



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

MAGLEV

HW1

Modern Control

Dr. TaghiRad

Group:7

Feb,2024

فرزاد مقدم 40009453

لیونا یداریان 40010483

❖ گزارشی از معرفی سیستم، کاربرد ها، نحوه عملکرد و اجزاء، محرکه ها و حسگرهای سیستم، بررسی قطار های MagLev،

انواع و تفاوت آنها

تاریخچه

سیستم حمل و نقل ریلی بر پایه اصطکاک بین ریل و چرخ های قطار ساخته می شود که با توجه به نیاز روز افزون به حمل و نقل سریع، محدودیت های این سیستم و عملکرد ناپایدار آن تحت تاثیر عوامل محیطی، نیاز به جایگزین بهینه تر احساس میشود [1].

در اوایل قرن بیستم زمانی که هنوز هواپیماهای مسافربری تجاری وجود نداشتند، دو دانشمند به نام های امیل بچلت¹ و رابرت گودارد² برای رسیدن به یک سیستم حمل و نقل سریعتر، ایمن تر و مطمئن تر از حمل و نقل ریلی، به ایده استفاده از خواص الکترومغناطیسی در این حوزه رسیدند که بعد ها به قطار Maglev شهرت پیدا کرد [1]. البته که افراد دیگری نیز همچون دکتر

اریک لیتویت³ به واسطه اختراع موتور خطی بهینه و عملی، همچنین فعالیت های او در این زمینه به عنوان پدر Maglev شناخته میشود [3]. این قطارها از سال 1984 تجاری سازی شدند [1]؛ گرچه محدودیت های علمی و اقتصادی مانع از گسترش سریع این فناوری شده است [4]. اولین و سریع ترین خط تجاری سازی شده از قطارهای پرسرعت از این نوع نیز در سال 2004 با نام قطار Maglev شانگهای رونمایی شده است [5].



¹ Emile Bachelet

² Robert Goddard

³ Eric Laithwaite

سامانه شناور مغناطیسی در سالهای اخیر به طور گسترده در صنایع مختلف مورد توجه قرار گرفته است. این سامانه به صورت حلقه باز به شدت غیرخطی و ناپایدار است؛ از این رو، مدلسازی و طراحی کنترل کننده برای چنین سامانه ای مسئله ای چالشی محسوب میشود .

سامانه های شناور مغناطیسی که اساس ساخت قطارهای مغناطیسی میباشد، فناوری بدون تماسی هستند که به دلیل عدم وجود اصطکاک، نویز و لرزشهای ناشی از تماس مکانیکی اجزا، موجب کاهش هزینه تعمیرات شده و بازده سامانه را بالا بردهاند. این فناوری در زمینه های گوناگون دیگر از قبیل مهندسی پزشکی، هوا و فضا، مهندسی برق و ساخت سامانه های اندازهگیری کاربرد دارد.

با توجه به اهمیت این موضوع، تاکنون کنترل کننده های بسیاری جهت کنترل این سامانه طراحی و ارائه شده اند . کنترل کننده های تناسبی- مشتقی- انتگرالی یکی از پرکاربردترین کنترل کننده های صنعتی هستند که به دلیل سهولت طراحی و پیاده سازی مورد توجه قرار گرفته اند؛ اما در سامانه هایی که دارای باند مرده، تاخیر زیاد و عدم تطبیق مدل با سامانه هستند، قابلیت کمتری دارند .مهمترین مسئله در طراحی این نوع کنترل کننده ها، تنظیم پارامترها میباشد. عبدالهادی در سال 2008 از روش های فازی برای تنظیم پارامترهای این نوع کنترل کننده استفاده کرده است .

