

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01R 19/32 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200710068934.9

[45] 授权公告日 2009 年 9 月 9 日

[11] 授权公告号 CN 100538373C

[22] 申请日 2007.5.29

[21] 申请号 200710068934.9

[73] 专利权人 方 李

地址 311121 浙江省杭州市余杭区中泰乡
石鸽社区 15 组杭泰路 103 号

[72] 发明人 张春雷 方 李

[56] 参考文献

CN1673755A 2005.9.28

CN1793944A 2006.6.28

US4782285 1988.11.1

US4433287 1984.2.21

EP0712193B1 2000.3.15

CN201054005Y 2008.4.30

CN1673753A 2005.9.28

审查员 马 鑫

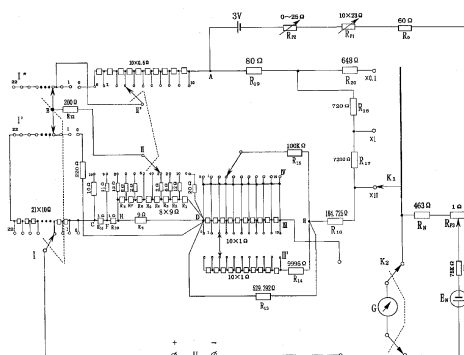
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 1 页

[54] 发明名称

一种克服热电势影响的电压测量装置

[57] 摘要

一种克服热电势影响的电压测量装置，它的第一步进盘由一只测量盘与两只不焊有电阻的辅助盘组成，第二步进盘由 $9 \times 9 \Omega$ 环形电阻网和两只 1Ω 电阻构成测量盘，由 10 只 0.5Ω 电阻构成辅助盘，第三步进盘各由 $10 \times 1 \Omega$ 的测量盘与代换盘组成，第四步进盘的各个触点与第三步进盘中测量盘上的对应触点连接，并用 80Ω 、 720Ω 与 7200Ω 三只电阻与电阻测量网络并联在电路中进行量程转换，最小分辨率达 $0.1 \mu V$ ，测量盘之间用导线连接，不通过开关切换，使电压测量装置测量时能够忽略变差及热电势影响。



