

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

## **Meranie na synchrónnom stroji**

Meranie č. 2

Meno a priezvisko:

Skupina:

Akademický rok:

# 1 Úvod

Merania a vyhodnotenia, ktoré sa urobia na synchrónnom stroji:

- Meranie odporov vinutí.
- Meranie charakteristík naprázdno a nakrátko.
- Určenie parametrov náhradnej schémy.
- Pripojenie a zaťažovanie synchrónneho stroja na tvrdej sieti.

Merania sa urobia na synchrónnom stroji, pričom z výrobného štítku motora určíme:

a) zdanlivý výkon:

$$S_N =$$

b) počet párov pólov:

$$2p =$$

c) nominálne napätie statora:

$$U_{1N} =$$

d) nominálne napätie rotora:

$$U_{2N} =$$

e) nominálny činný výkon:

$$P_N =$$

f) frekvencia motora:

$$f =$$

g) nominálny prúd statora:

$$I_{1N} =$$

h) nominálny prúd rotora:

$$I_{2N} =$$

i) nominálny účinník:

$$\cos \varphi_N =$$

j) synchrónne otáčky:

$$n_s =$$

## 2 Meranie odporov vinutí

Odpory vinutí meriame miliohmometrom. Statorové vinutia meriame voči nulovému bodu. Výsledky meraní zapisujeme do Tab. 1.

Tab. 1: Meranie odporov vinutia

| Vinutie | $R \ (\Omega)$ | $R_S \ (\Omega)$ | $R_R \ (\Omega)$ |
|---------|----------------|------------------|------------------|
| U       |                |                  |                  |
| V       |                |                  |                  |
| W       |                |                  |                  |

Z nameraných hodnôt odporov statora určíme:

a) odpor fázy statora:

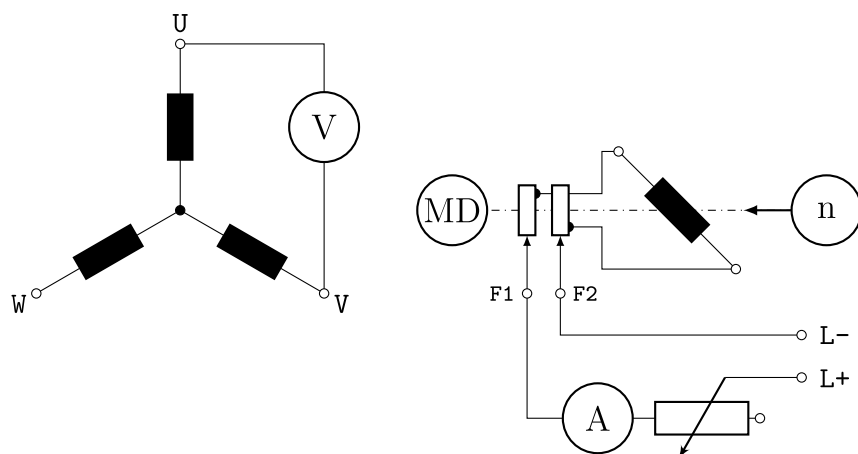
$$R_S = \frac{R_U + R_V + R_W}{3} = \quad (1)$$

### 3 Meranie synchrónneho stroja naprázdno

V chode naprázdno meriame stroj v generátorickom stave. Meraním získame charakteristiku naprázdno  $U_0 = f(I_2)$ . Meriame v prvom kvadrante. Rotor synchrónneho stroja roztočíme jednosmerným motorom na synchrónnu uhlovú rýchlosť:

$$\omega_s = \frac{2\pi n_s}{60} = \frac{n_s}{9,55} = \quad (2)$$

Schéma zapojenia merania naprázdno synchrónneho stroja je uvedená na Obr. 1. Budiaci prúd stroja meníme od nuly do hodnoty odpovedajúcej približne indukovanému napätiu  $1,2 U_N$ . Pre každú hodnotu budiaceho prúdu odčítame indukované napätie a moment na hriadeľ. Namerané hodnoty zapisujeme do Tab. 2.



