

	<b>FB Elektrotechnik u. Informationstechnik</b> Laborpraktikum Grundlagen der Elektrotechnik	Versuch 5
<b>Magnetisches Feld / Magnetischer Kreis – Impulsverhalten von Induktivitäten</b>		
Seminargruppe: .....	092 ET	Datum: .....
Praktikumsgruppe: .....	②	<b>Testat:</b> .....
Teilnehmer: .....	Michael Goldbuch Jürgen Döflinger	12.10.2010  92.1. Unterschrift

#### Literatur

- [1] Führer, Heidemann, Nerreter:  
Grundgebiete der Elektrotechnik, Bd. 1 und 2  
München: Hanser Verlag 1990
- [2] Weißgerber, W.:  
Elektrotechnik für Ingenieure Teil 2,  
Braunschweig: Vieweg 1991
- [3] Meyer, G.:  
Oszilloskope  
Hüttig Verlag 1989

#### Erforderliche Begriffe:

Magnetischer Fluss, Magnetflussdichte, magnetische Feldstärke, Durchflutung, magnetischer Spannungsabfall, magnetischer Widerstand, magnetische Permeabilität, mittlere Eisenweglänge, Eisen(kern)querschnitt, Induktivität, Induktionsspannung, Durchflutungsgesetz, Induktionsgesetz,  $\Theta = f(H)$ ,  $B = f(H)$ ,  $B = f(\Phi, A)$ ,  $\Theta = f(R_m, \Phi)$ ,

### 1 Versuchsvorbereitung

- 1 Wiederholen Sie die Größen und Zusammenhänge am magnetischen Kreis unter dem Aspekt der Analogie zum elektrischen Grundstromkreis in Spannungsquellenersatzschaltung.
- 2 Der Eisenkern des Versuchsobjektes ist ein UI - Kern und besitzt als geschlossene Anordnung in  $L \times B \times H$  die Maße 8,2cm x 6,8cm x 1,9cm. Die Querschnittsfläche  $A_{Fe}$  ist quadratisch. Skizzieren Sie den Kern im Maßstab 1:2 und berechnen Sie die Eisenweglänge  $l_{Fe}$  und den Querschnitt  $A_{Fe}$ .  
Stellen Sie für o. g. Objekt bei vorhandenen Luftspalt die Gleichungen zur Berechnung der magnetischen Spannungsabfälle an Luft und Eisen auf, wenn die Magnetflussdichte  $B$  bekannt ist.
- 3 Entwickeln Sie eine Schaltung zur oszilloskopischen Darstellung der Kennlinie  $B = f(H)$  und informieren Sie sich über die Gleichungen zur Berechnung der Skalierungsfaktoren  $C_B$  und  $C_H$ . Berechnen Sie die Werte für  $C_B$  und  $C_H$  anhand der Daten des Eisenkerns sowie der Ablenkfaktoren  $C_Y = 2V/DIV$ ,  $C_X = 0,5V/DIV$   $R = 4,7k$  und  $C = 4,7\mu F$ .
- 4 Welche Besonderheit zeigt die relative Permeabilität bei ferromagnetischen Materialien? Geben Sie Vorgehensweise und Gleichung für die Bestimmung der Abhängigkeit  $\mu_r = f(H)$  aus dem Verlauf  $B = f(H)$  an. Skizzieren Sie die zu erwartende Kennlinie  $\mu_r = f(H)$ .  
Leiten Sie die Bemessungsgleichung für die Induktivität einer einlagigen Zylinderspule ab.

- Skizzieren Sie das Ersatzschaltbild eines magnetischen Kreises mit Eisenkern und Luftspalt. Definieren Sie den nichtlinearen magnetischen Widerstand als Last (vgl. Zweipoltheorie).
  - Stellen Sie das Diagramm  $\Phi = f(\Theta)$  mit den Kennlinien des aktiven und passiven Zweipols dar. Geben Sie die signifikanten Größen an. Tragen Sie die magnetischen Spannungsabfälle  $V_{Fe}$  und  $V_{Luft}$  in das Diagramm ein. Nutzen Sie dabei die Größenrelation der Widerstände als Hilfe!
  - Stellen Sie die Gleichungen zur Berechnung von  $V_{Fe}$  und  $V_{Luft}$  auf.
  - Stellen Sie die Gleichung zur Berechnung des Kurzschlussflusses  $\Phi_K$  bzw.  $\Phi^*$  bei bekannter Leerlaufdurchflutung  $\Theta_L$  bzw.  $\Theta^*$  auf.
- Wie werden Remanenz und Koerzitivfeldstärke aus der Kennlinie  $B = f(H)$  ermittelt? Wie kann die Kommutierungskurve aufgenommen werden?
- Stellen Sie die Gleichungen zur Berechnung der Funktionen  $i_L = f(t)$  und  $u_L = f(t)$  für den Einschaltvorgang zusammen.
- Berechnen Sie die Zeitkonstante  $\tau$  für eine R-L- Reihenschaltung. Als Induktivität verwenden Sie eine Spule mit  $N = 1000$  Windungen und  $L = 18\text{mH}$ , der Widerstand beträgt  $R = 470\Omega$ .  
Berechnen Sie die Zeitablenkung und die Frequenz der Eingangsspannung, wenn  $3\tau = 0,5T$  auf dem gesamten Bildschirm (10 DIV) projiziert werden soll.

