

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

Meranie na asynchrónnom motore

Meranie č. 1

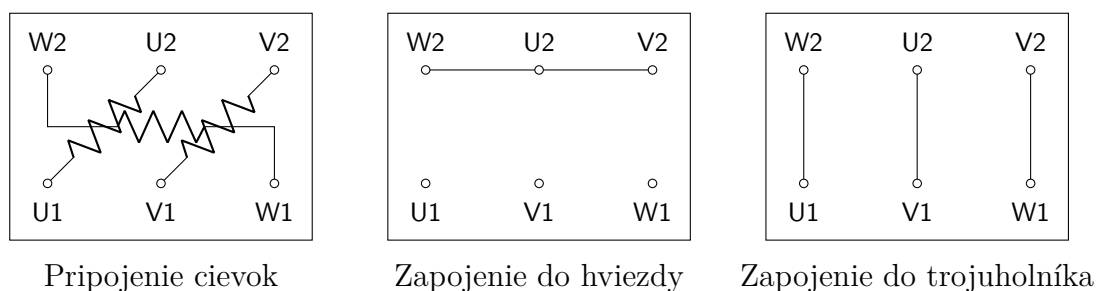
Meno a priezvisko:

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 (Δ), 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:

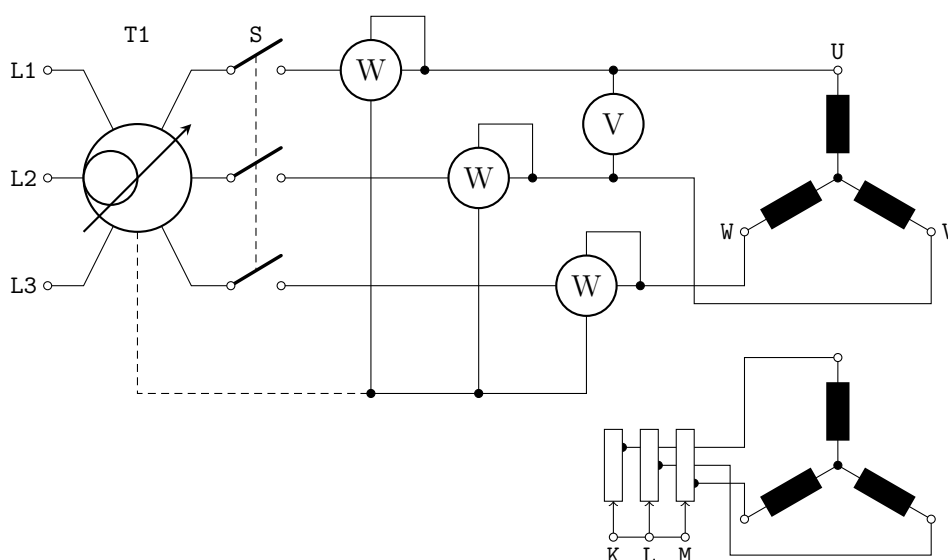
$$U_{2av} = \frac{U_{KL} + U_{LM} + U_{MK}}{3} = \quad (6)$$

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 ΔP_{Fe} a mechanické straty ΔP_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:

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

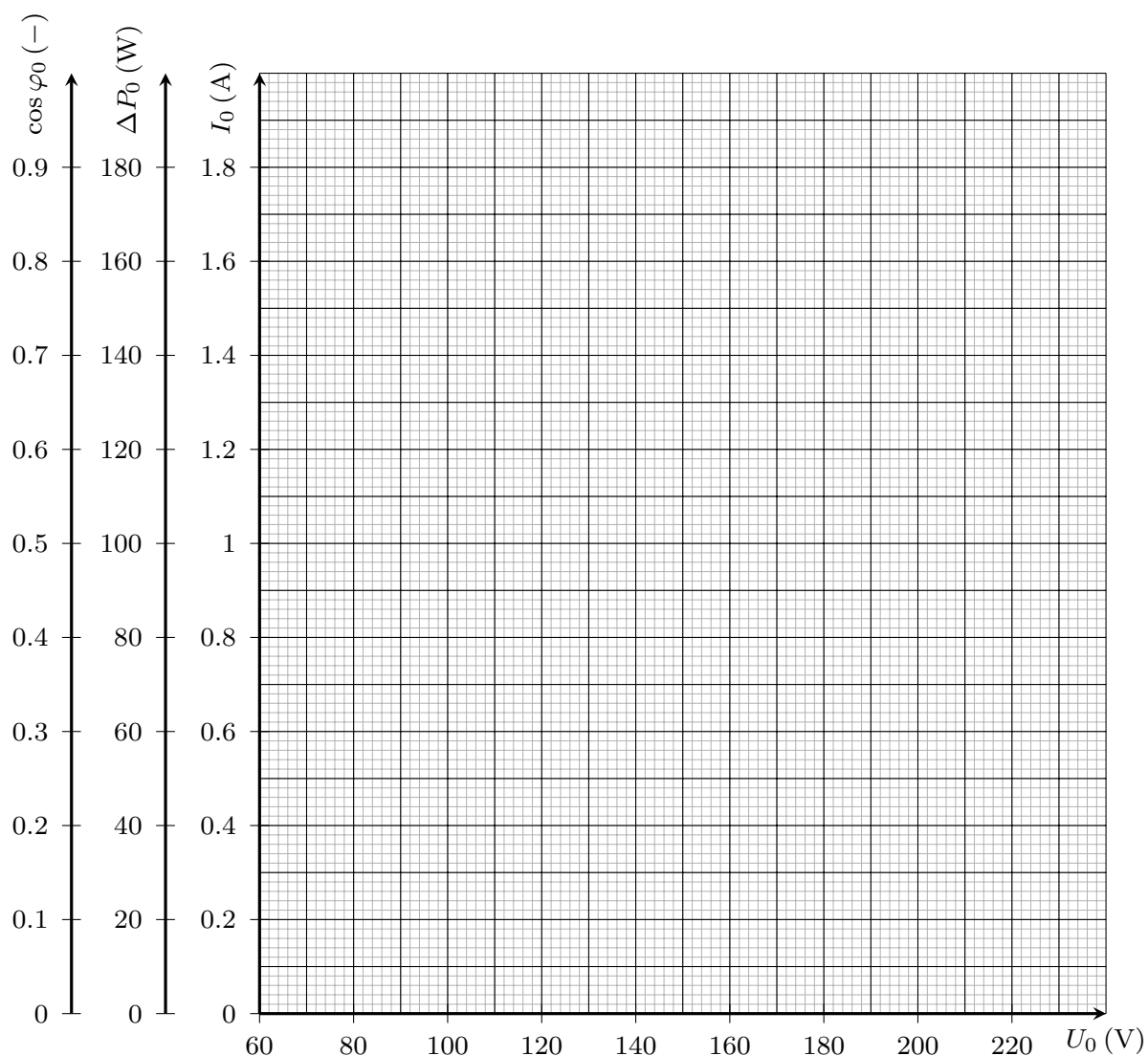
f) Účinník naprázdno:

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

Vypočítané hodnoty zapisujeme do Tab. 4. Vypočítané hodnoty vynesieme do rastra na Obr. 3. Typické tvary priebehov vypočítaných veličín naprázdno sú uvedené na Obr. 14.

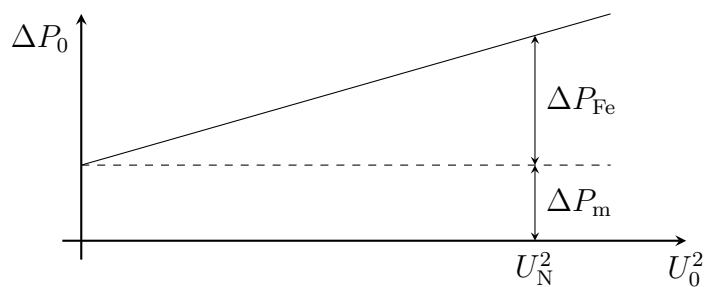
Tab. 4: Vypočítané hodnoty asynchrónneho motora naprázdno

U_0 (V)	I_0 (A)	P_0 (W)	ΔP_{Cu0} (W)	P_0 (W)	$\cos \varphi_0$ (-)	U_0^2 (V ²)



