

## Praktikum Grundlagen der Elektrotechnik

**Versuch** GET 1.2: Messungen mit dem Digitalspeicheroszilloskop

**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

- Kennenlernen der Grundfunktionen eines Digitalspeicheroszilloskops
- Anwendung eines Digitalspeicheroszilloskops zur Messung elektrischer und nicht elektrischer physikalischer Größen
- Aufnahme von Diodenkennlinien und Hysteresekurven
- Anwenden der mathematischen Funktionen eines Digitalspeicheroszilloskops

### 2 Vorausgesetztes Wissen

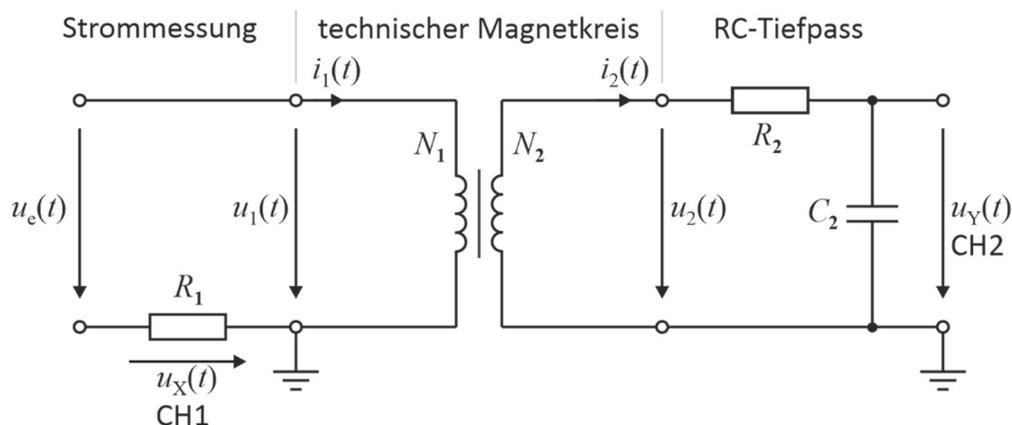
- Prinzipieller Aufbau eines Oszilloskops
- Kennwerte sinusförmiger Wechselgrößen
- Frequenzvergleich sinusförmiger Funktionen mit Lissajous-Figuren
- $I$ - $U$ -Kennlinie einer Halbleiterdiode, einer Leuchtdiode (LED) und einer Zenerdiode
- Grundgleichungen des elektromagnetischen Feldes
- Aufbau und Berechnung eines technischen Magnetkreises

### 3 Literatur

- Vorlesungs- und Übungsunterlagen „Allgemeine Elektrotechnik 1“
- Lehrbuch Seidel/Wagner: Allgemeine Elektrotechnik 1, Unicity Ilmenau 2009, Kapitel 3.4, Kapitel 4.1, Kapitel 6.1 und Kapitel 6.6
- Experimentierumgebung für Lissajous-Figuren (<http://gerdbreitenbach.de/lissajous/lissajous.html>)

#### 4 Vorbereitungsaufgaben

- 4.1 Geben Sie die Messschaltung zum Frequenzvergleich mittels Lissajousfiguren an.
- 4.2 Für einen unbekanntem passiven Zweipol soll die  $U$ - $I$ -Kennlinie mit dem Oszilloskop aufgenommen werden. Für die Strommessung steht ein bekannter Widerstand  $R_{\text{Mess}}$  bereit.
  - Zeichnen Sie die Messschaltung.
  - Begründen Sie den Einsatz eines Messwiderstandes.
- 4.3 Mit Hilfe der Messschaltung aus Aufgabe 4.2 wird für einen passiven Zweipol der sinusförmige Verlauf des Stromes und der Spannung aufgenommen. Leiten Sie die Formel für die Wirkleistung im Zeitbereich, d.h. für die mittlere elektrische Leistung  $\bar{p}$  her.
- 4.4 Geben Sie die Bedingung an, unter denen der RC-Tiefpass zu einem Integrierglied wird. Überprüfen Sie die Bedingung für die unter Punkt 5 angegebene Baugruppe RC-Tiefpass für eine Frequenz von 50 Hz.
- 4.5 Mit Hilfe der in **Abbildung 1** dargestellten Messschaltung wird die Hysteresekennlinie des Eisenkerns eines technischen Magnetkreises aufgenommen.



