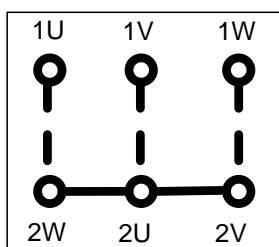
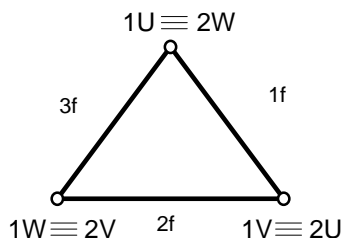


### III. Meranie asynchrónneho (indukčného) motora

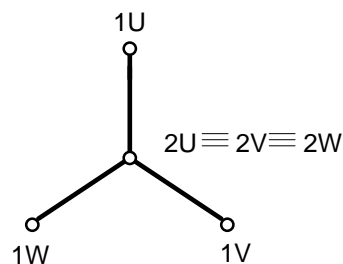
#### Svorkovnica stroja



Svorkovnica stroja

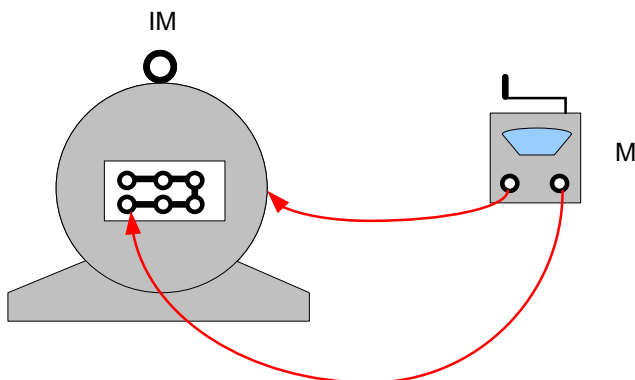


Do trojuholníka  
Δ, D



Do hviezdy  
Y, λ

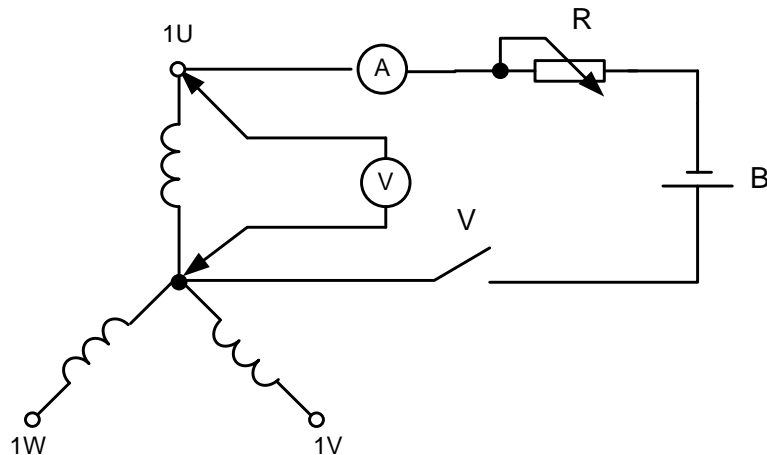
#### 1. Meranie izolačného stavu



Pri prevádzkovej teplote a menovitom zaťažení

$$R_{iz} = \frac{U}{\frac{P_n}{100} + 1000} \quad [\text{M}\Omega; \text{V}, \text{kW}]$$

#### 2. Meranie ohmických odporov za studena



Pri nerozpojenom Δ, pri meraní medzi U, V za predpokladu, že  $R_f$  u všetkých fáz je rovnaký

