

Transformator

1 Grundlagen

Ist eine Wechselspannung U_1 vorhanden, deren Höhe für einen bestimmten Zweck ungeeignet ist, so wird ein Umspanner Abb. 1 verwendet.

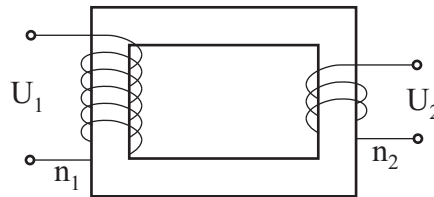


Abbildung 1: Umspanner, Transformator.

Die Netzspannung

$$U_1 = U_0 \sin \omega t \quad (1)$$

erzeugt einen Strom $I_1(t)$ im Primärkreis. Dieser Strom bewirkt einen magnetischen Fluß $\Phi(t)$ in der Spule. Die Flußänderung induziert eine Spannung U_L in der Spule.

$$U_L = -n_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

Für den Primärkreis gilt also:

$$U_1 + U_L = 0 \quad (3)$$

$$U_0 \sin \omega t = n_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (4)$$

Das ergibt den Fluß

$$\Phi(t) = \frac{U_0}{n_1 \omega} \sin(\omega t - \pi/2) \quad (5)$$

Damit ist der magnetische Fluß $\Phi(t)$ durch die Netzspannung $U_1(t)$ vorgegeben.

1.1 Leerlauf

$I_2 = 0$. Die Flußänderung induziert in der Sekundärspule eine Spannung U_2 :

$$U_2 = -n_2 \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{n_2}{n_1} U_0 \sin \omega t$$

$$U_2 = -\frac{n_2}{n_1} U_1(t) \quad (6)$$

Das Verhältnis der Spannungen ist somit durch die Windungszahlen gegeben. Der Strom im Primärkreis wird nur durch das Magnetisierungsverhalten des Eisens festgelegt.

$$\Phi = BA = \mu \mu_0 H A = \mu \mu_0 \frac{A}{l} n_1 I_1 \quad (7)$$

Bei geradliniger Magnetisierungskurve des verwendeten Eisens (Abb. 2) ist der Strom dem von ihm hervorgerufenen Fluß proportional. Es wird daher auch die Stromwelle der angelegten Spannung um $\pi/2$ nacheilen.

Die elektrische Leistung eines Gerätes ist durch das Produkt von Spannung und Strom gegeben. Die Leistung N an der Primärspule in Abhängigkeit von der Zeit bei Nacheilung des Stromes gegenüber der Spannung um $\pi/2$ zeigt Abb. 3. Man erkennt, daß das Vorzeichen der Leistung wechselt. Die aufgenommene Arbeit wird also stets wieder an das Netz zurückgegeben. Man nennt das Produkt $U_1 I_b$ im Falle einer Phasenverschiebung von $\pi/2$ Blindleistung Q_1 . Der aufgenommene Blindstrom I_b wird Magnetisierungsstrom genannt.

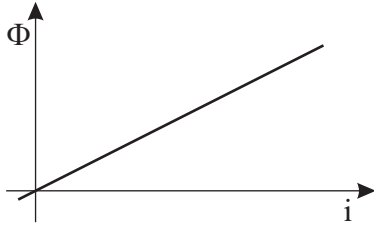


Abbildung 2: Eisen mit gerader Magnetisierungskurve.

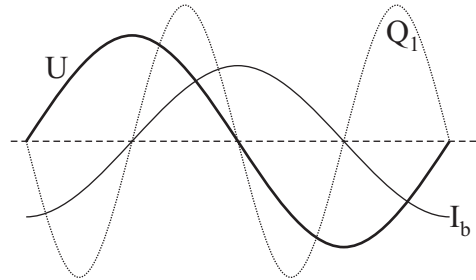


Abbildung 3: Blindleistung $Q_1 = UI_b$.

Für den Fall, daß die Magnetisierungskurve $\Phi = \Phi(t)$ eine Hysterese aufweist, erhält man den Stromverlauf aus Abb. 4. Dem Netz wird in diesem Fall Leistung entzogen.

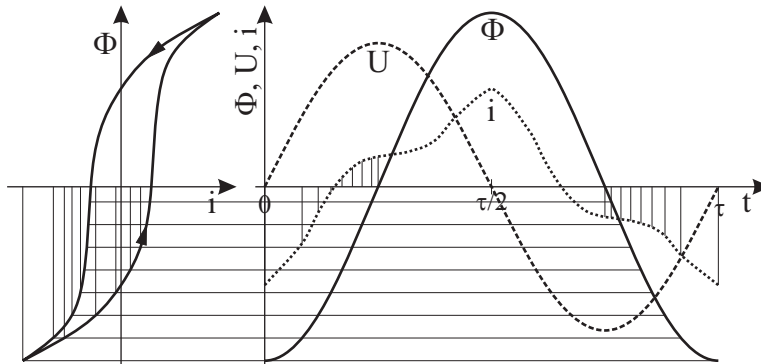


Abbildung 4: Spannung U , magnetischer Fluß Φ und Strom i bei Hysterese.

