

Rubicon Instruments Model 1071N

Rubicon Instruments 惠斯通电桥 1071N

05/28/2020 William Xu

摘要

惠斯通电桥(Wheatstone Bridge)由查尔斯·惠斯通(Charles Wheatstone)于1833 发明,用于测量未知的电阻值,并通过使用长电阻滑线来校准测量仪器,电压表,电流表等。尽管如今的数字万用表提供了最简单的测量电阻的方法,惠斯通电桥仍可用于测量毫欧($0.00005\ \Omega - 2\ \Omega$)范围内的极低电阻。应该指出,今天一般的数字万用表对极低电阻几乎无法测量,所以即使 70 年前的电桥产品今天还有实用意义。

本文以 Rubicon Instruments 1071N 惠斯通电桥(1948)为例介绍电桥的基本使用法。在本文的最后一章还介绍两种德国出产的电桥(1947, 1948), 其中有一台可以测量小至 0.05 毫欧的极低电阻, 非常值得一看。



图 1. Rubicon Instruments 1071N 惠斯通电桥

1. 惠斯通电桥的基本原理

图 2 显示了电桥的基本原理图. 该图是一个最基本的测量直流电阻的线路. 实际上惠斯通电桥稍微做一些改动还可以测量交流电感, 电容等等. 这个将在在本文的最后一章介绍两种德国出产的电桥时描述.

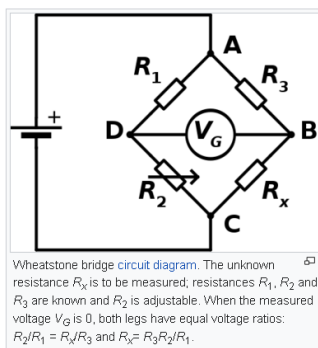


图 2. 惠斯通电桥的基本原理图.

1.1 电桥的结构

从图 2 中可以看到电桥总共才六个零件: R_1 , R_2 , R_3 , R_x , 测量电桥平衡的电表 V_g 和电池. 其中 R_x 是等待测量的电阻, R_2 是调节电桥平衡的可变电阻.

1.2 电桥的使用

调节电阻 R_2 , 可以看到电表 V_g 的指示量在不停的变化. 到电表的指示到达零值的时候, 显示电桥处于平衡状态. 这个时候通过 R_1 , R_2 , R_3 的关系就可以算出待测电阻 R_x 的值.

II. Rubicon Instruments 1071N 惠斯通电桥

2.1 惠斯通电桥 1071N 的控制面板

图 3 是 Rubicon Instruments 1071N 惠斯通电桥的控制面板. 为了与图 2 的电桥原理图比较, 在图 3 中我们标出了电表 V_g , 调节电桥平衡的电阻 R_2 和待测电阻 R_x .



图 3. Rubicon Instruments 惠斯通电桥 1071N

2.2 惠斯通电桥 1071N 电桥的使用

2.2.1 步进电阻箱(R2)

从图 2 我们知道调节可变电阻 R2 待电表的指示到达零值的时候, 电桥处于平衡状态. 在 1071N 电桥中, R2 是一个步进电阻箱(图 3). 它总共有六个旋钮:

5 个电阻设置旋钮: X 0.1 Ω , X 1 Ω , X 10 Ω ,
X 100 Ω , X 1,000 Ω .

1 个电阻倍数旋钮: MULTIPLY BY (1, 10, 100,
1,000, 10,000)

2.2.2 请注意这里还有一个测量按钮(图 3).

惠斯通电桥 1071N 还有一个测量按钮. 按下这个按钮电桥的电池接通, 这个时候开始测量, 电表有指示.

2.2.3 测量步骤

- 1) 接通待测电阻 R_x
- 2) 把步进电阻箱拨到与待测电阻 R_x 电阻相近的值.
- 3) 按测量按钮, 试看电表指示的正负, 相应微调(减/加)电阻箱的值直到电表指示为零.
- 4) 最后电阻箱的值就是待测电阻的精确值.

