

# TR - Transformator

Datum: 14.06.2012

Betreiber: Frank Seiboth

Name: Patrick Schitz

Kopplab: TR3

Mitstudent: Frank Dostreicher

## Aufgabenstellung

- Bestimmen Sie die Koppelfaktoren  $k_{1/2} \pm \Delta k_{1/2}$  (zwei unterschiedliche Windungszahlverhältnisse) und den gemittelten Koppelfaktor  $k \pm \Delta k$  des Transformators für die Luftspaltbreite  $s = (2 \cdot 1.5) \text{ mm}$ !
- Bestimmen Sie die Werte der Selbstinduktion  $L_1, L_2$  und der Gegeninduktivität  $M$  bei den Primärspannungen  $U_1 = 20 \text{ V}$  bei einer Luftspaltbreite  $s = 2 \cdot 1.5 \text{ mm}$  und Primärwindungszahl:  $w_1 = 500$ , Sekundärwindungszahl:  $w_2 = 250$ .
- Messen Sie die Verlustleistung des Transformators bei der Primärspannung  $U_1 = 20 \text{ V}$  bei Leerlauf bei einer Luftspaltbreite  $s = 2 \cdot 1.5 \text{ mm}$  und Primärwindungszahl:  $w_1 = 500$ , Sekundärwindungszahl:  $w_2 = 250$ . Um welchen Winkel  $\delta\varphi$  weicht der im Leerlaufbetrieb gemessene Phasenwinkel  $\varphi$  vom Phasenwinkel bei einem idealen Transformator ab? Diskutieren Sie damit die Streuverlustleistung und die sog. Kupferverlustleistung des Transformators.

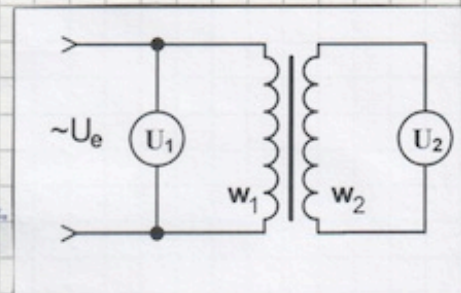
## Durchführung / Schaltpläne

1. Messen der Sekundärspannung

$U_2$  = Abhängigkeit von  $U_1$

• grafische Darstellung

• Koppelfaktoren  $k_1/k_2$  bestimmen

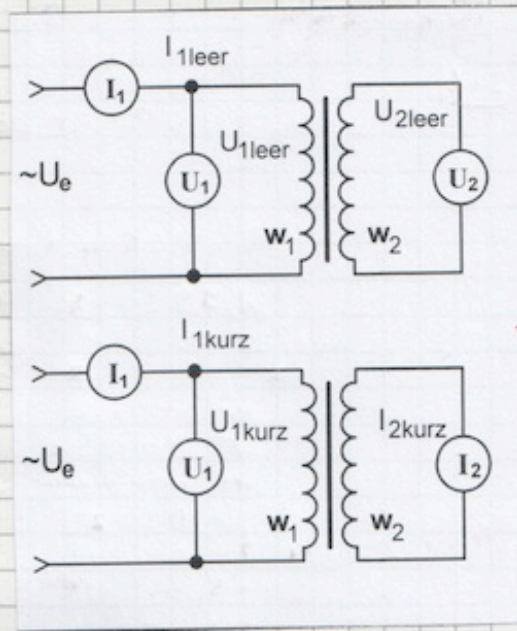


Für  $n_1:n_2 = 500:250$  soll  $0 \leq U_1 \leq 30 \text{ V}$  ( $k_1$ )  
getragen und

für  $n_1:n_2 = 250:500$  soll  $0 \leq U_1 \leq 20 \text{ V}$  ( $k_2$ )  
getragen.