## 2 Versuchsdurchführung

- Berechnen Sie anhand der gegebenen Bauelementekennwerte des Messwiderstandes  $R_M$  den Grenzwert des Stromes im Primärkreis. Achten Sie darauf, dass der Grenzwert nicht überschritten wird.  
Tragen Sie die in der Vorbereitung ermittelten Koeffizienten  $C_B$  und  $C_H$  in das Arbeitsblatt ein. Verwenden Sie als Versuchsobjekt einen Transformator mit  $N_1 = N_2 = 500$  Windungen ohne Luftspalt im Eisenkern.

**Achtung!** Sie arbeiten mit dem Stelltrafo ausschließlich in Schalterstellung 0 - 50 V!  
Stellen Sie den Drehknopf vor dem Einschalten auf Linksanschlag!  
Berühren Sie keine spannungsführenden Teile!  
Stellen Sie nach jedem Versuchsteil den Stellknopf wieder auf Linksanschlag!  
Befolgen Sie die Anweisungen und beachten Sie die Sicherheitsvorschriften!

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 1 auf und stellen Sie die angegebenen Ablenkkoefizienten ein!

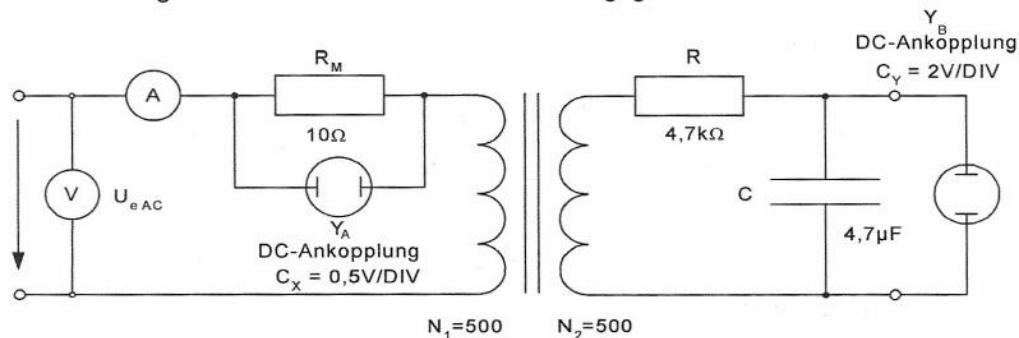


Bild1

- Stellen Sie die Spannung am Stelltrafo (Eingangsspannung der Messschaltung) auf  $U_e AC = 40V$ !  
**Achten Sie darauf, dass  $U_e AC = 40V$  nicht überschritten wird!**  
Übertragen Sie die Darstellung der Kennlinie  $B = f(H)$  in Bild 4 auf das Arbeitsblatt!  
Nehmen Sie die Kommutierungskurve auf und tragen Sie diese ebenfalls in Bild 4 ein!

$$P = U \cdot I \quad | \quad R = \frac{U}{I} \quad \leadsto \quad U = R \cdot I$$

$$P = R \cdot I \cdot I = R \cdot I^2$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{2W}{10\Omega}} = \underline{\underline{0,447A}} \quad \Rightarrow \quad \text{maximale Strom über } R_M.$$



1. • Realisieren Sie einen Luftspalt im Eisenkern durch Einbringen eines Plastikstreifens mit  $d=0,4\text{mm}$  und übertragen Sie die Darstellung der Kennlinie  $B = f(H)$  in Bild 4!  
(Verwenden Sie die gleiche Erregung wie beim Experiment ohne Luftspalt!)  
Diskutieren Sie die Veränderungen im Kurvenverlauf der Kennlinien mit und ohne Luftspalt!
  2. • Ermitteln Sie aus der Kommutierungskurve für die in Tabelle 1 (Arbeitsblatt) vorgegebenen Werte der Magnetflussdichte  $B$  die zugehörigen Werte der magnetischen Feldstärke  $H$ .  
Ermitteln Sie die Funktion  $\mu_r = f(H)$  aus der Kommutierungskurve und geben deren Verlauf in einem Diagramm auf Millimeterpapier an.
  3. • Berechnen Sie die Induktivität  $L$  für eine magnetische Feldstärke von  $H = 216\text{Am}^{-1}$ .  
Warum wurde bei der Berechnung von  $L$  ein Wert für die magnetische Feldstärke vorgegeben?  
Diskutieren Sie den Verlauf  $L = f(H)$ .
  4. • Berechnen Sie unter Verwendung der konstruktiven Daten des Eisenkerns die Werte für den magnetischen Fluss und die Durchflutung und vervollständigen Sie das Tabelle 1.
  5. • Skizzieren Sie aus den gewonnenen Daten die Kennlinie  $\Phi = f(\Theta)$  des Eisenkerns auf Millimeterpapier.
  6. • Berechnen Sie die Magnetflussdichte bei magnetischem Kurzschluss des magnetischen Kreises  $B_K$  bzw.  $B^*$  für  $\Theta^* = 400\text{A}$ .  
Berechnen Sie aus  $B_K$  bzw.  $B^*$  den Kurzschlussfluss  $\Phi_K$  bzw.  $\Phi^*$ .  
Tragen Sie in das Diagramm  $\Phi = f(\Theta)$  die Kennlinie des aktiven Zweipols (Arbeitsgerade) ein.
  7. • Bestimmen Sie graphisch den magnetischen Fluss im Arbeitspunkt  $\Phi_{Ap}$ , und die magnetischen Spannungsabfälle  $V_{Fe}$  und  $V_{Luft}$ .
  8. • Überprüfen Sie die Werte für  $V_{Fe}$  und  $V_{Luft}$  rechnerisch.
2. Ermitteln Sie die Funktionen  $u_L = f(t)$  und  $i_L = f(t)$  am RL-Hochpass mit Hilfe des Oszilloskopes!  
Bauen Sie dazu die Schaltung nach Bild 2 auf und legen an den Eingang ein bipolares, rechteckförmiges Signal mit  $\hat{U} = 4\text{V}$  und der in der Vorbereitung 8 errechneten Frequenz!  
Wählen Sie die Ablenzfrequenz so, dass eine Halbperiode abgebildet wird!

