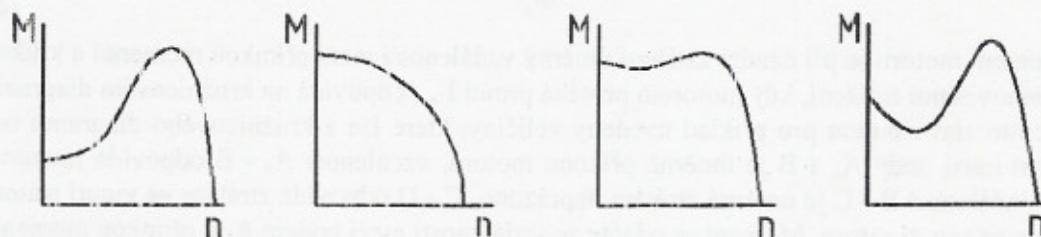


Tab. 4.3 Typy provedení rotoru nakrátko

| Kotva      | Charakteristika  | Výhody   | Nevýhody   |
|------------|--|--|--|
| Jednoduchá | Klecové vinutí odstříknuté z hliníku.  | Jednoduchá konstrukce, velká účinnost, účiník a přetížitelnost     | Velký záběrný proud, menší záběrný moment                    |
| Odporová   | Ječnoduchá klec se zvětšeným odporem   | Jednoduchá konstrukce, zvýšený záběrný moment, menší záběrný proud | Horší účinnost, měkká mechanická charakteristika,            |
| Dvojitá    | Dvě klece nad sebou, horní klec má větší odpor a menší rozptylovou indukčnost, při rozběhu proud teče převážně horní kleci | Zvýšený záběrný moment, snížený záběrný proud                      | Složitá konstrukce, horší účinnost, horší účiník             |
| Vícevá     | Úzké vysoké tyče klece, vlivem rozptylového pole se při rozběhu vytlačí proud do malé plochy vodiče, čímž se zvětší odpor  | Zvýšený záběrný moment, snížený záběrný proud                      | Menší momentová přetížitelnost, horší účinnost, horší účiník |



Obr. 4.15

#### 4.3.4. KRUŽNICOVÝ DIAGRAM ASYNCHRONNÍHO MOTORU

Kružnicový diagram vyjadřuje, zejména u strojů s kotvou vinutou, provozní vlastnosti motoru a lze z něho zjistit veškeré provozní charakteristiky. K jeho sestrojení je třeba znát hodnoty zjištěné měřením ve stavu naprázdno a nakrátko.

K sestrojení kružnice je nutno znát tři body. Prvním je koncový bod fázoru proudu naprázdno. Ten je dán velikostí proudu naprázdno  $I_{10}$  změřeného při jmenovitém napětí  $U_{1n}$  a účiníkem ve stavu naprázdno  $\cos\varphi_0$ . Druhým je koncový bod fázoru proudu nakrátko při jmenovitém napětí. Z měření je k dispozici účiník nakrátko  $\cos\varphi_K$  a hodnota napětí nakrátko, kterým je motor napájen ve stavu nakrátko při jmenovitém proudu. Velikost proudu nakrátko  $I_{1K}$  při jmenovitém napětí zjistíme z napětí nakrátko lineárním přepočtem.

Zvolíme měřítko proudu  $m_l$  (A/cm) a dostaneme body  $A_0$  a  $A_K$  jako koncové body fázorů  $I_{10}$  a  $I_{1K}$ . Střed kružnice S pokládáme v případě motoru s kotvou vinutou do průsečíku osy spojnice bodů  $A_0$  a  $A_K$  s rovnoběžkou s osou x, která prochází bodem  $A_0$ . V případě motoru s kotvou nakrátko je vhodné zavést zpěsnění konstrukce. Střed kružnice potom leží v průsečíku s přímkou, která prochází bodem  $A_0$  a svislou úhlem  $2\chi$  s rovnoběžkou s osou x. Pro úhel  $\chi$  platí:

$$\operatorname{tg}(2\chi) = \frac{2 \cdot R_l \cdot I_{10}}{U_1} \quad (4.25)$$

Příkon motoru ve stavu nakrátko, tj. v bodě  $A_K$  je dán:

$$P_K = 3 \cdot U_{ln} I_{1K} \cos \varphi_K \quad (4.26)$$

$U_1$  je fázové napětí. Součin  $I_{1K} \cos \varphi_K$  je v diagramu na svislici vztýčené z vodorovné osy do bodu  $A_K$  v měřítku proudů. Měřítko výkonu je potom dáno

$$m_p = 3 \cdot U_{ln} \cdot m_i \quad (4.27)$$

V bodě  $A_K$ , kdy jsou otáčky nulové, je nulový i výkon a celý příkon se změní na ztráty. Odpodobně je tomu v bodě  $A_0$ , kdy je nulový moment. Spojnice  $A_0 - A_K$  udává přímku výkonu. Výkon motoru je potom při daném proudu úměrný vzdálenosti mezi přímkou výkonu a kružnicí.

