


高等学校教学用书



普通生物物理学  
实验指导

第二册

Б. Н. 塔魯索夫 主編

高等教育出版社

高等学校教学用书



# 普通生物物理学实验指导

第二册

电子学基础

B. H. 塔魯索夫 主編

艺 先 譯

高等教育出版社

本书系根据“苏维埃科学”出版社 (Государственное издательство «Советская наука») 1958年出版的“普通生物物理学实验指导”(Практикум по общей биофизике)一书译出。全书共八册,由苏联国立莫斯科大学生物土壤学系生物物理学教研室主任 Б. Н. 塔鲁索夫教授主编。主要内容包括现代生物物理学各部门的实验室工作,例如,电学方法在生物学中的应用,光生物学、放射生物学、放射性同位素以及射线剂量学的实验操作训练等。

第二册为“电子学基础”,著者为 В. Г. 霍马兹尤克。原书经苏联高等教育部审定为国立大学教学参考书。第二册共分十二章,内容包括直流电和交流电的规律;测量仪表和测量电桥的使用;电子管的构造和特性;整流器、放大器以及振荡器的原理和用途;电测测量方法和电子示波器的原理及应用等。本书可做综合大学生物系生物物理学专业的实验教材,也可供其他生物科学研究工作者和有关教师参考。

## 普通生物物理学实验指导

### 第二册

### 电子学基础

Б. Н. 塔鲁索夫 主编

艺先译

高等教育出版社出版 北京宣武门内大街甲7号

(北京市书刊出版业营业登记证出字第054号)

人民教育印刷厂印刷 新华书店发行

统一书号 13012·763 开本 850×1168 1/32 印张 3<sup>11</sup>/<sub>16</sub>  
字数 79,000 印数 0001—7,000 定价(6) 0.20

1960年3月第1版 1960年3月北京第1次印刷

## 序 言

在生物物理研究领域中，各种电工仪器的广泛采用，要求生物物理学工作者和生物学工作者具有基本的电子学知识，即具有使用那些在研究工作中被采用的电气真空仪器的理论和实验基础。

为了掌握电子学基础，莫斯科大学生物土壤学系生物物理教研室曾组织该专业的大学学生们，进行为期数年的电子学实验。通过实验学会掌握电子学理论基础、绘制电子学仪器的装配和原理草图（如整流器、放大器、振荡器等）、独立安装和调整这些仪器。但是，在生物土壤学系，学生使用现有的电子学和无线电技术实验指导进行电子学实验，碰到了很大困难，因为在这些实验指导中常常估计学生们已精通物理学或无线电技术了。

上述情况就向我们提出了一项任务，要编写初级的电子学实验指导；生物物理专业的学生应用它就能够掌握电子学基础，并完成相应的实验室工作。

为了这个目的，而开始了这本教材的准备工作。

书中电子学理论基础的叙述占较大篇幅，几乎每章末尾都编入示范性的实验操作。

因为分配给进行电子学实验的学时为数不多，所以电子学的某些重要部分（如光电倍增管、半导体仪器等）完全没有被涉及到。

在编写本实验指导时，T. A. 耶尔金纳副教授与生物科学博士И. И. 古利亚耶夫在弥补缺陷方面给予著者很大帮助，著者对他们表示深切谢意。

著者也预先感谢那些读到本书后将会寄来自己的批评和意见的全体读者。

# 目 次

序 言	vi
第一章 直流电	1
直流电定律	1
电容器的充电与放电	3
电路 $RL$ 中的传导过程	6
直流电功率	7
实验 1. 测定时间常数 $RC$	8
第二章 交流电	9
交流电的性质	9
具有电阻、电感和电容的交流电路	10
具有 $r$ 、 $C$ 和 $L$ 的交流电路的电压矢量图	14
电压谐振	15
电流谐振	17
交流电功率	19
实验 2. 交流电路相位差的测定	19
第三章 测量仪表和测量方法	21
仪表分类	21
仪表精确度分类	23
仪表的灵敏度	23
仪表系统和技术性能符号	24
电流的测量	26
电压的测量	27
交流电频率的测量	28
实验 3. 使用同一仪表测量电流强度与电压	29
第四章 测量电桥	30
测量电桥工作原理	30
直流电电桥	31
交流电电桥	32
交流电电桥的灵敏度	35
作放大器和换相器用的电桥	36

