

DS2784

独立式单节电池电量计 IC，带有
Li+ 电池保护和 SHA-1 认证

概述

DS2784 采用 2.5V 至 4.6V 电源工作，可集成在单节锂离子(Li+)或 Li+ 聚合物电池的电池包中。剩余容量以 mAh 以及百分数给出。内建的 Li+ 保护功能以及基于 SHA-1 的质询-响应认证可确保安全工作。

器件通过精密测量电压、温度和电流，结合电池特性和应用参数一起估算容量。可用容量寄存器给出在当前温度和放电率下电量的保守估算值。

除了用于电池补偿和应用参数的非易失性(NV)存储器外，器件还提供 16 字节 EEPROM 存储器专用于保存主机系统和/或电池包制造商信息。这可简化电池批次和日期跟踪，或用于系统或电池使用状态的 NV 保存。

1-Wire®接口提供 16kbps 或 143kbps 的串行通信，用于访问数据寄存器、控制寄存器和用户存储器。此外，在基于散列的信息认证码(HMAC)验证协议中，1-Wire 通信可采用 SHA-1 作为散列算法的质询-响应包认证。

应用

智能电话/PDA

数码相机与摄像机

无绳 VOIP 电话

便携式 GPS 导航

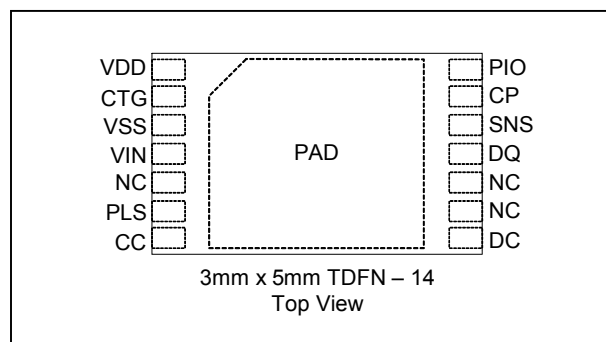
为清晰起见，模式和命令用大写字母表示。

1-Wire 是 Dallas Semiconductor 的注册商标，Dallas Semiconductor 是 Maxim Integrated Products, Inc. 的全资子公司。

特性

- 精密的电压、温度和电流测量系统
- 通过库仑计、放电速率、温度和电池特性估算剩余容量
- 学习过程中估算电池老化特性
- 采用低成本检流电阻
- 可校准增益和温度系数
- Li+ 安全电路—过压、欠压、过流、短路保护
- 可编程过压和过流安全门限
- 采用 SHA-1 算法和 64 位密钥进行认证
- 32 字节参数 EEPROM
- 16 字节用户 EEPROM
- 64 位唯一 ID 和 Dallas 1-Wire 接口
- 纤小、无铅、14 引脚 TDFN 封装便于集成在棱型电池包内

引脚配置



订购信息

PART	TEMP RANGE	TOP MARK	PIN PACKAGE
DS2784G+	-40°C to +85°C	DS2784	14 TDFN (3mm x 5mm)
DS2784G+T&R	-40°C to +85°C	DS2784	14 TDFN (3mm x 5mm)

+ 表示无铅封装。

T&R = 卷带包装。

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Voltage Range on PLS Pin Relative to V_{SS}	-0.3V to +18V
Voltage Range on CP Pin Relative to V_{SS}	-0.3V to +12V
Voltage Range on DC Pin Relative to V_{SS}	-0.3V to (CP + 0.3V)
Voltage Range on CC Pin Relative to V_{SS}	$V_{DD} - 0.3V$ to CP + 0.3V
Voltage Range on All Other Pins Relative to V_{SS}	-0.3V to +6.0V
Maximum Voltage Range on V_{IN} Pin Relative to V_{DD}	$V_{DD} + 0.3V$
Continuous Sink Current, PIO, DQ	20mA
Continuous Sink Current, CC, DC	10mA
Operating Temperature Range	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-55°C to +125°C
Soldering Temperature (10s)	See IPC/JEDEC J-STD-020

*This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_{DD} = 2.5V$ to $4.6V$, $T_A = -20^\circ C$ 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		4.6	V
Supply Current	I_{DD0}	Sleep mode		1	4	μA
	I_{DD1}	Sleep mode, $V_{DD} = 2.5V$ $0^\circ C$ to $+50^\circ C$		0.4	1.5	
	I_{DD2}	Active mode		85	125	
	I_{DD3}	Active mode during SHA computation		300	500	μA
Temperature Accuracy			-3		+3	$^\circ C$
Temperature Resolution				0.125		
Temperature Range			-128.000		+127.875	
Voltage Accuracy, V_{IN}		$4.0 \leq V_{IN} \leq 4.6$, $V_{IN} \leq V_{DD} + 0.3V$	-30		30	mV
		$2.5 \leq V_{IN} \leq 4.6V$, $V_{IN} \leq V_{DD} + 0.3V$	-50		+50	
Voltage Resolution, V_{IN}				4.88		mV
Voltage Range, V_{IN}			0		4.99	V
Input Resistance, V_{IN}			15			$M\Omega$
Current Resolution				1.56		μV
Current Full Scale			-51.2		+51.2	mV
Current Gain Error			-1		+1	% full scale
Current Offset		(Notes 2, 3, 4)	-15		+25	μV
Accumulated Current Offset		(Notes 2, 3, 4)	-360		0	$\mu Vh/day$
Time Base Error		$0^\circ C \leq T_A \leq +50^\circ C$	-2		+2	%
			-3		+3	
CP Output Voltage	V_{CP}	$I_{CC} + I_{DC} = 0.9\mu A$	8.50	9.25	10.00	V
CP Startup Time	t_{SCP}	CE = 0, DE = 0, $C_{CP} = 0.1\mu F$, Active mode			200	ms
Output High: CC, DC	V_{OHCC} V_{OHDC}	$I_{OH} = -100\mu A$ (Note 5)	$V_{CP} - 0.4$			V
Output Low: CC	V_{OLCC}	$I_{OL} = 100\mu A$			$V_{DD} + 0.1$	V
Output Low: DC	V_{OLDC}	$I_{OL} = 100\mu A$			0.1	V

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
DQ, PIO Voltage Range			-0.3		+5.5	V
DQ, PIO Input-Logic High	V_{IH}		1.5			V
DQ, PIO Input-Logic Low	V_{IL}				0.6	V
DQ, PIO Output-Logic Low	V_{OL}	IOL = 4mA			0.4	V
DQ, PIO Pullup Current	I_{PU}	Sleep mode, $V_{PIN} = V_{DD} - 0.4V$		0.2		μA
DQ, PIO Pulldown Current	I_{PD}	Active mode, $V_{PIN} = 0.4V$		0.2		μA
DQ Input Capacitance	C_{DQ}			50		pF
DQ Sleep Timeout	t_{SLEEP}	DQ < V_{IL}	2		9	s
PIO, DQ Wake Debounce	t_{WDB}	Sleep mode		100		ms
SHA-1 COMPUTATION TIMING						
Computation Time	t_{SHA}				30	ms

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: Protection Circuit

($V_{DD} = 2.5V$ to $4.6V$, $T_A = 0^\circ C$ to $+50^\circ C$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^\circ C$.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Overvoltage Detect	V_{OV}	$V_{OV} = 11000b$	4.457	4.482	4.507	V
		$V_{OV} = 00011b$	4.252	4.277	4.302	
Charge-Enable Voltage	V_{CE}	Relative to V_{OV}	-75	-100	-125	mV
Undervoltage Detect	V_{UV}		2.40	2.45	2.50	V
Overcurrent Detect: Charge	V_{COC}	OC = 11b	-57	-72	-87	mV
		OC = 00b	-15.5	-23.5	-31.5	
Overcurrent Detect: Discharge	V_{DOC}	OC = 11b	76	96	116	mV
		OC = 00b	23.5	35.5	47.5	
Short-Circuit Current Detect	V_{SC}	SC = 1b	240	300	360	mV
		SC = 0b	120	150	180	mV
Overvoltage Delay	t_{OVD}	(Note 6)	425		1150	ms
Undervoltage Delay	t_{UVD}	(Notes 6, 7)	84		680	ms
Overcurrent Delay	t_{OCD}		8	10	12	ms
Short-Circuit Delay	t_{SCD}		80	120	160	μs
Test Threshold	V_{TP}	COC, DOC conditions	0.3	0.8	1.5	V
Test Current	I_{TST}	SC, COC, DOC condition	10	20	40	μA
PLS Pulldown Current	I_{PPD}	Sleep mode	30	200	600	μA
Recovery Current	I_{RC}	VUV condition, max: $V_{PLS} = 15V$, $V_{DD} = 1V$ min: $V_{PLS} = 4.2V$, $V_{DD} = 2V$	2.5	5.0	10.00	mA

EEPROM RELIABILITY SPECIFICATION(V_{DD} = 2.5V to 5.5V, T_A = -20°C to +70°C, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
EEPROM Copy Time	t _{EEC}				10	ms
EEPROM Copy Endurance	N _{EEC}	T _A = +50°C	50,000			cycles

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: 1-Wire Interface, Standard(V_{DD} = 2.5V to 5.5V, T_A = -20°C to +70°C, unless otherwise noted.)

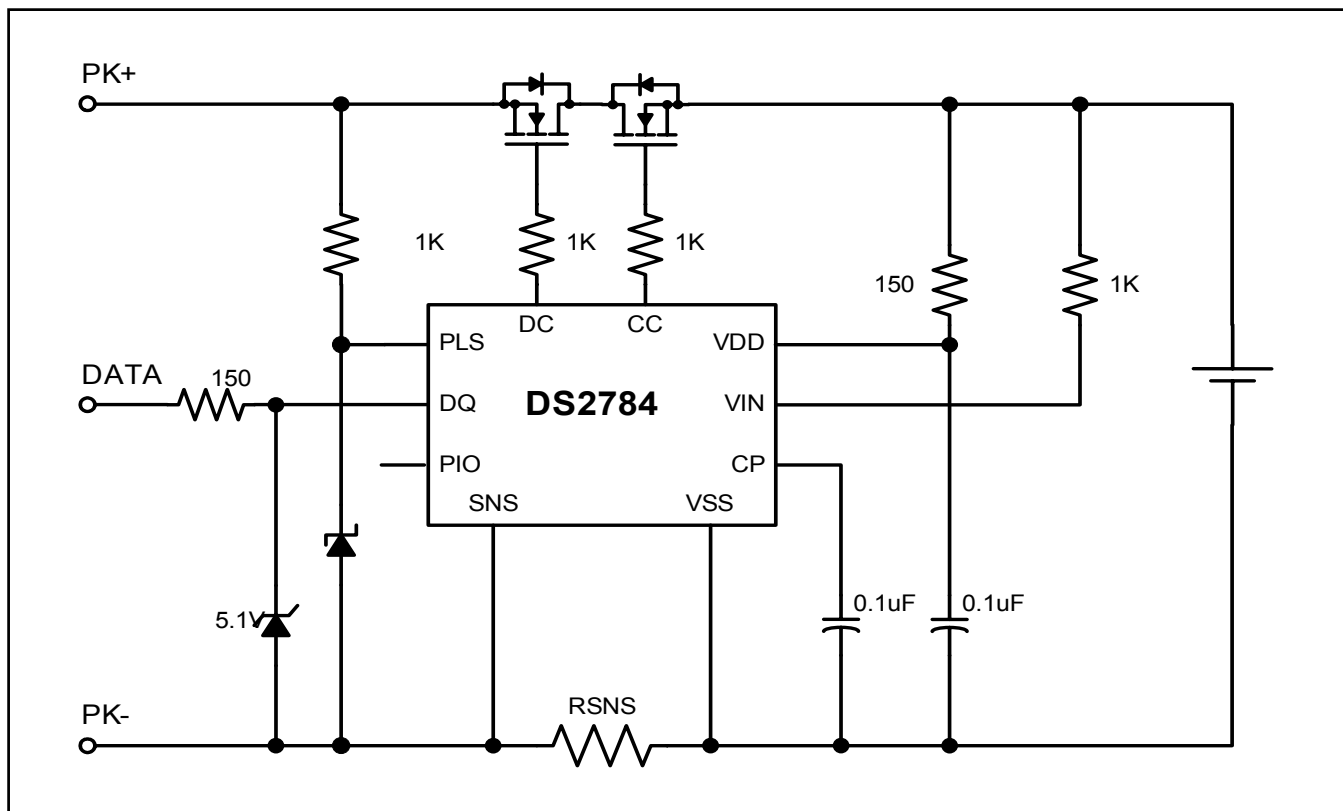
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Time Slot	t _{SLOT}		60		120	μs
Recovery Time	t _{REC}		1			μs
Write-0 Low Time	t _{LOW0}		60		120	μs
Write-1 Low Time	t _{LOW1}		1		15	μs
Read-Data Valid	t _{RDV}				15	μs
Reset-Time High	t _{RSTH}		480			μs
Reset-Time Low	t _{RSTL}		480		960	μs
Presence-Detect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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: 1-Wire Interface, Overdrive(V_{DD} = 2.5V to 5.5V, T_A = -20°C to +70°C.)

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

Note 1: All voltages are referenced to V_{SS}.**Note 2:** Factory-calibrated accuracy. Higher accuracy can be achieved by in-system calibration by the user.**Note 3:** Accumulation bias and offset bias registers set to 00h. NBEN bit set to 0.**Note 4:** Parameters guaranteed by design.**Note 5:** CP pin externally driven to 10V.**Note 6:** Overvoltage and undervoltage delays (t_{OV}, t_{UV}) are reduced to 0s if the OV or UV condition is detected within 100ms of entering Active mode.**Note 7:** t_{UV} MIN determined by stepping the voltage on V_{IN} from V_{UV} + 250mV to V_{UV} - 250mV.

