

Grundpraktikum

E3 Transformatoren

Julien Kluge

3. Dezember 2015

Student: Julien Kluge [REDACTED]

Partner: [REDACTED]

Betreuer: M.Sc. E. Panofski

Raum: 216

Messplatz: 4

Furchtbar schlechtes Protokoll
Du solltest hier nicht reinschauen..
Ich führe einfach alle ihre Kommentare wortlos auf.

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	1
2	Versuchsdurchführung/-Erklärung	2
3	Auswertung/Fehlerberechnung	2
3.1	Bestimmung des Übersetzungsverhältnis	2
3.2	Messung: Leerlaufleistung-/strom	3
3.3	Messung: belasteter Transformator	4
3.3.1	Darstellung: Wirkungsgrad	4
3.3.2	Darstellung: Primärstrom	5
3.3.3	Darstellung: Phasenverschiebung	6
4	Fehler-/Ergebniseinschätzung	6
5	Anlagen	8
6	Quellen	8

1 Abstract

Transformatoren übersetzen je nach Verhältnis der Wicklungen die Spannung zwischen zwei Stromkreisen. Dabei besitzen sie einen spezifischen Wirkungsgrad der damit auch die verbrauchte Leistung angibt. Dabei kann man den Transformator sowohl belastet (also mit ohmschen Verbraucher im Sekundärstromkreis), als auch unbelastet messen. Bei der Messung des Transformators im Versuch errechnen sich folgende Werte:

- Übersetzungsverhältnis: $-\frac{n_s}{n_p} = 0.245 \pm 0.001$
- geschätzter Wirkungsgrad: $\eta \approx 0.8 \pm 0.1$
- gemessener Leerlaufstrom: $I_P^{**} = (0.39 \pm 0.03)A$
- gemessene Leerlaufleistung: $P = (2.02 \pm 0.06)W$

2 Versuchsdurchführung/-Erklärung

Als erstes wurden die Spannung im Sekundär und Primärkreislauf gemessen, wobei diese im Primärkreis graduell und möglichst äquidistant erhöht wurden. Mithilfe der folgenden Gleichung, die die Übersetzung dieser beiden Spannungen über einen Transformator beschreibt,

$$U_s = -\frac{n_s}{n_p}U_p \quad \text{entweder alle Formeln in diesem Kapitel oder keine!} \quad (1)$$

kann nach Darstellung $U_s = f(U_p)$ eine Regression erstellt werden, womit das Übersetzungsverhältnis $-\frac{n_s}{n_p}$ bestimmt werden kann. Die Änderung der Spannung im Primärstromkreis wurde über ein Potentiometer erreicht.

Für Messung der Leerlaufspannung und Leerlaufleistung wurden die Messgeräte lediglich an einen unbelasteten Transformator angeschlossen und sechs Messwerte aufgenommen um die Standardabweichung und damit den Vertrauensbereich bilden zu können.

Für den belasteten Transformator gilt, dass simultan alle Spannungen und Stromstärken der beiden Stromkreise und die Leistung des Primärstromkreises gemessen wurden. Für die Stromstärke im Primärstromkreis wurde ein True RMS Gerät genutzt um den wahren Effektivwert zu bekommen.

3 Auswertung/Fehlerberechnung

3.1 Bestimmung des Übersetzungsverhältnisses

Für die Messung des Übersetzungsverhältnisses, wurde die Spannung im Primärstromkreis von ungefähr null bis circa 43.8V verändert in äquidistanten Schritten mit ungefähr $\Delta U \approx 4V$. Dabei hat sich nach 6 Messungen der ~~Messbereich geändert~~, wodurch die Fehler sich schlagartig vergrößert haben. Mit Regression nach Gleichung 1 ergibt sich das folgende Übersetzungsverhältnis: nicht sinnvoll