测量电桥在生物物理学上的应用	37
实验 4. 测量电桥	38
<b>第五章 电子管</b>	<b>31</b>
电子管的构造	39
充气管	40
电子管的特性曲线	41
电子管的静态参数	43
电子管的动态参数	45
电子管的互换	48
实验 5. 绘出三极管的特性曲线	48
<b>第六章 二极管整流器</b>	<b>50</b>
交流电整流器	50
整流器中二极管的作用	50
平流滤波器	53
二极管整流器的计算	55
直流电压稳定器	59
电流的稳定	63
实验 6. 二极管整流器	64
<b>第七章 电气信号的放大</b>	<b>65</b>
放大器的功用	65
放大器分类	67
放大器等效电路	68
电阻耦合放大器	71
放大器的反馈	76
电阻耦合放大器的计算	79
实验 7. 电阻耦合放大器	82
<b>第八章 电振荡的发生</b>	<b>83</b>
振荡器的用途	83
RC-振荡器	83
多管振荡器	86
锯齿形电压振荡器	87
实验 8. RC-振荡器	88
<b>第九章 电测测量</b>	<b>90</b>
电测测量的特征	90
用静电计测定微弱直流电	91

电测电子管.....	92
磁直流电放大器.....	94
电测测量的应用.....	97
实验 9. 光电流放大器.....	97
<b>第十章 电子示波器</b> .....	<b>99</b>
电子射线管.....	99
示波器的构造.....	100
两波动振幅的比较.....	101
测定周期性波动的频率.....	102
相位差的测定.....	104
实验 10. 测定交流电的频率和相位差.....	105
<b>第十一章 电子管电路零件</b> .....	<b>107</b>
电阻.....	107
电感线圈(抗流线圈).....	108
电容器.....	111
变压器.....	111
<b>第十二章 电子管电路的安装</b> .....	<b>114</b>
无线电零件的选择.....	114
安装时零件的排列.....	114
固定零件.....	115
安装电子管.....	116
焊接工具和零件的焊接.....	117
试验装制成功的电路.....	118
<b>参考文献</b> .....	<b>120</b>

# 第一章 直流电

## 直流电定律

大小和方向不变的电荷流称为直流电；使电荷朝一定方向运动的力称为电动势(Э. Д. С.)。

电动势以伏特計。某电源給出一庫侖电量沿整个閉合电路运动，所完成的功等于一焦耳时，則此电源的电动势等于一伏特。

正电荷在电流电源的外电路永远朝电位降低的方向运动；相反地，負电荷則朝电位升高的方向运动。不管电荷实际运动的情况如何，在电路中采用正的电流方向作为电荷在某电动势的作用下应当运动的方向。

单位時間內流經导綫横断面的电量称为电流强度。电流强度以安培計。在一秒钟內流經导体横断面的电量为—庫侖的电流为一安培。

电流沿导体流动时，在导体两端必定存在着电位差。电位差称为电压。电压的量和电动势的量都以伏特度量。

伽万尼电池、硷的或酸的蓄電池都可作为直流电电源。

电流和电压在电路中的分配遵守欧姆定律与基尔霍夫定律。

**欧姆定律** 閉合电路中的电流强度与作用于电路上的电动势成正比，与电路总电阻成反比：

$$I = \frac{E}{R_i + R_n}, \quad (1.0)$$

式中： $I$ ——电流； $E$ ——电动势； $R_i$ ——电源內电阻； $R_n$ ——外电路电阻。



对于一段电路,欧姆定律表明,在某段电路上电流强度与电压成正比,与该段电路的电阻成反比:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (1.1)$$

式中:  $U$  —— 电压;  $R$  —— 该段电路的电阻;  $I$  —— 电路内电流强度。

导线的电阻  $R$  决定于制造导线的材料以及几何的大小; 导线的电阻以欧姆计。在导线内一伏特的电压造成一安培的电流, 则此导线的电阻为一欧姆。

**基尔霍夫定律** 基尔霍夫第一定律确定在电路分路点(节点)上各电流的相互关系: 所有流入电路分路点(节点)的电流之和等于所有流出该分路点的电流之和。如果把关于分路点的基尔霍夫第一定律绘成图 1, a, 则可将该定律列成以下的等式:

$$I_1 + I_2 + I_4 = I_3 + I_5. \quad (1.2)$$

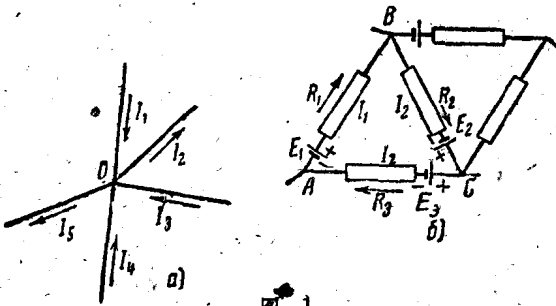


图 1

基尔霍夫第二定律可用下面的一句话来说明: 任一闭合电路中所作用的电动势的代数和等于该电路中电压降的代数和。在把基尔霍夫第二定律绘成任何回路时, 必须选择回路分路的方向, 如果电动势和电压降与分路方向一致, 则认为电动势和电压降的方向为正。作为一个例子, 我们把基尔霍夫第二定律绘成图 1, b 的电路回路  $ABC$ 。如果分路方向按顺时针方向, 则

$$E_1 + E_2 - E_3 = I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3. \quad (1.3)$$

