Versuch 238

Transformator

- Lernziele:
  - Es sollen Übertragungseigenschaften eines Transformators und das Messverfahren mit jenem experimentell nachvollzogen werden.
  - Größen und Methoden, die relevant für das Verständnis von Wechselstromkreisen sind sollen behandelt werden.

Erläuterung

- Komplexe Darstellung
- es wird für Wechselstromprobleme die komplexe Darstellung von Größen genutzt, mit:

  a.) Impedanzen – zeitunabhängigen komplexen Zahlen Z

  b.) Strömen und Spannungen – zeitabhängigen komplexen Zahlen $U = U_0 \cdot e^{i\omega t}$ und $I = I_0 \cdot e^{i\omega t + \varphi}$ (mit φ – Phasenwinkel zwischen U und I)
- Es gilt: $U = ZI$
- U und I haben Kreise als Ort-Zeit-Kurven.

- Leistungsanpassung

Ist eine reale Spannungsquelle mit einer Lastimpedanz $Z = R + iX$ abgeschlossen, so gilt für die Wirkleistung (P_w):

$P_w = 0{,}5\,|UI|\cos\varphi$ mit $U = \frac{Z}{Z_i + Z} U_L$, außerdem $P_W = 0{,}5\,\mathrm{Re}(UI^*)$

Unterscheidung:

R und X werden so gewählt, dass P_w maximal wird:

$$X = -X_i \qquad R = R_i \qquad P_{w,max} = \frac{U^2_{L,eff}}{4R_i}$$

b.) ... Spannungsquelle ($R_i = X_i = 0$): Wähle R so, dass P_w maximal:

$$R = |X| \qquad P_{w,max} = \frac{U^2_{L,eff}}{2|X|}$$

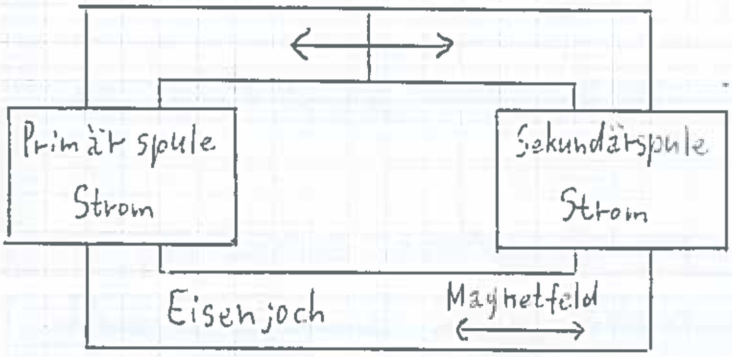
c.) $R_i = X = 0$. Wähle R so, dass P_w maximal:

$$R = |X_i| \qquad P_{w,max} = \frac{U^2_{L,eff}}{2|X_i|}$$

- Transformator

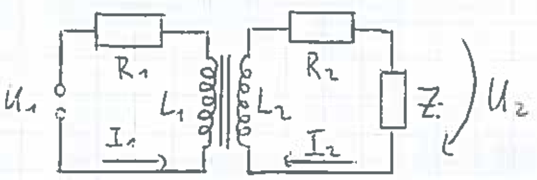
– Wirkungsweise und Aufbau eines Transformators

zwei Spulen: das in der einen Spule entstehende Magnetfeld (durch Stromfluss) durchsetzt die Windungsfläche der anderen (und umgekehrt). Durch die zeitliche Änderung des Stroms wird Spannung induziert. Diese verhält sich (wie auch die magnetischen Flüsse) proportional zu den Windungszahlen.



(Seitenansicht Transformator.)

– Transformator als Überträger in Schaltung:



Es gilt:

$$U_1 = (i\omega L_1 + R_1) \cdot I_1 + i\omega M \cdot I_2$$
$$U_2 = (i\omega M \cdot I_1) + (i\omega L_2 + R_2) \cdot I_2$$

Mit Impedanzmatrixschreibweise (Z_{jk}):

$$U_1 = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2$$
$$U_2 = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2$$

– Betriebsverhalten

Der magnetische Fluss durchsetzt nur im Idealfall beide Spulen vollständig, daher wird für einen realistischen Fall ein Streukoeffizient (σ) definiert: $\sigma = 1 - M^2/(L_1 L_2)$ (M–Gegeninduktivität)

Für verschwindenden Streufluss gilt: $M^2 = L_1 L_2$

Trafo abgeschlossen mit Wirkwiderstand $Z = R$ und vernachlässigte Kupferverluste ($R_1 = R_2 \doteq 0$):

a.) Spannungsübersetzung:
$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{M/L_1}{\sqrt{1+\left(\frac{6\omega L_2}{R}\right)^2}}$$

b.) Stromübersetzung:
$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{M/L_2}{\sqrt{1+\left(\frac{R}{\omega L_2}\right)^2}}$$

c.) Eingangsimpedanz:
$$\frac{U_1}{I_1} = \frac{L_1}{L_2} R \sqrt{\frac{1+\left(\frac{6\omega L_2}{R}\right)^2}{1+\left(\frac{R}{\omega L_2}\right)^2}}$$

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

ii) Kurzschlussfall ($R=0$): $\frac{U_1}{I_1} = 6\omega L_1$

- Symmetrischer Transformator mit Kupferverlusten
- Symmetrie: $n_1 = n_2$ (n_1/n_2 - Windungszahlen)
- Unter Berücksichtigung von $R_V = R_1 = R_2$ und mit $L = L_1 = L_2$ gilt:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{M/L}{\sqrt{1+\left(\frac{R+R_V}{\omega L}\right)^2}} \qquad \frac{U_2}{U_1} = \frac{R}{R+2R_V} \cdot \frac{M/L}{\sqrt{1+\left(\frac{6\omega L}{R+2R_V}\right)^2}} \qquad \frac{U_1}{I_1} = (R+2R_V)\sqrt{\frac{1+\left(\frac{6\omega L}{R+2R_V}\right)^2}{1+\left(\frac{R+R_V}{\omega L}\right)^2}}$$

- Für die Sekundärseite des Trafos erhält man:

$$U_{2,L} = \frac{M}{L} U_1 \qquad R_{2,i} = 2R_V \qquad X_{2,i} = 6\omega L$$

- Leistungsverluste:

Wenn $P_{W,2}$ - die auf den Sekundärkreis übertragene Wirkung, dann:

$$P_{W,2} = \left(\frac{M}{L}\right)^2 \cdot \frac{R}{(R+2R_V)^2 + (6\omega L)^2} \cdot U_I^2$$

Diese wird maximal bei $R^2 = R^2_{max} = 4R_V^2 + (6\omega L)^2$ und wenn $2R_V \ll 6\omega L \rightarrow R_{max} = 6\omega L$ und damit: $P_{W,2,max} = \frac{M}{L} \frac{U_I^2}{2 6\omega L}$

Kurzschluss: $P_{W,2} = 0$

Die primäre Wirkleistung muss sowohl die Verluste (Kupferverlust $P_{Cu} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2$, Hysterese- und Wirbelstromverluste P_{Fe})

$P_{W,1} = P_{W,2} + P_{Cu} + P_{Fe}$

Die primäre Wirkleistung ($P_{W,1}$) bleibt im Kurzschluss endlich.

