

浙江大学实验报告

专业： 电子信息工程
姓名： 邢毅诚
学号： 3190105197
日期： 2020-9-21
地点： 东三-406

课程名称： 电路与电子技术实验 指导老师： 祁才君 成绩：
实验名称： 小车检测电路和驱动电路测试 实验类型： 验证实验 同组学生姓名： 郑冰阳

一、 实验目的

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

二、 实验基本内容

1. 实验内容

(1) 红外光电检测电路测试

- 分析红外光电检测电路参数设计
- 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）。
- 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
- 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
- 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

- 不同输入直流电压时电机的电流和转速

(3) 电机驱动模块功能验证

| 序号 | ENA 逻辑 | IN1 逻辑 | IN2 逻辑 | OUT1 电压 | OUT2 电压 | 电机状态 |
|----|--------|--------|--------|---------|---------|------|
| 1 | 0 | X | X | 0V | 0V | 停止 |
| 2 | 1 | 0 | 0 | 0V | 0V | 停止 |
| 3 | 1 | 0 | 1 | 0V | +12V | 正转 |
| 4 | 1 | 1 | 0 | +12V | 0V | 反转 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | +12V | +12V | 停止 |

表 1: 电机驱动模块功能对照表

(4) 电机开环控制时小车运行状态观测

- 左右电机均正转时，观察小车运行状态，能否直线运行？
- 左电机正转时，右电机停止，观察小车运行状态
- 左电机正转时，右电机反转，观察小车运行状态
- 右电机正转时，左电机停止，观察小车运行状态
- 右电机正转时，左电机反转，观察小车运行状态

2. 实验原理

(1) 红外光电检测电路测试

- 分析红外光电检测电路参数设计
- 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）。
- 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
- 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
- 观察环境光亮对光电检测电路的影响

红外光电的检测电路如下图所示，其中标号为“TCRT5000”的电路器件为红外传感器，它包含一个红外发光二极管和一个光敏三极管。在通过电压时，红外发光二极管会发出红外光线，红外光线经平面反射后被光敏三极管吸收，进而产生电流。

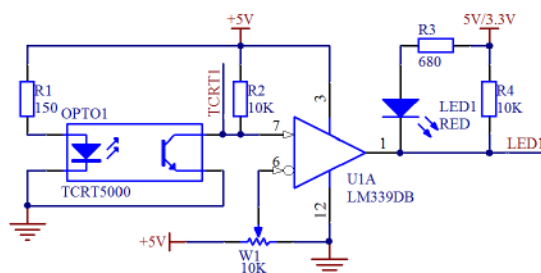


图 1: 红外循迹电路设计图

红外传感器的特性曲线如下图所示，根据其特性曲线以及导通电压值，电流值，以及击穿电压等等，我们可以根据其特性，推导出所需连接电阻以及所加电压之间的关系。同时，我们可以测量实验小车下方的电阻以及端点与地之间的电压，并与我们得出的结论进行比较。

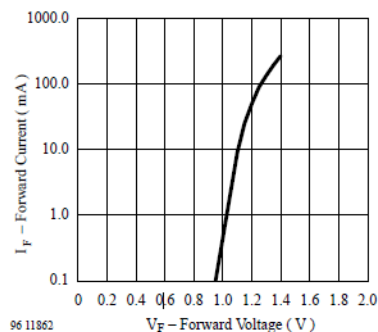


Figure 4. Forward Current vs. Forward Voltage

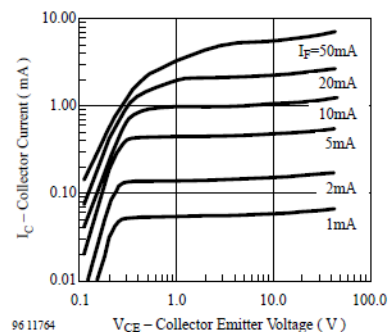


Figure 7. Collector Emitter Saturation Voltage vs. Collector Current

图 2: 红外传感器特性曲线

将小车连接到直流电压源之后，打开小车电源开关，红外传感器便会正常工作，测量红外传感器两端的电压，我们便能得出小车在不同高度以及不同地面下的导通电压，并确定光敏二极管在不同情况下所吸收的电压，进而测出相应的数据。

