

PRIMENA LINEARNIH MOTORA U ELEKTRIČNOJ VUČI

Predmet: Električna vozila

Elektrotehnički fakultet Beograd

Zašto se uvode linearni motori u vuči?

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

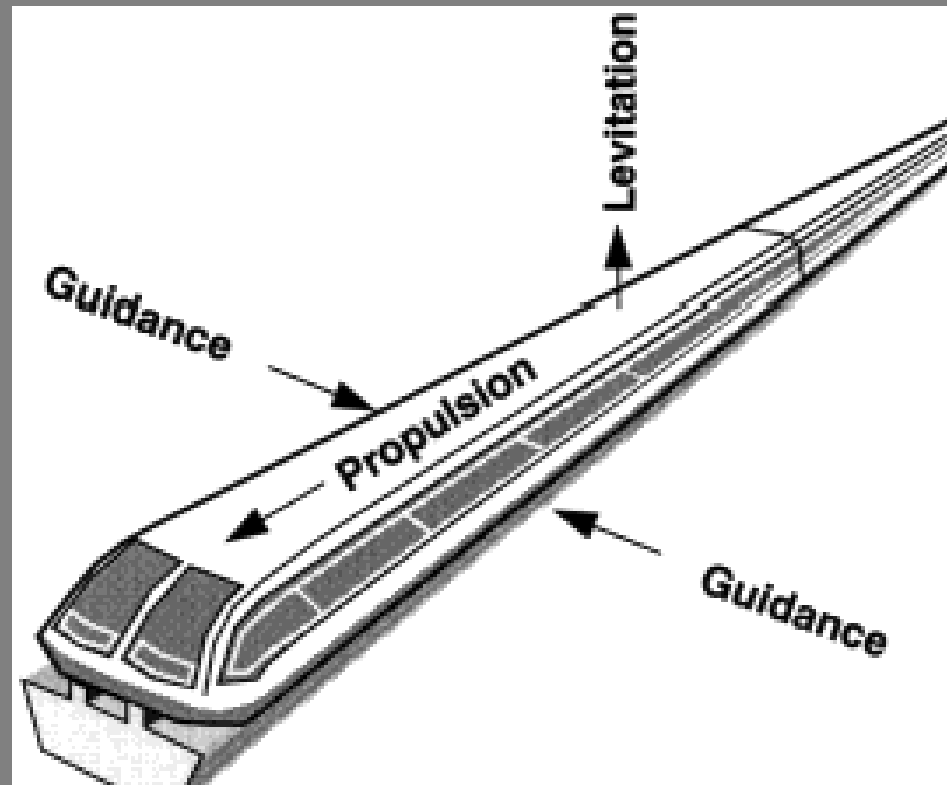
- zahtevaju i do 50 km za zaletanje;
- teški su i preko 500 t;
- drastično su skuplji nego vozovi iste snage, a manje brzine;
- postoji problem intenzivnog trošenja točkova i održavanja mehaničkih podсистema;
- zahtevaju obavezne nadvožnjake pri ukrštanju sa drumskim saobraćajem;
- bučni i nemirni na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

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

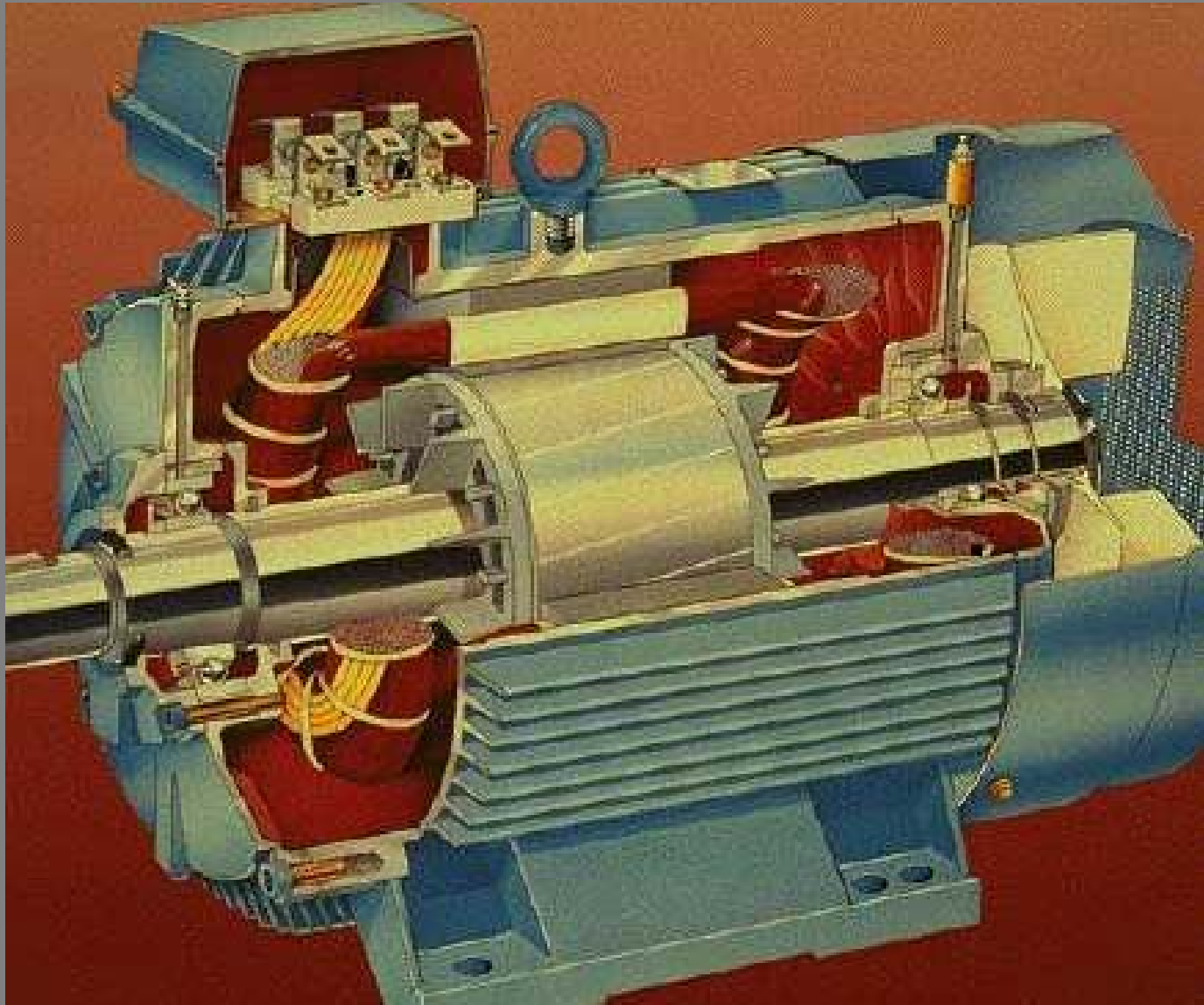
- linearnih motora (linear motor) i
- magnetske levitacije (magnetically levitated trains - maglev)

