



Pohonné agregáty - pohony elektromotormi

Elektrické pohony v dopravnej technike sa objavujú už od roku 1906. Hromadne sa však začali využívať hlavne po druhej svetovej vojne. K prvým sektorom elektrifikovanej dopravy patrila elektrifikácia železničných tratí a mestskej hromadnej dopravy. Použitie elektrických pohonov v doprave sa rozvíjalo s elektrifikáciou územia. Využitie elektrických pohonov v doprave bolo viazané na dostupnosť elektrickej energie ktorú zabezpečovalo trolejové vedenie.



Električka



Trolejbus rok 1933

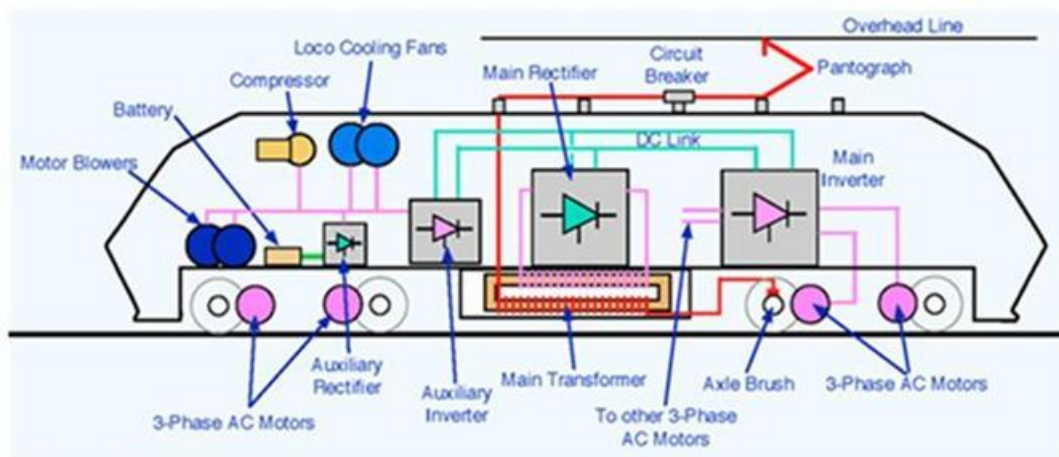


Schéma elektrickej lokomotívy

S technológiou elektrického pohonu sa do budúcnosti predpokladá ako s účinným nástrojom pre znižovanie emisií skleníkových plynov. Každý výrobca automobilov sa v súčasnosti zaoberá aj vývojom a výrobou elektromobilov. Očakáva sa, že elektrické pohony zasiahnu aj do iných oblastí ako je doprava. Tými oblasťami budú predovšetkým stavebníctvo, poľnohospodárstvo, manipulačná technika.



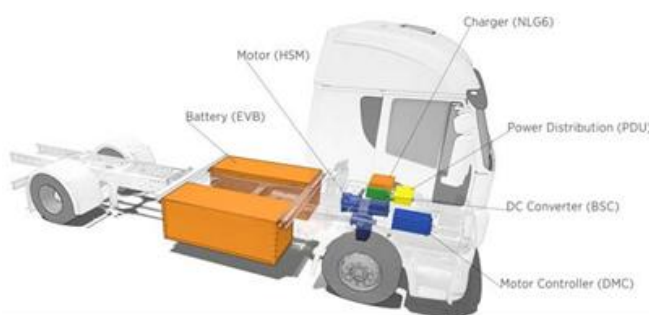
Pohonné systémy automobilov

Blok č: 6

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

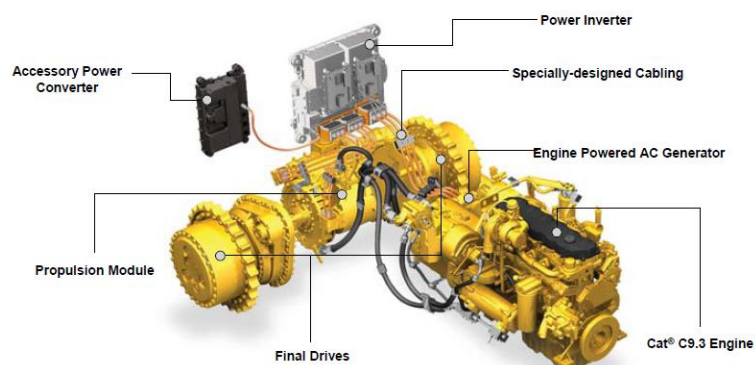


Elektrický pohon automobilu



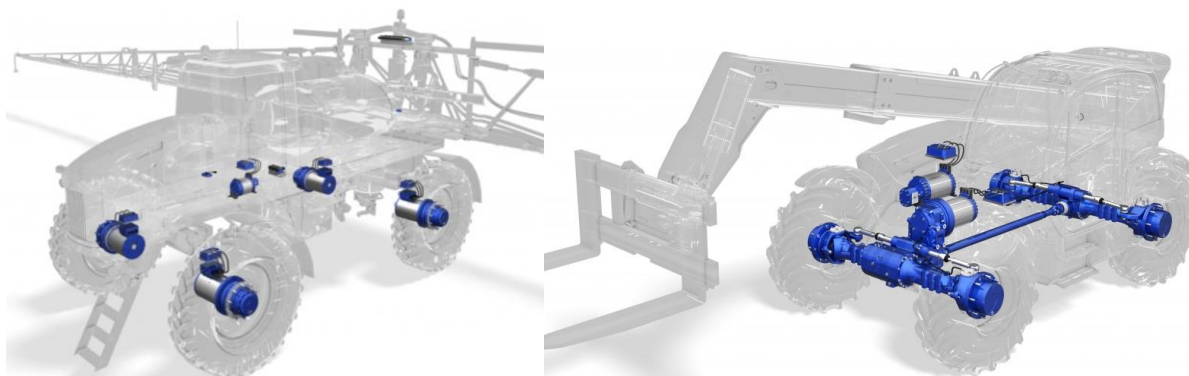
Elektrický pohon úžitkového automobilu

D7E Electric Power Train



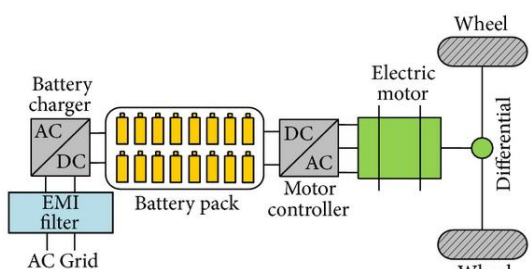
Elektrický pohon buldozéra



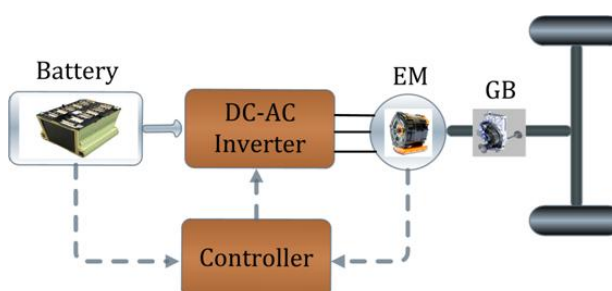


Elektrifikácia pohonu poľnohospodárskej a manipulačnej techniky

Elektrický pohon sa v automobiloch využíva samostatne alebo v kombinácii s iným pohonom tzv. hybridný pohon. Vozidlá s hybridným pohonom disponujú dvomi rôznymi systémami pohonu a to kombináciou spaľovacieho motoru a elektromotoru. Elektrické vozidlá sú zase vozidlá využívajúce k svojmu pohybu čisto elektrický pohon a rozdeľujeme ich do dvoch kategórií a to s závislým pohonom alebo s nezávislým pohonom. Nezávislý pohon využíva ako zdroj energie batérie. Závislý pohon využíva ako zdroj energie trakčné vedenie.

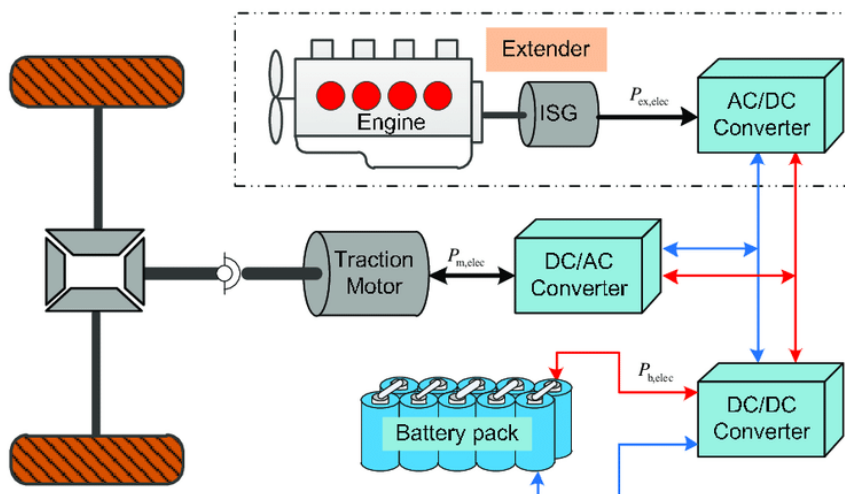


A)



B)

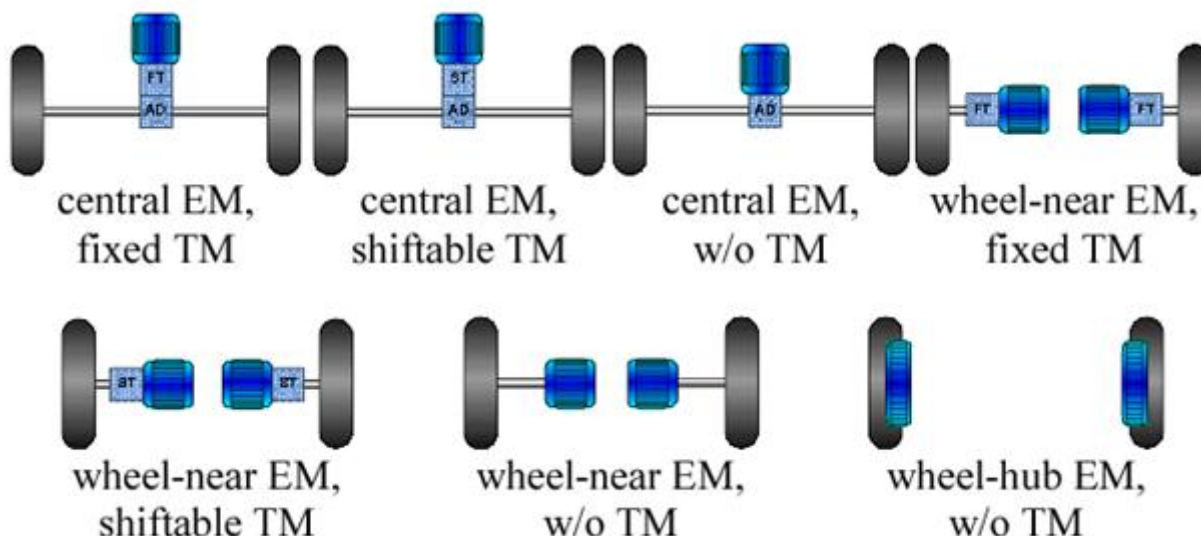
Batériový pohon



Hybridný pohon



Podľa druhu dopravného prostriedku sa prispôsobuje aj konštrukčné usporiadanie elektrického pohonu. Najbežnejšie usporiadanie elektrických pohonov je na obr.



