

Versuchsvorbereitung, Meßwerte und Versuchsauswertung zum Versuch 402 – Praktikum Meßtechnik

2.1

siehe Blatt

2.2

Die Schaltung nach Bild 2.3 ist nur in der Schalterstellung x abgleichbar.

Für die Brücke gilt die Phasenwinkel-Abgleichbedingung: $\varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_3 - \varphi_4$

2.3

Berechnung der Ortskurve $\underline{Z}(f)$ für $0 \leq f \leq 6000$ Hz:
$$\underline{Z}(f) = j\omega L_z - \frac{R_z j \frac{1}{\omega C_z}}{R_z - j \frac{1}{\omega C_z}}$$

Festwerte: $R_z = 1,5\text{k}\Omega$; $C_z = 0,05 \mu\text{F}$; $L_z = 50 \text{ mH}$

Die Ortskurve liegt auf einen gesonderten Blatt bei!

Frequenz in Hz	Polarform	Normalform
0	nicht definiert	nicht definiert
500	$1432,2\Omega e^{-7,1^\circ}$	$1421,1\Omega - j177,8\Omega$
1000	$1255,6\Omega e^{-12,1^\circ}$	$1227,4\Omega - j264,3\Omega$
1500	$1027,7\Omega e^{-13,3^\circ}$	$1000,2\Omega - j235,8\Omega$
2000	$803,4\Omega e^{-8,6^\circ}$	$794,4\Omega - j120,4\Omega$
Resonanz: 2370	$666,7\Omega$	$666,7\Omega$
2500	$629,8\Omega e^{4,1^\circ}$	$628,2\Omega + j45,4\Omega$
3000	$552,8\Omega e^{25,2^\circ}$	$500,2\Omega + j235,3\Omega$
3500	$592,8\Omega e^{47,1^\circ}$	$403,2\Omega + j434,6\Omega$
4000	$715,9\Omega e^{62,6^\circ}$	$329,4\Omega + j635,6\Omega$
4500	$878,5\Omega e^{71,9^\circ}$	$272,9\Omega + j835,0\Omega$
5000	$1056,5\Omega e^{77,5^\circ}$	$229,0\Omega + j1031,4\Omega$
5500	$1239,5\Omega e^{81,0^\circ}$	$194,4\Omega + j1224,1\Omega$
6000	$1423,2\Omega e^{83,3^\circ}$	$166,8\Omega + j1413,4\Omega$

Berechnung der Resonanzfrequenz:

$$\underline{Z}(f) = j \cdot X_{L_z} + \frac{R_z \cdot j \cdot X_{C_z}}{R_z + j \cdot X_{C_z}}$$

$$\underline{Z}(f) = \frac{X_{C_z}^2 \cdot R_z}{R_z^2 + X_{C_z}^2} + j \cdot \left(X_{L_z} + \frac{R_z^2 \cdot X_{C_z}}{R_z^2 + X_{C_z}^2} \right)$$

$$\underline{Z}(f) = \frac{\left(-\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_z} \right)^2 \cdot R_z}{R_z^2 + \left(-\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_z} \right)^2} + j \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_z + \frac{R_z^2 \cdot \left(-\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_z} \right)}{R_z^2 + \left(-\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_z} \right)^2} \right)$$

Bei Resonanz wird $\text{Im}(\underline{Z}) = 0$

$$0 = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_z + \frac{R_z^2 \cdot \left(-\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_z} \right)}{R_z^2 + \left(-\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_z} \right)^2}$$

$$2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_z \cdot \left(R_z^2 + \left(-\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_z} \right)^2 \right) = \frac{R_z^2}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_z}$$

$$4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot L_z \cdot C_z \cdot \left(R_z^2 + \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot C_z^2} \right) = R_z^2$$

$$4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot L_z \cdot C_z \cdot \left(R_z^2 + \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot C_z^2} \right) = R_z^2$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R_z^2 - \frac{L_z}{C_z}}{L_z \cdot C_z \cdot R_z^2}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_z \cdot C_z} - \frac{1}{C_z^2 \cdot R_z^2}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{50mH \cdot 0,05\mu F} - \frac{1}{(0,05\mu F)^2 \cdot (1,5k\Omega)^2}} = \underline{\underline{2,37kHz}}$$

Impedanzwert im Resonanzfall:

$$\text{Im}(\underline{Z}) = 0$$

$$\underline{Z}(f) = \frac{\left(-\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_z} \right)^2 \cdot R_z}{R_z^2 + \left(-\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_z} \right)^2}$$

$$\underline{Z}(f) = \frac{R_z}{R_z^2 (2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_z)^2 + 1}$$

$$\underline{\underline{Z(f)}} = \frac{1,5k\Omega}{(1,5k\Omega)^2 (2 \cdot \pi \cdot 2,37kHz \cdot 0,05\mu F)^2 + 1} = \underline{\underline{666,7\Omega}}$$