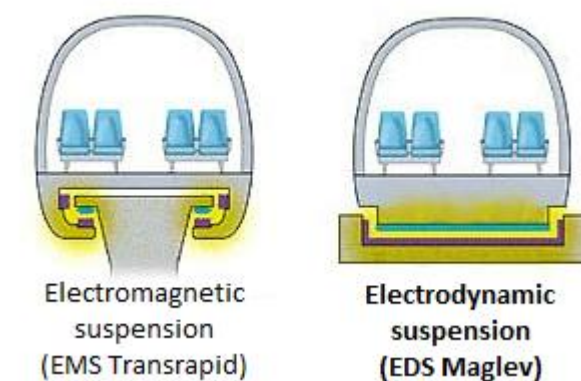
Maglev به معنی قطار با شناوری مغناطیسی بوده و مکانیزم جهت دهی، حرکت و شناوری در آن، تماما به کمک نیروی الکترومغناطیسی می باشد که به مراتب شتاب و سرعت نهایی بالاتر و پایداری نسبت به قطار های معمولی ارائه میکند. علاوه بر آن، این قطار ها به واسطه سبک بودنشان میتوانند شیب های تند تری را نیز به راحتی پشت سر بگذارند. شکل قطار، مسیر حرکت آن و تکنولوژی ساخت این قطار ها میتواند بسیار متفاوت باشد..

انواع سیستم های MAGLEV

به طور کلی میتوان این قطار ها را بر اساس نحوه کارکرد آن ها به دو مدل EMS و EDS تقسیم بندی نمود (شکل 1) [2]. مدل اول یا همان EMS⁴، از نیروی جاذبه الکترومغناطیسی بین قطب های مخالف آهنربا استفاده میکند و به صورت تجاری در خطوط مختلفی از جمله همان خط شانگهای از آن استفاده میشود[4]. این تکنولوژی قدیمی تر بوده و به واسطه آن دارای خطوط فعال میباشد.

⁴ Electromagnetic Suspension

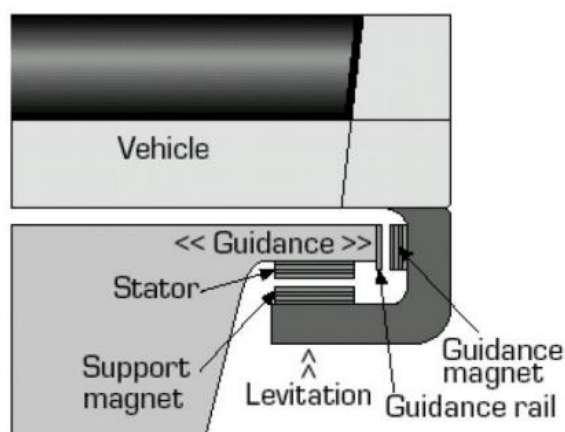
مدل دوم که به EDS⁵ معروف است، از نیروی دافعه الکترومغناطیسی بین قطب های موافق آهنربا بهره میبرد و به جز در خط آزمایشی یاماناشی در ژاپن خط فعالی نداشته و هنوز به صورت رسمی تجاری سازی نشده است [4]. نوع بروز تری از این قطار نیز در چین ساخته شده که هنوز به بهره برداری نرسیده است.



شکل 1) دو نوع مرسوم از قطار های Maglev [7]

نحوه عملکرد این قطارها

مکانیزم قطارهای maglev را میتوان در سه سیستم خلاصه کرد؛ حرکت رو به جلو⁶، شناوری⁷ و هدایت⁸.

