

电子技术讲座(一)

晶体管整流电路

(第三版)

上海市业余工业大学 编

科学出版社

电子技术讲座(一)

晶体管整流电路

(第三版)

上海市业余工业大学编

科学出版社

内 容 简 介

本书是一本介绍整流电路原理和应用的入门书。作者是从使用者的角度来编写的。全书共七章和两个附录。第一章的电路基本知识,为未学过电学的读者提供了学习本书的电学准备。第二至第六章阐述晶体管整流电路的原理和设计的有关问题:晶体二极管、整流电路、滤波器、倍压整流电路和小功率整流变压器的设计计算,这些问题对分析和设计整流电路是颇有助益的。在整流电路一章中,详细介绍了整流电路的应用。最后一章简单介绍了可控硅的工作原理及它的应用。附录中介绍了常用晶体二极管参数。

本书可作为非电专业的工程技术人员和工人的自学用书,亦可作为大专院校、中专师生的参考读物。

电子技术讲座共四本,分别是《晶体管整流电路》、《晶体管放大与振荡电路》、《晶体管收音机》、《晶体管开关电路》。

晶 体 管 整 流 电 路

(第 三 版)

上海市业余工业大学 编

责任编辑 张建荣

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1970年8月第一版 开本:787×1092 1/32

1972年12月第二版 印张:4 7/8

1983年7月第三版 字数:108,000

1983年7月第六次印刷

印数:2,191,081—2,267,180

统一书号:15031·512

本社书号:3159·15-7

定价: 0.55 元

第三版前言

1969年至1972年，我们陆续编写出版了《晶体管整流电路》、《晶体管放大与振荡电路》、《晶体管收音机》、《晶体管开关电路》四本电子技术通俗读物，即电子技术讲座。本讲座自出版以来，颇受到广大读者的欢迎，至今总印数已达七百万册以上。这个事实从一个侧面反映了电子技术的普及很有必要。

本书——《晶体管整流电路》，作为晶体管电路知识的入门书，它的阅读对象是具有中等文化程度的广大读者以及非电专业的工程技术人员。有鉴于此，书中叙述力求通俗易懂。然而谁都知道，凡是亲身体验过的东西较容易学好，所以本书把整流技术的应用作为终点，并力求使书中所选用的实例有益于读者对整流电路原理的理解和激发他们去应用实践。

这次修订再版的《晶体管整流电路》，与前二版比较，有如下几方面的变动：

一、滤波在整流电路中占有重要地位，而原著中这部分内容阐述得过于简单，趁这次修订的机会，把滤波电路的基本原理大为加强了。并从工程应用的实际出发，为含有电容滤波整流电路的设计提供了一套图表和简易计算相结合的实用方法，使原理和应用溶为一体。

二、倍压整流电路和小功率整流变压器各另立一章，以便使属于最基本的整流、滤波部分内容更加突出。对倍压整流电路的原理部分的叙述，全部作了重新组织。小功率整流变压器的内容按原理、参数、计算的顺序加以介绍。

三、整流电路的应用实例不专门立为一章，把各类范例分散在各章之内，以便使原理和应用结合得更为紧密。在应用实例中，增添了含有电容滤波整流电路方面的例子，并删去了与直流能耗制动雷同的例子。

四、电路基本知识从前二版的附录中移至第一章，这样变动的目的在于想告诉未学过电学的读者，阅读本书至少应当具备哪些电路知识。

参加《晶体管整流电路》初版编写和第二版修订工作的主要有刘家铨、郭维芹、王式正、周道宏、范茂兴、王国樑、赵铭纪等同志，这次修订工作由郭维芹承担。

“电子技术讲座”的编写和修订工作，得到本校庄正邦教授的具体指导。许多单位的技术人员和工人、我校不少教师和校友提供了大量资料，并得到他们的帮助和鼓励。讲座的编写又得到清华大学童诗白教授和黄昌宁同志的关怀和指导。在此，我们对上述单位和个人表示深切谢意。

