

无綫电器材試驗

[苏联]Д. М. 卡札尔諾夫斯基著

陆 益 寿 譯

科 学 技 術 出 版 社

內 容 提 要

本書有系統地闡述無線電零件和制造無線電零件用的材料的試驗方法和試驗技術。

本書專供從事確定無線電零件性能和無線電材料性能之實際工作的工程師和技術員參考用，也可作為高等電工專科學校的教材。

无 綫 电 器 材 試 驗

ИСПЫТАНИЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИЛОВ И ДЕТАЛЕЙ

原 著 者 [苏联] Д. М. Казарновский

原出版者 Госэнергоиздат 1953年

譯 者 陆 征 寿

科学技術出版社出版

(上海南京西路2000号)

上海市書刊出版業營業許可証出 079 号

上海市印刷五厂印刷 新华書店上海發行所總經售

統一書号 15119 · 838

开本 850×1168 1/32 · 印張 11 1/2 · 字數 274,000

1958年9月第1版

1958年9月第1次印刷 印數 1—3,200

定價：(10) 1.70 元

目 录

序	1
本書所使用的規定符号	1
导言	1
第一章 确定絕緣电阻	1
1. 絕緣材料的比电阻	1
2. 直接偏轉法	9
3. 电容器放电法	12
4. 电子管静电表測定法	13
5. 无綫电零件的絕緣电阻的測定	20
第二章 确定低頻时和声頻时的介电常数和介質損耗	43
6. 絕緣材料的損耗角和介电常数	43
7. 測量工业頻率时的电容和損耗	46
8. 測量声頻时的电容和損耗	50
第三章 确定高頻时和特高頻时的介电常数和介質損耗	59
9. 測量射頻时的电容和損耗	59
10. 測量介电常数在射頻中的溫度系数的方法	75
11. 測量特高頻时的电容和損耗	78
第四章 确定电容器和裝置零件的电容和优值	89
12. 測量电容器的电容和优值	89
13. 測量电容器的自感	121
14. 測量非綫性电容器的电容值 and 优值	123
15. 測量裝置零件的电容值和其中的損耗	134
第五章 絕緣强度的測定	139
16. 絕緣材料的絕緣强度	139
17. 击穿場强和无功功率的測定	142

18.	飞弧电压和局部放电电压的測定	160
19.	試驗无綫电零件的絕緣强度	168
第六章	磁性材料的一般試驗	181
20.	鉄磁材料的磁化曲綫	181
21.	冲击檢流表測試法	183
22.	鉄耗計測試法	189
23.	阴极示波器測試法	190
24.	測量片狀材料中的損耗	192
第七章	确定磁介質和鉄淦氧磁物的导磁率和优值	195
25.	磁介質的导磁率和优值	195
26.	导磁率的測量	197
27.	測量导磁率的不稳定性	201
28.	測量磁介質和鉄淦氧磁物中的損耗	204
第八章	确定电感綫圈的特性	210
29.	綫圈的电感、优值和自电容	210
30.	在低頻和声頻时測量电感綫圈的电感和优值	214
31.	在射頻下測量綫圈的电感和优值	221
32.	确定受磁化的綫圈的电感	229
33.	測量电感綫圈的自电容	232
第九章	确定变压器和濾波抗流圈的特性	236
34.	变压器和濾波抗流圈的基本特性	236
35.	低頻变压器的一般試驗	243
36.	低頻变压器的特殊試驗	248
37.	脉冲变压器的試驗	254
38.	电源变压器的試驗	256
39.	整流器濾波抗流圈的試驗	258
第十章	确定导电材料和导电零件的特性	216
40.	导体的电阻	261
41.	測量比电阻和导体的电阻溫度系数	265
42.	极小电阻的測量	275
43.	非綫繞电阻的試驗	283
44.	測量电阻的噪音电动势	291

45. 磁环被复线总电阻的试验	295
-----------------------	-----

第十一章 机械特性和构造特性的确定

299

46. 测量材料的机械强度	299
47. 无线电零件的机械试验	304
48. 鉴定防潮性的方法	311
49. 鉴定耐热性的方法	320
50. 鉴定耐冻性的方法	332
51. 循环试验	337
52. 联合试验和老化试验	339