Obr. 1: Schéma zapojenia synchrónneho stroja pri meraní naprázdno

Tab. 2: Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt z merania naprázdno

| $I_2$ (A) | $U_0$ (V) | $M$ (Nm) | $\Delta P_0$ (W) | $\Delta P_{Fe}$ (W) |
|-----------|-----------|----------|------------------|---------------------|
|           |           |          |                  |                     |
|           |           |          |                  |                     |
|           |           |          |                  |                     |
|           |           |          |                  |                     |
|           |           |          |                  |                     |
|           |           |          |                  |                     |
|           |           |          |                  |                     |
|           |           |          |                  |                     |
|           |           |          |                  |                     |
|           |           |          |                  |                     |

Z nameraných hodnôt vypočítame:

a) straty naprázdno:

$$\Delta P_0 = M\omega_s = \quad (3)$$

b) straty mechanické<sup>1</sup>:

$$\Delta P_m = \quad (4)$$

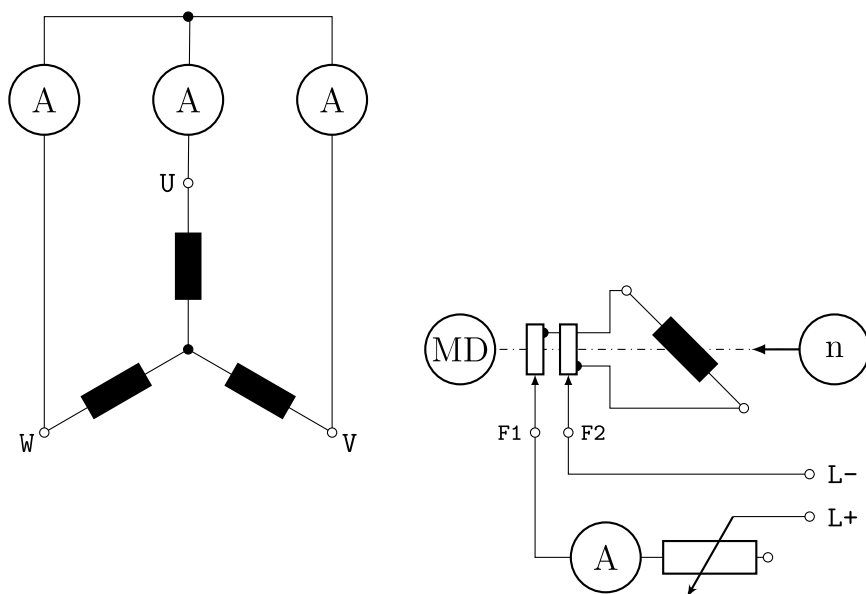
c) straty v železe:

$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_0 - \Delta P_m = \quad (5)$$

Priebeh charakteristiky naprázdno vynesieme do rastra na Obr. 3. Na Obr. 4 je uvedený typický priebeh charakteristiky naprázdno synchrónneho stroja (charakteristika  $U_0$ ).

## 4 Meranie synchrónneho stroja nakrátko

Statorové vinutie skratujeme tromi ampérmetrami, tak ako je to uvedené na Obr. 2. Rotor synchrónneho stroja otáčame dynamometrom rýchlosťou  $\omega_s$ . Postupne zvyšujeme prúd budiaceho vinutia  $I_2$  až do hodnoty odpovedajúcej  $I_{1k} \approx 1,2 I_{1N}$ . Súčasne odčítame moment dynamometra. Namerané hodnoty zapisujeme do Tab. 3. Charakteristika nakrátko je lineárna, nie je potrebný veľký počet meracích bodov. Priebeh charakteristiky nakrátko vynesieme do rastra na Obr. 3.



Obr. 2: Schéma zapojenia synchrónneho stroja pri meraní nakrátko

<sup>1</sup>Mechanické straty  $\Delta P_m$  sú rovné stratám naprázdno  $\Delta P_0$  pre  $I_2 = 0$ .

