

特性:

- 提供多类型传感器元件的接口:
 - 电容器, 铂电阻, 热敏电阻, 电阻桥和电位计,
- 可测量多个传感器元件
- 单电源供电 2.9V - 5.5V, 耗电流低于 2.5mA
- 分辨率和线性度分别达到 14bits 和 13bits
- 连续对偏移和增益进行自动校准
- 输出信号与微控制器兼容
- 三态输出
- 典型测量时间为 100ms(速度 1)或 12ms(速度 2)
- 2/3/4 线测量可用于几乎所有的测量
- 所有传感器的激励为交流激励电压信号
- 抑制 50/60 Hz 干扰
- 睡眠模式
- DIL 和 SOIC 封装工作温度范围为-40°C 至 85°C
- 裸片工作温度范围为-40°C 至 180°C



应用

汽车, 工业和医疗应用:

- 电容式液位测量
- 位置测量
- 角度测量
- 精确的温度测量 (铂电阻, NTC 等)
- 电阻桥传感器, 用于测量压力, 力等

管脚排列图

UTI 有 16 管脚的双列直插封装(DIL)和 18 引脚 SMD 封装 (SOIC)。DIL 和 SOIC 的引脚配置如图 1 所示。

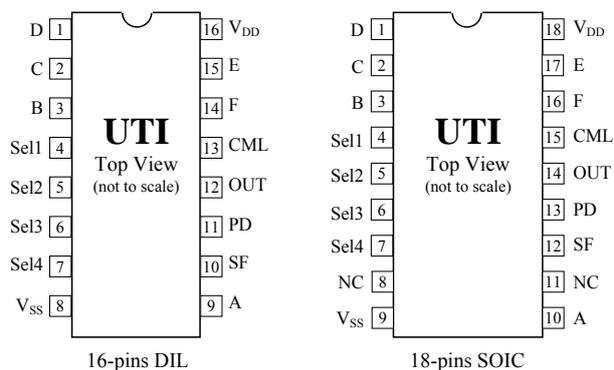


图 1: UTI 管脚排列图。

目录

特性	1
应用	1
管脚排列图	1
1. UTI 简介	3
2. 绝对最大极限值	4
3. 测量模式与模式选择	5
4. 一般特性	6
4.1 输出	6
4.2 模拟输入	6
4.3 控制线	6
5. 传感器测量原理	7
5.1 三信号测量以及自动校准	7
5.2 如何实现测量?	7
6. 电容测量模式 (模式 0000 至 模式 0100)	9
6.1 模式 0000, C25: 0pF 至 2pF 5 电容测量	9
6.2 模式 0001, C23: 0pF 至 2pF 3 电容测量	10
6.3 模式 0010, C12: 0pF 至 12pF 5 电容测量	10
6.4 模式 0011, CMUX: 测量任意数目的未知电容 0pF 至 2pF/0pF 至 12pF	11
6.5 模式 0100, C300: 最大达 300pF 的 3 电容测量模式	12
7. 电阻测量模式 (模式 0101 至 模式 1000)	13
7.1 模式 0101, Pt: 铂电阻 Pt100/Pt1000 ¹⁾ , 四线测量	13
7.2 模式 0110, Ther: 热敏电阻, 四线测量	15
7.3 模式 0111, Pt2: 测量 2 个或 3 个铂电阻	16
7.4 模式 1000, Ther2: 2 个或 3 个热敏电阻	17
8. 电阻桥测量模式 (模式 1001 至 模式 1111)	18
8.1 模式 1001, Ub2: 电阻桥测量, 参考电压为激励电压, 非平衡范围为±4%	18
8.2 模式 1010, Ub1: 电阻桥测量, 参考电压为激励电压, 非平衡范围为±0.25%	19
8.3 模式 1011, Ib2: 电阻桥测量, 电流激励, 非平衡范围为±4%	20
8.4 模式 1100, Ib1: 电阻桥测量, 电流激励, 非平衡范围为±0.25%	21
8.5 模式 1101, Brg2: 电阻桥和 2 电阻测量, 非平衡范围为±4%	22
8.6 模式 1110, Brg1: 电阻桥和 2 电阻测量, 非平衡范围为±0.25%	23
8.7 模式 1111, Potm: 3 电位计测量 (电阻范围 1kΩ至 50kΩ)	24
9. UTI 外形封装	25
10. UTI 订单代码	25
附录 1 UTI 的一些重要信息	25
A1.1 分辨率	25
A1.2 线性度	26
A1.3 UTI 的电容测量原理	26
附录 2 UTI 开发板	28



1. UTI 简介

通用传感器接口 (UTI) 是一款用于低频测量的模拟前端, 其原理基于周期调制振荡器。传感器元件可以直接连接到 UTI, 无需额外的电子器件。但需要一个与传感器相同类型的参考器件, 其参数须被精确测量作为参考。UTI 的输出是周期调制信号, 可与微处理器直接相连。UTI 可以为以下器件提供接口:

- 电容传感器 0pF 至 2pF, 0pF 至 12pF, 以及 300pF
- 铂电阻 Pt100, Pt1000
- 热敏电阻 1kΩ 至 25kΩ
- 电阻桥 250Ω 至 10kΩ, 最大非平衡 ±4% 或 ±0.25%
- 电位器 1kΩ 至 50kΩ
- 上述器件的组合

UTI 非常适用于基于微处理器的智能测量系统。所有信息都包含在与微处理器兼容的输出信号中, 减少了连接线的数量并减少了绝缘系统所需的耦合器数量。使用三信号技术可以对整个系统的偏移和传输系数进行连续自动校准。采用斩波技术消除了低频干扰。四个模式位用来从十六种操作模式中选择适当的一个来进行测量。

功能框图及管脚功能列表:

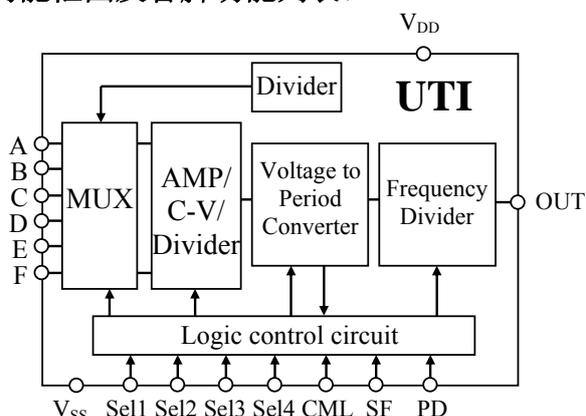


图 2: UTI 内部框架图。

管脚名称	管脚功能
V _{DD} , V _{SS}	电源
A 至 F	连接传感器
Sel1 至 Sel4	测量模式选择
OUT	输出
SF	测量速度选择
CML	CMUX02/CMUX12 模式选择
PD	睡眠模式选择

表 1: 管脚功能列表



2. 绝对最大极限值

除非另有说明，绝对最大极限值指定在 $T_A=25^{\circ}\text{C}$ 。

参数	极限值
电源电压	-0.3V 至 +7V
电源电流 (不包括连接传感器)	3mA at 5V
功耗	21mW
睡眠模式时功耗	7 μ W
输出电压	-0.3V 至 VDD + 0.3V
输出驱动电流(A, F)	8mA
输出阻抗 R_{out}	60 Ω
输入电压 至 V_{SS}	-0.3V 至 VDD+0.3V
每个引脚上的输入电流为	$\pm 2\mu\text{A}$
ESD 额定值	> 4000V
存储温度范围	-65 $^{\circ}\text{C}$ 至 +150 $^{\circ}\text{C}$
工作温度范围	-40 $^{\circ}\text{C}$ 至 +85 $^{\circ}\text{C}$
引线温度 (焊接 10 秒)	+300 $^{\circ}$

表 2: 绝对最大极限值



3. 测量模式与模式选择

管脚 Sel1 至 Sel4 是用来选择测量模式的。如下表。

模式选择管脚				模式名称	输出相数	测量描述
Sel1	Sel2	Sel3	Sel4			
电容模式						
0	0	0	0	C25	5	0-2pF 电容 5 个
0	0	0	1	C23	3	0-2pF 电容 3 个
0	0	1	0	C12	5	0-12pF 电容 5 个
0	0	1	1	CMUX	-	外界多通道选则测量模式 0-2pF/0-12pF
0	1	0	0	C300	3	最大值 300pF 电容 3 个
电阻模式						
0	1	0	1	Pt	4	Pt100 或 Pt1000 铂电阻
0	1	1	0	Ther	4	1-25kΩ 热敏电阻
0	1	1	1	Pt2	5	Pt100/Pt1000 铂电阻 2 - 3 个
1	0	0	0	Ther2	5	1-25kΩ 热敏电阻
电阻桥模式						
1	0	0	1	Ub2	3	电阻桥, 电压激励, 非平衡电压(±200mV)
1	0	1	0	Ub1	3	电阻桥, 电压激励, 非平衡电压(±12.5mV)
1	0	1	1	Ib2	3	电阻桥, 电流激励, 非平衡电压(±200mV)
1	1	0	0	Ib1	3	电阻桥, 电流激励, 非平衡电压(±12.5mV)
1	1	0	1	Brg1	5	电阻桥加 2 个电阻 非平衡电压(±200mV)
1	1	1	0	Brg1	5	电阻桥加 2 个电阻 非平衡电压(±12.5mV)
1	1	1	1	Potm	5	1-50kΩ 电位器型传感器 3 个

表 3: 测量模式与模式选择



4. 一般特性

4.1. 输出

UTI 输出微处理器兼容的周期调制信号以及驱动传感元件的激励信号。表 4 列出了 UTI 的一些输出特性。因为所有信息都只在 UTI 的准数字输出上，只需要三根线来形成一个通用的绝缘前端。对于有关 UTI 绝缘使用的信息，请参阅相关使用手册（可以在我们的网站上找到）。

