

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY  
KATEDRA ELEKTROTECHNIKY A MECHATRONIKY

## **Meranie na asynchrónnom motore**

Meranie č. 1

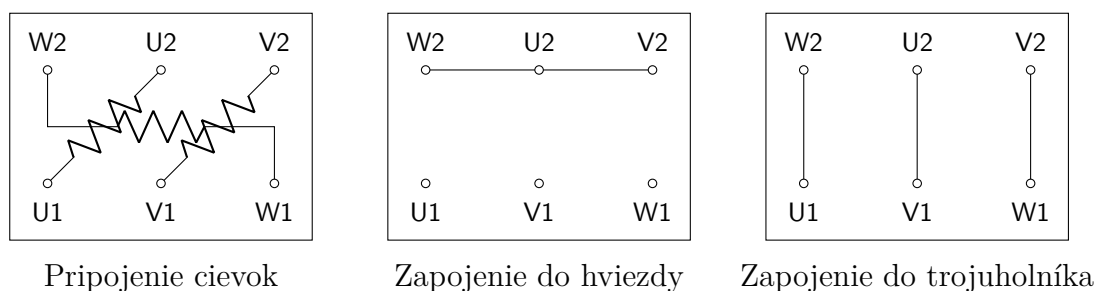
Meno a priezvisko:

Skupina:

Akademický rok:

# 1 Úvod

Asynchrónny motor je jedným z najrozšírenejších striedavých otáčavých elektrických strojov. Svorkovnica bežného asynchrónneho motora je usporiadaná podľa Obr. 1. Začiatky vinutí sú pripojené na svorky  $U_1$ ,  $V_1$ ,  $W_1$ , konce vinutí na svorky  $U_2$ ,  $V_2$ ,  $W_2$ . Takéto usporiadanie umožňuje jednoduchým spôsobom zapojiť motor do trojuholníka ( $\Delta$ ), alebo do hviezdy (Y).



Obr. 1: Zapojenia svorkovnice asynchrónneho motora

Podľa konštrukcie rotora rozdeľujeme asynchrónne motory:

- *Asynchrónne motory s kotvou nakrátko* – kotvu tvorí spravidla hliníková klieť spojená kruhmi nakrátko.
- *Asynchrónne motory s kotvou krúžkovou* - trojfázové rotorové vinutie, ktoré je spojené obyčajne do hviezdy a vyvedené na krúžky. Rotorová svorkovnica má tri svorky, ktoré sú označené, K, L, M.

Na asynchrónnom motore s kotvou krúžkovou vykonáme merania a urobíme teoretické rozbor, ktoré rozdelíme do štyroch častí:

- Merania asynchrónneho motora v chode naprázdno a v stave nakrátko.
- Určenie parametrov náhradnej schémy asynchrónneho motora.
- Zatažovanie asynchrónneho motora.
- Výpočet momentovej charakteristiky.

Všetky merania vykonáme na trojfázovom asynchrónnom motore s kotvou krúžkovou, so štítkovými údajmi:

a) Nominálny výkon motora:

$$P_N =$$

e) Nominálne otáčky motora:

$$n_N =$$

b) Počet pólov:

$$2p =$$

f) Frekvencia:

$$f =$$

c) Nominálne napätie statora:

$$U_{1N} =$$

g) Nominálny prúd statora:

$$I_{1N} =$$

d) Nominálne napätie rotora:

$$U_{2N} =$$

h) Nominálny prúd rotora:

$$I_{2N} =$$

## 2 Meranie odporov vinutí

Odpory statorového a rotorového vinutia asynchrónneho motora meriame miliohmometrom. Namerané hodnoty zapisujeme do Tab. 1.

Tab. 1: Meranie odporu vinutia

Vinutie		$R \ (\Omega)$	$R_{av} \ (\Omega)$	$R \ (\Omega)$
Statorové vinutie	UV			
	VW			
	WU			
Rotorové vinutie	KL			
	LM			
	MK			

Z nameraných hodnôt vypočítame:

a) Strednú hodnotu odporu statorového vinutia:

$$R_{1av} = \frac{R_{UV} + R_{VW} + R_{WU}}{3} = \quad (1)$$

b) Fázovú hodnotu statorového odporu:

$$R_1 = \frac{R_{1av}}{2} = \quad (2)$$

c) Strednú hodnotu odporu rotorového vinutia:

$$R_{2av} = \frac{R_{KL} + R_{LM} + R_{MK}}{3} = \quad (3)$$

d) Fázovú hodnotu rotorového odporu:

$$R_2 = \frac{R_{2av}}{2} = \quad (4)$$

### 3 Meranie prevodu motora

Prevod motora sa meria pri rozpojenom rotorovom vinutí. Meriame pri zníženom napätí (približne  $0,8 U_{1N}$ ), aby sme sa vyhli oblasti nasýtenia. Namerané a vypočítané hodnoty zapisujeme do Tab. 2.

Tab. 2: Meranie prevodu motora

Vinutie		$U$ (V)	$U_{av}$ (V)	$a$
Statorové vinutie	UV			
	VW			
	WU			
Rotorové vinutie	KL			
	LM			
	MK			

Z nameraných hodnôt vypočítame:

a) Strednú hodnotu napätí nameraných na statore:

$$U_{1av} = \frac{U_{UV} + U_{VW} + U_{WU}}{3} = \quad (5)$$

b) Strednú hodnotu napätí nameraných na rotore:

