

Einführung

In diesen Versuch behandeln wir die Übertragungseigenschaft eines Transformators.

Es geht um die Umwandlung von elektrischer Energie bei der Primärspannung zu elektrischer Energie bei der Sekundärspannung. Außerdem wird der Wechselstromkreis und für diesen wichtigen Größen betrachtet.

Theorie / Verwendete Formeln / Schaltungen

Ein Transformator besteht aus einem Eisenkern, an den zwei Kupferspulen der Induktivität L_1 & L_2 gewickelt sind. Die Spulen haben Widerstände R_1 & R_2 , die Verluste (durch Hysteresis & Wirbelströme) werden vernachlässigt.

Für dieses „Vierpol“ gelten folgende Gleichungen (Transformatorgleichungen):

$$U_1 = (i\omega L_1 + R_1) I_1 + i\omega M I_2$$

$$U_2 = i\omega M I_1 + (i\omega L_2 + R_2) I_2$$

Dabei ist $M \rightarrow$ Gesamtsinduktivität. Im Idealfall durchdringt der magnetische Fluss beide Spulen, daher definiert man den Streukoeffizienten $\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2}$.

Bei unserem Versuch betrachten wir nur den symmetrischen Trafo. Dafür gilt nämlich $L_1 = L_2$ und $R_1 = R_2$. Unter der Voraussetzung $R \ll \omega L$ aus den Vierpolgleichungen leitet man folgende Gleichungen her. So erhält man für die Spannungsübersetzung:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{R}{R + 2R_2} \cdot \frac{M}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma \omega L}{R + 2R_2}\right)^2}}$$

Somit die Stromübersetzung

$$\frac{M}{L} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{M}{\sqrt{1 + \left(\frac{R + 2R_2}{\omega L}\right)^2}}$$

Beden gilt für den Kurzschlussstrom im Sekundärkreis: $I_{2k} = \frac{M}{\sigma \omega L} \cdot U_1$ ($L_1 = L_2 = L$)

Bei Leerlauf ($R = \infty$) $\frac{U_1}{I_1} = \omega L_1$

Bei Kurzschluss ($R = 0$) $\frac{U_1}{I_1} = \sigma \omega L_1$



Aufgabe 23.8 A

Die zulässige Stromstärke des Schieberegulators darf die zulässige Maximalstromstärke des Widerstands nicht überschreiten.

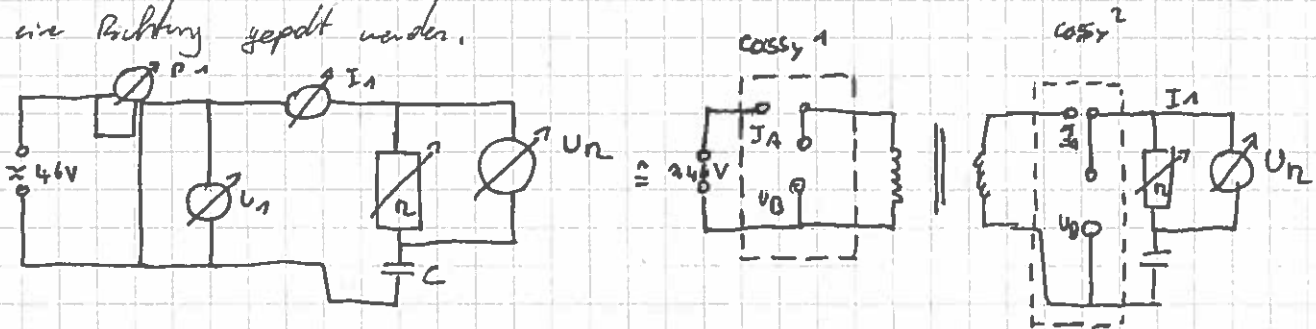
$$Z_{ges} = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}$$

$$I_{eff} = U_{eff}(\omega C)$$

Mit $U_{eff} = 47 \text{ V}$ $\omega = 2\pi f = 100\pi \text{ Hz}$ $C = 80 \mu\text{F}$

folgt $I_{eff} = U_{eff} \omega C$
 $= 1,18 \text{ A}$

Elkos darf man nicht benutzen, da wir Wechselstrom benutzen und Elkos dürfen nur in eine Richtung gepolt werden.