2.2.4 测量实例

- 1) 把一个 1/4 瓦的 1K(1,000 Ω) 电阻接到 R_x 两个端点.
- 2) 把步进电阻箱拨到 999.0 Ω , MULTIPLY BY = 1.
- 3) 按测量按钮, 电表指示的值偏正. 微减电阻箱的值直到电表指示为零.
- 4) 这个时候步进电阻箱面板值是 997.0 Ω . 这个值应该是这个 1K 电阻的精确值.
- 5) 为了验证这个值, 用 Fluke 80 数字万用表再测, 得到的值是 997.8 Ω .
- 6) 应该相信哪一个值比较精确? 在这一点上我选择相信电桥. 电桥的电阻用稳定的电阻丝制成并且在出厂时

做精确校正，虽然经过 70 年可能它的值不会有太大的变化。

以上各节描述了惠斯通 1071N 电桥的基本用法。其实它还有很多其它的功能和应用方法。感兴趣的读者可以参见附录，“惠斯通 1071N 电桥的其它的功能”。

III. 介绍两种德国出产的电桥

下面介绍我收藏中的另外两台电桥。它们分别是德国 H & B 公司 1947 和 1948 年出厂的 Jnkavi 和 Pontavi。这两台小巧的电桥各有千秋：Jnkavi 是一种专门用来测试电感和电容的电桥；Pontavi 是一种专门用来测量毫欧 ($0.00005\ \Omega - 2.1\ \Omega$) 范围内极低电阻的电桥。今天普通的数字万用表还是无法测量极低电阻，所以这一台德国 Pontavi 电桥今天还有实用意义。

3.1 德国 H & B 公司的 Jnkavi 电桥

H & B, (HARTMANN & BRAUN) 是德国的一家电子仪器公司。1948 年生产的一种电桥 Jnkavi 专用于测试电感和电容。



图 4. 德国 H & B 公司的 Jnkavi 电桥

大家都知道测量电感和电容需要交流电压用作测试电源。这台机器的奥妙就在于用 4.5 伏电池产生交流电的方法。看了它的线路图才明白当年的设计师用了一个聪明而简单的办法解决了这个问题。见图 5。

