

# 硅可控整流元件测试技术

(内部资料)

269  
322-3

山东工学院电子仪器厂

## 最 高 指 示

改革旧的教育制度，改革旧的教学方针和方法，是这场无产阶级文化大革命的一个极其重要的任务。

学制要缩短。课程设置要精简。教材要彻底改革，有的首先删繁就简。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

中国应当对人类有较大的贡献。

# 目

# 录

## 第一章 电路基本知识

|       |        |    |
|-------|--------|----|
| § 1.1 | 电路     | 1  |
| § 1.2 | 电阻     | 2  |
| § 1.3 | 交流电    | 4  |
| § 1.4 | 电容     | 6  |
| § 1.5 | R—C 电路 | 8  |
| § 1.6 | 电感     | 11 |

## 第二章 整流电路

|       |          |    |
|-------|----------|----|
| § 2.1 | 单相半波整流电路 | 13 |
| § 2.2 | 单相全波整流电路 | 15 |
| § 2.3 | 单相桥式整流电路 | 16 |
| § 2.4 | 滤波电路     | 18 |
| § 2.5 | 变压器的控制   | 23 |

## 第三章 稳压电路

|       |                       |    |
|-------|-----------------------|----|
| § 3.1 | 伏安特性的测试               | 34 |
| § 3.2 | 稳压电路特性的测试             | 38 |
| § 3.3 | 正向电压及稳压值的测试           | 39 |
| § 3.4 | 关断时间、电压、电流上升率及过载能力的测试 | 46 |

## 附录

### 一、测试线路汇编

|    |                         |       |
|----|-------------------------|-------|
| 1. | 综合测试测试线                 | 65~70 |
| 2. | ZCE (双向)、3CT 伏安特性测试线    | 71~74 |
| 3. | 3CT 控制板能发电流、电压、稳压电路测试线路 | 75~80 |
| 4. | 正向电压及稳压值测试线             | 81~88 |
| 5. | 关断时间测试                  | 89~90 |
| 6. | 开通时间测试                  | 91    |
| 7. | $di/dt$ 测试              | 92    |
| 8. | 250W 逆变器发生口线路图          | 93~94 |

### 二、工厂试验及型式试验

|    |                 |    |
|----|-----------------|----|
| 1. | 3CT 系列工厂试验项目及要求 | 60 |
| 2. | 3CT 系列型式试验项目及要求 | 61 |

### 三、3CT 规范参考表

|    |          |    |
|----|----------|----|
| 四、 | 不合格元件的处理 | 63 |
|----|----------|----|

# 第一章 电路基本知识

## §1.1 电路

用导线把电源和负载连接起来，形成回路，在回路中有电流通过，我们称作电路。电路常用回路图表示，在回路图中，电流、导线及所有的电气元件、元件都用符号及文字来表示。如电压源用符号  $\text{E}$  及文字 E 表示，电阻用  $\text{R}$  及文字 R 表示。

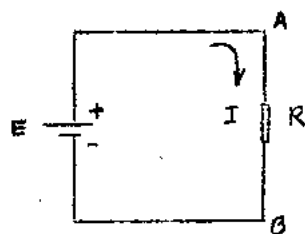


图 1.1

### 1. 欧姆定律

毛主席教导我们：“一切客观事物本来相互联系的和具有内部规律的”。在电路中，电压、电流、电阻是相互联系的，具有一定的规律性，实践证明：三者间的关系是

$$I(\text{电流}) = \frac{U(\text{电压})}{R(\text{电阻})} \quad (1.1)$$

上面的公式表明：通过某段电阻的电流，与加到这段电阻上的电压成正比，与电阻成反比，这个规律叫做欧姆定律。

### 2. 电压、电流、电阻的单位

电压、电流、电阻的单位表

|        |                                                                           |
|--------|---------------------------------------------------------------------------|
| 电压 (U) | 单位：伏 (V)    毫伏 (mV) = $\frac{1}{1000}$ 伏, 微伏 (μV) = $\frac{1}{1000000}$ 伏 |
| 电流 (I) | 单位：安 (A)    毫安 (mA) = $\frac{1}{1000}$ 安, 微安 (μA) = $\frac{1}{1000000}$ 安 |
| 电阻 (R) | 单位：欧 (Ω)    千欧 (KΩ) = 1000 欧, 兆欧 (MΩ) = 1000000 欧                         |