1, 一种克服热电势影响的电压测量装置, 从 3V 工作电源的正极经过由四个步进盘上的电阻及量程转换电阻组成的电阻测量网络到 $463\ \Omega$ 的调定电阻 R_1 及 $0\sim 1\ \Omega$ 可锁定的可调电阻 R_3 , 再到 $60\ \Omega$ 电阻 R_0 , 经过 10 个 $23\ \Omega$ 电阻组成的可调电阻 R_1 及 $0\sim 25\ \Omega$ 可调电阻 R_2 回到工作电源的负极组成电压测量装置工作回路; 标准电池 E_0 正极经过两个常闭触点之间接有检流计 G 的双刀双掷开关 K_2 到调定电阻 R_1 及可锁定的可调电阻 R_3 , 再经过 $75\text{K}\ \Omega$ 限流电阻 R 到标准电池 E_0 负极组成电压测量装置标准回路; 电压测量装置的正极端钮经过四个测量盘电阻网络后, 再经过两个常闭触点之间接有检流计 G 的双刀双掷开关 K_2 到电压测量装置的负极端钮组成电压测量装置补偿回路; 其特征是第一步进盘有测量盘 I, 它有 23 个档位, 除 0、1 触点间直接连接外, 其余各档触点间连接 $10\ \Omega$ 电阻一只, 另有辅助盘 I' 及辅助盘 I'', 辅助盘 I' 的电刷与辅助盘 I'' 的电刷用导线连接, 连接点为电路节点 B, 辅助盘 I' 及辅助盘 I'' 的 0 触点孤立, 其余所有触点用导线连接; 第二步进盘由测量盘 II 与辅助盘 II' 组成, 测量盘 II 有 11 个档位, $0\sim 8$ 档位上面有 9 个 $9\ \Omega$ 的电阻连接成环状: 第 1 个电阻 R_1 一端焊接第 2 个电阻 R_2 一端, 电阻 R_2 另一端焊接第 3 个电阻 R_3 一端, 电阻 R_3 另一端焊接第 4 个电阻 R_4 一端, 电阻 R_4 另一端焊接第 5 个电阻 R_5 一端, 电阻 R_5 另一端焊接第 6 个电阻 R_6 一端, 电阻 R_6 另一端焊接第 7 个电阻 R_7 一端, 电阻 R_7 另一端焊接第 8 个电阻 R_8 一端, 第 8 个电阻 R_8 另一端与第 9 个电阻 R_9 的一端连接点为电路节点 H, 第 9 个电阻 R_9 另一端与第 1 个电阻 R_1 的另一端与测量盘 III 的 0 触点连接, 测量盘 III 的 0 触点为电路节点 D, 测量盘 II 上电阻 R_1 与电阻 R_2 的连接点经过 $12\ \Omega$ 电阻与第 1 触点连接, 电阻 R_2 与电阻 R_3 的连接点经过 $6\ \Omega$ 电阻与第 2 触点连接, 电阻 R_3 与电阻 R_4 的连接点经过 $2\ \Omega$ 电阻与第 3 触点连接, 电阻 R_4 与电阻 R_5 的连接点与第 4 触点连接, 电阻 R_5 与电阻 R_6 的连接点与第 5 触点连接, 电阻 R_6 与电阻 R_7 的连接点经过 $2\ \Omega$ 电阻与第 6 触点连接, 电阻 R_7 与电阻 R_8 的连接点经过 $6\ \Omega$ 电阻与第 7 触点连接, 电阻 R_8 与电阻 R_9 的连接点即节点 H 一路经过 $12\ \Omega$ 电阻与第 8 触点连接, 另一路经过 $1\ \Omega$ 电阻后到节点 F 再经过 $11\ \Omega$ 电阻与第 9 触点连接, 节点 F 经过 $1\ \Omega$ 电阻到节点 C, 节点 C 经过 $10\ \Omega$ 电阻与第 10 触点连接, 测量盘 II 的“0”触点经过 $20\ \Omega$ 电阻与节点 D 连接, 第二步进盘的辅助盘 II' 上是 10 个 $0.5\ \Omega$ 的电阻; 第三步进盘由同是 10 个 $1\ \Omega$ 电阻的测量盘 III 与代换盘 III' 组成, 测量盘 III 的电刷与代换盘 III' 的电刷是同一金属刷片; 第四步进盘只有测量盘 IV, 测量盘 IV 的 0 触点与测量盘 III 的 0 触点连接, 测量盘 IV 的第 1 触点与测量盘 III 的第 1 触点连接, 测量盘 IV 的第 2 触点与测量盘 III 的第 2 触点连接, 测量盘 IV 的第 3 触点与测量盘 III 的第 3 触点连接, 测量盘 IV 的第 4 触点与测量盘 III 的第 4 触点连接, 测量盘 IV 的第 5 触点与测量盘 III 的第 5 触点连接, 测量盘 IV 的第 6 触点与测量盘 III 的第 6 触点连接, 测量盘 IV 的第 7 触点与测量盘 III 的第 7 触点连接, 测量盘 IV 的第 8 触点与测量盘 III 的第 8 触点连接, 测量盘 IV 的第 9 触点与测量盘 III 的第 9 触点连接, 测量盘 IV 的第 10 触点与测量盘 III 的第 10 触点连接; 辅助盘 II' 第 10 触点与 $80\ \Omega$ 电阻 R_{10} 的一端并联于节点 A, 节点 A 连接电压测量装置工作电源的正极, 辅助盘 II' 的 0 触点连接辅助盘 I'' 的 0 触点, 辅助盘 II' 的电刷连接辅助盘 I'' 除 0 触点外的其它触点, 测量盘 II 的电刷经过 $200\ \Omega$ 电阻 R_{12} 后连接辅助盘 I' 的电刷与辅助盘 I'' 的电刷连接的节点 B, 辅助盘 I' 除 0 触点外的其他触点连接测量盘 I 第 22 触点, 测量盘 I 第 0、1 触点与节点 C 连接, 辅助盘 I' 的 0 触点经过 $220\ \Omega$ 电阻后与节点 D 连接, 测量盘 IV 的电刷串联 $100\text{k}\ \Omega$ 电阻 R_{15} 后与 $184.725\ \Omega$ 电阻 R_{16} 一端连接, 连接点为节点 E, 代换盘 III' 的第 10 点串联 $9995\ \Omega$ 电阻 R_{14} 后连接节点 E, $529.392\ \Omega$ 电阻 R_{13} 一端连接节点 D、另一端连接节点 E, $184.725\ \Omega$ 电阻 R_{16} 的另一端及 $7200\ \Omega$ 电阻 R_{17} 的一端连接于量程转换开关 K_1 的 $\times 10$ 量程触点, $7200\ \Omega$ 电阻 R_{17} 的另一端及 $720\ \Omega$ 电阻 R_{18} 的一端连接于量程转换开关 K_1 的 $\times 1$ 量程触点, $720\ \Omega$ 电阻 R_{18} 的另一端与 $80\ \Omega$ 电阻 R_{19} 的另一端连接后经过 $648\ \Omega$ 电阻 R_{20} 与量程转换开关 K_1 的 $\times 0.1$ 量程触点连接, 量程转换开关 K_1 的常闭触点连接调定电阻 R_1 高电位一端; 电压测量装置的正极端钮与测量盘 I 电刷连接, 电压测量装置的负极端钮经过双刀双掷开关 K_2 后与测量盘 III 的第 10 触点连接。

