

Technology  
实用技术

图解电子创新制作

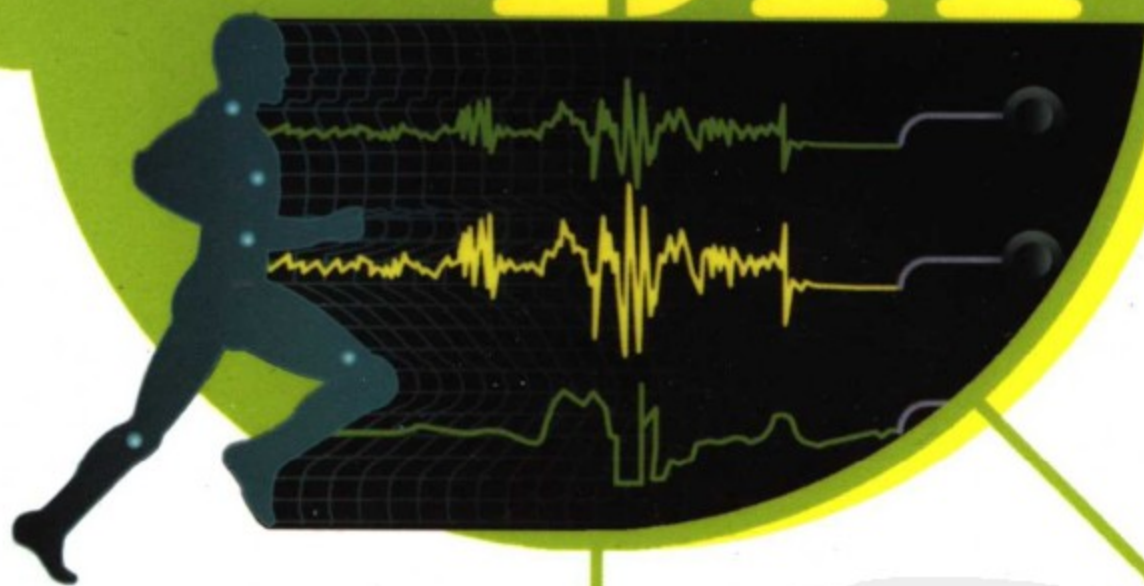
# 仿生

〔巴西〕 Newton C. Braga 著

毕树生 译

宗光华 校

# 电子制作DIY



# 25 项目

科学出版社  
www.sciencep.com

图解电子创新制作

# 仿生电子制作

〔巴西〕 Newton C. Braga 著  
毕树生 译  
宗光华 校

科学出版社  
北京



图字：01-2006-5213 号

## 内 容 简 介

本书是“图解电子创新制作”丛书之一。全书主要由两部分组成：第1部分首先介绍仿生学及与仿生学相关的基本概念；第2部分介绍25个仿生学制作项目。这些项目的制作过程简单易行，适合不同层次读者学习制作。例如：电鱼实验、恐慌发生器、驱虫器、诱捕器、测谎仪、仿生气味发生器、触觉型助听器等非常有趣的实验项目。本书虽然涉及一些比较新奇的知识，但都非常简明易懂，可以让读者在做实验过程中学习到很多有关生物、电路及仿生学的知识。

本书适合仿生电子产品的开发与设计人员参考学习，同时对仿生电子制作爱好者以及电子类相关专业的师生也具有很高的阅读参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

仿生电子制作/(巴西)Newton C. Braga 著；毕树生译；宗光华校. —北京：科学出版社，2007

(图解电子创新制作)

ISBN 978-7-03-018660-7

I. 仿… II. ①N…②毕…③宗… III. 仿生-电子器件-制作-图解  
IV. TN-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 026777 号

责任编辑：岳亚东 崔炳哲 / 责任制作：魏 谨

责任印制：赵德静 / 封面设计：朱 平

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2007年4月第一版 开本：B5(720×1000)

2007年4月第一次印刷 印张：14 1/2

印数：1—5 000 字数：272 000

定 价：29.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换〈双青〉)

# 目 录

## 第 1 部分 基础知识

### 1 | 引 言

---

### 2 | 生物学和电子学

---

- |                   |    |
|-------------------|----|
| 2.1 安全规程 .....    | 8  |
| 2.2 组装方法 .....    | 9  |
| 2.3 用生物体做实验 ..... | 16 |

## 第 2 部分 项目制作

### 3 | 25 个实验项目

---

- |   |    |
|---|----|
| 项目 1 电鱼实验 .....   | 19 |
| 仿生学实验/电路/搭建方法/测试和使用/其他电路及创意/驱动外部电路:一个 LED 闪烁灯/由鱼驱动的时钟/其他一些奇妙的实验和创意/如何使黑鬼鱼存活 |    |
| 项目 2 视觉生物反馈 .....   | 37 |
| 工作原理/测试和使用/其他电路和创意/使用荧光灯/测试和使用/测试和使用/使用计算机/其他类型的传感器/给一个大功率的交流电灯泡供电          |    |
| 项目 3 音频生物反馈 .....   | 48 |
| 工作原理/搭建方法/测试和使用/其他电路及创意/测试和使用/测试和使用/其他创意                                    |    |
| 项目 4 神经刺激器 .....  | 56 |
| 仿生学实验/电子电路/搭建方法/测试和使用/其他电路及创意   |    |



项目 5	闪光灯 .....	64
	仿生学实验/频闪效应/电路/搭建方法/测试和使用/其他电路及创意	
项目 6	生物放大器 .....	73
	仿生学实验/工作原理/搭建方法/测试及使用/其他电路及创意	
项目 7	恐慌发生器 .....	82
	该项目中的仿生学应用/电路的工作原理/搭建方法/测试及使用/其他电路及创意/创意探究/一种探究思路:一种新的声音再现系统	
项目 8	磁场发生器 .....	93
	仿生实验和项目/工作原理/搭建方法/测试及使用/其他电路及创意/磁场与健康	
项目 9	催眠发光二极管 .....	103
	工作原理/搭建方法/测试及应用/其他电路及创意	
项目 10	驱虫器 .....	110
	仿生实验及应用/电路的工作原理/搭建方法/测试及使用/其他电路及创意/应用电路实验	
项目 11	仿生诱捕器 .....	118
	项目介绍/仿生学实验/工作原理/搭建方法/测试及使用/其他电路及创意	
项目 12	动物训练器 .....	126
	项目介绍/仿生学实验/电路的工作原理/搭建方法/测试及使用/其他电路及创意/其他创意性实验	
项目 13	白噪声发生器 .....	134
	项目介绍/仿生学实验/电路/搭建方法/测试及使用/其他电路及创意/其他应用	
项目 14	仿生耳 .....	140
	仿生应用/电路工作原理/搭建方法/集音设备/测试及使用/其他电路及创意	
项目 15	昆虫杀手 .....	147
	仿生学应用/电路工作原理/搭建方法/陷阱/测试及使用/其他电路及创意	
项目 16	仿生触觉器官 .....	153
	仿生学应用/电路工作原理/搭建方法/传感器/测试及使用/其他电路及创意	

项目 17 测谎仪 .....	159
仿生学实验项目/电路工作原理/测谎仪的制作/测试及使用/ 其他电路及创意	
项目 18 仿生气味发生器 .....	166
项目的仿生学应用/电路工作原理/搭建方法/气味换能器/香料 的选择/测试及使用/其他电路及创意	
项目 19 振荡器实验 .....	172
仿生学实验及应用/电路/搭建方法/测试及使用/仿生实验及 应用	
项目 20 离子发生器 .....	176
电路的仿生应用/工作原理/离子发生器的制作/测试及使用/ 其他电路及创意	
项目 21 触觉型助听器 .....	182
仿生学项目/电路工作原理/搭建方法/换能器/测试与使用/ 其他电路及创意	
项目 22 万用表在仿生实验中的使用 .....	188
项目介绍/仿生学实验/万用表及其特性/实验项目	
项目 23 仿生视觉 .....	193
仿生学应用/电路工作原理/搭建方法/测试及使用/其他电路及 创意	
项目 24 生态监控器 .....	201
仿生学应用/电路工作原理/搭建方法/测试及使用/其他电路及 创意	
项目 25 蝙蝠耳 .....	206
仿生学应用/电路工作原理/搭建方法/测试与使用/其他电路及 创意	

## 第 3 部分 相关信息

### 4 | 其他信息

---

### 5 | 信息资源

---

# 第 1 部分

## 基础知识

◆ 1 引 言

◆ 2 生物学和电子学

电子学



# 引言

# 1

我们生存的世界面临着一系列生物学方面的问题。人们可以从解决这些问题的奇妙方法中得到启迪。在过去的 30 亿年中,地球上生物的进化过程中一直伴随着自然选择,这些奇妙的方法则是自然选择的结果。影响和控制生物功能的特殊原则及规律所带来的结果是地球上生物系统运作及形态组织愈来愈完美。

在进化过程中最重要的规律,或者说在生物身上起作用的是“优胜劣汰”(ODP:Optimal Design Principle)。这虽然不能通过公式和理论来论证,但它的正确性已经在许多生物种类的组织中得到了验证,从分子量级的微生物到高级动物人本身。

ODP 是达尔文进化论基本概念中的法则:“物竞天择,适者生存。”根据达尔文进化理论,生物物种通过一代代的基因变异改变着它们的结构组织。变异体逐渐替代了其他个体,如果按照某些标准来判定的话,其中有些变异是比较优良的。这些标准包括最佳的行为、生存的能量消耗、繁殖和活动等。这意味着在我们时代中大多数生物物种的优良性能是数十亿年进化的结果。科学家相信世界上所有生物的能力在生存竞争过程中是不断优化的。

我们为何不利用在自然界中发现的和从生物中观察到的特性来帮助我们推进现有的技术呢?这恰恰是仿生学和仿生学的分支——生物机械电子学的真正目标。仿生学可以定义为一门利用生物进化结果的科学。

技术设计人员(其他领域也一样,例如建筑学、机械学)对于面临的许多问题,经常能从自然界中寻找最佳解决方案,虽然并不总是如此。根据前面的概念和仿生学的定义,结合自然规律及我们自己的技术,可以给出仿生学研究人员所使用的具体技术方法。

技术跟自然界的联系有三种方式,如图 1.1 所示。第一种方式,我们直接应用仿生学的定义,利用生物进化的结果制作设备。通过对自然界的解决方案的观察,我们可以利用人造的元器件和设备来进行模仿。比如,蝙蝠和海豚的回声定位能力是设计水下及空中物体声纳定位系统的技术基础。人工假肢及形状记忆合金(SMA:Shape Memory Alloy)就是在观测我们肌肉的工作机理后研制出来的。



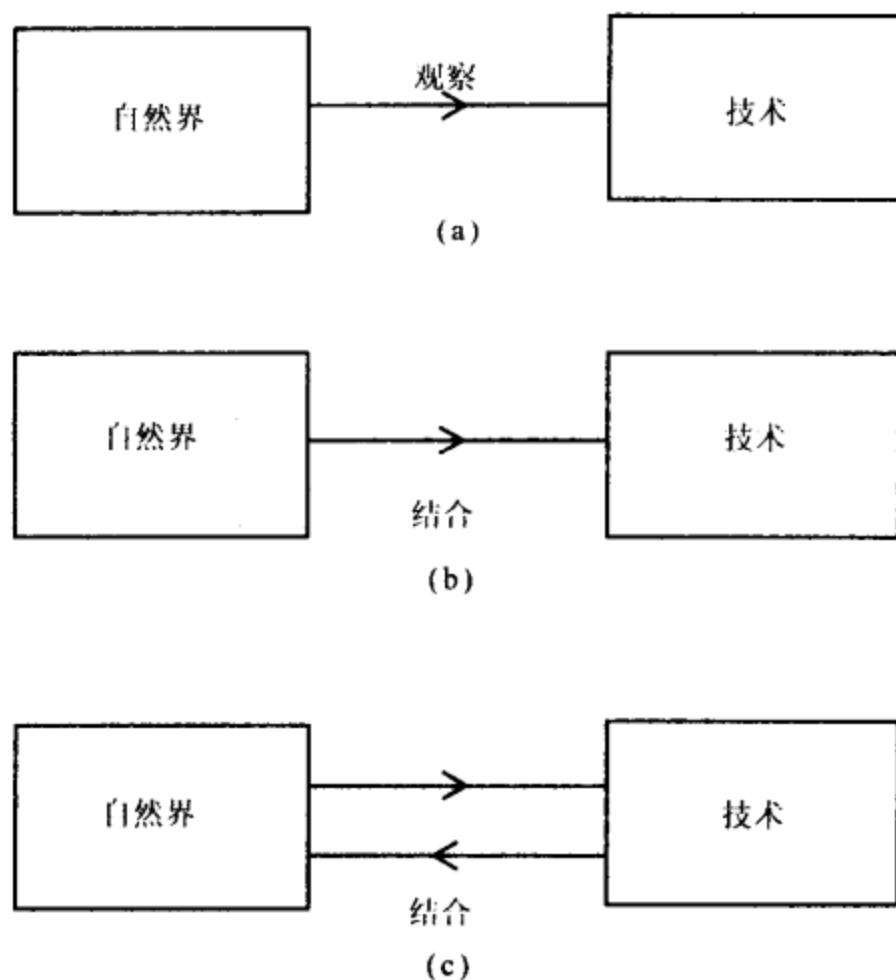


图 1.1 仿生学把生物体与技术相关联

第二种方式即是将人工制作的装置直接跟大自然结合起来,比如把一个生物体跟一个人工设备直接连接在一起,如图 1.1(b)所示。例如,一条电鱼能根据水污染的程度发出不同频率的信号,它可以作为一个传感器直接连接到电路中。当然它也可以作为一个灵敏度很高的传感器来检测水源的纯度。一棵植物可以作为传感器与电路相连,用以检测空气中氧气的浓度、光线的强弱,甚至监测发生地震的可能性。甚至一个人也可以直接跟一个电路相连来检测他在一定条件下的紧张程度。

上述例子中,生物结构作为一个较复杂系统的单元,可以完成人工设备不能完成的功能,这都可认为是仿生学。

第三种方式体现为生物体可以作为传感器来向电路发送信号,同时也可接收信号并可完成一些工作。这时候生物体作为复杂系统的一部分,它既是传感器也是执行机构。当我们描述生物反馈时,不得不提到仿生学应用的这种方式。与电极相连的人体产生一定的信号,电路就会处理这些从人体发出的信号。电路同时提供反馈信号,控制某种执行机构作用于人体。比如,一盏改变闪烁频率的灯或一个可改变音调的振荡器,通过人的眼睛或耳朵来作用于人体;一种通过植物叶子的电阻值对频闪观测灯进行控制则是第三种方式的另一个应用示例。

本书中的项目制作都可以归为这三类方式中的一类。读者会发现这些项目既可以作为一个完整的设备或电路,也可以接入到其他的设备和应用中。另外,本书

也提供了许多从基本项目中衍生出来的电路,原因是部分读者对这些基本应用的难度尚不满足。

本书为仿生学爱好者提供了为数众多的创意和实际应用资源,这些创意与资源的有效利用仅仅受到制作者的想象力以及使用生物和电子元器件能力的限制。





# 生物学和电子学

## 2

电子学和生物学有很多共同点,原因是电路和生物体都是由于电流的流动而工作的。生物体只能在通过细胞膜的几毫伏的弱电流下工作,刺激神经和肌肉来完成维持生命的任务。电路则可以在很大的电流范围内工作,从微处理器或低功率三极管的微安级到高功率半导体[如 SCR,金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET; Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor),绝缘栅双极晶体管(IGBT; Insulated Gate Bipolar Transistor)和双向可控硅]的数安都可以。

所有这些相似点使得生物体和电路的协调工作具有了可能性。如今,我们注意到国际上研究人员开始将生物学和电子学结合起来,于是就产生了许多新的科学,如电子仿生学、分子电子学、人工智能、生物物理学、仿生机械电子学等。生物学和电子学的交叉可以衍生出许多实际产品,本书提供了一些实例。

尽管我们相信生物学和电子学的交叉融合具有非常广阔的前景,但还是谨慎为好。电子学和生物学存在一个相交点,即两者都能在同样的数量级下工作。仿生学是电子学和生物学结合的产物。就像我们在引言中看到的那样,自然界和技术可以通过三种方式结合在一起。

对于读者来说,本书所给出的仿生学应用的电子学解决方案是很重要的。我们不是生物学家,对专业知识的理解不像读者想象的那样深入。因此鼓励读者根据自己的兴趣通过各种渠道搜集更多的信息,例如通过网络、书籍、期刊等。

安全问题非常重要,原因是我们研究的对象是电路和生物体,尤其是人体。利用仿生设备进行实验时,或许你并未考虑采取一些保护措施。就像阿西莫夫提出的“机器人三定律”,其目的是防止机器人伤害人类。尽管本书中的项目制作采用的都是普通元器件,但是对于经验不足的制作者来说,出现事故的可能性会大大增加。即使简单的仿生学项目也可能对你自己或他人造成伤害,如触到一个高压电路会受到电击,当把一个电极植入植物或动物体时有可能刺伤你的手掌。

本书不是针对专业人士而编写的,因此项目制作中涉及的仿生学不是很专业,原理比较简单,有时候只是验证性的。但是为了避免事故发生,遵守一些基本的安全规则还是非常必要的。你的工作对象是生物体,当然也包括你自己。如果你对

实验失去了控制,可能会给你带来危害。

也许你使用的是一些没有什么危险性的设备,但项目制作过程中可能用到的是诸如植物、鱼等一些非常脆弱的生物体,这一点你必须意识到。即使几微安的电流通过它们的身体都可能伤害甚至杀死它们。所以有理由相信本书以下关于安全问题的简短介绍非常重要。

## 2.1 安全规程

本书中介绍的仿生学项目制作可能引发的事故,主要来自三个方面:电、生物学、化学。

### ■ 电

在项目制作中用到的均是低功率电路,并不是很危险。原因是它们可以被安装在盒子里面或在低电压下操作。但是下面这些安全措施还是需要考虑的:

- 对高压的地方进行安全防护,避免在高压电路中使用金属部件或金属外壳。
- 必须通过变压器给电路供电,特别是对与人体作用的电路(生物反馈等)。
- 为避免短路,在敏感电路上应加保险丝或限流电路。
- 不要将高压电路或由交流电供电的电路与人体相连。

### ■ 生物学

与生物体作用的电路(比如人体)是非常危险的。因为它们可以改变我们对自己身体的控制。例如,如果不能正确使用生物反馈,那么它会引起催眠或暂时的混乱。以下建议可以避免此类事故的发生:

- 不要对实验中使用的生物体造成任何伤害,确保在尽量舒适的条件下对生物体进行实验。
- 观察实验是否会引起生物或人体不适。如果有,马上停止实验。
- 涉及人体的实验一定要在成人的监督下完成。

### ■ 化学

一些实验中使用的化学物质会产生一些附加的危害。如果使用方法不当,实验中产生的物质会引发事故。为了避免化学物质引发事故,要遵守以下规则:

- 如果在实验过程中会产生气体,那么应该提供一个安全的排气装置。
- 如果会产生曝光或与人的皮肤有接触,一定要保证实验中使用的样品不会对人体甚至待实验物造成伤害。
- 避免在封闭或不通风的房间里使用化学物质。

遵循以上的建议,生物学和电子学的结合便可以产生许多意想不到的效果。下一节给出的项目只是目前和未来电子仿生学世界中的一小部分。



## 2.2 组装方法

本书介绍的制作项目都是电子技术和生物学完美结合的产物。处理项目中的生物体以及完成这些实验需要特别的小心。为了装配好项目中的电子元器件,读者应该学会使用一些工具,了解一些基本的电子学知识。

这里,我们不妨假设所有读者都有一定的电子学基础。我们只需要简单地介绍在本书项目制作中需要用到的一些基本技术和装配工具。同时了解推荐的元器件和装置也是很重要的。

使用从专门市场购买的元器件制作一套装置的花销往往是购买成品的几倍,但如果考虑到乐趣、学习的机会、自己动手的满足感,那么使用自己细心挑选的元器件进行制作是很有意义的。就像其他书里描述的那样,我们现在掌握的许多制作电子项目的技术,完全可以用在仿生学领域中。

电子产品的生产厂使用工具、特殊的方法,甚至机器将一些小的元器件粘贴到电子产品上去,这种方法叫做表面贴装技术(SMT: Surface Mount Technology),它可以组装非常小的元器件,这些元器件被称为表面贴装元器件(SMD: Surface Mount Devices)。如果不使用特殊的工具和机器,很难处理这些小元器件,当然也很难用它们来组装成产品了。这些工具和机器与传统的组装电子管及电子元器件(灯、开关、保险丝等)等老式元器件的基本技术是不同的。

对于大多数读者来说,最好从一种中等难度的技术开始。电子仿生学项目使用到的元器件较大,不方便用特殊的工具来处理,只能通过手工来组装。但是这些元器件的功能与 SMD 元器件是一样的。只不过在电路板上需要更多的空间。另外,越小的元器件,越需要特殊的工具,并且需要读者熟悉这些工具的操作。初学者可能没有这些工具或者技巧来处理非常小的元器件。

因此,在选择独自或者跟朋友或者跟学生一起完成一个项目制作时,以及进行一项科学实验时,第一件要做的事情就是学会使用工具,了解需要组装的元器件,以及掌握最主要的组装手段,即焊接。

### ■ 工具

一个仿生学项目制作需要两个特别的场所:一个组装电路的工作台;一个用生物体或人体做实验的空间。

### ■ 搭建方法

小型电子元器件需要支撑固定并连接成电路。有很多技术方法可以让这些元器件处于工作状态。最简单的方法就是使用接线条将元器件连接到电路中,如图 2.1 所示。

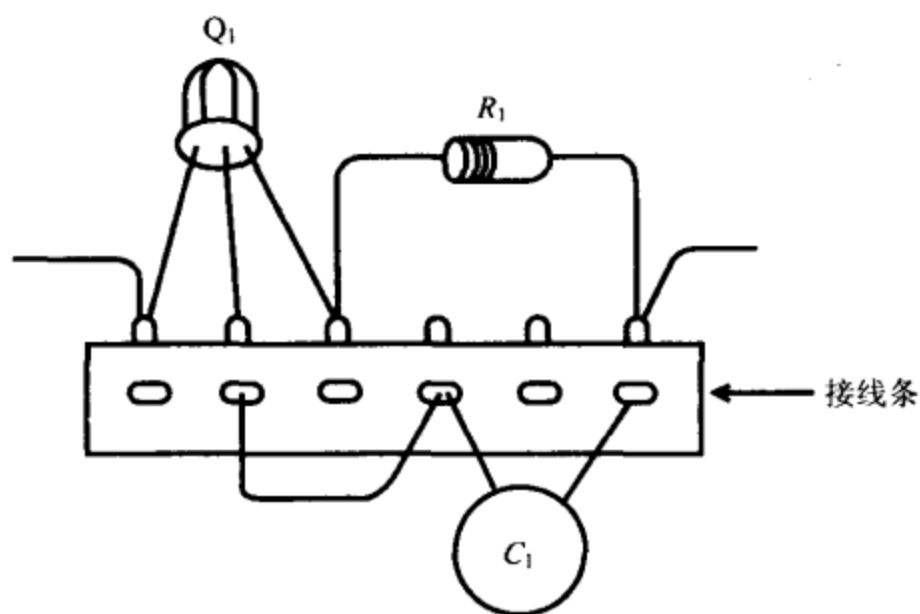


图 2.1 简易项目使用接线条作为底盘

元器件焊接在相应的接线条上。元器件的放置及导线的连接方式决定了电路的功能。

如今这已不是最好的搭接电路的方法了,但这种方法的优点是比较简单,且不需要特殊的工具或资源。本书中的许多项目,特别是那些带有实验目的的项目,都采用了这种技术。目的是照顾到不太熟悉较高级技术[如印制电路板(PCB:Printed Circuit Board)技术]的初学者。

另外一种连接电路的方式是使用带螺钉的接线条,如图 2.2 所示。这种搭接电路方法的优点是元器件不需要焊接,缺点是必须特别小心才能使电路连接稳固。任何的接触不良都会影响电路的性能,甚至会使电路不工作。另外,这种搭接方法只适合简单的电路。

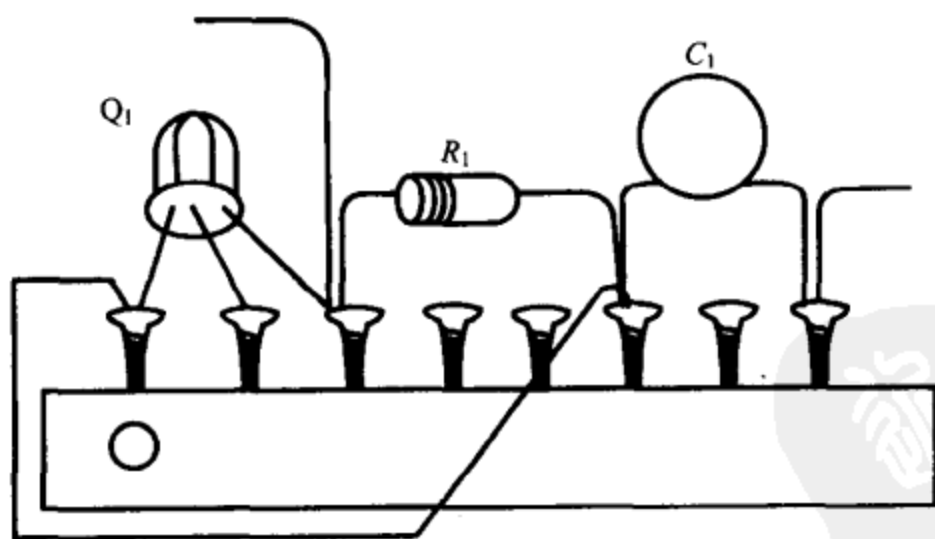


图 2.2 用带螺钉的接线条连接电路

最后,许多实验项目可以搭建在面包板上,如图 2.3 所示。元器件的引脚插入到插孔里,通过里面的金属电线按照预先设定好的连接方式连接在一起。这种技术的优点是不需要焊接元器件,元器件可以在其他的项目中重复使用。另外,元器

件也很容易被替换,使得实验可以按照需要的性能达到最佳的效果。

本书中的所有项目都可以在面包板上搭建,因为它们都很适合实验的要求。这些项目可以很容易地改变并搭建成其他形式。

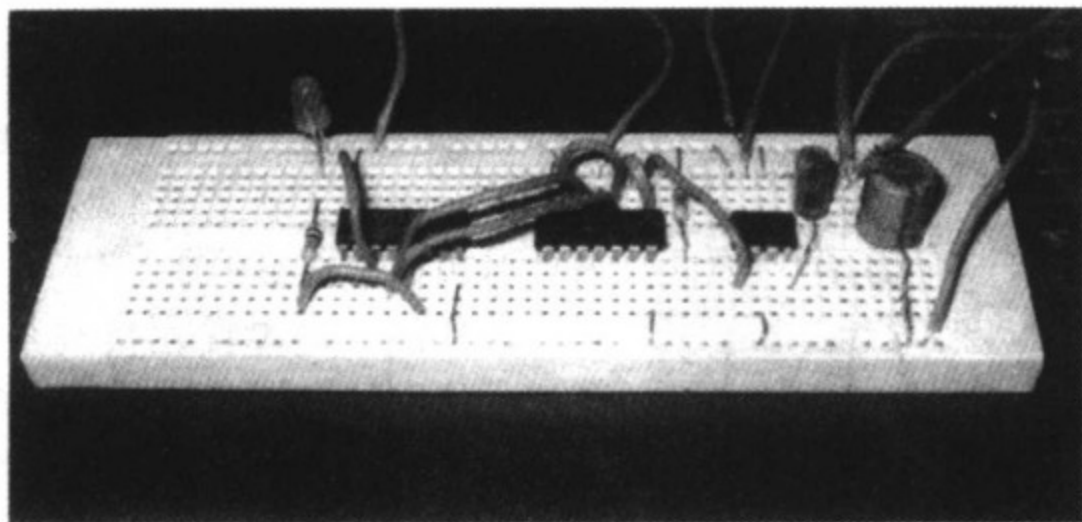


图 2.3 面包板

### ■ 印制电路板(PCB)

电路设备中使用的小元器件不能在没有任何物理支撑下单独使用。它们需要某些介质来使它们固定在工作位置上,并同时与电路其他部分保持电气连接。

通过观察电子设备,读者会发现小型电子元器件安装在一种特殊的纤维板或其他绝缘材料板上。这种用来支撑安装元器件的底板叫做印制电路板(PCB)。图 2.4 示出的就是用绝缘材料做成的,单面或双面印制了铜材料的电路板。

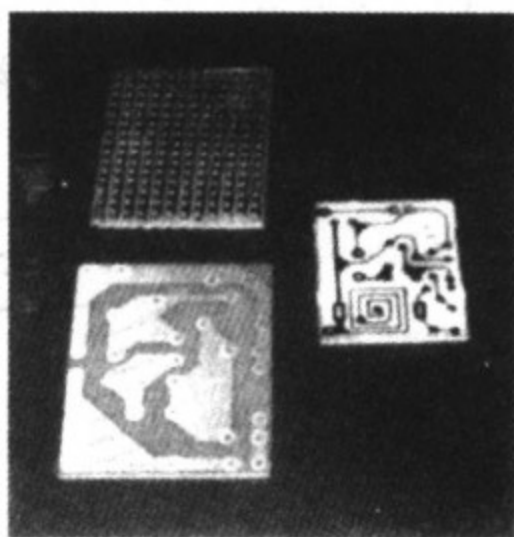


图 2.4 普通 PCB

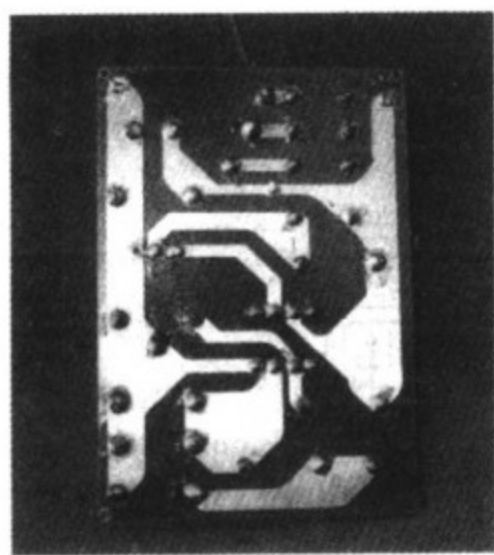


图 2.5 将元器件引脚焊接在 PCB 上

铜条带即是将电流从一个元器件传输到另一个元器件的导线,铜条带的层铺样式是由电路功能决定的。在电路板制作前,所有的铜条带应根据元器件的连接方式及电路的功能而设计好。这就意味着一块用来安装收音机元器件的 PCB 是不可以用来搭建电视或其他设备的。

小型元器件是通过将引脚插入到 PCB 上来固定的。在板的另外一面,引脚被焊接到铜线上,如图 2.5 所示。

组装消费类电子产品或专业设备的过程中使用了非常小的元器件。这个过程采用的是自动化机器(如表面贴装机),它由根据电路功能编写的程序进行控制,能自动地将元器件焊接到 PCB 上。元器件被安装或焊接在铜层的同一侧,如图 2.6 所示。

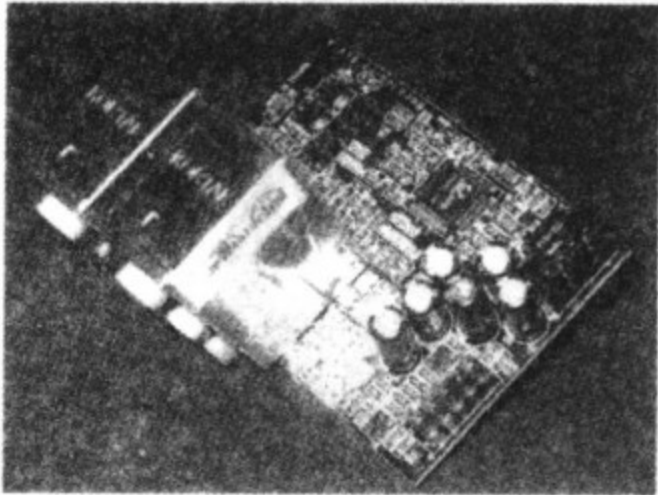


图 2.6 直接焊在铜线上的 SMD 元件

在 PCB 上安装元器件是一项很精细的操作,这是想使用 PCB 设计电路的读者必须掌握的。这个工作需要特殊的技术,因为元器件体积很小且很脆弱。

元器件一般焊接在接线条及 PCB 的铜条带上。电子组装过程中使用的焊料是 60% 的锡和 40% 的铅组成的合金,并混有一定数量的松香。一般称这种焊料为晶体管焊料、收音机电视焊料,或者 60-40 焊料。

当加热到  $273^{\circ}\text{C}$  ( $523^{\circ}\text{F}$ ) 时,焊料在元器件的引线端熔化成一个小球将元器件固定在电路板上,同时使电路跟铜条带及其他元器件连通起来。在焊接或替换元器件时,读者需要一些焊料和一把烙铁。可以购买少量的焊料,如图 2.7 所示。烙铁结构如图 2.8 所示。

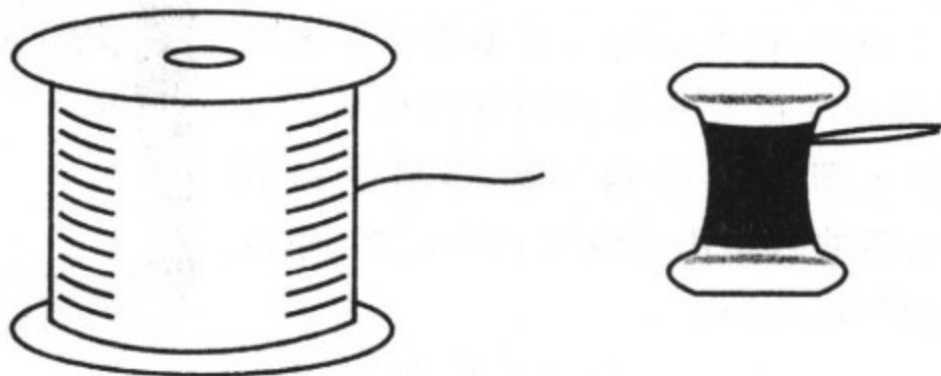


图 2.7 普通焊料

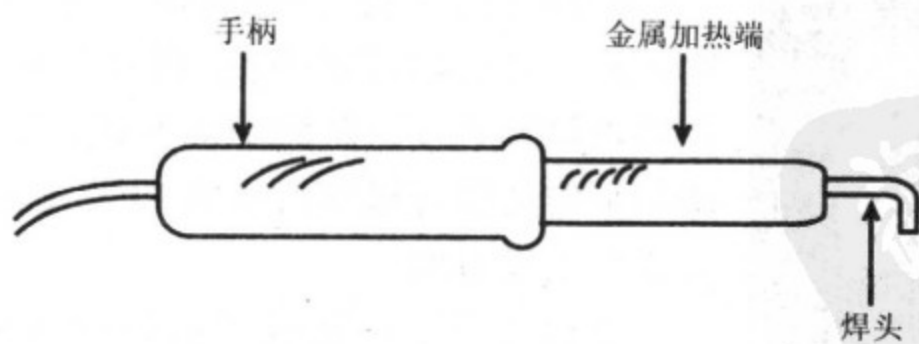


图 2.8 制作本书中项目所需要的烙铁

本书介绍的电路中都使用小型元器件,因此推荐使用带有尖焊头的、功率为  $25\sim 40\text{W}$  的烙铁。当然,在电器及电子工程中,为替换或拆除大的元器件,制作者可以使用大功率烙铁。

焊接是一种很简单的操作,有过电路制作经验的人对此都比较熟悉。电子设备是非常脆弱的,焊接时一定要十分谨慎,以免造成破坏。许多电子设备焊接时由于过热或采用不正确的焊接方式而被损坏。焊接电子元器件(安装或者移除 PCB 上的元器件)的基本步骤如下:

(1) 烙铁通电后,至少预热 5min。这可以让电烙铁的焊头达到一个适合焊接的温度。

(2) 将烙铁接触一会儿元器件,让元器件(或连接点)受热。然后将焊料接触连接点,而不是烙铁,如图 2.9 所示。你会发现焊料熔化时会渗透到焊点的每一个部分。

(3) 移开烙铁,但不要动焊点,直至它冷却。焊点是否已经凝固很容易用肉眼观察到。焊点表面升起一种特殊的薄雾之后,焊点就冷却了,再去碰焊点也不会有问题了。

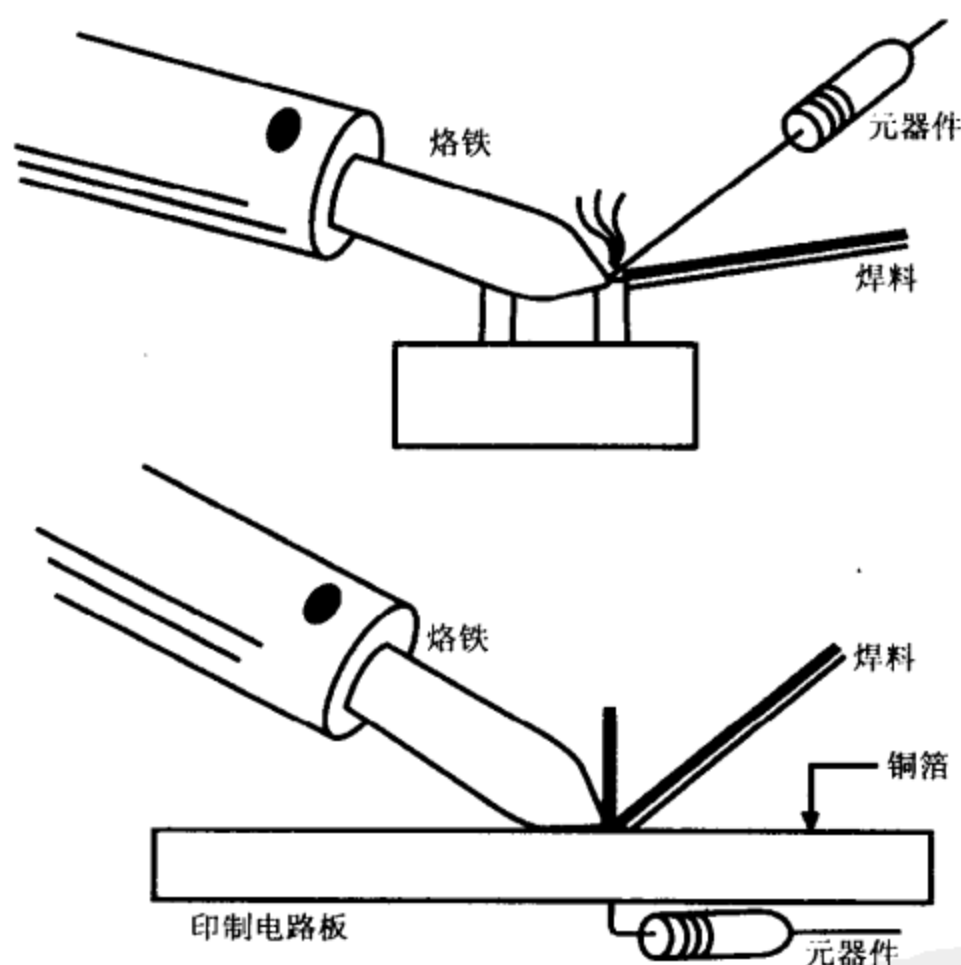


图 2.9 在接线条上焊接元器件

图 2.10 给出了一个完美的焊点和一些有问题的焊点。电子设备出现问题的一个主要原因是“虚焊”。焊料看上去跟元器件连在一块,实际上并没有形成电的通路。原因是连接处没有充分加热,焊料没有渗入到金属焊盘,在焊盘与元器件之间形成了一个水分或氧化物绝缘层。



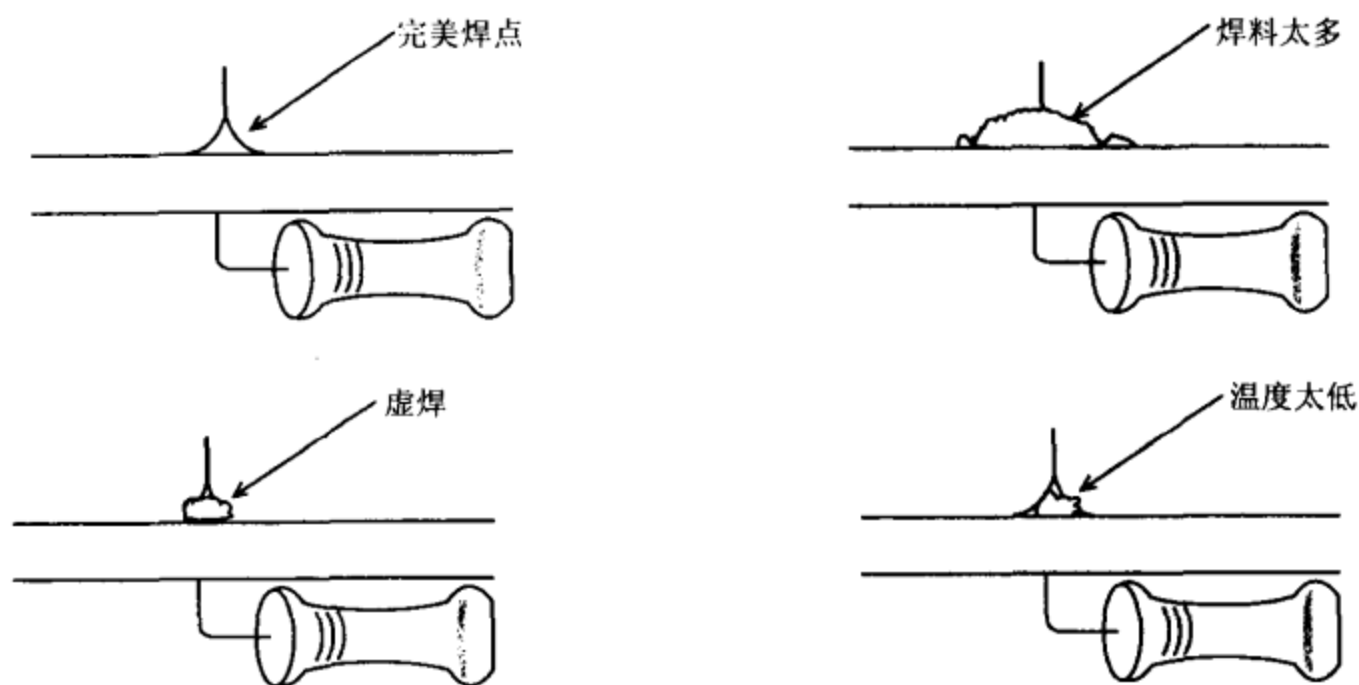


图 2.10 完美的焊接点和一些有问题的焊点

### ■ 其他工具

烙铁并不是仿生学制作项目电路设计中所需要的唯一工具。在涉及电的部分时,许多安装电路的工具也是需要的。在家里读者可能有许多这样的工具,但是许多电子元器件是非常小且很脆弱的,需要特殊的工具和细心的操作。

在使用这些电子元器件时,如果工具不合适将会造成电路的损坏。如果读者想开发电路,我们建议至少拥有以下工具:

- 剪线钳,4~6in(1in=2.54cm)长。
- 链嘴钳或前端很尖的尖嘴钳,4~5in长。
- 两个以上的改锥,2~8in长。
- 压线钳卷边工具,剥线钳和刀具,适于10~22的线规。
- 精密的成套小改锥,包括六角的、普通的及菲利普型的。
- 焊接或卸焊的辅助用具,如卸焊球、烙铁支座及清洁器。
- 其他起到支撑作用的工具,比如一个小型真空吸盘或一个支架。
- 小型手电钻。

在电子元器件和工具的目录中还可以找到许多其他的工具。

### ■ 原理图和符号

原理图或示意图是用来表示许多元器件是如何连接在一起的。仿生学制作项目的实施者必须能够使用原理图来表示出元器件以及它们之间的连接方式。在原理图中,元器件并不是按照它们真正的形状或规格来表示的,而是用符号表示。

对那些不熟悉电子学但又想使用这种技术进行制作的读者来说,如何解释好原理图是入门的基础。理解表示各个元器件符号的含义以及它们在电路中的作用是熟悉原理图的重要一步。

让我们通过一个示例来学习怎样读懂原理图。图 2.11 是一个简单电子装置的原理图,这是一个用来进行动物训练的音频振荡器。

该原理图中的所有元器件都是用符号表示的。许多情况下,标识符、数值及其他一些重要信息也一并在图中给出。每个元器件符号的旁边是标识符及数值。这很重要,因为它可以帮助制作者在 PCB 上、接线条或装置的内部找到相应的元器件。

按照一般的习惯,所有电阻都用字母  $R$  标示,下角标是元器件的编号。这就是说,如果在一个装置中有许多电阻时,它们会被标成  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ ,依此类推。电容器一般用字母  $C$  表示,一个电路上的电容器也是从  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$  开始标记。晶体管用  $Q$ 、 $T$  或者  $TR$  表示,可以用  $Q_1$ 、 $T_1$  或  $TR_1$  进行编号。

许多情况下,字母下角标多位数字可以表示出元器件所在的区域。第一个区域中的电阻从  $R_{101}$  开始标记,第二个区域中的电阻从  $R_{201}$  开始标记。在符号和标识符的旁边,我们可以找到元器件的类型和值。

电阻的旁边标着阻值,比如  $R_1$ ,  $1000\Omega$ (ohms) 或者  $1k\Omega$ 。如果是晶体管,你可能会看到 BC548 的标识,意思是使用时必须用 BC548 替代,安装时必须把 BC548 装在那个位置。晶体管一般以 2N 开头作为标识符,但是许多生产商以一组字母来表示它们的名字,如 TIP(得州仪器(Texas Instruments)) 和 MPS 或 MM(摩托

罗拉(Motorola))。按照欧洲的编码习惯,使用 BC 或 BD 作为设备的标识,而日本则使用 2SB, 2SC 或者 2SD 来表示晶体管。

本书中,低功率设备上通用的晶体管一般使用 BC548 和 BC558,中等功率的晶体管用 TIP31, TIP32, TIP115、BD135 或者 BD136,高功率的晶体管用 TIP41, TIP42 或 2N3055。

根据电路,其他一些重要信息也可以在原理图中找到,如电路不同节点的电压值。在如图 2.12 所示的例子中, A 点和地(一般指参考地或 0V)之间,用万用表测得电压是 6V。在原理图上也可以看出安装的步骤、诊断的问题、等价电路等。

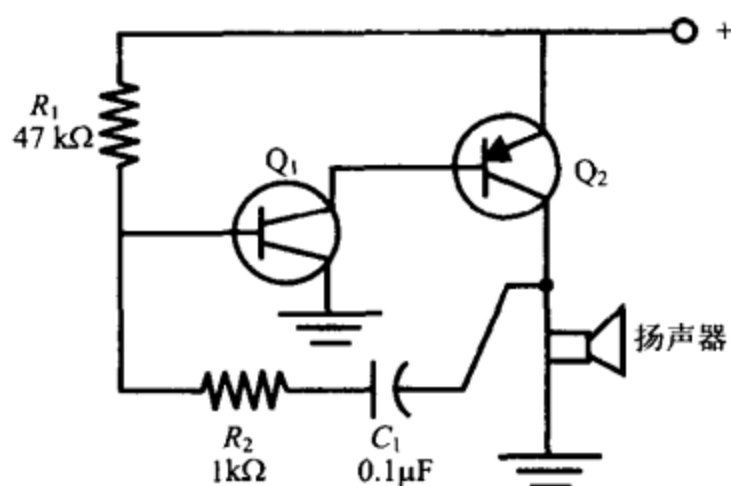


图 2.11 通过符号表达电路原理

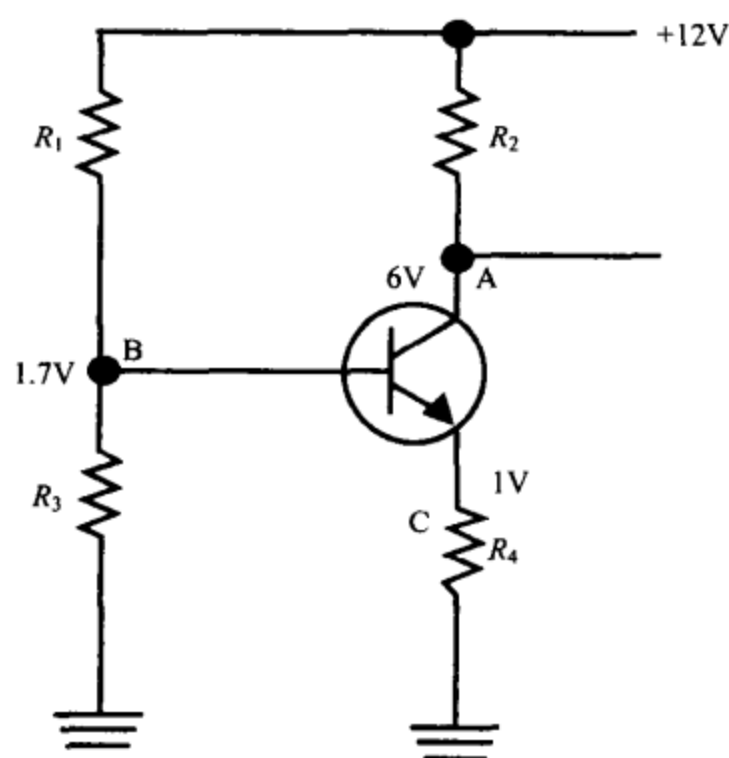


图 2.12 原理图中标出某些节点的电压值

为了方便读者,除了原理图,我们还提供详细的制作过程图和元器件清单。在元器件清单中,我们会介绍项目中所用元器件的主要特点,包括电阻的色带编码,电容器、变压器、二极管等其他元器件的电压、电流值。

## 2.3 用生物体做实验

本书中的许多制作项目都涉及跟生物体的直接接触。尽管在许多情况下,生物体为昆虫或植物,但一定不要对它们造成伤害。当与人体有直接接触时,更需要加倍的小心。

虽然书中的项目不存在对人体或其他生命体造成伤害或痛苦的可能性,但是在工作的过程中还是要小心。如果没有把握,那就要请教成年人或在成年人监督下完成实验。

找个合适的地方进行生物实验也是很重要的。生物实验室可以提供完成这个任务的特殊工作台,如果在家里的话就要找一个可以用植物、昆虫甚至鱼做实验的地方。

切记生命是脆弱的。如果你不够小心,那么待试验物在做实验之前就可能已经死去。牢记它们是生物,我们必须尊重它们的生命,不要伤害它们或者由于疏忽而让它们死去。



# 第 2 部分

## 项目制作

◆ 3 25个实验项目

平  
船





# 25 个实验项目

本部分介绍基于简单电路的仿生学制作项目的设计、创意及实验。将这些电路和实验进行修改以改变其功能,可以用于其他用途。

本部分介绍的每个项目都有独立完整的装置,其中有很多新的电路和创意等待你来挖掘。有些电路是基本电路的改进版,尽管它们的配置不尽相同,但是得到的结果是一样的。另外一些就是全新的电路,是用来探究基本原理的。这意味着虽然本书只包含 25 个制作项目,但是你会从中拓展出更多(实际上超过一百个)的制作项目。

## 项目1 电鱼实验

亚马逊河流域是个神秘的地方。尽管现在我们不再谈论那里的史前怪物和食人植物,但那里确实生活着许多奇怪的生物。

我生活在巴西南部,离亚马逊河非常遥远(超过 2000mile(1mile=1.609 34km))。即使这样,我也建议用一些亚马逊河小的、温顺的生物做一些有趣的实验,这些生物甚至在美国都能找到。在某些宠物商店,很可能会找到一些生活在亚马逊河的奇怪动物,可以把它们用在本书所描述的仿生学制作项目上。

那些古怪的生物中有一种带电的鱼即黑鬼鱼,许多爱养鱼的人都知道它(图 3.1)。黑鬼鱼和某些鲶鱼一样具有放电的能力,它们身上环绕低频电场,以此来探测其他生物和目标。

该原理可以应用在一种探测海底矿藏和大物体的设备上。其原理可表述为电流场在具有不同导电率的物体之间会产生变形,如图 3.2 所示,可以通过电流场的变形,判定出障碍物的所在位置。

这个原理能够使黑鬼鱼在它们生活的黑暗水域探测物体或其他生物。黑鬼鱼基本上是没有视力的,它们必须根据对电场的判断以寻找食物和逃避敌人。图 3.3 示出了黑鬼鱼在水中使用电流场来探测物体以及与同类交流的方式。



图 3.1 黑鬼鱼(Itui Cavalo)或称黑色魔鬼

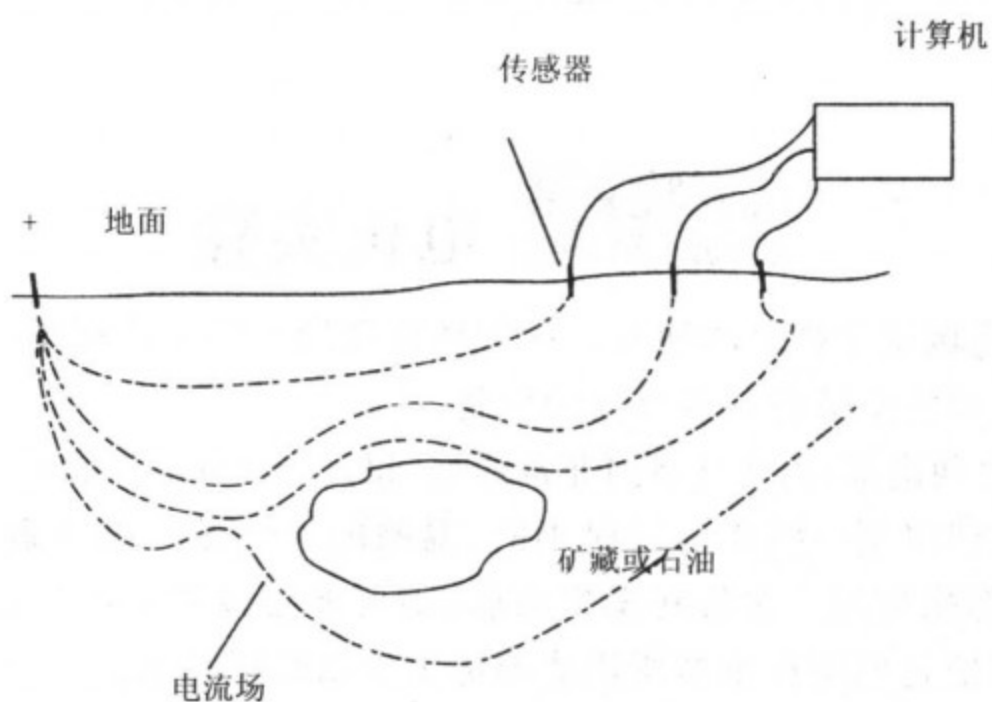


图 3.2 利用电流场可以检测水中或地下的矿物质、洞穴或者大物体

需要探究的最有意思的一点是这类鱼的电场和鱼自身传感部分的特性。黑鬼鱼能够产生一种非常稳定的低频电场,频率是由鱼本身的尺寸及它周围水的化学环境决定的。

在实验中,推荐使用的黑鬼鱼可以产生稳定低频电场的范围是  $400 \sim 4000\text{Hz}$ 。图 3.4 给出的是这种鱼所产生电流场的一种典型波形。

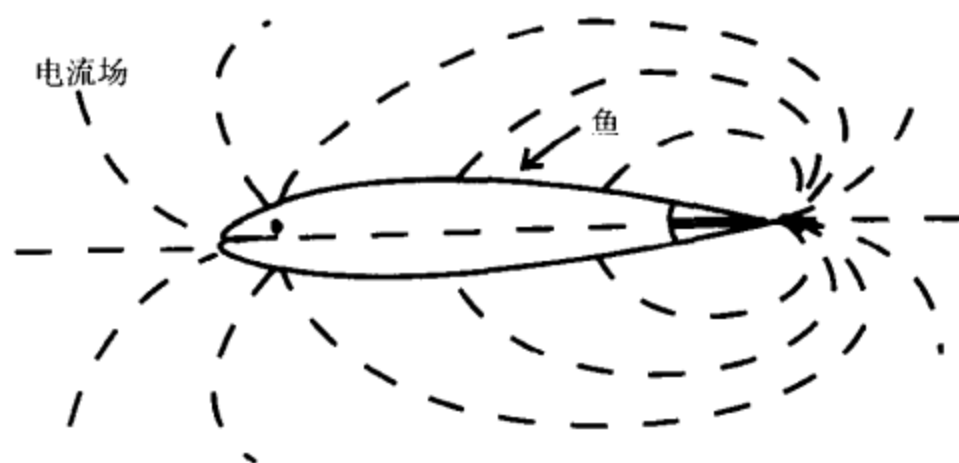


图 3.3 黑鬼鱼身体周围的电流场

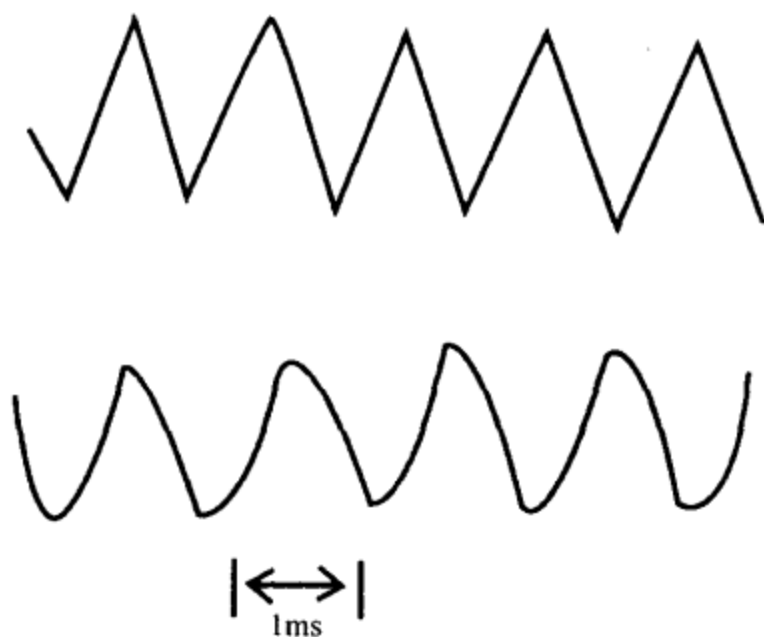


图 3.4 电鱼产生的信号波形

在鱼的旁边放置金属电极,能采集到鱼发出的信号。用这些信号可以做一些有趣的实验,这将在本节中详细介绍。当然,你也可以使用这种奇怪生物所产生的电信号创造性地做一些自己的实验。

这种鱼产生信号的频率非常稳定,你可以把它作为一种“晶振”或“音叉”,用来驱动计算机、微处理器、时钟、甚至一种乐器,这将在下一节中介绍。

#### ■ 仿生学实验

黑鬼鱼产生的信号电压幅值可达  $3\sim 4\text{V}$ , 足够驱动许多外部电路了。

一个最简单的实验就是采集这种信号,然后用它来驱动一个小的音频放大器。经过放大后,就可以听到低频信号了。在这个关于动物行为的有趣实验中,你可以听到一种完美的音调。在科技展览会上或实验室里,当人们听到电鱼奏出的完美的音叉声音时将会留下深刻的印象。你也可以制作完成以下项目:

- 稳定的信号可以用来驱动数字或机械时钟。

- 制作一个由鱼驱动的信号系统,通过电鱼产生的信号控制 LED 闪烁,从而告知养鱼者它是活着的。

- 当水的 pH 值或 CO<sub>2</sub> 浓度改变时,电鱼产生的信号频率也会随之产生轻微的变化。这就意味着通过监测黑鬼鱼发出的信号频率的变化,可以研制一个检测水源污染程度的仿生学传感器。采集到的生物传感器信号连接到计算机上可以直接检测水质。

- 当鱼受到外部干扰时,其发出的信号频率也会改变。基于鱼的反应,你可以制作一套地震或海啸监测仪,这是当前正需要的一种特别有意义的研究。

- 将信号分成 8 个片断(1/8,2/8,3/8 等),可以制作一个用鱼产生的信号进行演奏的乐器。

- 知道鱼的频率后,可以制作一个能够产生同样信号的振荡器,做个实验看看它如何受到干扰。

### ■ 电 路

这个基本实验包括一个普通的低功率音频放大器,用以采集鱼发出的信号。信号经放大后,输入到扬声器中,由扬声器再现这个被放大的信号,如图 3.5 所示。

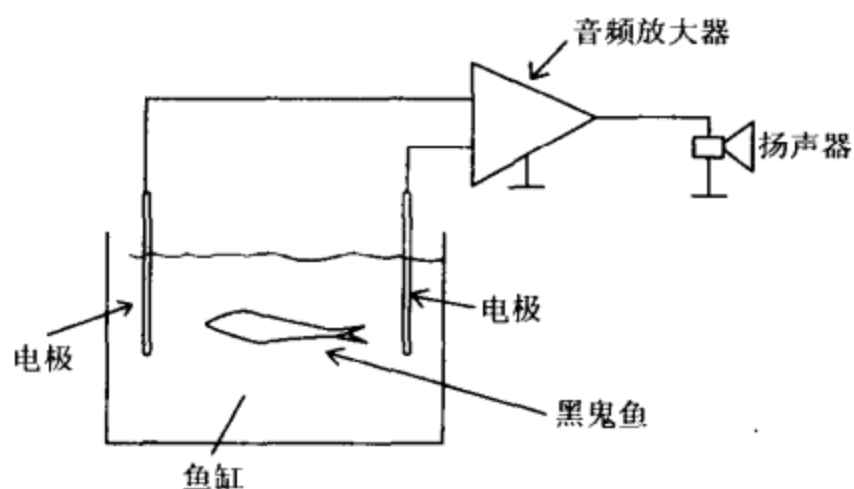


图 3.5 采集黑鬼鱼产生的信号

当然也可使用其他任何音频放大器来达到此目的,实验者可以制作自己的电路,将新的模块安装在同样的面包板上,然后用该信号做实验。

电路中用到了由 4 节 5 号电池驱动的 IC 芯片 LM386,它可以向一个小型扬声器输送很好的音频信号。电路的增益由引脚 1 和 8 之间的电容器来决定。由于电极采集的信号

非常弱,所以推荐使用高的增益。本实验中使用的是 10 $\mu$ F 的信号,可以获得的电压增益为 200。

电极是浸入到鱼缸中的裸线,建议使用 20~30cm 长的线,它们的间距是 20~50cm,如图 3.6 所示。

不提倡使用交流(AC)电源驱动电路,即使是一个好的电源。60Hz 的噪声会干扰电路的工作,影响到扬声器的发声。

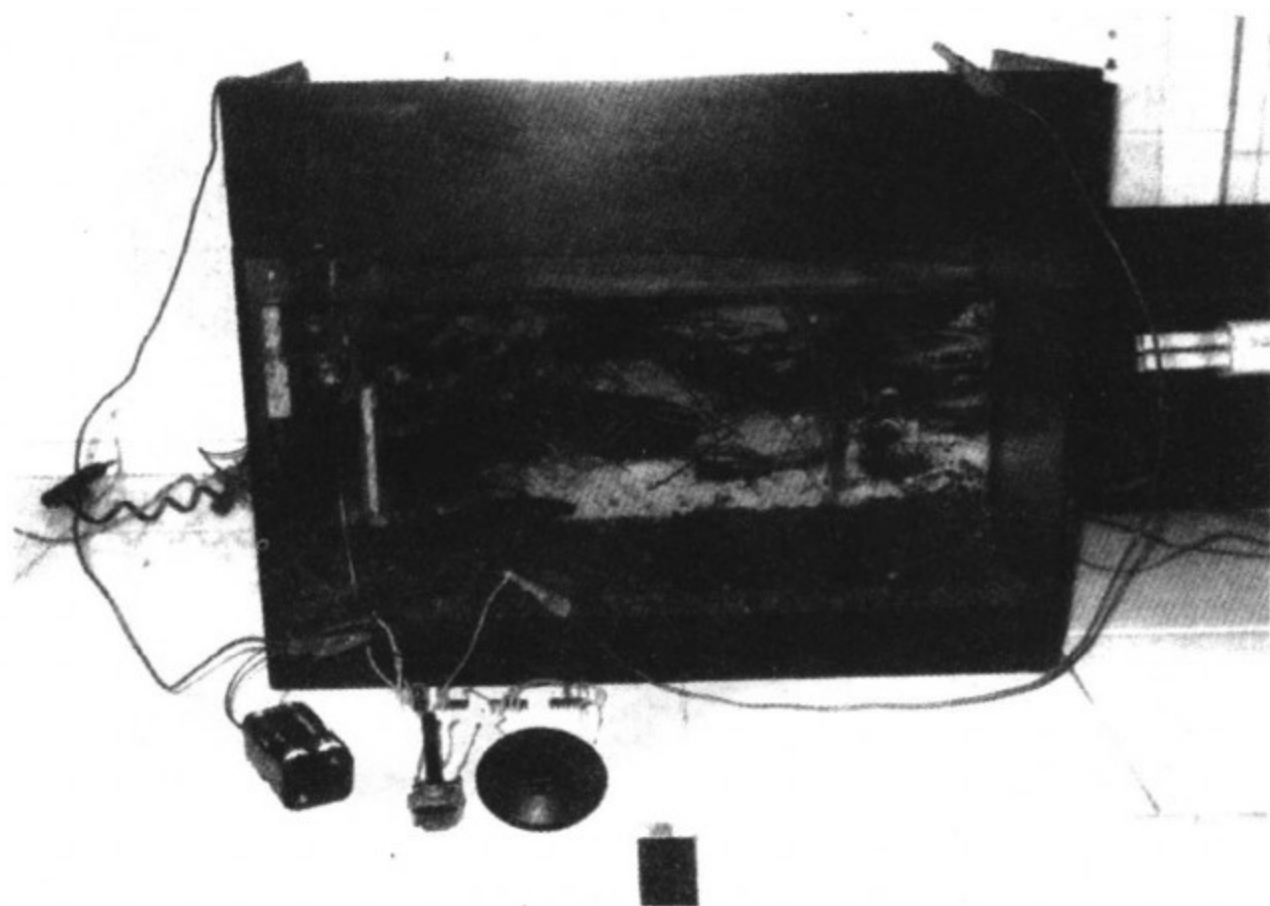


图 3.6 鱼缸里电极的摆放位置

### ■ 搭建方法

图 3.7 给出了这个基本实验中用到的音频放大器原理图。元器件可以安装在一块面包板上,如图 3.8 所示。

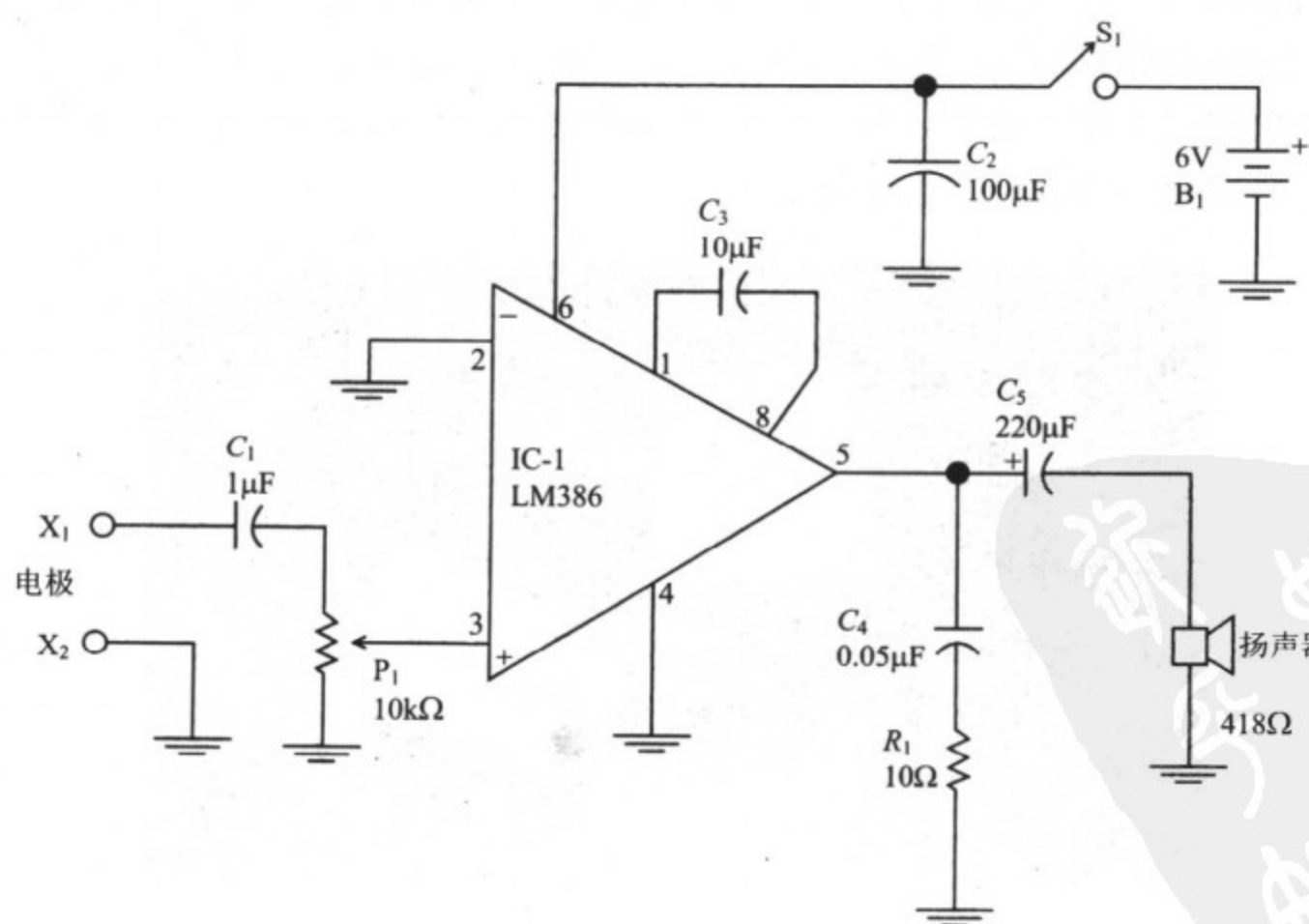


图 3.7 完整的音频放大器原理图



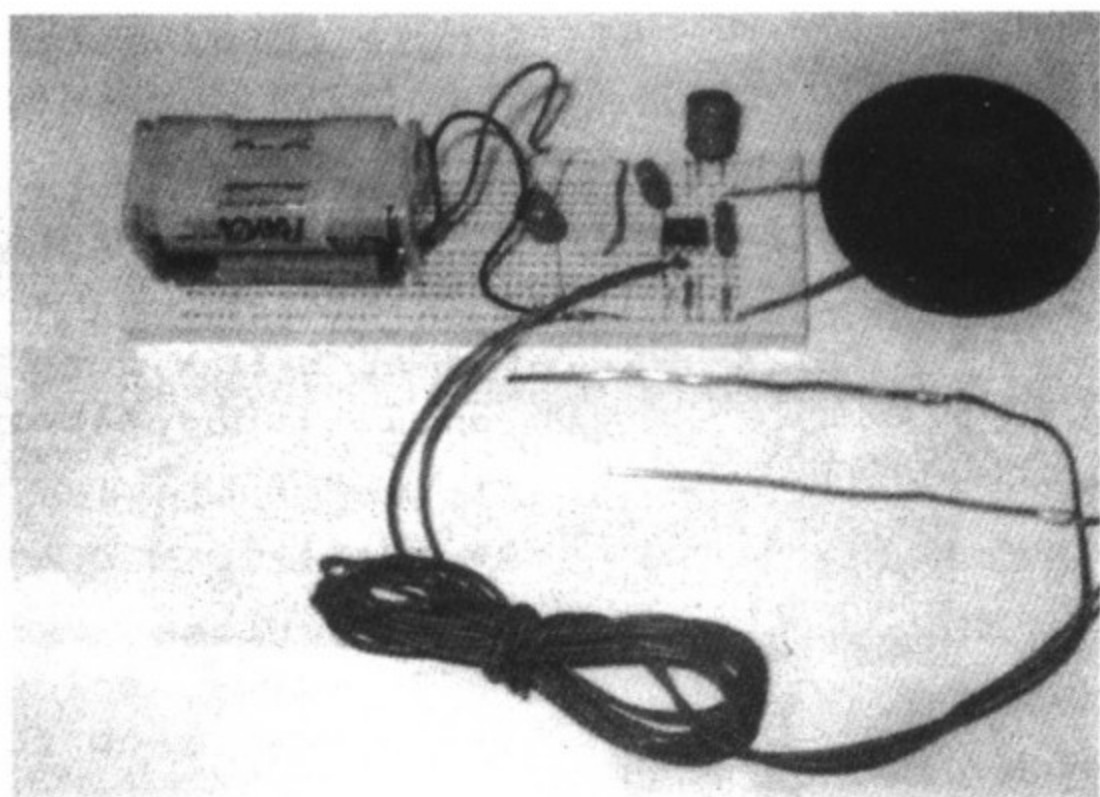


图 3.8 采用面包板组装电路

该制作过程特别适于初学者,并且在实验室里便可完成该制作过程的实验,因为用来蚀刻 PCB 的材料不是必需的。当然,如果你有蚀刻 PCB 的条件,则可以自行选择放大器的安装方式。PCB 样式的音频放大器如图 3.9 所示,PCB 的样式如图 3.10 所示。

应该特别注意具有极性的元器件的安装,如 IC 和电解电容器。扬声器可以固定在一个小的塑料或木制盒子里,电池也应该有一个合适的固定装置。安装过程中,由于电路是工作在低频音频信号下,应该使所有连接线及元器件管脚导线尽可能的短,以避免不稳定或产生干扰信号。

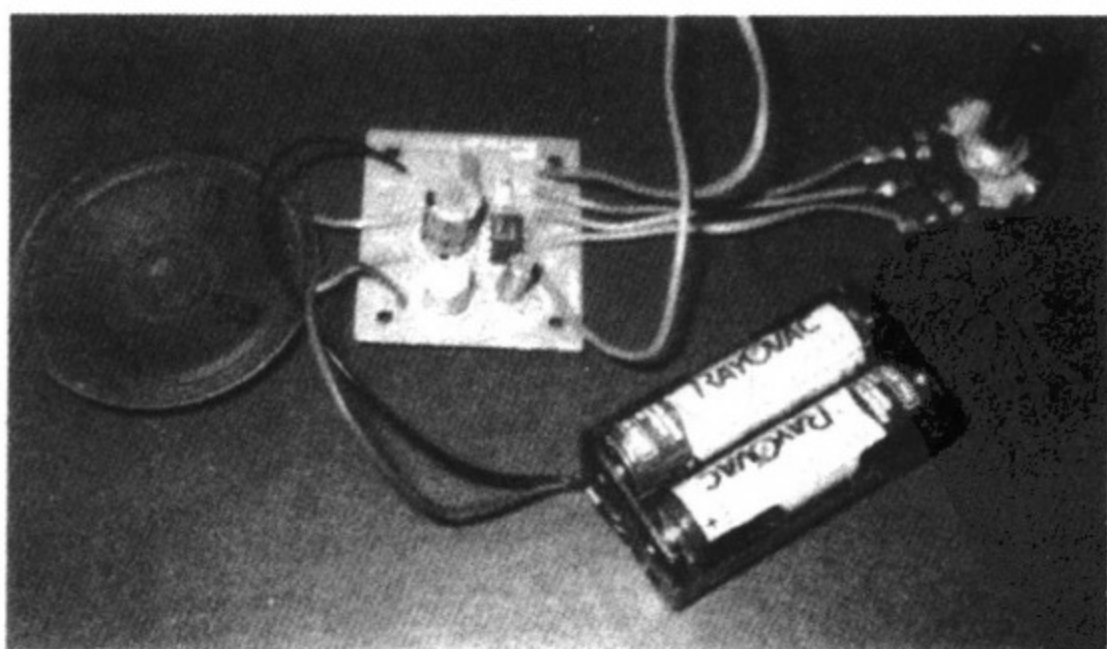


图 3.9 同样的 PCB 样式电路

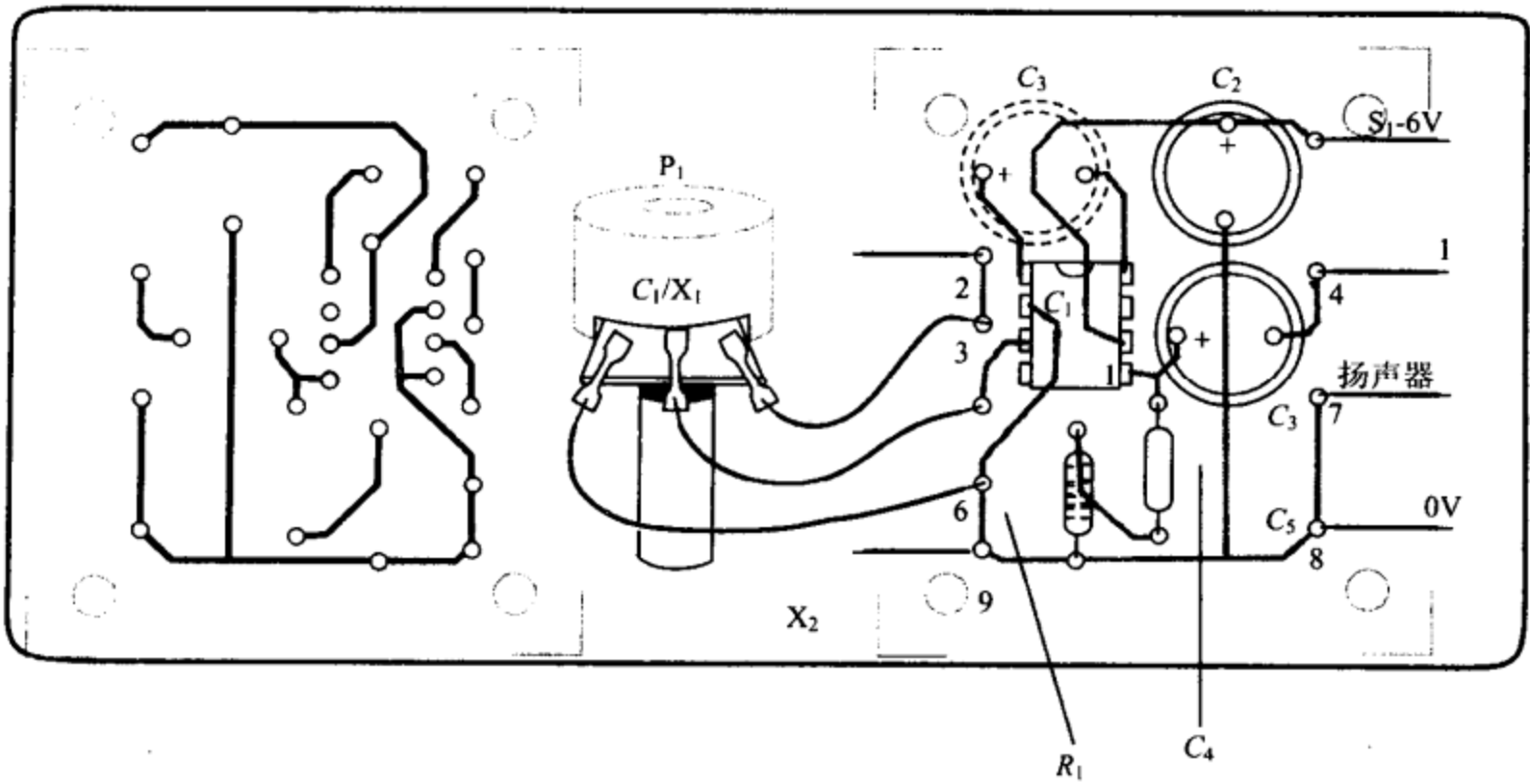


图 3.10 采用 LM386 的音频放大器电路 PCB

### ■ 测试和使用

接通开关  $S_1$  或将电池放入电池盒, 使电路通电, 并接入一个音频发生源, 如陶瓷麦克风。如果想使用一个驻极体麦克风, 必须加一个  $10\ 000\ \Omega$  的电阻, 如图 3.11 所示。

为了接收黑鬼鱼产生的信号, 必须将电极放入鱼缸中, 并用普通导线(如果距离很短不需要有保护措施的导线)将它们连接到音频放大器上。如果鱼缸有荧光灯及加热器, 建议断开它们以免产生噪声。

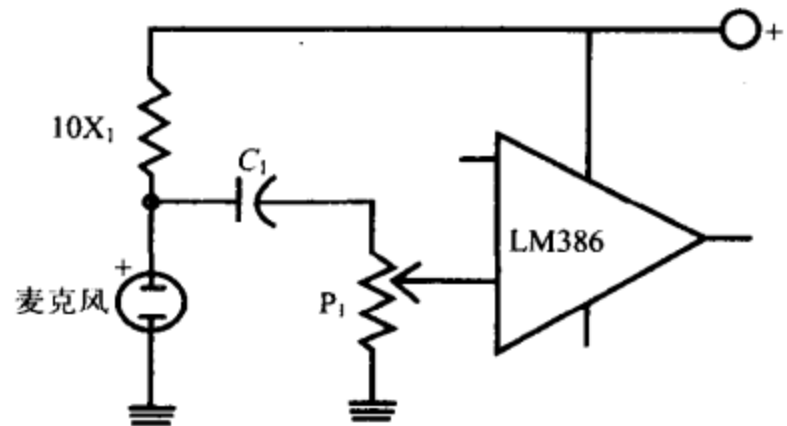


图 3.11 用一个驻极体麦克风进行测试

由于水是导电的, 那么鱼缸就可以看作是一个低阻抗的信号源。这意味着如果鱼缸附近没有其他功率大的干扰源, 如电子设备, 那么扬声器中就不会出现噪声。

打开音量控制, 你将听到一种完美的音调, 就像一个音频振荡器或音叉。当鱼从鱼缸的一端游动到另外一端时, 音量将会改变。这种音调就是鱼产生的信号。

拔出电极以确定接收到的信号是否真的是由鱼产生。如果噪声还是能够由扬声器发出, 那么检查一下它是否是由鱼缸附近接在交流电源上的电子设备产生的。



表 3.1 音频放大器元器件清单

元器件	说 明
IC-1	LM386, 音频放大器, 集成电路芯片
C <sub>1</sub>	100 $\mu$ F 12V, 电解电容器
C <sub>2</sub>	10 $\mu$ F 12V, 电解电容器
C <sub>3</sub>	220 $\mu$ F 12V, 电解电容器
C <sub>4</sub>	0.05 或 0.047 $\mu$ F, 陶瓷或聚酯电容器
P <sub>1</sub>	10k $\Omega$ 对数或线性电位计
R <sub>1</sub>	10k $\Omega$ 1/8W 电阻, 棕、黑、黑
S <sub>1</sub>	单刀单掷 (SPST; Single Pole Single Throw) 开关
B <sub>1</sub>	6V, 4 节 5 号电池和电池盒
SPKR	4 或者 8 $\Omega$ , 5~10cm 的小扬声器
X <sub>1</sub> , X <sub>2</sub>	金属电极 (参阅正文)
其他元器件	面包板或 PCB, 导线, 焊料, 塑料盒, 电位计的旋钮等

### 其他电路及创意

基本实验中只给出了采集和收听鱼所产生信号的元器件。这里, 我们建议你利用这个信号做其他更多的实验。事实上, 仿生学就是生物体和电子设备的集成融合, 或是大自然数百万年进化过程中所形成解决方法的一种技术应用。在下一节中将介绍一些新项目。

#### 1. 用示波器观测信号

如果有示波器, 你可以直接观测黑鬼鱼所产生的信号。只需要将电极接入到示波器的输入端, 然后调节至合适的振幅和频率就可以进行观察了。图 3.12 给出了连接方式。

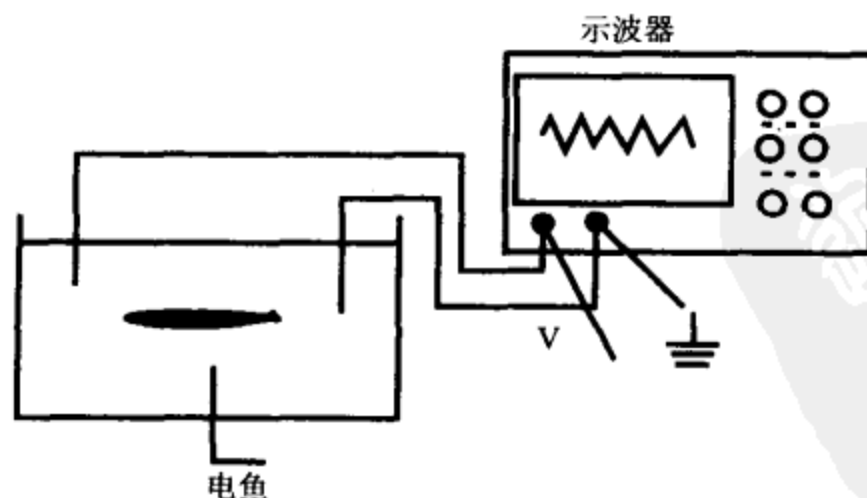


图 3.12 用示波器观察波形

实验生物体种类不同,所产生信号的波形及频率也会改变。图 3.13 给出了一些鱼的观察波形。如果示波器有频率计数功能,那么就可以测出鱼产生信号的准确频率了。

## 2. 使用计算机

如果计算机里有观测音频信号的程序,你可以用它来监测电鱼。运行该程序,并将电极插入到计算机的麦克风输入口,如图 3.14 所示。

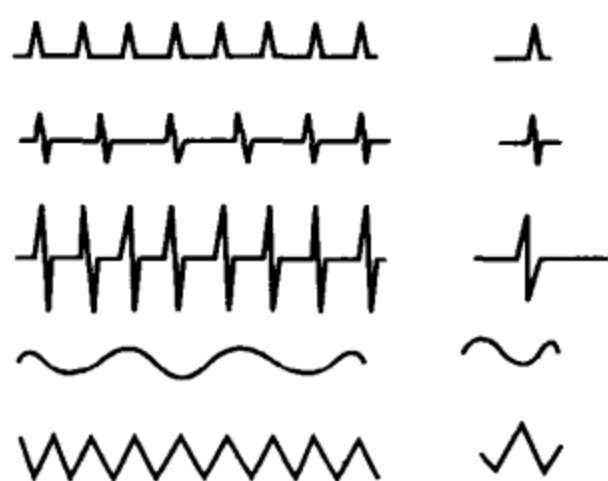


图 3.13 示波器观测到的波形

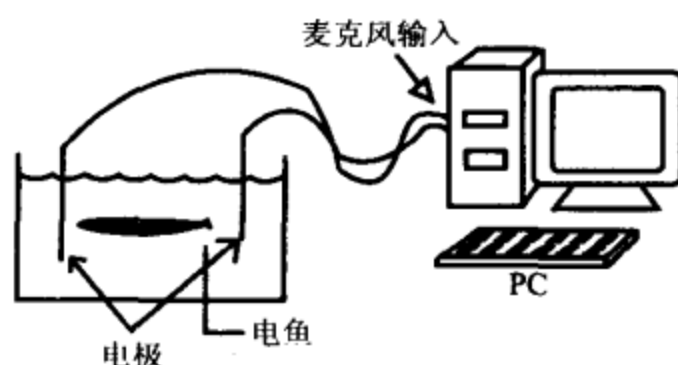


图 3.14 在 PC 上观测信号

使电线尽量短,这一点非常重要,也不要再在鱼缸附近使用任何由交流电供电的电器,包括荧光灯。在某些情况下,如果将麦克风输入信号转换成数字信号的放大器不是很灵敏的话,就需要使用前置放大器甚至使用 LM386 来接收它输出的信号,如图 3.15 所示。

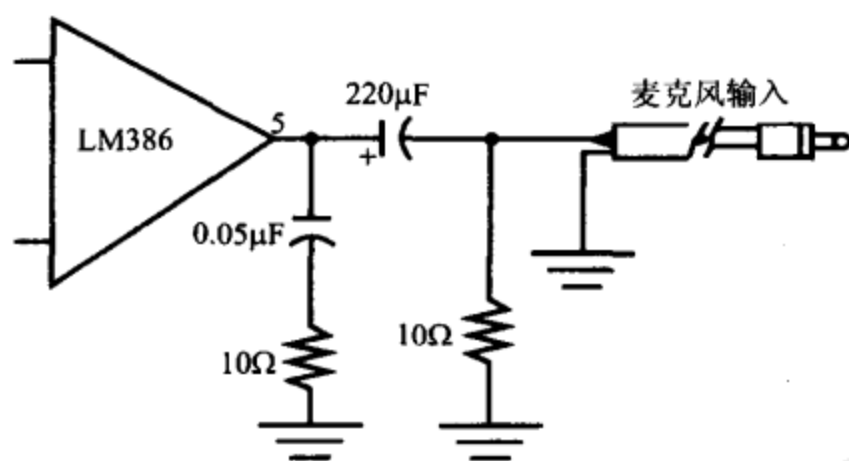


图 3.15 使用 LM386 驱动 PC 的音频输入

如果不想在实验过程中听到声音,可以用一个  $10\Omega$ 、 $0.5W$  的电阻替代扬声器作为信号的负载。

## 3. 使用普通音频放大器

如果你有一个带有麦克风输入口的音频放大器,可以用它来接收信号。需做的事情只是利用尽量短的导线将电极连接到输入口。这里还要强调一下,不要在鱼缸里或附近使用交流电源供电的电器。

■ 驱动外部电路：一个 LED 闪烁灯

一个非常有趣的实验是使用黑鬼鱼做一个实际的仿生设备。实验的基本思想是测定鱼发出信号的频率，然后用某个整数分频以获得 1Hz 的信号（每秒钟一个脉冲）。这个由鱼产生的稳定信号可以用来驱动电子设备，如时钟、计时器和电子乐器。最简单的应用如图 3.16 所示。

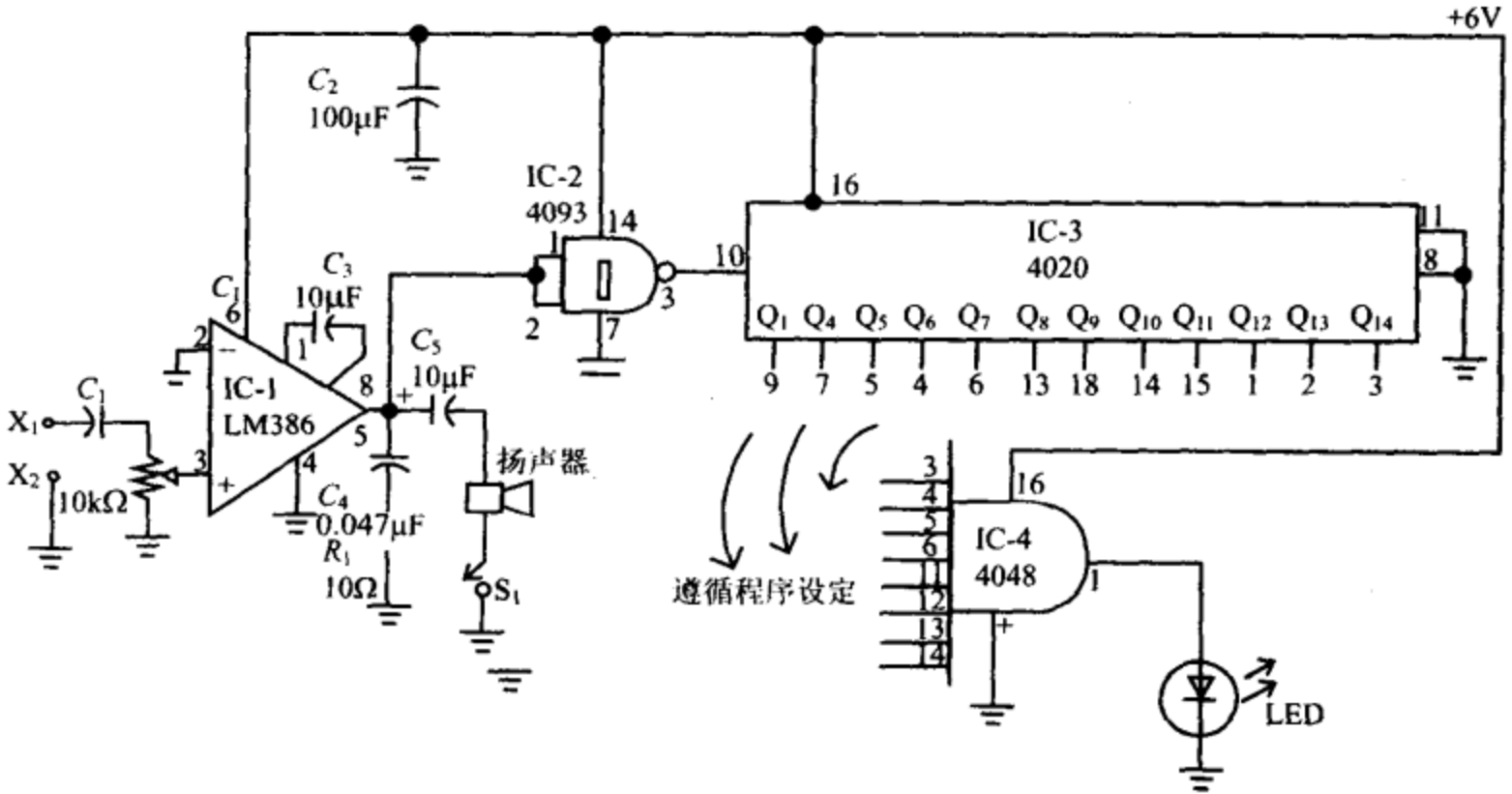


图 3.16 用 1Hz 的信号驱动一个 LED 和一个蜂鸣器

鱼产生信号的准确频率可以用频率计或示波器加以测量。对于频率计，可能还需要一个放大器，如图 3.17 所示。

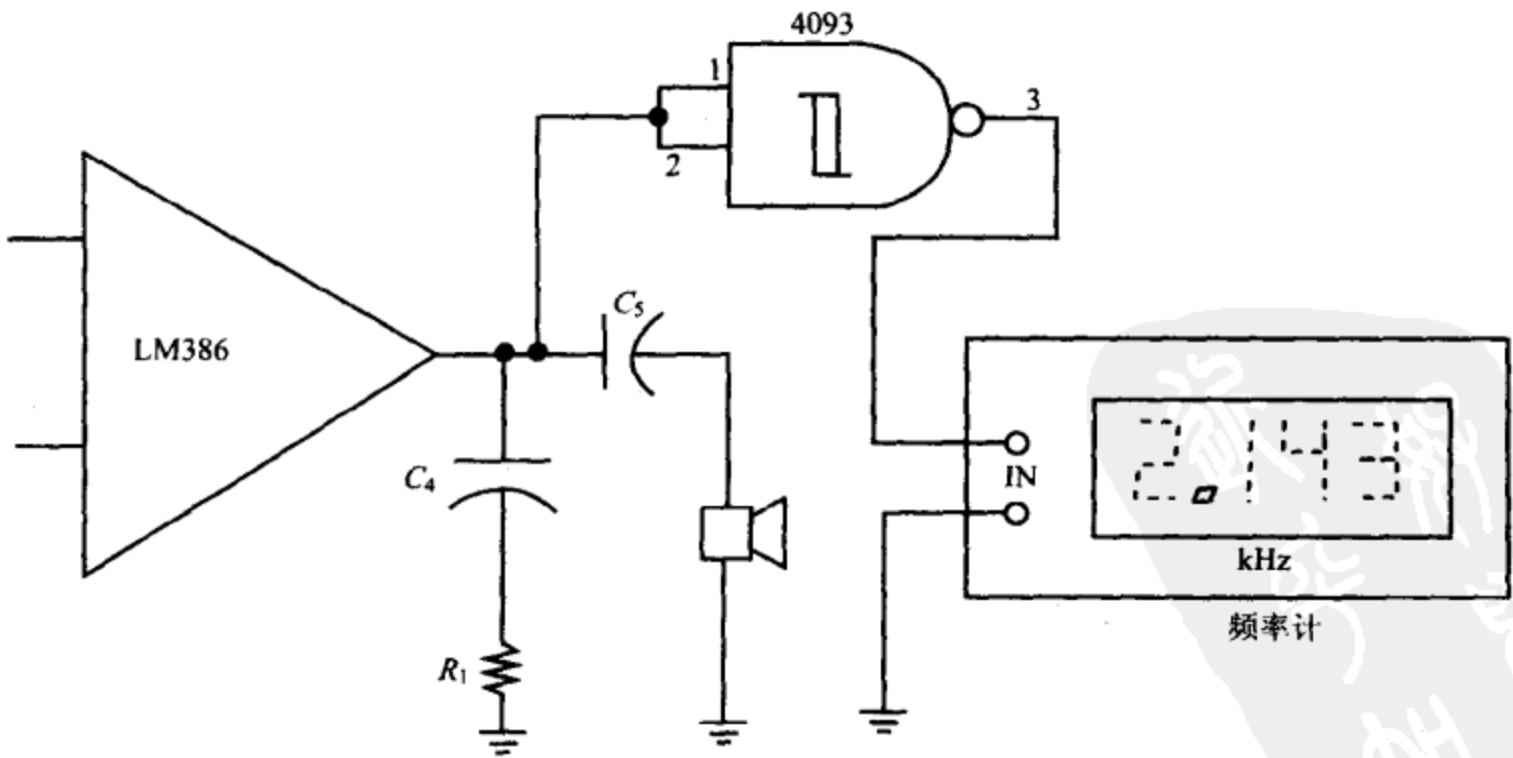


图 3.17 用频率计测量鱼信号频率

使用 LM386 制作的放大器来驱动 4093 IC 芯片是很理想的,这样就可以使鱼产生的信号波形变成方波。然后使用 4020 CMOS 芯片和 4048 CMOS IC 芯片对方波进行整数分频。

如图 3.18 所示,4042 芯片有一个 14 位的二进制计数器,有 12 个输出口用来作为分频的 2 的幂指数。这意味着这个电路可以对最大频率为 16 384 ( $2^{14}$ )Hz 进行分频。

由于黑鬼鱼产生信号的频率低于 4020 芯片所能达到的范围,因此很容易找到一个数字使其可分频至 1Hz 甚至其他的频率,如 0.5Hz,0.2Hz,0.1Hz(每隔 2s、5s、10s 一个脉冲)。

让我们看看如何做到这一点。观察 4020 芯片,我们可以看到  $Q_1, Q_3, Q_4, Q_6$  等引脚。这个数字相当于 2 的幂,也就是可以分频的基数。比如,  $Q_4$  就代表  $16(2^4)$ ,所以输出的信号频率是输入频率的  $1/16$ 。

这个电路没有对应于  $4(2^2)$ 和  $32(2^5)$ 的引脚输出,但是其他引脚的组合足够让设计者找到一个数字来得到一个精度较好的 1Hz 信号。

举一个例子。假如鱼产生了一个 1556Hz 的信号。用 2 的幂去分解这个数字,可以得到表 3.2。

表 3.2

输出	2 的幂	1556 的分解
$Q_{14}$	16 384	0
$Q_{12}$	8192	0
$Q_{11}$	4096	0
$Q_{10}$	2048	0
$Q_9$	1024	1
$Q_8$	512	1
$Q_7$	256	0
$Q_6$	128	0
$Q_4$	16	1
$Q_1$	2	1

由于 4020 芯片的输出引脚不包括 2 的所有次幂,因此得到的数字应该最接近表中最后一列标注为 1 的各数之和:

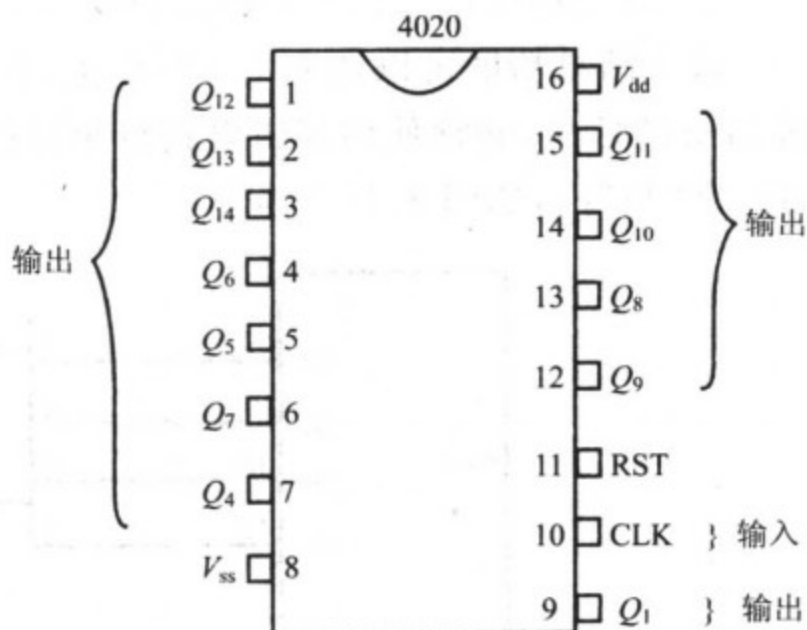


图 3.18 4020 芯片

$$1024 + 512 + 16 + 2 = 1554 \text{ Hz}$$

这个结果精度可以达到 0.2% 以上, 作为实验来说已经足够了。但是为了得到 1Hz 的信号, 必须使用逻辑电路将相应的引脚组合起来, 通过编程将 4048 定义为一个“与”门, 如图 3.19 所示。

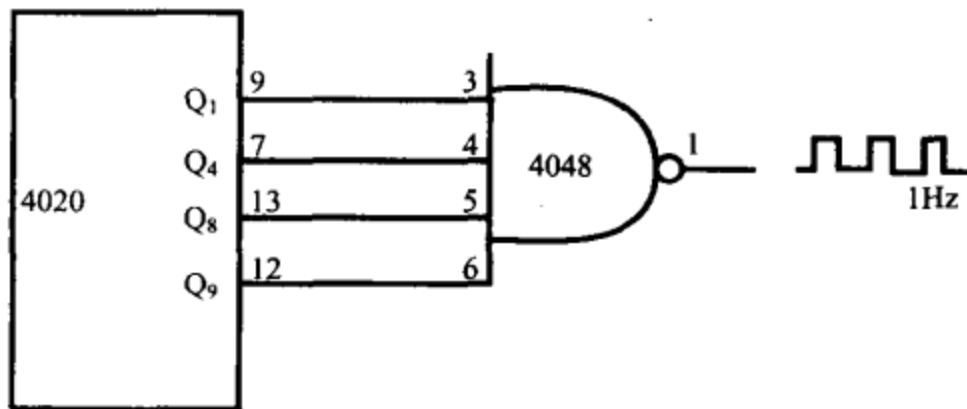


图 3.19 使用 4048 芯片

输出引脚  $Q_1$ 、 $Q_4$ 、 $Q_8$  及  $Q_9$  必须和“与”门 4048 相连。按照上面的分解表进行配置, 那么 4020 芯片每输入 1556 个脉冲, 就可以在输出端得到一个脉冲。连在输出端的一个 LED 就可以按想要的 1Hz 频率进行闪烁(每秒一个脉冲)。

当然, 4020 芯片输出到 4048 芯片的数是由输入端的频率决定的。如果你足够幸运, 鱼产生的信号频率恰好是 2 的某次幂(如 1028Hz), 那就可以不用 4048, 直接将 LED 连到  $Q_8$  引脚。当然还需要接入一个  $1\text{k}\Omega$  的电阻。

图 3.20 是完整的电路原理图。这个电路只使用了 4020 芯片的一个输出引脚, 可以使 LED 基本上按照 1Hz 的频率进行闪烁。

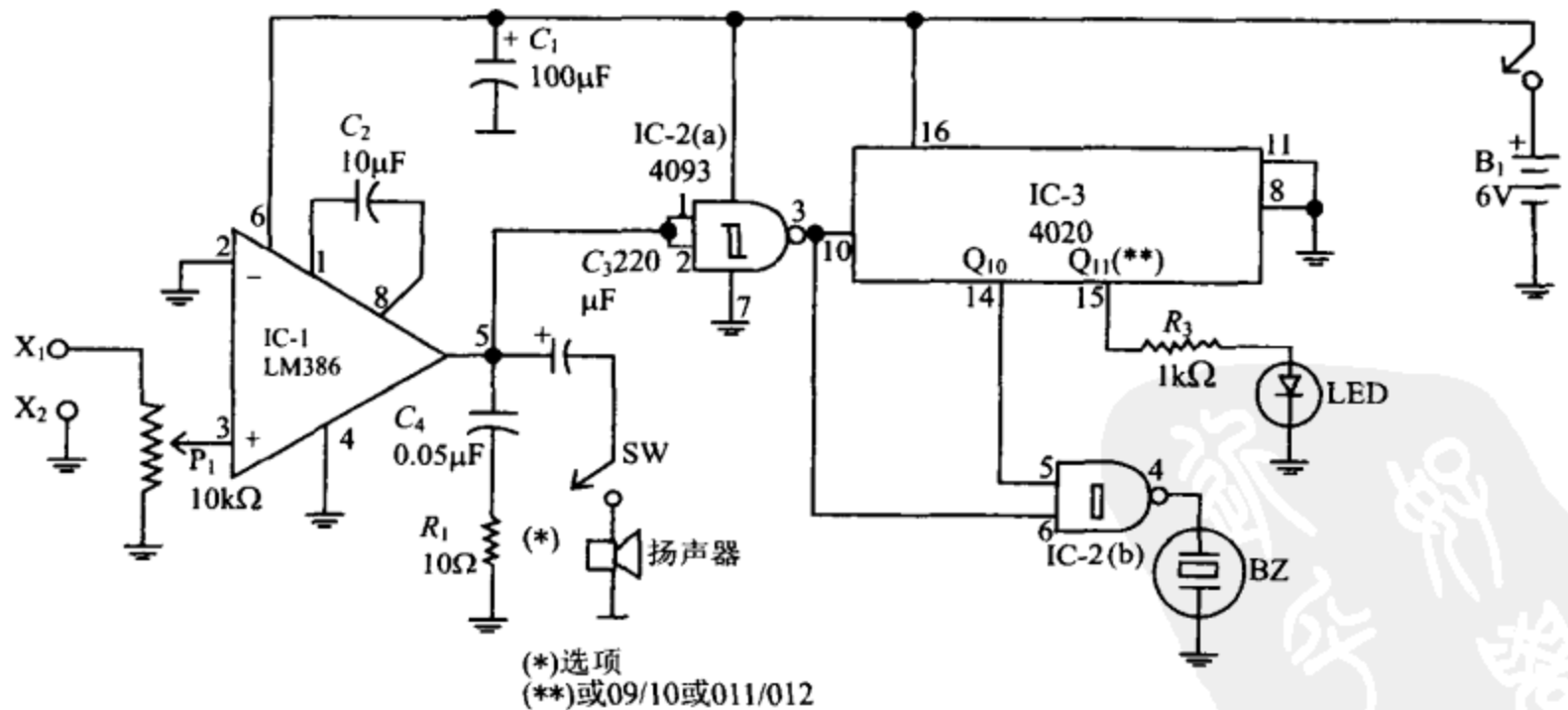


图 3.20 本电路使 LED 一秒闪烁一次, 蜂鸣器每秒响两声

用触发器 4093 的一个输出口来驱动压电换能器,使其产生两倍于 LED 闪烁频率的蜂鸣声。

由于没有使用扬声器,用一个  $100\Omega$  的电阻替代作为放大器的负载。当然,如果使用另外一个输出口,可以产生  $1/2$  的 LED 闪烁频率的蜂鸣声。图 3.21 是用面包板搭建的电路。

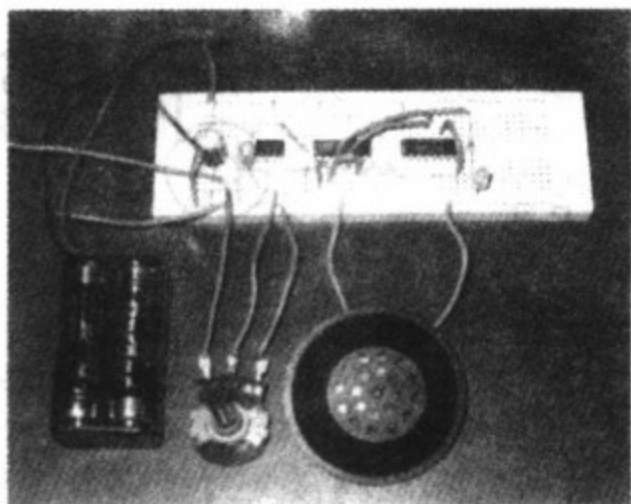


图 3.21 在面包板上搭建的电路

表 3.3 元器件清单

元器件	说明
IC-1	LM386 集成电路芯片,音频放大器
IC-2	4093CMOS 集成电路芯片
IC-3	4020CMOS 集成电路芯片
LED	普通 LED,任何颜色都可以
$C_1$	$100\mu\text{F}$ 12V,电解电容器
$C_2$	$10\mu\text{F}$ 12V,电解电容器
$C_3$	$220\mu\text{F}$ 12V,电解电容器
$C_4$	0.05 或 $0.047\mu\text{F}$ ,陶瓷或聚酯电容器
$P_1$	$10\text{k}\Omega$ 对数或线性电位计
$R_1$	$10\Omega$ $1/8\text{W}$ 电阻,棕、黑、黑
$R_2$	$100\Omega$ $1/8\text{W}$ 电阻,棕、黑、棕
$R_3$	$1\text{k}\Omega$ $1/8\text{W}$ 电阻,棕、黑、红
$S_1$	单刀单掷开关
$B_1$	6V,4 节 5 号电池和电池盒
$X_1, X_2$	金属电极(参阅正文)
其他元器件	面包板或 PCB、导线、焊料、塑料盒、电位计的旋钮等

### ■ 由鱼驱动的时钟

由鱼所产生信号的一个实际应用就是驱动时钟。你可以装上一个数字时钟,如果你喜欢,也可以使用一块便宜的机械时钟,内部的晶振可以用鱼产生的信号替代。内部晶振产生  $1\text{Hz}$  的信号来驱动电机,电路每产生一个脉冲就使得时钟的指针前进一秒。你要做的就是不利用晶振,而用鱼产生的  $1\text{Hz}$  信号去驱动电机。

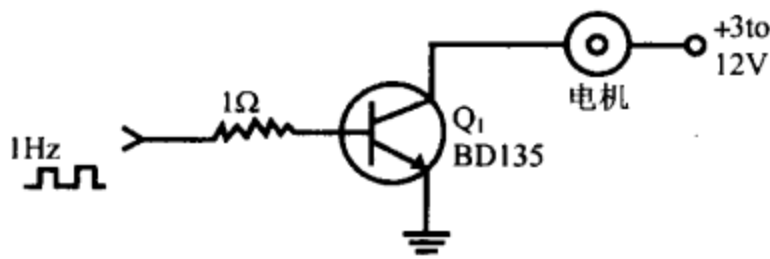


图 3.22 使用 1Hz 信号驱动机械时钟

还有一种可能实现的实验就是用鱼产生的信号驱动一台由带有齿轮减速装置的小电机驱动的实验用时钟。图 3.22 示出了使用鱼产生的 1Hz 信号来驱动实验用时钟电机的电路。

你要做的就是决定指针每一个脉冲前进多少以及时钟上的刻度。你可以将时钟调节到每一分钟走一个整圆。比如,可以增加一个齿轮来驱动时针,如图 3.23 所示。齿轮的传动比必须是 1 : 24 或 1 : 12,这样第二根指针将给出小时数。

