

Protokollant: Name ☒

Kurs: Anfängerpraktikum 2

Zusammenarbeit¹ mit: Name ☐

Assistent: Name

Datum: 15. März 2021

Versuch-Nr.: 9, 10

Ab **HIER** vom Assistenten auszufüllen:



Eingangsstempel:

Rückgabedatum: _____

Bemerkungen:

☐ Protokoll OK

☐ Protokoll **nicht** OK

2. Abgabedatum: _____

Rückgabedatum: _____

Bemerkungen:

☐ Protokoll OK

☐ Protokoll **nicht** OK

3. Abgabedatum: _____

Rückgabedatum: _____

Bemerkungen:

☐ Protokoll OK

☐ Protokoll **nicht** OK

☐ Versuch bestanden

☐ Versuch **NICHT BESTANDEN**

Unterschrift Assistent: _____

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung	2
1.1 Physikalischer Hintergrund	2
2 Messmethoden	6
2.1 Versuchsaufbau	6
2.2 Schaltpläne	6
3 Versuchsdurchführung	7
4 Versuchsergebnisse	9
4.1 Diskussion der Messergebnisse	11
5 Fazit	13
6 Literatur	13

1 Aufgabenstellung

Die Versuche 9 „Kondensator und Spule im Wechselstromkreis“ und 10 „Messungen an kombinierten Wechselstromwiderständen (Resonanzkreise)“ behandelt die experimentelle Ermittlung physikalischer Größen an Kondensator und Spule im Wechselstromkreis. Zusätzlich werden Resonanzkreise behandelt. Im Folgenden werden diese Versuche in **drei Abschnitte** unterteilt:

Teil I: Versuch 9 – Teil 1, Kondensator im Wechselstromkreis.

In diesem Teil ist es Aufgabe, die Impedanz der Kondensatoren C_1 und C_2 einzeln, sowie in Parallel- und Reihenschaltung zu bestimmen. Zusätzlich sollen die Kapazitäten der Kondensatoren ermittelt werden [2].

Teil II: Versuch 9 – Teil 2, Spule im Wechselstromkreis.

Dieser Teil behandelt das Verhalten der Spulen L_1 und L_2 im Wechselstromkreis. Aufgabe ist es, zunächst den Widerstand der Spulen (bei Gleichstrom) zu ermitteln und anschließend die Impedanzen und Induktivitäten zu bestimmen. Zuletzt soll der Phasenunterschied zwischen *Strom* und *Spannung* ermittelt und interpretiert werden [2].

Teil III: Versuch 10 – Resonanzkreise.

In Teil III werden die Ergebnisse aus Teil I und II verknüpft und es soll ein Resonanzschwingkreis aus den Ergebnissen dieser Teile gebildet sowie graphisch ausgewertet werden [1].

1.1 Physikalischer Hintergrund

Teil I: Durch die Schaltung der Kondensatoren laden und entladen diese sich immer wieder in einem periodischen Kreislauf. Dabei wird während der ersten Halbwelle des Stromes der Kondensator zunächst entladen und dann nach überschreiten des Extremas mit umgekehrtem Vorzeichen wieder aufgeladen. Der Nulldurchgang des Stromes markiert dabei den Startpunkt der Entladung und der Punkt, an dem die Ladung auf den Kondensatorplatten und somit auch die Spannung am Kondensator den Maximalwert erreicht. Das bedeutet, dass die Spannungskurve um $+\frac{1}{4}$ einer Schwingungsdauer zur Stromkurve versetzt ist – dies ist eine Phasenverschiebung von $\varphi = \frac{\pi}{2}$ (Abbildung 1) [2].

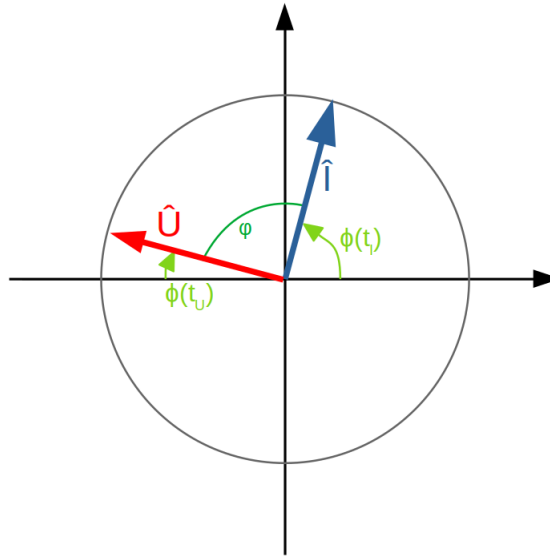


Abbildung 1: Zeigerdiagramm von **Strom** und **Spannung** am Kondensator.

Der fließende Wechselstrom im Kreis bei gegebener Spannung ist höher, je höher die Kapazität und die Frequenz sind, denn umso kürzer dauert der Ladungstransport zwischen den Kondensatorplatten. Es ergibt sich somit für den Wechselstromwiderstand:

$$\frac{U_{eff}}{I_{eff}} = Z_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (1)$$

