

PRIMENA LINEARNIH MOTORA U ELEKTRIČNOJ VUČI

Predmet: Električna vozila

**Pantić Željko,
laboratorija za mikroprocesorsko upravljanje elektromotornim
pogonima**

Zašto se uvode linearni motori u vuču?

Problemi klasičnih visokobrzinskih vozila sa točkovima i rotacionim SM ili AM pri brzinama većom od 300 km/h:

- zahtevaju i do 50 km za zaletanje;
- teški su i preko 500 t;
- drastično su skuplji nego vozovi iste snage, a manje brzine;
- postoji problem intenzivnog trošenja točkova i održavanja mehaničkih podсистema;
- zahtevaju obavezne nadvožnjake pri ukrštanju sa drumskim saobraćajem;
- bučni i nemirni na velikim brzinama;
- ograničenja koja unosi smanjeni koeficijent adhezije.

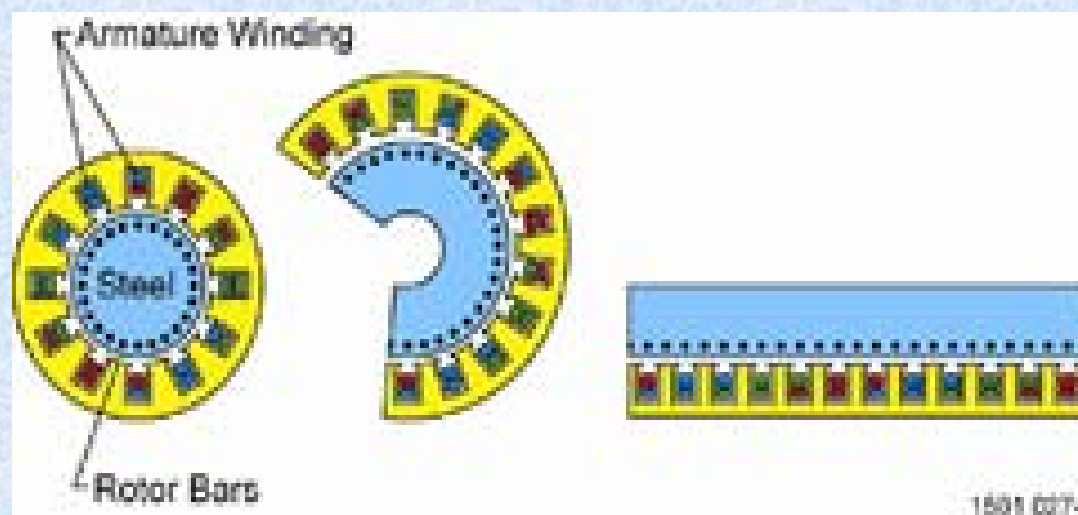
Da bi se probila brzinska barijera od 300 km/h – primena

linearnih motora (linear motor) i

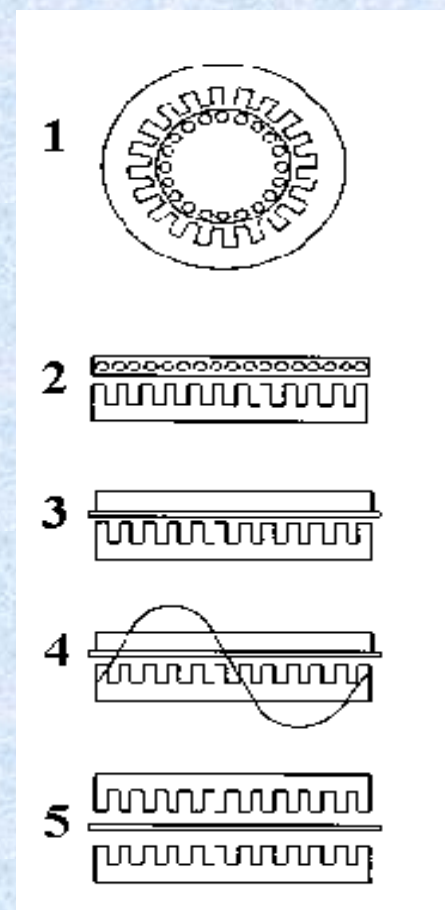
magnetske levitacije (magnetically levitated trains - maglev)

Kako nastaje jedan linearni motor?

