

二极管的整流滤波特性及电磁线圈炮的制作*

代天晓

(北京景山学校崇礼分校 河北 张家口 076350)

吴广国 马龙敏

(北京景山学校 北京 100006)

邹 斌

(中央民族大学理学院 北京 100081)

(收稿日期:2019-12-24)

摘要:通过理论分析二极管的形成过程,了解半导体硅pn结正向导通电压;利用数字万用表描绘出硅pn结的伏安特性曲线,得知pn结的正向导通、反向截止的特性;通过分析半波整流电路、全波整流电路和滤波电路,设计实验,由正弦函数发生器产生正弦信号,分别从电阻上取电压信号输到示波器上进行显示,获得经过半波整流电路、全波整流电路和滤波电路以后的信号,并将滤波后的信号给音乐芯片、收音机提供电源,使音乐芯片和收音机正常工作.通过高压二极管组成的全波整流电路对220V交流电进行整流,变成高压直流对电容器充电作为电源,然后电容器对线圈放电产生强瞬时脉冲电流,制作出电磁线圈炮.

关键词:单向导电性 整流特性 科学探究 电磁线圈炮

半导体二极管是高中物理欧姆定律部分“非线性元件小灯泡伏安特性曲线实验”的拓展内容,是高中阶段重要的电磁学拓展实验之一.二极管的单向导电性、伏安特性曲线和整流特性也是高考、高校自主招生和全国物理竞赛的命题热点,命题形式灵活多变,对学生能力的考查要求较高.鉴于此问题为高中物理中一个知识点,笔者对半导体二极管的单向导电性、整流特性中的半波整流电路、全波整流电路、滤波电路以及全波整流电路的应用进行了详细分析和研究.

1 半导体二极管的单向导电性

1.1 实验探究

由如图1所示的电路图制作示教板,正弦交流

信号采取功率输出低频正弦信号,电路中有小灯泡与两个发光二极管并联在一起,左侧为红色发光二极管,右侧为绿色发光二极管,两个二极管的正负接法相反.

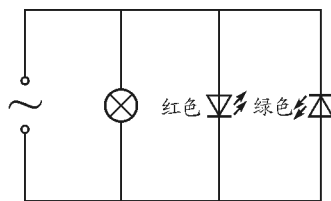


图1 引课演示实验示教板电路图

接通电源,在一个周期内,小灯泡闪亮两次,红色和绿色发光二极管各闪亮一次.当红色发光二极管与小灯泡亮时,绿色发光二极管暗;当绿色发光二极管与小灯泡亮时,红色发光二极管暗,实验现象如

* 张家口市教育科学“十三五”规划2018年度重点课题“物理创新性自制实验与实验教学模式探索”,课题编号:184401;国家民委高等教育教学改革研究项目“民族院校大学物理‘课程思政’教学的实践研究”的阶段性成果,课题批准号:SZ19002

作者简介:代天晓(1986-),男,中教一级,主要从事初中信息技术教育教学研究.

通讯作者:邹斌(1980-),男,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为中学物理教育与教学方法.

图2所示.

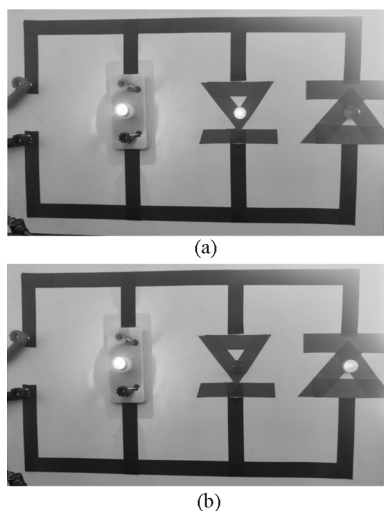


图2 发光二极管单线导电性实验现象

二极管具有单向导电性,正向导通,二极管发光;反向截止,二极管不亮.而小灯泡的发光是灯丝的热效应所致,无论电流的方向如何,小灯泡都发光.所以在正弦交流电一个周期的时间里,小灯泡两次发光,发光二极管只有一次发光.

1.2 理论分析二极管的单向导电性

半导体二极管是由p型半导体和n型半导体紧密结合而成.在此以半导体硅二极管为例,p型硅半导体是掺杂了三价的硼原子,硼原子替代一个硅原子,与周围的4个硅原子形成共价键.因为硼原子最外层只有3个电子,需要拿出4个电子与硅形成共价键,所以每一个硼原子附近就会出现一个带正电的空位,简称空穴,p型半导体的多数载流子为空穴.同理n型半导体为掺杂了五价的磷原子,n型半导体的多数载流子为自由电子.

当p型和n型半导体紧密结合时,由于在pn结上存在载流子浓度梯度,载流子会产生扩散现象.在p侧的空穴扩散进入n侧,n侧的电子扩散进入p侧,扩散进入n侧的空穴与n侧的电子中和,扩散进入p侧的电子与p侧的空穴中和^[1].这样,p型半导体结部分剩余不自由的电子,而n型半导体结部分剩余不自由的空穴,从而在结区形成了如图3所示的内建电场,内建电场区域又称为耗尽区,内建电场阻碍了p型半导体中的空穴和n型半导体中的自由电子

的进一步扩散,形成热平衡下不加偏压的pn结.

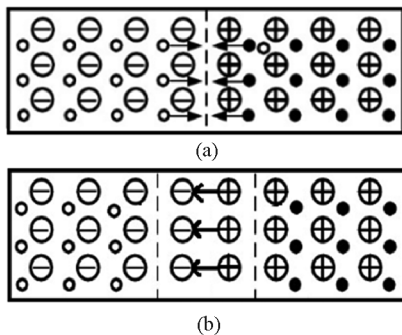


图3 pn结的形成过程

如图4(a)所示,当pn结加正向偏置电压时,pn结耗尽区宽度减小,使载流子更易扩散,如果正向所加电压恰好等于热平衡零偏置时的内建电势差,此时耗尽区宽度为零,pn结正向导通,此时正向电压称为二极管的正向导通电压.如图4(b)所示,当二极管加反向偏置电压时,pn结耗尽区宽度增加,使多数载流子的扩散更加困难,所以二极管反向偏置时,电流更小.理论上认为二极管反向截止,随着反向偏置电压增大到某一临界电压后,电流会突然增加,这种现象称为结击穿,此时的反向电压称为结击穿电压.

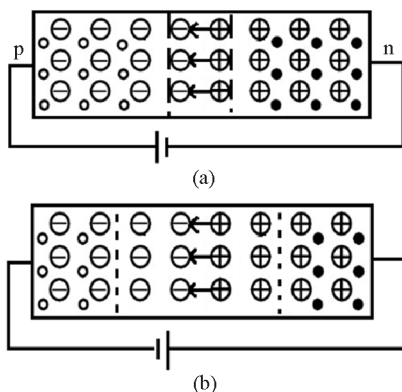


图4 pn结正向和反向偏置下的耗尽区宽度

1.3 实验描绘二极管的伏安特性曲线

我们可参照高中电学实验描绘小灯泡的伏安特性曲线的实验,设计类似的实验方案描绘二极管的伏安特性曲线.

因为一般的整流二极管的反向击穿电压比较高,所以实验中采用的是6.8V的稳压二极管,如图5所示.

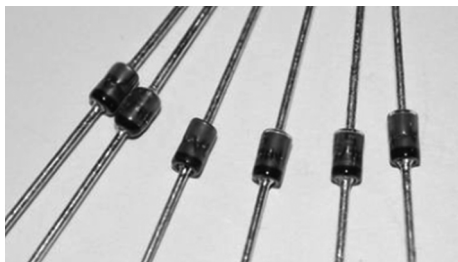


图5 稳压二极管

由高中教材《物理·选修3-1》第二章第3节欧姆定律某晶体二极管的伏安特性曲线图^[2]可知,二极管的伏安特性曲线不是线性关系,所以可采用分压电路来进行测量,如图6所示。

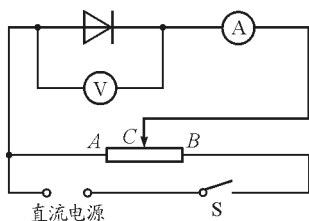


图6 描绘二极管伏安特性曲线测量电路图

实验中,滑动变阻器采用全电阻为 $5\ \Omega$ 的滑动变阻器,电源采用直流稳压电源,最高可达 $20\ \text{V}$,可以改变电源的正负。电压表和电流表都采用数字万用表,且当正向没有导通时,电流表的量程为 μA 量程,当二极管正向导通和反向击穿时,量程改为 mA 量程。由测量数据,描点作图可得二极管的伏安特性曲线如图7所示。

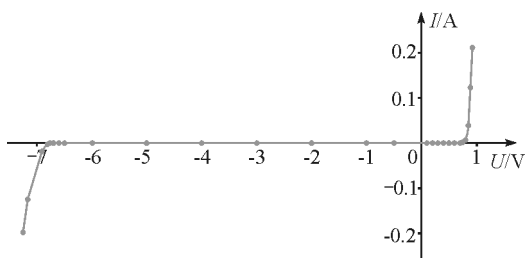


图7 二极管的伏安特性曲线

由该二极管伏安特性曲线可知其正向导通电压约为 $0.8\ \text{V}$,反向击穿电压约为 $6.8\ \text{V}$ 。该二极管工作在反向 $6.8\ \text{V}$ 时,二极管被击穿,再反向增大电压,发现二极管两端电压将不再发生较大幅度的变化,该二极管工作在反向击穿的状态下,起到了稳压 $6.8\ \text{V}$ 的作用。

2 二极管的整流特性

2.1 半波整流

二极管具有正向导通、反向截止的性质。我们按照如图8所示设计的实验电路图,从电阻 R_L 两端取电压信号输入到示波器中,观察当一正弦交流信号通过1个二极管后产生的信号情况。

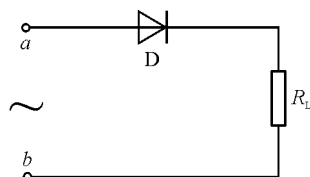
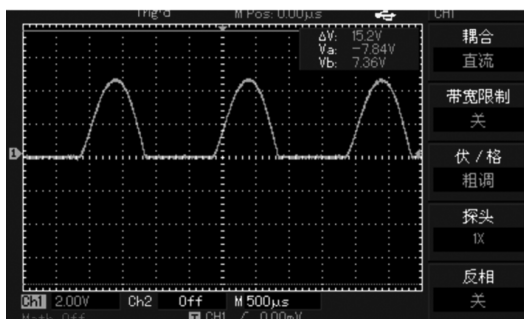


图8 半波整流电路

这种经过一个二极管从而获得的信号,只得到了原正弦信号的一个方向的信号,如图9所示,这种整流电路,我们称为半波整流。

图9 半波整流电路 R_L 两端的电压信号

2.2 全波整流

图10为全波整流电路。

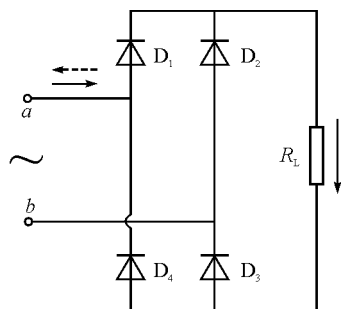


图10 全波整流电路

在 a 与 b 之间输入正弦信号,当正弦信号的输入端 a 为正时,电信号经过 D_1, R_L, D_3 , 然后回到 b 端; b 端为正时,电信号经过 D_2, R_L, D_4 , 然后回到 a 端。

这样无论 a, b 哪一端为正, 电流通过 R_L 的方向都相同, 从而在 R_L 两端取电压信号时, 都是一个方向。

有关参考书中给出的全波整流的电路图如图 11 所示^[3]。与图 10 分析得到的电路图完全相同, 只是改变了二极管的相对位置。

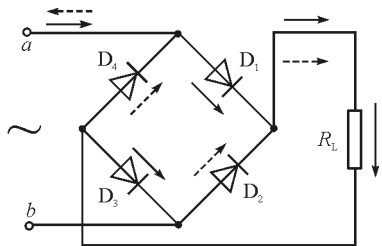


图 11 全波整流电路的变形图

通过对全波整流电路分析, 正弦信号无论正向电压信号还是负向电压信号, 经过 R_L 时, 电流方向都是从上至下, 所以从 R_L 两端取信号, 输入到示波器中观察得如图 12 所示的直流电信号。

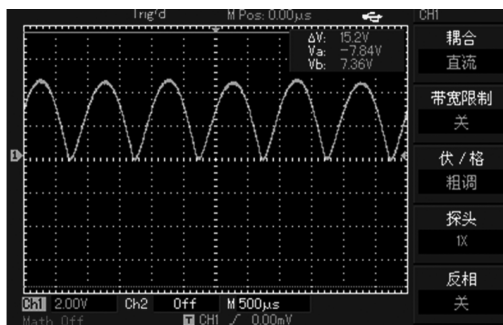


图 12 全波整流电路输出端电压信号

2.3 滤波电路

得到了经过全波整流电路以后的直流信号, 如图 12 所示。虽然将交流电变成了直流电, 但这个信号强弱还是在不停地变化的, 可以采用如下办法让电阻两端的信号更稳定。

可以利用电容器的充放电特性设计出如图 13 所示的滤波电路, 给取信号的电阻 R_L 并联一个合适的电容器, 当电阻两端电压减小时, 此时电容器存储的电荷进行放电, 保持电容器与 R_L 两端的电压一致; 而当 R_L 两端的电压增加时, 此时给电容器充电, 从而可以得出此时的稳定性较好的电信号如图 14 所示。

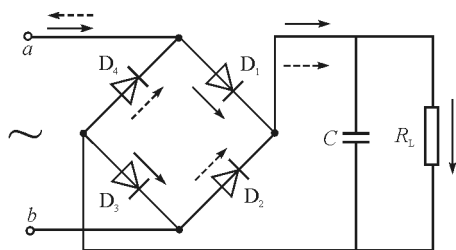


图 13 滤波电路图

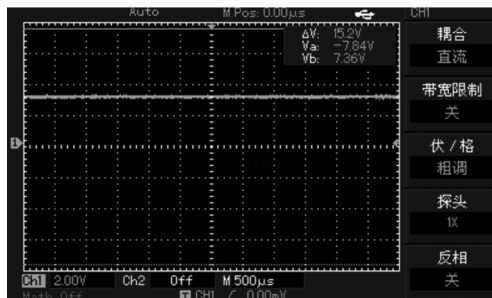


图 14 经过整流、滤波后的直流电压信号

日常生活中所有用直流电源的用电器, 都可以用整流和滤波电路得到稳定的电压信号来提供电源, 给其供电。比如手机、手电筒、收音机、电子音乐卡片、电子表等用电器的电源。比如利用全波整流和滤波电路得到直流电压信号给 1.5 V 音乐卡片供电, 使音乐贺卡正常工作。通过调节功率输出信号的大小, 来调节整流滤波电路的输出电压信号的高低, 给 3.0 V 收音机供电, 使其正常工作。

3 电磁线圈炮的设计与制作

3.1 电磁线圈炮的工作原理

电磁线圈炮是利用铁钉做“炮弹”。当线圈中通有电流时, 线圈变成电磁铁, 将铁钉磁化, 磁化后的铁钉被电磁铁吸进线圈中获得一定的速度。电磁线圈炮的核心是:

(1) 线圈中通的电流不能用恒定的电流, 恒定的电流会导致线圈中产生稳恒磁场, 当铁钉被磁化后吸入到线圈中获得一定的速度, 但铁钉在出线圈时将会减速运动, 所以铁钉将会停在线圈中。