**Abbildung 1:** Ersatzschaltbild der Messschaltung zur Aufnahme einer Hysteresekennlinie eines technischen Magnetkreises mit Hilfe des transformatorischen Prinzips

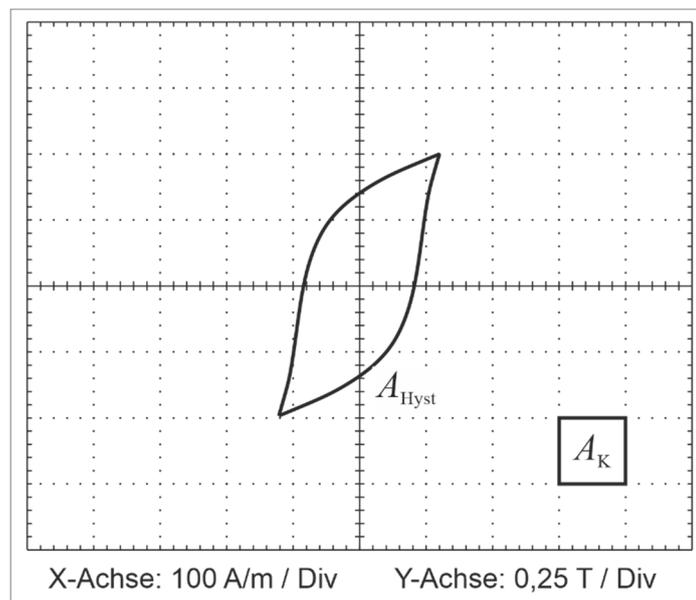
Auf der Primärseite des technischen Magnetkreises wird der Erregerstrom  $i_1(t)$  über die Spannung  $u_x(t)$  am Messwiderstand  $R_1$  gemessen. Auf der Sekundärseite wird die induzierte Spannung  $u_2(t)$  an den Eingang des RC-Tiefpasses gelegt. Die Ausgangsspannung  $u_y(t)$  wird direkt mit dem Oszilloskop gemessen. Nutzen Sie das Ersatzschaltbild zur Herleitung der Beziehung zwischen:

- der magnetischen Feldstärke  $H_{\text{max}}$  und der Spannung  $\hat{U}_X$  am Messeingang Kanal 1 (CH1) des Oszilloskops mit Hilfe des Durchflutungsgesetzes,
- der magnetischen Flussdichte  $B_{\text{max}}$  und der Spannung  $\hat{U}_Y$  am Messeingang Kanal 2 (CH2) mit Hilfe Induktionsgesetzes, den Kirchhoffschen Sätzen und unter der Bedingung, dass der RC-Tiefpass als Integrierglied wirkt ( $u_2(t) \sim u_{R2}(t)$ ).

4.6 Mit der Schaltung in **Abbildung 1** wird der Zeitverlauf des Eingangsstromes am technischen Magnetkreis und der Ausgangsspannung am Tiefpass aufgenommen. Mit Hilfe der X-Y-Darstellung am Oszilloskop kann eine Hysteresekurve mit  $A_{\text{Hyst}}$  ähnlich **Abbildung 2** dargestellt werden. Im Beispiel ist das Eingangssignal an CH1 der magnetischen Feldstärke proportional und ist entlang der X-Achse mit einer Auflösung von 100 A/m pro Rasterkästchen (Division) dargestellt. An CH2 ist das Eingangssignal der magnetischen Flussdichte proportional und wird entlang der Y-Achse mit einer Auflösung mit 0,25 T / Div dargestellt.

Überprüfen Sie mit Ihren Gleichungen auf Aufgabe 4.5 folgende Umrechnung:

- Auflösung Eingangsspannung  $U_X$ : 500 mV / Div      ~      Feldstärke:      100 A/m
- Auflösung Eingangsspannung  $U_Y$ : 50 mV / Div      ~      Flussdichte:      0,25 T/cm



**Abbildung 2:** Beispiel für eine Hysteresekurve mit der umschlossenen Fläche  $A_{\text{Hyst}}$  eines technischen Magnetkreises in der X-Y-Darstellung am Oszilloskop

4.7 Mit der Hysteresekurve kann die beim Ummagnetisieren des technischen Magnetkreises umgesetzte Verlustleistung  $P_{\text{Hyst}}$  in Form von Wärme wie folgt bestimmt werden:

$$P_{\text{Hyst}} = V_{\text{Fe}} \cdot f_{\text{N}} \cdot A_{\text{Hyst}} \quad P_{\text{Hyst}} \text{ in W}$$