23.8 a

I A1/A	U B1/V	P1/W	cos(phi)1	I A2/A	U B2/V-Ur	P2/W	cos(phi)2
0,72	47,4	26,2	0,77	0,02	35,9	0	-0,01
0,9	47,3	26,1	0,61	-0,02	28	0	-0,01
1,13	47,5	5,2	0,1	-0,02	2,9	0	0
1,08	47,4	15,2	0,29	-0,02	12,6	0	-0,01
1	47,4	22,7	0,48	-0,02	21,4	0	0,02
0,91	47,3	25,8	0,6	-0,02	27,2	0	-0,01
0,82	47,3	26,8	0,69	-0,02	32	0	-0,01
0,75	47,3	26,6	0,75	-0,02	34,8	0	-0,01
0,67	47,3	25,4	0,81	-0,02	37,7	0	-0,01
0,62	47,3	24,4	0,83	-0,02	39,1	0	-0,01
0,54	47,3	22,3	0,87	-0,02	41,1	0	-0,02
0,46	47,3	19,7	0,9	-0,02	42,7	0	-0,01
0,42	47,3	18,1	0,91	-0,02	43,6	0	-0,01



} Falsche Werte kopiert
kann ignoriert werden

$$R = \frac{U_B}{I}$$

$$\Delta R = \sqrt{(\frac{1}{I} \Delta U_B)^2 + (\frac{U_B}{I^2} \Delta I)^2}$$

↳ siehe nächste Seite

die 6 brauchen wir folgende Formeln

$R = U_R / I$

$\cos(\varphi) = U_R / U$

$P_S = U_S \cdot I$

$P_W' = P_S \cos(\varphi)$

$\Delta R = \sqrt{(\frac{1}{I} \Delta U_R)^2 + (U_R / I^2 \Delta I)^2}$

$\Delta \cos \varphi = \sqrt{(\frac{1}{U} \Delta U_R)^2 + (U_R / U^2 \Delta U)^2}$

