ASYNCHRONNÍ STROJE

(AC Induction Machines)

B1M15PPE

VÝHODY ASYNCHRONNÍCH STROJŮ

- NEJBĚŽNĚJŠÍ TROFÁZOVÉ TOČIVÉ STROJE

- JEDNODUCHÁ KONSTRUKCE
- SNADNÁ ÚDRŽBA
- ŠIROKÝ ROZSAH POUŽITÍ

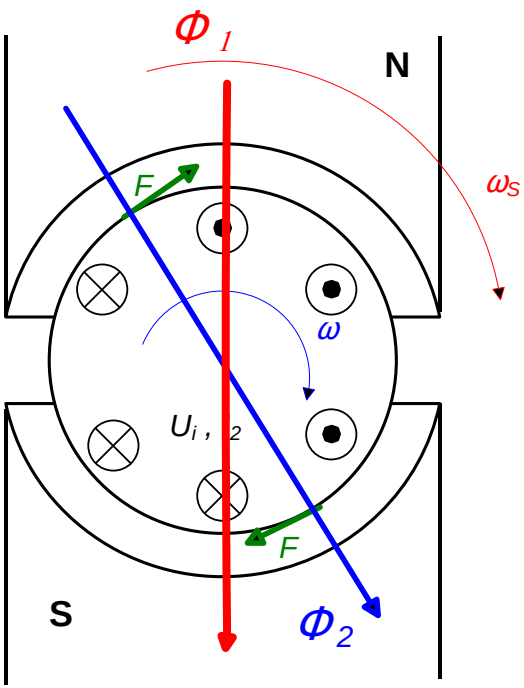
NÍZKÁ CENA

- POUŽITÍ POLOVODIČOVÝCH MĚNIČŮ UMOŽŇUJE PODOBNĚ SNADNÉ ŘÍZENÍ JAKO U STEJNOSMĚRNÝCH STROJŮ

ASYNCHRONNÍ REŽIM

Točivé magnetické pole vytvořené statorem

Magnetické pole vytvořené proudem indukovaným v rotoru



Založeno na
$U_i = Blv$
$F = BIl$

Motor se nemůže otáčet stejnou rychlostí jako točivé pole (synchronně):

Rozdíl rychlostí = skluz

$$\omega_{skluz} = \omega_s - \omega$$

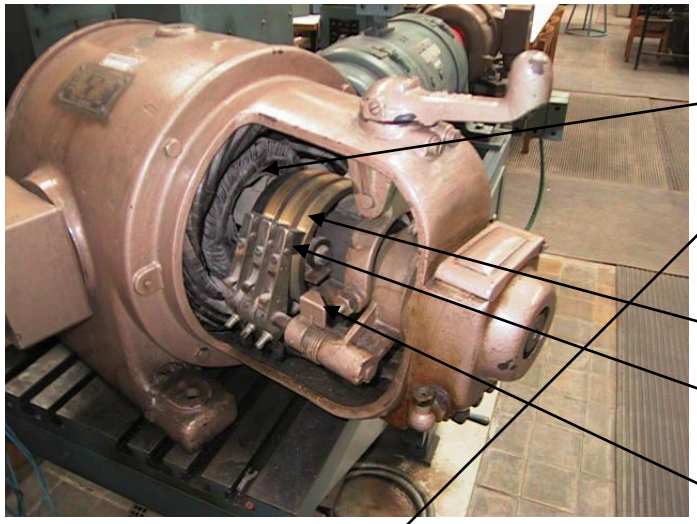
$$s = 100\frac{\omega_{skluz}}{\omega_s}$$

$$\omega = (1 - s)\omega_s$$

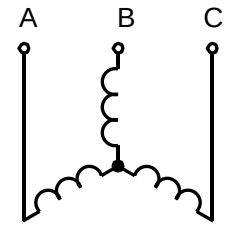
$$f_2 = sf_1$$

$$\omega = \frac{\pi n}{30}$$

ZÁKLADNÍ KONSTRUKCE



STATOR (Y/D) *vinutí stejné pro oba typy*

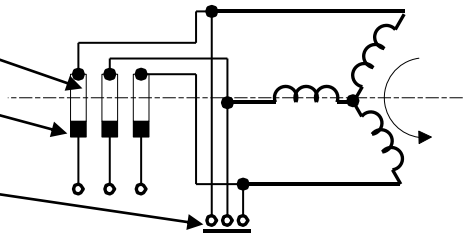


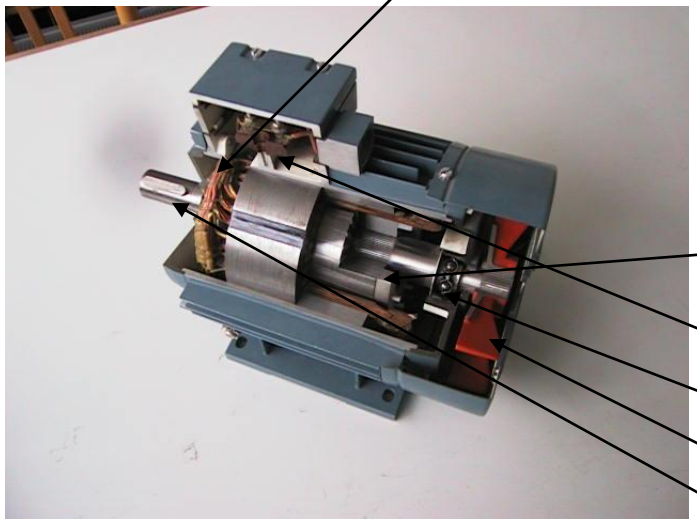
VINUTÝ ROTOR (Y)

kroužky

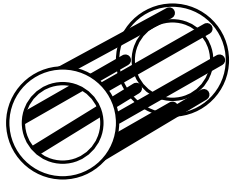
kartáče

zkratovač





KLECOVÝ ROTOR *(trvale zkratovaný)*



svorky

ložiska

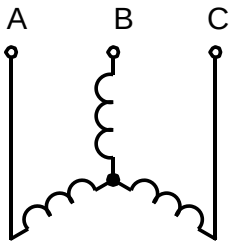
ventilátor

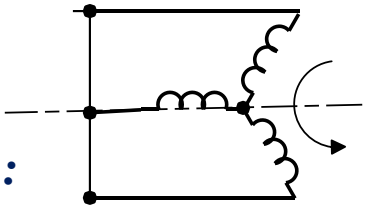
hřídel

© Doc. Ing. Pavel Pivoňka, CSc.

ZÁKLADNÍ NÁHRADNÍ SCHÉMA 1/2

- **PODMÍNKY:**
  - Symetrické fáze (jednofázová reprezentace)
  - Harmonická napětí a proudy (sinus)
  - Konstantní parametry
  - Rotorové parametry přepočtené na stator





(definice pro n = 0 → $f_2 = f_1$ a ve statoru i rotoru je stejný počet fází):

$$U'_{i2} = U_{i1} = U_i = E = kU_{i2}$$

$$I'_2 = {}^{I_2}/_{k}$$

$$U_{i1} = 4,44\Phi_m f_1 N_1 K_{w1} \longrightarrow k = \frac{U_{i1}}{U_{i2}} = \frac{K_{w1}N_1}{K_{w2}N_2} \longrightarrow R'_2 = R_2 k^2$$

$$U_{i2} = 4,44\Phi_m f_1 N_2 K_{w2}$$

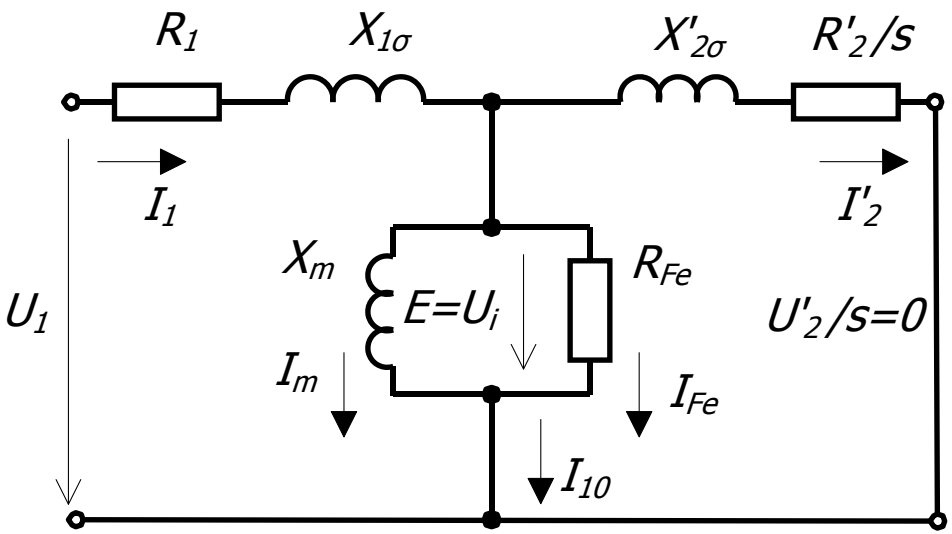
$$X'_{2\sigma} = X_{2\sigma} k^2$$

Změna kmitočtu v rotoru pro n≠0 je reprezentována skluzem s.

