

浙江大学实验报告

专业：电气工程及其自动化

姓名：严旭铎

学号：3220101731

日期：2023 年 10 月 23 日

地点：东三 406 教室

课程名称：电路与电子技术实验 I 指导老师：祁才君 成绩：

实验名称：仪器使用练习 实验类型：电学实验 同组学生姓名：褚玘铖

实验 5 小车检测电路和电机驱动电路测试

一、实验目的

1. 了解智能小车结构和工作原理
2. 掌握光电检测的原理和测量方法
3. 了解直流电机驱动电路工作原理和测试方法
4. 学会参照原理图测量和调试 PCB 板

二、实验内容

1. 红外光电检测电路测试
 - 1) 分析红外光电检测电路参数设计
 - 2) 缺省高度（2CM），白底/黑底/其它表面下，光电管反射电压测量比较（至少测试 2 组光电管）
 - 3) 计算并确定区分黑白地面的比较电压值，总结光电检测轨道对地面的最低要求
 - 4) 不同高度（2 至 6CM），光电管反射电压测量比较，总结光电检测轨道对安装高度的要求
 - 5) 观察环境光亮对光电检测电路的影响
2. 测量直流电机正转和反转时的 VA 特性
3. 电机驱动模块功能验证
4. 电机开环控制时小车运行状态观测

三、实验数据记录、处理与分析

内容一：红外光电检测电路测试

实验器材：

求是 MADCL-1 电学实验箱（提供该实验所用电容、电阻等元器件）、优利德 UT890D+万用表（该实验的测量设备）、DCL-XC-VI-B V2.0.PCB 开发板及小车。

● 分析红外光电检测电路参数设计

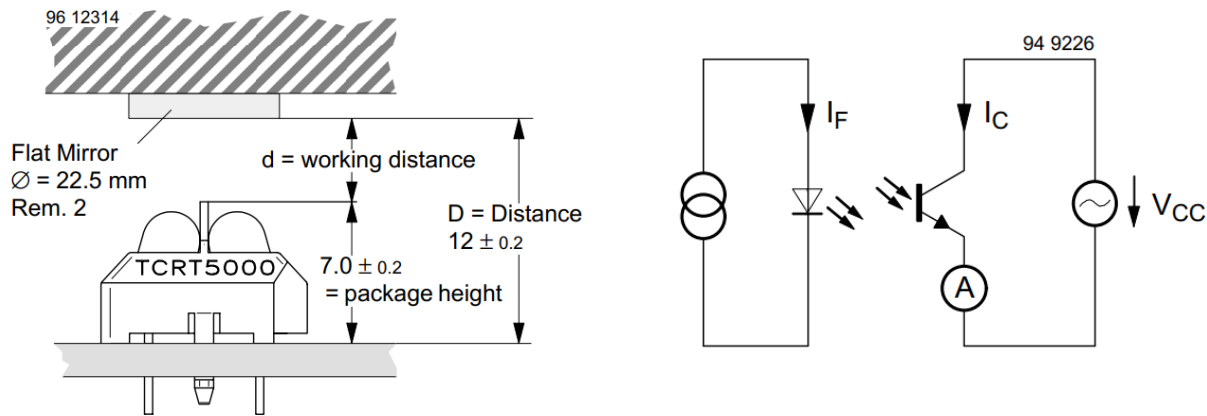


图 1 红外光电检测电路原理示意图

红外光电检测电路原理

如图所示，小车利用光电检测对管进行红外光电检测。光电对管由发光二极管和光电二极管组成。其中，发光二极管通过正向电流时会发出红外光，红外光照射到路面上会发生反射，反射光被光电二极管吸收，产生电流。据此来向小车控制电路输入信号。当反射回的光很弱时，电流弱。在小车寻迹场景下，引导线一般为黑色，而地面为白色，此时引导线上方的光电检测对管可以由光电管中产生的电流强度判断小车中线是否在引导线上。当然，电流大小受光照强度影响，后者又与路面反射率，环境光强，缺省高度等因素有关。

