# ELEKTRICKÉ STROJE

## (Electric Machines)

B1M15PPE

# ZÁKLADNÍ DRUHY STROJŮ

## UŽITÍ

K PŘEMĚNĚ ELEKTRICKÉ ENERGIE A K ELEKTROMECHANICKÉ PŘEMĚNĚ

- **NEPOHYBLIVÉ a POHYBLIVÉ**
  - NEPOHYBLIVÉ: transformátory, zdvihací elektromagnety
  - POHYBLIVÉ: točivé motory a generátory, pohyblivé elektromagnety, lineární motory
- **STEJNOSMĚRNÉ a STŘÍDAVÉ**
  - STEJNOSMĚRNÉ: elektromagnety, motory, generátory
  - STŘÍDAVÉ: transformátory, motory, generátory, elektromagnety

MEZI ZÁKLADNÍ PRVKY ENERGETICKÝCH SOUSTAV PATŘÍ

**střídavé** stroje – transformátory a **točivé generátory**

# MOTORY A GENERÁTORY

- ELEKTROMAGNETICKÉ JEVY A ELEKTROMECHANICKÁ PŘEMĚNA

**KAŽDÝ TOČIVÝ STROJ MŮŽE PRACOVAT JAKO MOTOR I JAKO GENERÁTOR**

- **PŘEDSTAVA TOČIVÉHO STROJE:**

PEVNÝ STATOR a OTOČNÝ ROTOR, NA OBOU CÍVKY VINUTÍ, KTERÉ VYTVOŘÍ

DVA MAGNETY

$P_{el1} + P_{el2} \rightarrow P_{mech}$ [W]

SILOVÉ PŮSOBENÍ

(F [N]), M [Nm])

**MOTOR**

MAGNET A CÍVKU

$P_{el1} + P_{mech} \rightarrow P_{el2}$ [W]

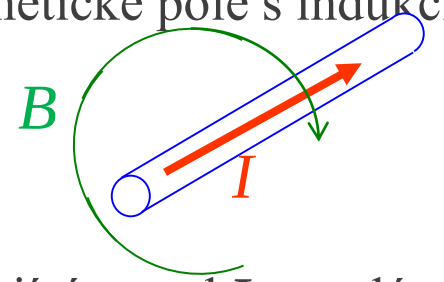
INDUKOVANÉ NAPĚTÍ

($E$, $U_i$ [V])

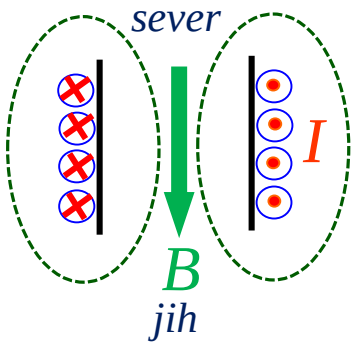
**GENERÁTOR**

# VZNIK MAGNETICKÉHO POLE 1/2

- Magnetické působení je zprostředkováno **magnetickým polem** (permanentního magnetu nebo cívky protékané proudem).
- Pole charakterizované vektorem **magnetické indukce *B*** a související veličiny *(magnetický tok Φ, intenzita magnetického pole H, magnetomotorická síla Fm).*
- Prochází-li přímým vodičem proud ***I***, vzniká kolem něj magnetické pole s indukcí ***B***, jehož siločáry jsou soustředné kružnice kolem vodiče.




- V elektrických strojích vodiče tvoří cívky s ***N*** závity. Protékající proud ***I*** vyvolá magnetické pole, které prochází uvnitř cívky a jehož siločáry se uzavírají vně cívky.



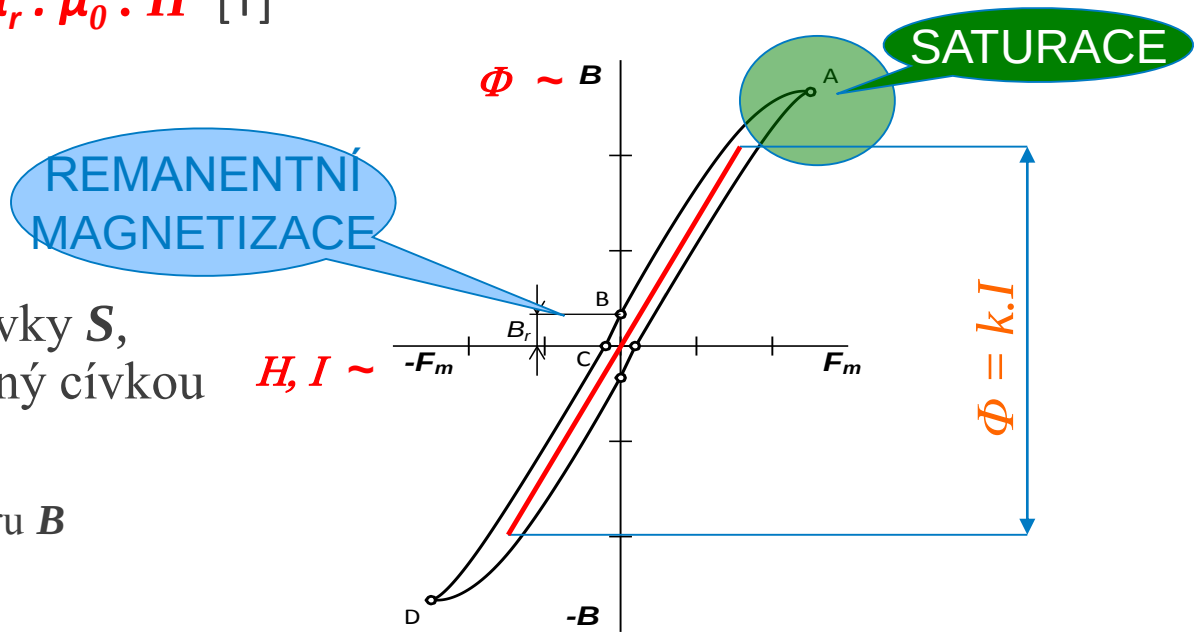

- Směr siločar (indukce ***B***, toku ***Φ***):

Ampèrovo pravidlo pravé ruky

# VZNIK MAGNETICKÉHO POLE 2/2

- Cívku stroje lze považovat za solenoid s homogenním prostředím a délkou ***l***. Pak:
  vzniklé magnetické pole má magnetomotorickou sílu $F_m = N \cdot I$ [A; Az]
  intenzita tohoto magnetického pole je $H = F_m / l$ [A/m]
- Podle toho, jaký je materiál uvnitř cívky, je magnetický tok charakterizován magnetickou indukcí $B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$ [T]

  *permeabilita vakua*
  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [H/m]




- Jestliže je plocha uvnitř cívky ***S***, je magnetický tok vybuzený cívkou
  $\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha$ [Wb]
  ***α*** je úhel normály plochy a směru ***B***
- Homogenní pole – ***B*** má ve všech místech stejný směr a velikost

# SILOVÉ PŮSOBENÍ

- Silové působení magnetického pole o indukci ***B*** na element elektrického vodiče protékaného elektrickým proudem ***I*** se řídí tzv. **Ampérovým silovým zákonem**:

$$\vec{dF} = I \,.\, \vec{dl} \times \vec{B}$$

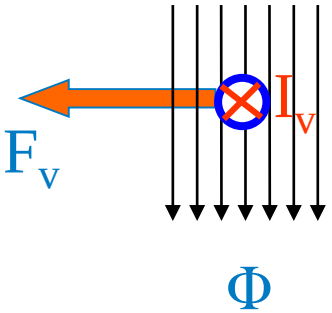
- Pro homogenní magnetické pole a přímkový vodič lze definici zjednodušit na tvar pro celkovou sílu.

$$F = B \,.\, I \,.\, l \,.\, \sin\alpha$$

***α*** je úhel, který svírá směr vodiče se směrem indukčních čar (***B***), ***l*** je aktivní délka vodiče (nachází se v magnetickém poli)

- Směr síly ***F*** udává

  Flemingovo pravidlo levé ruky



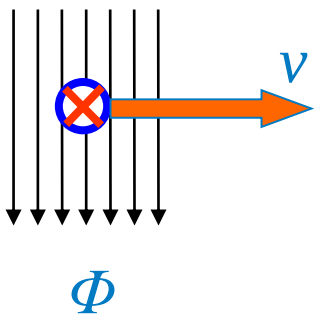

- Při vhodně umístěné cívce v magnetickém poli vzniká **dvojice sil**, která vytváří moment ***M***

# VZNIK INDUKOVANÉHO NAPĚTÍ

- **Faradayův indukční zákon**: při pohybu vodiče rychlostí ***v*** vůči homogennímu magnetickému poli s indukcí ***B*** se ve vodiči indukuje napětí $U_i$

  $U_i = B \,.\, l \,.\, v$ [V; T, m, m/s]

  ***V uzavřené smyčce se na jejích svorkách objeví $2U_i$***
  ***Indukované napětí vyvolá v uzavřené smyčce proud I***

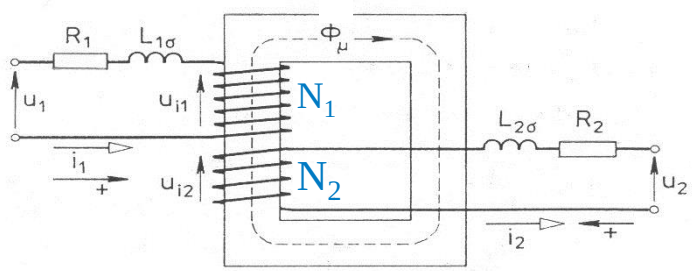



- **PŮVOD RYCHLOSTI *v***
  - smyčka se začne pohybovat, a tím se mění magnetický tok ***Φ*** procházející cívkou
  - zdroje magnetického pole se začnou pohybovat, tím se mění ***Φ*** procházející cívkou
  - magnetické tok ***Φ*** se začne měnit, např. v důsledku změny elektrických proudů, které jsou zdrojem magnetického pole.
- **Lenzovo pravidlo**: změna indukovaného napětí $U_i$ má opačný směr, než změna magnetického toku ***Φ***

$$U_i = -\frac{d\Phi}{dt}$$

# UŽITÍ V ELEKTRICKÝCH STROJÍCH 1/8

- Magnetický obvod se dvěma cívkami a železným jádrem, bez pohybu
- Magnetický tok se mění v důsledku napájení vstupní cívky střídavým proudem