ZÁKLADNÍ NÁHRADNÍ SCHÉMA 2/2

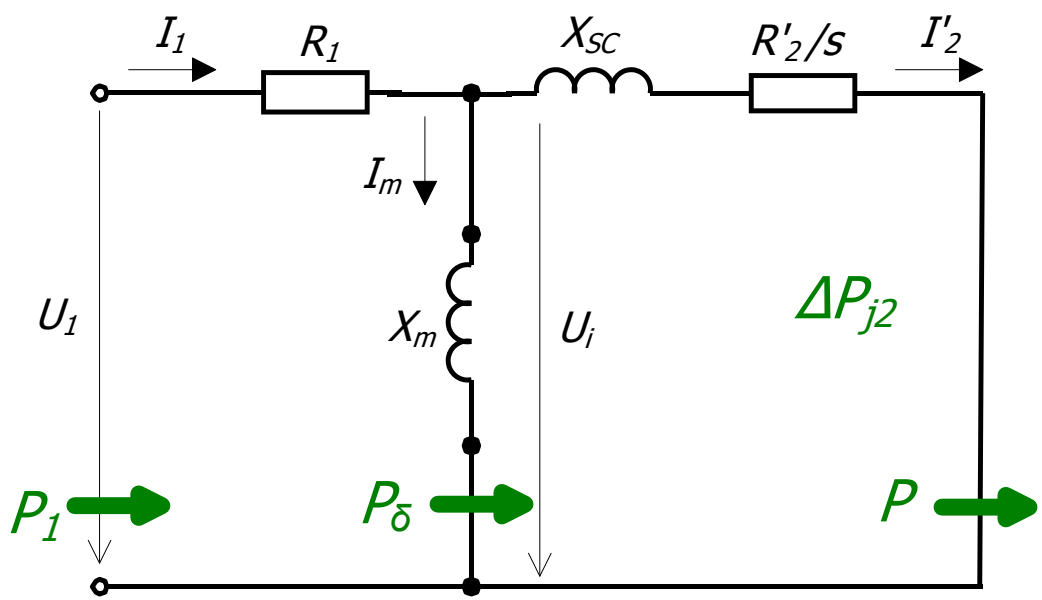
$$X_{2\sigma f2} = 2\pi f_2 L_{2\sigma} = 2\pi s f_1 L_{2\sigma} = sX_{2\sigma f1} = sX_{2\sigma}$$

$$Z_2' = \sqrt{(sX_{2\sigma})^2 + R_2'^2} = s\sqrt{X_{2\sigma}^2 + \left(\frac{R_2'}{s}\right)^2} = s\sqrt{X_{2\sigma}^2 + \left(R_2' + \frac{(1-s)R_2'}{s}\right)^2}$$



ZJEDNODUŠENÉ NÁHRADNÍ SCHÉMA

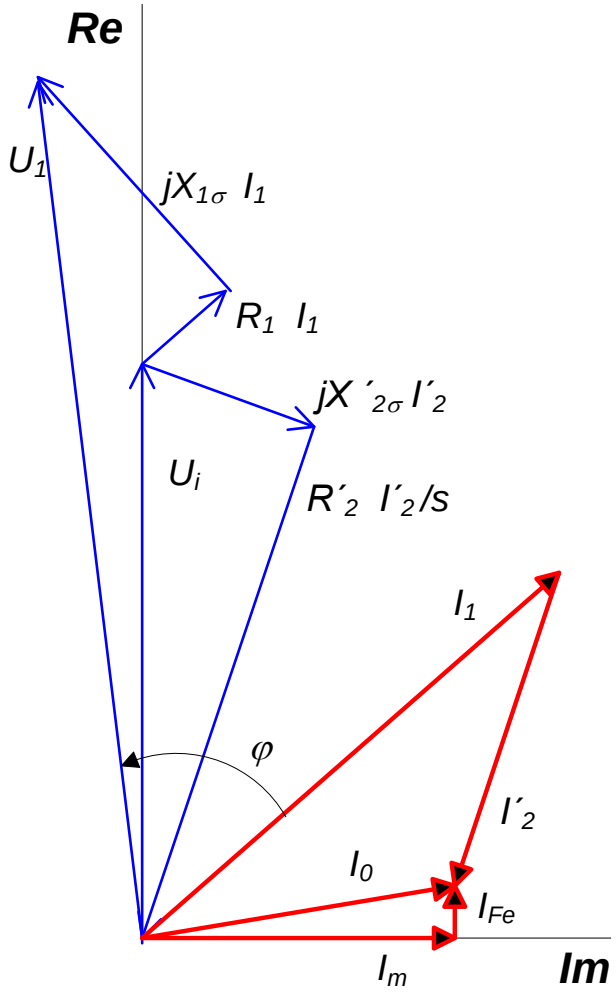
- $P_1 = mU_1 I_1 cos\varphi$ ***(m = počet fází)***
- $P_\delta = P_1 - \Delta P_{j1} - \Delta P_{Fe}$
- $\Delta P_{Fe} = R_{Fe} I_{Fe}^2 = \frac{U_i^2}{R_{Fe}} \rightarrow 0$
- $P_\delta = \frac{R_2' I_2''^2}{s} = \frac{\Delta P_{j2}}{s}$



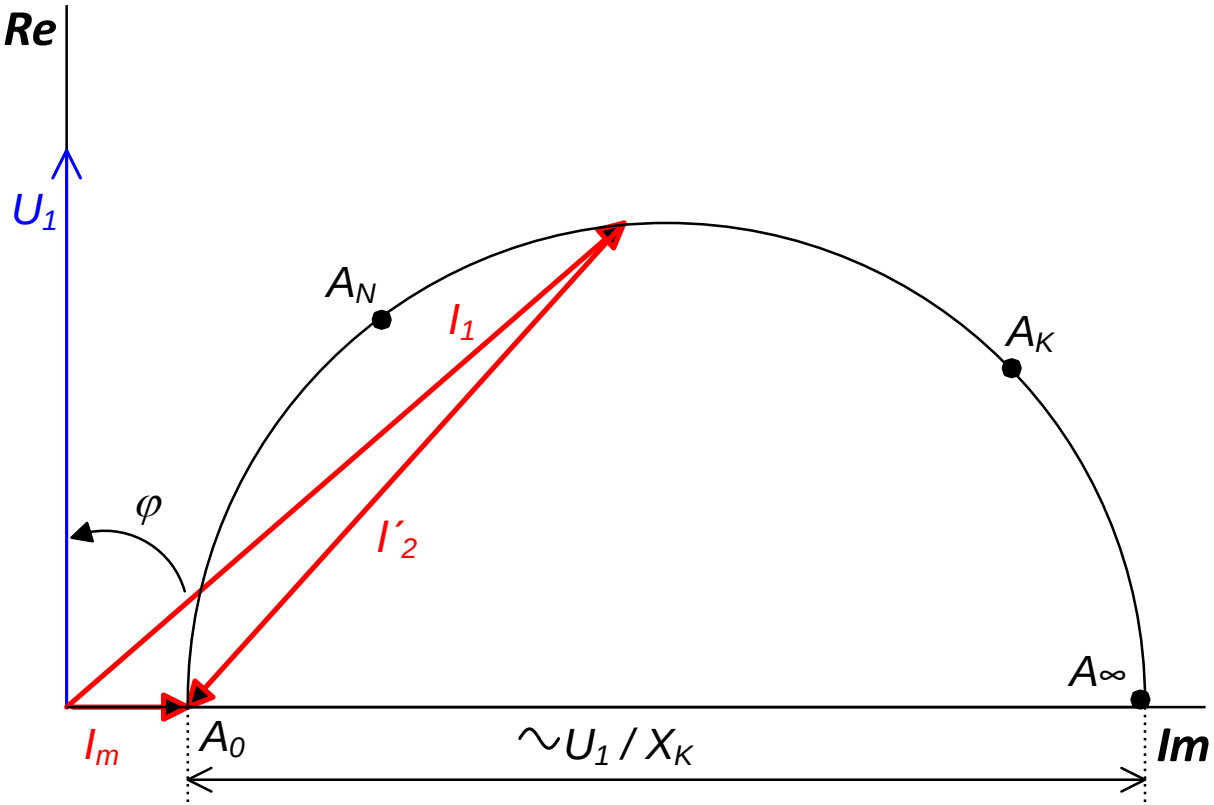
$$\boldsymbol{P = P_\delta - \Delta P_{j2} = P_\delta - sP_\delta = (1 - s)P_\delta}$$

