

实验名称	实验五 湿度传感器实验		
姓 名	张厚今	组别	
同组实验者			
指导教师	徐文正	实验日期	2020.05.11
指 导 教 师 评 语	<div>指导教师签名：_____</div> <div>_____年____月____日</div>		
实验成绩			

# 山东科技大学实验报告书

---

## 实验五 湿度传感器实验

### 一、实验目的

掌握湿度传感器的选择方法，掌握湿度传感器的种类、精度等静态性能和动态性能、使用方法等，掌握湿度传感器的性能分析步骤。

### 二、实验要求

根据湿度检测的范围、精度等来选择某一湿度传感器，分析其性能，阐述选择方法，然后来计算其动态性能，看是否符合要求，并介绍其使用方法。

### 三、实验步骤

#### 3.1 湿度传感器种类

湿度传感器，基本形式都为利用湿敏材料对水分子的吸附能力或对水分子产生物理效应的方法测量湿度。有关湿度测量，早在 16 世纪就有记载。许多古老的测量方法，如干湿球温度计、毛发湿度计和露点计等至今仍被广泛采用。现代工业技术要求高精度、高可靠和连续地测量湿度，因而陆续出现了种类繁多的湿敏元件。

##### 3.1.1 电解质湿敏元件

利用潮解性盐类受潮后电阻发生变化制成的湿敏元件。最常用的是电解质氯化锂 ( $LiCl$ )。1938 年顿蒙发明这种元件以来，在较长的使用实践中，对氯化锂的载体及元件尺寸作了许多改进，提高了响应速度和扩大测湿范围。氯化锂湿敏元件的工作原理是基于湿度变化能引起电介质离子导电状态的改变，使电阻值发生变化。70 年代研制成功玻璃基板含浸式湿敏元件，采用两种不同浓度的氯化锂水溶液浸泡多孔无碱玻璃基板，可制成测湿范围为相对湿度 20~80% 的元件。

氯化锂元件具有滞后误差较小，不受测试环境的风速影响，不影响和破坏被测湿度环境等优点，但因其基本原理是利用潮解盐的湿敏特性，经反复吸湿、脱湿后，会引起电解质膜变形和性能变劣，造成电解质潮解而流失，导致元件损坏。

##### 3.1.2 高分子材料湿敏元件

利用有机高分子材料的吸湿性能与膨润性能制成的湿敏元件。吸湿后，介电常数发生明显变化的高分子电介质，可做成电容湿敏元件。吸湿后电阻值改变的高分子材料，可做成电阻变化湿敏元件。常用的高分子材料是醋酸纤维素、尼龙

# 山东科技大学实验报告书

---

和硝酸纤维素等。高分子湿敏元件的薄膜做得极薄，一般约 5000 埃，使元件易于很快的吸湿与脱湿，减少了滞后误差，响应速度快。这种湿敏元件的缺点是不宜用于含有机溶媒气体的环境，元件不可以耐 80℃ 以上的高温。

## 3.1.3 金属氧化物膜湿敏元件

许多金属氧化物如氧化铝、四氧化三铁、钽氧化物等都有较强的吸脱水性能，将它们制成烧结薄膜或涂布薄膜可制作多种湿敏元件。把铝基片置于草酸、硫酸或铬酸电解槽中进行阳极氧化，形成氧化铝多孔薄膜，通过真空蒸发或溅射工艺，在薄膜上形成透气性电极。这种多孔质的氧化铝湿敏元件互换性好，低湿范围测湿的时间响应速度较快，滞后误差小，常用于高空气球上测湿。四氧化三铁胶体的优点是固有电阻低，长期置于大气环境表面状态不会变化，胶体粒子间相互吸引粘结紧密等。它是一种价廉物美，较早投入批量生产的湿敏元件，在湿度测量和湿度控制方面都有大量应用。