导 言

电工器械中所使用的零件应当满足一些综合的要求，这些要求都与电工器械在各种不同的温度、高度、湿度、振动作用等等条件下的工作状态有关。因此就显得有必要首先对制造这些零件用的材料的性质作全面的研究。

确定零件的特性和解释观察到的资料都应当以事前对原始材料所做的试验作为根据。无线电零件质量的技术检验，只有当它以所用材料的性能方面的知识作为依据时才能获得科学的根据。

这种理由要求人们在材料试验和相关零件的试验之间建立密切的联系。因此，本书中所讨论研究无线电零件的特性的方法和检验这些零件的方法都尽可能严格地和密切地与主要原始材料的一定性能连贯在一起。

无线电工程材料和零件的试验主要包括：

(a) 测量电气量和非电气量。这些量是用来衡量被试目的物中发展出的各种理化过程和理化现象的。

(b) 检验被试目的物的一般参数，如外貌、形状、尺寸等等。

(c) 在所指的一些量或一般参数受到电磁场、周围环境、时间、在这个或那个状况下工作等等的影响时观察它们的变化。

(d) 在被试目的物上予以破坏性的作用（如电压、电流、热量、机械负荷等等），目的在于检查它们抵抗这些破坏作用的能力，也在于发现结构上的或工艺过程中的缺点。

试验的性质与它的使命，与被试目的物以及与在什么情况下进行试验都有关系。

在这个观点上,試驗可以分为下列几大类:

1. 接裝試驗 实施在零件裝置到机器(包括一般組件)之前的接裝試驗要檢驗一般的参数和主要的电气量。

2. 运用試驗 运用試驗与机器組件的連續試驗有关,本身又分为:(a)按照設備运用过程的工作細則来进行的檢驗試驗;(b)在計劃程序內定期进行的例行試驗;和(c)在作正常工作时出現缺陷时进行的故事試驗。

3. 制造試驗 为檢驗产品和工艺过程而設。

在制造工厂中經常按产量和某种目的进行的成批产品試驗又可以分为交貨驗收試驗、标准試驗和仲裁試驗三种。在所有各种試驗中,公認的正常条件是:温度为 $t = 20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, 空气的相对湿度是 $w = 60 \sim 70\%$, 空气压力是 $p = 720 \sim 780$ 毫米水銀柱。技术条件中所指試驗时的温度,除有特別的规定外,可与給定的数值有 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的偏差。交貨驗收試驗中包括查明制品在正常条件下最重要的性能,檢驗外貌、外形尺寸、包裝、商标等等,有时还要补充作状态試驗(如檢驗密封状态)。

标准試驗是探究材料和零件的性能更为詳細的一种試驗。这种試驗大都不仅实施在标准的狀況之下,而且也施之于特別恶劣的条件下,以及施之于經過一連串輪流試驗之后(循环試驗)。作交貨驗收試驗时,每出产一批制品要从中挑选相当数量的試品(一般是产品总数的百分之几,約在 5 至 200 个之間)来进行檢驗。标准試驗則每季进行一次,以及在改变工艺过程或改变原始材料时进行;标准試驗所需零件的数量为 10~20 个,有时也多一些。

仲裁試驗則按自己的程序进行,这种程序是每次特地规定的。

4. 實驗室試驗 在非成批生产,試制性質的样品上作特性研究的實驗室試驗是一个极重要的任务。这种試驗的試驗程序应当从制品的实有参数和設計参数、制造它所用的工艺、所采用的原始材料、运用目的和运用条件几个方面出发来編制。

所討論的这些試驗都是以各种各样方式应用电气测量技术和无线电测量技术为基础的；其中主要步驟的規定和发展都与俄罗斯和苏联的学者的名字相連的。

傑出的俄罗斯学者 M. B. 罗蒙諾索夫、Б. С. 雅科比、B. B. 彼得罗夫、A. Г. 斯托列托夫、M. O. 多里沃—多勃罗沃尔斯基的著作早就奠定了电工测量的基础。

