# Asynchronní motor

## Cíle cvičení:

## Naučit se

- Náhradní schéma AM
- svorkovnice AM ( Y / Δ )
- záběrný moment
- závislost záběrného proudu na napětí ( Y / Δ)
- oscilogram spouštěcího proudu
- měření základních parametrů
- měření naprázdno
- měření nakrátko

## Seznámit se

- Stavba střídavých strojů
- počet pólů
- trojfázová vinutí
- budicí vinutí synchronního generátoru a drápkový generátor
- klec a rotor nakrátko
- trojfázový vinutý rotor
- Vířivá brzda

## ZADÁNÍ

**1 Změřit odpory vinutí statoru ve spojení Y**
**Změřit odpory vinutí statoru ve spojení D**

**2 Změřit závislost Ik (U) pro spojení Y v rozmezí In – 2 In a vyhodnotit záběrný proud při Un**
**Změřit závislost Ik (U) pro spojení D v rozmezí In – 2 In a vyhodnotit záběrný proud při Un**

**3 Sestavit schéma pro měření naprázdno a provést měření v rozsahu 0,3 – 1,1 Un a vyhodnotit parametry náhradního schématu**

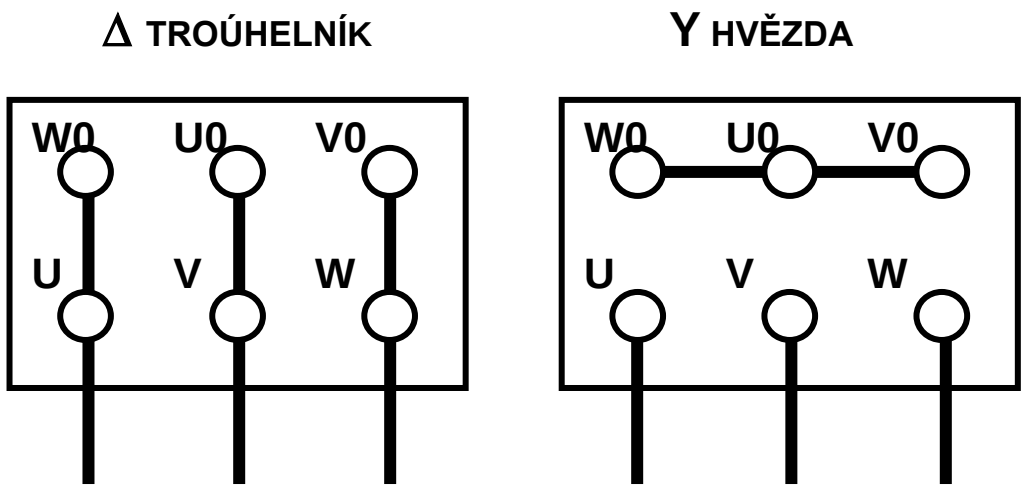
**4 Sestavit schéma pro měření nakrátko a provést měření v rozsahu 0,5 – 1,5 In a vyhodnotit parametry náhradního schématu**

**5 Změřit zatěžovací charakteristiky při Un pro budicí proudy vířivé brzdy Ib = 0,3 – 1,2A**

**6 Stejné měření pro snížené napětí U = Un/2**

Ad 1: Pokyny k měření

Měření odporů vinutí se dělá stejně jako u transformátoru. Měření se musí udělat hned na začátku cvičení, než se vinutí ohřeje od dalších měření.
Uspořádání svorek statorového vinutí na standardní svorkovnici AM je podle následného obrázku:

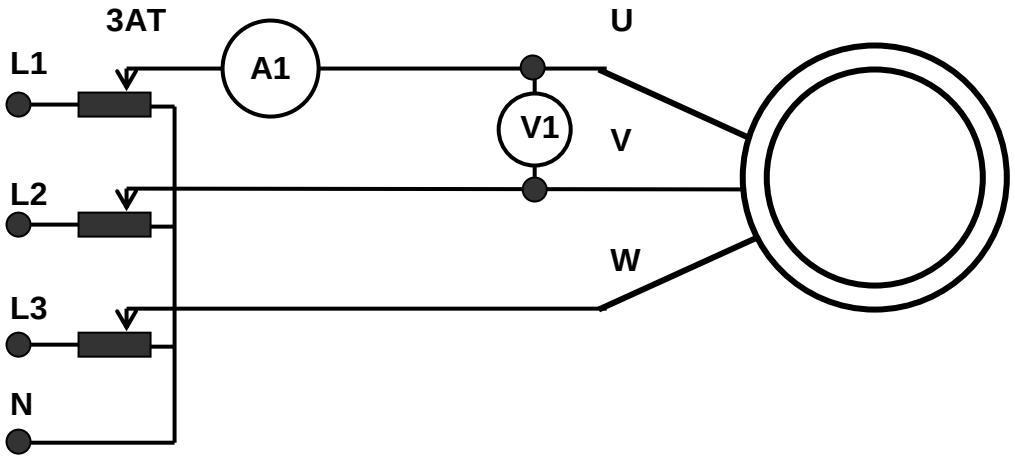



Ad 2 :

Záběrný proud AM je také označován jako proud nakrátko a jeho hodnota je nižší (procentuálně) než u transformátoru, kde vždy představuje poruchový režim. Naproti tomu u AM se vyskytuje pravidelně při každém spouštění, jen nesmí trvat dlouho a v případě neúspěšného rozběhu musí být v krátkém čase vypnut buď pomalou pojistkou (motorovou) nebo tepelným relé jak bylo zmiňováno ve cvičení 1.