Dispozicija (razvijanje) odgovarajućeg rotacionog motora;
Primer dispozicije obrtnog asinhronog motora:



Moguće varijante (2, 3 i 5) dobijene dispozicijom AM):



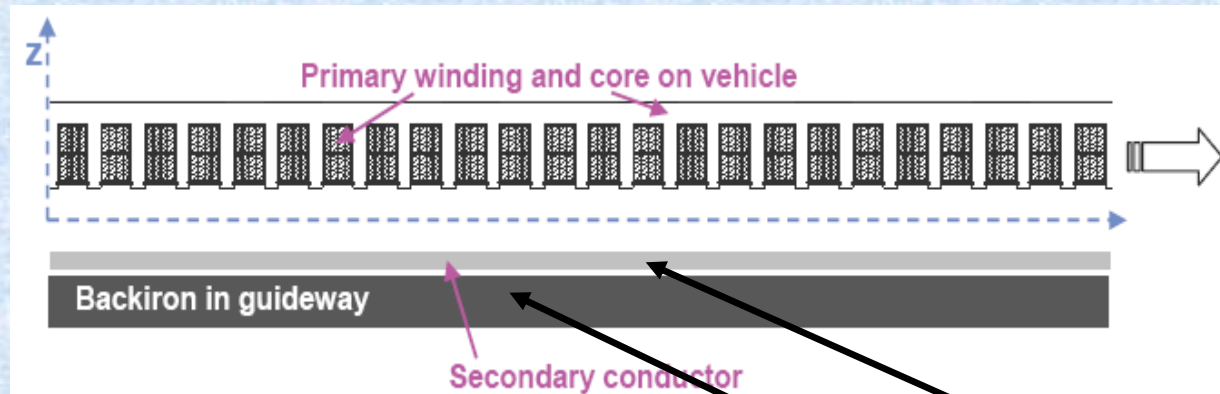
Svaki rotacioni motor ima svoju razvijenu verziju:

U praksi se koriste:

Linearni indukcionni motor (LIM) – Japan i Linearni sinhroni motor (LSM) – Japan, Transrapid (Nemačka – Emslend, Kina – Šangaj)

LIM

LIM sa kratkim statorom (jedino se on koristi):



Gde se koristi?

- metro u Japanu
- za prilaz do JFK aerodroma (New York)
- SkyTrain Millennium linija, Vancouver, Canada
- Kuala Lumpur, Malaysia,

Sekundarno kolo čine:
Provodnik: Aluminijum
Podloga: čelik

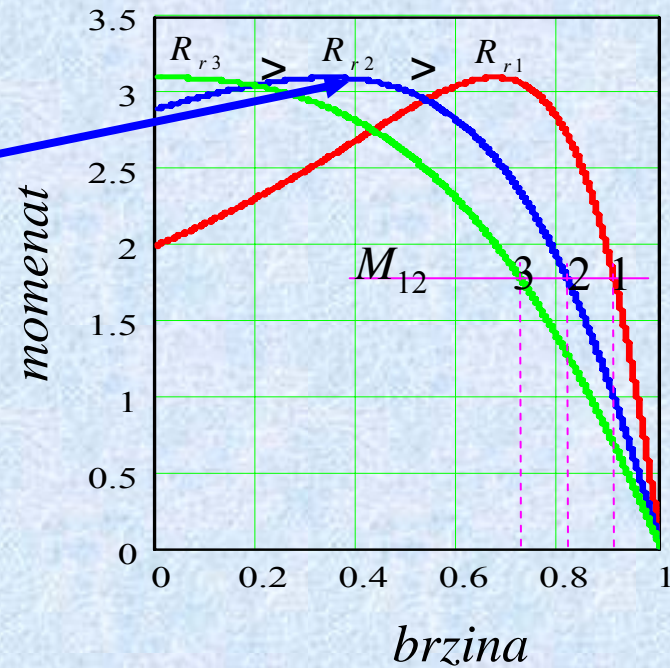
Ciljna grupa: urbani transport (maksimalno do 300 km/h, tipično do 150 km/h)

Kako se montira induktor za jedan motor:

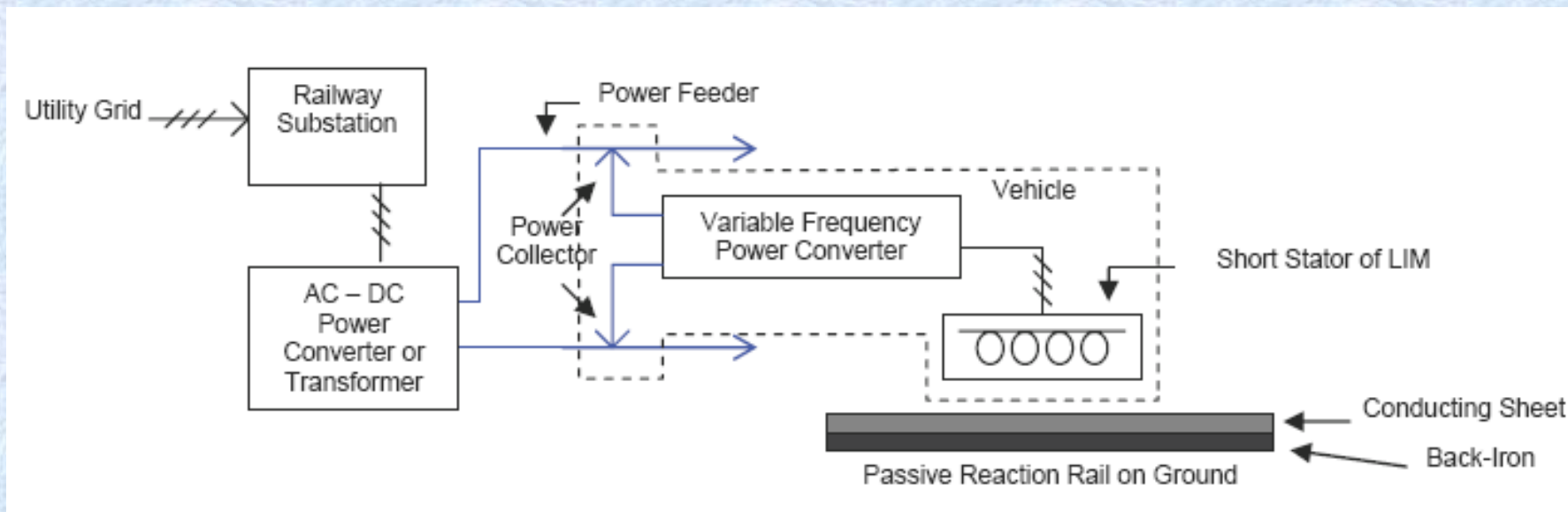
$$m = 850 \text{ kg}, I_n = 1500 \text{ A}, U_n = 750 \text{ V}, F_n = 25 \text{ kN}$$



