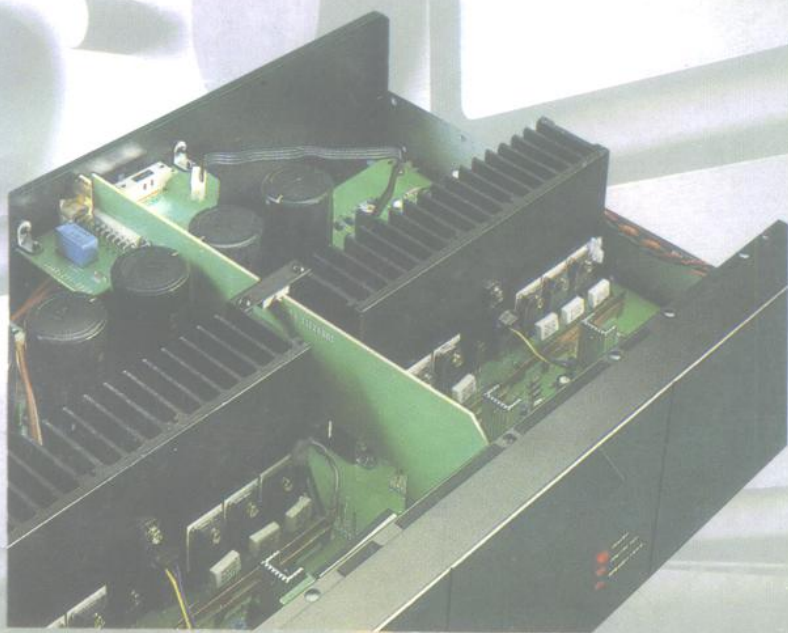


电子技术

周润文 主编

A24
级放大器



华南理工大学出版社

TN01

401077

33

高等工科院校教材

子 技 术

周润文 刘乃新 编

华南理工大学出版社
·广州·

内 容 提 要

本书包括模拟电子技术和数字电子技术两部分,以集成电路为主,兼顾分立元件电路。特别着重理论联系实际,通过应用实例加深理论认识,扩展知识面,增加学习兴趣,培养自学能力。可用作工科高等学校非电专业教材,对电子工程技术人员亦有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/周润文主编. —广州:华南理工大学出版社,
1996.10
ISBN 7-5623-1067-X

I. 电…

II. 周…

III. 电子技术

IV. TN01

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山·邮码 510641)

责任编辑 谢艳桂

华南理工大学印刷厂印装

开本 787×1092 1/32 印张 10.25 字数 230 千

1997年1月第1版 1997年1月第1次印刷

印数:1—5000

定价:13.00 元

前 言

本书根据 1993 年高等工业学校《电子技术》(电工学Ⅱ)课程教学基本要求而编写,可作为高等工科院校非电专业本科学技术基础课的教材。

考虑到微电子技术的飞跃发展,集成器件的广泛应用,在顾及分立元件电路的同时,加强了集成电路的理论和应用,其中数字电路占较大篇幅。本书选编了较多的应用实例,以供学生课外阅读,书中还有适量的例题和习题,以加深学生对本课程的理解,达到理论联系实际的目的。

本书参考学时数为 55~65 学时,书中△符号部分是少学时教学可删去的内容,*符号部分是多学时教学加深加宽的内容。

全书共六章,第三、五、六章由周润文编写,第一、二、四章由刘乃新编写。本书由周润文担任主编。

本书由北京航空航天大学罗中仙和华南理工大学刘钧成主审,主审教授对书稿进行了认真仔细的审阅,逐章逐节提出了许多宝贵意见,在此对两位老师致以衷心的感谢。

本书编写过程中还得到华南理工大学电工教研室全体教师大力支持,并对书稿提出许多宝贵意见,在此表示由衷的谢意。

由于我们水平有限,书中错误在所难免,殷切期望读者给予批评指正。

编 者

1995 年 9 月

目 录

前 言

第一章 半导体二极管及整流电路	(1)
1-1 PN 结及其单向导电性	(1)
1-2 半导体二极管	(5)
1-3 整流电路 滤波电路	(10)
1-4 二极管其他方面的应用举例	(20)
1-5 几种常用特殊二极管简介	(21)
习 题	(27)
第二章 晶体三极管和基本放大电路	(30)
2-1 晶体三极管	(30)
2-2 基本交流放大电路	(41)
2-3 常用的基本放大电路	(57)
2-4 负反馈在放大电路中的应用	(72)
2-5 多级放大电路	(81)
2-6 差动式放大电路	(89)
2-7 功率放大电路	(98)
习 题	(105)
应用实例:2.1 晶体管电子继电器(65);2.2 触摸开关(71);2.3 串 联型直流稳压电源(80);2.4 助听器电路(87);2.5 DDZ—II 仪表中电 压、电流变换器(96);2.6 单电源互补对称功率放大电路(104)	
第三章 集成运算放大器及其应用	(111)

3-1	集成运放器简介	(111)
3-2	集成运放器的线性应用	(116)
3-3	集成稳压电源	(130)
3-4	集成运放器的非线性应用	(135)
	习 题	(147)
应用实例:3.1 电阻微变量测量(124);3.2 绝对值检出电路(125);		
3.3 电容倍增的积分电路(127);3.4 允许负载接地的可控电流源		
(129);3.5 水塔水位自动控制电路(139);3.6 两级定时电路(140);3.7		
火焰信号检测电路(141);3.8 电子互锁开关(142)		
第四章	正弦波振荡器	(155)
4-1	产生正弦波振荡的条件	(155)
4-2	LC 振荡电路	(157)
4-3	RC 振荡电路	(160)
	习 题	(165)
应用实例:4.1 晶体管接近开关(163)		
第五章	晶闸管及其应用	(167)
5-1	晶闸管工作原理、伏安特性及参数	(167)
5-2	可控整流电路	(174)
5-3	单结晶体管触发电路	(182)
5-4	双向晶闸管	(186)
5-5	晶闸管的保护	(190)
	习 题	(192)
应用实例:5.1 变压器线圈同名端的鉴别(172);5.2 多路抢答器		
(172);5.3 应急灯电路(173);5.4 简单的调光电路(179);5.5 自动延时		
熄灯开关(180);5.6 电焊机空载节电电路(180);5.7 镍镉电池快速充		
电器(181);5.8 单结晶体管触发的交流调压电路(187);5.9 简单的交		

流调压电路(188);5.10 定时关灯的楼梯灯电路(189);5.11 光控路灯开关(189)

第六章 数字电路..... (196)

6-1 逻辑代数..... (196)

6-2 门电路..... (211)

6-3 组合逻辑电路..... (222)

6-4 常用的几种集成组合电路..... (226)

6-5 触发器..... (235)

6-6 时序逻辑电路..... (250)

6-7 脉冲波形产生及整形..... (270)

6-8 几种数字集成件功能介绍..... (289)

习 题 (291)

应用实例:6.1 定时开关(220);6.2 电源过压、欠压报警电路(221);6.3 三地控灯(224);6.4 五地控灯(227);6.5 电冰箱温度控制电路(239);6.6 点动与连续转动的电机控制线路(240);6.7 电机正反转控制线路(241);6.8 三台电机顺序起动及停止(247);6.9 四人抢答电路(248);6.10 八路电子互锁开关电路(249);6.11 环形计数器电路(257);6.12 步进电机控制电路(260);6.13 无人指挥交通灯电路(262);6.14 循环灯饰(270);6.15 差动式脉宽调制线路(273);6.16 脉宽调温电路(282);6.17 洗相曝光定时器(282);6.18 多工序循环控制电路(283);6.19 运动方向探测器(287)。

附表一 常用半导体二极管的型号和主要参数 (302)

附表二 常用晶体管的型号和主要参数 (307)

附表三 KP型晶闸管主要参数 (316)

主要参考文献 (317)

第一章 半导体二极管及整流电路

半导体器件具有重量轻、体积小、耗电少、寿命长、工作可靠等优点,在现代科学技术、通讯、计算机、家用电器及国民经济各个领域都得到广泛的应用。半导体的PN结是构成多种半导体器件的基础。本章先叙述PN结的单向导电性、二极管的伏安特性和参数,然后讨论二极管在整流及其他方面的一些应用,最后简略介绍几种特殊的二极管。

1-1 PN结及其单向导电性

一、半导体的导电性能

半导体以其导电性能介于导体和绝缘体之间而得名。

金属靠自由电子导电,绝缘体原子最外层电子被原子核束缚得很紧,自由电子极少,不易导电,而半导体原子最外层的电子处于半自由状态。

纯净的半导体具有晶体结构,又称单晶体,其原子排列得很整齐,导电性能极差,但它受到热的激励或受光照射时,其原子最外层的电子容易挣脱原子核的束缚,形成自由电子,而且从原子共价键结构中,相应出现一个电子空位,称为空穴。空穴能吸收自由电子进入填补,形成电子运动,这时空穴就从某一个原子内移动到另一个原子内。上述这种电子运动方式,为了与受电场作用下的电子取向运动有所区分,故称为空穴移动导电,甚至更形象化地形容为带正电荷的空穴在移动。

电子从 A 原子中逸出跳入 B 原子的空穴中, 相当于正电子由 B 原子转移到 A 原子中。在半导体中, 自由电子和空穴都认为是导电的载流粒子, 简称载流子。

温度愈高, 出现的“自由电子 - 空穴对”就愈多, 故温度对半导体的导电性能影响很大。

二、N 型和 P 型半导体

在纯净的半导体中, 掺入极微量的有用的杂质, 可以控制半导体的导电性能。如在四价半导体材料(常用的是硅和锗)中掺入微量的三价(如硼)或五价(如磷)元素, 这使半导体的导电能力大大增强。如掺入五价元素, 其导电主要是靠自由电子, 形成 N 型半导体(如图 1-1-1)。若掺入的是三价元素, 其导电主要是靠空穴, 这称为 P 型半导体(如图 1-1-2)。

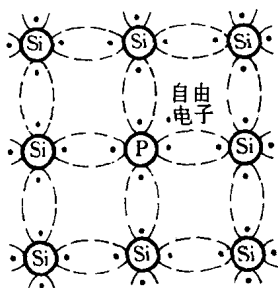


图 1-1-1 硅单晶体中掺入磷(P)元素, 形成电子(N)型半导体

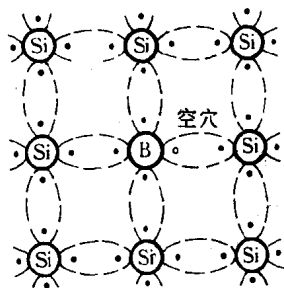


图 1-1-2 硅单晶体中掺入硼(B)元素, 形成空穴(P)型半导体

在 N 型半导体中, 掺进五价元素越多, 自由电子数越多, 导电性能越好, 但仍有极少数的空穴(热激励产生电子、空穴

对), 所以 N 型半导体中多数载流子是自由电子, 少数载流子是空穴。在 P 型半导体中, 掺进三价元素越多, 空穴越多, 导电性能越好。在 P 型半导体中, 多数载流子是空穴, 少数载流子是自由电子。不论是 P 型或 N 型半导体, 对外都呈现中性。在制造时, 用掺杂的多少来控制多数载流子的浓度, 而在使用中会出现随温度的升高和光照的增强, 少数载流子的浓度急剧增加的现象。

三、PN 结的形成

采取一定的工艺措施, 在一块半导体上掺杂制成一部分是 P 型和另一部分是 N 型半导体, 如图 1-1-3a。由于 N 区电子浓度远大于 P 区, P 区的空穴浓度远大于 N 区, 因此, N 区的电子穿过交界面向 P 区扩散, P 区的空穴也向 N 区扩散。由于扩散的结果, 在交界面形成一个薄层区, 在这薄层区内, N 区的电子已跑到 P 区, 形成 N 区带正电, P 区的空穴已被电子填充, 形成 P 区带负电, 这薄层又称空间电荷区, 如图 1-1-3b。这薄层的两部分类似于已充电的电容器, 薄层内形成由 $N \rightarrow P$ 的内电场(自建电场)。空间电荷区内基本上没有载流子, 具有很高的电阻率, 称为耗尽层, 又称阻挡层, 但更通常的名称是 PN 结。

空间电荷区的内电场对多数载流子的扩散运动起阻碍作用, 但对少数载流子(P 区的电子, N 区的空穴), 内电场则吸引它们越过空间电荷区进入对方的领域。把载流子在内电场作用下的定向运动, 称为漂移运动。扩散和漂移是一对矛盾, 开始矛盾的主导方面是扩散, 扩散形成内电场, 而后引起漂移。PN 结在没有外电场作用、且温度一定时, 扩散运动和漂移运动处于相对平衡状态, PN 结之间最终没有定向电流。

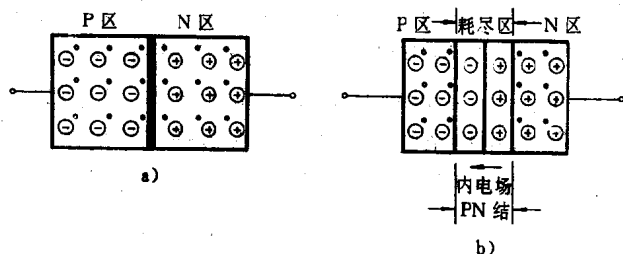


图 1-1-3 PN 结

⊕ 正离子; ⊖ 负离子; ○ 空穴; ● 电子

四、PN 结的单向导电性

1. 外加正向电压, PN 结导通

图 1-1-4a 中, 电源 E 串联电阻后把正极接于 P 区, 负极接于 N 区, 这时称 PN 结外加正向电压。在正向电压作用下, 在 PN 结中, 外电场和内电场方向相反, 外电场克服内电场, 使空间电荷区变窄, 多数载流子的扩散运动大大超过漂移运动, N 区的电子扩散到 P 区, P 区的空穴扩散到 N 区, 形成由 P→N 的正向电流(正电荷运动方向)。此时 PN 结之间电压很低, 硅管约 0.7V, 锗管约 0.3V。因此正向接法要串接电阻, 防止电流过大烧毁 PN 结。

2. 外加反向电压, PN 结不导通(截止)

图 1-1-4b 中, 外电源正极接于 N 区, 负极接于 P 区, 称 PN 结外加反向电压, 或称反向接法。此时外电场增强内电场, 使空间电荷区加宽, 增强它对多数载流子扩散的阻挡作用, 因而多数载流子不流动。但是, 增强了的内电场则有利于少数载流子的漂移运动, 形成微小的反向电流(硅管几十微安以下, 锗管可达几百微安)。但是, 这反向电流对温度非常敏

感, 温度每升高约 $8 \sim 10^{\circ}\text{C}$, 少数载流子形成的反向电流将增大一倍。

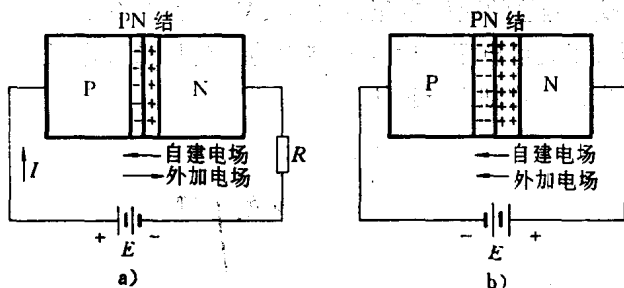


图 1-1-4 PN 结正向接法和反向接法

PN 结正向接时, PN 结导通, 正向电阻很小。PN 结反向接时, PN 结截止 (仅有微小的反向电流), 反向电阻极大。PN 结具有的这种单向导电性, 是多种半导体器件的共同基础。

1-2 半导体二极管

将 PN 结引出两个电极引线制成二极管, P 端的引线为正极 (阳极), N 端的引线为负极 (阴极)。常用的有锗二极管和硅二极管。按结构有点接触型和面接触型。点接触型多为锗管, PN 结的面积小, 高频性能好。面接触型一般为硅管, PN 结面积大, 可通过较大的电流, 一般作整流用。二极管的图形符号为: (P)  (N)。通常 P, N 两个字母可不标出。箭头表示电流流动的方向, 文字符号用 D 表示。

一、二极管的伏安特性

二极管的伏安特性曲线如图 1-2-1 所示。正向特性

中,当电压较小时,不足以克服 PN 结的内电场的阻挡作用,正向电流较小,这一段称为死区,如图中硅管 OA 段,锗管 OB 段。硅管的死区电压约为 0.5V ,锗管约 0.2V 。当外加电压大于死区电压之后,PN 结中的内电场被外电场克服,电流随电压的增加上升很快。

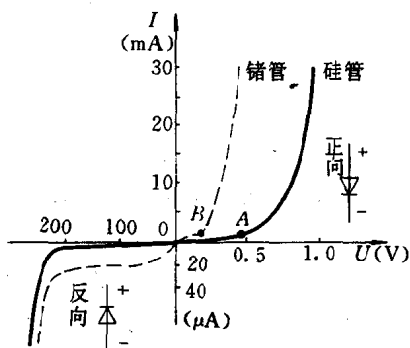


图 1-2-1 二极管的伏安特性

当二极管反接时,由少数载流子形成微小反向电流。受少数载流子数量所限,反向电压在很大范围内,反向电流都不随电压的增加而增大(故称反向饱和电流)。可是当电压增大到一定值,PN 结的阻挡层被击穿,造成反向电流急剧增大。二极管反向被击穿时的电压,称反向击穿电压 U_{BR} 。反向击穿可能造成管子永久性损坏。但采用某些特殊制造工艺制成的稳压二极管,能在击穿状态下,仍不会损坏(当然,还要限制管子电流不致过热而损坏),这样就可以利用反向击穿时,管子两端反向电压不随电流变化的特性,达到稳定电压的目的。光电二极管也是利用少数载流子漂移形成的反向电流对光照强度敏感的原理工作。

以上讨论,可小结如下:

(1) 二极管的正向特性和反向特性都是非线性的。

(2) 二极管的正向特性有一段死区电压。正向导通时正向压降很小,硅管约 0.7V,锗管约 0.3V。在二极管承受的反向电压小于击穿电压范围内,反向电流极微小,但反向电流对温度很敏感;达到反向击穿电压时,PN 结被击穿,二极管失去单向导电性。

(3) 锗管正向压降比硅管小,但锗管反向电流比硅管大得多,锗管的参数受温度影响较明显。

二、二极管的等效电路

在分析二极管电路时,常把其伏安特性理想化,并用等效电路来代替。

1. 理想二极管的等效电路

二极管正向导通时,认为正向压降等于零,相当于开关短接。反向截止时,反向电流等于零,相当于开关断开。如图 1-2-2a 所示。

2. 考虑正向压降 U_D 时二极管的等效电路

二极管正向压降 U_D ,硅管取 0.7V,锗管取 0.3V。当 $u_D > U_D$ 时,开关闭合,正向压降恒等于 U_D ; $u_D < U_D$ 时,二极管截止,开关断开。如图 1-2-2b 所示。

3. 考虑 PN 结正向特性曲线的斜率时二极管的等效电路

用动态电阻 $r_d = \frac{\Delta U_d}{\Delta I_d}$ 来表达曲线的斜率,其等效电路如

图 1-2-2c, r_d 值随二极管工作点 Q 电流的增大而减小。

本章的讨论中,无特别说明时,均把二极管看成是理想的。

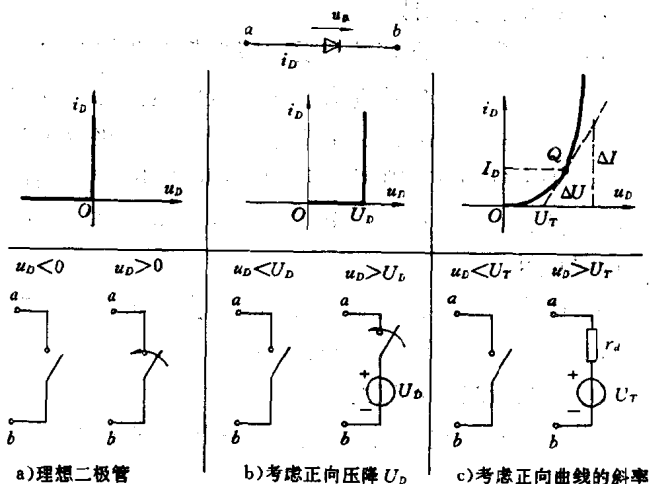


图 1-2-2 二极管近似等效电路

三、二极管的主要参数

1. 最大整流电流 I_{OM}

是指长期工作时二极管允许通过的最大平均电流值。电流超过此值, PN 结将可能过热而损坏。

2. 反向工作峰值电压 U_{RM}

为了保证二极管不被反向击穿, 一般给定反向工作峰值电压是反向击穿电压的 $\frac{1}{2}$ 或 $\frac{2}{3}$ 。

3. 最大反向漏电流

是指在规定温度下, 加上反向工作峰值电压时的反向电流值。反向电流大, 管子的单向导电性能差, 且受温度的影响大。

如查手册可知: 2AP28 为锗二极管, $I_{OM} = 16\text{mA}$, $U_{RM} =$

100V, 反向击穿电压 150V, 最高工作频率 100MHz。

2CZ12G 为硅二极管, $I_{OM} = 3A$, $U_{RM} = 600V$, 最大整流电流时正向压降 0.8V。

二极管型号的符号含义:

A——锗管;

C——硅管;

P——普通二极管;

Z——整流二极管。

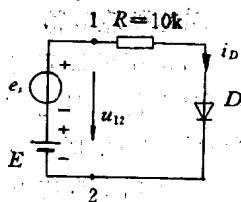


图 1-2-3

例 1-1 图 1-2-3 电路中, 二极管 D 和 R 串联, 电源是由直流 E 和正弦 e_s 串联组成。 $e_s = 10\sin\omega t$ V, $R = 10k\Omega$, 二极管认为是理想的。求下列不同 E 值的 i_D 波形:

(a) $E = 10V$; (b) $E = 20V$;

(c) $E = 5V$; (d) $E = 0V$ 。

解 讨论含二极管的电路时, 主要是要判断二极管是受正向电压、还是受反向电压。本题中电源 $u_{12} = E + E_m \sin\omega t$, ab 两种情形 $E \geq E_m$, 正弦的正、负半周 D 均导通, 相当于短接; cd 两种情形, 正弦的负半周中, 当 $E < |E_m|$ 时, 二极管承受反向电压而截止, 相当于开路。由此可以画出上述四种情形 i_D 的波形, 如图 1-2-4a, b, c, d 所示。

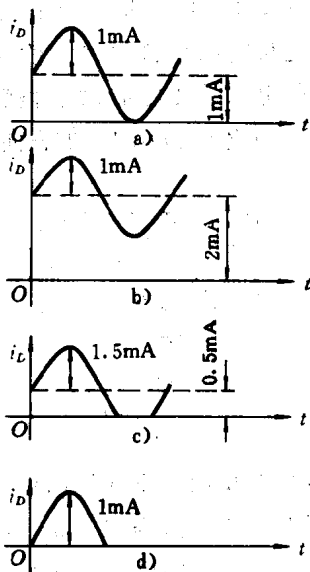


图 1-2-4

1-3 整流电路 滤波电路

一、单相整流电路

大多数电子设备都需采用直流电源来供电,但交流电便宜而且容易获得。因此,用一种变换电流的电路,把方向交变的交流电流(压)变成方向不变的电流(压),称为整流电路。几百瓦以下小功率直流电源通常用单相整流电路,其中又以桥式整流电路使用最多。

1. 单相桥式整流电路

(1) 电路工作原理

图 1-3-1 是用四个二极管组成的桥式整流电路(类似于电桥的四个臂而称为桥式)。图中画出三种常用的画法。正弦电源经变压器供给整流输入电压 $u_2 = \sqrt{2} U_2 \cdot \sin \omega t \text{ V}$ 。 u_2 正半周时, D_1, D_3 加正向电压而导通(D_1, D_3 短接), $D_2,$

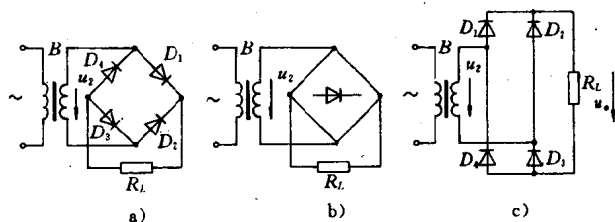


图 1-3-1 单相桥式整流电路

D_4 承受反向电压截止(D_2, D_4 开路), 正半周时的电流回路如图 1-3-2a 所示。 u_2 负半周时, D_2, D_4 导通, D_1, D_3 截止, 负半周时的电流回路如图 1-3-2b 所示。a, b 图对比可见, u_2 负半周流过负载 R_L 的电流的方向和正半周时相同, 从而画出流经二极管的电流 $i_{D1}, i_{D2}, i_{D3}, i_{D4}$ 波形及负载电流