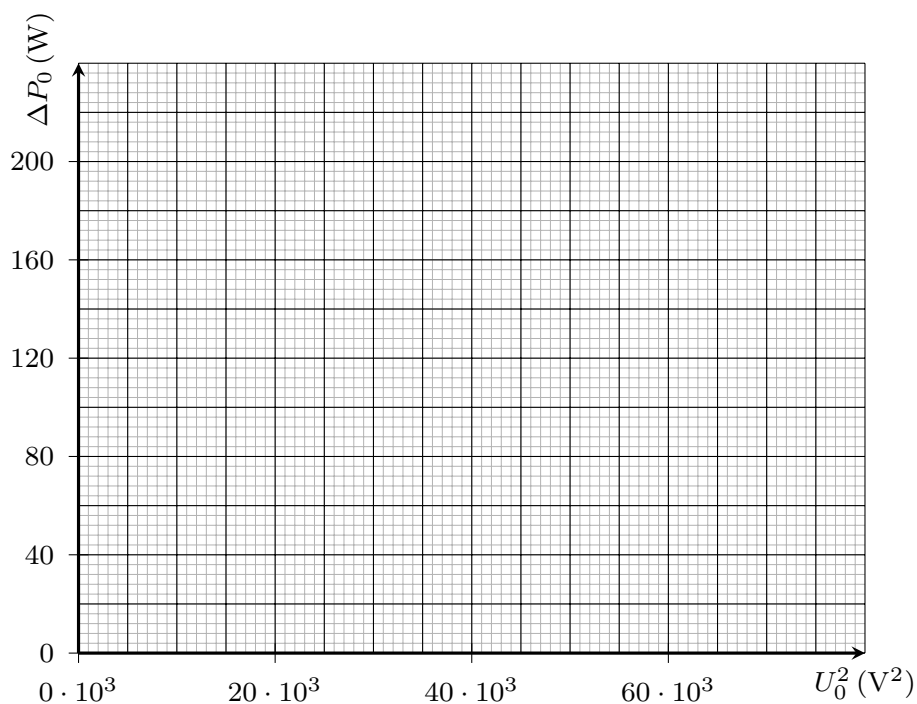
Obr. 3: Meranie naprázdno

Straty naprázdno ΔP_0 sa delia na straty v železe ΔP_{Fe} a straty mechanické ΔP_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 ΔP_{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)										
ΔP_{Fe} (W)										

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

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

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) Príkon nakrátko:

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

d) Účinník nakrátko:

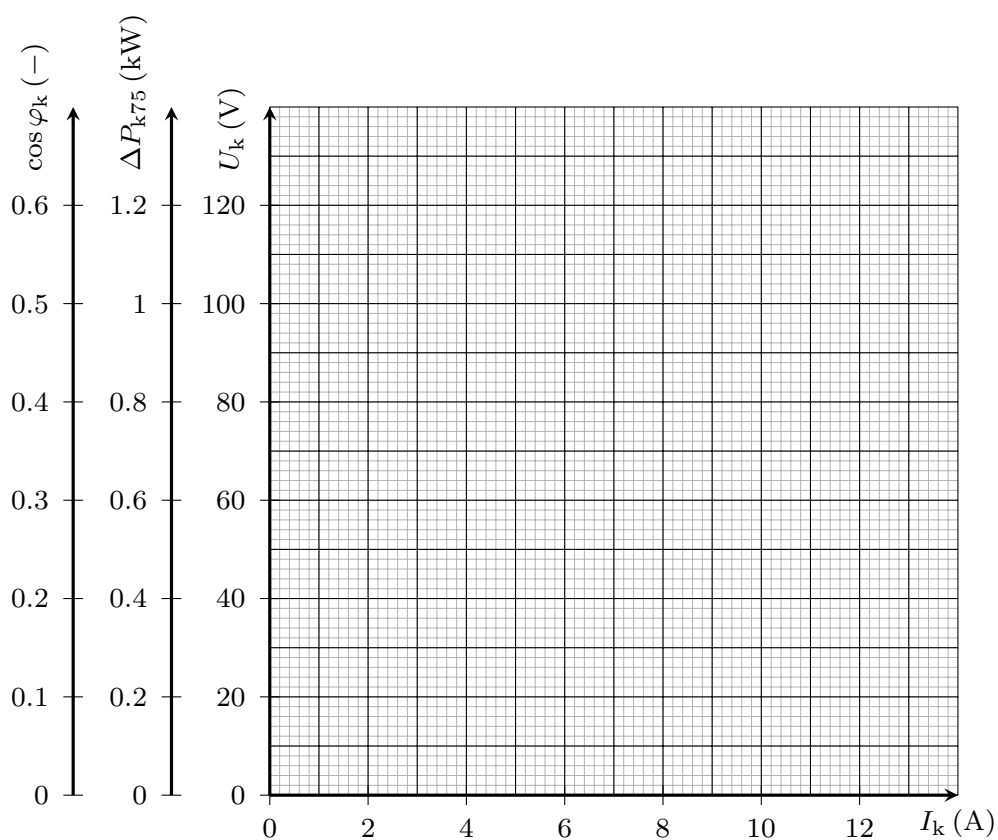
$$\cos \varphi_k = \frac{P_k}{3U_k I_k} = \quad (17)$$