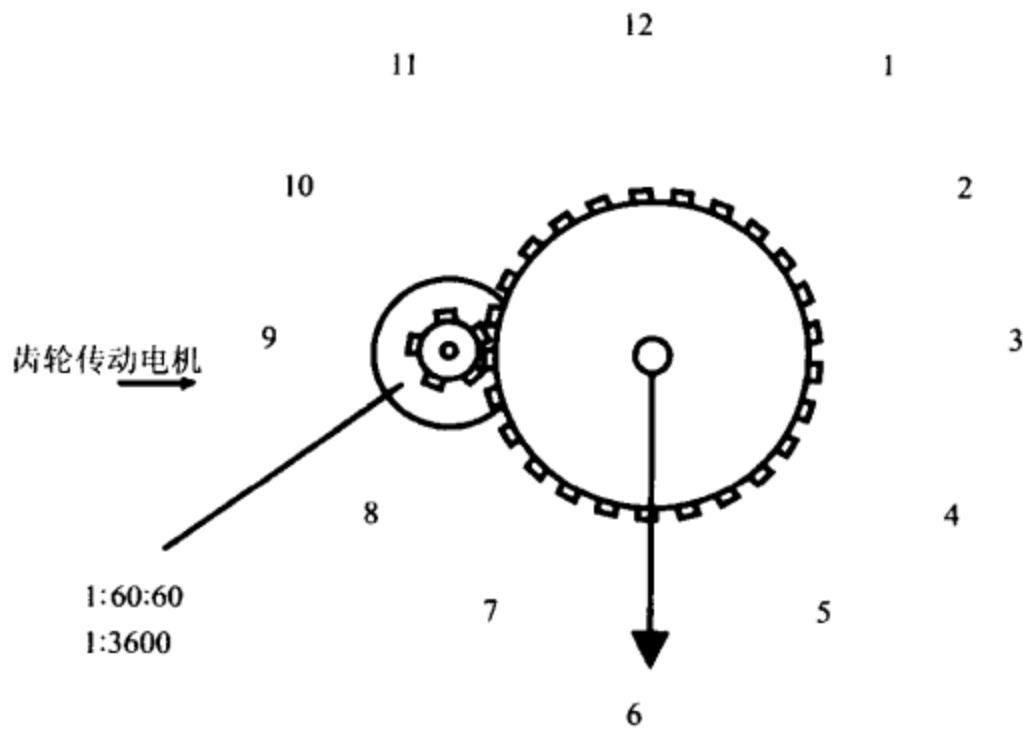


图 3.23 驱动指针的齿轮组

第二个可以选做的实验是使用数字时钟。图 3.24 是一个利用 4511 芯片和 4518 CMOS 芯片制作计数器的典型电路,芯片是由鱼产生的频率为 1Hz 的信号驱动的。

很明显,这个电路只能计数到 99。必须使用一个两位数字的模块来做 60 的整除,从而给出分钟,最后还需要另一个两位数字的模块来做 12 的整除,给出小时数。这样你就可以用鱼产生的 1Hz 信号制作一个 12h 的时钟。

### 1. 鱼作为无线传感器

如今,最先进的计算、通信设备及家用电器,都是无线的。设备之间都是根据 802.11 标准使用高频无线电波进行数据传输和“交谈”。

甚至在许多工业生产中,用于过程控制的传感器也变成无线的了。传感器将接收到的物理量(温度、压力、力等)转换成数字信号,然后传送给一个远程的接收器,在远处进行处理,如图 3.25 所示。



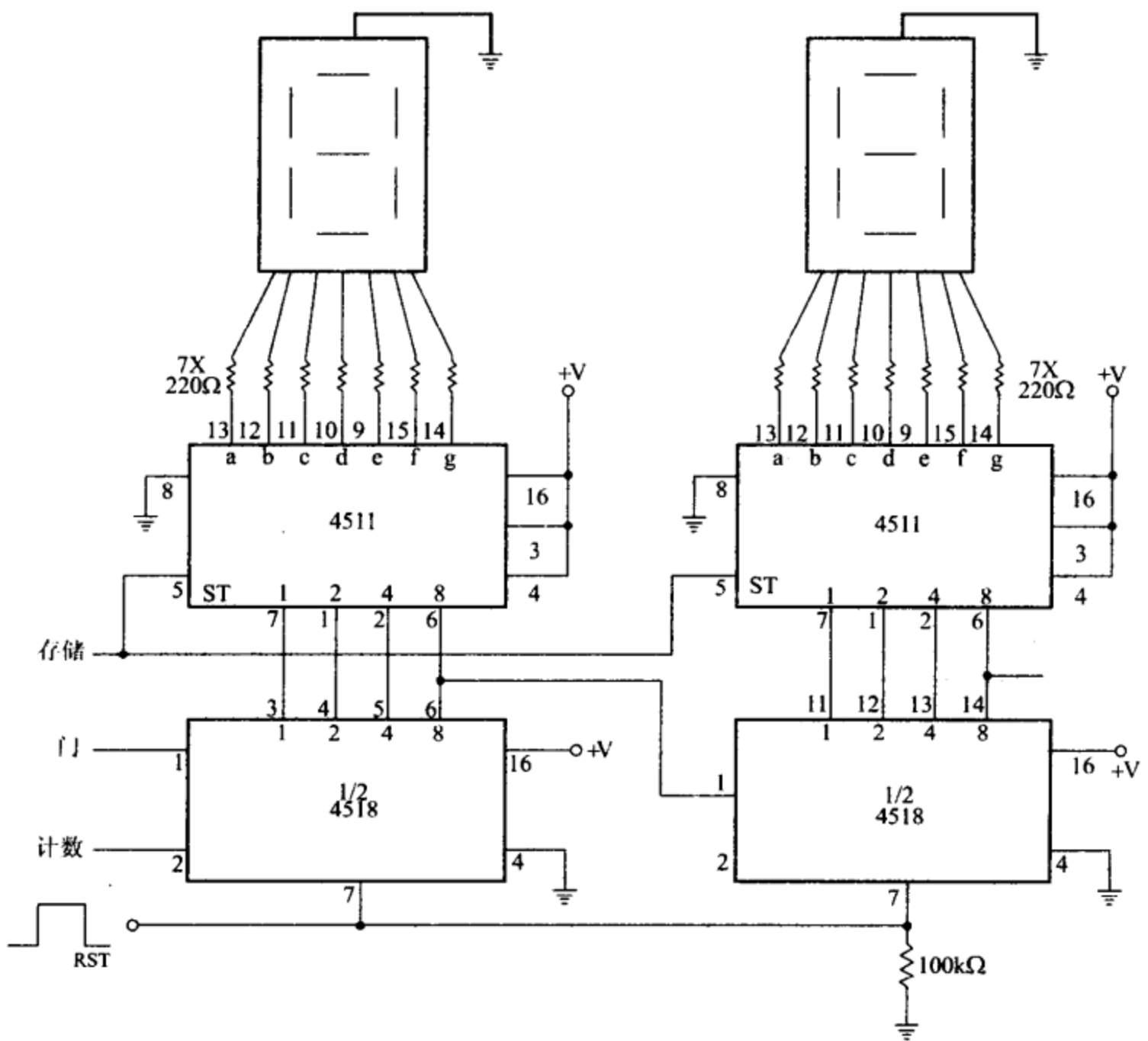


图 3.24 用 CMOS 数字计数器实现数字时钟

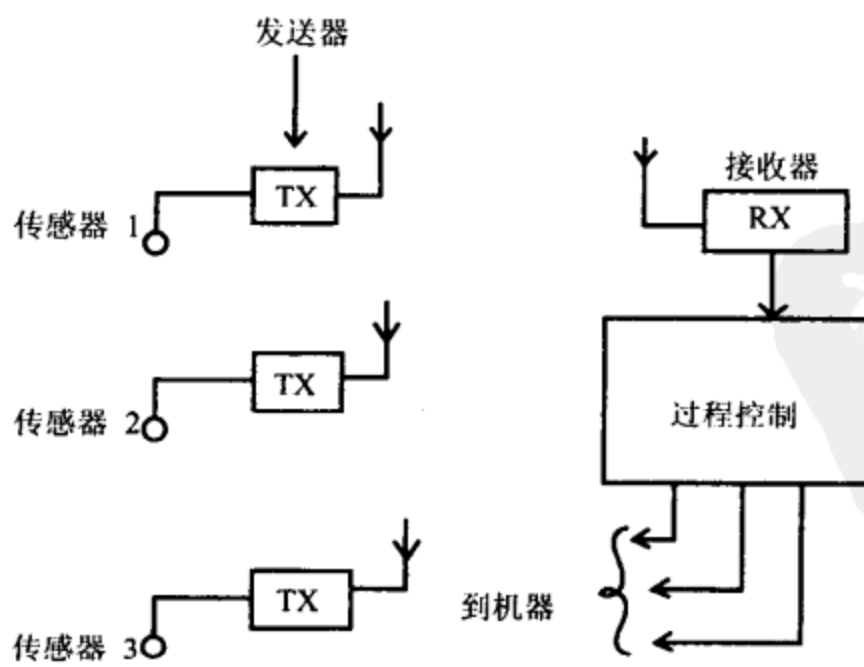


图 3.25 世界变成无线了

如果不使用电缆或其他物理介质来传输数据,鱼和自然界会给我们哪些启示呢?黑鬼鱼是非常敏感的。水的 pH 值、温度及污染程度的微小变化都会改变鱼产生信号的频率,因此可以利用这个频率变化来远程监测上述因素的改变(即鱼可作为传感器)。

例如,利用鱼来检测水的纯度已经申请了专利。图 3.26 是检测的过程。

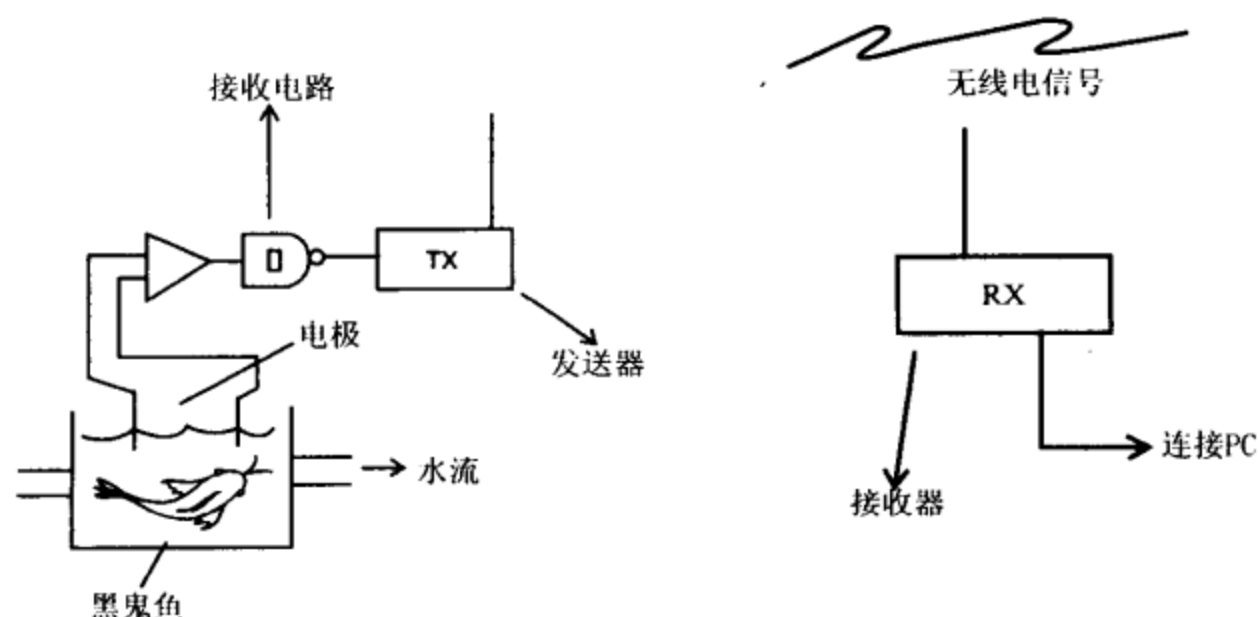


图 3.26 用鱼作为一个无线的遥感器

人们经过深入的研究发现,许多生物都可以察觉到大地构造应力的微小变化。这种对危险的感知可以使它们在地震或海啸发生之前离开某个特定的区域。如果黑鬼鱼可以用来探测这种现象,那将是一个很有意义的发现。用来检测鱼产生频率改变的简单电路如图 3.27 所示。

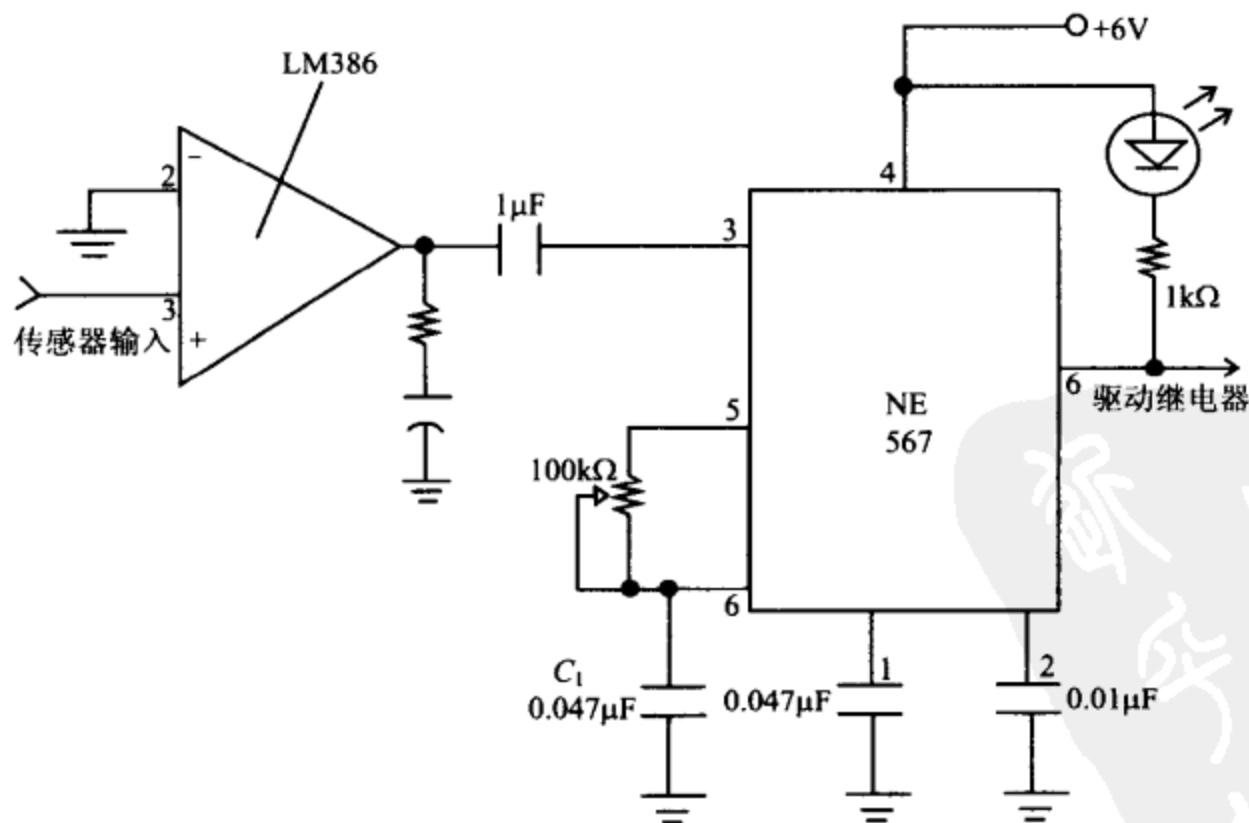


图 3.27 检测频率的改变

电路通过  $P_1$  来调节鱼产生信号的中心频率。调节时,晶体管  $Q_1$  不导通,继电器打开。 $P_2$  用来调节电路的灵敏度和带通。

如果频率改变,NE567 芯片的输出是逻辑高电平,晶体管  $Q_1$  导通,继电器关闭。同时激发外部的一个作为警报器的电路。

### ■ 其他一些奇妙的实验和创意

当然,黑鬼鱼利用低频电场信号在黑暗中探测的奇怪方式也可以应用在许多新的仿生设备中。究竟能做出些什么就要看你自己的想象力了。下面是一些构想。

#### 1. 家庭报警器

黑鬼鱼非常敏感这是已经介绍过的。声音和光线都可以改变鱼的信号频率。在鱼缸中放置一个连接到警报器的传感器,当入侵者出现时鱼就可以触发警报器。

#### 2. 空气污染监控器

如果鱼缸的水面很大的话,周围环境产生有毒气体时,它会很快融入到水中。如果黑鬼鱼在里面,其产生信号频率的变化可以用来检测那些有毒物质。

例如,一个半导体加工厂里,如果人工作在有毒氟化物的环境里,那么就用鱼缸养一条宠物鱼。鱼对有毒气体的反应比人敏感,如果鱼死了,工人就知道有毒气体泄漏了,需要尽快撤出这个区域。

电鱼的优点就是不需要人去观察它是否活着,黑鬼鱼可以自己触发警报器。

#### 3. 盲人雷达

依据鱼的“电子视觉”系统,可以开发一个基于磁场或声场的系统来帮助盲人在家走动时避开物体。

#### 4. 对外部影响的研究

黑鬼鱼极度敏感的感测功能可以用来检测外部对它的影响。比如,使用不同颜色的光源可以检查鱼会怎样改变它们的生理周期。

在鱼缸周围盘绕放置一个线圈,它连接到低频或高频电路中。这样你就可以研究磁场会如何影响鱼的行为。电路如图 3.28 所示。

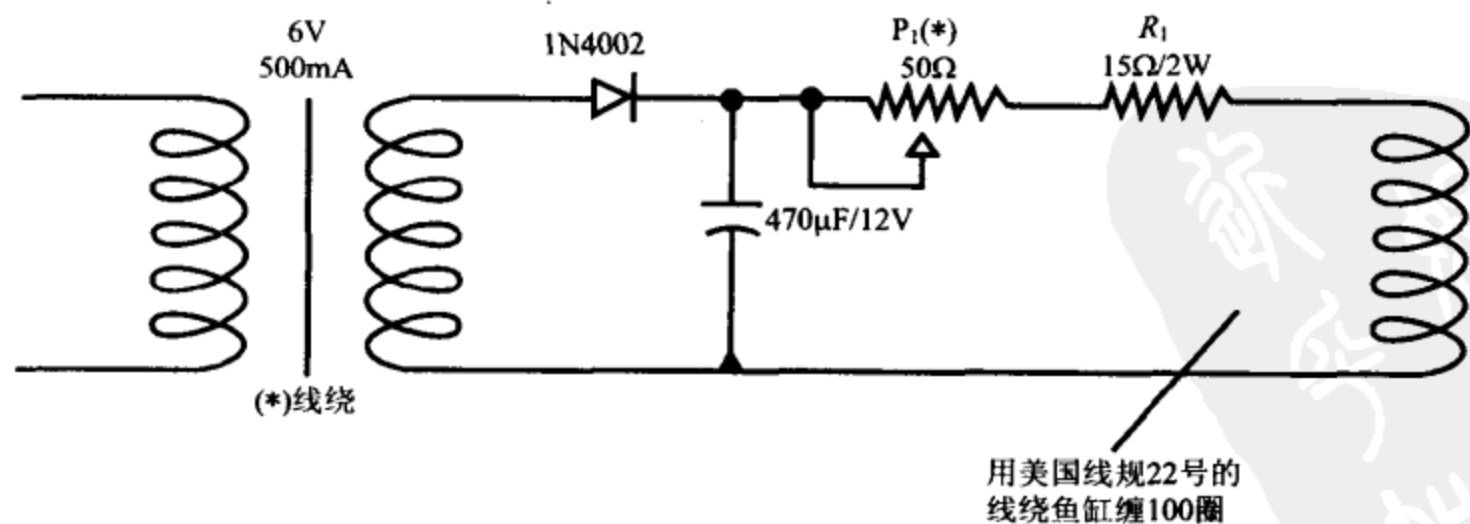


图 3.28 研究磁场变化对鱼行为的影响

### 5. 有关黑鬼鱼更多的内容

黑鬼鱼的电流场是由一个特殊的发电器官(EOD; Electric Organ Discharge)产生的。这个发电器官是由连续排列的改进肌肉和神经元组成,它可以将每个肌肉细胞或神经元的电压累积起来。图 3.29 是肌肉及神经细胞的排列方式。对于大多数电鱼来说,EOD 一般位于其尾部。

强电鱼(比如电鳗)的 EOD 可以产生足够大的电量来击晕它的猎物。这种动物产生的 EOD 电压峰值可以达到 300V。

弱电鱼的 EOD 产生不到 10V 的电压。放电太弱以至于不能击晕它们的猎物,不过可以用来检测水底的物体,这种方式叫做“电子定位”。

信号的另外一种用途就是跟其他电鱼进行交流,这种方式我们称之为“电子通信”。

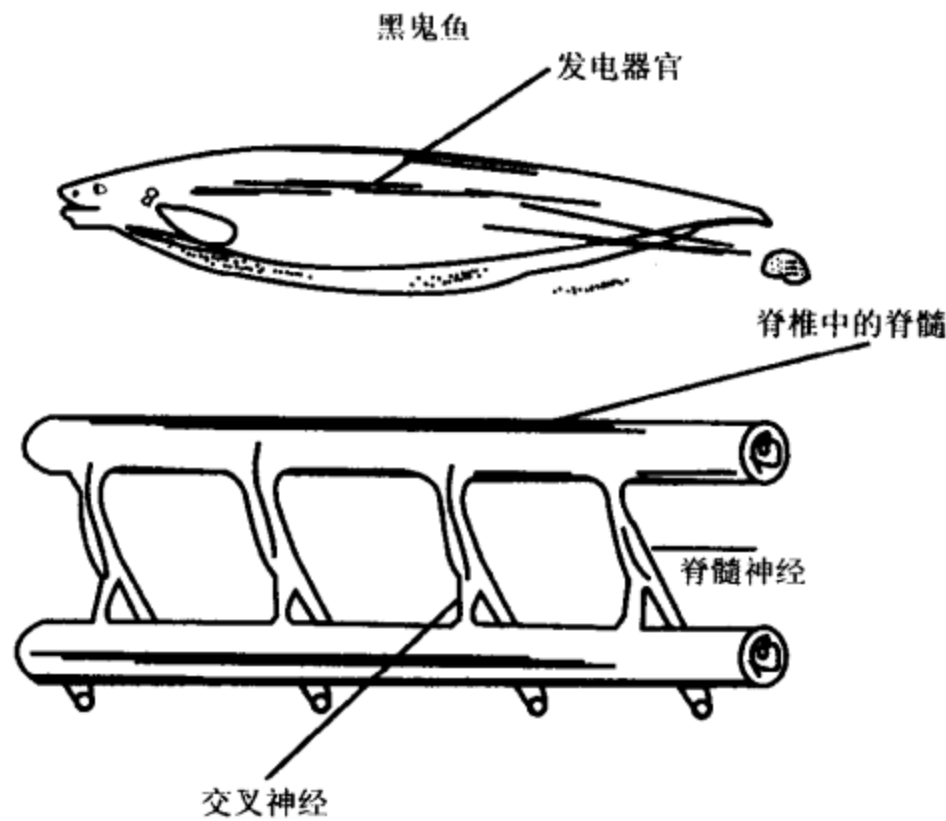


图 3.29 电鱼的 EOD 器官

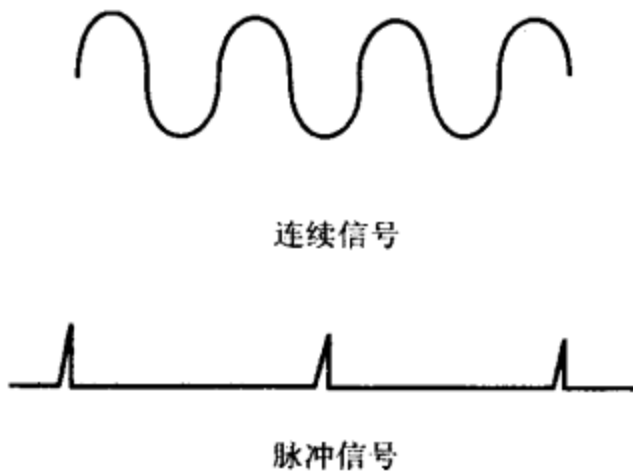


图 3.30 由电鱼产生的信号波形

不同种类的电鱼产生的 EOD 波形具有两种基本形式。有些鱼产生的信号是类似于正弦曲线的连续波形,如黑鬼鱼及其他同种类的鱼。另外一些鱼产生的信号由一系列脉冲组成,脉冲之间具有很长的间隔,如图 3.30 所示。这两种鱼类分别被称为波形类和脉冲类。

#### ■ 如何使黑鬼鱼存活

黑鬼鱼等热带鱼是非常脆弱的生物。如果不能为它提供合适的生存环境,几分钟内它

就会死亡。在最后一节将介绍一些方法,以保证这种鱼在为实验和仿生设备供电的同时能存活很多年。

### 1. 喂 养

黑鬼鱼需要喂各种不同的食物,包括活食、牛心、小虾米、蜗牛、小鱼、蚯蚓等。据说水丝蚓和红蚯蚓是它最喜欢的食物。

它们的胃口很大,如果不能吃饱,它们可能会去猎取鱼缸中的其他生物。一般来说,活食是比较好的,黑鬼鱼可以很快地察觉到食物的味道。

### 2. 水 质

水质应该偏软,pH 值在 6.5~7.0 之间,温度在 72~80°F 之间。

## 项目2 视觉生物反馈

许多训练或研究动物行为的实验都可以用电子设备来完成。动物、人类与电的结合是仿生学的一个重要分支,可以利用带生物反馈的设备来实现这种结合。本项目的目的是给读者提供一个用生物反馈进行实验的方法。

生物反馈装置的目的是在生物体和电路之间形成一个电路,这样生物就可以跟另外一个生物互相作用了,如图 3.31 所示。因此通过控制感情或反应,人就可以控制外部设备或观察到响应的电路。

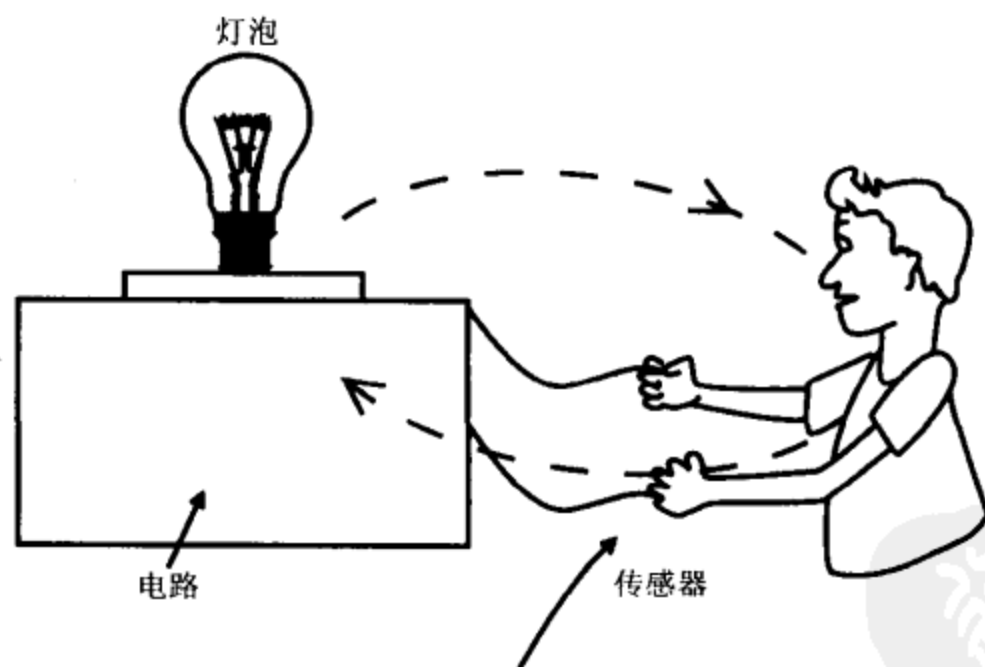


图 3.31 生物反馈的工作原理

该装置之所以称为“视觉”的,是因为对实验样本的控制可以用一种可看到的方式来显示。LED 的闪烁频率由生物体以及电路在回路中产生的电流决定。你应该先看下一个项目(音频生物反馈),简单预习“其他电路及创意”那一节。

本项目与下一个音频项目不太一样。由于电极是绑在实验主体的手指或手掌

上,所以该项目产生的是一个可视化的响应。主体挤压电极引起电阻的改变,电路就可以感受到这种变化。两个 LED 将会闪烁,频率由两个振荡器的工作频率决定。一个振荡器调节成固定频率,另外一个的频率由手指给予电极的压力决定。主体需要控制手指或手掌给予电极的压力,从而使 LED 产生持续的光亮脉冲。根据你自己的想法,电极也可以装在其他部位,比如脸部、头部、胳膊或者大腿等部位。

许多实验都可以利用这个电路来完成:

- 利用意念测试你控制电路的能力。比如,思想的变化会引起身体许多部位皮肤的电阻变化。这实际上就是脑电图仪的工作原理。
- 测试人在压力作用下控制 LED 能力的变化。
- 许多人可同时控制相同的电路来进行集中的实验。
- 测试在改变实验条件的情况下主体能否改变 LED 闪烁的频率。

#### ■ 工作原理

许多生物反馈电路使用皮肤的电阻变化来改变工作特性。这种变化可以改变信号的频率、灯的亮度,或者触发某种警报器。这种电路利用皮肤的电阻来控制低频振荡器的频率用以驱动 LED。

电阻较低时,电路的时间常数就会减小,频率则会增加相应的量。这意味着电阻的微小变化会转换成 LED 闪烁频率的微小变化。

为了演示这个实验,开始我们先使用 4093 CMOS 集成电路芯片。该芯片由四个与非门的施密特触发器组成,其中的两个引脚作为振荡器,另外两个引脚作为驱动两个 LED 的数字缓冲器。一个振荡器输出信号的频率由  $C_1$  决定,通过  $P_1$  进行调节。另一个振荡器产生信号的频率由  $C_2$  和电极之间的电阻决定。

当缓冲器 IC1-b(5、6、7 引脚)是高电平且 IC2-c(8、9、10 引脚)是低电平时,一个 LED 点亮;另一个 LED 在相反的条件下点亮。表 3.4 给出了这些条件。

表 3.4

引脚 4	引脚 10	LED <sub>1</sub>	LED <sub>2</sub>
低	低	关	关
低	高	亮	关
高	低	关	亮
高	高	关	关

图 3.32 给出了这个可视化生物反馈的原理图。电路安装在 PCB 上,如图 3.33 所示。

$C_1$  和  $C_3$  是电解电容器,直流工作电压是 12V 或 12V 以上,它们的安装位置要观察清楚。因为它们和 LED、电源一样是有极性的元件。LED 应该是红色和绿

色的。

电路可以用 6~9V 的电压供电,  $R_2$  的选择是由电源的电压决定的。用 6V 电源时, 使用  $1000\Omega$  电阻; 用 9V 电源时, 使用  $1500\Omega$  电阻。

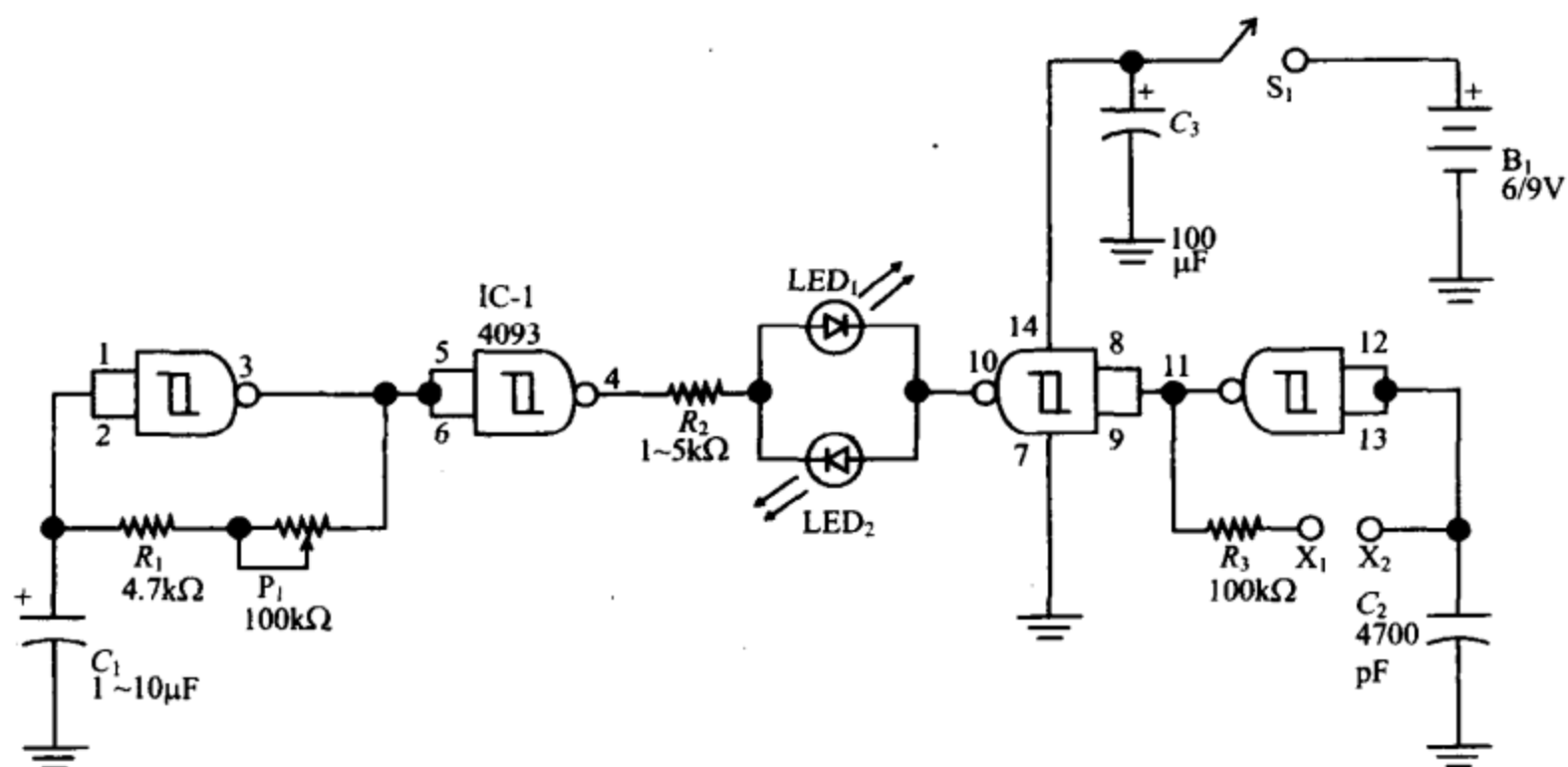


图 3.32 视觉反馈原理图

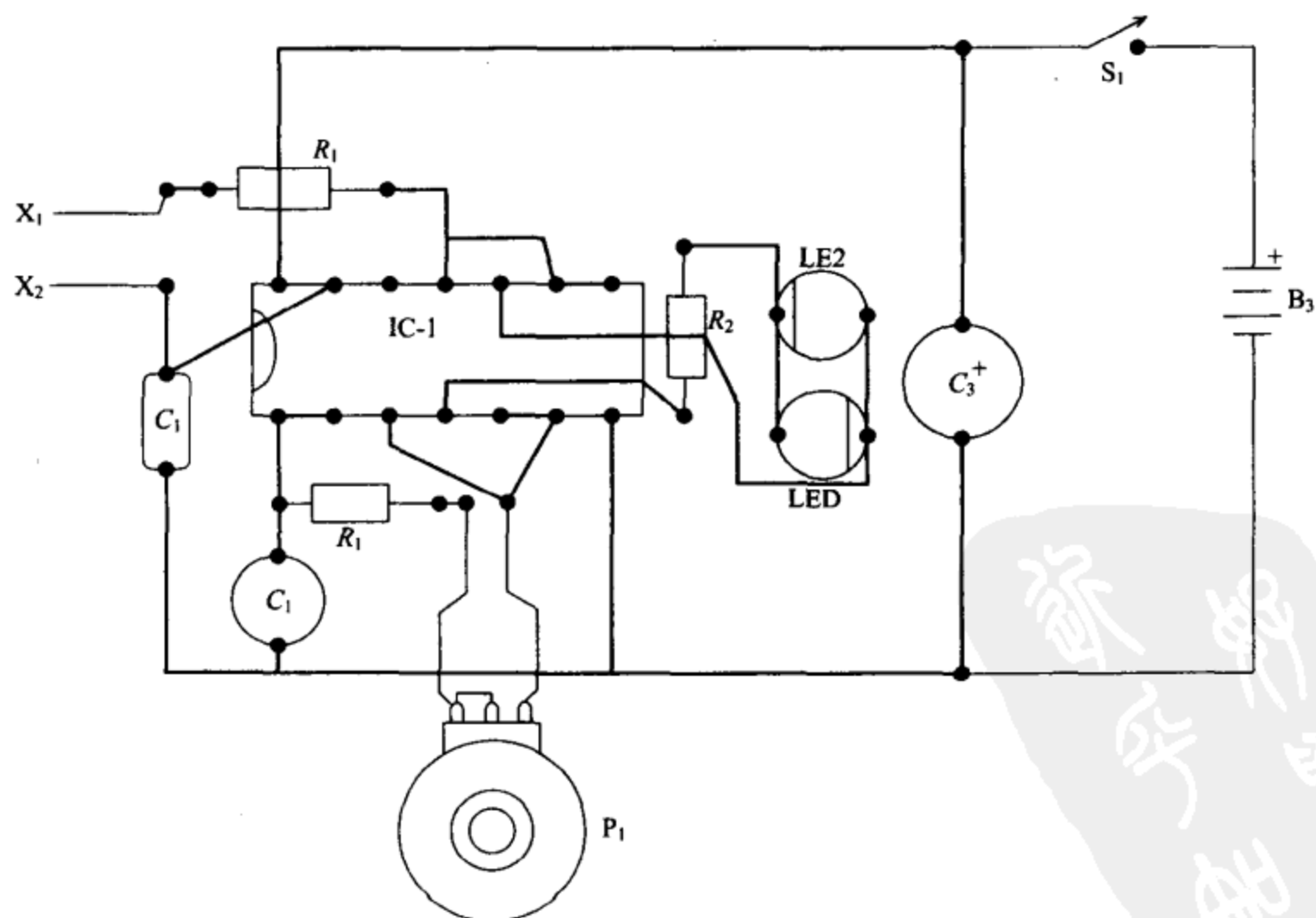


图 3.33 视觉反馈的 PCB



电极是小金属棒。主体必须通过挤压电极来观察对 LED 闪烁频率的影响。图 3.34 给出了电极的制作方法。你也可以根据实验的需要将电极制作成其他的样子。图 3.35 示出怎样使用插入到花盆中的两个电极来观测电路的频率变化。当然前提是外部环境发生改变时,如光线、压力、噪声或其他外部影响。

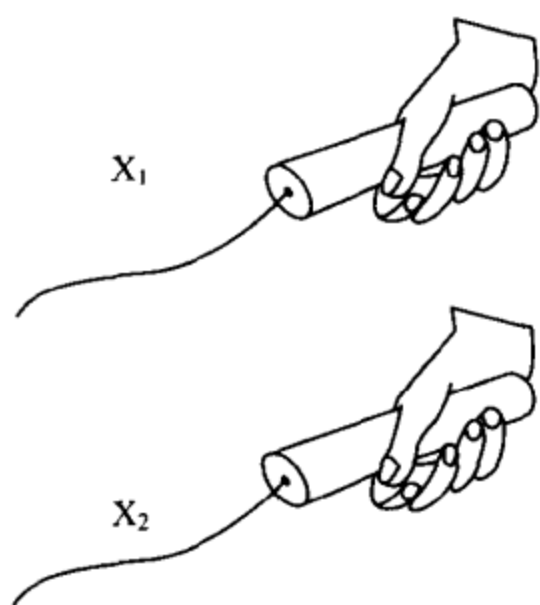


图 3.34 电极的制作

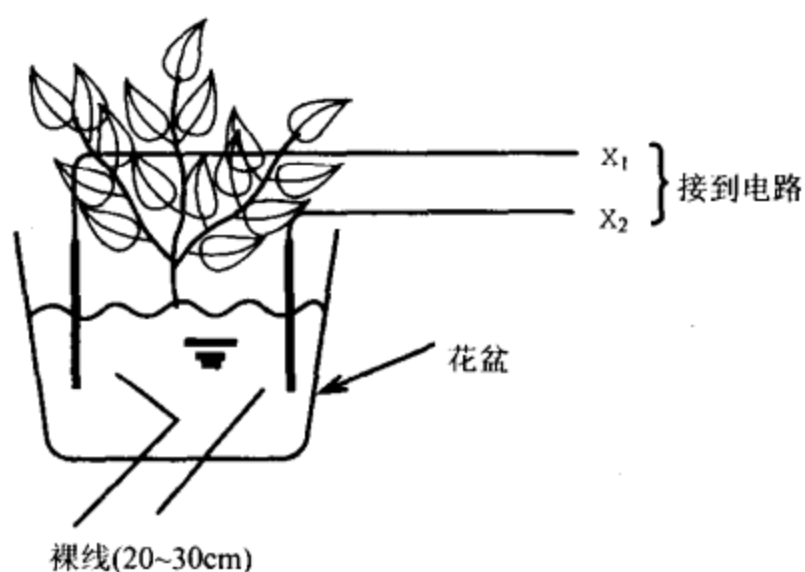


图 3.35 用植物做实验

### ■ 测试和使用

关闭  $S_1$  使电路上电,用  $P_1$  调节闪烁频率到每秒钟 1 或者 2 次(1 或者 2Hz)。这种调节需要用到你手中的电极,但不能让它们互相接触。然后,通过改变两只手中对电极施加的压力来控制闪烁的频率。

表 3.5 可视化生物反馈元器件清单

元器件	说 明
IC-1	4093 CMOS 集成电路芯片
LED <sub>1</sub> ,LED	普通 LED,红色和绿色
R <sub>1</sub>	4.7kΩ 1/4W,5%电阻,黄蓝红
R <sub>2</sub>	1kΩ 1/4W,5%电阻,棕黑红
R <sub>3</sub>	100kΩ 1/4W,5%电阻,棕黑黄
P <sub>1</sub>	100kΩ 电位计
C <sub>1</sub>	1~10μF 12V,电解电容器
C <sub>2</sub>	4700pF~0.47μF,陶瓷或金属膜电容器
C <sub>3</sub>	100μF 12V,电解电容器
S <sub>1</sub>	单刀单掷开关或滑动开关
B <sub>1</sub>	4 节 6~9V 的 5 号电池
X <sub>1</sub> ,X <sub>2</sub>	金属电极(参阅正文)
其他元器件	PCB,电池盒,塑料盒,导线,焊料等

## ■ 其他电路和创意

闪烁灯可以用许多不同的方法通过传感器测试到的皮肤电阻来进行控制。除了已经介绍的基本方法之外,这里还给出一些采用不同技术和元器件的方法。

### 1. 使用 555 IC 芯片的高功率可视化生物反馈

图 3.36 给出了一个可以驱动 6~12V 小灯泡的可视化反馈电路,比前面的驱动 LED 的基本电路要好很多。

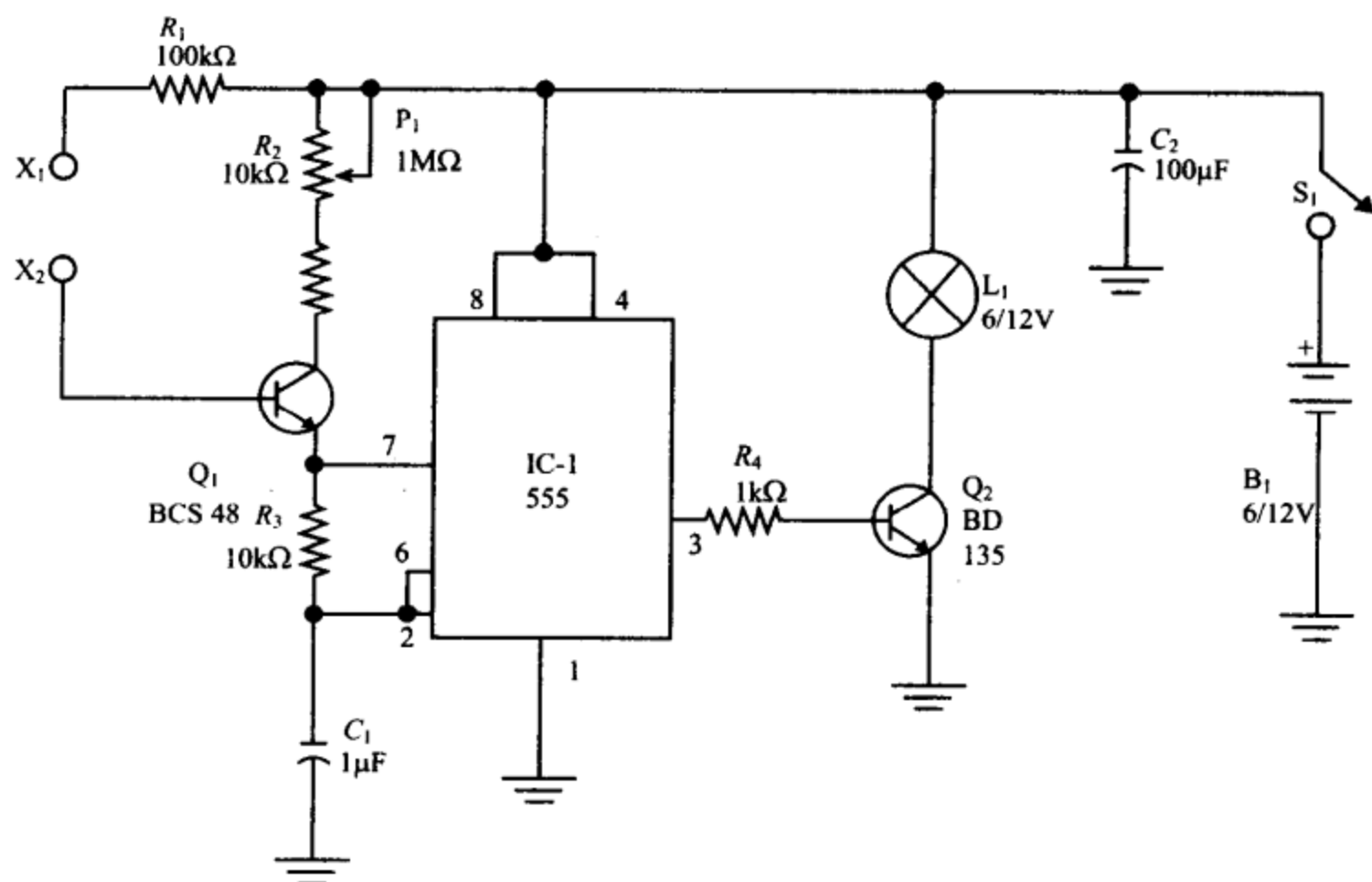


图 3.36 用 555 IC 芯片驱动可视化生物反馈电路的灯

电路中将 555 IC 芯片配置成一个非稳态的多频振荡器。频率由在电源正极和引脚 7 之间的电阻控制。

$P_1$  调节基本频率,  $Q_1$  用来作为一个根据基极电流改变阻值的可变电阻。

由于基极电流由电极( $X_1$  和  $X_2$ )之间的阻值和人体皮肤的阻值决定,很明显,灯闪烁的频率由与电极相连的人反馈信号量决定。由于晶体管的存在,电路灵敏度非常高,即使是数兆欧的电阻也会引起灯的闪烁。

当然,不止是人才能跟电极相连,动物、植物甚至鱼缸都可以。

为了控制灵敏度,可以在  $Q_1$  的基极和电路的 0 电位之间接一个  $4.7\text{M}\Omega$  的电位计。 $C_1$  决定了振荡器的中心频率,并可根据应用来改变。你可以在  $0.1\sim 10\mu\text{F}$  之间随意选择。

电路可以由 6~12V 的电池或电源供电。电源的电压决定了灯泡上的电压值。额定电流 50~300mA 的灯都可以使用。如果额定电流超过 100mA,晶体管

$Q_2$  必须装在散热片上。对于小电流的灯泡(最多 100mA),可以使用 5 号电池。对于电流更高的灯泡,如果使用电池那就必须是 2 号或者 1 号型的。

如果使用电源,必须有变压器。不能使用无变压器的电源,因为它们没有跟交流电源隔开,电极会引起严重的电击危险。

电路可以安装在 PCB 或面包板上。根据应用需要,上面那个基础项目中用到的电极可以用在这里。

可以用达林顿晶体管来替代  $Q_2$ ,比如 TIP120。将  $R_4$  增加到  $4.7k\Omega$  就足够了。这个晶体管可以在 12V 的电压下驱动额定电流最大为 4A 的灯泡。

## 2. 测试和使用

给电路供电并观察灯泡。如果电极被分离,灯泡不会闪烁。

将你的手指同时放在两个电极上同时调节  $P_1$ ,灯泡会闪烁。当你挤压电极时,你会发现闪烁频率会改变。

表 3.6 元器件清单

元器件	说 明
IC-1	555 集成电路芯片
$Q_1$	BC548 或者等效的多用途 NPN 型硅晶体管
$Q_2$	BD135 或者等效的中功率 NPN 型硅晶体管
$X_1, X_2$	电极
$L_1$	白炽灯,6~12V,最大 300mA
$R_1$	$100k\Omega$ 1/8W 电阻,棕黑黄
$R_2, R_3$	$10k\Omega$ 1/8W 电阻,棕黑橙
$R_4$	$1k\Omega$ 1/8W 电阻,棕黑红
$P_1$	$1M\Omega$ 对数或线性电位计
$C_1$	$1\mu F$ , 电解电容器或聚酯电容器(参阅正文)
$C_2$	$100\mu F$ 12V, 电解电容器
$S_1$	开关
$B_1$	6~12V 的电源或电池(参阅正文)
其他元器件	PCB 或面包板, 电池盒(可选择), 塑料盒, 导线, 焊料等

### ■ 使用荧光灯

下一个可视化的生物反馈实验将点亮一个小的荧光灯,甚至只用普通的 6V 电池(2 号或 1 号)供电。电路的效果如图 3.37 所示,与前面的实验有很大不同。

灯会间歇性地闪亮,效果类似频闪仪。间歇的频率由实验主体挤压电极引起的变化决定。图 3.38 是电路在不同条件下的波形。

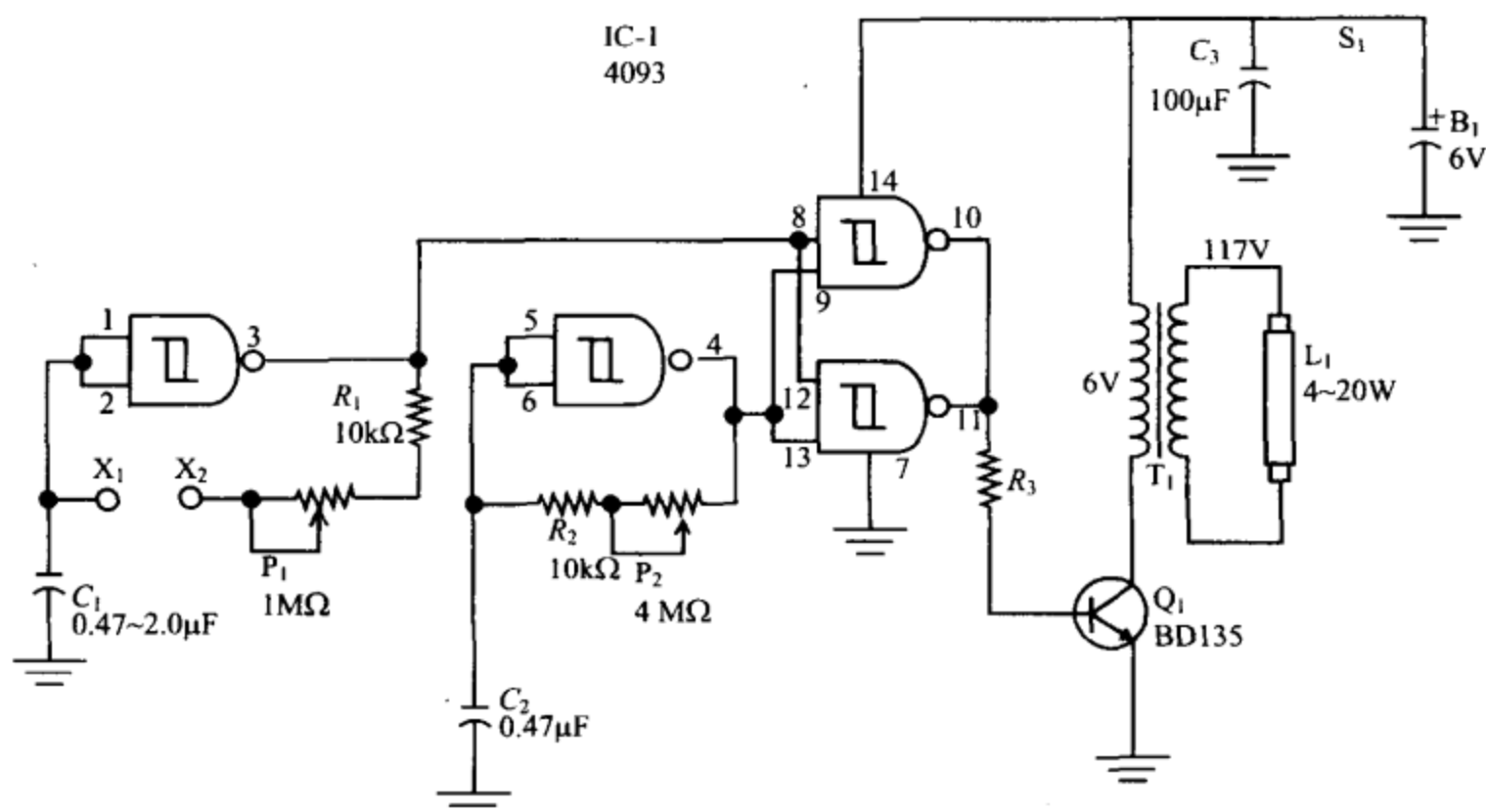


图 3.37 使用荧光灯的生物反馈电路

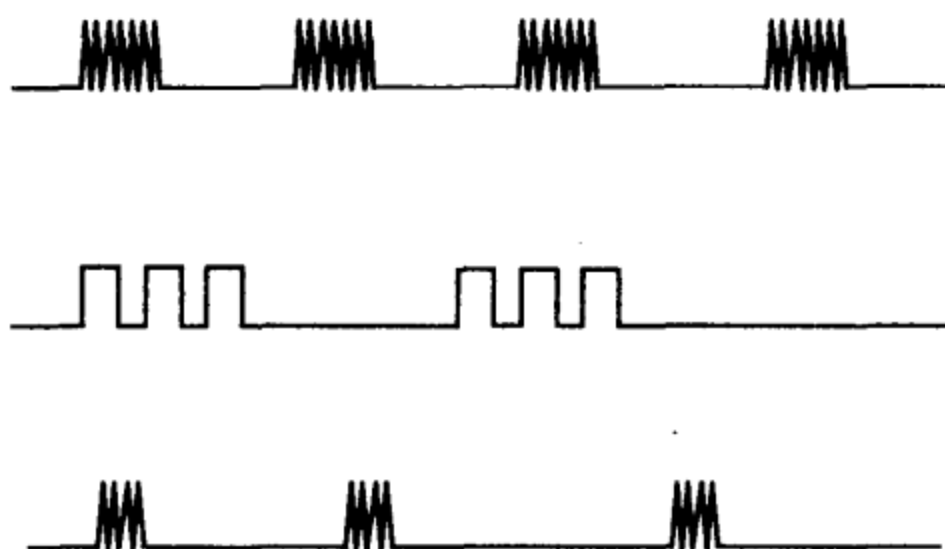


图 3.38 输入荧光灯的电压的波形

在初始的基本电路中,使用 4093 IC 芯片作为基础。但是在这种配置下使用两个门构成振荡器。

其中一个门的频率由电极  $X_1$  和  $X_2$  之间的电阻值决定,即皮肤的电阻值,如果人作为主体的话。振荡器的频率非常低( $0.1 \sim 5\text{Hz}$ ),它控制着另外一个低频的振荡器,但是频率比前者略微高点, $5 \sim 10\text{Hz}$ 。

其结果就是把一个间歇性的信号,接入到一个中功率的 NPN 型晶体管的基极,如图 3.37 所示。这个晶体管把一个变压器低压线圈作为负载,变压器次级连接在一个小荧光灯上, $4 \sim 20\text{W}$  的灯都可以。既然电路只能提供数瓦的功率,灯就

不能完全点亮。

另一个振荡器很重要,它不仅用来防止灯光产生频闪,还因为它产生的脉冲电流是在变压器次级产生高压的必要条件。

跟前面的实验一样,不要用无变压器的电源供电,电路可以安装在 PCB 或面包板上。 $Q_1$  必须安装在一个散热片上。

$T_1$  是一个任意电压的变压器,初级接交流电(117V 交流或 220/240V 交流),次级产生 6V 的电压和 200~500mA 范围内的电流。如果你想给灯提供更高的能量,那么用 12V 的电源给电路供电,同时用 TIP31 替代  $Q_1$ 。

### ■ 测试和使用

给电路供电,把手指放在电极上。电极必须隔开,但是必须在同一时间内触摸它们。随着手指的挤压和释放,对电极造成的压力会改变,灯的闪烁频率也就会跟着改变。

$C_1$  和  $C_2$  能够改变频闪效果和间歇的频率。可以根据应用,利用这些元器件尝试地做一些实验。

也可以加上对灵敏度的控制。就是在芯片引脚 1、2 及 0 电位线之间加一个 4.7M $\Omega$  电位计。电极就跟前面基本实验中的一样。

表 3.7 元器件清单

元器件	说 明
IC-1	4093 CMOS 集成电路芯片
$Q_1$	BD135 中功率 NPN 型硅晶体管
$R_1$	10k $\Omega$ 1/8W 电阻,棕黑橙
$R_2$	100k $\Omega$ 1/8W 电阻,棕黑黄
$R_3$	1k $\Omega$ 1/8W 电阻,棕黑红
$P_1, P_2$	1M $\Omega$ 对数或线性式电位计
$C_1$	0.47 $\mu$ F 或者 1 $\mu$ F, 电解电容器或聚酯电容器
$C_2$	0.047 $\mu$ F, 陶瓷电容器
$C_3$	100 $\mu$ F 12V, 电解电容器
$T_1$	变压器(参阅正文)
$L_1$	任意 4~20W 的荧光灯
$R_4$	1k $\Omega$ 1/8W 电阻,棕黑红
$S_1$	开关
$B_1$	6~12V 的电源或电池(参阅正文)
$X_1, X_2$	电极(参阅正文)
其他元器件	PCB 或面包板, $Q_1$ 的散热片, 电池盒或电源, 塑料盒, 导线, 焊料等

### 1. 连续的生物反馈

一个更好的生物反馈电路可以安装 10 个 LED, 如图 3.39 中的电路所示。

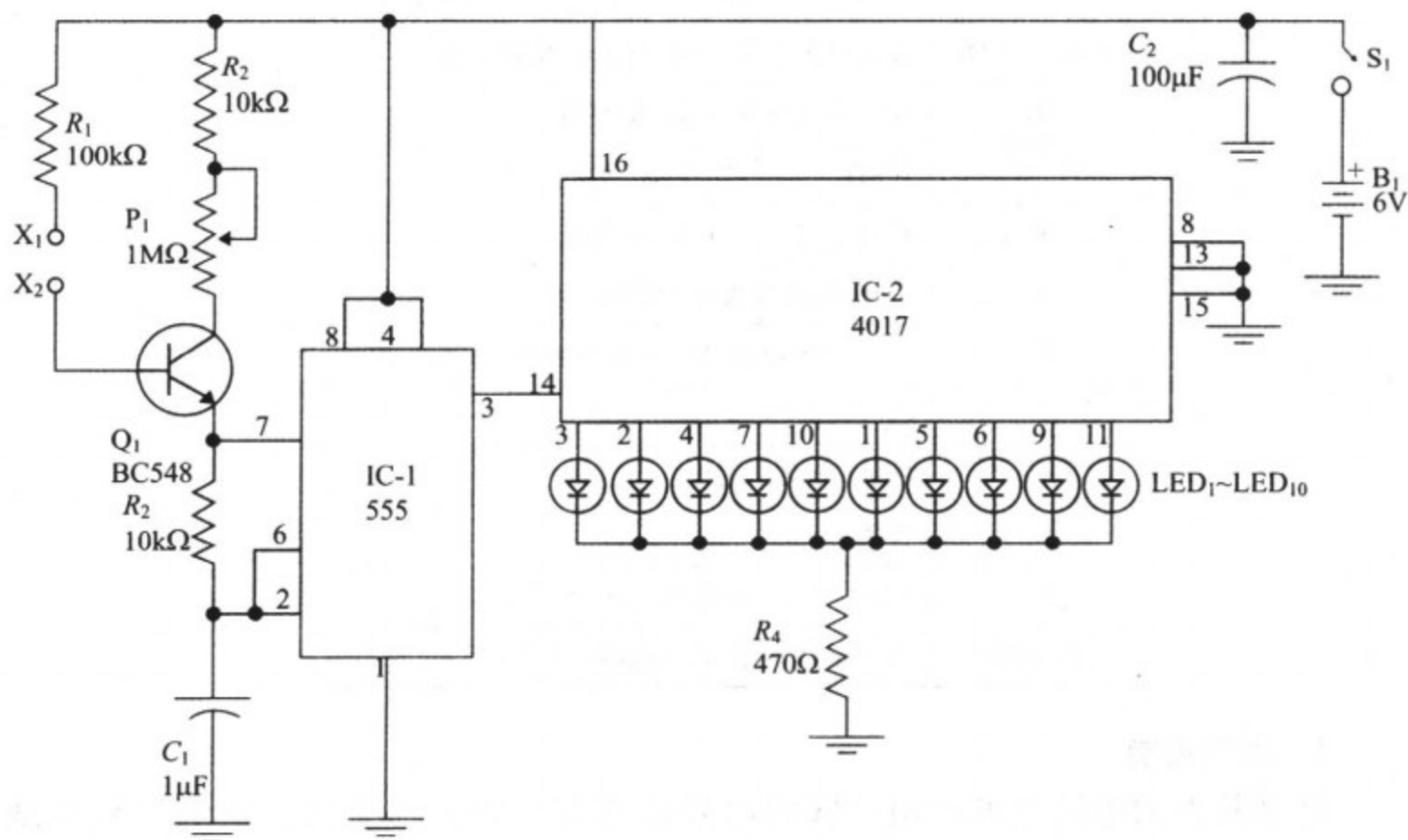


图 3.39 连续的生物反馈

LED 会按照一定的速度连续点亮, 这个速度由主体连接到电极的电阻决定。如果主体是人, 使劲挤压手指或者精神高度紧张也许可以控制 LED 的速度。

LED 的点亮速度由  $C_1$  决定。在这个实验中,  $C_1$  可以改变, 只要是  $0.1 \sim 1\mu\text{F}$  的电容器都可以。

$P_1$  根据主体的电阻值调节速度, 也可以加上一个控制灵敏度的部分, 在  $Q_1$  的基极和 0 电位线之间加上一个  $4.7\text{M}\Omega$  的电位计就可以了。

电路可以安装在 PCB 上, 也可以在面包板上搭建做实验。

#### ■ 测试和使用

给电路供电, 用手指接触电极。电极就是前面的基本电路中使用的电极。

调节  $P_1$  使 LED 按照需要的速度点亮, 然后检查挤压电极对速度的影响。现在设备就可以使用了。

表 3.8 元器件清单

元器件	说明
IC-1	555 集成电路定时器
IC-2	4017 CMOS 集成电路芯片

续表 3.8

元器件	说明
Q <sub>1</sub>	BC548 或者等效的多功能 NPN 型硅晶体管
LED <sub>1</sub> ~LED <sub>10</sub>	普通红色发光二极管(或者其他颜色)
R <sub>1</sub>	100kΩ 1/8W 电阻,棕黑黄
R <sub>2</sub> ,R <sub>3</sub>	10kΩ 1/8W 电阻,棕黑橙
R <sub>4</sub>	470kΩ 1/8W 电阻,黄蓝棕
P <sub>1</sub>	1MΩ 对数或线性电位计
C <sub>1</sub>	1μF,电解电容器或聚酯电容器(参阅正文)
C <sub>2</sub>	100μF 12V,电解电容器
X <sub>1</sub> ,X <sub>2</sub>	电极(参阅正文)
S <sub>1</sub>	开关
B <sub>1</sub>	4 节 6V 5 号电池和电池盒(参阅正文)
其他元器件	PCB 或面包板,P <sub>1</sub> 的旋钮、导线、焊料、塑料盒等

### 1. 其他创意

许多其他的电路也可以用皮肤的电阻值或者生物体产生的其他电信号控制。下面的章节里,将给出一些实验或其他项目的建议。

#### ■ 使用计算机

图 3.40 给出了一个采集接口,可以将脉冲传输到计算机的并行接口。这样,脉冲就可以用软件来测量,并可以在显示屏上将可视化的效果(颜色,形状等)展示出来。你应该能胜任该软件的编制工作。

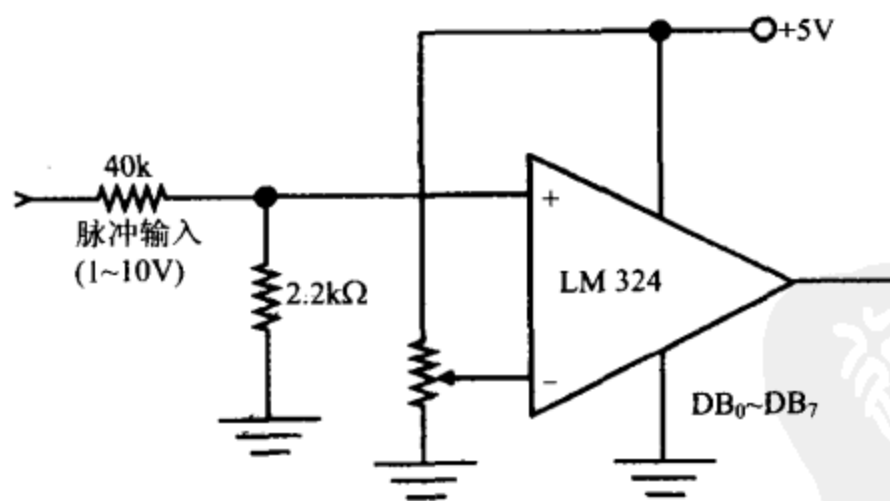


图 3.40 连接生物体和计算机的采集接口

#### ■ 其他类型的传感器

其他类型的传感器也可以用来替代连接 X<sub>1</sub> 和 X<sub>2</sub> 的金属板。图 3.41 给出了怎样用一个光敏电阻(LDR;Light-Dependent Resistor)来检测手指透明度的改变。



穿过手指的光线强度是由血压和心跳决定的。

调节电路(前面提到任何一个电路)的触发点可以实现一个由心跳控制的电路。这种方法也可以使用在动物和植物上。

另外一种传感器是二极管,用来检测温度的改变,如图 3.42 所示。

任何一种普通多用途的二极管,如 1N4148 或者 1N914,都可以用来作为温度传感器。

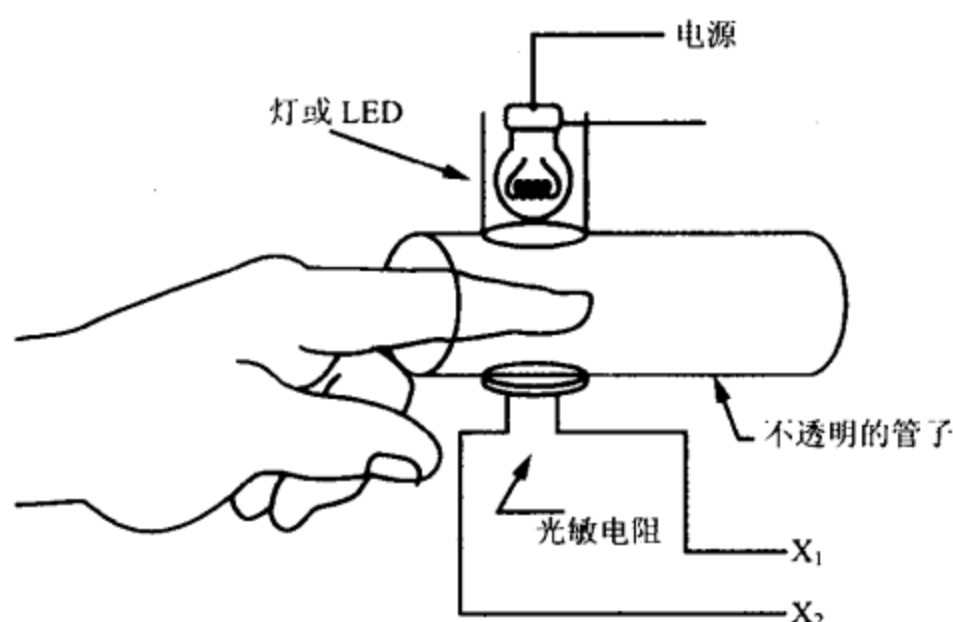


图 3.41 使用光敏电阻作为传感器

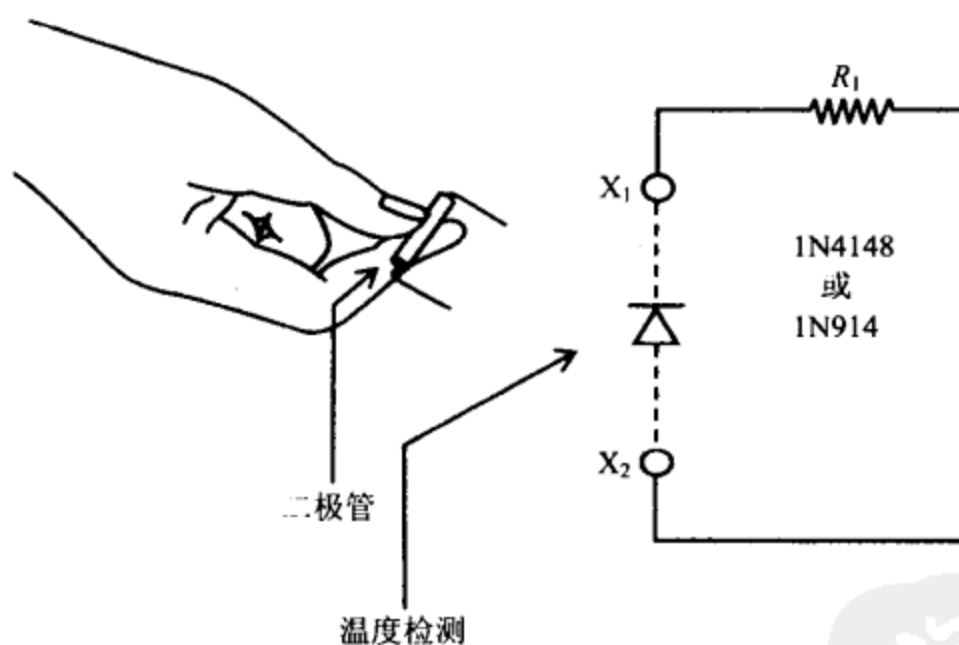


图 3.42 二极管作为温度传感器

### ■ 给一个大功率的交流电灯泡供电

既然大功率白炽灯使用交流电,那么使用这种电路的时候就有危险。为了使用高电压的灯泡做实验,必须加上一个绝缘的台子。

图 3.43 给出了怎样用本章中电路产生的脉冲来触发可控硅整流器(SCR: Silicon-Controlled Rectifier)。

任何低于 100W 的白炽灯都可以用。触发点通过  $P_1$  调节。  
SCR 必须安装在散热片上。不要触摸已通电电路上的任何元器件。

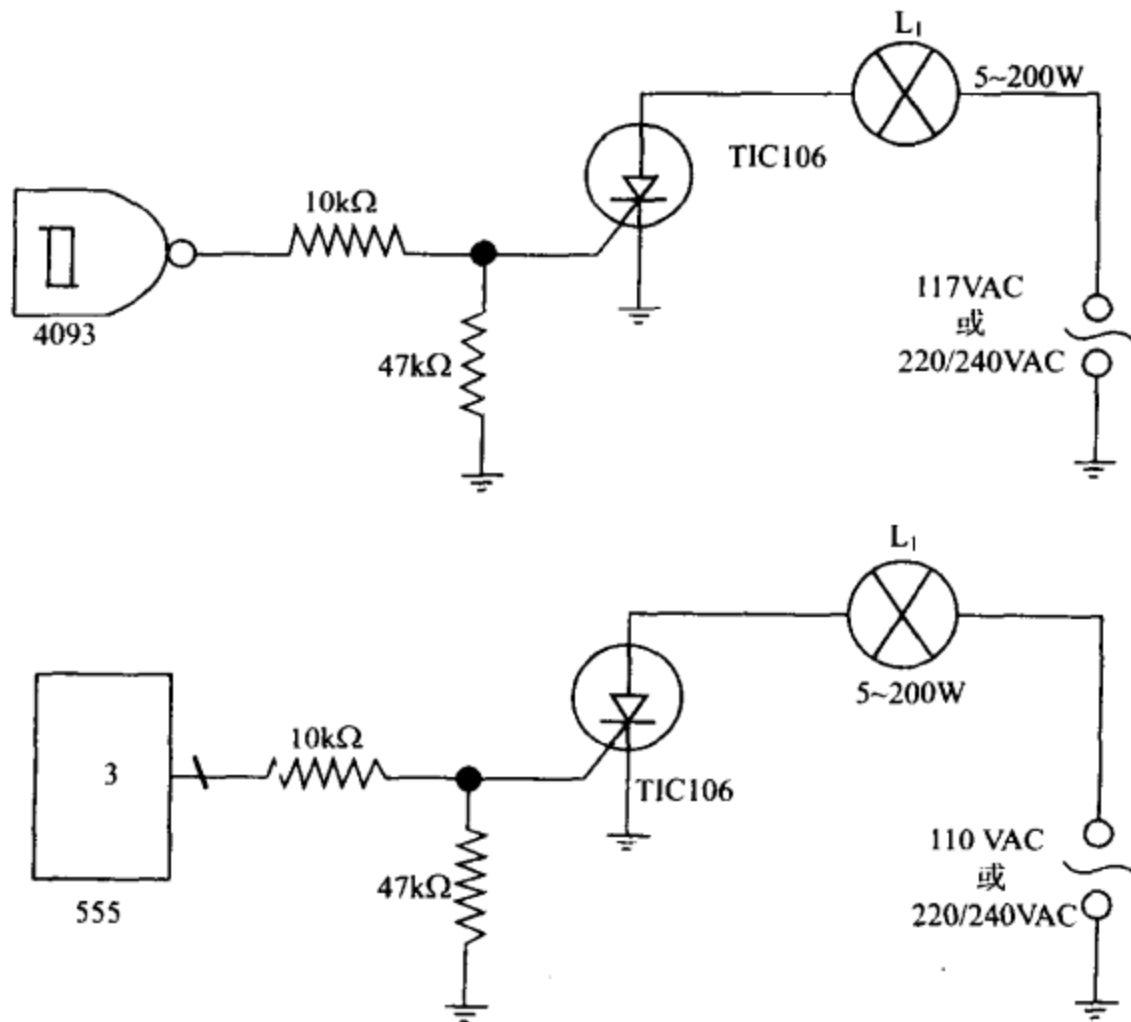


图 3.43 控制大功率交流灯

## 项目3 音频生物反馈

生命体和电子设备的交互作用,可以在基于生物反馈原理设备的帮助下很容易体现出来。正如在前一个项目可视化的生物反馈中所看到的,人和动物的训练实验也能利用音频生物反馈来完成。

本项目中,实验者通过用手指触摸电极,并控制接触的力,以使电路产生一个具有期望音质的音调或通过电路取消一个音调。

施加在电极上的压力调整,将使得振荡器改变它的频率。从而,主体能通过控制此生物反馈过程中的电极强度来变更音调。

生物反馈也就是由包括主体身体在内的闭环组成电子电路的控制。主体可能是一个人体。生物反馈是一个将控制信号引回到输入的生物闭环。

### ■ 工作原理

电路和前一个项目相同。由两个音频振荡器组成,每个都是由 4093 CMOS 集成芯片的四个门电路之一构成。4093 含有四个双输入施密特与非门,可以使用它

们固有的功能,或将其作为反相器或数字缓冲器。

第一个振荡器的频率由  $C_1$  决定,并通过  $P_1$  进行调整。它通过数字缓冲器(由前述集成电路芯片的四个门路之一构成)来驱动压电式蜂鸣器(BZ: Piezoelectric Transducer)。第二个振荡器的操作频率由  $C_2$  及主体施加在电极上的压力所决定。当电极上的压力值改变时,阻值和振荡器产生的频率也随之改变,这一点在前面已经解释过了。第二个振荡器也通过数字缓冲器来驱动相同的输出换能器(即蜂鸣器),数字缓冲器是 4093 集成电路芯片四个门路中的一个。

如果产生信号的频率都相同,蜂鸣器将不会发出声音,原因是信号被抵消了。这是主体的平衡点或零点,它能够通过控制电极上的压力值来达到。

### ■ 搭建方法

图 3.44 为音频生物反馈的原理图。实验在面包板上进行,如图 3.45 所示。

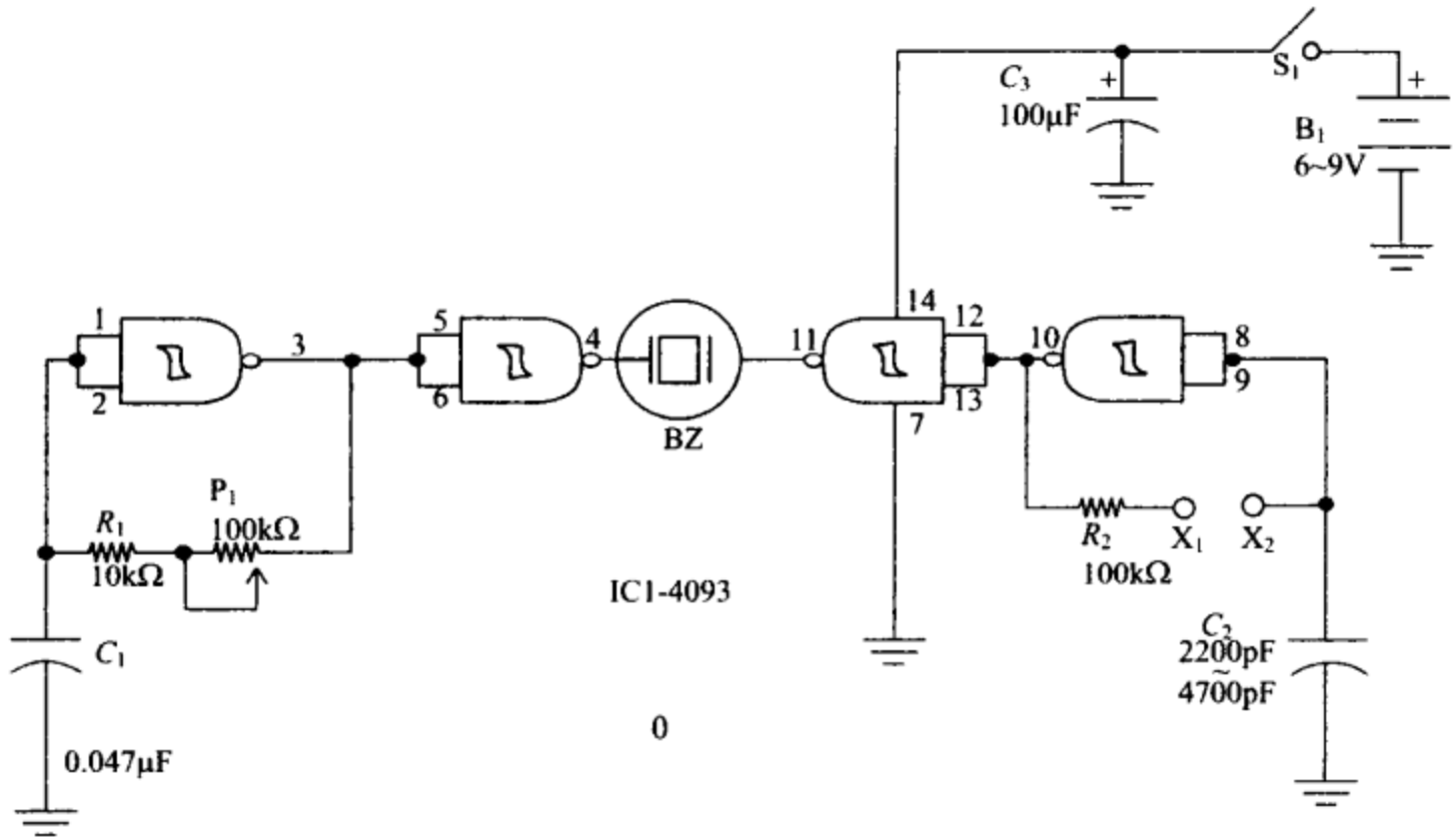


图 3.44 音频生物反馈原理图

电路由 4 节 5 号电池或 9V 的蓄电池供电。如同前面项目的视觉生物反馈,电极由两根金属棒组成。不要使用没有变压器的电源。

蜂鸣器(BZ)可以是任何一种压电类型或是一个没有内部变压器的压电高音扬声器。

电路可以很容易地内置到一个小塑料盒中,通过两根 30in 或更长的导线经  $X_1$  和  $X_2$  连接到电极上。当直接连接电极到电路或使用终端时, $X_1$  和  $X_2$  是可选的。

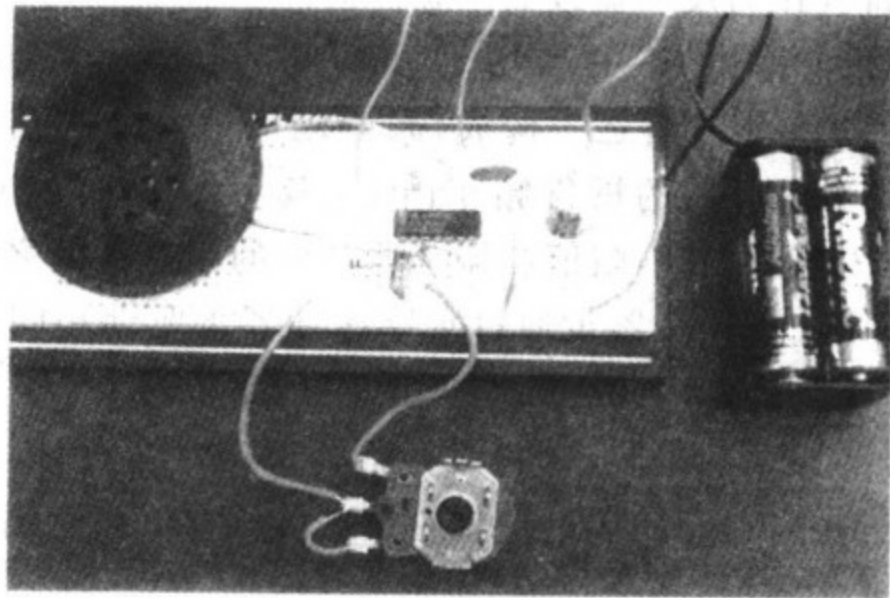


图 3.45 搭建在面包板上的电路

■ 测试和使用

用一只手对两根电极同时施加压力,用另一只手调节  $P_1$  达到一个低频音调。然后每只手拿着一根电极,试着取消或保持此音调。使用该电路进行实验时,实验者(即主体)应该通过挤压电极来控制音调。将电极可连接在不同的受体上,动物或植物。

表 3.9 音频生物反馈元器件清单

元器件	说 明
IC-1	4093 CMOS 集成电路芯片,四个施密特与非门
$R_1$	10k $\Omega$ 1/8W 电阻,棕、黑、橙色
$R_2$	100k $\Omega$ 1/8W 电阻,棕、黑、黄色
$P_1$	100k $\Omega$ 对数或线性电位计
$C_1$	0.047 $\mu$ F 陶瓷或金属薄膜电容器
$C_2$	2200~4700pF 的陶瓷电容器
$C_3$	100 $\mu$ F 12V 的电解电容器
$S_1$	单刀单掷开关或滑动开关
$B_1$	6~9V 5 号电池或蓄电池
BZ	压电蜂鸣器(参阅正文)

■ 其他电路及创意

很多不同的方法能用来控制音调,这些音调可由振荡器探测皮肤的阻值来产生,也可由监控传感器产生,或由用在动物和植物上的电极产生。除了前面所描述的基本电路,本部分将给出其他采用不同技术及元器件的方法。

1. 使用 555 IC 芯片的大功率音频生物反馈

图 3.46 所示的音频反馈装置能驱动一个小扬声器,它比基本形式所用的压电

式蜂鸣器的功率要大得多。

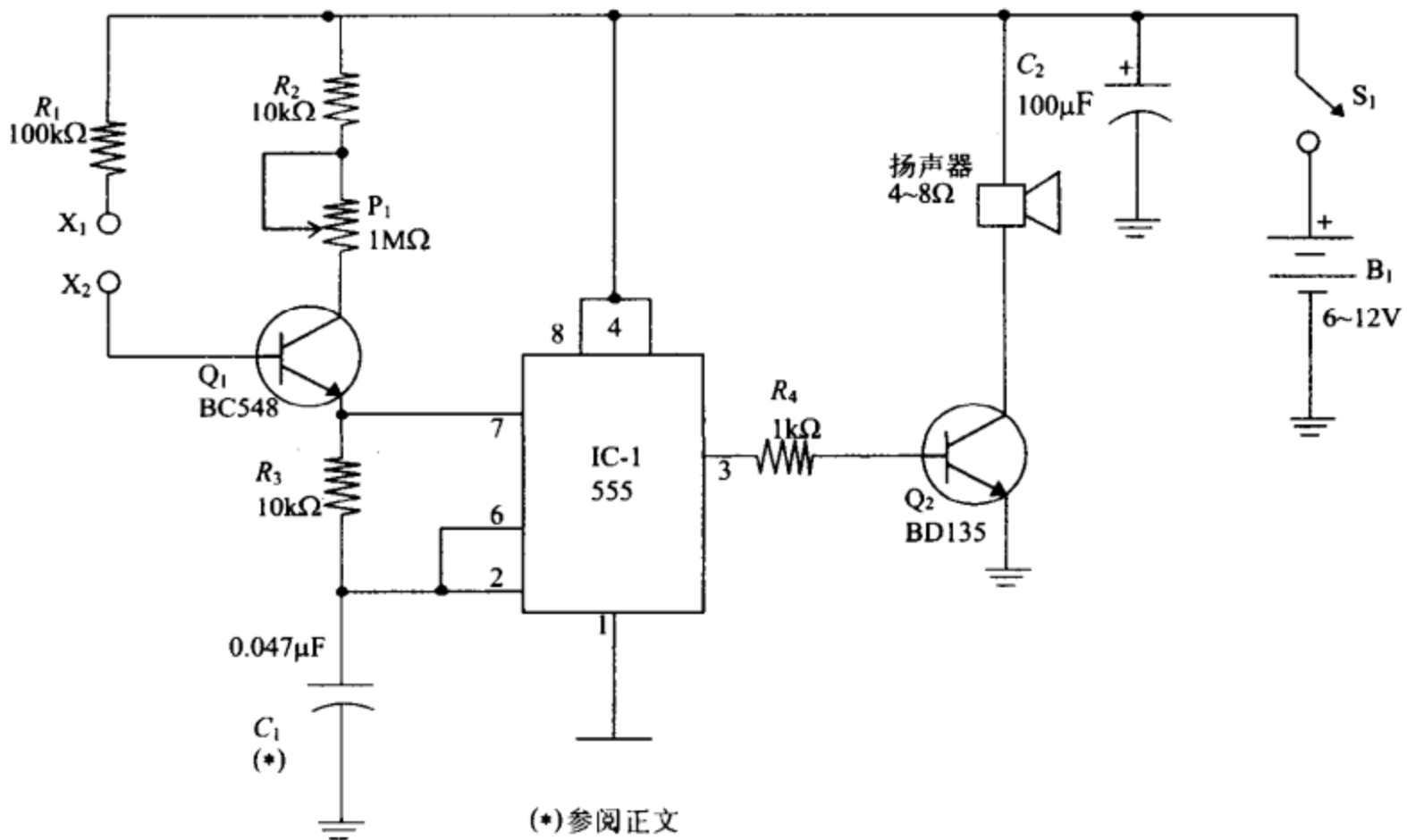


图 3.46 由 555 集成电路芯片驱动扩音器的音频生物反馈

该电路仅由一个振荡器构成,所以主体(人或动物)必须控制电路产生的音调,而不能抵消它。电路利用一块 555 集成电路芯片作为非稳态多频振荡器。电源正极和引脚 7 之间的电阻用来控制频率。

$P_1$  调节基频, $Q_1$  作为一个可变电阻,来根据基极电流的大小改变阻值。因为基极电流依赖电极( $X_1$  和  $X_2$ )间的阻值,并由主体的皮肤确定。很显然,扬声器产生的频率依赖于连接在两电极间人体的反馈量。

由于晶体管的存在,此电路非常敏感,甚至数兆欧姆的电阻值,也会使电路产生可以听得见的声音,包括滴答声。当然,不仅是人可以连接到电极上,动物、植物甚至鱼缸也可以用于实验。

为了控制灵敏度,在  $Q_1$  的基极与电路 0V 接地端之间,连接一个  $4.7\text{M}\Omega$  的电位计。

$C_1$  决定了振荡器的中心频率,并可根据实际应用进行改变。实验时,你可以在  $0.47\sim 100\mu\text{F}$  之间随意选值。

电路可由电池或电压在  $6\sim 12\text{V}$  之间的电源提供能量。使用  $9\text{V}$  以上的电源时,晶体管  $Q_2$  必须安装在散热片上。若使用电源,必须有变压器。不要使用没有变压器的电源,因为它们和交流电线是不绝缘的,电极可能导致严重的后果。

本电路可以用一块 PCB 或面包板来搭建,电极与前述项目中的相同,随具体

应用而定。

可以用一个达林顿功率晶体管来替代  $Q_2$ ，如 TIP120。它能带动一个大功率扬声器。因此，将  $R_4$  增大到  $4.7k\Omega$  是必需的。

### ■ 测试和使用

测试的第一步是给电路通电。如果两个电极是分开的，扬声器将不会产生声音。或许能听得到一些随机的滴答声，这是由于晶体管中部分电流损失而造成的。

如果同时将手指放在两个电极上，并调节  $P_1$ ，扬声器将产生一个音调。当对电极施加压力时，就会听到音调的变化。

表 3.10 元器件清单

元器件	说 明
IC-1	555 集成电路芯片
$Q_1$	BC548 或等效的 NPN 多功能硅晶体管
$Q_2$	BD135 或等效的 NPN 中功率硅晶体管
$X_1, X_2$	电极
SPKR	$4\sim 8\Omega, 5\sim 15\text{cm}$ 的扬声器
$R_1$	$100k\Omega$ $1/8\text{W}$ 电阻, 棕、黑、黄
$R_2, R_3$	$10k\Omega$ $1/8\text{W}$ 电阻, 棕、黑、橙
$R_4$	$1k\Omega$ $1/8\text{W}$ 电阻, 棕、黑、红
$P_1$	$1M\Omega$ 对数或线性电位计
$C_1$	$0.047\mu\text{F}$ 陶瓷或聚酯电容器(参阅正文)
$C_2$	$100\mu\text{F}$ $12\text{V}$ 电解电容器
$S_1$	开关
$B_1$	$6\sim 12\text{V}$ 电源, 蓄电池或电池组(参阅正文)
其他元器件	PCB 或面包板, 电池盒(可选), 塑料盒, 导线, 焊料等

### 1. 一种间歇电路

音频生物反馈的下一个变形是由电极控制能产生间歇声音的电路，如汽笛声。从图 3.47 可以看出，该电路将产生与前述的电路大不相同的效果。

扬声器将以某一速率发出嘟嘟的声音，此速率取决于施加在电极上的压力。图 3.48 是该电路在不同条件下产生的波形。

电路基于最初形式中的 4093 集成电路芯片，但有两个门作为振荡器使用。其中一个的频率依赖于电极  $X_1$  和  $X_2$  之间阻值大小。如果主体是人的话，就是皮肤的阻值。该振荡器以很低的频率( $0.1\sim 5\text{Hz}$  之间)运行，并控制另一振荡器也以低频运行，但此频率稍高一些，在  $500\sim 1000\text{Hz}$  之间。

结果是产生一间歇信号，并施加到一个中等功率的 NPN 晶体管基极。晶体管

的负载就是扬声器。

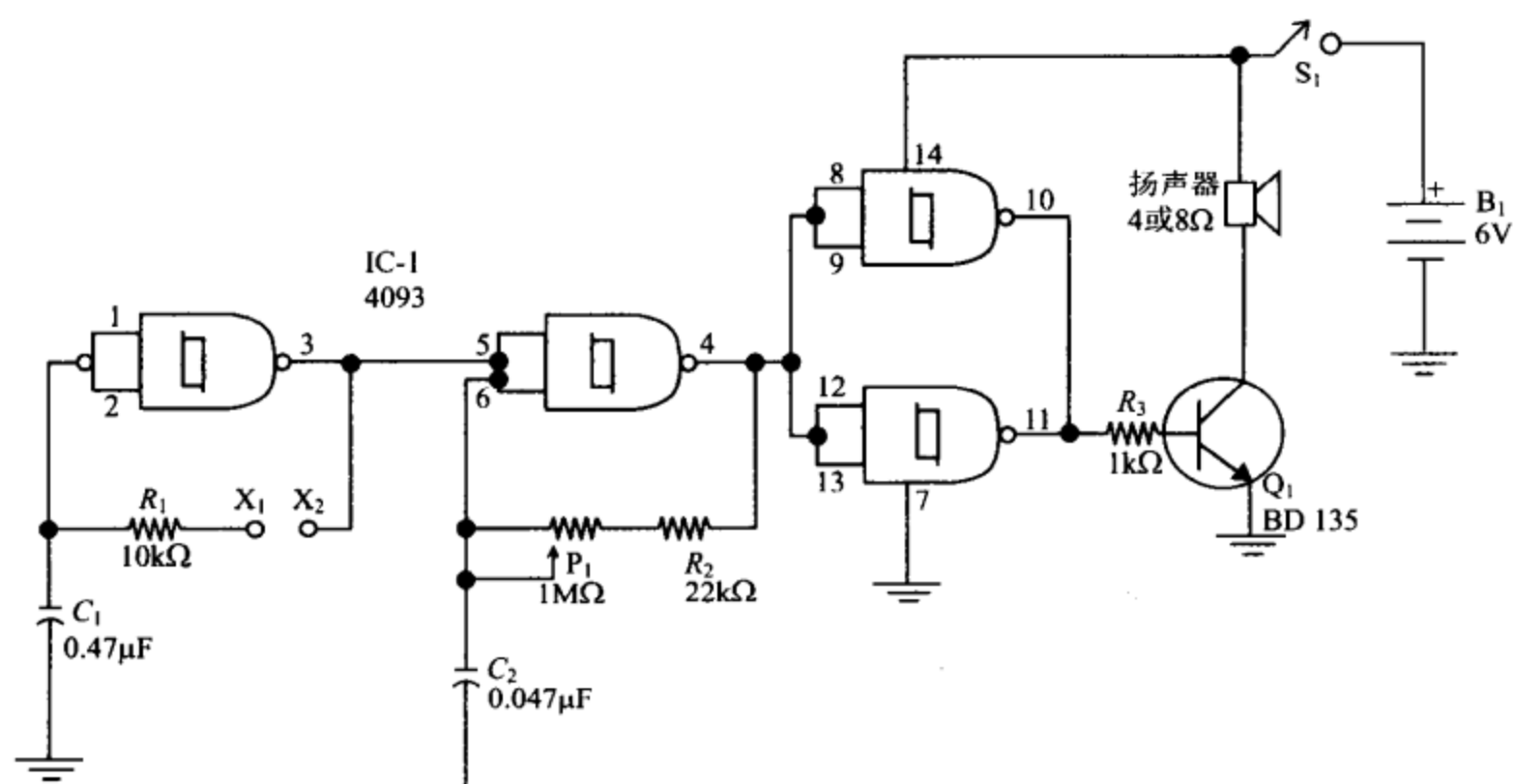


图 3.47 生物反馈产生间歇声音

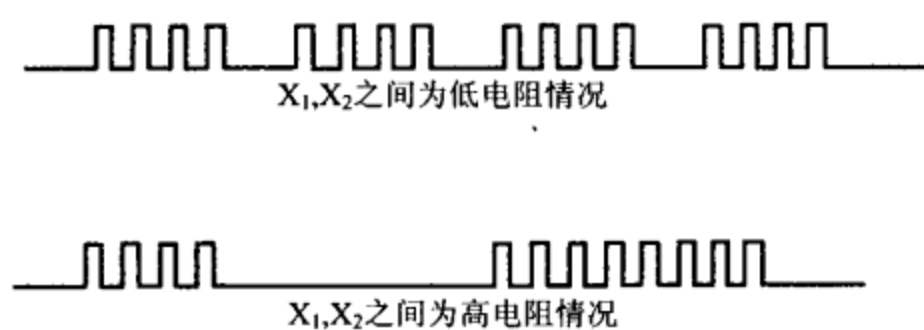


图 3.48 加在扬声器上的电压波形

声音的大小依赖于电源电压和扬声器本身。电源将提供 200mW~1W 的功率。如前所述,不要在电路中使用没有变压器的电源。

电路可以搭建在印制电路板或面包板上,  $Q_1$  必须安装在散热片上。

如果想使声音更大,请在电路中使用 12V 的电源,并用 TIP31 代替  $Q_1$ 。

### ■ 测试和使用

接通电路,并将手指放在电极上。电极必须是分开的,但你必须同时接触它们。只要压紧或放松手指,改变施加在电极上的压力,声音将随之改变。

音调及间歇的频率都可以通过替换  $C_1, C_2$  来改变。根据应用试着用这些部件来进行试验。

还可以增加一个灵敏度控制。在集成电路芯片的引脚 1、2 和接地端之间,用一个 4.7MΩ 的电位计就可以了。电极同基本电路中的相同。



表 3.11 元器件清单

元器件	说明
IC-1	4093 CMOS 集成电路芯片
Q <sub>1</sub>	BD135 NPN 中功率硅晶体管
R <sub>1</sub>	10kΩ 1/8W 电阻, 棕、黑、橙
R <sub>2</sub>	22kΩ 1/8W 电阻, 红、红、橙
R <sub>3</sub>	1kΩ 1/8W 电阻, 棕、黑、红
P <sub>1</sub>	1MΩ 对数或线性电位计
C <sub>1</sub>	0.047μF 或 1μF 聚酯或电解电容器
C <sub>2</sub>	0.047μF 12V 聚酯或电解电容器
SPKR	4Ω 或 8Ω 5~10cm 的小扬声器
S <sub>1</sub>	开关
B <sub>1</sub>	6V 电源, 蓄电池或电池组
X <sub>1</sub> , X <sub>2</sub>	电极(参阅正文)
其他元器件	PCB 或面包板, 与 Q <sub>1</sub> 相配的散热片, 电池盒或电源, 塑料盒, 导线, 焊料等

### 其他创意

一些不同的方法中, 生物体(如人)和电路之间的交互作用可以采用不同的方式体现出来。本部分将介绍关于交互的一些其他建议。

#### 1. 使用计算机

图 3.49 所示是一个采集接口, 它可以将脉冲传输到一台计算机的并行接口。该脉冲可以用软件测量, 并作为可视化效果(颜色、形状等)显示在屏幕上。你应该能胜任此项软件的编制工作。

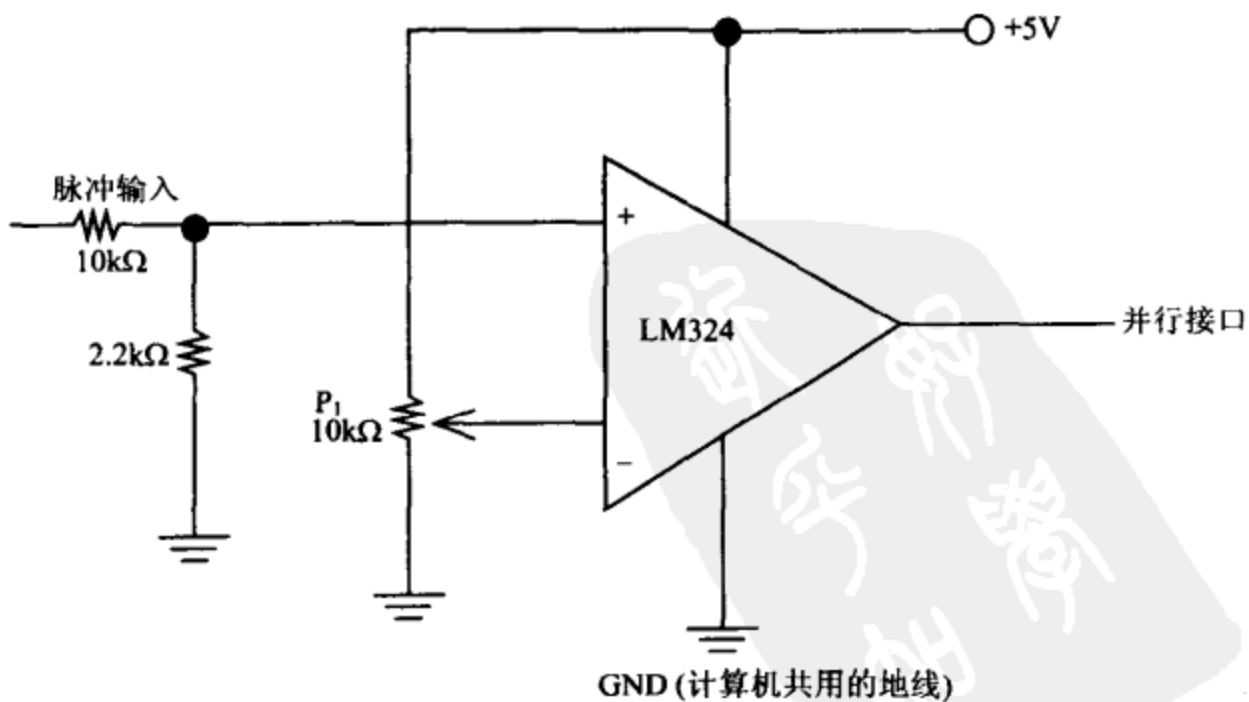


图 3.49 计算机输入接口

## 2. 其他类型的传感器

也可以使用其他形式的传感器,来代替  $X_1$  和  $X_2$  的金属棒。

如图 3.50 所示,LDR 可以用来检测手指透明度的改变。穿过手指的光线强度取决于人体的血压和心跳。

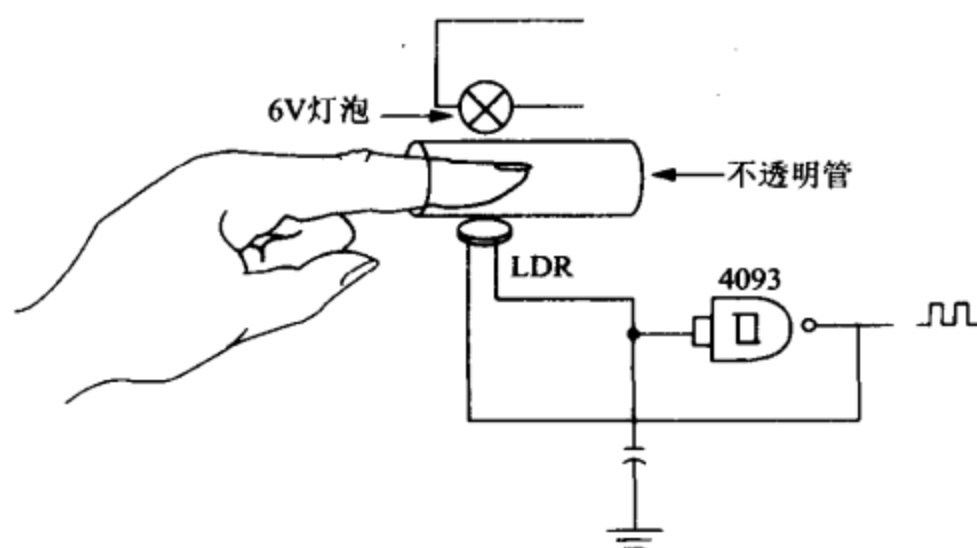


图 3.50 利用光敏电阻作为传感器

调节电路(任何形式)的触发点,可以利用人的心跳来控制电路。这种结构也可以用在动物和植物上。

## 3. 提高性能并更深入了解电路

以下是提高电路性能的一些思路,它可帮助你更深入地了解电路的特性。

- 将  $X_1$  和  $X_2$  连接到电极上,用生物体(如植物)进行实验,并检测它们行为的生理变化。

- 用不绝缘的铜线代替电极,并将它们插入到鱼缸中。鱼能改变声音的频率吗? 进行涉及这个主题的实验。

- 解释为什么随着电极上压力的改变,皮肤的阻抗值会发生变化。

- 专心策划一些实验,如使用电路测试瑜伽、催眠状态。切记:此种实验必须在专业人员的指导下进行。

- 呼吸、心率及血压在紧张的活动之后将趋于加快或升高。你能从产生的音调来确定压力对皮肤阻抗的影响。将压力考虑进去,对一个有紧迫感的主体进行实验,来产生音调。

- 上述电路也能用作多种波动描记器,即测谎仪。由任何一个危及安全的问题引起的压力而导致皮肤阻值变更,将会改变电路的音调。

- 用两根导线作为电极,你能检测到液体电导率的变化,这涉及化学作用。

- 输出到蜂鸣器的信号连接到示波器上,可以得到视觉上的反馈,或可以对这种现象进行视觉分析。将集成电路芯片的第 4 引脚连接到示波器的水平输入端(外部同步),将第 10 引脚引入到垂直输入端。

- 对电子学经验丰富的读者,可以将电路连接到一个大功率的音频放大器,

来进行产生较大声音的实验。

## 项目4 神经刺激器

仿生学的一个重要观点就是生物体能传导电流。这意味着可通过电流刺激生物体来监控它们的反应,在这方面有很多实验可以做。

本项目将重点研究电刺激生物体的实验,尤其是那些有神经系统的动物,如哺乳动物(包括人)、鱼、昆虫等。当然,电路也可用来刺激其他生物体,如植物、微生物等。仿生学电路的应用可以由你任意发挥。

神经刺激器包含一个由电池组供电的高压发生器。电路本身非常简单,没有关键的部件或调节器。这里需要强调的是,电路不能直接连到交流电源!这意味着,尽管电路能产生高于 200V 的峰值电压,你会经受强烈的电击,但不是致命的。

当然,建议你在没有成人或老师等能降低电击风险的人在场时,不要对他人使用此装置。而且,该电路决不能用在带起搏器或有心脏病的人身上。

### ■ 仿生学实验

可以利用本项目做很多实验:

- 你可利用电路来证实人体神经系统对感受不同电压的反应。
- 对生命体进行实验,如鱼缸中的鱼,可以了解如何通过调节电场来改变它们的习性。
- 在实验室内通过刺激植物和其他生物体,可以观察它们的生理节奏和常规行为是如何改变的。
- 通过实验可以测试能否由神经刺激来控制人的疼痛感,当然,这必须在专家的指导下进行。
- 利用此电路可以用来诱捕昆虫。

### ■ 电子电路

没有专用电路,直接将低压直流电转换为高压直流或交流电是不可能的。这种专用电路被称为反用换流器,它的应用非常普遍,如由普通电池组或汽车蓄电池驱动的荧光灯中都使用了它。

为了将低压直流电(DC: Direct Current)转换成高压交流电(AC: Alternating Current),推荐使用的配置是变压器。但为了驱动变压器,必须将直流转换为脉冲电流或交流。在用直流电时,变压器不起作用。

因此,用直流电源连接到变压器时,中间必须有一个电子电路。如图 3.51 所示。

振荡器产生方波电流脉冲,将其加到功率晶体管的基极,经放大后输出到一个小变压器的低压线圈中。

在变压器的次级线圈,出现了一个高于 200V 的峰值高压,它足以刺激包括人在内的生命体。为了控制作用在生物体上的电压,使用了一个电位计进行分压。同时霓虹灯显示产生了一个高压。

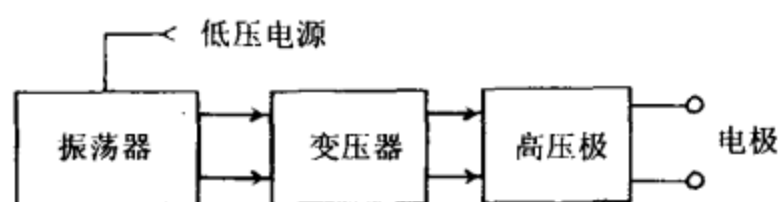


图 3.51 神经刺激器结构图

振荡器的频率能通过电位计和选择调速电容器( $C_2$  或  $C_3$ )来改变。也就是说仿生学的研究人员在分析后,能选择作用到生物体的信号类型。

当  $S_2$  连接  $0.047\mu\text{F}$  的电容器后,通过调节  $P_1$ ,电路将产生一个大约在  $100\sim 3000\text{Hz}$  之间的高频信号。

当  $S_2$  连到  $1\mu\text{F}$  的电容器时,电路会产生一个在  $0.1\sim 3\text{Hz}$  的低频脉冲,霓虹灯也随之闪烁。如果实验需要不同的频率范围,你可以自由改换电容器。

霓虹灯是最好的高压显示器,原因是只有当通过它的电压超过  $80\text{V}$ (典型情况)时,才会发光。霓虹灯发光时,只消耗很少的功率,不会影响电路产生的高压值。

电源由 4 节干电池组成电池组。为了最大程度上的自给,推荐使用 2 号或 1 号电池。根据项目中所用变压器的特性,电路的消耗电流在  $100\sim 300\text{mA}$  之间。