一种克服热电势影响的电压测量装置

技术领域

本发明涉及对直流电压进行测量的仪器。

背景技术

当前对于有四个测量盘的电位差计,在四个测量盘之间的连接上,中间盘普遍采用开关切换,这样就产生接触电阻的变差,给分辨率带来限制。为了克服该问题,一般采用大电刷以增大接触面积,并采用银-铜复合材料;申请号 200510062273.X 公开了有四个测量盘的电位差计解决开关接触电阻变差的新方法,它的第一、第二步进盘各有测量盘与代换盘组成,测量盘与代换盘上的电阻阻值相同,测量盘每增加一个电阻,代换盘就减小相同电阻,它的第三、第四步进盘各有测量盘、代换盘与辅助盘组成,由于第三步进盘不置在 10 时,第四步进盘置不同示值时电路总阻是变化的,第三步进盘置在 10 时,第四步进盘置不同示值时电路总阻不变,为此第三步进盘除有测量盘、代换盘外,增加了辅助盘来区别步进盘置 10 及不置 10 两种情况的电路连接,第四步进盘也增加了辅助盘,上面有 10 只电阻来分别接入或切出若干个电阻使电路总阻不变。四个测量盘连接在两个测量端钮间,使步进盘开关上的电刷排除在测量回路之外,四个测量盘上的电阻之间不存在开关切换,也就不产生变差;由于电位差计步进盘开关每个步进转动 15° 角,每层可分布 24 个触点,第一步进盘的测量盘与代换盘是 21 个触点,需内外两层,每层都有电阻,内层电阻超差对维修带来不便,第四步进盘的测量盘、代换盘与辅助盘各半层,步进盘开关也需内外两层,内层也有电阻,维修也不方便。

发明内容

本发明的目的是设计一种克服热电势影响的电压测量装置,在四个测量盘的连接上不通过开关切换,第一步进盘取消代换盘,且使四个步进盘上的电阻都能装在开关外层,开关内层没有电阻。

本发明的技术方案这样采取:从 3V 工作电源的正极经过由四个步进盘上的电阻及量程转换电阻组成的电阻测量网络到 463Ω 的调定电阻 R_0 及 $0\sim 1\Omega$ 可锁定的可调电阻 R_{p3} ,再到 60Ω 电阻 R_0 ,经过 10 个 23Ω 电阻组成的可调电阻 R_{p1} 及 $0\sim 25\Omega$ 可调电阻 R_{p2} 回到工作电源的负极组成电压测量装置工作回路;标准电池 E_N 正极经过两个常闭触点之间接有检流计 G 的双刀双掷开关 K_2 到调定电阻 R_0 及可锁定的可调电阻 R_{p3} ,再经过 $75K\Omega$ 限流电阻 R 到标准电池 E_N 负极组成电压测量装置标准回路;电压测量装置的正极端钮经过四个测量盘电阻网络后,再经过两个常闭触点之间接有检流计 G 的双刀双掷开关 K_2 到电压测量装置的负极端钮组成电压测量装置补偿回路;第一步进盘有测量盘 I,它有 23 个档位,除 0、1 触点间直接连接外,其余各档触点间连接 10Ω 电阻一只,另有辅助盘 I' 及辅助盘 I'',辅助盘 I' 的电刷与辅助盘 I'' 的电刷用导线连接,连接点为电路节点 B,辅助盘 I' 及辅助盘 I'' 的 0 触点孤立,其余所有触点用导线连接;第二步进盘由测量盘 II 与辅助盘 II' 组成,测量盘 II 有 11 个档位,0~8 档位上面有 9 个 9Ω 的电阻连接成环状:第 1 个电阻 R_1 一端焊接第 2 个电