[3.1 bzw. 4.1](#)

Messung der Kapazität C:

Die eingestellte Frequenz $f = 995 \text{ Hz}$. Der Abgleichwiderstand wurde auf $3,33 \text{ k}\Omega$ eingestellt. Es wurde nun eine Kapazität für den Kondensator C von 6,1 nF gemessen.

$$\text{Berechnung von } C_x: \underline{C_x} = \frac{C_n \cdot R_c}{R_4} = \frac{0,2\mu F \cdot 2k\Omega}{3,33k\Omega} = \underline{120nF}$$

$$\text{Berechnung der Dämpfung: } \underline{D_x} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot R_c = 2 \cdot \pi \cdot 995 \text{ Hz} \cdot 6,1 \text{ nF} \cdot 2k\Omega = \underline{0,076}$$

$$\text{Die Güte ist der Kehrwert der Dämpfung: } \underline{Q_x} = \frac{1}{D_x} = \underline{13,1}$$

Berechnung des Verlustwinkels aus der Beziehung: $\tan \delta_x = D_x$ folgt $\delta_x = 4,36^\circ$

Aufgrund des errechneten Wertes kann man sagen, dass die Güte dieses Kondensators sehr schlecht ist.

[3.2 bzw. 4.2](#)

Die Frequenz wurde bei dieser Messung auf 996 Hz eingestellt und der Meßpunkt A wurde mit dem Meßpunkt x verbunden.

Festwerte	Meßergebnisse
$L_n = 100 \text{ mH}$	$R = 84 \Omega$
$R_n = 22,8 \Omega$	$R_2 = 3,39 \text{ k}\Omega$
$R_4 = 500 \Omega$	$R_0 = 6 \Omega$

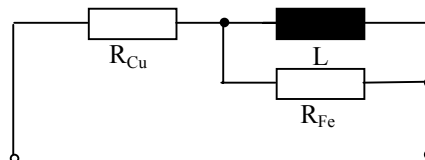
Berechnung der Induktivität L_x und des Verlustwiderstands R_x :

Einsetzen der einzelnen Größen in diese Gleichung $\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}$ und umformen nach den gesuchten Werten ergibt sich: $R_x = (R_n + R) \cdot \frac{R_2}{R_4}$ bzw. $L_x = L_n \cdot \frac{R_2}{R_4}$.

Nach dem Einsetzen der Zahlenwerte ergibt sich für $\underline{L}_x = 100 \text{ mH} \cdot \frac{3390 \Omega}{500 \Omega} = \underline{678 \text{ mH}}$ und für

$$\underline{R}_x = (22,8 \Omega + 84,0 \Omega) \cdot \frac{3390,0 \Omega}{500,0 \Omega} = \underline{724,1 \Omega}$$

Ersatzschaltbild einer Spule mit Eisenkern:



Berechnung der im Schaltbild vorkommenden Größen:

in die Spule fließt ein Strom $I = 100 \text{ mA}$ und die Frequenz $f = 1 \text{ kHz}$; mit $R_{Cu} = R_0$

Die Gesamtimpedanz läßt sich aus den oben errechneten Werten bestimmen:

$$\underline{Z}_{ges} = R_x + j\omega L_x = 724,1 \Omega + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 678 \text{ mH} = 4321,1 \Omega e^{j80,4^\circ} = 724,1 \Omega + j4260,0 \Omega$$

Nun kann man die Spannung errechnen, die an der Gesamtschaltung abfällt:

$$\underline{U}_{ges} = \underline{Z}_{ges} \cdot I = 4321,1 \Omega e^{j80,4^\circ} \cdot 0,1 \text{ A} = 432,1 \text{ V} e^{j80,4^\circ}$$

Spannung an R_{Cu} : $U_{Rcu} = I \cdot R_{Cu} = 0,1 \text{ A} \cdot 6 \Omega = 0,6 \text{ V}$

Spannung an $L \parallel R_{Fe}$: $\underline{U}_L = \underline{U}_{ges} - U_{Rcu} = 432,1 \text{ V} e^{j80,4^\circ} - 0,6 \text{ V} = 432,0 \text{ V} e^{j80,4^\circ}$

Scheinwiderstand von $L \parallel R_{Fe}$: $\underline{Z}_L = \frac{\underline{U}_L}{I} = 432,1 \Omega e^{j80,4^\circ}$

Schreibt man den Scheinwiderstand nun in Normalform so kann man unter Verwendung der Gleichung 1.4 R_{Fe} errechnen.

$$\underline{Z}_L = 718,1 \Omega + j4260,0 \Omega \quad R_{Fe} = \frac{|\underline{Z}_L|^2}{R_s} = \frac{(4320,1 \Omega)^2}{718,1 \Omega} = 25,99 \text{ k}\Omega \approx 26 \text{ k}\Omega$$