Záběrný proud si změříme při sníženém napětí a současně si vyzkoušíme, jak malý je záběrný moment, který klesá se čtvercem napětí.
Pro obě zapojení statoru budeme měřit do cca 200% In a pro nominální napětí se provede extrapolace. **Pozor pro každé spojení je jiná hodnota Un!**

## Schéma 2.:



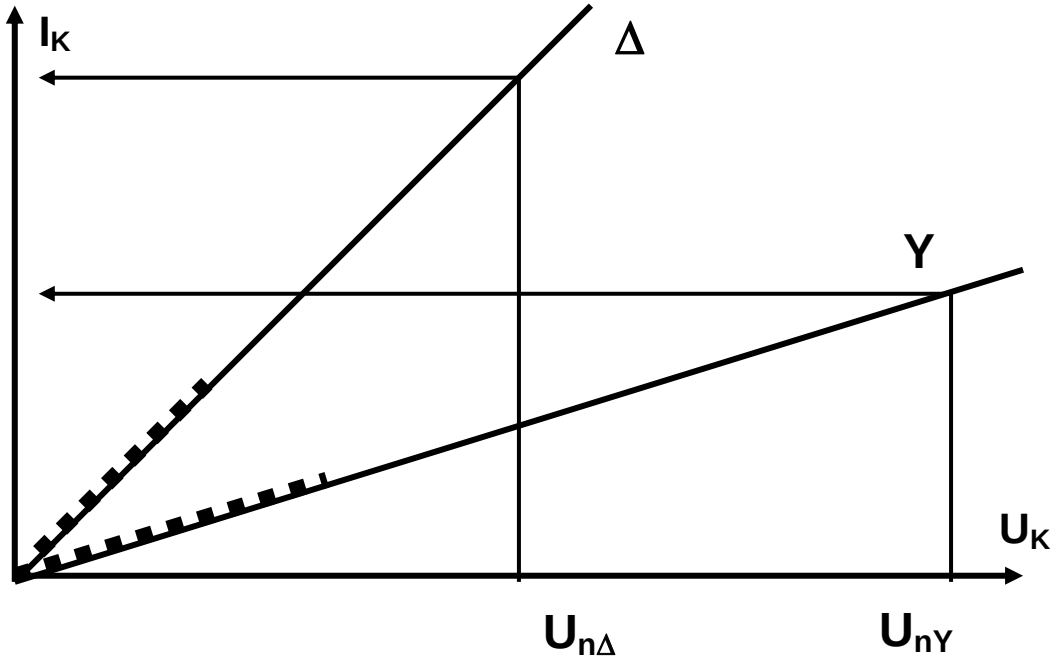
Brzdový buben na hřídeli přidržujeme jednou rukou a druhou si nastavujeme velikosti proudu, odčítané napětí a proud zapisujeme do tabulky a vyneseme do grafu.
Průběh poklesu proudu s nárůstem otáček pozorujeme na ampérmetru po uvolnění brzdového bubnu při malém napětí, aby rozběh probíhal delší dobu.

**Tabulka 1 Záběrné proudy**

| Δ | |
|---|---|
| $I_{K1}$ [A] | $U_1$ [V] |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

| Y | |
|---|---|
| $I_{K1}$ [A] | $U_1$ [V] |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

**GRAF 1:**




**<u>Soupis přístrojů:</u>**

**AM:**

**3AT:**

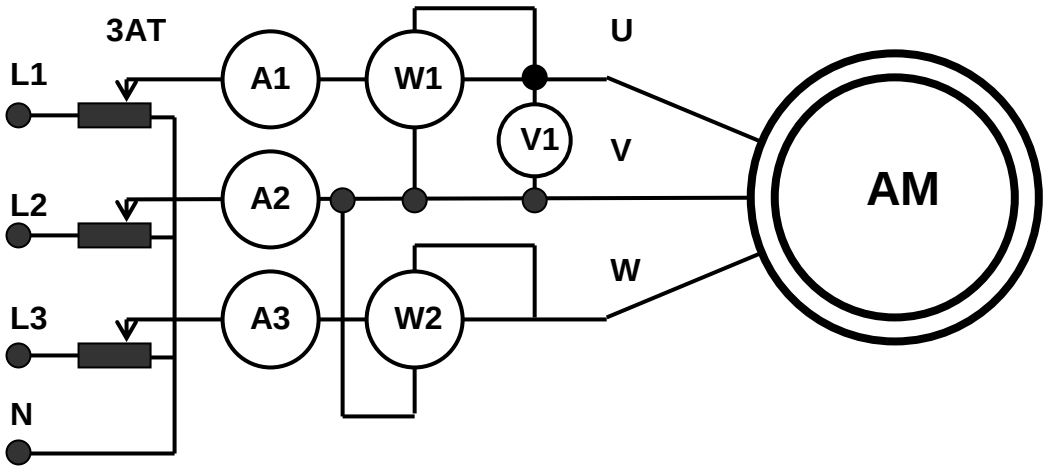
**A1**

**V1**

Ad 3 a 4 :

Měření naprázdno a nakrátko je v principu stejné, jako u transformátoru co se týká měřicího schématu. Ale na rozdíl od transformátoru zde nelze rozpojit sekundární (rotorové) vinutí, takže se musí zabezpečit bezproudový stav v rotoru jiným způsobem, konkrétně tak, že se ve vinutí nebude indukovat žádné napětí a to nastává pouze, když se rotor otáčí stejnou rychlostí jako točivé pole, takzvanou synchronní rychlostí. Když se rotor točí bez mechanické zátěže, dosáhne prakticky synchronní otáčky a proud v rotoru bude zanedbatelně malý.