Pre elektrické pohony využívame dve podoby elektrického prúdu:

Striedavý prúd (AC)

Jednosmerný prúd (DC)

Pomocou elektrického vedenia je prenášaný striedavý prúd a v bežnej elektrickej sieti sa využívajú tri fázy a pri prepojení jednej fázy s nulou dostávame napätie 230 V a napätie medzi dvoma fázami je 380V. Striedavý prúd v európskej elektrifikačnej sieti má frekvenciu 50 Hz.

Väčšina modernej elektroniky je postavená na integrovaných obvodoch a batériách, ktoré pre svoju činnosť potrebujú prúd jednosmerný (DC), preto je možné ich nabíjať iba pomocou nabíjačky s napájacím zdrojom, ktorý mení AC striedavý prúd z domácej elektrickej zásuvky na DC jednosmerný prúd. Jednosmerný (DC) prúd používa aj elektronika a batérie elektromobilu.

Termín elektrický pohon sa definíčne používa pre technické zariadenia, ktorých pohyb je vykonávaný za pomoci elektrickej energie. Z pravidla pomocou elektromotoru, ktorí v takomto zariadení tvorí základnú časť. Dôležitými prvkami elektrického pohonu sú napríklad zariadenia napájacieho, regulačného, ovládacieho, riadiaceho a signalizačného systému, ktoré prakticky zabezpečujú premenu vstupnej elektrickej energie z vonkajšieho zdroja na mechanickú energiu požadovaných parametrov.

Elektromotor je elektrický stroj, ktorý slúži k premene elektrickej energie na mechanickú prácu. Obecne rozdeľujeme elektromotory podľa typu napájania na jednosmerné a striedavé. V prípade jednosmerných elektromotorov ich ďalej delíme na komutátorové a bezkomutátorové. Striedavé motory, sa delia na synchronné a asynchronné podľa toho či sa rotor otáča synchronne alebo asynchronne s krútiacim magnetickým poľom.

Jednosmerné elektromotory

Elektromagnetický moment jednosmerného stroja vznikne, ak sa vodiče rotora, ktorými preteká jednosmerný prúd I_a nachádzajú v jednosmernom magnetickom poli vytvorenom statorom. Jednosmerné magnetické pole statora môže byť vytvorené buď permanentnými magnetmi, alebo častejšie statorovým vinutím pretekajúcim budiacim prúdom I_b . Na obr. je znázornený jednoduchý elektrický stroj. Rotor obsahuje jeden

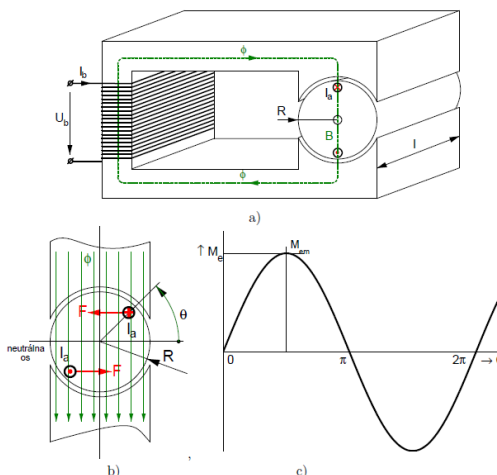


Pohonné systémy automobilov

Blok č: 6

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

závit, ktorým preteká prúd I_a a indukované napätie U_i . Aby pre žiadanú magnetickú indukciu vo vzduchovej medzere bolo potrebné malé magnetické napätie, je vzduchová medzera medzi pólmi a rotorom pokiaľ možno malá. Magnetické siločiarly vystupujú zo statora na rotor kolmo. Siločiarly na obr. sú nakreslené len schematicky.



Elektrický výkon môžeme potom definovať:

$$P_e = U_i \cdot I_a$$

Pri zanedbaní mechanických strát môžeme uviesť:

$$M_k \cdot \omega = U_i \cdot I_a$$

JEDNOSMERNÝ MOTOR S CUDZÍM BUDENÍM

Jednosmerný motor s cudzím buđením vykazuje zvlášť výhodné ťahové charakteristiky, jednoduchú reguláciu otáčok v širokom rozsahu a je schopný plynulého prechodu z jazdy na brzdenie. Prúd do otáčajúceho sa vinutia rotoru je privedený cez kefky a komutátor, ktorý zaisťuje periodickú zmenu prúdu do cievky kotvy, takže kotva rotuje vo vonkajšom magnetickom poli. Pričom točivý moment pôsobí stále vo smere rotácie.

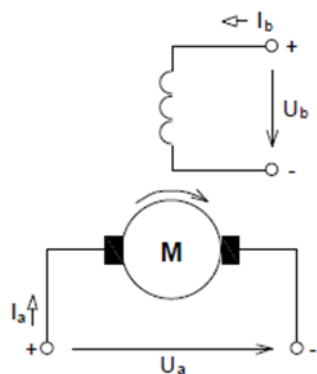
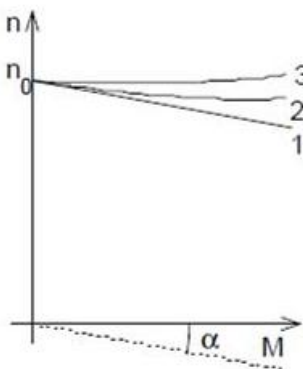
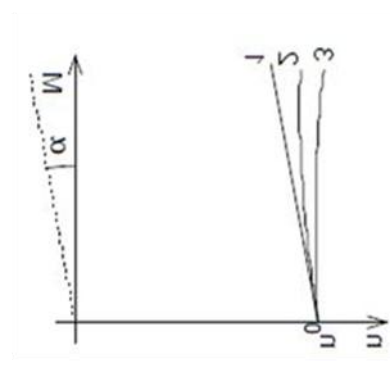


Schéma zapojenia
cudzo buđeného motora



Otáčková frekvencia



Momentová charakteristika

Otáčková charakteristika: U dobre kompenzovaného elektromotora, kedy sa budiaci magnetický tok so zaťažením nemení sa jedna o závislosť danú odporom kotvy "1", u horšie kompenzovaných elektromotorov môžu otáčky kolísať charakteristiky "2" a "3".



V elektrotechnickej praxi sa pre vyjadrenie porovnávacích charakteristík používa otáčková charakteristika. V oblasti uplatnenie elektrických pohonov pre strojárske aplikácie je názornejšie vyjadrenie pomocou momentových charakteristík. Preto v ďalšom budeme používať len momentové charakteristiky.

Vyjadrenie krútiaceho momentu motora:

$$M_h = \frac{I_a}{C_1 \cdot \Phi}$$

kde:

M_h - krútiaci moment na hriadeli elektromotora,

I_a - prúd prechádzajúci kotvou motora,

C_1 - konštrukčná konštanta elektromotora,

Φ - budiaci magnetický tok

PARALELNÝ MOTOR

Princíp elektromotora je podobný ako v prípade cudzo budeného elektromotora a teda aj charakteristika je obdobná. Pri takomto type motora je prúd privádzaný do rotoru v obvodom smere a magnetický tok statoru nie je kolmý, ale paralelný k osi statoru. Tieto motory sú všeobecne známe tým, že ich výroba je veľmi komplikovaná a tým pádom aj príliš nákladná. To je jedným z dôvodov prečo sa tento motor veľmi málo používa. Avšak mnohé univerzity a firmy na svete sa aktívne ďalej zaoberajú skúmaním a zdokonaľovaním motorov s priečnym magnetickým tokom.

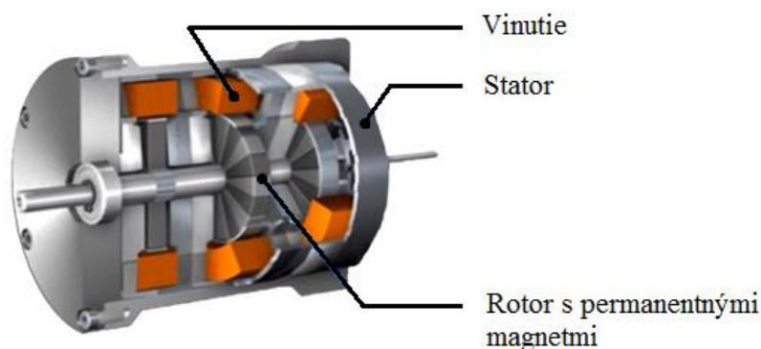
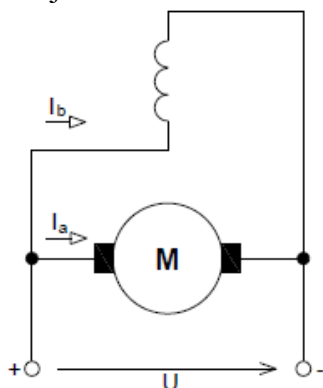
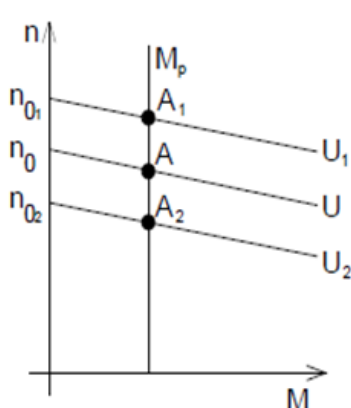


Schéma zapojenia a rez paralelného motora s permanentnými magnetmi

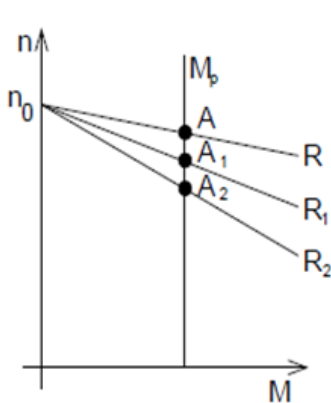
Regulácia otáčok cudzobudených a paralelných elektromotorov

Pri tomto type elektromotorov je možné realizovať zmenu otáčok nasledovne:

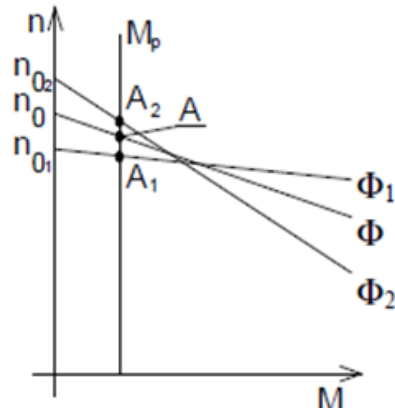
- 1.) Zmenou napätia kotvy $U_1 < U < U_2$ - sklon charakteristiky ostáva rovnaký, menia sa otáčky naprázdno.
- 2.) Regulácia otáčok odporom v sérii s vinutím kotvy (rotora) $R < R_1 < R_2$ - zmení sa sklon charakteristiky, otáčky naprázdno sa nemenia. Otáčky možno len znižovať.
- 3.) Regulácia otáčok budením - so zväčšujúcou hodnotou budenia sa budú znižovať otáčky naprázdno a zároveň sa bude znižovať aj sklon charakteristiky $\Phi_1 < \Phi < \Phi_2$.



Zmena napätia kotvy



Zmena odporu kotvy



Zmena buđením

SÉRIOVÝ MOTOR

Jedná sa o cudzobudený elektromotor, ktorého buďenie je ku kotve pripojené sériovo. Budiace vinutie je tvorené niekoľkými závitmi vodiča veľkého prierezu, lebo vinutím prechádza veľký rotorový prúd.