Primarne funkcije maglev tehnologije

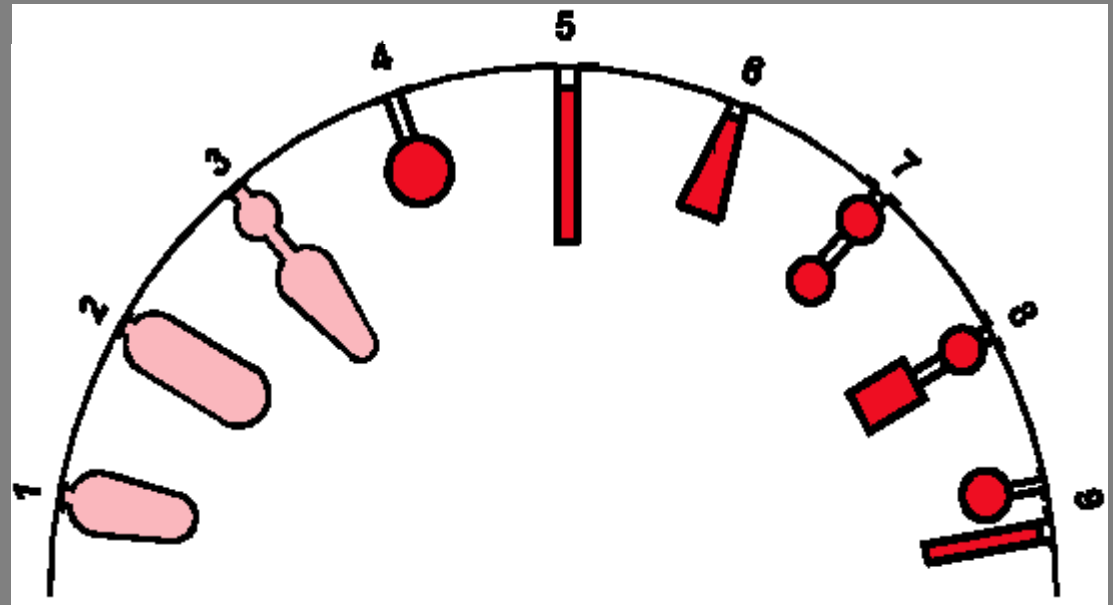
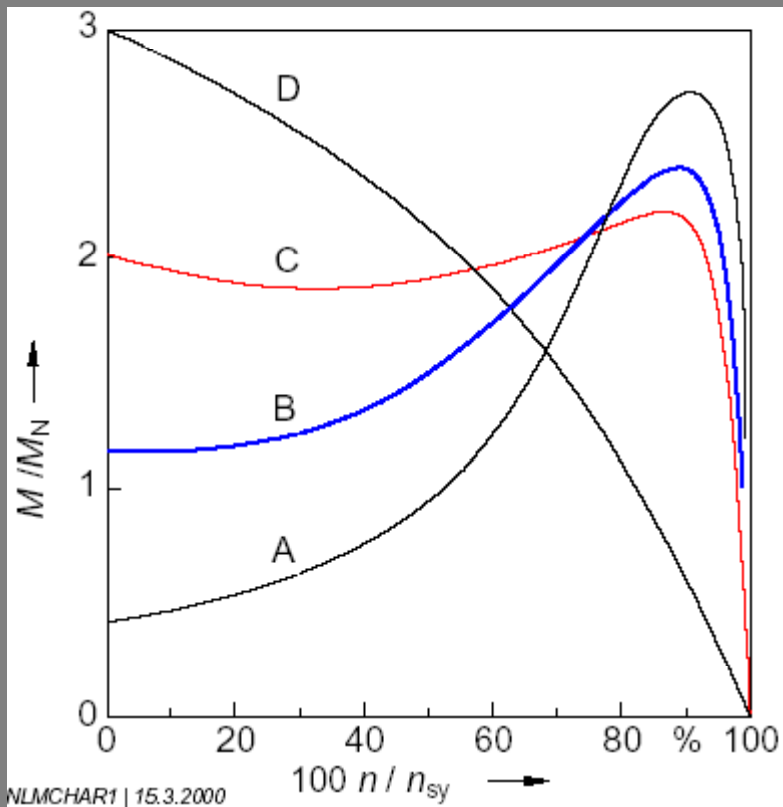
- Levitacija
- Pogon(vučā)
- Vođenje



