاي سرمايه‌گذاري اوليه سيستم برقي عمده‌ترين و اصلي‌ترين عيب آن است ميزان اختلاف سرمايه‌گذاري برقي نسبت به ديزلي در مواردي به حدي است كه اين اختلاف هرگز با كاهش هزينه ساليانه آن كه نسبت به سيستم ديزلي وجود دارد جبران نخواهد شد. همچنين نيروگاههايي كه انرژي توليد مي‌كنند از جهت طراحي ساخت و نصب و قطعات برقي به شدت به خارج از كشور وابسته مي‌باشند.

٢) عدم امكان استفاده از لكوموتيوهاي برقي در ساير محورهاي غيربرقي نقيصه‌اي است كه با توجه

به شرايط تغيير بار موجب ركود سرمايه‌ها خواهد شد.

۳) در ساعت پيك مصرف استفاده از برق موجب فشار به شبكه مي‌شود.

شماي كلي از نحوه رساندن برق از نيروگاه به موتورهاي تركشن

راه آهن برقي به عنوان يك مصرف كننده بزرگ انرژي الكتريكي محسوب مي‌شود بخاطر همين براي رساندن قدرت كافي به اين مصرف كننده بايد از نيروگاه جدا با ظرفيت متوسط و يا از شبكه سراسري استفاده نمود كه براي كاهش هزينه‌ها توصيه مي‌شود از شبكه انتقال انرژي سراسري استفاده گردد.

به منظور بالا بودن قدرت اتصال كوتاه ولتاژ خط انتقال نبايد از ۱۰۰ كمتر باشد و در كشور ما بايد از ولتاژهاي انتقال يعني ۱۳۲kv ، ۲۳۰kv ، ٤۰۰kv استفاده شود. پس بايد پست نيرو را نزديك شبكه سراسري انتخاب كنيم كه هزينه كشيدن مجدد خط انتقال پيش نيايد. در پستهاي كشش، ترانسي

براي كاهش ولتاژ به اندازه‌اي كه خط براي آن مقدار طراحي مي‌گردد، قرار دارد. اگر خط بالا سري DC باشد بايد يكسو كننده‌هاي سيليكن نيز در پست موجود باشد و اگر خط، AC تكفاز باشد، چون مصرف بالا و تكفاز است بايد چاره‌اي براي نامتفاوتي حاصل از اين نوع پخش بار انديشيد. غالب خطوط بالاسري براي ولتاژ ۲۵kv و فركانس Hz ۵۰ طرح مي‌گردند كه ماكزيمم ولتاژي را كه لكوموتيو مي‌تواند تحمل كند ۲۷/۵kv و مينيمم ولتاژي كه لكوموتيو با آن كار مي‌كند ۱۹kv باشد.

بوسيله پانتوگراف (Pantograph) كه از يك طرف به سيستم تماس (Contact wire) و از طرف ديگر به ترانس لكوموتيو اتصال دارد، برق را از خط بالاسري جمع‌آوري مي‌كند.

از خط بالاسري براي رساندن برق و توزيع آن استفاده مي‌گردد كه با توجه به سرعت عبور پانتوگراف از روي آن طراحي مي‌گردد.

مهمترين عامل در طراحي خطوط بالاسري و سرعت ترن ميزان خزش (Sag) خط تماس مي‌باشد كه بايد تحت هر شرايطي و با هر سرعتي كه ترن دارد، پانتوگراف با سيم تماس اتصال داشته باشد كه امر رساندن برق به موتورهاي تركشن مختل نگردد.

بعد از پانتوگراف برق بوسيله يك كليد اصلي به ترانسفورماتور كاهنده (در خطوط AC) متصل مي‌گردد كه معمولاً ثانويه ترانس ۵۰۰ v مي‌باشد. بسته به تعداد موتورهاي كشش (تركشن) قدرت ترانسفورماتور تعيين مي‌گردد كه حدود ۵ MVA با وزني حدود ۱۰ تن مي‌باشد كه ۲ تن آن روغن خنك كننده مي‌باشد.

جريان متناوب بوسيله يكسو كننده‌هاي كنترل شده (تريستوري) يكسو شده و دو سر موتور تركشن قرار گيرد.

با هر يك از تركشن‌هاي دو پل بصورت پارالل قرار دارد تا سرعت حدود $۳۰ \frac{km}{h}$ يك پل از دو پل كه به موتور تركشن وصل است آتش مي‌كند و بعد از سرعت

فوق هر دو پل در مدار قرار مي‌گيرند يك فيلتر خازني بعد از يكسوكننده‌ها قرارداد تا هارمونيك‌ها را حذف كند.

قابل ذكر است كه تركشن‌ها از نوع موتور DC با تحريك مستقل مي‌باشد، ولي اخيراً از موتورهاي آسنكرون و سنكرون نيز استفاده مي‌شود.

مقايسه خط تماس سيستم بالاسري با خطوط توزيع انرژي

هر دوي خط تماس (Contact Wire) و خط توزيع انرژي (Transmition) براي انتقال انرژي استفاده مي‌شود. براي درك بهتر خط تماس مقايسه‌اي سطحي با خطوط توزيع انرژي انجام مي‌دهيم :

الف) در خط تماس، نقطه باركه همان ترن است متحرك مي‌باشد و چون بوسيله تريستور كنترل سرعت انجام مي‌گيرد، بار داراي نوسانات بسيار سريع و تيز مي‌باشد.

ب) موثر بودن اثرهاي القايي ولتاژ متناوب بر روي خطوط ارتباطي و مخابراتي كه در ايستگاه‌ها و

سوزن بانيها لازم است و از اين لحاظ بايد سيستم به نوعي طراحي شود (AC) كه كمترين اثر را روي مخابرات و سيم هاي ارتباطي داشته باشد و اين در نحوه زمين كردن سيستم تاثير ميگذارد.

ج) در خط انتقال بيشتر اثر با يخ در نظر گرفته ميشود در حالي كه در تجهيزات بالاسري اثر مهم عبور پانتگراف است كه بايد داراي ارتعاش ثابت باشد (خط تماس) و بطور پيوسته چك شود.

د) در خط تماس استفاده از هم پوشانيهاي مجزا و غيرمجزا

(Unisulated Overlaps And Insulated Overlaps) ضروري و مهم ميباشد.

يعني در قسمتي از طول ، تجهيزات بالاسري دوتايي مشاهده ميشود (خط دوبل است) و اسپانهاي هم‌پوش نيز مشاهده ميشود و علاوه بر اين بايد برق همیشه به پانتوگراف برسد. ولي در خط انتقال معمولي هم‌پوشاني ديده نميشود و از مقره هاي جامد و راحت (درنصب) لازم استفاده ميشود.

هـ) در خط انتقال معمولي تميز كردن مقره ها لازم نمي‌باشد . ولي در تجهيزات بالاسري به علت عبور بعضاً ديزلهاي بخاري و سوختي مقره ها كثيف خواهند شد و بايد تميز شوند.

و) براي مطمئن بودن جمع آوري جريان توسط پانتوگراف معمولاً يك نيرويي بين پانتوگراف و سيم كنتاكت موجود مي‌باشد. كه اين اصطكاك باعث از بين رفتن پانتوگراف و سيم تماس مي‌باشد، بطوريكه عمر مفيد سيم كنتاكت حدود ۲۵ سال مي‌باشد. كه در خطوط انتقال اين زمان بسيار بيشتر مي‌باشد و فقط اتفاقات خاص رخ مي‌دهد كه باعث خرابي خط انتقال مي‌گردد.

ز) براي استفاده بهينه از پانتوگراف و سيم تماس معمولاً خط داراي يك حالت زيگزاگ مي‌باشد كه Stagger خوانده مي‌شود كه حتماً بايد در طراحي خطوط بالاسري در نظر گرفته شود، در حاليكه در خط انتقال معمولاً سعي مي‌شود براي خنثي كردن نيروهاي كشش و كم كردن هزينه پايه‌ها و دكلها،

خط انتقال بطور كاملاً مستقيم و بر روي يك خط راست كشيده شود. تا نيروي حاصل از كشش سيم (وزن سيم) بر دكل تاثير چنداني نداشته باشد و با يكديگر خنثي گردند.

سيستم‌هاي برق‌رساني از نظر نوع ولتاژ (AC,DC)

قدرت لازم براي به حركت درآوردن موتورهاي تركشن مي‌تواند به دو صورت از پستهاي كشش دريافت شود. يكي بصورت ولتاژ مستقيم DC و ديگر بصورت ولتاژ متناوب AC ابتدا كليه سيستم‌هاي موجود از لحاظ ولتاژ را بررسي مي‌كنيم.

در اغلب كشورها معمولاً از ولتاژ DC ۱۵۰۰v و سيستم تك فاز ۲۰kv يا ۲۵ AC استفاده مي‌شود. براي اينكه انتقال سيستم سه فاز (سه سيم بايد كشيده شود) و همچنين جمع‌آوري آن (دوپانتوگراف) مشكل مي‌باشد تقريباً منسوخ شده است و تنها مزيتي كه دارد اثر نامتفاوتي تك فاز را ندارد.

بطور مثال، از ولتاژ DC در تراموا‌ها، متروها و ريل‌هاي زيرزميني و راه‌آهن‌هاي حومه شهر (براي

كاهش اغتشاشات مخابراتي) استفاده مي‌شود و ولتاژ AC براي راه‌آهن‌هاي طولاني و سريع كه به Shinkansen معروف هستند بيشتر قابل استفاده مي‌باشد.

حال به بررسي فوائد و معايب هر يك از دو سيستم فوق مي‌پردازيم :

۱- سيستم الكتريكي DC :

در اين سيستم يكسوسازهاي سيليكوني در پستهاي كشش نصب مي‌شود تا قدرت DC براي به حركت درآوردن موتورهاي DC به خط تماس وصل شود. موتورهاي DC مي‌توانند از نوع سري يا موازي با كوپل راه‌اندازي عالي باشند. ولتاژ DC موتورهاي كشش از نظر تكنولوژي عايق‌بندي و كموتاسيون موتورها محدود مي‌شود بطوريكه بيشترين مقدار ولتاژ VDC ۳۰۰۰ مي‌باشد.

پس در مقايسه با سيستم‌هاي AC، زياد بودن جريان سيستم تماس باعث بالا رفتن افت ولتاژ مي‌شود. پس فاصله بين پست‌ها كوتاهتر مي‌شود. به

منظور کاهش افت ولتاژ و افزایش ظرفیت جریان، تغذیه‌کننده‌ها معمولاً بطور موازي با سیم تماس قرار مي‌گیرند. پس ساختار پستها و سیستم سیم کنتاکت از نوع AC پیچیده‌تر خواهد شد.

بخاطر کم بودن سطح ولتاژ DC، عایق خطوط برقي و ماشین (ترن) ساده‌تر مي‌شود که یك مزیت سیستم DC بشمار مي‌رود. به خاطر همین مزیت این سیستم در جاهایي که از سه ریل در راه‌آهن زیرزميني و تراموا‌ها استفاده مي‌شود، کاربرد دارد و همچنین بخاطر عدم اثر القایي روي خطوط مخابراتي در مقایسه با نوع AC داراي ارجعیت مي‌باشد. که در طول تاریخ برق نیز از آن استفاده‌هاي وسیعي شده است.

۲- سیستم الکتریکي AC تك‌فاز با فرکانس عادي (۵۰HZ) :

بخاطر ساده شدن طرح پستهاي AC معمولاً از فرکانس خطوط انتقال نیرو استفاده مي‌شود تا هزینه تبدیل

فرکانس حذف گردد و فقط ترانسفورماتور لازم باشد.

همچنین ترانسفورماتورهایي روي خود ترن تعبیه شده است تا براحتي ولتاژ انتخابي موتورها در اختیارشان قرار گیرد.

پس بخاطر کاهش افت ولتاژ و زیاد کردن فاصله بین پستها میتوان سطح ولتاژ خط تماس را افزایش داد. که در نتیجه آن تعداد پستها کاهش مییابد و همچنین ظرفیت جریان نیز کم میشود. و براي مقابله با اثر افت ولتاژ میتوان کنداسورهایي را بطور سري در پستها و یا در طول خط تماس براي کمپانزه کردن امپدانس قرار داد.

کنترل سرعت در این سیستم راحتتر انجام میگیرد و نیروي استارت بیشتري را دارا میباشد. ولي ولتاژ بالا معمولاً یك اثر القایي در خطوط مخابراتي که در نزدیکي ریل میباشند بوجود میآورد.

بدین منظور با استفاده از سیستمهاي AT,BT,... این اثر را کاهش میدهند. به راحتي از این سیستم

مي‌توان براي درايوموتورها استفاده كرد البته براي تامين جريان تحريك بايد قسمتي از جريان را DC كنيم.

يكي ديگر از معايب سيستم تك فاز ايجاد نامتعادلي و ناتفاوتي در دريافت قدرت ۳ فاز مي‌باشد كه با بكاربردن ترانس اسكات، اتصال V و ... اين اثر را به شدت كم مي‌كنند.

مزاياي بالاي اين سيستم را به يكي از كاراترين و معتبرترين سيستم‌ها تبديل كرده است بطوريكه غالب كشورها از سيستم AC تك فاز با فركانس ۵۰Hz و ولتاژ ۲۵kv استفاده مي‌كنند.

انواع سيستم‌هاي جمع‌آوري جريان

يك نوع متداول ديگر كلاس بندي انواع ريل‌ها و سيستم‌هاي راه‌آهن برقي، تقسيم‌بندي بر اساس روش دريافت و جمع‌آوري جريان مي‌باشد كه بطور كلي به چهار دسته تقسيم مي‌شوند:

۱- سيستم تك خطي بالاسري (Overhead Single Line System):

در اين روش از ريل به عنوان مدار برگشت جريان نيز استفاده مي‌شود. به خاطر سادگي ساختار خط تماس و وسيله جمع كننده جريان از اين نوع سيستم چه در ولتاژ AC و چه در DC استفاده فراواني مي‌شود.

ولي داراي اين عيب نيز مي‌باشد كه داراي جريان نشتي زيادي به زمين مي‌باشد. كه در ولتاژ AC باعث بروز اغتشاشات راديويي مي‌گردد.

۲- سيستم دوخطي بالاسري (Overhead Double Line System) :

دو خط تماس قراردادهشده است كه يكي براي رساندن قدرت و ديگر بعنوان زمين بكار مي‌رود و جريان لازم براي موتورها از طريق دو وسيله جمع كننده فراهم مي‌شود. مي‌توان نتيجه گرفت كه ساختار خط بالاسري پيچيده است و اين نوع خط از لحاظ ساختمان گران تمام مي‌شود. ولتاژ خط تماس را نمي‌توان خيلي بالا برد چون عايق كاري سيم‌هاي تماس مشكل مي‌شود. ولي مشكلات زمين كردن را ندارد به همين

جهت از اين سيستم بيشتر در اتوبوس‌هاي برقي استفاده مي‌شود.

۳- سيستم سه ريلي: (thrid Raid System)

در اين سيستم يك ريل سومي در طول خط نصب شده و جريان به وسيله Shoe به موتورهاي الكتريكي مي‌رسد كه از طريق لغزيدن اين سيم روي ريل سوم عمليات جمع‌آوري جريان صورت مي‌گيرد و ريل‌هاي اصلي به عنوان مدار برگشت بكار مي‌روند.

اين سيستم بطور گسترده‌اي در راه‌آهن هاي زيرزميني (مترو) كه ظرفيت جريان زياد و ساختار پايه‌هاي ساده كه هزينه‌ها را كم مي‌كند و بلندي تونل را كاهش مي‌دهد استفاده مي‌شود. عيب اين سيستم آن است كه چون ريل برق دارد و در سطح زمين (قابل دسترس) قرار دارد براي افراد و حيوانات گذرنده و كساني كه در ريل كار مي‌كنند خطرناك مي‌باشد و همچنين قطع و وصل و تغذيه از ديگر پستها در اين روش مشكل است.

به خاطر همين ولتاژ و مكان ريل سوم محدود مي‌شود و نمي‌توان ولتاژ را در اين سيستم بالا برد كه معايبي دارد و قبلاً بحث شده است.

د) سيستم ريل دوبل (Rigid Double Line System) :

دو ريل در امتداد ريل اصلي كار گذاشته مي‌شود و دو وسيله جمع آوري كننده جريان وظيفه رساندن جريان به موتورها را برعهده دارند. از اين سيستم در جاهايي كه ريل اصلي تك خطي است (Monorail) بطور وسيعي استفاده مي‌شود.

همانطوريكه مشاهده شد مي‌توان روشهاي جمع‌آوري جريان را به چهار شاخه مختلف تقسيم نمود كه هر كدام مزايا و معايبي دارند ولي معمولاً در جاهايي كه ريل طولاني، روباز و در مسير بين دو شهر قرار گرفته باشد از دو روش اول يعني سيم تماس بالاسري استفاده مي‌شود.

اغتشاشات روي سيم‌هاي مخابراتي

مدارهاي مخابراتي از لحاظ آسيب‌پذيري هارمونيك بسيار حساس مي‌باشند و هارمونيكها و يا

جريانهايي با فركانس بالا باعث بروز اغتشاش در سيگنالهاي راديويي يا تلويزيوني يا سيگنالهاي مكالمه تلفن مي‌شوند.

ولتاژ القائي در كابلهاي سيگنالينگ (گفتگو، مخابراتي و...) را مي‌توان به دو نوع تقسيم نمود:

القاء الكترواستاتيكي (Electrostatic Induction) و القاء الكترومغناطيسي (Electromagnetic Induction)

۱- القاء الكترواستاتيكي :

ولتاژ القائي الكترواستاتيكي، بستگي به محل و فاصله خط مخابراتي دارد كه علت آن وجود شدت ميدان الكتريكي بين سيم تماس با ولتاژ بالا و زمين مي‌باشد و هر سيمي كه در اين ميدان امتداد يابد القاء در آن نيز صورت مي‌گيرد.

$C_{۱۲}$: خازن بين سيم تماس و خط مخابراتي

$C_{۲۰}$: خازن بين خط مخابراتي و زمين

$C_{۱۰}$: خازن بين سيم تماس و زمين

اگر ولتاژ خط تماس V_{10} باشد ولتاژ القايي بين خط مخابراتي و زمين برابر $V_{20} = V_{10} \times \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{20}}$ مي‌باشد.

به منظور كاهش اين ولتاژ القايي بايد ظرفيت خازنها را كوچك نمود (C_{12}) براي اين منظور در كشورهاي مختلف استانداردهاي مختلفي وجود دارد مثلاً در هند: كابل مخابراتي را در عمق ۱ متري و به فاصله حدود ۳ متري ريل اصلي دفن مي‌كنند، با اين كار ظرفيت C_{20} خيلي بيشتر از C_{12} مي‌شود و مي‌توان از ولتاژ V_{20} القايي صرفنظر نمود.

درجاهايي كه چال كردن مشكل باشد مي‌توان از يك لايه فلزي كه دور كابل مي‌كشند و به Shild معروف است استفاده نمود. با اين وسيله شدت ميدان الكتريكي را محصور مي‌كنيم البته شيلد بايد به زمين وصل شود.

۲- القاء الكترومغناطيسي

هرگاه از سيمي جريان عبور كند، سيم در اطراف خودش يك ميدان مغناطيسي توليد مي‌كند كه به شكلهاي هادي، ميزان جريان عبوري از سيم و

فاصله نقطه بررسي تا سيم بستگي دارد و هر سيمي كه خطوط قوا را قطع كند (مغناطيسي) چون جريان بررسي را AC در نظر مي‌گيريم (اين اثر در ولتاژ متناوب ظاهر مي‌شود) مي‌تواند يك نيروي محركه در سيم ما پديد آورد كه اين به ولتاژ القايي الكترومغناطيسي موسوم است.

حال مي‌خواهيم به دامنه و مقدار اين ولتاژ بپردازيم و روشهاي كم كردن و يا از بين بردن اين اثر را بررسي كنيم.

اگر l_1 جريان عبوري از خط قدرت و M ضريب القاء متقابل بين دو خط مختلف باشد (زيرنويسي‌ها مربوط به شماره خط است) داريم :

ولتاژ القائي شيلد $= l_1 M_{12}$

جريان در شيلد $= l_1 \frac{M_{12}}{Z_{22}}$

ولتاژ القائي در خط مخابراتي $= l_1 M_{13} \frac{M_{23} M_{12}}{Z_{22}} l_1$

ضريب شيلد را تعريف مي‌كنيم : مقدار ولتاژ القائي در خط مخابراتي وقتي پرده يا شيلد در سيم كابل بكار رفته باشد به مقدار ولتاژ القايي در

خط مخابراتي بدون هرگونه شيلدي، طبق تعريف داريم :

$$\text{ضريب شيلد} = \frac{l_1M_{13} - M_{23}M_{12}}{l_1M_{13}} = 1 - \frac{M_{23}M_{12}}{Z_{22}M_{13}} = 1 - \frac{M_{23}}{Z_{22}} = 1 - \frac{l_{22}}{\sqrt{R_{22}^2 + L_{22}^2}}$$

در كابلهاي مخابراتي شيلد شده معمولاً چون فاصله هادي و شيلد از خط قدرت تقريباً به يك اندازه مي‌باشد ميتوان فرض كرد $M_{12} = M_{13}$ و اگر امپدانس شيلد $Z_{22} = R_{22} + jwl_{22}$ باشد اگر پوسته دور كابل را بطور كامل احاطه كرده باشد، باز چون تفاوت بين هادي و پوسته كم است مي‌توانيم فرض كنيم: $M_{23} = L_{22}$.

هرچه مقدار ضريب شيلد كمتر باشد بهتر است. با توجه به روابط نتيجه مي‌گيريم كه بايد R_{22} كم باشد كه به همين خاطر جنس پوسته را از آلومينيوم انتخاب مي‌كنيم و براي كم كردن اثر شيلد و جريان عبوري از آن، اين پوسته را زمين مي‌كنيم (به زمين وصل مي‌كنيم).

چون كابل داخل زمين است عوامل محيطي باعث خوردگي سپر ميدان مي‌شود كه اين باعث افزايش مقاومت

شیلد یعني R_{22} مي‌گردد که ضریب القاء بالا مي‌رود به خاطر همین از عایق P.V.C روي کابل استفاده مي‌کنند.

حال سیستمي را در نظر مي‌گیریم که جریان برگشتي آن از داخل ریل راه‌آهن عبور مي‌کند و اثر ولتاژ القایي در کابل به سه عامل بستگي دارد:

الف) موقعیت هادي کابل نسبت به سیم تماس بالاسري و ریلها

ب) نسبت مجموع جریان کشش جاري شدن در ریل به زمین

ج) مقدار جریان برگشتي که از پوسته هادي (کابل) عبور مي‌کند.

با توجه به عوامل بالا و در نظرگرفتن ضریب القاء متقابل بین ریل و پوسته و زمین مي‌تواند مقدار ولتاژ القایي را محاسبه کرد که اینجا فقط نتیجه را ذکر مي‌کنیم :

$$E = 2\pi F K_c K_r \mu l_1 \frac{Volt}{KM}$$

ضريب شيلد K_c بسته به نوع ريل بين ۰/۰۵۳ تا ۲ براي ريل‌هاي تك خطي تغيير مي‌كند و براي كابلهاي غير شيلد شده ۱ و براي كابلهاي شيلد شده ۰/٤.

ضريب پوششي ريل = K_r

كه به مقدار مقاومت زمين و فاصله بين هادي كابل و سيم، تماس بستگي دارد :

ضريب القاء متقابل = μ

$$\mu = 0.2\mathrm{Ln}\left(\frac{660}{d}\sqrt{\frac{\rho}{f}}\right)$$

مقاومت مخصوص خاك = p

روش‌هاي متعددي براي كم كردن اين ولتاژ پيشنهاد شده است كه مي‌توان از :

الف) در خطوط انتقال طويل از ترانس‌هاي ايزوله كننده روي خطوط مخابراتي استفاده نمود.

ب) استفاده از عايق P.V.C براي كاهش مقاومت اهمي شيلد

ج) جنس پوسته را از آلومينيوم انتخاب كنيم

د) بكارگيري روش BT (Booste transformer)

براي كم كردن اين اثر مي‌توان تغييراتي را در سيستم تغذيه بوجود آورد. كه مهمترين آنها استفاده ازاتوترانس (AT) و ترانس تشديد (BT) مي‌باشد كه در قسمت بعد به تشريح اين سيستم‌ها مي‌پردازيم.

انواع مختلف سيستم‌هاي AC

همانطوريكه بحث شد يكي از مشكلاتي كه در سيستم‌هاي AC رخ مي‌دهد، تاثير روي خطوط ارتباطي خود راه‌آهن مي‌باشد كه براي كنترل خط و ... بكار مي‌رود. روشهاي متعددي براي كاستن اين اثر وجود دارد كه يكي از آنها اصلاح و تغيير سيستم تغذيه مي‌باشد. در اين قسمت انواع اين سيستمها را بررسي مي‌كنيم، لازم به ذكر است كه اين اصلاح و تغيير تنها به خاطر اثر اغتشاشات مخابراتي نيست بلكه عوامل ديگري نيز مهم هستند كه مي‌توان به كمپانزه كردن افت ولتاژ خط تماس بالاسري اشاره نمود.

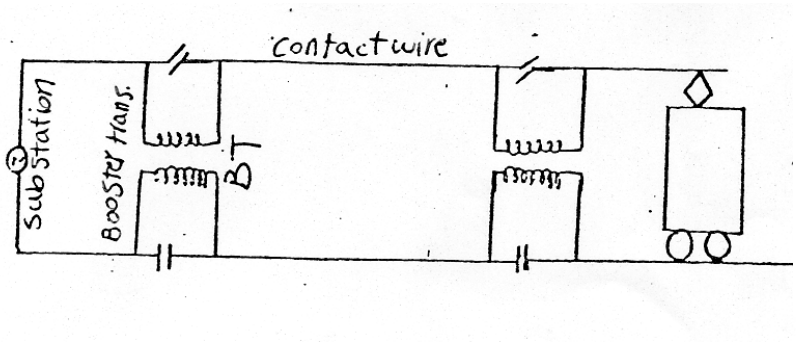
الف) سيستم تغذيه ساده و مستقيم (Direct Feeding)

که قبلاً توضیح داده شده است و معایبش گفته شده که ساده و ارزان میباشد.

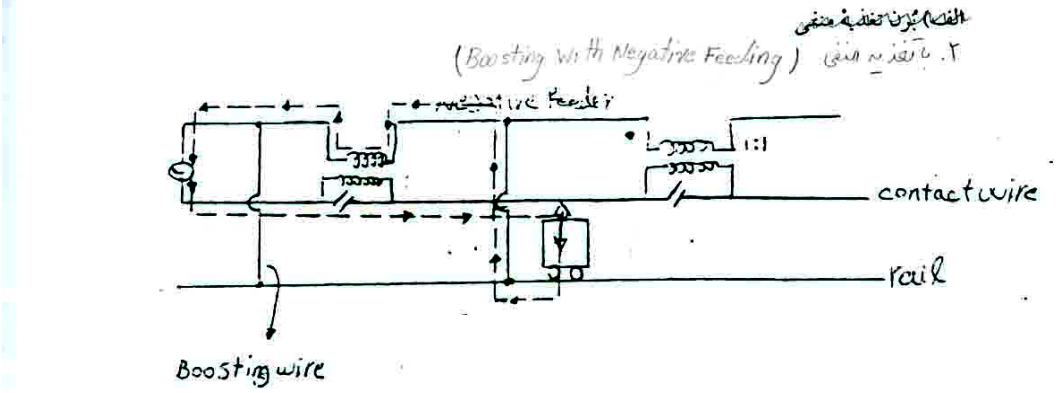
ب) سیستم تغذیه ترانس تشدید کننده (Booster transformer feeding)

با بکار بردن ترانس در فواصل معین جریاني که باعث کنسل شدن جریان برگشتي از ریل میشود که خود این سیستم نیز به دو نوع تقسیم میشود که در شکل زیر آمده است :

۱- بيتغذيه منفي



۲- با تغذیه منفی (Boosting with negative feeding)



نسبت تبديل ترانس ۱:۱ مي‌باشد در نتيجه جريان برگشتي موتور همگي از تغذيه منفي عبور مي‌كند پس جريان نشتي بداخل زمين را محدود مي‌نمايد. پس اثر القايي سيم تماس بوسيله القاء جريان برگشتي به داخل سيم تغذيه منفي از بين مي‌رود. و بدين وسيله اغتشاشات مخابراتي را كم مي‌كند.

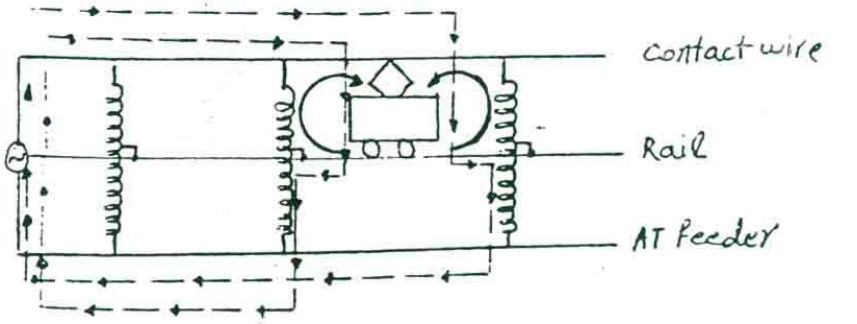
وقتي پانتوگراف از روي قسمت BT عبور مي‌كند يك جرقه اي بين سيم تماس و پانتوگراف‌زده مي‌شود كه باعث كاهش عمر هر دو مي‌شود.

ظريف اين ترانس وابسته به فاصله‌هاي نصب ترانس، جريان بار، نوع ترن، امپدانس يا ضريب ثابت مدار تغذيه كه حدود ٦٥kvA است، مي‌باشد. اگر فاصله نصب حدود ٤km باشد.

این سیستم تقریباً منسوخ شده است چون همانطوریکه ذکر شد در قسمت‌هاي نصب BT سیم تماس احتیاج به عایق‌کاري دارد و اجازه وجود ولتاژ براي بالا بردن ترن را نمي‌دهد يعني براي ترن‌هايي با سرعت بالا، سیستم مناسبي نمي‌باشد.

ج) سیستم تغذیه اتوترانسفورماتور (Auto transformaer feeding) AT

در این سیستم نیز نسبت اتوترانس ۱:۱ مي‌باشد و ولتاژ تغذیه را دوبل مي‌کند. اگر ثابت سیم را با قسمت قبل يكي بگيريم افت ولتاژ در این سیستم يك چهارم BT مي‌باشد. پس افت ولتاژ در AT کمتر است مي‌توان قدرت منبع تغذیه را بالا برد نتیجه اینکه فاصله بین پست‌هاي AT را مي‌توان چهاربرابر BT در نظر گرفت. این سیستم براي راه آهني که بار سنگیني دارد (مصرف بالا) استفاده مي‌شود چون BT از این لحاظ داراي نقطه ضعف مي‌باشد.



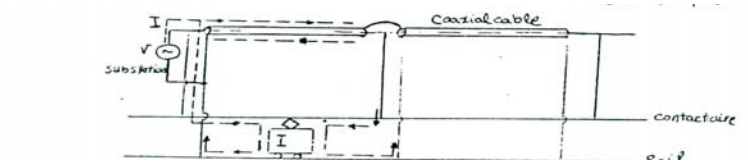
با جاري كردن جريان ريل درون خط تغذيه (AT Fedder) AT مي‌توان جريان نشتي زمين را كم كرد. البته از آنجايي كه جريان لازم از دو پست با جهت جريانهاي مخالف تهيه مي‌گردد، همين باعث كاهش ولتاژ القايي در خط ارتباطي مي‌گردد. اين امر وقتي كه خط مخابراتي طويل باشد بهتر ديده مي‌شود.

در اين قسمت نيز ظرفيت ترانس به فاصله پستها، دامنه جريان و ... بستگي دارد. بطور تقريبي براي فاصله دو پست ۱۰km ظرفيتي بين ۱۰۰۰kvA تا ۱۵۰۰۰kvA مي‌باشد (البته به نوع ترن هم بستگي دارد). بعلاوه اگر بازهم كمپنزاتورهايي براي كمپانزه كردن افت ولتاژ لازم باشد، واكتانسهايي را بطور سري در مدار تغذيه قرار مي‌دهند. اين روش براي جاهايي كه ترافيك سنگيني دارد و جمعيت

منطقه زياد است بسيار اقتصادي و مقرون به صرفه است و بر دو سيستم قبلي ارجحيت دارد.

د) سيستم تغذيه با كابل كواكسيال يا هم محور (Coaxial feeding system)

سيستم چهارمي كه بحث مي‌كنيم با استفاده از كابل كواكسيال مي‌باشد. البته اين سيستم بطور گسترده استفاده نمي‌شود و فقط در طول‌هاي كوتاهي از مسير قابل نصب است. مثلاً در تونلهاي و پلها كه محدوديت ارتفاع داريم و سيستم AT تقريباً غيرممكن است و استفاده از آن توصيه نمي‌شود از اين سيستم كه گران نيز مي‌باشد استفاده مي‌شود.



خصوصیات تراکشن موتور AC و مقایسه آن با نوع DC

تاریخچه :

لزوم استفاده از انرژي الكتريكي بعنوان كشش از سال ۱۸۷۹ مورد توجه قرار گرفت و اولين مورد از كاربرد توان الكتريكي در وسايل نقليه ريلي در سال ۱۸۹۰ و در قطارهاي شهري و سپس تراموا ها مورد استفاده قرار گرفت. اين امر بين سالهاي ۱۹۱٤-۱۸۹۰ گسترش پيدا كرد و براي اولين بار در سال ۱۹۰۰ بود كه كشش الكتريكي در قطارهاي متروي لندن،پاريس و همچنين خطوط كوهستاني سوئيس به بهره‌برداري رسيد. از سال ۱۹۲۰ استفاده از

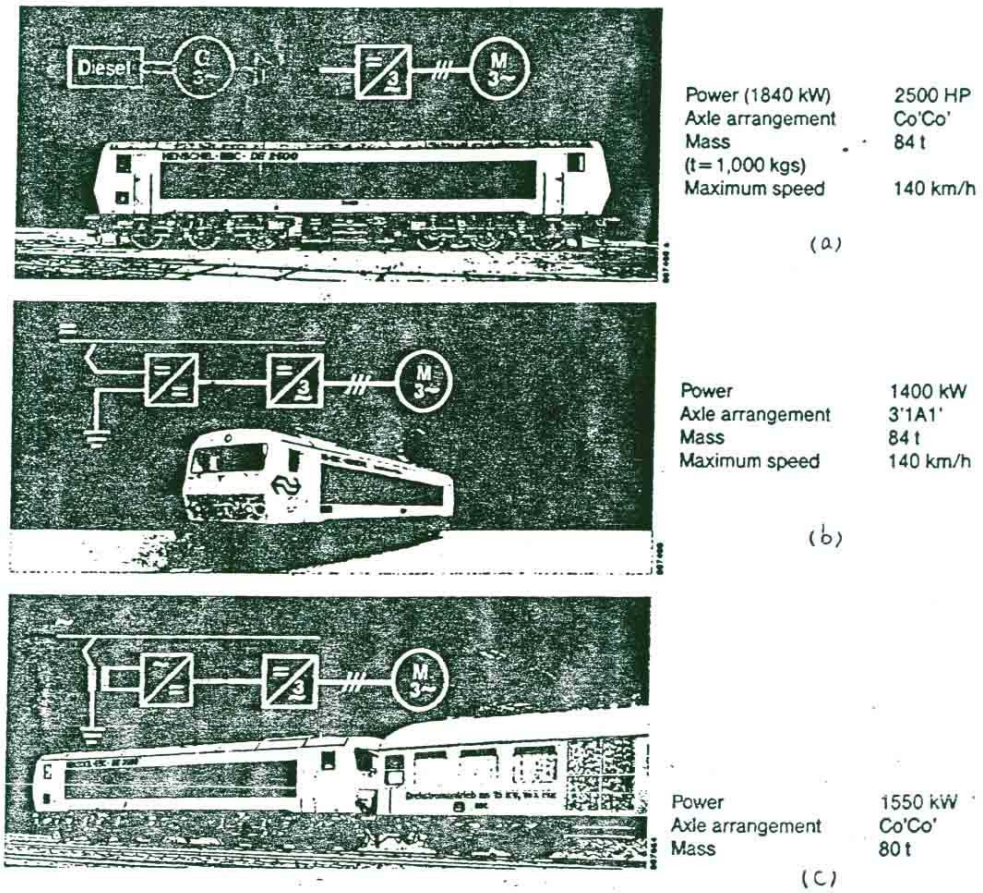
قطارهاي برقي گسترش يافت و از سال ۱۹۵۰ به بعد تقريباً حالت عمومي به خود گرفت.