1.2 Belastung

Wird an die Sekundärspule ein Ohm'scher Widerstand R angeschlossen, so fließt auch durch die Sekundärspule ein Strom I_2

$$I_2 = \frac{U_2}{R} = -\frac{n_2}{n_1} \frac{1}{R} U_0 \sin \omega t \quad (8)$$

Jede stromdurchflossene Spule erzeugt ein Magnetfeld. Die stromdurchflossene Sekundärspule erzeugt einen von I_2 unabhängigen Zusatzfluß Φ_2 , der durch die Magnetisierungskurve bestimmt ist. Da der Fluß aber durch Gl. (5) wegen der eingepprägten Netzspannung festgelegt ist, muß Φ_2 kompensiert werden:

$$\Phi_2 + \Phi_1 = 0 \quad (9)$$

Diese Kompensation erfolgt durch einen in der Primärspule erzeugten Fluß Φ_1 , der durch einen

Zusatzstrom I_{1z} zustande kommt. Mit

$$\Phi_2 = \mu\mu_0 \frac{A}{l} n_2 I_2 \quad (10)$$

und

$$\Phi_1 = \mu\mu_0 \frac{A}{l} n_1 I_{1z} \quad (11)$$

ergibt sich I_{1z} aus der Bedingung Gl. (9)

$$I_{1z} = -\frac{n_2}{n_1} I_2 \quad (12)$$

und wegen Gl. (8):

$$I_{1z} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \frac{1}{R} U_1 \quad (13)$$

Der primäre Zusatzstrom ist bei der angenommenen rein Ohm'schen Belastung in Phase mit der Netzspannung U_1 . Der durch rein Ohm'sche Belastung der Sekundärseite bewirkte primäre Zusatzstrom I_{1z} verursacht eine Wirkleistungsaufnahme. Das Produkt der U_1 - und I_{1z} -Wellen ist nämlich stets positiv. Selbstverständlich existieren die beiden Ströme I_b und I_{1z} nicht getrennt. Sie setzen sich zu einem Netzstrom I_1 zusammen. Dies geschieht, indem man die zu gleichen Zeiten gehörenden Momentanwerte addiert.

Eine Sinuswelle entsteht z.B. durch einen mit der Winkelgeschwindigkeit ω rotierenden Zeiger, wenn man die Spitze des Zeigers in Abhängigkeit vom Winkel ωt beobachtet (Abb. 5).

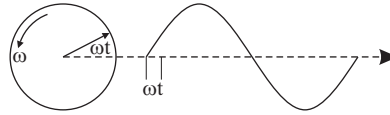


Abbildung 5: Zeigerdiagramm und Sinusschwingung.

Addiert man die Momentanwerte zweier mit gleicher Winkelgeschwindigkeit rotierender Größen, welche gegeneinander eine Phasenverschiebung haben, so setzen sich die Zeiger geometrisch zusammen (Abb. 6). Für den belasteten Transformator zeigt Abb. 7 die Lage der Zeiger. Die Phasenverschiebung φ zwischen dem Gesamtstrom I_1 (auch Scheinstrom genannt) und der Netzspannung ist nach Abb. 7 gegeben durch:

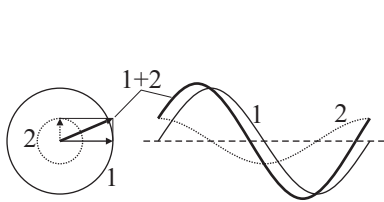


Abbildung 6: Addition zweier Sinusschwingungen.

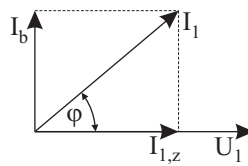


Abbildung 7: Zeigerdiagramm im belasteten Transformator.

$$\begin{aligned} \tan \varphi &= \frac{I_b}{I_{1z}} \\ \cos \varphi &= \frac{I_{1z}}{I_1} \\ \sin \varphi &= \frac{I_b}{I_1} \end{aligned} \quad (14)$$

Da die Multiplikation der Zähler und Nenner mit U_1 an den Verhältnissen Gl. (14) nichts ändert, gilt auch:

$$\tan \varphi = \frac{Q_1}{P_1} \quad , \quad \cos \varphi = \frac{P_1}{S_1} \quad , \quad \sin \varphi = \frac{Q_1}{S_1} \quad (15)$$