$$R_{U,V} = \frac{2 R_f^2}{3 R_f} = \frac{2}{3} R_f$$

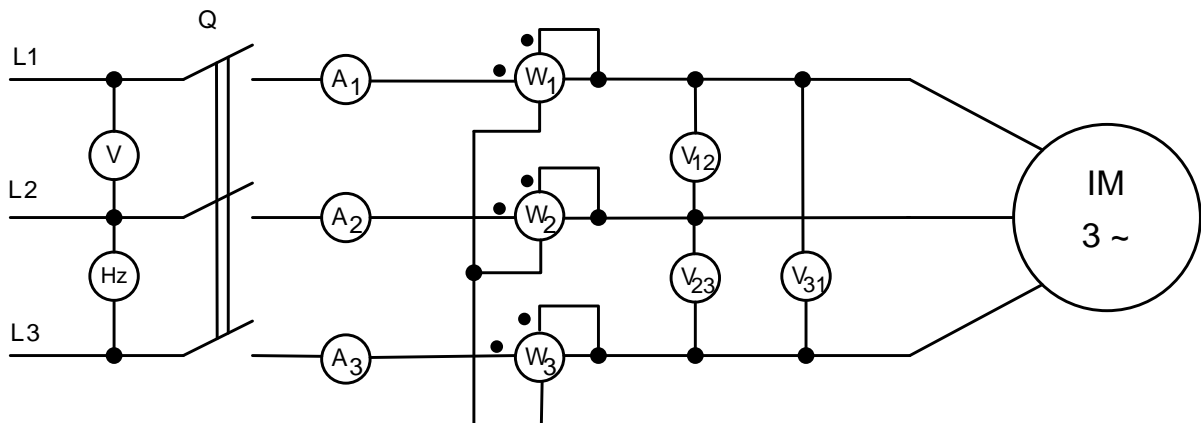
$$R_f = \frac{3}{2} R_{U,V}$$

$$R = \frac{U}{I} \quad (\Omega; \text{V}, \text{A})$$

Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt

Fáza	Č. m.	U			I			R	R <sub>f</sub>	Poznámka
		α [d]	k [V/d]	U [V]	α [d]	k [A/d]	I [A]			
1U	1.									
	2.									
	3.									
1V	1.									
	2.									
	3.									
1W	1.									
	2.									
	3.									

### 3. Meranie naprázdno



Vzťahy pre výpočet:

$$U_{10} = \frac{U_{12} + U_{23} + U_{31}}{3} \quad (\text{V})$$

$$I_{10} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} \quad (\text{A})$$

$$P_{p0} = P_1 + P_2 + P_3 - U_1^2 \left( \frac{3}{R_W} + \frac{3}{R_V} \right)$$

(W; W, W, W, V, Ω, Ω) - príkon stroja pri chode naprázdno

$$\Delta P_{j1} = 1,5 R_{1f} I_{10}^2 \quad (\text{W}; \Omega, \text{A}) \quad - \text{Jouleove straty vo vinutí statora}$$

$$P_{p0} \approx \Delta P_{Fe1} + \Delta P_{j1} + \Delta P_m \quad (\text{W})$$

$$\Delta P_{Fe1} + \Delta P_m \approx P_{p0} - \Delta P_{j1} \quad (\text{W})$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_{p0}}{\sqrt{3} U_1 I_{10}} \quad (-; \text{W}, \text{V}, \text{A}) \quad - \text{účinník pri chode naprázdno}$$

Tabulka nameraných a vypočítaných hodnôt

Č. m. Hodnota	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
$U_{12}$ [V]										
$U_{23}$ [V]										
$U_{31}$ [V]										
$U_{10}$ [V]										
$I_1$ [A]										
$I_2$ [A]										
$I_3$ [A]										
$I_{10}$ [A]										
$P_1$ [W]										
$P_2$ [W]										
$P_3$ [W]										
$P_{p0}$ [W]										
$R_V$ [ $\Omega$ ]										
$R_W$ [ $\Omega$ ]										
$\Delta P_{Fe1} + \Delta P_m$ [W]										
$\Delta P_{j1}$ [W]										
$\Delta P_{Fe1}$ [W]										
$\cos \varphi_0$ [-]										

Význam označení:

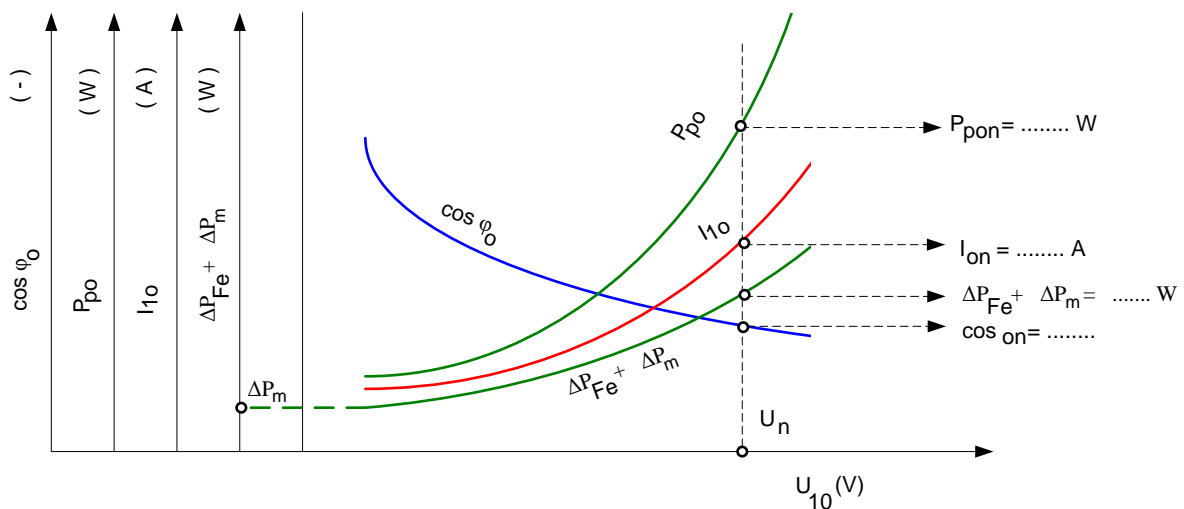
$U_{12}, U_{23}, U_{31}$  – združené napätia na svorkách stroja

