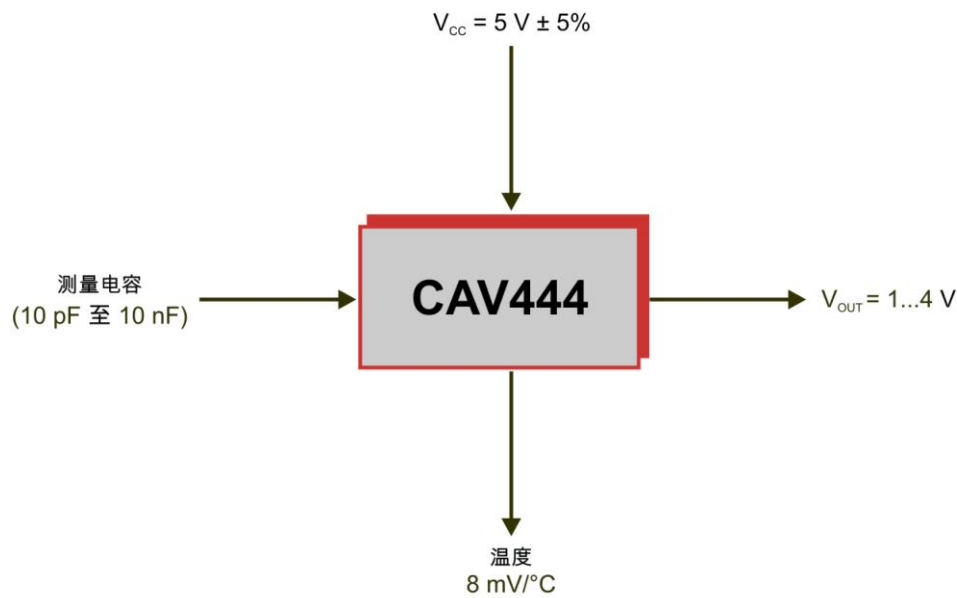


基本功能特点

电容式信号线性转换成输出可调的电压信号



基本功能

CAV444 是一个专用于电容式信号测量的集成电路。应用该集成电路可以将所测量的电容转换成线性的电压输出。CAV444 可以单独使用也可以作为单片机的前级电容信号采集电路，从而可使系统进行数字化的处理。

典型应用

- 液位测量
- 物位测量
- 湿度传感器测量
- 材料识别
- 物体检测

上海芸生微电子有限公司

通讯地址：上海市金都路 3000 号 1401 室 邮编：201108

电话/传真：021-22816948/33586462

网址：www.sym-china.com / www.analogmicro.deE-Mail：zzhiyun@126.com

August 2014 – Rev. 3.0

目录

特点	3
电路方框图	3
简介	3
电路参数	4
1. 电路参数	4
2. 电路的极限参数	6
应用介绍	7
1. 工作原理	7
2. 电容电压转换传递函数	7
2. 电容电压转换传递函数	8
4. 通用的外接元器件参数的选择	9
5. 校准过程	10
6. 应用介绍	10
封装尺寸和管脚示意图	12
供货方式	12
参考文献	12

特点

- 宽的电容检测范围：10pF 至 10nF
- 比例电压输出级
- 测量电容与输出电压是线性关系
- 输出零点和满度可调
- 响应时间快
- 测量振荡频率：1kHz 至 240kHz
- 内置温度传感器
- 工作电压：5V±5%
- 宽的工作温度范围：
-40°C...+105°C
- 校准过程简单 (Excel 软件)
- **SO16** 封装或者裸片
- 符合欧盟 RoHS 指令

简介

CAV444 是一个电容式信号 C/U 线性转换电压输出的集成电路，通常是应用于电容式传感器测试系统中的电容式信号处理。CAV444 的输出电压是与所测量的电容 C_M 成线性关系，与工作电压是比例输出关系（5V±5%）。

CAV444 是完全的模拟电路，因此它有一个较快的测试响应时间和较高的由模拟电路的信噪比决定的分辨率。

CAV444 是一个完整的有电容信号采集，处理和电压输出的集成电路。借助外接的几个电阻可以调整输出电压的零点和放大系数。CAV444 可以单独使用也可以作为单片机的前级电容信号采集电路，从而可使系统进行数字化的处理。