$\Delta P_S = \sqrt{(I \Delta U)^2 + (U \Delta I)^2}$

$\Delta P_W' = \sqrt{(\cos \varphi \Delta P_S)^2 + (P_S \Delta \cos \varphi)^2}$

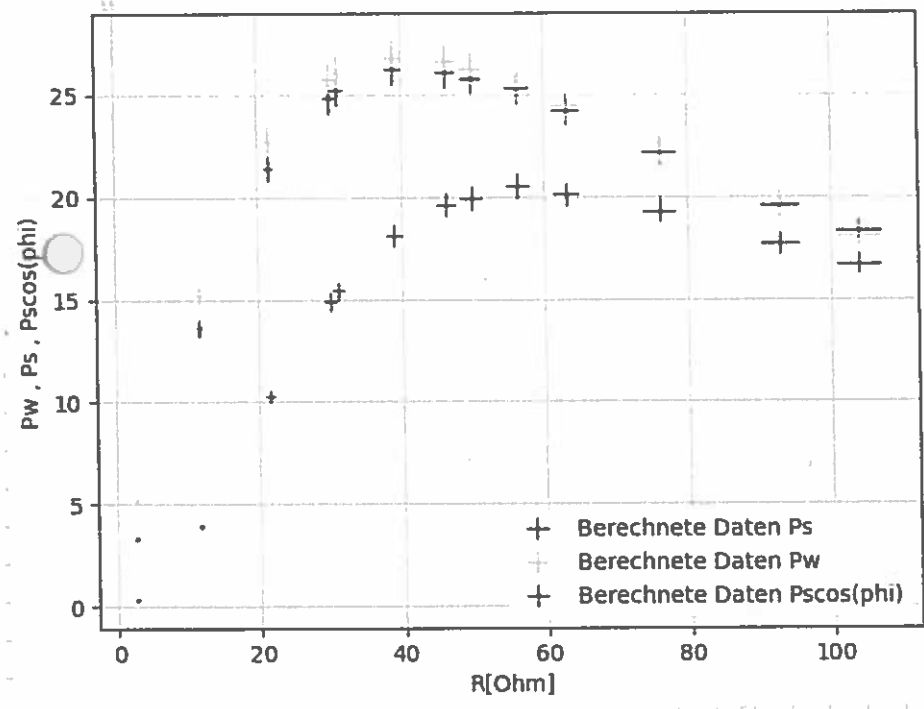
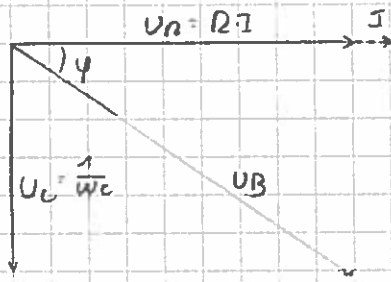
Die Fehler

werden automatisch

mit meinem

Programm berechnet

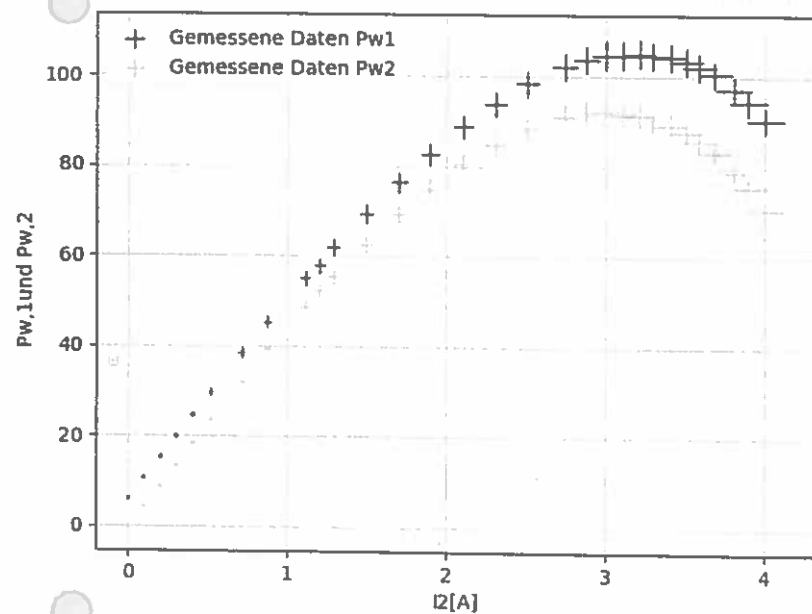
