

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

Meranie na trojfázovom transformátore

Meranie č. 1

Meno a priezvisko:

Skupina:

Akademický rok:

1 Úvod

Účelom meraní na transformátore je určiť straty, ktoré pri prevádzke v ňom vznikajú. Zo strát vypočítame parametre náhradnej schémy ako aj závislosť účinnosti a úbytku napätia od veľkosti a typu zataženia.

V transformátore vznikajú straty v magnetickom obvode (v železe – hysterézne a vírivými prúdmi), straty v elektrických obvodoch (v medi – Jouleove straty vo vinutiach) a prídavné straty, ktoré sú spôsobené jednak nerovnomerným rozložením prúdu vo vodičoch ako aj rozptylovým magnetickým tokom v konštrukčných častiach transformátora. O skúškach transformátorov hovorí norma STN 35 1080.

Merania vykonáme na trojfázovom transformátore, pričom z výrobného štítku určíme:

a) nominálny zdanlivý výkon:

$$S_N =$$

b) nominálne združené napätie primárneho vinutia:

$$U_{1N} =$$

c) nominálne združené napätie sekundárneho vinutia:

$$U_{2N} =$$

d) zapojenie trojfázových vinutí:

$$\square Yy \quad \square Dd \quad \square Yd \quad \square Dy \quad \square Yz \quad \square Dz$$

Zo štítkových údajov vypočítame:

e) nominálny prúd primárneho vinutia:

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}} = \tag{1}$$

f) nominálny prúd sekundárneho vinutia:

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}} = \tag{2}$$

2 Meranie odporov vinutí

Odpory vinutí transformátora meriame miliohmometrom. Namerané a vypočítané hodnoty zapisujeme do Tab. 1.

Tab. 1: Meranie odporu vinutia

Vinutie		$R \text{ (}\Omega\text{)}$	$R_{av} \text{ (}\Omega\text{)}$	$R \text{ (}\Omega\text{)}$
Strana vyššieho napätia	AB			
	BC			
	CA			
Strana nižšieho napätia	ab			
	bc			
	ca			

Z nameraných hodnôt vypočítame:

a) strednú hodnotu odporu vinutia pre stranu vyššieho napätia:

$$R_{av1} = \frac{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}{3} = \quad (3)$$

b) strednú hodnotu odporu vinutia pre stranu nižšieho napätia:

$$R_{av2} = \frac{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}{3} = \quad (4)$$

c) fázovú hodnotu odporu pre stranu vyššieho napätia:

$$R_1 = \frac{R_{av1}}{2} = \quad (5)$$

d) fázovú hodnotu odporu pre stranu nižšieho napätia:

$$R_2 = \frac{R_{av2}}{2} = \quad (6)$$

3 Meranie prevodu transformátora

Prevod transformátora sa meria v nezataženom stave (stav naprázdno). 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 transformátora

Vinutie		U (V)	U_{av} (V)	a
Strana vyššieho napätia	AB			
	BC			
	CA			
Strana nižšieho napätia	ab			
	bc			
	ca			

Z nameraných hodnôt vypočítame:

a) strednú hodnotu napätia pre stranu vyššieho napätia:

$$U_{av1} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}{3} = \quad (7)$$

b) strednú hodnotu napätia pre stranu nižšieho napätia:

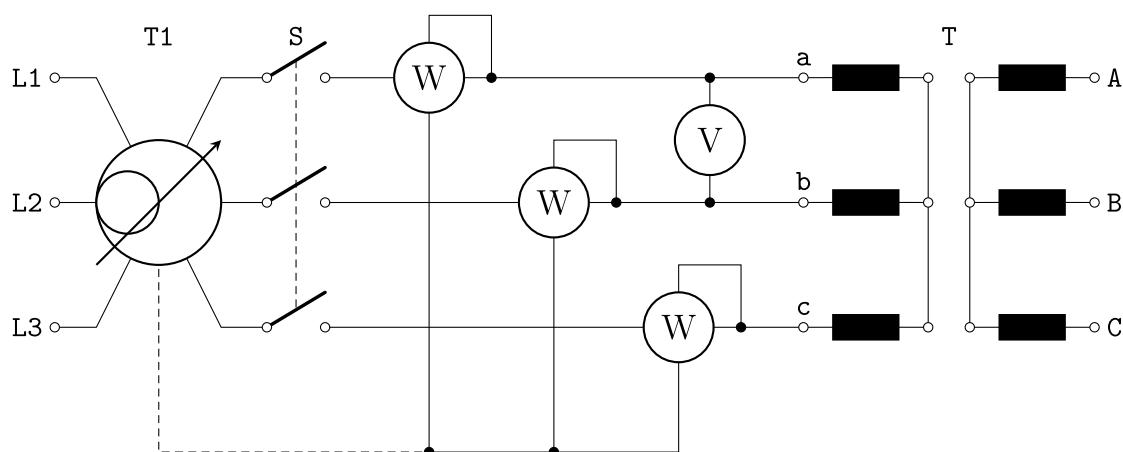
$$U_{av2} = \frac{U_{ab} + U_{bc} + U_{ca}}{3} = \quad (8)$$

c) prevod transformátora:

$$a = \frac{U_{av1}}{U_{av2}} = \quad (9)$$

4 Meranie transformátora naprázdno

Pri meraní naprázdno napájame transformátor zo strany nižšieho napätia (pri malom príkone, budú prúdy transformátora vyššie). Schéma zapojenia je uvedená na Obr. 1. Meriame napätia, prúdy a výkony jednotlivých fáz v rozsahu 0,2 až 1,1 U_{2N} a namerané hodnoty zapisujeme do Tab. 3.



Obr. 1: Schéma zapojenia transformátora pri meraní naprázdno

Tab. 3: Namerané hodnoty pre transformátor naprázdno

U_a (V)	U_b (V)	U_c (V)	I_a (A)	I_b (A)	I_c (A)	P_a (W)	P_b (W)	P_c (W)

Z nameraných hodnôt vypočítame:

a) fázové napätie naprázdno:

$$U_0 = \frac{U_a + U_b + U_c}{3} = \quad (10)$$

b) prúd naprázdno:

$$I_0 = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} = \quad (11)$$

c) príkon transformátora naprázdno:

$$P_0 = P_a + P_b + P_c = \quad (12)$$

d) straty vo vinutí naprázdno:

$$\Delta P_{Cu} = 3R_2 I_0^2 = \quad (13)$$

e) straty v magnetickom obvode, ktoré závisia len od napájacieho napätia¹:

$$\Delta P_{Fe} = \Delta P_0 = P_0 - \Delta P_{Cu} = \quad (14)$$

f) účinník naprázdno

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{3U_0 I_0} = \quad (15)$$

g) impedanciu naprázdno

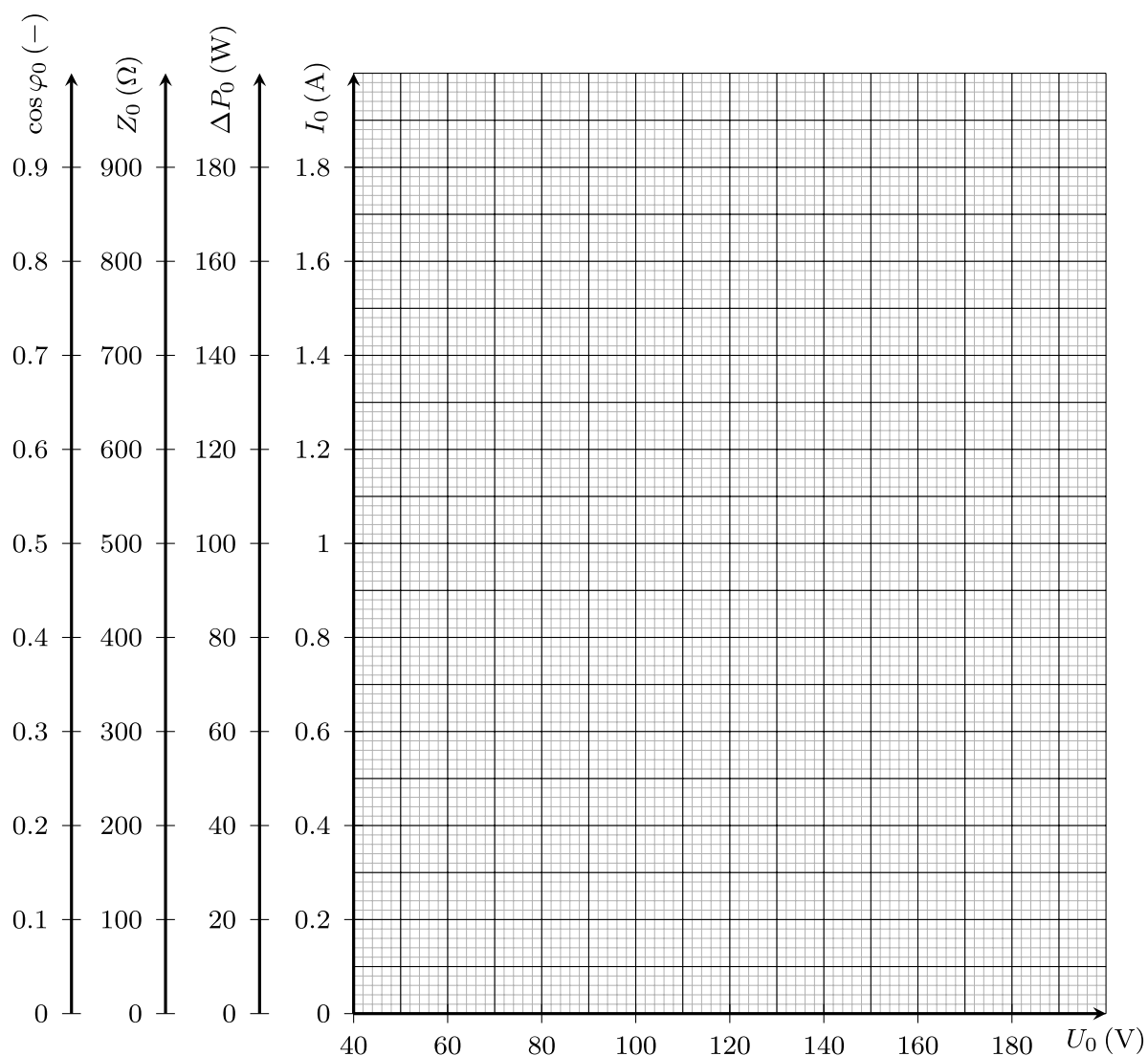
$$Z_0 = \frac{U_0}{I_0} = \quad (16)$$

Vypočítané hodnoty zapisujeme do Tab. 4. Priebiehy vynesieme graficky do rastra na Obr. 2 v závislosti od hodnoty napätia naprázdno U_0 .

Tab. 4: Vypočítané hodnoty pre transformátor naprázdno

U_0 (V)	I_0 (A)	P_0 (W)	ΔP_{Cu} (W)	ΔP_0 (W)	$\cos \varphi_0$ (-)	Z_0 (Ω)

¹Transformátor je netočivý stroj, z čoho plynie, že nemá mechanické straty ΔP_m . Z toho dôvodu budú všetky straty naprázdno ΔP_0 rovné stratám v magnetickom obvode ΔP_{Fe} .



Obr. 2: Meranie naprázdno

Z grafických priebehov odčítame pre fázovú hodnotu U_{2N_f} nasledujúce údaje:

$$\begin{array}{ll} I_0 = & Z_0 = \\ \Delta P_0 = \Delta P_{Fe} = & \cos \varphi_0 = \end{array}$$

Na primárnu stranu prepočítame:

h) prúd naprázdno:

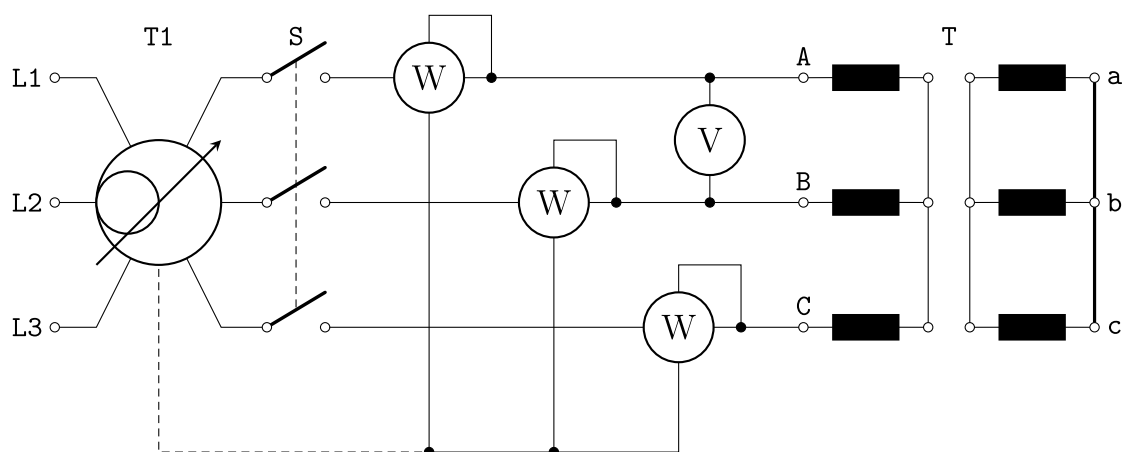
$$I'_0 = \frac{I_0}{a} = \quad (17)$$

i) impedanciu naprázdno:

$$Z'_0 = a^2 Z_0 = \quad (18)$$

5 Meranie transformátora nakrátko

Vinutie zo strany nižšieho napätia je skratované dobre vodivou spojkou. Vinutie zo strany vyššieho napätia napájame zníženým napätím tak, aby prúdy dosahovali hodnoty v rozsahu $20 - 120 \% I_{1N}$. Schéma zapojenia je uvedená na Obr. 3. Meriame napätia, prúdy a výkony vo všetkých troch fázach. Namerané veličiny zapisujeme do Tab. 5.



Obr. 3: Schéma zapojenia transformátora pri meraní nakrátko

Tab. 5: Namerané hodnoty pre transformátor nakrátko

U_A (V)	U_B (V)	U_C (V)	I_A (A)	I_B (A)	I_C (A)	P_A (W)	P_B (W)	P_C (W)

Z nameraných hodnôt vypočítame:

a) fázové napätie nakrátko:

$$U_k = \frac{U_A + U_B + U_C}{3} = \quad (19)$$

b) prúd nakrátko:

$$I_k = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} = \quad (20)$$

c) straty nakrátko:

$$\Delta P_k = P_A + P_B + P_C = \quad (21)$$

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

$$\Delta P_{Cu} = 3I_k^2 (R_1 + a^2 R_2) = \quad (22)$$

e) prídavné straty (elektrické straty v mechanických častiach transformátora):

$$\Delta P_d = \Delta P_k - \Delta P_{Cu} = \quad (23)$$

f) straty vo vinutí pre teplotu 75°C (pracovná teplota):

$$\Delta P_{Cu75} = \Delta P_{Cu} \frac{235 + 75}{235 + \vartheta_0} = \quad (24)$$

g) prídavné straty pri teplote 75°C (s teplotou klesajú):

$$\Delta P_{d75} = \Delta P_d \frac{235 + \vartheta_0}{235 + 75} = \quad (25)$$

h) straty nakrátko pri teplote 75°C :

$$\Delta P_{k75} = \Delta P_{Cu75} + \Delta P_{d75} = \quad (26)$$

i) účinník nakrátko:

$$\cos \varphi_k = \frac{\Delta P_k}{3U_k I_k} = \quad (27)$$

Vypočítané hodnoty zapisujeme do Tab. 6. Priebehy vynesieme graficky do rastra na Obr. 4 v závislosti od hodnoty prúdu nakrátko I_k .