通过所提供的校准软件可以使电路元器件的参数选择和整个传感器系统的校准变得非常简单。

电路方框图

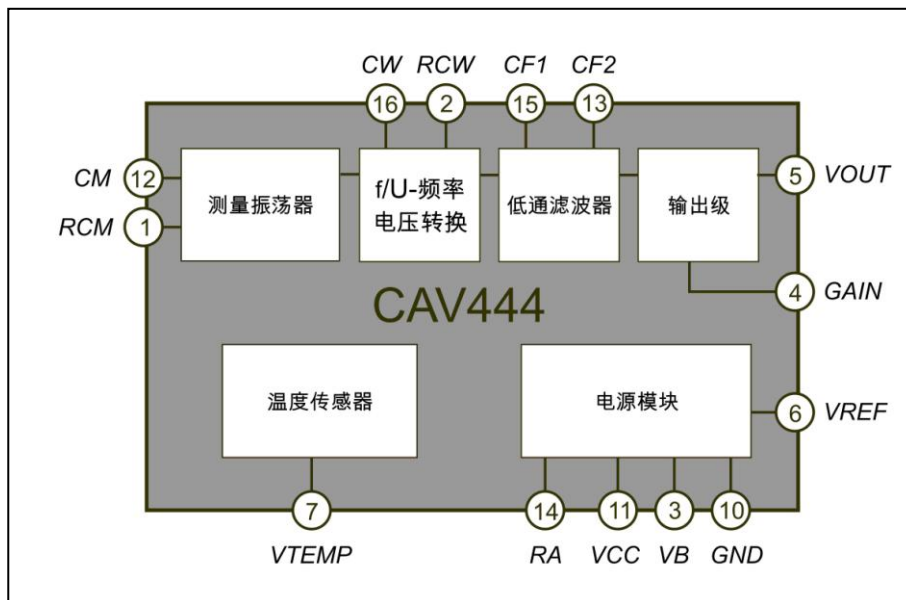


图 1：CAV444 电路方框图

CAV444

电容式信号 C/U 线性转换电压输出集成电路

电路参数

1. 电路参数

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC} = 5\text{V}$, $I_{CM} = I_{CW} = 20 \mu\text{A}$ (除非另外注明)

参数	符号	条件	最小值	典型值	最大值	单位
系统						
可靠工作温度范围	T_{amb}		-40		105	$^{\circ}\text{C}$
工作电压范围	V_{CC}		4.75	5.00	5.25	V
静态电流	I_{CC}	$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}, G = 1$ $T_{amb} = -40 \dots 105^{\circ}\text{C}, G = 1$			2 2.2	mA mA
测量电容范围 ¹⁾	C_M		10		10000	pF
输出电压范围 ²⁾	V_{OUT}		1.0		4.0	V
输出电压温度系数 V_{OUT} ³⁾	TC_{VOUT}	$dV_{OUT}/(dT \cdot V_{span}) @ T_{amb} = -40 \dots 85^{\circ}\text{C} G = 1,$ $C_W = 1.5 \text{ nF}, C_M = 0.1 \dots 1 \text{ nF}$			± 100	ppm/ $^{\circ}\text{C}$
最大输入信号频率 ⁴⁾	$f_{SIG,max}$	@ $C_M = 10 \text{ pF}, R_{CM} = 125 \text{ k}\Omega, C_{F1} = 2 \text{ nF},$ $C_{F2} = 2 \text{ nF}$		3.5		kHz
最小响应时间 ⁵⁾	$t_{RES,min}$	@ $C_M = 10 \text{ pF}, R_{CM} = 125 \text{ k}\Omega, C_{F1} = 2 \text{ nF},$ $C_{F2} = 2 \text{ nF}$		0.4		ms
测量振荡器						
振荡器频率范围	f_M	$f_M = V_{REF} / (2 * \Delta V_{CM} * R_{CM} * C_M)$	1		240	kHz
振荡器电压	ΔV_{CM}		2.1	2.15	2.2	V
振荡器电流电阻	R_{CM}		50		125	k Ω
振荡器充电电流	I_{CM}	$I_{CM} = V_{REF} / R_{CM}$	20		50	μA
振荡器充电电流范围	I_{CM}	@ $R_{CM} = 125 \text{ k}\Omega$	19	20	21	μA
f/V-频率电压转换						
转换电容范围	C_W	$C_W = 1.4 * C_{M,max} * R_{CM} / R_{CW}$ @ $R_{CW} = 125 \text{ k}\Omega, R_{CM} = 125 \text{ k}\Omega$	14		14000	pF
最小转换电压	$V_{CW,min}$	@ $PIN 16$	1.15	1.2	1.25	V
最大转换电压	$V_{CW,max}$	@ $PIN 16$		4.1		V
转换电流电阻	R_{CW}		100		1250	k Ω
f/V-电容充电电流	I_{CW}	$I_{CW} = V_{REF} / R_{CW}$	2		25	μA
f/V-电容充电电流范围	I_{CW}	@ $R_{CW} = 125 \text{ k}\Omega$	19	20	21	μA
f/V-偏置电阻	R_A	$R_A = 0.48 * R_{CW}, @ R_{CW} = 125 \text{ k}\Omega$		60		k Ω
低通滤波器						
内置电阻 1 和 2	R_{01}, R_{02}			20		k Ω
低通滤波器电容 ⁶⁾	C_{F1}, C_{F2}		2		1100	nF
角频率 1 (3 dB)	f_{CF1}	@ $C_{F1} = 2 \text{ nF}$		4		kHz
角频率 2 (3 dB)	f_{CF2}	@ $C_{F2} = 2 \text{ nF}$		4		kHz
低通滤波器失调电压	V_{ofs}^{LP}		-2		2	mV
输出级						
可调增益	G		1			
输出电流	I_{OUT}	Source, Sink ⁷⁾	-100		100	μA
差分输出电压	V_{DIFF}	$V_{DIFF} = V_{OUT} - V_{REF}$	-1.5		1.5	V
在 V_{OUT} 上的电阻负载	R_L		40			k Ω
在 V_{OUT} 上的电容负载	C_L				100	pF
输入失调电压	V_{ofs}	$R_L = 100 \text{ M}\Omega$	-2		+2	mV