Izgled njegove mehaničke karakteristike:



Kontaktna mreža za ovakve vozove:



Glavna prednost ovog rešenja:

- najbliži je klasičnim rešenjima;

Mane ovog sistema:

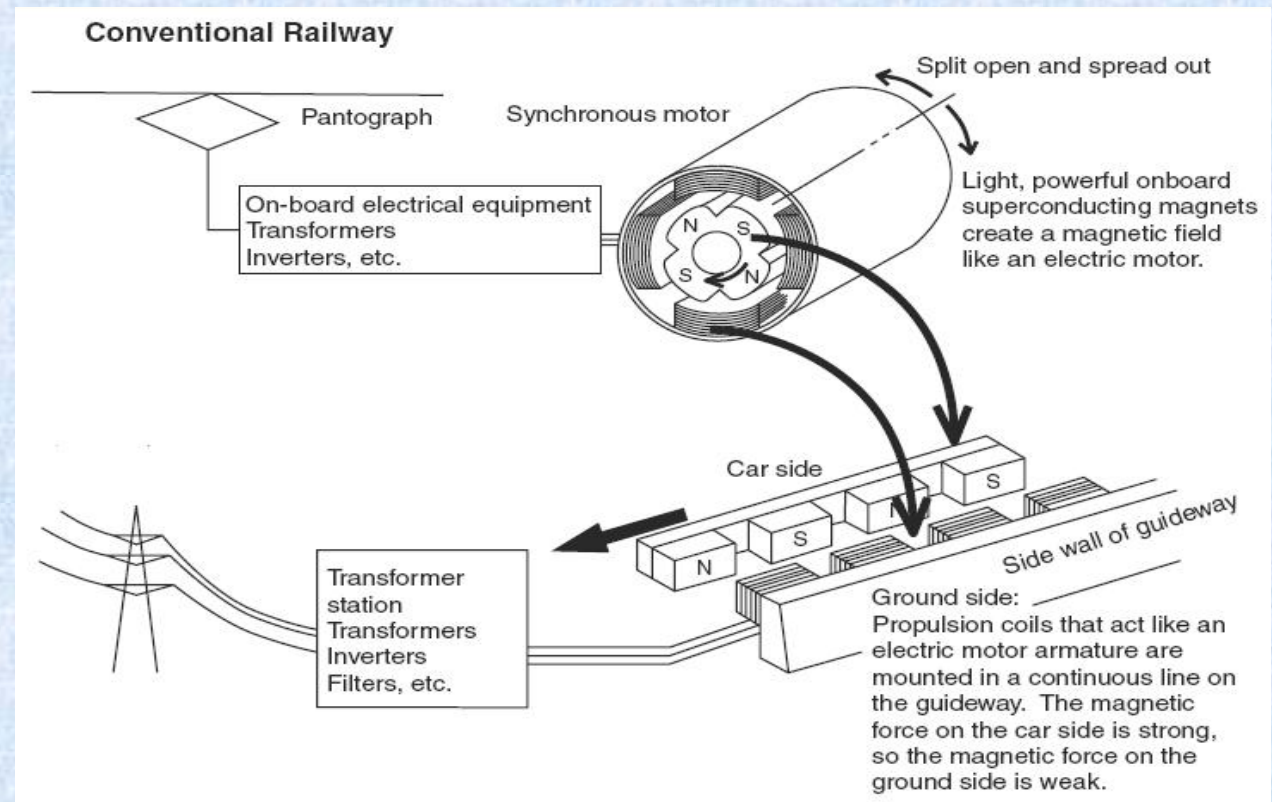
- najniži stepen iskorišćenja od svih vozova sa LM (oko 70 %-75 %) zbog velikog zazora (10-15 mm)
- veća masa električne opreme na vozilu nego kod drugih vozova sa LM
- za brzine do 15 km/h

