



Physikalisches A-Praktikum

Versuch 16

Der Transformator

Praktikanten:	Julius Strake	Betreuer:	Johannes Schmidt
	Niklas Bölter	Durchgeführt:	10.09.2012
Gruppe:	B006	Unterschrift:	_____

E-Mail: niklas.boelter@stud.uni-goettingen.de
julius.strake@stud.uni-goettingen.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Theorie	4
2.1	Idealer Transformator	4
2.2	Belasteter Transformator	4
2.3	Reale Transformatoren	5
2.4	Wirk- und Blindleistung	6
3	Durchführung	6
4	Auswertung	8
4.1	Der unbelastete Transformator	8
4.2	Phasenwinkel beim belasteten Transformator	8
4.3	Transformatorleistung bei 5 A Laststrom	9
4.4	Verlustleistung des unbelasteten Transformators	10
5	Diskussion	11
A	Tabellen und Grafiken	12

1 Einleitung

In diesem Versuch wird das Verhalten des belasteten und unbelasteten Transformators untersucht. Dabei wird besonders auf die Phasenlage von Strom und Spannung im Primärkreis eingegangen.

2 Theorie

2.1 Idealer Transformator

Bei einem *idealen* Transformator handelt es sich um zwei Spulen, die so arrangiert sind, dass der magnetische Fluss durch beide immer gleich ist. Legt man nun an die sogenannte *Primärspule* eine zeitlich veränderliche Eingangsspannung U_1 an, so induziert die entstehende Änderung des Magnetfelds in der zweiten Spule (*Sekundärspule*) eine Spannung U_2 (LENZsche Regel). Die Größe der induzierten Spannung lässt sich über die *Flussregel* bestimmen (Meschede, 2006, S. 416):

$$\frac{U_1}{N_1} = \dot{\Phi} = \frac{U_2}{N_2}. \quad (1)$$

Es bezeichnet N_i die Windungszahl der i -ten Spule und Φ den magnetischen Fluss durch jede Windung. Dieser Effekt wird genutzt, um die Amplitude von Wechselspannungen bei gleichbleibender Frequenz zu verändern.

Ist der Sekundärkreis offen, der Transformator also *unbelastet*, so kann dort natürlich kein Strom fließen. Der magnetische Fluss Φ wird ausschließlich vom Leerlaufstrom $I_0 = I_1$ in der Primärspule verursacht.

2.2 Belasteter Transformator

Der *belastete* Transformator unterscheidet sich vom unbelasteten durch einen an die Sekundärspule angeschlossenen Verbraucher. Es kann nun im Sekundärkreis ein Strom fließen. Hat der angeschlossene Verbraucher den komplexen Widerstand Z , so verursacht die durch Gleichung 1 gegebene Sekundärspannung U_2 einen Strom $I_2 = U_2/Z$ (Meschede, 2006, S. 416). Dadurch wird in der Sekundärspule ein Magnetfeld induziert, der Sekundärstrom I_2 trägt zum magnetischen Fluss durch beide Spulen bei. Im Primärkreis wird so ein zusätzlicher Strom I'_1 induziert, der dem Leerlaufstrom I_0 entgegenwirkt. Der Fluss Φ ändert sich also insgesamt nicht. Es gilt (Meschede, 2006, S. 416):

$$\begin{aligned} \frac{I'_1}{I_2} &= \frac{N_2}{N_1}, \\ I_1 &= I_0 - \frac{N_2}{N_1} I_2 = I_0 - \frac{N_2 U_2}{N_1 Z}, \end{aligned}$$

wobei I_1 der gesamte Primärstrom ist.