(2) 测量直流电机正转和反转时的 VA 特性

- 不同输入直流电压时电机的电流和转速

将左右电机分别与直流电压源相连，使用数字万用表分别测量其电流与电压，逐渐调节增大直流稳压源的输出电压，并记录数字万用表显示的电流值与电压值。在记录数据时，由于滚轮未转动的电压较小 (约 1V 左右开始转动)，我们选取较为密集的测量点，而滚轮转动后电压较大 (可取到 12V)，我们选取较为稀疏的测量点。记录完一组数据后，为测量不同轮之间伏安特性曲线的不同以及正转反转伏安特性曲线的不同，我们需要分别测量“左轮正转”，“左轮反转”，“右轮正转”，“右轮反转”时的伏安特性曲线。

(3) 电机驱动模块功能验证

如表 1 所示，ENA，IN1 以及 IN2 的不同状态会影响 OUT1 以及 OUT2 的电压以及左右轮电机的状态。按照表 1 进行连接以及测量，我们就能获得 OUT1 以及 OUT2 的电压，以及电压的运行状态。

(4) 电机开环控制时小车运行状态观测

- 左右电机均正转时，观察小车运行状态，能否直线运行？
- 左电机正转时，右电机停止，观察小车运行状态
- 左电机正转时，右电机反转，观察小车运行状态
- 右电机正转时，左电机停止，观察小车运行状态
- 右电机正转时，左电机反转，观察小车运行状态

将小车与直流稳压源连接后，并将电机的驱动模块连接完好，小车便会按照我们所想的方式进行运动。通过调整电机的驱动功能模块，我们便可以观察左右电机不同滚动方式下，小车的运行状态。

三、 主要仪器设备

- (1) GWINSTEK GPD4303S 稳压源
- (2) 优利德 UT890D+ 数字万用表
- (3) 探头线, 导线若干
- (4) 实验小车

四、 操作方法和实验步骤

(1) 红外光电检测电路测试

- 分析红外光电检测电路参数设计

- (1) 检查实验仪器是否可以正常使用，有无缺失。
- (2) 将小车与直流稳压源连接，调节直流稳压源的输出电压至 12V 以上，调节完毕后，将直流稳压源以及小车的开关打开。
- (3) 观察小车状况无误后，测量不同红外传感器上的电阻并进行记录。
- (4) 将记录的数据与“TCRT5000”的伏安特性曲线结合进行分析，分析安装此电阻是否合理。

- 测量不同高度下，白底/黑底/红底下的光电管反射电压的测量电压以及环境光对其影响

- (1) 检查实验仪器是否可以正常使用，有无缺失。
- (2) 将小车分别置于桌面/白底/黑底/黑底加手电光的条件下，并将缺省高度调节为 2CM, 3CM, 4CM, 5CM, 6CM。
- (3) 将小车与直流稳压源连接，调节直流稳压源的输出电压至 12V 以上，调节完毕后，将直流稳压源的以及小车的开关打开，观察 1, 6, 7, 12 号灯管的亮灭并测量其电压。
- (4) 记录相关数据并进行分析
- (5) 测量完毕后，整理实验仪器，并关闭电源

(2) 测量直流电机正转和反转时的 VA 特性

- 不同输入直流电压时电机的电流和转速

- (1) 检查实验仪器是否可以正常使用，有无缺失
- (2) 分别将直流稳压源的正负极与左电机的正负极相连，使左轮正向运动。
- (3) 将电压调节至最小值，并打开直流稳压源的输出开关
- (4) 将直流稳压源输出电压逐渐调大，使用数字万用表分别测量通过电机的电流与电压 (采用外接法)，在电机并没有转动时，选取较为密集的测试点，当电机转动后，选取较为稀疏的测试点。
- (5) 测量完毕后，将电机便为反转，重复上述步骤
- (6) 测量完毕后，将直流稳压源的正负极与右电机的正负极相连，重复上述步骤。
- (7) 整理实验仪器，并关闭电源