Primer jedne realizacije: Linimo maglev, Nagoja, Japan

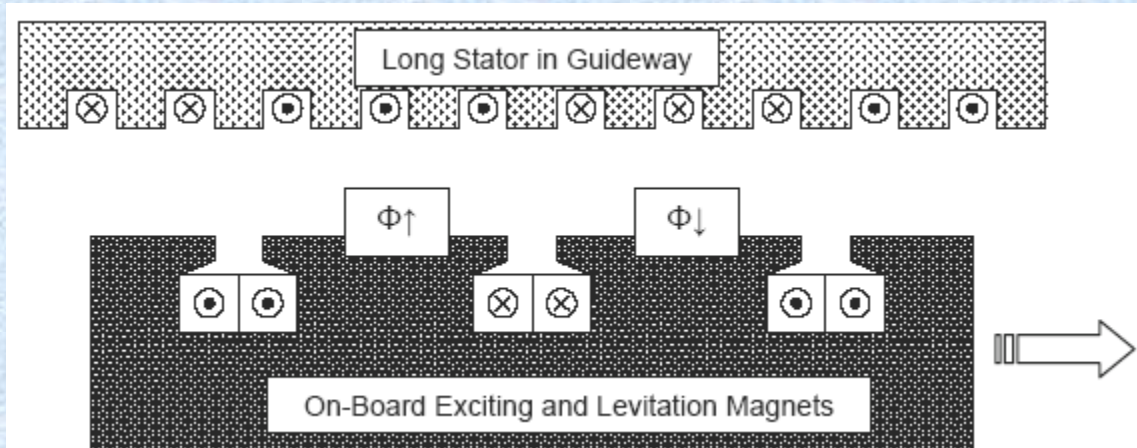


LSM (jedini pravi izbor za $v > 250$ km/h)

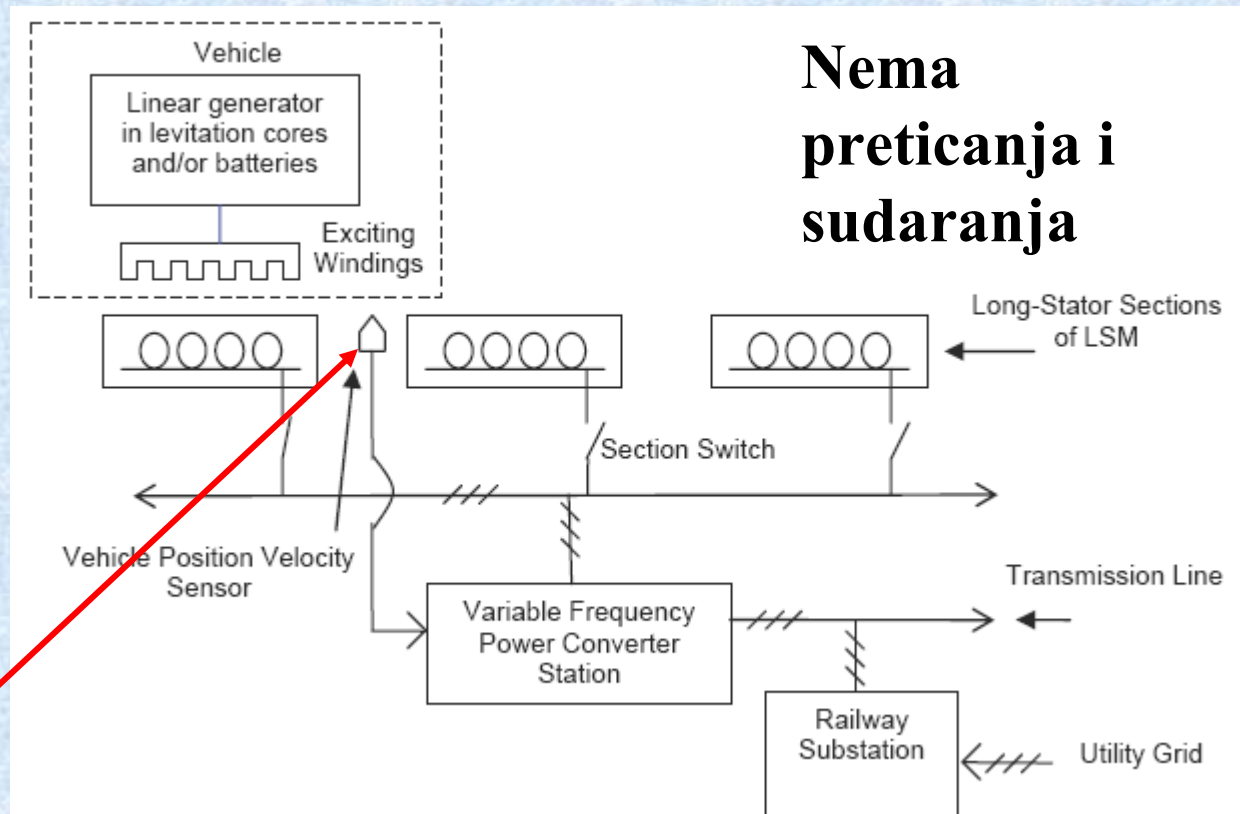
Induktor je na vozilu, a namotaji indukta su u zidu trase (Japan) ili ispod vozila (Transrapid):



Na slici pored je pogled odozgo.



