

# 电容传感器专用检测电路

## BH5001数据手册

### 一、工作原理

北京宇翔电子有限公司最新开发研制的 BH5001 是一款 CMOS 二元调宽式信号拾取专用集成电路，其内部结构框图如图 1 所示，图中虚线框内为外接差动式电容传感器的两个可变电容  $C_1$  和  $C_2$ 。

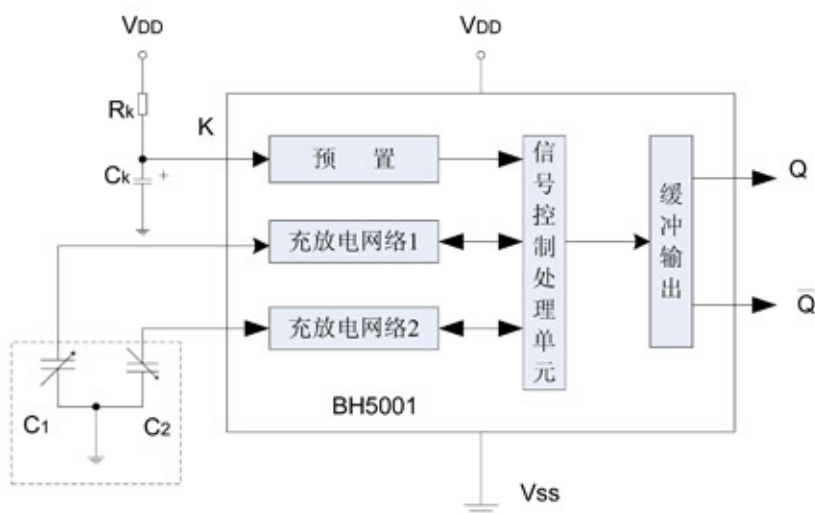


图 1 BH5001 内部结构框图

BH5001 工作原理如下：设直流电源接通时（例如  $V_{DD}=6V$ ）， $Q$  端为高电平， $\bar{Q}$  端为低电平，则信号控制单元通过充电网络 1 向电容  $C_1$  充电， $C_1$  上电压渐升，一旦达到电路控制电平值，信号处理单元使  $Q$  端立即变为低电平，而  $\bar{Q}$  端为高电平；此时，电容  $C_1$  上的电压经充放电网络 1 迅速放电至零，同时信号控制单元通过充放电网络 2 向电容  $C_2$  充电， $C_2$  上电压渐升，一旦达到电路控制电平值，信号处理单元再次使  $Q$  端为高电平， $\bar{Q}$  端为低电平；于是又开始下一周期的

$C_1$  充电  $C_2$  放电...如此周而复始,在 BH5001 电路的输出端(即  $Q$  与  $\bar{Q}$ )各产生一串其宽度受  $C_1$  和  $C_2$  电容(大小)控制的脉冲方波。图 2 为各点电压波形图。

根据 CMOS 电路的输出特性,图 2 中  $U_1$  即为  $V_{DD}$  电压值(例如 6V),而  $U_2$  则为信号控制处理单元所设定的控制电平值(例如 3.0V)。

图 1 中两个充/放电网络严格按对称设计,当外接电容  $C_1=C_2$  时,保证两个充放电网络的时间常数要完全一致。这样,当  $C_1=C_2$  时,从图 2 (a) 中可知,  $Q$  和  $\bar{Q}$  端电压波形将反相对称(宽度  $T_1=T_2$ ),从  $Q$  端与  $\bar{Q}$  端取出的两个平均值电压之差将等于零。

