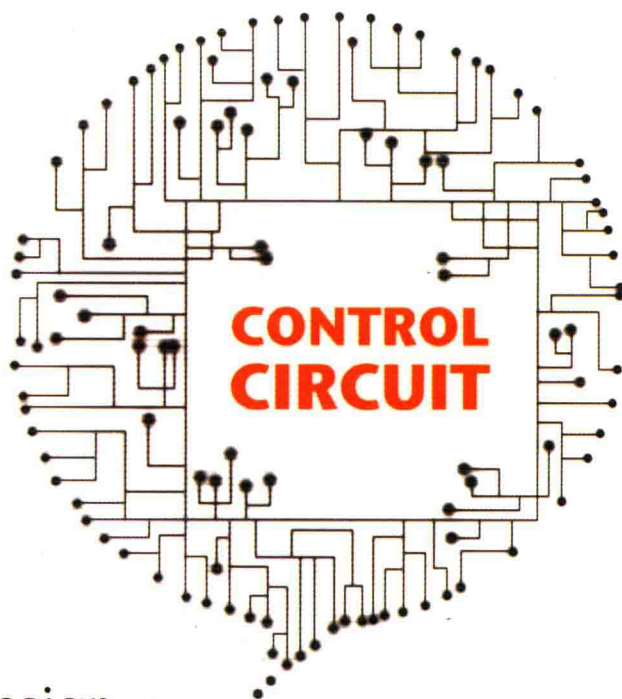




电子电路设计、仿真与制作

常用控制电路 设计及应用

◆ 周润景 谢亚楠 编著



電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

电子电路设计、仿真与制作

常用控制及应用

周润景 谢亚楠 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 提 要

本书介绍了 22 个典型的控制电路设计案例, 内容包括数控锁相环调速电路、数字控制直流电动机调速电路、数控直流恒流源电路、数字电位器在 AD 转换中的应用电路、双闪车灯电路、汽车电压监视电路、汽车自动亮灯保持电路、汽车车灯延时电路、汽车里程计数电路、汽车电池电压监视电路、汽车超速报警电路、车速限制电路、数字测速电路、车门遥控电路、刮水器控制电路、车辆转弯信号发声电路、冰冻和车灯报警电路、声控娃娃电路、电子贺卡电路、遥控小车电路、四旋翼飞行器飞控板电路、电动狗电路。这些案例均来源于作者多年的实际科研项目, 因此具有很强的实用性。通过对本书的学习和实践, 读者可以很快掌握常用控制电路设计的基础知识及应用方法。

本书适合电子电路设计爱好者自学使用, 也可作为高等学校相关专业课程设计、毕业设计及电子设计竞赛的指导书籍。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

常用控制电路设计及应用/周润景, 谢亚楠编著. —北京: 电子工业出版社, 2017. 7

(电子电路设计、仿真与制作)

ISBN 978-7-121-32264-8

I. ①常… II. ①周… ②谢… III. ①控制电路—电路设计 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 174074 号

策划编辑: 张 剑 (zhang@phei.com.cn)

责任编辑: 靳 平

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 12.5 字数: 320 千字

版 次: 2017 年 7 月第 1 版

印 次: 2017 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: zhang@phei.com.cn。

前 言

当代电子技术的迅速发展为人们的文化、物质生活提供了优越的条件,数码摄像机、家庭影院、空调、电子计算机等都是典型的电子技术应用实例。其中,控制电路应用于多个领域,其应用领域涉及机械制造、工业过程控制、汽车电子产品、通信电子产品、消费电子产品和专用设备。因此,掌握控制电路的基本原理和工作特性,在电路设计中起到至关重要的作用。本书以控制电路为主、单片机系统介绍为辅,并以设计、分析、制作为主线,围绕控制电路设计应用中的一些具体实例进行讲解。

本书将控制思想集中整合并运用到电路中,对具体实际应用的电路进行讲解。在编写本书的过程中,提出了如下的思路:精选内容,推陈出新;讲清电路的基本工作原理和基本分析方法。其中,对于电路中较为复杂的电路运用 Proteus 软件进行了仿真,相关电路中的程序以 C 语言进行编写,使用的编译软件为 Keil 4。本书的特点有如下几点。

- ◎ 分模块简述了电路原理,为以后的复杂电路设计提供引导性的背景知识。
- ◎ 电路设计中为了将仿真、原理图及 PCB 的绘制整合起来,绝大部分电路设计采用 Proteus 软件。
- ◎ 硬件与软件之间的界限已越来越模糊,模拟电路或数字电路均属硬件,在利用软件对电路进行辅助设计时,不能轻视硬件,应两者相结合。
- ◎ 在每个电路设计的最后都编写了例题,以便读者深入理解书中内容。