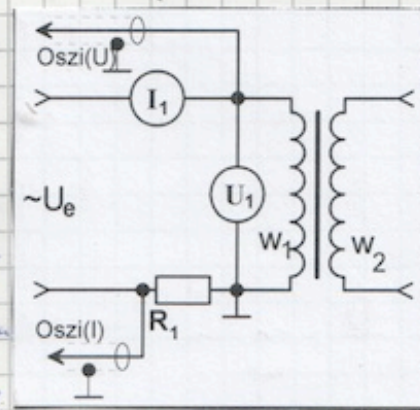
2) • Schaltung aufbauen

- $I_{1\text{leer}}$ ,  $U_{1\text{leer}}$  +  $U_{2\text{leer}}$   
 $I_{\text{leer}}$  und  $I_{\text{kurz}}$  messen
- Berechnung  $L_1$ ,  $L_2$  und  $M$



3) • Messung Primärstrom  $I_1$  bei

- Primärspannung  $U_1 = 20V$
- keine der Phasenverschiebung  
 zwischen Primärstrom und Primär-  
 spannung mit dem Verschiebung
- Berechnung Verlustleistung  $P_V$  und



Diskussion der Streu- und Kupferverluste.

Benötigte Formeln

$$\left| \frac{U_2}{U_1} \right| = k \cdot \frac{U_2}{U_1} \quad \Rightarrow \quad k = \frac{U_2 \cdot n_1}{U_1 \cdot n_2}$$

$$L_1 = \frac{U_{1\text{leer}}}{\omega \cdot I_{1\text{leer}}} \quad [L] \text{ in H}$$

$$L_2 = \frac{I_{2\text{kurz}} \cdot U_{1\text{kurz}}}{\omega \cdot I_{1\text{kurz}} \cdot I_{2\text{kurz}}}$$

$$M = \frac{U_{2\text{leer}}}{\omega \cdot I_{1\text{leer}}} \quad [M] \text{ in H}$$

$$\varphi = \frac{\Delta t}{T} \cdot 360^\circ$$

$$P = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi \quad [P] \text{ in W}$$

Messwerte

Digitalmultimeter VC220

Zul.

①  $u_1 : u_2 = 500 : 200$

$0 \leq u_1 \leq 30V$

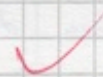
$u_1$ in V	$u_2$ in V
1,99 ± 0,03	0,69 ± 0,02
5,00 ± 0,05	1,78 ± 0,02
(*) 8,02 ± 0,08	2,88 ± 0,03
11,00 ± 0,10	3,98 ± 0,04
15,00 ± 0,13	5,46 ± 0,05
18,00 ± 0,15	6,58 ± 0,06
21,0 ± 0,27	7,72 ± 0,07
(**) 24,0 ± 0,29	8,97 ± 0,08
27,0 ± 0,32	9,98 ± 0,09
30,0 ± 0,34	11,08 ± 0,10