Vypočítané hodnoty zapisujeme do Tab. 7.

Tab. 7: Vypočítané hodnoty asynchrónneho motora nakrátko

U_k (V)	I_k (A)	P_k (W)	$\cos \varphi_k$ (—)

Na základe hodnôt z Tab 7 vynesieme priebehy vypočítaných veličín do rastra na Obr. 6 ako funkciu prúdu nakrátko I_k . Na Obr. 15 sú znázornené tvary priebehov veličín nakrátko.



Obr. 6: Meranie nakrátko

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

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

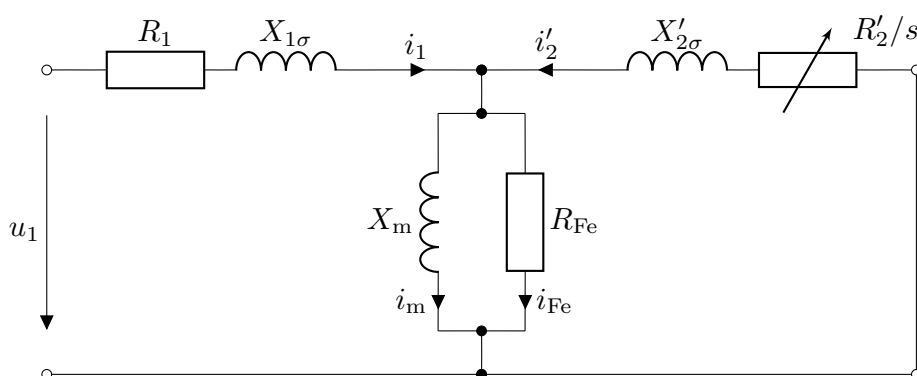
$$\Delta P_k =$$

Z priebehu $U_k = f(I_k)$ môžeme určiť nominálny skratový prúd, t.j. prúd, ktorý by tiekol statorovým vinutím pri napájaní nominálnym napätím. Priebeh napätia linearizujeme a určíme priesečník na osi U'_k (viď Obr. 15). 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.



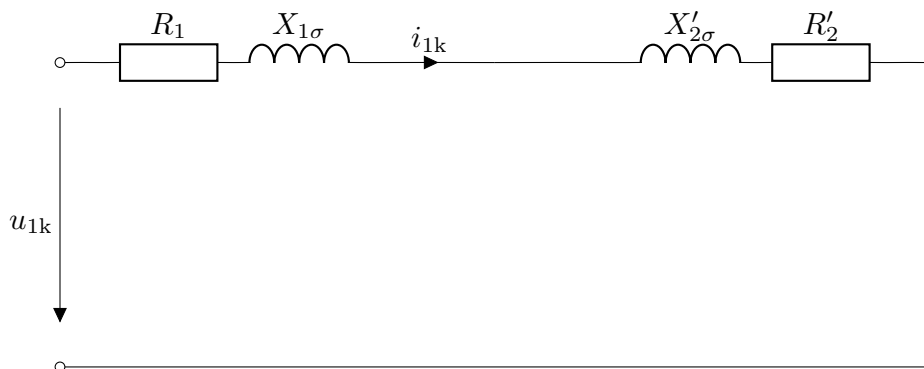
Obr. 7: Náhradná schéma asynchrónneho stroja

Výpočet parametrov náhradnej schémy urobíme za predpokladov:

- Rozptylové reaktancie statorových 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:

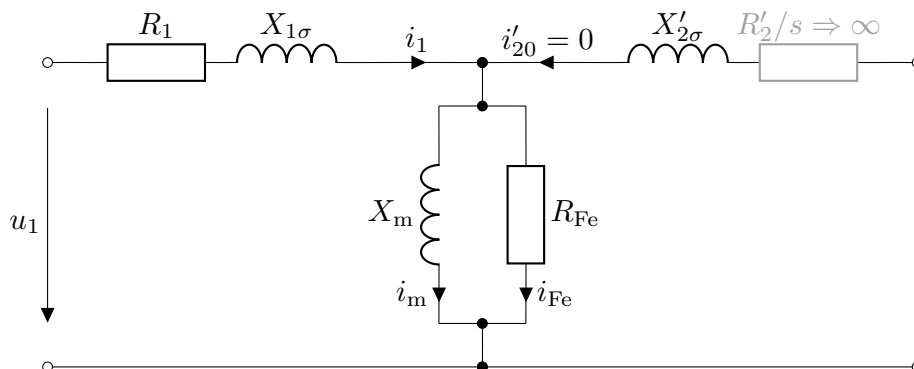
$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \quad (22)$$

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:

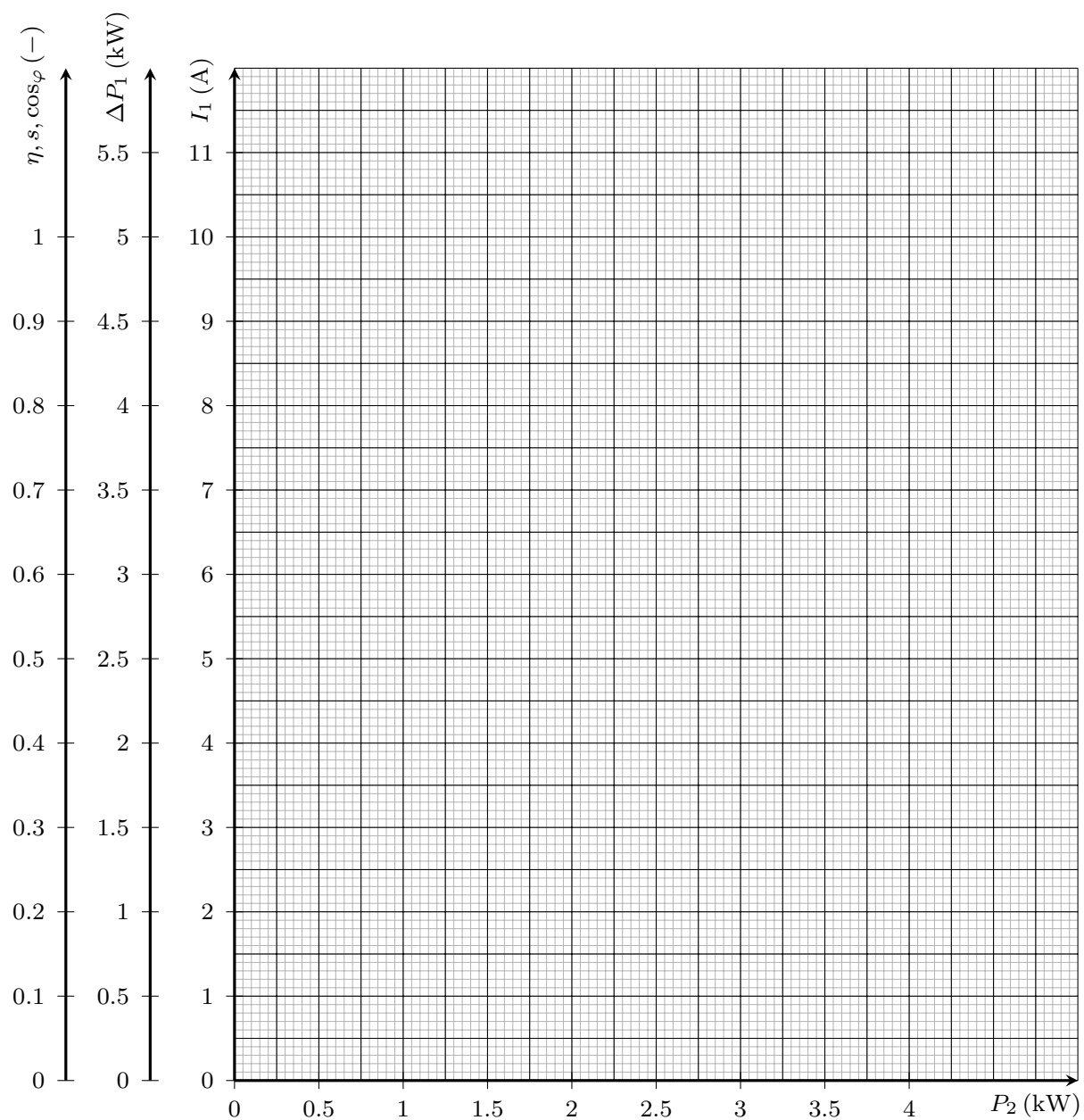
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \quad (34)$$

Vypočítané hodnoty zapisujeme do Tab. 9.