卓越的俄罗斯物理学家如 П. H. 列別傑夫、П. A. 吉洛夫、И. И. 柯索諾戈夫、B. С. 謝格里雅耶夫成功地創造了自己的試驗电介質的方法。

天才的无线电发明者 A. C. 波波夫在同一个时候就已开始应用电工材料，并且研究它們在新的領域中的性能。在改进它自己的第一架裝置的工作中，A. C. 波波夫曾經寻找改善无线电通信質量的材料和結構，也曾經用自己設計的測量仪器在各种周圍环境的条件下，对它們作了試驗和檢查。A. C. 波波夫第一个提出了通信技术中极微弱电流的放大問題，并且早在 1903 年就把这个任务交給了 B. И. 高瓦連科夫。高瓦連科夫所做的許多研究终于在 1910 年导出了現代用电子仪器作放大的原理。高瓦連科夫曾用电工專科学学校物理實驗室所制造的三极真空管其后又用四极真空管裝成了放大器，这又使我国在电子放大技术的領域中走在外国前头好几年。測試設備中广泛使用的放大技术的一切进步都应当归功于电子放大原理。

奠定祖国測試方面的无线电技术，尤其是用射頻測試的技术理当認為是苏联学者 M. B. 舒連金。

在根据弗拉吉米尔·伊里奇·列宁 1918 年的指示而組織起来的市立无线电實驗室方面，主要的科学合作者 Д. A. 罗然斯基、B. П. 沃洛金、B. K. 列別金斯基、B. B. 塔达林諾夫等人在傑出的无线电工程学家 M. A. 蓬奇—布魯耶維奇的领导下大大地推进了无线电測試技术，其中也包括測量无线电零件的性能在內。

M. B. 舒連金、Л. И. 曼傑尔施达姆、Н. Д. 巴巴列克西、Б. А. 符維堅斯基、А. И. 別尔格、А. Н. 舒金、А. А. 皮斯托尔科尔斯等學者曾經出色地解決了許多无綫电技術方面的和无綫电測試方面的基本問題。在創制測試儀器和測試方法的領域中，А. А. 彼特羅夫斯基、Н. Н. 齊克林斯基、Г. А. 凱揚德斯基、Е. Г. 莫莫特、B. B. 希爾科夫和許多其他專家們的著作早就得到了聲望。電介質的防凍試驗法和後來在更短的波長中的試驗法上獲得成功的在蘇聯方面有 Б. А. 符維堅斯基、Л. А. 羅然斯基、B. M. 凱斯謝尼赫、Н. Н. 馬羅夫、K. A. 沃多勃揚諾夫等人。

在超高頻中用導波管和定向耦合器測量阻抗的方法是以蘇聯學者的著作為依據的。定向耦合器的觀念是 А. А. 皮斯托爾科爾斯在 1937 年首先推導出來的。之後在蘇聯又出現了許多闡述發展這些儀器和實驗探討方面的著作。大約過了十年，在 1946~1947 年光景，國內的刊物上就出現了第一批關於定向耦合器的資料。

以上引述的資料僅僅是我們的專家們在這個領域中所作貢獻的滄海一粟。在發展電工測試技術和无綫電測試技術，以及發展无綫電材料和无綫電零件的試驗技術上，蘇聯的科學團體如設計室、科學院、高等學校和工廠實驗室常常起到了極大的作用。

蘇聯的科學家和工程技術人員運用集體工作的原則，用自己卓越的思考、創作和進行基礎的研究大踏步地推進了无綫電材料和无綫電零件的性能研究，因而在這個領域中，蘇聯占着當今的領導地位。

