

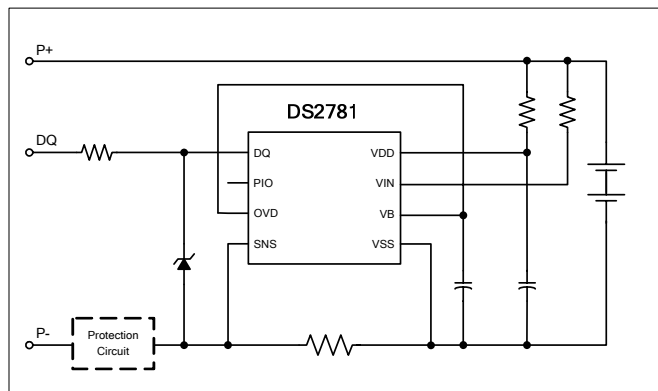
## 概述

DS2781测量可充电Li+和Li+聚合物电池的电压、温度和电流，并估算其剩余电量。用于计算电量的电池组特性参数和应用参数存储在片上EEPROM中。根据电量寄存器的内容，向主系统报告在当前温度、放电速率、存储电荷以及应用参数下，剩余电量的保守估计。剩余电量估算结果以毫安时和满容量的百分比表示。

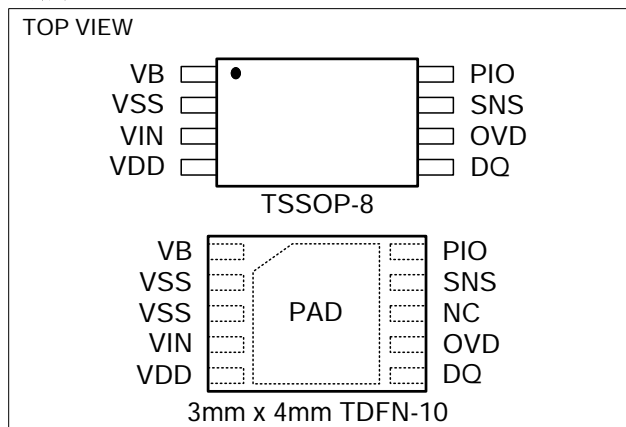
## 应用

数字视频相机  
商用双向寻呼系统  
工业PDA与手持式PC数据终端  
便携式GPS导航系统

## 典型工作电路



## 引脚配置



## 特性

- 精密的电压、温度和电流测量系统
- 适用于1节或2节电池
- 高精度和高温度稳定性的内部时基
- 根据库仑计数、放电速率、温度与电池特性估算绝对电量和相对电量
- 精确的低电池电压报警
- 库仑计数与老化估计值自动备份到非易失 (NV) EEPROM中
- 增益与温度系数校准允许使用低成本检测电阻
- 24字节参数EEPROM
- 16字节用户EEPROM
- 唯一ID和多节点1-Wire®接口
- 微型8引脚TSSOP封装和TDFN-10封装，可轻松嵌入薄形封装电池组中

## 订购信息

PART	MARKING	PACKAGE
DS2781E+	2781	TSSOP-8
DS2781E+T&R	2781	DS2781E+ in Tape-and-Reel
DS2781G+	2781	3mm x 4mm TDFN-10
DS2781G+T&R	2781	DS2781G+ in Tape-and-Reel

+ 表示无铅封装。

1-Wire 是 Dallas Semiconductor 的注册商标。

注：该器件某些版本的规格可能与发布的规格不同，会以勘误表的形式给出。通过不同销售渠道可能同时获得任何器件的多个版本。欲了解器件勘误表信息，请点击：[www.maxim-ic.com.cn/errata](http://www.maxim-ic.com.cn/errata)。

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Voltage on $V_{DD}$ , $V_{IN}$ Relative to $V_{SS}$	-0.3V to +12V
Voltage Range on Any Pin Relative to $V_{SS}$	-0.3V to +6.0V
Continuous Sink Current, DQ, PIO	20mA
Operating Temperature Range	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-55°C to +125°C
Soldering Temperature	See JEDEC J-STD-020

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to the absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device.

**RECOMMENDED DC OPERATING CHARACTERISTICS**

( $V_{DD} = 2.5V$  to  $10V$ ,  $T_A = -20^\circ C$  to  $+70^\circ C$ , unless otherwise noted. Typical values are at  $T_A = +25^\circ C$ )

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	$V_{DD}$	(Note 1)	+2.5		+10	V
$V_{IN}$ Voltage Range		(Note 1)	-0.3		$V_{PLS} + 0.3$	V
DQ, PIO Voltage Range		(Note 1)	-0.3		+5.5	V
VB Output Voltage	$V_{VB}$	$V_{PLS} > 3.0V$ , $I_{VB} = 500\mu A$ , (Note 1)	2.5	2.8	3.1	V
OVD Voltage Range		(Note 1)	-0.3		$V_{VB} + 0.3$	V

**DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

( $V_{DD} = 2.5V$  to  $10V$ ,  $T_A = -20^\circ C$  to  $+70^\circ C$ , unless otherwise noted. Typical values are at  $T_A = +25^\circ C$ .)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
ACTIVE Current	$I_{ACTIVE}$	$I_{VB} = 0$		70	95	$\mu A$
SLEEP Mode Current	$I_{SLEEP}$	$T_A > +50^\circ C$ , $I_{VB} = 0$			10	$\mu A$
		$I_{VB} = 0$ , (Note 5)		3	5	
Input Logic High: DQ, PIO	$V_{IH}$	(Note 1)	1.5			V
Input Logic Low: DQ, PIO	$V_{IL}$	(Note 1)			0.6	V
Output Logic Low: DQ, PIO	$V_{OL}$	$I_{OL} = 4mA$ (Note 1)			0.4	V
Pulldown Current: DQ, PIO	$I_{PD}$	$V_{DQ}, V_{PIO} = 0.4V$		0.2		$\mu A$
Input Logic High: OVD	$V_{IH}$	(Note 1)	$V_{VB} - 0.2$			V
Input Logic Low: OVD	$V_{IL}$	(Note 1)			$V_{SS} + 0.2$	V
VIN Input Resistance	$R_{IN}$		15			$M\Omega$
DQ Capacitance	$C_{DQ}$	(Note 4)		50		pF
DQ SLEEP Timeout	$t_{SLEEP}$	$DQ < V_{IL}$	1.5	2	2.5	s
Undervoltage SLEEP Threshold	$V_{SLEEP}$	UVTH = 1, (Note 1)	4.8	4.9	5.0	V
		UVTH = 0, (Note 1)	2.40	2.45	2.50	

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS: TEMPERATURE, VOLTAGE, CURRENT**

( $V_{DD} = 2.5V$  to  $10V$ ,  $T_A = -20^\circ C$  to  $+70^\circ C$ , unless otherwise noted. Typical values are at  $T_A = +25^\circ C$ .)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Temperature Resolution	$T_{LSB}$			0.125		$^\circ C$
Temperature Error	$T_{ERR}$				$\pm 3$	$^\circ C$
Voltage Resolution	$V_{LSB}$			9.76		mV

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Voltage Full-Scale	$V_{FS}$		0		9.9902	V
Voltage Error	$V_{ERR}$				$\pm 100$	mV
Current Resolution	$I_{LSB}$			1.56		$\mu V$
Current Full-Scale	$I_{FS}$				$\pm 51.2$	mV
Current Gain Error	$I_{GERR}$	(Note 2)			$\pm 1$	% Full-Scale
Current Offset Error	$I_{OERR}$	$0^{\circ}C \leq T_A \leq +70^{\circ}C$ , (Note 4)	- 7.82		+ 12.5	$\mu V$
Accumulated Current Offset	$Q_{OERR}$	$0^{\circ}C \leq T_A \leq +70^{\circ}C$ , $V_{SNS} = V_{SS}$ (Notes 3, 4)	- 188		+ 0	$\mu Vhr/day$
Timebase Error	$t_{ERR}$	$T_A = +25^{\circ}C, V_{DD} = 7.6V$			$\pm 1$	%
					$\pm 2$	

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS: 1-WIRE INTERFACE, STANDARD

( $V_{DD} = 2.5V$  to  $10V$ ,  $T_A = -20^{\circ}C$  to  $+70^{\circ}C$ .)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Time Slot	$t_{SLOT}$		60		120	$\mu s$
Recovery Time	$t_{REC}$		1			$\mu s$
Write-0 Low Time	$t_{LOW0}$		60		120	$\mu s$
Write-1 Low Time	$t_{LOW1}$		1		15	$\mu s$
Read Data Valid	$t_{RDV}$				15	$\mu s$
Reset Time High	$t_{RSTH}$		480			$\mu s$
Reset Time Low	$t_{RSTL}$		480		960	$\mu s$
Presence Detect High	$t_{PDH}$		15		60	$\mu s$
Presence Detect Low	$t_{PDL}$		60		240	$\mu s$

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS: 1-WIRE INTERFACE, OVERDRIVE

( $V_{DD} = 2.5V$  to  $10V$ ,  $T_A = -20^{\circ}C$  to  $+70^{\circ}C$ .)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Time Slot	$t_{SLOT}$		6		16	$\mu s$
Recovery Time	$t_{REC}$		1			$\mu s$
Write-0 Low Time	$t_{LOW0}$		6		16	$\mu s$
Write-1 Low Time	$t_{LOW1}$		1		2	$\mu s$
Read Data Valid	$t_{RDV}$				2	$\mu s$
Reset-Time High	$t_{RSTH}$		48			$\mu s$
Reset-Time Low	$t_{RSTL}$		48		80	$\mu s$
Presence-Detect High	$t_{PDH}$		2		6	$\mu s$
Presence-Detect Low	$t_{PDL}$		8		24	$\mu s$

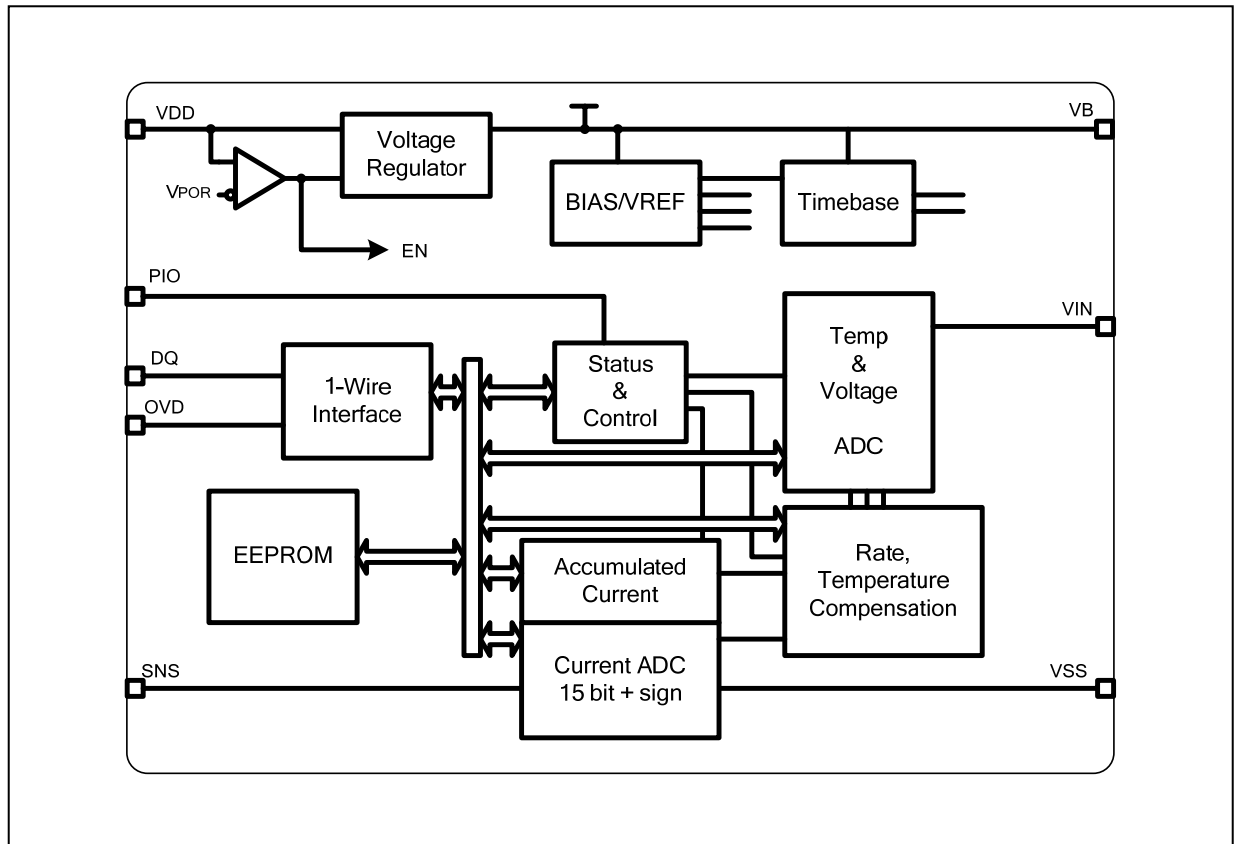
**EEPROM RELIABILITY SPECIFICATION**(V<sub>DD</sub> = 2.5V to 10V, T<sub>A</sub> = -20°C to +70°C, unless otherwise noted. Typical values are at T<sub>A</sub> = +25°C.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
EEPROM Copy Time	t <sub>EEC</sub>				15	ms
EEPROM Copy Endurance	N <sub>EEC</sub>	T <sub>A</sub> = +50°C	50,000			cycles

