



ELEKTRICKÉ STROJE - POHONY

Ing. Petr VAVŘIŇÁK

2013

1.5.1 Motor s cizím buzením

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



1.5 STEJNOSMĚRNÉ MOTORY

Stejnosemřné motory jsou stroje, které mění elektrickou energii na energii mechanickou (odebíranou z otáčející se hřídele) po připojení ke stejnosměrnému zdroji napětí.

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



1.5 STEJNOSMĚRNÉ MOTORY

Rozdělujeme je podle zapojení budícího vinutí (vinutí hlavních pólů) vůči vinutí rotoru na:

- motory s cizím buzením
- motory s vlastním buzením:
 - paralelním (derivačním),
 - sériovým
 - smíšeným.

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



1.5.1 Motor s cizím buzením

Cizí buzení = **vinutí statoru**, které **není** propojeno s **vinutím rotoru** a je připojeno na „cizí“ zdroj napětí (jiný zdroj než je připojen k rotorovému vinutí).

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



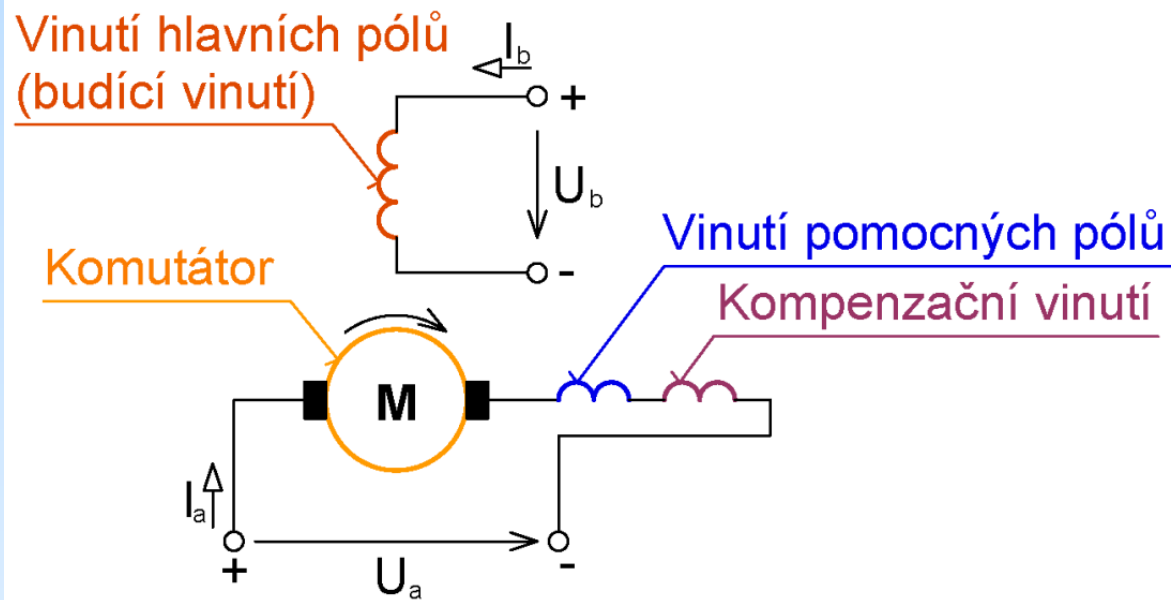
OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1.5.1 Motor s cizím buzením

SCHÉMA ZAPOJENÍ

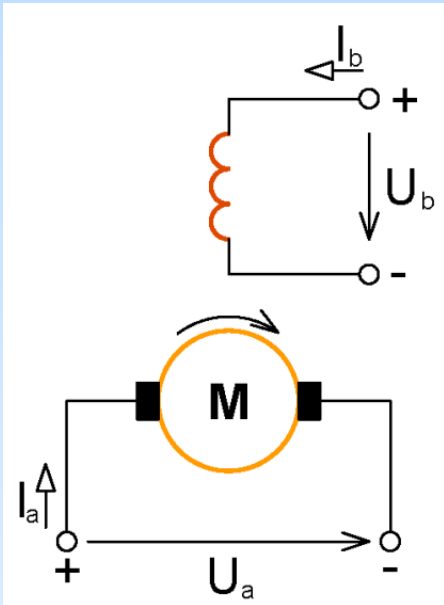


ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU

1.5.1 Motor s cizím buzením

SCHÉMA ZAPOJENÍ



Pro vysvětlení principu činnosti budeme používat zjednodušené schéma (vinutí pomocných pólů a kompenzační vinutí slouží „jen“ k potlačení reakce kotvy a ke zlepšení komutace).

ROBOTI



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



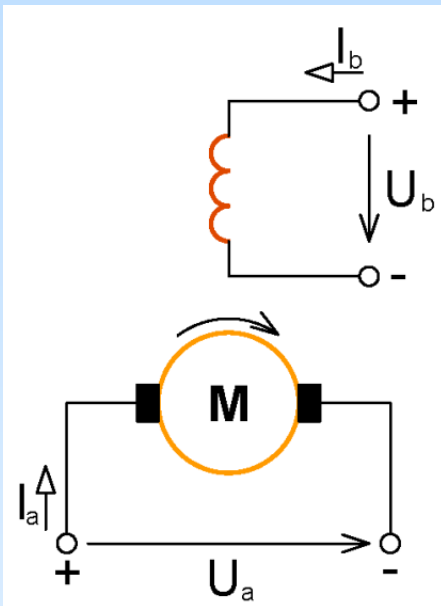
OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1.5.1 Motor s cizím buzením

PRINCIP ČINNOSTI



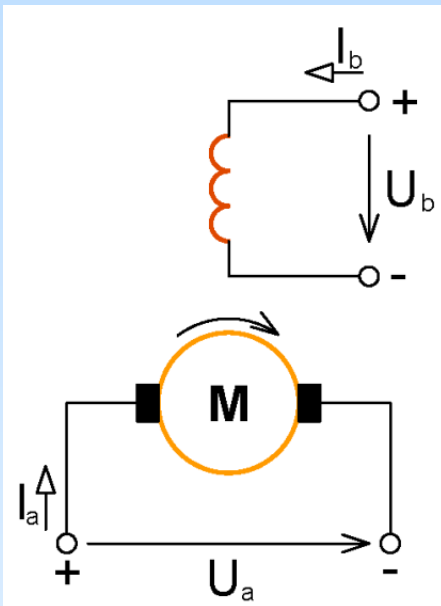
Připojíme-li na cívky hlavních pólů zdroj stejnosměrného napětí U_b , začne jimi protékat stejnosměrný proud I_b , který vytvoří statické magnetické pole.

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU

1.5.1 Motor s cizím buzením

PRINCIP ČINNOSTI

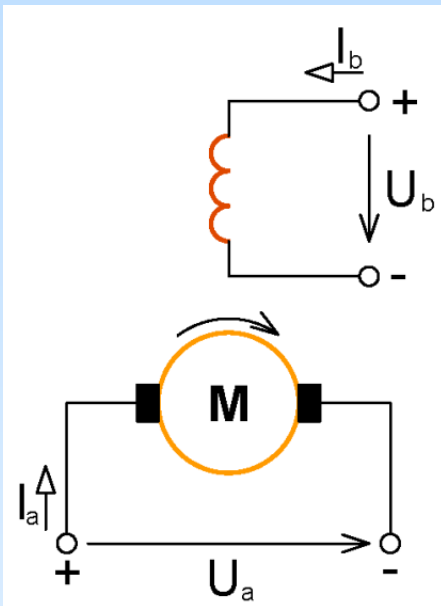


Připojíme-li zároveň vinutí rotoru (přes komutátor a kartáče) ke zdroji stejnosměrného napětí U_a , bude jím procházet (přes kartáče a komutátor) proud I_a .

ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

PRINCIP ČINNOSTI

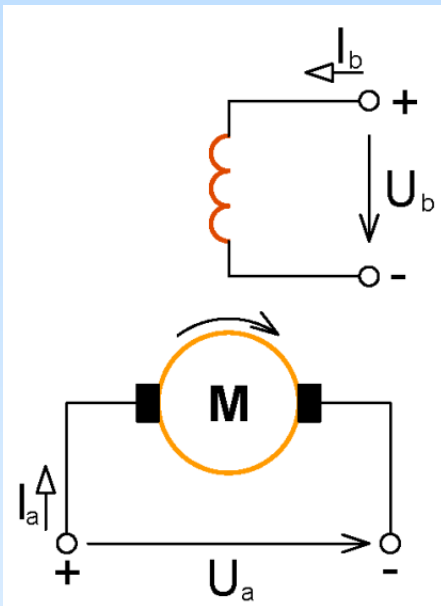


A jelikož vodičem rotoru nacházejícího se v magnetickém poli hlavních pólů prochází proud I_a , bude na vinutí rotoru působit síla (Flemingovo pravidlo levé ruky), která rotorem pohne a pootočí jej.

ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

PRINCIP ČINNOSTI

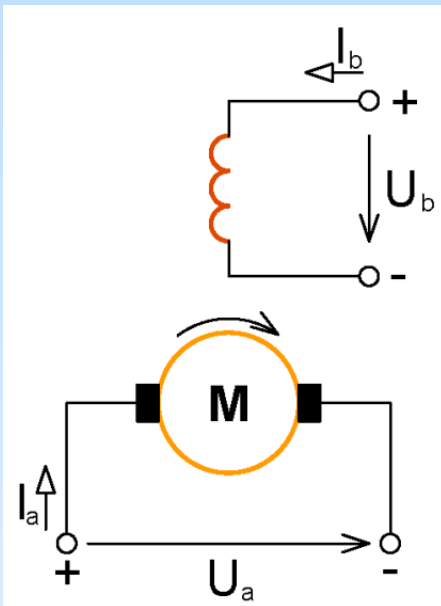


Zároveň komutátor s kartáči změnil směr proudu ve vinutí rotoru (dojde ke komutaci) a rotor se opět pootočí.

ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

PRINCIP ČINNOSTI



Komutátor tedy zajistí, že pod jižním pólem statoru bude vinutím rotoru procházet opačný proud než pod statorovým pólem severním a rotor se bude otáčet, tzn., že komutátor s kartáči pracuje jako rotační střídač.

ROBOTI



1.5.1 Motor s cizím buzením

OTÁČKOVÁ CHARAKTERISTIKA

Je závislost otáček motoru na momentu stroje.

ROBOTI

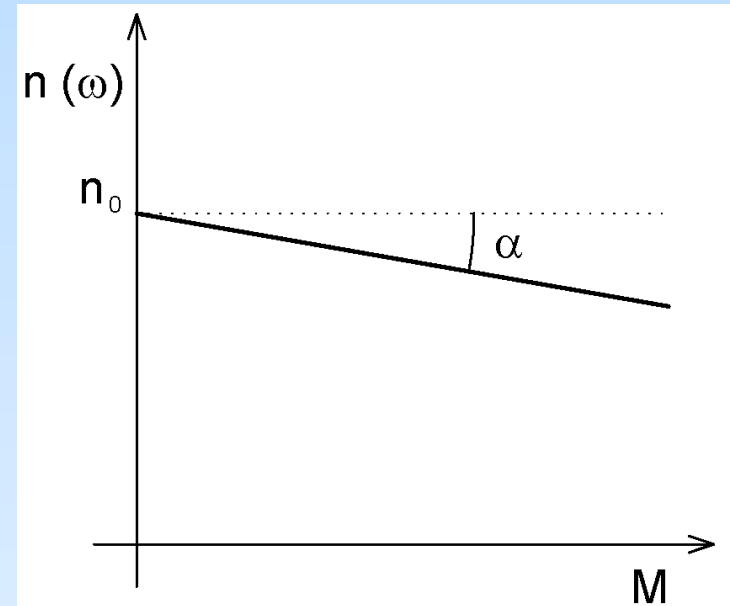
VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU

1.5.1 Motor s cizím buzením

OTÁČKOVÁ CHARAKTERISTIKA

U dobře kompenzovaného stroje (Φ se se zatížením nemění) se jedná o přímku se sklonem daným odporem kotvy:

$$\omega = \underbrace{\frac{U}{C_1 \cdot \Phi}}_{\omega_0} - \underbrace{\frac{R_a}{C_1^2 \cdot \Phi^2}}_{\text{tg } \alpha} \cdot M_h$$



ROBOTOI



1.5.1 Motor s cizím buzením

SPOUŠTĚNÍ

Spouštění motoru = jeho roztočení z klidového stavu.

Při spouštění se nejdříve připojí zdroj napětí k budícímu vinutí (U_b), nastaví se příslušný budící proud (I_b) a poté se připojí zdroj napětí k vinutí rotoru (U_a).

V tomto okamžiku nastává velký proudový odběr, který musíme často omezovat.

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU

1.5.1 Motor s cizím buzením

SPOUŠTĚNÍ

Motory do výkonu cca 1 kW (omezení dané velikostí záběrného proudu) spouštíme jen přímým připojením ke zdroji napětí (U_a).

U motorů větších musíme omezit velikost záběrného proudu:

- Spouštěcím rezistorem zapojeným sériově k vinutí rotoru.
- Snížením napětí rotorového zdroje.

ROBOTI



1.5.1 Motor s cizím buzením

Spouštění sériově řazeným rezistorem

Rezistorem připojeným do série k rotorovému vinutí se zvětší sklon charakteristiky a zmenší procházející proud.

Používáme proměnný rezistor, který nejdříve nastavíme na nejvyšší hodnotu a poté skokově hodnotu odporu snižujeme a motor přechází postupně na odpovídající charakteristiky (otáčkovou a proudovou).

Po roztočení na jmenovité otáčky rezistorový spouštěč odpojíme.