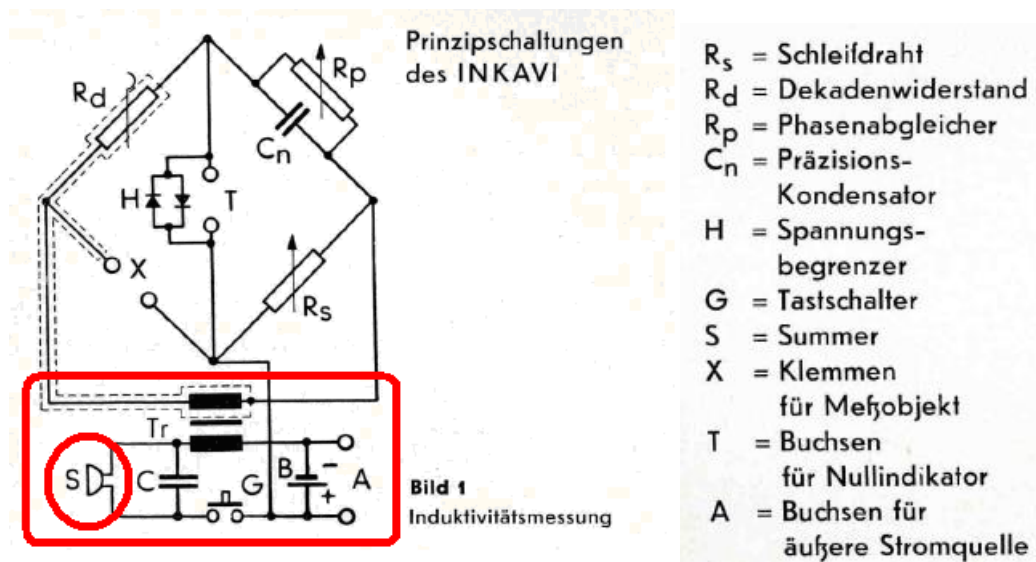


图 5. 德国 H & B 公司 Jnkavi 电桥线路图

看图上有一个 S 的符号，注解中写着 S = Summer。这当然是德文。翻成英文，才知道这是 Buzzer(蜂鸣器)。其实他的思想就是当年汽车收音机用振动子把 12 伏电瓶电压产生 350V 直流高压供电子管使用的方法。在我这用台仪器测试电容器的时候，按下测试按钮 G，马上就听到蜂鸣器声响。

真不错，70 年以后这个蜂鸣器还能发声。知道好多人迷信德国工业产品的质量，或许这就是一个例子吧！

从说明书我们可以看到它的测量范围是：

电感： 0.1 - 1 - 10 mH

0.1 - 1 - 10 H

电容： 1 - 10 - 100 nF

1 - 10 - 100 uF

旋转图 6 红圈里面的旋钮可以选择测量的范围：H, mH, nF, uF 等等。

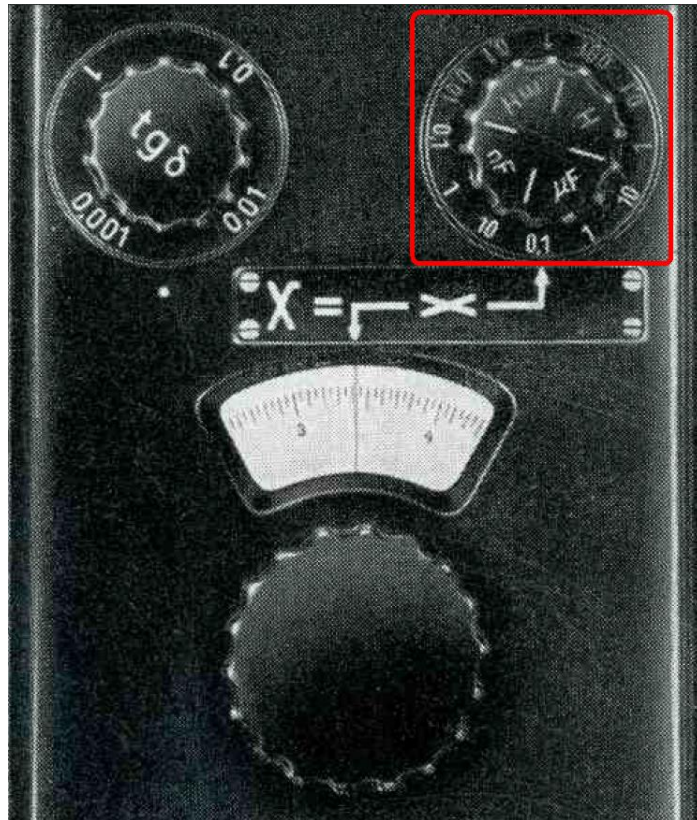


图 6. 旋转图中红圈里面的旋钮可以选择测量电容/电感测量的范围

图 7 告诉我们怎样使用这台仪器：

- 1) 测试电源(4.5V) 必须外接.
- 2) 旋转旋钮 1 选择测量电容/电感测量的范围
- 3) 待测的电容或电感接在 X 接线端子的两端.
- 4) 电桥平衡指示电表接在两端的 T 上.
- 5) 按测量按钮 G.
- 6) 旋转旋钮 3, 2 寻找平衡点.
- 7) 平衡点下的读数 4 经过下列运算



就是被测电容/电感的数值.