阻 R_2 一端, 电阻 R_2 另一端焊接第 3 个电阻 R_3 一端, 电阻 R_3 另一端焊接第 4 个电阻 R_4 一端, 电阻 R_4 另一端焊接第 5 个电阻 R_5 一端, 电阻 R_5 另一端焊接第 6 个电阻 R_6 一端, 电阻 R_6 另一端焊接第 7 个电阻 R_7 一端, 电阻 R_7 另一端焊接第 8 个电阻 R_8 一端, 第 8 个电阻 R_8 另一端与第 9 个电阻 R_9 的一端连接点为电路节点 H, 第 9 个电阻 R_9 另一端与第 1 个电阻 R_1 的另一端与测量盘 III 的 0 触点的连接, 测量盘 III 的 0 触点为电路节点 D, 测量盘 II 上电阻 R_1 与电阻 R_2 的连接点经过 12Ω 电阻与第 1 触点连接, 电阻 R_2 与电阻 R_3 的连接点经过 6Ω 电阻与第 2 触点连接, 电阻 R_3 与电阻 R_4 的连接点经过 2Ω 电阻与第 3 触点连接, 电阻 R_4 与电阻 R_5 的连接点与第 4 触点连接, 电阻 R_5 与电阻 R_6 的连接点与第 5 触点连接, 电阻 R_6 与电阻 R_7 的连接点经过 2Ω 电阻与第 6 触点连接, 电阻 R_7 与电阻 R_8 的连接点经过 6Ω 电阻与第 7 触点连接, 电阻 R_8 与电阻 R_9 的连接点即节点 H 一路经过 12Ω 电阻与第 8 触点连接, 另一路经过 1Ω 电阻后到节点 F 再经过 11Ω 电阻与第 9 触点连接, 节点 F 经过 1Ω 电阻到节点 C, 节点 C 经过 10Ω 电阻与第 10 触点连接, 测量盘 II 的“0”触点经过 20Ω 电阻与节点 D 连接, 第二步进盘的辅助盘 II' 上是 10 个 0.5Ω 的电阻; 第三步进盘由同是 10 个 1Ω 电阻的测量盘 III 与代换盘 III' 组成, 测量盘 III 的电刷与代换盘 III' 的电刷是同一金属刷片; 第四步进盘只有测量盘 IV, 测量盘 IV 的 0 触点与测量盘 III 的 0 触点连接, 测量盘 IV 的第 1 触点与测量盘 III 的第 1 触点连接, 测量盘 IV 的第 2 触点与测量盘 III 的第 2 触点连接, 测量盘 IV 的第 3 触点与测量盘 III 的第 3 触点连接, 测量盘 IV 的第 4 触点与测量盘 III 的第 4 触点连接, 测量盘 IV 的第 5 触点与测量盘 III 的第 5 触点连接, 测量盘 IV 的第 6 触点与测量盘 III 的第 6 触点连接, 测量盘 IV 的第 7 触点与测量盘 III 的第 7 触点连接, 测量盘 IV 的第 8 触点与测量盘 III 的第 8 触点连接, 测量盘 IV 的第 9 触点与测量盘 III 的第 9 触点连接, 测量盘 IV 的第 10 触点与测量盘 III 的第 10 触点连接; 辅助盘 II' 第 10 触点与 80Ω 电阻 R_{19} 的一端并联于节点 A, 节点 A 连接电压测量装置工作电源的正极, 辅助盘 II' 的 0 触点连接辅助盘 I' 的 0 触点, 辅助盘 II' 的电刷连接辅助盘 I' 除 0 触点外的其它触点, 测量盘 II 的电刷经过 200Ω 电阻 R_{12} 后连接辅助盘 I' 的电刷与辅助盘 I' 的电刷连接的节点 B, 辅助盘 I' 除 0 触点外的其他触点连接测量盘 I 第 22 触点, 测量盘 I 第 0、1 触点与节点 C 连接, 辅助盘 I' 的 0 触点经过 220Ω 电阻后与节点 D 连接, 测量盘 IV 的电刷串联 $100k\Omega$ 电阻 R_{15} 后与 184.725Ω 电阻 R_{16} 一端连接的连接点为节点 E, 代换盘 III' 的第 10 点串联 9995Ω 电阻 R_{14} 后连接节点 E, 529.392Ω 电阻 R_{13} 一端连接节点 D、另一端连接节点 E, 184.725Ω 电阻 R_{16} 的另一端及 7200Ω 电阻 R_{17} 的一端连接于量程转换开关 K_1 的 $\times 10$ 量程触点, 7200Ω 电阻 R_{17} 的另一端及 720Ω 电阻 R_{18} 的一端连接于量程转换开关 K_1 的 $\times 1$ 量程触点, 720Ω 电阻 R_{18} 的另一端与 80Ω 电阻 R_{19} 的另一端连接后经过 648Ω 电阻 R_{20} 与量程转换开关 K_1 的 $\times 0.1$ 量程触点连接, 量程转换开关 K_1 的常闭触点连接调定电阻 R_0 高电位一端; 电压测量装置的正极端钮与测量盘 I 电刷连接, 电压测量装置的负极端钮经过双刀双掷开关 K_2 后与测量盘 III 的第 10 触点连接。