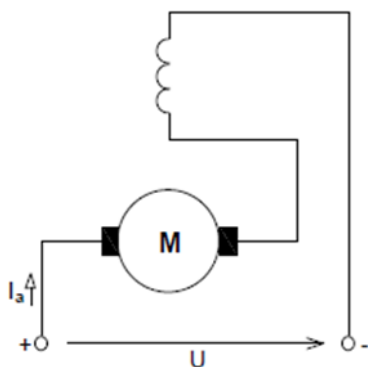
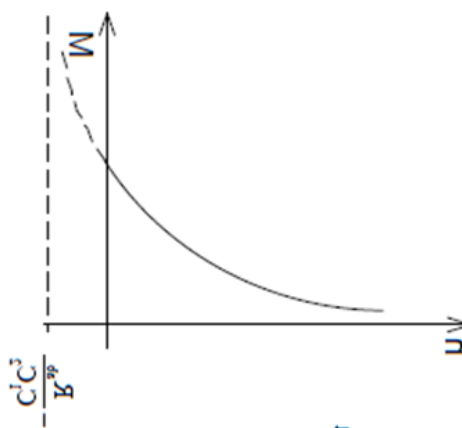


Schéma zapojenia



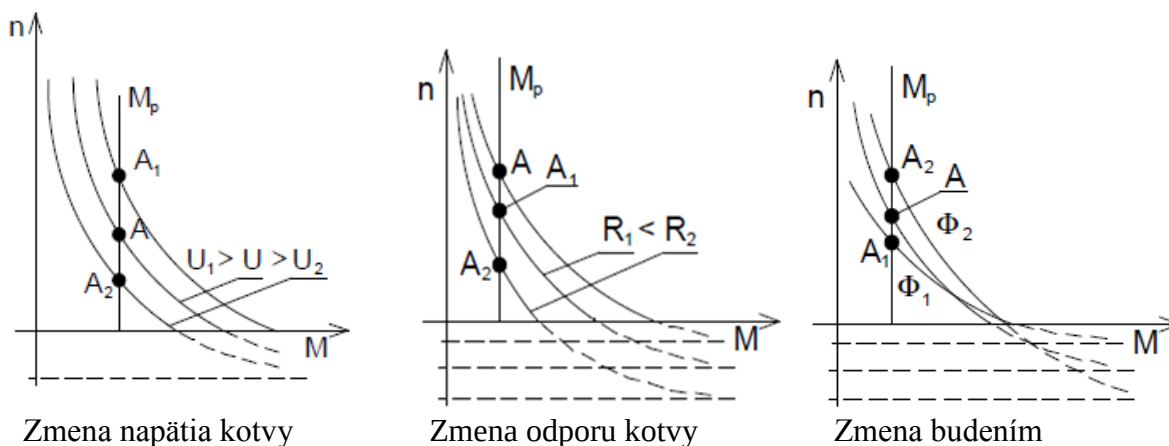
Momentová charakteristika

Momentová charakteristika odpovedá trakčnej charakteristike. To je dôvodom častého využitia týchto elektromotorov v trakčných pohonoch.

Regulácia otáčok sériových elektromotorov

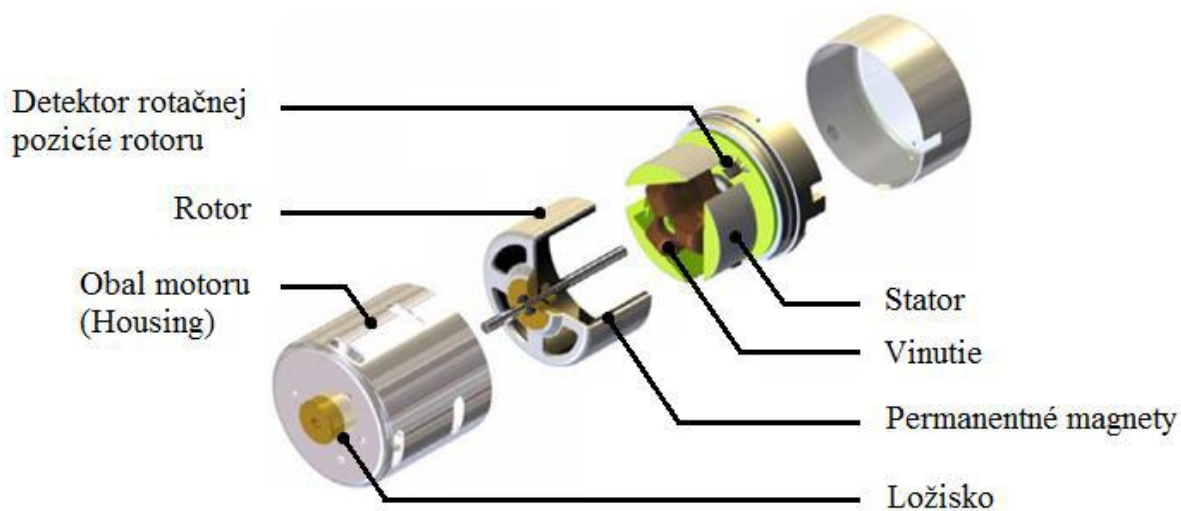
Pri tomto type elektromotorov je možné realizovať zmenu otáčok nasledovne:

- 1.) Zmenou napätia kotvy $U_1 > U > U_2$ - tvar charakteristiky ostáva rovnaký, charakteristika sa posúva.
- 2.) Regulácia otáčok odporom v sérii s vinutím kotvy (rotora) $R_1 < R < R_2$ - zmení sa sklon charakteristiky - charakteristiku je možné sklápať. Otáčky možno len znižovať.
- 3.) Regulácia otáčok buđením - so zväčšujúcou hodnotou buďenia Φ_1 sa budú zmenšovať otáčky a zároveň sa bude znižovať aj sklon charakteristiky pri zachovaní maximálneho momentu.



JEDNOSMERNÝ MOTOR BEZ KOMUTÁTORU

Jednosmerný motor bez komutátoru má v porovnaní s konvenčným permanentne budeným jednosmerným motorom, vymenené umiestnenie statoru a rotoru. Vo vonkajšom statore kde sú inak uložené permanentné magnety, je umiestnené vinutie a permanentné magnety sa nachádzajú v rotore. Stavba tohto motoru je teda veľmi podobná permanentne budenému synchrónnemu motoru. Pri tomto motore nepoužívame komutátor, pretože statorom vybudené magnetické pole je riadené elektronicky.





Striedavé elektromotory

ASYNCHRÓNNY MOTOR

Podstatná výhoda trojfázového asynchrónneho motoru je v tom, že nepotrebuje vinutie kotvy, ani kolektor. Navyše obiehajúcemu rotoru väčšinou nemusí byť privedený žiadni prúd, pretože je vytváraný krútiacim magnetickým poľom. Hlavnými výhodami asynchrónneho motoru je jednoduchá konštrukcia, možnosť veľkého preťaženia, minimálna údržba a tým aj vysoká spoľahlivosť. Oproti jednosmernému motoru je asynchrónny motor pri rovnakom výkone podstatne menší a ľahší.

Tento motor býva často nazývaný taktiež ako indukčný motor, kvôli tomu že medzi satorom a rotorom prebieha tok energie len za pomoci elektromagnetickej indukcie.

PRINCÍP ČINNOSTI ASYNCHRÓNNEHO MOTORU

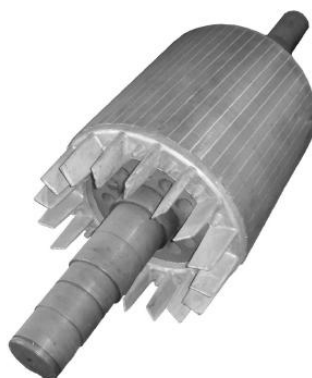
V statore je vytvorené krútiace magnetické pole pomocou striedavého trojfázového prúdu. Vplyvom tohto poľa, sa v rotore indukuje napätie a vzniknutý prúd vyvoláva magnetický tok. Tento magnetický tok je úzko spriahnutý so satorom, čím vyvoláva silové pôsobenie na rotor a má za následok jeho otáčanie.

Rotor asynchrónneho motoru je dostupný v dvoch rôznych variantoch a to ako krúžkový rotor, alebo klieťkový rotor. Krúžkový rotor je vybavený vinutím, ktorým preteká prúd privádzaný z vonku krúžkami a zberačmi. Pri tejto variante ležia odpory za vinutím rotoru, a tak je možné meniť pracovné podmienky. Klieťkový rotor sa skladá z hrubých spolu pospájaných hliníkových, medených alebo bronzových tyčí.

Rotor môže byť konštrukčne vyhotovený buď ako rotor s vinutou kotvou často nazývaný rotor krúžkový, alebo ako rotor s kotvou nakrátko tiež často nazývaný klieťkový rotor.



a) Vinutá kotva



b) Kotva nakrátko

Obr: Vyhotovenia rotora asynchrónneho stroja

Činnosť asynchrónneho stroja a jeho základné vlastnosti si môžeme vysvetliť nasledovnou úvahou. Majme asynchrónny motor s krúžkovou kotvou, pričom rotor zostane rozpojený (naprázdno). Na sator pripojíme trojfázové harmonické napätie. Pripojené napätie vyvolá v satorových cievkach prúd, ktorý vytvorí na statore otáčavé magnetické pole. Jeho rýchlosť " ω " bude závisieť od frekvencie " f " napájacieho napätia a počtu párov pólov " p "

$$\omega_1 = 2\pi \cdot f_1 / p.$$

Satorové otáčavé magnetické pole indikuje napätie na rotore. Vinutím rotora začne prechádzať prúd a vzhľadom k tomu, že na vodiči s prúdom v magnetickom poli pôsobí sila vyvolávajúca krútiaci

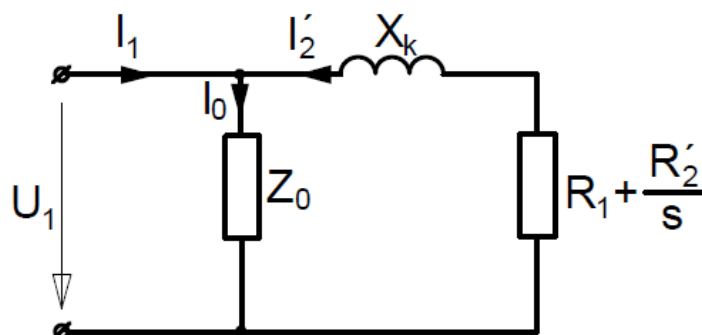
Pohonné systémy automobilov

Blok č: 6

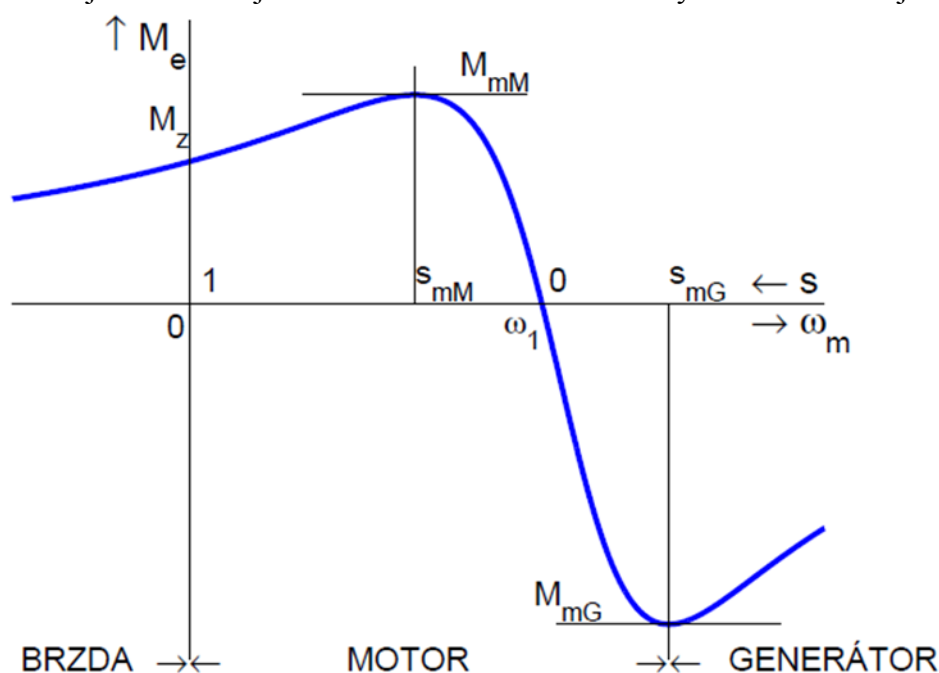
Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

moment, tak sa rotor začne otáčať rovnakým smerom ako sa otáča magnetické pole statora. Otáčky rotora však budú znížené oproti otáčkam magnetického pola v statore o tzv. sklzové otáčky (sklz): $n_r = n_s (1-s)$.