### ■ 搭建方法

图 3.52 所示是神经刺激器的基本形式。

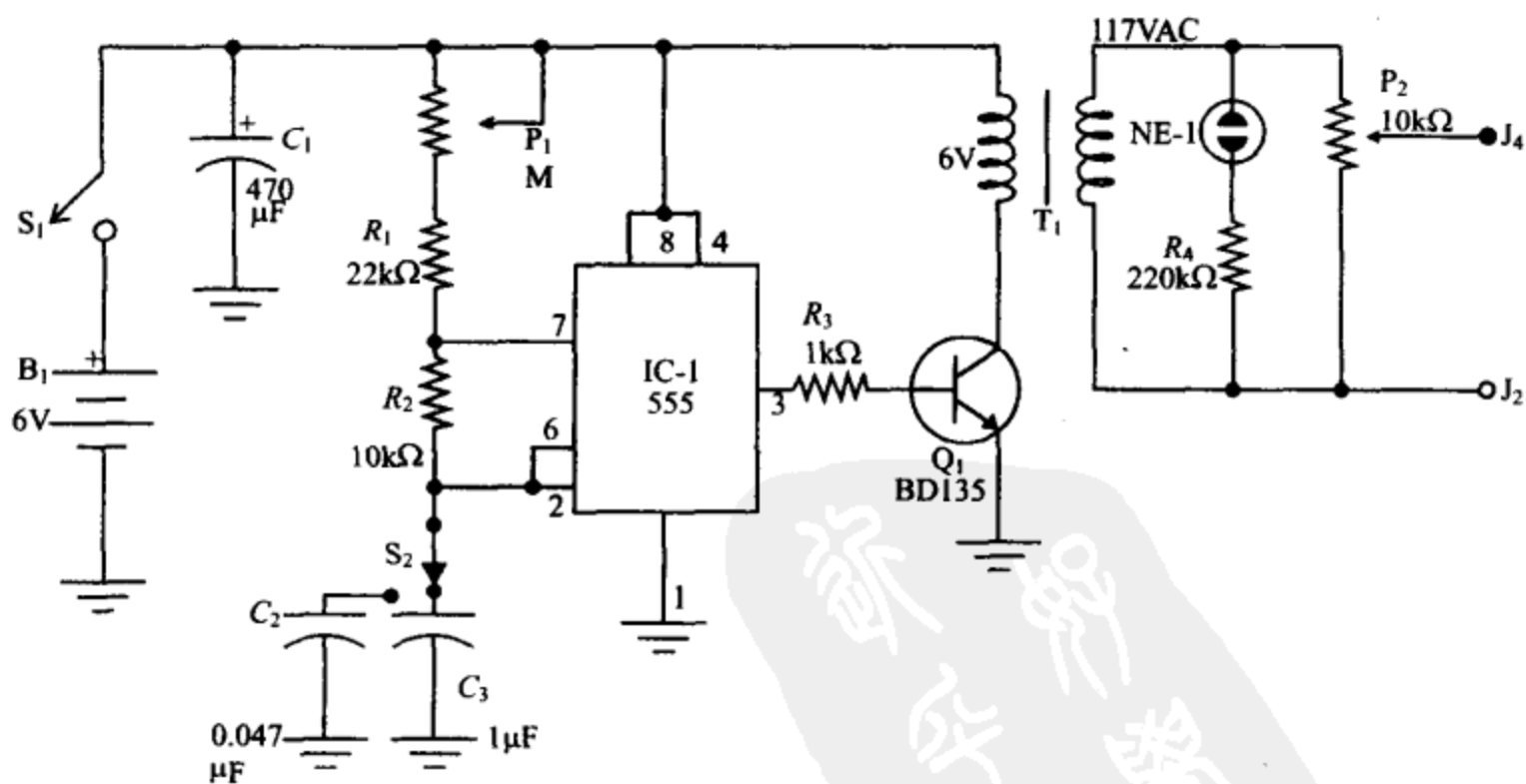


图 3.52 完整的神经刺激器原理图

该项目的制作可以利用印制电路板或面包板。图 3.53 所示是推荐使用的印制电路板样式。

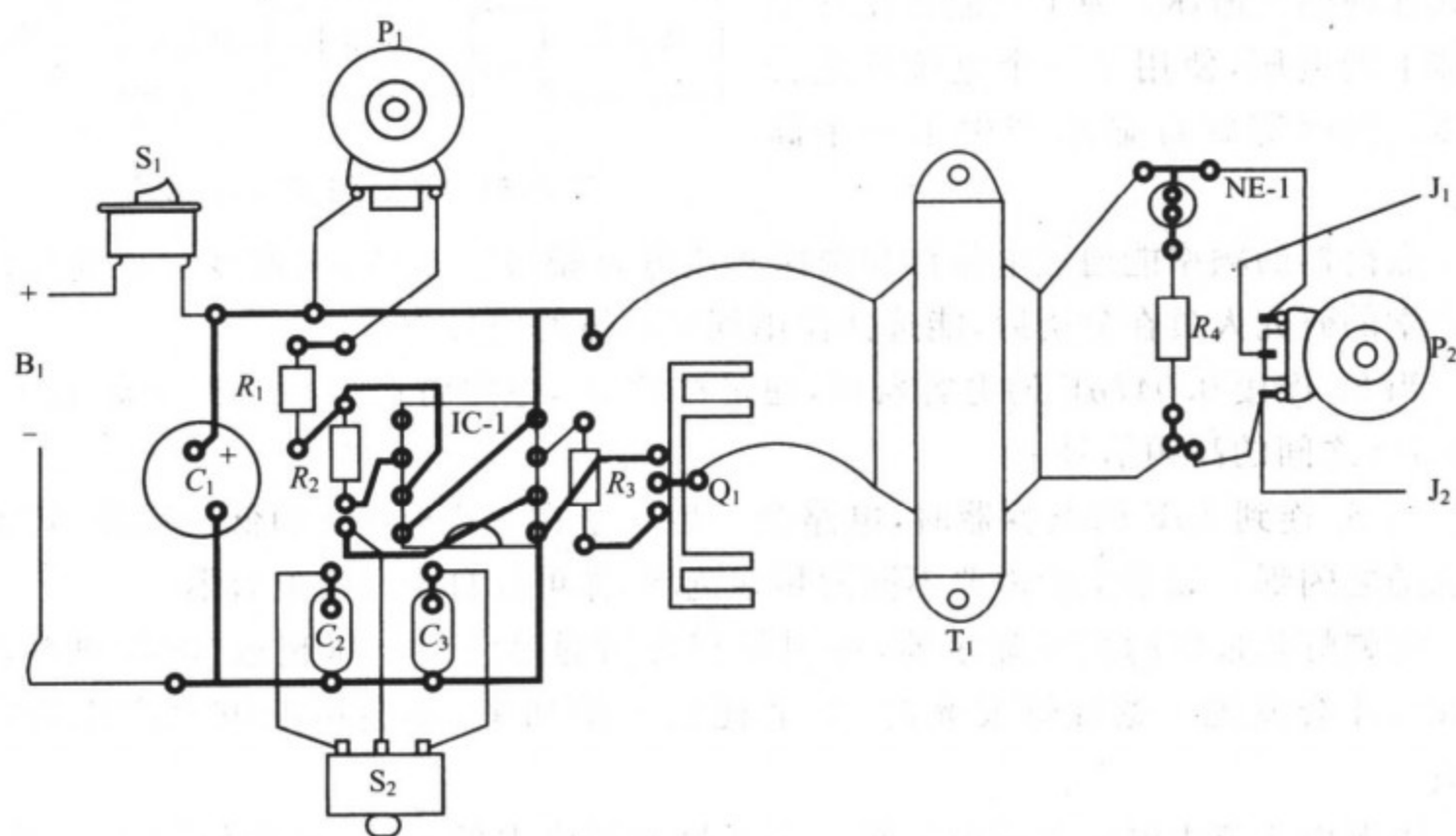


图 3.53 神经刺激器的印制电路板

图 3.54 为搭建在面包板上的电路。如果单纯是实验的话,这就是最好的电路搭建方式。

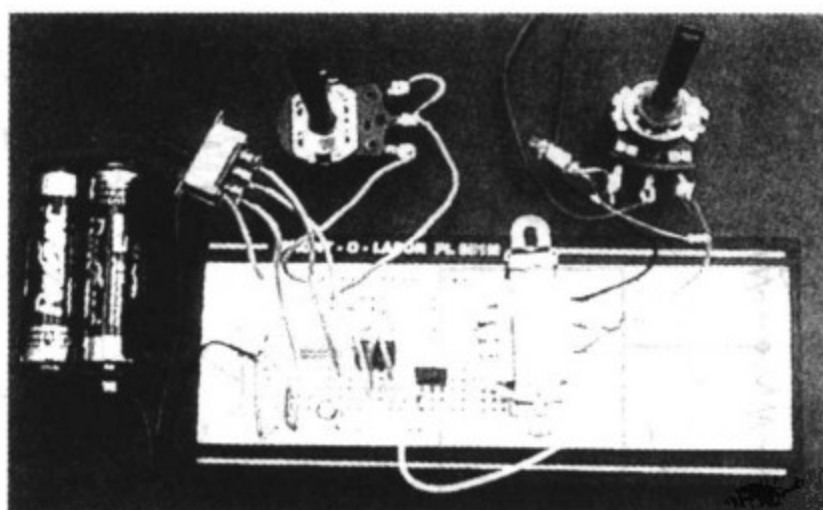


图 3.54 搭建在面包板上的电路

变压器是此项目中唯一的关键部件。可以使用任意形式的小型变压器,只要初级线圈额定输入为交流电,次级线圈额定电压为 5~6V,电流为 100~500mA 即可。最终结果即最大输出电压,将取决于这些部件,所以我推荐你使用一个以上的变压器。

探头视实验而定。图 3.55 示出几种探头,应根据具体实验选用不同的探头。

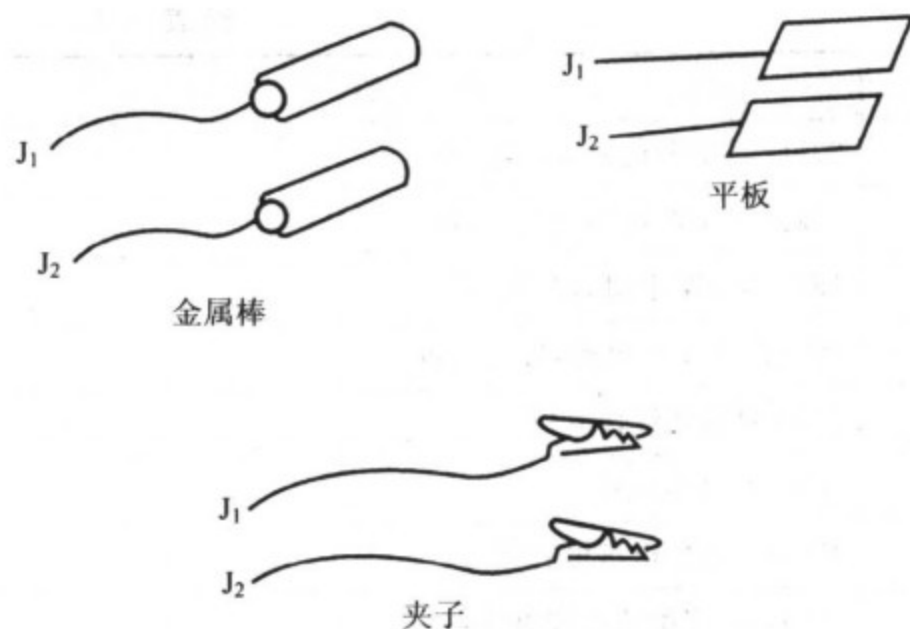


图 3.55 神经刺激器采用的一些探头

### ■ 测试和使用

测试非常简单,尤其当你是一位勇敢的读者时。

首先,将电池安装到电池盒中,并闭合开关  $S_1$ 。闭合  $S_2$  使其连通  $C_3$ ,调节  $P_1$ ,你将看到霓虹灯亮并开始闪烁。如果霓虹灯显示已经产生了高压,你就可以进行下一步了。

将电位计  $P_2$  设置在最小输出电压的位置,并保持两根导线连接在你的两根手指,如图 3.56 所示。

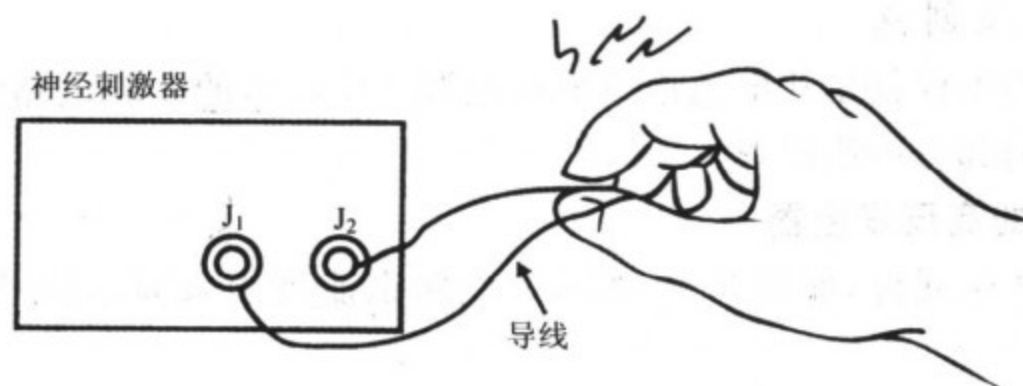


图 3.56 高压测试

开始你会有轻微的感觉,逐渐会感到不舒服,接着是疼痛的电击。当然,这只是电路所能做的一个尝试而已。

使用电路时,每一次应从电位计  $P_2$  的最小值开始。在调节输出之前,不要闭合电路。

表 3.12 元器件清单

元器件	说明
IC-1	555 集成电路芯片,定时器
Q <sub>1</sub>	TIP31(A、B 或 C) NPN 硅功率管

续表 3.12

元器件	说 明
$R_1$	22k $\Omega$ 1/8W 电阻, 红、红、橙
$R_2$	10k $\Omega$ 1/8W 电阻, 棕、黑、橙
$R_3$	1k $\Omega$ 1/8W 电阻, 棕、黑、红
$R_4$	220k $\Omega$ 1/8W 电阻, 红、红、黄
$P_1$	1M $\Omega$ 对数或线性电位计
$P_2$	10k $\Omega$ 线性电位计
$C_1$	470 $\mu$ F 12V 电解电容器
$C_2$	0.047 $\mu$ F 聚酯或陶瓷电容器
$C_3$	1 $\mu$ F 聚酯或电解电容器
$S_1$	开关
$S_2$	单刀双掷开关(SPDT; Single-Pole Double-Throw)
$T_1$	变压器(参阅正文)
$B_1$	一个 6V, 或 4 节 2 号或 1 号电池, 电池盒
NE-1	Ne-2H 型霓虹灯
$J_1, J_2$	输出插头
其他元器件	塑料盒, PCB 或面包板, 塑料盒, $P_1$ 和 $P_2$ 的旋钮, 探头等

### ■ 其他电路及创意

这里给出的不仅仅是从电池组或低压电源产生高压的实验电路结构。其他形式会在接下来的部分中给出。

#### 1. 最简单的高压发生器

仅仅使用 4 个元件, 如图 3.57 所示的电路也能被用来演示神经刺激, 或做一些电击实验。

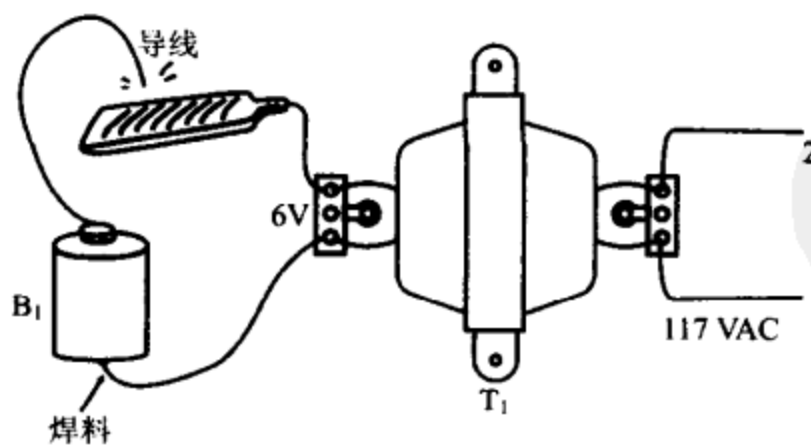


图 3.57 最简单的神经刺激器

在锉刀上摩擦导线头, 使电流流过变压器的低压端, 便可产生脉冲电流。这样, 在次级线圈内会有高压电流产生。



当然,这是产生高电压的唯一方式。若摩擦后使导线和锉刀一直保持接触,将不会产生高电压,原因是通过电路的电流没有变化。如同在基本形式中一样,增加一个电位计和一盏霓虹灯,可以来监控输出电压。

表 3.13 元器件清单

元器件	说明
T <sub>1</sub>	变压器,与基本形式中的相同
B <sub>1</sub>	1到4个2号或1号电池
X <sub>1</sub>	平锉刀
X <sub>2</sub>	电极,与基本形式中的相同
其他元器件	导线,电池盒(可选),焊料等

## 2. 使用一个晶体管的高压发生器

图 3.58 是另一种由普通电池产生高压的电路。它在晶体管 Q<sub>1</sub> 周围设置了一台哈特利振荡器。频率由 LC 调频电路决定,其中 L 为变压器 T<sub>1</sub> 的次级线圈,C 指 C<sub>2</sub>。

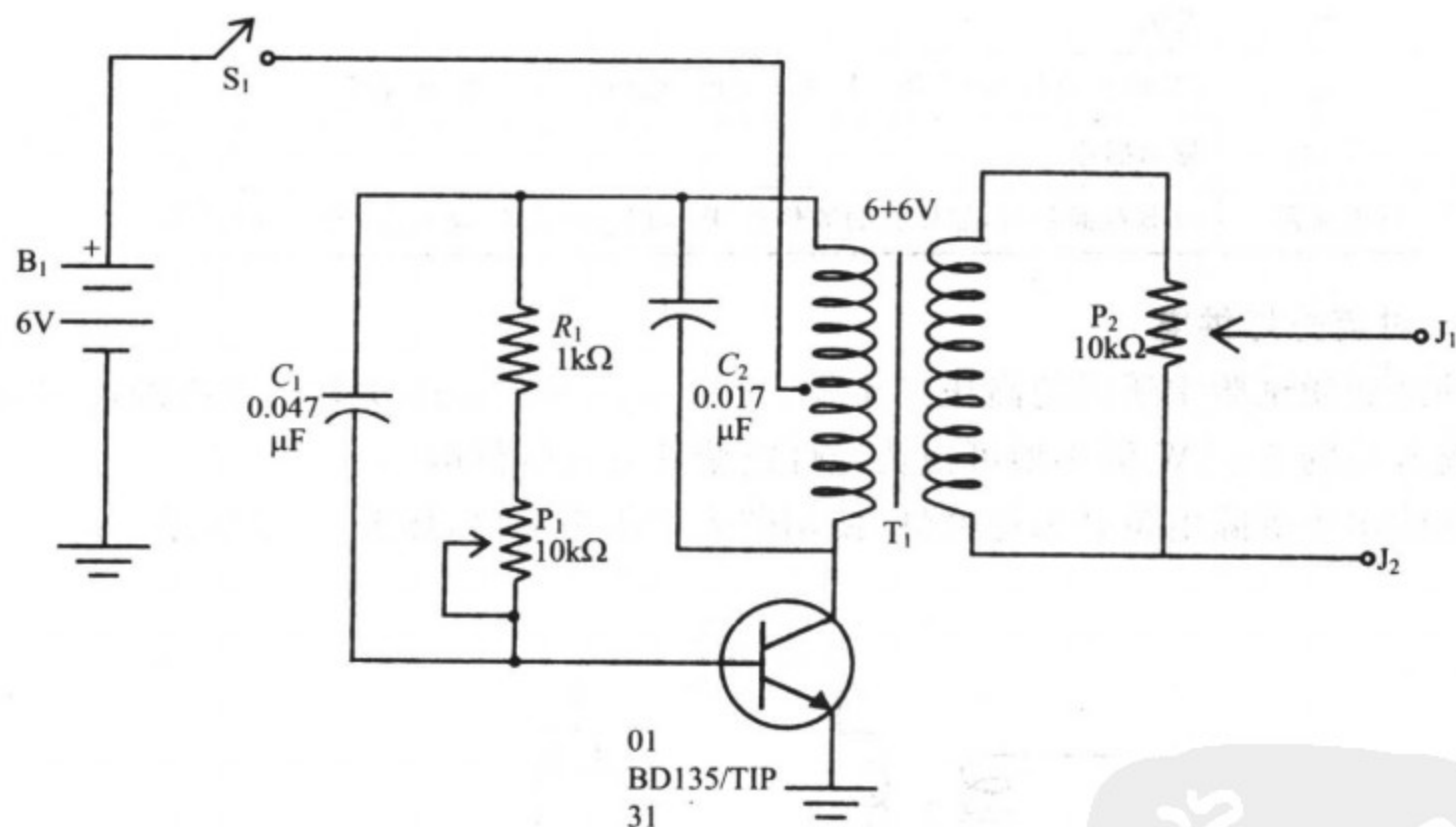


图 3.58 使用晶体管的电路

C<sub>1</sub> 和 R<sub>1</sub>/P<sub>1</sub> 形成反馈回路,使得电路保持振荡。这个电路回路会对电路的频率产生一定影响。

P<sub>1</sub> 用来在小范围内调节频率。它有助于帮助你找到电路的最佳性能点。

变压器和基本形式中所用的相同。根据变压器原理,只有在 C<sub>1</sub> 和 C<sub>2</sub> 的数值与电路匹配最佳时,才能在输出中提供最高的电压。

晶体管必须安装在一个散热片上,因为此电路消耗的电流很高,推荐使用 1 号

或 2 号电池作为电源。在本电路(或其他形式的电路)中,不要使用没有变压器的电源,不然会使电源和生物体(包括人)直接接触。

测试和使用过程与基本项目相同。加入一盏霓虹灯,可以显示高压的产生。

**警告**



没有变压器的情况下,不要接通电路电源!

表 3.14 元器件清单

元器件	说 明
Q <sub>1</sub>	TIP31(A,B 或 C)或 BD135 NPN 中等功率的硅晶体管
T <sub>1</sub>	变压器,同基本形式,但有一个中心插头
P <sub>1</sub> ,P <sub>2</sub>	10kΩ 线性或对数电位计
R <sub>1</sub>	1kΩ 1/8W 电阻,棕、黑、红
C <sub>1</sub>	0.047μF 聚酯或陶瓷电容器
C <sub>2</sub>	0.1μF 聚酯或陶瓷电容器
S <sub>1</sub>	开关
B <sub>1</sub>	6V 的蓄电池,或 4 节 2 号或 1 号电池组成的电池组,电池盒
J <sub>1</sub> ,J <sub>2</sub>	输出插座
其他元器件	PCB 或面包板,晶体管的散热片,P <sub>1</sub> 和 P <sub>2</sub> 的旋钮,塑料盒,导线,焊料等

**3. 对荧光灯供电**

神经刺激试验中所用的高压发生器,也可以作为实验逆变器。下面的电路可为一盏普通的 4~8W 的小型可视荧光灯或紫外荧光灯供电。

从输出中拆除电位计和霓虹灯,使用荧光灯作为输出,如图 3.59 所示。

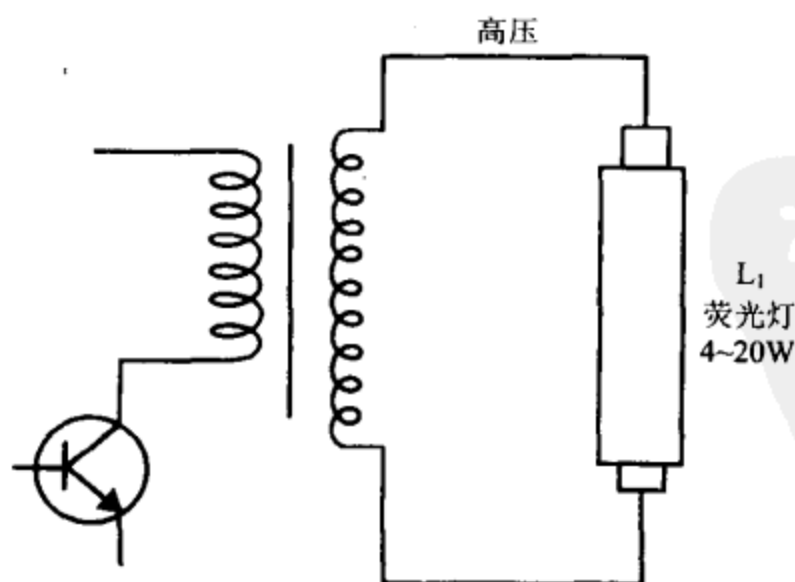


图 3.59 对荧光灯供电

对电路供电,调节  $P_1$  使电路达到最好的性能(功率最大)。

这个紫外线可以用来发现很多不同物质的荧光,包括有机材料,并可用于生物体实验。植物、昆虫和其他动物如何感知紫外线,这是仿生学实验的另一个有趣的话题。

#### 4. 使用达林顿晶体管或功率 MOSFET

在神经刺激器的基本形式中,可以使用达林顿晶体管和功率 MOSFET。图 3.60 给出了晶体管与电路连接的方式。

可以使用的达林顿晶体管的类型有 TIP110、111、112、120、121 和 122。

至于功率 MOSFET,可以使用漏电流在 1A 以上的任何一种。有些类型,必须将电源电压提高到 9V 才能得到最好的结果。

#### 5. 集体电击

用神经刺激器能进行一个涉及很多人的有趣实验。安排一组人围成一个圆,两头的人各握住一根电极。当他们手拉手时,将经历一个集体的电击,如图 3.61 所示。

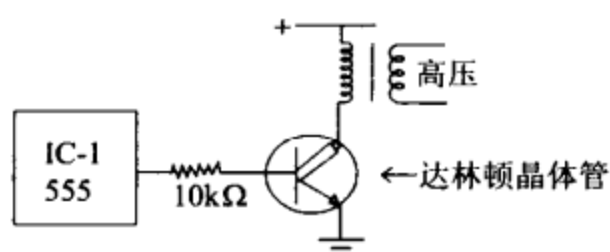


图 3.60 使用达林顿和功率 MOSFET 管

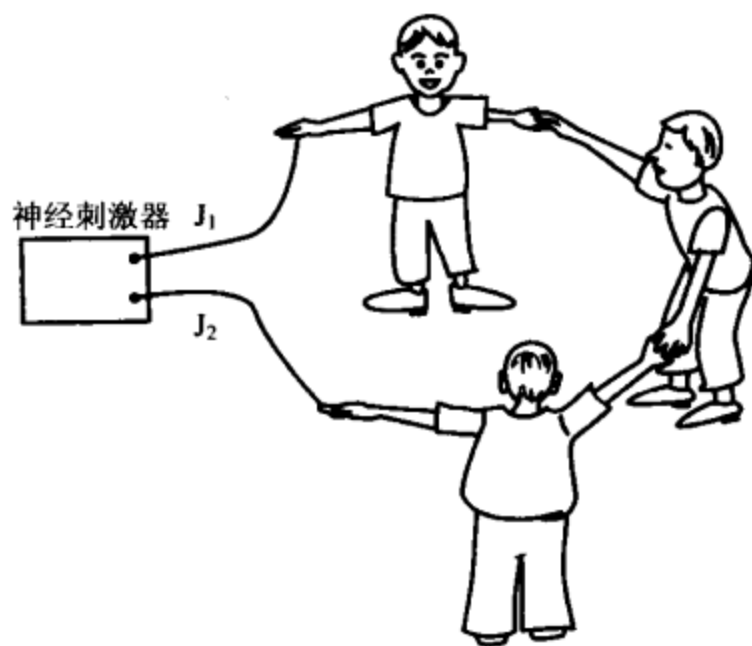


图 3.61 集体电击

实验的圆围成后,闭合开关  $S_1$ ,断开  $P_2$ 。

实验后(或实验前)可以考虑如下一些有趣的问题。

- 谁将经历最强的电击:是在两头的人还是所有人都一样? 请解释原因。
- 为什么所有人都被电击?
- 此闭合电路是指什么?
- 为什么那些穿着绝缘鞋的人也会被电击?

## 项目5 闪光灯

普通光源,如太阳光、白炽灯或火,会产生连续的辐射,它可以很容易地被生物体接收到。探测光源的通常方法是视觉,但有些生物,如蛇、昆虫等物种,可以看到红外光(IR)。而植物和很多微生物则通过叶绿素将太阳光储存为生物能。

动物和人能借助任何光源看到物体。光线在环境介质中的反射使得我们的眼睛能看到物体。

当然,光线的任何扰动或具有特殊属性的光源的存在能影响我们和很多其他生物体的行为。

能引起行为发生意外改变的光的一种形式为频闪光。生物体和频闪光的交互作用能启发一些有趣的实验,即涉及仿生学的制作项目。

频闪光是一种每秒闪烁1到10次的光源。可搭建一个电路来驱动普通光源以达到频闪光的效果,如白炽灯、荧光灯、发光二极管或氙气灯。

氙气灯是最好的选择,原因是它很强的持续时间短的光脉冲,就像我们看到警车和救护车上的闪光灯。作为频闪光源,氙气灯的优点是闪烁频率很高。

为了帮助你使用频闪光进行实验,本项目将介绍使用普通白炽灯的基本形式。在其他项目及创意中,将给出使用发光二极管、荧光灯和大功率的氙气灯作为频闪光源的其他电路形式。

### ■ 仿生学实验

在聚会或俱乐部中看到闪光灯时,你和光源间的交互作用是很容易解释的,断续间歇光使你有一种时间被短暂“冻结”感觉。我们将在后面介绍这一现象是如何产生的。但仿生学实验中光源的重要性在于,你能使用它来发现不同生物的很多不同行为。

下面的实验将涉及闪光灯电路和人、动物及植物的交互作用。

- 生长在闪光光源照射环境下的植物(甚至可以是西红柿)会产生什么后果?
- 如果用闪光灯照射一个小鱼缸,鱼的行为会有什么改变?可以利用该实验来观察,闪光照射下电鱼的频率是如何改变的。照射电鱼所在的鱼缸,鱼会感到不舒服,在经过一段时间延迟后频率会发生改变。
- 在闪光灯的照射下,你能使其他生物产生惊慌或别的不适吗?能,让一个人呆在一间仅有闪光灯的屋子,这样做他会产生恐慌或不适。
- 你能使用一个调制的光源作为人机之间的可视连接来传递信息吗?例如,你可以调制由一个发光二极管产生的脉冲,用光敏晶体管作为接收器,从一个地方到另一地方传递声音。
- 由人或动物感知的频率改变或闪光灯闪烁的频率改变受到哪些限制?

### ■ 频闪效应

一台转动的电风扇被闪光灯光源照射时,观察者可以在叶片运转的时候看到闪烁效果,此时叶片似乎静止在一个固定的位置,如图 3.62 所示。

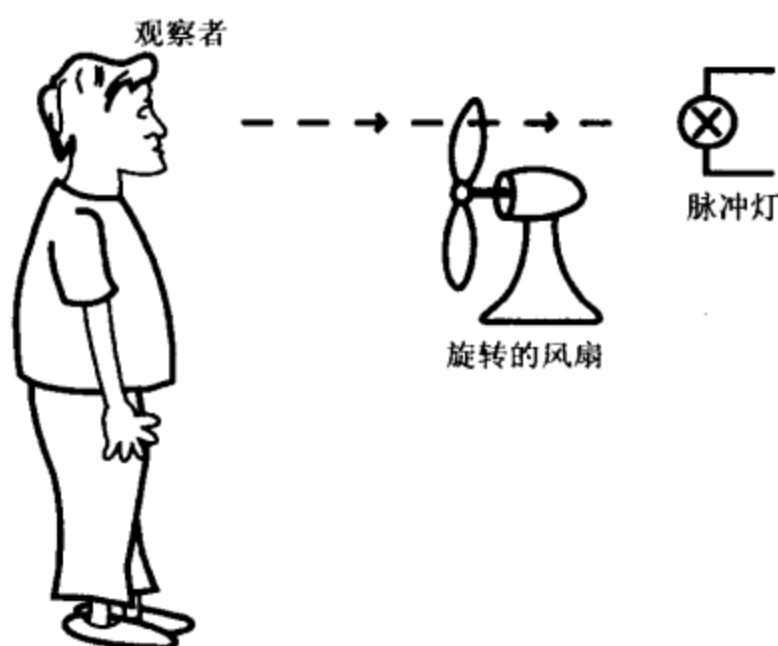


图 3.62 用旋转的电风扇可以观察频闪效应

观察快速运动的目标时(如机器或昆虫翅膀等),这是一种很有用的方法。如果以低频闪烁,目标看起来会比实际的移动慢很多。如图 3.63 所示,在电视前面旋转一个很小的纸板风扇,你会观察到这种效果。

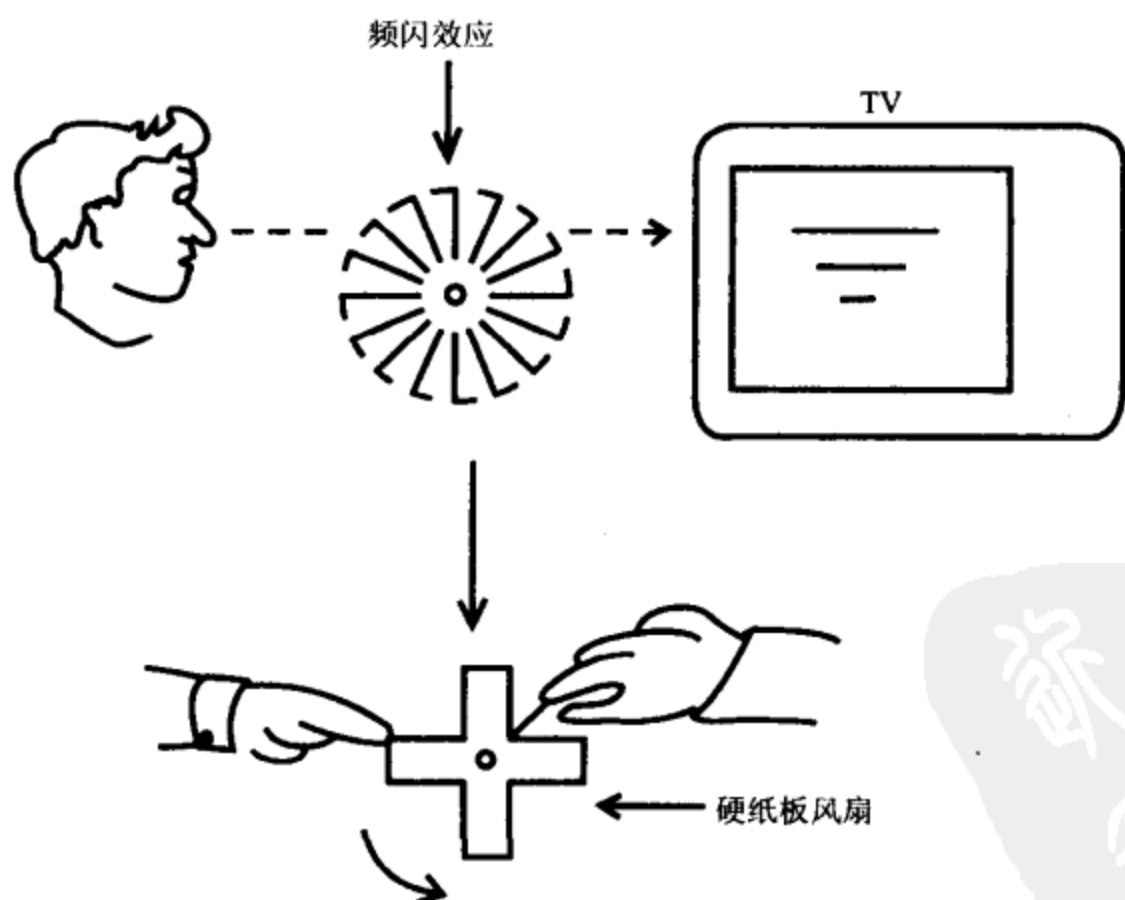


图 3.63 在电视机前面观察频闪效应

观察频闪效应的另一种方法是使用荧光灯。这种灯使用 60Hz 的交变电流，每秒钟开关 120 次。除了磷粉还有一些磷光或“余光延续”之外，灯光会完全熄灭。也就是，辐射被截断后仍会继续发光一小会儿。

光线输出的变化通常被称为“闪变”。荧光灯的闪变速率是每秒 120 个周期。灯的每次交变闪烁将会导致每秒 60 次的有效闪光速率。

120 次的闪变率对人的视觉来说，快得难以辨别。60 次的闪变是可以辨别的，但仅限于在视网膜的外围。因此，灯光的闪变是很难被注意到的，除非用眼角来观察灯或使用相关的设备。

频闪效应依据具体情况会造成运动和不运动（也可能确实是）的假象。例如，人们认为以 60Hz 运行的交变电流的脉动效应会产生闪变，当磨损的机器使用它时，似乎预示着机器正在慢下来，甚至是静止的。

频闪效应的危害是不言而喻的，现在的荧光灯管通过降低闪变效果，可以使问题最小化，不会引起问题。在一些工业场所中，使环境光源处于相反相位的做法是很常见的，这样就不会出现频闪效应。

## ■ 电 路

普通的白炽灯在产生频闪光时是很慢的。这类灯闪烁的频率每秒不多于 5 次，原因是灯丝的热惯性使得它没有足够的时间回到冷却状态，当温度改变很小时下一次闪烁就已启动，如图 3.64。

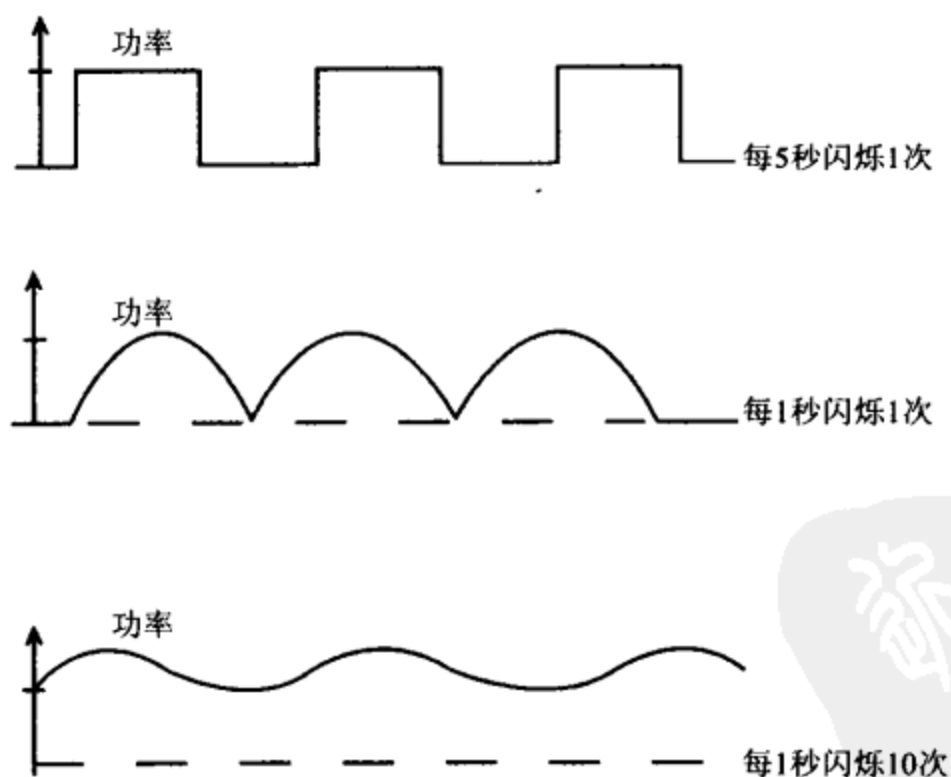


图 3.64 白炽灯灯丝的热惯性限制其高频闪烁

如果白炽灯的闪烁速度高于每秒四到五次，它将开始闪变。突破 10 次的界限，闪变的幅度就不易被人眼观察到了。

所以在我们的电路中,使用 0Hz 到 4(或 5)Hz 频率的白炽灯是可行的。基本电路中包括一个作为张弛振荡器使用的霓虹灯和一个 TRIAC (三端双向可控硅开关元件)电路。

电路的负载是最大功率为 150W 的白炽灯。通电时,电容器  $C_1$  通过  $D_1$ ,  $R_1$  和  $P_1$  充电,直到霓虹灯的触发电压,约为 80V。

此时,霓虹灯导通(开始使电流通过),电容器  $C_1$  通过 TRIAC 的门电路放电。TRIAC 马上被激活,对作为负载的白炽灯供电。

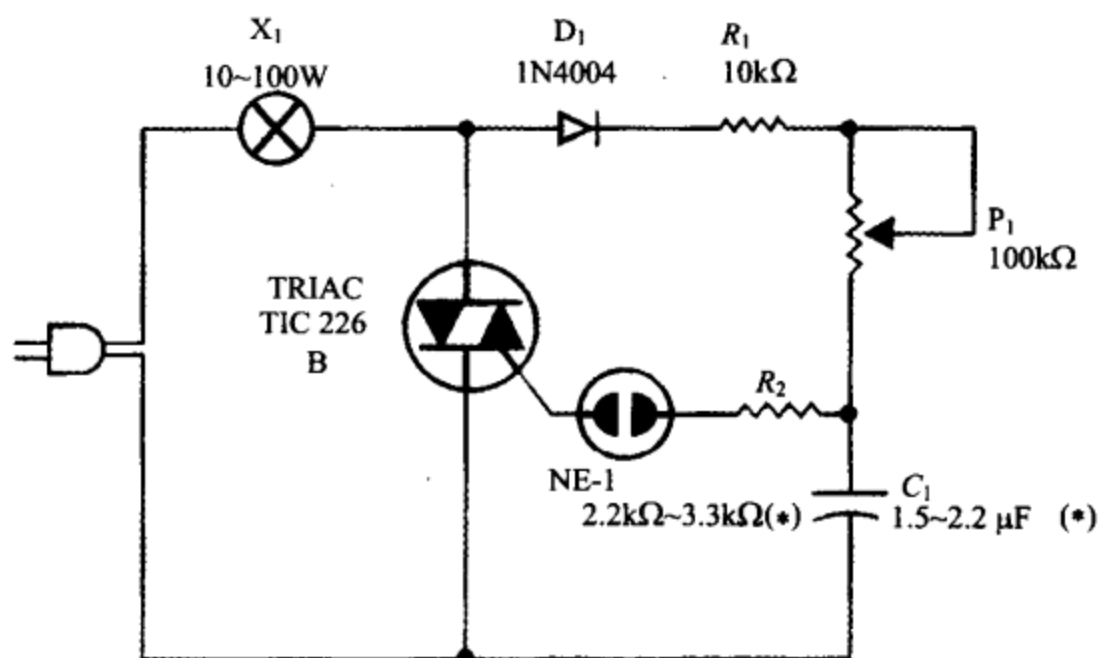
霓虹灯持续闪烁,直到电容器充电导致门电压低到足够使 TRIAC 导通。TRIAC 瞬间关闭,新的循环操作开始。

$R_2$  控制  $C_1$  放电的速度,从而控制闪烁的持续时间。对此元件,你可以任意选择一个最佳值。如果应用时闪烁不够强,应该测试一下在  $2.2\sim 10\text{k}\Omega$  之间变化的电阻值。

也可以利用 220/240V 的交流输电线来给电路供电。只要将  $D_1$  替换为 1N4007,将 TRIAC 替换为 TIC226D 即可。

### ■ 搭建方法

图 3.65 是闪光灯电路的基本形式原理图。



(\*) 参阅正文

图 3.65 基本电路的原理图

因为仅使用了少量元件,电路能被搭建在接线条上,如图 3.66 所示。当然,若你有更多的搭建电路资源,可以使用印制电路板。

如果灯的功率超过 60W 时,TRIAC 必须安装在散热片上。切记:电路和电源线并不隔离,所以任何暴露部分都可能引起严重的电击。



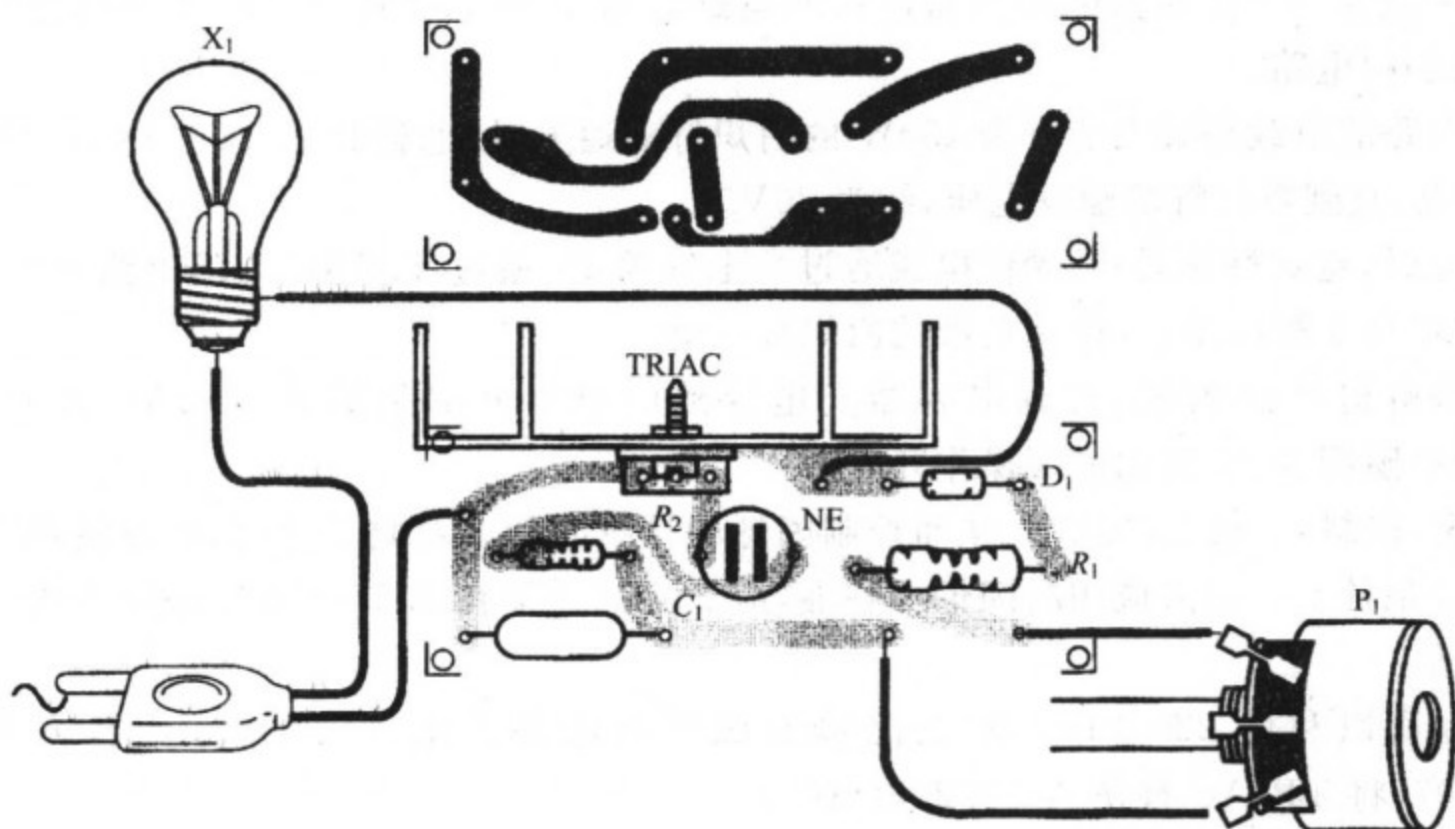


图 3.66 闪光灯的印制电路板

除了白炽灯在外面,其他部件都要内置在一个塑料盒里,而且用一对长的电线将灯连接到电路。长达 10m 的电线不会给电路的使用带来任何问题。由于总功率不会超过电路允许的最大值,因此可以使用彩灯或并联很多灯。

### ■ 测试和使用

首先,把电路接入到交流输电线上。调整  $P_1$ ,闪光灯会以不同的频率闪烁,从而可以找到最佳效果。

如果闪烁的功率不是足够高,改变  $R_2$ 。更高的电阻值会产生更长的光脉冲,但较高的频率范围的限制会被减弱。

表 3.15 元器件清单

元器件	说明
TRIAC	117VAC 的 TIC226B TRIAC 或等效的部件(220/240 VAC 的 TIC226D)
$D_1$	1N4004 硅整流二极管(220/240VAC 的 1N4007)
$NE_1$	NE-2H 或相当的霓虹灯
$X_1$	交流供电的 10~150W 的白炽灯
$R_1$	10k $\Omega$ 1/8W 的电阻,棕、黑、橙
$R_2$	2.2k $\Omega$ 或 3.3k $\Omega$ 1/8W 的电阻,红、红、红或橙、橙、红
$P_1$	100k $\Omega$ 或 200k $\Omega$ 的对数或线性电位计

续表 3.15

元器件	说明
$C_1$	1.5~2.2 $\mu\text{F}$ 100V 或更大的聚酯电容器
其他元器件	PCB 或接线条, TRIAC 的散热片, 电源线, $P_1$ 的旋钮, 电线, 焊料等

### ■ 其他电路及创意

许多光源可以产生短的光脉冲, 如 LED 荧光灯或霓虹灯。例如, LED 能达到很高的频率来产生脉冲, 并且特别适用于其他光源达不到要求的实验或应用。

下面的部分将介绍使用这些光源的电路。读者可根据所做的实验自由选择元件, 以便达到最佳效果。

#### 1. 使用 LED

图 3.67 所示的电路使用 LED 而不是灯, 它由一个直流电源或电池组供电。电路使用一个 IC-555(定时器)的配置, 作为非稳态多频振荡器来驱动功率晶体管。

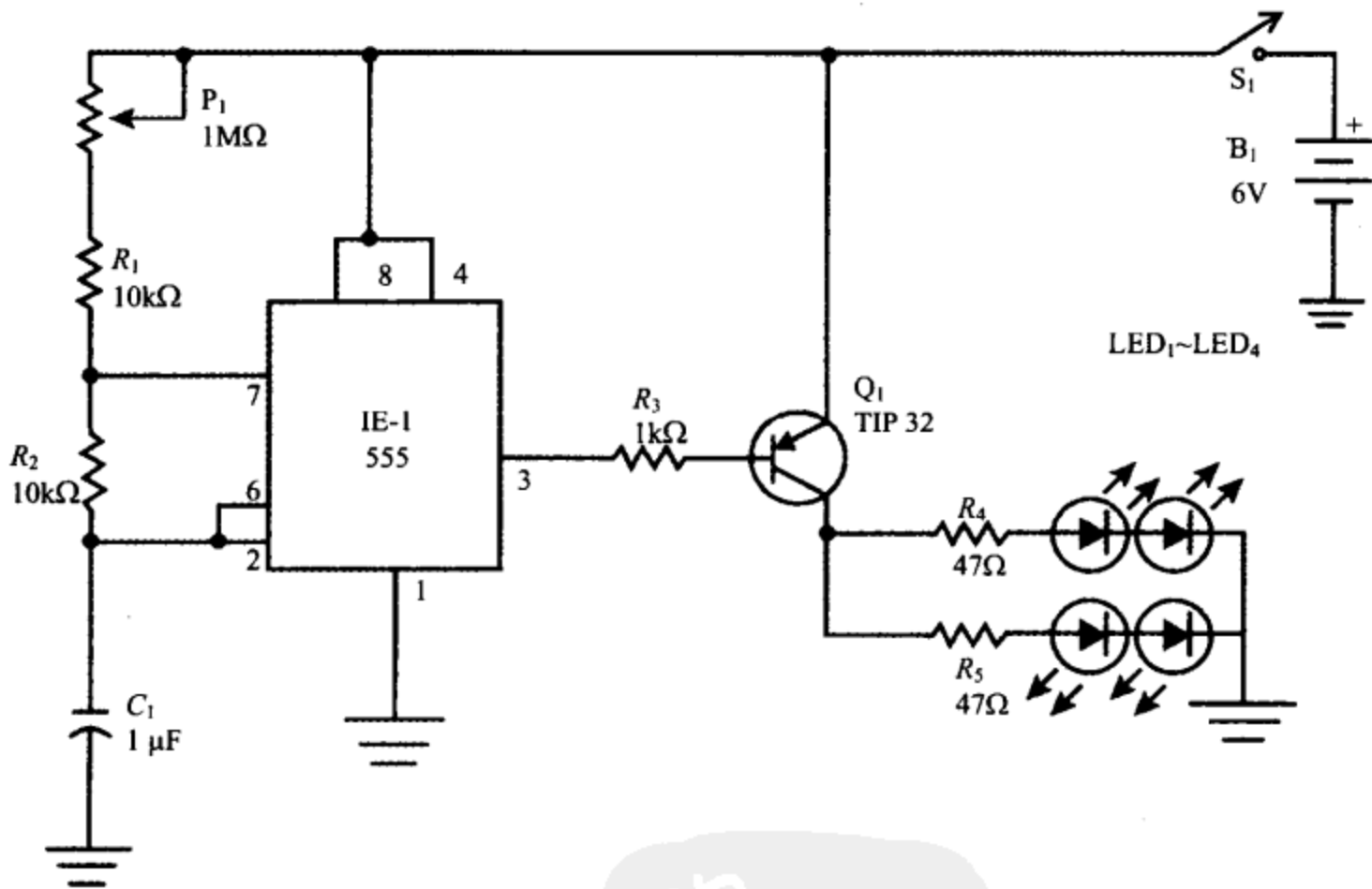


图 3.67 频闪发光二极管

$P_1$  在由  $C_1$  决定的范围内控制频率, 而脉冲长度由  $R_2$  决定。在 4.7~47k $\Omega$  的范围内能改变它们的值。推荐使用白亮色的 LED, 但也视应用而定, 可以使用任何颜色的普通 LED。

功耗取决于项目中所用 LED 的数目和  $R_4, R_5$  的值。如果不需要很高的功率, 或者想使用普通 LED, 这些电阻的阻值可以增大。

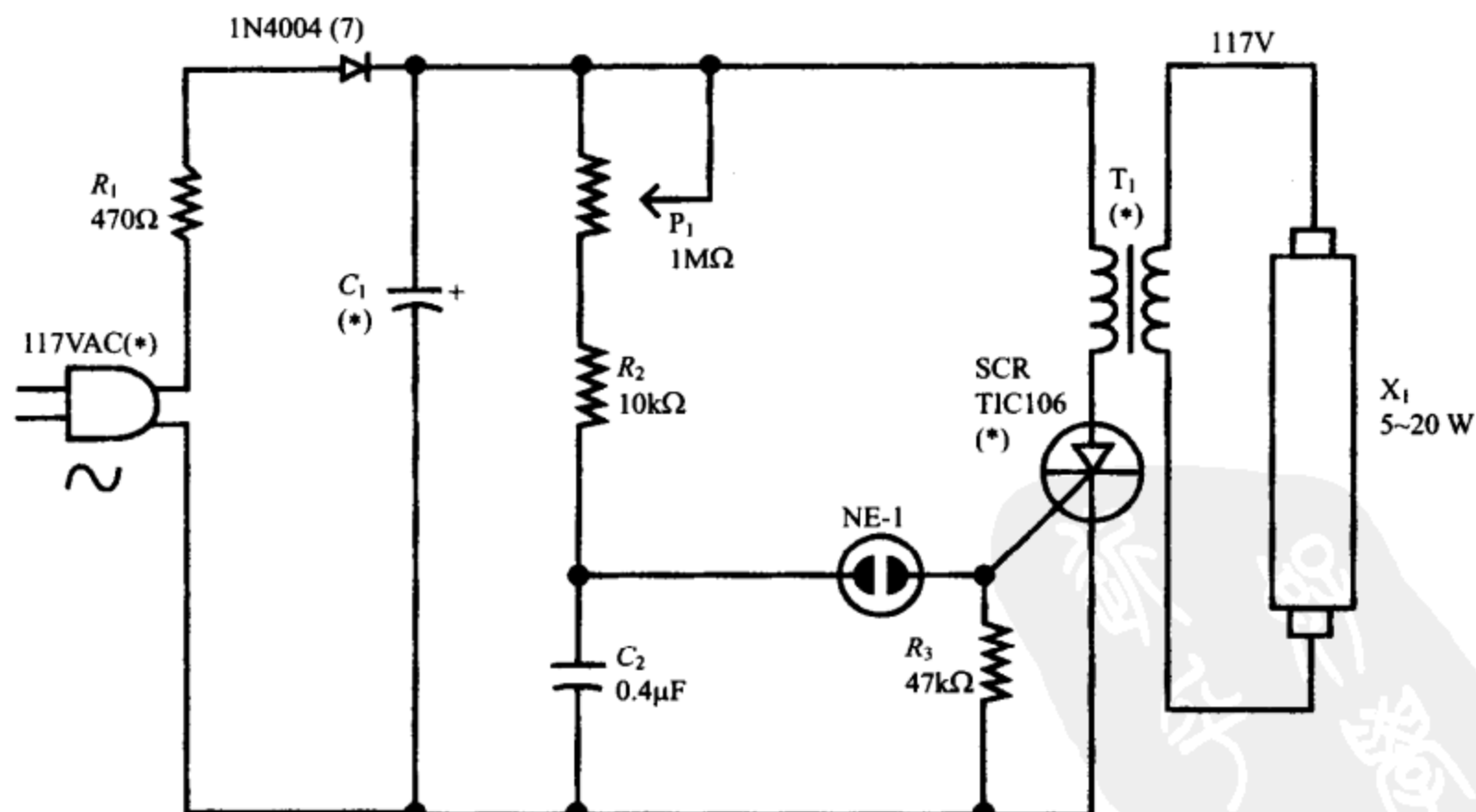
表 3.16 元器件清单

元器件	说明
IC-1	555 集成电路芯片和定时器
Q <sub>1</sub>	TIP32 PNP 硅功率晶体管
LED <sub>1</sub> ~ LED <sub>4</sub>	白色发光二极管(参阅正文)
P <sub>1</sub>	1MΩ 的对数或线性电位计
R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub>	10kΩ 1/8W 的电阻, 棕、黑、橙
R <sub>3</sub>	1kΩ 1/8W 的电阻, 棕、黑、红
R <sub>4</sub> , R <sub>5</sub>	47Ω 1/8W 的电阻, 黄、紫、黑
C <sub>1</sub>	1μF 的聚酯或电解电容器
S <sub>1</sub>	开关(SPST)
B <sub>1</sub>	一个 6V 的蓄电池, 或 4 节 5 号、2 号或 1 号电池组成的电池组, 电池盒
其他元器件	PCB 或面包板, P <sub>1</sub> 的旋钮, 导线, 焊料、塑料盒等

## 2. 频闪荧光

荧光灯比白炽灯闪得快, 在频闪电路中, 它们能更好地产生快速闪烁。

图 3.68 所示电路的功率不是很大, 但它可以用于涉及仿生学的一些实验中, 如动物的条件作用、压力下的反应及其他。电路包含一盏作为张弛振荡器的霓虹灯, 来触发一个 SCR。



(\*) 参阅正文

图 3.68 使用荧光灯的电路

电容器  $C_1$  通过  $R_1$  和  $D_1$  充电,直到通过霓虹灯的电压上升到足以触发光线。此时,霓虹灯点亮,电容器  $C_2$  通过 SCR 的控制极放电。结果是 SCR 控制  $C_1$  的放电电流,此电流流过变压器的低压线圈。

在变压器次级线圈产生的高电压脉冲也作用于霓虹灯,使它短暂地闪烁。脉冲频率由  $P_1$  控制,闪烁的功率取决于电容器  $C_1$ 。

在供电线路中,任何形式的变压器都能使用,只要它的初级额定电压为交流 117V,次级额定电压为 9~12V,而电流在 250~600mA 范围内。

另外,也可使用任何 5~20V 的荧光灯。甚至那些由于光线很微弱而不能用的荧光灯,利用此电路也能发光。高电压脉冲很容易突破交流电压 117V,来激活荧光灯。

电路依赖于元件,为了补偿误差, $C_2$  可以更换。可以用电容值在 0.1~0.47  $\mu\text{F}$  之间的元件来测试。

为了能用 220/240V 交流电供电,必须将  $R_1$  改为 1k $\Omega$ ,用 1N4007 代替  $D_1$ ,用 TIC106D 代替 SCR。

不需要将 SCR 安装在散热片上,原因是它作用的时间间隔很短,不会产生大量的热。

表 3.17 元器件清单

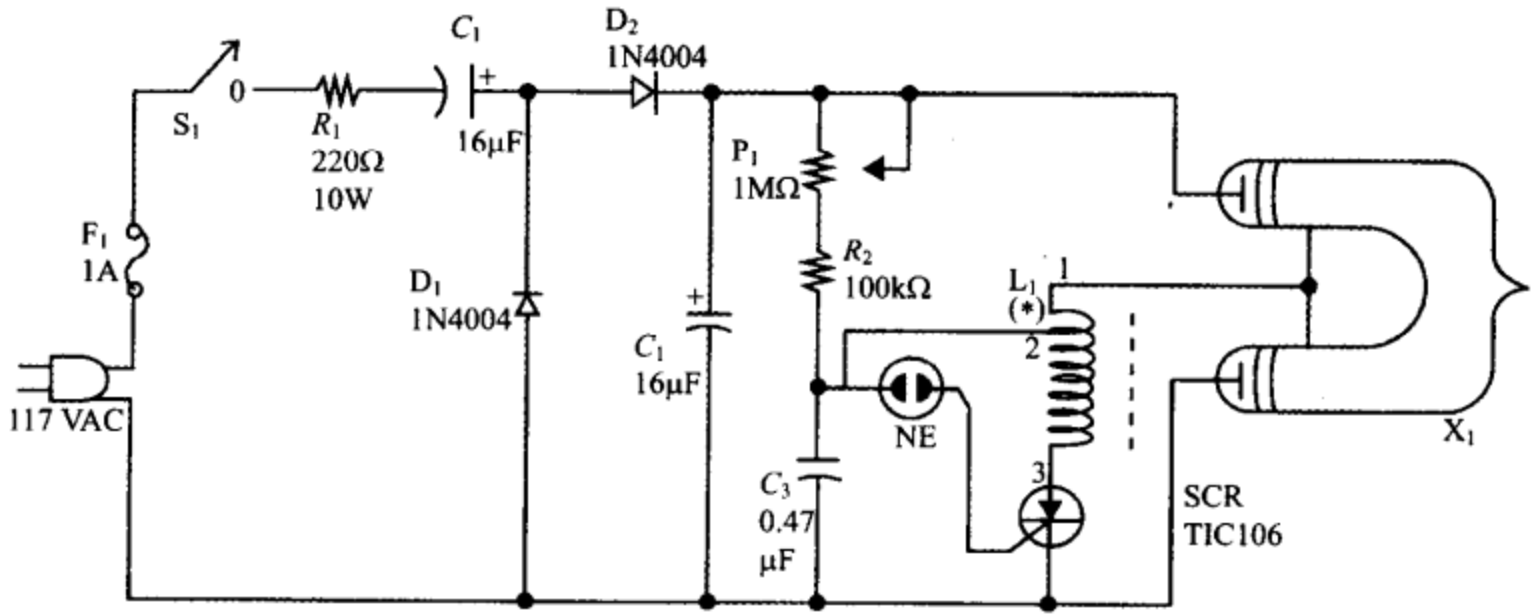
元器件	说 明
SCR	可控硅整流器, TIC106B(117V 交流电压)或 TIC106D(220/240V)
$D_1$	1N4004(117V 交流电压)或 1N4007(220/240V 交流电压)硅整流二极管
$NE_1$	NE-2H 或相当的霓虹灯
$R_1$	470 $\Omega$ 10W(117V 交流)或 1k $\Omega$ 10W(220/240V 交流)线绕电阻
$R_2$	10k $\Omega$ 1/8W 的电阻,棕、黑、橙
$R_3$	47k $\Omega$ 1/8W 的电阻,黄、紫、橙
$P_1$	1M $\Omega$ 的对数或线性电位计
$C_1$	4.7~22 $\mu\text{F}$ 200V(117V 交流)或 400V(220/240V)电解电容器
$C_2$	0.1 $\mu\text{F}$ 100V 或更大的聚酯电容器
$T_1$	变压器(参阅正文)
$X_1$	5~20W 的荧光灯
其他元器件	PCB 或接线条,电源线,导线,塑料盒等

### 3. 氙气闪光灯

产生大功率光脉冲的最佳方式是使用氙气灯。氙气灯被激活后,氙气阻值会降低数欧姆,允许很高的电流通过,从而产生大功率的光脉冲。普通的氙气灯常被应用在照相机、灯塔及本项目提到的闪光光源上。

为了触发氙气灯,需要很高的电压脉冲,电压高达 4kV 或更高。要产生光脉冲,则需要一个很大的电容来提供必要的能量。

图 3.69 所示的电路中,当接入 117V 交流输电线后,一个倍压器以接近 300V 的电压对电容器  $C_2$  充电。功率大小取决于电容值,推荐在  $10\sim 22\mu\text{F}$  之间取值。



(\*)参阅正文

图 3.69 使用倍压器的电路

$P_1$  决定脉冲的速率。此元件控制  $C_3$  的充电速度。当  $C_3$  充到约 80V 时,霓虹灯亮。然后  $C_3$  通过  $T_1$  放电,产生一快速的、约 4kV 的高压脉冲,这足以触发氙气灯。

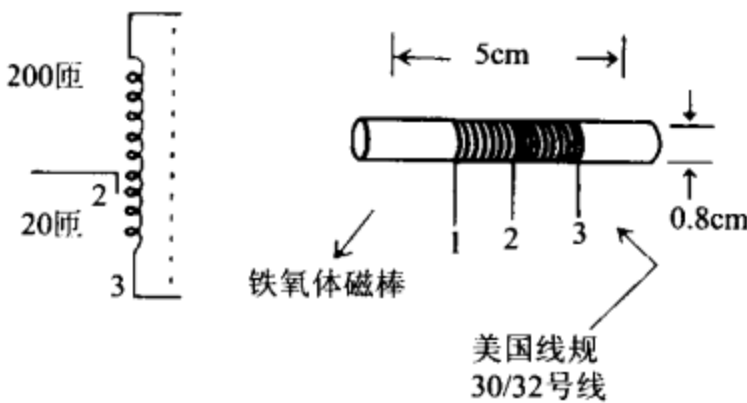


图 3.70 触发变压器  $T_1$

触发后,灯内的氙气开始导电,使得电容器  $C_2$  通过此灯来放电,从而产生一个强烈的光闪烁。当电容器  $C_2$  放电完毕,氙气灯熄灭,一个新的循环开始。

可以使用任何一种能耗仅为数焦耳的小氙气灯。触发变压器可以和氙气灯一起购买,但如果你想使用照相机上的老式闪光灯,变压器可以像图 3.70 那样绕线。

根据氙气灯的具体参数,你可以更换电容器  $C_1$  和  $C_2$  来得到更大的功率。

表 3.18 元器件清单

元器件	说明
SCR	TIC106B 型可控硅整流器
$D_1, D_2$	1N4004(117VAC)或 1N4007(220/240VAC)硅整流二极管
NE	NE-2H 或相当的霓虹灯
$X_1$	氙气灯(参阅正文)

续表 3.18

元器件	说 明
$R_1$	220 $\Omega$ 10W 线绕电阻
$R_2$	100k $\Omega$ 1/8W 电阻,棕、黑、黄
$P_1$	1M $\Omega$ 对数或线性电位计
$C_1, C_2$	16 $\mu$ F 200V(117VAC)或 400V(220/240VAC)的电解电容器(参阅正文)
$C_3$	0.47 $\mu$ F 100V 或更大的聚酯电容器
$T_1$	4kV 触发变压器(参阅正文)
$F_1$	1A 保险丝和支架
其他元器件	PCB,电源线,导线,塑料盒,电位计的旋钮,焊料等

## 项目6 生物放大器

### 警告



此电路和电源线是接通的,所以要小心保护所有裸露的部位。由于是高压脉冲,甚至与灯泡连线也会产生严重的电击。

任何生物过程都是通过产生电信号来实现的。绝大多数信号的电压都很低,有的是连续,有的是交变的电压,一般在数毫伏之内。也就是说只有很敏感的放大器才能检测到它们。

示波器是观察这些信号的最佳设备,但比较昂贵。一般情况下在普通仿生学爱好者的实验室里见不到它。

检测生物体产生信号的另一种工具是高增益放大器,正如下面将要介绍的。价格便宜,可由少量普通元件搭建而成,且元件能在附近的经销商那里可以买到。

植物、昆虫、鱼、甚至人由于新陈代谢产生的信号,能被放大到足以驱动一个指示器。本项目中,为了保证设备的价格低廉,指示器是一个动圈式检流计。

这种电路非常安全,因为它没有接入交流电。它通过普通电池组或蓄电池供电,电流损耗及输入阻抗都很低。如果你没有太多的电子学经验,并打算检测自己身体产生的信号,了解这些特性是很重要的。

项目包含一个带外部增益控制的高增益运算放大器。电路可以用来检测 10mV~1V 的弱信号。要知道,人的神经细胞产生的脉冲只有 10~50mV。

由于输入阻抗很高(数太[拉]欧( $10^{12}$  欧[姆]),数千或数十亿欧),因此不要在测试时对电路加载,并切记生物体通常都是高阻抗信号源,这一点很重要。很多仿生学项目或实验都采用该放大器完成。



## ■ 仿生学实验

由生物体产生的低电压可用来驱动很多电路,或用于观察了解更多产生低电压的方式。当待实验物被放置在特殊的条件下时(光、磁场、化学物质等的影响),可通过实验来演示这些电压是如何改变的。

以下实验和应用列表不是很齐全,但你可以发挥自己的想象,对它进行添加和完善。

- 检测植物产生的电压。用一个生物放大器来研究“Backster 效应”<sup>1)</sup>。
- 检测皮肤阻值的变化,使用放大器作为测谎仪或在试验中检测紧张程度。
- 由于鱼或其他生物的存在,将电极插入鱼缸中,观察电极间电位差的变化。
- 检测生化过程所产生的电压,例如发酵或腐烂过程。

Cleve Backster 做了数百次试验,证明了植物鸡蛋及细胞等会对我们的情感和意图作出反应。如叶子遭到截断或揉搓时会紧张,酵母中加入果酱时,活菌会有像人高兴般的反应;鸡蛋即将下锅前会心慌;从人体上颚上取下的细胞感应到百公里外的当事人情绪起伏。但 Backster 的主张遭到了 Horowitz, Lewis, Gasteiger (1975) 和 Kmetz (1977) 等人的反驳。Kmetz 于 1978 年在《怀疑的调查者》(*Skeptical Inquirer*) 杂志上发表的论文中否定了 Backster 的观点。他认为 Backster 在试验时没有使用合适的控制。当引入控制后,植物对人的关心和威胁的反应并没有被检测到。这些学者还指出,测试轮廓线没有考虑到静电、房间的震动、光线和湿度的变化等诸多因素。对于想眼见为实的读者,为何不亲自做一下实验呢? 如果想了解这方面更多信息的话,作者推荐 Peter Tompkins 和 Christopher Bird 的著作《植物生命的奥秘》(*The Secret Life of Plants*)。

## ■ 工作原理

生物过程产生的电压非常低,在数毫伏的量级上,但阻抗很高。这就意味着该生物反应过程的总功率很小,在所有应用中都需要高增益的放大器,例如驱动一个测量仪表。

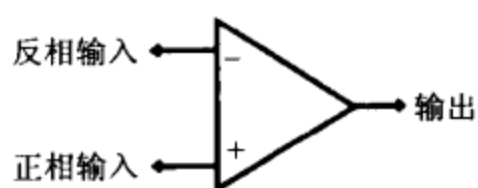


图 3.71 运算放大器

放大低电压信号的理想器件是运算放大器(图 3.71)。运算放大器的有很高的输入阻抗、很大的电压增益、很低的输出阻抗。

此放大器有两个输入:反相输入和正相输入。输出是单线,而增益由反馈电阻  $R_2$  确定。 $R_2$  和  $R_1$  的比值决定了放大器的增益。

1) Cleve Backster 在《国际超心理学杂志》(*International Journal of Parapsychology*) 上发表了他的研究成果(“Evidence of a Primary Perception in Plant Life, Vol. 10, No. 4, Winter 1968, pp. 329-348)。他用测谎仪对植物进行了测试,并发现植物对关心和威胁都有反应。这种现象我们称之为“Backster 效应”。



普通运算放大器可通过设计设定其增益是信号的 1~10 万倍以上,正如我们将在项目工程中所采用的,有必要将  $R_2$  替换为电位计。普通运算放大器有数兆欧姆的输入阻抗,但有些特殊的运算放大器输入阻抗很高,可以达到太[拉]欧姆。常用的有场效应晶体管(FET:Field-Effect Transistor)或结型场效应晶体管(JFET:Junction Field-Effect Transistor)。

在涉及生物系统的应用时,由于没有加载源,所以高的输入阻抗是很重要。也就是说外部放大器的存在对所研究的系统产生的影响很小,如图 3.72 所示的那样。如果接入电路的某元件消耗的电流比电路输出所能提供的更大,将会使电源加载。例如,若一个 100mA 的负载连接到最大电流为 50mA 的放大器的输出上,那么放大器将加载。

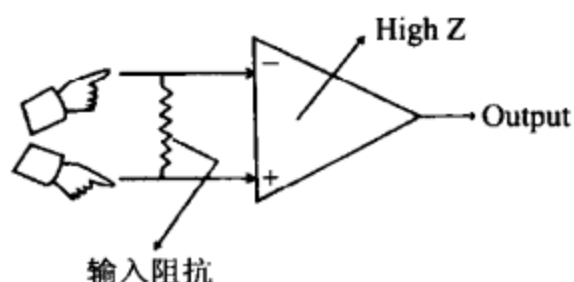


图 3.72 高输入阻抗意味着所研究的试验电路影响很小

电路的主要部分是 CA3140——一个输入阻抗为数太[拉]欧姆的普通 JFET 放大器。增益由反馈电阻来决定,并可以通过开关来选择。在高增益的情况下,电路增益能达到 10 万。耗用电流很低,所以电池寿命能持续数周甚至数月之久。

电路在差分模式下使用,也就是说电路放大了施加在输入上的电压差值。这意味着当输入间的电压为零时,电路的输出是电源电压的一半。相对于输入 2,输入 1 在正负之间变化,输出电压在  $V_{CC}/2$  (电源电压的一半)上下振荡。

当输入连接到生物样本时,必须特别当心。高输入阻抗对噪声也很敏感。导线必须要短并经过屏蔽,操作要远离噪声源,诸如荧光灯,变压器等。

### ■ 搭建方法

图 3.73 所示是生物放大器基本形式的完整原理图。你使用一些普通的方法就能搭建,但 PCB 和面包板是最好的选择。

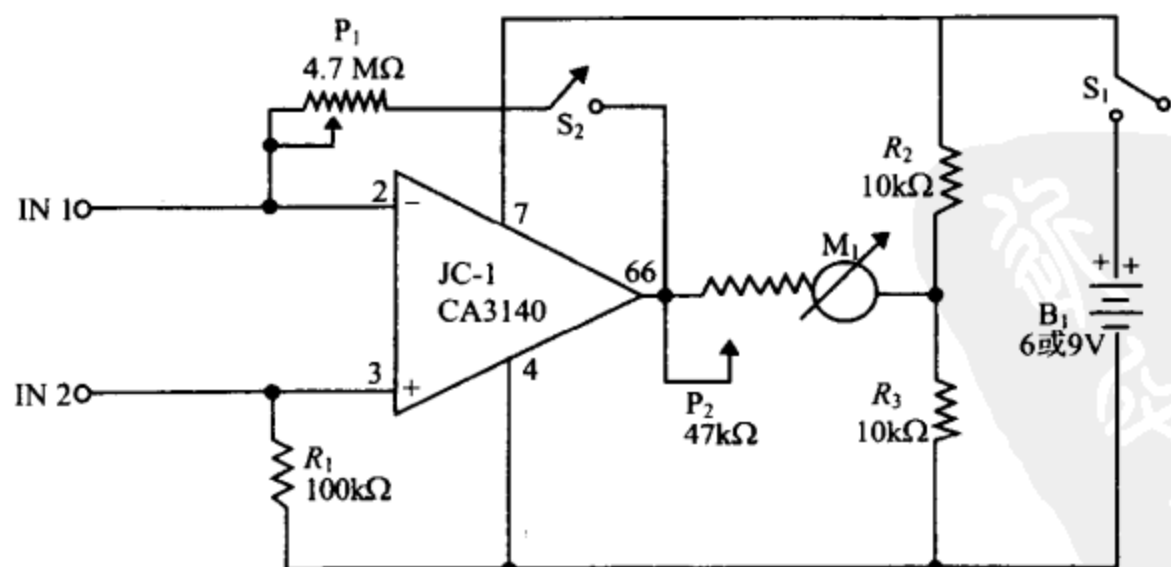


图 3.73 生物放大器原理图

图 3.74 所示是如何在一块小的 PCB 上搭建电路。

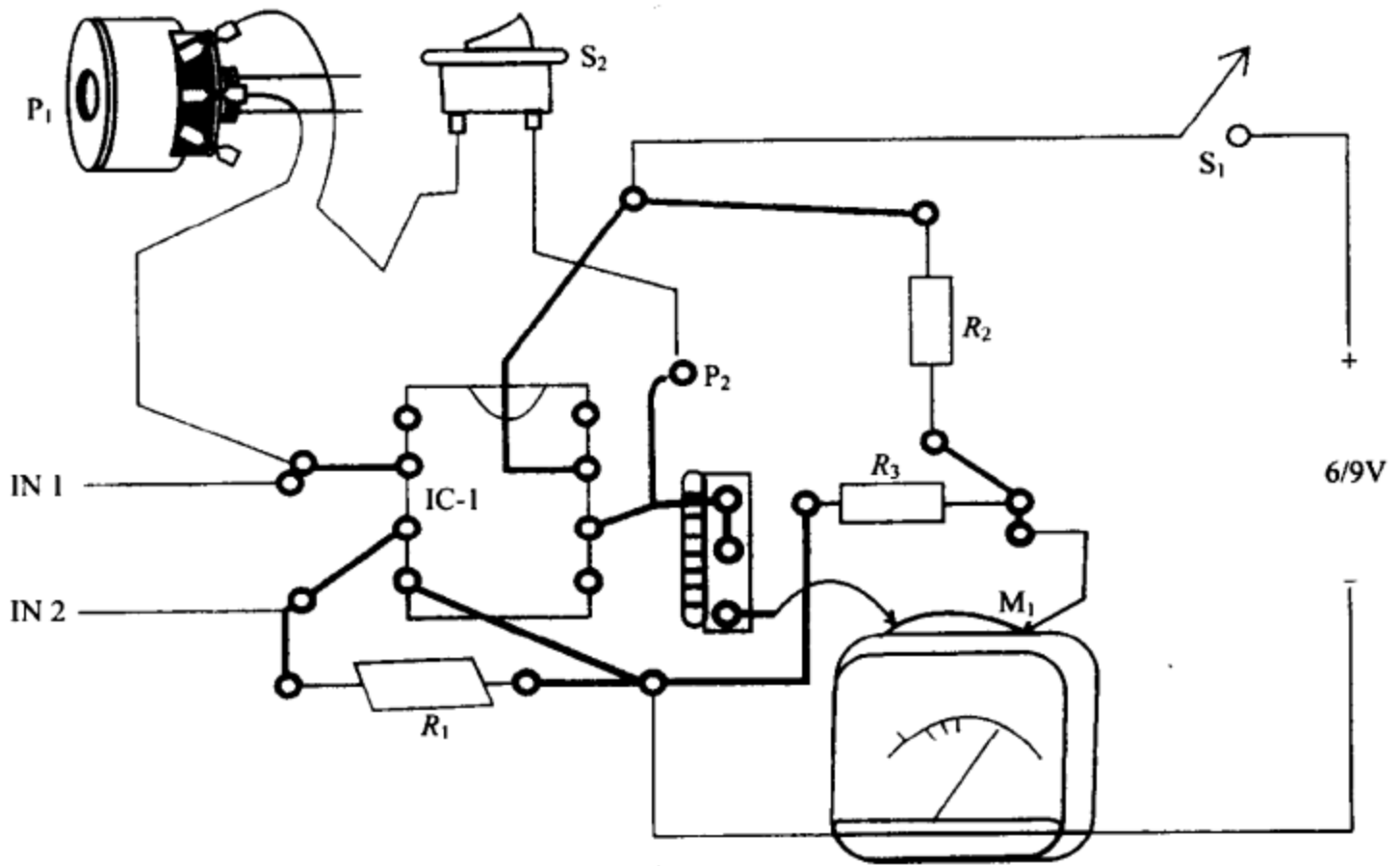


图 3.74 生物放大器的 PCB

元器件内置在一个小的塑料盒中,在外部控制增益开关和拨动开关,如图 3.75 所示。

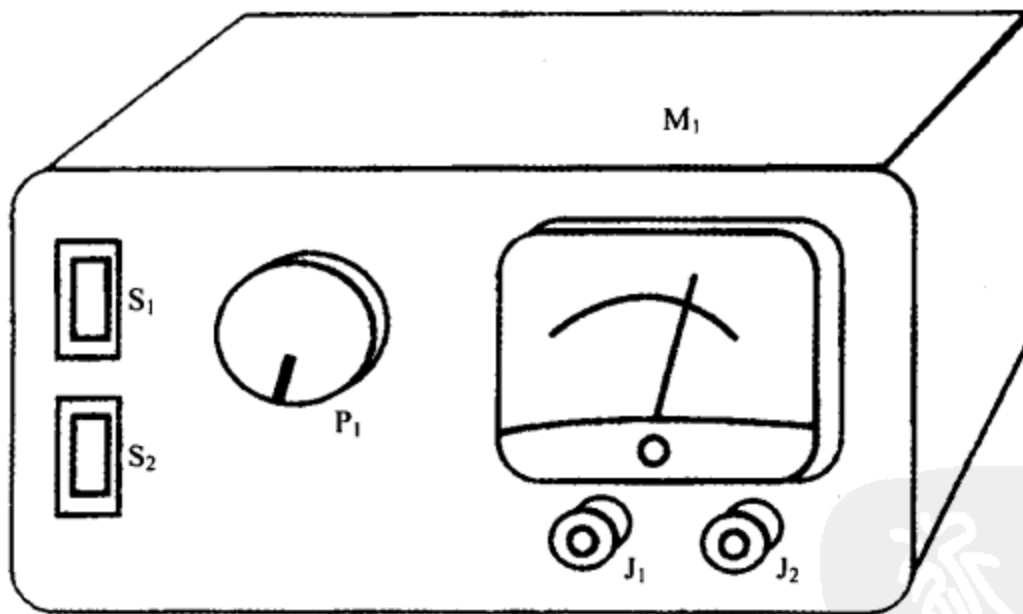


图 3.75 元器件内置于一个塑料盒内

电流量程在  $50 \sim 200 \mu\text{A}$  的任何检流计都可以使用。也可以用万用表(模拟或数字的)来代替模拟检流计。

电极形式视具体情况而定。为了将电极插入到电路,可以使用塑料端子。用不同的颜色来指示电路的反相输入(-)和正相输入(+).

操作运算放大器时,要避免接触它的终端。JFET 对静电放电(ESD: Electrostatic Discharge)很敏感。如果你身体是带电的,而又接触了元件,有可能将 JFET 烧毁。

### ■ 测试及使用

将电源(电池组或蓄电池)接入到电路中,闭合  $S_1$ 。在初始测试时保持  $S_2$  闭合、 $P_1$  断开,调节电位计到最高阻值。

接触输入端子,调节  $P_2$  到可行但不超过最大刻度的指示。现在打开  $S_2$ ,重复测试。甚至当你的手接近输入端子而没有接触时,指针也会移动。

生物放大器有两种基本使用方式:作为电压监测器或电阻监测器。当作为电压监测器使用时,样本产生的信号被放大。样本作为电压源或发生器,产生一个直流(DC)或交流(AC)信号。图 3.76 所示是如何将电极放置到植物体上,来观察生物活动产生的电压。

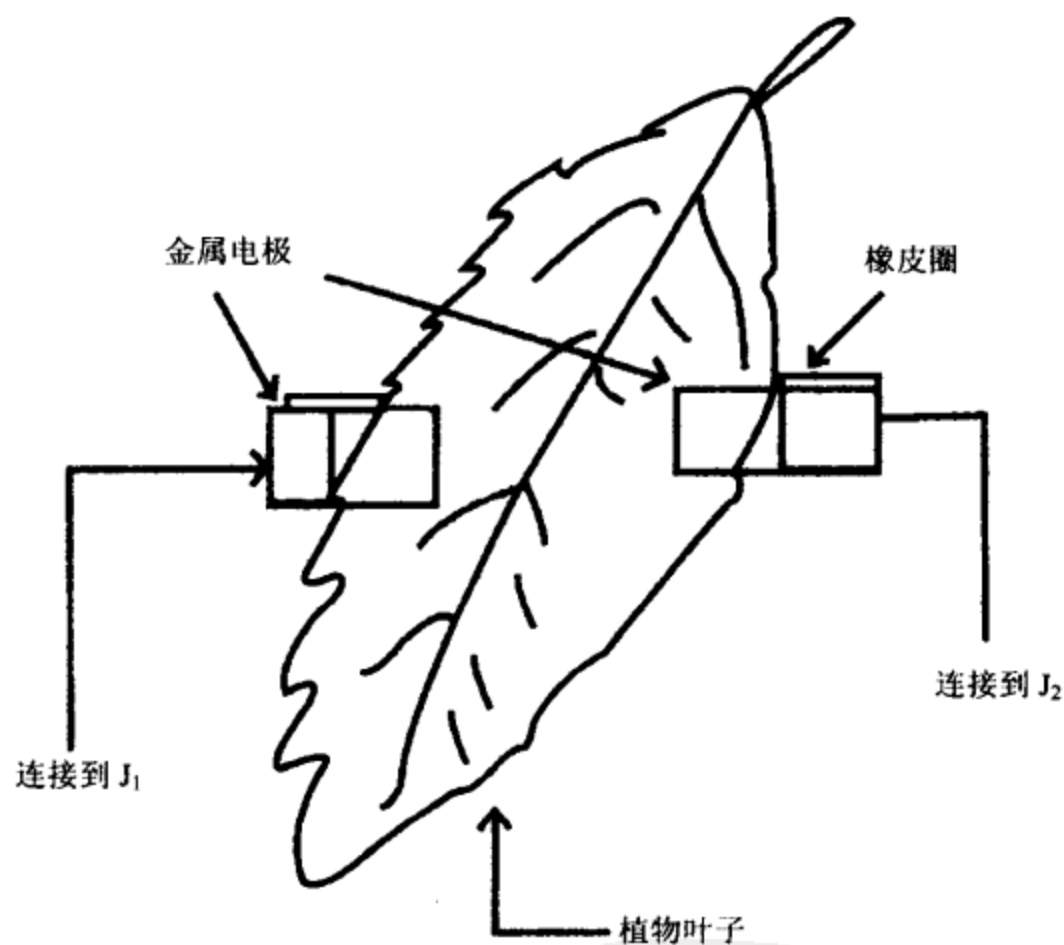


图 3.76 在植物体上安装电极

电极可用小的金属板制作而成。因为植物体液的电解作用可能腐蚀电极,提供不合要求的电压并改变指示,所以要使用不易氧化的材料。在实验开始后的数小时内,电解效应可能杀死电极放置处的生物组织。

当使用生物放大器作为电阻监测器时,此电路会检测到样本电阻值的变化,如图 3.77 所示。

$P_1$  和样本的阻抗作为电桥或电位计来使用。调节  $P_1$  使得电压达到电源电压的一半,此时任何阻值的改变都会被放大,并显示在插入到电路输出端的仪表上。

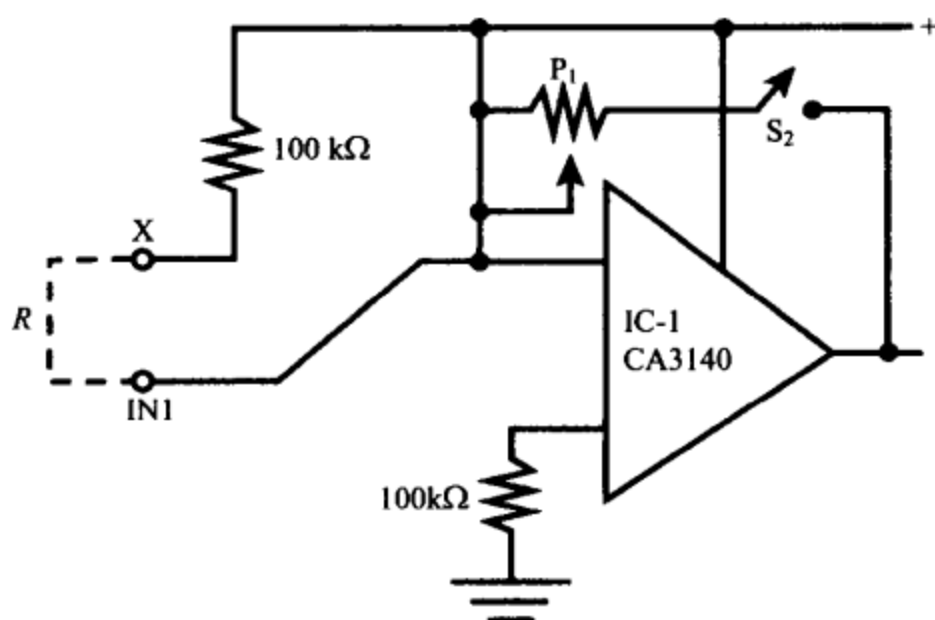


图 3.77 使用生物放大器作为电阻监测器

表 3.19 元器件清单

元器件	说 明
IC-1	CA3140 集成电路芯片和结型场效应晶体管运算放大器
$P_1$	4.7M $\Omega$ 线性或对数电位计
$P_2$	47k $\Omega$ 微调电位计
$R_1$	100k $\Omega$ 1/8W 电阻,棕、黑、黄
$R_2, R_3$	10k $\Omega$ 1/8W 电阻,棕、黑、橙
$S_1, S_2$	拨动开关
$B_1$	6 或 9V 的电源或 4 节 5 号电池的电池组和电池盒
$M_1$	0~50 $\mu$ A 到 0~200 $\mu$ A 的检流计
其他元器件	PCB 或面包板, 电池盒或蓄电池连接器, 导线, 焊料, 电极等

### 其他电路及创意

这里给出的电路是用一个运算放大器搭建的最简单配置。更复杂的电路可用多个运算放大器或其他形式的输出来搭建。下一个电路即属于该类电路,你可以利用它们进行实验。

#### 1. 音频输出(ADC)

除能驱动检流计外,如图 3.78 所示的电路还可以驱动一个音频振荡器。

无输入信号的基调由  $P_2$  调节,并由  $C_1$  决定。你可以通过改变  $C_2$  的值来调节振荡器的频率。更高的输出频率对应于更高的输入电压。此电路也可以用作生物反馈设备。

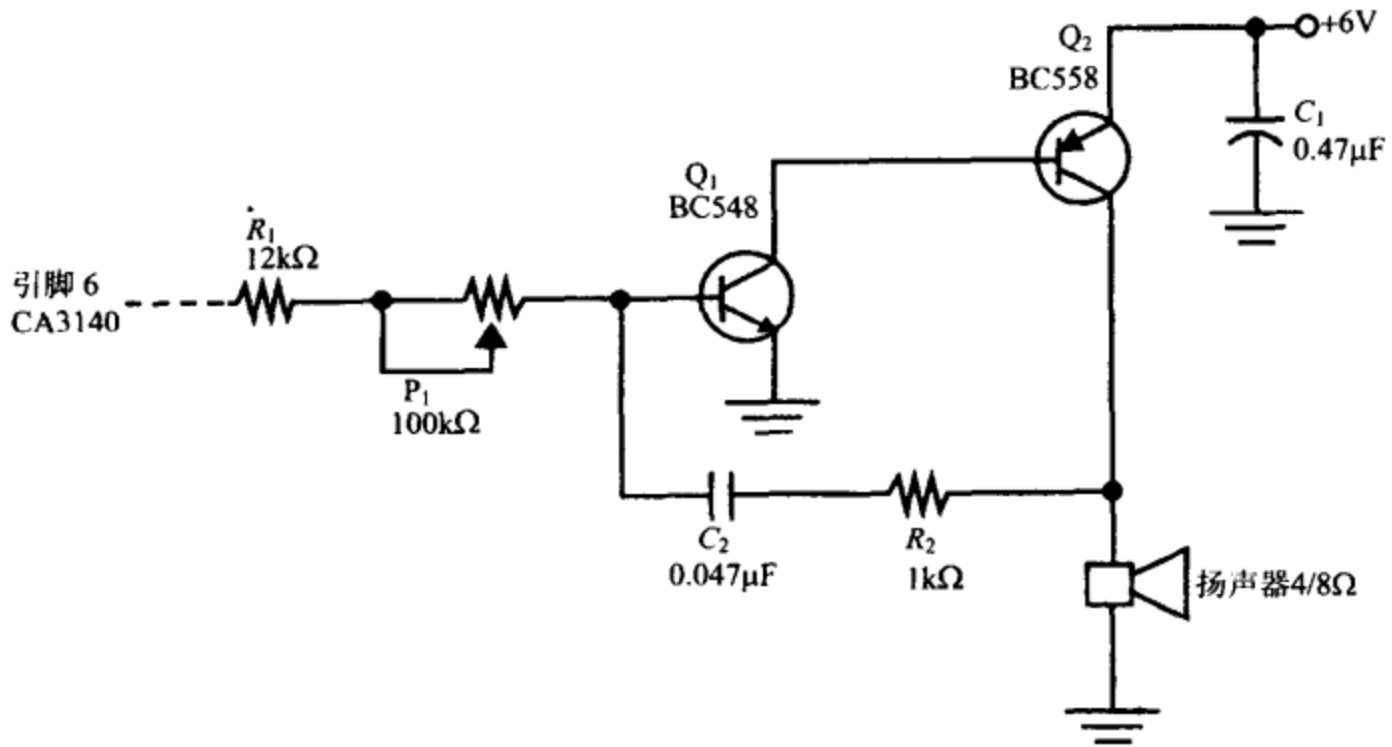


图 3.78 驱动音频振荡器

表 3.20 元器件清单

元器件	说 明
Q <sub>1</sub>	BC548 或等效的多用途 NPN 晶体管
Q <sub>2</sub>	BC558 或等效的多用途 PNP 晶体管
R <sub>1</sub>	12kΩ 1/8W 电阻, 棕、红、橙
R <sub>2</sub>	1kΩ 1/8W 电阻, 棕、黑、红
P <sub>1</sub>	100kΩ 1/8W 微调电位计
C <sub>1</sub>	0.47μF 陶瓷或聚酯电容器
C <sub>2</sub>	0.047μF 陶瓷或聚酯电容器
SPKR	4 或 8Ω 的小扬声器
其他元器件	PCB 或面包板, 导线, 焊料等

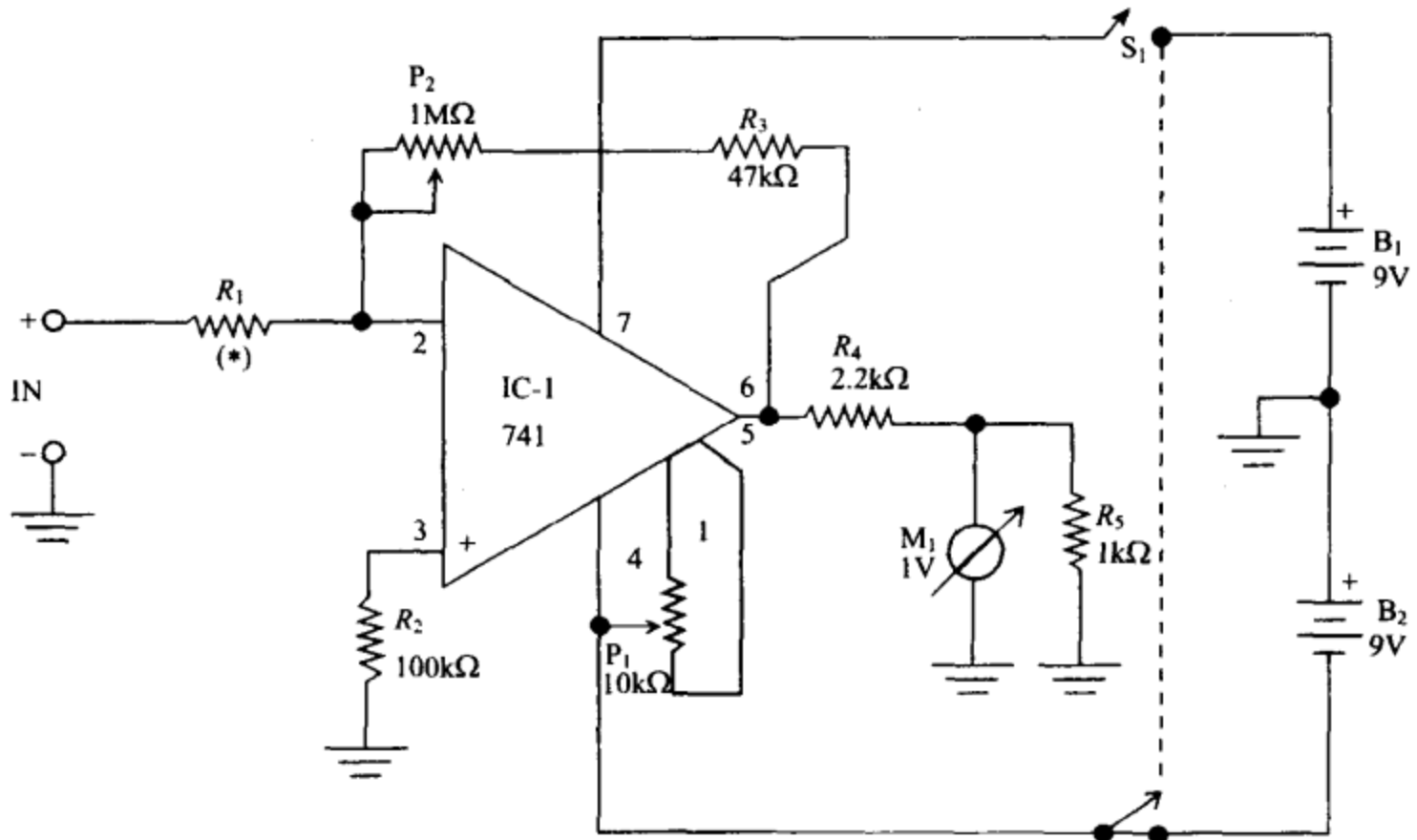
## 2. 使用 741 运算放大器

741 是最著名的运算放大器。由于它的良好特性, 741 被应用于很多的实际电路中, 包括生物放大器。图 3.79 是 741 的一种使用范例。

电路使用量程为 0~1V 的一个伏特表或一个万用表作为指示器。数字或模拟的万用表都可以。

你可以使用一个 50~200μA 的检流计, 串联一个 10kΩ 的电阻和一个 100kΩ 的微调电位计。微调电位计可以被调节到 1V 的满刻度值。对 R<sub>1</sub> 选择合适的值, 电路能达到 1mV, 10mV, 100mV 或 1V 的量程。

你可根据表 3.21 通过增加开关来选择 R<sub>1</sub> 的值, 或简单地直接采用想到的最佳经验值。



(\*) 参阅正文

图 3.79 使用 741 的生物放大器

表 3.21

$R_1 (\Omega)$	满量程
1k $\Omega$	1mV
10k $\Omega$	10mV
100k $\Omega$	100mV
1M $\Omega$	1V

正如你能想到的,基于  $P_2/R_3$  与  $R_1$  的比值,741 运算放大器可以作为 1000 倍的放大器使用。 $P_2$  用来调节电路的校正增益,补偿使用元件所带来的偏差。

电路由两个 9V 的蓄电池供电,但由于耗用电流很低,电源的寿命可以持续数星期之久。出于安全考虑,建议不要将电源接入到交流电上。其他项目中,凡是涉及与人接触的电路上也是如此。

$P_1$  用来调节零点漂移和电极,作用与其他形式的生物放大器和生物反馈项目一样。

表 3.22 元器件清单

元器件	说明
IC-1	741 集成电路芯片运算放大器
$M_1$	1V 的伏特表(参阅正文)
$R_1$	参阅上表
$R_2$	100k $\Omega$ 1/8W 电阻,棕、黑、黄
$R_3$	47k $\Omega$ 1/8W 电阻,黄、紫、橙

续表 3.22

元器件	说明
$R_1$	2.2k $\Omega$ 1/8W 电阻, 红、红、红
$R_2$	1k $\Omega$ 1/8W 电阻, 棕、黑、红
$P_1$	10k $\Omega$ 微调电位计
$P_2$	10k $\Omega$ 对数或线性电位计
$S_1$	双刀双掷开关
$B_1, B_2$	9V 的蓄电池和连接器
其他元器件	PCB 或面包板, 导线, 焊料等

### 3. 驱动 PC

由 5V 的电源为生物放大器供电时, 可使用 PC 机的接口, 如图 3.80 所示。电路使用了一个模-数(A/D)转换器 ADC0831(美国国家半导体公司(National Semiconductor))。当然, 使用其他等效的模-数转换器也可以。

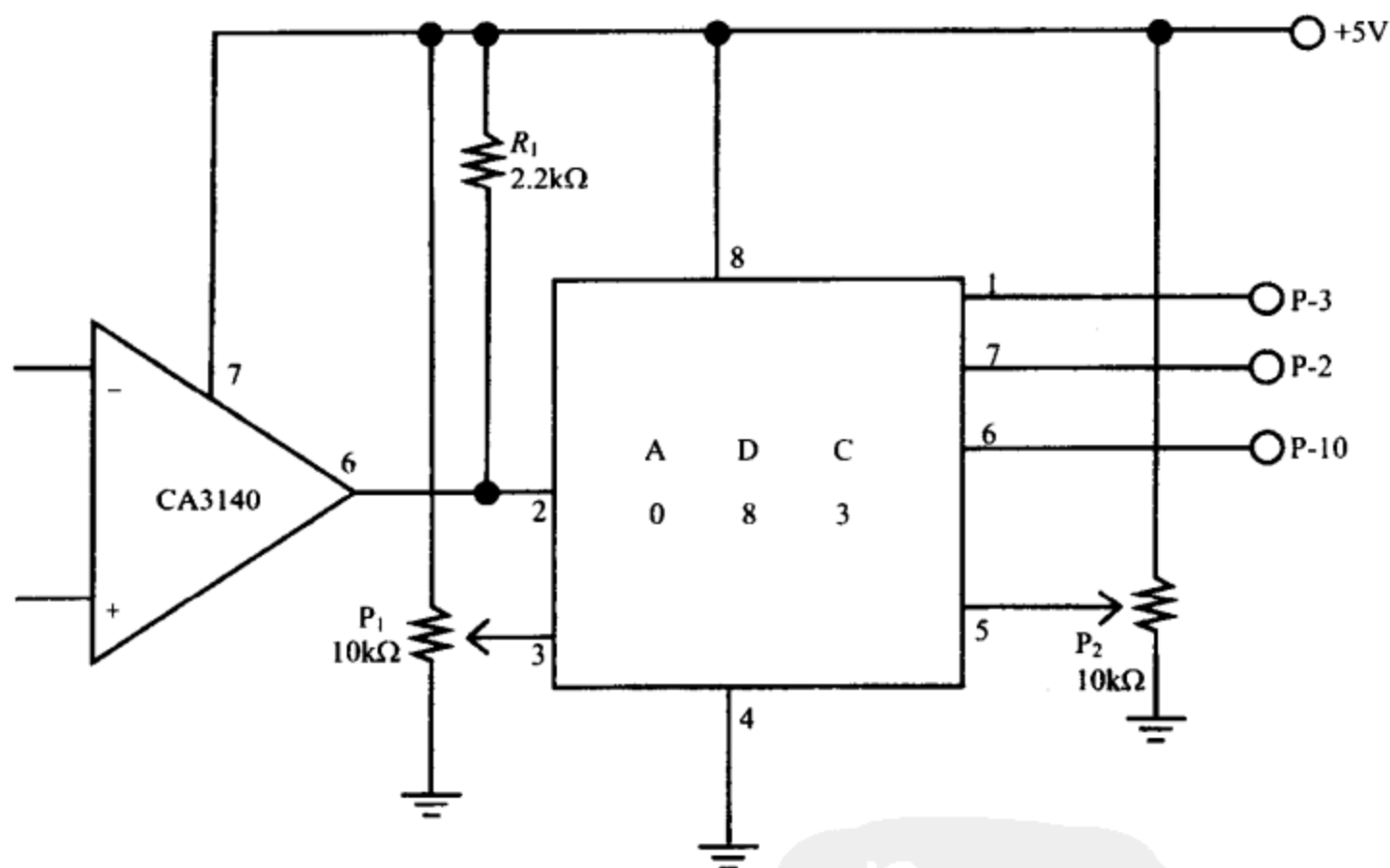


图 3.80 和 PC 机的接口

这个 8 位的电路有一个串行输入/输出系统, 此系统按照一种称之为“逐次逼近”的方法来运算, 从而得出代表模拟输入电压的 8 位数字。这意味着输入电压范围有 256 个值的选择范围。设备能在 0.0195~5V 的范围内操作, 微调电位的调整依赖于被测量的数值量程。

关于此器件更多的信息, 以及如何在数据获取系统中使用它, 可以到美国国家半导体公司的网站([www.national.com](http://www.national.com))上查找。



## 项目7 恐慌发生器

哪种设备能发出可在大脑中产生回响的尖锐声音呢？当然，你不必为了回答这个问题在耳朵里植入一个扬声器。

利用这里介绍的有趣电路，你可以做一些令人惊奇的关于奇特声学现象的实验，如干涉、超声波拍音及其他可在此电路上进行检验的实验。这里讨论的电路能在你的耳朵里产生声音，但它们之间没有任何物理联系，也不需要头部放入什么设备。然而最有趣的是人无法确定声音从哪儿传来，并会产生奇异和恐惧等反应。本项目将介绍其中一个现象：恐慌！

恐慌发生器最初是我 1992 年在《电子学大全》(*Electronica Total*) (巴西) 上发表的一个项目中原创的。自从那个时候起，此电路就被修改和校正多次，并提高了性能，其中使用了那个时候还没有的新器件。对于打算进行声学现象实验的读者来说，这里介绍的新版本并不是广为人知的。

### ■ 该项目中的仿生学应用

恐慌发生器所表现出的生物体与声源之间的交互作用，能应用在很多仿生学实际应用中，其中有些是不能预见结果的。该领域的实验都是非常令人感兴趣的。

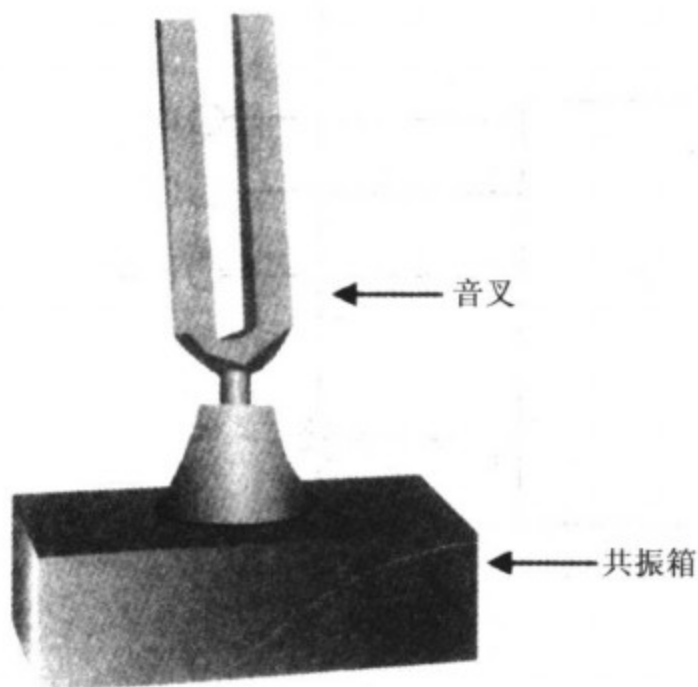


图 3.81 音叉

音调在耳朵里尤其是在鼓膜上混合时，这种现象就会发生。

人们听到的额外频率(很高的和很低的频率)是音叉产生的原始频率之“和”与之“差”。如果一个音叉以 800Hz 振动，另一个以 300Hz 振动，你很可能听到一个 500Hz 的低频(800-300)音调和 1100Hz 的高频(800+300)音调，如图 3.82 所示。这种由声波干涉所产生的现象被称为“拍音”，它也常被高频信号电子电路所利用。

### 1. 工作原理

恐慌发生器的工作原理就是一种被称之为“拍音”的现象。所以，为了理解它的用途，让我们首先解释一下什么是“拍音”。

在教科书中你应该已经学习过音叉(图 3.81)。敲打音叉时，它们以其自振频率振动。自振频率由它们的尺寸、材质和样式来决定。

在同一时间和同一地点，两个不同频率的音叉同时振动时，会产生一个有趣的现象。若你仔细听，不仅仅能听到由音叉发出的两个基准音调(由加工造成的)，而且还能听到一个很高和一个很低的音调。当两个

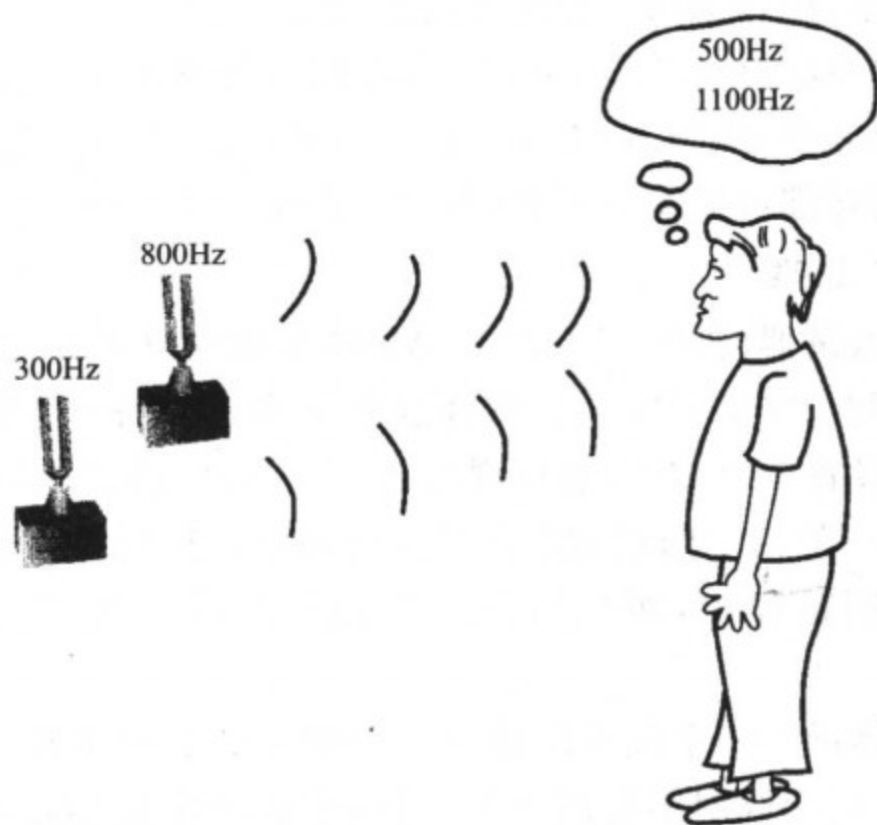


图 3.82 音叉产生频率的“和”与“差”

若想验证这种额外的两个频率(1100Hz 和 500Hz)产生的原理,你将会发现由于在同一时刻,耳膜(鼓膜)的每个点都接收从两个声源产生的振动,所以会产生两个额外的频率。每部分必须同时以这两个频率振动,由这两个振动引起的运动相互叠加,结果就是产生了新的频率。

在这个现象中应注意到的重要一点是:两个新的频率(和与差)不是由声源产生,而是在振动区域内产生的。之所以两个新的频率在耳朵里面产生,是因为耳膜产生了新的振动。因此 1100Hz 和 500Hz 的振动就是在人的耳朵里产生的。

更进一步,用超声波来做相同的试验,超声波频率分别是 19 000Hz 和 20 000Hz(切记,人不能听到 18 000Hz 以上的声音)。当然,没有人能听到由声源产生的这两个超声波,因为它们不在我们的听力范围之内。但这两个音调在耳朵里混合时,会产生两个新的音调。一个混合频率为 39 000Hz,这在我们听力范围以外。但另一个 1000Hz 的差频率能被听到,因为它在我们的听力范围之内。

有关该现象有意思的事实是:不同的音调在耳朵里产生,更准确的说是在耳膜(鼓膜)内产生。所以我们会有一种奇怪的感觉:声音产



图 3.83 从何而来的声音

生在我们的大脑里,但是不知声音从何而来,如图 3.83 所示。

当然,如果超声波由大功率源产生,在我们耳朵里产生的音响成分将引起某种不适,如果这种效果产生的影响持续很长一段时间,甚至会引起恐慌感。在我们的项目中,所有的因素都被考虑进去了,其工作方式将陆续介绍。

### ■ 电路的工作原理

两个超声波振荡器使用一个 4093 CMOS 集成电路芯片四个门中的两个搭建而成,产生的音调在 20 000Hz 内。选择这个频率是因为普通的小型高频扬声器,例如在普通音频设备中所用的,能再现高达 22 000Hz 的音质频率。

4093 芯片剩下的两个门路被用作低频振荡器,对其他两个振荡器产生的高频进行调频。在调频过程中,两个超声波振荡器的频率在 20 000Hz 上下缓慢的变化。

此过程对主体产生一个额外的效应。当拍音改变频率时,声音或多或少有点尖锐,像警报声。由于调制不是同步的,超声波振荡器改变它们的频率,这样在听力范围内就产生一个随机拍音。