欧姆定律可以计算串联和并联的分路电路。比较复杂的电路可用基尔霍夫定律计算。

## 电容器的充电与放电

电容器系两块导电的薄片，其中隔以不导电物质(电介质)。电容器储存电荷的能力称为电容量。电容量的值由下式决定：

$$C = \frac{Q}{U}$$

式中： $C$ ——电容器容量； $Q$ ——一种电荷的电量； $U$ ——电容器薄片间电位差。

电容量以法拉计。电容器薄片间电位差为一伏特，充电量为一库仑，则此电容器的电容量为一法拉。

法拉的细分单位是微法拉(μf)及微微法拉(μμf)，微微法拉也称为粉粉法(pf)。

$$1 \text{ 微法拉} = 10^{-6} \text{ 法拉};$$

$$1 \text{ 微微法拉} = 1 \text{ 粉粉法} = 10^{-12} \text{ 法拉}$$

电容器不传导直流电。但是在带有电容器的电路中接上电源时，就发现有电流脉冲通过。

在直流电源电路中，当接通电容器和电阻之前(图 2, a)，电容器尚未充电，其电压为零。接通电键  $KL$  之后，电源电压沿  $R$  和  $C$  分布，这可以用下面的等式表示：

$$E_0 = iR + u_0, \quad (1.4)$$

式中： $i$ ——在瞬时  $t$  电流的瞬时值， $u_0$ ——在同一瞬间电容器薄片间的电压。因为

$$u_0 = \frac{Q}{C},$$

所以(1.4)可以写成下式:

$$E_0 = iR + \frac{Q}{C}, \quad (1.5)$$

由公式(1.5)得出,在开始瞬间( $t=0$ ),而电容器尚未充电时,电流强度*i*等于

$$i = I_0 = \frac{E_0}{R}, \quad (1.6)$$

也就是说电路中通过电流,但在此瞬间内容电容器并不显示电阻。电容器充电的瞬间,电路中电流强度减少。为了求出电流变化的规律,我们从公式(1.5)取时间的导数:

$$R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \frac{dQ}{dt} = 0.$$

由于

$$\frac{dQ}{dt} = i,$$

则上面等式可写成:

$$R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = 0$$

或

$$\frac{di}{i} = -\frac{1}{RC} dt.$$

将此等式积分,得:

$$\ln i = -\frac{t}{RC} + C_0$$

或

$$i = C_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

常数  $C_0$  的积分决定于条件,即当  $t=0$ ,  $i=I_0$  时,  $C_0 = E_0/R$ 。

接通电路后,表示电流变化的最后的公式可写成:

$$i = \frac{E_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}}, \quad (1.7)$$

根据公式(1.4),若电容器内电压升高,将会依下式进行:

$$u_c = E_0 - iR = E_0 \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (1.8)$$

由公式(1.8)可见,电容器电压升高决定于乘积  $RC$ 。当  $t_1 = RC$  时,电容器电压达到  $0.63E_0$ , 而电流强度减少到  $0.37I_0$ , 将  $t_1$  代入公式(1.8)和(1.7), 很容易验证上述二值。

乘积  $RC$  称为电路的时间常数。这个值的计量单位为秒。

当  $t \rightarrow \infty$  时, 电容器充电电流减小至 0, 而电容器电压增加至  $E_0$ 。

这样, 当电容器充电时, 在此瞬间电路中电流趋向最大值( $I_0$ ), 此时电容器电压  $u_c = 0$ , 而当电容器电压达最大值( $u_c = E_0$ )时, 电路中电流  $i = 0$ 。由此可见, 当电路中存在电容器时, 直流电动势电流在电容器未充电以前流过电路。

如果打开  $KL$  关闭  $LM$  (参阅图 2, a), 则放电电流从节点  $N$  经电阻  $R$  流向节点  $L$  (与充电相反)。在这种情况下, 已经充电的电容器就成为电流电源。随着电容器的放电, 电容器中的电压与放