Voraufgaben

Aufgabe 238 A:

Für den Widerstand $R = 0\,\Omega$ wird I (Stromstärke) maximal.
Daraus folgt für den Gesamtwiderstand: $Z_{ges} = \frac{1}{\omega C}$

$\Rightarrow \quad I_{eff} = \frac{U_{eff}}{Z_{ges}} = U_{eff} \cdot \omega C = 1{,}18\,A$

Es sollte kein Elektrolytkondensator verwendet, da dieser empfindlich auf die Polung reagiert und dadurch zerstört werden kann. Da es sich um Wechselstrom handelt ist die Verwendung eines Elektrolytkondensators ~~nicht~~ nicht sinnvoll bzw. möglich.

Messwerte

a.) 50 Hz Spannungsquelle $I_{A2} = (0{,}12 \pm 0{,}01)$ A

$U_{eff} \approx 47{,}3\,V \pm 0{,}2\,V$ Fehler: $0{,}2\,V$ (U_{B2}, U_{B1})

$C = 80\,\mu F$

$U_{B2} = U_R$ [V]	$\cos\varphi_1$	I_{A1} [A]	$P_1 = P_W$ [W]	Nr.
44,1	0,89	0,44	18,7	1
43,3	0,89	0,49	20,5	2
42,1	0,87	0,55	22,6	3
41,0	0,86	0,60	24,1	4
38,8	0,82	0,68	26,3	5
34,9	0,75	0,80	28,2	6
27,2	0,59	0,97	27,2	7
18,3	0,41	1,09	21,4	8
9,5	0,23	1,16	12,7	9
4,1	0,12	1,19	6,7	10

$R_{ges} = 100\,\Omega$

Messfehler: $(\cos\varphi) \pm 0{,}01$

$(P_W) \pm 0{,}01\,W$

$(I_{A1}) \pm 0{,}01\,A$

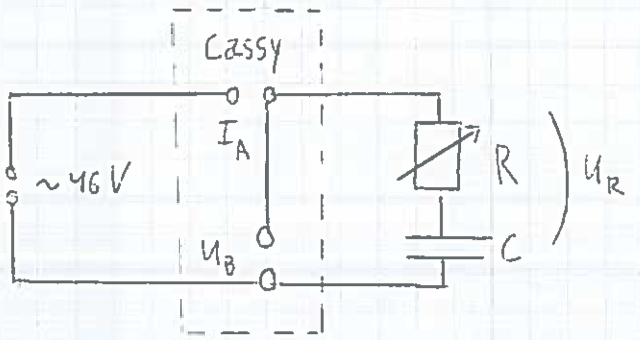
238.2 Versuchsdurchführung

Vorversuch

Aufgabe 238. a.

In diesem Versuchsteil sollen verschiedene Größen mit der folgenden Schaltung gemessen werden (bei verschiedenen Widerständen

Schaltung:

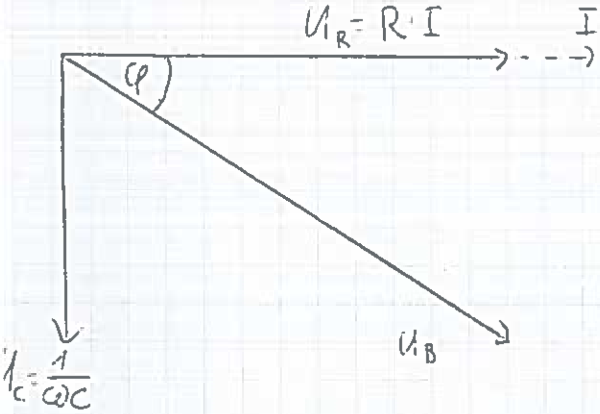


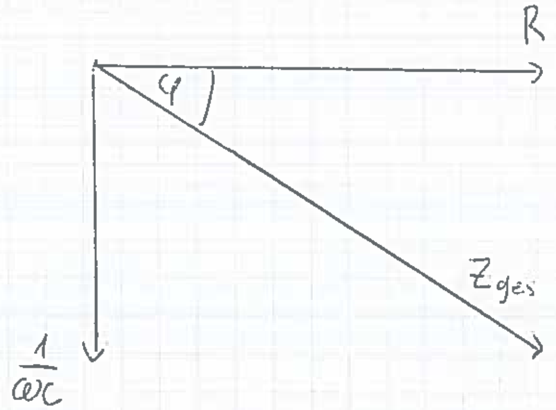
Geräte / Größen	Messfehler / Werte
- Spannungsquelle	- 50 Hz
- U_{eff}	- $\approx 47{,}3\,V \pm 0{,}2\,V$
- Spannung U_{B1}, U_{B2}	- $\pm 0{,}2\,V$
- Kondensator	- $C = 80\,\mu F$
- Wirkleistung P_W	- $\pm 0{,}1\,W$
- Stromstärken I_{A1}, I_{A2}	- $\pm 0{,}01\,A$
- $\cos(\varphi)$	- $\pm 0{,}01$

Die Werte die aus der durchgeführten Messung bestimmt wurden finden sich unter „Messwerte" (letzte Seite).

Aufgabe 238. b.