- $F_{m1} = N_1 \,.\, I_1 = N_1 \,.\, I_{max} \,.\, \sin \omega t \rightarrow B\,(\omega t) \rightarrow \Phi\,(\omega t)$
- $\Phi = \Phi_{max} \,.\, \sin \omega t$
- $u_{i2} = N_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = N_2 \,.\, \Phi_{max} . \omega \,.\, \cos \omega t$

  $= U_{2max} \,.\, \cos \omega t$
- $U_{i2ef} = \frac{U_{i2max}}{\sqrt{2}}\,; \quad \omega = 2 \,.\, \pi \,.\, f$
- $\boldsymbol{U_{i2ef} = 4{,}44 .\, f_1 .\, N_2 .\, \Phi_{max}}$ (obdobně $U_{i1ef}$)

- **TRANSFORMÁTOR**

$$p = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_{i1}}{U_{i2}}$$

# UŽITÍ V ELEKTRICKÝCH STROJÍCH 2/x

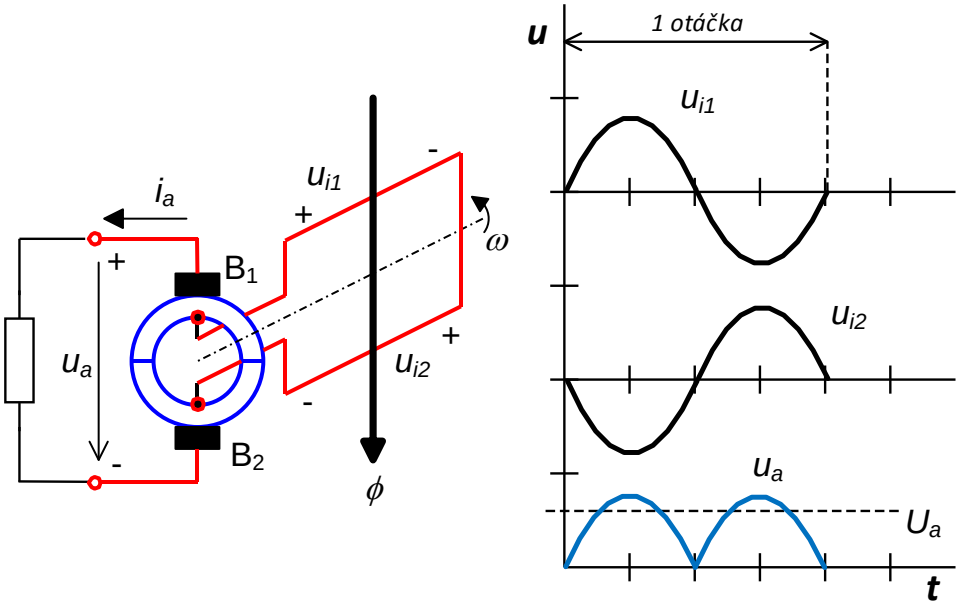
- Magnetický obvod se vzduchovou mezerou a dvěma cívkami se železným jádrem, cívka na statoru napájená stejnosměrným proudem.
- Magnetický tok vybuzený statorovou cívkou je konstantní, jeho průchod rotorovou cívkou se mění v důsledku jejího pohybu (otáčení), a tím se mění i indukované napětí

$$u_i = 2.B(\alpha).l.v = 2.B(\alpha).l.r.\omega$$

*Po usměrnění komutátorem je střední hodnota*

$$U_{iav} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} u_i.d\alpha = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} 2.B.l.r.\omega.d\alpha$$

$$\boldsymbol{U_{iav}} = \frac{2}{\pi}\cdot\omega\int_0^{\pi} B.dS = \frac{2}{\pi}\cdot\omega\cdot\boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{S}$$




- **STEJNOSMĚRNÝ GENERÁTOR (dynamo)**

$$E_{av} = U_i = c.\Phi.\omega$$

# UŽITÍ V ELEKTRICKÝCH STROJÍCH 3/8

- Magnetický obvod se vzduchovou mezerou a dvěma cívkami se železným jádrem, cívka na statoru napájená stejnosměrným proudem, cívka rotoru napájená stejnosměrným proudem přes komutátor.
- Magnetický tok $\Phi$ vybuzený statorovou cívkou je konstantní, tok rotorové cívky se snaží následovat jeho směr (natočit cívku)

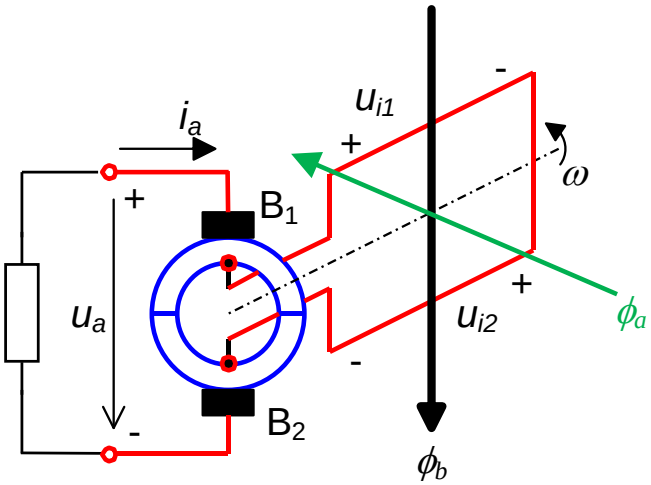
$$F = 2.B.\sin(\alpha).I.l = 2.B(\alpha).I.l$$

*Směry proudu ve vodičích cívky vůči magnetickému toku vyvolají opačná znaménka u sil F. Dvojice sil vytvoří moment.*

$$M = 2.F.r = 2.B.I.l.r$$

$$\boldsymbol{M_{av}} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} 2.B.I.l.r.d\alpha$$

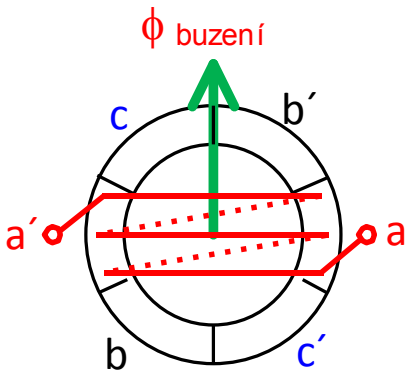
$$= \frac{2}{\pi}\cdot I\cdot\omega\int_0^{\pi} B.dS = \frac{2}{\pi}\cdot\omega\cdot I\cdot \boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{S}$$

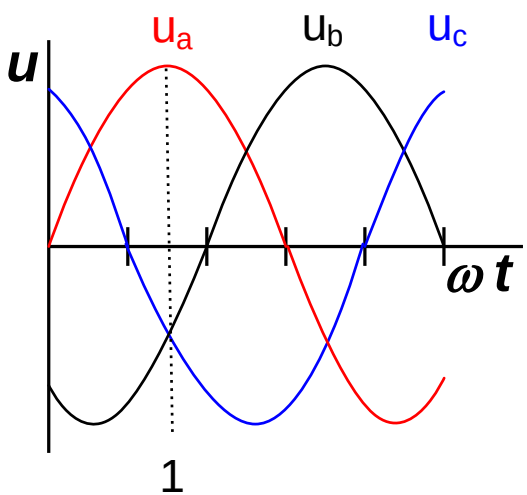



- **STEJNOSMĚRNÝ MOTOR** $\boldsymbol{M_{av} = M_i = c\,.\,\Phi\,.\,I}$

# UŽITÍ V ELEKTRICKÝCH STROJÍCH 4a/8

- Magnetický obvod se vzduchovou mezerou a dvěma vinutími se železným jádrem. Cívka rotoru (2) napájená stejnosměrným proudem vytvoří magnetický tok $\boldsymbol{\Phi_b}$ (budicí tok). Rotor se otáčí rychlostí $\boldsymbol{\omega}$ a tím se pohybuje magnetický tok vůči statoru.
- Vinutí statoru (1) rozloženo do tří sekcí (fází **a**, **b**, **c**) vzájemně posunutých o 120°. Pohybem toku se v každé z cívek o ***N1*** závitech indukují napětí, která se v čase sinusově mění a nabývají maximálních hodnot v okamžicích posunutých o 120°.




