

Praktikum Grundlagen der Elektrotechnik

Versuch **GET 2.3: Kleintransformator**

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 sowie Bedienhinweise
- 6 Aufgabenstellungen zur Versuchsdurchführung
- 7 Aufgabenstellungen zur Versuchsauswertung

1 Ziel und Inhalt des Versuches

- Erarbeitung von Ersatzschaltbildern eines realen Einphasen-Kerntransformators
- Bestimmung der Elemente des Ersatzschaltbildes aus dem Leerlauf- und Kurzschlussversuch
- Untersuchung des Verhaltens eines Transformators bei Belastung und Betrachtung verschiedener Lastfälle
- Konstruktion eines Zeigerbildes basierend auf dem vollständigen Ersatzschaltbild mit reduzierten Größen

2 Vorausgesetztes Wissen

- Aufgaben, Aufbau und Funktionsweise eines Transformators
- Vollständiges Transformatorersatzschaltbild (T-Ersatzschaltbild) mit Beschreibung und Ermittlung der Ersatzelemente
- Darstellung komplexer Ströme und Spannungen mit Hilfe des Zeigerbildes

3 Literatur

- Vorlesungs- und Seminarunterlagen „Allgemeine Elektrotechnik 2“
- Lehrbuch Seidel/Wagner: „Allgemeine Elektrotechnik: Wechselstromtechnik – Ausgleichsvorgänge – Leitungen“, Unicopy Ilmenau 2011, Kapitel 1.6
- Lernprogramm Transformator (getsoft.net/learnweb/transformator)

4 Vorbereitungsarbeiten

4.1 Die **Abbildung 1** zeigt eine mögliche technische Ausführung eines Einphasen-Kerntransformators (Schnittdarstellung) mit einer Primärwindung N_1 und einer Sekundärwindung N_2 und das elektrische Schaltsymbol.

- In **Abbildung 2** ist ein Typenschild für einen Transformator dargestellt. Berechnen Sie die fehlenden Angaben und tragen Sie die Werte ein. Für das Übersetzungsverhältnis gilt: $\ddot{u} = N_1 / N_2$.

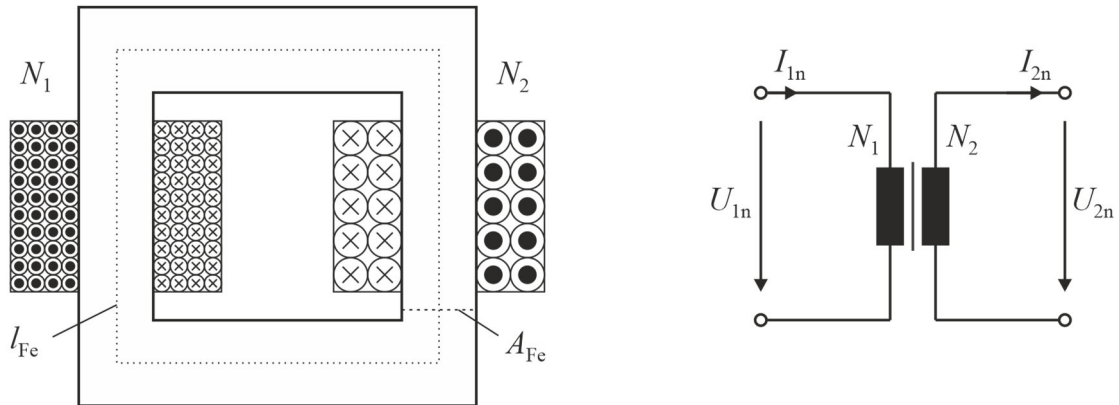


Abbildung 1: Technische Ausführung eines Einphasen-Kerntransformators (links) und elektrisches Symbol des idealen Transformators mit Eisenkern (rechts)