$I_1, I_2, I_3$  – prúdy jednotlivých fáz

$U_{10}$  – napätie naprázdno

$I_{10}$  – prúd naprázdno

Grafické znázornenie:



Pre zostrojenie kružnicového diagramu treba z charakteristiky naprázdno odčítať:

- $I_{on} = \dots\dots\dots A$
- $\cos \varphi_{on} = \dots\dots\dots$

#### 4. Meranie nakrátko

Schéma zapojenia je taká istá, ako pri meraní naprázdno. Stroj je zabrzdzený. Zisťuje sa prúd v stave nakrátko a ním spôsobené Joulove straty vo vinutí statora.

Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt

Č. m. Hodnota	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
$U_{12}$ [V]										
$U_{23}$ [V]										
$U_{31}$ [V]										
$U_k$ [V]										
$I_1$ [A]										
$I_2$ [A]										
$I_3$ [A]										
$I_{1k}$ [A]										
$P_1$ [W]										
$P_2$ [W]										
$P_3$ [W]										
$P_{pk}$ [W]										
$R_V$ [ $\Omega$ ]										
$R_W$ [ $\Omega$ ]										
$\Delta P_{j1k}$ [W]										
$\cos \varphi_k$ [-]										

Vzťahy pre výpočet:

$$U_k = \frac{U_{12} + U_{23} + U_{31}}{3} \quad (V)$$

$$I_{1k} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} \quad (A)$$

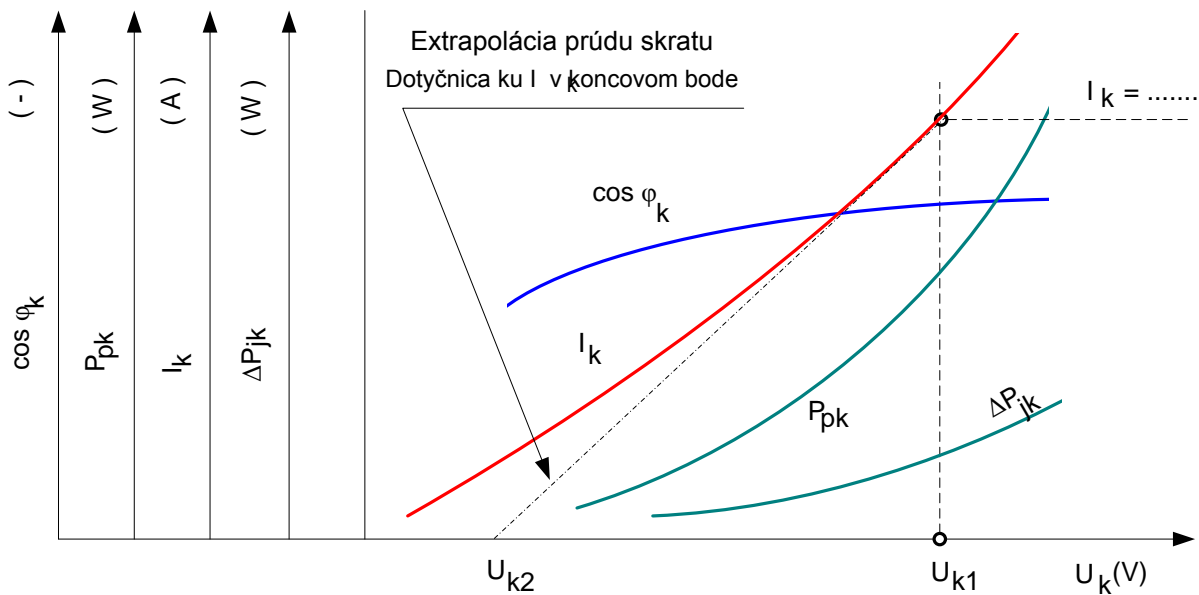
$$P_{pk} = P_1 + P_2 + P_3 - U_1^2 \left( \frac{3}{R_W} + \frac{3}{R_V} \right)$$