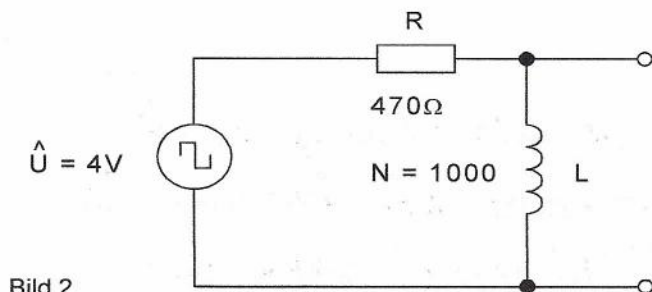


Bild 2

- Verfahren Sie nach folgendem Algorithmus für :  
die Aufnahme von  $u_L = f(t)$  :
  - Legen Sie die Abszisse auf die unterste Linie des Bildschirmrasters,
  - oszilloskopieren Sie die Ausgangsspannung  $u_L$ ,
  - bilden Sie die Reaktion auf eine positive Flanke ab (Triggerung),
  - Skalieren Sie die Achsen von Bild 5 auf dem Aufgabenblatt,
  - Übertragen Sie die Funktion  $u_L = f(t)$  in Bild 5 auf dem Arbeitsblatt,
- die Aufnahme von  $i_L = f(t)$  :
  - oszilloskopieren Sie die Spannung  $u_R$ ,
  - Legen Sie den unteren Umkehrpunkt auf die unterste Linie des Bildschirmrasters,
  - bilden Sie die Reaktion auf eine positive Flanke ab (Triggerung),
  - Skalieren Sie die Achsen von Bild 6 auf dem Aufgabenblatt,
  - Übertragen Sie die Funktion  $i_L = f(t)$  in Bild 6 auf das Arbeitsblatt,
- Ermitteln Sie  $\tau$  und  $t_H$  aus der Funktion  $u_L = f(t)$  und kontrollieren Sie die Ergebnisse mathematisch! Berechnen Sie die Abweichungen und vervollständigen Sie Tabelle 2.

## Versuch 5 / Magnetisches Feld / Magnetischer Kreis

Kennlinie  $B = f(H)$

$C_H = \dots 95 \dots \text{Am}^{-1}/\text{DIV}$

$C_B = \dots 245 \dots \text{mT}/\text{DIV}$

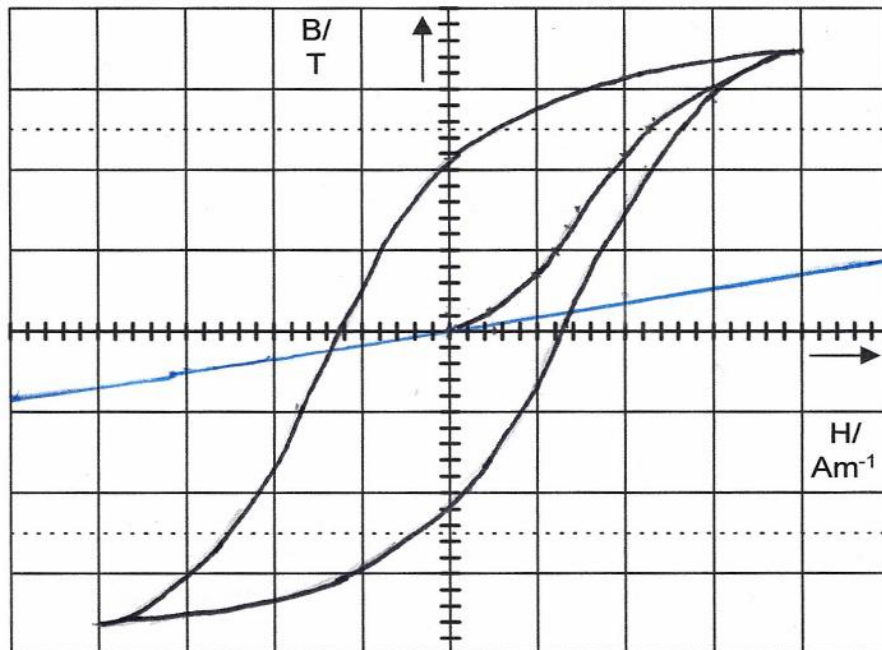


Bild 4

Zu erkennen ist, dass mit Luftspalt die Kurve deutlich abgeflacht ist. Der magnetische Widerstand der Luft ist deutlich größer und linear gegenüber dem von Eisen, somit ergibt sich eine linearisierte Kurve.  $R_m = \frac{l}{\mu \cdot A}$

B/T	0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	0,72	0,84	Gleichung
H/Am <sup>-1</sup>	76	114	143	171	209	266	380	
$\Phi/\text{Wb}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$8,7 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$\Phi = B \cdot A$
$\Theta/\text{A}$	19,9	29,9	37,5	44,8	54,8	69,7	99,6	$\Theta = H \cdot l$
$\mu_r$	1256,0	1674,8	2002,8	2233,1	2283,9	2153,4	1759,6	$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}$

