**Električna Vuča**

Seminarski Rad

Www.Maturski.Org

**Sadržaj:**

Uvod.........................................................................................................................1

Istorijat.....................................................................................................................2

Objašnjenje Zašto Se Koriste Motori Js Sa Rednom Pobudom...................................4

Naponi U Električnoj Vuči..........................................................................................5

Razmotrimo Redni Motor Jednosmjerne Struje........................................................7

Veza Između Dimenzija Transformatora...................................................................9

Finansiska Isplativost Regulisanjem Napona............................................................10

Vučni Zahtjevi..........................................................................................................11

Modelovanje Vučnog Sistema.................................................................................13

Elementi Modela Vučnog Sistema...........................................................................14

Statička Jednačina Vučne Sile..................................................................................16

Dinamičko Ponašanje Vučnog Sistema....................................................................17

Sile Koje Se Opiru Kretanju......................................................................................18

Stalni,Povremeni I Inercijalni Otpori Kretanju.........................................................19

Opšta Jednačina Vuče .............................................................................................20

Formulacija Vučnih Zahtjeva...................................................................................21

Adhezija..................................................................................................................22

Pregled Postojećih Elektromotora Sa Osvrtom Na Njihovu Primjenu U Električnoj Vuči.....................................................................................................23

Mašine Za Naizmjeničnu Struju...............................................................................24

Sinhroni Vučni Motori.............................................................................................25

Asinhroni Vučni Motori...........................................................................................26

Linearno Indukcioni Motor.....................................................................................27

Prekidački Reluktantni Motori.................................................................................28

Električni I Hibridni Automobili................................................................................29

Zaključak.................................................................................................................30

Literatura................................................................................................................31

**uvod:**

**Podjela Vozila Može Da Se Izvrši Na Nekoliko Načina:**

1. Po Načinu Napajanja Energijom Razlikuju Se:

A) Autonomna Vozila;

(Rezervoar Energije Koji Je Potreban Za Kretanje Imaju Sa Sobom, Što Predstavlja Izvesnu Nepraktičnost, Ili Na Sebi Imaju Zamajac, Što Znači Da Je Vozilo Uslovno Autonomno.)

B) Napajana Vozila;

(Na Sebi Nemaju Nikakav Izvor Električne Energije Pa Se Napajanje Obezbeđuje Preko Provodnika.)

2. Po Načinu Oslanjanja Na Podlogu, Tj. Po Ogibljenju, Razlikuju Se:

A) Drumska Vozila;

(Točak Je Od Pneumatika Sa Relativno Velikim Ugibanjem.)

B) Šinska Vozila;

(Točak Je Od Čelika, Podloga Je Tvrda, Ugibanje Je Mnogo Manje.)

C) Vozila Sa Levitacijom.

(Nema Kontakta Sa Podlogom, Što Znači Da Nema Te Vrste Trenja. Ispod Vozila Može Da Bude Nadpritisak Pri Čemu Su Vozila Na Vazdušnom Jastuku, Ili Može Da Se Koristi Magnetna Levitacija Pri Čemu Se Indukuje Magnetno Polje U Podlozi Najčešće Preko Namotaja U Samom Vozilu. Ovde Nema Točkova Pa Se Koristi Linearni Motor. Lebdenje Je Od Značaja Za Ostvarenje Velikih Brzina, Čak I Do 500 [Km/h]. Mana Ovakvih Vozila Je U Malom Stepenu Iskorišćenja Motora Η=0.65-0.68.

3. Tipovi Vučnih Motora Koji Se Koriste U Električnoj Vuči:

A) Obrtne Mašine;

(Motori Jednosmerne Struje, Asinhroni I Sinhroni Motori, Reluktantni Motori)

B) Linearni Motori.

4. Načini Upravljanja Vučnom Silom:

A) Disipativno (Postoji Gubitak Električne Snage);

B) Nedisipativno (Koriste Se Čoperi, Nema Gubitka Električne Snage).

**Istorijat:**

Prva Električna Vuča Ostvarena Je 1812. Godine U Rusiji, U Petrogradu, Na Rijeci

Nevi, Električnim Pokretanjem Jednog Brodića. Kao Vučni Motor Korišćen Je Redni

Motor Jednosmjerne Struje, A Kao Napajanje Jedan Akumulator - Izvor Jednosmjernog

Napona.



Sl. 1. Zamenska Šema Motora Jednosmjerne Struje Sa Nezavisnom Pobudom



Sl. 2. Mehanička Karakteristika Motora Js Sa Nezavisnom Pobudom

Na Osnovu Mehaničke Karakteristike Vidi Se Da Motor Jednosmjerne Struje Sa Nezavisnom Pobudom Nije Pogodan Zbog Toga Što Radi U Uskoj Oblasti Oko Brzine Praznog Hoda. Kod Ove Karakteristike Strmina Je Velika, Odnosno Tvrda.

Brzina Ovog Motora Se Mijenja Promjenom Napona Uab. To Se U Xix Vijeku Radilo Vezivanjem Električnog Otpora Pa Su Se Imali Veliki Gubici Električne Energije.



Sl. 3. Zamenska Šema Motora Jednosmjerne Struje Sa Rednom Pobudom



Sl. 4. Mehanička Karakteristika Motora Js Sa Rednom Pobudom

**Objašnjenje Zašto Se Koriste Motori Js Sa Rednom Pobudom:**

Glavni Razlog Za Korišćenje Je Taj Što Je Mehanička Karakteristika Meka. Njegova Karakteristika Ima Oblik Hiperbole Konstantne Snage. Ovaj Motor Ima Osobinu Autoregulacije, Tj. Kada Npr. Lokomotiva Naiđe Na Uzbrdicu, Poveća Se Moment Ali Opada Brzina Motora, Što Znači Da Električna Snaga Ostaje Približno Ista.