- mit:
- der Netzfrequenz  $f_{\text{N}}$   $f_{\text{N}}$  in Hz
  - dem Volumen des Eisenkerns  $V_{\text{Fe}} = A_{\text{Fe}} \cdot l_{\text{Fe}}$   $V_{\text{Fe}}$  in  $\text{m}^3$
  - der Fläche der Hysteresekurve  $A_{\text{Hyst}} = \oint H(B) \cdot dB$   $A_{\text{Hyst}}$  in  $\text{Ws}/\text{m}^3$

- Die Fläche  $A_K$  (**Abbildung 2**) entspricht genau einem Rasterkästchen. Berechnen Sie die dieser Fläche äquivalente Verlustleistung mit der Netzfrequenz  $f_{\text{N}} = 50$  Hz und der Geometrie des Transformator M55 (siehe „5 Geräte und Baugruppen am Versuchsplatz“).
- Schätzen Sie die der Fläche  $A_{\text{Hyst}}$  äquivalente Verlustleistung ab.

4.8 Im Praktikum werden die magnetischen Eigenschaften des Eisenkerns der Baugruppe „Transformator M55“ bestimmt.

- Entnehmen Sie aus „5 Geräte und Baugruppen am Versuchsplatz“ die Bauteilparameter.
- Berechnen Sie die Spannung  $\hat{U}_Y$  des Kondensators  $C_2$  am Ausgang des Tiefpasses für die einzustellende Flussdichte  $B_{\text{max}} = 1$  T mit Hilfe Ihrer Lösung zur Aufgabe 4.5.

## 5 Geräte und Baugruppen am Versuchsplatz sowie Bedienhinweise

- 1 Trennstelltransformator als AC-Quelle (0 ... 250 V)
- 1 Netztransformator 220V/6V,  $f_n = 50$  Hz als Festspannungsquelle
- 1 Tongenerator GF2 als Signalquelle, einstellbar in Amplitude und Frequenz
- 1 Digitalspeicheroszilloskop (DSO) mit zwei Analogeingängen TDS2002B
- 2 Tastköpfe mit Spannungsteiler 1:1
- 1 Tastkopf mit Spannungsteiler 100:1<sup>1</sup>
- 1 Multimeter GDM-392 (bei Praktikumsassistent)
- 1 Baugruppe mit Diode, LED und Zenerdiode mit Vorwiderständen
- 1 Baugruppe Transformator M55 ( $N_1 = 2600$ ;  $N_2 = 90$ ;  $l_{Fe} = 13$  cm;  $A_{Fe} = 3,1$  cm<sup>2</sup>) mit integriertem Messwiderstand  $R_1 = 100$   $\Omega$
- 1 Baugruppe RC-Tiefpass ( $R_2 = 30$  k $\Omega$  und  $C_2 = 4,7$   $\mu$ F) als Integrierglied
- 1 Bauteil Glühlampen 2x 25 W / 230 V
- 1 Bauteil Messwiderstand  $R_M = 10$   $\Omega$

### Bedienhinweise

Für die Messungen mit dem **Trennstelltransformator** ist die **Schaltung** vor jedem Einschalten durch den **Praktikumsassistenten genehmigen zu lassen. Änderungen in der Schaltung** dürfen nur **nach allpoliger Trennung vom Netz** vorgenommen werden (Nullstellung des Trennstelltransformator vor Ausschalten der Quelle beachten).

Der Praktikumsassistent weist Sie in die Bedienung des Digitalspeicheroszilloskops ein. Die Bedienschritte des Oszilloskops werden in dieser Praktikumsanleitung mit folgender Notation beschrieben:

Nach Drücken der [Taste] am Oszilloskop öffnet sich das entsprechende senkrechte Menü rechts im Display, wo man nach Drücken der zugehörigen <Taste> den erforderlichen "Wert" einstellt.

---

<sup>1</sup> Verhältnis Messsignal: Eingangsspannung DSO

## 6 Aufgabenstellung zur Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung

### 6.1 Kenngrößen von Wechselspannungen

6.1.1 Oszillografieren Sie den zeitlichen Verlauf der Ausgangsspannung des Netztransformators 220V/6V an CH1 des Oszilloskops. Einstellung: [DISPLAY] <Format> "YT".