- $-\frac{n_s}{n_p} = 0.245 \pm 0.001$

Das deckt sich auch mit der Beobachtung, dass für jeden vier Volt Schritt im Primärstromkreis, circa ein Volt im Sekundärstromkreis erhöht wird. Damit lässt sich insgesamt schlussfolgern, dass die Spule im Primärstromkreis circa vier mal so viel Windungen hat, als die Spule im Sekundärstromkreis. Die Unsicherheiten wurden über Gerätefehler bestimmt. Dabei galt wie angegeben $2\% + 2\text{digits}$ gut

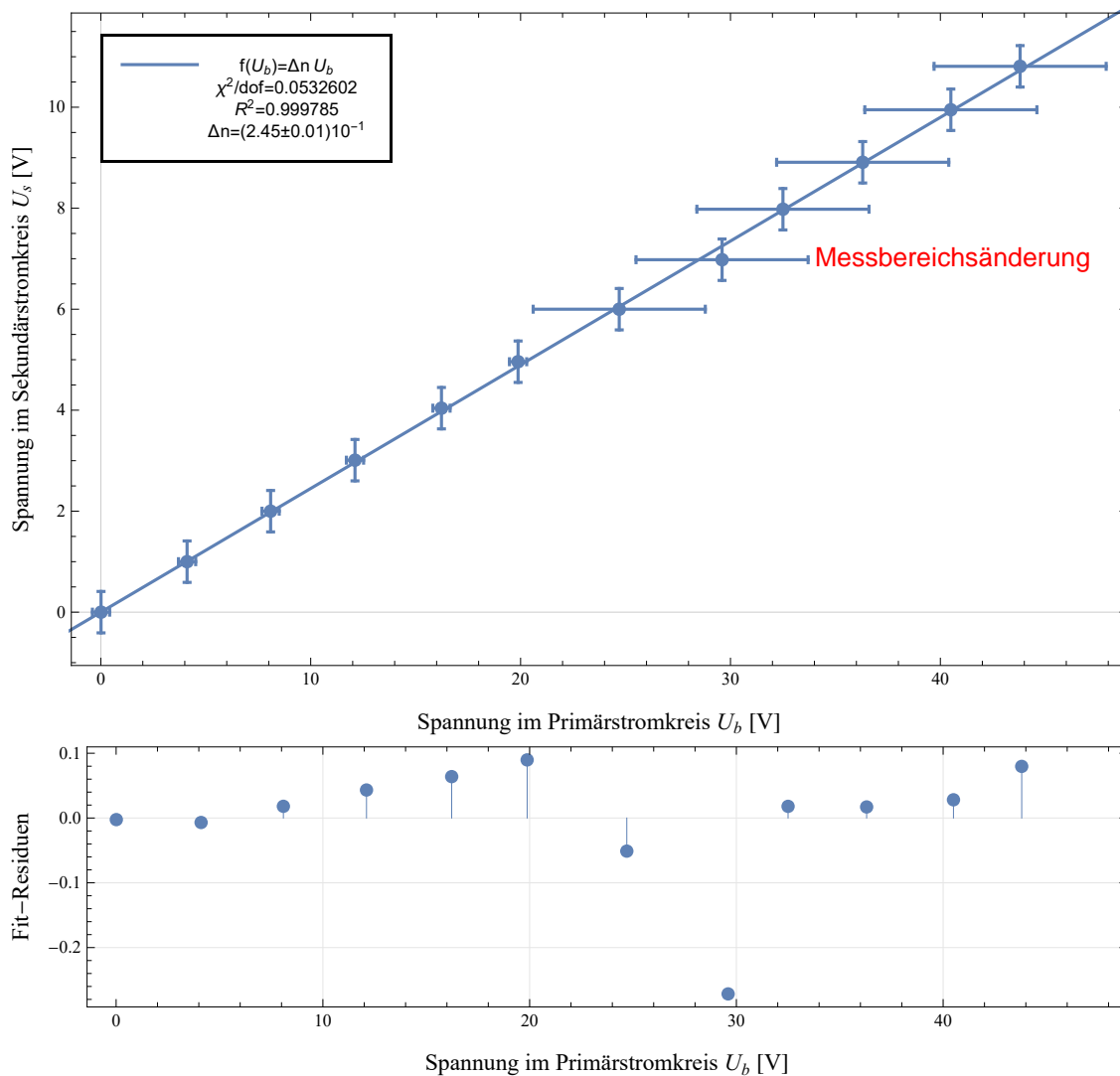


Abbildung 1: Darstellung zwischen Spannung im Primär-/Sekundärstromkreis und Regression nach Gleichung 1

