



seit 1558

Friedrich-Schiller-Universität Jena

Physikalisch-Astronomische Fakultät

SS 2008

Protokollbuch

Messtechnikpraktikum

Erstellt von: Christian Vetter (89114)
Christian.Vetter@Uni-Jena.de

Helena Kämmer (92376)
HelenaKaemmer@web.de

Betreuer: A. Steppke

Erstellt am: 19. April 2008
letzte Änderung: 20. Juni 2008

Verstärker I

13. Mai 2008

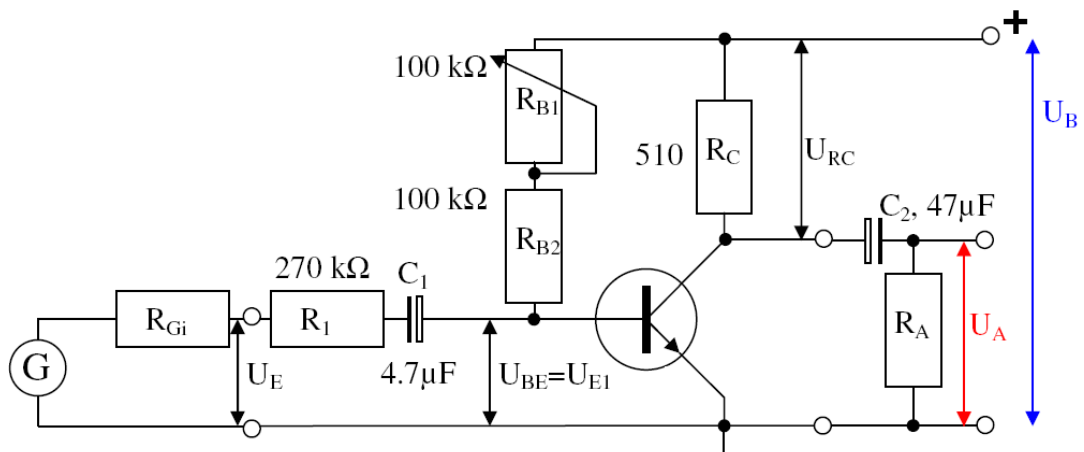
I. Aufgabenstellung

Aufgabe 1:

- **Übertrager aufbauen** und Eisenkern fixieren.
- **Übertragungsfaktor** $k(f)$ von 5Hz bis über Resonanz **aufnehmen**.
Messung mit Röhrenvoltmetern, Kontrolle mit Oszilloskop.
- **Vergleich** mit **Windungsverhältnis** und Erklärung der Abweichungen im Nieder- und Hochfrequenzbereich.

Aufgabe 2:

- **Kleinsignalverstärker** mit Transistor **aufbauen**.



$$U_B = 6V$$

- **Arbeitspunkt** bei Kurzgeschlossenem Eingang **einstellen** ($U_{CE} = U_A = 3V$).
- **Spannungsverstärkung** $V_U = \frac{U_A}{U_{E1}}$ in Abhängigkeit vom Lastwiderstand **bestimmen**.
 $f = 5\text{kHz}$. Messung mit Röhrenvoltmetern, Kontrolle mit Oszilloskop.
Als Lastwiderstände sind zu verwenden: $R_A = \infty, 100\text{k}\Omega, 10\text{k}\Omega, 2\text{k}\Omega, 1\text{k}\Omega, 100\Omega, 56\Omega$
- Frage: Welche **Phasenverschiebung** besteht zwischen Ein- und Ausgang?
- $V_U(R_L)$ grafisch darstellen. $R_L = R_C || R_A$
- Frage: Was ergibt sich für die **Stromverstärkung**?

$$V_I = \frac{I_A}{I_E} = \frac{\frac{U_A}{R_L}}{\frac{U_{E1}}{R_1}}$$

Welche Bedingung muss erfüllt sein?

Aufgabe 3:

- Einen **Widerstand** $R_E = 100\Omega$ zwischen Emitter und Masse **schalten**.
Arbeitspunkt neu einstellen!
- V_U für $R_A = \infty$ und $f = 5kHz$ **bestimmen**.
- **Darstellen und diskutieren** von U_{R_E} und U_E .
- Parallel zu R_E eine **Kondensator** $C_E = 47\mu F$ **schalten**. Wieder V_U **messen** und Veränderung diskutieren.
- Frage: **Welche Rolle** spielen R_E und C_E
- Zusatzaufgabe: Untersuchen des **Einflusses** der **Temperatur** auf Schaltung mit und ohne R_E .