参数	数值	单位	条件
输出低电平 V_{ol}	0.4	V	
输出高电平 V_{oh}	$V_{DD}-0.6$	V	
输出电阻 R_{out}	60	Ω	
最大输出电流 I_{out}	8	mA	$V_{DD}=5V$
管脚 B-F 的输出电阻	800	Ω	电容测量模式做激励输出用
管脚 E/F 最大输出电流	20	mA	电阻和电阻桥测量模式
输出上升时间	14	ns	
输出下降时间	13	ns	
PD-OUT 转换延迟 (SF=0)	30	ms	(SF=1) 时为 3.75ms
Seli-OUT 转换延迟 (SF=0)	30	ms	(SF=1) 时为 3.75ms

表 4: UTI 输出端特性

4.2. 模拟输入

各种传感器元件可以与 UTI 的输入直接连接。UTI 在各个测量模式与传感器元件的具体连接在第 6-8 节中有详细描述。表 5 是一些 UTI 输入端的特性：

参数	数值	单位	条件
输入电容	20	pF	
A 与 B 至 F 的泄漏电容	$30 \cdot 10^{-3}$	pF	DIL 封装
50/60Hz 干扰抑制	>60	dB	

表 5: UTI 输入出端特性，测试条件 $V_{DD}=5V, T_A=25^\circ C$ 。

有关 UTI 在绝缘系统中的应用，请参阅我们网站支持中心的相关使用手册：<http://www.smartec-sensors.com/cms/>

4.3. 控制线

如 4.1 节所述，UTI 共有 16 种工作模式。这些模式是通过控制四个选择引脚 Sel1, Sel2, Sel3 和 Sel4 的逻辑电平来实现。在表 3 中，“1”对应于 V_{DD} ，“0”对应于 V_{SS} (或 GND)。还有一些特殊功能，例如测量速度选择，以及进入睡眠模式，这些可以由 SF 和 PD 控制。如表 6 所示：

表 6: UTI 的其他控制端

控制线状态	工作模式
SF=0	速度 1，典型测量时间 100ms
SF=1	速度 2，典型测量时间 12.5ms
PD=1	正常工作模式
PD=0	睡眠模式，输出端呈高阻状态
CML=0	CMUX 模式，测量范围 0-2pF
CML=1	CMUX 模式，测量范围 0-12pF

注意：所有控制线必须给予一定的电位(V_{DD} 或 GND)，不可以空置!!!



5. 传感器测量原理

5.1. 三信号测量以及自动校准

对一个线性测量系统，采用三信号技术可以消除未知失调和未知传输系数的影响，从而达到对传感器参数的精确测量。为了应用这种技术，除了测量传感器信号之外，需要以相同的方式测量两个参考信号。假设系统具有线性传递函数：

$$F_i = kE_i + F_{\text{off}}$$

其中 F_i 是输出， E_i 是被测参数， k 是线性传输系数， F_{off} 是失调，将三个参数 ($E_0=0, E_1=E_{\text{ref}}, E_2=E_x$) 代入，则有：

$$F_1 = F_{\text{off}}$$

$$F_2 = F_{\text{ref}} = kE_{\text{ref}} + F_{\text{off}}$$

$$F_3 = F_x = kE_x + F_{\text{off}}$$

那么计算比值

$$M = \frac{F_3 - F_1}{F_2 - F_1} = \frac{F_x - F_1}{F_{\text{ref}} - F_1} = \frac{E_x}{E_{\text{ref}}}$$

就可以得到被测量与参考量的比率。对于线性测量系统，传输系数和失调的影响可以通过上述计算彻底消除。这种测量方式被称为三变量技术或三信号技术。传输系数和失调也许会随时间而变，然而不影响比率 (M) 的计算结果，这种测量系统称为自校准系统。

实现三信号技术需要一个微处理器，用于将 UTI 输出的周期调制信号数字化，并执行数据存储和计算功能。这样一个系统包含传感器元件，UTI 以及微处理器，称为基于微处理器的智能传感器系统。UTI 的自动校准特性使这样的测量系统对环境变化及低频漂移不敏感。

5.2. 如何实现测量？

UTI 的输出是周期调制信号。例如，图 3 显示了 UTI 两个完整周期的输出信号，每个周期由三个阶段组成(3 相)：

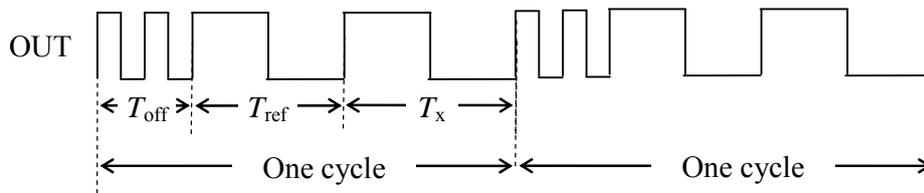


图 3： UTI 三相输出信号

上一节 (5.1) 解释了三信号技术原理，实现三信号技术，UTI 的内部开关须控制 UTI 在某一测量时间内与相应的器件相连接。在第一阶段，UTI 测量线性系统的内部失调（通常没有外部元件连接到相应的引脚）。第二阶段 UTI 测量参考器件的参数值，在此期间 UTI 开关切换到相应的连接管脚。再下一阶段，UTI 测量一个传感器的参数值。图 3 所示的输出信号适用于只有一个未知传感器的情况。这些阶段之间的切换完全由 UTI 内部开关自动控制，不受外部影响。

三个测量阶段的时间长度分别为： T_{off} ， T_{ref} 和 T_x ，每个阶段的时间长度都与该阶段测量的信号成比例，如下式：

电容测量	电阻测量
$T_{\text{off}} = T_{\text{off}}$	$T_{\text{off}} = T_{\text{off}}$
$T_{\text{ref}} = T_{\text{off}} + Nk_1 C_{\text{ref}}$	$T_{\text{ref}} = T_{\text{off}} + Nk_2 R_{\text{ref}}$
$T_x = T_{\text{off}} + Nk_1 C_x$	$T_x = T_{\text{off}} + Nk_2 R_{\text{ref}}$



其中 C_x 和 V_x (电阻上的电压) 对应被测的传感器量值, C_{ref} 和 V_{ref} 对应被测的参考元器件量值, C_0 和 V_0 对应某一恒定值 (如失调电压), K_1 和 K_2 是传输系数。N 是 UTI 内部振荡器在一个测量阶段的震荡周期数。选择速度 1 时 $N=1024$, 选择速度 2 时 $N=128$ 。 V_x 和 V_{ref} 在电阻测量模式时分别代表传感器电阻和参考电阻上的电压, 在电阻桥测量模式时分别代表电阻桥的非平衡输出电压和电阻桥的激励电压。微处理器把 UTI 的输出信号各阶段时间长度数字化, 分别对应数字化量值 N_{off} , N_{ref} 和 N_x 。微处理器可以计算出被测量与参考量的比值 C_x/C_{ref} 或 V_x/V_{ref} :

$$M = \frac{N_x - N_{off}}{N_{ref} - N_{off}} = \frac{C_x}{C_{ref}} \text{ or } \frac{R_x}{R_{ref}}$$

通过所计算出的比值, 以及事先精确得知的参考器件的参数值, 可以精确得到被测传感器的参数值。而测量系统的失调和传输系数等对计算结果没有影响。

三相是指三个测量阶段, 如图 3 所示。失调测量阶段包括两个调制周期 (输出频率暂时加倍)。因此, 微处理器需要读取的周期数总是比相数 (测量阶段数) 多一, 例如, 三相测量 (C23, C300, 等) 时, 微处理器需要读取 4 个连续周期的时间长度。由于失调测量阶段包括两个调制周期, 这两个短周期通常是最短的, 而且时间长度也几乎相同, 微处理器可以由此正确识别各测量阶段并进行正确的计算。UTI 的测量阶段数量取决于测量模式, 在 3 到 5 之间变化。每个具体模式具有固定的测量阶段数。分别对应一个失调测量, 一个参考测量和一个或多个未知值的测量。

备注:

在大多数测量电容的应用中, 在第一阶段 (测量失调) 期间 UTI 对应的输入空接, 在这种情况下, 只有 UTI 的内部电容和接合线和引线的寄生电容被测量。在第二阶段期间, 参考电容(C_{ref})被测量。这是应用三信号技术所必须的。使用这种方法, 在 5 电容模式 (模式 0000 或模式 0010) 中, 最终可以测量三个未知电容; 而在 3 电容模式 (模式 0001 或模式 0100) 中, 只可以测量一个未知电容, 然而, 在某些情况下, 可能测量失调阶段也需要连接外部电容 (C_{ref1})。只要精确得知 C_{ref1} 和 C_{ref2} 的电容值, 仍然可以应用三信号方法。

第 6 节至第 8 节介绍了 UTI 的 16 种测量 模式, 包括与各种传感器的连接, 输出信号, 计算公式以及该模式的电特性等。



6. 电容测量模式 (模式 0000 至 模式 0100)

6.1. 模式 0000, C25: 0pF 至 2pF 5 电容测量

在此测量模式, 5 个 0pF 至 2pF 的电容被连到 UTI 的一个公共电极 (UTI 的 A), 连接图如图 4。5.5 节更好地解释了电容测量的原理。激励信号是幅度为 V_{DD} 的方波信号, 被依次加到各电容的另一端 (B-F)。电容不被测量时另一端被 UTI 接到地(GND)。在 C25 模式, 一个完整的测量周期包含 5 个测量阶段, 如表 7 所示。考虑到其中 1 个为失调测量, 一个为参考测量, 此模式能测量 3 个未知电容。

假设前 2 个阶段分别测量失调和参考电容 ($C_{BA}=0$ 和 $C_{CA}=C_{ref}$), N_{BA} 至 N_{FA} 分别对应数字化的 5 个测量阶段的时间长度。三个未知电容的电容值可由下列公式计算得出:

$$C_{DA} = \frac{N_{phase3} - N_{phase1}}{N_{phase2} - N_{phase1}} \cdot C_{ref}; \quad C_{EA} = \frac{N_{phase4} - N_{phase1}}{N_{phase2} - N_{phase1}} \cdot C_{ref}; \quad C_{FA} = \frac{N_{phase5} - N_{phase1}}{N_{phase2} - N_{phase1}} \cdot C_{ref}$$