Seite 4

$$\mu_r = 2347$$

ET\_V5 / 13.09.07

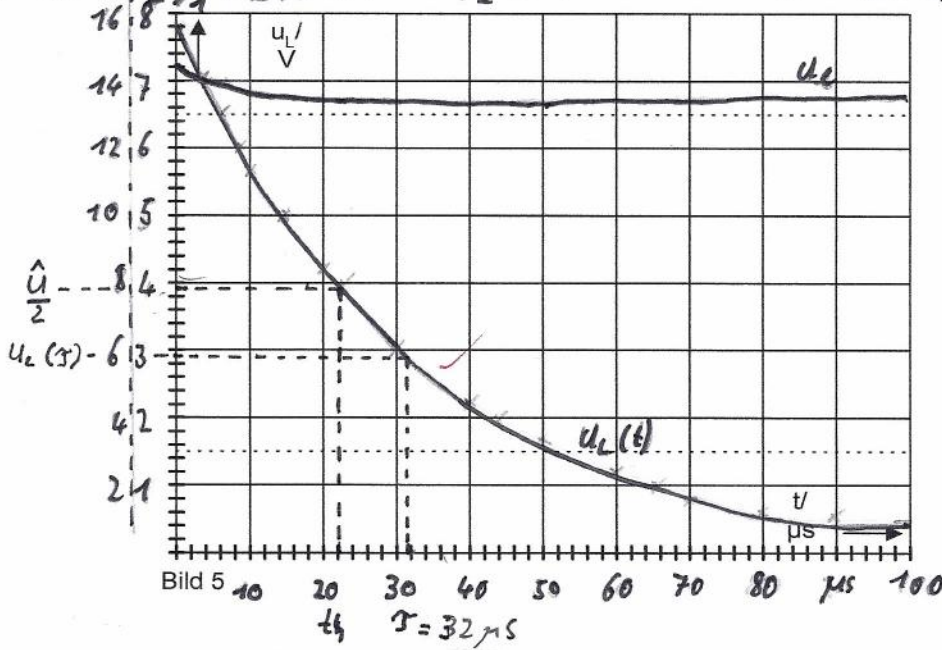
$$L(H = 216 \frac{\text{A}}{\text{m}}) = N^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r (H = 216 \frac{\text{A}}{\text{m}}) \cdot \frac{A}{l}$$

$$L(H = 216 \frac{\text{A}}{\text{m}}) = 1,016 \text{ H}$$



Zeitfunktionen am RL-Hochpass

$u_L = f(t)$   $u_e / u_L$   $Y_1 = 2V/DIV$   $Y_2 = 1V/DIV$   $X = 10\mu s/DIV$



graphische Ermittlung:

$$u_L = \hat{u} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad | \quad t = \tau$$

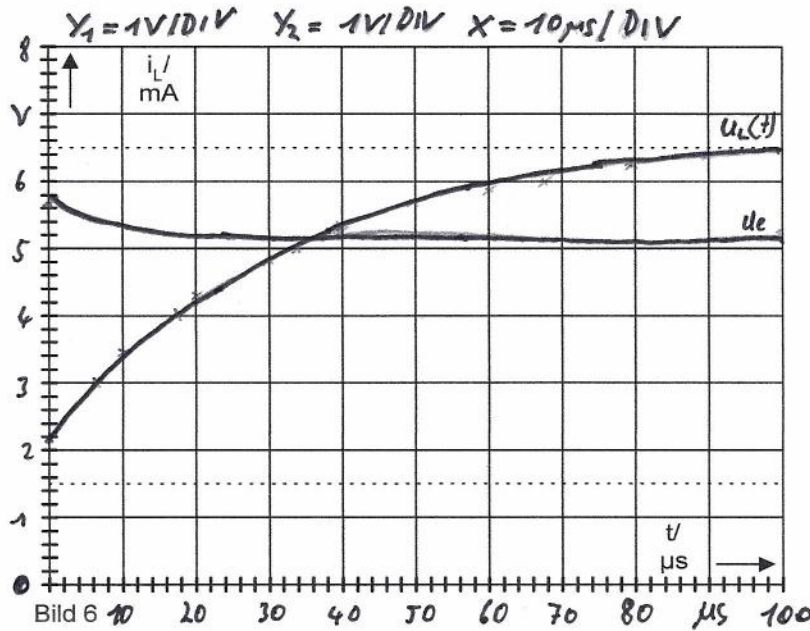
$$u_L = \hat{u} \cdot e^{-1} = 7,8V \cdot e^{-1}$$

$$\underline{u_L = 2,87V}$$

	graphisch	mathematisch	$\frac{\Delta X}{X} / \%$ Gleichung	$\frac{\Delta X}{X} / \%$ Werte
$\tau$	32 $\mu s$	38,3 $\mu s$	$\tau_{\text{mat}} - \tau_{\text{g}}$	-16,45
$t_H$	22 $\mu s$	26,6 $\mu s$	$\frac{\tau_{\text{mat}} - \tau_{\text{g}}}{\tau_{\text{mat}}} \cdot 100$	-17,3

Tabelle 2

$i_L = f(t)$



# 1. Versuchs vorbereitung

1.1:

magnetische Fluss: -  $[\Phi] = \text{Vs}$      $\Phi = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$

- Analogie zum elektrischen Feld

$$\Psi = \int \vec{D} \cdot d\vec{A}$$

magnetische Flussdichte: -  $[B] = \text{T} = \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}$