Dabei ist $I_{1z}U_1$ die Wirkleistung P_1 , $I_b U_1$ die Blindleistung Q_1 und $I_1 U_1$ die Scheinleistung S_1 . Bei verlustlosem Transformator muß, damit der Energieerhaltungssatz gewahrt bleibt, die zugeführte Wirkleistung gleich der sekundär abgegebenen Wirkleistung sein:

$$I_{1z}U_1 = P_1 = P_2 = U_2 I_2 \quad (16)$$

1.3 Verluste im Transformator

Die Spulen des Transformators haben endliche Widerstände: R_{Sp1} und R_{Sp2} . Die an ihnen auftretende Wirkleistung

$$P_{Cu1} = R_{Sp1} I_1^2 \quad , \quad P_{Cu2} = R_{Sp2} I_2^2 \quad (17)$$

wird als Wärme frei. Ihre Summe P_{Cu} bezeichnet man als Kupferverluste des Transformators.

$$P_{Cu} = P_{Cu1} + P_{Cu2} \quad (18)$$

Außer den Kupferverlusten treten im Transformator auch sogenannte Eisenverluste auf. Sie setzen sich aus den Wirbelstromverlusten und den Hysteresisverlusten zusammen. Die Wirbelstromverluste entstehen durch die elektrische Leitfähigkeit des Eisens. Der Wechselfluß induziert auch im Eisen Spannungen, die sogenannte Wirbelströme hervorrufen, und eine Erwärmung des Eisens bewirken. Durch Unterteilung des Eisenkernes in dünne, gegenseitig isolierte Bleche, kann man das Auftreten von gut leitenden Stromkreisen im Eisen weitgehend verhindern.

Die Hysteresisverluste entstehen durch die Abweichung der Eisenmagnetisierung von der Idealform in Abb. 2. Es zeigt sich nämlich, daß nach Zurückgehen des Stromes auf den Wert Null Restmagnetismus (Remanenz) vorhanden ist (Abb. 8). Wird nun in umgekehrter Richtung ein Magnetfeld aufgebracht, so muß erst Energie aufgewendet werden, um das Restfeld abzubauen. Infolge der Transformatorverluste sinkt die Spannung U_2 an der Sekundärspule.

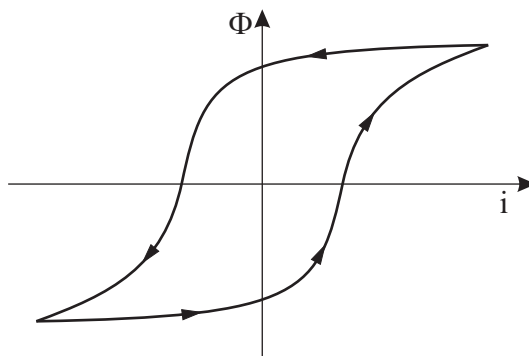


Abbildung 8: Hysteresisschleife

2 Versuchsaufbau

Ablesungen in Abhängigkeit vom Belastungswiderstand (Last) nach Abb. 9 erlauben es, folgende Größen zu berechnen:

- Abgegebene Wirkleistung: $P_2 = U_R I_2$
- Aufgenommene Scheinleistung: $S_1 = U_1 I_1$
- Phasenverschiebung an der Primärseite: $\cos \varphi = P_1 / S_1$, $\varphi = \arccos P_1 / S_1$
- Primärer Wirkstrom: $I_{1z} = I_1 \cos \varphi$
- Primärer Blindstrom: $I_b = I_1 \sin \varphi = I_1 \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$
- Primärer Blindleistung: $Q_1 = I_b U_1$
- Verlustleistung: $\Delta P = P_1 - P_2$ als Differenz der zugeführten und der abgegebenen elektrischen Leistung.
- Wirkungsgrad: $\eta = N_2 / N_{1w} \cdot 100\%$ welcher angibt, wieviel Prozent der zugeführten Leistung als elektrische Energie sekundär zur Verfügung steht.