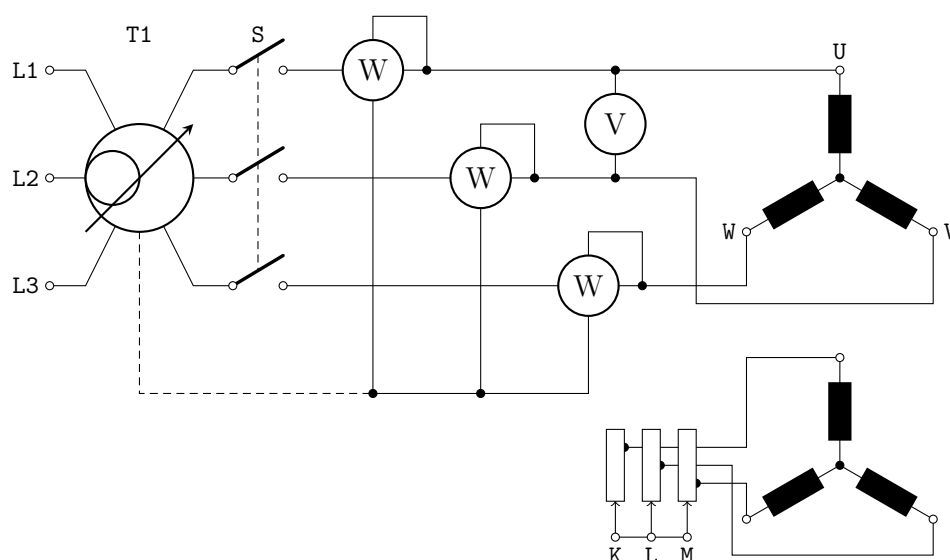
$$U_{2av} = \frac{U_{KL} + U_{LM} + U_{MK}}{3} = \quad (6)$$

c) Prevod asynchrónneho motora

$$a = \frac{U_{1av}}{U_{2av}} = \quad (7)$$

## 4 Meranie asynchrónneho motora naprázdno

Meraním v chode naprázdno zisťujeme, ako sa mení prúd naprázdno  $I_{10}$ , príkon naprázdno  $P_0$  a účinník naprázdno  $\cos \varphi_0$  v závislosti od zmeny napájacieho napätia  $U_1$ . Z merania určíme prúd naprázdno  $I_{10}$ , účinník naprázdno  $\cos \varphi_0$ , straty v železe  $\Delta P_{Fe}$  a mechanické straty  $\Delta P_m$  pre nominálnu hodnotu napájacieho napätia  $U_{1N}$ . Asynchrónny motor v chode naprázdno je pripojený na symetrické trojfázové napätie a jeho hriadeľ je bez mechanického zataženia ( $M_z = 0$ ). Rotorové vinutie je na svorkovnici spojené nakrátko. Schéma zapojenia merania je uvedená na Obr. 2. Napájacie napätie motora postupne zvyšujeme od hodnoty  $U_1 \approx 0,3 U_{1N}$  do  $U_1 \approx 1,1 U_{1N}$ . Meriame napätia, prúdy a výkony vo všetkých fázach. Namerané hodnoty zapisujeme do Tab. 3.



Obr. 2: Schéma zapojenia asynchrónneho motora

Tab. 3: Namerané hodnoty asynchrónneho motora naprázdno

$U_U$ (V)	$U_V$ (V)	$U_W$ (V)	$I_U$ (A)	$I_V$ (A)	$I_W$ (A)	$P_U$ (W)	$P_V$ (W)	$P_W$ (W)

Z nameraných hodnôt vypočítame:

a) Napätie naprázdno:

$$U_0 = \frac{U_U + U_V + U_W}{3} = \quad (8)$$

b) Prúd naprázdno:

$$I_0 = \frac{I_U + I_V + I_W}{3} = \quad (9)$$

c) Príkonná naprázdno:

$$P_0 = P_U + P_V + P_W = \quad (10)$$

d) Straty v medi:

$$\Delta P_{Cu0} = 3R_1 I_0^2 = \quad (11)$$

e) Straty naprázdno:

$$\Delta P_0 = P_0 - \Delta P_{Cu0} = \quad (12)$$

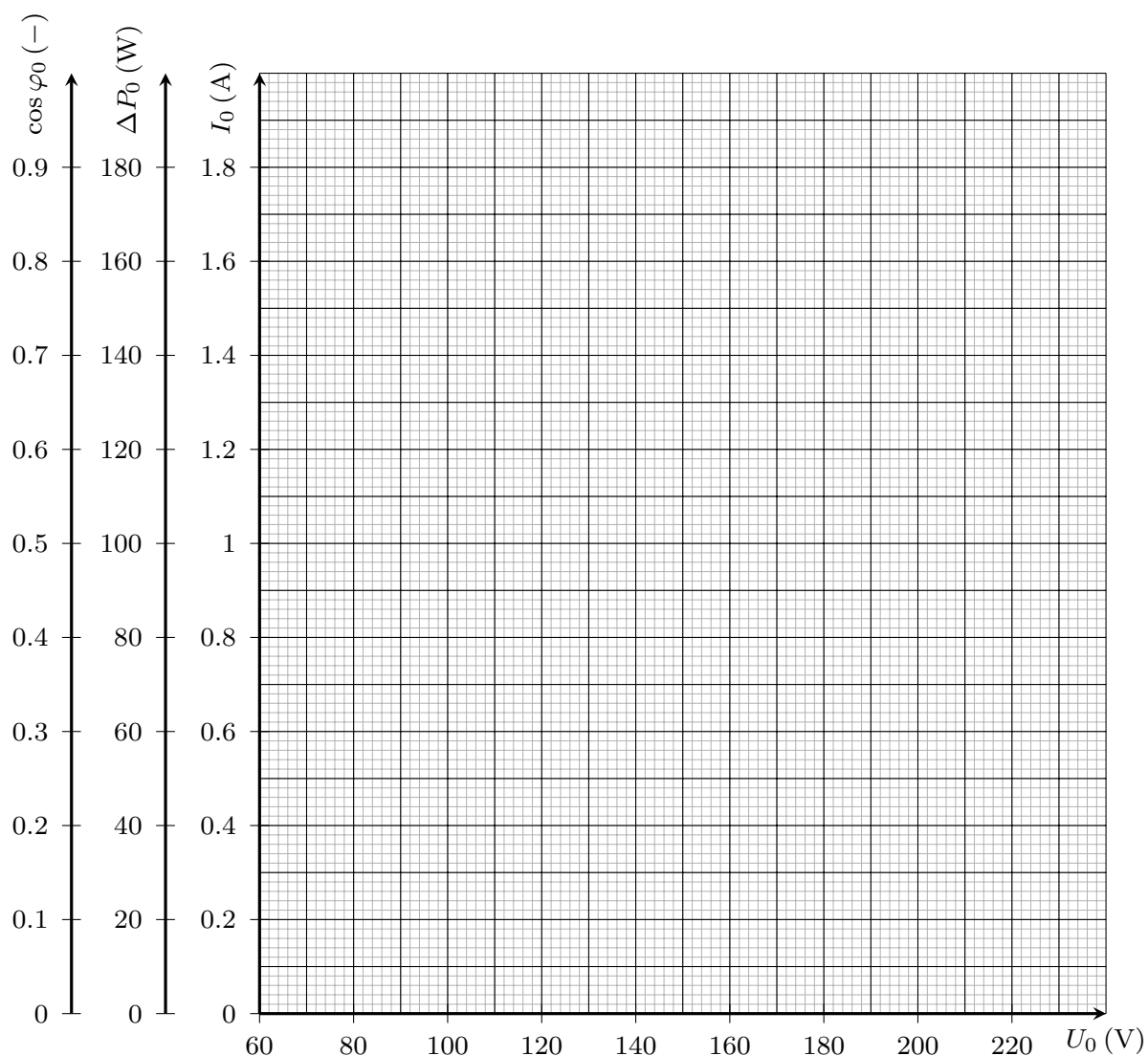
f) Účinník naprázdno:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{3U_0 I_0} = \quad (13)$$