Zbog toga je dugački stator podeljen na mnoštvo sekcija koji se kontrolišu sekcionim prekidačima → manji gubici



Mora se kontrolisati učestanost i faza napojnog napona → napajanje statora se mora sinhronizovati sa brzinom i pozicijom voza → izuzetno precizni merni i prenosni sistem.

Mora: broj konvertora na trasi \geq maksimalnog broj vozova na njoj

Transrapid: stator je ispod vozila (kod njih i nema bočnih zidova)
Japan: stator je u bočnim zidovima (vidi sliku ispod)



Vešanje (Lift ili Suspension) i vođenje (Guidance)

Dva osnovna pristupa:

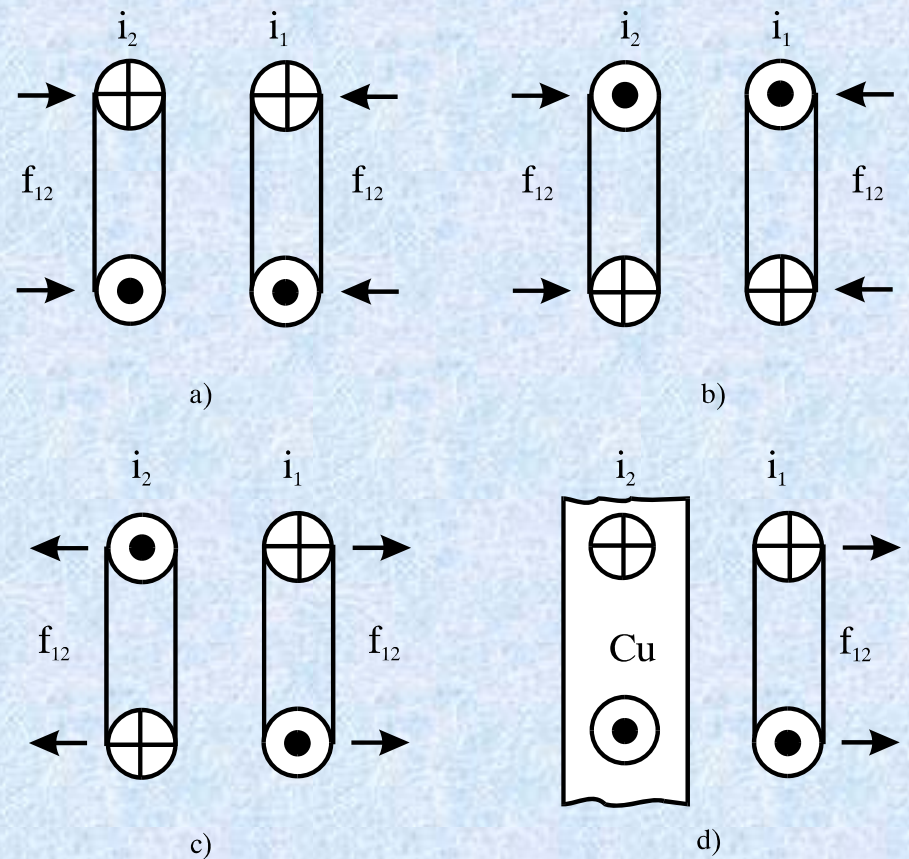
- Elektrodinamičko (EDS) – Japan
- Elektromagnetsko (EMS) - Transrapid

Teorijske osnove vešanja:

Postojanje sila koje žele da povećaju sopstvene induktivnosti (f_1 i f_2 - elektromagnetske sile) i da promene međusobne induktivnosti (f_{12} - elektrodinamička sila):

$$f_1 = \frac{1}{2} i_1^2 \frac{dL_1}{dx} \quad f_2 = \frac{1}{2} i_2^2 \frac{dL_2}{dx}$$