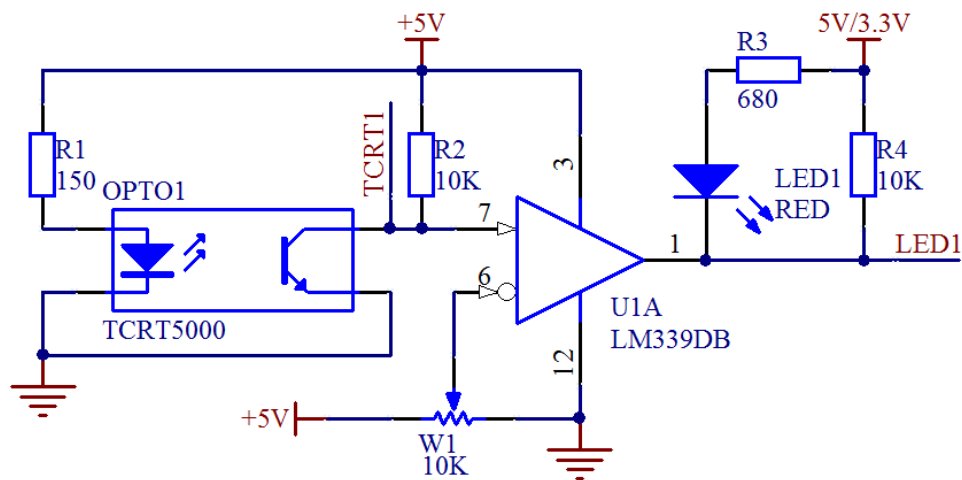


图 2 红外光电检测电路原理图

参数设计分析

如图为红外光电检测电路的原理图。该电路由 TCRT5000 光电检测对管，比较器 LM339DB，右侧 LED 指示电路等主要部分组成。

其中，比较器的作用是将非标准电平转化为标准高电平或低电平进行输出，其原理图如右侧所示。当标有+的管脚输入的电压高于标有-的管脚输入的电压时，从输出管脚输出高电位，反之输出低电位。在光电检测电路中，当管脚 7 的输入电压高于管脚 6 的输入电压时，输出高电平，反之输出低电平。管脚 6 的输入电压已经由+5V

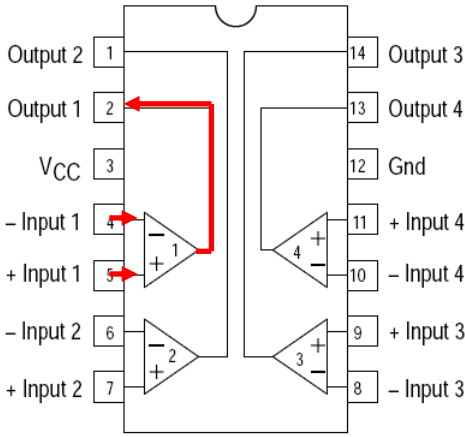


图 3 比较器 LM339DB 原理图

电源和电位器 W1 设置好，管脚 7 的输入电压则由光电检测对管提供。光电二极管接收到的光越强，管脚 7 的输入电压越大。以黑白线寻迹为例，当管脚 7 正对引导黑线时，输入电压低，输出低电平；正对白底时，输入电压高，输出高电平。输出的电平高低由右侧 LED 亮暗反映。输出高电平时，LED1 正向导通，表现为亮；反之为暗。

下面对所选元件参数进行具体分析:。

1. R1

表 1 TCRT5000 参数

BASIC CHARACTERISTICS (1)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
INPUT (EMITTER)						
Forward voltage	$I_F = 60\text{ mA}$	V_F		1.25	1.5	V
Junction capacitance	$V_R = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$	C_j		17		pF
Radiant intensity	$I_F = 60\text{ mA}, t_p = 20\text{ ms}$	I_e			21	mW/sr
Peak wavelength	$I_F = 100\text{ mA}$	λ_p	940			nm
Virtual source diameter	Method: 63 % encircled energy	d		2.1		mm
OUTPUT (DETECTOR)						
Collector emitter voltage	$I_C = 1\text{ mA}$	V_{CEO}	70			V
Emitter collector voltage	$I_e = 100\text{ }\mu\text{A}$	V_{ECO}	7			V
Collector dark current	$V_{CE} = 20\text{ V}, I_F = 0\text{ A}, E = 0\text{ lx}$	I_{CEO}		10	200	nA
SENSOR						
Collector current	$V_{CE} = 5\text{ V}, I_F = 10\text{ mA}, D = 12\text{ mm}$	$I_C^{(2)(3)}$	0.5	1	2.1	mA
Collector emitter saturation voltage	$I_F = 10\text{ mA}, I_C = 0.1\text{ mA}, D = 12\text{ mm}$	$V_{CEsat}^{(2)(3)}$			0.4	V