**Note 1:** All voltages are referenced to V<sub>SS</sub>.**Note 2:** Factory calibrated accuracy. Higher accuracy can be achieved by in-system calibration by the user.**Note 3:** Accumulation Bias register set to 00h. Current Offset Bias register set to 00h. NBEN bit = 0.**Note 4:** Parameters guaranteed by design.**Note 5:** Internal voltage regulator active.**引脚说明**

名称	TSSOP PIN	TDFN PIN	功能
VB	1	1	内部电源。使用一个0.1μF电容将其旁路至V <sub>SS</sub> 。
V <sub>SS</sub>	2	2, 3	器件地。直接与电池组的负极相连。需在V <sub>SS</sub> 和SNS之间接检测电阻。
V <sub>IN</sub>	3	4	电压检测输入。通过此输入引脚检测电池包相对于V <sub>SS</sub> 引脚的电压。
V <sub>DD</sub>	4	5	电源输入。通过一个去耦网络连接至电池包的正极。
DQ	5	6	数据输入/输出。1-Wire数据线。开漏极输出驱动器。该引脚连接电池包的DATA端。该引脚具有弱的内部下拉 (I <sub>PD</sub> )，可以检测电池包是否与主机或充电器断开连接。
OVD	6	7	1-Wire总线速率控制。输入逻辑电平可选择1-Wire总线的通信速率。逻辑1选择高速 (OVD) 模式，逻辑0选择标准模式 (STD)。在一条多节点总线上，所有器件必须工作在同一速率下。
N.C.	—	8	没有连接。(只有TDFN封装具有该引脚)。
SNS	7	9	检测电阻连接端。该引脚接电池包的负极。需在V <sub>SS</sub> 和SNS之间接检测电阻。
PIO	8	10	可编程I/O引脚。该引脚可设置为输入或输出，用于监测或控制用户构建的外部电路。输出驱动器为开漏模式。该引脚具有弱的内部下拉 (I <sub>PD</sub> )。
PAD	—	PAD	裸焊盘。接V <sub>SS</sub> 或浮空(只有TDFN封装具有该引脚)。

图 1. 结构框图



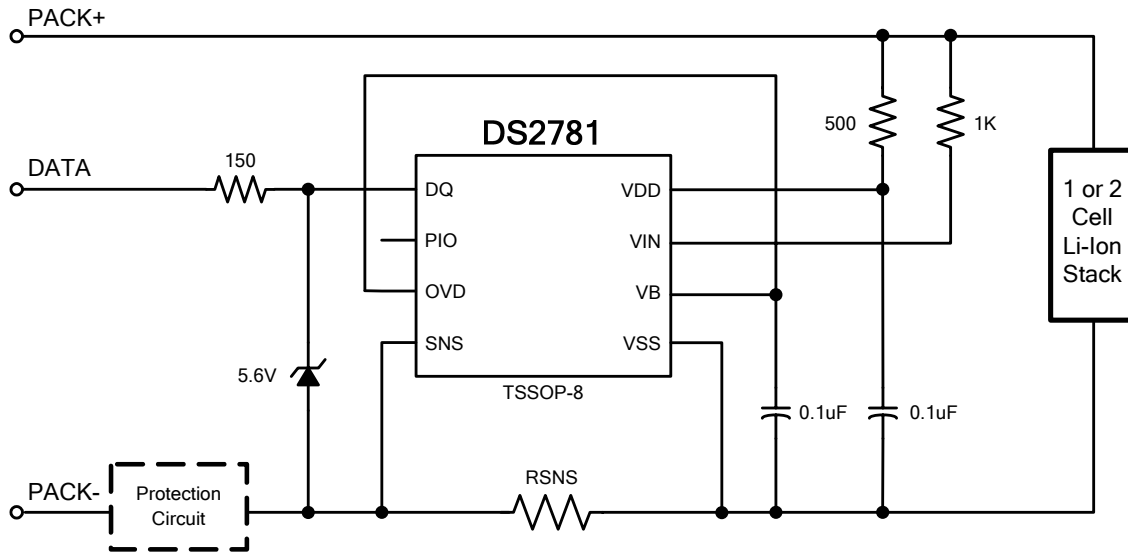
## 详细说明

DS2781的电源电压范围为2.5V至10V，支持单节或两节Li+电池包应用。电池补偿和应用参数存储在非易失性存储器中。免去开发主机侧的电量计算法。片上算法和便利的工作状态报告功能使主机处理器的串行轮询大为减少。

另外，16字节的EEPROM存储器供主机系统和/或电池包制造商专用。同时提供额外的EEPROM存储器，便于实现电池批次与生产日期跟踪，以及系统或电池使用情况统计信息的非易失性存储。

Dallas 1-Wire接口支持16kbps标准模式或140kbps高速模式，可通过该接口访问数据寄存器、控制寄存器和用户存储器。器件具有唯一的、工厂编程的64位注册码(8位家族码 + 48位序列号 + 8位CRC)，可保证所有器件的注册码都不相同，从而具有绝对可追溯性。DS2781提供的Dallas 1-Wire接口支持多点网络，所以可通过单个引脚寻址访问多个从器件。

图 2. 典型工作电路



## 供电模式

DS2781有两种供电模式：正常工作模式 (ACTIVE) 和休眠模式 (SLEEP)。初次上电时，DS2781的缺省模式是正常工作模式。正常工作模式下，DS2781执行所有功能，即连续测量并更新电量估算结果。

休眠模式下，DS2781不进行测量和电量估算，因此可节省功耗，但仍然保存寄存器的内容。器件会在两种情况下进入休眠模式，每种情况均通过一个使能位来实现。进入休眠模式的第一种情况是总线为低电平状态。供电模式位 (PMOD) 必须置1，总线为低时才能进入休眠模式。(PMOD = 1且总线为低)。DQ引脚为低电平的时间持续 $t_{\text{SLEEP}}$  (标称值为2s) 时，才满足总线为低的条件，利用该条件来检测电池包断开连接或者系统关闭情况，因为此时总线上不存在上拉电压 $V_{\text{PULLUP}}$ 。PMOD型休眠断定不会有充电或放电电流流过，因此不再需要进行库仑计数。对于使能PMOD休眠的系统，必须保证独立式充电器或座充的DQ上带有一个上拉。当电池插入系统时，DQ会被拉高，DS2781将从PMOD休眠模式转为正常工作模式。

第二种进入休眠模式的情况是欠压情况 (测量 $V_{\text{IN}}$ 电压)。当欠压使能位 (UVEN) 置1时，如果 $V_{\text{IN}}$ 电压低于 $V_{\text{SLEEP}}$  (可选择2.45或4.9V)，则DS2781进入休眠模式。总线必须处于稳定状态，即DQ为高电平或低电平的持续时间达到 $t_{\text{SLEEP}}$ 。由于UVEN休眠减小了DS2781的耗电，因此可防止过度放电。当DQ的逻辑状态发生改变时，DS2781将从UVEN休眠模式进入正常工作模式。对耗尽的电池充电时，总线主控制器应该启动通信，以确保DS2781退出UVEN休眠模式，进入正常工作模式。

**注意：**当使用不带DQ引脚控制的外部充电器对电池充电时，必需禁用PMOD和UVEN休眠特性。如果充电器可将DQ拉高，则可启用PMOD休眠模式。如果充电器可转换DQ的状态，则可启用UVEN休眠模式。为电池充电的充电器不能正确驱动DQ时，DS2781会保持在休眠模式下，而不会测量和累计电流。

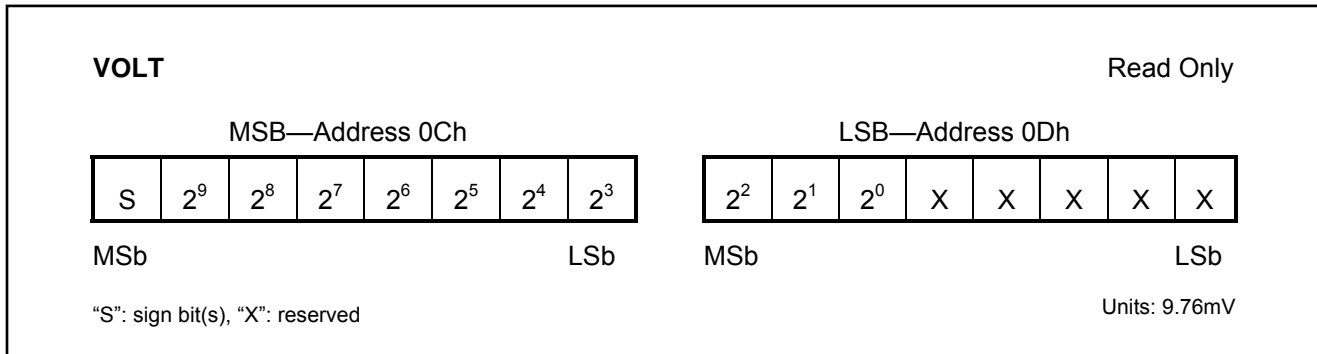
## 休眠模式下启动通信

在PMOD休眠模式下与DS2781开始通信时，必须先将DQ拉高，然后由主控制器发出1-Wire复位脉冲。在UVEN休眠模式下，通信过程取决于进入UVEN休眠模式时DQ的状态。如果当时DQ为低，则必须先将DQ拉高，然后由主控制器发出1-Wire复位脉冲，该过程与PMOD休眠模式相同。如果进入UVEN休眠模式时DQ为高，则DS2781已准备好接收主控制器发出的1-Wire复位脉冲。休眠期间，前两种DQ为低的情况下，DS2781不会发出在线应答脉冲响应DQ的第一个上升沿。

## 电压测量

通过测量 $V_{IN}$ 输入相对于 $V_{SS}$ 的电压来获得电池电压，测量范围在0V至9.9902V之间，分辨率为9.76mV。测量数据每440ms更新一次，并以二进制补码形式存放在VOLTAGE寄存器内。电压大于最大寄存器值时，则报告最大寄存器值；电压小于最小寄存器值时，则报告最小寄存器值。电压寄存器的数据格式见图3所示。

图 3. 电源寄存器格式



## 温度测量

DS2781利用一个内置温度传感器来测量电池温度，分辨率为0.125°C。温度测量结果每440ms更新一次，并以二进制补码形式存放在温度寄存器中。温度寄存器的格式如图4所示。

图 4. 温度寄存器格式

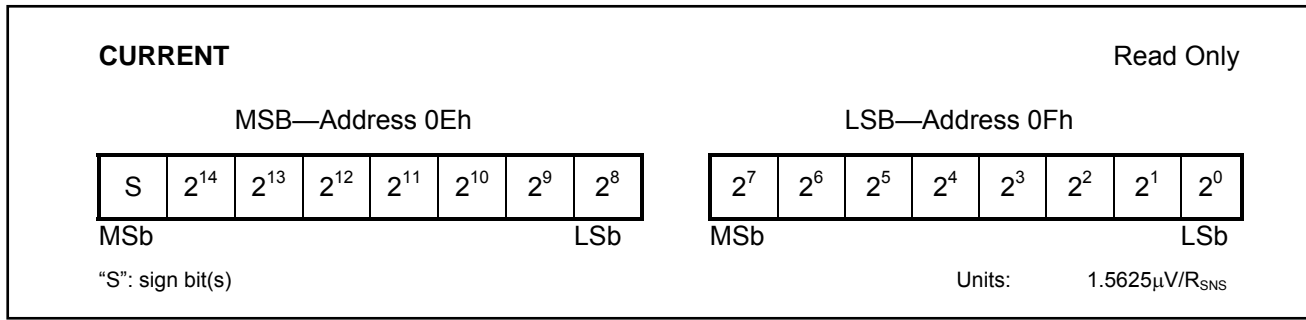


## 电流测量

在正常工作模式 (ACTIVE) 下，DS2781通过测量低阻值检流电阻 $R_{SNS}$ 两端的电压差来持续测量流入和流出电池的电流。SNS和 $V_{SS}$ 之间的电压检测范围为 $\pm 51.2mV$ 。只要连续信号电平 (转换周期内的平均值) 不超过 $\pm 51.2mV$ ，则输入可线性转换的峰值信号幅度高达102.4mV。ADC以18.6kHz速率对输入差分采样，并在完成每一个转换周期时更新电流寄存器。