FÁZOROVÝ DIAGRAM

- $\widehat{U_1} = R_1\widehat{I_1} + jX_{1\sigma}\widehat{I_1} + \widehat{U_i}$
- $\frac{\widehat{U_2'}}{s} = \widehat{U_i} - \frac{R_2'}{s}\hat{I}_2' - jX_{2\sigma}'\hat{I}_2'$ (=0)
- $\hat{I}_0 = \hat{I}_1 - \hat{I}_2' = \hat{I}_m + \hat{I}_{Fe}$



KRUHOVÝ (PROUDOVÝ) DIAGRAM - IDEA



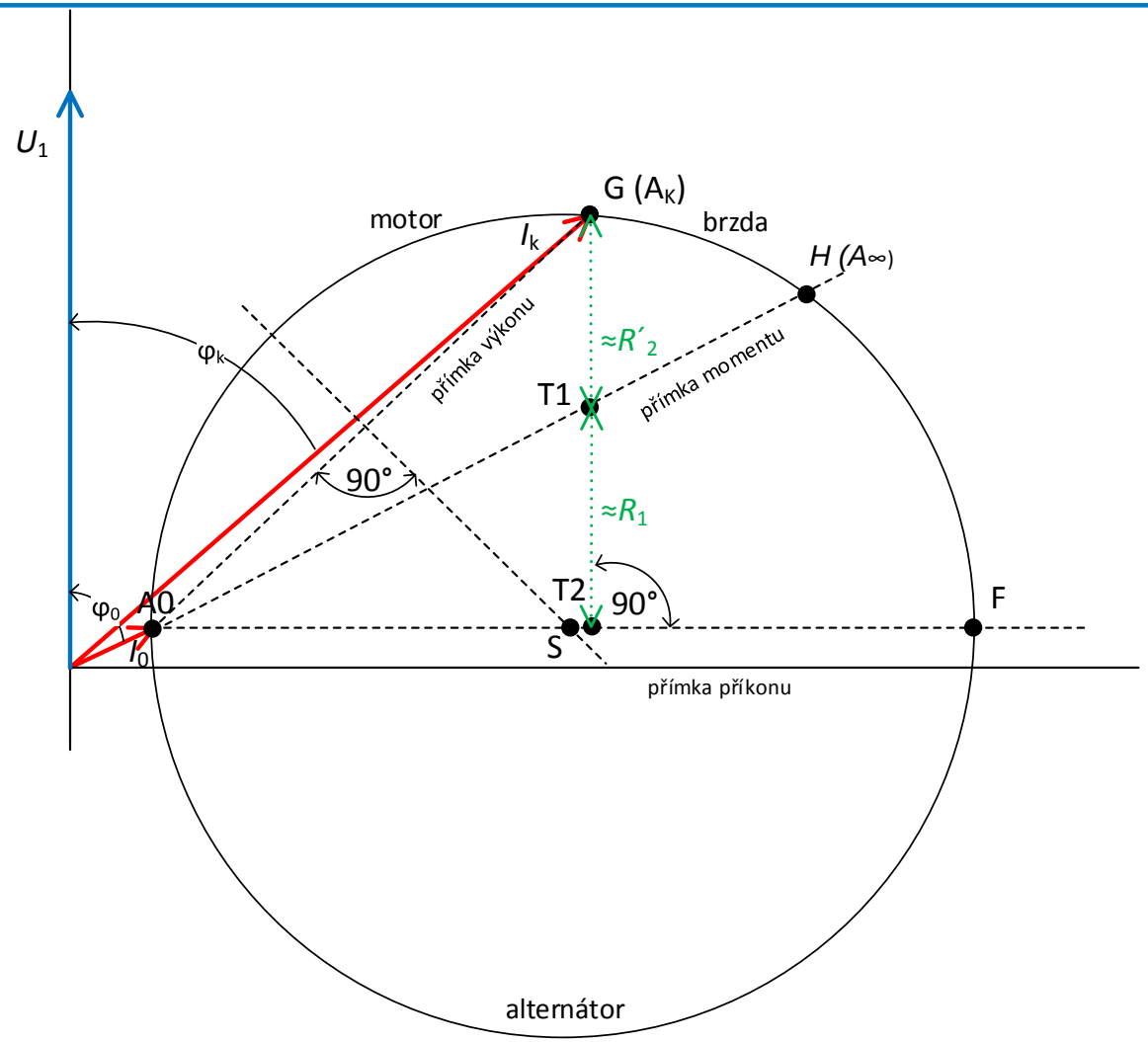
ZJEDNODUŠENÝ KRUHOVÝ DIAGRAM (KD)

OSY – stejné měřítko
Osa x – 1,5 I_K

Výchozí (fázové) hodnoty
$U_1 = U_{1N}$

- Měření odporů
  → $R_{1(20)}$
- Měření naprázdno
  → ΔP_m, I_{10}, $\cos \varphi_0$
- Měření nakrátko
  → R_k, I_{1K}, $\cos \varphi_K$

Přepočet na teplotu – třída izolace (př. A, B = 75°C)



KOREKCE KD

Nejjednodušší korekce

1) Přesun A_0 → A, kde s = 0:

- Zanedbat posun v ose x
- Posun ve směru osy y

$$\frac{\Delta P_m + \Delta P_d}{m U_1} \qquad (m = \text{počet fází})$$

- ΔP_d naprázdno jsou malé, často neznámé → *zanedbat* →

Posunutí ve směru y:

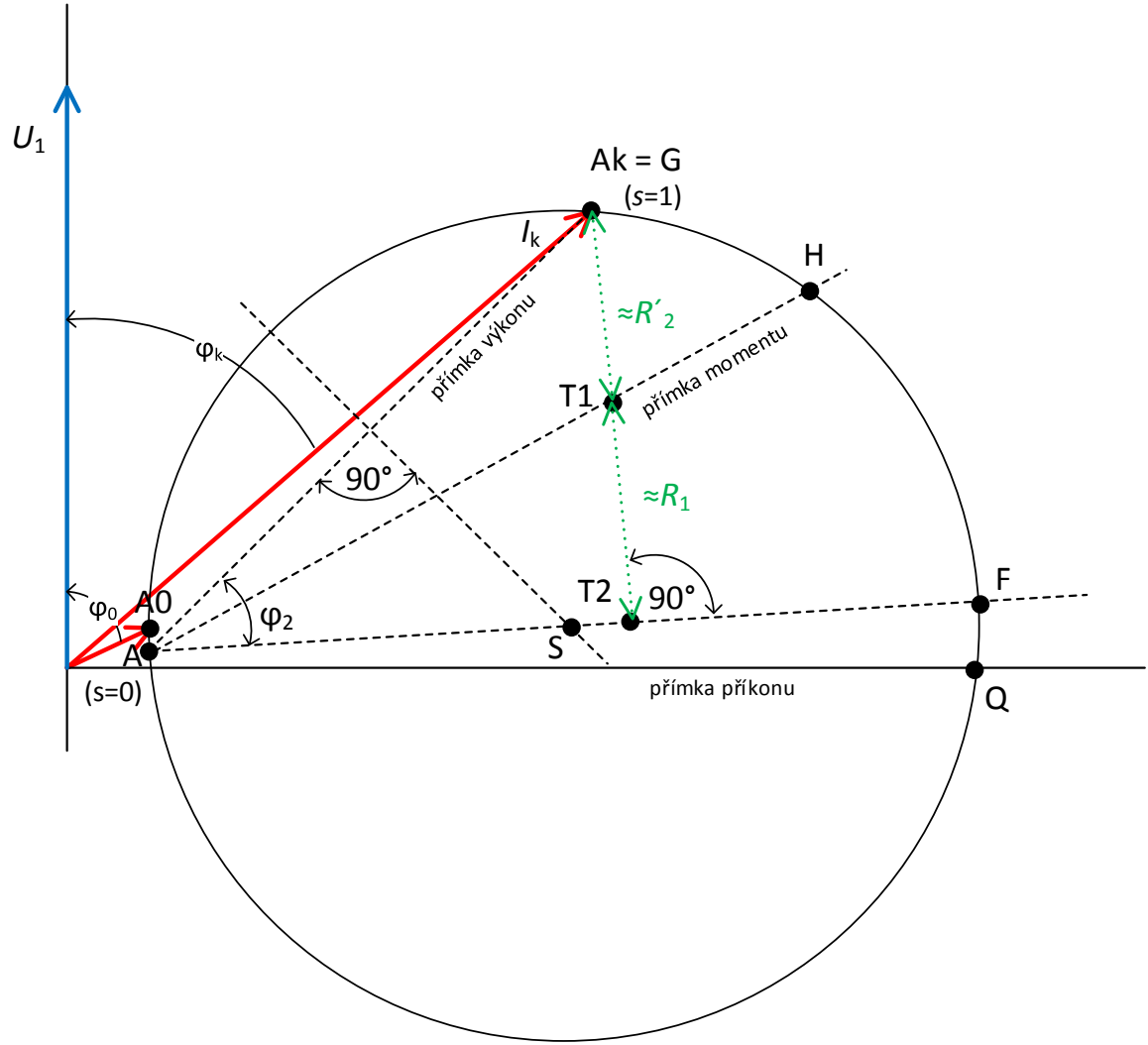
$$\Delta Y \approx \frac{\Delta P_m}{m U_1}$$