II. Messwerte**Aufgabe 1:**

Windungszahlen: $n_1 = 800$
 $n_2 = 1000$

f [Hz]	5	10	15	20	25	50	100	200	500	1000	2000
U_E [V]	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0
U_A [V]	0,4	0,7	1,0	1,2	1,3	1,7	1,8	1,2	1,2	1,2	1,2
ΔU_E [V]	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
ΔU_A [V]	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

f [kHz]	5,0	7,5	10,0	13,5	15,5	17,0	21,0	22,7	23,7	24,55	25,2
U_E [V]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
U_A [V]	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,6	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
ΔU_E [V]	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
ΔU_A [V]	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

f [kHz]	26,8	27,9	29,8	30,3	30,8	31,5	31,9	32,5	33,1	33,5
U_E [V]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
U_A [V]	3,4	4,0	6,0	7,0	8,0	10,0	11,0	12,0	11,0	10,0
ΔU_E [V]	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
ΔU_A [V]	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

f [kHz]	34,4	35,7	37,9	46,5	49,3	53,4	59,9	71,3	81,3	87,0
U_E [V]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
U_A [V]	7,4	5,0	3,0	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1
ΔU_E [V]	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
ΔU_A [V]	0,10	0,10	0,10	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Aufgabe 2:

R_A [Ω]	$\infty \hat{=} 1M$	102,4k	11,1k	1957	1011	99,7	55,8	29,7
$R_L = R_A R_C$ [Ω]	511	509	489	405	340	83	50	28
U_E [V]	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
U_{E1} [mV]	7,7	7,6	7,6	7,6	8,3	8	7,7	9,9
U_A [V]	0,76	0,77	0,74	0,61	0,51	0,13	0,08	0,04
φ [$^\circ$]	180	180	180	180	180	180	180	180

Aufgabe 3:

- Für $R_A = \infty$ und $f = 5kHz$ folgt:
 $U_{E1} = 145mV$
 $U_A = 0,6V$
- Beobachtung von U_{R_E} und U_E :
Bemerkungen:
 1. Foto - gleiche Verstärkung (2V)
 2. Foto - U_A 10-fache stärkere Verstärkung
- Für $R_A = \infty$, $f = 5kHz$ und $C_E = 47\mu F$ folgt:
 $U_{E1} = 11mV$
 $U_A = 0,76V$
- Zusatzaufgabe:

	mit R_E und C_E	ohne R_E
Raumtemperatur	T=26,1 $^\circ$ C \rightarrow AP: 3,0V	T=25,4 $^\circ$ C \rightarrow AP: 3,0V
Abkühlen	T=-40 $^\circ$ C \rightarrow AP: 4,1V	T=-40 $^\circ$ C \rightarrow AP: 4,1V
	T=0 $^\circ$ C \rightarrow AP: 3,5V	T=0 $^\circ$ C \rightarrow AP: 3,5V
Erwärmen	T=63 $^\circ$ C \rightarrow AP:2,5V	

III. Auswertung**Aufgabe 1:**

f [Hz]	5	10	15	20	25	50	100	200	500	1000	2000
k	0,4	0,7	0,9	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Δk	0,05	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,11	0,11	0,11	0,11

f [Hz]	5,0	7,5	10,0	13,5	15,5	17,0	21,0	22,7	23,7	24,6	25,2
k	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,6	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
Δk	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19

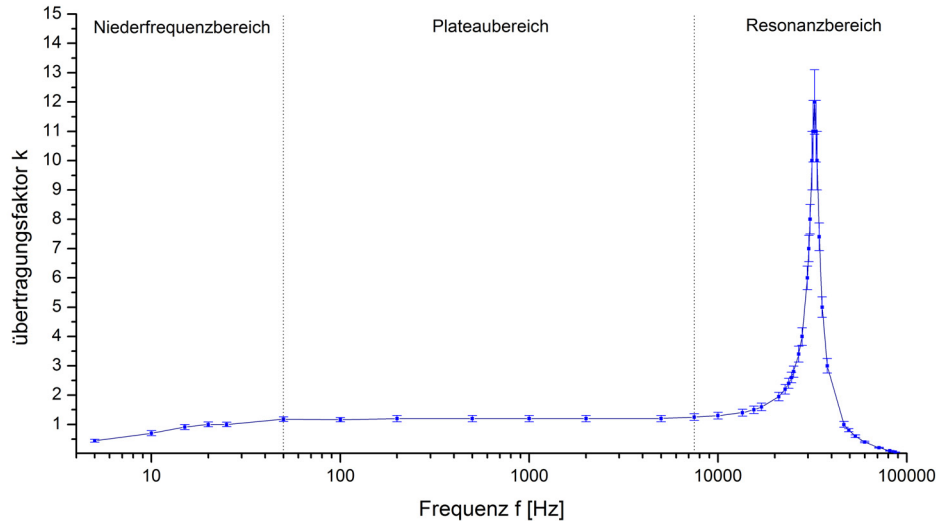
f [Hz]	26,8	27,9	29,8	30,3	30,8	31,5	31,9	32,5	33,1	33,5
k	3,4	4,0	6,0	7,0	8,0	10,0	11,0	12,0	11,0	10,0
Δk	0,27	0,30	0,40	0,45	0,50	1,00	1,05	1,10	1,05	1,00