通过以上技术方案, 第一步进盘不用代换盘, 两层辅助盘上都没有电阻, 可以装在开关里层, 测量盘 I 装在开关外层; 第二步进盘不用代换盘, 开关每个步进转动 15° 角, 第二步进盘的辅助盘 II' 及测量盘 II 各 11 个触点分布在开关的同一层, 电阻装在开关外层, 第三、第四步进盘都没有辅助盘, 电阻可装在开关外层, 电阻超差时卸下装上容易, 这给调试与维修带来方便; 这使电压测量装置结构简单, 体积缩小, 也降低了生产成本; 在电压测量装置内部补偿回路与工作回路共有部份的线路上没有开关, 所以不存在变差影响, 当电压测量装置四个测量盘置“0”时, 电压测量装置的零电势是 D 点的零电位, 在补偿回路中, 不存在工作电流流过引线电阻, 所以本电压测量装置零电势很小, 由于在电压测量装置内部补偿回路与工作回路共有部份的线路上没有开关切换, 所以本电压测量装置热电势及可变热电势也很小。因此, 在 $\times 0.1$ 量程, 分辨率达 $0.1\mu V$ 时, 用本电压测量装置测量也能得到很好的重复性。

附图说明

附图是本发明原理电路。

具体实施方式

图中, 测量盘 II 在 1~8 触点之间有 9 只 9Ω 首尾相连的电阻环, 当测量盘 II 置“4”、“5”时, 测量盘 II 的电刷到节点 D 之间是 5 只 9Ω 电阻与 4 只 9Ω 电阻并联, 并联后阻值最大为 20Ω , 测量盘 II 其它触点到节点 D 之间的阻值都要连接到 20Ω , “4”、“5”触点与电阻环上对应点直接连接; 当测量盘 II 置“3”或置“6”时, 测量盘 II 的电刷到节点 D 之间是 3 只 9Ω 电阻与 6 只 9Ω 电阻并联, 并联后阻值为 18Ω , 所以 3、6 触点经过 2Ω 电阻与电阻环上对应点连接; 当测量盘 II 置“2”或置“7”时, 测量盘 II 的电刷到节点 D 之间是 2 只 9Ω 电阻与 7 只 9Ω 电阻并联, 并联后阻值为 14Ω , 所以 2、7 触点经过 6Ω 电阻与电阻环上对应点连接; 当测量盘 II 置“1”或置“8”时, 测量盘 II 的电刷到节点 D 之间是 1 只 9Ω 电阻与 8 只 9Ω 电阻并联, 并联后阻值为 8Ω , 所以 1、8 触点经过 12Ω 电阻与电阻环上对应点连接; 当测量盘 II 置“9”时, 测量盘 II 的电刷到节点 D 之间是 11Ω 电阻加 1Ω 电阻再加电阻环上 8Ω 连接成 20Ω 电阻, 当测量盘 II 置“10”时, 测量盘 II 的电刷到节点 D 之间是 10Ω 电阻加 2Ω 电阻再加电阻环上 8Ω 连接成 20Ω 电阻。当测量盘 II 置“0”, 测量盘 II 的电刷到节点 D 之间是 20Ω 电阻连接,

第一步进盘置“0”、第二步进盘置“n”($n=0, 1, 2, 3\cdots 9, 10$) 时, 辅助盘 I' 的电刷与节点 D 之间的电阻值是两个同是 220Ω 的电阻并联, 因此是 110Ω 。

第一步进盘置“n”($n=0, 1, 2, 3\cdots 22$)、第二步进盘置“0”时, 辅助盘 I' 的电刷与节点 D 之间的电阻值是两个同是 220Ω 的电阻并联, 因此是 110Ω 。

当第一、第二步进盘都不置“0”时, 辅助盘 I' 的电刷与节点 D 之间的电阻值的计算, 除第二步进盘置“8, 9, 10”外, 都需要进行三角形—星形变换。

第二步进盘置“1”时, 辅助盘 I' 的电刷与节点 D 之间电阻值的计算: 设电阻 $(R_2+R_3+\cdots+R_9)$ 与电阻 R_9 两边阻值等效于电阻 r_1 , 电阻 R_9 与电阻 R_1 两边阻值等效于电阻 r_1' , 电阻 $(R_2+R_3+\cdots+R_9)$ 与电阻 R_1 两边阻值等效于电阻 r_1'' , 等效于电阻 r_1 、 r_1' 、 r_1'' 交点为 Q_1 :

$$\text{则 } r_1 = (R_2+R_3+\cdots+R_9) \times R_9 / (R_1+R_2+\cdots+R_9) = 7 \times 9 \times 9 / 9 \times 9 \Omega = 7 \Omega$$

$$r_1' = R_1 \times R_9 / (R_1+R_2+\cdots+R_9) = 9 \times 9 / 9 \times 9 \Omega = 1 \Omega$$

$$r_1'' = (R_2+R_3+\cdots+R_9) \times R_1 / (R_1+R_2+\cdots+R_9) = 7 \times 9 \times 9 / 9 \times 9 \Omega = 7 \Omega$$