- Analogie z. elektr. Feld  $\vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E}$

$$-\vec{B} = \frac{\mu}{4\pi} \cdot \frac{Q}{r^2} (\vec{v} \times \vec{e}_r)$$

magnetische Feldstärke: -  $[H] = \frac{\text{A}}{\text{m}}$

- Analogie z. elektr. Feld  $E = \frac{U}{d}$

$$-\vec{H} = \frac{1}{\mu} \cdot \vec{B}$$

magnetische Durchflutung: -  $[\mathcal{O}] = \int \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I$

$$= \int_A \left( \vec{J} + \frac{d\vec{D}}{dt} \right) \cdot d\vec{A}$$

$$-\ [\mathcal{O}] = \text{A}$$

magnetische Spannung: -  $V_{12} = \int_1^2 H \cdot ds$

$$-\ V_m = R_m \cdot \Phi$$

$$-\ [V] = \text{A}$$

magnetische Widerstand: -  $[R_m] = \frac{\text{A}}{\text{Vs}}$

$$-\ R_m = \frac{V_m}{\Phi} = \frac{\int \vec{H} \cdot d\vec{l}}{\int \vec{B} \cdot d\vec{A}}$$

$$-\ R_m = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{A} \quad \text{für homogene Felder}$$

$$-\ R_{ges} = \frac{I \cdot N}{\Phi} \quad \text{für geschlossenen Kreis}$$



Induktivität:  $- [L] = H = \frac{Vs}{A}$

$$- L = \frac{\psi}{I} = \frac{N \cdot \Phi}{I} = \frac{N^2}{R_{\text{m}}}$$

Induktionsgesch:  $u = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d\psi}{dt}$

Permeabilität:  $- [\mu] = \frac{Vs}{Am}$

$$- \mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

-  $\mu_0 \rightarrow$  magnetische Feldkonstante

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

-  $\mu_r \Rightarrow$  relative Permeabilität

$\mu_r$  ist abhängig vom jeweiligen Stoff

1.2.

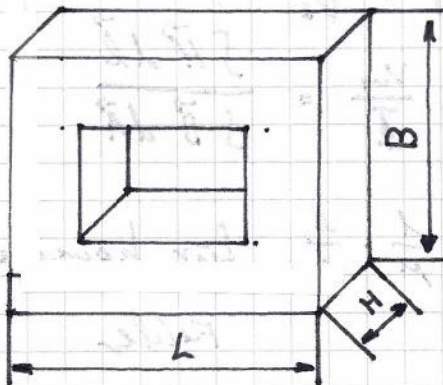
geg:

$$L = 8,2 \text{ cm} = 8,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$B = 6,8 \text{ cm} = 6,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$H = 1,9 \text{ cm} = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Skizze im Maßstab 1:2:



$$A_{Fe} = H^2 = (1,9 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2$$

$$\underline{A_{Fe} = 3,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$l_{Fe} = (2 \cdot L - \frac{H}{2} \cdot 2) + (2 \cdot B - \frac{H}{2} \cdot 2)$$

$$l_{Fe} = 2 \cdot L - H + 2 \cdot B - H$$

$$l_{Fe} = 2 \cdot L + 2 \cdot B - 2H$$

$$l_{Fe} = 2 \cdot 8,2 \text{ cm} + 2 \cdot 6,8 \text{ cm} - 2 \cdot 1,9 \text{ cm}$$

$$\underline{l_{Fe} = 26,2 \text{ cm} = 0,262 \text{ m}}$$

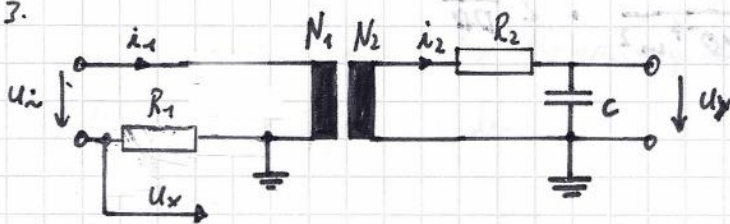
$$V = \Phi \cdot R_{m} \quad | \quad \Phi = B \cdot A \quad | \quad R_{m} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{A}$$

$$V = \frac{B \cdot A \cdot l}{\mu \cdot A}$$

$$V = \frac{B \cdot l}{\mu} \quad | \quad \mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

$$V = \frac{B \cdot l}{\mu_0 \mu_r}$$

1.3.



$$u_{ind} = \frac{d\psi}{dt} = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 \cdot A_{Fe} \cdot \frac{dB}{dt}$$

$$B = \frac{1}{N_2 A_{Fe}} \cdot \int u_{ind} dt$$

$$u_y = u_c \quad u_c = \frac{1}{C} \int i_2 dt$$

$$i_2 = \frac{u_{ind}}{R_2} \quad \left| \quad i_2 = \frac{u_{ind}}{R_2 + R_N} \quad R_N \hat{=} \text{Wicklungswiderstand}$$

bei  $R_N \ll R_2$  ist

$R_N$  vernachlässigbar



$$u_y = \frac{1}{C \cdot R_2} \int u_{\text{ind}} \cdot dt \quad (2)$$

(1) & (2) nach  $\int u_{\text{ind}} dt$  umgestellt + gleichgesetzt:

$$u_y = -B \frac{N_2 A_{Fe}}{R_2 \cdot C}$$

$$B = - \frac{u_y \cdot R_2 \cdot C}{N_2 \cdot A_{Fe}} \quad \leadsto \quad \underline{\underline{C_B = \frac{R_2 \cdot C}{N_2 \cdot A_{Fe}} \cdot C_y}}$$

$$\int H dl = i_1 \cdot N_1 - i_2 \cdot N_2 = \Sigma I$$

$$H \cdot l_{Fe} = i_1 N_1 = \frac{u_x}{R_1} \cdot N_1$$

$$H = \frac{N_1 \cdot u_x}{R_1 \cdot l_{Fe}} \quad \leadsto \quad \underline{\underline{C_H = \frac{N_1}{R_1 \cdot l_{Fe}} \cdot C_x}}$$

$$R_2 = R$$

$$C_B = \frac{4,7 \text{ k}\Omega \cdot 4,7 \mu\text{F}}{500 \cdot 3,61 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \cdot 2 \frac{\text{V}}{\text{DIV}}$$

$$\underline{\underline{C_B = 245 \frac{\text{mT}}{\text{DIV}}}}$$

$$C_H = \frac{500}{10 \Omega \cdot 0,262 \text{ m}} \cdot 0,5 \frac{\text{V}}{\text{DIV}}$$

$$\underline{\underline{C_H \approx 95 \frac{\text{A}}{\text{DIV}}}} \quad 0,26$$