两个调制振荡器的信号通过功率 MOSFET 作用于大功率输出级。这些晶体管能从超声波获得数瓦的功率提供给小型压电高频扬声器,如图 3.84 所示。

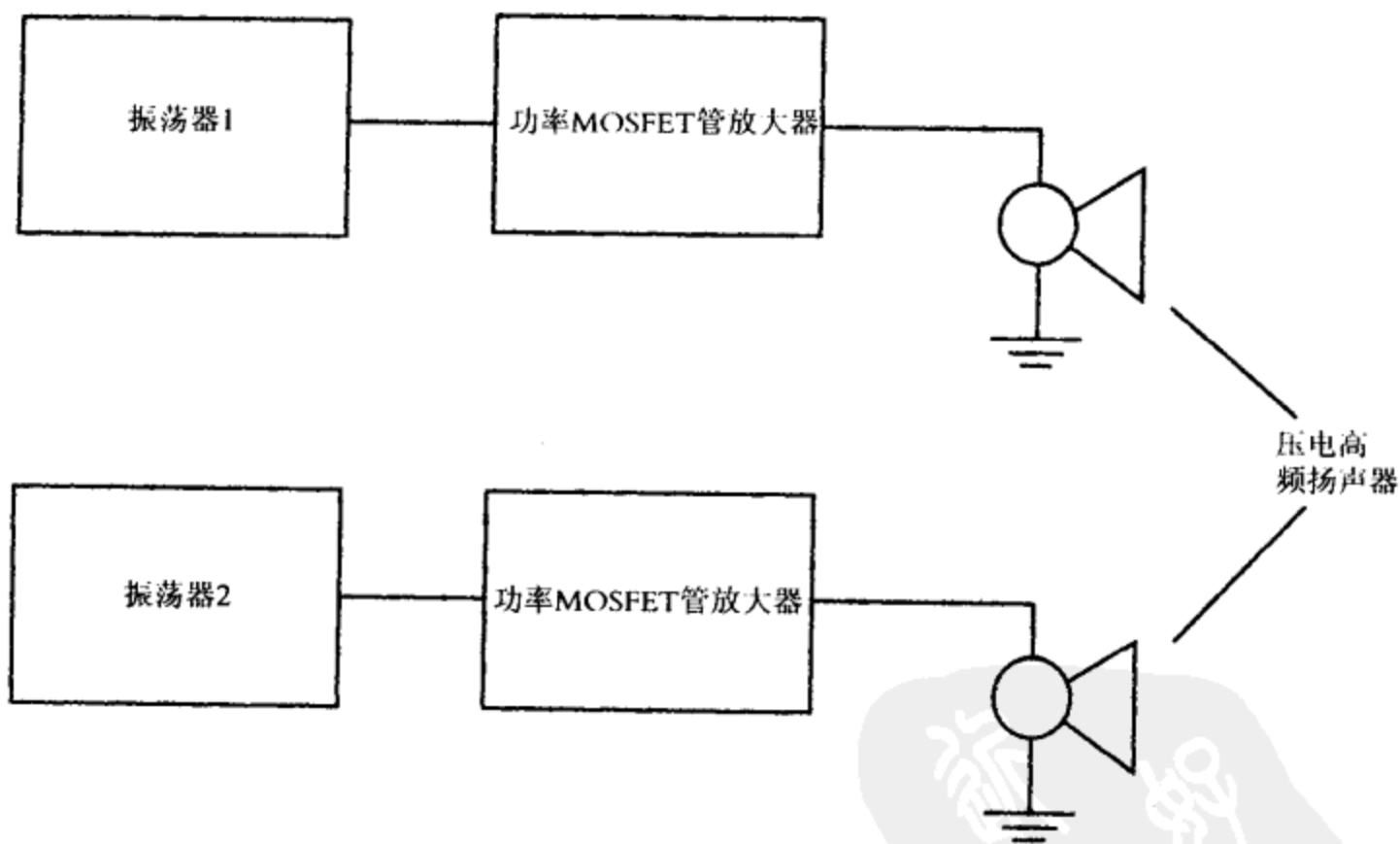


图 3.84 恐慌发生器的结构简图

正如我们前面解释过的,随机拍音在听力范围以内,耳朵可以听见,而引起奇怪的效果——一个不知从何而来的低沉的声音。

图 3.85 所示为电路不同区域的波形,以及经历振动的主体定音鼓的波形,此振动由电路产生。

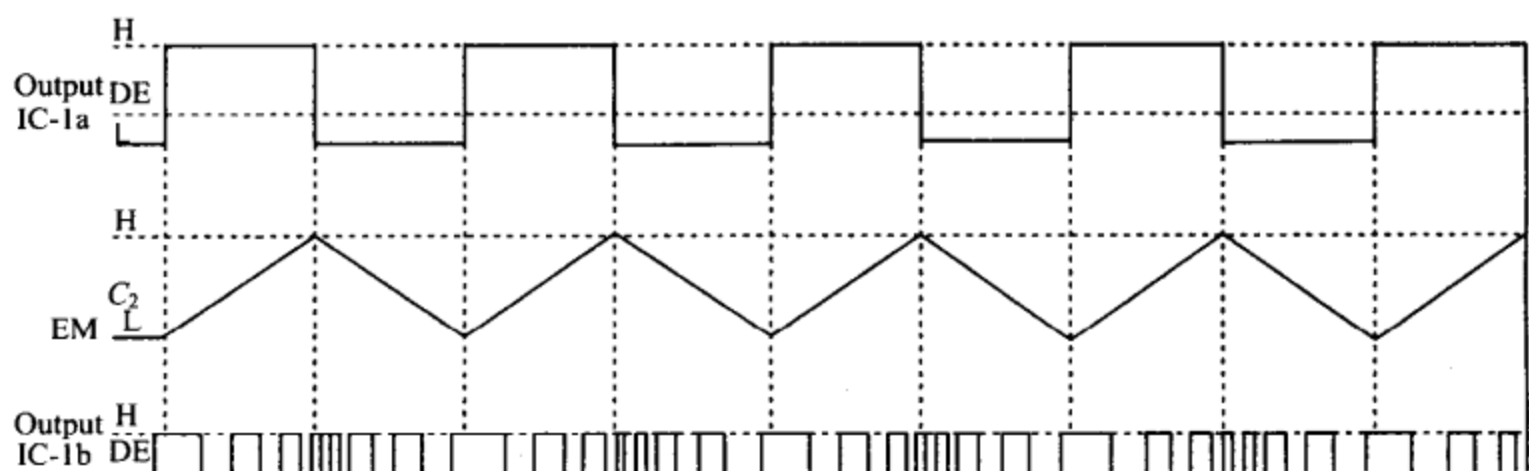


图 3.85 电路不同区域的波形

此电路有很多实际应用,诸如作为报警器,或作为涉及人和动物的行为实验的一部分,如植物生长,噪声污染等。同时也建议做一下其他类似的没有扬声器的音乐重现的相关实验。

### ■ 搭建方法

图 3.86 表示了恐慌发生器的原理图。

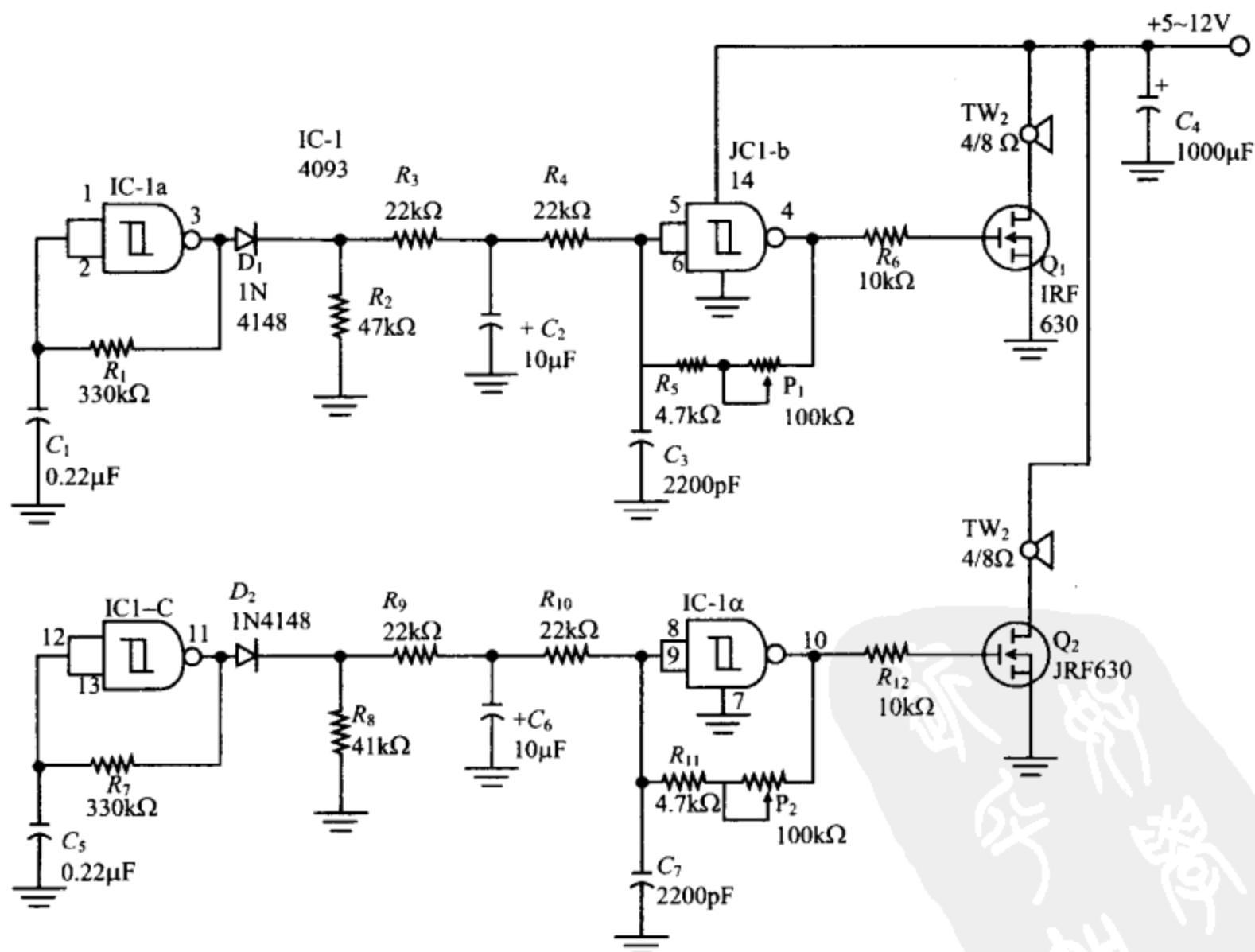


图 3.86 恐慌发生器的原理图

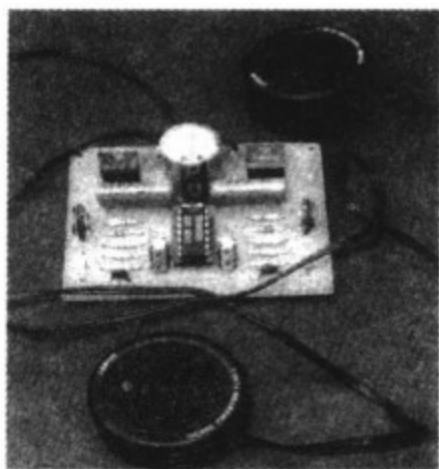


图 3.87 搭建在 PCB 上的恐慌发生器

该电路可以搭建在一块 PCB 上,如图 3.87 所示。

图中并没有晶体管 and 它们的散热片,但它们是不可或缺的。任何额定源耗电压为 200V 或更高,耗用电流为 2A 的 FET(功率场效应晶体管)都可以使用。推荐使用如图 3.88 所示的 PCB 的样式。

微型高音用扬声器的额定功率为 80W,频率响应在 22 000Hz 或更高。电路必须使用 9~12V 3A 的电源供电。建议使用如图 3.89 所示的电源。

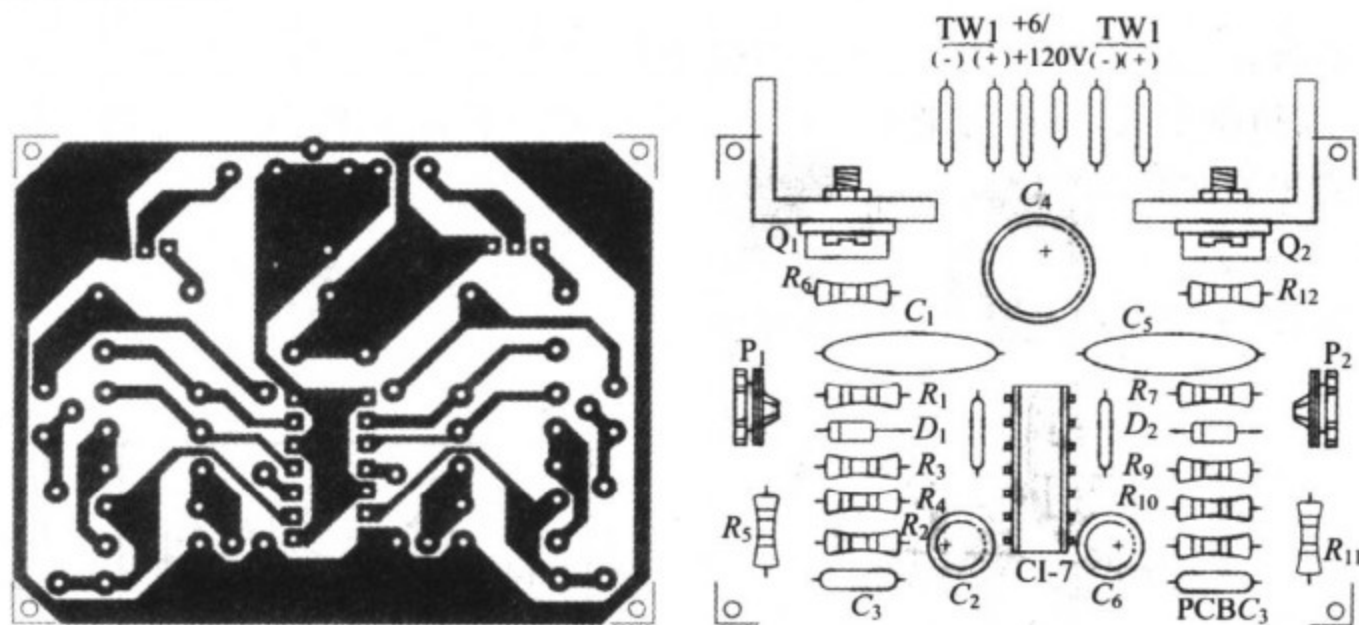


图 3.88 推荐使用的 PCB

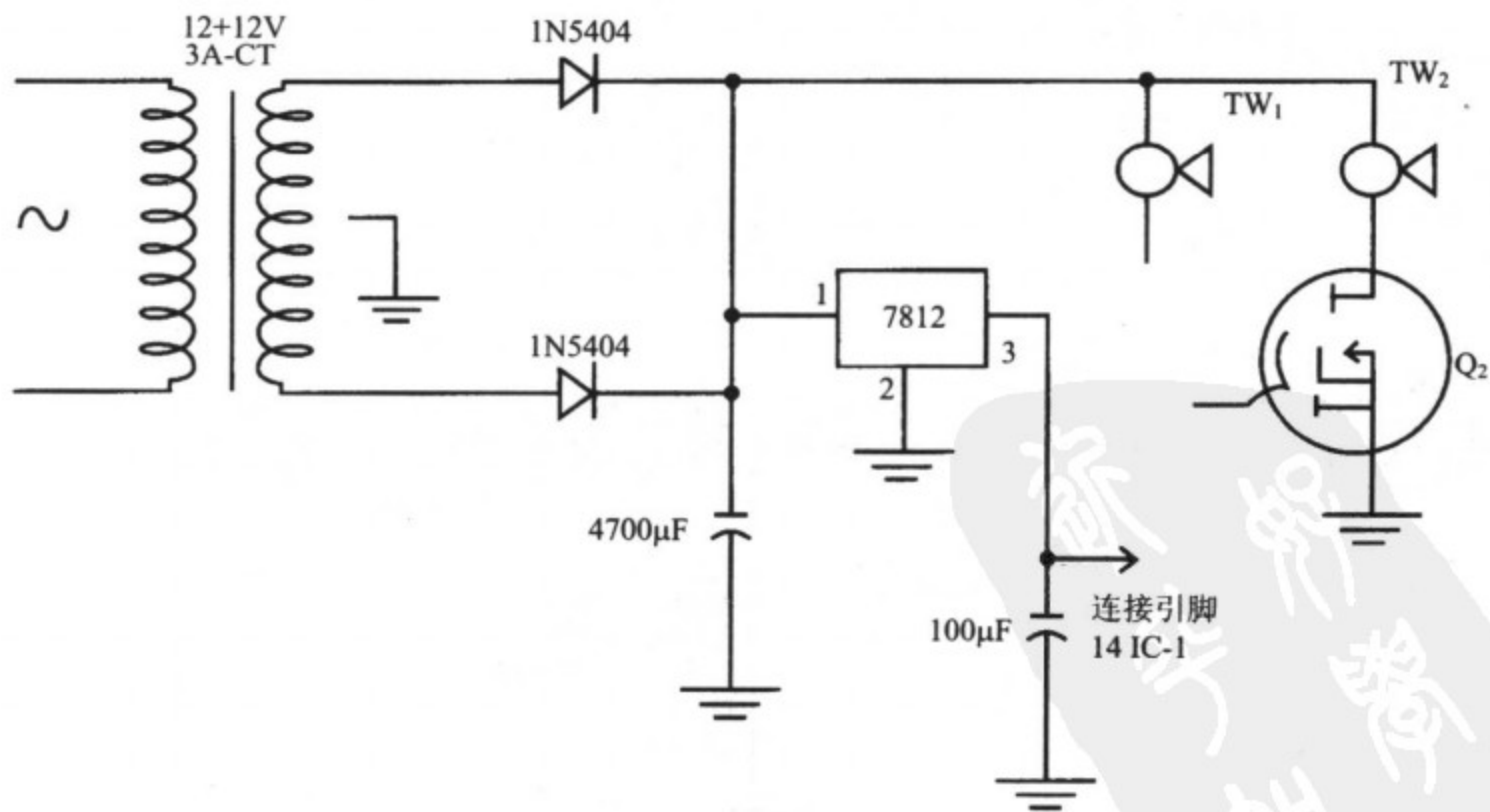


图 3.89 电路的电源



变压器的初级线圈电压根据电源而定(例如 117V 的交流)。次级电压为 7.5V 或 12V, 电流在 3~4A 的范围内。

### ■ 测试及使用

两个高音用扬声器的设置距离为 12~20ft(1ft=0.3048m)。连接其中一个到相应的输出, 并开启电路。接着, 调节相应的微调电位使得产生超声波(声音上升到最高音部, 接着消失)。

然后断开这个高音扬声器, 连接另一个, 做同样的调节。断开电源, 将两个扬声器都连接到输出。此声音导致的效果应该产生在耳朵里。

进行该实验时, 注意不要让此声音对任何人造成伤害。也不要人在和动物周围长时间的使用恐慌发生器。

表 3.23 恐慌发生器元器件清单

元器件	说 明
IC-1	4093 CMOS 集成电路芯片
$Q_1, Q_2$	IRF630, IRF620 或等效的功率 FET(参阅正文)
$D_1, D_2$	1N4148 多用途硅二极管
$R_1, R_7$	330k $\Omega$ , 1/4W, 5% 的电阻, 橙、橙、黄
$R_2, R_8$	47k $\Omega$ , 1/4W, 5% 的电阻, 黄、紫、橙
$R_3, R_4, R_9, R_{10}$	22k $\Omega$ , 1/4W, 5% 的电阻, 红、红、橙
$R_5, R_{11}$	4.7k $\Omega$ , 1/4W, 5% 的电阻, 黄、紫、红
$R_6, R_{12}$	10k $\Omega$ , 1/4W, 5% 的电阻, 棕、黑、橙
$P_1, P_2$	100k $\Omega$ 的微调电位计或普通的电位计
$C_1, C_5$	0.22 $\mu$ F 的陶瓷或金属薄膜电容器
$C_2, C_6$	10 $\mu$ F/12V 直流工作电压的电解薄膜电容器
$C_3, C_7$	2200pF 的陶瓷或金属薄膜电容器
$C_4$	1000 $\mu$ F/16V 直流工作电压的电解电容器
$TW_1, TW_2$	4 $\Omega$ 或 8 $\Omega$ , 80W 以上小型压电高频扬声器
其他元器件	PCB 或面包板, 导线, 电源(参阅正文), 晶体管的散热片, 塑料盒等

### ■ 其他电路及创意

基本形式的恐慌发生器能作为独立完整的系统, 但若想进行更深入的实验, 你可以尝试多种方式。这里给出一些参考形式。

#### 1. 使用外部放大器

如果你有一个品质较好的大功率放大器, 你可用它来给高频扬声器提供电能, 它必须接收放大器所有的功率。

只要在 15~25Hz 之间, 放大器有一个好的频率响应即可满足要求。必须特

别当心,不要让这些信号使放大器的输出过载。图 3.90 所示是在没有输出晶体管情况下,如何将外部放大器连接到振荡器上。

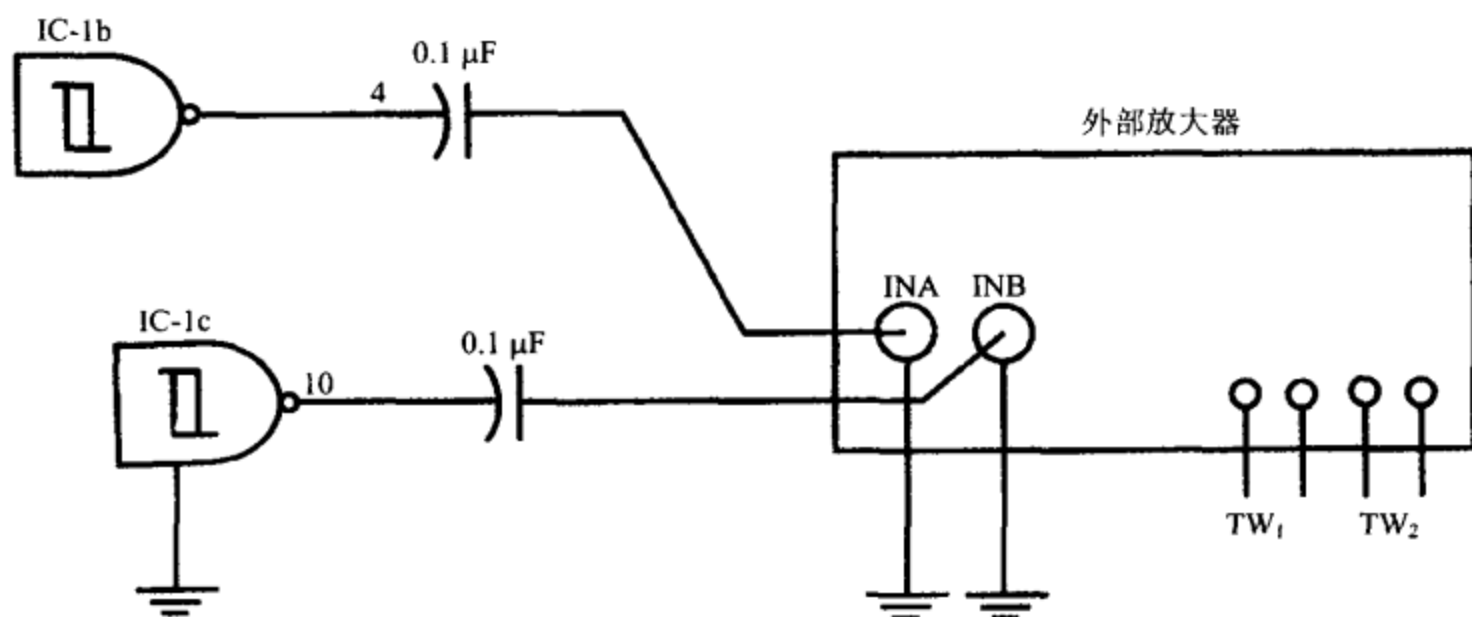


图 3.90 使用外部放大器

### 2. 使用更多声源

如果使用两个以上的调制超声波源,拍音的效果会更明显。假如有 3 个声源将产生 6 个组合拍音,作者应该预示到这种效果。图 3.91 所示为两个基本形式路驱动产生的四个超声波信号充斥了周围空间。

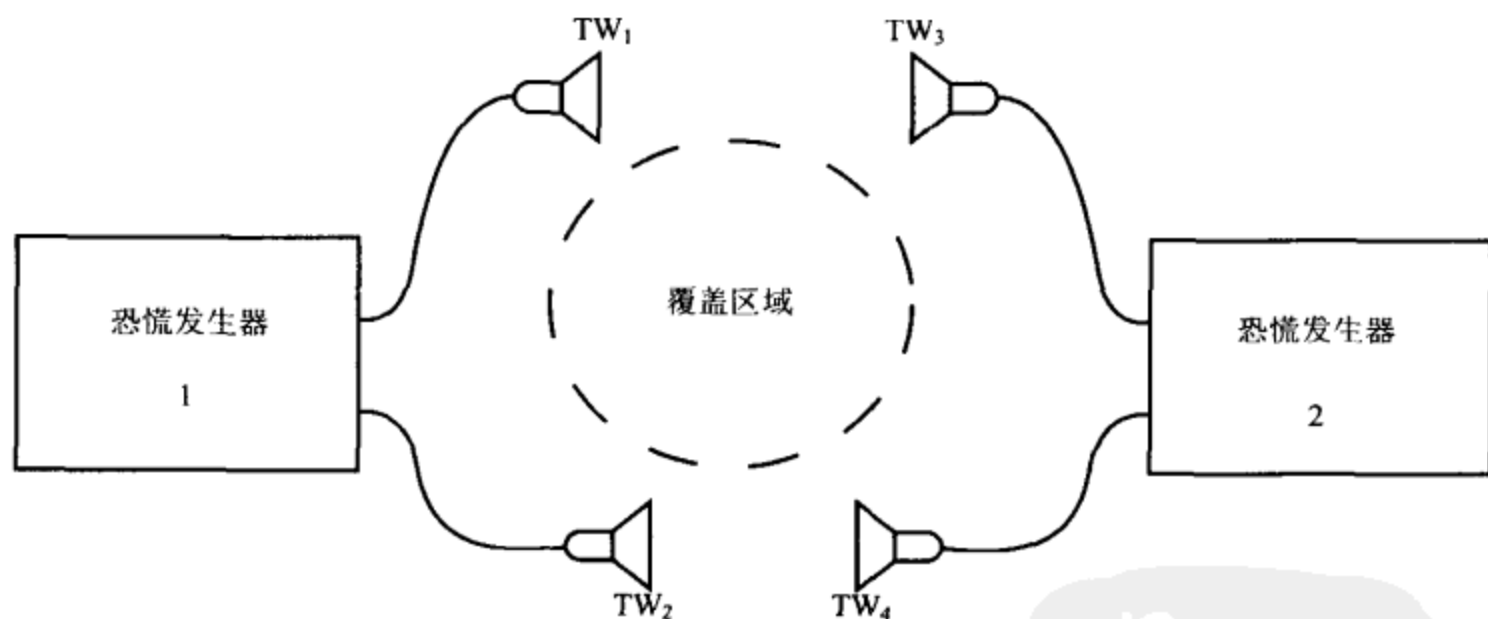


图 3.91 使用四个超声源

### 3. 使用 555 集成电路芯片的电路

另一种恐慌发生器的电路使用著名的 555 集成电路芯片,如图 3.92 所示。

在这个电路中,4 个 555 集成电路芯片用作非稳态多频振荡器。其中两个连接到大功率输出晶体管上,从而产生高频音调。功率 MOSFET 也被固定在散热片上,并且这些振荡器的频率由微调电位计调节。



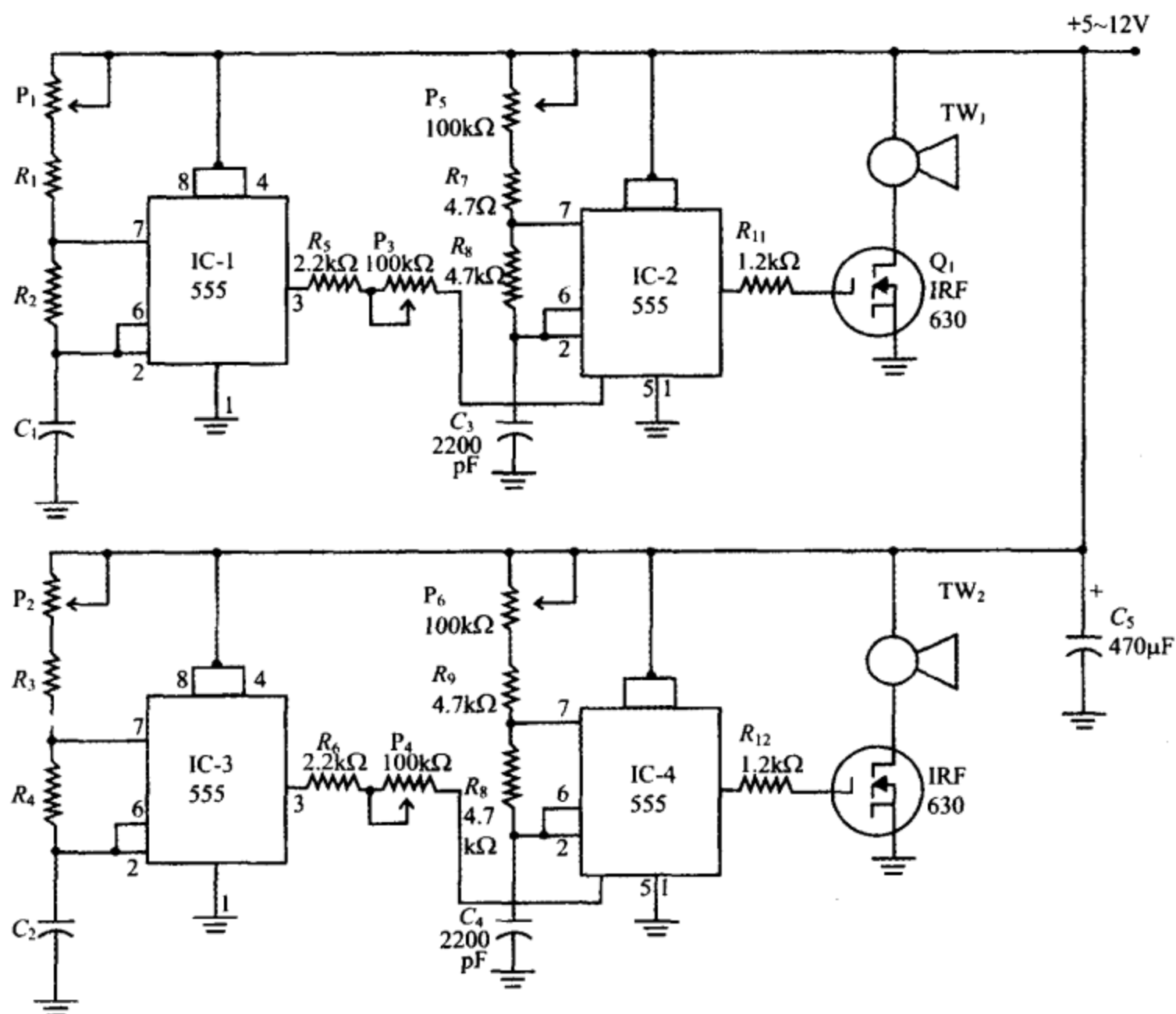


图 3.92 使用 555 集成电路芯片的恐慌发生器

另外两个 555 集成电路芯片产生调制信号,并由相应的信号调节。其功能和基本形式一样。

$P_3$  和  $P_4$  调节调制信号的幅度。为了补偿误差,从而使电路达到最佳性能,适当改变元件的参数是必须的。

表 3.24 元器件清单

元器件	说明
IC-1~IC-4	555 集成电路芯片
$Q_1, Q_2$	IRF630 或等效的功率 MOSFET
$R_1, R_2, R_3, R_4$	22k $\Omega$ 1/8W 电阻,红、红、橙
$R_5, R_6$	2.2k $\Omega$ 1/8W 电阻,红、红、红
$R_7, R_8, R_9, R_{10}$	4.7k $\Omega$ 1/8W 电阻,黄、紫、红
$R_{11}, R_{12}$	1.2k $\Omega$ 1/8W 电阻,棕、红、红

元器件	说明
$P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$	100k $\Omega$ 1/8W 微调电位计
$C_1, C_2$	0.047 $\mu$ F 陶瓷或聚酯电容器
$C_3, C_4$	2200pF 陶瓷或聚酯电容器
$C_5$	470 $\mu$ F 16V 电解电容器
$TW_1, TW_2$	4 $\Omega$ 或 8 $\Omega$ , 80W 以上小型压电高频扬声器
其他元器件	PCB 或面包板, 导线, 电源(参阅正文), 晶体管的散热片, 塑料盒等

#### 4. 使用达林顿晶体管

可用功率 NPN 达林顿晶体管来替代功率 MOSFET。图 3.93 所示是电路图的变化。

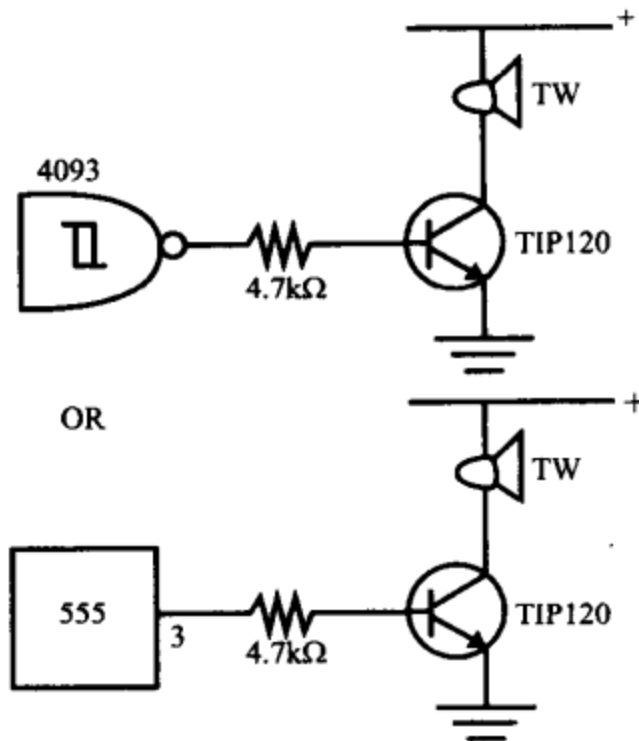


图 3.93 使用达林顿晶体管

PCB 和基本电路无须改变。TIP120, TIP121, TIP122 等类型的晶体管均适用于本项目。当然它们也应安装在散热片上。

#### 创意探究

在科学领域, 拍音与超声波的混合效应并不是众所周知。最近探索频道播出了一期节目, 讨论了很多种声音的效果, 包括低频的。尽管该节目没有介绍一些很危险或者对内脏有特别影响的内容, 但在做这方面的实验时, 必须小心谨慎!

实验表明, 长时间遭受超声和次声(听力界限以下或低于 16Hz), 会引起像呕吐和痢疾之类的消化疾病。我们再次强烈建议读者, 长时间进行涉及此电路的实验时, 一定要当心。如果肠胃感到不舒服时, 应该立即停止实验。

数年前, 一位作者写了一部有趣的喜剧, 讲述了一位狂热的教授发明了一台大

功率的超声波发生器,与本项目一样也是采用低频(次声)来调制。Ventura 教授在他所在城市里一个特别的广场上,用这种装置来驱赶小鸟。原因是小鸟栖息在树上,鸟粪经常掉在从树下走过的人头上。

Ventura 教授用该设备可以吓走小鸟,但电路产生的副作用却是始料不及的:会使人产生痢疾。当市长宣布广场没有小鸟时,这个结果却带来了巨大的负面影响——所有在广场驻足的市民们都对可怕的痢疾危机感到恐慌。

探索频道探究了这个想法,一些纪录片的摄制者也想使用低频大功率的放大器重现这种效应。虽然此故事夸大了超声效应,但我们建议你不要重复此实验。

不过,我们想提供一些利用恐慌发生器,无论是和朋友还是其他生物体进行仿生学实验的思路。

- 改换  $C_2$  和  $C_6$  以获得不同的调制模式。
- 将此电路作为报警器的一部分,并通过一个继电器来控制电源。
- 将此电路放置在你能吸引人和动物注意力的地方。
- 让志愿者身处此电路的周围环境中 10~15min 的时间(但不再阻止产生恐慌)。时间结束后,测试人的一些活动技能。你能确定影响人体反应的噪声污染程度,例如精神紧张。

• 也可以用这个电路作为农场里病虫害防治的一种代替方法。研究鸟类和昆虫如何被恐慌发生器产生的振动所影响。但一定要让家畜远离设备,因为此振动对它们是有利的。

• 植物生长和发芽的试验也能用此恐慌发生器来进行。选择增长很快的两组植物,如豆类植物,并测量它们的生长速度。一组暴露在恐慌电路振动之下,另一组未暴露在振动环境下,然后比较其生长高度。

• 在一个涉及磁场效应对植物生长和发芽影响的实验中,可用线圈代替高频扬声器,并将信号作用到植物上。线圈可通过在正方形纸板(15cm×15cm)上缠绕 30~50 圈普通导线制作而成。

• 此电路的另一种可能用途就是确定超声波如何影响生物组织,或超声波与生物组织的相互作用。你能通过植物生长实验,来观察噪声和其他声音如何影响普通的植物生长,例如西红柿和豆类。

#### ■ 一种探究思路:一种新的声音再现系统

通过拍音,你能使用一种新的声音再现形式,正如我在 1992 年所提出的,声音不需要扬声器或耳机就能在聆听者的耳朵里产生。该声音再现系统利用两个与大功率超声换能器连接的振荡器,其中一个以固定频率工作,另一个有相同的频率但由一个声音处理电路调制,如音频放大器。在聆听者耳朵内产生的两个超声信号的拍音,将重现施加在音频放大器上的声音,像从 CD 播放机、手机或其他声源播放的声音,正如图 3.94 所展示的。

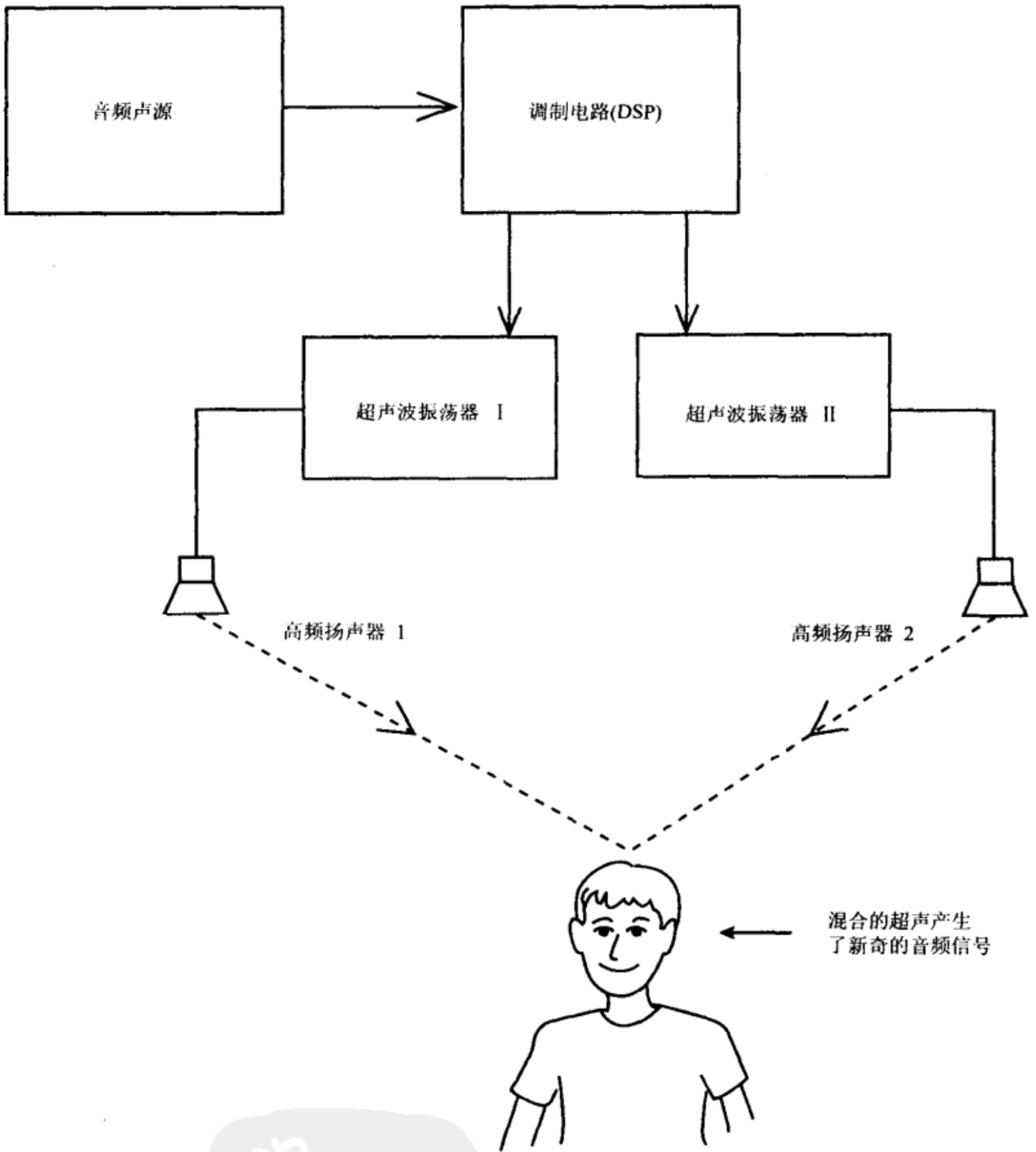


图 3.94 一个 brontophonic<sup>1)</sup> 声音再现系统, 由作者提出

1) Brontophonic 源自拉丁词语 brontus, 意思是雷声。它描述了一种可产生低频的声音, 它可导致其他高频振动发生, 像振动窗户的雷声。当重型卡车从街道通过时, 这种声音也会产生。

确保当拍音在定音鼓膜上产生时,聆听者的大脑里能听到此声音。他(她)将有种强烈的感受:不知此声音从何而来。美国的一个实验室正在利用此效应,研究商用的声音再现系统,他们自己也声称这不是新颖的东西。

开发此电路的难点在于,拍音应该在频率和强度上和原始信号符合,而一个简单直接的调制是不够的。调制超声波的信号需要复杂的处理,在这方面还需要某些研究。你若想在仿生学、电子学和声学领域做一些深入的研究工作,这是一个很有意思的探索课题。

## 项目8 磁场发生器

生理节奏是指生物体随昼夜交替而发生的自然变化。随着日夜更替,许多种生物的生理特征发生明显改变,特别是植物。

电子元器件对各种生物的生理节奏影响成为仿生学领域将要研究的一个令人感兴趣的课题。你在这里可以看到外加的电场、磁场或者不同波长光(颜色不同)对植物或者其他生物,如昆虫,甚至小动物产生的影响。从实验中可以看到在各种场作用下动植物行为的变化,实验成果可以用来开发新的仿生学装置。

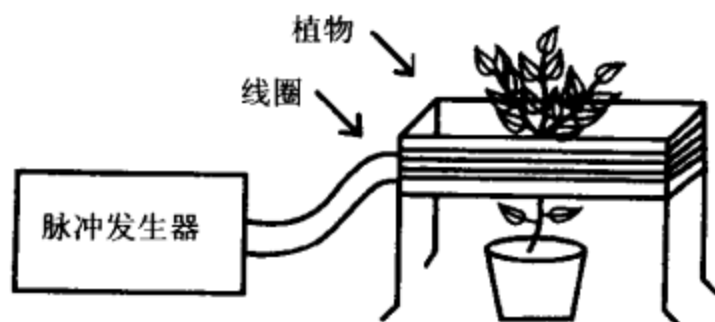


图 3.95 对植物施加磁场

我们在这里介绍的是如何制作一个可完成该类实验的磁场发生器。实验电路会产生高电流脉冲,电流通过线圈产生磁场脉冲。线圈相对于植物的放置位置如图 3.95 所示。

根据实验的不同,线圈可以放置在昆虫或者其他动物的笼子四周。产生的磁场可以刺激植物生长得更快或者长出更大的果实。建议将西红柿作为实验对象,原因是它容易栽培,也便于观察。

本项目中,磁场强度和变换频率在很大范围内可控。在一些特殊的低频磁场实验中,我们必须谨慎处理。低频线路产生的磁场具有危险性,能够引起癌变或者其他问题,对植物和其他生物所做的实验已经证实了这一点。

### ■ 仿生实验和项目

基于该实验装置,可以进行许多实验与应用:

- 研究当植物或者昆虫受到磁场作用时生理节律是如何改变的。
- 研究水果在磁场作用下如何生长。
- 确定磁场是否可以改变昆虫的行为,如蚂蚁或者蜜蜂。
- 研究磁场对生活在鱼缸中鱼的行为影响。

我们必须知道由这个装置产生的低频磁场是很微弱的,并且对人体没有伤害,因为磁场集中在线圈内部,线圈内部磁场更强,如图 3.96 所示。另外,这个实验装置产生的磁场要比诸如电动剃须刀或其他用电动机驱动的家用电器所产生的磁场弱很多。家用电器所产生的磁场相对来说更危险一些。

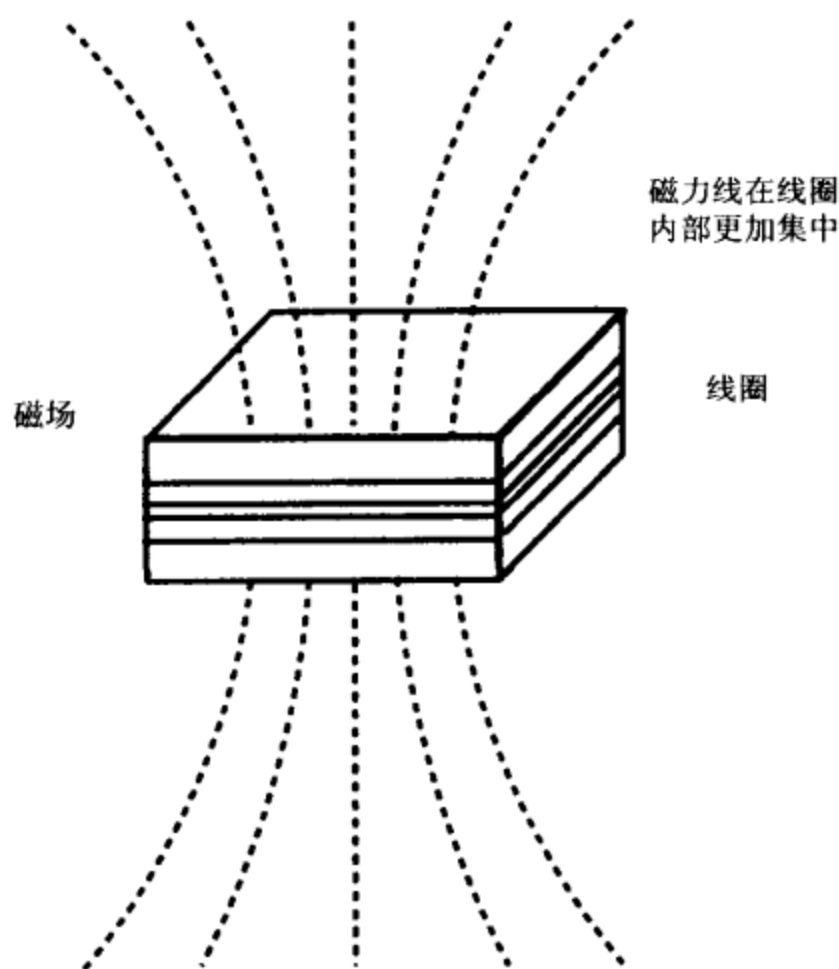


图 3.96 磁场集中在线圈内部

■ 工作原理



图 3.97 电路原理图

这个基本项目由接通交流电源线的张弛振荡器组成,该振荡器有一个 SCR,作为它的主要构件。电路原理如图 3.97 所示。

交流电源电压通过  $D_1$  整流,再通过电阻  $R_1$  分压之后对电容器  $C_1$  充电,使用 117V 交流电源情况时, $C_1$  两侧电压峰值约为 150V。 $SCR$ 、 $P_1$ 、 $R_2$  和  $C_2$  构成了一个带有氖灯的张弛振荡器。连接在 SCR 阳极的线圈构成了负载。

此电路的工作方式如下:在没有达到氖灯启动电压时,电容器  $C_2$  通过电位计  $P_1$  和  $R_1$  构成回路。一般氖灯的触发电压在 80V 左右,在这个装置中使用型号为 NE-2H 的氖灯。

当氖灯被触发点亮后,电容器  $C_2$  向 SCR 控制极放电,使 SCR 开始工作。此时,由 SCR、 $C_1$  和线圈构成闭合回路。然后电容器  $C_2$  通过 SCR 放电,在线圈中产

生一个强脉冲。这个脉冲产生了实验所需要的磁场。只要  $C_1$  的电压下降到维持电压之下,SCR 停止工作,一个新的循环开始。

触发启动和停止,张弛振荡器在线圈中产生了高能量的磁场脉冲。脉冲的强度和频率取决于如下几个因素:

- $C_1$  的值决定了磁场脉冲的强度,可以采用  $1\sim 32\mu\text{F}$  的电容器。 $C_1$  同样决定了磁场的频率。大电容能够产生强脉冲但是频率较低。
- $C_2$  的值和电位计  $P_1$  的调节值决定了频率。
- 线圈圈数的多少决定了磁场强度的大小。

参照这三个要素,你可以制作出所期望的满足个人要求的实验装置。

### ■ 搭建方法

图 3.98 给出了磁场发生器的电路原理图。搭建该电路的最简单方法是利用接线条连接所需元器件,如图 3.99 所示。当然,如果条件许可,你可以利用 PCB 制作。

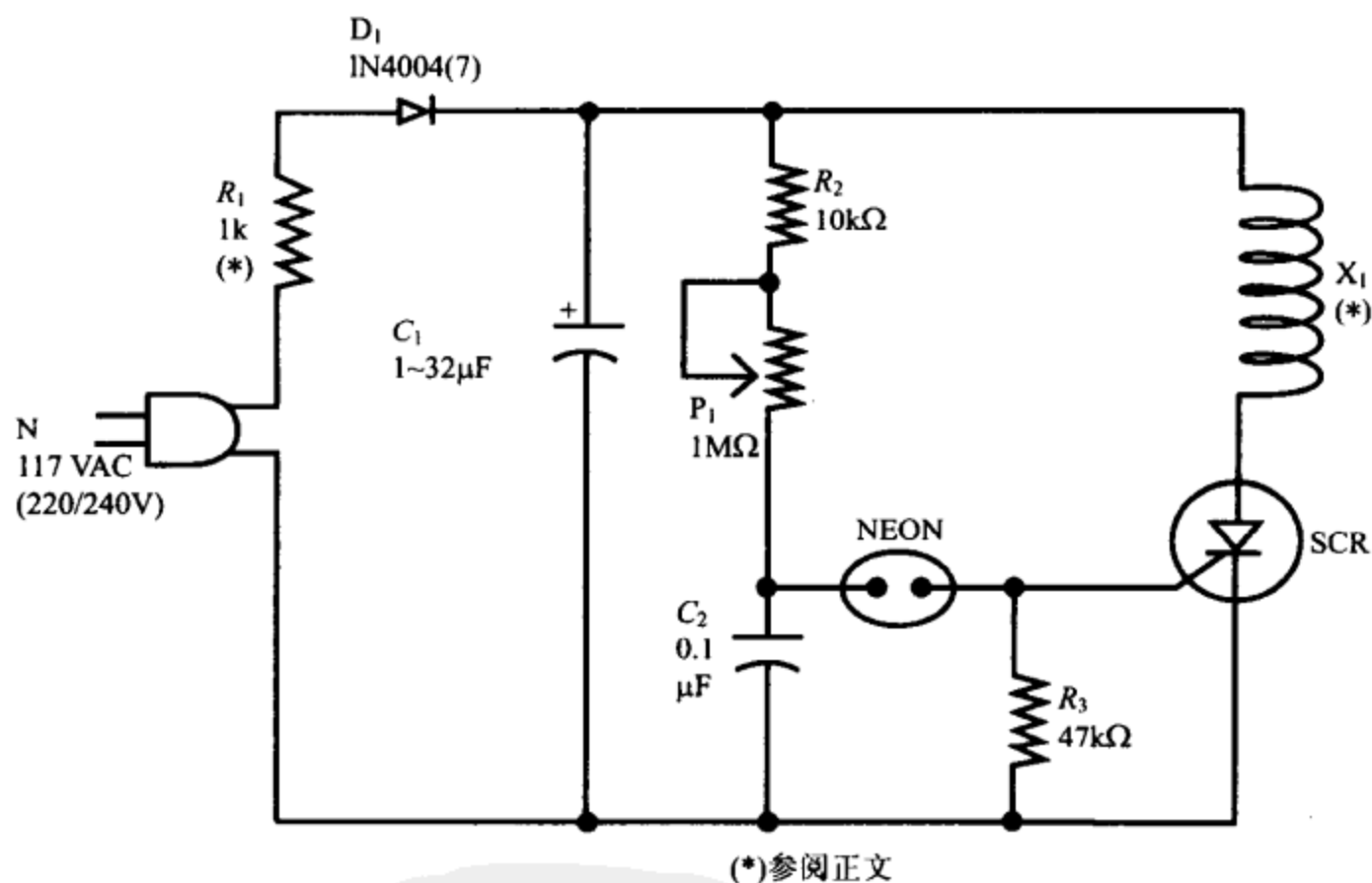


图 3.98 磁场发生器电路原理

电容器  $C_1$  可以是聚酯电容器或者电解电容器。如果使用电解电容器,就必须注意其极性,因为电解电容器是极性元件。元器件清单中给出了该电容器的最低耐压值。 $C_2$  可以是耐压值在  $100\text{V}$  或者以上的任何聚酯电容器。 $R_1$  为绕线电阻,耐压值选择根据交流电源是  $220\text{V}$  或者  $240\text{V}$  不同而不同。



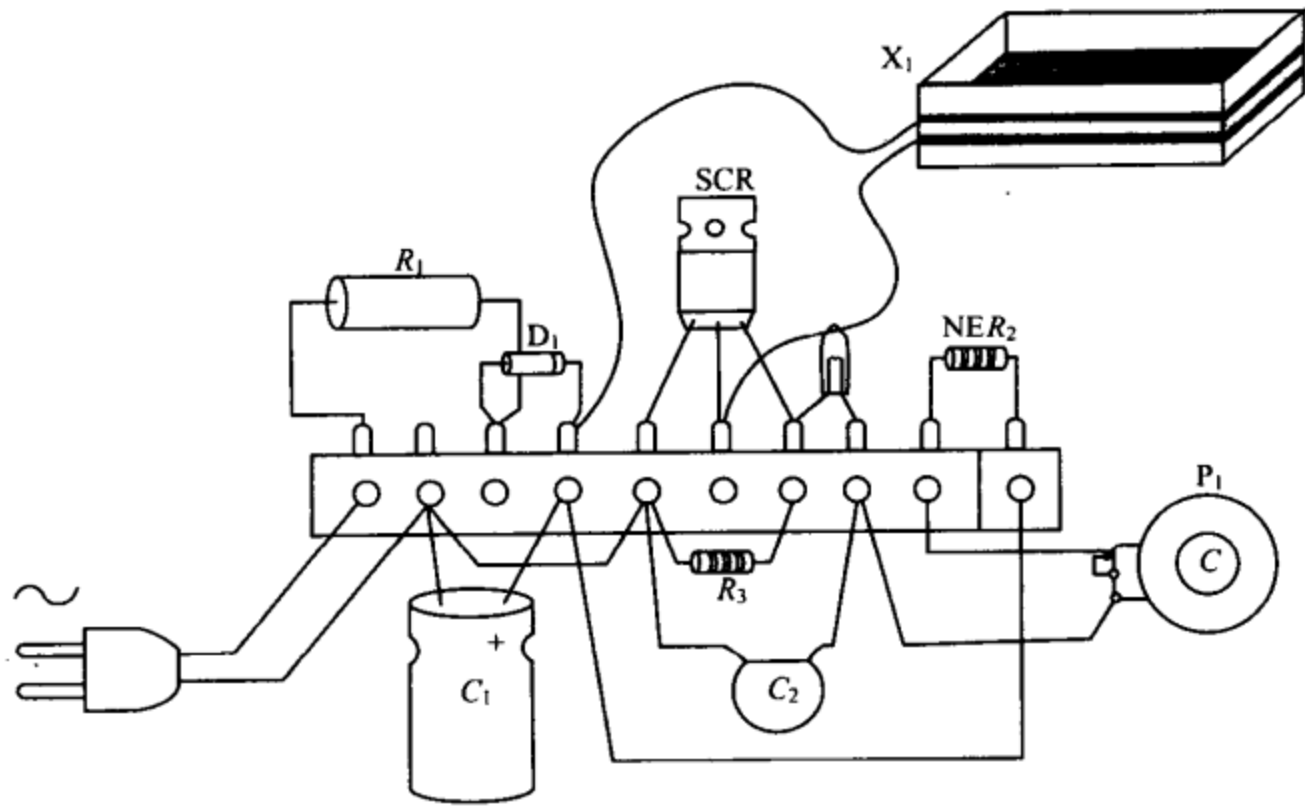


图 3.99 利用接线条制作电路

线圈由 50~500 圈任何可以满足安装要求的电线缠绕而成。你可以使用美国线规 22~32 号的漆包线或者其他任何标准的塑料线。

■ 测试及使用

将交流电源接入电路,调节  $P_1$  的电阻值,氖灯将会闪烁。闪烁的频率取决于  $C_1$  的值和  $P_1$  的调节值。

调节完毕之后实验就可以进行了,把样本放入线圈内,确定你要得到什么样的实验结果和实验的时间间隔。利用其他装置测量样本的行为变化,如温度计。

表 3.25 元器件清单

元器件	说 明
SCR	TIC106B(D) SCR
$D_1$	1N4004(7) 硅整流二极管
NE	氖管(霓虹灯),NE-2H 或等效的
$R_1$	1k $\Omega$ 10W (2.2k $\Omega$ )绕线电阻
$R_2$	10k $\Omega$ 1/8W 电阻,棕,黑,橙
$R_3$	47k $\Omega$ 1/8W 电阻,黄,紫,橙
$P_1$	1M $\Omega$ 线性或对数电位计
$C_1$	1~32 $\mu$ F 200V(400V)聚酯或者电解电容器(参阅正文)
$C_2$	0.1 $\mu$ F 100V 聚酯电容器
$X_1$	线圈(参阅正文)
其他元器件	接线条或者 PCB,电源线,导线,盒子等

## ■ 其他电路及创意

不论这个电路是否应用于生物实验或者其他方面,低频的磁场可以由很多方式产生。其他一些电路也可以产生高频的磁场,我们将在下面的章节中进行介绍。

### 1. 利用交流电路

一个产生随电路频率变化而产生交变磁场的简单方法如图 3.100 所示。该电路的优点是使用很少的元件。但其最主要的缺点是磁场频率被固定在 60Hz。

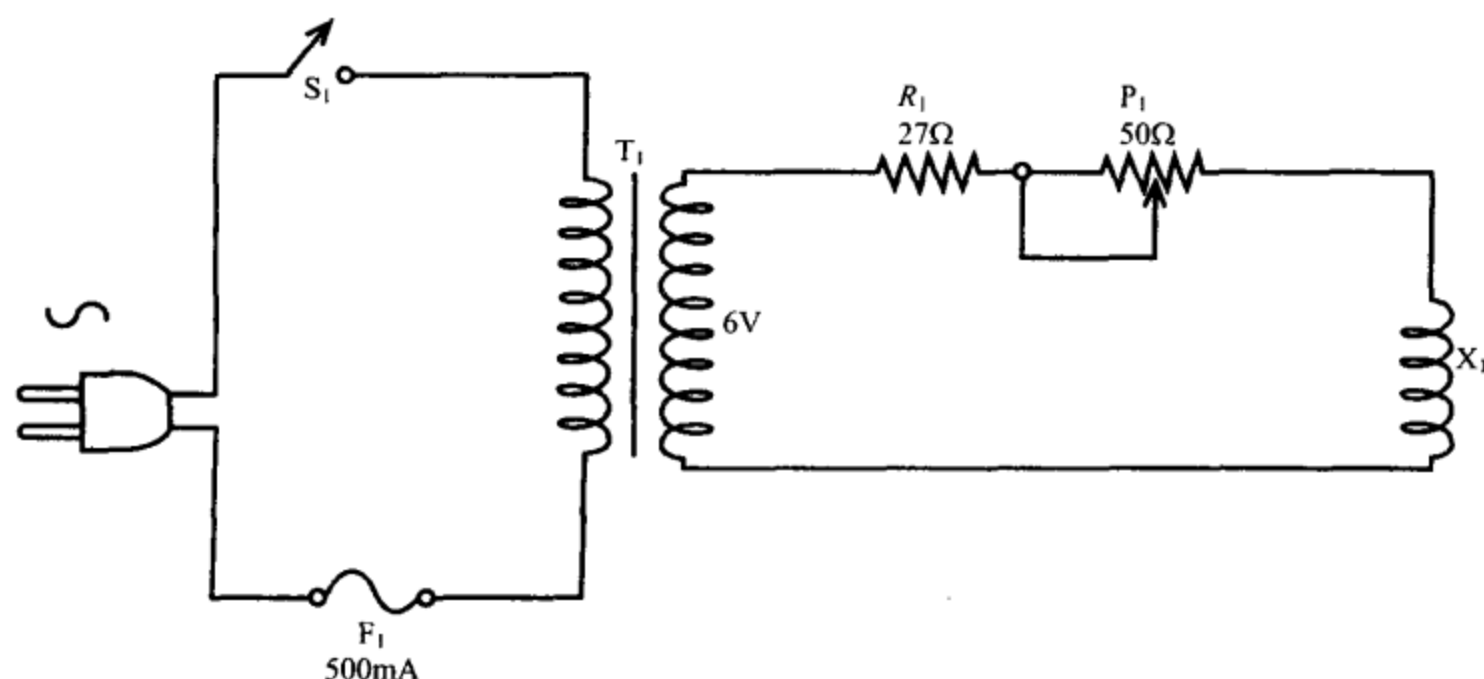


图 3.100 利用交流电路

磁场的强度通过选择与线圈串连电阻的阻值进行调节。电阻在限制安全电流中起到很大的作用,如果电流数值过高,这个装置可能被烧毁。

线圈的作用与前面提到的实验相同。这个电路的优点是不用直接连接到交流电路中。变压器提供了隔离功能,实验者可以触摸带电元件而没有被电击的危险。

表 3.26 元器件清单

元器件	说明
T <sub>1</sub>	变压器,117 VAC(或者 220/240 VAC)初级线圈,6V 300mA 到 500mA 次级线圈
R <sub>1</sub>	27Ω 5W 绕线电阻
P <sub>1</sub>	50Ω 滑线电阻
X <sub>1</sub>	线圈(参阅正文)
S <sub>1</sub>	单刀单掷开关
F <sub>1</sub>	500mA 保险丝及支架
其他元器件	电源模块,接线条或者 PCB,盒子,焊剂,导线等

### 2. 哈特利振荡器

图 3.101 所示电路可以产生低频和中频磁场。根据所选用的元件不同,该电路可以产生从 1~10kHz 或者 1~5MHz 的磁场。你可以利用许多类似的电路进

行频率范围很宽的实验。

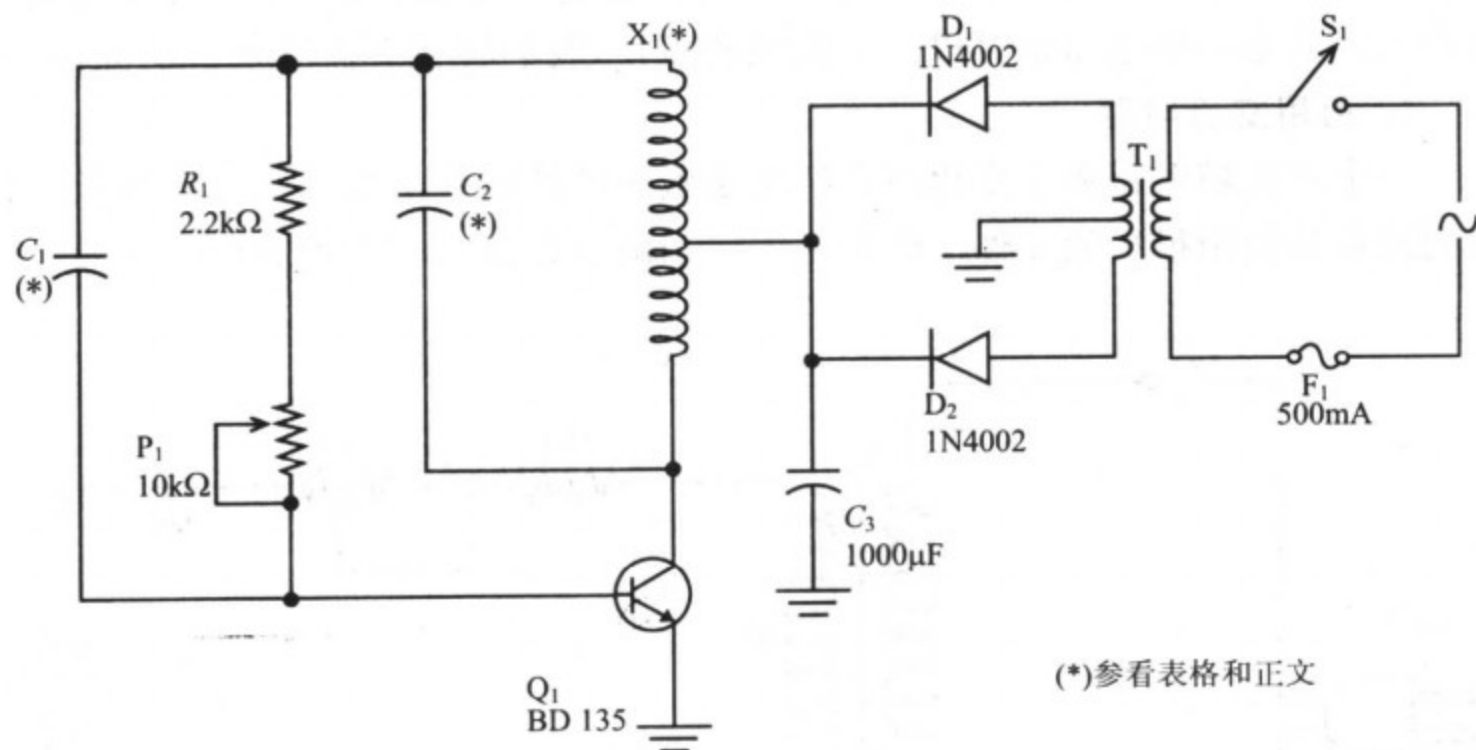


图 3.101 另一种适合仿生学实验的磁场发生器

磁场频率依赖于线圈，并且可以通过滑线电阻在很小范围内进行调节。表 3.27 中数据为主要使用频率的线圈缠绕匝数。

表 3.27

频率范围	$C_1/C_2$	线圈
1~10kHz	0.022/0.47 $\mu$ F	200+200 匝
10~50kHz	0.033/0.22 $\mu$ F	150+150 匝
50~250kHz	0.01/0.1 $\mu$ F	100+100 匝
250kHz~1MHz	0.047/0.047 $\mu$ F	60+60 匝
1~5MHz	0.022/0.001 $\mu$ F	20+30 匝

视线圈形状而定，它可以用圆形或者方形的硬纸板绕制而成，直径介于 10~40cm 之间。

晶体管必须加装散热片。由于变压器的存在使得电路与高压电源端隔离，增强了项目的安全性。

表 3.28 元器件清单

元器件	说明
$Q_1$	BD135 中等功率的 NPN 型硅晶体管
$D_1, D_2$	1N4002 硅整流二极管
$C_1, C_2$	参阅表 3.27

续表 3.28

元器件	说明
$C_3$	1000 $\mu$ F 12V 电解电容器
$R_1$	2.2k $\Omega$ 1/2W 电阻, 红, 红, 红
$P_1$	10k $\Omega$ 线性或对数, 电位计
$X_1$	线圈(参阅表格)
$T_1$	变压器, 初级线圈根据交流电源而定, 次级线圈的额定电压为 6~7.5V, 额定电流为 300~500mA
$F_1$	额定电流为 500mA 的保险丝及支架
$S_1$	转换开关
其他元器件	电源线, 接线条或者 PCB, 导线, 焊料等

### 3. 电场实验

由高压产生的静电场或电场也可以用于研究外部条件对生物生理节奏的影响。图 3.102 所示的电路可在两个用来放置样本的平板间产生 10 000~30 000V 的高压。

在样本上施加的强电场可以改变样本的行为。你可以用一些水果或者植物进行实验, 观察它们在这种强电场作用下所发生的改变, 如生长是否更加迅速。

该电路包括一个哈特利振荡器, 在其输入端有高压变压器。此装置使用的变压器是一种回扫变压器, 就像在计算机显示器和电视机上所使用的一样。图 3.103 是该装置的照片, 其中可以看到线圈是怎样缠绕在其芯上的。线圈是由 15 匝的 22 号或者 24 号漆包线在低压端缠绕而成。

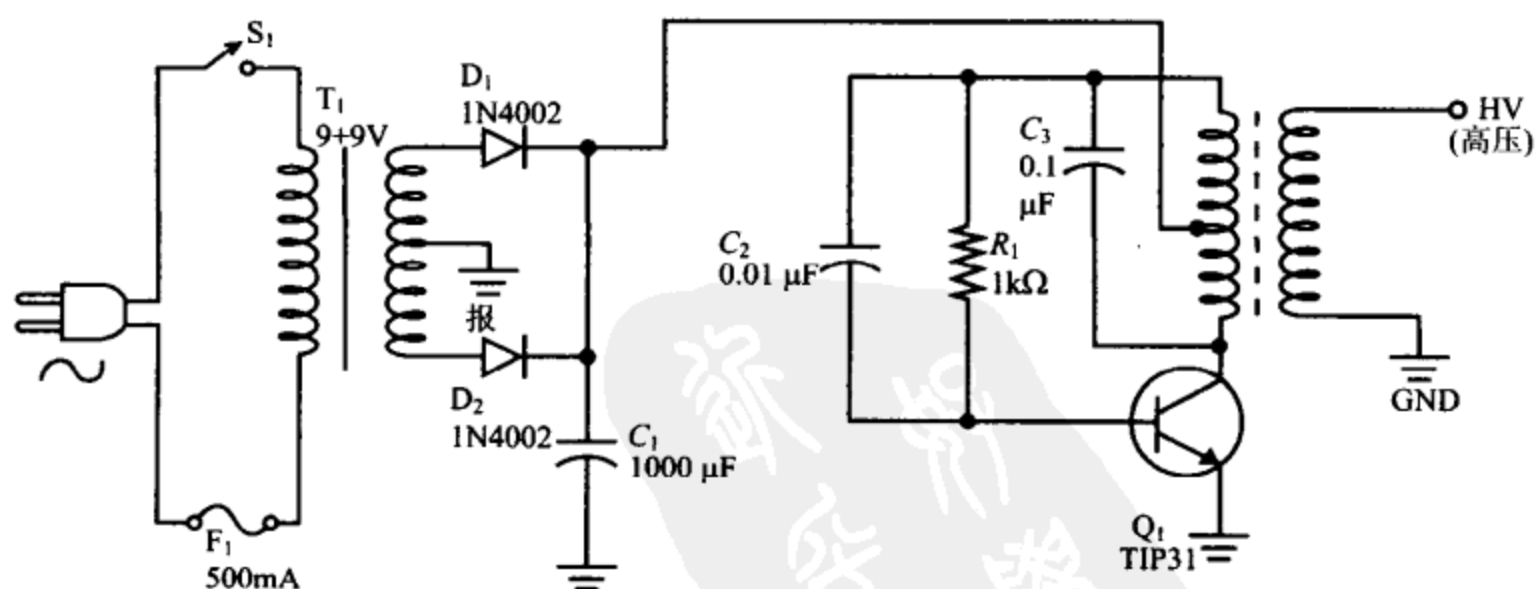


图 3.102 高压变压器

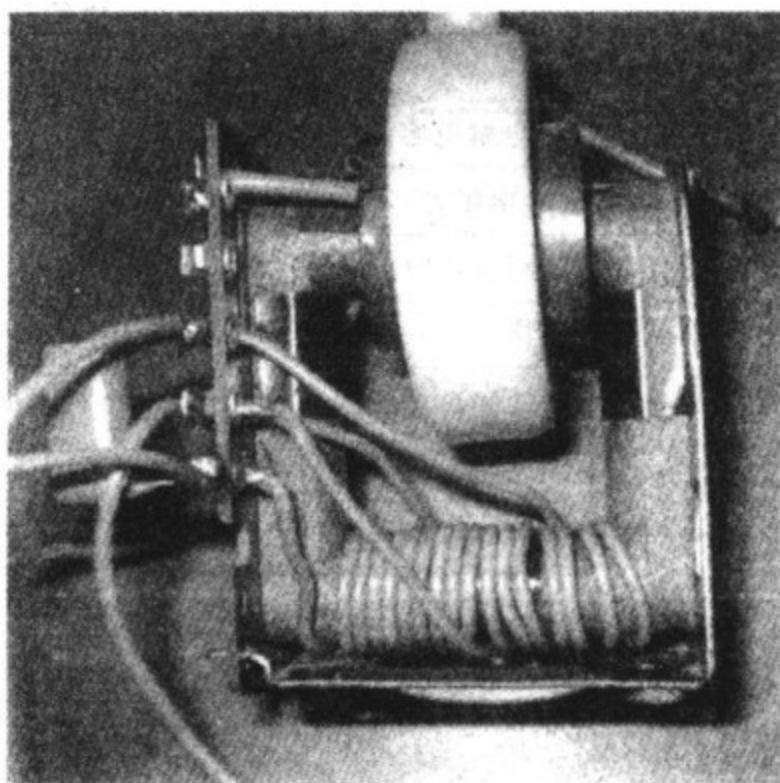


图 3.103 高压变压器

如果你想用交变电场做实验,可以直接应用变压器次级线圈上的高压。如图 3.104 所示。

但是如果你想对两块金属平板之间的植物施加静电场(持续)作用,就必须加上如图 3.105 中所示的整流器和滤波器。

电极由两个尺寸介于  $10\text{cm} \times 10\text{cm}$  到  $50\text{cm} \times 50\text{cm}$  的金属平板组成。由于金属平板在电路工作中带有高压,在实验中不能接触金属平板,否则会遭到严重电击,但没有生命危险。

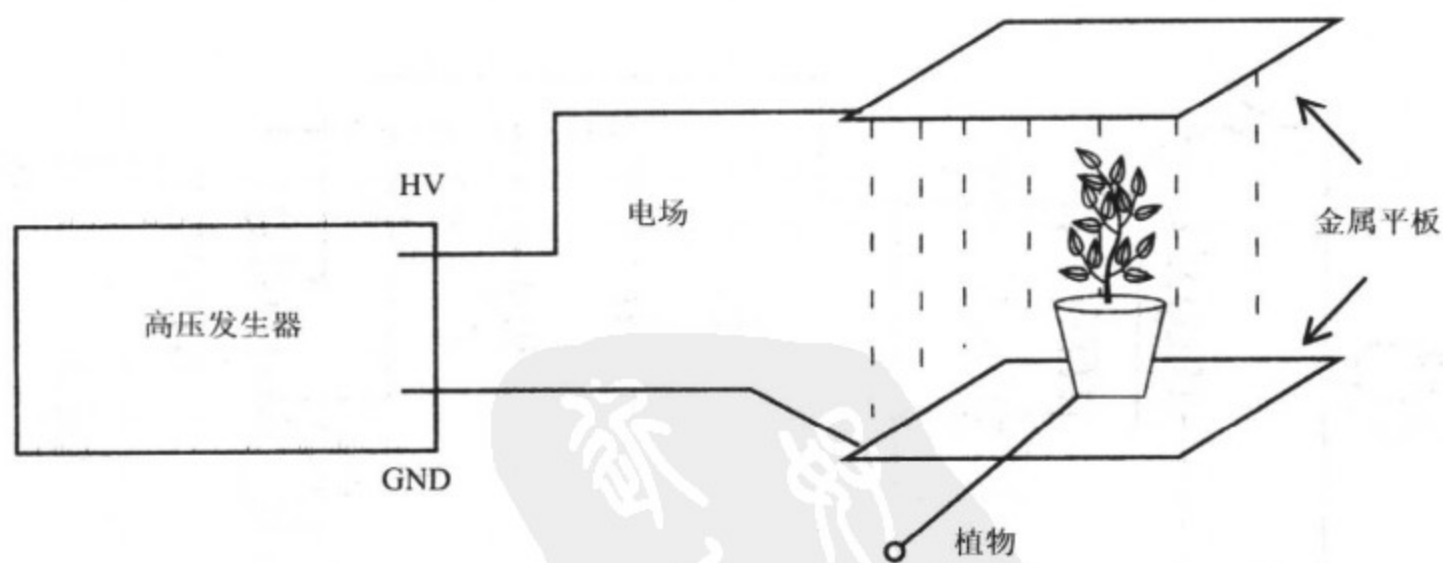


图 3.104 利用交变电场实验

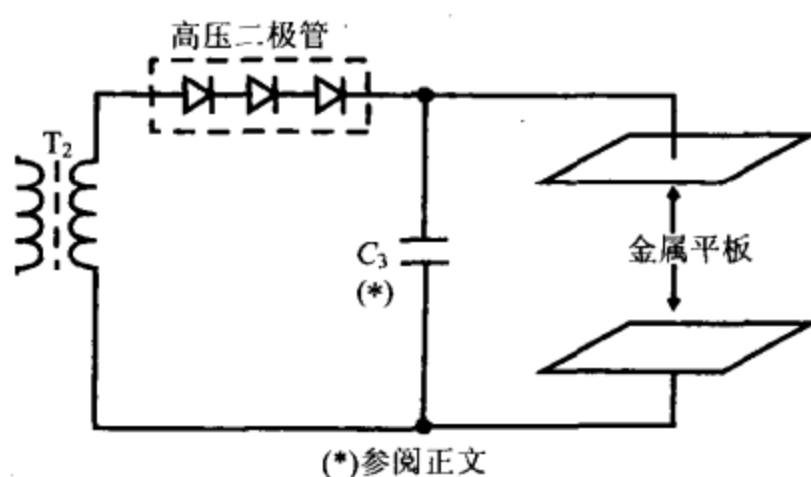


图 3.105 加入整流滤波元件

自制的电容器  $C_3$ ，它由两个金属盘和介于它们之间作为电介质的玻璃(尺寸在  $0.3 \sim 0.5\text{cm}$ )组成。这个装置也可以用来在物理实验室中做静电实验。

表 3.29 元器件清单

元器件	说 明
$Q_1$	TIP31 NPN 型 硅晶体管
$D_1, D_2$	1N4002 硅整流二极管
$C_1$	$1000\mu\text{F}$ 25V 电解电容器
$C_2$	$0.01\mu\text{F}$ 陶瓷或者聚酯电容器
$C_3$	$0.1\mu\text{F}$ 陶瓷或者聚酯电容器
$R_1$	$1\text{k}\Omega$ 1/2W 电阻, 棕, 黑, 红
$T_1$	变压器。初级线圈根据交流电源而定, 次级线圈 $9+9\text{V}$ 或 $12+12\text{V}$ 500mA
$T_2$	回扫变压器(参阅正文)
$S_1$	开关转换
$F_1$	500mA 保险丝及支架, 高压整流器使用器件
$D_3$	高压整流器 耐压值 $10\text{kV}$ 或者更高
$C_4$	自制电容器
其他元器件	电源线, 塑料盒, 焊料, 导线等

#### 4. 恒流源

针对静磁场或者由磁铁产生磁场的实验可以利用如图 3.106 所示的电路完成。磁场的强度决定于通过线圈的磁力线数目和线圈的匝数。

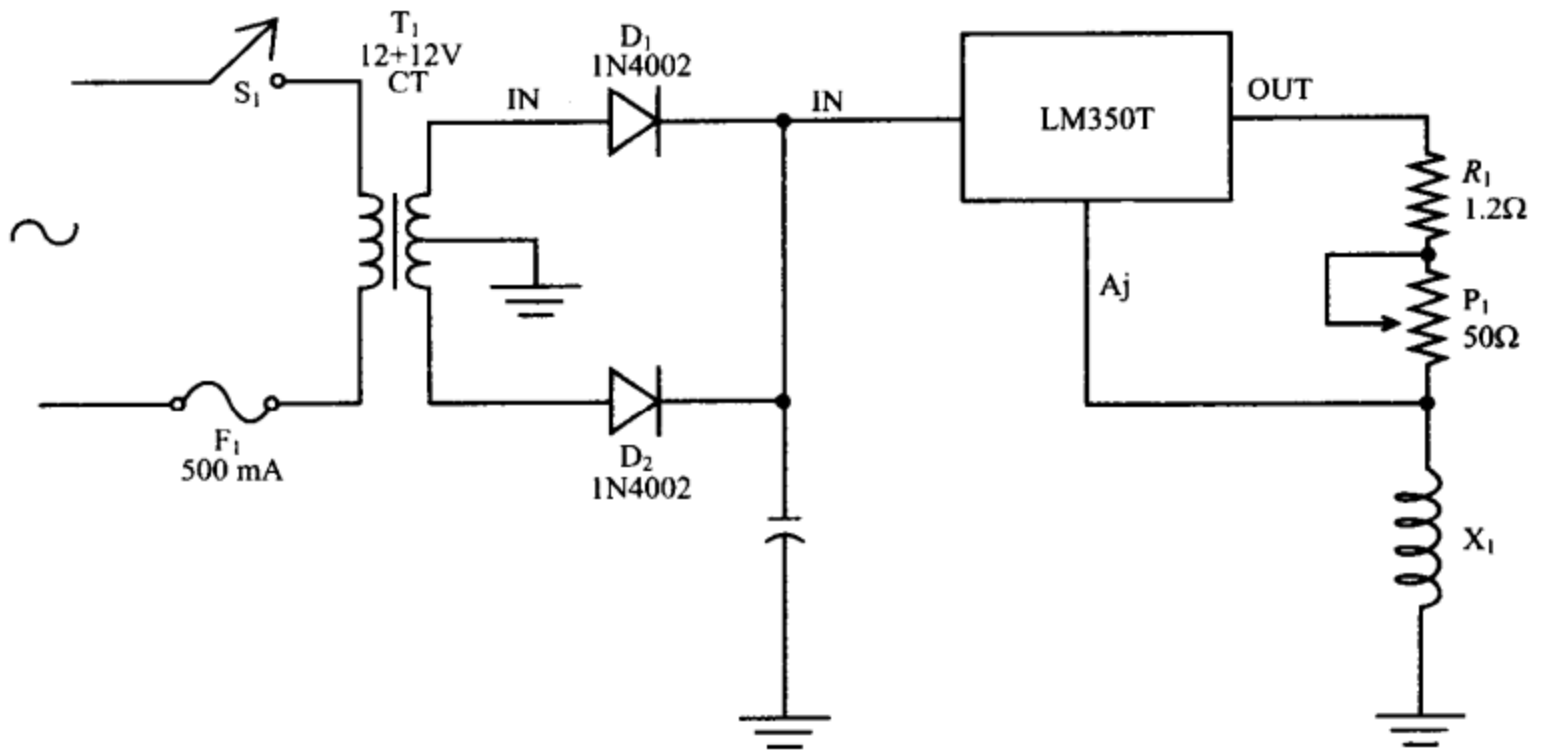


图 3.106 恒流源产生静磁场

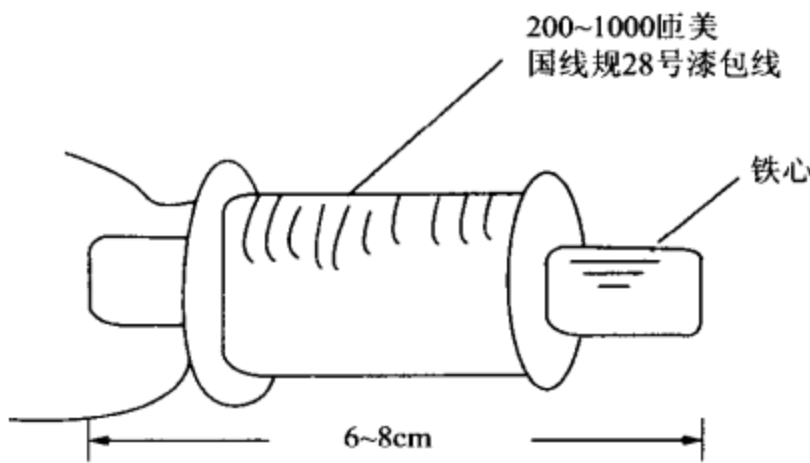


图 3.107 利用电磁铁产生集中磁场

$P_1$  的值决定了电流的大小,推荐使用介于  $100\text{mA} \sim 1\text{A}$  之间的电流。大电流会产生高热量,而且主要集中在线圈中。像前面所做的实验一样,集成电路部分必须加装散热片。

集中磁场的实验可以利用电磁铁来完成,如图 3.107 中所示的电磁铁。使用电磁铁的优点是磁场强度可以控制,这一点普通磁铁是做不到的。电磁铁由  $100 \sim 500$  匝的 28 号或者 32 号漆包线缠绕在塑料管或者铁心上制成(本装置要用到一个螺钉)。

表 3.30 元器件清单

元器件	说明
IC-1	LM350T 集成电路调压器
$D_1, D_2$	1N4002 硅整流二极管
$C_1$	$2200\mu\text{F}$ 25V 电解电容器
$R_1$	$1.2\Omega$ 1W 线绕电阻
$T_1$	变压器。初级线圈根据电源而定,次级线圈 $12+12\text{V}$ 1.5A
$S_1$	开关
$F_1$	500mA 保险丝及支架



续表 3.30

元器件	说 明
X <sub>1</sub>	线圈(参阅正文)
其他元器件	PCB 或者面包板,电源线,集成电路芯片散热片,导线,焊料等

### ■ 磁场与健康

许多年来,人们一直在研究低频磁场对人类健康的影响。研究所关注的焦点是高压线路、计算机和电视机。实验结果显示强的低频磁场可能诱发癌症和白血病。

事实是我们身体里的许多细胞都有自振频率(由于共振),接近于交流电的频率,约 50~60Hz。在低频磁场的影响下,细胞中的原子会强烈地震动,从而破坏或者改变了细胞的结构。

许多国家都禁止在任何离高压电缆 100m 范围内建筑住宅。对昆虫、植物和其他生物的实验能更好地了解磁场的影响。

## 项目9 催眠发光二极管

一种奇怪的外部能量对生物体的影响就是使生物体处于催眠的状态。不只是人类,其他很多动物也能够被催眠。催眠状态下,他(它)们会失去对其自身行为的控制,甚至他(它)们会执行一些在正常情况下不会执行的命令。

有许多技术方法可用于对生物进行催眠,包括人类。最简单的方法,也是最常用的方法就是利用钟摆的持续摆动,或者不断重复的声音,如话语、乐器的声音,或者某一固定频率的声音。如果催眠过程使用了电子装置或者存在生物和电子装置的相互作用,我们就把这种技术归类为仿生学过程。

上述催眠过程正是我们将要在本项目中研究的,想方设法使生物(包括人)处于放松、催眠状态。这种心境状态处于清醒和睡眠中间,正如超然冥想的“alpha”状态和其他东方人所说的“入定”状态。

当然,本项目中研究的装置如果没有专门的救护设备是不推荐在人身上使用的。在催眠过程中所经历的状态具有一定危险性,但是你可以利用动物、昆虫、鱼和其他生物做一些有趣的实验,而不会给它们带来伤害或危险。

推荐以下几个实验:

- 研究脉冲光对植物生长的影响。
- 研究间歇性的光照对昆虫行为的影响。
- 研究鸡或者其他鸟类在闪烁的 LED 影响下的紧张程度。
- 研究在闪烁的 LED 影响下,人类集中注意力的能力和他们的紧张程度。

### ■ 工作原理

这里提供的基本电路中包括一个能驱动两个高能 LED 的低频振荡器。如图 3.108 所示,两个高能 LED 将间歇性地闪亮。

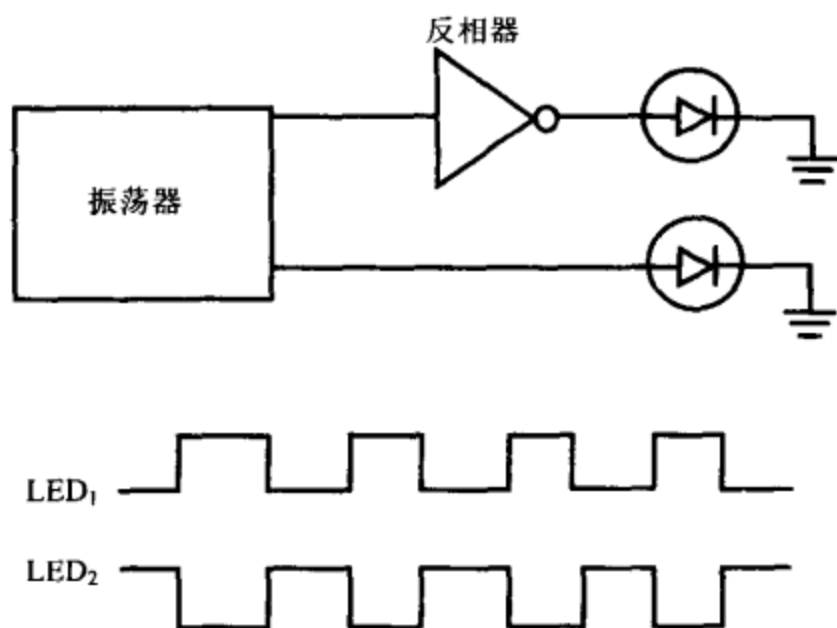


图 3.108 催眠 LED 灯的原理图

该电路的核心是作为非稳态多谐振荡器的 555 集成电路(IC)芯片。光脉冲闪烁的频率取决于电位计  $P_1$  的值。

二极管用于产生占空因子仅为 50% 的信号。因为每个通路上的二极管具有相同的时间间隔,所以这是可以实现的。

从 555 集成电路芯片输出端输出的信号被送入两个互补晶体管,每个晶体管驱动一个高能 LED 灯,也可以使用白炽灯。

当 555 集成电路芯片输出处于逻辑高电平时,NPN 型晶体管进入导通状态,而 PNP 型晶体管则在 555 集成电路芯片输出处于逻辑低电平时进入导通状态。

根据实验中选用的元件参数,LED 灯闪烁频率近似为  $0.1 \sim 10\text{Hz}$ 。当然,你根据要达到的实验目的,可以通过改变电容器  $C_1$  的值改变 LED 灯的闪烁频率。 $C_1$  的值越小,频率的值越高。

推荐的晶体管能够驱动 LED 或电流可高达  $500\text{mA}$  以上的灯。根据实验可以用  $6\text{V}$  的小白炽灯代替 LED。

实验中使用的 LED 灯颜色可以相同,也可以不同。也可以只使用一个 LED,而使另外通路断开。电路电源采用 4 节 5 号的电池或者其他型号为  $6\text{V } 500\text{mA}$  的电源。

### ■ 搭建方法

图 3.109 显示了催眠 LED 的电路原理图。

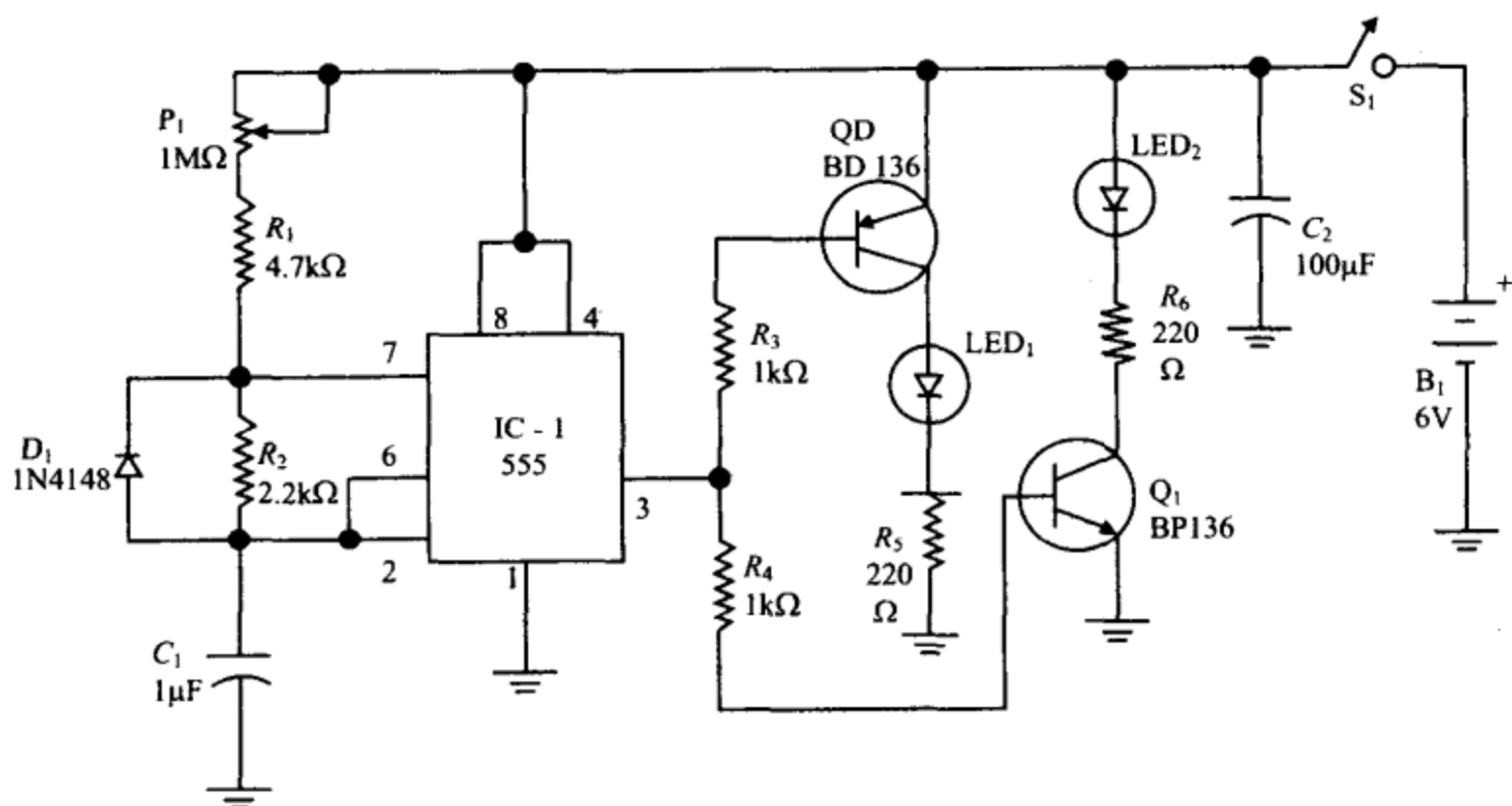


图 3.109 催眠 LED 的电路原理图

该电路可以用一个小 PCB 搭建,如图 3.110 所示。

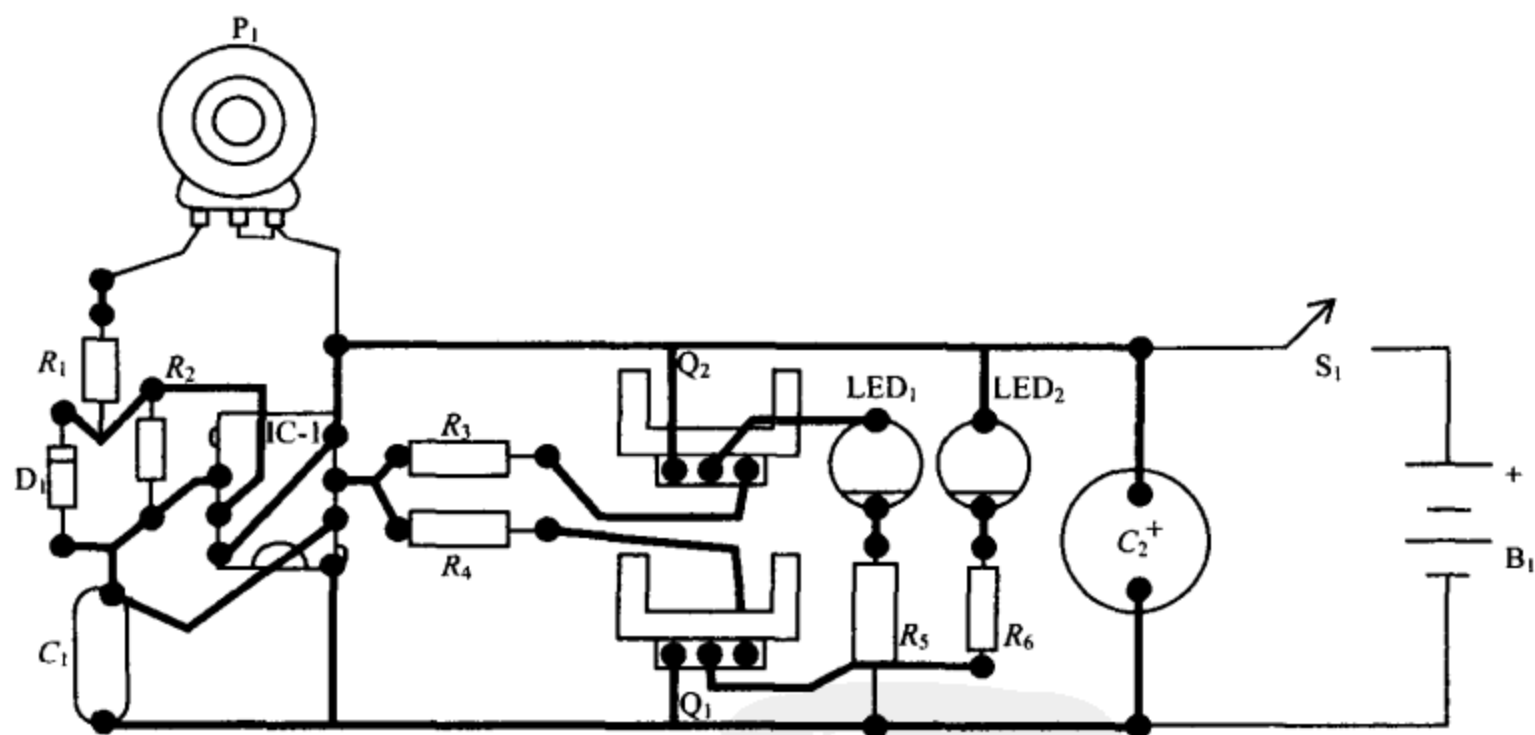


图 3.110 催眠 LED 的 PCB

在搭建过程中,你在放置极性元件,如集成电路芯片、电解电容器、LED 及晶体管时,一定要认真细致。如果光源的驱动电流达到 100mA 以上,就需要安装散热装置。整个电路应当能够放入一个小的塑料盒子中,唯一留在外面进行控制的是开关  $S_1$  和可调电位计。

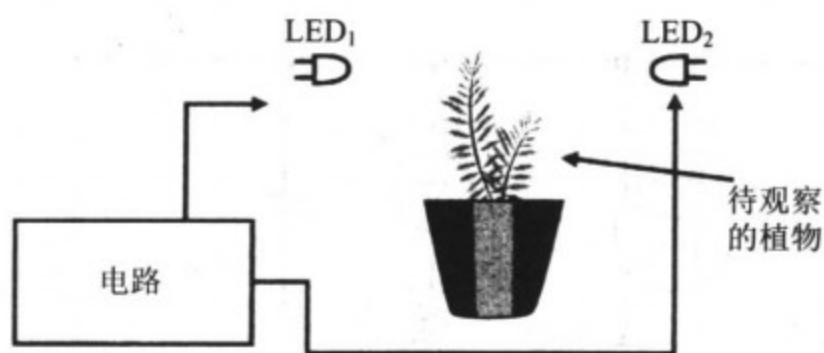


图 3.111 植物和昆虫实验

光源可以用作不同的目的。图 3.111 示出了怎样在植物样本周围放置光源,以研究变化光线对植物的影响。该图也再现了变化的光源如何影响蚁群的实验方法。蚂蚁是一种很容易找到,且在实验中方便应用的一种生物。在很多科技书籍中都介绍了怎样

制作用来放置蚂蚁的实验平台。

一个有趣的实验是把两个 LED 放在一副眼镜片上面,如图 3.112,可用来做紧张程度、冥想、催眠等实验。

当然,在对人进行实验时,必须确保有成年人在场,因为可能会产生伤害。而且有某些特殊疾病的人不能参加实验,例如患有癫痫症的人。

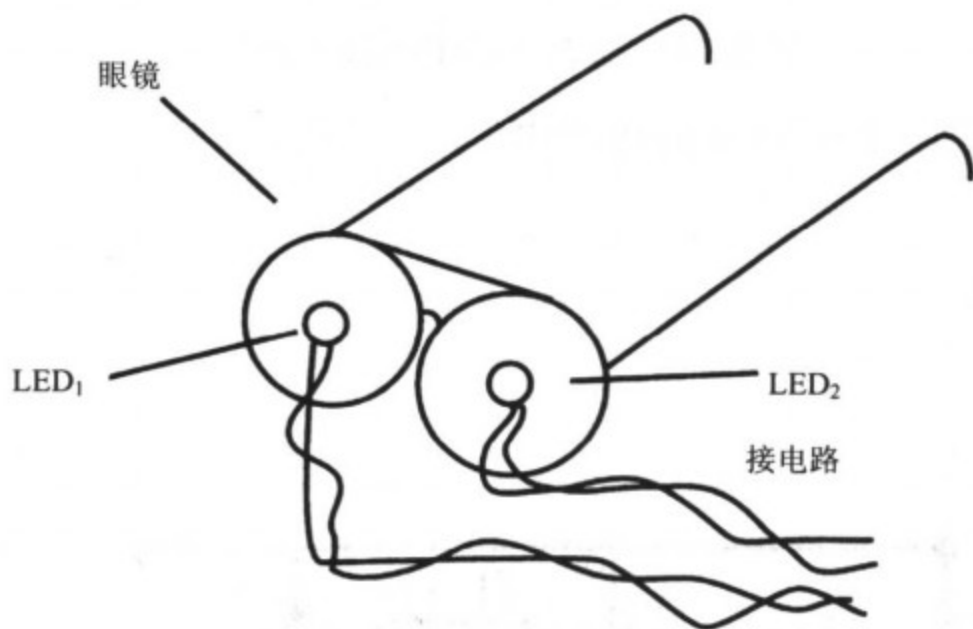


图 3.112 催眠眼镜

### ■ 测试及应用

测试很简单。把电池放在电池盒中,接通开关  $S_1$ 。LED 应该间歇地闪烁。调节  $P_1$  的值用以改变闪烁频率。

当所有的条件都具备之后,根据实验要求把 LED 环绕放置在离植物一段距离的地方,保证没有其他光源能够照射到植物样本,如图 3.113 所示。

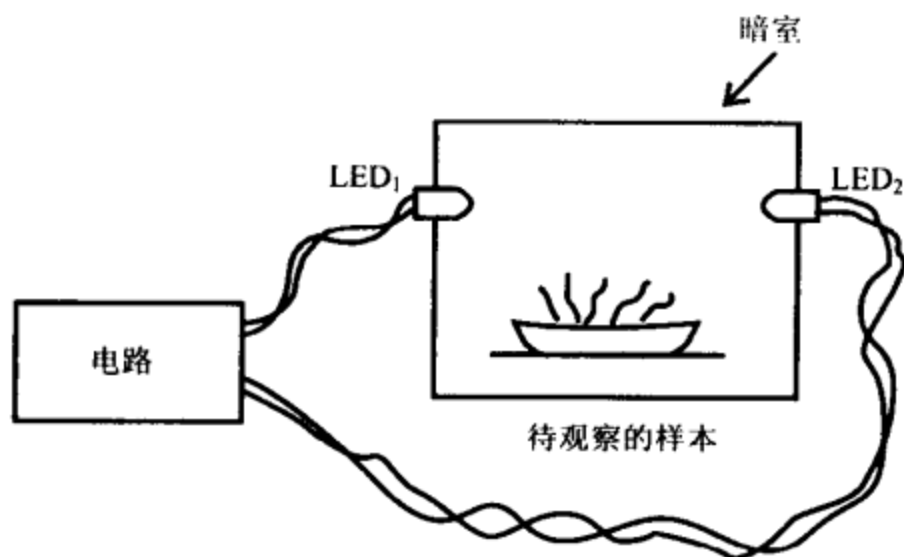


图 3.113 植物生长或者生物钟实验

表 3.31 元器件清单

元器件	说 明
IC-1	555 集成电路芯片定时器
Q <sub>1</sub>	BD135 中功率 NPN 型硅晶体管
Q <sub>2</sub>	BD136 中功率 PNP 型硅晶体管
D <sub>1</sub>	1N4148 通用硅二极管
LED <sub>1</sub> , LED <sub>2</sub>	通用高能 LED 灯(参阅正文)
R <sub>1</sub>	4.7kΩ 1/8W 电阻, 黄, 紫, 红
R <sub>2</sub>	2.2kΩ 1/8W 电阻, 红, 红, 红
R <sub>3</sub> , R <sub>4</sub>	1kΩ 1/8W 电阻, 棕, 黑, 红
R <sub>5</sub> , R <sub>6</sub>	220kΩ 1/8W 电阻, 红, 红, 棕
P <sub>1</sub>	1MΩ 线性或对数电位计
C <sub>1</sub>	1μF 12V 电解电容器
C <sub>2</sub>	100μF 12V 电解电容器
B <sub>1</sub>	6V 电源或者 4 节 5 号电池及电池夹
S <sub>1</sub>	开关
其他元器件	PCB, 塑料盒, 导线, 焊料等

### ■ 其他电路及创意

有很多可以不消耗能量而能使光源闪烁的方法。本节将介绍使用其他不同的电路结构实现光源闪烁。

#### 1. 使用 4093 集成电路芯片

图 3.114 所示是能够驱动两个二极管产生闪烁光的电路。

频率通过调节 P<sub>1</sub> 控制, 电路可以用 4 节 5 号电池供电, 甚至可以使用一个 9V 的电池供电。这个电路不需要能量供应直接驱动 LED, 因为 CMOS 集成电路芯片

能够汲取和提供工作需要的电流。

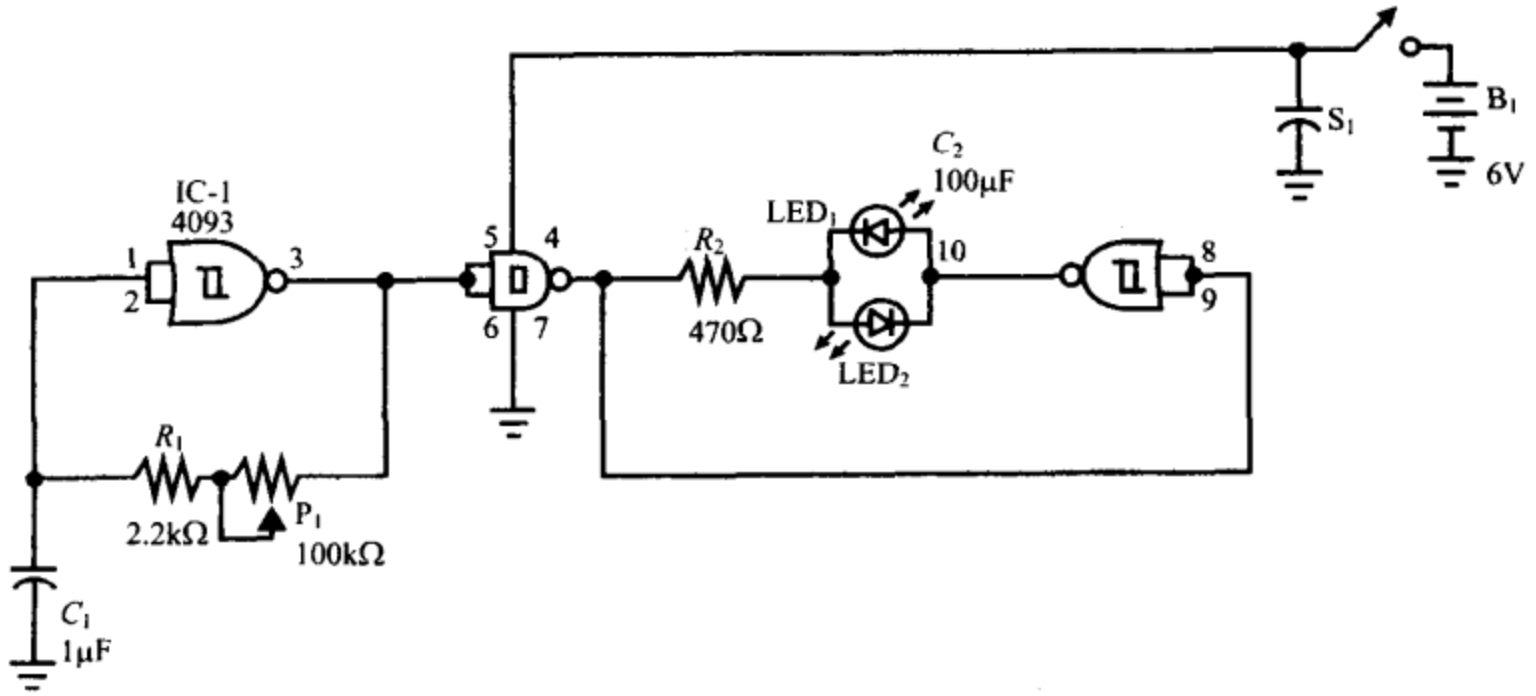


图 3.114 使用 4093 集成电路芯片

如果要驱动更大的负载,如电流达 500mA、电压在 6~12V 之间的小灯泡,则推荐使用如图 3.115 所示的驱动单元。

当使用大负载并且电路工作间隔较长时,我们推荐使用电源代替电池供电。图 3.116 所示为该线路所推荐使用的一个简单电源。

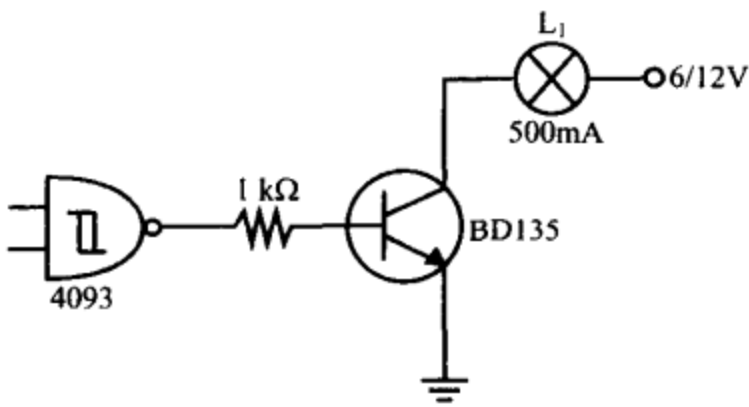


图 3.115 驱动更大的负载

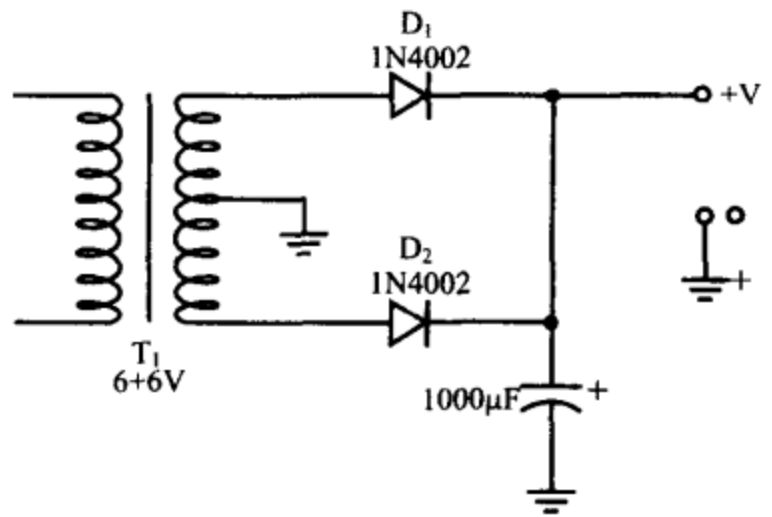


图 3.116 电路电源

该电源也可以用来为使用 555 集成电路芯片的基本实验电路供电。变压器的初级是交流电,次级提供 6V 250~500mA 的能量。

表 3.32 元器件清单

元器件	说明
IC-1	4093 CMOS 集成电路芯片
LED <sub>1</sub> , LED <sub>2</sub>	通用 LED(绿色和红色)