(3) 电机驱动模块功能验证

- (1) 检查实验仪器是否可以正常使用，有无缺失
 - (2) 将小车与直流稳压源连接，调节直流稳压源的输出电压至 12V 以上
 - (3) 按照表 1 所示，按照要求将 ENA, IN1 与 IN2 与 5V(导通) 或 GROUND(不导通) 相连，并记录 OUT1, OUT2 的电压以及电机的运动状态。
 - (4) 测量完毕后，整理实验仪器，并关闭电源
- (4) 电机开环控制时小车运行状态观测
- (1) 检查实验仪器是否可以正常使用，有无缺失
 - (2) 将小车与直流稳压源连接，调节直流稳压源的输出电压至 12V 以上
 - (3) 按照要求调节左右电机的运行状态，并进行记录
 - (4) 测量完毕后，整理实验仪器，并关闭电源

五、实验数据记录和处理

(1) 红外光电检测电路测试

- 分析红外光电检测电路参数设计

对红外传感器所连接的两个电阻进行测量，测得如下阻值：

| | | | |
|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 电阻 1 大小/ Ω | 148.1 | 147.6 | 147.3 |
| 电阻 2 大小/ Ω | 9.88×10^3 | 9.88×10^3 | 9.88×10^3 |

表 2: 测量电阻

- 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）。
- 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
- 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
- 观察环境光亮对光电检测电路的影响

在不同高度以及不同环境下，测得其光电传感器与地面之间的电压如下图所示，其中右侧的三组数据为使用在黑底情况下使用环境光（手电筒）在不同距离时对其的影响

| 光电管 | 黑底 | 白底 | 桌面 | 黑底手电 10cm | 黑底手电 20cm | 黑底手电 30cm |
|------|------|------|------|-----------|-----------|-----------|
| 1 号 | 4.48 | 2.24 | 2.87 | 4.51 | 4.49 | 4.48 |
| 6 号 | 4.44 | 0.9 | 1.77 | 4.44 | 4.44 | 4.44 |
| 7 号 | 4.38 | 0.56 | 1.48 | 4.38 | 4.37 | 4.37 |
| 12 号 | 4.55 | 2.04 | 2.24 | 4.55 | 4.55 | 4.55 |

表 3: 缺省高度 2CM

| 光电管 | 黑底 | 白底 | 桌面 | 黑底手电 10cm | 黑底手电 20cm | 黑底手电 30cm |
|------|------|------|------|-----------|-----------|-----------|
| 1 号 | 4.19 | 3.41 | 3.76 | 4.16 | 4.15 | 4.17 |
| 6 号 | 3.98 | 2.49 | 2.98 | 3.95 | 3.89 | 3.89 |
| 7 号 | 3.86 | 2.3 | 2.85 | 3.85 | 3.78 | 3.78 |
| 12 号 | 4.31 | 3.04 | 3.46 | 4.21 | 4.23 | 4.23 |

表 4: 缺省高度 3CM

| 光电管 | 黑底 | 白底 | 桌面 | 黑底手电 10cm | 黑底手电 20cm | 黑底手电 30cm |
|------|------|------|------|-----------|-----------|-----------|
| 1 号 | 4.29 | 3.83 | 4.07 | 4.26 | 4.24 | 4.25 |
| 6 号 | 4.05 | 3.04 | 3.45 | 4.01 | 4.01 | 4.02 |
| 7 号 | 3.95 | 2.86 | 3.32 | 3.92 | 3.9 | 3.89 |
| 12 号 | 4.37 | 3.44 | 3.79 | 4.35 | 4.35 | 4.36 |

表 5: 缺省高度 4CM

| 光电管 | 黑底 | 白底 | 桌面 | 黑底手电 10cm | 黑底手电 20cm | 黑底手电 30cm |
|------|------|------|------|-----------|-----------|-----------|
| 1 号 | 4.59 | 4.07 | 4.28 | 4.57 | 4.56 | 4.58 |
| 6 号 | 4.35 | 3.51 | 3.83 | 4.34 | 4.34 | 4.34 |
| 7 号 | 4.27 | 3.35 | 3.71 | 4.27 | 4.27 | 4.27 |
| 12 号 | 4.49 | 3.85 | 4.11 | 4.49 | 4.48 | 4.49 |