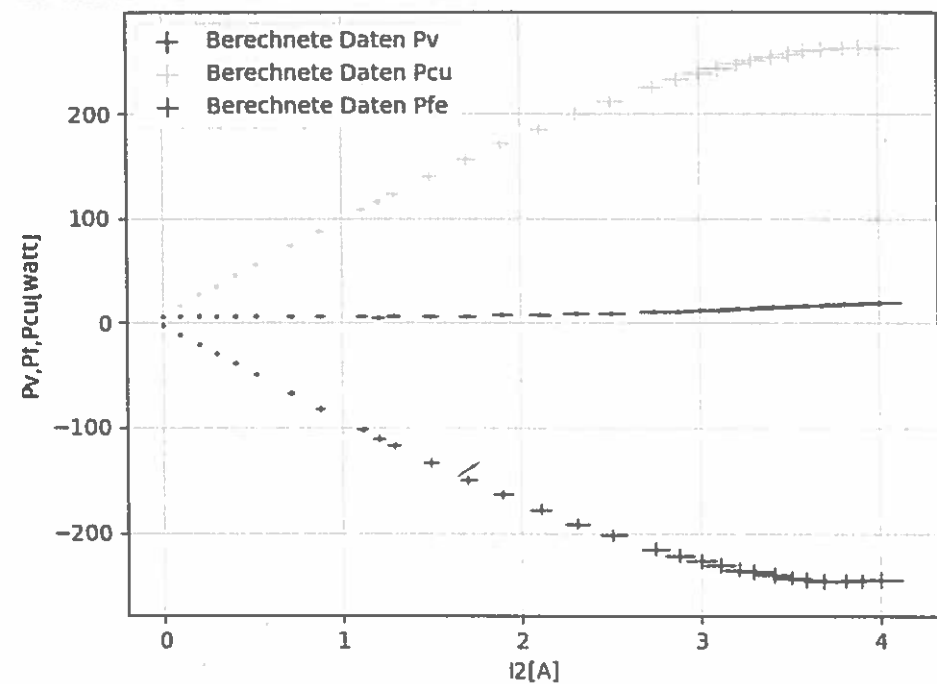
R	Ps	Pw	pscos(phi)
49,9	25,8	26,2	19,9
31,1	25,2	26,1	15,4
2,6	3,3	5,2	0,3
11,7	13,6	15,2	3,9
21,4	21,4	22,7	10,3
29,9	24,8	25,8	14,9
39,0	26,2	26,8	18,1
46,4	26,1	26,6	19,6
56,3	25,3	25,4	20,5
63,1	24,2	24,4	20,1
76,1	22,2	22,3	19,3
92,8	19,6	19,7	17,7
103,8	18,3	18,1	16,7