تمام كاربردهاي فوق منحصر به استفاده از موتورهاي DC مي‌شد زيرا در گذشته موتورهاي AC از جمله موتور القايي (آسنكرون) فقط براي كاربردهاي با سرعت ثابت مورد استفاده داشتند. اين مطلب از اين نكته ناشي مي‌شد كه كنترل دور موتورهاي AC بسيار دشوار و هزينه‌بر بود در حاليكه سرعت موتورهاي DC به كمك پتانسيومتر (مقاومت قابل تغيير) براحتي قابل تغيير بوده و هزينه چنداني هم دربر نخواهد داشت.

در دهه ٦٠ و با پيشرفت در ساخت المانهاي الكترونيكي و توسعه علم الكترونيك قدرت و همچنين توانايي ساخت مبدلهاي استاتيكي با قابليتهاي بالا از جمله تلفات كم، فركانس بالا و قدرتهاي سوئيچينگ بالا، باعث شد كه موتور AC از حالت كاربرد محدود به صورت يك رغيب جدي براي موتور DC درآيد تا جائيكه در حال حاضر بجز موارد

خاص، استفاده کردن از موتورهاي DC به صرفه نمي‌باشد.

اولين قطارها در سال ۱۹۷۰ توسط شرکت ABB مجهز به سيستم کشش با موتورهاي AC سه فاز شد و با نشان دادن قابليتهاي بالاي خود، از آن تاريخ به بعد کاربرد آن توجه‌ها را به خود جلب کرد. اين نوع لکوموتيو تحت نام DF 2500 توليد شد و در سه حالت آزمايش گرديد و در هر سه حالت نتايج خوبي بدست آمد. مرحله اول نصب روي ديزل الکتريک، مرحله دوم نصب روي قطار برقي با شبکه بالاسري ۱۵۰۰ ولت DC و در نهايت روي قطار برقي با تغذيه AC، شکل قطارها و مشخصات آنها در زير آمده است. اين آزمايشها در نهايت منجر به توليد قطارهاي سريع السير ICE شد.



a : لکوموتیو DE 2500 با تراکشن AC

b : لکوموتیو DE 2500 تغییر یافته برای تغذیه از طریق شبکه DC

c : لکوموتیو DE 2500 تغییر یافته برای تغذیه از طریق شبکه AC

در حال حاضر ساخت تراکشن موتور AC سه فاز در جهان کاربرد عمومي به خود گرفته و بجز بعضي کشورها که از قبل به تراکشن DC مجهز بوده اند و چاره اي جز ادامه استفاده از آنها ندارند، در اکثر کشورها تراکشن AC در حال جایگزین شدن بجاي تراکشن DC مي‌باشد. از سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۱

حدود ۱۵۰۰ دستگاه لکوموتیو با تراکشن AC تولید شده یا سفارش داده شده است.

ماشين‌هاي الكتريكي

در مهندسي برق، از ژنراتور و موتور الكتريكي به عنوان ماشين الكتريكي ياد مي‌شود زيرا در اكثر موارد هر يك، قابليت كار كردن در حالت ژنراتوري يا موتوري را دارا مي‌باشد. ماشينهاي الكتريكي به دو دسته تقسيم مي‌شوند:

۱- ماشينهاي الكتريكي DC ۲- ماشينهاي الكتريكي AC

۱- ماشينهاي الكتريكي DC

ماشينهاي الكتريكي DC شامل دو حالت كاركرد موتوري (تبديل انرژي الكتريكي به مكانيكي) و ژنراتوري (تبديل مكانيكي به الكتريكي) مي‌گردند. در اينجا به اقتضاي بحث فقط روي نوع خاصي از موتورهاي DC كه بعنوان تراكشن موتور بكار مي‌روند بحث خواهد شد. موتورهاي DC از نظر نوع تحريك ميدان استاتور و اتصال سيم پيچي روتور و استاتور در مجموع به سه نوع تقسيم مي‌شوند:

۱- موتور با تحريك جداگانه (مجزا)

۲- موتور با تحريك موازي

۳- موتور با تحريك سري

موتوري با تحريك موازي و مجزا از لحاظ عملكرد بسيار شبيه يكديگر مي‌باشند. هر دو براي كاربردهاي با بار متغيير و سرعت ثابت مناسب مي‌باشند با اين تفاوت كه در حالت اتصال موازي نياز به فقط يك منبع تغذيه خارجي وجود دارد در حاليكه در حالت اتصال مجزا دو منبع خارجي مورد نياز مي‌باشد. در عوض تغييرات الكتريكي روي سيم‌پيچ‌هاي روتور و استاتور موتور با تحريك مجزا تا حد زيادي مستقل از يكديگر مي‌باشند. اين نوع از موتورها به علت مناسب بودن براي سرعت ثابت و همچنين كوپل راه اندازي نسبتاً كم براي كشش الكتريكي مناسب نمي‌باشند.

تقريباً هرجا كه صحبت از كشش DC مي‌باشد از موتور DC با تحريك سري استفاده شده است. در موتور سري تمام جريان آرميچر (روتور) از سيم‌پيچي ميدان نيز عبور مي‌كند به همين دليل بايد

سيم‌پيچي ميدان (استاتور) نيز ضخيم در نظر گرفته شود تا تحمل جريان زياد عبوري را داشته باشد و باعث تلفات گرمايي و افت ولتاژ نگردد.

از جمله مشخصه‌هاي موتور سري اينست كه در موتور سري اگر ولتاژ خط ثابت باشد (vt=cte) با كاهش سرعت روتور به سمت صفر به علت افزايش بار، گشتاور و جريان آرميچر به مقدار حداكثر افزايش مي‌يابند. در اين حالت اگر سرعت صفر باشد (در حالت راه‌اندازي) گشتارو بسيار زيادي به آرميچر اعمال خواهد شد. در موتور موازي گشتاور توليد شده روي محور روتور متناسب با جريان آرميچر مي‌باشد در حاليكه در موتور سري تا حدود ۳۰٪ جريان نامي، گشتاور با توان دوم جريان آرميچر متناسب مي‌باشد. اين حالت تا موقعي كه هسته استاتور از نظر مغناطيسي به اشباع نرفته باشد صحيح است. پس از اشباع هسته استاتور، رابطه گشتاور و جريان آرميچر رابطه‌اي خطي خواهد بود.

در موتور سري اگر بار ثابت باشد، با ازدياد ولتاژ خط، سرعت نيز افزايش مي‌يابد. از نظر تئوري محدوديتي در افزايش سرعت وجود ندارد ولي در عمل حداكثر سرعت آرميچر توسط بهم پيوستگي اجزاء موتور مخصوصاً استحكام مكانيكي سيم‌پيچي‌هاي روتور محدود مي‌گردد. حداكثر سرعت موتور DC در حدود ۲٤۰۰ rpm است.

براي كنترل ميدان از يك مقاومت متغيير (رگولاتوربار) بصورت موازي با سيم‌پيچي ميدان استفاده مي‌شود. با كاهش اين مقاومت، جريان واقعي ميدان نيز كاهش مي‌يابد بنابراين قدرت ميدان كم مي‌شود ولي در مجموع جريان آرميچر بخاطر كاهش مقاومت كل مدار، افزايش مي‌يابد و توان بيشتري به موتور اعمال مي‌گردد.

براي متوقف كردن موتور DC از روش ترمزديناميكي استفاده مي‌گردد. در اين روش مقاومتهاي ۰/٦٦ اهم در مدار آن بسته مي‌شود. چون آرميچر هنوز داراي ميدان مغناطيسي و در

حال گردش مي‌باشد بنابراين اين موتور تبديل به ژنراتور شده و در اثر اين عمل در دو سر آرميچر ولتاژي ايجاد مي‌گردد. اگر مدار از طريق مقاومتها بسته شده باشد جرياني كه در آنها جاري مي‌شود كه اين جريان باعث ايجاد گشتاور متقابلي در روتور مي‌گردد و اين گشتاور متقابل باعث كند شدن حركت روتور مي‌شود. همچنانكه دور موتور كم مي‌شود گشتاور متقابل نيز به علت كاهش جريان كاهش مي‌يابد. بنابراين اثر كند شدن اكثراً در سرعتهاي بالا واقع مي‌گردد و در سرعتهاي پايين اثر چنداني نخواهد داشت.

قسمتهاي اصلي يك موتور DC عبارتند از :

۱- استاتور

۲- روتور

۳- كلكتور و جاروبكها

استاتور و روتور هر دو از نوع سيم‌پيچي شده مي‌باشند. كلكتور جهت جمع‌كردن و انتقال جريان الكتريكي از بيرون به روتور يا از روتور به بيرون

مي‌باشد كه روي محور روتور قرار گرفته است. براي عمل انتقال جريان، روي كلكتور از جاروبكهاي لغزنده‌اي استفاده مي‌شود كه حامل زغال الكتريكي مي‌باشند. در ناحيه كلكتور علاوه بر ايجاد متناوب جرقه بر اثر حركت جاروبكها كه باعث تلفات زيادي مي‌گردد؛ همواره سايش و خوردگي زغال و كلكتور مطرح بوده و نياز مبرم به تعمير و نگهداري مداوم دارند.

۲- ماشينهاي الكتريكي AC

ماشينهاي الكتريكي AC به سه دسته تقسيم مي‌شوند:

۱- ماشين سنكرون

۲- ماشين آسنكرون

۳- ترانسفورماتور

چون ترانسها فقط جهت انتقال انرژي الكتريكي بكار مي‌روند لذا در اينجا مورد بحث قرار نمي‌گيرند. موتورهاي سنكرون نيز به جهت ساختار و كاربردشان در سرعتهاي ثابت با توان بسيار بالا

مانند صنايع سيمان، براي كاربردهاي كششي، مصارف چنداني نداشت ولي اخيراً براي قطارهاي بسيار سريع از موتورهاي سنكرون نيز استفاده شده است و حتي سرعتهاي بالاي ٤٠٠ كيلومتر در ساعت نيز توسط آن بدست آمده است با اينحال هنوز راه زيادي در پيش دارد تا متداول گردد. در عوض در سالهاي اخير (از بيش از دو دهه پيش) موتورهاي آسنكرون يا القايي در جاي جاي صنعت رخنه كرده و در بسياري از موارد ركورددار كاربرد موتور مي‌باشد. با اطمينان بتوان ادعا كرد كه بيش از ٨٠% موتورها در صنعت از نوع القايي مي‌باشد. اين عموميت در لكوموتيو نيز نفوذ كرده و تحول از كشش DC به AC را بوجود آورده است.

موتور القايي از دو قسمت عمده تشكيل شده است:

١- استاتور

٢- روتور

استاتور از نوع سيم پيچي شده مي‌باشد ولي روتور بنابر كاربرد موتور مي‌تواند بصورت سيم‌پيچي شده يا از نوع قفس سنجابي باشد.

موتور القايي از نظر ساختمان ساده‌ترين موتور مي‌باشد و به جهت استفاده از روتور قفس سنجابي (استفاده از شمشها يا ورقه‌هاي مسي و آلومينيومي و اتصال آنها در دو سر روتور به يكديگر) داراي استحكام مكانيكي و الكتريكي بسيار زيادي مي‌باشد. بجز در محل بلبرينگها در هيچ نقطه ديگري از آن، قسمت مستهلك شونده وجود ندارد و از اين جهت نياز به تعمير و نگهداري ندارد. در موتور القايي نياز به كلكتور، جاروبك و زغال وجود ندارد و اين از مزاياي بسيار بزرگ آن مي‌باشد.

همانطور كه قبلاً اشاره شد عمده اشكال بر سر راه استفاده گسترده از موتور القايي عدم كنترل سرعت آن بود زيرا سرعت موتور القايي بستگي به فركانس ميدان الكتريكي كه به استاتور آن اعمال مي‌شود و همچنين تعداد قطبهاي استاتور دارد. به

عنوان مثال اگر فرکانس میدان ۵۰ هرتز (۶۰هرتز) باشد و استاتور داراي دو قطب باشد، روتور با سرعتي نزديك به ۳۰۰۰rpm (۳۶۰۰) دوران خواهد كرد و اين سرعت تا زماني كه فركانس ميدان تغيير نكند ثابت خواهد ماند. سرعت موتور القايي از رابطه زير بدست مي‌آيد :

$$n = \mathbf{120}\ f / p$$

كه در آن f فركانس ميدان و p تعداد قطبهاي استاتور مي‌باشد. البته لازم به ذكر است كه سرعت موتور القايي كمي كمتر از مقدار بدست آمده از رابطه بالا مي‌باشد و اين بخاطر اينست كه گشتاور لازم بتواند در موتور ايجاد گردد. مقدار انحراف از سرعت فوق معمولاً كمتر از ۵ درصد مي‌باشد.

درگذشته تغيير در فركانس بقدري مشكل بود كه عملاً از آن صرفنظر مي‌كردند و فقط با تكنيكهاي خاص تعداد قطبها را دو برابر با نصف مي‌كردند و در نتيجه دو سرعت مختلف قابل دسترسي بود. در حال حاضر با توجه به امكان ساخت اينورترها با

عناصر سوئيچينگ سريع و با قدرت بالا براحتي ميتوان فركانس و ولتاژ دو سر ميدان را كنترل كرد و در سرعتهاي مختلف موتور را به گردش درآورد. يكي از پيشرفتهترين متدهاي سوئيچينگ عناصر نيمه هادي در اينورترها كه در بحث كنترل دور موتور وسائط نقليه كاربرد دارد تحت عنوان روش PWM (Pulse width Modulation) معروف است و قادر است در سرعتهاي مختلف گشتاور را ثابت نگه دارد. در زير مقايسهاي بين دو نوع موتور عمده كه بعنوان تراكشن موتور و وسائط نقليه ريلي مورد استفاده قرار گيرند، يعني موتور DC سري و موتور القايي، انجام خواهد شد.

مقايسه موتور DC سري و AC القايي

۱) از نظر قدرت

با توجه به اينكه روتور موتور AC القايي برخلاف موتور DC كه بصورت سيمپيچي ميباشد، بصورت قفس سنجابي است لذا تحمل جريانهاي زياد براي آن ممكن است و ميتوان توانهاي بالاتري را

از آن انتظار داشت لذا نسبت بر وزن در موتور AC القايي بزرگتر از موتور DC مي‌باشد. اين نسبت براي موتور AC تا دو برابر DC نيز رسيده است يعني وزن AC معادل نصف وزن DC هم توان مي‌باشد.

وزن/توان DC < وزن/توان AC

۲- از نظر ساخت

از نظر ساختمان استاتور، تقريباً دو نوع موتور مشابه مي‌باشند (از نظر تعداد سيم‌پيچي و تعداد قطبها معمولاً يكسان نمي‌باشند) ولي روتور موتور AC القايي ساختمان بسيار ساده‌تري دارد و ملحقاتي مانند كلكتور، جاروبك و زغال كه در موتور DC لازم است روي آن قرار نمي‌گيرد. بنابراين از نظر ساختمان روتور بسيار ساده‌تر از موتور DC مي‌باشد.

نكته مهم ديگر اينست كه براي ساخت موتورهاي AC متعلق به يك كلاس خاص (در يك رنج توانی خاص) فقط كافيست از نظر طولي اندازه موتور را

تغيير دهيم و از از نظر ساخت بسيار ساده مي‌باشد زيرا فقط كافيست تعداد PLATEها افزايش داد در حاليكه در موتور DC نياز به تغييرات كلي در ساختمان موتور از نظر ابعاد قطبها، ضخامت سيمها، تعداد دور سيم پيچي‌ها، قطر موتور و ... مي‌باشد. يكسان بودن قطر موتورهاي AC باعث يكسان شدن بسياري از قسمتهاي بوژي و محورها مي‌شود كه از نظر ساخت بسيار مهم بوده و تنوع قطعات را كاهش مي‌دهد.

۳- از نظر تعمير و نگهداري

چون موتور AC فاقد كلكتور، جاروبك و زغال الكتريكي مي‌باشد لذا نياز چنداني به تعمير و نگهداري ندارد. از طرفي به خاطر ساختمان ساده و مستحكم آن، گرد و خاك به سختي در آن نفوذ مي‌كند و در صورت نفوذ نيز مشكل چنداني بوجود نخواهد آورد. روتور قفس سنجابي نيز به علت يكپارچه بودن ديگر مشكل از هم گسستگي سيم پيچيها در سرعتهاي بالا را ندارد.

٤- از نظر کنترل سرعت

از لحاظ کنترل سرعت، موتور DC بسیار ساده‌تر و ارزانتر می‌باشد زیرا به کمك یك مقاومت متغیر می‌تواند سرعت آن را با تغییر ولتاژ میدان تغییر داد در حالیکه برای موتور القایی نیاز به اینورتر و مدار کنترل سوئیچینگ می‌باشد که هزینه زیادی را دربر دارد. اما نکته‌ای که بسیار حائز اهمیت می‌باشد اینست که در حالت کنترل اینورتری به علت سرعت بالای عناصر سوئیچینگ (به علت الکترونیکی بودن آنها) به سرعت می‌توان تطبیق سرعت را انجام داد در حالیکه این تطبیق سرعت در موتور DC با تاخیر همراه است. این تطبیق سریع سرعت، باعث کاهش تلفات انرژی نیز می‌گردد.

٥- کنترل لغزش و ضریب چسبندگی

در صورتیکه برای هر یك از موتورهای القایی یك اینورتر مستقل اختصاص دهیم در این صورت سرعت موتور، ولتاژ میدان و گشتاور روی روتور بصورت پیوسته، برای هر یك از موتورها

قابل کنترل بوده و مي‌توان براحتي و با سرعت با مقايسه سرعت هر يك از موتورها با سرعت خطي (واقعي) قطار كه عمدتاً از طريق رادار و بنابر پديده دوپلر قابل اندازه‌گيري مي‌باشد، مقدار لغزش هر يك از چرخها را بدست آورده و با كنترل زواياي سوئيچينگ المانهاي نيمه هادي سرعت و گشتاور چرخها را به بهترين نحو كنترل كرد. اين امر باعث شده است تا ضريب چسبندگي تا بيش از ۳۰٪ نيز مي‌رسد. در موتورهاي DC به علت اينكه عمل كنترل لغزش عمدتاً از طريق الكترومكانيكي انجام مي‌شود و اينكه سيستمهاي مكانيكي به هر حال داراي زمان تاخيري بيش از سيستمهاي الكترونيكي مي‌باشند، بنابراين حتي بهترين كنترل نيز با تاخير همراه خواهد بود و اثرات آن كاهش پيدا خواهد كرد. نكته مهم ديگر اينست كه در حالت وجود لغزش در يك يا چند محور بسته به مدار لغزش، توان كل سيستم براي ممانعت از عمل لغزش كاهش پيدا مي‌كند در حاليكه عملاً در سيستم‌هاي AC،

فقط توان در محوري كه لغزش مي‌كند كنترل مي‌شود و حتي در صورت كاهش توان در يك محور، توان ديگر محورها به همان مقدار افزايش پيدا مي‌كند تا مانع از كاهش توان كل گردد و اين امر راندمان كلي لكوموتيو را افزايش مي‌دهد.

لازم به ذكر است كه علاوه بر موارد فوق چون موتور AC قابليت تحمل جريانهاي بالاتري را دارد لذا امكان راه‌اندازي با جريانهاي بالاتر نيز برايش ممكن بوده و عملاً در حالت راه‌اندازي ضريب چسبندگي بيشتري را تامين خواهد كرد.

٦- از نظر ترمز ديناميكي

همانطور كه قبلاً اشاره شد ترمزي ديناميكي در موتورهاي DC در سرعتهاي پايين كم اثر بوده و فقط يا يك محدوده خاصي از سرعت مفيد و موثر ميباشد در حاليكه در موتورهاي AC اين محدوده عملاًوجود نداشته و مي‌توان حتي با ترمز ديناميكي در شيب به حالت توقف كامل رسيد زيرا طبق منحني گشتاور ـ سرعت موتور القايي، حتي در سرعتهاي

نزديك صفر نيز روي محور روتور گشتاور نسبتاً زيادي ميتوان وارد كرد. اين امر در مورد فرار نيز صادق است و ميتوان براحتي استفاده كردن از ترمز معمولي قطار را در فرازها نيز به حالت توقف كامل درآورد و از فراز احتمالي قطار در صورت بروز ايراد در سيستم ترمز جلوگيري كرد.

از طرفي ترمز ديناميكي در يك محدوده اي از سرعت در بيشترين مقدار خود بوده و كاهش نمييابد و پس از آن محدوده شروع به كاهش ميكند در حاليكه در موتورهاي DC فقط در يك سرعت خاص حداكثر مقدار ترمز قابل دسترسي بوده و پس از آن قدرت ترمز كاهش ميابد.

در حالت DC براي تبديل از حالت عادي به حالت ترمز ديناميكي نياز به مدارات قدرت (توان بالا) مـباشد ولي اين مهم در حالت AC به كمك مد ، فشار ضعيف براحتي امكانپذير است.

۷- از نظر تغییر جهت موتور

در حالت DC باید از کنتاکتور در مسیر جریان اصلي که جریان بسیار زیادي مي‌باشد براي تعویض جهت جریان میدان یا روتور استفاده کرد در

حالیکه در حالت AC به کمك مدارات کنترل میتوان تغییر جهت داد.

۸- ازنظر بازده (راندمان)

در سرعتهاي پایین راندمان موتور DC کمتر از موتور AC میباشد و با افزایش سرعت این اختلاف کاهش مییابد. ولي در مجموع به علت امکان کنترلهاي بهینهتر روي لکوموتیوهاي با کشش AC، از لحاظ راندمان کلي و همچنین مصرف سوخت، این نوع نسبت به نوع با کشش DC بازده زیادتري دارد.

۹- از نظر هزینه

از نظر سرمایهگذاري اولیه و پایه، هزینه سیستم AC و مدارات کنترل آن بیشتر از سیستم DC میباشد ولي از نظر هزینه جاري و کلي، هزینه سیستم AC در طول عمر وسیله نقلیه کمتر از سیستم DC بوده و در مجموع بازدهي بیشتري دارد. این امر در قطارهاي برقي به نحو بسیار جالبي تغییر میکند به اینصورت که در حالت با تراکشن AC قیمت تمام شده ۳۰٪ کمتر از حالت با کشش DC میباشد.

۱۰- از نظر مصرف شن

با توجه به سیستم پیشرفته کنترل لغزش در حالت AC لزوم استفاده از شن کاهش یافته و این مقدار حتي به کمتر از ۲۰% مصرف شن در حالت DC مي‌رسد، يعني ۸۰% صرفه جويي در مصرف شن در يك آزمايش مشابه مقدار مصرف شن براي سيستم AC برابر ۱۷٦kg و براي سيستم DC برابر ٥۰٤kg بود.

۱۱- از نظر مصرف سوخت

با توجه به استفاده بهينه‌تر از سوخت و همچنين جلوگيري از اتلاف آن توسط سيستم هاي كنترل جديد در حالت AC و DC مصرف سوخت در مجموع براي هر دو نوع سيستم كاهش يافته است ولي در حالت AC به علت امكان كنترل بيشتر روي تراكشن‌ها مصرف سوخت كاهش بيشتري را نسبت به سيستم DC مشابه نشان مي‌دهد.

۱۲- از نظر همگامي با تكنولوژي

با توجه به اينكه موتور AC وابستگي كاملي با تكنولوژي ساخت عناصر نيمه‌هادي و مبدلهاي

استاتيك دارد و همچنين اين تكنولوژي روزبروز در حال پيشرفت و پويايي مي‌باشد، لذا كاربرد موتور AC نيز برخلاف گذشته، با علم روز به جلو حركت مي‌كند و روزبروز به كارايي آن افزوده شده و از كميت و حجم ملحقات آن كاسته مي‌شود.

در گذشته ساخت كنترل كننده‌هاي مختلف براي موتور AC بر مبناي تريستورها (SCR) بود. ولي از سال ۱۹۸٦ به بعد GTOها جايگزين تريستورها شدند و مدارات و تعداد المانها كاهش بسياري زيادي رخ داده است. اين امر با گسترده‌تر شدن كاربرد عناصر جديدي مانند GBT شتاب بيشتري به خود خواهد گرفت. شايد مناسب باشد كه در اينجا متذكر شويم كه در ساخت لكوموتيوهاي قديمي حدود ٤٠% قطعات الكتريكي و ٦٠% آنها مكانيكي بود، در حاليكه در لكوموتيوهاي جديد اين نسبت عكس شده و درصد قطعات الكتريكي به ٦٠% رسيده است و چه بسا اين درصد از اين نيز فراتر رود. لذا همگام بودن با تكنولوژي روز مي‌تواند بسياري از مشكلات

سابق از جمله حجیم بودن قطعات، کند بودن آنها و ... را از سر راه بردارد.

در یك اینورتر خاص با عناصر GTO، تعداد عناصر ۱۷%، وزن ٦٦% ، حجم ۵۰% و توان مجموعه ۱۵۵% حالتي است كه از تريستور استفاده گردد.

به عنوان مثال، در سال ۱۹۷۰ یك اینورتر براي موتور AC، نیاز به تعداد ۹٦ عدد تریستور داشت. با بالا بردن قابلیت تریستورها این تعداد در سال ۱۹۸۰ به ۲٤ عدد كاهش یافت. با جایگزیني GTO بجاي تریستور تعداد GTO مورد نیاز براي یك اینورتر به ٦ عدد كاهش یافت و این كاهش بسیار چشمگیر بود. در صورت استفاده از GTO در اینورتر، تلفات به اندازه ٤۰% كمتر از حالت تریستوري مي‌باشد.

۱۳- از نظر استفاده از انرژي ترمز دینامیكي براي مصارف داخلي

در لكوموتیوهاي دیزل ـ الكتریك با كشش AC و با استفاده از تكنولوژي GTO و اینورترهاي مناسب

مي‌توان انرژي توليد شده در حالت ترمز ديناميكي را به مصارف داخلي رساند. و در صورتيكه اين انرژي زيادتر از مودر نياز باشد، مي‌توان با يك كليد مقاومت ديناميكي را نيز وارد مدار كرد. البته اين امر در مورد تراكشنهاي DC نيز امكان پذير است ولي نياز به مدارات كنترلي جداگانه‌اي دارد. اين حالت براي لكوموتيوهاي برقي، ديزل ـ الكتريك نيز امكان پذير است.

١٤- از نظر نيروي كشش

به علت امكان كنترل پيوسته مقادير جريان، ولتاژ و فركانس در اينورترها، عملاً براي دو سيستم DC و AC با توان كشش در حالت AC بيشتر خواهد بود.

١٥- از نظر خوردگي چرخها

خوردگي چرخها در سيستم AC نسبت به سيستم DC كمتر مي‌باشد در يك آزمايش ديده شد كه پس از طي مسافت ١٠٠٠٠km، مقدار سايش چرخها در حالت AC برابر ٠/٤٥mm مي‌باشد در حاليكه اين مقدار

براي لكوموتيو معادل با كشش DC برابر ۰/۵٤۵mm بدست آمد.

۱۶- از نظر صدمه با محور و خط

با توجه به اینکه وزن موتور DC از موتور AC معادل بیشتر مي‌باشد. بنابراین در هنگام نوسانات عمودي لکوموتیو، ضربات وارده از طرف موتور به محور حامل آن و همچنین به خط زیاد بوده و عمر مفید محور و خط را کاهش خواهد داد.

۱۷- از نظر ژنراتور مورد نیاز جهت تغذیه تراکشنها

چون در موتور AC القایي قفس سنجابي، روتور نیاز به عایق‌بندي ندارد و تنها عایق‌بندي استاتور که ثابت و بدون حرکت مي‌باشد مهم است لذا در صورتیکه عایق‌بندي مناسبي براي استاتور در نظر گرفته شود مي‌توان موتور را در ولتاژهاي بالا بکار برد و در این صورت نیازي به جریانهاي بسیار بالا نخواهد بود، هر چند که به علت ساختمان موتور AC القایي تحمل جریان آن بسیار بالا مي‌باشد، بنابراین مي‌توان از ژنراتورهاي با ولتاژ بالا استفاده کرد که در مقایسه با

ژنراتورهاي با جريان بالا و ولتاژ نسبتاً پايين، كوچكتر و كم هزينه‌تر مي‌باشد.

۱۸- از نظر بكار بردن در قطار برقي

بكار بردن هر دونوع تراكشن موتور DC و AC القايي در قطار برقي براحتي امكان پذير است و در حال حاضر نيز هر دو نوع مورد استفاده قرار مي‌گيرد ولي تجهيزات مورد نياز براي هر يك متفاوت مي‌باشد. اين اختلاف تجهيزات باعث شده است تا حدود ۳۰٪ قيمت تمام شده سيستم با تراكشن DC نسبت به AC بيشتر باشد. نكته جالب توجه در قطارهاي برقي امكان بازيافت انرژي در سراشيبي مي‌باشد كه باعث تزريق انرژي به شبكه بالاسري مي‌گردد. حداكثر مقدار انرژي بازيافت تا ۲٤٪ انرژي مصرف شده نيز رسيده است ولي در حالات معمولي اين مقدار بين ۱۲ تا ۲۰٪ انرژي مصرفي مي‌باشد.

تاثير راه‌آهن برقي روي شبكه سراسري (مشكلات ايجاد شده توسط راه‌آهن برقي)

مي‌دانيم كه راه‌آهن برقي از نظر الكتريكي يك مصرف كننده تك فاز است اين امر در سيستم برقي AC تغذيه كننده مشكلات زيادي بوجود مي‌آورد كه به دو بخش تقسيم مي‌شود. ايجاد نامتعادلي در سيستم سه فاز تغذيه كننده كه به دو صورت ظاهر مي‌شود :

۱- نامتعادلي جريان ۲- نامتعادي ولتاژ

۱- نامتعادلي جريان :

تعداد قطارهاي برقي خط راه‌آهن برقي در روي هر فاز و هر لحظه متفاوت است و اين تفاوت باعث متفاوت شدن اندازه جريان‌هاي الكتريكي در هر سه فاز شبكه تغذيه كننده مي‌شود و بدنبال آن نامتعادلي جريان صورت مي‌گيرد. براي بررسي اندازه اين نامتعادلي جريان بايد از تئوري مولفه‌هاي متقارن استفاده نمود. در هر سيستم سه فازه نامتقارن سه مولفه متقارن وجود دارد:

۱- مولفه ترتيب مثبت

۲- مولفه ترتيب منفي

۳- مولفه ترتیب صفر

حال اگر بار تك فاز و نول مدار وصل شود هر سه مولفه فوق را خواهیم داشت و اگر بار تك فاز بین دو فاز مدل وصل شود مولفه (۱و۲) را خواهیم داشت ولي مولفه ۳ را نخواهیم داشت. در راه‌آهن برقي قطارهاي برقي به عنوان بارهاي تك فاز بین دو فاز وصل مي‌شوند و در نتیجه مولفه ترتیب صفر وجود نخواهد داشت.

اندازه نامتعادلي جریان بوسیله نسبت مولفه ترتیب منفي بر مولفه ترتیب مثبت جریان بیان مي‌شود:

$$\text{درصد نامتعادلي جریان} = \frac{\text{مولفه ترتیب منفي جریان}}{\text{مولفه ترتیب مثبت جریان}} \times ۱۰۰ = \frac{I_n}{I_p} \times ۱۰۰$$

عکس العمل آرمیچر در مقابل مولفه ترتیب منفي جریان در ماشینهاي آلترناتور چنان است که باعث ایجاد میدان مغناطیسي دوراني با سرعت (سنکرون) و در خلاف جهت حرکت روتور مي‌شود این امر باعث تولید جریانهاي با فرکانس بالا شده و به دنبال

آن سبب ايجاد حرارت زياد در ماشين مي‌شود و موجب خرابي آنها مي‌گردد. نامتعادلي جريان براي هر ماشين مولد برق به طرح ساختمان آن ماشين بستگي دارد.

حداكثر نامتعادلي جريان ۸% از نظر ايمني ماشين مولد برق مطلوب شده و اثر حرارتي آن ناچيز خواهد بود.

۲- نامتعادلي ولتاژ :

در اثر عبور جريان نامتعادل افت ولتاژ نابرابر در هاديهاي خط بوجود مي‌آيد و موب اعوجاج در زاويه سه فاز ستاره شده و در نتيجه سيستم سه فاز تغذيه كننده نامتعادل ولتاژ ايجاد مي‌شود.

اثرات نامتعادلي ولتاژ

۱- باعث افزايش تلفات و كاهش توان خروجي ماشينهاي القايي كه در جاهاي ديگر به اين سيستم متصل است مي‌شود.

۲- طراحي ماشينهاي سه فاز طوري است كه بايد جريان متعادل به آن برسد.

۳- نامتعادلي ولتاژ در سيستم توزيع برق شهرها و محلهاي صنعتي تاثير گذشته و توان الكتريكي توزيع را كاهش مي‌دهد.

حداكثر مقادير نامتعادلي ولتاژ في مابين راه‌آهن برقي و شركت‌هاي برق كشوري كه تامين كننده برق راه‌آهن و برق ساير مصرف‌كننده‌هاي كشور هستند به شرح زير است :

۵% نامتعادلي ولتاژي براي لحظه‌هاي كوتاه

۳% نامتعادلي ولتاژي براي دو ساعت

۲% نامتعادي ولتاژي بطور مستمر

نامتعادلي كلي در پستهاي كشش خط برقي

$$\text{درصد نامتعادلي در پست كشش} = \frac{\text{قدرت بارهاي تك‌فاز برحسب مگاولت آمپر}}{\text{قدرت اتصال كوتاه سه فاز بر}} \times ۱۰۰$$

در نتيجه :

الف) درصد نامتعادلي با افزايش قدرت اتصال كوتاه كاهش مي‌يابد.

حال افزايش اتصال كوتاه پس كشش به طرق زير ميسر است :

۱- پستهاي كشش نزديك نيروگاه نصب شوند : اين كار باعث كم شدن ايراني خط انتقال شده و در نتيجه اعوجاج ولتاژ در سيستم ستاره كه در اثر بارهاي تك فاز راه‌آهن برقي بوجود مي‌آيد خيلي كمتر به سمت شبكه سه فاز محلي انتقال مي‌يابد.

۲- سطح ولتاژي ورودي به پستهاي كشش بالاتر انتخاب گردد : اكنون در راه‌آهن برقي ايران كه كيلووات مي‌باشد ورودي آن كه از سمت نيروگاه يا شبكه سراسري مي‌آيد برابر ۱۳۲ كيلووات انتخاب شده است و اگر يك درجه پايين‌تر مي‌آمدند يعني از ٦٣ كيلووات استفاده مي‌شد قدرت اتصال كوتاه كاهش و نامتعادلي افزايش پيدا مي‌كرد.

۳- ظرفيت مگا ولت آمپر نيروگاه و يا خطوط انتقال بزرگ باشد : بزرگ بودن ظرفيت ژنراتورها و تجهيزات مربوطه و ظرفيت خطوط انتقال و همچنين سيستم اتصالات و مداربندي شبكه

سراسري با توسعه شبكه سراسري منجر به كاهش محسوس درصد نامتعادلي و در نتيجه باعث افزايش توانايي استفاده از بارهاي تك فاز راه‌آهن برقي از سيستم سه فازه شبكه سرتاسري مي‌شود.

ب) درصد نامتعادلي با افزايش ضريب قدرت پستهاي كشش كاهش مي‌يابد. كه با نصب خازنهايي با ظرفيت‌هاي مناسب مي‌توان ضريب قدرت را افزايش داد كه باعث كاهش درصد نامتعادلي خواهد شد.

نتيجه كلي:

مضاعف بر مواردي كه در قسمت الف ذكر شد و با توجه به اينكه در راه‌آهن ايران از ترانس تك فاز استفاده شده است و مي‌دانيم كه ورودي اين ترانس دو فاز مثلاً R,T مي‌باشد و يك فاز S خالي باقي مي‌ماند و به همين خاطر هنگام كشيدن بار نامتعادلي در شبكه سراسري خيلي زياد مي‌باشد.

مثال: در تبريز از فاز (R,S) در مرند از (S,T) و در جلفا از (R,T) استفاده شده است.