CAV444

电容式信号 C/U 线性转换电压输出集成电路

参考电压 V_{REF}						
参考电压	V_{REF}	比例输出 ratiometric to V_{CC}	2.49	2.5	2.51	V
V_{REF} 的温度系数	TC_{VREF}	$dV_{REF}/(dT \cdot V_{REF}), T_{amb} = -40 \dots +85^\circ\text{C}$			± 50	ppm/ $^\circ\text{C}$
输出电流	I_{VREF}	Source, Sink ⁷⁾	-100		100	μA
电容负载	C_{VREF}		80	100	120	nF
温度传感器 V_{TEMP}						
输出电压	V_{TEMP}	@ $T_{amb} = 25^\circ\text{C}, R_{Load} \geq 50\text{M}\Omega$	2.20	2.32	2.45	V
灵敏度	S	$S = dV_{TEMP}/dT, R_{Load} \geq 50\text{M}\Omega$		8		mV/ $^\circ\text{C}$
负载电阻	R_{Load}		10			M Ω
非线性		$R_{Load} \geq 50\text{M}\Omega, T_{amb} = -25 \dots 85^\circ\text{C}$		0.5		%

表1: CAV444 的电路参数

注释:

- 1) 为了使电容电压的转换线性好于 0.3% (BFSL), 建议所测量的电容最大值 $C_{M,max}$ 与最小值 $C_{M,min}$ 之比不大于 10。这个可以通过并联低温漂 NPO 电容来实现。
- 2) 如果工作电压 $V_{CC} \neq 5\text{V}$, 那么最大的输出电压 V_{OUT} 应该是 $0,8 \cdot V_{CC}$ 。
- 3) 温度系数是通过公式 $V_{Span} = V_{OUT}(C_{M,max}) - V_{OUT}(C_{M,min})$ 归一化, TC_{VOUT} 随着电容 C_M (或 C_W) 的变小而增大。
- 4) 最大输入信号频率 $f_{SIG,max}$ 是指测量电容的变化速率, 在这个速率下, 输出电压通过低通滤波器下降 6 dB。通常最大输入信号频率 $f_{SIG,max}$ 与低通滤波器的滤波电容 C_{F1} 和 C_{F2} 大小有关, 如果减小滤波电容 C_{F1} 和 C_{F2} , 那么 $f_{SIG,max}$ 就会变大。(见注释 6)
- 5) 如果适当减小低通滤波器的滤波电容 C_{F1} 和 C_{F2} , 可以缩短响应时间。
- 6) 本文中典型的滤波电容选择使得在最高振荡频率时的输出端的电压纹波系数在 1% 上下。滤波电容太小, 将导致较大的纹波电压输出。
- 7) 流入集成电路的电流为负, 流出为正。