$P_{W,max} = \frac{1}{2} \omega C U_{eff}^2 \quad | \quad \omega = 2\pi \cdot 50Hz \quad C = 8 \cdot 10^{-5}F$
 $= (27,759 \pm 0,007)W$
 $R = \frac{1}{\omega C} = (39,79 \pm 0,05)\Omega$

das ist der Wert für $I_2 = 0 \rightarrow$ siehe Fazit

I_{A1}/A	U_{B1}/V	$1\cos(\phi_{I1})$	I_{A2}/A	U_{B2}/V	$2\cos(\phi_{I1})$	P_1/W	P_2/W	ps_2/W	pcu/W	n	pv/W	pfe/W	ps_1/W	$R1/Ohm$	$R2/Ohm$
0.179	47,468	0,708	0,002	47,326	0,674	6,022	0,066	0,098	8,606	0,011	5,956	-2,65	8,509	264,813	22968,399
0.271	47,518	0,83	0,095	47,175	0,913	10,677	4,107	4,496	17,361	0,385	6,571	-10,791	12,865	175,507	495,003
0.369	47,522	0,884	0,2	46,969	0,962	15,515	9,039	9,393	26,934	0,583	6,477	-20,458	17,542	128,74	234,876
0.462	47,486	0,909	0,297	46,718	0,978	19,941	13,547	13,855	35,802	0,679	6,394	-29,408	21,947	102,743	157,536
0.564	47,463	0,922	0,402	46,446	0,986	24,691	18,418	18,684	45,477	0,746	6,273	-39,204	26,793	84,081	115,459
0.675	47,481	0,929	0,516	46,159	0,99	29,764	23,576	23,806	55,854	0,792	6,187	-49,667	31,049	70,344	89,502
0.868	47,335	0,932	0,713	45,424	0,994	38,3	32,178	32,369	73,471	0,84	6,121	-67,349	41,102	54,513	63,744
1.03	47,294	0,929	0,877	44,842	0,996	45,262	39,141	39,308	88,022	0,865	6,121	-81,901	48,713	45,917	51,155
1.337	47,236	0,915	1,204	43,465	0,997	57,802	52,204	52,353	115,503	0,903	5,598	-109,906	63,151	35,333	36,086
1.263	47,299	0,921	1,111	43,944	0,997	54,99	48,665	48,814	108,544	0,885	6,325	-102,219	59,73	37,455	39,561
1.437	47,249	0,91	1,288	43,053	0,997	61,757	55,311	55,461	123,353	0,896	6,446	-116,907	67,892	32,883	33,421
1.64	47,13	0,896	1,493	41,968	0,998	69,284	62,522	62,664	139,961	0,902	6,763	-133,199	77,298	28,737	28,108
1.847	47,025	0,88	1,701	40,762	0,998	76,402	69,191	69,329	156,17	0,906	7,211	-148,959	86,841	25,464	23,966
2.039	47,023	0,862	1,897	39,645	0,998	82,697	75,06	75,19	171,08	0,908	7,637	-163,443	95,89	23,059	20,904
2.246	46,966	0,841	2,105	38,26	0,998	88,717	80,401	80,53	186,002	0,906	8,317	-177,685	105,472	20,914	18,177
2.446	46,955	0,818	2,308	36,857	0,998	93,913	84,933	85,062	199,923	0,904	8,98	-190,942	114,861	19,195	15,97
2.645	46,938	0,792	2,508	35,299	0,999	98,317	88,391	88,516	212,689	0,899	9,927	-202,763	124,173	17,743	14,077
2.877	46,894	0,757	2,742	33,284	0,999	102,189	91,149	91,274	226,187	0,892	11,04	-215,147	134,912	16,3	12,137
3.012	46,87	0,734	2,88	31,962	0,999	103,663	91,932	92,065	233,215	0,887	11,731	-221,484	141,15	15,563	11,096
3.131	46,858	0,714	3,002	30,826	0,999	104,788	92,406	92,534	239,253	0,882	12,382	-226,871	146,719	14,965	10,269
3.236	46,916	0,69	3,106	29,602	0,998	104,806	91,78	91,943	243,758	0,876	13,026	-230,733	151,816	14,499	9,531
3.341	46,937	0,67	3,213	28,489	0,998	105,077	91,371	91,533	248,334	0,87	13,706	-234,628	156,802	14,05	8,867
3.422	46,893	0,653	3,296	27,507	0,998	104,751	90,49	90,653	251,14	0,864	14,26	-236,88	160,487	13,702	8,347
3.531	46,905	0,629	3,405	26,234	0,998	104,221	89,165	89,328	254,94	0,856	15,056	-239,884	165,612	13,285	7,704
3.625	46,922	0,608	3,505	25,039	0,998	103,367	87,598	87,761	257,853	0,847	15,769	-242,083	170,092	12,944	7,144
3.71	46,931	0,587	3,588	23,952	0,998	102,146	85,79	85,952	260,047	0,84	16,356	-243,691	174,095	12,651	6,675
3.804	46,968	0,562	3,683	22,688	0,998	100,474	83,407	83,57	262,247	0,83	17,067	-245,179	178,676	12,346	6,16
3.922	46,888	0,528	3,806	20,802	0,998	97,076	79,011	79,17	263,068	0,814	18,065	-245,003	183,898	11,955	5,466
4.014	46,903	0,501	3,898	19,382	0,998	94,277	75,391	75,551	263,814	0,8	18,886	-244,928	188,264	11,685	4,972
4.114	46,923	0,468	4,004	17,678	0,998	90,382	70,619	70,775	263,814	0,781	19,762	-244,051	193,038	11,406	4,416