## 3.1.4 金属氧化物陶瓷湿敏元件

将极其微细的金属氧化物颗粒在高温 1300℃ 下烧结，可制成多孔体的金属氧化物陶瓷，在这种多孔体表面加上电极，引出接线端子就可做成陶瓷湿敏元件。湿敏元件使用时必须裸露于测试环境中，故油垢、尘土和有害于元件的物质（气、固体）都会使其物理吸附和化学吸附性能发生变化，引起元件特性变坏。而金属氧化物陶瓷湿敏元件的陶瓷烧结体物理和化学状态稳定，可以用加热去污方法恢复元件的湿敏特性。而且烧结体的表面结构极大地扩展元件表面与水蒸气的接触面积，使水蒸气易于吸着和脱去。还可通过控制元件的细微构造使物理性吸附占主导地位，获得最佳的湿敏特性。因此陶瓷湿敏元件的使用寿命长、元件特性稳定，是目前最有可能成为工程应用的主要湿敏元件之一。陶瓷湿敏元件的使用温度为 0~160℃。

在诸多的金属氧化物陶瓷材料中，由铬酸镁—二氧化钛固溶体组成的多孔性半导体陶瓷是性能较好的湿敏材料，它表面的电阻率能在很宽的范围内随着湿度的变化而变化，而且能在高温条件下进行反复的热清洗，性能仍保持不变。

## 3.1.5 热敏电阻式湿度传感器

利用热敏电阻作湿敏元件。传感器中有组成桥式电路的珠状热敏电阻 R1 和 R2，电源供给的电流使 R1、R2 保持在 200℃ 左右的温度。其中 R2 装在密封的金

# 山东科技大学实验报告书

---

属盒内，内部封装了干燥空气，R1 置于与大气相接触的开孔金属盒内。将 R1 先置于干燥空气中，调节电桥平衡，使输出端 A、B 间电压为零，当 R1 接触待测含湿空气时，含湿空气与干燥空气产生热传导差，使 R1 受冷却，电阻值增高，A、B 间产生输出电压，其值与湿度变化有关。热敏电阻湿敏传感器的输出电压与绝对湿度成比例，因而可用于测量大气的绝对湿度。传感器是利用湿度与大气导热率之间的关系作为测量原理的，当大气中混入其他特种气体或气压变化时，测量结果会有程度不同的影响。此外，热敏电阻的位置对测量也有很大影响。但这种传感器从可靠性、稳定性和不需要特殊的维护等方面来看，很有特色，现已用于空调机湿度控制，或制成便携式绝对湿度表、直读式露点计、相对湿度计、水分计等。

## 3.1.6 红外线吸收式湿度传感器

利用水蒸气能吸收某波段的红外线制成的湿度传感器。60 年代中期，美国气象局以波长为 1.37 微米和 1.25 微米的红外光分别作敏感光束和参考光束，研制成红外线吸收式湿度传感器。当光源通过旋转滤光片时，轮流地选择波长为  $\lambda_0$  和  $\lambda$  的红外光束，两条光束通过被测湿度而抵达光敏元件，由于波长为  $\lambda_0$  的光束不被水蒸气吸收，其光强仍为  $I_0$ ，波长为  $\lambda$  的光束被水蒸气部分吸收。

红外线吸收式湿度传感器属非水分子亲和力型湿敏元件，测量精度和灵敏度较高，能够测量高温或密封场所的气体湿度，也能解决其他湿度传感器不能解决的大风速或通风孔道环境中的湿度测量问题。缺点是结构复杂，光路系统存在温度漂移现象。

## 3.1.7 微波式湿度传感器

利用微波电介质共振系统的品质因数随湿度变化的机理制成的传感器。微波共振器采用氧化镁-氧化钙-二氧化钛陶瓷体，共振器与耦合环构成共振系统，含水蒸汽的气体进入传感器腔体后改变原共振系统的品质因数，其微波损失量与湿度成线性关系。这种传感器的湿度检测范围为相对湿度 40~95%，在温度 0~50℃ 时，精度可达  $\pm 2\%$ 。微波式湿度传感器具有非水分子亲和力型湿敏元件的优点，又由于采用陶瓷材料作共振系统，故可加热清洗，且坚固耐用。缺点是对微波电路稳定性要求甚高。

