

# DS2788

## 独立式电量计IC, 提供LED显示驱动器

DS2788

### 概述

DS2788用于测量可充电锂离子电池(Li+)和Li+聚合物电池的电压、温度及电流,估算电池的可用电量。计算电量所需的电池包参数和应用参数存储在片上EEPROM中。根据电量寄存器的内容,向主机报告在当前温度、放电速率、存储电荷以及应用参数下,剩余电量的保守估计。剩余电量计算值以毫安时和满容量的百分比表示。

LED显示驱动器和去抖动输入简化了电池容量的信息显示。LED引脚可以直接吸入电流,仅需一个电阻设置LED电流,从而节省了空间和成本。

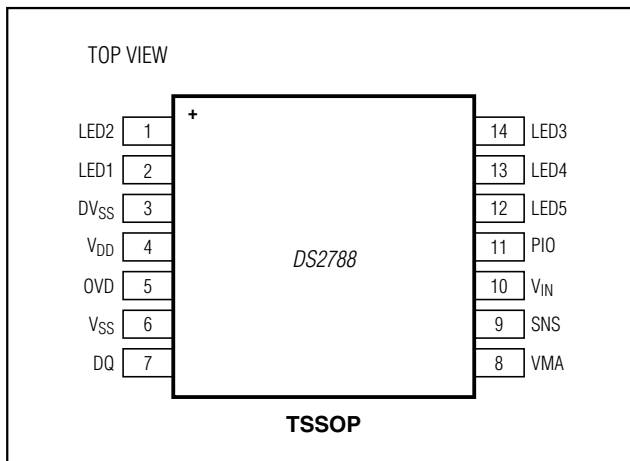
### 应用

电动工具  
电动自行车  
电动车辆  
不间断电源  
数码相机

### 特性

- ◆ 5个30mA开漏输出用于驱动LED电量显示器
- ◆ 去抖动电量计显示使能控制
- ◆ 内置电压检测增益设置电阻,省去了外部分压器
- ◆ FET驱动引脚只在电压测量期间开启分压器,节省功耗
- ◆ 高精度电压、温度、电流测量系统
- ◆ 高精度、具有高温稳定性的内部时基
- ◆ 根据库伦计数、放电速率、温度和电池特性估计绝对和相对电量
- ◆ 精确的低电池电压报警检测
- ◆ 自动将库伦计数值和使用寿命估计备份到非易失(NV)EEPROM
- ◆ 具有增益和温度系数校准,允许采用低成本检测电阻
- ◆ 24字节电池/应用参数EEPROM
- ◆ 16字节用户EEPROM
- ◆ 唯一ID和多点1-Wire®接口
- ◆ 14引脚TSSOP封装

### 引脚配置



典型工作电路在数据资料的最后给出。

### 订购信息

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
DS2788E+	-25°C to +70°C	14 TSSOP
DS2788E+T&R	-25°C to +70°C	14 TSSOP

+表示无铅(Pb)/符合RoHS标准的封装。  
T&R = 卷带包装。

1-Wire是Maxim Integrated Products, Inc.的注册商标。

# DS2788

## 独立式电量计IC, 提供LED显示驱动器

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Voltage Range on Any Pin Relative to  $V_{SS}$  ..... -0.3V to +6.0V  
Voltage Range on  $V_{IN}$ , VMA Relative to  $V_{SS}$  ... -0.3V to  $V_{DD} + 0.3V$   
 $DV_{SS}$  to  $V_{SS}$  ..... -0.3V to +0.3V  
LED1–5 ..... 60mA each pin

Operating Temperature Range ..... -40°C to +85°C  
Storage Temperature Range ..... -55°C to +125°C  
Soldering Temperature (10s) ..... Refer to IPC/JEDEC-020 Specification.

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 absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### RECOMMENDED DC OPERATING CHARACTERISTICS

( $V_{DD} = 2.5V$  to  $4.5V$ ,  $T_A = -25^{\circ}C$  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		+4.5	V
$V_{IN}$ , VMA Voltage Range		(Note 1)	0		$V_{DD}$	V
DQ, PIO, OVD, LED1–LED5 Voltage Range		(Note 1)	0		+5.5	V

### DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

( $V_{DD} = 2.5V$  to  $4.5V$ ,  $T_A = -25^{\circ}C$  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	$I_{ACTIVE}$	$2.5V \leq V_{DD} \leq 4.2V$		70	95	$\mu A$
					105	
SLEEP Mode Current	$I_{SLEEP}$			1	3	$\mu A$
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, VMA	$V_{OL}$	$I_{OL} = 4mA$ (Note 1)			0.4	V
Output Logic-High: VMA	$V_{OH}$	$I_{OH} = 1mA$ (Note 1)	$V_{DD} - 0.5$			V
VMA Precharge Time	$t_{PRE}$		13.3		14.2	ms
Pulldown Current: DQ, PIO	$I_{PD}$	$V_{DQ}, V_{PIO} = 0.4V$		0.2	5	$\mu A$
Output Logic-Low: LED1–LED5	$V_{OL}$	$I_{OL} = -30mA$ (Note 1)			1	V
Input Logic-High: OVD	$V_{IH}$	(Note 1)	$V_{DD} - 0.2$			V
Input Logic-Low: OVD	$V_{IL}$	(Note 1)			$V_{SS} + 0.2$	V
$V_{IN}$ Input Resistance	$R_{IN}$		15			$M\Omega$
DQ SLEEP Timeout	$t_{SLEEP}$	$DQ < V_{IL}$	1.8	2.0	2.2	s
Undervoltage SLEEP Threshold	$V_{SLEEP}$	(Note 1)	2.40	2.45	2.50	V
PIO Switch Debounce			100		130	ms
LED1 Display Blink Rate		50% duty cycle	0.9	1.0	1.1	Hz
LED Display-On Time			3.6	4.0	4.4	s

# 独立式电量计IC, 提供LED显示驱动器

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS: TEMPERATURE, VOLTAGE, CURRENT

(V<sub>CC</sub> = 2.5V to 4.5V, T<sub>A</sub> = -25°C to +70°C, unless otherwise noted. Typical values are at T<sub>A</sub> = +25°C.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Temperature Resolution	T <sub>LSB</sub>			0.125		°C
Temperature Error	T <sub>ERR</sub>				±3	°C
Voltage Resolution	V <sub>LSB</sub>			4.88		mV
Voltage Full-Scale	V <sub>FS</sub>		0		4.5	V
Voltage Error	V <sub>ERR</sub>				±50	mV
Current Resolution	I <sub>LSB</sub>			1.56		μV
Current Full-Scale	I <sub>FS</sub>				±51.2	mV
Current Gain Error	I <sub>GERR</sub>	(Note 2)			±1	% Full Scale
Current Offset Error	I <sub>OERR</sub>	0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C, 2.5V ≤ V <sub>DD</sub> ≤ 4.2V (Notes 3, 4)	-7.82		+12.5	μV
Accumulated Current Offset	Q <sub>OERR</sub>	0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C, 2.5V ≤ V <sub>DD</sub> ≤ 4.2V, V <sub>SNS</sub> = V <sub>SS</sub> (Notes 3, 4, 5)	-188		0	μVhr/ day
Timebase Error	t <sub>ERR</sub>	V <sub>DD</sub> = 3.8V, T <sub>A</sub> = +25°C			±1	%
		0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +70°C, 2.5V ≤ V <sub>DD</sub> ≤ 4.2V			±2	
					±3	

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS: 1-Wire INTERFACE, STANDARD

(V<sub>CC</sub> = 2.5V to 4.5V, T<sub>A</sub> = -25°C to +70°C.)

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

# DS2788

## 独立式电量计IC, 提供LED显示驱动器

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

(V<sub>CC</sub> = 2.5V to 4.5V, T<sub>A</sub> = -25°C to +70°C.)

