

睡眠模式及其他低功耗策略

应用说明

作者：Tony Parakka

在医疗和工业市场的各种应用中，对降低运转功耗有着巨大需求。电池技术的进步使得原本交流电供电的医疗设备变成电池供电，实现无绳、小巧且方便患者使用。工业应用见证了物联网技术的革命，传感战略正转向基于节点、电池供电的无线传输模块。向电池供电设备的转变需要制定在对电池进行充电或更换电池之前的能量预算，这对电子电路中的每个元件以及数据收集策略都提出要求，以更大限度降低功耗，从而尽可能延长电池充电后的工作时间。

TE Connectivity (TE) 的低压和超低压 SMI 传感器 (如 SM7000/6000/5000 和 SM9000 系列) 广泛用于个人患者护理和患者支持医疗设备，如持续气道正压通气 (CPAP) 机、呼吸机、制氧机等设备，这些设备越来越多地由电池供电。同样，无线传感器模块也逐渐集成到传统的楼宇管理系统，以增强控制和提高操作效率。无线和电池供电传感器正是理想的选择，因为它们可以安装在通常远离交流电源和系统控制布线的区域。在此类应用中，有必要找到进一步降低压力传感器所需运转功耗的手段和方法。

在本应用说明中，我们将探讨几种可降低压力传感器功耗需求的方法。将讨论每种方法的优点和缺点，以帮助为任何给定的应用选择理想配置。

为了阅读方便，SM7000/6000/5000 和 SM9000 系列设备将统称为 SM 系列，并且在需要特定数据的地方，将使用 SM7000/6000/5000 数据手册中 SM7331 的性能数据。所讨论的这些方法同样适用于 SM 系列中的其他传感器。

聚焦所需的配置功能

应用需求使得使用数字压力数据或使用模拟电压获取压力信息变得较为有利。虽然一般来说，在传感器中具有更多的功能十分有用，但在能量有限的设计中，选择具有适当功能集的传感器会有助于降低功耗。SM 系列传感器的一个显著节能方面就是可选择更适合应用的输出配置。SM 系列设备提供纯数字 (I²C) 输出 (SMxx3x 设备) 和数字 (I²C) + 模拟电压输出 (SMxx9x 设备)。

在许多应用中，压力数据必须与其他传感器的数据融合，才能做出系统级决策和采取行动。此类系统将受益于通过 I²C 通信总线接收数字压力数据 (如 SMxx3x 系列)。SMxx3x 设备的 I²C 输出增加了与其他传感器共享数据总线以及改善抗噪功能的好处。然而，对压力输入的反应将会延迟一定的时间，即系统微处理器顺次读取数据、操作数据并将数据与阈值进行比较所需的时间。因此，采用数字输出型传感器的系统应仔细评估此类延迟对关键响应时间有何影响。

同样需要对压力输入做出更快响应的系统将受益于具有 I²C 输出以及模拟电压输出的传感器 (如 SMxx9x)。在此类系统中，微控制器可以使用数字数据来执行监视控制、监测和验证传感器操作，并且可以运用对数据的分析来采取基于压力历史记录的行动。同时，模拟电压输出可用于快速响应异常事件，例如，为响应峰值压力而关闭或打开减压阀。

SMxx9x 利用内部数模转换器 (DAC) 模块将数字数据 (如 SMxx3x 设备的数据) 转换为 AODO 引脚的模拟输出电压，因此与 SMxx3x 设备相比，它会消耗一定的额外功耗。

SM7331 (纯数字输出) 和 SM7391 (数字 + 模拟输出) 的典型工作电流如表 1 所示。

表 1: 纯数字输出的工作电流与数字和模拟输出的工作电流

输出配置	设备	I(mA) @Vdd=5v
纯数字 I ² C	SM7331	3.0
数字 + 模拟	SM7391	4.5

如果不需要模拟输出，那么选择纯数字输出配置的传感器可将传感器的功耗降低 33%。在以下各节中，我们将讨论如何使用其他低功耗策略 (如睡眠模式、空闲模式和断电方法) 来进一步降低传感器的功耗。

在读取间隔较长的情况下使用睡眠模式

许多应用 (如全天患者监护设备) 不需要不间断测量压力。压力可能只需要每小时测量一次、进餐时测量一次或一天测量几次。在这种情况下，将传感器置于睡眠模式可以显著降低传感器的平均功耗。

通过将 16 位值 0x6C32 发送到寄存器地址为 0x22 的命令寄存器，可将 SM 系列传感器置于睡眠模式。当 I²C 时钟输入 (SCL) 处于上升沿 (如通过启动伪读取命令) 时，传感器恢复正常工作模式。唤醒时，系统必须等待 5ms，直到输出可供读取。

在睡眠模式下，除唤醒检测电路之外的所有功能块均处于关闭状态，并且电流消耗降至 6.5μA (典型值)。平均电流消耗计算为，传感器处于活动状态期间与微控制器通信的活动电流和传感器处于睡眠模式期间的睡眠电流的时间加权平均值。

示例: 在此示例中，我们估计在不同的测量时段 T_{tot}，系统中在执行压力测量之间置于睡眠模式的 SM7331 传感器 (仅 I²C 输出) 所消耗的平均电流 I_{avg}。

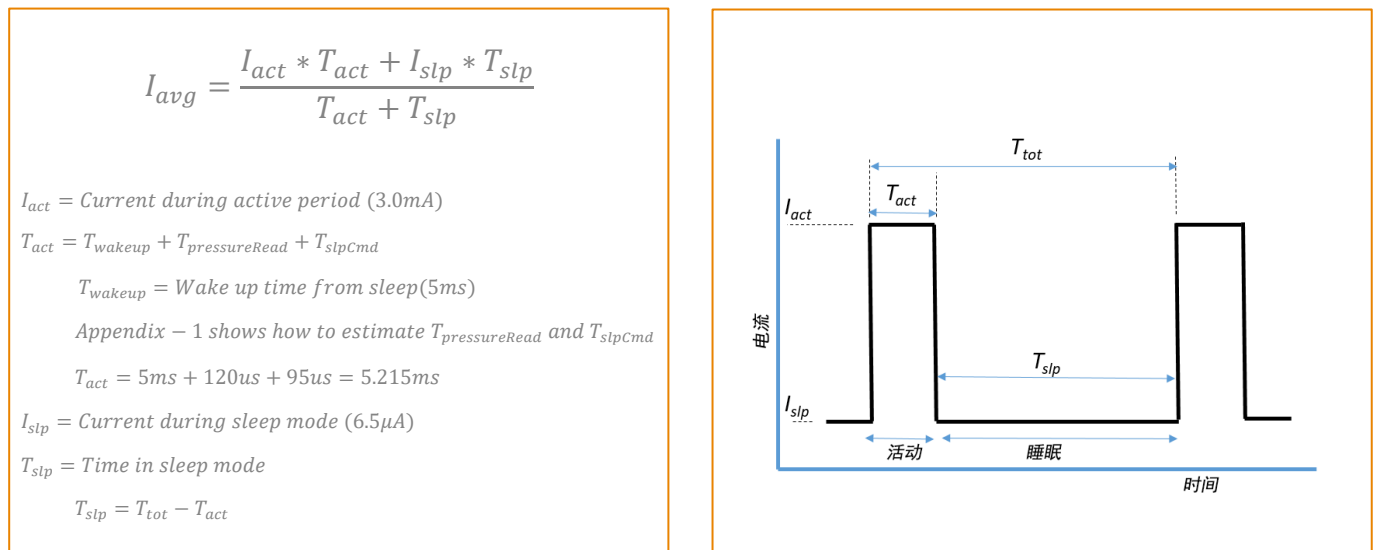


图 1: 测量周期包含活动和睡眠时段

表 2 显示了在不同的测量时段 T_{tot} ，SM7331 在压力测量之间使用睡眠模式时所消耗的平均电流。

表 2：睡眠模式下不同测量时段的平均电流

测量时段 T_{tot}	T_{tot} (ms)	T_{act} (ms)	T_{slp} (ms)	I_{avg} (μA)
1 秒	1000	5.215	994.8	22.1
1 分钟	60000	5.215	59994.8	6.8
10 分钟	600000	5.215	599994.8	6.5

使用空闲模式实现不太零散的读取

有些应用需要的压力测量可能比从睡眠模式唤醒传感器的典型通电时间要快。在这种情况下，通过将 0x7BBA 写入寄存器地址为 0x22 的命令寄存器，可将传感器置于空闲模式。在空闲模式下，模拟前端将关闭，而所有数字寄存器均保持可读。对于 SM7331，空闲模式下的电流消耗为 0.8mA (典型值)。

若要从空闲模式恢复测量模式，微控制器必须通过将 0x8B93 写入命令寄存器，将传感器置于运行模式。收到运行命令后，输出将在 1ms (典型值) 内激活。

使用空闲模式时传感器的平均电流消耗可按上一示例中的相同方式进行计算。

示例：此示例显示如何估计在不同测量时段 T_{tot} ，系统中在压力测量之间处于空闲模式的 SM7331 传感器的平均电流。

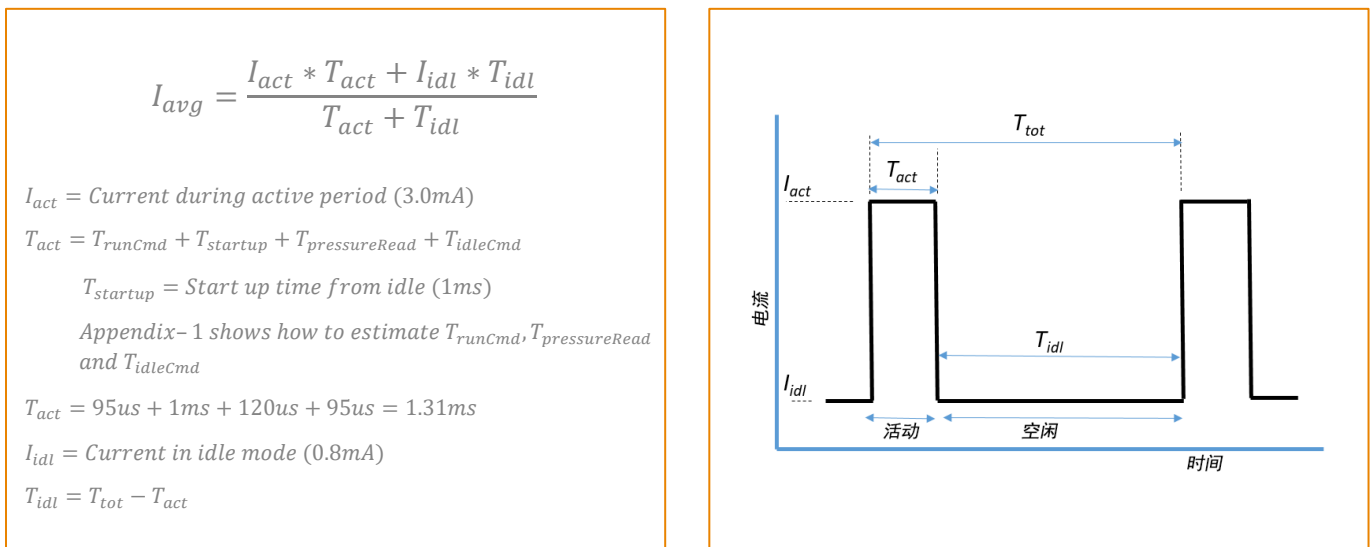


图 2：测量周期包含活动和空闲时段

表 3 显示了在不同测量时段 T_{tot} ，SM7331 在读取压力之间使用空闲模式时所消耗的平均电流。

表 3：空闲模式下不同测量时段的平均电流

测量时段 T_{tot}	T_{tot} (ms)	T_{act} (ms)	T_{idl} (ms)	I_{avg} (μA)
1 秒	1000	1.31	998.7	802.9
1 分钟	60000	1.31	59998.7	800.0
10 分钟	600000	1.31	599998.7	800.0

采用外部电源控制来降低测量之间的电流消耗

在需要高度节能的应用 (如使用钮扣电池供电的应用) 中, 即使是 6.5μA 的睡眠模式电流也会显著影响电池寿命。在这种情况下, 通过使用诸如金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 的外部开关来关闭压力传感器的电源, 可以进一步减小平均电流。在这项讨论中, 我们将使用一个简单的电源开/关电路, 它采用一个 p 通道增强型 MOSFET (例如, Rohm Semiconductor 的 RV3CA01ZP), 如图 3 所示。

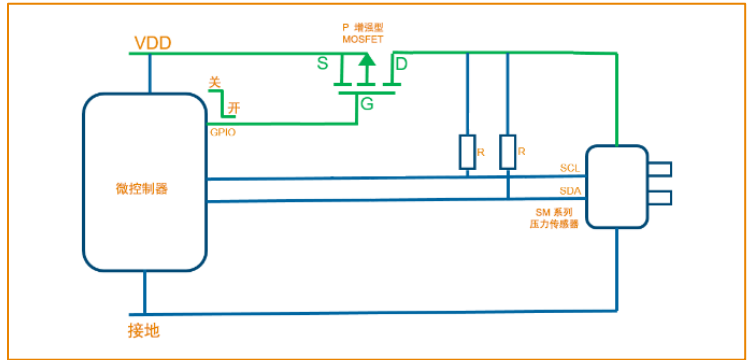


图 3: 用于传感器电源控制的外部 MOSFET

通过将 GPIO 引脚相连的 MOSFET 栅极端子拉到数字低电平, 将打开传感器。在此电平下, MOSFET 的栅源极电压 (V_{gs}) 高于 (在幅值上) 其阈值电压 (V_{th}), 这会导致 MOSFET 给传感器通电。

通过将 GPIO 引脚升到数字高电平, 将关闭传感器。这会使 V_{gs} 低于 V_{th} , 导致 MOSFET 关闭并切断传感器的电源。

在断电状态下, 通过传感器的电流是 MOSFET 的漏源极漏电流, 对于小信号 MOSFET (如 RV3CA01ZP), 该电流通常在 1μA 范围内。此类系统中的平均传感器电流可按前面示例中的相同方式进行计算。

示例: 在最后一个示例中, 我们估计在不同的测量时段 T_{tot} , 系统中在读取压力之间关闭 SM7331 电源的平均传感器电流。

$$I_{avg} = \frac{I_{act} * T_{act} + I_{pof} * T_{pof}}{T_{act} + T_{pof}}$$

I_{act} = Current during active period (3.0mA)
 $T_{act} = T_{ton} + T_{wakeUp} + T_{pressureRead} + T_{tof}$
 $T_{act} = 1ms + 5ms + 120us + 1ms = 7.12ms$
 Appendix-2 shows how to estimate T_{ton}, T_{tof} and $T_{pressureRead}$
 I_{pof} = Current in power off mode (1μA)
 $T_{pof} = T_{tot} - T_{act}$

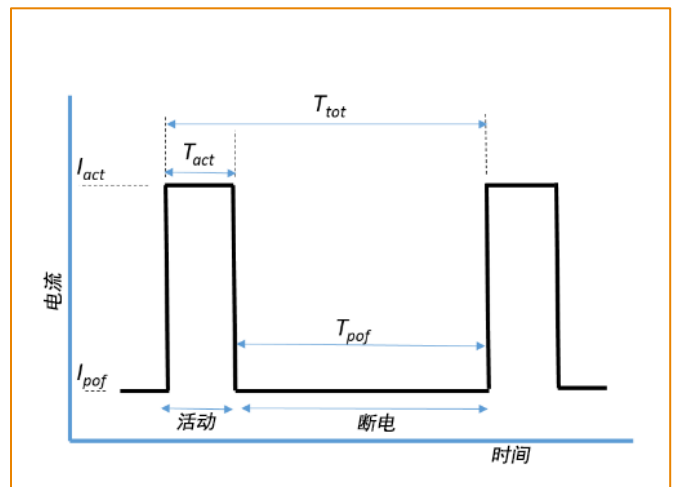


图 4: 测量周期包含活动和断电时段

表 4 显示了在不同测量时段 T_{tot} , SM7331 在读取压力之间断电时所消耗的平均电流。

表 4: 断电时不同测量时段的平均电流

测量时段 T_{tot}	T_{tot} (ms)	T_{act} (ms)	T_{pof} (ms)	I_{avg} (μA)
1 秒	1000	5.124	994.9	16.4
1 分钟	60000	5.124	59994.9	1.3
10 分钟	600000	5.124	599994.9	1.0

在所讨论的每种降低功耗策略中, 如果需要读取额外的传感器寄存器, 则在平均电流计算中应将读取这些寄存器的时间与 T_{act} 相加。

降低工作电流的工作模式总结

表 5 显示了多种工作模式和不同测量时段的工作电流快照。

表 5: 各种低功耗模式下的平均电流

测量时段	空闲模式 (μA)	睡眠模式 (μA)	关闭模式 (μA)
1 秒	802.9	22.1	16.4
1 分钟	800.0	6.8	1.3
10 分钟	800.0	6.5	1.0

表 6 总结了各种低功耗策略的进入/退出方法, 以及与每种策略相关的一些优点和缺点

表 6: 低功耗模式的进入和退出方法以及优点和缺点

低功耗模式	进入方式	退出方式	优点/缺点
纯数字/数字 + 模拟	选择 SMxx3x (纯数字)/ SMxx9x (数字 + 模拟)		优点: 显著节能, 出厂选项 缺点: 固定功能
空闲模式	将 0x7BBA 写入 CMD (0x22)	将 0x8B93 写入 CMD (0x22)	优点: 响应较快 缺点: 不活动状态电流较高
睡眠模式	将 0x6C32 写入 CMD (0x22)	SCL 上升沿	优点: 平均电流较低 缺点: 唤醒时间较长
断电模式	微控制器向 GPIO 发命令	微控制器向 GPIO 发命令	优点: 平均电流非常低 缺点: 需要其他元件, 唤醒时间较长

降低工作电流的工作模式总结

SM 系列压力传感器有多种低功耗工作模式可用于降低工作电流。适用于某个应用的理想低功耗模式将取决于数据采样和节能的具体要求。空闲和睡眠模式直接由系统微控制器编程, 可分别将平均电流降至 0.8mA 和 6.5 μA 。通过增加由系统微控制器驱动的外部 MOSFET, 平均电流可降至低达 1 μA , 使传感器适合于钮扣电池供电系统。在各类情况下, 当两次测量之间的时间与活动测量时间相比变得非常大时, 平均电流接近非活动状态电流 (睡眠电流、空闲电流、断电电流)。

附录 1：SM 系列传感器的 I²C 通信时间

SM7331 的一般 I²C 通信协议如图 5 所示。

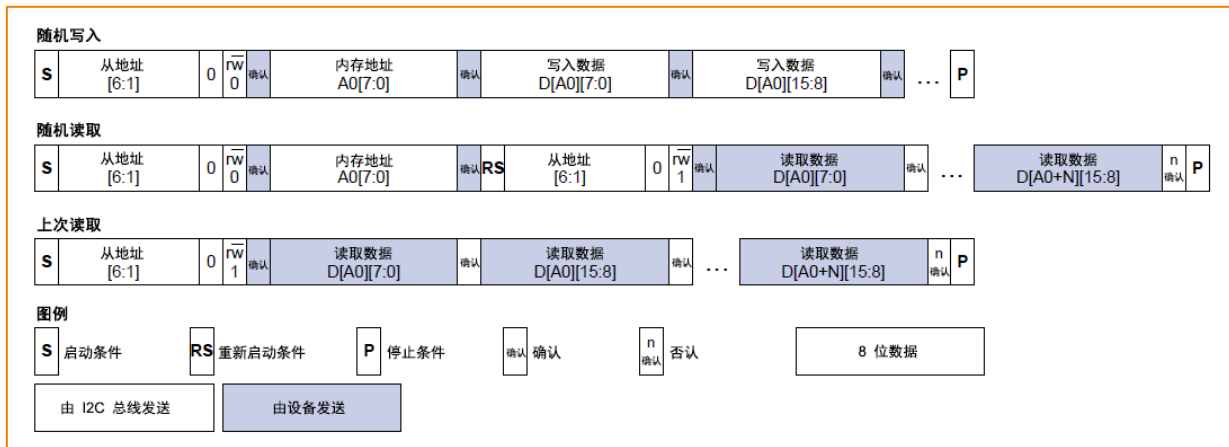


图 5：SM7331 的 I²C 命令格式

该协议显示，

- 1) 每一位的传输时长均为一个时钟周期
- 2) 每个通信帧均以开始条件开始，以停止条件结束，每个条件的时长均为 1 个时钟周期
- 3) 传输的每个字节需要 8 个时钟周期，并且确认条件需要 1 个额外周期
- 4) 如果随机读取，则在确认内存地址后，将发送一个重新启动条件，该条件的时长为一个时钟周期。

时钟频率为 400KHz 的 I²C 时钟周期 (t_{clock}) 的时间为

$$t_{clock} = 1/f_{clock} = 1/400KHz = 2.5\mu s$$

计入时钟周期时，我们可以估计如下结果

写入 Sleep/Idle/Run 命令的时间 = 1 字节随机写入的时间

$$(T_{sleepCmd}, T_{idleCmd}, T_{runCmd}) = (S + (8+1) + (8+1) + (8+1) + (8+1) + P) * t_{clock} = 38 * 2.5\mu s = 95\mu s$$

读取压力的时间 = 从压力寄存器随机读取 2 字节的时间

$$T_{pressureRead} = (S + (8+1) + (8+1) + RS + (8+1) + (8+1) + (8+1) + P) * t_{clock} = 48 * 2.5\mu s = 120\mu s$$

附录 2：估计使用外部 MOSFET 开关打开和关闭传感器电源的时间

在图 1 所示的电路中，我们将使用保守的方法来估计关闭 SM 系列压力传感器电源的时间，该电路使用的是时钟频率为 20MHz 的假想微控制器，该微控制器需要大约 10 个时钟周期来执行指令。我们还将使用低信号 MOSFET 开关 (例如 RV3CA01ZP)，其打开和关闭时间为 1 μ s。

打开和关闭传感器电源的时间是微控制器设置其 GPIO-pin on/off 所需时间 (T_{gpio}) 加上 MOSFET 开关自身开/关所需时间 (T_{son} 、 T_{soff}) 的总和。

$$T_{\text{ton}} = T_{\text{gpio}} + T_{\text{son}}$$

$$T_{\text{toff}} = T_{\text{gpio}} + T_{\text{soff}}$$

微控制器将需要执行一组指令 (如下所示) 来设置 GPIO-pin high

```
Read GPIO state and copy to register B (regB),
OR regB with 8bit_GPIO_turnOFF mask // 在工作 regB 中设置特定的 bit=high
Write regB to GPIO // 这会设置 GPIO-pin=High, 从而关闭 MOSFET。
```

若要设置 GPIO-pin low，指令集将如下所示

```
Read GPIO state and copy to regB
AND regB with !(8bit_GPIO_turnOFF mask) // 在寄存器 B 中设置特定的 bit=Low
Write regB to GPIO // 设置 GPIO-pin=low, 这会打开 MOSFET, 从而为传感器供电。
```

因此，总共需要 6 条指令。假设有一个时钟为 20MHz 的微控制器，它以 10 个时钟周期执行每条指令，将按如下所示计算设置 GPIO-pin high 或 low 所需的时间：

$$\begin{aligned} T_{\text{gpio}} &= \text{指令数} * \text{每个指令的时钟周期数} * \mu\text{C 时钟周期} \\ &= 6 * 10 * (1/20\text{MHz}) = 3\mu\text{s} \end{aligned}$$

打开或关闭 MOSFET 所需的时间取决于栅极充电量。对于小信号 MOSFET (如 RV3CA01ZP)，栅极电容很小，并且 MOSFET 的打开/关闭时间最大为 1 μ s。

$$T_{\text{son}} = T_{\text{soff}} = 1\mu\text{s}$$

因此

$$T_{\text{ton}} = T_{\text{gpio}} + T_{\text{son}} = .003\text{ms} + .001\text{ms} = 0.004\text{ms}$$

$$T_{\text{toff}} = T_{\text{gpio}} + T_{\text{soff}} = .003\text{ms} + .001\text{ms} = 0.004\text{ms}$$

te.com/sensors

TE Connectivity、TE、TE connectivity (徽标) 是 TE Connectivity 及其下属关联公司获得许可或拥有的商标。

本文档所提供的信息，包括仅用作说明性目的的图纸、插图和原理图等，均被认为是可靠的。但是，TE Connectivity 对其精确度或完整性不作任何担保，也不承担与其使用有关的任何责任。TE Connectivity 仅履行 TE Connectivity 针对本产品制定的标准销售条款和条件中提出的相关义务，对于因销售、转售、使用或滥用产品而造成的任何偶然的、间接的或相应的损害，TE Connectivity 概不负责。TE Connectivity 产品的用户应自行评估，确定每种产品是否适用于特定应用。

© 2020 TE Connectivity 保留所有权利。

TE CONNECTIVITY

如需更多信息
请联系 TE Connectivity

电话 +1 800 522 6752
customer-care.mjpt@te.com