本讲座出版以来，得到广大读者的热情鼓励，特别是许多读者来信来访，提出了不少宝贵的意见。我们表示衷心感谢。

限于编者水平，书中缺点和错误在所难免，望读者给予批评指正。

编者

一九八二年七月

目 录

1	电路基本知识	1
1-1	电路	1
1-2	交流电	6
1-3	电容	9
1-4	RC 电路	12
1-5	线圈	16
1-6	RL 电路	23
1-7	变压器	26
2	晶体二极管	29
2-1	半导体	29
2-2	$p-n$ 结	30
2-3	晶体二极管	35
	本章小结	40
3	整流电路	41
3-1	单相半波电阻负载整流电路	41
3-2	单相全波电阻负载整流电路	44
3-3	单相桥式电阻负载整流电路	48
3-4	三相桥式电阻负载整流电路	51
3-5	整流元件的串联和并联	54
3-6	整流元件的过电流、过电压保护	57
3-7	应用举例	59
	本章小结	70

4	滤波器	74
4-1	电容滤波器	76
4-2	电感滤波器	89
4-3	复式滤波器	92
4-4	应用举例	95
	本章小结	98
5	倍压整流电路	101
5-1	二倍压整流电路	101
5-2	三倍压、多倍压整流电路	104
5-3	应用举例	107
	本章小结	110
6	小功率整流变压器	112
6-1	变压器的工作原理	112
6-2	整流变压器的设计步骤	115
6-3	整流变压器的计算举例	120
	本章小结	125
7	可控硅简介	126
7-1	可控硅整流元件工作情况	126
7-2	可控硅整流元件应用举例	129
	本章小结	137
	附录一 常用晶体二极管参数	139
	附录二 电气元件图形符号	146

电路基本知识

为了便于初学者学习晶体管电子技术，这里我们介绍一些最基本的电路知识。

1-1 电 路

用导线把电源和负载连接起来，形成回路，在回路中就有电流流过，我们称作电路。图 1-1(1) 是把电源(电池)和负载(小灯泡)连接起来的实物图。常见的电路图上，往往是用符号及文字来表示。如图 1-1(2) 所示，直流电源用符号 $\text{—}| \text{—}^+$ 及文字 E 表示；电阻用符号 $\text{—}\square\text{—}$ 和文字 R 表示(这里的负载即小灯泡，实际也是一只电阻)等等。

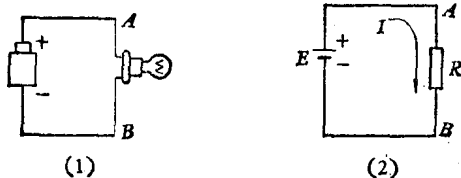


图 1-1

在电路中有开路、通路、短路三种情况，如图 1-2 所示。

开关未按下，电路不通，灯泡不亮，这种情况叫开路(也叫断路)。

开关按下，电路接通，电流从电池正极经开关、负载流入

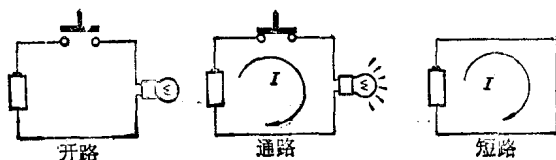


图 1-2

电池负极，灯泡发光，这种情况叫通路。

如用一根导线直接和电源的两极相接触，此时电流几乎不经过负载而从导线中直接通过，这时的电流比正常情况下大得多，这种现象叫做短路。电源短路时，会损坏电源和导线，甚至酿成事故。在实际工作中应绝对避免发生短路现象。

我们知道电池有正极和负极，电池两端之间有电压，一节干电池电压约 1.5 伏。在电工上我们也常常这样讲：假设电池负极即 B 点电位为零伏，则电池正极即 A 点电位就是 1.5 伏，可以看出 A 点和 B 点的电位差为：

$A \text{ 点电位} - B \text{ 点电位} = 1.5 \text{ 伏} - 0 \text{ 伏} = 1.5 \text{ 伏}$
 等于电池的电压。也就是说，电路中任意两点的电位之差，等于这两点之间的电压。

1. 欧姆定律

我们知道，在电路中有电流流过时，它必然还和其它一些东西例如电压和电阻发生联系。实验证明，如果温度等其他条件不变，电流、电压和电阻三者间的关系是：

$$I(\text{电流}) = \frac{U(\text{电压})}{R(\text{电阻})} \quad (1-1)$$

上式表明：加到一个电阻(阻值不变的情况下)上的电压越大，则电流越大；电压增加几倍，电流也增加几倍。电压和电流成正比这种规律，我们称它为欧姆定律。

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,则可根据式 $R = \frac{U}{I}$ 求出电阻。