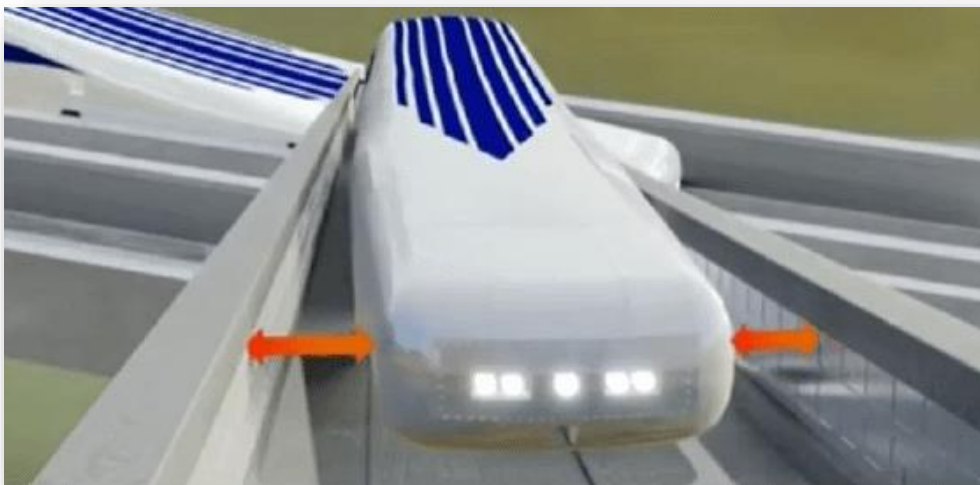
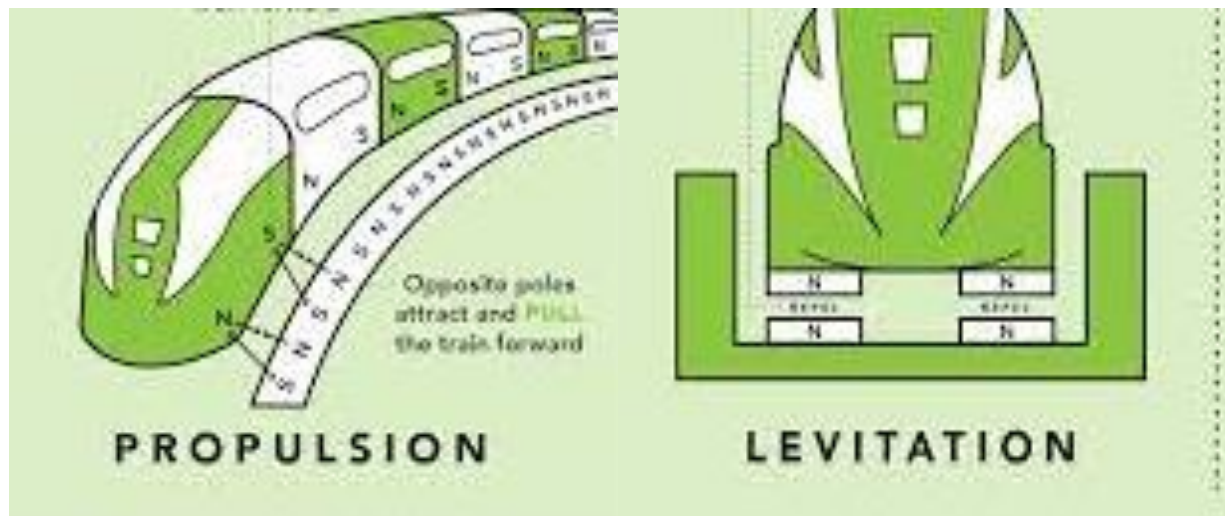
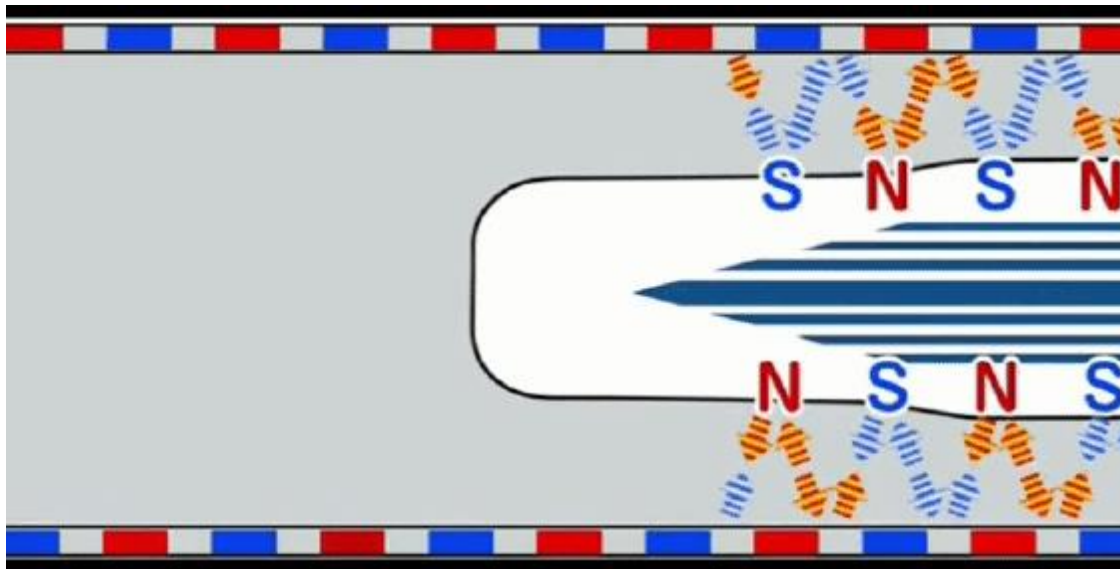


