

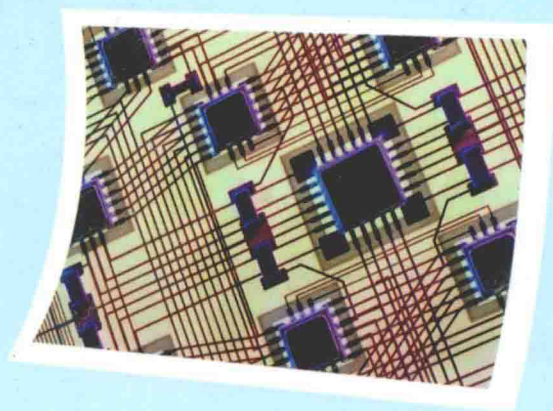


普通高等教育“十二五”规划教材
国家精品资源共享课“电子学科教学法”配套教材

电子电路设计 实例教程

DIANZI DIANLU SHEJI SHILI JIAOCHENG

刘 一 杨 舰 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



普通高等教育“十二五”规划教材

电子电路设计实例教程

主编 刘 一 杨 舰

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书是根据电子信息工程与应用电子技术等专业的培养目标,并参照国家电子类职业技能认证考核标准而编写的。本书在设计任务的引领下讲述理论知识,让学生在实践活动中掌握理论知识。本书选取了27个电子电路设计实例,包含了模拟电路和数字电路的绝大部分知识点,且内容遵循由易到难、由简单到复杂、理论结合实践的原则。通过对电子电路设计实例进行方案论证、总体设计、电路设计、参数设计、电路仿真测试,使学生从建立初步的感观认识,到学会对操作结果及出现的问题进行讨论、分析、研究,并得出结论,从而使专业设计能力得到提高。

本书适合作为电气类、自动化类、电子信息类专业或其他相近专业“模拟电路与数字电路”课程设计教材。

图书在版编目(CIP)数据

电子电路设计实例教程/刘一,杨舰主编.—北京:
中国铁道出版社,2014.9
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-113-19073-6

I. ①电… II. ①刘… ②杨… III. ①电子电路—电
路设计—高等学校—教材 IV. ①TN702

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第186951号

书 名: 电子电路设计实例教程
作 者: 刘 一 杨 舰 主 编

策 划: 任晓红
责任编辑: 马洪霞
编辑助理: 绳 超
封面设计: 付 巍
封面制作: 白 雪
责任校对: 汤淑梅
责任印制: 李 佳

读者热线: 400-668-0820

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.51eds.com>

印 刷: 北京京华虎彩印刷有限公司

版 次: 2014年9月第1版 2014年9月第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 10.5 字数: 259千

书 号: ISBN 978-7-113-19073-6

定 价: 22.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010)63550836

打击盗版举报电话:(010)51873659

前 言

“模拟电路与数字电路”是实践性很强的专业基础课,实践教学和理论教学具有同等重要的地位。为了加强实践环节,使理论教学紧密联系实际,提高学生分析问题、解决问题的能力,适应教学改革的要求,我们编写了这本教材。在具体设计的过程中,融合相关知识点,快速将所学知识应用到实际的设计实例中。这里的设计实例,是从实际电路中挑选的,具有很强的实用性。本书可作为电气类、自动化类、电子信息类专业或其他相近专业“模拟电路与数字电路”课程设计教材。

全书共有 27 个电子电路设计实例,旨在通过这些电子电路设计实例介绍电子电路设计的一般方法、步骤及注意事项。有些设计实例属于模拟电路设计,其目的是加深学生对模拟电路理论知识的理解,初步锻炼学生调试单元电路的能力及分析问题、解决问题的能力;有些设计实例属于数字电路设计,其目的是对数字电路理论和实验课程的深化和提高,侧重培养学生综合运用理论知识解决实际问题的能力。本书还选编了模拟与数字混合电路设计实例,目的是加强基本技能的综合训练。

在这些设计实例中突出了 Proteus 仿真软件的使用(本书中部分电路图也是用该软件绘制,其符号与国家标准符号不一致,二者对照关系参见附录 B),旨在介绍采用先进的计算机仿真技术手段进行电子电路设计开发;通过学习,使学生能掌握一定的操作技能,提高动手能力,为教学实践环节和以后的设计开发奠定基础。

本书是作者在多年教学改革及实验教学的基础上编写的。本书得到了国家精品资源共享课“电子学科教学法”的资助,凝聚了此课题的研究成果。

本书由刘一、杨舰任主编,其中设计一至设计二十二由刘一编写,设计二十三至设计二十七和附录由杨舰编写。

编 者
2014 年 8 月

关于天勤

天勤教学网(www.51eds.com)是中国铁道出版社旗下全资子公司——北京国铁天勤文化发展有限公司创办的教学资源服务平台,网站以满足广大师生需求为基本出发点,以服务用户为宗旨,为用户提供优质教学资源,本着创新、发展的经营理念,时刻把师生的满意度放在第一位,面向实际,面向用户,开拓进取,追求卓越,全力打造国内专业教学资源品牌,努力创建领先教学资源服务基地,力争为教育事业做出巨大贡献!