在欧姆定律中，所用的单位是：电压——伏、电流——安、电阻——欧。

根据欧姆定律，电压、电流、电阻三个量中，只要知道两个，就可以求出第三个。

已知电压、电流，则可求出电阻  $R = \frac{U}{I}$

已知电流、电阻，则可求出电压  $U = RI$

### 3. 焦耳——楞次定律

电流通过电阻要消耗功率。焦耳——楞次定律表明：消耗在电阻上的功率是流过电阻的电流  $I$  与加在这段电阻上的电压  $U$  的乘积。用公式 (1.2) 表示：

$$P(\text{功率}) = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1.2)$$

在上式中，电压的单位用伏 (V)，电流的单位用安 (A)，电阻的单位用欧姆 ( $\Omega$ )，对应的功率单位是瓦特 (W)。

功率的单位还有瓦，毫瓦。

1 瓦 = 1000 毫瓦； 1 毫瓦 =  $\frac{1}{1000}$  瓦。

### § 1.2 电阻

电阻是物体内部的性质，它表示物体对电流的阻力。实践证明：一个物体的电阻与它的长度成正比，与它的横截面积成反比。

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1.3)$$

其中  $\rho$  是电阻率、是与物体的材料有关的物理量，它的单位是：欧姆·厘米。 $l$  用厘米， $S$  用厘米<sup>2</sup>，则  $R$  为欧姆。

#### 几种导体的电阻率

| 导体                  | 钠                    | 铝                    | 铁                     | 铜                     | 银                     | 康铜                   | 碳(石墨)                |
|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| $\rho_0$<br>(欧姆·厘米) | $4.3 \times 10^{-8}$ | $2.5 \times 10^{-8}$ | $8.85 \times 10^{-8}$ | $1.58 \times 10^{-8}$ | $1.47 \times 10^{-8}$ | $4.9 \times 10^{-8}$ | $3.0 \times 10^{-6}$ |

注： $\rho_0$  为导体在  $0^\circ\text{C}$  时的电阻率。

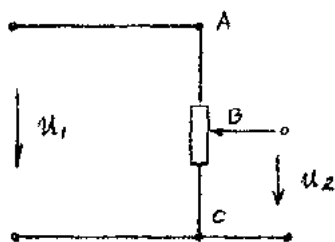
### 1. 电阻的种类和使用

电阻的种类很多，经常用的有炭膜电阻、线绕电阻等（还有一种金属电阻，目前已很少应用）。炭膜电阻常用的有 RT 系列和 RTX 系列，电阻值直接标在电阻上，额定功率有：0.25 W。

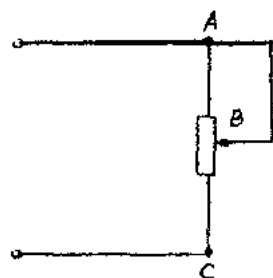
0.5 W, 1.0 W, 2.5 W, 5.0 W, 10 W 等。线绕电阻常用的 1A 系列和 RXY 系列 (玻璃电阻) 额定功率有 3 W, 5 W, 7.5 W, 10 W, 15 W, 20 W, 50 W, 75 W, 100 W 等。

在使用时,除了选择电阻值外,还要注意到电阻的额定功率,电阻上消耗的功率不要超过其额定功率。

在生产中,还经常用到电位器,它有三个接线端,两端为固定端,中间为滑动头。它常用做分压器和变阻器,接法如图 1.2。



(1) 分压器接法



(2) 变阻器接法

图 1.2

在分压器接法中:

$$U_2 = \frac{R_{BC}}{R_{AC}} \cdot U_1 \quad (1.4)$$

常用的电位器有: 线绕电位器、WX 系列、额定功率有 1 W、2 W、3 W、5 W、10 W 等。

无开关炭膜电位器, WT 系列、额定功率有 0.1 W、0.5 W、1 W、2 W 等。

带开关炭膜电位器, WT-K 系列, 额定功率有 0.5 W、1 W、2 W 等。

### 3. 电阻的串联和并联

毛主席教导我们:“按照实际情况决定工作方针,这是一切共产党员所必须牢牢记住的最基本的工作方法。”

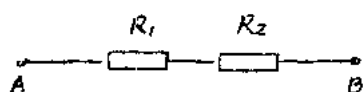
在实际应用中,现有的电阻往往不能适合我们的需要,我们可用电阻的串联或并联来解决。