In diesem Versuch wollen wir zudem die Parallel- und Reihenschaltung von Kondensatoren untersuchen. Dabei gilt für die Parallelschaltung der Zusammenhang

$$C_{ges} = \sum_i C_i \quad (2)$$

Für die Reihenschaltung gilt der Zusammenhang über die Kehrwerte:

$$\frac{1}{C_{ges}} = \sum_i \frac{1}{C_i} \quad (3)$$

Teil II: Bei der Spule im Wechselstromkreis verhält es sich ähnlich zum Kondensator. Wir müssen hierbei jedoch zunächst zwischen einer *idealen* Spule und einer Spule in der Realität unterscheiden. Erste bezeichnet dabei eine Spule *ohne* ohmschen Drahtwiderstand - dies ist in unserem Versuch nicht gegeben. Deshalb wollen wir zunächst den Drahtwiderstand bestimmen, der ganz einfach nach dem Ohmschen Gesetz bei **Gleichspannung** zu ermitteln ist:

$$I = \frac{U}{R} \quad (4)$$

Beim anlegen einer Wechselspannung an die Spule fließt dann ein Wechselstrom, der mit einem sich in gleichem Rhythmus ändernden Magnetfeld verbunden ist. Dieses Magnetfeld nimmt während der ersten Halbwelle des Stromes zu und mit abnehmendem Strom ebenfalls wieder ab. Nach dem **Induktionsgesetz** ist ein sich zeitlich änderndes Magnetfeld mit einer induzierten Spannung U_{ind} verknüpft. Hierbei wird das Magnetfeld durch den Strom der Spule erzeugt, weshalb beim Nulldurchgang des Stromes die Spannung an der Spule maximal ist (und im Maximum des Stromes ist sie Null). Somit besteht eine umgekehrte Phasenverschiebung zum Kondensator; die Stromkurve ist hier um $-\frac{1}{4}$ zur Stromkurve versetzt - eine Phasenverschiebung von $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ (Abbildung 2) [2].

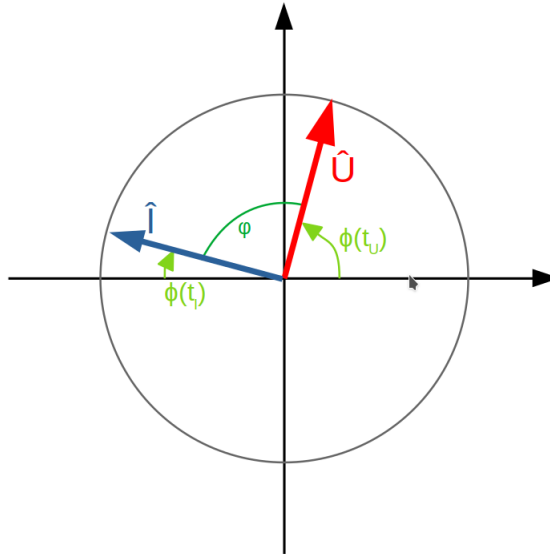


Abbildung 2: Zeigerdiagramm von **Strom** und **Spannung** an der Spule.

Der Wechselstrom, der durch die Spule fließt ist hier umso kleiner, je höher die Frequenz und je höher die Selbstinduktion (Induktivität L), da die Geschwindigkeit der Stromänderung und die Größe der Induktivität die Ausbildung des Stromes bremsen. Für die *ideale* Spule gilt hier der Zusammenhang der Größen ähnlich zum Kondensator:

$$\frac{U_{eff}}{I_{eff}} = Z_L = \omega \cdot L \quad (5)$$

In unserem Experiment besitzen wir jedoch **keine** ideale Spule und müssen somit zusätzlich den Drahtwiderstand beachten. Dafür betrachtet man Spule und Drahtwiderstand als Reihenschaltung. Es ergibt sich:

$$\frac{U_{eff}}{I_{eff}} = Z_{R+L} = \sqrt{R^2 + \omega^2 \cdot L^2} \quad (6)$$

Die Induktivität L einer Spule kann durch die Verwendung ferromagnetischer Stoffe verändert - vergrößert - werden. Dabei sind die Qualität und Einschubtiefe des Materials maßgeblich für die Auswirkungen.

Teil III: Werden eine Spule und ein Kondensator in einen Wechselstromkreis geschaltet, bilden sie einen **elektromagnetischen Schwingkreis**, wie Abbildung 3 schematisch zeigt. Dabei wollen wir Reihen- und Parallelschwingkreise betrachten [1].

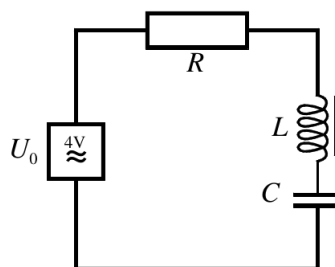


Abb. 1 Schwingkreis

Abbildung 3: Schematischer Schaltplan eines Reihenschwingkreises [1].

Wird ein Schwingkreis einmal angestoßen, führt er Schwingungen mit einer Eigenfrequenz f_E aus. Mit der Zeit wird diese Schwingung jedoch durch Dämpfungsverluste, wie ohmsche Widerstände

und die Emission elektromagnetischer Wellen, gebremst. Um dieser Dämpfung entgegen zu wirken kann man den Schwingkreis von außen periodisch anregen (Anregfrequenz f_A). Im Falle, dass die Anregerfrequenz der Eigenfrequenz des Schwingkreises entspricht ($f_A = f_E$), spricht man von **Resonanz** - großen Peaks der Amplituden von Strom und Spannung. Dabei heben sich die Beträge der Induktivität und der Kapazität zum Gesamtwiderstand auf:

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad (7)$$

Die Resonanzfrequenz ist dadurch gegeben mit

$$\omega_{res} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (8)$$

Diese Formel ist auch als THOMSON-Formel bekannt. Diese Formel können wir zur Berechnung der benötigten Kapazität in unserem Schwingkreis umstellen:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \Rightarrow \quad C = \frac{1}{\omega^2 L} \quad (9)$$

Bei einer völlig Dämpfungsfreien Schwingung kann die Resonanz die Zerstörung des Systems bewirken (*Resonanzkatastrophe*).

2 Messmethoden

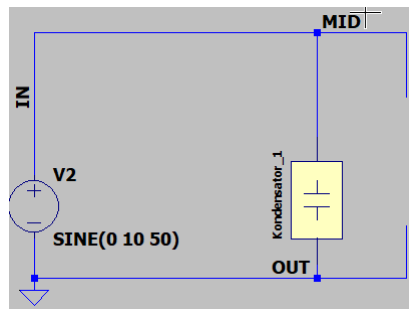
Wir führen diesen Versuch als **Simulationsversuch** mit der Software LTSpice durch².