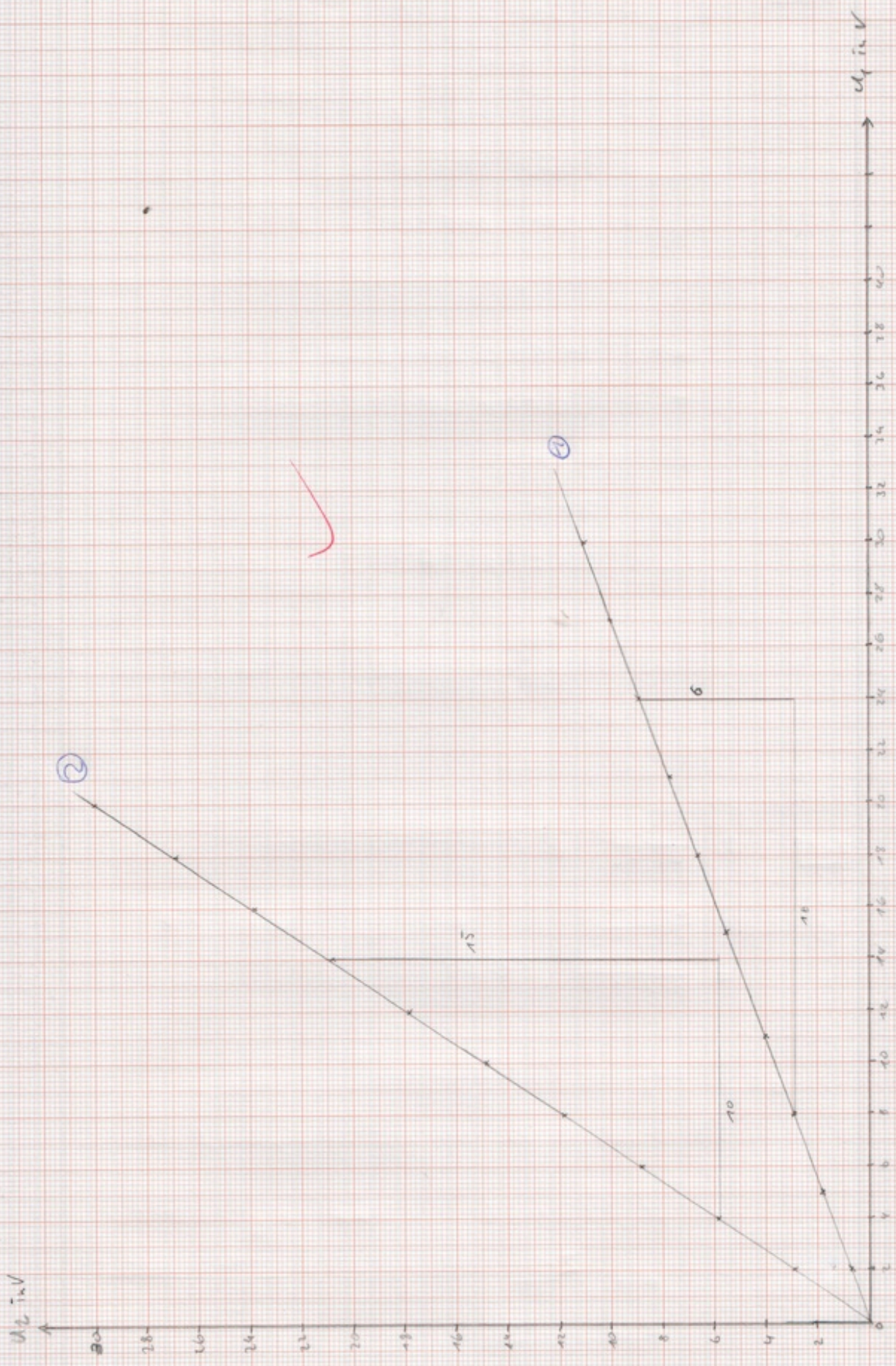


②  $u_1 : u_2 = 250 : 500$

$0 \leq u_2 \leq 20V$

$u_1$ in V	$u_2$ in V
2,02 ± 0,03	2,94 ± 0,03
(***) 4,02 ± 0,04	5,88 ± 0,06
6,01 ± 0,06	8,84 ± 0,08
8,00 ± 0,07	11,79 ± 0,10
10,00 ± 0,09	14,79 ± 0,13
12,01 ± 0,11	17,77 ± 0,15
(****) 14,00 ± 0,12	20,8 ± 0,3
16,01 ± 0,14	23,8 ± 0,3
18,00 ± 0,15	26,9 ± 0,3
19,99 ± 0,17	30,0 ± 0,3





zu 2.

$$U_{\text{Leer}} = (20 \pm 0,3) \text{ V}$$

$$I_{\text{Leer}} = (0,250 \pm 0,004) \text{ A}$$

$$U_{\text{kurz}} = (7,36 \pm 0,07) \text{ V}$$

$$I_{\text{kurz}} = (0,633 \pm 0,008) \text{ A}$$

$$I_{\text{max}} = (0,91 \pm 0,05) \text{ A}$$

Fehler mittels Genauigkeitsgrenzen des Messgerätes bestimmt.

zu 3.

$$\Delta t = (4,80 \pm 0,04) \text{ ms}$$

$$T = (20 \pm 0,1) \text{ ms}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$U_0 = (20 \pm 0,3) \text{ V}$$

$$I_0 = (0,250 \pm 0,004) \text{ A}$$

Fehler mittels Genauigkeitsgrenzen des Messgerätes bestimmt.