Ovi Motori Imaju Velike Snage I Moraju Se Napajati Iz Izvora Koji Nije Na Lokomotivi. Napajanje Se Vrši Iz Kontaktne Mreže Sa Kojom Je Lokomotiva Elastično Spregnuta Pomoću Pantografa. Energija Se Dovodi Iz Podstanica Koje Su Smeštene Pored Pruge. Podstanice Se Napajaju Naizmeničnim Naponom Sa Primarne Strane.

Pomoću Transformatora Se Taj Napon Snižava I Ispravlja Pa Se Dovodi Na

Kontaktno Uže. Za Ispravljače Nekada Su Se Koristile Živine Usmerače, A Danas Se

Koriste Silicijumski Poluprovodnički Elementi.



Sl. 5. Električna Šema Veza Napajanja Kontaktnog Užeta

**Naponi U Električnoj Vuči:**

Naponi Su Bili U Početku 600 Do 700 [V] (Danas U Tramvajima I Trolejbusima) A Nešto Kasnije 1200 Do 1500 [V] (Danas U Podzemnoj Železnici). Za Snagu Od 1 [Mw] Potrebna Je, Dakle, Struja Od Oko 1000 [A], Pa Se Ovde Javlja Problem Poprečnog Presjeka I Težine Užeta (Mehanička Čvrstoća Kontaknog Užeta Bi Bila Ugrožena Velikim Zagrijavanjem Usled Struja I Od 1 [Ka]), A I Rastojanje Podstanica Bi Moralo Da Bude Malo Zbog Padova Napona (Električni Parametri Kontaknog Užeta (Voda), I Ako Imaju Malu Podužnu Vrijednost, Pri Velikim Strujama Stvaraju Značajne Serijske Padove Napona).

To Se Može Riješiti Uvećanjem Napona, Ali Nije Moguće Napraviti Dobre Motore Za Taj Napon (Problem Je U Tome Što Napon Između Kriški Komutatora Ne Smije Nikako Preći Vrijednost Kritičnog Napona Proboja Vazduha Koji Iznosi Oko 30v/mm). Pokušano Je Rednim Vezivanjem Dva Motora Čime Se Napon Duplira.



Sl. 6. Redna Veza Dva Vučna Motora Radi Povećanja Napona Napajanja,Odnosno Smanjenja Struje Kontaktnog Užeta

Taj Napon Je I Danas U Upotrebi U Nekim Srednjeevropskim Zemljama. Ovo Rešenje Nije Dobro Jer Usled Kvara Jednog Motora, Stradaće I Drugi Motor. Razlog Za Današnje Korišćenje Ovog Napona Je U Konzervativnosti Željeznice: Promena Infrastrukture Je Veoma Skupa Pa Se Maksimalno Koriste Postojeći Resursi.

Snaga Od 1 [Mw] Je Mala Za Voz. Povećanje Snage Se Ostvaruje Povećanjem Napona I to Je Jedini Način Jer Postoje Ograničenja Kontaktnog Užeta U Pogledu Povećanja Struje. Na Kontaktni Vod Se Dovodi Naizmenični Napon. Njegova Vrednost Je 15 [Kv], Rastojanje Podstanica Sada Je 50 [Km], A Snage Lokomotiva Oko 15 [Mw]. U Lokomotive Se Smiješta Transformator Kojim Se Napon Spušta Na Potrebnu Vrijednost.

Sada Se Postavlja Pitanje Upotrebljenog Motora. Bilo Je Nastojanja Da Se Upotrijebi Trofazni Asinhroni Motor Napajan Sa Tri Užeta. Ovo Rješenje Nije Pogodno Zbog Toga Što Je Mnogo Tri Užeta Za Napajanje I Što Je Prirodna Karakteristika Asinhronog Motora Tvrda Pa Da Bi Se Vršile Promjene Brzine Mora Se Mijenjati Učestanost Napajanja (Što Nije Bilo Nimalo Praktično U Xix Vijeku).

Lokomotive Se Napajaju Tako Što Postoji Jedno Kontaktno Uže a Povratni Vod Je Šina (Monofazno). Nivo Napona Se Reguliše Transformatorom. U Staro Vrijeme Bilo Je Teško Ugraditi Ispravljače U Lokomotivu Zbog Toga Što Su Bili Veoma Veliki, Pa Su Se Stavljali Samo U Podstanice.

**Razmotrimo Redni Motor Jednosmijerne Struje:**

Elektromagnetni Momenat Je:



Fluks Je (Ako Magnetno Kolo Nije Zasićeno):



Za Redni Motor Važi:



Slijedi Da Je Elektromagnetni Moment:



Struja Ia Je Prostoperiodična:



Konačno, Za Elektromagnetni Moment Važi:



Vidi Se Da Je Elektromagnetni Moment Pulsacioni, Sa Učestanošću Pulsacije Koja Je Dva Puta Veća Od Mrežne Učestanosti.



Sl. 7. Vremenski Oblik Elektromagnetnog Momenta Vučnog Motora

Zbog Inercije Masa U Motoru Pulsiranje Momenta Se Praktično Ne Osjeća.

Redni Motori Jednosmjerne Struje Koji Se Napajaju Naizmeničnom Strujom Nazivaju Se Kolektorski Motori (Primjer: Kod Usisivača I Mlinova Za Kafu. Njihov Veliki Problem Je Komutacija. Tada Se Stvara Usijana Plazma - Varnica, Koju Rotor Razvlači.

Od Manje Varnice Se Može Napraviti Krupnija Varnica Tj. Kružna Vatra. To Može Da Dovede Do Opasnih Kratkih Spojeva Jer Ta Varnica Predstavlja Provodnu Sredinu (Luk).

Problem Komutacije Kod Kolektorskih Motora Ne Zavisi Od Brzine Obrtanja, Taj Problem Postoji I Kod Većih I Kod Manjih Brzina.

Kod Rednog Motora Jednosmjerne Struje Nema Problema Komutacije I Dobre Su

Mu Karakteristike Pri Polasku.

Pokušano Je Da Se U Lokomotivama Ugradi Promenljivi Transformator. Tako Se Ostvarila Mogućnost Regulisanja Napona Transformacije. Kao Promjenljivi Transformator Počeo Je Da Se Koristi Autotransformator-Graduator.