Nennscheinleistung S_n [VA]		Nennfrequenz f_n [Hz]	
110		50	
	Windungszahl	Nennspannung [V]	Nennstrom [A]
OS	$N_1 = 500$	$U_{1n} = 220$	$I_{1n} =$
US	$N_2 = 125$	$U_{2n} =$	$I_{2n} =$
Kühlung:	AN	Leerlaufstrom:	$I_{1L} = 15\% \cdot I_{1n}$
Kernmaterial:	Dynamoblech	Leerlaufverluste:	$P_{1L} = 15 \text{ W}$
Wicklungsmaterial:	Cu / Cu	Kurzschlussspannung:	$U_{1K} = 20\% \cdot U_{1n}$
Umgebungstemp.:	$\leq 40^\circ\text{C}$	Kurzschlussverluste:	$P_{1K} = 12 \text{ W}$

Abbildung 2: Typenschild für einen Einphasen-Kerntransformator

4.2 Beschreibung des realen Transformators mit Hilfe des vollständigen elektrischen Ersatzschaltbildes.

- Zeichnen Sie das vollständige Ersatzschaltbild mit reduzierten Größen.
- Geben Sie unter Zuhilfenahme des Übersetzungsverhältnisses $\ddot{u} = N_1 / N_2$ den Zusammenhang zwischen den tatsächlichen Größen und den reduzierten Größen an.

- 4.3 Ein wesentlicher Teil der Elemente des vollständigen Transformatorersatzschaltbildes beschreiben die Verluste des technischen Transformators.
- Welche Verluste treten auf?
 - Welche Einflussfaktoren bestimmen ihre Größe?
- 4.4 Zur Bestimmung der Elemente des Ersatzschaltbildes aus Aufgabe 4.2 werden ein Leerlauf- und ein Kurzschlussversuch durchgeführt.
- Geben Sie die Messschaltung für den Leerlauf- und den Kurzschlussversuch unter Verwendung des jeweils gültigen vereinfachten Ersatzschaltbildes an. Beschreiben Sie die Vorgehensweise zur Durchführung der beiden Versuche.
- 4.5 Berechnen Sie mit Hilfe der Daten aus dem Typenschild in **Abbildung 2** und den vereinfachten Ersatzschaltbildern aus Aufgabe 4.4 die Elemente des vollständigen Ersatzschaltbildes.
- Der Aufbau des Transformators wird als symmetrisch angenommen, somit gilt:
 $R_{Cu1} = R'_{Cu2}$ und $L_{\sigma 1} = L'_{\sigma 2}$.
- 4.6 Der mit Hilfe der Aufgabe 4.5 beschriebene Transformator wird nun bei seiner Nennbetriebsspannung $U_{1n} = 220 \text{ V}$ und einer sekundärseitig angeschlossenen ohmschen Last $R_{Last} = 40 \Omega$ betrieben. Berechnen Sie folgende Größen unter der Annahme $\varphi_{U_{1n}} = 0^\circ$:
- den Lastwiderstand als sekundärseitig reduzierte Größe R'_{Last} ,
 - den Strom der Primärseite \underline{I}_1 (Hinweis: Berechnen Sie zuerst die Gesamtimpedanz $\underline{Z}_{ges.}$),
 - den Strom der Sekundärseite \underline{I}_2 ,
 - die Spannung der Sekundärseite \underline{U}_2 ,
 - die Scheinleistung S_1 , die Wirkleistung P_1 und den Leistungsfaktor $\cos \varphi_1$ am Eingang des Transformators sowie den Wirkungsgrad η .
- 4.7 Zeichnen Sie mit Ihren aus Aufgabe 4.6 berechneten Werten das topologische Zeigerbild für das vollständige Ersatzschaltbild mit reduzierten Größen auf Seite 7. Nutzen Sie folgenden Maßstab: $m_U = 10 \text{ V/cm}$; $m_I = 20 \text{ mA/cm}$.