$$u_{i1a} = U_{i1max} \,.\, \sin(\omega t)$$

$$u_{i1b} = U_{i1max} \,.\, \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$

$$u_{i1c} = U_{i1max} \,.\, \sin(\omega t + \frac{4\pi}{3})$$

*např. v okamžiku* 1

$U_{ia} = U_{max}$,; $U_{ib} = U_{ic} = -0{,}5U_{max}$

# UŽITÍ V ELEKTRICKÝCH STROJÍCH 4b/8

$$u_{i1} = U_{i1max} \,.\sin(\omega t + x), \quad kde \;\; x_a = 0;\; x_b = \frac{2\pi}{3};\; x_c = \frac{4\pi}{3} = -\frac{2\pi}{3}$$

$$u_{i1} = -N_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = -N_1 \cdot \frac{d(B.S_{max}\cos(\omega t))}{dt}$$

$$u_{i1} = N_1 \,.B.S_{max}.\omega.\sin(\omega t)$$

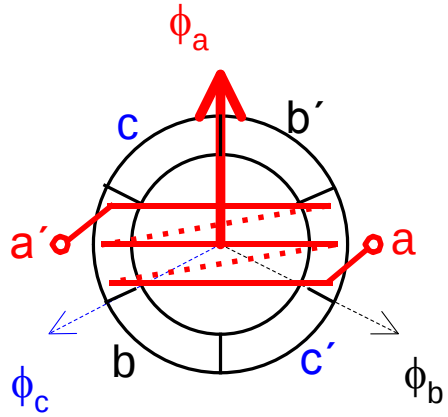
*pro harmonický (sinusový) průběh:*

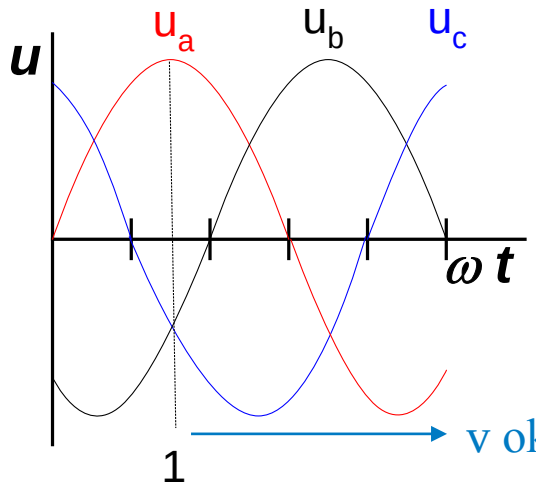
$$U_{i1ef} = \frac{U_{i1max}}{\sqrt{2}} = \frac{2.\pi}{\sqrt{2}}.f_1.N_1.B.S_{max}$$

- **SYNCHRONNÍ GENERÁTOR (alternátor)** $\boldsymbol{U_{i1} = 4{,}44.\, f_1 .\, N_1 .\, \Phi_{max}}$

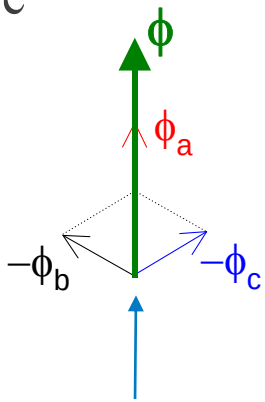
# UŽITÍ V ELEKTRICKÝCH STROJÍCH 5a/8

- Magnetický obvod se vzduchovou mezerou a dvěma vinutími se železným jádrem. Cívka rotoru (2) napájená stejnosměrným proudem vytvoří magnetický tok $\boldsymbol{\Phi_b}$ (budicí tok).
- Vinutí statoru (1) rozloženo do tří sekcí (fází **a**, **b**, **c**) vzájemně posunutých o 120°. Cívky fází jsou napájeny trojfázovým proudem, takže každá vytvoří proměnný přírůstek magnetického toku. Výslednice těchto přírůstků je magnetické pole statoru.




v okamžiku $\omega t_1$:

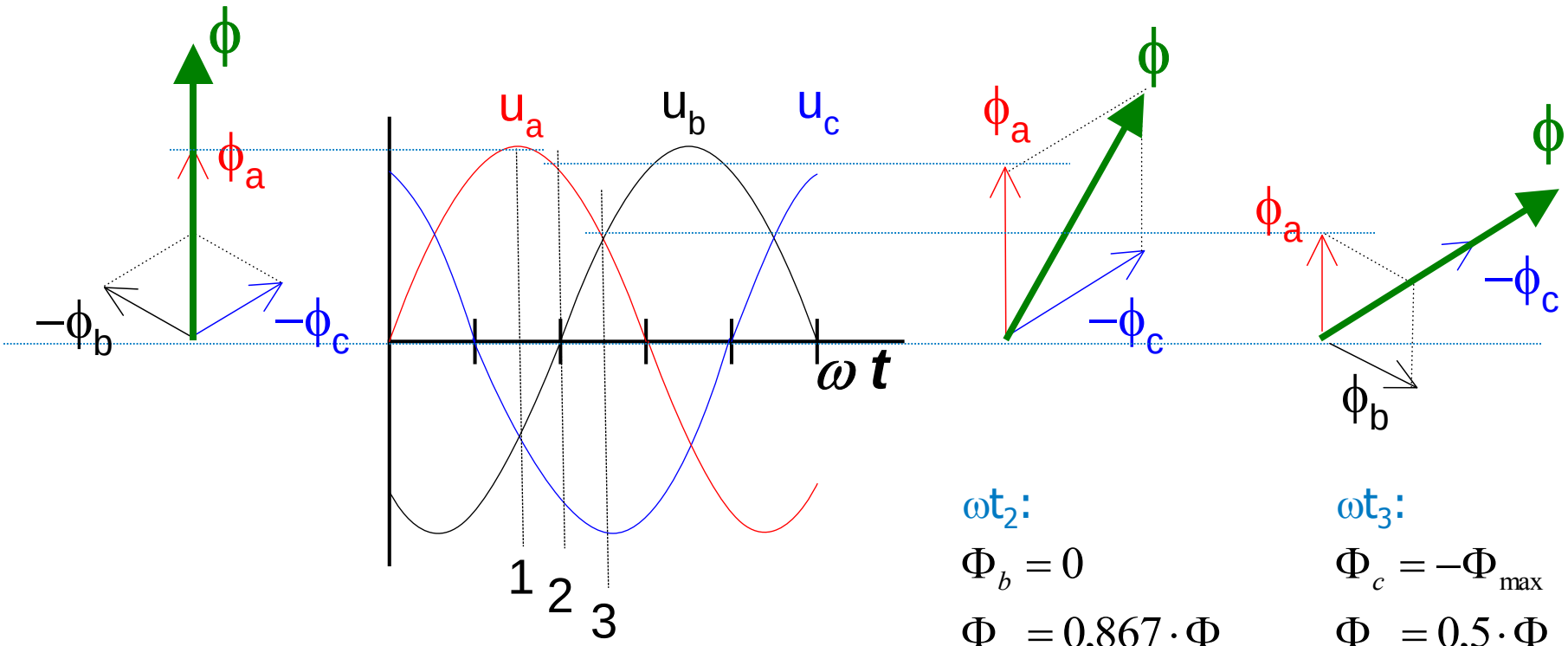



$$\Phi_a = \Phi_{max}$$

$$\Phi_b = -0{,}5 \cdot \Phi_{max}$$

$$\Phi_c = -0{,}5 \cdot \Phi_{max}$$

# VÝSLEDNÉ POLE V RŮZNÝCH OKAMŽICÍCH




$\omega t_2$:

$$\Phi_b = 0$$

$$\Phi_a = 0{,}867 \cdot \Phi_{max}$$

$$\Phi_c = -0{,}867 \cdot \Phi_{max}$$

$\omega t_3$:

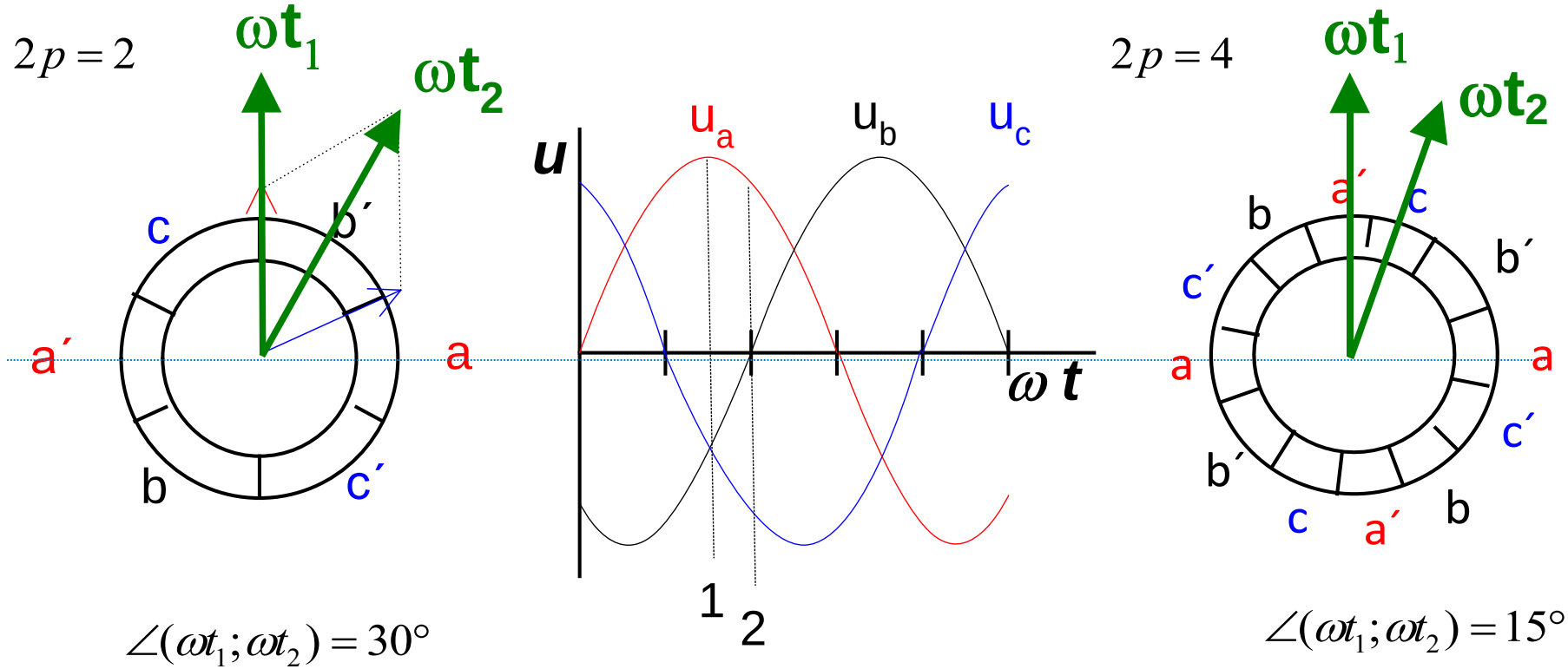
$$\Phi_c = -\Phi_{max}$$

$$\Phi_a = 0{,}5 \cdot \Phi_{max}$$

$$\Phi_b = 0{,}5 \cdot \Phi_{max}$$

***Φ*** = KONSTANTNÍ AMPLITUDA SE OTÁČÍ → VZNIKÁ TOČIVÉ (kruhové) MAGNETICKÉ POLE ***Φ***

# RŮZNÉ POČTY PÓLŮ




KONSTANTNÍ AMPLITUDA SE OTÁČÍ RYCHLOSTÍ $\omega_s$ (SYNCHRONNÍ)

