

## Praktikum Grundlagen der Elektrotechnik

**Versuch** GET 2.1: Frequenzverhalten einfacher Schaltungen

**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 und Versuchsauswertung

---

### 1 Ziel und Inhalt des Versuches

- Messung von Amplituden- und Phasengängen von frequenzselektiven Schaltungen (RC-Hochpass, einfacher und doppelter RC-Tiefpass, RC-Bandpass, RLC-Reihenschwingkreis) bei sinusförmiger Erregung
- Ermittlung der charakteristischen Parameter von Übertragungssystemen am Beispiel eines Reihenschwingkreises
- Grafische Darstellung der Messergebnisse bei linearer und einfach-logarithmischer Teilung der Frequenzachse

### 2 Vorausgesetztes Wissen

- Berechnung elektrischer Schaltungen im Zeit- bzw. Bildbereich bei sinusförmiger Erregung
- Analyse von RLC-Schaltungen: Berechnung und grafische Darstellung einer Übertragungsfunktion mit Hilfe des Amplituden- und Phasenganges; Bestimmung charakteristischer Kenngrößen, wie Grenzfrequenzen, Bandmittenfrequenz, Resonanzfrequenz, 45° Eckfrequenzen, Bandbreite und Resonanzgüte
- Berechnung der Übertragungsfunktionen mit Hilfe der Spannungsteilerregel, der Knotenspannungsanalyse oder mit Hilfe der Vierpoltheorie

### 3 Literatur

- Vorlesungs- und Seminarunterlagen „Allgemeine Elektrotechnik 2“
- Lehrbuch Seidel/Wagner: „Allgemeine Elektrotechnik: Wechselstromtechnik – Ausgleichsvorgänge – Leitungen“, Unicopy Ilmenau 2011, Kapitel 1.3 und Kapitel 2.5
- Zastrow: Elektrotechnik Ein Grundlagenlehrbuch, Verlag Vieweg, Kapitel 24 und 25

## 4 Vorbereitungsaufgaben

Bauteilparameter für die Aufgaben 4.1 bis 4.4:  $R = 1,99 \text{ k}\Omega$  und  $C = 100,1 \text{ nF}$ .

Weiterhin gilt: 
$$\underline{H}(\omega) = \frac{\underline{U}_a(\omega)}{\underline{U}_e(\omega)}$$

### 4.1 Der Tiefpass

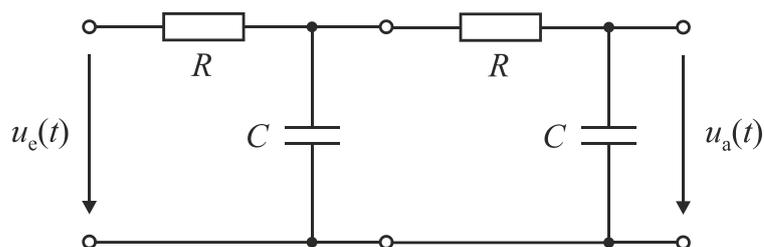
- Zeichnen Sie das Schaltbild eines RC-Tiefpasses 1. Ordnung.
- Geben Sie allgemein die Übertragungsfunktion  $\underline{H}(\omega)$ , den Amplitudengang  $H(\omega)$  und den Phasengang  $\varphi_H(\omega)$  für diesen Tiefpass an.
- Geben Sie die Gleichung zur Berechnung der Grenzfrequenz  $f_g$  an und berechnen Sie diese mit den gegebenen Bauteilparametern.
- Berechnen Sie die Werte des Amplituden- und Phasenganges für Frequenzen  $f$  in Hz: 20, 40, 80, 200, 400, 800, 2 k, 4 k, 8 k, 20 k (Wertetabelle) und stellen Sie die Verläufe im Diagrammblatt mit einfach-logarithmischer Lineatur (Amplitudengang oben, Phasengang unten) auf Seite 6 dar.

### 4.2 Der Hochpass

- Zeichnen Sie das Schaltbild eines RC-Hochpasses 1. Ordnung.
- Geben Sie allgemein die Übertragungsfunktion  $\underline{H}(\omega)$ , den Amplitudengang  $H(\omega)$  und den Phasengang  $\varphi_H(\omega)$  für diesen Hochpass an.
- Geben Sie die Gleichung zur Berechnung der Grenzfrequenz  $f_g$  an und berechnen Sie diese mit den gegebenen Bauteilparametern.
- Berechnen Sie die Werte des Amplituden- und Phasenganges für die Frequenzen  $f$  in Hz: 20, 40, 80, 200, 400, 800, 2 k, 4 k, 8 k, 20 k (Wertetabelle) und stellen Sie die Verläufe im Diagrammblatt mit einfach-logarithmischer Lineatur auf Seite 7 dar.