Tab. 9: Tabuľka vypočítaných hodnôt

I_1 (A)	P_1 (W)	ω_m (rad/s)	P_2 (W)	$\cos \varphi$ (—)	s (—)	η (—)

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



Obr. 10: Meranie záťažových charakteristík motora

8 Meranie momentovej charakteristiky pri zníženom napätí

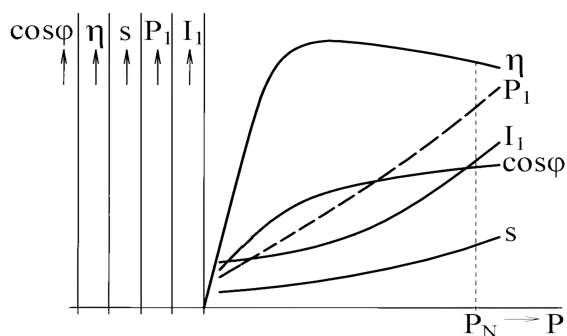
Schéma zapojenia zostáva rovnaká ako pri záťažovej skúške. Napájacie napätie nastavíme na hodnotu $U_1 \approx UN/2$. Pri meraní odčítavame moment a otáčky. Súčasne sledujeme, aby prúdy v jednotlivých fázach neboli väčšie ako $1,5 I_{1N}$. Tým istým spôsobom odmeriame aj druhú statickú charakteristiku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

Tab. 10: Tabuľka nameraných hodnôt

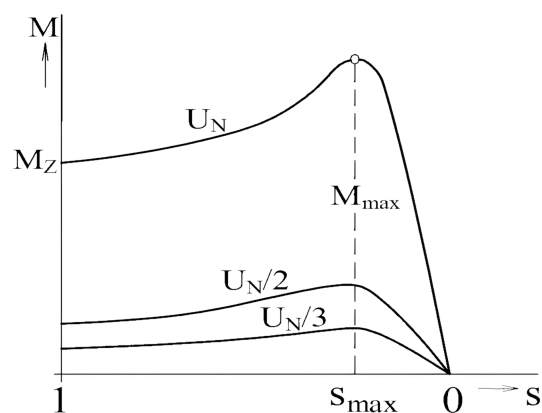
	$U_1 = \quad (V)$								
$M \text{ (Nm)}$									
$n \text{ (ot/min)}$									
$s \text{ (-)}$									