Berechnungen:

zu 1.

$$k = \frac{U_2 - U_1}{U_1 - U_2}$$

$$\textcircled{1} k_1 = \frac{\Delta U_1 - U_2}{\Delta U_1 - U_2} = \frac{6V - 500}{16V - 250}$$

$$= 0,75$$

$$\Delta U_1 = 16V$$

$$U_1 = 250$$

$$\Delta k_1 = \left| \frac{U_2}{\Delta U_1 - U_2} \right| \Delta U_1 + \left| \frac{U_1 - U_2}{\Delta U_1 - U_2} \right| \Delta U_1$$

(\*) 2-mal für die Werte von Steigungswinkel berechnen

$$(*) \Delta k_{1a} = 0,0146$$

$$(**) \Delta k_{1b} = 0,0155$$

$$\Delta k_1 = \frac{\sum \Delta k_i}{2} = \frac{\Delta k_{1a} + \Delta k_{1b}}{2} = \frac{0,0146 + 0,0155}{2}$$

$$\Delta k_1 = 0,0151$$

$$\Rightarrow k_1 = \Delta k_1 = 0,75 \pm 0,0151$$

②  $k_2 = \frac{u_{L2} \cdot u_A}{u_{L1} \cdot u_2} = \frac{15V \cdot 250}{10V \cdot 500} = 0,75$

$u_{L2} = 15V$      $u_{L1} = 10V$   
 $u_A = 250$      $u_2 = 500$

$$\delta k_2 = \left| \frac{u_A}{u_{L1}} \right| \delta u_{L2} + \left| \frac{u_A u_2}{u_{L1} (u_A)^2} \right| \delta u_A$$

↳ Zahl genau für die Werte von Nennwert

(xxx)  $\delta k_{2pp} = 0,0147$     (\*\*\*\*)  $\delta k_{2B} = 0,0158$

$$\delta k_2 = \frac{\delta k_{2pp} + \delta k_{2B}}{2} = \frac{0,0147 + 0,0158}{2}$$

$$\delta k_2 = 0,0153$$

$$\Rightarrow k_2 \pm \delta k_2 = 0,75 \pm 0,0153$$

↳  $k \pm \delta k = 0,75 \pm 0,0153$

2.2 L

$$L_1 = \frac{u_{L1,eff}}{\omega \cdot I_{eff}} = \frac{20V}{2\pi \cdot 50Hz \cdot 0,250A} \quad \checkmark = 50Hz$$

$$L_1 = 0,22H$$

$$L_2 = \frac{u_{L2,eff} \cdot I_{eff}}{\omega \cdot I_{eff} \cdot I_{eff}} = \frac{7,36V \cdot 0,633A}{2\pi \cdot 50Hz \cdot 0,51A \cdot 0,25A}$$

$$L_2 = 0,056H$$

$$\delta L_1 = \left| \frac{1}{\omega \cdot I_{eff}} \right| \delta u_{L1,eff} + \left| \frac{u_{L1,eff}}{\omega \cdot (I_{eff})^2} \right| \delta I_{eff}$$

$$\delta L_1 = 0,0033H + 0,0030H = 0,0063H$$

$$\delta L_2 = \left| \frac{u_{L2,eff}}{\omega \cdot I_{eff} \cdot I_{eff}} \right| \delta I_{eff} + \left| \frac{I_{eff} \cdot I_{eff}}{\omega \cdot I_{eff} \cdot I_{eff}} \right| \delta u_{L2,eff} + \left| \frac{u_{L2,eff} \cdot I_{eff}}{\omega \cdot (I_{eff})^2 \cdot I_{eff}} \right| \delta I_{eff} + \left| \frac{u_{L2,eff} \cdot I_{eff}}{\omega \cdot I_{eff} \cdot (I_{eff})^2} \right| \delta I_{eff}$$