表 6: 缺省高度 5CM

| 光电管 | 黑底 | 白底 | 桌面 | 黑底手电 10cm | 黑底手电 20cm | 黑底手电 30cm |
|------|------|------|------|-----------|-----------|-----------|
| 1 号 | 4.64 | 4.42 | 4.48 | 4.64 | 4.64 | 4.64 |
| 6 号 | 4.45 | 4.14 | 4.29 | 4.45 | 4.45 | 4.45 |
| 7 号 | 4.38 | 4.03 | 4.2 | 4.37 | 4.37 | 4.37 |
| 12 号 | 4.57 | 4.34 | 4.48 | 4.57 | 4.57 | 4.57 |

表 7: 缺省高度 6CM

(2) 测量直流电机正转和反转时的 VA 特性

- 不同输入直流电压时电机的电流和转速

| 右轮 | | | | 左轮 | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 正转 | | 反转 | | 正转 | | 反转 | |
| 电压/V | 电流/mA | 电压/V | 电流/mA | 电压/V | 电流/mA | 电压/V | 电流/mA |
| 0.049 | 4.81 | 0.04 | 4.68 | 0.08 | 8.4 | 0.08 | 9.72 |
| 0.146 | 14.32 | 0.14 | 14.06 | 0.24 | 25 | 0.25 | 25.33 |
| 0.243 | 23.83 | 0.23 | 23.56 | 0.41 | 41.7 | 0.42 | 42.24 |
| 0.34 | 33.40 | 0.33 | 33.01 | 0.58 | 58.3 | 0.59 | 59.03 |
| 0.388 | 47.78 | 0.43 | 42.41 | 0.75 | 74.7 | 0.66 | 17.95 |
| 0.892 | 19.46 | 0.88 | 19.77 | 1.06 | 22.2 | 0.86 | 21.41 |
| 1.384 | 21.02 | 1.35 | 21.12 | 1.25 | 23.1 | 1.56 | 23.42 |
| 1.862 | 22.78 | 1.85 | 22.39 | 1.45 | 24.0 | 2.06 | 25.43 |
| 2.356 | 24.22 | 2.33 | 23.52 | 2.03 | 25.7 | 2.56 | 26.04 |
| 2.842 | 24.95 | 2.83 | 24.41 | 2.55 | 27.7 | 3.06 | 27.72 |
| 3.333 | 25.93 | 3.33 | 25.12 | 3.05 | 29.1 | 3.56 | 28.38 |
| 3.829 | 27.04 | 3.8 | 25.77 | 3.55 | 30.6 | 4.07 | 28.76 |
| 4.315 | 28.17 | 4.32 | 26.67 | 4.05 | 31.7 | 4.57 | 30.23 |
| 4.81 | 29.67 | 4.82 | 27.31 | 4.55 | 32.5 | 5.07 | 30.68 |
| 5.301 | 30.21 | 5.31 | 27.74 | 5.05 | 34.0 | 5.57 | 31.63 |
| 6.48 | 32.42 | 5.79 | 28.64 | 5.55 | 34.8 | 6.07 | 32.12 |
| 6.77 | 33.93 | 6.28 | 29.21 | 6.05 | 35.9 | 6.57 | 32.89 |
| 7.26 | 34.82 | 7.78 | 31.56 | 6.55 | 36.7 | 7.07 | 33.83 |
| 7.75 | 35.3 | 8.27 | 32.46 | 7.06 | 37.3 | 7.57 | 34.48 |
| 8.34 | 36.77 | 8.76 | 32.45 | 7.55 | 37.7 | 8.07 | 35.23 |
| 8.73 | 36.98 | 9.24 | 34.51 | 8.06 | 38.2 | 8.48 | 35.62 |
| 9.21 | 37.81 | 9.74 | 35.33 | 8.56 | 39.1 | 8.87 | 36.39 |
| 9.71 | 38.97 | 10.23 | 36.26 | 9.06 | 40.0 | 9.38 | 36.47 |
| 10.21 | 39.57 | 10.73 | 37.40 | 9.66 | 41.3 | 9.98 | 37.52 |
| 10.71 | 40.01 | 11.22 | 38.61 | 10.06 | 42.6 | 10.28 | 37.68 |
| 11.21 | 40.92 | 11.71 | 39.61 | 10.56 | 42.9 | 10.68 | 38.12 |
| 11.68 | 42.05 | | | 11.06 | 43.7 | 11.8 | 38.91 |