已知电阻、电流,则可根据式 $U = IR$ 求出电压。

电压的单位用伏、毫伏、微伏表示;电流的单位用安、毫安、微安表示;电阻的单位用欧、千欧、兆欧表示。1伏 = 1安 × 1欧。各量大小单位有如下的换算关系:

$$1 \text{ 伏(V)} = 1000 \text{ 毫伏(mV)} = 1000000 \text{ 微伏(}\mu\text{V)};$$

$$1 \text{ 安(A)} = 1000 \text{ 毫安(mA)} = 1000000 \text{ 微安(}\mu\text{A)};$$

$$1 \text{ 千欧(k}\Omega\text{)} = 1000 \text{ 欧(}\Omega\text{)};$$

$$1 \text{ 兆欧(M}\Omega\text{)} = 1000 \text{ 千欧(k}\Omega\text{)} = 1000000 \text{ 欧(}\Omega\text{)}.$$

【例1-1】某厂有一台镀锌设备,最高直流电压是12伏,最大电流是500安,求这时电镀槽的总电阻。

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12 \text{ 伏}}{500 \text{ 安}} = 0.024 \text{ 欧}$$

【例1-2】某直流电动机电枢内阻为1欧,通过的电流为3安,求内阻上的压降。

$$U = IR = 3 \text{ 安} \times 1 \text{ 欧} = 3 \text{ 伏}$$

2. 电阻的串联和并联

在实际应用中,往往有这样的事情,电路中的电阻需用某值(例如100千欧),而手头只有阻值比它小的电阻(例如两只50千欧)或较大的电阻(例如两只200千欧),这时我们可以用电阻的串联或并联来解决。

如图1-3(1)所示,两电阻串联后的总电阻为

$$R_{AB} = R_1 + R_2 \quad (1-2)$$

如图1-3(2)所示,两电阻并联后的总电阻为

$$R_{AB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-3)$$

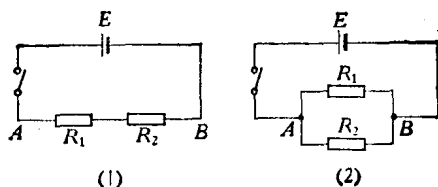


图 1-3

现在我们来计算一下:

(1) 需要总电阻 100 千欧, 而手头只有两只 50 千欧电阻, 那末就用串联来解决, 根据公式(1-2)得:

总电阻 $R_{AB} = R_1 + R_2 = 50 \text{ 千欧} + 50 \text{ 千欧} = 100 \text{ 千欧}$, 可以满足要求。

(2) 需要总电阻 100 千欧, 而手头只有两只 200 千欧电阻, 那末就用并联来解决, 根据公式(1-3)得:

总电阻 $R_{AB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{200 \text{ 千欧} \times 200 \text{ 千欧}}{200 \text{ 千欧} + 200 \text{ 千欧}} = 100 \text{ 千欧}$, 可以满足要求。

两只或两只以上的电阻串联和并联也可以利用下面公式计算:

$$\text{串联} \quad R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

$$\text{并联} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

3. 功率

电流流过电阻要消耗功率。消耗在电阻上的功率是流过电阻的电流 I 与加在这电阻上的电压 U 的乘积, 可用式(1-4)表示:

$$P(\text{功率}) = UI = I^2R = \frac{U^2}{R} \quad (1-4)$$

电压的单位是伏(V), 电流的单位是安(A), 对应的功率单位是瓦(W)。此外, 功率也用千瓦、毫瓦表示。1 千瓦 = 1000 瓦, 1 毫瓦 = 0.001 瓦。例如上面例 1-2 中电枢电阻所消耗的功率为

$$P = I^2R = (3 \text{ 安})^2 \times 1 \text{ 欧} = 9 \text{ 瓦}$$

4. 电阻的种类

电阻的种类很多, 目前工业生产上应用的一般有炭膜电阻、金属膜电阻和线绕电阻等(此外, 还有一种炭质电阻)。炭膜电阻常用的有 RT 系列和 RTX 系列, 电阻规格直接用数字标在电阻上, 额定功率有: 1/20 瓦、1/16 瓦、1/8 瓦、1/4 瓦、1/2 瓦、1.0 瓦、2.0 瓦、5.0 瓦、10 瓦等。对阻值稳定性要求高及功率要求大的电阻常采用线绕电阻, 常用的有 RX 系列和 RXY 系列(珐琅电阻), RXY 系列额定功率有 7.5 瓦、15 瓦、20 瓦、25 瓦、50 瓦、75 瓦、150 瓦。