Souřadnice y bodu A:

$$A_Y = A_{0Y} - \Delta Y$$

2) Sklon AF:

$$\varphi_2 = \frac{\pi}{2} - arctg \frac{X'_{2k}}{R'_{2k}}$$



ODEČÍTÁNÍ HODNOT Z KD

Souřadnice bodů na kružnici
MAJÍ ROZMĚR PROUDU

MĚŘÍTKA

výkonu: $P = mU_1$

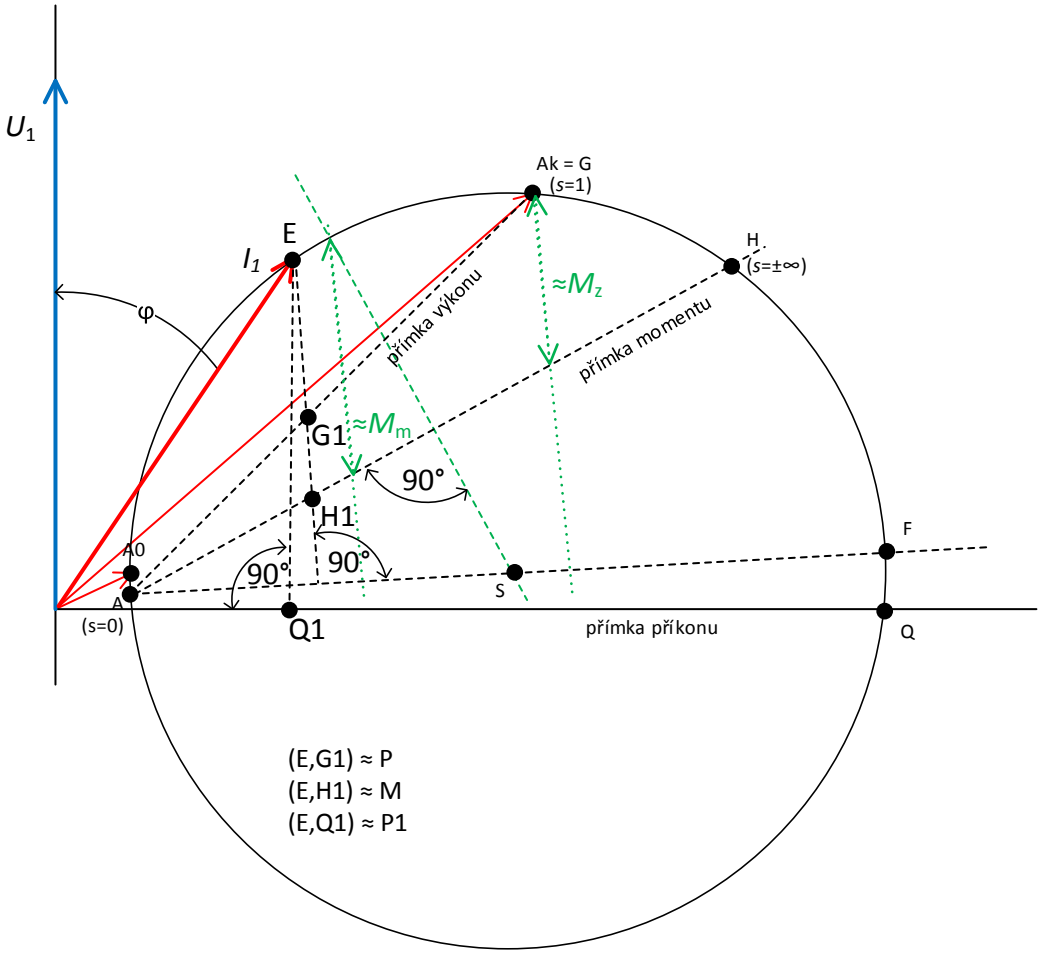
momentu: $P = \frac{mU_1}{\omega_1}$

Odečítání hodnot (např. bod E):

- Z bodu na kružnici kolmice na AF
- **Výkon** = délka E-G1 (přímka výkonu AG)
- **Moment** = délka E-H1 (přímka momentu AH)

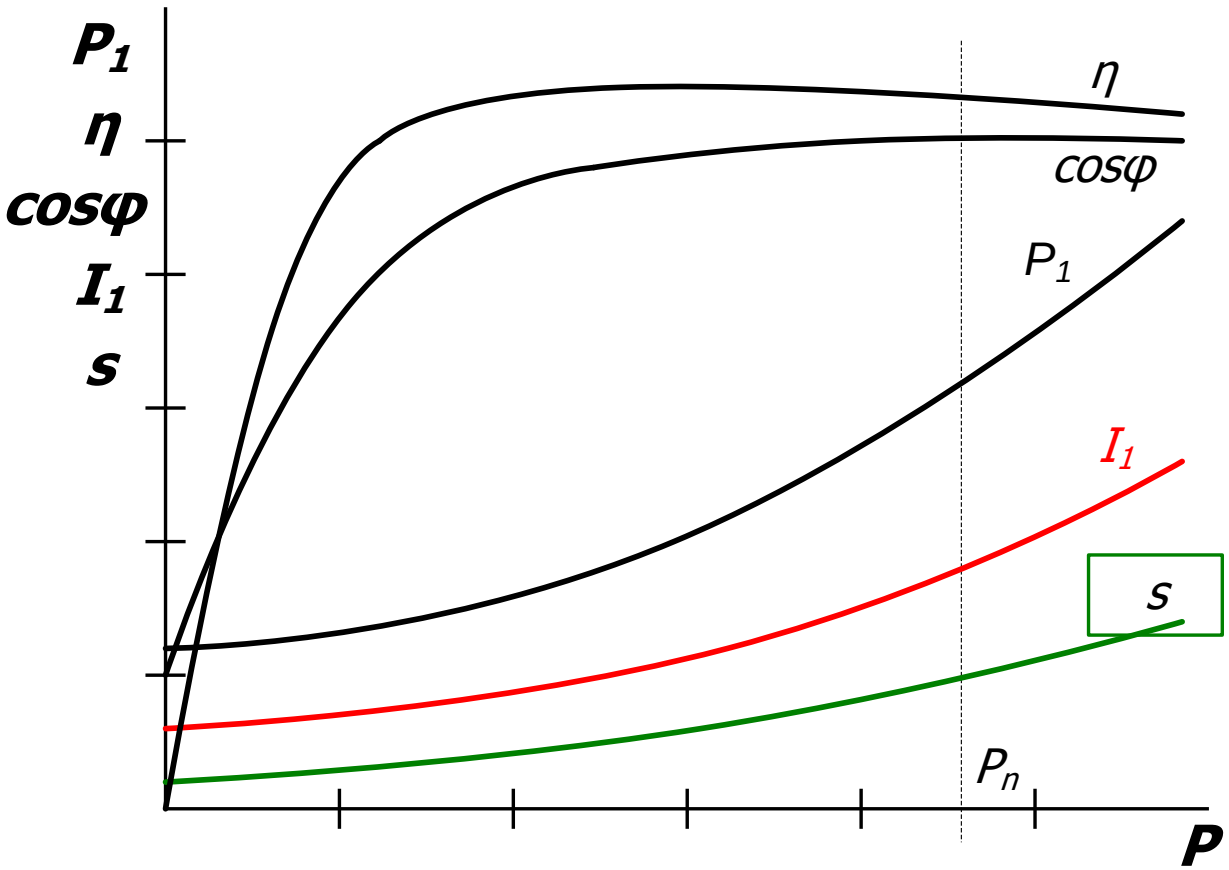
Body na kružnici pro maximální hodnoty:

- Kolmice ze středu S na příslušnou přímku



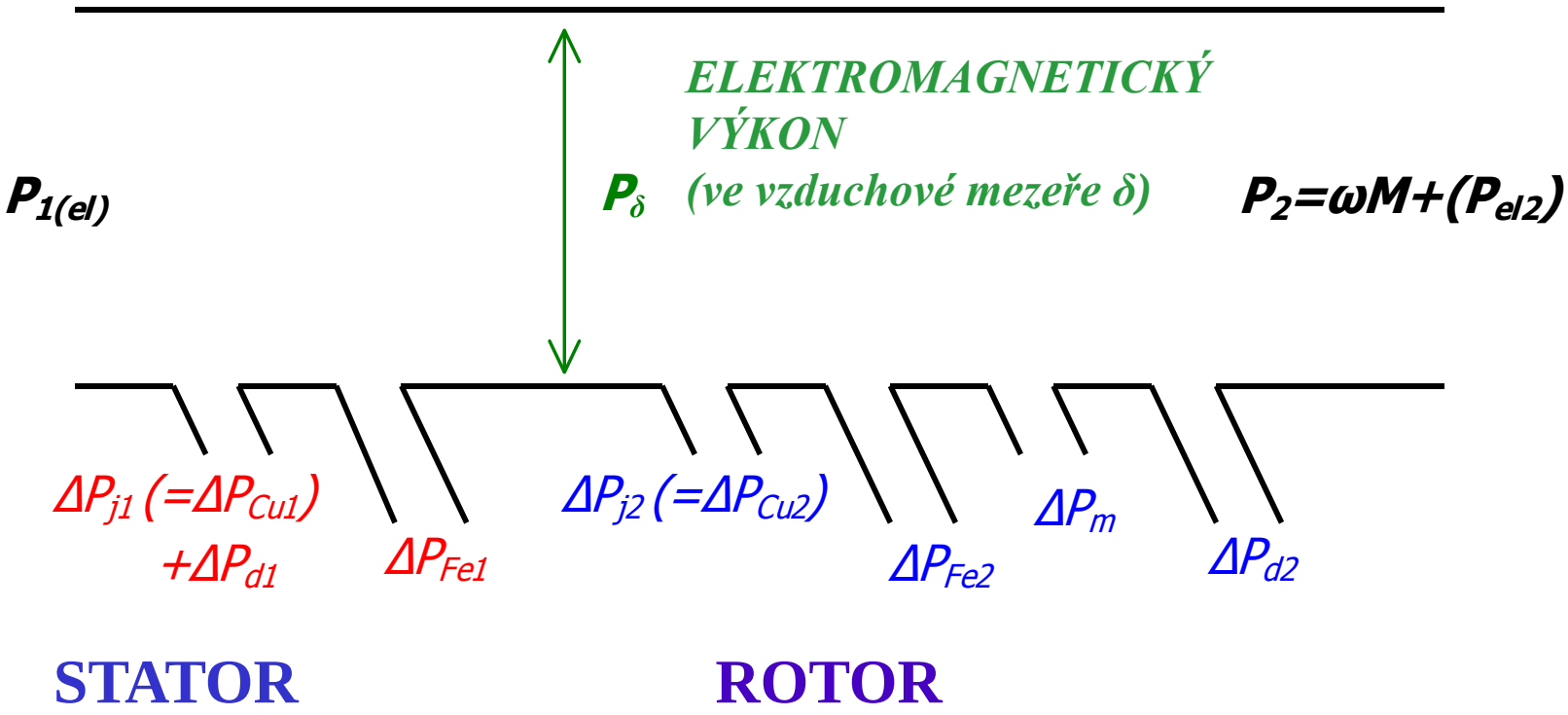
PRACOVNÍ (zatěžovací) CHARAKTERISTIKY

$U_1 = U_n = konst.$

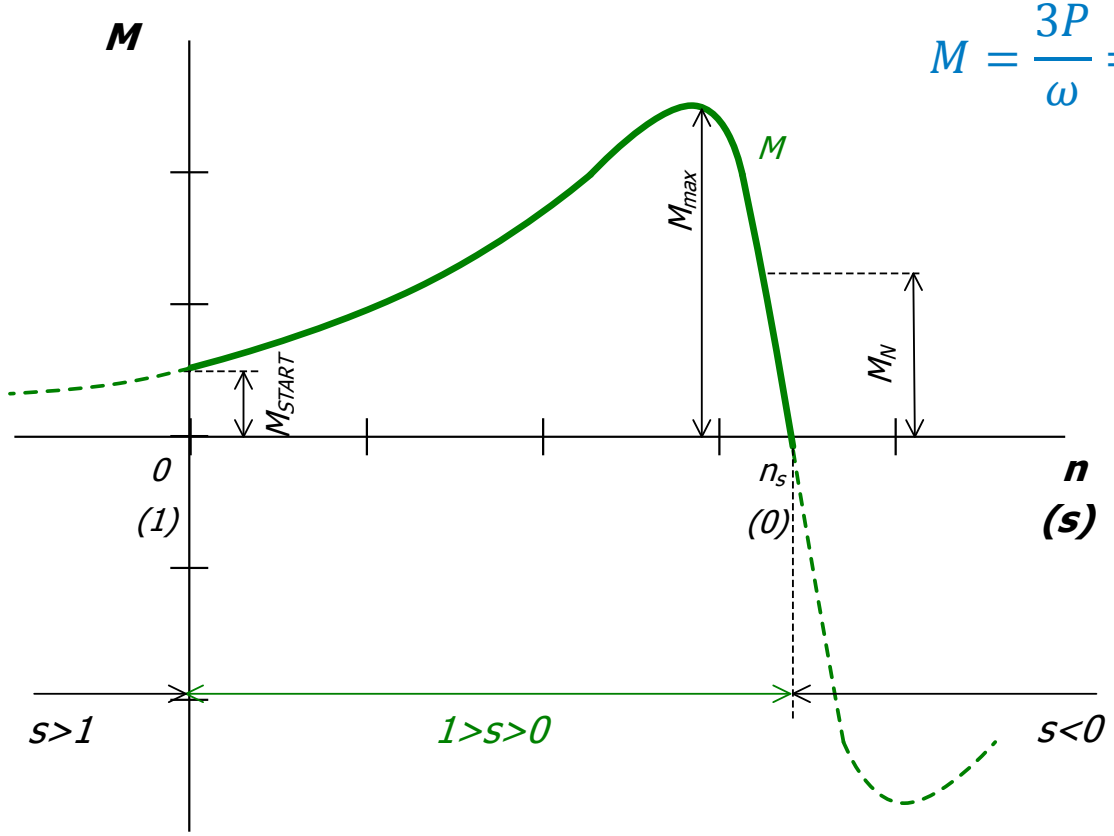


ENERGETICKÁ BILANCE (rozdělení výkonů)

$$P = P_\delta - \Delta P_{j2} = (1 - s)P_\delta$$



MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA (MCH)



$$M = \frac{3P}{\omega} = \frac{3(1-s)P_\delta}{(1-s)\omega_s} = \frac{3\Delta P_{j2}}{s\omega_s} = \frac{3}{\omega_s}\frac{R_2'}{s}I_2'^2$$

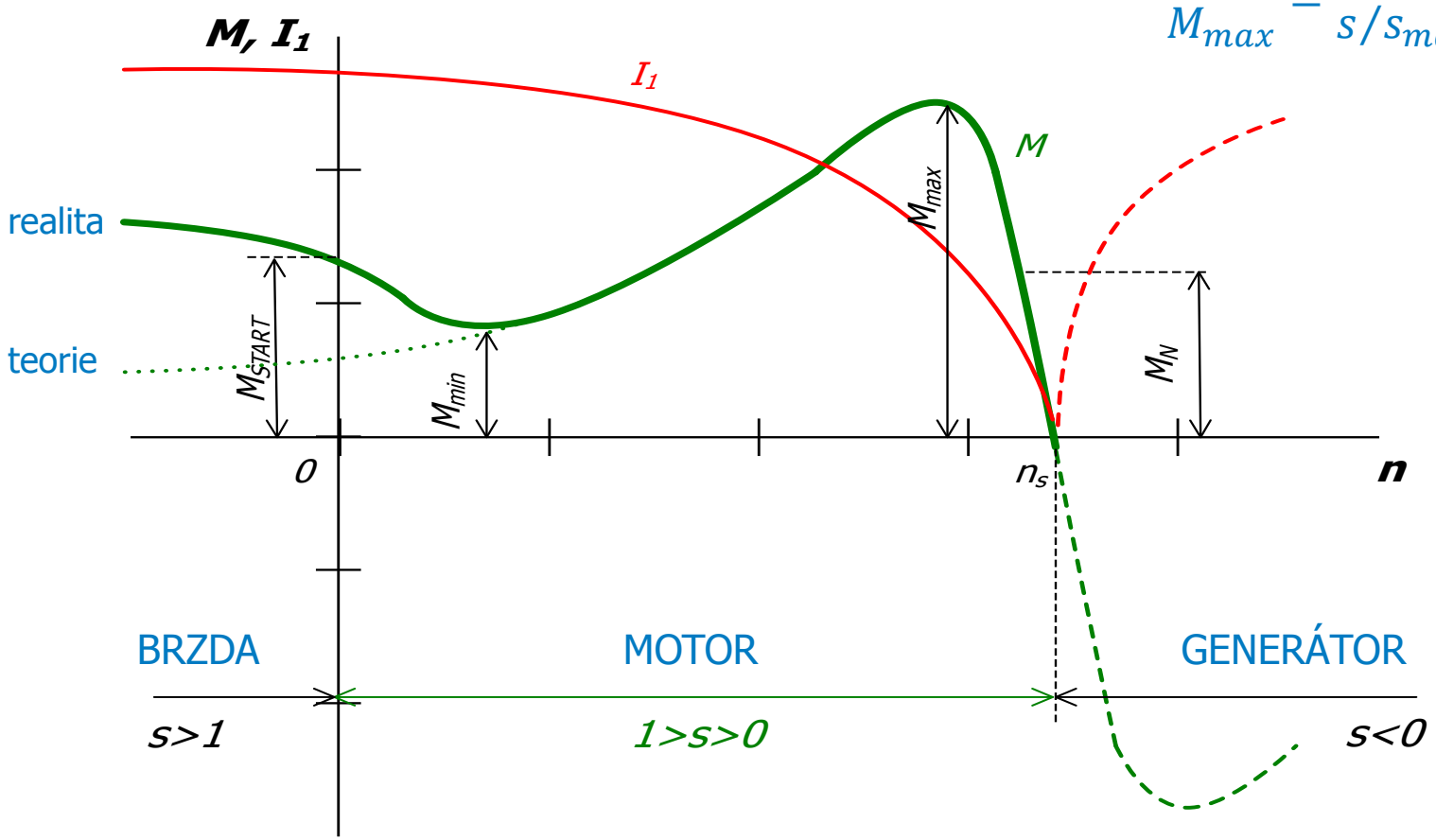
$$M = \frac{3}{\omega_s}\frac{R_2'}{s}\frac{U_1^2}{X_{sc}^2 + (\frac{R_2'}{s})^2}$$