Wie aus Abbildung 1 leicht abzulesen ist, gilt

$$\tan \varphi = \frac{I_0 \sin \varphi_0}{I'_1 + I_0 \cos \varphi_0}. \quad (2)$$

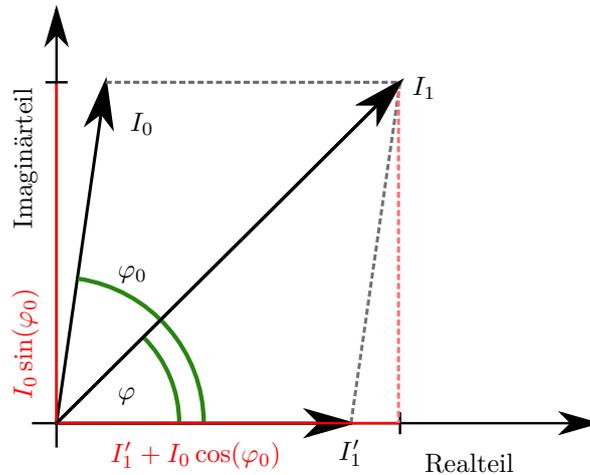


Abbildung 1: Schematisches Vektordiagramm für den Phasenwinkel zwischen U_1 und I_1 .

2.3 Reale Transformatoren

Wie die Bezeichnung des idealen Transformators vermuten lässt, sind die gewünschten Voraussetzungen in der Realität kaum erreichbar. Bei realen Transformatoren wird beispielsweise oft ein Eisenkern, der durch beide Spulen läuft verwendet (siehe auch Abb. 2), damit der magnetische Fluss pro Windung in beiden Spulen möglichst gleich ist.

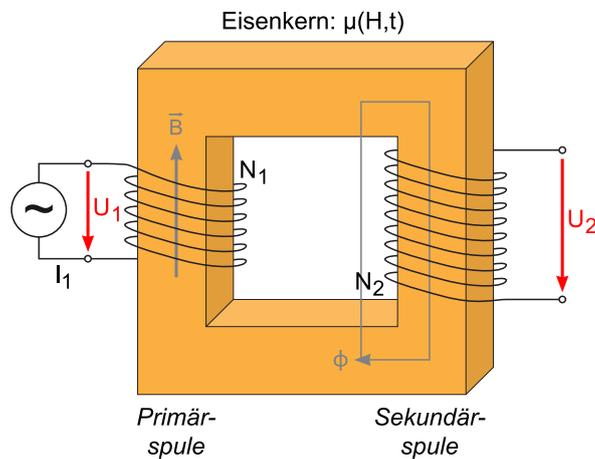


Abbildung 2: Aufbau eines typischen Transformators mit Eisenkern, verändert nach (Prior und Grosse-Knetter).

Schaltet man im Primärkreis einen Widerstand parallel zur Spule (siehe auch Abb. 4), so ergibt sich eine Phasenverschiebung zwischen dem Strom durch den Transformator $I_{1,T}$ und der Spannung U_1 . Dies resultiert aus der Selbstinduktivität der Spule, die einen Beitrag zum Strom durch die Spule leistet. In Abbildung 3 ist der Zusammenhang zwischen Phasenverschiebung φ , Spulenstrom $I_{1,T}$, Strom durch den

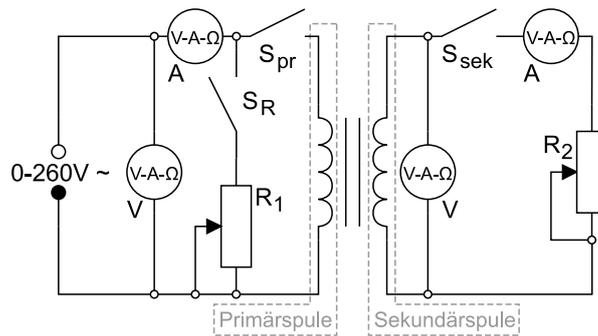


Abbildung 4: Schaltplan des Versuchs (Prior und Grosse-Knetter).