本书详细介绍了 22 个典型案例,包括数控锁相环调速电路、数字控制直流电动机调速电路、数控直流恒流源电路、数字电位器在 AD 转换中的应用电路、双闪车灯电路、汽车电压监视电路、汽车自动亮灯保持电路、汽车车灯延时电路、汽车里程计数电路、汽车电池电压监视电路、汽车超速报警电路、车速限制电路、数字测速电路、车门遥控电路、刮水器控制电路、车辆转弯信号发声电路、冰冻和车灯报警电路、声控娃娃电路、电子贺卡电路、遥控小车电路、四旋翼飞行器飞控板电路,电动狗电路。每个项目都对电路各组成部分进行了详细的说明,使读者可以清晰地了解各个模块的具体功能,并实现整体电路的仿真设计。

本书的内容大多来自作者的科研与实践,有关内容的讲解并没有过多的理论推导,而代之以实用的电路设计,因此实用是本书的一大特点。本书语言生动精炼,内容详尽,并且包含了大量可供参考的实例。

本书由周润景、谢亚楠编著。其中,谢亚楠编写了项目 1 和项目 2,周润景编写了其余项目,全书由周润景教授统稿。另外,参加本书编写的还有邢婧、陈萌、井探亮、丁岩、张赫、韩亦俚、刘艳珍、刘百灵、王洪艳、张红敏、张丽敏、周敬和宋志清。

在本书的编写过程中,作者力求完美,但由于水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者指正。

编著者

目 录

项目1 数控锁相环调速电路	1
设计任务	1
基本要求	1
总体思路	1
系统组成	1
模块详解	2
总体电路仿真	7
电路板布线图	8
实物照片	8
思考与练习	8
项目2 数字控制直流电动机调速电路	9
设计任务	9
基本要求	9
总体思路	9
系统组成	9
模块详解	10
总体电路仿真	13
电路板布线图	14
实物照片	14
程序设计	14
思考与练习	16
特别提醒	16
项目3 数控直流恒流源电路	17
设计任务	17
基本要求	17
总体思路	17
系统组成	17
模块详解	18
总体电路仿真	23
电路板布线图	25
实物照片	25
思考与练习	25
特别提醒	26

项目 4 数字电位器在 AD 转换中的应用电路	27
设计任务	27
总体思路	27
系统组成	27
模块详解	28
总体电路仿真	31
电路板布线图	33
实物照片	34
程序设计	34
思考与练习	35
特别提醒	35
项目 5 双闪车灯电路	36
设计任务	36
总体思路	36
系统组成	36
模块详解	36
总体电路仿真	40
电路板布线图	41
实物照片	41
思考与练习	42
特别提醒	42
项目 6 汽车电压监视电路	43
设计任务	43
总体思路	43
系统组成	43
模块详解	43
总体电路仿真	48
电路板布线图	49
实物照片	49
思考与练习	49
特别提醒	50
项目 7 汽车自动亮灯保持电路	51
设计任务	51
总体思路	51
系统组成	51
模块详解	51
总体电路仿真	57
电路板布线图	58
实物照片	58

思考与练习	58
特别提醒	59
项目 8 汽车车灯延时电路	60
设计任务	60
总体思路	60
系统组成	60
模块详解	60
总体电路仿真	64
电路板布线图	65
实物照片	65
思考与练习	66
特别提醒	66
项目 9 汽车里程计数电路	67
设计任务	67
基本要求	67
总体思路	67
系统组成	67
模块详解	68
总体电路仿真	69
电路板布线图	73
实物照片	74
思考与练习	74
特别提醒	74
项目 10 汽车电池电压监视电路	75
设计任务	75
基本要求	75
总体思路	75
系统组成	75
模块详解	76
总体电路仿真	77
电路板布线图	78
实物照片	79
思考与练习	79
特别提醒	80
项目 11 汽车超速报警电路	81
设计任务	81
总体思路	81
系统组成	81
模块详解	81

电路板布线图	87
实物照片	88
思考与练习	88
特别提醒	88
项目 12 车速限制电路	89
设计任务	89
基本要求	89
总体思路	89
系统组成	89
模块详解	90
总体电路仿真	94
电路板布线图	95
实物照片	95
思考与练习	95
特别提醒	96
项目 13 数字测速电路	97
设计任务	97
总体思路	97
系统组成	97
模块详解	97
总体电路仿真	99
程序设计	102
电路板布线图	110
实物照片	111
思考与练习	111
特别提醒	111
项目 14 车门遥控电路	112
设计任务	112
具体要求	112
总体思路	112
系统组成	112
模块详解	113
电路板布线图	116
实物照片	117
思考与练习	118
特别提醒	118
项目 15 刮水器控制电路	119
设计任务	119
基本要求	119