第一章 确定绝缘电阻

1. 绝缘材料的比电阻

比容积电阻 ρ_v 应当理解为所论材料的一个每边长一厘米的正立方体, 用直流电压加在立方体的两对面所测得的电阻。

比容积电阻 ρ_v 是根据用测定法所求得样品的容积电阻值 R_v 算出来的。容积电阻跟加上去的电压、跟接上电压到测读一瞬间的时间以及跟测试样品的尺寸和形状都有关系。除此以外, 电阻会因测定时周围情形的变化, 尤其是温度和湿度的变化而有剧烈的改变。扁平样品的容积电阻就是一个柱体——小电极 1 的面是它的底(面积为 πr_1^2), 电介质的厚 h 是它的高(图 1)——的电阻:

$$R_v = \rho_v \frac{h}{\pi r_1^2}.$$

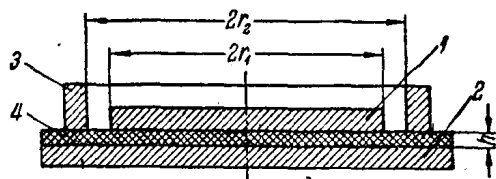


图 1. 扁平样品连同供测定比容积电阻和比表面电阻用的电极。

1—小电极; 2—大电极; 3—冷却环; 4—电介质。

样品成管状、内径为 d_1 、外径为 d_2 、电极长为 l (图 2) 时的容积电阻是

$$R_v = \frac{1}{2\pi l} \rho_v \ln \frac{d_2}{d_1}.$$

当管壁厚度 Δ 比起直径 d_1 来算是小的时候,管状样品的容积电阻就是

$$R_v \approx \frac{1}{l} \rho_v \frac{\Delta}{\pi d_1} \quad (1)$$

假使 $\Delta \leq 0.01 d_1$, 则这个公式的誤差不会超过1%; 当 $\Delta \leq 0.15 d_1$ 时, 不会超过10%。

从这些表达式求出 ρ_v 的值(以欧

· 厘米計):

盤狀样品

$$\rho_v = R_v \frac{\pi r_1^2}{h} \quad (2)$$

管狀样品

$$\begin{aligned} \rho_v &= 2\pi l R_v \frac{1}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \\ &\approx \frac{\pi d_1 l}{\Delta} R_v \end{aligned} \quad (3)$$

图 2. 管狀样品連同供測定比容积电阻和比表面电阻用的电极的总示意图。

- 1—外电极; 2—内电极;
3—冷却环; 4—电介質。

电阻 R_v 以欧計, 而所有尺寸則以厘米計。

对于层狀材料, 有时要补充地确定出內电阻 R_{en} 。內电阻 R_{en} 是以一定的距离($D=1.5$ 厘米)垂直插入样品平面的两电极之間的沿层次方向的电阻。按照通用試驗条件(OCT 40125)的規定, 用鉗头鉗出直径4.9毫米的孔, 用錐形鉸刀鉸出1:50的退拔。在孔中插入有同样退拔的黃銅插塞型电极(图 3, a)。在試驗膠木紙板和膠木布板时则需要作一些改变, 这就是那相距1.5厘米的两个供安插电极用的孔不鉗穿, 只鉗 $\frac{2}{3}h$ 深, 而且孔底直径应当等于4.9毫米, 孔的退拔則改为1:100(ГОСТ 2910-45 和 2718-44)。这些数据都是对厚度 $h \geq 8$ 毫米的膠木紙板試样或膠木布板試样而說的。样品应当呈正方形, 边長为100×100毫米。紫銅或黃銅質的电极要紧紧地插在孔內; 电极的形狀如图 3, 6 所示。

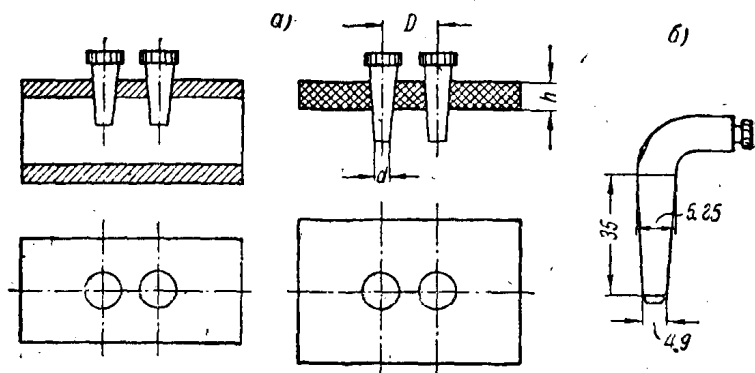


图 3. 试样测定内电阻用的电极。
 a—依照 OCT 40125; б—依照 ГOCT 2718—44.