Vypočítané hodnoty zapisujeme do Tab. 4. Vypočítané hodnoty vynesieme do rastra na Obr. 3. Typické tvary priebehov vypočítaných veličín naprázdno sú uvedené na Obr. 12.

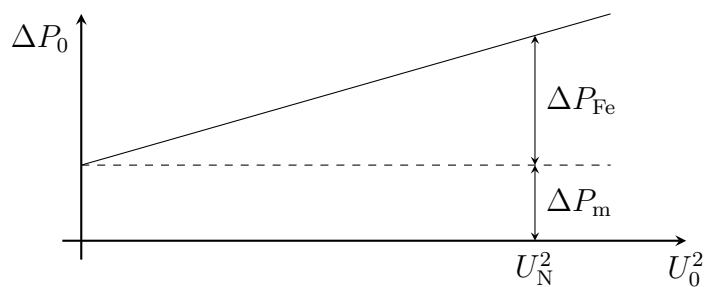
Tab. 4: Vypočítané hodnoty asynchrónneho motora nakrátko

$U_0$ (V)	$I_0$ (A)	$P_0$ (W)	$\Delta P_{Cu0}$ (W)	$P_0$ (W)	$\cos \varphi_0$ (-)	$U_0^2$ (V <sup>2</sup> )



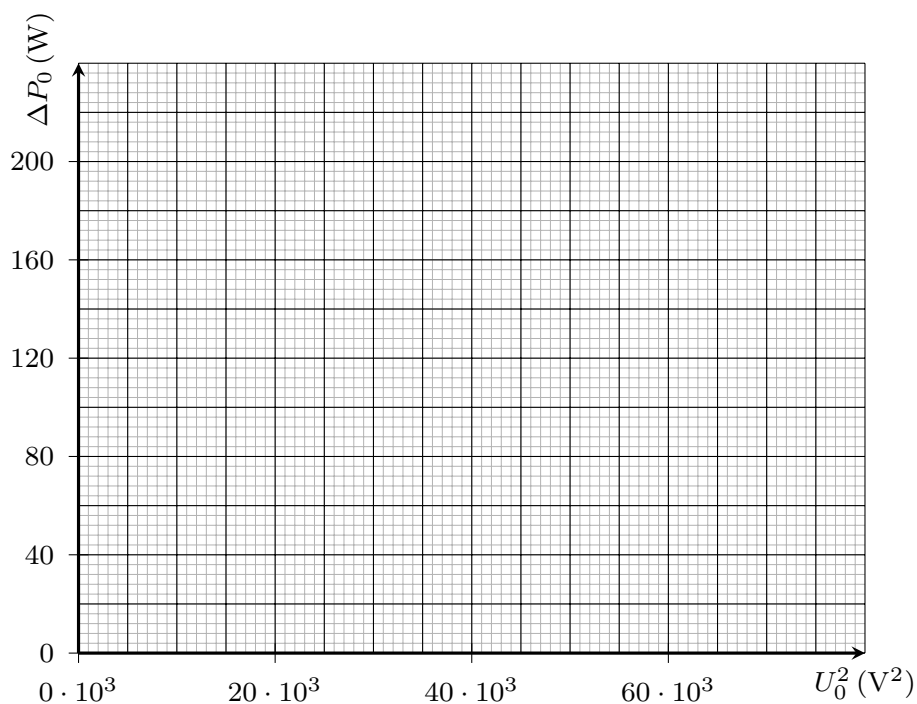
Obr. 3: Meranie naprázdno

Straty naprázdno  $\Delta P_0$  sa delia na straty v železe  $\Delta P_{Fe}$  a straty mechanické  $\Delta P_m$ . Mechanické straty sú s ohľadom na konštantnú rýchlosť rotora konštantné ( $\Delta P_m = \text{cst.}$ ). Straty v železe rastú s kvadrátom napätia ( $\Delta P_{Fe} = f(U_1^2)$ ). Na oddelenie strát v železe a mechanických použijeme kvadratickú extrapoláciu, tak ako je to znázornené na Obr. 4.



Obr. 4: Kvadratická extrapolácia strát naprázdno

Do rastra na Obr. 5 vynesieme závislosť  $\Delta P_0 = f(U_0^2)$ . Hodnoty potrebné pre vykreslenie závislosti berieme z Tab. 4, pričom je potrebné dať si pozor na kvadrát napätia  $U_0$ .



Obr. 5: Kvadratická extrapolácia strát naprázdno z nameraných veličín

Z extrapolovaného priebehu odčítame hodnoty strát v železe  $\Delta P_{\text{Fe}}$  pre rôzne hodnoty napätia  $U_0$ . Hodnoty zapíšeme do Tab. 5.