(2) 本实验中要求通电后线圈的磁性要很强, 所以必须通瞬间大电流, 即大脉冲电流^[4~6]。

电磁线圈炮的工作原理如图 15 所示。

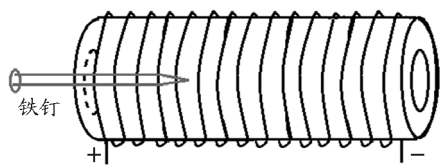


图 15 电磁线圈炮的工作原理

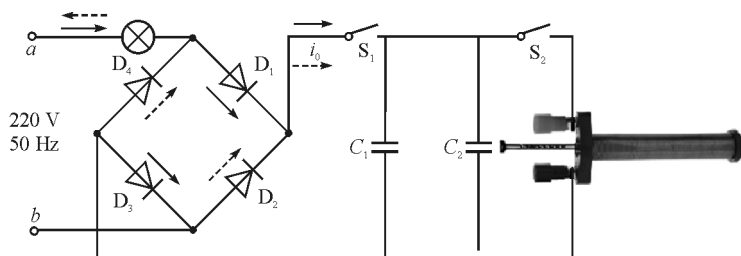


图 16 电磁线圈炮设计电路图

因为是对 220 V 的交流电进行整流,所以二极管采用 6A/10MIC 型号大功率二极管,电容器 C_1 和 C_2 都采用的是 450 V, 1 000 μF 电解电容器。线圈长度约为 12 cm,匝数约为 250 匝,线圈缠绕在外径约为 8 mm 的透明塑料管上。断开 S_2 , 接通 S_1 , 给两个电容器充电,可以通过串联在整流电路之前的灯泡的亮度来判断充电情况,为了使电容器存储的电荷更多,当灯泡不亮后,再持续充电 5 ~ 10 s 的时间。然后断开 S_1 , 接通 S_2 , 电容器放电在线圈中产生瞬间的脉冲大电流,铁钉被磁化后,被快速吸入线圈中获得较大的速度,此时电容器基本放电完毕,铁钉以很快的速度“弹射”出去,实物图如图 17 所示。

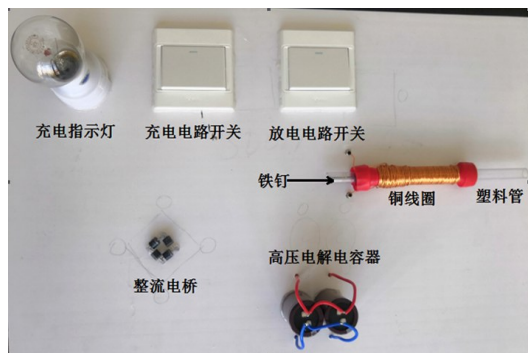


图 17 电磁线圈炮实物图

3.2 设计与制作

基于以上两点要求,我们需要高压直流电,同时该电流又必须是瞬间脉冲电流。电容器放电可以产生脉冲电流,如果想要使放电时间更短,则回路中电阻越小越好,所以最好直接用充电后的电容器对铜绕的线圈进行放电,如图 16 所示。

4 结束语

本文从二极管的单向导电性出发,利用半波整流、全波整流和滤波电路,获取直流电信号,进一步对直流电信号进行应用,对音乐贺卡、收音机供电。最后又自行设计制作了电磁线圈炮,并且获得了很好的实验效果。

参考文献

- 1 施敏. 半导体器件物理与工艺[M]. 赵鹤鸣, 钱敏, 黄秋萍, 译. 苏州: 苏州大学出版社, 2002. 87
- 2 人民教育出版社, 课程教材研究所. 普通高中课程标准实验教科书 物理·选修 3-1[M]. 北京: 人民教育出版社, 2010. 47
- 3 康华光, 陈大钦, 张林. 电子技术基础 模拟部分(第 5 版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008. 486
- 4 李庆林. 电磁炮原理探析及其在物理教学中的应用[J]. 中学物理教学参考, 2019, 48(02): 52 ~ 53
- 5 余雪妹. 简易电磁炮的制作与研究[J]. 物理教师, 2018, 39(07): 42 ~ 43
- 6 邹韩仕. 从原始问题走向物理习题的实践探究——科学思维视角下的“单杆+双轨”模型[J]. 物理通报, 2019(08): 53 ~ 56