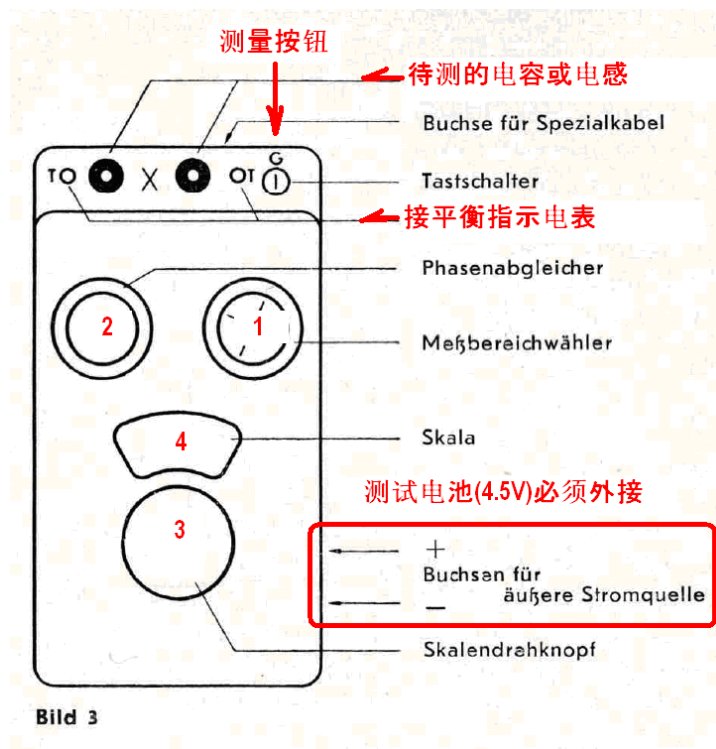


图 7. Jnkavi 电桥面板布置图

3.2 德国 H & B 公司的 Pontavi 电桥



图 8. Pontavi 电桥是一种专测极低电阻的电桥

德国 H & B 公司的 Pontavi 电桥是一种专测极低电阻的电桥。细看图 8 右边的放大图，我们可以发现它有 X1, X0.1, X0.01, X0.001 等等不同的量程范围。注意到旋转旋钮的最小刻度为 0.05，那么它最小可以测量到的电阻为 $0.05 \times 0.001 = 0.00005 \Omega$ 。也就是 0.05 毫欧 ($m\Omega$)。

没有找到它的说明书，但是注意到这个旋转刻度的最大值是 2.1，量程范围最大值是 X1，所以这个电桥的测试范围应该是 ($0.00005 \Omega - 2.1 \Omega$)，也就是 (0.05 毫欧 - 2.1 欧)。

Pontavi 电桥与上面介绍的 Jnkavi 电桥不同，它内部装有测试电压 4.5 伏，它也带有平衡指示电表，因此它可以独立使用。当然它也可以在 B +/- 这两端外接测试电源；也可以在 T 这两端外接平衡指示电表。

因为没有说明书，不明白为什么有两个电阻的输入端，即 X(E) 和 X(J)。参考德国 H & B 公司生产的多种电桥照片，似乎 X(E) 应该是正常的电阻的输入端。

请注意，测量按钮 G 位于 Jnkavi 电桥相同的地方。

Appendix (附录)

德国 H & B 公司 1071N 惠斯通电桥的其它功能

1) 用作标准电阻箱

电桥的 R 两个接线端子可以输出用作标准电阻箱。见下图。



图 9. R 的两个接线端子可以输出用作电阻箱

2) 外接电池和外接指示器

为了测量高电阻时获得更大的精度, 我们可以外接高灵敏度的指示器和外接高压电池. 下图是机内的电池供电组. 它包括 45V, 6V, 以及两个 1.5V D 电池. 6V 用做普通电阻测量; 45V 专为高电阻测量用(10K 以上). 两个 D 电池只是用来点燃指示灯泡.