比内电阻由下列公式来计算:

$$\rho_{en} = 0.33 R_{en} h_0 \quad (4)$$

更精确的比内电阻值可以由下式来计算:

$$\rho_{en} = \frac{2\pi\rho_s h R_{en}}{\rho_s \ln \frac{D + \sqrt{D^2 - d^2}}{D - \sqrt{D^2 - d^2}} - 4\pi R_{en}} \quad (5)$$

如果把 D 和 d (图 3, a) 的值选得能符合条件

$$\ln \frac{D + \sqrt{D^2 - d^2}}{D - \sqrt{D^2 - d^2}} = \pi, \quad (6)$$

那末 ρ_{en} 值的表达式就被简化; 在 $d = 0.5$ 厘米时, 电极间距离改为 $D = 1.25$ 厘米 (不用 OCT 40125 所规定的 1.5 厘米) 就能遵守这个条件, 这时候

$$\rho_{en} = \frac{2\rho_s h R_{en}}{\rho_s - 4R_{en}}, \quad (7)$$

式中 ρ_s ——材料的比表面电阻, 以欧计。

在所有以上所述的表达式中, 尺寸都以厘米计, 而试样的电阻则以欧姆计; 比容积电阻和比内电阻则以欧姆与厘米的乘积计。

比表面电阻 ρ_s 就是在边长一厘米的正方形表面区域用直流电所测得的电阻。它是电介质表面上微薄导电层 (凝结的潮气、污

垢、殘留的溶剂) 的电阻。比表面电阻 ρ_s 是根据測定所得的表面电阻值 R_s 算出来的。扁平試样的表面电阻 R_s 就是圍在电极 1 (直径为 $2r_1$) 和冷却环 3 (内径为 $2r_2$) 之間那块环状面(图 1) 的电阻:

$$R_s = \frac{1}{2\pi} \rho_s \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (8)$$

当 $r_2 - r_1$ 这一差值比起半径 r_1 来算是小的时候, 表面电阻就有

$$R_s = \rho_s \frac{r_2 - r_1}{2\pi r_1}$$

假使 $(r_2 - r_1)$ 的值 $\leq 0.02r_1$, 那末这个公式的誤差不超过 1%; 假使 $(r_2 - r_1)$ 的值 $\leq 0.23r_1$, 則誤差不超过 10%。

管狀試样的表面电阻是(帶有兩個冷却环, 如图 2)

$$R_s = \rho_s \frac{l' - l}{4\pi d_2}$$

这些公式都可用来計算比表面电阻:

扁平試样

$$\rho_s = 2\pi R_s \frac{1}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \approx \frac{2\pi r_1}{r_2 - r_1} R_s \quad (9)$$

管狀試样

$$\rho_s = \frac{4\pi d_2}{l' - l} R_s \quad (10)$$

电阻 R_s 以欧姆計; 所有尺寸以厘米計; 比表面电阻以欧姆計。

所使用的电极应当能在整个面上产生优良的电气接触。对于陶瓷材料, 广泛地流行着用燒滲法敷上銀层的电极, 而玻璃面、硅酸珐瑯面和其他材料的表面則在正常溫度下都用化学方法来鍍銀。在相对地說不太高的溫度下, 也时常为这个目的而采用燒滲敷銀法的, 对于这些材料, 所使用的銀漿中, 助熔剂的含量要提高些。使用水銀电极也是可能的。在这个試驗法中, 先把試样复在瀝于缸內的水銀面上, 在它的上面再放置圍圈, 圍圈內亦瀝注水銀(图 4)。应当注意的是电介質与水銀之間的試样表面不要有空气

泡。有很多缺点使人不願意使用水銀电极：水銀对人类的器官起有害的作用，这种作用在溫度提高时尤为危險，因为水銀蒸汽是剧毒的。再从水銀电极的其他缺点方面来看，則圈圈必須着实地紫貼在試样的面上以防止水銀流去；还有，水銀有趋向氧化的能力。