Tab. 3: Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt z merania nakrátko

| $I_2$<br>(A) | $I_U$<br>(A) | $I_V$<br>(A) | $I_W$<br>(A) | $M$<br>(Nm) | $I_k$<br>(A) | $\Delta P_k$<br>(W) | $\Delta P_{Cu}$<br>(W) | $\Delta P_{Cu75}$<br>(W) |
|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------------|------------------------|--------------------------|
|              |              |              |              |             |              |                     |                        |                          |
|              |              |              |              |             |              |                     |                        |                          |
|              |              |              |              |             |              |                     |                        |                          |
|              |              |              |              |             |              |                     |                        |                          |
|              |              |              |              |             |              |                     |                        |                          |
|              |              |              |              |             |              |                     |                        |                          |
|              |              |              |              |             |              |                     |                        |                          |

Z nameraných hodnôt vypočítame:

a) straty nakrátko:

$$\Delta P_k = M\omega_s = \quad (6)$$

b) straty mechanické<sup>2</sup>:

$$\Delta P_m = \quad (7)$$

c) straty vo vinutí pri teplote okolia  $\vartheta_0 = \text{_____}^\circ\text{C}$ :

$$\Delta P_{Cu} = \Delta P_k - \Delta P_m = \quad (8)$$

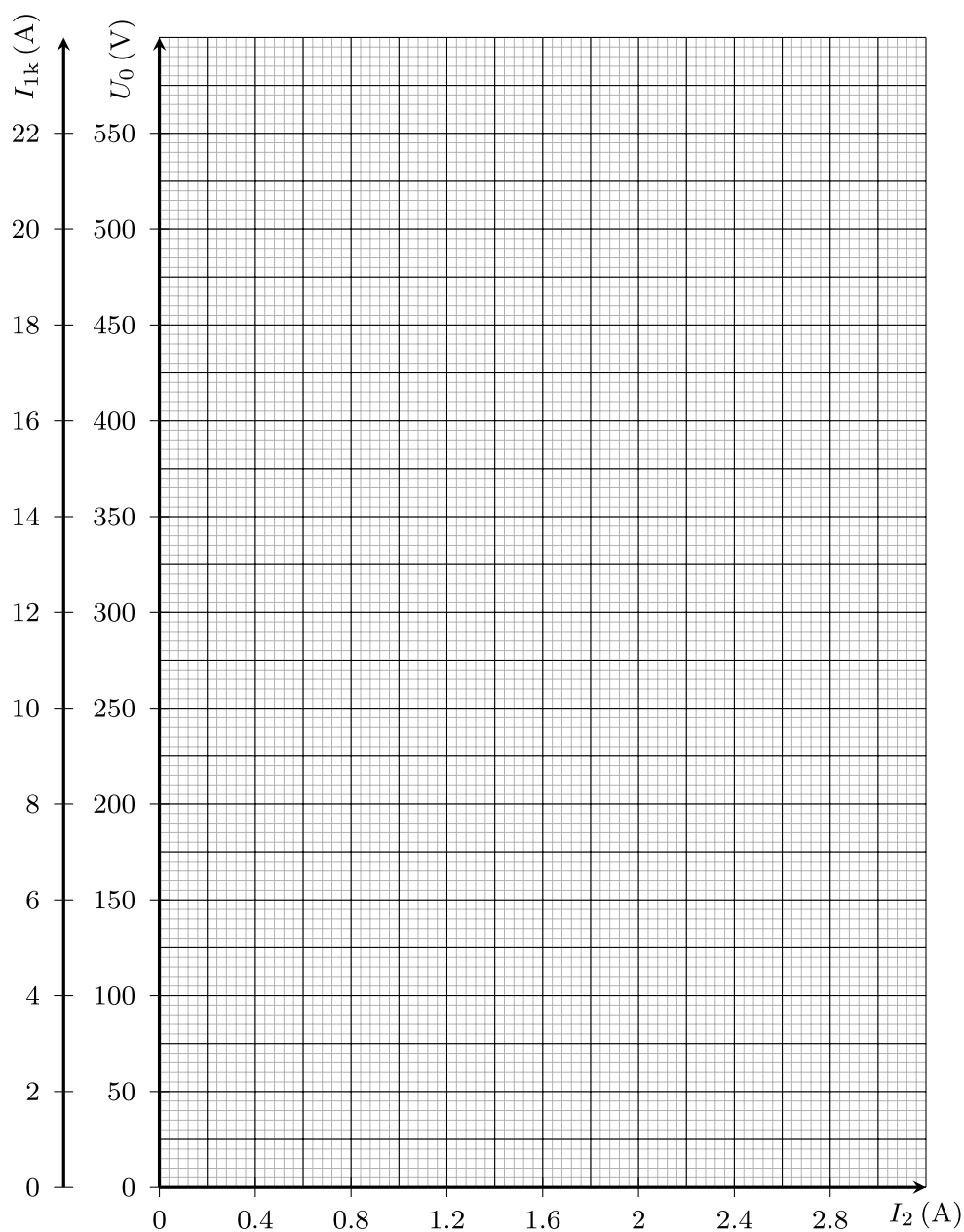
d) straty v medi prepočítané na teplotu  $\vartheta = 75^\circ\text{C}$ :