Tab. 5: Tabuľka odčítaných hodnôt z kvadratickej extrapolácie strát naprázdno

$U_0$ (V)										
$\Delta P_{\text{Fe}}$ (W)										

Z priebehov na Obr. 3 a Obr. 5 odčítame pre nominálnu hodnotu napätia  $U_0$  veličiny:

$$\begin{array}{ll}
 I_0 = & \cos \varphi_0 = \\
 P_m = & \Delta P_{\text{Fe}} =
 \end{array}$$



## 5 Meranie asynchrónneho motora nakrátko

Meraním motora v stave nakrátko zisťujeme prúd statora nakrátko  $I_k$ , príkon motora nakrátko  $P_k$  a účinník nakrátko  $\cos \varphi_k$ . Schéma zapojenia je rovnaká ako pri meraní motora vchode naprázdno, avšak rotor stroja je zabrzdený. Statorové vinutie napájame súmerným zníženým napätím tak, aby hodnota prúdu nakrátko neprekročila  $I_k \approx 1,1 I_{1N}$ . Pri meraní postupujeme od najvyššej hodnoty smerom nadol. Namerané hodnoty zapisujeme do Tab. 6.

Tab. 6: Namerané hodnoty asynchrónneho motora nakrátko

$U_U$ (V)	$U_V$ (V)	$U_W$ (V)	$I_U$ (A)	$I_V$ (A)	$I_W$ (A)	$P_U$ (W)	$P_V$ (W)	$P_W$ (W)

Z nameraných hodnôt vypočítame:

a) Napätie nakrátko:

$$U_k = \frac{U_U + U_V + U_W}{3} = \quad (14)$$

b) Prúd nakrátko:

$$I_k = \frac{I_U + I_V + I_W}{3} = \quad (15)$$

c) Prúd nakrátko:

$$P_k = P_U + P_V + P_W = \quad (16)$$

d) Účinník nakrátko:

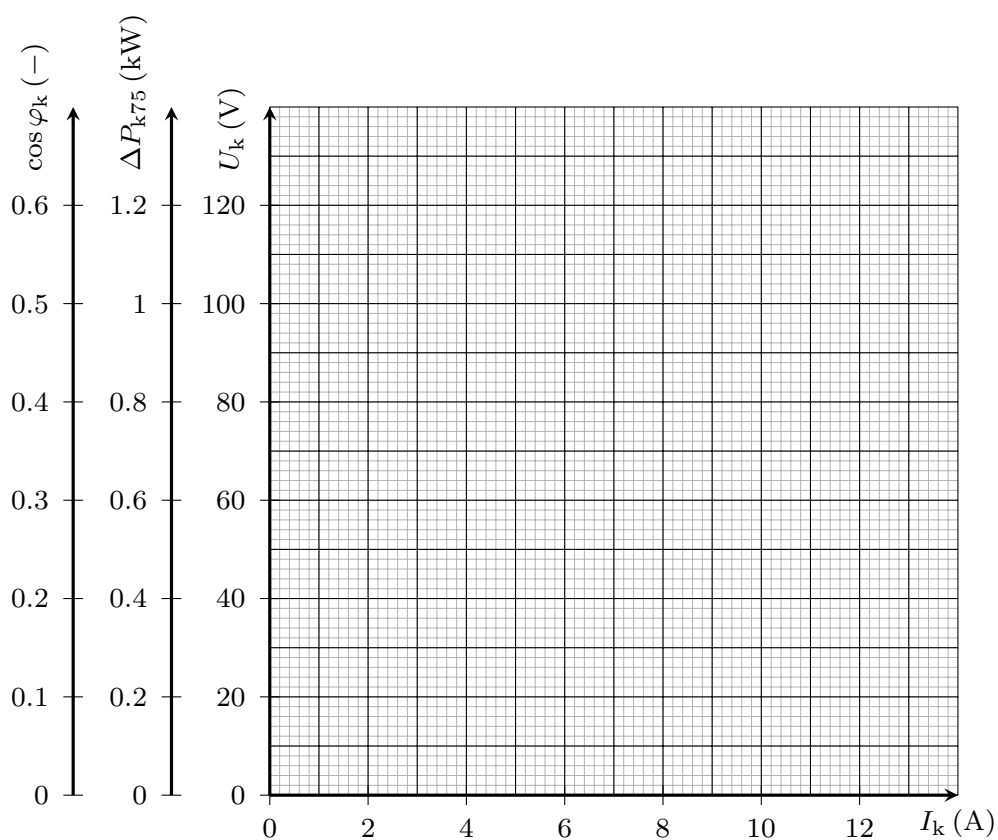
$$\cos \varphi_k = \frac{P_k}{3U_k I_k} = \quad (17)$$

Vypočítané hodnoty zapisujeme do Tab. 7.

Tab. 7: Vypočítané hodnoty asynchrónneho motora nakrátko

$U_U$ (V)	$U_V$ (V)	$U_W$ (V)	$P_W$ (W)

Na základe hodnôt z Tab 7 vynesieme priebehy vypočítaných veličín do rastra na Obr. 6 ako funkciu prúdu nakrátko  $I_k$ . Na Obr. 13 sú znázornené tvary priebehov veličín nakrátko.