目前有 **1800** 所高等院校

1400 所中职学校

12000 位老师选择中国铁道出版社作为合作伙伴

品牌

- 60余年的中央级出版社
- 首批教育部教材出版基地
- 拥有“双一”出版市场占有率

质量

- 百余种“十一五”国家级规划教材
- 专家阵容庞大,多家教指委悉心指导
- 立足一线教学需求
- 重金打造质量工程

服务

- 提供针对性、多层次的产品
- 可使备课轻松,教学方便
- 多途径、多角度提升教师个人价值
- “一站式出版”,轻松享受出版成果
- “课程出版”使教师教学效率高,学生学习效果好



400-668-0820

中国铁道出版社·教材研究开发中心

地址:北京市西城区右安门西街8号-2号楼 邮编:100054

网址:www.51eds.com E-mail: tqbook@tqbooks.net

传真:010-63560058 教材服务QQ群:16425657

目 录

设计一 电动车用闪光灯的设计	1
设计二 简易催眠器的设计	5
设计三 报警器的设计	9
设计四 光控自动窗帘的设计	12
设计五 网线测试仪的设计	17
设计六 多功能流水灯的设计	21
设计七 节日彩灯控制器的设计	26
设计八 汽车尾灯控制器的设计	31
设计九 4 路智能抢答器的设计	40
设计十 16 路抢答器的设计	45
设计十一 电冰箱保护电路的设计	53
设计十二 简易数字秒表的设计	59
设计十三 机动车油量监测器电路的设计	63
设计十四 锅炉循环泵控制电路的设计	65
设计十五 智能抢答器的设计	71
设计十六 逻辑信号电平测试仪的设计	77
设计十七 双路防盗警报器的设计	83
设计十八 数字频率计的设计	88
设计十九 八音阶儿童电子琴的设计	96
设计二十 洗衣机控制电路的设计	101
设计二十一 三位半数字显示温度计的设计	108
设计二十二 数字电子钟的设计	113
设计二十三 四位半数字电压表的设计	119
设计二十四 函数信号发生器的设计	126
设计二十五 串行数据检测仪的设计	132
设计二十六 交通灯控制器的设计	138
设计二十七 数字电容表的设计	143
附录 A Proteus 设计与仿真平台的使用	149
附录 B 图形符号对照表	160
参考文献	162

【设计任务与要求】

(1) 电动车用闪光灯的设计电路由一个多谐振荡器和驱动电路组成。用于电动车时，整流电路可以省略。转向灯器的闪烁频率为 64 Hz，最大电流要大于 0.4 A，漏电流应尽量小。设计要求：

- ① 不加电，灯不亮。
 - ② 加电后，两颜色灯亮且交替闪亮（一直亮）。
 - ③ 设计时请注意提高抗干扰性，以免误动作。亮灯时间可通过 R 、 C 调节。
 - ④ 为了方便检查，用黄色 LED 和红色 LED 代替电灯。
- (2) 画出电路原理图，标注元器件及参数选择。
- (3) 编写设计报告，写出设计的全过程，附上有关资料和图样。

【设计方案】

一、组成电路设计

(一) 晶体管无稳态多谐振荡器

此电路的输出并不会固定在某一稳定状态，其输出会在两个稳态（饱和或截止）之间交替变换，因此输出波形近似一方波。图 1-1 所示即为晶体管无稳态多谐振荡器电路，图中两个晶体管 Q1、Q2 在“Q1 饱和/Q2 截止”和“Q1 截止/Q2 饱和”两种状态下，周期地互换。