$$\Delta P_{Cu75} = \Delta P_{Cu} \frac{235 + 75}{235 + \vartheta_0} = \quad (9)$$

Na Obr. 4 je uvedený typický priebeh charakteristiky nakrátko synchrónneho stroja (charakteristika  $I_{lk}$ ).

---

<sup>2</sup>Mechanické straty  $\Delta P_m$  sú rovné stratám nakrátko  $\Delta P_k$  pre  $I_2 = 0$ .



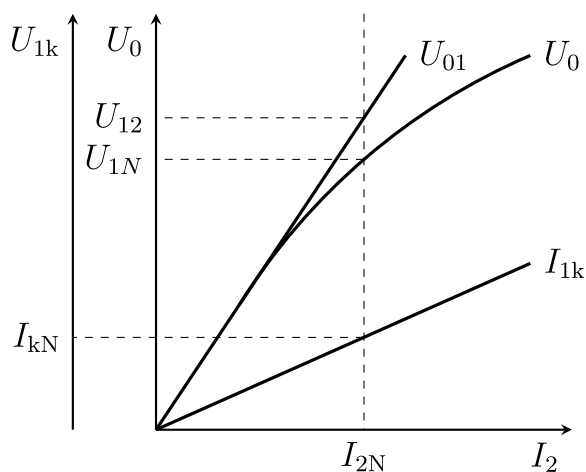
Obr. 3: Meranie naprázdno a nakrátko

## 5 Určenie synchronnej reaktancie

Z charakteristiky naprázdno  $U_0 = f(I_2)$  a z charakteristiky nakrátko  $I_{1k} = f(I_2)$  meraní pri súmernom skrate môžeme priamo určiť synchronnú reaktanciu  $X_s$  (Obr. 3). Postupujeme tak, ako je to uvedené na Obr. 4.

Pre hodnotu nominálneho napätia  $U_{1N}$  odčítame odpovedajúcu hodnotu budiaceho prúdu  $I_{2N}$ . Tejto hodnote odpovedá hodnota prúdu nakrátko  $I_{kN}$ . Častejšie sa používa synchronná reaktancia v nenasýtenom stave. Charakteristiku naprázdno linearizujeme

dotýčnicou v počiatku ( $U_{01} = f(I_2)$ ). Pre hodnotu budiaceho prúdu  $I_{2N}$  odčítame na linearizovanej charakteristike fiktívnu hodnotu napätia  $U_{12}$ .



Obr. 4: Určenie synchrónnej reaktancie

Z odčítaných hodnôt vypočítame:

a) Impedanciu nakrátko v nasýtenom stave:

$$Z_{ks} = \frac{U_{1N}}{\sqrt{3}I_{kN}} = \quad (10)$$

b) Synchrónnu reaktanciu v nasýtenom stave:

$$X_{ss} = \sqrt{Z_{ks}^2 - R_S^2} = \quad (11)$$

c) Impedanciu nakrátko v nenasýtenom stave:

$$Z_k = \frac{U_{12}}{\sqrt{3}I_{kN}} = \quad (12)$$

d) Synchrónnu reaktanciu v nenasýtenom stave:

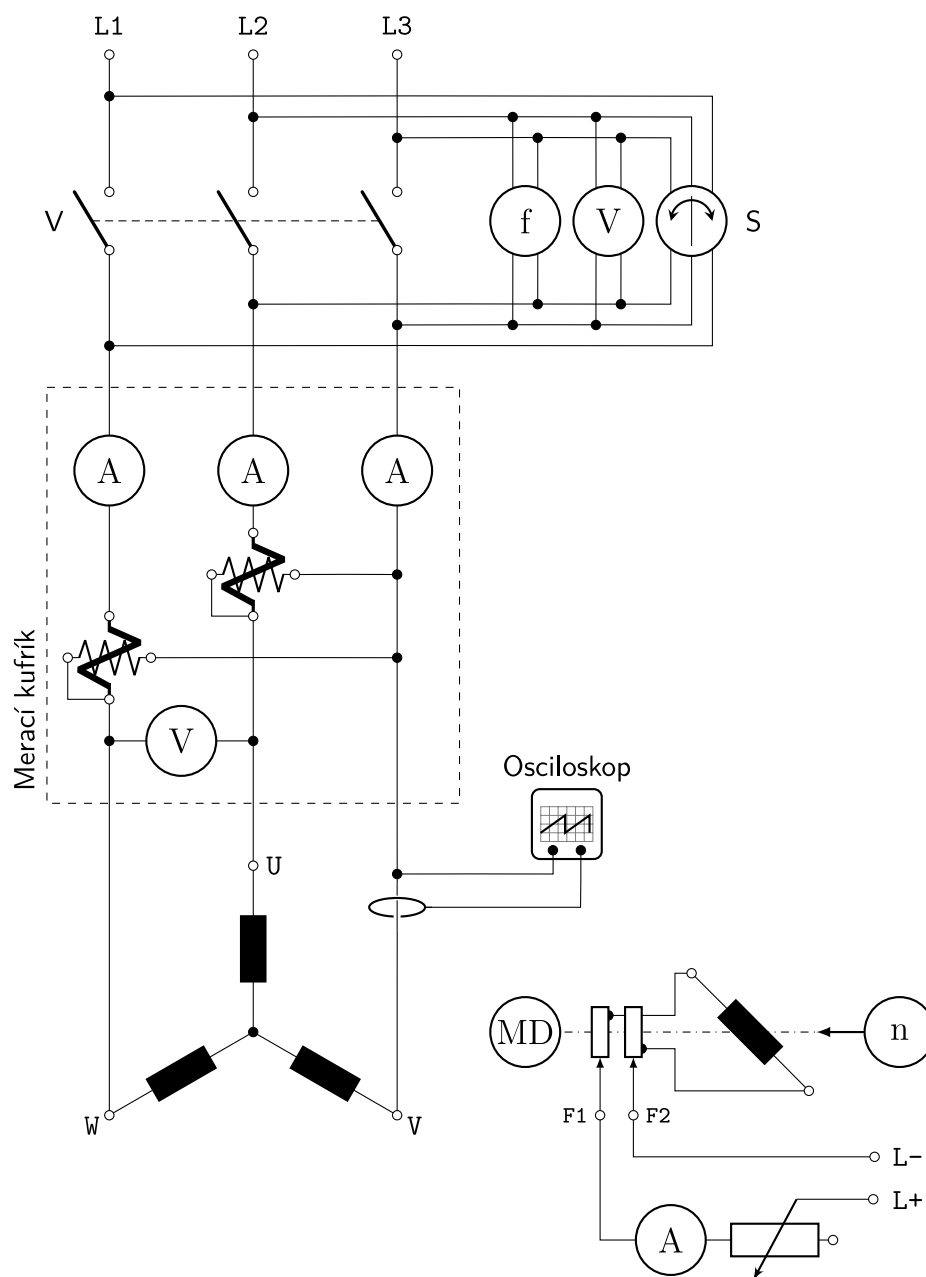
$$X_s = \sqrt{Z_k^2 - R_S^2} = \quad (13)$$

## 6 Zaťažovanie synchrónneho stroja na tvrdej sieti

Synchrónny stroj môžeme pripojiť do siete, len pri splnení nasledovných podmienok:

- Rovnosť frekvencie napätia siete a stroja.
- Rovnosť efektívnych hodnôt napätí a siete.
- Rovnosť sledu fáz napätí siete a stroja.
- Nulový fázový posun medzi napäťovým systémom siete a stroja.