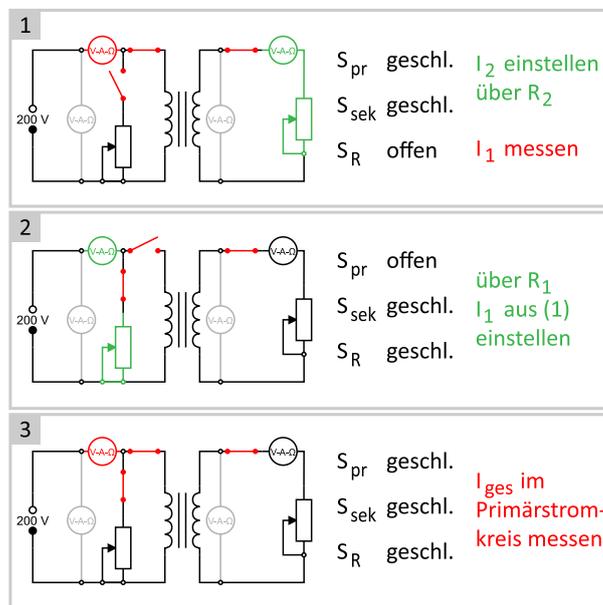


Abbildung 5: Ablauf der letzten Messreihe (Prior und Grosse-Knetter).

Primär- und Sekundärspule vertauscht und wieder die entsprechenden Wertepaare, diesmal mit $U_1 \in [0\text{ V}; 20\text{ V}]$, gemessen.

Als nächstes wird die ursprüngliche Schaltung wiederhergestellt. Wie in Abbildung 5 gezeigt werden jetzt nacheinander für verschiedene Ströme I_2 folgende Schritte durchgeführt. Zunächst wird bei geöffnetem Schalter S_R die Primärspannung auf 200 V geregelt und über R_2 der Strom I_2 auf verschiedene Werte zwischen 0 V und 5 V gestellt. Bei geöffnetem Schalter S_{pr} wird nun über R_1 der Strom I_1 auf den eben gemessenen Wert gestellt. Jetzt wird bei durchweg geschlossenen Schaltern I_{ges} an der Stelle von I_1 gemessen. Dieser Ablauf wird für mindestens 6 verschiedene Werte von I_2 wiederholt.

4 Auswertung

4.1 Der unbelastete Transformator

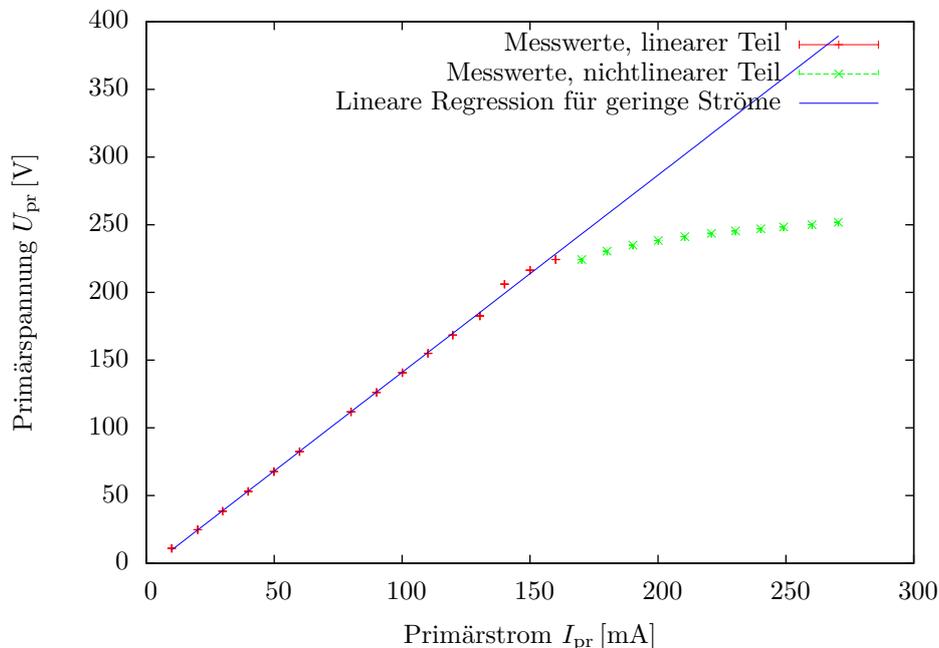


Abbildung 6: Abhängigkeit der Primärspannung vom Primärstrom.