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

### EEPROM RELIABILITY SPECIFICATION

(V<sub>CC</sub> = 2.5V to 4.5V, T<sub>A</sub> = -25°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>				10	ms
EEPROM Copy Endurance	N <sub>EEC</sub>	T <sub>A</sub> = +50°C (Note 6)	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:** Parameters guaranteed by design.

**Note 4:** At a constant regulated V<sub>DD</sub> voltage, the Current Offset Bias register can be used to obtain higher accuracy.

**Note 5:** Accumulation Bias register set to 00h.

**Note 6:** EEPROM data retention is 10 years at +50°C.

# DS2788

## 独立式电量计IC， 提供LED显示驱动器

### 引脚说明

引脚	名称	功能
1	LED2	显示器驱动，连接至与V <sub>DD</sub> 相连的LED，用于显示电池包的相对电量。
2	LED1	显示器驱动，连接至与V <sub>DD</sub> 相连的LED，用于显示电池包的相对电量。
3	DV <sub>SS</sub>	显示驱动器接地，LED显示驱动器的接地端，连接至V <sub>SS</sub> 。
4	V <sub>DD</sub>	电源输入，通过去耦网络连接至电池正极。
5	OVD	1-Wire总线速率控制。输入逻辑电平选择1-Wire总线速率。逻辑1选择高速驱动(OVD)时序；逻辑0选择标准驱动(STD)时序。在多节点总线上，所有器件必须以相同速率工作。
6	V <sub>SS</sub>	器件地，直接连接至电池负极。请将检流电阻连接在V <sub>SS</sub> 和SNS之间。
7	DQ	数据输入/输出，1-Wire数据线、漏极开路输出驱动器。将该引脚连接至电池包的DATA端。该引脚具有内部弱下拉(I <sub>PD</sub> )，可以检测电池包是否与主机或充电器断开连接。
8	VMA	电压测量有效状态指示，该引脚在电压转换启动之前被驱动至高电平；在转换周期结束时被驱动至低电平。
9	SNS	检流电阻连接。该引脚连接至电池包的负极，将检流电阻连接在V <sub>SS</sub> 和SNS之间。
10	V <sub>IN</sub>	电压检测输入。通过该输入引脚监测单节电池的电压。
11	PIO	可编程的I/O引脚。该引脚可配置为输入或输出，用于监测或控制用户定义的外部电路。输出驱动器为开漏模式。该引脚具有内部弱下拉(I <sub>PD</sub> )。当配置为输入时，识别到上升沿后使能电量计显示。
12	LED5	显示器驱动，连接至与V <sub>DD</sub> 相连的LED，用于显示电池包的相对电量。配置4个LED时，该引脚悬空。
13	LED4	显示器驱动，连接至与V <sub>DD</sub> 相连的LED，用于显示电池包的相对电量。
14	LED3	显示器驱动，连接至与V <sub>DD</sub> 相连的LED，用于显示电池包的相对电量。

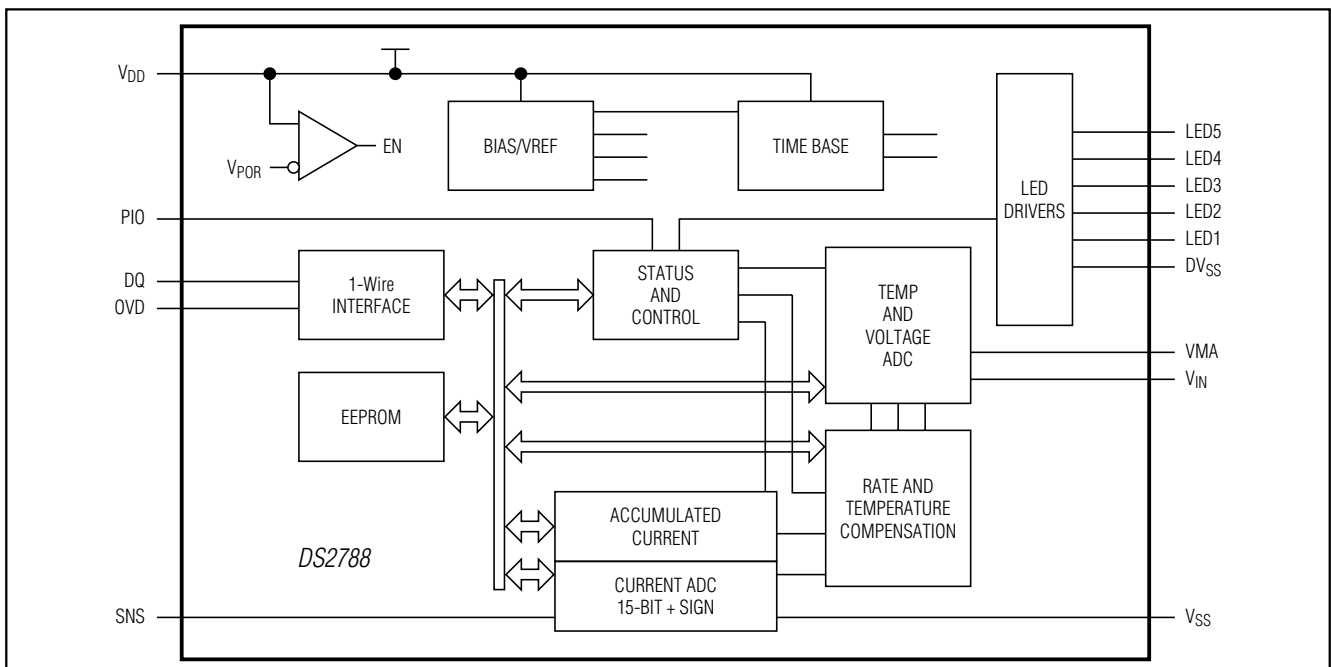


图1. 方框图

## 独立式电量计IC， 提供LED显示驱动器

## 详细说明

DS2788可以直接由2.5V至4.5V电源供电,支持单节Li+电池。如图2所示,通过调整 $V_{IN}$ 端的外部分压电阻,DS2788也可适应多节电池的应用。器件提供NV存储器,用于存储电池补偿和应用参数。无需开发主机侧电量计算法,内置算法和方便的工作状态指示可以减少主处理器的轮询操作。

另外，16字节EEPROM存储器专供主机系统和/或电池厂商使用。附加EEPROM存储器有助于简化电池批次与生产日期的跟踪，并可永久保存系统或电池的使用信息。

1-Wire接口支持16kbps标准或140kbps高速串行通信速率，用于访问数据寄存器、控制寄存器和用户存储器。器件具有唯一的工厂预置64位注册码(8位家族码 + 48位序列号 + 8位CRC)，确保所有器件具有唯一的序列号，从而具有绝对可追溯性。DS2788的1-Wire接口支持多点接入，可通过单个引脚寻址访问多个从机器件。

## 供电模式

DS2788有两种供电模式：ACTIVE和SLEEP。上电时，DS2788的缺省模式为ACTIVE。ACTIVE模式下，DS2788支持所有功能，可连续测量并更新电量估算结果。SLEEP模式下，DS2788关闭测量和电量估算功能，以节省功耗，但仍保存寄存器的内容。器件会在两种情况下进入SLEEP模式，每种情况均具有一个使能位，可以有选择地切换到SLEEP模式。通过设置供电模式(PMOD)位或欠压使能位(UVEN)均可使能SLEEP模式。

PMOD位置1且DQ引脚为低电平的持续时间达到 $t_{SLEEP}$  (标称值为2s)时,进入PMOD SLEEP模式。DQ为低电平的时间 $t_{SLEEP}$ 可用来检测电池包断开连接或系统关断的状况,这些状况下不会有充电或放电电流流过。DQ拉高时,DS2788将从PMOD SLEEP模式转为ACTIVE模式。