总体思路	119
系统组成	120
模块详解	120
总体电路仿真	124
程序设计	125
电路板布线图	127
实物照片	128
思考与练习	128
特别提醒	129
项目 16 车辆转弯信号发声电路	130
设计任务	130
基本要求	130
总体思路	130
系统组成	130
模块详解	131
总体电路仿真	133
电路板布线图	134
实物照片	135
思考与练习	135
特别提醒	136
项目 17 冰冻和车灯报警电路	137
设计任务	137
基本要求	137
总体思路	137
系统组成	137
模块详解	137
总体电路仿真	141
电路板布线图	142
实物照片	142
思考与练习	142
特别提醒	143
项目 18 声控娃娃电路	144
设计任务	144
基本要求	144
总体思路	144
系统组成	144
模块详解	145
总体电路仿真	146
电路板布线图	147

实物照片	148
思考与练习	148
特别提醒	149
项目 19 电子贺卡电路	150
设计任务	150
基本要求	150
总体思路	150
系统组成	150
模块详解	150
总体电路仿真	152
程序设计	155
电路板布线图	159
实物照片	160
思考与练习	160
特别提醒	160
项目 20 遥控小车电路	161
设计任务	161
基本要求	161
总体思路	161
系统组成	161
模块详解	162
程序设计	165
电路板布线图	166
实物照片	167
思考与练习	167
特别提醒	167
项目 21 四旋翼飞行器飞控板电路	168
设计任务	168
基本要求	168
总体思路	168
系统组成	168
模块详解	168
程序设计	172
电路板布线图	175
实物照片	175
思考与练习	176
特别提醒	176
项目 22 电动狗电路	177
设计任务	177

基本要求..... 177

总体思路..... 177

系统组成..... 177

模块详解..... 178

程序设计..... 180

电路板布线图..... 183

实物照片..... 184

思考与练习..... 184

特别提醒..... 184

基本要求

总体思路

系统组成

项目 1 数控锁相环调速电路



设计任务

本设计电路利用锁相环控制电动机的转速，将电动机转速分为两挡，通过开关控制电动机转速挡位，然后经霍尔传感器对转速进行采样产生脉冲信号，即比较信号。



基本要求

使用锁相环检测比较信号和参考信号之间的瞬时相位差，从而调节 PWM 波的占空比，以实现调节电动机两端电压，使电动机转速保持在选择挡位，实现调速。



总体思路

本设计以 CD4020BE 构成的分频电路和 CD4046 构成的锁相环鉴相电路为核心，通过选频开关选择频率基准，电动机将对应于不同的转速，并由有源晶振为电路提供振荡频率，通过分频电路分频形成相应的参考信号。霍尔传感器对电动机转速进行采样产生脉冲信号，即比较信号，从而构成反馈。通过锁相环检测比较信号和参考信号之间的瞬时相位差，判断电动机转速是过快还是过慢，从而调节输出 PWM 波的占空比，以实现调节电动机两端电压，使电动机转速保持设定值，实现调速。



系统组成

数控锁相环调速电路主要有以下 5 个部分。

- ① 开关控制模块：用于选择电动机频率基准并通过相应的 LED 指示。
- ② 分频电路模块：用于产生参考信号，即电路的基准频率。
- ③ 转速采样模块：通过霍尔传感器对电动机转速进行实时采样，产生比较信号，构成反馈。
- ④ 锁相环鉴相模块：用于检测比较信号和参考信号之间的瞬时相位差，从而调节 PWM 波的占空比，以改变电动机两端的电压。

⑤ 电动机驱动电路：用于驱动直流电动机旋转。



模块详解

1. 开关控制模块

开关控制电路主要由 DM7404 非门和 DM7427 3 输入或非门构成，如图 1-1 所示。本设计开关控制模块设置了两挡开关控制电动机转速，分别将电动机转速控制为 160rad/s 和 100rad/s。当选择 160rad/s 时，黄色的 LED 灯亮指示；当选择 100rad/s 时，绿色的 LED 灯亮指示。