表 8: 电机的电流与电压关系

根据上述数据，我们可以绘制出以下图像：

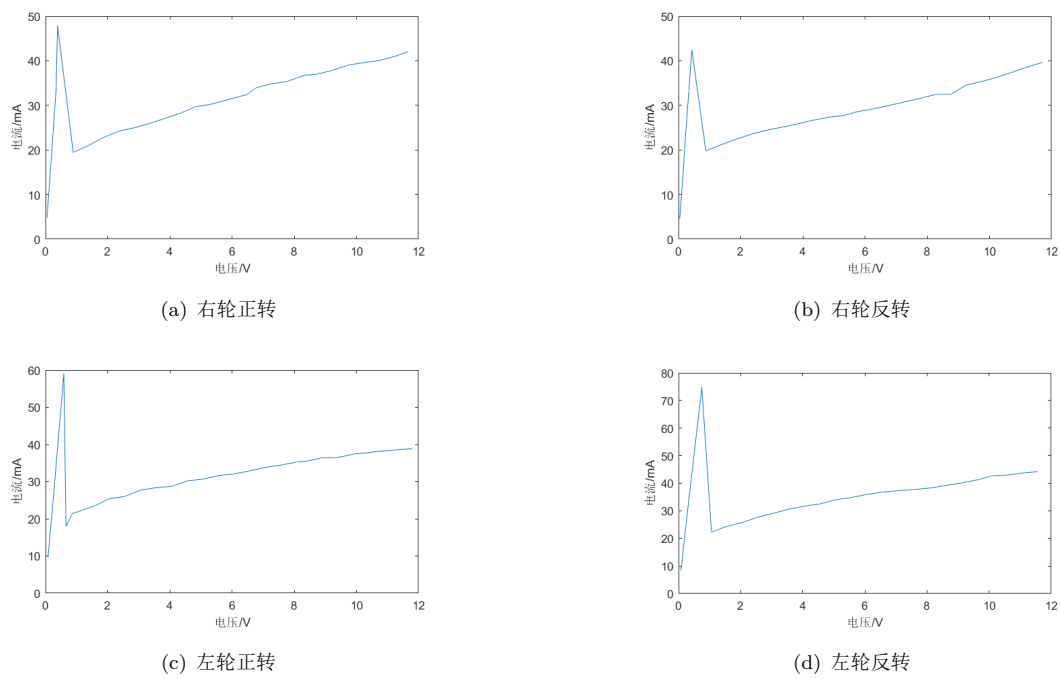


图 3: 电机伏安特性曲线

(3) 电机驱动模块功能验证

按照实验步骤进行实验，获得左轮右轮的电机驱动模块功能表

| 序号 | ENA 逻辑 | IN1 逻辑 | IN2 逻辑 | OUT2 电压 | OUT1 电压 | 电机状态 |
|----|--------|--------|--------|---------|---------|------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0.05 | 0.05 | 停止 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 0.09 | 0.05 | 停止 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 0.06 | 0.06 | 停止 |
| 4 | 0 | 1 | 1 | 0.07 | 0.07 | 停止 |
| 5 | 1 | 0 | 0 | 0.15 | 0.14 | 停止 |
| 6 | 1 | 1 | 0 | 0.71 | 11.3 | 反转 |
| 7 | 1 | 0 | 1 | 11.3 | 0.72 | 正转 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 12.04 | 12.04 | 停止 |