Záběrný moment, při  $s=1$ , je úměrný ztrátám v rotoru. Rozdělíme-li ztráty v bodě  $A_K$  na ztráty ve statoru a v rotoru, dostaneme bod T, který leží na přímce momentů. Pro ztráty ve statorovém vinutí platí vztah:

$$\Delta P_{j1} = 3 \cdot R_{f75} \cdot I_{1K}^2 = m_p \cdot \overline{LT} \quad (4.28)$$

$R_{f75}$  je odpor fize statoru přepočtený na teplotu 75°C. Tyto ztráty vyneseme do diagramu v měřítku výkonu na přímku spuštěnou z bodu  $A_K$ , kolmo na vodorovnu osu. Tím získáme bod T, přičemž spojnice bodů  $A_0$  a T je přímka momentů. Průsečík této přímky s kružnicí je bod  $A_\infty$ , který odpovídá nekonečnému u skuzu. Měřítko momentů získáme ze vztahu:

$$m_M = \frac{m_p}{\omega_s} \quad (4.29)$$

Moment motoru je při daném zatížení úměrný vzdálenosti mezi přímkou momentů a kružnicí.

Jmenovitému zatížení, kdy motorem protéká proud  $I_{ln}$ , odpovídá na kružnicovém diagramu bod  $A_n$ . V tomto stavu budou pro příklad uvedeny veličiny, které lze z kružnicového diagramu odečíst. Vzdálenost mezi body  $A_n$  a B je úměrná příkonu motoru, vzdálenost A<sub>n</sub> - E odpovídá jmenovitému výkonu. Vzdálenost B - C je úměrná ztrátám naprázdno, C - D odpovídá ztrátám ve vinutí statoru a D - E ztrátám ve vinutí rotoru. Moment se odečte ze vzdálenosti mezi bodem  $A_n$  a přímku momentů.

V kružnicovém diagramu, který přesněji vystihuje vlastnosti motorů s kotvou nakrátko, kde jsme ke konstrukci využili úhlu  $2\chi$ , se momenty a výkony neodečítají jako vzdálenost kolmá na vodorovnu osu, ale na rovnoběžce s tečnou kružnice v bodě  $A_n$ .

Stupnice skuzu se vynáší na rovnoběžku s přímkou momentů. Skluž  $s=1$  odpovídá průsečík této přímky s přímou výkonu, bod kdy  $s=0$  je určen průsečíkem přímky skuzu a tečny kružnice v bodě  $A_0$ . Stupnice skuzu je mezi body  $s=0$  a  $s=1$  lineární. Čísleme-li např. zjistit velikost skuzu v bodě  $A_n$ , vedené spojnice bodů  $A_0$  a  $A_n$ . V místě, kde tato spojnice protne přímku skuzu, je možno odečíst skuz.

Mezi body  $A_0$  a  $A_K$  pracuje stroj v motorickém režimu, mezi body  $A_K$  a  $A_\infty$  v režimu protiproudého brzdění a mezi body  $A_0$  a  $A_\infty$  v režimu generátorického brzdění.

Z kružnicového diagramu můžeme tedy odečítat velikost statorového proudu, účiník, výkon, příkon, ztráty ve statoru i v rotoru, moment a skuz. Dále můžeme určovat i proud rotoru. Je-li  $U_{20}$  napětí v rozpojeném rotorovém obvodu v klidovém stavu, platí pro měřítko rotorového proudu vztah:

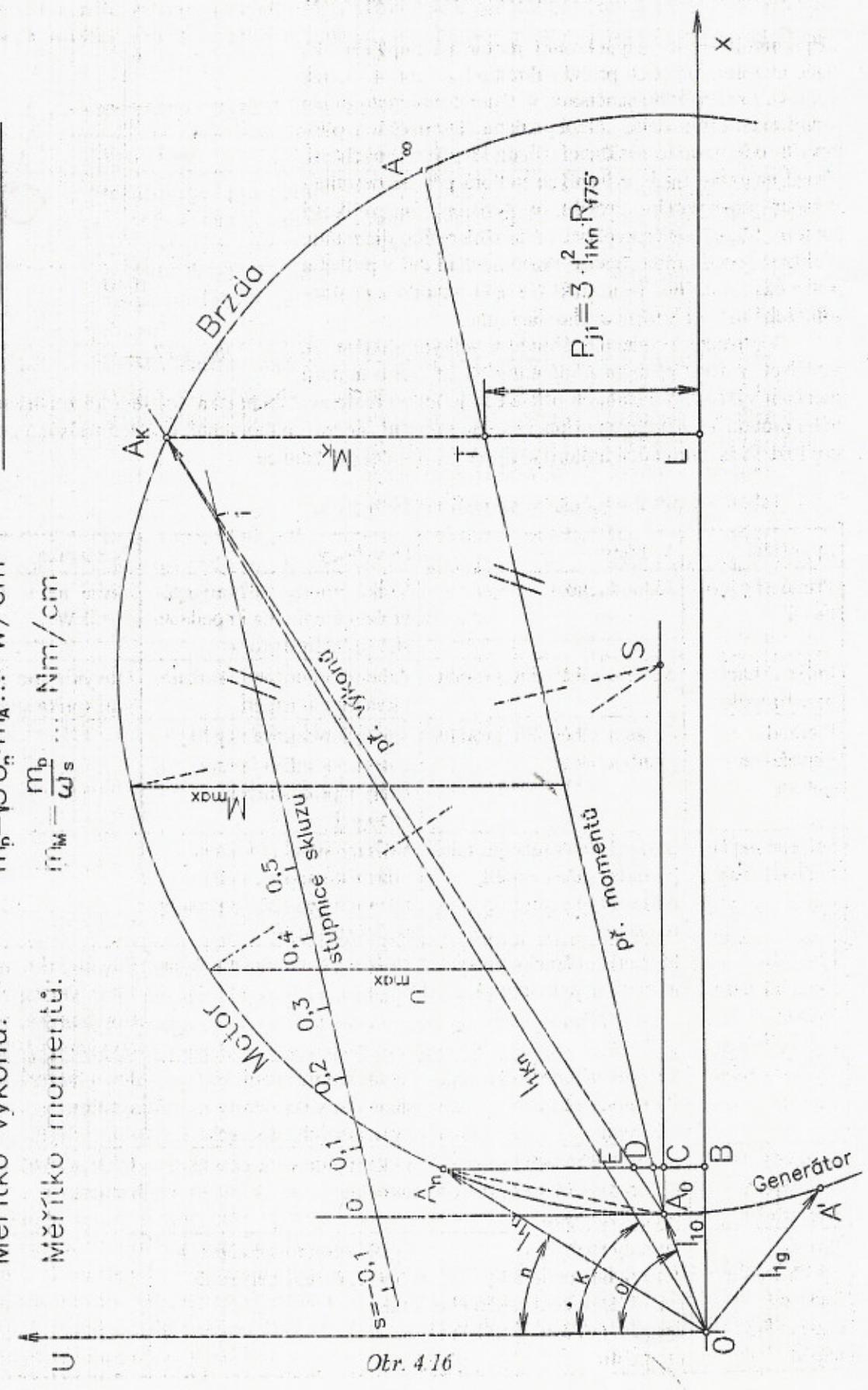
$$m_{j2} = m_j \cdot \frac{U_{ln}}{U_{20}} \quad (4.30)$$

Z maximální vzdálenosti mezi kružnicí a přímou momentů lze určit maximální moment  $M_{MAX}$  a momentovou přetížitelnost. Analogicky, s pomocí přímky výkonu, lze určit maximální výkon a výkonovou přetížitelnost. Informativně lze z kružnicového diagramu určit i účinnost a s pomocí stupnice skuzu vynést mechanickou charakteristiku.

Přesnost odečítání z kružnicového diagramu se zmenšuje v okolí bodu  $A_0$ . Zároveň nelze popsat konstrukci kružnicového diagramu využít u motorů se speciální konstrukcí kotvy, tzn. u motorů s kotvou dvoujetou či vírovou.