Synchrónny stroj zapojíme tak, ako je to uvedené na Obr. 5.



Obr. 5: Schéma zapojenia synchronného stroja pri fázovaní

### Postup pri fázovaní

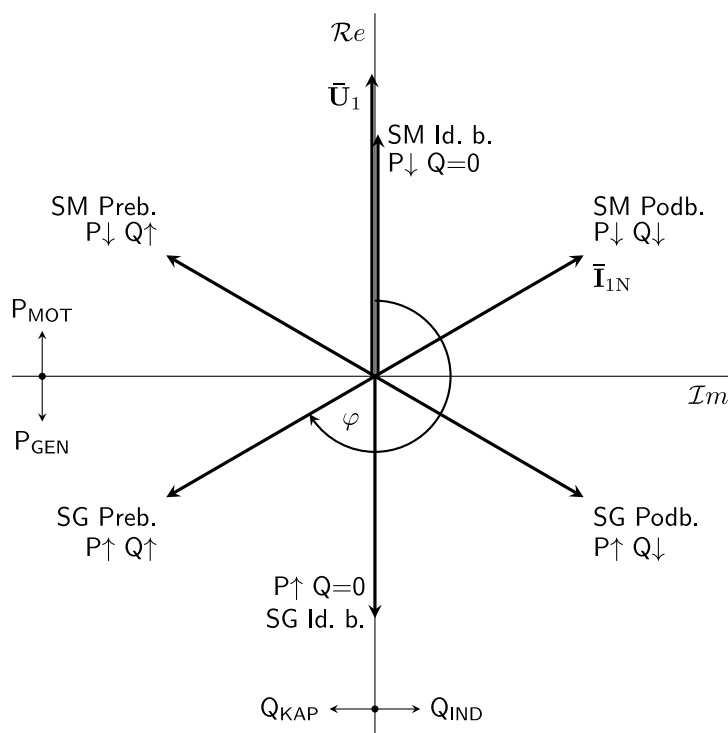
- Stroj roztočíme dynamometrom na synchronnú rýchlosť  $\omega_s$  ( $n_s$ ).
- Stroj vybudíme tak, aby svorkové napätie stroja bolo rovné napätiu siete.
- Ukazovateľom sledu fáz (malý indukčný motorček) skontrolujeme sled fáz napätia na svorkách stroja a na svorkách siete.
- Synchronný stroj pripojíme na sieť pri nulovom fázovom posune medzi napätovými systémom siete a stroja. Vhodný okamih určíme pomocou elektrodynamického synchronoskopu.



## 7 Prevádzkové stavy synchrónneho stroja

Po pripojení synchrónneho stroja na sieť môžeme vyšetrovať jeho chovanie v jednotlivých režimoch (Obr. 6):

- Generátorický a motorický chod meníme mechanickým momentom na hriadeľ synchrónneho stroja t.z. pohonným strojom (dynamometrom). V generátorickom chode synchrónny stroj dodáva do siete činný výkon  $P \uparrow$ , v motorickom chode odoberá činný výkon  $P \downarrow$ .
- Podľa stavu vybudenia synchrónneho stroja, ktorý sa mení budiacim prúdom, je synchrónny stroj – prebudený, ideálne budený a podbudený. Prebudený synchrónny stroj dodáva do siete jalový výkon  $Q \uparrow$ , podbudený synchrónny stroj jalový výkon zo siete odoberá  $Q \downarrow$ . Ideálne budený synchrónny stroj má  $Q = 0$ .
- Fázový posun medzi napätím a prúdom stroja  $\varphi$ , a teda aj účinník  $\cos \varphi$  závisí od pracovného stavu stroja a mení sa jednak s mechanickým momentom na hriadeľi ako aj a vybudením stroja. Ak je stroj ideálne budený ( $Q = 0$ ) potom je  $\varphi = 0^\circ$  alebo  $\varphi = 180^\circ$  a účinník  $\cos \varphi = 1$ .