Po transformácii dostávame zjednodušenú náhradnú schému asynchrónneho stroja, uvedenú na obr.



Obr. Zjednodušená jednofázová náhradná schéma asynchrónneho stroja



Momentová charakteristika asynchrónneho stroja

Na obr. je znázornený priebeh elektromagnetického momentu asynchrónneho stroja M_e v závislosti od mechanickej rýchlosti ω_m , resp. sklzu s . Priebeh momentu je vypočítaný na základe rovnice.

$$M_e = \frac{3}{\omega_1} \cdot \frac{U_1^2}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right) + X_k^2} \cdot \frac{R_2'}{s}$$

Oblasť sklzu v intervale $s = (0, 1)$ odpovedá motorickému chodu. Sklz $s > 1$ odpovedá brzdnému a $s < 0$ generátorovej prevádzke asynchrónneho stroja. Priebeh elektromagnetického momentu má dva



Pohonné systémy automobilov

Blok č: 6

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

extrémy. Maximálny moment (nazývaný tiež moment zvratu) v motorickej prevádzke M_{mM} a maximálny moment v generátorovej prevádzke M_{mG} .

Riadenie asynchrónnych motorov

Ak M_e je elektromagnetický moment motora a M_p je pracovného stroja (záťažový), tak pri rozbehu musí platiť dynamická rovnica pohonu

$$M_e = M_p + M_a$$

Kde: M_a je dynamický moment

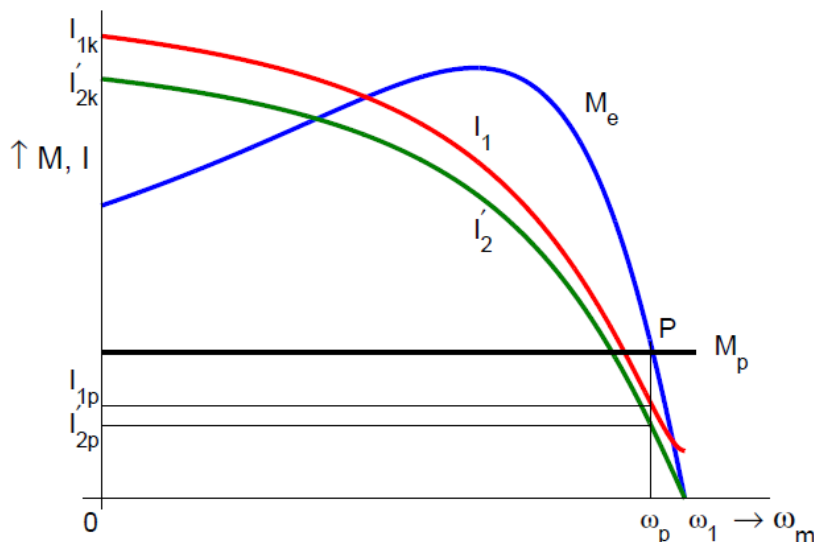
$$M_e - M_p = M_a = J \cdot d\omega_m / dt$$

J – je moment zotrvačnosti rotujúcich hmôt (kgm^2)

Podľa rovnice sa motor rozbieha pokiaľ $M_e > M_p$. Táto podmienka je pre priebeh momentu motora splnená až do pracovného bodu P, ktorý je daný priesečníkom oboch priebehov momentov. V tomto bode je $M_e = M_p$. Pri rozbehu sa motor rozbehne na rýchlosť ω_p .

Pri rozbehu asynchrónnych motorov sa snažíme dosiahnuť

- Veľký záberový moment s ohľadom na čo najväčší dynamický moment. Od veľkosti dynamického momentu závisí doba rozbehu motora.
- Obmedzenie záberového prúdu s ohľadom na napájacie vedenie a ochranné prvky.

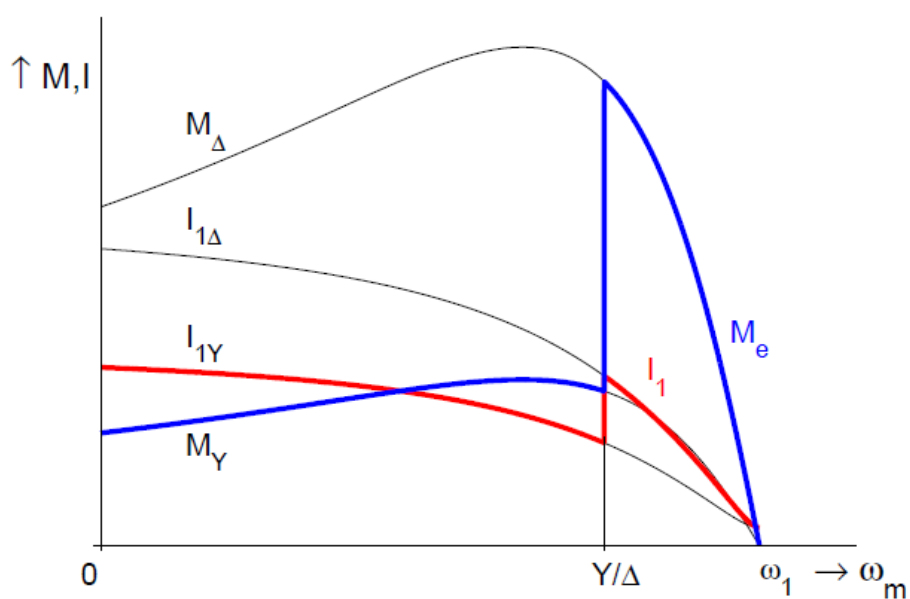
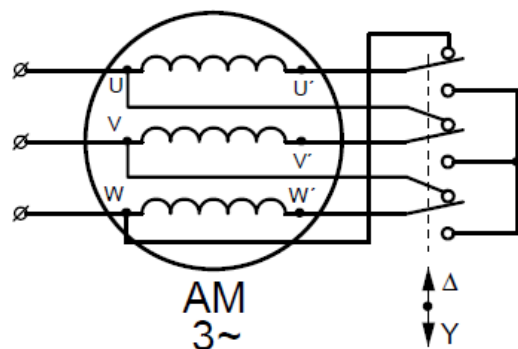


M_e – priebeh elektromagnetického momentu v závislosti od rýchlosti

I_1, I_2 – priebehy prúdov v závislosti od rýchlosti

I_{1p} – veľkosť prúdu v ustálenom stave

Rozbehová charakteristika asynchrónneho stroja



M_e – priebeh elektromagnetického momentu pri prepínaní Y/Δ

I_1 – priebeh satorového prúdu pri prepínaní Y/Δ

Rozbeh prepínaním hviezda – trojuholník

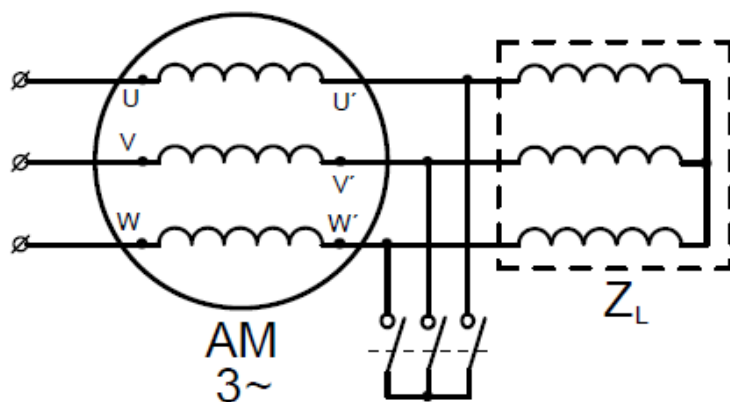
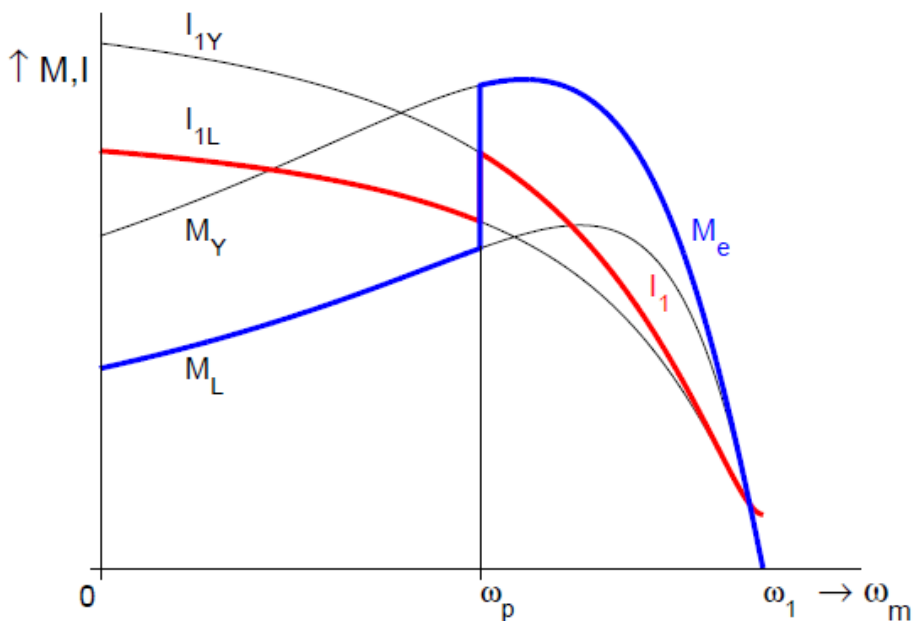
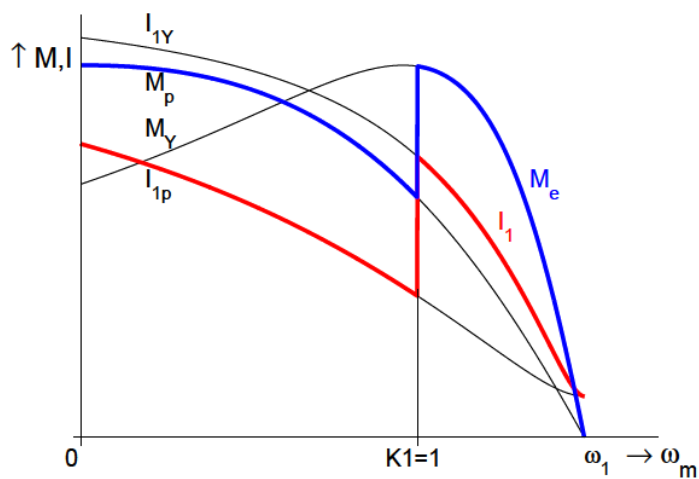
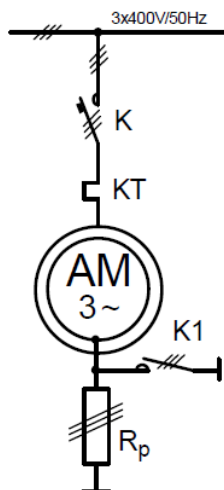