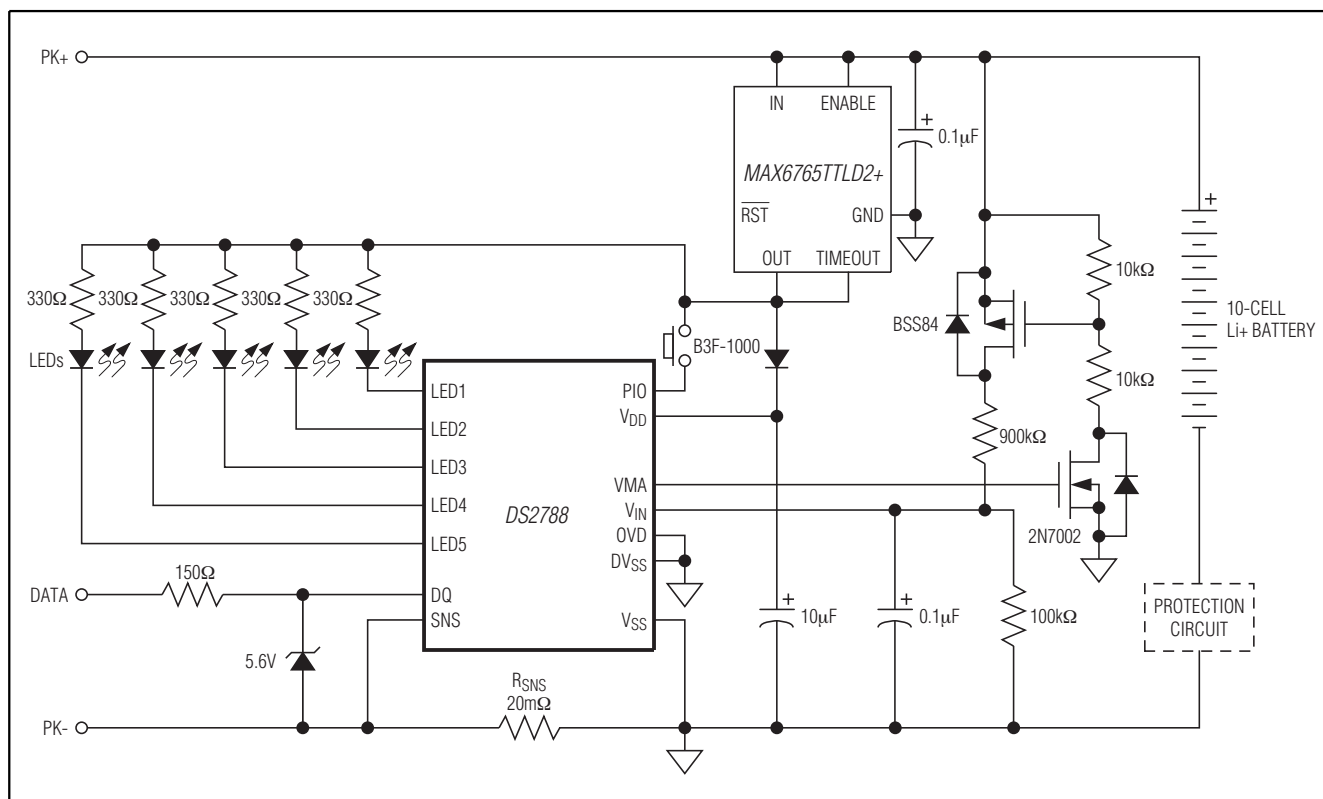


图2. 多节电池应用实例

# DS2788

## 独立式电量计IC， 提供LED显示驱动器

第二种进入SLEEP模式的情况是欠压条件。当UVEN位置1时，如果 $V_{IN}$ 电压低于 $V_{SLEEP}$  (标称值为2.45V)并且DQ保持为高或低电平的时间达到 $t_{SLEEP}$ ，DS2788进入SLEEP模式。欠压状态出现在电池完全放电时，此时电池的带载能力最低。UVEN SLEEP模式可降低 $I_{ACTIVE}$ 负载电流，直到DQ恢复通信。

**注：**当电池在没有DQ引脚连接的情况下由外部充电器充电时，必须禁止PMOD和UVEN SLEEP功能。如果充电器可将DQ拉高，则可启用PMOD SLEEP模式。如果充电器能够触发DQ引脚，则可启用UVEN SLEEP模式。如果充电时充电器不能正确驱动DQ，DS2788将保持在SLEEP模式，不会测量和累计电流。

### SLEEP模式下启动通信

在PMOD SLEEP模式下与DS2788通信时，必须先将DQ拉高，然后由主机发出1-Wire复位脉冲。UVEN SLEEP模式下，通信过程取决于进入UVEN SLEEP模式时的DQ状态。如果当时DQ为低，则必须先将DQ拉高，然后由主机发出1-Wire复位脉冲，与PMOD SLEEP模式类似。如果进入UVEN SLEEP模式时DQ为高，则DS2788已准备就绪接收

主机发出的1-Wire复位脉冲。在前两种SLEEP模式下DQ为低的情况中，DS2788在DQ的第一个上升沿不会应答在线脉冲。

### 电压测量

通过测量 $V_{IN}$ 输入获得电池电压，相对于 $V_{SS}$ 电压范围为0至4.5V，分辨率为4.88mV。每440ms更新一次测量结果，并以二进制补码形式存放在电压(VOLT)寄存器中。高于最大寄存器数值的电压，读数为最大寄存器值；低于最小寄存器数值的电压，读数为最小寄存器值。电压寄存器的格式如图3所示。

$V_{IN}$ 通常通过1k $\Omega$ 电阻连接至单节Li+电池的正极。该引脚的输入阻抗非常大(15M $\Omega$ )，可以在支持多节电池应用中与高阻分压器连接在一起。电池包电压应除以串联电池的节数，以便在 $V_{IN}$ 输入得到平均的单节电池电压。图2中，R值可高达1M $\Omega$ ，不会因输入负载导致较大的误差。VMA引脚在电压转换开始之前的 $t_{PRE}$ 时间驱动至高电平，允许外部开关元件使能电阻分压器并在转换开始之前进入稳定状态。

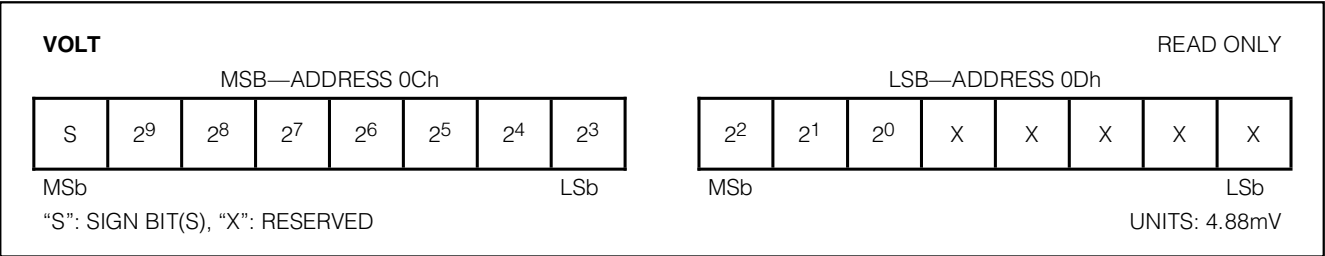


图3. 电压寄存器格式

# DS2788

## 独立式电量计IC， 提供LED显示驱动器

### 温度测量

DS2788利用一个内置温度传感器测量电池温度，分辨率为0.125°C。每440ms更新一次温度测量结果，并以二进制补码形式存放在温度寄存器(TEMP)中，温度寄存器的格式如图4所示。

### 电流测量

ACTIVE模式下，DS2788通过测量低阻值检流电阻 $R_{SNS}$ 两端的压差连续监测流入和流出电池的电流。SNS和 $V_{SS}$ 之

间的电压检测范围为 $\pm 51.2\text{mV}$ 。只要连续信号电平(转换周期内的平均值)不超过 $\pm 51.2\text{mV}$ ，输入可线性地转换幅度高达102.4mV的峰值信号。ADC以18.6kHz速率对输入进行差分采样，并在每个转换周期完成时更新电流(CURRENT)寄存器。