Promjenom Napona Napajanja Reguliše Se Brzina. Problem Komutacije Smanjen Je Smanjenjem Učestanosti Na /. Tako Je Počeo Da Se Koristi Sistem Napajanja 15 [Kv] I /. Ova Učestanost Je Dobijena Tako Što Je U Podstanici Postojao Trofazni Sinhroni Motor Sa P=3 (Tri Para

Polova) Na Koji Je Bio Priključen Sinhroni Generator Sa P=1 (Jedan Par Polova).

**Veza Izmedju Dimenzija Transformatora:**



Sl. 8. Električna Šema Veza Napajanja Kontaktnog Užeta Pri Smanjenoj Učestanosti

Objasnimo Sada Vezu Između Dimenzija Transformatora, Njegove Snage I Učestanosti F.

Površina Provodnika U Transformatorima Zavisi Od Kvadrata Linearne Dimenzije,

Odnosno:

/

Isto Tako Površina Magnetnog Kola Zavisi Od Linearne Dimenzije Kao:

/

Snaga Transformatora Se Može Izraziti I Na Sledeći Način:

/

Kako Je:

/

Gdje Δ Predstavlja Gustinu Struje, Scu Površinu Provodnika a Bmax Amplitudu Magnetne Indukcije.

**Finansiska Isplativost Regulisanjem Napona:**

Sada Možemo Napisati:





Kako Su Veličine Bmax I Gustina Struje Δ Konstantne Veličine Za Jedan Transformator Dobijamo Da Snaga Zavisi Od:



Tako Da Imamo Da Je Dimenzija Obrnuto Srazmerna Frekfenciji Za Istu Snagu Transformatora:



To Nas Dovodi Do Zaključka Da Ako Imamo Transformator U Lokomotivi Koji Radi Na /on Je 3 Puta Teži Od Onog Koji Radi Na 50 [Hz]. Vidi Se Da Je Snaga Srazmerna / Pa Se Može Zaključiti Da Je Većim Smanjenjem Učestanosti I Da Bi Snaga Ostala Ista, Potrebno Ugraditi Po Dimenzijama Veći Transformator U Lokomotivu, Što Nije Povoljno. Druga Nepovoljnost Je Ta Što Bi Se Velikim Smanjenjem Učestanosti Smanjila I Učestanost Pulsacija Kod Kolektorskog Motora Pa Bi Se Pulsiranje Osjetilo Prilikom Kretanja (Ne Bi Bilo Savladano Inercijom Masa).

Iz Ekonomskog Razloga Je Odabran Napon Od 15 [Kv]. On Dovoljno Umanjuje Struju I Nema Problema Sa Izolacijom Kao Kod 110 [Kv].

Ovakvi Sistemi Danas Postoje U Nemačkoj I Skandinaviji Zbog Konzervativnosti Železnice.

Posle Drugog Svetskog Rata Napravljeni Su Dovoljno Mali Ispravljači. Koriste Se Sistemi Sa Promenljivim Transformatorom (Graduatorom) I Ispravljačima U Lokomotivi. U Upotrebi Je Redni Motor Jednosmjerne Struje Koji Se Napaja Jednosmjernom Strujom, Što Omogućava Da Učestanost Napajanja Može Da Bude 50 [Hz] I Da Se Eliminiše U Podstanicama Grupa Motor - Generator Za Sniženje Frekvencije. Nema Problema Komutacije Kolektorskog Motora. U Podstanicama Je Običan Transformator 110/25 [Kv]/[Kv]. Ovaj Napon Ide Na Lokomotivu U Kojoj Su Autotransformator (Graduator), Ispravljač I Redni Motor Jednosmerne Struje. Ovakav Sistem Se Pojavio Prvo U Francuskoj.



Sl. 9. Električna Šema Veza Napajanja Kontaktnog Užeta Bez Smanjivanja Učestanosti

**Vučni Zahtjevi:**

Vučni Zahtjevi Pokazuju Kako Se Na Dionici Mijenjaju Vučna Sila I Brzina Vučnog Motora.

Bavimo Se Analizom Šinskih I Drumskih Vozila, Odnosno Vozila Sa Točkovima. U Našoj Analizi Je Prisutan Prenosni Odnos Sa Prenosom I. Posmatraćemo Karakteristiku Zavisnosti Momenta Od Ugaone Brzine Kod Vučnog Motora:



Sl. 10. Prikaz Tri Karakteristične Karakteristike Svakog Vučnog Motora

*-Trajna Karakteristika – Dozvoljen Trajan Rad: Jednočasovna Karakteristika–*

Maksimalno Se U Tom Radnom Režimu Možemo Naći 1 Sat: Tranzijentna Karakteristika–

Dozvoljeni Su Samo Kratkotrajni (Trenutni) Radni Režimi

Na Slici Uočavamo 3 Karakteristike:

- Trajna Eksploataciona Karakteristika Je Geometrijsko Mjesto Tačaka U M-Ω Dijagramu, Koja Daje Set (Uređen Par) Vrijednosti Moment-Brzina Koje U Trajnom Radu Motor Može Da Postigne. To Je Funkcionalna Zavisnost Momenta Od Brzine Obrtanja U Trajnom Radu. Ona Predstavlja Eksploatacionu Karakteristiku Koja Govori O Nivou Opteretljivosti Motora. Vezana Je Za Zagrijavanje. Ako Se Izađe Izvan Karakteristike, Raste Temperatura Što Predstavlja Opasnost Za Motor, Za Njegovu Izolaciju, Ležajeve Itd. Ova Karakteristika Nije Mehanička Karakteristika Poznata Iz Teorije Električnih Mašina Jer Ta Mehanička Karakteristika Daje Zavisnost Za Stacionarno Stanje Pri Nepromenjenim Uslovima Napajanja.