(W; W, W, W, V,  $\Omega$ ,  $\Omega$ ) - príkon stroja pri chode nakrátko

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{pk}}{\sqrt{3} U_k I_{1k}} \quad (- ; W, V, A) \quad - \text{účinník pri chode nakrátko}$$

$$\Delta P_{j1k} = 1,5 R_{1f} I_{1k}^2 \quad (W; \Omega, A) \quad - \text{Joulove straty vo vinutí statora - nakrátko}$$

Grafické vyhodnotenie:



### Extrapolácia prúdu skratu pri menovitom napätí $U_n$ :

Nakoľko pri meraní nakrátko by nastavenie menovitého napätia viedlo k poškodeniu stroja musíme prúd nakrátko určiť graficko – výpočtovou metódou zo zostrojenej charakteristiky chodu nakrátko nasledovne:

Hodnota prúdu nakrátko  $I_{1kn}$ , ktorá patrí menovitému napätiu stroja  $U_n$ , sa určuje nasledujúcu: V prvom (najvyššom) nameranom bode  $I_k$ , patriace napätiu  $U_{k1}$ , zostrojíme ku krivke  $I_k = f(U_k)$  dotyčnicu (Obr. 16). Jej priesečník s osou napätia označíme  $U_{k2}$ .

Platí úmera

$$\frac{I_{1kn}}{U_n - U_{k2}} = \frac{I_k}{U_{k1} - U_{k2}}$$

odkiaľ

$$I_{1kn} = I_k \frac{U_n - U_{k2}}{U_{k1} - U_{k2}}$$

Uvedený postup určenia prúdu  $I_{1kn}$ , platí za predpokladu priamkového priebehu krivky  $I_k = f(U_k)$  za najvyšším bodom  $I_k$ , určeným meraním. Tento predpoklad je pri indukčných motoroch zaradených do prvej skupiny s dostatočnou presnosťou splnený. Len zriedkavo sa stáva, že časť krivky prúdu určená dotyčnicou, sa opäť ohýba vplyvom presýtenia ďalších častí magnetického obvodu.

Pre zostavenie kružnicového diagramu potrebujeme poznať aj

$$\cos \varphi_{kn} = \frac{P_{pkn}}{\sqrt{3} U_n I_{1kn}} \quad (-; W, V, A)$$

Do vzorca ešte potrebujeme extrapoláčne určiť

$$P_{pkn} = P_{pk} \left( \frac{I_{1kn}}{I_k} \right)^2$$

(na charakteristike nakrátko nie je naznačená hodnota  $P_{pk}$  – je to priesečník zvislej osi  $U_{k1}$  s krivkou závislosti  $P_{pk} = f(U_k)$ ).

## 5. Kružnicový diagram

### Podklady:

mierky prúdu  $m_I$  (A/cm)

výkonu  $m_P$  (W/cm)

momentu  $m_M$  (N.m/cm)