电阻的串联如图 1.3 (1) 所示,总电阻

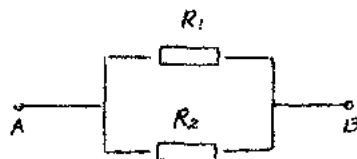
$$R_{AB} = R_1 + R_2 \quad (1.5)$$

电阻的并联如图 1.3 (2) 所示,总电阻

$$R_{AB} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.6)$$



(1) 电阻的串联



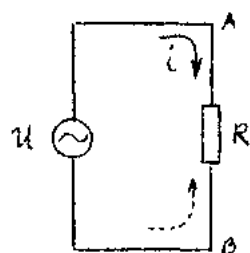
(2) 电阻的并联

查 1.3

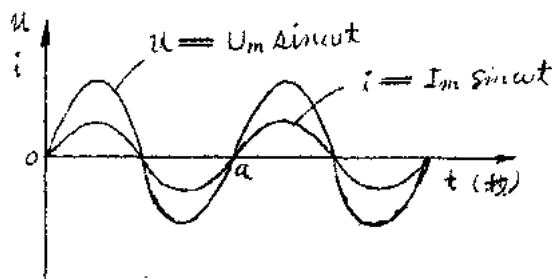
## § 1.3 交流电

电流在电路中的方向是不变的，这种电流叫做直流电流。例如，干电池、蓄电池、直流发电机所提供的电流都是直流电。电流在电路中的方向和大小不断变化的叫做交流电。照明用电、电动机用电都是交流电。

### 1. 频率和周期



(1)



(2)

查 1.4

将电阻  $R$  接在交流电流  $U$  上， $A$  点的电位有时比  $B$  点高，有时比  $B$  点低，而流过  $R$  的电流也在不断地有规律地变化着。如查 1.4 (2) 所示。从图中可以看出，交流电压和时间的关系是一条正弦曲线。可用数学式表达如下：

$$U = U_m \sin \omega t \quad (1.7)$$

从查 1.4 (2) 中看出，交流电压  $U$  是随着时间的有规律地变化的。从  $a$  点以后，又和  $0$  点一样。从  $0$  至  $a$  的时间称为一

于周期，用  $T$  表示，单位是秒。

交流电在一秒钟内反复变化的次数，称为频率，用  $f$  表示。单位是赫（或周/秒）。我国工业用电的频率是 50 赫。就是说一秒钟变化 50 次。

周期和频率的关系是

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{或} \quad T = \frac{1}{f} \quad (1-8)$$

## 2. 交流电的最大值、有效值和功率

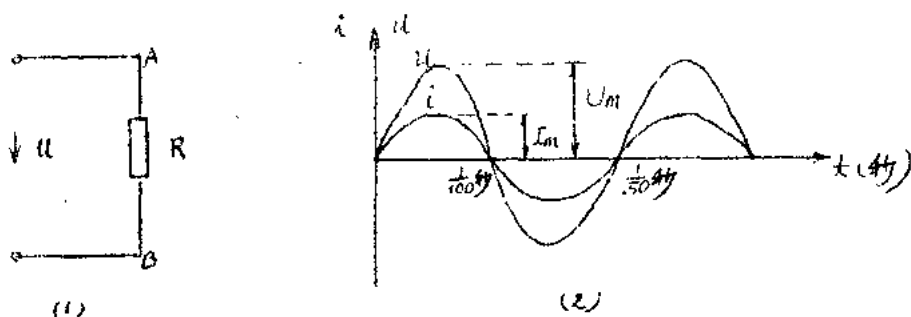


图 1.5

如图 1.5 (1) 所示，50 赫的交流电压加在电阻  $R$  上，在 0 秒时（开始时） $u = 0$ ， $i = 0$ ，此后  $u$  逐步上升， $A$  点的电位逐步上升，比  $B$  点电位高， $i$  也逐步上升，电流从  $A$  点流向  $B$  点，当电压  $u$  到达最大值  $U_m$ ，电流  $i$  也达到最大值  $I_m$ 。此后  $u$  又开始下降，一直到  $u = 0$ ， $i$  也随之下降，直至  $i = 0$ ，这时刚好是半个周期，即  $1/100$  秒；再下去  $u$  变成负值，即  $A$  点的电位比  $B$  点低了，电流从  $B$  流向  $A$ ，一直到  $u$  达到负的最大值， $i$  也达到负的最大值；以后  $A$  点电位又开始上升，（但还是比  $B$  点低，电流还是从  $B$  流向  $A$ ）直到  $u = 0$ ， $i = 0$ 。这时刚好一个周期，时间定  $1/50$  秒。