Z grafických priebehov odčítame pre hodnotu I_{IN} údaje:

$$\begin{array}{ll} U_{kN} = & \cos \varphi_k = \\ \Delta P_{Cu75} = & \Delta P_{k75} = \end{array}$$

Tab. 6: Vypočítané hodnoty pre transformátor nakrátko

U_k (V)	I_k (A)	ΔP_k (W)	ΔP_{Cu} (W)	ΔP_d (W)	ΔP_{Cu75} (W)	ΔP_{d75} (W)	ΔP_{k75} (W)	$\cos \varphi_k$ (-)

Ďalej vypočítame tieto hodnoty:

j) pomerné napätie nakrátko:

$$u_k = \frac{U_{kN}}{U_{1Nf}} = \sqrt{3} \frac{U_{kN}}{U_{1N}} = \quad (28)$$

k) činnú (aktívnu) zložku pomerného napätia nakrátko:

$$u_r = u_k \cos \varphi_k = \quad (29)$$

l) jalovú (reaktívnu) zložku pomerného napätia nakrátko:

$$u_x = u_k \sin \varphi_k = \quad (30)$$

m) nominálnu impedanciu transformátora zo strany primárneho vinutia:

$$Z_{1N} = \frac{U_{1N}}{\sqrt{3}I_{1N}} = \quad (31)$$

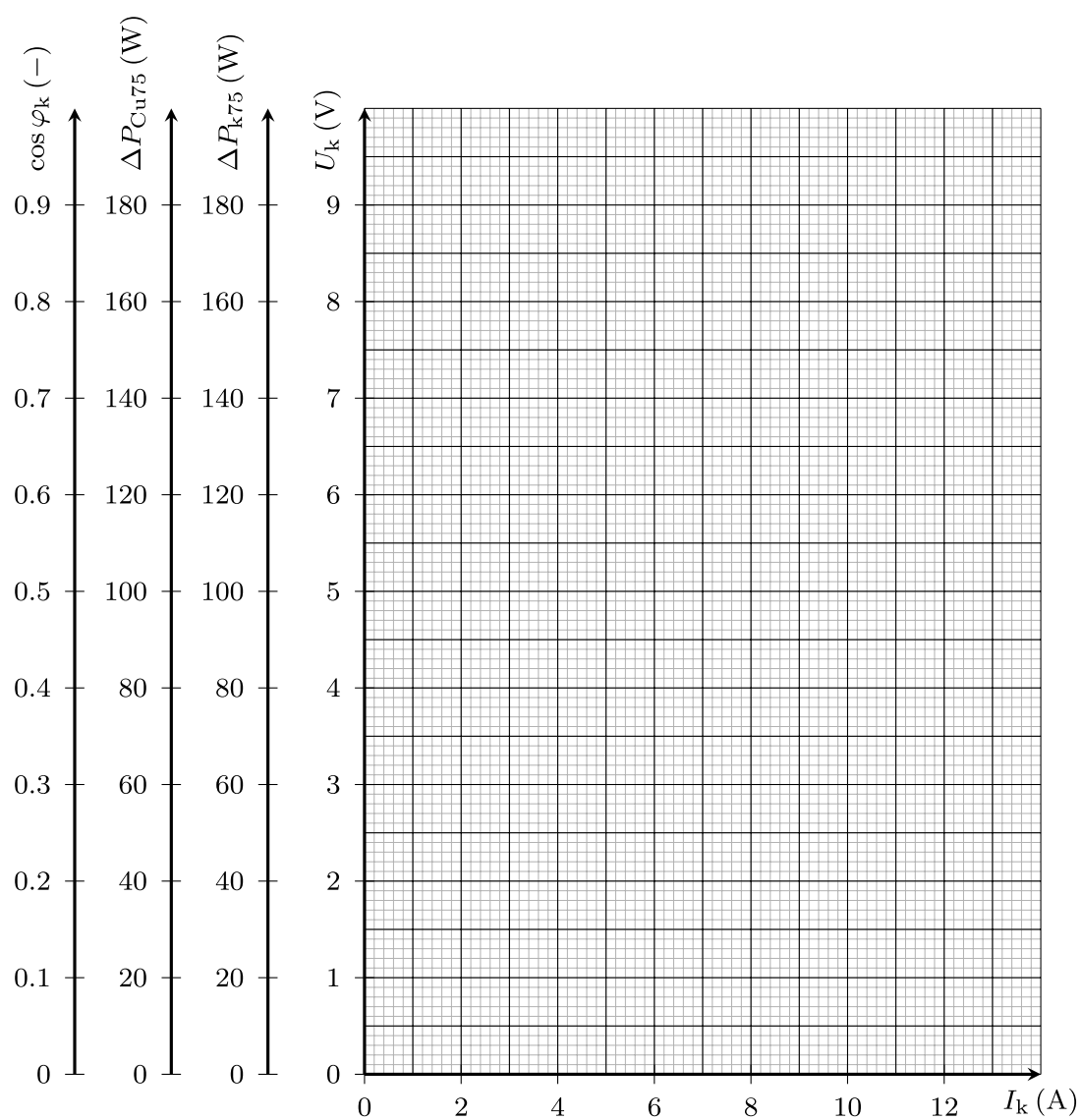
n) nominálnu impedanciu nakrátko:

$$Z_k = \frac{U_{kN}}{I_{1N}} = \quad (32)$$

o) pomernú impedanciu nakrátko:

$$z_k = \frac{Z_k}{Z_{1N}} = \quad (33)$$

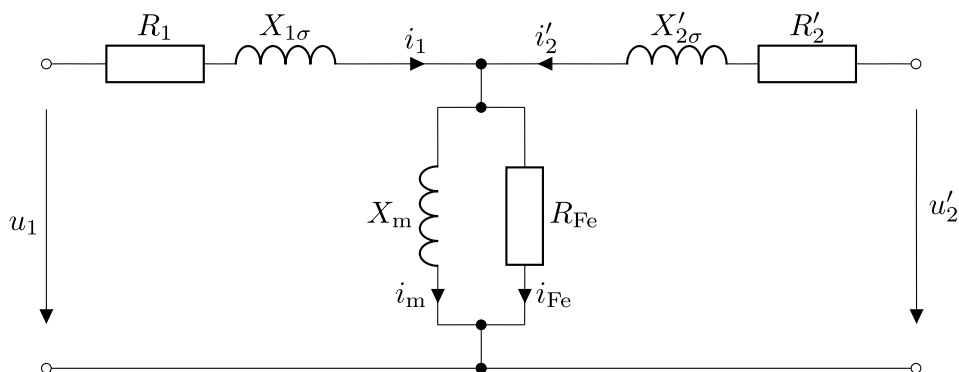
Pri správnom meraní musí platiť $z_k \approx u_k$.



Obr. 4: Meranie nakrátko

6 Výpočet parametrov náhradnej schémy

Na Obr. 5 je zobrazená jednofázová náhradná schéma transformátora. Pri meraní transformátora nakrátko predpokladáme, že straty v medi sa rozložia rovnomerne na primárne a sekundárne vinutia.



Obr. 5: Jednofázová náhradná schéma transformátora

Z výsledkov meraní vypočítame parametre náhradnej schémy, a to:

- a) odpor sekundárneho vinutia prepočítaný na primárnu stranu:

$$R'_2 = a^2 R_2 = \quad (34)$$

- b) reakčnú zložku impedancie nakrátko:

$$X_k = Z_k \sin \varphi_k = \quad (35)$$

- c) rozptylovú reaktanciu primárneho a sekundárneho vinutia:

$$X_{1\sigma} = X'_{2\sigma} = \frac{X_k}{2} = \quad (36)$$

- d) ekvivalentný odpor strát v železe:

$$R_{Fe} = \frac{Z'_0}{\cos \varphi_0} = \quad (37)$$

- e) magnetizačnú reaktanciu:

$$X_m = \frac{Z'_0}{\sin \varphi_0} = \quad (38)$$

Pre kontrolu vypočítame odpor nakrátko:

$$R_k = Z_k \cos \varphi_k =$$

Pri správnom meraní musí platiť $R_k \approx R_1 + R'_2$.