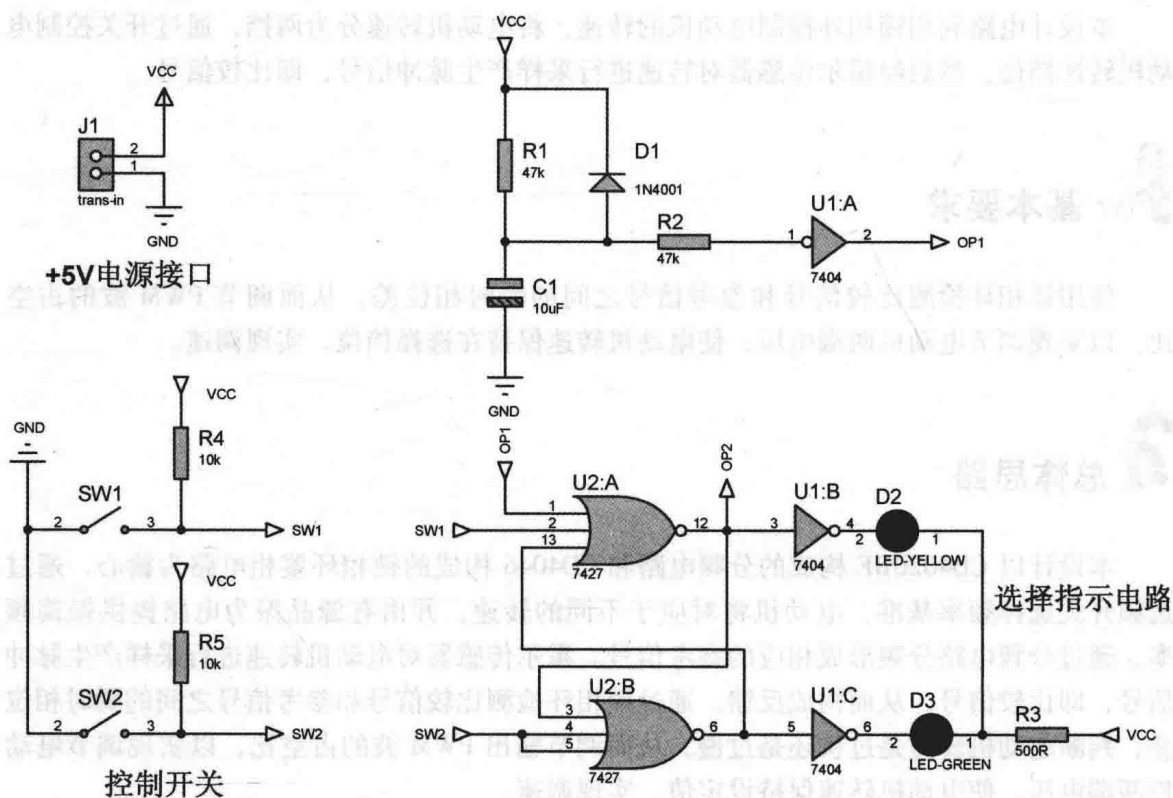


图 1-1 开关控制模块

本设计开关控制模块设置了两挡开关控制电动机转速，分别将电动机转速控制为 160rad/s 和 100rad/s。当选择不同挡时，会有不同颜色的指示灯亮起。仿真电路显示结果如图 1-2 和图 1-3 所示。

从图 1-2 可以看到，当开关 SW2 闭合时指示灯 D3 亮起，选择电动机转速的挡位是 160rad/s。

从图 1-3 可以看到，当开关 SW1 闭合时指示灯 D2 亮起，选择电动机转速的挡位是 100rad/s。

注：图 1-1 中 “uF” 为软件生成，即为 “μF”，全书下同。

2. 分频电路模块

本设计中，分频电路模块的主要作用是为电路提供参考信号，其具体分为两部分，一部分通过有源晶振为电路提供振荡频率，另一部分是通过 CD4020BE 分频器将振荡频率进行分频从而形成电路的参考信号，具体电路如图 1-4 所示。