Obr. 6: Meranie nakrátko

Z priebehov na Obr. 6 odčítame pre nominálnu hodnotu prúdu  $I_k$  veličiny:

$$U_k = \quad \cos \varphi_k =$$

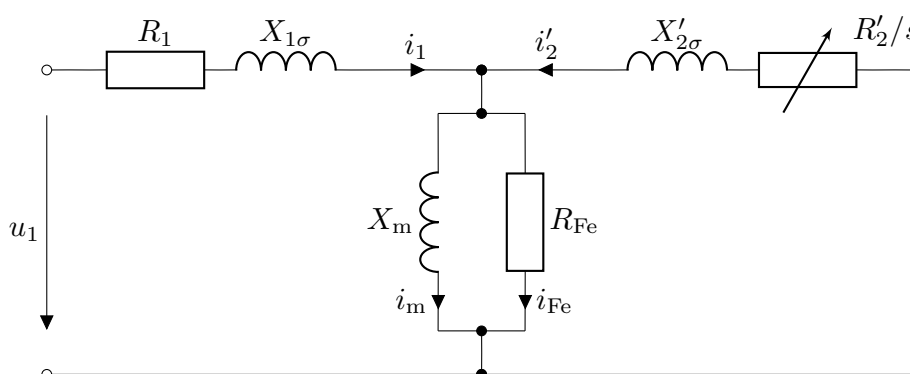
$$\Delta P_k =$$

Z priebehu  $U_k = f(I_k)$  môžeme určiť nominálny skratový prúd, t. j. prúd, ktorý by tiekol satorovým vinutím pri napájaní nominálnym napätím. Priebeh napätia linearizujeme a určíme priesečník na osi  $U'_k$  (viď Obr. 13). Prúd nakrátko pri nominálnom napätí určíme výpočtom:

$$I_{kN} = \frac{U_N - U'_k}{U_k - U'_k} I_{1N} = \quad (18)$$

## 6 Určenie parametrov náhradnej schémy

Úplná náhradná schéma asynchrónneho motora s kotvou krúžkovou je na Obr. 7.



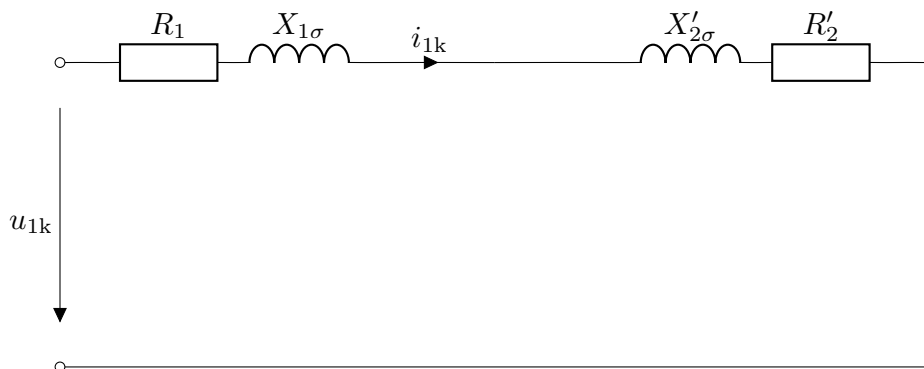
Obr. 7: Náhradná schéma asynchrónneho stroja

Výpočet parametrov náhradnej schémy urobíme za predpokladov:

- Rozptylové reaktancie satorových a rotorových vinutí sú rovnaké  $X_{1\sigma} = X'_{2\sigma}$
- V náhradnej schéme, ktorá odpovedá stavu nakrátko zanedbáme  $R_{Fe}$  a  $X_m$ , pretože ich hodnoty sú viacnásobne väčšie ako ohmické odpory a rozptylové reaktancie vinutí.
- V náhradnej schéme, ktorá odpovedá chodu naprázdno pokladáme rotorový prúd  $I_2 = 0$ , pretože rýchlosť stroja sa len minimálne odlišuje od synchronnej otáčavej rýchlosti – sklz je prakticky nulový.

### Výpočet parametrov z merania nakrátko

Náhradná schéma asynchrónneho stroja nakrátko je zobrazená na Obr. 8.



Obr. 8: Náhradná schéma asynchrónneho stroja nakrátko

Z doposiaľ nameraných a vypočítaných hodnôt vypočítame:

a) Odpor rotorového vinutia prepočítaný na stator:

$$R'_2 = a^2 R_2 = \quad (19)$$

b) Odpor rotorového vinutia prepočítaný na stator:

$$R_k = R_1 + R'_2 = \quad (20)$$

c) Impedanciu nakrátko:

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k} = \quad (21)$$

d) Reaktanciu nakrátko:

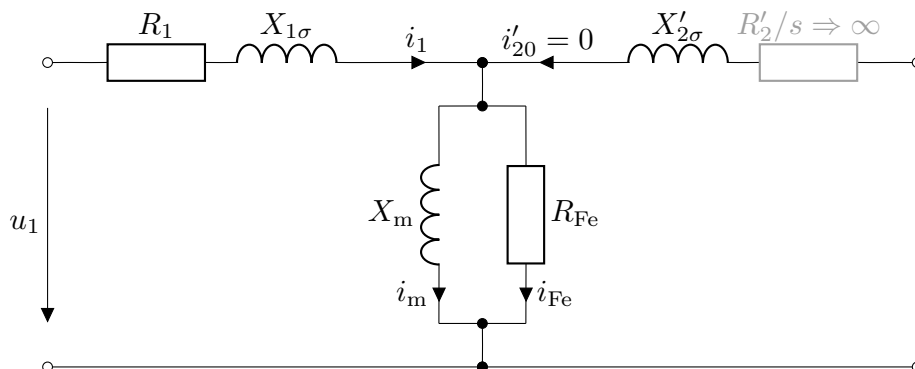
$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \quad (22)$$

e) Rozptylové reaktancie:

$$X_{1\sigma} = X'_{2\sigma} = \frac{X_k}{2} = \quad (23)$$

## Výpočet parametrov z merania naprázdno

Náhradná schéma asynchrónneho stroja naprázdno je zobrazená na Obr. 9.



Obr. 9: Náhradná schéma asynchrónneho stroja naprázdno

Z doposiaľ nameraných a vypočítaných hodnôt vypočítame:

a) Impedanciu naprázdno:

$$Z_0 = \frac{U_N}{I_0} = \quad (24)$$

b) Magnetizačný prúd:

$$I_m = I_0 \sin \varphi_0 = \quad (25)$$

c) Magnetizačnú reaktanciu:

$$X_m = \frac{U_N}{I_m} = \quad (26)$$

d) Pre straty v železe platí vzťah  $\Delta P_{Fe} = 3R_{Fe}I_{Fe}^2$ . Po úprave pre ekvivalentný odpor strát v železe platí:

$$R_{Fe} = 3 \frac{U_{i0}^2}{\Delta P_{Fe}} \approx 3 \frac{U_{Nf}^2}{\Delta P_{Fe}} = \quad (27)$$

## 7 Zatažovanie asynchrónneho motora

Pri zatažovaní má motor pracovať za rovnakých podmienok ako v prevádzke. Motor môžeme zatažovať dynamometrom, brzdou alebo derivačným dynamom, ktoré pracuje do odporov. Zatažujeme od najvyšších hodnôt smerom k najnižším, aby sa teplota stroja počas merania menila čo najmenej. Napätie pri zatažovaní udržiavame na konštantnej hodnote.