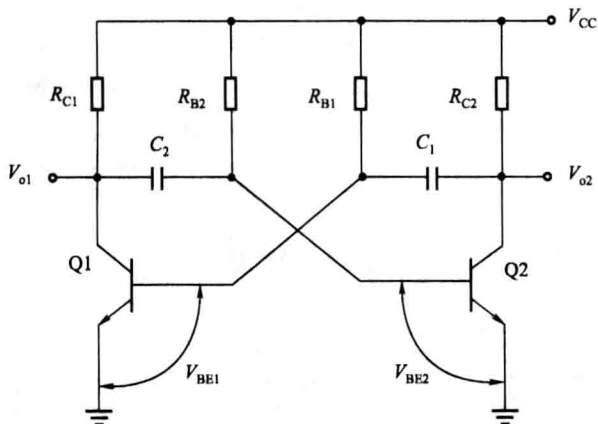
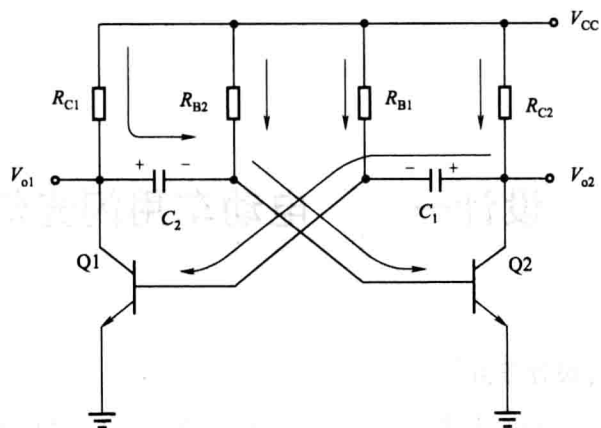
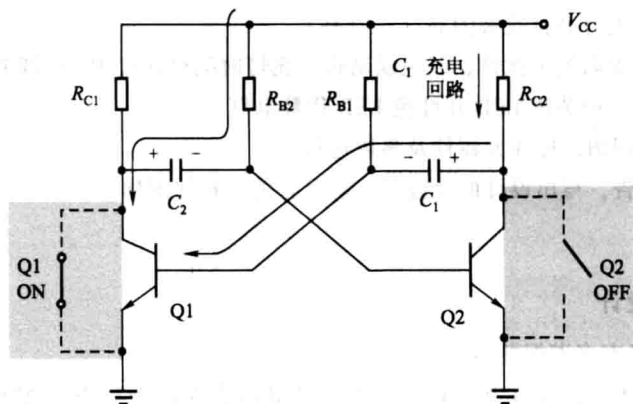


图 1-1 晶体管无稳态多谐振荡器电路

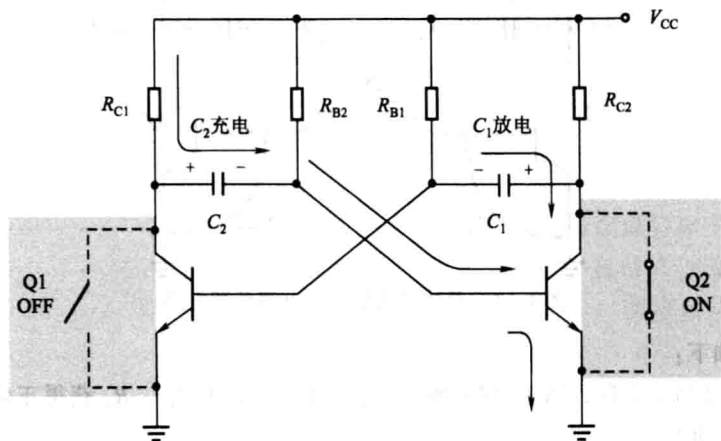
其工作原理如下：

- (1) 如图 1-2 所示电路，当 V_{CC} 接上瞬间，Q1、Q2 分别由 R_{B1} 、 R_{B2} 获得正向偏压，同时 C_1 、 C_2 分别经 R_{C1} 、 R_{C2} 充电。

(2) 由于晶体管 Q1、Q2 的特性无法完全相同, 假设 Q1 的电流增益比 Q2 高, 则 Q1 会比 Q2 先进入饱和 (ON) 状态, 而当 Q1 饱和时, 电容器 C_2 由 Q1 的 c、e 极经电源 V_{CC} 、电阻器 R_{B2} 放电, 在 Q2 的 b、e 极形成一逆向偏压, 促使 Q2 截止 Q1 导通, 由于 c、e 极之间此时是通的, 所以 c 极电位接近于负极 (图 1-2 中是接地, 就是接近于 0 V), 由于 C_2 的耦合作用, Q2 基极电压接近于负极, 不会产生基极电流, 即 $I_b = 0$ A, 则 Q2 的 c、e 极之间断开 (开关作用), 同时电容器 C_1 经电阻器 R_{C2} 及 Q1 的 b、e 极于短时间内充电至 V_{CC} , 如图 1-3 所示。

图 1-2 当 V_{CC} 接上瞬间图 1-3 C_2 放电, C_1 充电回路

(3) Q1 为 ON、Q2 为 OFF 的情形并不是稳定的, 当 C_2 放完电后, $T_2 = 0.7 R_{B2} C_2$ 。 C_2 由 V_{CC} 经 R_{B2} 、Q1 的 c、e 极反向充电, 当充到 0.7 V 时, 此时 Q2 获得偏压而进入饱和 (ON) 状态, C_1 由 Q2 的 c、e 极经 V_{CC} 、 R_{B1} 放电, 同样地, 造成 Q1 的 b、e 极形成逆向偏压。Q1 截止 (OFF), C_2 经 R_{C1} 及 Q2 的 b、e 极于短时间内充电至 V_{CC} , 如图 1-4 所示。

