



MĚŘENÍ – Laboratorní cvičení z měření  
Měření na elektrických strojích - transformátor  
část 3-2-1 Teoretický rozbor

# Výukový materiál

**Číslo projektu:** CZ.1.07/1.5.00/34.0093

**Šablona:** III/2 Inovace a zkvalitnění výuky prostřednictvím ICT

**Sada:** 1

**Číslo materiálu:** VY\_32\_INOVACE\_



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# NÁZEV DUM

**Předmět: MĚŘENÍ**

**Ročník: 3.**

**Jméno autora: Ing. Jaroslav Drexler**

**Škola: VOŠ a SPŠ Šumperk, Gen. Krátkého 1**

**Anotace : Rozbor měření parametrů transformátoru a způsob jejich měření.**

**Klíčová slova: stejnosměrný vnitřní odpor, měření naprázdno, měření nakrátko, měření při zatěžování.**

# POUŽITÉ ZDROJE

1. BEN - technická literatura. *Elektrotechnická měření*. Dotisk 1.vydání. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 2003. 256 s. ISBN 80-7300-022-9.
2. V. Fajt, M. Jakl; Přesná měření elektrických veličin; SNTL Praha 1979

*Autorem materiálu a všech jeho částí, není-li uvedeno jinak, je Ing. Jaroslav Drexler  
Financováno z ESF a státního rozpočtu ČR.*



# Teoretický rozbor úlohy:

**U transformátorů nejčastěji měříme následující parametry:**

- Izolační stav
- Stejnoseměrný vnitřní odpor vinutí
- Měření transformátoru naprázdno
- Měření transformátoru nakrátko
- Měření transformátoru při zatěžování

## Izolační stav:

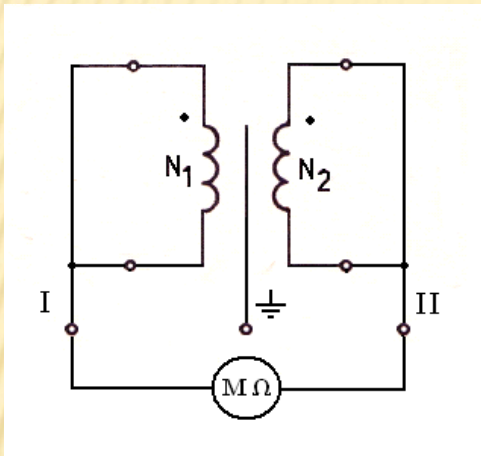
Měřením izolačního odporu kontrolujeme, zda izolace elektrického stroje má dostatečný odpor, který je potřebný pro provoz zařízení. Bez ověření izolačního stavu, nelze zahájit měření na jakémkoliv elektrickém stroji.

Po každém zatěžování el. stroje zjišťujeme izolační odpor za tepla a kontrolujeme, zda nedošlo k poškození stroje.

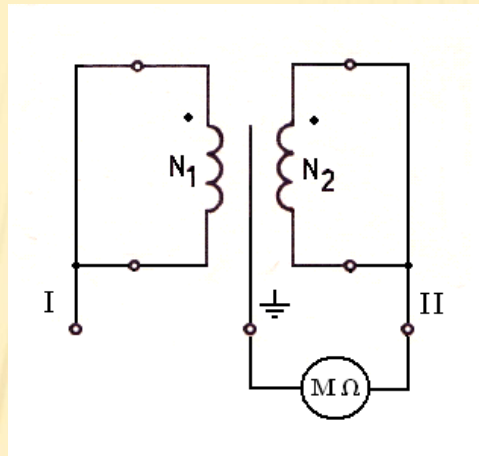
Izolační odpor měříme měřičem izolačních odporů (Megmetem) při zkušebním napětí 100 V, 500 V nebo 1000 V podle jmenovitého napětí daného elektrického stroje. Před měřením zkratujeme jednotlivá vinutí a měříme (viz. **Obr. 1**) :