电流寄存器每3.515s更新一次，电流转换结果以二进制补码形式保存。充电电流大于最大寄存器值时，则报告最大寄存器值 (7FFFh = +51.2mV)。放电电流超过最小寄存器值时，则报告最小寄存器值 (8000h = -51.2mV)。

图 5. 电流寄存器格式



CURRENT RESOLUTION (1 LSB)				
V <sub>SS</sub> - V <sub>SNS</sub>	R <sub>SNS</sub>			
	20m $\Omega$	15m $\Omega$	10m $\Omega$	5m $\Omega$
1.5625 $\mu$ V	78.13 $\mu$ A	104.2 $\mu$ A	156.3 $\mu$ A	312.5 $\mu$ A

### 电流失调校准

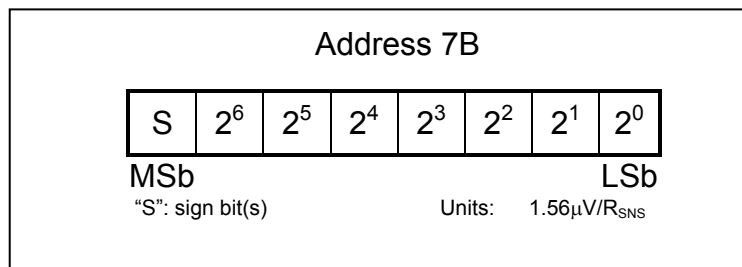
每进行第1024次转换时，ADC测量其输入失调以进行失调校准。失调校准大约每一小时进行一次。所得到的校准因数用来校准接下来的1023次测量结果。在转换输入失调的过程中，ADC不再测量检测电阻的信号。累计电流寄存器(ACR)的最大误差可能达到1/1024；但为了减小该误差，电流寄存器采用失调转换的前一次电流测量结果作为电流累计过程中漏掉的这次电流测量。这就使得失调校准所引起的累计电流误差小于1/1024。

### 电流偏移

电流偏移(COB)寄存器允许给原始电流测量结果加入一个可设置的偏移量。原始电流测量结果加上COB的值作为电流测量结果存入CURRENT寄存器，该结果用于电流累计。COB可用来校准静态失调误差，或特意用来偏移电流测量结果并相应偏移电流累计值。

可以对COB进行读写访问。无论何时写入COB，新值都将影响接下来的电流测量结果。COB能以1.56 $\mu$ V的步长进行设置，设置范围在+198.1 $\mu$ V至-199.7 $\mu$ V之间。COB的值以二进制补码形式存储在易失性存储器中，必须在上电时通过接口初始化该值。

图 6. 电流偏移寄存器格式





## 电流测量校准

DS2781的电流测量增益可以通过RSGAIN寄存器调节，为了满足数据手册给出的精度指标，出厂前对其进行了校准。用户可以访问RSGAIN，该寄存器可以在模块或电池包制造完成后重新设置，以提高电流测量精度。调节RSGAIN能够校准外部检测电阻标称值的误差，从而允许使用低成本、非精密的检流电阻。RSGAIN是一个11位数值，存储在2字节的参数EEPROM存储器模块内。RSGAIN的增益调节范围为0至1.999，步长为0.001（确切为 $2^{-10}$ ）。用户设置RSGAIN时必须慎重，以确保精密测量电流。器件出厂时，独特的工厂增益校准值被同时存储在RSGAIN以及只读存储区FSGAIN (B0h和B1h) 中。任何时候都可将FSGAIN值恢复到RSGAIN中，使器件恢复到原始的工厂增益值。

## 检测电阻温度补偿

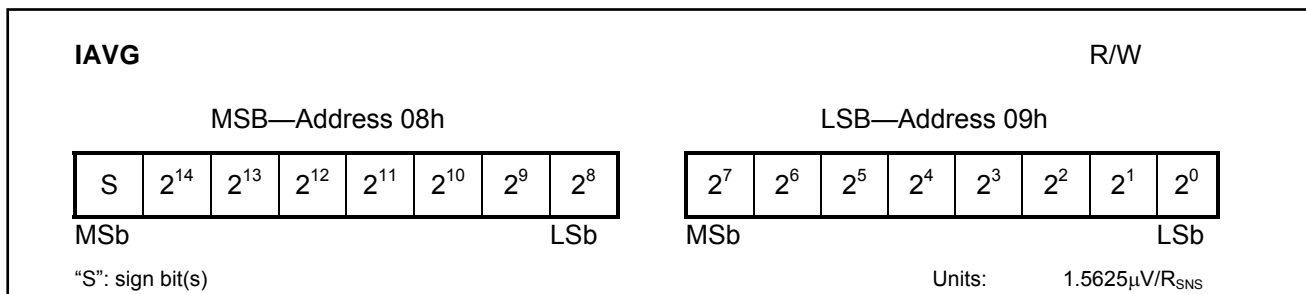
DS2781能够对检流电阻进行温度补偿，以校准检测电阻的温度系数。DS2781的检测电阻温度系数RSTC在出厂时设置为零，即关闭了温度补偿功能。用户可访问RSTC，当使用具有大温度系数的检流电阻时，可以在模块或电池包制造完成后重新设置RSTC，以提高电流测量精度。RSTC是一个8位数值，存储在参数EEPROM存储器模块中。RSTC值可将温度系数设置在0至+7782ppm/°C之间，步长为30.5ppm/°C。用户设置RSTC时必须慎重，以确保精密的电流测量结果。

当温度寄存器的值越过0.5°C步长边界时，将调节温度补偿值。检流电阻应尽可能靠近V<sub>SS</sub>端，从而优化电阻与片上温度传感器的热交换，这时温度补偿的效果最好。如果用铜箔PCB走线构建电流检测通路，应尽可能在DS2781的下面走线。

## 平均电流测量

平均电流寄存器给出前28s内的平均电流值。寄存器值采用二进制补码形式，每28s更新一次，它是电流寄存器前面8个更新值的平均值。平均电流寄存器的格式见图7。充电电流值大于最大寄存器值时，则报告最大寄存器值 (7FFFh = +51.2mV)。放电电流超过最小寄存器值时，则报告最小寄存器值 (8000h = -51.2mV)。

图 7. 平均电流寄存器



## 电流累计

在每一次转换周期结束时，电流测量值在片内求和或累计，累计结果存储在累计电流寄存器 (ACR) 内。ACR的精度取决于电流测量精度和转换时基精度。ACR的范围为0至409.6mVh，一个最低有效位为6.25µVh。附加只读存储器 (ACRL) 保留了每次累计结果的小数部分，以消除截断误差。充电电流的累计值大于最大寄存器值时，则报告最大寄存器值 (7FFFh)；相反，放电电流累计值超过最小寄存器值时，则报告最小寄存器值 (8000h)。

允许读、写访问ACR。写访问ACR时必须先写高字节，然后再写低字节。无论何时写ACR，都将清除累计结果的小数部分。写操作必须在3.515s (一个ACR寄存器更新周期) 内完成。每次写ACR时，将迫使ADC执行一次失调校准转换并更新内部失调校准因数。在写ACR后的第二次转换时开始电流测量和累计。ACR写操作将清除ACRL内的小数部分。ACR寄存器的数据格式见图8，ACRL寄存器的数据格式见图9。

为了在掉电时保存ACR，ACR值被备份到EEPROM内。上电时从EEPROM中恢复ACR值。专用地址和备份频率参见表2存储器分配表。

图 8. 累计电流寄存器格式，ACR

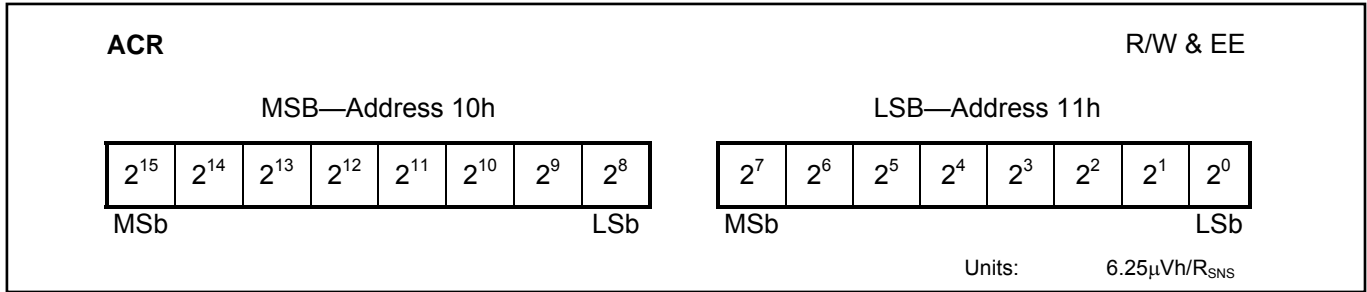
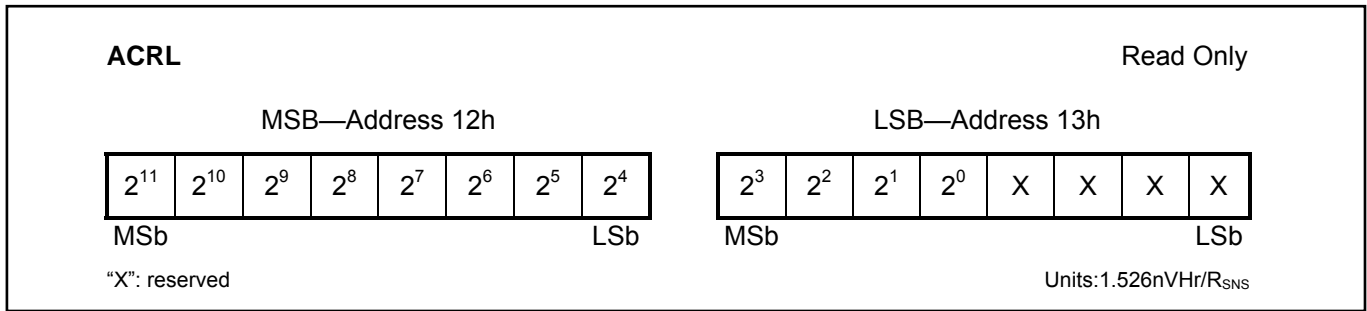


图 9. 小数/低电流累计寄存器格式，ACRL



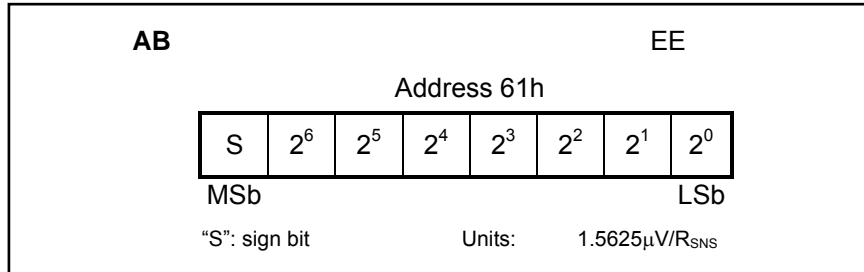
ACR LSB				
V <sub>SS</sub> - V <sub>SNS</sub>	R <sub>SNS</sub>			
	20m $\Omega$	15m $\Omega$	10m $\Omega$	5m $\Omega$
6.25 $\mu$ Vh	312.5 $\mu$ Ah	416.7 $\mu$ Ah	625 $\mu$ Ah	1.250mAh

ACR RANGE				
V <sub>SS</sub> - V <sub>SNS</sub>	R <sub>SNS</sub>			
	20m $\Omega$	15m $\Omega$	10m $\Omega$	5m $\Omega$
409.6mVh	20.48Ah	27.30Ah	40.96Ah	81.92Ah

## 累计偏置

累计偏置寄存器(AB)允许将任意偏置引入电流累计过程。AB的作用如下：补偿未流过检测电阻的电流、估算过小以至于无法测出的电流、估算电池的自放电电流或校准单个DS2781器件的静态失调。AB寄存器允许在电流累计过程中引入用户编程的正极性或负极性偏置常量。用户编程值以二进制补码形式表示，每次电流转换周期加到ACR上一次，各位权值与电流寄存器相同。AB的值是在上电时从EEPROM加载的。AB寄存器的格式见图10。