3.2 Messung: Leerlaufleistung-/strom

Als unbelasteter Transformator wurde kein Sekundärstromkreis an die zweite Seite der Spule geschaltet. Die Unsicherheiten wurden abgeschätzt über den Gerätefehler und der zufälligen Messabweichung. Letzterer wurde bestimmt über Berechnung des Vertrauensintervalls. Beide Unsicherheiten wurden nun geometrisch gemittelt um die Gesamtabweichung zu bestimmen. Das wurde sowohl für die Leistung als auch Stromstärke gemacht. Insgesamt errechnen sich folgende Werte:

- Leerlaufstrom: $I_P^{**} = (0.39 \pm 0.03) \text{A}$ **falsches Formelzeichen. Muss I_p sein**
- Leerlaufleistung: $P = (2.02 \pm 0.06) \text{W}$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \phi$$

$$U_p \leftrightarrow I_p \quad \phi = \pi/2$$

$$P_p = 0$$

3.3 Messung: belasteter Transformator

3.3.1 Darstellung: Wirkungsgrad

Für die Darstellung des Wirkungsgrades zum Sekundärstrom gilt, dass die Wirkungsgrade über

$$\eta = \frac{U_s I_s}{P_p} \quad \text{Up*Ip} \quad (2)$$

berechnet wurden. Die Unsicherheiten wurden über gaußsche Fehlerfortpflanzung berechnet. Es ergibt sich für die Messwerte folgende Abbildung:

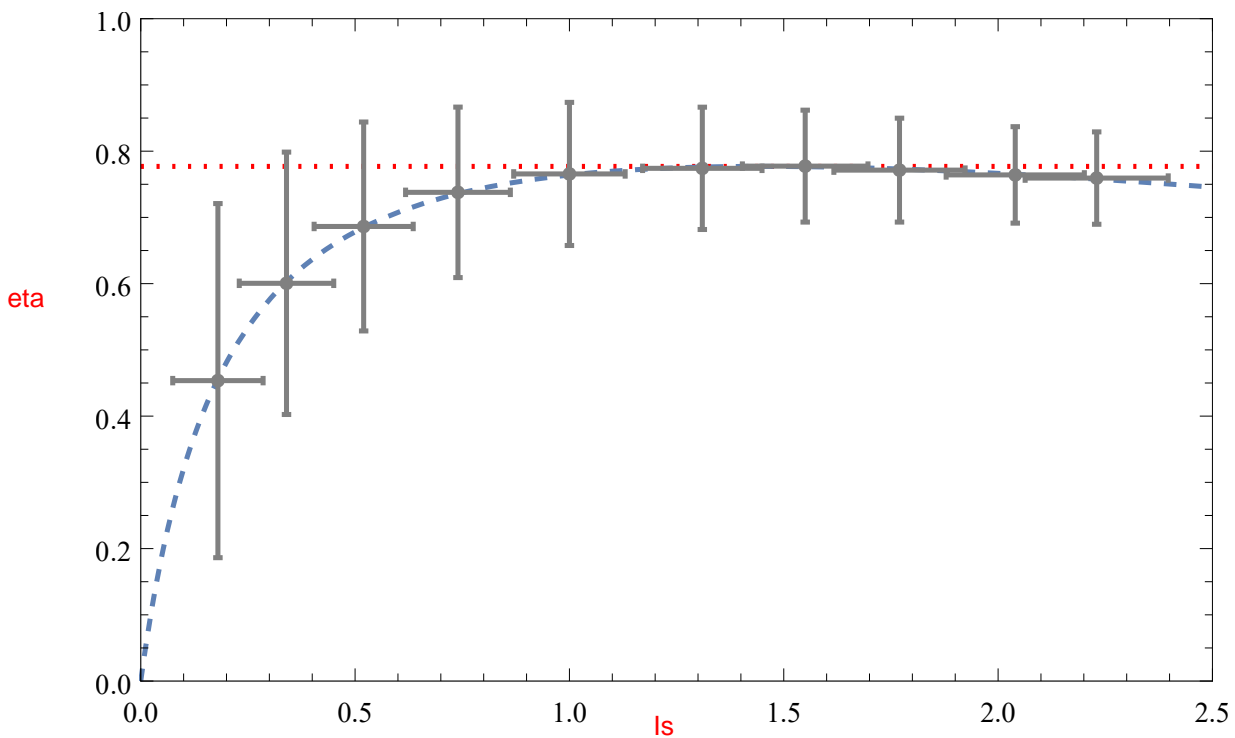


Abbildung 2: Wirkungsgrad in Abhängigkeit zum Sekundärstrom. Spline Interpolation der Messpunkte (blau, gestrichelt) und Darstellung des interpolierten Maximums bei ≈ 0.777

Wie zu erwarten steigt der Wirkungsgrad asymptotisch gegen einen Wert wenn der Sekundärstrom steigt. Das erklärt sich auch, da die Verluste bei zunehmender Stromstärke immer mehr vernachlässigbar werden. Es lässt sich abschätzen, dass der Wirkungsgrad gegen den Wert 0.8 ± 0.1 geht. Für noch höhere Stromstärken ist aber anzunehmen, dass der Wirkungsgrad wieder sinkt, da für höhere Stromstärken und damit höhere Leistungen wieder höhere Verluste entstehen. Vor allem durch Betriebseffekte wie thermische Erwärmung, welche den Widerstand steigen lässt oder Hystereseeffekte die sich durch wiederholende starke Ummagnetisierung, welche einen gewissen Zeitbereich in Anspruch nimmt, äußert. Auch die Materialeigenschaften kommen bei höheren Leistungen irgendwann an eigene Grenzen die den Wirkungsgrad damit begrenzen.

ungenauere
Angabe

welche
Verluste

welche
Verluste

3.3.2 Darstellung: Primärstrom

Trägt man den Primärstrom als Funktion des Sekundärstromes auf, entsteht ein Graph, welcher mit einem Zusammenhang nach

$$I_P^{**} = \sqrt{I_p^2 + I_p^{*2}} \quad (3)$$

$$I_P^{**}(I_s) = \sqrt{I_p^2 + I_s^2 \cdot T_U^2} \quad (4)$$

gefittet werden kann, wobei T_U das Übersetzungsverhältnis ist, welches bereits bestimmt wurde. Mithilfe dieser Regression, kann noch einmal der Wert für den Leerlaufstrom und das Übersetzungsverhältnis selbst kontrolliert werden.