#### 1.4.

Die Permeabilität des Vakuums  $\mu_0$  wird auch Induktionskonstante genannt. Die relative Permeabilität  $\mu_r$  ist also eine Verhältniszahl, die die magnetische „Durchlässigkeit“ eines bestimmten Werkstoffes auf die magnetische „Durchlässigkeit“ des Vakuums bezieht. Mit Ausnahme der ferromagnetischen Stoffe haben alle Stoffe relative Permeabilitätswerte, die nur geringfügig nach oben oder unten von der Zahl 1 abweichen. Bei ferromagnetischen Stoffen liegt die relative Permeabilität bei  $\mu_r \gg 1$  (100...10000). Bei praktischen Berechnungen wird bei ferromagnetischen Stoffen eine grobe Näherung an die variable relative Permeabilität verwendet, um eine konstante relative Permeabilität zu erhalten.

Zum bestimmen der Abhängigkeit  $\mu_r = f(H)$  kann wie folgt vorgegangen werden.

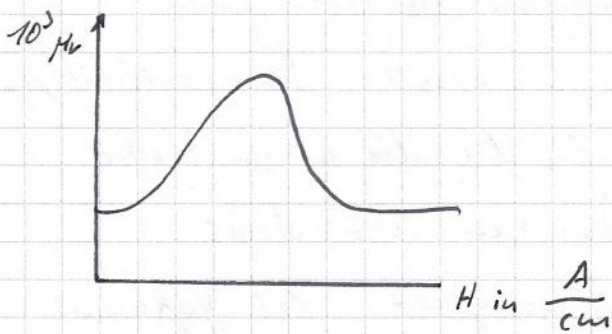
1. Gleichung aufstellen:

$$B(H) = \mu_r \mu_0 H \quad \leadsto \quad \mu_r(H) = \frac{B}{\mu_0 H}$$

2. Um die Kennlinie  $\mu_r = f(H)$  aufzunehmen, können nun Werte aus der Kennlinie  $B = f(H)$  entnommen und mit obiger Gleichung umgerechnet und in die Kennlinie eingezeichnet werden.



Zu erwarten ist ein Kennlinie in folgender Form:



Berechnungsgleichung:

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{w \cdot \Phi}{I} \quad | \quad \Phi = B \cdot A$$

$$L = \frac{w \cdot B \cdot A}{I} \quad | \quad A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$L = \frac{w \cdot B \cdot \pi \cdot d^2}{I \cdot 4} \quad | \quad B = \mu \cdot H = \mu \cdot \frac{I \cdot w}{l} = \mu \cdot \frac{I \cdot w}{l}$$

$$L = \frac{\mu \cdot w^2 \cdot I \cdot \pi \cdot d^2}{I \cdot 4 \cdot l}$$

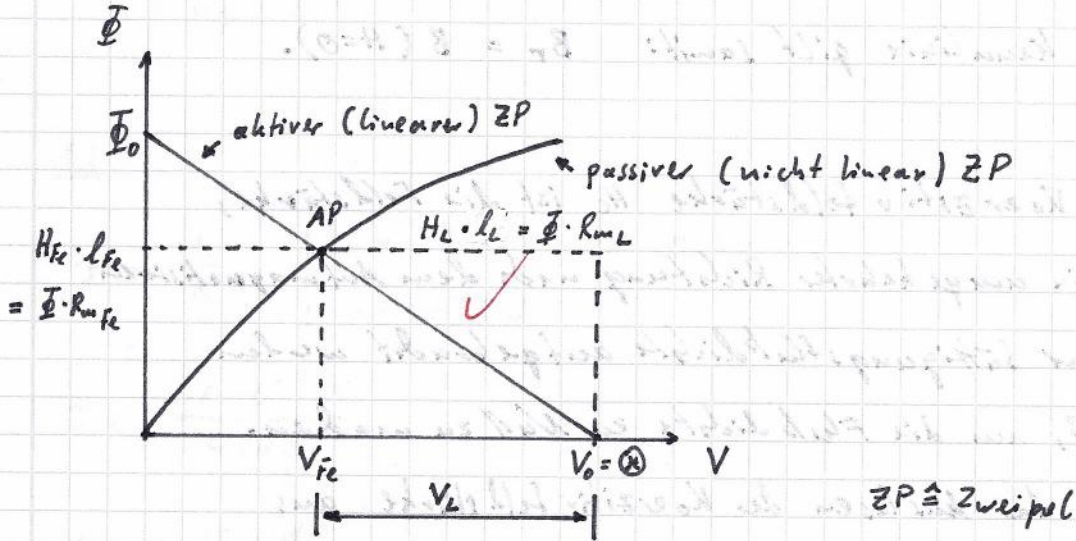
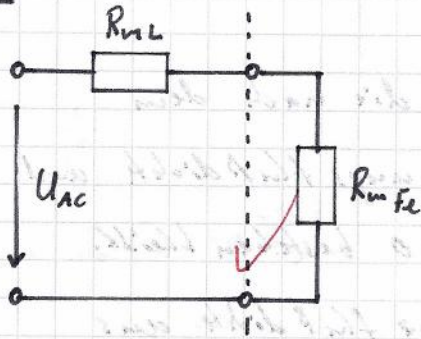
$$L = \frac{\mu \cdot w^2 \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot l}$$