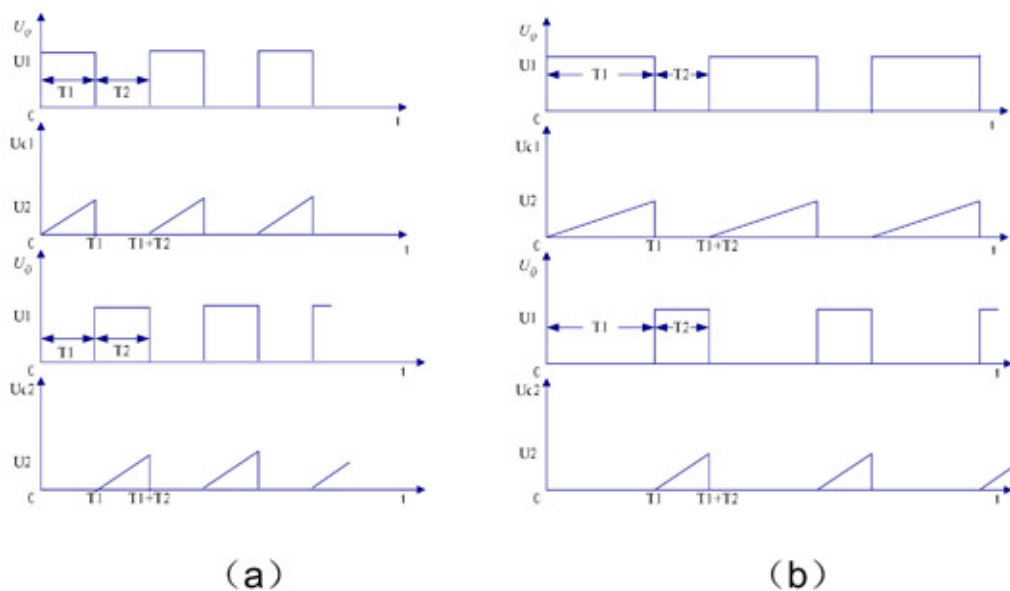


图 2 各点电压波形图

当被检测的物理量使电容  $C_1 > C_2$  时,由图 2 (b) 可知,两输出

端的电压平均值之差为: 
$$\Delta U = \bar{U}_Q - \bar{U}_{\bar{Q}} = \frac{T_1 U_1}{T_1 + T_2} - \frac{T_2 U_1}{T_1 + T_2} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2} U_1 \quad (1)$$

而 
$$T_1 = RC_1 \ln \frac{U_1}{U_1 - U_2} \quad (2)$$

$$T_2 = RC_2 \ln \frac{U_1}{U_1 - U_2} \quad (3)$$

将式②和③代入式①，得：

$$\Delta U = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} U_1 \quad \text{④}$$

理论上已经表明，对于差动电容式传感器，不管它是变面积型还是变间隙型，如果测量电路的输出与  $\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2}$  成正比，则可获得较好的线性度。④式表明了本电路作为电容式传感器专用集成电路的第一个优点。

第二，使用 BH5001，仅需附加几只小元件，即可组装成小电路板安装于电容式传感头上（使电容传感头有源化），这就有效的克服了引线电缆电容的干扰。

第三，电容式传感器接上 BH5001 后，通以直流电源（例如 6V），输出即为准数字输出—二元调宽脉冲方波，结合 CMOS 电路的特点，大大提高了电容传感器的抗干扰能力和噪声容限值。

第四，本电路分辨率极高，可达 0.01%，即是说在  $V_{DD}=6V$  条件下，当  $C_1+C_2=100pF$  时，可检测  $\pm 0.01pF$  的电容变化。如果  $V_{DD}$  增大，其分辨率还要相应增高。

第五，本电路的两个充电电阻（在图 1 充放电网络中的电阻 R）一般取  $51k\Omega \sim 1M\Omega$ 。对于差动式电容式传感器（ $C_1=C_0+\Delta C$ ， $C_2=C_0-\Delta C$ ， $C_0$  即为共模电容），从本电路  $Q$ （或  $\bar{Q}$ ）端输出的调宽方波的

$$\text{频率大约为：} f_0 = \frac{1}{1.4RC_0} \quad \text{⑤}$$

一般约为  $10kHz \sim 500kHz$ ，抗干扰能力强，也易于进行后面的信号调理。

---

## 二、电路特点

- 工作电压：3V~15V DC
- 工作温域：-40℃~+85℃
- CMOS 电路微功耗，静态功耗电流小于 5μA ( $V_{DD}=15V$ )
- 抗干扰能力强，噪声容限值高
- 共模电容可高达 200PF 以上
- 高分辨率：0.01%
- 线性度好：±0.01%
- 从  $Q$  端、 $\bar{Q}$  端各输出一列调宽方波，占空比分别为  $C_1:C_2$  与  $C_2:C_1$
- 电路模拟输出（平均电压之差）与  $\frac{(C_1 - C_2)}{(C_1 + C_2)}$  成正比
- 附加几只小元件，可使电容传感头有源化，有效的克服了引线

电缆电容的干扰

- 不需要高频激励电源，无须相敏解调器

## 三、应用举例

### （一）电路接线图

电容式传感器在微位移测量、精密天平计量和振动、加速度、角速度、压力、差压、液位、湿度、厚度等物理量的检测中，有相当广泛的应用。而正是这类线性检测用的电容式传感器，BH5001 均可与之配套使用。近年来，飞速发展的 MEMS（微机电系统）中，已陆续出现许多全新的微传感器，例如，硅电容式微机械加速度表、硅电