交流电通过电阻  $R$  也要消耗功率，消耗的功率和电压、电流的大小有关，但是由于加在电阻  $R$  上的交流电压和流过电阻  $R$  的交流电流是随时间不断变化的，那么消耗的功率怎样计算呢？实验证明，交流电在电阻上消耗的功率为

$$P = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (1-9)$$

$$\text{设 } U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$U$  称为交流电压的有效值,  $I$  称为交流电流的有效值, 则

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1.10)$$

对于交流电, 我们平常说的  $220V$ ;  $100A$  等都是指的有效值。

从上式可以看出, 交流电流在电阻上消耗的功率和直流电一样, 只不过这里的  $U$  和  $I$  是交流电的有效值。

我们日常生活中用的  $40W$  电灯泡, 即  $P(\text{功率}) = 40W$ 。

## § 1.4 电 容

电容也是电子线路中的基本元件, 它是一只储电皿, 直流电通不过, 交流电能够通过。

电容用符号  $\text{—}||\text{—}$  表示, 文字用  $C$  表示, 单位是法拉 ( $F$ ), 还有微法拉简称微法 ( $\mu F$ ),

$$1 \mu F = (1/10^6) F,$$

级之法拉简称级法 ( $pF$ )

$$1 pF = (1/10^6) \mu F = (1/10^{12}) F$$

### 1. 容 抗

任何事物都是一分为二的, 电容一方面能够通过交流电, 同时, 对交流电有一定的阻力, 这种阻力称为容抗, 用  $X_C$  表示, 单位是欧姆。实践证明:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{\omega C} \quad (1.11)$$

其中  $\omega = 2\pi f$

即电容的容抗与交流电的频率  $f$  和电容  $C$  成反比。

对于直流电  $f = 0$ , 则  $X_C$  为无限大, 直流电不能通过电容。这种性能, 在电子线路中, 常用作隔离直流。

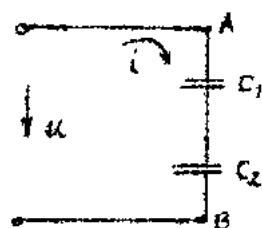
电容的欧姆定律与电阻有相同的形式

$$I = \frac{U}{X_C} \quad (1.12)$$

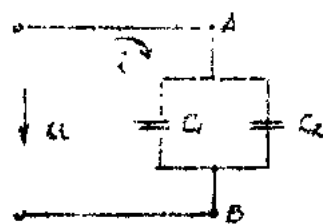
注意: 这里  $U$  和  $I$  都是有效值。

### 2. 电容的串联和并联

电容串联和并联使用，如本章所示。



(1) 电容的串联



(2) 电容的并联

查 1.6

电容的串联

$$C_{AB} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (1.13)$$

每个电容上所受的电压之和等于总电压  $U$ ，即

$$U_{AB} = U_{C1} + U_{C2}$$

但须注意：每个电容上所受的电压不是平均分配的。电容大承受的电压小，电容小承受的电压大。

电容的并联

$$C_{AB} = C_1 + C_2 \quad (1.14)$$

每个电容上所受的电压等于总电压  $U$ ，即

$$U_{AB} = U_{C1} = U_{C2}$$

### 3. 电容的种类和使用

电容的种类很多，按容量能否改变可分为可变电容和固定电容。按材料可分：陶瓷电容、云母电容、纸介电容、金属膜电容、电解电容等。

其类型见章节目录页次。

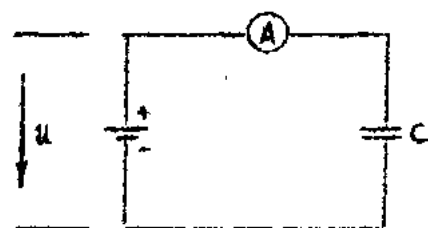
使用时要注意电容是否合适，加在电容上的最大电压值应小于电容的耐压值。电解电容有正、负极，必须按照标定的极性接法，+接正，-接负。否则会损坏电容。

| 类 别     | 名 称   | 简 称 | 符 号 | 次 序 |
|---------|-------|-----|-----|-----|
| 主 称     | 电 容   | 容   | C   | 第一字 |
| 介 质 材 料 | 纸 质   | 纸   | Z   | 第二字 |
|         | 电 解   | 电   | D   |     |
|         | 云 母   | 云   | Y   |     |
|         | 瓷 介   | 瓷   | C   |     |
| 形 式     | 筒 形   | 筒   | T   | 第三字 |
|         | 圆 形   | 圆   | G   |     |
|         | 立式 矩形 | 立   | L   |     |
| 结 构     | 密封    | 密   | M   | 第四字 |
| 大 小     | 小型    | 小   | X   |     |