$w \rightarrow$  Windungszahl

$d \rightarrow$  Durchmesser

$l \rightarrow$  Länge der Spule

1.5.



$$V_{Fe} + V_L = \textcircled{V}$$

$$V = \Phi \cdot R_m \quad | \quad \Phi = B \cdot A \quad | \quad R_m = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{A}$$

$$V = \frac{B \cdot A \cdot l}{\mu \cdot A} = \frac{B \cdot l}{\mu} \quad | \quad \mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

$$V = \frac{B \cdot l}{\mu_0 \mu_r}$$

$$\Phi_K \hat{=} \text{Kurzschlußfluss} \quad V_L = \Phi_K \cdot R_{mL} = \textcircled{V_L}$$

$$\Phi_K = \frac{\textcircled{V_L}}{R_{mL}} \quad (\text{magn. Fluss} = \text{Kurzschl. Fluss})$$

Durchflutung wirkt nur am Luftspalt ( $R_{mL}$ ).

→ Nur wenn  $\mu_{rFe}$  gegen unendlich groß geht

wird der magnetische Widerstand des Eisenkerns vernachlässigbar.



1.6.

Remanenz ist die Flußdichte, die nach dem Aufmagnetisieren bis zur Sättigungsflußdichte und nach folgendem Rückgang auf  $H=0$  bestehen bleibt.

Für das Auslesen der Remanenzflußdichte aus der Kennlinie gilt somit:  $B_r = B(H=0)$ .

Die Koerzitivfeldstärke  $H_c$  ist die Feldstärke, die in umgekehrter Richtung nach dem Aufmagnetisieren bis zur Sättigungsflußdichte aufgebracht werden muß, um die Flußdichte zu Null zu machen.

Für das Auslesen der Koerzitivfeldstärke aus der Kennlinie gilt somit:  $H_c = H(B=0)$

Die Kommutterungskurve (Neukurve) ist die Kurve innerhalb der Hysteresekurve, die bei erstmaliger Aufmagnetisierung bzw. nach vollständiger Entmagnetisierung durchlaufen wird. Somit läßt sie sich nach einer vollständigen Entmagnetisierung messen.

Zur Entmagnetisierung eines Eisenkerns stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Diese sind beispielsweise:

- überschreiten der Curie-Temperatur
- Entmagnetisierung durch hochfrequente Rücknahme der Magnetisierungsaussteuerung
- mechanisches Rütteln

1.7

$$\tau = \frac{L}{R}$$

$$i_L = I_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

$$u_L = u_q \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

1.8

$$\tau = \frac{L}{R} \quad \left\{ \begin{array}{l} L = 18 \text{ mH} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ H} \\ R = 470 \Omega \end{array} \right.$$

$$\tau = \frac{18 \cdot 10^{-3} \text{ H}}{470 \Omega}$$

$$\tau = 3,83 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

$$3\tau = 0,5 T$$

$$0,5 T = 3 \cdot 3,83 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

$$0,5 T = 1,149 \cdot 10^{-4} \text{ s} = 114,9 \mu\text{s}$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot T}$$

$$f = 4352 \text{ Hz}$$

$$\frac{0,5 T}{10 \text{ DIV}} = \frac{x}{10 \text{ DIV}}$$

$x \hat{=}$  Zeitablenkung

$$x = \frac{0,5 T \cdot 10 \text{ DIV}}{10 \text{ DIV}} = \frac{1,149 \cdot 10^{-4} \text{ s} \cdot 10 \text{ DIV}}{10 \text{ DIV}}$$

$$x = 1,149 \cdot 10^{-5} \text{ s/DIV} \approx 11,5 \mu\text{s/DIV}$$



2.1.6.  $B_k = \frac{\Phi}{A_L}$   $\mathcal{H}^* = \Phi \cdot R_{mL}$   $\mathcal{H} = \frac{\mathcal{H}^*}{A_L \cdot R_{mL}}$   $R_{mL} = \frac{l_L}{\mu \cdot A_L}$

$B_k = \frac{\mathcal{H}^* \cdot \mu \cdot A_L}{l_L \cdot A_L} = \frac{\mathcal{H}^* \cdot \mu}{l_L} = \frac{400 A \cdot \mu}{l_L}$   $\left. \begin{array}{l} \mu = \mu_0 \cdot \mu_r \\ \mu_r = 1 \\ \mu = \mu_0 \end{array} \right\}$

$B_k = \frac{400 A \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am}}{0,8 \cdot 10^{-3} m}$   $l_L = 0,4 mm \cdot 2 = 0,8 \cdot 10^{-3} m$

$= 0,6285 \frac{Vs}{m^2} = \underline{\underline{0,6285 T}}$

$\Phi^* = \frac{\mathcal{H}^* \cdot \mu \cdot A_L}{l_L} = \frac{400 A \cdot 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am} \cdot 3,61 \cdot 10^{-4} m^2}{0,8 \cdot 10^{-3} m}$

$= \underline{\underline{0,227 \cdot 10^{-3} Vs}}$

2.1.7. graphische Ermittlung:  $\Phi_{AP} = 1,98 \cdot 10^{-4} Vs = 0,198 \cdot 10^{-3} Vs$