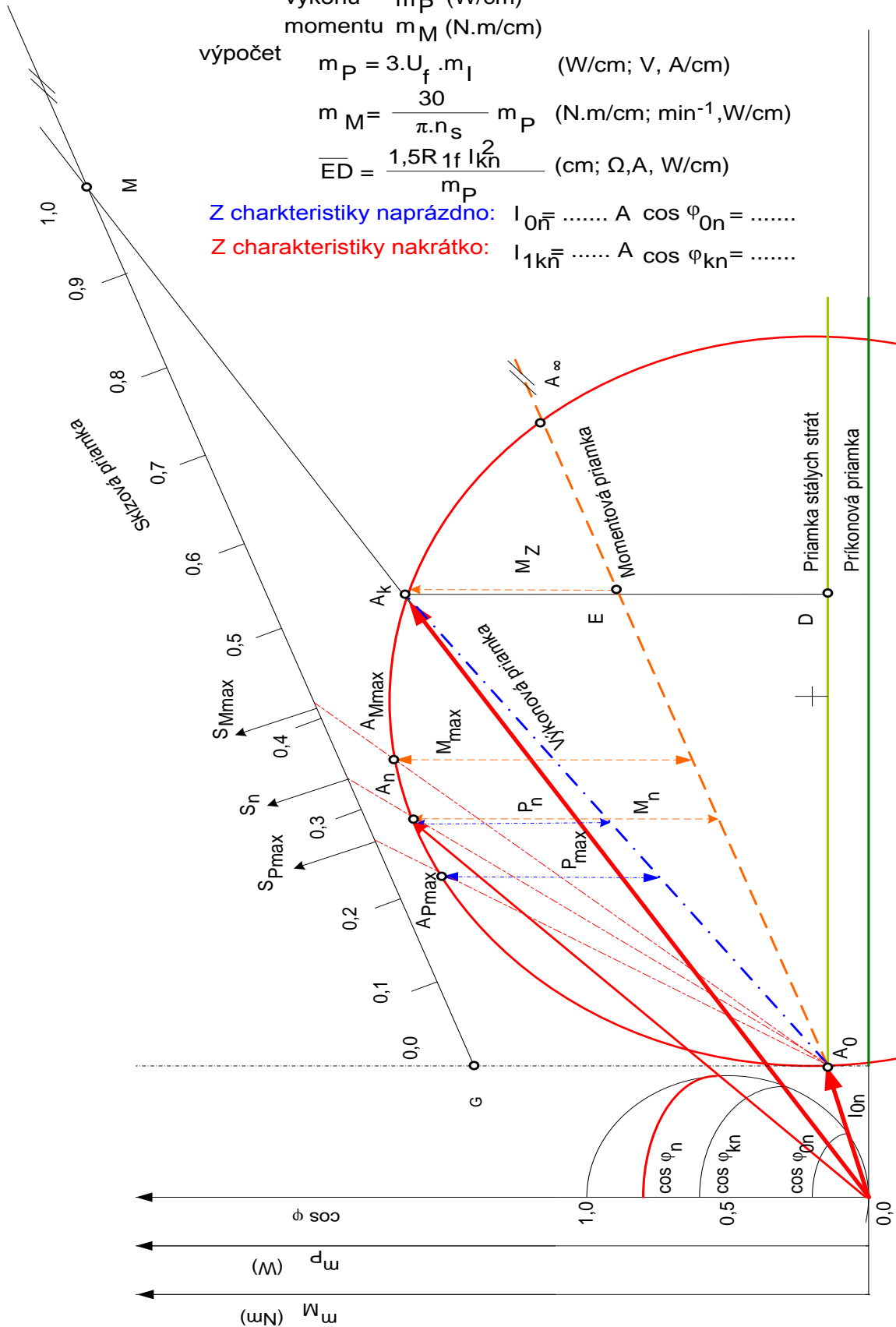
výpočet  $m_P = 3 \cdot U_f \cdot m_I$  (W/cm; V, A/cm)

$m_M = \frac{30}{\pi \cdot n_s} m_P$  (N.m/cm; min<sup>-1</sup>, W/cm)

$\overline{ED} = \frac{1,5R_{1f} I_{k\bar{n}}^2}{m_P}$  (cm; Ω, A, W/cm)

Z charakteristik naprázdno:  $I_{0\bar{n}} \dots\dots A \cos \varphi_{0\bar{n}} = \dots\dots$

Z charakteristik nakrátko:  $I_{1k\bar{n}} \dots\dots A \cos \varphi_{k\bar{n}} = \dots\dots$



## Kružnicový diagram asynchrónneho (indukčného) motora

**Kružnicový diagram** – slúži na určenie momentovej preťažiteľnosti a zaťažovacej charakteristiky, pri takých motoroch, ktoré nemožno napr. vzhľadom na ich veľký výkon priamo zaťažiť. Ďalej ho používame na porovnanie s hodnotami určenými výpočtom a na overenie zaručených hodnôt.

Predpokladom použitia kružnicového diagramu je, že odpory a reaktancia motora sú stále. Pri splnení týchto požiadaviek sa pohybuje koncový bod fázora statorového prúdu po kružnici.

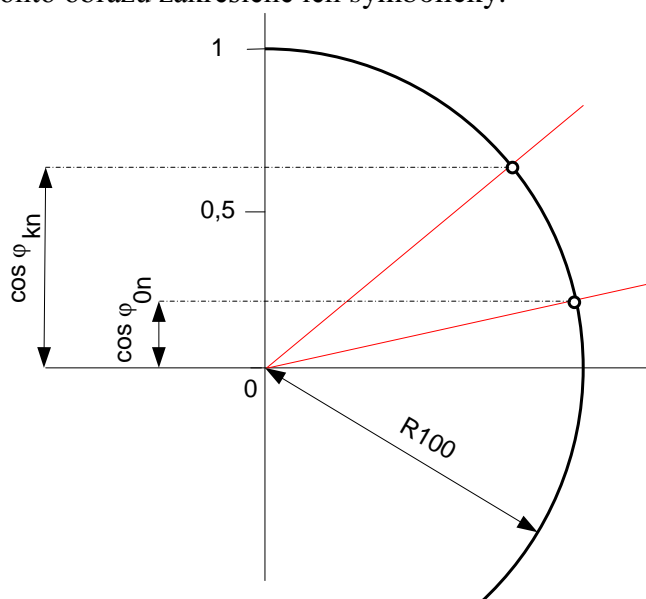
Kružnicový diagram platí iba pre prvú skupinu indukčných strojov tak, ako to bolo zmienené pri popise skúšky nakrátko. Do prvej skupiny indukčných točivých strojov patria *motory s krúžkovou kotvou a jednoduchou kotvou nakrátko*.

