

## Praktikum Grundlagen der Elektrotechnik

**Versuch** GET 1.4: Technischer Magnetkreis

**Standort** GET-Laborräume im Helmholtzbau (H2546, H2547, H2548 bzw. H2549)

**Inhalt**

- 1 Ziel und Inhalt des Versuches
- 2 Vorausgesetztes Wissen
- 3 Literatur
- 4 Vorbereitungsaufgaben
- 5 Geräte und Baugruppen am Versuchsplatz; Bedienhinweise
- 6 Aufgabenstellungen zur Versuchsdurchführung und -auswertung

### 1 Ziel und Inhalt des Versuches

- Messung magnetischer Größen mit einer Hallsonde bzw. mit Hilfe eines Digitaloszilloskops
- Erstellen magnetischer Ersatzschaltbilder technischer Magnetkreise mit verteilten, stromdurchflossenen Wicklungen auf Grund gemessener magnetischer Flussdichten im Luftspalt
- Untersuchung des Einflusses eines Luftspaltes im technischen Magnetkreis durch Aufnahme von  $\Phi$ - $V_{\text{Umlauf}}$ -Kennlinien bei veränderlicher Luftspalllänge  $\delta$
- Grafische Bestimmung der Kennlinie des magnetischen Widerstandes eines Luftspaltes unter Berücksichtigung der Streuung  $R_{m\delta\sigma}$
- Ermittlung des Streufaktors  $\sigma$

### 2 Vorausgesetztes Wissen

- Grundgleichungen magnetischer Felder (z.B. Durchflutungsgesetz)
- Technischer Magnetkreis, vereinfachtes Ersatzschaltbild des magnetischen Widerstandsmodell zur Charakterisierung der Flussteilung  $\Phi_\delta$  und  $\Phi_\sigma$  am Luftspalt
- Magnetische Spannungsgleichung und Knotensatz der magnetischen Flüsse, Streufaktor  $\sigma$
- Wirkprinzip der Hallsonde und Messung magnetischer Flussdichten
- Kommutierungskennlinien ferromagnetischer Stoffe

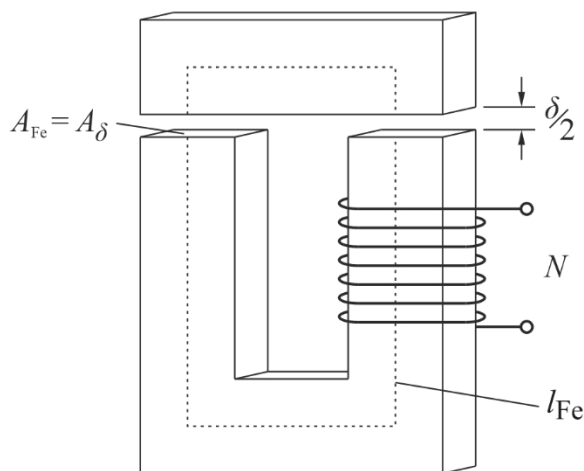
### 3 Literatur

- Vorlesungs- und Übungsunterlagen „Allgemeine Elektrotechnik 1“
- Lehrbuch Seidel/Wagner: Allgemeine Elektrotechnik 1, Unicopy Ilmenau 2009, Kapitel 3.3 und Kapitel 3.4
- Funktionsprinzip Teslameter: [www.ulfkonrad.de/physik/12-13/1-semester/teslameter](http://www.ulfkonrad.de/physik/12-13/1-semester/teslameter)