图 10. 累计偏置寄存器格式



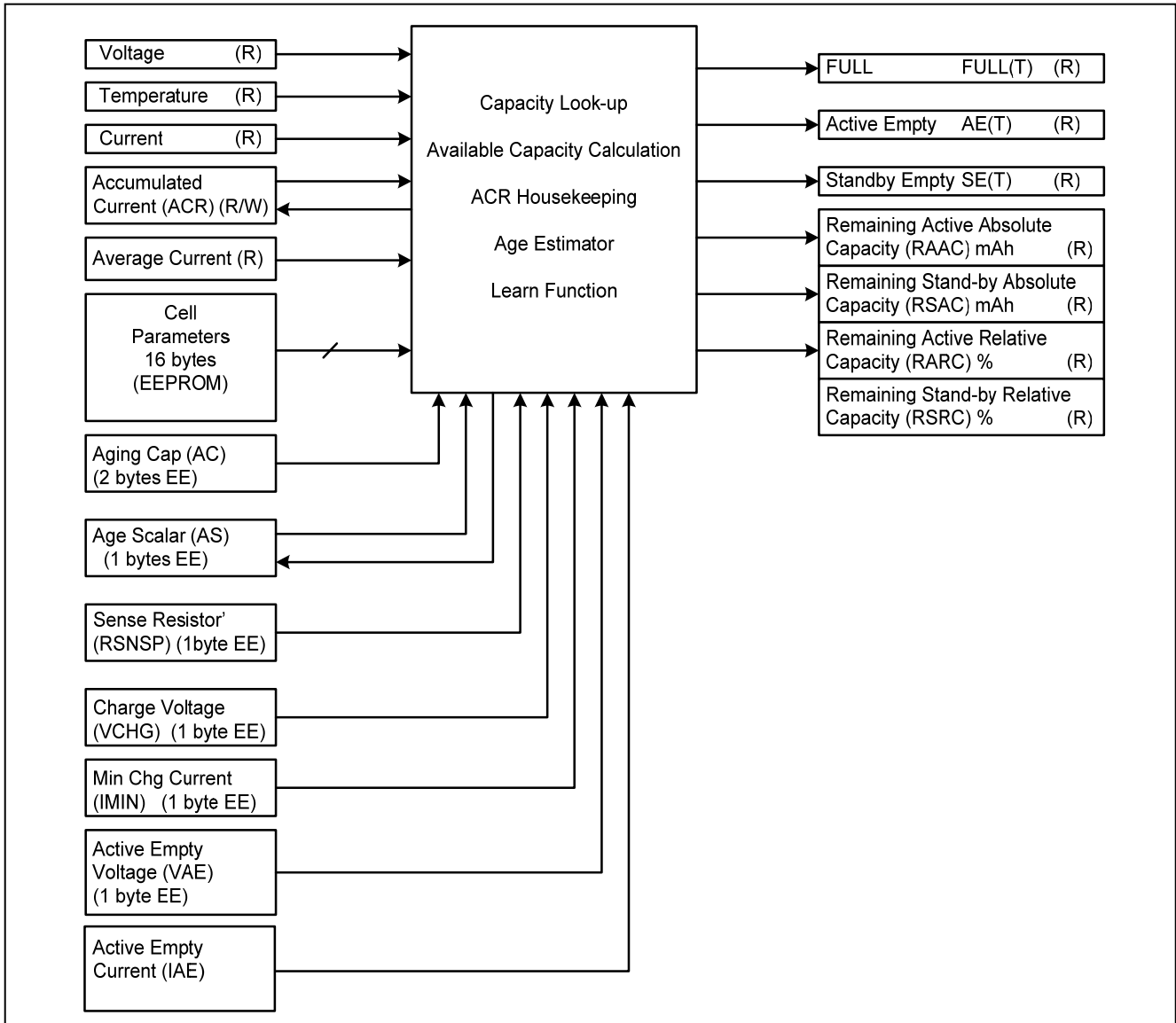
## 电流消隐

在电流测量结果被累计到ACR之前，利用电流消隐特性可以对其进行修改。当电流测量值 (原始电流值 + COB) 进入两个定义的范围之一时，启用电流消隐功能。第一个范围防止对检测电压低于 $100\mu\text{V}$ 的充电电流进行累计。第二个范围防止对检测电压低于 $25\mu\text{V}$ 的放电电流进行累计。充电电流消隐功能始终是使能的，但是放电电流消隐功能必须通过将控制寄存器内的NBEN位置1来使能。更多信息参见寄存器说明。

## 电量估计算法

在估算剩余电量时，使用的数据包括实时测量值和存储器中描述电池组特性及应用工作极限的参数。以下图表描述了算法的输入和输出。

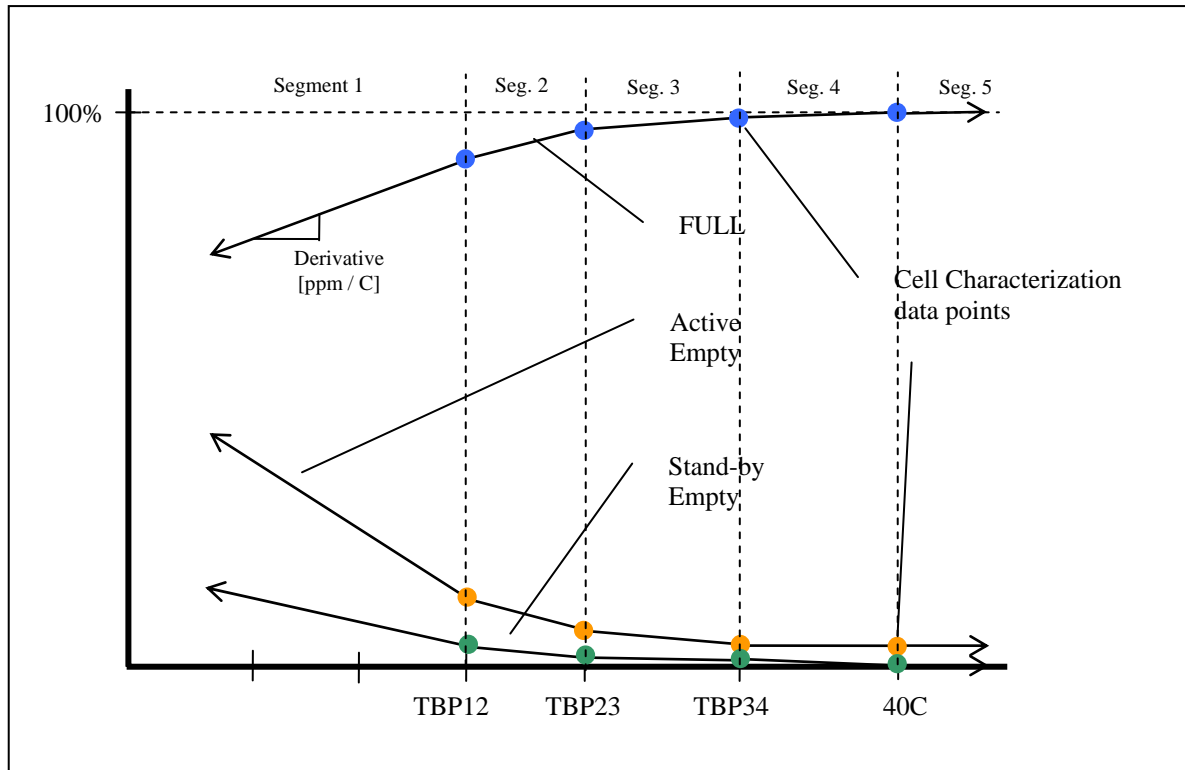
图 11. 顶层算法框图



## 电池组特性建模

在估算剩余电量时，为了得到合理的精度，必须考虑电池组在不同温度下、负载电流和充电终止点条件下的性能特点。由于Li+电池的特性是非线性的，因此，在电量估算时必须考虑到这些特性，才能获得满意的电量估算精度。DS2781采用FuelPack™估算方法，在应用笔记AN131—“Lithium-Ion Cell Fuel Gauging with Dallas Semiconductor Battery Monitor ICs”中概要介绍了该方法。为提高硬件执行效率，DS2781对AN131给出的方法进行了改进，将电池特性参数存储在器件内。通过查找过程获得满电量和空电量点，查找过程重构分段线性模型，模型包括满电量、有效空电量和待机空电量三条模型曲线。每条模型曲线由五个线段组成，标记为第1段至第5段。温度超过+40°C时，第5段模型曲线以零斜率无限延伸，以逼近+40°C以上时Li+电池电量的近似平坦变化。每条模型曲线的第4段的高点开始于+40°C，并且随温度向下延伸，直到与第3段相交。第3段接下来与第2段相交，第2段再与第1段相交。每一条模型曲线的第1段从与第2段的交点处开始，无限延伸至更低的温度。各段斜率以 $\mu\text{Vh}$ 变化率的形式存储，单位 $\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。连接各段的三个连接点或转折点（标记为TBP12、TBP23和TBP34，见图12）可在-128°C至+40°C范围内设置，步长为1°C。它们以二进制补码形式分别存储在0x7C、0x7D和0x7E内。第1、2、3、4段的斜率或导数也可编程设置。在每条模型曲线的低（冷）端，第1段从转折点TBP12开始无限延伸至较低温度。

图 12. 电池模型示例图



FuelPack 是 Dallas Semiconductor 的商标。

**满电量：** 满电量曲线定义了在给定的充电终止模式下某电池组的满电量随温度变化的情况。实际应用中充电终止模式将决定电池特性表中的值。DS2781根据电池特性表中的值重建满电量曲线，并以此确定每一温度下电池的满电量。温度每变化1°C时重建一次满电量。满电量值存储为变化率 $\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 的形式。例如，如果电池的标称容量在40°C时为1051mAh，在18°C时的满电量为1031mAh (TBP34)，0°C时为1009mAh (TBP23)，则第3段的斜率为：

$$((1031\text{mAh} - 1009\text{mAh}) / (1051\text{mAh} / 1\text{M})) / (18^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) = 1163\text{ppm}/^\circ\text{C}$$

斜率寄存器的1个LSB等于61ppm，因此，第3段的满电量斜率寄存器（地址为0x6Dh）将被编程为0x13h。每一个斜率寄存器的动态范围为0ppm至15555ppm。

**有效空电量：**有效工作时的空电池电量曲线定义了在一定放电条件下，空电池电量点随温度的变化情况，该放电条件基于有效工作时的负载电流（工作在较大功率模式下的持续电流）以及系统工作时所需的最小电压定义的。这个负载电流被称作有效空电流（IAE），其值是3.5s时间内的电流平均值，对应电流寄存器读数，而规定的最小电压或有效空电压（VAE）是250ms内的电压平均值，对应电压寄存器读数。DS2781依照电池特性表中的值重建有效空电量曲线，并以此确定每一温度下电池的有效空电量。温度每变化1°C时重建一次有效空电量。有效空电量每段斜率的存储方式与上文所述的满电量情况相同。

**待机空电量：**待机空电池电量曲线定义了在一定放电条件下，空电池电量点随温度的变化情况，由具体应用在待机工作时所需的待机电流及最小电压决定该放电条件。待机空电量点表示电池已不能再支持应用中的必要功能，如手机的存储器数据保持或管理功能。待机空电量每段斜率的存储方式与上文所述的满电量情况相同。

待机负载电流和电压用来确定电池特性，但并不能在DS2781中进行设置。DS2781依照电池特性表中的值重建待机空电量曲线，并以此确定每一温度下电池的待机空电量。温度每变化1°C时重建一次待机空电量。

### 建立电池组模型

建立模型时将所有点都归一化到+40°C下电池充满的状态。初始值、+40°C下的满电量值（以mVh为单位）和+40°C下的有效空电量值（+40°C下满电量值的一小部分）存储在电池参数EEPROM模块中。+40°C下的待机空电量值被定义为零，因此不需要储存。每种模型曲线中4个段的斜率（导数）连同每段的转折点温度一起，也存放在电池参数EEPROM模块中。这种方式下的存储数据范例见表1。