表 9: 左轮电机驱动模块功能验证

| 序号 | ENA 逻辑 | IN3 逻辑 | IN4 逻辑 | OUT3 电压 | OUT4 电压 | 电机状态 |
|----|--------|--------|--------|---------|---------|------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0.05 | 0.05 | 停止 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 0.05 | 0.04 | 停止 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 0.05 | 0.05 | 停止 |
| 4 | 0 | 1 | 1 | 0.05 | 0.05 | 停止 |
| 5 | 1 | 0 | 0 | 0.15 | 0.14 | 停止 |
| 6 | 1 | 1 | 0 | 11.31 | 0.72 | 反转 |
| 7 | 1 | 0 | 1 | 0.71 | 11.3 | 正转 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 12.03 | 12.03 | 停止 |

表 10: 右轮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

- 左右电机均正转时，观察小车运行状态，能否直线运行？
小车并不能呈直线运行，会慢慢偏向左边进行运动。
- 左电机正转时，右电机停止，观察小车运行状态
小车会以右轮为原点，做顺时针的圆周运动，同时右轮并不是完全静止的，而是也会做一个顺时针方向的圆周运动。
- 左电机正转时，右电机反转，观察小车运行状态
小车会围绕中心做一个顺时针方向的圆周运动。
- 右电机正转时，左电机停止，观察小车运行状态
小车会以左轮为原点，做逆时针的圆周运动，同时左轮并不是完全静止的，而是也会做一个逆时针方向的圆周运动。
- 右电机正转时，左电机反转，观察小车运行状态
小车会围绕中心做一个逆时针方向的圆周运动。

六、 数据处理与分析

(1) 红外光电检测电路测试

- 分析红外光电检测电路参数设计

根据测量电阻，我们可以得出与“TCRT5000”红外传感器之间串联的电阻大约为 150Ω 。假设当红外传感器的等效电阻为 0Ω 时，可以获得通过红外传感器的电阻为 33mA ，在红外传感器的安全范围内。同时，当我们可以画出 $5 - 0.15I = U$ 与左图相交的电流大致位于 10mA ，也较为合理，因此我们判断使用 150Ω 的电阻作为保护电阻是一个较为合理的选择。

- 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）。

相同缺省高度时，二极管反射电压由大到小依次是黑底、桌面、白底。这说明黑底反射光的能力最弱，桌面强一些，白纸最强。当缺省高度增加，光电二极管的反射电压也在增大（不论是桌面、白纸还是黑胶带），同时桌面，白底和黑底之间的差异也在减小，说明当缺省高度增加，红外光电检测电路对于下方底面的区分能力变弱。

- 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
不同高度下黑白底面对应的反射电压也有不同，以缺省高度 2cm 为例，观察实验数据可知黑底的反射电压基本上高于 4.38V，而白底的反射电压基本上低于 2.24V，理论上说位于这两个数值之间的比较电压都可以，但是为了保险起见，可以旋转 3.5V 左右，这也说明了当缺省高度比较低的时候，红外光电检测电路对地面颜色的区分能力比较强。
光电检测轨道对地面的最低要求是在规定的缺省高度下，各个光电管对地面的反射电压的最大值不能大于各个光电管对黑底反射电压的最小值，即地面的灰度不能太高。
- 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
当高度升高，各个底面对应的反射电压值开始接近，光电检测轨道对安装高度的要求就是，在这个高度下能够区分黑底和地面，也就是要求各个光电管对地面的反射电压的最大值不能大于各个光电管对黑底反射电压的最小值。
- 观察环境光亮对光电检测电路的影响
为了探究环境光亮对光电检测电路的影响，我们以黑底为例，设置了三组实验组，分别在不同距离防止点光源，希望能够探求不同强度的环境光对光电检测电路的影响，但实验结果表明，环境光亮对广电检测电路影响不大，增加了环境光，能很小地减小光电管地反射电压。

(2) 测量直流电机正转和反转时的 VA 特性

- 不同输入直流电压时电机的电流和转速
当我们测量直流电机的伏安特性曲线时，我们发现左右电机正反转时的伏安特性曲线形状大致相同，其原因在于不同电机的特性参数是相同的，如电机在未旋转时的电阻较小，而电机在旋转后的电阻较大。但同时，左右电机在各点时对应的数值并不相同，原因在于左轮右轮以及正负旋转时的力学特性以及相关参数不同。
观察电机的伏安特性曲线时，我们可以观察到其伏安特性曲线有一个明显的转折点，此转折点便为电机转动与未转动的分界点。当转动后，由于电机转动需要消耗能量，其等效电阻较大，因此斜率较低，而电机为转动时，情况恰好与之相反。