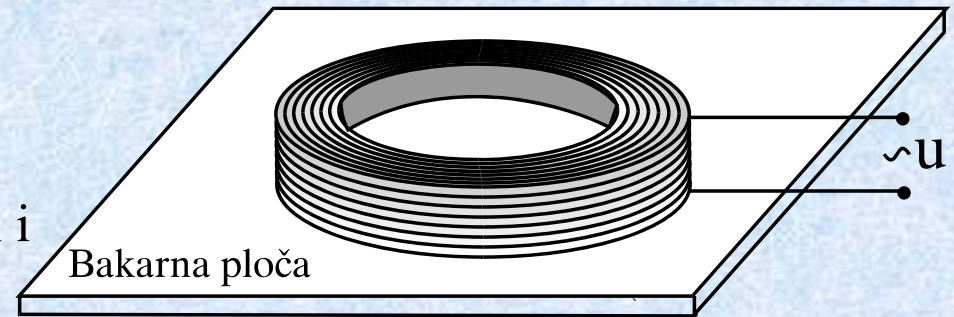
$$f_{12} = i_1 i_2 \frac{dL_{12}}{dx}$$



Slika 1

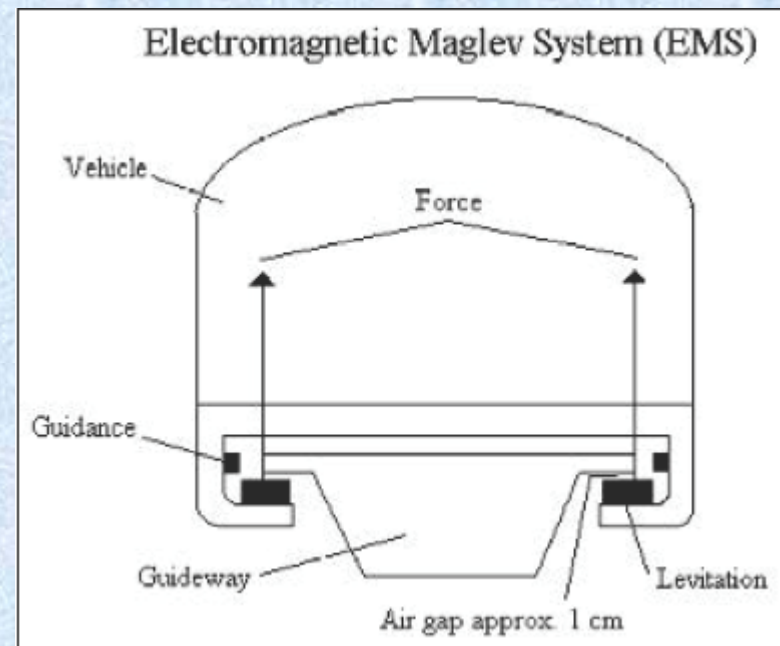
Prikazani ogled

- Ako je ploča bakarna: postoji elektodinamička sila je se u podlozi javljaju vrtložne struje
- Ako je ploča čelična (gvozdена) postoji i elektomagnetska sila.



EMS:

Voz obuhvata čeličnu šinu (J oblik poda voza) i poseduje elektromagnete koji formiraju elektromagnetsku privlačnu silu sa podlogom (**koja je u osnovi stator**) - Transrapid

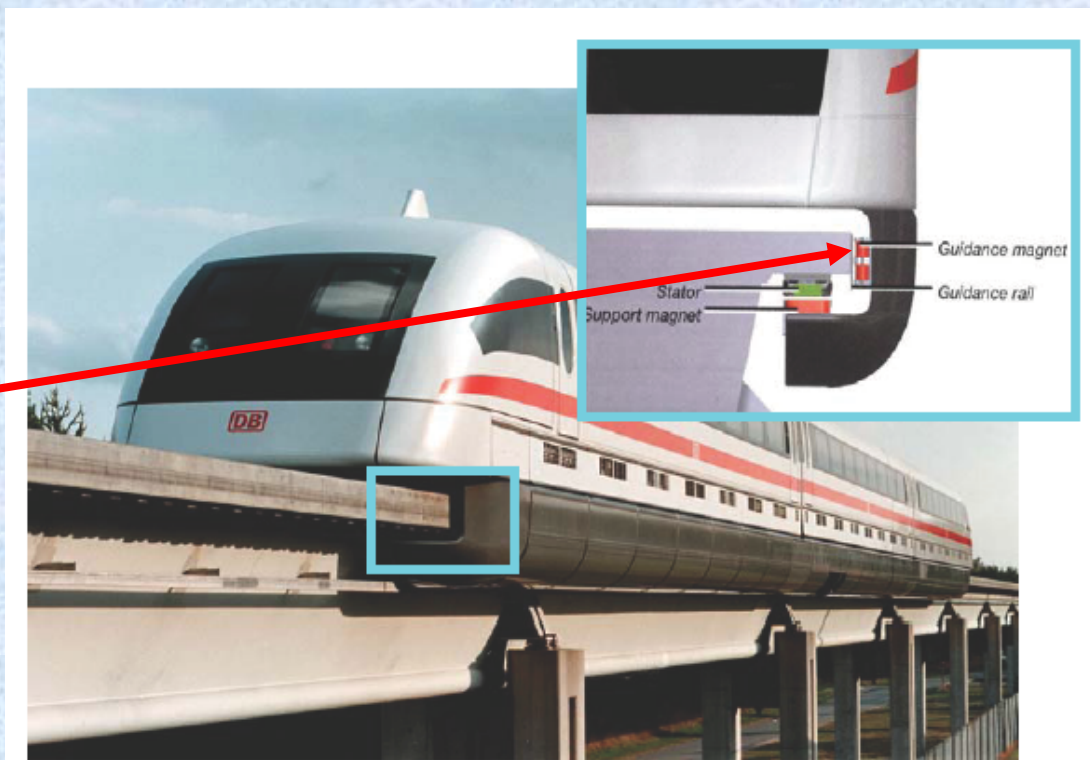


Primer realizacije EMS
vešanja – voz TR08,
Transrapid, Šangaj

Bočni magneti za
vođenja.