### 4.3 Der doppelte Tiefpass

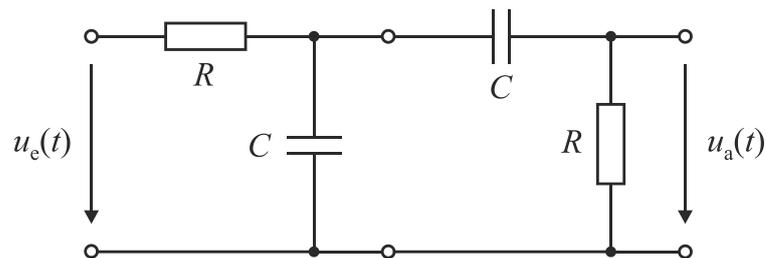
- Geben Sie die Übertragungsfunktion  $\underline{H}(\omega)$  für den in **Abbildung 1** dargestellten doppelten RC-Tiefpass an. **Hinweis:** Die Übertragungsfunktion können Sie entweder mit dem doppelten Spannungsteiler oder über die Kettenschaltung der Grundvierpole berechnen.
- Ermitteln Sie aus der Übertragungsfunktion den Amplitudengang  $H(\omega)$  und den Phasengang  $\varphi_H(\omega)$ .
- Geben Sie die Gleichung zur Berechnung der Grenzfrequenz  $f_g$  an und berechnen Sie diese mit den gegebenen Bauteilparametern.
- Berechnen Sie die Werte des Amplituden- und Phasenganges für die Frequenzen  $f$  in Hz: 20, 40, 80, 200, 400, 800, 2 k, 4 k, 8 k, 20 k (Wertetabelle) und stellen Sie die Verläufe im Diagrammblatt mit einfach-logarithmischer Lineatur auf Seite 8 dar.



**Abbildung 1:** Der doppelte RC-Tiefpass

#### 4.4 Der RC-Bandpass

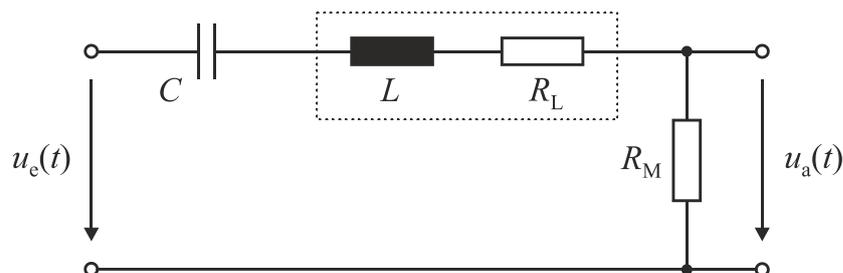
- Geben Sie die Übertragungsfunktion  $\underline{H}(\omega)$  für den in **Abbildung 2** dargestellten RC-Bandpass an. **Hinweis:** Die Übertragungsfunktion können Sie entweder mit dem doppelten Spannungsteiler oder über die Kettenschaltung der Grundvierpole berechnen.
- Ermitteln Sie aus der Übertragungsfunktion den Amplitudengang  $H(\omega)$  und den Phasengang  $\varphi_H(\omega)$  an.
- Berechnen Sie mit den gegebenen Bauteilparametern die obere und untere Grenzfrequenz, sowie die Bandmittenfrequenz.
- Berechnen Sie die Werte des Amplituden- und Phasenganges für die Frequenzen  $f$  in Hz: 20, 40, 80, 200, 400, 600, 800, 1 k, 2 k, 4 k, 8 k, 20 k (Wertetabelle) und stellen Sie die Verläufe im Diagrammblatt mit einfach-logarithmischer Lineatur auf Seite 9 dar.



**Abbildung 2:** Der RC-Bandpass

#### 4.5 Der Reihenschwingkreis

- Geben Sie allgemein die Übertragungsfunktion  $\underline{H}(\omega)$  für die in **Abbildung 3** dargestellte Schaltung an. Ermitteln Sie daraus den Amplitudengang  $H(\omega)$  und den Phasengang  $\varphi_H(\omega)$ .
- Bestimmen Sie für diese Schaltung allgemein die Resonanzfrequenz  $f_0$ , die zwei 45°-Eckfrequenzen  $f_{-45}$  und  $f_{+45}$ , die Bandbreite  $b_f$  und daraus die Resonanzgüte  $Q$ .
- Berechnen Sie die Spannung über der Kapazität  $C$  im Resonanzfall.



**Abbildung 3:** Der Reihenschwingkreis mit einer verlustbehafteten Spule

#### 4.6 Bestimmung des Verlustwiderstandes einer realen Spule im Reihenschwingkreis

- Leiten Sie die Formel zur Berechnung des Verlustwiderstandes  $R_L$  der Spule für die Schaltung nach **Abbildung 3** aus der Übertragungsfunktion von 4.5 bei Resonanz  $\underline{H}(\omega_0)$  her. Dabei sei  $R_M$  bekannt und  $U_A$  und  $U_E$  bei Resonanz gemessen worden.