Nun sollen die in a bestimmten Werte ausgewertet werden, dazu wird als erstes ein Zeigerdiagramm der Schaltung erstellt:



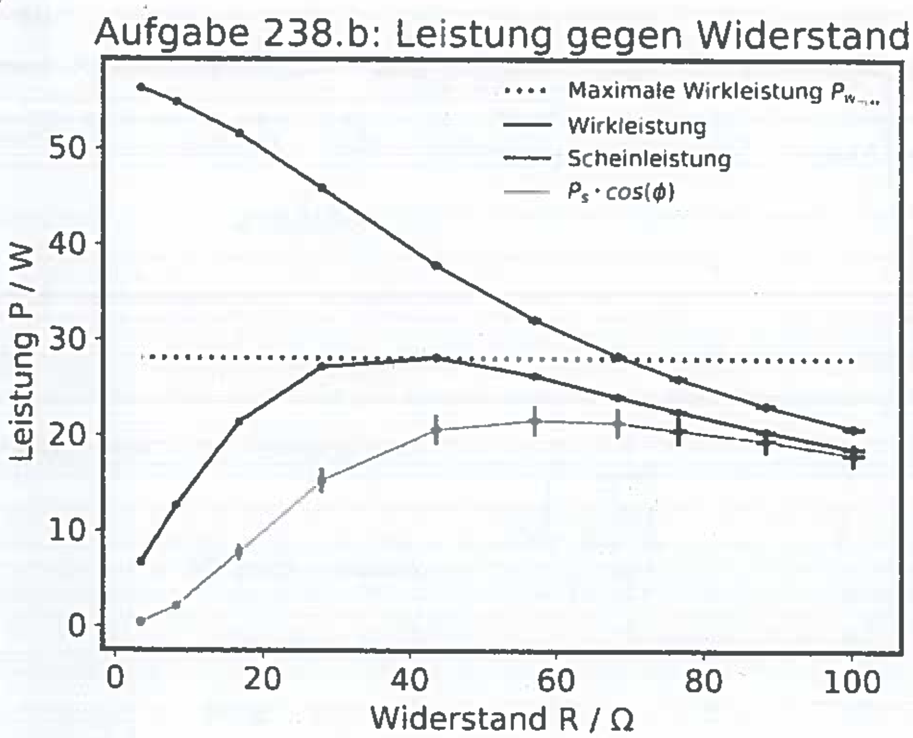


Als nächstes sollen die Größen $P_s = UI$ und $P_s \cos(\varphi)$ mit $\cos(\varphi) = \frac{U_R}{U}$ und P_W gegen $R = U_R / I$ graphisch dargestellt werden

Im folgenden werden die Werte R, P_s und $\cos(\varphi)$ bestimmt und die jeweiligen Fehler mit der Gaußschen Fehlerfortpflanzung berücksichtigt:

U_R [V]	I [A]	P_s [W]	cos(ϕ)	ΔP_s [W]	Δcos(ϕ)	P_s*cos(ϕ) [W]	Δ(P_s*cos(ϕ)) [W]	R [Ohm]	ΔR [Ohm]
44,1	0,44	19,40	0,93	0,45	0,06	18,09	1,29	100,23	1,58
43,3	0,49	21,22	0,92	0,44	0,06	19,42	1,38	88,37	1,40
42,1	0,55	23,16	0,89	0,44	0,06	20,61	1,48	76,55	1,23
41	0,6	24,60	0,87	0,43	0,06	21,32	1,54	68,33	1,12
38,8	0,68	26,38	0,82	0,41	0,06	21,64	1,59	57,06	0,96
34,9	0,8	27,92	0,74	0,38	0,06	20,60	1,59	43,63	0,78
27,2	0,97	26,38	0,58	0,33	0,05	15,17	1,32	28,04	0,58
18,3	1,09	19,95	0,39	0,28	0,04	7,72	0,82	16,79	0,43
9,5	1,16	11,02	0,20	0,25	0,03	2,21	0,33	8,19	0,32
4,1	1,19	4,88	0,09	0,24	0,02	0,42	0,10	3,45	0,24

Jetzt folgt die graphische Darstellung der jeweiligen Leistungen (Wirkleistung P_W, Scheinleistung P_s und $P_s \cdot \cos(\varphi)$) in Abhängigkeit von R



Manche Fehler sind dabei zu gering um sie sinnvoll graphis darzustellen.

Zuletzt soll die maximale Leistung $P_{w,max}$ und der dazugehörige Widerstand bestimmt und in die graphische Darstellung einbezogen werden.

Es gilt: $P_{w,max} = \frac{1}{2}\omega C \cdot U^2_{eff} = \frac{1}{2} 2\pi\nu C \cdot U^2_{eff} = \pi \nu C U^2_{eff} \approx$

$\approx 28{,}11\ W$

Fehlerbestimmung (Gaußsche Fehlerfortpflanzung):

$$\Delta P_{w,max} = \sqrt{\left(\frac{dP_{w,max}}{dU_{eff}} \cdot \Delta U_{eff}\right)^2} \approx 0{,}12\ W \Rightarrow P_{w,max} = (28{,}11 \pm 0{,}12)\,W$$

Der dazugehörige Widerstand R: $R = \frac{1}{\omega C} \approx 39{,}79\ \Omega$

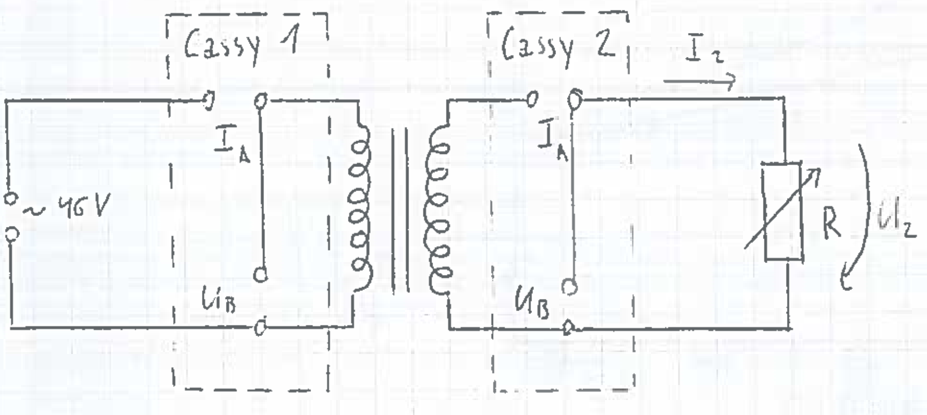
Auf dem Graphen wurde $P_{w,max}$ mit einer punktierten Linie dargestellt. Der errechnete Wert weicht allerdings von dem graphischen Maximum ab, was an zu geringen Messfehlern liegen könnte oder gar an unberücksichtigten Messfehlern bei R.