Tab. 11: Tabuľka nameraných hodnôt

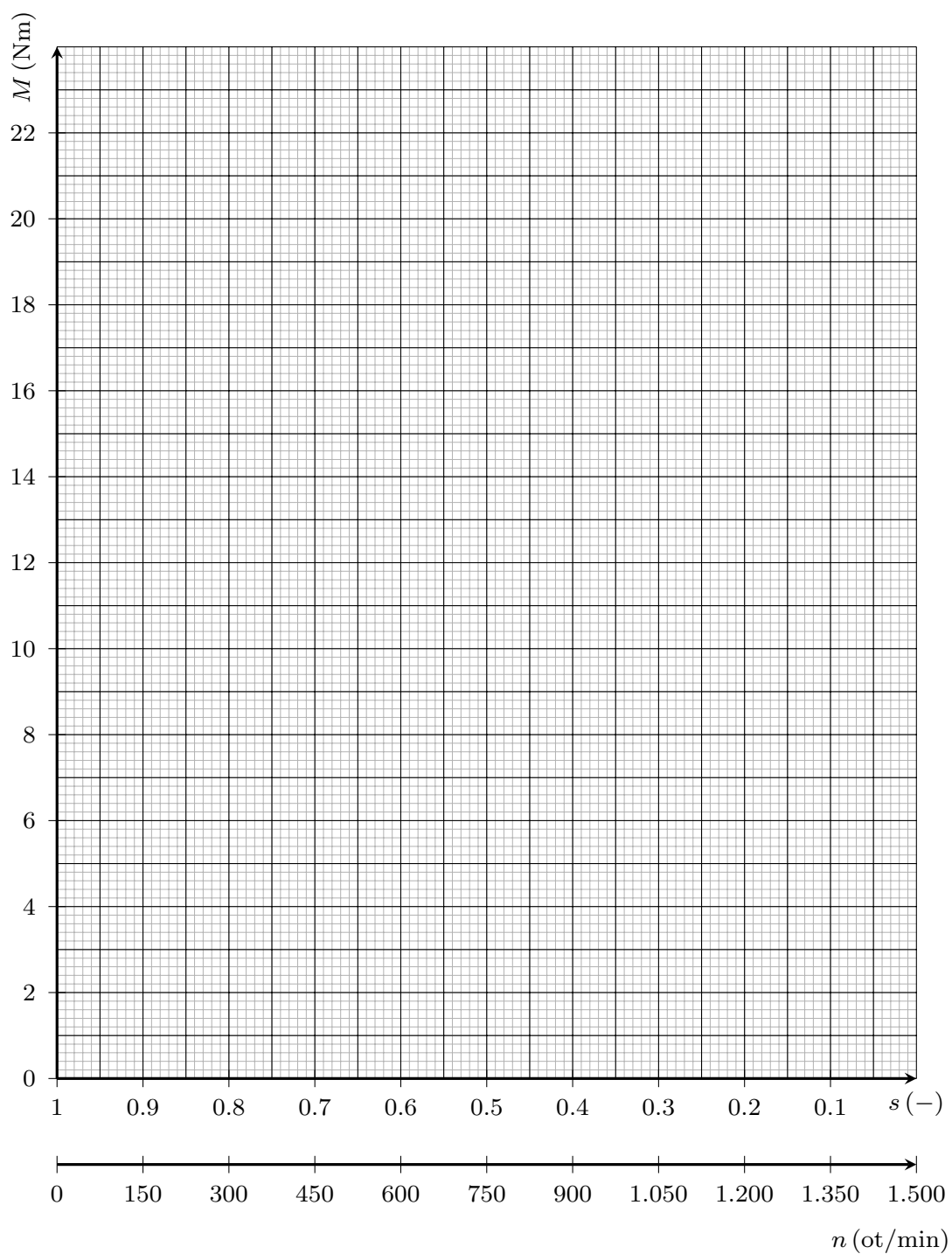
	$U_1 = \quad (V)$								
$M \text{ (Nm)}$									
$n \text{ (ot/min)}$									
$s \text{ (-)}$									



Obr. 11: Charakteristiky asyn. motora



Obr. 12: Momentové charakteristiky



Obr. 13: 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.

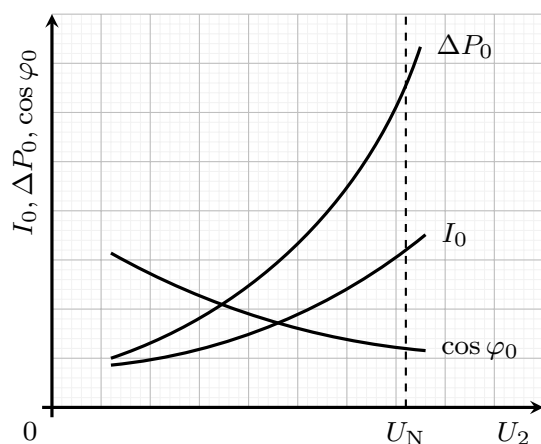
Tab. 12: Tabuľka vypočítaných hodnôt

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

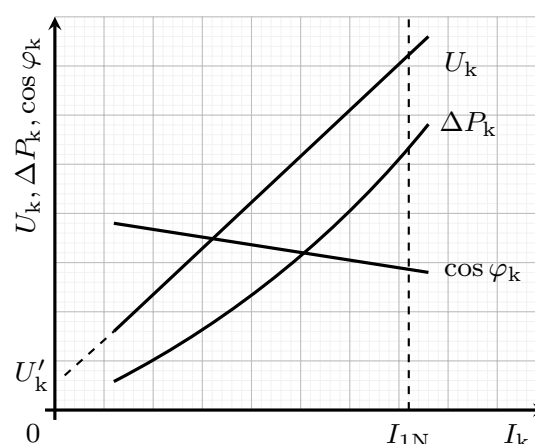
Vypočítané hodnoty momentových charakteristík vynesieme graficky do rastra na Obr. 16.