典型工作电路



引脚说明

引脚	名称	功能
1	V _{DD}	电源输入。芯片电源输入。通过 0.1μF 电容旁路到 V _{SS} 。
2	CTG	接地。
3	V _{SS}	器件接地端。芯片地与电池侧检流电阻输入。
4	V _{IN}	电池电压检测输入。通过去耦网络连接至电池正极。
5, 9, 10	N.C.	无连接。
6	PLS	电池包正端检测输入。用来检测是否发生短路、放电过流以及充电过流。
7	CC	充电控制。充电 FET 控制输出。
8	DC	放电控制。放电 FET 控制输出。
11	DQ	数据输入/输出。串行数据 I/O，带有弱下拉，用于检测电池是否断开，还可配置为唤醒输入。
12	SNS	检流电阻连接端，电池包负端与电池侧检流电阻的输入端。
13	CP	电荷泵输出，通过 0.1μF 电容旁路到 V _{SS} 。
14	PIO	可编程 I/O 引脚，可以配置为唤醒输入。
PAD	PAD	裸焊盘，接 V _{SS} 或悬空。

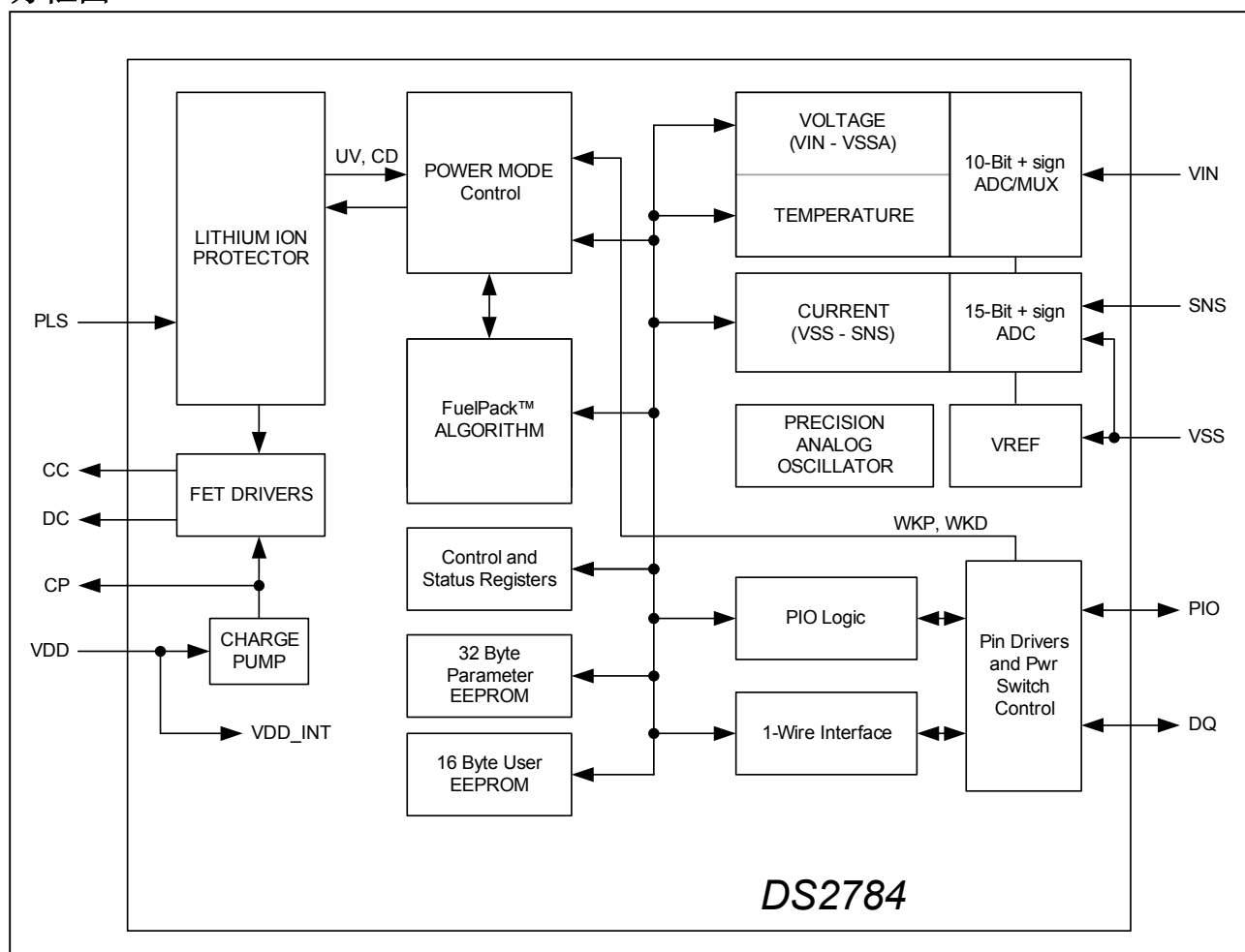
详细说明

DS2784 是精确的电量计，带有 Li+ 电池保护和基于 SHA-1 令牌认证。该电量计可以准确估算剩余电量并报告实时的电压、温度和电流测量数据。器件根据不同负载和温度以及系统参数下电池性能的分段线性模型估算满充电量和空电量。该算法的参数是用户可编程的，可在电池包中修改。器件定期保存重要的电量与老化数据至 EEPROM 中，以防止由于短路或深度放电而出现电源掉电。

Li+ 电池保护功能确保器件安全，高效的工作。nFET 保护开关由 9V 电荷泵驱动，该电荷泵能在电池电压降低时提高栅极驱动。高边拓扑可保护串行通信的接地通路，同时消除了低边配置时电量计 IC 位于保护 FET 内部时形成的寄生电荷路径。过压、过流，短路电流的门限是用户可编程的，可针对各电池及不同应用方便定制。

32 位 SHA-1 引擎带 64 位密钥和 64 位质询字，可抵挡穷举和其他攻击，实现金融级 HMAC 的安全性。供应链中的管理密钥质询用于计算下一个密钥。唯一序列号或 ROM ID 可以为每个电池分配一个独一无二的密钥。

方框图



供电模式

DS2784 有两种供电模式: 工作模式(Active)和休眠模式(Sleep)。初次上电时, DS2784 默认处于工作模式。该模式下, DS2784 执行测量功能并持续更新电量估算寄存器。保护电路监测电池电压及电流, 防止出现故障。处于安全工作时, 保护FET栅极驱动器使能。工作模式下, SHA-1 认证功能有效。执行SHA-1 计算时, 电源电流增加至 I_{DD3} 并维持 t_{SHA} 。休眠模式下, DS2784 不进行测量及电量估算, 因此可以节省功耗, 但仍然保存寄存器的内容。休眠模式下, FET的栅极驱动不工作。SHA-1 认证特性不起作用。

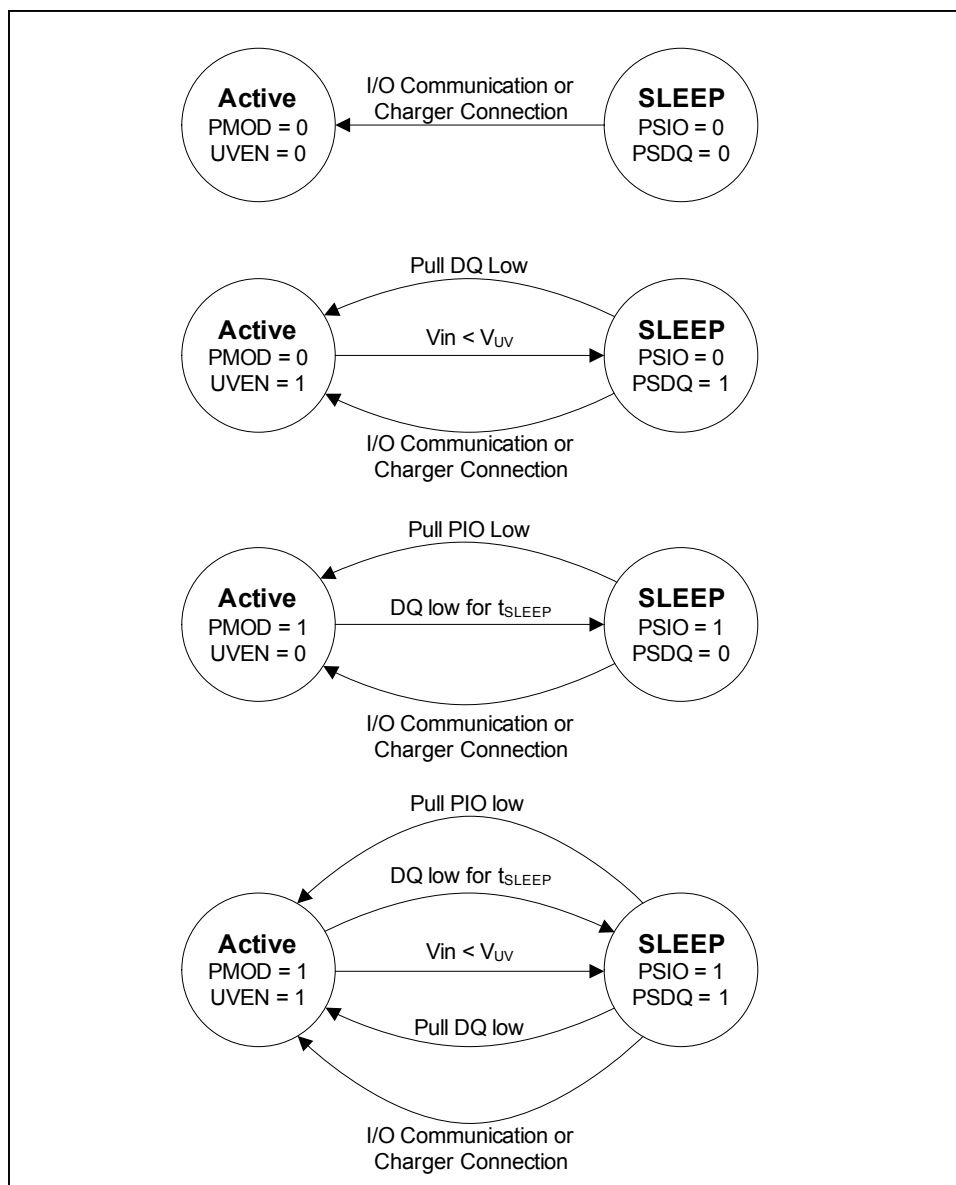
器件会在两种情况下进入休眠状态: 总线为低电平及欠压。两种情况均通过一个使能位进入休眠模式。若连接充电器($V_{PLS} > V_{DD} + 50mV$)或检测到SNS和 V_{SS} 间的充电电流为 $1.6mV/R_{SNS}$, 器件将不会进入休眠状态。连接充电器、 $V_{IN} \geq V_{UV}$ 或DQ电平由低变高时, DS2784 将脱离休眠模式。

总线为低时, 即DQ引脚为低电平的时间持续 t_{SLEEP} , 表示电池包断开连接或者系统关闭, 因为此时 1-Wire总线上不存在上拉电压 V_{PULLUP} 。总线为低时, 应将供电模式位(PMOD)置 1, 才能进入休眠模式。当总线为低时, 器件将进入休眠模式, 此时器件认为没有充电或放电电流流过, 因此不再需要进行库仑计数。

第二种进入休眠模式的条件是欠压状态, 这时DS2784 提供电流从而降低了电池放电, 并防止电池过放电。如果 V_{IN} 电压低于 V_{UV} (典型值 2.45V)且欠压使能(UVEN)位置 1, DS2784 将进入休眠状态。1-Wire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_{SLEEP} 。DQ逻辑状态变化时, DS2784 从UVEN休眠模式变为工作模式。

DS2784 带有“电源开关”, 当主机系统断电时, 可以唤醒器件并启动保护 FET。PIO 或 DQ 引脚处的简易的干触点开关可以用来唤醒电池包。电源开关功能由控制寄存器内的 PSPIO 和 PSDQ 配置位使能。当 PSPIO 或 PSDQ 位置 1 且处于休眠状态时, PIO 和 DQ 引脚弱上拉, 此时器件将随时检测由高到低的跳变。如果将一个处于休眠状态的电池接入系统, 100ms 去抖可以滤除由此产生的毛刺。

图 1. 休眠模式状态图



控制寄存器格式

控制寄存器中的所有位都是可读可写的。上电时控制寄存器从参数 **EEPROM** 中调用数据。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。

ADDRESS 60h

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
NBEN	UVEN	PMOD	RNAOP	0	PSPIO	PSDQ	X

NBEN — 负电流屏蔽使能。NBEN 为 1 时使能 25 μ V 的负电流屏蔽，该位为 0 时禁止负电流屏蔽。上电时默认 NBEN = 0。

UVEN — 欠压使能。UVEN 为 1 时，若电压寄存器值小于 V_{UV} ，且 DQ 的逻辑状态（高电平或低电平）在 t_{SLEEP} 内保持稳定，则 DS2784 进入休眠模式。欠压状态下，UVEN 为 0 时禁止过渡到休眠模式。

PMOD — 电源模式使能位。PMOD 为 1 时，若 DQ 为低电平的持续时间达到 t_{SLEEP} ，则 DS2784 进入休眠模式。PMOD 为 0 时，将禁止 DQ 过渡到休眠模式。

RNAOP — 读网络地址代码。RNAOP 为 0 时，选择 33h 作为 Read Net Address 命令的操作码。RNAOP 为 1 时，选择 39h 作为 Read Net Address 命令的代码。

0 — 保留位，正常工作时必须设置为 0。

PSPIO — 电源开关 PIO 使能。PSPIO 为 1 时，允许 PIO 引脚作为电源开关输入。PSPIO 为 0 时，禁止 PIO 引脚的电源开关输入功能。

PSDQ — 电源开关 DQ 使能。PSDQ 为 1 时，允许 DQ 引脚作为电源开关输入。PSDQ 为 0 时，禁止 DQ 引脚的电源开关输入功能。

X — 保留位。

Li+ 电池保护电路

在工作模式下，DS2784 持续监测 V_{IN} 和 V_{PLS} ，以防止电池过压(过充电)、欠压(过放电)，以及过充和过放电流(过流，短路)。启动保护电路的条件、DS2784 的响应和从保护状态释放 DS2784 的门限如表 1 所列。