每3.515s更新一次电流寄存器，电流转换结果以二进制补码形式保存。高于最大寄存器数值的充电电流，读数为最大寄存器值(7FFFh = +51.2mV)。低于最小寄存器数值的放电电流，读数为最小寄存器值(8000h = -51.2mV)。

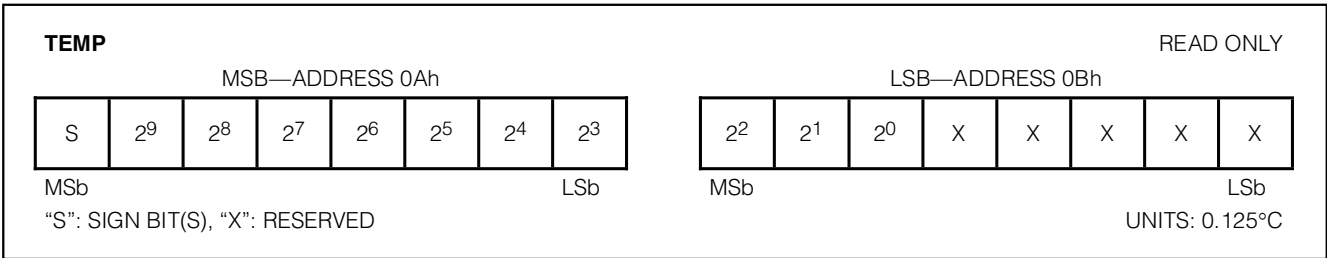


图4. 温度寄存器格式

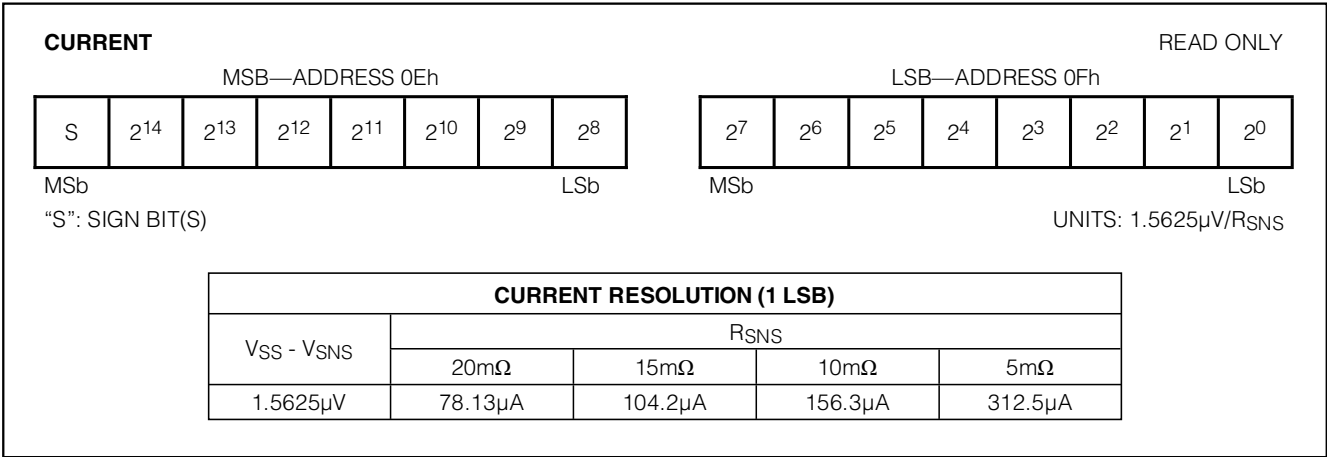


图5. 电流寄存器格式



# DS2788

## 独立式电量计IC， 提供LED显示驱动器

### 平均电流测量

平均电流(IAVG)寄存器的读数为前28s内的平均电流。该寄存器为二进制补码形式，每28s更新一次，其值为之前8个电流寄存器更新值的平均，平均电流寄存器的格式如图6所示。高于最大寄存器数值的充电电流，读数为最大寄存器值(7FFFh = +51.2mV)。低于最小寄存器数值的放电电流，读数为最小寄存器值(8000h = -51.2mV)。

### 电流失调校准

进行第1024次转换时，ADC将测量其输入失调以进行失调校准。失调校准大约每小时进行一次。所得到的校准系数用来校准后续的1023次测量结果。在输入失调信号转换过程中，ADC不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，电流寄存器用失调转换前的电流测量结果取代电流累计过程中漏掉的这次电流测量。这就使得由失调校准所导致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追加一个可编程的偏移量。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，并用于电流累计。COB可用来校准静态失调误差，或用来对电流测量结果增加一个偏移量，并相应地对电流累计值增加偏移。

COB允许读写访问。无论何时写入COB，新数值都将追加至后续的电流测量结果。COB能以1.56 $\mu$ V的步长进行编程，范围为+198.1 $\mu$ V至-199.7 $\mu$ V。COB的值以二进制补码形式存储在非易失性存储器中。

### 电流测量校准

DS2788的电流测量增益可以通过RSGAIN寄存器调整，并在出厂前进行了校准以满足数据资料给出的精度指标。用户可以访问RSGAIN，并可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。调整RSGAIN可修正外部检流电阻标称值的误差，从而允许使用低成本的低精度检流电阻。RSGAIN是一个11位数值，存储在参数EEPROM存储模块的2个字节内。RSGAIN的数值可在0至1.999范围内调整增益，步长为0.001 (确切值为 $2^{-10}$ )。用户必须谨慎设置RSGAIN，以确保精确的电流测量。器件出厂时增益校准值存储在参数存储器EEPROM的两个不同区域：可重新设置的RSGAIN和只读存储器FRSGAIN。RSGAIN确定电流测量增益，只读FRSGAIN (地址B0h和B1h)仅用于保存工厂设置，在电流测量中并未使用。

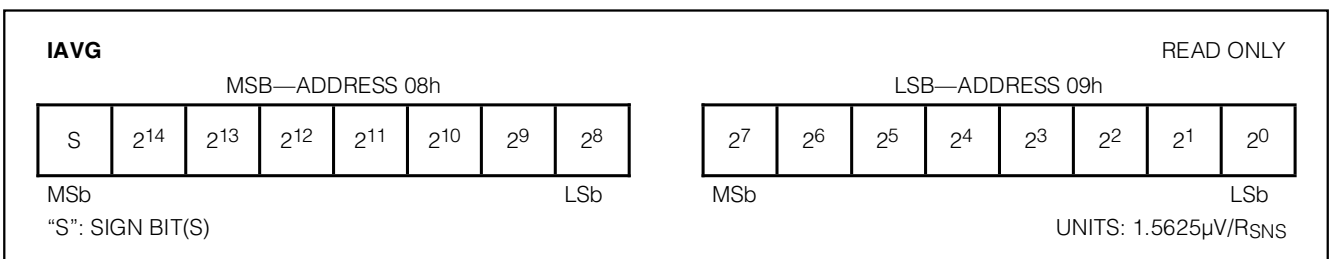


图6. 平均电流寄存器格式

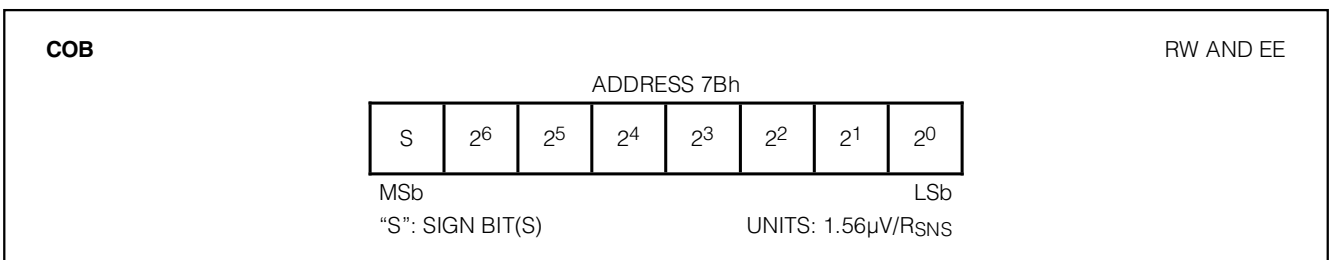


图7. 电流偏移寄存器格式

# DS2788

## 独立式电量计IC， 提供LED显示驱动器

### 检流电阻温度补偿

DS2788能够对检流电阻进行温度补偿，以修正检流电阻阻值随温度的变化。DS2788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，当使用具有较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编程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为0至+7782ppm/°C，步长为30.5ppm/°C。用户设置RSTC时必须慎重，以确保精确的电流测量结果。