و بیشتر به این خاطر است که مسافت خط برقي ایران کوتاه مي‌باشد ولي اگر قرار باشد راه‌آهن سراسري ایران در آینده برقي شود و توسعه پیدا کند بهترین کار براي اینکه از نامتعادلي جریان و ولتاژ جلوگیري شود استفاده از ترانس اسکات (SCOTT) مي‌باشد که ورودي این ترانس R.S.T مي‌باشد و محدودیت آنچناني براي کشیدن بار اضافي ندارد زیرا هرچه بار کشیده شود تاثیر آن بر سه فاز مي‌باشد و ما همیشه مولفه ترتیب صفر را خواهیم داشت.

معرفي موتورهاي DC

اولين سيستمهاي قدرت در ايالات متحده سيستمهاي DC بودند، ولي در دهه ۱۸۹۰سيستمهاي قدرت ac پيروزي آشكاري بر سيستمهاي DC كسب كردند و آنها را كنار گذاشتند. ولي به رغم اين حقيقت، هنوز موتورهاي DC كسر بزرگي از دستگاههايي را كه در اين كشور خريد و فروش مي‌شود تشكيل مي‌دهند (اين كسر طي سه سال گذشته رو به كاهش داشته است) چرا موتورهاي DC اينقدر رايج‌اند، حال آنكه سيستمهاي قدرت DC خيلي نادرند؟

رواج موتورهاي DC چند دليل دارد. يكي اينكه هنوز سيستمهاي توان DC در اتومبيلها، كاميونها و هواپيماها به كار مي‌روند وقتي يك وسيله نقليه منبع توان DC دارد، واضح است كه بايد از موتور DC استفاده كند. يكي ديگر از كاربردهاي موتورهاي DC در مواردي است كه بخواهيم سرعت در گستره بزرگي تغيير كند. تا قبل از گسترش كاربرد يكسوساز وارونسازهاي الكترونيكي در كاربردهاي

كنترل سرعت، موتورهاي DC پيشتاز بودند. حتي وقتي منبع توان DC موجود نباشد ميتوان از يكسوسازهاي حالت جامد و مدارهاي برشگر براي توليد توان DC لازم استفاده كرده و موتورهاي DC را براي كاربردهاي كنترل سرعت به كار برد. (اكنون موتورهاي القايي بابسته‌هاي كاراندازحالت جامد در كاربردهاي كنترل سرعت بر موتورهاي DC ترجيح داده ميشوند. ولي هنوز هم در بعضي كاربردها موتورهاي DC ارجح شمرده ميشوند). غالباً براي مقايسه موتورهاي DC نيز از تنظيم سرعت استفاده ميكنيم. تنظيم سرعت (SR) يك موتور به اين صورت تعريف ميشود :

$$SR = \frac{\omega_{nl} - \omega_n}{\omega_n} \times 100$$

$$SR = \frac{n_{nl} - n_n}{n_n} \times 100$$

تنظيم سرعت معياري از شكل مشخصه سرعت، گشتاور موتورست، تنظيم سرعت مثبت به معني اين است كه سرعت موتور با افزايش بار افت ميكند و تنظيم

سرعت منفي به معني اين است كه سرعت موتور با افزايش بار زياده مي‌شود. اندازه تنظيم سرعت تقريباً تندي شيب منحني سرعت گشتاور را نشان مي‌دهد.

صد البته موتورهاي DC با منبع DC تغذيه مي‌شوند ولتاژ ورودي يك موتور DC را ثابت فرض مي‌كنيم مگر اينكه خلاف آن را ذكر كنيم. اين فرض تحليل موتور و مقايسه موتورهاي مختلف را ساده مي‌كند.

پنج موتور مختلف براي استفاده رايج است :

١- موتورهاي DC تحريك مجزا

٢- موتورها DC موازي

٣- موتور با آهنرباي دائم

٤- موتور DC سري

٥- موتور DC كمپوند

مدار معادل موتور DC

شكل مدار معادل موتور DC نشان مي‌دهد. در اين شكل مدار آرميچر با منبع ولتاژ ايده‌ال E_A و

مقاومت R_A نشان داده شده است. اين نمايش در واقع مدار تونن ساختار روتور، شامل سيم‌پيچي‌هاي روتور، ميانقطباه و سيم‌پيچي‌هاي جبرانسازي (در صورت وجود) مي‌باشد. افت ولتاژ جاروبك با V_{brush} درخلاف جهت جريان مانشي مدل مي‌شود. سيم‌پيچي‌هاي ميدان كه شار مغناطيسي را ايجاد مي‌كنند با القاگر L_F و مقاومت R_F مدل شده‌اند. مقاومت مجزاي R_{adj} مقاومت متغير خارجي است كه براي تنظيم جريان مدار ميدان به كار مي‌رود.

اين مدار معادل گونه‌هاي ساده شده‌اي نيز دارد. افت ولتاژ جاروبك غالباً بسيار كوچك است. بنابراين در مواقعي كه اين ولتاژ بحراني نيست مي‌توان آن را حذف كرد. يا اثرش را در مقاومت R_A منظور كرد. همچنين گاهي اوقات مقاومت داخلي و مقاومت سيم‌پيچي‌هاي ميدان در هم ادغام شده، مقاومت كل R_F ناميده مي‌شود. گونه ديگر اين است كه بعضي ماشينها بيش از يك سيم‌پيچي ميدان

دارند و همه آنها باید در مدار معادل منظور شوند.

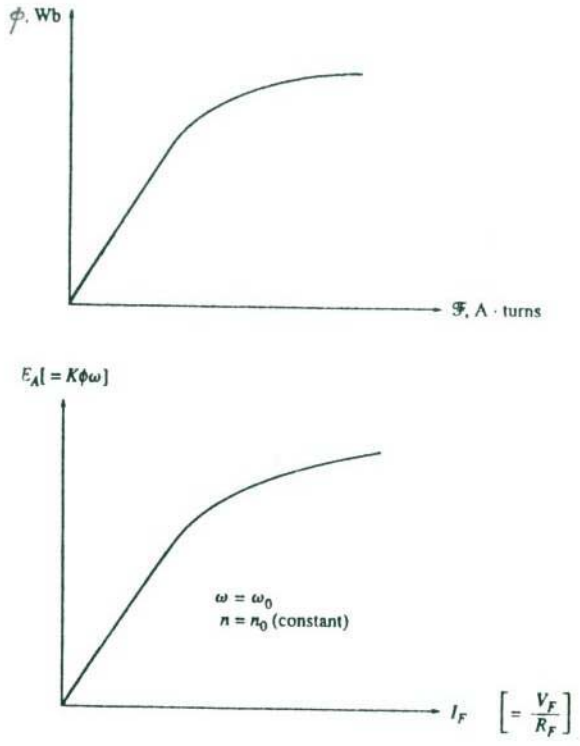
ولتاژ تولید شده داخلي این ماشین از معادله زیر به دست مي‌آید :

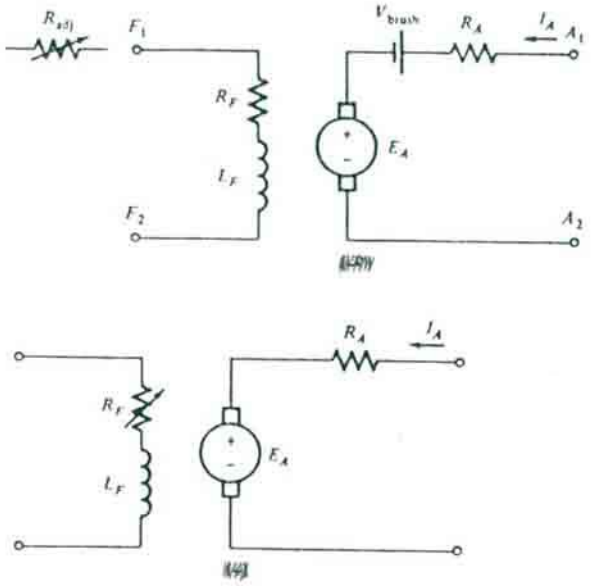
$$E_A = k\phi\omega$$

و گشتاور القايي ايجاد شده در ماشين از اين معادله به دست مي‌آيد :

$$\tau_{ind} = k\phi I_A$$

اين دو معادله، معادله ولتاژ كيرشهف مدار آرميچر و منحني مغناطش ماشين، ابزارهايي هستند كه براي تحليل رفتار و عملكرد يك موتور DC لازم اند.





مدار معادل يك موتور DC و يك مدار معادل ساده كه در آن افت ولتاژ جاروبكها حذف شده و R_{adj} و مقاومت ميدان درهم ادغام شده اند.

منحني مغناطش ماشين DC

ولتاژ داخلي E_A موتور و ژنراتور DC از معادله زير به دست مي‌آيد.

$$E_A = k\phi\omega$$

پس E_A با شار ماشين و سرعت چرخش ماشين نسبت مستقيم دارد. رابطه اين ولتاژ و جريان ميدان

ماشين چيست؟ جريان ميدان ماشين DC نيرويمحركه مغناطيسي $f = N_F I_F$ را ايجاد مي‌كند. اين نيروي محركه مغناطيسي شاري مطابق منحني مغناطش در ماشين به وجود مي‌آورد. چون جريان ميدان و نيروي محركه مغناطيسي تناسب مستقيم و E_A نيز با شار تناسب مستقيم دارد، معمولاً منحني مغناطش را به صورت E_A برحسب جريان ميدان به ازاي سرعت معين ω_o رسم مي‌كنند.

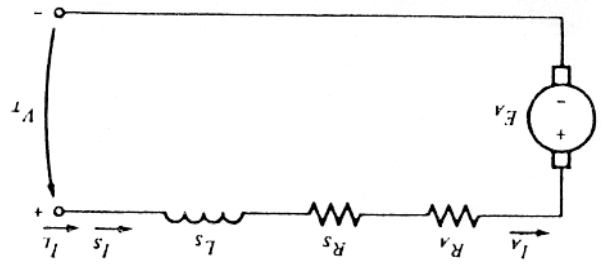
ذكر اين نكته بجاست كه براي دستيابي به ماكزيمم توان بر وزن ماشين، اكثر موتورها و ژنراتورها طوري طراحي مي‌شوند كه در نزديكي نقطه اشباع منحني مغناطش (نزديك زانوني منحني) كار كنند. پس هنگام كار در بار كامل براي افزايش كوچكي در E_A بايد جريان به اندازه‌اي نسبتاً بزرگ افزايش يابد.

موتور DC سري

موتور DC سري موتوري است كه پيچك ميدان ان تعداد دور نسبتاً اندكي دارد و با مدار آرميچر

سري است. شكل مدار معادل يك موتور سري را نشان مي‌دهد. در موتور سري جريان آرميچر، جريان ميدان و جريان خط همگي يكي هستند. معادله KVL براي اين موتور عبارت است از :

$$V_r = E_A + I_A(R_A + R_S)$$



گشتاور القايي در موتور DC سري

رفتار خاص موتور DC از اين حقيقت ناشي مي‌شود كه شار آن مستقيماً با جريان آرميچر متناسب است. البته حداقل تا زمان رسيدن به اشباع با افزايش بار موتور شار نيز زياد مي‌شود. و افزايش شار موتور باعث كم شدن سرعت آن مي‌شود. پس مشخصه گشتاور، سرعت يك موتور DC سري شيب تندي دارد و نزولي است.

گشتارو القا شده در اين ماشين از معادله زير به دست مي‌آيد :

$$\tau_{ind} = k\phi\, I_A$$

شار اين ماشين با جريان آرميچر آن تناسب مستقيم دارد (حداقل تا وقتي كه اشباع نشده است) بنابراين شار ماشين را مي‌توان به صورت زير بيان كرد:

$$\phi = cI_A$$

كه در آن c يك ثابت تناسب است گشتارو القا شده در اين ماشين به صورت زير به دست مي‌آيد:

$$\tau_{ind} = k\phi\, I_A = kcI_A \quad \mathbf{2}$$

با عبارت ديگر گشتاور موتور با مربع جريان آرميچر متناسب است در نتيجه گشتاور بر واحد جريان آرميچر موتور DC از تمام موتورهاي ديگر بيشتر است. به همين دليل در كاربردهايي كه گشتاور زيادي مورد نياز است از اين موتور استفاده مي‌شود. موتور استارت اتومبيل، موتور بالابرها و موتورهاي كشنده لكوموتيو نمونه‌هايي از اين كاربردها هستند.

مشخصه پايانه‌اي موتور DC سري

براي تعيين مشخصه پايانه‌اي يك موتور DC سري مي‌توان تحليلي بر اساس فرض خط بودن منحني مغناطش صورت دارد و سپس اثرهاي اشباع را در يك تحليل ترسيمي در نظر گرفت.

فرض خطي بودن منحني مغناطش به معني اين است كه شار موتور از معادله زير به دست مي‌آيد.

$$\phi = cI_A$$

اين معادله را براي يافتن مشخصه گشتارو سرعت موتور سري به كار مي‌بريم. براي به دست آوردن مشخصه گشتاور سرعت موتور سري از معادله KVL شروع مي‌كنيم :

$$V_r = E_A + I_A(R_A + R_S)$$

جريان آرميچر را مي‌توان به صورت زير بيان كرد :

$$I_A = \sqrt{\frac{\tau_{ind}}{Kc}}$$

همچنين $E_A = k\phi\omega$ با گذاشتن اين عبارت در معادله KVL به دست مي‌آوريم :

$$V_T = k\phi\omega + \sqrt{\frac{\tau_{ind}}{Kc}}(R_A + R_S)$$

اگر بتوان شار را از معادلات حذف كرد، گشتاور موتور بر حسب سرعت آن به دست مي‌آيد. براي حذف شار توجه كنيد كه :

$$I_A = \frac{\phi}{c}$$

و معادله گشتاور القايي را مي‌توان به صورت زير بازنويسي كرد :

$$\tau_{ind} = \frac{k}{c}\phi 2$$

بنابراين شار موتور را مي‌توان به شكل زير نوشت :

$$\phi = \sqrt{\frac{c}{k}}\sqrt{\tau_{ind}}$$

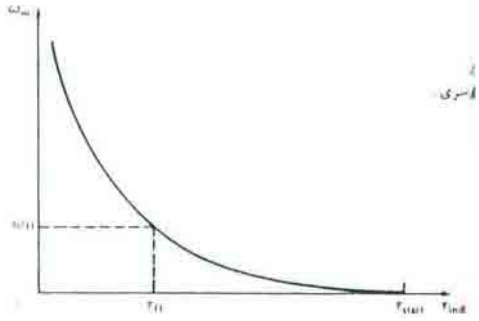
$$V_T = k\sqrt{\frac{c}{k}}\sqrt{\tau_{ind}}\,\omega + \sqrt{\frac{\tau_{ind}}{kc}}(R_A + R_S)$$

$$\sqrt{kc}\sqrt{\tau_{ind}}\,\omega = V_T - \frac{R_A + R_S}{\sqrt{kc}}\sqrt{\tau_{ind}}$$

$$\omega = \frac{V_T}{\sqrt{kc}\sqrt{\tau_{ind}}} - \frac{R_A + R_S}{kc}$$

رابطه گشتاور ـ سرعت عبارت است از :

$$\omega = \frac{V_T}{\sqrt{kc}}\frac{1}{\sqrt{\tau_{ind}}} - \frac{R_A + R_S}{kc}$$



توجه كنيد كه براي يك موتور سري اشباع نشده، سرعت موتور با عكس جذر گشتاور متناسب است اين

رابطه كاملاً غيرعادي است شكل اين مشخصه گشتاور، سرعت ايده ال را نشان مي‌دهد.

اين معادله يك عيب واضح موتورهاي سري را به سرعت برملا مي‌كند وقتي گشتاور به صفر ميل مي‌كند، سرعت به سمت بي‌نهايت مي‌رود. در عمل گشتاور نمي‌تواند به صفر برسد. زيرا تلفات مكانيكي، هسته و پراكنده همواره وجود دارند، ولي اگر بار به موتور متصل نباشند، سرعت مي‌تواند آنقدر زياد شود كه موتور آسيب ببيند. هرگز موتور سري را بي‌بار نگذاريد و هرگز آن را با يك تسمه يا مكانيسم ديگري كه امكان جدا شدن دارد به بار وصل نكنيد اگر چنين كنيد و هنگامي كه موتور مشغول كار است بار آن قطع شود، نتيجه بسيار مخرب خواهد بود.

كنترل سرعت موتورهاي DC سري

براي تغيير سرعت موتور DC سري تنها يك راه موثر وجود دارد. اين راه تغيير ولتاژ پايانه‌اي موتورست. اگر ولتاژ پايانه‌اي زياد شود، جمله

اول معادله گشتاور ـ سرعت زياد مي‌شود. به ازاي هر گشتاور معيني سرعت افزايش مي‌يابد. سرعت موتورهاي DC سري را مي‌توان با گذاشتن يك مقاومت سري در مدار موتور نيز كنترل كرد. ولي با اين روش توان زيادي هدر مي‌رود و اين كار تنها در زمان راه‌اندازي بعضي موتورها به كار مي‌رود. تا حدود ۳۰ سال پيش هيچ راه مناسبي براي تغيير V_T وجود نداشت. بنابراين تنها راه كنترل سرعت استفاده از روش پراتلاف مقاومت سري بود. امروز با آمدن مدارهاي كنترل ساخته شده با SCR اوضاع كاملاً فرق كرده است.

راه‌اندازي موتور DC

براي اينكه يك موتور DC كارش را به نحو مناسب انجام دهد بايد وسايل حفاظت و كنترل خاصي به همراه آن به كار رود. اين وسايل براي مقاصد زير به كار مي‌روند.

۱- حفاظت موتور در مقابل آسيب ناشي از اتصال كوتاه شدن

۲- حفاظت موتور در مقابل آسیب ناشي از اضافه بار طویل المدت

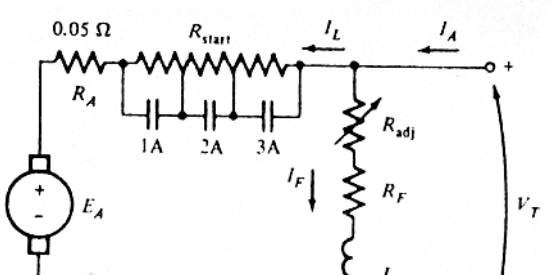
۳- حفاظت موتور در مقابل آسیب ناشي از جریان راه اندازي قوي

٤- ایجاد راهي مناسب براي کنترل سرعت کار موتور

مشکلات موتور DC در هنگام راه اندازي

براي اینکه یك موتور DC درست کار کند باید در مقابل آسیب فیزیکي احتمالي در زمان راه اندازي محافظت شود در شرایط راه اندازي موتور ابتدا ساکن است، پس $E_A=0$ V چون مقاومت داخلي موتور DC معمولي در مقایسه با اندازه اش خیلي کوچك است (براي موتورهاي متوسط ۰/۰۳ تا ۰/۰٦ در یك) جریان خیلي بزرگي مي‌گذرد.

این جریان از ۲۰ برابر جریان نامي موتور در بار کامل نیز بیشترست. موتور ممکن است تحت چنین جریاني به شدت آسیب ببیند. حتي اگر این جریان مدت کمي طول بکشد.



راه‌حل مشکل جریان بزرگ راه اندازي گذاشتن يك مقاومت راه اندازي سري با آرميچرست تا قبل از رسيدن E_A به مقداري كه بتواند عامل محدود كننده به حساب آيد، جريان را محدود مي‌كند. اين مقاومت نبايد به طور دائم در مدار باقي بماند، زيرا تلفات را زياد مي‌كند و باعث مي‌شود كه با افزايش بار مشخصه گشتارو ـ سرعت موتور به شدت افت كند.

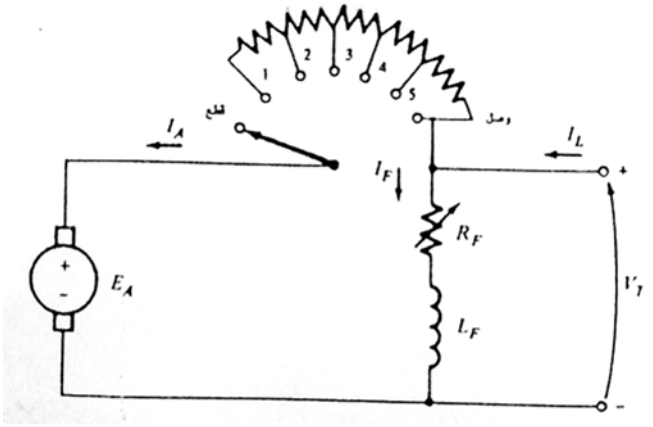
پس بايد مقاومتي در مدار آرميچر گذاشته شود تا هنگام راه اندازي جريان را محدود كند و با افزايش سرعت موتور بايد اين مقاومت برداشته شود. جديداً در عمل مقاومت راه اندازي را از چند تكه سري شده مي‌سازند. اين تكه‌ها به ترتيب و با افزايش سرعت موتور از مدار خارج مي‌شوند، به

نحوي كه جريان موتور به حد قابل اطميناني محدود شود و در عين حال جريان آنقدر كم نشود كه شتاب موتور را بگيرد.

شكل يك موتور موازي را نشان ميدهد كه يك مقاومت راه اندازي اضافي دارد. با بسته شدن كنتاكتهاي 1A و 2A و 3A ميتوان قطعات تشكيل دهنده اين مقاومت را از مدار خارج كرد. براي ساختن يك راه انداز عملي بايد دو كار انجام شود اولين كار انتخاب تعداد و اندازه مقاومتهاي لازم براي مفيد كردن جريان راه اندازي به حدود مطلوب آن است. كار دوم طراحي مدار كنترلي است كه كنتاكتها را در زمان مناسب ببندد و بخشهاي متناظر با كنتاكت را از مدار خارج كند.

در بعضي از راه اندازهاي قديمي موتورهاي DC از يك مقاومت راه انداز پيوسته استفاده ميشد كه يك نفر با حركت دادن دسته اي اين مقاومت را به تدريج از مدار خارج ميكرد. اين نوع راه اندازها مشكلاتي داشتند، زيرا براي كار درست شخص

راه انداز مي‌بايست دسته را نه خيلي سريع و نه خيلي كند حركت مي‌داد. اگر مقاومت به سرعت از مدار خارج مي‌شد (قبل از اينكه موتور به حد كافي سرعت بگيرد) جريان حاصل خيلي بزرگ مي‌شد از طرف ديگر اگر مقاومت به كندي از مدار خارج مي‌شد، احتمال سوختن مقاومت راه انداز وجود داشت. چون اين راه اندازها براي كار درست به شخص وابسته بودند. احتمال اينكه خطاهاي انساني مشكل ايجاد كند وجود داشت. تقريباً در تمام سيستمهاي جديد مدارهاي راه انداز خودكار جاي اين راه اندازها را گرفته اند.



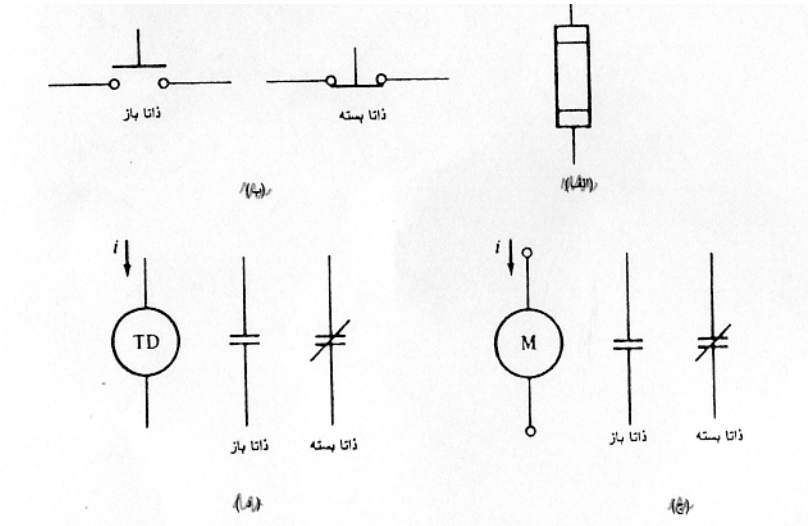
مدارهاي راه انداز موتور DC

مقاومتهاي راه انداز را انتخاب كرده ايم. حال چگونه بايد خارج شدن آنها از مدار را كنترل كنيم تا دقيقاً در لحظه مورد نظر از مدار خارج شوند؟ براي اين سويچينگ چند طرح مختلف وجود دارد و در اين بخش دو طرح را كه از همه متداولترند مورد بحث قرار مي‌دهيم ولي قبل از اين كار بايد چند عنصر را كه در مدارهاي راه اندازي موتور به كار مي‌روند معرفي كنيم.

شكل تعدادي از وسايلي را كه در مدارهاي كنترل موتورها به كار مي‌روند نشان مي‌دهد. اين وسايل عبارتند از فيوز، كليد فشاري و رله ، رله‌هاي تاخيري و رله اضافه بار.

فيوز در مدار كنترل موتور براي حفاظت موتور در مقابل خطر اتصال كوتاه شدن به كار مي‌رود. فيوزها در خطوط تغذيه موتورها قرار مي‌گيرند. اگر در موتور اتصال كوتاهي ايجاد شود، فيوز خط تغذيه آن مي‌سوزد و قبل از اينكه به خود موتور برسد مدار را باز مي‌كند.

كليدهاي فشاري فنردار دو نوع هستند. ذاتاً باز و ذاتاً بسته. اتصالهاي ذاتاً باز هنگام رها بودن كليد بازند و با فشرده شدن كليد بسته مي‌شوند، ولي اتصالهاي ذاتاً بسته هنگام رها بودن كليد بسته‌اند و با فشرده شدن كليد باز مي‌شوند.

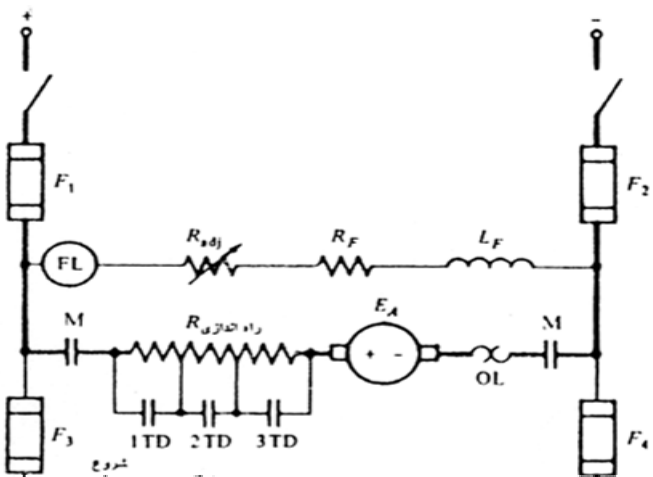


رله از يك پيچك اصلي و تعدادي اتصال تشكيل مي‌شود. پيچك اصلي با يك دايره و اتصالها با خطوط موازي نشان داده مي‌شود. اتصالهاي رله دو نوع‌اند ـ ذاتاً باز و ذاتاً بسته. اتصال ذاتاً باز اتصالي است كه هنگام در حال تحريك نبودن رله باز است. اتصال ذاتاً بسته، اتصالي است كه هنگام در حال تحريك نبودن رله بسته است. وقتي به رله

توان داده مي‌شود (رله تحريك مي‌شود) اتصالها تغيير حالتمي‌دهند. اتصالهاي ذاتاً باز بسته مي‌شوند و اتصالهاي ذاتاً بسته باز مي‌شوند.

يك رله تاخيردار دقيقاً مثل يك رله معمولي عمل مي‌كند. با اين تفاوت كه هنگام تحريك شدن يك زمان تاخير قابل تنظيم مي‌گذرد تا اتصالهاي آن تغيير حالت دهند.

يك رله اضافه بار از يك پيچك گرمكن و چند اتصال ذاتاً بسته تشكيل مي‌شود جرياني كه موتور مي‌رود از پيچك گرمكن مي‌گذرد. اگر بار موتور خيلي زياد شود جرياني كه از موتور مي‌گذرد پيچك را گرم مي‌كند و باعث مي‌شود اتصالهاي ذاتاً بسته رله اضافه بار باز شوند اين اتصالها مي‌توانند به نوبه خود باعث به كار افتادن مدار حفاظتي موتور شوند.

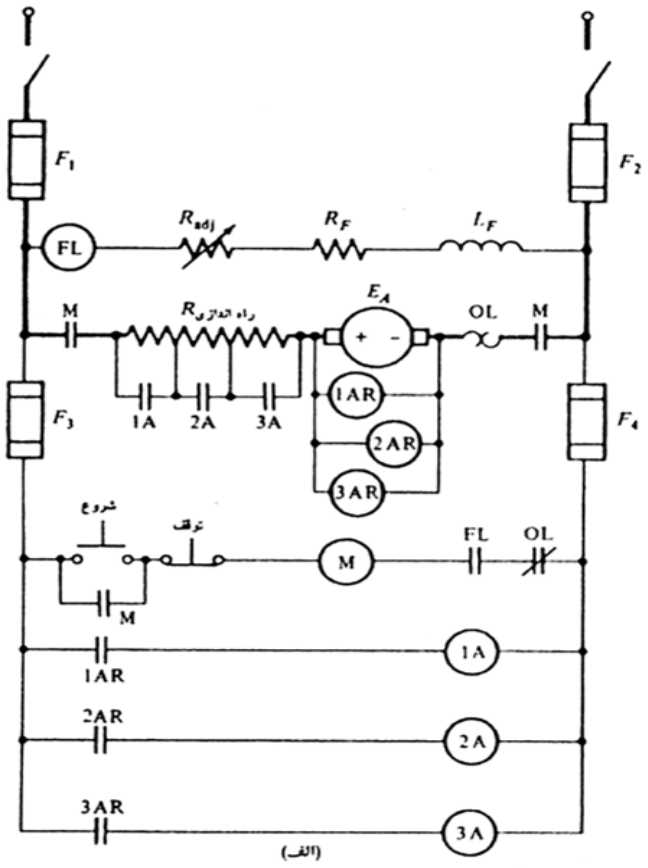


شكل يك مدار متداول راه اندازي موتور را نشان مي‌دهد كه با استفاده از اين اجزاء ساخته شده است در اين مدار تعدادي رله تاخيردار كنتاكتهايي را مي‌بندند كه بخشهاي مقاومت راه انداز را از مدار خارج مي‌كنند. اين كار در زمانهاي مناسب پس از شروع به كار موتور صورت مي‌گيرد. وقتي كليد شروع اين مدار فشرده مي‌شود، مدار آرميچر موتور به منبع تغذيه وصل مي‌شود و ماشين در حالي كه تمام موقعيتها در مدار هستند شروع به كار مي‌كند. رله ١TD در زمان شروع به كار موتور تحريك مي‌شود، بنابراين پس از يك تاخير معين اتصال‌هاي ١TD بسته و بخشي از مقاومت

راه انداز از مدار خارج مي‌شود. در همين هنگام رله ۲TD تحريك مي‌شود و پس از يك تاخير ديگر اتصالهاي ۲TD بسته و بخش دوم مقاومت راه انداز از مدار خارج مي‌شود با بسته‌شدن اتصالهاي ۲TD رله ۳TD تحريك مي‌شود و اين فرآيند تكرار مي‌شود. سرانجام موتور به سرعت كامل مي‌رسد و ديگر مقاومت راه انداز در مدار آن وجود ندارد اگر زمانهاي تاخير درست انتخاب شود. مقاومتهاي راه انداز در زمان درست از مدار خارج شده، جريان موتور در محدوده مقادير طراحي شده مي‌ماند.

شكل زير نوع ديگري از مدار راه انداز موتور را نشان مي‌دهد در اين مدار تعدادي رله مقدار E_A موتور را حس مي‌كنند و هنگام رسيدن E_A به مقادير از پيش تعيين شده بخشهايي از مقاومت راه انداز را از مدار خارج مي‌كنند. اين نوع مدار راه انداز از مدار قبلي بهترست، زيرا اگر بار موتور زياد باشد و كندتر از حد معمول سرعت بگيرد، بازهم مقاومتها به نحوي مناسب و هنگام

رسیدن جریان آرمیچر به مقادیر مناسب از مدار خارج میشوند.



توجه کنید که در هر دو مدار راه انداز یک رله با نام FL در مدار میدان قرار دارد. این رله، رله قطع میدان نام دارد. اگر به هر دلیلی جریان میدان قطع شود، رله قطع میدان تحریک خود را از دست میدهد و به نوبه خود تحریک رله M را قطع میکند. با رفع تحریک رله M ، اتصالهای ذاتاً

باز آن باز مي‌شوند و موتور را از منبع تغذيه جدا مي‌كنند. اين رله نمي‌گذارد كه با قطع شدن جريان ميدان در موتور حالت فرار پيش آيد.

همچنين توجه كنيد كه در هر دو مدار راه‌انداز يك رله اضافه بار وجود دارد. اگر بار زيادي از موتور كشيده شود اين رله‌ها گرم مي‌شوند و اتصالهاي ذاتاً بسته OL را باز مي‌كنند. به اين ترتيب رله M خاموش مي‌شود. با خاموش شدن M اتصالهاي ذاتاً باز آن باز مي‌شوند و موتور را از منبع تغذيه جدا مي‌كنند، به اين ترتيب موتور در مقابل آسيب ناشي از اضافه بار شديد و طولاني حفظ مي‌شود.

سيستم وارد ـ لئونارد و كنترل كننده‌هاي سرعت حالت جامد

طي ساليان متمادي چنين سيستم كنترل موتور ابداع شده است نا از مزاياي گشتاور بزرگ و سرعت متغيير روش كنترل ولتاژ آرميچر استفاده شود. در زمانهاي قبل از رواج اجزاء الكترونيكي حالت جامد

تولید ولتاژ DC متغیر مشکل بود. در واقع روش متداول تغییر ولتاژ آرمیچر موتور DC، ساختن این ولتاژ توسط یك ژنراتور DC مجزا بود.

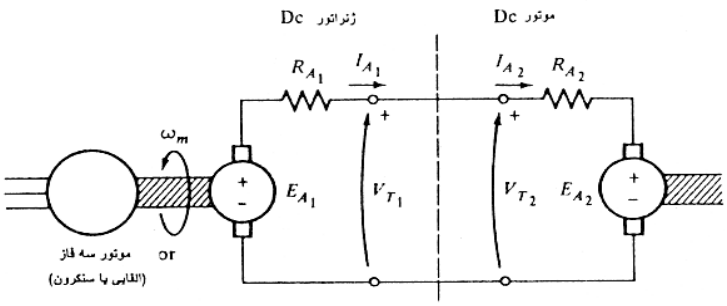
شکل یکي از این گونه سیستمهاي کنترل ولتاژ آرمیچر را نشان میدهد. این شکل یك موتور ac را نشان میدهد که به عنوان گرداننده اولیه یك ژنراتور DC بکار رفته است و این ژنراتور DC به نوبه خود ولتاژ DC یك موتور DC را تولید میکند. این سیستم ماشنیها را سیستم وارد ـ لئونارد مینامند و سیستم بسیار قابل انعطافي است.

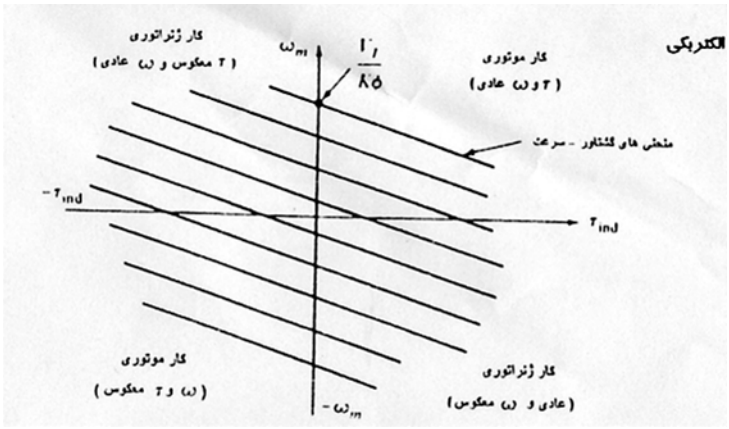
در این سیستم کنترل موتور، ولتاژ آرمیچر موتور را میتوان با تغییر جریان میدان ژنراتور DC کنترل کرد. این ولتاژ آرمیچر اجازه میدهد که سرعت موتور به طور پیوسته بین مقداري بسیار کوچك و سرعت پایه تغییر کند. سرعت موتور را میتوان با کاهش جریان میدان موتور به مقداري

بزرگتر از سرعت پایه رساند با چنین آرایش پرانعطافي کنترل کامل سرعت موتور ممکن مي‌شود.