# 山东科技大学实验报告书

---

## 3.1.8 超声波式湿度传感器

超声波在空气中的传播速度与温度、湿度有关，利用这一特性可制成超声波式湿度传感器。传感器由超声波气温计和铂丝电阻测温计组成，前者的测量数据与湿度有关，后者的测量数据只与温度有关，按照超声波在干燥空气和含湿空气中的传播速度可计算出空气的绝对湿度。超声波湿度传感器有很多优点，它的湿度测试数据比较准确，响应速度快，可以测出某一极小范围的绝对湿度而不受辐射热的影响。这种传感器尚处于研制阶段。

## 3.2 湿度传感器选型因素

### 3.2.1 精度和长期稳定性

湿度传感器的精度应达到 $\pm 2[\%]\sim\pm 5[\%]\text{RH}$ ，达不到这个水平很难作为计量器具使用，湿度传感器要达到 $\pm 2[\%]\sim\pm 3[\%]\text{RH}$ 的精度是比较困难的，通常产品资料中给出的特性是在常温（ $20^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ ）和洁净的气体中测量的。在实际使用中，由于尘土、油污及有害气体的影响，使用时间一长，会产生老化，精度下降，湿度传感器的精度水平要结合其长期稳定性去判断，一般说来，长期稳定性和使用寿命是影响湿度传感器质量的头等问题，年漂移量控制在 $1[\%]\text{RH}$ 水平的产品很少，一般都在 $\pm 2[\%]$ 左右，甚至更高。

### 3.2.2 湿度传感器的温度系数

湿敏元件除对环境湿度敏感外，对温度亦十分敏感，其温度系数一般在 $0.2\sim 0.8[\%]\text{RH}/^{\circ}\text{C}$ 范围内，而且有的湿敏元件在不同的相对湿度下，其温度系数又有差别。温漂非线性，这需要在电路上加温度补偿式。采用单片机软件补偿，或无温度补偿的湿度传感器是保证不了全部温度范围的精度，湿度传感器温漂曲线的线性化直接影响到补偿的效果，对于非线性的温漂，常常补偿不出较好的效果，只有采用硬件温度跟随性补偿才会获得真实的补偿效果。湿度传感器工作的温度范围也是重要参数。多数湿敏元件难以在 $40^{\circ}\text{C}$ 以上正常工作。

### 3.2.3 湿度传感器的供电

金属氧化物陶瓷，高分子聚合物和氯化锂等湿敏材料施加直流电压时，会导致性能变化，甚至失效，所以这类湿度传感器不能用直流电压或有直流成份的交流电压。

# 山东科技大学实验报告书

## 3.3 传感器选型

经过在网上查找相关传感器类型及其性能指标，整理出一份常见温湿度传感器对照表，如下图所示。

性能指标 \ 传感器类型	DHT11	DHT22 (AM2302)	LM35	DS18B20	BME280	BMP180
测量能力	温度、湿度	温度、湿度	温度	温度	温度、湿度、压力	温度、压力
通信方式	单总线	单总线	模拟	单总线	I2C、SPI	I2C
供电方式	3 to 5.5V DC	3 to 6V DC	4 to 30 V DC	3 to 5.5V DC	1.7 to 3.6V (芯片) 3.3 to 5V(电路板)	1.8 to 3.6V (芯片) 3.3 to 5V(电路板)
测量范围	0 to 50°C	-40 to 80°C	-55 to 150°C	-55 to 125°C	-40 to 85°C	0 to 65°C
精度	±2°C (在0到50°C之间)	±0.5°C (在40到80°C之间)	±0.5°C (在25°C)	±0.5°C (在10到85°C之间)	±0.5°C (在25°C)	±0.5°C (在25°C)
开发库	Adafruit DHT Library	Adafruit DHT Library	analogRead()	DallasTemperature	Adafruit BME280 library	Adafruit BME085
	Adafruit Unified Sensor Library	Adafruit Unified Sensor Library		OneWire	Adafruit Unified Sensor Library	Adafruit Unified Sensor Library
支持的硬件	dht module (included in MicroPython firmware)	dht module (included in MicroPython firmware)	from machine import ADC	ds18b20 module (included in MicroPython firmware)	BME280 Adafruit Library	BMP180 module
MicroPython			ADC().read			