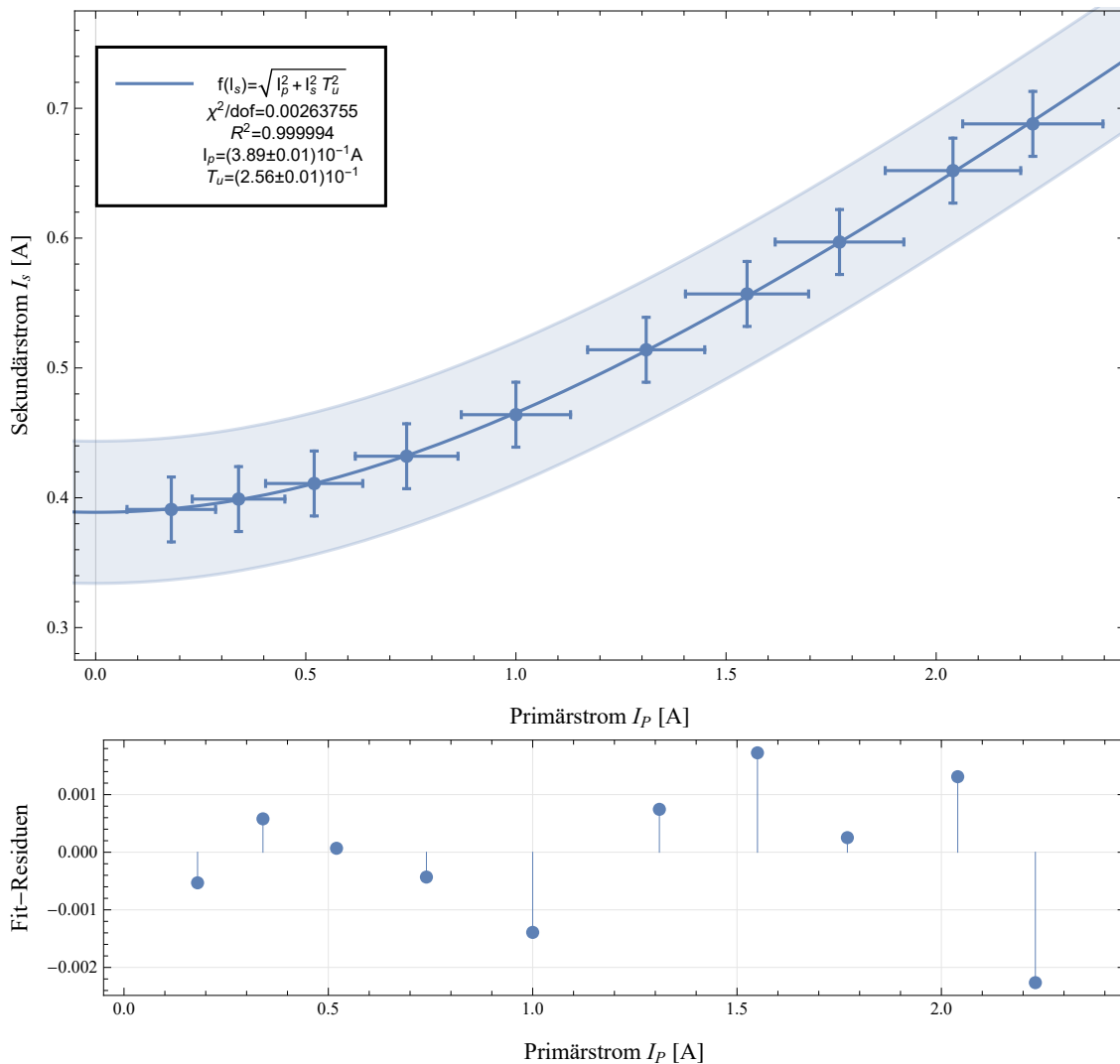


Abbildung 3: Abhängigkeit des Primärstromes vom Sekundärstrom und Regression nach Gleichung 4

Es folgt damit unmittelbar:

- Leerlaufstrom: (0.39 ± 0.1) überschätzen
- Übersetzungsverhältnis: $-\frac{n_s}{n_p} = 0.256 \pm 0.001$

3.3.3 Darstellung: Phasenverschiebung

Für die Phasenverschiebung gilt der Zusammenhang nach:

$$P_p = U_p \cdot I_p^{**} \cos \phi \quad (5)$$

$$\implies \phi = \arccos \left(\frac{P_p}{U_p \cdot I_p^{**}} \right) \quad (6)$$

$U_p \leftrightarrow I_p^{**}$
 $I_p^{**} = \sqrt{I_p^2 + (T_U \cdot I_s)^2}$
 $I_s = 0$
 $U_p \leftrightarrow I_p \implies \phi = \pi/2$
 $I_s = \infty$
 $\implies \phi = 0^\circ$

Die Unsicherheiten sind über gaußsche Fehlerfortpflanzung bestimmt worden.