Měřítko proudu:  $m_A \dots A/cm$   
 Měřítko výkonu:  $m_b = \sqrt{3} U_n m_A \dots W/cm$   
 Měřítko momentu:  $m_M = \frac{m_b}{\omega_s} \dots Nm/cm$

### KRUŽNICOVÝ DIAGRAM



Obr. 4.16

Výhodná oblast:  $I_{\text{ou}}$ , cos  $\varphi_{\text{ou}}$ ,  $R_f$  (vzorec)

Nepohodlné:  $I_{\text{eu}}$ ,  $\Delta P_{\text{eu}}$ , cos  $\varphi_{\text{eu}}$

## HESITACE:

max. sila pohybu  $M_p$  [Nm/cm]

max. sila vlny:  $M_p = \sqrt{3} U_{\text{max}} A$  [Nm/cm]

max. sila

$$\text{maximální sila } M_p = \frac{M_p}{R_s} \cdot 9,55 \text{ [Nm/cm]}$$

počet dílů (délky pohybu  $\varphi$ ):  $N_s$

AB ~ pohybu motoru

AE ~ pohybu výkonu

BC ~ rychlost napájení

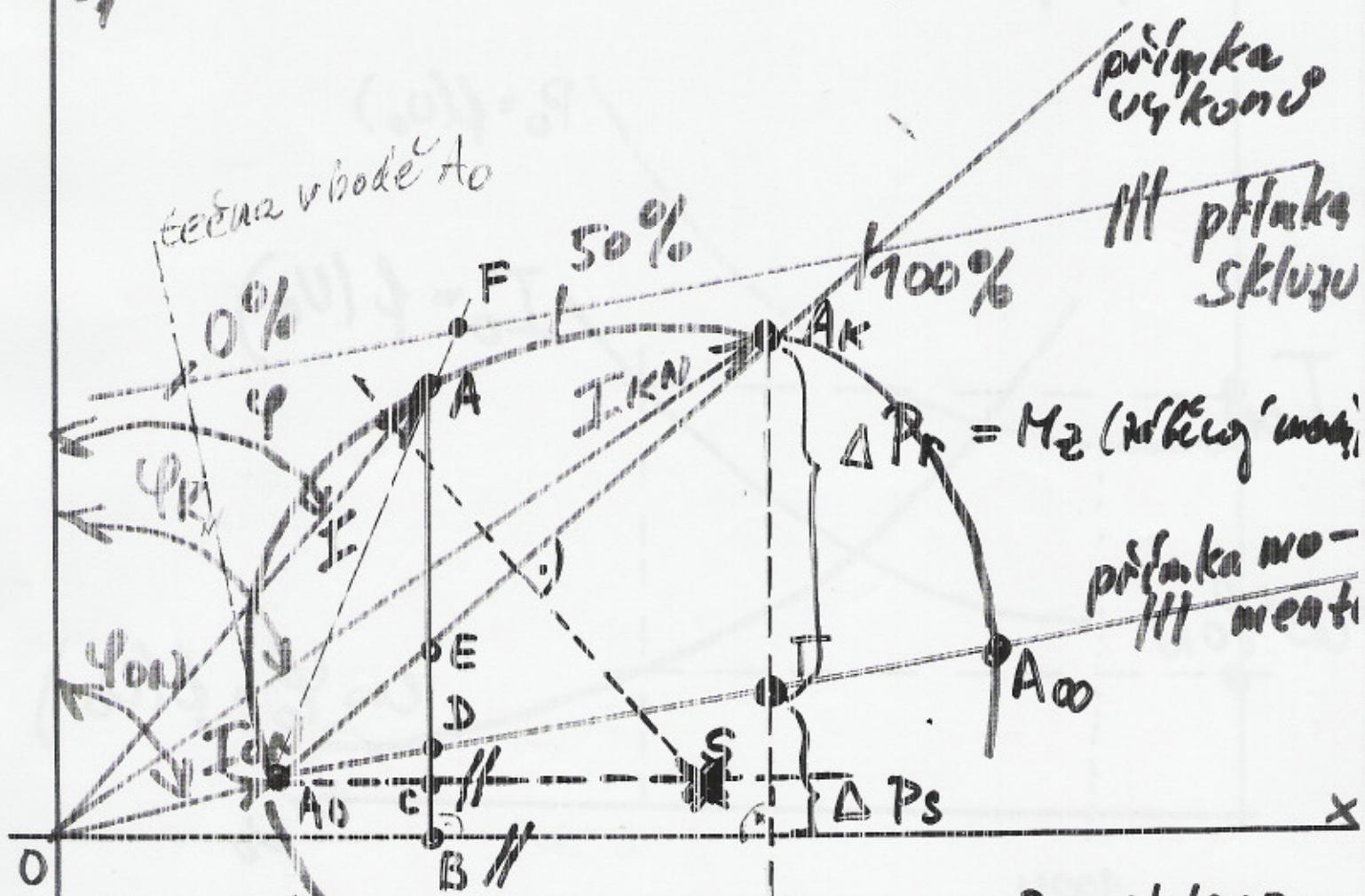