$\omega_s$ ZÁVISÍ NA POČTU PÓLŮ 2p (p = počet pólpárů)

# TOČIVÉ MAGNETICKÉ POLE

- VYTVOŘENO POMOCÍ:
  - trojfázový proud procházející trojfázovým vinutím
  - osy cívek jednotlivých fází trojfázového vinutí jsou umístěny po 120° po obvodu statoru

- ZÁKLADNÍ VLASTNOST TROFÁZOVÝCH STŘÍDAVÝCH MOTORŮ synchronních i asynchronních

- ELEKTRICKÁ ÚHLOVÁ RYCHLOST $\omega_{1el} = 2.\pi.f_1$
- SYNCHRONNÍ (mechanická) RYCHLOST (pole) $\omega_s = \frac{\omega_{1el}}{p} = \frac{2.\pi.n}{60}$
- (ZMĚNA POSLOUPNOSTI U = ZMĚNA SMĚRU OTÁČENÍ)

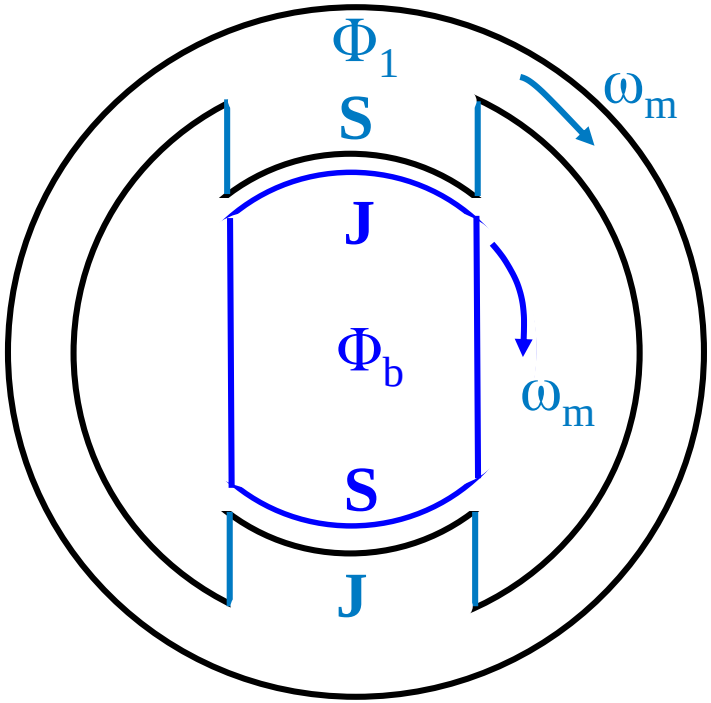
# UŽITÍ V ELEKTRICKÝCH STROJÍCH 5b/8

- Magnetický obvod se vzduchovou mezerou a dvěma vinutími se železným jádrem. Cívka rotoru (2) napájená stejnosměrným proudem vytvoří magnetický tok $\boldsymbol{\Phi_b}$ (budicí tok).
- Vinutí statoru (1) rozloženo do tří sekcí (fází **a**, **b**, **c**) vzájemně posunutých o 120°, které při trojfázovém napájení vytvoří točivé magnetické pole o rychlosti $\omega_s$
- Magnet vytvořený rotorem sleduje pohyb točivého magnetického pole vytvořeného statorem. Při trojfázovém napájení statoru proudem o kmitočtu $\boldsymbol{f_1}$

$$\omega_e = \omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_1$$

$$\boxed{\omega_m = \frac{\omega_e}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p} = \omega_s}$$

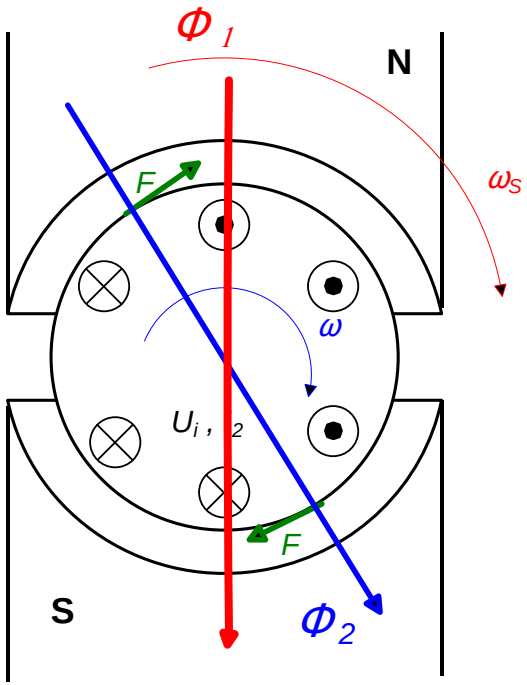
**= SYNCHRONNÍ RYCHLOST ROTORU**




- **SYNCHRONNÍ MOTOR**

# UŽITÍ V ELEKTRICKÝCH STROJÍCH 6/8

- Stator stejný jako u synchronního stroje. Rotorové vinutí spojeno nakrátko.
- Při trojfázovém napájení statoru proudem o kmitočtu $f_1$ stator vytvoří točivé magnetické pole $\Phi_1$ o synchronní rychlosti $\omega_s$, které se vůči rotoru pohybuje rychlostí $v$.
- v rotoru se indukuje napětí $U_{i2} = 4{,}44 . f_2 . N_2 . \Phi_{max} = B . l . v$
- V důsledku $U_{i2}$ teče rotorem proud $I_2$ a vznikne magnetické pole $\Phi_1$ a síla $F = B . I_2 . l$ působící na rotor tak, aby osy magnetických polí splynuly




→ **musí stále existovat $v$ → motor se nemůže otáčet stejnou rychlostí jako točivé pole (synchronně): SKLUZ !!**

$$s = 100\frac{\omega_{skluz}}{\omega_s} \qquad \omega_{skluz} = \omega_s - \omega$$

- **ASYNCHRONNÍ MOTOR** $f_r = f_2 = sf_1 = \frac{p}{60}(\omega_s - \omega)$

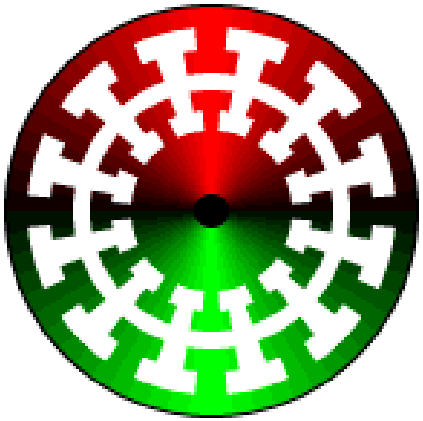
# TOČIVÉ ELEKTRICKÉ STROJE

| DRUH STROJE | STATOR | ROTOR |
|---|---|---|
| **STEJNOSMĚRNÉ** | MAG. OBVOD MASIVNÍ, PÓLY, PÓL. NÁSTAVCE BUDICÍ VINUTÍ, POMOCNÉ PÓLY, KOMPENZAČNÍ VINUTÍ | PLECHY S DRÁŽKAMI VINUTÍ V DRÁŽKÁCH KOMUTÁTOR KARTÁČE |
| **SYNCHRONNÍ** | PLECHY S DRÁŽKAMI, VINUTÍ V DRÁŽKÁCH, TROJFÁZOVÉ | MAG. OBVOD MASIVNÍ, VÁLCOVÝ ROTOR-TURBO, VYNIKLÉ PÓLY – HYDRO |
| **ASYNCHRONNÍ** | PLECHY S DRÁŽKAMI, VINUTÍ V DRÁŽKÁCH, TROJFÁZOVÉ | PLECHY S DRÁŽKAMI, VINUTÍV DRÁŽKÁCH, KOTVA NAKRÁTKO-KLEC, VINUTÁ KOTVA, KROUŽKY, KARTÁČE |