辅助盘 I' 的电刷与节点 D 之间电阻值等于 $(212\Omega + r_1) \times (212\Omega + r_1'') / (2 \times 219) \Omega + r_1' = 219\Omega / 2 + 1\Omega = 109.5\Omega + 1\Omega = 110.5\Omega$

第二步进盘置“2”时, 辅助盘 I' 的电刷与节点 D 之间电阻值的计算: 设电阻 $(R_3+R_4+\cdots+R_9)$ 与电阻 R_9 两边阻值等效于电阻 r_2 , 电阻 R_9 与电阻 (R_1+R_2) 两边阻值等效于电阻 r_2' , 电阻 $(R_3+R_4+\cdots+R_9)$ 与电阻 (R_1+R_2) 两边阻值等效于电阻 r_2'' , 等效于电阻 r_2 、 r_2' 、 r_2'' 交点为 Q_2 :

$$\text{则 } r_2 = 6\Omega \quad r_2' = 2\Omega \quad r_2'' = 12\Omega$$

辅助盘 II' 的电刷与节点 D 之间电阻值等于 $(212\Omega + r_2) \times (200\Omega + 6\Omega + r_2'') / (2 \times 218) \Omega +$

$$r_2' = 218 \Omega / 2 + 2 \Omega = 109 \Omega + 2 \Omega = 111 \Omega。$$

同理，第二步进盘置“3”时，辅助盘 I' 的电刷与节点 D 之间电阻值是 111.5 Ω ，

第二步进盘置“4”时，辅助盘 I' 的电刷与节点 D 之间电阻值是 112 Ω ，

第二步进盘置“5”时，辅助盘 I' 的电刷与节点 D 之间电阻值是 112.5 Ω ，

.....

第二步进盘置“9”时，辅助盘 I' 的电刷与节点 D 之间电阻值是 $(211/2+9) \Omega = 114.5 \Omega$ ，第二步进盘置“10”时，辅助盘 I' 的电刷与节点 D 之间电阻值是 $(210/2+10) \Omega = 115 \Omega$ 。

由于测量盘 II 每步进增加 0.5 Ω ，因此辅助盘 II' 每步进减少 0.5 Ω ，使电路总阻不变。

当第一或第二步进盘置“0”时，辅助盘 I' 的电刷与节点 D 之间的电阻值是 110 Ω ，辅助盘 II' 的 $10 \times 0.5 \Omega$ 电阻全部进入电路，使节点 A 与节点 D 之间的电阻值是 115 Ω 保持不变。

第三、第四步进盘置不同示值时，节点 D 与节点 E 间的阻值在 500.2728 $\Omega \sim 500.2780 \Omega$ 之间变化，节点 E 连接 184.725 Ω 电阻 R_{16} 后，从节点 A 经过节点 D 到开关 K_1 的 $\times 10$ 量程触点间的电阻值是 800 Ω ，0.005 Ω 的阻值变化，对 800 Ω 的相对变化约是百万分之七，影响可以忽略。

在 $\times 10$ 量程时，从节点 A 经过节点 D 到开关 K_1 的 $\times 10$ 量程触点间的电阻值是 800 Ω ，从节点 A 经过电阻 R_{19} 、 R_{18} 、 R_{17} 到开关 K_1 的 $\times 10$ 量程触点间的电阻值是 8000 Ω ，因此从节点 A 到开关 K_1 的 $\times 10$ 量程触点间的并联电阻值是 8000/11 Ω ；在 $\times 1$ 量程时，从节点 A 经过节点 D 及电阻 R_{17} 到开关 K_1 的 $\times 1$ 量程触点间的电阻值是 8000 Ω ，从节点 A 经过电阻 R_{19} 、 R_{18} 、到开关 K_1 的 $\times 1$ 量程触点间的电阻值是 800 Ω ，因此从节点 A 到开关 K_1 的 $\times 1$ 量程触点间的并联电阻值也是 8000/11 Ω ，只有在 $\times 0.1$ 量程时，并联会减小阻值，并联减小的阻值通过串联 648 Ω 电阻 R_{20} 来保持电路阻值不变。