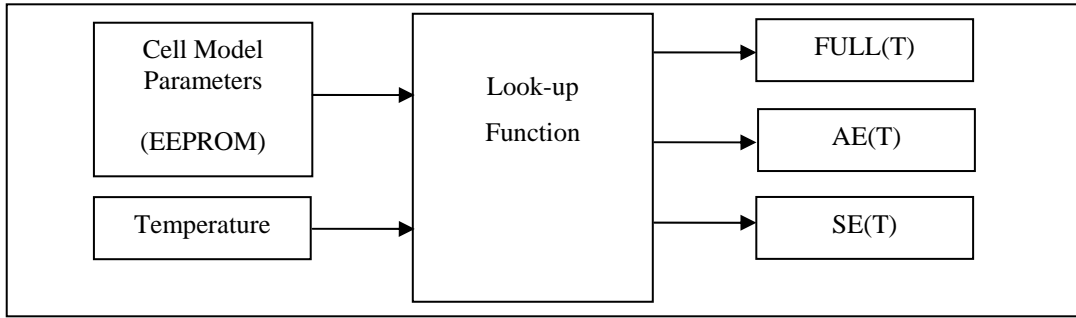
表 1. 电池特性表范例 (归一化至 +40°C)

<b>Manufacturers Rated Cell Capacity: 1000mAh</b>		
<b>Charge Voltage: 8.4V</b>	<b>Charge Current: 500mA</b>	<b>Termination Current: 50mA</b>
<b>Active Empty (V, I): 6.0V, 300mA</b>		<b>Standby Empty (V, I): 6.0V, 4mA</b>
<b>Sense Resistor: 0.020Ω</b>		

	<b>TBP12</b>	<b>TBP23</b>	<b>TBP34</b>
<b>Segment Break Points</b>	<b>-12°C</b>	<b>0°C</b>	<b>18°C</b>

	<b>+40°C Nominal [mAh]</b>	<b>Seg. 1 ppm/°C</b>	<b>Seg. 2 ppm/°C</b>	<b>Seg. 3 ppm/°C</b>	<b>Seg. 4 ppm/°C</b>
<b>Full</b>	<b>1051</b>	<b>3601</b>	<b>3113</b>	<b>1163</b>	<b>854</b>
<b>Active Empty</b>		<b>2380</b>	<b>1099</b>	<b>671</b>	<b>305</b>
<b>Standby Empty</b>		<b>1404</b>	<b>427</b>	<b>244</b>	<b>183</b>

图 13. 查找功能框图



## 应用参数

除了电池模型特性参数以外，还需要几个应用参数来检测电池满电量点和空电量点，以及获得以mAh为单位的计算结果。

**检测电阻初值 (RSNSP):** RSNSP存储检测电阻的值，用来计算绝对电量。该值长度为1个字节，以电导形式存储，单位为mhos。RSNSP支持1Ω至3.922mΩ的电阻值。RSNSP位于参数EEPROM模块。

**充电电压 (VCHG):** VCHG存储充电电压门限值，用来检测完全充满状态。该值长度为1字节，单位为39.04mV，范围为0V至9.956V。VCHG的设定值应稍小于充电周期结束时的电池组电压，以确保可靠的充电终止检测。VCHG位于参数EEPROM模块。

**最小充电电流 (IMIN):** IMIN存放充电电流门限，用来检测完全充满状态。该值长度为1字节，单位为50μV，范围从0至12.75mV。假设RSNS = 20mΩ，那么IMIN可在0mA至637.5mA之间设置，步长为2.5mA。IMIN的设定值应当稍大于充电周期结束时的充电电流，以确保可靠的充电终止检测。IMIN位于参数EEPROM模块。

**有效空电压 (VAE):** VAE存储的电压门限，用于检测有效工作时的空电池电量点。该值存储在1个字节的空间内，单位为39.04mV，范围为0V至9.956V。VAE位于参数EEPROM模块。详见 *电池组特性建模* 一节。

**有效空电流 (IAE):** IAE存储的放电电流门限，用于检测有效工作时的空电池电量点。这个无符号数值代表放电电流的大小，存储在1个字节的空间内，单位为200μV，范围从0至51.2mV。假设RSNS = 20mΩ，IAE能在0mA至2550mA范围内以10mA步长进行设置。IAE位于参数EEPROM模块。详见 *电池组特性建模* 一节。

**老化容量 (AC):** AC存放额定电池电量，用来估算正常使用情况下电池容量减少的情况。此值存放在2个字节的空间内，单位同ACR一样 (6.25μVh)。AC设置为厂商给出的额定电量时，每100个等效完全放电周期的老化速率设置为大约2.4%。对于不完全放电周期，则相加以折合成等效完全放电周期。在500个等效周期后，缺省估算结果为剩下88%的容量。通过将AC设置为与厂商额定值不同的值，能够调节老化估计速率。将AC设置为较小值，可加大老化估计速率。将AC设置为较大值时，则减缓老化估计速率。AC位于参数EEPROM模块。

**老化系数 (AS):** AS可以逐步调低电池容量估计结果，以补偿电池老化特性。AS值的长度为1个字节，数值范围在49.2%和100%之间。最低有效位的权值为0.78% (确切为 $2^{-7}$ )。AS值为100% (十进制128或80h) 时表示电池未老化。厂商封装电池包时，推荐将AS初始值设为95%，如此一来，当电池的初始容量大于电池特性表中设置好的标称容量时，允许学习该较大容量。通过上述基于放电次数的老化估计和容量学习功能修改AS值。主机系统可以读、写AS，然而在写AS时必须慎重，以免累积的老化估计值被错误数值覆盖。通常，不需要通过主机写AS，因为DS2781会将AS自动定期保存到EEPROM内。(详见 *存储器* 一节。) 上电时重新恢复EEPROM存储的AS值。

## 电量估算功能

### 老化估计

正如以上所述，根据累计放电次数会不定期调整AS寄存器的值。当每次放电周期内ACR寄存器递减时，一个内部计数器会递增，直至等于32倍的AC。然后AS值递减1，电池满容量递减0.78%。关于定制老化估计速率的推荐值，请参考上文的AC寄存器说明。

### 学习功能

由于Li+电池的充电效率接近1，将Li+电池从已知空电量点充电到已知满电量点所提供的电荷量是测量电池电量的可靠依据。将电池从空电量连续充电到满电量，可实现一个“学习周期”。首先，必须检测到有效空电量点。该点将置位学习标志 (*LEARNF*)。然后，一旦开始充电，必须不间断地持续充电，直到电池充满。当检测到电池充满时，将清除*LEARNF*标志，置位充满 (*CHGTF*) 标志，并按照学习到的电池组容量调整老化系数 (AS)。

### ACR管理

有时会调整ACR寄存器值，使库仑计数处于模型曲线范围内。当电池充满 (*CHGTF*置1) 时，对当前温度下的满电量查找值进行老化修正，并以该修正结果设置ACR。如果正在执行学习周期，则在更新老化系数 (AS) 之后再校正ACR值。

当检测到空电量状态 (*AEF*或*LEARNF*置1) 时，ACR的调整是受条件限制的。如果*AEF*置1而*LEARNF*未置1，则不能检测到有效空电量点，电池电量有可能低于模型的有效空电量。只有当ACR大于有效空电量模型值时，才能将ACR设置为有效空电量模型值。如果*LEARNF*置1，那么电池处于有效空电量点，并且ACR设置为有效空电量模型值。

### 满电量检测

如果电压 (VOLT) 读数在两次平均电流 (IAVG) 读数之间始终高于VCHG门限，并且两个IAVG读数都低于IMIN，则检测到满电量。这两个连续的IAVG读数还必须是非零的正数。这样才能确保从充电器中取出电池时不会导致错误的满电量检测。检测到满电量时将状态寄存器中的充满 (*CHGTF*) 位置1。

### 有效空电量点检测

当电压寄存器值跌至VAE门限以下，并且先前的两个电流读数大于IAE时，则检测到有效空电量点。这样就捕捉到了电池达到有效空电量点的情况。需要注意的是，先前的两个电流读数必须为负，并且电流大小要大于IAE，也就是说，其放电电流比IAE门限所规定的值要大。满足电压限制条件和放电速率要求，可确保检测到有效空电量点时的负载大小不会比构建模型所用的负载轻。同样，如果先使用非常轻的负载深度放电，紧接着使用大于IAE的负载时，也绝不会检测到有效空电量。否则，在接下来的电池充满学习周期中，无论哪种情况都会导致有效容量测量结果中包含部分待机容量。检测到有效空电量时将置位状态寄存器中的学习标志 (*LEARNF*)。

### 结果寄存器

DS2781以440ms的间隔时间处理测量结果和电池特性参数，并产生7个结果寄存器值。在大多数应用中，结果寄存器直接用于用户显示已经足够。结合测量数据、结果和用户EEPROM值，主机系统可生成系统所用的定制数据或用户显示数据。

**FULL(T) [ ]:** 报告当前温度下电池的满电量，归一化为40°C下满电量的百分比。这个15位数值反映了给定温度下的电池组模型满电量值。FULL(T) 值在100%和50%之间，分辨率为61ppm (确切值为 $2^{-14}$ )。虽然寄存器格式允许数值大于100%，但寄存器值被箝位在100%的最大值。



**有效空电量, AE(T) [ ]:** 报告当前温度下电池的有效空电量, 归一化为40°C下满电量的百分比。这个13位数值反映了给定温度下电池组模型的有效空电量。AE(T) 值在0%和49.8%之间, 分辨率为61ppm (确切值为 $2^{-14}$ )。

**待机空电量, SE(T) [ ]:** 报告当前温度下电池的待机空电量, 归一化为40°C下满电量的百分比。这个13位数值反映了当前温度下电池组模型的待机空电量。SE(T) 值在0%和49.8%之间, 分辨率为61ppm (确切值为 $2^{-14}$ )。

**剩余绝对有效电量 (RAAC) [mAh]:** RAAC报告当前温度下以有效空电量放电速率 (IAE) 放电到有效空电量点时的可用电量, 采用绝对单位mAh表示。RAAC为16位。

**剩余绝对待机电量 (RSAC) [mAh]:** RSAC报告当前温度下以待机空电量放电速率 (ISE) 放电到有效空电量点时的可用电量, 采用绝对单位mAh表示。RSAC为16位。

**剩余相对有效电量 (RARC) [%]:** RARC报告当前温度下以有效空电量放电速率 (IAE) 放电到有效空电量点时的可用电量, 采用百分比表示。RARC为8位。

**剩余相对待机电量 (RSRC) [%]:** RSRC报告当前温度下以待机空电量放电速率 (ISE) 放电到有效空电量点时的可用电量, 采用百分比表示。RSRC为8位。

#### 计算结果

$$\text{RAAC [mAh]} = (\text{ACR[mVh]} - \text{AE(T)} * \text{FULL40[mVh]}) * \text{RSNSP [mhos]}$$

$$\text{RSAC [mAh]} = (\text{ACR[mVh]} - \text{SE(T)} * \text{FULL40[mVh]}) * \text{RSNSP [mhos]}$$

$$\text{RARC [%]} = 100\% * (\text{ACR[mVh]} - \text{AE(T)} * \text{FULL40[mVh]}) / \{(\text{AS} * \text{FULL(T)} - \text{AE(T)}) * \text{FULL40[mVh]}\}$$

$$\text{RSRC [%]} = 100\% * (\text{ACR[mVh]} - \text{SE(T)} * \text{FULL40[mVh]}) / \{(\text{AS} * \text{FULL(T)} - \text{SE(T)}) * \text{FULL40[mVh]}\}$$

## 状态寄存器

状态寄存器包含报告器件状态的各个位。这些位均可由DS2781内部设置。其中CHGTF、AEF、SEF、LEARNF和VER位为只读位，由硬件清除。而UVF和PORF只能通过1-Wire接口清零。

图14. 状态寄存器格式

Address		01h	Bit Definition
Field	Bit	Format	Allowable Values
CHGTF	7	Read Only	Charge Termination Flag Set to 1 when: ( VOLT > VCHG ) AND ( 0 < IAVG < IMIN ) continuously for a period between two IAVG register updates ( 28s to 56s ). Cleared to 0 when: RARC < 90%
AEF	6	Read Only	Active Empty Flag Set to 1 when: VOLT < VAE Cleared to 0 when: RARC > 5%
SEF	5	Read Only	Standby Empty Flag Set to 1 when: RSRC < 10% Cleared to 0 when: RSRC > 15%
LEARNF	4	Read Only	Learn Flag—When set to 1, a charge cycle can be used to learn battery capacity. Set to 1 when: ( VOLT falls from above VAE to below VAE ) AND ( CURRENT > IAE ) Cleared to 0 when: ( CHGTF = 1 ) OR ( CURRENT < 0 ) OR ( ACR = 0 ** ) OR ( ACR written or recalled from EEPROM ) OR ( SLEEP Entered )
Reserved	3	Read Only	Undefined
UVF	2	Read / Write *	Undervoltage Flag Set to 1 when: VOLT < V <sub>SLEEP</sub> Cleared to 0 by: User
PORF	1	Read / Write *	Power-On Reset Flag—Useful for reset detection, see text below. Set to 1 upon Power-Up by hardware. Cleared to 0 by: User
Reserved	0	Read Only	Undefined