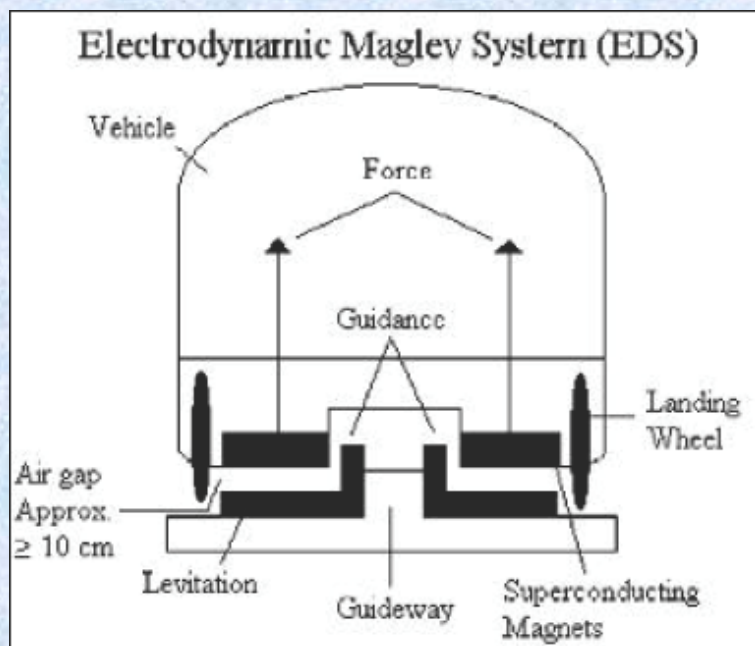
Osobine:

- inherentno nestabilan sistem
- rastojanje iznad elektromagneta: $\leq 1\text{cm}$



EDS:

Elektromagneti se kreću iznad metalne, neferomagnetske podloge, uzrokujući odbojnu silu između elektromagneta i podloge

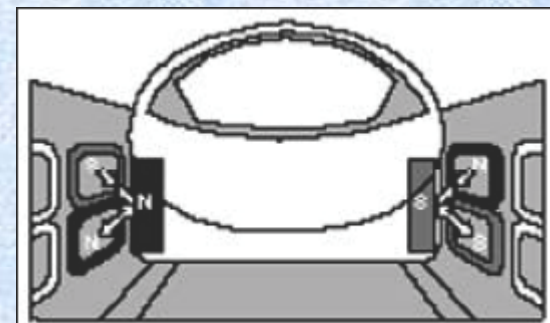
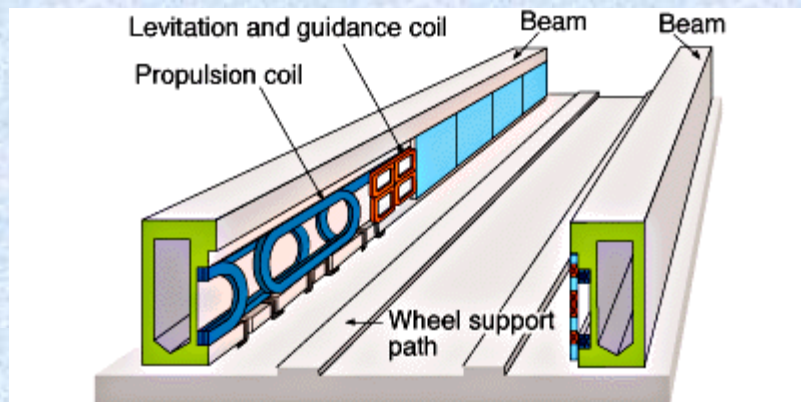


Osobine EDS sistema vešanja:

- inherentno stabilan sistem vešanja → magnetska sila se ne mora menjati isuviše naglo → blagi regulacioni zahtevi
- sporopromenljiva magnetska sila → mogu se koristiti superprovodnici hlađeni helijumom na temperaturi od 5 K → nema gubitaka snage → mogu izuzetno velike struje → postiže se izuzetno jako polje → rastojanje i do 15 cm
- dosta skuplja realizacija (zbog superprovodnika i hlađenja)
- nema levitacije bez dovoljne brzine (preko 100 km/h) → trebaju nam točkovi za polazak i zaustavljanje
- prednost primene točkova je i u bezbednosnom aspektu.