Asinhroni motor

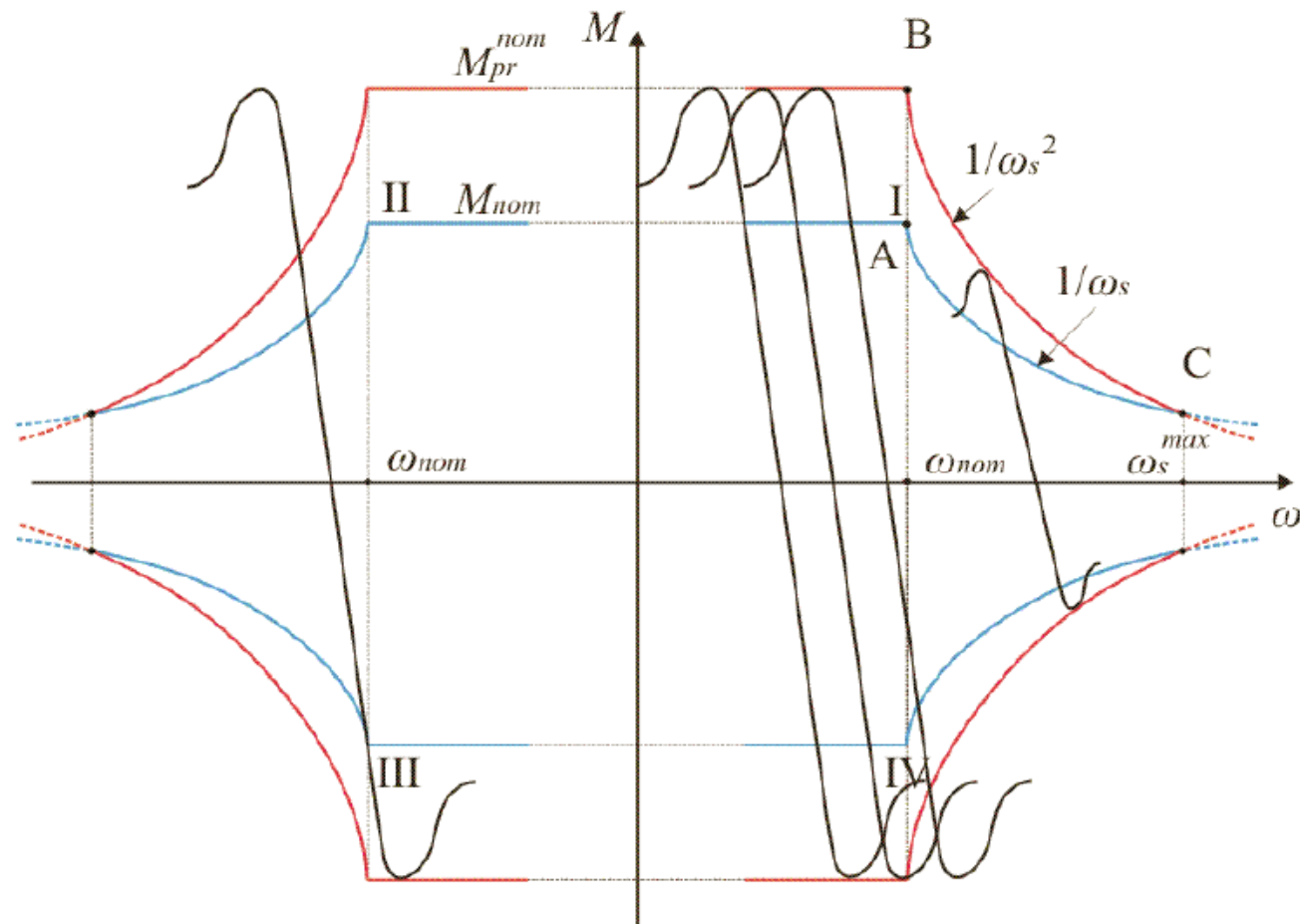


Oblici žlebova rotora i statičke karakteristike



- A - round bar (4)
- B - wedge bar (6), deep bar (5), pear-shaped slot (1)
- C - double slot (3), double cage (7, 8, 9)
- D - high resistance rotor (e.g. brass, bronze, silumin)

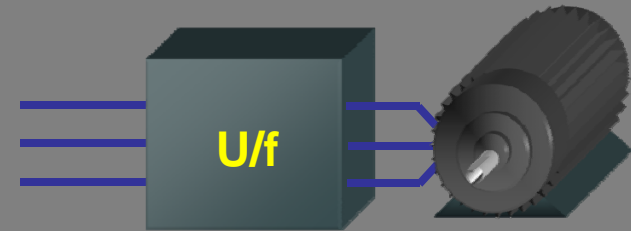
Četvorokvadrantni rad



Upravljanje AM

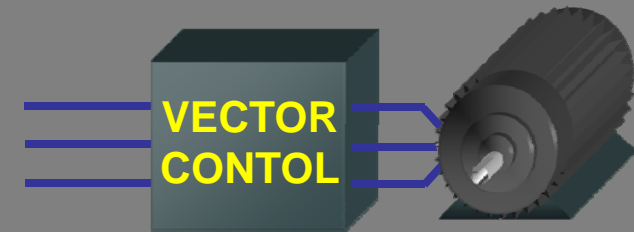
“U/f” pogon

- Otvorena povratna petlja po brzini sa ili bez kompenzacije klizanja.
- Zatvorena povratna petlja po brzini.

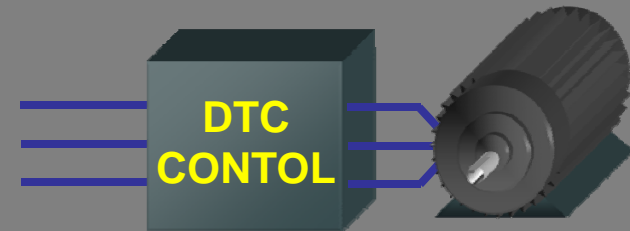


Pogon sa “Vektorskom regulacijom”

- sa davačem pozicije ili bez (*sensorless*)
- direktna ili indirektna vektorska regulacija (DVC ili IVC)



Pogon sa “Direktnom kontrolom momenta - DTC”



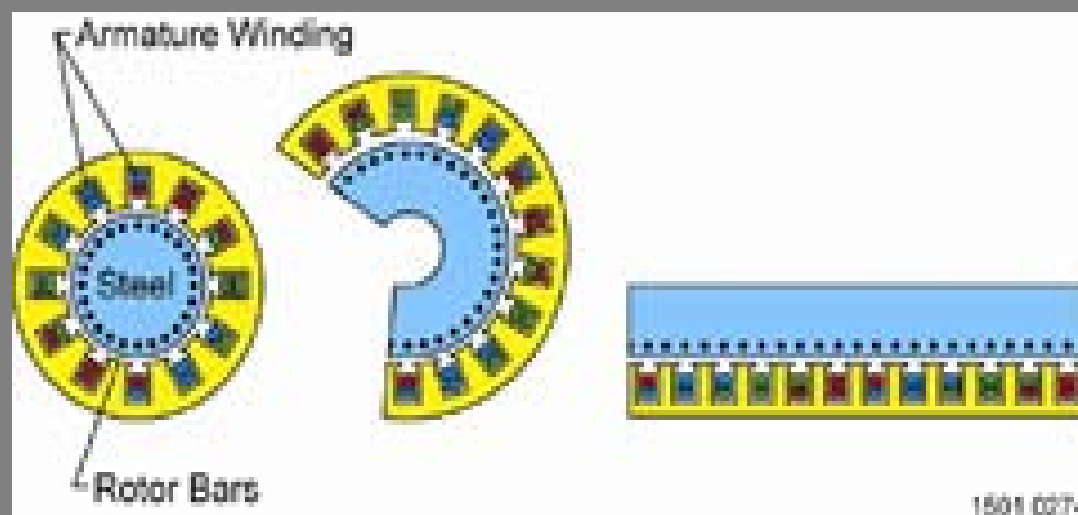
Interesovanje je usmereno na
U/f pogone



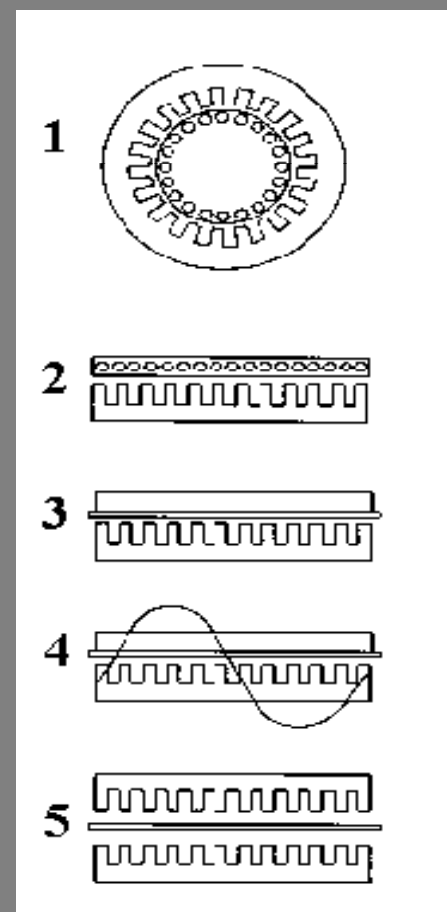
VVVF Invertor

Kako nastaje jedan linearni motor?