Asynchrónny motor budeme zatažovať od hodnoty  $M_p \approx 1,2 M_N$  smerom nadol. Aby sme sa vyhli prúdovému nárazu pri spúšťaní, pripojíme stroj na znížené napätie, ktoré postupne zvýšime na nominálnu hodnotu. Pri konštantnom nominálnom napätí  $U_1 = U_{1N}$  meriame prúdy a príkon vo všetkých troch fázach motora, záťažový moment ako aj otáčky motora.

Pred meraním si odmeriame napájacie napätie:

$$U_{1N} =$$

Namerané hodnoty zapisujeme do Tab. 8.

Tab. 8: Tabuľka nameraných hodnôt

$I_U$ (A)	$I_V$ (A)	$I_W$ (A)	$P_U$ (W)	$P_V$ (W)	$P_W$ (W)	$M_p$ (Nm)	$n$ (ot/min)

Z nameraných priebehov vypočítame:

a) Prúd motora:

$$I_1 = \frac{I_U + I_V + I_W}{3} = \quad (28)$$

b) Príkon:

$$P_1 = P_U + P_V + P_W = \quad (29)$$

c) Uhlovú rýchlosť:

$$\omega_m = \frac{2\pi n}{60} = \frac{n}{9,55} = \quad (30)$$

d) Mechanický výkon motora:

$$P_2 = M\omega_m = \quad (31)$$

e) Účinník:

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{3U_{1N}I_1} = \quad (32)$$

f) Sklz:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \quad (33)$$

g) Účinnosť:

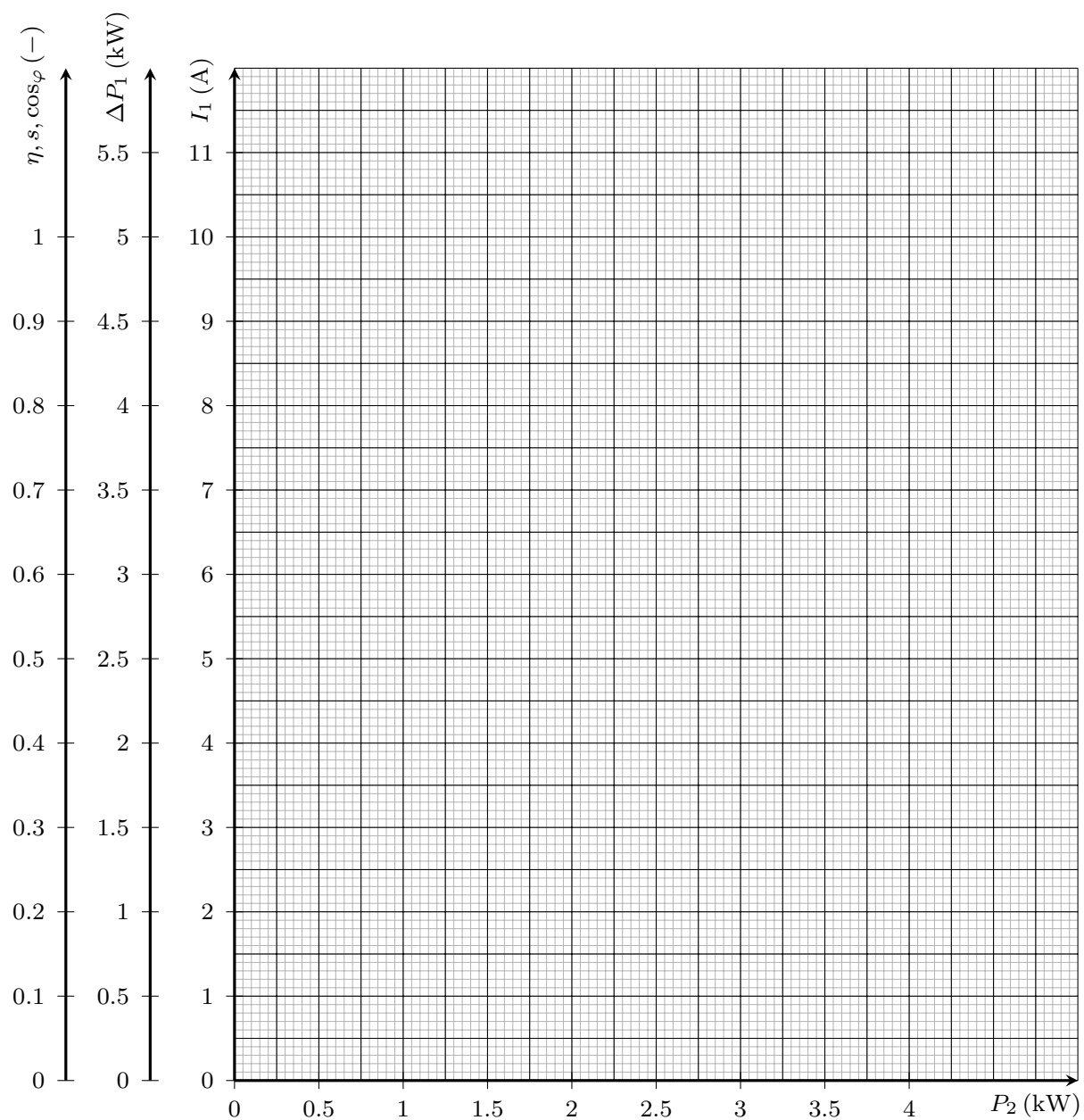
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \quad (34)$$

Vypočítané hodnoty zapisujeme do Tab. 9.