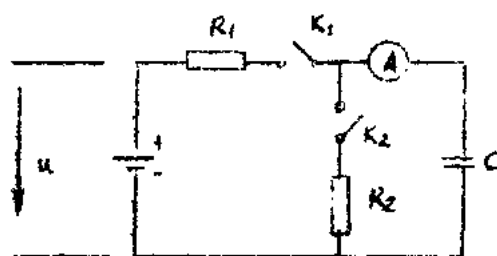
如 CZGX 表示小型纸质筒状电容器

## § 1.5 R—C 电路

上面讨论过，直流电流不能通过电容的，就是说，把电容器接在直流电源上，如图 1.7 (1) 所示。当接通以后，电流表  $\textcircled{A}$  指示为 0，没有电流通过电容。



(1)



(2)

图 1.7

“矛盾着的双方，依据一定的条件，各向着其相反的方向转化。”看 图 1.7 (2) 当开关  $K_1$  一合上时，电流表的指针马上偏转，指针又回到零。打开  $K_1$ ，再合上  $K_2$ ，电流表指针往相反方向偏

转，然后又回到零。可见，当  $K_1$ 、 $K_2$  闭合的短暂时间内，接有电容器的电路里有电流通过。

当  $K_1$  合上后，电容器  $C$  充电；打开  $K_1$  合上  $K_2$ ，电容器  $C$  放电。在充放电过程中电容器上的电压  $U_C$  和电路中的电流  $i_C$  对时间变化的规律如图 1.8 (1)、图 1.8 (2)。