续表 3.32

元器件	说 明
P <sub>1</sub>	100kΩ 对数或线性电位计
R <sub>1</sub>	2.2kΩ 1/8W 电阻, 红, 红, 红
R <sub>2</sub>	470Ω 1/8W 电阻, 黄, 紫, 棕
C <sub>1</sub>	1μF 16V 电解电容器
B <sub>1</sub>	4 节 5 号电池组成的 6V 电源, 电池盒
S <sub>1</sub>	开关
其他元器件	PCB, 导线, 焊料等

## 2. 改变占空因子

目前为止介绍的电路都只有 50% 的占空因子, 这意味着两个 LED 点亮的时间是相同的。

如果只使用一个 LED 进行实验, 占空因子可以改变, 这样 LED 就能够产生持续时间更短的脉冲光或者持续时间更长的脉冲光。如图 3.117 所示电路可以实现这种效果。

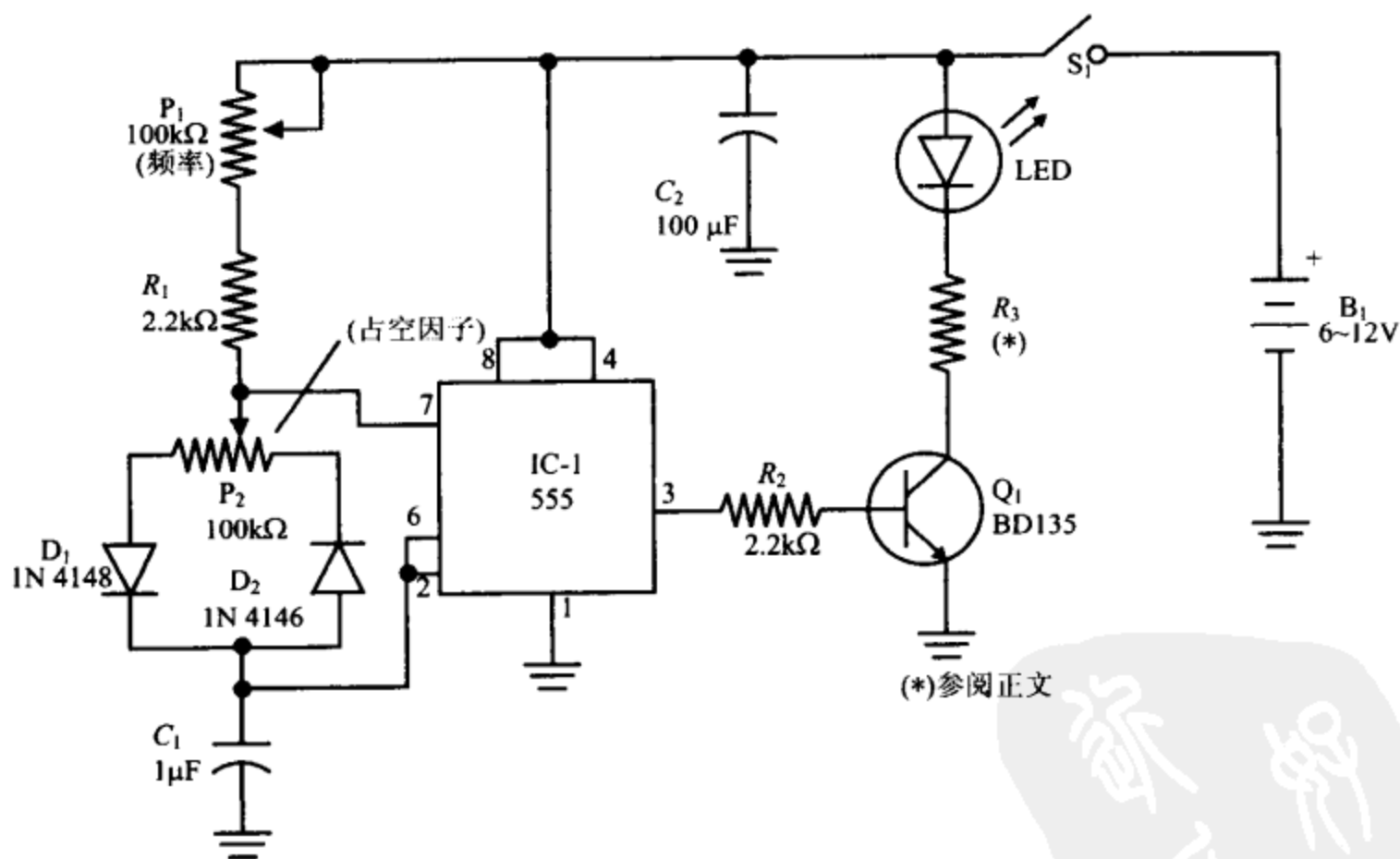


图 3.117 改变占空因子

该电路可以用来驱动普通 LED、大功率 LED 或者电流不高于 500mA 的低压白炽灯。

如果驱动电流达到 100mA 或以上, 晶体管必须配备散热装置。如果光源消耗



100mA 以上的电流,推荐使用外部电源(非电池)供电。对于低功率 LED,用一个通用 PNP 型二极管代替晶体管,如 BC558 或者其他相同功能二极管。

$R_3$  的阻值大小取决于流过 LED 电流的大小。表 3.33 给出不同功率的 LED 相对应的  $R_3$  阻值。

表 3.33 电阻值

LED 或白炽灯	$R_3$
通用低功率 LED	1k $\Omega$ 1/8W
中功率 LED	470 $\Omega$ 1/2W
大功率 LED, 大灯	47~220 $\Omega$ 1/2W

### 3. 对于 6/12V 最大电流允许 500mA 的白炽灯可以不用电阻

表 3.34 元器件清单

元器件	说 明
IC-1	555 集成电路芯片定时器
$Q_1$	BD136 中功率 NPN 型硅晶体管
LED	通用或大功率 LED 或者白炽灯
$D_1, D_2$	1N4148 型 通用硅二极管
$P_1, P_2$	100k $\Omega$ 对数或线性电位计
$R_1, R_2$	2.2k $\Omega$ 1/8W 电阻, 红, 红, 红
$R_3$	(参阅正文)
$C_1$	1 $\mu$ F 16V 电解电容器
$C_2$	100 $\mu$ F 12V 电解电容器
$S_1$	开关
$B_1$	6V 或 12V 电源
其他元器件	PCB, 导线、塑料盒等

### 4. 红外线光源实验

红外线 LED 很容易找到并且价格低,因此用红外线 LED 替代我们用的 LED 灯做实验将不成问题。

## 项目10 驱虫器

有些昆虫可以被声音信号所控制。在某些特殊种类昆虫中,雌性昆虫可以产生驱赶其他雌性同类的声音。某些情况下特定的声音会影响到所有的昆虫。

本项目的思想是制作一个能够产生驱赶昆虫声音的音频振荡器。当然,

也可用该实验验证声音对其他生物体的影响,如对鱼缸中的鱼。

音频振荡器可能驱赶一定范围内的昆虫,如卧室或露营帐篷。本项目中制作的是一个有趣的仿生装置,通过电路能够模仿生物对昆虫的影响。该电路同样可以用来研究昆虫的习性及外部环境(如声音)如何对昆虫造成影响。

项目的基本电路由一个简单的音频振荡器驱动一个小的压电式换能器构成。其他可以利用高性能电路(此装置可以在露营商店买到)的解决方案也在这里给出。这个装置可以用在科学研究中,也可以实际应用。

由于电路耗用电流很低,所以电路可以由 5 号电池组、一节 9V 电池或接在交流输电线路上的电源供电。由于耗电量很低,电池的寿命可以达到数周时间。

电路中也有一个用于调节压电换能器振动频率的可调电位计,频率调节范围在 200~2000Hz 之间。但是,根据具体应用情况,频率范围可以通过更换电容器  $C_1$  来调整,电容取值范围在 2200pF~0.1 $\mu$ F 之间。当然,也可以通过更换变频器,使此电路工作在超音波范围内。

### ■ 仿生实验及应用

该电路产生的声音具有足够的强度能够满足其在仿生学实验和下面几节研究的实际应用的要求。

#### 1. 鱼诱捕器

电路产生的声音能够模仿昆虫在水中逃逸的声音,用来吸引鱼。这个原理被应用在商业用鱼诱捕器中。很简单,只需把电路装在一个瓶子中即可,如图 3.118 所示。为使瓶子沉入水中,加一块较重的金属块是必要的。



图 3.118 将电路作为鱼诱捕器

你必须选择合适的频率来吸引想要的鱼,可以通过对鱼缸中的鱼做实验来了解鱼的生活习性。

### 2. 驱赶其他昆虫

也可用该实验验证电路是否能用于驱赶像蚂蚁和蟑螂这类的昆虫。为了得到实际所需要的频率,必须通过改变频率电路中电容器和电阻的数值来试验。

### 3. 对植物的影响

同样也可以对所产生的声音是否影响植物生长进行实验。如图 3.119 所示,把电路放在要进行研究的植物附近即可。

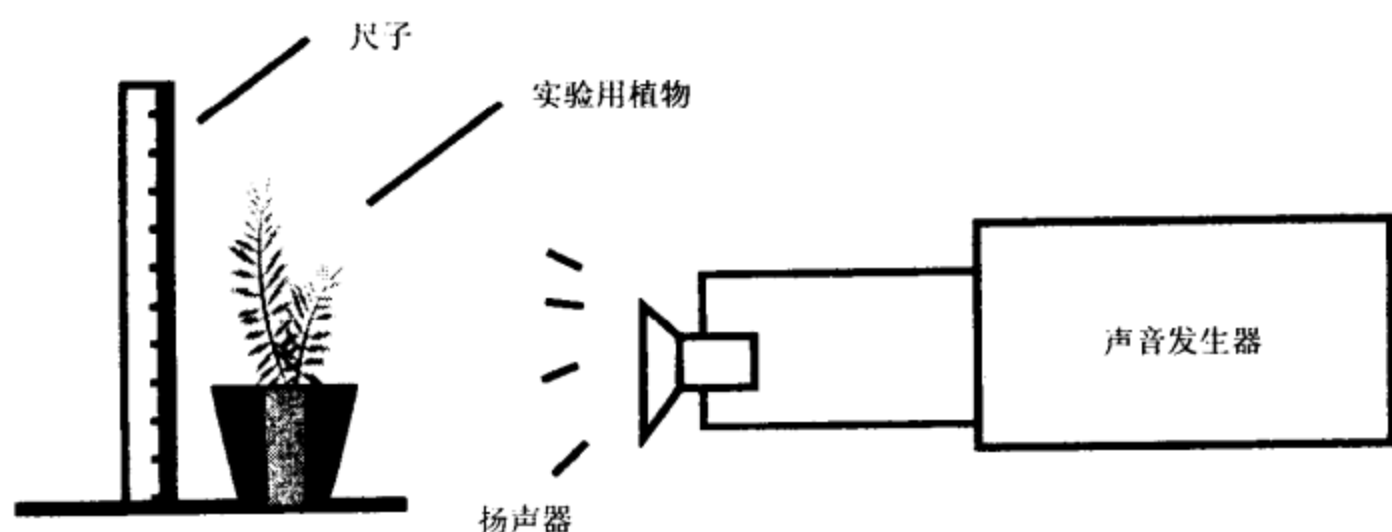


图 3.119 将该电路放在植物附近

因为电路消耗的电能非常少,所以用 5 号电池可以给这个电路供电数周。当然,对于更长时间的实验或者应用,电路可以使用 3V 的交直流(AC/DC)转换器供电。任何能够提供 50~250mA 电流的电源,都适合为该电路供电。

当向电路接入电源时,要分清电源的极性。出于安全考虑,不要使用未经变压器的电源。

下一节我们将看到如何在电路中加入功率级来提高声音音量。

### ■ 电路的工作原理

电路的主要部分是 4093 CMOS 集成电路芯片,该集成电路芯片有四个施密特与非门。其中一个施密特门被连接成音频振荡器,驱动其他三个施密特门各作为数据缓冲器和放大器进行工作。

电路频率由  $C_1$  的值决定,通过调节  $P_1$ ,频率值的选择范围很大。如果电路能够达到的频率值不能满足实际要求,可以更换  $C_1$ 。

电路输出的信号是方波,可以直接用来驱动高阻抗压电蜂鸣器。不要在电路输出端直接接入扬声器或者低阻抗换能器。如何应用这种换能器将在后面介绍。

### ■ 搭建方法

昆虫驱除器的原理图如图 3.120 所示。

驱除器电路搭建在如图 3.121 所示的一小块 PCB 上。

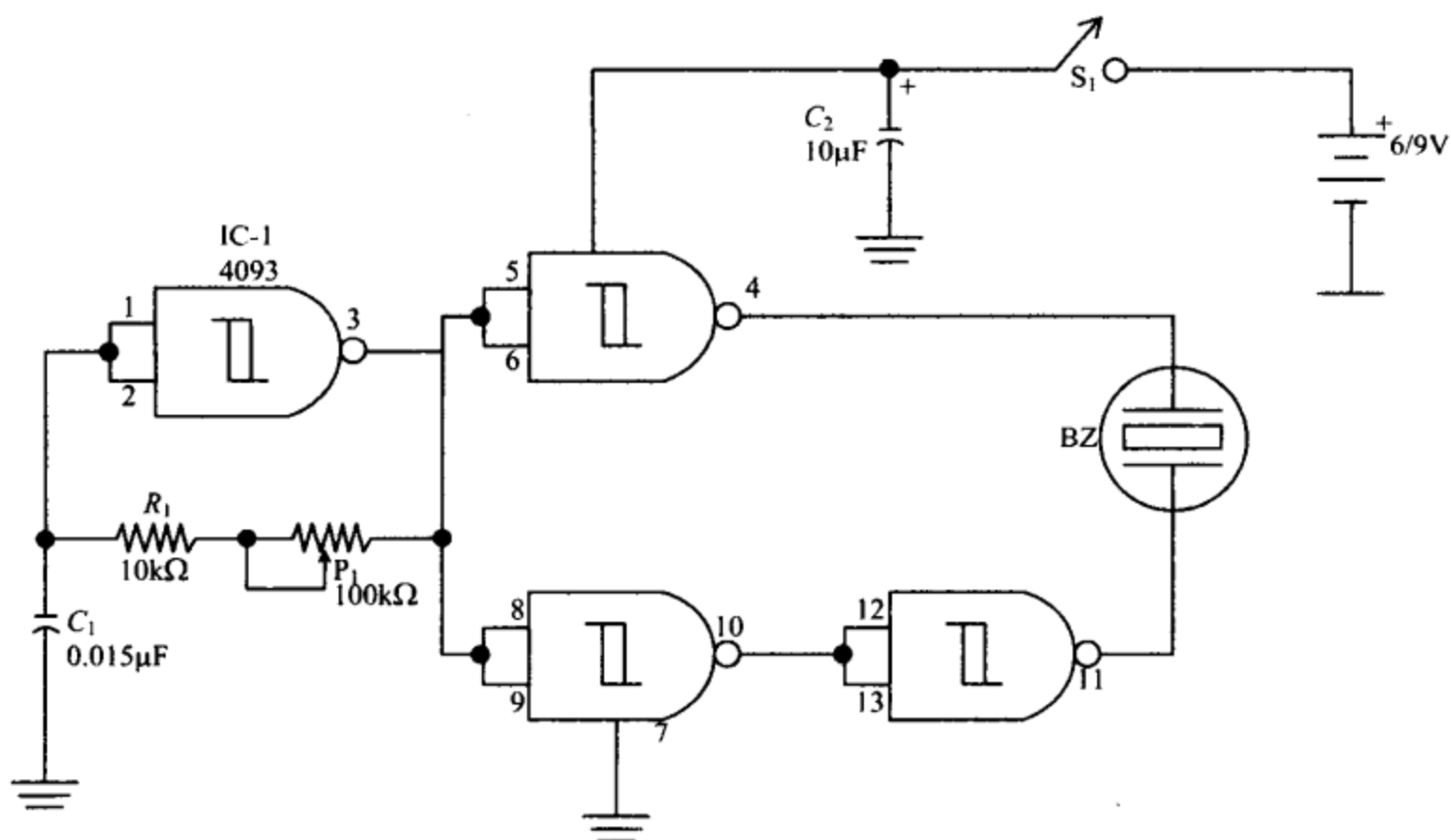


图 3.120 昆虫驱除器的原理图

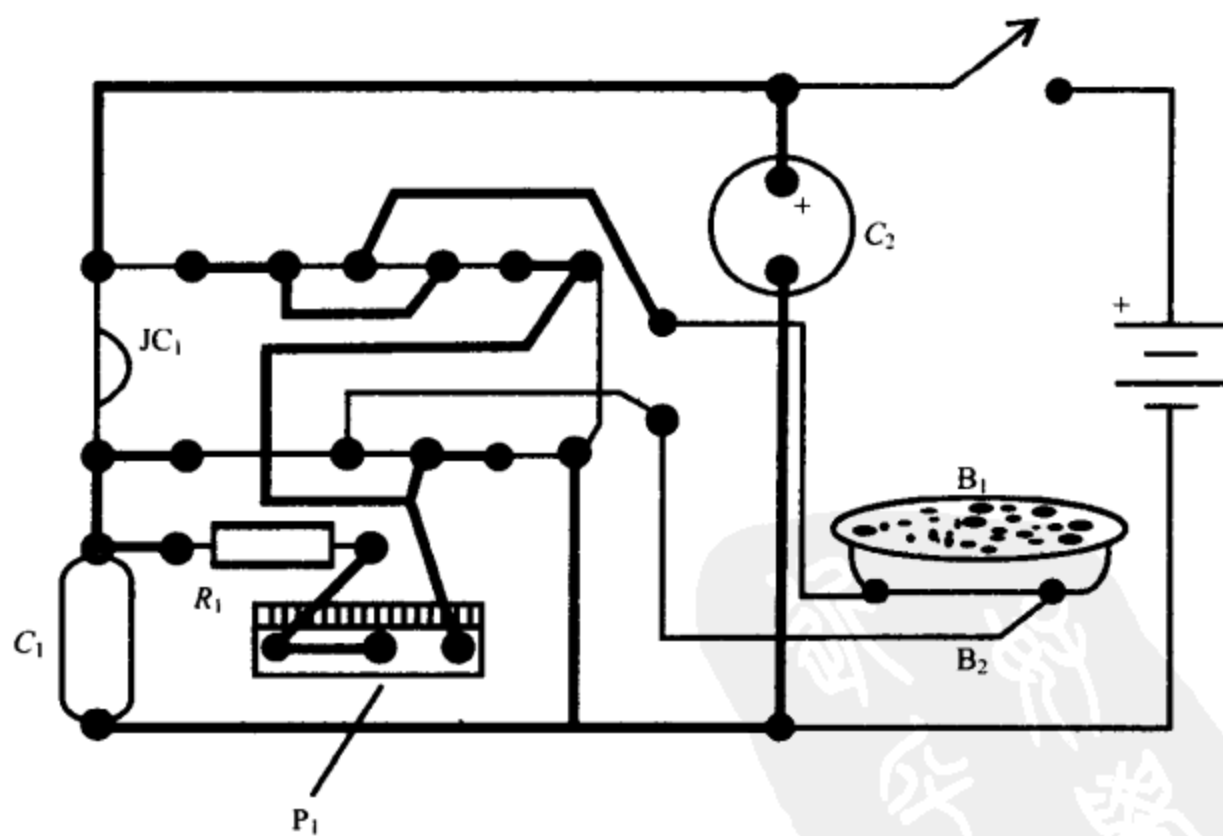


图 3.121 昆虫驱除器的 PCB

所有的元器件都能装在一个小塑料盒子里。盒子上面应该钻孔,以使换能器产生的声音能够传出来。换能器是压电类型的,与蜂鸣器中所使用的类似,也可以使用陶瓷麦克风或者电话中的换能器来做实验。

### ■ 测试及使用

打开电源开关,调节  $P_1$  的数值得到所需要的音调。理想的音调可以通过实验得到,完美的音调应该最接近昆虫所发出的声音。实验表明某些雌性昆虫不能忍受其他同类雌性昆虫的出现,所以发出驱除同类的声音。

表 3.35 元器件清单

元器件	说明
IC-1	4093 CMOS 集成电路芯片
BZ	压电换能器(参阅正文)
$R_1$	10 000 $\Omega$ (10k $\Omega$ )1/4W 5%电阻,棕,黑,橙
$P_1$	100 000 $\Omega$ (100k $\Omega$ ) 电位计
$C_1$	0.015 $\mu$ F 陶瓷或金属膜电容器
$C_2$	12 $\mu$ F/12W VDC 电解电容器
$S_1$	单刀单掷拨动或滑动开关
$B_1$	一个 6V 或 9V 电源,或 4 节 5 号电池或 9V 电池
其他元器件	PCB, 电池盒或电池接线盒, 导线, 塑料盒, 焊料等

### ■ 其他电路及创意

使用 CMOS 集成电路芯片并不是在实验和仿生学项目中产生持续声音的唯一办法。许多其他配置也可以实现同样的功能,有的由大功率换能器驱动,如扬声器。下一节,我们将介绍这些配置。

#### 1. 使用晶体管

图 3.122 所示是一个利用两个晶体管产生音调的电路,频率由  $C_1$  和  $C_2$  决定;并可由  $P_1$  进行调节。电路包括一个能驱动压电换能器或小扬声器的非稳态多谐振荡器。

另外一种是采用两个互补晶体管的电路,如图 3.123 所示。该电路在输入电压为 3~12V 时可以驱动一个 5~10cm 的扬声器(4 $\Omega$  或者 8 $\Omega$ )。

当电压升到 6V 时, $Q_2$  必须换为配有小型散热装置的 BD136(或者 TIP32)。在这种情况下,输出功率会达到数瓦,很适合大范围音调内的实验和应用。

声音频率由  $C_1$  决定,可以通过  $P_2$  调节。如果用 0.47~2.2 $\mu$ F 的电容器代替  $C_1$ ,电路可以产生低频脉冲,就像一个节拍器。通过实验可以观察这种低频的声音对昆虫和动物的刺激与影响效果。

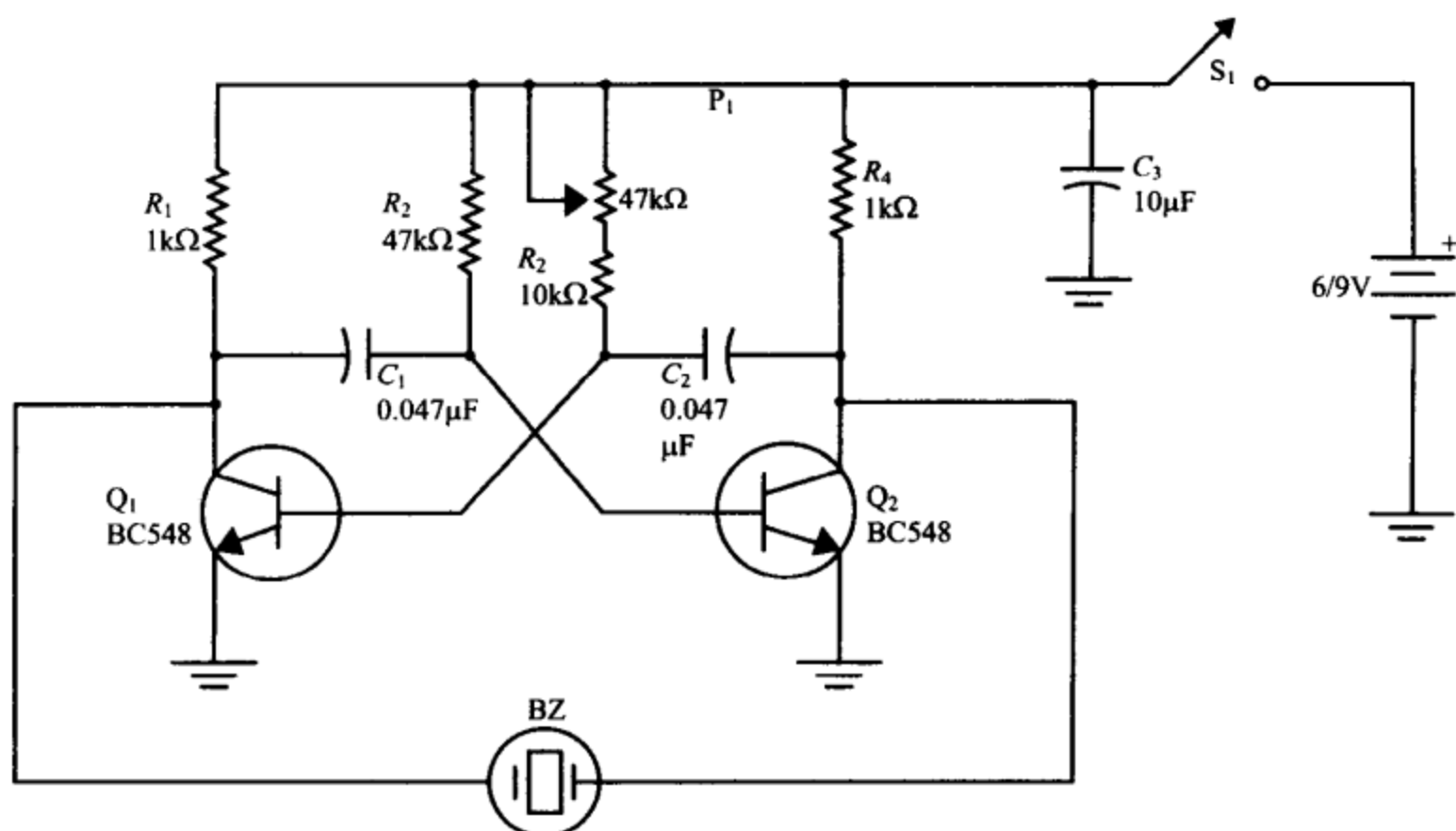


图 3.122 使用晶体管的电路

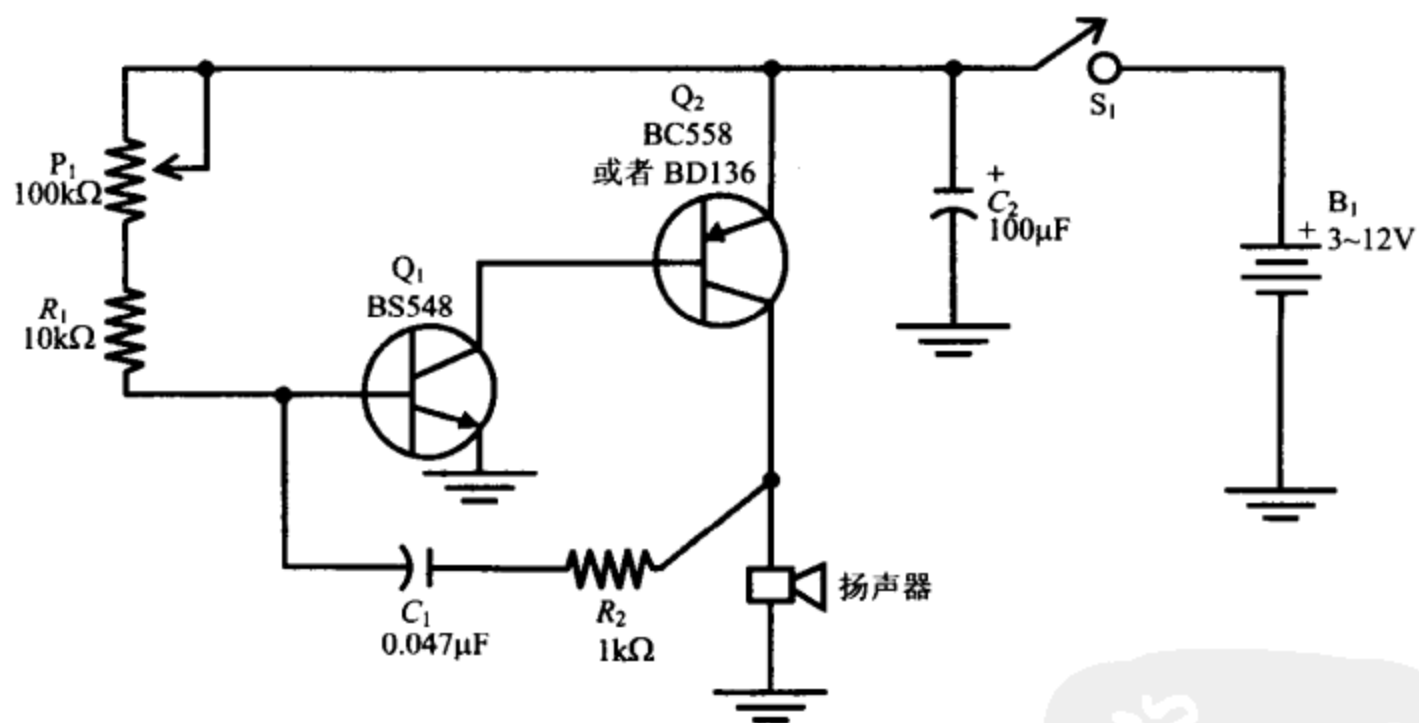


图 3.123 使用互补晶体管的电路

表 3.36 元器件清单

元器件	说明
Q <sub>1</sub>	BC548 或等效的通用 NPN 型硅晶体管
Q <sub>2</sub>	BC558 或 BD136 通用或者中等功率的 PNP 型硅晶体管
R <sub>1</sub>	10kΩ 1/8W 电阻, 棕, 黑, 红

续表 3.36

元器件	说明
$R_2$	1 k $\Omega$ 1/8W 电阻, 棕, 黑, 红
$P_1$	100 k $\Omega$ 对数或线性电位计
$C_1$	0.047 $\mu$ F 陶瓷或者聚酯电容器
$C_2$	100 $\mu$ F 6V 电解电容器
SPKR	5~10cm 4 $\Omega$ 或 8 $\Omega$ 小扬声器
$B_1$	3~12V 电池或者蓄电池
其他元器件	PCB 或接线条, 塑料盒, 导线, 焊料等

### 2. 使用 555 集成电路芯片

图 3.124 所示是一种使用 555 集成电路芯片的声音发生器, 在该电路中增加晶体管, 可同时驱动一个压电换能器和一个小扬声器。

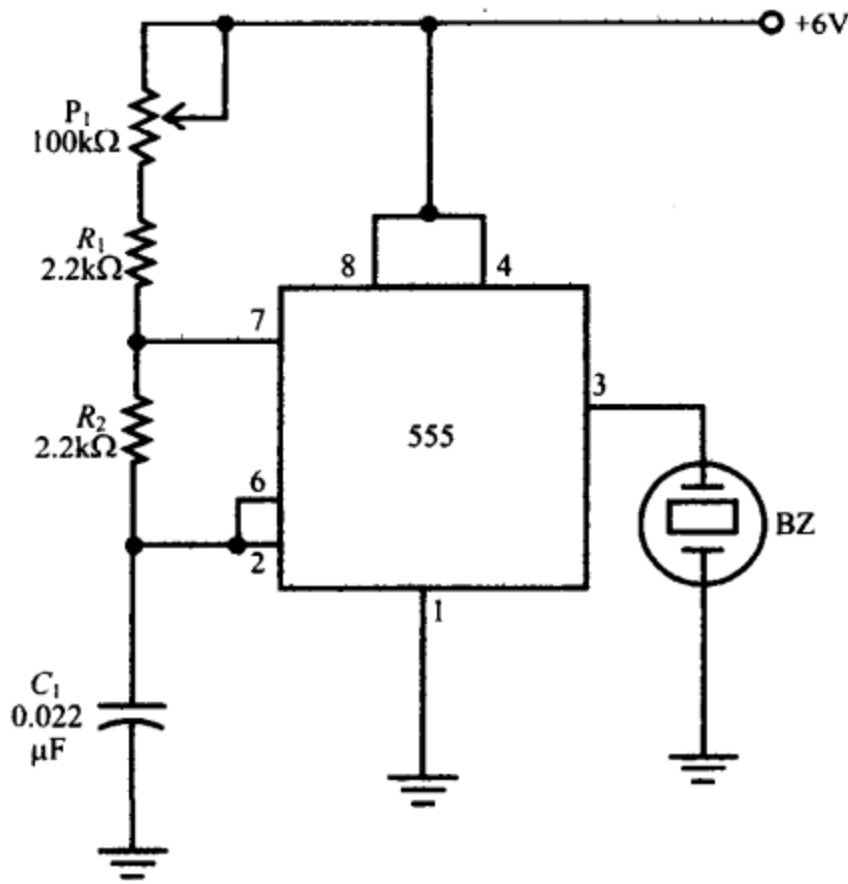


图 3.124 应用 555 集成电路芯片

基准频率取决于电容器  $C_1$ , 并可由电位计  $P_1$  调节。电路采用图中所示的器件, 声音频率可以在 100Hz~1kHz 之间调节, 涵盖了通常能够驱赶或者吸引绝大部分昆虫的声音频率。

通过更换  $C_1$ , 电路可产生各种频率的声音, 包括超声波。当然, 当产生超声波时, 需要一个合适的换能器, 因为小型的压电换能器产生的声音只能在 10kHz 以内。

压电高频扬声器是一种合适的换能器。在这种情况下, 扬声器内的小型变压



器必须摘除,且将换能器直接连到电路中。

另外一个方案是利用一个晶体管,使此电路能够驱动低阻抗负载,如图 3.125 所示。如果该电路在可听见声音范围内工作可以使用普通的扬声器,如果在超声波范围内工作则用压电高频扬声器。

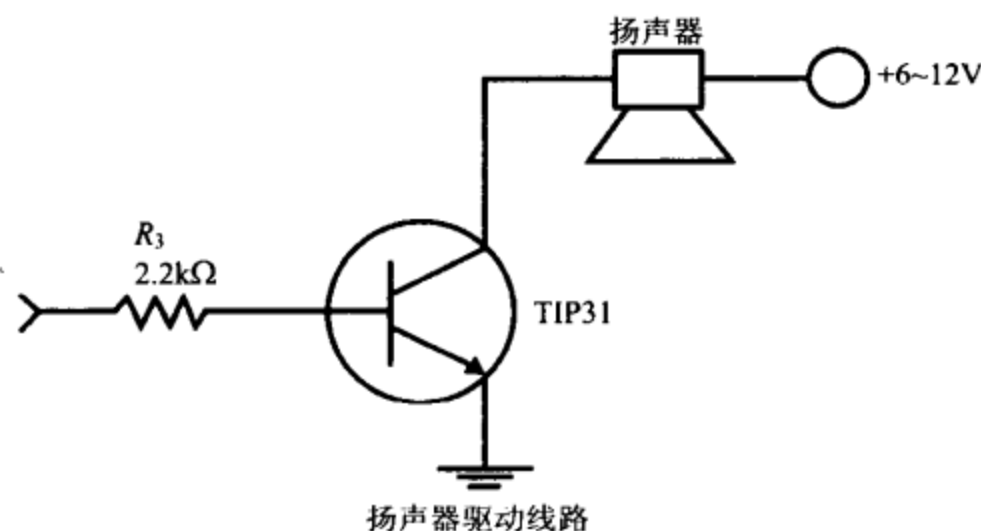


图 3.125 使用晶体管驱动级电路

表 3.37 元器件清单

元器件	说 明
IC-1	555 集成电路芯片 定时器
P <sub>1</sub>	100kΩ 线性或对数电位计
R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub>	2.2 kΩ 1/8W 电阻, 红, 红, 红
C <sub>1</sub>	0.022μF 陶瓷或者聚酯电容器
S <sub>1</sub>	开关
B <sub>1</sub>	6V 或者 9V 蓄电池或者电池
X <sub>1</sub>	压电换能器, 晶体管输出级使用器件
Q <sub>1</sub>	TIP31 NPN 型硅功率晶体管
R <sub>3</sub>	2.2 kΩ 1/8W 电阻, 红, 红, 红
SPKR	4Ω 或 8Ω 扬声器或者高频扬声器
其他元器件	PCB 或者面包板, 电池连接器或者蓄电池盒, 塑料盒, 导线, 保险丝, 晶体管散热器(如果需要)等

### 应用电路实验

尝试做一些研究持续声音对生物行为影响的实验。这些实验可以针对昆虫,如蚂蚁或者苍蝇,研究声音如何影响它们的行为。由于换能器可以在水中使用,该实验也可以研究声音对鱼的行为的影响。在基本电路中的电位计 P<sub>1</sub> 可以换为 LDR 或者负温度系数(NTC: Negative Temperature Coefficient)电阻,使得电路能够对光或者温度敏感。

## 项目11 仿生诱捕器

特定波长和颜色的光能够吸引很多昆虫及其他动物。这也是许多昆虫在夜晚撞向荧光灯和白炽灯的主要原因。通过选择合适的灯光颜色,可以吸引特定种类的昆虫,诱使它们陷入设定的陷阱内。

本项目研究的仿生诱捕器使用了一个荧光灯外加一个捕捉或者杀死昆虫的装置。基本设计中,昆虫被收集在一个袋子中,但我们将在项目 15 中介绍一个高压杀虫装置。仿生学爱好者可以通过调节灯光的种类和辐射性使装置能够捕获某一类昆虫或者动物。

### ■ 项目介绍

基本电路中的主要部分是一个高压变换,它由电池或蓄电池供电并驱动荧光灯。荧光灯根据要捕杀的昆虫种类而定。功率小于 4W 的可见光或者紫外线灯可以应用在本电路中,如图 3.126 所示。

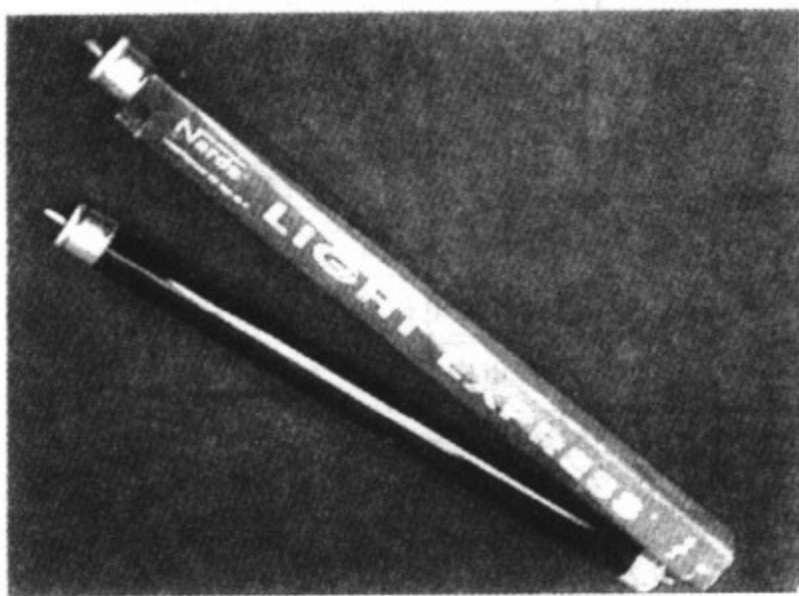


图 3.126 电路中的小荧光灯

如果打算在森林或者其他没有交流电线路的地方诱捕昆虫,使用变换器就是必须的。标本采集者可以利用这个装置在很多地方收集标本。

当然,普通电池只能提供 1~2h 的电能,所以推荐使用可充电电池作为电源。如果需要为这个装置提供数个小时的电力供应,应该使用大型电池。

### ■ 仿生学实验

许多昆虫可用在仿生学实验或者其他有趣的应用中,但是前提是必须先捕捉到它们。本项目将介绍如何构造一个捕捉装置。这个捕捉装置有多种用处,特别是昆虫成灾的地方。

仿生诱捕器的主要应用如下:

- 捕捉用于仿生学实验或应用的昆虫。
- 捕捉叮咬人的昆虫。

- 收集用于生物研究的昆虫。
- 杀死对农作物有害的昆虫。
- 驱动一个荧光灯,如应急灯。
- 将高压输出连接到电篱笆。

### ■ 工作原理

为了把普通干电池及蓄电池提供的低压直流电转化为高压交流电,电路中必须使用变压器。但使用变压器时,必须把纯粹的直流电转换为脉冲或者随时间改变的形式,因为变压器无法在直流电下工作。因此,如图 3.127 所示的作为变压器和直流电源之间连接转换的电路是必需的。

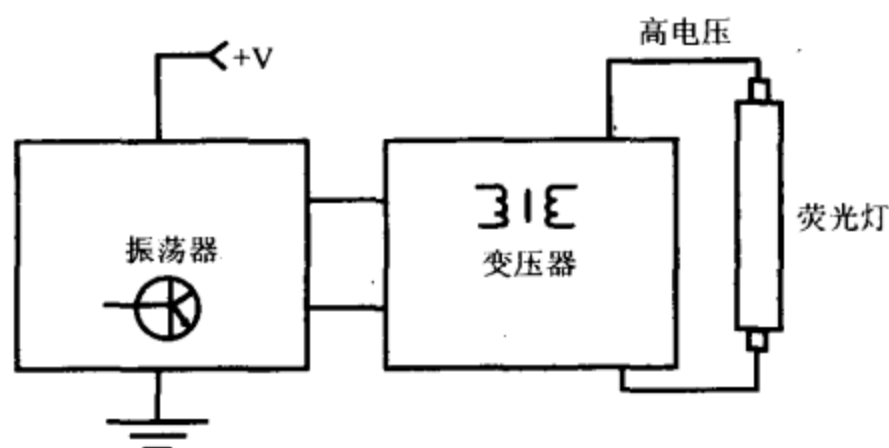


图 3.127 仿生诱捕器的框图

转换电路包括一个哈特利振荡器,它向小变压器低压端提供随时间不断变化的交变信号。

在变压器的次级线圈产生高压,峰值可以达到 200V 以上,这个电压足够驱动任何荧光灯。即使接到交流电线路都不工作的荧光灯也可以由这个电路驱动。

电容器  $C_2$  和  $C_3$  决定了振荡器的工作频率。根据变压器的不同,你必须调节这些元器件的值,以得到最佳的工作效果。为了达到变压器的最佳性能,电阻  $R_1$  也可以任意更换。

基本电路中的电源由 4 节干电池构成。为了更好的工作性能,推荐使用 2 号,1 号型或者镍镉可充电电池。根据电路中应用的变压器和荧光灯的不同,电路消耗的电流在 100~300mA 之间。功率稍大的电路,使用 6V 电池。

任何功率在 7W 以下的荧光灯都何以使用。根据目的的不同可以选用白光或者紫外线灯。但是,如果接入能耗很高的灯,如 40W 的灯泡,它会被点亮但是没有足够的强度,因为这个电路只能驱动数瓦大小的负载。

### ■ 搭建方法

图 3.128 所示为仿生诱捕器的完整电路原理图。

电路很简单,可以用接线条作为底盘进行搭建,如图 3.129 所示。

晶体管需要一个小型的散热片。连接电路时,注意不要把这个元件的极性

接反。

所有的元器件必须放进一个小塑料盒中。为了连接荧光灯,可以使用一条长的导线,如图 3.130 所示。

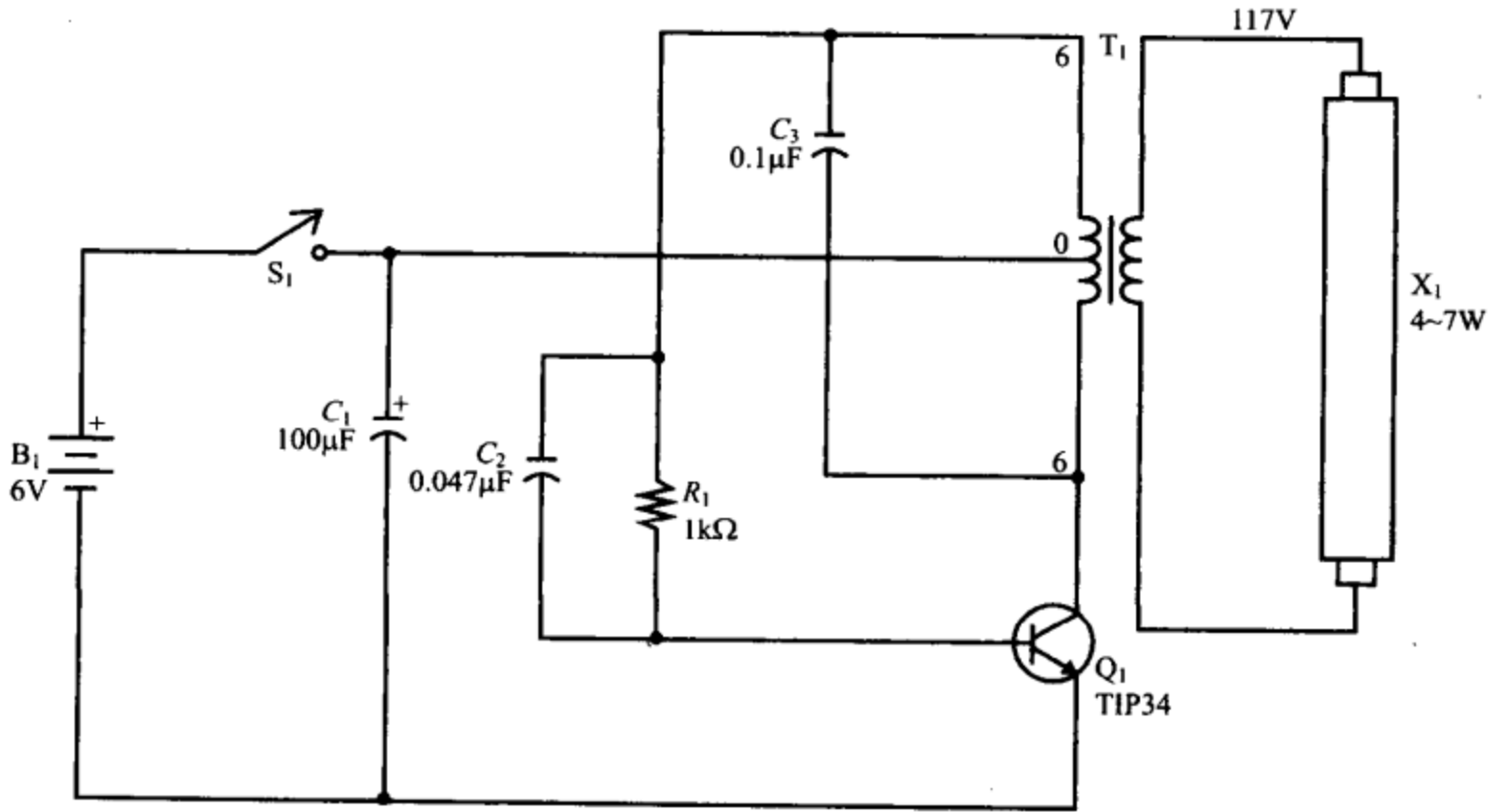


图 3.128 仿生诱捕器的完整电路原理图

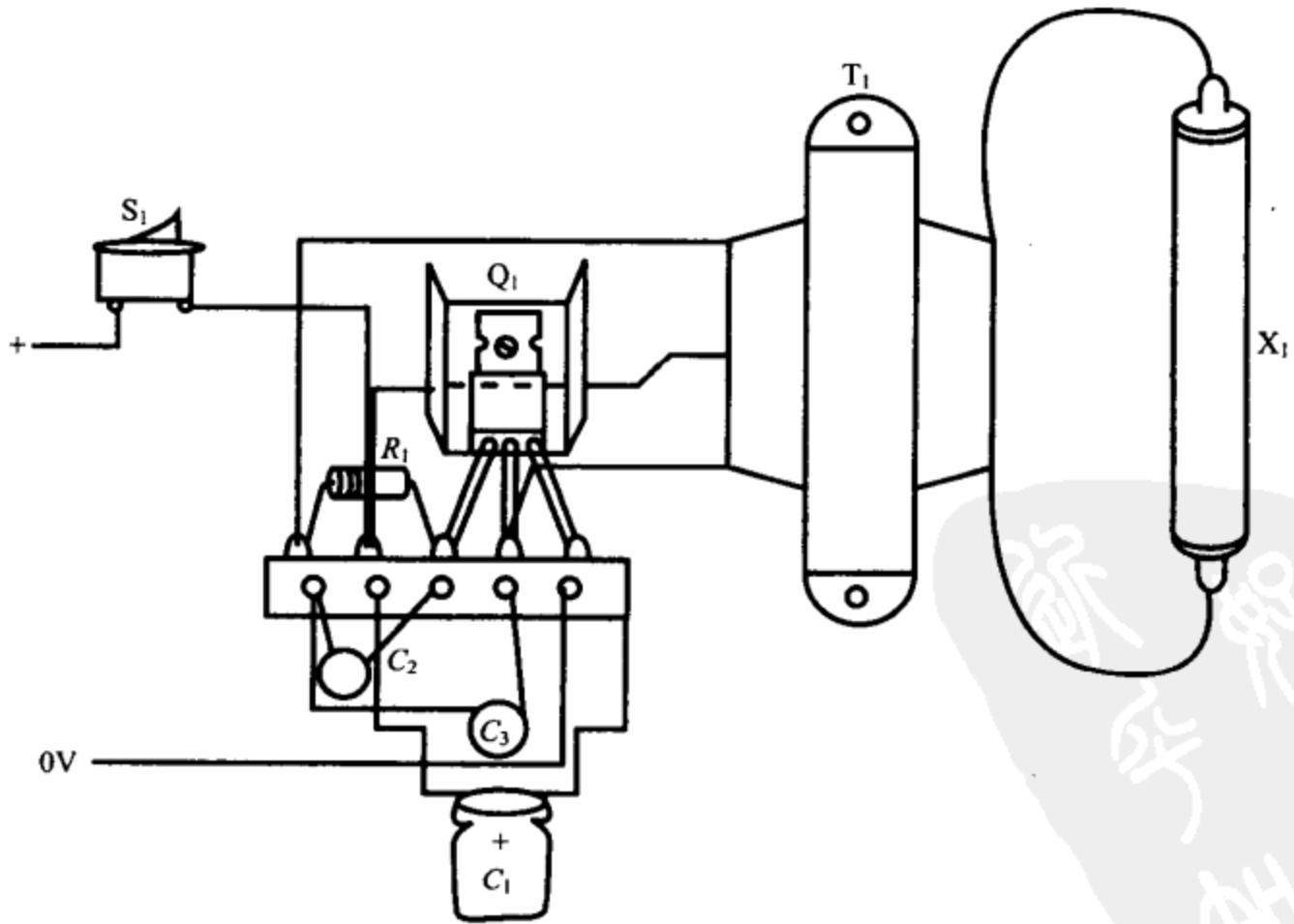


图 3.129 以接线条作为底盘搭建电路

任何在次级线圈中有中间抽头,工作电压在 4.5~7.5V 之间的变压器都可以使用。负载电流要求在 200~500mA 之间。

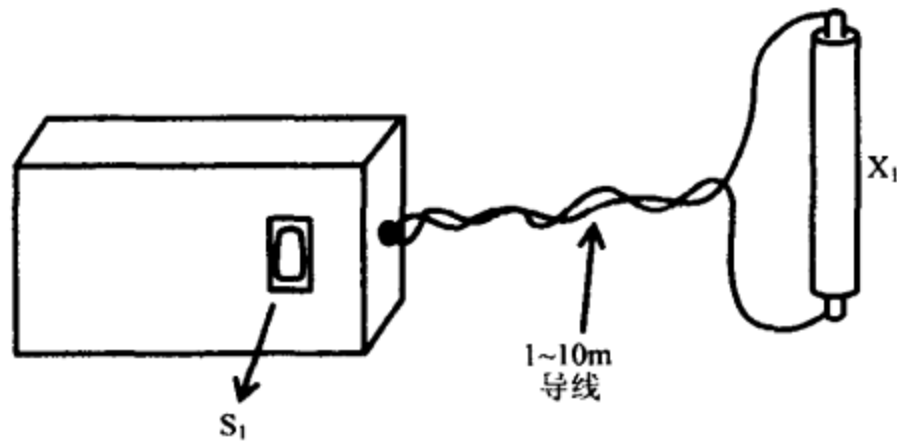


图 3.130 将电路装入一个小塑料盒

变压器的初级线圈的标称电压可以是 110/117/120/127/220V 或者 240V。电压越高,越容易驱动荧光灯。

接入灯泡时,要保证导线的绝缘性。如果绝缘性不好,变压器的高压会造成电击。

$C_2$  和  $C_3$  是陶瓷或者聚酯电容器。晶体管型号为 TIP31(A,B,C 中任何一种)或者具有相同功能的 BD135,甚至也可以使用 TIP41。使用 TIP41 或者 2N3055,电路可以用 12V 直流电源供电,能驱动更大的荧光灯。

有几种方法可以制作诱捕陷阱。如图 3.131 所示只是其中之一,灯的下面放置了一个袋子。

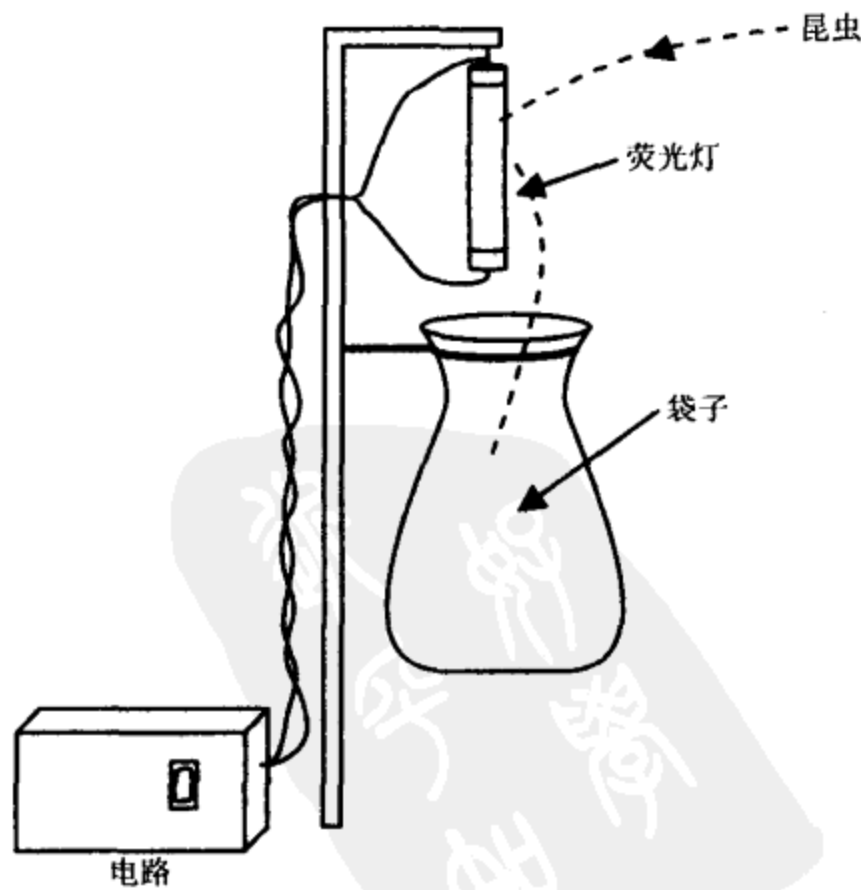


图 3.131 塑料袋制成的陷阱

被灯光吸引的昆虫向灯撞去,不小心就会掉进捕捉它们的袋子。可以在袋子上装一个漏斗,目的是防止昆虫从袋子中逃脱,如图 3.132 所示。

如果希望杀死昆虫,则项目 15“昆虫杀手”会教你如何去做。

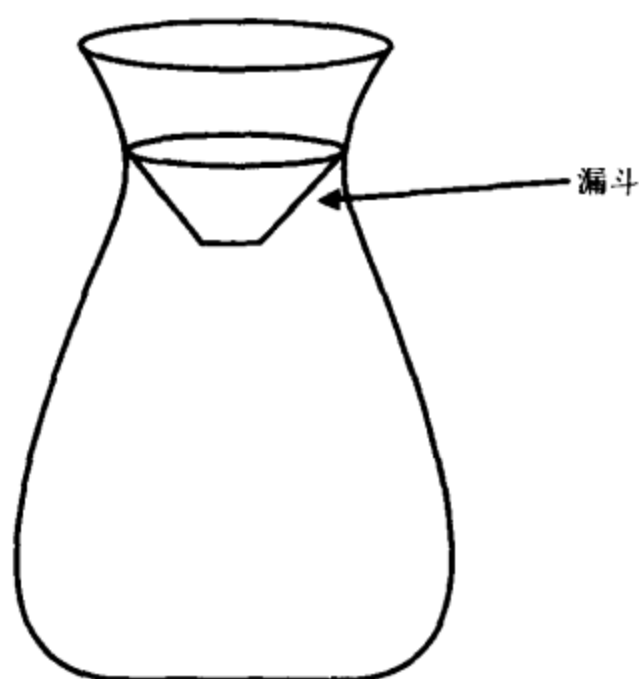


图 3.132 防止昆虫从袋子中逃脱

#### ■ 测试及使用

关闭  $S_1$ , 为电路供电, 荧光灯会立即发光(图 3.133 与图 3.134)。

如果你弯下身, 将耳朵靠近变压器, 就会听到振荡器的声音。若没有声音, 荧光灯没有亮, 关闭电路仔细检查你搭建的电路。或许电路的某个地方出现了问题。

如果晶体管发热, 荧光灯未亮, 关闭电路, 对系统进行检查。注意检查极性元件的位置。如果极性接反, 电路将不工作。

一旦电路可以工作, 你可以试着改变  $R_1, C_1, C_2$  的数值, 使电路的性能达到最佳。一个实用的方法是再给  $R_1$  串联一个  $10k\Omega$  的微调电位计, 调节输出功率。

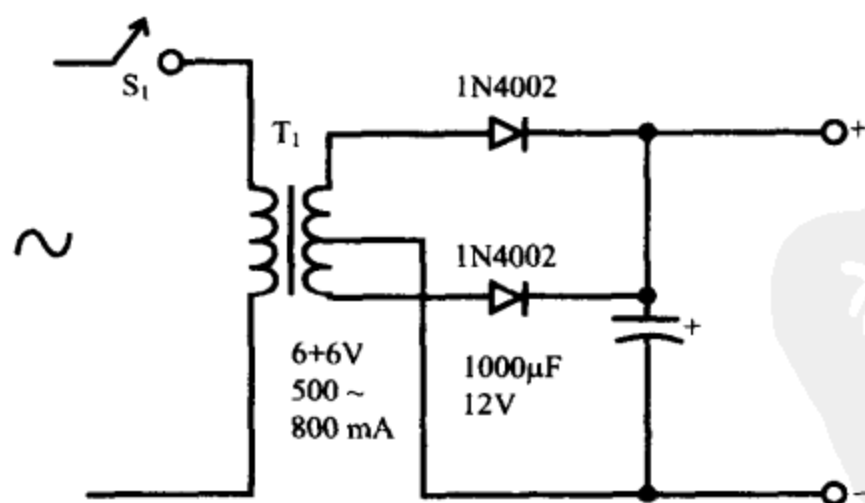
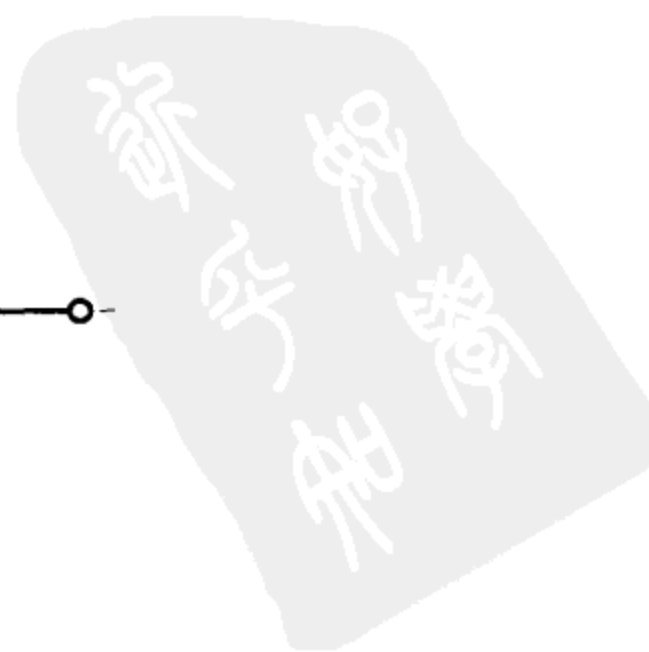


图 3.133 一种电路驱动方案



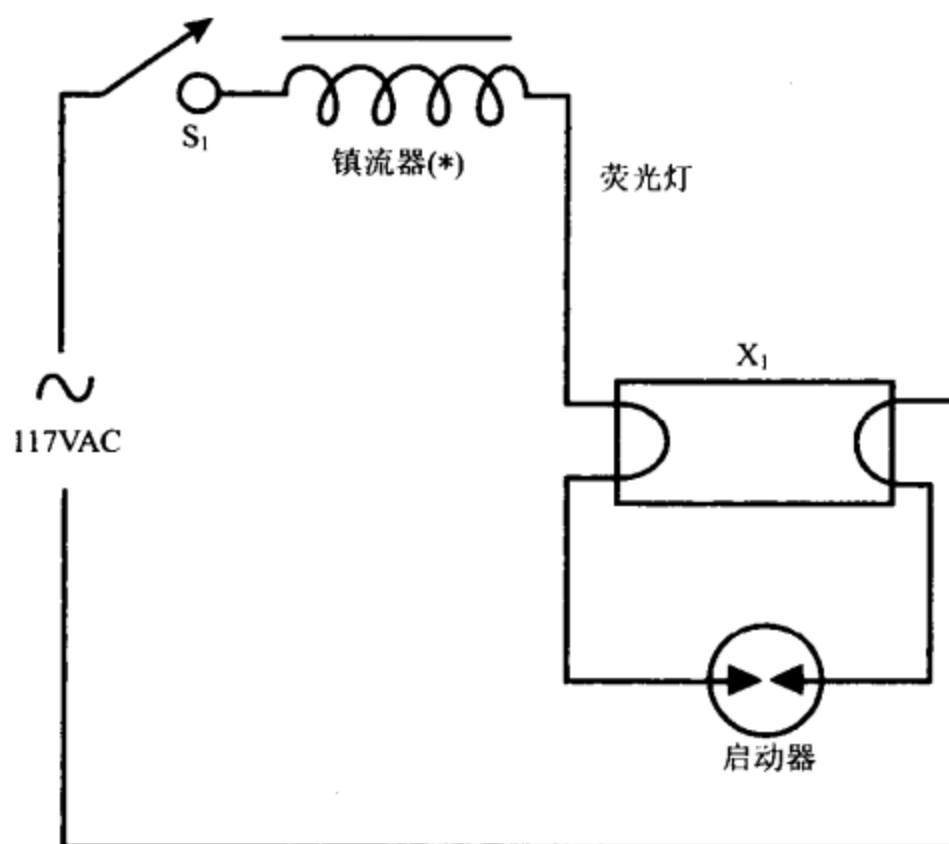


图 3.134 交流电路直接驱动荧光灯

当电路工作正常时,你可以将该装置放置在昆虫较多的地方。现在也可以用白炽灯或紫外线灯做实验。

表 3.38 元器件清单

元器件	说 明
Q <sub>1</sub>	TIP31 NPN 型硅功率晶体管
R <sub>1</sub>	1kΩ 1/2W 电阻,棕,黑,红
C <sub>1</sub>	100μF 12V 电解电容器
C <sub>2</sub>	0.047μF 陶瓷或者聚酯电容器
C <sub>3</sub>	0.1μF 陶瓷或者聚酯电容器
S <sub>1</sub>	开关
T <sub>1</sub>	变压器(参阅正文)
X <sub>1</sub>	功率不高于 7W 的荧光灯
B <sub>1</sub>	6V 干电池或蓄电池(参阅正文)
其他元器件	接线条,塑料盒,晶体管用散热片,灯座,导线,焊料等

### ■ 其他电路及创意

用简单的变换器对于电路搭接技术不熟练的读者来说更合适。不用 PCB 搭建电路可能更容易一些。

但如果你擅长于电路设计,那么可以设计许多其他方案来制作昆虫诱捕器,如



直接由交流电驱动。这里我们将研究这些解决方案。

### 1. 交流电驱动电路

仿生学爱好者有两种方法可实现利用交流电为仿生诱捕器提供电能。其一就是如图 3.133 所示的简单的电源。

电路使用一个小型变压器将交流电电压降低到 6V, 利用一个整流器为变换器提供直流电压。任何输出电压为 4.5~6V 电流为 500~800mA 的变压器都可使用。

另外一种方法是利用如图 3.134 所示的电路直接使交流电驱动荧光灯。建议购买与荧光灯匹配的镇流器。而且, 因为这个电路与交流线路是不绝缘的, 所以要保证所有的工作部分不能暴露在外, 否则可能会发生危险的电击。

### 2. 大功率变换器

图 3.135 所示为一种由 12V 汽车蓄电池驱动的大功率变换器。这个电路可以驱动功率高达 20W 的荧光灯, 并且使用两个晶体管构成了推挽式电路。

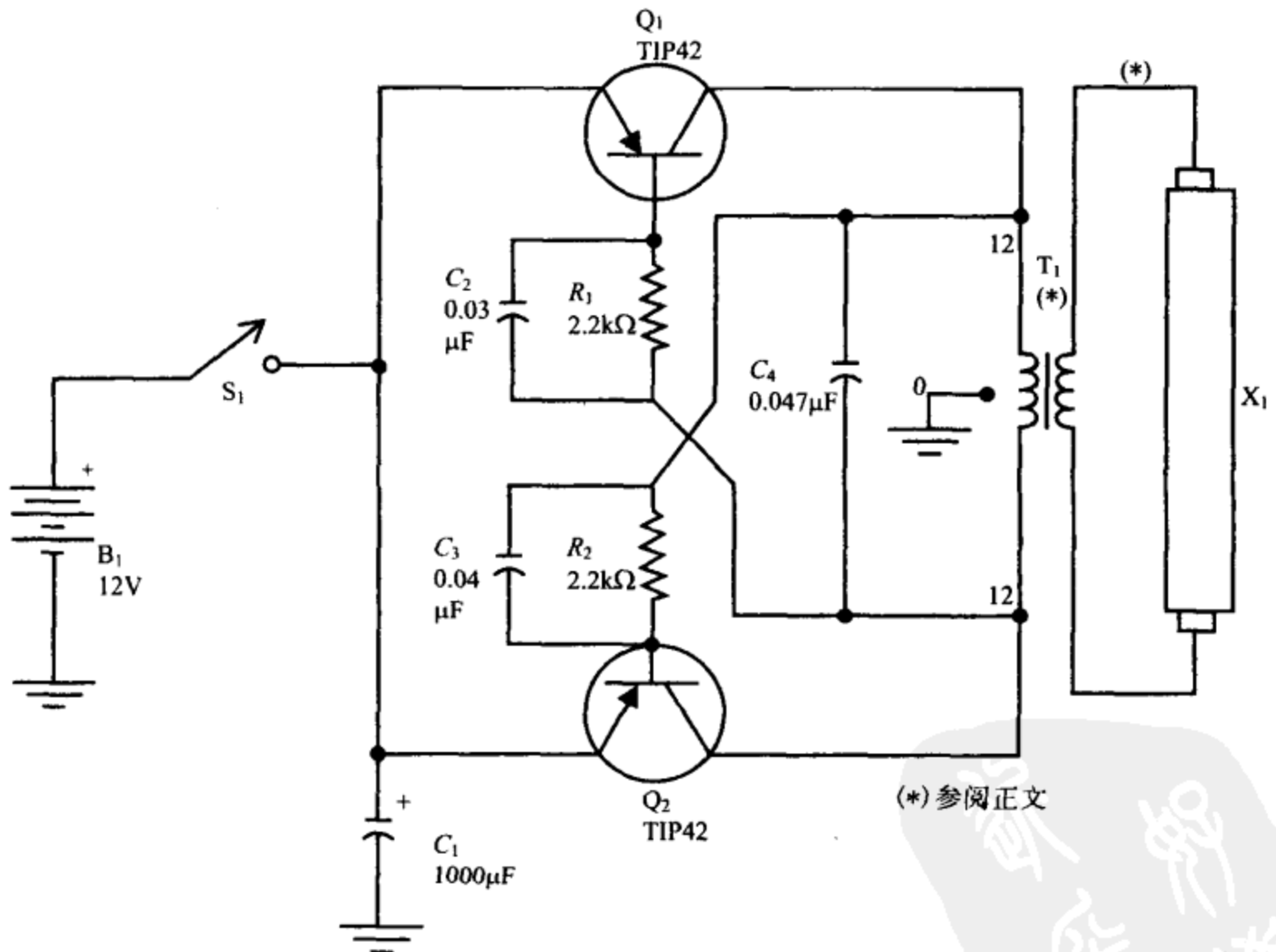


图 3.135 大功率变换器

晶体管必须加装散热片, 原因是有些情况下, 电路的耗用电流能够达到 1A 以上。而输出功率的大小则取决于许多因素。

其中一个决定输出功率的因素是变压器。推荐的工作电流在 500mA~1A 之间。电流越高,荧光灯获得的功率越大。

为了寻求电路的最佳工作效果,你应该实验电路中各个元件的数值,目的是与变压器的性能参数相匹配。例如,电阻  $R_1, R_2$  的值可以在  $470\Omega$  和  $4.7k\Omega$  之间变化, $C_1, C_2$  的值可以在  $0.01 \sim 0.22\mu\text{F}$  之间选择。同样, $C_3$  也可以由  $0.047 \sim 0.22\mu\text{F}$  的电容器代替。

此外,电路的电源是 12V 的汽车或者摩托车蓄电池,所以这个电路最大可以驱动 40W 的荧光灯,但是,它们将不能在全功率下工作。

表 3.39 元器件清单

元器件	说 明
$Q_1, Q_2$	TIP42 PNP 型硅功率晶体管
$T_1$	变压器(参阅正文)
$R_1, R_2$	$2.2k\Omega$ 1/2W 电阻 红,红,红
$C_1$	$1000\mu\text{F}$ 16V 电解电容器
$C_2, C_3$	$0.01\mu\text{F}$ 陶瓷或者聚酯电容器
$C_4$	$0.047\mu\text{F}$ 陶瓷或者聚酯电容器
$S_1$	开关
$B_1$	12V 电池(参阅正文)
$X_1$	5~20W 荧光灯
其他元器件	PCB, 晶体管散热片, 导线, 焊料等

### 3. 脉冲光

实验证明脉冲光或者闪光灯的光同样也可以吸引昆虫。闪光灯的电路(参阅项目 5)可以应用在荧光灯上面。

### 4. 白炽灯

虽然由于白炽灯光的光谱特性使得它们对昆虫没有吸引力,但其依然可以使用。这要看你是否能发现白色与彩色光能诱捕昆虫。也可以买到黑色的白炽灯,如图 3.136 所示,但是由于光谱特征,它们不是好的紫外线光源。

白炽灯的优点是其可以直接接入交流电线路,而不需要其他的附加装置(除了如果需要可以加装开关以外)。可以使用 60~100W 的白炽灯。



图 3.136 白炽紫外线灯(黑光灯)

## 5. 其他实验

仿生学爱好者可以想象出许多和光(可见光或紫外线(UV))相关的应用。众所周知,很多种类的蜜蜂是红色色盲,它们不能感受到任何红色光线。因此,如果你把蜜蜂放在只有红光的空间里,对于它们来说这个区域就是纯黑色的。结果是它们在飞行过程中就会撞墙或者撞其他物体。

通过有趣的试验可以看到昆虫和其他生物(如鱼和植物)在不同波长(颜色)的光线作用下的反应。仿生学爱好者不仅可以使⽤白炽灯和紫外线灯,还可以使⽤其他颜色的灯。

## 项目12 动物训练器

狗、猫和其他许多动物都能够经训练后对声音作出反应。有趣的是它们中的许多能够听见超声波,而人类是听不见的。这意味着可以训练一只狗对人类听不见的声音作出反应。

本项目将重点搭建一个用于训练动物的音频振荡器,甚至是超声波振荡器。电路可以用电池供电,这意味着此装置体积很小,具有良好的可携带性。

仿生学爱好者可以通过按下一个按钮来实现远距离控制他的狗,他的朋友会感到非常得惊讶。有趣并且令人吃惊的是没有人会认为狗会听到什么,因为装置发出的是超声波。

农场的母鸡也可以被训练对电路发出的声音作出反应,但是母鸡对超声波不那么敏感。你可以做有趣的实验,看看鸟对该电路发出的声音是否有反应。在实验室里,你还可以发现动物怎样区分两个频率很相近的声音。

第一个动物训练器是俄国科学家巴甫洛夫(Ivan Pavlov)制作的,如图 3.137 所示。实验中狗在每次进食时都会听到铃声,当狗再次听到铃声时(非进食情况下)就会分泌唾液。

巴甫洛夫关于动物(或者人)通过训练可对某些特定刺激作出反应的发现引起了人们极大的兴趣。他的工作开辟了一条新的客观的研究动物和人行为的新途径。

### 项目介绍

基本设计由两个声音或者超声波振荡器组成。第一个方案使用的压电换能器,只能产生在人类听觉范围内的声音。第二个方案使用的压电换能器可以产生高达频率为 25kHz 的声音,达到了超声的波段。声音的频率可以通过调节微调电位计的阻值进行调节。

电源由 4 节 5 号电池构成。由于电路只在发出声音的很短的时间内工作,所以电池的使用寿命会很长。

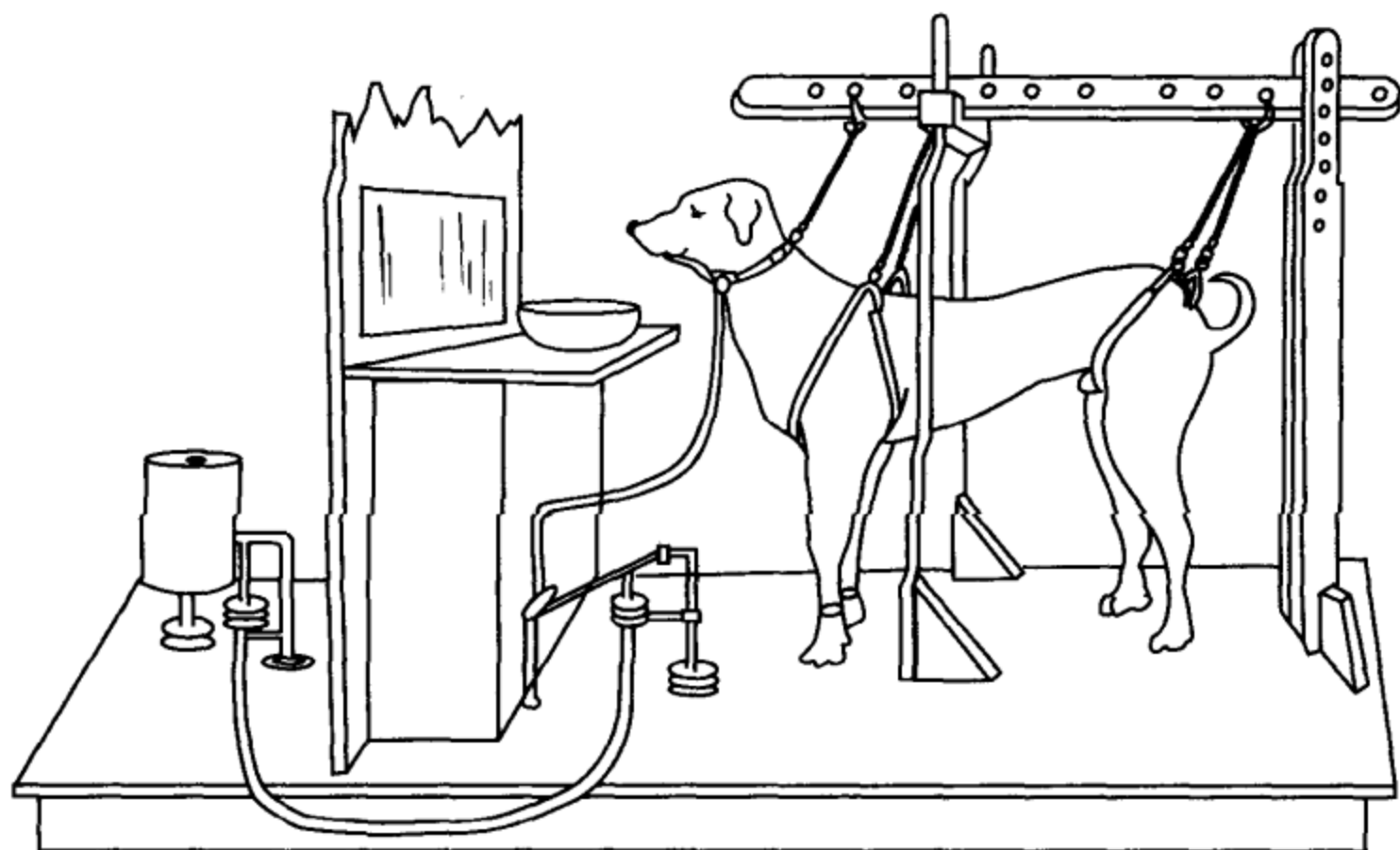


图 3.137 巴甫洛夫的动物训练实验

### ■ 仿生学实验

通过应用声波和超声波训练器,可以进行很多仿生学实验和实践:

- 训练你的狗在听到电路发出的声音时走过来。
- 根据各种动物对不同声音频率的敏感性训练它们。
- 研究不同动物区分不同频率声音和听到超声波的能力。

### ■ 电路的工作原理

在基本方案中,一块运行在非稳定状态的 555 集成电路芯片构成了两组基本电路。声音频率由  $C_1$ 、 $R_1$ 、 $R_2$  决定,电阻通过  $P_1$  调节。

555 集成电路芯片的输出足以直接驱动压电换能器。这种换能器可以产生最高频率为 7kHz 或 8kHz 的声音,这种声音能够满足项目中所描述的要求。

但是,为了驱动大功率的换能器,如频率能够达到 25kHz 的压电高频扬声器,就需要驱动级了。本项目中也讨论了使用驱动级的方案。

电路的耗用电量取决于功率的输出,因此最经济的电路是采用压电换能器。其他版本的电路的耗电在 80~300mA 之间,相对来说电池的寿命将缩短。

### ■ 搭建方法

如前所述,基本方案有两种版本:采用压电换能器、采用扬声器(高频扬声器)。

#### 1. 基本方案 1

图 3.138 所示是采用压电换能器的基本方案 1 原理图。

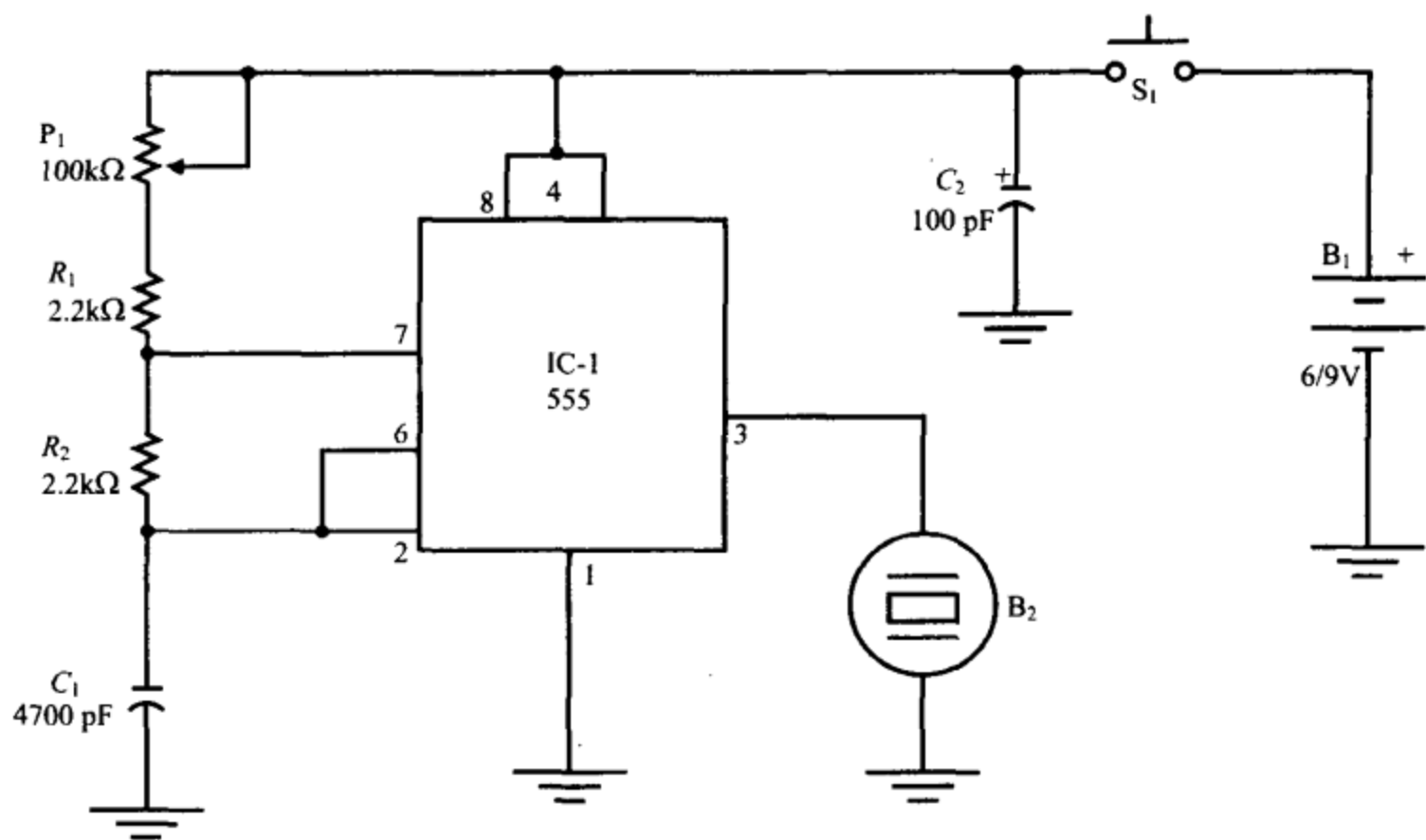


图 3.138 基本方案 1 的原理图

该电路十分简单,实验者可以用 PCB 甚至面包板搭建电路。使用 PCB 搭建的方法见图 3.139。

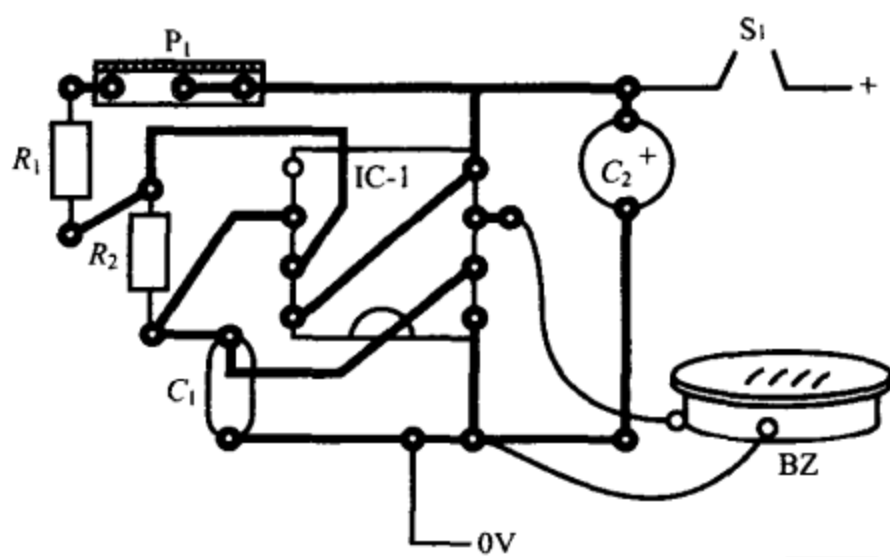


图 3.139 基本方案 1 的 PCB

接入极性元件时需注意区分正负极。任何接反的情况都会使电路不工作。

换能器是在玩具、PC 和其他很多产生报警声装置上应用的压电类型。电路能够组装在如图 3.140 所示的塑料盒中。一定要在盒子上打孔,使换能器产生的声音能够传出来。

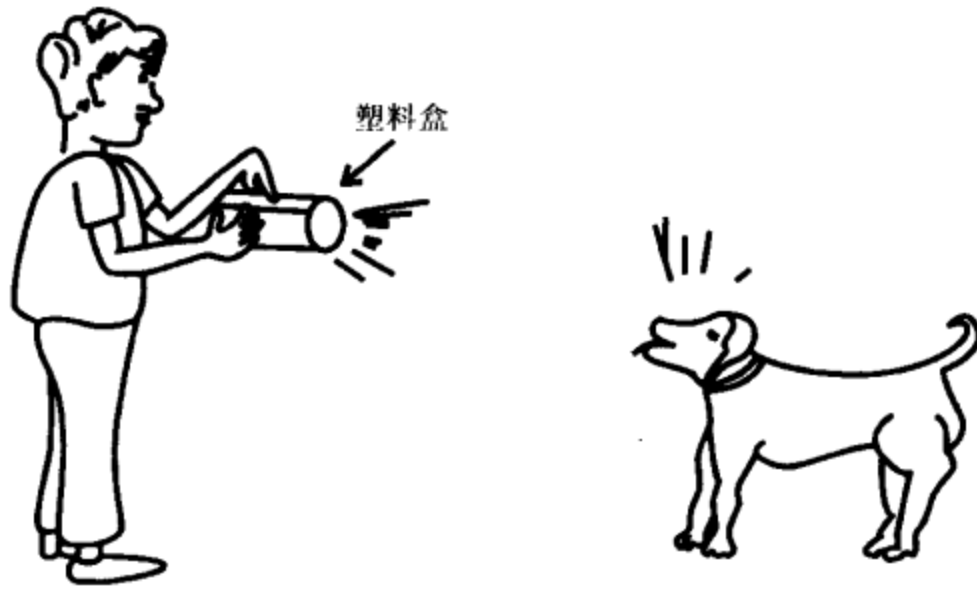


图 3.140 训练器装入塑料盒中

## 2. 基本方案 2

图 3.141 所示是动物训练器基本方案 2 的原理图。

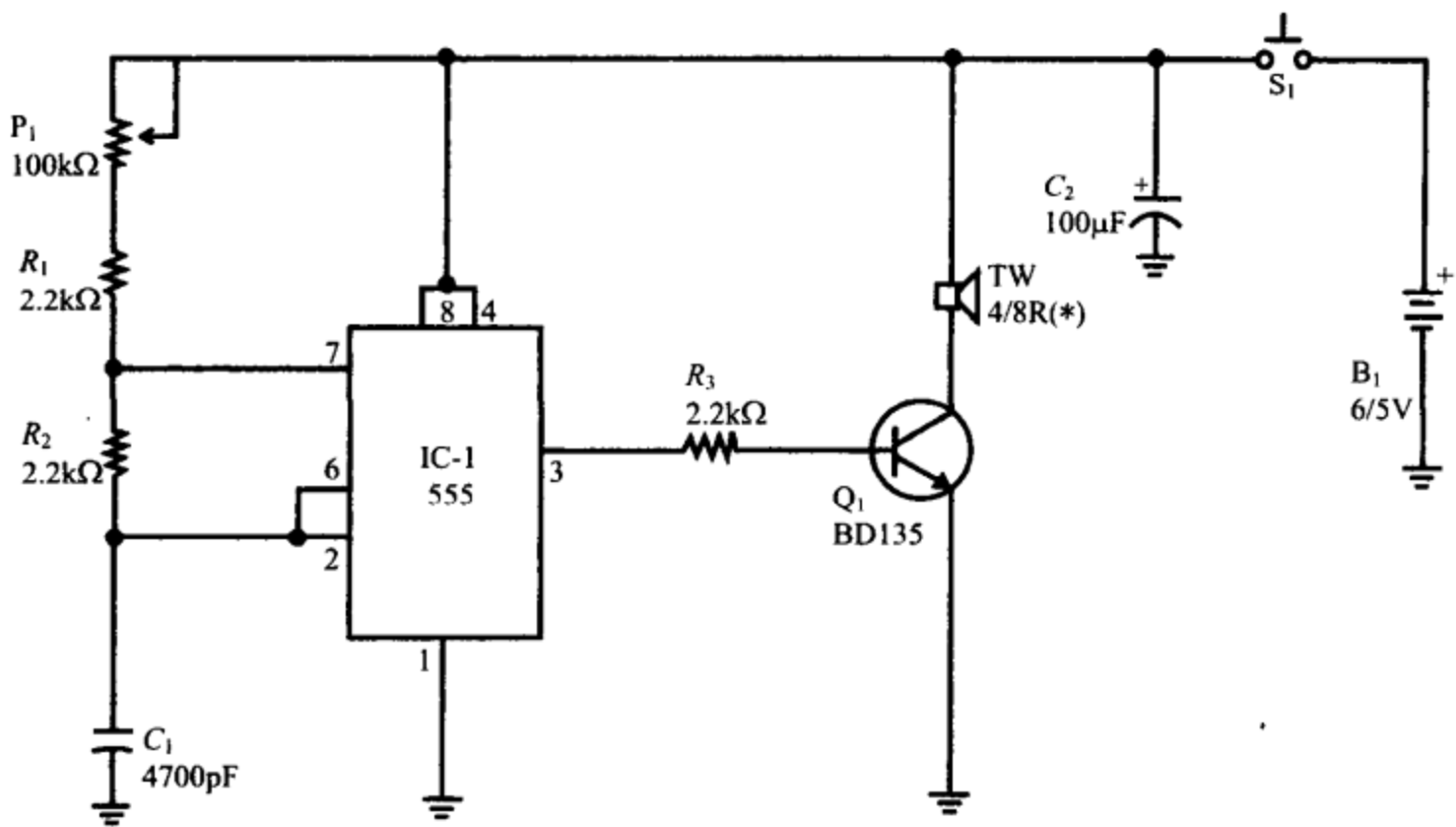


图 3.141 基本方案 2 的原理图

这种方案同样也可以用 PCB 或面包板搭建。用 PCB 搭建的方式如图 3.142 所示。

如果打算产生人类听觉范围内的声音,那么可以用一个小的扬声器(5~10cm)作为换能器。要得到超声范围内的高频声音,推荐使用一个小型的压电高频扬声器。晶体管必须加装散热片。

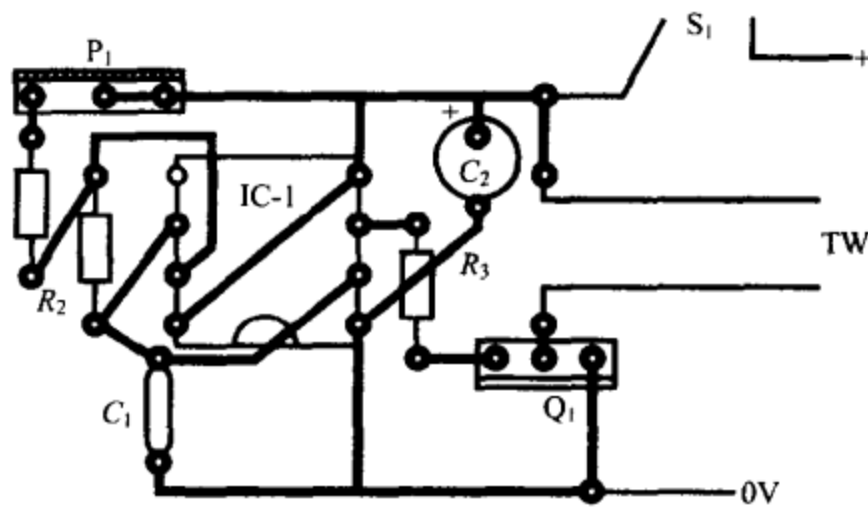


图 3.142 基本方案 2 的 PCB

### ■ 测试及使用

按下按钮  $S_1$  接通电路。调节  $P_1$ ，所产生声音的频率将会改变。如果没有声音产生，则检查电路，查找错误和虚焊的地方。

电路产生声音之后，调节  $P_1$  得到所需要的频率。当调节电位计到可听见声音范围之上时，电路能产生超声波。即产生比你能够听到的最高频率声音还高的声音。

训练动物需要耐心。在被实验动物附近多次按下按钮  $S_1$ ，每次都要给它奖励。多次训练之后，动物会把该声音和奖励联系在一起。每当你按下  $S_1$  时它都会跑向你。

表 3.40 元器件清单(基本方案 1)

元器件	说 明
IC-1	555 集成电路芯片定时器
BZ	压电换能器
$S_1$	按钮
$B_1$	一块 6~9V 的电池,或 4 节 5 号电池或蓄电池
$P_1$	100k $\Omega$ 可调电位计
$R_1, R_2$	2.2k $\Omega$ 1/8W 电阻,红,红,红
$C_1$	4700 $\mu$ F 陶瓷或聚酯电容器
$C_2$	100 $\mu$ F 12V 电解电容器
其他元器件	PCB 或者面包板,电池连接装置或者电池盒,塑料盒,导线,焊料等



表 3.41 元器件清单(基本方案 2)

元器件	说 明
IC-1	555 集成电路芯片定时器
Q <sub>1</sub>	BD135 NPN 型 中功率硅二极管
TW <sub>1</sub>	4Ω 或者 8Ω 压电高频扩音器或者扬声器
S <sub>1</sub>	按钮开关
B <sub>1</sub>	一块 6~9V 的电池,或者 4 节 5 号电池或蓄电池
P <sub>1</sub>	100kΩ 可调电位计
R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub>	2.2kΩ 1/8W 电阻,红,红,红
C <sub>1</sub>	4700μF 陶瓷或聚酯电容器
C <sub>2</sub>	100μF 12V 电解电容器
其他元器件	PCB 或者面包板,电池连接装置或者纽扣电池盒,塑料盒,导线,焊料等

### ■ 其他电路及创意

基本电路能够产生可听见声音或者超声波。但你在训练动物时不只局限于使用这两种基本方案。下面将给能产生可调节声音或两种音调的一些电路,它们的具体应用就依赖于你的想象力了。

#### 1. 调制声音训练器

图 3.143 所示电路能产生像警报器一样的调制声音。与基本方案中一样,声音由压电换能器或者高频扬声器发出。

调制过程由 P<sub>1</sub> 进行调节,声音的高低由 P<sub>2</sub> 调节。电路能够直接驱动压电换能器,如果你愿意,用基本方案 2 中的晶体管放大级也可以驱动扬声器或者高频扬声器。

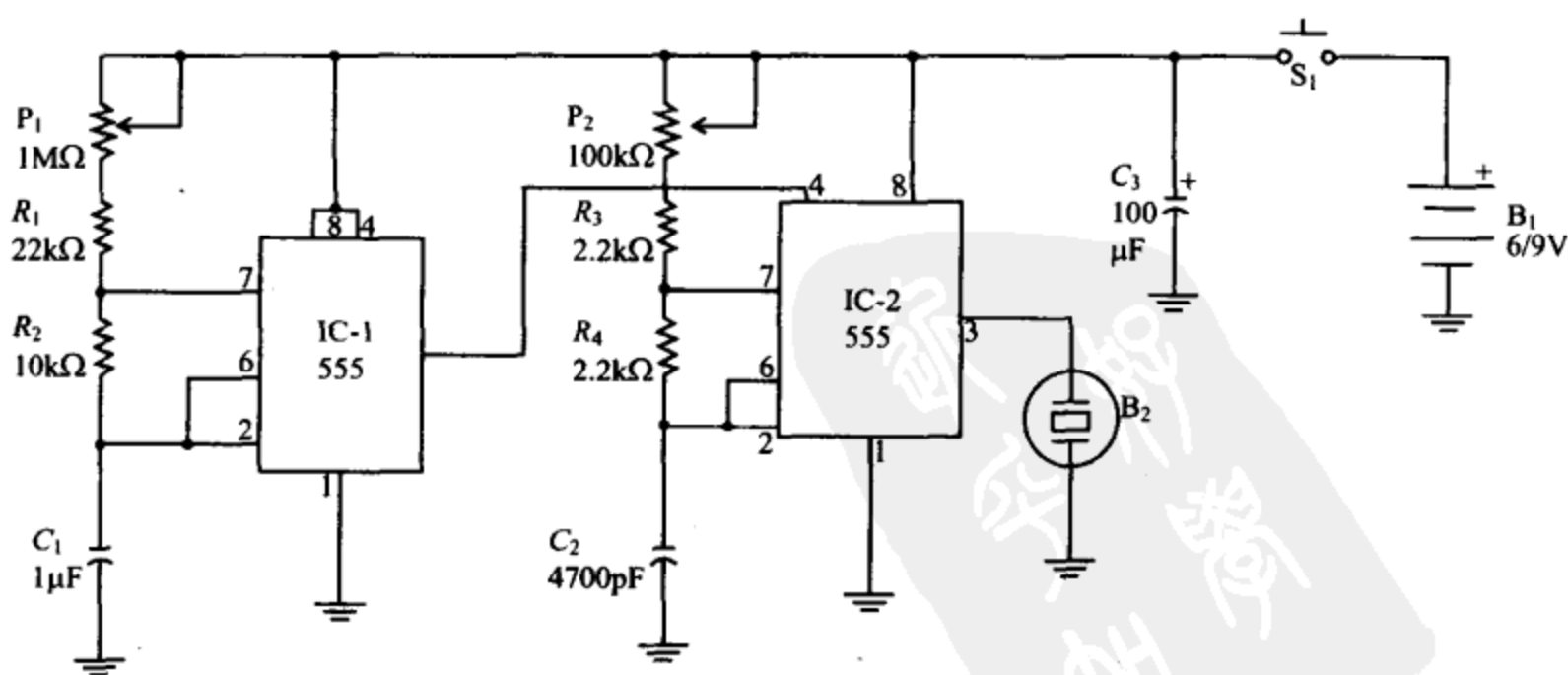


图 3.143 调制声音动物训练器

表 3.42 元器件清单

元器件	说明
IC-1, IC-2	555 集成电路芯片 定时器
P <sub>1</sub>	1MΩ 可调电位计
P <sub>2</sub>	100kΩ 可调电位计
R <sub>1</sub>	22kΩ 1/8W 电阻, 红, 红, 橙
R <sub>2</sub>	10kΩ 1/8W 电阻, 棕, 黑, 橙
R <sub>3</sub> , R <sub>4</sub>	2.2kΩ 1/8W 电阻, 红, 红, 红
C <sub>1</sub>	1μF 聚酯或电解电容器
C <sub>2</sub>	4700pF 陶瓷或者聚酯电容器
C <sub>3</sub>	100μF 12V 电解电容器
BZ	压电换能器
S <sub>1</sub>	按钮开关
B <sub>1</sub>	6V 或 9V 按钮电池或者蓄电池
其他元器件	PCB 或者面包板, 电池连接装置或者纽扣电池盒, 塑料盒, 导线, 焊料等

## 2. 双音调训练器

另外一种有趣的动物训练装置如图 3.144 所示, 这个电路能产生不断变化的声音, 变化速率由 R<sub>1</sub> 决定。你在实验中可以选用 1~4.7MΩ 的电阻。

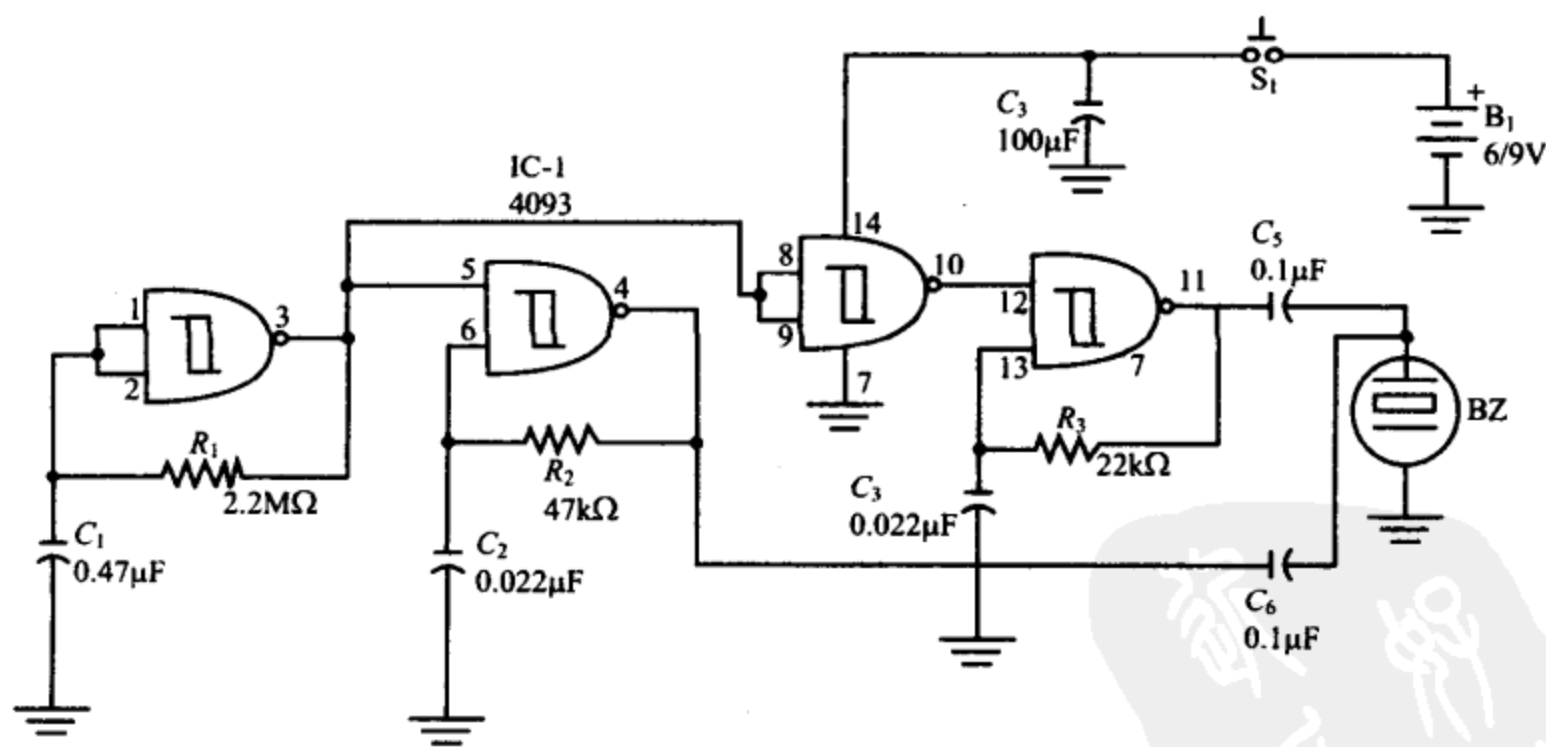


图 3.144 双音调训练器电路图

音调的高低决定于 R<sub>2</sub> 和 C<sub>2</sub>。你也可以在 10~100kΩ 内更换 R<sub>2</sub>。数值越大, 产生的声音频率越低, 即声音越低沉。

电路可以在小 PCB 或者面包板上搭建, 并放在一个小塑料盒内。为便于声音

的传出,塑料盒上要打孔。图 3.145 是建议使用的 PCB。搭建时一定要注意元器件的正负极性。

这个电路也可以利用基本方案 2 中的输出级驱动扬声器。这样的话,就要把  $C_1, C_2$  换为  $1k\Omega$  的电阻。

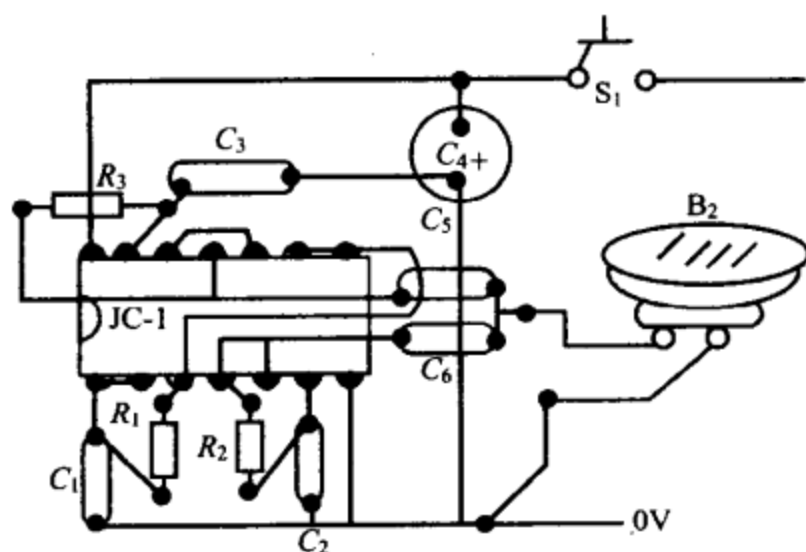


图 3.145 双音调训练器 PCB

表 3.43 元器件清单

元器件	说明
IC-1	4093 CMOS 集成电路芯片
BZ	压电换能器
$R_1$	$2.2k\Omega$ $1/8W$ 电阻,红,红,绿
$R_2$	$47k\Omega$ $1/8W$ 电阻,黄,紫,橙
$R_3$	$22k\Omega$ $1/8W$ 电阻,红,红,橙
$C_1$	$0.47\mu F$ 陶瓷或者聚酯电容器
$C_2, C_3$	$0.022\mu F$ 陶瓷或者聚酯电容器
$C_4$	$100\mu F$ 12V 电解电容器
$S_1$	按钮开关
$B_1$	6V 或 9V 电池或蓄电池
其他元器件	PCB 或面包板,电池连接装置或者电池盒,塑料盒,导线,焊料等

### 其他创意性实验

许多动物都能够利用声音进行训练,试着对鱼缸中的鱼做一些实验,如图 3.146 所示。通过实验可以发现某些生物对特定声音的敏感性。

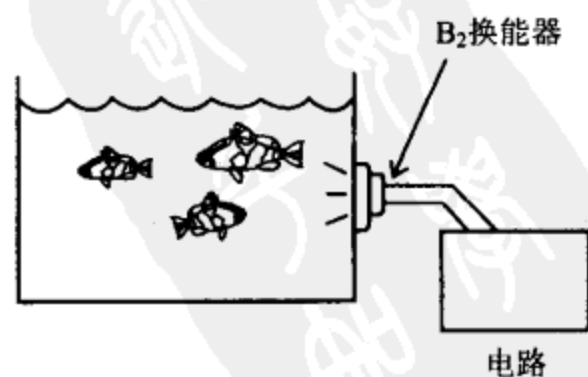


图 3.146 对鱼缸中鱼进行实验

## 项目13 白噪声发生器

白噪声是一种具有特定音量和音调的随机声音。一种更为精确的定义是：在一定的频率范围内有着均一功率/频率(Hz)的信号；另一种定义是：一种自相关函数在除零位置以外都是零的噪声。白噪声有着固定的频谱，也被称作约翰逊(Johnson)噪声。

令仿生学爱好者感兴趣的是白噪声作用于人类和动物的特定方式，其中对人类的一个重要作用是使人放松和进入睡眠。这就是自然界中的白噪声资源如大海、风和雨在使人进入睡眠和放松状态方面有着特定作用的原因。

自然背景噪声中的主要来源是物质通过温度变化在分子层面的搅动和大气层中自然的电流释放。当我们将一个贝壳放在耳朵上听“海”的声音的时候，相当于在我们自然的听觉器官上加了一个声学的放大器。这个贝壳使空气分子热搅动产生的白噪声增强到听觉范围的程度。这就是可听见的白噪声。

本项目的设想就是搭建一个白噪声发生器，用在一些涉及人对该声音有反应的有意义的实验或应用中。电池的能量结合一个放大器就可以让你在噪声中睡着或者达到放松状态。你还可以利用它来使其他生物比如植物、昆虫、甚至于在鱼缸中的鱼兴奋，可清楚地观察到它们对于这些声音的反应。

所用的基本电路非常简单，但需要一个外部放大器。同时推荐使用带有外部放大器的电路。

### ■ 项目介绍

电阻、二极管、晶体管等电子元件可以用于产生频率范围较大的白噪声。本项目中，我们将使用的是硅晶体管，因为它们便宜并且很常见。

项目的核心是一个连接着一个前置放大器的晶体管，它可作为白噪声源。前置放大器输出的信号连接到一个驱动扬声器的外部音频放大器。

放大器输出的白噪声强度取决于它的功率。多数情况下建议使用0.5~50W的放大器。

结合放大器，你可利用白噪声发生器帮助一些人进入睡眠，掩盖汽车、工具产生的噪声以及应用于一些喧闹的环境，观察这种噪声对动物、植物、昆虫等生物的影响。

### ■ 仿生学实验

白噪声对人类有着特殊作用的原因尚不清楚。或许是因为大脑的注意力对该声音没有明确的反应。噪声分散的特性使得大脑认为什么事都没发生，从而使大脑达到睡眠和放松的状态。

下面是一些推荐的实验和项目：

- 搭建一个可使人放松的“松弛电路”。

- 利用白噪声创建一个噪声消除电路。
- 观察白噪声如何对家中的植物和其他生物产生影响。

### ■ 电 路

半导体结(发射极-基极结)的热噪声被电路放大,可作为任何音频放大器的输入信号。扬声器在放大器的输出端将信号重新生成。该放大器是一个由  $R_1$  基本确定增益的 NPN 型通用晶体管。

该电路需要高达 9V 的电压驱动,目的是产生的噪声足够驱动放大器。因此电源必须是 9V 的电池或 12V 的电源。由于电路的耗电很低,一个 9V 的电池就能用很长时间,可持续提供电力数周。

任何一个通用 NPN 型晶体管都可以用作白噪声源,像 BC548、2N2222 和 BC547 等各类型都可以使用。图 3.147 所示是白噪声的曲线。

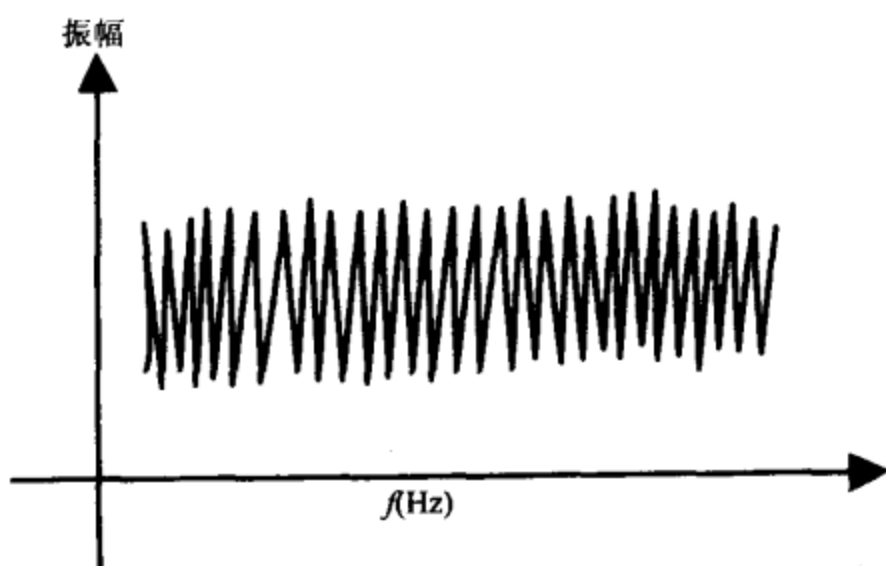


图 3.147 白噪声

需要特别指出的是该电路对于外部噪声很敏感,如交流电源线产生的噪声。为了避免这些噪声的干扰,电路必须用一条屏蔽线与放大器的输入端连接。建议不使用交流电供电的外部电源,那样会将噪声带入电路中。