CD - řadící se vzdále vlnou

DE - řadící se vzdále rotační

AD - momentu

F - určující hodnota sklonu

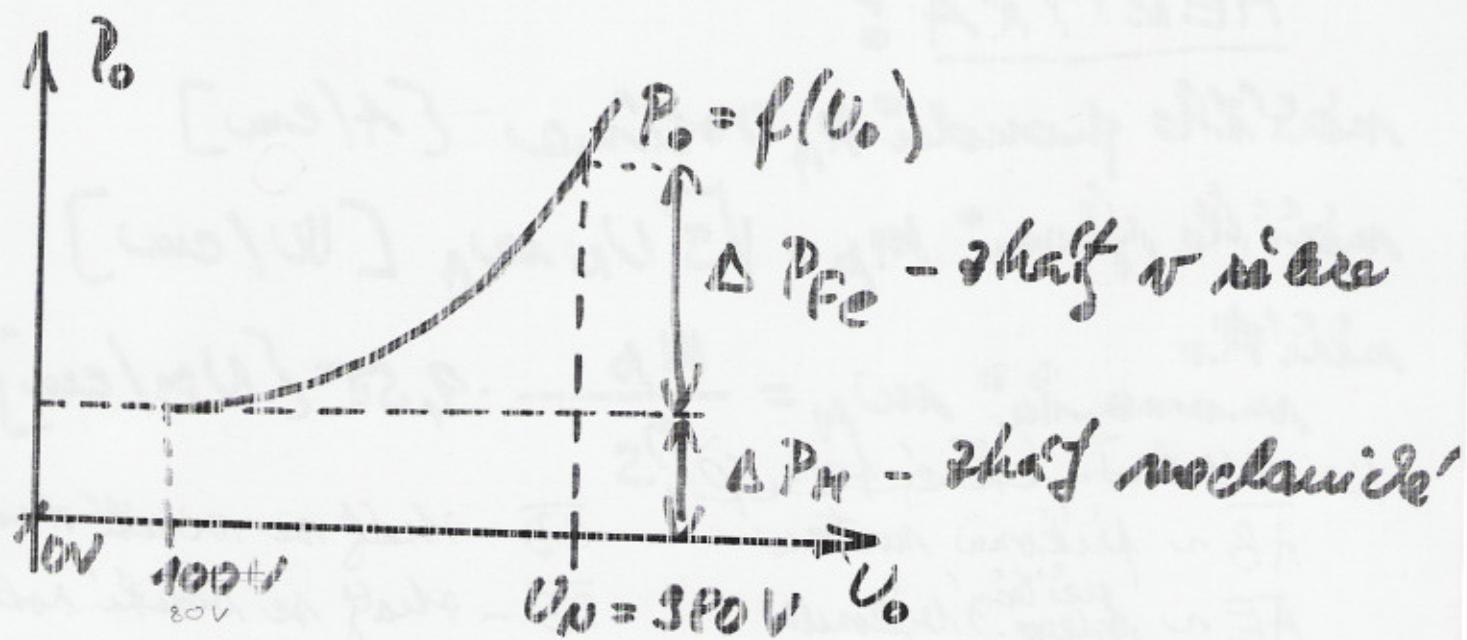
$U_1$



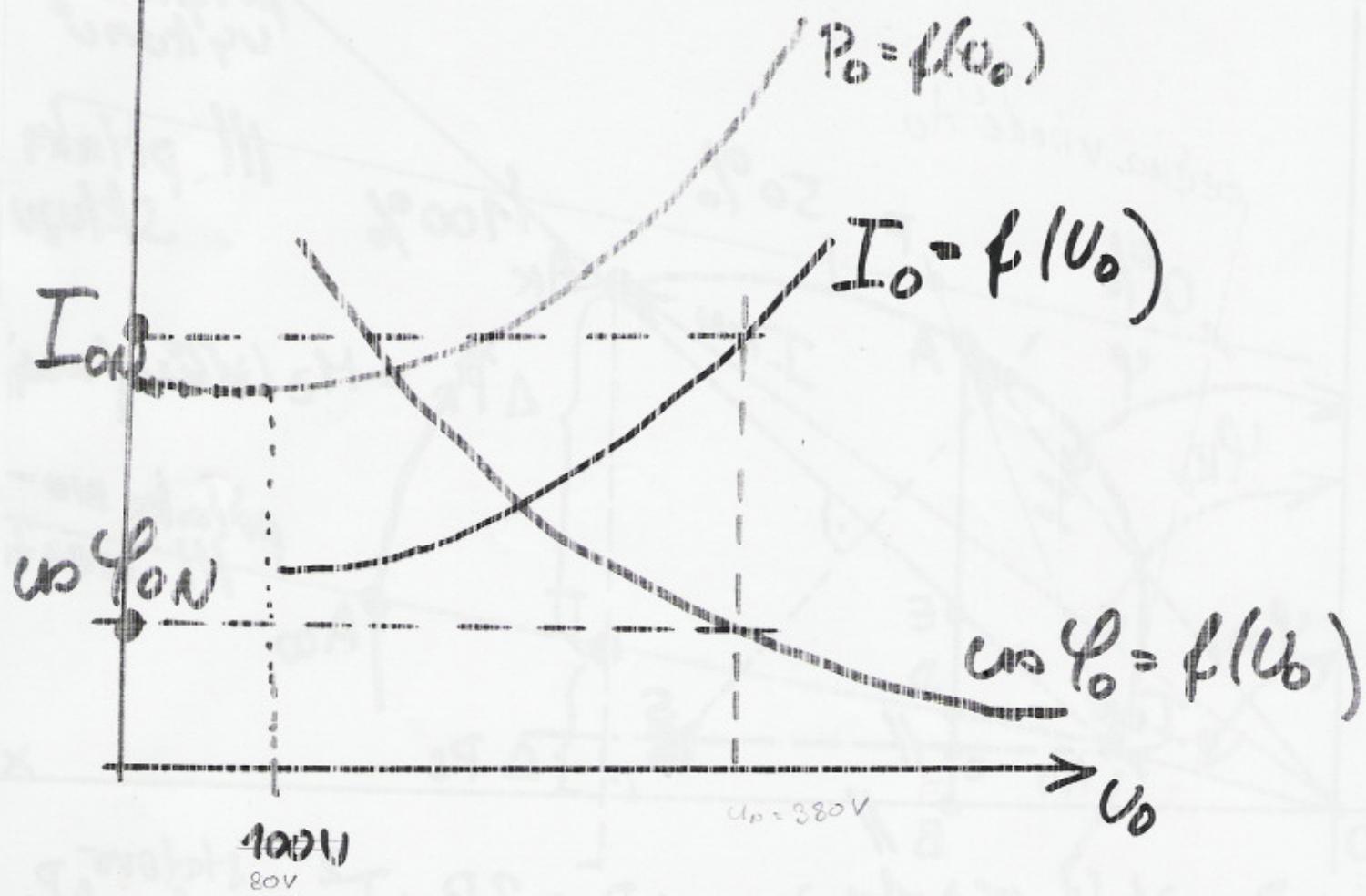
$$\Delta P_r = \text{řada g. náboj. moment}$$

$$\Delta P_s = 3 R_f \cdot I_{\text{KN}}^2 \frac{\text{stavové } \Delta P_s}{\text{řada g. náboj. moment}}$$