## Schéma 3.:




## Soupis přístrojů:

**AM:**

**3AT:**

**A1**

**A2**

**A3**

**V1**

**W1**

**W2**

Měření nakrátko se na rozdíl od transformátoru nevyhodnocuje pro jmenovitý proud, ale pro jmenovité napětí opět extrapolací, jako v prvním měření záběrného proudu. Stav nakrátko dostaneme, když v rotorovém vinutí, které je pořád zkratováno, bude indukované napětí se statorovou frekvencí a to nastane při **nulové rychlosti**, tedy když rotor mechanicky zablokujeme.
K extrapolaci **kvadratické závislosti** Pk (U) je výhodné vynášet ODMOCNINU.

**Tabulka 2 naměřené hodnoty NAPRÁZDNO:**

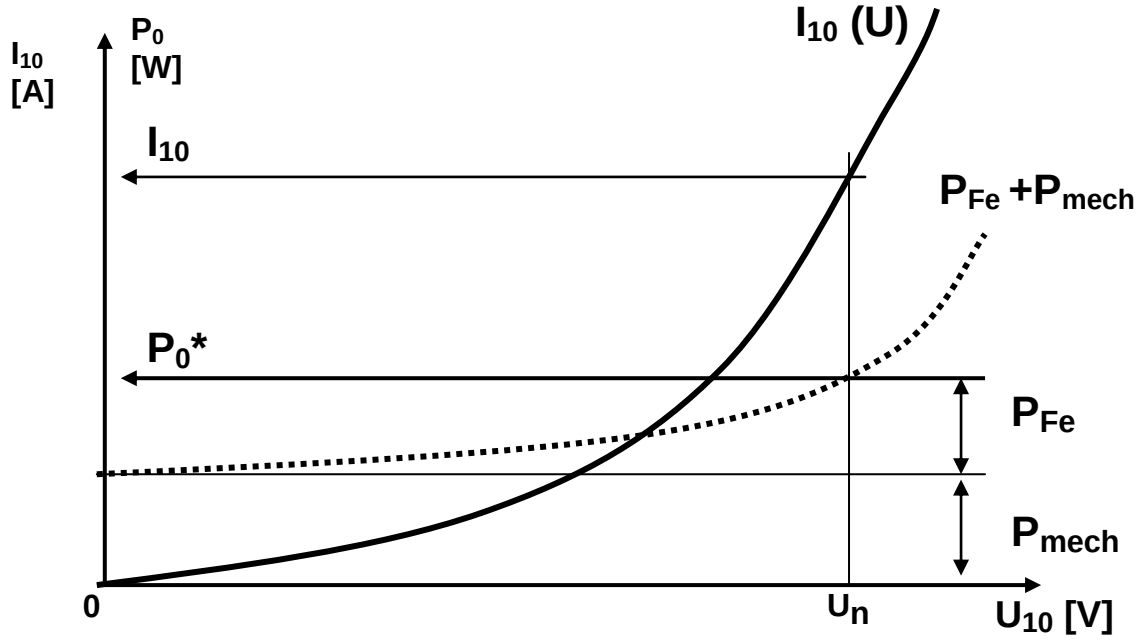
| U1 | $I_{10}$ | Po | $\cos\varphi_0$ | | $\Delta P_{j1}$ | Pfe+Mmech | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [V] | [A] | [W] | | | [W] | [W] | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

## Výpočty do tabulky:

$$P_{j1} = 3\, R_1 I_0^2$$

$$P_0^* = P_{Fe} + P_{mech} = P_0 - P_{j1}$$

## Graf 2:




V grafu vyznačit nominální napětí a pro toto napětí odečíst z křivek

**Po* = …….. W**

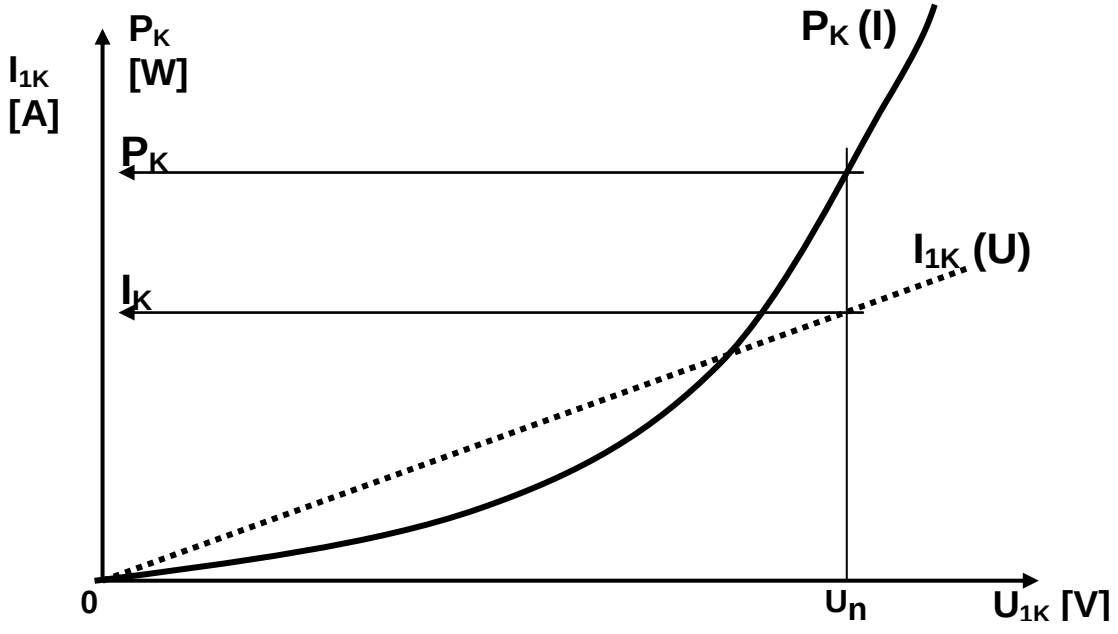
**Io = …….. A**

**Schéma 3. se použije i pro měření NAKRÁTKO jen se upraví proudové rozsahy**

**Tabulka 3 naměřené hodnoty NAKRÁTKO:**

| Uk | I1k | Pk | $\cos\varphi_K$ | sqrt (Pk) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| V | A | W | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