Druga varijanta EDS-a:

Isti namotaji u zidovima staze i služe i za levitaciju i za vođenje

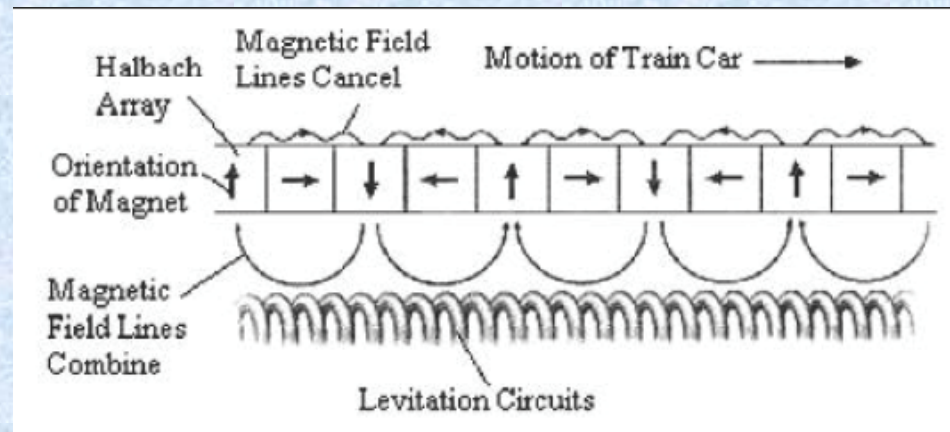


Pravci daljega razvoja:

a) Primena stalnih magnetov

Material	Nd-Fe-B	Sm-Co
BH max	$\sim 400 \text{ kJ/m}^3$	$\sim 200 \text{ kJ/m}^3$
Remnant magnetization	$\sim 1.1\text{-}1.4 \text{ T}$	$\sim 1.1 \text{ T}$
Coercive force	$\sim 900\text{-}1100 \text{ kA/m}$	$\sim 800 \text{ kA/m}$
Curie temperature	310°C	840°C

b) Richard Post: Halbach-ove magnetske matrice – ista sila, ali brez superprovodnika



Osobine MAGLEV vozova:

- nema ograničenja usled adhezije → dostigli granicu maksimalno-dozvoljenog ubrzanja (dva puta više nego najbolji vozovi sa točkovima)
- dostigli brzinsku granicu kretanja na površini zemlje (500 km/h); za veće brzine → smanjenje pritiska (pokušaj u tunelima u Švajcarskoj – 10^8 \$/km); Vizija budućnosti: putovanje kroz vakuumske tube brzinom od oko 1000 km/h
- veliki otpor vazduha oko 40 kp/t (8 puta više nego otpor kotrljanja pri 100 km/h)
- dozvoljeno naginjanje u krivini veće nego vozovi sa točkovima (10^0 naspram 4^0)
- tiši rad
- visoka cena investicija, ali mali troškovi rada (manja potrošnja i manje održavanja)
- polje za EMS (Transrapid) je slabo ali je polje kod EDS (Japan) daleko jače neophodna izolacija → problemi s *pacemaker*-ima.

Šta u slučaju gubitka napajanja:

- Baterije za napajanje i levitaciju 2-15 min;
- Transformacija E_k u E_{el} za podršku vešanju i istovremeno kočenje;
- Primena točkova ili jednostavnih klizaljki.

Dosadašnji železničke nesreće sa MAGLEV vozovima:

- 11.08.2006., Šangaj – požar u vozu – bez žrtava
- 22.09.2006., Emslend pruga, Nemačka – sudar sa kolicima za popravke šina– više poginulih.

Teme za semestralni rad:

- a) TGV – iskustva sa primenom vučnih motora naizmenične struje
- b) Shinkansen železnički sistem
- c) Savremeni energetske prekidači za primenu u vučnim pogonima.
- d) Obrtna postolja i savremeni sistemi vešanja
- e) Višesistemske lokomotive
- f) Pomoćni pogoni na električnim vučnim vozilima
- g) Sistemi automatskog upravljanja savremenih elektromotornih vozova (ATS, ATC, ATO)
- h) Mehaničko kočenje voza
- i) Tehnike PWM
- j) Tehnike kočenja vozila sa asinhronim motorima
- k) LIM i LSM – uporedna analiza
- l) LM – tehnike vešanja i vođenja i pogona
- m) Transrapid-ov koncept vučnih pogona sa linearnim motorima
- n) Japanski koncept vučnih pogona sa linearnim motorima
- o) Šangajska pruga sa linearnim motorima
- p) Kontaktna mreža i podstanice jednosmerne struje
- q) Kontaktna mreža i podstanice naizmeničnog sistema vuče
- r) Električni vučni sistemi u GSB
- s) Električni vučni sistemi Železnica Srbije

- Rad u parovima
- Obim semestralnog rada 16+2 strane
- Font Times New Roman, tastatura Serbian (latin)
- Margine 2 cm
- Predaja radova: počev od 14.01.2008. – tačan datum i raspored će biti naknadno objavljen.

Interesantni sajtovi:

TGVweb

www.railway-technical.com

<http://cegt201.bradley.edu/projects/proj2006/maglev/>