- Jednosatna Eksploataciona Karakteristika Je Geometrijsko Mjesto Tačaka U M-Ω Dijagramu, Koja Daje Set Vrijednosti Moment-Brzina Koje Motor Može Zadovoljiti U Trajanju Od Jednog Časa, A Da Ne Dođe Do Zagrijavanja Koje Može Da Ošteti Motor. Ona Se Nalazi Između Trajne I Tranzijentne Karakteristike. Merodavna Je Za Izbor Motora.

- Tranzijentna Eksploataciona Karakteristika Je Geometrijsko Mjesto Tačaka U

*M-Ω Dijagramu I Kazuje Koliki Moment Može Kratkotrajno Da Se Razvije Za Datu*

Brzinu. Taj Slučaj Postoji Kod Pokretanja Motora Koji Je Otperećen (Npr: Vučni Motor).

Može Se Uzeti Da to Kratko Trajanje Iznosi Deseti, Odnosno Stoti Deo Termičke

Vremenske Konstante Τ.

Danas Su U Električnoj Vuči Uglavnom Zastupljeni Asinhroni Motori Sa Vučnim

Pretvaračima.

**Modelovanje Vučnog Sistema:**



Sl. 11. Model (Mehanički) Vučnog Sistema

**Elementi Modela Vučnog Sistema:**

1. Motor:

Njegov Moment Inercije Je Jm. Elektromagnetni Momenat Motora Je Mem. U

Motoru Postoje Gubici. Svaka Električna Mašina Ima Gubitke Energije (Električne,

Mehaničke, Dodatne) Pa Se Kod Motora Na Osovini Dobija Manji Moment Od

Elektromagnetnog.

2. Prenosni Mehanizam:

Sastoji Se Od Sistema Zupčanika I Ne Mijenja Snagu Koju Prenosi. Postavlja Se Zato Što Motori Zbog Svojih Relativno Malih Dimenzija Imaju Velike Brzine Koje Nisu Za Praktičnu Upotrebu U Električnoj Vuči.

Gabarit Motora Isključivo Zavisi Od Momenta a Ne Od Snage. Objasnimo. Od Značajnog Interesa Je Postizanje Manjih Dimenzija Vučnih Motora. Time Se Smanjuje Količina Korišćenog Materijala U Izradi Motora, Što Značajno Smanjuje Troškove, A Postiže Se I Manja Masa Motora. Dimenzije Motora Zavise Od Momenta a Ne Od Snage. Moment Je Proporcionalan Četvrtom Stepenu Linearne Dimenzije Motora /, Odnosno/, Gde Je V Zapremina Motora.



Pred Nama Stoji Izbor. Ako Nam Treba Neka Snaga (Konkretna Vrednost, Recimo

P = 1mw), Možmo Da Izaberemo Motor Koji Ima Veliki Moment I Malu Nominalnu

Brzinu Ili Motor Sa Dosta Manjim Momentom I Isto Toliko Većom Nominalnom Brzinom

(Odnosno P = 1mw = M1\*ω1 = M2\*ω2, Pri Čemu Je M1 > M2 I Ω2 > Ω1). Kako Je Veličina

(Težina) Ova Dva Motora, Koji Daju Istu Snagu, Drastično Različita Mi Biramo Brži Motor.

Zbog Toga Se Postavljaju Prenosnici Sa Velikim Prenosnim Odnosom I. Za Postizanje Potrebne Vučne Snage Pogodno Je Izabrati Veću Brzinu Obrtanja, Ali Se Zbog Velike Brzine Mogu Pojaviti Problemi U Ležištima I Pri Balansiranju Rotora, A Kod Mašina Za Jednosmjernu Struju Problemi Mogu Nastati I Na Komutatoru I Četkicama. Zbog Toga Se Pronalazi Kompromisno Rješenje. Kao Visokobrzinski Motori Upotrebljavaju Se Motori Naizmenične Struje. Pri Velikim Brzinama Se Može Pojaviti I Problem Prenosa Preko Zupčanika, Stvara Se Velika Buka, Pa Se U Pojedinim Slučajevima Koristi Direktan Pogon Bez Prenosnog Mehanizma Gde Je Osovina Motora Ujedno I Pogonska Osovina.

Matematički Iskazano, Prenosnik Zadovoljava Zakon Održanja Snage (Energije) Ako Se Zanemare Gubici U Njemu :



Gde Su Ωo I Ωm Ugaone Brzine Osovine Vozila I Motora, Respektivno. Sa Mo I Mem Su

Označeni Momenti Koji Se Javljaju Na Osovini Vozila I Motora, Respektivno. Treba

Napomenuti Da Se Od Mem (Elektroamgnetni Moment ) Treba Odbiti Dio Mehaničkih

Gubitaka Koji Se Javljaju U Samom Motoru Da Bi Se Dobio Koristan Moment (Moment

Na Osovini Motora). Te Gubitke Smo U Ovom Slučaju Zanemarili.



Sl. 12. Mehaniči Prenosnik – Reduktor – Diferencijal

Treba Napomenuti Da Se Prenosni Mehanizam Generalno, Kao Rešenje, Pokušava Zaobići. Neki Od Razloga Tome Su Ne Tako Mali Gubici Energije U Reduktoru, Dodatni Dio Koji Može

Da Se Pokvari…

3. Pored Motora I Prenosnika Potrebne Su I Pogonske Osovine Koje Vrše Mehaničko Sprezanje Motora, Prenosnika I Točkova Posmatranog Vozila.

Da Bi Se Formulisali Zahtjevi Vuče Moraju Se Izvesti Statičke I Dinamičke Jednačine Vuče, Odnosno Povezivanje Momenta M I Ugaone Brzine Ω Sa Vučnom Silom Fv, Brzinom Vozila V, I Otporima Vuče Σfot .

**Statička Jednačina Vučne Sile:**

(Brzina Vozila Je Konstantna: V = Const.)

Ugaona Brzina Osovine Ωo Ne Zavisi Od Gubitaka U Prenosniku.