容式芯片陀螺，如果将 BH5001 作为微电子电路，将获得优良的微传感器（系统）。

BH5001 分 A, B 两种，图 3 是 BH5001B 的电路接线图。

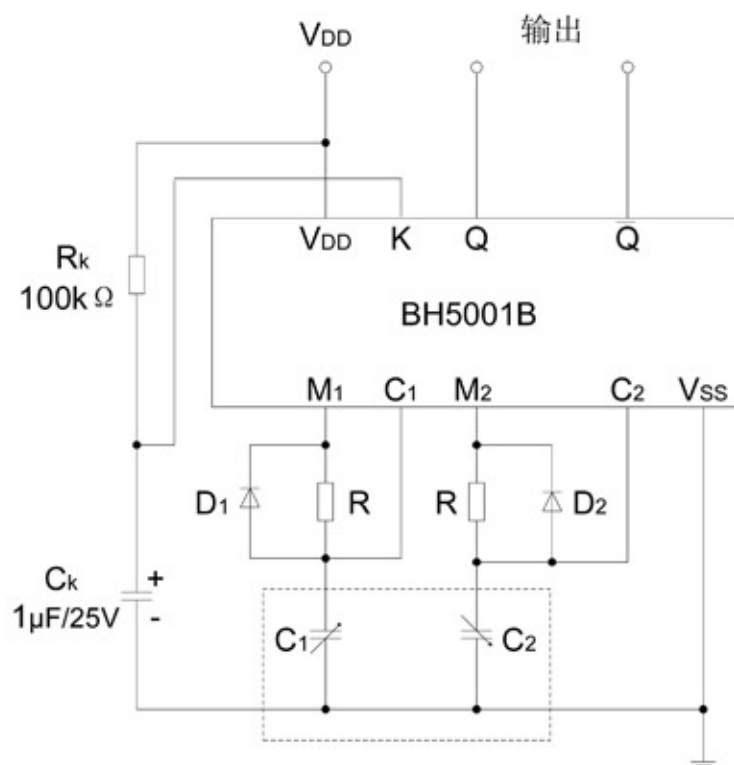


图 3 BH5001B 电路接线图

外接元件取值范围：

R:1/8W 金属膜电阻， $51k\Omega\sim 1M\Omega$ ，两只电阻要匹配等值

$D_1, D_2$ : 开关二极管，伏安特性相同

$R_k$ :1/8W 金属膜电阻， $51k\Omega\sim 100k\Omega$

$C_k$ : 钽电容， $1\mu F/25V$

BH5001A 的电路接线更简单，因为 R,D 组成的充/放电网络已设计在芯片中，无需外接 R, $D_1$ ,R, $D_2$  元件。见图 4。

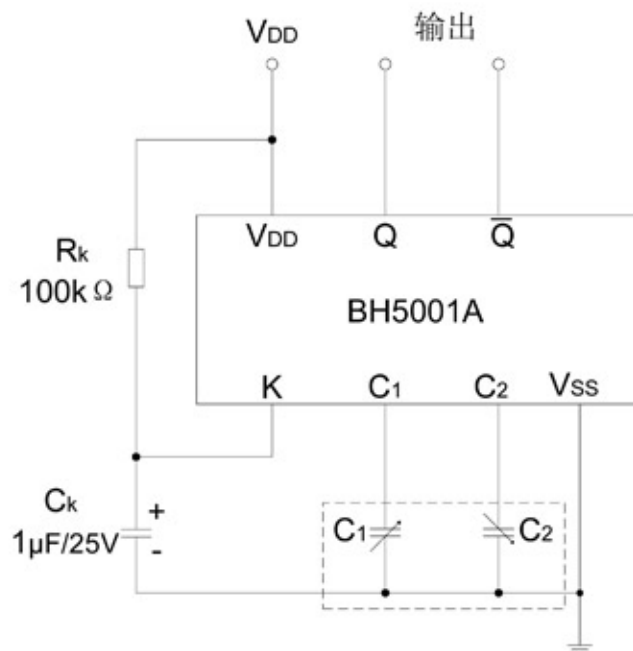


图4 BH5001A 电路接线图

## (二) 差动电容式传感器的应用

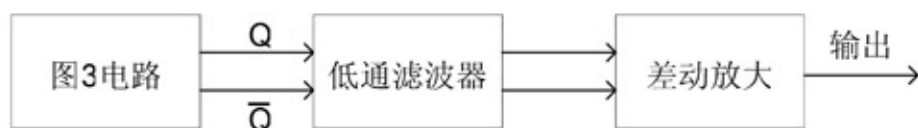


图5 差动电容式传感器检测电路原理图

一般来说，差动放大级还要求具有调零功能，因此，需加简单可靠的调零电路。

在过程检测或过程控制系统中，电容传感器常用作两线制的变送器。因此，差动放大级还应具备电压—电流变换功能，可把图5的差动放大级直接设计成差动式电压—电流变换电路，全电路即成两线制，4~20mA 输出。

### (三) 单可变电容传感器的应用

如果电容式传感器仅是一个单可变电容,例如,在外部物理量的作用下,它的电容值仅为 20PF~22PF。我们可设该电容为图 3 中的  $C_1=20PF + \Delta C_x$  ( $\Delta C_x=0\sim 2PF$ ),相应的选取一个与温度系数尽量相当的固定电容器作为图 3 中的  $C_2=20PF$ ,由式④可得到输出为:

$$\Delta U = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} U_1 = \frac{\Delta C_x U_1}{40pF + \Delta C_x} \approx \frac{\Delta C_x}{40} U_1 \quad \text{⑥}$$

同样,如果单可变电容传感器实际电容值的变化为 20PF~18PF,我们可设该电容为图 3 中的  $C_2=20PF - \Delta C_x$  ( $\Delta C_x=0\sim 2PF$ ),相应的取图 3 中的  $C_1$  为固定电容器,  $C_1=20PF$ ,由式④仍可得到电路输出平均电压之差为式⑥。