5 Geräte und Baugruppen am Versuchsplatz sowie Bedienhinweise

- 1 Trennstelltransformator als AC-Quelle (0 ... 250 V)
- 1 Einphasen-Kerntransformator $U_{1n} = 220 \text{ V} \pm 10 \%$, $S_n = 220 \text{ VA}$,
Primärwicklung $N_1 = 520$, Sekundärwicklung $N_2 = 260$, Messwicklung $N_3 = 50$
- 1 Schiebewiderstand $R_{Last} \leq 640 \Omega$ ($I_{max.zulässig} = 2 \text{ A}$)
- 1 Kondensator $C = 32 \mu\text{F}$
- 1 Digitalspeicheroszilloskop (DSO) mit 4 Analogeingängen DLM3024
- 2 Tastkopf 1:100¹ für Spannungsmessung
- 2 Tastkopf 1:1 (Messleitung Laborsicherheitsbuchsen auf BNC 1:1) für Strommessung
- 1 Messwiderstand $R_{Mess1} = 1,0 \Omega$ für Strommessung auf der Primärseite
- 1 Messwiderstand $R_{Mess2} = 0,1 \Omega$ für Strommessung auf der Sekundärseite

¹ Verhältnis Messsignal:Eingangssignal DSO

Bedienhinweise

Änderungen in der Schaltung dürfen nur **nach allpoliger Trennung vom Netz** vorgenommen werden (Nullstellung des Trennstelltransformator vor Ausschalten der Quelle beachten). Jede **Schaltung** ist vor dem **erstmaligen Einschalten** durch den **Praktikumsassistenten kontrollieren** zu lassen.

Achten Sie beim **Anschluss der Messleitungen / Tastköpfe** auf die Festlegung des **gemeinsamen Massepunktes** für die Messung je auf der Primär- als auch auf der Sekundärseite des zu untersuchenden Transformators.

Der Praktikumsassistent weist Sie in die Bedienung der Messtechnik ein.

6 Aufgabenstellung zur Versuchsdurchführung

6.1 Messungen zum Leerlaufversuch

- Bauen Sie die Messschaltung entsprechend Ihrer Lösung zur Vorbereitungsaufgabe 4.4 auf. Die Messsignale sind wie folgt an das Digitalspeicheroszilloskop (DSO) zu legen:
 - CH1: Spannung der Primärseite U_{1L} über einen 1:100 Tastkopf
 - CH2: Strom der Primärseite I_{1L} über Messwiderstand R_{Mess1} und 1:1 Tastkopf
 - CH3: Spannung der Sekundärseite U_{2L} über einen 1:100 Tastkopf
 - M1: Leistungsberechnung der Primärseite CH1 · CH2

Hinweis: Laden Sie die Einstellung #1 aus dem internen Speicher des Digitalspeicheroszilloskop für die richtige Konfiguration. Nutzen Sie zur schnelleren Auswertung die Measurefunktion.

- Nehmen Sie in Abhängigkeit von der primären Leerlaufspannung U_{1L} im Bereich von $U_{1L} = 0 \dots 240 \text{ V}$ in Schritten von 20 V folgende Größen auf:
 - den Leerlaufstrom als Spitzenwert \hat{I}_{1L} und als Effektivwert I_{1L} ,
 - die Leerlaufverluste P_{1L} ,
 - die sekundäre Leerlaufspannung U_{2L} .
- Skizzieren Sie während der Messungen die Oszillogramme für den Leerlaufstrom I_{1L} bei $U_{1L} = 60 \text{ V}$, 120 V und 240 V für je eine Periodendauer in das Diagrammblatt auf Seite 8.

6.2 Messungen zum Kurzschlussversuch

- Bauen Sie die Messschaltung entsprechend Ihrer Lösung zur Vorbereitungsaufgabe 4.4 auf. Die Messsignale sind wie folgt an das Digitalspeicheroszilloskop zu legen:
 - CH1: Spannung der Primärseite U_{1K} über einen 1:100 Tastkopf
 - CH2: Strom der Primärseite I_{1K} über Messwiderstand R_{Mess1} und 1:1 Tastkopf
 - CH4: Strom der Sekundärseite I_{2K} über Messwiderstand R_{Mess2} und 1:1 Tastkopf (Beachten Sie das reale Teilverhältnis)
 - M1: Leistungsberechnung der Primärseite CH1 · CH2

Hinweis: Laden Sie die Einstellung #2 aus dem internen Speicher des Digitalspeicheroszilloskop für die richtige Konfiguration. Nutzen Sie zur schnelleren Auswertung die Measurefunktion.