Zuerst wird der unbelastete Transformator betrachtet ($I_2 = 0$). In Abb. 6 und Abb. 7 wurden die Zusammenhänge zwischen Strom und Spannung im Primärkreislauf und der Zusammenhang zwischen Sekundär- und Primärspannung aufgetragen.

Für Abb. 8 wurden die Anschlüsse von Primär- und Sekundärspule vertauscht, um das Übersetzungsverhältnis u genauer bestimmen zu können.

Aus den Steigungen m_1, m_2 der linearen Regressionen in Abb. 7, 8 kann nun mit einem gewichteten Mittelwert das Übersetzungsverhältnis u berechnet werden:

$$u_1 = m_1 = 10.34 \pm 1.08$$

$$u_2 = \frac{1}{m_2} = 10.75 \pm 2.32$$

$$u = 10.41 \pm 0.98$$

4.2 Phasenwinkel beim belasteten Transformator

Mit Hilfe von Gleichung 2 kann nun die Abhängigkeit des Phasenwinkels vom Sekundärstrom graphisch aufgetragen werden (siehe Abb. 9). Die grüne Kurve stellt hierbei den aus dem Messwert für $I_2 = 0$ A berechneten theoretischen Verlauf dar. Die blaue Kurve enthält in der Diskussion näher erläuterte Korrekturen.

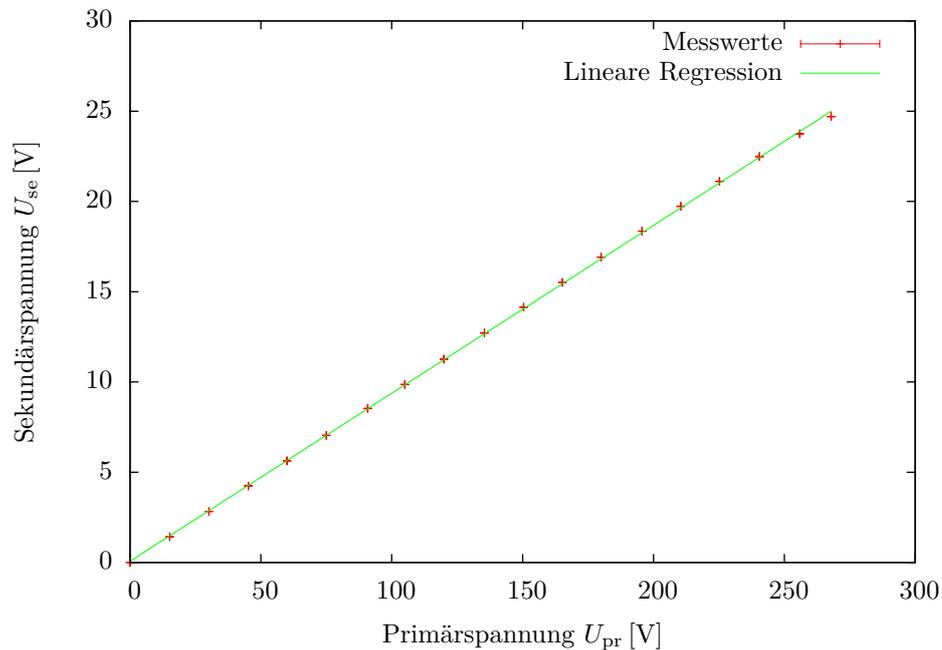


Abbildung 7: Abhängigkeit der Sekundärspannung von der Primärspannung.