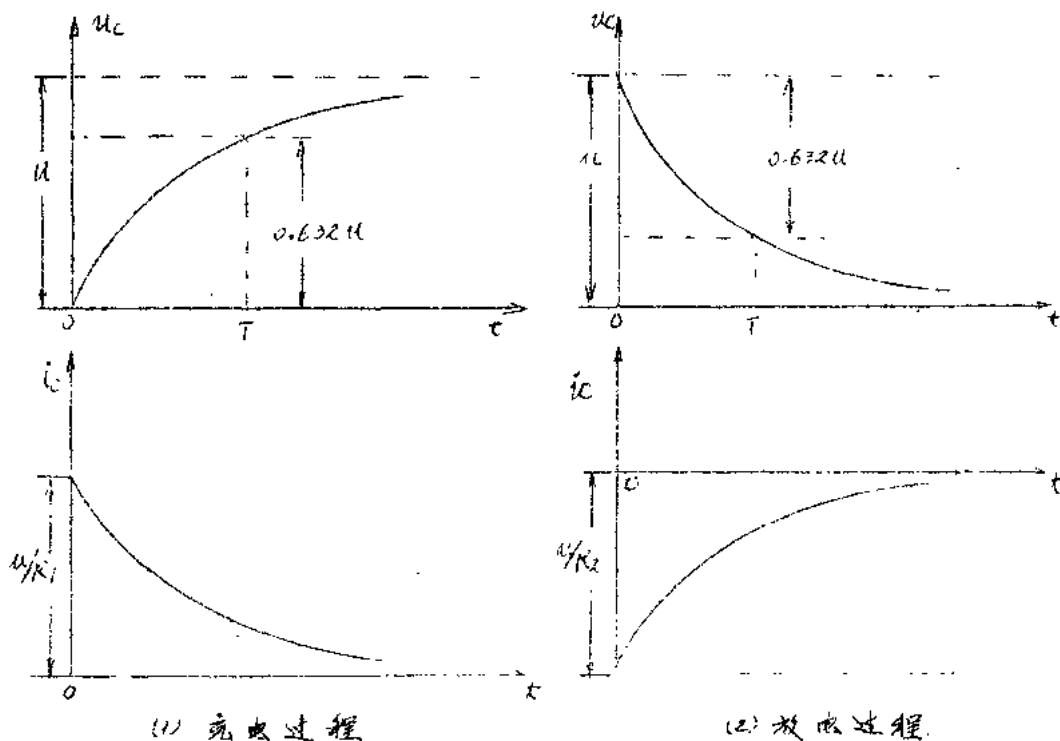


图 1.8

### 1. 充电过程

由图 1.7 (2) 可见，在  $K_1$  未闭合时， $i_C = 0$ ， $U_C = 0$ 。在  $K_1$  闭合的瞬间，电容器两端电压  $U_C = 0$ ，（电容器两端的电压不能突变）所以，此时电流全部降在电阻  $R_1$  上，该电阻  $R_1$  上的电压降为  $UR$ 。

因为

$$U = UR_1 + U_C \quad U_C = 0$$

$$UR_1 = U$$

$$i_C = \frac{UR_1}{R_1} = \frac{U}{R_1}$$

因此，在闭合的瞬间电流最大， $i_C = U/R_1$ （这说明通过

电容上的电压可以突变)。随着电流  $i_c$  的通过, 电容上两端的电压逐步上升, 直到  $u_c \approx u$ , 当  $u \approx u_c$  时

$$u_{R_1} \approx 0, \quad i_c = \frac{u_{R_1}}{R_1} \approx 0.$$

所以放电定时,  $i_c = 0$ 。

## 2. 放电过程

在图 1.7(2) 中,  $K_2$  未闭合前,  $u_c = u$ ,  $i_c = 0$ 。

在  $K_2$  闭合后的瞬时, 电容上电压  $u_c = u$  加到电阻  $R_2$  上, 所以

$$i_c = \frac{u_c}{R_2} = \frac{u}{R_2}$$

随着  $i_c$  流过电阻, 电容  $C$  两端电压逐步下降, 一直到  $u_c \approx 0$ 。所以

$$i_c = \frac{u_c}{R_2} \approx 0.$$

在 1.8(2) 中,  $i_c$  画在时间轴<sup>(t)</sup>的下面, 表示放电电流和充电电流方向相反。

## 3. 充放电时间常数

理论分析和实践都证明了充、放电快慢只与  $RC$  的乘积有关, 用  $T$  表示  $R$ 、 $C$  的乘积

$$T = RC \quad (1.15)$$

若  $R$  为电阻,  $C$  为电容, 则  $T$  的单位刚好是秒。所以  $T$  称为时间常数。

对充、放电曲线进行数学分析, 发现时间常数  $T$  就是充电充到输入电压的 0.632 倍时所需的时间。当充电充到  $2T$  时, 电容上的电压  $u_c = 0.865 u$ ,  $3T$  时  $u_c = 0.95 u$ , 当达到  $5T$  时,  $u_c = 0.993 u$ , 因此, 一般充电时间达到  $5T$  时, (有时到  $3T$ ) 就可以认为电容上的电压已达到输入电压  $u$ 。

由上面的分析可知,  $T$  愈大, 充电速度愈慢。如数 1.9 所示。

## 4. $R-C$ 充放电电路在实践中的应用

在可程控伏安特性测试仪中, 通常应用简单的峰值电压表。如

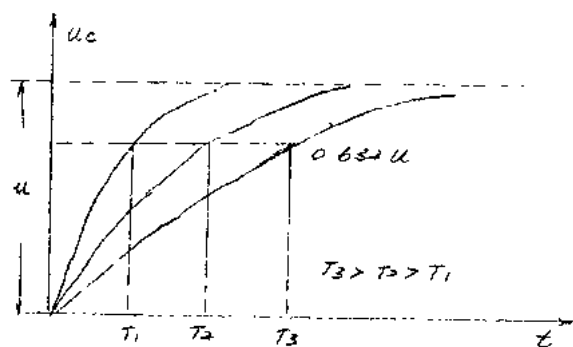


图 1.9

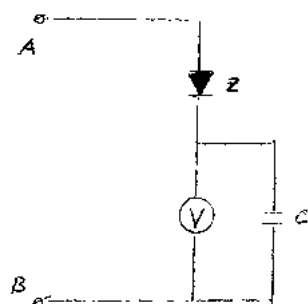


图 1.10

图 1.10 示，实际上要应用 \$RC\$ 的充放电现象来测出被测电压的峰值。它由反向漏电流很小的二极管 \$Z\$ 和高内阻的电压表串联，在电压表两端再并联电容 \$C\$（一般取 \$0.5 \sim 1\$ 微法）组成。