ROBOTI



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

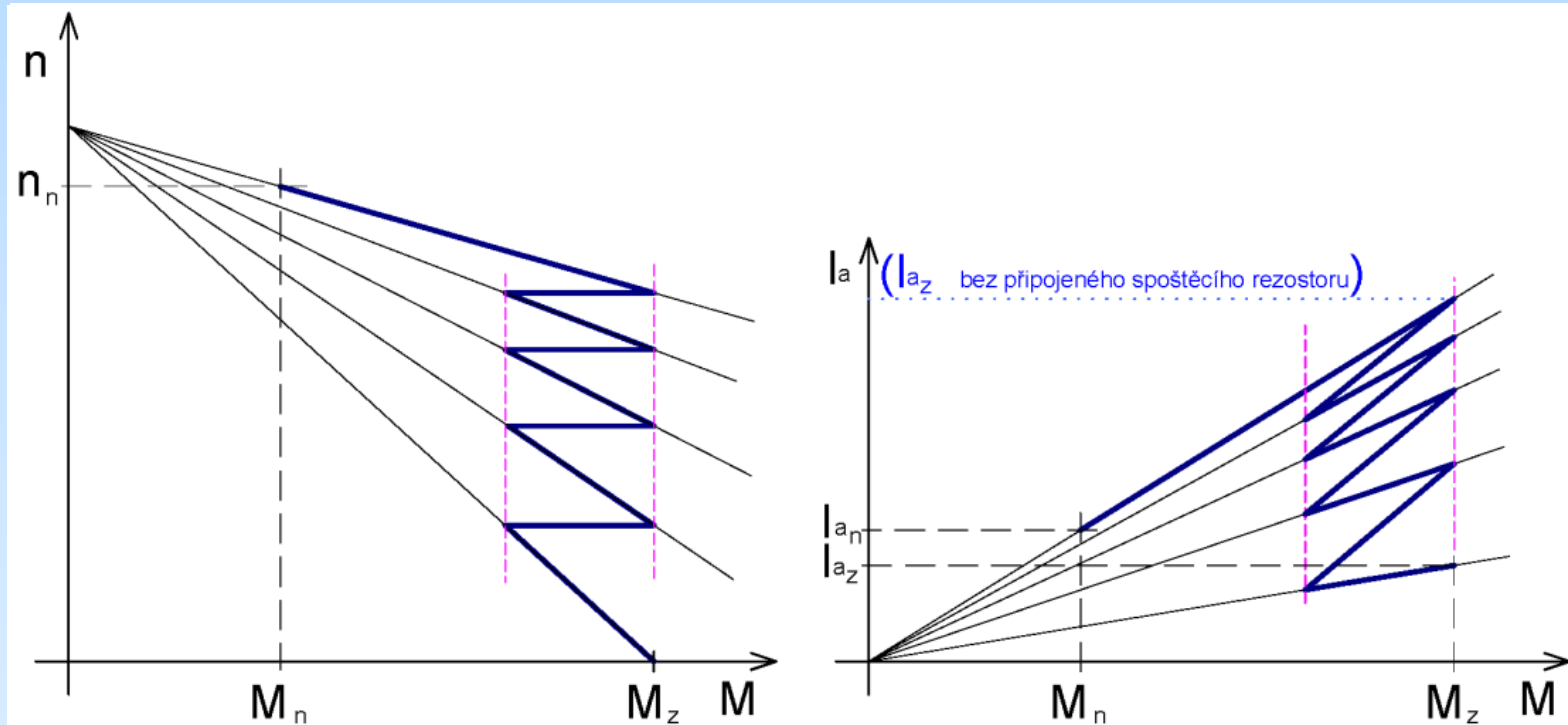


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1.5.1 Motor s cizím buzením



ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



1.5.1 Motor s cizím buzením

Spouštění regulovatelným zdrojem napětí

Nejdříve nastavíme velikost napětí na minimální hodnotu a poté napětí zvyšujeme.

Máme-li zdroj s plynulou regulací napětí, pak po rozběhu zvyšujeme napětí a tím i otáčky při téměř konstantním momentu a proud narůstá přímo úměrně s napětím.

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



1.5.1 Motor s cizím buzením

Spouštění regulovatelným zdrojem napětí

Máme-li zdroj se „skokovou“ regulací napětí, budeme přepínat postupně na vyšší hodnoty napětí a motor bude přecházet na odpovídající otáčkovou a proudovou charakteristiku.

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

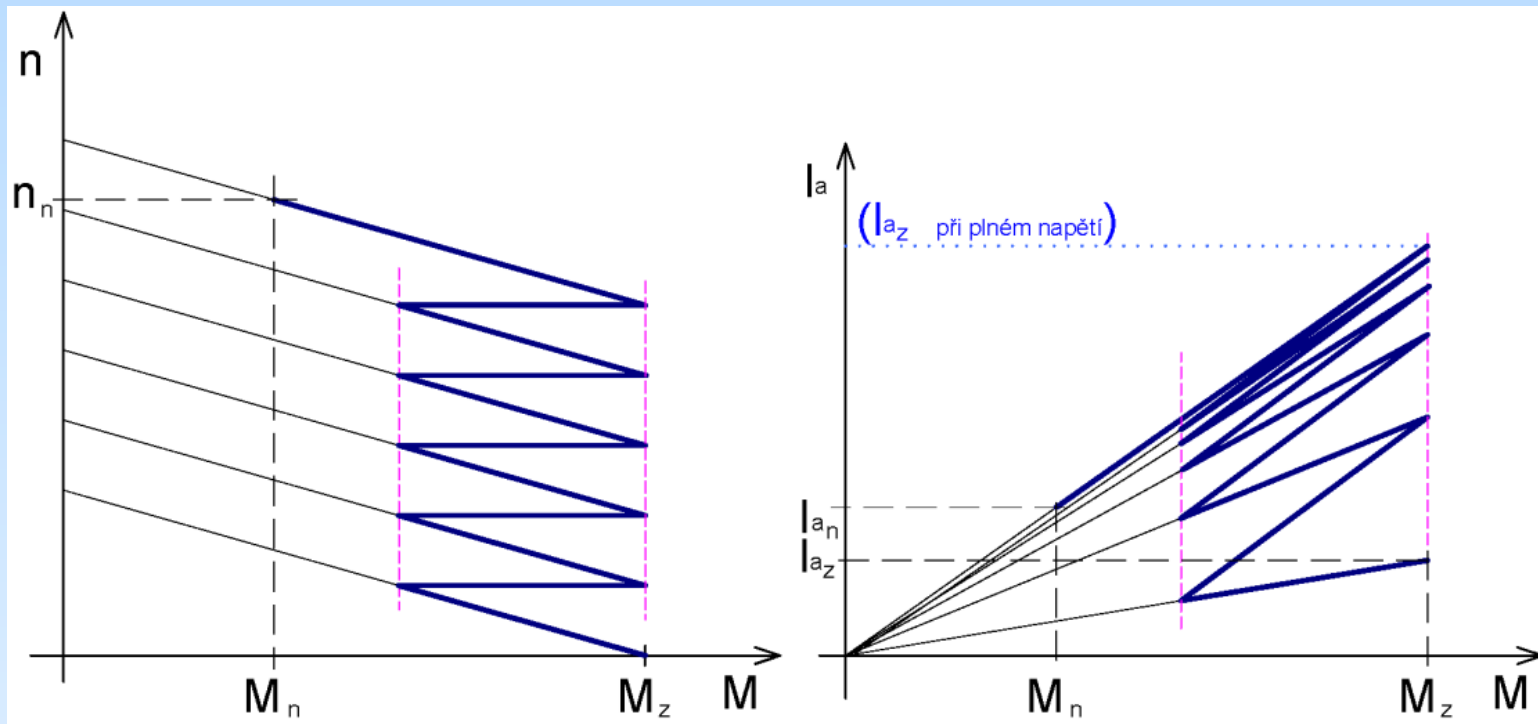


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1.5.1 Motor s cizím buzením



ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



1.5.1 Motor s cizím buzením

REGULACE OTÁČEK

Regulace otáček = úmyslná změna otáček rotoru (ne změna jiným vlivem například náhlou změnou zatížení).

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



1.5.1 Motor s cizím buzením

REGULACE OTÁČEK

Otáčky stejnosměrného cize buzeného motoru lze regulovat (jak vyplývá

z rovnice otáčkové charakteristiky: $\omega = \frac{U_a}{C_1 \cdot \Phi} - \frac{R_a}{C_1^2 \cdot \Phi^2} \cdot M_h$):

- Změnou napětí na rotoru (U_a).
- Zařazením rezistoru do série s rotorovým vinutím.
- Změnou velikosti budícího proudu (budícího toku).

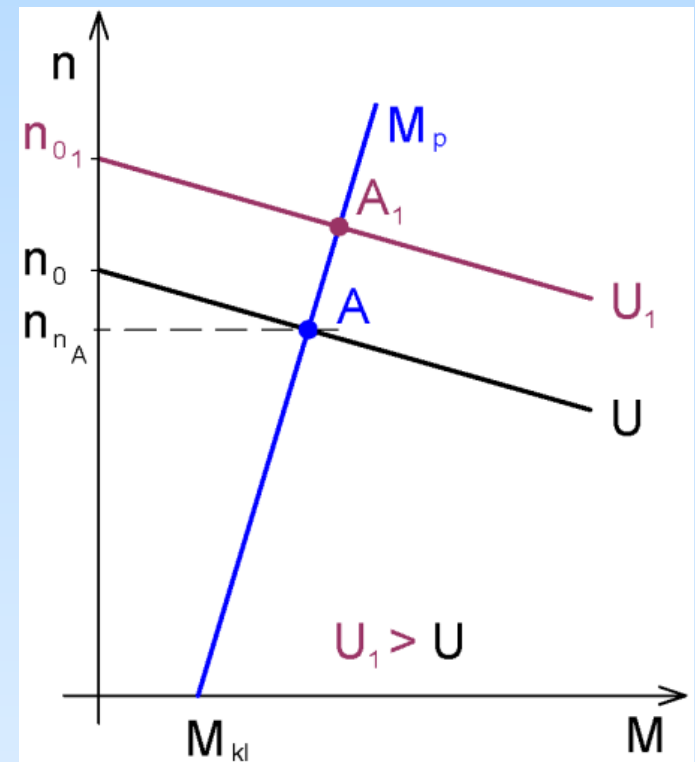
ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

Regulace otáček změnou napětí

Změnou napětí na rotoru se mění jen otáčky naprázdno (průsečík s osou otáček), sklon charakteristiky zůstává stejný.

Při **větším** napětí (U_1), se charakteristika posune a protne osu při **větších** otáčkách naprázdno n_{01} .