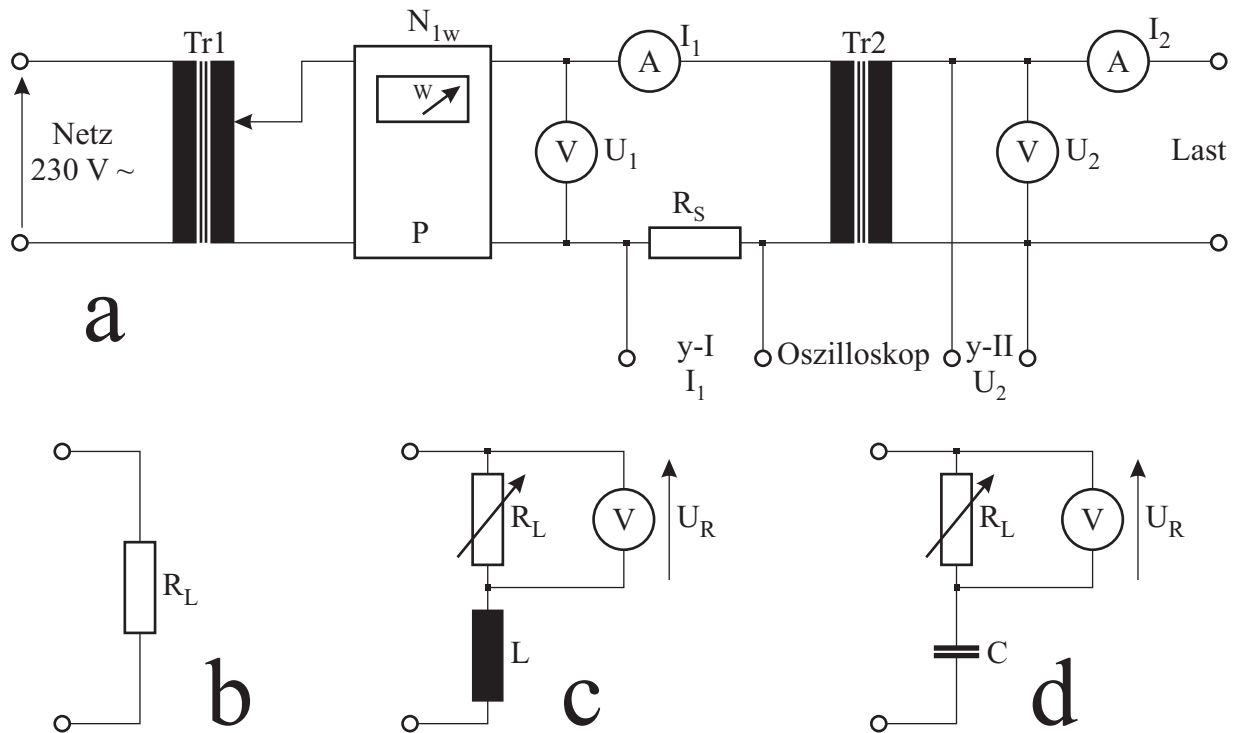


Abbildung 9: Meßanordnung zur Untersuchung des Transformators Tr2 für a) Leerlauf, b) ohm'sche Last, c) ohm'sche und induktive bzw. d) ohm'sche und kapazitive Last in Serie.

Tr1	... Regeltrenntrafo	I_1	... Primärstrom	L	... Spule
Tr2	... Meßtrafo	U_1	... Primärspannung	C	... Kondensator
R_S	... Shunt (ca. 0.5Ω)	I_2	... Sekundärstrom	U_R	... Spannungsabfall an R_L
R_L	... Lastwiderstand	U_2	... Sekundärspannung	P_1	... primäre Wirkleistung

- Kupferverluste:
 - Primär: $P_{Cu1} = I_1^2 R_{Sp1}$
 - Sekundär: $P_{Cu2} = I_2^2 R_{Sp2}$
 - Insgesamt: $P_{Cu} = P_{Cu1} + P_{Cu2}$
- Eisenverluste: $P_{Fe} = \Delta P - P_{Cu}$

3 Fragen

1. Wodurch kommen im Stromdiagramm die Hystereseverluste zum Ausdruck? Skizzieren Sie in Abb. 4 den Leistungsverlauf.
2. Skizzieren Sie den Gesamtstrom I_1 bei Belastung der Sekundärseite mit einem Ohm'schen Widerstand.
3. Wie ändert sich die Stromaufnahme I_1 gegenüber Leerlauf wenn auf der Sekundärseite
 - (a) ein Kondensator
 - (b) eine Spule
 angeschlossen wird? Zeichnen Sie die Zeigerdiagramme.
4. Der Spar- oder Autotransformator hat eine einzige Spule mit Anzapfung (Abb. 10). Kann bei diesem Transformatortyp $U_2 > U_1$ sein?

5. Ist ein Transformator auch zum Umspannen von nicht sinusförmigen Spannungen geeignet?
 - (a) periodische Spannung beliebiger Form
 - (b) nicht periodische Spannung (z.B. Spannungsstoß)
 - (c) Gleichspannungen
6. Welchen Einfluß hat die Frequenz der zu übertragenden Spannung auf die Funktion des Transformators?

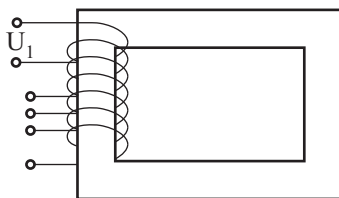


Abbildung 10: Spartransformator

4 Aufgaben

Die Messungen werden mit der in Abb. 9 dargestellten Schaltung durchgeführt. Überlastungen des elektronischen Leistungsmessers sind zu vermeiden (siehe Bedienungsanleitung), richtigen Meßbereich für Strom und Spannung sind jeweils einzustellen.