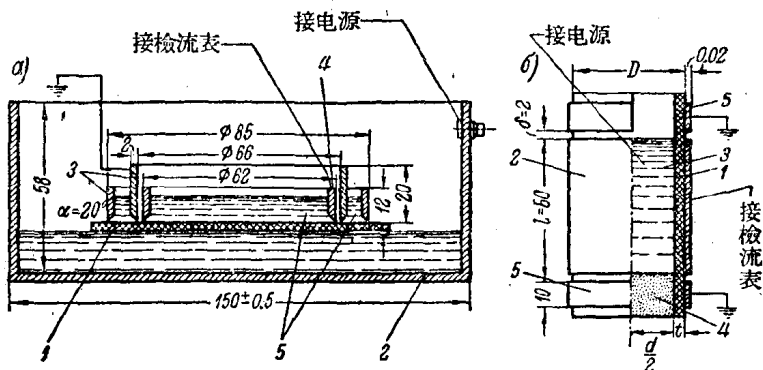


图 4. 試样盤測定比电阻用的水銀电极。

- a—盤狀試样：1—电介質；2—缸；3—外圈；4—內圈；5—水銀。
 b—管狀試样：1—电介質；2—外电极(箔叶)；3—水銀；4—塞子；
 5—冷却环。

对于試驗不允許用化学方法或燒滲法鍍銀的电介質，例如有机材料，涂炭粉的电极或貼箔电极已經用得很普遍了。箔叶或者靠微孔性的橡皮片，上面再加重物使之貼紧在試样上，或者涂上一薄层凡士林或矿物性油膠住箔叶（箔叶用手压到电解質的面上）。也可以采用其他导电的被复层来产生电极的。

2. 直接偏轉法

OCT 40126 标准所推荐的电路(图 5)可以用两种原理的方法来測定比电阻。这两种方法是直接偏轉法和电容器充电法。电流用鏡式檢流計測量，檢流計的常数应当不大于 $C_D = 10^{-9}$ 安/毫米。測定时用的电压介于 100 到 1000 伏之間。在測量容积电阻时，冷却环用来均衡电场和用来引走表面的电流，以及由不均一电场而

产生穿过試样边缘地区的电流。在测量表面电阻时，穿过試样的电流則借电极 2 引走而沿表面流通的电流則用檢流測讀。这样一来，流过檢流表的电流，在第一种情形中，就只是用来确定容积电阻的电流，而在第二种情形中就只有表面电流了。全部設備都安装在金属板上，所有的电綫都要极謹慎地予以絕緣。

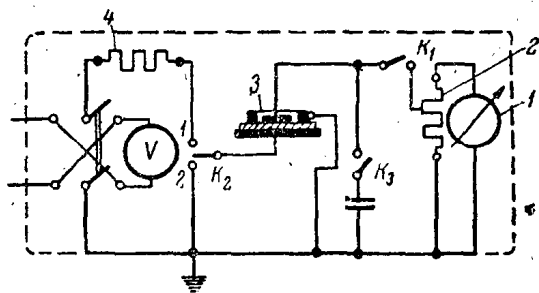


图 5. 測定容积电阻用的电路图。

1—鏡式檢流表； 2—接到檢流表的万用分路器； 3—試样盤电极；
4—保护电阻器； $R = 10^6 \sim 10^7$ 欧； K_2 —轉換开关；当放在位置 1 时，試样接上电压，而在位置 2 时，試样接地； K_1 —檢流計的开关；
 K_3 —固定电容器的开关。

当用直接偏轉法进行測量时，开关 K_3 在整个过程中是断开的；轉換开关 K_2 放在位置 1 上而分流器的滑动臂則放在与最小电流流过檢流表这一要求相称的位置上。合上閘刀开关和开关 K_1 之后，逐渐移动分流器的滑动臂，使檢流表达到应有的偏轉。指示数应当在接上电压（即合上閘刀开关）之后一分鐘再讀下，以后把开关 K_2 放在位置 2 上，讓試样放电。待用双擲閘刀开关改变极性后，再照同一操作程序重新測量一次。取两次测得檢流表偏轉的平均值，就可求出試样的容积电阻：

$$R_v = \frac{U}{C_D \alpha n}, \quad (11)$$

式中 U —电压，以伏計； n —分路数（整数）。

接到檢流表的电綫之間的絕緣电阻应当不小于 10^{13} 欧。帶有鏡式檢流表的設備必須定期作电路中有无漏电的檢查。为了这个

目的(图5), 拿去电介质的试样、冷却环和上电极之后, 让电路接上电压(100~500 伏)并合上开关 K_1 , 扳 K_2 到位置 2 上, 逐渐移动分流器的滑动臂到有最大的电流流过检流表的位置。待证实小镜不再偏转时, 用转换开关改变所加电压的极性, 如果小镜还是不偏转, 这就说明绝缘电阻是够的。

