

电 子 管 测 试

苏联 И. А. 杜德尼克 著

陈国平 译 徐淦卿 校

人 民 邮 电 出 版 社

Л. А. ДУДНИК
ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП
СОВЕТСКОЕ РАДИО 1958

内 容 提 要

本书叙述功率放大管、中等功率振荡管、高频放大管和变频管的测试方法和所用设备的原理图，介绍电子管输入阻抗和管内噪声测量的知识。此外，简要地讲到电子管的机械试验、气候试验以及电子管参量测试的综合设备。

本书可供电子管测试工程技术人员以及邮电院校师生阅读。

电 子 管 测 试

著 者：苏联 Л. А. 杜 德 尼 克
译 者：陈 国 平
校 者：徐 淦 卿
出版者：人 民 邮 电 出 版 社

北京东四6条13号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号)

印刷者：北 京 东 单 印 刷 厂
发行者：新 华 书 店 北 京 发 行 所
经售者：各 地 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32

1965 年 7 月北京第一版

印张 6 20/32 页数 106

1965 年 7 月北京第一次印刷

印刷字数 151,000字

印数 1—9,150 册

统一书号：15045·总 1487—无 428

定价：(科 5) 0.75 元

目 录

第 一 章 电子管测试	1
§ 1.1 引言	1
§ 1.2 电子管的电气性能和测试方法	2
第 二 章 灯丝电压与灯丝电流的测量	6
§ 2.1 温度对阴极工作状态的影响	6
§ 2.2 灯丝电压和灯丝电流对阴极工作的影响	7
§ 2.3 板流对阴极灯丝电流的影响	8
§ 2.4 阴极的反馈	9
§ 2.5 测量灯丝电压和灯丝电流的原理图	11
第 三 章 阴极发射的测量	13
§ 3.1 阴极发射能力的各种标准	13
§ 3.2 在直流电压下测量阴极的发射	14
§ 3.3 在交流电压下测量阴极的发射	18
§ 3.4 在脉冲电压下测量阴极的发射	19
§ 3.5 用阴极射线示波器研究阴极发射	23
§ 3.6 阴极名义发射的测量	24
第 四 章 电极电流的测量	25
§ 4.1 板流和帘栅流的测量	25
§ 4.2 控制栅流	27
§ 4.3 控制栅极总电流的测量	35
§ 4.4 栅流中离子电流分量的测量	38
§ 4.5 栅极热电子发射的测量	39
§ 4.6 阴极电流的测量	45
第 五 章 电子管电极的耗散功率和电极温度的测量	46
§ 5.1 电极耗散功率的测量	46
§ 5.2 电极温度的测量	48

第 六 章 极間电容的測量.....	56
§ 6.1 电子管极間电容的測量	56
§ 6.2 电桥法	59
§ 6.3 替换法	60
§ 6.4 分压法	62
第 七 章 静态特性曲綫的測繪.....	65
§ 7.1 电子管的静态特性曲綫	65
§ 7.2 直流状态下特性曲綫的測繪	66
§ 7.3 測繪静态特性曲綫的脉冲法	67
§ 7.4 在交流状态下測繪振蕩管的静态特性曲綫	77
§ 7.5 描繪静态特性曲綫的示波法	79
第 八 章 电子管静态(特性)参量的測量.....	82
§ 8.1 静态特性参量	82
§ 8.2 根据电子管的静态特性曲綫用图解法 决定电子管的参量	85
§ 8.3 两次讀数法測量参量	86
§ 8.4 用电压比法測定静态参量	88
§ 8.5 板流的交变分量法	93
§ 8.6 在板路中用电子稳压器的板流交流分 量法 (Д. В. 西尔季耶夫法)	99
§ 8.7 用脉冲法測量跨导	105
第 九 章 測量电子管参量时誤差的确定.....	107
§ 9.1 測量电子管参量的誤差	107
§ 9.2 測定参量的方法的誤差	107
§ 9.3 由于电子管工作状态改变而产生的誤差的确定	110
§ 9.4 仪表的誤差对測量参量的准确度的影响	111
§ 9.5 被测管的状态参量的測量誤差的确定	113
第 十 章 功率放大管和中等功率振蕩管的測試.....	115
§ 10.1 功率放大管的动态測量	115
§ 10.2 工作在甲类状态的低頻放大电子管的	