**Graf 3:**

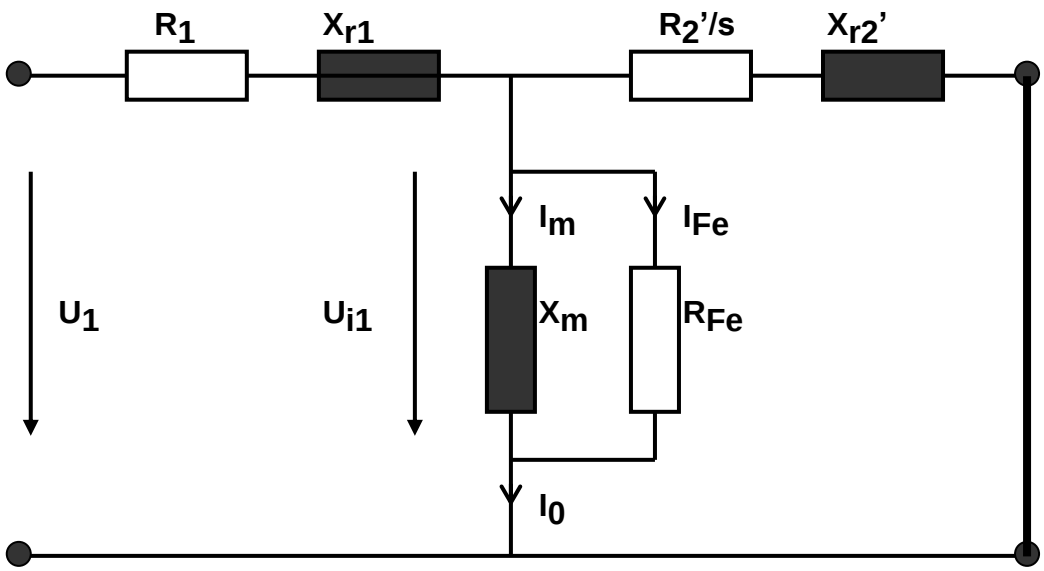



V grafu vyznačit nominální napětí a pro toto napětí odečíst z křivek

**Pk = ……. W**

**Ik = ……. A**

## Náhradní schéma (jednofázové)




## VÝPOČET PRVKŮ NÁHRADNÍHO SCHÉMATU

Prvky podélné větve **z měření nakrátko**:

$R_2' = R_2 \cdot p^2$

$R_k = R_1 + R_2'$ $\qquad$ $R_k = P_k / (3\, I_k^2)$

$Z_k = U_{nf} / I_k$ **z grafu!** $\qquad$ $\cos \varphi_k = P_k / (\mathrm{sqrt}(3)\, U_n\, I_k)$

$X_k = (Z_k^2 - R_k^2)^{1/2}$ $\qquad$ $\sin \varphi_k = \mathrm{sqrt}(1 - \cos^2 \varphi_k)$

$X_{r1} = X_{r2}' = X_k/2$ $\qquad$ $X_k = Z_k \cdot \sin \varphi_k$

$X_{r2} = X_{r2}' / p^2$

Prvky příčné větve **z měření NAPRÁZDNO:**

$\cos \varphi_0 = P_0/(\mathrm{sqrt}(3)\, U_n\, I_0)$

$I_{Fe} = I_0 \cos \varphi_0$ $\qquad$ $\sin \varphi_0 = \mathrm{sqrt}\,(1 - \cos^2 \varphi_0)$

$I_m = \mathrm{sqrt}(I_0^2 - I_{Fe}^2)$ $\qquad$ $I_m = I_0 \sin \varphi_0$

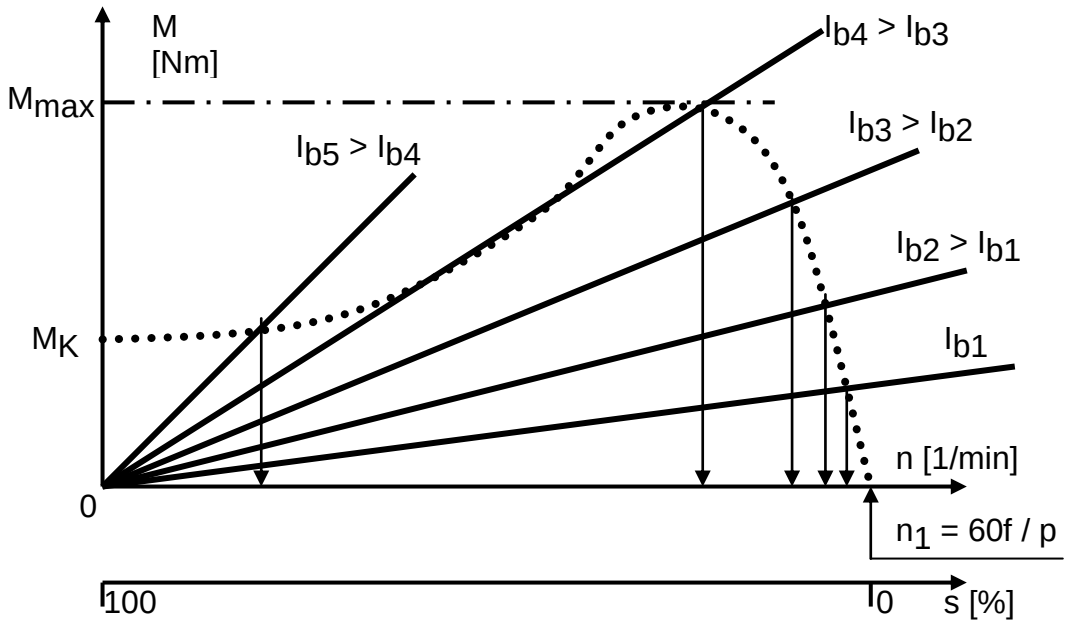
$R_{fe} = U_{1f}/I_{Fe}$ $\qquad$ $R_{fe} = 3\, U_{1f}^2/P_0$ $\qquad$ $R_{fe} = 3\, U_{1f}^2/P_{Fe}$