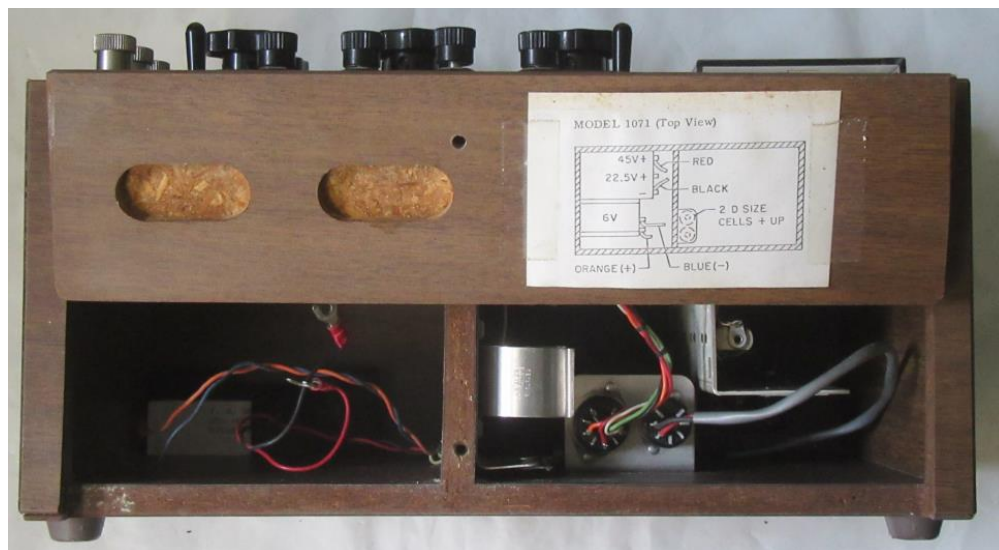


图 10. 机内的电池供电组

需要说明的是, 这里有两个测试按钮(图 11): 当按下 G B 测试按钮时, 机内用 6V 来做测试电源; 当按下 H 测试按钮时, 机内用 45V 来做测试电源. 一般在测试高电阻(10K 以上)的时候才用 H 测试按钮.



图 11. 两个测试按钮. G B 按钮和 H 按钮.

下图显示如何外接高灵敏度指示器和外接高压电池. 注意, 这个时候指示器选择开关和外接电池选择开关都必须拨向 EXT. 按说明书所示外接电池不要超过 90V.



图 12. 如何外接指示器和外接高压电池

References (参考文献)

<https://www.electronics-tutorials.ws/blog/wheatstone-bridge.html>

The **Wheatstone Bridge** was originally developed by Charles Wheatstone to measure unknown resistance values and as a means of calibrating measuring instruments, voltmeters, ammeters, etc, by the use of a long resistive slide wire.

Although today digital multimeters provide the simplest way to measure a resistance. The *Wheatstone Bridge* can still be used to measure very low values of resistances down in the milli-Ohms range.

The Wheatstone bridge (or resistance bridge) circuit can be used in a number of applications and today, with modern operational amplifiers we can use the *Wheatstone Bridge Circuit* to interface various transducers and sensors to these amplifier circuits.

The Wheatstone Bridge circuit is nothing more than two simple series-parallel arrangements of resistances connected between a voltage supply terminal and ground producing zero voltage difference between the two parallel branches when balanced. A Wheatstone bridge circuit has two input terminals and two output terminals consisting of four resistors configured in a diamond-like arrangement as shown. This is typical of how the Wheatstone bridge is drawn.

惠斯通电桥最初是由查尔斯·惠斯通（Charles Wheatstone）发明的，用于测量未知的电阻值，并通过使用长电阻滑线来校准测量仪器，电压表，电流表等。

尽管如今的数字万用表提供了最简单的测量电阻的方法。惠斯通电桥仍可用于测量毫欧范围内的极低电阻值。

惠斯通电桥（或电阻桥）电路可用于多种应用，如今，借助现代运算放大器，我们可以使用惠斯通电桥电路将各种换能器和传感器连接到这些放大器电路。

惠斯通电桥电路无非是两个简单的串联-并联电阻连接，这些电阻串联在电源端子和地之间，平衡后在两个并联支路之间产生零电压差。惠斯通电桥电路具有两个输入端子和两个输出端子，该输出端子由四个电阻构成，如图所示，它们配置为菱形。这是惠斯通电桥绘制方式的典型代表。