有用功率和非线性失真的测量.....	116
§ 10.3 工作于乙类状态的低频放大管的输出有用功率的测量	120
§ 10.4 工作于高频谐振放大状态的电子管的振荡功率的测量	123
第十一章 高频放大管和变频管的测试	128
§ 11.1 高频放大管的测试.....	128
§ 11.2 变频管的测试.....	137
第十二章 电子管输入阻抗的测量	145
§ 12.1 高频和超高频电子管的参量.....	145
§ 12.2 测量电子管在超高频上的输入导纳的方法.....	152
第十三章 电子管噪声的测量	160
§ 13.1 电子管的噪声来源和噪声参数.....	160
§ 13.2 电子管高频噪声的测量.....	162
§ 13.3 热丝噪声(哼声)的测量.....	166
§ 13.4 电子管受到机械和音响作用时所引起 的噪声的测量.....	169
第十四章 电子管的非电量测试	171
§ 14.1 关于机械试验和气候试验的一般概念.....	171
§ 14.2 振动稳定性试验.....	173
§ 14.3 谐振特性曲线的描繪.....	177
§ 14.4 振动强度和冲击强度的试验.....	179
§ 14.5 气候试验.....	182
第十五章 测量电子管电气参量的综合设备	184
§ 15.1 对生产设备所提出的基本要求.....	184
§ 15.2 电子管参量测量装置中的电源和调节设备.....	186
§ 15.3 综合设备中电气测量仪表的选择.....	189
§ 15.4 转换设备和辅助设备.....	191
§ 15.5 测量电子管参量的典型综合设备.....	191
§ 15.6 测试设备自动化的展望.....	200

第一章 电子管測試

§ 1.1 引 言

从第一次实现无线电通信和出现第一只电子管以来，时间过得不久。但是无线电技术和电子学却以迅速而日益增长的速度在发展。目前电子管在各个科学、技术和工业部门中都得到应用。由于对电子管的需要不断增加，它的生产就一直在扩大。

现代的电子管在各种各样的情况下工作，有时是在恶劣的条件(北极的严寒、热带的气候、低气压等等)下工作；在这些情况下，电子管工作的正确性不应有所破坏。在船上、汽车上和导弹中的电子设备应该工作得象在实验室中一样地可靠。

由于对电子管质量的要求很高，因此对它的生产和测试的要求必然是苛刻的。显然，在检验时，对电子管的要求要比在工作状态时对电子管的要求还要苛刻。下面列举一些电子管测试(无论是在大量生产过程中，还是在实验室实验中)的一般情况。

在电子管移交大量生产之前，其实样管须通过工厂试验室的全面鉴定。这些鉴定的目的是确定样管的参量是否符合用户对这种型号的电子管所提出的要求。另一方面，鉴定的目的是在试验过程中修改车间测试和验收测试的工作状态和标准的初步资料。在进行车间大量测试和技术监督科的测试时，则是剔出电子管生产过程中的废品。寿命抽样测试对于不断监督电子管制造工艺的正确性也起了非常重要的作用。

车间测试电子管用设备应该具有运用简单的特点，因此目前正在进行使检验工业生产的电子管质量的过程自动化的研

究工作。工厂試驗室測試的电子管的数量比較少，所以可以用較复杂的設備，而檢驗过程就不必自动化。电子管的驗收試驗是生产过程的最后一步。所有的試驗均应严格按照固定全苏标准、总技术条件和分技术条件的要求来进行^①。

在科学研究所和实验室的实践中，常常应用一些特殊的电子管（测量用电子管、电测用电子管、压力計管等等）以及在非标准状态下成批生产的电子管。測試这一类电子管就决定于对它們所提出的要求，而不可能有統一的标准。

在本书中，不論是标准化了的大量測試方法，还是实验室的旨在确定电子管各种性能的測試方法，作者均将加以討論。

电子管的主要性能决定于它的电气数据，这是因为它們决定了电子管在各种条件下能否运用的問題。因此电子管的电气測試在鑑定电子管方面起着主要的作用，而本书基本上就是闡述电气測試。但是电子管在工程上的价值及其可靠性并不只决定于它的电气数据。要保証电子管的可靠性，还應該在机械上牢固，能在各种气候条件下工作。为了測定电子管的机械性能以及在各种溫度和湿度下工作的能力，应用各种專門的非电量測試方法。

§ 1.2 电子管的电气性能和測試方法

电子管的电气性能可以通过它們的电气特性曲綫和参量来确定。

表示板极和栅极的电流与这些电极上电压的关系的曲綫称为电子管的特性曲綫。表明电子管性能以及决定电子管运用条件的基本量称为电子管的参量^[1]。但是，應該指出：目前還沒