Zur Bestimmung der Phasenwinkel wurden bei den Oszilloskop-Ausdrucken die maximalen Amplituden in y-Richtung A und der Wert $y(x = 0)$ gemessen. Durch folgende Formel erhält man dann (Pavlic, 2007–2009):

$$\varphi = \arcsin \frac{y(0)}{A}.$$

4.3 Transformatorleistung bei 5 A Laststrom

Zur Bestimmung der Wirk- und Blindleistung nutzt man den in Abbildung 11 dargestellten Zusammenhang zwischen Phasenwinkel des Stroms und den jeweiligen Leistungen. Die Wirkleistung kann man am Realteil, die Blindleistung am Imaginärteil der komplexen Leistung ablesen (siehe auch Theorieteil).

Um den Phasenwinkel zu bestimmen, wurde in die in Abbildung 9 verwendete Regression der Strom $I_2 = 5 \text{ A}$ eingesetzt. Der Primärstrom wurde mittels Abbildung 10 berechnet.

$$P_{\text{Wirk}} = U_1 I_1 \cos(\varphi) = 91.76 \text{ W} \cos(0.4588) = 82.27 \text{ W}$$

$$P_{\text{Blind}} = U_1 I_1 \sin(\varphi) = 91.76 \text{ W} \sin(0.4588) = 40.64 \text{ W}$$

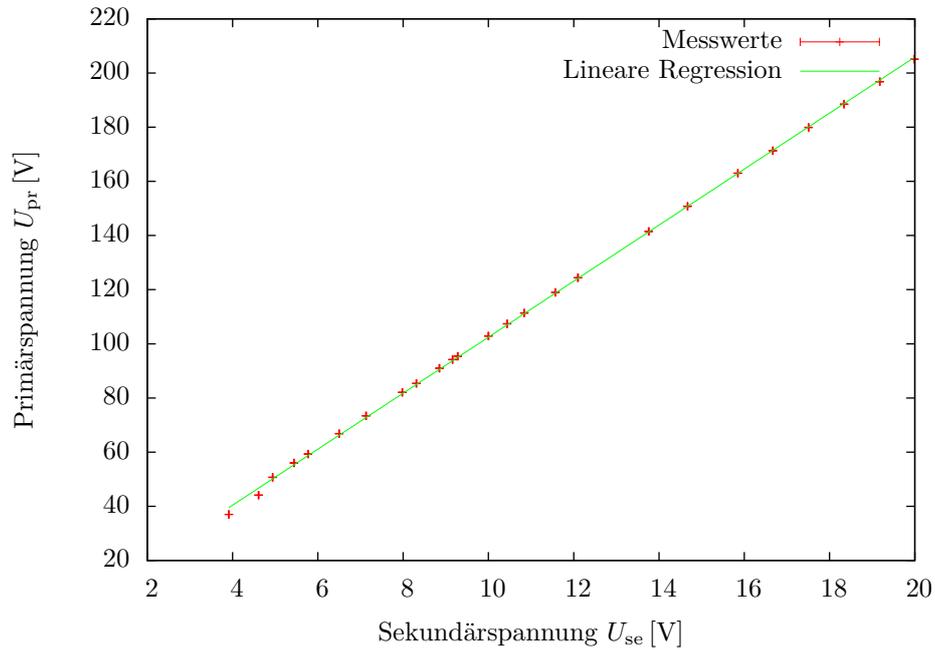


Abbildung 8: Abhängigkeit der Primärspannung von der Sekundärspannung bei Stromquelle im Sekundärkreis.

4.4 Verlustleistung des unbelasteten Transformators

Mit dem gemessenen Phasenwinkel für $I_2 = 0 \text{ A}$ und Abbildung 10 wurde auch die Verlustleistung im unbelasteten Transformator bestimmt:

$$P_{\text{Verlust}} = U_1 I_1 \cos(\varphi) = 22.00 \text{ W} \cos(1.4593) = 2.45 \text{ W}$$

Bei einem Strompreis von 0.20 €/kWh errechnen sich somit zusätzliche jährliche Stromkosten von 4.30 € .