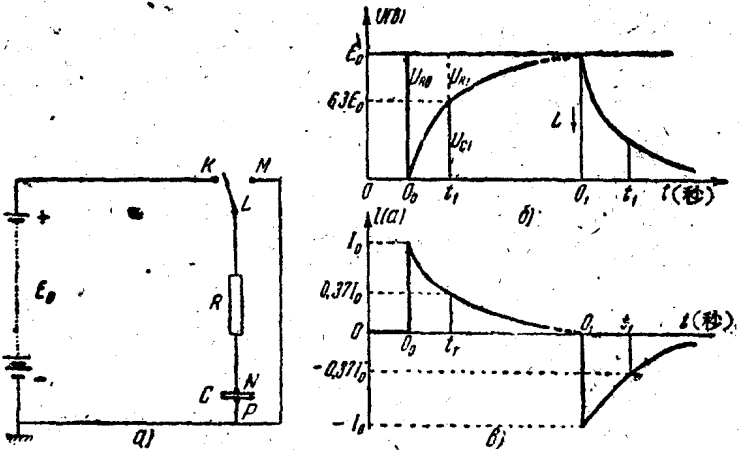


图 2

电电流都降低:

$$u_c = E_0 e^{-\frac{t}{RC}}, \quad i = \frac{E_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (1.9)$$

在公式(1.9)中,时间  $t$  从关闭  $L$  至  $M$  算起。当电容器放电的整个时间,电阻中的电压降等于电容器中的电压(见图 2,6,  $O_1$  点向右)。

根据以上所述,可以得出下面几点结论:

1. 当电容器充电或放电时,电路中通过电流。
2. 电容器放电时,电容器本身成为电流电源。
3. 在连有  $R$  和  $C$  的电路中,当电位差瞬间改变时,电容器并不在一刹那间充电,而是具有一个时间常数  $RC$ , 并依指数定律进行充电。对于电容器的放电来说,也是如此。

电容器的上述特性被广泛应用在平流滤波器中,以便降低整流电压脉冲(参阅第 6 章)。

### 电路 $RL$ 中的传导过程

接通具有电感和电阻的直流电电路时,电流强度不能立刻确定,因为按照楞次法则,在电路中感应出自感电动势,其作用与电流的改变相反:

$$i_0 = I_0 \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right) \quad (1.10)$$

式中:  $I_0$ ——当  $t \rightarrow \infty$  时测定的电流强度;  $L$  和  $R$  为电路的电感与电阻。 $L/R$  值称为电路的时间常数。在电路中施加电动势之后,经过  $t_1 = L/R$  秒,电路中的电流增长至 0.63 倍,其最大值( $I_0$ )。打开电路时,在感应线圈内产生(感应出)与电流方向一致的电动势。尽管切断电路的电池电源,电流继续在并连有线圈的分路中

流动。

这样，感应线圈既降低电路中电流增长的速度也降低电流减弱的速度。因此，电感和电容器一样也被应用在平流滤波器中。由电感造成的断电电动势，常常是很讨厌的。例如，由于断电电动势的存在，在电闸和刀形开关的接点上发生强烈的电火花。在电路中存在带测量仪器或热电偶等的分路时，分路包含的并联电感在断电时所产生的电动势很容易烧毁测量仪器。

## 直流电功率

在一段电路中电源所达到的功率等于：

$$P = I \cdot U,$$

式中： $P$ ——功率； $I$ 和 $U$ ——在该段电路中的电流和电压。如果电流以安培表示，电压以伏特表示，则功率以瓦特来表示。在整个电路中，电源所达到的总功率等于：

$$P = I \cdot E$$

式中： $E$ ——电源电动势。

根据欧姆定律(1.0)将电流强度 $I$ 值代入上式，得：

$$P = \frac{E^2}{R_i + R_n},$$

式中： $R_i$ 和 $R_n$ ——分别为电路的内电阻和外电阻。

由上式可见，总功率达最大值要在 $R_n = 0$ 时，也就是说，在短时间接通时，但此时从电源得到的功率也等于零。

外电路的功率等于：

$$P_n = I^2 R_n = \frac{E^2}{(R_i + R_n)^2} \cdot R_n \quad (1.11)$$

当 $R_n = 0$ 时，功率等于零，功率随着 $R_n$ 的增加而增长，但当 $R_n \rightarrow \infty$ 时，功率又减少到零。当 $R_n = R_i$ 时，外电路的功率将为最