① 这是苏联的情况—編者註。

有作为确定电子管性能判据的“参量”的确切而单值的定义，不同的作者对它们都加进了不同的内容。

从“参量”的一般概念出发，下面我们将引出“电子管特性参量”的标准^[2]。通过它们可以确定在电子管板路和栅路中的电流和电压之间的关系的一些常量，称为特性参量。

以三极管为例来说明这个定义。在三极管中，板流和栅流 (I_a 和 I_c) 是两个电压——板压 (U_a) 和栅压 (U_c) 的函数，即：

$$I_a = f_1(U_c, U_a), \quad (1.1)$$

$$I_c = f_2(U_c, U_a). \quad (1.2)$$

对于这两个电流中的每一个都可写成全微分的形式：

$$dI_a = \frac{\partial I_a}{\partial U_c} dU_c + \frac{\partial I_a}{\partial U_a} dU_a, \quad (1.3)$$

$$dI_c = \frac{\partial I_c}{\partial U_c} dU_c + \frac{\partial I_c}{\partial U_a} dU_a. \quad (1.4)$$

在方程式 (1.3) 和 (1.4) 中，电压前面具有电导量纲的系数决定了电子管电压和电流变化时它们之间的关系。这四个系数就称为电子管的特性参量。

在超高频 ($f \geq 30$ 兆赫) 上，一些附加的因素，例如电子在管内电极间的飞越时间，引线电感和互感以及极间电容都会影响电子管的工作。为了说明电子管的性能，要用所有四个特性参量。当电子管在高频范围 (频率从 30 兆赫到 10 千赫) 内工作时，上面所指出的附加因素中，实际影响电子管工作的仅是极间电容，而为了描述电子管的性能，仅需用上面指出的四个特性参量中的两个，即：

$$\text{跨导} \quad S = \left. \frac{\partial I_a}{\partial U_c} \right|_{U_a = \text{常数}}, \quad (1.5)$$

$$\text{內阻} \quad R_i = \frac{\partial U_a}{\partial I_a} \bigg|_{U_c = \text{常数}} \quad (1.6)$$

除了在方程式 (1.3) 中引入的这两个参量之外，还可引入一个称为放大系数 (μ) 的特性参量，它决定于关系式：

$$\mu = R_i S = \frac{\partial U_a}{\partial U_c} \bigg|_{I_a = \text{常数}} \quad (1.7)$$

至于其余两个特性参量[見方程式(1.4)]，其中第一个参量 $\left(\frac{\partial I_c}{\partial U_c} \text{——輸入導納}\right)$ 在这些頻率上并不影响电子管的工作，而第二个参量 $\left(\frac{\partial I_c}{\partial U_a} \text{——跨路導納}\right)$ 在这些頻率上仅仅决定于板极和控制柵极之間的极間电容。

在低頻（音頻）范围，即頻率低于 10 千赫时，为了描述电子管的性能，用由方程式 (1.7) 联系在一起的三个特性参量 μ 、 S 和 R_i 就够了。

电子管的参量根据电子管工作状态可分为两类：

1. 静态参量——板路內沒有負載时所确定的参量。
2. 动态参量——板路內有負載时所确定的参量。

在原理上，电子管所有静态参量的测量方法都是以式 (1.5, 1.6, 1.7) 表示的定义为基础的。在这些公式中，用电流和电压的极其微小的增量代替偏微分，而且认为此时用来确定参量的这一段特性曲线是直线，則可以根据用任何一种方法所获得的增量的比值来决定所求参量的数值。

加到电子管电极上电压的增量可以是：1. 直流的，2. 交流的，3. 脉冲的。测量静态特性的方法取决于增量的性质，根据

① 原书誤为 $\frac{U_a}{\partial U_c} \bigg|_{I_a = \text{常数}}$ ——譯者注。

这点可以分为：

1. 直流增量静态参量测量法（补偿板流的两次读数法）。
2. 交流增量静态参量测量法（电压比法，板流交流分量法）。
3. 脉冲增量静态参量测量法。

所加电压的数值对测量方法的准确度有很大的影响，准确度随着增量的增加而减小。

由于工程上的一些原因，目前最普遍应用的是第二种方法，即交流增量法。

测量参量的过程一般如下：在电子管电极上加上正常测试状态所需的一定直流电压，然后当电极电路中建立了相应的电流值和电子管正常工作温度后，在电极上加上由测量条件所规定的微小的电压增量，再测出相应的电流增量，根据所得的实验数据算出待求的参量。运用交流电压比法或直流补偿法可以得到最准确的结果。当对测量准确度的要求不高时，使用直流电压增量两次读数法更为方便，因为这种方法可以应用最简单的测量设备。