Obr. 6: Prevádzkové stavy synchrónneho stroja

Synchrónny kompenzátor je silne prebudzovaný nezatažený synchrónny motor. Kompenzuje účinník siete tým, že dodáva do siete jalový výkon.

## 8 Meranie záťažových charakteristík synchrónneho stroja

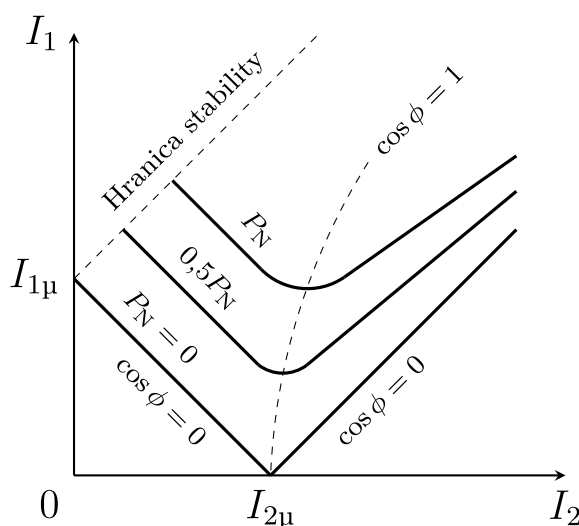
Záťažové charakteristiky (V – krivky, tiež Mordey-ove krivky) sú závislosti prúdu statora  $I_1$  od budiaceho rotorového prúdu  $I_2$ , pri konštantnom napätí, frekvencii ( $U_1, f = \text{cst.}$ ) a výkone ( $P = \text{cst.}$ ). Záťažové charakteristiky meriame pre  $P = 0$ ,  $P = 0,5P_N$  a  $P = P_N$ . Môžeme ich merať v motorickom, ale aj v generátorickom chode.

Po pripojení synchrónneho stroja na sieť, zvolíme režim a nastavíme výkon  $P = P_N$  a podobne pri ďalších meraniach  $P = 0,5P_N$  a  $P = 0$ . Budiaci prúd  $I_2$  zvyšujeme tak, aby prúd statora neprekročil hodnotu  $1,2 I_{1N}$ . Ďalej postupne znižujeme budiaci prúd s uvážením hodnoty statorového prúdu. Pri  $P = 0$  znížime budiaci prúd až na nulovú hodnotu  $I_2 = 0$  (odpojením budenia od napájania).

Účinník vypočítame vypočítať pomocou nasledujúceho vzťahu:

$$\cos \phi = \frac{P}{\sqrt{3}U_1 I_1}$$

Namerané hodnoty zapisujeme do Tab. 4, Tab. 5 a Tab. 6. Na Obr. 7 je uvedený typický tvar záťažových charakteristík.



Obr. 7: Záťažové charakteristiky synchrónneho stroja

Tab. 4: Tabuľka nameraných hodnôt

| $P = 0$   |  |  |  |  | $U_1 = V$ |  |  |  |  |
|-----------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|
| $I_2$ (A) |  |  |  |  |           |  |  |  |  |
| $I_1$ (A) |  |  |  |  |           |  |  |  |  |