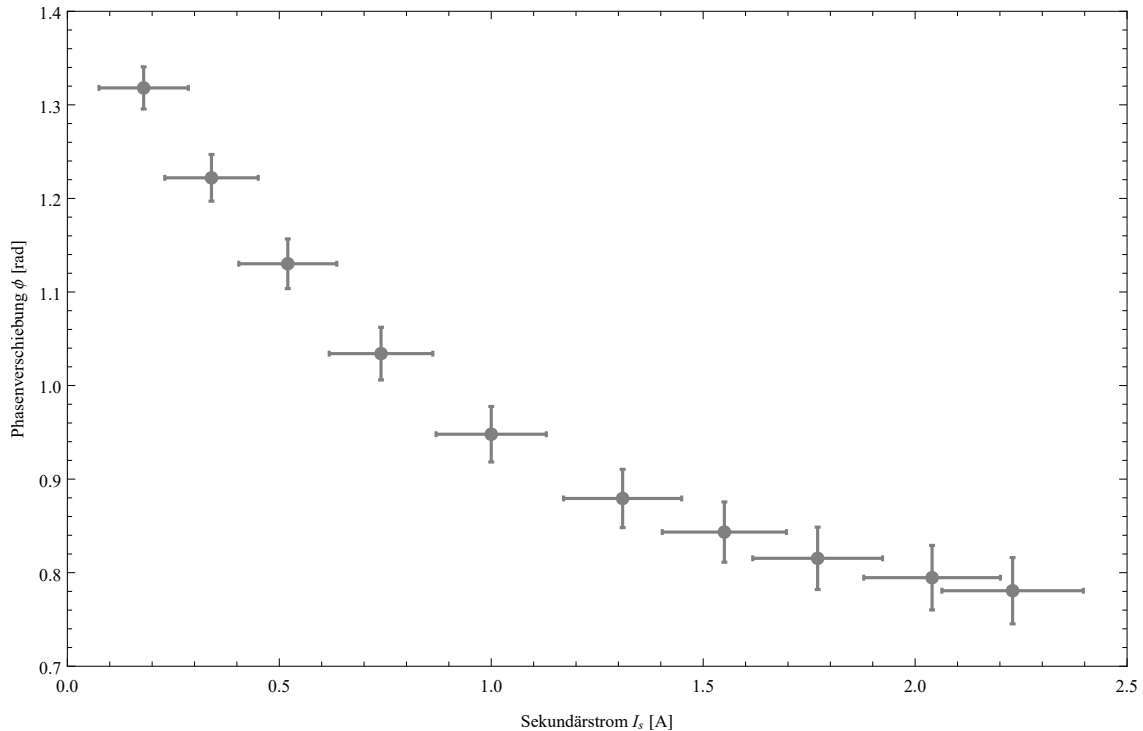


Abbildung 4: Abhängigkeit der Phasenverschiebung zum Sekundärstrom

Der Verlauf der Punkte erklärt sich darin, dass I_p um U_p um $\frac{\pi}{2}$ phasenverschoben ist und vektoriell mit I_p^* addiert wird, welcher von I_s abhängt. Da gilt: $I_p^* = -T_U \cdot I_s$ ändert sich auch dementsprechend die Phase von I_p^{**} . Daraus folgt, dass für steigenden Sekundärstrom die Phasenverschiebung fällt.

4 Fehler-/Ergebniseinschätzung

Eine interessante Bemerkung macht man, wenn man die beiden χ^2/dof -Tests anschaut. Beide sind deutlich kleiner als eins. Das weist auf zu groß geschätzte Fehler gegenüber den Residuen hin. Generell fällt auf, dass die Fehlerbalken meist deutlich zu groß sind. Dabei kommt ein erheblicher Teil dieser Werte durch die Prozentangaben der Geräteunsicherheiten. Es lässt sich also vermuten: dadurch dass immer im kleinen Messbereich gemessen wurde, waren die Fehler mit ihren Standardangaben für die Messabweichung zu groß eingeschätzt. Nichtsdestotrotz kann das lediglich die Präzision, nicht aber die Genauigkeit verschlechtert haben.