在某些场合，根据电子管的测试条例，不仅要测定静态参量，而且还要画出静态特性曲线。和测定静态参量一样，根据描绘静态特性曲线的测量方法，可以应用直流的、交流的和脉冲的电压。特性曲线或者是逐点地（在应用适当的测量仪器的情况下，所得的准确度最高），或者用示波器来绘制。后一种方法所化费的时间较少，但准确度远不及第一种。

为了获得单值而可靠的结果，被测管应该处于严格确定的状态，以后为简单起见，称之为电子管的测试状态，它是指各电极电压和电流为额定值以及电子管已建立热平衡的总和。

电子管的静态参量决定了电子管的性能，但是并不总能给

出电子管在任何一种实际电路中工作时的质量的完备数据。为了更加准确地确定电子管的工作质量，使用动态参量。动态参量随电子管的主要用途而异。例如对于用于末级放大的电子管，动态参量是有效振荡功率和非线性失真电平；对于振荡管是振荡功率和效率，对于变频管是变频跨导和在变频状态时的内阻。在某些场合，动态参量与静态参量是一致的，例如高频放大四极管和五极管就是如此，静态跨导也就是它的主要的动态参量，它与负载电阻的乘积就决定了电子管的放大量。

第一章 参考文献

1. Приборы электровакуумные, проект ГОСТ. Составил С. А. Оболенский. 1941.
2. В. Ф. Власов. Электровакуумные приборы, Связьтехиздат 1949.

第二章 灯丝电压与灯丝电流的测量

§ 2.1 温度对阴极工作状态的影响

决定所有阴极工作状态的主要因素是温度。

阴极的结构分为两大类：直热式阴极和旁热式阴极。在直热式阴极中，加热电流直接通过灯丝金属；在纯金属阴极中，它本身又是电子的源泉。在旁热式阴极中，电子的发射体是涂复于基金属上的氧化物涂层。阴极基金属用特殊的、与之绝缘的热丝来加热。旁热式阴极的热丝用钨丝或钨钼合金丝制成，用氧化铝（刚玉）作为热丝的绝缘涂层。

为使电子管阴极正常工作，需要一定的温度：钨阴极为 $2300—2700^{\circ}\text{K}$ ，钨钼阴极为 $1800—1900^{\circ}\text{K}$ ，氧化物阴极为 $950—$

1150°K 等等。阴极温度的改变对于各种电子管的工作均有不良的影响。例如鎢阴极的温度改变 1% 时，阴极发射大致改变 20%，其他简单的纯金属阴极也是如此。

对于复合阴极，温度恒定不变的重要性并不减少，氧化物阴极温度的降低与升高对它的工作都有不良的影响。但是由于缺乏足够简单的测量阴极温度的方法，因此在大多数情况下，在电子管的工作期间不能控制阴极的温度使之固定不变。实践上是用调节灯丝电压或灯丝电流来确定阴极的温度。

§ 2.2 灯丝电压和灯丝电流对阴极工作的影响

维持灯丝电压或灯丝电流不变，并不能保证阴极温度完全不变，但是在实用上可以应用这两种方法中的任何一种。

在电子管点燃期间，由于阴极金属蒸发，灯丝电阻 $R_{\text{н}}$ 相应地增加，在维持电压不变的情况下，灯丝功率 $P_{\text{н}}$ 不断减小；在维持灯丝电流不变的情况下，则 $P_{\text{н}}$ 增加，这可由式 (2.1) 和式 (2.2) 得出：

$$\text{电压不变时} \quad P_{\text{н}} = \frac{U_{\text{н}}^2}{R_{\text{н}}}, \quad (2.1)$$

$$\text{电流不变时} \quad P_{\text{н}} = I_{\text{н}}^2 R_{\text{н}}, \quad (2.2)$$

式中 $U_{\text{н}}$ ——灯丝电压， $I_{\text{н}}$ ——灯丝电流。

B. И. 瓦洛金和 C. A. 维克辛斯基^[1,2]曾经指出：对于鎢阴极，假定维持其灯丝电压不变，则在寿命終了时，阴极将工作于加热稍不足的情况下（差 5%），因此阴极的效率稍有降低，但与维持灯丝电流不变相比较，阴极寿命可提高为原来的 2~2.5 倍。因此对于鎢阴极，建议在电子管工作时维持灯丝电压不变。