f [Hz]	34,4	35,7	37,9	46,5	49,3	53,4	59,9	71,3	81,3	87,0
k	7,4	5,0	3,0	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1
Δk	0,47	0,35	0,25	0,10	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01

Bemerkung:

Der Fehlerwert von k wurde nach folgender, einfachen Formel ermittelt:

$$\Delta k = \frac{1}{U_E} \Delta U_A + \frac{U_A}{U_E^2} \Delta U_E$$



Der Übertragungsfaktor k ist von der Frequenz abhängig. Man kann den erhaltenen Graphen in 3 Bereiche einteilen. Im ersten steigt k nahezu linear an bis der zweite Teil erreicht wird, in welchem k über einen großen Frequenzbereich konstant bleibt. Ein Resonanzverhalten kennzeichnet den dritten Teil des Graphen. Es kommt zu einem Anstieg bis zur Resonanzfrequenz bei $f_0 = 32,5 \text{ kHz}$ und einem anschließenden Abfall des Übertragungsfaktors. Der gemessene Graph entspricht dem theoretischen Verlauf. Die Fehlerbalken wurden anhand des jeweils verwendeten Messbereiches und der Genauigkeit der Skaleneinteilung abgeschätzt.

Der Übertragungsfaktor im Arbeitsbereich (Plateaubereich) liegt bei 1,2. Aus dem Windungsverhältnis 800:1000 ergibt sich nach $k = \frac{n_2}{n_1}$ ein Wert von 1,25, was dem gemessenen Wert annähernd entspricht.

Der Zusammenhang zwischen dem Übertragungsfaktor k und den Windungszahlen n_1 und n_2 erhält man unter der Voraussetzung eines idealen Überträgers. Man vernachlässigt hierbei also Streufelder und innere Verluste und setzt den Wirkungsgrad $\eta = 1$.

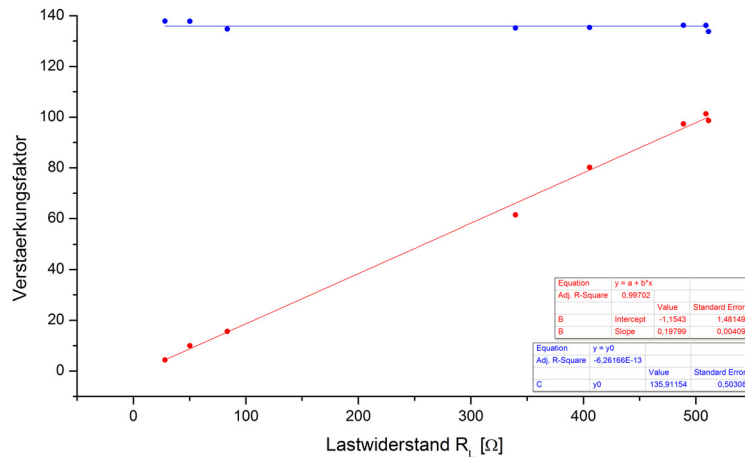
Ein realer Überträger weist jedoch, vor allem bei der Verwendung eines magnetischen Kreises einige Besonderheiten auf, was bereits der Graph der Übertragungsfunktion deutlich macht. Im hochfrequenten Bereich kommt die Abweichung durch die parasitären Kapazitäten der Spulen zustande, welche gemeinsam mit der Induktivität der Spulen einen Schwingkreis darstellen. Im niederfrequenten Bereich lässt die Induktive Kopplung der Spulen nach, sodass es zu einem geringeren Übertragungsfaktor kommt.