3 feb. AM  
Méthode représentation

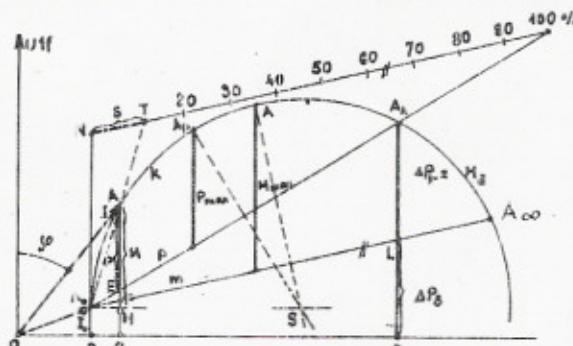


$I_0, P_0, \cos \varphi_0$



## Konstrukce - diagramy

Do souřadné soustavy, kde v ose  $y$  je  $U_{1f}$ , se ve zvoleném měřítku proudu vynesou proud napředno  $I_0$  a proud nakrátko  $I_K$  s příslušnými účiníky  $\cos \varphi_0$  a  $\cos \varphi_K$ . Koncové body jsou označeny  $A_0$  a  $A_K$  (obr. 1.15). Z  $A_0$  se vede rovnoběžka s osou  $x$ . Spojnice  $A_0 A_K$  se rozplní a kolmice z ní se vede na rovnoběžku s osou  $x$ , kde vytíkne střed opsané kružnice  $S$ . Spojnice bodů  $A_0 A_K$  je přímka výkonu.



OBR, 1-15

Z bodu  $A_k$  se spustí kolmice na osu x a rozdělí v poměru ztrát v rotoru a ve statoru.  $\overline{A_k A}$  představuje ztráty v rotoru/, nebo se na tuto přímku v bodu  $A_k$  vynese v měřítku záběrový moment  $M_{\text{z}}$ , zjištěný dynamometrem. Průsečíkem se vede z  $A_0$  přímka na kružnici, kde vytváří bod  $A_{\text{z}}$ . To je rýsuvač momentů.

Stupnice sklusu je rovnoběžka s přímkou momentů /v libovolné vzdálenosti nad kružnicí/, omezená prodlouženou přímkou výkonů a tečnou ke kružnici v bodě  $A_0$ . Její délka představuje skluz  $\theta \leq \theta \leq 1$ .

|          |  |                                  |
|----------|--|----------------------------------|
| Měřítka: | měřítko proudu $m_A$ / se volí /             | / A/cm /                         |
|          | měřítko výkonu $m_W = \sqrt{3} J m_A$        | / W/cm; V; A/cm /                |
|          | měřítko momentů $m_M = 9,55 \frac{m_W}{m_A}$ | / Nm/cm; W/cm; $\frac{1}{min}$ / |

Provozní hodnoty motoru při určitém zatížení se vyšetří z diagramu vynesením některé z veličin. Např. se vynese v měřítku změřený proud z bodu O na kružnici, kde vytkne bod A /jeho směr odpovídá fázovému úhlu/. Z bodu A se vede kolmice na osu x. Vzdálenost AE udává užitečný výkon na hřídeli, AF moment a AG příkon, odebraný ze sítě. K zjištění skluzu, resp. otáček, se vede z bodu A přes A přímkou na stupnici skluzu.

#### 1.1.4 Motor s kolyou kroužkovou

$$\text{Ze vztahu pro moment } M_{\max} = 9,55 \frac{3}{n_2} \frac{U_{12}^2}{2X} \text{ a pro skluz zvratu } s_m = \frac{R_2}{X_k}$$

plyne, že  $M_{\text{var}}$  nezávisí na  $R_2$ , ale že  $s_m$  závisí na  $R_2$ .

Je-li tedy  $R_0 = 1$ , je  $\mu_0 = 1$  a motor se rozbehá a maximálním momentem.

$$I_1 = \frac{U_{1f}}{R_{Fe}} + \frac{U_{1f}}{jX_k} + \frac{U_{1f}}{R_1 + \frac{R_2}{a} + jX_r}$$

plyne, že zvětšováním  $R_2$  naopak  $I_1$  klesá. Tyto skutečnosti zavdaly podnět ke konstrukci kroužkového motoru u něhož lze měnit  $R_2$  zapojováním do série s vinutím rotoru pomocí kroužků další odpory /obr.1.8/. Při změně odporu rotoru je geometrickým místem koncových bodů vektoru proudu  $I_1$  i  $I_2$  titáž kružnice, ale mění se pouze poloha bodu  $A_1$  /obr.1.16/.

Případí-li se k odporu rotoru  $R_2$  odpor spouštěče  $R_s$ , začni se při stejném momentu skluz z hodnoty  $s_1$  na  $s_2$  podle vztahu:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_2}{R_2 + R_6}$$

z něhož lze vypočítat odpor spouštěče  $R_s$

$$R_E = R_2 \frac{s_2 - s_1}{s_1}$$

$R_s$  se rozdělí na několik stupňů aby byl rozběh plynulý a proud  $I_1$  se pohyboval v požadovaných mezech. Průběh momentu a proudu při současném motoru je znázorněn na obr. 1.17.