阴极的定压和定流工作状态的优点的解释并不完全适用于

复合阴极。敷钽阴极和敷钼阴极的工作温度比钨阴极低得多，因此心金属的蒸发就不那么严重。实际上这种阴极的寿命决定于激活层的寿命。

旁热式氧化物阴极的寿命同样决定于激活层的寿命，因为钨制热丝（或者钨钼合金的热丝）的寿命很长。所以与简单的钨阴极相比，复合阴极的寿命及阴极发射的固定不变与为使阴极工作状态保持不变所选用的方法关系不大。

§ 2.3 板流对阴极灯丝电流的影响

电子管内产生板流后将发生下列现象：

1. 板流通过灯丝，改变了灯丝电流的数值。
2. 流过相应电极的板流和栅流在这些电极上以热的形式耗散功率 P_a 和 P_c ，结果改变了这些电极的温度和阴极的辐射条件。
3. 从阴极飞出的电子带走了能量，因而降低了阴极的温度。

知道了板流 I_a 的数值，就可以确定阴极正支路和负支路内灯丝电流的总的数值^[8]。从图 2.1 可看出：在负支路内，灯丝电流和板流相加，而在正支路内则相减。

当灯丝电路没有接进电阻时，在靠近灯丝的正端，灯丝的总电流为：

$$I_{n+} = I_n - \frac{1}{2} I_a .$$

在靠近灯丝的负端，灯丝的总电流为：

$$I_{n-} = I_n + \frac{1}{2} I_a .$$

这个结论对于直热式阴极的收音放大管特别重要，因为在

这类电子管中，灯丝电流常常可以和板流相比拟。例如电子管 $2\Pi 1\Pi$ 的 $I_{\text{H}}=60$ 毫安， $I_{\text{a}}=10$ 毫安，而电子管 $4\Pi 1\Pi$ 的 $I_{\text{H}}=325$ 毫安， $I_{\text{a}}=60$ 毫安。

实际上，通常对于这类电子管，在国定全苏标准中规定了调整电阻和灯丝电源电压的数值。

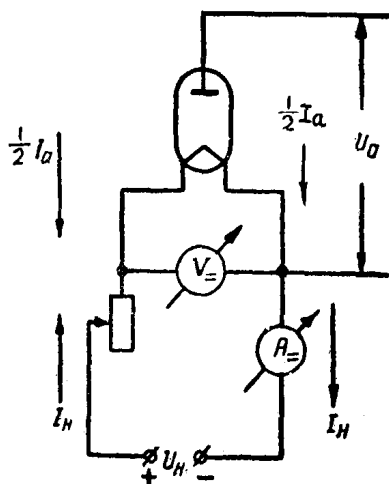


图 2.1 板流通过时对灯丝电流的影响

如上所述，在电子管电路中有板流和栅流的第二个结果乃是由于这些电极上耗散功率而引起的电极发热。在这方面，最重要的是电子管板极上耗散的功率。板极耗散的功率 P_{a} 愈大，板极面积愈小，也就是耗散的比功率愈大，则发射电流对阴极温度的影响也愈大。由于现代的电子管制造技术趋向于提高阴极的发射和减小电极尺寸，因此板极的热辐射使阴极加热的問題日益重要。

由于逸出电子带走能量而导致灯丝的冷却只是当板压刚刚加上的瞬间才表现出来，因为此时电子管管内的电极由于热惯性还没有热透。在工作状态建立起来之后，板极表面达到的发热程度基本上决定了管内的热平衡，于是因电子逸出带走能量而导致的灯丝冷却可忽略不计。

§ 2.4 阴极的饋电

阴极可以用直流和交流饋电。我们来研究这两种饋电方法

的优缺点。直流饋电，特别是用蓄电池饋电，能保証阴极工作十分稳定。这种饋电方法的缺点首先是灯絲負端过热（对于直热式阴极），因而阴极寿命有所縮短。

交流饋电消除了灯絲加热的不均匀。阴极用交流市电饋电非常方便。但是交流饋电有它的缺点：阴极温度波动，阴极—控制栅极之间的电位差周期地改变，交流电流会产生交变电磁场。

我們来对这些现象作更加詳細的討論。

交流饋电时，直热式阴极温度的变化可用公式表示为^[4]：

$$\Delta T = \frac{P'_n}{4\pi fcd},$$

式中 P'_n ——阴极单位长度和单位直径上的平均輸入功率，

f ——交流电流的頻率，

c ——阴极的热容量，

d ——阴极的直径。

从所列出的关系式看出：在 P'_n 值不变时，温度的变化反比于交流电流的頻率、阴极材料的热容量和它的直径。因此为了减小温度波动对阴极工作的影响，应该用热容量大和直径粗的金属制造阴极。

