

桥臂参量对交流电桥灵敏度的影响

李 彪, 林一乔

(北京邮电大学 物理实验中心, 北京 100876)

摘 要: 通过选取不同的桥臂参量, 探讨交流电桥的灵敏度变化的问题, 得出麦克斯韦电桥测电感时选取的最佳桥臂参量.

关键词: 交流电桥; 灵敏度; 电桥平衡; 最佳参量

中图分类号: O441.1 文献标识码: A 文章编号: 1005-4642(2006)特-0127-03

1 引 言

用交流电桥测量元件阻抗、电容或电感时, 选取不同的桥臂参量就会得到不同的测量结果, 这反映了桥臂参量的选择会影响交流电桥的灵敏度. 我们利用麦克斯韦电桥测电感实验, 通过选取不同的桥臂参量进行测量, 来探讨交流电桥的灵敏度的变化, 说明桥臂参量与灵敏度的关系, 并从中得出麦克斯韦电桥的灵敏度较高时, 桥臂参量的取值范围, 从而使测量的结果更可靠, 以便日后的实验可直接引用.

2 实验原理

交流电桥的灵敏度 \tilde{S} , 可以通过某一桥臂阻抗 \tilde{Z} 的微小变化量 $\Delta\tilde{Z}$ 引起的平衡指示器显示的不平衡电压 \tilde{U} 表示, 即 $\tilde{S} = \frac{\tilde{U}}{\Delta\tilde{Z}/\tilde{Z}}$. 由于测量用的平衡指示器只能反映有效值, 因此在实际中是用

$\tilde{S} = \left| \frac{\tilde{U}}{\Delta\tilde{Z}/\tilde{Z}} \right|$ 来计算交流电桥的灵敏度.

交流电桥如图 1 所示, 桥臂复阻抗分别为 $\tilde{Z}_1, \tilde{Z}_2, \tilde{Z}_3, \tilde{Z}_4$, 平衡时 $U_{cd} = 0$, 有 $\frac{\tilde{Z}_1}{\tilde{Z}_2} = \frac{\tilde{Z}_3}{\tilde{Z}_4}$. 当其中

任意一桥臂, 例如 \tilde{Z}_3 有一微小增量变为 $\tilde{Z}_3 + \Delta\tilde{Z}_3$, 且 $\Delta\tilde{Z}_3 \ll \tilde{Z}_3$ 时, 电桥失去平衡. 在 $Z_y = \infty$ 的假设条件下, 不平衡电压

$$\tilde{U}_{cd} = \tilde{U}_{cd} - \tilde{U}_{ac} = \left(\frac{\tilde{Z}_3 + \Delta\tilde{Z}_3}{\tilde{Z}_3 + \Delta\tilde{Z}_3 + \tilde{Z}_4} - \frac{\tilde{Z}_1}{\tilde{Z}_1 + \tilde{Z}_2} \right) \tilde{U}_{ab} =$$

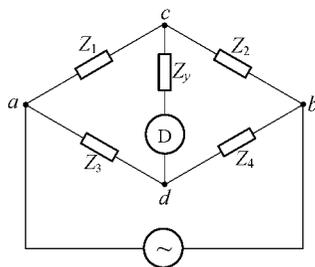


图 1 交流电桥

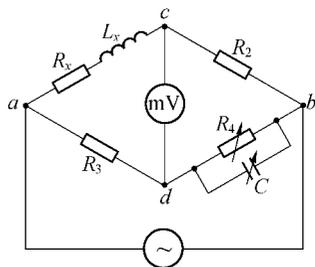


图 2 麦克斯韦电桥

$$\begin{aligned} \frac{(\tilde{Z}_2(\tilde{Z}_3 + \Delta\tilde{Z}_3) - \tilde{Z}_1\tilde{Z}_4)}{[(\tilde{Z}_3 + \Delta\tilde{Z}_3) + \tilde{Z}_4](\tilde{Z}_1 + \tilde{Z}_2)} \tilde{U}_{ab} &= \\ \frac{\tilde{Z}_2\Delta\tilde{Z}_3}{(\tilde{Z}_1 + \tilde{Z}_2)(\tilde{Z}_3 + \tilde{Z}_4)} \tilde{U}_{ab} &= \\ \frac{\tilde{Z}_2}{\tilde{Z}_1} \cdot \frac{\Delta\tilde{Z}_3}{\tilde{Z}_3} \tilde{U}_{ab} &= \\ \left(1 + \frac{\tilde{Z}_2}{\tilde{Z}_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{\tilde{Z}_4}{\tilde{Z}_3}\right) &= \\ \frac{\Delta\tilde{Z}_3}{\tilde{Z}_3} \frac{A}{(1+A)^2} \tilde{U}_{ab} & \end{aligned}$$