2.1 Versuchsaufbau

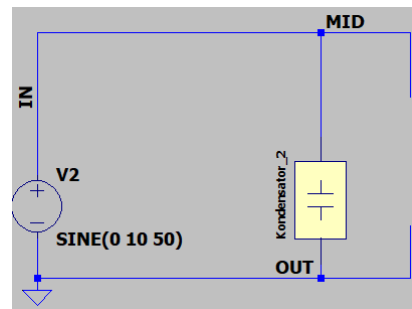
Da wir wie bereits angesprochen eine Simulation durchführen benötigen wir nur einen Computer mit der Software LTSpice. Zusätzlich haben wir für diesen Versuch einen Ordner mit den Objekten, die verwendet werden sollen, erhalten. Grundsätzlich können jedoch beliebige Kondensatoren und Spulen verwendet werden; es müssen dann nur u.U. Anpassungen vorgenommen werden.

2.2 Schaltpläne

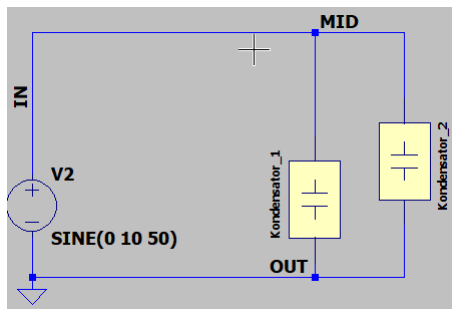
Die folgenden Schaltbilder sind screenshots aus dem Simulationsprogramm.



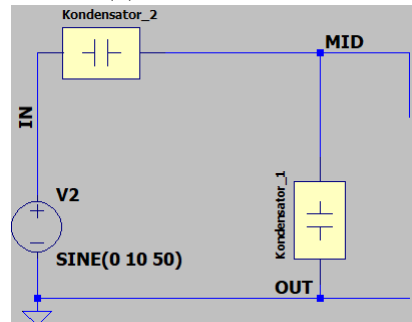
(a) Kondensator C_1 .



(b) Kondensator C_2 .

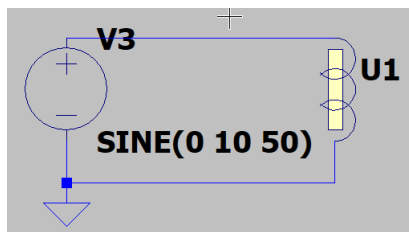


(c) Kondensator Parallelschaltung $C_{||}$.

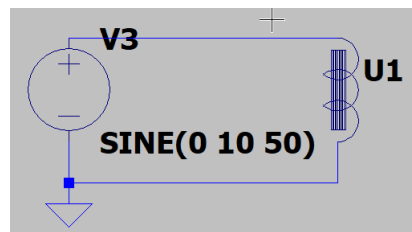


(d) Kondensator Reihenschaltung C_1 .

Abbildung 4: Schaltungen zu Teil I - Kondensator im Wechselstromkreis.



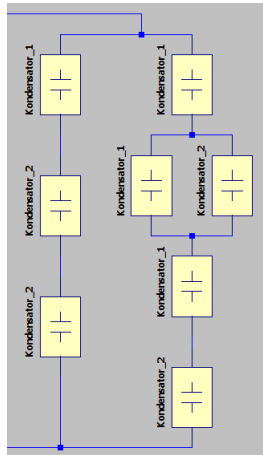
(a) Schaltung Teil II: Spule L_1 .



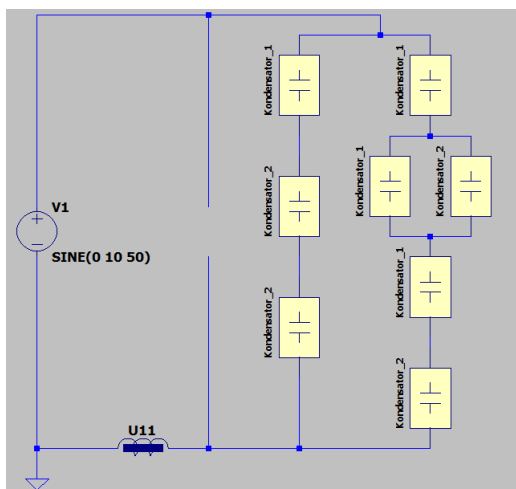
(b) Schaltung Teil II: Spule L_2 .

Abbildung 5: Schaltungen zu Teil II - Spulen im Wechselstromkreis.

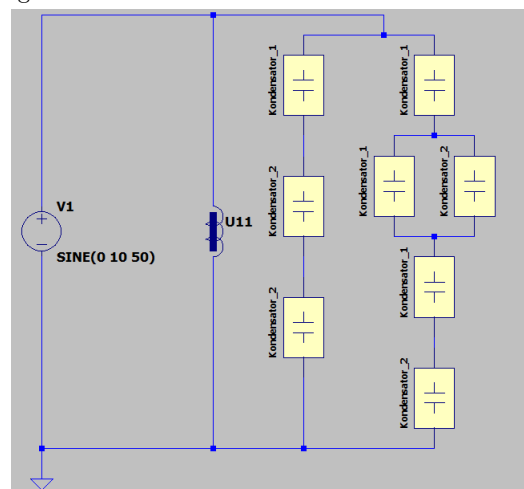
²Mehr Infos und Download: LTSpice website



(a) Aufbau der Kondensatoren für den Resonanzschwingkreis.



(b) Aufbau des Reihenschwingkreises.



(c) Aufbau des Parallelschwingkreises.

Abbildung 6: Schaltungen zu Teil III - Resonanzkreise

Auf die genaue Bedeutung und Herkunft von Abbildung 6a wird im Abschnitt zu den Versuchsergebnissen zum Resonanzkreis genauer eingegangen.

3 Versuchsdurchführung

Wir bauen die Schaltbilder der Abbildungen 4, 5 und 6 nacheinander auf.