Messungen am Transformator

Aufgabe 238. c.

Es sollen mehrere Größen mit der folgenden Schaltung ~~mit~~ unter Verwendung verschiedener Schiebewiderstände bestimmt werden.

Schaltung:



Messfehler:

- Die Messfehler werden größten Teils aus der Aufgabe a übernommen

Trafo-Werte:

$R_V = 0{,}6\ \Omega$

$L = 2{,}2\ mH$

Messergebnisse:

I_A1 [A]	U_B1 [V]	cos(ϕ_1)	I_A2 [A]	U_B2 [V]	cos(ϕ_2)	P_1 [W]	P_2 [W]
1,45	46,34	0,900	1,11	41,56	0,99753	60,56	45,84
1,51	46,33	0,897	1,16	41,25	0,99759	62,80	47,92
1,59	46,29	0,891	1,24	40,86	0,99776	65,49	50,39
1,67	46,20	0,886	1,32	40,32	0,99780	68,30	53,15
1,79	46,22	0,876	1,43	39,74	0,99787	72,39	56,73
1,95	46,15	0,861	1,61	38,62	0,99807	77,59	61,88
2,11	46,12	0,845	1,74	37,69	0,99810	82,21	65,57
2,28	46,08	0,825	1,91	36,54	0,99823	86,61	69,55
2,54	46,02	0,791	2,16	34,52	0,99830	92,30	74,39
2,76	45,97	0,756	2,38	32,66	0,99838	96,02	77,46
3,00	45,94	0,714	2,61	30,40	0,99845	98,56	79,17
3,45	45,92	0,619	3,04	25,47	0,99847	98,07	77,40
3,78	45,95	0,529	3,37	20,87	0,99861	91,82	70,19
4,15	46,07	0,396	3,74	14,28	0,99865	75,77	53,29
4,49	46,36	0,206	4,09	5,02	0,99858	42,91	20,48
4,56	46,46	0,153	4,15	2,47	0,99786	32,40	10,25

($\cos(\varphi_2)$ wurde hierbei nicht signifikant gerundet, da sich sonst der Entwicklungstrend schwer beobachten lässt)

Aufgabe 238. d.

Nun kann und soll man folgende Größen aus den gemessenen Werten bestimmen:

$P_{S,2} = U_2 I_2 \qquad P_{S,1} = U_1 I_1 \qquad P_V = P_{W,1} - P_{W,2}$

$P_{Cu} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 = R_V (I_1^2 + I_2^2) \qquad P_{Fe} = P_V - P_{Cu} \qquad \eta = \frac{P_{W,1}}{P_{W,2}}$

mit: P_V – Verlustleistung

P_{Cu} – Kupferverluste

P_{Fe} – Eisenverluste

η – Wirkungsgrad

Errechnete Werte:

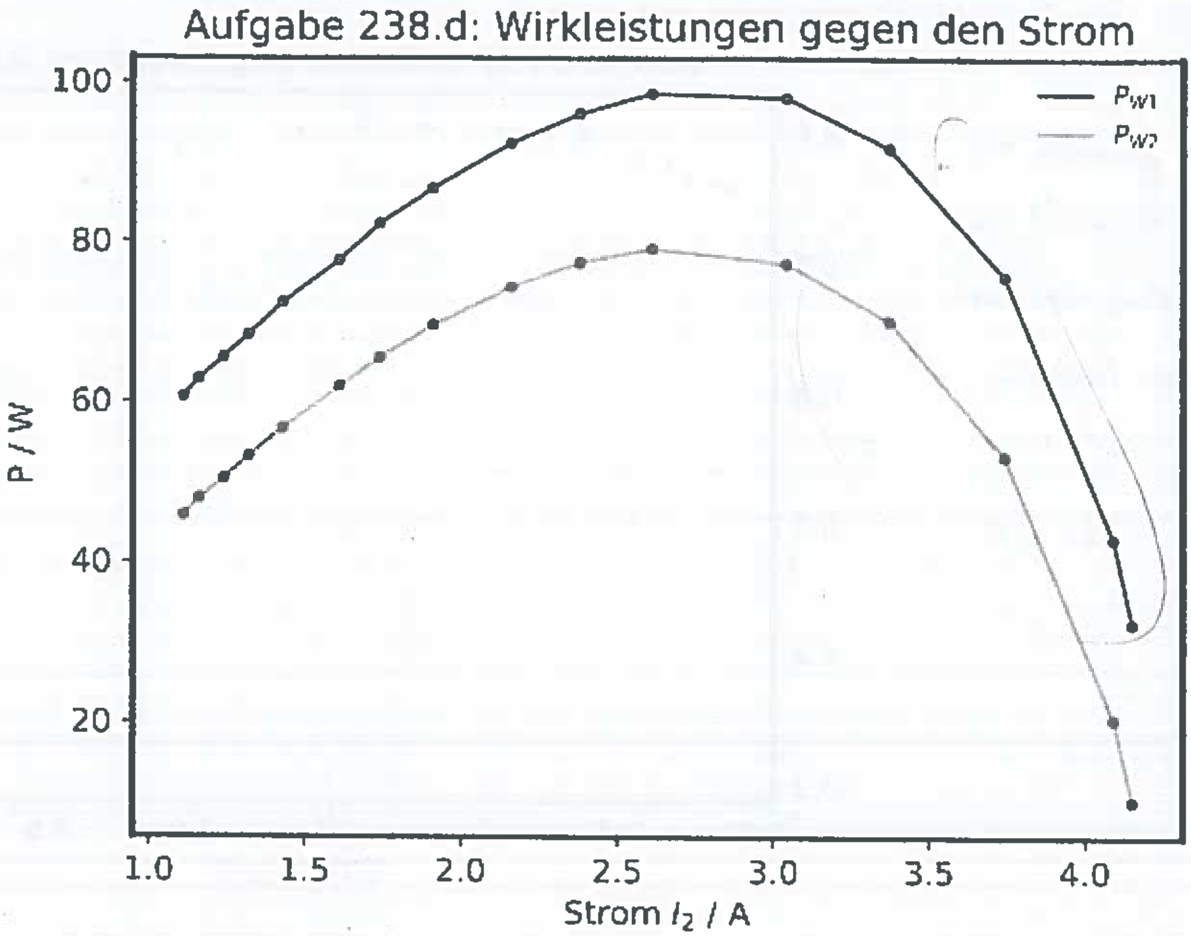
P_S,1 [W]	P_S,2 [W]	P_V [W]	P_Cu [W]	P_Fe [W]	η
67,28	45,96	14,72	1,998	12,72	0,757
70,05	48,04	14,88	2,185	12,70	0,763
73,46	50,50	15,11	2,428	12,68	0,769
77,13	53,27	15,15	2,719	12,43	0,778
82,64	56,85	15,67	3,147	12,52	0,784
90,16	62,00	15,72	3,837	11,88	0,797
97,33	65,70	16,64	4,496	12,14	0,798
105,00	69,67	17,06	5,297	11,77	0,803
116,71	74,51	17,92	6,653	11,26	0,806
126,95	77,58	18,56	7,961	10,60	0,807
138,05	79,29	19,39	9,501	9,89	0,803
158,35	77,52	20,67	12,692	7,98	0,789
173,60	70,28	21,63	15,371	6,26	0,764
191,14	53,36	22,48	18,706	3,77	0,703
208,22	20,51	22,43	22,128	0,31	0,477
211,64	10,28	22,14	22,798	-0,66	0,317