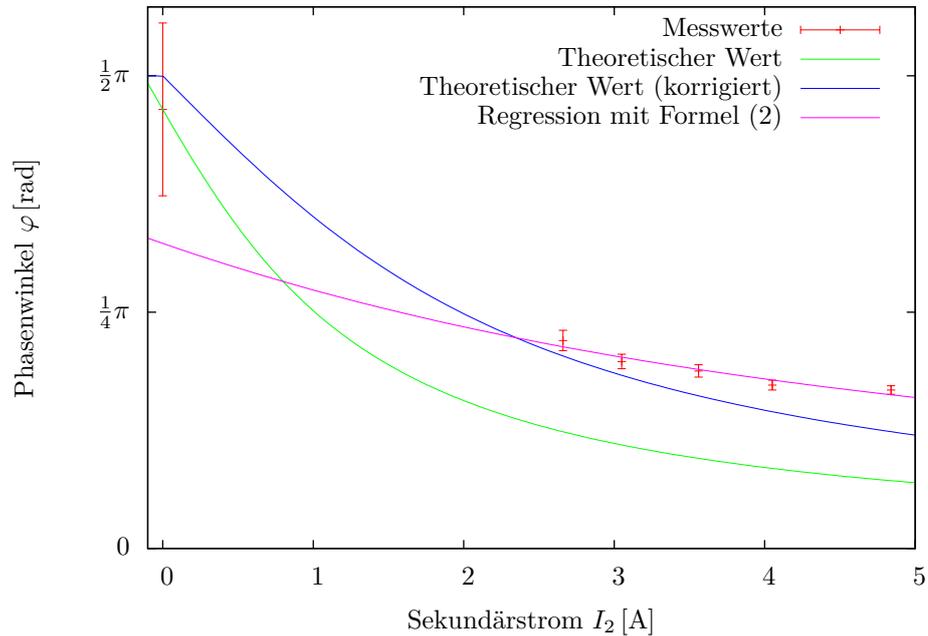


Abbildung 9: Phasenwinkel in Abhängigkeit des Sekundärstroms

5 Diskussion

Allgemein ist festzustellen, dass die ermittelten Werte größtenteils sehr nahe an der Theorie liegen. Allein bei der Berechnung des Phasenunterschiedes ist eine auffällige Abweichung festzustellen. Der Grund hierfür liegt vermutlich in der Unaufmerksamkeit der Experimentatoren, da die Messung ohne den Widerstand im Primärkreis hätte erfolgen sollen, möglicherweise aber der Widerstand im Schaltkreis belassen wurde.

Nimmt man als neuen Strom durch den Primärstromkreis nicht den Spulenstrom, sondern den Gesamtstrom an, so ergibt sich eine sehr viel kleinere Abweichung der Messwerte, was die erwähnte Theorie unterstützt.

Die genaue theoretische Kurve unter diesem Umstand würde zwar noch weitere Terme enthalten, zur Abschätzung des Fehlers reicht diese Betrachtung aber aus.

Eine weitere Fehlerquelle ist der Messwert für $I_2 = 0$ A (siehe auch Abb. 9), der für die Berechnung der theoretischen Kurve eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielt. Dieser ist stark fehlerbehaftet und eine Korrektur des Phasenwinkels bei $I_2 = 0$ A auf $\varphi = \frac{1}{2}\pi$ führt zu einer weiteren Verbesserung des Zusammenhangs. Diese Korrektur ist durch den im Vergleich zu R_1 vermutlich vernachlässigbar kleinen Spulenwiderstand zu rechtfertigen. Eine graphische Darstellung des korrigierten Wertes ist in Abbildung 9 zu sehen.

Zur Wirkleistung im unbelasteten „Handynetzteil“ sei gesagt, dass private Messungen per Wattmeter keinen messbaren Verbrauch im Leerlauf angezeigt haben, so dass hier vermutlich eine Abschaltautomatik die Primärspule stromlos schaltet.