Note

- (1) $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified
(2) See figure 3
(3) Test surface: mirror (Mfr. Spindler a. Hoyer, Part No. 340005)

由 TCRT5000 参数表¹，该光电对管正向工作电压为 1.25V，最大电压为 1.5V。取工作电压时，R1 两侧电压为 $U_1 = 5V - 1.25V = 3.75V$ 。通正向电压时，测试用的平均整流电流 $I_F = 60\text{ mA}$ 。
 $U_1/I_F = 62.5\text{ }\Omega$ 。为了防止发光二极管电流过大，将 I_F 控制在 30mA（原来的一半）以下，此时

¹ 摘录自 [tcrt5000.pdf \(vishay.com\)](#)

$R = 3.75/30 \times 1000\Omega = 125\Omega$ 。而 125Ω 的电阻规格不常见，通用标准件下 150Ω 的电阻更易组成（ 100Ω 串联 50Ω ），且不影响正常工作。

2. R_2

输出端集电极-发射极电压在集电极额定电流为 $I_c=1\text{ mA}$ 。同样使电流不超过一半额定电流， $R_2=5V / 0.5\text{mA} = 10\text{k}\Omega$ 。

3. R_3

比较器输出低电平时，电流经由 R_3 通过 LED，起限流保护作用。

4. R_4

比较器输出高电平时，电流经由 R_4 流过，不通过 LED， R_4 限流保护。

● 不同条件下光电管反射电压测量及比较电压值的测算

1. 实验步骤

- 1) 测量小车光电对管部分与桌面的距离。准备一张平整的白纸，上面贴上一条黑色的胶带。
- 2) 用直流稳压电源给小车控制电路板通电，电源输出电压为 $12V$ 。
- 3) 打开小车电源开关。在没有垫高的情况下，将白纸分别移动至居中的 6 号和 7 号光电对管下。
用电压表直流 $6V$ 档分别测量该高度光电对管直对白底、黑底（用白纸上黑胶带实现）、桌面三种表面下，光电二极管两端电压并记录。
- 4) 将小车依次用 1,2,3 本书及 3 本书+电脑垫高后，测量缺省高度并重复步骤 3)，得到数据并记录。
- 5) 在缺省高度为 2cm （垫高一本书）的情况下，用手机闪光灯模拟环境光影响，在白底情况下加光照，测量光电二极管两端电压并记录。

2. 实验数据

表 2 不同条件下光电管的反射电压

反射电压值/V	6 号光电管				7 号光电管			
缺省高度/cm	白底	黑底	桌面	光照白底	白底	黑底	桌面	光照白底
0.2	0.203	4.715	0.2	/	0.219	4.685	0.183	/
2	0.226	2.102	0.411	0.265	0.231	2.548	0.383	0.27
3.1	1.236	2.385	1.924	/	1.241	2.435	1.915	/
4.8	2.374	2.989	2.796	/	2.504	3.184	2.929	/
6.7	3.227	3.449	3.454	/	3.296	3.541	3.547	/

3. 数据处理与分析

- 1) **缺省高度为 2cm 时的比较电压值：**求出 6 号和 7 号光电管在白底和黑底情况下反射电压的平均值，分别为 1.164V 和 1.390V。由于各光电管之间的数据有一定离散性，取比较电压值为 1.6V 较为合理。
- 2) **不同高度反射电压的比较：**由数据可以看出，缺省高度越大，白底和桌面条件下的反射电压越大，而黑底条件下是先减小后变大。