Wir messen für die Kondensatoren die **Effektivstromstärke** I_{eff} und berechnen mit dieser und der **Effektivspannung** U_{eff} dann die Impedanz und die Kapazität der Kondensatoren in Einzel-, Parallel- und Reihenschaltung.

Für die Spulen gehen wir ähnlich vor. Auch hier wollen wir die Effektivwerte bestimmen und mit diesen die Impedanz und die Induktivität berechnen. Das Vorgehen ist analog zu dem mit den Kondensatoren, nur dass wir hier die Einschubtiefe der Kerne variieren und nur jeweils eine Einzelschaltung der beiden Spulen betrachten.

Zuletzt wollen wir aus den Komponenten noch einen elektromagnetischen Schwingkreis aufbauen. Dazu bauen wir die entsprechenden Schaltungen auf und werten den Schwingkreis graphisch aus (wieder die Effektivwerte) (Siehe auch: Versuchsergebnisse - Resonanzkreis).

Bestimmung der Effektivstromstärke I_{eff}

Wir bestimmen die **Effektivstromstärke** I_{eff} mit Hilfe des Simulationsprogrammes durch den Befehl `.meas name rms(Quelle)`. Dadurch wird die *Root-Mean-Square* über die Stromstärke am Punkt

Quelle (der Punkt sollte direkt an der Komponente liegen) gebildet und in der `.log`-Datei gespeichert. Diese kann dann ausgelesen und zur weiteren Verarbeitung genutzt werden (Mein verwendetes script ist im Appendix beigelegt).

4 Versuchsergebnisse

Teil I: Kondensator im Wechselstromkreis

Für die Berechnungen mit den Kondensatoren bestimmen wir zunächst die **Effektivspannung** U_{eff} , die durch $U_{eff} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$ gegeben ist, wobei \hat{U} die Amplitude der Spannung beschreibt. In unserem Fall beträgt die Amplitude $10V$.

Tabelle 1: Messergebnisse and den Kondensatorschaltungen.³

	$U_{eff}(V)$	$I_{eff}(A)$	$\omega(Hz)$	$Z(\Omega)$	$C(F)$
C_1	7.071	0.227349	314	31.102	$102.395 \cdot 10^{-6}$
C_2	7.071	0.0339359	314	208.365	$15.284 \cdot 10^{-6}$
$C_{ }$	7.071	0.261285	314	27.063	$117.679 \cdot 10^{-6}$
C_{\perp}	7.071	0.0295282	314	239.468	$13.299 \cdot 10^{-6}$

Aus den Messwerten für die Effektivwerte haben wir nun die Impedanzen sowie die Kapazitäten bestimmt. Wir greifen später in **Teil III** auf diese zurück.

Teil II: Spule bei Gleichstrom und im Wechselstromkreis

Ergebnisse der Spulen bei Gleichstrom: $I_{Massiv} = 0.4A$, $I_{Lamell} = 0.384A$.

Die Drahtwiderstände betragen somit (ohne Kern⁴):

$$R_{Massiv} = \frac{U}{I_{Massiv}} = \frac{5V}{0.4A} = 12.5\Omega \quad R_{Lamell} = \frac{U}{I_{Lamell}} = \frac{5V}{0.384A} \approx 13.02\Omega$$

Mit diesen Werten für den Drahtwiderstand an der jeweiligen Spule können wir die Impedanz und Induktivität der Spulen mit Gleichung 6 berechnen.

³Die Ergebnisse sind ohne absolute Fehler angegeben, da aus der Simulation mit *LTSpice* keine entnommen werden können.

⁴Die Spulen sind lediglich nach ihren Kernen benannt.

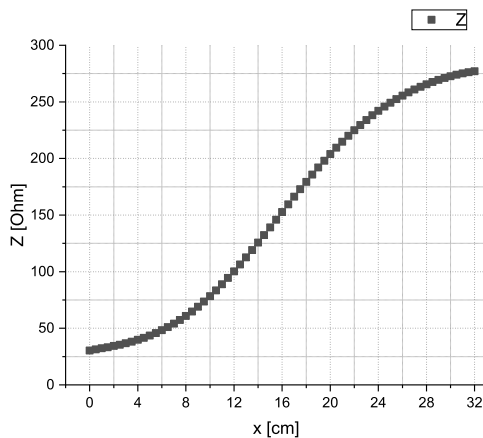
(a) Messergebnisse an der Spule 1 (Massivkern).