CAV444

电容式信号 C/U 线性转换电压输出集成电路

8)

2. 电路的极限参数

参数	符号	条件	最小值	典型值	最大值	单位
最大工作电压	V_{CCmax}		6			V
最大振荡器充电电流	I_{CMmax}		50			μA
最大 f/V-电容充电电流	I_{CWmax}		25			μA
储存温度	T		-55		125	$^{\circ}C$
ESD 静电保护 ¹⁾	V_{ESD}	HBM			2	kV

表 2: 电路极限参数

注意:

- 1) 除了管脚 12、14、16 外其余管脚都有 ESD 静电保护。

CAV444

电容式信号 C/U 线性转换电压输出集成电路

应用介绍

1. 工作原理

在图 1 中，集成电路的各个功能模块描绘了整个 CAV444 的基本信号处理过程。

CAV444 具有 6 个功能模块：测量振荡器，频率电压转换，低通滤波器，电压输出级，温度传感器以及电源部分。电源部分给所有模块提供电源，同时产生一个 2.5V 的参考电压。温度传感器产生一个与温度成正比的电压信号 V_{TEMP} ，所测量的是芯片处的温度。电容测量过程在余下的 4 个模块中进行，下面作分别介绍。

CAV444 工作进程是这样的，在管脚 12 上连接的是测量电容传感器 C_M ，就象是振荡器的电容。CAV444 用恒定的电流对 C_M 进行周期性地充放电，产生了一个振幅为常数的三角波。这个三角波的频率也就是测量振荡器的频率 f_M 是与测量电容传感器的电容值 C_M 是相关的。借助于 f/V 频率电压转换电路和低通滤波器将三角波转换成直流电压信号，该信号通过输出级的阻抗转换和放大成为电压输出信号。此外，可以根据电路图 3 的方法来调准零点的输出。在管脚 5 上的输出电压 V_{OUT} （对地）与测量电容 C_M^1 是线性关系，与电源是成比例输出的。

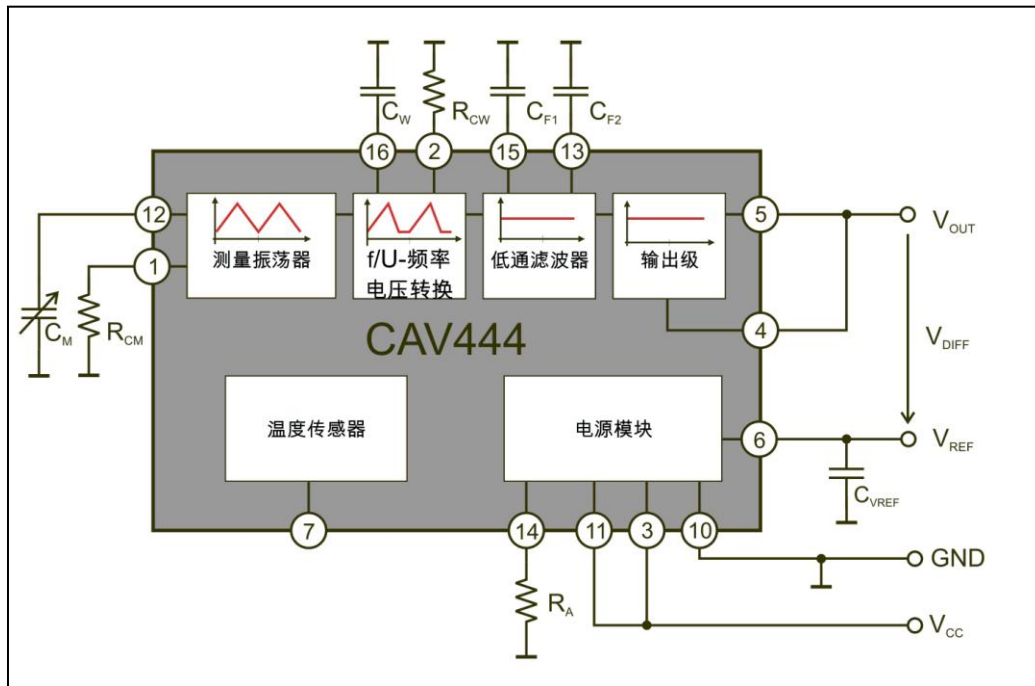


图 1: CAV444 的外接电路和信号测量转换过程

¹ 如果输出电压是差分电压 V_{DIFF} （管脚 5—管脚 6） $V_{DIFF} = V_{OUT} - V_{REF}$ ，它是直接与测量电容 C_M 成线性的关系。