## Izolační stav:

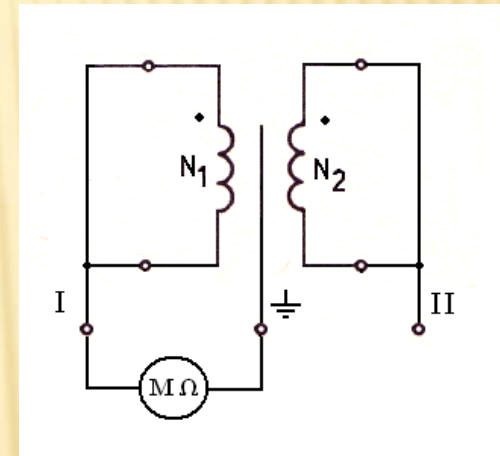
Primární vinutí proti  
kostře



Sekundární vinutí proti  
kostře



Primární proti  
sekundárnímu vinutí



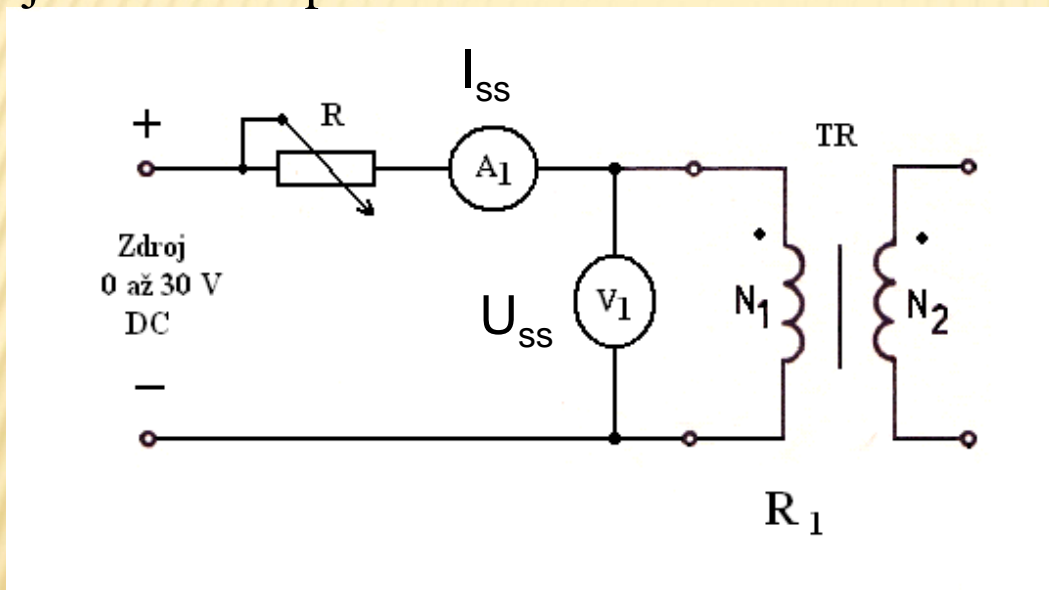
Obr. 1 Měření izolačního stavu transformátoru

Povolená hodnota izolačního stavu je dána typem zařízení a je rozdílná při měření v teplém stavu (norma stanovuje teplotu 75 °C) a za studena (musí být hodnota několikanásobně vyšší).



## Stejnoseměrný vnitřní odpor vinutí:

Stejnoseměrný vnitřní odpor vinutí měříme Volt-ampérovou metodou pomocí ss proudu zapojení dle **Obr. 2**. Měření provádíme při 25% a 50% jmenovitého proudu vinutí.