如果认为式⑥的近似精度不够高,还可以在上述  $C_1$ 、 $C_2$  之上各并联一个等值的云母电容,比如 30PF,则式⑥将变为:

$$\Delta U = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} U_1 = \frac{\Delta C_x U_1}{(30 + 20 + \Delta C_x) + (30 + 20)} = \frac{\Delta C_x U_1}{100 + \Delta C_x} \approx \frac{\Delta C_x}{100} U_1 \quad \text{⑦}$$

### (四) 数字输出应用

电容传感器接入 BH5001 后(如图 3),从 BH5001 的  $Q$  端(或  $\bar{Q}$  端)即输出一列调宽方波,其宽度本身就包含  $C_1$ (或  $C_2$ )变化的信息。显然,利用这种调宽方波作为门控,加上相应计数器电路,则  $C_1$ (或  $C_2$ )的变化即可方便地转换为计数的变化。

---

#### 四、注意事项

1. BH5001 的工作电压范围较宽 (3V~15V DC)，但在模拟电路应用中，电源电压  $V_{DD}$  是式④中的重要因子  $U_1$ ，因此，必须是精度较高的直流稳压电源，例如  $6V\pm 1\%$  (或  $6V\pm 0.5\%$ )， $10V\pm 1\%$  ( $10V\pm 0.5\%$ ) ....

2. 在高精度应用中，考虑到电路板在电容式传感器上的安装位置，必须计入分布电容，杂散电容的影响。因此，式④可修正为：

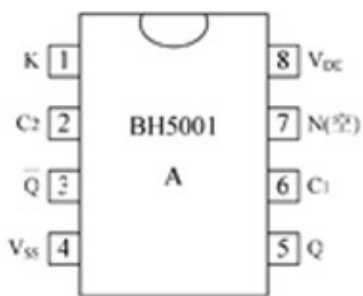
$$\Delta U = \frac{\Delta C_s + (C_1 - C_2)}{\sum C_s + (C_1 + C_2)} U_1 \quad \text{⑧}$$

式中， $\sum C_s$  为所有反映到电容传感器的  $C_1$  与  $C_2$  上的分布电容、杂散电容之和， $\Delta C_s$  则为所有反映到电容传感器上两根电容引出线上的分布电容、杂散电容之差。本电路 (BH5001) 反射到  $C_1$ 、 $C_2$  上的分布电容、寄生电容小于 15PF。从式⑧可见，一旦专用电路板焊接好， $\sum C_s$  与  $\Delta C_s$  均成定值，它不影响差动式传感器的线性度，只是改变了传递函数的比例系数 (但也是定值)。