$$s_{max} \cong \pm\frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{sc}^2}}$$

$$M_{max} \cong \frac{3U_1^2}{2\omega_s(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{sc}^2})}$$

REÁLNÁ MCH

$$\frac{M}{M_{max}} \cong \frac{2}{s/s_{max} + s_{max}/s}$$



ASYNCHRONNÍ GENERÁTOR (ASGEN)

Pozn.: GENERÁTORY STŘÍDAVÉHO PROUDU = ALTERNÁTORY

VLASTNOSTI: vhodné pro menší výkony, spolehlivý, nenáročný na údržbu, na síti odolný proti kolísání otáček

POUŽITÍ: malé automatizované elektrárny (větrné, vodní …), nejčastěji nízkootáčkové → $2p \geq 4$ (problém chlazení)

PODMÍNKY:

- POHÁNĚN EXTERNÍM POHONEM PŘI $\omega > \omega_S$

  PRO P_N má být $\omega = \omega_S + (\omega_S - \omega_N)$

- STATOR NAPÁJEN JALOVÝM VÝKONEM (I_m)

Odebíraný jalový proud zvyšuje ztráty v sítích i v připojených synchronních strojích.

ASGEN NA SÍTI

- **SPOUŠTĚNÍ**
  - ROZTOČENÍ EXTERNÍM POHONEM (turbínou) NA $\omega > \omega_S$
  - PŘIPOJENÍ K SÍTI → NABUDÍ SE ZE SÍTĚ JALOVÝM VÝKONEM (I_m) VYROBENÝM SYNCHRONNÍMI STROJI
  - PŘEVEZME ZATÍŽENÍ (dodá výkon do sítě) ODPOVÍDAJÍCÍ TURBÍNĚ: $M_{TURBINA} = M_{GEN}$ → I_{GEN}

- **ZMĚNA VÝKONU**
  - REGULACÍ TOČIVÉHO MOMENTU POHÁNĚCÍ TURBÍNY
  - PŘI ODLEHČENÍ (snížení odebíraného výkonu) ROSTE ω →

NUTNOST OTÁČKOVÉ OCHRANY

- PŘI ZTRÁTĚ BUZENÍ (odpojení zdrojů I_m) $M_{GEN} \downarrow$ → ROSTE ω

KRUHOVÝ DIAGRAM ASGEN

- BQ – přímka činného výkonu

$$P_1 = mU_1\overline{\mathrm{E1Q1}}$$

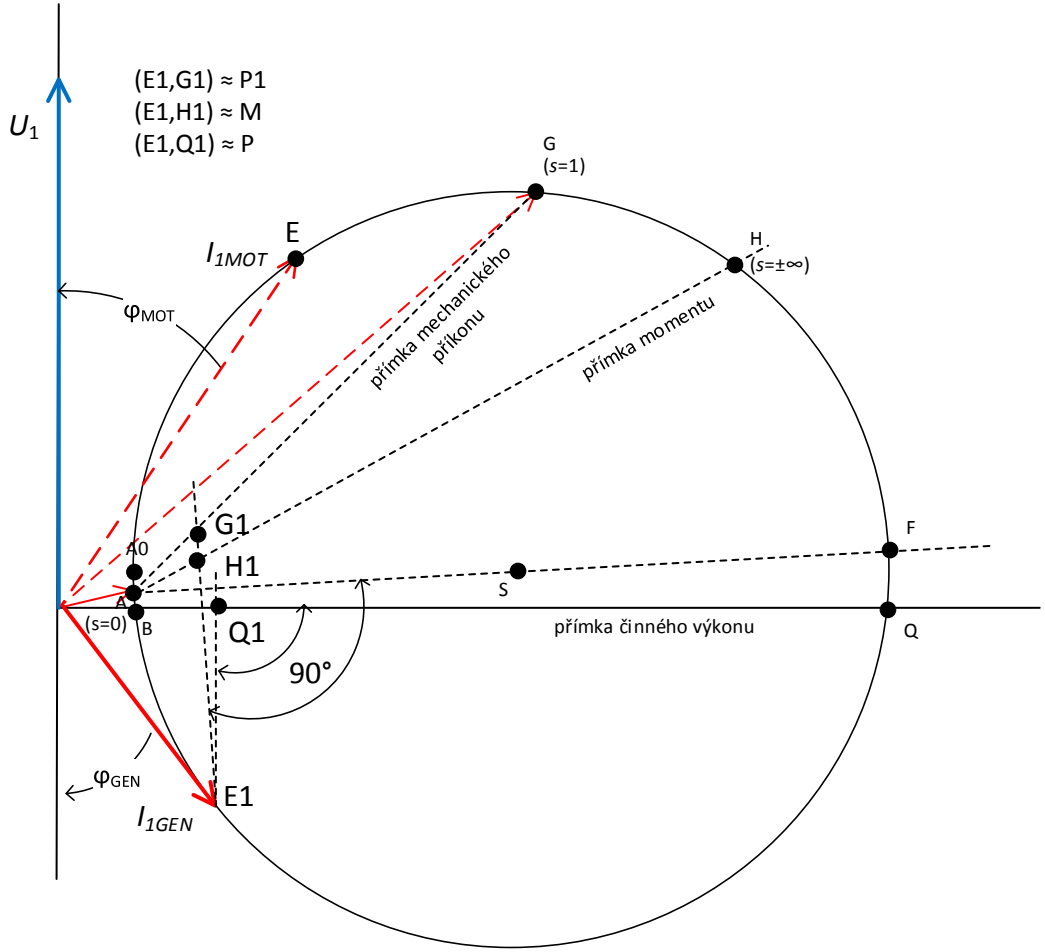
- AH – přímka momentů

$$M = \frac{mU_1\overline{\mathrm{E1H1}}}{\omega_1}$$

(vnitřní elmag výkon $P_i = \omega_1 M$)

- AG – přímka mechanického příkonu (bez Pm)

$$P_1 = mU_1\overline{\mathrm{E1G1}}$$



- P_{max} na průsečíku kružnice a kolmice z S na BQ

ASGEN V OSTROVNÍM PROVOZU

OSTROVNÍ PROVOZ (= není na síti se synchronními stroji)

PODMÍNKY stejné jako na síti:

- POHÁNĚN EXTERNÍM POHONEM PŘI $\omega > \omega_S$
- STATOR NAPÁJEN JALOVÝM VÝKONEM (I_m)