\*该位可由 DS2781 设置，只能通过 1-Wire 接口清除。

\*\*在 VOLT < VAE 之后，如果 ACR 达到 0，才会清除 LEARNF。

## 控制寄存器

所有控制寄存器位都是可读写的。上电时，控制寄存器从参数EEPROM存储器中读出数据。上电后，可在映射RAM中修改寄存器位的值。利用Copy Data命令，可将映射RAM内的值保存为上电缺省值。

图 15. 控制寄存器格式

Address		60h		Bit Definition
Field	Bit	Format	Allowable Values	
NBEN	7	Read/Write	Negative Blanking Enable 0: Allows negative current readings to always be accumulated 1: Enables blanking of negative current readings up to -25 $\mu$ V	
UVEN	6	Read/Write	Under Voltage SLEEP Enable 0: Disables transition to SLEEP mode based on VIN voltage 1: Enables transition to SLEEP mode if, VIN < V <sub>SLEEP</sub> AND DQ stable at either logic level for t <sub>SLEEP</sub>	
PMOD	5	Read/Write	Power Mode Enable 0: Disables transition to SLEEP mode based on DQ logic state 1: Enables transition to SLEEP mode if DQ at a logic low for t <sub>SLEEP</sub>	
RNAOP	4	Read/Write	Read Net Address Opcode 0: Read Net Address Command = 33h 1: Read Net Address Command = 39h	
UVTH	3	Read/Write	Under Voltage Threshold Select 0: Selects an Under Voltage Sleep threshold of 2.45V 1: Selects an Under Voltage Sleep threshold of 4.9V	
Reserved	0:2		Undefined	

## 特殊功能寄存器

特殊功能寄存器的所有位都是可读写的，在每一位的定义中都给出了其缺省值。

图16. 特殊功能寄存器格式

Address		15h		Bit Definition
Field	Bit	Format	Allowable Values	
Reserved	1:7		Undefined	
PIOSC	0	Read/Write	PIO Sense and Control Read values 0: PIO pin $\leq$ Vil 1: PIO pin $\geq$ Vih Write values 0: Activates PIO pin open-drain output driver, forcing the PIO pin low 1: Disables the output driver, allowing the PIO pin to be pulled high or used as an input Power-up and SLEEP mode default: 1 (PIO pin is hi-Z) Note: PIO pin has weak pulldown	

## EEPROM 寄存器

EEPROM寄存器提供对EEPROM模块的访问控制。EEPROM模块可被锁定以防止更改模块中的数据。锁定模块后禁止对其写访问。一旦模块被锁定，就无法解锁。对EEPROM模块的读访问不受锁定/解锁状态的影响。

图 17. EEPROM 寄存器格式

Address		1Fh		Bit Definition
Field	Bit	Format	Allowable Values	
<i>EEC</i>	7	Read Only	EEPROM Copy Flag Set to 1 when: Copy Data command executed Cleared to 0 when: Copy Data command completes Note: While EEC = 1, writes to EEPROM addresses are ignored Power-up default: 0	
<i>LOCK</i>	6	Read / Write to 1	EEPROM Lock Enable Host write to 1: Enables the Lock command. Host must issue Lock command as next command after writing Lock Enable bit to 1. Cleared to 0 when: Lock command completes or when Lock command not the command issued immediately following the Write command used to set the Lock Enable bit. Power-up default: 0	
<i>Reserved</i>	2:6		Undefined	
<i>BL1</i>	1	Read Only	EEPROM Block 1 Lock Flag (Parameter EEPROM 60h–7Fh) 0: EEPROM is not locked 1: EEPROM block is locked Factory default: 0	
<i>BL0</i>	0	Read Only	EEPROM Block 0 Lock Flag (User EEPROM 20h–2Fh) 0: EEPROM is not locked 1: EEPROM block is locked Factory default: 0	

## 存储器

DS2781包括256字节线性存储器空间，包括用于测量、状态指示和控制的寄存器，以及用于存储参数和用户信息的EEPROM存储器模块。读取标注为“Reserved”的字节地址时将返回不确定的数据。保留字节不应写入。为了存储16位数值，一些字节寄存器成对地组成双字节寄存器。16位数值的高字节 (MSB) 位于偶数地址，而低字节 (LSB) 位于下一个地址 (奇数地址) 字节。当读取双字节寄存器的MSB时，MSB和LSB被同时锁存，并在读数据命令期间保持不变，从而避免了在读取数据期间刷新LSB。这样保证了两个寄存器字节之间的同步。为获得有效的结果，一定要在同一个读数据命令期间读取双字节寄存器的MSB和LSB。

EEPROM存储器包含非易失性EEPROM单元，并具有相应的易失性映射RAM。Read Data和Write Data命令允许通过1-Wire接口仅直接访问映射RAM。Copy Data和Recall Data功能命令可在映射RAM和EEPROM单元之间传输数据。为了修改存储在EEPROM单元中的数据，必须先将数据写入映射RAM，然后复制到EEPROM中。为了校验存储在EEPROM单元中的数据，必须将EEPROM数据调入映射RAM，再从映射RAM中读取数据。

## 用户EEPROM

16字节用户EEPROM存储器 (模块0, 地址: 20h至2Fh) 提供的非易失性存储器不拘泥于其他DS2781功能。访问用户EEPROM模块不会影响DS2781的工作。用户EEPROM是可锁定的, 一旦被锁定, 则禁止写访问。电池包或主机系统制造商可设置标签码、日期码以及其他制造、授权或诊断信息, 然后将其锁定以保护数据不会被篡改。用户EEPROM还可存储充电参数 (支持主机设备中不同尺寸的电池) 以及辅助的模型数据 (如到完全充满时的时间估计参数)。

## 参数EEPROM

电池模型数据以及应用的工作参数都存储在参数EEPROM存储器中 (模块1, 地址: 60h至7Fh)。当RARC结果越过4%的边界值时, ACR (MSB和LSB) 和AS寄存器将被自动保存到EEPROM中。这样就可使DS2781处于保护FET之外。采用这种方式, 如果触发了保护器件, DS2781丢失的充电或放电数据不会大于4%。

表 2. 寄存器分配表

ADDRESS (HEX)	DESCRIPTION	READ/WRITE
00	Reserved	R
01	<b>STATUS</b> - Status Register	R/W
02	<b>RAAC</b> - Remaining Active Absolute Capacity MSB	R
03	<b>RAAC</b> - Remaining Active Absolute Capacity LSB	R
04	<b>RSAC</b> - Remaining Standby Absolute Capacity MSB	R
05	<b>RSAC</b> - Remaining Standby Absolute Capacity LSB	R
06	<b>RARC</b> - Remaining Active Relative Capacity	R
07	<b>RSRC</b> - Remaining Standby Relative Capacity	R
08	<b>IAVG</b> - Average Current Register MSB	R
09	<b>IAVG</b> - Average Current Register LSB	R
0A	<b>TEMP</b> - Temperature Register MSB	R
0B	<b>TEMP</b> - Temperature Register LSB	R
0C	<b>VOLT</b> - Voltage Register MSB	R
0D	<b>VOLT</b> - Voltage Register LSB	R
0E	<b>CURRENT</b> - Current Register MSB	R
0F	<b>CURRENT</b> - Current Register LSB	R
10	<b>ACR</b> - Accumulated Current Register MSB	R/W*
11	<b>ACR</b> - Accumulated Current Register LSB	R/W *
12	<b>ACRL</b> – Low Accumulated Current Register MSB	R
13	<b>ACRL</b> – Low Accumulated Current Register LSB	R
14	<b>AS</b> - Age Scalar	R/W *
15	<b>SFR</b> - Special Feature Register	R/W
16	<b>FULL</b> - Full Capacity MSB	R
17	<b>FULL</b> - Full Capacity LSB	R
18	<b>AE</b> - Active Empty MSB	R
19	<b>AE</b> - Active Empty LSB	R
1A	<b>SE</b> - Standby Empty MSB	R
1B	<b>SE</b> - Standby Empty LSB	R
1C to 1E	Reserved	—
1F	<b>EEPROM</b> - EEPROM Register	R/W
20 to 2F	User EEPROM, Lockable, Block 0	R/W
30 to 5F	Reserved	—
60 to 7F	Parameter EEPROM, Lockable, Block 1	R/W
80 to AF	Reserved	—
B0 to B1	<b>FSGAIN</b> – Factory Gain Calibration Value	R
B2 to FF	Reserved	—

\*在正常工作模式 (ACTIVE) 下，寄存器值自动保存到EEPROM中，并在上电时从EEPROM中恢复数据。

表3. 参数EEPROM存储器模块1

ADDRESS (HEX)	DESCRIPTION	ADDRESS (HEX)	DESCRIPTION
60	<b>CONTROL</b> - Control Register	70	AE Segment 4 Slope
61	<b>AB</b> - Accumulation Bias	71	AE Segment 3 Slope
62	<b>AC</b> - Aging Capacity MSB	72	AE Segment 2 Slope
63	<b>AC</b> - Aging Capacity LSB	73	AE Segment 1 Slope
64	<b>VCHG</b> - Charge Voltage	74	SE Segment 4 Slope
65	<b>IMIN</b> - Minimum Charge Current	75	SE Segment 3 Slope
66	<b>VAE</b> - Active Empty Voltage	76	SE Segment 2 Slope
67	<b>IAE</b> - Active Empty Current	77	SE Segment 1 Slope
68	Active Empty 40	78	<b>RSGAIN</b> - Sense Resistor Gain MSB
69	<b>RSNSP</b> - Sense Resistor Prime	79	<b>RSGAIN</b> - Sense Resistor Gain LSB
6A	Full 40 MSB	7A	<b>RSTC</b> - Sense Resistor Temp. Coeff.
6B	Full 40 LSB	7B	<b>COB</b> - Current Offset Bias
6C	Full Segment 4 Slope	7C	<b>TBP34</b>
6D	Full Segment 3 Slope	7D	<b>TBP23</b>
6E	Full Segment 2 Slope	7E	<b>TBP12</b>
6F	Full Segment 1 Slope	7F	Reserved

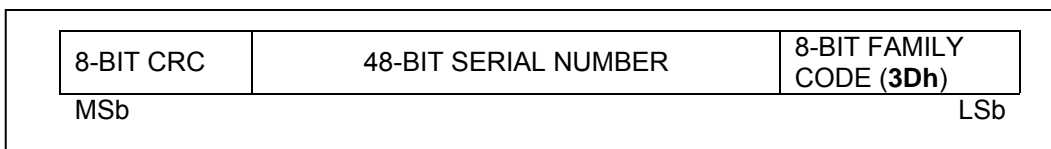
## 1-Wire总线系统

1-Wire总线系统用一根数据线连接单个主机和一个或多个从机设备。多点总线是挂接了多个从机设备的1-Wire总线。而单点总线上仅有一个从机设备。在任何情况下，DS2781都作为从机设备来使用。主机系统中的总线主机通常是一个微处理器。对该总线系统的讨论分为4个部分：64位网络地址、硬件配置、处理流程以及1-Wire信令。

## 64位网络地址

每个DS2781都带有唯一的、由工厂设置的64位1-Wire网络地址。前8位是1-Wire家族码 (DS2781的家族码为3Dh)。紧随其后是48位唯一的序列码。最后8位是前56位的循环冗余校验码 (CRC) (参见图18)。64位网络地址和器件内置的1-Wire I/O电路使DS2781能够通过1-Wire协议与主机通信，1-Wire协议的详细说明见本数据资料的1-Wire总线系统一节。

图 18. 1-Wire 网络地址格式



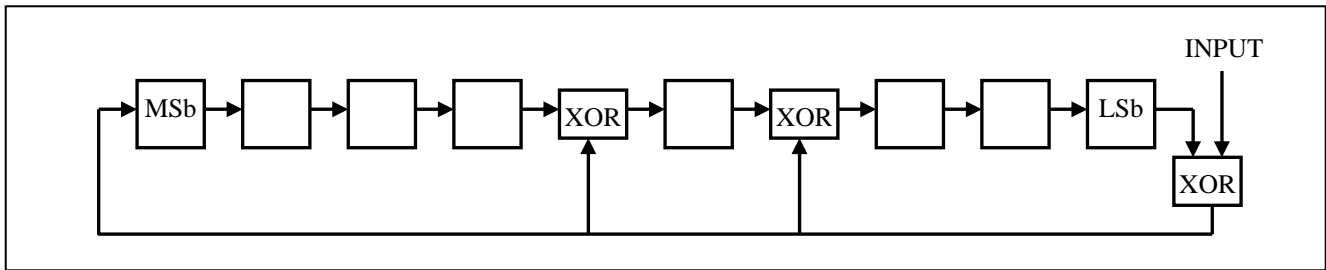
## 生成CRC

DS2781带有8位CRC校验码，存储在1-Wire网络地址的最高字节中。为了确保地址的无差错传输，主机系统可根据网络地址的前56位计算出CRC校验码，并与来自DS2781的CRC进行比较。系统主机负责CRC校验并根据校验结果采取相应措施。DS2781并不比较CRC校验码，当CRC校验码不匹配时，也不会阻止命令继续执行。正确利用CRC可使通信信道具有极高的完整性。

主机可利用图18所示的电路生成CRC，该电路由移位寄存器和异或门组成，也可由软件生成CRC。更多有关Dallas 1-Wire CRC的信息参见应用笔记27：理解和运用Dallas Semiconductor iButton®产品中的循环冗余校验 (CRC)。(该应用笔记可从Maxim/Dallas Semiconductor的公司网站www.maxim-ic.com.cn下载。)

在图19所示的电路中，首先将移位寄存器的各位初始化为0。然后从家族码的最低有效位开始逐位移入。移入家族码的第8位后，开始移入序列码。序列码的第48位移入后，移位寄存器中的值就是CRC码。

图19. 1-Wire CRC生成结构框图



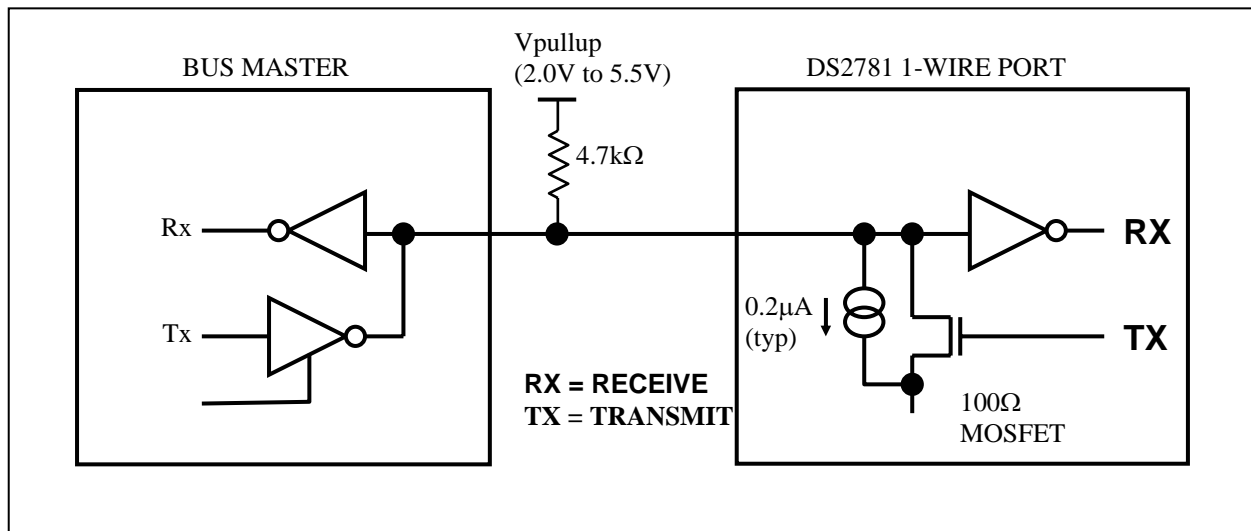
### 硬件配置

由于1-Wire总线系统中仅有一根数据线，因此在合适的时间驱动总线上的各个设备是十分重要的。为使上述操作易于实现，挂载在1-Wire总线上的每个设备必须都通过漏极开路或三态输出驱动器来连接总线。DS2781采用开漏极输出驱动器作为双向接口电路，如图20所示。如果总线主机没有可利用的双向引脚，可将独立的输入、输出引脚连接起来用。

1-Wire总线要求在总线主机侧连接一个上拉电阻。对于较短的数据线长度，该电阻值约为 $5k\Omega$ 。1-Wire总线的空闲状态为高电平。如果由于某种原因需要暂停通信，稍后还要恢复通信的话，总线必须保持在空闲状态。如果总线保持低电平的时间超过了 $120\mu s$ （在高速模式下为 $16\mu s$ ）时，那么总线上的从机设备会将该低电平周期理解为一个复位脉冲，从而终止通信过程。

DS2781具有两种通信速率模式，即标准速率模式和高速模式。速率模式是由OVD引脚的输入逻辑电平确定的，逻辑0选择标准速率模式，逻辑1选择高速模式。在以复位脉冲开始的初始化过程之前，OVD引脚必须保持稳定的逻辑0或1。多点总线上所有1-Wire器件必须采用相同的通信速率，以实现正常工作。标准速率模式和高速模式的1-Wire时序如*Electrical Characteristics: 1-Wire Interface*表所列。

图20. 1-Wire总线接口电路





## 处理流程

通过1-Wire端口访问DS2781的协议如下：

- 初始化
- 网络地址命令
- 功能命令
- 传输/数据

以下各节将对这几点详细讨论。

1-Wire总线的所有传输操作都从初始化过程开始，初始化过程由总线主机发送的复位脉冲以及DS2781和总线上其他从机同时发出的在线应答脉冲组成。在线应答脉冲报告总线主机总线上一个或多个从设备已准备就绪。更多详细信息请参考 *1-Wire* 信令一节。

## 网络地址命令

一旦总线主机检测到一个或多个从设备的应答脉冲，主机可发送下列各段落所描述的网络地址命令之一。每个ROM命令的名称后面是该命令的8位操作码 (在方括号中)。图21给出了网络地址命令流程图。

**Read Net Address [33h或39h]:** 该命令允许总线主机读取DS2781的1-Wire网络地址。只有当总线上挂接单个从设备时才能使用这条命令。如果总线上挂接了多个从机设备，当所有从机试图同时发送数据时 (漏极开路产生“线与”结果)，就会发生数据冲突。状态寄存器的RNAOP位选择该命令的操作码，RNAOP = 0表示操作码为33h，RNAOP = 1表示操作码为39h。

**Match Net Address [55h]:** 该命令允许总线主机访问1-Wire总线上某个特定的DS2781。只有地址匹配的DS2781才会响应随后的功能命令。所有其他从机设备忽略随后的功能命令并等待复位脉冲。该命令适用于总线上挂接一个或多个从机的情况。

**Skip Net Address [CCh]:** 总线上仅有一个DS2781时，允许总线主机在不指定从设备地址的情况下发送功能命令，从而可节省时间。如果总线上挂接了多个从机，随后发出功能命令后，所有从机同时发送数据时就会产生数据冲突。

**Search Net Address [F0h]:** 该命令允许总线主机采用排除法来识别总线上所有从机的1-Wire网络地址。该搜索过程重复三个简单的步骤：读一位、读该位的补码、然后写入期望的位值。总线主机对应网络地址的每个位执行这三个简单的步骤。通过所有64位操作后，总线主机就得到一个从机地址。然后，可通过反复执行该过程识别剩余从机的地址。有关网络地址搜索的全面讨论，请参阅 *Book of DS19xx iButton Standards* 的第5章，其中还包括一个示例。(该资料可从Maxim/Dallas Semiconductor公司的网站[www.maxim-ic.com.cn](http://www.maxim-ic.com.cn)下载。)

**Resume [A5h]:** 在多点应用环境中，当需要多次访问DS2781时，该命令提高了数据的吞吐能力。Resume命令与Skip Net Address命令类似，即不必每次访问DS2781时都发送64位网络地址。在成功执行Match Net Address命令或Search Net Address命令后，DS2781内的一个标志会置位。当该标志置1后，便可通过Resume命令重复访问DS2781。访问总线上的其他从机时将会清除该标志，从而避免了两个或多个从机同时响应Resume命令。

## 功能命令

在成功地执行一个网络地址命令之后，总线主机可以通过下列各段落所描述的任何功能命令来访问DS2781。每个功能命令的名称后面跟着该命令的8位操作码 (在方括号中)。表4概括了所有功能命令。

**Read Data [69h, XX]:** 该命令从存储器地址XX开始读取DS2781的数据。移入地址XX的最高位后，可立即读取地址XX中数据的最低位。因为接收到每个数据字节的最高位后，地址自动递增，因此收到地址XX中数据的最高位后，可立即读取地址XX + 1中数据的最低位。如果总线主机持续读取操作直至超出地址FFh，则从存储器地址00开始读取数据，并且地址自动递增，直到产生一个复位脉冲为止。存储器分配表中标有“Reserved”的地址包含不确定的值。在位流的任何位置，均可由总线主机发出复位脉冲来终止读数据命令。读取EEPROM模块地址的数据时将返回映射RAM中的数据。需要Recall Data命令将数据从EEPROM传输到映射RAM。更多详细信息参见 *存储器* 一节。

**Write Data [6Ch, XX]:** 该命令从存储器地址XX开始将数据写入DS2781。移入地址的最高位后，可立即写入要存储在地址XX处的数据最低位。因为写入每个数据字节的最高位后地址自动递增，因此写入要存储到地址XX处的数据最高位后，可立即写入要存储在地址XX + 1处的数据最低位。如果总线主机持续写操作直到地址超出FFh，则从存储器地址00开始，原有数据将被覆盖。将忽略对只读地址、保留地址和锁定EEPROM模块的写操作。不会写入不完整的字节。写访问未锁定的EEPROM模块地址将修改映射RAM。需要Copy Data命令将数据从映射RAM传输到EEPROM中。更多详细信息参见 *存储器* 一节。

**Copy Data [48h, XX]:** 该命令将EEPROM映射RAM的内容复制到EEPROM模块中地址为XX的EEPROM单元。寻址锁定模块的复制数据命令将被忽略。执行复制数据命令时，EEPROM寄存器的EEC位置1，并忽略其他写EEPROM地址的命令。在复制过程中，对非EEPROM地址的读、写操作仍可进行。执行复制数据命令所需的时间为 $t_{EEC}$ ，从发送完地址后的下一个下降沿开始执行。

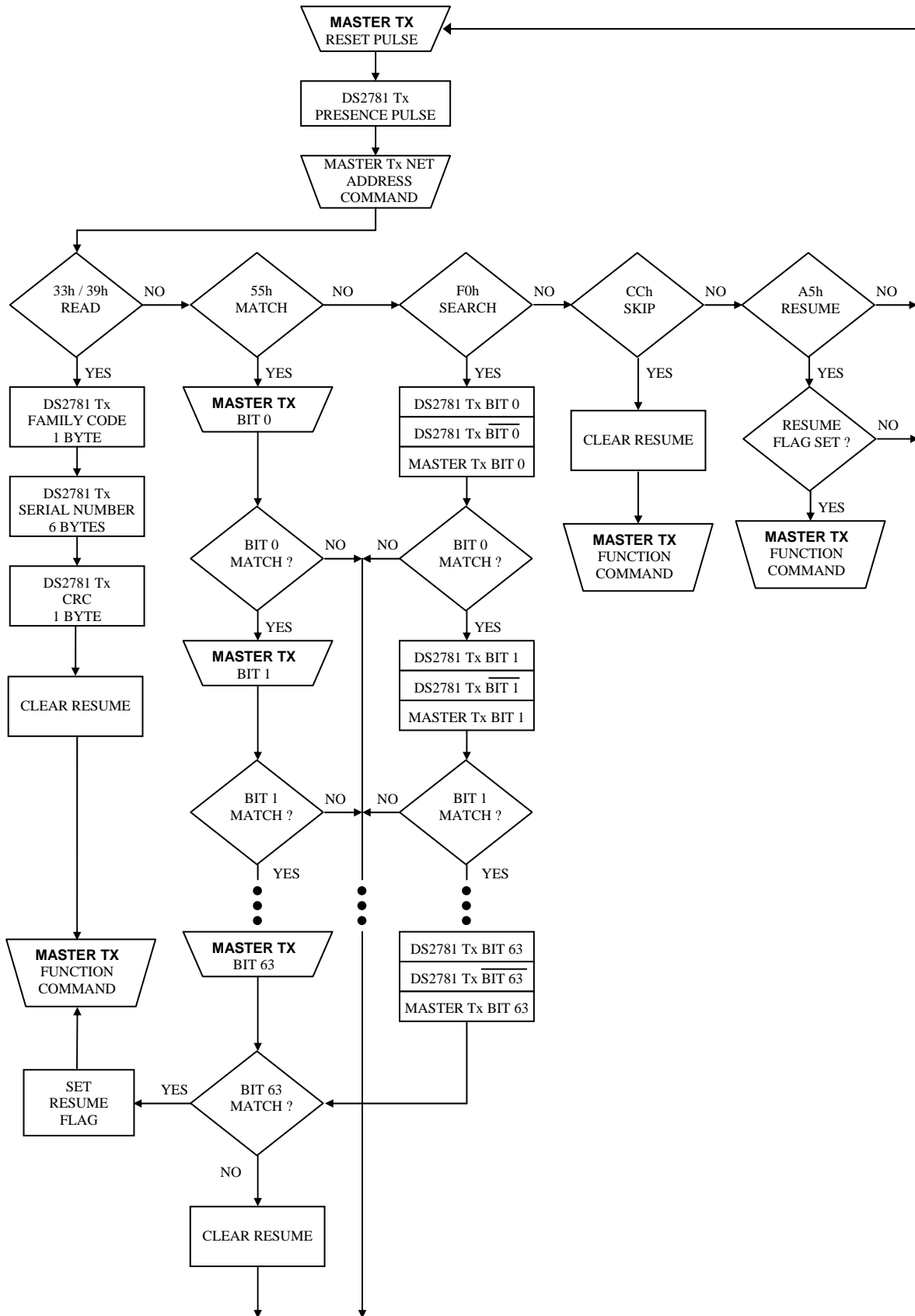
**Recall Data [B8h, XX]:** 该命令可将EEPROM模块中地址为XX的EEPROM单元存储内容恢复到EEPROM映射存储器中。

**Lock [6Ah, XX]:** 该命令锁定 (写保护) 包含存储器地址XX的EEPROM存储器模块。在执行锁定命令之前，必须先将EEPROM寄存器的LOCK位置为1。为了避免无意识地锁定，将LOCK位 (EEPROM寄存器的第6位，地址为1Fh) 置1后，必须立即发送锁定命令才执行锁定操作。如果在锁定命令之前LOCK位为0，或锁定位置为1后没有马上发送锁定命令，则锁定命令不起作用。锁定命令生效后则模块永远锁定，锁定模块再也不能重新写入。

表4. 功能命令

COMMAND	DESCRIPTION	COMMAND PROTOCOL	BUS STATE AFTER COMMAND PROTOCOL	BUS DATA
Read Data	Reads data from memory starting at address XX	69h, XX	Master Rx	Up to 256 bytes of data
Write Data	Writes data to memory starting at address XX	6Ch, XX	Master Tx	Up to 256 bytes of data
Copy Data	Copies shadow RAM data to EEPROM block containing address XX	48h, XX	Master Reset	None
Recall Data	Recalls EEPROM block containing address XX to RAM	B8h, XX	Master Reset	None
Lock	Permanently locks the block of EEPROM containing address XX	6Ah, XX	Master Reset	None

图 21. 网络地址命令流程图

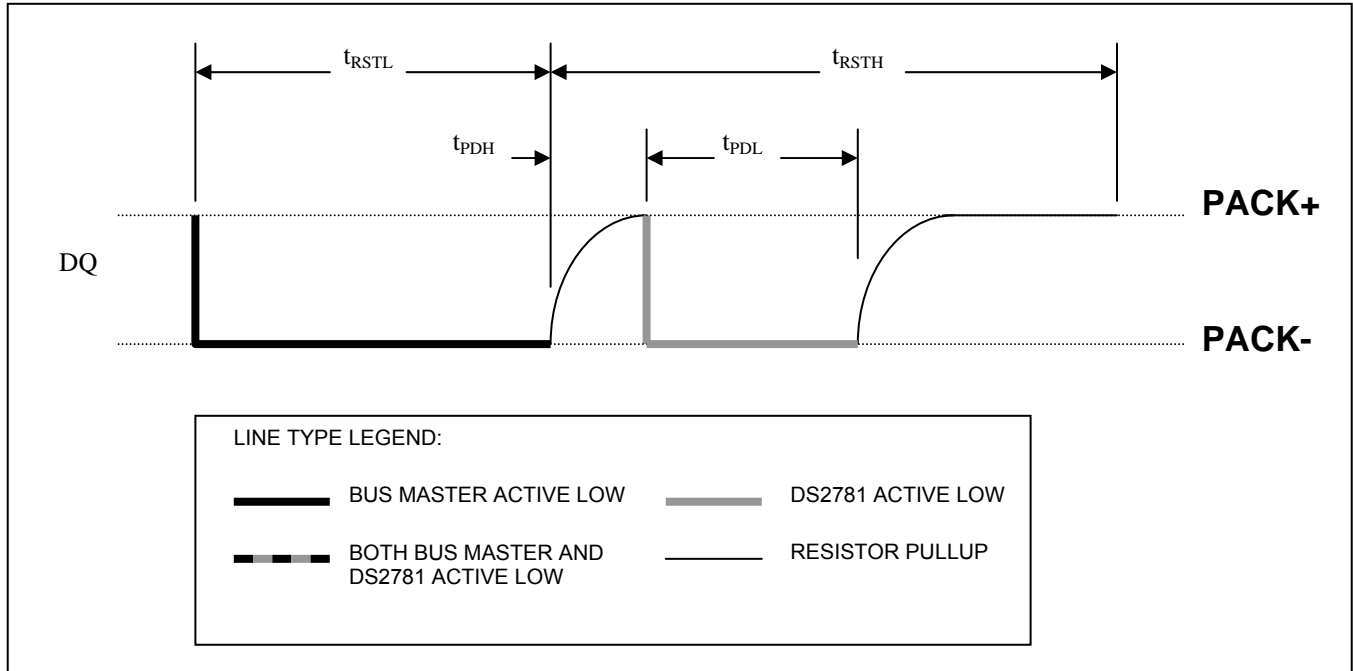


## 1-Wire信令

1-Wire总线需要严格的信令协议来保证数据的完整性。DS2781使用以下四种信令协议：初始化过程（复位脉冲和随后的在线应答脉冲）、写0、写1，以及读数据。除了在线应答脉冲以外，所有其他信令均由总线主机发出。

与DS2781的任何通信都必须从初始化过程开始，如图22所示。复位脉冲之后的在线应答脉冲表明DS2781已经准备好接收网络地址命令。总线主机发出 (Tx) 持续 $t_{RSTL}$ 时间的复位脉冲。然后总线主机释放数据线，进入接收模式 (Rx)。然后由上拉电阻将1-Wire总线拉至高电平。DS2781检测到DQ引脚的上升沿后，将等待 $t_{PDH}$ 时间，然后发出持续时间为 $t_{PDL}$ 的在线应答脉冲。

图22. 1-Wire初始化过程



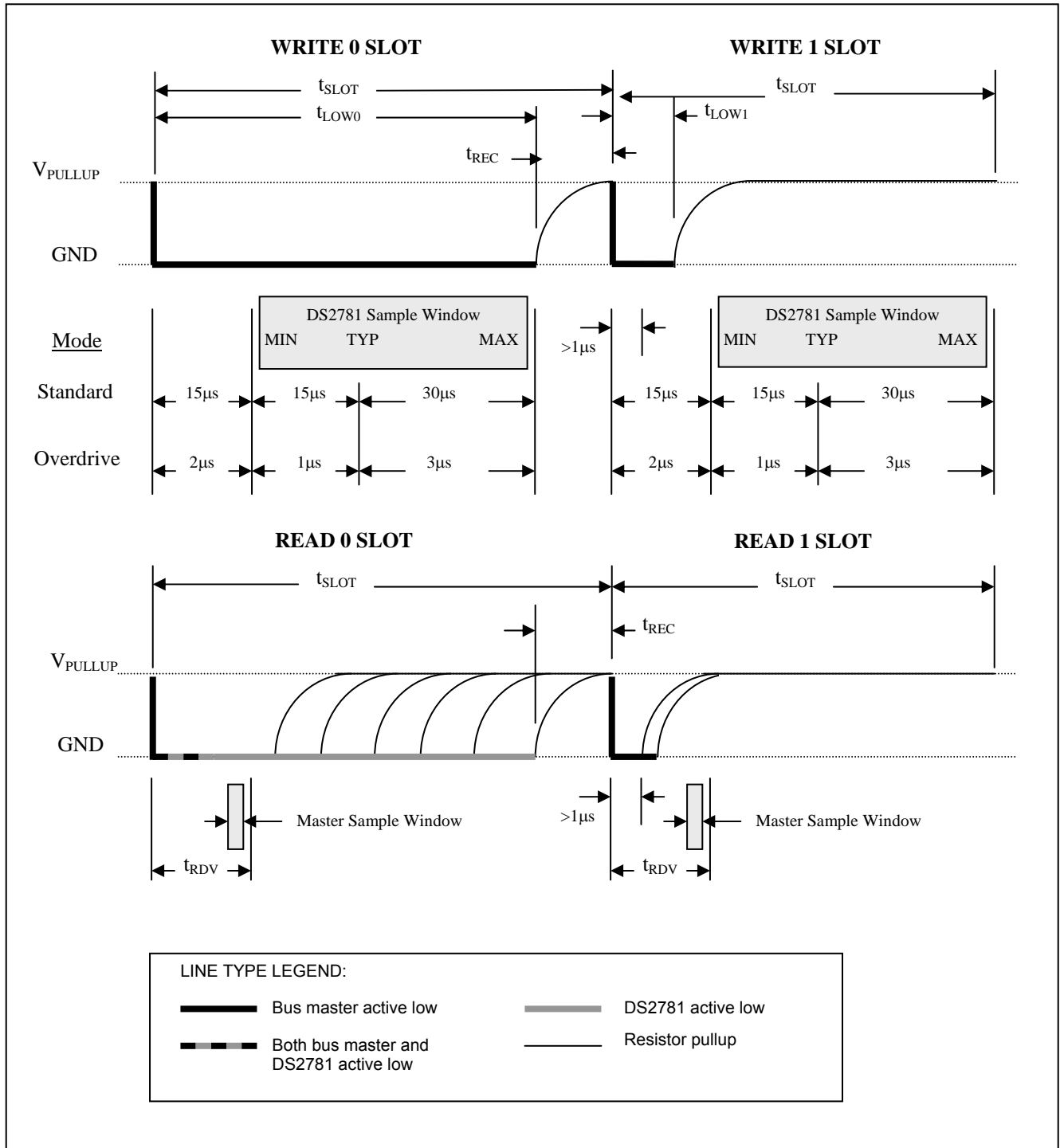
## 写时隙

当总线主机将1-Wire总线从逻辑高（无效）电平拉至逻辑低电平时，开始写时隙。写时隙有两种类型：写1和写0。所有写时隙必须保持 $t_{SLOT}$ 的时间，并且两个写时隙之间需要 $1\mu s$ 的最小恢复时间 ( $t_{REC}$ )。DS2781将在线路下降沿之后的 $15\mu s$ 至 $60\mu s$ 之间（高速模式下在 $2\mu s$ 至 $6\mu s$ 之间）采样1-Wire总线数据。如果采样时总线为高电平，则为写1时隙。如果采样时总线为低电平，则为写0时隙（参见图23）。总线主机若要产生写1时隙，必须先拉低总线，然后释放，在写时隙开始后的 $15\mu s$ （高速模式下为 $2\mu s$ ）之内将总线拉至高电平。主机若要产生写0时隙，必须拉低总线，并在写时隙持续时间内保持为低电平。

## 读时隙

当总线主机将1-Wire总线从逻辑高电平拉至逻辑低电平时，开始读时隙。总线主机必须使总线为低电平的时间至少持续 $1\mu s$ ，然后再释放总线，使DS2781输出有效数据。总线主机在读时隙开始后的 $t_{RDV}$ 时间内采样数据。DS2781在读时隙结束时释放总线，允许外部上拉电阻将其拉至高电平。所有读时隙必须持续 $t_{SLOT}$ ，并且在两次读时隙之间需要 $1\mu s$ 的最小恢复时间 ( $t_{REC}$ )。详细信息参见图23。

图 23. 1-Wire 写时隙和读时隙



本文是Maxim正式英文资料的译文，Maxim不对翻译中存在的差异或由此产生的错误负责。请注意译文中可能存在文字组织或翻译错误，如需确认任何词语的准确性，请参考Maxim提供的英文版资料。

索取免费样品和最新版的数据资料，请访问Maxim的主页：[www.maxim-ic.com.cn](http://www.maxim-ic.com.cn)。