$X_m = U_{1f} / I_m$

Ad 5 a 6 :

Uvnitř brzdového bubnu je budicí cívka pro D.C. napájení a pokud se buben pohybuje indukuje se ve vodivém materiálu bubnu napětí úměrné rychlosti a vybuzenému magnetickému poli. Toto napětí protlačuje v bubnu vířivé proudy a ty brzdí rotor, protože energie která vzniká v brzdném bubnu (tepelná) se musí hradit z mechanické energie kterou je buben poháněn. Jedná se o VÍŘIVOU BRZDU (VB) která nemá žádný brzdný moment při nulových otáčkách a její brzdný moment s otáčkami stoupá. Charakteristiky jsou vlastně stejné jako pro AM s nulovou budicí frekvencí a jejich průsečík s charakteristikou AM dá ustálený stav, který budeme měřit. Více na Obrázku :

## Graf 3:




Protože se zatěžováním rychle roste proud a záběrový proud dosahuje (viz body 3 a 4 této úlohy) pěti až sedminásobku nominálního proudu, budeme měřit při sníženém napětí a přepočítávat na plné (= jmenovité) napětí.

Příkon a další hodnoty dodávané elektrické energie změříme moderním digitálním wattmetrem **NANOVIP**. Přesné měření rychlosti otáčení zajistíme optickým otáčkoměrem, který snímá odraz reflexní značky přilepené na povrchu brzdného bubnu vířivé brzdy.

Měření momentu na dynamometru jsme se naučili ve cvičení 3, teď si uděláme nepřímé měření výkonu za pomoci **výkonového diagramu** a z vypočítaného mechanického výkonu se vyčíslí moment ne hřídeli

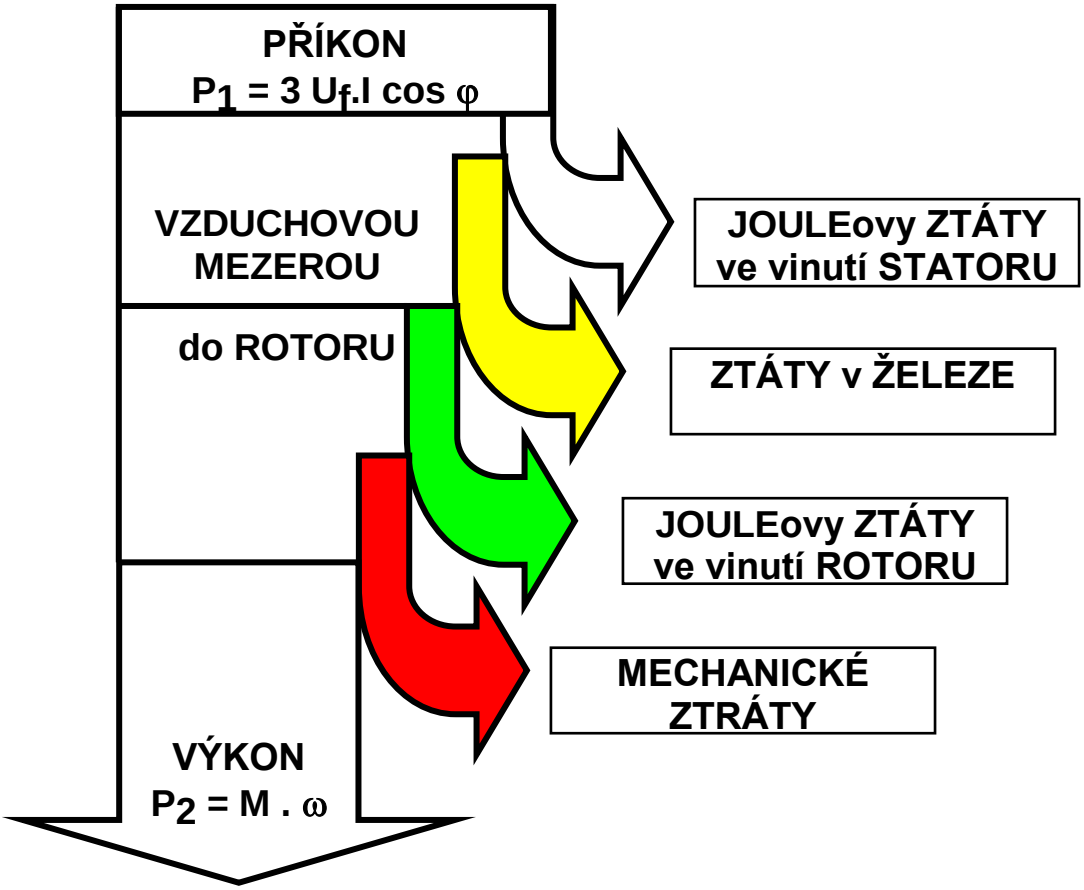
$$\mathbf{M = P_2 / \omega}$$

Připomeňme si ještě definici skluzu:

$$s = (n_1 - n) / n_1 \text{ [---]} \qquad * 100\%$$

Jedná se o bezrozměrnou veličinu, kterou lze také uvádět v %.