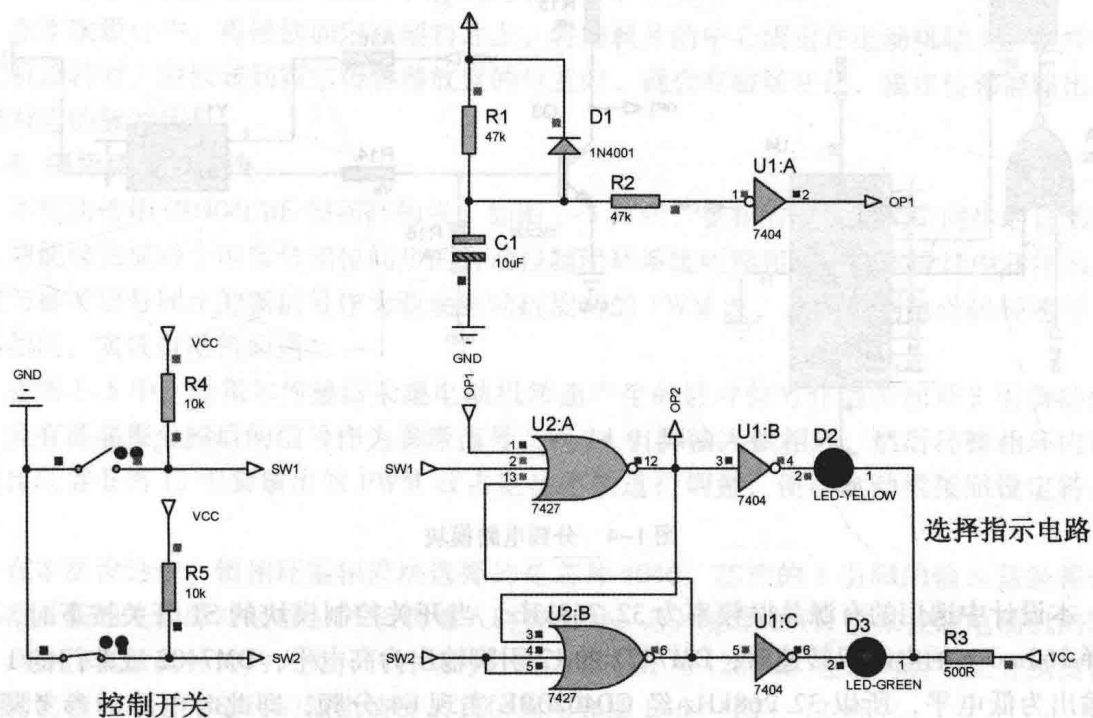


图 1-2 开关模块仿真 1

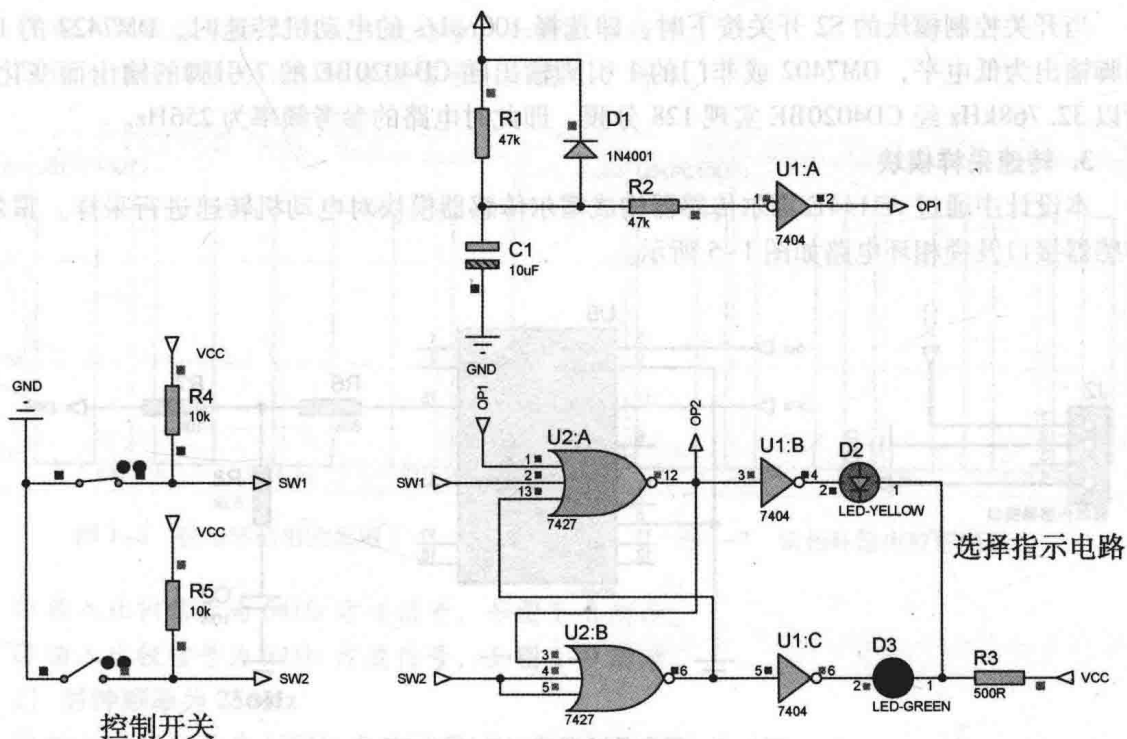


图 1-3 开关模块仿真 2

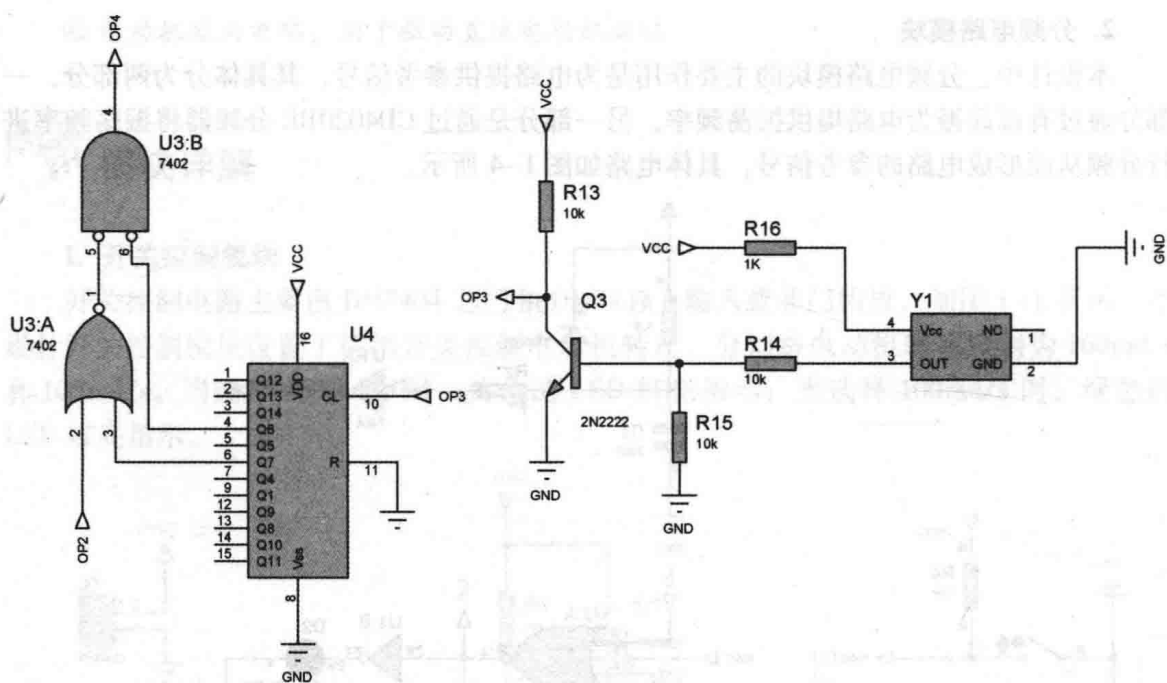


图 1-4 分频电路模块

本设计中选用的有源晶振频率为 32.768kHz。当开关控制模块的 S1 开关按下时，即选择 160rad/s 的电动机转速时，DM7427 的 12 引脚输出为高电平，DM7402 或非门的 1 引脚输出为低电平，所以 32.768kHz 经 CD4020BE 实现 64 分频，即此时电路的参考频率为 512Hz。

当开关控制模块的 S2 开关按下时，即选择 100rad/s 的电动机转速时，DM7427 的 12 引脚输出为低电平，DM7402 或非门的 1 引脚输出随 CD4020BE 的 7 引脚的输出而变化，所以 32.768kHz 经 CD4020BE 实现 128 分频，即此时电路的参考频率为 256Hz。