Stroje s *kotvou nakrátko s hlbokými drážkami a dvojitou klieťkou* vykazujú (2. skupina – neplatí kružnicový diagram) s rastom nasýtenia pokles rozptylových reaktancií statora a rotora. Taktiež sa menia odpory rotorového vinutia vplyvom povrchového javu (Skin effect), ktorý je závislý od frekvencie – so zväčšujúcim sa sklzom sa reaktancie taktiež zväčšujú. V takýchto prípadoch dávame prednosť priamemu meraniu zaťažovacej charakteristiky.

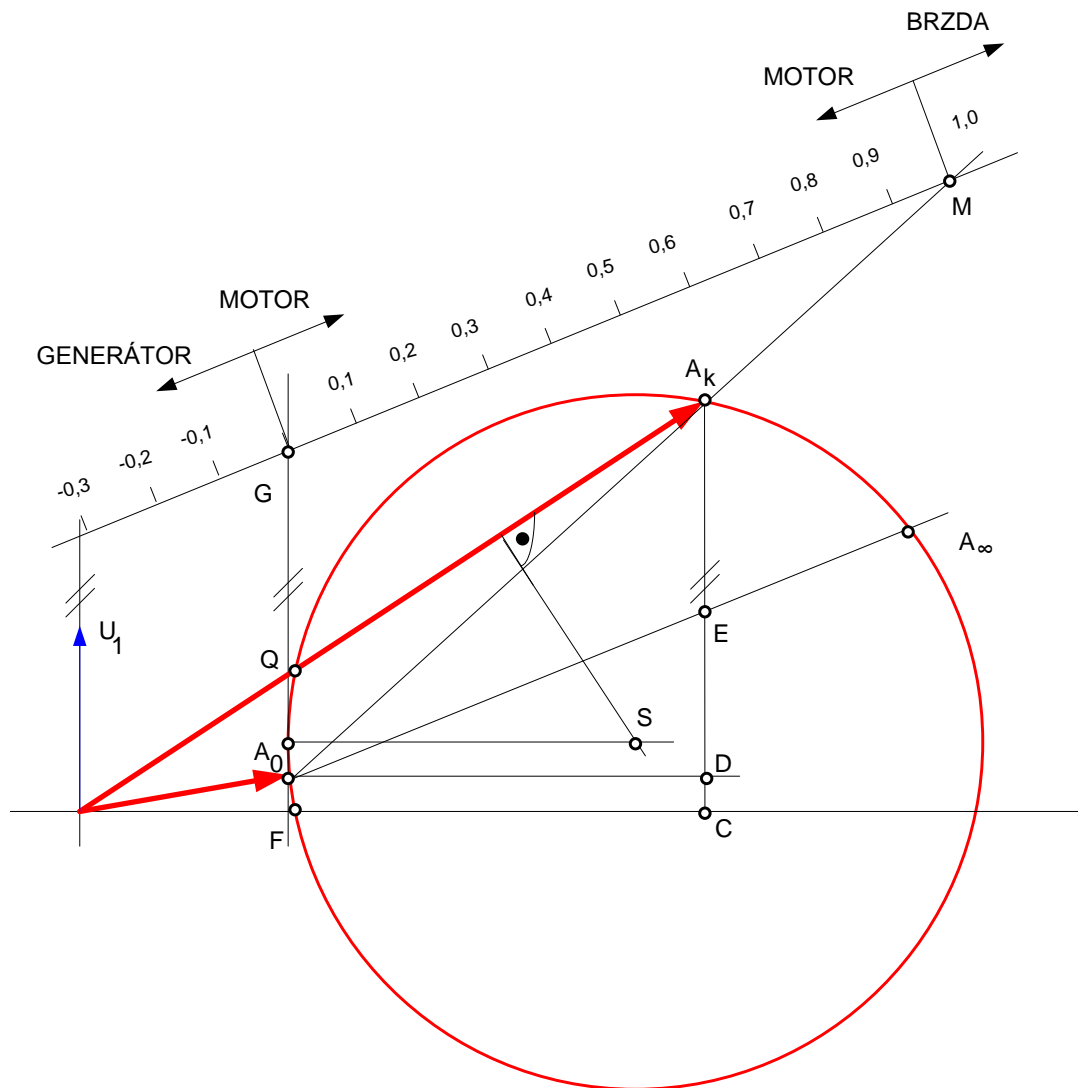
V nasledujúcom texte si popíšeme zjednodušenú konštrukciu kružnicového diagramu.