## 4 Vorbereitungsaufgaben

4.1 Gegeben ist ein U-I-Kern aus Dynamoblech entsprechend **Abbildung 1**.

- Geben Sie das magnetisch äquivalente Ersatzschaltbild an.
- Berechnen Sie den magnetischen Gesamtwiderstand des Luftspaltes mit Streuung  $R_{m\delta\sigma}$ .
- Rechnen im Diagramm der **Abbildung 4** die gegebene  $B$ - $H$ -Kennlinie in die  $\Phi$ - $V$ -Kennlinie um. Zeichnen Sie die Kennlinie von  $R_{m\delta\sigma}$  ein.
- Konstruieren Sie grafisch die  $\Phi$ - $V$ -Summenkennlinie.
- Ermitteln Sie die Magnetflussdichte  $B_{Fe}$  im Eisen unter der Annahme, dass die Durchflutung  $\Theta = 1200$  A beträgt.
- Berechnen Sie anschließend die Magnetflussdichte im Luftspalt  $B_\delta$ , den magnetischen Gesamtfluss  $\Phi$ , den Fluss im Luftspalt  $\Phi_\delta$  und den Streufluss  $\Phi_\sigma$ .



Parameter des Magnetkreises:

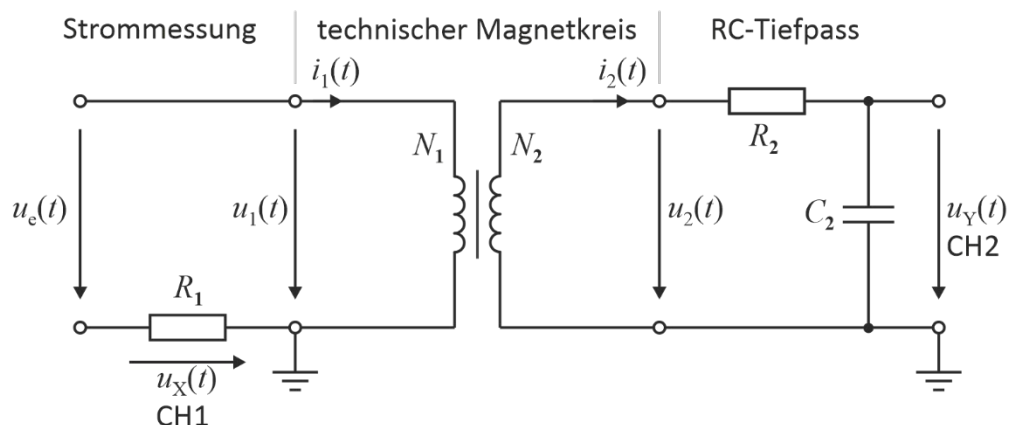
$$\begin{aligned}
 A_{Fe} &= 6 \text{ cm}^2 \\
 l_{Fe} &= 24 \text{ cm} \\
 A_\delta &= 6 \text{ cm}^2 \\
 \delta &= 1 \text{ mm} \\
 \sigma &= 0,276 \\
 \mu_0 &= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}
 \end{aligned}$$

**Abbildung 1:** Technischer Magnetkreis als U-I-Kern (Dynamoblech) mit Windungen

4.2 Für die Aufnahme der  $\Phi$ - $V_{Umlauf}$ -Kennlinie (bzw.  $B$ - $H$ -Kennlinie) eines technischen Magnetkreises wird die in **Abbildung 2** gegebene Messschaltung verwendet.

Nutzen Sie die Messschaltung in **Abbildung 2** zur Herleitung der Beziehung zwischen:

- der magnetischen Spannung  $V_{Umlauf}(t)$  und der Spannung  $u_X(t)$  am Messeingang CH1.
- dem magnetischen Fluss  $\Phi(t)$  und der Spannung  $u_Y(t)$  am Eingang CH2 des Oszilloskops.



**Abbildung 2:** Ersatzschaltbild der Messschaltung zur Aufnahme einer  $\Phi$ - $V_{Umlauf}$ -Kennlinie eines technischen Magnetkreises mit Hilfe des transformatorischen Prinzips

4.3 Im Verlauf des Praktikums wird die  $\Phi$ - $V_{\text{Umlauf}}$ -Kennlinie eines Magnetkreises ohne Luftspalt (Eisenkern-Kennlinie) und die  $\Phi$ - $V_{\text{Umlauf}}$ -Kennlinie für denselben Magnetkreis mit Luftspalt und einem unbekanntem Streufaktor  $\sigma$  ermittelt.

