

# 实验二十七：交流电桥

朱寅杰 1600017721

2018 年 3 月 30 日

实验中使用的 ZX-96 型电阻箱，其允差为 0.1  $\Omega$  档 2%，1  $\Omega$  档 0.5%，10  $\Omega$  及以上档 0.1%。电感箱允差为 2%。电容箱 100nF 档允差为 0.5%，10nF 档允差为 0.65%，1nF 档允差为 2%，0.1nF 档允差为 5%。

## 27.1 测量电容器的电容与损耗电阻

电路图如书上图 27.2 所示。测量时信号源频率选用  $\omega/2\pi = 999.35 \text{ Hz}$ 。

测量纸卷电容器时，取  $R_1 = R_2 = 600 \Omega$ ，电桥平衡时， $C_0 = 228.0 \text{ nF}$ ， $R_0 = 2.6 \Omega$ ，中间电表读数为 0.29 mV。那么电容和损耗电阻就分别是 228.0 nF 和 2.6  $\Omega$ ，损耗  $\tan \delta = R_C C \omega = 3.722 \times 10^{-3}$ 。

600  $\Omega$  的电阻箱允差为千分之一，228.0 nF 的电容箱的允差为 1.29 nF，2.6  $\Omega$  的电阻箱的允差为 0.022  $\Omega$ 。于是电容测量值的相对不确定度为  $\sqrt{2(0.1\%)^2 + (1.29/228)^2}/\sqrt{3} = 3.37 \times 10^{-3}$ ，故电容测量值为  $(228.0 \pm 0.8) \text{ nF}$ ；电阻测量值的相对不确定度为  $\sqrt{2(0.1\%)^2 + (0.022/2.6)^2}/\sqrt{3} = 4.95 \times 10^{-3}$ ，故电阻测量值为  $(2.600 \pm 0.001) \Omega$ 。损耗角的相对不确定度也由此算出为  $3.605 \times 10^{-3}$ ，损耗角为  $\tan \delta = (3.722 \pm 0.013) \times 10^{-3}$ 。

测量电解电容器时，取  $R_1 = 500 \Omega$ ， $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$ ，电桥平衡时， $C_0 = 668.0 \text{ nF}$ ， $R_0 = 32.1 \Omega$ ，中间电表读数为 0.06 mV。那么电容和损耗电阻就分别是 668.0 nF 和 3.21  $\Omega$ ，损耗  $\tan \delta = R_C C \omega = 0.1346$ 。

500  $\Omega$  和 5k 的电阻箱允差为千分之一，668.0 nF 的电容箱的允差为 3.55 nF，32.1  $\Omega$  的电阻箱的允差为 0.042  $\Omega$ 。于是电容测量值的相对不确定度为  $\sqrt{2(0.1\%)^2 + (3.55/668.0)^2}/\sqrt{3} = 3.18 \times 10^{-3}$ ，故电容测量值为  $(6.68 \pm 0.02) \mu\text{F}$ ；电阻测量值的相对不确定度为  $\sqrt{2(0.1\%)^2 + (0.042/32.1)^2}/\sqrt{3} = 1.11 \times 10^{-3}$ ，故电阻测量值为  $(3.210 \pm 0.006) \Omega$ 。损耗角的相对不确定度也由此算出为  $3.363 \times 10^{-3}$ ，损耗角为  $\tan \delta = 0.1346 \pm 0.0005$ 。

## 27.2 测量电感器的电感与电阻

先用麦克斯韦桥测，电路图如书上图 27-4 所示。 $L_0 = 6 \text{ mH}$ ， $R_{L0} = 4.57 \Omega$ ， $R_1 = 4800 \Omega$ 。电桥平衡时  $R_2 = 4784.2 \Omega$ ， $R_0 = 16.4 \Omega$ ，电表读数为 0.99 mV。故电感测量值为  $L_x = L_0 R_1 / R_2 = 6.0198 \text{ mH}$ ，电阻为  $R_L = 21.039 \Omega$ 。

计算不确定度，电感箱允差为 2%； $R_1$  和  $R_2$  都很大，允差直接按千分之一估计。合成允差时，千分之一比起百分之二忽略不计，因此电感测量值的不确定度即为  $2\%/\sqrt{3} = 1.155 \times 10^{-2}$ ，写作  $L_x = (6.02 \pm 0.07) \text{ mH}$ 。16.4  $\Omega$  的允差为 0.048  $\Omega$ ，合成允差得到  $R_L$  的相对不确定度为  $1.55 \times 10^{-3}$ ，因此写作  $R_L = (21.04 \pm 0.03) \Omega$ 。

再用麦克斯韦-维恩桥测，电路图如书上图 27-3 所示。 $R_1 = R_2 = 100 \Omega$ ，电桥平衡时  $R_0 = 469.7 \Omega$ ， $C_0 = 601.9 \text{ nF}$ ，电表读数 0.16 mV。故电感测量值为  $L_x = C_0 R_1 R_2 = 6.019 \text{ mH}$ ，电阻测量值为  $R_L = R_1 R_2 / R_0 = 21.29 \Omega$ 。