Die Messfehler wurden mit der Gaußschen Fehlerfortpflanzung bestimmt:

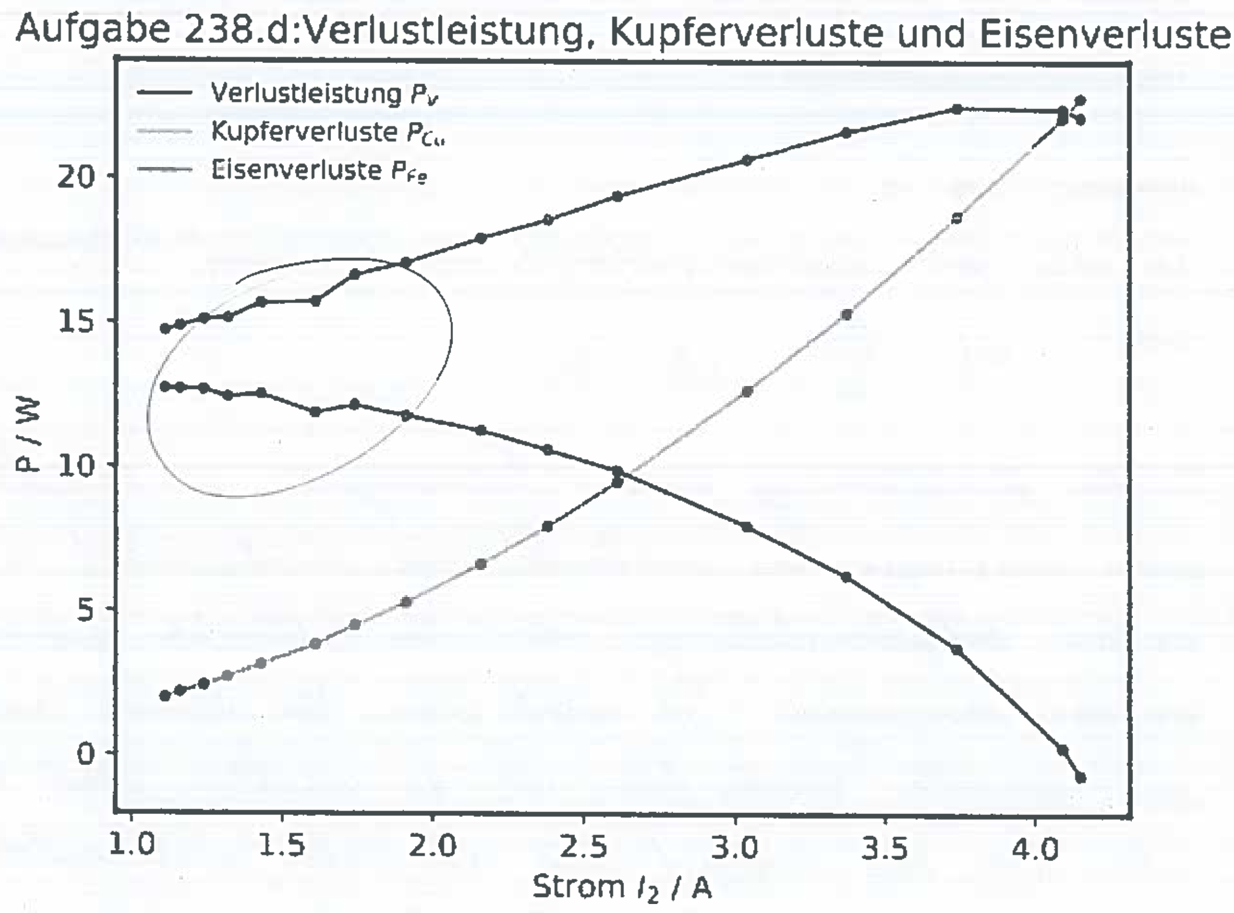
ΔP_S,1 [W]	ΔP_S,2 [W]	ΔP_V [W]	ΔP_Cu [W]	ΔP_Fe [W]	Δη
0,55	0,47	0,14	0,022	0,14	0,002
0,55	0,47	0,14	0,023	0,14	0,002
0,56	0,48	0,14	0,024	0,14	0,002
0,57	0,48	0,14	0,026	0,14	0,002
0,58	0,49	0,14	0,027	0,14	0,002
0,60	0,50	0,14	0,030	0,14	0,002
0,63	0,51	0,14	0,033	0,14	0,002
0,65	0,53	0,14	0,036	0,14	0,001
0,68	0,55	0,14	0,040	0,15	0,001
0,72	0,58	0,14	0,044	0,15	0,001
0,76	0,60	0,14	0,048	0,15	0,001
0,83	0,66	0,14	0,055	0,15	0,001
0,88	0,71	0,14	0,061	0,15	0,001
0,95	0,76	0,14	0,067	0,16	0,0[illegible]
1,01	0,82	0,14	0,073	0,16	0,00[illegible]
1,02	0,83	0,14	0,074	0,16	0,003

Nun sollen die Werte von $P_{W,1}$ und $P_{W,2}$, der ~~W~~ Verlustleistungen $P_{V,\,Cu,\,Fe}$ und des Wirkungsgrads η gegen I_2 auf einem Graphen dargestellt werden. Daher wurden drei Graphen mit den Abhängigkeiten erstellt mit Wirkungsleistungen, Verlustleistungen und Wirkungsgrad.