CAV444

电容式信号 C/U 线性转换电压输出集成电路

2. 电容电压转换传递函数

图 1 是 CAV444 一个基本的测量电路。它在管脚 5 的对地输出电压由下面式子给出：

$$V_{OUT}(C_M) = V_{LPAS}(C_M) + V_{REF} = \left(\frac{3 \cdot \Delta V_{CM} \cdot R_{CM}}{8 \cdot C_W \cdot R_{CW}} \right) \cdot C_M + V_{REF} \quad (1)$$

其中：

V_{LPAS} = 在低通滤波器处的电压

$C_W = f/U$ -频率电压转换电容

$\Delta V_{CM} \approx 2,1 V$ 在测量电容上的电压振幅

$R_{CW} = f/U$ -频率电压转换电容的充电电流调准电阻

$V_{REF} = 2,5 V$, 内部参考电压

C_M = 测量传感器电容

R_{CM} = 振荡器的充电电流调准电阻

R_{CM} 和 R_{CW} 决定了测量电容 C_M 和 f/U -频率电压转换电容 C_W 的充放电电流 $I_{CM} (=V_{REF}/R_{CM})$ 和 $I_{CW} (=V_{REF}/R_{CW})$ 。一个典型的应用时选取固定电阻为 $R_{CM} = R_{CW} = 125 k\Omega$ 。²

f/U -频率电压转换电容 C_W 由下面式子决定：

$$C_W = 1,4 \cdot \frac{R_{CM} \cdot C_{M,max}}{R_{CW}} \quad (2)$$

这里 $C_{M,max}$ 是测量电容的最大值。将式子(2)代入式子(1)得到：

$$V_{OUT}(C_M) = \frac{9}{16} \cdot \frac{C_M}{C_{M,max}} + V_{REF} \quad (3)$$

输出电压 V_{OUT} 由式子 (3) 给出并且是与测量电容 C_M 成线性关系，见图 2。电容最小时 ($C_{M,min} \neq 0$) 它对应的输出电压也是最小 $V_{OUT}(C_{M,min}) > V_{REF}$ 。

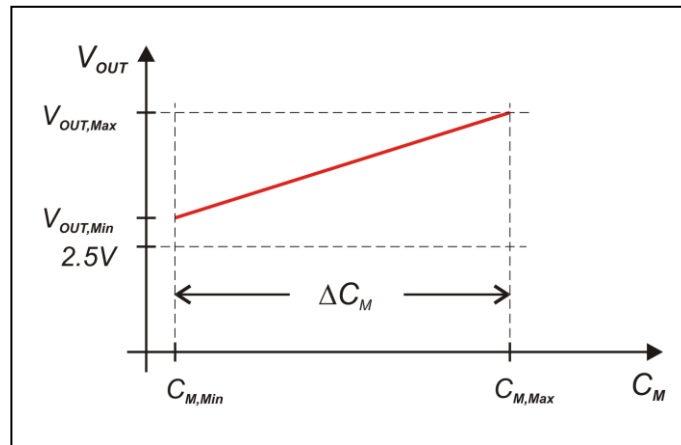


图 2: 输出电压 V_{OUT} (对地) 与测量电容 C_M 的关系曲线

如果直接测量管脚 5 和管脚 6 (V_{REF})，那么输出的差分电压信号直接与测量电容 C_M 成线性关系。

$$V_{DIFF}(C_M) = V_{OUT}(C_M) - V_{REF} = \frac{9}{16} \cdot \frac{C_M}{C_{M,max}} \quad (4)$$