## 5 Geräte und Baugruppen am Versuchsplatz sowie Bedienhinweise

- 1 Funktionsgenerator OR-X 310
- 1 Zweikanal-AC-Millivoltmeter GVT 427
- 1 Digitaler Phasenmesser DPM609
- 2 Bauteile Hochpass/Tiefpass (umsteckbar)
- 1 Bauteil Reihenschwingkreis
- 1 Digitalmultimeter
- 1 Digital-RLC-Meter (erhältlich beim Praktikumsassistent)

### Allgemeine Hinweise zum Messaufbau

- Achten Sie beim Schaltungsaufbau darauf, dass der **Massepunkt aller netzgeführten Geräte** am gleichen Knotenpunkt der Schaltung liegen, da diese **nicht erdfrei** sind. Die Multimeter sind davon nicht betroffen.
- Der Funktionsgenerator liefert über den BNC-Anschluss „Output“ die Eingangsspannung für die zu untersuchenden Schaltungen. Am Funktionsgenerator ist über die Funktionswahltasten eine sinusförmige Signalspannung einzustellen. Zur besseren Einstellung / Anzeige der Frequenz kann ein Digitalmultimeter eingesetzt werden.
- Mit dem Zweikanal-AC-Millivoltmeter wird am BNC-Anschluss „CH1“ der Effektivwert der Eingangsspannung (schwarzer Zeiger) und an „CH2“ der Effektivwert der Ausgangsspannung (roter Zeiger) angezeigt.  
Der Effektivwert der **Eingangsspannung ist konstant auf 1 V** zu halten. Bei Bedarf regeln Sie die Amplitude des Signals am Funktionsgenerator nach.
- Die Messung des Phasenwinkels mit dem digitalen Phasenmesser erfolgt über einen Signalvergleich zwischen der Eingangsspannung (BNC-Anschluss „A“) und der Ausgangsspannung (BNC-Anschluss „B“). Über optische Indikatoren wird das Vorzeichen des Winkels ausgegeben (negativ bei leuchtender LED „A“, positiv bei leuchtender LED „B“).
- Bei der Bestimmung von Bauteilparametern mit Hilfe des Digital-RLC-Meters sind alle weiteren Messinstrumente und Quellen von der Schaltung zu trennen, da sie sonst die Anzeige der Bauteilparameter verfälschen.

## 6 Aufgabenstellung zur Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung

### 6.1 Der Tiefpass

- Messen Sie den Amplituden- und Phasengang des RC-Tiefpasses bei folgenden Frequenzen: 20, 40, 80, 200, 400, 800, 2k, 4k, 8k, 20 kHz und der Grenzfrequenz  $f_g$ .
- Stellen Sie die Verläufe in den Diagrammen von 4.1 dar.

### 6.2 Der Hochpass

- Messen Sie den Amplituden- und Phasengang des RC-Hochpasses bei folgenden Frequenzen: 20, 40, 80, 200, 400, 800, 2k, 4k, 8k, 20 kHz und der Grenzfrequenz  $f_g$ .
- Stellen Sie die Verläufe in den Diagrammen von 4.2 dar.

### 6.3 Der doppelte Tiefpass

- Messen Sie den Amplituden- und Phasengang des doppelten RC-Tiefpasses nach **Abbildung 1** bei folgenden Frequenzen: 20, 40, 80, 200, 400, 800, 2k, 4k, 8k, 20 kHz und der Grenzfrequenz  $f_g$ .
- Stellen Sie die Verläufe in den Diagrammen von 4.3 dar.

### 6.4 Der Bandpass

- Messen Sie den Amplituden- und Phasengang des RC-Bandpasses nach **Abbildung 2** bei folgenden Frequenzen: 20, 40, 80, 200, 400, 600, 800, 1k, 2k, 4k, 8k, 20 kHz, sowie der oberen und unteren Grenzfrequenz und der Bandmittenfrequenz.
- Stellen Sie die Verläufe in den Diagrammen von 4.4 dar.

### 6.5 Der Reihenschwingkreis

- Messen Sie den Amplituden- und Phasengang des Reihenschwingkreises nach **Abbildung 3** bei folgenden Frequenzen:  
Im Frequenzbereich 400 – 600 Hz und 1000 – 1500 Hz in Schritten von 100 Hz,  
im Frequenzbereich 650 – 950 Hz in Schritten von 50 Hz,  
bei der Resonanzfrequenz  $f_0$  und bei den beiden 45°-Eckfrequenzen  $f_{-45}$  und  $f_{+45}$ .
- Bestimmen Sie messtechnisch die Güte  $Q$  durch das Messen der Spannungsüberhöhung am Kondensator bei der Resonanzfrequenz  $f_0$  mit dem Digitalmultimeter.
- Berechnen Sie die Bandbreite  $b_f$ .
- Stellen Sie den Amplituden- und Phasengang in einem Diagramm (Millimeterpapier) mit linearer Einteilung der Frequenzachse dar.