图 1-4 C_1 放电, C_2 充电回路

(4) 同理, C_1 放完电后, $T_1 = 0.7 R_{B1} C_1$, Q1 经 R_{B1} 获得偏压而导通, Q2 为 OFF。如此反复循环下去。

如图 1-5 所示波形, 周期 $T = T_1 + T_2 = 0.7 R_{B1} C_1 + 0.7 R_{B2} C_2$ 。若 $R_{B1} = R_{B2} = R_B$, $C_2 = C_1 = C$, 则 $T = 1.4 R_B C$, $f = 1/T = 1/1.4 R_B C$ 。

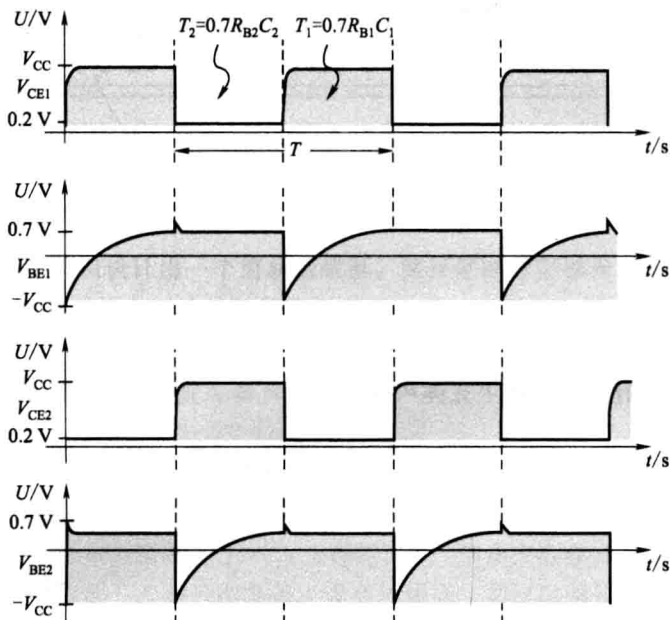


图 1-5 波形图

(二) 闪烁灯电路设计

如果将 R_{C1} 、 R_{C2} 换成两个发光二极管, 发光二极管一亮一暗, 不断交替, 即两个晶体管中, 一个饱和, 另一个截止, 而且不断交换。这种电路没有一个稳定的状态, 称为无稳态电路, 如图 1-6 所示。无稳态电路的用途也很广, 如汽车的转弯灯等。

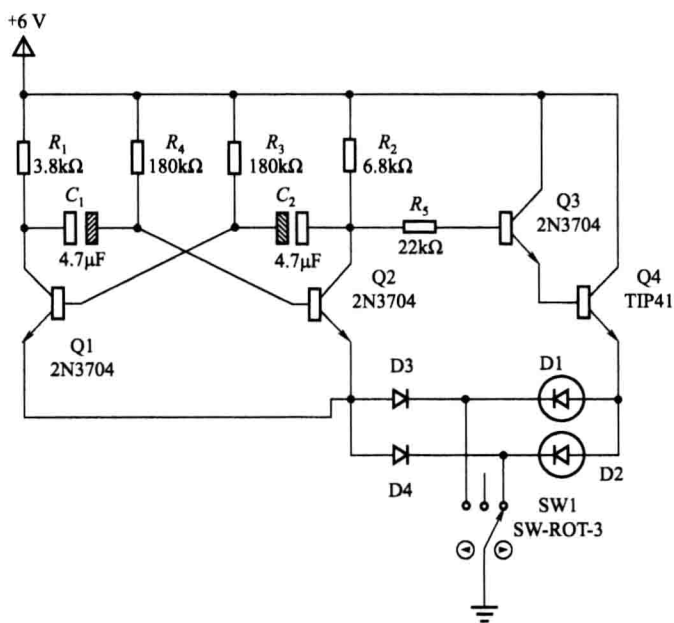


图 1-6 无稳态电路 (此图用 Proteus 软件制图)

二、仿真

在 Proteus 里按图 1-6 绘制元器件，连好电路，单击仿真按钮后，把多向开关拨向最右边，则发光二极管 D2 闪烁，相当于电动车向右转弯时的情况；把多向开关拨向最左边，则发光二极管 D1 闪烁，相当于电动车向左转弯时的情况。

设计二

简易催眠器的设计

【设计任务与要求】

(1) 利用电子技术知识设计出一个简易催眠器，简易催眠器能够发出双声效果的雨滴声响，有较好的催眠效果。电路系统主要由低频振荡脉冲发生器、高压发生器、整流器及声音发生电路等组成。设计要求：