*:参考电容 C_{ref} 的电容值需由其他方式精确测量得到。

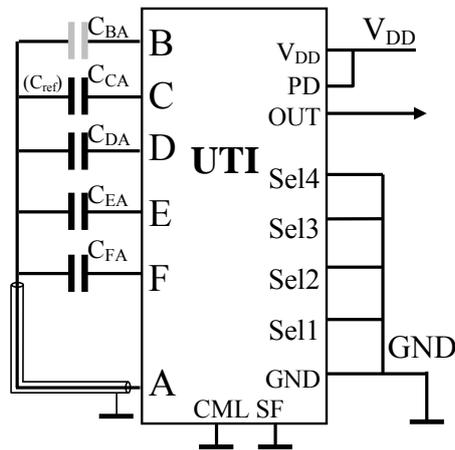


图 4: UTI 电容测量连接图 (C25)。

测量阶段	所测电容	对应数字化结果
1	$C_{BA}+C_0$	N_{phase1}
2	$C_{CA}+C_0$	N_{phase2}
3	$C_{DA}+C_0$	N_{phase3}
4	$C_{EA}+C_0$	N_{phase4}
5	$C_{FA}+C_0$	N_{phase5}

表 7: UTI 每个阶段所测电容及对应的输出时间长度

参数	典型值
最大电容值 (C_{DA})	2pF
线性度	13bits
分辨率 (SF=0)	14bits
剩余偏差	$<15 \cdot 10^{-3} \text{ pF}$

表 8: UTI 在 C25 和 C23 模式的电特性

在测量 ($C_{BA}+C_0$) 的第一阶段时, 输出频率加倍, 因此这一时间段有两个短周期 (如图 3)。这使得微处理器能够正确识别出第一阶段。在大部分实际应用中, 在 B 和 A 之间没有连接电容 (图中为灰色)。

剩余的电容测量偏差由接合线, 接合焊盘和 IC 引脚之间的寄生引起。如果偏差过大, 可使用 CMUX 模式。在这种情况下, 须使用外接多路选择器, 测量偏差可以低至 $20 \cdot 10^{-6} \text{ pF}$ 。

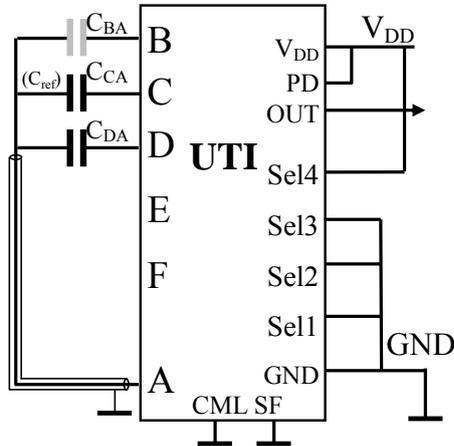
若需要工作在速度 2, 可以把 SF 接到高电平。

请注意, 节点 A 和其他节点 (B 到 F) 之间的任何寄生电容都会造成额外的测量误差。为此, 建议使用同轴电缆将 UTI 的节点 A 连接到要测量的电容传感器, 如图 4 所示。此建议适用于所有电容测量模式 (0000 到 0100)。



6.2. 模式 0001, C23: 0pF 至 2pF 3 电容测量

此测量模式与 C25 类似，不同的是所测电容数为 3 个。考虑到其中 1 个为失调测量，一个为参考测量，此模式只能测量一个未知电容。连接图和输出如图 5 和表 9。其他电特性与表 8 相同。



测量阶段	所测电容	对应数字化结果
1	$C_{BA}+C_0$	N_{phase1}
2	$C_{CA}+C_0$	N_{phase2}
3	$C_{DA}+C_0$	N_{phase3}

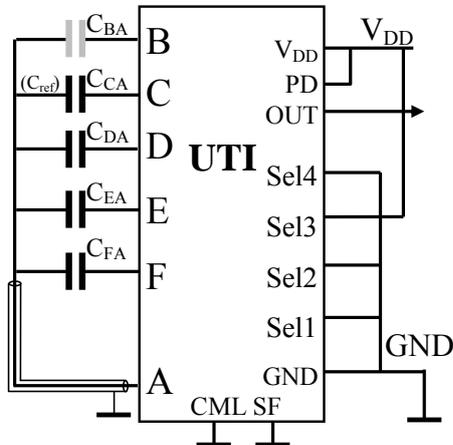
表 9: UTI 每个阶段所测电容及对应的输出时间长度

$$C_{DA} = \frac{N_{\text{phase3}} - N_{\text{phase1}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} \cdot C_{\text{ref}} \quad (C_{BA}=0 \text{ 和 } C_{CA}=C_{\text{ref}})$$

图 5: UTI 电容测量连接图(C23)。

6.3. 模式 0010, C12: 0pF 至 12pF 5 电容测量

此测量模式与 C25 类似，不同的是所测电容范围为 0pF 至 12pF。考虑到其中 1 个为失调测量，一个为参考测量，此模式能测量 3 个未知电容。连接图如图 6, 输出如表 7。其他电特性如表 10。



参数	典型值
最大电容值 (C_{DA})	12pF
线性度	13bits
分辨率 (SF=0)	14bits
剩余偏差	$<15 \cdot 10^{-3} \text{ pF}$

表 10: UTI 在 C12 模式的电特性

图 6: UTI 电容测量连接图(C12)。

如果: $C_{BA}=0$ 和 $C_{CA}=C_{\text{ref}}$ (一个大约 10pF 的参考电容), 三个未知电容值为:

$$C_{DA} = \frac{N_{\text{phase3}} - N_{\text{phase1}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} \cdot C_{\text{ref}} ; \quad C_{EA} = \frac{N_{\text{phase4}} - N_{\text{phase1}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} \cdot C_{\text{ref}} ; \quad C_{FA} = \frac{N_{\text{phase5}} - N_{\text{phase1}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} \cdot C_{\text{ref}}$$



6.4. 模式 0011, CMUX: 测量任意数目的未知电容 0pF 至 2pF/0pF 至 12pF

在该模式中, UTI 可以测量任意数的未知电容, 测量范围为 0pF 至 2pF (CML=0) 或 0-12pF (CML=1)。UTI 不执行测量相位选择, 而是使用外部多路选择器来执行选择。为了这个应用, Smartec 特别开发了一款多路选择器 MUX, 有九个输出和四个输入。CMUX 模式的电特性列于表 11。

参数	典型值(CML=0)	典型值(CML=1)
最大电容值 (C _{XA})	2pF	12pF
线性度	13 bits	13bits
分辨率 (SF=0)	14 bits	14bits
剩余偏差	<2·10 ⁻⁵ pF	<2·10 ⁻⁵ pF

表 11: UTI 在 CMUX 模式的电特性

图 7 显示了 CMUX 模式 UTI, MUX 和微处理器的典型连接图。外部多路选择器由微处理器 (μC) 控制, 将节点 B 处的信号施加到其中一个电容上。在失调测量 (没有电容相连) 期间输出信号的设计输出频率为 6kHz (SF=1) 和 50Hz (SF=0)。有关 UTI 此模式的更多信息, 请参见多路选择器 MUX 的技术指标:<http://www.smartec-sensors.com/cms/>

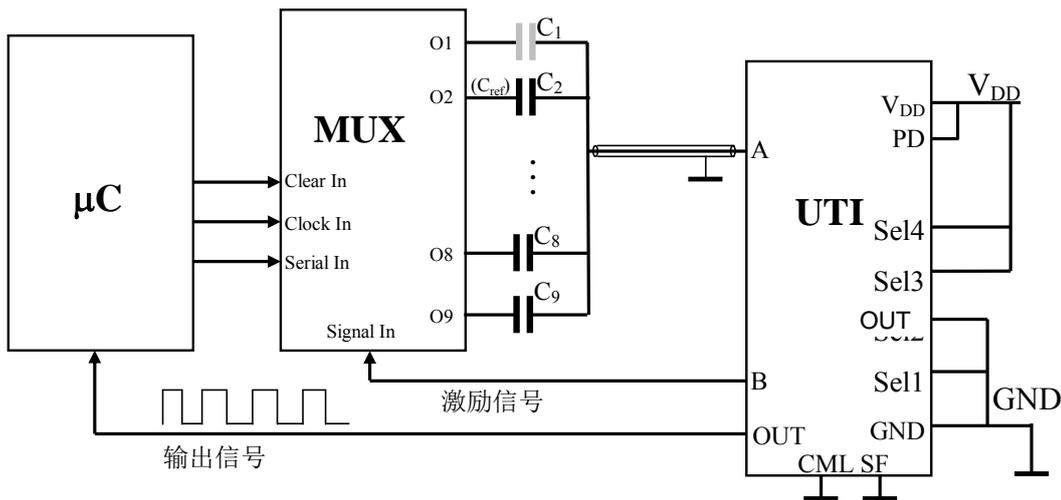


图 7: UTI 电容测量连接图(CMUX)。



6.5. 模式 0100, C300: 最大达 300pF 的 3 电容测量模式

在这种模式下，可以测量 3 个可变范围高达 300pF 的电容。UTI 与各电容以及外部电阻的连接如图 8 所示。因为对大电容进行测量，须应用特别的小摆幅激励信号，由几个外部电阻形成的分压器提供。此小摆幅激励信号会依次加到三个电容的非公共端 (B-D)。

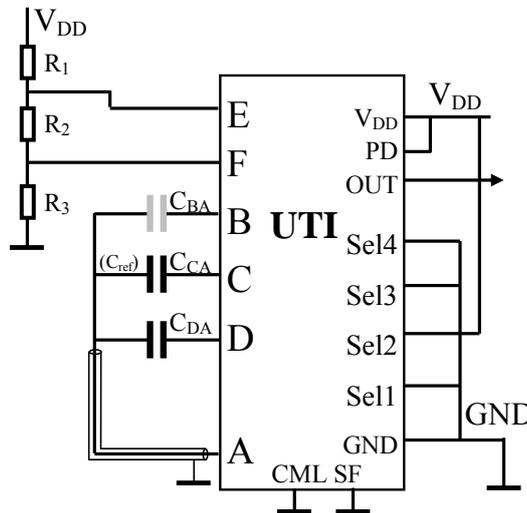


图 8: UTI 电容测量连接图(C300)。

节点 A 的总电容必须限制在 500 pF 以下以保持线性度好于 10^{-3} 。激励信号的电压摆幅等于 V_{EF} 。可通过选择三个电阻 R_1 、 R_2 和 R_3 的电阻值设置，这三个电阻不需要是精密电阻。该 R_1 或 R_3 可以为零。直流电压 V_{EF} 的设置应满足以下要求条件： $V_{EF} < K_V / C_{max}$ ，常数 $K_V = 60V \cdot pF$ ， C_{max} 是 C_{BA} 、 C_{CA} 和 C_{DA} 里的最大值（以 pF 为单位）。全部电阻和电容形成的时间常数应小于 500ns。这些限制决定了几个电阻的阻值选择。