上表列举了八个常见的温湿度传感器。由于温度与湿度数据经常同时测量，所以对照表中包括了两个只用于测温度的传感器。

假设以“为单片机选择合适的湿度传感器测量湿度”作为传感器选型的应用场景，通过对比上表可以发现，DHT 系列以及 BME、BMP 传感器比较合适。其中适合单片机使用的，同时价格较为低廉的，是 DHT 系列的温湿度传感器。AM2302 在测量精度上较 DHT11 有些优势，但室内湿度的测量并不需要极高的测量精度。综合湿度传感器的测量范围、测量精度、通信方式、供电及价格等因素，最终选择 DHT11 温湿度传感器。

## 3.4 传感器性能指标

DHT11 温湿度传感器模块是以 DHT11 温湿度传感器为核心，已含有校准数字信号，可测量环境温度，相对湿度。具有极高的可靠性与卓越的长期稳定性。模块带有电源指示灯。主要特点如下：

- (1) 测量相对湿度范围: 5~95%RH
- (2) 测量温度范围: -20~60°C
- (3) 支持 3.3V~5.5V 工作电压

# 山东科技大学实验报告书

## (4) 带有电源指示灯

原理: DHT11 数字温湿度传感器是一款含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器。它包括一个电阻式感湿元件和一个 NTC 测温元件。每个 DHT11 传感器都在极为精确的湿度校验室中进行校准。校准系数以程序的形式储存在 OTP 内存中, 传感器内部在检测信号的处理过程中要调用这些校准系数, 用户无需重新校准。单线制串行接口, 使系统集成变得简易快捷。超小的体积、极低的功耗, 信号传输距离可达 20 米以上。

通过阅读芯片手册, 可以找到传感器的具体参数, 如下表所示。

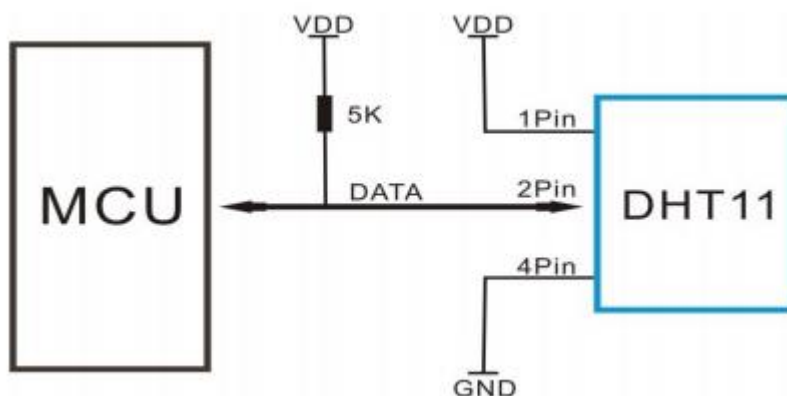
参数	条件	Min	Typ	Max	单位
<b>湿度</b>					
分辨率		1	1	1	%RH
			8		Bit
重复性			±1		%RH
精度	25℃		±4		%RH
	0—50℃			±5	%RH
互换性	可完全互换				
量程范围	0℃	30		90	%RH
	25℃	20		90	%RH
	50℃	20		80	%RH
响应时间	1/e (63%) 25℃, 1m/s 空气	6	10	15	S
迟滞			±1		%RH
长期稳定性	典型值		±1		%RH/yr
<b>温度</b>					
分辨率		1	1	1	℃
		8	8	8	Bit
重复性			±1		℃
精度		±1		±2	℃
量程范围		0		50	℃
响应时间	1/e (63%)	6		30	S