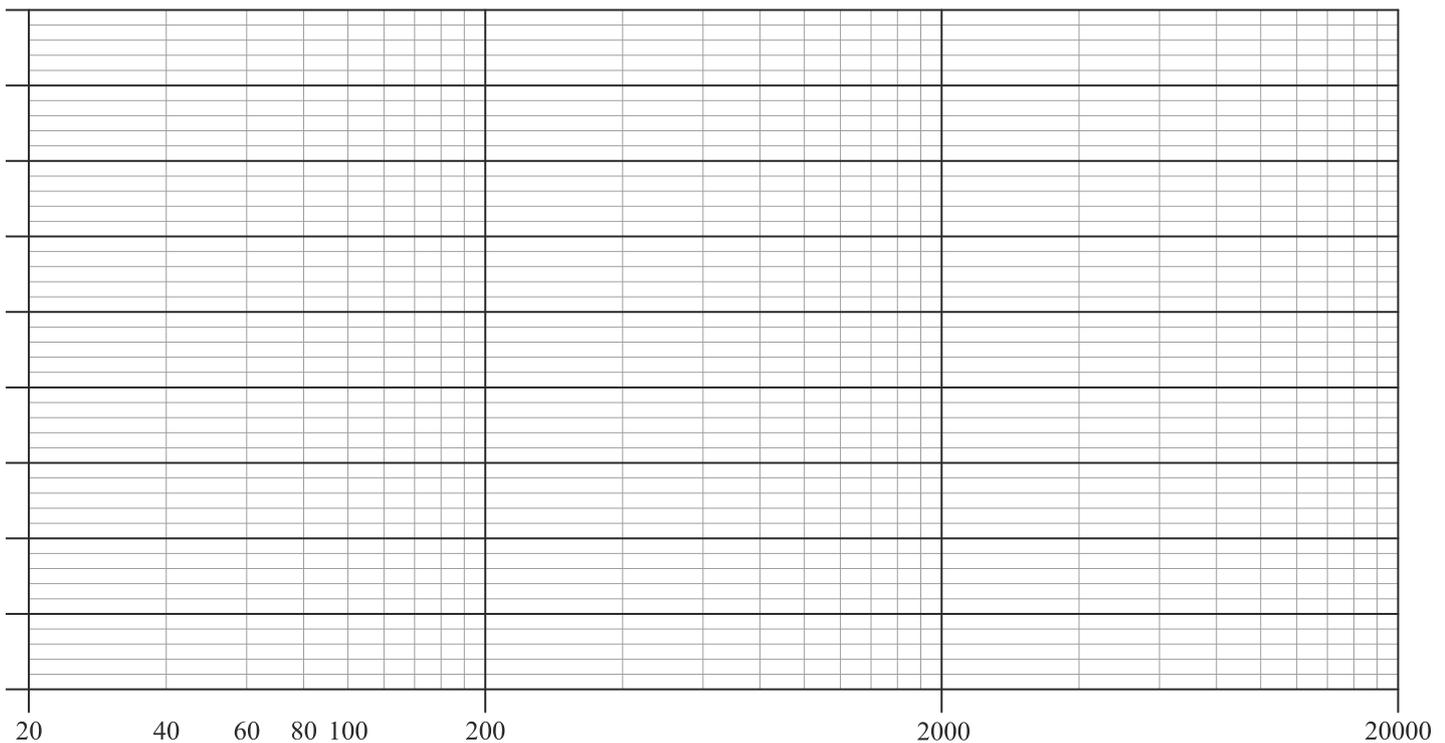
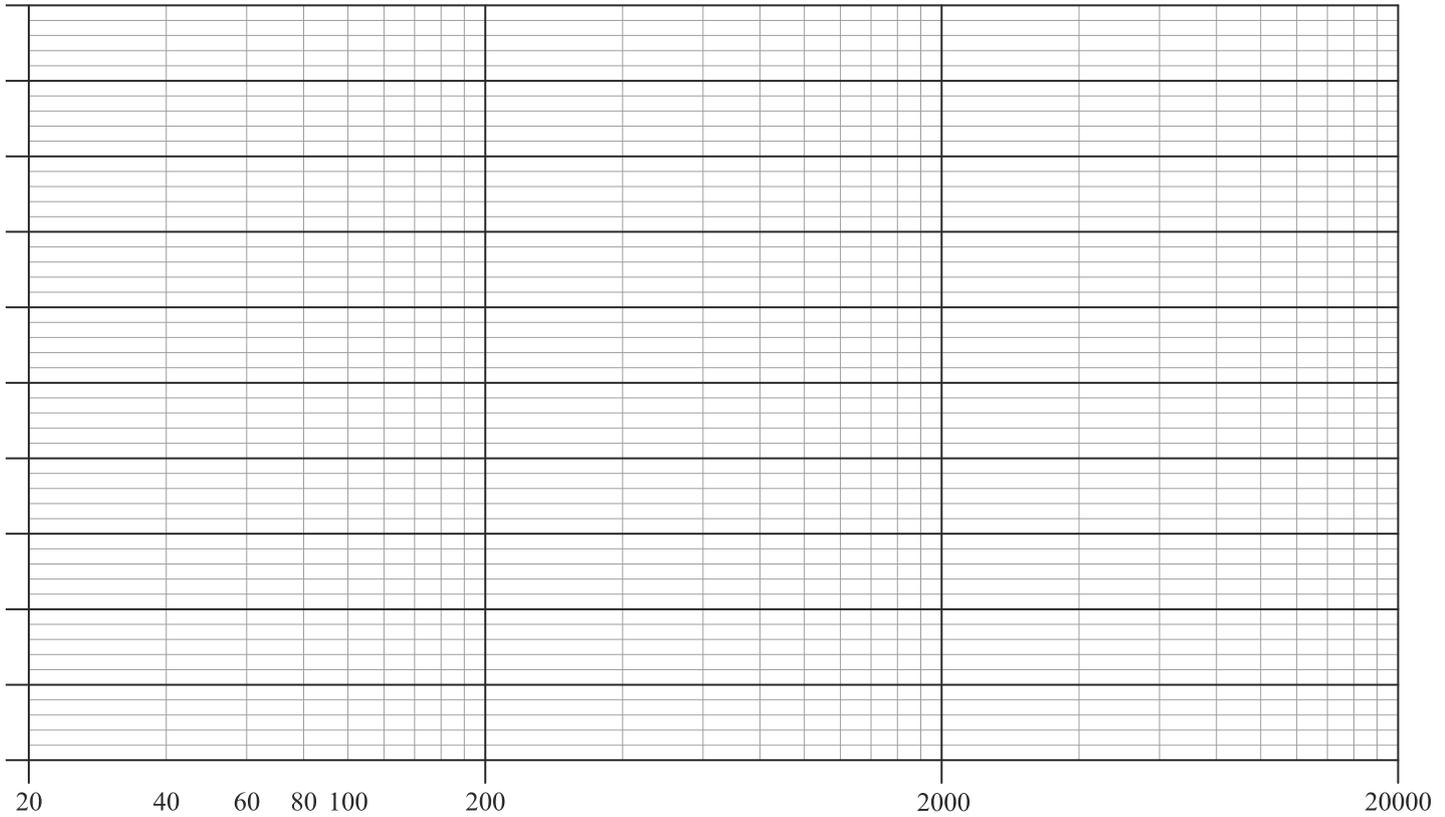
### 6.6 Bestimmung von Kenngrößen des Reihenschwingkreise aus 6.5