Messen Sie die Spannung von Spitze zu Spitze  $U_{SS}$  und die Netzfrequenz  $f_N$  sowohl über die digitale [MESSUNG] als auch mit dem [CURSOR].

Beurteilen Sie die Kurvenform der Netzspannung.

6.1.2 Überprüfen Sie die Genauigkeit der Messskala des Tongenerators GF2 im 50 – 250 Hz Frequenzbereich. Schließen Sie den 200  $\Omega$ -Ausgang des Tongenerators an CH2 an.

Stellen Sie unter [MESSUNG] die Frequenzen 50 Hz, 100 Hz 150 Hz und 200 Hz des Tongenerators am Oszilloskop ein und lesen Sie die jeweiligen Werte auf der Skala des Tongenerators ab. Bestimmen Sie jeweils den absoluten und den relativen Fehler.

6.1.3 Vergleichen Sie die Frequenz des Tongenerators mit  $f_N$  des Netztransformators 220V/6 V mittels Lissajousfiguren. Einstellung: [DISPLAY] <Format> "XY"

Messen Sie mittels Lissajousfiguren die Frequenzen  $1 \cdot f_N$ ,  $2 \cdot f_N$ ,  $3 \cdot f_N$  und  $4 \cdot f_N$  des Tongenerators. Vergleichen Sie die Werte mit den unter 6.1.2. gemessenen.

### 6.2 Diodenkennlinien

6.2.1 Nehmen Sie die  $I$ - $U$ -Kennlinien der Diode, der Leuchtdiode und der Zenerdiode auf.

Stellen Sie am 200  $\Omega$ -Ausgang des Tongenerators bei ca. 50 Hz über der Reihenschaltung von Messwiderstand und Diode eine Spitzenspannung von 15 V ein.

Die Spannung über der Diode messen Sie an CH1. Das stromproportionale Spannungssignal über den Messwiderstand legen Sie an CH2. Einstellung: [CH1 MENUE] <Invertierung> "Aus" [CH2 MENUE] <Invertierung> "Ein" [DISPLAY] <Format> "XY".

**Wichtig: Die Masseanschlüsse der beiden Kanäle sind auf einen gemeinsamen Punkt zu legen, sonst entsteht ein Kurzschluss!**

Übertragen Sie die Kennlinien in die Diagrammblätter auf Seite 8 und 9 und bemaßen Sie die Achsen mit den jeweiligen Einheiten.

6.2.2 Oszillografieren Sie die Verläufe von  $u(t)$  und  $i(t)$  Kennlinien der Zenerdiode bei einer Zeitbasis von 2,5ms (Drehknopf SEC/DIV).

Weitere Einstellungen: [DISPLAY] <Format> "YT", [CURSOR] <Typ> "Zeit" <Quelle> "CH1"

Messen Sie mit dem Cursor die Spannung an der Zenerdiode in Durchlass- und Sperrrichtung in der Mitte der jeweiligen Halbwelle. Verwenden Sie den Messaufbau und die Spannung über Messwiderstand und Diode wie in Punkt 6.2.1.

Einstellung: [DISPLAY] <Format> "YT" [CURSOR] <Typ> "Zeit" <Quelle> "CH1"

### 6.3 Hysteresekurve eines technischen Magnetkreise

6.3.1 Nehmen Sie die  $B$ - $H$ -Kennlinie des Transformators M55 für die maximale magnetische Flussdichte  $B_{\max} = 1 \text{ T}$  mit Hilfe der Messschaltung in **Abbildung 1** auf.

- Einstellung am DSO: [DISPLAY] <Format> "XY", [MESSUNG] <Messung 1> <Quelle> "CH1" <Typ> "Max", [MESSUNG] <Messung 2> <Quelle> "CH2" <Typ> "Max".
- Nutzen Sie die Baugruppe Transformator M55 mit integriertem Messwiderstand.
- Die Regelung der Eingangsspannung  $u_e(t)$  erfolgt über den Trennstelltransformator. Zur genauen Spannungsanzeige nutzen Sie das Multimeter.
- Die Eingangsspannung  $U_e$  wird am Trennstelltransformator solange erhöht, bis die Messfunktion des Oszilloskops den unter 4.8 ermittelten Wert der Spannung  $\hat{U}_Y$  (äquivalent zur Flussdichte  $B_{\max} = 1 \text{ T}$ ) anzeigt. Notieren Sie sich Eingangsspannung  $U_e$ .
- Stellen Sie die Auflösung der beiden Kanäle so ein, dass die Hysteresekennlinie den Bildschirm so voll wie möglich ausfüllt.
- Übertragen Sie die Kennlinien in die Diagrammblätter auf Seite 9 und bemaßen Sie die Achsen mit den jeweiligen Einheiten.