- Mit welchem Verfahren können Sie mit den beiden zuvor ermittelten Kennlinien die  $\Phi$ - $V$ -Kennlinie des Luftspaltes  $R_{m\delta\sigma}$  grafisch bestimmen (siehe auch Aufgabe 4.1)?
- Leiten Sie mit der Beziehung  $R_{m\delta\sigma} = V_{\delta}/\Phi$  die Berechnung des Streufaktors  $\sigma$  her.

## 5 Geräte und Baugruppen am Versuchsplatz sowie Bedienhinweise

- 1 Digitalspeicheroszilloskop TDS2012B mit 2 Tastköpfen 1:1
- 1 Teslameter (bei Praktikumsassistent)
- 1 Trennstelltransformator als AC-Quelle (0 .. 250 V)
- 1 Regelbare DC-Quelle (0 .. 30 V, 0 .. 5 A)
- 4 Distanzstücke zur Einstellung des Luftspaltes ( $\delta/2 = 0,5 \text{ mm}; 1,0 \text{ mm}; 2,0 \text{ mm}; 4,0 \text{ mm}$ )
- 1 Technischer Magnetkreis (U-I-Kern) mit 6 Windungspaketen:

Linker Schenkel	$N_{11} =$	$N_{12} =$	$N_{13} =$
Rechter Schenkel	$N_{21} =$	$N_{22} =$	$N_{23} =$
Geometrie	$l_{\text{Fe}} =$		$A_{\text{Fe}} = A_{\delta} =$

- 1 Baugruppe RC-Tiefpass als Integrierglied:

$R_2 =$	$C_2 =$
---------	---------

- 1 Messwiderstand  $R_1 = 1 \Omega$

### Bedienhinweise

Der Praktikumsassistent weist Sie in die Bedienung des Digitalspeicheroszilloskops und des Teslameters ein.

Für die Messungen bei **Wechselspannung** ist die **Schaltung** vor dem erstmaligen Einschalten durch den **Praktikumsassistenten genehmigen zu lassen**.

**Änderungen in der Schaltung** oder am **Aufbau** dürfen nur **nach allpoliger Trennung vom Netz** vorgenommen werden (Ausschalten der Quelle).

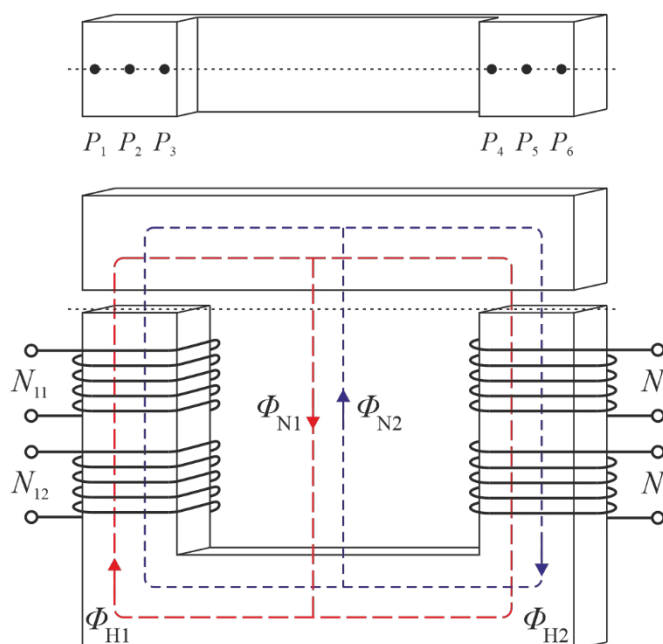
## 6 Aufgabenstellung zur Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung

6.1 Vervollständigen Sie die fehlenden Bauteilparameter unter Punkt 5 „Geräte und Baugruppen“.

### Flussdichteverteilung über den Polflächen bei Gleichstromerregung und verteilten Durchflutungen

6.2 Messen Sie die Flussdichteverteilung auf der Mittellinie der Polflächen.

- Installieren Sie das vorbereitete Distanzstück  $\delta/2 = 2,0$  mm zwischen dem U- und I-Kern.
- Das Teslameter wird in der Einstellung „Gleichfeld-Messung“ genutzt. Der Sondenträger ist waagrecht zu halten. Legen Sie die Ausrichtung der Sonde vor der ersten Messung fest. Ein späteres Drehen der Hallsonde um  $180^\circ$  führt zu einem Wechsel des Vorzeichens. Führen Sie das Teslameter vorsichtig an die Messstellen heran, um eine mechanische Beschädigung zu verhindern.
- Messen Sie die Flussdichteverteilung auf der Mittellinie der Polflächen in den Messpunkten 1 bis 6 entsprechend **Abbildung 3** (oben) für die Schaltungsvarianten a) bis e) (siehe auch **Abbildung 3** - unten):
  - $I = 1$  A;  $N = N_{11} + N_{21}$  gleicher Wicklungssinn
  - $I = 1$  A;  $N = N_{11} + N_{21}$  entgegengesetzter Wicklungssinn
  - $I = 1$  A;  $N = N_{11} + N_{12}$  gleicher Wicklungssinn
  - $I = 1$  A;  $N = N_{11} + N_{12}$  entgegengesetzter Wicklungssinn
  - $I = 0$  A; keine Windungen



Die Messungen für verschiedene Durchflutungen bzw. Gegendurchflutungen zeigen, dass der technische Magnetkreis neben den Hauptflüssen im Eisenkreis ( $\Phi_{H1}$  bzw.  $\Phi_{H2}$ ) weitere Streuflussanteile auf Nebenwegen außerhalb des Eisenkreises ( $\Phi_{N1}$  bzw.  $\Phi_{N2}$ ) aufweist. Werden die Durchflutungen in gleicher Wirkungsrichtung bezüglich des Flusses gleichmäßig auf die Schenkel 1 (links) und 2 (rechts) verteilt, kompensieren sich die Streuflussanteile der Einzeldurchflutungen auf den Nebenwegen, was zum streuarmeren Wicklungsaufbau des U-I-Kerns führt.

**Abbildung 3:** Darstellung des Querschnittes des Luftspaltes mit den Messpunkten 1 bis 6 auf der Mittellinie (oben); Technischer Aufbau mit eingezeichneten Hauptfluss- und Flussnebenwegen (unten)

6.3 Stellen Sie die gemessenen Flussdichteverteilungen a) bis e) in Form von Säulendiagrammen grafisch dar. Erklären Sie die gemessenen Flussdichteverteilungen (Betrag und Richtung) anhand der zugehörigen Ersatzschaltbilder des jeweiligen magnetischen Kreises.

## Kommutierungskennlinien bei Wechselstromerregung unter Variation des Luftspaltes

### 6.4 Aufnahme der Kennlinie des Eisenkerns

- Bauen Sie zunächst die Messschaltung entsprechend der **Abbildung 2** wie folgt auf:  
Primärwicklung:  $N_1 = N_{13} + N_{23}$   
Sekundärwicklung:  $N_2 = N_{12} + N_{22}$
- Die Strommessung über die Spannung  $u_X(t)$  ist an CH1 des Oszilloskops anzuschließen. Die Spannungsmessung am Ausgang des Tiefpasses  $u_Y(t)$  erfolgt über CH2. Nutzen Sie die Messfunktion des Oszilloskops zur Anzeige der Amplituden für  $\hat{U}_X$  und  $\hat{U}_Y$ .
- Nehmen Sie die  $\hat{U}_Y$ -Werte zur Bestimmung der  $\Phi$ - $V$ -Kennlinie und der  $B$ - $H$ -Kennlinie des Eisenkerns (technischer Magnetkreis ohne Distanzstück) für die Stromwerte  $\hat{I}_1 = 0 \text{ A} \dots 2,0 \text{ A}$  in Schritten von  $0,2 \text{ A}$  über die Messfunktion des Oszilloskops auf. Achten Sie auf eine sinnvolle Aussteuerung des Messsignals.
- Rechnen Sie die Messwerte von  $\hat{U}_X$  und  $\hat{U}_Y$  in die äquivalenten  $\Phi$ - $V$ -Werte um. Zeichnen Sie die  $\Phi$ - $V$ -Kennlinie des Eisenkerns auf Millimeterpapier. Überführen Sie die  $\Phi$ - $V$ -Achsen in die  $B$ - $H$ -Achsen in dem Diagramm.