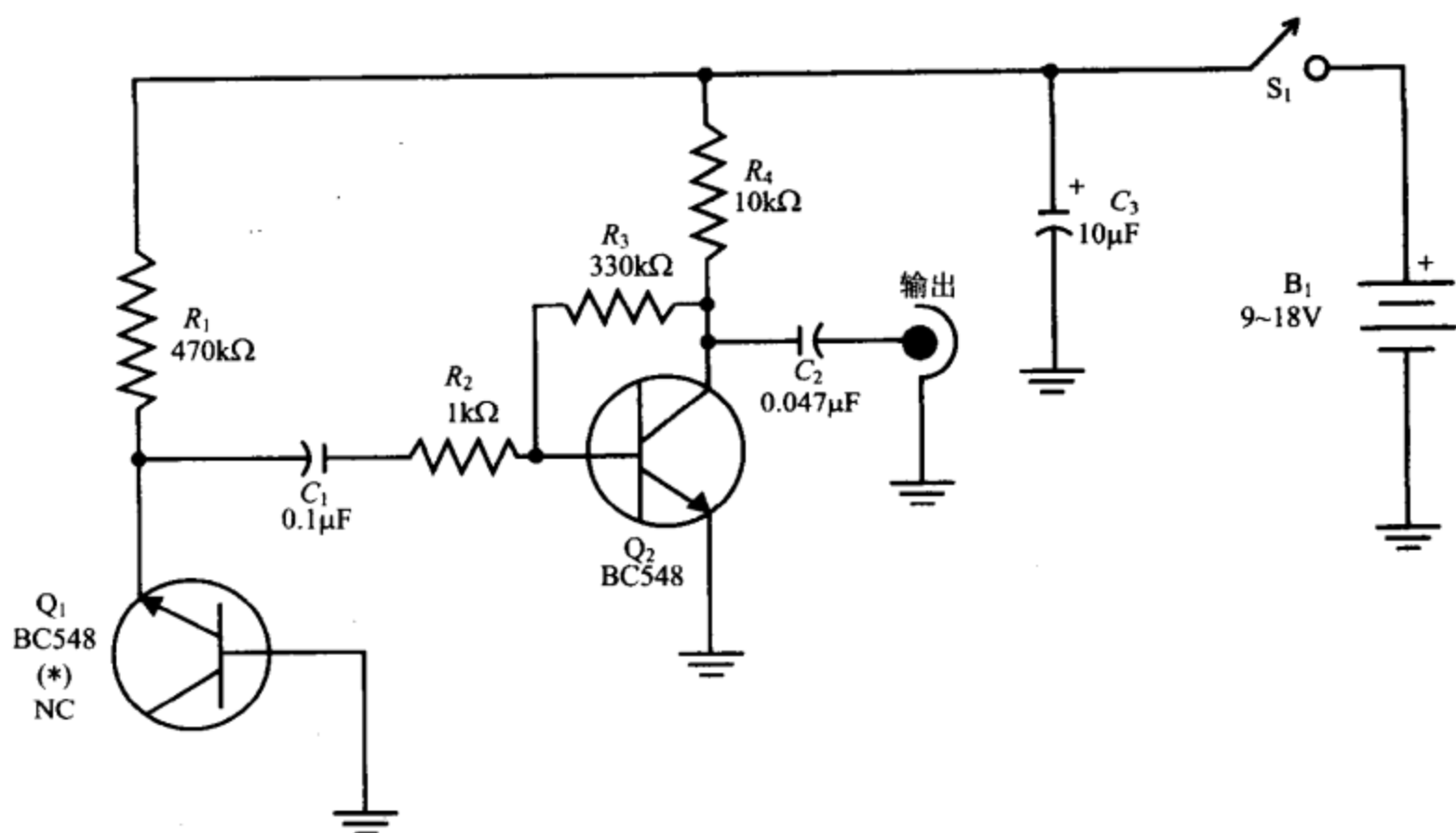
### ■ 搭建方法

完整的白噪声发生器的基本电路如图 3.148 所示。

该电路可以搭建在一块小 PCB 上,如图 3.149 所示。注意极性元件的极性,特别是晶体管。

### ■ 测试及使用

将电路的输出端与任何一个音频放大器的输入端连接,如图 3.150。然后打开电源,并调整功率放大器的音量就可获得一个像大海或风发出的声音。



(\*) 参阅正文

图 3.148 白噪声发生器原理图

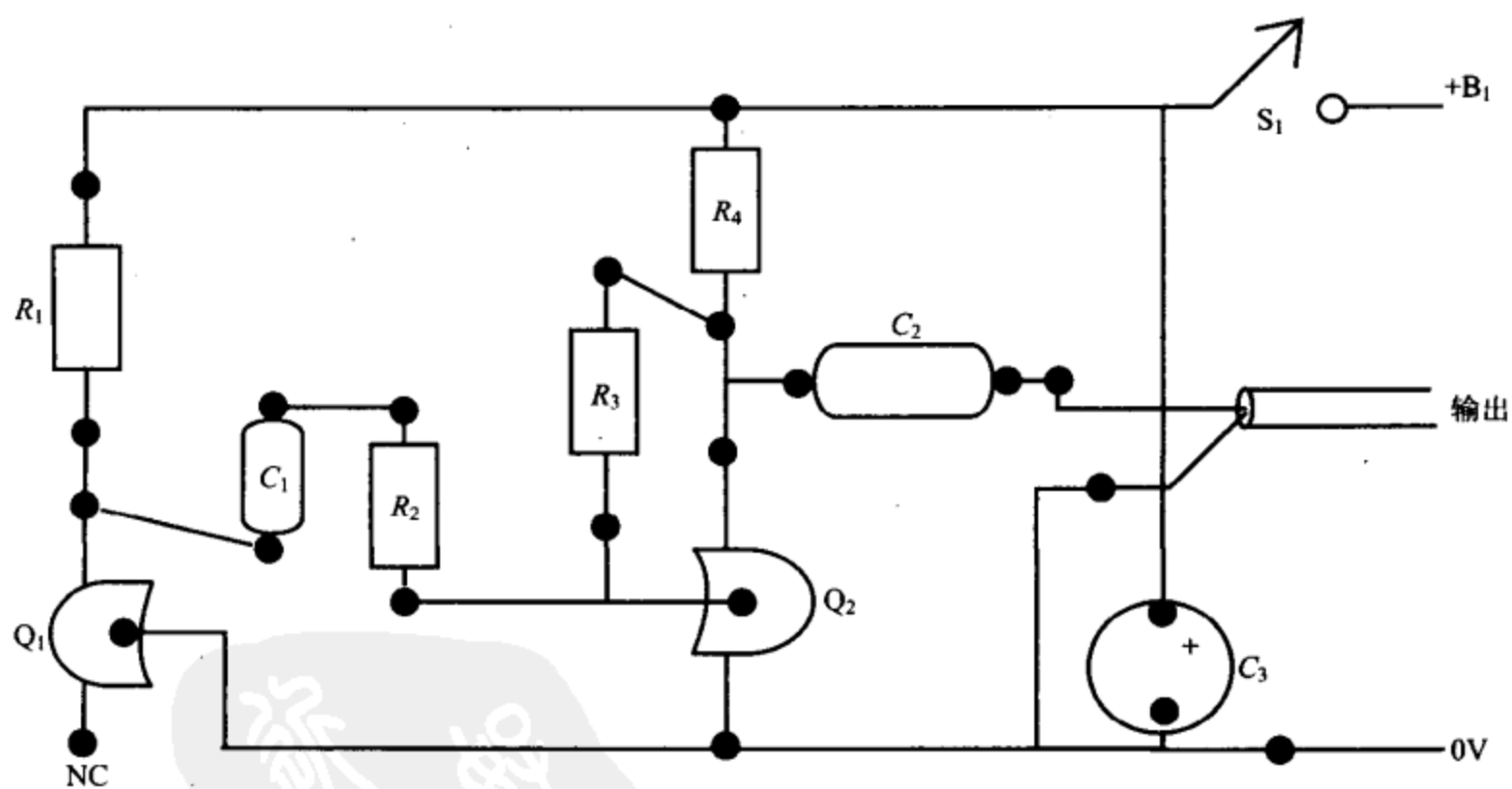


图 3.149 白噪声发生器的 PCB 图

如果此电路用于人体放松,将音量调到舒适的位置。当用于覆盖其他噪声的场合时,请将音量调到需要的挡位。

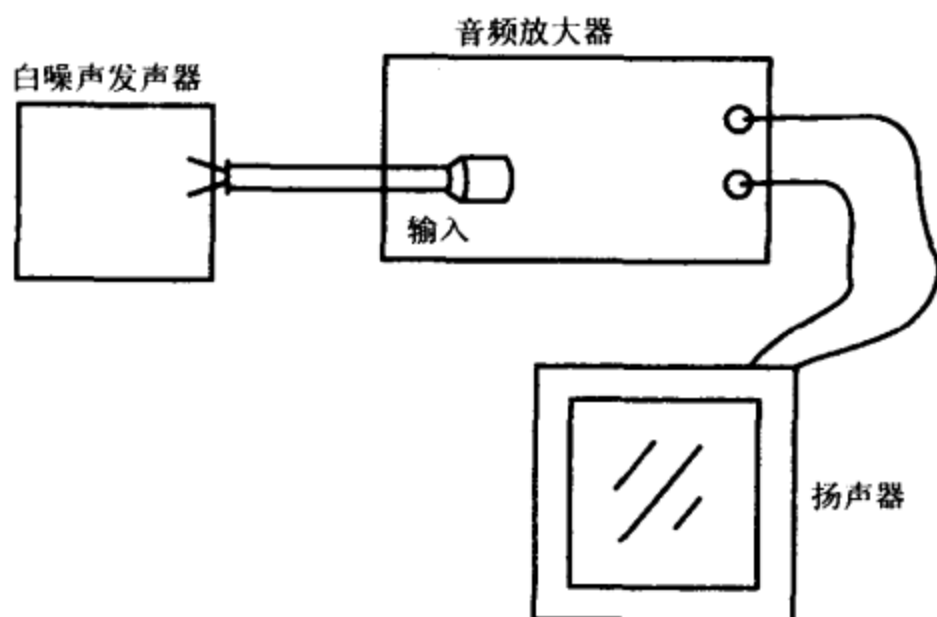


图 3.150 白噪声发生器的测试

表 3.44 元器件清单

元器件	说 明
$Q_1, Q_2$	BC548 通用 NPN 型硅晶体管
$R_1$	470k $\Omega$ 1/8W 电阻, 黄, 紫, 黄
$R_2$	1k $\Omega$ 1/8W 电阻, 棕, 黑, 红
$R_3$	330k $\Omega$ 1/8W 电阻, 橙, 橙, 黄
$R_4$	10k $\Omega$ 1/8W 电阻, 棕, 黑, 橙
$C_1$	0.1 $\mu$ F 陶瓷或聚酯电容器
$C_2$	0.047 $\mu$ F 陶瓷或聚酯电容器
$C_3$	10 $\mu$ F 16V 电解电容器
$S_1$	开关
$B_1$	9~18V 电池
其他元器件	PCB, 电池插头, 屏蔽线, 导线, 焊料等

### ■ 其他电路及创意

涉及人类和电路相互影响的许多实验都可用白噪声发生器完成。本部分将给出一些建议。

#### 1. 随机共振

当调制信号太弱以至于无法听到或在正常条件下可进行检测时, 随机共振可能发生。这是由于共振现象常常发生在微弱的确定信号和没有固定频率的随机信号之间。没有固定频率的随机噪声可由物质原子的热运动、风或雨等随机现象产生。

这种现象可以用来解释为什么有些人可以听到风的“声音”或风扰动草的“声音”。美国土著人自称他们可以在草的扰动声中听见祖先的说话声, 正如电影《草



竖琴》(The Grass Harp)曾展现的。

你可以用一个白噪声发生器作为随机噪声源进行记录过去或其他声音的实验。

### 2. 增加一个放大器

图 3.151 解释了如何在白噪声发生器中使用 LM386 音频放大器,该音频放大器在电鱼实验中介绍过。实验中必须确保白噪声发生器由 9~12V 电源驱动,而 LM386 由另外的 6V 电源供电。

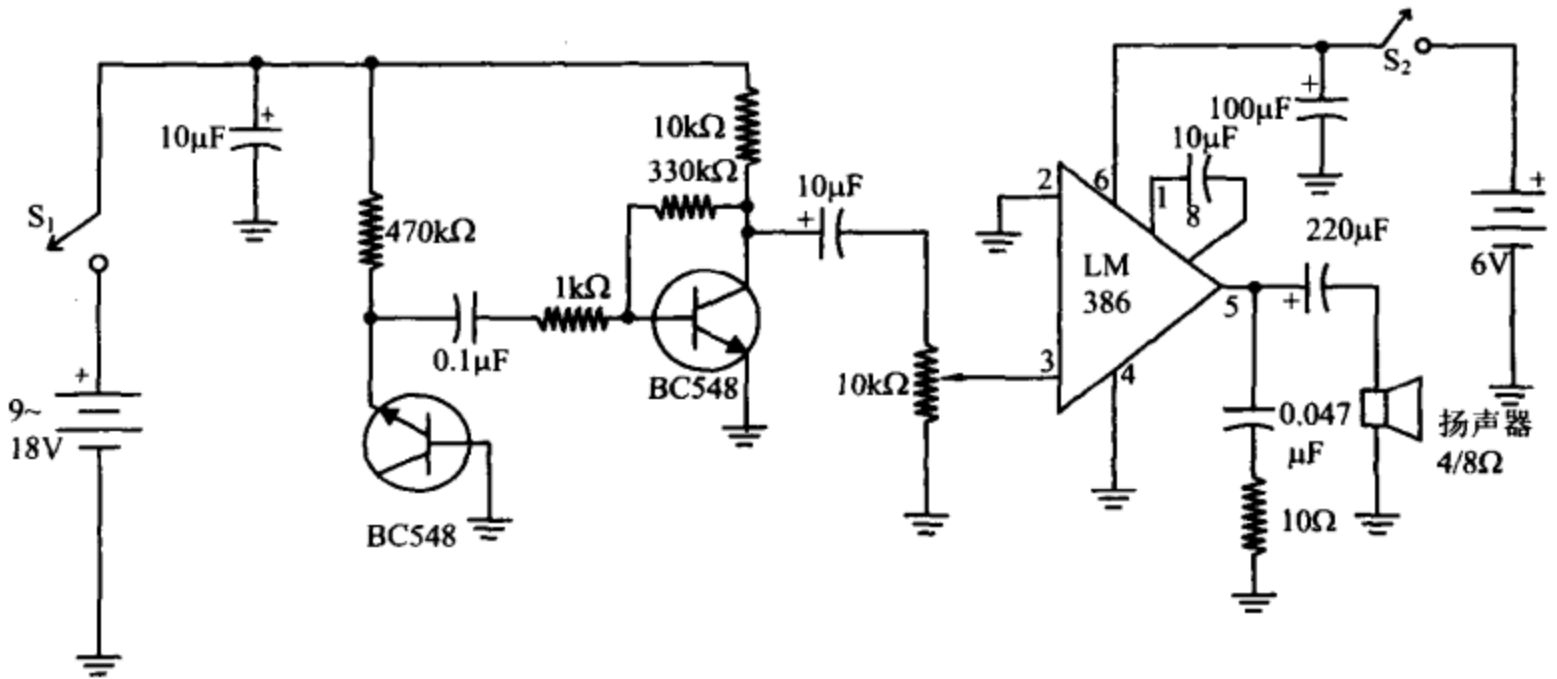


图 3.151 用 LM386 放大白噪声

### 3. 使用 741 运算放大器的白噪声发生器

图 3.152 是产生白噪声的另一种电路。该电路的优点是白噪声的振幅可以由能够设定放大器增益的  $P_1$  控制。对于通过刺激外部放大器的输入来获得足够强度信号来说,这一点尤为重要。

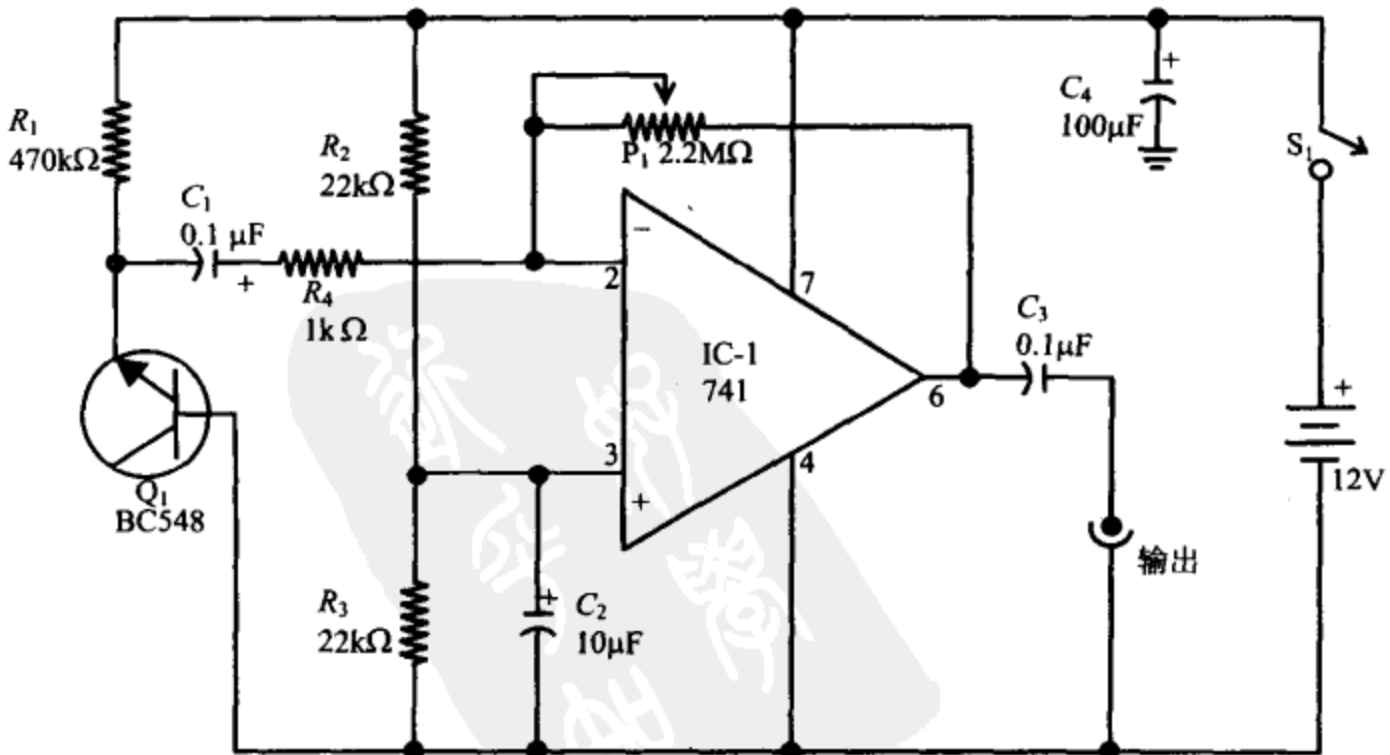


图 3.152 使用运算放大器的电路

该电路的另一个优点是低输出阻抗。这就意味着该电路对于噪声不敏感,尤其是对交流电源线产生的噪声。

这个电路由 9~12V 的电源供电,其电流消耗非常低,因此延长了电池的寿命。

任何通用 NPN 晶体管都可以用作噪声源,741 运算放大器也可以由同类产品代替。

表 3.45 元器件清单

元器件	说 明
IC-1	741 集成电路芯片运算放大器
Q <sub>1</sub>	BC548 或等效的器件,任何通用 NPN 硅晶体管
R <sub>1</sub>	470kΩ 1/8W 电阻,黄,紫,黄
R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub>	22kΩ 1/8W 电阻,红,红,橙
P <sub>1</sub>	2.2MΩ 电位计,线性或对数
C <sub>1</sub> , C <sub>3</sub>	0.1μF 瓷片或聚酯电容器
C <sub>2</sub>	10μF 16V 电解电容器
C <sub>4</sub>	100μF 16V 电解电容器
S <sub>1</sub>	开关
B <sub>1</sub>	9~18V 电池
其他元器件	PCB,屏蔽线,导线,焊料等

#### 4. 制作一个噪声消除头盔

如果生活在一个喧闹的地方,你可以在头盔上装一个耳机,并且将它连接到放大器的输出端,如图 3.153 所示。

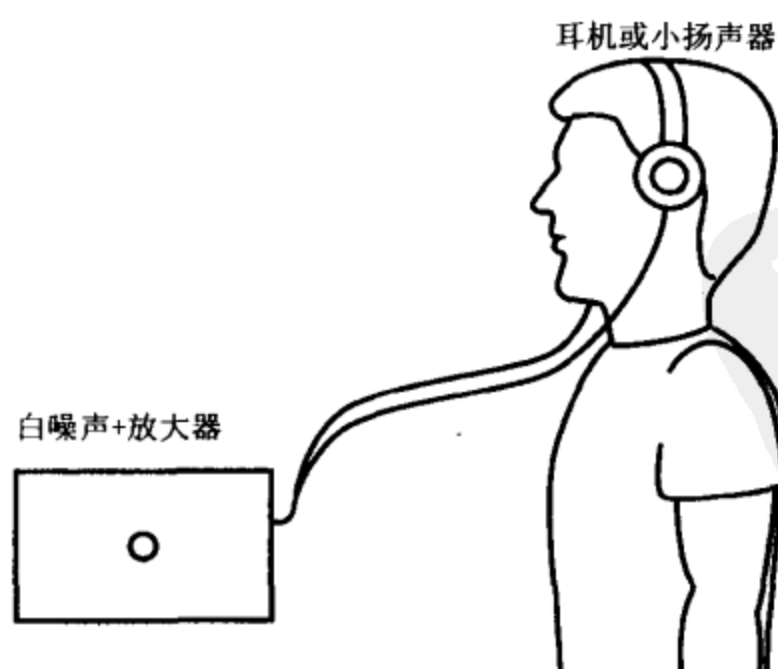


图 3.153 用白噪声发生器制作成的噪声消除钢盔

## ■ 其他应用

白噪声对于植物和动物的影响尚未完全了解,仿生学爱好者或许可以通过使用白噪声刺激植物或观察对昆虫的作用来取得重大发现。

# 项目14 仿生耳

仿生学爱好者会用什么方式去倾听远处传来的微弱声音,如地毯上行走时的轻微脚步声或有数堵墙之隔的声音? Steve Austin,一位身价600万美元的仿生专家,就有一种能力。他可以听到最微弱的声音,即便是从数英里外发出的。当然,这位仿生专家神奇的耳朵并不能用简单的电路进行重现。我们天生的耳朵是自然界可以创造的最灵敏的传感器,没有任何一种传感器可以超越它,即便是电子传感器也不能。

通过搭建可以获取微弱声音信号,并通过耳机将声音再现的电路,本项目仿效人的这种本性。该电路的灵敏度可以提高到接收一些自然界生物无法察觉的声音信号。本项目电路包括一个非常灵敏的放大器和一个麦克风,麦克风用于获取远处甚至隔着墙传来的微弱声音。例如,电路可以获取远处或隔着一堵墙的人的谈话内容。同样方式,间谍麦克风也可以完成这样的任务。

## ■ 仿生应用



如兔子之类的动物,  
依靠敏锐的听力生存

为获取微弱信号,将电子放大器与声透镜或传感器等敏感元器件连接,从而创建一个仿生耳,这是本项目的基本思想。电路是利用自己掌握的技术进行搭建,但拾取声音的能力则是模仿自然界的生物体。

自然界的模仿对象就是靠听觉生存的动物耳朵的形状及特征。如图3.154所示,兔子的耳朵是壳型的,可以拾取从

图 3.154 耳朵就像天线,可拾取微弱声音 特定方向传来的声音,并将声音汇集在传感器或者耳朵鼓膜上。

仿生耳有很多有趣的应用,如:

- 可用它来听隔壁或远处的说话声。
- 耳朵的高灵敏性可帮助你找到水管的泄漏处。
- 很容易地定位找到噪声源。
- 可以研究多种生物体的听觉或记录它们的声音。

## ■ 电路工作原理

音频放大器无秘密可言,它和项目1中用于放大电鱼发出声音信号的放大器一样。只不过这里的电路通过一个灵敏的驻极体麦克风接收声音信号。

集成放大器 LM386 的增益为 200,它通过对接在引脚 1 和引脚 8 之间的外接电容器来设定。电路可为阻抗  $8\Omega$  的耳机提供 500mW 功率,可以使耳机产生足够大的音量。

驻极体麦克风有一个内部的场效应晶体管,可对声音信号进行前置放大。麦克风输出的信号经过一个由电位计构成的高灵敏度音量控制器,然后传到放大器的输入端进行放大。

电路由 4 节 5 号电池供电。由于耗电不高,电池的寿命可以持续数个小时。

驻极体麦克风根据实际应用放置在集音器中。图 3.155 所示是几种推荐使用的一些声音拾取设备。

薄壳型集音器在收集所有可能的声音进入耳机方面起非常重要的作用。本节后面还将对此进行介绍。

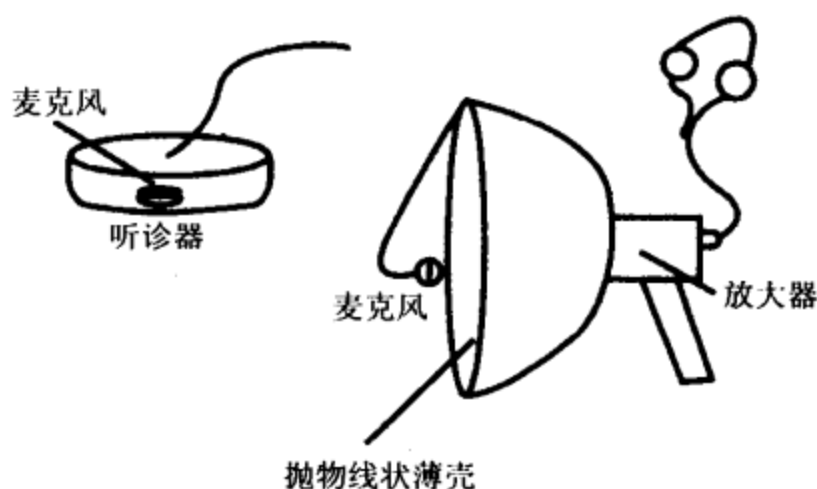


图 3.155 用于收集声音进入麦克风的声学集音器

### ■ 搭建方法

图 3.156 所示是仿生耳完整的电路图。

因为  $R_1$  和麦克风可以在外部放置,其 PCB 和电鱼项目中推荐使用的一样,如图 3.157 所示。

当然,这个项目还有其他不同之处,输出负载是一个耳机而不再是扬声器。在同一图中也可以看到如何连接换能器。

该电路可以放进一个小的塑料盒子中,并安装一个把手,如图 3.158 所示。

用一根长的屏蔽线将麦克风与电路相连,主要目的是避免交流电源线产生的噪声干扰。

电路搭建时,要特别注意那些极性元件的位置,如集成电路芯片、驻极体麦克风、电源、电解电容器等,任何倒置都可能影响电路的正常运行。

### ■ 集音设备

最简单的集音装置就是将麦克风放在小塑料壳的中心,如图 3.159 所示。用这种方式可以拾取某一方向传来的声音。

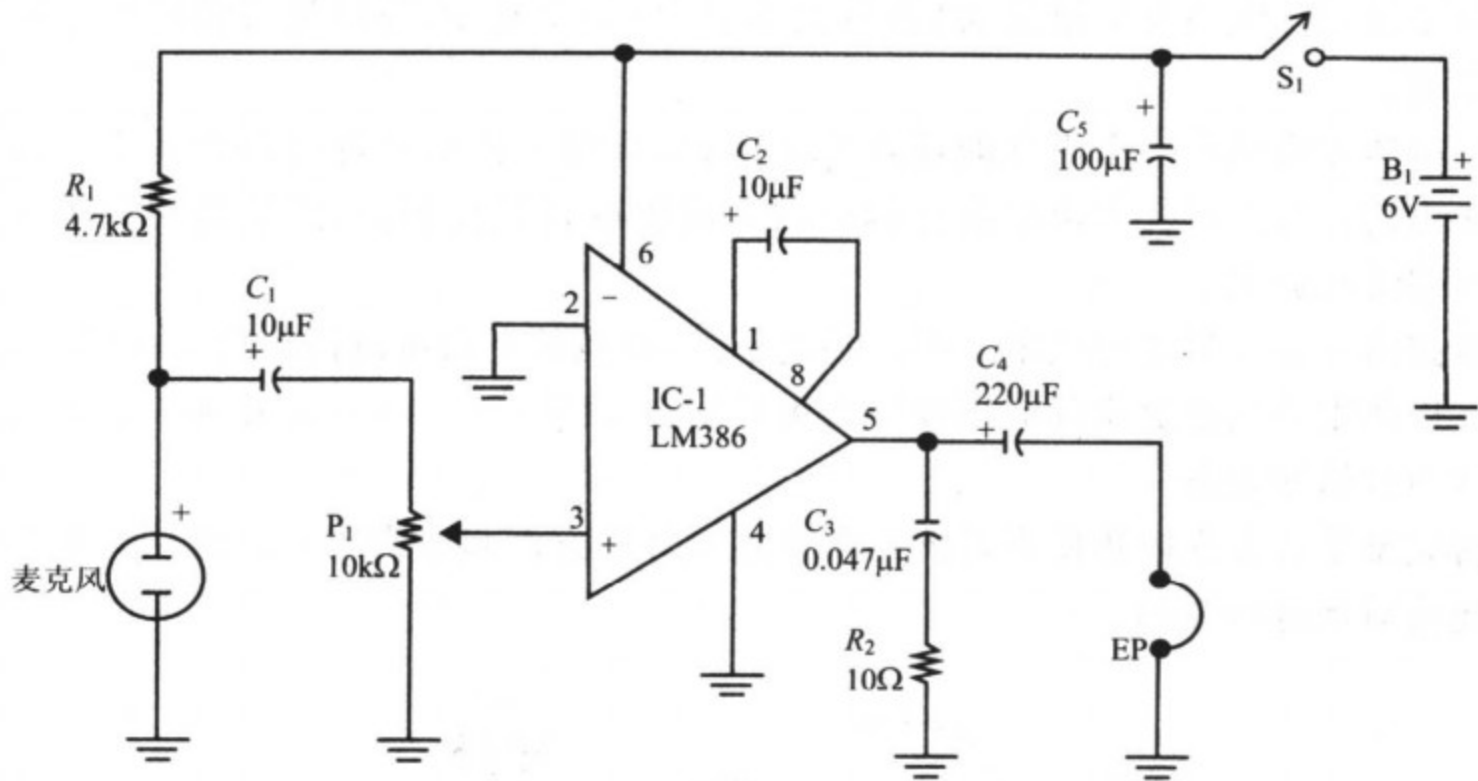


图 3.156 仿生耳完整的电路图

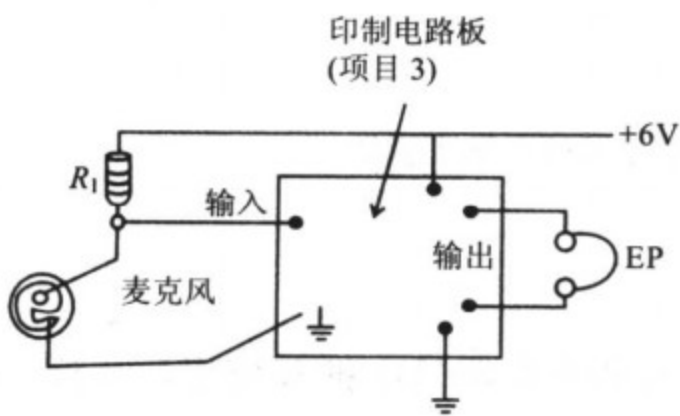


图 3.157 与项目 3 相同的印制电路板

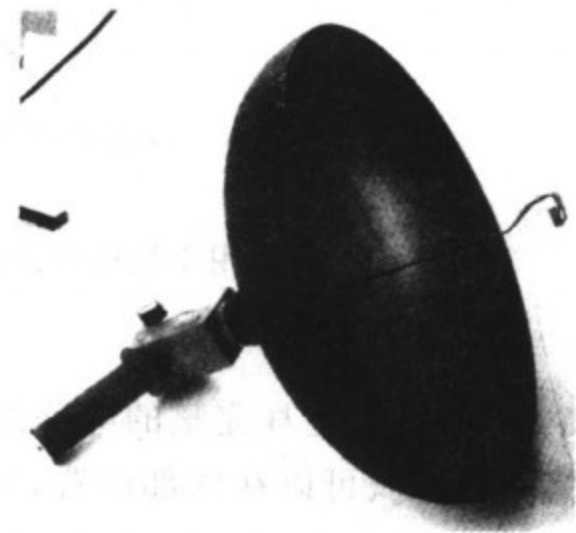


图 3.158 样图

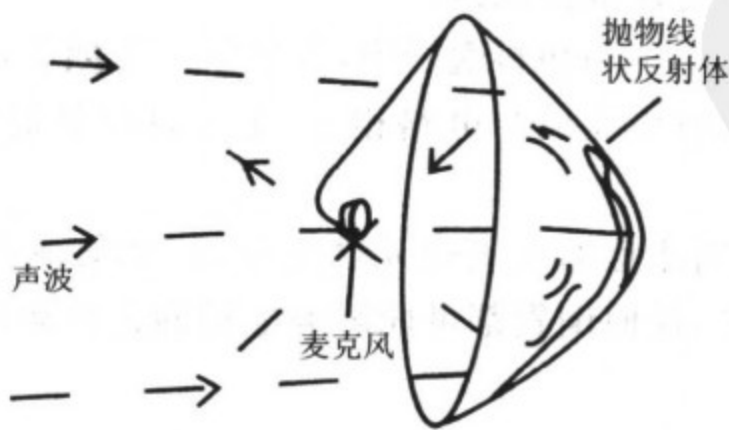


图 3.159 定向麦克风

一种抛物线状薄壳体是理想的集音装置,它可采集来自自然界的微弱而又遥远的声音。如图 3.160 所示,你可以听到鸟儿的歌声和远方人的对话声音。

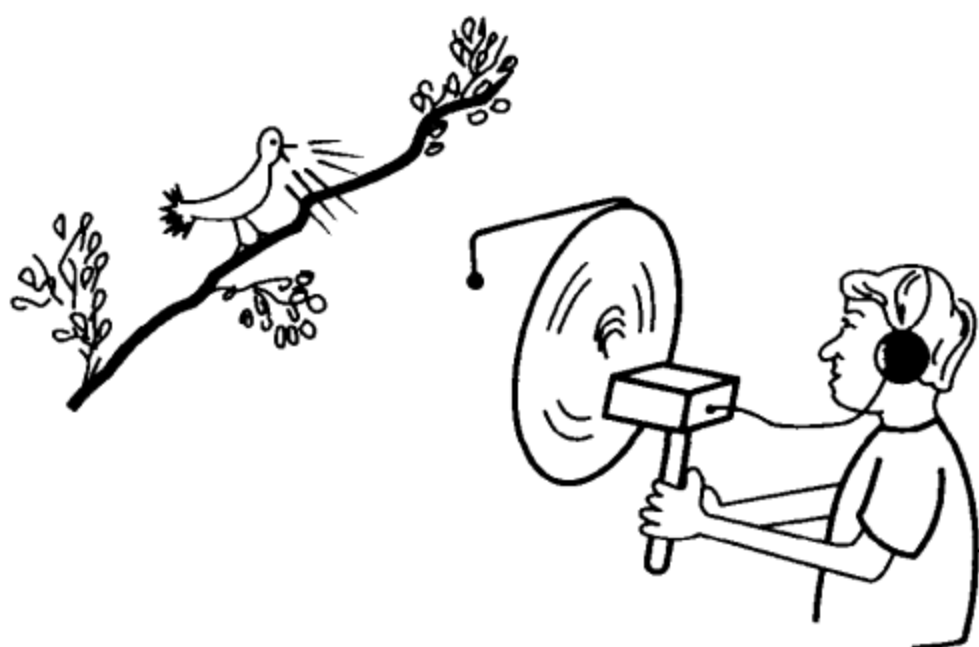


图 3.160 使用抛物线状集音器

抛物线状薄壳体体积越大,收集在麦克风中的声音就越多。为了实用,建议使用直径在 40~80cm 的集音装置。

如果你愿意的话,可以把电路输出线接到录音机上,如图 3.161 所示。

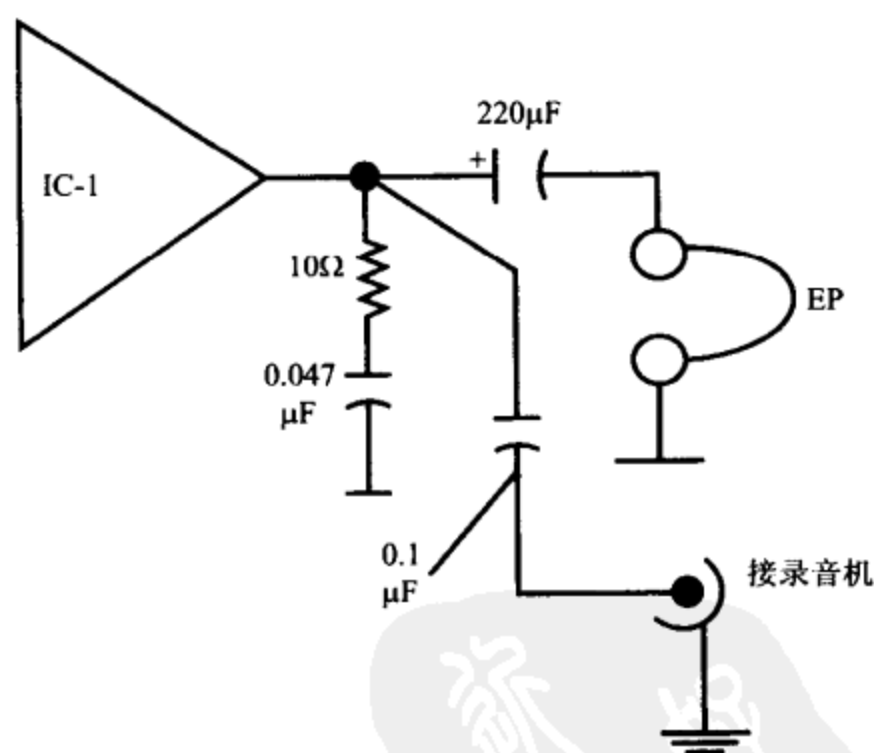


图 3.161 增加一个录音机输出

另一种集音装置是一个用重金属片和塑料海绵做的听诊器,如图 3.162 所示。利用它,仿生学爱好者可以听到数墙之隔的声音。

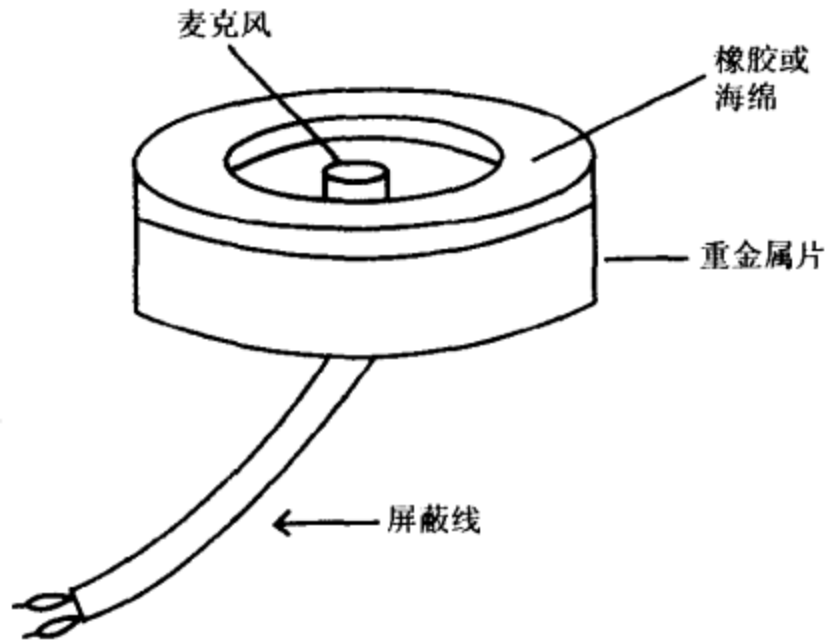


图 3.162 听诊器状集音器

■ 测试及使用

测试非常简单。将电池放进电池盒内,接通电源。在调节灵敏控制器后,就会在耳机中听到大而清晰的再现后的环境声音。使用这个设备时,你所要做的就是将麦克风或听诊器放到声源位置。

表 3.46 元器件清单

元器件	说 明
IC-1	LM386 (任何尾标的) 集成电路音频放大器
$R_1$	4.7k $\Omega$ 1/8W 电阻, 黄、紫、红
$R_2$	10 $\Omega$ 1/8W 电阻, 棕、黑、黑
$C_1, C_2$	10 $\mu$ F 12V 电解电容器
$C_3$	0.047 $\mu$ F 陶瓷或聚酯电容器
$C_4$	220 $\mu$ F 12V 电解电容器
$C_5$	100 $\mu$ F 12V 电解电容器
$P_1$	10k $\Omega$ 对数, 电位计
$S_1$	开关
MIC	双接线端的驻极体麦克风
$B_1$	一个 6V 电源或 4 节 5 号电池和支架
EP	耳机 8~12 $\Omega$
其他元器件	PCB、耳机插孔、塑料盒、集音装置、导线、焊料等

■ 其他电路及创意

从原理上讲,任何由于电池或蓄电池供电的音频放大器都可以用来放大驻极



体麦克风的信号。仿生学爱好者也可以用其他类型的传感器采集来自自然界的信号,这里提供两个方案。

### 1. 使用 TDA7052

适用于驻极体麦克风的音频放大器是 TDA7052,其应用的基本电路如图 3.163 所示。

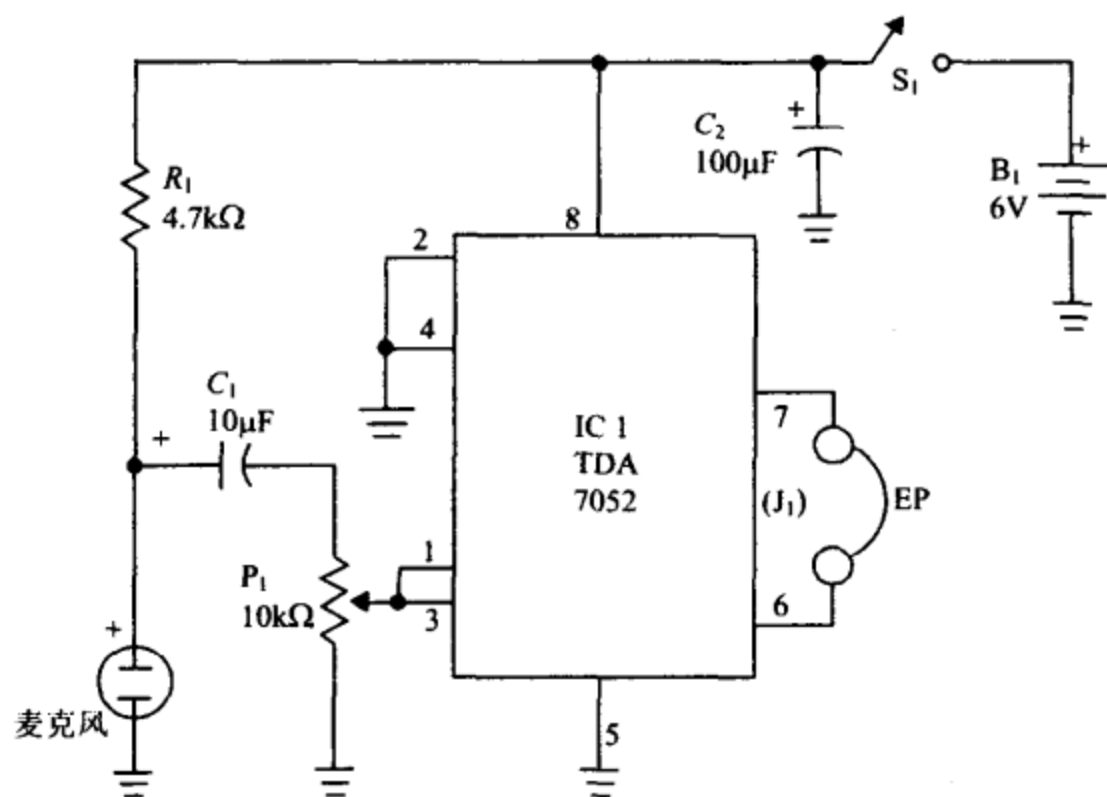


图 3.163 使用 TDA7052 的电路

此电路由 4 节 5 号电池供电,能够输出 170mW 的功率提供给基本电路中的 8Ω 耳机。驻极体麦克风的输入是一样的,且灵敏度和音量控制也是由 10kΩ 的电位计完成的。内阻为 8~64Ω 的耳机可以直接连到电路输出端。

本电路对应的 PCB 如图 3.164 所示。若目的只是实验的话,利用面包板是搭建电路的另外一种可行方式。

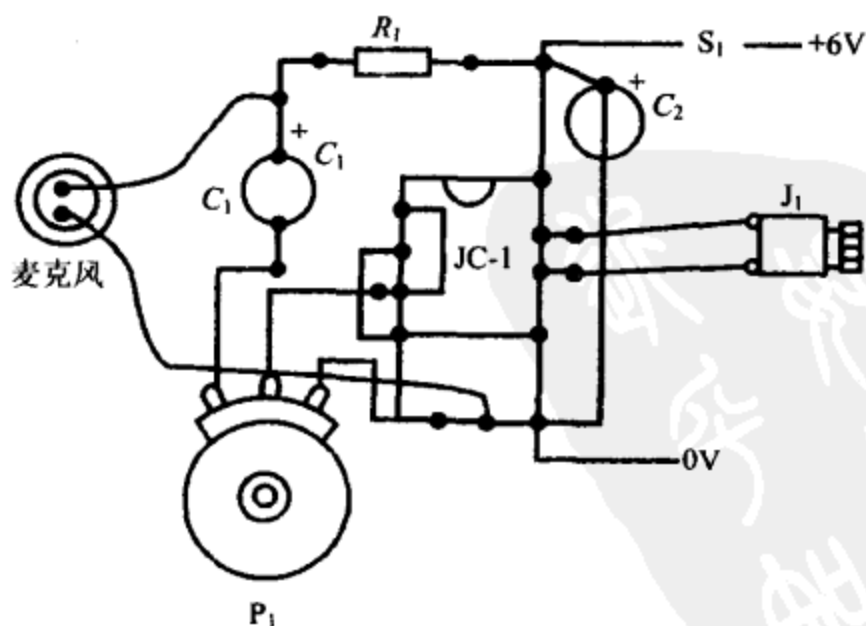


图 3.164 TDA7052 放大器的 PCB 图

表 3.47 元器件清单

元器件	说 明
IC-1	TDA7052 集成电路音频放大器
$R_1$	4.7k $\Omega$ 1/8W 电阻,黄、紫、红
$P_1$	10k $\Omega$ 对数,电位计
$C_1$	10 $\mu$ F 12V 电解电容器
$C_2$	100 $\mu$ F 12V 电解电容器
$S_1$	开关
$B_1$	一个 6V 电源或 4 节 5 号电池及插座
$J_1$	耳机的输出插座
MIC	双端子的驻极体麦克风
其他元器件	PCB、塑料盒、电池固定器、导线、电位计旋钮、焊料等

## 2. 磁场声音

尽管有一些生物例如鸽子可以感受到磁场,却没有发现有任何一种生物为生存而自己产生磁场。

如果仿生爱好者为了寻找“磁性生物”而进行一些大胆的尝试,只需在本项目的基本电路中用磁性传感器代替麦克风就可以了。改装后的电路如图 3.165 所示。

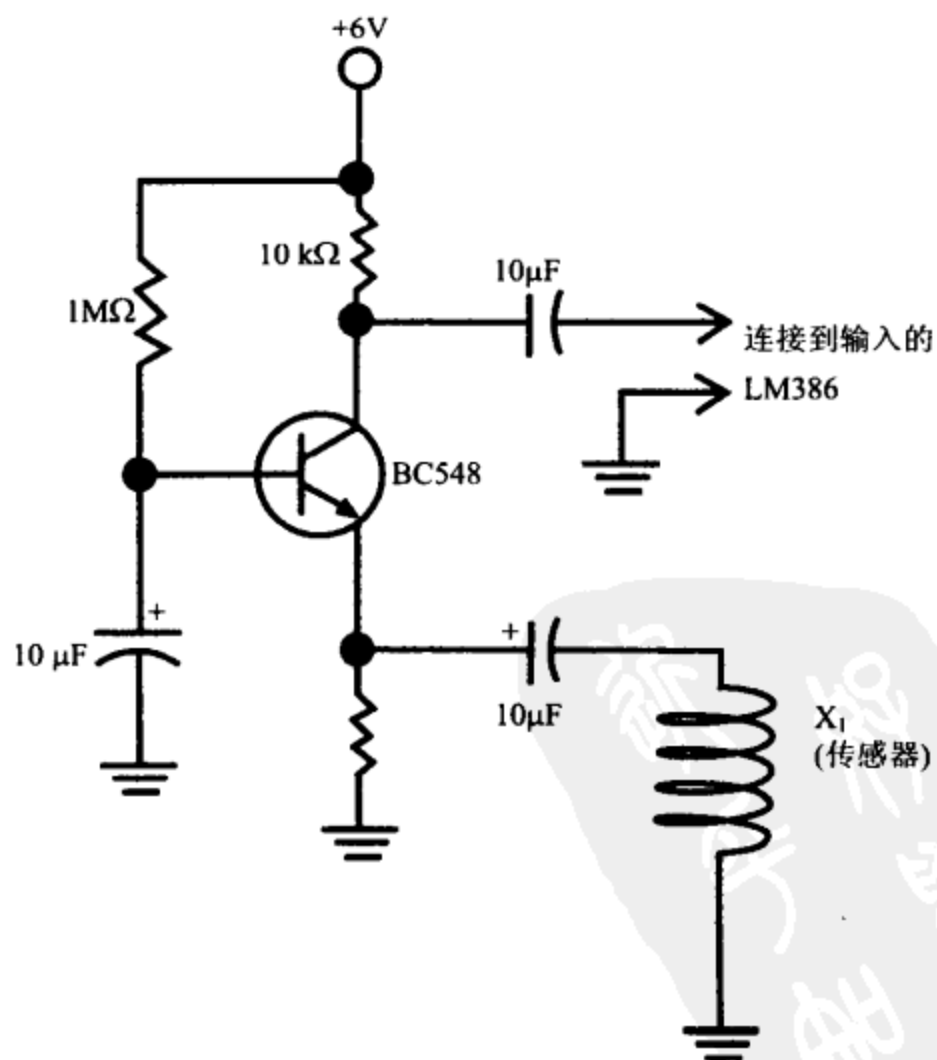


图 3.165 使用磁性传感器

该电路对检测磁场源方面也非常有效,如电源线、家用电器等。

使用时,需要把传感器放到可能产生磁场的位置,就可以听到磁场的“声音”了。听起来就像耳机中的杂音。

电路应该放在小塑料盒里。传感器  $X_1$  由 500~10 000 匝的 28~32AWG 漆包线在塑料或硬纸板上绕制而成,如图 3.166 所示。

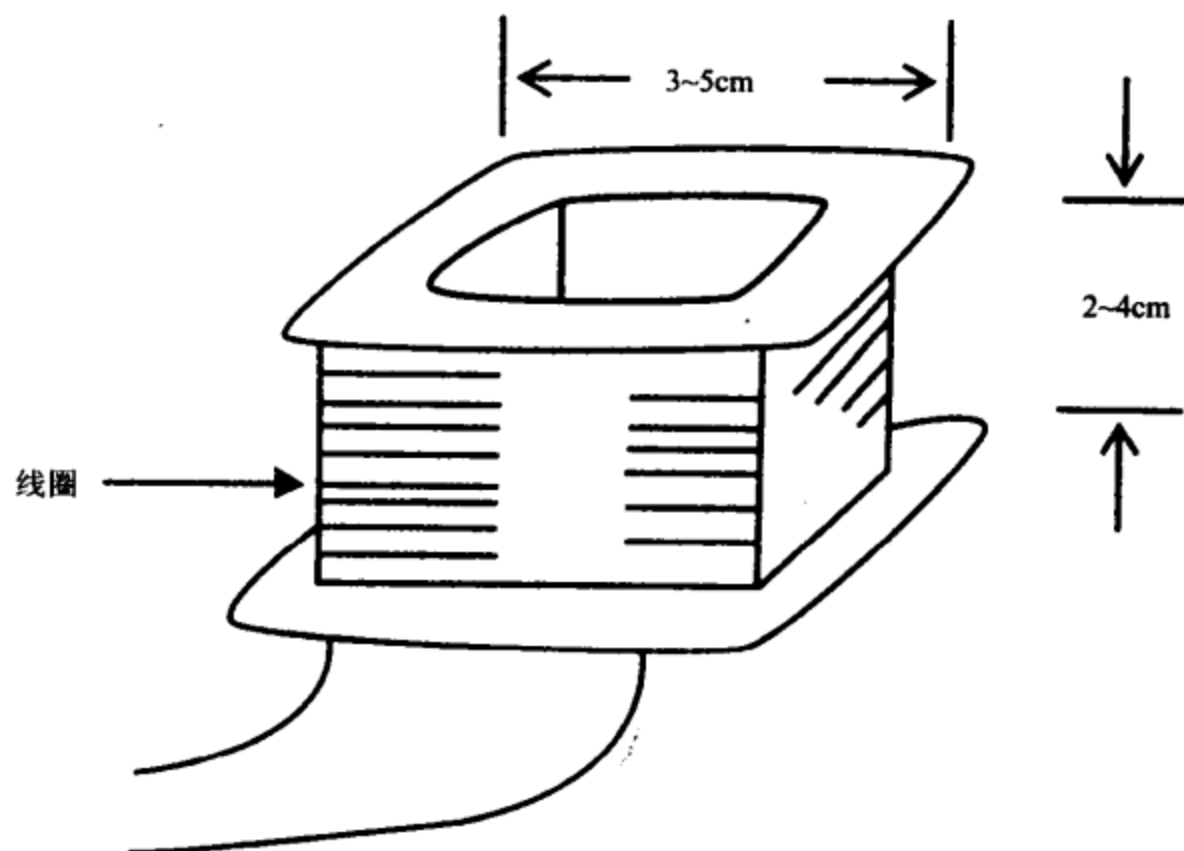


图 3.166 传感器

任何变压器的初级线圈都可以作为传感器,只需把它的金属心去掉就行了。内部的铁芯可以增加它的灵敏度。将传感器放到交流电源线或变压器或家用电器旁边,就可以听到磁场产生的噪声了。

## 项目15 昆虫杀手

项目 11 介绍了一种利用可见光和紫外线来吸引昆虫的仿生陷阱,可以将昆虫收集到灯下放置的一个袋子里。本项目的创意在于通过高压放电杀死昆虫及其他小生物。

许多害虫像蟑螂、鼻涕虫和毛毛虫之类都可以被高压电极的放电杀死。该电路既可以加到仿生陷阱上,也可以放在昆虫聚集的地方单独使用。

此电路由交流电源供电。由于高电压电极是隔绝的,所以很安全。尽管不会有生命危险,但触摸时也会有剧烈的电击。所以一定要把它放到无人可以触摸到电极的位置。该电路也可以做成电栅栏,将动物限制在其中,如图 3.167 所示。使用时裸露的电线必须隔离起来。

最后,我们要说的是这个电路本身内部耗能很低。仿生学爱好者使用该装置不必担忧月底的大量电费问题。由于电路在脉冲状态下工作,耗用的电能不足5W。

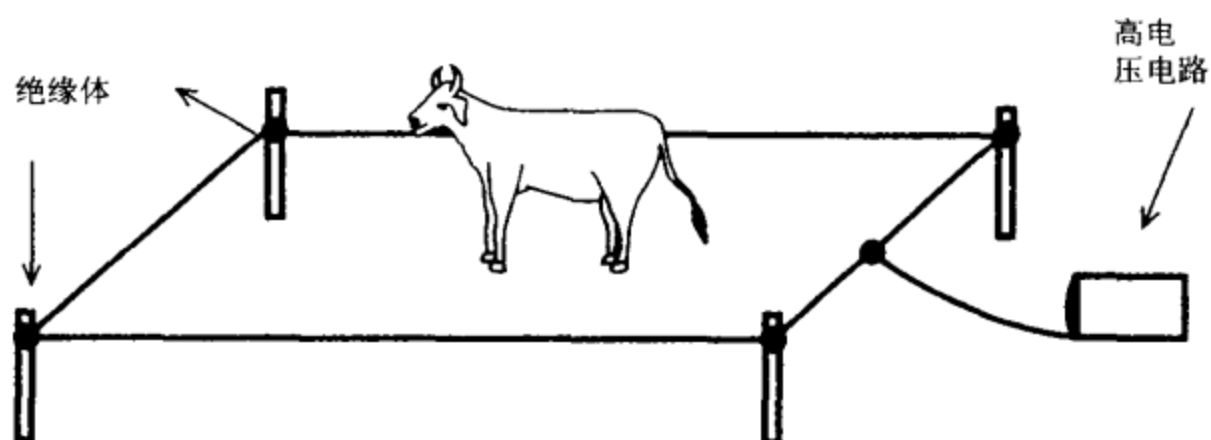


图 3.167 作为电栅栏使用

### ■ 仿生学应用

这个电子杀手的最大优点就是不使用化学物质,采用了环保的方式消除害虫。它有很多方面的应用:

- 不使用化学物质杀死害虫。
- 使用仿生陷阱捕获和杀死昆虫。
- 利用昆虫的条件反射做实验。
- 为限制动物的活动范围制作电栅栏。

### ■ 电路工作原理

电路由一个利用氖灯触发 SCR 的张弛振荡器构成。

电容器  $C_1$  由  $R_1$  和  $D_1$  回路充电直到灯两端电压足以对它进行触发。与此同时,氖灯亮,电容器  $C_2$  通过 SCR 的控制极放电。结果就是 SCR 传导  $C_1$  的放电电流并流过变压器的低压线圈。

变压器次级线圈的高压脉冲施加在氖灯上,并闪烁一定时间。脉冲的频率可以由  $P_1$  来调节。而灯闪的强度由电容器  $C_1$  决定。

这里使用的变压器可以是任何类型的,只要它的初级线圈额定交流电压为 117V,次级线圈电压为 9~12V,电流在 250~600mA 范围内即可。

虽然变压器初级额定电压为  $12V+12V=24V$ ,但施加在该元件上的脉冲电压却可以达到 80V 甚至更高。这就意味着初级线圈的感应电压不是 117V,而脉冲上升到 400V 甚至更高。

某些情况下,所用变压器不支持这个电压,此时线圈中将产生电火花泄露。如果这种状况发生,更换成其他合适的变压器。



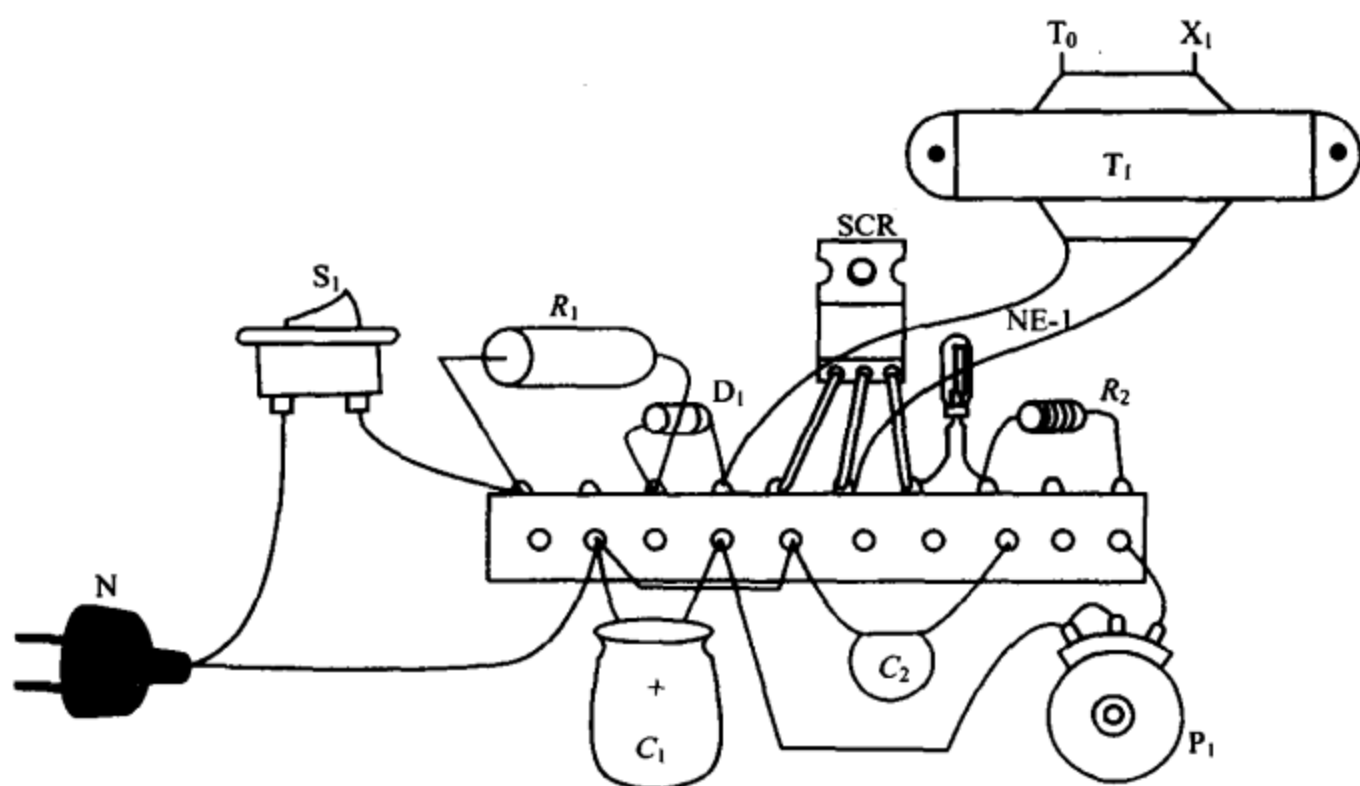


图 3.169 接线条上元件的安装

### ■ 陷 阱

此陷阱用一块木板和一些裸露的导线制作而成,如图 3.170 所示。

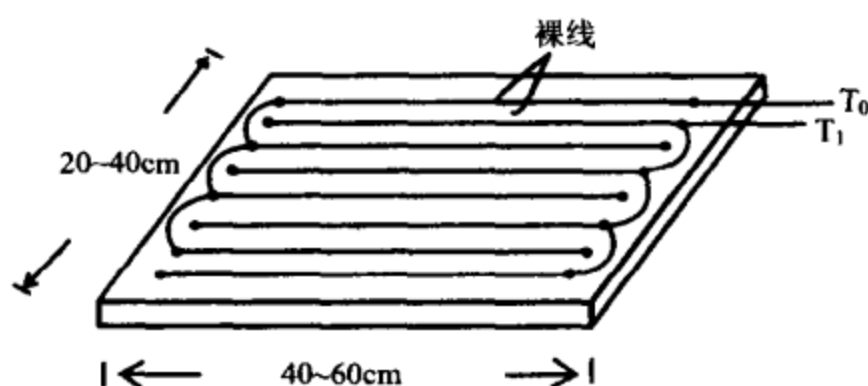


图 3.170 陷阱

导线间的距离可以在 0.4~1cm 之间改变,取决于所要杀死昆虫的大小。这个距离需要满足昆虫必须能够同时触到两根导线才能产生放电的要求。连接电路的导线必须绝缘,且最大长度为 3m。

### ■ 测试及使用

测试很简单。将电路接入交流电源线,并将其输出端接上荧光灯,如图 3.171 所示。

调节  $P_1$ ,灯将会闪烁,意味着高电压脉冲已经产生。如果你胆子足够大,将陷阱接到电路上,用手指触摸导线来检验它是否放电。把荧光灯调节到可以产生最亮的闪烁程度为止。

现在你就可以使用昆虫杀手了。使用一些诱饵(如糖可以吸引蟑螂),将装置

放在你认为昆虫将出现的地方。

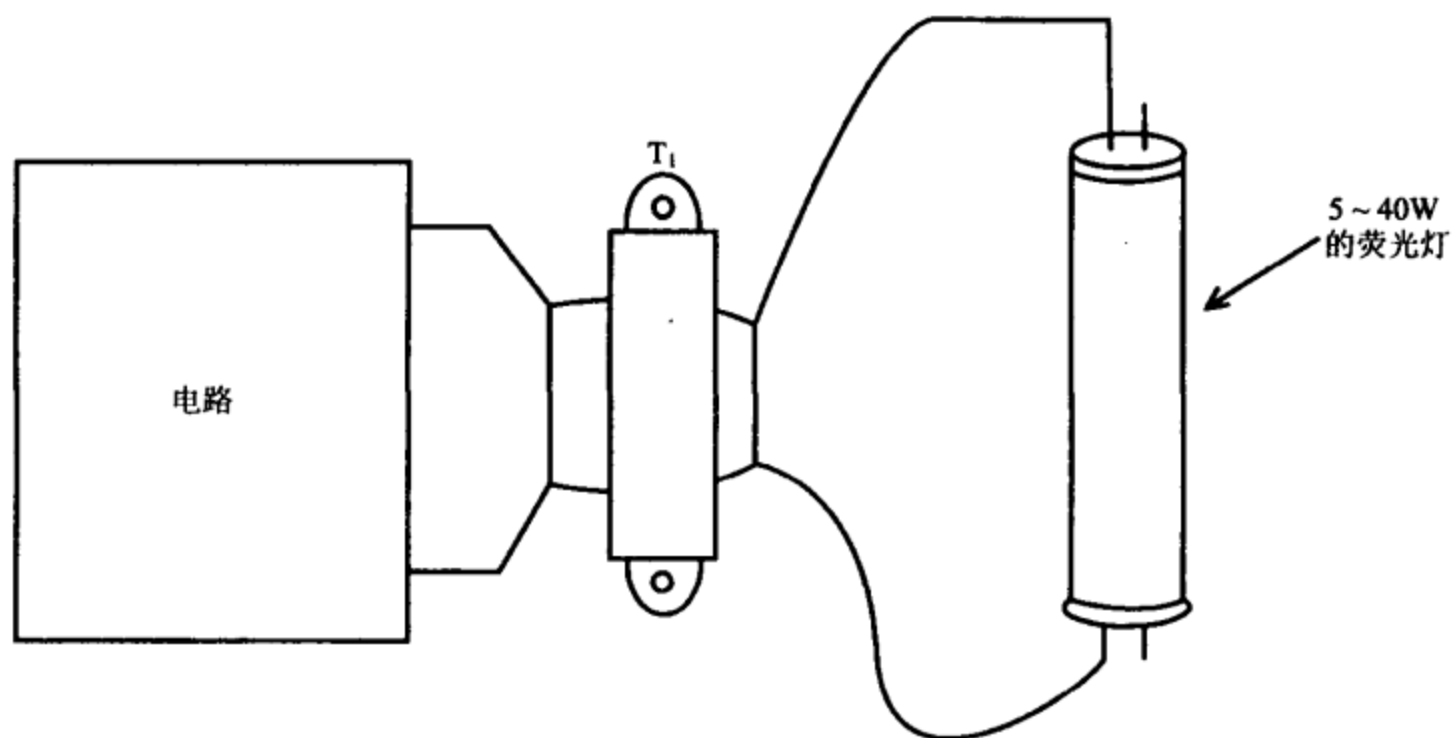


图 3.171 用荧光灯测试

### 1. 重要提醒

短路对该电路不会产生严重影响。即使有昆虫死后在导线间连成桥路也不会对电路产生任何影响。

表 3.48 元器件清单

元器件	说明
SCR	TIC106B(117V 交流电源)或 TIC106D(220/240V)
D <sub>1</sub>	1N4004(117V 交流)或 1N4007(220/240V 交流)硅整流二极管
NE <sub>1</sub>	NE-2H 或者相当的氖灯
R <sub>1</sub>	470Ω 10W(117V 交流)或 1kΩ 10W(220/240V 交流)线绕电阻
R <sub>2</sub>	10kΩ 1/8W 电阻,棕,黑,橙
R <sub>3</sub>	47kΩ 1/8W 电阻,黄,紫,橙
P <sub>1</sub>	1MΩ 线性或对数电位计
C <sub>1</sub>	4.7~22μF 200V(117V 交流)或者 400V(220/240V 交流)电解电容器
C <sub>2</sub>	0.1μF 100V 或者更大的电解电容器
T <sub>1</sub>	变压器(参阅正文)
X <sub>1</sub>	电极(参阅正文)
其他元器件	PCB 或者接线条、电源线、塑料盒、导线等

### 其他电路及创意

很多不同的电路结构可以产生高电压。下面将简要介绍其中一些电子装置。



### 1. 超高电压杀手

可以使用卧式变压器或者回扫变压器来产生超高电压,如图 3.172 所示。

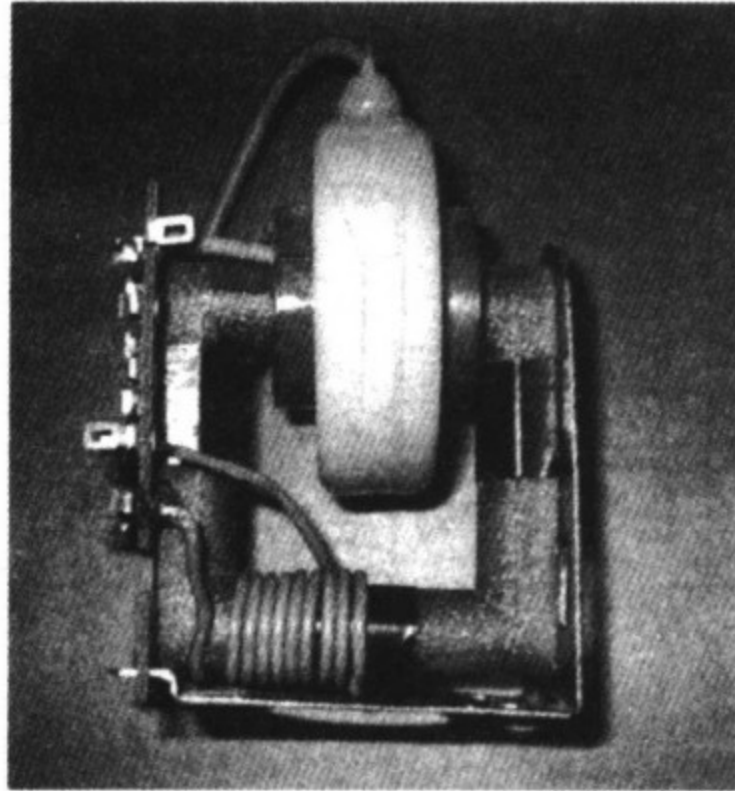


图 3.172 使用回扫变压器

此变压器将代替基本电路中的  $T_1$ , 可以产生 10 000V 的电压脉冲, 足够杀死任何昆虫, 不论它们的大小如何。为了这个目的, 仿生学爱好者可以自己制作变压器的初级线圈, 如上图中所示, 将 20~30 匝普通线缠绕在变压器的铁芯上。

项目的另一个改进就是导线之间必须预留一定的空间。为防止火花的产生, 导线之间的距离必须是 0.5~1cm。图 3.173 说明了如何将回扫输出连接到电极上。

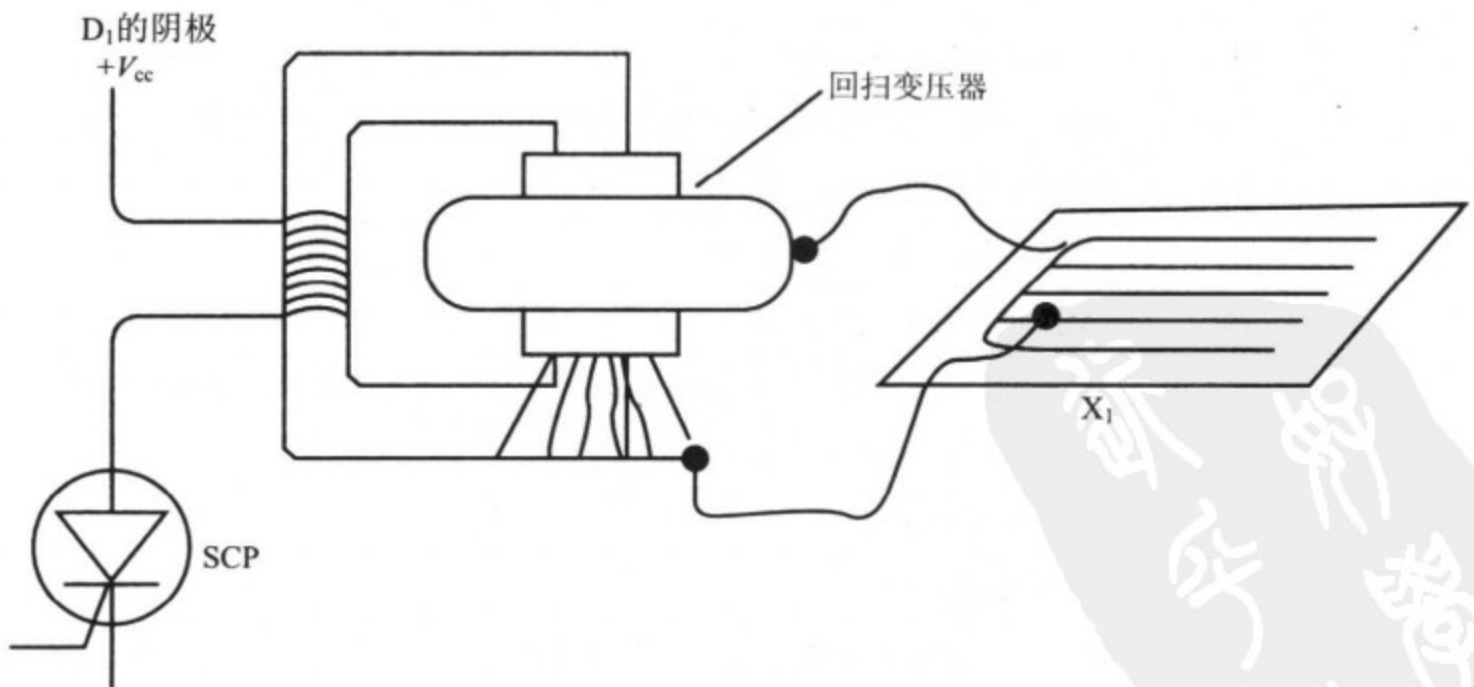


图 3.173 将电路连到陷阱上

高电压可以通过汽车或摩托车上用的火花塞来获得。但这种情况下,搭建和使用电路是要特别注意,因为变压器的初级和次级线圈不是隔离的。这就意味着陷阱中的导线与电源线是连通的,并且任何无意的触摸都会遭受强烈的电击。

## 2. 使用激光器

图 3.174 是一种非常有创意的创意。基本思路是利用一个扫描仪通过图像传感器或以其他方式检测飞虫的出现。

当飞虫被发现到时,激光器将被触发,攻击昆虫。当然,普通的 LED 激光器不足以将飞虫击落,必须使用氦氖(HeNe)激光器或比它功率更大的激光器(当然也要更小心)。

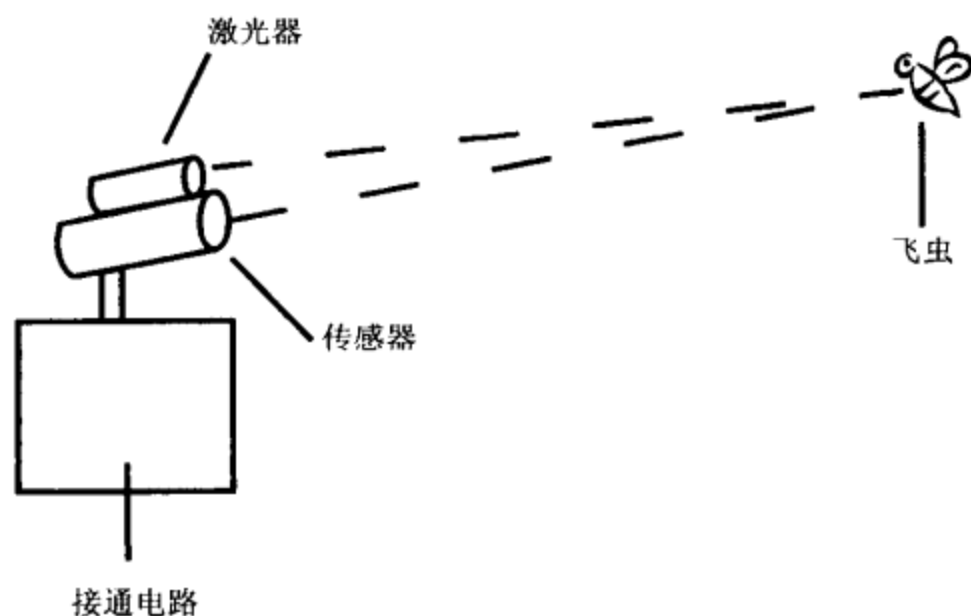


图 3.174 使用激光器的飞虫杀手

## 项目16 仿生触觉器官

仿生学的一个重要目标就是依据人体器官的功能制造人工器官。本项目讨论的人工器官有 5 种感觉,书中的一些简单项目探讨了其中的一部分。仿生学爱好者不需要太多的电子学经验就能胜任这项工作。

现在是利用简单装置研究触觉的时候。该项目既是理想的演示平台,也是复杂仿生感觉系统应用的研究基础。基本思路是将假手感知的信息传输到安装在手套上的或人手放置平面上的换能器,如图 3.175 所示。

首先要解决的问题是:选择多大的电量将信息传递到人的手指,使之对振动、电击、机械压力、温度变化等有所感知呢?

本项目采用的是振动,因为简单的电路就可产生这样的电量。该项目使用小型的换能器就可产生可感知到的振动。

研究远程的触觉感知器官非常有趣,它可以用在许多不同的场合。比如,一个

仿生的触觉器官可以安装在人工假肢上,如图 3.176 所示。因为用电池提供能源,并且容易搭建,所以这个项目制作起来非常安全。

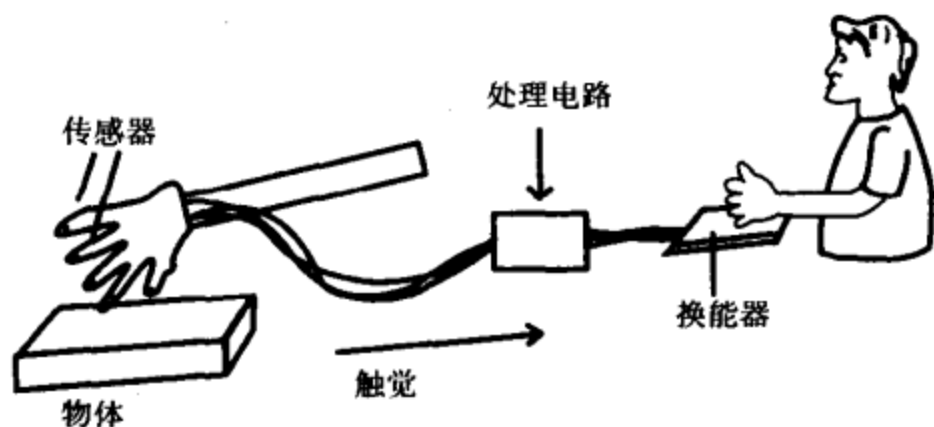


图 3.175 人造触觉器官的基本思路

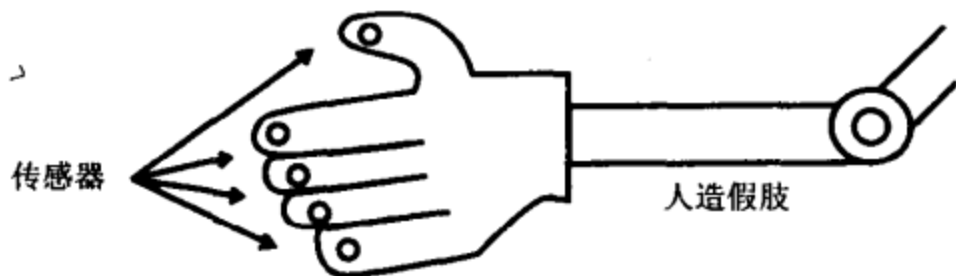


图 3.176 装有人造触觉器官的人造假手——仿生学解决方案

### ■ 仿生学应用

人造感觉器官可以用在人工假手、假臂及其他许多场合。仿生学爱好者可以制作一个将触觉信息传送给操作者的机器人。例如,可以精确感觉压力的机器人能够抓取和放置一个鸡蛋,且不会损坏鸡蛋。

- 制作一个有触觉的仿生手。
- 设计一个通用的遥感设备。
- 验证感觉如何转化为电信号。

### ■ 电路工作原理

电路由多个振荡器组成(每个振荡器对应一个手指),且振荡器的频率由施加在电极上的压力决定。最简单的电极采用导电泡沫材料制作而成。这种泡沫材料可以防静电,常用于保护集成电路芯片。其使用方法如图 3.177 所示。

当这种泡沫材料被挤压时,它的电阻值就会下降,从而改变振荡器的频率。电路的主频率由  $C_1$ ,  $X_1$  (传感器) 的电阻值和  $R_1$  决定。电路产生的中心频率在听觉范围内,一般在 1kHz 附近。

项目中,对每个振荡器都使用一个 555 集成电路芯片,当然其他芯片也可实现相同的功能,关于这一点我们将在“其他电路及创意”一节中描述。

这个电路的输出足够驱动换能器。换能器是传感器和操作者手指之间的转换

元件。小型的压电换能器完全可以胜任这个任务,它可以安装在手套里或者手指放置的平面上,如果你喜欢的话。

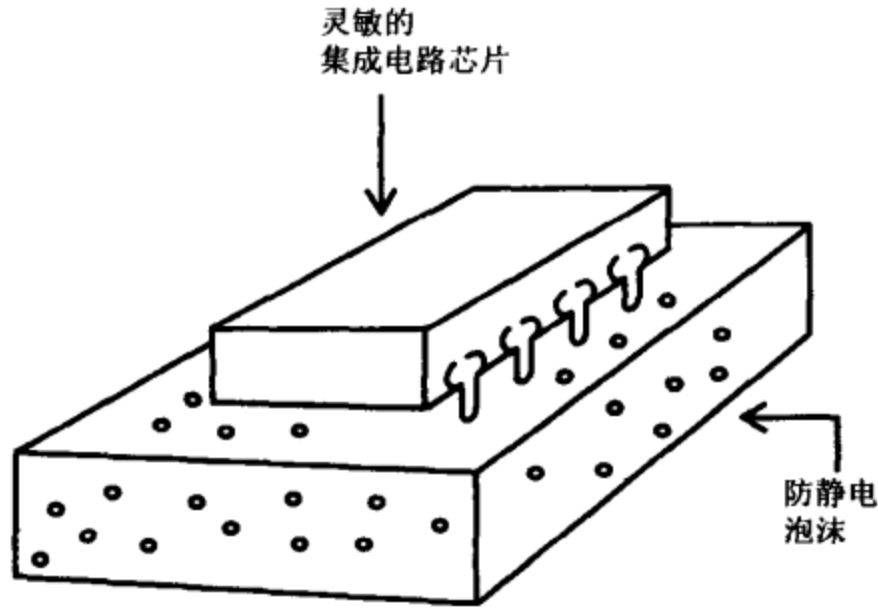


图 3.177 对集成电路芯片起静电保护的泡沫材料

电路由普通 5 号电池供电。其电流消耗很低,4 节电池就可以驱动对应五个手指的五个电路。结构细节将在下面做介绍。

#### ■ 搭建方法

图 3.178 所示是其中一个振荡器的电路原理图。仿生学爱好者可以像这样搭建五个电路并将触觉信息传送到每个手指。

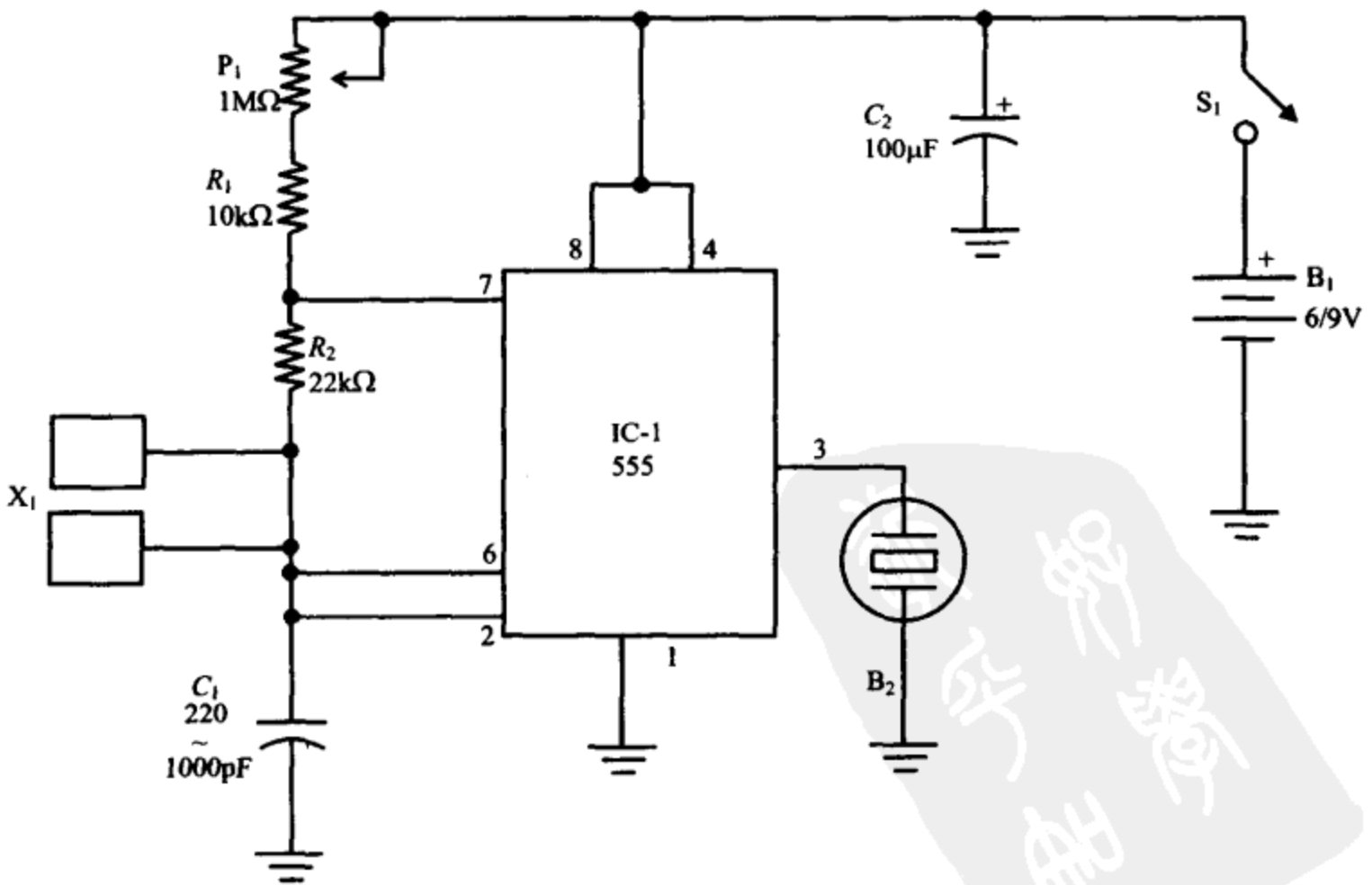


图 3.178 一个触觉振荡器的原理图

该电路可以搭建在面包板或 PCB 上,如图 3.179 所示。

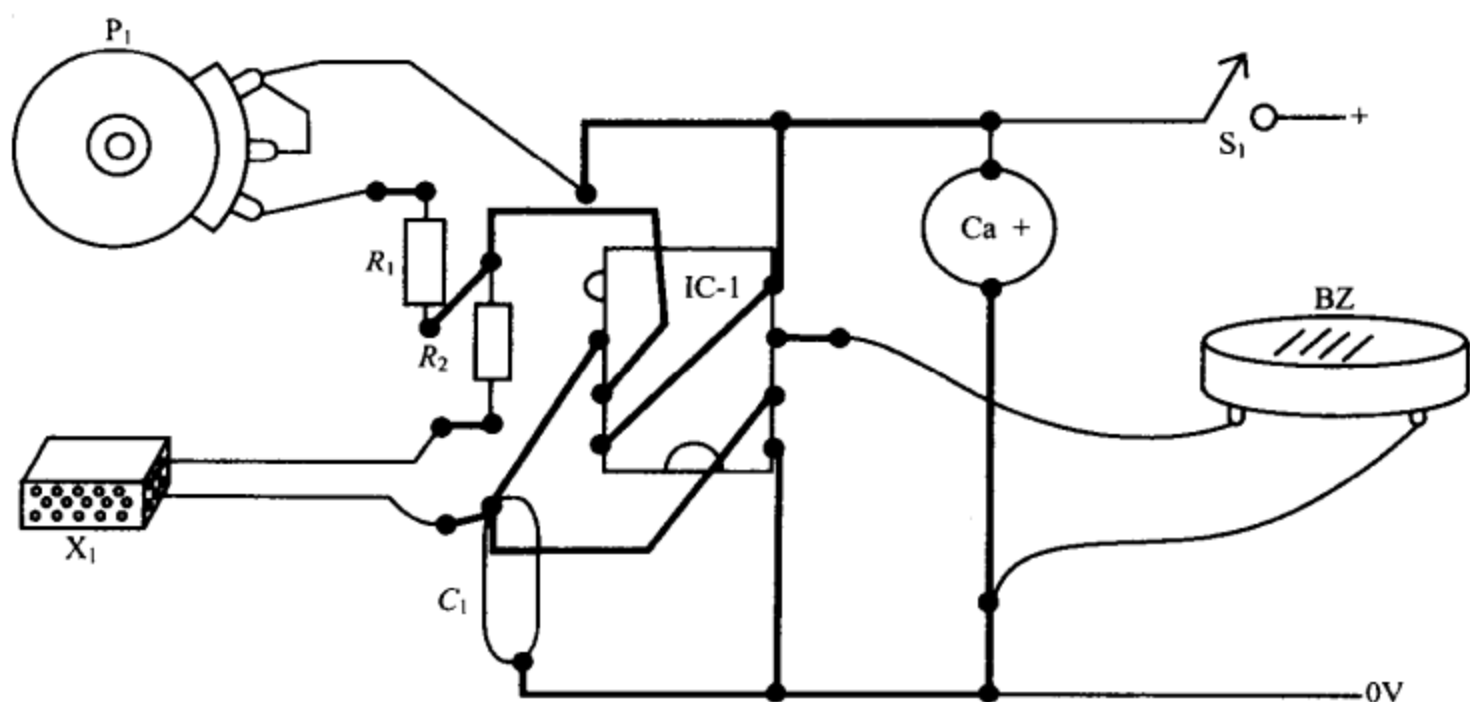


图 3.179 搭建仿生学触觉器官的 PCB

$P_1$  可根据传感器的特性来调节频率。 $C_1$  可以在  $220\text{pF} \sim 1\text{nF}$  之间的大范围内测试选用。理想的数值应该是与传感器的阻值匹配,并产生可听到的声音。

$P_2$  用于调节传感器的激励和灵敏度级别。低级别更有利,因为它处在人类触觉器官最灵敏的范围内。

电路可以装在一个小塑料盒子里。如果使用的振荡器很多,就要使用电缆连接到远端的手上。所有的振荡器都用同一电源驱动。

不要使用交流电供电,因为人手或身体其他部位经常与电路中的元件接触,非常危险。

### ■ 传感器

图 3.180 所示是如何将传感器安装在实验假手或手指上。切割一小块防静电

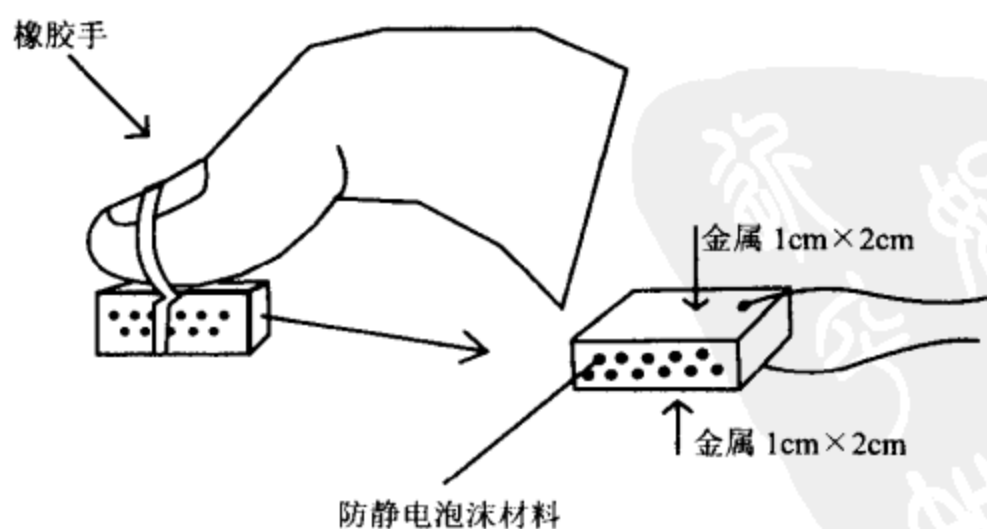


图 3.180 传感器的具体结构

泡沫材料,并安装在弹性金属板或金属网做成的电极之间。泡沫材料不要太硬,目的是在压力的作用下容易变形。

换能器可以安装在手套里面,如图 3.181 所示。

另一种方案就是将换能器安装在平面(如木板)上,人的手可以放在换能器上面,如图 3.182 所示。人必须能够触摸到振动薄膜或者压电晶片。

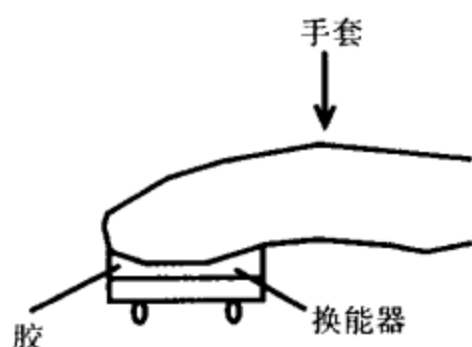


图 3.181 将换能器放入手套

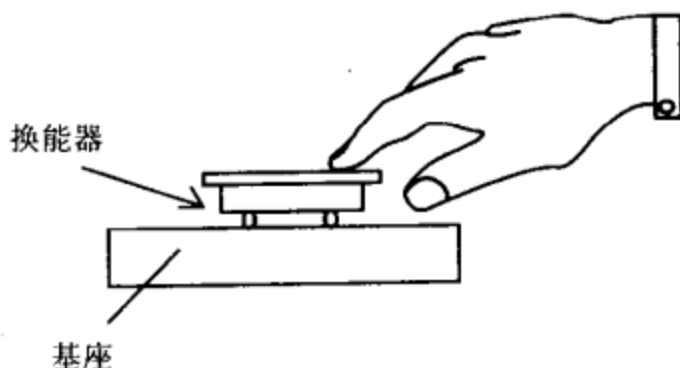


图 3.182 换能器安装的另一种方法

### ■ 测试及使用

接通电路并将你的手指放在换能器上,调节  $P_1$  直到你感觉到轻微的振动。然后,轻压传感器,振动将改变,手指会有更强烈的触觉或振动感受。振动的程度与施加在换能器上的压力成正比。

当使用手套装置时,你将接触到装有传感器的物体,通过手指感知到的振动可确定物体的形状和柔软度。当然,你能确定的物体特征的多少取决于手上传感器的数量。

表 3.49 元器件清单

元器件	说 明
IC-1	555 集成电路芯片定时器
$S_1$	开关
$B_1$	6V 电源或 4 节 5 号电池
BZ	压电换能器
$X_1$	压力传感器(参阅正文)
$P_1$	1M $\Omega$ 电位计
$R_1$	10k $\Omega$ 1/8W 电阻,棕,黑,橙
$R_2$	22k $\Omega$ 1/8W 电阻,红,红,橙
$C_1$	220~1000pF 陶瓷电容器
$C_2$	100 $\mu$ F 12V 电解电容器
其他元器件	PCB, 电池固定器, 塑料盒, 导线, 焊料等

## 其他电路及创意

仿生触觉装置有很多用途,仿生学爱好者可以充分发挥自己的想象拓展它的应用范围。你可以使用不同的传感器,采用不同的技术将感觉信息传输到人的手指或接收器。下面将提供一些新的解决方法。

### 1. 使用不同的换能器

探讨的第一个方案是使用一个小扬声器作为输出级上的换能器。如图 3.183 所示,当人接触利用晶体管驱动的扬声器时,扬声器将产生人手指可以感受到的机械振动。

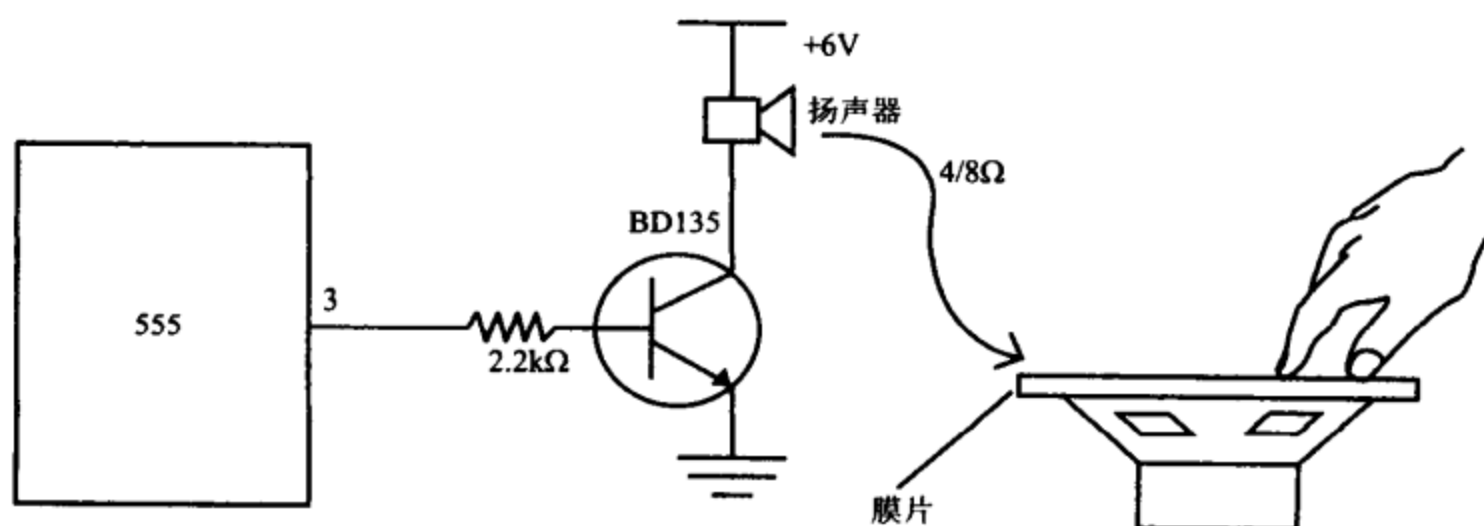


图 3.183 使用喇叭作为换能器

也可以使用带有金属膜的小电磁铁,如图 3.184 所示。电磁铁由 30~32AWG 的漆包线绕着小螺钉缠绕 100~500 匝制作而成。

### 2. 使用 4093 集成电路芯片的电路

4093 集成电路芯片可以用作压控振荡器,如图 3.185 所示。这种配置的优点是可以使用一块集成电路芯片通过三个传感器的信号来驱动四个换能器。

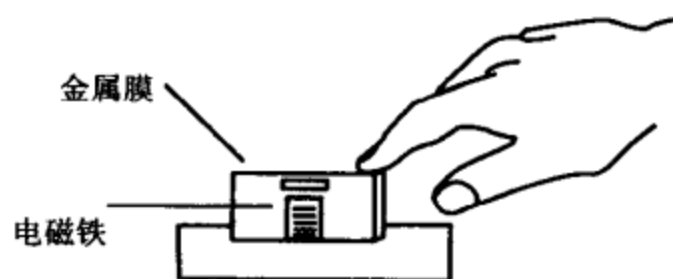


图 3.184 使用电磁铁

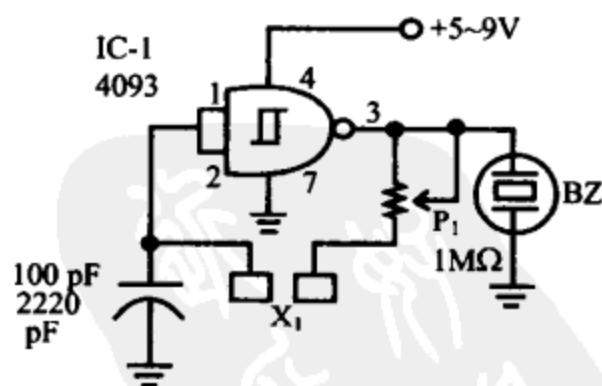


图 3.185 使用 4093 集成电路芯片

### 3. 应用电激励

另一个有趣的项目是使用触觉换能器,如图 3.186 所示。这个电路将传感器



获取的激励信号用于电击人的手指。

调节  $P_1$  使电路激励达到极限,这也是将  $P_1$  调节至可以感知到振动的位置。此时压力的任何改变都会降低频率,提升施加在传感器上的电压。必须调节振荡器的中心频率,使得接收机达到最合适的压力感觉。

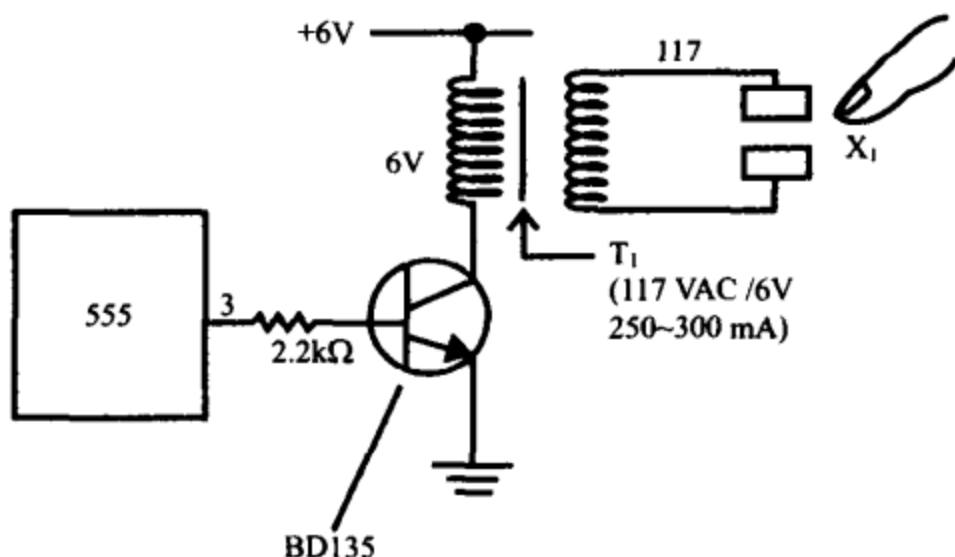


图 3.186 应用电激励

## 项目17 测谎仪

在压力之下,人体器官将会出现不同程度的生理变化,包括脑电或皮电等信号的变化。这些变化可以用身体之外的仪器检测出来,如测谎仪。测谎仪的基本原理是人在压力之下皮肤的电阻值将会改变,由此判断他或她是否在说谎。

当然,要测试某人在何时是否说谎并不简单。解释皮肤电阻的变化和准备审讯材料都需要对测谎仪有专业知识的人才行。

因而,本项目介绍的测谎仪并不十分可靠,只是因为好奇而用来验证机器工作原理的简单样机。仿生学爱好者用此装置可以测试朋友是否说谎,测试出的结果可能比正规测谎仪测试的结果更有趣,这里面更多的是娱乐成分。皮肤电阻值的变化也可以用作反馈电路。真正的测谎仪并不好用。经训练的专家不仅要观察信号指示器,也要观察普通人看不到的被测试者的表现和一些小细节。这些专家都是经过了多年的学习才成为测谎仪的成功操作者。

另外,本项目也可以用于检测其他生物的外部电阻,比如植物、鱼缸中的鱼或与生物活性相关的一些区域的变化。将电子设备和生物结合是仿生学家从事的研究内容,就像这本书介绍的一样。

### ■ 仿生学实验项目

利用搭建的测谎仪,你可以完成如下实验和应用:

- 说明测谎仪的使用功能。
- 测试生物体在压力、生物钟等条件下身体电阻值的变化。
- 将电路用作视觉反馈。
- 检测生物存在环境的变化。
- 在一些实验中进行生物活性检测(任何生物活性都会产生电信号,这些信号都可以被当作生物放大器的电路测试到)。

### ■ 电路工作原理

基础电路上有一个惠斯通(Wheatstone)电桥,其中一条臂上的电阻由被审讯者提供。当电桥达到平衡时,普通的模拟检流计将会显示其值为零。图 3.187 所示为惠斯通电桥的基本电路。

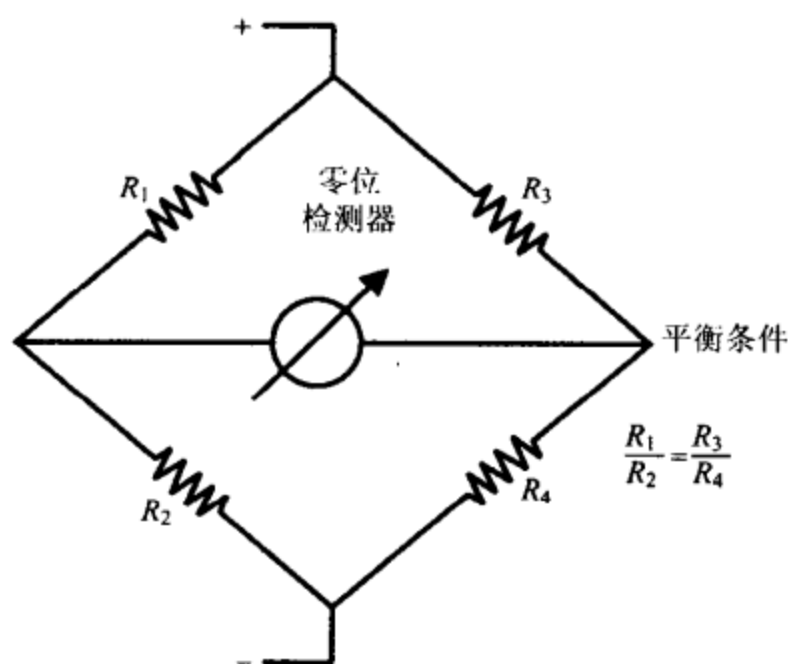


图 3.187 惠斯通电桥

简单地将电极放到手上或者放置在检测者皮肤的某一点,然后用电位计将电桥调至平衡。被测试者电阻值的任何变化都会因破坏平衡而被电桥检测到,并将在检流计中显示。

该电路由 4 节 5 号电池或者一个 9V 电池提供电源。因为耗用电流非常低,因此电池的使用寿命将持续很长的一段时间。

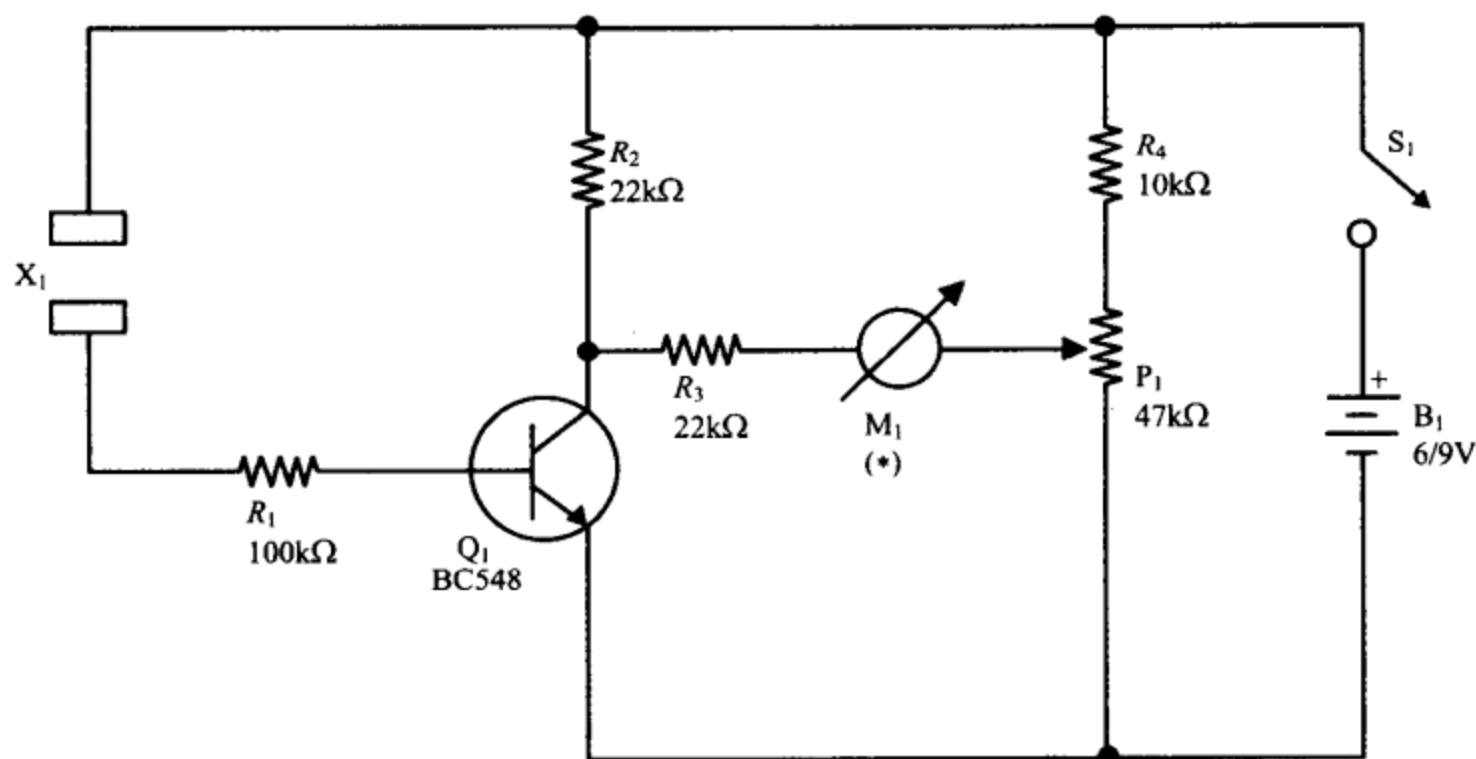
确保流过电极的电流非常低,并且不会引起检测者的感觉和因电击而产生任何危险,这一点非常重要。晶体管的存在正是将流过检测者的非常低的电流进行放大。

为提高电路的性能,可以对基本电路做很多改进。这些改进将在“其他电路及创意”一节中介绍。

### ■ 测谎仪的制作

图 3.188 所示是利用模拟检流计作为零值显示器的测谎仪基本电路原理图。

由于所用的元器件很少,对于那些正在学习电子学的读者来说,采用接线条作为电路的底盘是理想方案,如图 3.189 所示。当然,更有经验的仿生学爱好者可以使用一块面包板或 PCB 来搭建电路。