Was bei der Berechnung generell nicht beachtet wurde, sind zusätzliche Kapazitäten und vor allem Widerstände. Die Drähte selbst haben ohne weiteres einen gewissen Widerstand

und auch eine Kapazität welche sich auf Spannung, Stromstärke, Leistung und damit auch Wirkungsgrad auswirkt. Auch die Messgeräte haben nicht beachtete Innenwiderstände welche verrechnet hätten werden können. Allerdings lässt sich vermuten, dass diese weit unterhalb der Signifikanten Stellen Unsicherheiten erzeugt haben.

Was dagegen signifikanter zu Unsicherheiten beigetragen hat, ist die wechselhafte Spannung/Stromstärke. Diese war nicht vernachlässigbaren Schwankungen unterworfen weshalb eigentlich für jeden einzelnen Messpunkt mehrere Messwerte aufgenommen hätte werden sollen. Ein kleiner Vorwiderstand hätte eventuell zu besseren Ergebnissen geführt. Weitere verlustbehaftete Unsicherheiten ergeben sich durch schwer abschätzbare Wirbelströme und Hystereseeffekte im Transformator. Zwar wird durch dünn geschichtete Platten innerhalb des Kerns die Bildung großer Wirbelströme verhindert aber diese treten trotz dessen auch in den kleineren Platten auf und bilden damit einen ohmschen Verbraucher. Das Kernmaterial unterliegt ebenfalls Hysterese welche sich verzögernd auf die ummagnetisierung auswirkt. Alles in allem dämpfen sie die erreichbare Leistung. Diese liegt mit gut 80% auch unterhalb der Spitzenwerte von sehr guten Transformatoren.

Alles in allem verhält sich der Transformator aber so wie zu erwarten war. Der Wirkungsgrad nimmt mit steigenden Sekundärstrom bis zu einem Schwellenwert zu und die Phasenverschiebung fällt ebenfalls wie erwartet bei zunehmenden Sekundärstrom.

5 Anlagen

Messwerte

E3-Trago

Fehlerquellen:
- Innenwiderstand Messgeräte

(20V → 200V Bereich)
Verlusteiner signif. Stelle

Reihe 1:

U_p	0,01	4,11	8,09	12,11	16,23	19,88	24,7	29,6	32,5	36,3	40,5	43,8
U_s	0	1,00	2,00	3,01	4,04	4,96	6,00	6,98	7,98	8,97	9,95	10,81

$I_p = \sqrt{I_1^2 + I_2^2}$

Reihe 2 unbelastet

U_p	43,3	43,4	43,4	43,4	43,4	43,3
I_p	0,388	0,387	0,389	0,387	0,388	0,389
P_p	2,02	2,03	2,01	2,02	2,01	2,01

Reihe 3 belastet

wey

U_p	43,2	43,3	43,2	43,3	43,2	43,2	43,2	43,2	43,0
I_p	0,391	0,392	0,394	0,395	0,396	0,396	0,396	0,399	0,399
P_p	4,25	4,53	4,81	4,95	5,14	5,36	5,56	5,80	5,99
U_s	10,077	10,077	10,68	10,66	10,65	10,62	10,60	10,61	10,58
I_s	0,18	0,20	0,23	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34

42,8	42,7	42,7	42,5	42,4	42,3
0,464	0,514	0,557	0,597	0,652	0,688
13,10	16,50	19,14	21,5	24,4	26,4
10,03	9,75	9,60	9,37	9,14	8,99
1,00	1,37	1,55	1,77	2,04	2,23

↑
1 signif. Stelle
wey

24.11.2015
E. Kuepfer

6 Quellen

1. Script zum Grundpraktikum II (Formeln, Versuchsbeschreibung)