به علاوه اگر جریان میدان ژنراتور معکوس شود، قطبیت ولتاژ آرمیچر نیز معکوس مي‌شود. این کار باعث مي‌شود جهت چرخش موتور معکوس شود. بنابراین با سیستم کنترل موتور DC وارد ـ لئونارد مي‌توان سرعت را در هر دو جهت چرخش بر روي گستره وسیعي تغییر داد.

مزیت دیگر سیستم وارد ـ لئونارد این است که مي‌تواند باز تولید داشته باشد، یعني انرژي حرکتي ماشین را به خطوط تغذیه برگرداند. اگر موتور DC سیستم وارد ـ لئونارد بار سنگیني را بالا ببرد و سپس پایین بیاورد، هنگام پایین آمدن بار موتور DC به صورت ژنراتور عمل مي‌کند و به سیستم تغذیه توان مي‌دهد به این ترتیب بخش اعظم انرژي صرف شده براي بالا بردن بار را مي‌توان بازیافت و هزینه کل کار ماشینها را کاهش داد.





وجوه کاري ممکن ماشين DC در نمودار گشتاور ـ سرعت شکل نشان داده شده است. وقتي اين موتور جهت عادي خود مي‌چرخد و در جهت چرخش گشتاور

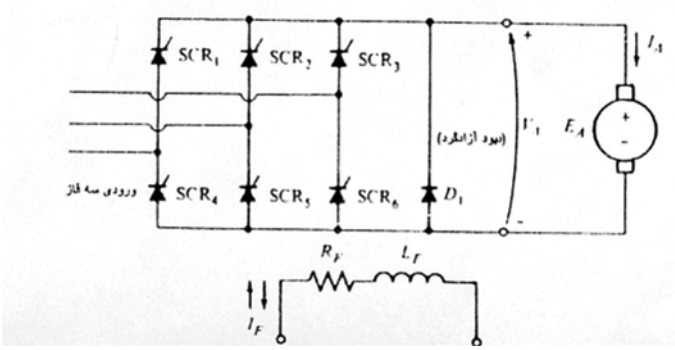
ايجاد مي‌كند، در ربع اول نمودار اين شكل كار مي‌كند. اگر جريان ميدان ژنراتور معكوس شود، ولتاژ پايانه‌اي ژنراتور نيز معكوس مي‌شود و به نوبه خود ولتاژ آرميچر موتور را معكوس مي‌كند. وقتي ولتاژ آرميچر معكوس شود ولي جريان ميدان موتور بدون تغيير بماند، هم گشتاور و هم سرعت موتور معكوس مي‌شود و ماشين در ربع سوم نمودار به صورت يك موتور كار مي‌كند. اگر تنها گشتاور با سرعت موتور معكوس شود و ديگري تغيير نكند، ماشين به عنوان ژنراتور عمل مي‌كند و به سيستم تغذيه DC توان مي‌دهد. چون سيستم وارد ـ لئونارد اجازه مي‌دهد كه در هر دو جهت چرخش و باز توليد وجود داشته باشد، آن را يك سيستم كنترل چهاربعي مي‌خوانند.

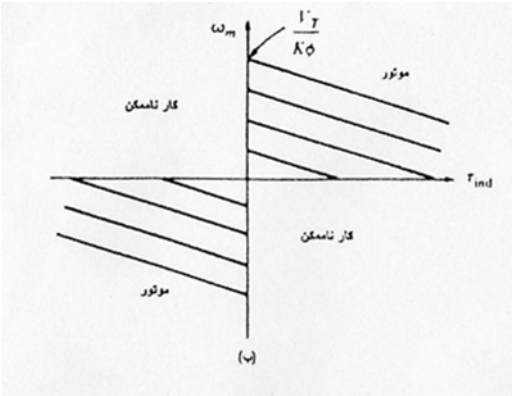
عيوب سيستم وارد ـ لئونارد بايد روشن شده باشد يكي اينكه استفاده كننده بايد سه ماشين بخرد كه مشخصات اساساً يكساني داشته باشند و اين كار پر هزينه‌اي است. ديگر اينكه سه ماشين بازده بسيار

كمتري از يك ماشين دارند. سيستم وارد ـ لئونارد به خاطر گراني در كاربردهاي جديد جاي خود را به مدارهاي كنترلي ساخته شده با SCR داده است.

در شكل زير يك مدار ساده كنترل ولتاژ DC آرميچر نشان داده شده است ولتاژ متوسط اعمال شده به آرميچر موتور، و در نتيجه سرعت متوسط موتور به كسري از زمان كه منبع به موتور اعمال مي‌شود بستگي دارد. اين كسر زماني به نوبه خود به فاز نسبي روشن شدن SCRهاي مدار يكسوساز بستگي دارد. اين مدار خاص تنها مي‌تواند ولتاژي با يك قطبداشت به آرميچر بدهد، بنابراين موتور را تنها مي‌توان با معكوس كردن اتصال ميدان به حركت در جهت عكس واداشت. توجه كنيد كه جريان آرميچر نمي‌تواند در جهت خارج شدن از پايانه مثبت عبور كند، زيرا جريان نمي‌تواند در جهت معكوس از SCR بگذرد. پس اين موتور باز توليد داشته باشد و نمي‌توان انرژي داده شده به آن را بازيابي كرد. اين نوع مدار كنترل، چنانچه در

شكل نشان داده شده است، يك كنترل كننده دو ربعي است.

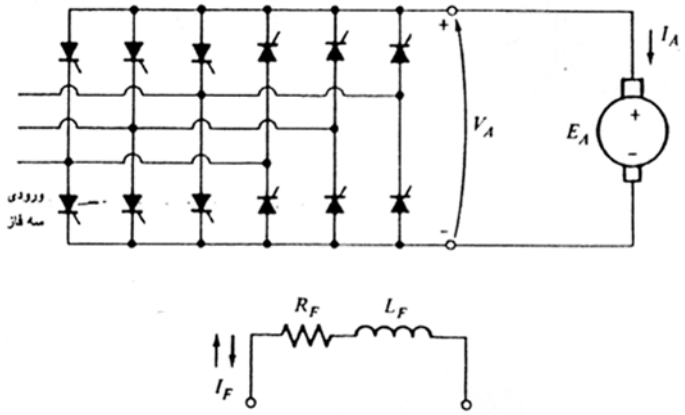


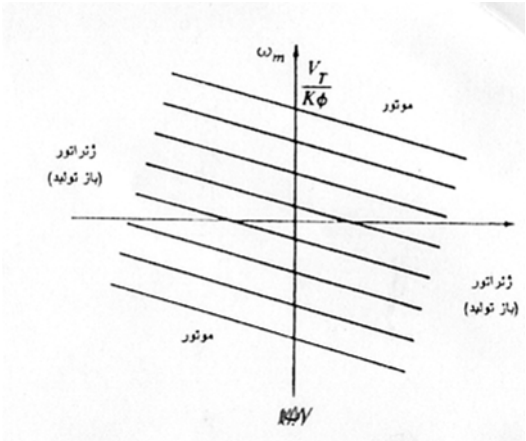


در شكل زير مدار پيشرفته‌تري نشان داده شده كه مي‌تواند به آرميچر ولتاژي با قطبداشت دلخواه اعمال كند اين مدار كنترل ولتاژ آرميچر مي‌تواند اجازه دهد كه جريان در جهت خارج شدن از پايانه مثبت عبور كند، بنابراين موتوري با اين كنترل كننده مي‌تواند باز توليد داشته باشد اگر بتوان جهت مدار ميدان موتور را نيز معكوس كرد، اين

مدار حالت جامد ميتواند شبيه سيستم وارد ـ لئونارد يك كنترل كننده چهار ربعي كامل باشد.

در حالت كلي كنترل كننده دو ربعي يا كنترل كننده چهار ربعي كامل ساخته شده با SCR از دو ماشين اضافي لازم براي سيستم وارد ـ لئونارد ارزانترست، به همين دليل در كاربردهاي جديد سيستمهاي كنترل سرعت حالت جامد تا حد زيادي جايگزين سيستمهاي وارد ـ لئونارد شده اند.





شكل زير يك كنترل كننده دو ربعي موتور DC موازي را نشان مي‌دهد كه سرعت را با تغيير ولتاژ آرميچر كنترل مي‌كند (نمودار بلوكي ساده شده) اين سيستم يك ولتاژ ميدان ثابت كه توسط يك يكسوساز تمام موج سه فاز ساخته مي‌شود اعمال مي‌كند و يك ولتاژ آرميچر متغير كه توسط شش SCR توليد مي‌شود، اين شش SCRهاي واقع در پل يكسوساز تمام موج سه فاز عمل مي‌كنند ولتاژ اعمال شده به آرميچر موتور با تنظيم زاويه آتش SCRهاي واقع در پل يكسوساز كنترل مي‌شود. چون اين كنترل كننده موتور يك ولتاژ ميدان ثابت و يك ولتاژ آرميچر متغير دارد، تنها مي‌تواند سرعت موتور را در مقادير كوچكتر از سرعت پايه كنترل كند. دراينجا تمام مدارهاي الكترونيكي كنترل و فيدبك نشان داده شده اند.

بخشهاي اساسي اين مدار كنترل موتور DC عبارتند از :

۱- بخش مدار محافظ براي حفاظت موتور در مقابل جريان آرميچر اضافي، ولتاژ آرميچر كوچك و قطع جريان ميدان

۲- مدار شروع/ توقف براي قطع و وصل موتور از خط تغذيه

۳- يك بخش الكترونيكي توان بالا براي تبديل توان سه فاز ac به توان DC براي مدارهاي آرميچر و ميدان موتور

٤- يك بخش الكترونيكي توان پايين براي پالسهاي تريگر SCRهايي كه ولتاژ آرميچر موتور را تامين ميكنند. اين بخش چند زيربخش كوچكتر دارد كه آنها را در زير توضيح ميدهيم :

بخش مدار محافظ

در بخش مدار محافظ عناصر متفاوتي تركيب شده اند تا عملكرد ايمن موتور را تضمين كنند. بعضي از عناصر ايمني كه در اين نوع مدارها به كار ميروند عبارتند از:

۱-**فیوزهاي محدود کننده جریان :** براي قطع سریع و مطمئن موتور از خطوط تغذیه در صورت بروز اتصال کوتاه در داخل موتور فیوزهاي محدود کننده جریان براي قطع جریانهاي متفاوت، با چندصدهزار آمپر، وجود دارند.

۲-**رله استاتیك فوري :** که در صورت تجاوز جریان آرمیچر از ۳۰۰ درصد مقدار نامي‌اش موتور را از کار مي‌اندازد. اگر جریان آرمیچر از مقدار ماکزیمم مجاز بگذرد. مدار این رله، رله اصلي بروز اشکال را فعال مي‌کند و این رله، رله روشن بودن را غیرفعال مي‌کند، به این ترتیب اتصالهاي اصلي باز شده و موتور از منبع تغذیه جدا مي‌شود.

۳-**رله اضافه بار معکوس با زمان :** که موتور را در مقابل اضافه جریان دائمي حفاظت مي‌کند، این اضافه جریان آنقدر بزرگ نیست که رله استاتیك فوري را فعال کند ولي آنقدر بزرگ هست که در صورت تداوم به موتور آسیب

برساند. عبارت معکوس با زمان به این معني است که هرچه اضافه جریان بزرگتر باشد رله اضافه بار زودتر عمل مي‌کند. براي مثال يك رله معکوس با زمان در صورتي که جریان ۱۵۰ درصد جریان نامي باشد مي‌تواند يك دقیقه طول بکشد تا عمل کند ولي اگر جریان ۲۰۰ درصد جریان نامي موتور باشد تنها پس از ۱۰ ثانیه عمل خواهد کرد.

٤-**رله کمي ولتاژ :** که در صورت افت ولتاژ تغذیه به مقداري بیش از ۲۰ درصد موتور را قطع مي‌کند.

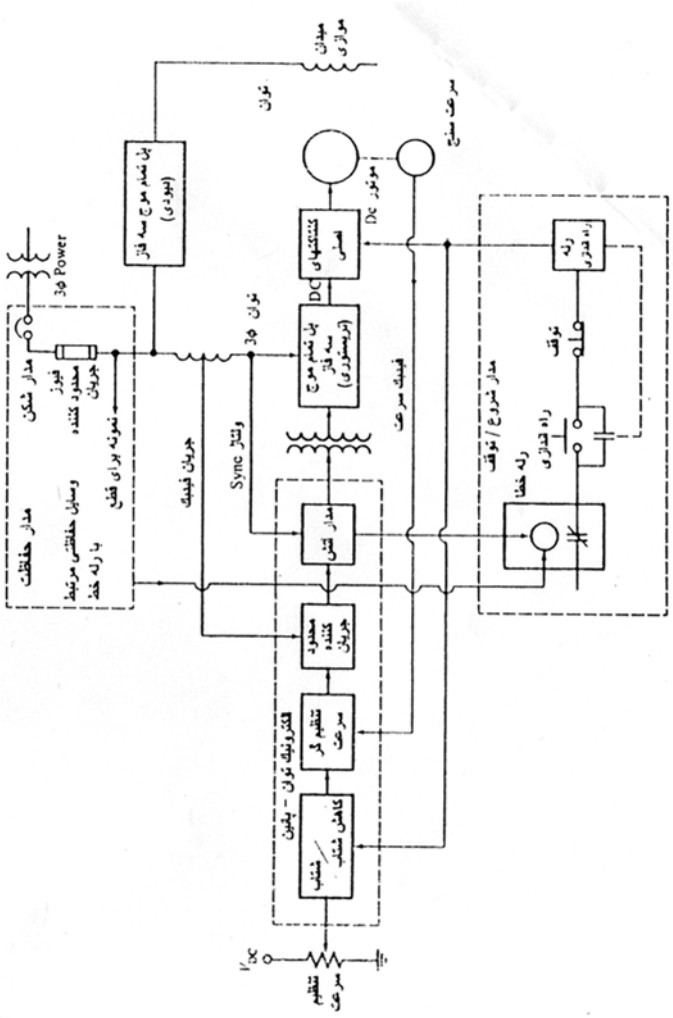
٥-**رله قطع میدان :** که در صورت قطع مدار میدان موتور را از کار مي‌اندازد.

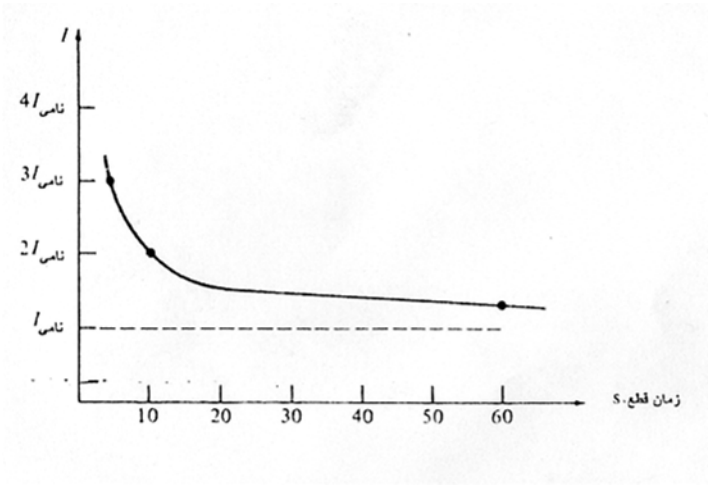
٦-**رله اضافه دما :** که اگر موتور در معرض گرم شدن شدید قرار گیرد آن را از کار مي‌اندازد.

بخش مدار شروع / توقف

مدار شروع/توقف از بخشهاي لازم براي راه انداختن و متوقف کردن موتور، با باز کردن و بستن

کنتاکتهاي اصلي اتصال موتور به خطوط تغذيه، تشکيل مي‌شود. موتور با فشردن دکمه شروع به کار مي‌افتد و با فشردن دکمه توقف يا تحريك شدن رله بروز اشکال از کار مي‌افتد. در هر دو صورت رله روشن بودن غيرفعال شده، اتصالهاي موتور به خطوط تغذيه باز مي‌شود.





بخش الكترونيكي توان بالا

بخش الكترونيكي توان بالا از يكسوساز تمام موج سه فاز ديودي براي توليد ولتاژ ثابت مدار ميدان موتور و يك يكسوساز تمام موج سه فاز SCR براي توليد ولتاژ مدار آرميچر موتور تشكيل مي‌شود.

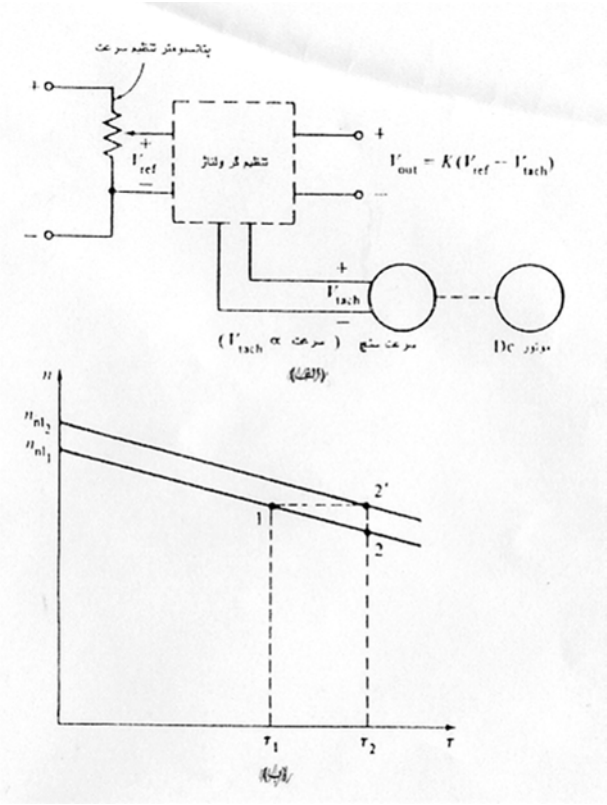
بخش الكترونيكي توان پايين

بخش الكترونيكي توان پايين پالسهاي تريگر لازم را براي تحريك SCRهايي كه ولتاژ آرميچر موتور را تامين مي‌كنند، به وجود مي‌آورد. با تنظيم زمان آتش SCRها بخش الكترونيكي توان پايين ولتاژ

متوسط آرميچر را تامين مي‌كنند، به وجود مي‌آورد با تنظيم زمان آتش SCRها بخش الكترونيكي كم توان شامل بخش‌هاي فرعي زيرست :

۱-**مدار تنظيم سرعت :** اين مدار سرعت موتور را با يك تاكومتر اندازه مي‌گيرد، آن سرعت را با سرعت مطلوب (كه يك ولتاژ مرجع است) مقايسه مي‌كند و ولتاژ آرميچر را بالا يا پايين مي‌برد به نحوي كه سرعت در حد خواسته شده ثابت بماند. براي مثال فرض كنيد با روي محور موتور افزايش مي‌يابد كاهش سرعت ناشي از افزايش بار ولتاژ توليد شده توسط تاكومتر را كم مي‌كند. اين ولتاژ ولتاژي است كه به مدار تنظيم سرعت مي‌رود. چون ولتاژ متناظر با سرعت موتور از ولتاژ مرجع كمتر شده است مدار تنظيم سرعت زمان آتش SCRها را جلو برده، باعث مي‌شود ولتاژ آرميچر بزرگتري توليد شود بزرگ شدن ولتاژ آرميچر سرعت موتور را زياد كرده، آن را به مقدار مطلوب برمي‌گرداند. با

طراحي مناسب چنين مداري مي‌تواند بين شرايط بي‌باري و بار كامل، سرعت را با ميزان تنظيم ۰/۱ درصد كنترل كند. سرعت مطلوب كار موتور با تغيير ولتاژ مرجع كنترل مي‌شود اين ولتاژ مرجع را مي‌توان به صورت نشان داده شده در شكل با يك پتانسيومتر كوچك تنظيم كرد.



مدار محدود كننده جريان : اين مدار جريان حالت ماندگاري كه از موتور مي‌گذرد را اندازه مي‌گيرد آن را با جريان ماكزيمم مورد نظر (كه توسط يك

سطح ولتاژ مرجع مشخص مي‌شود) مقايسه مي‌كند و ولتاژ آرميچر را به اندازه لازم كاهش مي‌دهد تا جريان از مقدار ماكزيمم تجاوز نكند. جريان ماكزيمم را مي‌توان در گستره وسيعي، مثلاً از ۰ تا ۲۰۰ درصد جريان نامي موتور، يا بيشتر تنظيم كرد اين جريان ماكزيمم معمولاً در مقداري بزرگتر از جريان نامي تنظيم مي‌شود تا موتور بتواند در بار كامل با شتاب لازم سرعت بگيرد.

۲-**مدار شتاب :** اين مدار شتاب مثبت و منفي موتور را به مقدار مطمئن محدود مي‌كند هرگاه تغيير سرعت شديدي خواسته مي‌شود، اين مدار مداخله مي‌كند تا تغيير سرعت از مقدار فعلي به مقدار خواسته شده به صورت يكنواخت صورت گيرد و باعث نشود كه جريانهاي گذراي شديدي در موتور به وجود آيد.

مدار شتاب نياز به مقاومت راه انداز را به طور كلي حذف مي‌كند. زيرا راه اندازي نوعي تغيير سرعت شديد است و مدار شتاب به نحوي عمل مي‌كند كه

سرعت به نحوي آرام تغيير كند. اين افزايش تدريجي سرعت جريان گذرنده از آرميچر ماشين را در حدي مطمئن نگه دارد.

محاسبات بازده موتور DC

براي محاسبه بازده يك موتور DC تلفات زير بايد تعيين شود :

١- تلفات مس

٢- تلفات افت ولتاژ جاروبك

٣- تلفات مكانيكي

٤- تلفات هسته

٥- تلفات پراكنده

تلفات مس در موتور تلفات I^2R مدارهاي آرميچر و ميدان موتورست. اين تلفات را ميتوان با دانستن جريانهاي ماشين و دو مقاومت بدست آورد. براي تعيين مقاومت مدار آرميچر ماشين، روتور آن را نگه ميداريم تا نتواند حركت كند و يك ولتاژ DC كوچك به پايانه‌هاي آرميچر اعمال ميكنيم. اين ولتاژ را طوري تنظيم ميكنيم كه جريان آرميچر

با جريان نامي آرميچر ماشين برابر شود. نسبت ولتاژ اعمالي به جريان آرميچر R_A است. دليل اينكه در اين آزمايش جريان آرميچر را به حدود جريان نامي بار كامل مي‌رسانيم اين است كه R_A با افزايش دما زياد مي‌شود و به ازاي جريان نامي بار كامل سيم پيچي آرميچر تقريباً همان شرايطي را دارد كه در شرايط عادي كار خود دارد.

مقاومت به دست آمده كاملاً دقيق نيست، زيرا :

۱- اثر خنك سازي چرخش موتور در اين حالت وجود ندارد.

۲- چون در شرايط عادي كار در هاديهاي روتور يك ولتاژ ac وجود دارد. كمي اثر پوستي وجود دارد كه باعث افزايش مقاومت آرميچر مي‌شود.

استاندارد IEEE۱۱۳ در مورد روشهاي آزمايش ماشينهاي DC است. در اين استاندارد روش دقيقتري براي اندازه‌گيري R_A بيان شده است و در صورت لزوم مي‌توان از آن استفاده كرد.

مقاومت ميدان با اعمال ولتاژ نامي ميدان به مدار ميدان و اندازه‌گيري جريان حاصل تعيين مي‌شود. مقاومت ميدان R_F نسبت ولتاژ ميدان به جريان ميدان است.

تلفات افت جاروبك غالباً به طور تقريبي در تلفات مس گنجانده مي‌شود اگر بخواهيم اين دو را به طور مجزا در نظر بگيريم بايد از نمودار پتانسيل جاروبك برحسب جريان براي جاروبك مورد نظر استفاده كنيم. تلفات افت جاروبك با حاصل ضرب افت ولتاژ جاروبك V_{BD} و جريان آرميچر I_A برابرست.

تلفات هسته و مكانيكي معمولاً باهم درنظر گرفته مي‌شوند. اگر بگذاريم موتور در حالت بي‌باري آزادانه و با سرعت نامي بچرخد، توان خروجي ماشين صفرست چون موتور بار ندارد، I_A خيلي كوچك و تلفات مس آرميچر قابل چشم پوشي است. بنابراين اثر اگر تلفات مس ميدان را از توان ورودي موتور كم كنيم، توان باقيمانده بايد با تلفات مكانيكي و تلفات هسته در آن سرعت برابر

باشد. اين تلفات را تلفات چرخشي بي‌باري موتور مي‌نامند. اگر سرعت موتور در حدود سرعتي كه تلفات چرخشي بي‌باري را در آن اندازه گرفته‌ايم باشد، اين تلفات تقريب خوبي از تلفات هسته و مكانيكي ماشين تحت بار است.

الکتروموتور

همانطور که میدانید موتور لکوموتیو وسیله ایست که میتواند انرژي سوختي را به انرژي مکانیکي تبدیل نماید و در لکوموتیوها براي مصارف مکانیکي مختلف از نیروي موتور و چرخ دنده ها استفاده میکنند. اما نیروي مکانیکي براي محدوده اطراف موتور و مصارف سبك مقرون به صرفه و حتي سودآور نیز هست. لیکن اگر بخواهیم نیروهاي مکانیکي قويتري بدست آوریم و یا این نیروها را تا حدي دور از موتور بکار ببریم نه تنها سودآور نیست بلکه ایجاد مخارج زیاد و حجیم وسائل و لوازم و چرخدنده ها طراحان از این فکر باز داشته است.

لذا مبتکرین بفکر ایجاد نیروي مکانیکي از انرژي الکتریکي بوده و هستند، چون در این مورد ضمن کمتر شدن مخارج سرویس دهي خدمات بهتر صورت گرفته و بازده کار نیز بالاتر میرود.

وسيله اي كه به اين فكر جامه عمل پوشاند الكتروموتور بود. الكتروموتور وسيله اي است كه انرژي الكتريكي را دريافت كرده و يا به گردش در آوردن آرميچر خود انرژي مكانيكي قابل مصرف توليد مي‌نمايد. الكتروموتورها غالبا با هر دونوع جريان متناوب و يا مستقيم مي‌توانند عمل كنند ولي ساختمان داخلي الكتروموتورهاي نوع متناوب با الكتروموتورهاي جريان مستقيم متفاوت است. اما مزيتي كه الكتروموتورهاي مستقيم نسبت به متناوب دارند در اين است كه بخاطر فرم ساختماني موتور مستقيم و استفاده از كلكتور در روي آرميچر آن مي‌توان از آن به عنوان ژنراتور نيز استفاده نمود كه اين امر در الكتروموتورهاي جريان متناوب كمتر امكان پذير است. در لكوموتيوهاي راه‌آهن از دو نوع الكتروموتور AC , DC استفاده شده است كه مجموع اين الكتروموتورها عبارتند از :

۱- پنكه خنك كننده راديا‌تورهاي آبAC

۲- الكتروموتور هواي اطاق تميز AC

۳- پمپ بخش گرمکن آب دیزلهاي کره اي AC

٤- الکتروموتور، الکترو پمپ مکنده گازوئیل DC

٥- الکتروپمپ روغنکاري کمکي توربو شارژ DC

٦- پنکه خنک کننده مقاومتهاي دینامیک DC

۷- پنکه هاي کابین و بخاري اطاق راننده DC

۸- الکتروموتورهاي حرکت دهنده لکوموتیو به نام Traction Motor که DC میباشد.

اما مهمترین الکتروموتوري را که مورد بحث قرار میدهیم از انواع الکتروموتورهاي میباشند که جهت به حرکت درآوردن لکوموتیو مورد استفاده قرار گرفته است.

اساساً هر الکتروموتور از لحاظ ساختماني از دو قسمت مهم تشکیل میشود که این دو قسمت عبارت است از:

۱- استاتور یا پوسته (قسمت ثابت)

۲- روتور (قسمت گردنده)

پوسته، قسمت ثابت الکتروموتورها را تشکیل مي‌دهد که بر روي يك محفظه بنام بوژي و نسبت به نوع بوژي، ۲ يا ۳ پوسته الکتروموتور بر روي آن نصب مي‌گردد. بر روي هر پوسته الکتروموتور نسبت به نوع طراحي آن تعدادي قطب اصلي و فرعي و زغال‌گيرها و کابل‌هاي مربوط به آن متصل مي‌باشد. در دو طرف هر پوسته قسمتي وجود دارد که نقطه اتکاء دو سر روتور در آن‌جا مي‌باشد. در اين دو قسمت بلبرنگهايي قرار گرفته که باعث مي‌شود گردش روتور براحتي صورت پذيرد.

شرح مواد ساختماني اصلي پوسته (Stator)

بدين قرار است که جنس قاب پوسته از نوعي فولاد مغناطيسي و يا فولاد با کيفيت خوب ساخته شده است. ساختمان قطبهاي اصلي (Main poie) و قطبهاي فرعي (Inter pole) نيز از ورقه‌هاي نازك فولادي ساخته شده است. اما سيم‌پيچهاي مغناطيسي (coil) که بر روي ٤ قطب اصلي و ٤ قطب فرعي قرار مي‌گيرند، به دليل زياد بودن مقدارش از نوعي

تسمه (نوار) مسي ساخته شده كه اين تسمه ها قبل از نصب با انواع مختلف مواد معدني عايقكاري شده و بوسيله جريان شديد الكتريسيته گرم (سرخ) مي‌شوند به نحوي كه حرارت كافي براي محكم كردن مواد به مس و خودش بوجود آيد. اين نوع عايق كاري بسيار عالي بوده و داراي خواص خوب انتقال حرارت مي‌باشد. براي محافظت بيشتر سيم‌پيچها در مقابل رسوبات آنها را به مواد سيليكون (silicon) آغشته مي‌كنند و سپس در داخل آون حرارت مي‌دهند، اين نوع آغشتگي ضمن بوجود آوردن سطح سيقلي مانع از آلودگي و كثيف شدن سيم‌پيچ‌ها مي‌گردد. براي تاييد صحت عايق‌بندي هر سيم‌پيچ را قبل از نصب تحت فشار 6000 v به مدت ۱۰ ثانيه آزمايش مي‌كنند.

بعد از آزمايش و تائيد سالم بودن سيم‌پيچها آنها را بر روي قطبهاي فرعي و اصلي نصب نموده و قطبها را در محل‌هاي مناسب خود بر روي استاتور بوسيله پيچهاي متصل و محكم مي‌كنند تا از حركت

قطبها به سبب لرزشهاي حاصله و يا نيروهاي مغناطيسي جلوگيري شود. سپس اتصالات بين قطبها و كابلهاي استاتور را بوسيله لحيم جوشكاري مينمايند تا در ضمن برقرار شدن اتصالات الكتريكي خوب، قدرت مكانيكي لازمه را نيز داشته باشند. در ضمن براي استاتور سيم خاصي تعبيه شده تا جريان هوا بتواند به قطبهاي اصلي و فرعي به راحتي رسيده و اين عمل باعث ميشود تا قطبها در دورهاي بالا حرارت كمتري داشته باشند.

وظيفه ٤ قطب اصلي كه سيمپيچهاي هر چهاراتاي آنها با هم سري بسته شده و دو سر ابتدا و انتهاي آنها به كابلهاي FF,F متصل ميگردد ايجاد ميدان مغناطيسي جهت گردش روتور در الكتروموتورها بوده، اما قطبهاي كمكي كه در ميان قطبهاي اصلي و به ميزان تعداد آنها است. بدين ترتيب ميباشد كه سيم پيچهاي قطبهاي كمكي با سيمپيچهاي روتور (آرميچر) از طرق زغالها و زغالگيرها سري بسته شده و ابتدا و انتهاي آنها

به دو کابل متصل گرديده و وظيفه اش جلوگيري کردن از ايجاد جرقه در روي کلکتور و ارتعاشات عرضي روتور مي‌باشد.

زغالگيرها (Brush gears) هر پوسته الکتروموتور داراي ٤ عدد نگهدارنده زغال يا جا زغالي مي‌باشد که اين جا زغاليها بوسيله پلي استر عايق شده و به ديوار استاتور با فاصله ٦٠ درجه دور قسمتي که کلکتور آرميچر در آنجا قرار مي‌گيرد پيچ شده است.

اين جا زغاليها معمولاً نسبت به تشعشعات حاصله مقاوم بود و طرح جالب جازغاليها به آنها اجازه مي‌دهد که زغالهاي بلند در اين وسيله بکار رود و فشار دائمي که توسط فنرهاي جازغالي به زغال اعمال مي‌گردد به زغالها اين اجازه را مي‌دهد که با اتصال خوب و نزديك به کلکتور و با حداقل قوس و سوختن جازغاليها، جريان را هدايت کند. علاوه بر اين وجود ٣ شيار جهت زغالها و سيم‌هاي متصل بين زغال و زغالگير سبب مي‌شود که رفت و

برگشت و حرکت زغالها با حداقل گردش جریان در جازغالي حاصل شود. و براي ساده کردن بازرسيها و نگهداري، زغالها داراي چندين خط فرسودگي ميباشند که درصد فرسودگي زغال را مشخص مينمايند که اين خطوط از ميان محفظه‌هاي جازغاليها قابل رويت ميباشد.

روتور

ساختمان روتور الکتروموتور نيز داراي قسمتهاي مختلفي ميباشند، يکي از اين قسمتها هسته بوده که سيم‌پيچها روي آن سوار ميشوند، جنس هسته از ورقه‌هاي نازك فولادي که داراي شيارهايي ميباشد ساخته شده و اين ورقه‌ها بطور رديفي در کنار هم و بروي شفت (محور) سوار شده‌اند، شيارهاي ايجاد شده بر روي هسته ۷۰ عدد بوده که سيم‌پيچها درون اين شيارها قرار ميگيرند. کوئلها را غالباً بصورت نيمه کوئل ميسازند. که ۷۰ نيمه اول در پايين و ۷۰ نيمه دوم در بالاي آن قرار گرفته و سپس بوسيله فيبرهايي محکم ميگردد. اين کوئلها را

نيز از نوع تسمه يا نوار مسي مي‌سازند كه سه تا سه تا روي هم قرار داده و بعد از طي مراحل شكل و فرم مخصوص داده و عايق‌بندي مي‌كنند.

ماده عايق‌بندي كه بكار گرفته شده است كاپتون (kapton) مي‌باشد. بيشتر از ٦ پوند كاپتون در هر سري از كوئلها استفاده شده است، كاپتون يك نوع عايق بسيار عالي، حاوي قدرت كششي معادل ٢٥٠٠٠ PSI و قدرت مقاومت در برابر ٧٠٠٠ ولت الكتريسيته را به ازاء يك mm از ضخامت آن كه معادل ١٠ برابر سنگ طلق (سنگ معدني) در سيستم عايق‌بندي است مي‌باشد.

لازم به ذكر است كه كاپتون همچنين داراي خاصيت شيميايي و حرارتي مي‌باشد، ضمناً اين ماده در هيچ محلولي حل نمي‌شود محترق هم نمي‌شود. بكار بردن ورقه‌هاي نازك كاپتون مزاياي زيادي دارد از آنجمله بكار بردن مس بيشتر و عايق كمتر كه سبب خنك شدن بيشتر الكتروموتور و عمر طولاني آرميچر مي‌شود.

سيستم عايقبندي روتور داراي مراحل زير ميباشد :

۱- هر كدام از نوارهاي مسي كوئلها پوشانيده شده است از polyamide و بعد بوسيله kapton عايق شده است.

۲- لبه هاي نوارهاي مسي به نوعي آستر آغشته شده و سپس هر سه تسمه هادي به يكديگر بسته شده اند و دوباره kapton مصرف شده

۳- در آخرين مرحله از عايق بندي، كوئلها را تحت فشار ۵۰۰۰ ولت به مدت ۱۰ ثانيه آزمايش ميكنند، آنگاه نيم كوئلها را روي هسته سوار ميكنند و اتصالات الكتريكي آنها بوسيله تنگستن و با دستگاه جوش TIG (Tungsten Inert Gas) جوشكاري ميگردد.