达到双声效果，合理选择声响发生器件，再依据声响发生器件的工作需求设计出前置电路，最后达到整体设计要求。

(2) 画出电路原理图，标注元器件及参数选择。

【设计方案】

一、组成电路设计

(一) 555 振荡器电路

时基电路 555 构成一个极低频振荡器，输出一个个短脉冲，使扬声器发出雨滴的声音。扬声器采用 2 in (1 in = 25.4 mm)、 8Ω 小型动线圈。555 芯片是定时器，是一种模拟和数字功能相结合的中规模集成器件，一般用双极性工艺制作。其定时成本低、性能可靠，只需要外接几个电阻器、电容器，就可以实现多谐振荡器、单稳态触发器及施密特触发器等脉冲产生与变换电路。其外引脚排列图和内部结构图，如图 2-1 所示。

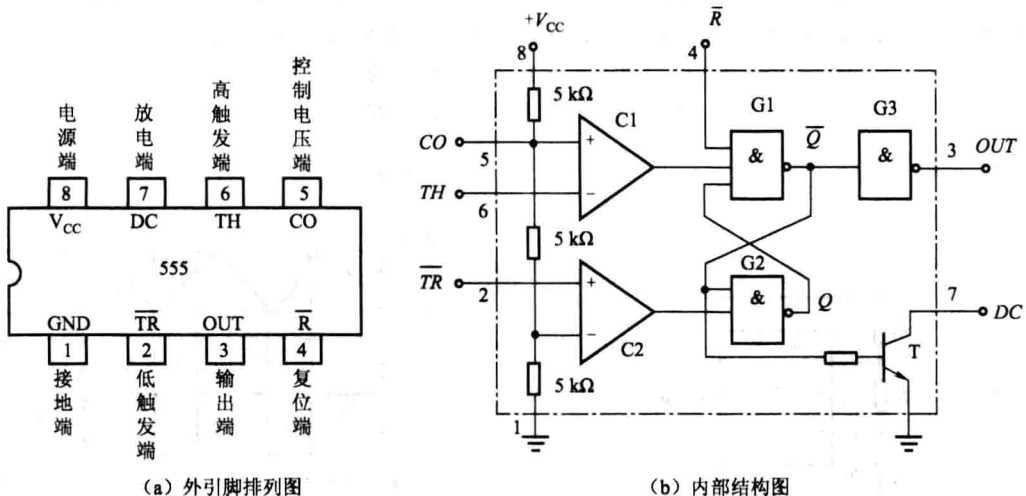


图 2-1 555 定时器外引脚排列图及内部结构图

设电容器的初始电压 $u_c = 0$, $t = 0$ 时接通电源, 由于电容器两端电压不能突变, 所以高、低触发端电压 $V_{TH} = V_{TR} = 0 < 3 \frac{1}{2} V_{CC}$, 比较器 C1 输出为高电平, C2 输出为低电平, 即 $\bar{R}_D = 1, \bar{S}_D = 0$ (1 表示高电平, 0 表示低电平), RS 触发器置 1, 定时器输出 $u_o = 1$, 此时 $\bar{Q} = 0$, 定时器内部放电晶体管截止, 电源 V_{CC} 经 R_1, R_2 向电容器 C 充电, u_c 逐渐升高。当 u_c 上升到 $\frac{1}{3} V_{CC}$ 时, C_2 输出由 0 翻转为 1, 这时 $\bar{R}_D = \bar{S}_D = 1$, RS 触发器保持状态不变。所以 $0 < t < t_1$ 期间, 定时器输出 u_o 为高电平 1。

$t_1 = t_2$ 的时刻, u_c 上升到 $\frac{2}{3} V_{CC}$, 比较器 C1 的输出由 1 变为 0, 这时 $\bar{R}_D = 0, \bar{S}_D = 1$, RS 触发器复 0, 定时器输出 $u_o = 0$ 。

$t_1 < t < t_2$ 期间, $\bar{Q} = 1$, 放电晶体管导通, 电容器 C 通过 R_2 放电。 u_c 按指数规律下降, 当 $u_c < \frac{2}{3} V_{CC}$ 时, 比较器 C1 输出由 0 变为 1, RS 触发器的 $\bar{R}_D = \bar{S}_D = 1$, Q 的状态不变, u_o 仍为低电平, 如图 2-2 所示。

$t_1 = t_2$ 的时刻, u_c 下降到 $\frac{2}{3} V_{CC}$, 比较器 C2 输出由 1 变为 0, RS 触发器的 $\bar{R}_D = 1, \bar{S}_D = 0$, 触发器处于 1, 定时器输出 $u_o = 1$ 。此时电源再次向电容器 C 充电, 重复上述过程。

通过上述分析可知, 电容器充电时, 定时器输出 $u_o = 1$, 电容器放电时, $u_o = 0$, 电容器不断地进行充、放电, 输出端便获得矩形波。多谐振荡器无外部信号输入, 却能输出矩形波, 其实质是将直流形式的电能变为矩形波形式的电能。