$P_{W,1} / P_{W,2}$, I_2- Abhängigkeit:



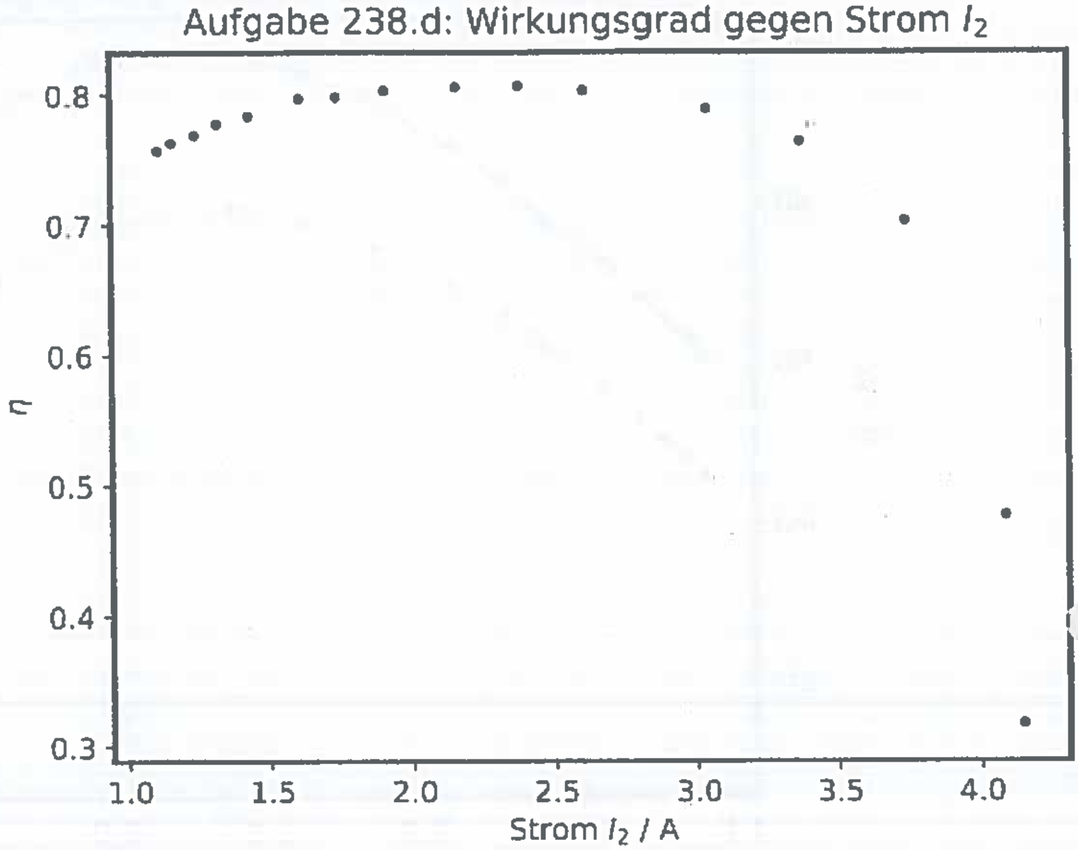
$P_v / P_{Cu} / P_{Fe}$, I_2 - Abhängigkeit:



η, I_2 - Abhängigkeit:

(Hier wurden die Punkte nicht verbunden, da der Trend eindeutig ist.)

Das sollte nie nirgends gemacht werden!



Für alle drei graphischen Darstellungen gilt, dass die meisten Fehler zu gering sind um diese bei der möglichen Skalierung sinnvoll darzustellen.

Aufgabe 238 e.

Es soll die Eigenimpedanz im Leerlauf bestimmt werden mit:

$$\omega L = \frac{U_1}{I_1} \quad (\text{bei } R = \infty)$$

Bei der Durchführung dieser Teilaufgabe ist aufgefallen, dass keine Messungen im Leerlaufbereich durchgeführt wurden. Ob es an der Aufgabenstellung oder am fehlenden Aufmerksamkeit bei den Messungen ist nicht klar. Um dennoch mehr oder minder sinnvolle Werte für ωL zu erhalten wird nun angenommen, dass der Leerlauf und die dabei entstehenden Werte für U_1 und I_1 identisch zu denen ~~[illegible]~~ in Aufgabenteil a sind

Damit würde gelten:

mit $I_1 = (0{,}12 \pm 0{,}01)\,A$ und $U_1 = (47{,}3 \pm 0{,}2)\,V$ gilt

$$\omega L = \frac{U_1}{I_1} \approx 394{,}17\ \Omega$$

Gaußsche Fehlerfortpflanzung: $\Delta(\omega L) = \sqrt{\left(\frac{\partial(\omega L)}{\partial U_1}\Delta U_1\right)^2 + \left(\frac{\partial(\omega L)}{\partial I_1}\Delta I_1\right)^2} =$

$= 32{,}89\ \Omega$

$\Rightarrow \omega L = (394{,}17 \pm 32{,}89)\ \Omega$

Aufgabe 238. f.

Aus analogen Gründen wie in 238. e gestaltet sich die Durchführung dieser Teilaufgabe nicht optimal.

Es soll σ (Streukoeffizient) auf vier verschiedene Methoden bestimmt werden:

1. $\frac{I_2}{I_1} = \frac{M}{L} \approx 1 - \frac{\sigma}{2} \Rightarrow \sigma = 2 \cdot \left(1 - \frac{I_2}{I_1}\right)$ (für $R=0$). Die Werte von I_2 und I_1 entsprechen den Werten bei $R=0$, also:

$I_1 = (4{,}56 \pm 0{,}01)\,A$ und $I_2 = (4{,}15 \pm 0{,}01)\,A$

$\Rightarrow \sigma \approx 0{,}177$

Fehler nach Gaußscher Fehlerfortpflanzung: $\Delta\sigma \approx 0{,}006$

$\Rightarrow \sigma_1 = (0{,}177 \pm 0{,}006)$

2. $\frac{U_2}{U_1} = \frac{M}{L} \approx 1 - \frac{\sigma}{2} \Rightarrow \sigma = 2 \cdot \left(1 - \frac{U_2}{U_1}\right)$ (für $R=\infty$). Hier werden wieder die Werte aus Aufgabenteil a verwendet und damit ergibt sich: $\sigma \approx 0{,}206$