قسمت مهم ديگر روتور كلكتور يا كموتاتور (commutator) ميباشد. اين قسمت از ورقه هاي نازك مسي (قالبهاي مسي) شكل گرفته كه بصورت رديفي در كنارهم قرار گرفته اند و بوسيله قوزكهايي از

شيشه معدني زنجير شده اند تشكيل شده است. اين قالبهاي مسي و قوزكها در محل خودشان بوسيله فشار رينگهاي وي (V) شكل به يكديگر پيچ شده اند در بين وي (V) رينگهاي فولادي و قالبهاي مسي (The Nomex V-Ring) نوعي فيبر بصورت ورقه هاي باريك قرار گرفته است كه بطور زنجيروار به يكديگر متصلند. از ويژگيهاي عالي اين عنصر استحكام و غلظت آن مي‌باشد كه نه فقط قالبهاي مسي را باردار مي‌كند بلكه تحت فشار به هيچ وجه كمپرس نمي‌شود. همچنين سطح كلكتور (كموتاتور) به شدت محكم بود و عمل تبادل را براحتي انجام داده و عمر طولاني دارد. فرسودگي و سائيدگي زغال باعث جمع شدن گرد و غبار و كربن در انتهاي قالبهاي كموتاتور (كلكتور) مي‌شود و جمع شدن هر مقدار از اين عنصر باعث بوجود آمدن اعمال الكتريكي مي‌گردد لذا براي جلوگيري از جمع شدن هر مقدار از اين عنصر باعث بوجود مدن اعمال الكتريكي مي‌گردد لذا براي جلوگيري از جمع شدن هر مقدار از اين

عنصر باعث بوجود آمدن اعمال الكتريكي مي‌گردد لذا براي جلوگيري از جمع شدن مواد فوق، قسمت جلو كموتاتور بوسيله باند تفلن پوشيده شده است كه يك حالت قوسي شكل و سطح مقاومي را در برابر كثيف شدن حاصل مي‌نمايد. اين مساله نيز باعث محكمتر شدن رشته‌هاي زنجيره‌اي به جعبه قالبها مي‌گردد.

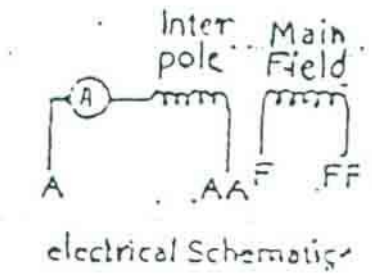
بعد از سوار كردن كلكتور بر روي روتور مسئله جوشكاري اتصالات كوئلهاي هسته به تيغه‌هاي كلكتور بسيار مهم است و از آنجائيكه اتصال سيم كوئلها بين هسته، و تيغه‌هاي مسي كلكتور يك محوطه بحراني در الكتروموتور است لذا اين اتصالها بوسيله جوش تنگستن انجام مي‌شود. در گذشته وقتي كه براي اين نوع اتصال از سيم مخصوص جوشكاري استفاده مي‌شد، بالا رفتن دور الكتروموتور باعث ذوب شدن آن مي‌گرديد، در حالي كه جوشكاري با تنگستن ايجاد يك اتصال قوي با مقاومت كم مي‌نمايد و باعث گداختگي مس در كوئلها و تيغه‌هاي مسي

كلكتور مي‌گردد. از اين جهت اتصالات داراي الكتريسيته‌اي با مشخصات الكتريسيته در شمه‌هاي (نوارهاي) هسته مي‌باشد. بعد از اتمام كار روتور و پوسته هر دو را بصورت مجتمع بر روي هم سوار كرده و تحت فشار ۳۲۰۰ وات به مدت ٦٠ ثانيه آزمايش كرده و جهت نصب بر روي بوژي‌هاي آماده مي‌گردد.

اما طريقه كار الكتروموتورها:

چون در لكوموتيوها تا اندازه‌اي قدرت بيشتر از سرعت مورد نظر بوده و هسته و دوام قدرت نيز براي كار زياد مورد نياز مي‌باشد، لذا الكتروموتورهاي بكار رفته در لكوموتيوها از نوع سري بوده و به نحوي طراحي شده كه با يك روتور با سرعت نسبتاً كم حركت مي‌كند (تقريباً ۲۲٦٠ دور در دقيقه) كه اين خاصيت سبب مي‌شود زغالها سائيدگي كمتري داشته باشند و ضمناً به عمر بلبرينگها هم افزوده مي‌شود. منظور از فرم طراحي به صورت سري اين است كه آرميچر الكتروموتور و

سیم‌پیچ پوسته الکتروموتورها در همه حالات کشش (سري و پارالل) بصورت سري (پشت سرهم) قرار دارند. براي رساندن جریان برق به الکتروموتورها و ایجاد نیروي مکانیکي جهت کشش از چهار کابل قوي استفاده شده است که دو کابل آن با نام FF,F جریان برق را براي پوسته الکتروموتور مي‌برد و کابل دیگر با نام AA,A جریان را به آرمیچر الکتروموتور مي‌رساند. دلیل اینکه از چهار کابل استفاده شده آن است که لکوموتیوها داراي سیستم کنترل تغییر جهت و ترمز دینامیك مي‌باشد و براي این منظور لازم است که اتصالات روتور و پوسته بوسیله کنتاکتورهایي که در کابین اصلي برق قرار دارد در حالتهاي مختلف کنترل شود.



electrical Schematic

جريان برق مستقيم از طريق كابلهاي ژنراتور اصلي وارد كنتاكتورهاي مارش و سپس كابلF و از آنجا بر سيم‌پيچ قطبهاي پوسته رسيده و از كابل FF خارج و مجدد به كنتاكتور مارش وارد مي‌شود و بعد از طي نمودن كنتاكتورهاي ديناميك وارد كابل A و سپس زغالگير، زغال و كلكتور و سيم‌پيچ آرميچر مي‌شود كه در اين حالت نيروهاي مغناطيسي در پوسته و آرميچر ايجاد شده و روتور را به گردش در مي‌آورد.

گردش روتور باعث مي‌شود چرخ دنده كوچك محركه كه بر روي شفت روتور متصل است بگردش درآمده و چرخدنده بزرگتر را كه به محور چرخ وصل است بگرداند كه در نتيجه باعث حركت لكوموتيو مي‌گردد. تعداد دنده‌هاي محور محركه روتور و محور نقاله چرخها مجموعا بايد ۷۷ عدد باشد كه نسبت اين دو چرخ دنده باهم تعيين كننده مقدار سرعت لكوموتيو است.

لازم به توضيح است كه چرخدنده‌هاي بكار رفته در لكوموتيوهاي راه‌آهن در ديزلهاي سنگين ٦ محوره از نوع ١٧-٦٠ و در لكوموتيوهاي سبك ٤ محوره از نوع ١٥-٦٢ مي‌باشد. همچنين مدل الكتروموتورها در لكوموتيوهاي مختلف عبارتند از: سري ديزلهاي G12 مدل الكتروموتور D77 اما گاهي اوقات لكوموتيوها در خطوطي قرار مي‌گيرند كه داراي شيب زيادي مي‌باشد بهمين منظور لكوموتيوها داراي سيستم ترمز ديناميك مي‌باشند و اين بدان صورت است كه وقتي راننده در چنين خطوطي قرار گرفت سيستم را بحالت ترمز ديناميك مي‌برد، در اين حالت اتصالات پوسته الكتروموتورها از آرميچر جدا شده و در كليه پوسته‌هاي الكتروموتورهاي يك لكوموتيو باهم سري شده و آرميچر الكتروموتورها نيز دو به دو باهم سري مي‌شوند در اين هنگام به پوسته الكتروموتورها برق داده شده و ايجاد ميدان مغناطيسي مي‌گردد در حاليكه آرميچرها بدون هيچ نيروي مغناطيسي درون يك ميدان مغناطيسي قرار

مي‌گيرند و تحت نيروي جاذبه اين ميدان آرميچر مجبور به متوقف شدن مي‌گردد. ليكن فشار قطار باعث بگردش درآمدن آرميچرها مي‌شود كه در اين حالت نيروي الكتريسيته در آرميچرها بوجود مي‌آيد و چون اين نيروها در لكوموتيو قابل مصرف نيست لذا آنها را به سمت مقاومتهاي حرارتي ترمز ديناميك هدايت كرده و بصورت گرما مصرف مي‌نمايند. البته در اين حالت هرچه جريان نيروي ميدان مغناطيسي پوسته الكتروموتورها توسط راننده افزايش يابد. قدرت ترمز ديناميك ترمز بيشتر مي‌شود و لكوموتيو مي‌تواند حركت قطار را كند نمايد. همچنين گردش آرميچر الكتروموتورها به سمت راست يا چپ بوسيله كنتاكتورهاي مارشها صورت مي‌گيرد و آن بدين طريق است كه وجود تسمه‌هاي ضربدري در روي اين كنتاكتورها و عمل هدايت جريان توسط زبانه‌هاي آن در كابلهاي پوسته به سمت ميدان مغناطيسي قطبهاي الكتروموتورها باعث مي‌شود تا جريان يكبار از طريق كابل F وارد پوسته شده و در

حالت ديگر جريان از طريق كابل FF وارد پوسته گردد كه اين عمل باعث عوض شدن جهت ميدان آنها در قطبهاي پوسته الكتروموتورها شده و جهت گردش آرميچرها را عوض مي‌كند بطور كلي اگر جريان در كابل F مثبت باشد و در كابل FF منفي و ادامه جريان در كابل AA مثبت و در كابل A منفي باشد آرميچر الكتروموتورها به سمت راست مي‌گردد. و اگر فقط جهت جريان در كابلهاي پوسته عوض شود و F منفي گردد، كابل FF مثبت و آرميچر الكتروموتور به سمت چپ مي‌گردد.

اطلاعات ديگر در مورد يك الكتروموتور

۱- تعداد قطبهاي مغناطيسي ٤ عدد

۲- تعداد زغالگيرها ٤ عدد

۳- تعداد زغالها ۱۲ عدد

٤- فشار فنرهاي زغالگير بر روي زغال بين ۳ تا ٥ كيلوگرم

٥- حداقل فاصله زغالگير تا سطح كلكتور ۳ ميليمتر

٦- حداكثر فاصله زغالگير تا سطح كلكتورها ٥ ميليمتر

٧- تعداد شيارهاي روي هسته آرميچر ٧٠ عدد

٨- تعداد تيغه‌هاي مس تشكيل دهنده كلكتور ٢١٠ عدد

٩- وزن آرميچر يك الكتروموتور ٨٥٠ كيلوگرم

١٠- وزن كامل الكتروموتور ٢٧٦٠ كيلوگرم

مقوله‌اي درباره ديناميك سيستم موتور ـ بار

معادلات اساسي گشتاور

يك موتور عموماً يك بار (ماشين) را توسط چند سيستم انتقال مياني به حركت در مي‌آورد در حاليكه موتور همواره مي‌چرخد، ممكن است بار يك حركت چرخشي با يك حركت انتقالي داشته باشد. ممكن است سرعت چرخش بار با سرعت چرخش موتور يكسان نباشد. اگر بار ماشين چندين قسمت باشد، سرعتهاي آنها ممكن است متفاوت باشند و در حاليكه برخي از

آنها مي‌چرخند برخي ديگر حركت انتقالي داشته باشند. بهرحال، مرسوم است كه سيستم موتور ـ بار دوراني مطابق شكل زير نمايش داده شود:

J : همان اينرسي سيستم روتور ـ بار ارجاع داده شده به محور موتور $(kg\text{-}m^2)$

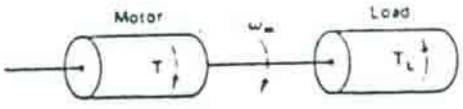
W : سرعت زاويه‌اي لحظه‌اي محور موتور

T : گشتاور موتور (N.M)

T_L : گشتارو بار (مقاوم) ارجاع داده شده به محور موتور (N.M)

هر سيستم موتور ـ بار را مي‌توان با معادله اساسي گشتاور كه در زير آمده است تشريح نمود :

$$T = J\frac{dw}{dt} + T_L$$



معادله بالا نشان مي‌دهد كه گشتاور موتور با دو گشتاور بار T_L و گشتاور ديناميكي $J\frac{dw}{dt}$ مقابله

مي‌كند. مولفه $J\frac{dw}{dt}$ گشتاور ديناميكي ناميده مي‌شود چونكه فقط در شرايطگذرا بوجود مي‌آيد.

اگر T بزرگتر يا كوچكتر از T_L باشد سيستم شتاب مثبت يا منفي خواهد داشت. در زمانيكه سرعت روتور رو به افزايش است، موتور علاوه بر تامين گشتاور بار، براي غلبه بر اينرسي روتور بايستي گشتاور ديناميكي $J\frac{dw}{dt}$ را نيز ايجاد كند. در كاربردهايي كه بار اينرسي بزرگي دارد مچون قطارها، گشتاور موتور بايستي به مقدار زيادي از گشتاور بار بيشتر شود تا شتابگيري مناسب و كافي حاصل شود. همچنين در كاربردهايي كه پاسخ سريع نياز دارند، گشتاور موتور بايستي در بيشترين مقدار ممكن تنظيم شود و طراحي سيستم موتور ـ بار به گونه‌اي باشد كه كمترين اينرسي حاصل شود هنگامي كه سرعت زياد مي‌شود، انرژي جنبشي روتور يعني $\frac{1}{2}JW^2$ نيز زياد مي‌شود و بنابراين بغير از انرژي داده شده به بار، موتور بايستي اين انرژي جنبشي را نيز تامين كند.

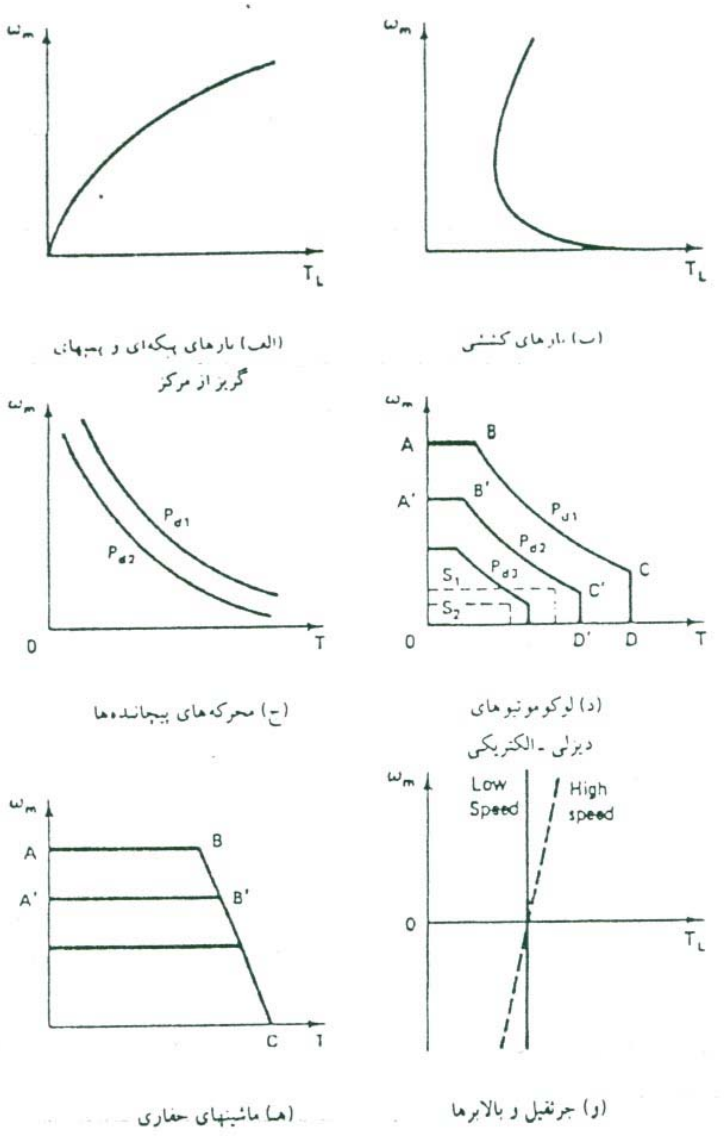
در زمانیکه سرعت روتور کاهش مییابد. علامت گشتاور دینامیکي عوض ميشود و بنابراين به گشتاور موتور T در ايجاد حركت روتور كمك ميكند اين گشتاور دينامیكي با جذب انرژي از انرژي جنبشي ذخيره شده در سيستم پديد ميآيد. هنگامي كه بار اينرسي بزرگي دارد، براي ايجاد شتاب منفي كافي، موتور بايستي يك گشتاور ترمزي بزرگ توليد كند (T منفي) هنگامي كه پاسخ سريع لازم باشد، گشتاور ترمزي بايستي در بيشترين مقدار ممكن نگه داشته شود و سيستم موتور ـ بار با كمترين مقدار ممكن اينرسي طراحي شود. هنگامي كه براي يك مدت كوتاهي گشتاور بار T_L در يك سرعت معين از ظرفيت ماكزيمم گشتاور موتور تجاوز نمايد، كاهش سرعت رخ ميدهد گشتاور دينامیكي به گشتاور موتوري در برقراري حركت محركه كمك مينمايد. در برخي كاربردها، كه يك گشتاور بزرگ در مدت كوتاه و سپس يك وضعيت بيباري يا بار سبك براي مدت طولاني وجود دارد با بهرهگيري مناسب از مولفه

گشتاور ديناميكي مي‌توان از يك موتور با ظرفيت اسمي كوچكتر استفاده نمود براي مثال، در يك ماشين پرس، در محفظه پرس به يك گشتاور بزرگ براي مدت كوتاه نياز است و براي بقيه مدت گشتاور تقريبا صفر است براي افزايش ممان اينرسي معادل (J) يك چرخ لنگر روي محور موتور نصب مي‌شود. در مدت زمان بي‌باري روتور شتاب مي‌گيرد و انرژي جنبشي ذخيره مي‌شود، در مرحله پرس، گشتاور بار بسيار بزرگتر از گشتاور موتور است. كاهش سرعت رخ مي‌دهد و يك گشتاور ديناميكي توليد مي‌شود. گشتاور ديناميكي موتور مي‌تواند گشتاور لازم محفظه پرس را ايجاد نمايد. در صورت عدم استفاده از چرخ لنگر در مرحله پرس، موتور بايستي كل گشتاور مورد نياز را تامين نمايد و بنابراين مقادير اسمي آن بايستي بزرگتر باشند.

مشخصه‌هاي گشتاور برخي از بارهاي متعارف

در اينجا مناسب است كه مشخصه برهي از بارهاي متعارف را بشناسيم شكل زير نمودار سرعت گشتاور برخي از بارهاي مكانيكي را نشان مي‌دهد.

در پمپهاي گريز از مركز، دمنده‌ها به بارهاي پنكه‌اي، و كلاً بارهايي كه جريان متلاطمي از يك سيال مانند هوا را ايجاد مي‌كنند، گشتاور بار مطلق شكل الف با مجذور سرعت تغيير مي‌كند، اين همان گشتاور مقاوم هواست. گشتاور مقاوم هوا در سرعتهاي بالا براي قطارها، اتومبيلها و غيره نيز مولفه غالب گشتاور را تشكيل مي‌دهد. شكل (ب) تغييرات گشتاور بارهاي كشش برحسب سرعت را نشان مي‌دهد كه در آن مولفه گشتاور ناشي از نيروي نقل وجود ندارد اين نوع گشتاور بار در قطارها و وسايل حمل و نقل سنگين الكتريكي ايجاد مي‌شود. گشتاور كششي شامل تركيبي از گشتاور مقاوم هوا، اصطكاك چسبندگي، اصطكاك كولمب و ايستا مي‌باشد.



چند مثال از مشخصه گشتاور - سرعت بار مکانیکي هنگامي که در ارتباط با ملزومات گشتاور موتور محرك تصميم‌گيري مي‌شود، مولفه‌هاي گشتاور که براي ايجاد شتاب و براي غلبه بر گشتاور مقاوم جاذبه لازم هستند بايستي در نظر گرفته شوند در مورد

قطارهاي الكتريكي، بدليل خيلي بزرگ بودن اينرسي، گشتاور شتاب دهنده، قسمت بزرگي از كل گشتاور را بخصوص در سرعتهاي پائين تشكيل مي‌دهد يك عامل مهم به نام ضريب چسبندگي به صورت زير تعريف مي‌شود :

ضريب چسبندگي = ماكزيمم نيروي كشش كه بر چرخ وارد مي‌شود بدون آنكه لغزش در آن چرخ ايجاد گردد تقسيم بر وزن اعمال شده روي چرخ.

نيروي كششي چيزي جز نيروي رانشي اعمال شده به دور چرخ نيست و بنابراين، متناسب با گشتاور موتور است، چرخهاي متصل شده به موتور، چرخهاي محرك ناميده مي‌شود. معادله پيشين بيان مي‌دارد كه براي مقدار معين ضريب چسبندگي، يك مقدار حداكثر براي گشتاور وجود دارد كه مي‌توان به چرخها اعمال نمود بدون آنكه لغزش در چرخها ايجاد شود. همواره سعي مي‌شود كه از بروز لغزش جلوگيري شود چونكه به خط آسيب مي‌رساند و عمر آنرا كاهش مي‌دهد. ضريب چسبندگي به وضعيت ريل قطار و سطح

چرخهاي محرك بستگي دارد. در مسيرهاي طولاني فاصله بين ايستگاهها عموماً زياد است و زمانهاي شتابگيري و كاهش سرعت تنها قسمت كوچكي از كل زمان حركت قطار در بين دو ايستگاه مجاور را تشكيل ميدهد. بنابراين سرعت متوسط اساساً به سرعت حداكثر قطار بستگي دارد و شتابگيري قطار بخاطر آسايش مسافرين به آرامي انجام ميشود. در اينحالت، براي حركت قطارها از لكوموتيوها استفاده ميشود سپس حداكثر گشتاور اعمالي بر چرخهاي محرك ميتواند برابر با وزن لكوموتيو شده بنابراين حداكثر گشتاور كه ميتواند بر چرخها اعمال شود بدون آنكه لغزش ايجاد گردد كوچك است.

در قطارهاي زيرزميني فاصله بين ايستگاههاي مجاور كوتاه است و زمان شتابگيري و كاهش سرعت قسمت اعظم زمان حركت را تشكيل ميدهد. براي آنكه سرعت متوسط بزرگ باشد كاهش زمان شتاب گيري لازم است. براي يك مقدار مشخص ضريب چسبندگي، شتابگيري فقط با افزايش وزن روي چرخهاي محرك

امکان‌پذیر است. لذا بجای استفاده از یک لکوموتیو از واگن‌های موتوردار استفاده می‌شود. هر واگن یک موتور محرك برای خودش دارد در عمل از یک واگن موتوردار با واگنهای بدون موتوردار دنباله آن به نسبت ۱ به ۲ استفاده می‌شود. این امر موجب افزایش وزن بر روی چرخهای محرك می‌شود و شتابگیری خیلی سریع بدست می‌آید ضریب چسبندگی همچنین به مشخصه گشتاور ـ سرعت موتور بستگی دارد هنگامی که یک چرخ می‌لغزد، سرعت موتور محرك زیاد می‌شود. اگر گشتاور به مقدار زیادی افت کند، برای یك افزایش مشخص در سرعت با چرخ سریعاً چسبندگی خود را دوباره بدست می‌آورد. لذا اگر مشخصه گشتاور ـ سرعت موتور دارای رگولاسیون سرعت کوچك باشد برای جلوگیری از لغزش چرخها مناسبتر است یك تغییر آرام گشتاور برای جلوگیری از لغزش چرخها نیز مطلوب است این حالت هنگامی که از مبدلهای نیمه هادی قدرت استفاده می‌شود براحتی امکان‌پذیر است.

شكل (ج) منحني‌هاي گشتاور ـ سرعت براي كاربردهايي را نشان مي‌دهد كه موتور محركه آن در قدرت ثابت كار مي‌كند. اين نوع بارها را مي‌توان در صنايع فلزي، كاغذ و پلاستيك مشاهده نمود. در صنايع فلزي براي باز كردن حلقه‌هاي ورق فولاد و كاهش ضخامت آنها از دو محور و دو غلطك استفاده مي‌شود. ورقهاي فلزي حلقوي بوسيله غلطك مربوطه از روي قرقره اول باز مي‌شوند و با تنظيم فشار غلطكها ضخامت ورق عبوري كاهش مي‌يابد و سپس روي قرقره بعدي به صورت حلقوي پيچيده مي‌شود و جمع آوري مي‌شود. براي داشتن كيفيت خوب در پيچانيدن و نورد ورقها لازم است كه كشش ثابتي در هر دو طرف وجود داشته باشد. چون عبور نوار فلزي در يك سرعت خطي ثابت انجام مي‌شود. بنابراين موتور محرك قرقره پيچانيدن ورق بايستي يك قدرت ثابت موتوري متصل به قرقره‌اي كه ورق آن باز مي‌شود يك قدرت ترمزي ثابت ايجاد كنند. مقدار قدرت هر محور بستگي به ضخامت و جنس ورق فلزي دارد.

شكل (د) مشخصه گشتاور ـ سرعت مورد نياز يك لكوموتيو الكتريكي ديزلي را نشان مي‌دهد. اين لكوموتيو شامل يك ژنراتور DC است كه توسط يك موتور ديزل مي‌چرخد و ژنراتور يك موتور DC را تغذيه مي‌كند. بجاي استفاده از ژنراتور DC ممكن است از ژنراتور AC و يك سو كننده ديودي نيز استفاده مي‌شود. چون منحني‌هاي گشتاور ـ سرعت موتور ديزلي با نيازهاي بارهاي كششي سازگاري ندارد، نمي‌تواند مستقيماً به چرخهاي محرك متصل شود. با قرار دادن يك مجموعه ژنراتور ـ موتور DC منحني‌هاي گشتاور ـ سرعت منطبق با نيازهاي اين نوع بار به دست مي‌آيد. سيستم ژنراتور ـ موتور بعنوان يك مبدل گشتاور همانند سيستم جعبه دنده يك اتومبيل ابتدا با مشخصات بسيار برتر عمل مي‌نمايد. موتور ديزلي در سرعت كامل خود قدرت ثابتي را تحويل مي‌دهد هنگامي كه تزريق سوخت در حداكثر قرار مي‌گيرد. موتور ديزل قدرت كامل خود را ايجاد مي‌نمايد. براي استفاده كامل از قدرت

تولید شده توسط موتور دیزل، بایستي موتور DC در تمام محدوده سرعت، قدرت ثابتي را به خروجي انتقال دهد. بایستي مطمئن بود که موتور دیزل دچار اضافه باري شود چونکه به سادگي متوقف خواهد شد. چنانکه موتور در قسمت BC مشخصه شکل یعني قسمت قدرت ثابت کار کند چنین مشکلي ایجاد نخواهد شد. قسمت CD با ایجاد محدودیت روي گشتاور حداکثر موتور حاصل مي‌شود این امر سه دلیل دارد :

۱- محدود کردن جریان سیستم ژنراتور ـ موتور براي کار سالم

۲- جلوگیري از لغزش چرخها هنگامي که ضریب چسبندگي کوچك است

۳- جلوگیري از افزایش بیش از حد گشتاور در حالتي که ضریب چسبندگي زیاد است ممکن است منجر به شکستگي محور شود.

قسمت AB براي محدود کردن سرعت موتور تا حد مجاز و همچنین براي محدود نمودن ولتاژ تغذیه موتور

(ولتاژ خروجي ژنراتور) تا مقادير اسمي آنها لازم است در شرايطي كه سوخت تزريق شده كاهش مي‌يابد، مشخصه هاي داخلي همچون BC حاصل مي‌شود مشخصه هي S_1 و S_2 براي كاربردهاي مواز منظور شده اند. مشخصه هاي نشان داده شده در شكل (د) با قرار دادن يك مبدل واسطه بين منبع و تحريك ژنراتور بدست مي‌آيند.

شكل (هـ) مشخصه گشتاور ـ سرعت لازم براي يك ماشين حفاري را نشان مي‌دهد از ماشين حفاري براي كاربرد در حفاري زمين استفاده مي‌شود. در هنگام حفاري، امكان برخورد ماشين با صخره هاي سخت وجود دارد. لذا موتور به سادگي متوقف خواهد شد. در چنين وضعيتي بايستي گشتاور موتور متحرك محدود شود تا از آسيب ديدن اجزاء مكانيكي دستگاه حفاري جلوگيري شود و جريان موتور نيز از محدوده مجاز جريان اسمي مبدل بيشتر نشود قسمت BC در منحني مشخصه طبيعتي دارد كه در حقيقت بيانگر اعمال محدوديتهاي فوق است. كار بر روي مشخصه هاي AB ،

AB´ و غيره بستگي به مواردي دارند كه دستگاه حفاري با آنها برخورد مي‌كند. مشخصه‌هاي جرثقيل بالابر در شكل (و) نشان داده شده‌اند. در بالابرهاي كم سرعت، گشتارو صرفا براي غلبه به نيروي جاذبه بكار مي‌رود و ثابت و مستقل از سرعت است در بالابرهاي سرعت بالا با بارهاي سرعت بالا، اصطكاك چسبندگي و مقاومت هوا نيز قسمت قابل ملاحظه‌اي از گشتاور بار را تشكيل مي‌دهند.

طبقه‌بندي گشتاورهاي بار

۱- گشتاورهاي بار فعال

۲- گشتاورهاي با غيرفعال

بارهايي كه توانايي حركت موتور در شرايط تعادل را دارند، باصطلاح داراي گشتاور بار فعال هستند معمولاً علامت اين نوع گشتاور با بار تغيير جهت چرخش محركه ثابت مي‌ماند. گشتاور ناشي از نيروي جاذبه بر گشتاورهاي ناشي از كشش، فشار و پيچش اجسام الاستيك از نوع فعال هستند براي مثال قطاري را در نظر بگيريد كه در مسيري روبه بالا در

حرکت باشد که در آن حالت گشتاور فعال ناشي از جاذبه با حرکت قطار مخالفت مي‌کند. بنابراين، موتور متحرکت بايستي گشتاور اضافي توليد کند تا بر گشتاور ناشي از جاذبه غلبه کند از طرف ديگر هنگامي که قطار در يك سرازيري به سمت پائين حرکت مي‌کند قطار به توسعه گشتاور ناشي از جاذبه حرکت مي‌کند در اين حالت براي محدود نگهداشتن سرعت در حد مجاز، موتور گشتاور ترمزي توليد مي‌کند که همواره با حرکت مخالف نموده و علامت آن معکوس شدن جهت چرخش عوض مي‌شود.

ترمز الكتريكي (Braking)

در ترمز الكتريكي، موتور به صورت يك ژنراتور كار مي‌كند و گشتاوري با علامت منفي توليد مي‌كند. ترمز الكتريكي به دلايل زير ممكن است لازم باشد.

۱- اگر يك موتور در حال چرخش از منبع جدا شود تنها گشتاور مقابله كننده با چرخش آن گشتاور بار T_L خواهد بود و پس از آنكه انرژي جنبشي ذخيره شده در اينرسي آن بطور كامل از بين رفت خواهد ايستاد. در حالتي كه گشتاور بار كوچك است يا اينرسي موتور ـ بار بزرگ است، مدت زمان ايست كامل بايستي كاهش يابد كه اينكار با اعمال گشتاور مخالف اضافي بوسيله ترمز الكتريكي انجام مي‌شود.

۲- در برخي كاربردها نظير كاربردهاي كششي در شرايط اضطراري براي جلوگيري از بروز حادثه توقف سريع الزامي است و ترمز الكتريكي براي ايجاد ترمز سريع و يكنواخت بكار ميرود.

۳- کاربردهايي وجود دارند که در آنها توقف دقيق لازم است، همچون بالابري، ماشين‌هاي ابزار، کنترل موقعيت قالبهاي ريخته‌گري و مکانيسم ورقهاي فلزي در کاربردهاي نورد، ترمز الکتريکي، امکان توقف‌هاي دقيق را بدون آنکه بخشهاي مکانيکي در تنشهاي بزرگ ناخواسته قرار بگيرند فراهم مي‌آورد.

٤- در کاربردهاي خاص که شامل بارهاي فعال هستند، سرعت محرکه در صورت عدم استفاده از ترمز الکتريکي ممکن است به مقادير خطرناکي برسد. براي مثال در جرثقيل‌هاي الکتريکي در زمانيکه بار به سمت پايين حرکت مي‌کند، موتور بايستي يک نيروي ترمزي براي نگه‌داشتن سرعت در محدوده مجاز فراهم آورد. به همين ترتيب هنگامي که يک قطار در سرازيري حرکت مي‌کند يک نيروي ترمزي براي محدود نگهداشتن سرعت قطار لازم است.

عملکرد چند ربعي و قراردادهاي گشتاور ـ سرعت

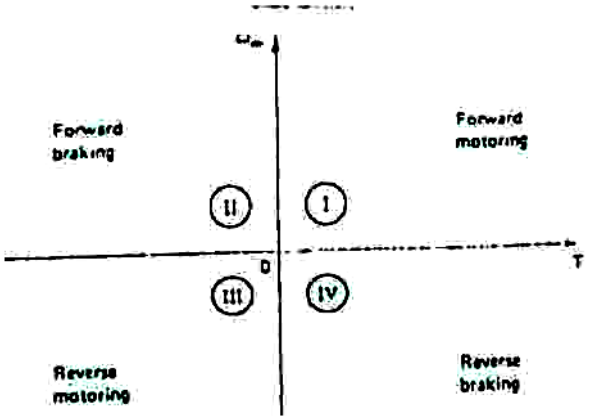
در ماشينهاي الكتريكي، معمولاً گشتاور بصورت تابعي از سرعت (يا لغزش) بيان مي‌شود و بنابراين سرعت بعنوان يك متغير مستقل و گشتاور بعنوان متغير وابسته در نظر گرفته مي‌شود. بر اين اساس محور x متناظر با گشتاور است. در محركه‌ها گشتاور بعنوان متغير مستقل در نظر گرفته مي‌شود و بنابراين متناظر با محور x است. سرعت هم بعنوان متغير وابسته متناظر با محور y است بدليل اين انتخاب به شرح زير است پس از انتخاب يك محركه، اولين چيزي كه بايستي به آن توجه شود گشتاوري است كه موتور بايد براي كار كردن محركه توليد نمايد. اينكه ميزان سرعت چقدر باشد فقط هنگامي معني خواهد داشت كه محرك كار كند. لذا گشتاور بعنوان متغير مستقل در نظر گرفته مي‌شود.

يك موتور در دو حالت كار مي‌كند، موتوري و ترمزي. در حالت موتوري، انرژي الكتريكي را به انرژي مكانيكي تبديل مي‌كند كه باعث حركت آن

مي‌شود. در حالت ترمزي، موتور به مانند يك ژنراتور كار مي‌كند و انرژي مكانيكي را به انرژي الكتريكي تبديل مي‌كند. اين انرژي در مدارهاي الكتريكي مصرف مي‌شود و بنابراين با حركت مخالفت مي‌كند. موتور مي‌تواند در هر دو جهت مستقيم و معكوس و در دو حالت موتوري و ژنراتوري كار كند.

شكل زير محورهاي مختصات متناظر با گشتاور ـ سرعت را براي مقادير مثبت و منفي نشان مي‌دهد كه بر اساس قرارداد فوق انتخاب شده‌اند. در ربع يك قدرت كه حاصل ضرب سرعت و گشتاور مي‌باشد مثبت است. در نتيجه ماشين بمانند يك موتور انرژي مكانيكي تحويل مي‌دهد. كار در ربع اول كار موتوري مستقيم ناميده مي‌شود و در ربع دوم ترمزي مستقيم ناميده مي‌شود. هنگامي كه موتور به يك بار غيرفعال متصل است در شرايط ترمزي مستقيم هم ماشين و هم گشتاور بار موجب كاهش سرعت موتور خواهد شد. در نتيجه در ربع دوم

محرکه نمي‌تواند نقطه کار پايداري داشته باشد در اين ربع کار فقط بصورت گذرا رخ مي‌دهد اين وضعيت هنگامي که موتور به يک بار فعال با علامت مثبت متصل باشد نيز رخ خواهد داد. با اين حال اگر گشتاور بار فعال منفي باشد، در اين ربع محرکه مي‌تواند به يک حالت تعادل برسد و در حالت پايدار نيز در اين ربع کار خواهد کرد. براي مثال، وقتي که يک قطار الکتريکي در يک سرازيري حرکت مي‌کند، گشتاور ناشي از نيروي جاذبه سبب حرکت مي‌شود و ترمز در اين حالت با حرکت مخالفت مي‌کند با تنظيم گشتاوري ترمزي، قطار مي‌تواند در سرعت مطلوب حرکت کند. با ادامه بحث فوق مي‌توان ديد که کار در ربع سوم حالت موتوري معکوس و کار در ربع چهارم حالت ترمزي معکوس را نتيجه مي‌دهد.