Schéma rozbehu asynchrónneho motora s tlmičkou



Rozbeh asynchrónneho motora s tlmivkou

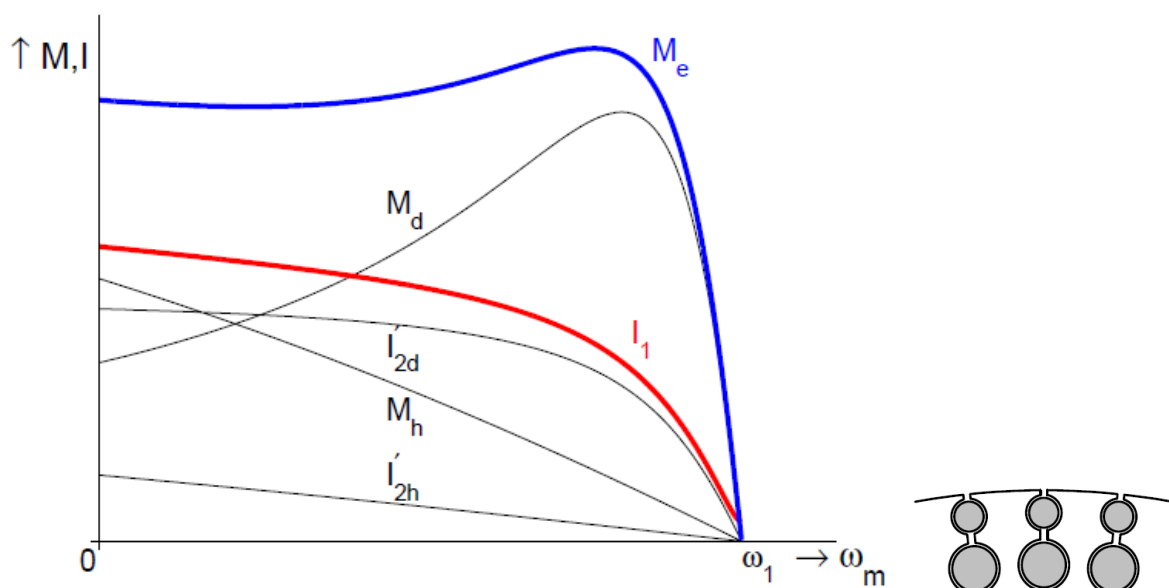


M_e – priebeh elektromagnetického momentu

I_1 – priebeh sistorového prúdu

$K_1 = 1$ – vyradenie rozbehového odporu

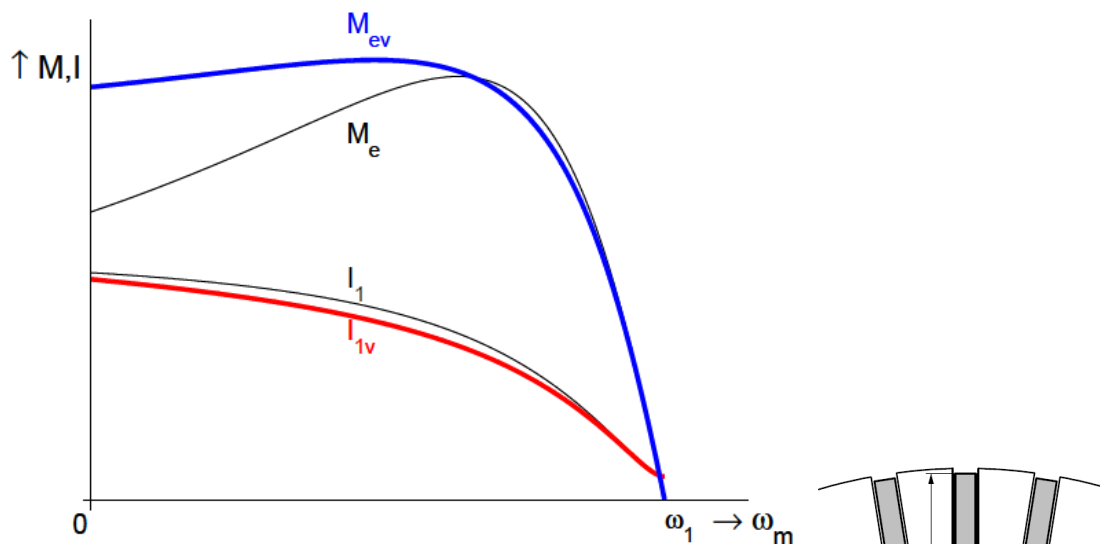
Rozbeh asynchrónneho motora s rotorovým spúšťačom



M_h, I'_{2h} – Moment a rotorový prúd vonkajšej kľetky

M_d, I'_{2d} – Moment a rotorový prúd vnútornej kľetky

Momentová charakteristika motora s dvojistou kľetkou



M_{ev}, I_{1v} – Moment a prúd s vírivou kľetkou

M_e, I_1 – Moment a prúd s obyčajnou kľetkou

Momentová charakteristika motora s vírivou kľetkou

Motory s vírivou kľetkou majú na rotore tyče ktorých pomer výšky h a šírky b je $h/b \geq 5$.



Pohonné systémy automobilov

Blok č: 6

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

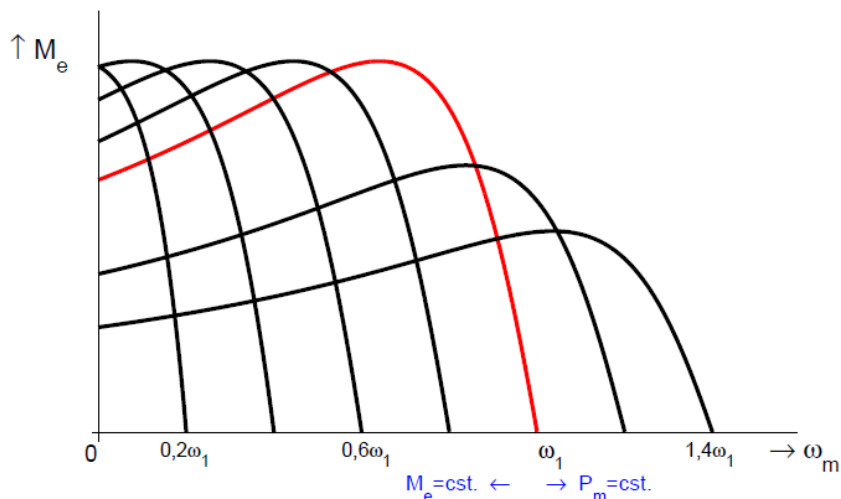
Riadenie rýchlosti asynchrónnych motorov

Pre mechanickú rýchlosť asynchrónneho motora platí z rovnice:

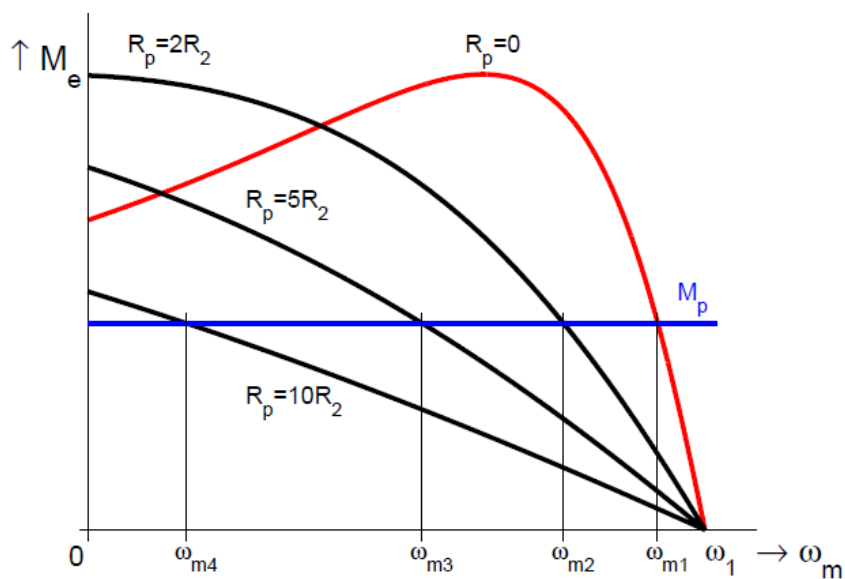
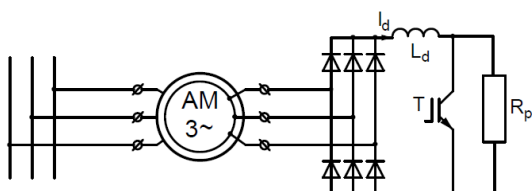
$$\omega_m = \omega_1(1 - s) = 2\pi f_1 \cdot (1 - s) / p$$

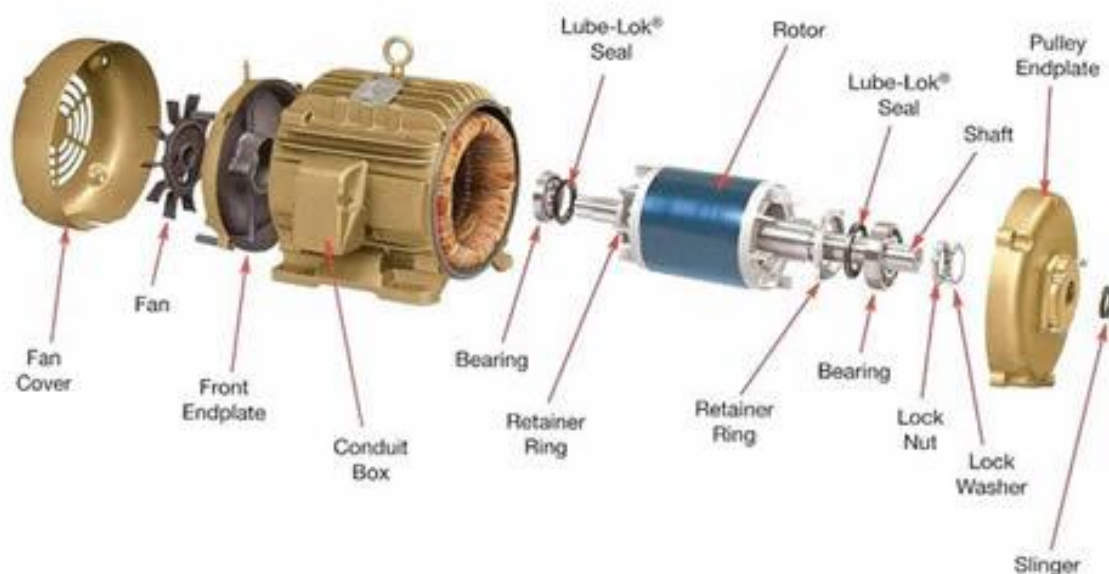
Na základe uvedeného vzťahu je možné mechanickú rýchlosť asynchrónneho motora riadiť