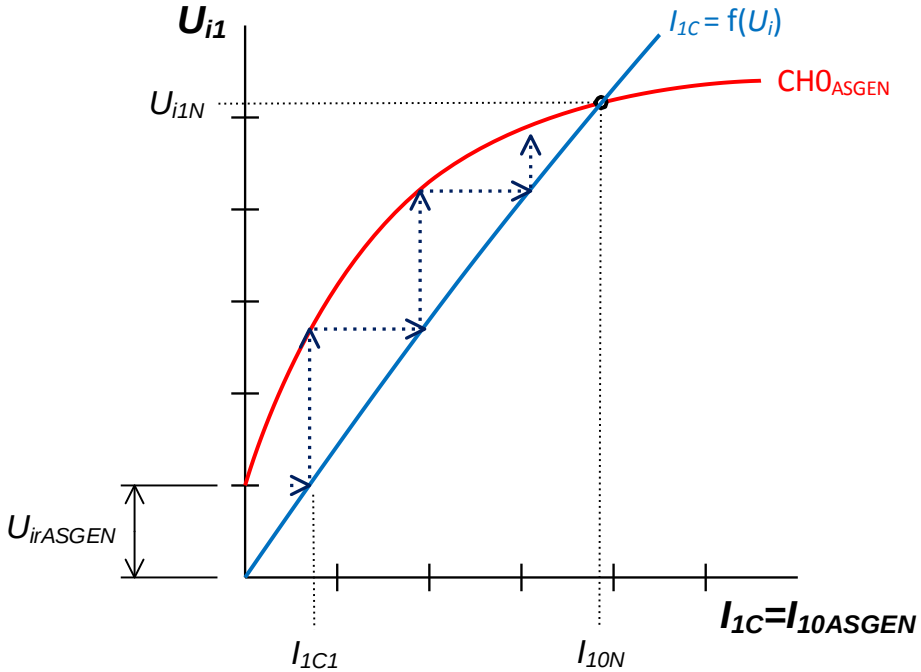
NENÍ-LI NA SÍTI musí být připojeny KONDENZÁTORY

- ZATĚŽOVACÍ CHARAKTERISTIKA měkčí než synchronního generátoru
- OTÁČKY ovlivňují kmitočet. Pro zajištění f_1 = konst nutno regulovat otáčky podle zatížení (měnit skluz)
- PŘI n = konst se se zatížením bude měnit f_1 i U_1

NABUZENÍ OSTROVNÍHO ASGEN

- Roztočit na $n_1 = \frac{60 f_1}{p}$
- Připojit ke kondenzátorům
- U_{irASGEN} vyvolá I_{1C1}
- I_{1C1} vybudí vyšší magnetický tok
- Tím se zvýší se U_{i} a vyvolá I_{1C}
- atd. do rovnováhy (průsečíku), kdy

$$\omega_1 L_1 I_{1C} = \frac{I_{1C}}{\omega_1 C}$$



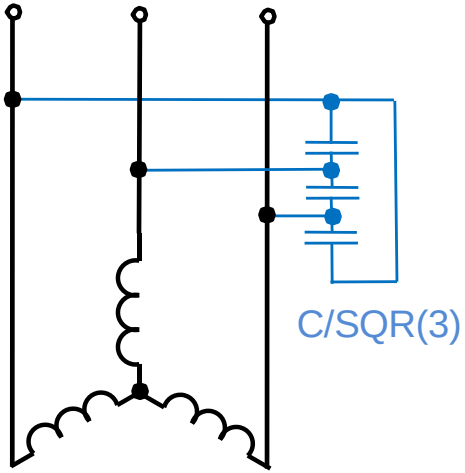
kde $L_1 = \frac{X_{1\sigma}+X_0}{\omega_1}$ je indukčnost alternátoru, C = kapacita kondenzátoru při fázovém napětí,

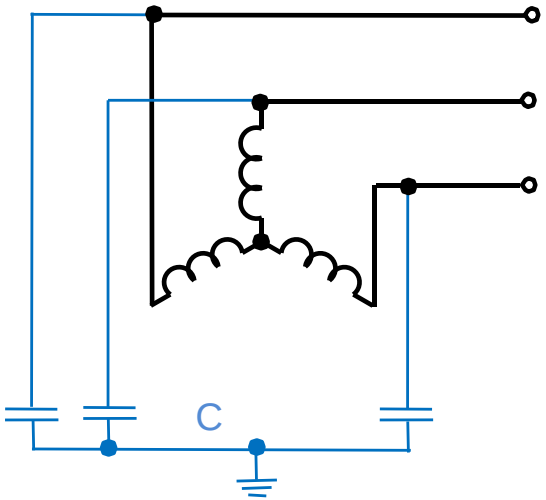
a $\omega_1 = 2\pi f_1$= elektrická úhlová synchronní rychlost

Nabuzený alternátor je možné zatížit.

ZAPOJENÍ KONDENZÁTORŮ

- ZDROJ JALOVÉHO VÝKONU = KONDENZÁTORY
- Potřebná velikost kondenzátoru $C = \frac{1}{\omega_1^2 L_1}$ (pro f_1 = 50 Hz je $L_1 C \approx 10^{-5}$)





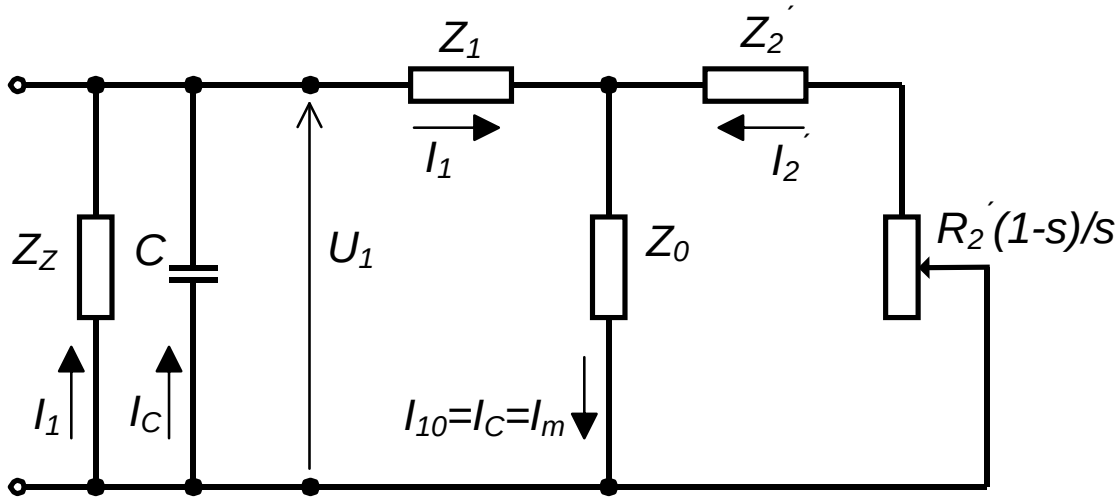
- Předbíhající jalový proud, procházející kondenzátory, je magnetizačním proudem alternátoru

NÁHRADNÍ SCHÉMA OSTROVNÍHO ASGEN

Při s < 0 je odpor

$R_2' \frac{1-s}{s}$ také < 0

reprezentuje zdroj činné energie



Při zanedbání ΔP_m musí turbína dodat

$$P_p = m_1 I_1'^2 R_2' \frac{1-s}{s}$$

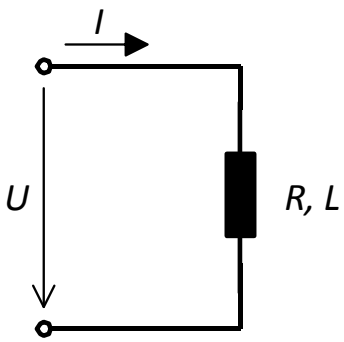
(Podle požadovaných U_1, I_1, f_1 lze z NS určit I_{1C} a s)

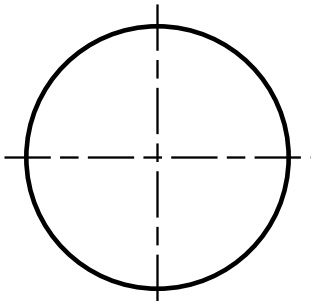
JEDNOFÁZOVÝ ASYNCHRONNÍ MOTOR

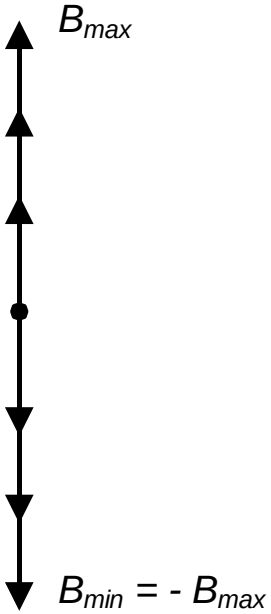
Pro pohony do 3,5 kW s n = konst.