² 一个最佳的外接电路的参数选择可以直接采用 AMG 公司开发的校准软件 Excel-Sheet Kali_CAV444 来实现(见参考文献)。

CAV444

电容式信号 C/U 线性转换电压输出集成电路

3. 零点和放大倍数可调的输出级

为了输出电压的零点和满度的调准，必须在图 1 的电路中增加 5 个电阻，如图 3 所示。

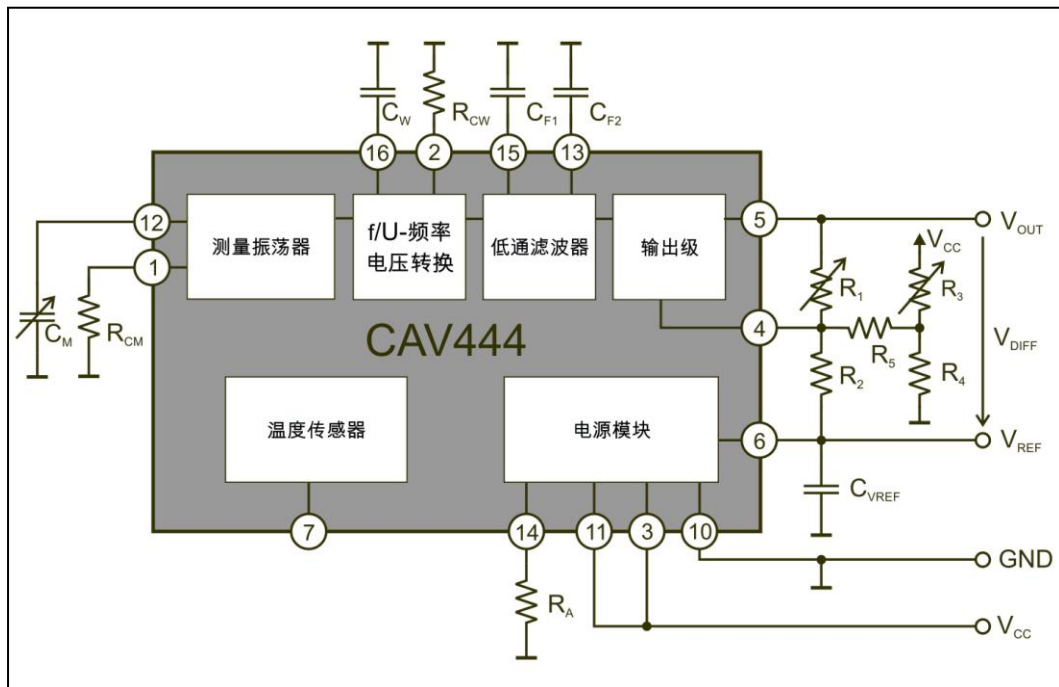


图 3: 零点和满度输出电压可调的完整电路图 CAV444

在图 3 中，管脚 5 的对地电压输出 V_{OUT} 遵循以下式子：

$$V_{OUT} = G \cdot V_{LPAS} + B \cdot V_{REF} \quad (5)$$

其中

$$G = 1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_5} \cdot \frac{R_3 R_5 + R_4 R_5}{R_3 R_4 + R_4 R_5 + R_3 R_5} \quad \text{和} \quad B = 1 + \frac{R_1}{R_5} \cdot \frac{R_3 R_5 - R_4 R_5}{R_3 R_4 + R_4 R_5 + R_3 R_5} \quad (6)$$

这里的 R_2 , R_4 和 R_5 电阻是固定电阻， R_1 是放大调准电阻（满度调准）， R_3 是零点调准电阻（零点调准）³。从式子（1），（5）和（6）可以导出式子（7），可见输出电压与测量电容 C_M 也是线性关系。

$$V_{OUT}(C_M) = G \cdot \left(\frac{3 \cdot \Delta V_{CM} \cdot R_{CM}}{8 \cdot C_W \cdot R_{CW}} \right) \cdot C_M + B \cdot V_{REF} \quad (7)$$

如果采用通常的外接元器件参数和 C_W （见式子（2）），可以得到下面式子：

$$V_{OUT}(C_M) = G \cdot \frac{9}{16} \cdot \frac{C_M}{C_{M,max}} + B \cdot V_{REF} \quad (8)$$

4. 通用的外接元器件参数的选择

如果测量电容 $C_{M,max} < 1 \text{ nF}$ ，那么根据图 3 所得到的一个基本的外接元器件参数选择表 3。一个最佳的方法就是直接应用 CAV444 的校准软件来计算出外接元器件的参数。