ROBOTI



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

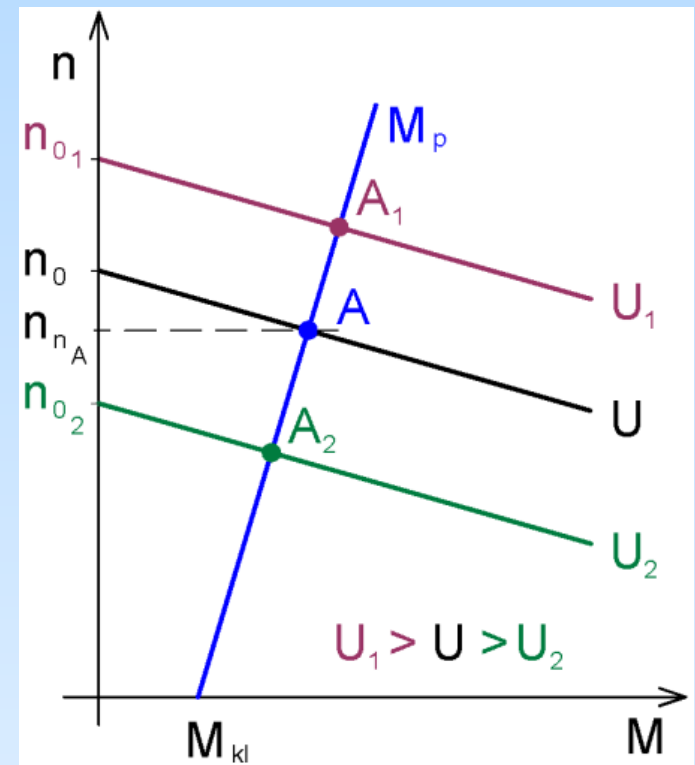


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1.5.1 Motor s cizím buzením

Regulace otáček změnou napětí

Při **menším** napětí U_2 , se charakteristika posune a protne osu při **menších** otáčkách naprázdno n_{02} .



ROBOTI

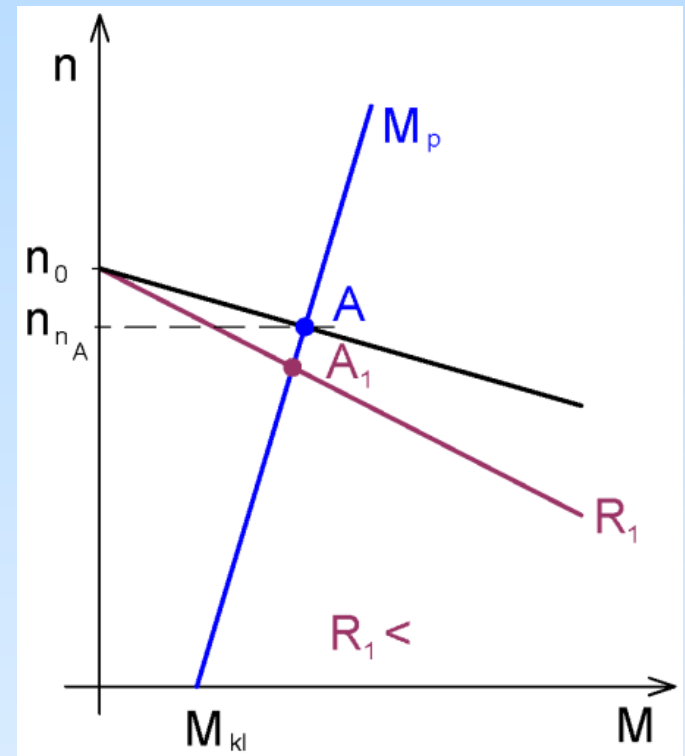
VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU

1.5.1 Motor s cizím buzením

Regulace otáček rezistorem připojeným do série s vinutím rotoru

Připojením rezistoru do série s vinutím rotoru se nemění otáčky naprázdno, ale sklon charakteristiky.

Připojením rezistoru R_1 se charakteristika více skloní.



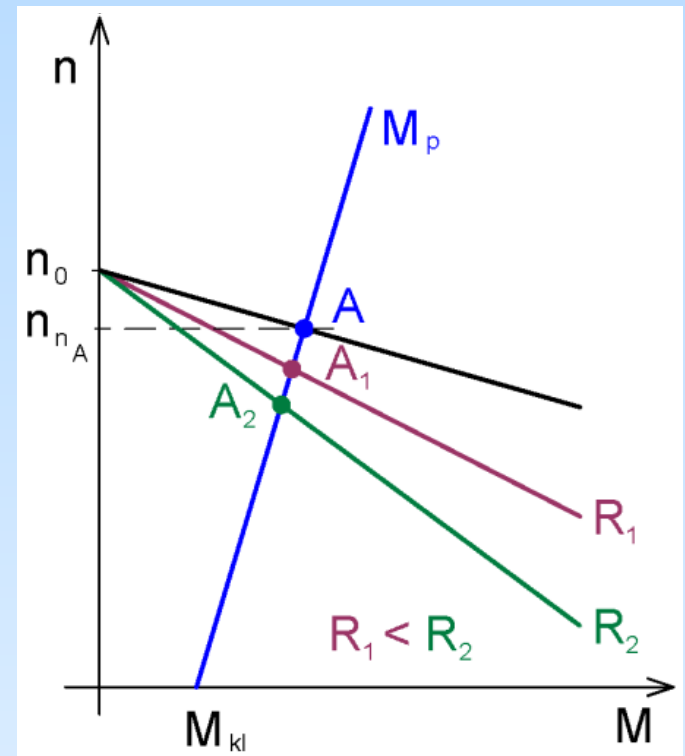
ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

Regulace otáček rezistorem připojeným do série s vinutím rotoru

Připojením většího rezistoru (R_2) se charakteristika **skloní** ještě **více**.

Připojením rezistoru do série s vinutím rotoru se otáčky dají pouze zmenšovat!

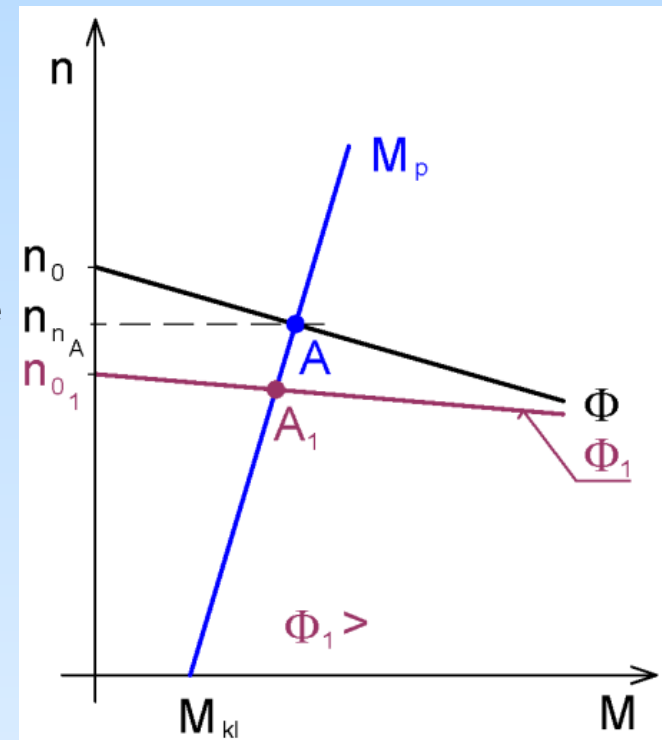


ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

Regulace otáček buzením

Změnou budícího toku Φ se mění obě části rovnice otáčkové charakteristiky. Jestliže se oproti původní charakteristice (Φ) **zvětší** budící tok (Φ_1), **zmenší** se otáčky naprázdno n_{01} a zároveň se **zmenší** i **sklon** charakteristiky.