1. Leerlauf ($U = 200 \text{ V}$): Messen Sie Primärstrom I_1 , Primärspannung U_1 , Wirkleistung P_1 und Sekundärspannung U_2 . Berechnen Sie die Größen aus Tab. 1, Fehlerrechnung. Oszillographische Darstellung von Primärstrom und Sekundärspannung mit passender Skalierung.
2. Ohm'sche Last sekundärseitig (ca. 100 W): Messen Sie Primärstrom, Primärspannung, Wirkleistung, Sekundärspannung und Sekundärstrom I_2 . Berechnen Sie die Größen aus Tab. 1, Fehlerrechnung. Oszillographische Darstellung von Primärstrom und Sekundärspannung mit passender Skalierung.
3. Ohm'sch-induktive Last: Aufnahme der Parameter wie unter Aufgabe 2 bei einer Serienschaltung von einer Spule $L \approx 0.1 \text{ H}$ mit einem regelbaren Lastwiderstand ($0 - 45 \Omega$, ca. 20 Meßwerte). Erstellung des Diagrammes Leistung über Lastwiderstand und Begründung des Auftretens eines Maximums der Wirkleistung. Oszillographisches Bild beim Maximum abzeichnen und skalieren!
4. Ohm'sch-kapazitive Last: Gleich wie Aufgabe 3, aber mit einer Serienschaltung von einer Kondensatorbatterie (ca. $150 \mu\text{F}$) mit einem Regelwiderstand.
5. Die Fehlerrechnung ist für einen der Punkte 3 oder 4 durchzuführen.

Tabelle 1: Zu berechnende Größen für Aufgabe 1 und 2.

Scheinleistung primär	$S_1 = U_1 I_1$	Blindleistung primär	$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2}$
Leistungsfaktor	$\cos \phi = \frac{P_1}{S_1}$	Wirkleistung sekundär (bei ohm'scher Last)	$P_2 = U_2 I_2$
Verlustleistung gesamt	$P_V = P_1 - P_2$	Wirkungsgrad	$\eta = \frac{P_2}{P_1}$

Magnetische Hysteresis

Stichworte zur Vorbereitung:

Remanenz, Koerzitivfeldstärke, Ummagnetisierungsarbeit, Neukurve, Permeabilität

Literatur

[1] Skriptum und Anhang Experimentalphysik II.

1 Grundlagen

Bei ferromagnetischen Stoffen ist die relative Permeabilität μ_r von der herrschenden magnetischen Feldstärke H abhängig:

$$\vec{B} = \mu_0 \widehat{\mu}_R(\vec{H}) \vec{H} \quad (1)$$

B ist die magnetische Induktion, μ_0 die absolute Permeabilität ($\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ Vs}/(\text{Am})$).

Im Falle eines Transformators gelten für H und B folgende Beziehungen

$$H = \frac{In_1}{l} \quad , \quad B = \frac{\int U_2(t)dt}{n_2 A} \quad (2)$$

wobei U_2 aus

$$U_2 = -n_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

folgt, mit I der Stromstärke durch die Spule, U_2 der induzierten Sekundärspannung, n_1 der Windungszahl der primärseitigen Spule und n_2 die der sekundärseitigen Spule, l der mittleren magnetischen Weglänge und A der Querschnittsfläche des Eisenkerns.

Das Integral über $U_2(t)$ wird mittels analoger Integration durch den Momentanwert der Spannung ausgedrückt:

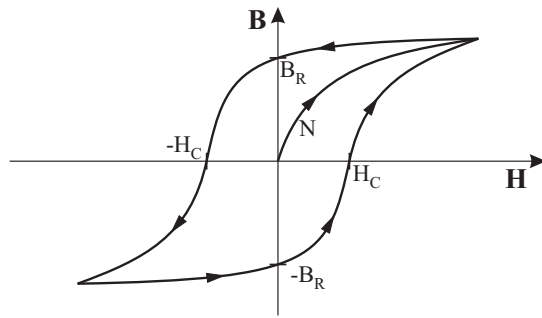
$$\int U_2(t)dt = RC U_C(t) \quad (3)$$

Durch irreversible Prozesse (Wandverschiebungen der Weiß'schen Bezirke, Umklappen derselben usw.) ist **Hysteresis** zu beobachten: Beim Magnetisieren und Entmagnetisieren werden unterschiedliche Wege im Induktions-Feldstärke-Diagramm durchlaufen (Abb. 1).

Wird ein ferromagnetischer Stoff das erste Mal magnetisiert, so ist der Zusammenhang $B = B(H)$ durch die sogenannte Neukurve gegeben. Falls die Magnetisierung mit Wechselstrom durchgeführt wird, so ergeben sich je nach der Amplitude der magnetischen Feldstärke unterschiedliche Hysteresisschleifen, deren Umkehrpunkte auf der Neukurve liegen. Die verbleibende magnetische Induktion B bei der Feldstärke $H = 0$ nennt man Remanenz B_R , die nötige Feldstärke um die Remanenz abzubauen, d.h. um $B = 0$ zu erreichen, ist die sogenannte Koerzitivfeldstärke H_C .