⁵ Electrodynamic Suspension

⁶ Propulsion

⁷ Levitation

⁸ Guidance

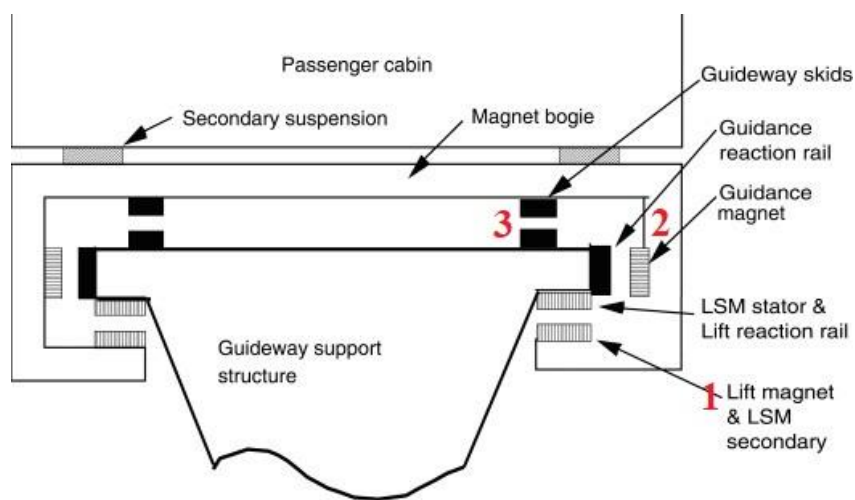


در این مدل که نوع ساده تر میباشد، برای شناوری قطار از خاصیت جذب مغناطیسی بین قطب های مخالف آهنربا استفاده میشود (شکل 2-1). آهنرباهای استفاده شده در این بخش باید به حدی قوی باشند که نیروی مغناطیسی ناشی از آن ها بر وزن قطار غلبه کند و بتواند آن را در ارتفاع 1.3 سانتی متری از سطح مسیر نگه دارد [1].

از طرفی برای حرکت رو به جلو و عملیات کاهش سرعت، از سیستم موتورهای خطی سینک شده یا LSM⁹ استفاده میشود. برای این منظور بخش های کوچکی بر روی مسیر حرکت تعبیه میشوند که میتوانند به صورت متناوب به قطب شمال یا جنوب مغناطیسی تبدیل شوند و با دفع و جذب پیوسته آهنرباهای قطب ثابت بر روی قطار به صورت زمان بندی شده میتوانند آن را رو به جلو سوق دهند (شکل 2-1) [3].

برای جلوگیری از خروج قطار از خط و هم مرکز کردن آن با مسیر حرکت از آهنرباهای هدایتی¹⁰ در دو طرف بوژی¹¹ استفاده میشود. این آهنربا ها با استفاده از دفع مغناطیسی به صورت کنترل شده این عملکرد را ایجاد می نمایند (شکل 2-2) [3].

به منظور توقف قطار در شرایط اضطراری همچون زلزله یا قطعی برق، ترمز های اصطکاکی در زیر قطار تعبیه میشود تا قطار با شتاب بیشتری متوقف شود (شکل 2-3) [3].



شکل 2) شماتیک قطارهای نوع EMS [6]