- Nehmen Sie in Abhängigkeit vom primärem Kurzschlussstrom I_{1K} im Bereich von $I_{1K} = 0 \dots 1,1 \text{ A}$ in Schritten zu ca. 0,1 A folgende Größen auf:
 - den primären Kurzschlussstrom als Spitzenwert \hat{I}_{1K} und als Effektivwert I_{1K} ,
 - den sekundären Kurzschlussstrom als Effektivwert I_{2K} ,
 - die Kurzschlussverluste P_{1K} ,
 - die primäre Kurzschlussspannung U_{1K} .
- Skizzieren Sie während der Messungen die Oszillogramme bei $I_{1K} = 0,5 \text{ A}$ und $1,0 \text{ A}$ in das Diagrammblatt auf Seite 8.

6.3 Messungen bei Belastung des Transformators mit einer veränderlichen ohmschen Last

- Belasten Sie den Transformator auf der Sekundärseite mit dem veränderlichen Lastwiderstand R_{Last} . Die Messsignale sind wie folgt an das Digitalspeicheroszilloskop zu legen:

- CH1: Spannung der Primärseite U_1 über einen 1:100 Tastkopf
- CH2: Strom der Primärseite I_1 über Messwiderstand R_{Mess1} und 1:1 Tastkopf
- CH3: Spannung der Sekundärseite U_2 über einen 1:100 Tastkopf
- CH4: Strom der Sekundärseite I_2 über Messwiderstand R_{Mess2} und 1:1 Tastkopf (Beachten Sie das reale Teilverhältnis)
- M1: Leistungsberechnung der Primärseite CH1 · CH2
- M2: Leistungsberechnung der Sekundärseite CH3 · CH4

Hinweis: Laden Sie die Einstellung #3 aus dem internen Speicher des Digitalspeicheroszilloskops für die richtige Konfiguration. Nutzen Sie zur schnelleren Auswertung die Measurefunktion.

- Stellen Sie auf der Primärseite die Nennspannung $U_{1n} = 220 \text{ V}$ ein. Ermitteln Sie in Abhängigkeit vom sekundären Laststrom $I_2 = 0 \dots 2,2 \text{ A}$ durch Einstellung des Lastwiderstandes in Schritten von ca. $0,2 \text{ A}$ folgende Größen:
 - den Primärstrom I_1
 - die Sekundärspannung U_2
 - die Wirkleistung auf der Primärseite P_1
 - die Wirkleistung der Sekundärseite P_2
 - den Wirkungsgrad η

6.4 Messungen bei Belastung des Transformators mit einer ohmsch-kapazitiven Last

- Erweitern Sie den Versuchsaufbau indem Sie den Kondensator $C = 32 \mu\text{F}$ parallel zum veränderlichen Widerstand R_{Last} schalten. Die Aufnahme der Messsignale bleibt entsprechend der vorhergehenden Aufgabe 6.3 gleich.
- Auf der Primärseite ist die Nennspannung $U_1 = U_{1n} = 220 \text{ V}$ einzustellen. Mit Hilfe des Lastwiderstandes wird der sekundärseitige Laststrom von $I_2 = 2,0 \text{ A}$ eingestellt. Ermitteln Sie folgende Größen:
 - den Primärstrom I_1
 - die Sekundärspannung U_2
 - die Wirkleistung auf der Primärseite P_1
 - die Wirkleistung der Sekundärseite P_2

7 Aufgabenstellung zur Versuchsauswertung

Die Diagramme zur Auswertung sind auf Millimeterpapier zu zeichnen.

Achten Sie darauf, dass alle Diagramme vollständig und eindeutig beschriftet sind.