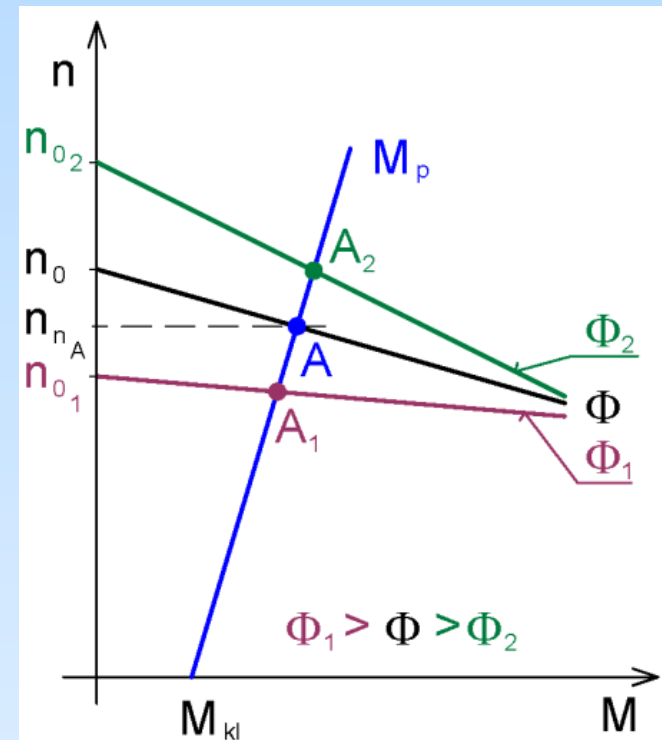


ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

Regulace otáček buzením

Naopak **zmenší-li** se budící tok (Φ_2) oproti původnímu (Φ), **zvětší** se otáčky naprázdno n_{02} a zároveň se **zvětší** i sklon charakteristiky.

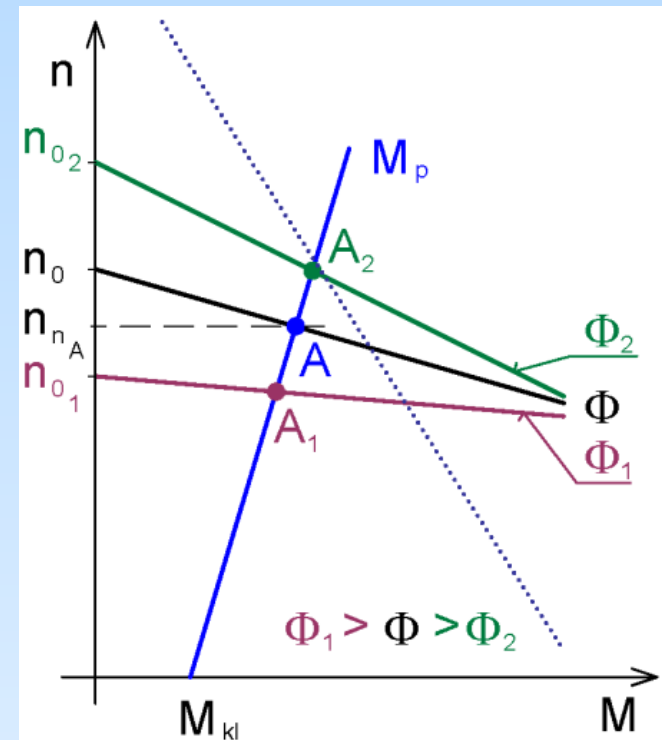


ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

Regulace otáček buzením

Při malém zatížení však nikdy nesmí dojít k přerušení napájení vinutí hlavních pólů, neboť by magnetický tok poklesl na hodnotu remanentního toku a otáčky by neúměrně vzrostly (viz modrá tečkovaná čára).



ROBOTI



1.5.1 Motor s cizím buzením

BRŽDĚNÍ

Brždění = úmyslné zpomalení nebo úplné zastavení rotoru.

Stejnoseměrné motory s cizím buzením se mohou brzdit:

- do odporu,
- rekuperací (vracením energie zpět do zdroje – sítě),
- reverzací (protiproudem).

ROBOTI

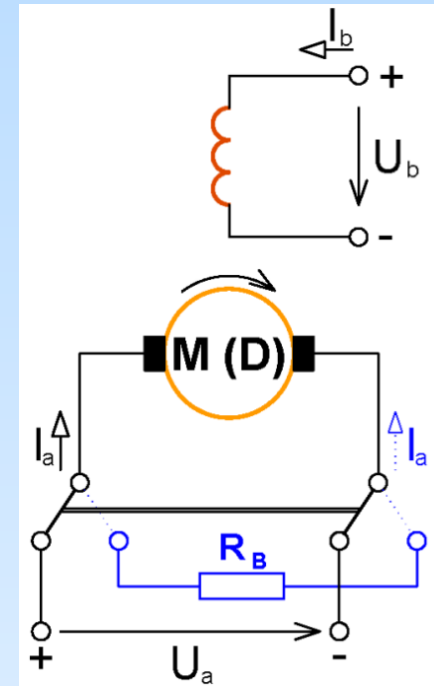
VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU

1.5.1 Motor s cizím buzením

Brždění do odporu

Rotorové vinutí se odpojí od zdroje a do série se připojí brzdový rezistor R_B .

Tím se motor stane dynamem (točivá mechanická energie rotoru se ve stroji mění v energii elektrickou), změní se směr proudu ($\rightarrow \leftarrow$) a elektrická energie se v brzdovém rezistoru mění v teplo ($R \cdot I^2$).



ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

Brždění do odporu

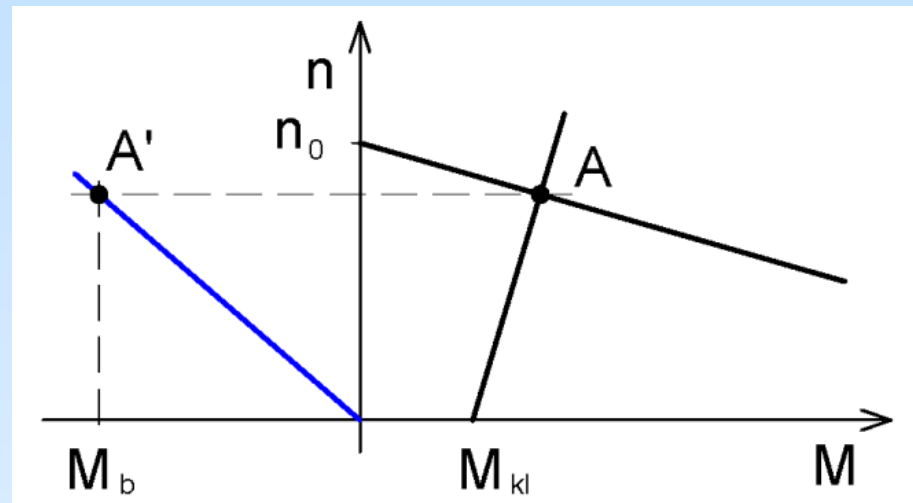
Po odpojení motoru od zdroje je první člen rovnice otáčkové char.

($\omega = \frac{U}{C_1 \cdot \Phi} - \frac{R_a}{C_1^2 \cdot \Phi^2} \cdot M_h$) roven nule

($\frac{U}{C_1 \cdot \Phi} = 0$) a rovnice se po

připojení k brzdnému rezistoru upraví na tvar:

$$\omega = - \frac{R_a + R_B}{C_1^2 \cdot \Phi^2} \cdot M_h.$$



ROBOTI

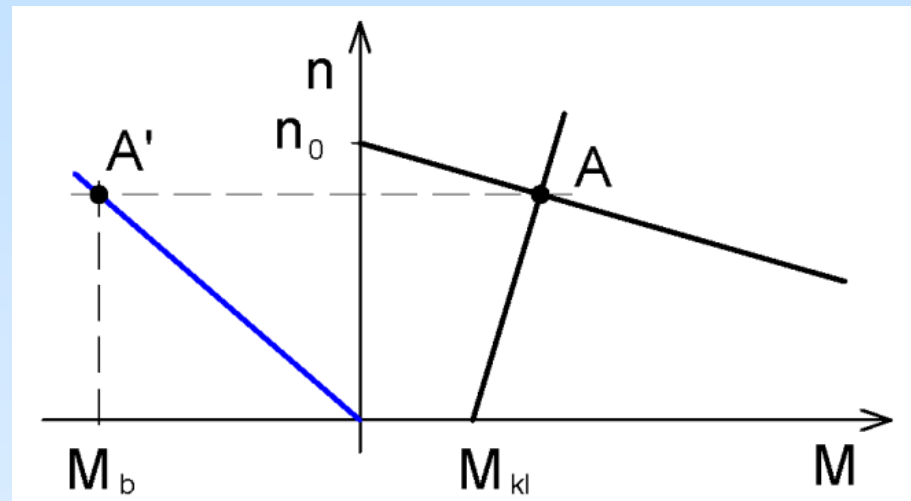
1.5.1 Motor s cizím buzením

Brždění do odporu

Jedná se tedy o rovnici přímky, která má větší sklon, než původní charakteristika a prochází počátkem souřadnic (modrá).