## 3.5 DHT11 湿度传感器使用方法

下面以“为单片机选择合适的湿度传感器测量湿度”场景为例, 介绍 DHT11 传感器在单片机中的使用方法。

### 3.5.1 硬件连接

DHT11 数字湿温度传感器连接电路简单, 只需要占用控制器-一个 I/O 口即可完成上下位的连接。典型应用电路如下图所示。另外, 建议连接线长度短于 20 时用 5K 上拉电阻, 大于 20 米时根据实际情况使用合适的上拉电阻。



## 3.5.2 数据格式及处理

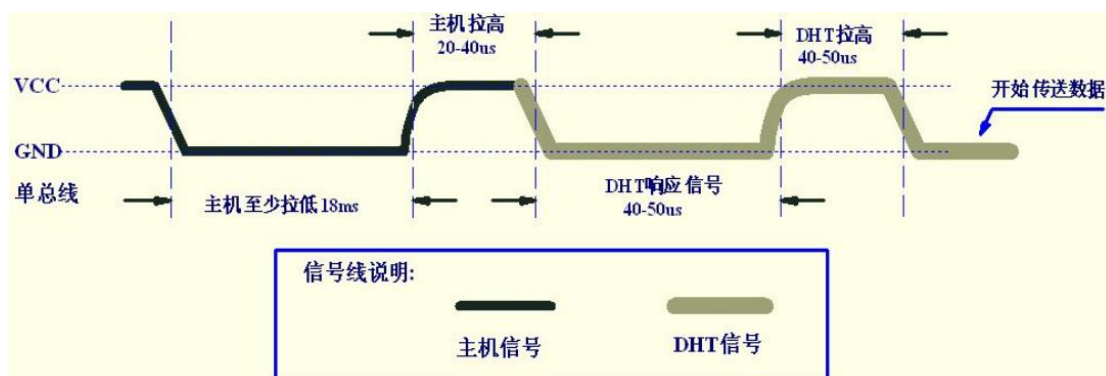
数字湿温度传感器采用单总线数据格式。即，单个数据引脚端口完成输入输出双向传输。其数据包由 5Byte ( 40Bit)组成。一次通讯时间最大 3ms,数据分小数部分和整数部分，具体格式在下面说明。

DATA 用于微处理器与 DHT11 之间的通讯和同步，采用单总线数据格式，当前小数部分用于以后扩展，现读出为 0。操作流程为一次完整的数据传输为 40bit,高位先出。数据格式为 8bit 湿度整数数据+8bit 湿度小数数据。精度为 $\pm 8\text{bit}$  温度整数数据 $\pm 8\text{bit}$  温度小数数据。

## 3.5.2 时序信号

DHT11 传感器需要严格的读写协议来确保数据的完整性。整个读写分为，上位机发送起始信号，上位机接收下位机发来的握手响应信号，读‘0’，和读‘1’四个步骤。所有的信号除主机启动复位信号外，全部都由 DHT11 产生。通过单总线访问 DHT11 顺序归纳如下。

### (1) 主机复位信号和 DHT 响应信号



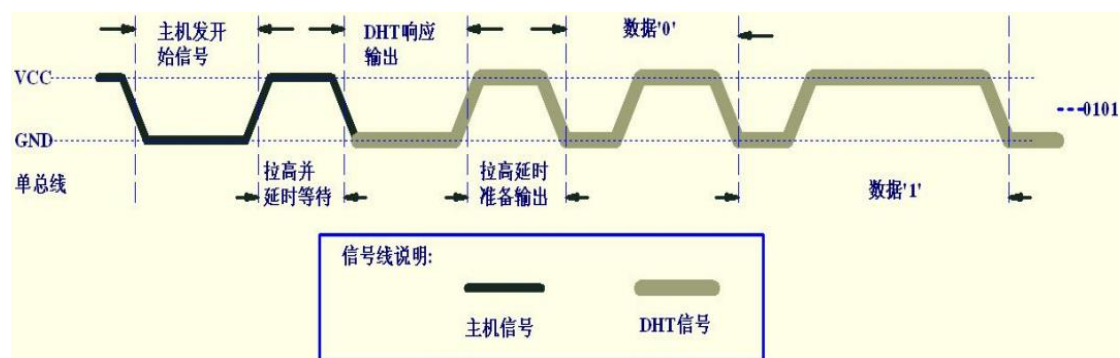
用户主机发送一次开始信号（低电平）DHT 从低速模式转换到高速模式，等待主机开始信号结束（拉高）后，DHT 发送响应信号，送出 40bit 的数据，并触发一次信号采集，用户可选择读取部分数据。注意：总线空闲状态为高电平，主



