

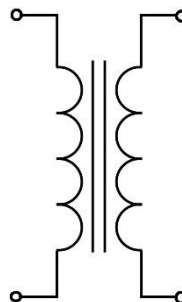
Názov cvičenia:

Meranie na transformátore

Cieľ: naučiť žiakov odmerať základné merania na sieťovom transformátore podľa zadania, vyhodnotiť, či transformátor vyhovuje požiadavkám podľa normy a určiť parametre náhradnej schémy

Úlohy:

1. Odmerajte na sieťovom transformátore:
 - izolačný odpor
 - ohmický odpor vinutí
 - transformačný prevod
 - straty vo feromagnetickom jadre
 - straty vo vinutí cievok
 - účinnosť
2. Určte parametre náhradnej schémy transformátora



Teoretický úvod: charakteristika, schematická značka, rozdelenie, časti, typy strát a ich meranie a ostatné meracie metódy

Transformátor je el. zariadenie, ktoré mení úroveň **striedavého vstupného** signálu na **vyššiu/nížšiu** úroveň tiež **striedavého výstupného** signálu, pri zachovaní frekvencie.

Skladá sa z 2 častí: **EL. OBVOD** = tvorí ho primárne a sekundárne vinutie cievok, kde vznikajú **tepelné straty**. **MAGN. OBVOD** = tvorí ho feromagnetické jadro. Vznikajú tu **straty v jadre** (hysterézne, straty vírivými prúdmi, tepelné straty).

Výkonové (vysokonapäťové) transformátory **treba chladit'** (na dedinách - transformátorový olej). Pri meraní **naprázdno** sú **straty vznikajúce v jadre**. Pri meraní **nakrátko** sú **straty vznikajúce vo vinutí**. Transformátory **rozdeľujeme**: podľa **počtu fáz**: 1/3-fázové; podľa **frekvencie**: NF, VF, sieťové (50Hz); podľa **veľkosti spracovaného napätia**: NN, VN, VVN; podľa **tvaru jadra**: jadrový, plášťový, kruhový; podľa **jadra**: transformátorový plech, feritové jadro, železo-prachové; **špeciálne**: auto-transformátory, zváracie, meracie, signálové. **Vinutia cievok** transformátora sa vyrábajú spôsobom, že **vodiče sú izolované** (smaltované, lakované) aby sa na seba mohli umiestňovať.

Predmet práce:

Transformátor výrobné číslo : **633/2004**

$$I_n = \frac{S_n}{U_n} = \frac{600}{230} = 2,61 \text{ (A)}$$

$$S_n = 600 \text{ VA}$$

$$U_n = 230 \text{ V}$$

$$I_n = 2,61 \text{ A}$$

Pracovná teplota $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Použité meracie prístroje pre všetky merania:

PU 310 – merač izolačných odporov

MEGMET – merač izolačných odporov

Proinstall 200 – D – revízny prístroj Telaris

Multimeter ELMA 6400

Multimeter AXIOMET AX585B

Digitálny wattmeter WATTMETER v.č. ISW8000

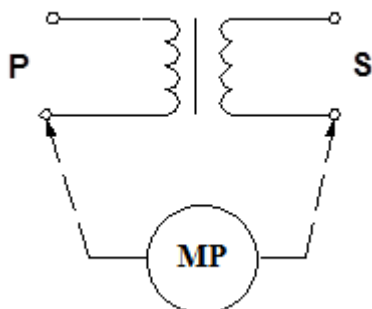
Digitálny wattmeter WATTMETER v.č. ISW8000

Regulovateľný odpor 33 Ω - 3,1 A 500V

Regulovateľný odpor 100 Ω - 1,8 A 500V

Prípojné vodiče

Schéma zapojenia pre meranie izolačného odporu:



Tabuľka nameraných hodnôt pre meranie izolačného odporu:

| M. č. | Meranie medzi | MEGMET R_{iz} (MΩ) | PU 310 R_{iz} (MΩ) | Telaris R_{iz} (MΩ) | (vyhovuje/nevyhovuje) (V/N) |
|-------|--------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 1. | $P - S$ | Blízko nekonečno | Blízko nekonečno | >500 MΩ | V |
| 2. | $P - \text{Jadro}$ | Blízko nekonečno | Blízko nekonečno | > 500 MΩ | V |
| 3. | $S - \text{Jadro}$ | Blízko nekonečno | Blízko nekonečno | >500 MΩ | V |

Postup pri meraní izolačného odporu: *Pripojíme merací prístroj medzi primárnu a sekundárnu stranu a odmeriame izolačný odpor, alebo medzi primárnu-železo; sekundárnu-železo a odčítame odpor na meracom prístroji.*

Vyhodnotenie merania izolačného odporu:

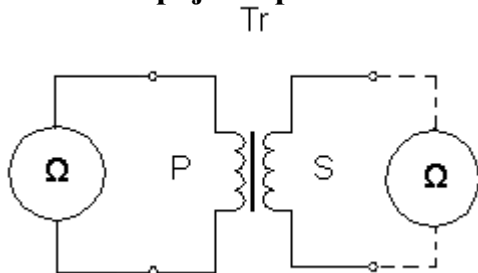
Najmenší izolačný odpor pre transformátor ohriaty na 75°C určíme zo vzťahu

$$R_{iz} \geq \frac{U_n}{1000 + 0,1 \cdot S_n} \geq \frac{230}{1000 + 0,1 \cdot 600} \geq 0,22 \text{ (M}\Omega\text{)}$$

U_n – nominálne napätie transformátor

S_n – nominálny výkon transformátora

Schéma zapojenia pre meranie odporu vinutí cievok transformátora:



Priama meracia metóda

Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt pre meranie odporu vinutí cievok transformátora:

| PRIMÁR | | SEKUNDÁR | |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
| R_{20} (Ω) | R_t (Ω) | R_{20} (Ω) | R_t (Ω) |
| 1510 | 3473 | 1750 | 4025 |

Postup pri meraní odporu vinutí cievok transformátora

Pripojíme merací prístroj (najlepšie Ohmmeter) priamo na sekundárnu, alebo primárnu stranu.

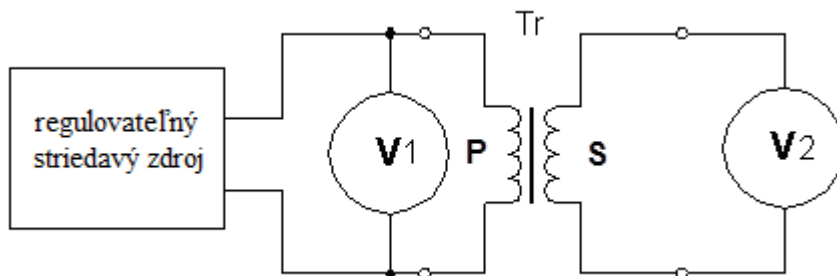
Odmeriame odpor vinutia. Mohli by sme použiť aj RLC mostík, ale pri meraní by mala byť použitá nižšia frekvencia, alebo js. mostík.

Vyhodnotenie merania odporu vinutí cievok transformátora: jednosmerný odpor vinutí

transformátora musíme prepočítať na prevádzkovú teplotu transformátora t. j. 20 °C. Dosadíme konkrétne hodnoty:

$$R_{t^{\circ}C} = R_{20^{\circ}C}(1 + \alpha \Delta t) = 1,51 \cdot 10^3(1 + 0,0065 \cdot 20) = 3473 \Omega$$

Schéma zapojenia pre meranie transformačného prevodu:



Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt pre meranie transformačného prevodu:

| M.Č. | U_1 (V) | U_2 (V) | p (-) | Poznámka |
|---|--------------|--------------|------------|-----------|
| 1. | 23 | 24,2 | 0,95 | 0,1 U_n |
| 2. | 46 | 48,4 | 0,95 | 0,2 U_n |
| 3. | 69 | 71,9 | 0,96 | 0,3 U_n |
| 4. | 92 | 95,6 | 0,96 | 0,4 U_n |
| 5. | 115 | 120,5 | 0,96 | 0,5 U_n |
| 6. | 138 | 144 | 0,96 | 0,6 U_n |
| 7. | 161 | 167 | 0,96 | 0,7 U_n |
| aritmetický priemer $p_{priem} = 0,957$ | | | | |

Postup pri meraní transformačného prevodu: Najprv si vypočítame hodnoty rozsahov

striedavých napätí (0,1-0,7 U_n), pretože trafo sa zahrieva (teda mení sa jeho odpor a vlastnosti).

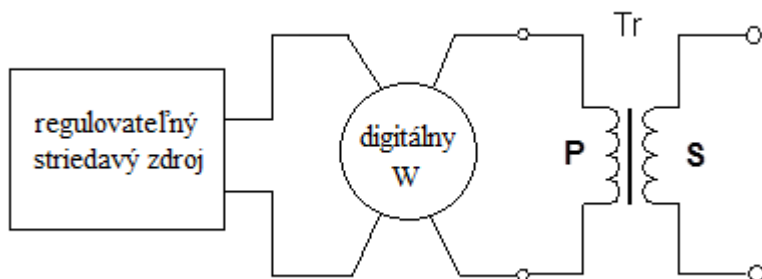
Nastavujeme predom vypočítané hodnoty napätia na primárnej strane a na sekundárnej strane odčítame V_2 príslušné výstupné napätie. Používa sa tu auto-transformátor, ktorý má oddeľovací transformátor.

Použité vzťahy pre meranie transformačného prevodu: dosadíme konkrétne hodnoty:

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{23}{24,2} \quad (-) \quad p_{priem} = \sum_{i=1}^{i=7} \frac{p_i}{7} = \quad (-)$$

Vyhodnotenie merania transformačného prevodu: Oddeľovací transformátor by mal mať prevod 1 ($U_1=U_2$), ale v závislosti od toho ako sú navíjané cievky, ak má vodič vinutia väčšiu dĺžku, má aj väčší odpor.

Schéma zapojenia pre meranie transformátora naprázdno:



Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt pre meranie transformátora naprázdno:

| U_0 (V) | I_0 (A) | P_0 (W) | S_0 (VA) | Z_0 (Ω) | $\cos\varphi_0$ (-) | R_{Fe} (Ω) | X_{1m} (Ω) | Poznámka |
|--------------|--------------|--------------|---------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|----------|
| 230 | 120,8 mA | 5,22 | 0,18 | 1903,97 | 29 | 55,22 k Ω | 923,06 | U_{IN} |

Postup pri meraní transformátora naprázdno: Budeme merať výkon, ktorý naše trafo odoberá, keď je v el. sieti. Ak máme spotrebič, ktorý má trafo a nemáme na neho pripojený žiadny iný spotrebič, aj tak odoberá zo zdroja energiu. Sekundárne svorky sú rozpojené, na vstupe nastavíme menovité napätie 230V a odčítame el. prúd, výkon (činný, jalový, zdanlivý), ostatné parametre dopočítame. Podľa tohto merania určujeme **straty vznikajúce v jadre** = trafo pokrýva straty v železe.