$$\delta L_2 = 0,005H$$

$$H = \frac{u_{L2,eff}}{\omega \cdot I_{eff}} = \frac{7,36V}{2\pi \cdot 50Hz \cdot 0,250A}$$

$$H = 0,081H$$

$$\delta H = \left| \frac{1}{\omega \cdot I_{eff}} \right| \delta u_{L2,eff} + \left| \frac{u_{L2,eff}}{\omega \cdot (I_{eff})^2} \right| \delta I_{eff}$$

$$\delta H = 0,0019H$$

⇒  $L_1 \pm \delta L_1 = (0,22 \pm 0,0063)H$

⇒  $L_2 \pm \delta L_2 = (0,056 \pm 0,005)H$

⇒  $H \pm \delta H = (0,081 \pm 0,0019)H$

2a3

$$P_v = U_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos \varphi$$

$$P_v = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_0}{\sqrt{2}} \cdot \cos\left(\frac{\omega t}{T} - 360^\circ\right)$$

$$P_v = \frac{30V}{\sqrt{2}} \cdot \frac{0,29A}{\sqrt{2}} \cdot \cos\left(\frac{4,8-2}{20-5} - 360^\circ\right)$$

$$P_v = 0,182 \text{ W}$$

$$\varphi = \frac{\omega t}{T} - 360^\circ = \frac{4,8-2}{20-5} \cdot 360$$

$$\varphi = 86,4^\circ$$

$$\Delta \varphi = \left| \frac{360^\circ}{T} \cdot \Delta t \right| + \left| \frac{\omega t - 360^\circ}{T} \cdot \Delta t \right|$$

$$\Delta \varphi = 1,15^\circ$$

$$\varphi \pm \Delta \varphi = (86,4 \pm 1,15)^\circ$$

$$\Delta P_v = \left| \frac{\partial P_v}{\partial I_{eff}} \cdot \cos \varphi + \frac{\partial P_v}{\partial U_{eff}} \cdot \cos \varphi + \frac{\partial P_v}{\partial \varphi} \cdot (-\sin \varphi) \right| \cdot \Delta t$$

$$\Delta P_v = 0,058 \text{ W}$$

$$P_v \pm \Delta P_v = (0,182 \pm 0,058) \text{ W}$$

## Auswertung

zu 1

Der Koppelkoeffizient  $k$  beträgt 0,75 und ist somit kleiner 1, d.h. es gibt Verluste durch Wirbelströme, das Hystereseverhalten des Transformators und den ohmschen Widerstand. Der ideale Transformator hat ein Koppelkoeffizient von 1.

Der Ausstieg von  $k_1$  ist kleiner als von  $k_2$ , was durch das größere Wickelverhältnis  $N_2$  bedingt ist, wenn die Wickelanzahl  $N_2$  größer als  $N_1$  ist.

zu 2.

Die Selbstinduktion  $L_1$  ist ca.

4-mal so groß wie die von  $L_2$ . Dabei ist die Spannung wesentlich kleiner ist, ist die Selbstinduktion auch kleiner. Die Gegeninduktivität bewegt sich zwischen  $k$  und  $L_1$  und  $L_2$ .

zu 3.

Die Verlustleistung beträgt 9182 W, die Phasenverschiebung liegt bei  $86,4^\circ$ . Die Verlustleistung entsteht durch den ohmschen Widerstand <sup>der Cu-Drahtes</sup>, die durch Wirbelströme und das Hystereseverhalten des Transformators (Transformator wird warm). Außerdem werden Streufelder des Magnetfeldes auf, da dieses den Eisalkern auch zum Teil verlässt.

17/19.6.12 Gold