由图 2-3 可知, 振荡周期 $T = T_1 + T_2$ 。 T_1 为电容器充电时间, T_2 为电容器放电时间。

充电时间: $T_1 = (R_1 + R_2) C \ln 2 \approx 0.7(R_1 + R_2) C$

放电时间: $T_2 = R_2 C \ln 2 \approx 0.7 R_2 C$

矩形波的振荡周期: $T = T_1 + T_2 = (R_1 + 2R_2) C \ln 2 \approx 0.7(R_1 + 2R_2) C$

因此, 改变 R_1, R_2 和 C 的值, 便可改变矩形波的周期和频率。

对于矩形波, 除了用幅度、周期来衡量外, 还有一个参数, 即占空比 q , $q = (\text{脉宽 } t_w) / (\text{周期 } T)$, t_w 指输出一个周期内高电平所占的时间。图 2-2 所示电路输出矩形波的占空比

$$q = \frac{T_1}{T} = \frac{T_1}{T_1 + T_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2}$$

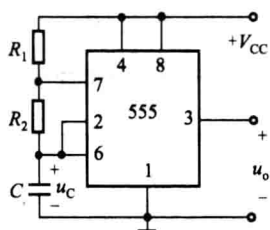


图 2-2 555 定时器构成的多谐振荡器电路图

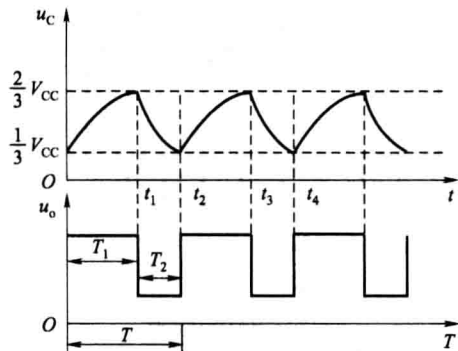


图 2-3 工作波形图

(二) 催眠器电路设计

极低频率振荡器电路图如图 2-4 所示。雨滴声的速度可以通过 100 kΩ 可调电阻器来调节到合适的程度。如果在电源端增加一简单的定时开关, 则可以在使用者进入梦乡后及时切断电源。

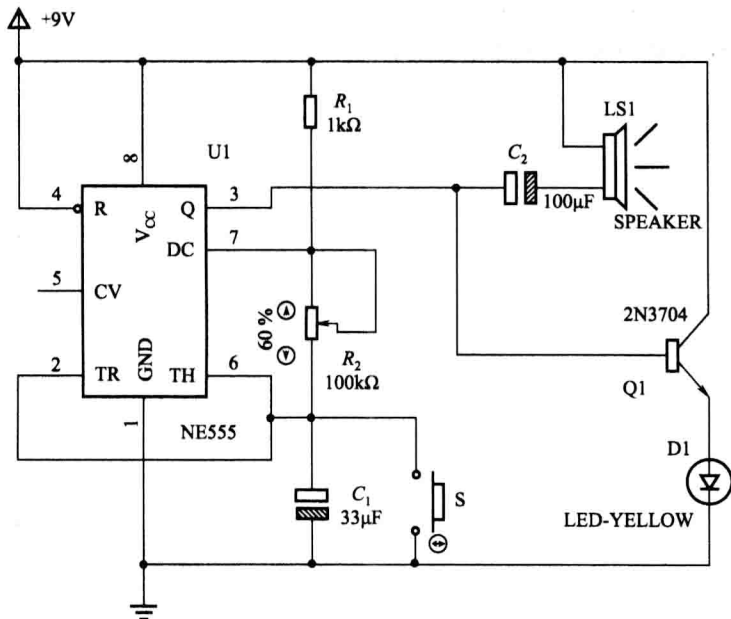


图 2-4 极低频率振荡器电路图 (此图用 Proteus 软件制图)

二、仿真

计算指标理论值

充电时间常数:

$$T_{\text{high}} = (R_1 + R_2) C_1 \ln 2 = 0.7(R_1 + R_2) C_1 = 0.574 \text{ ms}$$

放电时间常数:

$$T_{\text{low}} = R_2 C_1 \ln 2 = 0.7 R_2 C_1 = 0.56 \text{ ms}$$

振荡周期:

$$T = T_{\text{high}} + T_{\text{low}} = 1.134 \text{ ms}$$

占空比:

$$q = \frac{T_{\text{high}}}{T_{\text{high}} + T_{\text{low}}} \approx 50\%$$

在 Proteus 中, 采用前面提出的模拟振荡电路的起振方法得到 555 振荡电路输出端的矩形脉冲电压波形。

仿真结果: 输出脉冲周期、占空比的仿真值与理论值基本相符。分析可知, 其值只与电阻值、电容值有关, 电容器上的初始电压, 只是激发了振荡电路的振荡, 并不会改变电路起振后的输出波形, 也不会影响对振荡电路起振特性的研究。