- Počtom párov pólov p ;
- Frekvenciou napájacieho napätia f_1 ;
- Sklзом s

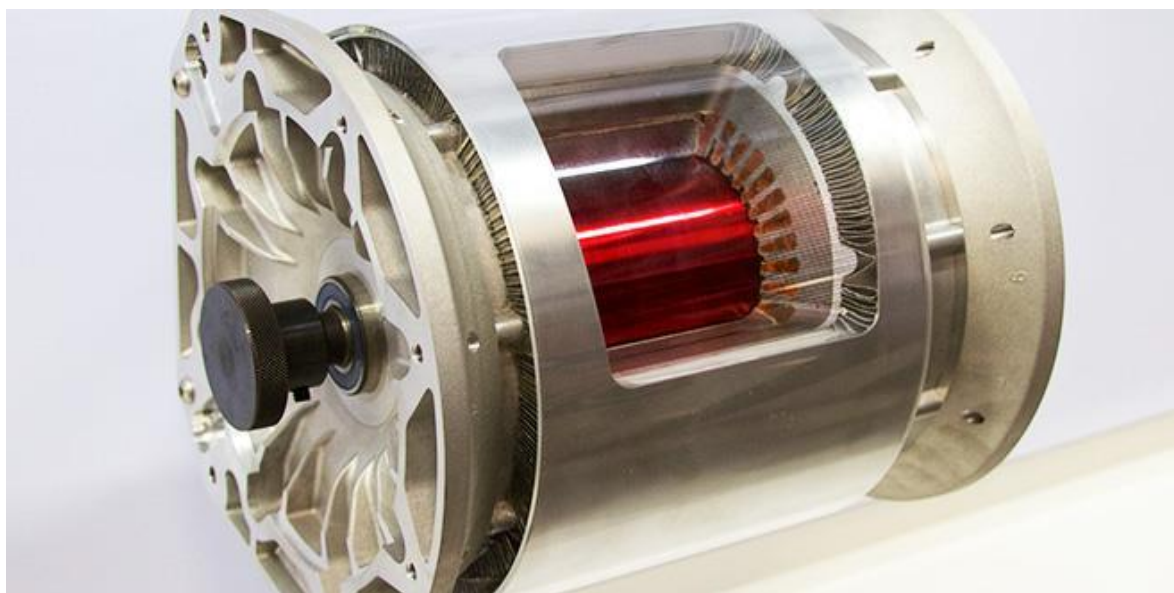


Momentové charakteristiky pri riadení zmenou frekvencie





Asynchrónny motor



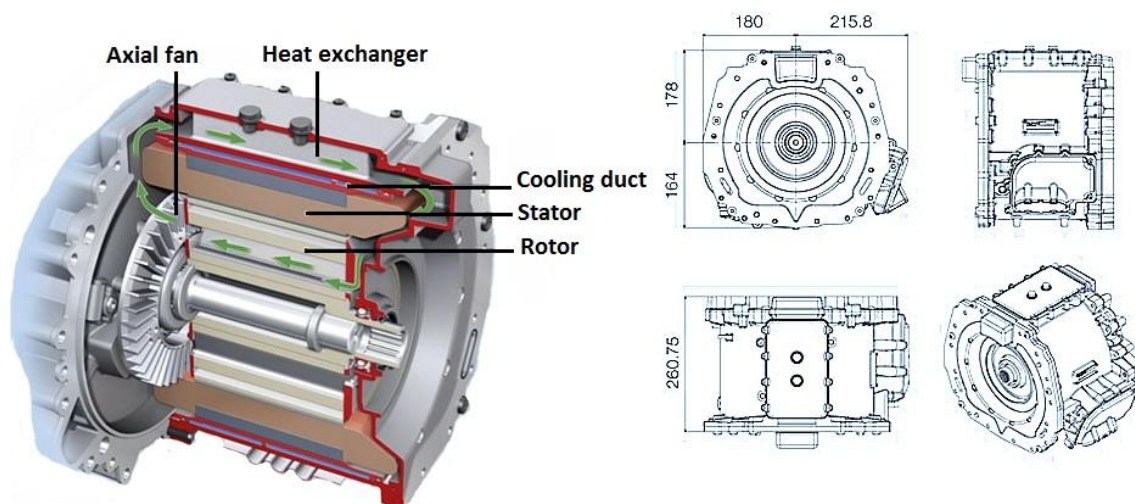
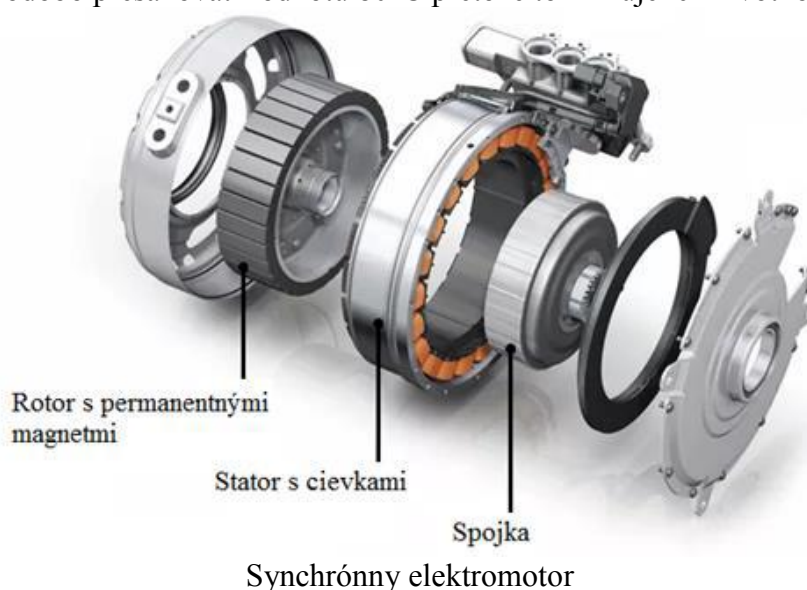
Rez asynchrónnym elektromotorom



SYNCHRÓNNY MOTOR

Najviac využívaný synchrónny motor je typ PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor), ktorý má v rotore aplikované permanentné magnety. Najčastejšia konštrukcia PMSM motoru je trojfázové satorové vinutie v drážkach magnetického obvodu. Rotor s permanentnými magnetmi je uložený vo vnútri. Na zníženie hmotnosti je možné v rotore vytvoriť dutiny.

Materiály z ktorých sa vyrábajú tieto permanentné magnety sú väčšinou zliatiny SmCo (Samarium-Kobaltu) alebo NdFeB (Neodym-Železo-Bóru) ktorých magnetická indukčnosť v porovnaní s bežne používaným Feritom je až trojnásobná. Vďaka tomu že magnetický tok je až trojnásobný, tieto motory nemusia byť veľké. Pracovná teplota magnetov môže dosiahnuť až 200°C, avšak nemali by dlhodobo presahovať hodnotu 80°C pretože to znižuje ich životnosť.



PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MACHINE CONSTRUCTION (PSM)



Pohonné systémy automobilov

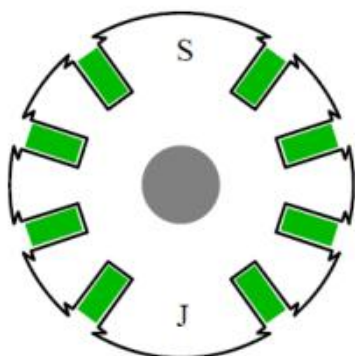
Blok č: 6

Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

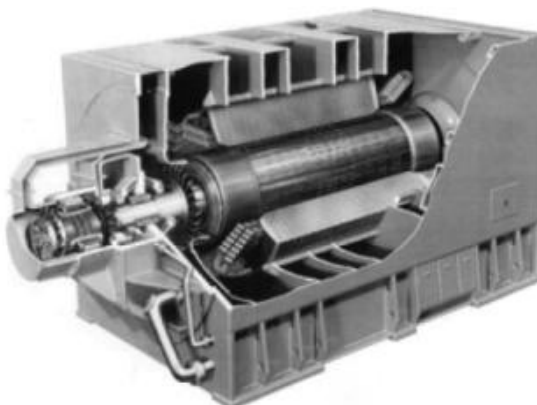
Stator synchronných strojov pozostáva z magnetického obvodu, v drážkach ktorého je rozložené trojfázové vinutie. Statorové vinutie sa najčastejšie spojuje do hviezdy.

Rotor synchronného stroja je vlastne elektromagnet, ktorý vytvára magnetické pole prechádzajúce statorom. Otáčaním rotora sa v statorovom vinutí indukuje trojfázové harmonické napätie, frekvencia ktorého je závislá od rýchlosti otáčania. Budiace vinutie (rotorové) je napájané zo zdroja jednosmerného prúdu. Jednosmerný budiaci prúd sa privádza na rotor cez dva klzné kontakty (uhlíky), ktoré sa kĺžu po mosadzných krúžkoch umiestnených na hriadeli rotora. Na hriadeli stroja býva umiestnený tiež budič (derivačné dynamo) ako zdroj budiaceho prúdu. Moderné stroje používajú nepriame budenie.

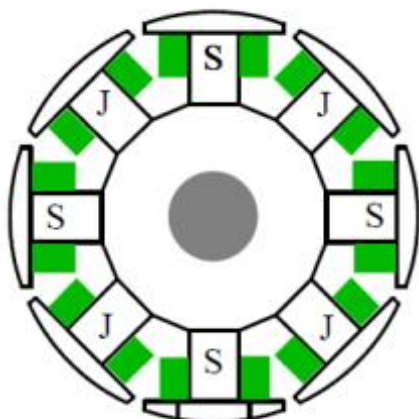
Podľa účelu použitia sa rotor synchronného stroja vyrába v dvoch vyhotoveniach Hladký rotor-používaný pre turbogenerátory. Rotorové vinutie je uložené v drážkach rotorového magnetického obvodu ktorý býva vyrobený z kovaného liatinového monolitu. Rotorové vinutie je uložené vo vyhadzovaných drážkach a vytvára dva, alebo štyri magnetické póly. Rotor býva relatívne dlhý s ohľadom na priemer. Pre dosiahnutie frekvencie 50Hz sú otáčky rotora 3000ot/min pri dvojpólovom rotore, resp. 1500ot/min pri štvorpólovom rotore. Na obrázku je uvedený rez dvojpólového hladkého rotora. Rotor s vyjadrenými pólmi vytvára magnetické pole s oveľa väčším počtom pólů na statore, ako v prípade hladkého rotora. To znamená, že pre dosiahnutie výstupnej frekvencie 50Hz sú požadované otáčky oveľa nižšie.