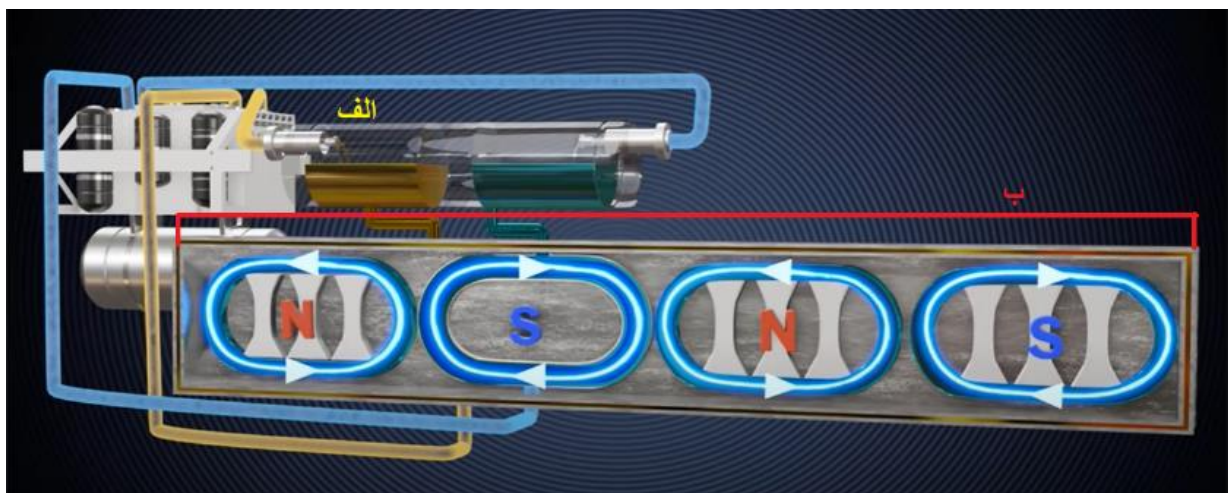
⁹ Linear Synchronous Motor

¹⁰ Guidance magnets

¹¹ Bogie

این نوع از قطارها به واسطه استفاده از ابررسانا ها، تکنولوژی بالاتری نسبت به نوع قبلی داشته و هنوز به صورت رسمی به بهره برداری نرسیده اند. در حال حاضر دو شرکت مطرح چینی و ژاپنی به پیاده سازی عملی این سیستم رسیده اند که در اینجا به بررسی نوع ژاپنی آن از شرکت Yamanashi Maglev خواهیم پرداخت که به علت استفاده از ابررسانا^{۱۲} در آن به SCMaglev شهرت دارد [4]. عملکرد EDS بر پایه شناوری به کمک خاصیت دفع مغناطیسی و خواص ابررساناها میباشد. این فرایند به کمک چند جزء کلیدی انجام میشود:

1) پنل های آهنرباهای ابررسانا^{۱۳} که در طرفین قطار تعبیه میشوند، دارای 4 آهنربا به صورت یک در میان هم جهت بوده و دارای جریان گیری اولیه 700kA میباشند و میتوانند به واسطه مقاومت صفرشان، به صورت یک آهنربای دائمی بدون نیاز به جریان گیری مجدد عمل نمایند (شکل 3-الف). البته که برای حفظ خاصیت خود نیاز به دمای بسیار پایینی در نزدیکی صفر کلوین دارند که این مهم با سیستم های خنک کننده هلیوم مایع میسر میشود (شکل 3-ب) [4].



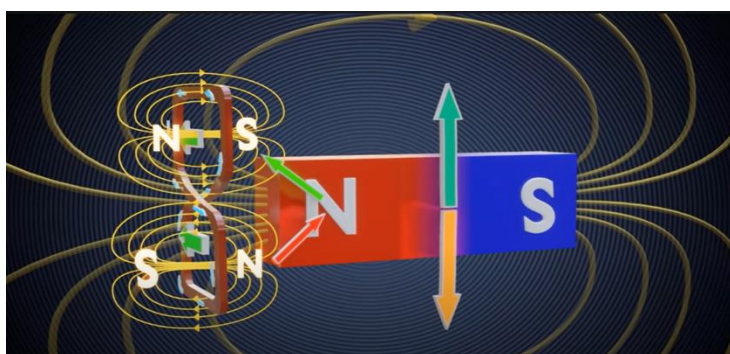
شکل 3) بخش های الف) خنک کننده ب) پنل ابررسانا در مدل های EDS [4].