当温度寄存器数值跨越0.5°C边界时，将调整温度补偿值。检流电阻应尽可能靠近V<sub>SS</sub>端，以优化该电阻与片上温度传感器之间的热传导，得到最佳温度补偿效果。如果用铜箔PCB走线构建电流检测通路，应尽可能使该走线位于DS2788的封装下方。

### 电流累计

每次转换周期结束时，电流测量值在片内求和或累计，并将结果存储在ACR内。ACR的精度取决于电流测量和转换时基的精度。ACR的范围为0至409.6mVh，LSb (最低有效位)为6.25μVh。附加的只读存储器(ACRL)保存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，读数为最大寄存器值(7FFFh)；相反，放电电流累计值低于最小寄存器值时，读数为最小寄存器值(8000h)。

ACR允许进行读、写操作，写ACR时必须先写MSB (最高有效字节)，再写LSB (最低有效字节)。写操作必须在3.515s (一个ACR寄存器更新周期)内完成。写ACR将强制ADC执行一次失调校准转换并更新内部失调校准系数。在写ACR后的第二次转换时开始电流测量和累计，写ACR将清除ACRL内的小数部分，ACR寄存器的格式如图8所示，ACRL寄存器的格式如图9所示。

为了在掉电时保存ACR，ACR值被备份到EEPROM。上电时从EEPROM中恢复ACR值，专用地址和备份频率请参考表3中的存储器映射。

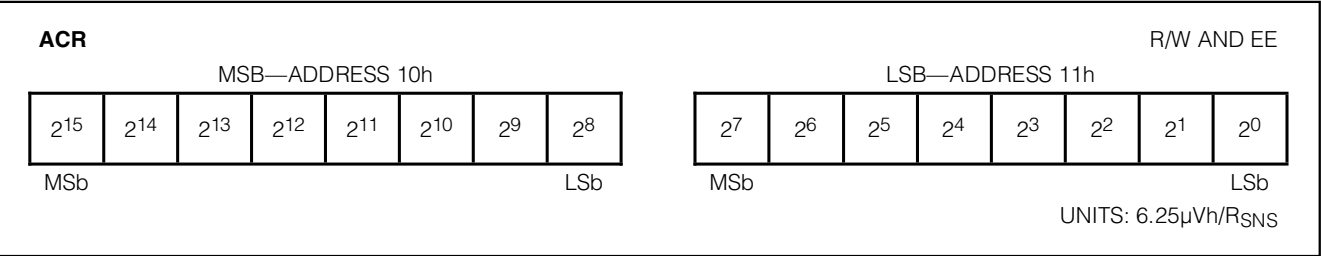


图8. 累计电流寄存器(ACR)格式

DS2788

独立式电量计IC，  
提供LED显示驱动器

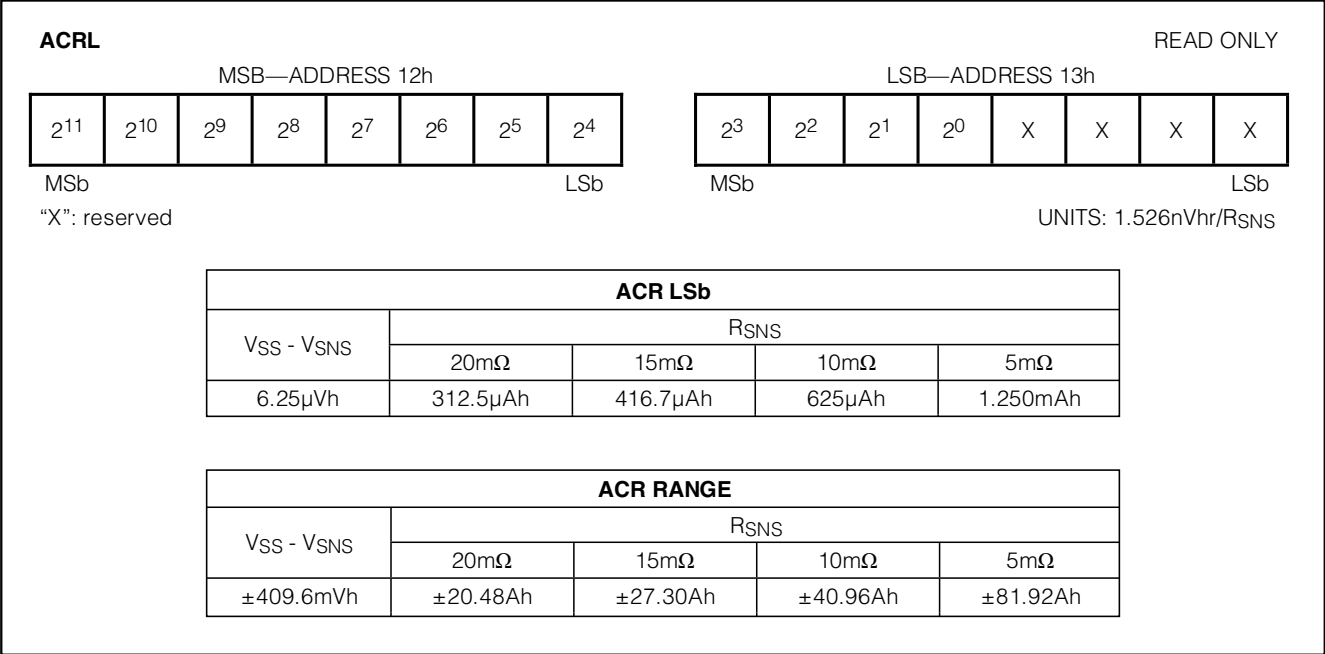


图9. 小数/小电流累计寄存器(ACRL)格式

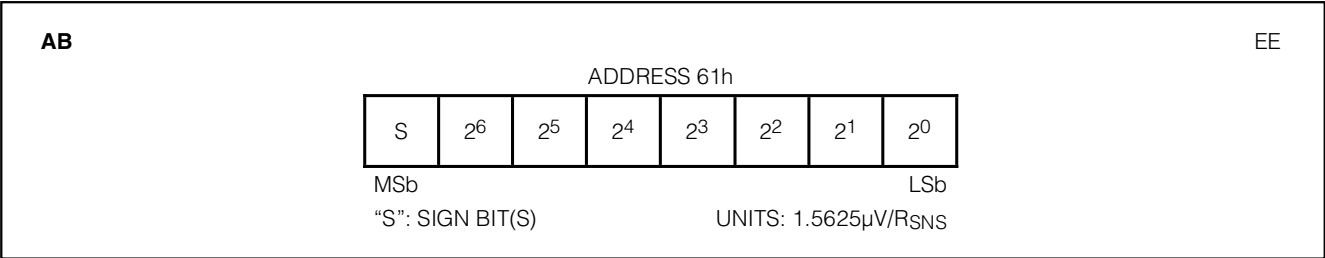


图10. 累计偏移寄存器格式

电流屏蔽

电流屏蔽功能可在电流测量结果累计到ACR之前对其进行修改。当电流测量值(原始电流值 + COB)处于定义的两个范围之一时，有条件的启用电流屏蔽功能。第一个范围防止对检流电压低于100μV的充电电流进行累计；第二个范围防止对检流电压低于25μV的放电电流进行累计。充电电流屏蔽连续有效，但放电电流屏蔽功能必须通过将控制寄存器内的NBEN位置1使能，更多信息请参考寄存器说明。