## VÝKONOVÝ DIAGRAM




## POSTUP VÝPOČTU TOKU VÝKONU A MOMENTU:

$P_{j1} = 3\, R_{f1}\, I_1^2$

$P_{Fe}$ z grafu 2

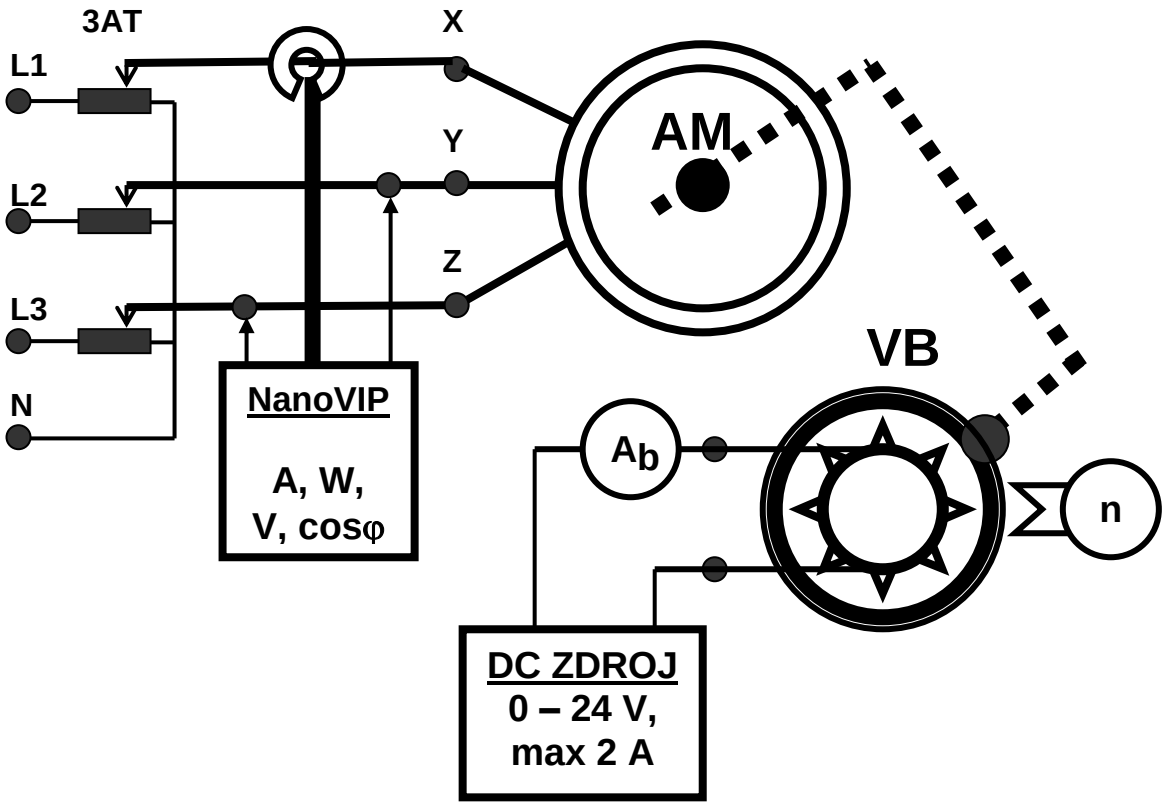
$P_\delta = P_1 - P_{j1} - P_{Fe}$

$P_{j2} = s\, P_\delta$

$P_{me}$ z grafu 2

$P_2 = P_\delta - P_{j2} - P_{me}$

**Schéma 4.:**




**Tabulka 4 zatěžování pro U = Un = ……. V:**

| $I_b$ | $I_1$ | $U_{1s}$ | $P_1$ | n | $P_{j1}$ | $P_{Fe}$ | $P_\delta$ | s | $P_{j2}$ | $P_{me}$ | $P_2$ | M |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | A | V | W | 1/min | W | W | W | --- | W | W | W | Nm |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

**Tabulka 5 zatěžování pro U = 1/2 Un = ……. V:**

| $I_b$ | $I_1$ | $U_{1s}$ | $P_1$ | n | $P_{j1}$ | $P_{Fe}$ | $P_\delta$ | s | $P_{j2}$ | $P_{me}$ | $P_2$ | M |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | A | V | W | 1/min | W | W | W | --- | W | W | W | Nm |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

Pro přepočet charakteristiky z **Tabulky 5** na jmenovité napětí použijeme jednoduchý vztah na přepočet momentu M* při sníženém napětí U* na moment M při jmenovitém napětí Un