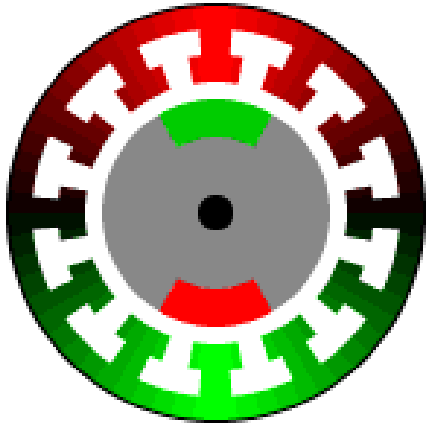
# STATOR A ROTOR TOČIVÝCH STROJŮ

Electric Drives

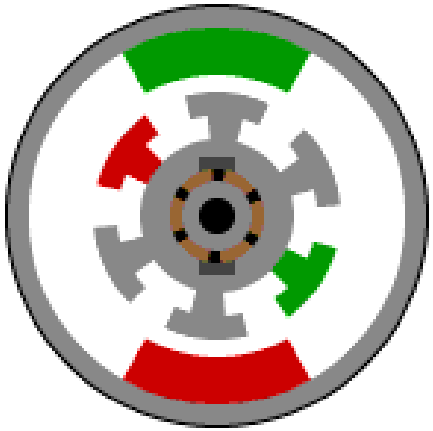
**Asynchronní**



**Synchronní**

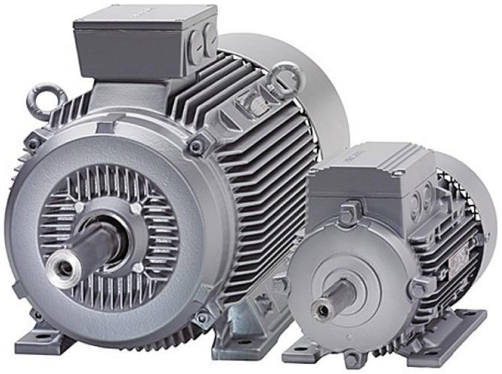


**Stejnosměrný**



**Dva typy statoru a dva typy rotoru : drážkovaný obvod – vsypané vinutí**

**vyniklé póly – buzení / permanentní magnety**



# PRACOVNÍ STAVY TOČIVÝCH STROJŮ

**STROJ** pracuje vždy v **průsečíku** pracovní charakteristiky s charakteristikou zátěže – co je VÝSTUP? a ZÁTĚŽ?:

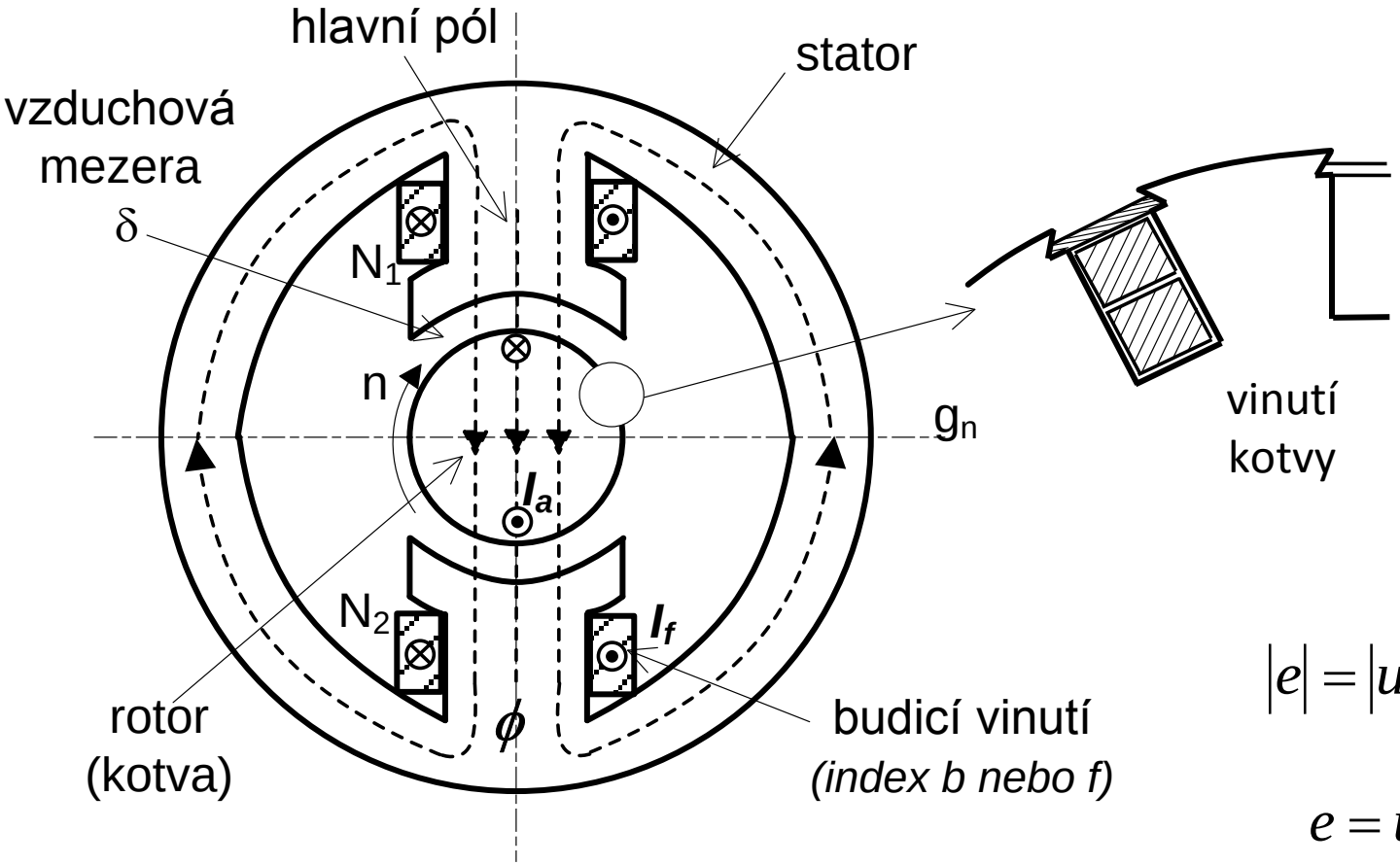
- **GENERÁTORY** – napětí = f(proud)
- **MOTORY** – otáčky = f(výkon, moment příp. dodávaný proud)

**PRACOVNÍ** (výstupní, zatěžovací) CHARAKTERISTIKA = tvrdá nebo měkká

**STAV**

- **USTÁLENÝ** = neměnný
- **KVAZISTACIONÁRNÍ** – změna ustálených pracovních bodů bez ohledu na průběh změny
- **PŘECHODNÝ** (transientní) – sledování průběhu změny mezi ustálenými pracovními body:
  - Nejhorší případ = náhlá změna vstupní veličiny (skoková změna / jednotkový skok)
  - U lineárních / linearizovaných systémů – superpozice dílčích chování