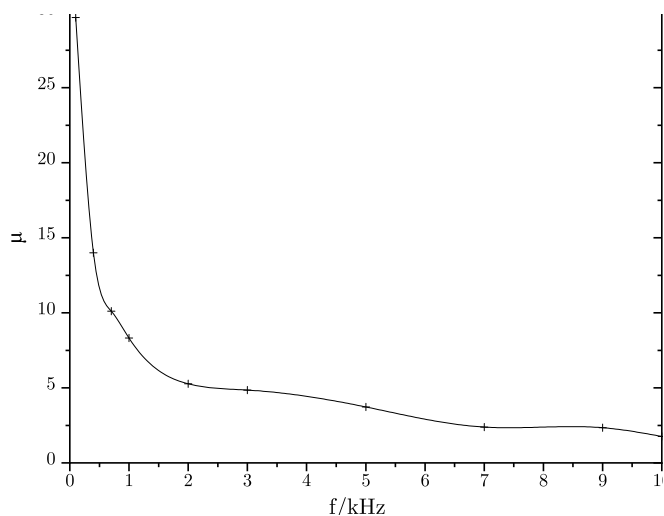
计算不确定度， $R_1$  与  $R_2$  允差按千分之一计， $R_0$  的允差有 0.519  $\Omega$ ， $C_0$  的允差有 3.065 nF。因此  $L_x = (6.02 \pm 0.02) \text{ mH}$ ， $R_L = (21.29 \pm 0.02) \Omega$ 。 $Q = \omega C_0 R_0 = 1.775 \pm 0.005$ 。

实验时二者收敛速度差不多。

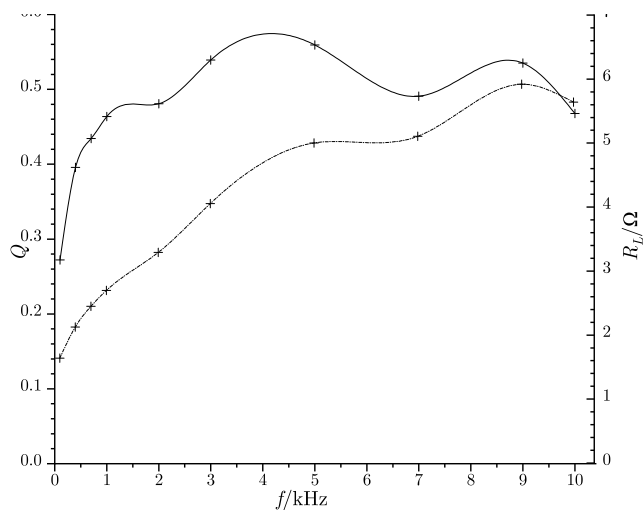
## 27.3 测量磁环的电感与电阻

测量的样品是 11 号磁环， $D = 8.56 \text{ cm}$ ， $S = 2.00 \text{ cm}^2$ ，共计 160 匝。使用麦克斯韦-维恩桥（图 27-3）进行测量， $R_1 = R_2 = 100 \Omega$ 。数据记录见下表。

$f/\text{kHz}$	0.1	0.4	0.7	1	2	3	5	7	9	10
$R_0/\Omega$	6102.6	4701.6	4081.6	3707.7	3036.8	2465.8	1999.8	1957.8	1689.7	1772.6
$C_0/\text{nF}$	71.0	33.5	24.2	19.9	12.6	11.6	8.9	5.7	5.6	4.2
$L/\text{mH}$	0.710	0.335	0.242	0.199	0.126	0.116	0.089	0.057	0.056	0.042
$R_L/\Omega$	1.63865	2.12694	2.45002	2.69709	3.29294	4.05548	5.0005	5.10777	5.91821	5.64143
$Q$	0.27224	0.39585	0.43443	0.46359	0.48084	0.53916	0.55915	0.49082	0.53508	0.46778
$\mu$	29.67578	14.00195	10.11484	8.31758	5.26641	4.84844	3.71992	2.38242	2.34062	1.75547



(a) 线圈磁导率（与电感成正比）随频率的变化。



(b) 线圈的电阻与  $Q$  值随频率的变化。实线为  $Q$  值，虚线为电阻。

## 27.4 思考题

电桥中间的电表示数正比于  $|Z_1 Z_4 - Z_2 Z_3|$ 。在麦克斯韦-维恩桥中， $Z_2 Z_3$  是一个已知的纯电阻，调节  $R_0$  和  $C_0$  改变  $Z_4$  的实部和虚部即可。简单的数学计算表明控制两个参量中其中一个而改变另一个， $Z_4$  会在复平面中过原点的一个圆上移动，这个圆与坐标轴相切（控制  $R_0$  不变则与实轴相切，控制  $C_0$  不变则与虚轴相切）。反复迭代调节，每次都使得  $Z_4$  距离目标点最近就行。