电子电路中还常用电位器, 它有三个接线端, 中间一个可以滑动, 它常用作分压器和可变电阻, 接法如图 1-4 所示。

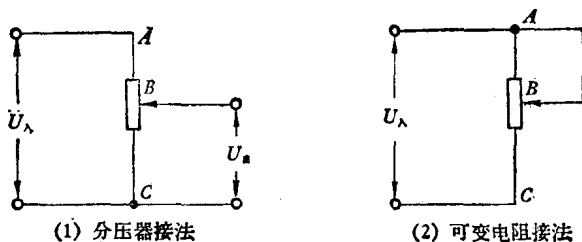


图 1-4

分压器接法中, 输出电压 $U_B = \frac{R_{BC}}{R_{AC}} \cdot U_A$ 。

常用的电位器有：

线绕电位器，WX 系列，额定功率有 1 瓦、2 瓦、3 瓦等。

无开关炭膜电位器，WT 系列，额定功率有 0.1 瓦、0.25 瓦等。还有 WTH 系列，额定功率为 2 瓦。

带开关炭膜电位器，WT-K 系列，额定功率有 0.25 瓦等。

1-2 交 流 电

上面我们讲到的电流，它在电路中的流动方向是不变的，这种电流叫直流电流。另外，还有一种叫交流电流，它的大小和方向不断地变化着。我们平常照明用电，感应电动机用电都是交流电。那么交流电和直流电比较，有哪些特点呢？

1. 频率和周期

我们已经知道，如果把电阻 R 接在直流电源上，如图 1-1(2)， A 点的电位总是比 B 点高，现在 R 接在交流电源上面，如图 1-5(1)， A 点的电位有时比 B 点高，有时比 B 点低，有规律地不断变化着，如图 1-5(2) 所示，所以在 R 上流过的电流也相应地有规律地变化着。图 1-5(2) 中，交流电压随时间是按正弦曲线变化的，故叫正弦交流电。

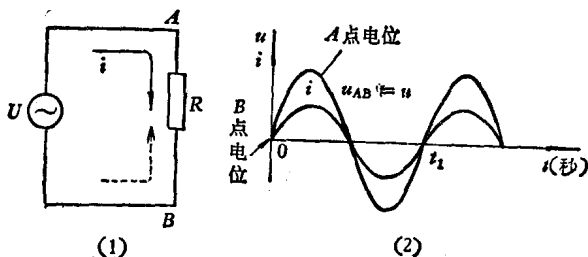


图 1-5

我们看图 1-5(2) A 点电位的变化情况。一开始, A 点电位和 B 点电位相等 $\rightarrow A$ 点电位比 B 点高 $\rightarrow A$ 点电位和 B 点电位相等 $\rightarrow A$ 点电位比 B 点电位低 $\rightarrow A$ 点电位和 B 点电位相等, 从 0 至 t_1 的时间称为一个周期, 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。频率的单位是赫 (或周/秒), 即一秒钟变化一次叫 1 赫, 变化十次叫 10 赫。我国工业用电的频率是 50 赫, 就是说一秒内变化 50 次。

周期 T 和频率 f 有以下关系:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-5)$$

2. 交流电的最大值、有效值、功率

我们先来看 50 赫的交流电通过电阻的情况, 参看图 1-6。50 赫的交流电压加在电阻 R 上, 在 0 秒时 (开始时) $u = 0$, $i = 0$, 随后 u 逐步上升, A 点电位逐步上升, 比 B 点电位高, i 也逐步上升, 电流从 A 点流向 B 点, 当 u 到达最大值时 (用 U_M 表示), 交流电流 i 也达到最大值 (用 I_M 表示, $I_M = \frac{U_M}{R}$); 随后 u 又开始下降, 一直到 $u = 0$, i 也跟着下降, 直到 $i = 0$, 这时刚好是半个周期 ($\frac{1}{100}$ 秒); 再下去 u 变成负值, 就是 A 点电位比 B 点低了, 电流从 B 点流向 A 点, 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 点电位低, 电流还是从 B 点流向 A 点), 直到 $u = 0$, $i = 0$, 即 A 点和 B 点电位相等, 这时刚好是一个周期, 时间是 $\frac{1}{50}$ 秒。