$x(cm)$	$I_{eff}(A)$	$U_{eff}(V)$	$\omega(Hz)$	$Z(\Omega)$	$L(H)$
0	0.233	7.072	314	30.43	0.089
0.5	0.226	7.072	314	31.373	0.092
1	0.219	7.072	314	32.325	0.095
1.5	0.213	7.072	314	33.317	0.099
2	0.206	7.072	314	34.376	0.102
2.5	0.2	7.072	314	35.53	0.106
3	0.193	7.072	314	36.806	0.111
3.5	0.185	7.072	314	38.227	0.116
4	0.178	7.072	314	39.82	0.121
4.5	0.17	7.072	314	41.605	0.127
5	0.163	7.072	314	43.604	0.134
5.5	0.155	7.072	314	45.835	0.141
6	0.147	7.072	314	48.317	0.149
6.5	0.139	7.072	314	51.063	0.158
7	0.131	7.072	314	54.085	0.168
7.5	0.124	7.072	314	57.396	0.179
8	0.116	7.072	314	60.999	0.191
8.5	0.109	7.072	314	64.903	0.203
9	0.103	7.072	314	69.106	0.217
9.5	0.097	7.072	314	73.608	0.232
10	0.091	7.072	314	78.405	0.247
10.5	0.085	7.072	314	83.487	0.263
11	0.08	7.072	314	88.843	0.281
11.5	0.075	7.072	314	94.459	0.299
12	0.071	7.072	314	100.315	0.317
12.5	0.067	7.072	314	106.39	0.337
13	0.063	7.072	314	112.662	0.357
13.5	0.06	7.072	314	119.099	0.378
14	0.057	7.072	314	125.677	0.399
14.5	0.054	7.072	314	132.361	0.42
15	0.051	7.072	314	139.121	0.442
15.5	0.049	7.072	314	145.924	0.464
16	0.047	7.072	314	152.735	0.485
16.5	0.045	7.072	314	159.52	0.507
17	0.043	7.072	314	166.252	0.528
17.5	0.041	7.072	314	172.895	0.55
18	0.04	7.072	314	179.419	0.571
18.5	0.039	7.072	314	185.803	0.591
19	0.037	7.072	314	192.025	0.611
19.5	0.036	7.072	314	198.06	0.63
20	0.035	7.072	314	203.891	0.649
20.5	0.034	7.072	314	209.506	0.667
21	0.033	7.072	314	214.893	0.684
21.5	0.033	7.072	314	220.044	0.7
22	0.032	7.072	314	224.954	0.716
22.5	0.031	7.072	314	229.618	0.731
23	0.031	7.072	314	234.039	0.745
23.5	0.03	7.072	314	238.214	0.758
24	0.03	7.072	314	242.148	0.771
24.5	0.029	7.072	314	245.846	0.782
25	0.029	7.072	314	249.311	0.793
25.5	0.028	7.072	314	252.55	0.804
26	0.028	7.072	314	255.567	0.813
26.5	0.028	7.072	314	258.376	0.822
27	0.028	7.072	314	260.978	0.831
27.5	0.027	7.072	314	263.382	0.838
28	0.027	7.072	314	265.594	0.845
28.5	0.027	7.072	314	267.622	0.852
29	0.027	7.072	314	269.471	0.858
29.5	0.027	7.072	314	271.149	0.863
30	0.026	7.072	314	272.654	0.868
30.5	0.026	7.072	314	273.995	0.872
31	0.026	7.072	314	275.178	0.876
31.5	0.026	7.072	314	276.199	0.879
32	0.026	7.072	314	277.061	0.882

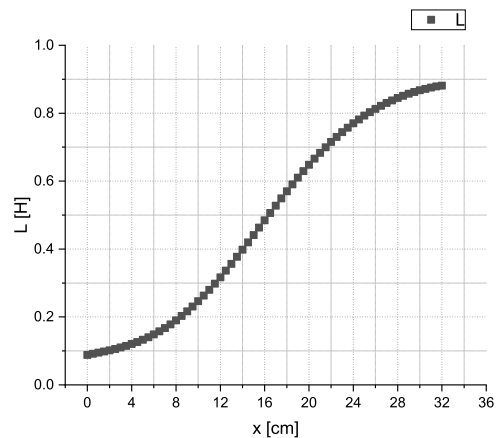
(b) Messergebnisse an der Spule 2 (lammelierter Kern).

$x(cm)$	$I_{eff}(A)$	$U_{eff}(V)$	$\omega(Hz)$	$Z(\Omega)$	$L(H)$
0	0.223	7.072	314	31.74	0.093
0.5	0.217	7.072	314	32.733	0.097
1	0.21	7.072	314	33.736	0.1
1.5	0.204	7.072	314	34.781	0.104
2	0.197	7.072	314	35.898	0.108
2.5	0.191	7.072	314	37.117	0.112
3	0.184	7.072	314	38.466	0.116
3.5	0.177	7.072	314	39.973	0.121
4	0.17	7.072	314	41.662	0.127
4.5	0.163	7.072	314	43.559	0.133
5	0.155	7.072	314	45.688	0.14
5.5	0.148	7.072	314	48.071	0.148
6	0.14	7.072	314	50.728	0.157
6.5	0.132	7.072	314	53.679	0.167
7	0.125	7.072	314	56.942	0.177
7.5	0.117	7.072	314	60.532	0.189
8	0.11	7.072	314	64.463	0.202
8.5	0.103	7.072	314	68.749	0.216
9	0.097	7.072	314	73.398	0.231
9.5	0.091	7.072	314	78.422	0.247
10	0.085	7.072	314	83.826	0.264
10.5	0.079	7.072	314	89.619	0.283
11	0.074	7.072	314	95.801	0.303
11.5	0.07	7.072	314	102.377	0.324
12	0.065	7.072	314	109.347	0.346
12.5	0.061	7.072	314	116.712	0.37
13	0.057	7.072	314	124.466	0.395
13.5	0.054	7.072	314	132.608	0.421
14	0.051	7.072	314	141.133	0.448
14.5	0.048	7.072	314	150.032	0.477
15	0.045	7.072	314	159.295	0.506
15.5	0.042	7.072	314	168.917	0.537
16	0.04	7.072	314	178.88	0.569
16.5	0.038	7.072	314	189.175	0.602
17	0.036	7.072	314	199.787	0.636
17.5	0.034	7.072	314	210.699	0.67
18	0.032	7.072	314	221.893	0.706
18.5	0.031	7.072	314	233.348	0.743
19	0.029	7.072	314	245.042	0.78
19.5	0.028	7.072	314	256.958	0.818
20	0.027	7.072	314	269.067	0.856
20.5	0.026	7.072	314	281.343	0.896
21	0.025	7.072	314	293.762	0.935
21.5	0.024	7.072	314	306.294	0.975
22	0.023	7.072	314	318.908	1.015
22.5	0.022	7.072	314	331.571	1.056
23	0.021	7.072	314	344.252	1.096
23.5	0.02	7.072	314	356.911	1.136
24	0.02	7.072	314	369.519	1.177
24.5	0.019	7.072	314	382.035	1.217
25	0.018	7.072	314	394.411	1.256
25.5	0.018	7.072	314	406.62	1.295
26	0.017	7.072	314	418.612	1.333
26.5	0.017	7.072	314	430.339	1.37
27	0.017	7.072	314	441.757	1.407
27.5	0.016	7.072	314	452.821	1.442
28	0.016	7.072	314	463.483	1.476
28.5	0.015	7.072	314	473.688	1.509
29	0.015	7.072	314	483.387	1.539
29.5	0.015	7.072	314	492.524	1.569
30	0.015	7.072	314	501.04	1.596
30.5	0.014	7.072	314	508.886	1.621
31	0.014	7.072	314	516.001	1.643
31.5	0.014	7.072	314	522.321	1.663
32	0.014	7.072	314	527.791	1.681

Tabelle 2: Messergebnisse an den Spulen.