(3) 电机驱动模块功能验证

在测量电机驱动模块时，我们可以看到，OUT1 与 OUT2 的电压与电机驱动模块功能对照表大致相同，而同时电机状态完全一致，因此可以验证功能模块正确。

(4) 电机开环控制时小车运行状态观测

- 左右电机均正转时，观察小车运行状态，能否直线运行？
- 左电机正转时，右电机停止，观察小车运行状态
- 左电机正转时，右电机反转，观察小车运行状态
- 右电机正转时，左电机停止，观察小车运行状态
- 右电机正转时，左电机反转，观察小车运行状态

在左右电机均正转时，小车并不是直线进行运动的，原因在于左右电机的力学特性是有一定区别的，同时，由于本小组电机右轮轮子采用的螺钉较重以及摩擦力较大等一系列原因。因此，小车并不是直线运动。

而当一电机正转，一电机不动时，小车在运行时并不是一个完整的圆周运动。原因在于车轮与地面的摩擦系数并不是较大，不动的车轮会受到一个切向力的作用，摩擦力并不能使其不动，因此不动轮也会做一个圆周运动

而当一电机正转，一电机反转时，电机围绕其中心做一个圆周运动，可以说明左右电机的力学特性相差的并不是很大，可以正常使用。

七、 探究题

- 无人驾驶系统中使用到哪些传感器？各传感器的作用是什么？无人驾驶系统中，共使用以下几种传感器：
 - (1) 摄像头：于视频输入并传输信息，无人驾驶系统上共装有：后视摄像头，前视摄像头，360° 摄像头。
 - (2) 雷达：用于使用无线电的方法发现目标并测定它们的空间位置，无人驾驶系统上共装有：长距离雷达，中短距离雷达，激光雷达等等
 - (3) 超声波传感器：将超声波信号转换成其他能量，并进行分析
 - (4) 红外传感器：红外二极管发出红外光，光敏二极管用于测量反射时的红外光线
 - (5) 全球卫星定位系统：为汽车提供准确的定位

八、 心得与体会

1. 实验心得

- (1) 实验 1 中我们发现在小车上有一排 led 灯，当缺省高度为 2cm 的时候，中间的 led 灯亮起，对比实验的测量结果我们发现，这都是光电管反射电压较小的时候，中间 led 灯的作用应该是判断有没有偏离了轨道，当偏离了黑色轨道，光电管下方变成了地面，光电管的发射电压减小，led 灯就亮起。
- (2) 实验 1 中不同光电管测得的反射电压差异较大，我们推测这是由于中间的光电管（6 号 7 号）收到了来此旁边经过地面反射过来的红外光线，所以反射电压减小，而两边的光电管（1 号 12 号）受到旁边光电管的影响较小，所以反射电压较大。
- (3) 实验 1 中黑纸对应的光电管反射电压在缺省高度上升到 3cm 的时候反而降低了，我们猜测可能是由于黑色胶带太细了，当缺省高度变大，光电管射出的光线可能有一部分射在了旁边的纸面上并且反射回来被接收到，才导致了和理论不符合的情况出现。
- (4) 在验证电机驱动模块功能一实验中我们发现，OUT1 与 OUT2 的电压并不是准确的 12V 和 0V，而是略大于 0V 或者略小于 12V，同时，当我们调大直流稳压源的输出电压时，我们发现 OUT1 和 OUT2 的电压并不是稳定在一个固定的值不动，而是会缓慢上升（上升幅度较小），原因在于小车内存在一部分门电路或者半导体器件，限制其变化。

2. 实验感想

在本次实验中，我了解了智能小车的结构和工作原理，同时也掌握了光电检测的原理和方法，重点对光电检测模块，小车的运动特性等等进行了分析。通过观察不同表面的情况，我们可以得出小车可以正常运行的条件。