عملكرد چهار ربعي الكتروموتورها

راه اندازي

حداكثر جرياني كه از يك موتور DC در حالتهاي گذراي كوتاه مدت ميتواند عبور كند جرياني است كه يك كموتاسيون بدون جرقه داشته باشد. از نظر تئوري، با بكارگيري سيم‌پيچي‌هاي جبران‌ساز در تمامي مقادير سرعت و جريان ميتوان ولتاژهاي را كه با كموتاسيون جريان مخالفت كرده ايجاد جرقه ميكنند، بطور كامل حذف نمود. اما در عمل مشاهده شده است كه با افزايش مقدار جريان، حذف كامل انجام نميشود و با عبور جريان از يك حد معين، جرقه پديدار ميشود در ماشينهاي بدون جبران ساز جريان به دو برابر جريان نامي و در ماشينهاي طراحي

مخصوص و داراي جبران ساز به ۳/۵ برابر جريان نامي مي‌تواند افزايش يابد.

اگر موتور با ولتاژ نامي راه‌اندازي شود، براي يك موتور باندازه متوسط، جريان به حدود ۲۰ برابر جريان نامي خواهد رسيد. جريان به اين بزرگي به جرقه‌هاي شديد در كموتاتور و افزايش بيش از حد درجه حرارت در سيم‌پيچ‌هاي موتور شده و به آن آسيب مي‌رساند. بنابراين محدود نمودن جريان به يك حد بدون خطر در زمان راه‌اندازي ضروري مي‌شود. اين كار با كاهش ولتاژ دو سر موتور در لحظه راه‌اندازي و افزايش تدريجي آن با سرعت گرفتن موتور حاصل مي‌شود ولتاژ موتور با كاهش ولتاژ منبع با ايجاد افت قسمتي از ولتاژ منبع بر روي يك مقاومت سري شده با موتور انجام مي‌شود.

در كاربردهايي كه به سرعت تنظيم نياز دارد، يك كنترل كننده براي كنترل سرعت موتور فراهم مي‌شود. همين كنترل كننده براي محدود نمودن جريان

موتور در مدت راه اندازي بكار گرفته مي‌شود. در مواردیکه کنترل سرعت ضروري نيست. براي محدود ماندن جريان از يك راه انداز استفاده مي‌شود. به نحوي كه جريان موتور در حد سالم و بي‌خطر بيشتر شود و در ضمن گشتاور توليدي موتور همواره از گشتاور بار بزرگتر باشد، راه اندازي انجام مي‌شود.

ترمز در موتورهاي Traction

طي مرحله ترمزي، ماشين به صورت ژنراتوري عمل مي‌كند. موتور گشتاوري را در جهت مثبت توليد مي‌كند و انرژي الكتريكي را به انرژي مكانيكي تبديل مي‌كند كه توسط بار جذب مي‌شود. اگر به طريقي جهت جريان آرميچر عوض شود، در حاليكه جهت شارش ثابت باقي بماند، گشتاور موتور معكوس شده و ماشين با دريافت انرژي مكانيكي از بار و با تبديل آن به انرژي الكتريكي بصورت يك ژنراتور كار خواهد كرد انرژي مكانيكي از بار يا از انرژي ذخيره شده در اينرسي سيستم موتور ـ بار يا از گشتاور فعال بار بدست مي‌آيد. عمل

ترمزي برحسب اينكه انرژي الكتريكي توليد شده چگونه بكار گرفته شده دسته‌بندي مي‌شود. سه روش ترمز براي يك موتور DC وجود دارد :

۱- ترمز ژنراتوري (Regenerative braking)

۲- ترمز ديناميكي يا رئوستايي (Dynamic Braking)

۳- ترمز با اعمال ولتاژ معكوس (Plugging)

البته نكته مهم كه حائز اهميت است اين است كه در ترمز ژنراتوري، انرژي توليد شده توسط ماشين، به منبع تغذيه تحويل داده مي‌شود. معمولاً منبع توانايي ذخيره اين انرژي را دارد. لذا انرژي براي تغذيه بارهاي ديگر متصل به همان منبع بكار گرفته مي‌شود. و در انرژي تغذيه شده به اين بارها توسط منبع صرفه جويي مي‌شود. چنانچه منبع توانايي جذب انرژي را نداشته باشد و بارهاي ديگري هم وجود نداشته باشد نمي‌توان از ترمز ژنراتوري استفاده نمود.

موتور سري (Series motor traction)

موتورهاي سري را نمي‌توان به سادگي موتورهاي تحريك، جداگانه در شرايط ژنراتوري قرارداد. براي ايجاد حالت ترمز ژنراتوري، بايستي ولتاژ E از منبع ولتاژ منبع بيشتر شود و جريان آرميچر معكوس شود. با معكوس شدن جريان آرميچر، جهت جريان تحريك نيز عوض مي‌شود و بنابراين ولتاژ القايي هم معكوس خواهد شد. يك اتصال كوتاه در مدار روتور و منبع رخ مي‌دهد. با اتصال سيم پيچي تحريك از طريق يك پل يكسو كننده مي‌توان جهت جريان در سيم‌پيچي متحرك را ثابت نگهداشت. با اين حال براي تغيير وضعيت از حالت موتوري به ژنراتوري يك كليدزني هم لازم است كه در لحظه كليدزني مقدار جريان عوض مي‌شود و بنابراين ولتاژ القايي عوض مي‌شود.

به همين دليل ماشين نمي‌تواند در مقابل ولتاژ منبع، خود را تحريك كند. يك روش مرسوم براي ترمز ژنراتوري موتور سري اتصال آن بصورت يك موتور شنت است. چون مقاومت سيم‌پيچي تحريك كم است، يك

مقاومت با آن سري مي‌شود تا جريان آن در يك حدي بي‌خطر محدود شود. از يك برشگر هم براي اين منظور مي‌توان استفاده نمود. مزيت اصلي ترمز الكتريكي آن است كه انرژي توليد شده بطور مفيد بكار گرفته مي‌شود در حاليكه در روش ترمز ديناميكي يا ترمز با روش معكوس نمودن ولتاژ منبع انرژي ترمزي در مقاومت‌ها تلف مي‌شود.

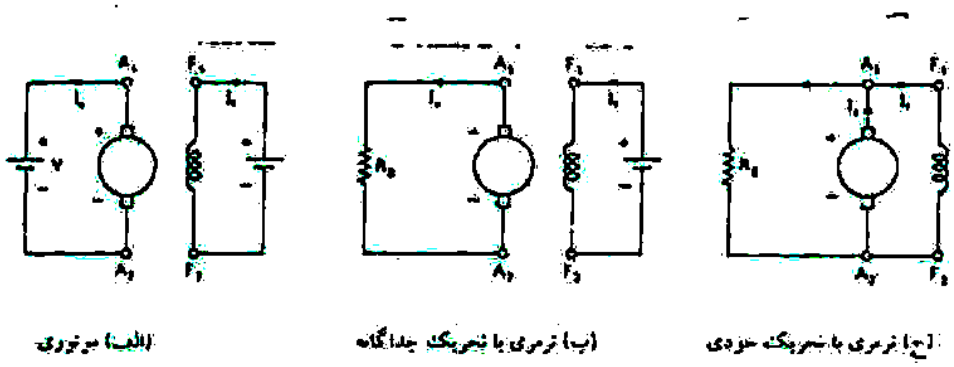
۱۰-۲- ترمز ديناميكي (Dynamic braking)

در اين روش موتور DC از منبع تغذيه جدا شده و مدار آرميچر به مقاومت مناسبي متصل مي‌شود. موتور به صورت يك ژنراتور عمل مي‌كند و گشتاور ترمزي توليد مي‌كند. البته براي تحريك جداگانه. در حالت ترمز ديناميكي يك موتور DC سري معمولاً ماشين بصورت ژنراتور تحريك سري بسته مي‌شود، براي ايجاد تحريك خودي لازم است كه ميدان ناشي از جريان عبوري از سيم‌پيچي تحريك در اثر ولتاژ القايي با شار پس‌ماند هم جهت باشد براي اين منظور ورودي‌هاي آرميچر با ورودي‌هاي تحريك بايستي

معكوس شوند. مشخصه هاي سرعت گشتاور براي دو مقدار مقاومت ترمزي در شكل نشان داده شده اند. براي مقدار معين از مقاومت ترمزي، كاهش سرعت، كاهش گشتاور ترمزي بيشتر مي‌شود و در يك سرعت غيرصفر، صفر مي‌شود. رابطه سرعت ـ گشتاور را مي‌توان از معادلات :

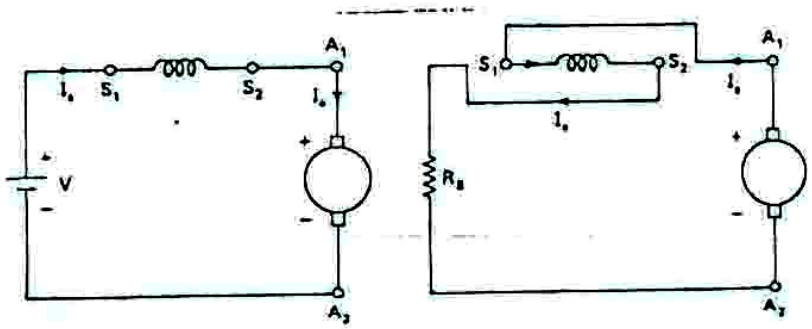
$$W_m = \frac{V \quad R_a}{K\phi K_e\phi} = \frac{V \quad R_a}{K_e\phi(K_e\phi)^2}.T$$

با جايگزيني $V=0$ و مقدار مناسبي براي مقاومت مدار آرميچر R_a (حجم مقاومتهاي سيم‌پيچي آرميچر و تحريك و مقاومت ترمزي) و با استفاده از مشخصه مغناطيسي واقعي (رابطه بين K_e,ϕ,i_f) محاسبه نمود.



(الف) موتوری (ب) ترمزی با تحریک جداگانه (ج) ترمزی با تحریک خودی

ترمز دینامیکی موتور تحریک جداگانه



ترمز دینامیکی موتور سری

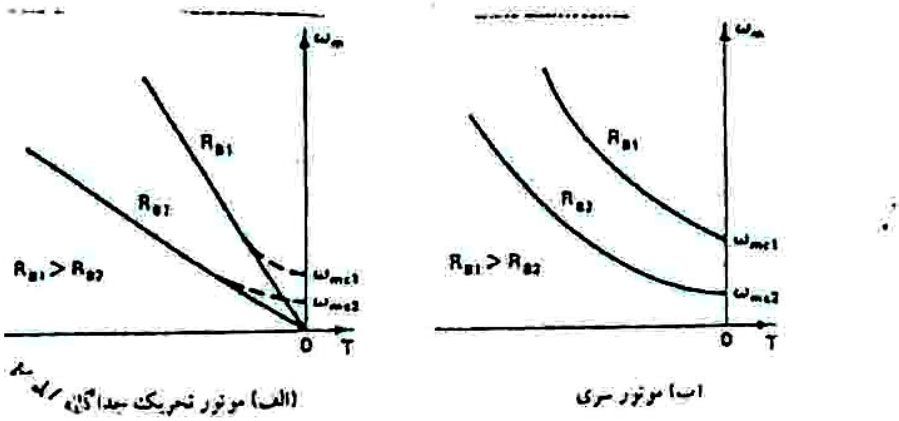
بر اساس معادله :

$$T = \frac{V}{\sqrt{K_e K_f}} \frac{1}{\sqrt{T}} - \frac{R_a}{K_e K_f}$$

با $V=0$ در ناحیه غیراشباع مشخصه مغناطیسی، سرعت از گشتاور مستقل می‌شود و با معادله زیر معین می‌شود.

$$\omega_{mc} = \frac{R_a}{K_e K_f}$$

این سرعت بحرانی است که در زیر آن ماشین نمی‌تواند خود را تحریک کند و بنابراین گشتاور ترمزی به صفر افت می‌کند.



منحني‌هاي سرعت گشتاور موتورهاي DC در شرايط ترمز ديناميكي

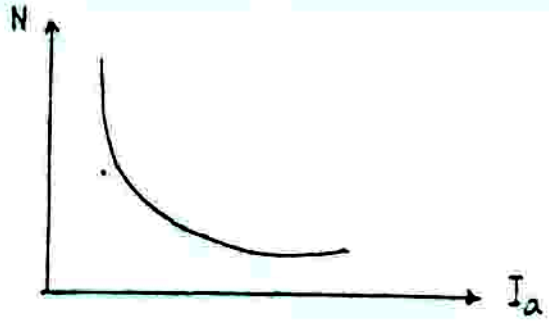
چون عمل ترمز با تحريك خودي كند است، هر زمان كه ترمز سريعتر ضروري باشد، ماشين بصورت تحريك جداگانه بسته مي‌شود و يك مقاومت مناسب با تحريك سري مي‌شود تا جريان آن در يك حدبي‌خطر باشد و محدود شود.

با توجه به مقدمات و مباحث ويژه درباره موتورهاي سري مي‌شود نتيجه‌گيري كرد كه چرا در سيستم Traction از اين موتور استفاده مي‌كنند.

۱- موتور DC سري داراي گشتاور زياد وسرعت پائين و نيز گشتاور كم در سرعت بالا و اين

درست همان عمل است كه در سيستم تراكشن از موتور طلب مي‌شود.

۲- منحني N=F(T) و N=F(I) در موتورهاي سري تند مي‌باشد.



منحنی N=F(T) و N=F(I) در موتورهای سری تند

بنابراين در سيستم تراكشن كه موتورها بطور موازي يا چرخ‌هاي متفاوت در مدار قرار گيرند، مدار گشتاور و جريان موتورها با هم تفاوت زيادي نخواهند داشت.

۳- مشخصه N/T موتورهاي DC روي سيستم كنترل را Stable مي‌نمايد زيرا اگر مقدار T (گشتاور از گشتاور مقاوم زياد شود) در آن صورت سرعت موتور افزايش يافته و افزايش سرعت موتور، كاهش

گشتاور را در برخواهد داشت. بنابراين سيستم بطور سريع بحالت Stable درخواهد آمد.

٤- مسئله كموتاسيون در ماشينهاي DC سري بسيار خوب عمل مي‌كند زيرا در بارهاي سنگين كه جريان‌هاي زياد از آرميچر مي‌گذرد و مقدار سرعت كاهش يافته و بنابراين مقدار نيروي ضدمحركه (emf) القائي در سيم‌پيچ‌ها كاهش يافته باعث مي‌شود كه در كلكتورها جرقه ايجاد نگردد.

٥- مي‌دانيم مقدار HP تناسب با $T \propto N$ است و در موتورهاي سري $N \propto \frac{V}{L_a}$ بنابراين خواهيم داشت :

$$HP \propto l \propto \frac{V}{l_a}$$

$$T \propto l_a^{\,2} \qquad HP \propto \sqrt{T} \times V$$

رابطه نشان مي‌دهد كه افزايش T باعث افزايش HP بطور خطي نمي‌شود و اين مطلب از نظر stability مهم مي‌باشد.

٦- سرعت موتورسري بطريق مختلف كنترل مي‌شود.

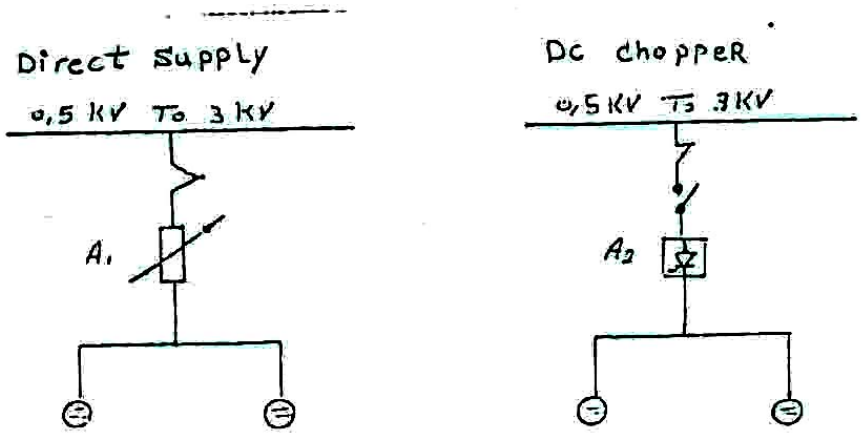
۷- موتورهاي DC سري بطور كلي براي حالت Regenerative مناسب نيستند. مگر اينكه محاسبات لازم در خصوص تحمل و پايداري موتوري بعمل آيد.

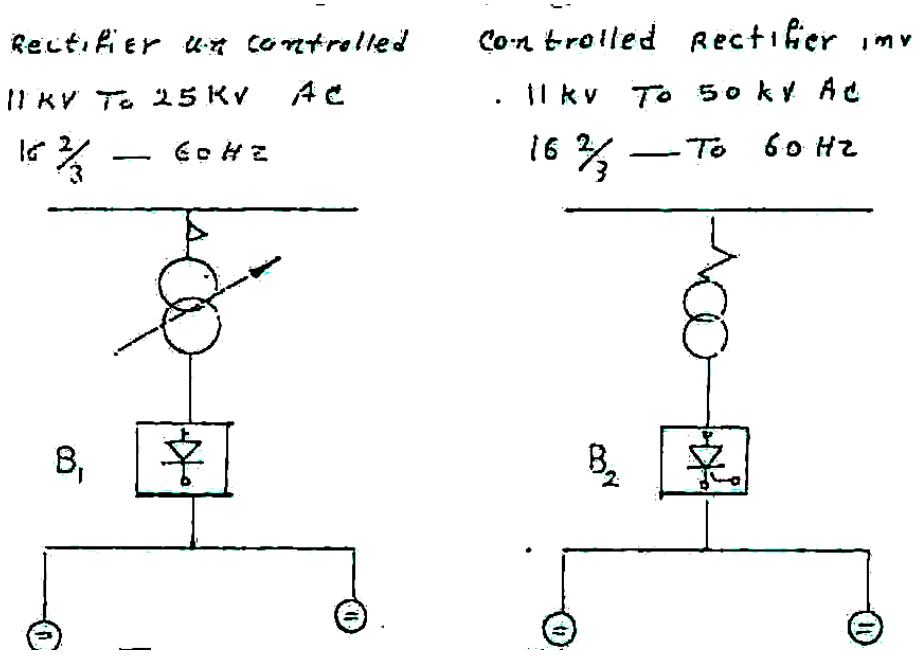
۸- در شرايطي كه ثابت زماني $\tau=\frac{L}{R}$ سيم‌پيچ موتور كم باشد. مقدار ϕ در يك زمان كوچك از بين رفته كه موجب به صفر رسيدن نيروي ضد محركه (emf) مي‌گردد بدين جهت مقدار جريان اوليه موتورها خيلي زياد مي‌باشد.

۹- در حالي كه وزن سيستم كم باشد موتور DC سري به دلايل داشتن گشتاور راه‌اندازي زياد مي‌تواند باعث شتاب زياد گردد در نتيجه براي قطارهاي شهري و حومه شهري بسيار مناسب مي‌باشد (rapid Transit) در خطوط با ولتاژ ۱۵۰۰ ولت اگر از موتور با ولتاژ ۱۵۰۰ ولت استفاده گردد مستقيما در مدار قرار مي‌گيرد و اگر موتور ۷۵۰ ولت باشد دو عدد باهم سري شده در مدار قرار مي‌گيرد بهمين نحو براي ولتاژ ۳۰۰۰ ولت نيز وضع بهمين صورت است.

سيستم‌هاي كنترل ماشين‌هاي DC و تراكشن

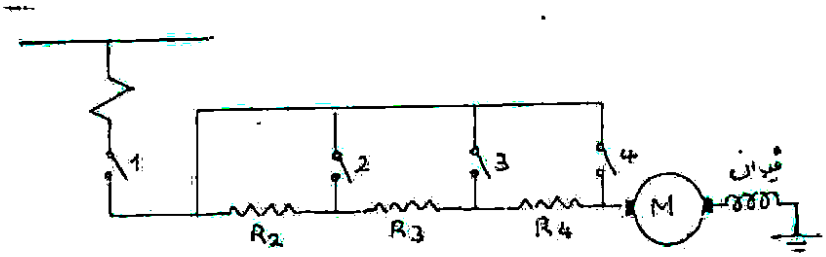
سيستم هاي شناخته شده در تراكشن در مورد ماشينهاي DC طبق شكل مي‌باشد.





حال با توجه به شکل به شرح مدار A_1 مي‌پردازيم : مقدار جريان در موتور DC سري از فرمول $I=\frac{V-E_b}{R}$ بدست مي‌آيد. در مواقع استارت مقدار E_b صفر بوده و در صورتي كه موتور مستقيما به شبكه وصل باشد جريان شديدي از آن خواهد گذشت و باعث آسيب موتور خواهد گشت. براي محدود كردن جريان در حالت استارت بايد ولتاژ را كاهش داد. در سيستم AC ولتاژ را بطور مصنوعي كاهش مي‌دهند و

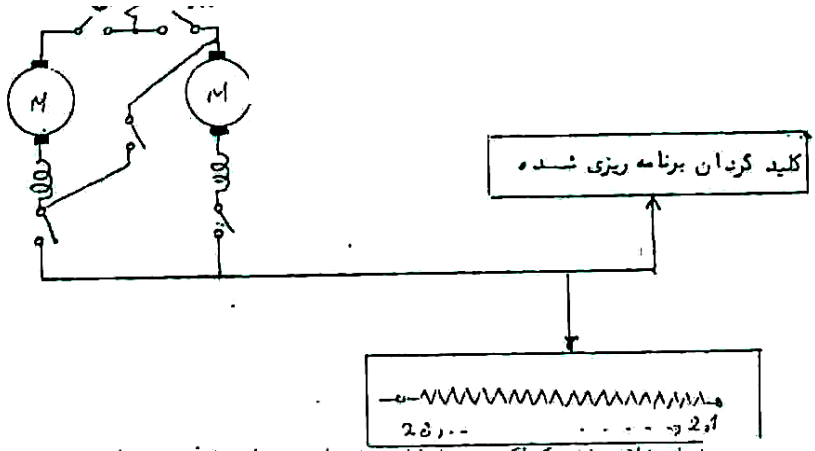
در سیستم DC بوسیله chopper و یا تعبیه مقاومت بطور سري با موتور این کار عملي مي‌گردد.



بنابراین مقدار جریان کاهش خواهد یافت $I_m = \frac{V}{R + R_m}$ با شتاب گرفتن موتور جریان موتور کاهش یافته و به مینیمم مقدار مي‌رسد در این لحظه کلید ۲ بسته شده و مقداري از مقاومت از مدار خارج شده و سبب افزایش جریان مي‌شود و سیکل بهمین صورت ادامه مي‌یابد تا کلیه مقاومتها از مدار خارج و موتور مستقیما به شبکه وصل شود.

تعداد کلیدها و مقدار مقاومتاه تابع جریان ماکزیمم و مینیمم خواسته شده از موتور براي انجام رسیدن به منحني Tractive effort مي‌باشد بطور مثال براي بارهاي سنگین مقدار تلرانس شوك کمتر

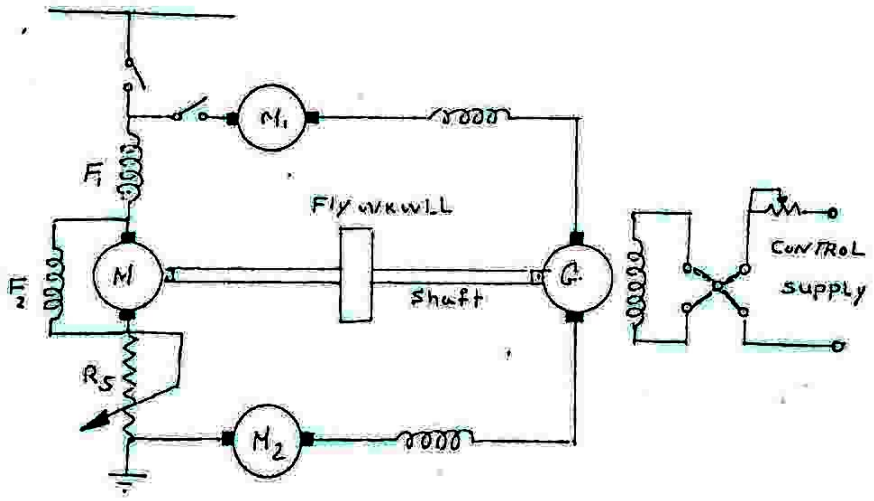
از قطارهاي EMU مي‌باشد (Electric multiple unit) بنابراين در EMU احتياج به مقاومت‌ها و كليدهاي بيشتري مي‌باشد. سيستم كليدها را براحتي مي‌توان بصورت برنامه‌ريزي شده درآورد. شكل شماي خلاصه شده يك لكوموتيو با ولتاژ ۱۵۰۰ ولت مربوط به راه آهن فرانسه (SNCF) را نشان مي‌دهد. اين سيستم داراي ۲۸ حالت براي انتخاب مقاومت مي‌باشد و مقاومتها بوسيله فن خنك مي‌گردد.



نمای خلاصه شده یک لکوموتیو با ولتاژ ۱۵۰۰ ولت مربوط به راه آهن فرانسه(SNCF)

در حالت عادي بجز قطارهاي كوچك مقدار مقاومت سري بر اساس تحمل قطار فقط براي راه اندازي طراحي مي‌شود و بطور دائم در مدار قرار مي‌گيرد. بنابراين موتور سري در اين شرايط فقط يك منحني مشخصه دارد، علاوه بر اين عيب مقداري انرژي در مقاومت راه انداز تلف مي‌گردد. معايب فوق باعث مي‌گردد كه روش سري به پارالل و نيز روش Buck and Bosst را در موتورهاي تراكشن بكار ببريم.

سيستم كنترل Buck and Boost



سيستم كنترل Buck and Boost

در اين سيستم كنترل آرميچرهاي سيستم MG با موتورهاي تراكشن بطور سري بسته شده و به شبكه وصل مي‌باشد موتور M و ژنراتور G را بحركت درآورده و پتانسيلي روي مدار دو موتور ايجاد مي‌گردد. بنابراين ولتاژ موتورهاي تراكشن عبارت است از:

V- (شبكه) V=V ولتاژ تراكشن

مقادير ولتاژ ژنراتور را با كنترل ميدانش مي‌توان كم و زياد و يا عكس نمود حال اگر ولتاژ ژنراتور برابر ولتاژ روي موتورهاي تراكشن برابر صفر مي‌گردد. و در اين حالت كنتاكتور

اصلي بسته مي‌شود. سرعت موتورها برابر صفر خواهد با كاهش تدريجي ميدان ژنراتور مقدار ولتاژ آن (V_G) كاهش يافته و در نتيجه مقدار ولتاژ موتورهاي تراكشن بتدريج افزايش مي‌يابد و درنتيجه سرعت موتور بتدريج افزايش يافته و در زماني كه V_G برابر صفر شود ماكزيمم مقدار ولتاژ شبكه روي موتورها افتاده در اين حالت روي هر موتور نصف ولتاژ شبكه اعمال مي‌گردد. حالا اگر در اين حالت جهت ميدان ژنراتور را تعويض نموده و شروع به افزايش آن نمائيم. مقدار در جهت عكس افزايش يافته و مقدار ولتاژ موتورهاي تراكشن افزايش خواند يافت تا زماني كه باندازه ولتاژ شبكه روي هر موتور اعمال گردد و در اين حالت سرعت ماكزيمم مقدار خود را خواهد يافت. روش فوق داراي مزاياي زير است:

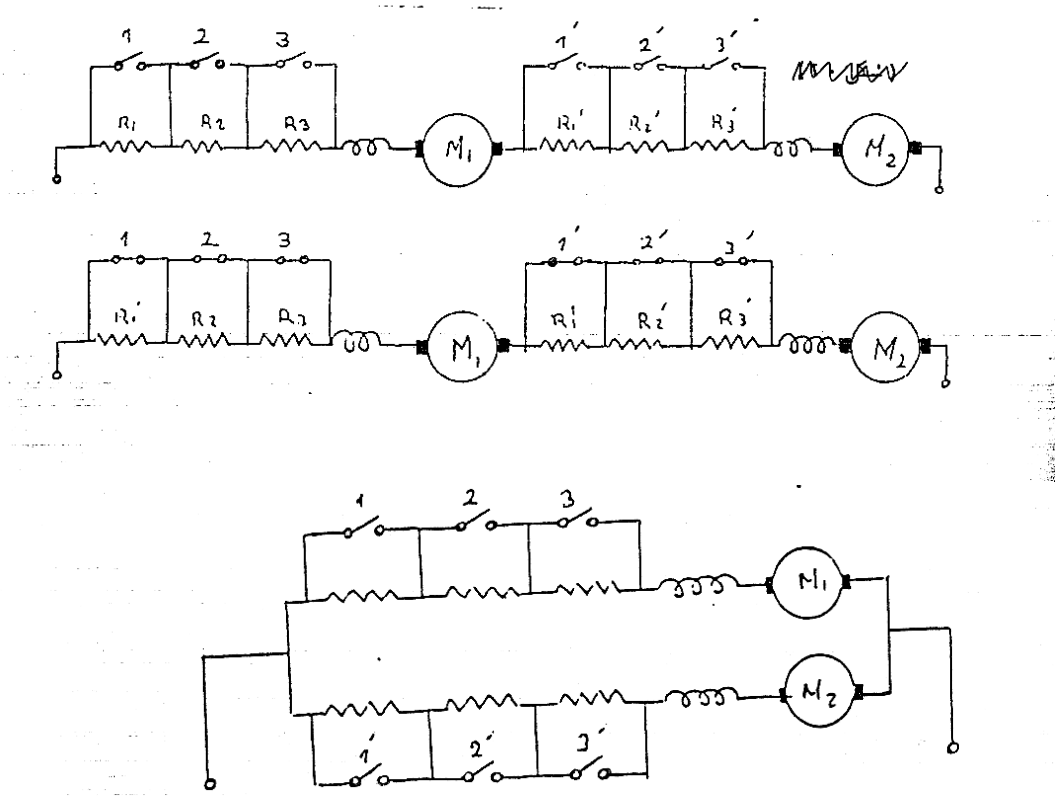
الف) تراكشن موتورها را مي‌توان بدون مقاومت راه‌اندازي در هر وضعيت راه‌اندازي و سرعت آنها را نيز كنترل نمود.

ب) مقدار تلفات انرژي در مقاومت راه اندازي ديگر وجود ندارد فقط مقدار كمي تلفات انرژي در راه اندازي موتور كوپل شده با ژنراتور خواهيم داشت.

روش كنترل بطريقه سري و پارالل

بطور معمول در يك سيستم تراكشن بيشتر از دو موتور وجود دارد در اين حالت از نظر اقتصادي بهتر است از روش تركيبي تغيير مقاومت و سري پارالل نمودن استفاده گردد در ابتدا اين دو موتور با مقاومتهاي راه اندازي تماماً بطور سري در مدار قرار مي‌گيرند و بعد از اينكه موتورها دور گرفتند مقاومتها يكي يكي از مدار خارج مي‌شوند (step by step) در اين حالت دو موتور بدون مقاومت بطوري سري در شبكه قرار مي‌گيرند و ولتاژ شبكه روي هر موتور اعمال مي‌گردد. و پس از آن موتورها را از حالت سري خارج كرده و بصورت موازي همراه با مقاومتها در شبكه قرار مي‌دهيم و در قدم‌هاي بعدي مقاومتها را يكي يكي از مدا

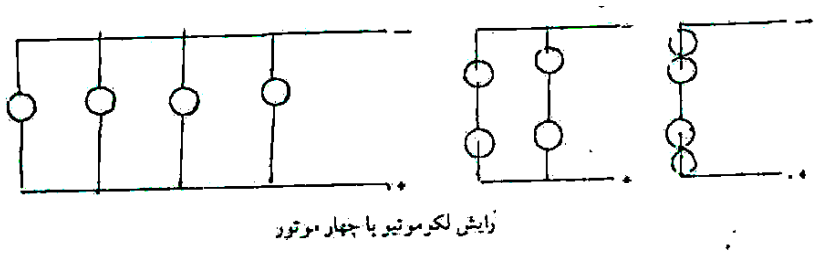
خارج نموده و موتورها بدون مقاومت در مدار شبکه قرار گرفته و قدرت کامل را در این حالت از خود نشان خواهند داد.



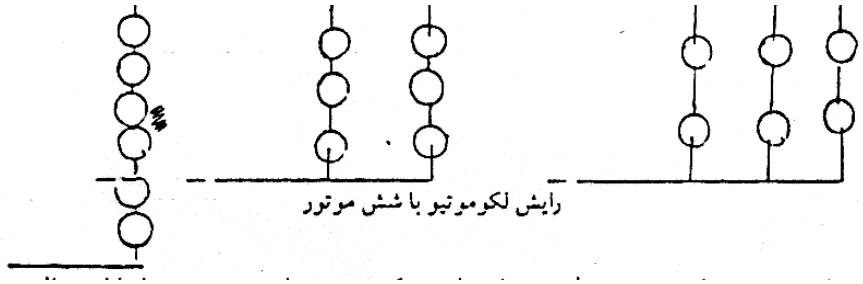
در حالتي كه موتورها بطور سري در شبكه قرار گرفته اند (بدون مقاومت) نصف ولتاژ براي هر يك قرار مي‌گيرد بنابراين سرعت در حدود نصف حالتي است كه موتورها بطور موازي (بدون مقاومت در مدار قرار مي‌گيرند در اين شرايط مي‌توان با

قراردادن مقاومت در مدار سرعت را كاهش داد. در اين روش باعث هدر رفتن مقداري انرژي خواهد شد، بنابراين روش سري موازي كردن مقرون به صرفه خواهد بود.

يك لكوموتيو معمولاً داراي ٤ يا ٦ موتور مي‌باشد :



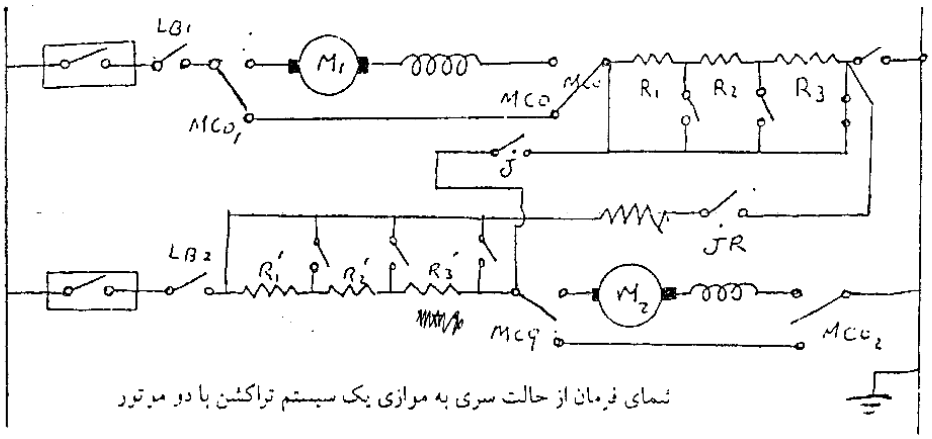
رايش لكوموتيو با چهار موتور



رايش لكوموتيو با شش موتور

مساله‌اي كه بايد توجه داشت مربوط به زماني است كه مي‌خواهيم موتورها را از حالت سري بحالت پارالل تغيير وضعيت دهيم در اين حالت نبايد موتورها را از شبكه قطع نمود. زيرا در اين صورت

جرقه شديد خواهد زد لذا از روشهاي مختلف ميتوان استفاده نمود يكي از اين روشها طريقه Shunt Transition ميباشد كه با كنتاكتورهاي مختلف اول، دو سر يك موتور را اتصال كوتاه كرده و سپس مدار اين موتور را از شبكه قطع و در قدم بعدي به شبكه وصل مينمائيم براي روشن شدن مطلب شماي يك سيستم تراكشن با دو موتور كه بوسيله كنتاكتورهاي مختلف فرمان ميگيرند و از حالت سري بحالت موازي در ميآيند در شكل زير مشخص شده است.