/ /

Za Gubitke U Prenosniku Uzimamo Da Su Približno Jednaki Nuli. Prenosnik Bi

Tada Bio Idealan. Dakle: Mi ≈ 0. Prelazak Iz Ugaonih Veličina Koje Opisuju Motor U

Translatorne Koje Opisuju Kretanje Vozila Se Može Postići Na Sledeći Način.



**Dinamičko Ponašanje Vučnog Sisema:**

****

Sl. 13. Prenos Momenta Motora Na Pogonske Osovine Putem Reduktora I Diferencijala

***Mem Je Pogonski Moment Na Izlaznoj Osovini Motora.***

***Mm Je Moment Kojim Prenosnik Djeluje Na Rotor.***

***D Je Prečnik Točka.***

Može Se Napisati Jednačina Dinamičke Ravnoteže:



***Jm Je Moment Inercije Motora, A Ωm Je Ugaona Brzina Njegovog Vratila.***

Posmatraćemo Jedno Vozilo Mase M, Koje Se Kreće Brzinom V I Na Koje Djeluje Suma

Otpora Pri Kretanju Označena Sa Σfot.



Sl. 14. Prikaz Sila Koje Djeluju Na Vozilo Pri Kretanju

U Tački Dodira Točka I Podloge Postoje Dvije Sile.

Sila Fv’ Je Sila Pogonske Osovine Na Podlogu.

Sila Fv Je Suprotna Sili Fv’ I Predstavlja Dejstvo Podloge Na Vozilo Na Mjestu

Spoja Podloge I Točka (Reakcija Podloge). To Je Vučna Sila Koja Pokreće Vozilo.

Sledeća Jednačina Koja Se Može Napisati Jeste Jednačina Kretanja Vozila:



**Sile Koje Se Opiru Kretanju:**

Sile Koje Se Opiru Kretanju Predstavljaju Otpor Kretanju, Koji Se Neminovno

Javlja Pri Kretanju Bilo Kog Vozila. Otpori Kretanju Se Mogu Podijeliti Na Sledeći Način:

1. Stalni Otpori,

2. Povremeni Otpori,

3. Inercijalni Otpori.

**Stalni Otpori Kretanju:**

Javljaju Se Uvijek Pri Kretanju Vozila. Razlikujemo Tri Vrste Ovih Otpora:

4.1.A - Trenje U Ležajevima,

4.1.B - Trenje Usled Kotrljanja Pogonskog Točka,

4.1.C - Otpor Vazduha.

**Povremeni Otpori Kretanju:**

Javljaju Se Povremeno Pri Kretanju Vozila. Posmatramo Povremene Otpore Pri Kretanju:

4.2.A) Na Usponu,

4.2.B) U Krivini.

**Inercijalni Otpori Kretanju:**

Inercijalni Otpor Kretanju Predstavlja Silu Koja Je Potrebna Da Bi Vozilo

Ubrzavalo Ubrzanjem A.

**Opšta Jednačina Vuče:**

Ako Se Svi Otpori Kretanju Uračunaju U Opštu Jednačinu Vuče Dobija Se:



*Ftl - Usled Trenja U Ležajevima*

*Ftk - Usled Otpora Kotrljanja*

*Fkr - Zbog Otpora U Krivini*

*Ε - Koeficijent Korekcije Masa*

*Ξ - Koeficijent Adhezije*

*I - Uspon (Pad)*

*Fov - Zbog Otpora Vazduha*

*Ga - Adheziona Težina (Onaj Dio Težine Vozila Koji Se Oslanja Na Pogonske*

Točkove; Vrlo Bitna Veličina Jer Joj Je Srazmjerna Vučna Sila; Kod Lokomotive Sve

Osovine Su Pogonske Tako Da Je Težina Lokomotive Jednaka Athezionoj Težini Ga=gl;

Kod Automobila Postoji Jedna Pogonska Osovina; Maksimalna Vučna Sila Ograničena Je

Adhezionom Težinom Pre Proklizavanja Vozila)

*Gv - Težina Tereta*

*Ga+gv - Ukupna Težina Voza (Pogledati Sledeću Sliku)*



Sl. 15. Prikaz Adhezione Težine Jedne Kompozicije – Nju Predstavlja Težina Lokomotive

**Formulacija Vučnih Zahteva:**

Poći Ćemo Od Poznatih Konstatacija: Vučnoj Sili I Translatornoj Brzini Analogni Su Moment I Ugaona Brzina.

Poznati Izrazi Za Ugaonu Brzinu I Moment Su:

/ /

Postavlja Se Pitanje Kakvu Eksploatacionu Karakteristiku Vučni Motor Treba Da Obezbijedi?

Grafici Zavisnosti Vučne Sile Od Brzine, Odnosno Momenta Od Ugaone Brzine,

Dati Su Na Sledećim Slikama:



Sl. 16. Prikaz Opozitnih Zahteva Na F-V Dijagramu : Želimo Da Imamo Konstantnu

Snagu (Uslovljava Motor) I Da Se Možemo Kretati Brzinama Koje Leže U Širokom Opsegu

**Adhezija:**

Pred Nama Se Nalazi Važno Pitanje: Kako Se Ostvaruje Vučna Sila Na Kontaktu

Između Točka I Podloge?

Za Realizovanje Pokretačke Sile Potreban Je Spoj Između Šine I Točka. Takva

Veza Šine I Točka Naziva Se Adhezija.

Šina I Točak Nisu Idealno Kruta Tijela. Njihov Međusobni Dodir Nije Tačka. Pod

Vertikalnim Dejstvom Težine Vozila Dolazi Do Elastične Deformacije Tako Da Se Kontakt Između Šine I Točka Vrši Po Eliptičnoj, Tzv. Hertz-Ovoj Površini. Nastaje Praktično Utapanje Točka U Podlogu.

Na Sledećoj Slici Prikazan Je Slučaj Ako Osovina Nije Pogonska, Tj. Ako Je Vučna Sila Na Toj Osovini Jednaka Nuli: Fv=0.