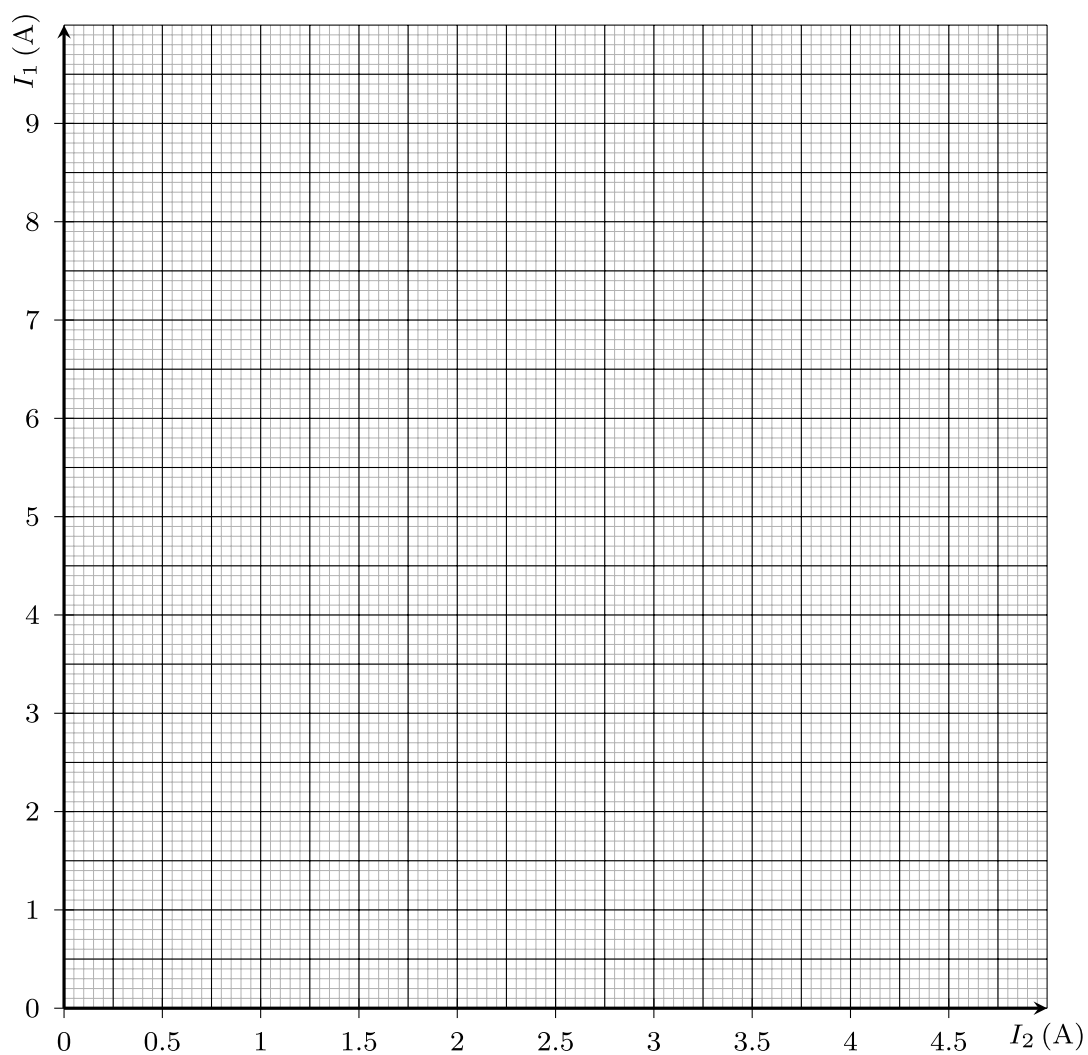
Tab. 5: Tabuľka nameraných hodnôt

| $P = 0,5P_N$       |  |  |  |  | $U_1 = V$ |  |  |  |  |
|--------------------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|
| $I_2$ (A)          |  |  |  |  |           |  |  |  |  |
| $I_1$ (A)          |  |  |  |  |           |  |  |  |  |
| $\cos \varphi$ (-) |  |  |  |  |           |  |  |  |  |

Tab. 6: Tabuľka nameraných hodnôt

| $P = P_N$          |  |  |  |  | $U_1 = V$ |  |  |  |  |
|--------------------|--|--|--|--|-----------|--|--|--|--|
| $I_2$ (A)          |  |  |  |  |           |  |  |  |  |
| $I_1$ (A)          |  |  |  |  |           |  |  |  |  |
| $\cos \varphi$ (-) |  |  |  |  |           |  |  |  |  |

Priebehy záťažových charakteristík vynesieme do rastra na Obr. 8.



Obr. 8: Namerané záťažové charakteristiky synchronného stroja

### 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.