- Messen Sie die Bauteilparameter von  $R_M$ ,  $L$  und  $C$  mit dem Digitalmultimeter mit RLC-Meter. Berechnen Sie mit diesen Bauteilparametern und den Messwerten aus 6.5 den Widerstand  $R_L$  der realen Spule nach Ihrer Herleitung aus 4.6.
- Berechnen Sie mit den Bauteilparametern die Resonanzfrequenz  $f_0$  und die beiden 45°-Eckfrequenzen  $f_{-45}$  und  $f_{+45}$ , die Bandbreite  $b_f$  und die Güte  $Q$ .
- Berechnen Sie die Werte des Amplituden- und Phasenganges (Wertetabelle) für dieselben Frequenzen wie bei 6.5 und zeichnen Sie den Verlauf in das Diagramm von 6.5 ein.

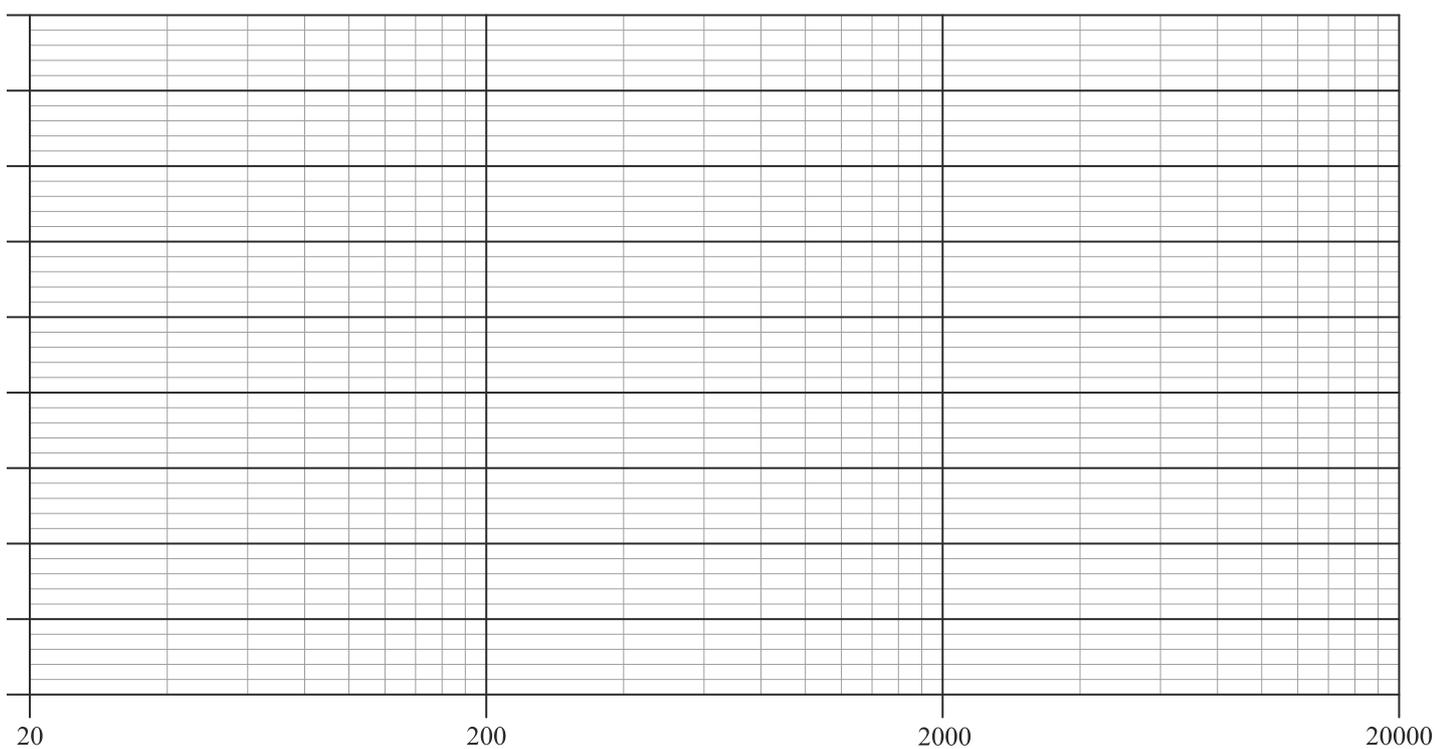
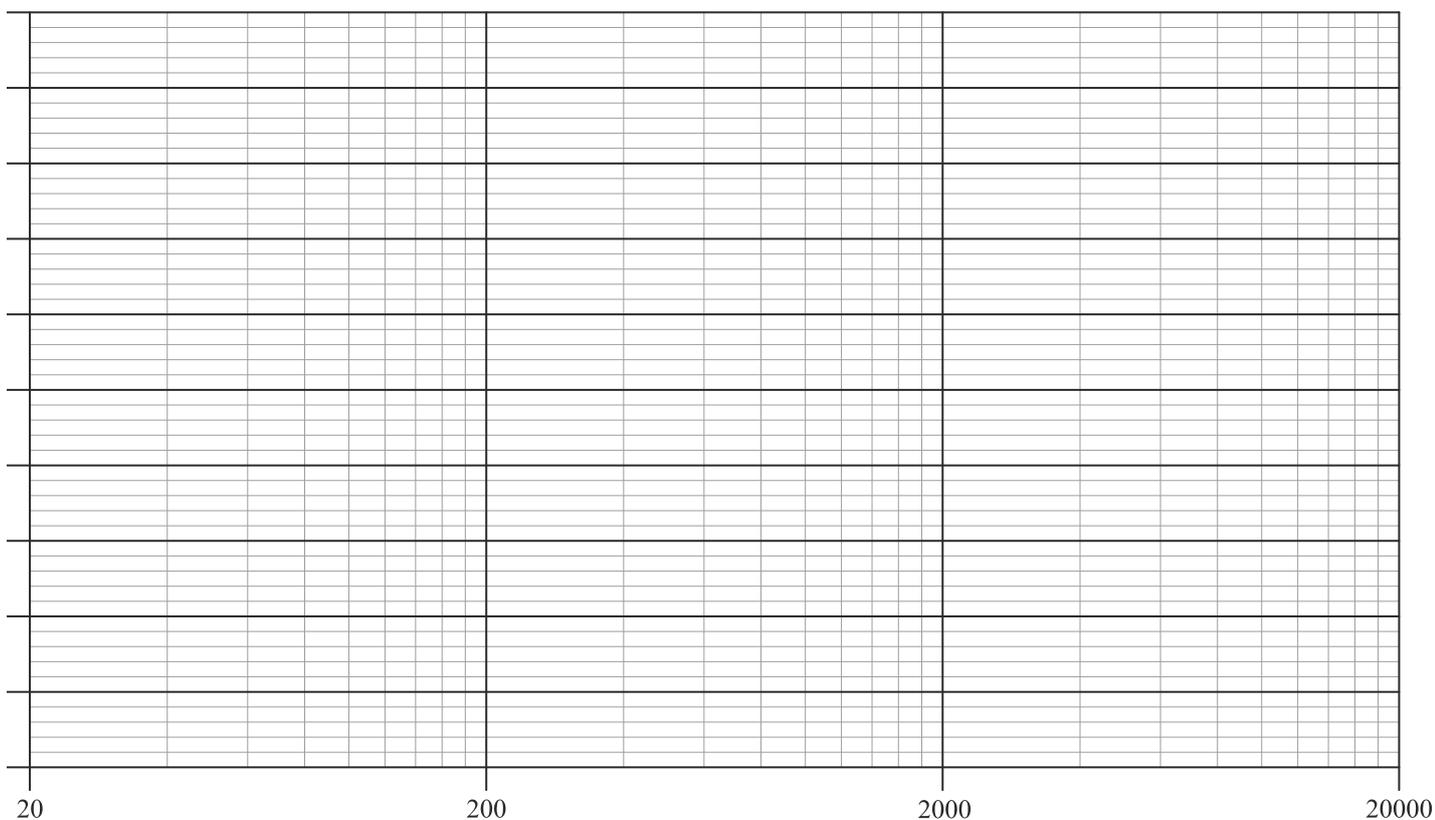
**Achten Sie darauf, dass alle Diagramme vollständig und eindeutig beschriftet sind.**