Sl. 17. Prikaz Kontakta Točak – Podloga Za Točak Koji Nije Pogonski

Vrijednost Rastojanja Od Tačke a Do Tačke B Je: /

***D Je Prečnik Točka a R Njegov Poluprečnik; Θ Je Ugao Uzmeđu Poluprečnika Oa I Ob .***

Znači, Za Slučaj Kada Je Fv=0 Dobija Se Da Tačka Na Obodu Točka Prelazi Put

Između a I B: /

I Da Je Periferna Brzina Te Tačke: / Jednaka Translatornoj Brzini Kretanja. Poznato Je Da Je Ωo Ugaona Brzina Osovine.

**Pregled Postojećih Elektromotora Sa Osvrtom Na Njihovu Primjenu**

**U Električnoj Vuči:**

Vrste Motora:

1. Redni Motor Jednosmjerne Struje

2. Motor Jednosmjerne Struje Sa Nezavisnom Pobudom

3. Asinhroni Motor

4. Sinhroni Motor Sa Namotanim Rotorom

5. Sinhroni Motor Sa Permanentnim Magnetom

6. Prekidački Reluktantni Motor (Sr)

Važne Osobine Motora:

1. Regulacija Vučne Sile

2. Polazne Karakteristike

3. Osjetljivost Na Promjene Trase (Δi [%]) I Promjene Napona Na Kontaktnom Vodu(Δukv)

4. Mogućnost Električnog Kočenja I Rekuperacije

5. Mogućnost Rada U Oblasti Slabljenja Polja (Zona P = Const.)

6. Složenost Električnog Pretvarača

Redni Motor Jednosmjerne Struje Je Prvi Motor Koji Se Primjenjivao U Električnoj Vuči.

**Mašine Za Naizmjeničnu Struje (Mns):**

U Električnoj Vuči Se Od Mns Koriste Trofazni Asinhroni Motori Sa Kratko Spojenim (Kavezom) Rotorom Kao I Trofazni Sinhroni Motori Sa Permanentnim Magnetima Na Rotoru. Kod Vučnih Pogona Velike Snage, U Upotrebi Su I Sinhroni Motori Sa Pobudnim Namotajem Na Rotoru. Električna Vozila Ne Poseduju Trofazne Izvore Napona. Primarni Izvori Su Često Trakcione Baterije, Koje Daju Jednosmjerni Napon, Ili Se Pak Radi O Naizmjeničnom, Monofaznom Naponu Koji Se U Vozilo Dovodi Putem Kontaktnog Voda Ili Na Neki Drugi Način. Stoga Je Neophodno Obezbjediti Vučni Pretvarač Na Čije Priključke Se Dovodi Jedan Od Pomenutih Načina Napajanja, A Koji Na Svojim Izlazima Nudi Simetričan Trofazni, Regulisan Napon Promenljive F.

Mašine Naizmjenične Struje Imaju Prednosti U Odnosu Na Mašine Jednosmjerne Struje.

Jedna Od Prednosti Mns Je Odsustvo Četkica I Kolektora, Koji Inače Predstavljaju

Najveće Ograničenje I Nedostatak Vučnih Motora Jednosmjerne Struje, I Svih Problema

Koji Usled Njih Nastaju. Karakterišu Ih Manje Dimenzije, Manja Masa, Prema Tome I

Niža Cijena. Srednja Specificna Cijena Asinhronog Motora U “sever” Fabrici Motora U

Subotici, Izražena U [$/kg] Iznosi 7 Do 8 Američkih Dolara.

Poznato Je Iz Teorije Električnih Mašina Da Je Ugaona Brzina Obrtanja Rotora Asinhronog

Motora Manja Od Sinhrone Zbog Klizanja (S), Pa Zbog Toga U Narednom Izrazu Stavljamo Znak “≈”:



Ako Uvažimo Klizanje Gornji Izraz Postaje



Brzina Obrtanja Sinhrone Mašine Je:



***P Je Broj Pari Polova, A F Je Učestanost Napajanja.***

Vučni Zahtjevi Se Ogledaju U Potrebi Da Se Brzina Obrtanja Ω Može Kontinualno

Mijenjati, Kao I Da Se Pri Datoj Brzini Obrtanja Može Ostvariti Proizvoljna Vrijednost Momenta M (Koju Diktiraju Uslovi Trase). Da Bi Se Brzina Mogla Mijenjati, Shodno Prethodnim Obrascima Mora Se Imati Mogućnost Kontinualne Promjene Učestanosti.

Učestanost Se Mijenja Pomoću Vučnog Pretvarača.

**Sinhroni Vučni Motor:**

Kao I Svaka Električna Mašina, Sinhroni Motor Je Reverzibilan (Može Da Radi U

Motornom I U Generatorskom Režimu). Sinhrona Mašina Je Jedina Mašina Koja Može

Da Proizvodi Ili Apsorbuje Samo Reaktivnu Energiju, Tj. Da Radi Kao Sinhroni

Kompenzator Što Je Čini Dragocjenom U Elektroenergetskom Sistemu.

Dobre Karakteristike Sinhronih Motora Su Sledeće:

- Mogućnost Ugrađivanja Velikih Snaga I Širok Dijapazon Oblasti Konstantne Snage Motora,

- Lako Održavanje,

- Lak Prelaz Iz Motornog U Generatorski Rad Što Omogućuje Električno Kočenje,

- Jednostavnost Invertora Za Napajanje Sinhronog Motora,

- Dobar Stepen Iskorišćenja Stoga Što U Rotoru Sm Nema Gubitaka Niti U Gvožđu (Jer Nema Relativnog Pomicanja Polja U Odnosu Na Rotor) A Nema Ni Gubitaka U Bakru, Jer Nema Bakra (Kod Rotora Sa Permanentnim Magnetima)

Magnetno Kolo Sinhrone Mašine Se Sastoji Iz Dva Dijela, Nepokretnog - Statora (Koji Predstavlja Indukt I Napaja Se Iz Strujnog Invertora) I Pokretnog - Rotora (Koji Predstavlja Induktor I Napaja Se Jednosmjernom Strujom Iz Pomoćnog Izvora U Slučaju Da Se Pobudno Polje Obezbjeđuje Pobudnim Namotajem ).