Moment rotujících částí se stává momentem zpomalovacím (znaménko mínus).

$$\omega = -\frac{R_a + R_B}{C_1^2 \cdot \Phi^2} \cdot M_h.$$



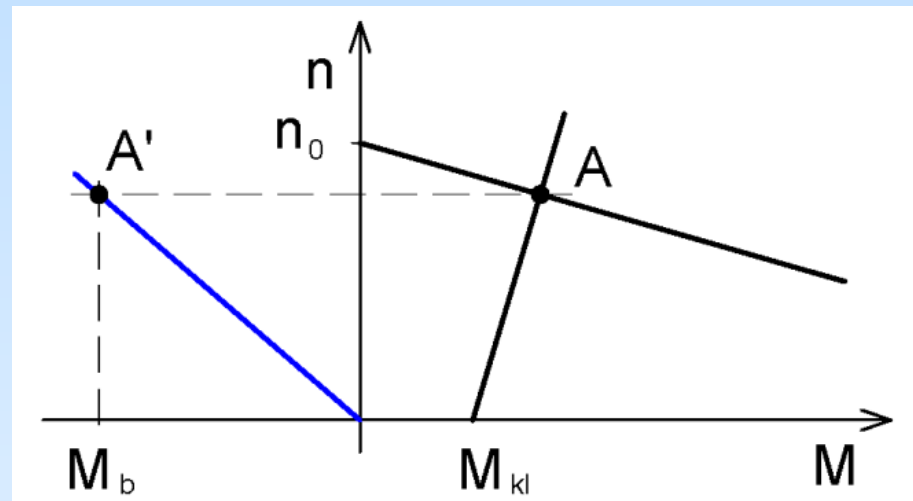
ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

Brždění do odporu

Pracovní bod A tedy přejde z pracovní charakteristiky na charakteristiku zpomalovací do bodu A' (zanedbáme-li pokles otáček v době přepínání) a bude brzděn brzdícím momentem M_b .

Brzdící moment se bude zmenšovat se zmenšujícími se otáčkami.



ROBOTI



1.5.1 Motor s cizím buzením

Brzdění rekuperací

Nastává, jsou-li otáčky rotoru větší než otáčky naprázdno a velikost napětí indukovaného do vinutí rotoru je větší než napětí zdroje připojeného k rotoru (zapojení motoru se nemění).

Motor přechází do generátorického chodu a vrací elektrickou energii do zdroje – sítě (el. en. přijme akumulátor, dynamo, nebo řízený usměrňovač, el. en. nepřijme neřízený ani polořízený usměrňovač ani baterie).

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



1.5.1 Motor s cizím buzením

Brzdění rekuperací

K rekuperaci může dojít:

- při mechanickém zrychlení rotoru
- při zvýšení budícího toku
- při snížení napájecího napětí

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU



1.5.1 Motor s cizím buzením

Brzdění rekuperací při mechanickém zrychlení rotoru

Mechanické zrychlení rotoru pracovním mechanismem nastává:

- při spouštění břemene u zdvihacích zařízení,
- při jízdě trakčního vozidla s kopce...

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU

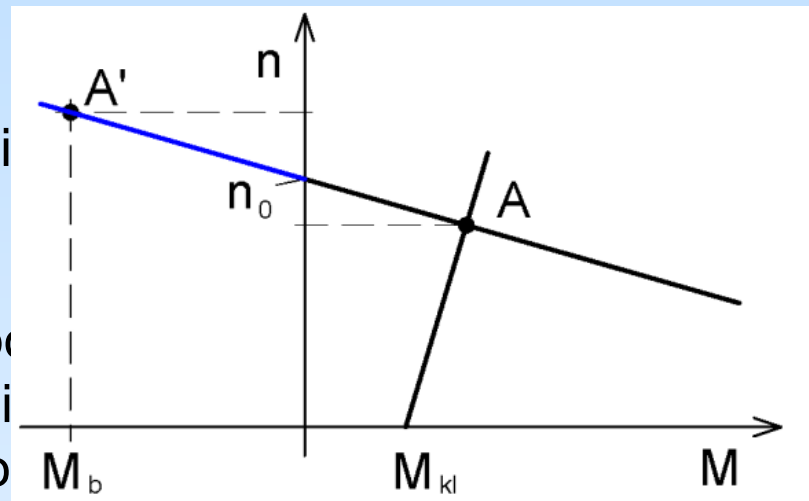
1.5.1 Motor s cizím buzením

Brzdění rekuperací při mechanickém zrychlení rotoru

Pracovní bod A přejde po stejné charakteristice do bodu A' odpovídajícímu vyšším otáčkám a je brzděn zpět brzdícím momentem M_b .

Brzdící moment se bude s klesajícími otáčkami zmenšovat, až se stane opět momentem hnacím.

Motor ale bude dále zpomalovat, neboť moment zátěžný pracovního mechanismu (pohonu). Otáčky motoru se ustálí znovu.



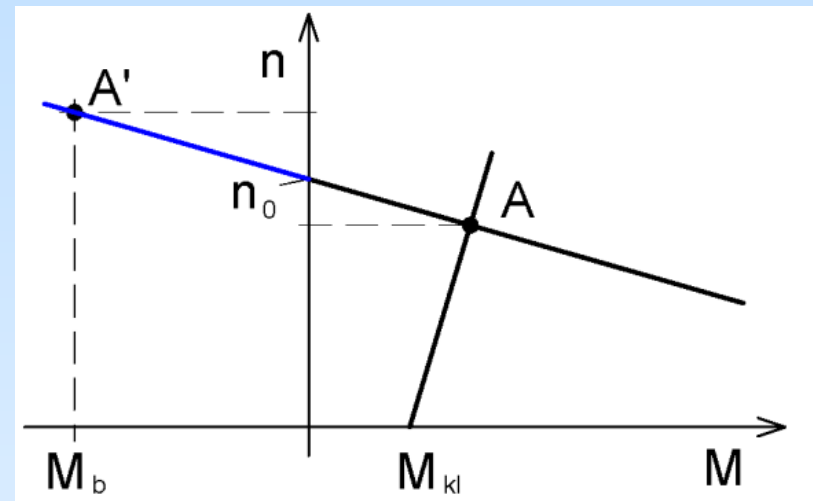
ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

Brzdění rekuperací při mechanickém zrychlení rotoru

Motor ale bude dále zpomalovat, neboť hnací moment bude menší než moment zátěžný pracovního mechanismu (viz kapitola statická stabilita pohonu).

Otáčky motoru se ustálí znovu v původním pracovním bodě A.

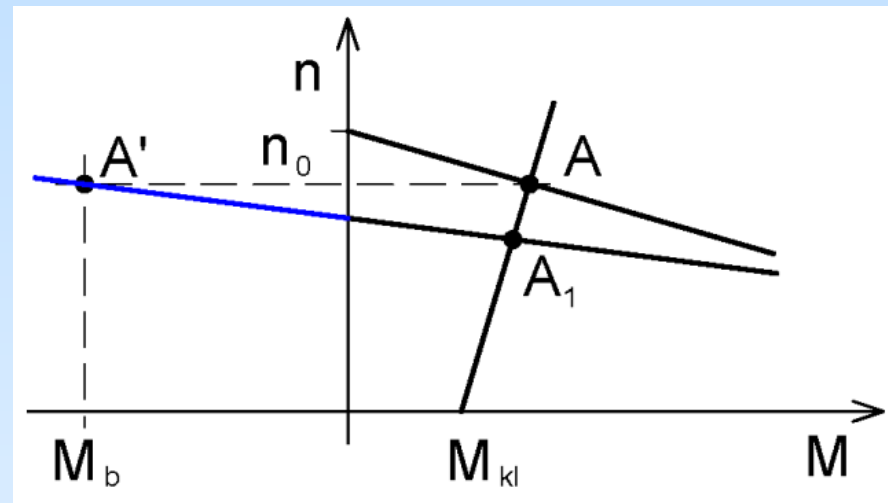


ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

Brzdění rekuperací při zvýšení budícího toku

Dojde-li ke zvýšení budícího toku, pracovní bod přejde na charakteristiku odpovídající vyššímu budícímu proudu (nižší n_0 a menší sklon charakteristiky) do pracovního bodu A' a bude brzděn momentem M_b .