收稿日期: 2006-05-12

作者简介: 李彪 (1986-), 男, 湖南邵阳人, 北京邮电大学电子工程学院 2004 级本科生.

指导教师: 陈以方 (-) 北京邮电大学物理实验中心

其中 $A = \frac{\tilde{Z}_1}{\tilde{Z}_2} = \frac{\tilde{Z}_3}{\tilde{Z}_4} = ae^{j\theta}$, $\theta = \theta_2 - \theta_1$. 令 $K =$

$\frac{A}{(1+A)^2}$, 可得出交流电桥的灵敏度

$$\tilde{S} = \frac{\tilde{U}_{cd}}{\Delta \tilde{Z}_3 / \tilde{Z}_3} = \frac{A}{(1+A)^2} \tilde{U}_{ab}.$$

对一定的 U_{ab} , $|K|$ 越大, 则灵敏度也就越高. 那么如何使 $|K|$ 达到最大值呢? 因为

$$|K| = \left| \frac{A}{(1+A)^2} \right| = \frac{a}{1+2a\cos\theta+a^2},$$

$$a = \frac{|\tilde{Z}_1|}{|\tilde{Z}_2|} = |ae^{j(\theta_2 - \theta_1)}|,$$

令 $\frac{\partial K}{\partial a} = 0$, $\frac{\partial K}{\partial \theta} = 0$, 可知 $|K|$ 值最大时对应的 a

及 θ 值, 即当 $a=1, \theta = \pm\pi$ 时, $|K|$ 有最大值.

由此可见, 为了获得较高的灵敏度, 应力求使指零仪表对角线两侧的桥臂阻抗幅值尽量接近

$$1, \text{ 即 } a = \frac{|\tilde{Z}_1|}{|\tilde{Z}_2|} = \frac{|\tilde{Z}_3|}{|\tilde{Z}_4|} \approx 1.$$

麦克斯韦电桥是利用一已知可调电容测量未知电感, 如图 2 所示. 根据交流电桥平衡的条件

可以导出

$$L_x = R_2 R_3 C,$$

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_4}.$$

又因为 $A = \frac{\tilde{Z}_3}{\tilde{Z}_4} = \frac{R_3}{\frac{1}{j\omega C} // R_4} = \frac{R_3}{R_4} + j\omega C R_3$, 所以 $a =$

$$\sqrt{\left(\frac{R_3}{R_4}\right)^2 + (2\pi f C R_3)^2}.$$

通常使用的电感可以等效为一个理想电感 L_x 和 1 个损耗电阻 R_x 的串联, 设待测电感为 $\tilde{Z}_1 = R_x + j\omega L_x$; C 和 R_4 作为调节平衡的 2 个可调参量, 分别为电容箱和电阻箱; R_2 和 R_3 分别为纯电阻元件; 是测量时需要设置的固定参量. 但选取 R_2 和 R_3 多大时可以使电桥灵敏度较高呢? 于是我们期待着通过考察 R_2 和 R_3 之间的比例情况, 探求其对电桥灵敏度的影响.

3 测量数据及结论

选取 R_2 与 R_3 的不同比值的测量结果记录如表 1 所示, 其中 $f=1 \text{ kHz}$, $U_{ab}=2 \text{ V}$.