# 山东科技大学实验报告书

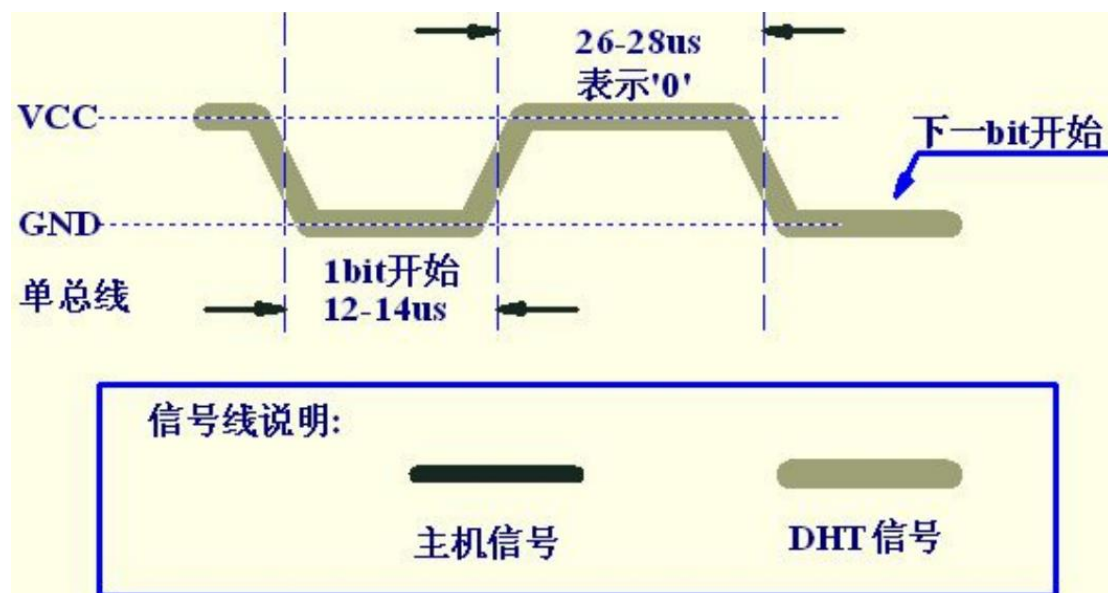
机把总线拉低等待 DHT 响应，主机把总线拉低的时间必须大于 18 毫秒，保证 DHT 能检测到起始信号。DHT 接收到主机的开始信号后，等待主机开始信号结束，然后发送低电平响应信号。主机发送开始信号结束后，延时等待 20-40us 后，读取 DHT 的回应信号，主机发送开始信号后，可以切换到输入模式，或者输出高电平均可，总线由上拉电阻拉高。

## (2) DHT 开始发送数据流程



主机发送开始信号后，延时等待 20us-40us 后读取 DHT 的回应信号，读取总线为低电平，说明 DHT 发送响应信号，DHT 发送响应信号后，再把总线拉高，准备发送数据，每一 bit 数据都以低电平开始，格式见下面图示。如果读取响应信号为高电平，则 DHT 没有响应，请检查线路是否连接正常。