(a) Impedanz



(b) Induktivität

Abbildung 7: Messergebnisse an der Spule 1 (Massivkern)

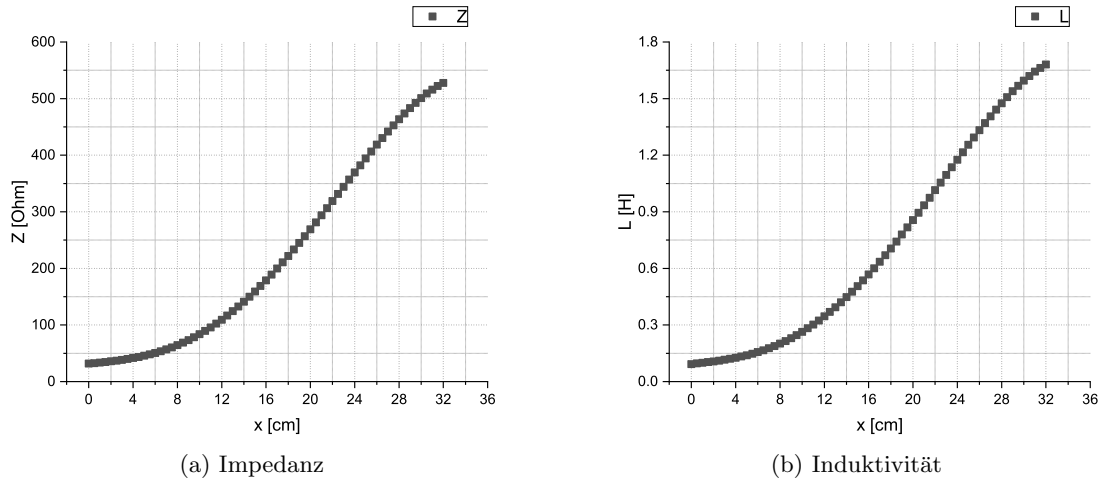


Abbildung 8: Messergebnisse an der Spule 2 (lammelierter Kern)

Teil III: Resonanzkreis

Aus Teil I kennen wir die Kapazitäten der Kondensatoren und aus Teil II die Induktivitäten. Wir legen fest, dass der Kern der Spule im Resonanzfall $x = 16\text{cm}$ tief eingeschoben sein soll. Aus der Tabelle 8 können wir die Induktivität der Spule ablesen; Die Frequenz im Kreis soll unterdessen 50Hz betragen ($\omega = 314\frac{1}{s}$). Damit können wir die benötigte Kapazität des Kondensators berechnen (Gleichung 9).

$$C_{reso} = \frac{1}{\omega^2 \cdot L_{16}} = \frac{1}{314^2 \frac{1}{s} \cdot 0.569\text{H}} \approx 17.825\mu\text{F}$$

Wir benötigen somit einen Kondensator mit einer Kapazität von rund $C_{res} \approx 17.825\mu\text{F}$. Diese Kapazität können wir durch eine Verkettung von Reihen- und Parallelschaltung der Kondensatoren C_1 und C_2 erreichen (Siehe Abbildung 6a und Appendix).

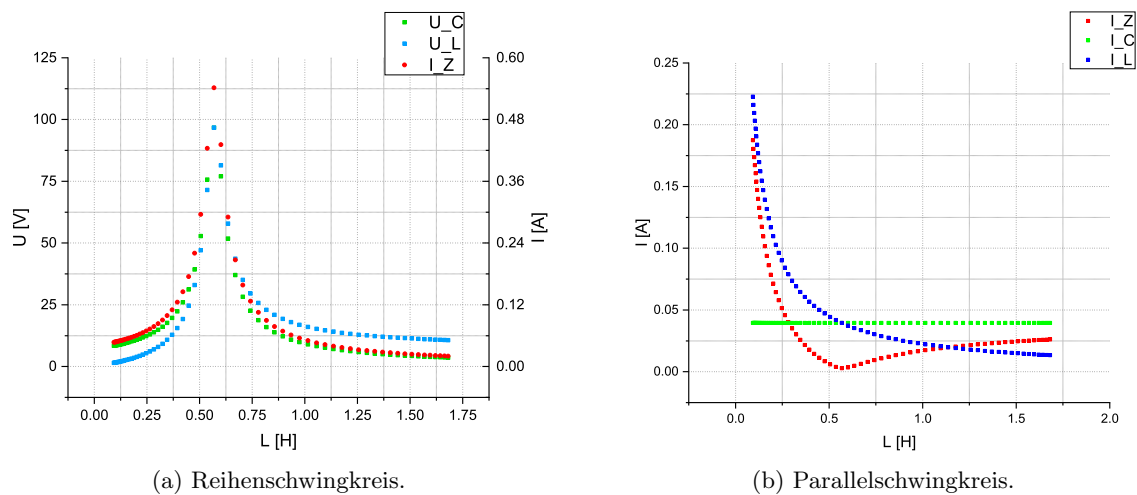


Abbildung 9: Messergebnisse an den Schwingkreisen.

Die Graphen in Abbildung 9 zeigen die Messergebnisse an den Schwingkreisen. Dabei bezeichnet U_C die Spannung am Kondensator (dem Gesamtkonstrukt), U_L die Spannung an der Spule, I_Z den Strom in der Zuleitung bzw. im Schwingkreis (an der Spannungsquelle gemessen), I_C den Strom am Kondensator (bzw. -Konstrukt) und I_L den Strom an der Spule.