³ 输出电压的准确与 R_1 和 R_3 的精细调准和不同的传感器有关。由于外接电子元器件的数值偏差（比如 R_{CM} , R_{CW} , C_W , $C_{M...}$ ）和寄生电容的存在都会影响 R_1 和 R_3 的调准。（见“校准过程”）。

CAV444

电容式信号 C/U 线性转换电压输出集成电路

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位
输出级电阻 (1%)	R_2, R_4, R_5		100		k Ω
满度校准电阻 (0,1%) (校准第一步) ¹⁾	R_1		33		k Ω
零点校准电阻 (0,1%) (校准第一步) ¹⁾	R_3		100		k Ω
f/V-频率电压转换电阻	R_A		60		k Ω
测量振荡器电阻	R_{CM}		125		k Ω
f/V-频率电压电流电阻	R_{CW}		125		k Ω
低通滤波器电容 (与测量电容 $C_{M,max}$ 相关) ³⁾	C_{F1}, C_{F2}		1000		nF
参考电压电容 ($V_{REF} = 2,5 V$) ⁴⁾	C_{VREF}	80	100	120	nF
f/V 频率电压转换电容	C_W		$1.4 \cdot C_{M,max}$		pF

表 3: 通用外接元器件取值 (在 $I_{CM} = I_{CW} = 20 \mu A$, $C_{M,max} < 1 nF$ 条件下)

注意:

- 1) 这里给出的 R_1 和 R_3 调准电阻是利用校准软件的初始电阻。在校准过程中, 校准软件 Kali_CAV444 会根据测量的起始数据给出新的 R_1 和 R_3 电阻值。
- 2) 在实际应用中, 应该采用标准的元器件比如温度系数(≤ 100 ppm)E 系列电容和电阻。电容 C_W 应该采用 NPO 低温漂瓷片电容。电阻 R_{CM} , R_{CW} , R_A 和电容 C_{VREF} 的取值与所计算出的数值误差大一些比如 5%是不会影响电路的性能的。一些元器件要求较小的偏差, 可以在表 3 中查到。
- 3) C_{F1} 和 C_{F2} 与最小测量电容值 $C_{M,min}$ 有关系。 C_{F1} 和 C_{F2} 的取值满足振荡器频率 f_M 最大时 (就是测量电容 $C_{M,min}$ 最小时), 经过低通滤波器滤波后输出的电压纹波与输出电压信号之比小于 1‰。
- 4) 参考电压电容 C_{VREF} 用品质较好的瓷片电容。

5. 校准过程

电容传感器的开发过程中, 除了传感器的电容外还有寄生电容的存在, 它会影响输出电压和校准的过程。为了简化传感器系统的校准, 排除各种寄生电容和元器件数值的偏差, AMG 公司开发了基于电路图 3 的校准标定方案, 具体校准软件 Kali_CAV444 在 AMG 或上海芸生微电子有限公司网站免费下载 www.analogmicro.de。

在校准软件中, 校准过程分为二个阶段。一个是元器件的数值确定, 一个是校准过程。首先, 通过校准软件计算出外接元器件数值, 这样可以使传感器正常工作。外接元器件的选取直接与传感器的测量电容大小有关。除此以外, 所希望的输出电压范围和 I_{CM} 以及 I_{CW} 充放电的电流大小也需要代入校准软件中计算进行运算。根据所给出的要求校准软件计算出合适的外接元器件数值, 由此安装好传感器的整个电路。

由于各个传感器的差异和元器件的偏差, 所以每个安装好的传感器都要单独进行零点和满度的校准。这是通过调准 R_1 和 R_3 来实现的。先测量出最大 $C_{M,max}$ 和最小 $C_{M,min}$ 测量电容时的输出电压, 代入校准软件计算出精确的 R_1 和 R_3 。调准 R_1 和 R_3 到新的计算出的阻值, 此时, 传感器上的元器件偏差和寄生电容等等都随着校准过程全部排除, 整个传感器系统校准结束。

6. 应用介绍

这里推荐用户采用校准软件 Kali_CAV444 进行电路的外接元器件选择。通常所选取的外接元器件不要超出表 2 的最大极限参数。

通过校准软件得出的各种电阻电容值, 可以用不超过二个以上的电阻或电容组合而成。在具体应用过程中, 有足够多的标准化生产的阻值和容值来选择, 比如 E 系列的电阻和电容。与计算出的电阻电容相比, 这些电阻电容本身就有 5% 的标准偏差。(见 „元器件的选择“)