该催眠器电路简单, 只要元器件选择合适, 无须调试即可正常工作。如嫌催眠器每次延时工作的时间太长 (或太短), 可通过适当减小 (或增大) C_1 的容量加以调整。

如嫌催眠器发出的“嗒嗒”雨滴声节奏太快 (或太慢), 可通过适当增大 (或减小) C_2 的电

容量或者 R_1 电阻值来加以调整。

接通电源开关 S 后, +9 V 电压加至时基集成电路 NE555 的 4 引脚和 8 引脚, 为 IC 提供工作电源。多谐振荡器振荡工作后, 从 IC 的 3 引脚输出低频振荡脉冲信号, 该信号经耦合 C_2 电容器加至扬声器 LS1 上, 发出雨滴声。如果没声音, 可能是电路没有接好。电容值将决定振荡频率的高低, 若电容值过小, 会使雨滴声频率过高影响催眠效果。

设计三 | 报警器的设计

【设计任务与要求】

声光报警电路可作为防盗装置，在有情况时它通过指示灯闪烁和蜂鸣器鸣叫，同时报警。要求指示灯闪烁频率为 $1 \sim 2 \text{ Hz}$ ，蜂鸣器发出间隙声响的频率约为 1000 Hz ，指示灯采用发光二极管。

【设计方案】

一、组成电路设计

(一) 定时器声光报警电路设计

1. 硬件组成

如图 3-1 所示，声光报警电路由指示灯报警和蜂鸣器报警两部分组成，其中蜂鸣器报警只有在指示灯报警状态下才可发出一定音调的声响，随着指示灯闪烁，蜂鸣器发出间隙声响。

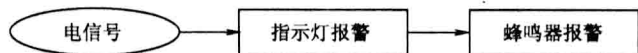


图 3-1 声光报警电路组成

2. 电路原理图

本电路产生的频率 $f = \frac{1}{(R_1 + 2R_2)C_1}$ ，其中 U1 的输出端与 U2 的 4 引脚相连，从而使 D5 与 D6 交替闪烁，当 D6 被点亮时扬声器 LS1 发出声音；其中 C_1 为 1pF 小电容器，在任意时刻 D5 和 D6 总有一个闪烁。

本电路由两个 555 多谐振荡器组成，第一个振荡器的振荡频率为 $1 \sim 2 \text{ Hz}$ 时，第二个振荡器的振荡频率为 1000 Hz 。将第一个振荡器的输出（3 引脚）接到第二个振荡器的复位端（4 引脚）。在输出高电平时，第二个振荡器振荡；输出低电平时，第二个振荡器停振。这样，蜂鸣器将发出间隙声响。其电路原理图如图 3-2 所示。

3. 主要元器件工作原理

(1) 555 定时器工作原理。555 定时器产品有 TTL 型和 CMOS 型两类。TTL 型产品型号的最后三位都是 555，CMOS 型产品的最后四位都是 7555，它们的逻辑功能和外部引脚排列完全相同。

555 定时器功能如表 3-1 所示。

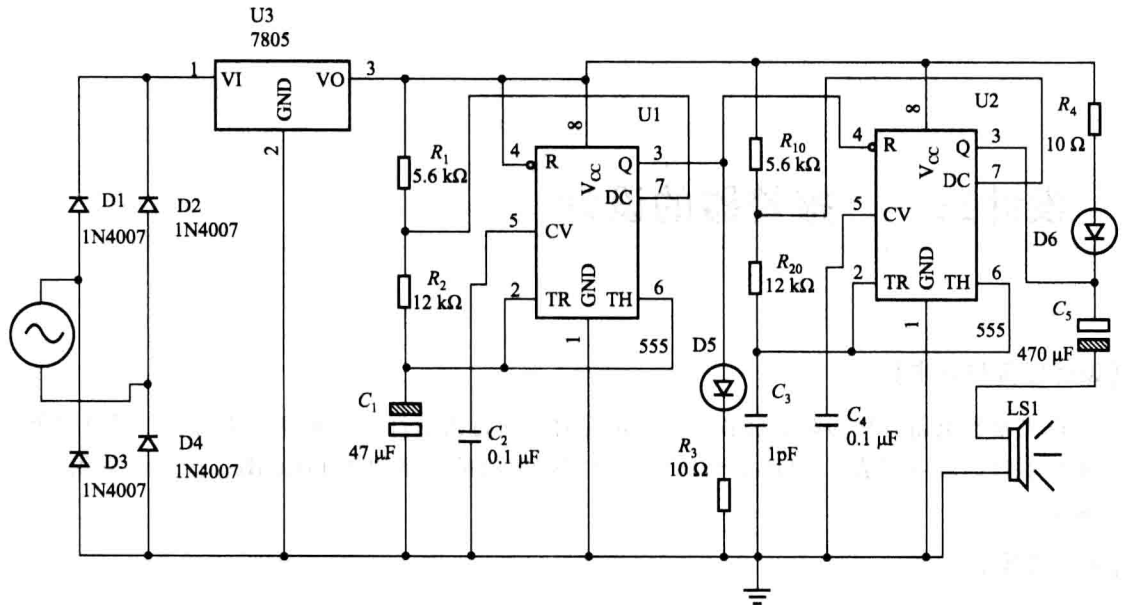


图 3-2 报警器电路原理图 (此图用 Proteus 软件制图)