(\*) 参阅正文

图 3.188 测流仪原理图

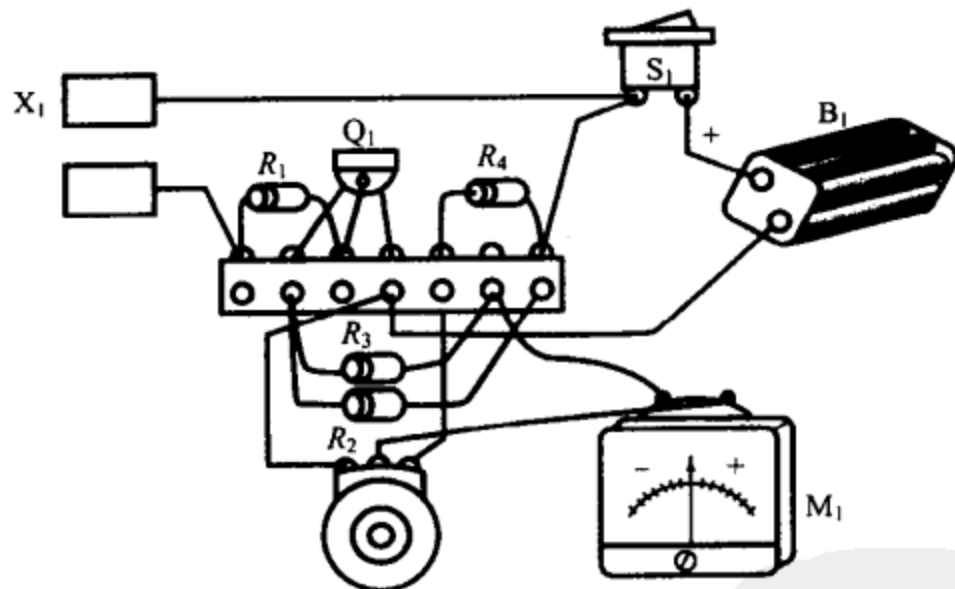


图 3.189 安装在接线条上的元器件

如图 3.190 所示,检流计中线的位置代表了零刻度线,满量程在  $50\mu\text{A} \sim 1\text{mA}$  之间。

如果你无法在商店或出售旧仪表的店找到这种型号的检流计,普通的零刻度线在一端的检流计也可以使用,只不过是调节的方法不一样。

电极的制作方法有很多。其中一种方法就是采用两个小金属片,以便于检测者将他或她的手放上去。另一种方法是制作两个较大的金属电极,可以握在手中。

图 3.191 所示是这两种电极的使用方法。

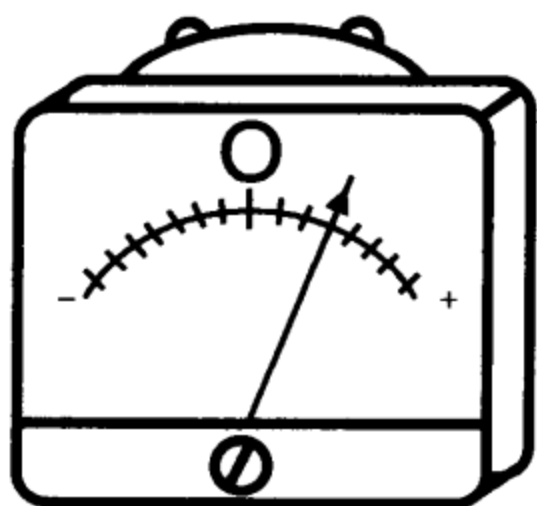


图 3.190 推荐使用的检流计



图 3.191 电极

此电路可以放入一个小塑料盒中，如图 3.192 所示。搭建电路时要注意极性元件的位置，如晶体管、电位计、电池等。

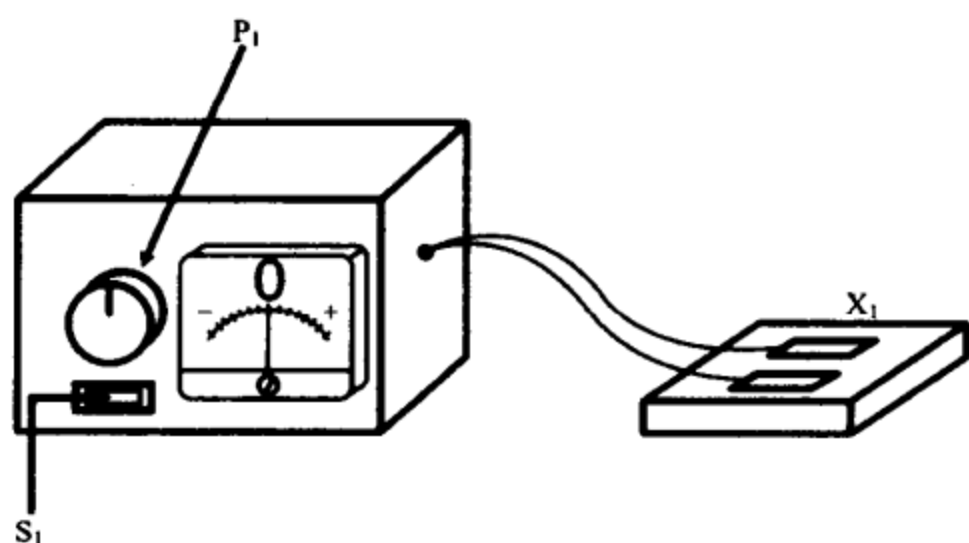


图 3.192 电路的封装

### ■ 测试及使用

测试设备时，合上  $S_1$ ，接通电源，将你的手指放在电极上。手指与电极间保持一定压力。

调整  $P_1$  使检流计  $M_1$  的指针处于中间的零刻度线。如果使用零刻度线在一端的检流计，应使指针指向零位。可以观察到，随着手指施加在电极上压力的变化，检流计的指针将会摆动。

在审讯时，被测试者需要对电极保持恒定的压力，不要使指针摆动。任何指针移动的发生都有可能说明被测试者在撒谎。测试过程中，你只需要提出问题，眼镜时刻盯着刻度盘。

当使用植物或其他生物做实验时，程序是一样的：首先使电桥平衡，电桥的任何失衡都可以从检流计上看到。

表 3.50 元器件清单

元器件	说 明
$Q_1$	BC548 通用 NPN 硅晶体管
$M_1$	检流计
$X_1$	电极
$R_1$	100k $\Omega$ 1/8W 电阻, 棕, 黑, 黄
$R_2, R_3$	22k $\Omega$ 1/8W 电阻, 红, 红, 橙
$R_4$	10k $\Omega$ 1/8W 电阻, 棕, 黑, 橙
$P_1$	47k $\Omega$ 线性或对数电位计
$S_1$	开关
$B_1$	6V 或 9V 5 号电池组
其他元器件	接线条或 PCB、塑料盒、电池固定器或电池组连接器、导线、焊剂等

### ■ 其他电路及创意

为提高本电路的性能,可以采用多种方法对之改进。以下内容将给出一些改进方法。

#### 1. 达林顿配置

基本电路所用的晶体管是增益范围在 125~800 之间的普通双极性三极管。使用两个晶体管的达林顿配置可以提高电路的灵敏度,如图 3.193 所示。

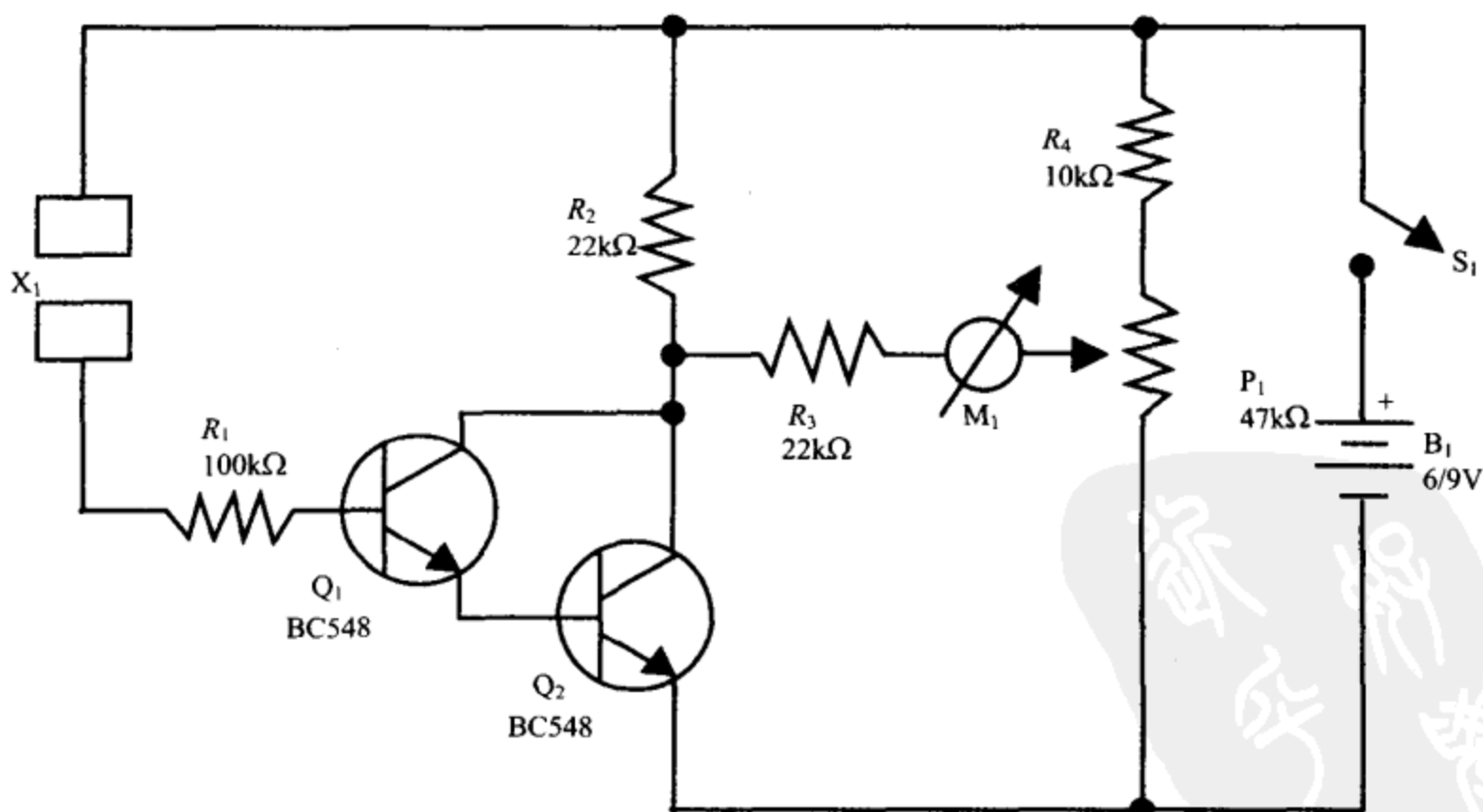


图 3.193 使用达林顿对管提高增益

当连接成达林顿对管时,总增益将是各个单独的晶体管增益的乘积。例如,如

果每个晶体管的增益是 400,其总增益将达到  $400 \times 400 = 16\ 000$ 。由于达林顿对管的高增益,该电路可以检测到皮肤电阻值的微小变化。

元器件清单与上面相同,只是晶体管换成两个 BC548 管。

## 2. 三个电极

图 3.194 所示的是使用三个电极的测谎仪升级版。由于必须同时保持在三个不同点上的持续压力,势必更加难于保持电路的平衡,因此更容易在审讯中检测到变化。

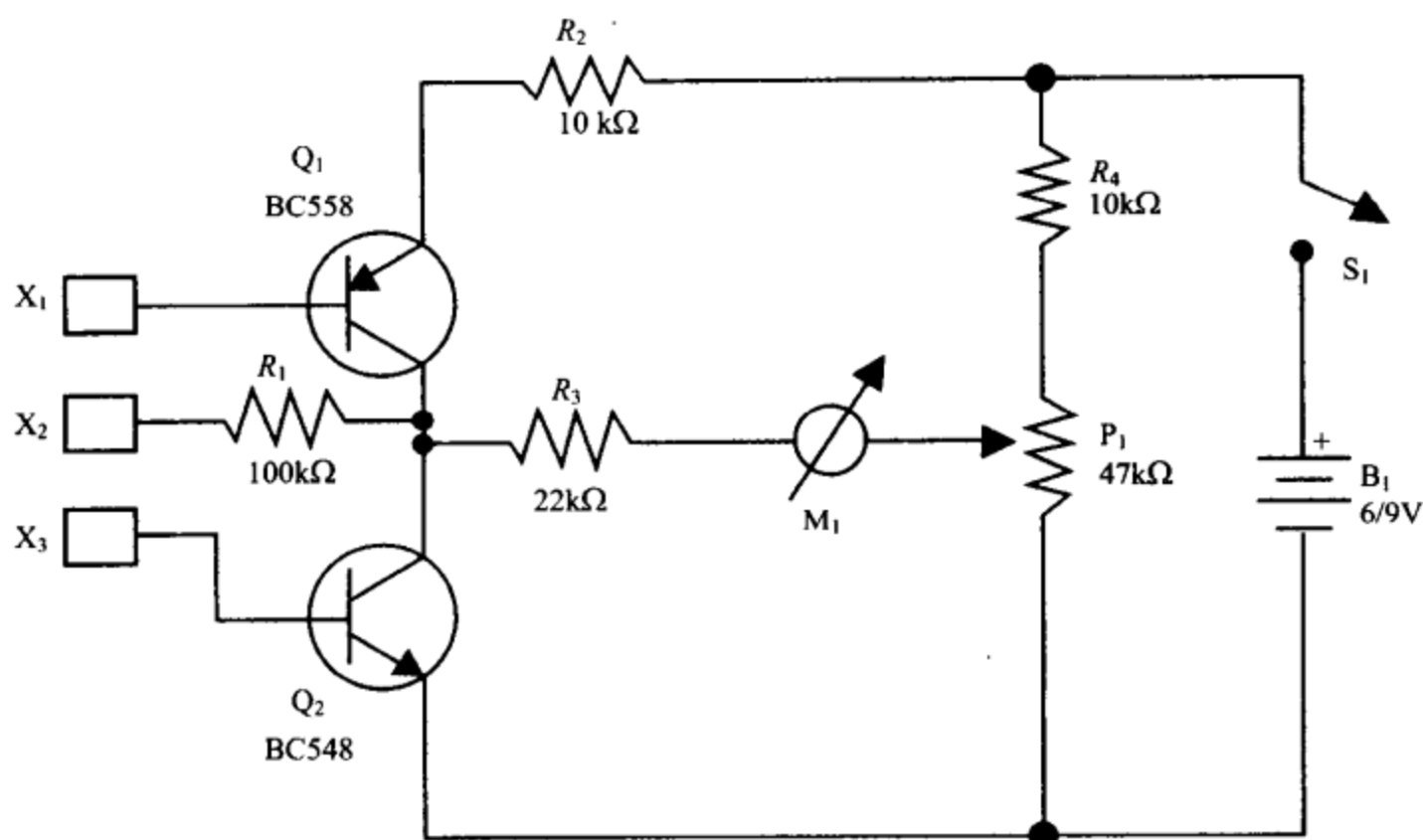


图 3.194 三个电极的测谎仪

表 3.51 元器件清单

元器件	说明
Q <sub>1</sub>	BC558 通用 PNP 硅晶体管
Q <sub>2</sub>	BC548 通用 NPN 硅晶体管
M <sub>1</sub>	检流计(参看基本电路)
X <sub>1</sub> , X <sub>2</sub> , X <sub>3</sub>	电极(参看基本电路)
R <sub>1</sub>	100kΩ 1/8W 电阻,棕,黑,黄
R <sub>2</sub> , R <sub>4</sub>	10kΩ 1/8W 电阻,棕,黑,橙
R <sub>3</sub>	22kΩ 1/8W 电阻,红,红,橙
P <sub>1</sub>	47kΩ 线性或对数电位计
S <sub>1</sub>	开关
B <sub>1</sub>	6V 或 9V 电池组
其他元器件	接线条或 PCB、电池固定架或电池连接器、塑料盒、导线等

### 3. 使用万用表

数字万用表不适合用于这种场合,因为显示的数字变化太快以至于我们根本看不清它的变化。本项目中,重要的不是得出固定的值,而是检测出变化的趋势。因而,一个模拟万用表将是检流计更好的替代品,连线如图 3.195 所示。

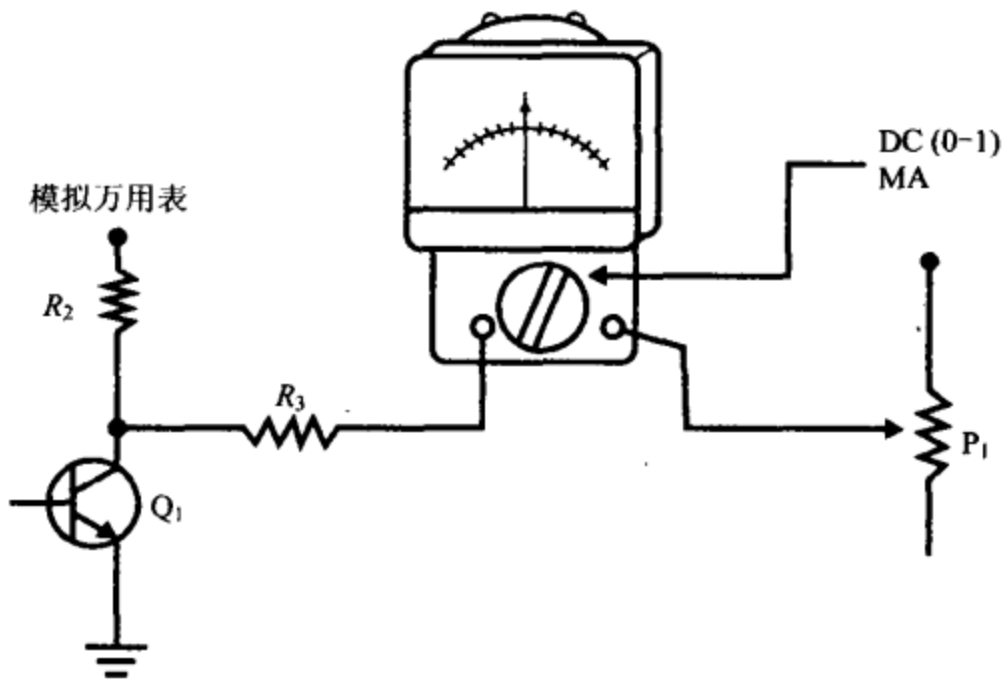


图 3.195 用万用表代替检流计

将万用表的电流量程设置成最低挡(通常为数微安),其调节方法与基本电路中相同。

任何灵敏度为  $1000\Omega/V$  的万用表都满足使用要求。在生物和电极接触的很多实验中都可以用万用表,这点在下一个项目中可以得到体现。

### 4. 其他实验

仿生学爱好者除了可以将测谎仪用于测谎外,还可以用于测试植物及其他很多生物的生物活性。图 3.196 所示是如何将电极和一些不同的实验物相连的。

连接电路时,需要注意的是该电路检测到的是电阻的变化,如项目 6 的生物放大器一样。

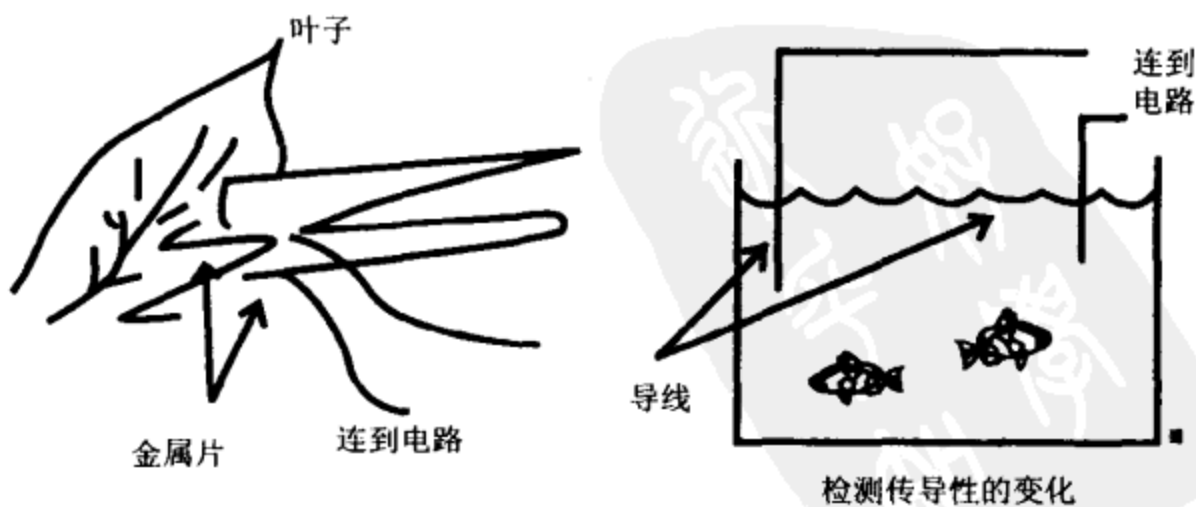


图 3.196 将测谎仪用在其他生命体中



## 项目18 仿生气味发生器

嗅觉是化学感觉中的一种,另一种化学感觉就是味觉。之所以这样称谓是因为它们感受的是化学物质。气味是化学物质,因为嗅觉是由空气中的化学物质的刺激产生的。

为了利用这些感觉,我们需要在环境中取样以获取信息。这些感觉在自然界中有着非常重要的意义,因为很多生物都依靠它来寻找食物、交配、自我防卫。生物通过呼吸不停地测试空气的质量,并利用嗅觉获悉其他信息,如与食物或其他动物的接近程度。

我们的感觉器官只能检测到具有特定属性的化学物质。例如,臭味气体分子要足够小才能挥发(或分散)到空气中,并进入到鼻子里,消融在黏液上。由于挥发物分子可以在空气中飘散,所以嗅觉不同于味觉,可以传送很长的距离。

我们的嗅觉还有识别功能。每个人都有自己独特的的气味(有一些更让人愉悦一些)从而可以通过嗅觉来识别和被识别。据估计我们可以辨别 10 000 种不同的气味。另外,有人提出气味可以影响心情、记忆、情绪、性倾向、免疫系统和内分泌系统(荷尔蒙)。

为了帮助嗅觉缺失患者(部分缺失或完全缺失嗅觉的人)恢复这种感觉,人们做了一些仿生实验。将患者的嗅觉神经与仿生传感器连接在一起取得了很好的效果。

虽然气味多种多样,但据研究表明,它们实际上是均由三种化学物质按照一定的比例混合而成。这些化合物就像基色一样,它们的混合就产生了我们所能感觉得到的所有气味。

基于这个事实,TriSenx(网址为 [www.trisenx.com](http://www.trisenx.com))公司开发了一种设备,这个设备与计算机相连,可以基于上述三种物质重新生成任何气味,如图 3.197 所示。

我们在这个项目中将要介绍的是能够利用上述物质产生气味的简单电子设备。该电路产生的人工气味与生物的嗅觉发生作用,从而体现出本项目的仿生特性。

通过模仿自然界,我们可以产生气味使自己更舒适、吓走其他动物或人、增加表达的真实性。气味的类型取决于实际需要。我们相信仿生学爱好者能有更好的创意,而不仅限于图 3.198 所建议的那样。

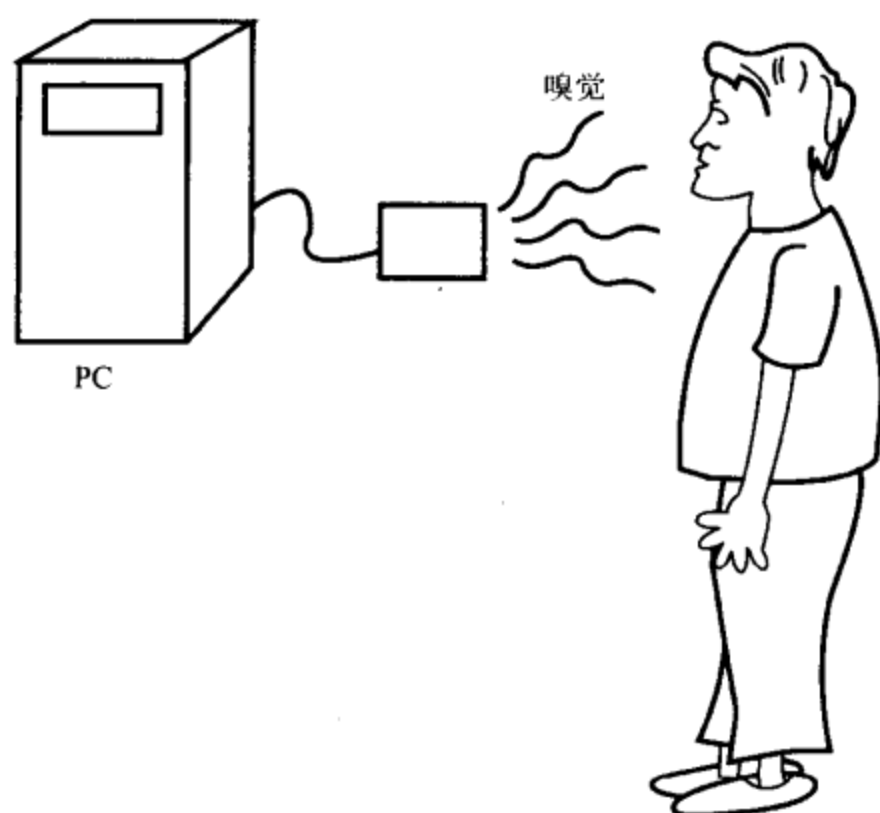


图 3.197 通过因特网传输气味

电路由交流电源供电,且电路上有定时器。没有使用有毒物质,尽管你也可以使用它们(图 3.198)。应用于什么场合取决于仿生学爱好者的想象力。下面将介绍气味发生器的应用领域。

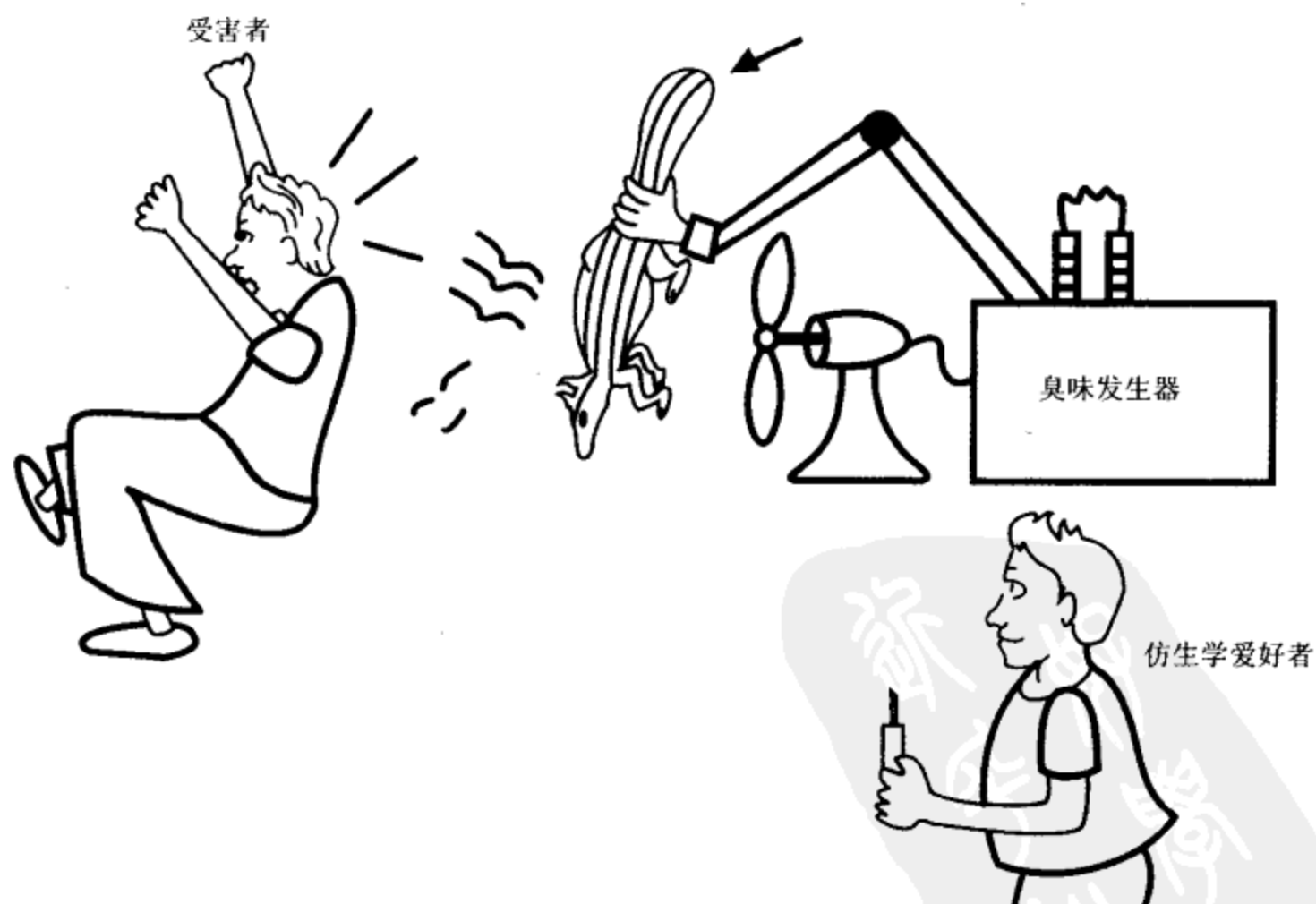


图 3.198 小心选择项目中的气味,它也可以影响你

### ■ 项目的仿生学应用

动物使用气味来惊吓、吸引,甚至作为很有效的防御武器。一个能产生任何气味的设备的应用场合很多,如:

- 在有难闻气味的场所产生令人感到舒适的气味(如厨房、洗手间、吸烟场所等)。
- 验证仿生设备是如何产生气味的。
- 由基本化学物质合成为奇异的气味。
- 作为其他改变环境的项目的一部分(光、声等)。

### ■ 电路工作原理

当用电阻加热灯芯(像蜡烛的芯)时,小瓶内的香料就会产生气味。给电阻通电时,香料就会因加热而蒸发。由于小风扇的存在,气味就会散发到空气中,如图 3.199 所示。

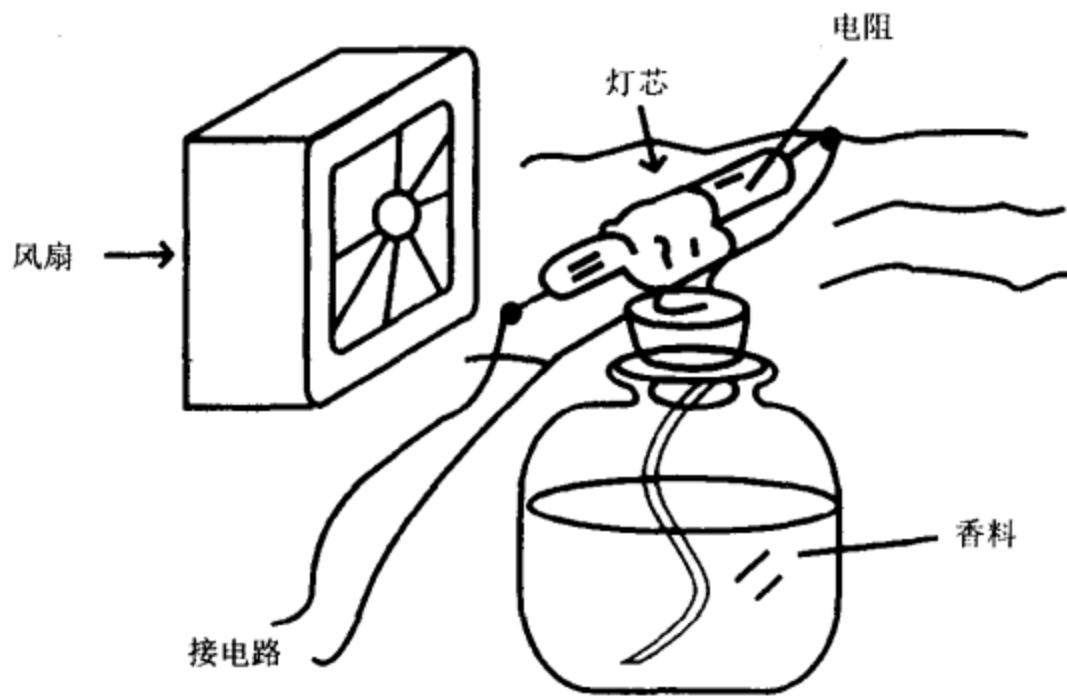


图 3.199 将香料散到空气中

为防止电阻持续加热,用一个带定时器的电路来规律地控制其接通和断开。该电路由 555 集成电路芯片来实现,使用频率调整电位计来实现非稳态工作方式。通过使用电位计,仿生学爱好者可以根据应用需要来调整加热间隔。

电路使用交流电供能。对于应用于中小范围的电路来说能耗很低,所以仿生学爱好者只需注意在瓶子变空之前将香料加满就行了。

### ■ 搭建方法

由于没有什么特别的元器件,所以本项目的电路部分很容易搭建。图 3.200 所示是仿生气味发生器的完整原理图。

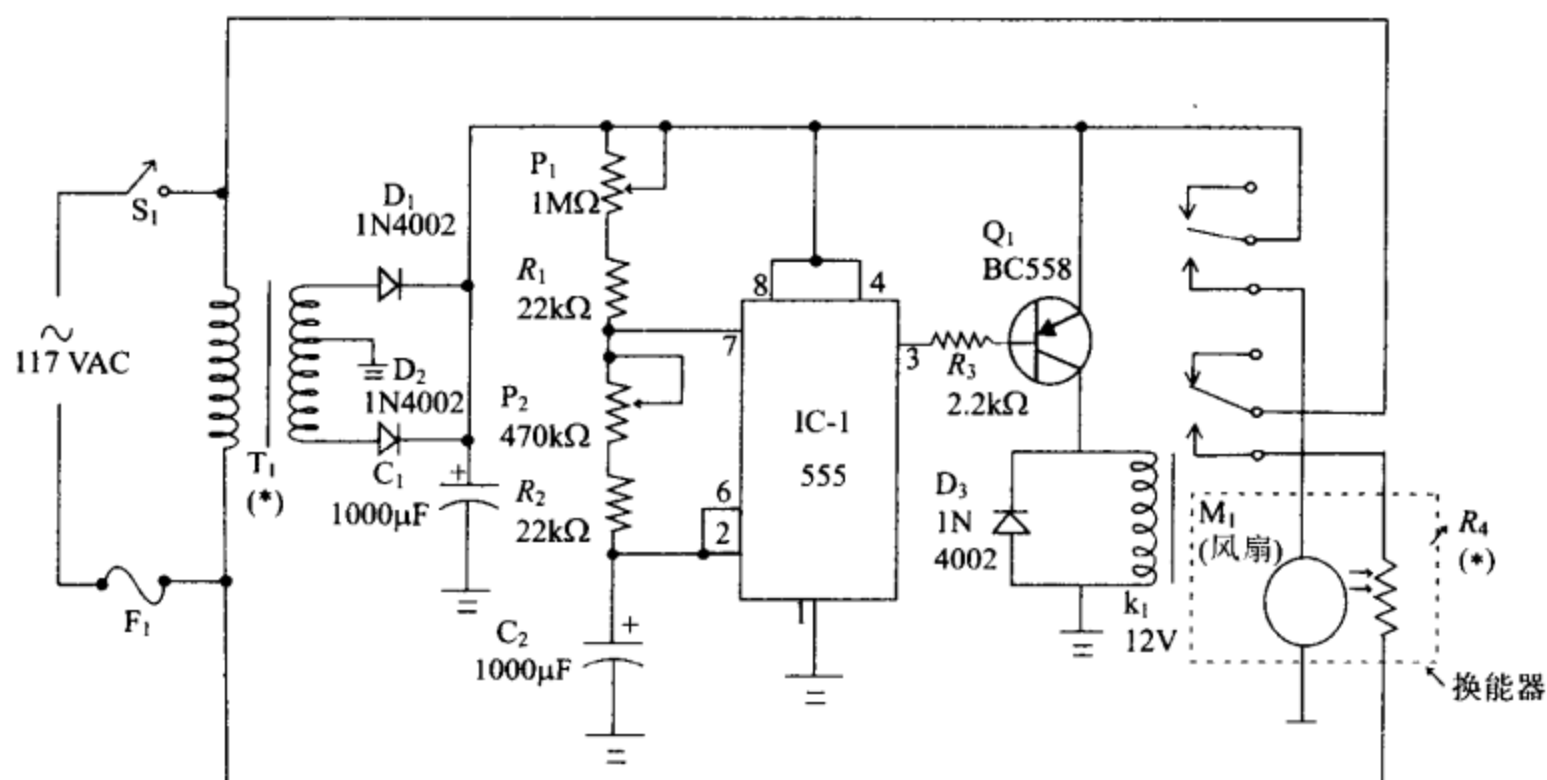


图 3.200 仿生气味发生器的原理图

电路搭建在一块 PCB 上,如图 3.201 所示。

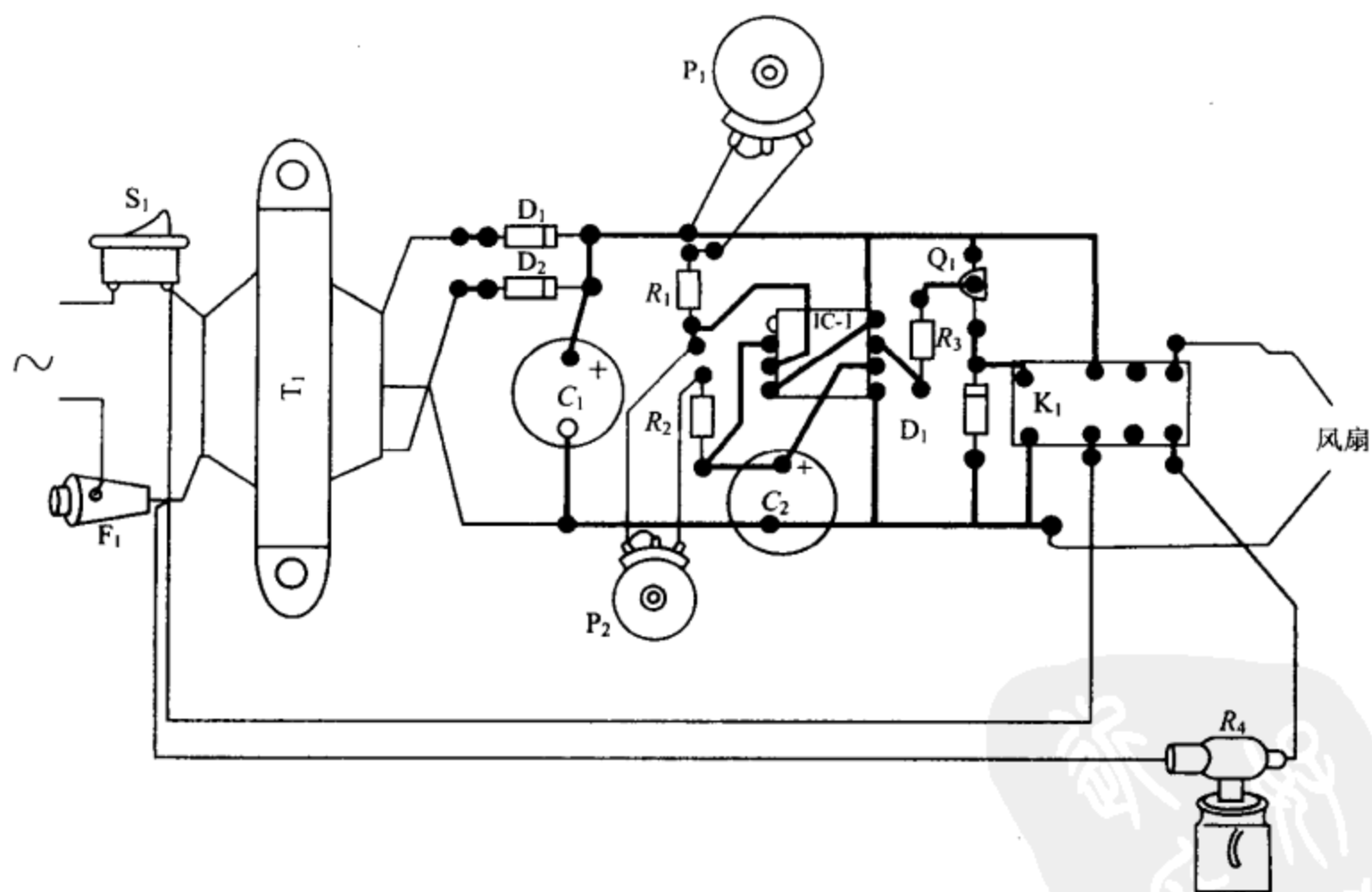


图 3.201 搭建在 PCB 上的电路

$R_1$  是电路中的关键元件,它必须产生足够的热量将灯芯上的香料蒸发出去。由于使用的是 117V 的交流电源,所以选用功率为 5~10W,阻值在  $470\Omega\sim$

2.  $2\text{k}\Omega$  之间的线绕电阻将是实验成功的良好开端。香料的用途不同,蒸发的难度也不一致。

建议使用计算机电源中的额定功率为  $12\text{V}$  的小风扇。这个电压来自驱动定时器的电路。

变压器次级线圈上的电压  $12\text{V}$ , 电流在  $500\sim 800\text{mA}$  之间, 足够用来驱动继电器和风扇了。

换能器电阻直接由交流电源供电, 而加热器和风扇由不同的电源供电, 所以继电器必须具有双触点。

$P_1$  用来控制电阻加热的间隔,  $P_2$  用来控制加热器工作的时间。

元器件清单中给出的各种参数对应的时间间隔为数秒到数分钟之间。制作时注意绝缘, 因为加热器  $R_1$  没有和交流电源隔绝。建议将电路放进一个盒子, 如图 3.202 所示。

设备必须放在一个气味容易散发的地方。位置较高的地方比较理想。

### ■ 气味换能器

换能器由一个放着灯芯的小瓶子构成, 如图 3.203 所示。灯芯将电阻包住, 因此当电阻加热时, 香料将会蒸发。棉芯是比较理想的选择, 它很容易吸收香料。

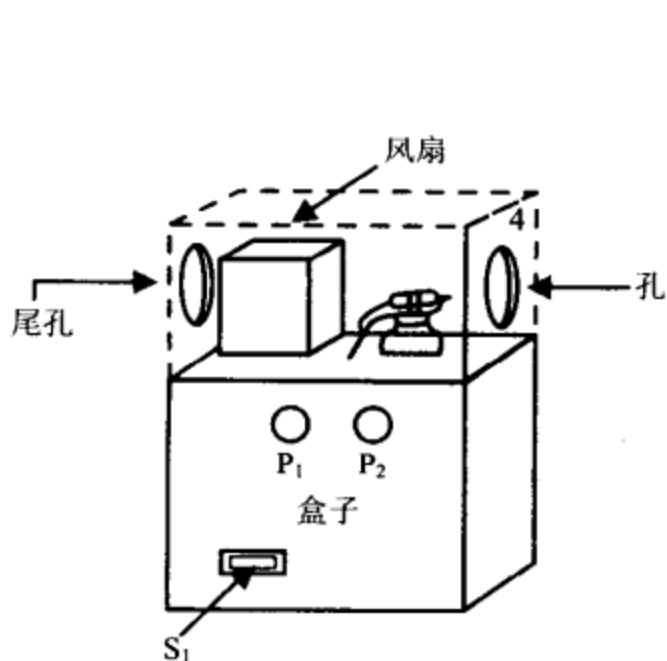


图 3.202 气味发生器的最后安装

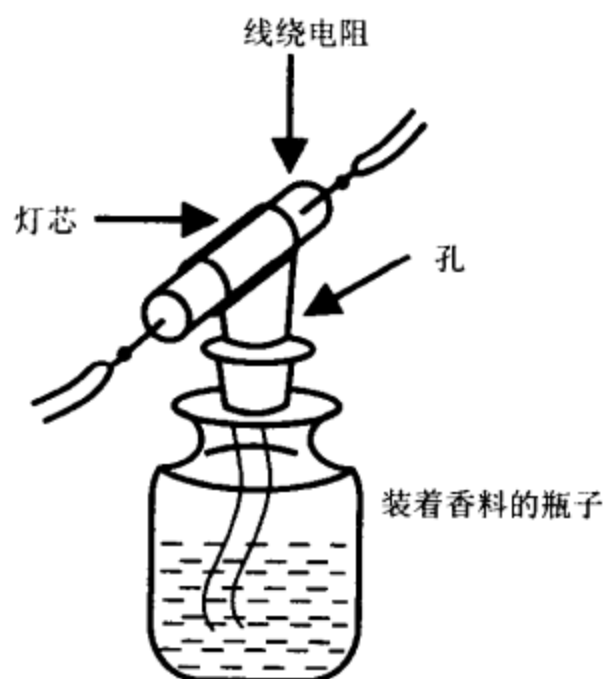


图 3.203 气味换能器

### ■ 香料的选择

选择生成什么样的气味也是实验的重要内容。带有食物味的植物香料可以在超市买到。根据应用需要, 你可以使用包含不同气味的瓶子。

当然, 仿生学爱好者或许想产生一些臭味, 也可以弄几瓶这种香料, 但要小心, 如果实验失去控制, 我们不负责。

## ■ 测试及使用

用香料装满小瓶,并将电路接通,之后调整  $P_1$  和  $P_2$ 。此时风扇将按一定的间隔时间转动和停止。调整好需要的间隔时间就可使气味充满特定的空间。

如果电阻不能热到使香料蒸发,减小电阻阻值(减小电阻将提高电流从而提高温度)。根据香料的具体情况进行实验,注意不要过热,否则电阻会烧毁。对于线绕电阻,温度超过  $100^{\circ}\text{C}$  是正常的,但那样将会消耗很多的香料。

测试完成后,仿生学爱好者就可以安装气味发生器了。

表 3.52 元器件清单

元器件	说 明
IC-1	555 集成电路芯片 定时器
$Q_1$	BC558 通用 PNP 晶体管
$D_1, D_2, D_3$	1N4002 硅整流器
$R_1, R_2$	$22\text{k}\Omega$ 1/8W 电阻,红,红,橙
$R_3$	$2.2\text{k}\Omega$ 1/8W 电阻,红,红,红
$R_4$	$470\Omega$ $2.2\text{k}\Omega$ 5W 线绕电阻
$P_1$	$1\text{M}\Omega$ 线性或对数电位计
$P_2$	$470\text{k}\Omega$ 线性或对数电位计
$C_1, C_2$	$1000\mu\text{F}$ 25V 电解电容器
$K_1$	12V 50mA 双刀双掷继电器
$T_1$	12+12V 500~800mA 变压器
$M_1$	12V 风扇
$F_1$	1A 保险丝
其他元器件	PCB、盒子、保险丝固定器,换能器用材料(瓶子、香料、灯芯等)、电源线、导线、焊料等

## ■ 其他电路及创意

项目中介绍的装置只是最基本的思路。以此为基础,仿生学爱好者可以很容易地对此进行改进和拓展。以下是一些创意。

### 1. 选择气味

图 3.204 所示的是一种手动选择气味的简单电路。你必须放置多个电阻、装有香料的瓶子和风扇,这样就可以通过开关选择需要的气味了。

如图 3.205 所示是另一种通过计算机控制自动选择气味的装置。这种创意可以应用于电影院中,以带给观众身临其境的感觉。

### 2. 其他电路

图 3.206 所示的电路是一个简单的调光器电路,你可用它控制由换能器产生

气味的量。这个电路可以单独作为完整的仿生气味发生器使用,或者加到定时器控制的基本电路中。

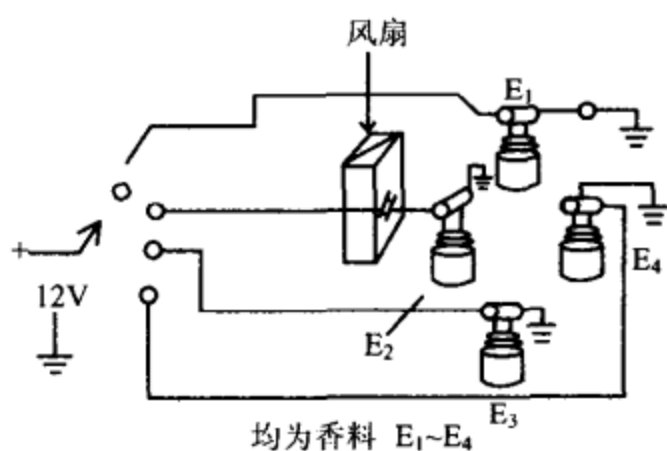


图 3.204 选择气味

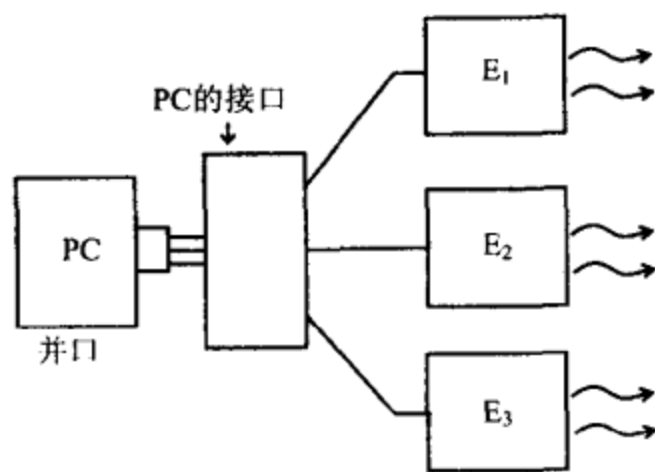


图 3.205 计算机控制的气味发生器

换能器中的电阻与基本电路中的相同,安装时也要小心谨慎,因为它的元件并不是和交流电源线相隔离的。

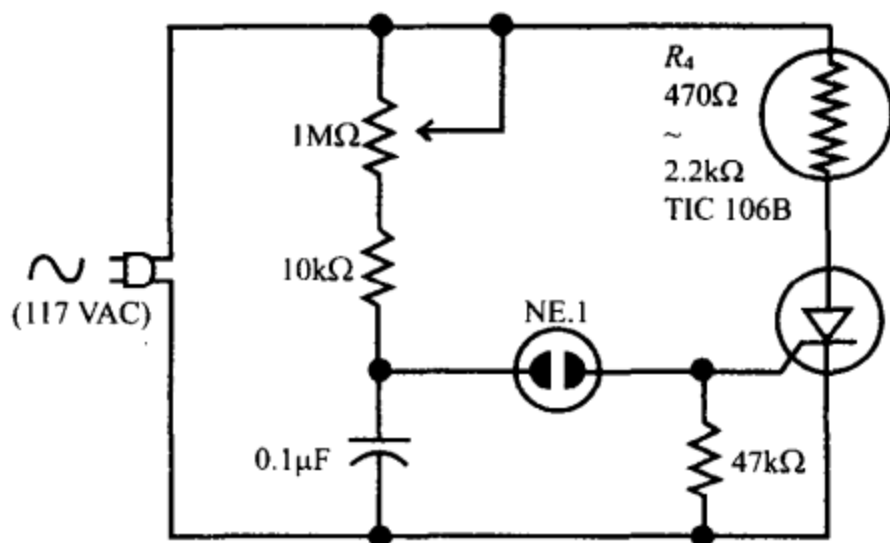


图 3.206 控制气味的调光器

## 项目19 振荡器实验

低频和高速振荡器可以用在很多仿生学实验中。利用振荡器,仿生学爱好者可以测试生物体在一定压力情况下的反应、刺激植物长得更快、判定花和果实在实验中的反应等。由于各种振动对生物造成的影响尚属未知,本项目将提供一个作出新发现的机会。

前面的项目中,我们使用振荡器产生声音、超声波和电磁场。本项目中将给出一个功能更强大的可对动物进行各种实验和测试的电路。

### ■ 仿生学实验及应用

好奇的仿生学爱好者可以用这里提到的振荡器测试有多少种生物会对中频电



场和高频电场产生反应。他或她也可以将振荡器应用到昆虫和植物的实验中,观察它们生活习惯和生长规律是否因此发生改变。

### ■ 电 路

除介绍其他电路之外,这里将介绍另外一种可产生  $100\text{kHz}\sim 20\text{MHz}$  的高频电路。这个名为哈特利(Hartly)振荡器的电路可以产生功率为  $5\text{W}$ 、频率范围为  $100\text{kHz}\sim 20\text{MHz}$  的高频信号,具体参数由线圈( $L_1$ )决定。

哈特利振荡器产生的信号频率取决于  $L_1$  和  $CV$ 。在反馈回路上的  $C_2$  和  $R_1$  保证了振荡器的正常运行。

电路产生的信号是在第二个线圈中获取的。该线圈与  $L_1$  一样,它是变压器的次级线圈,而  $L_1$  是变压器初级线圈。

电源由输出电压范围在  $6\sim 12\text{V}$  的电池或其他电源提供。最大的电流消耗大约为  $800\text{mA}$  左右,这取决于元件的容限和晶体管的增益。

### ■ 搭建方法

中频/低频振荡器的电路原理如图 3.207 所示。该电路可以搭建在一块小 PCB 上,但如果条件不允许的话,也可以使用面包板或接线条。

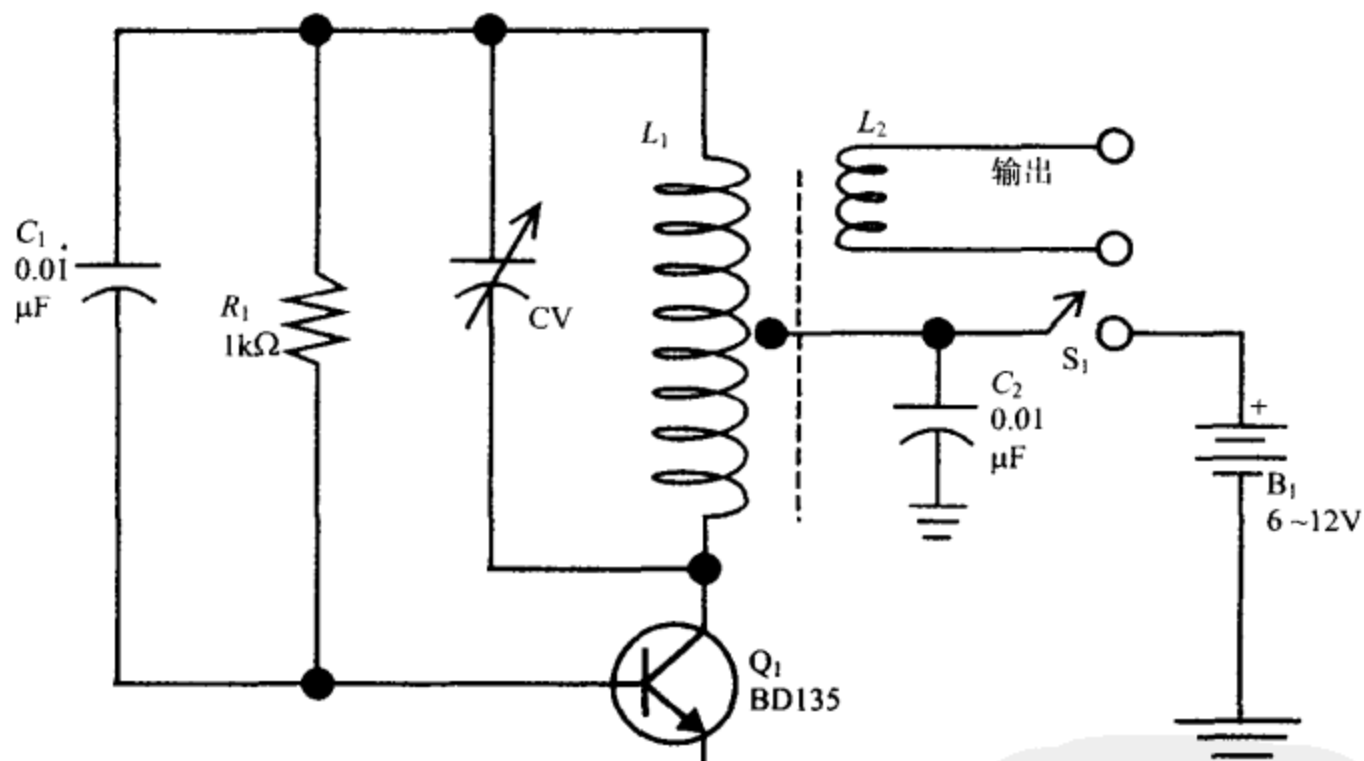


图 3.207 振荡器原理图

电路的 PCB 如图 3.208 所示。

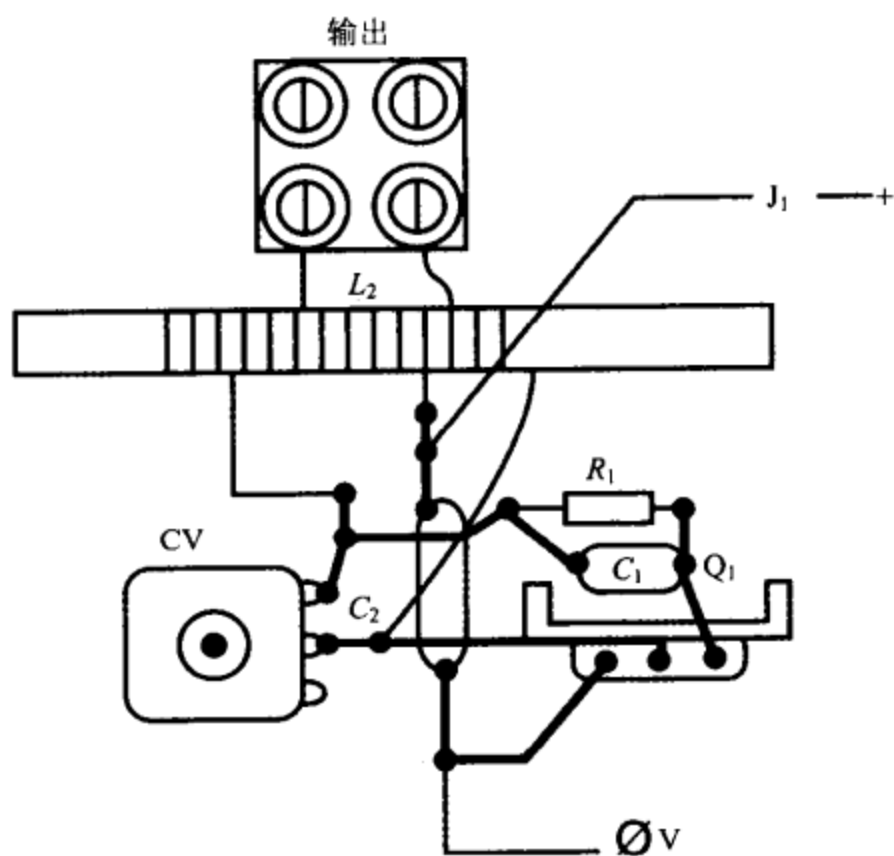


图 3.208 本项目使用的 PCB

线圈( $L_1$  和  $L_2$ )的选用取决于频率。它们的对应关系见表 3.53。

表 3.53 线圈特性

频率	$L_1$	$L_2$
100~500kHz	75+75 匝	50 匝
500~1500kHz	50+50 匝	30 匝
1.5~4MHz	25+25 匝	15 匝
4~10MHz	15+15 匝	10 匝
10~20MHz	10+10 匝	8 匝

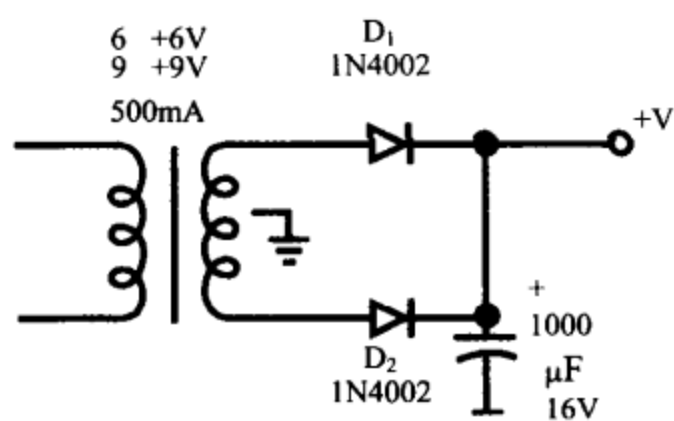


图 3.209 振荡器电源

线圈用 26~30AWG 的导线绕制长度在 15~20cm, 直径为 0.8~1cm 的铁氧体铁芯上。 $L_2$  也可以放在  $L_1$  上。

CV 是普通的可变电容器, 与老式的调幅收音机上使用的一样。其最大容值在 200~400pF 之间。晶体管要装在一个散热片上, 与此振荡器匹配电源供给电路如图 3.209 所示。

## ■ 测试及使用

测试非常简单。只要将可以调节振荡器频率的无线电接收机放在电路附近就可以了。根据线圈特性,可从长波调到短波的任何短波接收器都可以用在测试中。

将振荡器放到接收器旁,打开  $S_1$ 。调整 CV 就可以从接收器的扬声器中听到由频率发生器产生的信号,声音像风一样。接收范围取决于接收器的灵敏度,但不会超过数米。

由于电路耗用电流较大,所以不能使用 5 号电池。可以使用 2 号或者 1 号电池。如果进行长时间的实验,就使用图 3.209 所示的电路供电。

表 3.54 元器件清单

元器件	说明
$Q_1$	BD135 中功率 NPN 硅晶体管
$L_1/L_2$	线圈
$R_1$	1k $\Omega$ 1/2W 电阻,棕,黑,红
$C_1$	0.01 $\mu$ F 陶瓷电容器
$C_2$	0.1 $\mu$ F 陶瓷电容器
CV	可变电容器
其他元器件	电源或电池、铁氧体铁芯、导线、焊料等

## ■ 仿生实验及应用

前面章节中介绍了一些使用振荡器的实验,这里再补充一些。

### 1. 对植物和昆虫的实验

图 3.210 所示是如何利用振荡器产生的信号对样本进行放射实验。

### 2. 信号的直接应用

将电极连到电路的输出就可以直接应用信号了,如图 3.211 所示。

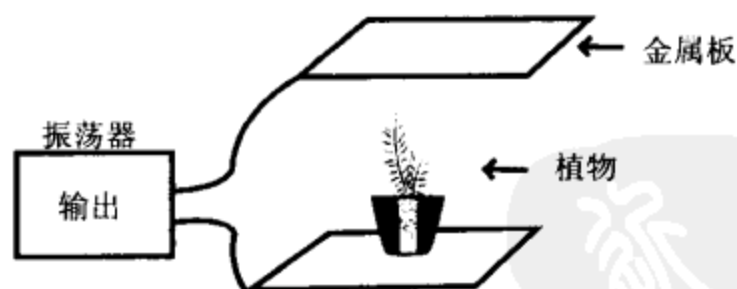


图 3.210 仿生实验中的辐射信号

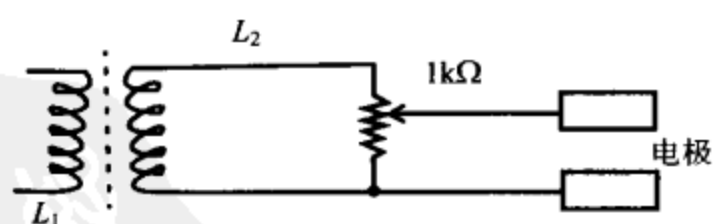


图 3.211 信号的直接应用

这个电路有一个幅度控制,可以调节作用到样本的能量。电路输出功率可以达到数瓦,足够用来杀死小型动物和植物了。使用中要确保信号不对着人。

## 项目20 离子发生器

空气中的正负离子的作用尚不可知。一些研究者认为负离子通过呼吸系统有助于治疗惊恐症、敏感症和其他一些疾病。有些情况下,周围环境中少量的负离子会让人感到舒服,甚至消除敏感症状。

根据《便携科学参考书》(*Handy Science Reference Book*)(匹兹堡卡内基图书馆,1994),“负离子发生器就是一个将负离子喷雾到空气中的静电空气清洁器。一些研究者指出这些离子可以使人感觉舒服,恢复人的精力,减轻头痛、敏感症和哮喘病。”

为了实验目的,制作一个离子发生器甚至用它对生物作一些实验都不难。你可通过实验来观察,一定范围内离子的存在对植物的生长和昆虫及其他小型生物的行为有什么影响。

该项目的想法就是制作一个简单的离子发生器,虽然由交流电源供电,但很安全,并可用于医学目的。该电路可以产生负离子,只要倒置其中的一个二极管,也可以使它产生正离子。此设备的使用需要专业人士的参与(比如医生,如果用于医学目的的话)。

正负离子的产生需要 1500~30 000V 的高电压,但其耗用电流很低,保证你月底的电费不会太高。电路的能量消耗也很低,低于 2W。

### ■ 电路的仿生应用

在一定空间内产生负(或者正)离子的目的并不是使一个生命有机体和电子电路之间产生相互作用。该项目的目的是创造一个条件来研究电荷是如何改变生物行为的。实验对象包括:

- 植物。
- 昆虫。
- 微生物。

此设备也可以用作研究离子如何对过敏症患者产生作用的。在医生监督的情况下,此设备还可以用在家里或者汽车上。

### ■ 工作原理

此电路就是一个 13 级的电压倍增器,可以将交流电压峰值倍增到 1800V。这个电压足够用来在电极上产生稳定的离子流了。当然,你可以随意增加升压级数,从而产生更高的电压。

当电路接通电源时,每一个电容器将充电至交流电源的峰值电压,有时能达到 150V。如果电路使用 220/240V 交流电源供电,输出电压将翻倍。在此情况下,使用较少的升压级数就可以产生稳定离子流所需的电压。由于电容器是串接在一起的,它们通过输出放电,因此在电极上的电压就是各电容器两端的电压之和。

由于电路由交流电直接供电,为避免与电极的意外接触,电阻在限制电流方面

起到重要作用。

电路对电容器的电容值要求并不苛刻,  $0.1 \sim 0.47 \mu\text{F}$  之间都可选用, 电容值的大小决定了电路产生离子的数量。

电极可以用针状物或其他具有尖端的金属体制作而成。你可以增加一个在计算机中使用的风扇, 目的是将离子吹散到空气中。

### ■ 离子发生器的制作

图 3.212 所示为离子发生器的基本电路原理图。

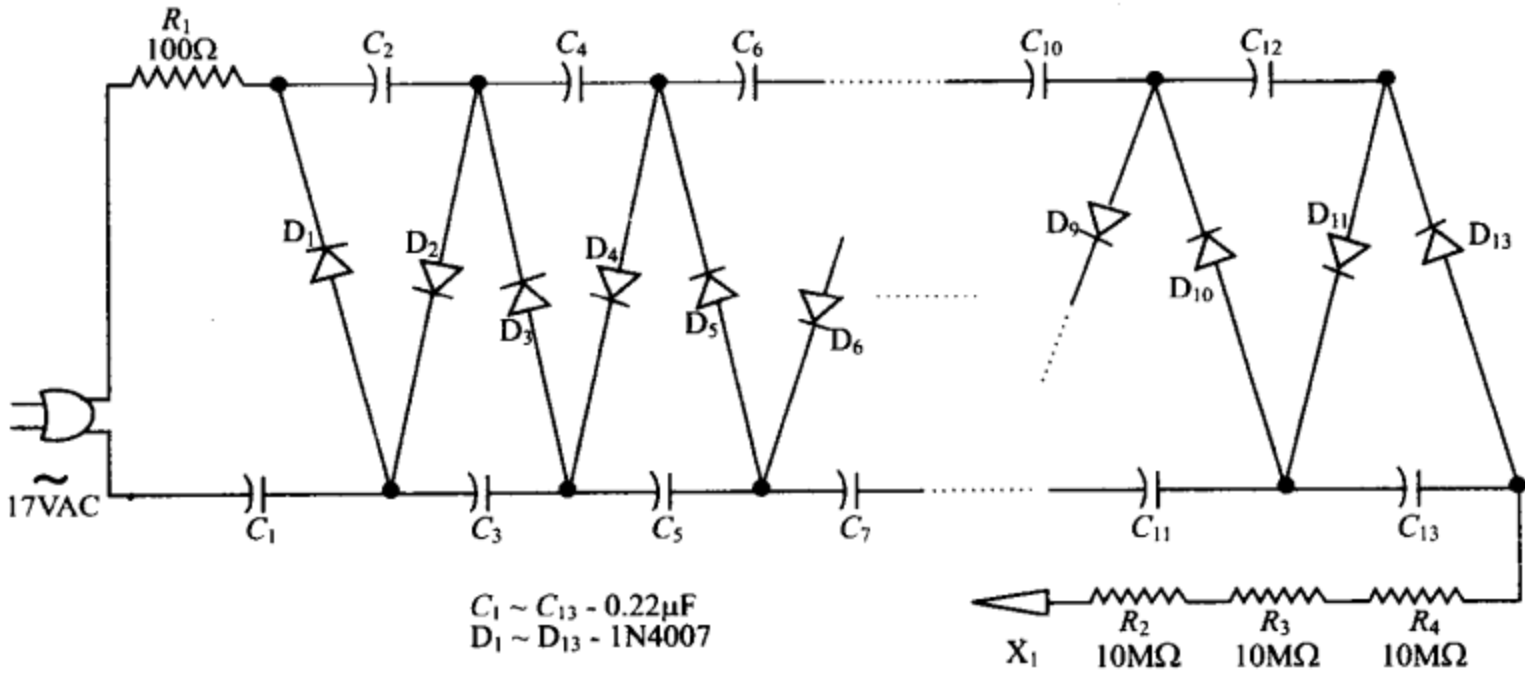


图 3.212 离子发生器原理图

电路可以搭建在一块小 PCB 上, 如图 3.213。如前所述, 如果你在具体应用中打算升高或者降低电压的话, 电路的级数可以改变。

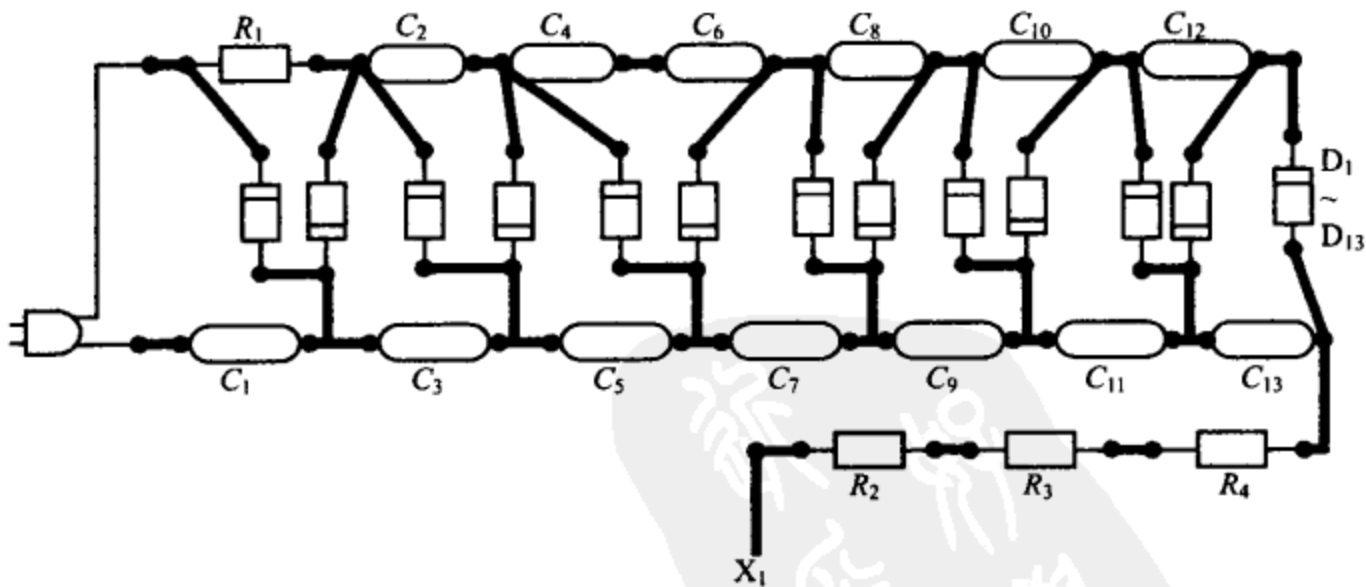


图 3.213 搭建在 PCB 上的电路

电路可以装在一个塑料盒子里, 电极必须放置在不易碰到的地方, 以免发生意外。盒子可以保护离子发生器, 如果把发生器放到一个够不到的地方, 可以在箱子上开一个洞让离子溢出。图 3.214 所示的是如何对电极进行保护因而不会由无意

的接触而发生危险。

也可以在同一个电路中增加更多的电极。用电扇将离子吹散。

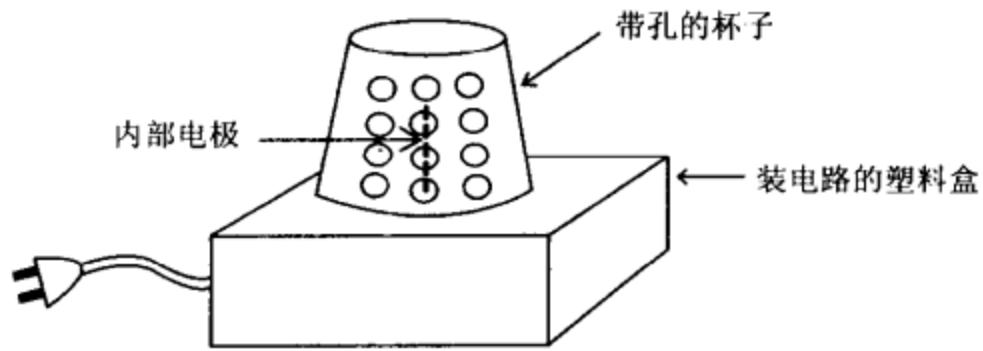


图 3.214 保护电极  $X_1$

### ■ 测试及使用

首先,将电路接入到交流电源。然后将小氖管放到电极附近,由于高电压场的影响,氖管将发光,如图 3.215 所示。

同时将产生臭氧气体,可以通过这种难闻的气味来确定是否存在离子。

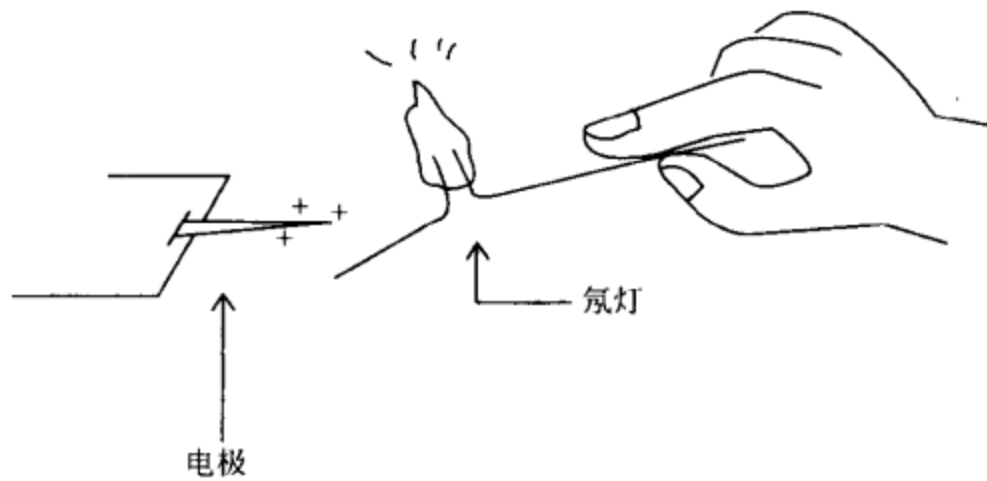


图 3.215 用氖灯测试

表 3.55 元器件清单

元器件	说明
$D_1 \sim D_{13}$	1N4007 硅整流二极管
$C_1 \sim C_{13}$	0.22 $\mu$ F 400V 电解电容器
$R_1$	100 $\Omega$ 1W 电阻
$R_2, R_3, R_4$	10M $\Omega$ 1/8W 电阻, 棕, 黑, 蓝
$X_1$	电极(参阅正文)
其他元器件	PCB、电源线、导线、塑料盒、焊料等

### ■ 其他电路及创意

一些其他的电路结构也可以用来产生高电压从而产生离子流。记住! 这里提

到的所有电路结构都是负离子发生器。将二极管倒置就可以让它产生正离子。

有一点需要说明的是,该电路产生离子的数量是不能控制的,除非你是在做一个有专门监督的医学实验。这里提到的所有项目均用于实验目的。

### 1. 使用 SCR 的高功率电路

在实验室、家里或者其他地方做实验,SCR 是非常理想的选择。

图 3.216 所示的电路是由交流电供电的离子发生器。元器件清单中括弧内的元器件参数对应的是 220/240V 交流电供电情况。

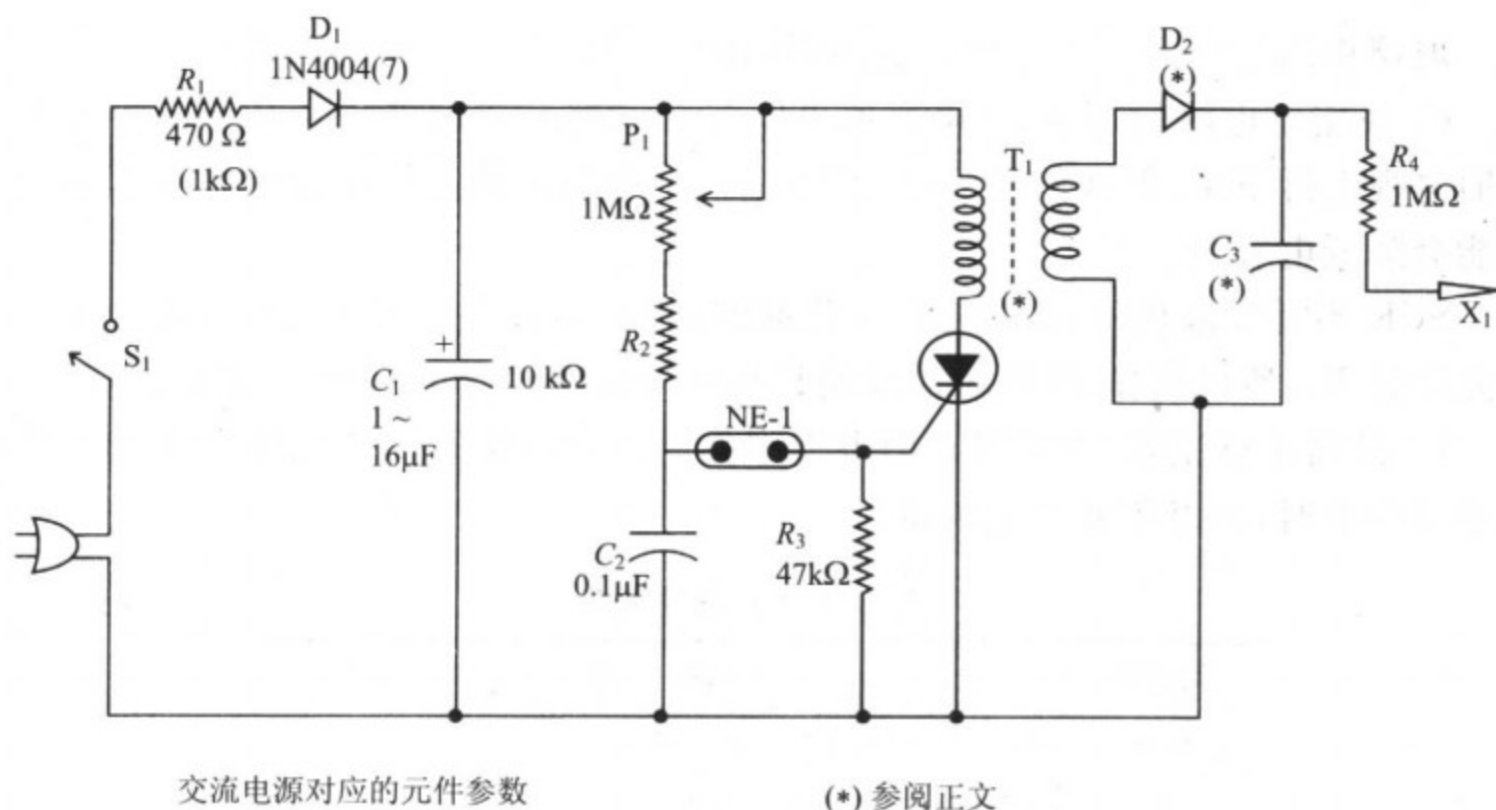


图 3.216 使用 SCR 的电路

电路由一个驱动回扫变压器的张弛振荡器构成,就像在老式电视机或监视器里可找到的一样。用一个部分裸露的铁氧体铁芯就可制作成初级线圈,如图 3.217 所示。

初级线圈用普通 22~24AWG 的漆包线绕上 7~15 匝即可。电路可以用接线条制作或者在 PCB 上搭建,并装在一个塑料盒中。 $C_3$  是一个玻璃电容器按照图 3.218 安装。当将电路接入 220/240V 交流电时,需要将此前的 1N4004 换成 1N4007,并将 TIC106B 换成 TIC106D。

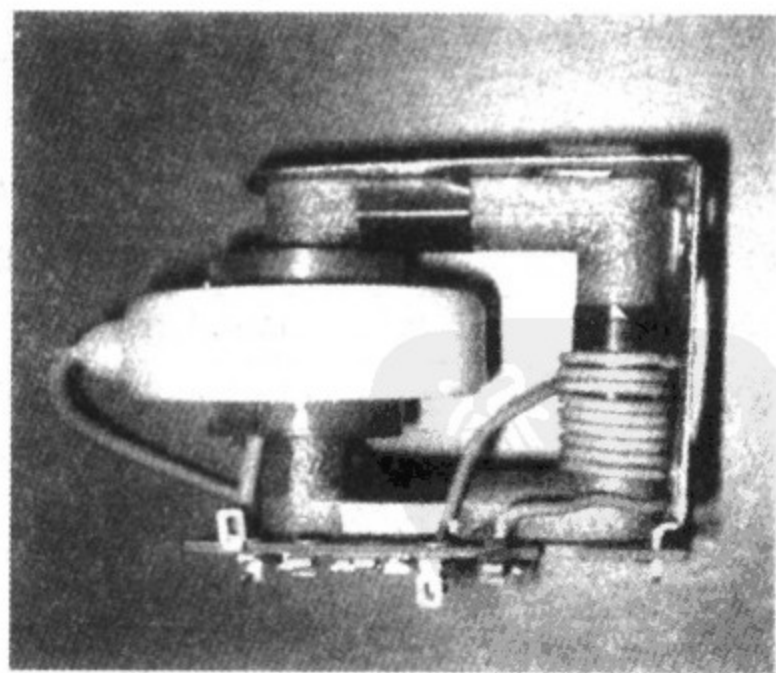


图 3.217  $T_1$  的初级线圈



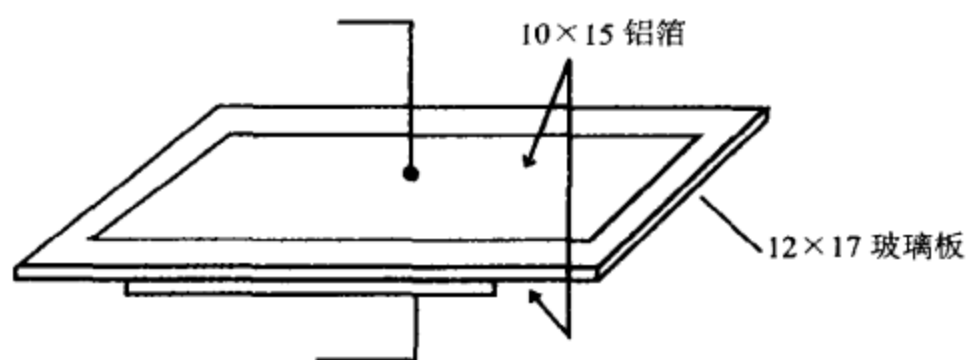


图 3.218 玻璃电容器

玻璃板的尺寸要求不严格。利用铝箔或者铜箔作为电容器的电枢。

$C_1$  决定了电路的功率,其电容值可以在  $1\sim 16\mu\text{F}$  之间选用。高压电容器可以从旧电视上拆下来,但在使用前必须经过测试,因为这种元件在长时间不用情况下可能会降低电容量。

SCR 不需要散热片,因为它的工作时间很短,不会产生大量的热。唯一会发热的元件是  $R_1$ ,所以制作 PCB 时最好使其与其他元件间有  $1\sim 2\text{mm}$  的间隔。

$D_2$  是高压整流器,也可以在旧电视中找到。它经常和回扫变压器相连。使用离子发生器时,注意不要与电极接触。

表 3.56 元器件清单

元器件	说明
SCR	TIC106B(D)可控硅整流器
$D_1$	1N4004(7)硅整流二极管
$D_2$	高压整流器,15kV 甚至更高
$NE_1$	NE-2H 或者等效的氖灯
$R_1$	$470\Omega(1k\Omega)$ 10W 线绕电阻
$R_2$	$10k\Omega$ 1/8W 电阻,棕,黑,橙
$R_3$	$47k\Omega$ 1/8W 电阻,黄,紫,橙
$R_4$	$1M\Omega$ 1/8W 电阻,棕,黑,绿
$P_1$	$1M\Omega$ 线性或者对数电位计
$C_1$	$1\sim 16\mu\text{F}$ 200V(400V) 电解电容器
$C_2$	$0.1\mu\text{F}$ 100V 或者更高 聚酯电容器
$C_3$	玻璃电容器(参阅正文)
$S_1$	开关
$T_1$	回扫变压器(参阅正文)
$X_1$	电极(在基本电路中使用的)
其他元器件	电源线、PCB 或接线条、塑料盒、 $P_1$ 按钮、导线、焊料等

## 2. 家庭和汽车中使用的低压电路

本项目研究的离子发生器也可以在 12V 电源下使用。也就是说,它可以由汽车电池或者家庭用的低压直流电源供电。

在汽车里,负离子发生器可以有效地减小令过敏症患者极不舒服的由金属结构产生的正电荷。完整电路如图 3.219 所示。

图 3.220 是相应的 PCB 电路图。

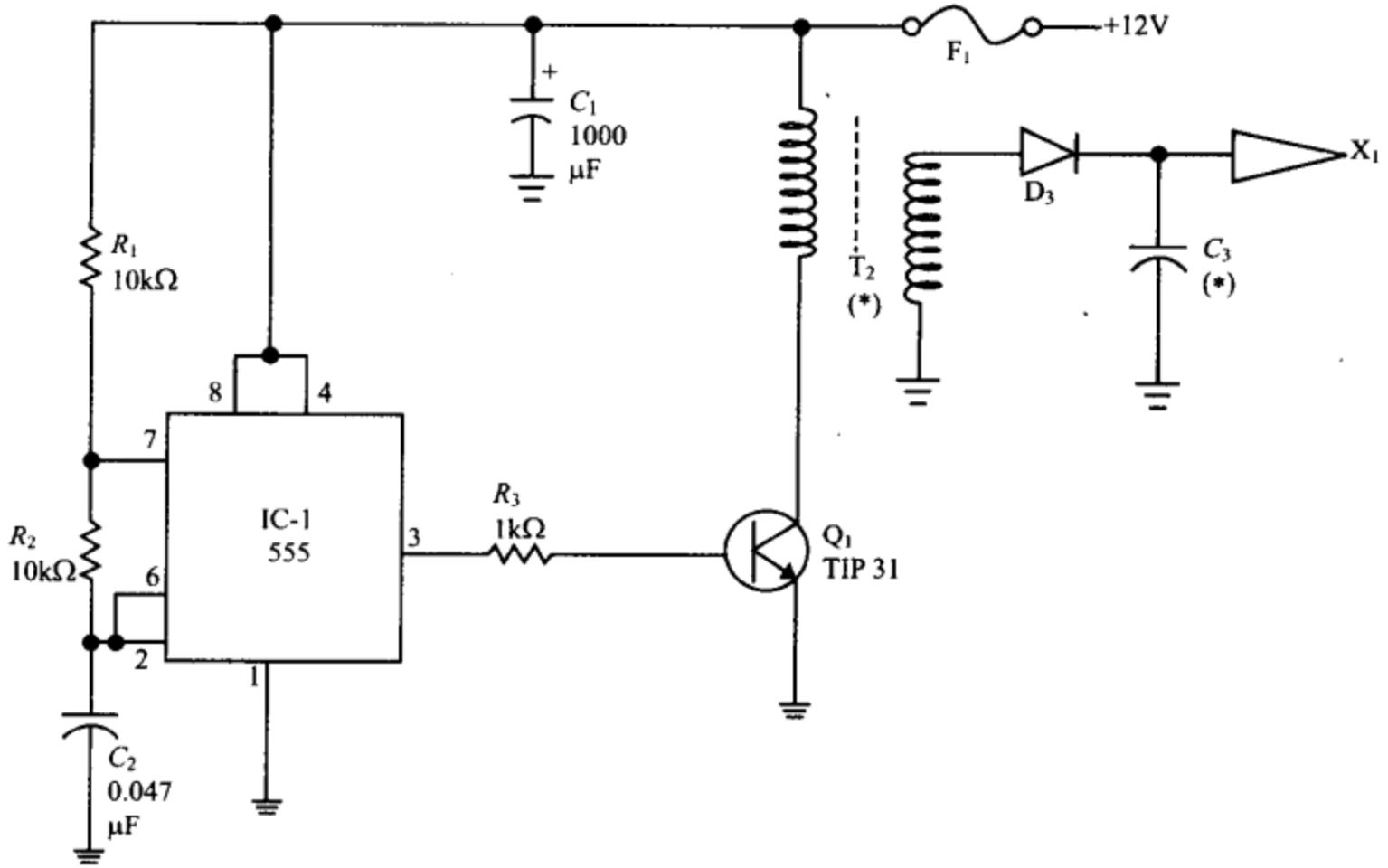


图 3.219 电源供电的低压电路

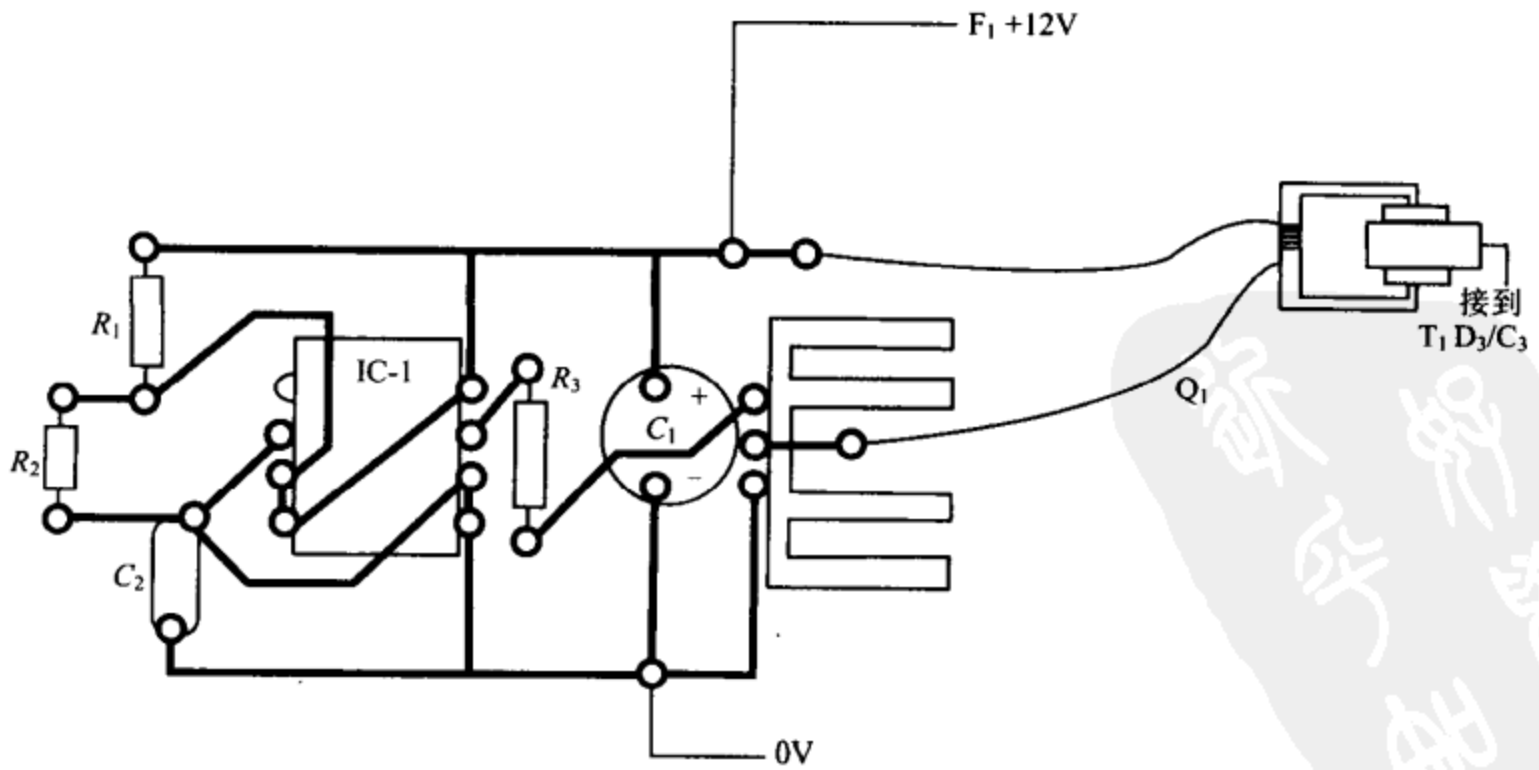


图 3.220 PCB 图

如果用电池供电,电源部分可以去掉。

$T_2$  可以是废弃的旧电视机中找到的回扫变压器,或者任意使用 TRIAC 电路的设备。你必须找到一个回扫变压器和一个裸露的铁氧体铁芯用来绕制初级线圈。此初级线圈用 18~22AWG 的导线绕上 7~15 匝制成。可以使用汽车点火线圈或者其他任何类型的。

$C_3$  是一个玻璃电容器,与前面使用的一样。

元器件清单分两部分。只有用交流电供电时,才能用到第二部分元器件。

表 3.57 音频放大器元器件清单

元器件	说明
振荡器及功率级 IC-1	555 集成电路芯片 定时器
$D_3$	高压整流器(20kV)
$Q_1$	TIP31 NPN 硅晶体管
$R_1, R_2$	10k $\Omega$ 1/8W 电阻,棕、黑、橙
$R_3$	1k $\Omega$ 1/8W 电阻,棕、黑、红
$C_1$	1000 $\mu$ F 25V 电解电容器
$C_2$	0.047 $\mu$ F 聚酯或陶瓷电容器
$C_3$	玻璃电容器(参看正文)
$X_1$	电极(与在基本电路中使用的相同)
$F_1$	1A 保险丝
$T_2$	回扫变压器或者点火线圈(参看正文)
其他元器件	PCB、保险丝支架、 $Q_1$ 的散热片、导线、焊料、塑料盒等
从交流电中接入电源用到的元器件	
$D_1, D_2, D_3, D_4$	1N4002 或者等效的硅整流二极管
$T_1$	变压器,其初级线圈取决于电源供能,次级线圈为 12V 1A
$S_1$	开关
$F_1$	1A 保险丝
其他元器件	电源线、保险丝支架、导线、焊料等

## 项目21 触觉型助听器

触觉型助听器可以帮助深度耳聋患者与听觉正常者之间进行交流。基本思路是把声音转化为可以被皮肤或其他感觉器官感觉到的机械振荡或者电刺激。

普通麦克风可以用来接收声音,经过放大后再传到换能器上。当然,其他声源如录音机、计算机等也可以使用。

两种换能器可以使用。一种是能将声音转化为机械振荡的振荡器,它能被人的手指或其他身体部分感受到。研究表明,鉴于对振荡器的敏感程度,腹部是安放电极的最佳部位。

另一种换能器就是高电压转换器,它能在电极端产生人能感受到的电刺激。电极可以安放到身体的任意部位。图 3.221 是这两种方式的示意图。

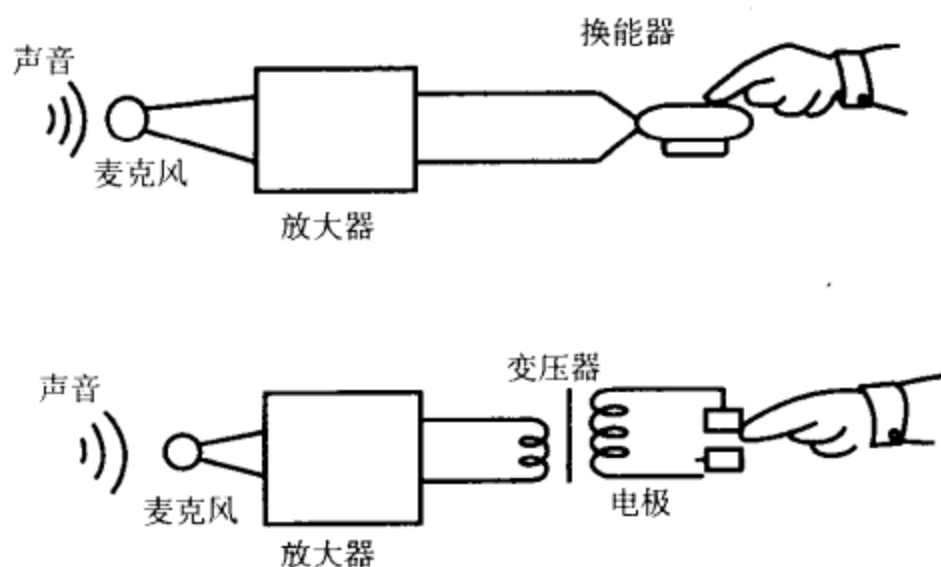


图 3.221 通过电刺激和机械振荡产生的听觉

触觉式助听器最简单的制作方法就是使用一个麦克风、一个放大器和一个换能器,这也就是我们将要介绍的。

当然,耳聋患者和听觉正常者之间交流方式还可以作出很多的改进。利用信号处理器和数-模转换器来将信号变换为触觉更容易识别的形式正在进行当中。包括滤波、将声谱分成频带、甚至变换波形。这是一个很有趣的仿生研究领域。

那些听觉正常的仿生学爱好者也可以通过这个项目来达到其他的目的,下面段落中将作介绍。

### ■ 仿生学项目

这里描述的电路只是其中的一部分。你可以改变一下思路,运用其他感觉甚至将声音变换为其他信号,比如光或者电击。下面给出一些其他的应用场合:

- 仿生学爱好者可以利用这一电路和朋友们用振荡这一种看不见的语言进行交流。
- 在音乐的重现中可以加入不同的感觉,这样你就可以通过腹部(或你希望的其他部位)来听音乐。
- 帮助失聪的人听和学说话(很多聋子也是哑巴,由于不能听,他们学不会

说)。

图 3.222 所示是利用振荡进行声音交流的有趣应用。但在实际运用中并不推荐。

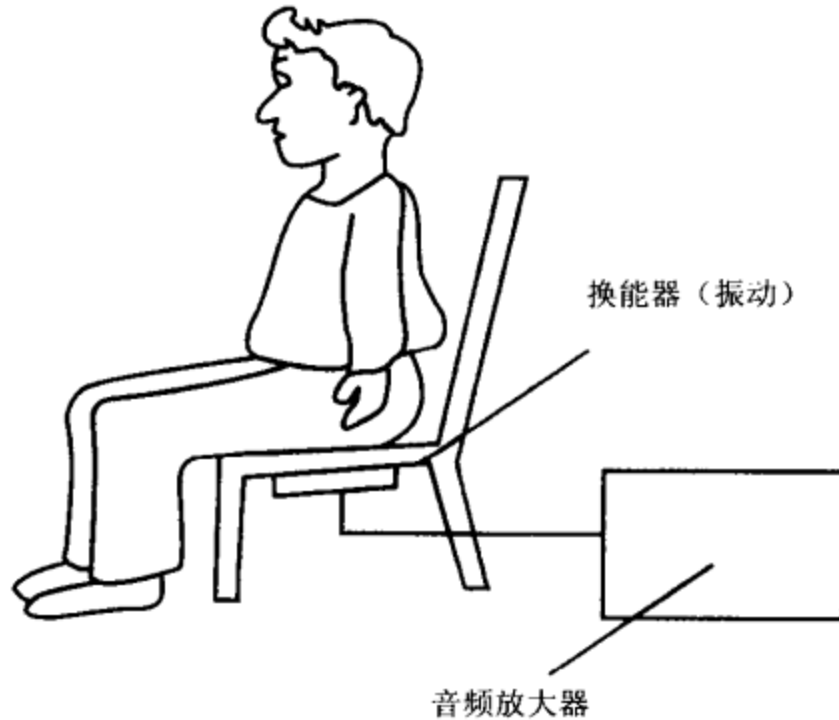


图 3.222 用产生机械振动的声源与人交互

此电路可用来对其他生物进行实验,例如植物、动物和昆虫等。

#### ■ 电路工作原理

该设计方案的电子部分非常简单。只需要一个驻极体麦克风、一个放大器和一个换能器。

放大器可以跟在项目 14“仿生耳”的第一个方案中使用的放大器一样,即使用集成电路芯片 LM386 的单元。这种放大器很容易找到,且在使用时有足够的增益。

换能器可以是任何种类的驻极体麦克风。这种麦克风内有一个 FET,使灵敏度提高。换能器是唯一必须小心安装的元件,大家必须注意到这一点。



图 3.223 作为换能器的扬声器

装的部位加上一个振幅调整器用来控制电击的程度。

#### ■ 搭建方法

图 3.224 是触觉助听器的原理图。

为把声音转化成机械振动,使用一个小型扬声器就可达到目的。如图 3.223 所示,用手触摸振动膜就能感受到振动。

另一种换能器是一个能将放大器输出的音频信号转换成高电压的变压器。将其与电极连接,用手指或其他部位触摸电极就会感到轻微的电击。在电极安

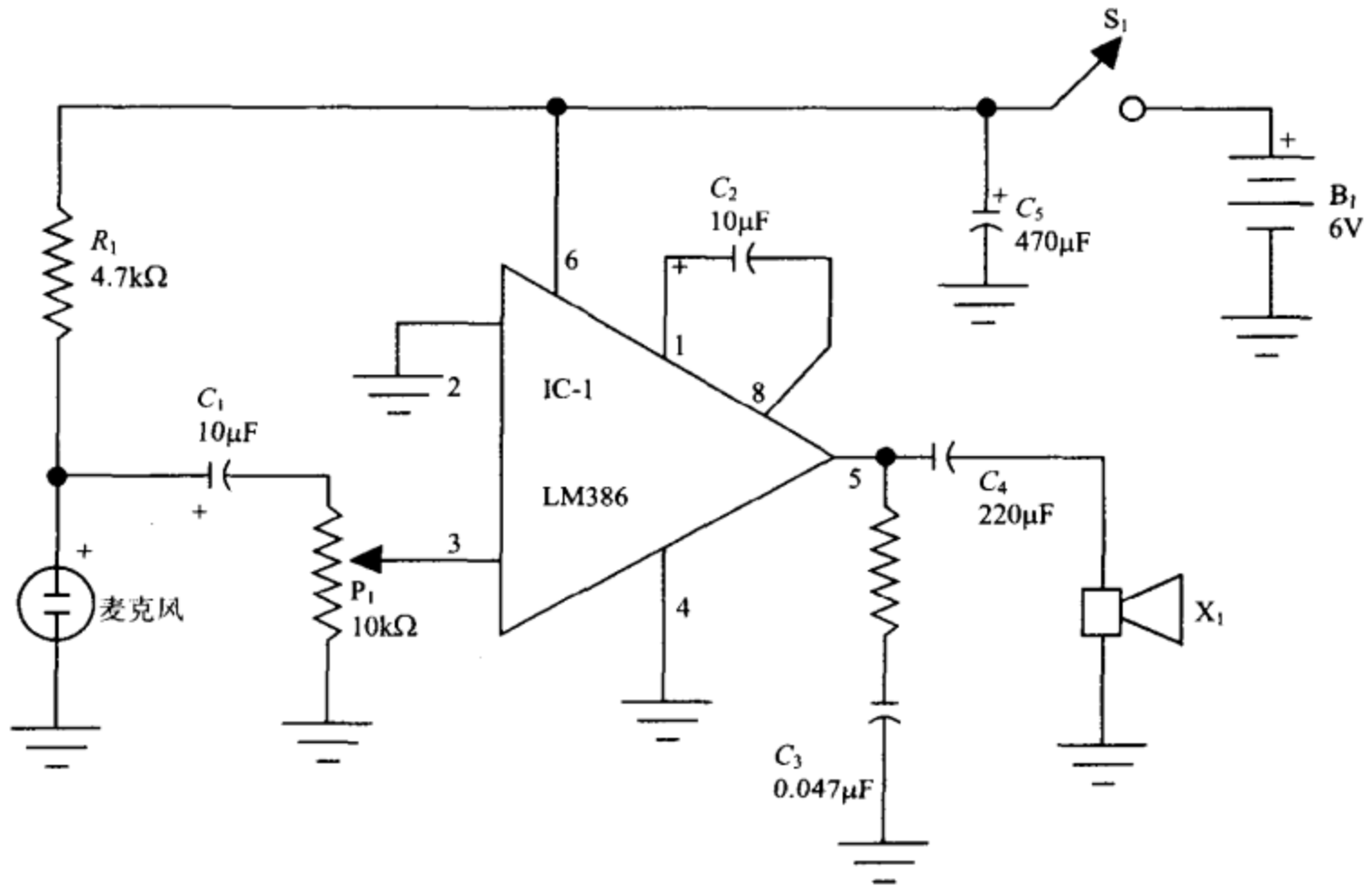


图 3.224 触觉助听器的原理图

电路可以用在项目“电鱼”和“仿生耳”中讲过的 PCB。麦克风和换能器的连接方式如图 3.225 所示。

电源由 4 节装在同一电池座的 5 号电池提供。搭建电路时要注意观察极性元件的位置,如电解电容器、IC、电源等。注意,驻极体麦克风也属于极性元件。

如果元件与电路部分连接的线较长,就必须使用屏蔽电缆。屏蔽层必须与电路的零电位线或地相接。

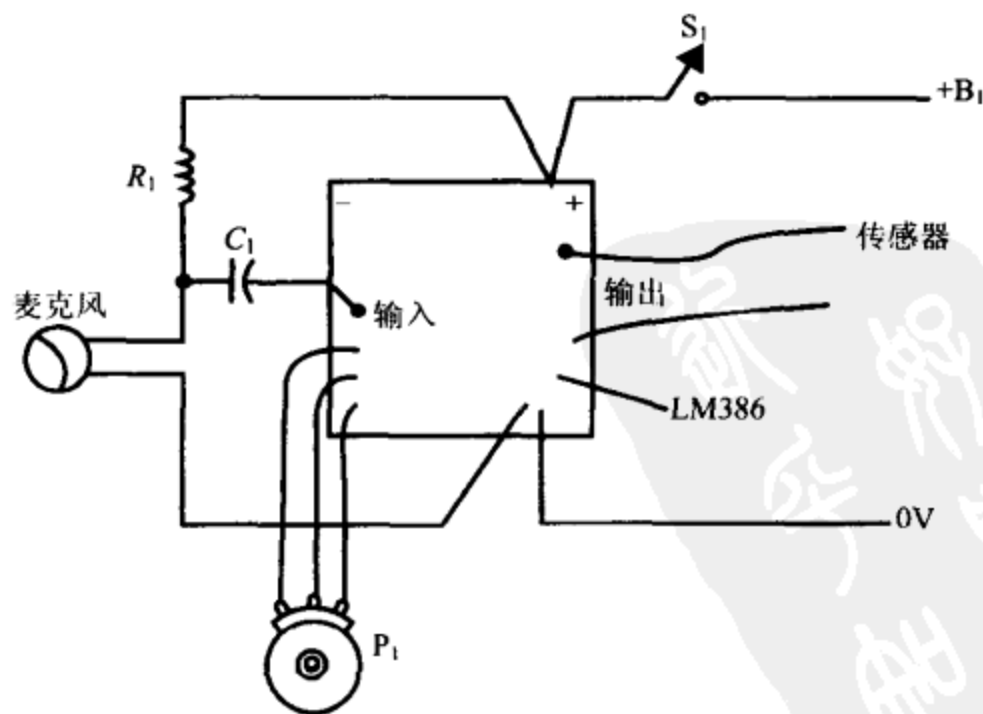


图 3.225 PCB 的连接

### ■ 换能器

最简单的换能器就是一个放在基座上的小型塑料扬声器,并且你必须触摸扬声器的锥形区域才能感受到振动。另外一种换能器的结构如图 3.226 所示。

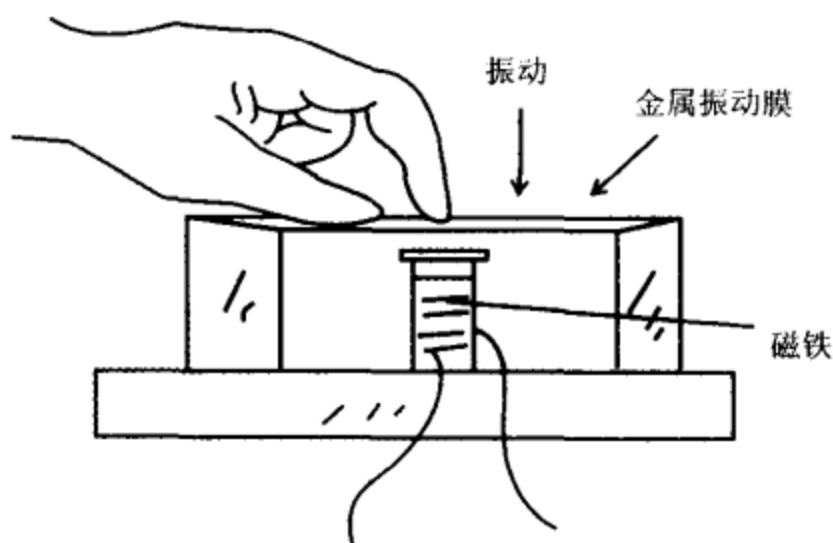


图 3.226 振动换能器

线圈是用 28~32AWG 线绕小螺钉 200~500 圈制作而成。振动膜是由铁、钢或其他磁性金属片制成的。

为将声音信号转换成机械振动,膜片与磁铁之间的距离应尽可能缩短,直到手指可以感受到膜片的机械振动为止。

从本项目设计一开始我们就已提到,换能器和小型喇叭也可以用来把振动传递给身体其他部位。

电换能器实际是一个变压器,其初级线圈电压是 117V 或更高,次级线圈电压为 6V,电流在 150~300mA 之间。

如图 3.227 所示,实验者必须把手指放在电极上并调节  $P_2$  直到把从麦克风收集的声音转化的电击调到合适。

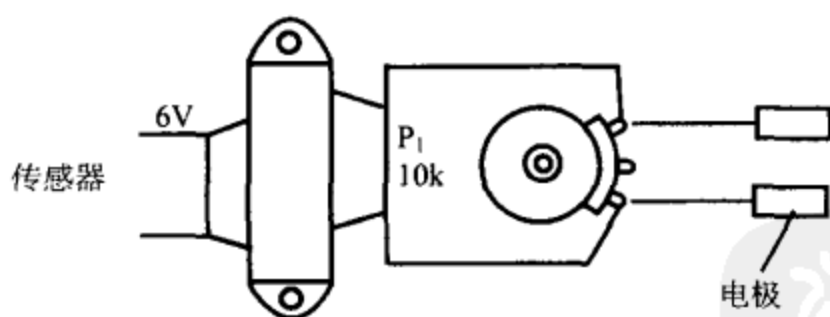


图 3.227 电换能器

### ■ 测试与使用

把电池放在电池盒内,接通电源,关闭  $S_1$ , 打开  $P_1$  和  $P_2$ 。把手指放在换能器上,当对着麦克风说话时手指就会感觉到振动。



表 3.58 元器件清单

元器件	说 明
IC-1	LM386(任意尾标的)集成电路芯片
P <sub>1</sub> ,P <sub>2</sub>	10kΩ 对数电位计
R <sub>1</sub>	4.7kΩ 1/8W 电阻,黄,紫,红
R <sub>2</sub>	10Ω 1/8W 电阻 棕,黑,黑
C <sub>1</sub> ,C <sub>2</sub>	10 μF 12V 电容器
C <sub>3</sub>	0.047μF 陶瓷或聚酯电容器
C <sub>4</sub>	220μF 12V 电解电容器
C <sub>5</sub>	470μF 12V 电解电容器
X <sub>1</sub>	换能器(参阅正文)
S <sub>1</sub>	开关
B <sub>1</sub>	4 节 6V 5 号电池
其他元器件	PCB,换能器材料,电池座,塑料盒,导线,焊料等