### Konštrukcia zjednodušeného kružnicového diagramu

1. Na zvislú os pravouhlej súradnicovej sústavy (Obr. 1) nakreslíme polkružnicu so stredom v začiatku 0 a s polomerom 100 mm, ktorá sa používa na presné určenie účinníka prúdov.
2. Na os nanese hodnotu účinníka  $\cos \varphi_{0n}$ , získaného z merania naprázdno, a nakreslíme cez ňu rovnobežku s vodorovnou osou tak, aby pretínala pomocnú polkružnicu. Spojnica takto získaného priesečníka a začiatku 0 je smerom fázora prúdu  $I_{10n}$ . (lebo  $\cos \varphi$  ľubovoľného smeru zo začiatku je daný priemetom priesečníka tohto smeru hodnotou prúdu naprázdno  $I_{10n}$ )
3. Koncový bod fázora prúdu naprázdno určuje bod naprázdno  $A_0$ . (obr. 2) Poznámka: Napätie  $U_1$  je do tohto obrazu zakreslené len symbolicky.



**Obr. 1** Konštrukcia pomocnej polkružnice



**Obr. 2** Konštrukcia kružnicového diagramu

Medzi bodmi  $A_0$ ,  $A_k$  pracuje indukčný stroj ako motor (sklz je kladný od  $s = 0$  až po  $s = 1$ ), medzi bodmi  $A_0$ ,  $A_\infty$  ako generátor (sklz je záporný, od  $s = 0$ ) a medzi bodmi  $A_0$ ,  $A_\infty$  ako brzda (sklz je kladný, ale  $s > 1$ )

4. Podobne (a v rovnakej mierke) do súradnicovej sústavy zakreslíme fázor prúdu nakrátko  $I_{1kn}$ , získaný z merania nakrátko.
5. Koncový bod fázora prúdu nakrátko určuje bod nakrátko  $A_k$ . Body  $A_0$  a  $A_k$  ležia na hľadanej kružnici.
6. Zostrojíme kružnicu: rovnobežka so zvislou osou, vedená bodom  $A_0$ , pretína fázor prúdu  $I_{1kn}$  v bode  $Q$ , ležiacom na hľadanej kružnici. **Priesečník osi súmernosti bodov  $A_0 - Q$  (na obr. 2 to nie je práve najlepšie badať) a  $A_k - Q$  je stredom kružnice  $S$ .**
7. Keďže predpokladáme rovnosť strát vo vinutí statora a rotora bod  $E$  delí úsečku  $A_k D$  na zvislici, vedenej bodom  $A_k$  na dve polovice. Úsečka  $A_k E$  je úmerná stratám vo vinutí rotora a úsečka  $ED$  vo vinutí statora v stave nakrátko.
8. Priamka prechádzajúca bodmi  $A_0 - E$  je **priamka momentov**, pretínajúca kružnicu v bode  $A_\infty$ . (Prvý obrázok – pred Obr. 1). Presnejšiu polohu bodu  $E$  dostaneme výpočtom skutočných strát v statore spôsobených prúdom  $I_{1kn}$

$$\overline{ED} = \frac{1,5R_{1f} I_{1kn}^2}{k_p} \quad [\text{mm}; \Omega, \text{A}, \text{W} \cdot \text{mm}^{-1}] \quad . \quad .$$



*Záberový moment stroja je úmerný výkonu, prenášanému vzduchovou medzerou, teda úsečke EA<sub>k</sub>. V bode naprázdno A<sub>0</sub>, keď stroj nie je zaťažovaný, je nulový aj mechanický moment. Spojnica bodov A<sub>0</sub>A<sub>∞</sub> je priamkou momentov.*