7.1 Auswertung des Leerlaufversuches

- Bestimmen Sie mit Hilfe Ihrer Messdaten das Übersetzungsverhältnis des Transformators bei der Nennspannung $U_{1n} = 220 \text{ V}$ und vergleichen Sie dieses mit dem genutzten Windungszahlenverhältnis.
- Stellen Sie folgende Größen in Abhängigkeit von der Primärspannung U_{1L} jeweils in einem Diagramm (mit je zwei Ordinatenachsenbeschriftungen) grafisch dar:
 - den Leerlaufstrom I_{1L} und das Verhältnis Spitzenwert \hat{I}_{1L} zu Effektivwert I_{1L} ,
 - die Leerlaufverluste P_{1L} und die sekundäre Leerlaufspannung U_{2L} .
- Diskutieren Sie die Messergebnisse und die aufgezeichneten Zeitverläufe.

7.2 Auswertung des Kurzschlussversuches

- Bestimmen Sie mit Hilfe Ihrer Messdaten das Übersetzungsverhältnis des Transformators bei dem Nennstrom $I_{1n} = 1 \text{ A}$ und vergleichen Sie dieses mit dem genutzten Windungszahlenverhältnis.
- Stellen Sie folgende Größen in Abhängigkeit von dem Primärstrom I_{1K} jeweils in einem Diagramm (mit je zwei Ordinatenachsenbeschriftungen) grafisch dar:
 - den sekundärseitigen Kurzschlussstrom I_{2K} und das Verhältnis Spitzenwert \hat{I}_{1K} zu Effektivwert I_{1K} ,
 - die Kurzschlussverluste P_{1K} und die Kurzschlussspannung am Eingang U_{1K} .
- Diskutieren Sie die Messergebnisse und die aufgezeichneten Zeitverläufe.

7.3 Berechnung der Elemente des Transformator-Ersatzschaltbildes

- Berechnen Sie für die Nenndaten $U_{1n} = 220 \text{ V}$ und $I_{1n} = 1 \text{ A}$ die Elemente des vollständigen Transformatorersatzschaltbildes mit Ihren Messdaten aus der Aufgabe 6.1 und 6.2.

7.4 Auswertung des Belastungsversuches mit ohmscher Last

- Stellen Sie alle unter 6.3 ermittelten Größen in Abhängigkeit vom Sekundärstrom I_2 grafisch dar.
- Diskutieren Sie die Messergebnisse.

7.5 Zeigerbild für den ohmsch-kapazitiven Lastfall

- Konstruieren Sie mit den Messwerten aus Aufgabe 6.4 und den berechneten Elementen des vollständigen Ersatzschaltbildes aus Aufgabe 7.3 das topologische Zeigerbild des Transformators mit den reduzierten Größen auf Seite 9. Nutzen Sie folgenden Maßstab: $m_U = 10 \text{ V/cm}$; $m_I = 100 \text{ mA/cm}$.
- Die Spannung über der Last ist auf die reelle Achse zu legen. Somit gilt: $\underline{U}'_2 = U'_2 = \dot{u} \cdot U_2$.
- Der Phasenwinkel für den Laststrom I'_2 wird über folgende Beziehung bestimmt:

$$\varphi_2 = \arccos\left(\frac{P_2}{U_2 \cdot I_2}\right)$$

- Vergleichen Sie die mittels Ihrer Zeigerbildkonstruktion ermittelten Werte U_1 und I_1 mit Ihren Messwerten.