### 6.5 Aufnahme der $\Phi$ - $V_{\text{Umlauf}}$ -Summenkennlinien des Eisenkreises bei Variation des Luftspaltes $\delta/2 = 0,5 \text{ mm}; 1,0 \text{ mm}; 2,0 \text{ mm}; 4,0 \text{ mm}$

- Nutzen Sie die vorbereiteten Distanzstücke zur Einstellung des Luftspaltes.
- Nehmen Sie die Werte  $\hat{U}_Y$  für die Stromwerte  $\hat{I}_1 = 0 \text{ A} \dots 2,0 \text{ A}$  in Schritten von  $0,2 \text{ A}$  analog zur Aufgabe 6.4 auf.
- Messen Sie zusätzlich bei dem Luftspalt  $\delta/2 = 2,0 \text{ mm}$  die Magnetflussdichte im Luftspalt  $B_\delta$  bei den Strömen  $\hat{I}_1 = 1,0 \text{ A}$  und  $2,0 \text{ A}$  mit dem Teslameter in der Einstellung „Wechselfeld-Messung“. Beachten Sie, dass der Anzeigewert des Teslameters ein Effektivwert ist. Multiplizieren Sie diesen Wert mit dem Faktor  $\sqrt{2}$  um den Spitzenwert zu erhalten.
- Rechnen Sie die Messwerte von  $\hat{U}_X$  und  $\hat{U}_Y$  in die äquivalenten  $\Phi$ - $V$ -Werte um und tragen Sie die  $\Phi$ - $V$ -Summenkennlinien in das gleiche Diagramm aus Aufgabe 6.4 ein.

### 6.6 Ermitteln Sie durch grafische Subtraktion der Eisenkreiskennlinie $V_{\text{Fe}}(\Phi)$ für $\delta = 0 \text{ mm}$ von den Summenkennlinien $V_{\text{Umlauf}}(\Phi)$ für $\delta/2 \neq 0 \text{ mm}$ die Kennlinien des Luftspaltes $V_\delta(\Phi)$ .

### 6.7 Berechnen Sie den Streufaktor $\sigma$ für alle Luftspalte entsprechend Aufgabe 4.3. Stellen Sie den Streufaktor in Abhängigkeit von der Luftspaltlänge $\delta$ grafisch dar.

### 6.8 Berechnen Sie aus der Messreihe aus 6.5 für den Luftspalt $\delta/2 = 2,0 \text{ mm}$ die magnetische Flussdichte des Eisenkreises $B_{\text{Fe}}$ für die Ströme $\hat{I}_1 = 1,0 \text{ A}$ und $2,0 \text{ A}$ . Ermitteln Sie aus den berechneten $B_{\text{Fe}}$ und den mit dem Teslameter unter 6.5 gemessenen $B_\delta$ (Spitzenwert) die Werte des Streufaktors $\sigma$ für den Luftspalt $\delta/2 = 2,0 \text{ mm}$ .

### 6.9 Vergleichen Sie Ihre ermittelten Werte des Streufaktors für den Luftspalt $\delta/2 = 2,0 \text{ mm}$ aus 6.7 und 6.8.

Abbildung 4:  $B$ - $H$ -Kennlinie eines U-I-Kernes