大值，利用数学分析很容易证明此点。

在外电路中，与  $R_n = R_i$  相应的最大功率等于：

$$P_n = \frac{E^2}{4R_i}$$

电源的有效工作系数由负载功率与电源的全功率的比值确定：

$$\eta = \frac{P_n}{P} = \frac{R_n}{R_i + R_n}$$

由公式可见，有效工作系数随着负载  $R_n$  电阻的增长而加大并接近于1。但是，由于  $R_n$  的增长高于  $R_i$ ，外电路的功率因而随之减少，因此，当有效工作系数不太高时，能得到较大功率，而当有效工作系数高时反而得到较小功率。最大功率 ( $R_n = R_i$ ) 的有效工作系数等 50%。

### 实验 1. 测定时间常数 $RC$

实验用具：(1)3—6 伏特蓄电池；(2)10—200 微法拉电解电容器；(3)0.4—0.6 兆欧姆电阻；(4)微安培计(0—50 微安)；(5)秒表。

#### 练习 1

按照图 2, a 安装电路，在电路中电池阳极和  $K$  点间接一微安计。同时关闭电路和打开秒表，测定时间  $t_1$ ，在此期间电流从最大值  $I_0$  减少至  $0.37I_0$  ( $t_1 = RC$ )。试将直接测量的  $t_1$  值与连接在电路中的  $R$  和  $C$  的计算值加以比较。

#### 练习 2

用示波器观察连有  $R$  和  $C$  的电路充电和放电变化曲线。关于示波器的操作参阅第十章。

## 第二章 交流电

### 交流电的性质

大小和方向都变化的电流称为交流电。为了说明交流电的特性，必须知道它变化的规律。按正弦定律变化的交流电被广泛应用于实践中。例如：城市电力网的电流，各种发电机所发出的电流，在研究工作上也被广泛地采用着。

可以从图 3 上看到明显的正弦曲线式交变电流。

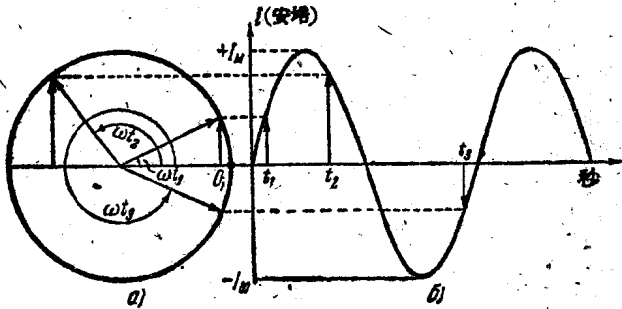


图 3

设电流依下式而变化

$$i = I_m \sin \omega t,$$

式中： $I_m$ ——电流最大值； $\omega$ ——角频率； $t$ ——经过时间，则交流电的变化可以用正弦曲线表示（图 3, b）也可以用矢量的形式表示（图 3, a）。在后一种情况下，以角速度转动的矢量等于角频率，而电流的瞬时值等于此矢量在  $OY$  轴上的投影。图 3 表示出电流的这种变化的情形，当  $t=0$  时电流也等于零，然后电流在正的方向增长。但常常会碰到另外的情况：当时间  $t=0$  时，电流仍然具



有一个确定值。在这种更普遍的情况下，电流在时间上的变化可以用下式表示：

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi),$$

式中： $i$ ——在某时间的电流值(瞬间值)； $I_m$ ——电流的最大值或振幅值； $\omega$ ——角频率； $\psi$ ——起始相。角频率与频率及周期的关系如下：

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f,$$

式中： $T$ ——振动时间； $f$ ——频率。工业上的电流频率 $\omega = 2\pi f = 2 \times 3.14 \times 50 = 314 \text{ 秒}^{-1}$ 。正弦符号后面的值 $(\omega t + \psi)$ 称为相。

除了振幅值之外，还采用电流的平均值，此值等于：

$$\begin{aligned} I_{cp} &= \frac{2}{T} \int_0^{T/2} I_m \sin \omega t dt \\ &= \frac{2I_m}{\pi} = 0.637I_m. \end{aligned}$$

为了表示交流电的特性，常采用电流的有效值。交流电的有效值是采用与该交流电热效应相等的直流电值。交流电的有效值与振幅值的关系如下：

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707I_m.$$

这种关系同样适用于电压：

$$U_{cp} = 0.637U_m;$$

$$U = 0.707U_m.$$

### 具有电阻、电感和电容的交流电路

当电路存在电容和电感时，由于它们之间的相互关系，电流的位相可能超前、符合或落后于电压。我们利用数学式来表示交流