4.1 Diskussion der Messergebnisse

Teil I: Wir haben die Kapazitäten bestimmt. Der Kondensator C_1 besitzt eine Kapazität von rund $102.4\mu\text{F}$ und eine Impedanz von rund 31.1Ω ; Die Werte für Kondensator C_2 sind $15.28\mu\text{F}$ und

208.37Ω.

Bei der Parallelschaltung summieren sich die beiden Kapazitäten - die Gesamtkapazität vergrößert sich -, bei der Reihenschaltung verkleinert sich die Kapazität. Für die Impedanz verhält es sich genau anders herum: bei der Reihenschaltung vergrößert sich die Impedanz durch die Addition beider Impedanzen, während sich die Impedanz der Parallelschaltung verkleinert.

Wir wollen nun noch überprüfen, ob die angegebenen Zusammenhänge bei Kondensatoren in Parallel- und Reihenschaltung bezüglich der Kapazität (Gleichungen 2 und 3) korrekt sind. Dazu berechnen wir die jeweilige Gesamtkapazität mit den gemessenen Werten für die Kondensatoren C_1 und C_2 .

$$\begin{aligned} C_{\parallel} &= \sum_i C_i & \frac{1}{C_{\parallel}} &= \sum_i \frac{1}{C_i} \\ C_{\parallel} &= C_1 + C_2 & \frac{1}{C_{\parallel}} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \\ C_{\parallel} &= 102.395\mu F + 15.284\mu F & \frac{1}{C_{\parallel}} &= \frac{1}{102.395\mu F} + \frac{1}{15.284\mu F} \\ C_{\parallel} &= 117.679\mu F & C_{\parallel} &\approx 13.299\mu F \end{aligned}$$

Die berechneten Werte stimmen mit den Messwerten aus Tabelle 1 genau überein.

Teil II: Die Messergebnisse zeigen, dass bei beiden Spulen sowohl Impedanz, als auch Induktivität mit der Einschubtiefe steigen (Abbildungen 7 und 8). Hierbei ist zu erkennen, dass das beide Größen an beiden „Enden“ asymptotisch laufen, also nicht gradlinig.

Beide Spulen besitzen dabei eine „eisenfreie Induktivität“ von rund $L_0 = 0.09H$. Bei der Spule L_1 mit dem *Massivkern* (Tabelle 2a, Abbildung 7) steigen Impedanz und Induktivität dabei auf weniger große Werte als bei Spule L_2 (Tabelle 2b, Abbildung 8). Für $x = 32$ sind die Werte für Spule zwei fast doppelt so groß, wie für Spule eins.

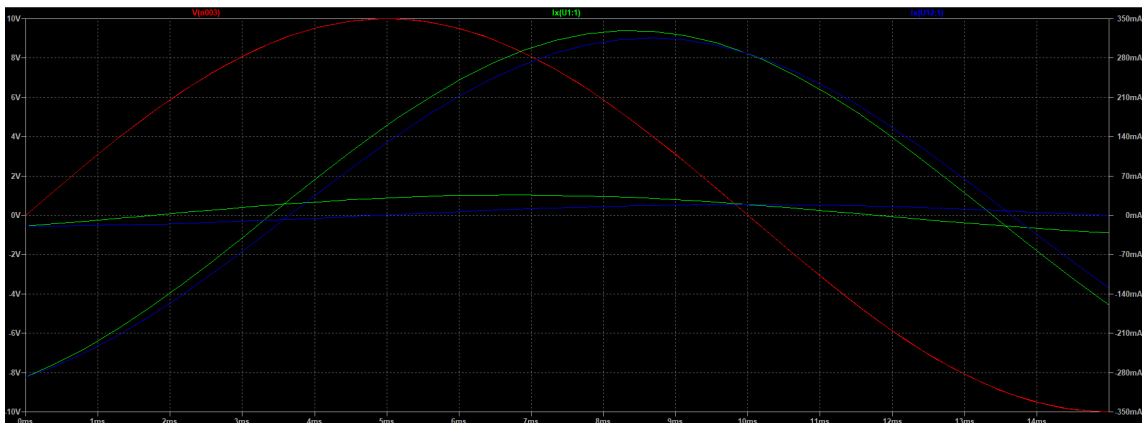


Abbildung 10: Phasen zwischen Spulenstrom beider Spulen und Gesamtspannung.

Die Abbildung 10 zeigt die Phasenverschiebung zwischen der Gesamtspannung und dem Strom an den Spulen für $x = 0cm$ und $x = 32cm$. Dabei sind die **grünen Linien** die Werte für **Spule 1** (Massivkern) **blauen Linien** zu **Spule 2**. Die flachen Kurven sind zu $x = 32cm$, die hohen zu $x = 0cm$. Die **rote Kurve** zeigt die **Gesamtspannung**.

Wir können in der Graphik sehen, dass sich die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung deutlich ändert, wenn die Kerne eingeschoben werden. Für $x = 0$ liegt die Verschiebung für beide Spulen bei rund $\Delta t = 3.5ms$ - umgerechnet eine Phasenverschiebung von $\varphi = (3.5 \div 10)\pi(rad) = 63^\circ(grad)$. Für den Massivkern ändert sich die Phasenverschiebung zu $\varphi = (0.2 \div 10)\pi(rad) = 18^\circ(grad)$ ($\Delta t = 2ms$); für den lamellierten Kern ändert es sich zu $\varphi = (5 \div 10)\pi(rad) = 90^\circ(grad)$ ($\Delta t = 5ms$).

Teil III: Die Messergebnisse (Abbildung 9) zeigen eine klare Differenz des Verhaltens zwischen Reihen- und Parallelschwingkreis. Beim Reihenschwingkreis ist zu erkennen, dass sowohl Spannung als auch Strom bei etwa $L \approx 0.57$ ein **Maximum** besitzen. Aus Tabelle 2b können wir ablesen, dass diese Induktivität bei $x = 16\text{cm}$ auftritt. Dieses Maximum stellt also unser Resonanzfall dar.