ROBOTI

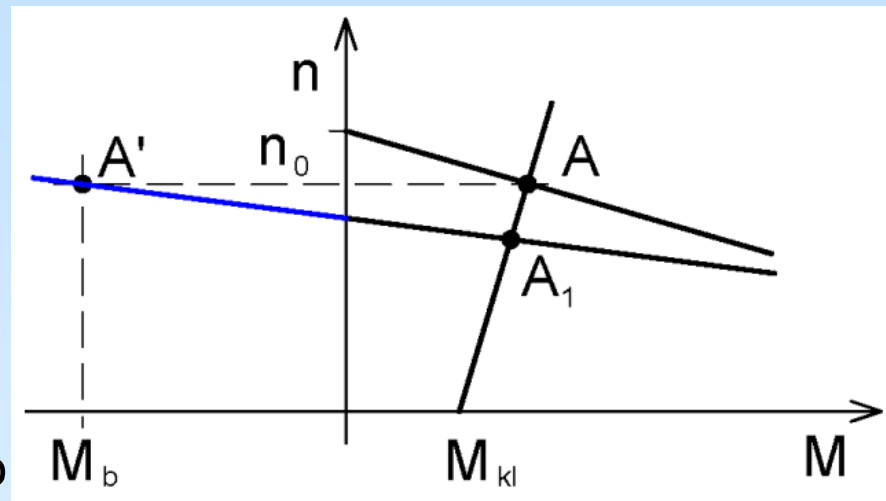
1.5.1 Motor s cizím buzením

Brzdění rekuperací při zvýšení budícího toku

Brzdný moment se bude s klesajícími otáčkami zmenšovat, až se stane opět momentem hnacím.

Motor, ale bude dále zpomalovat, neboť hnací moment bude menší než moment zátěžný pracovního mechanismu.

Otáčky motoru se ustálí v novém pracovním bodě A_1 odpovídajícím velikosti zvýšeného budícího toku.



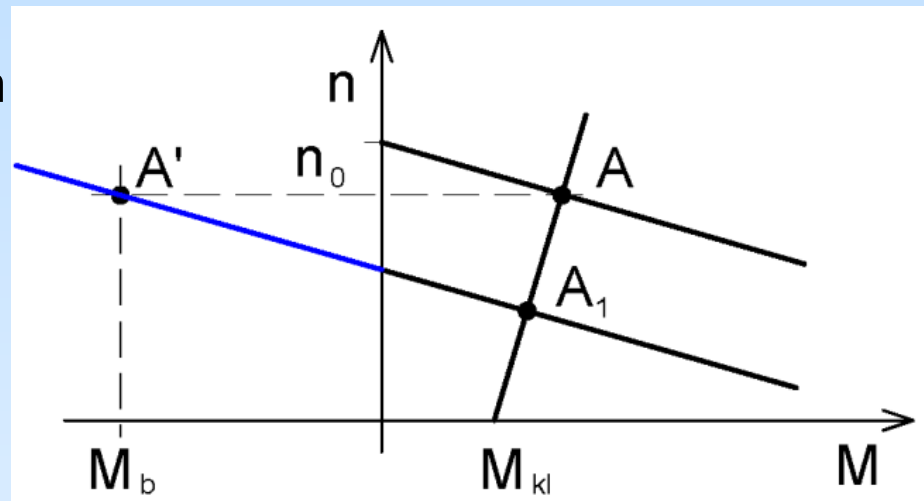
ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

Brzdění rekuperací při snížení napájecího napětí

Snížením napájecího napětí (regulace otáček napětím) přejde pracovní bod na charakteristiku odpovídající tomuto napětí (A') a bude brzděn momentem M_b .

Brzdný moment se bude opět s klesajícími otáčkami zmenšovat, až se stane momentem hnacím.

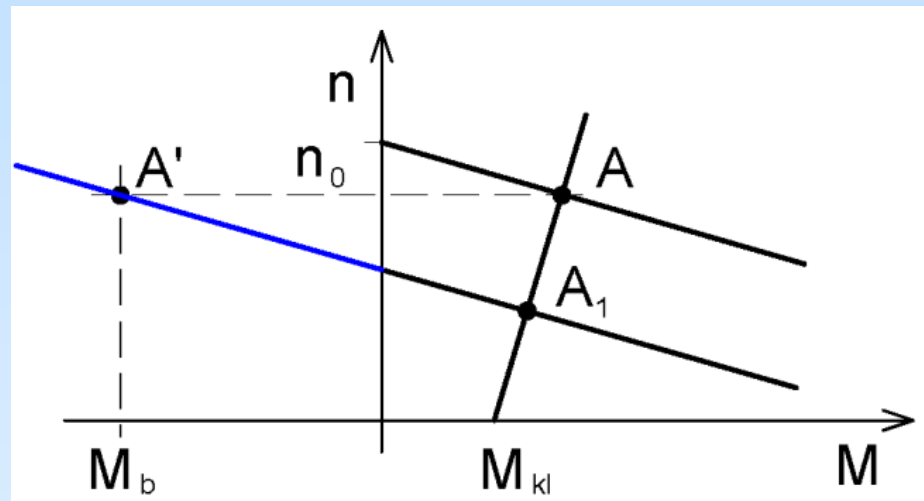


ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

Brzdění rekuperací při snížení napájecího napětí

Motor, ale opět bude dále zpomalovat, neboť hnací moment bude menší než moment zátěžný pracovního mechanismu. Otáčky motoru se ustálí v novém pracovním bodě A_1 odpovídajícím velikosti sníženého napětí na rotoru.



ROBOTI



1.5.1 Motor s cizím buzením

Brzdění rekuperací

Rekuperačním bržděním lze motor jen přibrzdit do pracovního stacionárního bodu (stacionární bod viz kapitola 2.5 statická stabilita pohonu). Pokud by měl být motor úplně zastaven, muselo by se snižovat napětí až na hodnotu, která by odpovídala minimálním otáčkám, a poté by se motor odpojil a nechal by se doběhnout.

ROBOTI

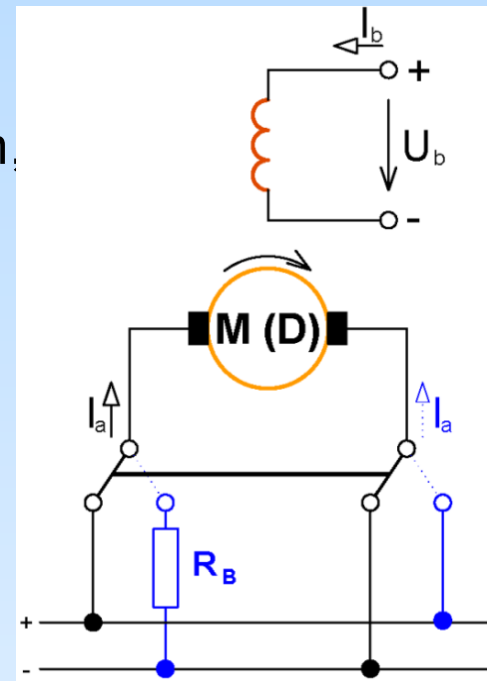
VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU

1.5.1 Motor s cizím buzením

Brždění reverzací

Motor začne brzdit reverzací neboli protiproudem, když jej přepneme na opačný smysl točení, tedy přepólujeme napájecí napětí rotoru (častěji) nebo napájecí napětí buzení.

Po přepólování zdroje bude jeho napětí ve stejném smyslu jako napětí indukované, bude se ním sčítat a obvodem začne procházet velký proud ($I_a = \frac{U+U_i}{R_a}$ \rightarrow), který může dosáhnout až dvojnásobku jmenovitého proudu.