6.3.2 Markieren Sie in der übertragenen Hysteresekurve die Koerzitivfeldstärke  $H_K$  und die Remanenzflussdichte  $B_R$ . Lesen Sie die Spannungen ab und berechnen Sie die entsprechenden Werte zu  $H_K$  und  $B_R$ .

6.3.3 Messen Sie aus dem Zeitverlauf: [DISPLAY] <Format> "YT" mit dem [Cursor] die der Koerzitivfeldstärke  $H_K$  und der Remanenzflussdichte  $B_R$  entsprechenden Spannungen. Berechnen Sie  $H_K$  und  $B_R$  und vergleichen Sie diese mit dem Ergebnis aus 6.3.2.

6.3.4 Bestimmen Sie die Hystereseverluste aus der unter 6.3.1 aufgenommenen  $B$ - $H$ -Kennlinie. mit Hilfe der in Vorbereitungsaufgabe 4.7 bestimmten Verlustleistung je Rasterkästchen.

- Halbieren Sie zuerst die Gitterlinien in  $B$ - und in  $H$ -Richtung, so dass eine Viertelung der Kästchen im Diagramm entsteht. Das erhöht die Genauigkeit.
- Nummerieren Sie die von der Hysteresekurve umschlossenen ganzen Viertelkästchen. Für jedes angeschnittene Viertelkästchen suchen Sie nach Augenmaß ein Pendant, so dass dieses etwa zu einem ganzen Viertelkästchen ergänzt wird.
- Multiplizieren Sie die Verlustleistung eines ganzen Rasterkästchens, wie oben errechnet, mit deren Anzahl.

### 6.4 Leistungsmessung

**Schließen Sie an CH 1 den Tastkopf 100:1 an.**

Einstellungen am DSO:

[CH 1 MENU] <Tastkopf wertX Spannung> <Spannung> <Teilung> "100X"

[DISPLAY] <Format> "YT"

[TRIG MENU] <Typ> "Flanke" <Quelle> "Netz"

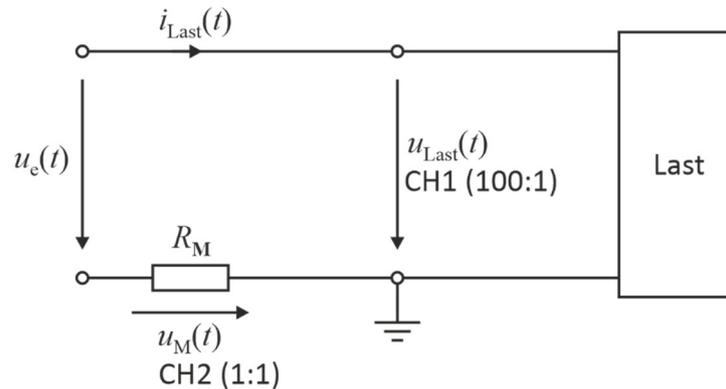
Stellen Sie die Messfunktionen ein:

[MESSUNG] <Messung 1> <Quelle> "CH1" <Typ> "Effektiv"

[MESSUNG] <Messung 2> <Quelle> "CH2" <Typ> "Effektiv"

[MATH MENU] <Operation> "x" <Quellen> "CH1XCH2"

[MESSUNG] <Messung 3> <Quelle> "Math." <Typ> "Mittelwert"