**Asinhroni Vučni Motor:**

Asinhroni Vučni Motor Je Najperspektivniji Kandidat Za Savremene Konstrukcije

Električnih Vozila. Električna Vozila Ne Traže Da Vučni Motor Bude Standardne

Cilindrične Izvedbe. Poželjniji Je Motor Koji Može Da Se Ugradi U Pogonsku Osovinu.

Konvencionalno Rješenje Je Sa Monomotornim Obrtnim Postoljima Sa Sistemom Prenosnika.

Ovde Nema Monomotorno Obrtno Postolje. Rotor Motora Se U Ovom Slučaju Nalazi

Spolja. Stator Se Napaja Kroz Osovinu. Rotor Se Bolje Hladi. Grejanje Rotora Asinhronog Motora Je Jedina Njegova Loša Osobina.

Nešto O Konstrukciji Am. Na Statoru Je Trofazni Namotaj Koji Preuzima Ulogu Induktora Za Razliku Od Sm. Rotor Am, Inače Indukt, Je Cilindrični Komad Feromagnetnog Materijala (Gvožđa) Kroz Koji Su Probušene Rupe, Aksijalno Po Obimu. U Njih Se Smještaju Provodnici Koji Sa Bočnih Strana Kratko Spajaju. Jednostavna I Jeftina Izrada Rotora Am Jeste Jedna Od Njegovih Prednosti.

Često Se Upotrebljava Linearni Motor. Ukoliko Bi Postojala Provodna Gvozdena

Podloga Po Sredini Pruge Prekrivena Aluminijumom, Bio Bi to Rotor Za Asinhroni

Motor, A Stator Bi Mogao Da Se Postavi Na Dno Vagona.

**Asinhroni Motor Se Nameće Kao Najbolje Rješenje Savremenog Problema Pogona U**

**Električnoj Vuči. Motori Jednosmjerne Struje Imaju Kolektor I Četkice, Što Je U Slučaju Asinhronih Motora Eliminisano.**

Asinhroni Motor Na Sebi Redovno Ima Trofazne Namotaje Da Bi Se Ostvarilo Obrtno Polje Sa Najmanjim Brojem Provodnika. Ostvaruje Se N-Fazni Sistem Sa Namotima Pomjerenim Za 2π/n I Strujama Vremenski Pomjerenim Za 2π/n. Za Trofazni Sistem Prostorno I Vremensko Pomjeranje Je 2π/3.

Sa Aspekta Električne Vuče Bitna Je Brza Regulacija Momenta I Vučne Sile, Zadovoljavanje Polaznog Momenta I Slabljenje Polja. U Električnoj Vuči Se Asinhroni Motor Ne Može Koristiti Kao U Industriji, Jer Je Tako Ne Moguće Ostvariti Kontinualnu Kontrolu Vučne Sile.

**Linearni Indukcioni Motor (Lim-Linear Induction Motor):**

U Savremenoj Električnoj Vuči Koriste Se Linearni Motori. Princip Njihovog Rada Se Ne Razlikuje Od Asinhronog Motora, Samo Kod Linearnih Motora Ne Postoje Obrtni Dijelovi Već Samo Translatorno Kretanje. Kod Linearnog Motora Nema Rotacionih Dijelova, Stator I Rotor Su Jedan Drugom Paralelni. Za Oslanjanje Na Podlogu Se Koristi Magnetna Levitacija, Vazdušni Jastuk Ili Točkovi Koji Nisu Pogonski. Bilo Koji Od Navedenih Načina Oslanjanja O Podlogu Da Je U Pitanju, Jedno Je Sigurno, Kod Linearnih Motora Ne Postoji Problem Adhezije. Odnosno Nema Ograničenja Pogonskog Momenta I Vučne Sile. To Je Bio I Najveći Probem Kod Konvencionalne Željeznice Jer Nam Je Trasa Uslovljavala Snagu Koju Možemo Iskoristiti Iz Vučnih Motora. Ovdje Nema Proklizavanja.

Princip Rada Linearnog Motora Se Može Jednostavno Objasniti. Neka Vozilo Predstavlja Jedan Magnet. Ako Smo U Situaciji Da U Podlozi, Na Kojoj Leži Vozilo, Stvorimo Magnetno Polje Tako Da Su Istoimeni Polovi Vozila I Podloge Malo Pomjereni U Pravcu Kretanja Na Vozilo Će Djelovati Vučna Sila. Ta Sila Želi Da Pokrene Vozilo Tako Da Se Raznoimeni Polovi Poklope. To Nije Magnetsko Lebdjenje. Potrebno Je Imati Dodatne Polove U Vozilu I Podlozi Koji Bi Konstantno Bili Postavljeni Tako Da Su Istoimeni Polovi Naspramni Što Bi Rezultovalo Odbojnom Silom, Lebdjenjem Vozila.

Za Realizaciju Linearnog Motora Pogodan Je Samo Asinhroni Motor Sa Kratko Spojenim Kaveznim Rotorskim Namotajem. Kratko Spojeni Kavez Se Može Simulirati I Ugraditi U Podlogu. Na Slici Je Dat Primer Kako Se Linearni Motor, Koji Se Koristi U Modernoj Železnici, Može Predstaviti Pomoću Rotacionog Asinhronog Motora.



Sl. 18. Linearni Motor Se Može Prikazati Kao Asinhroni Koji Je Razvijen U Jednu Traku. (Obim Postaje Dužina)

Ukoliko Bi Postojala Provodna Gvozdena Podloga Po Sredini Pruge Prekrivena Aluminijumom, Bio Bi to Rotor Za Asinhroni Motor (Na Gornjoj Slici Crvena Boja), A Stator Bi Mogao Da Se Postavi Na Dno Vagona (Na Gornjoj Slici Zelena Boja), Tj. Vozila.