表 3-1 555 定时器功能

直接清零端 R	高触发端 TH	低触发端 TR	Q^{n+1}	放电管 T	功 能
0	×	×	0	导通	直接清零
1	$> \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	0	导通	置 0
1	$> \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	1	截止	置 1
1	$> \frac{2}{3} V_{CC}$	$> \frac{1}{3} V_{CC}$	Q^n	不变	保持

1 引脚: GND (或 V_{CC}) 电源负端 V_{SS} 或接地, 一般情况下接地。

2 引脚: TR 低触发端。

3 引脚: OUT (或 V_o) 输出端。

4 引脚: R 是直接清零端。当 R 端接低电平, 则时基电路不工作, 此时不论 TR、TH 处于何种电平, 时基电路输出为“0”, 该端不用时应接高电平。

5 引脚: CO (或 CV) 为控制电压端。若此端外接电压, 则可改变内部两个比较器的基准电压, 该端不用时, 应将该端串入一只 $0.01 \mu\text{F}$ 电容器并接地, 以防引入干扰。

6 引脚: TH 高触发端。

7 引脚: DC 放电端。该端与放电管集电极相连, 用作定时器时电容器的放电。

8 引脚: V_{CC} 端, 应外接直流电源, 双极型时基电路 V_{CC} 的范围是 $4.5 \sim 16 \text{V}$, CMOS 型时基电路 V_{CC} 的范围是 $3 \sim 18 \text{V}$, 一般取 5V 。

(2) 电位器。电位器是具有三个引出端、电阻值可按某种变化规律调节的电阻器。电位器通常由电阻体和可移动的电刷组成。当电刷沿电阻体移动时, 在输出端即获得与位移量成一定关系的电阻值或电压。电位器既可作三端元件使用也可作二端元件使用。后者可视作一可调电阻器。

电位器是可调电阻器的一种。通常是由电阻体与转动或滑动系统组成, 即靠一个动触点在电

阻体上移动, 获得部分电压输出。电位器的作用是调节电压(含直流电压与信号电压)和电流的大小。

电位器的结构特点: 电位器的电阻体有两个固定端, 通过手动调节转轴或滑柄, 改变动触点在电阻体上的位置, 则改变了动触点与任一个固定端之间的电阻值, 从而改变了电压与电流的大小。

(3) 蜂鸣器。蜂鸣器是一种一体化结构的电子声响器, 采用直流电压供电, 广泛应用于计算机、打印机、复印机、报警器、电子玩具、汽车电子设备、电话机、定时器等电子产品中作发声器件。蜂鸣器主要分为压电式蜂鸣器和电磁式蜂鸣器两种类型。蜂鸣器在电路中用字母“H”或“HA”(旧标准用“FM”“LB”“JD”等)表示。

(4) 发光二极管(LED)。它由镓(Ga)与砷(As)、磷(P)的化合物制成的二极管, 当电子与空穴复合时能辐射出可见光, 因而可以用来制成发光二极管。在电路及仪器中作为指示灯, 或者组成文字或数字显示。磷砷化镓二极管发红光, 磷化镓二极管发绿光, 碳化硅二极管发黄光。

(二) 性能指标计算

相关性能指标计算:

$$\text{电容器充电时间 } T_1 = 0.7(R_1 + R_2)C。$$

$$\text{电容器放电时间 } T_2 = 0.7R_2C。$$

$$\text{电路振荡周期 } T = T_1 + T_2 = 0.7(R_1 + 2R_2)C。$$

$$\text{电路振荡频率 } f = \frac{1}{T} = \frac{1.43}{(R_1 + R_2)C}。$$

实际数据:

$$\text{电容器充电时间 } T_1 = 0.12 \text{ s}。$$

$$\text{电容器放电时间 } T_2 = 0.14 \text{ s}。$$

$$\text{电路振荡周期 } T = 0.26 \text{ s}。$$

$$\text{电路振荡频率 } f = 3.6 \text{ Hz}。$$

二、仿真

将5 V直流电源接到电路中, 根据实验所需的要求调节可调电位器, 调试两个可调电位器, 使其电阻值达到所需数值, 具体来说就是蜂鸣器和发光二极管能够按照所要求工作进行工作。发光二极管闪烁, 蜂鸣器鸣叫。调节 R_1 , 改变振荡频率, 从而控制发光二极管的闪烁频率, 蜂鸣器的鸣叫声随振荡频率的改变而改变。