Charakteristiky asynchrónneho motora

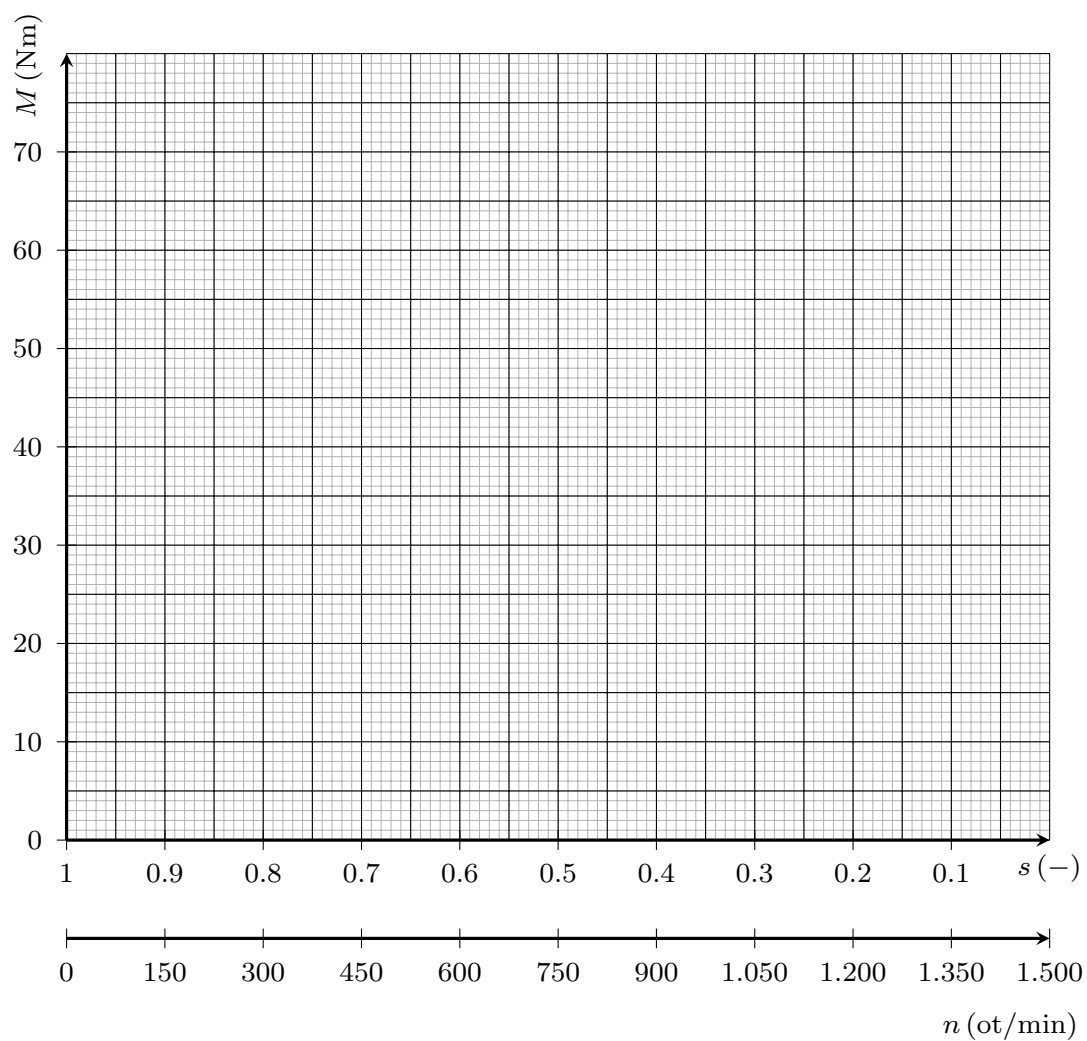
Na Obr. 14 až 15 sú zobrazené základné charakteristiky asynchrónneho motora.



Obr. 14: Meranie naprázdno



Obr. 15: Merania nakrátko



Obr. 16: 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.