累计偏移

累计偏移(AB)寄存器允许将任意偏移量引入电流累计过程，AB可用于计算流过检流电阻以外的电流、估算过小到无法测量的电流、估算电池的自放电电流或校准各DS2788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设置的一个正或负恒定偏移量。用户设置的二进制补码的位权值与电流寄存器相同，在每个电流转换周期都叠加至ACR。上电时，从EEPROM存储器加载AB值，AB寄存器的格式如图10所示。

# DS2788

## 独立式电量计IC， 提供LED显示驱动器

### 电量估算

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工作极限参数，图11说明了算法的输入和输出。

### 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、负载电流和充电终止时的性能。由于

Li+电池的非线性，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。DS2788采用的FuelPack™估算方法在应用笔记131: *Lithium-Ion Cell Fuel Gauging with Maxim Battery Monitor ICs*中进行了介绍。为提高硬件工作效率，DS2788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。通过包括满电量、有效空电量和待机空电量三条模型曲线的分段拟合，线性建模，可重新获得满电量和空电量点。每条模型曲线由五个线段组成，标号为1至5。温度超过+50°C时，第5段模型曲线

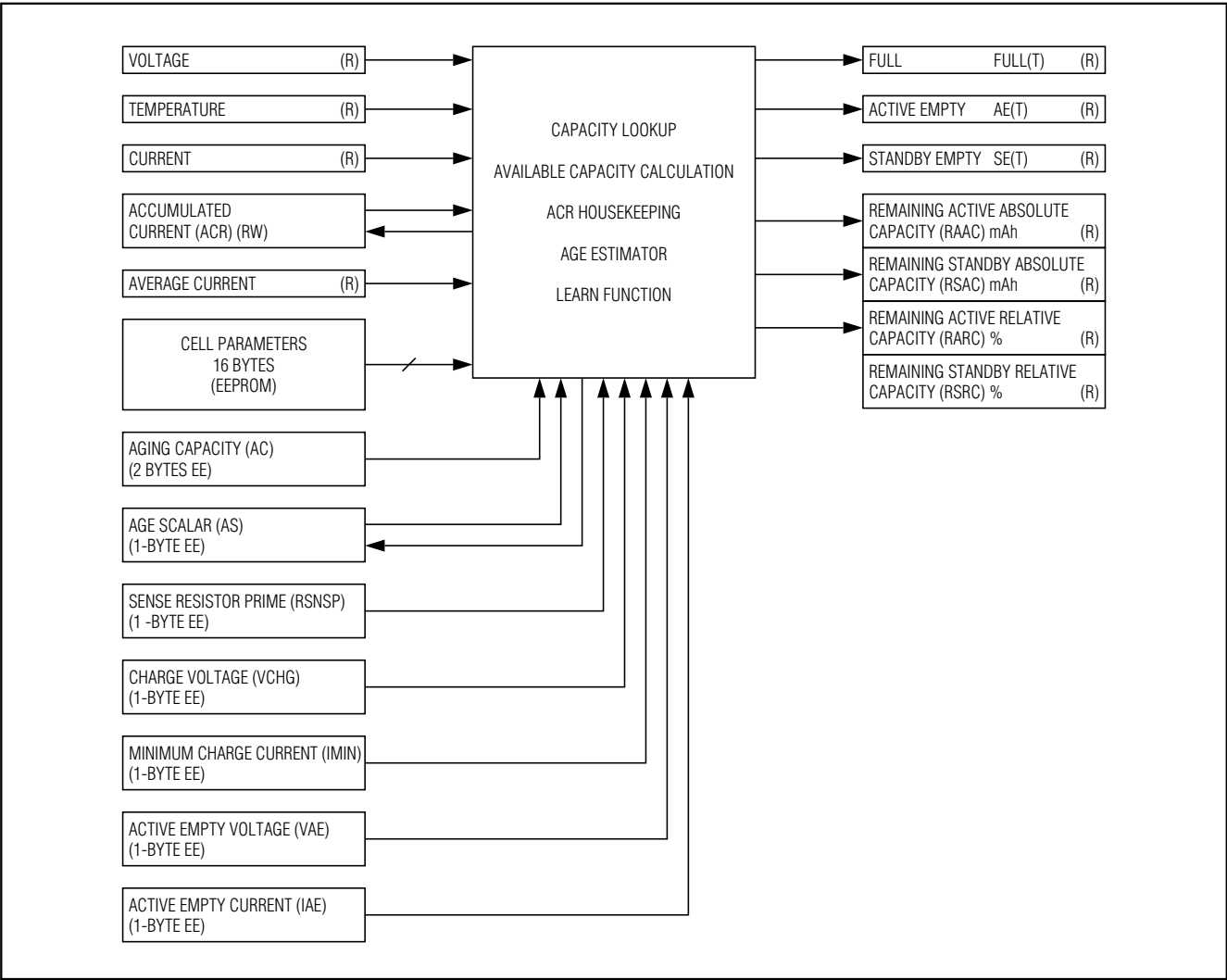


图11. 顶层算法框图

FuelPack是Maxim Integrated Products, Inc.的商标。

# DS2788

## 独立式电量计IC, 提供LED显示驱动器

以零斜率无限延伸,以逼近温度在+50°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段的上部开始于+50°C,并且向下延伸至+25°C。第3段与第2段相连,第2段与第1段相连。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 $\mu\text{Vh ppm}/^\circ\text{C}$ 的形式存储。连接各段的两个连接点或转折点(标记为TBP12和TBP23,参见图12)可编程为-128°C至+25°C,步长为1°C。它们以二进制补码形式存储,TBP23位于7Ch,TBP12位于7Dh。第1、2、3和4段的斜率或导数也可编程设置。

**满电量:** 满电量曲线定义了给定充电终止模式下某电池组的满电量随温度变化的情况。实际应用中的充电终止

模式将决定表中的数值。DS2788根据电池特性表中的值重建满电量曲线,以确定各温度时电池的满电量。温度每增加1°C时进行一次重建。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为+50°C时1214mAh,在+25°C时的满电量为1199mAh,0°C (TBP23)时为1182mAh,则第3段的斜率为:

$$\frac{((1199\text{mAh} - 1182\text{mAh}) / (1214\text{mAh} / 1\text{M}))}{(25^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C})} = 560\text{ppm}/^\circ\text{C}$$