在电路板设计的时候, 传感器电容 C_M 的引线尽可能的短, 电容 C_W 也尽量靠近集成电路。外接电子元器件与集成电路的连接走线也要尽可能的短, 尽可能减少寄生电容的产生。

在集成电路内部和传感器的构造以及连接产生的寄生电容会加大电路中的电容值, 特别是测量电容 C_M 和转换电容 C_W , 这样会影响电容的测量精度。因此, 保持寄生电容的稳定不变非常重要, 尽量不用可弯曲的电路板和长的引线。

如果测量电容小于 10 pF 的话, 可以在测量电容上并联一个电容。如果测量电容的最大与最小值的比值大于 10 倍, 此时需要并联一个电容, 减小测量电容的最大与最小值的比值, 这样更加有利于调试。

CAV444

电容式信号 C/U 线性转换电压输出集成电路

在传感器系统中的温度特性常常是受到电容 C_M 、 C_W 和外接元器件的温度系数的影响。这里尽可能采用温度系数小（比如 NPO 电容）并且相近的电容器 C_M 和 C_W 。对 CAV444 来说，测量小电容时的温度系数较大，因此尽可能增大测量电容的电容值，比如通过在测量电容上并联一个电容来实现。

在生产调试中，注意采取防静电措施，比如设备和人员的接地措施。

备注：

1. 如果要测量管脚 12 或 16 上的电压信号时，要注意此时由于测量仪表和导线会在相应的管脚上附加了一个电容，输出级的输出电压会发生变化。如果测量管脚 12，那么振荡器频率变小；如果测量管脚 16，在 f/U-转换输出的信号振幅变小。如果要测量频率和 f/U-转换输出的信号振幅而尽可能小的影响输出电压，可以暂时去掉低通滤波电容 C_{F1} ，测量管脚 15 处的信号。
2. 在液位仪的应用中，如果测量的物质是导电的，那么测量电极必须与导电物质绝缘，否则会影响测量结果。

CAV444

电容式信号 C/U 线性转换电压输出集成电路

封装尺寸和管脚示意图

管脚	名称	简介
1	RCM	振荡器的电流调整
2	RCW	f/U 频率电压转换的电流调整
3	VB	工作电源 → V _{CC}
4	GAIN	增益调整
5	VOUT	输出电压
6	VREF	参考电压源 2.5V
7	VTEMP	温度传感器输出
8	N.C.	空
9	N.C.	空
10	GND	IC - 接地
11	VCC	电源电压
12	CM	测量电容
13	CF2	低通滤波器 2 的电容
14	RA	f/U-频率电压转换稳定电阻
15	CF1	低通滤波器 1 的电容
16	CW	f/U-频率电压转换电容

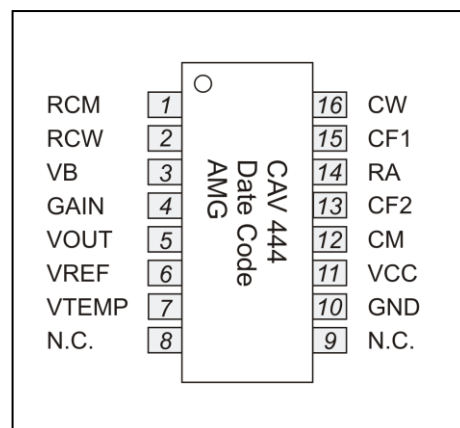


表 4: CAV444 管脚名称

供货方式

CAV444 的供货方式:

订购编号	供货形式
CAV444-0-SO16	CAV444 贴片封装 SO16
CAV444-WAF	已切割的测试合格的裸片 (在 8 英寸圆盘上)

参考文献

1. 校准软件 Excel-Sheet Kali_CAV444.xls (<http://www.analogmicro.de/german/products/cav444.htm>)
2. 封装尺寸 (<http://www.analogmicro.de/products/analogmicro.de.en.package.pdf>)
3. 应用介绍 (<http://www.analogmicro.de/german/products/cav444.htm>)
4. CAV444 – 裸片尺寸和管脚引线 (请询问)

资料仅供参考