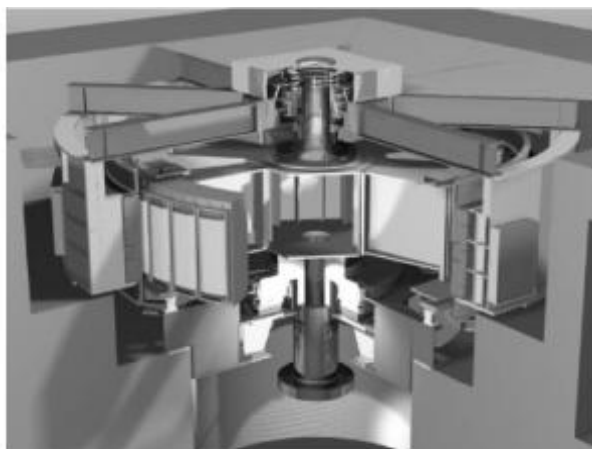
a) Hladký rotor



b) Rez turbogenerátora s hladkým rotorom



a) Vyjadrené póly

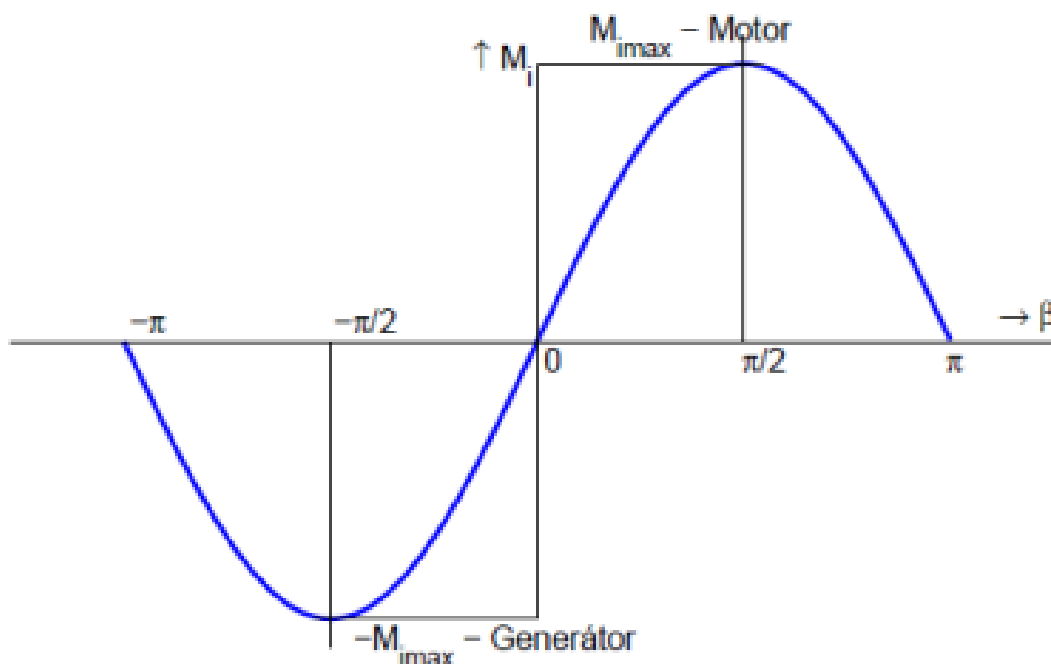


b) Rez hydrogenerátora s vyjadrenými pólmi



Moment synchrónneho stroja pri synchrónnej rýchlosti závisí len od záťažového uhla β , ktorý určuje fázový posun indukovaného napätia U_i voči svorkovému napätiu U_1 .

Pre motor dostávame kladný ($\beta > 0$) a pre generátor záporný ($\beta < 0$) elektromagnetický moment. Amplitúda maximálneho momentu pri konštantnom svorkovom napätí U_1 je priamo úmerná veľkosti indukovaného napätia U_i a nepriamo úmerná synchrónnej reaktancii stroja X_s . Maximálny moment je možné meniť zmenou budiaceho prúdu I_b , avšak len do oblasti nasýtenia magnetického obvodu. Iná možnosť zväčšenia maximálneho momentu je zmenšením hodnoty synchrónnej reaktancie X_s , čo je možné zväčšením vzduchovej medzery stroja.



Priebeh momentu synchrónneho turbostroja

Synchrónne motory s hladkým rotorom

Synchrónne motory nemali dlho uplatnenie, lebo problém bol s ich rozbehom, na ktorý potrebovali roztočiť na synchrónne otáčky. V súčasnosti je rozbeh synchrónnych motorov riešený použitím klieťového rotora nakrátko, čím pri rozbehu sa správajú ako asynchrónne motory s klieťou nakrátko. Synchrónne stroje pri zmene smeru momentu na hriadeľ prechádzajú hladko z generátorovej prevádzky do motorovej. Predpokladáme, že motor je pripojený na tvrdú trojfázovú sieť s pevnou frekvenciou. Stroj pracuje ako synchrónny motor so stálou rýchlosťou $\omega_s = 2f/p$. Táto vlastnosť predurčuje synchrónne motory na prevádzky, kde sa požaduje konštantná rýchlosť pri premenlivom zaťažení (odstredivky, kompresorové stanice a pod.).

Elektromagnetický moment stroja je daný podielom výkonu vo vzduchovej medzere a rýchlosti stroja:

$$M_i = 3 \cdot \frac{U_1 \cdot U_i}{\omega_s \cdot X_s} \cdot \sin \beta$$



Pohonné systémy automobilov

Blok č: 6

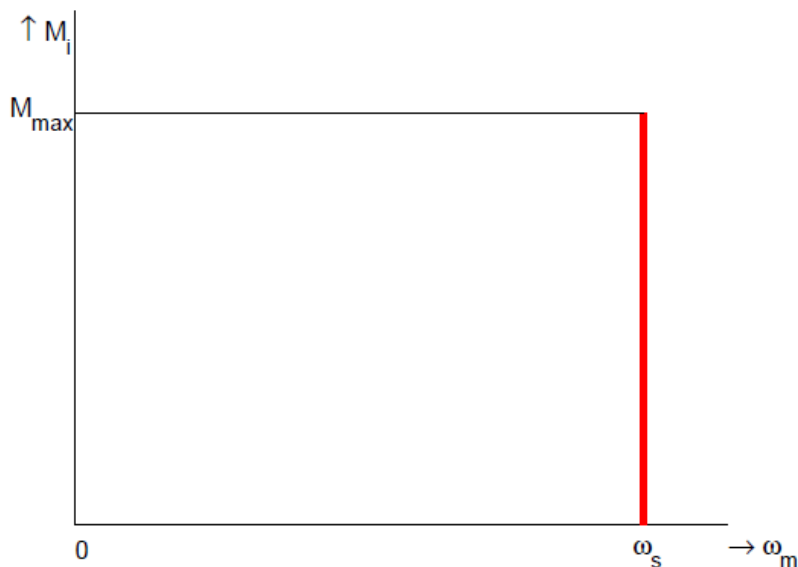
Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

kde: synchronná uhlová rýchlosť:

$$\omega_s = \frac{2\pi f}{P}$$

Maximálny moment stroja:

$$M_{imax} = 3 \cdot \frac{U_1 \cdot U_i}{\omega_s \cdot X_s}$$



Momentová charakteristika synchronného motora

Na obr. je uvedená závislosť momentu motora na rýchlosti (momentová charakteristika). Z obrázku vyplýva, že záberový moment (moment pre $\omega_m = 0$) je nulový. Synchronný motor sa sám nerozbehne.

Uvažujeme, že synchronný motor je pripojený na tvrdú sieť ($U_1 = \text{konšt.}$, $f = \text{konšt.}$) a je zaťažovaný s konštantným záťažovým momentom ($M = M_p = \text{konšt.}$). Motor pracuje pri konštantnom elektrickom výkone ($P_1 = M/\omega_s$).

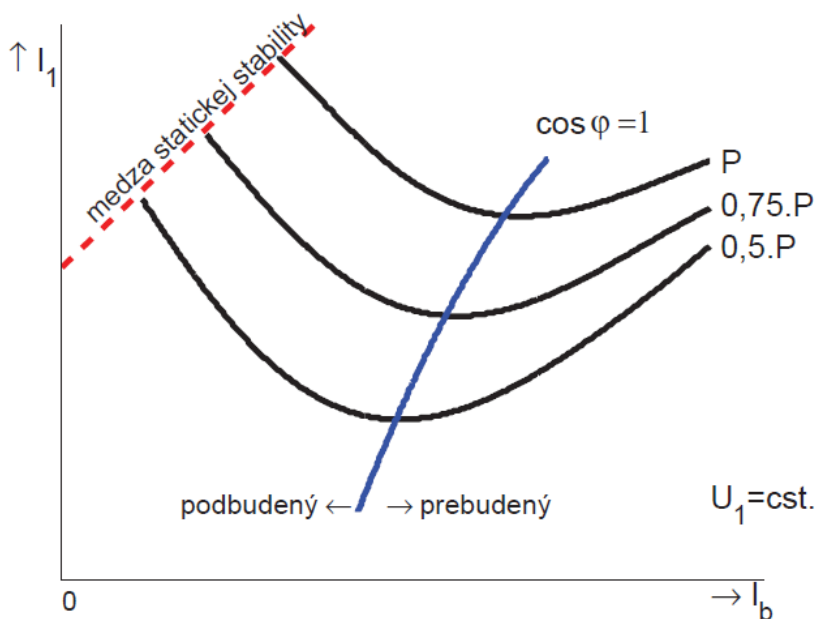
Potom elektrický výkon stroja

$$P_1 = 3 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi = \text{konšt.}$$

Pre konštantný elektrický výkon je činná zložka prúdu nemenná ($I_{1c} = I_1 \cos\varphi$) môžu nastať prípady:

V prípade, že pre daný budiaci prúd má statorový prúd indukčný charakter, hovoríme že stroj je *podbudený*. Pre budiaci prúd pri ktorom má statorový prúd kapacitný charakter, hovoríme že stroj je *prebudený*.

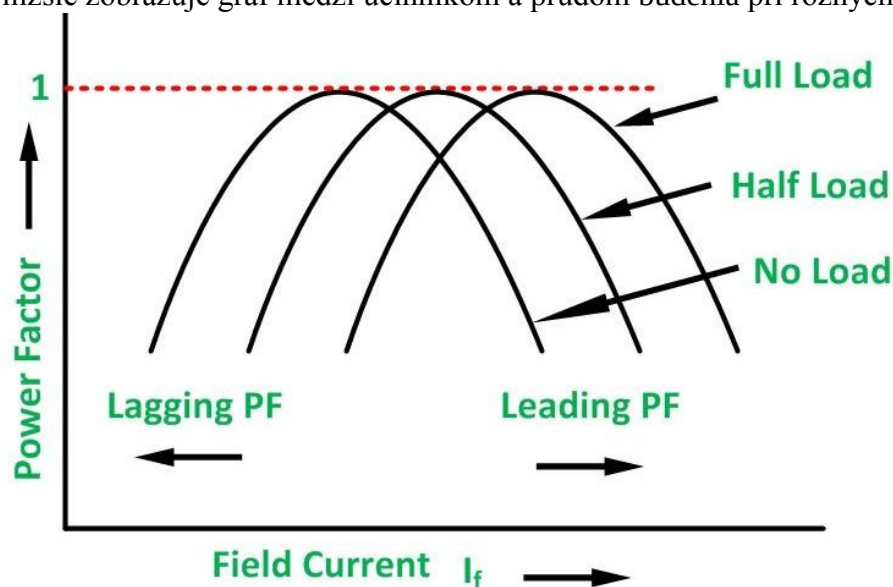
Závislosť statorového prúdu od rotorového, pri konštantnom výkone nazývame V -krivky. Na obr. sú znázornené priebehy V - kriviek pre rôzne hodnoty činného výkonu. Pre prebudený stroj, bude statorový prúd I_1 predbiehať svorkové napätie U_1 (kapacitný charakter). Pri znižovaní budiaceho prúdu I_b bude statorový prúd najprv klesať a potom opäť stúpať. V minime sú statorové napätie a prúd vo fáze, účinník $\cos\varphi = 1$. Pri ďalšom znižovaní budiaceho prúdu bude statorový prúd narastať a bude mať indukčný charakter (podbudený stroj).