白底条件下，当缺省高度越大时，底面反射的光有更多散到环境中而没有被光电管吸收，使得光电管产生的电流变小，R2 上的压降变小，从而使光电二极管上的反射电压增大。

黑底条件下，在缺省高度为 0.2cm 时，环境光的影响很小，发光二极管发出的光基本都被黑底吸收，反射回光电管的光很少，使得光电管产生的电流很小，R2 上的压降变小，从而光电管上的反射电压很大。当缺省高度更大时，由于实验条件下黑胶带没那么宽，有一些环境光经由胶带边上的白底面反射并被光电管吸收，使光电管产生的电流变大，R2 压降变大，反射电压变小。当缺省高度继续变大时，周围白底反射的光进入光电管的量变小了，此时情况与白底的类似。
- 3) **不同表面对反射电压的影响：**比较白底、黑底、桌面三种表面对光电管反射电压的影响，可以看到在缺省高度大于等于 2cm 时，桌面的反射电压比白底的反射电压更大，这是因为桌面反射率比白底更低，光电管收到的光更少，电流更小，R2 压降更小。当缺省高度达到 6.7cm 时，桌面与黑底反射电压很近，这也间接表明 2) 中我对黑底条件下反射电压变化趋势的分析是合理的。
- 4) **光电检测轨道对地面的最低要求：**光电检测轨道表面（红外）光的反射率要与其他表面的反射率有较大差别，容易实现的方式就是通过反差的颜色。例如白底黑轨道或黑底白轨道。也可以让轨道表面更粗糙，其他表面更光洁。
- 5) **光电检测轨道对安装高度的要求：**缺省高度不能过高，设置在 2~3cm 以下即可。如果过高则环境光对检测的影响过大，且光电管能接受的有效光量急剧下降，可能无法使指示 LED 灯按照高低电平正常亮灭。
- 6) **环境光亮对光电检测电路的影响：**在缺省高度为 2cm 条件下我们采用了手机闪光灯作为干扰环境光，在光照白底条件下，得到的反射电压值比白底的反射电压更高，说明此时电流更小。这是一个和预期相反的结果。存疑。理论上来说应该与 2) 中的分析相符。

内容二：测量直流电机正转和反转时的 VA 特性

1. 实验步骤

- 1) 将小车翻转过来，拆开电机和控制电路板的导线连接，将导线接入稳压直流电源。
- 2) 在实验箱上选一个 10Ω 的电阻，将其与电机和电源串联在一起。测量电机电流时，我们选择不用万用表电流档而是用电压档进行测量，用电阻上的电压与电阻的比值作为电机电流（这是因为电流较小时，测量电流需要换表笔接线比较麻烦，而且小量程下电流档的内阻相对来说太大，会造成比较大的实验误差）。
- 3) 连接好电路后，将电源输出调整到 12V，并按下 output 开始输出。观察此时电机转动状态（以小车电机侧向前运动为电机正转方向）。用万用表 60V 档测量电机两端的电压 U 并记录，再将档位调到 600mV 档测量电阻两端电压 U_R 并记录。
- 4) 依次调低电源电压并重复 3）。
- 5) 将电源两口的导线对调，使电机反向转动，重复 3）4）。
- 6) 根据数据绘制 VA 特性曲线。

2. 实验数据

表 3 电机正转时的 VA 特性

电机型号	37ZYJ-50-528		
U/V	U_R/mV	I/mA	状态
11.7	371	37.1	正转
10.7	352	35.2	正转
9.71	336	33.6	正转
8.71	324	32.4	正转
7.72	314	31.4	正转
6.72	303	30.3	正转
5.72	292	29.2	正转
4.74	281	28.1	正转
3.73	273	27.3	正转
2.73	265	26.5	正转
2.03	259	25.9	刚开始转
1.74	256	25.6	转很慢
1.16	219.5	21.95	停转
1.05	218.7	21.87	停转
0.67	202.1	20.21	停转

表 4 电机反转时的 VA 特性

电机型号	37ZYJ-50-528		
U/V	U _R /mV	I/mA	状态
11.65	369	36.9	反转
10.67	360	36	反转
9.67	348	34.8	反转
8.65	338	33.8	反转
7.68	327	32.7	反转
6.69	316	31.6	反转
5.69	298	29.8	反转
4.68	290	29	反转
3.69	276	27.6	反转
2.72	265	26.5	反转
1.58	256	25.6	转很慢
1.08	244	24.4	停转
0.67	234	23.4	停转
0.34	101	10.1	停转
0.15	52.9	5.29	停转