**Diskutieren Sie eventuelle Abweichungen zwischen den gemessenen und den berechneten Werten bzw. Kurvenverläufen.**

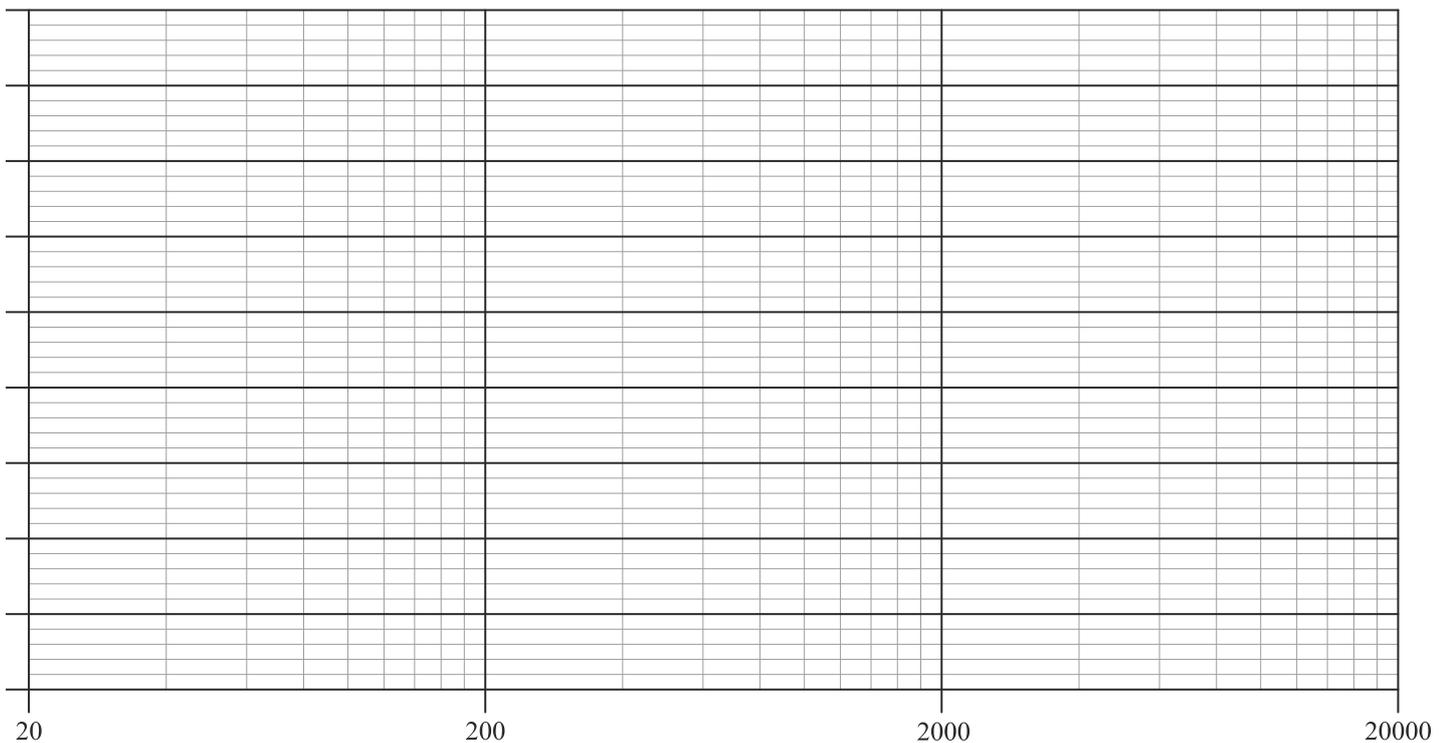
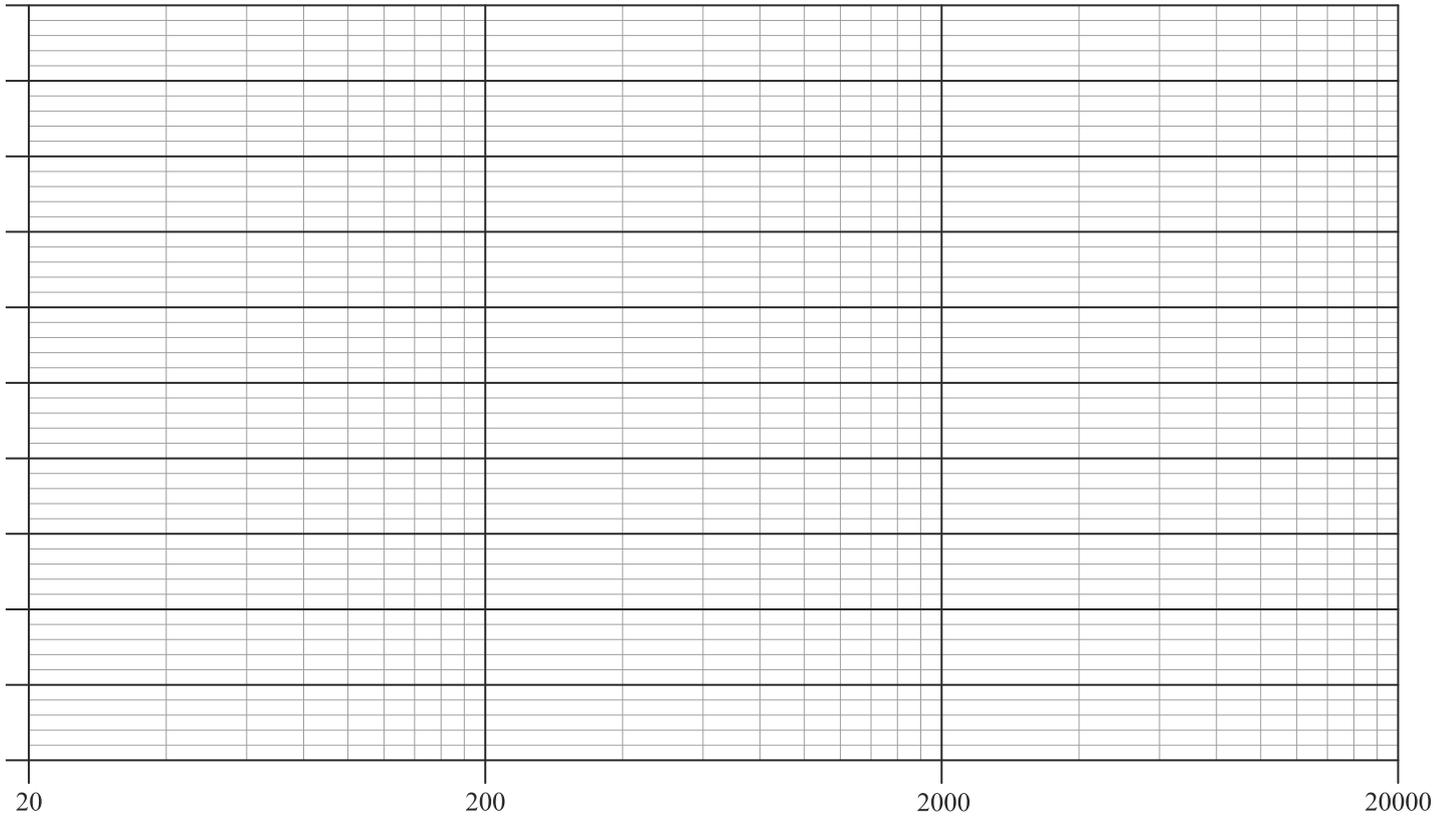
zu 4.1 / 6.1: Einfach-logarithmische Darstellung des Übertragungsverhaltens des Tiefpasses



zu 4.2 / 6.2: Einfach-logarithmische Darstellung des Übertragungsverhaltens des Hochpasses



zu 4.3 / 6.6: Einfach-logarithmische Darstellung des Frequenzganges des doppelten Tiefpasses



zu 4.4 / 6.4: Einfach-logarithmische Darstellung des Übertragungsverhaltens des Bandpasses