在上述的电路中，设 \$V\_{AB}\$ 是一个正弦半波电压，在正半周给电容 \$C\$ 充电，充电电阻就是二极管 \$Z\$ 的正向电阻，数值很小，所以电容 \$C\$ 在极短的时间内充电到 \$V\_{AB}\$ 的峰值。在负半周，电容 \$C\$ 向电压表 \$V\$ 放电，由于电压表 \$V\$ 的内阻很大，所以放电很慢，这样电压表 \$V\$ 量出的电压几乎与 \$V\_{AB}\$ 的峰值相等。

由上面的分析看出，对于峰值电压表要求 \$R\_{充} \ll R\_{放}\$。

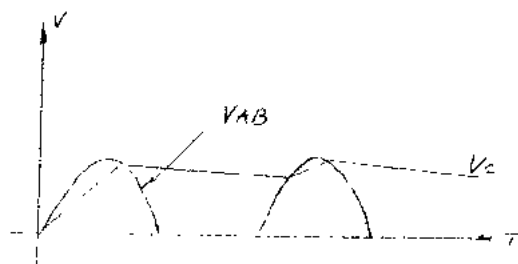


图 1.11

## § 1.6 电感

我们知道，线圈是一只电感，电感线圈用——表示。有铁心的用——表示，文字用 \$L\$ 表示。

### 1. 感抗

电感的特性恰恰和电容相反，电容有隔直流的作用，而电感的直流电阻很小，所以直流很容易通过，而对交流却不容易通过。实践证明，电感的电阻与交流电的频率成正比，与电感量成正比。

即:

$$X_L = 2\pi fL = \omega L$$

(1.16)

$X_L$  称为感抗。

感抗的单位是亨利 (H) 或毫亨 (mH) =  $\frac{1}{1000}$  H。在 (1.16) 中, 如果  $f$  用赫作单位,  $L$  用亨作单位, 那么  $X_L$  的单位正好是欧姆。

$L$  的大小与线圈的匝数, 线圈截面积, 有无铁芯有关。

对于电感, 有和电阻、电容类似的欧姆定律。

$$I = \frac{U}{X_L}$$

(1.17)

如果  $U$  用伏,  $X_L$  用欧姆, 则  $I$  的单位也是安。

在电子线路里, 利用电感对高频阻抗大, 对低频阻抗小的特点, 同电容一样, 用来做滤波器分离高频和低频。

## 第二章 整流电路

将交流电变为直流电，叫做整流。整流电路形式很多，本章主要介绍在可控硅测试仪器中用的整流电路。

### § 2.1 单相半波整流电路

单相半波整流电路如图

2.1 所示。由电源  $e$ 、变压器  $T$ 、整流元件  $Z$  和负载  $R_L$  组成。电源  $e_1 = \sqrt{2} E_1 \sin \omega t$  是一个正弦电压，其中  $E_1$  是电源电压的有效值  $\sqrt{2} E_1$  是电源电压的最大值  $\sin \omega t$  表示正弦变化。变压器次级的电压  $e_2$  仍然是一个正弦电压。 $e_2 = \sqrt{2} E_2 \sin \omega t$

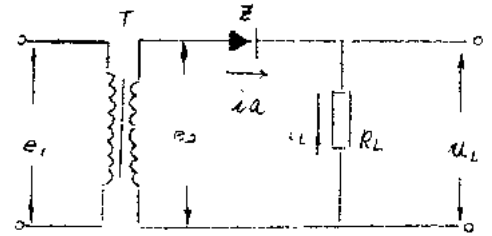


图 2.1

#### 1. 整流电路工作原理

在图 2.1 的电路中， $0 \sim \pi$  的时间内，变压器的次级电压使二极管  $Z$  受正向电压，则  $Z$  导通，负载电压  $u_L$  与电压  $e_2$  几乎一样，负载电流的大小由负载  $R_L$  决定。波形如图 2.2 (2)