$$R_X = \frac{U_{SS}}{I_{SS}}$$

$$[\Omega; V, A]$$

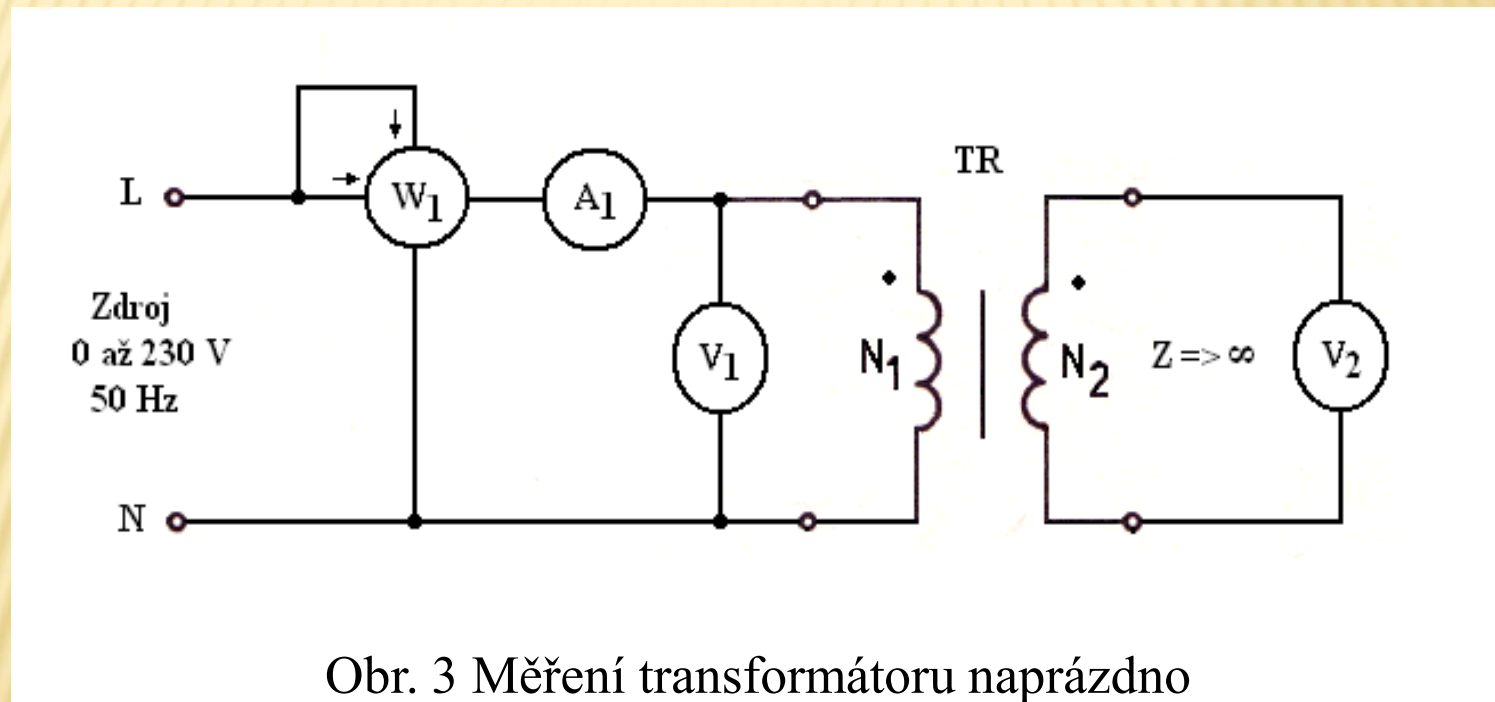
Obr. 2 Měření stejnosměrného vnitřního odporu vinutí transformátoru

(vinutí  $N_2$  měříme obdobným způsobem)



# Měření transformátoru naprázdno

Primární vinutí  $N_1$  připojíme přes měřicí přístroje na regulovatelný zdroj napětí dle **Obr. 3** a na sekundární vinutí  $N_2$  připojíme voltmetr  $V_2$  s velkým vnitřním odporem  $R_v \rightarrow \infty$ .