和直流电一样, 交流电流流过电阻 R 也要消耗功率, 消耗

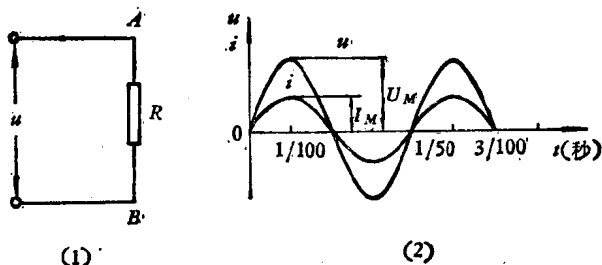


图 1-6

功率的大小和电压、电流的大小有关,但是由于加在电阻 R 的交流电压和交流电流的大小都是随着时间不断变化的,如果把最大值 U_M 和 I_M 直接相乘是不对的. 实践证明,交流电在电阻上消耗的功率等于 $\frac{U_M}{\sqrt{2}}$ 和 $\frac{I_M}{\sqrt{2}}$ 的乘积,即

$$P = \frac{U_M}{\sqrt{2}} \frac{I_M}{\sqrt{2}} \quad (1-6)$$

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

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-7)$$

我们平常说的 220 伏, 100 安等都是指交流电的有效值.

从上式可以看到,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.

电功率(P)和时间的乘积就是电功,即电功 = 电功率 × 时间(单位是千瓦小时).

40 瓦灯泡照明 25 小时就是耗电 1 千瓦小时(火表上的 1 度),三盏 100 瓦灯泡照明 10 小时就是 3 千瓦小时(3 度).

1-3 电 容

电容是电子设备中的基本元件,它是一只储电器,直流电通不过,交流电能够通过。

电容器用符号 $\text{—}||\text{—}$ 表示,文字用 C 表示,见图 1-7。单位用法拉 (F)、微法拉或微微法拉。微法拉简称微法 (μF),

$1\mu\text{F} = \frac{1}{10^6}\text{F}$,微微法拉简称微微法 (pF), $1\text{pF} = \frac{1}{10^{12}}\text{F}$ 。

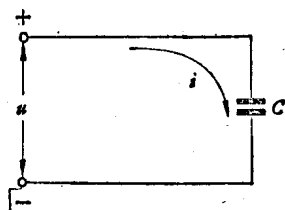


图 1-7

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,也对交流电有一定的阻力,这种阻力称为容抗,用 X_c 表示,单位也是欧姆。和电阻一样,电容也可以得出类似电流定律的公式:

$$I = \frac{U}{X_c} \quad (U, I \text{ 均为有效值}) \quad (1-8)$$

我们在生产过程中早已知道在交流电压 U 的大小一定时,电容 C 越大, I 越大; C 越小, I 越小。另外 I 的大小不仅和 U 的大小有关,而且和交流电的频率 f 有关。在 U 和 C 不变时, f 越高, I 越大; f 越低, I 越小。也就是电容的容抗 X_c 和 f, C 成反比,即

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad (1-9)$$

因为

$$2\pi f = \omega$$

所以

$$X_c = \frac{1}{\omega C} \quad (1-10)$$

从公式(1-9)可以看出,因为 f 、 C 在分母里,所以 f 和 C 越大, X_c 越小.

工业用电 $f = 50$ 赫, $2\pi f = 2 \times 3.14 \times 50 = 314$, 所以 $\omega = 314$.

直流电的 $f = 0$, 所以 X_c 为无限大, 直流电不能通过电容. 在电子电路里, 我们常用它来作隔直流通交流用. 在低频放大器中作为级间耦合, 只准交流信号通过, 不让直流进入下一级. 利用 f 越高, X_c 越小的特性, 我们可以选择一定数值的电容 C , 使高频的容抗很小, 而低频容抗很大, 这样就把高频和低频分开, 这种电路叫滤波器.

电容也能串联或并联使用, 如图 1-8 所示.

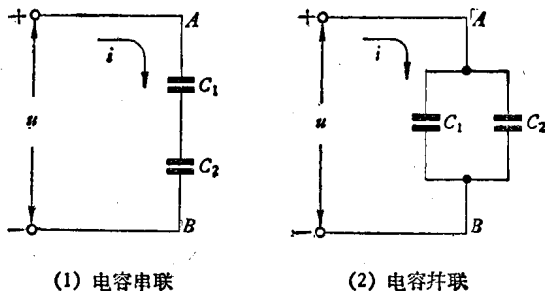


图 1-8

电容串联: $C_{AB} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (1-11)$

电容并联: $C_{AB} = C_1 + C_2 \quad (1-12)$

【例1-3】假如 $C_1 = 200$ 微微法, $C_2 = 300$ 微微法