**Prekidački Reluktantni Motori (Sr Motori -Switched Reluctance Motor):**

Struktura Ovih Motora Je Vrlo Jednostavna. Namotaji Se Nalaze Samo Na Statoru I Nisu Raspoređeni Po Žljebovima Već Su Koncentrisani. Rotor Je Od Fino Oblikovanog, Laminiranog Feromagnetika. Ovi Motori Ne Rade Na Principu Obrtnog Magnetnog Polja Već Na Principu Varijabilne Reluktanse. Postoji Težnja Da Se Pol Rotora Dovede U Položaj Minimalne Reluktanse. Na Sledećem Primjeru Vidi Se Kako Se Pod Dejstvom Sile Dva Prikazana Elementa U Datim Okolnostima Pokreću Jedan U Odnosu Na Drugi. Ta Sila, Koja Je Srazmerna Kvadratu Fluksa Magnetnog Polja, Teži Da Ih Dovede U Položaj Minimalne Magnetne Otpornosti /



Sl. 19. Ilustracija Sile Koja Se Javlja Kao Posledica Polja Da Smanji Magnetni Otpor

Broj Pari Statorskih Polova Nije Isti Kao Broj Pari Rotorskih Polova. U Praksi Su Moguće Kombinacije Šest Statorskih I Četiri Rotorska Pola.

**Električni I Hibridni Automobili:**

Odavno Postoji Težnja Da Se Naprave Automobili Na Električni Pogon. Time Bi Se U Velikoj Mjeri Riješio Ekološki Problem, Koji Je Značajno Uzrokovan Hemijski Štetnim Gasovima, A Koje Kao Proizvod Sagorijevanja Pogonskog Goriva Ispuštaju Motori Sa Unutrašnjim Sagorijevanjem.

Osnovni Problem Koji Se Javlja Kod Ovih Vrsta Automobila Je Težina Baterije: Za Auto Tipa “yugo” (Do 1000kg) Za 100km Puta Potrebna Je Baterija Od Oko 400kg.

Razvoj U Ovoj Oblasti Se Dijeli Na Dvije Grane:

- Električni Automobili; Ovakav Automobil Je Jednostavan I Nema Zagađenja, Ali Su Mu Performanse Loše: Za Bateriju Od 400kg, Maksimalna Brzina Je 60 Do 70km/h, A Radijus Je Do 80km.

Zbog Ovih Loših Osobina Teži Se Razvoju I Drugog Tipa Motora.

- Hibridni

Ovi Se Dijele Na: Serijske I Paralelne.

**Zaključak:**

Motor Jednosmjerne Struje Sa Nezavisnom Pobudom Nije Pogodan Za Električnu Vuču Zbog Toga Što Radi U Uskoj Oblasti Oko Brzine Praznog Hoda. Kod Njegove Karakteristike Strmina Je Velika, Odnosno Tvrda. Brzina Ovog Motora Se Mijenja Promjenom Napona.

Glavni Razlog Za Korišćenje Motora Js Sa Rednom Pobudom Je Taj Što Je Mehanička Karakteristika Meka. Njegova Karakteristika Ima Oblik Hiperbole Konstantne Snage. Ovaj Motor Ima Osobinu Autoregulacije I Veliku Snagu.

Bilo Je Nastojanja Da Se Upotrijebi Trofazni Asinhroni Motor Napajan Sa Tri Užeta. Ovo Rješenje Nije Pogodno Zbog Toga Što Je Mnogo Tri Užeta Za Napajanje I Što Je Prirodna Karakteristika Asinhronog Motora Tvrda Pa Da Bi Se Vršile Promjene Brzine Mora Se Mijenjati Učestanost Napajanja.

Za Postizanje Potrebne Vučne Snage Pogodno Je Izabrati Veću Brzinu Obrtanja, Ali Se Zbog Velike Brzine Mogu Pojaviti Problemi U Ležištima I Pri Balansiranju Rotora, A Kod Mašina Za Jednosmjernu Struju Problemi Mogu Nastati I Na Komutatoru I Četkicama. Zbog Toga Se Pronalazi Kompromisno Rješenje. Kao Visokobrzinski Motori Upotrebljavaju Se Motori Naizmenične Struje.

U Električnoj Vuči Se Od Mns Koriste Trofazni Asinhroni Motori Sa Kratko Spojenim (Kavezom) Rotorom Kao I Trofazni Sinhroni Motori Sa Permanentnim Magnetima Na Rotoru. Mašine Naizmjenične Struje Imaju Prednosti U Odnosu Na Mašine Jednosmjerne Struje. Jedna Od Prednosti Mns Je Odsustvo Četkica I Kolektora, Koji Inače Predstavljaju Najveće Ograničenje I Nedostatak Vučnih Motora Jednosmjerne Struje, I Svih Problema Koji Usled Njih Nastaju.

Kao I Svaka Električna Mašina, Sinhroni Motor Je Reverzibilan (Može Da Radi U Motornom I U Generatorskom Režimu). Sinhrona Mašina Je Jedina Mašina Koja Može Da Proizvodi Ili Apsorbuje Samo Reaktivnu Energiju, Tj. Da Radi Kao Sinhroni Kompenzator Što Je Čini Dragocjenom U Elektroenergetskom Sistemu.

**Asinhroni Motor Se Nameće Kao Najbolje Rješenje Savremenog Problema Pogona U**

**Električnoj Vuči. Motori Jednosmjerne Struje Imaju Kolektor I Četkice, Što Je U Slučaju Asinhronih Motora Eliminisano.**

**Literatura:**

1. B. Radojković: “jednofazne Lokomotive”

2. B. Radojković: “električna Vuča”

3. B. Radojković, M. Todorović: “zbirka Zadataka Iz Električne Vuče”

4. S. Vukosavić, L. Matić, Z. Janda: “zbirka Zadataka Iz Električne Vuče”

5. Trendovi U Razvoju Digitalno Upravljanih Elektricnih Pogona

Www.Maturski.Org