Obr. 3 Měření transformátoru naprázdno

# Měření transformátoru naprázdno

## Postup měření:

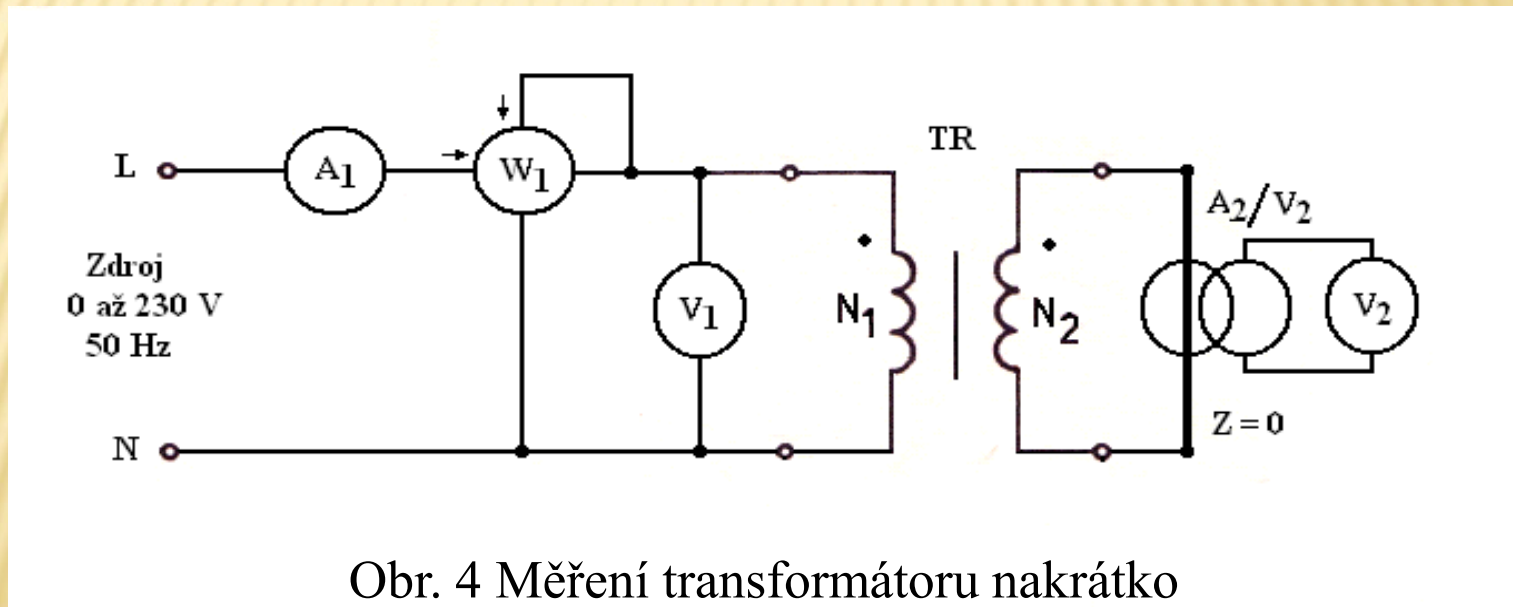
Plynule zvyšujeme hodnotu napětí zdroje  $U_I$  od 0 V do  $1,1 U_{IN}$  (tj. do 110% jmenovitého napětí). Na voltmetru  $V_1$  měříme napětí  $U_{10}$  naprázdno, na ampérmetru  $A_1$  měříme proud transformátoru naprázdno  $I_{10}$  a na wattmetru  $W_1$  měříme příkon naprázdno  $P_{10}$ . Odečítáme i hodnotu napětí na sekundárním vinutí  $U_{20}$  z voltmetru  $V_2$ .

Hodnoty zapisujeme do tabulky:

| Čís. měř | $U_{10}$<br>[V] | $I_{10}$<br>[A] | $P_{10}$        |                 |                 | $U_{20}$<br>[V] | $P_{R1}$<br>[W] | $P_{aFe}$<br>[W] | $S_{10}$<br>[VA] | $\cos \varphi_{10}$<br>[-] | $K$<br>[-] |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|----------------------------|------------|
|          |                 |                 | $\alpha$<br>[d] | konst.<br>[W/d] | $P_{10}$<br>[W] |                 |                 |                  |                  |                            |            |
| 1.       | 20              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                  |                            |            |
| 2.       | 40              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                  |                            |            |
| 3.       | 60              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                  |                            |            |
| 4.       | 80              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                  |                  |                            |            |