V-krivky synchronného stroja

Znižovaním budiaceho prúdu slabne väzba medzi otáčavým magnetickým polom statora a rotorovým polom. Pri zoslabení rotorového magnetického pola pod kritickú hodnotu, preruší sa magnetická väzba medzi statorom a rotorom a rotor sa zastaví. Hovoríme, že *motor vypadol zo synchronizmu*. Medza statickej stability stroja je v grafe vyznačená červenou priamkou.

Obrázok nižšie zobrazuje graf medzi účinníkom a prúdom budenia pri rôznych zaťaženiach.



Z vyššie uvedeného obrázku je zrejmé, že ak synchronný motor pri plnom zaťažení pracuje pri jednotkovom účinníku, potom odstránenie zaťaženia hriadeľa spôsobí, že motor bude pracovať s hlavným účinníkom.



Rozbeh synchrónnych motorov

Synchrónny motor po pripojení na napájaciu sieť sa svojím princípom pôsobenia nevie sám rozbehnúť. Otáčavé magnetické pole sa okamžite začne otáčať synchrónnou rýchlosťou, rotor však s ohľadom na svoju zotrvačnosť, toho nie je schopný. Nemôže sa teda vytvoriť magnetická väzba medzi otáčavým magnetickým polom statora a rotorovým polom vytvoreným budiacim prúdom. Pol periódy je moment stroja kladný a pol záporný. Rotor stojí a vibruje.

Poznáme tri možné spôsoby rozbehu synchrónneho motora

- 1.) Znížením rýchlosti otáčavého magnetického pola na takú úroveň, aby bolo možné vytvoriť magnetickú väzbu medzi statorom a rotorom počas jednej otáčky. Zníženie rýchlosti otáčavého magnetického pola je možné znížením frekvencie statorového napájacieho napätia.
- 2.) Použitím prídavného rozbehového motora, ktorým sa rotor rozbehne na synchrónnu rýchlosť. Po následnom fázovaní stroja a pripojení na napájaciu sieť je možné rozbehový motor mechanicky odpojiť.
- 3.) Využitím tlmiaceho vinutia stroja na rozbeh. Motor sa rozbehne ako asynchrónny a po priblížení sa rýchlosti rotora k synchrónnej, rotor je vtiahnutý do synchronizmu.

Frekvenčný rozbeh motora

Ak sa otáčavé magnetické pole statora otáča dostatočne nízkou rýchlosťou, nie je problém aby sa magnetické pole rotora zosynchronizovalo s ním. Pri následnom zvyšovaní frekvencie statorového napätia bude priamo úmerne narastať rýchlosť rotora. Pri náraste frekvencie je potrebné nastaviť zrýchlenie tak, aby záťažový moment na hriadeli motora neprekročil hodnotu maximálneho momentu stroja. V opačnom prípade sa rotor zastaví (vypadne zo synchronizmu).

Pre frekvenčný rozbeh je potrebné medzi napájaciu sieť a motor zaradiť menič frekvencie dostatočného výkonu, čo zvyšuje náklady na pohon.

Keď sa motor otáča nižšou rýchlosťou ako je nominálna rýchlosť, tak je nižšie aj indukované napätie stroja ($U_i = C \cdot \Phi \cdot \omega_m$). V takomto prípade musíme znížiť hodnotu napájacieho napätia tak, aby sme udržali prúd motora na prijateľných hodnotách. Hodnota napájacieho napätia sa musí meniť lineárne s napájacou frekvenciou ($U_1/f = \text{konšt.}$).

Rozbeh pomocou rozbehového motora

Iný možný spôsob rozbehu synchrónneho stroja spočíva v pripojení externého pomocného motora na jeho hriadeľ. Používa sa tam, kde nie je potrebné riadiť rýchlosť motora. V takomto prípade frekvenčný menič zvyšuje náklady na pohon a v podstate okrem rozbehu je nevyužitý. Rozbeh spočíva v tom, že pomocným motorom rozbehneme synchrónny motor na rýchlosť približne rovnú synchrónnej rýchlosti. Nasleduje fázovanie stroja na sieť. Po fázovaní môže byť rozbehový motor odpojený. Akonáhle je rotorové magnetické pole spojené s otáčavým magnetickým polom statora, synchrónny motor môže byť zaťažovaný.

Keďže synchrónny motor sa vo väčšine prípadov rozbieha bez záťaže, rozbehový motor môže byť oveľa menšieho výkonu ako synchrónny. Veľké synchrónne motory majú často na hriadeli budič, ktorým sa napája budiace vinutie rotora. Jedným z možných riešení je využitie budiča na rozbeh hlavného motora.

Rozbeh s použitím tlmiaceho vinutia

Synchrónne motory stredného a malého výkonu sa často rozbiehajú pomocou tlmiaceho vinutia motora (amortizéra). Tlmiace vinutie tvoria špeciálne medené, prípadne hliníkové tyče a tieto sú umiestnené v drážkach rotora a ktoré sú na celách skratované. Tvoria závit nakrátko. Pri motore s hladkým rotorom sú tyče uložené v drážkach spolu s budiacim vinutím. Pri motore s vyjadrenými pólmi sú umiestnené v

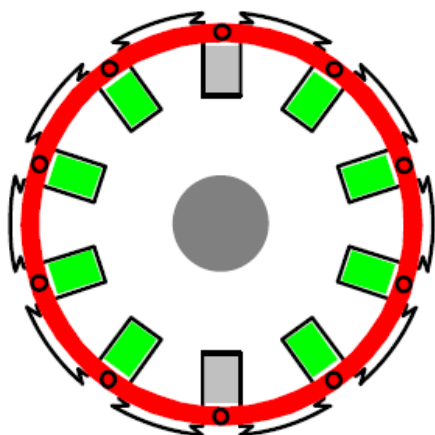
Pohonné systémy automobilov

Blok č: 6

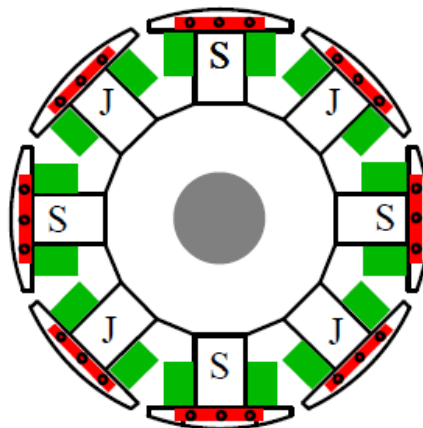
Prednášajúci: prof. Ing. Robert Grega, PhD.

pólových nastavcoch. Na obr. sú schematicky znázornené umiestnenia tlmiča pre prípad hladkého rotora a rotora s vyjadrenými pólmi. V prípade rotora s vyjadrenými pólmi môžu byť tyče umiestnené v póloch skratované jednotlivito alebo všetky spolu, tak ako je to v prípade hladkého rotora.

Technika rozbehu je taká istá ako pri asynchrónnych motoroch a závisí od výkonu motora. Motor sa teda rozbieha ako asynchrónny a po priblížení sa k synchronnej rýchlosti sám vklzne do synchronizmu. Tlmič má navyše úlohu tlmiť kmity motora pri náhlom zaťažení, prípadne odľahčení.



a) Hladký rotor



b) Rotor s vyjadrenými pólmi

Umiestnenie tlmiaceho vinutia



Nabíjanie elektromobilov

NABÍJANIE AC

Pri nabíjaní elektromobilu striedavým prúdom je použitá palubná nabíjačka, zabudovaná v každom automobile, tá prijíma striedavý (AC) prúd a mení ho na jednosmerný (DC) prúd, ktorý posiela ďalej do batérie automobilu. Kľúčovým parametrom pri výbere elektromobilov je teda výkon palubnej (zabudovanej) nabíjačky, ktorá limituje ako rýchlo ho možno nabíjať na cenovo dostupnejších a oveľa rozšírenejších AC nabíjaciach staniciach.

Maximálna možná rýchlosť nabíjania je teda závislá na maximálnej výkonovej zaťažiteľnosti zásuvky alebo nabíjacej stanice, výkonu palubnej nabíjačky, počtom fáz, ktoré je schopná využiť.

Bežne sú k dispozícii 3 typy zásuviek poskytujúce striedavý (AC) prúd:

Jednofázová schuko zástrčka (16A) 3,7kW

Trojfázová zástrčka CEE (16A) 11kW

Jednofázová zástrčka CEE (32A) 7,4kW

Trojfázová zástrčka CEE (32A) 22kW

Podľa vyššie uvedených hodnôt môžeme zistiť, že najrýchlejšia možnosť nabíjania batérie elektromobilov striedavým prúdom je za pomoci zásuvky či AC nabíjacej stanice s napätím 3x230V a maximálnym prúdom 32A na každej fáze.

AC NABÍJACÍ STANICA

Tieto nabíjačky sprostredkujú potrebnú komunikáciu s riadiacim systémom vozidla a zaisťujú po celú dobu nabíjania bezpečný priebeh nabíjania pre obsluhu aj vozidlo. Jedná sa vlastne o rozhranie, ktoré za pomoci kábla umožňuje pripojenie palubnej nabíjačky k napätiu s prúdom a vie poskytnúť až 22 kWh nabíjacieho výkonu. Tento striedavý prúd je posielaný do palubnej nabíjačky, ale iba v takom množstve, aké je schopná prijať. Následne mení palubná nabíjačka striedavý prúd na jednosmerný a posiela ju do batérie.

Pokiaľ je teda elektromobil vybavený len 3,7 kW nabíjačkou, tak je úplne jedno či ho nabíjame z obvyčajnej jednofázovej zásuvky (230 V / 16 A), alebo pomocou trojfázovej nabíjacej stanice (400 V / 32 A), pretože palubná nabíjačka si rovnako nie je schopná vziať viac ako 3,7 kW za hodinu. Ak chcete v tomto prípade nabíjať vyššou rýchlosťou, tak vám nezostáva nič iné, než nabíjať pomocou DC nabíjacej stanice.



NABÍJANIE DC

Nabíjanie jednosmerným prúdom, tzv. Rýchlonabíjanie sa robí pomocou DC nabíjacej stanice, ktorá vie striedavý prúd (AC) zmeniť na jednosmerný (DC), potom "obíde" palubnej nabíjačku elektromobilu a tento jednosmerný prúd posiela priamo do batérie, presne podľa inštrukcií riadiaceho systému nabíjania vo vozidle. Nabíjanie teda nie je obmedzované výkonom palubnej nabíjačky a prebieha podstatne rýchlejšie.

Takéto nabíjacie stanice sú ale technologicky podstatne zložitejšie a mnohonásobne drahšie ako AC nabíjacie stanice, vyžadujú výkonné odberné miesto elektrickej energie a preto ich napočítame podstatne menej, než staníc AC.

DC Dobíjacie stanice musia vedieť s vozidlom komunikovať namiesto nabíjačky palubnej, aby mohla upravovať parametre výstupného výkonu podľa stavu a schopností batérie.

Na obr. máme stručný prehľad dobíjacích konektorov pre elektromobily podľa existujúcich noriem.

Current type	Region			
	Japan	America	Europe, rest of world	China
AC				
Plug name:	J1772 (or Type 1)	J1772 (or Type 1)	Mennekes (or Type 2)	GB/T
DC				
Plug name:	CHAdeMO	CCS1	CCS2	GB/T