Např.:

Kompresory, lednice, pračky, sekačky …







STATOR:

statorové plechy a distribuované vinutí

ROTOR:

klecový jako u 3fázového

JEDNA FÁZE statoru NEMŮŽE VYTVOŘIT TOČIVÉ POLE, VYTVOŘÍ PULZUJÍCÍ POLE = mění velikost, ale nemění směr

→

Rotor NEVYTVÁŘÍ TOČIVÝ MOMENT

MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA

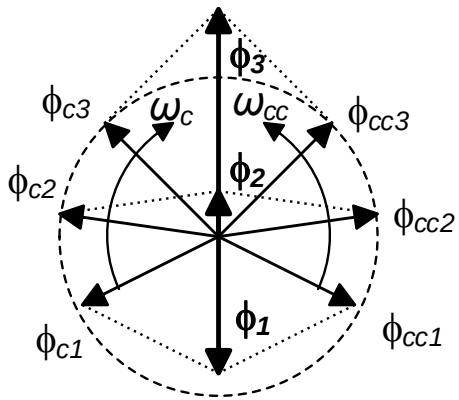
NÁHRADA JEDNOHO PULZUJÍCÍHO POLE DVĚMA TOČIVÝMI

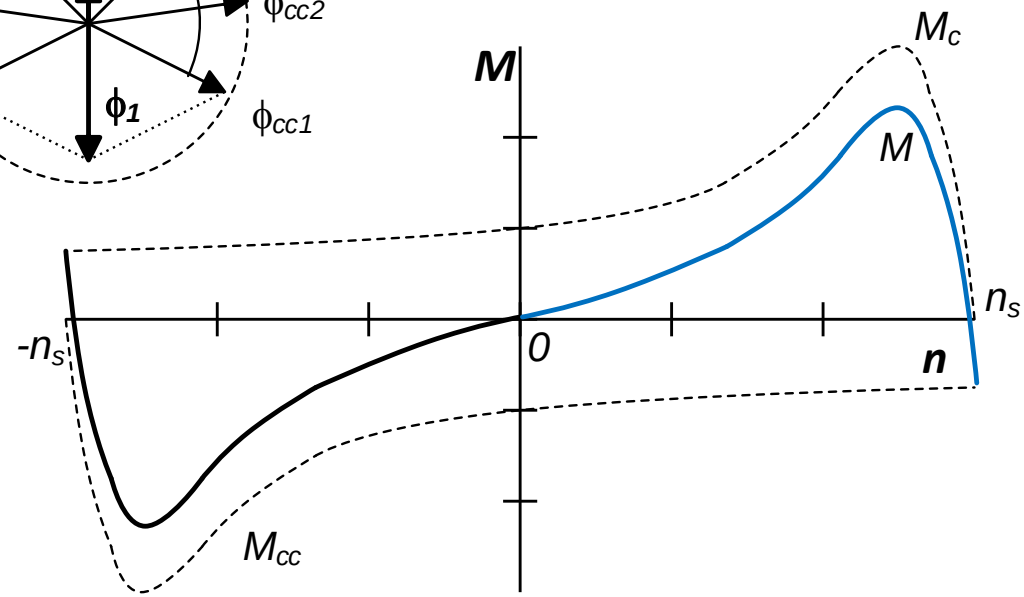
c = sousledné (clockwise)

cc = zpětné (counterclockwise)

$$\omega_c = -\omega_{cc} = 2\pi f_1$$

$$n = \frac{30\omega}{\pi p} = \frac{60 f_1}{p}$$





KDYŽ UŽ SE OTÁČÍ PRODUKUJE MOMENT → problém je roztočit

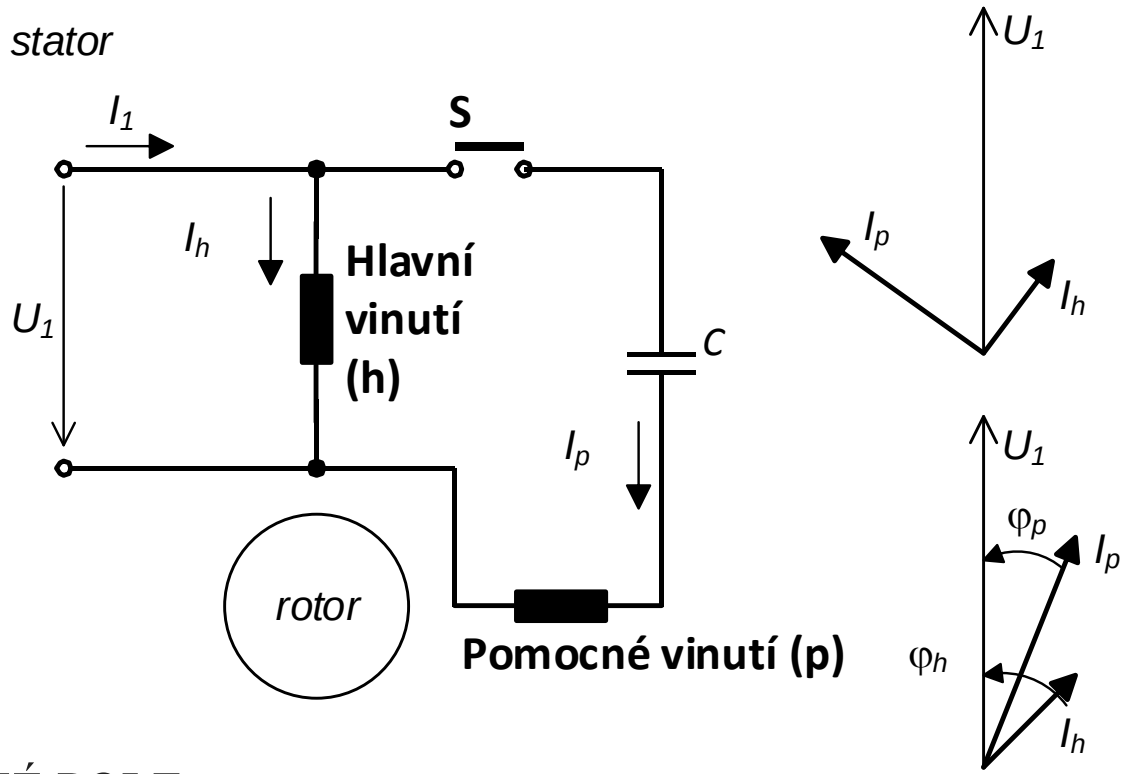
FUNKCE POMOCNÉ FÁZE

STATOR – 2 vinutí

- Hlavní – (2/3 resp. 1/2 drážek)
- Pomocné – (1/3 resp. 1/2)
- Posun 90°

Vytvoření fázového posunu

- Kondenzátor v (p)
- Zvětšením R v (p)
  - aby větší R/X, než v (h)



POSUN I_p a I_h vyvolá ELIPTICKÉ POLE

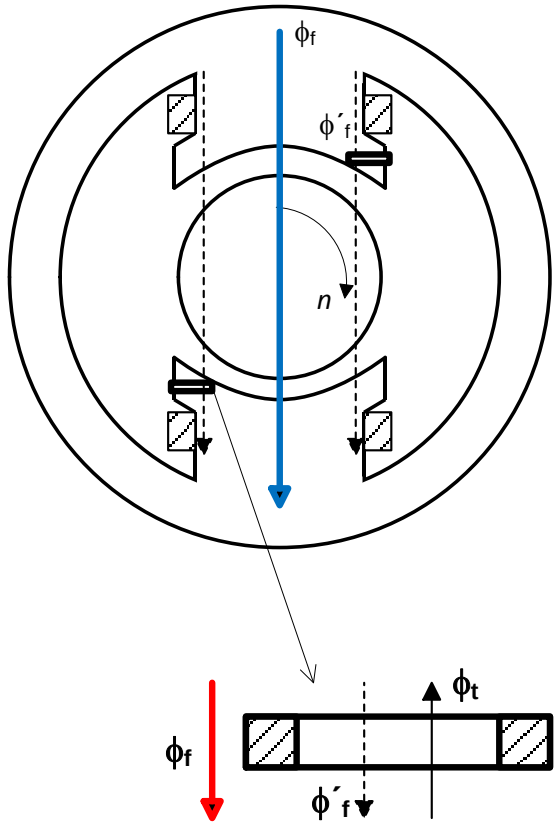
KONDENZÁTOR: jen pro start – odstředivý vypínač

pro trvalý chod – *P*, *M* jako 3fázový, C zlepšuje *cos*φ

Změna směru = přepólováním pomocné fáze, regulace otáček = f-měnič (zřídka), U-měnič (triak)

STÍNĚNÝ PÓL

PRO MALÉ ZÁBĚRNÉ MOMENTY



Pohony gramofonů, magnetofonů, ventilátorů apod.

Pouze hlavní fáze, na části každého pólu zkratovaná cívka.

Proud ve zkratovaném kroužku produkuje vlastní tok opačného smyslu, než má hlavní tok, a tím způsobí deformaci výsledného magnetického pole resp. mírnou nesouměrnost sousledné a zpětné složky momentu.

Změna směru otáčení jednoduše nelze.

PŘÍKLADY

- 1

  Čtyřpólový asynchronní motor je napájen napětím o kmitočtu f_1 = 50 Hz. Hřídel tohoto motoru se točí rychlostí n = 1000 1/min. Určete skluz stroje.

  (s = 0,33 nebo s = 33 %)

- 2

  Napájecí napětí šestipólového indukčního motoru má kmitočet f_1 = 50 Hz. Stroj pracuje jako brzda, rychlost jeho rotoru je n = 700 1/min a moment na hřídeli je M = 50 Nm. Určete příkon dodávaný ze sítě, když budete uvažovat pouze Jouleovy ztráty v rotoru.

  (P_1 = 5236 W)