### ■ 其他电路及创意

原则上任何普通的音频放大器都能把由麦克风感受到的振动传递给换能器。这里将介绍两种其他的创意。

#### 1. 使用普通音频放大器的电路

图 3.228 所示是如何用普通音频放大器把声音转化为振动或电信号的。输出功率在 1~50W 的音频放大器都可以使用。

当使用一个高电压变压器时,即使是仿生学爱好者也要注意不要使高功率放大器(功率高于 10W)提供的全部功率。这样有可能导致严重电击或者把变压器烧坏。缓慢地调节音量使对生物体的刺激比较舒适。

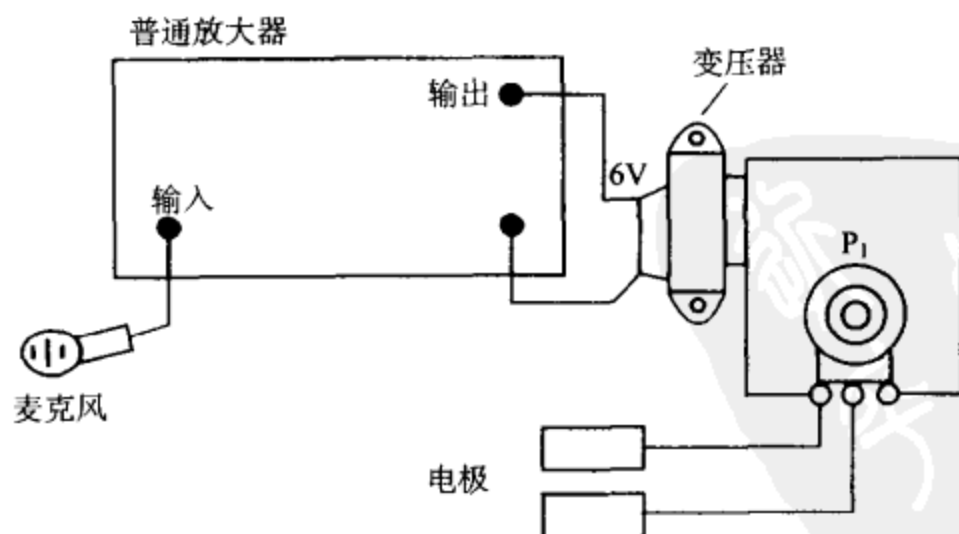


图 3.228 使用普通音频放大器

## 2. 使用 TOA7052 的其他电路

图 3.229 所示是使用另一种集成电路芯片作为实验中音频放大器的电路。

这个放大器可以为一个小型扬声器或换能器提供高达 100mW 的功率,而对生物体产生振动或电击。

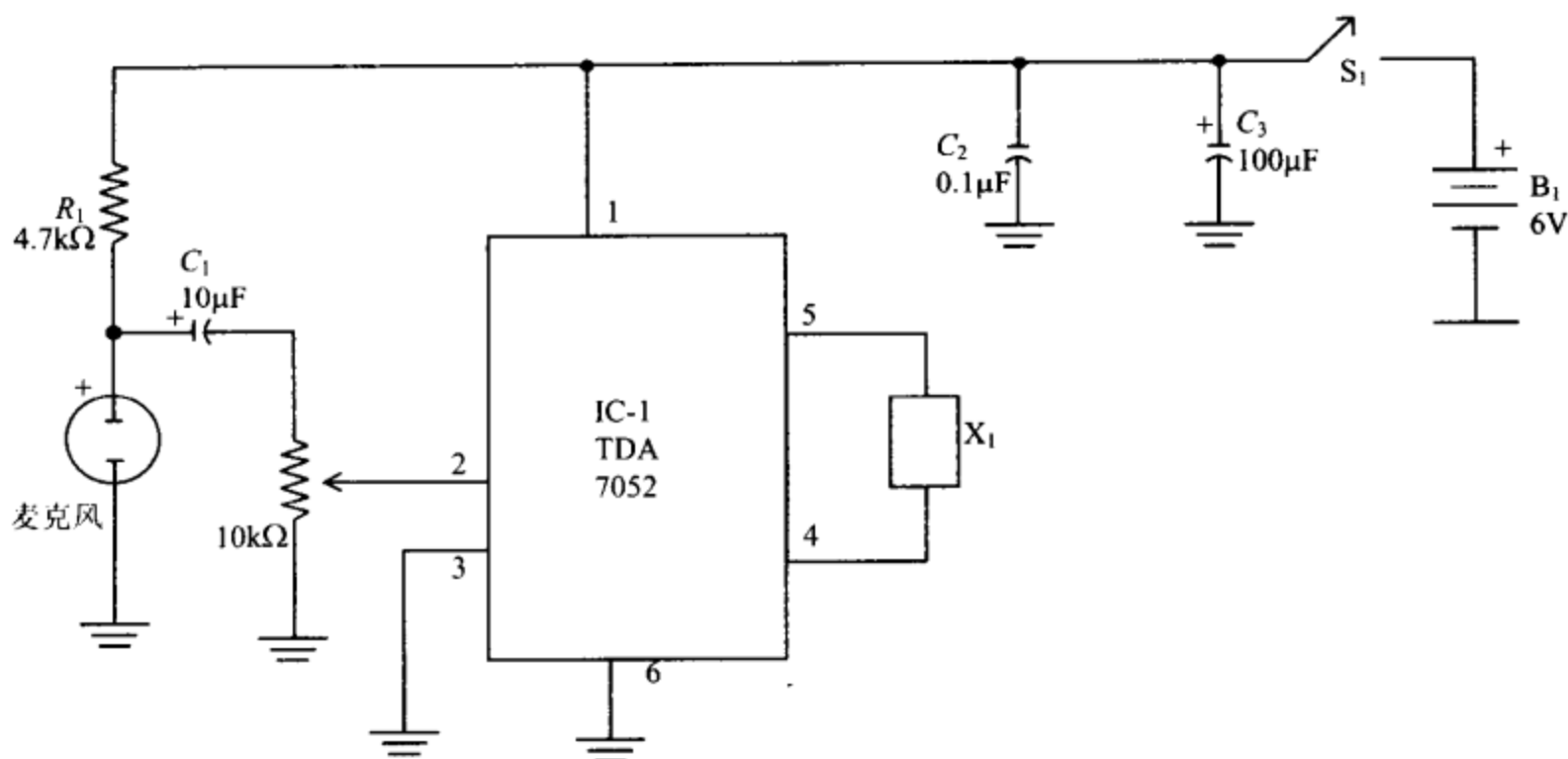


图 3.229 使用 TDA7052

## 3. 项目的设计改进

聋人和盲人的触觉都很敏感,用以弥补他们的生理缺陷。实验可以揭示聋人能感受到声音的存在。

该实验要用到滤波器、音调控制器或频率转换器。当利用触摸振动来研制交流系统时,好奇的仿生学爱好者会发现很多有趣的事情。

# 项目22 万用表在仿生实验中的使用

即使是廉价的模拟或数字万用表,其灵敏度也足以检测到生物体表层(尤其是人)的电阻变化,甚至是生物体所处介质或环境的变化。

本章将介绍一些利用普通万用表检测生物活动的应用实例和实验。把生物体作为一个活的传感器,你可以用这种万用表来监控环境的变化。其他的应用包括多种生物生活习性的研究、人的思想压力或状态的检测等。

本节要特别指出的是,即便是一个便宜的万用表也可以有很多有趣的应用,而不需要很难找到的或很贵的元件。

### ■ 项目介绍

许多生物活性都会引起电的变化。这些变化包括电阻的改变、电势差的产生、

电信号或电流的产生(例如发电鱼)及其他类似的变化。一个普通万用表足以检测到这些电的变化强度。所谓的普通万用表就是能在超市里买到,家里或汽车上常用的那种,如图 3.230 所示。

数字式万用表价格较贵,但也可用于这种实验。图 3.231 是数字万用表,它与模拟式万用表有相同的功用。

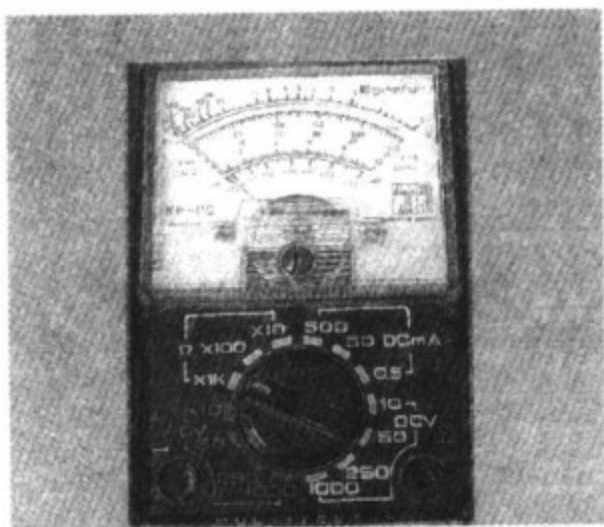


图 3.230 廉价的普通模拟万用表

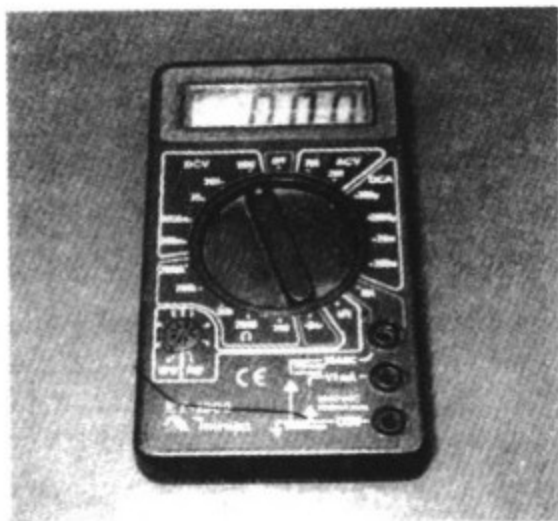


图 3.231 廉价的多用途数字万用表

使用任何一种万用表,我们都可以检测到生物体的电阻变化或低电压的产生。从微小的电压变化到很大范围的电阻变化都能用这种表测出。

廉价万用表的灵敏度可以通过增加外部元件来提高,例如用一个晶体管作为放大器。这里研究的另外一种可行方法的是给万用表加上一个传感器,并利用待测试的生物体将万用表与传感器连接起来。以便把它们都连接在研究的生物表层。LDR、晶体管、压力传感器都能连接在万用表上作为换能器。它们可以把一些物理量,例如光强、颜色、温度或压力转化为万用表能够测量的电流。

为了测量一些其他生物现象,也可以给万用表加上电路用来转换这些物理量和提高灵敏度。运算放大器甚至晶体管都可胜任这种工作,在稍后的内容将对此作介绍。

### ■ 仿生学实验

使用万用表和一些附件作为项目的电子部分,生物部分可以是任何生物体或生物系统:

- 微生物的活性。
- 感受生命的存在。
- 观察心跳。
- 呼吸检测。
- 温度传感器。

### ■ 万用表及其特性

普通的模拟万用表可以检测到 0.1V 的电压和大范围的电阻值。灵敏度为

5000Ω/V 或 10 000Ω/V 的万用表也能用,就是价格很高。

灵敏度 Ω/V 表明了由于万用表与实验物连接时而引入的电阻值的大小。例如,当使用一个灵敏度为 1000Ω/V,量程为 1~1.5V 的万用表时,就是一个 1500Ω 的电阻并入了电路,如图 3.232 所示。

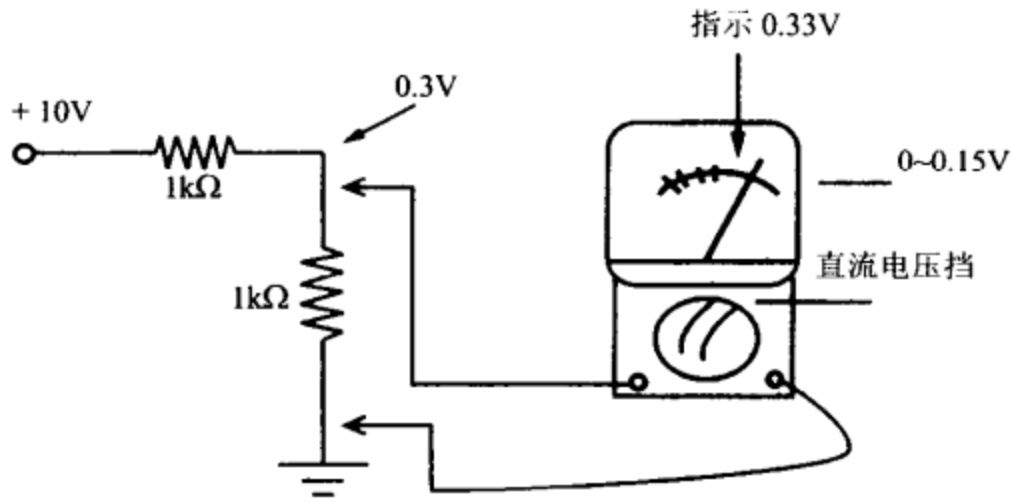


图 3.232 万用表的影响

电阻消耗电路中的电流,从而引起电压的下降或实际测量电压值的变化。耗用的电流越少,造成的电压值变化就越小,万用表的性能就越好。

由于生物电流很低,即生物体内部阻抗很高,一般情况下普通万用表的使用将会改变实际测试的电压值。因此万用表的灵敏度越高,越适于生物实验。不过这种不足并不妨碍廉价的万用表在许多实验中的应用。本章将介绍如何提高万用表灵敏度,以及如何在低灵敏度不影响实验和应用的场合下使用万用表。

另一个需要说明的是,除了电压挡之外,万用表还可以测量电阻。生物体的电阻值变化可能预示着一些事情的发生。为测量电阻,万用表将在被测量电阻的两端施加电压,并测量通过它的电流,从而计算出电阻值,如图 3.233 所示。

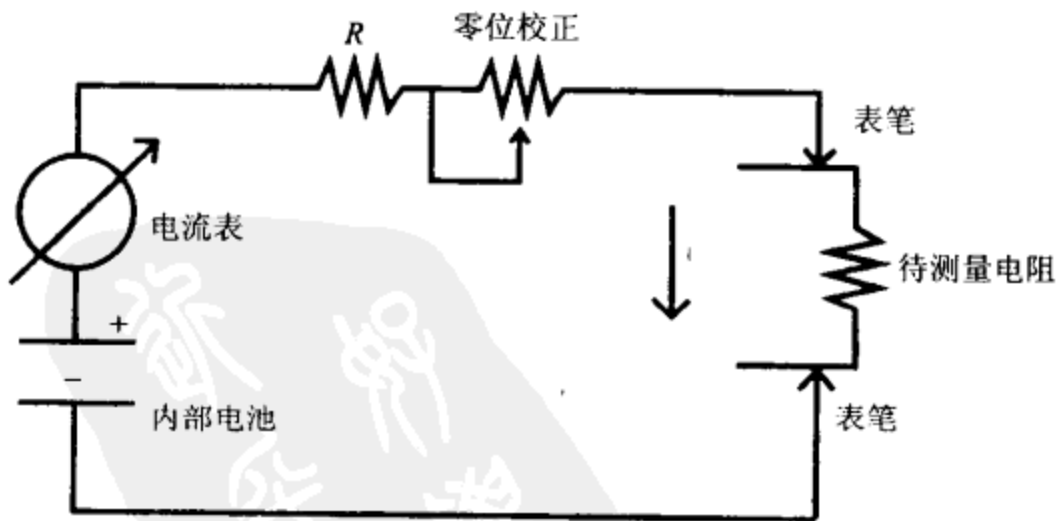


图 3.233 测量电阻

当电流流入生物体时,在实验物的细胞内会引起电流效应或者化学反应,从而改变实验物。如果电流作用时间过长,结果会导致实验物的死亡。

一般来讲,数字万用表比模拟万用表要灵敏。数字万用表有很高的输入阻抗(22M $\Omega$ ),这就意味着它对电路的影响很小或没有。

模拟万用表不能测试电流或电压的快速变化,原因是在模拟方式中获取数据的采样速度不够快。这意味着在本节中描述的某些实验不能用模拟万用表来操作。

总的来说,数字万用表有高阻抗,引入的测量电压很低;而模拟万用表是低内阻的仪器,会给电压的测量带来误差。

## ■ 实验项目

以下几个项目都使用廉价的普通万用表。在某些情况下(方案中已指出),我们推荐使用更灵敏的万用表,如数字万用表。

该项目或实验的精度除依赖于万用表外,还包括生物样品、你的能力及现场的不可预见性等因素。我在此谨慎地告诉大家,当使用有害的材料或物质时,一定要保证使皮肤和眼睛与这些物质隔离。

### 1. 微生物的生物活性

可以使用一个万用表和一个 LDR 就可方便的测试出微生物培养的透明度变化,如图 3.234 所示。

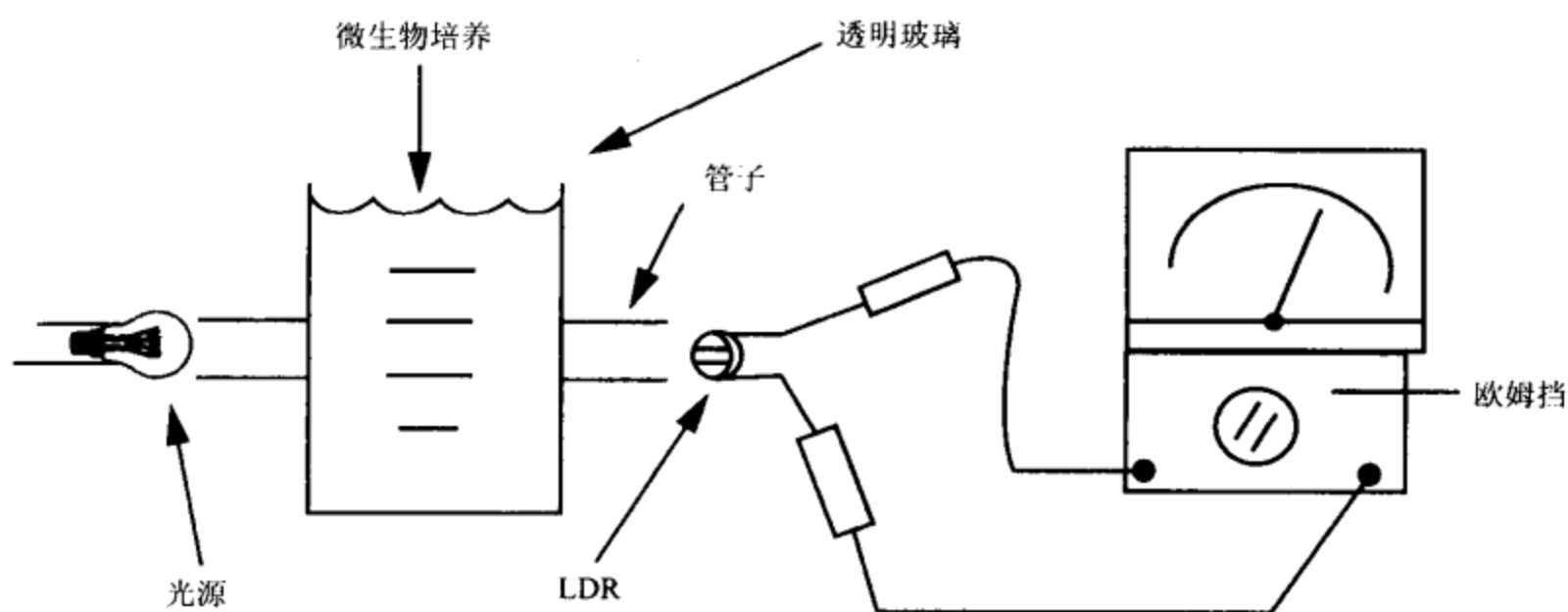


图 3.234 用万用表作为生物传感器

该原理曾用在第一次火星探险中。微生物的食料放在液体里面,如果火星上有生命的话,这些微生物会吸取养分并自我繁殖,从而改变其透明度。一个传感器和一个光源被用来测量这些变化并把信息发送回地球。

根据光的强度将万用表调到电阻挡。你必须精心试验以找到合适的光的强度范围。

其他涉及测试透明度和颜色变化的实验也可以用相同的电路结构。滤光器和偏振光也可用来进行有关测试有机物质相关习性的实验。

### 2. 心跳观察

将 LDR 和光源按照如图 3.235 所示搭建的系统就可以用来监控心跳啦。

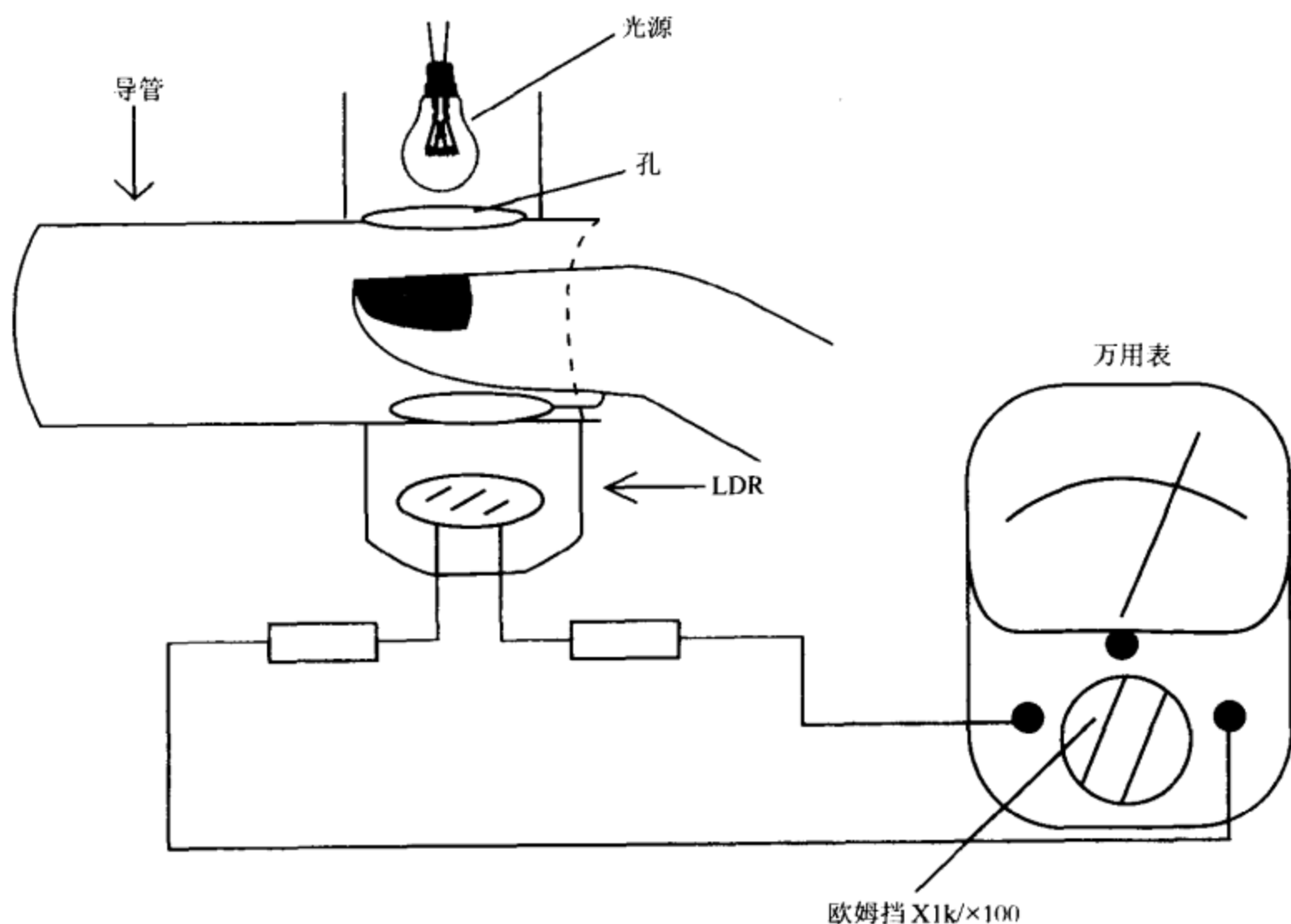


图 3.235 监控心跳

心脏就像一个泵,推动血液沿着循环系统流动。在心脏有节律的收缩过程中,血液呈波动状在血管中流动,压力高的部位与其他地方相比其透明度会发生变化。

因此,利用如上图所示的光源和光传感器就可以检测到由于血液波动带来的透明度的变化。由万用表检测到的微小振动表明那些波动是伴随着心跳产生的。该项目很容易实现,原因是没有外部光源干扰传感器,而且根据光源已经将万用表的理想量程调整好了。

### 3. 呼吸探测器

进入我们肺的空气是冷的,而我们呼出的气体是热的。我们可以通过测定吸入和呼出空气的温度差来检查人的呼吸。

传感器是一个反向阻抗依赖于温度变化的普通二极管。因为电流太小不能用万用表测出,由二极管制成的传感器必须连接一个用来放大的晶体管。

完整的热空气探测器电路如图 3.236 所示。万用表的量程调到最大( $\Omega \times 1k$  或  $\Omega \times 10k$ )。

测试与使用非常简单,只需对着传感器呼吸,万用表会显示电阻的快速下降。几秒钟之后,电阻会回升因为传感器又变回原来的温度。

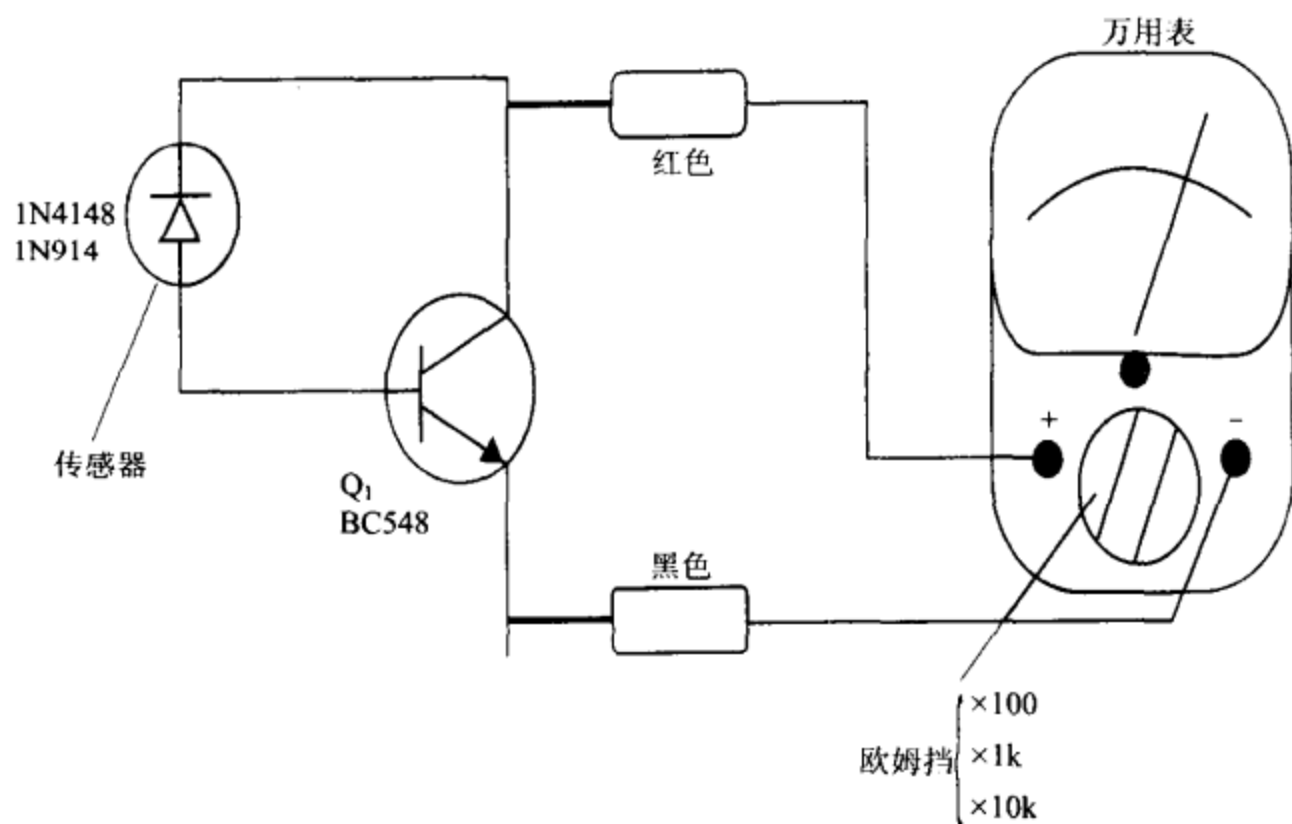


图 3.236 用二极管做传感器的呼吸探测器

作为一个温度传感器,该装置可以用来检测生物活性。发酵、器官分解及其他与生物活性有关的现象都会伴随着温度的变化。带有温度传感器的万用表(前面已介绍过)就能探测这些变化。

使用万用表时,特别注意的是传感器应远离指示器(即万用表的指针)。应该用长达 100m 的线来连接万用表和传感器。

但是,数字万用表并不适用这里介绍的一些实验,因为它不能给传感器提供足够大的电流。数字万用表的阻抗很高,以至于有时候被测值不能被迅速检测出来,达不到应用的要求。

## 项目23 仿生视觉

我们前面提到的仿生人能够暗中观察物体甚至看透墙壁。仪器能够在黑暗中看到物体并不稀奇,但是人直到发现 X 射线后才能观察到墙壁后面的东西。

这里提出了一个有趣的设想,即通过某种仪器将光转化为声音,从而使盲人能感觉到他们的周围环境。就像一个简单的眼睛(非常简单的、单像素视觉),该项目由于采用了四个传感器(类似于昆虫的眼睛是由多个小平面镜体组成的),因此会产生复杂的声音。这里我们使用了光传感器,每个作为一个像点或像素传感器。

昆虫看到像点数取决于它眼睛上的小眼面数,如图 3.237 所示。普通昆虫的眼睛一般有 50~5000 个小眼面,但与人或一台有数百万像素分辨率的电荷耦合元件(CCD:Charge Couple Device)普通照相机相比,它们的分辨能力就很低了。



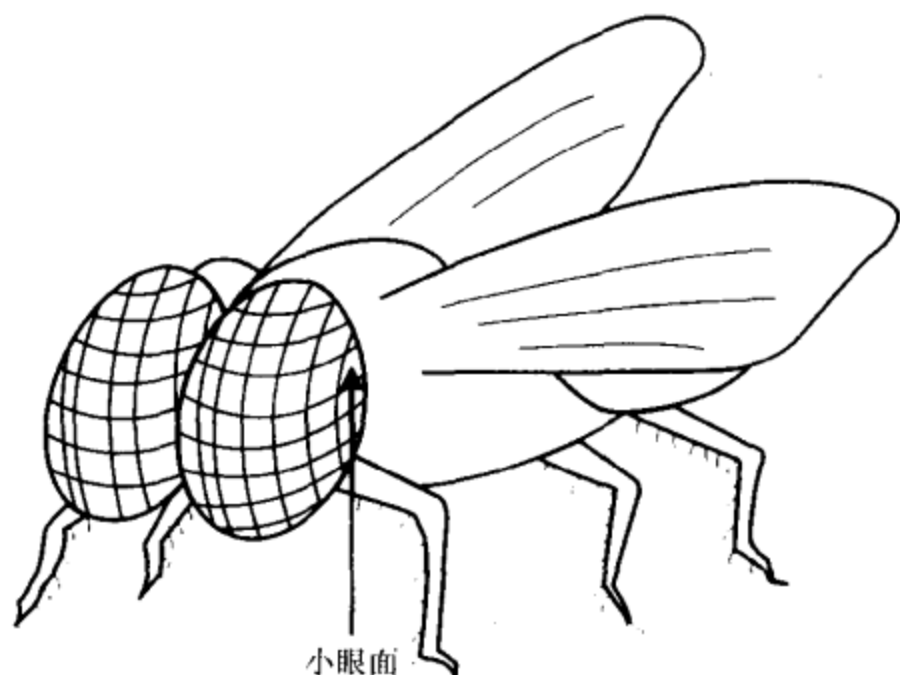


图 3.237 昆虫眼睛的小眼面

取代自然视觉,开发仿生视觉的出发点就是将图像传感器(眼睛)与视觉神经相连或将图像信息传送给大脑,从而在大脑中实现图像的再现。这样,就可以利用同视觉神经相连的电子视觉传感器来取代盲人的眼睛。

本项目设计思想非常简单。即通过一个四像素的传感器采集光强,并把每个小眼面收集的光转化为声音,如图 3.238。

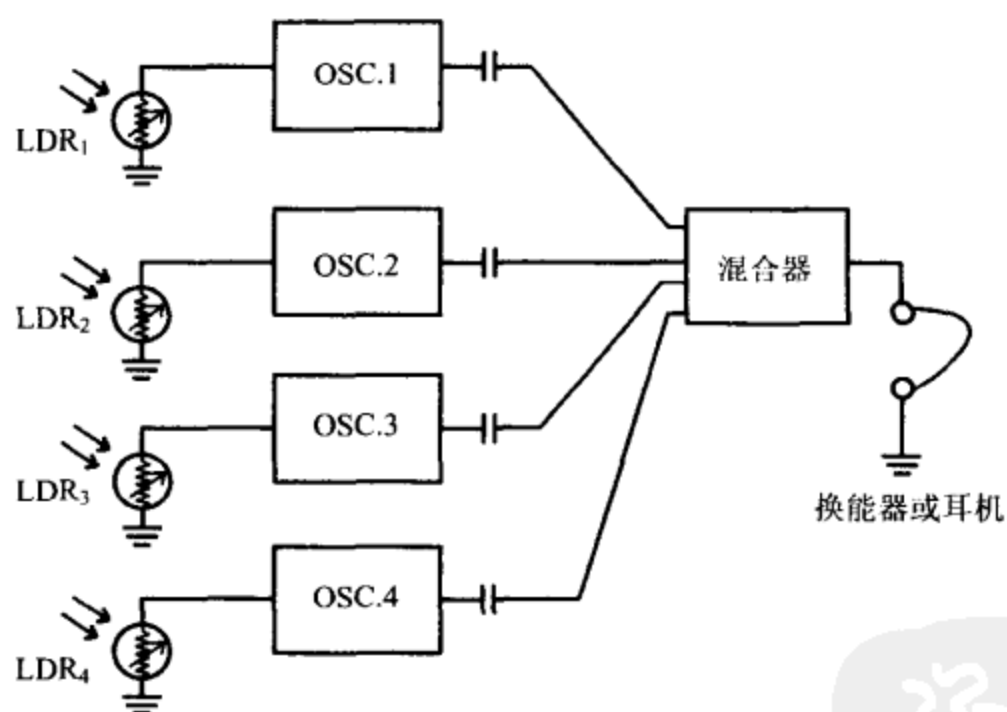


图 3.238 四面仿生眼

当然,你可以随意增加小眼面的数量,甚至用一个 CCD 图像传感器或光学元件来制作一个高分辨率装置,例如图像扫描仪。

每个小眼面产生的信号被合并成一个通过小型扬声器或耳机输出的声音。该装置可放在人的手里,它可将探索到的周围环境转换成声音图像。经过训练,人就能够从音调的变化感知到环境的变化,如门或窗是否打开、是否存在移动的物体等。

### ■ 仿生学应用

本项目是实验性的,且非常有趣。你可以用它来设计一个游戏,让一个蒙上眼的的朋友使用仿生眼去寻找其他人,如图 3.239。



图 3.239 用仿生眼做游戏

其他应用包括:

- 用仿生眼做实验。
- 设计一个简单的与计算机连接的视觉系统。
- 设计一个能识别外形的警报装置。

### ■ 电路工作原理

传感器由可控制振荡器频率的 LDR 组成。4093 集成电路芯片的四个“与非门”作为四个独立的振荡器,这四个振荡器由四个 LDR 控制。

每个振荡器的基本频率由相应的电容器控制。每个振荡器的输出信号混合后作用在一个高阻抗的换能器上。

由于振荡器耗用电流很低,且换能器也不需要太大的功率,因此电路功率消耗很小。4 节 5 号电池就可以为电路供电数星期甚至数月,中间不需要更换。

传感器(LDR)被组装在一起,形成一个多面眼。一个透镜和一个小硬纸管用  
来提高指向性和灵敏度。

■ 搭建方法

图 3.240 是仿生眼的原理图。

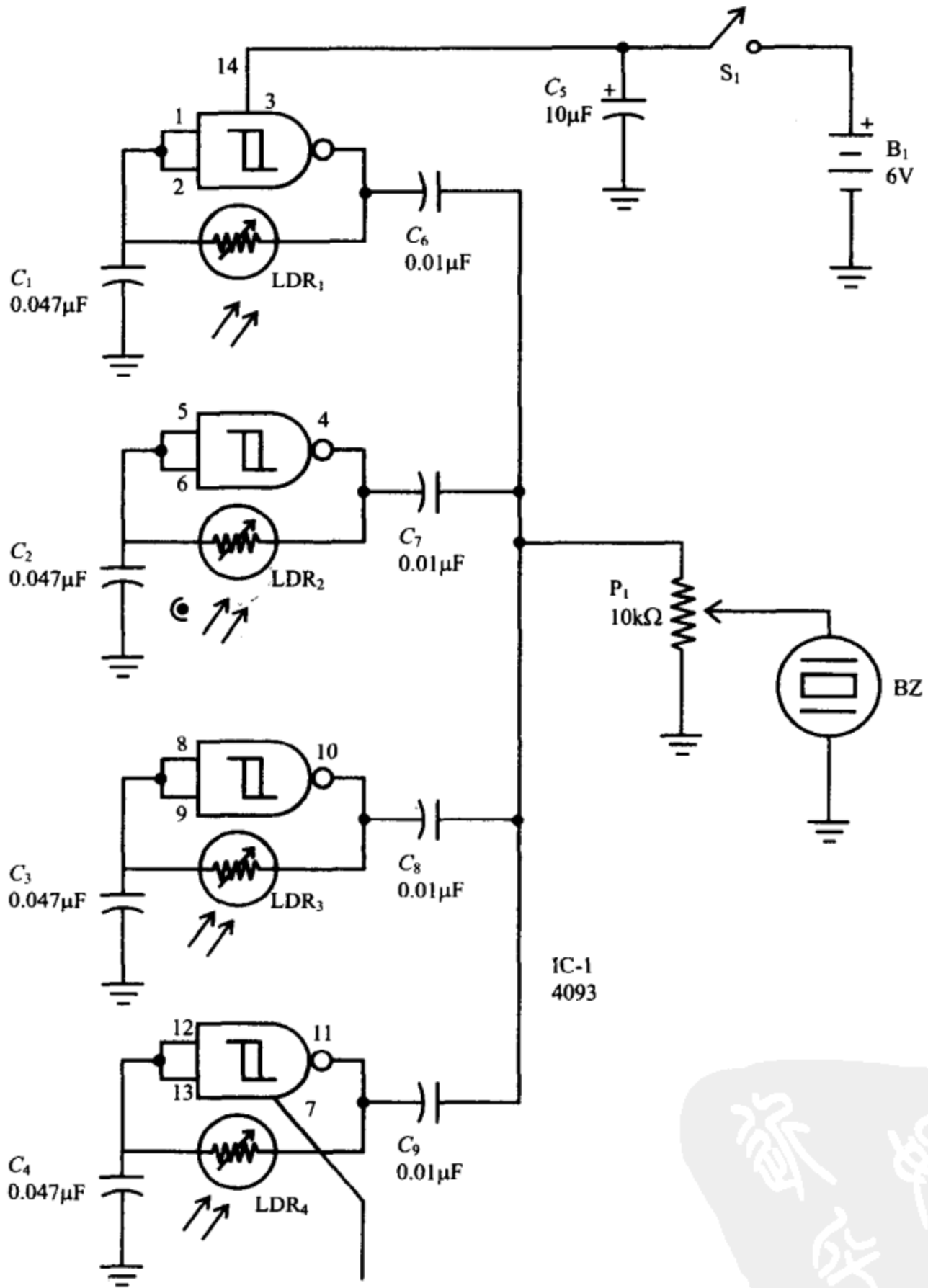


图 3.240 仿生眼原理图

该基本电路可以搭建在 PCB 或面包板上。图 3.241 是推荐的 PCB 参考电路。  
LDR 可以选用普通的、直径为 1~2.5cm 的圆形光敏电阻。体积小一点会更

好,这样可以方便地装进薄硬纸管内。搭建电路时,注意集成电路芯片及电源等极性元件的位置。

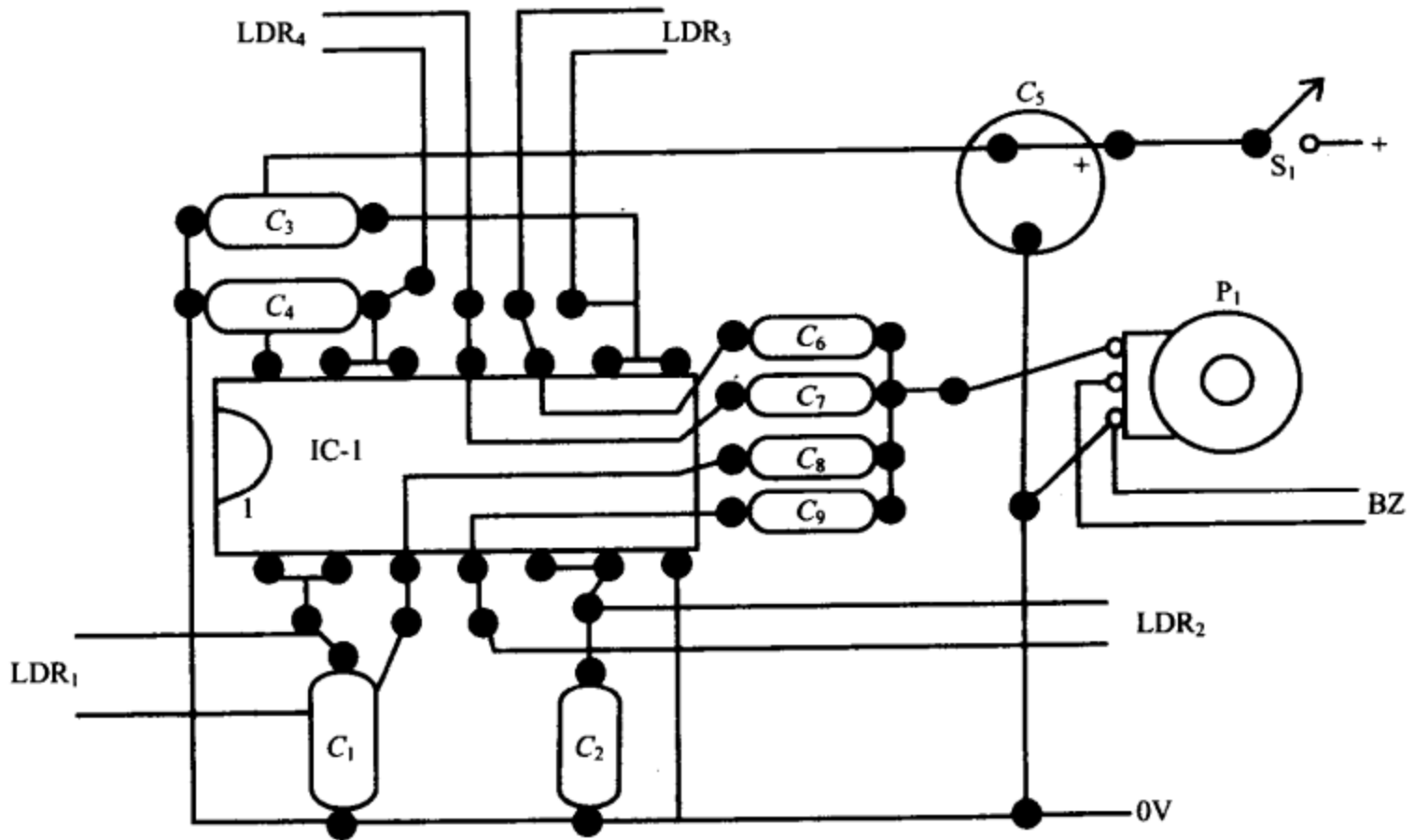


图 3.241 用于仿生眼的 PCB

该电路的电子部分装在一个塑料盒子里,传感器通过一根电缆与电路连接,如图 3.242 所示。

传感器上有四个硬纸管,如图 3.243 所示。

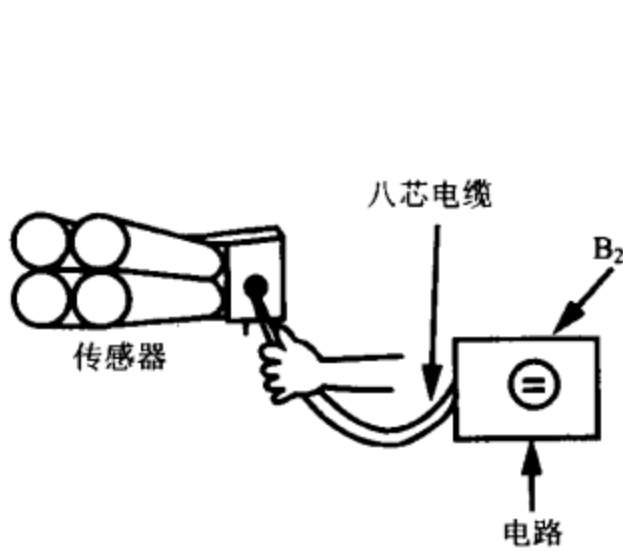


图 3.242 最终组装

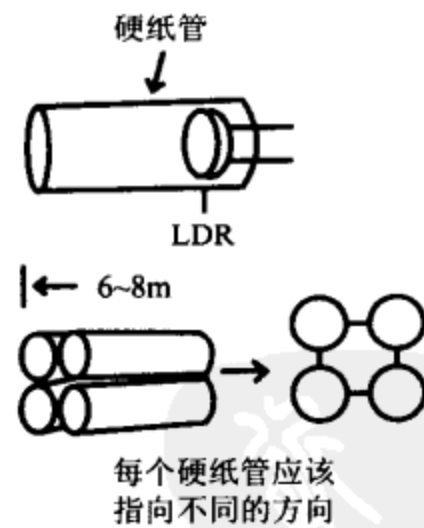


图 3.243 传感器具体安装情况

为增加灵敏度和指向性,每个传感器前可安装一个小的塑料透镜。LDR 必须恰好放置在透镜的焦点处。换能器是一个小型扬声器,如果读者喜欢的话,也可以是一个耳机。

### ■ 测试及使用

把电池放进电池座里,接通电源,关闭  $S_1$ ,打开音量控制。根据传感器收集的光线产生声音信号。移动传感器,由于周围环境发生变化,声音输出也会改变。

如果你愿意的话,可通过更换每个振荡电路的电容器来改变声音。电容值较大的电容器可以降低声音的频率。

使用也很简单。将电路采集的图像与声音联系起来,你就可以来探测周围的环境了。你可以把自己的眼睛蒙住,通过仪器产生的声音来分辨打开的门窗或人。

表 3.59 元器件清单

元器件	说明
IC-1	4093 CMOS 集成电路芯片
BZ	压电换能器
$S_1$	开关
$B_1$	一个由 4 节 5 号电池组成的电源
LDR <sub>1</sub> 或 LDR <sub>2</sub>	任何类型的 LDR(参阅正文)
$P_1$	10k $\Omega$ 的线性或对数电位计
$C_1 \sim C_4$	0.047 $\mu$ F 陶瓷或聚酯电容器
$C_5$	10 $\mu$ F 12V 电解电容器
$C_6 \sim C_9$	0.01 $\mu$ F 陶瓷或聚酯电容器
其他元器件	PCB 或面包板,塑料盒,换能器材料,电池座,导线,焊料等

### ■ 其他电路及创意

以上介绍只是该项目的最基本的版本。可以对该项目的基本方案进行许多改进,下面将给出一些改进建议。

#### 1. 驱动电话或喇叭

原设计方案是驱动高阻抗压电换能器。为驱动低阻抗负载,仿生学爱好者需要增加一个晶体管,如图 3.244 所示。

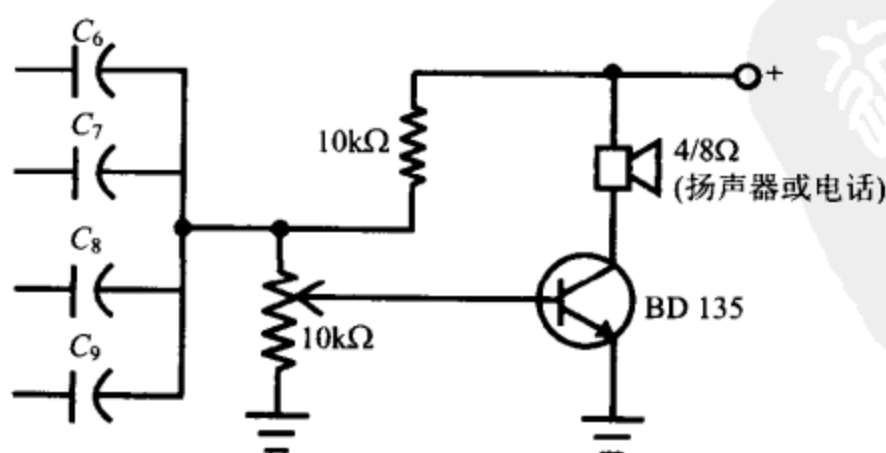


图 3.244 驱动低阻抗负载

由于低阻抗负载的存在,如耳机或扬声器,电路的能耗就会增加,相应的电池使用寿命将会缩短。

## 2. 其他光控振荡电路

图 3.245 是另一种适合仿生眼使用 555 集成电路芯片的振荡电路。

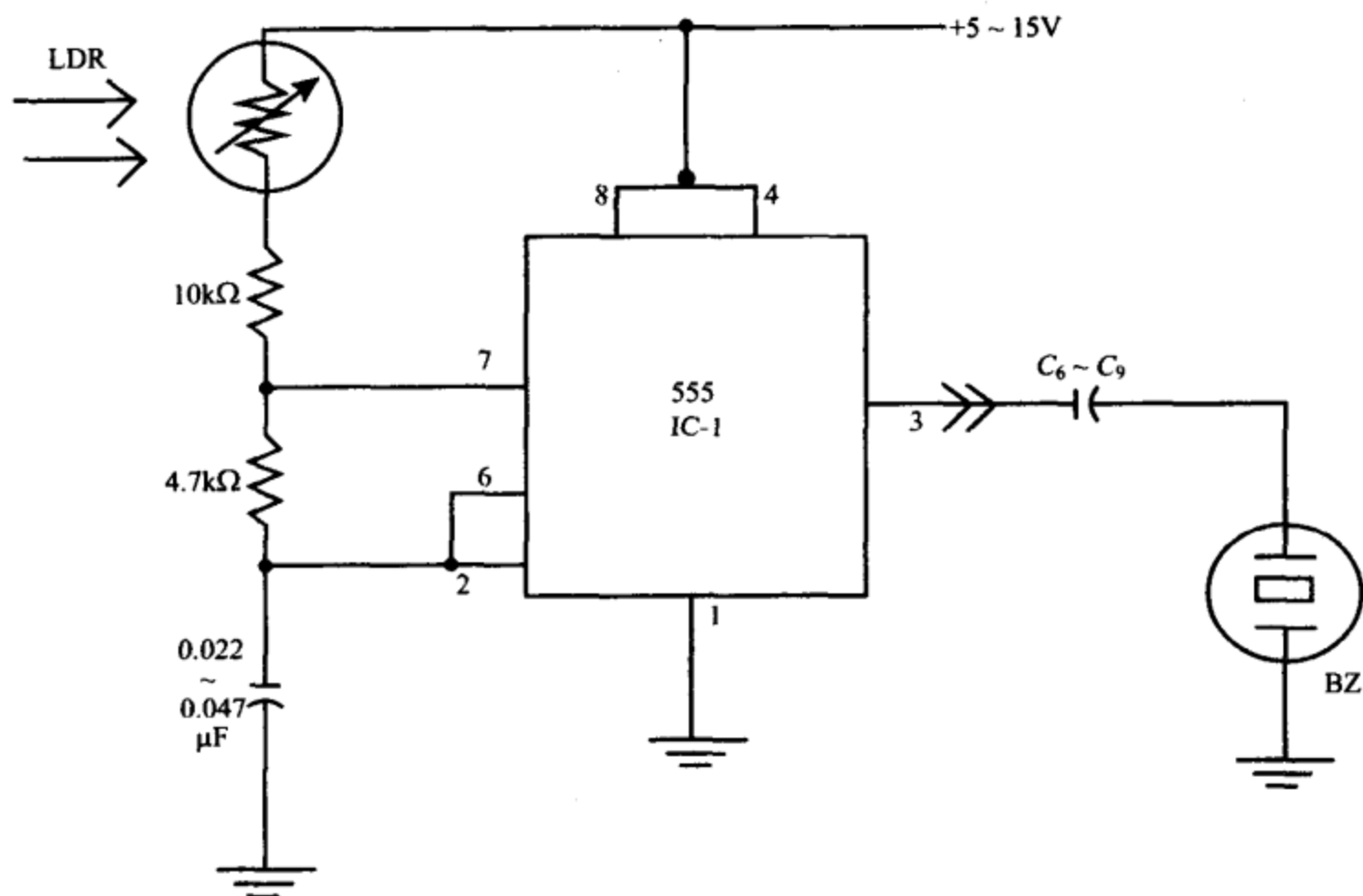


图 3.245 使用 555 IC 的光控振荡电路

该电路的主要缺点就是每个振荡电路需要一个芯片,增加了电路的体积和成本。

如果使用 CMOS 型 555 集成电路芯片(7555),能耗就可以降低。在这种情况下每个振荡电路的电流会降到 1mA 以下。

## 3. 双传感器的振荡电路

仿生眼的另一种创意是用两个传感器控制一个振荡电路,如图 3.246 所示。

该电路的有趣特征是,当传感器 2 上的光线强度增加时,振荡电路的频率也增加。另外,当传感器 1 上的光线强度增加时,频率会降低到使振荡电路关闭的节点。这意味着该电路可以调整用于感测光线强度的范围。

## 4. 暗中观物

光电晶体管和许多 LDR 可以探测到红外线(IR)或不可见光。这说明,如果在传感器前加上合适的滤光器,就能够在黑暗中使用这个仪器。图 3.247 所示是如何利用光电晶体管取代 LDR 来控制振荡电路。

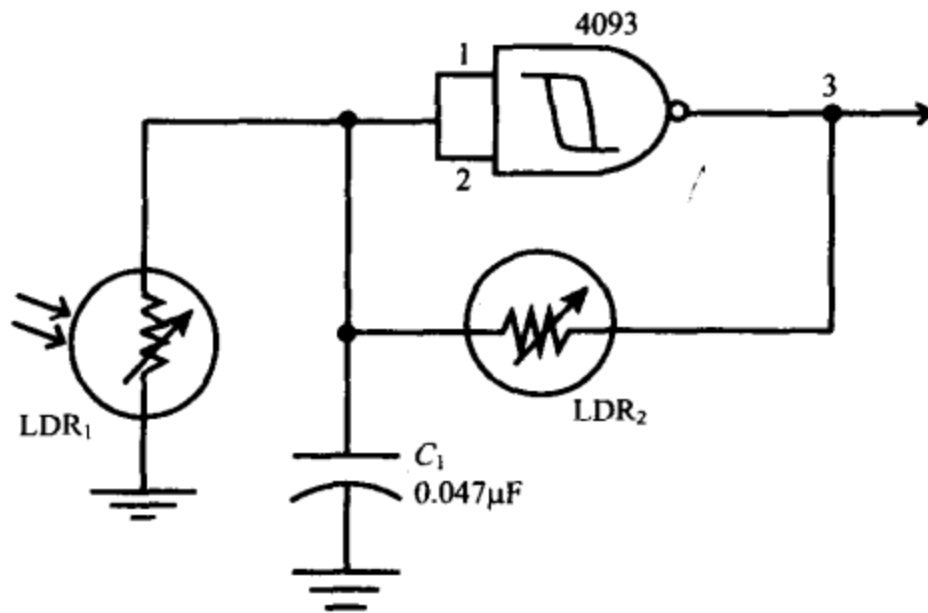


图 3.246 两个光敏电阻用来控制一个振荡电路

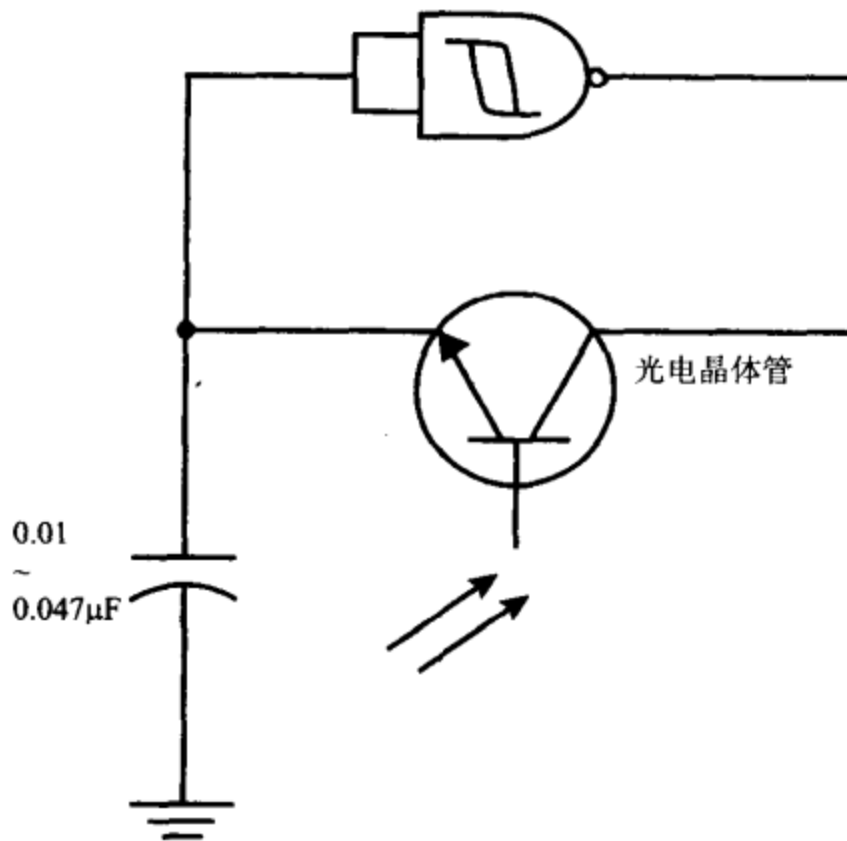


图 3.247 使用光电晶体管和红外滤光器的仿生眼可以暗中观物

### 5. 使用计算机

利用 5V 的电压为电路供电, 传感器收集的信息就能转化为数字形式, 如图 3.248 所示。

使用输入/输出端口(并行接口)来接收数据, 仿生学爱好者可以通过编程来生成通过仿生眼扫描得到的信息图像。



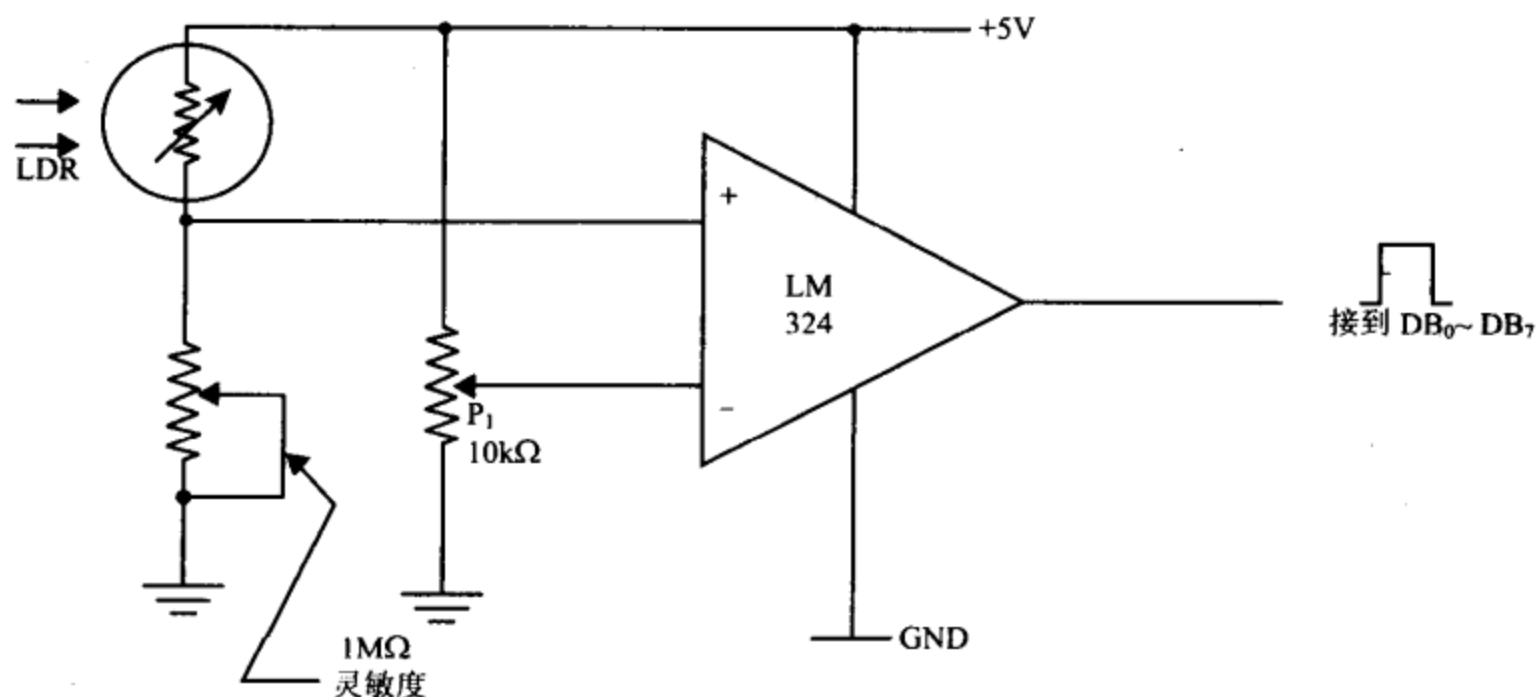


图 3.248 以比特的形式转化为图像

## 项目24 生态监控器

研究其他星球是否存在生命的科学家把“生物圈”定义为“温度和其他条件允许生命生存进化的特定区域”。在地球上,我们知道生命只能生存在很窄的温度范围内。太热或太冷生物体都不能存活下去。

大自然赋予了所有生物对温度敏感的功能。它们通过各自的温度感觉系统来感知是否达到了不舒适的状态。这些感知系统能触发自我防御机制,如毛发直立或引起排汗。

本章将介绍一种简单的环境温度监控装置,它类似于我们皮肤内的“传感器”,当温度上升到令人不舒服或下降到一定数值时就会报警。该电路可以安装在任何有生物的地方,例如温室、水族馆,或昆虫与微生物多的地方。换句话说,这种装置可以监控生态系统,当温度不适合生物生存时就会发出警报。

通过更换传感器,该电路也可用于监控环境的光强,当光线太亮或太暗时它就会发出警报。警报器就是一个能驱动压电换能器或扬声器的发出嘟嘟声的装置。

### ■ 仿生学应用

这种模拟许多生物对温度敏感性的装置可以有很多用途:

- 控制温室或其他需监控区域的温度。
- 发出火灾警报。
- 提醒某人如果加热器或冰箱因断电或其他原因而停止工作。

### ■ 电路工作原理

电压比较器是一种高增益运算放大器,它有两个输入端,如图 3.249 所示。

在反相输入端(-IN)接入一个分压器,确定该点的参考电压(REF)。如果输入电压比参考电压低,输出则保持低电平(0V),若输入电压比参考电压高则输出为高电平( $V_{cc}$ )。

我们也可以连接线路使它按照相反的方式工作。如果参考电压加在正相输入(+TIN)端,当输入比参考电压低时输出则为高电平( $V_{cc}$ ),当输入比参考电压高时输出则保持低电平。如图 3.250。

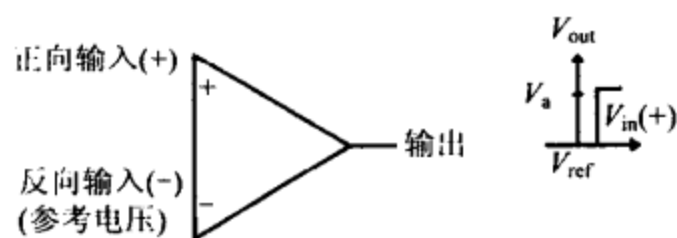


图 3.249 电压比较器

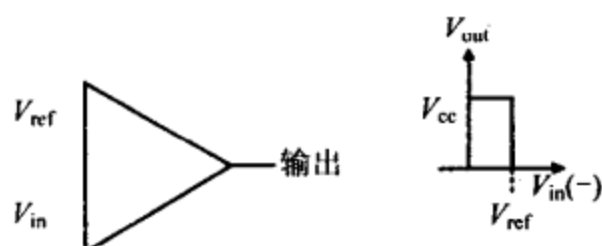


图 3.250 按相反方式工作

两个按不同模式工作的比较器结合起来就成了我们知道的窗口比较器,该电路如图 3.251 所示。

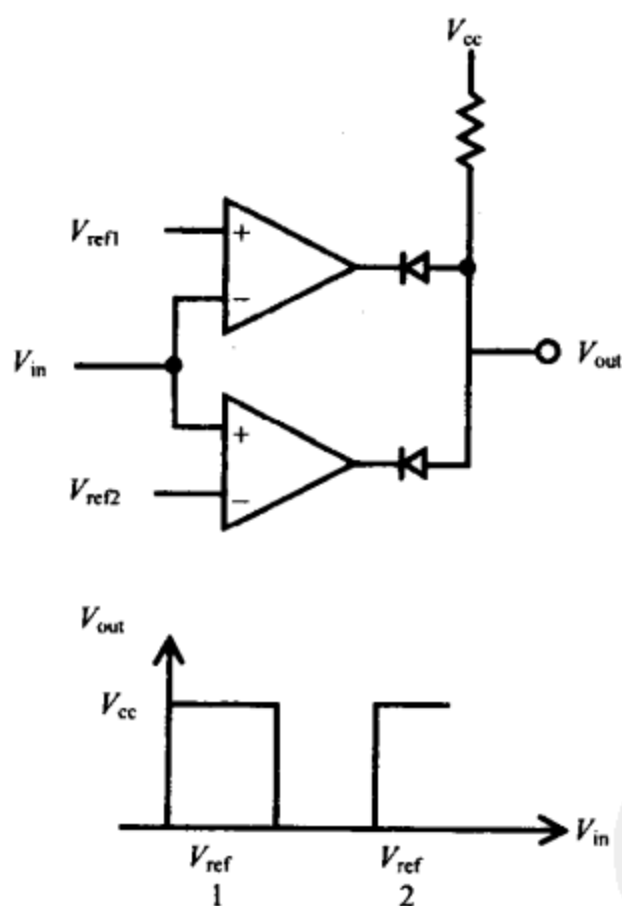


图 3.251 窗口比较器

我们看到,两个参考电压作用于比较器, $V_1$  和  $V_2$ 。如果输入电压比  $V_1$  低或比  $V_2$  高,输出则为低电平。只有当输入电压介于  $V_1$  和  $V_2$  之间时输出才为高电平。

如果温度换能器提供输入,我们可以将电压转化为温度信号。如果温度是介

于参考值之间电路会输出高电平。电路的输出传递给一个逆变器,当温度超出匹配范围时就会触发一个双音调的振荡器。

仿生学爱好者可以对电路作一些改进,例如根据应用给加热器或制冷器增加一个继电器。

### ■ 搭建方法

图 3.252 所示是生态监控器的完整电路图。

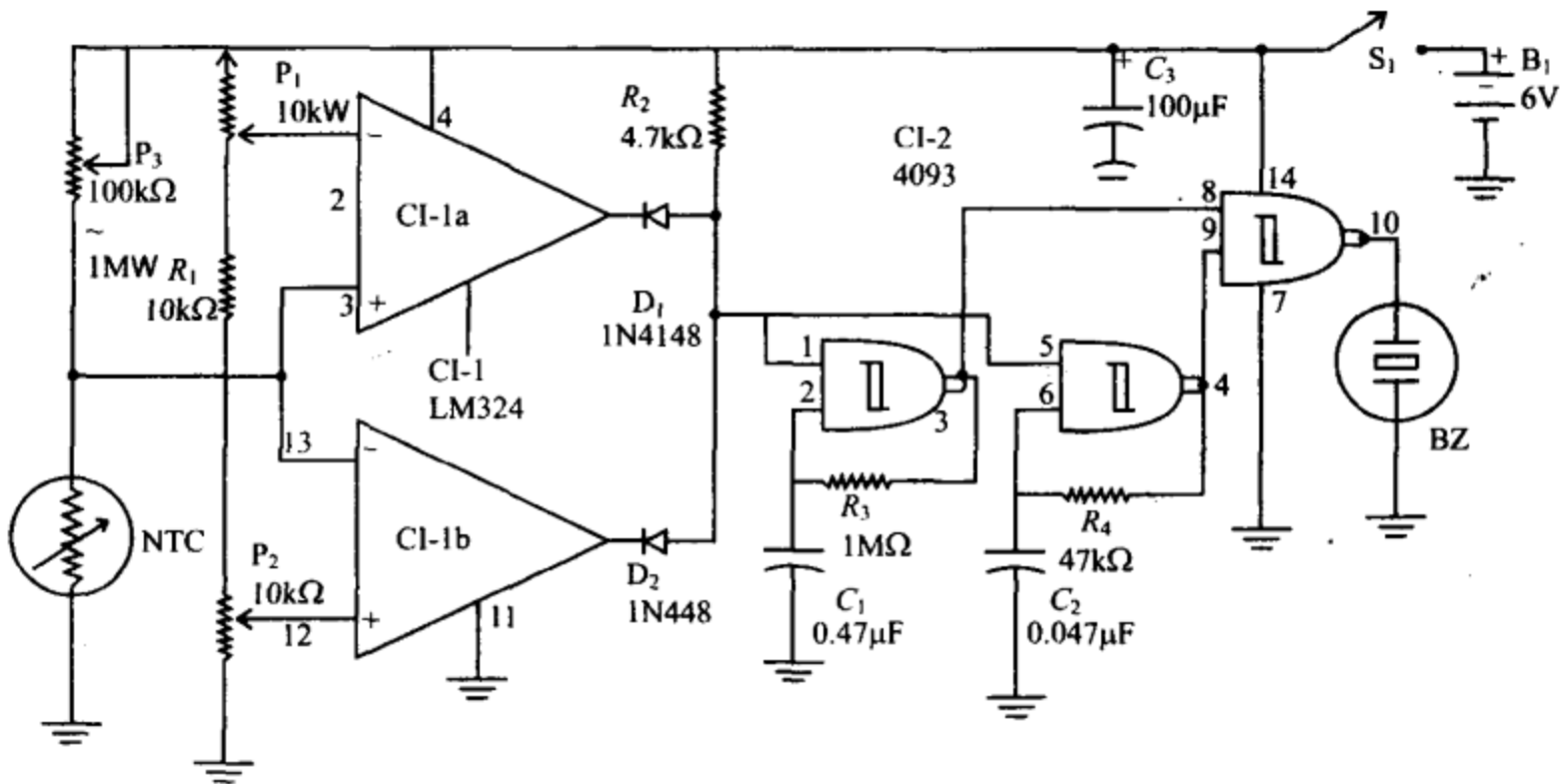


图 3.252 生态监控示意图

该电路搭建在 PCB 或面包板上。图 3.253 是使用 PCB 的样品。

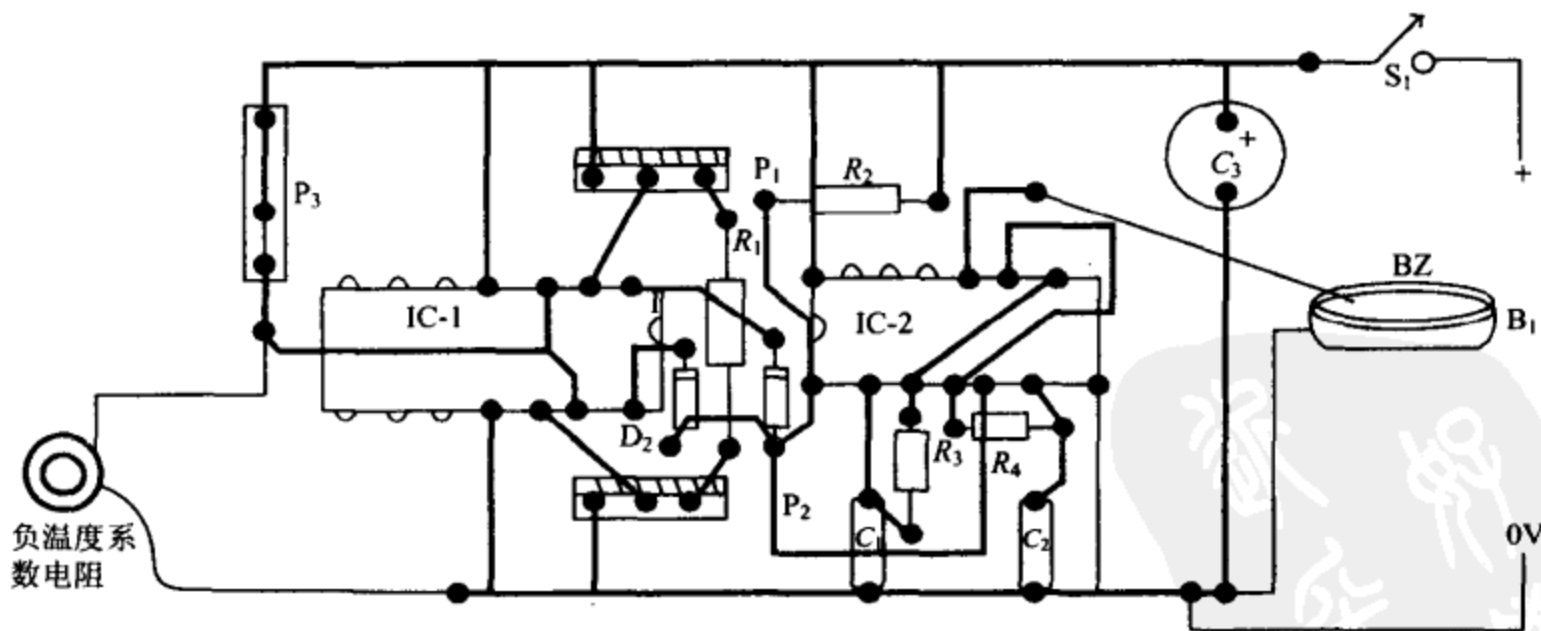


图 3.253 用于搭建电路的 PCB

传感器是普通的负温度系数电阻(NTC),它可以随着温度变化而改变电阻的阻值。简单地说它就是一个温度传感器。

在常温下,  $P_3$  的阻值必须是 NTC 电阻值的两倍或更大。例如, 若 NTC 的阻值是  $10\text{k}\Omega$  类型的, 那么电位计  $P_3$  的阻值就应是  $22\sim 47\text{k}\Omega$ 。常温下(室温或  $20^\circ\text{C}$ )  $P_3$  的阻值在  $10\sim 100\text{k}\Omega$  之间就可以。

运算放大器也可以用等效的其他元件来替代。如 741 运算放大器等普通的元件即可。唯一要注意的是应选择低电压下(6V)工作的运算放大器。

这种元件大多数是线性的(即电阻的变化与温度的变化成正比), 因此用普通的温度计就可以完成调节测试。

传感器应远离电路。若暴露在水中或外界环境下, 建议用玻璃、环氧树脂或其他物质将传感器来保护起来。当然, 在用这些物质隔离后, 传感器设备对温度变化的反应要相对迟缓。

搭建电路时, 要注意观察极性元件的安装位置, 如集成电路芯片、电源等。该电路消耗电流很小, 因此电池的寿命会很长。如果仿生学爱好者愿意的话, 也可以用电源来给电路供电。

### ■ 测试及使用

闭合  $S_1$  导通电路。当警报响起时, 调节  $P_1$  和  $P_2$  使之停止。  $P_3$  调整电路的灵敏度, 所以开始时  $P_3$  处于电阻的最大值。

首先, 把传感器放置在温度低的地方(如用冰块), 并调节  $P_1$  触发警报器。对着传感器呼气, 警报就会停止。

现在, 将传感器放在一个烙铁旁边, 但不要使它们相互接触, 如图 3.254 所示。调节  $P_2$  引起警报。



图 3.254 调试电路

这是一个简单的基本调试方法。更精确的测试是用温度计作参考。一旦调整好, 该传感器就可以安装在需要温度监控的地方了。

表 3.60 元器件清单

元器件	说明
IC-1	LM386 集成电路芯片运算放大器
IC-2	4093 CMOS 集成电路芯片

续表 3.60

元器件	说 明
$D_1, D_2$	1N4148 D 通用硅二极管
$P_1, P_2$	10k $\Omega$ 微调电位计
$P_3$	10k $\Omega$ ~1M $\Omega$ 微调电位计(参阅正文)
$R_1$	10k $\Omega$ 1/8 W 电阻, 棕, 黑, 橙
$R_2$	4.7k $\Omega$ 1/8 W 电阻, 黄, 紫, 红
$R_3$	1M $\Omega$ 1/8 W 电阻, 棕, 黑, 绿
$R_4$	47k $\Omega$ 1/8 W 电阻, 黄, 紫, 橙
$C_1$	0.47 $\mu$ F 陶瓷或聚酯电容器
$C_2$	0.047 $\mu$ F 陶瓷或聚酯电容器
$C_3$	100 $\mu$ F 12V 电解电容器
NTC	10~470k $\Omega$ 负温度系数电阻
BZ	压电换能器
$S_1$	开关
$B_1$	6V 电源或 4 节 5 号电池
其他元器件	PCB 或面包板, 导线, 电池盒, 焊料等

## 其他电路及创意

对基本电路进行改变, 可以完成其他功能, 以下是部分建议。

### 1. 驱动继电器

当温度低于或高于某个阈值时, 电路驱动继电器的原理图如图 3.255。

电路中用的继电器可以是 6V 或 12V 的。唯一要注意的一点是应根据继电器的类型选择电源电压。最好是 50mA 的线圈继电器。

### 2. 二极管作为传感器

普通二极管也可作为传感器, 如图 3.256 所示。

当使用二极管时, 为使电路中的电流足以驱动运算放大器, 在电路中应该加一个晶体管。任何形式的硅二极管均可作为传感器, 调试方式与基本电路一样。

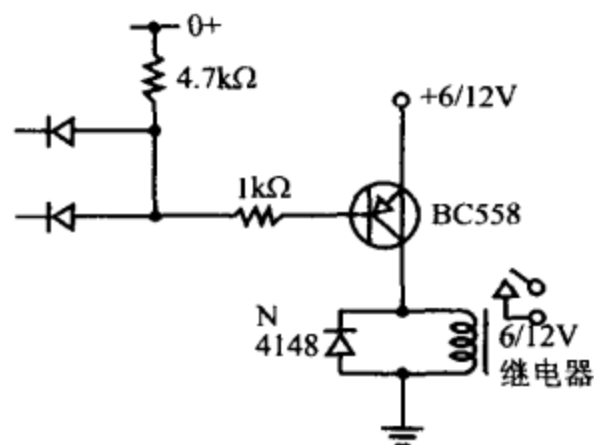


图 3.255 驱动继电器

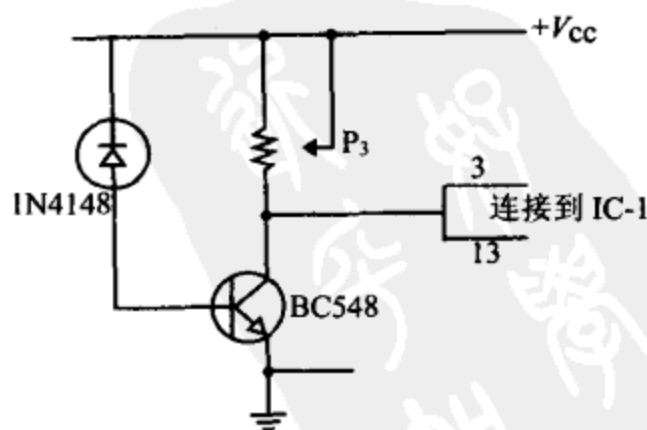


图 3.256 用二极管做传感器

### 3. 监控光线强度

图 3.257 所示是如何用 LDR 取代 NTC 来监控特定环境下的光强。

任何普通的 LDR 都可以使用。根据监控的光强范围,用  $P_3$  调整电路的灵敏度。其他电阻传感器也可应用于该项目中,如压力传感器或位置传感器等。

图 3.258 所示是如何用电位计制作位置传感器,来监控水库的水位线。

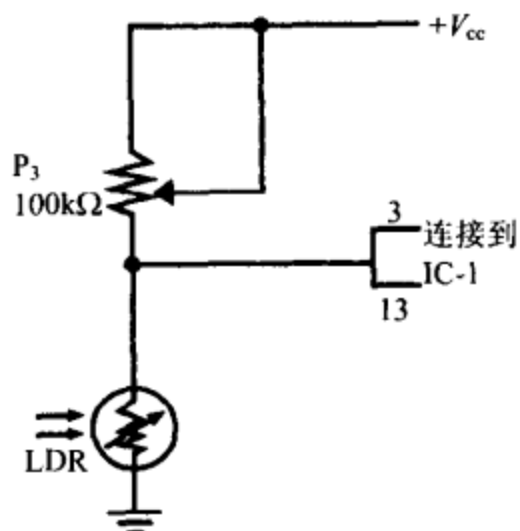


图 3.257 监控光强

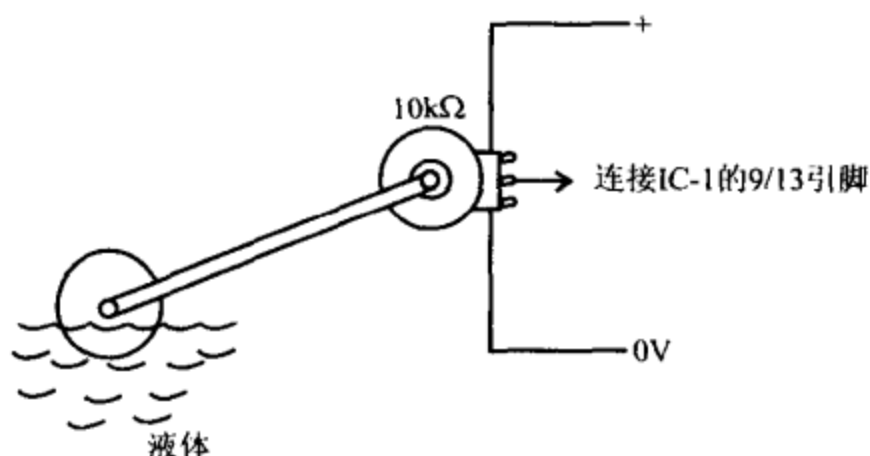


图 3.258 监控水位

仿生学爱好者自己也能找到许多应用该电路来监控生物反应过程的实际应用。

## 项目25 蝙蝠耳

蝙蝠可以听到频率高达 100 000Hz 的超声波。狗与海豚能听到频率为 18 000Hz 以上的声波,超出了人类听觉的极限频率。当然,“仿生人”也可以听到超声波。

该项目可以把超声转化为普通声音,使得仿生学爱好者也拥有一双“蝙蝠耳”。环境中人类听不到的许多声音通过这种装置就可显现出来。电路只是试验性的,还有很多有待提高的地方。

电路将超声波进行了分频,但没有保持原有波形。也就是说人们听到的并不是真正的超声波,而只是近似于超声波。

这种装置的灵敏度取决于收集声波的换能器。出于实验的目的,该装置采用一个压电高频扬声器,它的频率高达 25 000Hz。

电路由普通电池供电,便于携带。仿生学爱好者用它可以探索自然,如图 3.259 所示。用这个电路可以听到蝙蝠和其他动物的声音。

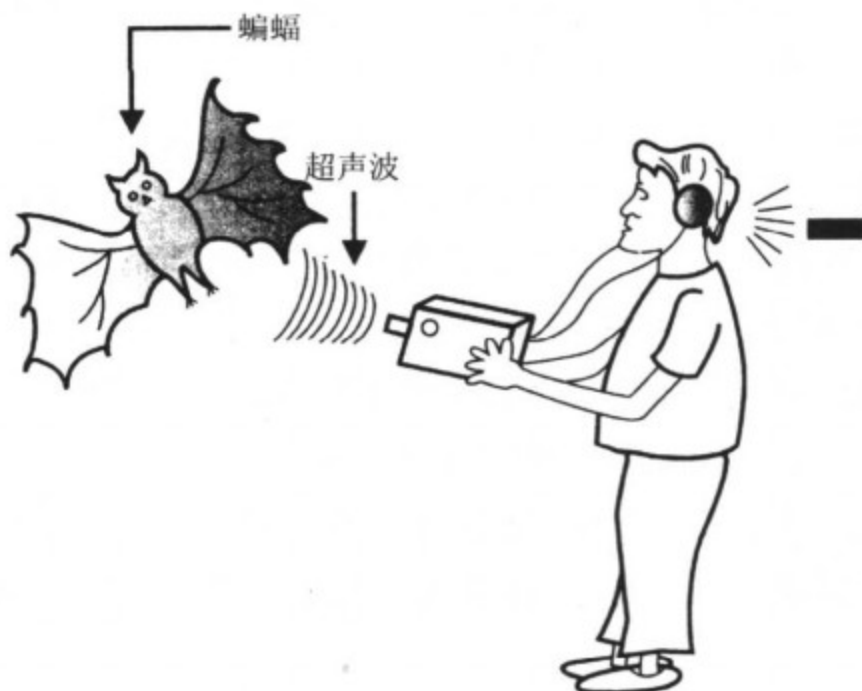


图 3.259 用“蝙蝠耳”探索自然

### ■ 仿生学应用

这种把超声波转化为普通声波的电路有很多用途。你可用它探索自然,检测房子或工厂内机器产生的超声。以下是部分应用:

- 探索自然界里的声音。
- 检测机器产生的奇怪的声音。

### ■ 电路工作原理

图 3.260 所示是“蝙蝠耳”的结构图。高通滤波器作为输入级,滤波器的作用是阻止低频声波通过,只允许与超声波相近的高频率声波通过。

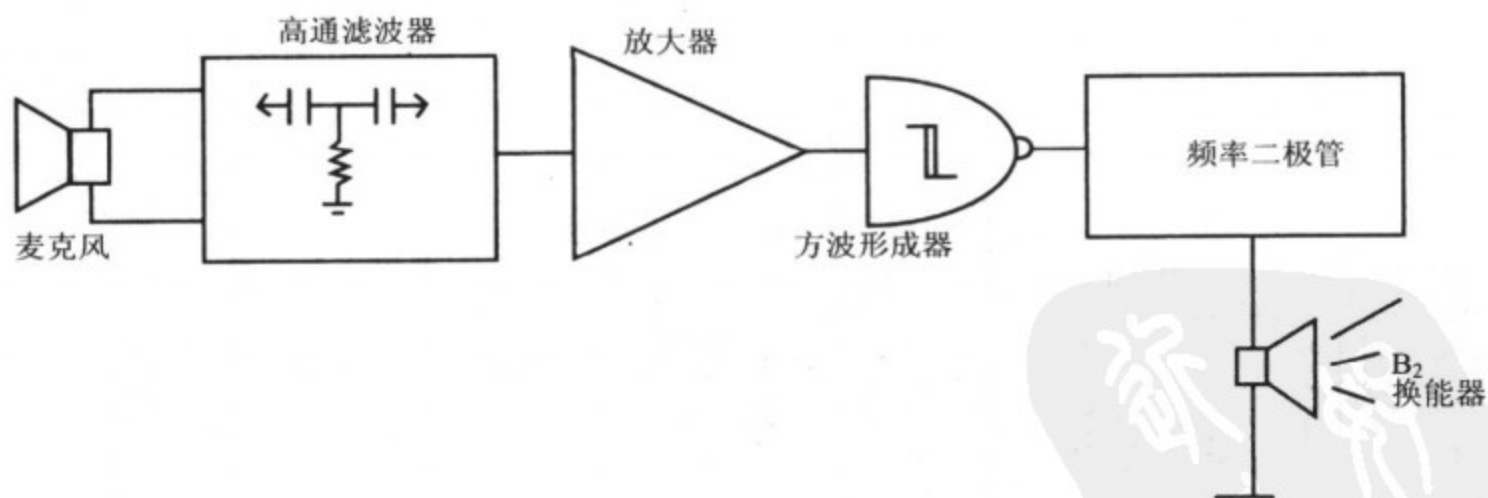


图 3.260 蝙蝠耳结构图

在本电路中连接了一个小型的压电换能器。普通高频扬声器不是超声波换能器,但它可以在 25kHz 以上的频率中工作,作为实验这已经足够了。当然,如果仿生学爱好者愿意的话,能找到一个能提供更高频率的压电超声换能器就更好了。



滤波器的输出作为音频放大器的输入。放大器仍然选择 LM386,它可在 300kHz 的高频信号下正常工作。

在反馈电路中接一个  $10\mu\text{F}$  的电容器,这样当频率高达 30kHz 时,增益就会达到 200。放大器的输出仍然是超声波信号,我们的耳朵是听不到的。

经过变频,信号通过 4093 集成电路芯片将超声波转换成方波,然后 4020 集成电路芯片将信号频率除以 16 完成分频。

如图 3.261 所示,麦克风收集到的超声波变成了频率为原来的  $1/16$  的方波。这时将输出的信号作用于换能器就可实现声音的再现。

最简单的方法是,换能器采用高阻抗压电类型的,仿生学爱好者可以在电路中增加一个晶体管,以驱动一个低阻抗耳机或小型扬声器,如图 3.262 所示。电路用 5 号电池来供电。

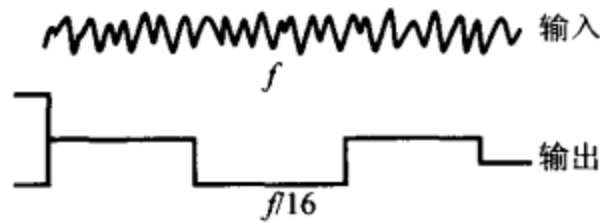


图 3.261 电路中的波形

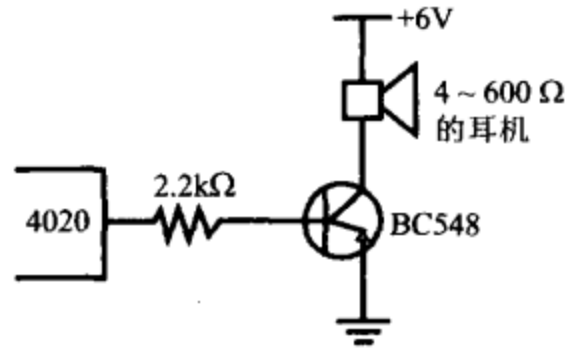


图 3.262 驱动低阻抗负载

### 搭建方法

图 3.263 所示是蝙蝠耳的电路原理图。

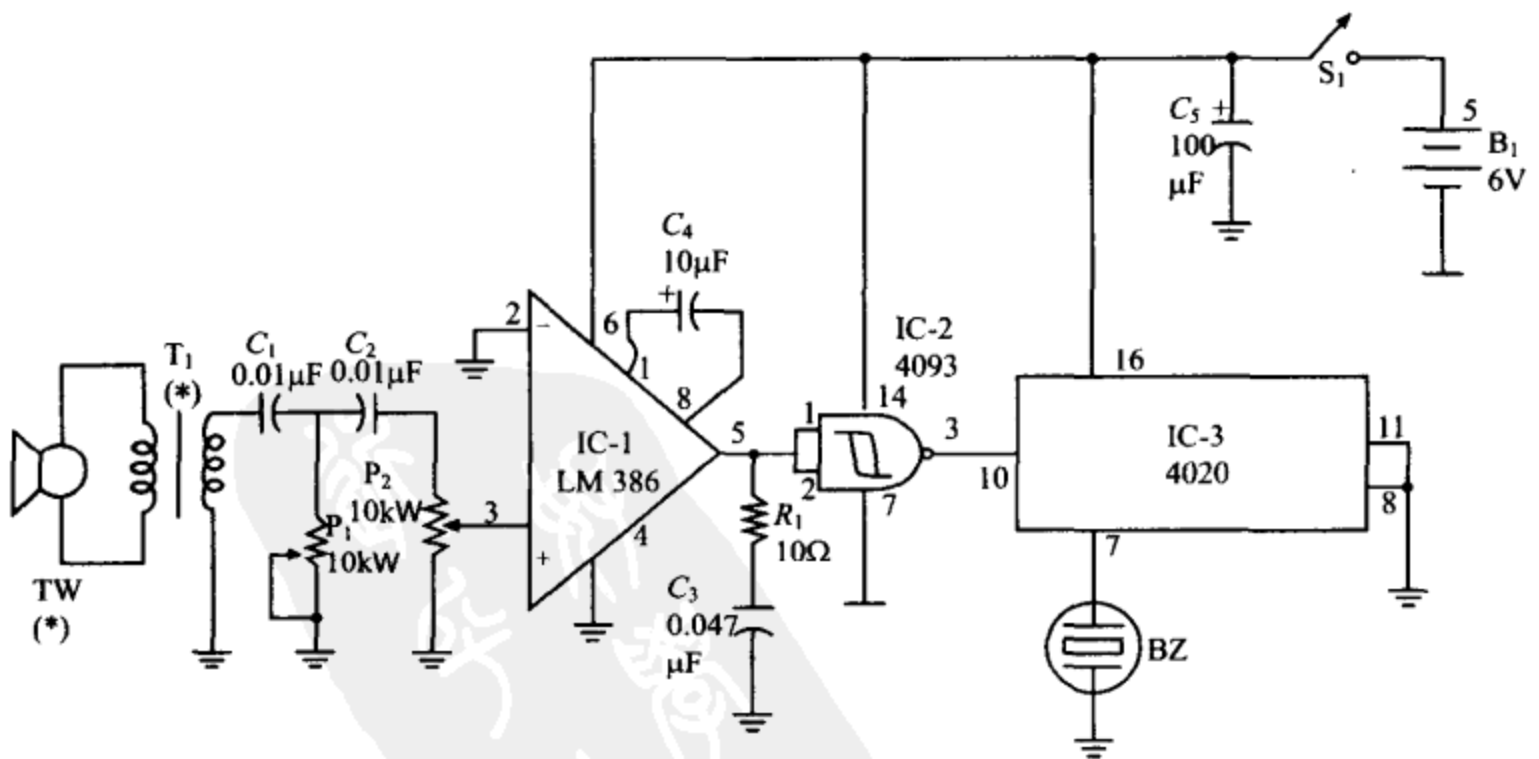


图 3.263 蝙蝠耳电路图

该电路搭建在 PCB 上,建议采用图 3.264 所示的 PCB。

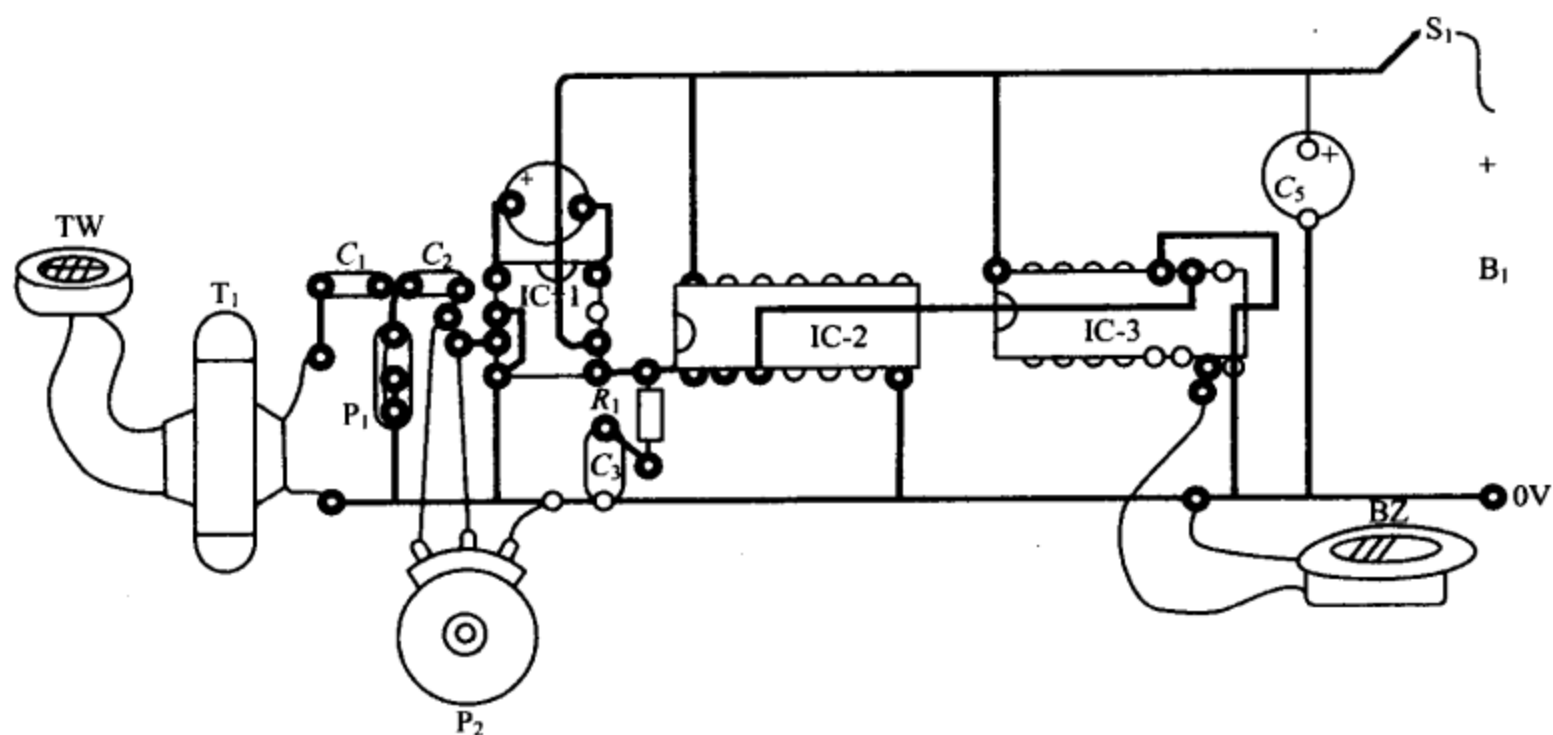


图 3.264 建议使用的 PCB

搭建电路时,要注意观察极性元件的安装位置。集成电路芯片、电解电容器、电源等其中任何一个元件被倒置,将对元件造成损害并使电路不能正常工作。

任何形式的压电高频扬声器都可作为换能器使用。如果使用普通的低阻抗高频扬声器,就必须另加一个变压器( $T_1$ )。任何老式晶体管收音机里的输出变压器均适用。高阻抗线圈接入电路,低阻抗线圈接入高频扬声器。

另一个方案是去掉在高频扬声器里找到的变压器,而直接将换能器接入  $C_1$  和地线(GND)。根据变压器和高压扬声器的特性,你也许只能用  $C_1$ 、 $C_2$  完成实验,通过改变其电容值大小而找到  $P_1$  的最佳调节值。

#### ■ 测试与使用

把电池放进电池盒内,合上  $S_1$ 。把  $P_1$  设置到电阻最大的位置,并打开增益控制  $P_2$ 。

用手指敲击高频扬声器,从压电换能器发出的声音就会以低频信号的形式再现。可以用一个抛物面反射器把一个方向传来的声音汇聚在传感器(高频扬声器)上,正如在仿生耳项目中描述的那样。

表 3.61 元器件清单

元器件	说明
IC-1	LM386 集成电路芯片音频放大器
IC-2	4093 CMOS 集成电路芯片
IC-3	4020 CMOS 集成电路芯片

续表 3.61

元器件	说 明
T <sub>1</sub>	变压器(参阅正文)
BZ	压电换能器或耳机
TW	高频扬声器(超声波麦克风,参阅正文)
P <sub>1</sub>	10kΩ 微调电位计
P <sub>2</sub>	10kΩ 对数电位计
R <sub>1</sub>	10Ω 1/8W 电阻,棕,黑,黑
C <sub>1</sub> ,C <sub>2</sub>	0.01μF 陶瓷或聚酯电容器
C <sub>3</sub>	0.047μF 12V 陶瓷或聚酯电容器
C <sub>4</sub>	10μF 12V 电解电容器
C <sub>5</sub>	100μF 12V 电解电容器
S <sub>1</sub>	开关
B <sub>1</sub>	6V 电源或 4 节 5 号 电池
其他元器件	PCB 或面包板,塑料盒,用于调节 P <sub>2</sub> 的旋钮,导线,焊料等

■ 其他电路及创意

蝙蝠耳基本电路还存在着很大的改进空间,以下是部分改进方案。

1. 低阻抗前置放大器

图 3.265 所示是一个前置放大器,它允许用低阻抗麦克风作为高频扬声器,而不需要变压器。这种由 4~600Ω 的麦克风作为换能器的电路工作良好。

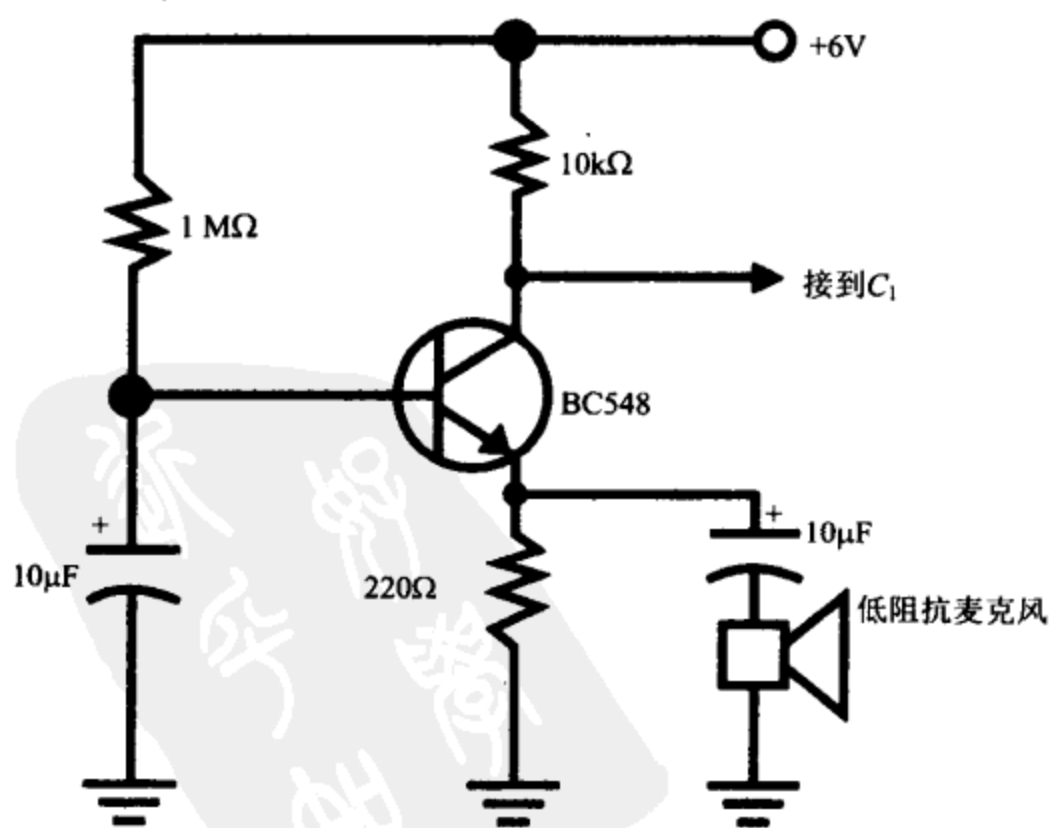


图 3.265 前置放大器作为低阻抗源

## 2. 驱动低阻抗话筒

驱动一个低阻抗源作为一个小型扬声器或磁性耳机需要一个特殊的驱动级。如图 3.266 所示。

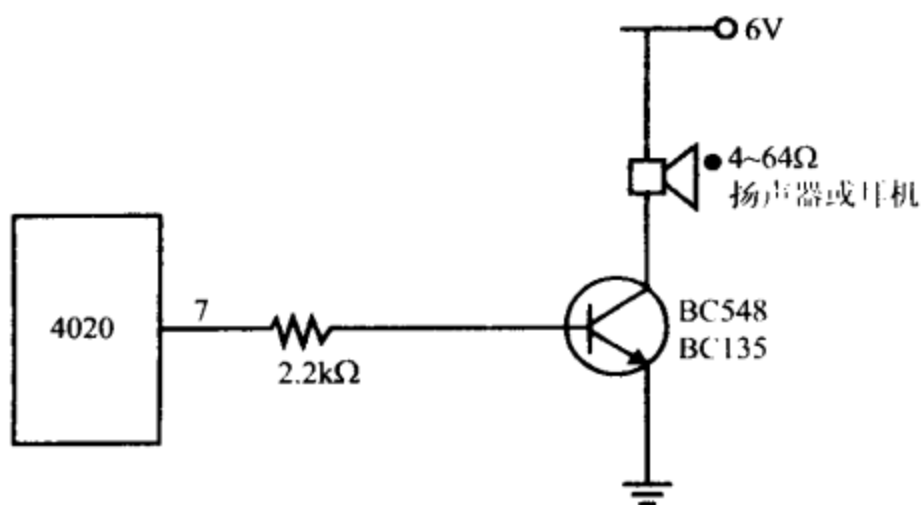


图 3.266 驱动低阻抗源

## 3. 对该电路进行升级

对该电路进行改进的另外一种方式是在电路中增加一个滤波器。这种低通滤波器把输出的方波脉冲转变成平滑的信号,使听到的声音更好。图 3.267 所示是如何在电路中增加滤波器。 $C_1$  的最佳值必须在  $0.01 \sim 0.47 \mu\text{F}$  之间测试确定。

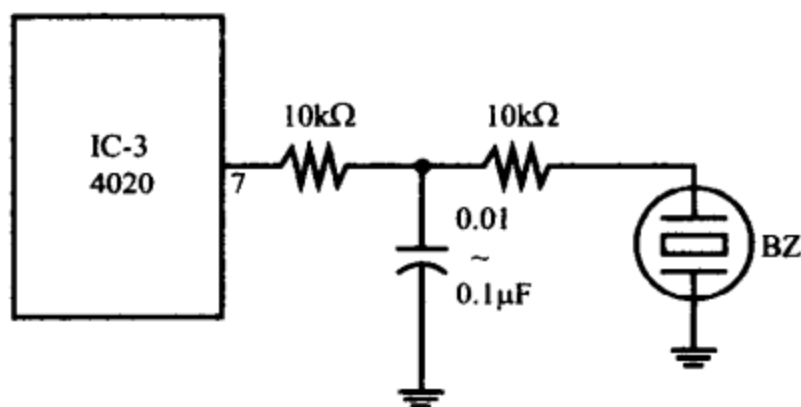


图 3.267 增加一个输出滤波器





# 第 3 部分

## 相关信息

◆ 4 其他信息

◆ 5 信息资源







# 其他信息

# 4

想从事仿生学项目制作的仿生学爱好者必须要能找到很好的元器件资源。在网上可以查到许多电子元器件经销商的地址和联系方式,你可以通过 E-mail 将需要的元件清单发送给他们。用信用卡结完账后几天内就可收到所定的货。至于需要多长时间,得看你离经销商的距离有多远。

当购买本书项目所用的元器件时,千万注意不要买错了。在下订单之前应明确以下几点:

- 电阻的大小由色带编码决定。在项目制作之前一定要仔细分辨。等到发现错误,再想把电阻从 PCB 上取下来就难了。

- 电容器也有特殊的编码,在确认电容值大小时也要小心。特别是陶瓷电容器,它由三个数字编码区分,很容易混淆,例如 4k7 与 4K7 是不一样的。

- 元器件清单里电解电容器的电压都是推荐使用的最小值,你完全可以用电压值较大的同类电容器。比如,在项目制作过程中如果找不到一个  $100\mu\text{F}$  12V 的电容器,你可以用  $100\mu\text{F}$  16V 甚至是  $100\mu\text{F}$  25V 的电容器作为替代品。

- 晶体管有一个尾标,标明了它的增益或电压。项目制作时,注意不要使用低于所要求最小值的晶体管。

- 电阻能量损耗应遵循相同的规则:如果找不到一个  $1\text{k}\Omega$  1/8W 的电阻用于项目,可以用  $1\text{k}\Omega$  1/4W 或  $1\text{k}\Omega$  1/2 W 的电阻作为替代品。

- 如果你打算使用旧的元器件(淘汰设备中的元器件),使用前一定要进行检测。电解电容器的电容值会随着时间而递减。这些电容器不再有原来的电容量或根本就不再起作用。尽管晶体管、二极管及其他半导体元器件不受时间的影响,但在使用前最好检测一下。



## 网络资源

因特网上有丰富的关于仿生学和电子制作方面的信息资源。以下是一些与仿生学相关的网站:

- 包括很多仿生学信息的网站:

[www.aleph.se/Trans/Individual/Body/bion\\_page.html](http://www.aleph.se/Trans/Individual/Body/bion_page.html).

- 柏林大学在其网站上提供了很多基本的仿生学信息:

[www.bionik.tu-berlin.de/institut/xstart.htm](http://www.bionik.tu-berlin.de/institut/xstart.htm).

- 许多有用的仿生学信息也可在以下网站查到:

<http://mercury.sfsu.edu/swilon/emerging/artre332.bionics.html>.

- 另外,还有一个关于仿生学的电影《六百万美元的男人》(*Six Million Dollar Man*)的网页:[www.chipowe.com/articles/bionics/bionic3.html](http://www.chipowe.com/articles/bionics/bionic3.html).

## 相关资料

Barbarelllo, James. Handbook for Parallel Port Design. Prompt Publications, 1999

Braga Newton C. CMOS Projects and Experiments. Boston: Newnes, 1999

——. CMOS Sourcebook. Boston: Prompt Publication, 2001

——. Curso Basico de Electronica. Sao Paulo, Brazil: Editora Saber, 1980

——. Electronica Basica Para Mecatronica. Sao Paulo, Brazil: Editora Saber, 2005

——. Electronics Projects from the Next Dimension. Boston, MA: Newnes, 2001

——. Fun Projects for the Experimenter. Indianapolis, IN: Prompt Publications, 1998

——. Mechatronics for the Evil Genius. New York: McGraw-Hill, 2005

——. Robotics, Mechatronics and Artificial Intelligence. Boston: Newnes,

2001

Chklovsky I. *Univers Vie et Raison*. Moscow, Editions de la Paix

Iovine, John. *Robots, Androids and Animatrons*. New York: McGraw-Hill, 1997

McComb, Gordon. *The Robot Builders Bonanza*. New York: Tab Books, 1987

Mironov I. *La Bionique*. Moscow, Soviet Union; MIR Publications, 1970 (in french)

还参考了在 1980—2005 年期间分别发表在巴西、欧洲和美国杂志上许多论文,例如 *Eletronica Total*, *Popular Electronics*, *Revista Saber Eletronica*, *Eletronique Practique*, *Mecatronica Facil*。



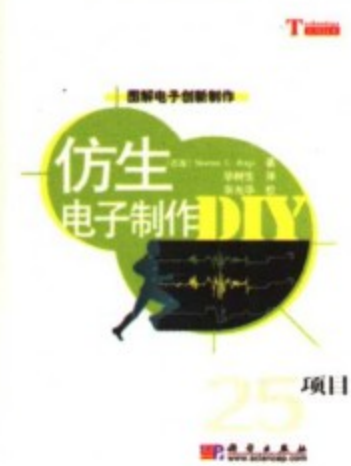
(TN-0750.0101)

责任编辑：岳亚东 崔炳哲

责任制作：魏 谨

封面设计：朱 平

# Technology 实用技术



建议上架类别：工业技术 / 电子技术

科学出版社 东方科龙

<http://www.okbook.com.cn>

[cuibingzhe@mail.sciencep.com](mailto:cuibingzhe@mail.sciencep.com)



ISBN 978-7-03-018660-7



9 787030 186607 >

定价：29.00元