Aufgabe 2:

$R_L = R_A R_C [\Omega]$	511	509	489	405	340	83	50	28
V_U	98,7	101,3	97,4	80,3	61,4	15,6	10,0	4,3
V_I	133,8	136,2	136,2	135,4	135,2	134,8	137,8	137,9

Bemerkung: Die Werte ergeben sich nach folgenden Formeln:

$$V_U = \frac{U_A}{U_{E1}} \quad V_I = \frac{I_A}{I_E} = \frac{\frac{U_A}{R_L}}{\frac{U_E}{R_1}}$$



Stellt man die Spannungsverstärkung in Abhängigkeit des Lastwiderstandes dar, so ergibt sich eine lineare Abhängigkeit. Für steigenden Widerstand nimmt die Spannungsverstärkung zu. Die Stromverstärkung bleibt für alle verwendeten Widerstände nahezu konstant.

Für die Berechnung der Stromverstärkung muss beachtet werden, dass die angegebene Formel nur verwendet werden kann, wenn der Arbeitspunkt so gewählt wird, dass der Kollektorstrom nicht zu niedrig ist (siehe vollständiges Transistorkennlinienfeld). Ansonsten kommt die Kennlinie in einen nichtlinearen Bereich!

Es konnte beobachtet werden, dass die Phasenlage zwischen Ein- und Ausgang, wie theoretisch erwartet, 180° beträgt.

Aufgabe 3:

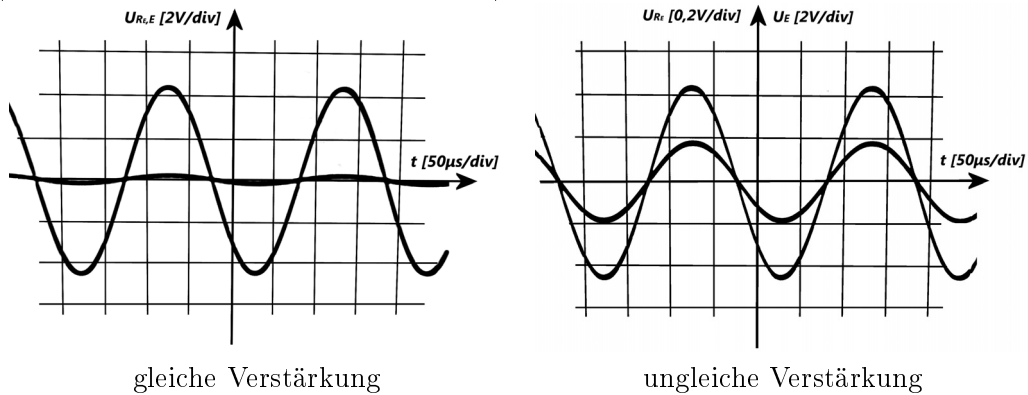
Für $R_A = \infty$ und $f = 5\text{kHz}$ ergaben sich die folgenden Werte:

Anordnung	U_{E1}	U_A	V_U
ohne R_E oder C_E	7,7mV	0,76V	98,7
mit R_E ohne C_E	145mV	0,60V	4,1
mit R_E und C_E	11mV	0,76V	69,1

Durch das Hinzuschalten von R_E wird der Spannungsteiler aus U_{R_B} und U_{B_E} durch U_{R_E} ergänzt. Es folgt eine thermische Stabilisierung des Arbeitspunktes. Als Nachteiligen Nebeneffekt ergibt sich eine extreme Abschwächung des Verstärkungsfaktors (wie in den Messwerten zu sehen).

Um diesem Nachteil entgegen zu wirken wird C_E parallel zu R_E geschaltet. Da der Arbeitspunkt nur durch einen Gleichstrom eingestellt wird, wirkt sich auch

nur eine thermische Gleichstromvarianz auf diesen aus. Hochfrequente Ströme können nun über C_E auf Masse abfließen und führen somit zu keinem zusätzlichen Spannungsabfall über R_E . Dadurch nimmt die Verstärkung wieder zu (ebenfalls in den Messwerten erkennbar).



Bei der oszillographischen Darstellung kann man erkennen, dass die Emitterspannung $U_{R_E} \approx 127mV$ eff. und die Eingangsspannung $U_E = 3V$ eff. in Phase liegen. Weiterhin ist Erkennbar, dass U_{R_E} sowohl kleiner als die Eingangsspannung U_E , als auch $U_{E1} = 145mV$ eff. ist.

Zusatzaufgabe:

Um zu zeigen, dass die Schaltung durch R_E thermisch stabilisiert wird, ist ein größerer Widerstand nötig, als der verwendete 100Ω . Aufgrund dessen konnte bei unserer Messung kein Unterschied der Arbeitspunktverschiebung zwischen der Schaltung mit und ohne R_E festgestellt werden. Bei beiden verschob sich der Arbeitspunkt um den gleichen Betrag bei gleicher Temperaturänderung, was zeigt, dass die Schaltung durch R_E nicht bzw. nicht sichtbar thermisch stabilisiert wurde.