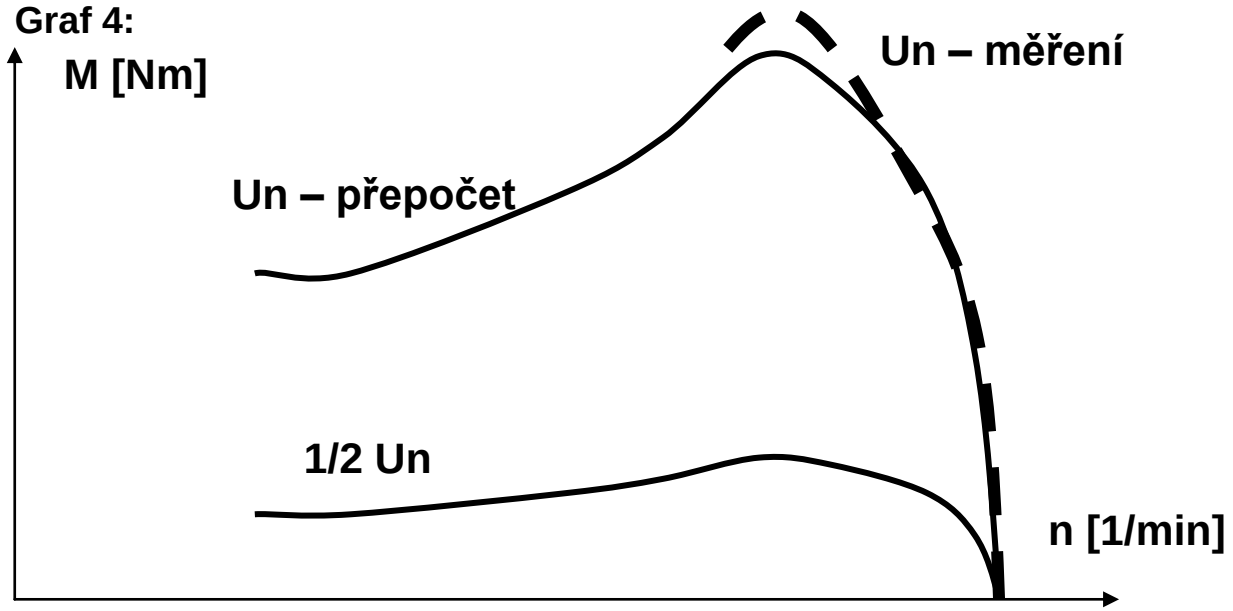
$$M = M^* (U_n/U^*)^2$$

Přepočet zapíšeme do **Tabulky 6**:

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| n | 1/min | | | | | | | | | |
| M* | Nm | | | | | | | | | |
| M | Nm | | | | | | | | | |

A vyneseme do grafu spolu s hodnotami z **Tabulky 4**:

**Graf 4:**



## Kontrolní otázky:

- Svorkovnice 3-f AM
- Spojení $\Delta$ a Y
- Určení počtu pólů ze štítku
- Velikost proudu naprázdno
- Závislost záběrného proudu na napětí
- Závislost momentu na napětí
- Závislost proudu naprázdno na napětí
- Mechanická charakteristika M – n
- Vztah synchronní rychlosti a frekvence
- jak změníte směr točení AM
- čím se liší chod naprázdno od TRAFA
- čím se liší měření nakrátko od TRAFA
-

# Simulace statických charakteristik motorů
# Samostatná domácí práce

## Cíle cvičení:

## Naučit se

- simulace AM
    - příprava rovnic pro 2 smyčky náhradního schématu AM
    - vyjádření proudů
    - zavedení skluzu
    - vyjádření účiníku
    - vyjádření momentu AM z proudu v rotoru
    - simulace M = M(ω) , $I_2$ - ω, $I_1$ - ω,
        - v oblasti motor – brzda - generátor
    - v okolí chodu naprázdno
    - vliv napětí
    - vliv rotorového odporu
- **modelování <u>statických</u> charakteristik AM v EXCELu**

## Seznámit se

- simulační jazyk DYNAST
- simulace stejnosměrného motoru
-
-

## ZADÁNÍ

1. **Sestavit náhradní schéma AM pro 1 fázi**
2. **Sestavit rovnice AM**
3. **Řešit rovnice pro skluz od +2 do –1**
4. **Zobrazit graficky závislost M(s), Is(s), Ir(s), cosφ(s)**
5. **Vypočítat Moment a Proud pro R2 = 2Rr a R2 = 3Rr**
6. **Vytvořit grafy vlivu rotorového odporu na M a Is**
7. **Vypočítat Moment a Proud pro U1 = 0,7Un a U1 = 0,5Un**
8. **Vytvořit grafy vlivu statorového napětí na M a Is**

Náhradní schéma AM a hodnoty prvků jsme získali v předešlém cvičení. Ze zjednodušeného T článku (bez $R_{Fe}$) sestavíme rovnice pro smyčkové proudy, ze soustavy dvou komplexních rovnic uděláme 4 rovnice algebraické a tento blok necháme řešit v rozmezí skluzu od s = 2 (oblast brzdy) až do s = - 0,5 Oblast generátoru).
Necháme zobrazit závislosti na skluzu pro statorový proud, rotorový proud, moment a účiník.
Příprava rovnic pro vzorový dvojpólový AM i s jeho parametry je na následující stránce:

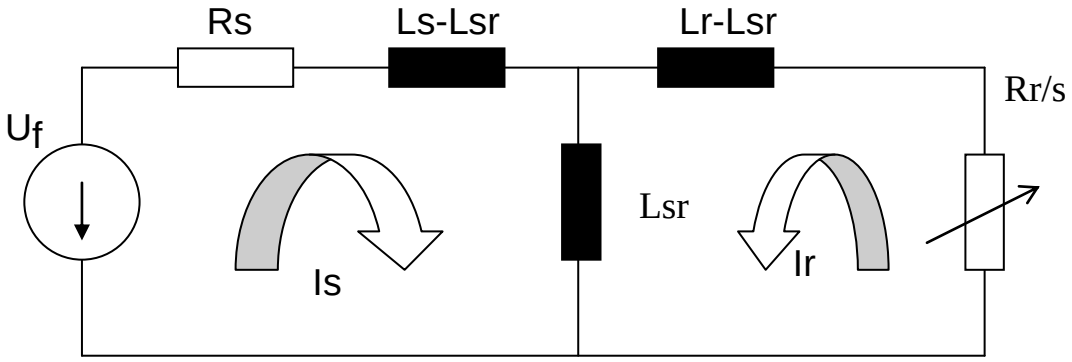
**AM 3-fázový, dvoupólový (2p = 2) :**

**Rs = 4,37 Ω** **Ls = 0,471 H** Lsσ = 12 mH

**Rr'= 2.95 Ω** **Lr' = 0,476 H** Lrσ' = 17 mH

**Lμ = 0,459 H**

| $U_{fn}$ = 220 V | f = 50 Hz | R spoušt |
|---|---|---|




$$U_f = (R_s + jX_s)(I_{sr} + jI_{si}) + jX_{sr}(I_{rr} + j\,I_{ri})$$

{Re}: $R_s\,\underline{I_{sr}} - jX_s I_{si} - X_{sr}\,I_{ri} - U_f = 0$

{Im}: $R_s\,I_{si} + X_s\,I_{sr} + X_{sr}\,I_{rr} = 0$

$$0 = (R_r/s + jX_r)(I_{rr} + j\,I_{ri}) + jX_{sr}(I_{sr} + jI_{si})$$

{Re} . . . .

{Im} . . . .

$I_s = \mathrm{sqrt}(I_{sr}^{\,2} + I_{si}^{\,2})$ $I_r =$

$\cos\varphi_1 = I_{sr} / I_s$

$P_\delta = 3(\frac{R_r}{s})I_r^{\,2}$ **M =** $\frac{P_\delta}{\omega_1} = \frac{p}{2\pi f}3\left(\frac{R_r}{s}\right)I_r^{\,2}$

**DYNAST = simulace Dynamických Soustav**

Výpis jedné varianty programu připravené pro sledování vlivu změny rotorového odporu je následovný:

```
: File ASM8    Date 17/12/1998    Time 12:55:38
:asm8 - asynchronni motor - staticke charakteristiky
*:Staticke charakteristiky motoru 4AP90S-2
*system;
sysvar Isr,Isi,Irr,Iri;
:   parametry motoru
Rs=4.37_ohmu;      :odpor 1 faze statoru
Ls=0.471_H;        :indukcnost 1 faze statoru
Rr=2.95_ohmu;      :odpor 1 faze rotoru
Lr=0.476_H;        :indukcnost 1 faze rotoru
Lsr=0.459_H;       :magnetizacni indukcnost
zp=2;              :pocet polu stroje
:   efektivni hodnota a kmitocet napajeciho fazoveho napeti
Uf=220_V;  fr=50_Hz;   omega=2pi*fr;
:   variace skluzu jako nezavisle promenne
skluz=1-time;
:   rovnice pro realne a imaginarni slozky proudu
:   Is=Isr+j*Isi,   Ir=Irr+j*Iri
bo1 Isr=Rs*Isr-omega*Lsr*Iri-omega*Ls*Isi-Uf;
bo2 Isi=Rs*Isi+omega*Lsr*Irr+omega*Ls*Isr;
bo3 Irr=Rr/skluz*Irr-omega*Lsr*Isi-omega*Lr*Iri;
bo4 Iri=Rr/skluz*Iri+omega*Lsr*Isr+omega*Lr*Irr;
:   modul statoroveho a rotoroveho proudu
Is=sqrt(Isr*Isr+Isi*Isi);
Ir=sqrt(Irr*Irr+Iri*Iri);
:   moment a ucinik
mi=1.5*zp/omega*Rr/skluz*Ir*Ir;   cosfi=abs(Isr)/Is;
ommr=1-skluz;
:   reseni
*tr; dc time -1 2;
npplot Ir,Is,cosfi,mi;
:npplot mi;
:npplot Is;
:npplot cosfi;
:run hold;
:   1. zmena odporu Rr
:modify Rr=6_ohm;
:run hold;
:   2. zmena odporu Rr
:modify Rr=9_ohm;
run min=1e6, max=1e3, eps=1e-4;
*end;
```

Výsledky modelování umožní sledovat na PC dalších vlivy na charakteristiky jako je snižování napájecího napětí, nebo zvyšování rotorového odporu. Rovněž lze měnit parametry stroje, počet pólů, frekvenci atd.

Z výsledků měření ve cvičení 4 si zjednodušeným výpočtem zpracujete podobné závislosti na otáčkách pro moment, rotorový proud a rotorový účiník v tabulkovém kalkulátoru EXCEL© a srovnáte s měřenými hodnotami.

Návod:

$n_1$ = 1500/min  $U_1$ = …..V  $R_{sp}$= …..Ω

| n | s | $R_2/s$ | $Z_K$ | $I_2$ | $P_\delta$ | $M_i$ | $\cos\varphi_2$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1510 | | | | | | | | | |
| 1500 | | | | | | | | | |
| 1490 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| 100 | | | | | | | | | |
| 0 | | | | | | | | | |
| -100 | | | | | | | | | |

Do výše uvedené tabulky si připravíte rozsah otáček, pro které chcete počítat a do jednotlivých sloupců dosadíte vzorce:

$$s = (n1 - n) / n_1 \text{ [---]}$$

$$Z_K = \text{sqrt}\left((R_2/s)^2 + (X_K)^2\right)$$

$$I_2 = U_1 / Z_K$$

$$P_\delta = 3\,(R_2/s)\,I_2^2$$

$$M_i = P_\delta / (n_1 / 9{,}55)$$

$$\cos\varphi_2 = (R_2/s) / Z_K$$

Hustý krok je nutno volit v okolí synchronní rychlosti, dále lze volit krok řidší.

Jak byste z EXCEL modelu dostali hodnoty statorového proudu $I_1$?

## Kontrolní otázky:

- Rovnice pro moment AM
- Rovnice pro vnitřní výkon (výkon přes vzduchovou mezeru)
- Rovnice pro rotorový proud AM
- Definice skluzu
- Vztah skluzu a rychlosti
- Skluz maximálního momentu
- Skutečné hodnoty v rotoru ve srovnání s modelem