**Abbildung 3:** Messschaltung mit gemeinsamen Massepunkt zur Bestimmung der Wirkleistung

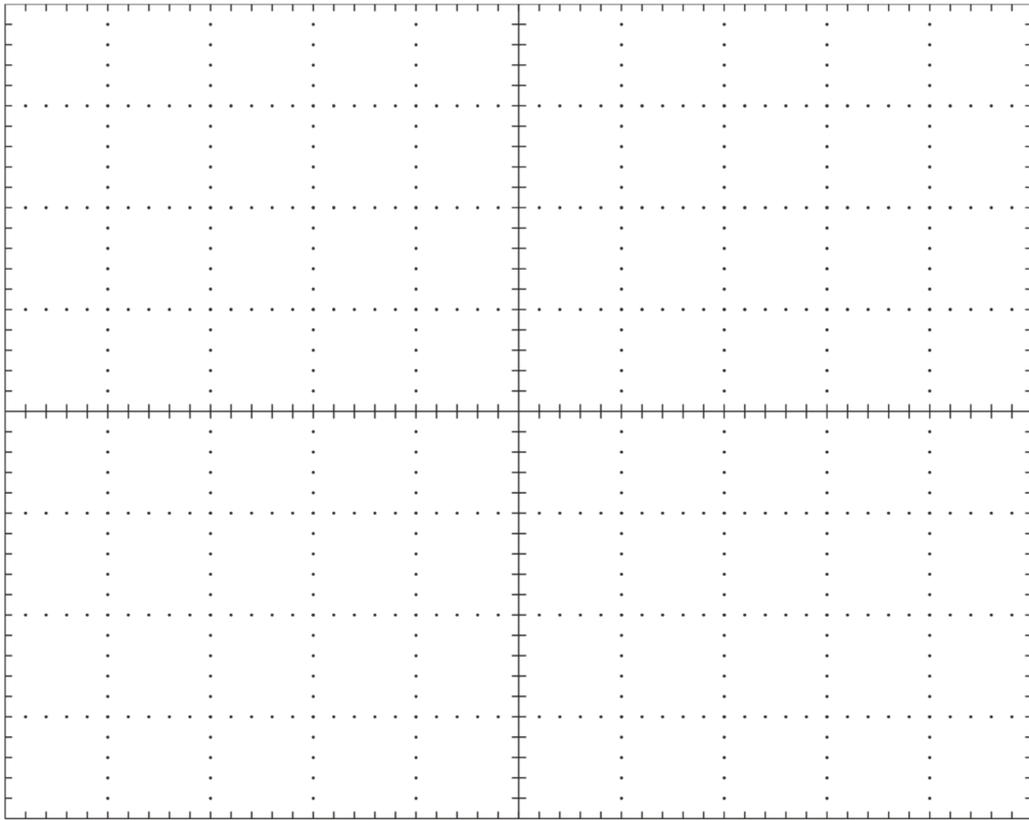
6.4.1 Bauen Sie die Messschaltung entsprechend **Abbildung 3** auf. Als Last ist das Bauteil Glühlampe und als  $R_M$  ist das Bauteil Messwiderstand zu nutzen. Bestimmen Sie die Wirkleistung von Lampe 1, Lampe 2 und deren Reihenschaltung

- Achten Sie auf die gemeinsame Masse an den beiden Spannungstastköpfen.
- Erhöhen Sie die Spannung mit Hilfe des Trennstelltrafos bis der Effektivwert der Lastspannung (Wert an CH1)  $U_{Last} = 230 \text{ V}$  erreicht.
- Oszillografieren Sie die Schwingungen der beiden Kanäle und die der MATH-Funktion (Leistungsschwingung).
- Für die korrekte Bestimmung des Mittelwertes der Leistung ist die Zeitbasis so zu wählen, dass ein ganzes Vielfaches der vollständigen Spannungsschwingung auf dem Oszi-Bildschirm dargestellt ist.
- Bestimmen Sie mit dem angezeigten Mittelwert der MATH-Funktion die Wirkleistung der Bauteile.
- Erklären Sie, warum bei einer Reihenschaltung zwei gleicher Glühlampen die gemessene Leistung größer ist als die halbe Leistung einer einzelnen Lampe.