在 $\times 10$ 量程，从节点 A 经过节点 D 到开关 K_1 的 $\times 10$ 量程触点间的电阻值是 800 Ω ，从节点 A 经过电阻 R_{19} 、 R_{18} 、 R_{17} 到开关 K_1 的 $\times 10$ 量程触点间的电阻值是 8000 Ω ，电压测量装置工作电流标准化时的电流是 2.2mA，2mA 电流从辅助盘 II' 的第 10 点流过节点 B 到量程转换开关 K_1 的 $\times 10$ 量程触点，0.2mA 流过电阻 R_{19} 、电阻 R_{18} 、电阻 R_{17} 到量程转换开关 K_1 的 $\times 10$ 量程触点；节点 B 经过测量盘 I 到等效电阻 r_n 、 r_n' 、 r_n'' 的交点 Q_n [$n = 1, 2, 3 \cdots 8$ ($r_8 = 0$)] 时，节点 B 经过测量盘 I 到等效于电阻 r_n 、 r_n' 、 r_n'' 的交点 Q_n ($n = 1, 2, 3 \cdots 8$) 与经过 200 Ω 电阻 R_{12} 到交点 Q_n 电阻值相等，测量盘 II 置“9”时，节点 B 经过测量盘 I 到节点 F 的电阻值与经过 200 Ω 电阻 R_{12} 到节点 F 的电阻值都等于 211 Ω ，所以流过测量盘 I 与 200 Ω 电阻 R_{12} 的电流各为 1mA，测量盘 II 置“10”时，节点 B 经过测量盘 I 到节点 C 的电阻值与经过 200 Ω 电阻 R_{12} 到节点 C 的电阻值都等于 210 Ω ，所以流过测量盘 I 与 200 Ω 电阻 R_{12} 的电流也各为 1mA。

对于测量盘 II 在 1~8 触点之间的 9 只 9 Ω 首尾相连的电阻环而言，测量盘 II 置“1”时电阻 R_1 与 8 只阻值同为 9 Ω 电阻并联，流过电阻 R_9 的电流为 1/9 mA，节点 H 与节点 D 之间的电压 $U_{10} = 1/9 \times 9 \text{ mV} = 1 \text{ mV}$ ；测量盘 II 置“2”时电阻 ($R_1 + R_2$) 与 7 只阻值同为 9 Ω 电阻并联，流过电阻 R_9 的电流为 2/9 mA，节点 H 与节点 D 之间的电压 $U_{10} = 2/9 \times 9 \text{ mV} = 2 \text{ mV}$ ；同理，测量盘 II 置“n”时 ($n = 1, 2, 3 \cdots 8$) 电阻节点 H 与节点 D 之间的电压 $U_{10} = n \text{ mV}$ ；测量盘 II 置“9”时，节点 F 与节点 D 之间 8 Ω 电阻环上的电压 $U_{10} = 8 \text{ mV}$ 加 1 Ω 电阻 R_{10} 上 1mV，共 9mV；测量盘 II 置“10”时，节点 C 与节点 D 之间 8 Ω 电阻环上的电压 $U_{10} = 8 \text{ mV}$ 加 1 Ω 电阻 R_{10} 上 1mV 及 1 Ω 电阻 R_{11} 上 1mV，共 10mV；当测量盘 I 及测量盘 II 置“0”时，电流不经过电阻 R_9 ， $U_{10} = 0 \text{ mV}$ ；当测量盘 I 不置“0”时流过测量盘 I 的电流在节点 C、D 之间的 10 mV 电压叠加在测量盘 II 上，代替测量盘 I 中 0、1 触点间的电阻。

电压测量装置 2mA 工作电流经过第一、第二步进盘到节点 D 后分成三路：一路经过测量盘 IV，另一路经过代换盘 III'，再一路经过 529.392 Ω 电阻 R_{13} ，三路电流汇合于节点 E。第三、第四步进盘置不同示值时节点 D 与节点 E 之间阻值是变化的，第三、第四步进盘置“0”示值时节点 D 与节点 E 之间阻值最小，第三、第四步进盘置“10”示值时节点 D 与节点 E 之间阻值最大，为此取中间值，当第三、第四步进盘置“5”示值时节点 D 与节点 E 之间阻值在没有电阻 R_{13} 并联时是 $(10^5 \div 11 + 5) \Omega$ ，为了使流过第三、第四步进盘的总电流是 0.11mA，用 529.392 Ω 电阻 R_{13} 分流 1.89mA 的电流；第三、第四步进盘置“0”示值时，流过第三、第四步进盘的总电流是 0.11001mA，第三、第四步进盘置“10”示值时，流过第三、第四步进盘的总电流是 0.10999mA，误差为万分之一，影响可以忽略；流过电阻 R_{14} 与电阻 R_{15} 的电流比准确值是 10，在第三、第四步进盘置“0”示值时，流过电阻 R_{14} 与电阻 R_{15} 的电流比值是 9.995，在第三、第四步进盘置“10”示值时，流过电阻 R_{14} 与电阻 R_{15} 的电流比值是 10.005，误差为万分之五，由于是最后两盘，影响也可以忽略；因此，第三步进盘每增加一个示值，节点 D 与节点 E 之间的电压增加 0.1mV，第四步进盘每增加一个示值，节点 D 与节点 E 之间的电压增加 0.01mV。