表 1 R_2 与 R_3 比值不同时的测量结果

R_2/Ω	R_3/Ω	R_4/Ω	$C/\mu\text{F}$	L_x/mh	R_x/Ω	a	$ K $	$R_2 : R_3$
4 000.0	200.0	5 100.000	0.040	32.000	156.863	0.064	0.004	20.000
3 000.0	200.0	3 800.000	0.053	31.980	157.895	0.085	0.007	15.000
2 400.0	200.0	3 040.000	0.067	32.112	157.895	0.107	0.010	12.000
2 000.0	200.0	2 540.000	0.081	32.200	157.480	0.128	0.014	10.000
1 800.0	200.0	2 260.000	0.089	32.076	159.292	0.143	0.017	9.000
1 600.0	200.0	1 999.000	0.100	32.000	160.080	0.161	0.021	8.000
1 400.0	200.0	1 760.000	0.115	32.060	159.091	0.183	0.027	7.000
1 200.0	200.0	1 507.000	0.134	32.160	159.257	0.214	0.035	6.000
1 000.0	200.0	1 257.000	0.162	32.300	159.109	0.258	0.048	5.000
800.0	200.0	1 000.000	0.200	31.984	160.000	0.321	0.069	4.000
600.0	200.0	749.000	0.266	31.920	160.214	0.428	0.107	3.000
400.0	200.0	499.400	0.408	32.624	160.192	0.650	0.190	2.000
200.0	200.0	251.500	0.817	32.680	159.046	1.299	0.394	1.000
200.0	400.0	499.600	0.410	32.832	160.128	1.306	0.396	0.500
200.0	600.0	750.000	0.269	32.292	160.000	1.292	0.391	0.333
200.0	800.0	1 000.000	0.200	32.000	160.000	1.285	0.388	0.250
200.0	1 000.0	1 255.000	0.165	32.980	159.363	1.307	0.397	0.200
200.0	1 200.0	1 505.900	0.137	32.976	159.373	1.307	0.397	0.167
200.0	1 400.0	1 755.000	0.118	32.928	159.544	1.306	0.397	0.143
200.0	1 600.0	2 050.000	0.102	32.672	156.098	1.289	0.394	0.125
200.0	1 800.0	2 260.000	0.092	33.048	159.292	1.309	0.398	0.111
200.0	2 000.0	2 527.400	0.083	33.200	158.265	1.309	0.399	0.100
200.0	2 400.0	3 029.400	0.069	33.216	158.447	1.310	0.399	0.083
200.0	3 000.0	3 793.000	0.055	33.240	158.186	1.310	0.399	0.067
200.0	4 000.0	5 100.000	0.042	33.280	156.863	1.307	0.399	0.050

根据测量结果绘出的 $|K| - R_2 : R_3$ 曲线如图 3 所示.

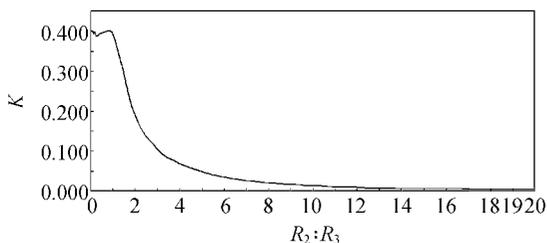


图 3 $|K| - R_2 : R_3$ 曲线

从曲线上可以看出:当 $R_2 : R_3 < 1$ 时,灵敏

度较高;当 $R_2 > R_3$ 时灵敏度急剧下降. 因此实验时最好选 $R_2 < R_3$. 而且可以看出在 $1 : 5 \sim 1 : 7$ 时 2 种比例臂的 a 都是比较接近 1 的,灵敏度最高. 一般的为了获得较高的灵敏度,应力求使指零仪表对角线两侧的桥臂阻抗幅值尽量接近 1.

参考文献:

- [1] 肖井华,蒋达娅,陈以方,等. 大学物理实验教程[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2005.
- [2] 唐统一. 交流电桥[M]. 北京:机械工业出版社,1988.
- [3] 阮永顺. 交流电桥原理[M]. 北京:计量出版社,1986.

Sensitivity of alternating current Bridge with different bridge parameters

LI Biao, LIN Yi-qiao

(The laboratory center of physics, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: The changing of the sensitivity of AC bridge is discussed with different bridge parameters. As a conclusion, the most appropriate bridge parameters are obtained for measuring inductance with Maxwell Bridge.

Key words: AC bridge; sensitivity; equilibrium of electric bridge; the most appropriate parameter