Die Seite vorher berechnet:

$$P_{S2} = U_2 \cdot I_2$$

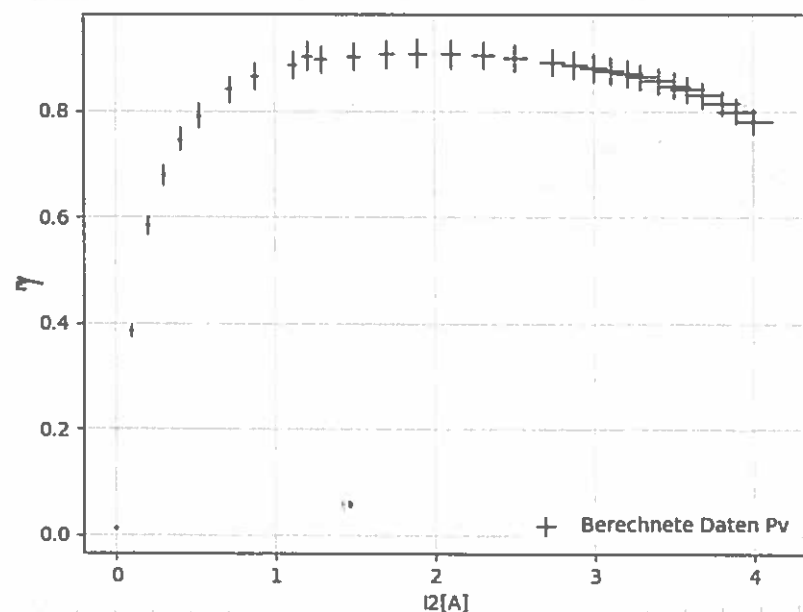
$$P_{Cu} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2$$

$$\eta = \frac{P_{W2}}{P_{W1}}$$

$$P_v = P_{W1} - P_{W2}$$

$$P_{Fe} = P_v - P_{Cu}$$

$$P_{S1} = U_1 \cdot I_1$$



238e

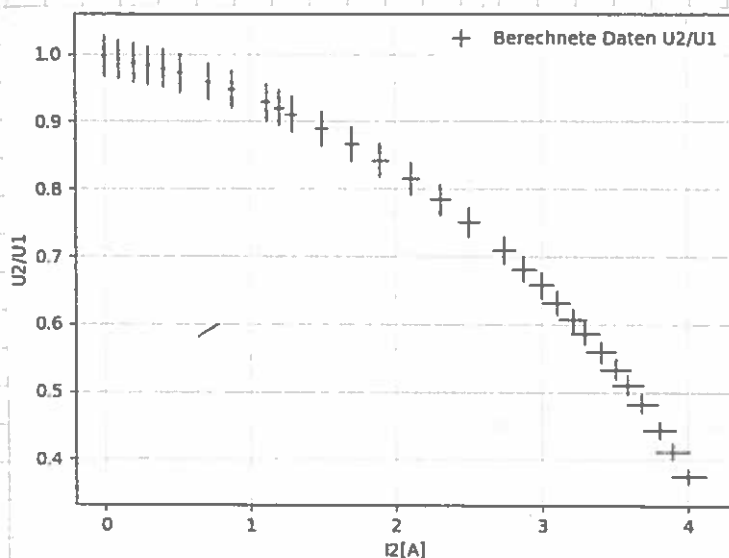
$$R \rightarrow \infty \text{ (Leerlauf)} \Rightarrow w_L = \frac{U_1}{I_1}$$

$$\Delta U_1 = \Delta I_1 = 0,001$$

$$w_L = \frac{47,5}{0,18} = 263,89 \pm 1,46 \text{ V/A}$$

238a.

U2/U1	I A2 / A
0,997	0,002
0,993	0,095
0,988	0,200
0,984	0,297
0,979	0,402
0,972	0,516
0,960	0,713
0,948	0,877
0,920	1,204
0,929	1,111
0,911	1,288
0,890	1,493
0,867	1,701
0,843	1,897
0,815	2,105
0,785	2,308
0,752	2,508
0,710	2,742
0,682	2,880
0,658	3,002
0,631	3,106
0,607	3,213
0,587	3,296
0,559	3,405
0,534	3,505
0,510	3,588
0,483	3,683
0,444	3,806
0,413	3,898
0,377	4,004



$$w_L = \sqrt{1 - \sigma} = \sqrt{1 - 0,0084} = 0,996 \pm 0,001 \rightarrow +$$

$$w_L = 263,89 \pm 1,46 \text{ V/A}$$

→ e.