Tab. 9: Tabuľka vypočítaných hodnôt

$I_1$ (A)	$P_1$ (W)	$\omega_m$ (rad/s)	$P_2$ (W)	$\cos \varphi$ (—)	$s$ (—)	$\eta$ (—)

Priebehy vypočítaných hodnôt vynesieme graficky do rastra na Obr. 10.



Obr. 10: Meranie záťažových charakteristík motora



## 8 Meranie momentovej charakteristiky pri zníženom napätí

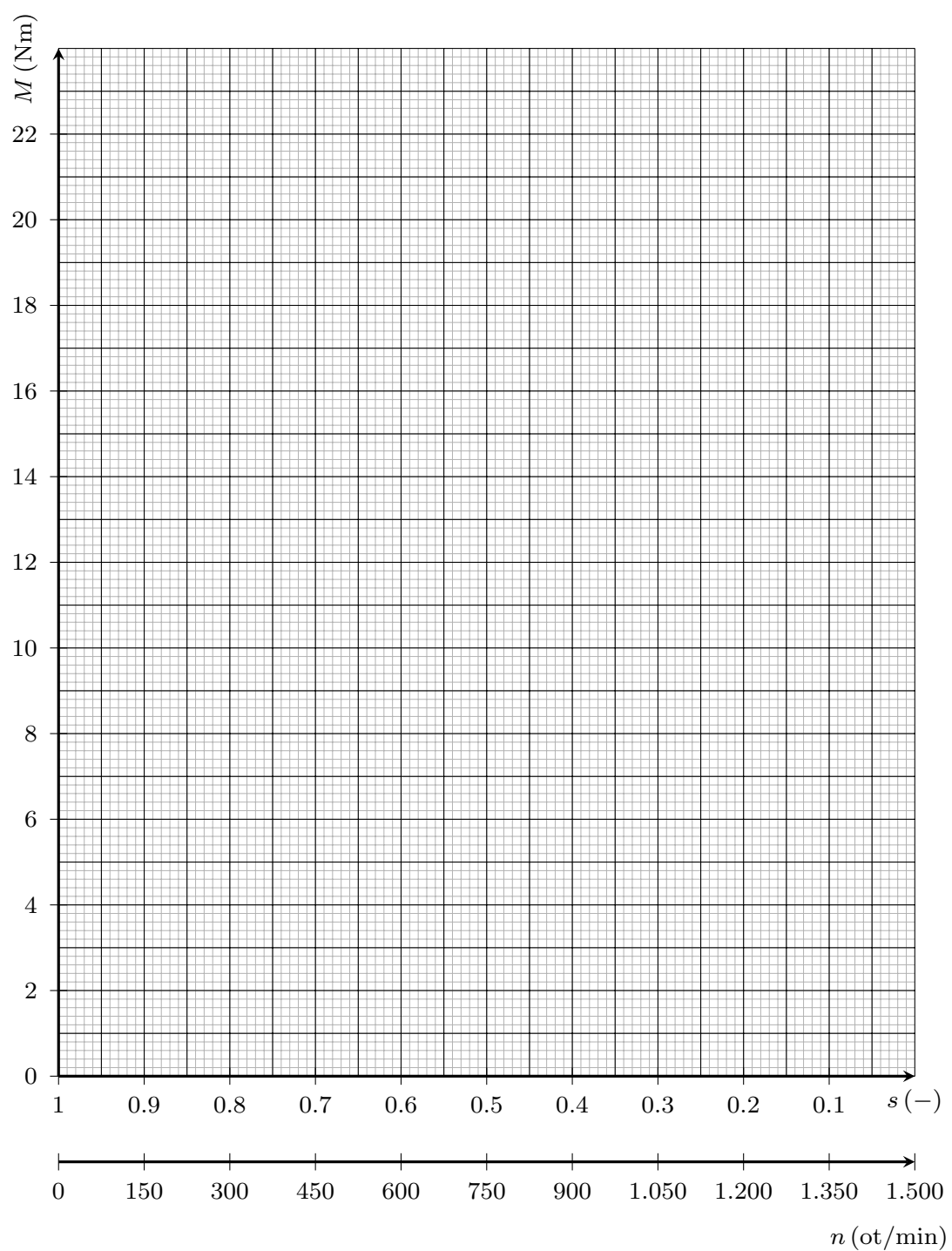
Schéma zapojenia zostáva rovnaká ako pri záťažovej skúške. Napájacie napätie nastavíme na hodnotu  $U_1 \approx UN/2$ . Pri meraní odčítavame moment a otáčky. Súčasne sledujeme, aby prúdy v jednotlivých fázach neboli väčšie ako  $1,5 I_{1N}$ . Tým istým spôsobom odmeriame aj druhú statickú charakteristiku pri napätí  $U_1 \approx U_N/3$ . Namerané hodnoty zapisujeme do Tab. 10 a Tab. 11.

Tab. 10: Tabuľka nameraných hodnôt

$U_1 =$ (V)									
$M$ (Nm)									
$n$ (ot/min)									
$s$ (-)									

Tab. 11: Tabuľka nameraných hodnôt

$U_1 =$ (V)									
$M$ (Nm)									
$n$ (ot/min)									
$s$ (-)									



Obr. 11: Namerané momentové charakteristiky pri zníženom napätí

## 9 Výpočet momentovej charakteristiky pri zmene napätia

Z parametrov náhradnej schémy nakrátko môžeme vypočítať momentovú charakteristiku asynchrónneho motora  $M = f(s)$  pri nominálnom, polovičnom a tretinovom napätí.

Moment asynchrónneho motora vypočítame ako:

$$M = \frac{3}{\omega_s} \frac{R'_2}{s} \frac{U_1^2}{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_k^2} = \quad (35)$$

kde synchronná rýchlosť je daná:

$$\omega_s = \frac{2\pi f}{p} = \quad (36)$$

Vypočítané hodnoty momentu zapisujeme do Tab. 12.