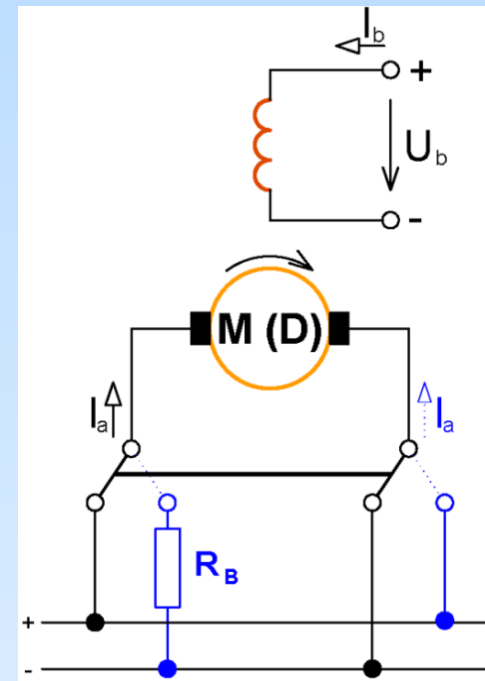


ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

Brždění reverzací

Do obvodu se proto zařazuje brzdový rezistor R_B , jehož odpor však nesmí být příliš velký, neboť čím bude větší hodnota odporu, tím větší bude sklon charakteristiky a tím menší bude brzdový moment (kompromis mezi velikostí brzdného momentu a velikostí procházejícího proudu).



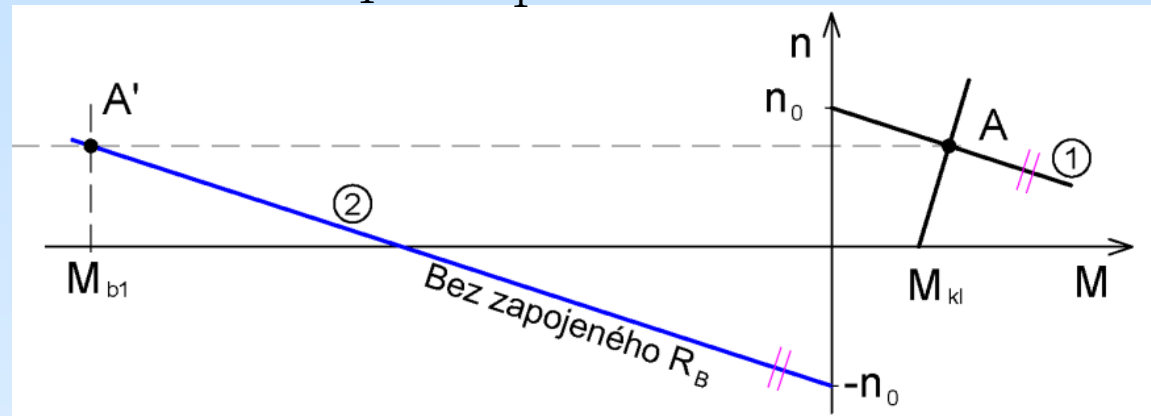
ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

Brždění reverzací

Pracovní bod A se z původní char. ① při reverzaci bez zapojeného rezistoru přesune na char. ②: $\omega = -\frac{U}{C_1 \cdot \Phi} - \frac{R_a}{C_1^2 \cdot \Phi^2} \cdot M_h$ do bodu A',

(char ② má stejný sklon jako ①, ale osu otáček protíná v bodě $-n_0$).



ROBOTI

1.5.1 Motor s cizím buzením

Brždění reverzací

Motor je brzděn brzdným momentem M_{b1} , kterému odpovídá obrovský proud a ten by mohl poškodit vinutí rotoru.

Proto se většinou připojuje brzdný rezistor R_B

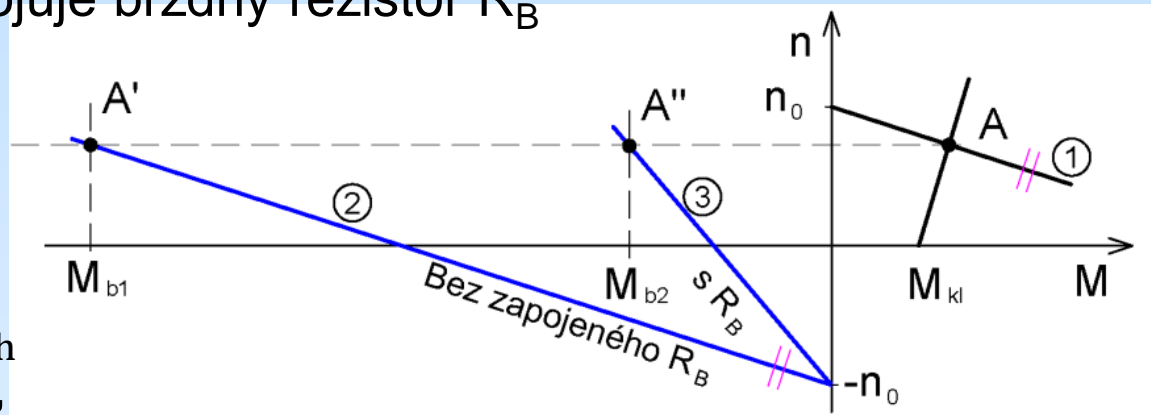
a původní pracovní

bod A přejde na charakteristiku ③

danou rovnicí

$$\omega = -\frac{U}{C_1 \cdot \Phi} - \frac{R_a + R_B}{C_1^2 \cdot \Phi^2} \cdot M_h$$

do pracovního bodu A''.



ROBOTI

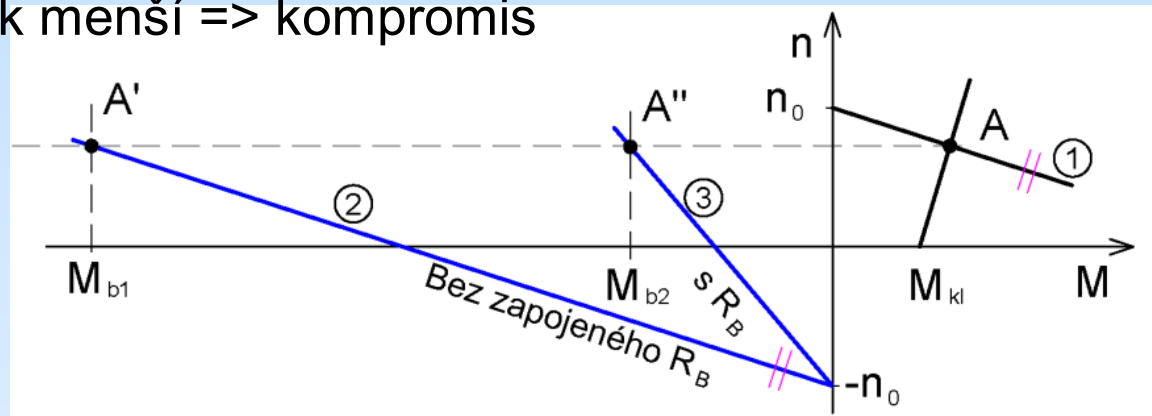
1.5.1 Motor s cizím buzením

Brždění reverzací

Charakteristika ③ má větší sklon než přímka ① ($\frac{R_a + R_B}{C_1^2 \cdot \Phi^2} > \frac{R_a}{C_1^2 \cdot \Phi^2}$) a osu otáček protíná v bodě $-n_0$.

Brzdný moment je však menší => kompromis

velikosti R_B (brzdný proud \times brzdný moment)



ROBOTI



1.5.1 Motor s cizím buzením

Brždění reverzací

Brzdný moment se bude (v obou případech) s klesajícími otáčkami zmenšovat, až se rotor zastaví.

V tomto okamžiku se musí odpojit zdroj napětí rotoru, protože jinak by se rotor roztočil opačným směrem (odpojit motor můžeme už při nastavených minimálních otáčkách a motor se nechá doběhnout).

ROBOTI

VE ŠKOLE PRO PRAKTICKOU VÝUKU, MOTIVACI I ZÁBAVU