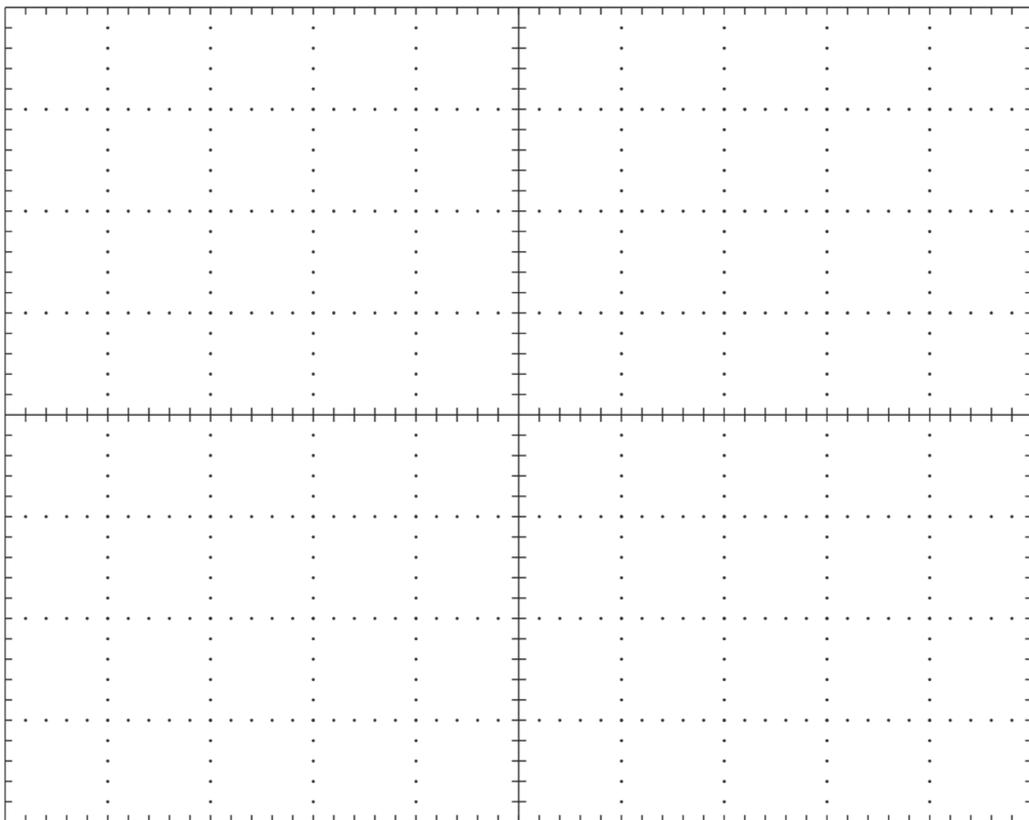
6.4.2 Von der Baugruppe Transformator M55 wird die Eingangsseite des Transformator M55 als Last genutzt. Die Ausgangsseite wird im Leerlauf betrieben. Die in **Abbildung 3** dargestellte Messschaltung ist hier ebenfalls zu nutzen. Als Messwiderstand  $R_M$  wird  $R_1$  derselben Baugruppe genutzt.

- Achten Sie auf die gemeinsame Masse an den beiden Spannungstastköpfen.
- Stellen Sie die unter Punkt 6.3.1 notierten Spannung des Trennstelltransformators für  $B_{max} = 1 \text{ T}$  am Multimeter ein.
- Bestimmen Sie mit dem angezeigten Mittelwert der MATH-Funktion die Wirkleistung des Transformators.
- Vergleichen Sie diese Wirkleistung mit den unter 6.3.4 ermittelten Hystereseverlusten.