3. 为保证 CMOS 电路输出高电平在高低温环境下的精确稳定性，建议本电路 (BH5001) 的输出端 ( $Q$  和  $\bar{Q}$ ) 负载能力控制在 0.1mA 左右，例如，若  $V_{DD}$  为 6V，则  $Q$  (或  $\bar{Q}$ ) 所接阻抗应大于 50k $\Omega$ ；若  $V_{DD}$  为 10V，则  $Q$  (或  $\bar{Q}$ ) 所接阻抗应大于 100k $\Omega$ 。

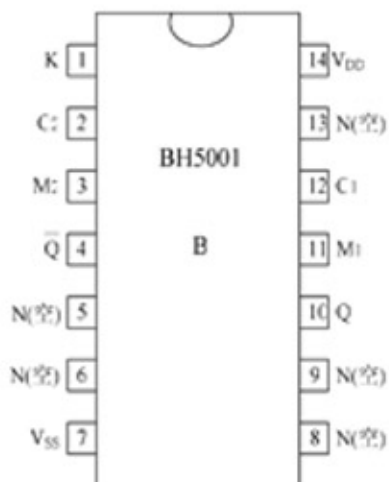


## 五、管脚示意图



8 线封装外引线图

管脚	符号	简介
1	K	引导端
2	C <sub>2</sub>	外接电容传感器之 C <sub>2</sub>
3	$\bar{Q}$	方波输出
4	V <sub>SS</sub>	地
5	Q	方波输出
6	C <sub>1</sub>	外接电容传感器之 C <sub>1</sub>
7	N	空脚
8	V <sub>DD</sub>	电源



14 线封装外引线图

管脚	符号	简介
1	K	引导端
2	C <sub>2</sub>	外接电容传感器之 C <sub>2</sub>
3	M <sub>2</sub>	充放电端，外接 R, D <sub>2</sub> 网络
4	$\bar{Q}$	方波输出
5, 6	N	空脚
7	V <sub>SS</sub>	地
8, 9	N	空脚
10	Q	方波输出
11	M <sub>1</sub>	充放电端，外接 R, D <sub>1</sub> 网络
12	C <sub>1</sub>	外接电容传感器之 C <sub>1</sub>
13	N	空脚
14	V <sub>DD</sub>	电源

## 六、电路主要参数

特性	符号	条件 若无其他规定 V <sub>SS</sub> =0V	V <sub>DD</sub> (V)	极 限 值						单位
				T <sub>A</sub> =-55℃		T <sub>A</sub> =25℃		T <sub>A</sub> =125℃		
				最小	最大	最小	最大	最小	最大	
电源电流	I <sub>DD</sub>		5		1		1		30	μA
			10		2		2		60	
			5		4		4		120	
输出高电压 电平	V <sub>OH</sub>		5	4.95		4.95		4.95		V
			10	9.95		9.95		9.95		
			15	14.95		14.95		14.95		

输出低电压 电平	$V_{OL}$		5		0.05		0.05		0.05	V
			10		0.05		0.05		0.05	
			15		0.05		0.05		0.05	
输入漏电流	$I_{IH}$	$V_{IH}=15V$	15		-		0.1		1	$\mu A$
	$I_{LH}$	$V_{IL}=0V$	15		-		-0.1		-1	
输出高电平 电流	$I_{OH}$	$V_{IL}=0V, V_{IH}=5V$ $V_0=4.6V$	5	-0.64		-0.51		-0.36		mA
		$V_{IL}=0V, V_{IH}=10V$ $V_0=9.5V$	10	-1.6		-1.3		-0.9		
		$V_{IL}=0V, V_{IH}=5V$ $V_0=13.5V$	15	-4.2		-3.4		-2.4		
输出低电平 电流	$I_{OL}$	$V_{IL}=0V, V_{IH}=5V$ $V_0=0.4V$	5	0.64		0.51		0.36		mA
		$V_{IL}=0V, V_{IH}=10V$ $V_0=0.5V$	10	1.6		1.3		0.9		
		$V_{IL}=0V, V_{IH}=15V$ $V_0=1.5V$	15	4.2		3.4		2.4		

储存温度范围  $T_S$ .....-65℃~150℃

焊接温度(10 秒) $T_L$ .....265℃(极限值)

测试仪器和电烙铁等要接地良好，不得在通电的情况下焊接和装拆 CMOS 集成电路。电路应保存在金属容器中，或者将所有外引线用导电材料短接，以免在外引线脚形成静电电荷。