2) حلقه های رسانا که در دو طرف مسیر حرکت تعبیه میشوند و با حرکت قطار و طبق قانون القای فارادی، دو آهنربا با جهت مخالف یکدیگر در سطح بالایی و پایینی حلقه ها به واسطه پیچش آنها از وسط پدید می آیند. شکل 4 و همچنین شکل 5-1 این

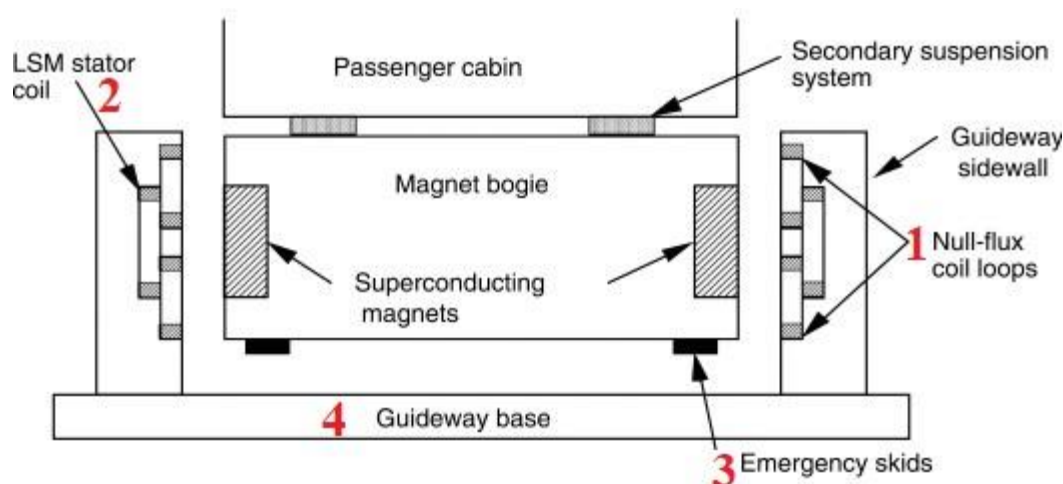
¹² Super Conductor

¹³ Super Conductor Magnets Unit

بخش را نمایش میدهد. این قضیه با جهت جریان پدید آمده در حلقه و قاعده دست راست قابل اثبات است. طراحی به گونه ای است که حلقه پایین قطب موافق آهنربای قطار، و حلقه بالا قطب مخالف داشته باشد. اگر قطار بیش از حد از مرکز عمودی این حلقه ها به سمت پایین حرکت کند، نیروی دافعه حلقه پایین و جاذبه حلقه بالا شدید شده و قطار را به سمت بالا هل میدهد. از آن جایی که قانون القای فارادی به سرعت نیز بستگی دارد، شناوری تنها در صورتی رخ میدهد که قطار با سرعتی بالاتر از یک مقدار مشخصی حرکت کند که در مدل ژاپنی مورد بحث، این مقدار 150km/h میباشد. برای سرعت های پایین و یا توقف کامل قطار از چرخ های کوچک با قابلیت جمع شدن در زیر قطار استفاده میشود. همچنین این چرخ ها در صورت وقوع زلزله و قطع شبکه برق میتوانند فعال شوند و قطار را به سلامت متوقف نمایند. علاوه بر آن ترمز های اضطراری در زیر قطار تعبیه شده که میتوانند در صورت وقوع مشکل در چرخ ها، قطار را بدون آسیب متوقف نمایند (شکل 5-3) [4].

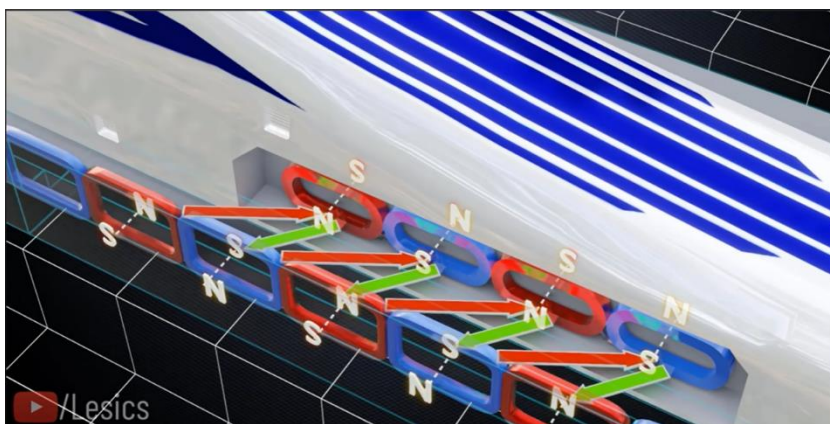


شکل 4) حلقه های رسانا و عملکرد آن ها در حضور ابررسانای قطار که به صورت نمادین با یک آهنربای میله ای نمایش داده شده است [4].