Beim Parallelschwingkreis ist in diesem Fall der Strom im Schwingkreis I_Z an einem **Minimum**. Der Strom an der Spule ist derweil identisch zu den Werten aus der Messung von Teil II (Tabelle 2b) und der Strom am Kondensator ist durchgehend konstant.

Die Messungen zeigen, dass in einem Parallelschwingkreis Spule und Kondensator quasi wie abgekoppelt voneinander sind und keine Wirkungen aufeinander zeigen. Im Reihenschwingkreis hingegen funktioniert wie in der Theorie beschrieben.

5 Fazit

Der Versuch 9 und der Versuch 10 zeigen das Verhalten von Kondensator und Spule im Wechselstromkreis und das Zusammenspiel beider Komponenten.

6 Literatur

- [1] Anfängerpraktikum 2. Versuch 10: Messungen an kombinierten Wechselstromwiderständen (Resonanzkreise). Deutsch. Institut für Angewandte Physik der Goethe-Universität Frankfurt am Main. URL: https://www.uni-frankfurt.de/49295111/Generic_49295111.pdf (besucht am 19.02.2021).
- [2] Anfängerpraktikum 2. Versuch 9: Kondensator und Spule im Wechselstromkreis. Deutsch. Institut für Angewandte Physik der Goethe-Universität Frankfurt am Main. URL: https://www.uni-frankfurt.de/49294979/Generic_49294979.pdf (besucht am 19.02.2021).

Appendix

Anbei liefere ich meine für dieses Protokoll geschriebenen Pythonscripte mit, die ich für die Bearbeitung des Versuches verwendet habe.

Datenauswertung

Anbei mein script zum Auswerten der Daten aus den **LTSpice** .log-Dateien. Es dient zum Extrahieren der .meas-Daten zum einfachen Importieren in **Origin Pro**. Die Skripte sind für die Verwendung mit **IDLE** optimiert.

```

1  """Small script to extract the LTSpice Data (logs) for usage with Origin Pro"""
2
3  def main(case: int = 0):
4      """Main method
5
6      @param case: case = 1 => add steps for core (x) in output
7      """
8
9      # Input files
10     inp_files = ["Reihenschwing", "Parallelschwing"]
11
12     for file in inp_files:
13         input_file = open(file+".log","r")
14         lines = input_file.readlines()
15
16         # Needed variables for extraction
17         transformed = []
18         data = []
19         index = -1
20         meas = False
21
22         # First two hits have to be excluded
23         curr_step = -1
24
25         # Total number of lines with data
26         max_steps = 65
27
28         if (case == 1):
29             data.append([])
30             for i in range(1,max_steps+1):
31                 step_x = (i-1)/2
32                 step_x = str(step_x).replace(".",",")
33                 data[0].append(step_x)
34
35                 index += 1
36
37         for line in lines:
38             # Indicator where the extraction should start
39             if line.__contains__("Measurement"):
40                 meas = True
41                 data.append([])
42                 index += 1
43                 curr_step = -1
44             elif (curr_step == max_steps+1):
45                 meas = False
46
47             if (meas):
48                 if curr_step > 0:
49                     # Extract the .meas data
50                     # Attention: Origin uses the format 1.000,00 for imports
51                     # (or my settings are incorrect)
52                     dat = line.split('\t')[1].replace(".",",")
53
54                     # Calculate the x (depth of core)
55                     data[index].append(dat)
56
57                 curr_step += 1
58
59         # Reformat data list
60         # data = [[1, 2, 3, 4, ...], [a, b, c, d, ...]]
61         # output = [[1, a], [2, b], [3, c], ...]
62         output = []
63         for jj in range(len(data[0])):
64             rearrange = ""
65             for ii in range(len(data)):
66                 # Tab seperated
67                 rearrange += data[ii][jj] + "\t"
68             output.append(rearrange[:-1]+"\\n")
69         print(output)
70
71         # Write data to file

```

```

72         with open(file+"_extracted.dat", "w+") as output_file:
73             output_file.writelines(output)
74
75
76
77 if __name__ == "__main__":
78     main()

```

Kapazitätenrechnung

Das folgende script dient zum Rechnen mit Kapazitäten. Ich habe es geschrieben, um einfacher mit den Kapazitäten zu rechnen und um eine Kombination der Kapazitäten für Versuch 10 (Teil III) zu ermitteln. Die *main* Methode beinhaltet die in Versuch 9 ermittelten Kapazitäten sowie die Berechnungen für die Kapazität C_{res} aus diesen.

```

1  """Small program for calculations with capacitys of condensators"""
2
3  class Cond():
4      """Class for Condensators"""
5
6      def __init__(self, c):
7          """Constructor"""
8          self.c = c
9
10     def reihe(self, caps: list):
11         """Reihenschaltung"""
12
13         values = [1 / caps[i].c for i in range(len(caps))]
14         values.append(1 / self.c)
15         return 1 / sum(values)
16
17     def para(self, caps: list):
18         """Parallelschaltung"""
19
20         values = [caps[i].c for i in range(len(caps))]
21         values.append(self.c)
22         return sum(values)
23
24
25 def main():
26     """Initialise some capacitys"""
27
28     global c1, c2, cpa, creih, cl, cr_p, cr, cges
29
30     c1 = Cond(102.395*10**(-6))
31     c2 = Cond(15.284*10**(-6))
32     cpa = Cond(c1.para([c2]))
33     creih = Cond(c1.reihe([c2]))
34
35     cl = Cond(c2.reihe([c1, c2]))
36     cr_p = Cond(c1.para([c2]))
37     cr = Cond(c1.reihe([cr_p, c1, c2]))
38     cges = Cond(cl.para([cr]))
39
40
41 if __name__ == "__main__":
42     main()

```