Die von der Hysteresisschleife eingeschlossene Fläche hat die Dimension einer Energiedichte, sie entspricht der Ummagnetisierungsarbeit pro Eisenkern-Volumeneinheit für den Durchlauf einer Schleife.

$$W_V = V \int_{-E_{\max}}^{E_{\max}} H dB \quad (4)$$



B ... magnetische Induktion
 H ... magnetische Feldstärke
 B_R ... Remanenz
 H_C ... Koerzitivfeldstärke
 N ... Neukurve

Abbildung 1: Hysteresisschleife eines ferromagnetischen Stoffes.

W_H ... Ummagnetisierungsarbeit pro Schleifendurchlauf
 $\int H dB$... Fläche unter der Hysteresisschleife
 V ... Volumen des Eisenkerns

Die Verlustleistung P_H bei Wechselstrom mit der Frequenz ν ist:

$$P_H = \nu W_V \quad (5)$$

2 Versuchsdurchführung

Ein zerlegbarer Transformator Kern (Abb. 2) wird untersucht. Durch Anlegen einer regelbaren Wechselspannung wird eine wechselnde Magnetisierung des Kernes verursacht.

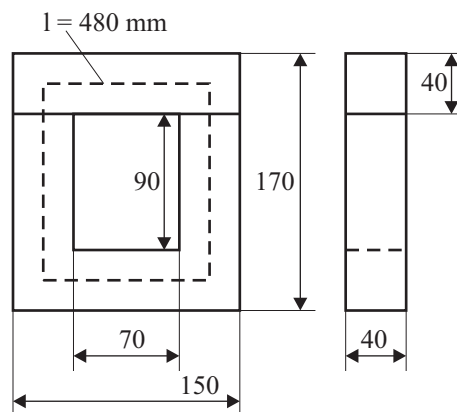


Abbildung 2: Abmessungen des Transformatorkernes. l mittlere magnetische Weglänge (0.48 m)

Ein Integrationsglied auf der Sekundärseite erlaubt eine direkte Darstellung von B als Funktion von H (= direkt proportional zum Magnetisierungsstrom) am Oszillographen. Um möglichst kleine Werte des Magnetisierungsstromes einstellen zu können (Bestimmung der Anfangspermeabilität), wird zunächst die Primärseite über einen Spannungsteiler (Regelwiderstand $0 - 4.4 \Omega$, $I_{\max} = 10 \text{ A}$) mit einer auf dem Trenntrafo fix eingestellten Spannung von 15 V gespeist (Abb. 3). Die Empfindlichkeit des Oszillographen (XY-Darstellung) wird anfangs auf den größten Wert eingestellt. Der Magnetisierungsstrom wird in kleinen Schritten ($10 - 15$ Werte pro Bild) über den Regelwiderstand erhöht, die Umkehrpunkte der Schleifen werden koordinatenweise auf einer Tabelle mit den Werten der jeweiligen Einstellung auf der X- und Y-Achse eingetragen. Eine ganze Schleife wird mittels Computer aufgenommen, die Koordinatenachsen werden skaliert. Um höhere Magnetisierungsströme zu erreichen, wird der Spannungsteiler entfernt (Abb. 3 ohne den gestrichelten Kasten). Jetzt wird die Spannung direkt am Trenntrafo geregelt. Der Magnetisierungsstrom wird bis zur Sättigung erhöht. Dabei nimmt man ca. 30 Punkte auf (je-

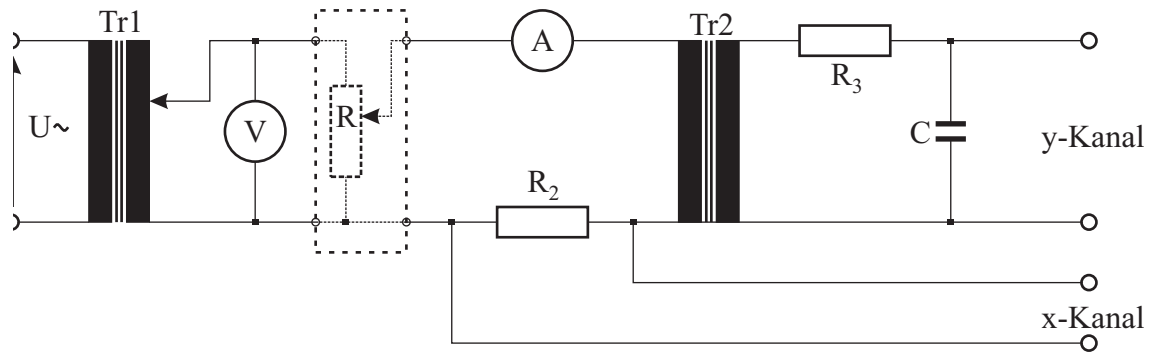


Abbildung 3: Meßanordnung. $U \sim 230$ V-Speisespannung, Tr1 Regeltrenntrafo, Tr2 Versuchstrafo mit Eisenkern, $n_1, n_2 = 250$ Windungen, R ($0 - 4.4 \Omega$) Regelwiderstand, R_2 (0.197Ω), R_3 ($100 \text{ k}\Omega$) Widerstände, C Kondensator ca. $4 \mu\text{F}$. Die Teile im gestrichelten Rahmen werden nur für niedrige Magnetisierungsströme gebraucht.