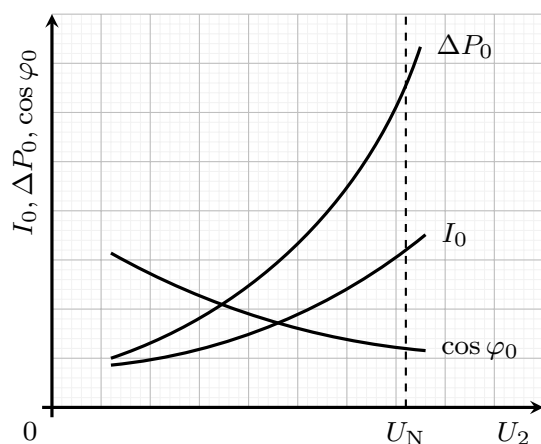
Tab. 12: Tabuľka vypočítaných hodnôt

		$s(-)$										
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$M(\text{Nm})$	$U_1 = 220 \text{ V}$											
	$U_1 = 110 \text{ V}$											
	$U_1 = 75 \text{ V}$											

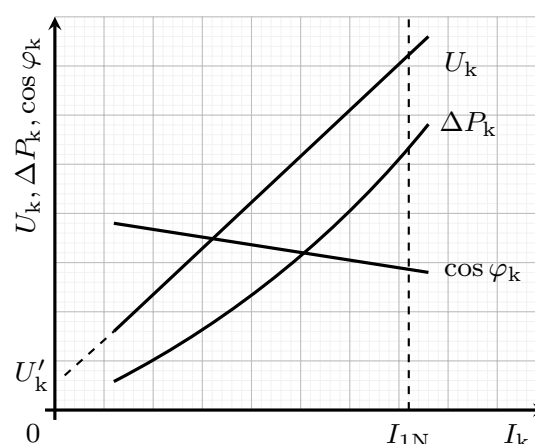
Vypočítané hodnoty momentových charakteristík vynesieme graficky do rastra na Obr. 14.

## Charakteristiky asynchrónneho motora

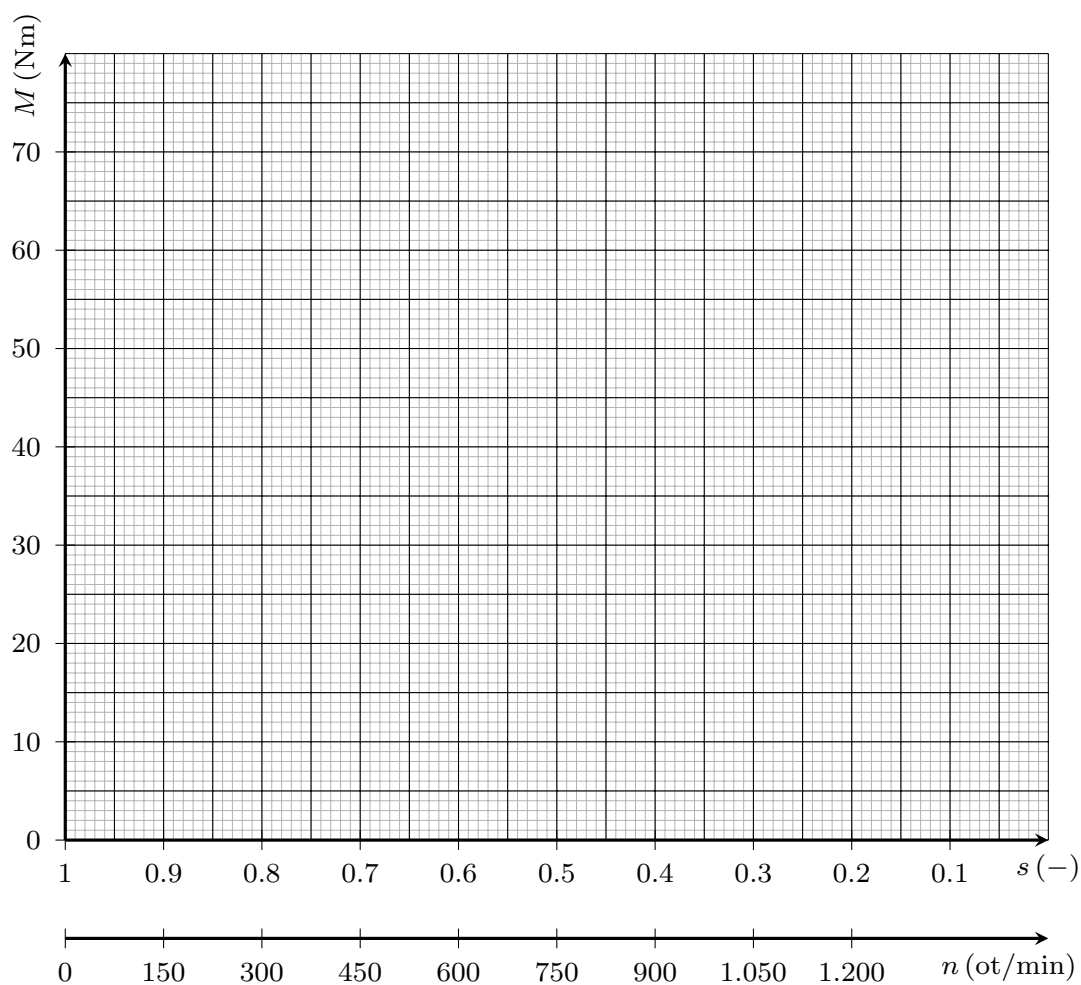
Na Obr. 12 až 13 sú zobrazené základné charakteristiky asynchrónneho motora.



Obr. 12: Meranie naprázdno



Obr. 13: Merania nakrátko



Obr. 14: Vypočítané momentové charakteristiky

#### Poznámka o úprave

Tento dokument vznikol ako revízia pôvodného dokumentu:

Názov: **Návody na cvičenia z elektrických strojov**  
 Autori: prof. Ing. Pavel Záskalický, CSc., Ing. Ján Kaňuch, PhD.  
 Vydavateľ: Technická univerzita v Košiciach  
 Rok: 2016  
 ISBN: 978-80-553-2579-8

Revízia zahŕňa opravy chýb a malé úpravy obsahu pôvodného dokumentu.