表 1. Li+ 电池保护条件和 DS2784 的响应

CONDITION	ACTIVATION			RELEASE THRESHOLD
	THRESHOLD	DELAY	RESPONSE ⁽²⁾	
Overvoltage	$V_{\text{IN}} > V_{\text{OV}}$	t_{OVD}	CC Off	$V_{\text{IN}} < V_{\text{CE}}$ or ($V_{\text{SNS}} > 1.2\text{mV}$ and $V_{\text{IN}} < V_{\text{OV}}$)
Undervoltage	$V_{\text{IN}} < V_{\text{UV}}$	t_{UVD}	CC Off, DC Off, Sleep Mode	$V_{\text{PLS}} > V_{\text{IN}}^{(3)}$ (charger connected)
Overcurrent, Charge	$V_{\text{SNS}} < V_{\text{COC}}$	t_{OCD}	CC Off, DC Off	$V_{\text{PLS}} < V_{\text{DD}} - V_{\text{TP}}^{(4)}$ (charger removed)
Overcurrent, Discharge	$V_{\text{SNS}} > V_{\text{DOC}}$	t_{OCD}	DC Off	$V_{\text{PLS}} > V_{\text{DD}} - V_{\text{TP}}^{(5)}$ (load removed)
Short Circuit	$V_{\text{SNS}} > V_{\text{SC}}$	t_{SCD}	DC Off	$V_{\text{PLS}} > V_{\text{DD}} - V_{\text{TP}}^{(5)}$ (load removed)

注 1: 所有电压都是以 V_{SS} 为参考。

注 2: CC 关断响应时，CC 引脚驱动至 $V_{\text{OLCC}} (V_{\text{DD}})$ 。DC 关断响应时，DC 引脚驱动至 $V_{\text{OLDC}} (V_{\text{SS}})$ 。

注 3: 接充电器时若 $V_{\text{IN}} < V_{\text{UV}}$ ，则要等到 $V_{\text{IN}} \geq V_{\text{UV}}$ 才脱离欠压状态。恢复充电路径为电池安全充电提供了一个内部电流限制 (I_{RC})。

注 4: 测试电流 I_{TST} 由 PLS 流向 V_{SS} (下拉 PLS)。

注 5: 测试电流 I_{TST} 由 V_{DD} 流向 PLS (上拉 PLS)。

过压: 如果 V_{IN} 电压超过过压门限 (V_{OV})，且持续时间超过过压延迟时间 (t_{OVD})，则 CC 引脚驱动为低，从而关闭外部充电 FET，并将保护寄存器的 OV 标记置 1。过压期间，DC 输出保持为高，从而允许放电。当 V_{IN} 下降至充电使能门限 V_{CE} 时，DS2784 驱动 CC 为高，重新使能充电 FET。如果检测到 $V_{\text{SNS}} \geq 1.2\text{mV}$ ，并且 $V_{\text{IN}} < V_{\text{OV}}$ ，则在 $V_{\text{IN}} < V_{\text{CE}}$ 之前，DS2784 将驱动 CC 为高。

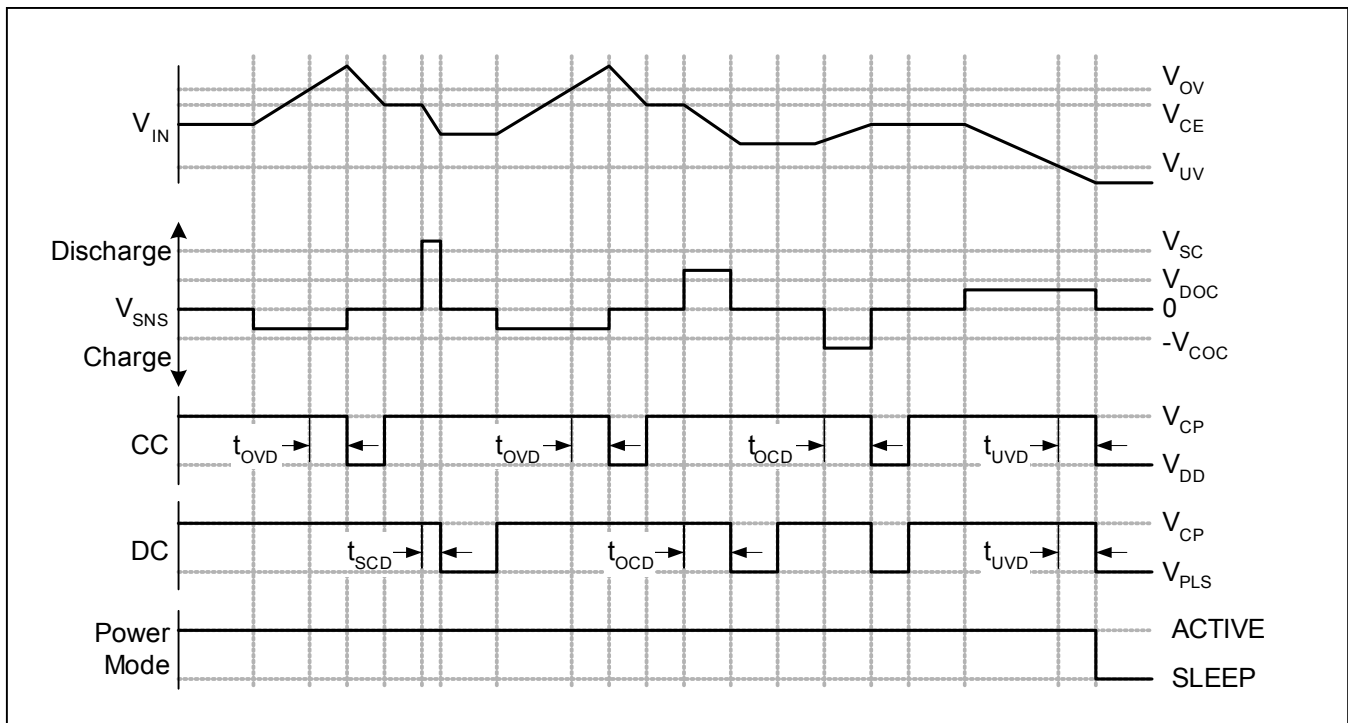
欠压: 如果电池电压 V_{IN} 跌落至低于欠压门限 (V_{UV})，且持续时间大于欠压延迟时间 (t_{UVD})，则 DS2784 关闭充电和放电 FET，并将保护寄存器的 UV 标记置 1。UVEN 为 1 时，DS2784 也进入休眠模式。DS2784 提供 PLS 和 V_{DD} 之间的限流恢复充电通道 (I_{RC})，逐渐对深度放电的电池进行充电。当 $0 \leq V_{\text{DD}} < (V_{\text{OV}} - 100\text{mV})$ ，恢复充电路径使能。一旦 V_{DD} 达到 2.45V (典型值)，DS2784 返回正常工作模式并开始监测 V_{IN} 。一旦 $V_{\text{IN}} > V_{\text{UV}}$ ，DS2784 从休眠状态过渡为工作状态，同时 CC 和 DC 输出被驱动为高以开启充电和放电 FET。

充电过流(COC): 充电电流会使 V_{SNS} 出现负压(以 V_{SS} 为参考)。如果 V_{SNS} 低于充电过流门限(V_{COC})，且持续时间大于过流延迟时间(t_{OCD})，则DS2784 关闭两个外部FET，并将保护寄存器中的COC位置 1。除非PLS引脚电压跌落至 $V_{DD} - V_{TP}$ 以下，否则充电电流通路不会恢复。DS2784 可提供由PLS流向 V_{SS} 的下拉电流(I_{TST})，可拉低PLS用于检测不正常的充电电流源是否已断开。

放电过流(DOC): 放电电流会使 V_{SNS} 出现正压(以 V_{SS} 为参考)。如果 V_{SNS} 高于过流门限(V_{DOC})，并且持续时间大于 t_{OCD} ，DS2784 关闭外部放电FET，并将保护寄存器中的DOC位置 1。除非PLS上的电压上升至 $V_{DD} - V_{TP}$ ，否则放电电流通路不会恢复。DS2784 提供由 V_{DD} 流向PLS的测试电流(I_{TST})，可上拉PLS用于检测不正常的低阻抗负载是否断开。

短路: 如果 V_{SNS} 高于短路门限 V_{SC} ，且持续时间大于短路延迟时间(t_{SCD})，则DS2784 关闭外部放电FET，并将保护寄存器的DOC位置 1。除非PLS上的电压上升至 $V_{DD} - V_{TP}$ ，否则放电电流通路不会恢复。DS2784 提供了由 V_{DD} 流向PLS的测试电流(I_{TST})，可上拉PLS用于检测短路电流是否断开。

图 2. Li+ 电池保护电路实例波形



结论: 上述所有保护状态对 CC 和 DC 输出产生的影响表现为逻辑与。

$$CC = \overline{(\text{Overvoltage})} \text{ AND } \overline{(\text{Undervoltage})} \text{ AND } \overline{(\text{Overcurrent, Charge Direction})} \\ \text{AND } (\text{Protection Register Bit CE})$$

$$DC = \overline{(\text{Undervoltage})} \text{ AND } \overline{(\text{Overcurrent, Either Direction})} \text{ AND } \overline{(\text{Short Circuit})} \\ \text{AND } (\text{Protection Register Bit DE})$$

保护寄存器格式

保护寄存器的 2 至 7 位用来报告 Li+ 电池保护电路检测到的事件。0 至 1 位用来禁止充电和放电 FET 栅极驱动器。2 至 7 位仅可由内部硬件设置。2 至 3 位仅由硬件清零。向寄存器的 4 至 7 写 0 时可将相应位清零。对 4 至 7 位写 1 对寄存器没有影响。上电时 0 至 1 位置 1，从休眠模式过渡为工作模式。在工作模式下，这些位可以被清零以禁止任意一个 FET 的栅极驱动或两个都禁止。如果没有保护故障，将这些位置 1 只开启 FET。

ADDRESS 00h

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
OV	UV	COC	DOC	CC	DC	CE	DE

OV — 过压标记。OV 置为 1 表明检测到了过压故障。此时电压 V_{IN} 高于 V_{OV} 且持续 t_{OV} 。该位写 0、上电复位清零或变为休眠模式前，OV 将保持为 1。

UV — 欠压标记。UV 是状态寄存器中 UVF 标记的只读镜像。UVF 为 1 表明 $V_{IN} < V_{UV}$ 。清零 UV 和 UVF 时，必须将 UVF 位写 0。

COC — 充电过流标记。COC 为 1 表明在充电期间发生了过流故障。检流电阻电压高于 V_{COC} 且持续 t_{OC} 。在写为 0、由上电复位清零或变为休眠模式前，COC 将保持为 1。

DOC — 放电过流标记。DOC 为 1 表明在放电期间发生了过流故障。检流电阻电压高于 V_{DOC} 且持续 t_{OC} 。在写为 0、由上电复位清零或变为休眠模式前 DOC 将保持为 1。

CC — 充电控制标记。CC 表明 CC 引脚驱动器的逻辑状态。CC 为 1 表明 CC 引脚为逻辑高电平。CC 清零表明 CC 引脚为低电平。CC 标记是只读的。

DC — 放电控制标记。DC 表明 DC 引脚驱动器的逻辑状态。DC 为 1 表明 DC 引脚为逻辑高电平。DC 清零表明 DC 引脚为低电平。DC 标记是只读的。

CE — 充电使能位。CE 为 1 时允许 CC 引脚驱动充电 FET 至导通状态。CE 作为保护电路的使能输入。如果满足安全条件且 CE 为 1，CC 引脚电压为 V_{CP} 。如果 CE 清零，CC 引脚为低以禁止充电 FET。

DE — 放电使能位。DE 为 1 时允许 DC 引脚驱动放电 FET 至导通状态。DE 作为保护电路的使能输入。如果满足安全条件且 DE 为 1，DC 引脚电压为 V_{CP} 。如果 DE 清零，DC 引脚为低以禁止放电 FET。

保护门限寄存器格式

8 位门限寄存器用来设置保护电路的过压门限、充电过流门限、放电过流门限及短路门限。

ADDRESS 7Fh

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
VOV4	VOV3	VOV2	VOV1	VOV0	SC0	OC1	OC0

表 2. VOV 门限

VOV BIT FIELD	V _{OV}	VOV BIT FIELD	V _{OV}
0 0 0 0 0	4.248	1 0 0 0 0	4.404
0 0 0 0 1	4.258	1 0 0 0 1	4.414
0 0 0 1 0	4.268	1 0 0 1 0	4.424
0 0 0 1 1	4.277	1 0 0 1 1	4.434
0 0 1 0 0	4.287	1 0 1 0 0	4.443
0 0 1 0 1	4.297	1 0 1 0 1	4.453
0 0 1 1 0	4.307	1 0 1 1 0	4.463
0 0 1 1 1	4.316	1 0 1 1 1	4.473
0 1 0 0 0	4.326	1 1 0 0 0	4.482
0 1 0 0 1	4.336	1 1 0 0 1	4.492
0 1 0 1 0	4.346	1 1 0 1 0	4.502
0 1 0 1 1	4.356	1 1 0 1 1	4.512
0 1 1 0 0	4.365	1 1 1 0 0	4.522
0 1 1 0 1	4.375	1 1 1 0 1	4.531
0 1 1 1 0	4.385	1 1 1 1 0	4.541
0 1 1 1 1	4.395	1 1 1 1 1	4.551

表 3. COC, DOC 门限

OC[1:0] BIT FIELD	V _{COC} (mV)	V _{DOC} (mV)
0 0	-23.5	35.5
0 1	-36	48
1 0	-48	72
1 1	-72	96

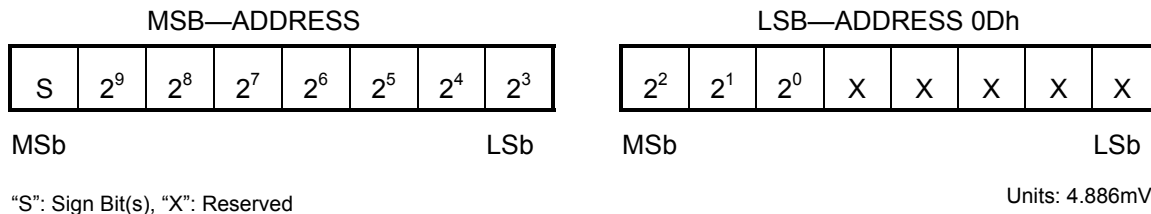
表 4. SC 门限

SC0 BIT FIELD	V _{SC} (mV)
0	150
1	300

电压测量

DS2784 每隔 440ms 测量引脚 V_{IN} 和 V_{SS} 之间的电压，范围为 0 至 4.99V，分辨率为 4.88mV。电压寄存器采用二进制补码格式，每隔 440ms 更新一次，电压高于最大寄存器值时，报告最大值。电压低于最小寄存器值时，报告最小值。

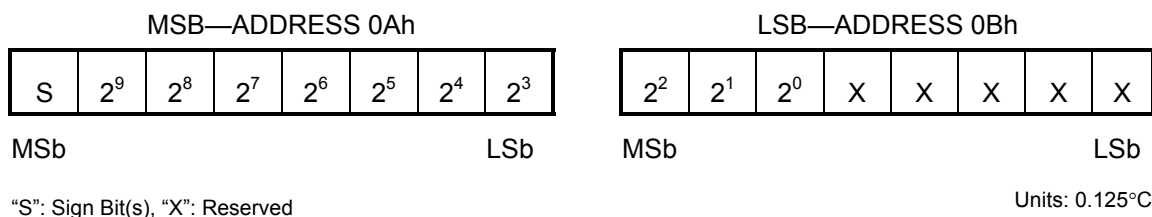
电压寄存器格式



温度测量

DS2784 采用内置温度传感器测量电池温度，分辨率为 0.125°C 。温度测量结果以二进制补码形式存放在温度寄存器中，每 440ms 更新一次。

温度寄存器格式

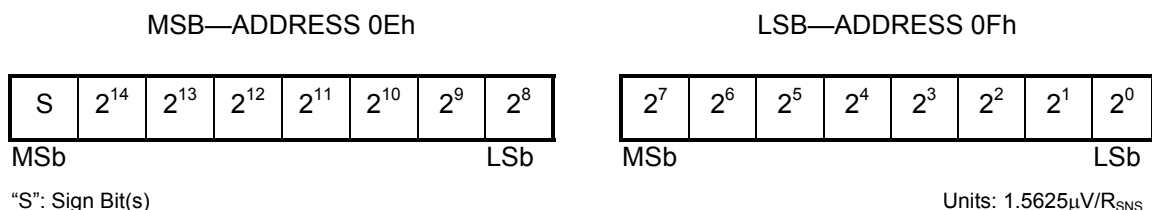


注： 温度和电池电压(V_{IN})采用同一ADC测量的。因此，测量值是 220ms 的平均值，每 440ms 更新一次。

电流测量

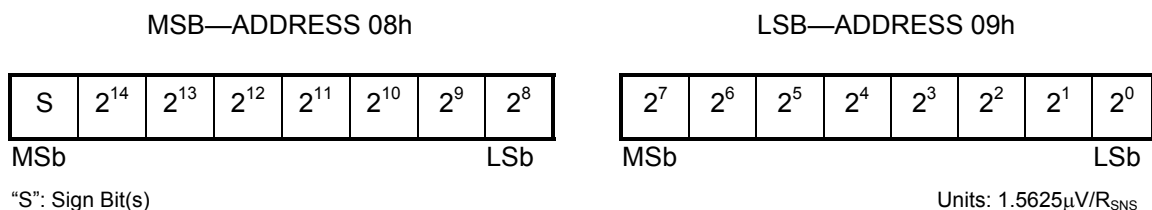
DS2784 通过测量低阻值电流检测电阻 R_{SNS} 两端的压降来持续检测流入和流出电池的电流。 SNS 和 V_{SS} 间的电压检测范围为 $\pm 51.2\text{mV}$ 。只要持续信号电平(整个转换周期内的平均值)不超过 $\pm 51.2\text{mV}$ ，则输入可线性转换的峰值信号幅度高达 102.4mV 。ADC 以 18.6kHz 速率对输入进行差分采样，并在每个转换周期(3.52s)结束时更新电流寄存器。高于寄存器最大值的充电电流以最大值 7FFFh 表示，低于寄存器最小值的放电电流以最小值 8000h 表示。

电流寄存器格式



平均电流寄存器给出前 28s 内的平均电流值。寄存器数值采用二进制补码形式，更新间隔 28s，它是电流寄存器前面 8 个更新值的平均值。

平均电流寄存器格式



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 不再测量检流电阻的信号。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 $1/1024$ 。

电流偏置

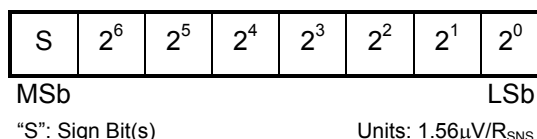
电流偏置(COB)寄存器允许给原始电流测量值加一个可调节的偏置。原始电流测量结果加上 COB 值作为电流测量结果存入电流寄存器，该结果用于电流累计。COB 可用于校准静态失调误差，或人工修正电流测量结果以及电流累计值。

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 $1.56\mu\text{V}$ 的步长进行设置，设置范围在 $+198.1\mu\text{V}$ 至 $-199.7\mu\text{V}$ 之间。COB 的值以二进制补码形式存储在 EEPROM 中，上电时必须从 EEPROM 载入。工厂默认值为 00h。

CAB 和 COB 间的区别在于 CAB 不受电流屏蔽的制约。如果偏移是由 COB 引起的， $100\mu\text{V}$ 至 $-25\mu\text{V}$ 的偏移电流不会累积。如果偏移是由 CAB 引起的， $100\mu\text{V}$ 至 $-25\mu\text{V}$ 的偏移电流会累积。

电流偏置寄存器格式

ADDRESS 7Bh



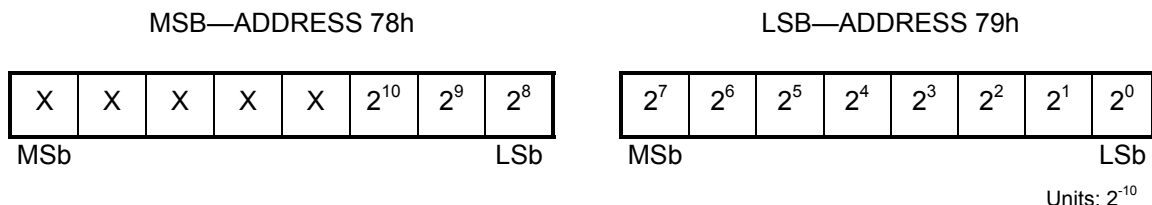
电流屏蔽

在电流测量结果被累计到 ACR 之前，利用电流屏蔽特性可以对其进行修改。当电流测量值(原始电流值 + COBR)进入两个定义的范围之一时，启用电流屏蔽功能。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。充电电流屏蔽功能始终是使能的，但是放电电流屏蔽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。

电流测量校准

DS2784 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 能够校准外部检流电阻标称值的误差, 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, 以确保电流测量的精度。器件出厂时, 增益校准值被同时存储在参数 EEPROM 模块内的两个位置, 分别是可编程的 RSGAIN 以及只读存储区 FRSGAIN。RSGAIN 决定了电流测量所需的增益。FRSGAIN 值仅用来存储工厂校准值, 不能用于校准电流测量。16 位 FRSGAIN 值可从地址 B0h 和 B1h 读取。

电流检测增益寄存器格式

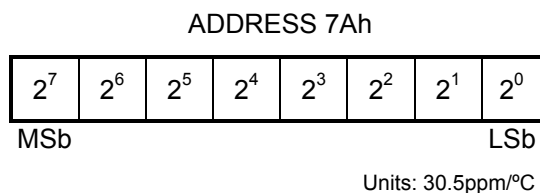


检流电阻温度补偿

DS2784 能够对检流电阻进行温度补偿, 以对检流电阻的温度系数进行校准。DS2784 的检流电阻温度系数 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_{SS} 端, 从而保证最佳的温度补偿效果。这实际上优化电阻与片上温度传感器之间的热交换。

检流电阻温度补偿寄存器格式



电流累加

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)中。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, 分辨率为 6.25μVh。附加寄存器保留了每次累计结果的小数部分, 以消除截断误差。结果的小数部分用户是不能访问的。充电电流的累加值超过最大寄存器值时, 则报告最大寄存器值; 相反放电电流累加值低于最小寄存器值时, 则报告最小寄存器值。

低于 100μV 的充电电流 (正的电流寄存器值) 不进行累加, 以消除长时间小失调误差的累计所造成的影响。这限制的最小的充电电流, 对于库仑计数, $R_{SNS} = 0.020\Omega$ 时为 5mA, $R_{SNS} = 0.005\Omega$ 时为 20mA。

可以对 ACR 进行读/写操作。写 ACR 时必须先写 MSB，然后再写 LSB。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 3.5s（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。

掉电时，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 8。

累加电流寄存器格式

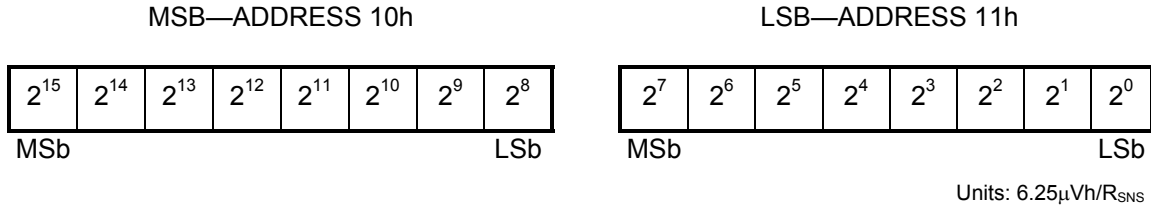


表 5. 分辨率、范围与检流电阻值的关系

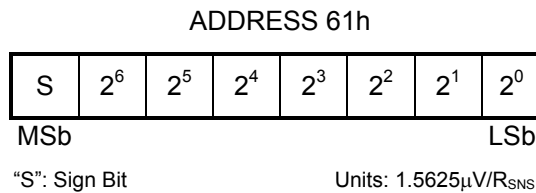
	$V_{SS} - V_{SNS}$	R _{SNS}			
		20m Ω	15m Ω	10m Ω	5m Ω
Current Resolution	1.5625 μ V	78.13 μ A	104.2 μ A	156.3 μ A	312.5 μ A
Current Range	$\pm$ 51.2mV	$\pm$ 2.56A	$\pm$ 3.41A	$\pm$ 5.12A	$\pm$ 10.24A
ACR Resolution	6.25 μ Vh	312.5 μ Ah	416.7 μ Ah	625 μ Ah	1.250mAh
ACR Range	409.6mVh	20.48Ah	27.31Ah	40.96Ah	81.92Ah

累加偏置

有些设计中，由于系统误差或应用的特定需求，需要在电流累加过程中引入一个随机偏置。电流累加偏置寄存器 (CAB) 可在电流累加过程中引入一个用户可编程的正或负偏置量。CAB 中的值用于估计未流经检流电阻的电池电流，估计电池自放电电流，或估算过小以至于无法测出的电流。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。CAB 的值是在上电时从 EEPROM 加载的。

CAB 和 COB 间的区别在于 CAB 不受电流屏蔽的制约。如果偏移是由 COB 引起的，100 μ V 至-25 μ V 的偏移电流不会累积。如果偏移是由 CAB 引起的，100 μ V 至-25 μ V 的偏移电流会累积。

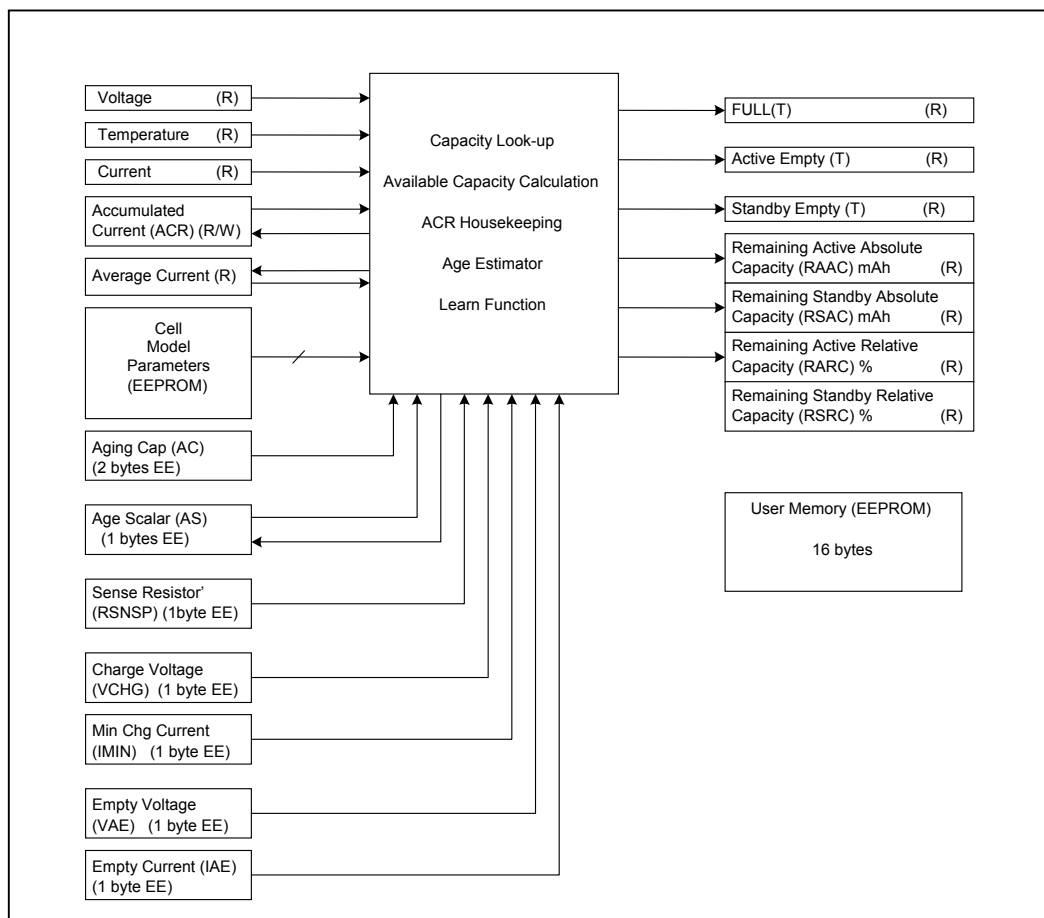
电流累加偏置寄存器格式



电量估算算法

在估算剩余电量时，使用的数据包括实时测量值、存储器中描述电池组特性参数以及应用工作极限。图 3 描述了算法的输入和输出。

图 3. 顶层算法框图

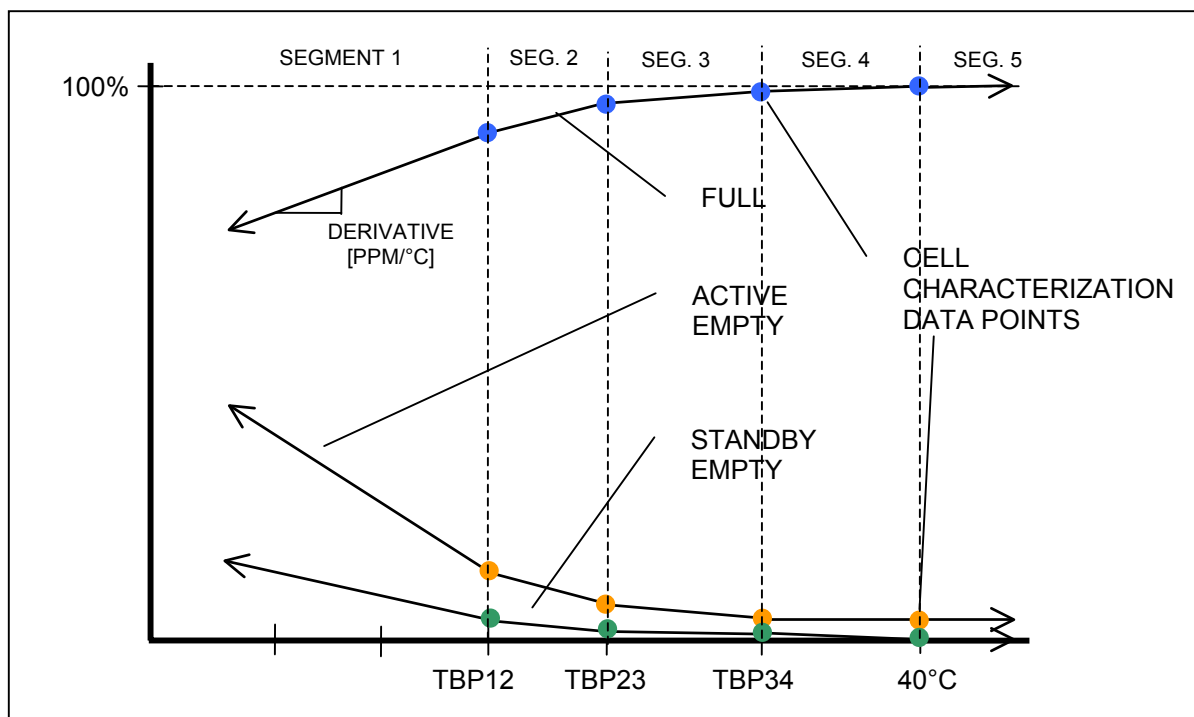


电池组特性建模

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条件下的性能特性。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。DS2784 采用 FuelPack™ 估算方法，应用笔记 131 — *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，DS2784 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。连接各段的三个连接点或转折点(标记为 TBP12、TBP23 和 TBP34，见图 4)可在 -128°C 至 +40°C 范围内设置，步长为 1°C。第 1、2、3、4 段的斜率或导数也可在 0 至 15,555ppm 范围内编程设置，步长为 61ppm。

FuelPack 是 Dallas Semiconductor 的商标，Dallas Semiconductor 是 Maxim Integrated Products, Inc. 的全资子公司。

图 4. 电池模型示例图



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。**DS2784** 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。

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 220ms 内的电压平均值，对应电压寄存器读数。**DS2784** 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。

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。在具体应用带即电流所决定的放电率下，待机模式下的最小电压决定待机空电量点。通常在便携式应用场合，待机空电量点表示电池已不能再支持 **DRAM** 刷新，因此待机电压由 **DRAM** 所需的最小电源电压决定。在其它应用中，待机空电量点表示电池已不能再支持应用中的某些功能，如游戏或管理功能。待机负载电流和电压用来确定电池特性，但并不能在 **DS2784** 中进行设置。**DS2784** 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。

建立电池模型

建立模型时将所有点都归一化到 $+40^{\circ}\text{C}$ 下电池充满的状态。所有值均存储在电池参数EEPROM模块中。 $+40^{\circ}\text{C}$ 下的满电量值以 μVhr 为单位，一个LSB为 $6.25\mu\text{Vhr}$ 。 $+40^{\circ}\text{C}$ 下的有效空电量值以 $+40^{\circ}\text{C}$ 下满电量值的百分比存储，分辨率为 2^{-10} 。 $+40^{\circ}\text{C}$ 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)以 $\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ 存放在电池参数EEPROM模块中。每段的断点温度也存储在该模块内(关于数值存储的详细信息，请参考应用笔记 3584：*Storing Battery Fuel Gauge Parameters in DS2780*)，这种方式下的数据存储范例见表 6。

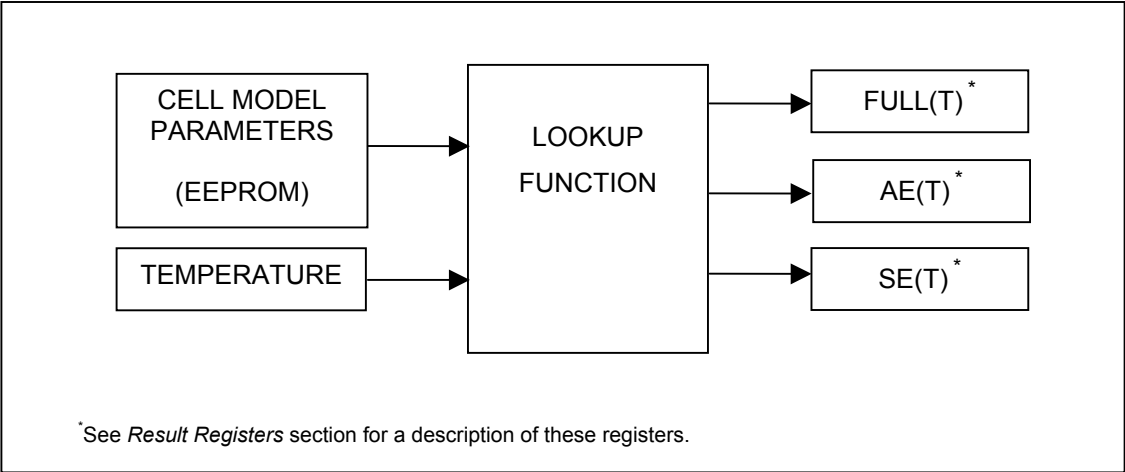
表 6. 电池特性示例 (归一化至+40°C)

Manufacturer's Rated Cell Capacity: 1000mAh					
Charge Voltage: 4.2V			Termination Current: 50mA		
Active Empty (V): 3.0V			Active Empty (I): 300mA		
Sense Resistor: 0.020Ω					

	TBP12	TBP23	TBP34
Segment Breakpoints	-12°C	0°C	18°C

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

图 5. 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。

检流电阻初值(R_{SN_{SP}}[1/Ω]) — R_{SN_{SP}}存储检流电阻的值，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 (1/Ω)。R_{SN_{SP}}支持 1Ω 至 3.922mΩ的电阻值。R_{SN_S}位于参数EEPROM模块。

$$R_{SN\text{SP}} = 1/R_{SN\text{S}} \text{ (units of mhos; } 1/\Omega)$$

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 19.5mV，范围为 0V 至 4.978V。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 (IMIN x R_{SN_S})，范围从 0 至 12.75mV。假设R_{SN_S} = 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 存储电压门限, 用于检测有效工作时的空电池电量点。该值长度为 1 个字节, 单位为 19.5mV, 范围为 0V 至 4.978V。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, 长度为 1 个字节, 单位为 200μV, 范围从 0 至 51.2mV。假设 $R_{SNS} = 20m\Omega$, 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 [建立电池模型](#) 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。DS2784 会将 AS 自动保存到 EEPROM 内 (详见表 7)。上电时重新恢复 EEPROM 存储的 AS 值。

基于学习功能的满电量估算相比基于循环计数的估算方法来说更为精确。学习功能反映了电池的电流性能。基于循环计数的估算方法是制造商针对大部分电池建议采用的近似方法。当满电量达到额定容量的 80% 时, 通常要考虑电池损耗, 因此, AS 值的范围不需达到 0%。AS 值箝位至 50% (64d 或 40h)。如果 AS 的读数为 50%, 主机应提示用户开始学习周期。

电量估算功能

老化估算

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, 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% (每 100 个周期大约 2.4%)。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时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 和/或 LEARNF 置 1) 时, ACR 的调整受以下条件限制:

- 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 大于当前温度的有效空电量模型值时, 才能将 ACR 设置为当前温度的有效空电量模型值。
- 如果 AEF 置 1, LEARNF 未置 1, 则 ACR 低于当前温度的有效空电量模型值, ACR 不更新。
- 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(V)读数在两次平均电流(IAVG)读数之间始终高于充电电压 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 读数还必须是正数(> 16 LSB)。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, 并且电流值要大于 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, 在接下来的电池充电学习周期中, 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)。不要将有效空电量点与有效空电量标记混淆。只有当大于 VAE 门限时有效空电量标记才置 1。

状态寄存器格式

状态寄存器包含报告器件状态的各个位。这些位均可由 DS2784 内部设置。其中 CHGTF、AEF、SEF 和 LEARNF 位为只读位。UVF 和 PORF 可通过向该位写 0 来清零。

ADDRESS 01h

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
CHGTF	AEF	SEF	LEARNF	X	UVF	PORF	X

CHGTF — 充电终止标记。CHGTF 置 1 表示电压寄存器持续大于 VCHG 以及平均电流寄存器值低于 IMIN 门限的时间长到足以检测到满充电。当 RARC 小于 90%时, CHGTF 清零。CHGTF 为只读。

AEF — 有效空电量标记。AEF 置 1 表示电池正处于或低于有效空电量点。电压寄存器值低于 VAE 门限时, AEF 置 1。RARC 大于 5%时, AEF 清零。AEF 是只读的。

SEF — 待机空电量标记。SEF 置 1 表示 RSRC 低于 10%。RSRC 大于 15%时, SEF 清零。SEF 是只读的。

LEARNF — 学习标记。LEARNF 表示可利用当前充电周期于学习电池容量。检测到有效空电量点时, LEARNF 置 1。当电压寄存器值低于 VAE 门限, 并且两个之前的电流寄存器值为负且大于 IAE 门限时, 开始学习过程。其他信息, 请参考有效空电量点检测一节。在下列情况下, LEARNF 清零:

- 1) 学习周期结束(CHGTF 置 1)。
- 2) 电流寄存器值为负表示有放电电流流过。
- 3) $ACR = 0$
- 4) 写 ACR 或从 EEPROM 中回读。
- 5) 进入休眠模式。

LEARNF 是只读的。

UVF — 欠压标记。UVF 置 1 表示 V_{IN} 引脚测得的电压小于 V_{UV} , 此时必须将 UVF 写为 0 以允许报告随后的欠压事件。UVF 不会内部清零。只有当 V_{IN} 大于或等于 V_{UV} 时, 将 UVF 写为 0 才有效, 若此条件不满足, UV 将保持为 1, 这是因为欠压条件持续存在。上电时, UVF 置为 1。

PORF — 上电复位标记。PORF 为 1 表示开始上电。PORF 不会内部清零。用户必须将 PORF 写为 0, 用于以后报告上电事件。如果 PORF 表示上电复位, ACR 会与充电时的实际电池状态有出入。系统需要满充电以使 ACR 与电池充电状态相一致。PORF 具有读/写 0 特性。

X — 保留位。

结果寄存器

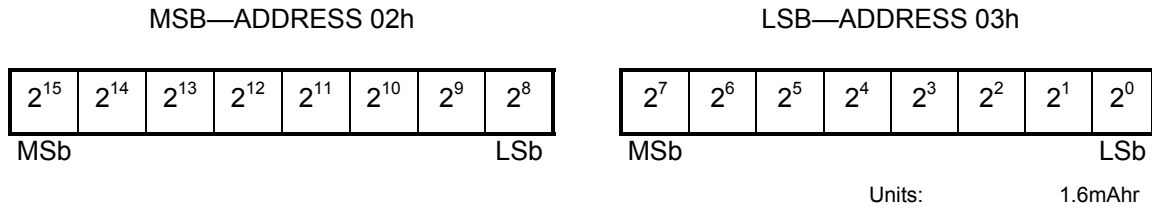
DS2784 以 3.5s 的间隔时间处理测量结果和电池特性参数, 并产生 7 个结果寄存器值。在大多数应用中, 结果寄存器直接用于用户显示已经足够。结合测量数据、结果和用户 EEPROM 值, 主机系统可生成系统所用的定制数据或用户显示数据。

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。

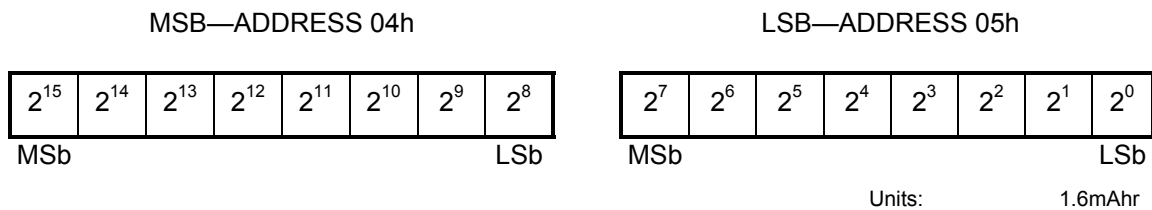
有效空电量, AE(T) [] — 报告当前温度下电池的有效空电量, 归一化为 40°C 下满电量的百分比。这个 13 位数值反映了给定温度下电池组模型的有效空电量。AE(T) 值在 0% 和 49.8% 之间, 分辨率为 61ppm (确切值为 2^{-14})。

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})。

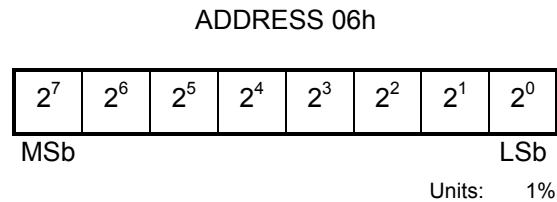
剩余绝对有效电量 (RAAC) [mAh] — RAAC 报告当前温度下放电到有效空电量点时的可用电量，采用绝对单位 mAh 表示。RAAC 为 16 位。



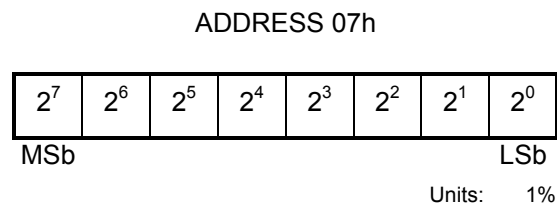
剩余绝对待机电量 (RSAC) [mAh] — RSAC 报告当前温度下放电到有效空电量点时的可用电量，采用绝对单位 mAh 表示。RSAC 为 16 位。



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

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

注: $\text{RSNSP} = 1/\text{RSNS}$

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

注: $\text{RSNSP} = 1/\text{RSNS}$

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

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

特殊功能寄存器格式

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。

ADDRESS 15H

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
X	X	X	X	X	X	X	PIOB

PIOB — PIO引脚检测和控制位。PIOB写为 0 时，激活PIO引脚开漏输出驱动器，PIO引脚强制拉低。PIOB写为 1 时，禁止输出驱动器，允许PIO引脚拉高或作为输入。读PIOB时，将获得驱动PIO引脚的逻辑电平。注意：如果PIOB置 1 时，PIO引脚悬空，弱下拉电流源会将PIO引脚电压下拉至 V_{SS} 。上电时PIOB置 1。休眠模式下PIOB也置 1，以确保此时PIO引脚为高阻态。

注：若 PSPIO 未使能，禁止将 PIOB 写为 0。

X — 保留位。

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。

EEPROM 寄存器格式

ADDRESS 1Fh

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
EEC	LOCK	X	X	X	X	BL1	BL0

EEC — EEPROM 复制标记。EEC 位是只读的，其值为 1 时表示正在执行 Copy Data 功能命令。EEC 位为高时，写 EEPROM 地址被忽略。EEC 为 0 表示可将数据写到未锁定的 EEPROM。

LOCK — EEPROM 锁定使能。Lock 为 0 时，Lock Function 命令被忽略。Lock 为 1 时，启动 Lock Function 命令。将 lock 位置 1 后，必须紧接着发出 Lock Function 命令，否则 lock 位会复位为 0。Lock 操作完成后，lock 位复位为 0。Lock 位为易失 R/W 位，POR 时初始化为 0。

BL1 — 参数 EEPROM 块 1 锁定标记。BL1 位是只读的, 其值为 1 表示 EEPROM 块 1 (地址 60h 至 7Fh)被锁定(只读), BL1 位为 0 表示 EEPROM 块 1 已解锁(可读可写)。

BL0 — 用户 EEPROM 块 0 锁定标记。BL0 位是只读的, 其值为 1 表示 EEPROM 块 0 (地址 20h 至 2Fh)被锁定(只读), BL0 位为 0 表示 EEPROM 块 0 已解锁(可读可写)。

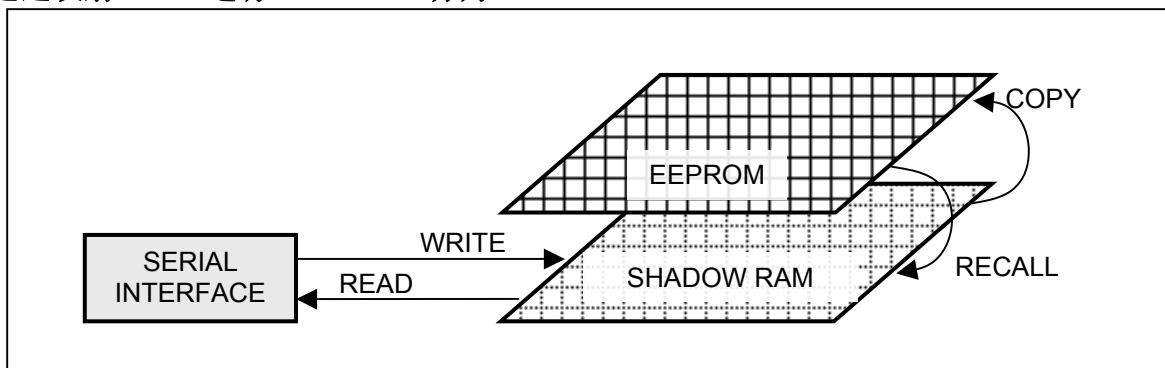
X — 保留位。

存储器

DS2784 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 Read Data 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 Read Data 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(NV) 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。发出 Copy Data 命令后, 在复制到 EEPROM (通常耗时 2ms)之前不能访问 EEPROM 模块(参见 *Electrical Characteristics* 表中对 t_{EEC} 的定义)。

图 6. 通过映射 RAM 进行 EEPROM 访问



用户 EEPROM — 块 0

16 字节用户 EEPROM 存储器(块 0, 地址: 20h 至 2Fh)提供的非易失性存储器不拘泥于其他 DS2784 功能。访问用户 EEPROM 模块不会影响 DS2784 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 — 块 1

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(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 DS2784 处于保护 FET 之外。

表 7. 参数 EEPROM 存储器块

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

表 8. 存储器映射

ADDRESS (HEX)	DESCRIPTION	READ/WRITE
00	Protection Register	R/W
01	Status Register	R/W
02	RAAC MSB	R
03	RAAC LSB	R
04	RSAC MSB	R
05	RSAC LSB	R
06	RARC	R
07	RSRC	R
08	Average Current Register MSB	R
09	Average Current Register LSB	R
0A	Temperature Register MSB	R
0B	Temperature Register LSB	R
0C	Voltage Register MSB	R
0D	Voltage Register LSB	R
0E	Current Register MSB	R
0F	Current Register LSB	R
10	Accumulated Current Register MSB	R/W *
11	Accumulated Current Register LSB	R/W *
12	Accumulated Current Register LSB-1	R
13	Accumulated Current Register LSB-2	R
14	Age Scalar	R/W *
15	Special Feature Register	R/W
16	Full MSB	R
17	Full LSB	R
18	Active-Empty MSB	R
19	Active-Empty LSB	R
1A	Standby-Empty MSB	R
1B	Standby-Empty LSB	R
1C to 1E	Reserved	—
1F	EEPROM Register	R/W
20 to 2F	User EEPROM, Lockable, Block 0	R/W
38 to 5F	Reserved	—
60 to 7F	Parameter EEPROM, Lockable, Block 1	R/W
80 to AF	Reserved	—
B0	Factory Gain RSGAIN MSB	R
B1	Factory Gain RSGAIN LSB	R
B2 to FF	Reserved	—

*工作模式下寄存值自动保存到 EEPROM 中，上电时从 EEPROM 中回读。

认证

认证功能通过符合 FIPS-180 的 SHA-1 单向散列算法(位于 512 位信息块中)实现。该信息块包括 64 位密钥、64 位质询和 384 位固定数据。散列运算所用的 384 位固定数据中的 64 位可用 64 位网络地址取代。有关信息块结构方面的详细说明请联系 Maxim。

主机和 DS2784 的计算结果均基于互知的密钥。散列运算结果称为消息认证码(MAC)或信息摘要。DS2784 读回 MAC 并与主机的 MAC 作比较。注意：密钥不会在总线上传送，因此不能通过监听总线数据流量来捕获。主机系统发出 Write Challenge 命令提供 64 位随机质询，以启动每次认证过程。然后主机发出计算 MAC 命令或用 ROM ID 计算 MAC 命令。基于 FIPS 180 计算 MAC，然后返回一个 160 位串行数据流，从最低有效位开始。

DS2784 认证命令

WRITE CHALLENGE [0Ch]: 该命令向 DS2784 写 64 位质询。命令的 MSB 完成后立即开始 64 位数据的 LSB。如果写的数据超过 64 位，质询寄存器的最终值不确定。每当发出 Compute MAC 或 Compute Next Secret 命令之前必须发出 Write Challenge 命令，以得到可靠的结果。

COMPUTE MAC WITHOUT ROM ID [36h]: 该命令启动 SHA-1 计算，信息块中不包括 ROM ID。由于没有用到 ROM ID，该命令允许使用主机密钥，在没有 ROM ID 的情况下计算 MAC 作出响应。DS2784 在收到该命令的最后一位后在 t_{SHA} 计算 MAC。完成 MAC 计算后，主机必须写 8 个写 0 时隙，然后再发出 160 个读时隙，从而得到 20 字节的 MAC。命令时序见图 10。

COMPUTE MAC WITH ROM ID [35h]

该命令的架构与无需 ROM ID 计算 MAC 命令相同，仅有一点不同，那就是 ROM ID 包含在信息块中。由于计算 MAC 时每个 DS2784 的 ROM ID 是唯一的，所以各令牌的 MAC 也是唯一的。更多信息详见白皮书 4： *Glossary of 1-Wire SHA-1 Terms*。命令时序见图 10。

为方便使用，表 9 列出了认证电池或外设时的 SHA-1 相关命令。其它 4 个命令如密钥清除、密钥计算、密钥锁定的描述见下一节。

表 9. 认证功能命令

COMMAND	HEX	FUNCTION
Write Challenge	0C	Writes 64-bit challenge for SHA-1 processing. Required prior to issuing Compute MAC and Compute Next Secret commands.
Compute MAC <i>Without</i> ROM ID and Return MAC	36	Computes hash operation of the message block with logical 1s in place of the ROM ID. Returns the 160-bit MAC.
Compute MAC <i>With</i> ROM ID and Return MAC	35	Computes hash operation of the message block including the ROM ID. Returns the 160-bit MAC.

密钥管理功能命令

CLEAR SECRET [5Ah]: 该命令可将 64 位密钥设置为全 0 (0000 0000 0000 0000h)。主机必须等待 t_{EEC} 以允许 DS2784 将新密钥写入EEPROM。命令时序见图 13。

COMPUTE NEXT SECRET WITHOUT ROM ID [30h]: 该命令启动SHA-1 MAC计算，并用MAC计算结果的一部分作为下一个或新的密钥。散列计算通过当前的 64 位密钥和 64 位质询来实现。此时不载入ROM ID，而是载入逻辑 1。输出MAC的 64 位用来作为新的密钥。发出该命令后主机必须等待 t_{SHA} 以完成SHA计算，然后等待 t_{EEC} 以允许 DS2784 将新密钥写入EEPROM。命令时序见图 11。

COMPUTE NEXT SECRET WITH ROM ID [33h]: 该命令启动SHA-1 MAC计算，并用MAC计算结果的一部分作为下一个或新的密钥。散列计算通过当前的 64 位密钥、64 位ROM ID和 64 位质询来实现。输出MAC的 64 位用来作为新的密钥。发出该命令后主机必须等待 t_{SHA} 以完成SHA计算，然后等待 t_{EEC} 以允许DS2784 将新密钥写入EEPROM。命令时序见图 11。

LOCK SECRET [60h]: 该命令写保护 64 位密钥，以防止意外或恶意覆盖密钥。存储在EEPROM中的密钥值将是“最终的”。主机必须等待 t_{EEC} 以允许DS2784 向EEPROM写锁定密钥位。命令时序见图 13。

表 10. 密钥装载命令

COMMAND	HEX	FUNCTION
Clear Secret	5A	Clears the 64-bit Secret to 0000 0000 0000 0000h.
Compute Next Secret <i>Without</i> ROM ID	30	Generates new global secret.
Compute Next Secret <i>With</i> ROM ID	33	Generates new unique secret.
Lock Secret	60	Sets lock bit to prevent changes to the secret.

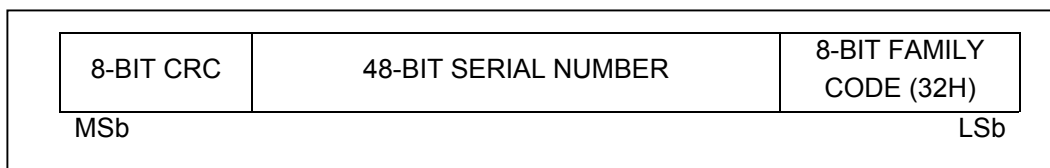
1-Wire 总线系统

1-Wire是在一条总线上连接一个主机和多个从机设备的系统。多节点总线由挂接了多个从机设备的 1-Wire总线组成，单节点总线上只挂接了一个从机设备。任何情况下，DS2784 都作为从机器件使用。主机系统中的总线主机通常是一个微处理器。对该总线系统的套路分为五部分：64 位网络地址、CRC生成、硬件配置、处理流程和 1-Wire命令。

64 位网络地址(ROM ID)

每个 DS2784 都有工厂编程的 64 位唯一 1-Wire 网络地址。网络地址的含义与 DS2502 以及其它 1-Wire 器件数据手册中 ROM ID 或 ROM 码的含义相同。网络地址的前 8 位是 1-Wire 家族代码(32h)。然后是 48 位的唯一序列号。最后 8 位是前 56 位的循环冗余校验码(CRC) (参见图 7)。64 位网络地址和 1-Wire I/O 电路置于器件内部，使得 DS2784 可以通过 1-Wire 协议进行通信，详细描述见本文。

图 7. 1-Wire 网络地址格式



CRC 生成

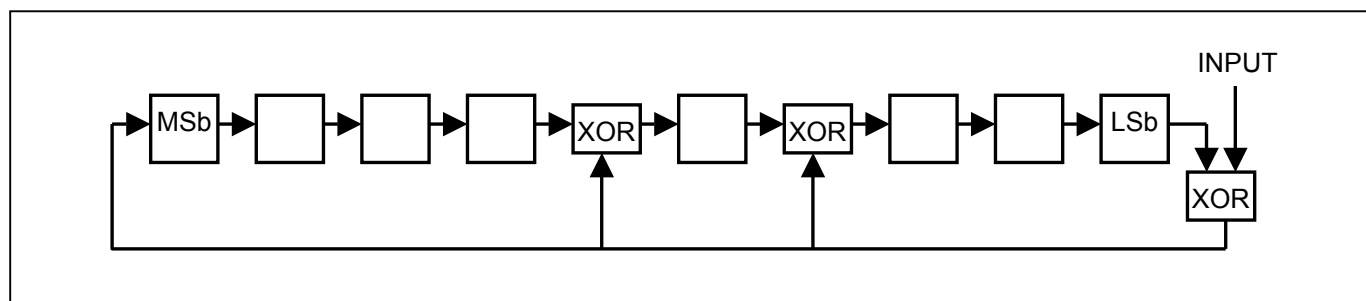
DS2784 带有 8 位 CRC 校验码，存储在 1-Wire 网络地址的最高字节中。为了确保地址的无差错传输，主机系统可根据网络地址的前 56 位计算出 CRC 校验码，并与来自 DS2784 的 CRC 进行比较。

系统主机负责 CRC 校验并根据校验结果采取相应措施。DS2784 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 8 所示的电路生成 CRC，该电路由移位寄存器和异或门组成。也可由软件通过多项式 $X^8 + X^5 + X^4 + 1$ 生成。更多关于 Dallas 1-Wire CRC 的信息，请参见应用笔记 27：理解和运用 Dallas Semiconductor iButton 产品中的循环冗余校验 (CRC)。

在图 8 所示电路中，首先将移位寄存器初值为零。然后从家族代码的最低位开始，每次移入一位。当家族代码第 8 位移入后，再移入序列号。当序列号第 48 位也移入后，移位寄存器中的值就是 CRC 值。

图 8. 1-Wire CRC 发生器框图



在某些命令序列中，DS2784 也生成一个 8 位 CRC，并将该值提供给总线主机以便于确认传输的命令、地址以及总线主机传送给 DS2784 的数据是否正确。DS2784 利用从总线主机接收到的命令和地址字节计算一个 8 位 CRC，以验证在执行读存储器、读状态寄存器、读/生成 CRC 命令时接收到的字节是否正确。执行 Read Data/Generate CRC 命令以及状态存储器区域的 8 字节信息时，当每个 EEPROM 页发送到主机时，DS2784 中的 CRC 生成器也用来提供对无差错数据传输的验证。

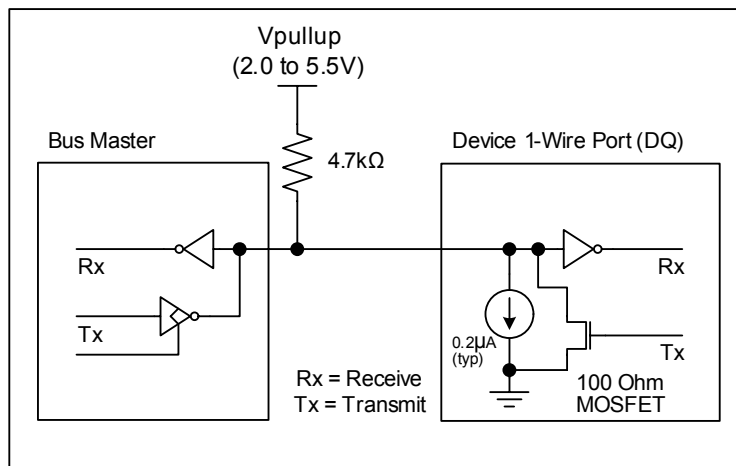
每当 CRC 用于数据传输验证时，总线主机必须用同一多项式函数计算 CRC 值，并将计算出的值与存放在 DS2784 网络地址或 DS2784 计算出的 CRC 相比较。CRC 比较及决定是否继续操作完全取决于主机。如果 DS2784 存储或计算的 CRC 和主机计算的 CRC 不匹配，DS2784 没有阻止命令执行的电路。

硬件配置

由于 1-Wire 总线仅有一条数据线，因此在适当的时间驱动总线上的每个器件非常重要。为使上述操作易于实现，挂在 1-Wire 总线上的每个器件都采用开漏或三态输出来连接总线。DS2784 用开漏输出驱动器作为双向接口电路，如图 9 所示。如果总线主机上没有可利用的双向引脚，可以将独立的输出以及输入引脚连接起来用。

1-Wire 总线要求主机侧必须连接一个上拉电阻。建议上拉电阻的阻值在 $2\text{k}\Omega$ 到 $5\text{k}\Omega$ 范围内选择。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工作，稍后还要恢复工作的话，必须将总线置于空闲状态。注意，如果总线置为低电平的时间超过 t_{LOW0} ，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。

图 9. 1-Wire 总线接口电路



处理流程

通过 1-Wire 端口访问 DS2784 的操作流程如下：

- 初始化
- 网络地址命令
- 功能命令
- 数据传输(并非所有命令都涉及数据传输)

1-Wire 总线上的所有传输操作均从初始化开始。初始化过程由主机发送的复位脉冲和 DS2784 及其它从器件发送的在线应答脉冲组成。在线应答脉冲用于通知主机一个或多个从机设备已挂接在总线上，并已准备就绪。详细内容请参阅 *网络地址命令* 部分。

网络地址命令

一旦总线主机检测到从器件的在线应答脉冲，就发出一条网络地址命令(各命令描述见下文)。每条网络地址命令 (ROM 命令) 的名称后跟该命令的 8 位操作码(位于方括号中)。

Read Net Address [33h]: 该命令允许总线主机读取 DS2784 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。如果总线上连接了多个从机设备，那么当所有从机都试图同时发送数据时(漏极开路输出“线与”后的结构)，就会产生数据冲突。

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 DS2784。只有被寻址到的 DS2784 才会响应随后的功能命令，而其它从机设备将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]: 当总线上只有一个 DS2784 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。如果总线上挂接有多个从机，随后发出功能命令后，所有从机将同时发送数据，从而将会导致总线冲突。

Search Net Address [F0h]: 该命令允许总线主机采用排除法识别总线上所有从机的 1-Wire 网络地址。检索过程重复以下三个简单的步骤: 读一位、读该位的补码、然后写入希望的数值。总线主机对应网络地址的每一位都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 iButton® Standards* 的第 5 章 (www.maxim-integrated.com.cn/iButtonBook), 文中还给出了一个实例。

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 DS2784。每个功能命令的名称后跟该命令的 8 位操作码(在方括号中)。表 11 给出了所有功能命令。

Read Data [69h, XX]: 该命令从存储器地址 XX 开始读取 DS2784 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 Read Data 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。详细信息参见表 7。

Write Data [6Ch, XX]: 该命令从存储器地址 XX 开始将数据写入 DS2784。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。详细信息参见表 7。

Copy Data [48h, XX]: 该命令将 EEPROM 映射 RAM 的内容复制到 EEPROM 地址为 XX 的 EEPROM 单元。锁定地址的 Copy Data 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。Copy Data 命令从发送完地址后的下一个下降沿开始执行, 所需的时间为 t_{EEC} 。

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 Lock 命令之前, 必须先将 EEPROM 寄存器的 lock 位置 1。为了避免误锁定, 将 lock 位(EEPROM 寄存器的第 6 位, 地址为 1Fh) 置 1 后, 必须立即发送 Lock 命令才执行锁定操作。如果在 Lock 命令之前 lock 位为 0, 或锁定位置 1 后没有马上发送 Lock 命令, 则 Lock 命令不起作用。Lock 命令生效后存储器块永远锁定, 锁定块不能再重新写入。

iButton 是 Dallas Semiconductor 的注册商标, Dallas Semiconductor 是 Maxim Integrated Products, Inc. 的全资子公司。

表 11. 全部功能命令

COMMAND	HEX	DESCRIPTION
Write Challenge	0C	Writes 64-bit challenge for SHA-1 processing. Required immediately prior to all Compute MAC and Compute Next Secret commands.
Compute MAC <i>Without</i> ROM ID and Return MAC	36	Computes hash operation of message block with logical 1s in place of the ROM ID.
Compute MAC <i>With</i> ROM ID and Return MAC	35	Computes hash operation of message block using the ROM ID.
Clear Secret	5A	Clears the 64-bit secret to 0000 0000 0000 0000h.
Compute Next Secret <i>Without</i> ROM ID	30	Generates new global secret.
Compute Next Secret <i>With</i> ROM ID	33	Generates new unique secret.
Lock Secret	60	Sets lock bit to prevent changes to the secret.
Read Data	69, XX	Reads data from memory starting at address XX.
Write Data	6C, XX	Writes data to memory starting at address XX.
Copy Data	48, XX	Copies shadow RAM data to EEPROM block containing address XX.
Recall Data	B8, XX	Recalls EEPROM block containing address XX to RAM.
Lock	6A, XX	Permanently locks the block of EEPROM containing address XX.
Set Overdrive	8B	Sets 1-Wire interface timings to overdrive.
Clear Overdrive	8D	Sets 1-Wire interface timings to standard (factory default).
Reset	C4	Resets DS2784 (software POR).

表 12. 功能命令要求

COMMAND	ISSUE MEMORY ADDRESS	ISSUE 00h BEFORE READ	READ/WRITE TIME SLOTS
Write Challenge	—	—	Write: 64
Compute MAC	—	Yes	Read: up to 160
Compute Next Secret	—	—	—
Clear/Lock Secret, Set/Clear Overdrive	—	—	—
Read Data	8 bits	—	Read: up to 2048
Write Data	8 bits	—	Write: up to 2048
Copy Data	8 bits	—	—
Recall Data	8 bits	—	—
Lock	8 bits	—	—
Reset	—	—	—

图 10. MAC 计算功能命令

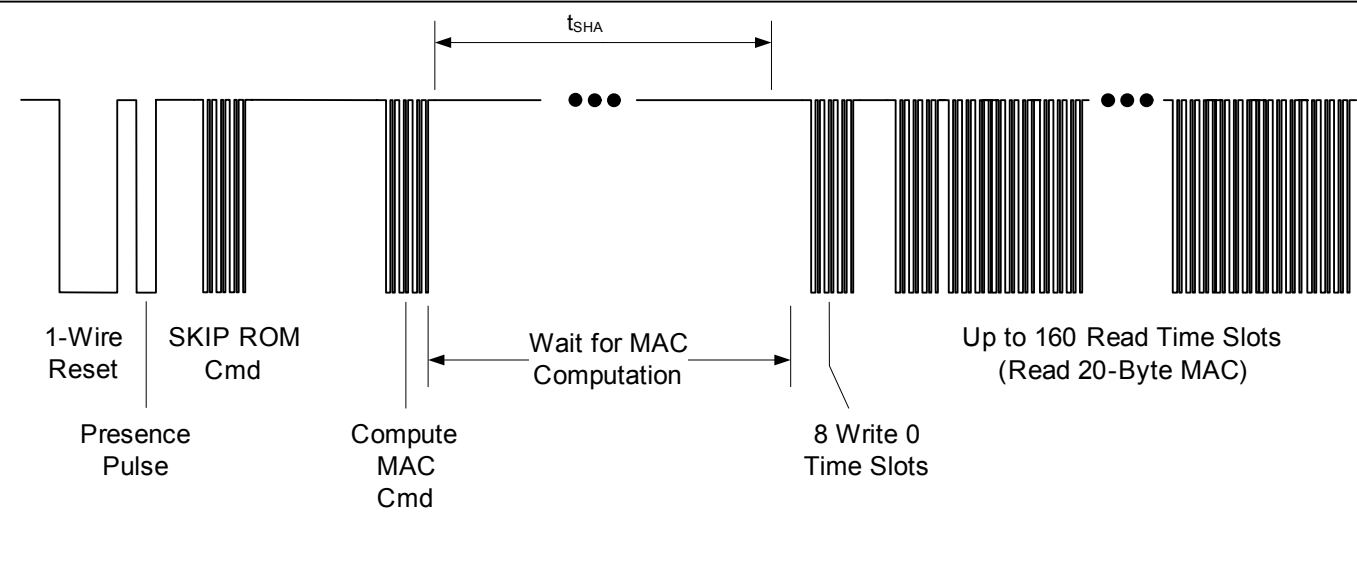


图 11. 计算下一个密钥的功能命令

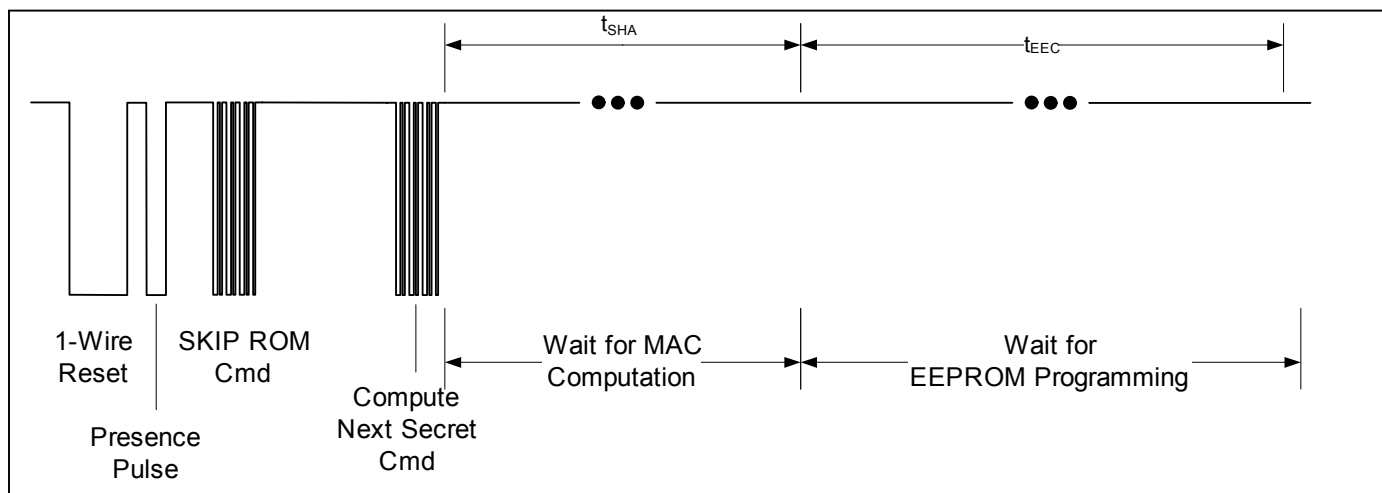


图 12. 复制功能命令

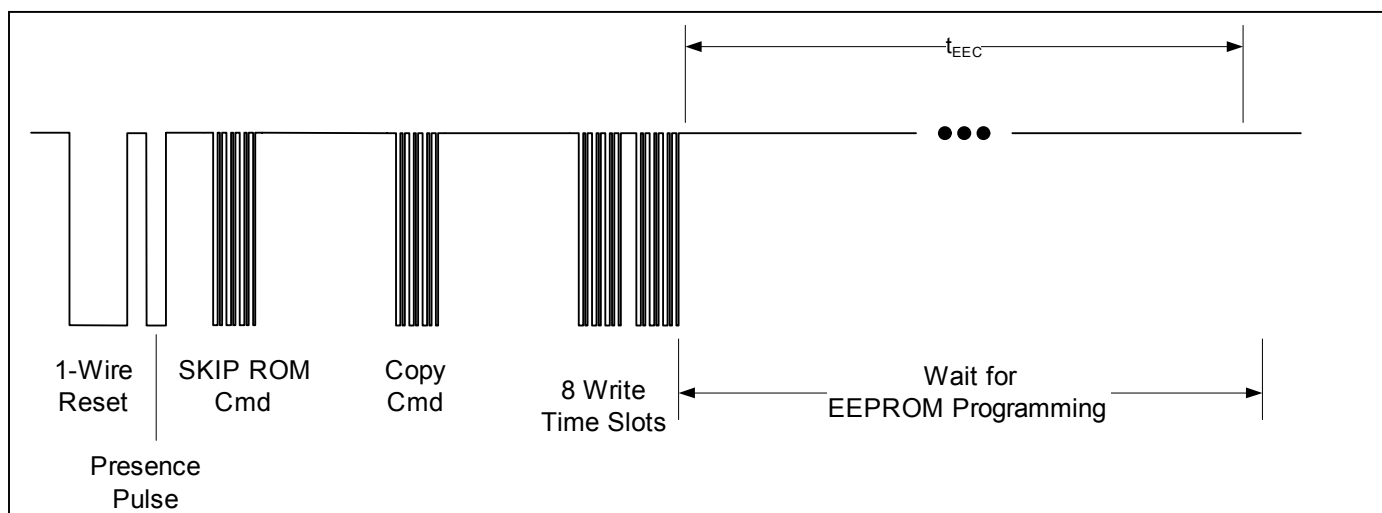
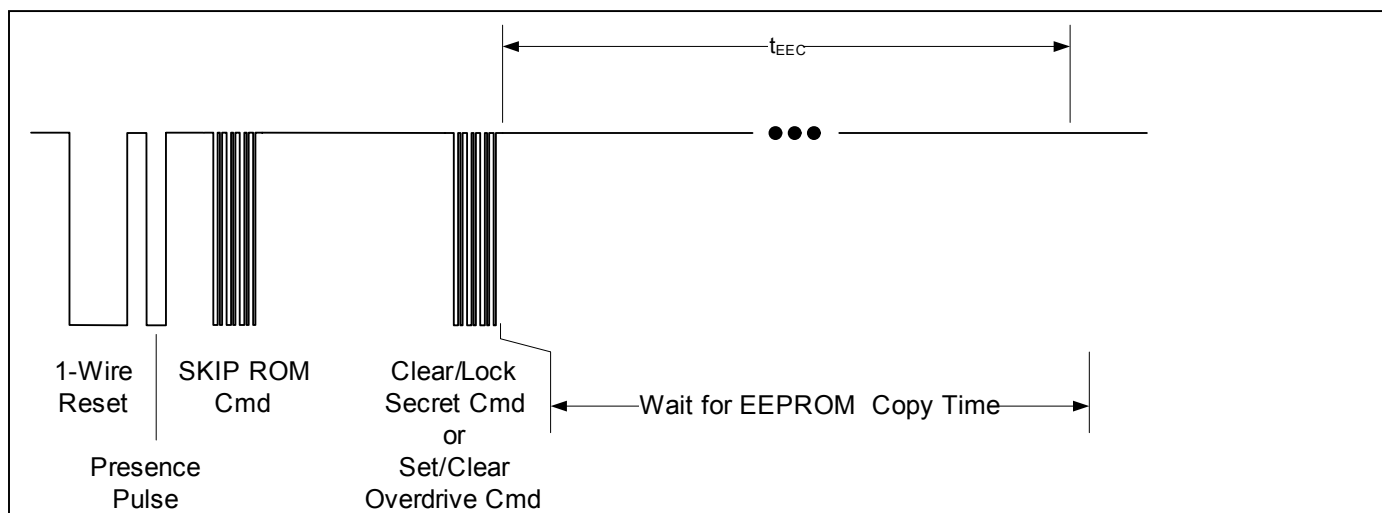


图 13. 清空/锁定密钥、设置/清空高速功能命令

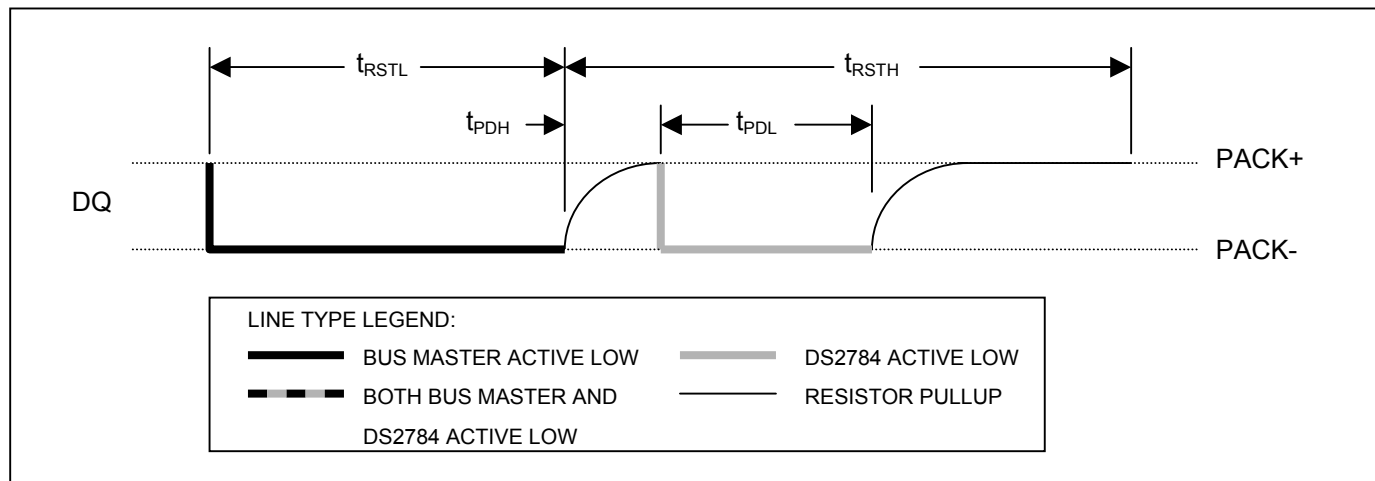


I/O 信令

1-Wire 总线需要严格的信令协议来保证数据的完整性。DS2784 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、读数据。除应答脉冲外，所有其他信令均由总线主机发出。

与 DS2784 的任何通信都必须从初始化开始，如图 14 所示。复位脉冲后的在线应答脉冲表明 DS2784 已准备好接收网络地址命令。总线主机发送(Tx)一个持续 t_{RSTL} 时间的复位脉冲。然后总线主机释放总线，并进入接收(Rx)模式。这时 1-Wire 总线通过上拉电阻被拉至高电平。DS2784 检测到 DQ 引脚的上升沿后，器件将在等待 t_{PDH} 时间，然后发出持续时间为 t_{PDL} 的在线应答脉冲。

图 14. 1-Wire 初始化流程



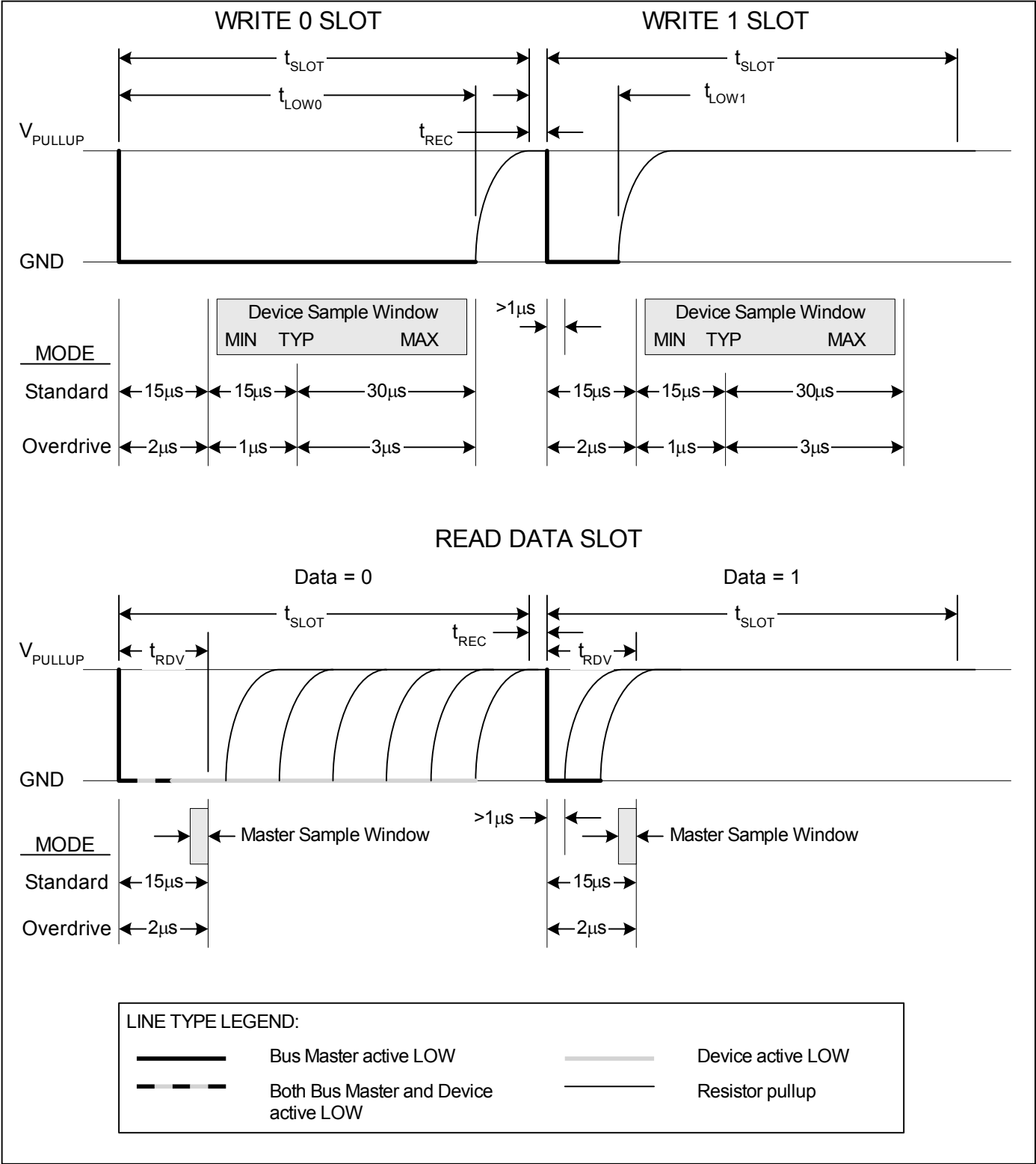
写时隙

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})。DS2784 将在线路下降沿之后的 t_{LOW1_MAX} 至 t_{LOW0_MIN} 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 15。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 t_{RDV} 时间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，并在写时隙期间保持为低电平。

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 DS2784 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。DS2784 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 15 以及 *Electrical Characteristics* 表中对时序的定义。

图 15. 1-Wire 写时隙和读时隙



Maxim北京办事处

北京8328信箱 邮政编码100083

免费电话: 800 810 0310

电话: 010-6211 5199

传真: 010-6211 5299



Maxim不对Maxim产品以外的任何电路使用负责，也不提供其专利许可。Maxim保留在任何时间、没有任何通报的前提下修改产品资料和规格的权利。电气特性表中列出的参数值(最小值和最大值)均经过设计验证，数据资料其它章节引用的参数值供设计人员参考。

Maxim Integrated 160 Rio Robles, San Jose, CA 95134 USA 1-408-601-1000

38