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{R}{R + 2R_v} \cdot \frac{w_L}{\sqrt{1 + \frac{\sigma w_L^2}{R + 2R_v}}}$$

$$\Delta\left(\frac{U_2}{U_1}\right) = \sqrt{\left(\frac{R \Delta(w_L)}{\sqrt{(R+2R_v)^2 + (\sigma w_L)^2}}\right)^2 + \left(\frac{R w_L \cdot \frac{1}{2} \cdot 2(R+2R_v)^2}{((R+2R_v)^2 + (\sigma w_L)^2)^{3/2}} \Delta R_v\right)^2 + \left(\frac{R w_L \cdot \frac{1}{2} \cdot 2\sigma (w_L)^2}{((R+2R_v)^2 + (\sigma w_L)^2)^{3/2}} \Delta \sigma\right)^2 + \left(\frac{R w_L \cdot \frac{1}{2} \cdot 2(w_L) \sigma^2}{((R+2R_v)^2 + (\sigma w_L)^2)^{3/2}} \Delta(w_L)\right)^2}$$

• Kurzschlussfall $R \rightarrow 0$

$$\frac{I_2}{I_1} = 1 - \frac{\sigma}{2} \Rightarrow \sigma = 2 - 2 \frac{I_2}{I_1}$$

$$\sigma = 0,053 \pm 0,0006$$

$$\Delta \sigma = \sqrt{\left(2 \frac{1}{I_1} \Delta I_1\right)^2 + \left(-2 \frac{I_2}{I_1^2} \Delta I_2\right)^2}$$

• Leerlauffall $R \rightarrow \infty$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{M}{L} = \sqrt{1 - \sigma} \Rightarrow \sigma = 1 - \frac{U_2^2}{U_1^2}$$

$$\sigma = 0,0084 \pm 0,000459$$

$$\Delta \sigma = \sqrt{\left(-\frac{2U_2}{U_1^2} \Delta U_2\right)^2 + \left(\frac{2U_2}{U_1^2} \Delta U_1\right)^2}$$

• Beträge der Eingangsimpedanz für $R \rightarrow 0$ & $R \rightarrow \infty$

$$\frac{U_1}{U_2} \frac{I_1}{I_2} = \sigma \quad \sigma = 0,0499 \pm 0,00028$$

$$\Delta \sigma = \sqrt{\left(\frac{U_2 I_1}{U_1 I_2} \Delta U_1\right)^2 + \left(\frac{U_2 I_1}{U_1 I_2} \Delta I_2\right)^2}$$

• für gemessenen Kurzschlussstrom

$$I_{zk} \sigma_{wL} = U_1 \Rightarrow \sigma = \frac{U_1}{I_{zk} \cdot wL} \quad \sigma = 0,0508 \pm 0,0028$$

$$\Delta \sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{I_{zk} wL} \Delta U_1\right)^2 + \left(\frac{U_1}{I_{zk}^2 wL} \Delta I_{zk}\right)^2 + \left(\frac{U_1}{I_{zk} wL^2} \Delta wL\right)^2}$$

Die Fehler liegen noch im Fehlerbereich.

Fazit:

Der Versuch scheint recht gut gelaufen zu sein, auch die Diagramme sehen sinnvoll aus. Bei danc hat meine Tabelle jeweils eine Stelle mehr als die, die wir auf den PC während des Praktikums betrachten konnten. Deswegen ist mein Angezeigter I_2 Wert nicht $= 0$ obwohl er das am PC angezeigt hat.