3. 转速采样模块

本设计中通过 A3144E 霍尔传感器构成霍尔传感器模块对电动机转速进行采样。霍尔传感器接口及锁相环电路如图 1-5 所示。

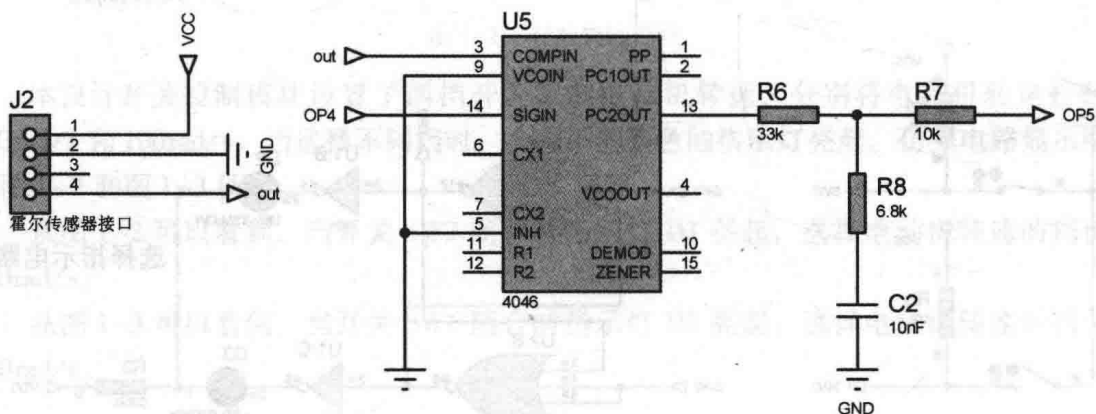


图 1-5 霍尔传感器接口及锁相环电路

霍尔传感器是依据霍尔效应实现转速测量的。所谓霍尔效应，是指磁场作用于载流金属导体、半导体中的载流子产生横向电位差的物理现象。当电流通过霍尔元件时，若在垂直于电流的方向施加磁场，则霍尔元件两侧面会出现横向电位差，由于磁场的变化，霍尔元件发出的脉冲信号传输给锁相环，作为比较信号。

在本次设计中，将磁铁固定在塑料片上，将塑料片的中心固定在电动机轴上。这样当电动机旋转时，磁铁转到霍尔传感器放置的位置时，就会有磁场变化，霍尔传感器输出与转速对应的脉冲信号。

4. 锁相环鉴相模块

本模块选用 CD4046BE 锁相环构成，如图 1-5 所示，锁相的意义是相位同步的自动控制，即能够完成两个电信号相位同步的自动控制闭环系统叫锁相环。在本设计中其作用是生成与参考信号同步的新信号作为驱动电动机旋转的 PWM 波，从而控制电动机转速与设定值相同，实现电动机调速。

在图 1-5 中，经霍尔传感器采集电动机转速产生的脉冲信号作为锁相环 3 引脚的输入，经有源晶振分频后的信号作为参考信号，经 14 引脚输入锁相环，然后经锁相环内部相位比较器Ⅱ将 13 引脚输出的 PWM 波占空比不断进行调整，使得电动机按照设定转速运行。

在本次设计中，锁相环鉴相模块选择的是芯片 4046。芯片的 3 引脚的输入是经霍尔传感器采集回来的脉冲信号，14 引脚输入时钟信号。芯片输出 PWM 波来控制电动机的转速。具体仿真情况分为两大类，时钟信号分别为 256Hz 与 128Hz。在这两类中又分别测试了不同比较信号下锁相环的输出情况。其仿真图如图 1-6 ~ 图 1-12 所示。