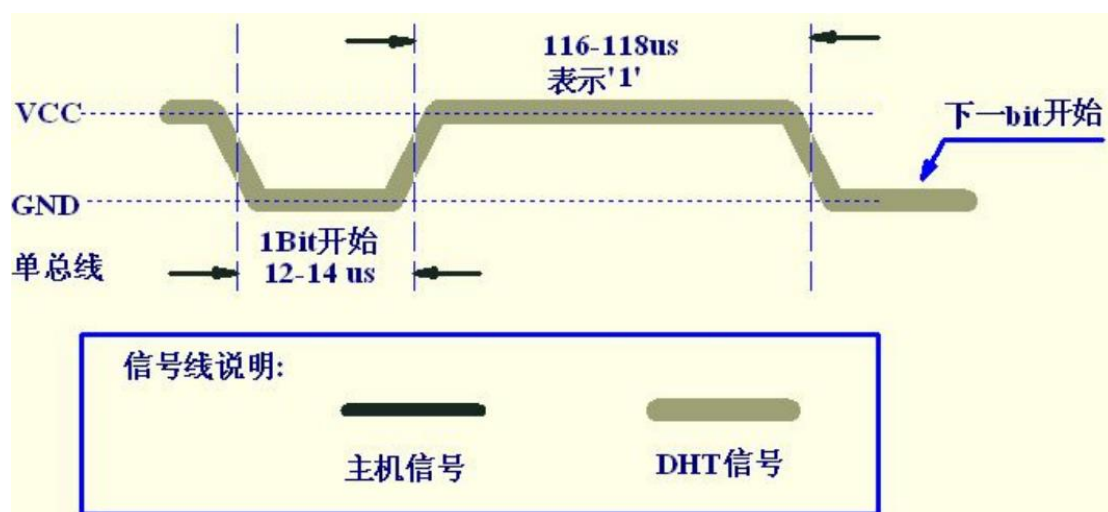
## (3) 数字‘0’信号表示方法



数字‘0’表示方法为，首先 DHT 把总线拉低 12-14us 然后拉高，高电平保持在 26-28us 这个范围内。则此比特为‘0’电平。

# 山东科技大学实验报告书

## (4) 数字‘1’信号表示方法



数字‘1’表示方法为，首先 DHT 把总线拉低 12-14us 然后拉高，高电平保持时间在 116-118us 这个范围内。则此比特为‘1’电平。

## 四、实验结果

经过传感器对照选型，选择了 DHT11 温湿度传感器作为“为单片机选择湿度传感器进行湿度检测”场景下的传感器。通过查阅资料找到了该传感器相关的功能特征，其测量相对湿度范围: 5~95%RH; 温度范围: -20~60℃; 支持 3.3V~5.5V 工作电压。这些特征在单片机应用中非常合适。

另外，由 DHT11 芯片手册查阅到的详细静态参数信息，也符合单片机湿度检测场景下的检测精度要求。

## 五、收获与心得

本次实验首先讨论了湿度传感器的分类，主要研究了电解质湿敏元件、高分子材料湿敏元件、金属氧化物湿敏元件、金属氧化物陶瓷湿敏元件、热敏电阻式湿度传感器、红外线吸收式湿度传感器、微波式湿度传感器、超声波式湿度传感器的测温原理及其常见的应用场景。之后以“为单片机选择湿度传感器进行湿度检测”场景为例，对湿度传感器进行了选型。对比了 DHT11 传感器、AM2302 湿度传感器、BME280 湿度传感器以及 BMP180 传感器四种湿度传感器类型。综合了湿度检测范围、测量精度、耗电量、检测方式、价格、温度转换时间等因素，最终选择了 DHT11 作为本次实验场景下的温度传感器。

接下来对 DHT11 传感器的性能特征进行详细探讨。由于没有实物，因此通

# 山东科技大学实验报告书

---

过查阅手册资料的方式找到了该传感器的部分性能指标。与实际需求相比较，符合本次实验的传感器要求。最后简要描述了 DHT11 在单片机中的使用方法。

通过本次实验，掌握了湿度传感器的选择方法，研究了湿度传感器的种类、精度等静态性能，通过查阅资料了解了湿度传感器的动态性能、使用方法等，掌握了湿度传感器的性能分析步骤。