A Tabellen und Grafiken

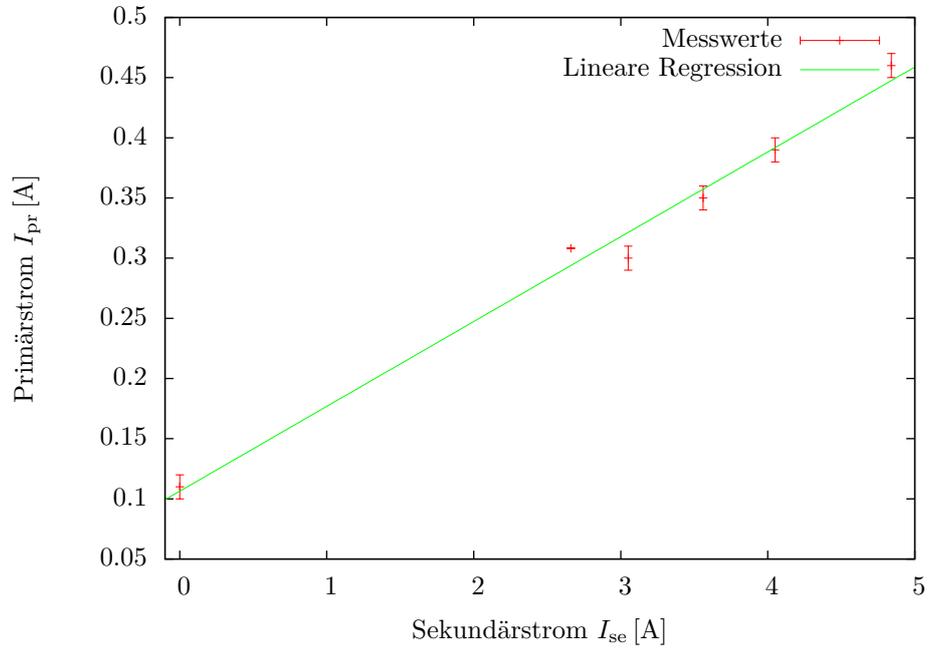


Abbildung 10: Abhängigkeit des Primärstroms vom Sekundärstrom.

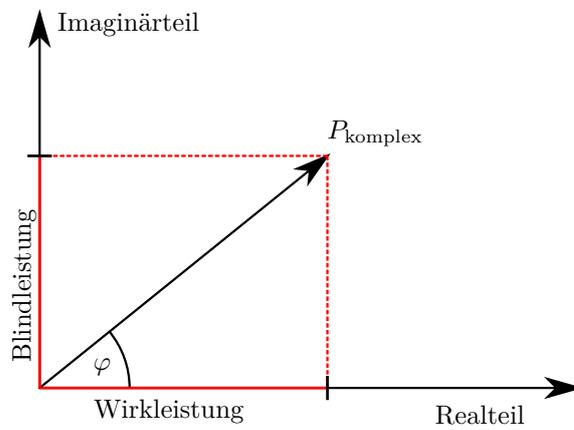


Abbildung 11: Bedeutung von Real- und Imaginärteil der komplexen Leistung.

Literatur

- [Meschede 2006] MESCHEDÉ, Dieter: *Gerthsen Physik*. 23. Ausgabe. Springer, 2006
- [Pavlic 2007–2009] PAVLIC, Theodore P.: *Lissajous figures, Lab 1: Introduction to Instrumentation, ECE 209: Circuits and Electronics Laboratory*. 2007-2009. – URL http://www.tedpavlic.com/teaching/osu/ece209/lab1_intro/lab1_intro_lissajous.pdf. – Zugriffsdatum: 2012-10-22
- [Prior und Grosse-Knetter] PRIOR, Mira ; GROSSE-KNETTER, Jörn: *LP - Der Transformator*. – URL <http://lp.uni-goettingen.de/get/text/4245>. – Zugriffsdatum: 2012-09-17