Použitie vzťahy pre meranie transformátora naprázdno: dosadíte konkrétne hodnoty z merania:

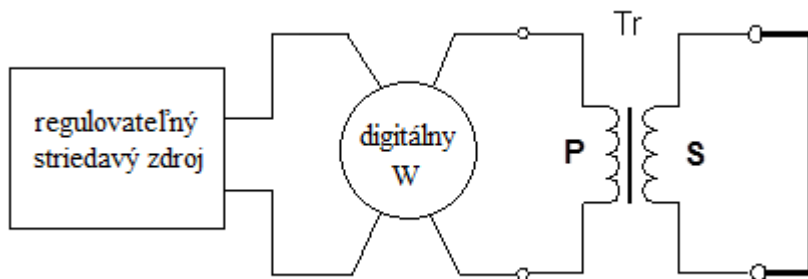
$$S_0 = U_0 \cdot I_0 =$$

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{S_0} = \frac{5,22}{0,18} = 29$$

$$Z_0 = \frac{U_0}{I_0} = \frac{230}{120,8 \cdot 10^{-3}} = 1903,97 \Omega$$

$$R_{Fe} = Z_0 \cdot \cos\varphi_0 = 1903,97 \cdot 29 = 55,22 \text{ k}\Omega \quad X_{1m} = Z_0 \cdot \sin\varphi_0 = 1903,97 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - 29\right) = 923,06 \Omega$$

Schéma zapojenia pre meranie transformátora nakrátko:



Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt pre meranie transformátora nakrátko:

| I_K (A) | U_K (V) | P_K (W) | S_K (VA) | Z_K (Ω) | $\cos\varphi_K$ (-) | R_K (Ω) | X_K (Ω) | Poznámka |
|--------------|--------------|--------------|---------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------|
| 2,6 | 12,8 | 26,5 | 0,78 | 4,92 | 33,97 | 167,13 | 2,75 | I_{IN} |

Postup pri meraní transformátora nakrátko: Sekundárne vinutie spojíme **nakrátko**. Na primárnu stranu **nemôžeme** dať 230V, pretože by sme **odpálili** celý zdroj (celú budovu). **SKRAT** = vysoký prúd a malý odpor. Nominálny prúd sme si vypočítali z údajov na štítku transformátora. Na primárnom vinutí nastavíme hodnotu nominálneho prúdu pre primárne vinutie. Potom odčítame hodnotu skratového napätia, skratové výkony (činný, jalový, zdanlivý) na primárnej strane. Dopočítame ostatné parametre. Podľa tohto merania určujeme **straty vznikajúce vo vinutí**.

Použité vzťahy pre meranie transformátora nakrátko: dosadíte konkrétne hodnoty z merania:

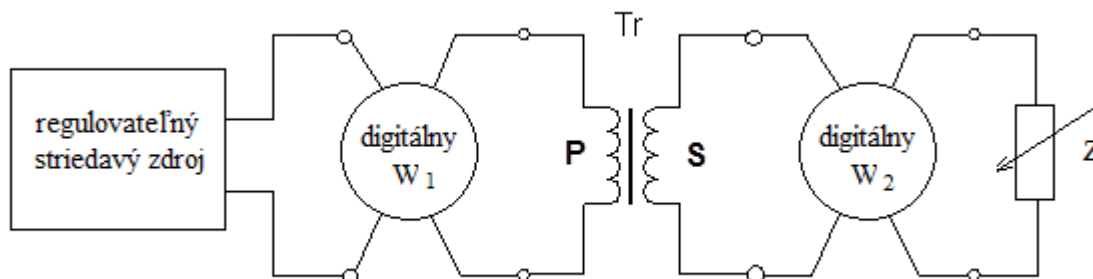
$$S_K = U_K \cdot I_K = 12,8 \cdot 2,6 = 33,28 \text{ VA}$$

$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{S_K} = \frac{26,5}{33,28} = 0,79$$

$$Z_K = \frac{U_K}{I_K} = \frac{12,8}{2,6} = 4,92 \Omega$$

$$R_{Cu} = Z_K \cdot \cos \varphi_K = 4,92 \cdot 0,79 = 3,91 \Omega \quad X_{2m} = Z_K \cdot \sin \varphi_K = 4,92 \cdot \sin \left(\frac{\pi}{2} - 0,79 \right) = 3,75 \Omega$$

Schéma zapojenia pre meranie účinnosti transformátora:



Tabuľka nameraných a vypočítaných hodnôt pre meranie účinnosti transformátora:

$$U_1 = U_{IN} = 230 \text{ V} = \text{konšt.}$$

| M.č. | I ₁ (A) | I ₂ (A) | U ₂ (V) | P ₁ (W) | P ₂ (W) | ΔP (W) | η (%) | Poznámka |
|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|----------|--------------------|
| 1. | 2,12 | 2 | 231,06 | 486 | 462 | 24 | 95,06 | 0,75P _N |
| 2. | 2,43 | 2,3 | 228 | 553 | 523 | 30 | 94,58 | |
| 3. | 2,74 | 2,6 | 227 | 624 | 588 | 36 | 94,23 | 1P _N |
| 4. | 3,15 | 3 | 224 | 715 | 670 | 45 | 93,71 | |
| 5. | 3,51 | 3,3 | 224,4 | 802 | 747 | 55 | 93,14 | 1,25P _N |

Postup pri meraní účinnosti transformátora: Pripojíme 2x digitálny Wattmeter na primárnu aj sekundárnu stranu. Na primárnej strane nastavíme napätie **230V konšt.** a meníme prúd na sekundárnej strane pomocou záťaže, tak aby sme nastavili hodnoty prúdu na sekundárnej strane podľa tabuľky, ktoré sme si vypočítali. Pretože majú byť robené v rozsahu **0,75-1,25** nominálneho prúdu na sekundárnej strane. Keďže prúdy sú vysoké použijeme regulačný odpor (reostat). Následne ku tomu odčítame prúd primárnu, napätie sekundárnu a činné výkony (na P a S strane). Ostatné parametre sa dopočítajú.

Použité vzťahy pre meranie účinnosti transformátora: dosadíte konkrétne hodnoty z jedného merania:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 486 - 462 = 24 \text{ (W)}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{462}{486} \cdot 100 = 95,06 \text{ (%)}$$

Celkové vyhodnotenie transformátora a jeho náhradná schéma:

Pri kreslení náhradnej schémy transformátora uvažujeme vplyv rozptylových indukčností a aby sme mohli vodivo spojiť primár a sekundár, musíme sekundárne veličiny prepočítať na primárnu stranu. Dosadíte konkrétne hodnoty z merania:

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{23}{24,2} = 0,95$$

$$U_1 = U_2 \cdot \frac{N_1}{N_2} = U_2 \cdot p = 22,99 \text{ (V)}$$

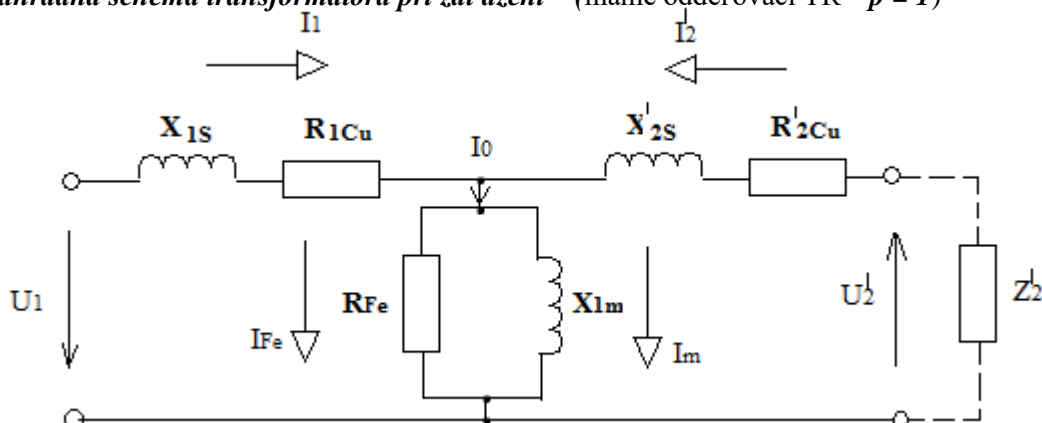
$$U'_2 = p \cdot U_2 = \quad (V) \quad I'_2 = \frac{1}{p} \cdot I_2 = \quad (A) \quad \text{sekundárne } U \text{ a } I \text{ prepočítané na primár}$$

$$Z'_2 = \frac{U'_2}{I'_2} = p^2 \cdot Z_2 = \quad (\Omega) \quad \text{impedancia záťaže prepočítaná na primár}$$