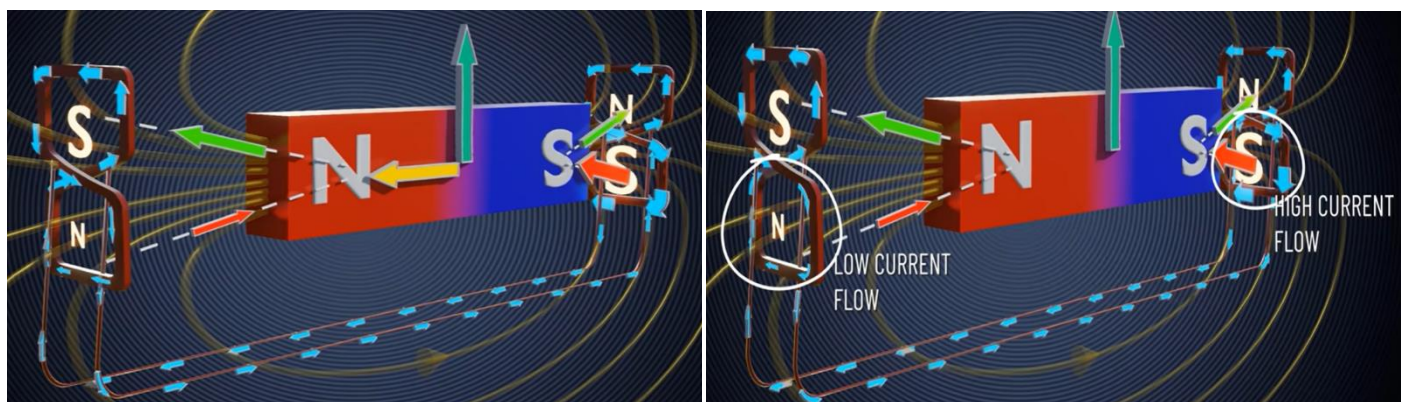
شکل 5) شماتیک قطارهای نوع EDS [6]

برای حرکت رو به جلو در این سیستم نیز همانند EMS از روش موتور خطی و با زمان بندی دقیق استفاده میشود. آهنربای ثابت در این حالت همان پنل ابررسانا ها می باشند و کویل های موجود در طرفین خط نیز قطب های متناوب را تشکیل می دهند [4]. این کویل ها در شکل 5-2 و شکل 6 قابل رویت می باشند.



شکل 6) ابررسانا بر روی قطار و کویل های متناوب بر روی خط [4]

برای هدایت قطار به صورت هم مرکز با مسیر حرکت راه های متنوعی وجود دارد. یکی از بهینه ترین راه ها که در مدل ژاپنی استفاده میشود اتصال حلقه های رسانا به یکدیگر میباشد. در این صورت اگر قطار به طرفین خود متمایل شود در آن سمت جریان بیشتری القا میشود که به واسطه اتصال به یکدیگر بخشی از این جریان به سمت حلقه دیگر روانه میشود و در نتیجه نیروی دافعه بزرگتری قطار را به سمت دیگر هل خواهد داد. به صورتی که برآیند نیروها در جهت بالا تغییری نخواهد کرد. و شنواری قطار با مشکل یا تغییر همراه نخواهد شد [4]. این مکانیزم در شکل های 7 و 8 قابل مشاهده است.