$\pi \sim 2\pi$  的时间内，二极管  $Z$  受反向电压，不导通，因此负载上没有电压，电源电压全部加在二极管  $Z$  上。

综合上述现象，我们可以看到，在变压器上的电压虽然忽正忽负，但在负载  $R_L$  上都得到了单方向的半波电压，这就将交流电变成了直流电。

#### 2. 负载上直流电流和直流电压的数值

通过上面的分析，我们看到加在负载  $R_L$  上的电压只有电流电压的半波，所以叫半波整流。负载电压的最大值为：

$$U_{Lm} = \sqrt{2} E_2 \quad (2.1)$$

直流电压（即半波电压在整个周期中的平均值）为：

$$U_L = \frac{1}{R} U_{LM} = 0.45 E_2$$

----- (2.2)

流过负载  $R_L$  的直流  
电流为

$$I_L = \frac{U_L}{R_L} = \frac{0.45 E_2}{R_L}$$

----- (2.3)

### 3. 选择整流元件

流过整流元件的  
平均电流  $I_a$  与流过  
负载的直流电流  $I_L$   
相等。

$$I_a = I_L = \frac{0.45 E_2}{R_L}$$

----- (2.4)

整流元件承受的最  
大反向电压  $U_{afm}$   
就是  $e_2$  的最大值

$$U_{afm} = \sqrt{2} E_2$$

----- (2.5)

根据  $I_a$ 、 $U_{afm}$  即  
可选择整流元件。

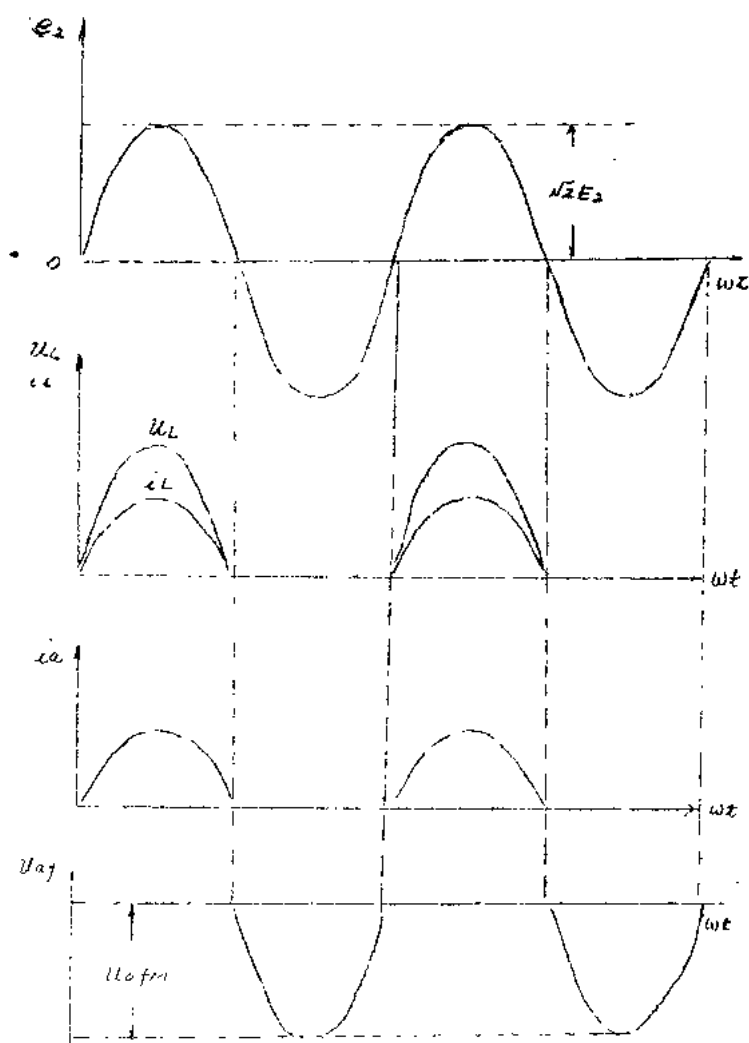


图 2-2

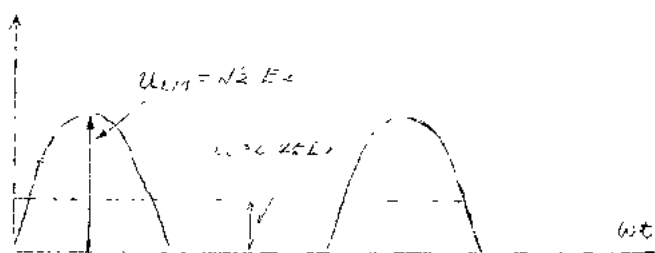


图 2-3