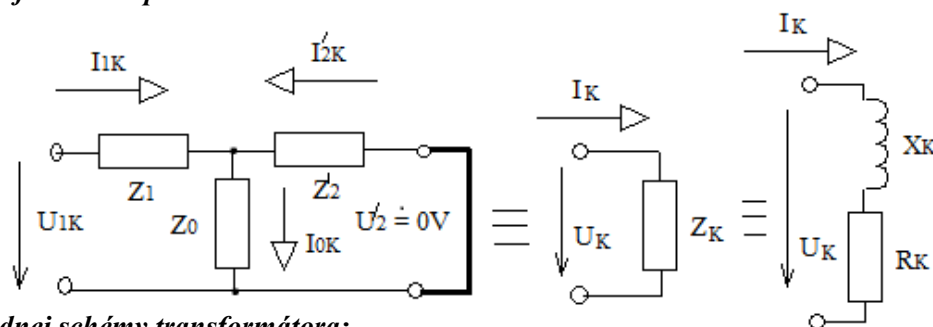
$$R'_{2Cu} = p^2 \cdot R_{2Cu} = 0,957^2 \cdot 167,13 = 153,06 (\Omega)$$

$$X'_{2S} = p^2 \cdot X_{2S} = \quad (\Omega) \quad \text{parazitné sekundárne parametre prepočítané na primár}$$

Náhradná schéma transformátora pri zaťažení (máme oddeľovací TR – $p = 1$)



Náhradná schéma transformátora pri chode nakrátko



Popis a hodnoty náhradnej schémy transformátora:

$U_1 = 230 (V)$ – napájacie napätie primárnej strany

$I_1 (A)$ – prúd na primárnej strane jeho veľkosť je závislá od Z

$U'_2 = 230 (V)$ – sekundárne napätie prepočítané na primár

$I_0 = 120,8 (A)$ – prúd naprázdno (v ideálnom stave = 0A)

$I_m (A)$ – magnetizačný prúd (dá sa vypočítať)

$I_{Fe} (A)$ – prúd na krytie strát vo feromagnetickom jadre (dá sa vypočítať)

$R_{1Cu} = 167,13 (\Omega)$ - odpor vinutia primárnej cievky

$R'_{2Cu} = 1382,93 (\Omega)$ - odpor vinutia sekundárnej cievky prepočítaný na primár

$R_{Fe} = 55,22k (\Omega)$ - odpor zahrňujúci straty vo feromagnetickom jadre

$X_{1m} = 923,06 (\Omega)$ - magnetizačná reaktancia

$X_{1S} (\Omega)$ – rozptylová reaktancia primára (dá sa vypočítať z indukčnosti a vzájomnej indukčnosti)

$X'_{2S} (\Omega)$ – rozptylová reaktancia sekundára prepočítaná na primár (dá sa vypočítať z indukčnosti a vzájomnej indukčnosti)

$p_{priem} = 0,957 (-)$ – priemerný transformačný prevod



$\eta = 95,06\%$ - účinnosť

$I_K = 2,6\text{ (A)}$ – prúd nakrátko

$U_K = 12,8\text{ (V)}$ – napätie pri prúde nakrátko

$Z_K = 4,92\text{ (}\Omega\text{)}$ - celková impedancia nakrátko, to sú straty vo vinutí, z toho:

$R_K = 167,13\text{ (}\Omega\text{)}$ - činný odpor vinutia cievok transformátora

$X_K = 2,75\text{ (}\Omega\text{)}$ - reaktancia vinutí cievok