1) 时钟频率为 512Hz

☺ 输入比较信号为 256Hz 方波信号，如图 1-6 所示。

☺ 输入比较信号为 128Hz 方波信号，如图 1-7 所示。

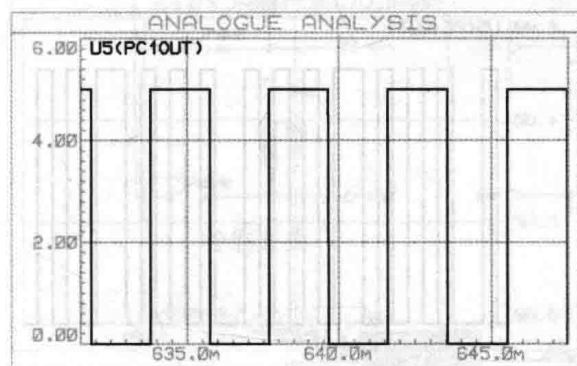


图 1-6 锁相环输出波形图 1

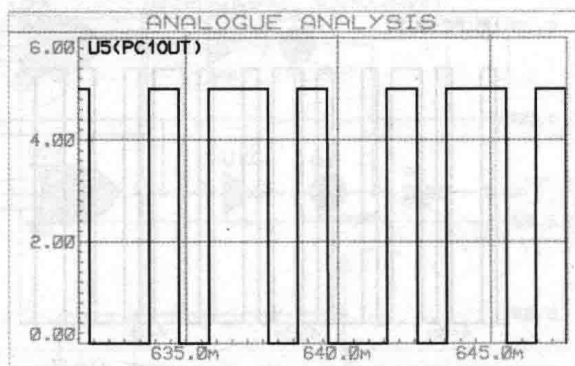


图 1-7 锁相环输出波形图 2

☺ 输入比较信号为 64Hz 方波信号，如图 1-8 所示。

☺ 输入比较信号为 32Hz 方波信号，如图 1-9 所示。

2) 时钟频率为 256Hz

☺ 输入比较信号为 128Hz 方波信号，如图 1-10 所示。

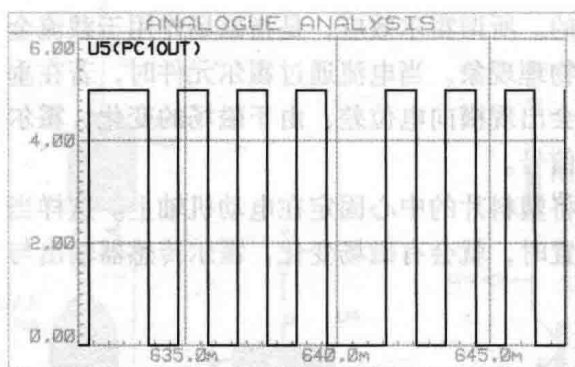


图 1-8 锁相环输出波形图 3

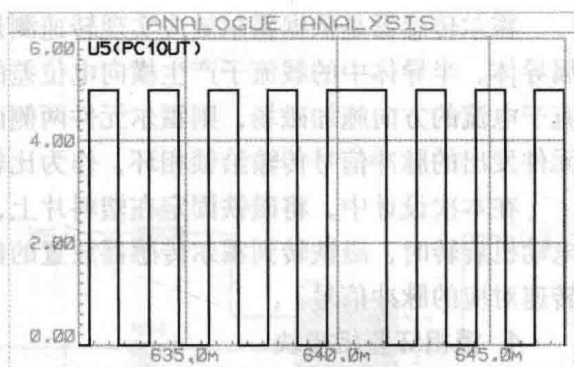


图 1-9 锁相环输出波形图 4

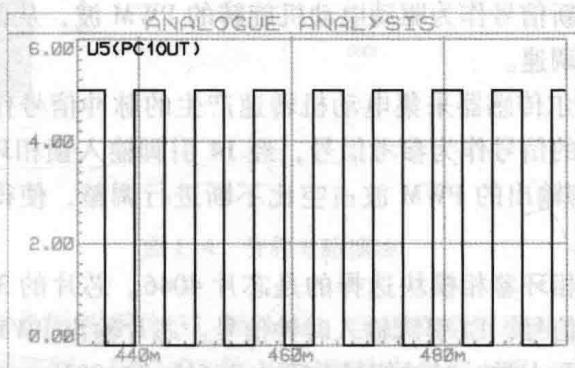


图 1-10 锁相环输出波形图 5

⑤ 输入比较信号为 64Hz 方波信号，如图 1-11 所示。

⑥ 输入比较信号为 32Hz 方波信号，如图 1-12 所示。

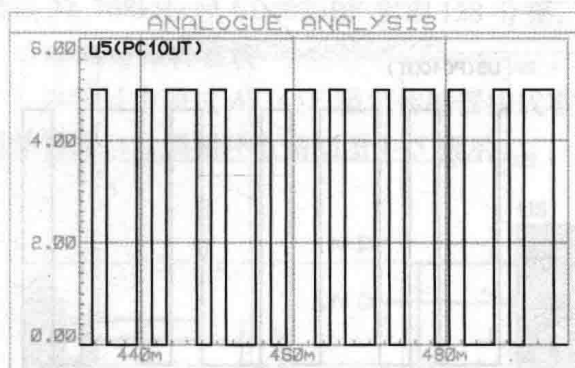


图 1-11 锁相环输出波形图 6

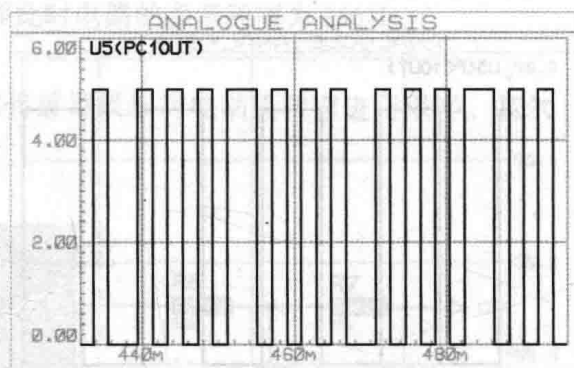


图 1-12 锁相环电路输出波形 7

由以上对锁相环电路的仿真可知，时钟频率的变化与霍尔传感器输出信号频率的改变都会引起锁相环电路输出波形的变化。

5. 电动机驱动电路

如图 1-13 所示，直流电动机驱动电路由 LM324 和三极管组成。LM324 构成两级电压跟随器，三极管起开关和放大作用，用以驱动直流电动机工作。