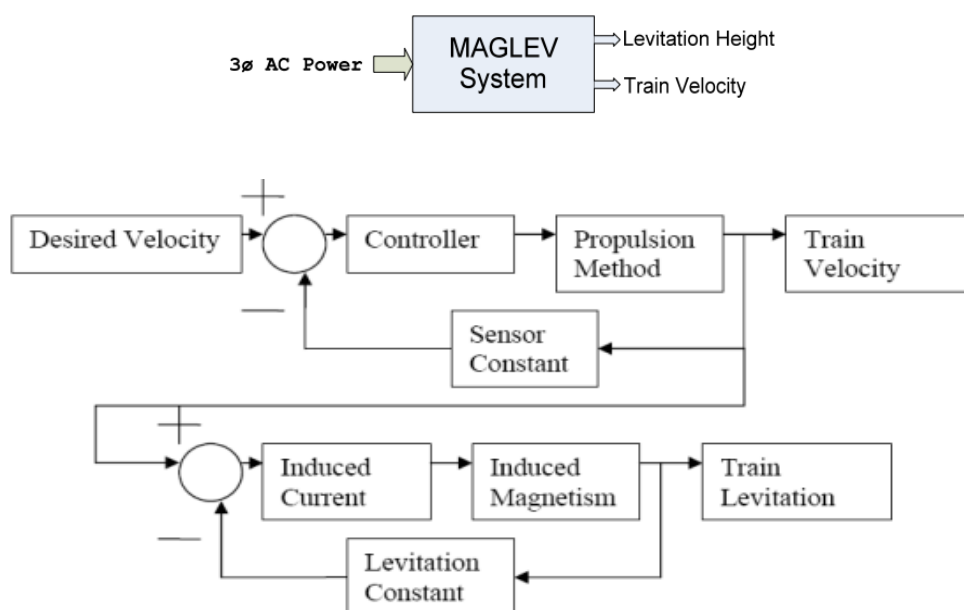


شکل 7) ابررسانا از مرکز منحرف شده و سبب القای جریان نامتقارن در حلقه های متصل شده. (شکل 8) نیروی وارده از حلقه ها

بر ابررسانا آن را به سمت مرکز سوق میدهد [4]

پیاده کردن سیستم های EMS نسبت به نوع دوم مقرون به صرفه تر بوده و به واسطه سادگی تکنولوژی، پیاده سازی آن به صورت جهانی آسان تر می باشد. از طرفی این مدل ها نیاز به چرخ حائل برای سرعت پایین و یا توقف کامل نخواهند داشت [3]. از طرفی نوع دوم به واسطه هزینه نگهداری پایین تر و ایمنی بیشتر آن در شرایط اضطراری، در برخی پیاده سازی ها میتواند بهتر عمل نماید [3]. متأسفانه به دلیل هزینه بالای ساخت و تامین مواد اولیه به خصوص برای آهنرباها، این قطارها هنوز قابلیت جایگزینی کامل با سیستم حمل و نقل ریلی فعلی را نداشته و فعلاً در کشورهایی چون انگلیس، آمریکا، ژاپن، آلمان، روسیه، چین و کره جنوبی در ارتباط با آن مطالعه و پیاده سازی های مقیاس کوچک انجام شده است [4]. امید است در آینده به روش هایی از پیاده سازی این قطار ها برسیم که بهینه بوده و قابلیت پیاده سازی بزرگ مقیاس را دارا باشند.

بلوک دیاگرام



مدل دینامیکی شناور مغناطیسی

سامانه شناور مغناطیسی که در این مقاله استفاده میشود شامل یک گوی معلق در هوا است که توسط سیم پیچ مغناطیسی نگه داشته میشود. با تغییر ولتاژ سیم پیچ ارتفاع گوی نیز تغییر میکند. ساده ترین مدل غیرخطی سامانه شناور مغناطیسی به صورت زیر میباشد که برحسب موقعیت گوی و جریان سیم پیچ است:

$$m\ddot{x} = mg - k \frac{i^2}{x^2}$$

که در آن، m جرم گوی و g ثابت گرانش میباشد، همچنین k به متغیرهای سامانه بستگی دارد.



Yamanashi Maglev

1. <https://www.britannica.com/technology/maglev-train>
2. https://www.cs.mcgill.ca/~rwest/wikispeedia/wpcd/wp/m/Maglev_train.htm
3. <https://www.youtube.com/watch?v=GGnzB9BqtIc>
4. <https://www.youtube.com/watch?v=XjwF-STGtfE>
5. <https://www.independent.co.uk/games/how-we-can-make-superfast-hyperloop-travel-a-reality-a7529316.html>
6. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B012176480X001820>
7. <https://mediarail.wordpress.com/are-futuristic-maglev-train-could-revolutionize-railways>
7. Yaghoubi, H. "The most important maglev applications", Journal of Engineering, Vol. 2013, pp. 1-19, 2013.