# Měření transformátoru nakrátko

Zapojíme obvod dle **Obr. 4**. Sekundární vinutí  $N_2$  zkratujeme bezindukční spojkou a tak dosáhneme stavu nakrátko. Výstupní proud  $I_{2k}$  nemůžeme měřit klasickým ampérmetrem, protože by došlo k ovlivnění měření vnitřním odporem ampérmetru. Pro měření proudu  $I_{2k}$  můžeme použít klešťový převodník proud/napětí s Halovou sondou. Proud  $I_{2k}$  vypočítáme z napětí  $U_{2KA}$  vynásobeného konstantou převodu A/V. Konstantu převodu  $k_{KA}$  můžeme upravit i počtem průvleků  $N$  klešťovým převodníkem.



Obr. 4 Měření transformátoru nakrátko

# Měření transformátoru nakrátko

## Postup měření:

Transformátor připojíme ke zdroji napětí **jen při hodnotě  $U_1 = 0$  V**. Při vyšší hodnotě by mohlo dojít vlivem proudového rázu ke **zničení transformátoru!** Měření provedeme při  $I_1 = 50\%$  a  $100\%$   $I_{1N}$ . Opatrně zvyšujeme napětí  $U_1$  od hodnoty **0 V** a kontrolujeme velikost proudu  $I_1$  a zvyšujeme jej až do hodnoty  $I_{1N}$ . Současně odečítáme hodnoty proudů  $I_1$  a  $I_{2k}$  z přepočteného napětí  $U_{2KA}$  a napětí  $U_{1k}$  (bude podstatně nižší než jmenovité napětí  $U_{1N}$ ) a ztráty  $P_{1k}$ . Měření provádíme co nejrychleji, protože se transformátor silně zahřívá.

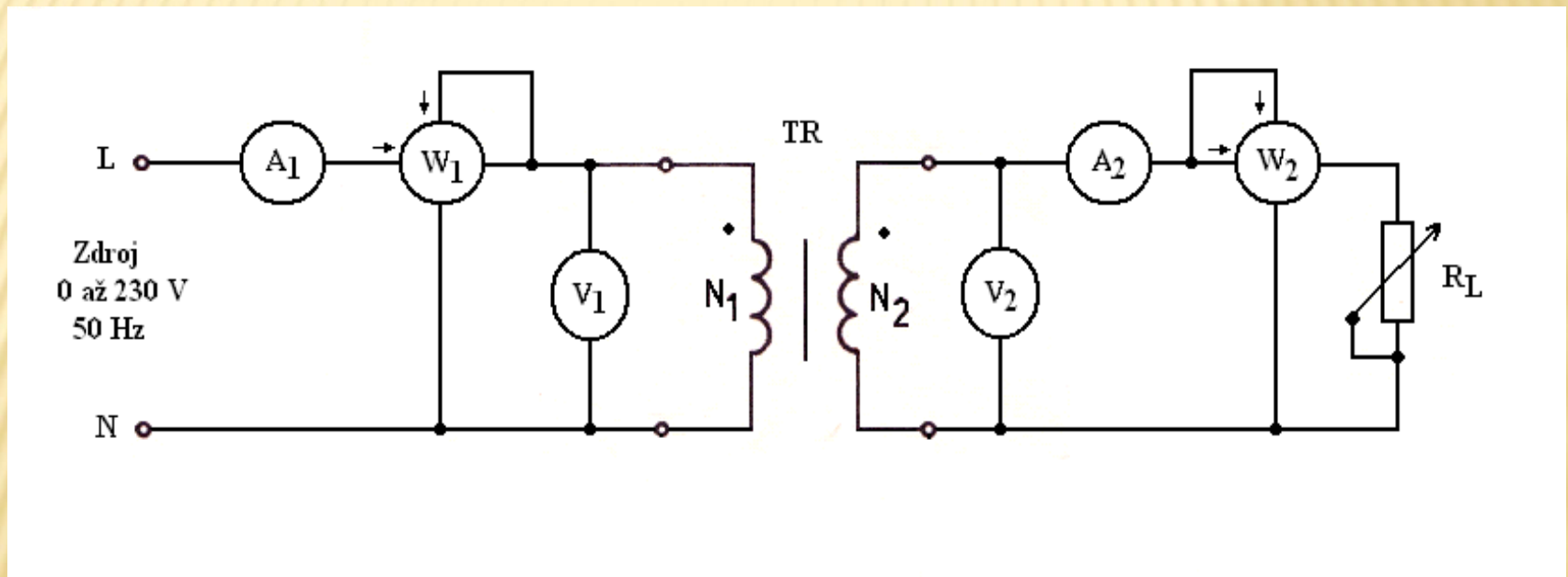
Hodnoty zapisujeme do tabulky:

| Čís. měř. | $I_1$ [A] | $U_{1k}$ [V] | $P_{1k}$     |             |              | $I_{2k}$      |                |              | $S_{1k}$ [VA] | $\cos \varphi_{1k}$ [-] | $u_k$ ( $z_k$ ) [%] | $I_{1k}$ [A] | $I_{2k}$ [A] |
|-----------|-----------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|----------------|--------------|---------------|-------------------------|---------------------|--------------|--------------|
|           |           |              | $\alpha$ [d] | $k_W$ [W/d] | $P_{1k}$ [W] | $U_{2KA}$ [V] | $k_{KA}$ [A/V] | $I_{2k}$ [A] |               |                         |                     |              |              |
| 1.        |           |              |              |             |              |               |                |              |               |                         |                     |              |              |
| 2.        |           |              |              |             |              |               |                |              |               |                         |                     |              |              |



# Měření transformátoru při zatěžování

Zapojíme obvod dle **Obr. 5** (na sekundární vinutí připojíme ampérmetr  $A_2$ , wattmetr  $W_2$  a stavitelný rezistor  $R_L$  dostatečně proudově a výkonově dimenzovaný).



Obr. 5 Měření transformátoru při zatěžování

# Měření transformátoru při zatěžování

## Postup měření:

Měření provádíme při jmenovité hodnotě vstupního napětí ( $U_{1N} = \text{konst.}$ ). Začínáme s odpojeným  $R_L$  a postupně snižujeme jeho hodnotu tak abychom nepřekročili víc jak  $1,2 \times I_{2N}$ . Během měření odečítáme hodnoty na přístrojích  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $W_1$  a  $W_2$  a zapisujeme do tabulky.

Hodnoty zapisujeme do tabulky:

| Čís. měř | $U_1$ [V] | $I_1$ [A] | $P_1$        |          |           | $U_2$ [V] | $I_2$ [A] | $P_2$        |          |           | $S_1$ [VA] | $S_2$ [VA] | $\cos\varphi$ [-] | $\eta$ [%] | $R_L$ [ $\Omega$ ] |
|----------|-----------|-----------|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|--------------|----------|-----------|------------|------------|-------------------|------------|--------------------|
|          |           |           | $\alpha$ [d] | kw [W/d] | $P_1$ [W] |           |           | $\alpha$ [d] | kw [W/d] | $P_2$ [W] |            |            |                   |            |                    |
| 1.       |           |           |              |          |           |           |           |              |          |           |            |            |                   |            |                    |
| 2.       |           |           |              |          |           |           |           |              |          |           |            |            |                   |            |                    |
| 3.       |           |           |              |          |           |           |           |              |          |           |            |            |                   |            |                    |
| 4.       |           |           |              |          |           |           |           |              |          |           |            |            |                   |            |                    |

# Měření transformátoru naprázdno

## Výpočty:

Ztráty naprázdno  $P_{10}$  představují ztráty v železe  $P_{dFe}$  a ztráty z ohmického odporu

$P_{R1} = R_1 I_{10}^2$  primárního vinutí:

$$P_{10} = P_{dFe} + R_1 \cdot I_{10}^2 \quad [W; W, \Omega, A]$$

Při znalosti  $R_1$  můžeme ze vztahu vyjádřit ztráty v železe a ztráty na ohmickém odporu.