Die einzelnen Leistungen errechnen sich wie folgt:

$$P_{Cu} = I^2 \cdot R_{Cu} = 0,06 \text{ W} \quad P_{Fe} = \frac{|\underline{U}_L|^2}{R_{Fe}} = \frac{(432,0 \text{ V})^2}{26 \text{ k}\Omega} = 7,18 \text{ W} \quad P_{ges} = P_{Cu} + P_{Fe} = 7,24 \text{ W}$$

Probe: $P = I^2 \cdot R_x = 7,24 \text{ W}$

[3.3 bzw. 4.3](#)

Für die Messungen unterhalb der Resonanzfrequenz wird die Schaltung wie in Bild 2.4 aufgezeichnet verwendet. Zur Messung des Resonanzpunktes wird der Kondensator C_n aus der Schaltung entfernt und durch eine Drahtbrücke ersetzt. Beim Messen oberhalb des

Resonanzpunktes wird nun der Kondensator C_n zwischen den Meßpunkt C und der Spule L_x geschaltet.

Frequenz in Hz	C_n in μF	R_n in Ω	
498,5	1,960	1497	unterhalb der Resonanzfrequenz
995,1	0,620	1300	
1515,0	0,460	1064	
2011,0	0,700	850	
2330,0		710	Resonanzpunkt
2504,0	1,200	649	oberhalb der Resonanzfrequenz
3019,0	0,210	521	
3507,0	0,100	431	
3997,0	0,061	352	
4509,0	0,041	294	
4999,0	0,030	250	
5508,0	0,023	220	
6018,0	0,018	185	

Frequenz in Hz	$\underline{Z}(f)$	$\underline{Z}(f)$ aus 2.3	
498,5	$1497,0\Omega - j162,9\Omega$	$1421,1\Omega - j177,8\Omega$	unterhalb der Resonanzfrequenz
995,1	$1300,0\Omega - j258,0\Omega$	$1227,4\Omega - j264,3\Omega$	
1515,0	$1064,0\Omega - j228,4\Omega$	$1000,2\Omega - j235,8\Omega$	
2011,0	$850,0\Omega - j113,1\Omega$	$794,4\Omega - j120,4\Omega$	
2330,0	$710,0\Omega$		Resonanzpunkt
2504,0	$649,0\Omega + j53,0\Omega$	$628,2\Omega + j45,4\Omega$	oberhalb der Resonanzfrequenz
3019,0	$521,0\Omega + j251,0\Omega$	$500,2\Omega + j235,3\Omega$	
3507,0	$431,0\Omega + j453,8\Omega$	$403,2\Omega + j434,6\Omega$	
3997,0	$352,0\Omega + j652,8\Omega$	$329,4\Omega + j635,6\Omega$	
4509,0	$294,0\Omega + j860,9\Omega$	$272,9\Omega + j835,0\Omega$	
4999,0	$250,0\Omega + j1061,3\Omega$	$229,0\Omega + j1031,4\Omega$	
5508,0	$220,0\Omega + j1256,3\Omega$	$194,4\Omega + j1224,1\Omega$	
6018,0	$185,0\Omega + j1469,3\Omega$	$166,8\Omega + j1413,4\Omega$	

3.4 bzw. 4.4

	Kondensator	Spule ohne Eisenkern	Spule mit Eisenkern
Reihenersatzschaltung	119,97nF	23,8mH	687mH
Parallelersatzschaltung	119,20nF	23,9mH	668mH
Güte Q	12,5	23,7	5,9
Dämpfung D	0,0806	0,0422	0,171
\underline{Z} und φ	$1,33k\Omega e^{-j85,4^\circ}$	$150\Omega e^{-j87,6^\circ}$	$4,26k\Omega e^{-j80^\circ}$
$\text{Re}(\underline{Z})$ und $\text{Im}(\underline{Z})$	$106\Omega - j1327\Omega$	$6,3\Omega + j150\Omega$	$715\Omega + j4,2k\Omega$
\underline{Y}	$751,3\mu S e^{j85,4^\circ}$	$6,6mS e^{-j87,6^\circ}$	$234\mu S e^{-j80^\circ}$
$\text{Re}(\underline{Y})$ und $\text{Im}(\underline{Y})$	$60\mu S + j748\mu S$	$280\mu S - j6,66mS$	$40\mu S - j231\mu S$

Messung am Übertrager:

$L_s = 5,3H$	$L_g = 43mH$	$L_1 = 1,12H$	$L_2 = 1,55H$
--------------	--------------	---------------	---------------

Bestimmung der Gegeninduktivität: $M = \frac{1}{4}(L_s - L_g) = 1,31H$