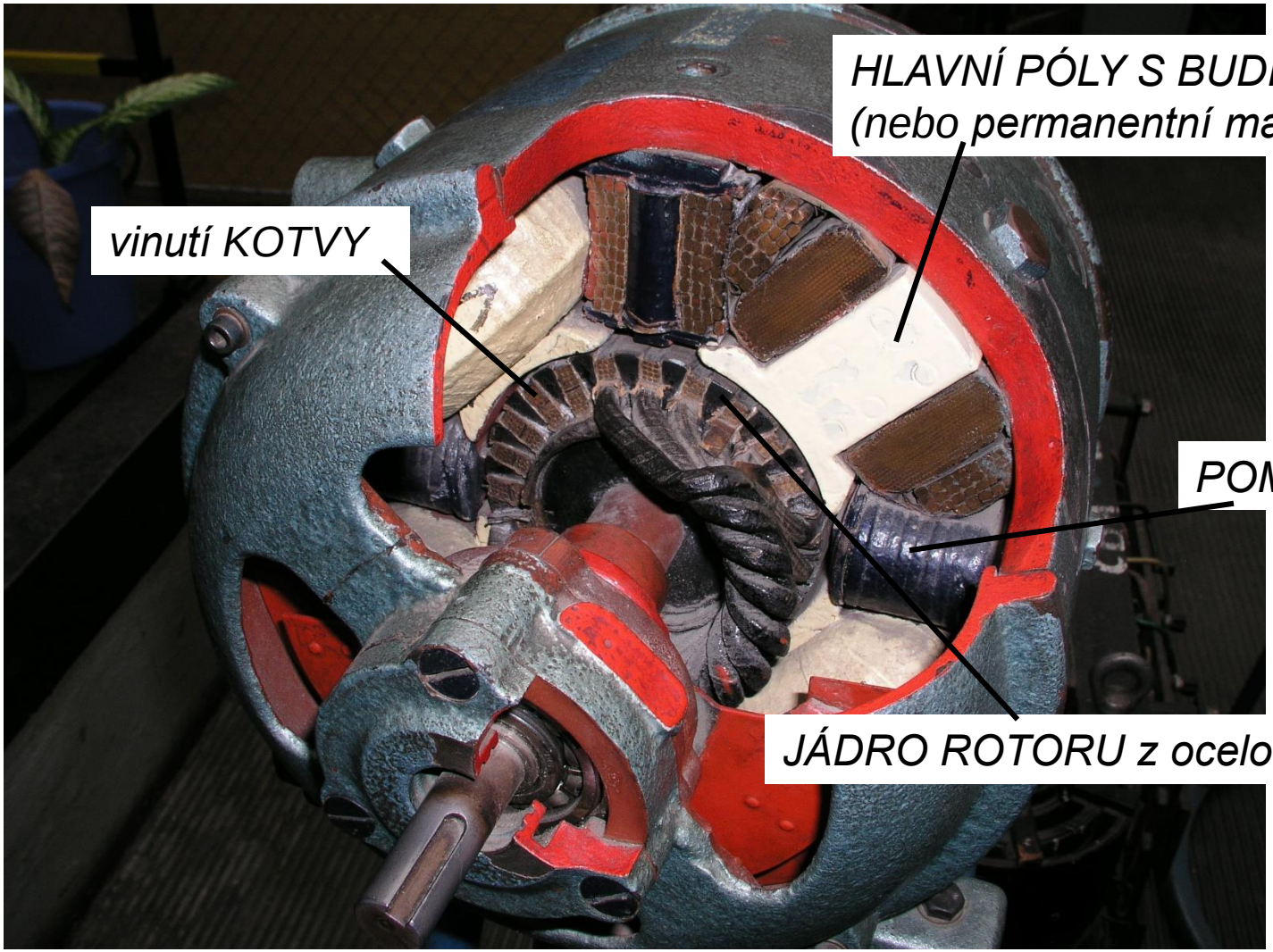
# STEJNOSMĚRNÉ (DC) STROJE



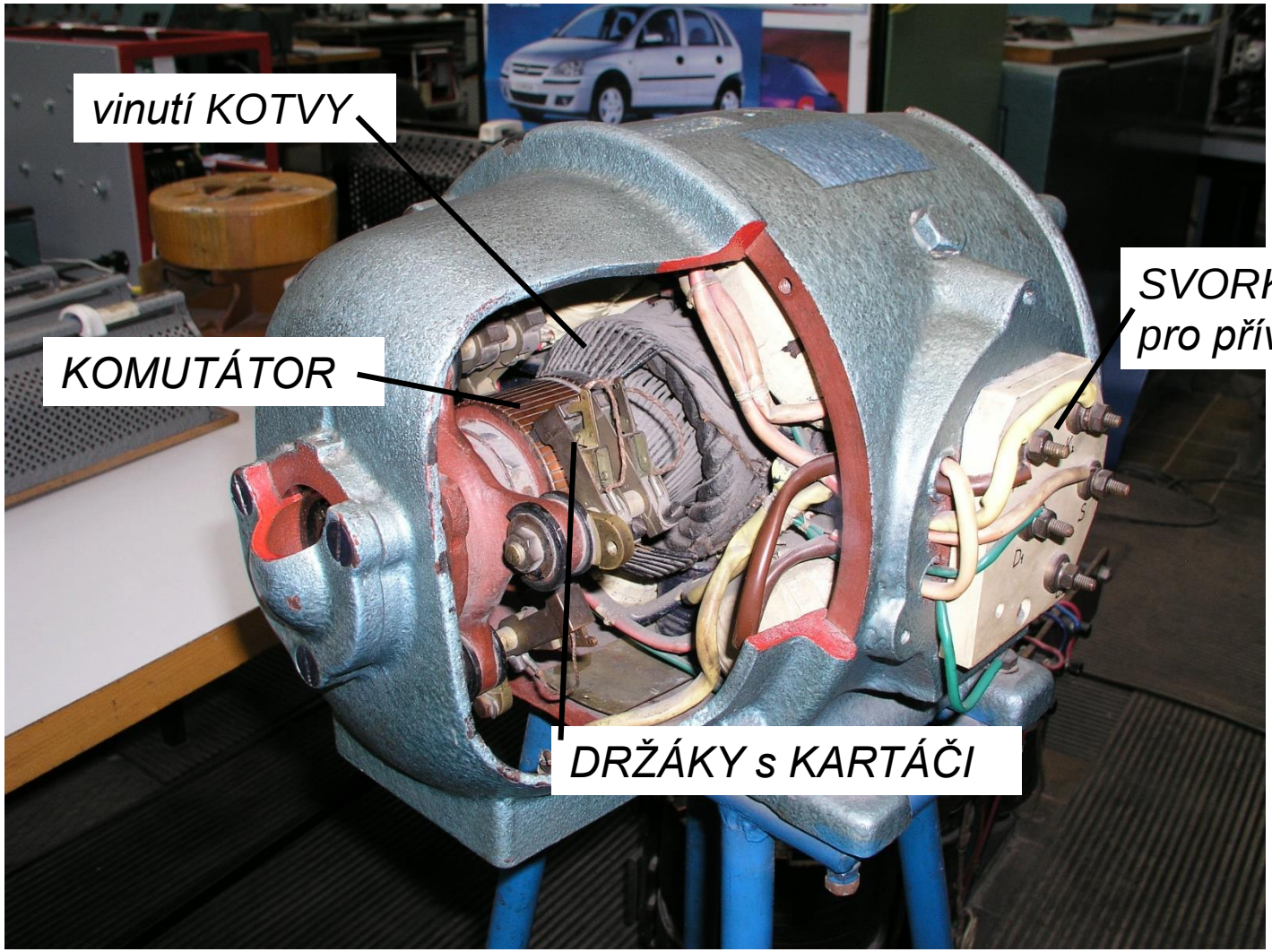

$$|e| = |u_i| = \frac{d\Phi}{dt} = B\frac{dA}{dt}$$

$$e = u_i = (v \times B) \bullet l$$

# STEJNOSMĚRNÉ STROJE



# STEJNOSMĚRNÉ STROJE

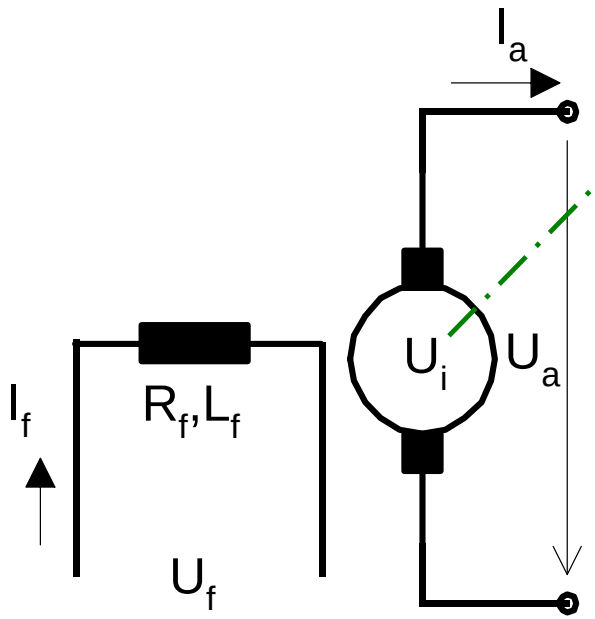


# ZÁKLADNÍ ROVNICE DC STROJŮ

$$u_f = R_f \cdot i_f + L_f \cdot \frac{di_f}{dt}$$

$$e = \frac{2 \cdot n}{\pi} \cdot \Phi \cdot \omega = c \cdot \Phi \cdot \omega$$

$$M_i = \frac{2 \cdot n}{\pi} \cdot \Phi \cdot i_a = c \cdot \Phi \cdot i_a$$




$$p_{vstupní} = \omega \cdot M$$

$$p_{výstupní} = u_a \cdot i_a$$

$$u_a = -R_a \cdot i_a - L_a \cdot \frac{di_a}{dt} + e$$

$$u_a = R_a \cdot i_a + L_a \cdot \frac{di_a}{dt} + e$$

$$M = M_i + \Delta M_m + J \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

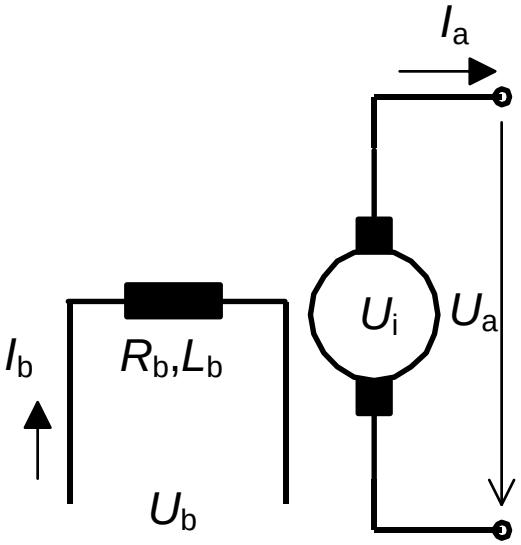
$$M_i = \Delta M_m + M + J \cdot \frac{d\omega_m}{dt}$$

# TŘI ZÁKLADNÍ TYPY DC STROJŮ

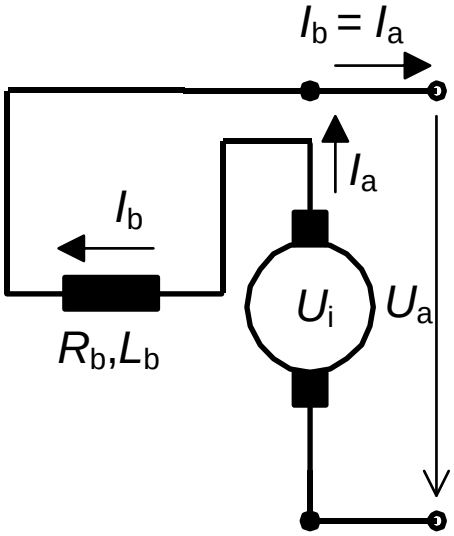
## CHOVÁNÍ ZÁVISÍ NA SPOJENÍ OBOU VINUTÍ

CIZE BUZENÝ

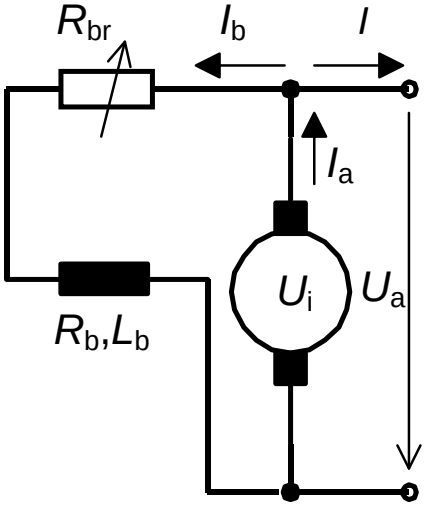
(také permanentní magnet)




SÉRIOVÝ




PARALELNÍ




KOMPAUNDNÍ STROJ = kombinace paralelního a sériového

# POROVNÁNÍ ROZBĚHU A REVERZACE

$$I_a = \frac{U_a - E}{R_a} \qquad M \cong c \cdot \Phi \cdot I_a \qquad \omega = \frac{U_a - R_a \cdot I_a}{c \cdot \Phi}$$