weilige Einstellung nicht vergessen), insbesondere einen bei ausgeprägter Sättigung (kurzfristig Magnetisierungsstrom auf 6 A erhöhen – Vorsicht vor Überhitzung der Spule).

3 Aufgaben

1. Aufbau der Versuchsanordnung gemäß Abb. 3.
2. Die Kommutierungskurve (Neukurve) wird durch Aufnahme der Umkehrpunkte von Hysteresisschleifen bestimmt, die bei verschiedenen Magnetisierungsströmen (ca. 20 Werte) aufgenommen werden. Daraus ist die Abhängigkeit der relativen Permeabilität μ_r von der Feldstärke H zu ermitteln, und in einem Diagramm darzustellen.
3. Bei einem Primärstrom von ca. 1 A ist eine Hysteresisschleife oszillographisch festzuhalten, und die Remanenz, die Koerzitivfeldstärke sowie die Ummagnetisierungsarbeit und daraus die Verlustleistung zu bestimmen.

Einlesen der Daten vom Oszilloskop und Bearbeiten mit ORIGIN

- Einlesen der Daten

Mit der Tastenkombination **ALT-TAB** kann zwischen den geöffneten Programmen in Windows gewechselt werden:

Wechseln zum Programm-Manager → Starten MS-DOS Eingabefenster.

Zum Einlesen der Daten steht eine Batch-Datei namens **oszi** zur Verfügung. Die gespeicherten Dateien sind dann im Unterverzeichnis **grundpra** zu finden. Vom Oszilloskop können *beide Kanäle gleichzeitig* eingelesen werden. Um den Fehler bei der Digitalisierung klein zu halten, ist es wichtig, daß die dargestellten Signale den Bildschirm so gut wie möglich ausnutzen. Es spielt dabei keine Rolle, wenn sich die Kurven beider Kanäle überschneiden.

Nicht vergessen: Spannungsfaktoren der beiden Kanäle aufschreiben!

Die Schnittstelle zum Oszilloskop ist COM2, eingelesen wird mit dem **R(ead)** Kommando. Nach dem Abspeichern sind noch die Grundlinien beider Kanäle einzulesen und ebenfalls abzuspeichern. Das Einlesen von Daten ist nur im Zeitablenkbetrieb möglich.

- Starten von Origin oder Wechseln in das bereits geöffnete Origin-Window.

- Meßdaten importieren: **File** → **Import** → **ASCII** → Datei Auswählen → **OK**

- Einlesen der Grundlinien:

- **File** → **Import** → **ASCII Options** → Rechts unten: **Import Into Worksheet as** auf **New Columns** setzen

- **Import Now** → Datei mit Grundlinien wählen → **OK**

Nun stehen die Daten von Kanal 1 in den Spalten A und C und die von Kanal 2 in B und D zur Verfügung.

- Korrektur der Grundlinien und Skalierung:

- **Column** → **Add New Columns** → Anzahl 2 → **OK**

- Neue Spalte E markieren

- **Column** → **Set Column Values** → $\text{col(E)} = (\text{col(A)} - \text{col(C)}) / 25 \times k_y \times k_A$
 k_y Ablenkfaktor Oszilloskop Kanal A, k_A Skalierungsfaktor für Kanal A

- Analog für Kanal 2 mit den Spalten B, D und F

- Graphische Darstellung:

- Zuweisung der Spalten als Abszisse bzw. Ordinate durch Markieren der betreffenden Spalte und **Column** → **Set as X** bzw. **Column** → **Set as Y**

- Markieren der darzustellenden Y-Spalte und **Plot** → **Line**

- Änderung von Achsenbeschriftung, Skalierung usw. durch Doppelklicken auf der entsprechenden Stelle im Diagramm

- Wenn gewünscht: Setzen der Achsen in den Nullpunkt: Doppelklicken an der Achse → Menü **y-Axes** → **Left Axis** → **Axis Position Left** bzw. **X-Axes** → **Bottom Axis** → **Axis Position Bottom** auf **At X =** bzw. **At Y =** setzen und **0** eingeben.

- Einfügen der Zeitachse:

- **Column** / **Add Columns** → Anzahl 1 und **OK**.

- Neue Spalte markieren.