比容电阻根据公式(2)和公式(3)来计算。测定表面电阻, 可以就使用测定容积电阻所用的那个试样和电极。试样的表面电阻(图6的电路)是

$$R_s = \frac{U}{C_D \alpha n}。$$

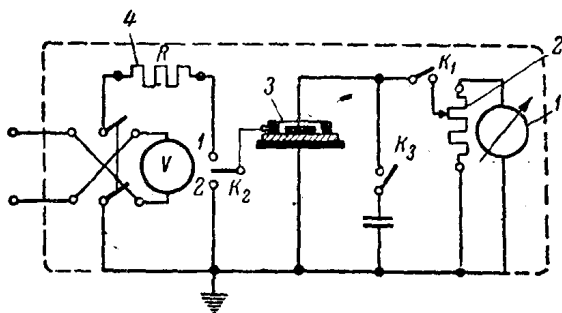


图6. 测量表面电阻用的电路(代号参考图5)。

ρ_s 分别根据公式(9)或公式(10)来计算。

内电阻要使用上面所述的插塞式电极来测量。内电阻(图7的电路)是

$$R_{du} = \frac{U}{C_D \alpha n}。$$

当 $d=0.5$ 厘米和 $D=1.25$ 厘米时, 可以利用关系式(7)来计算比内电阻。当检流器的常数为 $C_D=10^{-9}$ 安/毫米和电压为 100 伏时, 最大可以测量的电阻值(R_v , R_s 或 R_{du})是 10^{11} 欧。测量的误差, 在高级绝缘下和采用 M21 型镜式检流表时, 不超过 10~20%。

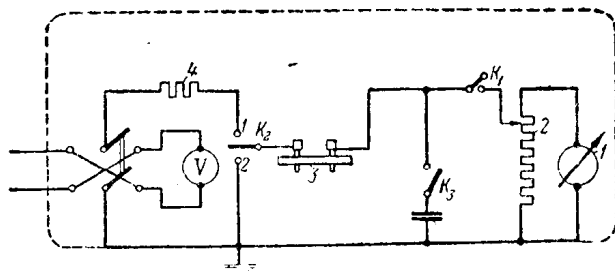


图 7. 测量内电阻用的电路(代号参考图 5)。

3. 电容器放电法

这个方法是以测量 τ 时间内储存在与试样串联的电容器中的电量为基础的。电容器应当有极大的内电阻和极高的绝缘电阻以避免有显明的电漏。测量时用的检流表, 冲击常数应当不大于

$$C_B = 10^{-8} \text{ 庫倫/毫米。}$$

测量容积电阻用图 5 所示的电路。合上闸刀开关之后, 扳开关 K_2 在位置 1 上(图 5), 以一定的时间 (300 秒) 闭合开关 K_3 , 而后扳开关 K_2 到中间位置, 闭合开关 K_1 并且在最大值分路电阻数 n (整数) 下测读检流表的偏转。假使检流表的偏转不够明显, 那就在别的 n 值下, 重新再测量。断开 K_1 后, K_2 转换到位置 2 上使测试系统短路五分钟; 而后, 转换双掷闸刀开关以改变极性再照上述的程序重新再测量。试样的容积电阻是(图 5 的电路)

$$R_v = \frac{U\tau}{C_B \alpha n} \quad (12)$$

试样的表面电阻, 用同一方法来测定, 但用图 6 所示的电路, 得

$$R_s = \frac{U\tau}{C_B \alpha n} \quad (13)$$

层状材料的内电阻则按图 7 的电路测量:

$$R_{in} = \frac{U\tau}{C_B \alpha n}$$