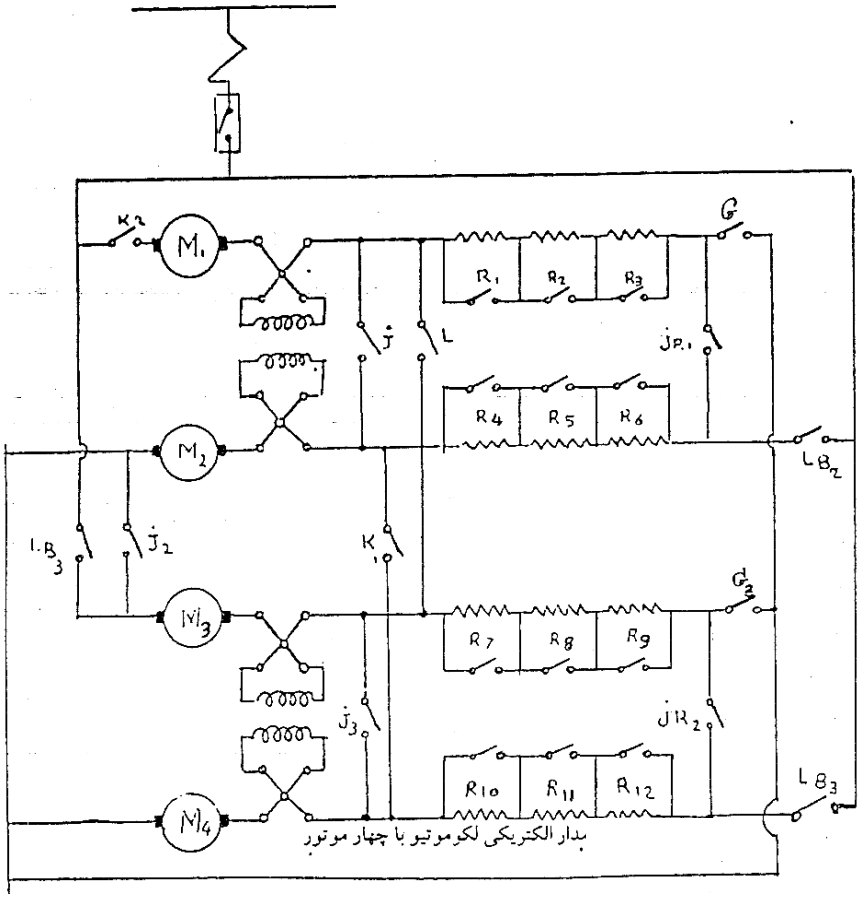
نمای فرمان از حالت سری به موازی یک سیستم تراکشن با دو موتور

با توجه به جدول انجام كنتاكتورها براي حالتهاي مختلف در اين سيستم كنترل ميتوان موتورها را سري

وسپس پارالل نمود و موتورها را در جهت عکس به چرخش درآورد و سپس موتورها را از مدار خارج نمود (By Pass) و امور دیگر.

		LB1	LB2	R1	R2	R3	R'1	R'2	R'3	J	JR	G
SERIES	OFF											
	1	0										
	2	0		0			0				0	
	3	0		0			0				0	
	4	0		0	0		0				0	
	5	0		0	0		0	0			0	
	6	0		0	0	0	0	0			0	
	7	0		0	0	0	0	0	0		0	
	8	0								0	0	
TRANSITION		0	0							0		0
PARALLEL	1	0	0									0
	2	0	0	0								0
	3	0	0	0			0					0
	4	0	0	0	0		0					0
	5	0	0	0	0		0	0				0
	6	0	0	0	0	0	0	0				0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0			0

مورد ديگري كه مي‌توان مورد بررسي قرارداد لكوموتيو با چهار موتور مي‌باشد كه در مرحله اول بطوري سري و در مرحله دوم دو موتور سري و سپس بصورت موازي و در مرحله سوم هر ٤ موتور بصورت موازي در مدار قرار خواهند گرفت.



ديزل ژنراتور اصلي مستقيما به موتور متصل است و توليد برق جريان مستقيم نموده و برق حاصل بوسيله كابلها به الكتروموتورهاي چرخهاي محور رسيده و الكتروموتورها بوسيله چرخ دنده ها با محور چرخها درگير مي‌باشند و نيروي برق روي محور چرخها تبديل به نيروي مكانيكي شده و باعث ايجاد كشش و دوران چرخهاي لكوموتيو مي‌شود در ديزلهاي سنگين ژنراتور اصلي برق جريان متناوب توليد

مي‌كند كه بوسيله يكسو كننده‌ها تبديل به جريان مستقيم مي‌شود. حال برقي كه ژنراتور اصلي توليد مي‌كند بوسيله چند رشته كابل پس از عبور كليدهاي موجود در تابلوي برق و دستگاههاي كنترل در الكتروموتورهاي يعني تراكشن موتورها توزيع مي‌شود و در حال حركت يا ايستايي و يا ترمزديناميك بهره‌برداري مي‌شود.

تجهيزات برقي

برقي كه در لكوموتيو توليد و مصرف مي‌گردد از نظر ولتاژ به دو سيستم جداگانه تقسيم مي‌گردد:

۱- سيستم جريان متناوب ولتاژ قوي

۲- سيستم جريان مستقيم ولتاژ ضعيف

سيستم ولتاژ قوي مستقيما براي حركت دادن لكوموتيو يا كندكردن حركت از طريق ترمزديناميك بكار مي‌رود جريان حاصل از سيستم ولتاژ ضعيف باطري و ژنراتور كمكي برقي و مستقيم ژنراتور مدارهاي انتقال قدرت، مدارهاي كمكي براي هدايت جريان الكتريكي فشار ضعيف و

رله‌هاي الكترومغناطيسي كه در لكوموتيو تعبيه شده‌اند را تامين مي‌كند. كار كردن چند لكوموتيو كه با هم كوپل هستند يك مدار كنترلي زنجيري و يك مدار كنترل محلي احتياج دارد كه مدار كنترل زنجيري بوسيله قدرت لكوموتيو تغذيه مي‌شود و مدار كنترل محلي بوسيله ژنراتور كمكي هر لكوموتيو تغذيه مي‌گردد. بر طبق اينكه ژنراتورها مدارها و تجهيزات مولد قدرت بخوبي كنترل شوند لازم است وسائل الكتريكي كه ذيلا نامبرده مي‌شود بكار رود، كنتاكتور، رله، كليد، قطع كننده مدار، تنظيم كننده.

ژنراتورها

در لكوموتيوهاي توربو شارژي برق توليدي و مصرفي ديزل الكتريك توسط سه عدد ژنراتور كه حركت دوراني خود را مستقيم از موتور مي‌گيرند تامين مي‌شود و بشرح زير مي‌باشد:

الف) مولد برق اصلي يا ژنراتور اصلي

ب) مولد برق همراه

ج) مولد برق كمكي

جريان برق فشار قوي و ضعيف در ديزلهاي سبك

لكوموتيوهاي ديزل الكتريك سري پايين مجهز به دو دستگاه مولد برق اصلي و كمكي براي توليد برق فشار قوي و ضعيف با جريان مستقيم مي‌باشند مولد برق اصلي برق فشار قوي با ولتاژ ٦٠٠ ولت را توليد مي‌كند كه براي ايجاد كشش بوسيله الكتروموتورها و بگردش در آوردن چرخهاي محور استفاده مي‌گردد در ژنراتور كمكي ٧٤ ولت برق براي استفاده دستگاههايي كه با برق فشار ضعيف كار مي‌نمايند توليد مي‌شود. از جريان توليد شده در ژنراتور كمكي براي شارژ نمودن باطريها ، نورافكنها ، چراغها ، تحريك قطبهاي مغناطيسي ژنراتور اصلي ،كار انداختن پمپ گازوئيل و كنترل استفاده مي‌گردد.

جريان برق فشار قوي و ضعيف در ديزلهاي سنگين

لكوموتيوهاي ديزلهاي سري بالا مجهز به دستگاه مولد برق اصلي، همراه و كمكي مي‌باشند، مولد برق اصلي در ديزلهاي سري بالا توليد برق جريان متناوب نموده كه بوسيله يكسوكننده‌ها تبديل به جريان مستقيم شده و براي ايجاد كشش به الكتروموتورهاي روي چرخها فرستاده مي‌شود. لكوموتيوهاي سري بالا علاوه بر ژنراتور كمكي مجهز به ژنراتور اصلي و بكار انداختن سه عدد الكتروموتور پروانه خنك كننده راديوتورها و الكتروموتورها پروانه تجهيز كننده اتاق تميز مورد استفاده قرار مي‌گيرد و برق آن جريان متناوب سه فاز مي‌باشد.

مولد برق اصلي ديزلهاي سبك

ژنراتورهاي اصلي كه روي لكوموتيوهاي ديزلهاي سبك سوار شده از نوع ژنراتور اصلي با جريان مستقيم مي‌باشد. اين ژنراتور در حداكثر دور موتور ديزل ٦٠٠ ولت بوده تا ٢٢٥٠ آمپر مي‌رسد،

برق توليدي اين ژنراتورها بصورت جريان مستقيم به الكتروموتور چرخهاي محور ديزلها رفته و انرژي الكتريكي تبديل به انرژي مكانيكي شده و ايجاد كشش مي‌نمايد، پوسته ژنراتور اصلي توسط پايه خود بر روي شاسي ديزل سوار دشه كه با قرار گرفتن آرميچر در داخل پوسته كه مستقيما به ميل لنگ موتور ديزل متصل است بوسيله لائي‌ها (واشر) تا ده هزارم اينچ نسبت به موتور طراز و تنظيم مي‌شود يك آرميچر در داخل پوسته ژنراتور اصلي بوسيله بولبرينگ كه در داخل پوسته براي آن جاسازي شده متكي و از طرف ديگر يعني قسمت انتهايي آرميچر به صفحه پلينگ موتور وصل گرديده است و با گردش ميل‌لنگ شروع به دوران مي‌نمايد.

اما نكته‌اي كه حائز اهميت است اينكه چرخ ژنراتور اصلي هنگام كار در اثر عبور جريان برق گرم مي‌شود براي خنك كردن عايق‌كاري‌ها و بانداژها و جلوگيري از خطرات احتمالي بلعيدن هوا

توسط فنيلاتورها كه حركت خود را بوسيله محور كمكي ژنراتور كمكي ميگيرند و باعث خنك شدن قسمتهاي داخلي ژنراتور ميگردد، در داخل پوسته ژنراتور اصلي شش نوع سيمپيچ براي ايجاد حوزه مغناطيسي تعبيه شده و كار هر يك از سيمپيچهاي مذكور بشرح زير است :

۱- سيم پيچ راه اندازي (استارت)

اين نوع سيم پيچ براي بكار انداختن و روشن نمودن موتور ديزل اختصاص داده شده كه با استفاده از نيروي برق باطريها با فشار دادن كليد استارت جريان برق باطري به سيم پيچ راه انداز و به آرميچر ژنراتور اصلي كه باهم بطوري سري قرار ميگيرند رفته و براي چند ثانيه ژنراتور را بصورت دو الكتروموتور درآوره و با گردش آرميچر كه متصل به ميللنگ موتور ميباشد باعث بگردش درآوردن ميل لنگ موتور ديزل شده و موتور ديزل روشن ميگردد در اين موقع با برداشتن دست از روي كليد استارت جريان برق از آرميچر و سيمپيچ

راه انداز قطع شده و ژنراتور به حالت اوليه خود باز مي‌گردد. در مسير مدار الكتريكي جريان برق باطري به سيم‌پيچ راه انداز، فيوزي با مقدار ٤٠٠ آمپر قرار داده شده كه هر لحظه آمپراژ بيشتري بخواهد عبور نمايد قبل از اينكه به سيم‌پيچي مخصوص راه انداز و ژنراتور اصلي صدمه‌اي برسد اين فيوز خواهد سوخت.

٢- سيم‌پيچي باطري فيلد (B.F)

اين قطب مغناطيسي ژنراتور اصلي كه باطري فيلد ناميده مي‌شود برق خود را از باطري يا ژنراتور كمكي گرفته و تحريك شده توليد حوزه و خط ميدان مغناطيسي مي‌نمايد كه با گردش آرميچر در داخل حوزه مغناطيسي و قطع نمودن خطوط ميدان مغناطيسي توسط سيمهاي آرميچر توليد برق نموده و ميزان تحريك قطب مغناطيسي باطري فيلد بنابراين كه موتور ديزل با چه سرعت و دور گردش مي‌نمايد بوسيله دستگاه بار تنظيم شده و هرچه دور موتور بالا برود دستگاه تنظيم بار تعداد تحريك قطبهاي

مغناطيسي را بيشتر و زيادتر نموده تا در دور حداكثر ژنراتور اصلي بتواند قدرت لازم را ايجاد نمايد و اين عمل تنظيم تحريك قطب مغناطيسي در دستگاه تنظيم بار توسط رئوستاي تحريك انجام ميشود كه بطور سري در سر راه جريان برق تحريك باطري فيلد قرار گرفته.

۳- سیم‌پیچ شنت فیلد (SF)

این سیم‌پیچ با قطب مغناطیسي که بنام شنت فیلد (SF) نامیده می‌شود هنگامي که ژنراتور اصلي شروع به تولید نیروي الکتریسیته نموده که براي کشش به الکتروموتورها فرستاده می‌شود از همین برق ژنراتور اصلي نیز مقداري براي تحریك قطبهاي مغناطیسي شنت فیلد فرستاده می‌شود که با تقویت میدان مغناطیسي باعث ازدیاد نیروي برق ژنراتور اصلي گردد، سیم‌پیچ شنت فیلد از تعداد حلقه‌هاي زیاد و سیمهاي نازکي درست شده و بطور موازي در سر راه جریان برق ژنراتور اصلي قرار گرفته است.

٤- سیم پیچ اختلافي

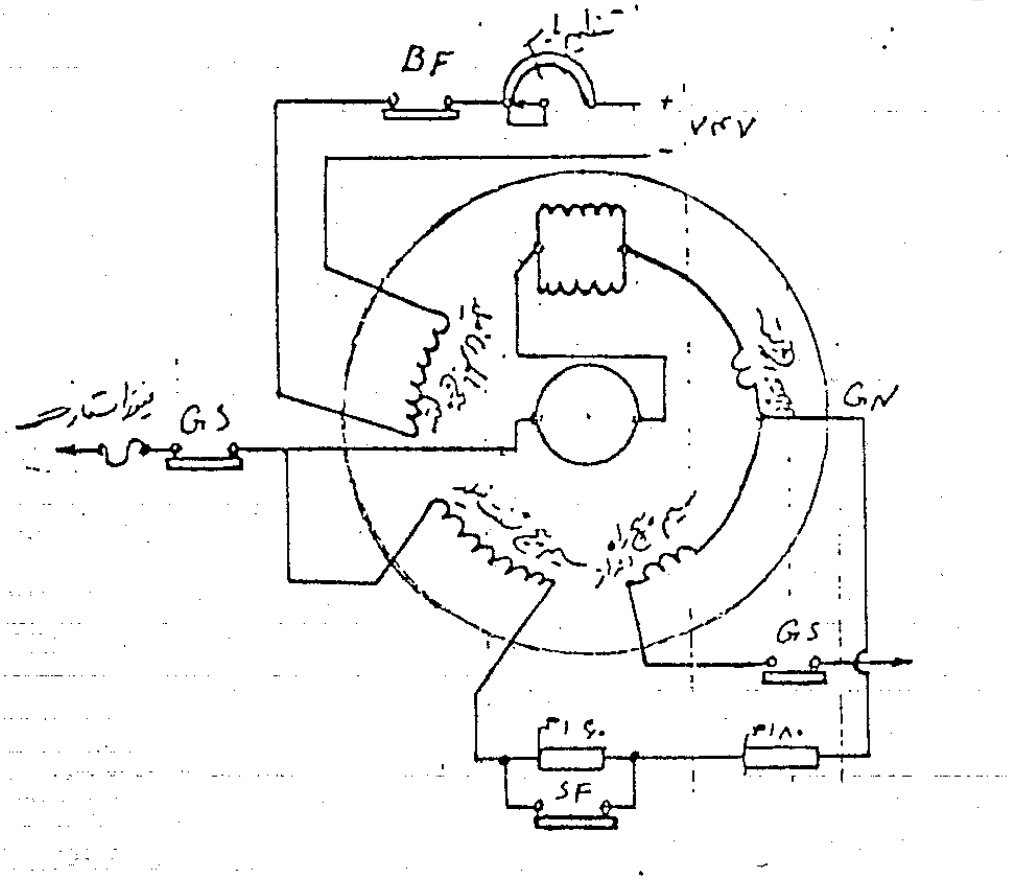
این سیم پیچ در روي قطبهاي مغناطیسي ژنراتور اصلي مابین سیم‌پیچهاي شنت فیلد و باطري فیلد واقع شده و کار آن ثابت نگهداشتن قدرت ژنراتور اصلي می‌باشد.

٥- سیم پیچ تبدیلي

اين سيم پيچ كه بطور سري با جريان برق آرميچر بسته شده وظيفه دارد ميدان مغناطيسي ايجاد شده در اطراف تيغه‌هاي آرميچر را بهنگام گردش آرميچر كه باعث مي‌گردد خطوط ميدان مغناطيسي قطبهاي ژنراتور اصلي منحرف گردد اين انحراف را از بين ببرد.

٦- سيم‌پيچ‌هاي تعادل

اين سيم‌پيچ كه بنام سيم‌پيچ تعادل ناميده مي‌شود از تعدادي تيغه‌هاي مسي تشكيل شده كه در شكاف قطبهاي مغناطيسي در سطح جانبي قطبها نصب شده است و بطوري سري با جريان برق آرميچر بسته شده و كار آن را از بين بردن لرزشهايي است كه بهنگام گردش آرميچر ژنراتور اصلي بعلت وجود كوپلينگ حاصل مي‌شود و ممكن است توليد جرقه زده‌گي نمايد.



ژنراتور كمكي

در لکوموتیوهاي دیزل الکتریك راه آهن براي تهیه برق فشار ضعیف، یك ژنراتور در دیزلها جاسازي شده که بنام ژنراتور کمکي معروف است که حرکت خود را مستقیماً بوسیله چرخ دنده از انتهاي موتور میگیرد و سرعت دوران آن در دیزلهاي سري پایین از ۸۰۰ تا ۲٤۰۰ دور در دقیقه و در دیزلهاي سري بالا بین ۸۲۵ تا هزار دو در دقیقه میباشد.

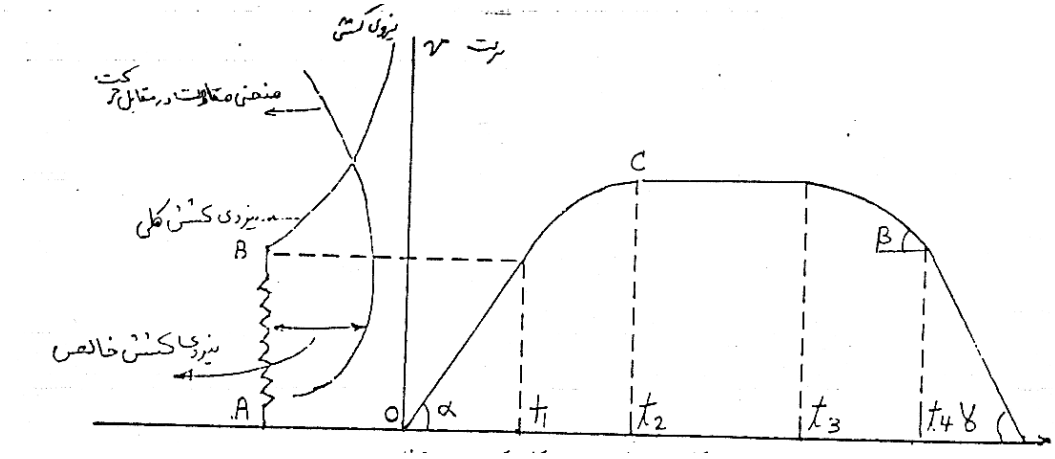
این ژنراتورها خود تحریك میباشند، یعني برقي که خودش تولید میکند از همان برق تولید یك مقدار براي تحریك قطبهاي خود مدار استفاده میشود و یك فیوز ۳۰ آمپري نیز سر راه جریان برق تحریك قطبهایش قرار گرفته، که اگر جریان بیش از این اندازه به قطبها وارد شود این فیوز سوخته و از خطر احتمالي جلوگیري میکند، بطور کلي ژنراتورهایي که در روي دیزلها مورد استفاده قرار میگیرد دو نوع میباشد:

۱- ژنراتور کمکي با قدرت ۱۰ کیلوواتي که روي دیزلهاي ۸ G تا ۱۲ G نصب شده است.

۲- ژنراتور کمکي با قدرت ۱۸ کيلوواتي که روي ديزلهاي G۲۲w و G۱٦ و G-۲٦ نصب و مورد استفاده است و در مدار جريان برق ژنراتور کمکي ۱۰ کيلوواتي فيوز ۲۵۰ آمپري قرارداده شده تا در صورت ايجاد شدت جريان بيشتر از صدمه و آسيب به وسائل الکتريکي که با برق فشار ضعيف کار مي‌نمايد جلوگيري نمايد. از برق توليدي ژنراتور کمکي در ديزلهاي سري پايين براي استفاده شارژ باطريها و نورافکنها و دستگاههاي کنترل براي بکار انداختن دستگاه مولد بخار (Steam Generator) که در فصل سرما براي گرم کردن با قطارها اعزام مي‌شوند استفاده مي‌شود. در ديزلهاي GT۲٦w ژنراتور کمکي قطبهاي ژنراتور اصلي را تحريك نمي‌نمايد، بلکه به عوض آن قطبهاي ژنراتور همراه را تحريك مي‌نمايد.

تراکشن و لکوموتيوها

جهت بررسي انواع كنترل كننده هاي AC و DC در سيستم تراكشن لازم است ابتدا منحني كار يك سيستم قطار را مورد بررسي قرار دهيم. بطور كلي از يك سيستم حمل و نقل (ترن) انتظارات خاص بكار مي‌رود اين انتظارات با توجه به كليه جوانب امر در يك منحني بنام Duty cycle خلاصه مي‌گردد.



الف) 0-t_1 (Acceleration Period)

در اين قسمت بعد از اينكه كشش بر تمام نيروي مقاوم غلبه نموده قطار شروع به حركت كرده و اختلاف دو نيروي كشش كلي و مقاومت قطار يعني $\Delta\tau$ مثبت بوده و در نتيجه سيستم تحريك با يك شتاب تقريباً ثابت حركت نموده تا به نقطه t_1 برسد لازم

به توضيح است كه براي شروع حركت از نقطه o احتياج به گشتاور نسبتا زيادي مي‌باشد. يكي از دلايل استفاده از موتورهاي DC سري همين مطالب مي‌باشد.

ب) t_1-t_2

در اين قسمت با توجه به منحني مشخصه موتور سري (گشتاور ـ سرعت) مقدار گشتاور افزايش سرعت كاهش يافته و نيز مقداري مقاومت در مقابل حركت، افزايش سرعت زياد شده و در نتيجه مقدار نيروي كشش كاهش يافته و شتاب نيز ديگر افزايش خطي نخواهد داشت و بصورت يك منحني با شيب كم افزايش مي‌يابد تا به نقطه ماكزيمم برسد (t_2) در نقطه ماكزيمم مقدار نيروي كشش ($\Delta\tau=0$) بوده (نقطه C) و سرعت سيستم ديگر از آن نمي‌تواند تجاوز نمايد.

ج) t_2-t_3 (Free Running Period)

در اين قسمت چون $\Delta\tau=0$ است. سيستم با يك سرعت ثابت حركت مي‌كند.

د) t_3-t_4 (Coasting Period)

در اين قسمت تغذيه موتور قطع شده و قطار با همان ممان اينرسي حركت كرده و به دليل وجود مقاومت در مقابل حركت، سرعت سيستم شروع به كاهش مي‌نمايد (با زاويه β).

و) t_4-t_5 (Braking Period)

در اين قسمت سيستم ترمز قطار عمل نموده متوقف مي‌شود با زاويه (γ) با توجه به شكل و عمل ترمز واضح است كه مقدار زاويه γ بمراتب از β بزرگتر مي‌باشد :

ترمز ديناميك و كاربرد آن بوسيله (Traction.M)

يكي از مزاياي الكتروموتورهاي جريان مستقيم اين است كه در صورتي كه به سيم‌پيچهاي پوسته و آرميچر جريان برق داده شود بعنوان الكتروموتور كار مكانيكي انجام مي‌دهند يعني كار الكتريكي را به كار مكانيكي تبديل مي‌نمايند و چنانچه فقط به پوسته همين الكتروموتور برق داده شده و آرميچر آن الكتروموتور بوسيله‌اي به حركت درآورده شود در

اين حالت جريان برق توليد مي‌نمايد يعني كار مكانيكي مصرف مي‌كند و كار الكتريكي توليد مي‌نمايد و چون الكتروموتورهاي چرخهاي لكوموتيو از نوع جريان مستقيم مي‌باشند، همين خصوصيات شامل آنها نيز مي‌شود يعني براي بحركت درآوردن ديزل كافي است كه جريان توليد شده ژنراتور را به اين الكتروموتورها وصل نمايند در اين حالت باعث گردش آرميچر الكتروموتور شده و گردش آرميچر الكتروموتور نيز چرخش محورهاي چرخها را سبب شده و لكوموتيو به حركت در مي‌آيد حال اگر چنين تصور كنيم لكوموتيو در مسير حركت خود در خطوطي قرار مي‌گيرد كه شيب يا سرازيري خط زياد است و براي جلوگيري از ازدياد بيش از حد سرعت جريان ژنراتور به چرخها را قطع نمايد و به دليل سطح شيبدار هنوز سرعت حركت ديزل هر لحظه افزايش پيدا كند براي جلوگيري از افزايش سرعت دو راه ممكن مي‌باشد. راه اول با استفاده از ترمز معمولي كه براي مواقع بسيار حساس و ضروري نيز از آن

استفاده مي‌شود و راه دوم با استفاده از ترمز ديناميك مي‌باشد. معايبي كه در اثر استفاده از ترمز معمولي پيش مي‌آيد اين است كه در اثر استفاده پياپي ضمن مستهلك شدن وسايل باعث داغ شدن كفش ترمزها شده و در نتيجه در موقع بسيار حساس كارائي لازم را از دست خواهد داد و بهترين ترمز براي كنترل قطار همان ترمز ديناميك مي‌باشد كه در اين حالت كليه پوسته‌هاي الكتروموتورها را بوسيله جريان حاصل از ژنراتور اصلي تغذيه مي‌نمايد و آرميچرها مدارهايشان از ژنراتور قطع شده و با يكديگر سري شده و به مدار مقاومتهاي جريان ٠/٦٦ اهمي ديناميك وصل مي‌شود. جريان در اين حالت آرميچر توسط محورهاي چرخها در اثر شيب خط در حال چرخش هستند. در نتيجه جرياني توليد مي‌كند كه جريان به توسط مقاومتهاي ٠/٦٦ اهمي ديناميك مصرف مي‌شود. و در اثر اين كار از سرعت گردش آرميچر كاسته شده و در نهايت از سرعت بيش از حد قطار جلوگيري بعمل مي‌آيد.

مسير مدار فشار قوي ترمز ديناميك

در ديزل دو نوع ترمز وجود دارد يكي ترمز معمولي ديزل كه با فشار هوا كار مي‌كند و براي توقف كامل ديزل بكار مي‌رود و ديگري ترمز ديناميك است كه فقط در حالت حركت ديزل بكار مي‌رود. و باعث كندي حركت مي‌شود. در ماشينهاي الكتريكي جريان مستقيم فرقي بين موتور و ژنراتور آن وجود ندارد. يعني اگر به موتور DC برق DC بدهيم و اگر آنرا بگردانيم به شرط آنكه شنت يا كمپوند باشد به ما برق مي‌دهد. از اين خاصيت در ديزلها استفاده شده و به اين ترتيب يك نيرو در خلاف جهت حركت به ديزل وارد مي‌كند و باعث كندي حركت ديزل مي‌شود. در حالت ترمز ديناميك آرميچر الكتروموتورها دو به دو بوسيله كليد S سري شده و برق توليدي در مقاومت‌هاي ٠/٦٦ اهمي كه در پهلوي ديزل قرار گرفته مصرف مي‌شود، در ضمن براي خنك شدن اين مقاومتها از يك پنكه استفاده شده كه از همين برق توليد استفاده مي‌كند در اين حالت

پوسته این الکتروموتورها همگي با ژنراتور اصلي سري مي‌شود.

کنترل سرعت با استفاده از میکروپروسسور

این سیستم در سال ۱۹۸۷ طراحي گردیده است و از یك FRSO[۱] براي کاهش نوسانات گشتاور استفاده مي‌کند. براي کاهش تغییرات سرعت موتور و تغییرات چرخش شفت و تغییرات بار (SO)[۲] بایستي میزان گشتاور سرعت موتور را در کوتاه‌ترین زمان تخمین بزند. بهرحال یك انکودر افزایشي[۳] براي تعیین سرعت موتور استفاده مي‌گردد که در یك پریود زماني بوسیله پالس خروجي داده‌هاي لازم را به میکروپروسسور تنظیم کننده سرعت مي‌دهد.

S.O براي تخمین تغییرات گشتاور بار

اصول کار :

شکل اجزا اصلي یك S.O را که شامل یك مدار کنترل کننده عرض پالس یك انتگراتور یك ضرب کننده و

---

[۱]- Fast Response State Observer
[۲]- State Observer
[۳]- Inecremental Encoder

يك فيلتر مي‌باشد را نشان مي‌دهد تغييرات گشتاور بوسيله انكودر به پالس (P) تبديل مي‌گردد و با جريان موتور (Im) وارد يك سري عمليات مي‌شود.

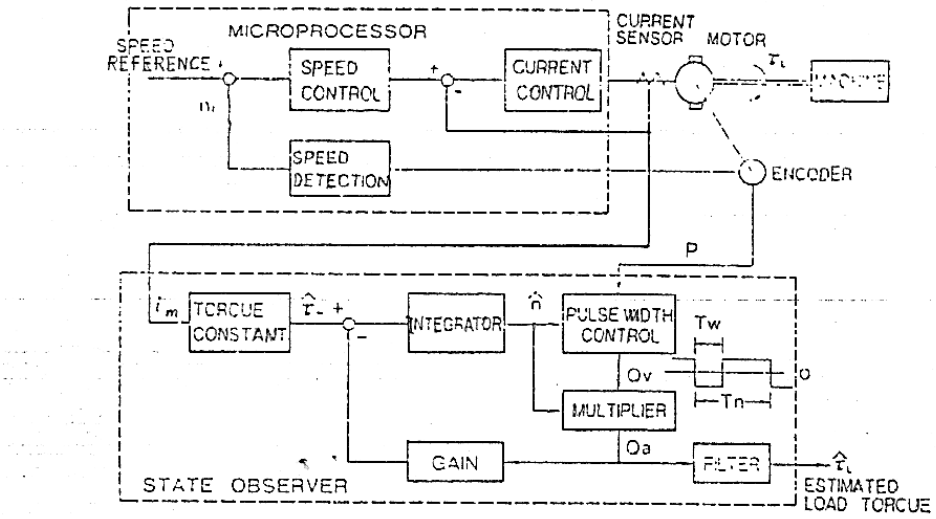
در مدار كنترل كننده اهي پهناي عرض پالس يك موج مربعي Qv داريم كه عرض پالس Qv با تغييرات سرعت موتور (n) كه از انكودر خارج مي‌شود نسبت معكوس دارد.

عرض پالس Tw برابر است با :

$$T_w = \frac{k_1}{\hat{n}}$$

كه در آن k_1 عدد ثابت است، از طرف ديگر پريود Tn از موج مربعي ارتباط عكس با سرعت اصلي موتور (n) دارد و شامل معادله زير مي‌شود.

$$T_n = \frac{k_2}{n}$$



که k_2 نیز یك عدد ثابت است، پس علامت موج مربعي در پریود T_w و در پریود $T_n - T_w$ مثبت است.

میزان متوسطe_v از شکل موج مربعي برابر است با :

$$e_v = 1 - 2\frac{T_w}{T_n}$$

اگر معادلات را ادغام کنیم، داریم :

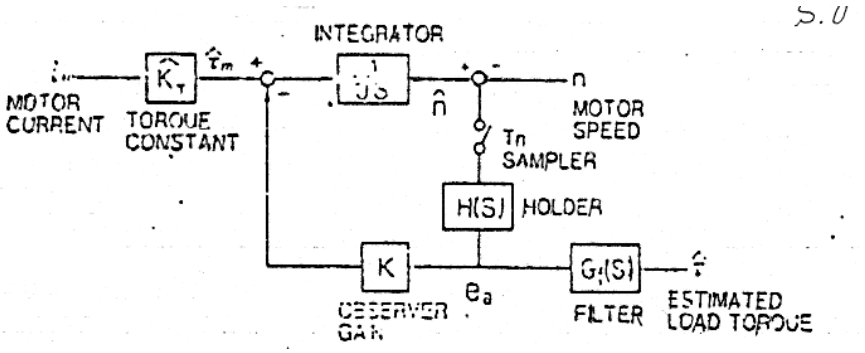
$$e_v = \frac{K_2 n - 2K_1 n}{K_2 n}$$

موج مربعي Q_v در سرعت تخمین زده ضرب مي‌شود و در Q_a حاصل مي‌گردد و از معادله زیر مقدار متوسط e_a از موج مربعي Q_a حاصل مي‌شود که در آن ثابت $k_2 = 2k_1$ مي‌باشد.

$$e_n = n - n$$

خروجي ضرب كننده يك موج مربعي است. براي محاسبه e_a از يك انتگراتور استفاده مي‌شود كه ضريبش نسبت معكوسي با اينرسي موتور دارد.

اگرچه تغييرات گشتاور موتور τ_m كه از جريان I_m موتور و ثابت k_1 كه در طراحي موتور براي گشتاور در نظر گرفته شده است تشكيل شده وارد انتگراتور مي‌شود كه اين ميزان تغييرات همان اختلافات بين گشتاور موتور و گشتاور بار مي‌باشد در نتيجه اين اختلاف را در خروجي انتگراتور خواهيم داشت كه اين خروجي سرعت تخميني موتور را تغيير مي‌دهد. گشتاور برآورده شده τ_1 از ميزان متوسط موج مربعي Q_a و از خروجي فيلتر گرفته مي‌شود. پس نتيجه مي‌گيريم كه S.O پاسخ سريعي دارد زيرا n و τ_1 براي هر پالس خروجي توليد شده از انكودر تعديل مي‌شود. پس تغييرات كوچك جريان موتور تاثيري در كار S.O ندارد زيرا از يك انتگراتور با ثابت زماني زياد عبور مي‌كند.



تابع تبديل

در سرعتهاي بالا بعنوان نمونه وقتيكه T_n كوچكتر از يك ميلي ثانيه است ميتوان از نگهدارنده[1] و نمونه‌گير[2] صرفنظر كرد و اين معادله را نتيجه گرفت :

$$\hat{T}_m(S) = \hat{k}_T i_m(S)$$
$$e_a(S) = \hat{n}(S) - n(S)$$
$$\hat{n}(S) = \frac{\hat{T}_m(S) - k e_a(S)}{\hat{J}_s}$$
$$\hat{T}_L(S) = G_1(S) e_a(S)$$

با جايگزيني معادلات ، معادله زير حاصل ميشود :

$$\hat{T}_L(S) = \hat{k}_T i_m(S) - \hat{J}\, Sn(S) \frac{G_J(S)}{\hat{J}\, S + K}$$

زماني كه عنصر پسفازي مانند فيلتر اضافه شود $\hat{\tau}_L(S)$ بصورت زير در ميآيد:

$$\hat{T}_L(S) = \frac{\hat{K}_T i_M(S) - \hat{J}\, Sn(S)}{(\hat{J}\, S + K)(1 + T_F S)}$$

---

[1]- Sampler
[2]- Holder

که در آن T_F ثابت زماني فيلتر مي‌باشد.

از معادله فوق مي‌توان نتيجه گرفت كه با نمايش كاسكاري قادر به نشان دادن $T_L(S)$ هستيم ثابت زماني در عنصر T_F و J/K هستند كه اولي از روي ريپل و دومي تابعي از S.O مي‌باشد.

پايداري

در مدار بالا سيستم حلقه بسته‌اي از S.O شرح داده شد كه يك ثابت زماني J/K را در سرعتهاي بالا دارد.