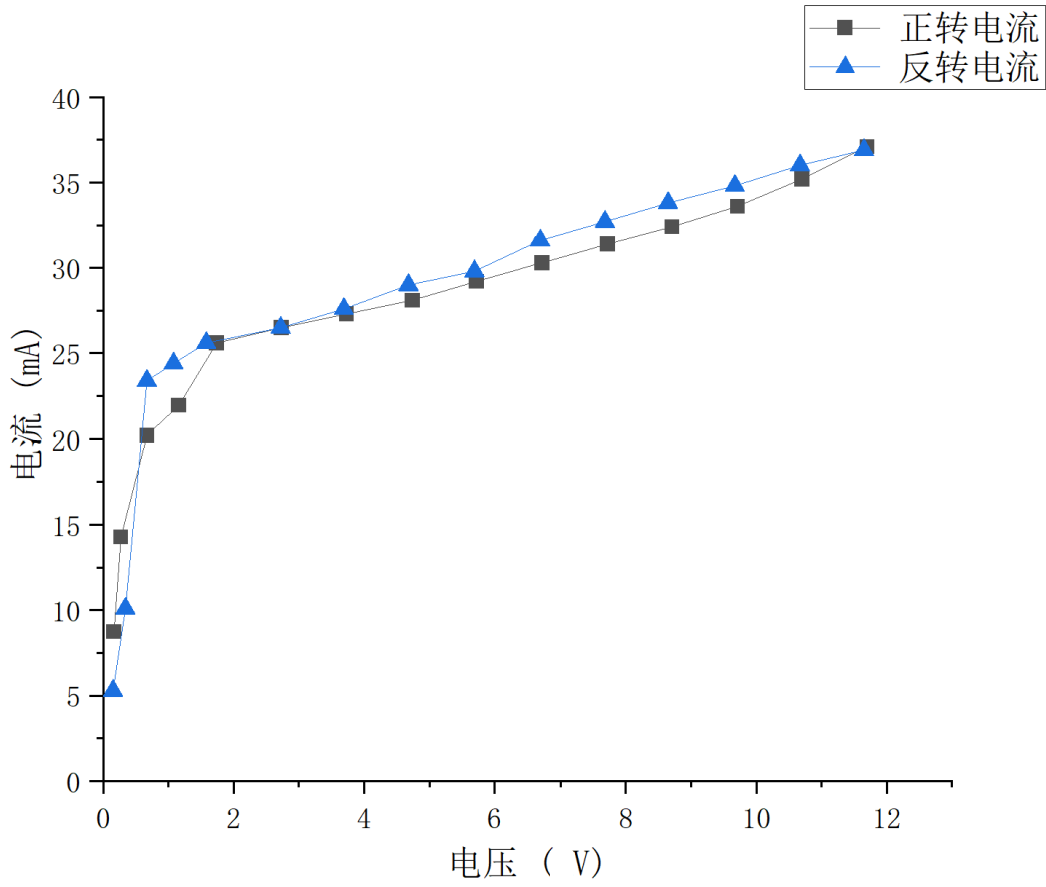


图 4 电机正转和反转时的 VA 特性曲线

3. 数据处理与分析

- 1) 同一电机正转反转的 VA 特性曲线走势基本一致，在电机停转，电机电压为 0~1.5V 之间时，电机电流上升很快，此时电机相当于电阻，电能几乎全转为热能；此后电机开始转动后，电流随电压上升速度变慢，因为电机转动将一部分电能转化为机械能，电流增量减小。
- 2) 在额定电压 12V 以内，电压越高电机转速越快。在电压为 1.5V 左右时，电机处于恰好转和不转的临界点。
- 3) 注意到当电压比较高时，在读取电阻两端电压时会有比较大的波动，会造成一定的读数误差。

内容三：电机驱动模块功能验证

1. 实验步骤

- 1) 在控制电路板上对照电路原理图找到 ENA, IN1, IN2 和 OUT1, OUT2, 3.3V, GND 对应的接口。
- 2) 用 12V 稳压直流电源连接控制电路板。利用控制电路板上的 3.3V 输出口给 H 桥驱动电路供电。
- 3) 分别按照下面的逻辑输入表连接控制电路。其中 1 代表输入高电平（3.3V），0 代表输入低电平（0V）。用万用表分别测量各组输入下 OUT1 和 OUT2 的电压值并记录。