$$P_{R1} = R_1 \cdot I_{10}^2 \quad [W; \Omega, A]$$

$$P_{dFe} = P_{10} - R_1 \cdot I_{10}^2 \quad [W; W, \Omega, A]$$

Zdánlivý příkon naprázdno určíme ze vztahu:

$$S_{10} = U_{10} \cdot I_{10} \quad [VA; V, A]$$

# Měření transformátoru naprázdno

Výpočty:

Účinitk naprázdno určíme ze vztahu:

$$\cos \varphi_{10} = \frac{P_{10}}{S_{10}} = \frac{P_{10}}{U_{10} \cdot I_{10}} \quad [ - ; W, VA, W, V, A ]$$

Převod transformátoru určíme ze vztahu:

$$K = \frac{U_{10}}{U_{20}} = \frac{N_1}{N_2} \quad [ - ; V, V, - , - ]$$



# Měření transformátoru nakrátko

Výpočty:

Zdánlivý příkon nakrátko určíme ze vztahu:

$$S_{1k} = U_{1k} \cdot I_1 \quad [\text{VA}; \text{V}, \text{A}]$$

Účinník nakrátko určíme ze vztahu:

$$\cos \varphi_{1k} = \frac{P_{1k}}{S_{1k}} = \frac{P_{1k}}{U_{1k} \cdot I_1} \quad [ - ; \text{W}, \text{VA}, \text{W}, \text{V}, \text{A}]$$

Procentní napětí nakrátko  $u_k$  určíme ze vztahu:

$$u_k = \frac{U_{1k}}{U_{1N}} \cdot 100 = \frac{Z_{1k} \cdot I_{1k}}{Z_{1N} \cdot I_{1N}} \cdot 100 \quad [\% ; \text{V}, \text{V}; \Omega, \text{A}, \Omega, \text{A}]$$

# Měření transformátoru nakrátko

## Výpočty:

Procentní impedanci nakrátko  $z_k$  určíme odvozením z předchozího vztahu při splnění podmínky  $I_{1k} = I_{1N}$

$$z_k = \frac{Z_{1k}}{Z_{1N}} \cdot 100 = \frac{Z_{1k} \cdot I_{1k}}{Z_{1N} \cdot I_{1N}} \cdot 100 = u_k \quad [\%; \Omega, \Omega; \Omega, A, \Omega, A]$$

Skutečný ustálený zkratový proud  $I_{1k}$ , který by protékal vinutím při napájení jmenovitým napětím  $U_{1N}$  určíme ze vztahu:

$$I_{1k} = \frac{I_{1N}}{u_k} \cdot 100 \quad [A; A, \%]$$

Skutečný ustálený zkratový proud v sekundárním vinutí můžeme přibližně určit z následujícího vztahu a porovnáme tuto hodnotu s hodnotou naměřenou klešťovým ampérmetrem.

$$I_{2k} = K \cdot I_{1k} \quad [A; -, A]$$

# Měření transformátoru při zatěžování

## Výpočty:

Zdánlivé výkony určíme jako součin hodnot ampérmetru a voltmetru a činné výkony odečítáme na wattmetrech:

$$S_1 = U_1 \cdot I_1 \quad S_2 = U_2 \cdot I_2 \quad [\text{VA}; \text{V}, \text{A}]$$

Účinitík v primárním obvodu určíme dle vztahu:

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1} = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1} \quad [-; \text{W}, \text{VA}; \text{W}, \text{V}, \text{A}]$$

Účinnost transformátoru určíme dle vztahu:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad [\%; \text{W}, \text{W}]$$

Velikost zatěžovacího odporu vypočteme dle vztahu:

$$R_L = \frac{U_2}{I_2} \quad [\Omega; \text{V}, \text{A}]$$



**Porozuměl jsi problematice  
a postupu měření ?**

**Pokud ne, zkus to znovu !**

**Stiskni „Opakovat“,**

**Pokud ano, prověř svoje znalosti testem**

**ELM-3-2-2.pdf**