## CIZÍ A DERIVAČNÍ BUZENÍ

start: při $U_n$ je $I_s$ = 10 až 30 $I_n$ → změna $U_a$ nebo $R_a$

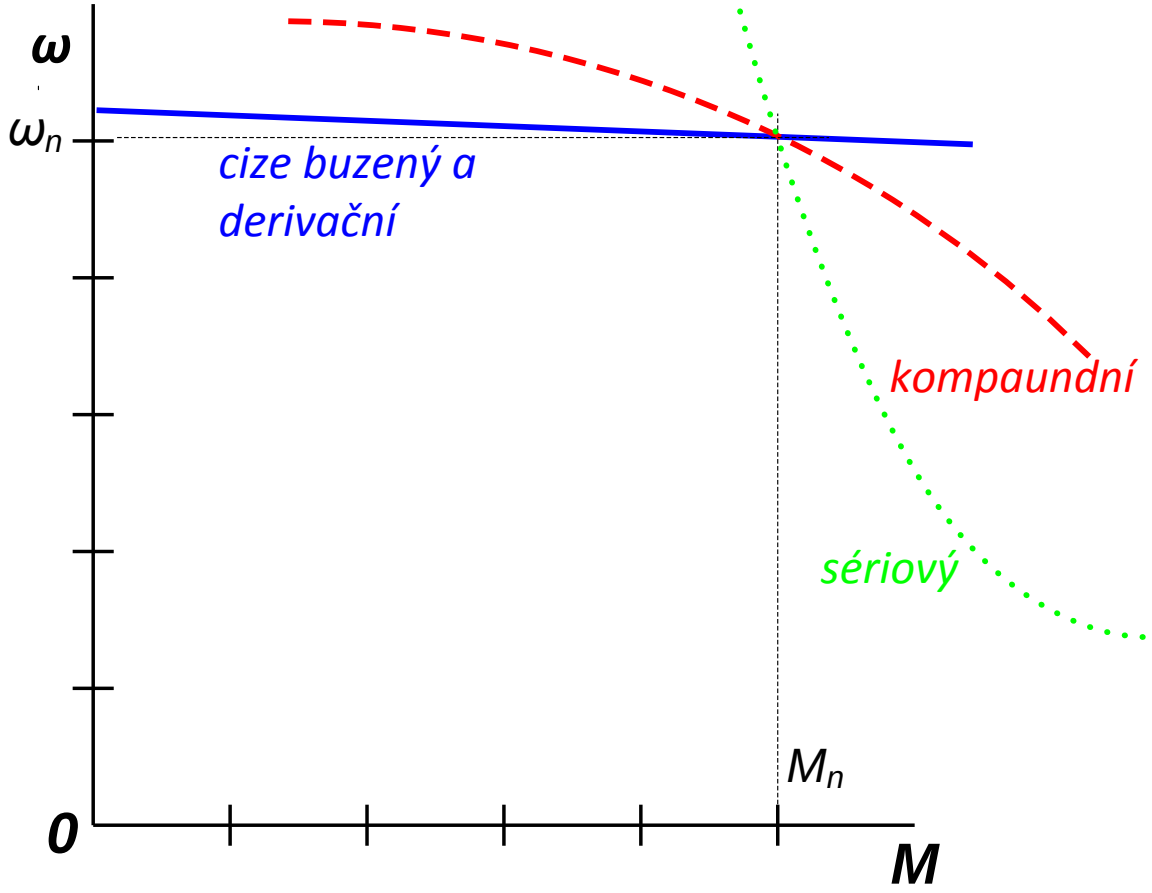
reverzace: změna polarity $U_a$ nebo $I_f$ (jen na stojícím stroji, magnetický tok nesmí být nulový !!!)

## SÉRIOVÉ BUZENÍ

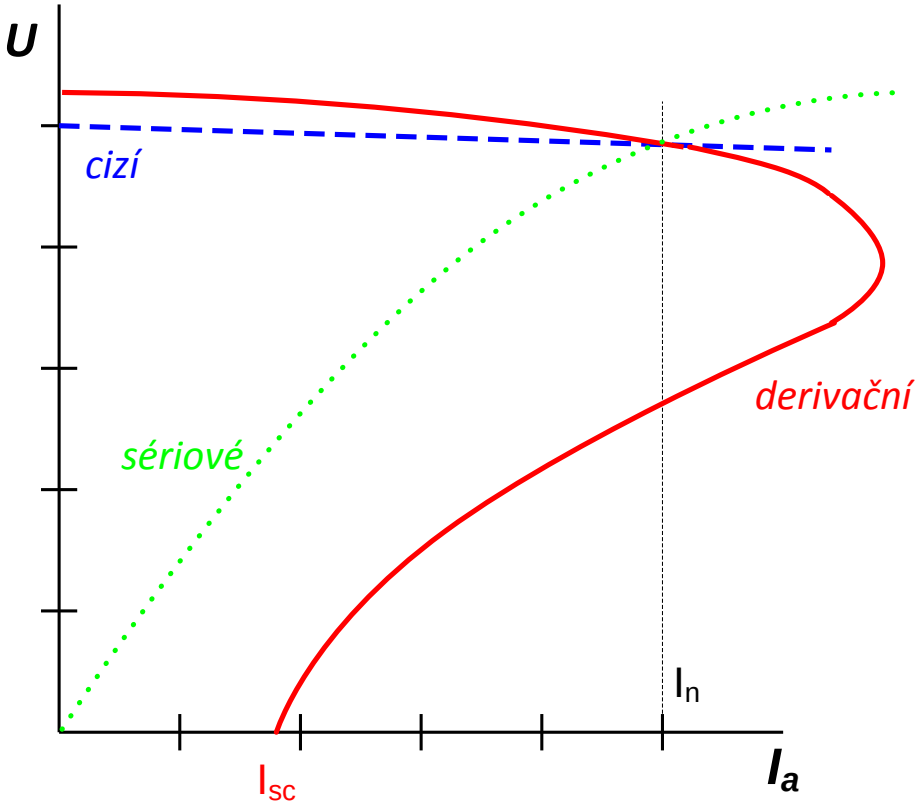
start: proměnné $U_a$ – stroj nesmí být odlehčen !!!