$V_{Fe} = 48,5 A$

$V_L = 351,5 A$

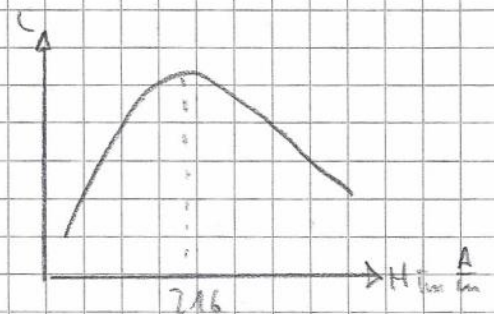
2.1.8. rechnerische Ermittlung:  $V_L = \Phi_{AP} \cdot R_{mL} = 349,07 A$

$V_{Fe} = \mathcal{H}^* - V_L = 50,93 A$

$= \Phi_{AP} \cdot R_{mFe} =$

2.1.5. Die mag. Feldstärke wurde bei der Berechnung angegeben, da die Induktivität von  $\mu$  abhängt.  $\mu$  ist bei Eisen nicht linear. Um die Induktivität zu ermitteln muß  $\mu$  durch ein (zugehöriges)  $H$  bestimmt sein.

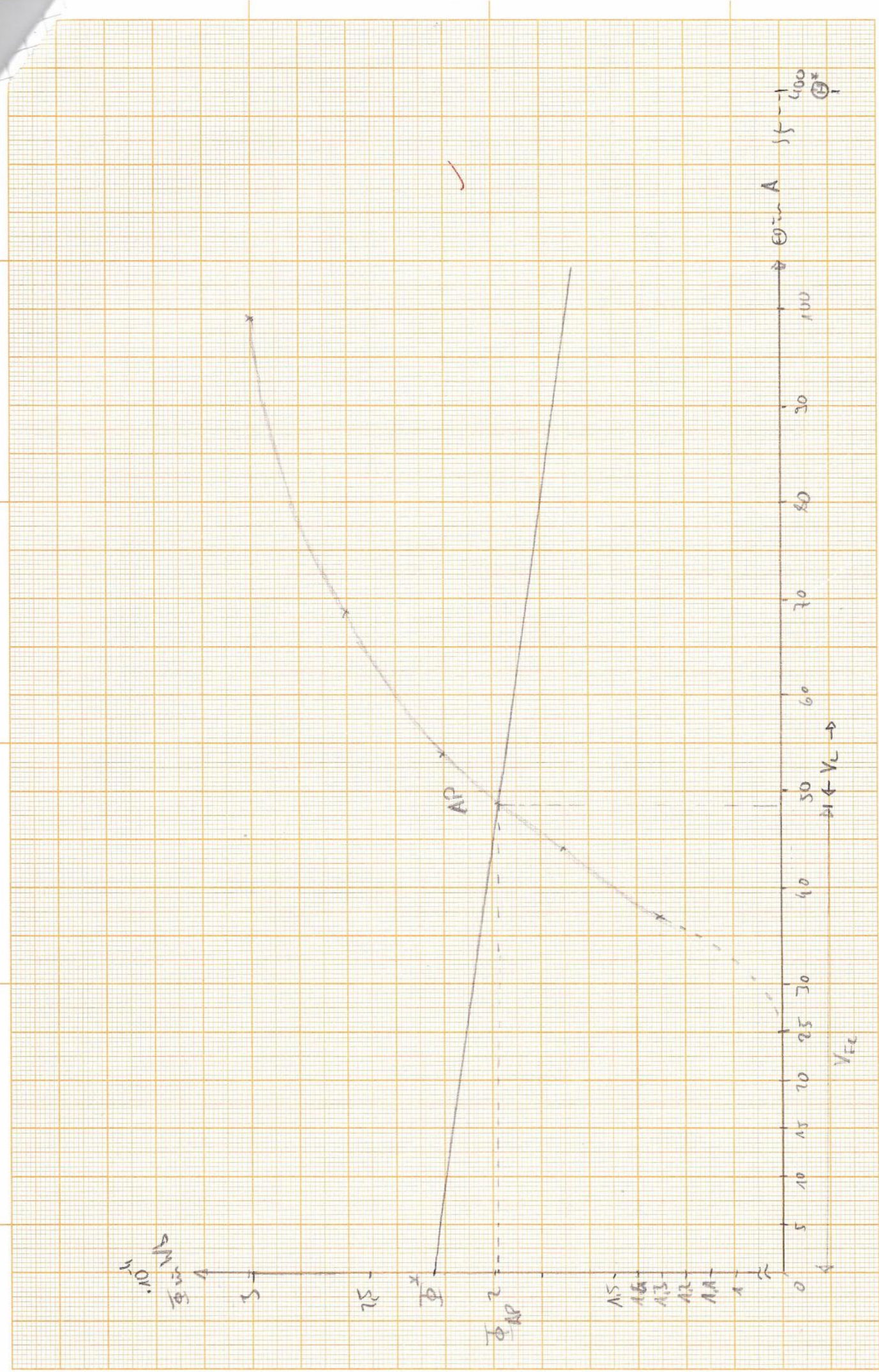
Im  $L(H)$  Diagramm bildet sich die nebenstehende Figur ab. Ein Maximum ist bei  $216 \frac{A}{m}$  anzunehmen. Der Kurvenverlauf entspricht  $\mu(H)$ .





1.0 V<sub>CC</sub>  
 5 V<sub>CC</sub>

A5  
 A6  
 A3  
 A2  
 A1  
 A



15 V<sub>CC</sub>  
 400

100

30

40

70

60

50

40

30

25

20

15

10

→ V<sub>CE</sub> →

← V<sub>CC</sub> ←

V<sub>CC</sub>

V<sub>CE</sub>