直热式电子管使用交流饋电时所引起的控制栅电位周期的变化，在栅路和阴极的一端相連接时更为强烈，它导致板流周期的变化。当电子管用在放大电路中时，板流的这种变化造成了所謂“哼声”。

灯絲电流的电場和磁場的影响实际上只是在大功率的振蕩管中才显得重要，因为其灯絲电流达到很大的数值。在收信放大管中，几乎并不产生这种现象。

以上所指出的缺点主要是属于直热式阴极电子管的。

§ 2.5 测量灯丝电压和灯丝电流的原理图

在其他电极没有电流的条件下所测得的用于加热阴极的电流称为灯丝电流。所以要附加这样的条件是因为当其它电极有电流时，在电子管不同的工作状态下所测得的灯丝电流将不相等。

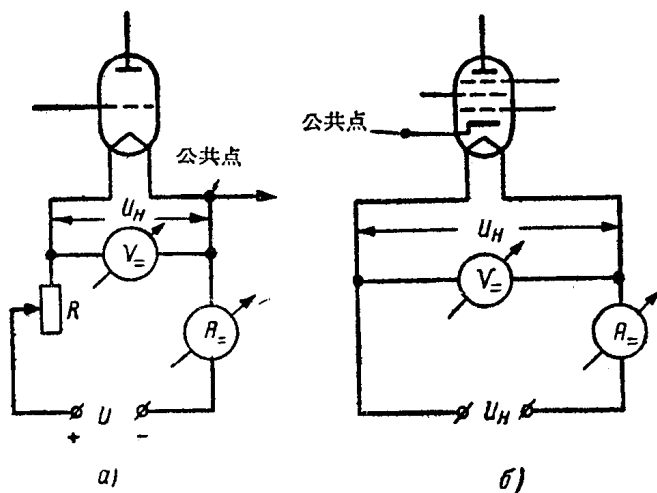


图 2.2 测量灯丝电流的电路

a. 直热式阴极电子管, b. 旁热式阴极电子管

图 2.2 示出测量直热式阴极电子管 (图 2.2, a) 和旁热式阴极电子管 (图 2.2, b) 灯丝电流的原理图^[5, 6]。假定图中标出的公共点的电位等于零, 而其余所有电极的电位均为对该点而言的电位值。对于直热式阴极, 公共点是灯丝的负端; 对于旁热式阴极, 公共点是阴极; 对于整流器, 公共点是变压器次级绕组的中点。

为了避免测量灯丝电流时所得的误差大, 应该采用电流损

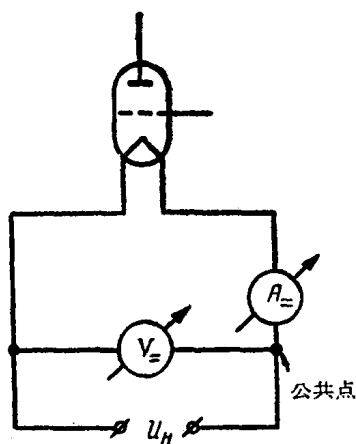


图 2.3 测量灯丝电压的电路

降与灯丝上的电压相比很小。

耗小的伏特計来测量灯絲电压。根据图 2.2，在测量电流时，由伏特計所引起的誤差决定于比值 R_{κ}/R_{BH} ，其中 R_{κ} 是阴极在熾热状态下的电阻， R_{BH} 是伏特計的内阻。

图 2.3 表示了测量灯絲电压的电路。在测量灯絲电压时，監視灯絲电流强度的安培表应该选用内阻尽可能小的，使得安培表上的电压

第二章 参考文献

1. В. И. Волюнкин. Т и Т (б. п.), № 46, 16—32, 1928.
2. С. А. Векшинский. Т и Т (б. п.), № 46, 32—43, 1928.
3. Э. Л. Чеффи. Теория электронных ламп. Связьтехиздат, 1937.
4. В. Ф. Власов. Электровакuumные приборы. Связьтехиздат, 1949.
5. ГОСТ 8090—56. Лампы электронные маломощные. Методы измерения тока и напряжения накала.
6. ГОСТ 7046—54. Лампы электронные генераторные и мощные усилительные. Методы электрических испытаний.