Zeigerbild zu Aufgabe 4.7

$$m_U = 10 \text{ V/cm}$$

$$m_I = 20 \text{ mA/cm}$$

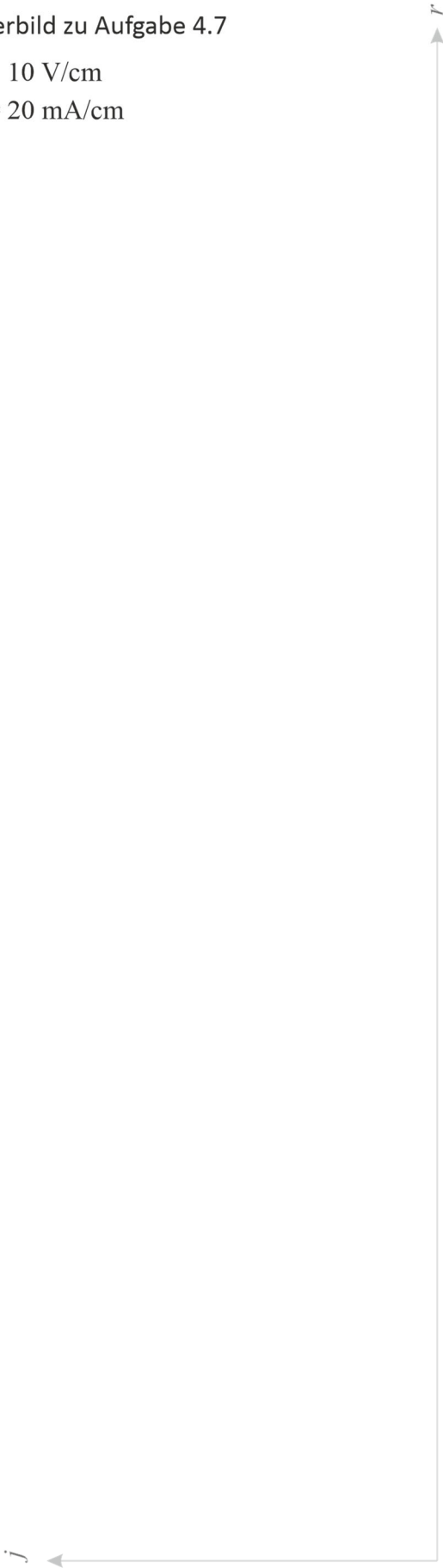
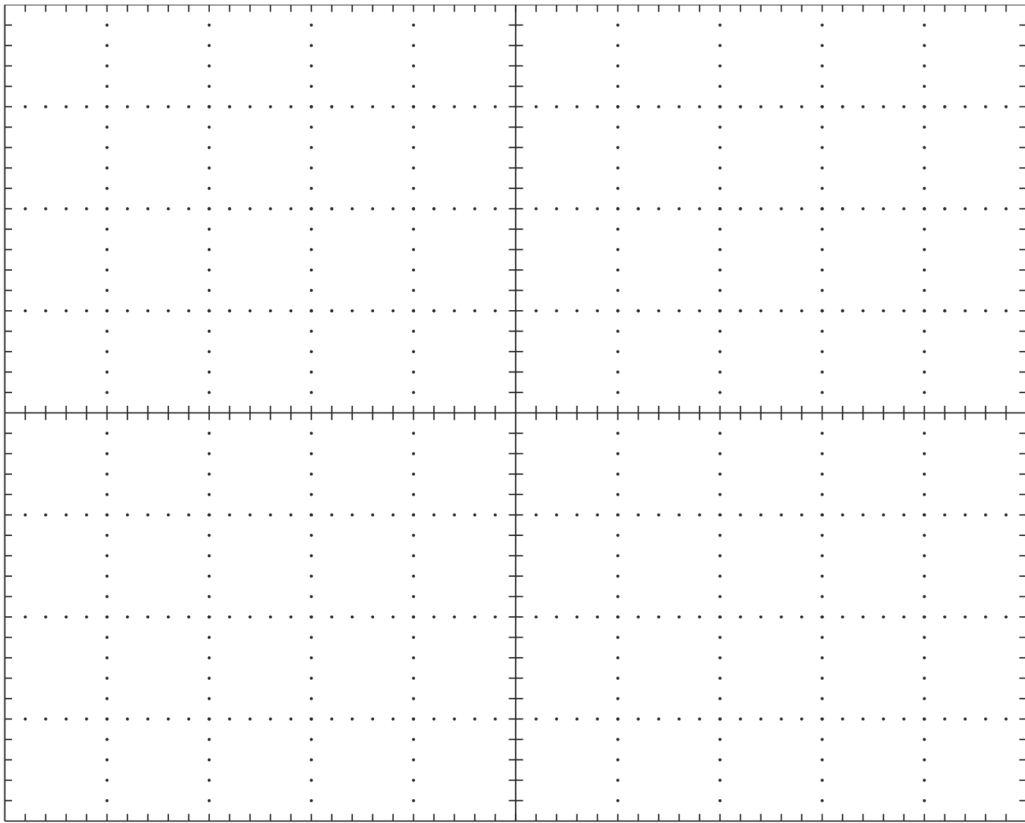
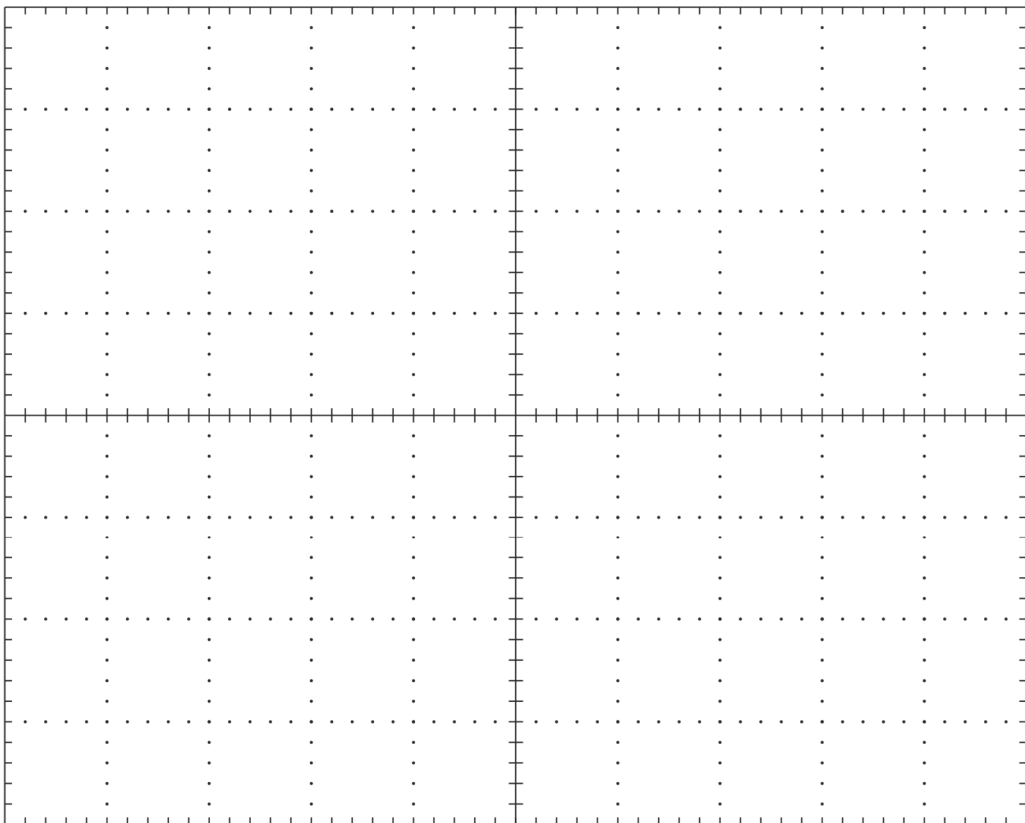


Diagramme für die Stromverläufe (1 Periode) zu den Aufgaben 6.1 und 6.2



Strom 1: /Div Strom 2: /Div Strom 3: /Div



Strom 1: /Div Strom 2: /Div Strom 3: /Div

Zeigerbild zu Aufgabe 7.5

$$m_U = 10 \text{ V/cm}$$

$$m_I = 100 \text{ mA/cm}$$