نيل به پاسخ سريع بطور تئوري با افزايش گين K در S.O امكان‌پذير مي‌باشد بهرحال از يك نمونه‌گير و نگهدارنده تشكيل شده كه مرجعي براي پريود پالس خروجي انكودر مي‌باشد و مقدار ماكزيمم K را محدود مي‌كند با استفاده از انكودر، P_0 پالسهاي خروجي در هر گردش مي‌باشد بعنوان نمونه پريود T_n از حلقه S.O از معادله زير تعيين مي‌شود :

$$T_n = \frac{60}{nP}$$

معادله مشخصه حلقه S.O بصورت زير نشان داده شده است :

$$1+\frac{k}{\hat{J}}.\frac{T_n Z}{(Z-1)^2}(1-Z^{-1})=0$$

كه در آن Z دلالت بر Z تبديل اپراتور مي‌باشد.

از معادله مذكور ريشه‌هايي بصورت زير بدست مي‌آيد :

$$0<k<\frac{\hat{J}np.}{30}$$

در پايداري S.O و Z بايستي كوچكتر از يك باشد پس داريم :

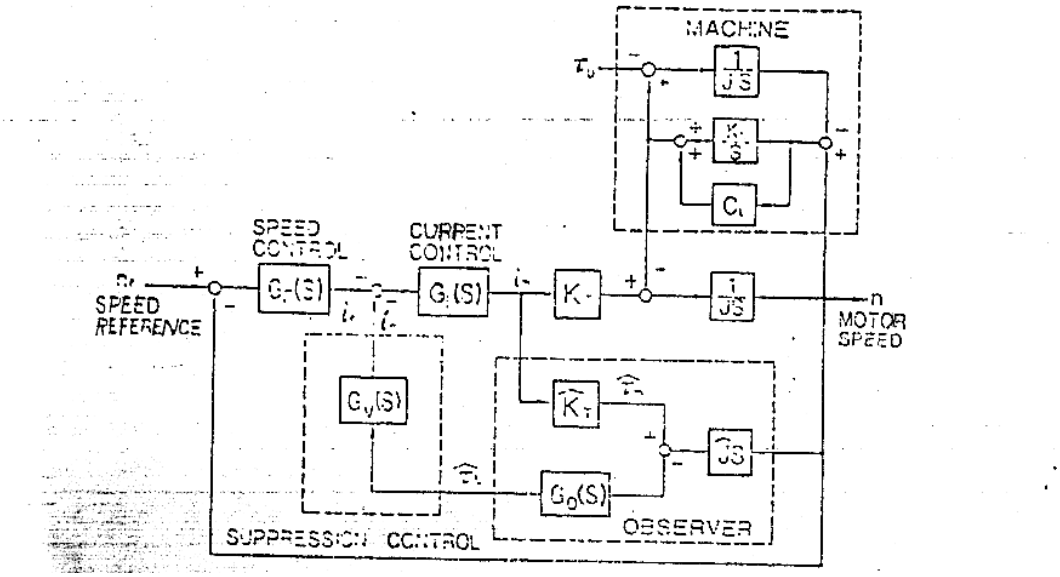
$$Z=1-\frac{KT_n}{\hat{J}}$$

معادله فوق نشان مي‌دهد كه K بهمراه S.O نسبتا بايد مقدار كمي داشته باشد تا سرعت حالت پايداري پيدا كند. اگر حداقل سرعت موتور براي هر S.O برابر N_0 باشد ماكزيمم گين ابزرور (km) از معادله زير بدست مي‌آيد:

$$km=\frac{\hat{J}np.}{30}$$

بطور آزمايشي اگر km در رنج $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{5}$ باشد طبق معادله فوق S.O پايداري بيشتري دارد.

کنترل بازدارنده نوسانات چرخشي شفت



شکل بلوك دیاگرام یك سیستم کنترل سرعت با استفاده از کنترل بازدارنده براي نوسانات شفت را نشان میدهد. سیستم از شش بلوك تشکیل شده است :

۱- کنترل سرعت

۲- کنترل جریان

۳- کنترل بازدارنده

٤- یك ابزرور

٥- یك موتور

٦- یك ماشین

تابع تبديل كنترل سرعت $G_n(S)$ است كه يك الگوريتم و يك جريان خروجي مرجع دارد. تابع تبديل كنترل جريان $G_i(S)$ است كه مشخصات ديناميكي آن نشان داده شده و اختلاف بين i_e,i_r ورودي آن مي‌باشد. موتور بصورت يك ارتباط كاسكادي[1] از ثابت گشتاور و يك انتگراتور با اينرسي موتور J بصورت ضريب، شرح داده شده است.

بعلاوه بلوك دياگرام ماشيني كه با موتور مي‌چرخد با يك عنصر تاخيري دو طبقه و يك ضريب ميرايي كوچك تخمين زده مي‌شود.

ارتباط بين خروجي كنترل سرعت $i_r(S)$ و جريان موتور $i_m(S)$ با معادله زير بيان مي‌شود :

$$i_m(S) = G_i(S)(i_r(S) - G_v(S)\hat{T}_L(S))$$

كه در آن $G_i(S)$ و $G_r(S)$ تابع تبديل سيستم كنترل بازدارنده مي‌باشند گشتاور تخميني بار $\tau_1(S)$ از معادله زير بدست مي‌آيد.

[1]- Cascade

بعلاوه تابع تبدیل بین جریان موتور $i_m(S)$ و سرعت موتور $n(S)$ در زیر آمده است:

$$n(S)=\frac{1}{JJ_LS}\cdot\frac{1}{S^2+2LV_nS+W_n^2}((J_LS^2+C_LS+K_L)K_T.i_m(S)-(C_LS+K_L)T_D(S))$$

فرکانس طبیعي زاویه‌اي ω_n و ضرب میرایي E بصورت زیر تعیین میشود.

$$\omega_K=\sqrt{\frac{K_L(J+J_L)}{JJ_L}}$$

$$\hat{J}=\frac{C_L}{2}\sqrt{\frac{JJ_L}{K_LJJ_L}}$$

از معادلات براي سرعت موتور نتیجه میشود :

$$n(S)=\frac{1}{G_i(S)}(K_T(J_LS^2+C_LS+K_L)G_i(S)i_r(S)$$
$$-(C_L(S)+K_L)(1-K_TG_V(S)G_i(S)G_o(S)\tau_D(S))$$

که در آن $G_i(S)$ از معادله زیر تعیین میشود :

$$G_i(S)=s(J_L(J+\frac{C_L\hat{K}G_a(S)}{s})+C_L(J+J_L)+\frac{K_L\hat{K}+J_LG_a(S)}{s})s$$
$$+K_L(J+J_L)+(J_LS^2+C_LS+K_L)(J\hat{K}_T-\hat{J}K_T)G_a(S))$$
$$G_a(S)=G_i(S)G_a(S)G_a(S)$$

حال سه فرض زیر را در نظر میگیریم.

۱- پارامترهاي استفاده شده از S.O شبیه ماشین واقعي میباشد.

۲- الگوريتم كنترل بازدارنده يك كمپانساتور براي تاريخ زماني كنترل جريان و عنصر ديفرانسيل با گين e مي‌باشد.

۳- از تاخير زماني S.O مي‌توان صرفنظر كرد زيرا پريود نوسان كمتر است پس با اين سه فرض داريم :

$$J = \hat{J}, K_T \hat{k}_T$$

$$G_V(S) = \frac{CS}{G_i(S)}$$

$$G_\upsilon(S) = 1$$

از معادلات داريم :

$$n(S) = \frac{1}{G_i(S)}(K_T(J_L S^2 + C_L S + K_L)G_i(S)i_r(S) - (C_L(S) + K_L)(1 + CK_L S)\tau_D(S)$$

$$G_i(S) = S(J_L(J + CC_L K_T)S^2 + (C_L(J + J_L) + CK_L K_T J_L)S + K_L(J + J_L)$$

حال با اين مفروضات فركانس طبيعي ω_n و ضريب ميرايي E بدست مي‌ايد.

$$\omega_{nb} = \sqrt{\frac{K_L(J + J_L)}{J_L(J + CC_L K_T)}}$$

$$\Im_b = \frac{C_L(J + J_L) + CK_L K_T J_L}{2\sqrt{J_L K_L(J + J_L)(J + CC_L K_T}}$$

معادله قبل نشان مي‌دهد كه ضريب ميرايي با افزايش بهره C از كنترل بازدارنده افزايش پيدا

مي‌كند و از نوسانات شفت جلوگيري مي‌كند پس اين شكل از مهمترين اهداف كنترل بازدارنده مي‌باشد.

بررسي رفتار موتورهاي تراكشن DC با نرم افزار PSPICE

بررسي رفتار ديناميكي موتورها توسط كامپيوتر به علت ماهيت الكترومكانيكي اين سيستم مسائل و مشكلات خاصي را مي‌طلبد.

براي بررسي رفتار ديناميكي موتورهاي تراكشن DC با استفاده از نرم افزار SPICE از مفهوم معادل الكتريكي سيستم اي مكانيكي كمك گرفته شده است و براي بعضي از موارد خاص اصلاحاتي در آن صورت گرفته تا براي تحليل كامپيوتري مناسب گردد.

در اين بررسي ابتدا به بررسي روش مدل سازي موتورهاي DC تحريك مستقل و نيز سري مي‌پردازيم. سپس با استفاده از اين مدلها به بررسي منحني گشتاور ـ سرعت منحني سيكل كاري (Duty Cycle) و نيز بررسي پديده ضربان در موتور به علت وجود ريبل

در ولتاژ تغذيه براي موتورهاي تحريك مستقل و سري مي‌پردازيم.

بررسي معادلات ديناميك و مدل سازي DC با استفاده از PSPICE

در بررسي رفتار ديناميك موتورهاي تراكشن DC از معادلات ديناميكي موتورهاي DC كه اساس مدل سازي اين موتورها مي‌باشد استفاده مي‌شود اين معادلات بصورت زير قابل بيان هستند :

$$T = K_f \; j_f j_a$$
$$e_a = k_f i_f w_m$$
$$T = J(dw_m / d_f) + BW_m + T_L$$

T : گشتاور توليدي توسط موتور T_L : گشتاور مقاوم بار

i_a : جريان آرميچر B : ضريب گشتاور مقاوم متناسب با سرعت

j_f : جريان سيم پيچ ميدان J : ممان اينرسي موتور و بار

e_s : نيروي ضد الكترو موتوري

K_r : مقدار ثابت كه به ساختمان موتور بستگي دارد

W_m : سرعت زاويه اي موتور

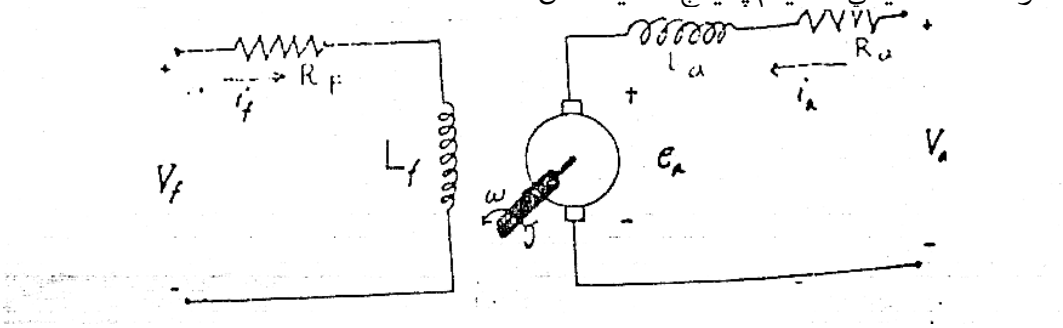
همچنين به اوجه به پارامترهاي الكتريكي موتور معادلات جريان ـ ولتاژ براي سيم پيچ ميدان و آرميچر را به صورت زير مي‌توان نوشت :

$$V_a = e_a + L_a(di_a/d_t) + R_a i_a$$
$$V_f = L_f(di_f/d_t) + R_f i_f$$

V_a : ولتاژ ترمينال آرميچر R_f : مقاومت سيم‌پيچ ميدان

V_f : ولتاژ ترمينال سيم پيچ ميدان L_a : ضريب خود القايي آرميچر

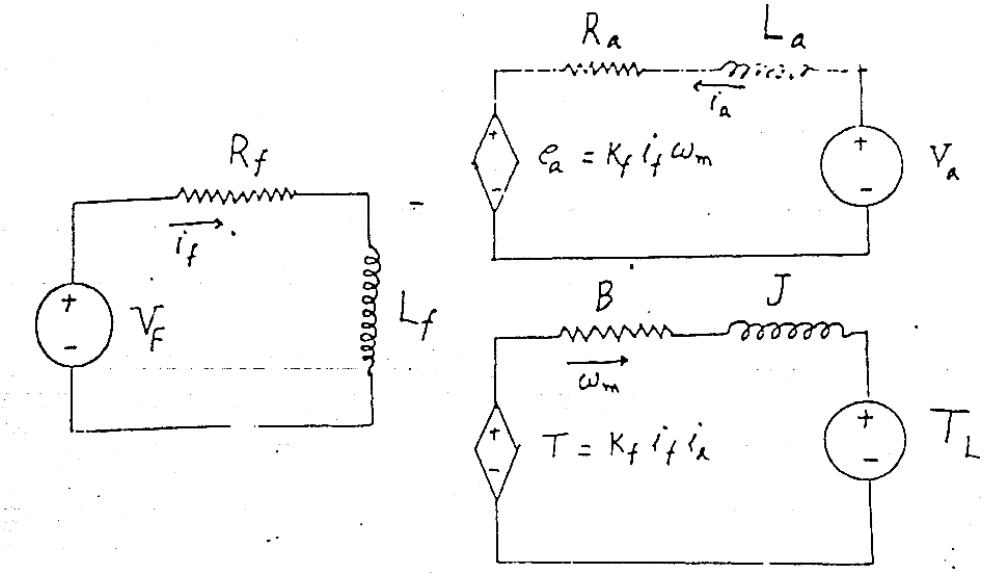
R_a : مقاومت سيم‌پيچ آرميچر L_f : ضريب خود القايي سيم‌پيچ ميدان



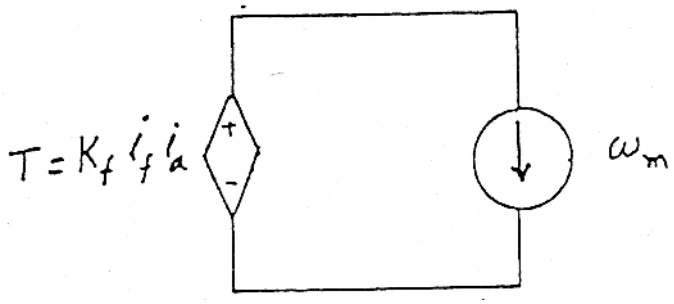
در اينجا لازم به ذكر است كه معادله نشان دهنده رابطه گشتاور موتور و سرعت آن در عمل مي‌تواند پيچيده‌تر باشد، ولي در اينجا به بررسي همين معادله داده شده مي‌پردازيم :

$T.J(\propto W_m / dt) + BW_m + T_L$

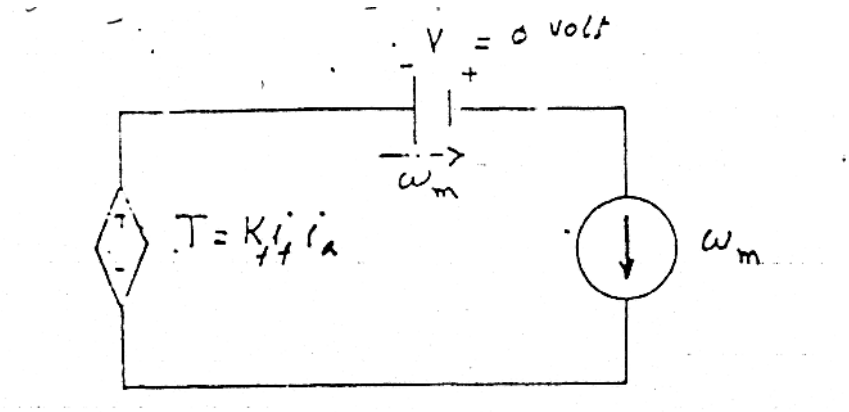
اين معادله را مي‌توان با استفاده از المانهاي الكتريكي مدلسازي كرد. اگر گشتاور را با ولتاژ و سرعت زاويه‌اي را با جريان جايگزين نمائيم در اين صورت T_L (گشتاور بار) بصورت منبع ولتاژ N (ضريب گشتاور متناسب با سرعت) بصورت مقاومت و J (ممان اينرسي) بصورت سلف در مدل ظاهر مي‌شوند. بنابراين مدل الكتريكي كل سيستم را مي‌توان با استفاده از منابع وابسته و ساير المانهاي الكتريكي مدل سازي كرد و اين مدل را با استفاده از نرم افزار PSPICE شبيه سازي نمود اين مدل در شكل نشان داده شده است.



يكي از پارامترها و مشخصه‌هاي مهم موتورها كه مورد بررسي قرار مي‌گيرد منحني گشتاور بر حسب سرعت (T-W) مي‌باشد. براي بررسي اين نمودار با PSPICE مدل قبلي كارايي ندارد. و بايد بصورتي خطي تغيير مي‌كند براي شبيه‌سازي (W) استفاده كرد و مي‌توانيم مقدار گشتاور حاصل توسط موتور براي مقادير مختلف w را مشاهده نمود.

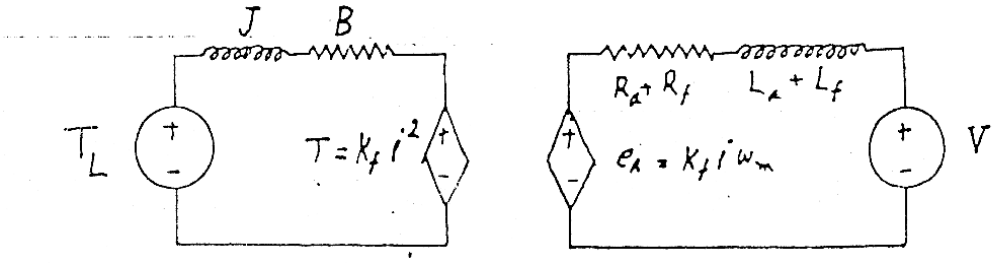


براي استفاده از مدل فوق در مدل موتور DC و تحليل آن با PSPICE هنوز يك مشكل وجود دارد، منابع وابسته به جريان PSPICE تنها مي‌توانند به جريان يك منبع ولتاژ مستقل وابسته باشند. چون e_a منبع ولتاژ وابسته به جريان حاصل از معادله $e_a = k_f i_f W_m$ به مقدار جريان W وابسته است، در مدار شكل فوق احتياج به يك منبع ولتاژ مستقل است، بنابراين يك منبع ولتاژ صفر ولتي كه عملاً تاثيري در مدار ندارد به شكل اضافه مي‌كنيم. اين منبع ولتاژ مانند يك آمپرمتر با توجه به مفهوم جريان W_m به صورت يك تاكومتر PSPICE عمل مي‌كند.



بررسي اي انجام شده تا اينجا براي مدلسازي موتور DC تحريك مستقل مي‌باشد، ولي انواع موتورهاي DC يعني موتور سري، موتور شنت، موتور كمپوند نقصاني و موتور كوهپوند اضافي با استفاده از روش فوق قابل مدل سازي هستند.

در موتورها سري كه در سيستم‌هاي تراكشن نيز زياد بكار گرفته مي‌شوند براي مدلسازي الكتريكي كافي است از مدل زير كه خود با استفاده از مدل موتور تحريك مستقل بدست آمده است استفاده نمود.



بديهي است كه بحثهاي انجام شده در مورد روش بدست آوردن منحني گشتاور ـ سرعت در اينجا نيز به قوت خود باقي است.

تحليلهاي انجام شده و نتايج حاصل از آن

تحليل‌هاي انجام شده در باره دو نوع موتور DC كه در سيستم‌هاي تراكشن بيشتر مورد استفاده هستند يعني موتور تحريك مستقل و موتور سري انجام شده است.

منحني تغييرات گشتاور و توان مصرفي در موتور تحريك مستقل و همچنين موتور سري برحسب تغييرات سرعت موتور به ازاي مقادير مختلف ولتاژ تغذيه و نيز تاثير وجود ريبل در ولتاژ تغذيه موتور بر روي گشتاور ـ سرعت و جريان تغذيه موتور مورد بررسي قرار گرفته است كه در اين بررسي تاثير اينرسي نيز مدنظر بوده است.

همچنين روش كنترل موتور DC تحريك مستقل با استفاده از تركيب روش كنترل آرميچر و كنترل ميدان و تاثير آ" در گشتاور و توان مصرفي موتور مورد تحليل قرار گرفته است.

منحني‌هاي حاصل خودگوياي بسياري از مطالب مي‌باشند كه از مجموع تحليل‌هاي قرار گرفته است.

منحني‌هاي حاصل خودگوياي بسياري از مطالب مي‌باشند كه از مجموع تحليل‌هاي انجام شده و نيز منحني‌هاي حاصل نتايج زير را مي‌توان استخراج نمود :

۱- در موتور تحريك مستقل توان و گشتاور با سرعت موتور رابطه خطي داشته و با افازيش سرعت كاهش مي‌يابد.

۲- هرچه ممان اينرسي موتور بيشر باشد تاثير ريپل بر سرعت كمتر مي‌شود.

۳- ممان اينرسي موتور تاثير زيادي در ضربان گشتاور موتور ندارد.

٤- افزايش ممان اينرسي باعث طولاني شدن حالت گذاري سيستم مي‌شود.

٥- با افزايش خطي ولتاژ آرميچر با شيب مناسب مي‌توان سرعت موتور را بطور خطي افزايش داد در حالي كه گشتاور توليدي توسط موتور ثابت باقي بماند.

٦- با كاهش جريان ميدان متناسب با عكس سرعت ميتوان سرعت را به طور خطي افزايش داد بطوري كه توان مصرفي ثابت بماند.

اطلاعات مربوط به مدار شبيه سازي موتور DC تحريك مستقل :

DC MOTOR 1 SIMULATION

*

Ra 1 2 0.02 chm

La 2 3 0.1 mH

He 3 0 POLY (2) , Vtl , Vf , 0 , 0 , 0 , 0 , -0.005

Vf 1 0 pwl (0, 0 , 2m , 0 , 10m , 400 , 50m , 400 , 52m , 300 , 100m , 300 , 102 m.

*Lf 4 5 0.01 mH

Rf 4 01

Vf 4 0 pwl (0, 0 , 2m , 0 , 3m , 60 , 100m , 60 , 101m , 60 , 200m , 60

Lj 6 7 0.00H

*Rb 7 8 1

itl 0 7 pwl (0 ,0 ,3m , 0 , 10m , 20 , 50m , 1400, 100m , 20 , 150m , 900, 200m, 20)

Vt1 7 6 0

Ht 6 0 POLY (2) , V , Vf , 0 , 0 , 0 , 0 , 0.005

TRAN 100u 200mS 12ms 300u

PRPBE

OPTION ITL5=20000

END.

مقدمه‌اي دربارة كاميونهاي معادن و كاربرد موتورهاي الكتريكي در اين ماشينها

پس از ايجاد انفجار در معدن بزرگي به اسم (V a b c o) با ظرفيت بيش از ۱۲۰ تن توسط بيلهاي الكتريكي (Shavell) با ظرفيت حمل ۳۰ تن بارگيري شده و با توجه به نوع سنگ به محل مناسب منتقل ميگردد. بعد از استارت كاميون كه با صداي بسيار بلندي به دليل وجودفن يا (Blower) همراه است. ديزل به حركت درآمده و چون به محور ژنراتور كوپل شده است آن را نيز به حركت در

مي‌آورد و ژنراتور برق AC توليد مي‌كند كه بعد از يكسوسازي (Rectifiering) برق را براي (wheel Motor) توسط كابلها ارسال مي‌كند.

عمل يكسو سازي به سه روش ايجاد مي‌شود :

۱- ديودي

۲- تريستوري

۳- مكانيكي (كلكتوري)

قدرت اين ژنراتور در حدود ۹۹۰ اسب بخار مي‌باشد البته در نوع جديد اين قدرت به ۱۲۰۰ اسب بخار افزايش پيدا كرده است. تعداد الكتروموتورها در درون اين كاميون ۲ عدد مي‌باشد ۲ تا براي استاتور ودو تا براي آرميچر و هر چهار كابل در اتاق فرمان در دسترس مي‌باشد تا بوسيله كليدهاي خودكار كه در سر راه آنها مي‌باشد بتوان فرمان تغيير جهت و يا ترمز ديناميك را به اجرا درآورد.

نحوه ترمز در اين كاميونها

۱- ترمز هيدروليكي

۲- ترمز ديناميكي (Dynamic – Retarding)

ترمز هيدروليكي توسط ديسك و صفحه، كفشي و بوسيله دال فرمان براي ايست كامل عمل مي‌نمايد. يعني درابتدا به وسيله ترمز ديناميك سرعت كاملون را كاهشداده و بعد با ترمز الكتريكي باعث ايست كامل اين وسيله نقليه مي‌شوند و اما نحوه ترمز ديناميك به اين صورت است كه وقتي سرعت از حد معين كه قبلاً تنظيم شده بالا برود با توجه به سنسوري كه روي شفت آرميچر طراحي شده است به طور اتوماتيك توسط كليدهاي خودكار جريان برق از دو سر آرميچر قطع شده و به يك سري مقاومت (بار) ٦٦٪ اهمي وصل مي‌گردد در اين حالت با توجه به چرخش آرميچر كوپل شده به چرخهاي كاميون اين موتور DC (wheel motor) به صورت يك ژنراتور عمل مي‌نمايد و با توجه به معكوس شدن جهت جريان در آرميچر حالت ايستايي براي آرميچر ايجاد مي‌شود و اين حالت ايستا به توسط پينيون به چرخ دنده‌ها و سپس به چرخها منتقل مي‌شود و باعث كاهش سرعت

و يكنواختي آن مي‌شود و در نهايت با ترمز هيدروليكي باعث توقف كامل كاميون مي‌شوند.

كاميونهاي برقي (v a b c o)

اين ماشينهاي سنگين كه كاميونهاي ۱۲۰ تني مي‌باشند در معادن كاربرد دارد يعني حمل بار بوسيله اين ماشينها كه ۹۰ تن وزن شاسي آنها مي‌باشد. اين ماشينها براي بارهاي فوق العاده سنگين از جمله حمل خاكهاي معدني طراحي شده و فقط كاربرد آنها در معادن مي‌باشد از جمله معدن مس سرچشمه كرمان. اين كاميونها بوسيله ابزارهاي الكتريكي كنترل مي‌شوند و حركت آنها بوسيله نيروي برق مي‌باشد و حركت آنها به سمت جلو بوسيله جريان برق و به سمت عقب هم بوسيله عوض شدن جهت جريان در آرميچر مي‌باشد. اين ماشينها بوسيله سيگنالهاي فرستاده شده از اپراتور عمل مي‌كنند. اين كاميونها با توجه به جثه بزرگشان طوري طراحي شده اند كه اپراتور بسادگي در سه قسمت آنها را كنترل مي‌كند :

۱- شتاب دادن از سرعت صفر تا سرعت مجاز بوسیله فشار پدال (Foot)

۲- کنترل ماشين يعني کنترل سرعت بوسيله ترمز ديناميکي

۳- Dynamic Retard کنترل ماشين در مسير بوسيله سوئيچ سلکتوري دستي بسيار طراحي شده است، انجام مي‌شود.

شرح و توضيح ساير قسمتهاي (V a b c o)

۱- ژنراتور : (GTA – 25)

موتور ديزلي اين ژنراتور را به حرکت در مي‌آورد برق AC خروجي اين ژنراتور بوسيله يکسو کننده‌ها به برق DC تبديل مي‌شود و به موتورهاي DC تراکشن که در اصطلاح eheel motor نام دارد، منتقل مي‌شود.

۳- موتورهاي تراکشن (Wheel Motor)

موتورهاي DC هستند که داراي کشتاور بسيار زيادي هستند محور آرميچر اين موتورها بوسيله

پيليون‌ها متصل به محور چرخها مي‌باشد و در حالت ترمز ديناميكي گشتاور ترمزي را ايجاد مي‌كنند.

۳- فن (Blower)

اين فن وظيفه‌اش خنك كردن هوا براي ژنراتور، يكسو كننده‌ها و دو تراكشن موتور مي‌باشد. و وظيفه اصلي فن خنك كردن مقاومتهاي ۰/٦٦ اهمي كه جريان فوق‌العاده بالائي مي‌كشند مي‌باشد.

تمام قوانين حاكم بر رفتار موتور DC كه در لكوموتيوها و اتوبوسهاي برقي بكار گرفته شده‌اند، دراين وسيله هم حاكم است بطوري كه اگر به تعريف موتور و ژنراتور در اوايل اين پروژه رجوع كنيم، يادمان است كه يك ژنراتور ممكن است تنها به صورت يك هادي در نظر گرفته شود، حال زماني كه اين هادي از ميان يك حوزه‌شاز مغناطيسي طبق قانون دست چپ عبور كند، آن وقت يك انتهاي هادي مي‌خواهد كه در آن ولتاژ مثبت القا شود دقيقاً مشابه به همين مطلب براي موتور مي‌باشد، اگر جريان از يك هادي در يك ميدان

مغناطيسي عبور داده شود نيرويي هادي بوجود مي‌آيد كه آن را در حوزه مغناطيسي حركت مي‌دهد. حال اين ولتاژ القائي را كه با E نمايش مي‌دهد، متناسب با سرعت حركت هادي (N) و شار ميدان مغناطيسي (Q) مي‌باشد . $E = K_V N$

و K_V يك ثابت عددي براي حوزه مغناطيسي در نظر گرفته شده مي‌باشد.

شار توليد شده در موتورها و ژنراتورها بوسيله حوزه مغناطيسي بوجود آورده مي‌شود.

گشتاور لازم براي حركت دادن سيم پيچ در ميدان بوجود مي‌آيد اين گشتاور (T) متناسب با توليد شار مغناطيسي Q و جريان L_a در آرميچر مي‌باشد.

$T = K_T Q L_a$

K_T هم در اين رابطه يك ثابت عددي است كه مي‌شود براي هر حوزه مغناطيسي در نظر گرفت حال مهمترين فرق اساسي بين يك موتور DC و يك ژنراتور در ولتاژ انتقال داده شده به آرميچر مي‌باشد در ژنراتور ولتاژ توليدي ناشي از نيروي ميدان

مغناطيسي مي‌باشد و گشتاور بوسيله يك منبع خارجي بوجود مي‌آيد ولي در يك موتور براي به حركت درآوردن بار گشتاور توليد مي‌شود.

موتورهاي DC در صنايع حمل و نقل به سه دسته تقسيم مي‌شوند .

۱- موتور شنت

۲- تحريك مستقل

۳- سري

(كه بيشترين كاربرد را موتور DC سري دارد)

بطور كلي روابط حاكم بر موتورهاي DC كه در كاميونهاي (v a b c o)

بكار گرفته شده است بصورت زير مي‌باشد :

$$Vter\min al = l_{arm} R_{arm} + (\frac{E}{RPM})RPM_m$$

اين معادله بيانگر اين است كه ولتاژ ترمينال V_t برابر است با افت R_a . l_a به علاوه حاصلضرب (RPM_m) در $(\frac{E}{RPM_m})$ و رابطه دوم بصورت :

$$T = K_T(\frac{E}{RPM_m})l_a$$

كه $K_T = 7/04$ و $Q = E / RPM_m$ مي‌باشد .

نحوه ترمز ديناميكي در كاميونهاي Vabco

در طول انجام اين عمل كه در اصطلاح افت سرعت نام دارد موتورهاي DC بكار گرفته شده بصورت يك ژنراتور عمل مي‌كند. يعني انرژي جنبشي چرخها به انرژي الكتريكي تبديل مي‌شود و در مقاومتهاي موجود در بالاي كاميون بصورت حرارت مصرف مي‌شود و در اصطلاح افت شبكه‌اي (drop gride) ايجاد مي‌كند. دراين حالت كه برق از دو سر آرميچر قطع شده، ميدان مغناطيسي استاتور بوسيله يك منبع جداگانه برقدار مي‌ماند و طبق رابطه $E = K_v Q N$ عمل مي‌كند طبق اين رابطه با كم شدن N (دور) ولتاژ E كاهش پيدا مي‌كند اين حس كردن بوسيله سنسورهايي كه با پينيون به محور آرميچر متصل مي‌باشد انجام مي‌شود و سرانجام طبق رابطه :

$$T = K_T(\frac{E}{RPM_m})I_a \qquad \{K_t = 7/04 \qquad \psi = E/RPM\}$$

گشتاور ترمزي ايجاد مي‌شود.

نتيجه گيري

شايد بتوان در يك جمله چنين بيان كرد كه موتورهاي الكتريكي قلب صنعت حمل و نقل سنگين را احاطه كرده اند. همانگونه كه ديديم در وسايل حمل ونقل زميني (قطار، قطار برقي، اتوبوس برقي،كاميونهاي بزرگ معادن ... و حتي خودروهاي سواري) بطور گسترده اي ازموتورهاي الكتريكي DC استفاده شده است و در اين پروژه طوري مورد مطالعه قرار داده شده اند كه امكان تحليل تكنيكي در صنعت حمل ونقل را فراهم نمايد.

بطور مثال همانطوري كه ميدانيد موتور لكوموتيو وسيله اي است كه ميتواند انرژي سوختي را به انرژي مكانيكي تبديل نمايد و در لكوموتيوها براي مصارف مكانيكي مختلف از نيروي موتور و چرخ دنده ها استفاده ميكنند. اما نيروي مكانيكي براي محدوده اطراف موتور و مصارف سبك مقرون به صرفه و حتي سودآور نيز هست ليكن اگر بخواهيم نيروهاي مكانيكي قويتري بدست آوريم و يا اين نيروها را

تاحدي دور از موتور بكار ببريم نه تنها سودآور نيست بلكه ايجاد مخارج زياد و حجم وسائل و لوازم و چرخدنده ها طراحان را از اين فكر بازداشته است. لذا مبتكرين به فكر ايجاد نيروهاي مكانيكي از انرژي الكتريكي بوده و هستند، چون در اين مورد ضمن كم شدن مخارج، سرويس دهي و خدمات بهتر صورت گرفته و بازده كار نيز بالاتر مي‌رود. وسيله اي كه به اين فكر جامه عمل پوشاند الكتروموتور بود. الكترو موتور وسيله اي است كه انرژي الكتريكي را دريافت كرده و با به گردش درآوردن آرميچر خود انرژي مكانيكي قابل مصرف توليد مي‌نمايد. الكتروموتورها غالباً با هر دو نوع جريان متناوب و يا مستقيم مي‌توانند عمل كنند ليكن ساختمان داخلي الكتروموتورهاي متناوب با الكتروموتورهاي جريان مستقيم تفاوت زيادي دارند. اما مزيتي كه الكتروموتورهاي مستقيم نسبت به متناوب دارند در اين است كه به خاطر فرم ساختماني موتور مستقيم و استفاده از كلكتور در

روي آرميچر آن مي‌توان از آن به عنوان ژنراتور نيز استفاده نمود (جهت ترمز ديناميك) كه اين امر در الكتروموتورهاي جريان متناوب كمتر امكان‌پذير است در لكوموتيوهاي راه آهن از دو نوع الكتروموتور DC,AC استفاده شده است.

اما مهمترين الكتروموتوري را كه مي‌توان نام برد الكتروموتورهاي حركت دهنده لكوموتيو به نام تراكشن موتور كه DC هستند، مي‌باشند همانطوري كه بيان شد موتورهاي DC داراي گشتاور راه اندازي فوق‌العاده بالائي مي‌باشند. لذا براي حركت بارهاي سنگين از اين موتور استفاده مي‌شود. چون در لكوموتيوها و يا حتي در كاميونهاي معادن تا اندازه‌اي قدرت بيشتر از سرعت مورد نظر بوده و هست ودوام قدرت نيز براي كار زياد مورد نياز مي‌باشد. لذا الكتروموتورهاي بكار رفته در لكوموتيوها از نوع سري بوده و به نحوي طراحي شده كه با يك آرميچر با سرعت نسبتاً كم حركت كند. (تقريباً ۲۲٦۰ دور در دقيقه RPM) كه اين

خاصيت سبب مي‌شود ذغالها سائيدگي كمتري داشته باشند و ضمناً به عمر بلبرينگها هم افزوده مي‌شود منظور از فرم طراحي به صورت سري اين است كه سيم پيچي آرميچر الكتروموتور و سيم پيچ پوسته الكتروموتور درهمه حالات كشش (سري و پارالل) بصورت سري (پشت سر هم) قرار دارند.