Gaußsche Fehlerfortpflanzung: $\Delta\sigma \approx 0{,}012$

$\Rightarrow \sigma_2 = (0{,}206 \pm 0{,}012)$

3. $\frac{\omega L_k}{\omega L_L} = \frac{I_k / U_k}{I_L / U_L} = \sigma \Rightarrow \sigma = \frac{I_k / U_k}{(\omega L)_L} \approx 0{,}026$, also

σ ist gleich dem Verhältniss von Eigenimpedanz bei Kurzschluss und Leerlauf.
Gaußsche Fehlerfortpflanzung ergibt: $\Delta\sigma \approx 0{,}001$

$\Rightarrow \sigma_3 = (0{,}026 \pm 0{,}001)$

4. $I_{2,k}\,\sigma\omega L = U_1 \Rightarrow \sigma = \dfrac{U_1}{I_{2,k}\,\omega L}$ (mit $I_{2,k}$ - Kurzschlussstrom)

damit $\sigma \approx 0{,}028$

Gaußsche Fehlerfortpflanzung ergibt: $\Delta\sigma \approx 0{,}002$

$\Rightarrow \sigma_4 = (0{,}028 \pm 0{,}002)$

Die einzelnen Werte von σ weichen signifikant voneinander ab (besonders die ersten beiden von den lezten). Dies liegt sw. wahrscheinlich daran, dass die Messwerte für den Leerlauffall von einer anderen Teilaufgabe übernommen worden sind, außerd. besteht die vermutung, dass Messfehler kleiner angenommen wurden als nötig. Aufgrund von gravierenden Abweichungen zwischen den σ-Werten ist es sinnvoll im folgenden ein gemitteltes σ_m zu bestimmen. Für dieses gilt $\sigma_m = 0{,}031$ und damit wird auch im folgenden die Auswertung fortgeführt.

Aufgabe 238. g

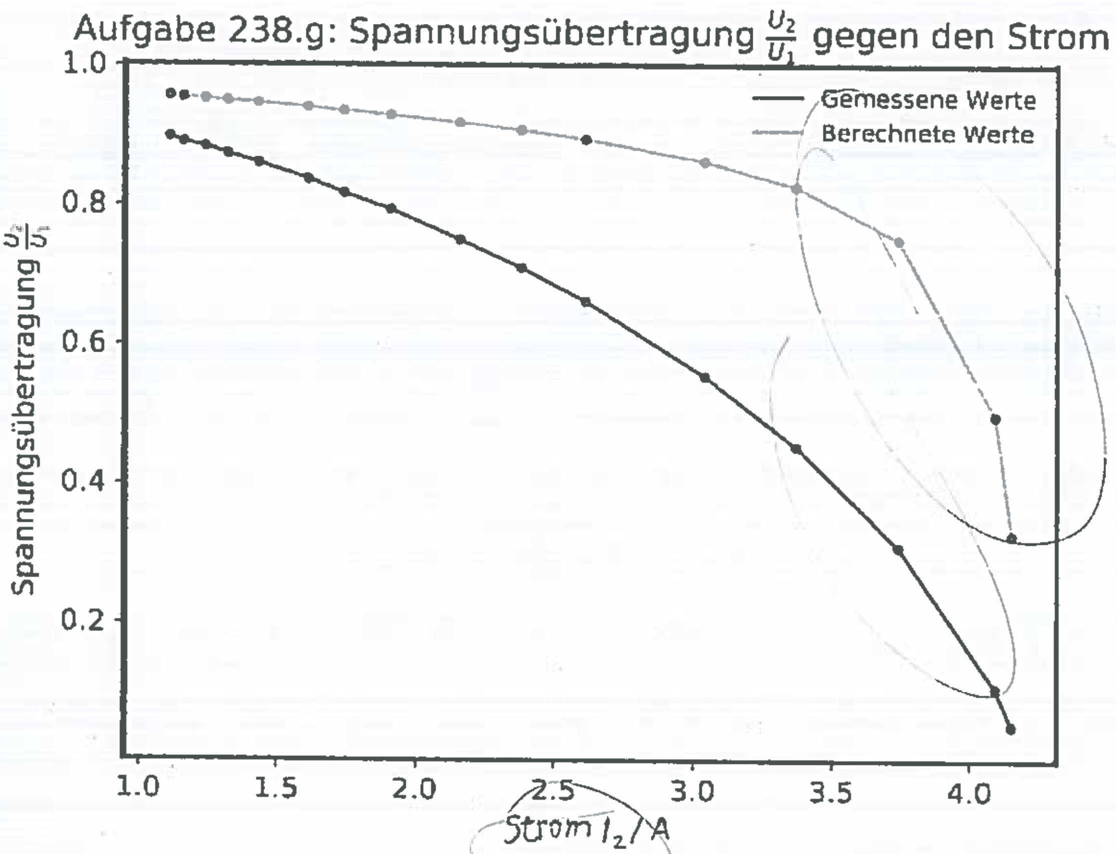
Es sollen sowohl die gemessenen, als auch die experimentellen werte von $\frac{U_2}{U_1}$ gegen I_2 graphisch aufgetragen werden. Für die errechneten Werte gilt:

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

mit den bekannten Werten für L ($= 22\,mH$) und R_V ($= 0{,}6\,\Omega$) und mit $M = L \cdot \sqrt{1-\sigma_m} = 0{,}02217$, $\sigma_m = 0{,}0031$, $\omega L = (394{,}17 \pm 32{,}89)$ gilt:

U_2/U_1 (gemessen)	ΔU_2/U_1	U_2/U_1 (errechnet)	R [Ω]
0,897	0,006	0,956	37,58
0,890	0,006	0,954	35,43
0,883	0,006	0,952	33,06
0,873	0,006	0,949	30,52
0,860	0,006	0,946	27,77
0,837	0,006	0,939	24,05
0,817	0,006	0,934	21,62
0,793	0,006	0,928	19,17
0,750	0,005	0,918	16,00
0,710	0,005	0,907	13,75
0,662	0,005	0,894	11,65
0,555	0,005	0,863	8,37
0,454	0,005	0,826	6,20
0,310	0,005	0,751	3,82
0,108	0,004	0,499	1,23
0,053	0,004	0,327	0,60

Die graphische Darstellung sieht dann wie folgt aus:



Fazit

Ziel dieser Versuchsdurchführung war es die Funktionsweise ein Transformators nachzuvollziehen und Messungen mit diesem zu üben. Der Vorversuch (a und b) hat darauf abgezielt die Verwendung eines Cassys zu üben und zu verstehen. Außerdem wurde der Unterschied von Wirk- und Scheinleistung graphisch dargestellt, was zu einem bessere Verständniss für diese Größen und ihrer Abhängigkeit vom Widerstand R geführt hat. In den darauffolgenden Versuchsteilen sollte die Messung mit einem Transformator durchgeführt werden. Dabei wurden allerdings keine Werte in der nähe des Leerlaufs gemessen, da nur ein Widerstandsschieber benutzt wurde. Dies führte auch bei späteren Aufgabenteilen zu Schätzungen, die das Ergebniss maßgeblich beeinflussen könnten (und vermutlich haben). Trotz der fehlenden Werte ~~ist~~ sind bei den graphischen Auswertungen deutliche Trends zu erkennen, die den Erwartungen entsprechen. Allgemein kann ~~e~~ gesagt werden, dass der Versuch zu einem besseren Verständniss für Messungen mit Transformatoren geführt hat und dass trotz mangelnder Messwerte die Auswertung gute Ergebnisse geliefert hat.

Nachtrag Aufgabe 238 g):

Fehler: für die errechneten Werte $\frac{U_2}{U_1}$ wurde der Messfehler Größenordnungstechnisch abgeschätzt und konnte auf eine höhere 10-Potenz beziffert werden.

Graphisch sind weder die Fehler der gemessenen, noch der errechneten Werte von $\frac{U_2}{U_1}$ sinnvoll darstellbar.

1) Gaußsche Fehlerfortpflanzung
 - Formeln hinschreiben
2) Diskussion: Sind die Ergebnisse physikalisch sinnvoll?

1) und 2) nachreichen! [redacted]

Nachbesserung!

1.) Gaußsche Fehlerfortpflanzungen, die verwendet, aber nicht ausgeschrieben wurden.

d: $\Delta P_{S1} = \sqrt{\left(\frac{d(U_1 I_1)}{dU_1}\Delta U\right)^2 + \left(\frac{d(U_1 I_1)}{dI_1}\Delta I\right)^2} = \sqrt{(I_1 \cdot 0{,}2V)^2 + (U_1 \cdot 0{,}01A)^2}$ da $\Delta I = 0{,}01A$; $\Delta U = 0{,}2$

$\Delta P_{S2} = \sqrt{\left(\frac{d(U_2 I_2)}{dU_2}\Delta U\right)^2 + \left(\frac{d(U_2 I_2)}{dI_2}\Delta I\right)^2} = \sqrt{(I_2 \cdot 0{,}2V)^2 + (U_2 \cdot 0{,}01A)^2}$

$\Delta P_V = \sqrt{\left(\frac{d(P_1 - P_2)}{dP_1}\Delta P_1\right)^2 + \left(\frac{d(P_1 - P_2)}{dP_2}\Delta P_2\right)^2} = \sqrt{(0{,}1W)^2 + (0{,}1W)^2} = 0{,}14\ W$

$\Delta P_{Cu} = \sqrt{(0{,}6 \cdot \Delta I \cdot 2 \cdot I_1)^2 + (0{,}6\ \Delta I \cdot 2 \cdot I_2)^2} = \sqrt{(0{,}012 I_1)^2 + (0{,}012 I_2)^2}$

$\Delta P_{Fe} = \sqrt{(\Delta P_V)^2 + (\Delta P_{Cu})^2}$, da $P_{Fe} = P_V - P_{Cu}$

$\Delta \eta = \sqrt{\left(\frac{\Delta P_2}{P_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P_1 \cdot P_2}{P_1^2}\right)}$ mit $\Delta P_1 = \Delta P_2 = 0{,}1W$:

$\Delta \eta = \sqrt{\left(\frac{0{,}1W}{P_1}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1W \cdot P_2}{P_1^2}\right)^2}$

f: $\Delta \sigma_1 = \sqrt{\left(2\frac{\Delta I}{I_1}\right)^2 + \left(2\frac{I_2\,\Delta I}{I_1^2}\right)} \approx 0{,}006$

$\Delta \sigma_2 = \sqrt{\left(2\frac{\Delta U}{U_1}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta U \cdot U_2}{U_1^2}\right)^2} \approx 0{,}012$

$\Delta \sigma_3 = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{U_k\,\omega L}\right)^2 + \left(\frac{I_k\,\Delta U}{U_k^2\,\omega L}\right)^2 + \left(\frac{I_k\,\Delta(\omega L)}{U_k\,\omega^2 L^2}\right)^2} \approx 0{,}001$

$\Delta \sigma_4 = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{I_{2,k}\,\omega L}\right)^2 + \left(\frac{U_1\,\Delta I}{I_{2,k}^2\,\omega L}\right)^2 + \left(\frac{U_1\,\Delta(\omega L)}{I_{2,k}\,\omega^2 L^2}\right)^2} \approx 0{,}002$

g: $\Delta U_2/U_1 = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U_1}\right)^2 + \left(\frac{U_2\,\Delta U}{U_1^2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0{,}2V}{U_1}\right)^2 + \left(\frac{U_2 \cdot 0{,}2V}{U_1^2}\right)^2}$

2.) Ob die Werte für den Streukoeffizienten σ sinnvoll sind lässt sich über Literaturwerte abschätzen.

In einer Veröffentlichung der TU-Dresden[1] lässt sich Beispielweise der erwartete Wert für die Kopplungskonstante k nachschlagen. Für diese gilt $k^2 = \frac{M^2}{L^2}$ und da $\sigma = 1 - \frac{M^2}{L^2}$ gilt folgt daraus: $\sigma = 1 - k^2$

Der typische Wert für k (laut der erwähnten Veröffentlichung) liegt bei 0,95 und damit von k^2 bei $\approx 0{,}9$

Damit wären die erwarteten Werte für σ im Bereich von 0,1 (oder kleiner) was auf zwei der errechneten Werte (σ_1 und σ_2) nicht zutrifft. Dies liegt vermutlich an Fehlern bei der Berechnung oder zu klein angenommenen Messfehlern.

Bebenden

[redacted]

1 https://tu-dresden.de/mn/math/analysis/das-institut/memberbereiche/frank_martin, morherr/ressourcen/dateien/vortraege-und-workshops/Transfor