举例：当 $C_{CA} = 300pF$ 时， $C_{DA} = 200pF$ ， $C_{BA} = 0$ ， $V_{DD} = 5V$

电阻值为 $R_1 = 25 k\Omega$ ， $R_2 = 1k\Omega$ ， $R_3 = 0$ 。激励信号的电压摆幅(V_{EF})为 0.2V。

该系统包含两个时间常数 $C_{tot} \cdot (R_3 / (R_1 + R_2))$ 和 $C_{tot} \cdot (R_1 / (R_2 + R_3))$ 。其中 $C_{tot} = C_{BA} + C_{CA} + C_{DA} + C_p$ 。两个时间常数必须小于 500 ns。测量速度 1 模式下的线性度和分辨率见表 13。测试条件是， $C_{DA} = 0pF$ ， $C_p = 30pF$ ， $V_{EF} = K_V / C_{max}$ 。表 12 列出了每个测量阶段对应的电容。

测量阶段	所测电容	对应数字化结果
1	$C_{BA} + C_0$	N_{phase1}
2	$C_{CA} + C_0$	N_{phase2}
3	$C_{DA} + C_0$	N_{phase3}

表 12: UTI 每个阶段所测电容及对应的输出时间长度。

表 13 列出了 UTI 在此模式时对不同的寄生电容条件下的测量非线性和分辨率。

电容值	非线性	分辨率 (pF)
$C_{BA} = C_{CA} = 33pF$	$1.4 \cdot 10^{-4}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$
$C_{BA} = C_{CA} = 150pF$	$1.9 \cdot 10^{-4}$	$6.6 \cdot 10^{-3}$
$C_{BA} = C_{CA} = 270pF$	$9.0 \cdot 10^{-4}$	$17 \cdot 10^{-3}$
$C_{BA} = C_{CA} = 330pF$	$2.6 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$
$C_{BA} = C_{CA} = 560pF$	$6.3 \cdot 10^{-3}$	$46 \cdot 10^{-3}$

表 13: UTI 在 C300 模式在不同电容值的非线性和分辨率 (SF=0)。



7. 电阻测量模式 (模式 0101 至 模式 1000)

7.1. 模式 0101, Pt: 铂电阻 Pt100/Pt1000¹⁾, 四线测量

在这种模式下, 可以测一个铂电阻。UTI 与电阻的连接如图 9 所示。由于分别使用了激励/感应连线, 电阻 R_x 和 R_{ref} 可以以 4 线形式进行测量, 从而完全消除引线电阻的影响。激励电压 V_{EF} 为振幅为 V_{DD} 的方波信号, 频率为内部振荡器频率的 1/4。电阻 R_{BIAS} 是用于设置这一电阻通路的电流。对于 Pt100 的测量, 测量精度为 $\pm 40m\Omega$ 。这个 $40m\Omega$ 可以被认为是芯片的内部设计引起的系统误差。

一个测量序列由 4 个测量阶段组成。如下表所示:

测量阶段	所测元件	对应数字化结果
1	V_0	N_{phase1}
2	$V_{AB}+V_0$	N_{phase2}
3	$V_{CD}+V_0$	N_{phase3}
4	$V_{BC}+V_0$	N_{phase4}

表 14: UTI 在 Pt 模式在每个阶段所测电压及对应的输出时间长度

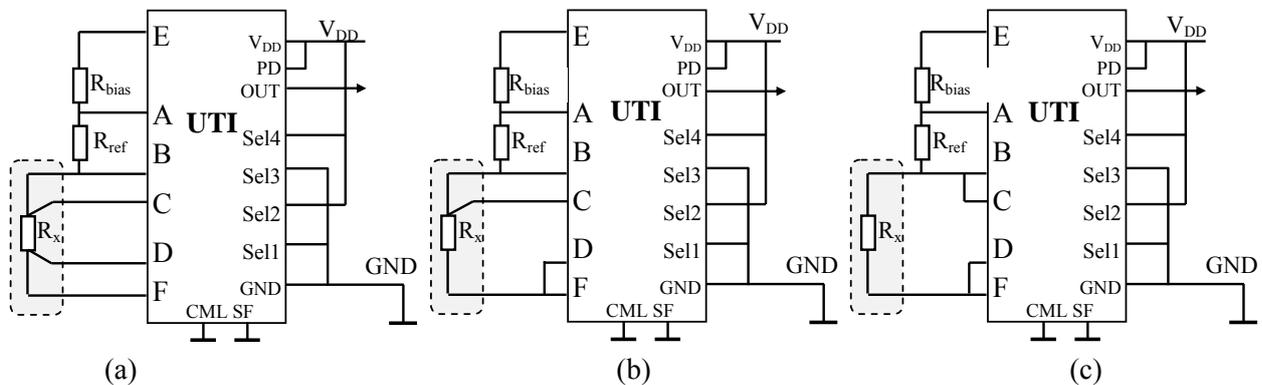


图 9: UTI 与铂电阻的连接, (a)四线, (b)三线, (c)两线。

未知电阻 R_x (Pt100)的阻值可以由下列公式计算出:

$$\text{2 线或 4 线测量: } R_x = \frac{N_{phase3} - N_{phase1}}{N_{phase2} - N_{phase1}} \cdot R_{ref}$$

$$\text{3 线测量: } R_x = \frac{N_{phase3} - N_{phase4}}{N_{phase2} - N_{phase1}} \cdot R_{ref}$$

只要 V_{AB} 和 V_{CD} 的电幅度不大于 $0.7V$ ($V_{DD}=5V$)或 $0.4V$ ($V_{DD}=3.3V$), 测量的线性度可以优于 13bits。要限制自热引起的误差就必须限制流过铂电阻的电流。举例来说, 假设铂电阻的热阻为 $200K/W$ (静止空气), 在 $V_{CD}=0.7V$ 和 $0^\circ C$ 的条件下, Pt100 的自发热效应会导致 1 摄氏度的误差。要降低自热引入的测量误差, 必须增加 R_{BIAS} 以减小流过 Pt100 的电流。若 $V_{CD}=0.2V$, 由于自热导致的温度误差将降低到 $80mK$, 比 A 类 Pt100 的原始偏差小两倍。在这种条件下, 通过 Pt100 的电流为 $2mA$, 需要 $R_{BIAS}=2.2k\Omega$ 。

Pt100 的相对灵敏度为 $3.9 \cdot 10^{-3}/K$ 。当通过 Pt100 的电流为 $2mA$ 时, 这种灵敏度对应于 $780\mu V/K$ 。该模式下的 UTI 分辨率为 $7\mu V$, 对应于 $9mK$ 的温度分辨率(测量速度 1)。表 15 列出了 Pt 模式下 UTI 的特性:

¹⁾: 也可以应用 UTI 的模式 1011 测量铂电阻。



参数	典型值
R_{bias} (Pt100, 热阻 200K/W, 自热误差 80mK)	2.2k Ω
R_{bias} (Pt1000, 热阻 200K/W, 自热误差 80mK)	6.2k Ω
激励信号输出电流 (E/F)	20mA
失调	10 μ V
线性度	13bits
分辨率(SF=0, Pt100, 2mA)	14bits (9mK)

表 15: UTI 在 **Pt** 模式的电特性。

V_{CD} 和 V_{AB} 的幅度最高可达 2.5V 的峰峰值 (如此可以获得最好的分辨率), 但是必须考虑自热影响和非线性 (2.5V 的峰峰值时 线性度降低到 8bits)。

整个电阻通路由交流电压信号进行激励。因此寄生的电缆电容对测量精度会有影响。SMARTEC 开发了针对较大长度 (屏蔽) 电缆的专用接口电路, 详见公司网站 (<http://www.smartec-sensors.com/cms/>) 的使用手册, 即使电缆长度达 200 米 (UTI 与传感器的距离), 额外引入的测量误差不超过 $\pm 25m\Omega$ 。



7.2. 模式 0110, Ther: 热敏电阻, 四线测量

在这种模式下, 可以测量一个热敏电阻。热敏电阻和参考电阻的连接如图 10 所示。

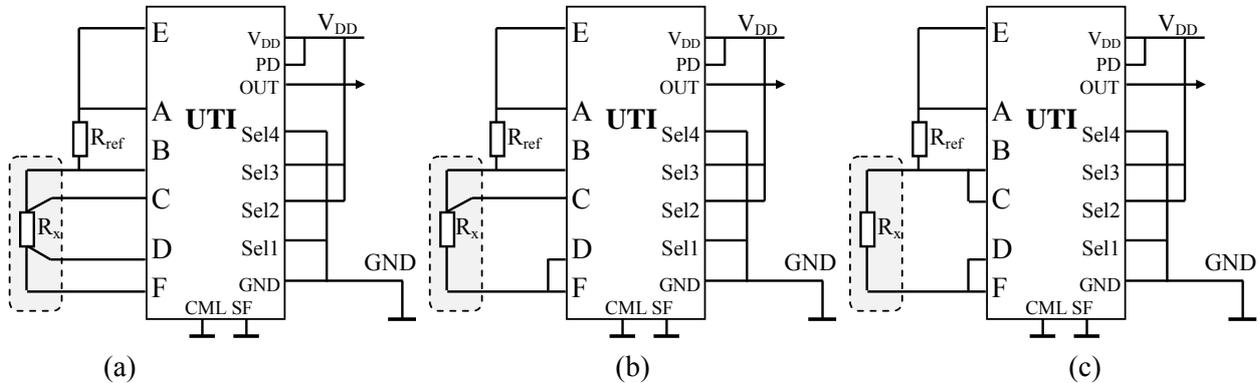


图 10: UTI 与热敏电阻的连接, (a)四线, (b)三线, (c)两线。

驱动电压 V_{EF} 是幅度为 $V_{DD}/12.5$ ($V_{DD}=5V$ 时为 $0.4V$) 的斩波电压, 直流共模值为 $V_{DD}/2$ 。UTI 的输出与模式 0101 类似, 一个完整的测量序列包含 4 个测量阶段, 所测电压和对应的时间长度等参数见表 16:

测量阶段	所测元件	对应数字化结果
1	V_0	N_{phase1}
2	$V_{AB}+V_0$	N_{phase2}
3	$V_{CD}+V_0$	N_{phase3}
4	$V_{BC}+V_0$	N_{phase4}

表 16: UTI 在 **Ther** 模式在每个阶段所测电压及对应的输出时间长度

未知电阻 R_x (Ther) 的阻值可以由下列公式计算出:

$$\text{2 线或 4 线测量: } R_x = \frac{N_{\text{phase3}} - N_{\text{phase1}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} \cdot R_{\text{ref}}$$

$$\text{3 线测量: } R_x = \frac{N_{\text{phase3}} - N_{\text{phase4}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} \cdot R_{\text{ref}}$$

UTI 此模式的其他电特性见下表:

参数	典型值
R_{ref}/R_x	$<5k\Omega$
$R_{\text{ref}}+R_x$	$>1k\Omega$
失调	$10\mu V$
线性度	13bits
分辨率(SF=0)	$7\mu V$ (1mK)

表 17: UTI 在 **Ther** 模式的电特性

对于非常大或非常小的 R_x 值 (R_{ref} 的 10 倍或 0.1 倍), 对电压测量的分辨率仍然是一样的, 但转换为温度的分辨率则有所降低。这是由于采用了线性化测量方法。(对于灵敏度为 $4\%/K$ 的热敏电阻, 在 $V_{DD}=5V$ 时, 温度分辨率为 $1mK$)。



7.3. 模式 0111, Pt2: 测量 2 个或 3 个铂电阻

在这种模式下, 可以测量 2 或 3 个铂电阻。电阻与 UTI 的连接如图所示图 11。电压 V_{EF} 与模式 Pt 相同。

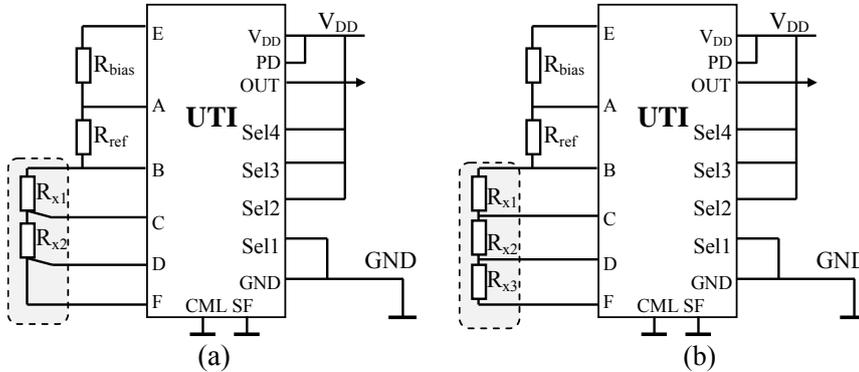


图 11: UTI 与铂电阻的连接, (a) 2 个, (b) 3 个。

流过电阻器的电流限制与 Pt 模式相同, 如图 11 中所示。请注意, 对 R_{x2} 可以进行 4 线测量。另外, 阶段 5 可以用于测量引线电阻, 也可以如图 11 (b) 所示多测量一个电阻 R_{x3} 。此测量模式与 Pt 模式的主要区别是一个完整的测量周期包含 5 个测量阶段, 如表 18 所列。

测量阶段	所测元件	对应数字化结果
1	V_0	N_{phase1}
2	$V_{AB}+V_0$	N_{phase2}
3	$V_{CD}+V_0$	N_{phase3}
4	$V_{BC}+V_0$	N_{phase4}
5	$V_{DF}+V_0$	N_{phase5}

表 18: UTI 在 Pt2 模式在每个阶段所测电压及对应的输出时间长度

被测电阻的阻值可以由以下公式计算:

测量 2 个电阻 (图 11 (a)):

$$R_{x1} = \frac{N_{\text{phase4}} - N_{\text{phase5}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} \cdot R_{\text{ref}}$$

$$R_{x2} = \frac{N_{\text{phase3}} - N_{\text{phase1}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} \cdot R_{\text{ref}}$$

测量 3 个电阻 (图 11(b)):

$$R_{x1} = \frac{N_{\text{phase4}} - N_{\text{phase1}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} \cdot R_{\text{ref}}$$

$$R_{x2} = \frac{N_{\text{phase3}} - N_{\text{phase1}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} \cdot R_{\text{ref}}$$

$$R_{x3} = \frac{N_{\text{phase5}} - N_{\text{phase1}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} \cdot R_{\text{ref}}$$

图 11 (b) 所示的连接显示了测量 3 个电阻时引线电阻的影响不能被消除。特别, 当使用图 11 (b) 所示的连接来测量 R_{x3} 时, UTI 的内部连接线将会对于 Pt100 和 Pt1000 分别产生 0.9Ω 和 3Ω 的误差。这个测量误差取决于铂电阻的供电电流和温度, 但属于稳定的系统误差。



7.4. 模式 1000, Ther2: 2 个或 3 个热敏电阻

在这种模式下，可以测量 2 或 3 个热敏电阻。电阻与 UTI 的连接如图所示图 12。一个完整的测量周期包含 5 个测量阶段。表 17 中列出的参数特性也适用于此模式。

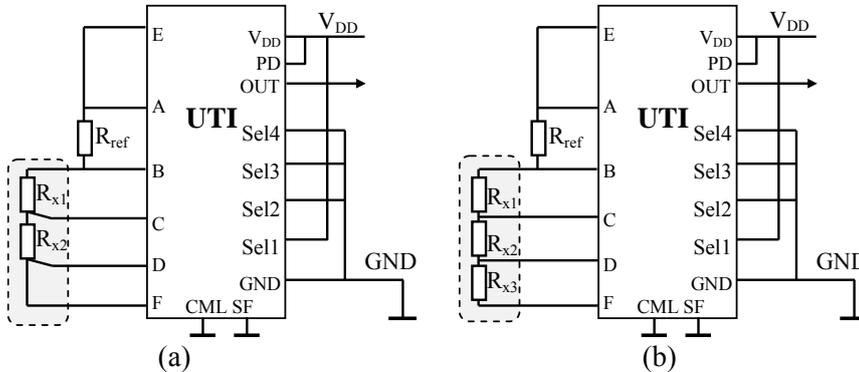


图 12: UTI 与热敏电阻的连接, (a) 2 个电阻, (b) 3 个电阻。

图 12(a) 所示的连接显示了 3 电阻测量时引线电阻的影响不能被消除。特别，当使用图 12(b)所示的连接来测量 R_{x3} 时，若 R_{x3} 的阻值为 2.5kΩ 左右，UTI 的内部连接线将导致 11.5Ω 的测量误差。该测量误差还取决于流过热敏电阻的电流大小和温度。

此模式下的各测量阶段对应的输出时间长度如表 19 所示。

测量阶段	所测元件	对应数字化结果
1	V_0	N_{phase1}
2	$V_{AB}+V_0$	N_{phase2}
3	$V_{CD}+V_0$	N_{phase3}
4	$V_{BC}+V_0$	N_{phase4}
5	$V_{DF}+V_0$	N_{phase5}

表 19: UTI 在 **Ther2** 模式在每个阶段所测电压及对应的输出时间长度

被测电阻的阻值可以由以下公式计算:

测量 2 个电阻(图 12(a)):

$$R_{x1} = \frac{N_{\text{phase4}} - N_{\text{phase5}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} \cdot R_{\text{ref}}$$

$$R_{x2} = \frac{N_{\text{phase3}} - N_{\text{phase1}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} \cdot R_{\text{ref}}$$

测量 3 个电阻(图 12(b)):

$$R_{x1} = \frac{N_{\text{phase4}} - N_{\text{phase1}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} \cdot R_{\text{ref}}$$

$$R_{x2} = \frac{N_{\text{phase3}} - N_{\text{phase1}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} \cdot R_{\text{ref}}$$

$$R_{x3} = \frac{N_{\text{phase5}} - N_{\text{phase1}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} \cdot R_{\text{ref}}$$



8. 电阻桥测量模式 (模式 1001 至 模式 1111)

8.1. 模式 1001, Ub2: 电阻桥测量, 参考电压为激励电压, 非平衡范围为±4%

在这种模式下, 可以测量电阻桥非平衡电压输出(V_{CD})与激励电压(V_{AB})的比值。该模式下非平衡测量范围为±4% (即 $V_{DD}=5V$ 时, 最大非平衡输出为±0.2V)。

电阻桥与 UTI 的连接如图 13 所示。激励电压 V_{EF} 为幅度为 V_{DD} 的方波。该信号的频率是内部振荡器频率的 1/4。因为分别使用激励/感应线路, 电阻桥可以 4 线模式进行测量, 如图 13 (a)所示。

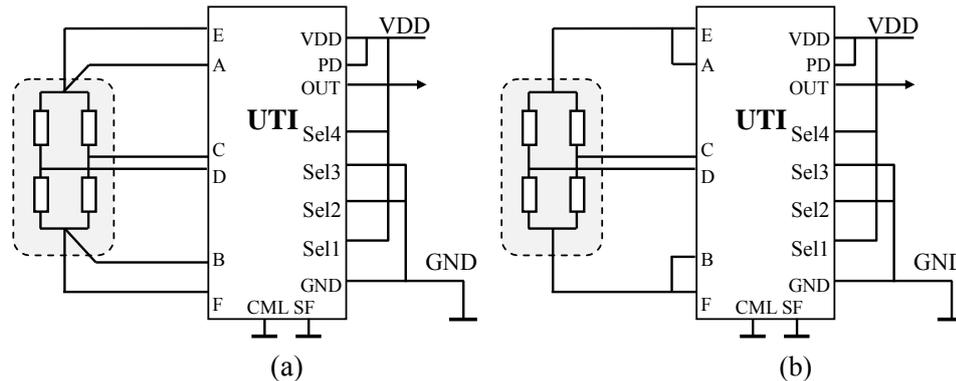


图 13: UTI 与电阻桥的连接, (a) 4 线模式, (b) 2 线模式。

测量阶段	所测元件	对应数字化结果
1	V_0	N_{phase1}
2	$V_{AB}/32 + V_0$	N_{phase2}
3	$V_{CD} + V_0$	N_{phase3}

表 20: UTI 在 Ub2 模式在每个阶段所测电压及对应的输出时间长度

此模式下的各测量阶段对应的输出时间长度如表 20 所示。在第 2 阶段, 激励电压 V_{AB} 被测量, 片上的一个精密电压除法器把这个电压除以 32。此除法器无须校准。被除以 32 以后, V_{AB} 被以相同的方式转换成周期信号。

电阻桥的非平衡可以由下式算出:

$$M = \frac{1}{32} \frac{N_{\text{phase3}} - N_{\text{phase1}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} = \frac{V_{CD}}{V_{AB}}$$

UTI 在此测量模式下的一些相关特性见表 21。

参数	典型值
电阻桥激励信号	幅度 V_{DD} 的方波
电阻桥激励信号最大电流	20mA
电阻桥电阻范围	250Ω-10kΩ
电阻桥非平衡输出电压	<±0.2V
精度	11bits(满量程时)
测量失调	<10μV
分辨率(SF=0)	7μV

表 21: UTI 在 Ub2 模式的电特性



8.2. 模式 1010, Ub1: 电阻桥测量, 参考电压为激励电压, 非平衡范围为±0.25%

在这种模式下, 可以测量电阻桥非平衡电压输出(V_{CD})与激励电压(V_{AB})的比值。该模式下非平衡测量范围为±0.25% (即 $V_{DD}=5V$ 时, 最大非平衡输出为±12.5mV)。

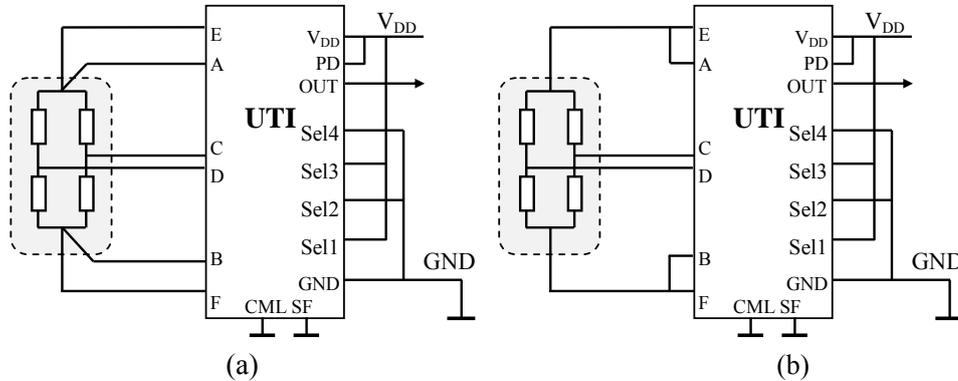


图 14: UTI 与电阻桥的连接, (a) 4 线模式, (b) 2 线模式。

电阻桥与 UTI 的连接与 Ub2 模式如图 14。一个片上 15 倍精密电压放大器线把被测非平衡输出电压(V_{CD})放大 15 倍, 然后再以相同的方式转换成时间信号。同理, 在第 2 测量阶段, 激励电压 V_{AB} 先被片上的一个精密电压除法器除以 32, 然后再以相同的方式转换成时间信号。所以此模式下的各测量阶段对应的输出时间长度如表 22 所示。

测量阶段	所测元件	对应数字化结果
1	V_0	N_{phase1}
2	$V_{AB}/32+V_0$	N_{phase2}
3	$15V_{CD}+V_0$	N_{phase3}

表 22: UTI 在 Ub1 模式在每个阶段所测电压及对应的输出时间长度

电阻桥的非平衡可以由下式算出:

$$M = \frac{1}{480} \frac{N_{\text{phase3}} - N_{\text{phase1}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} = \frac{V_{CD}}{V_{AB}}$$

UTI 在此测量模式下的一些相关特性见表 23。

参数	典型值
电阻桥激励信号	幅度 V_{DD} 的方波
电阻桥激励信号最大电流	20mA
电阻桥电阻范围	250Ω-10kΩ
电阻桥非平衡输出电压	<±12.5mV
精度	10bits (满量程时)
测量失调	<10μV
分辨率(SF=0)	700nV

表 23: UTI 在 Ub1 模式的电特性



8.3. 模式 1011, Ib2: 电阻桥测量, 电流激励, 非平衡范围为±4%

在这种模式下测量电阻桥, 激励信号为电流信号, 参考信号为电流在参考电阻 R_{ref} 上产生的电压 V_{AB} 。UTI 与电阻桥以及参考电阻的连接如图 15 (a)所示。 R_{ref} 电阻值的选择应该使得 V_{AB} 在 0.1V 和 0.2V 之间。该模式也可用于四线测量铂电阻, 如图 15 (b)所示。与 Pt 模式相比此模式的优点是只需要三个测量阶段。

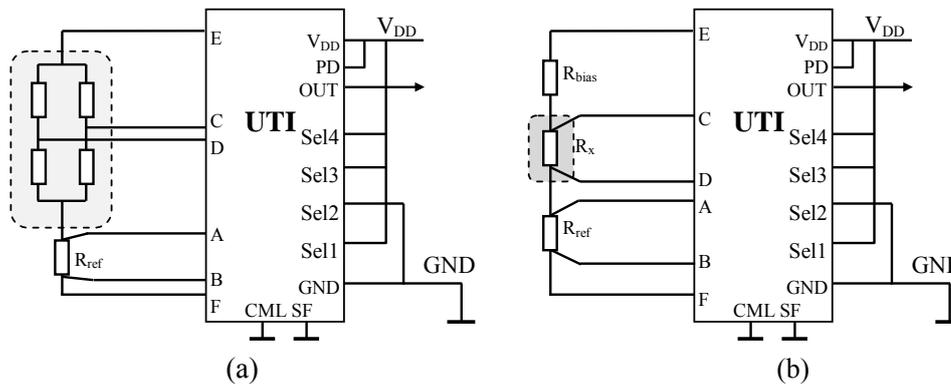


图 15: (a) UTI 与电阻桥和参考电阻的连接, (a) 四线测量铂电阻。

所以此模式下的各测量阶段对应的输出时间长度如表 24 所示。

测量阶段	所测元件	对应数字化结果
1	V_0	N_{phase1}
2	$V_{AB}+V_0$	N_{phase2}
3	$V_{CD}+V_0$	N_{phase3}

表 24: UTI 在 Ib2 模式在每个阶段所测电压及对应的输出时间长度

电阻桥的非平衡电压与参考电压的比值为:

$$M = \frac{N_{phase3} - N_{phase1}}{N_{phase2} - N_{phase1}} = \frac{V_{CD}}{V_{AB}} = \frac{V_{CD}}{I_{ex} R_{ref}}$$

四线测量铂电阻时, 铂电阻的阻值可由下式计算:

$$R_x = \frac{N_{phase3} - N_{phase1}}{N_{phase2} - N_{phase1}} \cdot R_{ref}$$

UTI 在此测量模式下的一些相关特性见表 25。

参数	典型值
电阻桥激励信号	幅度接近 V_{DD} 的方波
电阻桥激励信号最大电流	20mA
电阻桥电阻范围	250Ω-10kΩ
电阻桥非平衡输出电压	<±0.2V
精度	12bits (满量程时)
测量失调	<10μV
分辨率(SF=0)	7μV

表 25: UTI 在 Ib2 模式的电特性



8.4. 模式 1100, Ib1: 电阻桥测量, 电流激励, 非平衡范围为±0.25%

在这种模式下测量电阻桥, 激励信号为电流信号, 参考信号为电流在参考电阻 R_{ref} 上产生的电压 V_{AB} 。UTI 与电阻桥以及参考电阻的连接如图 16 (a)所示。 R_{ref} 的选择值应该使得 V_{AB} 在 0.1V 和 0.2V 之间。

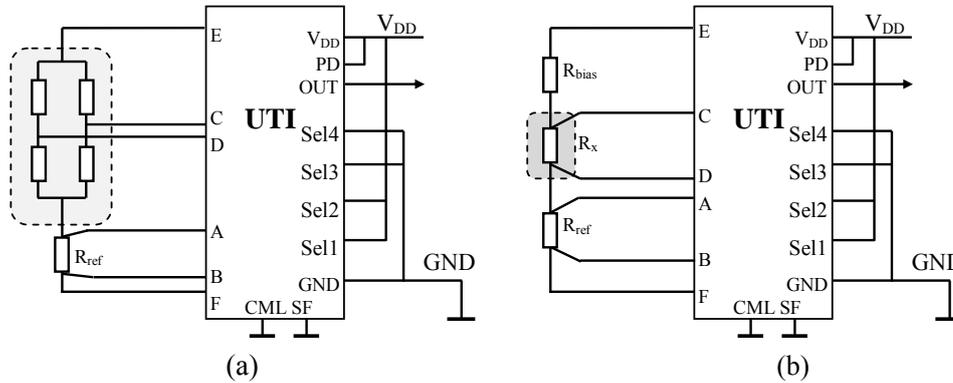


图 16: (a) UTI 与电阻桥和参考电阻的连接, (a) 四线测量铂电阻。

一个片上 15 倍精密电压放大器线把被测非平衡输出电压 (V_{CD}) 放大 15 倍, 然后再以相同的方式转换成时间信号。所以此模式下的各测量阶段对应的输出时间长度如表 26 所示。

测量阶段	所测元件	对应数字化结果
1	V_0	N_{phase1}
2	$V_{AB}+V_0$	N_{phase2}
3	$15V_{CD}+V_0$	N_{phase3}

表 26: UTI 在 **Ib1** 模式在每个阶段所测电压及对应的输出时间长度
电阻桥的非平衡电压与参考电压的比值为:

$$M = \frac{1}{15} \frac{N_{phase3} - N_{phase1}}{N_{phase2} - N_{phase1}} = \frac{V_{CD}}{V_{AB}} = \frac{V_{CD}}{I_{ex} R_{ref}}$$

UTI 在此测量模式下的一些相关特性见表 27。

参数	典型值
电阻桥激励信号	幅度接近 VDD 的方波
电阻桥激励信号最大电流	20mA
电阻桥电阻范围	250Ω-10kΩ
电阻桥非平衡输出电压	<±12.5mV
精度	10bits(满量程时)
测量失调	<10μV
分辨率(SF=0)	700nV

表 27: UTI 在 **Ib1** 模式的电特性



8.5. 模式 1101, Brg2: 电阻桥和 2 电阻测量, 非平衡范围为±4%

在这种模式下测量电阻桥, 激励信号为电流信号, 参考信号为电流在参考电阻 R_{ref} 上产生的电压 V_{BF} 。电阻桥的最大非平衡为±4%。UTI 与电阻桥以及参考电阻的连接如图 17 所示。 R_{ref} 和 R_x 的选择值应该使得 V_{AB} 和 V_{BF} 在 0.1V 和 0.2V 之间。另一个电阻可以选择为随温度变化的电阻器 (如铂电阻), 如此可以用来对电阻桥型传感器 (如压力传感器) 进行温度补偿。

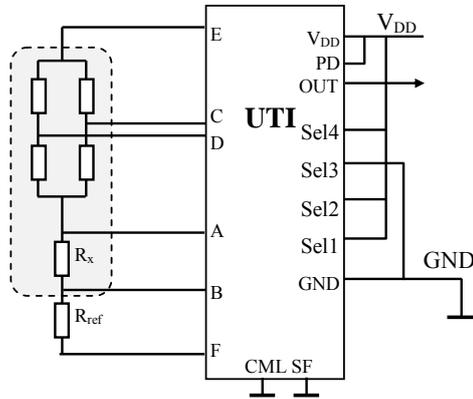


图 17: UTI 与电阻桥和电阻的连接(Brg2 模式)。

一个片上 32 倍精密电压除法器先把被测电压 (V_{EA}) 除以 32 倍, 然后再以相同的方式转换成时间信号。所以此模式下的各测量阶段对应的输出时间长度如表 28 所示。

测量阶段	所测元件	对应数字化结果
1	V_0	N_{phase1}
2	$V_{AB}+V_0$	N_{phase2}
3	$V_{CD}+V_0$	N_{phase3}
4	$V_{BF}+V_0$	N_{phase4}
5	$V_{EA}/32+V_0$	N_{phase5}

表 28: UTI 在 Brg2 模式在每个阶段所测电压及对应的输出时间长度

电阻桥的非平衡可以由下式算出:

$$M = \frac{1}{32} \frac{N_{phase3} - N_{phase1}}{N_{phase2} - N_{phase1}} = \frac{V_{CD}}{V_{EA}}$$

被测电阻的阻值为:

$$R_x = \frac{N_{phase2} - N_{phase1}}{N_{phase4} - N_{phase1}} \cdot R_{ref}$$

UTI 在此测量模式下的一些相关特性见表 29。

参数	典型值
电阻桥激励信号	幅度接近 V_{DD} 的方波
电阻桥最大激励电流(E-F)	20mA
电阻桥电阻范围	250Ω-10kΩ
电阻桥非平衡输出电压	<±0.2V
精度	11 bits (满量程时)
线性度	12 bits (满量程时)
测量失调	<10μV
分辨率(SF=0)	7μV

表 29: UTI 在 Brg2 模式的电特性。



8.6. 模式 1110, Brg1: 电阻桥和 2 电阻测量, 非平衡范围为±0.25%

在这种模式下测量电阻桥, 激励信号为电流信号, 参考信号为电流在参考电阻 R_{ref} 上产生的电压 V_{BF} 。电阻桥的最大非平衡为±0.25%。UTI 与电阻桥以及参考电阻的连接如图 18 所示。 R_{ref} 和 R_x 的选择值应该使得 V_{AB} 和 V_{BF} 在 0.1V 和 0.2V 之间。另一个电阻可以选择为随温度变化的电阻器 (如铂电阻), 如此可以用来对电阻桥型传感器 (如压力传感器) 进行温度补偿。

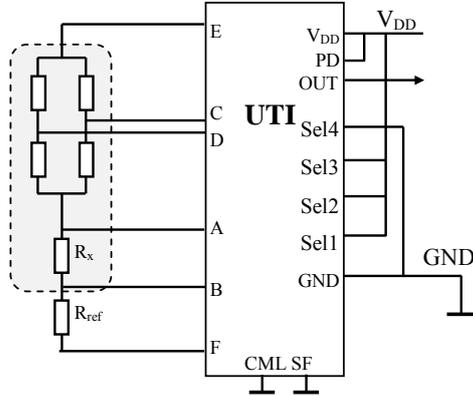


图 18: UTI 与电阻桥和电阻的连接(Brg1 模式)。

一个片上 15 倍精密电压放大器先把被测非平衡输出电压 (V_{CD}) 放大 15 倍, 然后再以相同的方式转换成时间信号。另外, 一个片上 32 倍精密电压除法器先把被测电压 (V_{EA}) 除以 32 倍, 然后再以相同的方式转换成时间信号。所以此模式下的各测量阶段对应的输出时间长度如表 30 所示。

测量阶段	所测元件	对应数字化结果
1	V_0	N_{phase1}
2	$V_{AB}+V_0$	N_{phase2}
3	$15V_{CD}+V_0$	N_{phase3}
4	$V_{BF}+V_0$	N_{phase4}
5	$V_{EA}/32+V_0$	N_{phase5}

表 30: UTI 在 Brg1 模式在每个阶段所测电压及对应的输出时间长度

电阻桥的非平衡可以由下式算出:

$$M = \frac{1}{480} \frac{N_{phase3} - N_{phase1}}{N_{phase2} - N_{phase1}} = \frac{V_{CD}}{V_{EA}}$$

被测电阻的阻值为:

$$R_x = \frac{N_{phase2} - N_{phase1}}{N_{phase4} - N_{phase1}} \cdot R_{ref}$$

UTI 在此测量模式下的一些相关特性见表 31。

参数	典型值
电阻桥激励信号	幅度接近 V_{DD} 的方波
电阻桥最大激励电流(E-F)	20mA
电阻桥电阻范围	250Ω-10kΩ
电阻桥非平衡输出电压	<±12.5mV
精度	10bits(满量程时)
线性度	12 bits (满量程时)
测量失调(V_{CD})	<10μV
测量失调(V_{AB})	<10μV
分辨率(SF=0)	700nV

表 31: UTI 在 Brg1 模式的电特性。



8.7. 模式 1111, Potm: 3 电位计测量 (电阻范围 1kΩ至 50kΩ)

在此模式下, 可以测量电阻范围在 1kΩ至 50kΩ的 3 个电位计。UTI 与电位计的连接如图 19 所示。若只测量一个电位器, 此电位器连在 UTI 的 C 端, 其他端口 (B 和 D) 应连接到 F。电位器两端的激励电压为振幅为 V_{DD} 的方波, 频率为内部振荡器频率的 1/4。

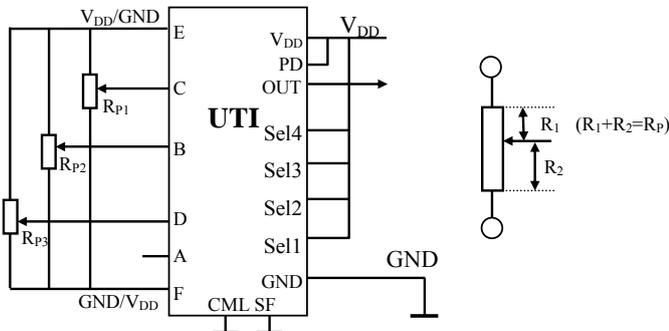


图 19: UTI 与电位计的连接 (Potm 模式)

此模式下的各测量阶段对应的输出时间长度如表 32 所示。

测量阶段	所测元件	对应数字化结果
1	V_0	N_{phase1}
2	$V_{EF} + V_0$	N_{phase2}
3	$V_{CF} + V_0$	N_{phase3}
4	$V_{BF} + V_0$	N_{phase4}
5	$V_{DF} + V_0$	N_{phase5}

表 32: UTI 在 **Brg1** 模式在每个阶段所测电压及对应的输出时间长度

3 电位器测量时引线电阻的影响不能被消除, 因此应避免使用低阻电位器。每个电位计相对位置的计算如下:

$$M_{1,2,3} = \frac{N_{\text{phase3,4,5}} - N_{\text{phase1}}}{N_{\text{phase2}} - N_{\text{phase1}}} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)_{1,2,3}$$

UTI 在此测量模式下的一些相关特性见表 33。

参数	典型值
电位计激励信号	幅度 V_{DD} 的方波
电位计电阻范围	1kΩ-50kΩ
精度	10^{-3}
分辨率(SF=0)	14bits

表 33: UTI 在 **Potm** 模式的电特性。



9. UTI 外形封装

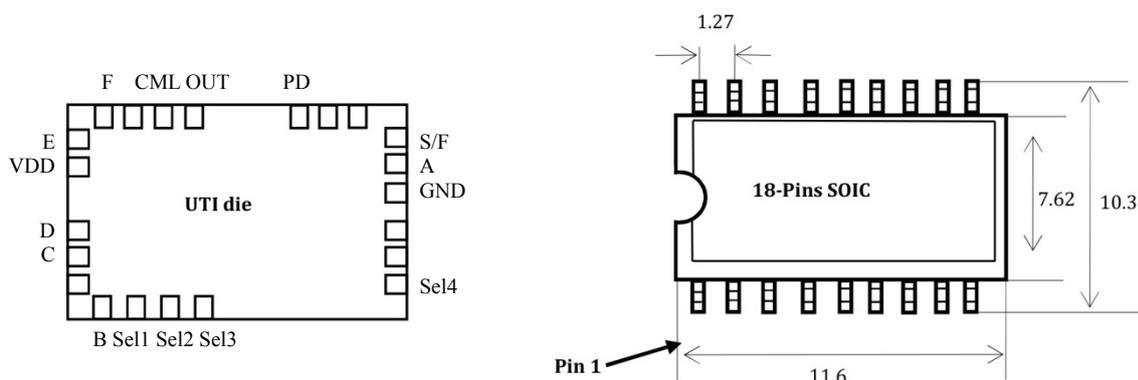


图 20: UTI 的芯片管脚分布及 SOIC 封装尺(绘图没按比例) 所有尺寸标度为毫米 (mm)

10. UTI 订单代码

- UTIDIL: 16 管脚双列直插封装 UTI
- UTISOIC: 18 管脚表面封装 UTI
- UTI die: UTI 芯片
- UTI wafer: UTI 整片晶圆
- TOOLKIT USB mini: UTI 开发板, USB mini 接口

欲知更多信息请联系 Smartec 的销售部门: sales@smartec.nl, 或访问公司网站: <http://www.smartec-sensors.com/cms/>。

附录 1 UTI 的一些重要信息

分辨率

UTI 的输出信号由微处理器数字化, 量化数值取决于微处理器计数所用的时钟频率。由此引入了量化噪声, 这也限制了测量分辨率。任何一个时间长度测量的量化噪声, 由相对标准偏差 σ_q 来衡量:

$$\sigma_q = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{t_s}{T_m}$$

其中 t_s 代表微处理器计数所用的时钟周期, T_m 代表所测时间长度。举例来说, 时钟周期为 1 微秒, 所测时间长度为 20 毫秒, 则量化噪声的标准偏差则为 1/45000, 相当于 15.5bits 的分辨率。测量分辨率可以通过增加测量时间来进一步改善。如对同一测量重复进行多次(如 P 次)并取平均, 则量化噪声降低为原来的 $(1/\sqrt{P})$ 倍。

除了量化噪声, 限制分辨率的另一个因素是振荡器本身的热噪声以及寄生(电缆)电容 C_p 的影响(见第 5.5 节)。对于 CMUX 模式, 分辨率与寄生电容 C_p 的关系如图 21 所示。



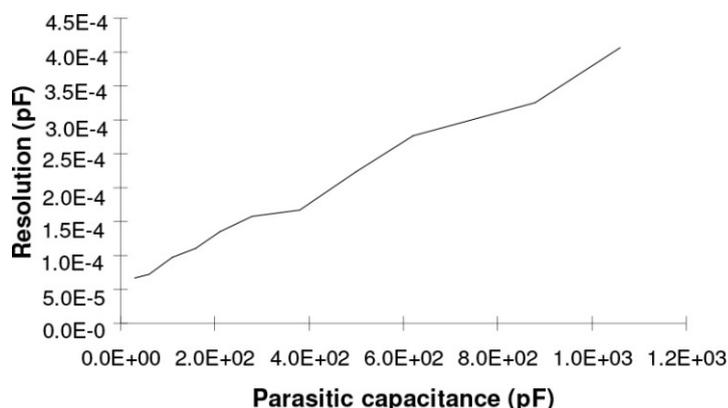


图 21: UTI 在 CMUX 模式分辨率与寄生电容的关系曲线。

线性度

通常, UTI 的线性度在 11bits 到 14bits 之间, 依测量模式而变。对于 CMUX 模式, 线性度与寄生电容 C_p 的关系如图 22 所示。

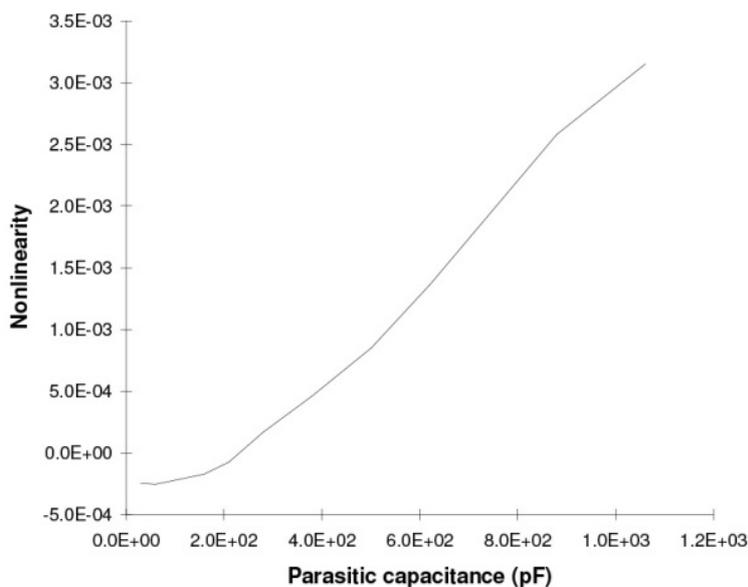


图 22: UTI 在 CMUX 模式线性度与寄生电容的关系曲线。

10.1. UTI 的电容测量原理

UTI 测量电容值的方法是特别的。一般来说, 若测量一个电容, 与其并联的寄生电容也包含在内。见图 23 (a):



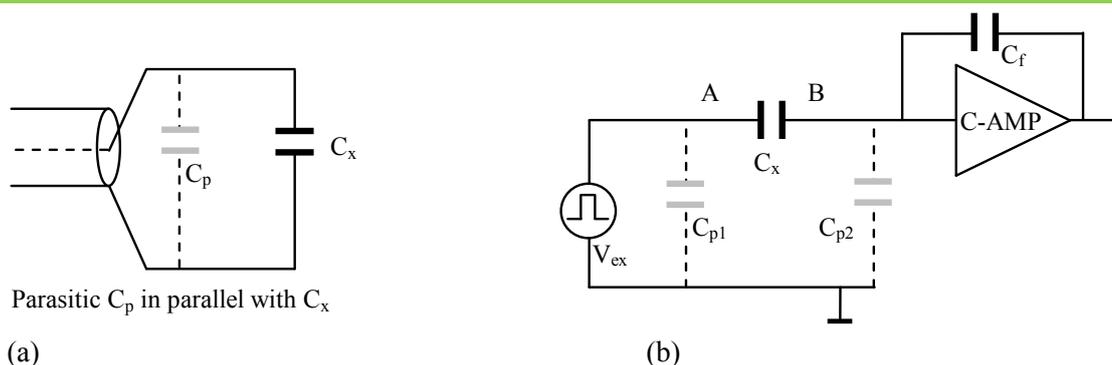


图 23: (a) 电容的传统测量方式, (b) UTI 测量电容的方式

以经典测量电容器的方式，电缆电容与被测电容并联，因此引入测量误差。要避免这种影响并不那么容易，尤其是测量使用长电缆的小电容时误差更大。在 UTI 中，这个问题是通过对 C_x 进行双端口测量方式来解决的，所测电量为电容器上 C_x 的电荷转移量，如图 23 (b)。电容器的激励信号来自一个电压源 V_{ex} ，这意味着 C_{p1} 与该电压源并联连接，因此不是测量电路的一部分。 C_x 上的电荷转移到虚拟地偏置的电荷放大器上，在此过程中 C_{p2} 上的电荷量没有变化，所以也不会对测量产生影响。电荷放大器放大 C_x 的电荷转移量之后再进一步把它转化为周期信号。此周期信号的时长与被测电容成正比。通过这种双端口测量技术，可以测量小至 aF ($10^{-15}F$) 的电容量，而电缆电容可能高达数百个 pF ($10^{-12}F$)。

图 22 显示了线性度和寄生电缆电容 C_p 之间的关系。从中可以看出，在电缆电容约 500pF 的情况下，线性度仍为 $1.0 \cdot 10^{-3}$ 。

当测量多个电容时，每个节点（如 A, B, C, D, E, F）在一定时间内被激励，完成测量后 UTI 切换到下一个节点。未处于活动状态的节点已被 UTI 接地，因此对测量没有影响。节点选择是由 UTI 自动控制。在 CMUX 模式下，电容数量是无限制的。所有被测电容器连接到不同的电压源，另一端都连接到电荷放大器的输入端（节点 A）。CMUX 应用手册给出了更多的信息。更多有关 UTI 测量电容器的信息，请查看相应的使用手册，此文件可以在公司网站 <http://www.smartec-sensors.com/cms/> 上下载。



附录 2 UTI 开发板

为了方便用户了解并使用 UTI，Smartec 设计了开发板供用户试用。该开发板可以直接与传感器连接，并通过 USB mini 与计算机或手提电脑通讯，如图 24 所示。测量模式，测量速度等都可以由计算机控制。所开发的 LabVIEW 程序可以完成测量并实时显示测量结果。当然也可以使用其他通讯软件，如 Hyper terminal, Putty 等。其他更多的实用信息可以在 UTI 使用手册中找到。这些文件都可以在公司网站 <http://www.smartec-sensors.com/cms/> 下载。

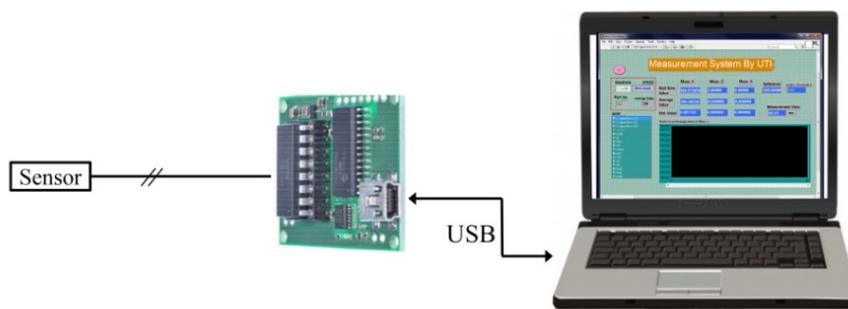


图 24: 基于 UTI 及开发板的测量系统.