1. V bode A<sub>k</sub> je výkon stroja nulový, lebo sa hriadeľ neotáča, a nulový je jeho výkon aj v bode A<sub>0</sub>, lebo nie je zaťažovaný. **Spojnica bodov A<sub>0</sub>A<sub>k</sub> je priamkou výkonov motora a príkonov generátora.**
2. V stave nakrátko je príkon stroja úmerný úsečke CA<sub>k</sub> a v chode naprázdno úsečke FA<sub>0</sub>. **Vodorovná os súradnicovej sústavy je priamkou príkonov motora a výkonov generátora.**
3. *Hodnoty príkonov, výkonov a mechanických momentov dostaneme z kružnicového diagramu odmeraním príslušných úsečiek na priamkach medzi kružnicou a priamkou príkonov, výkonov, príp. momentov vedených kolmo na vodorovnú os (Obr. 19).*
4. **Určenie sklzov:** rovnobežka s priamkou momentov, vedená od nej v ľubovoľnej vzdialenosti, pretína v bode G dotyčnicu ku kružnici, zostrojenú v bode A<sub>0</sub>. (na obr. 18 a 19 leží bod G na rovnobežke so zvislou osou, vedenou bodom A<sub>0</sub>. Poloha bodu G, určená dotyčnicou, je presnejšia). V bode M pretína predĺženú priamku výkonov. **Úsečka GM je stupnicou sklzu motora a jej delenie je lineárne.** Dĺžku sklzovej stupnice zvolíme tak, aby sa hodnoty sklzov, dané priesečníkom stupnice s predĺženým fázorom prúdu rotora (spojnica A<sub>0</sub> a A<sub>k</sub> označovaná v literatúre I<sub>21</sub>), dali dobre odčítať.
5. **Druh prevádzky:** indukčného stroja je daný polohou koncového bodu fázora prúdu statora na kružnicovom diagrame. Pre **motorovú prevádzku** platí časť kružnice medzi bodmi A<sub>0</sub> a A<sub>k</sub>, pre **generátorovú prevádzku** najväčšia časť kružnice medzi bodmi A<sub>0</sub> a A<sub>∞</sub>. V časti medzi bodmi A<sub>k</sub> a A<sub>∞</sub> pracuje indukčný stroj ako **brzda**.

## 6. Prevádzkové charakteristiky asynchrónneho (indukčného) motora

Zo zostrojeného kružnicového diagramu odčítame pre potreby zostavenia pracovnej charakteristiky motora nasledovné závislosti:

- $I_1 = f(S)$
- $\cos \varphi_1 = f(S)$
- $M = f(S)$
- $P = f(S)$
- $P_1 = f(S)$
- $\eta = f(S)$

Pre potreby meraní na laboratórnych cvičeniach si odčítanie zjednodušíme tak, že budeme odčítavať pre príslušné hodnoty sklzu momenty M a prúd indukčného motora I<sub>1</sub> a účinník cos φ. Postup pri odčítaní je naznačený na obr. pod nadpisom č. 5. Pre príslušný sklz vytvoríme spojnicu odpovedajúceho bodu na priamke sklzov s bodom A<sub>0</sub>. Takto získame body A<sub>i</sub> z polohy ktorých odčítame príslušný účinník. Vedením zvislice rovnobežnej s dotyčnicou kružnice po priamku výkonov alebo momentov zistíme príslušný výkon a moment motora.

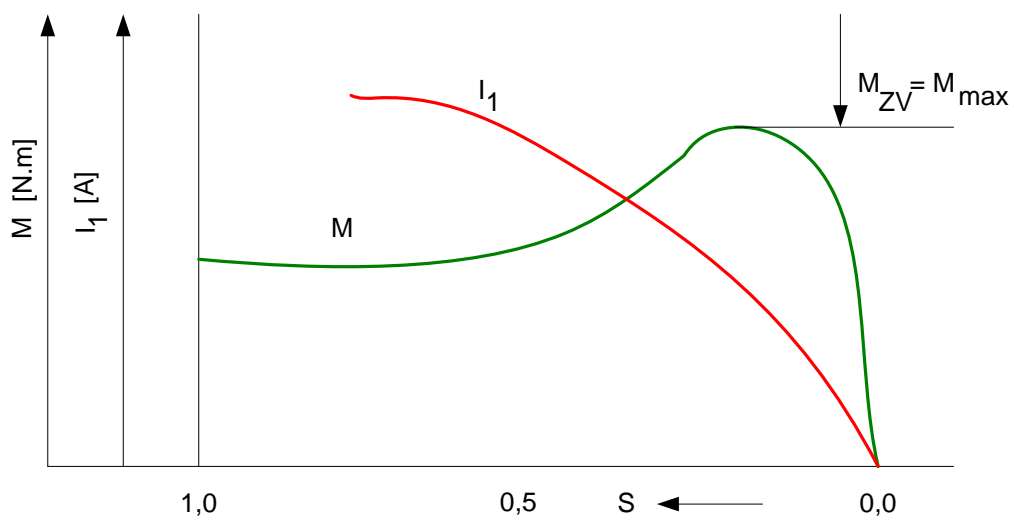
Veľkosť prúdu I<sub>1i</sub> je rovná dĺžke spojnice počiatku 0 s príslušným bodom A<sub>i</sub>. Očakávané závislosti momentu M a svorkového prúdu I<sub>1</sub> sú na nasledujúcom grafe.

Tabuľka hodnôt odčítaných z kružnicového diagramu:

S [-]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
M [N.m]										
I <sub>1</sub> [A]										
cos φ [-]										
P [W]										
P <sub>1</sub> [W]										
η [-]										

kde  $\eta = \frac{P}{P_1}$  (-; W, W).

Grafická závislosť:



Záver: