

第 1 章 电路“高楼”平地起



我们正处在一个高速发展的信息时代。电路构成了形形色色的电子产品和设备，人们每天都不得不与电路打交道。例如从图 1-0 所示的时速 350 公里的“和谐号”动车组中，我们就能看到很多电子设备和电路的影子。



图 1-0 国产时速 350 公里的动车组

图 1-0 中显示的动车组驾驶室内，我们能粗略地看到电子通信设备、行车控制设备等。毫无疑问，这些设备都是由各种电子器件组成的、实现特定功能的电路所构成的。

中学的物理课本中就有一些关于电路的概念和实验。但是如果大家有些淡忘或者是第一次接触电路，第 1 章有必要通过一些身边的例子来让读者掌握基本的概念和对电路的应用有一个初步的印象，以便为后面的学习打下基础。

本章的学习重点在于了解而不是记忆。通过寻找身边应用电路的例子，感受生活中无处不在的电路。在本章后面还安排了一些关于电路设计的内容，可以作为日后设计电路的参考。按照规范的设计步骤进行设计是一个优秀电路设计工程师的基本技能之一。

本章的内容如下：

- ✧ 从一个例子中看电路
- ✧ 都有哪些电子元器件
- ✧ 如何设计电路
- ✧ 如何进行电路实验

◇ 尝试一下——调光灯的设计

1.1 从一个例子中看电路

首先，我们通过一个简单的例子来对电路生产一个感性的认识，如图 1-1 所示。家里的一个简单的电灯包括了灯泡、开关和电源。这三者就组成了一个最简单的电路，我们对这个电路操作的效果就是电灯的亮和灭。

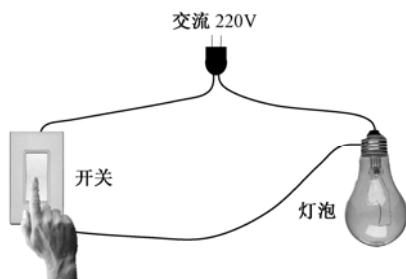
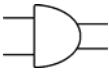


图 1-1 最简单的电路

由图 1-1 可得出 3 个常用元器件的电路符号——插座、开关和灯泡。如表 1-1 所示，最左一列是实际器件的外观，而最右一列是对应的电路符号。

表 1-1 图 1-1 中对应的电路符号

实际器件	器件名称	电路符号
	开关	
	电灯	
	交流电源插头	

在实际器件和电路符号的基础上，为了方便分析可以把图 1-1 的电路转换成电路图，如图 1-2 所示。但是在第 1 章我们先使用文字来描述这个过程：

- （1）按下开关时，电路闭合，电灯亮。
- （2）断开开关时，电路开路，电灯灭。

原来每天开灯关灯的动作就是在操作一个最简单的电路，可以看出电路在我们的生活中确实是无处不在的。为了更清晰地描述电路，可通过下面这个例子——调光灯组成和工作过程来更深入地看电路。调光灯是一种可以通过按键或其他输入设备控制光线强度的照明装置，图 1-3 给出了一款飞利浦调光灯实物及其操作面板。

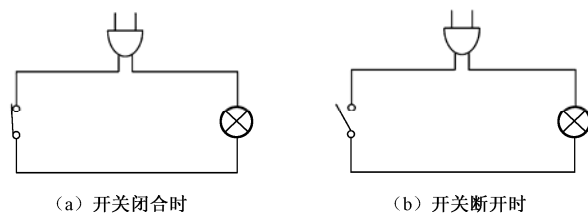


图 1-2 图 1-1 对应的电路图

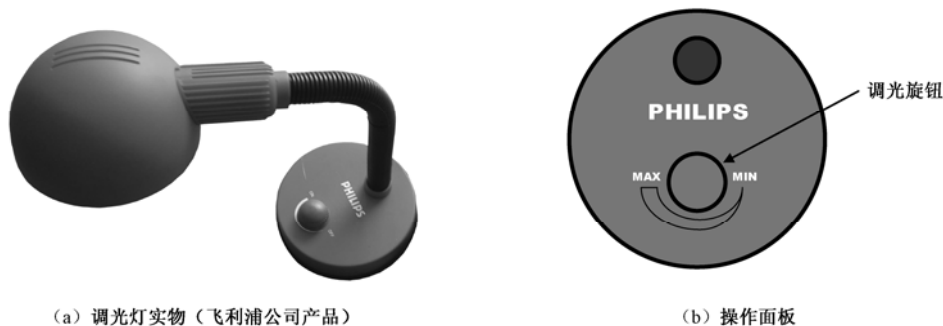


图 1-3 飞利浦调光灯实物及其操作面板

当顺时针转动旋钮的时候，台灯亮度逐渐增加，逆时针转动则电灯逐渐变暗。可以通过一个比较形象的比喻来理解调光灯的工作原理，把旋钮看成一个定时器，顺时针转动定时时间减少，逆时针转动定时时间增加，通过转动手动发电机来使电灯亮的实验我们在高中就做过。

现在我们根据定时器的时间转动小型手动发电机来使电灯亮。根据定时器的时间按一定的频率来转动发电机。假如定时时间为 1 秒，那么每隔 1 秒钟转动发电机一圈，可以想象，当定时时间越短，发电机转动的频率就越快，电灯亮灭交替就越快，在一段很长的时间内看起来电灯就越亮，反之电灯就变暗，如图 1-4 所示。

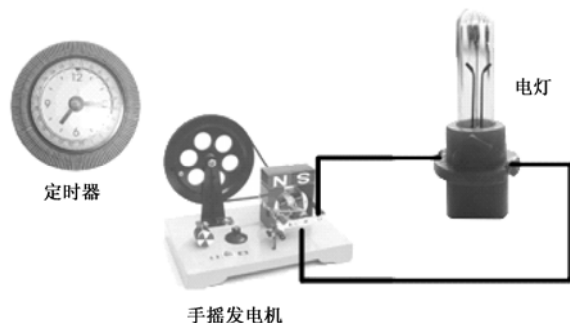


图 1-4 调光灯工作原理

通过前面电灯和调光灯这两个例子，能对电路有一些比较清晰的认识：

- ✧ 一个最简单的电路应该包括电源（220V 交流电源）、用电器（电灯）和传输路径（导线），而开关在电路中是可有可无的，视实际情况而定。
- ✧ 电路可完成特定的功能，比如电灯的电路完成对电灯的开关操作，而调光灯除了完成对电灯的开关操作，还能实现对电灯亮度的控制。

最后，我们给电路下一个定义。电路，或称电子回路，是由电气设备和元器件，按一定方式连接起来，为电荷流通提供了路径的总体，也称电子线路或电气回路。

1.2 都有哪些电子元器件

我们已经知道，电路组成了各式各样的电子产品和设备，而电子元器件是组成电路最基本的单元。认识电子元器件是学习电路设计的第一步，只有了解电子元器件的性能、特点和使用方法，才有可能进一步学习电路基本知识和设计电路。在本节中只是对各种电子元器件作简要介绍，目的在于开阅读者视野，唤起读者对电路设计的兴趣，在以后的章节中将对各种电子元器件进行详细的分类介绍。图 1-5 所示为各种电子元器件的外形图。

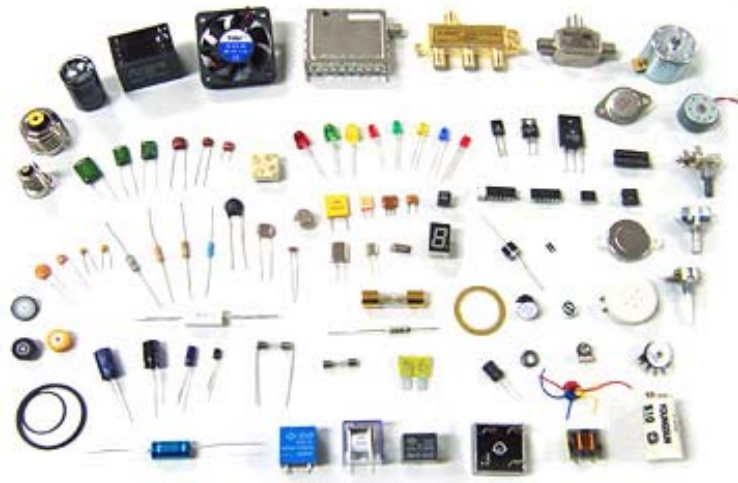


图 1-5 各种电子元器件

1.2.1 无源器件

无源器件简单地讲就是一种从外界获取能量并消耗能量的器件。无源器件包括电阻、电容和电感等，读者可以先大致浏览表 1-2 所示的一些常见无源器件，在今后的章节中还会有详细的介绍。

表 1-2 常见的无源器件

实际器件	器件名称	简单介绍
	固定电阻	固定电阻的阻值固定不变，主要用于控制电路电流和电压
	热敏电阻	热敏电阻的阻值随温度的改变发生显著变化，是温度传感器的一种
	可变电阻	可变电阻又称电位器，其阻值在一定范围内是可以调节的，主要用于调节电压或电流

续表

实际器件	器件名称	简单介绍
	排阻	排阻是把多个一定阻值固定电阻集成到一起，可以分为有公共端和无公共端两种
	电容	电容的基本功能是存储电荷，在电路中起滤波、耦合等作用，可以分为固定电容和可变电容
	电感	电感又称线圈，是将导线绕成螺旋管状的电子元器件，具有阻止电流变化的特性，可以分为固定电感、微调电感和色码电感等

1.2.2 半导体分立器件

半导体是一种固体材料，它的导电能力介于导体与绝缘体之间。使用这种材料制成的电子元器件称为半导体器件。表 1-3 给出了一些常见的半导体器件，我们可以先大致浏览一下。

表 1-3 常见的半导体器件

实际器件	器件名称	简单介绍
	二极管	二极管是一种对其施加正向电压时有电流流过，而施加反向电压时没有电流流过的电子元器件
	三极管	三极管是电流控制器件，在一定条件下具有电流放大作用，常用做电子开关
	场效应管	场效应管与三极管的不同之处在于它是电压控制器件，场效应管主要有结型和绝缘栅型两大类
	晶闸管	晶闸管又称可控硅，常作为可控开关使用，其特点是能用较小的功率控制较大的功率

1.2.3 集成电路

集成电路即 IC（Integrated Circuit），是在一块硅片中将二极管、三极管、电阻等电子元器件有机地组合在一起而构成的具有一定功能的电路。其特点是体积小、重量轻、集成度高，不存在器件的焊接不良等问题，可靠性高。在收录机、音响、电视、录像机和手机等产品中都广泛使用各种类型的集成电路。集成电路按其功能、结构的不同，可以分为模拟集成电路、数字集成电路、数/模混合集成电路三大类，如表 1-4 所示。

表 1-4 集成电路分类举例

实际器件	器件名称	分类
	LM1875	模拟集成电路
	74LS00	数字集成电路
	NE555	数/模混合集成电路

1.2.4 电气产品

除了以上常见的电子元器件外，还有一类经常使用的与电子控制、电源电路等相关的电子元器件。这些器件种类繁多，我们先从表 1-5 中进行初步了解。

表 1-5 常见的电气产品

实际器件	器件名称	简单介绍
	保险丝	保险丝又称熔断电阻器，在正常情况下具有普通电阻的电气功能，一旦电路出现故障，该电阻器会因负荷过重而在规定时间内熔断开路，起到保护其他电子元器件的作用
	变压器	变压器是一种可以将电能从一个电路通过电感耦合方式传送到另外一个电路的电子元器件
	开关	开关是一种简单而常用的电子元器件，主要用于实现电气上的连接与断开；常用的机械开关有拨动开关、按钮开关、微动开关和 DIP 开关等
	电池	电池是一种将化学能、光能、热能等能量直接转变为电能的电子元器件，可以分为干电池、充电电池和太阳能电池等
	继电器	继电器是一种受电路控制的电子开关，它的开关状态受到另一个电路的控制
	话筒	话筒是一种将声音的振动转变为电信号的电子元器件，可以分为动圈式话筒和电容式话筒
	扬声器	扬声器的工作原理和话筒正好相反，可以将电信号转变成声音的振动发射到周围空间

1.2.5 光电子产品

还有一类经常用于显示的、与“光”有关的电子产品——光电子产品。比如手机的显示屏、电源的指示灯等。表 1-6 介绍了一些常见的光电子产品。

表 1-6 常见的光电子产品

实际器件	器件名称	简单介绍
	LCD 显示屏	LCD 显示屏是一种又薄又平的显示器件，可以用来显示汉字或图形
	发光二极管	发光二极管简称 LED，是一种十分常用的指示器件，我们平时看到的指示灯大多都是发光二极管
	七段数码管	七段数码管可以看成是七个按一定规律排列的发光二极管，通过点亮一定组合的亮段，能显示 0~9 等数字
	光电开关	光电开关是非接触性开关的一种，当开关前方一定范围内有障碍物时，光电开关的输出电平产生变化
	光电耦合器	光电耦合器是以光为媒介传输电信号的一种电—光—电转换器件
	红外对管	红外对管是一种常用的光电器件，所谓对管就是由一支红外线发射管和一支红外线接收管组成，根据发射与接收的红外线频率不同，红外对管有不同的型号

1.2.6 工业控制及自动化器件

表 1-7 展示的一些电子元器件是许多电子系统不可或缺的，它们构成系统的输入或输出设备。

表 1-7 常见的工业控制及自动化器件

实际器件	器件名称	简单介绍
	温度传感器	温度传感器将温度转换成电信号，常用于电子测温系统中，如数字温度计等
	压力传感器	压力传感器将压力转换成电信号，常用于电子压力系统中，如数字气压计等
	霍尔传感器	霍尔传感器将磁场强度转换成电信号，常用于磁场强度或电流密度的测量系统中

续表

实际器件	器件名称	简单介绍
	电动机	电动机是把电能转换为动能的器件
	天线	天线是电磁波的直接输入/输出端口，可接收各种电磁波信号

1.3 如何设计电路

一个优秀的电路设计工程师需要养成良好的电路设计习惯，严格按照电路设计的程序和步骤进行，提高工作效率，避免做无用功。

接下来，我们开始学习设计电路的初步知识。

1. 设计的前奏——功能规划

在设计电路之前，十分重要的一点就是对电路的功能进行规划。也就是对电路系统所要完成的功能进行一个详细而清晰的设计，而不去理会电路的复杂性和电路形式、电子元器件的选择等问题。

功能规划的结果就是要得到详细的设计需求。所谓设计需求就是对设计目标和内容的要求，一般包括设计目标的总体要求、设计功能的具体要求、技术指标的具体要求，以及限制条件的具体要求等。

例如，对于调光灯来说，设计目标的总体需求包括：电源，使用环境等；设计功能的具体要求包括：过流保护，亮度调节等；技术指标的具体要求包括：使用寿命、功耗等；限制条件的具体要求包括：工作电压，工作电流等。

2. 电路设计第一步——从设计需求到设计规范

设计规范是指对设计的具体技术要求，是设计工作的规则。一般包括总体目标的技术描述、功能的技术描述、技术指标的技术描述，以及限制条件的技术描述等。设计规范其实就是从设计需求中提取出具体的技术指标，并加以分析，把一份直观的设计需求变成一份专门给工程师看的“设计需求”，这份“设计需求”其实也就是设计的蓝图。

3. 电路设计第二步——从设计规范到设计方案

根据设计规范设计合适的实现方案，可以提出多个可行方案，设计方案中要包括实现的基本技术、系统的模块模型和实现各个部分的基本方法。

4. 电路设计第三步——方案论证与分析

在这个过程中，需要我们从各个不同的角度（如个人能力、资金投入、开发时间等）对多个设计方案进行分析，最终确定一两个方案并提供实现该方案的具体技术指标。

5. 电路设计第四步——模型设计与仿真

针对最终确定的方案进行模型设计与仿真，可以使用自己熟悉的仿真工具（如 Matlab、Multisim 等），若仿真结果正确，那么设计工作就完成，剩下的就是电路的制作；

若不能得到预期结果，那么还得反复地修改设计方案和模型设计、仿真，直至得到正确结果为止。

1.4 如何进行电路实验

电路实验可以在面包板或通用板上进行，但是花费的时间比较多，对于电子设计工作者来说，Multisim 是个极好的计算机辅助设计软件，许多电路无须动用烙铁就可通过软件的仿真功能得到结果。在本书中，我们主要使用 Multisim8 来进行电路仿真。图 1-6 所示是 Multisim8 的工作界面，其中分成了工具栏、设计工具箱、电路窗口、电子数据表和状态栏等几部分。

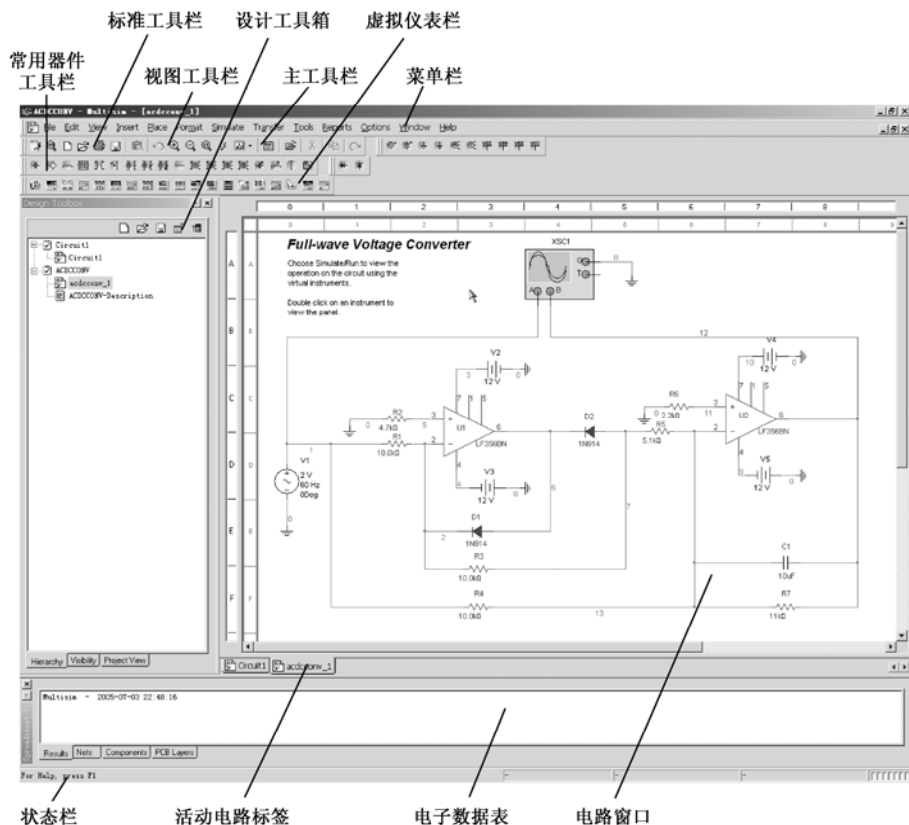


图 1-6 Multisim8 工作界面

1.4.1 电路仿真

使用 Multisim8 进行电路仿真是一件很愉快的事。在这里，我们暂时忽略如何在 Multisim8 中连接电路、设置器件等过程，先来感受一下 Multisim8 电路仿真功能的便捷。

通过简单而快速的连接，可以得到如图 1-7 所示的电路图。该电路是调光灯电路的一部分，图中的 V_1 是电源，向电路供电。 R_1 是可变电阻。 C_1 是固定电容。 D_1 是整流桥，可将

交流的输入信号转化为直流的输入信号。XSC1 是一台双通道的虚拟示波器，通过示波器可以观察在可变电阻的阻值和电容两端输出波形的变化关系以及整流桥输出电压波形。

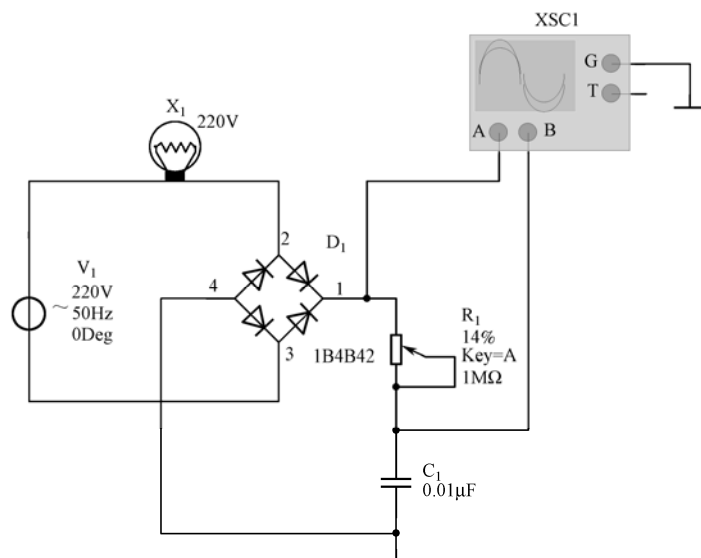


图 1-7 调光灯电路的一部分

仔细检查连接好的电路后，打开仿真开关，双击示波器，在图 1-7 所设定的参数下，就可以得到整流桥输出电压波形图和电容两端的电压波形图，如图 1-8 所示，电容两端的输出曲线已加粗。注意这时候 R_1 接入电路的阻值是总阻值的 14%。

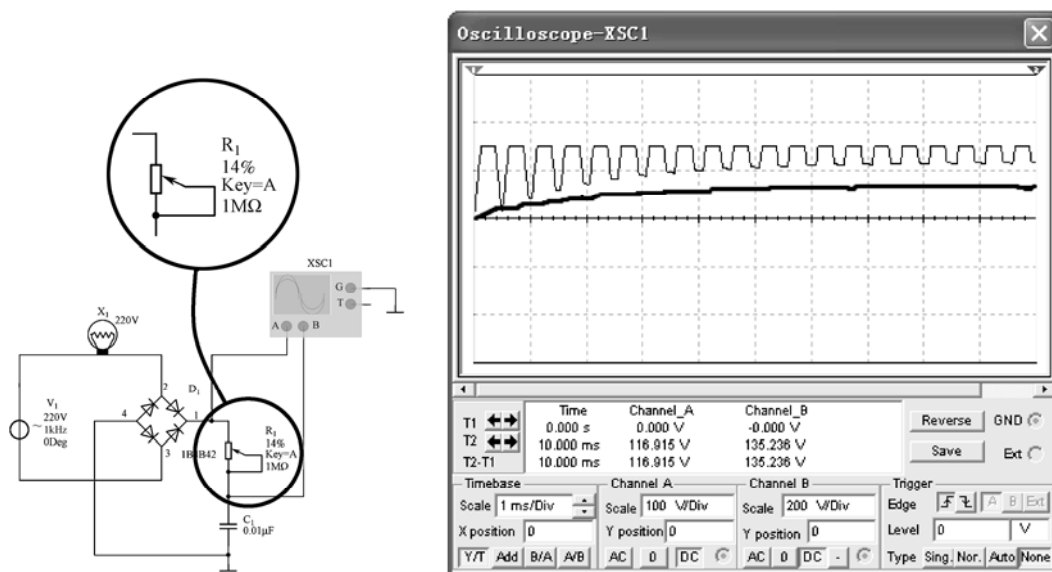


图 1-8 图 1-7 的仿真结果

这时，改变可变电阻 R_1 的阻值，使 R_1 接入电路的阻值是总阻值的 1%，即接入电路中的阻值变小。可以看到电容上输出波形发生明显变化，电容电压上升加快，如图 1-9 所示。

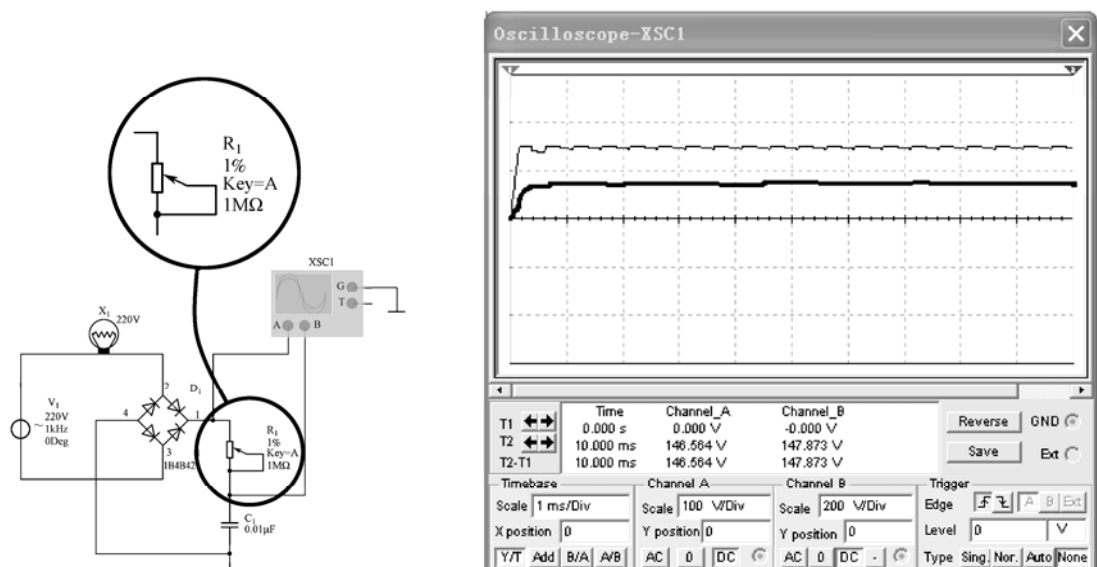


图 1-9 改变可变电阻 R_1 之后的仿真结果

从仿真结果可以看出，可变电阻的阻值越大，电容上的电压上升得越慢；而可变电阻的阻值越小，电容上的电压上升得越快。这个结论对于分析后面的调光灯电路很有用，其实调光灯电路就是在这个电路的基础上改进得来的。

1.4.2 实际电路实验

电路经过仿真后，一般还需要在面包板或通用板上实际地做一下实验。面包板是一种电子技术实验中经常用到的实验器材，它的一面有许多插孔，电子器件可以插到其中。常用的面包板其每一列的上、下 5 个插孔是分别导通的，列与列之间则相互绝缘。使用较硬的导线或面包板专用插线可以实现电气的连接，如图 1-10（a）所示。

另外一种用于电子技术实验的板子称为万用板，板上有密密麻麻规则排列的过孔，在板子的一侧，每个过孔对应有一个焊盘以供实验时焊接器件和导线，如图 1-10 (b) 所示。在实验的初级阶段，我们推荐使用面包板，因为使用面包板不需要焊接，容易修改电气连接和插拔器件。

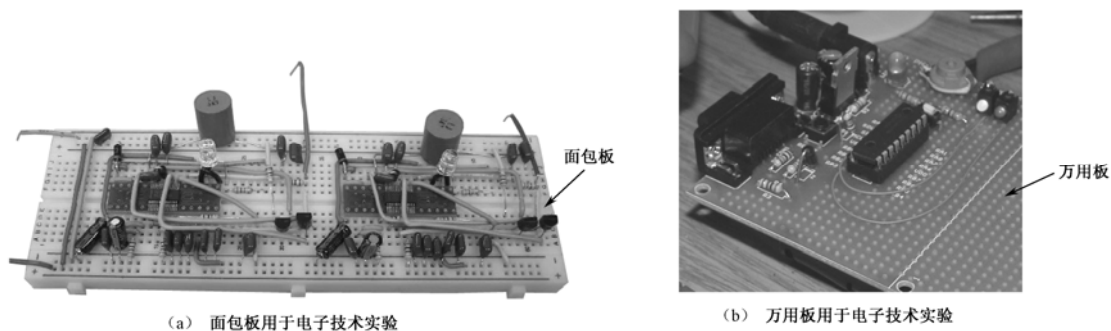


图 1-10 用于电子技术实验的器材

1.5 尝试一下——调光灯的设计

1.5.1 调光灯的设计方案

在本章前面的小节里已经对调光灯的工作原理做了形象的比喻，现在就让我们从技术的角度来深入理解它的工作原理。调光灯其实是通过一个可控硅调压电路来实现其功能的，电路图如图 1-11 所示，其实就是在 1.4.1 节介绍的电路的基础上加上了一个可控硅调压电路。

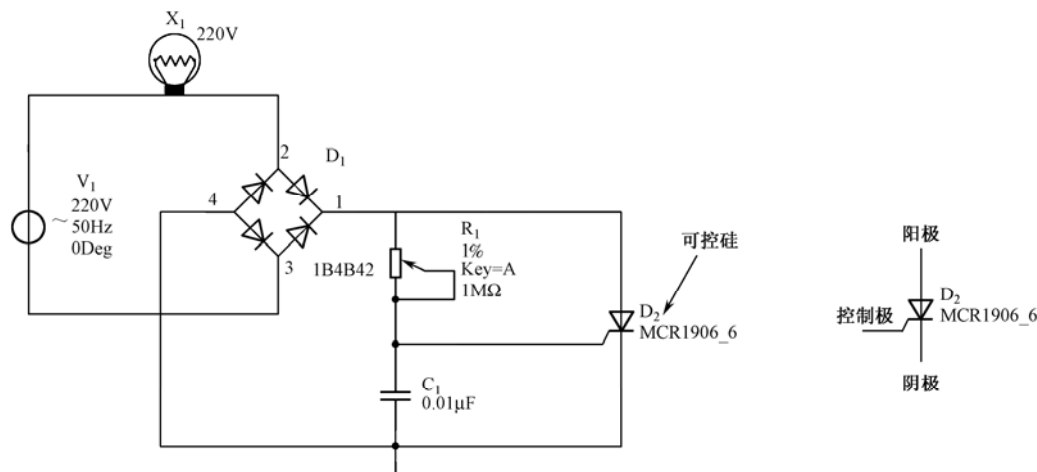


图 1-11 调光灯电路图

可控硅有 3 个极，分别是阳极、阴极和控制极，如果只在阳极和阴极间加电压，无论哪端为正，可控硅都不导通；只有在阳极接正电压，阴极接负电压，而在控制极加足够大的正电压，可控硅才导通。一旦导通，撤去控制极电压，可控硅仍保持原来的导通状态。当阳极和阴极之间的电压减小到零或负值的时候，可控硅截止。

由 1.4.1 节的仿真结果可知，可变电阻 R_1 越小，电容上的电压上升得越快，也就是说可控硅能越快导通，导通后直到其两端电压减小到零或负值时才截止，截止后由于电容电压迅速上升又能很快导通，电灯随着可控硅的导通截止在亮灭之间交替，在一段很长的时间看来，电灯亮灭交替的频率越快，电灯就越亮。回想一下 1.1 小节中的比喻，定时时间越短，发电机转动的频率就越快，电灯亮灭交替就越快，在一段很长的时间内看起来电灯就越亮，反之电灯就变暗。到这里，我们可以知道，图 1-3 中调光灯的旋钮其实就是一个可变电阻，通过转动它来改变可变电阻接入电路中的阻值来达到调节电灯亮暗程度的目的。