斜率寄存器的1个LSB等于61ppm,因此整个第3段的斜率寄存器(地址为0x6Dh)将被编程为0x09h。每个斜率寄存器的动态范围为0ppm至15555ppm。

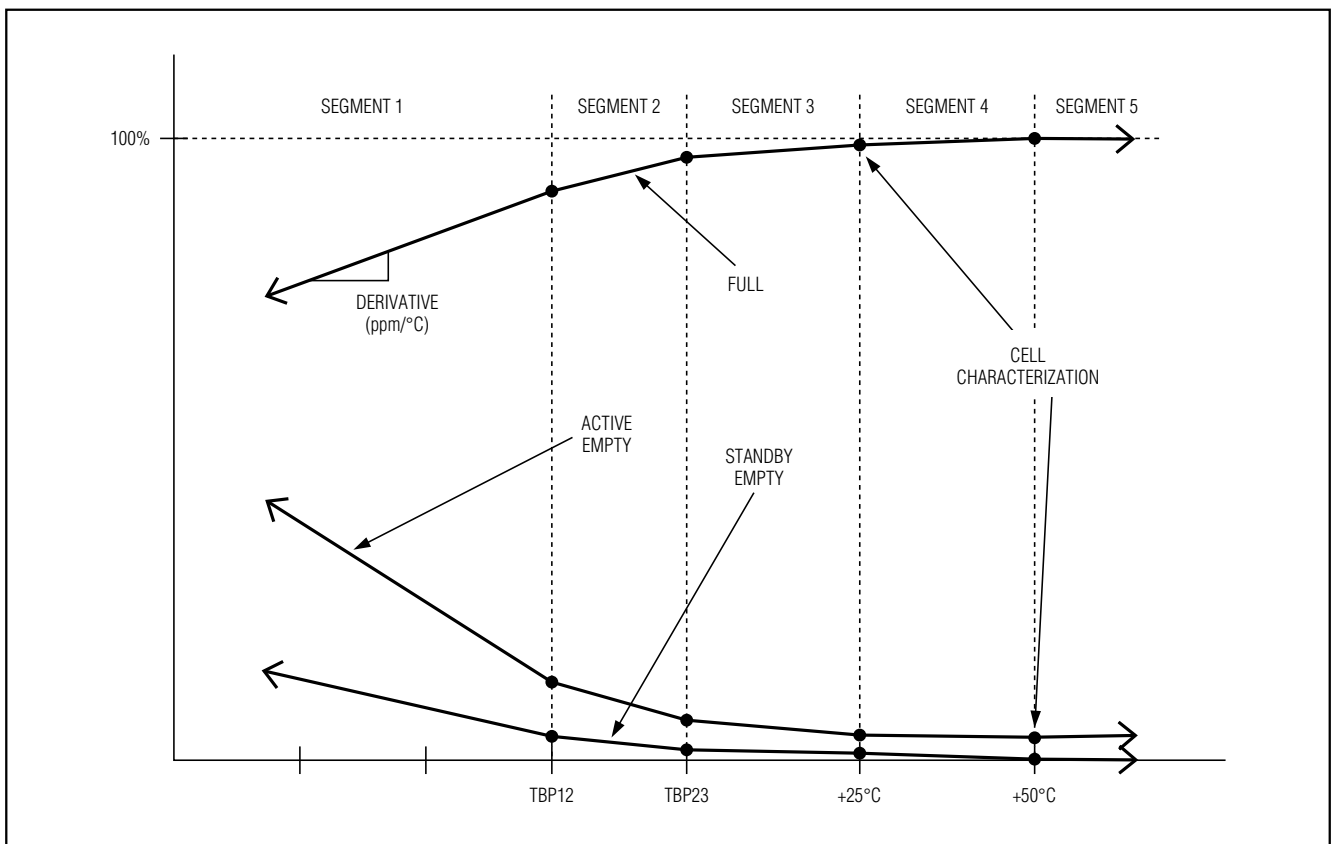


图12. 电池模型示例图

# DS2788

## 独立式电量计IC, 提供LED显示驱动器

**有效空电量：**有效工作时的空电池电量曲线基于较大负载电流(工作在较大功率模式下的持续电流)以及系统工作所需的最小电压，定义了空电池电量点随温度的变化情况。该负载电流被编程为有效空电流(IAE)，为3.5s时间内的平均值，与电流寄存器的读数相对应，而指定的最小电压或有效空电压(VAE)是250ms内的平均值，与电压寄存器的读数相对应。DS2788根据电池特性表中的值重建有效空电量曲线，以确定各温度时电池的有效空电量。温度每增加1°C时重建一次有效空电量。有效空电量各段的斜率采用与满电量段相同的方式存储。

**待机空电量：**待机空电池电量曲线定义了在具体应用中由待机工作时所需的待机电流和最低电压所确定的空电池电量点随温度的变化情况。待机空电量点表示电池已不能再支持应用中某个子功能的运行，如手机的存储器数据保持或管理功能。待机空电量各段的斜率采用与满电量段相同的方式存储。

待机负载电流和电压用来确定电池特性，但并不能编程至DS2788中。DS2788依照电池特性表中的值重建待机空电量曲线，以确定各温度时电池的待机空电量。温度每增加1°C时重建一次待机空电量。

### 建立电池组模型

建立模型时所有点都归一化为+50°C时电池完全充满的状态。初始值、以mVh为单位的+50°C满电量值和占+50°C时满电量值一小部分的有效空电量值存储在电池参数EEPROM模块中。+50°C时的待机空电量值被定义为零，不需要储存。每种模型曲线中4段斜率(导数)与各段的转折温度也存放在电池参数EEPROM模块中。表1给出了采用这种方式的存储数据范例。

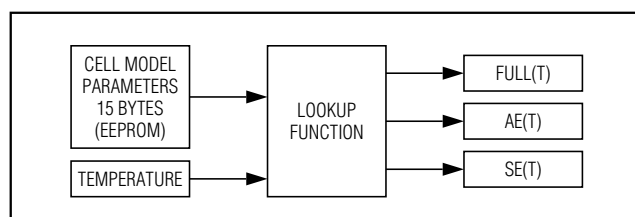


图13. 查找功能框图

表1. 电池特性表范例(归一化至+50°C)

Manufacturer's Rated Cell Capacity: 1220mAh		
Charge Voltage: 4.2V	Charge Current: 500mA	Termination Current: 50mA
Active Empty (V, I): 3.0V, 500mA		Standby Empty (V, I): 3.0V, 4mA
Sense Resistor: 0.020Ω		

SEGMENT BREAKPOINTS
TBP12 = -12°C
TBP23 = 0°C

CALCULATED VALUE	+50°C NOMINAL (mAh)	SEGMENT 1 (ppm/°C)	SEGMENT 2 (ppm/°C)	SEGMENT 3 (ppm/°C)	SEGMENT 4 (ppm/°C)
Full	1214	488	549	1587	2686
Active Empty		854	1526	2686	3113
Standby Empty		244	183	916	244



# DS2788

## 独立式电量计IC, 提供LED显示驱动器

### 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，以及计算mAh为单位的结果。

#### 检流电阻初值(RSNSP)

RSNSP存储检流电阻的值，用来计算绝对电量。该数值以1字节电导的形式保存，单位为西门子。RSNSP支持1Ω至3.922mΩ的电阻值。RSNSP位于参数EEPROM模块中。

#### 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。该数值以1个字节电压的形式保存，单位为19.52mV，范围为0至4.978V。VCHG的设定值应稍小于充电周期结束时的单节电池电压，以确保可靠的充电终止检测。VCHG位于参数EEPROM模块中。

#### 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。该数值以1个字节电压形式保存，单位为50μV，范围为0至12.75mV。假设 $R_{SNS} = 20\text{m}\Omega$ ，则IMIN可在0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模块中。

#### 有效空电压(VAE)

VAE存储用于检测有效工作时空电池电量点的电压门限。该值存储在1个字节的空间内，单位为19.52mV，范围为0至4.978V。VAE位于参数EEPROM模块中。

#### 有效空电流(IAE)

IAE存储用于检测有效工作时空电池电量点的放电电流门限。这个无符号数表示放电电流的大小，以电压形式存储在1个字节的空间内，单位为200μV，范围从0至51.2mV。假设 $R_{SNS} = 20\text{m}\Omega$ ，IAE能以10mA步长编程为0mA至2550mA。IAE位于参数EEPROM模块中。

#### 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。该数值存放在2个字节的空间内，单位与

ACR相同(6.25μVh)。AC设置为制造商给出的额定电量时，老化速率设置为每100个等效完全放电周期约2.4%。对于部分放电周期，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88%。通过将AC设置为与厂商额定值不相同的值，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模块中。

#### 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，范围为49.2%和100%。最低LSB的权值为0.78% (确切值为 $2^{-7}$ )。AS值为100% (十进制128或80h)时表示电池未老化。制造电池包时，推荐将AS初始值设为95%，以允许在电池初始容量大于电池特性表中编程的标称容量时学习该较大的容量值。通过上述基于放电次数的老化估计和容量学习功能编程AS值。主机系统可以读写访问AS，但在写AS时必须慎重，以免累积后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DS2788会将AS自动定期保存到EEPROM内 (详见存储器部份)。上电时重新恢复EEPROM存储的AS值。

### 电量估算功能

#### 老化估计

如前文所述，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值减1，电池满容量减少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，从已知空电量点充电到已知满电量点时充入Li+电池的电荷量是测量电池电量的可靠依据。从空电量连续充电到满电量实现一个“学习周期”。首先，必须检测到有效空电量点。学习标志(LEARNF)将在这一点置位。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容量调整老化系数(AS)。