Diagrammeblatt zu den Aufgaben 6.2 und 6.3

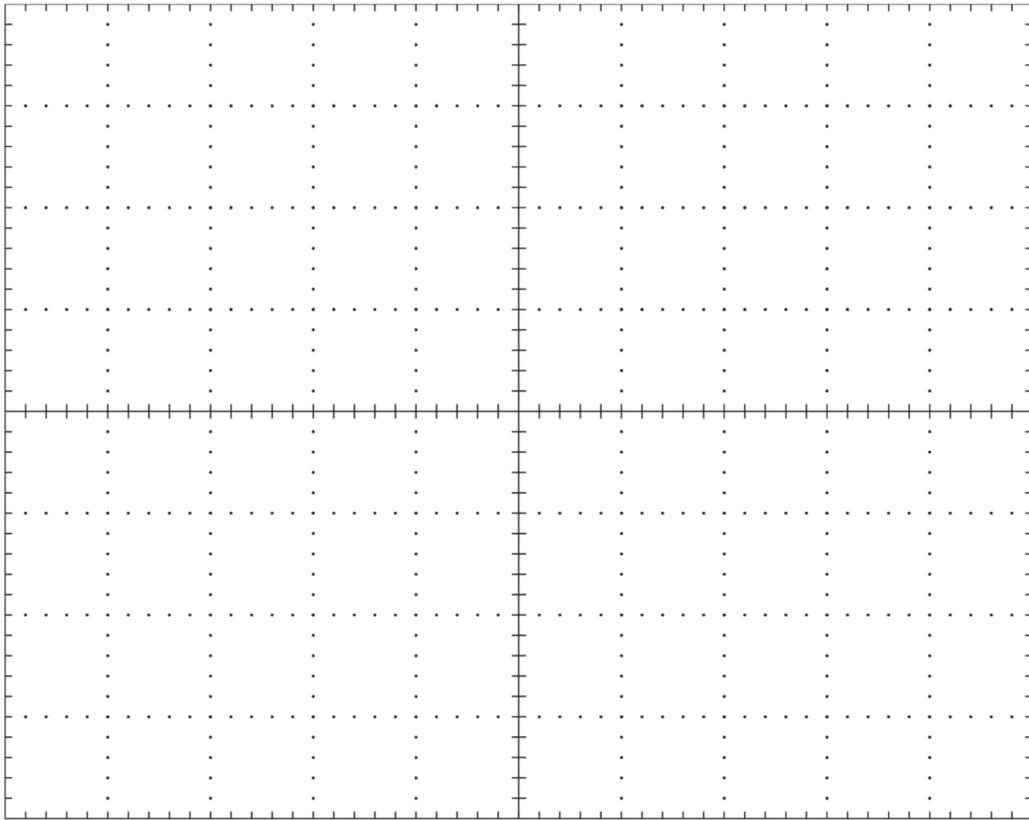


CH1:                      V/Div      CH 2:                      V/Div      M:                              s/Div

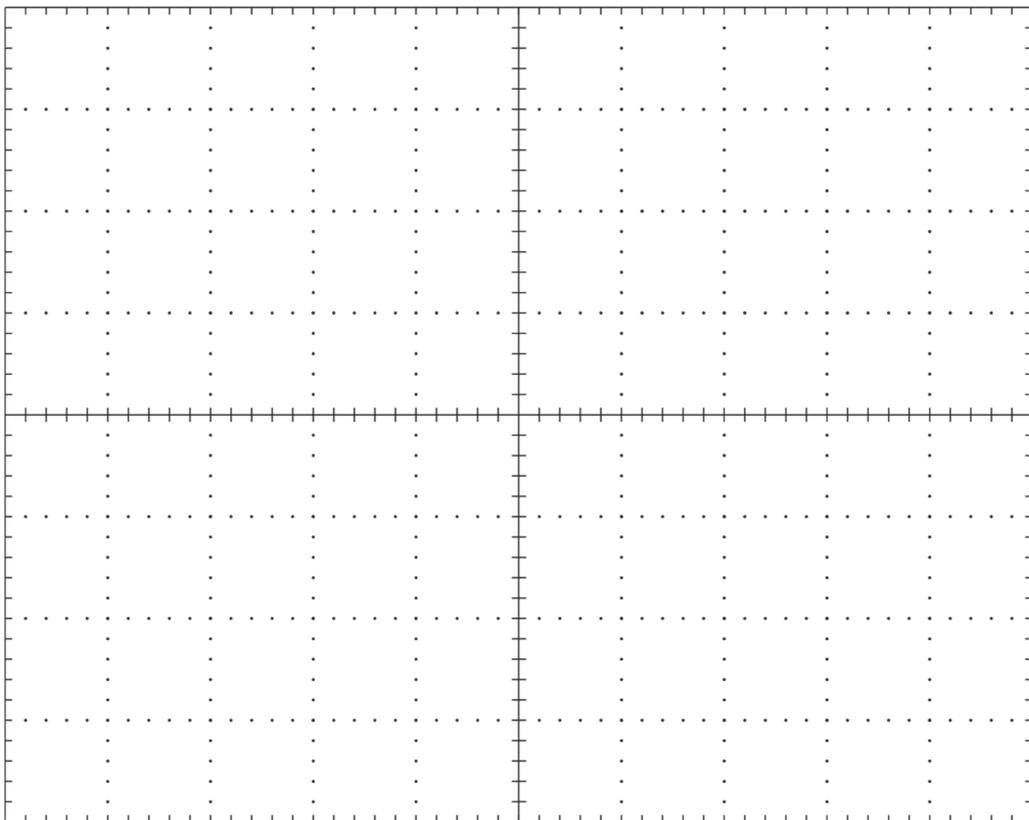


CH1:                      V/Div      CH 2:                      V/Div      M:                              s/Div

Diagrammeblatt zu den Aufgaben 6.2 und 6.3



CH1:                      V/Div      CH 2:                      V/Div      M:                              s/Div



CH1:                      V/Div      CH 2:                      V/Div      M:                              s/Div