reverzace: změna polarity $U_a$ nebo $I_f$

# POROVNÁNÍ CHARAKTERISTIK MOTORŮ

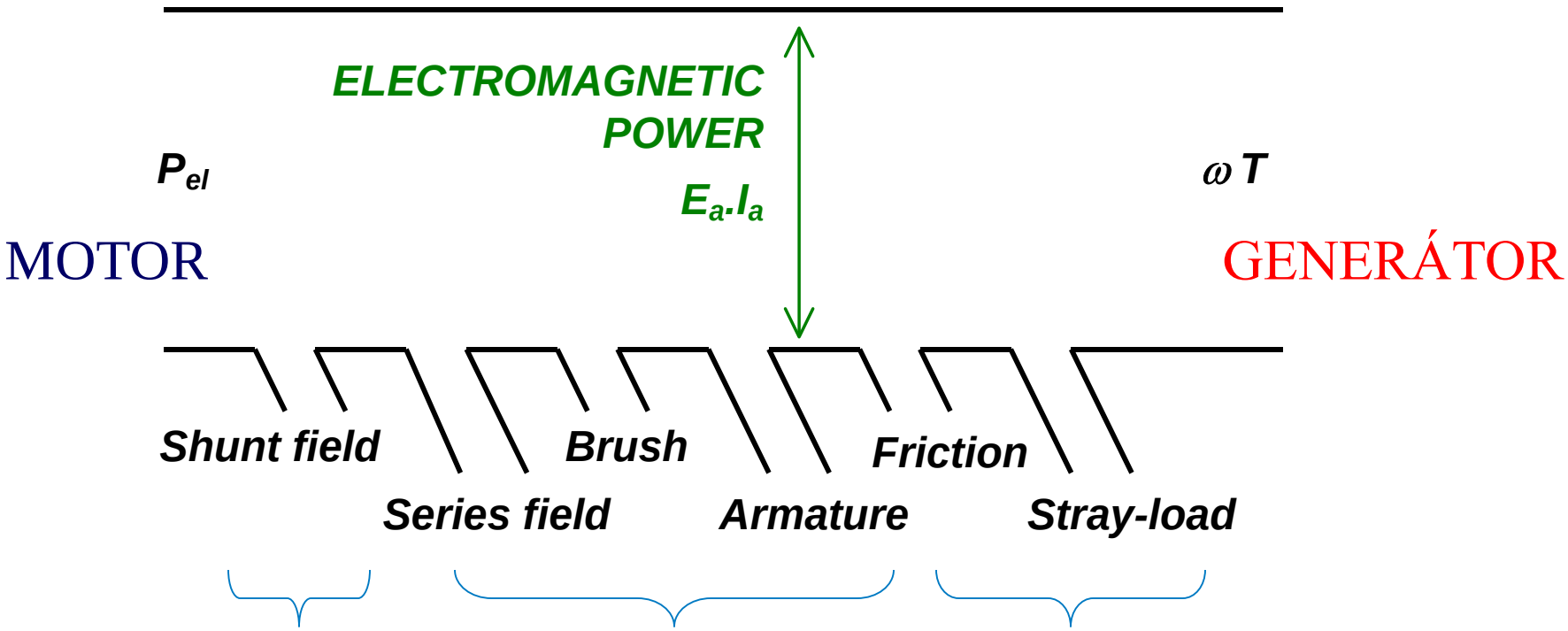


# POROVNÁNÍ GENERÁTORŮ




PARALELNÍ: $I_{sc} << I_n$ ⟶ svářečky

# ENERGETICKÁ BILANCE



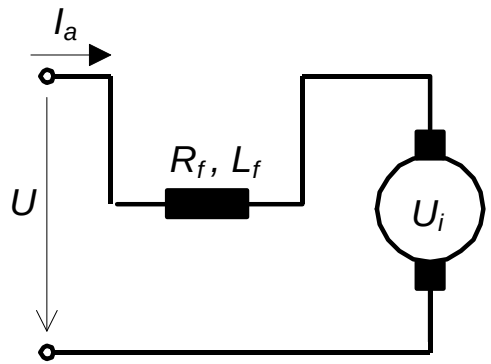

paralelní buzení
1 až 5% $P_{vstupní}$

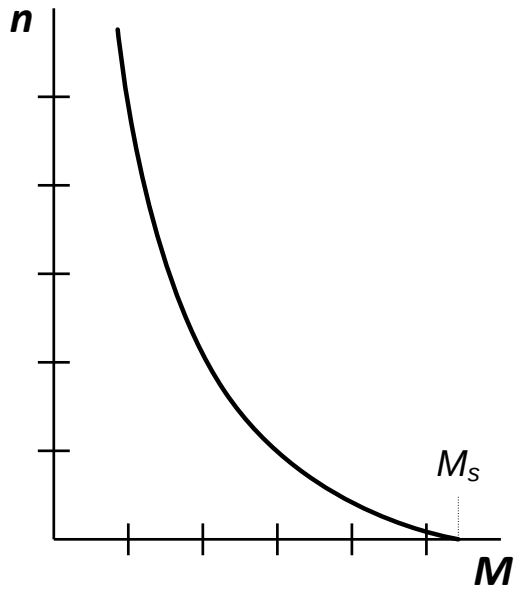
kotva
3 až 6% $P_{vstupní}$

rotační ztráty
3 až 15% $P_{vstupní}$

# UNIVERZÁLNÍ SÉRIOVÝ MOTOR (USM)

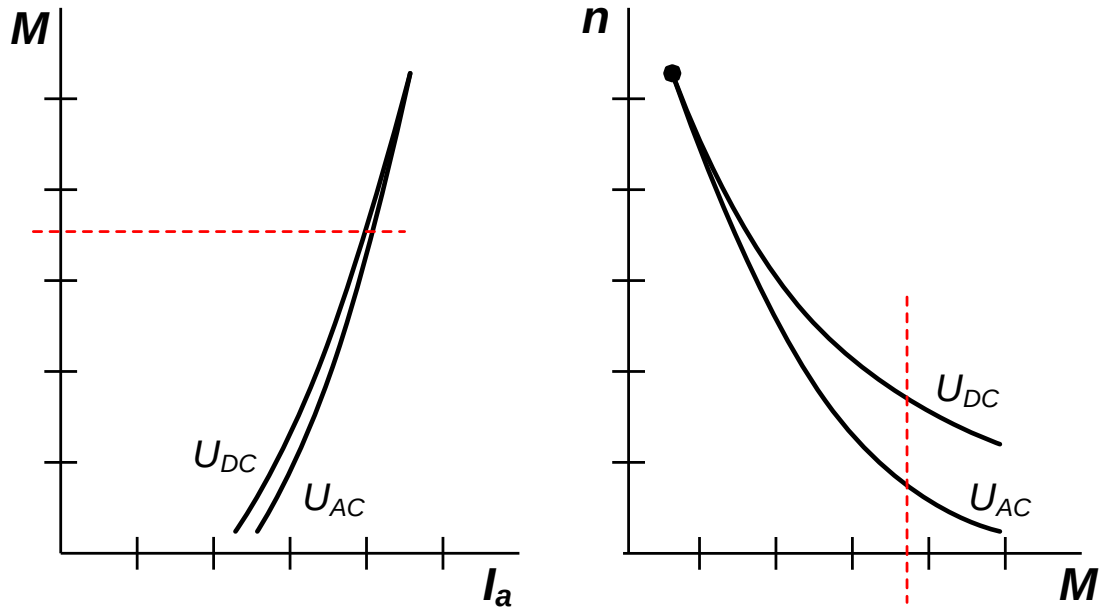
- JAKO DC SÉRIOVÝ MOTOR
- MAGNETICKÝ OBVOD = OCELOVÉ PLECHY




$$M_i = k\Phi I_a$$

# CHARAKTERISTIKY USM

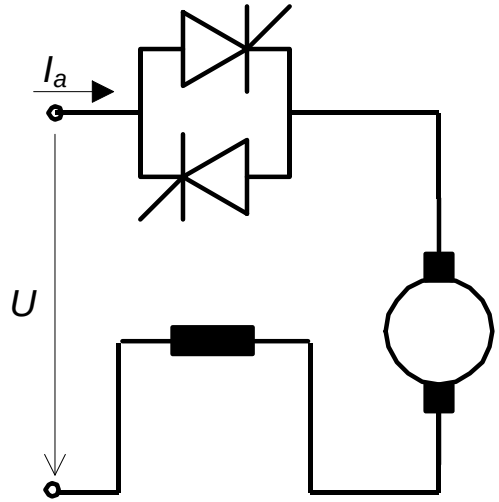


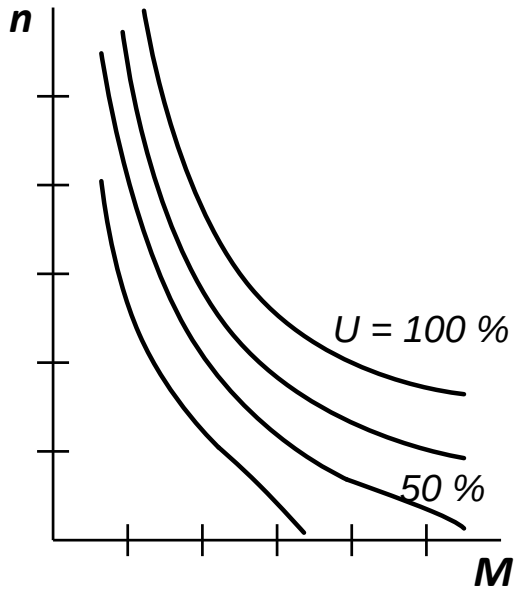

PŘI STŘÍDAVÉM NAPÁJENÍ JE CHOVÁNÍ HORŠÍ:

- Měkčí charakteristika
- Horší komutace (jiskření)

# ŘÍZENÍ RYCHLOSTI USM

- Měnič napětí




$$\omega = \frac{E}{k \cdot \Phi}$$

- Příklady použití – malé domácí spotřebiče:
  - VYSAVAČE
  - FÉNY
  - MIXÉRY

# DRUHY PROVOZU

| znak | význam |
|---|---|
| S1 | Trvalé (nepřerušované) zatížení (při výkonu, pro který je stroj určen) |
| S2 | Krátkodobý chod s dosažením tepelné hranice, pak musí být přestávka na vychlazení na teplotu okolí |
| S3 | Přerušovaný chod (Posloupnost stejných period chodu: P=konst a pauza) |
| S4 | Přerušovaný chod s rozběhem (Posloupnost: start, P=konst a pauza) |
| S5 | Přerušovaný chod s rovnoměrně rozloženými starty, zátěžemi, reverzním chodem nebo brzděním a přestávkami |
| S6 | Přerušované zatížení (Nepřerušovaný provoz s periodickým zatěžováním a chodem naprázdno) |
| S7 | Jako S5, ale bez přestávek |
| S8 | Nepřerušovaný provoz s občasným zatěžováním změnou otáček |
| S9 | Nepřerušovaný provoz s neperiodickým zatěžováním a změnami otáček |

Za znak se uvádí upřesňující údaj, např.: za S2 doba trvání zatížení, za S3 aS6 doba přerušení (i v % doby chodu), za S4, S5, S7, S8, S9 moment setrvačnosti

# FORMY OCHRANY (krytí) 1/2

IEC 34-5

**Označení IP následované dvěma číslicemi = IP dotyk a vniknutí, voda**

| první | Význam - ochrana proti dotyku a vniknutí |
|---|---|
| 0 | nechráněno |
| 1 | předmětů > 50 mm |
| 2 | malých pevných předmětů o průměru > 12mm, prstů |
| 3 | pevných předmětů o průměru > 2,5 mm |
| 4 | nářadí, drátů apod. malých pevných předmětů, silnějších než 1 mm |
| 5 | škodlivého prachu a jeho usazování |
| 6 | proti prachu plně (prachotěsné) |

# FORMY OCHRANY (krytí) 2/2

IP dotyk a vniknutí , voda

| druhá | Význam – ochrana proti |
|---|---|
| 0 | bez ochrany |
| 1 | proti kapající vodě (3-5 mm deště během 10 min), stroj v normální poloze |
| 2 | jako 1, zařízení umístěno se sklonem 15° oproti normální poloze |
| 3 | stříkající vodě (10 l/min, tlak 80-100 kN/m$^2$, během 3 min ze vzdálenosti 3 m) |
| 4 | jako 3, stříkání ze všech směrů |
| 5 | vodnímu paprsku (12,5 l/min, tlak 30 kN/m$^2$, z trysky průměru 6,3 mm, během 3 min ze vzdálenosti 3 m) |
| 6 | vodnímu paprsku (100 l/min, tlak 100 kN/m$^2$, z trysky průměru 12,5 mm, během 3 min ze vzdálenosti 3 m) |
| 7 | Ponoření do hloubky 1 m na dobu 30 min |
| 8 | ponoření do vody |

# PŘÍKLADY DC GENERÁTORY

**1**

Cize buzený stejnosměrný generátor s konstantním budicím proudem a konstantní rychlost má, při odporu zátěže $R_{Z1} = 10\ \Omega$, výstupní svorkové napětí $U_{a1} = 200$ V. Změní-li se zátěž na $R_{Z2} = 1\ \Omega$, svorkové napětí klesne ne $U_{a2} = 100$ V. Určete hodnotu odporu v obvodu kotvy.

($R_a = 1{,}25\ \Omega$)

**2**

Stejnosměrné dynamo s paralelním buzením napájí odporovou zátěž $R_Z = 5\ \Omega$ proudem $I = 20$ A. Odpor celého obvodu kotvy je $R_a = 0{,}2\ \Omega$ a odpor budicího vinutí je $R_f = 40\ \Omega$. Určete napětí indukované v kotvě.

($U_i = 104{,}5$ V)

# PŘÍKLADY DC MOTORY

**3**

Stejnosměrný cize buzený motor je buzen proudem $I_f$ = 8 A, odebírá ze zdroje proud $I_a$ = 50 A, jeho odpor kotvy je $R_a$ = 0,5 Ω a vytváří moment M = 1200 Nm. Určete napětí kotvy, které způsobý změnu otáček na hodnotu to $n_x$ = 110 1/min při stejném buzení a stejném zatížení (uvažujte pouze ztráty ve vinutí, vše ostatní zanedbejte).

($U_{ax}$ = 301,4 V)

**4**

Sériový motor má celkový odpor R = 1 Ω. Odebírá proud I = 212 A ze zdroje o napětí U = 900 V a běží rychlostí n = 2025 1/min. Určete moment motoru (uvažujte pouze ztráty ve vinutí, vše ostatní zanedbejte).

(M = 688 Nm)