1.5.2 调光灯的电路仿真

在图 1-11 的电路图中加入虚拟示波器观察电灯可控硅两端的电压波形，如图 1-12 所示。

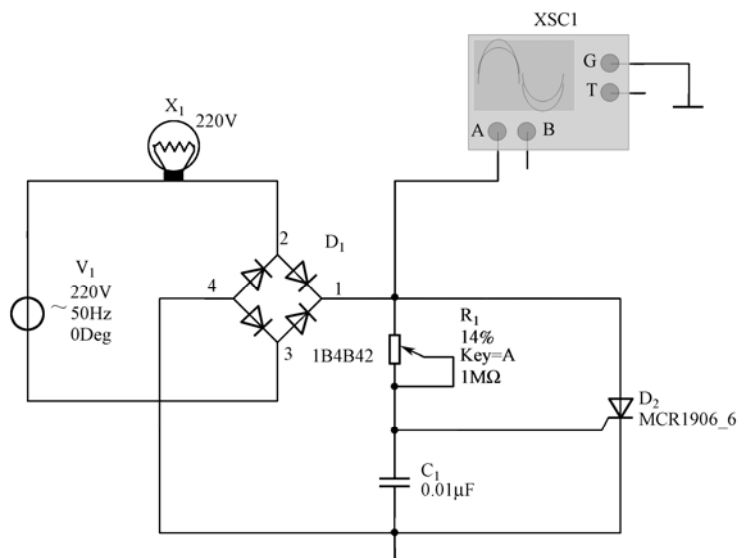


图 1-12 调光灯仿真电路

当可变电阻 R_1 接入电路的阻值是总阻值的 14% 时的仿真波形如图 1-13 所示，在电路窗口中能观察到电灯在不停地亮灭交替。

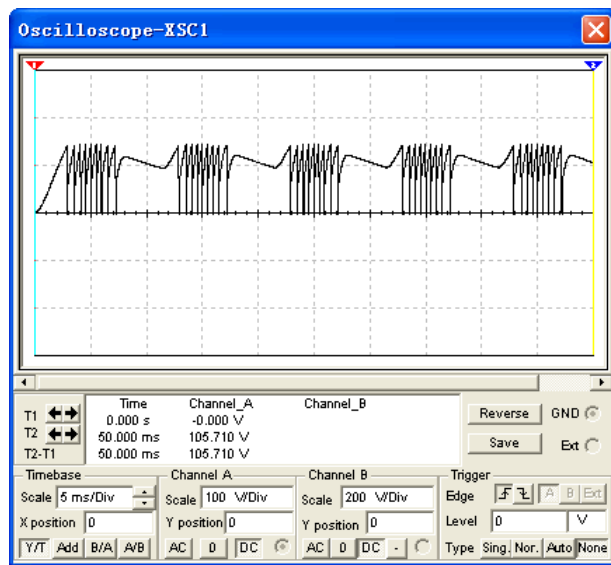


图 1-13 可变电阻 R_1 接入电路的阻值是总阻值的 14% 时的仿真波形

当可变电阻 R_1 接入电路的阻值是总阻值的 1% 时的仿真波形如图 1-14 所示，由于此时

电灯的亮灭交替频率太快，在电路窗口中几乎观察不到电灯的亮灭交替。

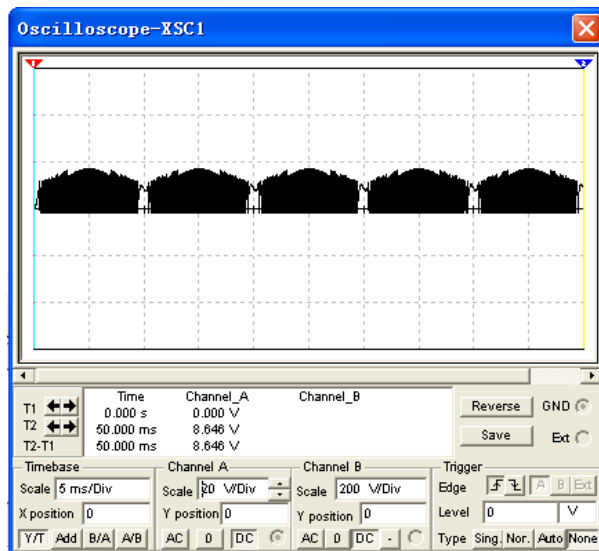


图 1-14 可变电阻 R_1 接入电路的阻值是总阻值的 1% 时的仿真波形