- **Column** / **Set Column Values** → z.B.: $\text{col(G)} = i/200 \cdot k_t$
 k_t ... Zeitablenkfaktor des Oszilloskops A.

- Wenn so gewünscht, Setzen dieser Spalte als X-Werte.

- Bei der Hysteresisschleife sind die Daten stark verrauscht. Es ist daher zweckmäßig, eine Glättung durchzuführen. Diese kann nicht direkt im XY-Graphen durchgeführt werden, sondern es empfiehlt sich folgende Vorgangsweise:

- Setzen der skalierten B- als Y und G-Spalte als X.
- B-Spalte darstellen und **Analysis** → **Smoothing** → **Adjacent Averaging** → **OK**
- In der Tabelle: Neben B ist nun eine Spalte mit den geglätteten Daten eingefügt.
- Gleiche Vorgangsweise bei der H-Spalte wie mit B.
- Geglättete H-Spalte als X setzen und geglättete B-Spalte als Graphen darstellen. Nun hat man die geglättete Hysteresisschleife vor sich, diese wird ausgedruckt.
- Zur Berechnung der Verluste wird mit **Analysis** → **Calculus** → **Integrate** integriert.
- Nach der Integration ist ein weiteres Fenster offen (Script Window). Unter dem Punkt **Area** ist die Fläche unter der Kurve zu finden.
- Drucken: Entsprechenden Graphen durch Anklicken aktiv schalten, **File** → **Print**. Da nicht für jeden PC ein Drucker zur Verfügung steht, wird in ein File gedruckt. Der Filename muß mit dem richtigen Pfad (z.B. `a:\test` zum direkten Speichern auf Diskette) angegeben werden. Zum tatsächlichen Ausdruck wird am Drucker-PC der Befehl `copy /b a:\test lpt1` am DOS-Prompt eingegeben.

Erstellen von Tabelle und Graph für die Kommutierungskurve

- Die Meßwerte für die Kommutierungskurve können direkt am Computer eingegeben werden. Mit **File** → **New** → **Worksheet** erhält man eine neue Tabelle. Wie bereits beschrieben, sind die gewünschte Anzahl von Spalten zu erzeugen (U, I und Umkehrpunkte am Oszi), und die nötigen Berechnungen durchzuführen. Danach sind die Graphen für die Kommutierungskurve und den Verlauf der relativen Permeabilität darzustellen. Da es sich um einzelne Meßpunkte handelt: Doppelklicken auf Kurve → Menü **Plot Details: Symbol** auf **Shape Cross** setzen.
- Wenn gewünscht, Formatieren der Tabelle für den Ausdruck:
Durch Doppelklicken auf eine Spalte kommt man in das Menü **Worksheet Column Format**
 - **Column Name**: Umbenennen der Spalte (z.B. U)
 - **Set Column As**: X, Y, oder none;
 - **Column Type**: **Numeric**
 - **Format**: gewünschtes Format einstellen, z.B. **Decimal**: 1000
 - Einstellen der Nachkommastellen: Statt **Auto Digits** auf **Set Decimal Places** = umstellen, und die gewünschte Anzahl eingeben.
 - **Column Label**: Der hier eingegebene Text erscheint im Kopf der Spalte unter dem Namen. Dies kann für die Angabe der Einheiten genutzt werden (z.B. V).
 - **Column Width**: Breite der Spalten
- Ausdruck:
 - **File** → **New** → **Layout Page**. Mit **Edit** → **Rotate Page** Seite auf Hochformat stellen.
 - Tabellenkopf: In der Symbolleiste Tools Aktivieren des Textmodus durch Klicken mit der Maus auf T, dann Klicken auf eine Stelle im Layout. Das Fenster **Text Control** erscheint. Nun kann der Text für den Tabellenkopf eingegeben werden. Um einen Tabulator einzufügen muß man **Strg-Tab** drücken. Ende mit **OK**.
 - Einfügen der Tabelle: **Layout** → **Add Worksheet** → Tabelle auswählen → **OK**. Die Tabelle wird durch Klicken mit der Maus am Layout eingefügt. Durch weiteres Klicken auf die Tabelle kann sie mit der Maus positioniert werden. Der Bearbeitungsrahmen wird so vergrößert, daß die vollständige Tabelle sichtbar wird. Das Format kann im Layout leider nicht verändert werden, dies muß direkt im Worksheet erfolgen (mit der Taste **Entf** kann die markierte Tabelle wieder ausgeschnitten werden). Entspricht die Tabelle den Richtlinien, so kann sie ausgedruckt werden.
- Integration von Kurven
 - Entsprechenden Graphen aktiv schalten.
 - **Analysis** / **Calculus** / **Integrate**
 - Nach der Integration ist ein weiteres Fenster offen (Script Window). Unter dem Punkt **Area** ist die Fläche unter der Kurve zu finden.