表 5 逻辑输入表

序号	ENA 逻辑	IN1 逻辑	IN2 逻辑
1	1	0	0
2	1	1	0
3	1	0	1
4	1	1	1
5	0	0	0

2. 实验数据

表 6 电机驱动模块功能验证

序号	ENA 逻辑	IN1 逻辑	IN2 逻辑	OUT1 电压/V	OUT2 电压/V	电机状态
1	1	0	0	0.22	0.22	不转
2	1	1	0	11.64	0.9	正转
3	1	0	1	0.8	11.54	反转
4	1	1	1	12.28	12.28	不转
5	0	0	0	0.13	0.13	不转

3. 数据处理与分析

- 1) 由于 ENA 控制驱动总是能, 当 ENA 输入为 0 (低电平) 时, OUT1 和 OUT2 输出均为低电平; 当 ENA 输入为 1 (高电平) 时, 可以发现当 IN1 和 IN2 分别输入高电平时, OUT1 和 OUT2 分别对应输出高电平, 反之对应输出低电平。且 IN1 与 IN2 输入相异时, 电机才会转动, IN1 输入高电平则正转; IN2 输入高电平则反转。这与理论值相符, 说明电机驱动功能模块是正常的。

内容四：电机开环控制时小车运行状态观测

1. 实验步骤

- 1) 用长电源线连接 12V 稳压电源和小车, 分下面四种情况连接控制电路, 其中 ENA 控制左电机, ENB 控制右电机, “IN1=1 (高电平) and IN2=0 (低电平)” 为正转, “IN1=0 (低电平) and IN2=0 (高电平)” 为反转, ENA/ENB = 0 为左/右电机停转:
 - i. 左右电机均正转;
 - ii. 左电机正转, 右电机停转;
 - iii. 左电机正转, 右电机反转;
 - iv. 右电机正转, 左电机停转;
 - v. 右电机正转, 左电机反转。
- 2) 分别记录各情况下小车的运行状态。

2. 实验数据

表 7 电机开环控制时小车的运行状态

左电机	右电机	小车运动状态
正转	正转	右偏前进
正转	不转	顺时针旋转 (半径更小), 右轮为轴
正转	反转	顺时针旋转, 中心为轴
不转	正转	逆时针旋转 (半径更小), 左轮为轴
反转	正转	逆时针旋转, 中心为轴

3. 数据处理与分析

当左右电机均正转时, 小车右偏, 说明两电机转速不同, 左电机转速稍快, 使得整车向右有所偏离。其他情况下符合理论预期。

四、实验心得与体会

1. 在之前的工程训练课上我也体验过自动寻迹小车的寻迹编程，在通识课上也了解到了一些小车寻迹中涉及的红外光电检测传感器的知识，但这次课我通过自己动手探究，对红外光电检测的原理有了更深刻的一些认识。缺省高度、环境光、表面材质都与红外光电检测的精度有关。同时，发光二极管和光电二极管组成的光电对管在电路设计上非常讲究，在保护限流电阻的选用上都需要经过仔细的计算才能得到。我也学到了可以利用比较器将非标准电平转化为标准高、低电平输出。这一方法将现实环境下不规则的电压转化，感觉就像数学中的狄利克雷函数，又像一把筛子，这样处理之后对信号的数字化非常有利。
2. 在使用小车的控制电路板时，我们往往将 3.3V 设置为高电平，这是因为小车顶部 FGPA 电路板的高电平标准就是 3.3V，统一标准有助于保护电路板，简化设计。
3. 在同时需要测量电压和小电流时，依然可以使用一个万用表的电压档进行测量。这有两个好处：一是实验室所用万用表在测量 mA 级电流时需要更换红表笔插孔，很麻烦，而加一个小电阻测电压在只有一个万用表的情况下，不需要换表笔插孔，只需要调一下档位即可，更方便；二是小电流情况下，电流表的内阻相对说过大，会造成比较大的系统误差。
4. 内容三驱动电机时一定要用控制电路板上的输出源连接，不要直接连直流稳压电源。
5. 在内容一测量光电管反射电压时，表笔要接触电路板上的焊点才能进行测量，注意不要接错焊点。