7 Výpočet účinnosti transformátora

Účinnosť transformátora je definovaná ako:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} = \frac{S \cos \varphi}{S \cos \varphi + (\Delta P_{\text{Fe}} + \Delta P_{\text{Cu}})}$$

kde zdanlivý výkon S je možné vypočítať pomocou zaťažovateľa ν nasledovne:

$$\nu = \frac{S}{S_N} = \frac{I_2}{I_{2N}} \Rightarrow S = \nu \cdot S_N$$

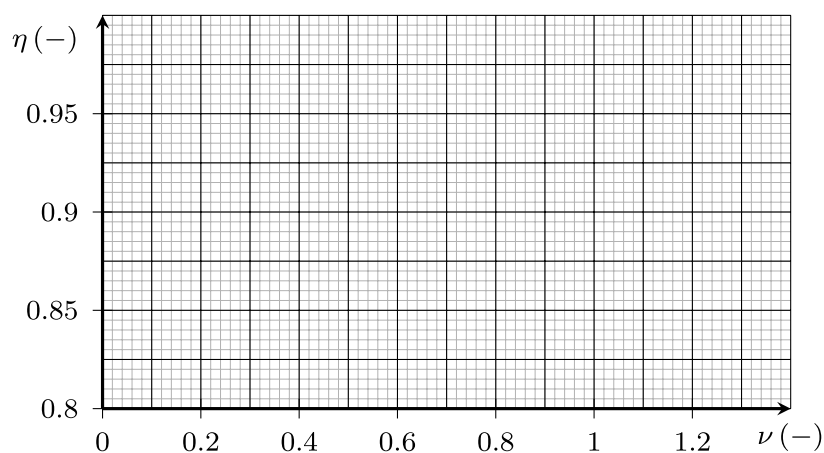
a celkové straty ΔP sú rovné:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{Fe}} + \Delta P_{\text{Cu}} = \Delta P_{\text{Fe}} + \nu^2 \Delta P_{\text{k75}} \Rightarrow \Delta P_{\text{Cu}} = \nu^2 \Delta P_{\text{k75}}$$

Vypočítané hodnoty zapisujeme do Tab. 7. Závislosť účinnosti od zaťaženia vynesieme graficky do rastra na Obr. 6.

Tab. 7: Vypočítané hodnoty účinnosti transformátora

ν	S (VA)	ΔP_{Cu} (W)	η		
			$\cos \varphi = 1,0$	$\cos \varphi = 0,8$	$\cos \varphi = 0,6$
0,2					
0,4					
0,6					
0,8					
1,0					
1,2					



Obr. 6: Závislosti účinnosti od záťaže transformátora

8 Výpočet úbytku napätia transformátora

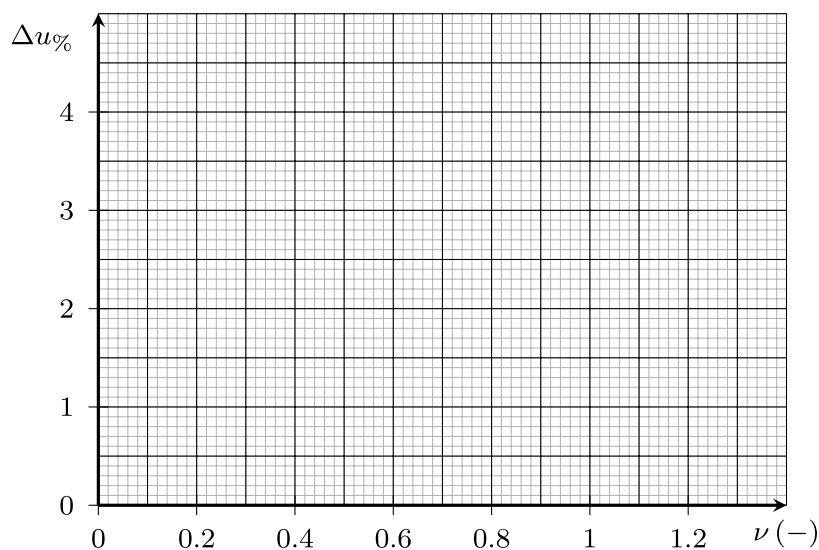
Percentuálny úbytok napätia na transformátore je daný:

$$\Delta u_{\%} = (\nu u_r \cos \varphi + \nu u_x \sin \varphi) \cdot 100$$

Pre zvolený zaťažovateľ a účinník vypočítame úbytky napätia a zapisujeme do Tab. 8. Závislosť vynesieme graficky do rastra na Obr. 7.

Tab. 8: Vypočítané hodnoty úbytku napätia transformátora

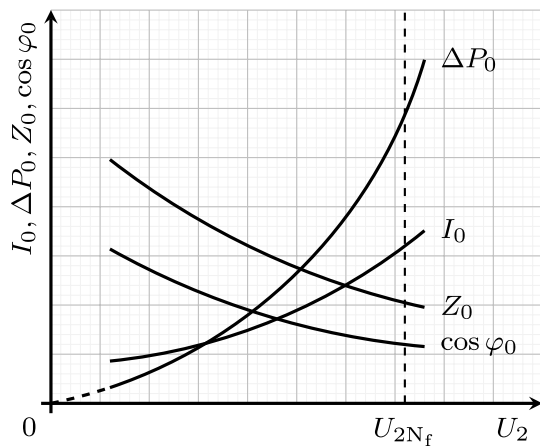
ν	$S \text{ (VA)}$	$\Delta u_{\%}$		
		$\cos \varphi = 1,0$	$\cos \varphi = 0,8$	$\cos \varphi = 0,6$
0,2				
0,4				
0,6				
0,8				
1,0				
1,2				



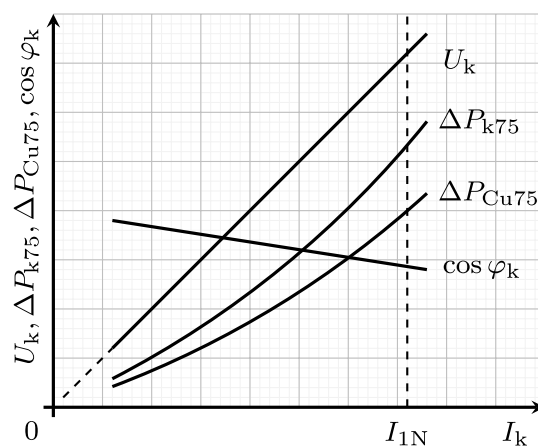
Obr. 7: Závislosti úbytku napätia od záťaže transformátora

Charakteristiky transformátora

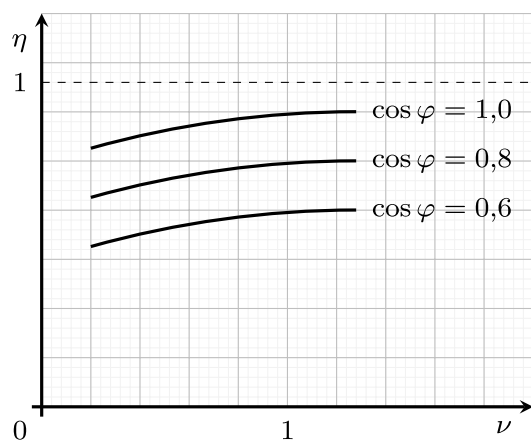
Na Obr. 8 až 11 sú zobrazené základné charakteristiky trojfázového transformátora.



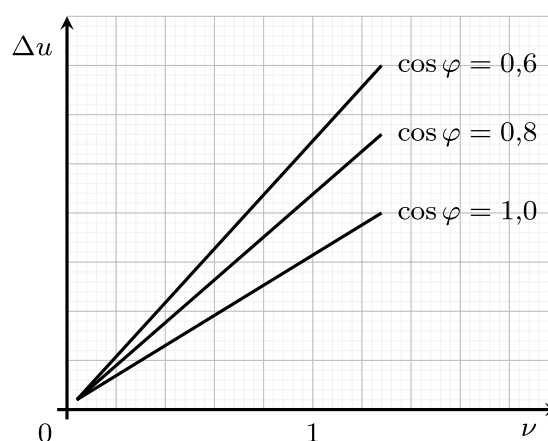
Obr. 8: Meranie naprázdno



Obr. 9: Merania nakrátko



Obr. 10: Závislosť η od záťaže



Obr. 11: Závislosť Δu od záťaže

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.