工作电流标准化时，第一步进盘置 n_1 、第二步进盘置 n_2 、第三步进盘置 n_3 、第四步进盘置 n_4 ，这时“ U_x ”两个测量端钮间电压为：

$$U_x = 10n_1 + n_2 + 0.1n_3 + 0.01n_4 \quad (\text{mV})$$

在 $\times 1$ 量程时，从节点 A 经过节点 D 到开关 K_1 的 $\times 1$ 量程触点间是 800 Ω 电阻与 7200 Ω 电阻 R_{17} 串联成 8000 Ω 后跟 800 Ω 的电阻 R_{19} 与电阻 R_{18} 之和并联，因此流过辅助盘 II' 的电流是 0.2mA，流过电阻 R_{19} 与电阻 R_{18} 的电流是 2mA，这时第一步进盘置 n_1 、第二步进盘置 n_2 、第三步进盘置 n_3 、第四步进盘置 n_4 ，“ U_x ”两个测量端钮间电压为：

$$U_x = 1n_1 + 0.1n_2 + 0.01n_3 + 0.001n_4 \quad (\text{mV})$$

$\times 0.1$ 量程时，节点 A 经过节点 D 到开关 K_1 的 $\times 0.1$ 量程触点间是 800 Ω 电阻与 7200 Ω 电阻 R_{17} 、720 Ω 的电阻 R_{18} 串联成 8720 Ω 后跟 80 Ω 的电阻 R_{19} 并联，两条支路阻值比为 109 倍，流过电阻 R_{19} 的电流与流过节点 D 的电流比也为 109 倍，因此 2.18mA 电流流过电阻 R_{19} ，0.02mA 电流流过辅助盘 II' 的第 10 点经过节点 B 到节点 E，当第一步进盘置 n_1 、第二步进盘置 n_2 、第三盘置 n_3 ，第四步进盘置 n_4 ，这时“ U_x ”两个测量端钮间电压为：

$$U_x = 0.1n_1 + 0.01n_2 + 0.001n_3 + 0.0001n_4 \quad (\text{mV})$$

这时分辨率达 0.1 μV 。

由于标准电池的电动势是离散的，在 1.0188V~1.0196V 之间，标准化的工作电流为 2.2 mA，因此调定电阻 R_4 取 463 Ω ，外加 0~1 Ω 可锁定的可调电阻 R_{p3} ，可以覆盖标准电池电动势的变化范围。

节点 A 到量程转换开关 K_1 的常闭触点间二个量程的阻值都是 8000/11 Ω ，463 Ω 的调定电阻 R_4 与 0~1 Ω 可调电阻 R_{p3} 和是 464 Ω ，加上 60 Ω 电阻 R_6 ，共计 1251 Ω ，承担约 2.75V 电压；电压测量装置采用两组干电池供电，干电池新的时候电动势约为 1.65V，用旧到 1.35V 以下时，电流不稳，为了使干电池在新、旧情况下都能使电压测量装置的工作电流调节到标准化，为此，取可调电阻 R_{p1} 为 10 $\times$ 23 Ω 、可调电阻 R_{p2} 为 0~25 Ω ，干电池电压使用范围在 2.75V~3.31V 之间。

电压测量装置的标准电流是这样获得：把 200mV 标准信号电压按极性与电压测量装置“ U_x ”两个测量端钮连接，电压测量装置各步进盘总示值与标准信号电压值相同，双刀双掷开关 K_2 掷向左边，调节可调电阻 R_{p1} 及可调电阻 R_{p2} ，使检流计 G 指零；再将双刀双掷开关 K_2 掷向右边，调节可调电阻 R_{p3} ，使检流计 G 指零，再重复一次后，把可调电阻 R_{p3} 锁定，这时电压测量装置的工作电流就标准化。