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



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



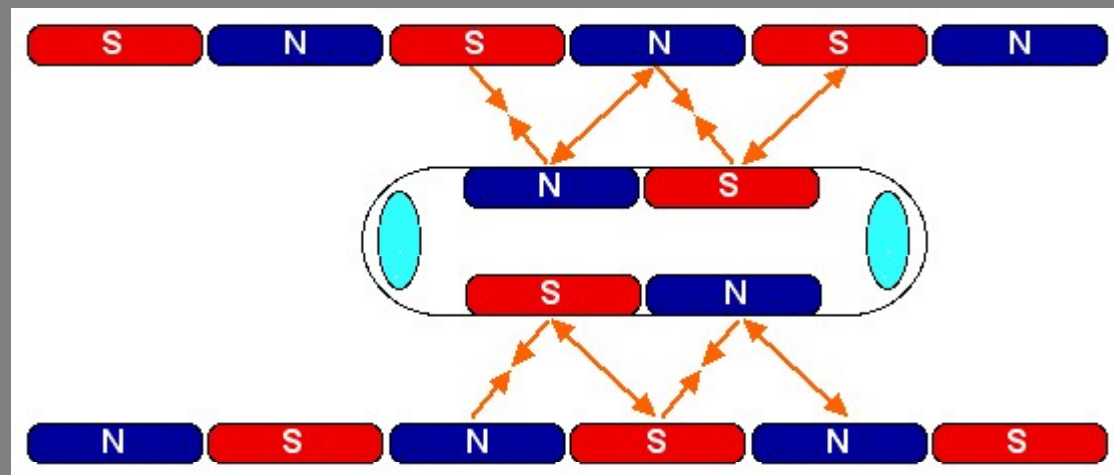
Svaki rotacioni motor ima svoju razvijenu verziju:

U praksi se koriste:

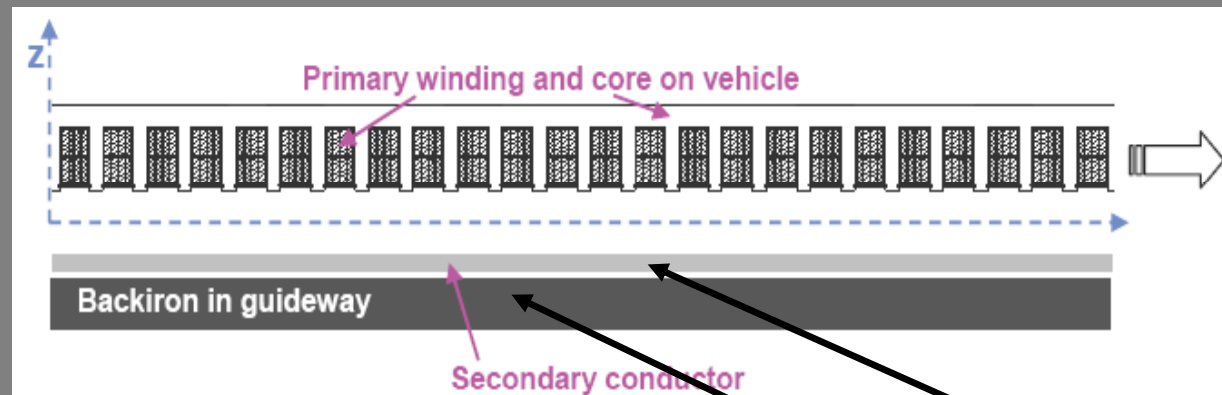
- Linearni indukcionni motor (LIM) – Japan
- Linearni sinhroni motor (LSM) – Japan, Transrapid (Nemačka – Emslend, Kina – Šangaj)

LINEARNI INDUKCIONI MOTOR (LIM)

Princip rada linearnog indukcionog motora (slikoviti prikaz)



LIM sa kratkim statorom:



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

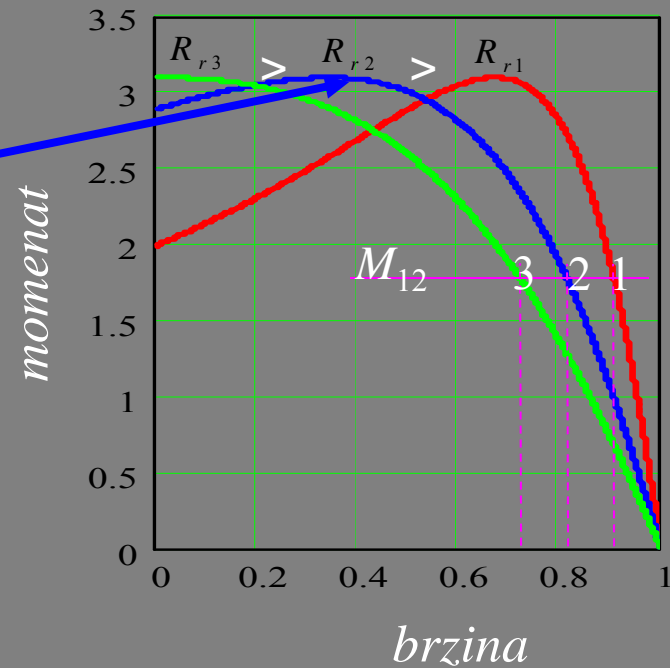
Ciljna grupa: urbani transport (maksimalno do 300 km/h, tipično do 150 km/h)

Kako se montira induktor za jedan motor:

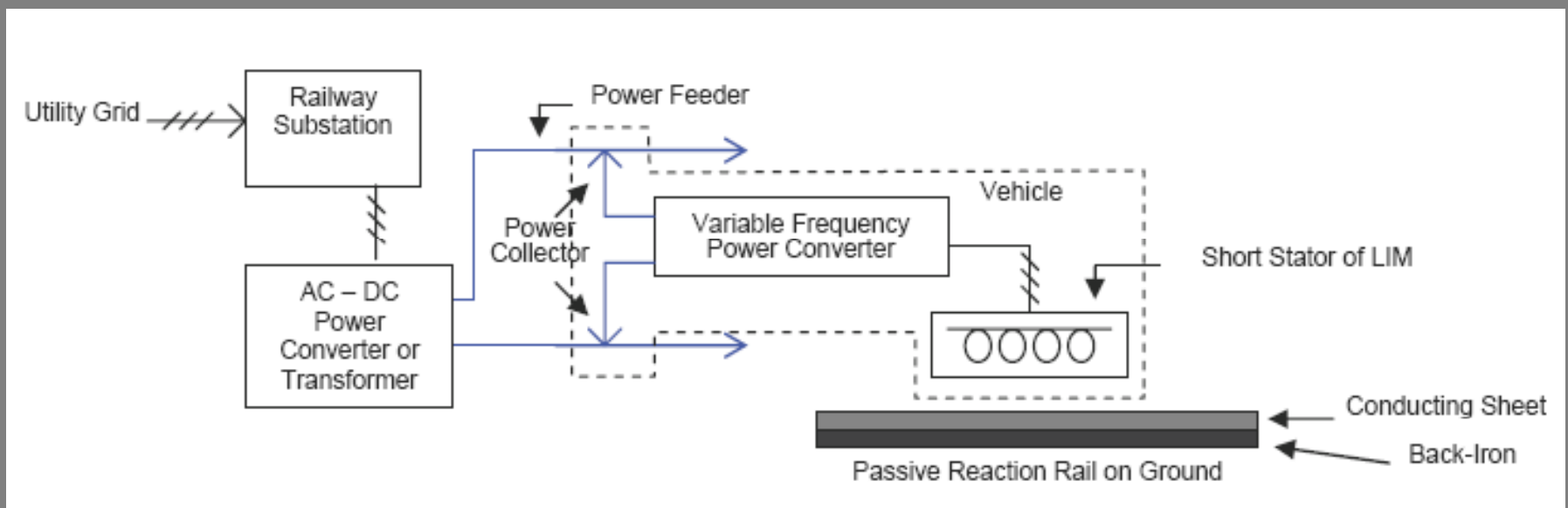
$$m = 850 \text{ kg}, I_n = 1500 \text{ A}, U_n = 750 \text{ V}, F_n = 25 \text{ kN}$$



Izgled njegove mehaničke karakteristike:



Kontaktna mreža za ovakve vozove:



Glavna prednost ovog rešenja:

- najsljedniji 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

Primeri realizacije:



PRIMENA LINEARNIH MOTORA U ELEKTRIČNOJ VUČI

Predmet: Električna vozila

Elektrotehnički fakultet Beograd

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

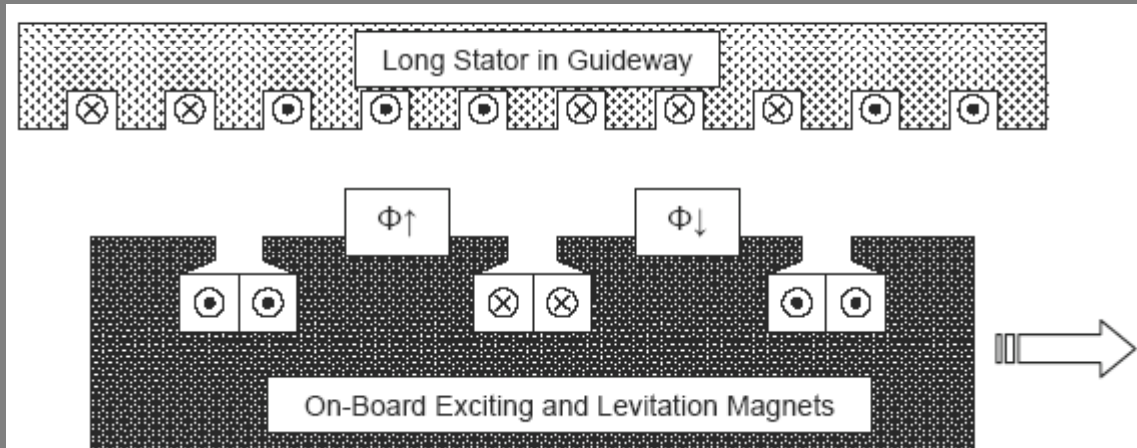
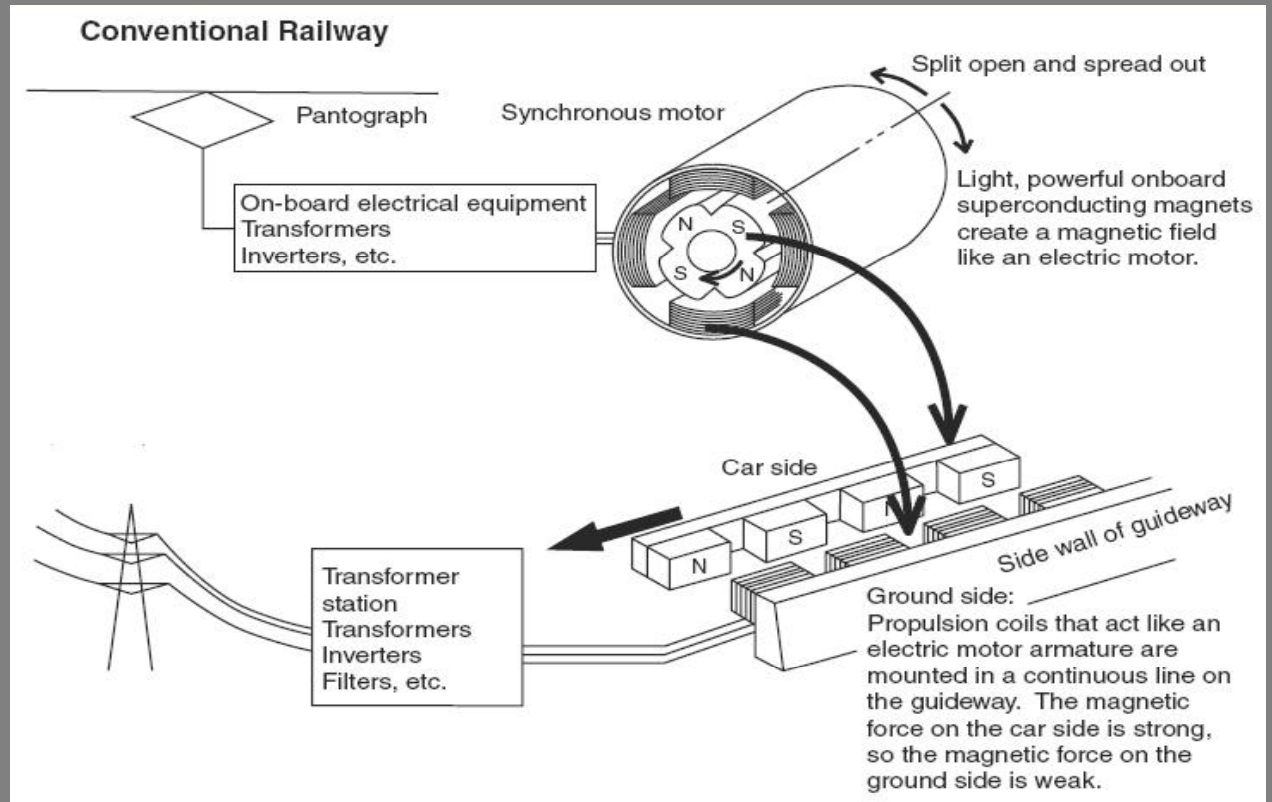
Pogon sa dugim statorom

Namotaji statora:

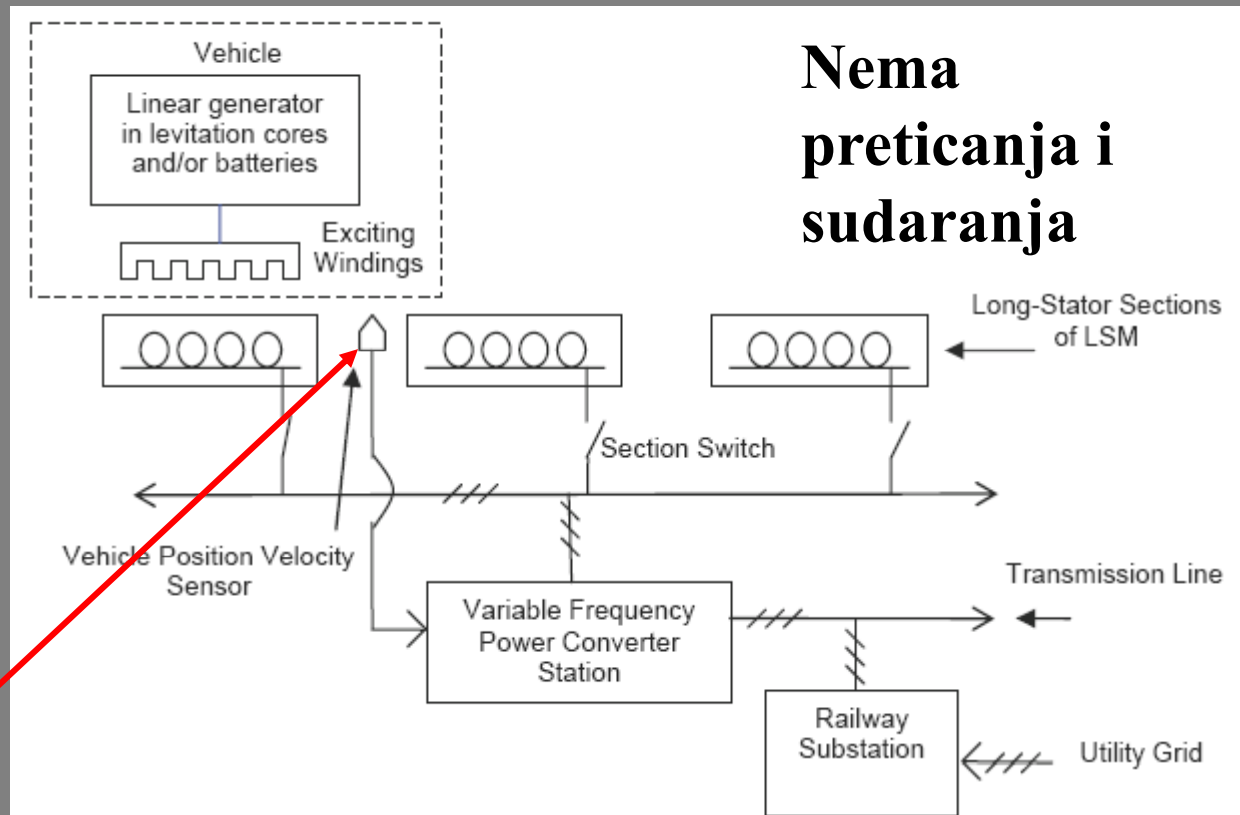
- u zidu trase (Japan)
- ispod vozila (Transrapid)

Rotor je na vozilu

Na slici pored je pogled odozgo:



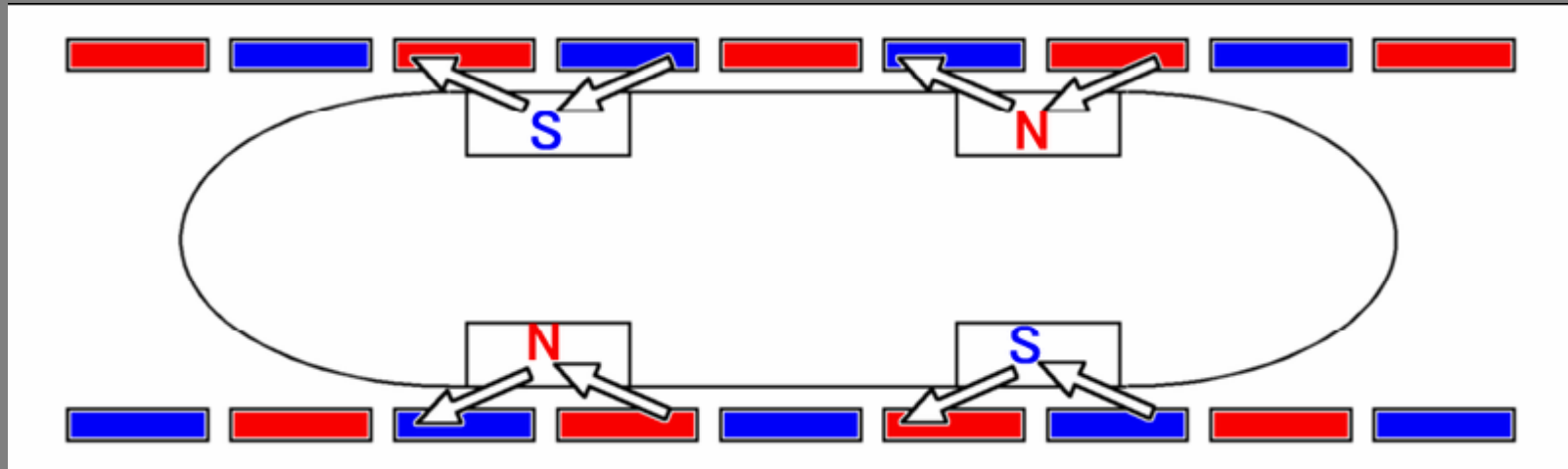
Dugački stator je podeljen na sekcije koje se kontrolišu sekcionim prekidačima što rezultuje manje gubitke



- mora se kontrolisati učestanost i faza napojnog napona
- napajanje statora se mora sinhronizovati sa brzinom i pozicijom voza
- izuzetno precizni merni i prenosni sistemi

Broj konvertora na trasi \geq maksimalnog broj vozova na njoj

Privlačna i odbojna sila magneta koriste se za pokretanje voza



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



Pogonski kalemovi duž pruge služe da stvore silu u magnetima na vozilu i tako pokrenu vozilo unapred

Vešanje (Lift ili Suspension) i vođenje (Guidance)

Nova tehnologija vešanja i održavanja vozila bez kontakta sa trasom

Dva osnovna pristupa:

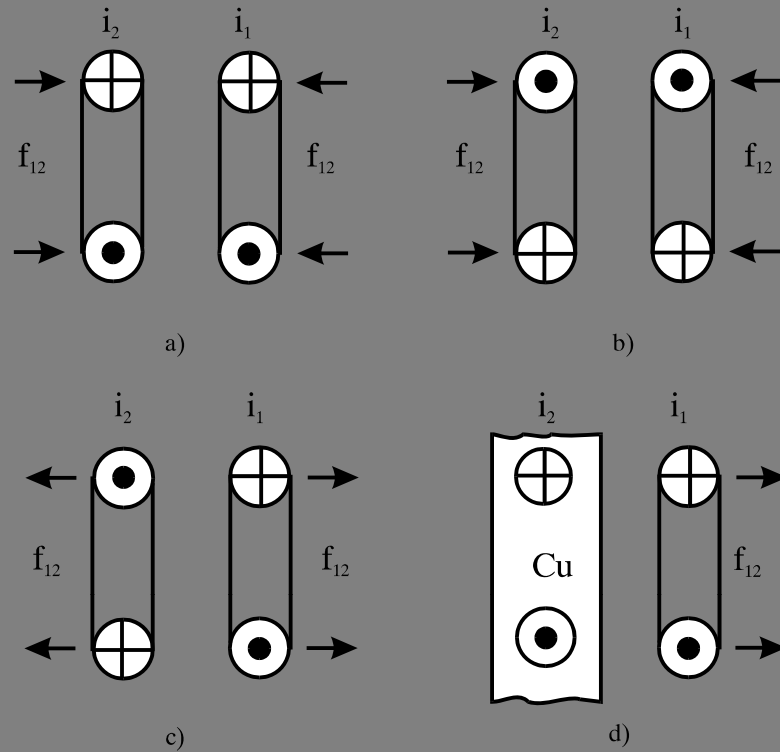
- Elektrodinamičko (EDS) – Japan
- Elektromagnetsko (EMS) - Transrapid

Teorijske osnove vešanja:

- Elektromagnetske sile žele da povećaju sopstvene induktivnosti (f_1 i f_2)
- Elektrodinamičke sile teže da promene međusobne induktivnosti (f_{12})

$$f_1 = \frac{1}{2} i_1^2 \frac{dL_1}{dx} \quad f_2 = \frac{1}{2} i_2^2 \frac{dL_2}{dx} \quad f_{12} = i_1 i_2 \frac{dL_{12}}{dx}$$

Srednja vrednost međugvožđa održava se stalnom kontrolom napajanja magnetna

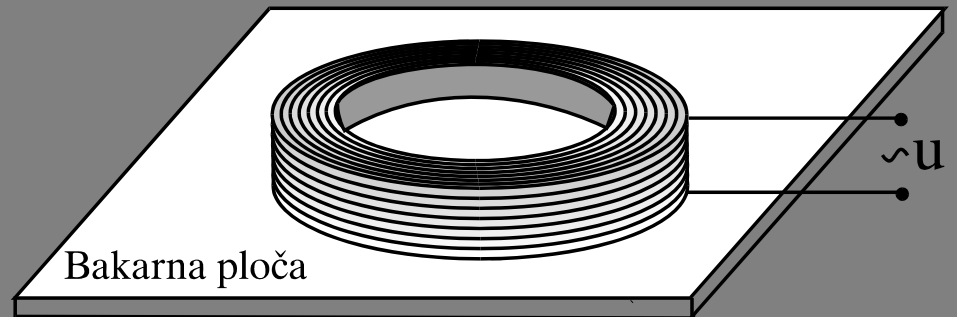


Bakarna ploča:

- postoji elektodinamička sila i u podlozi se javljaju vrtložne struje

Čelična (gvozdена) ploča:

- postoji elektomagnetska sila

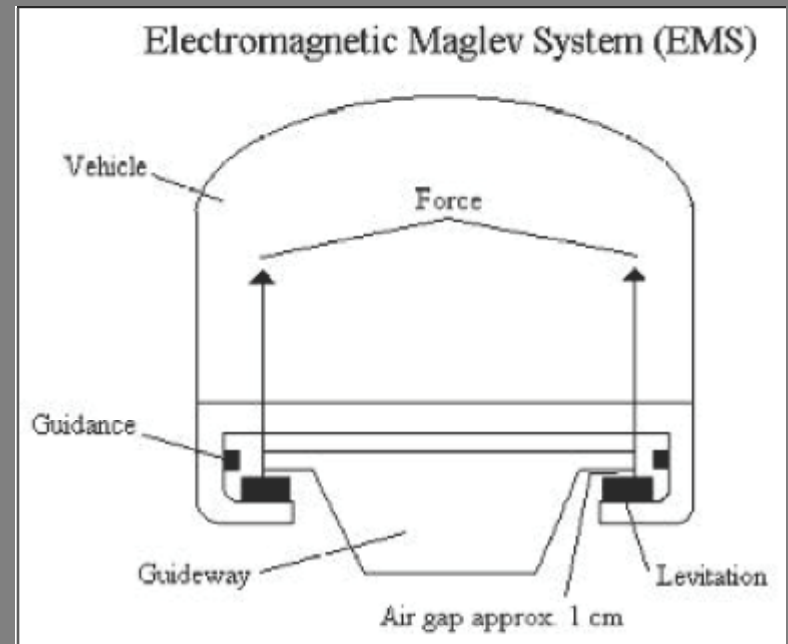


Elektromagnetno vešanje (EMS- Electromagnet suspension)

- Elektromagneti na vozilu su u interakciji sa feromagnetskim materijalom duž pruge
- Ovakav pristup je karakterističan za nemačku firmu Transrapid i njenu železnicu
- Zazor mora biti mali, da bi se mogle ostvariti dovoljne magnetske sile i istovremeno smanjile potrebe u energiji za vešanjem i održavanjem

EMS:

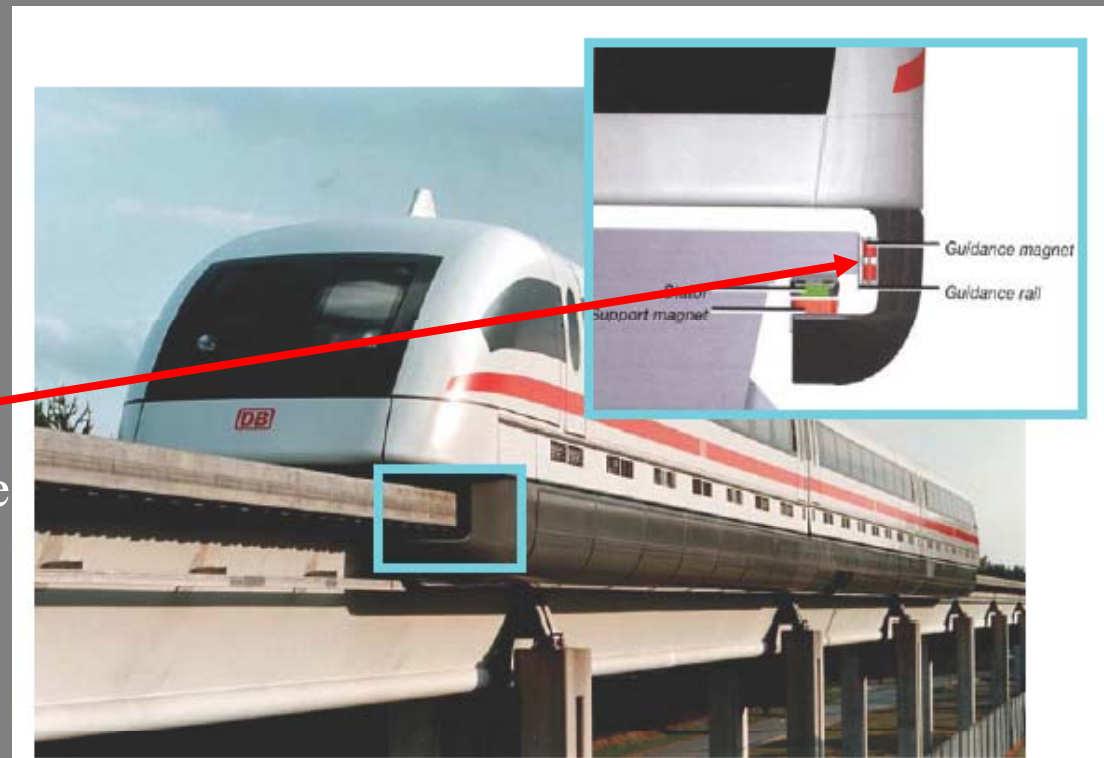
- Voz obuhvata čeličnu šinu (J oblik poda voza)
- Posедуje elektromagnete koji formiraju elektromagnetsku privlačnu silu sa podlogom (**koja je u osnovi stator**) - Transrapid



•Primer realizacije EMS vešanja – voz TR08, Transrapid, Šangaj

•Osobine:

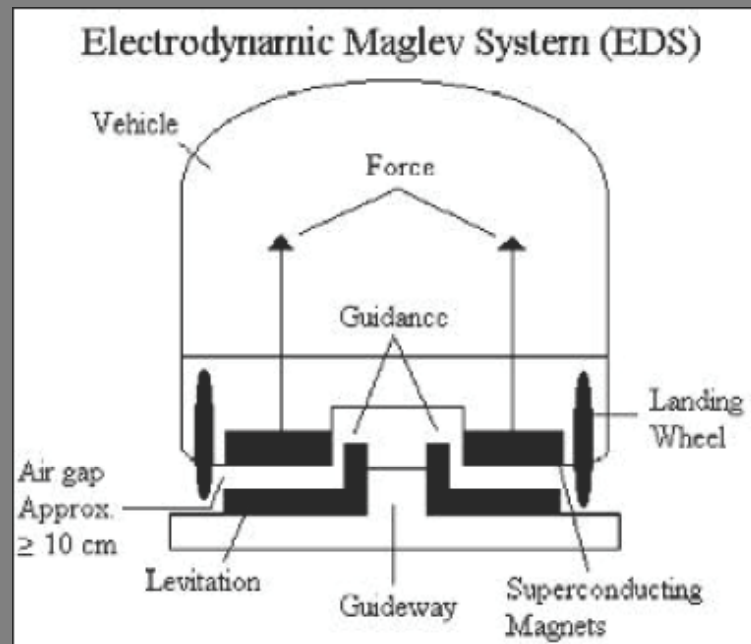
- inherentno nestabilan sistem
- rastojanje iznad elektromagneta: $\leq 1\text{ cm}$



Bočni magneti za vođenje

Elektrodinamičko vešanje (EDS- Electrodynamic suspension)

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

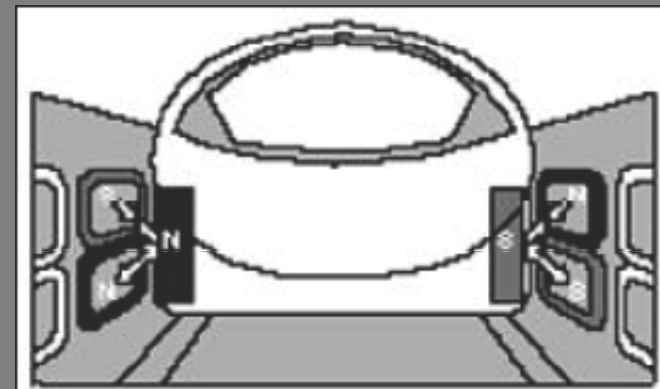
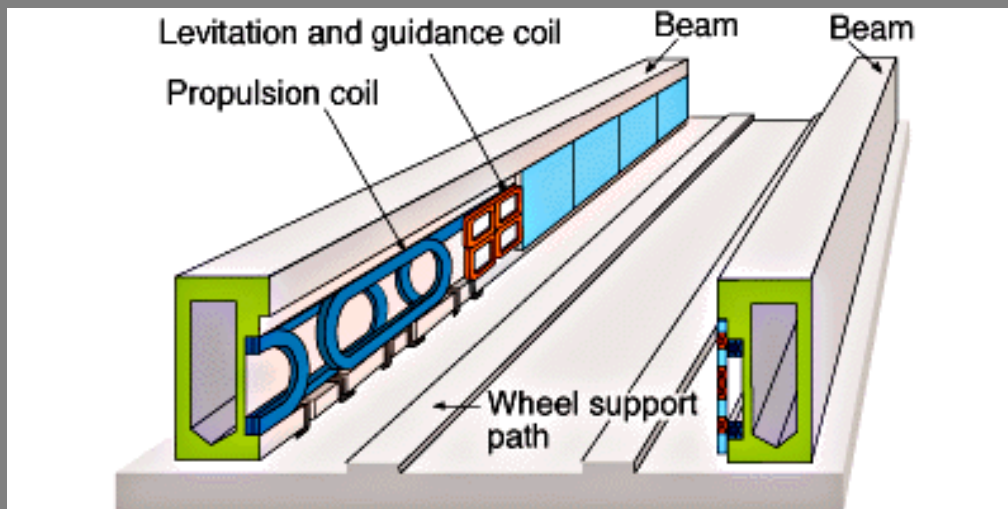


Osobine EDS sistema vešanja:

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

Druga varijanta EDS-a:

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



Pravci daljega razvoja:

Primena kriogenih i superprvodnih magnetna

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

Osobine MAGLEV vozova:

- nema ograničenja usled adhezije
- dostignuta brzinska granicu kretanja na površini zemlje (500 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 kod vozova sa točkovima (10^0 naspram 4^0)
- visoka cena investicija, ali mali troškovi rada
- polje za EMS (Transrapid) je slabo ali je polje kod EDS (Japan) daleko jače
- problemi sa *pacemaker*-ima

U slučaju gubitka napajanja:

- a) Baterije za napajanje i levitaciju 2-15 min;
- b) Transformacija E_k u E_{el} za podršku vešanja i istovremeno kočenje;
- c) 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.