# DS2788

## 独立式电量计IC， 提供LED显示驱动器

### ACR管理

有时需要调整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，有条件的调整ACR。如果AEF置1而LEARNF未置1，则未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，则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 nonzero 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(STATUS)寄存器中的充满(CHGTF)位置1。

### 有效空电量检测

当电压寄存器数值跌至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。据此捕捉到了电池达到有效空电量的事件。需要注意的是，先前的两个电流读数必须为负，并且幅度要大于IAE，也就是说，大于IAE门限规定值的放电电流。同时测量电压值和放电速率可确保不会在负载电流低于构建模型所用值时检测到有效空电量。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，两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STATUS寄存器中的学习标志位(LEARNF)。

### 结果寄存器

DS2788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+50°C时满电量的百分比。这个15位数反映了给定温度下电池组模型的满电量值。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+50°C时满电量的百分比。这个13位数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+50°C时满电量的百分比。这个13位数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报告当前温度下从有效工作状态下的空放电量(IAE)到有效空电量时能够得到的电量，以绝对值表示，单位为mAh。RAAC为16位。请参见图14。

**剩余绝对待机电量RSAC，[mAh]**：RSAC报告当前温度下从待机状态下的空放电量(ISE)到待机空电量时能够得到的电量，以绝对值表示，单位为mAh。RSAC为16位。请参见图15。

**剩余相对有效电量RARC，[%]**：RARC报告当前温度下从有效工作状态下的空放电量(IAE)到有效空电量时能够得到的电量，以相对百分比表示，RARC为8位。请参见图16。

**剩余相对待机电量RSRC，[%]**：RSRC报告当前温度下从待机状态下的空放电量(ISE)到待机空电量时能够得到的电量，以相对百分比表示，RSRC为8位。请参见图17。



# DS2788

## 独立式电量计IC, 提供LED显示驱动器

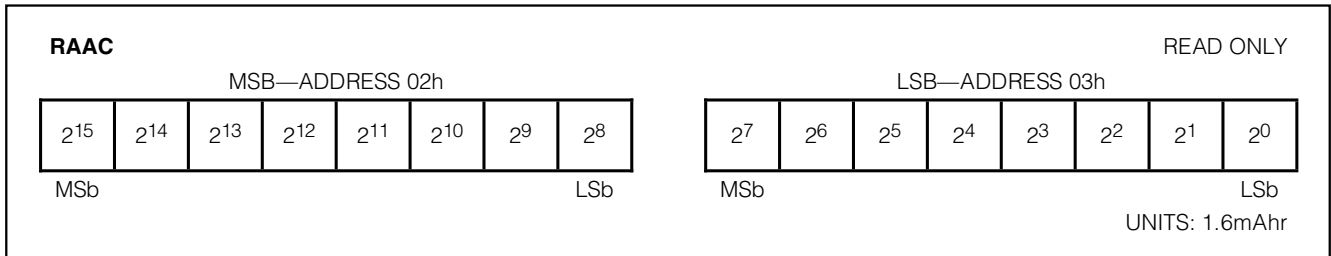


图14. 剩余绝对有效电量寄存器格式

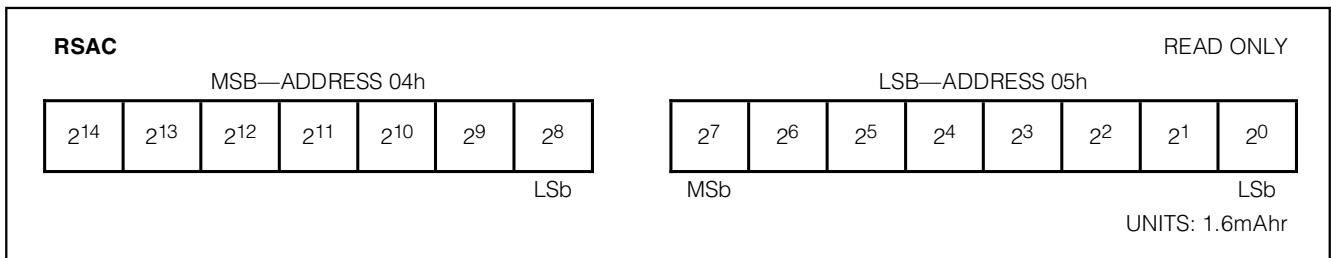


图15. 剩余绝对待机电量寄存器格式

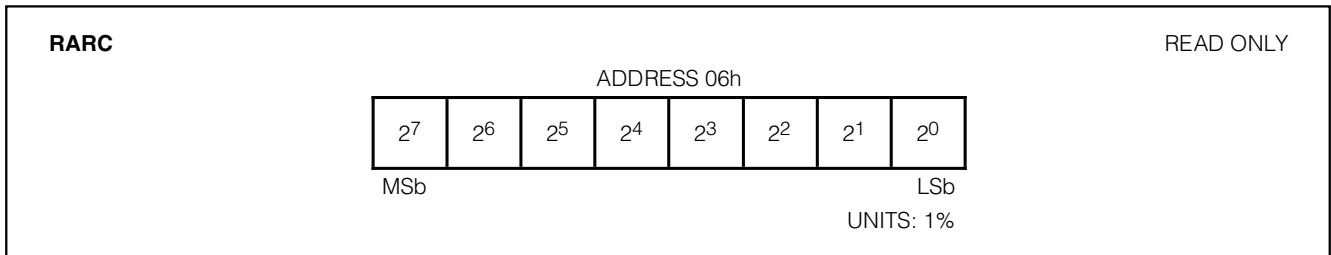


图16. 剩余相对有效电量寄存器格式

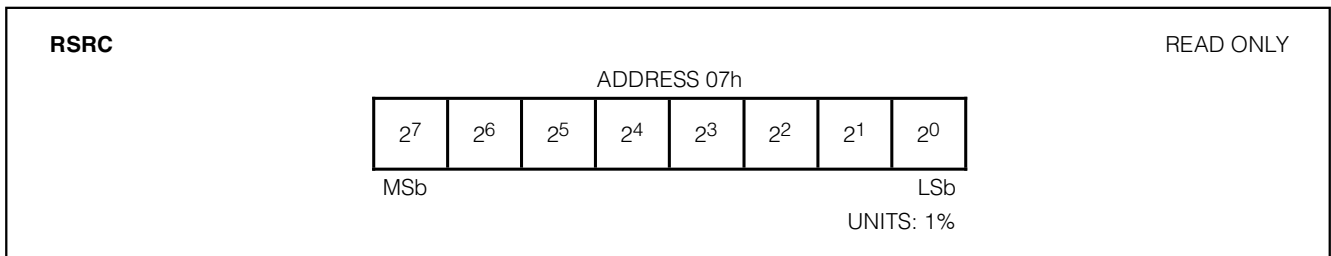


图17. 剩余相对待机电量寄存器格式

# DS2788

## 独立式电量计IC, 提供LED显示驱动器

### 计算结果

**RAAC [mAh]** = (ACR[mVh] - AE(T) × FULL50[mVh]) × RSNP [mhos]  
**RSAC [mAh]** = (ACR[mVh] - SE(T) × FULL50[mVh]) × RSNP [mhos]  
**RARC [%]** = 100% × (ACR[mVh] - AE(T) × FULL50[mVh]) / ((AS × FULL(T) - AE(T)) × FULL50[mVh])  
**RSRC [%]** = 100% × (ACR[mVh] - SE(T) × FULL50[mVh]) / ((AS × FULL(T) - SE(T)) × FULL50[mVh])

### 状态寄存器

状态寄存器包含器件状态指示位，这些位均可由DS2788内部置位，其中CHGTF、AEF、SEF和LEARNF位为只读位，由硬件清除。而UVF和PORF只能通过1-Wire接口清零。

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 < VSLEEP Cleared to 0 by: User
PORF	1	Read/Write*	Power-On Reset Flag—Useful for reset detection, see text below. Set to 1 when: upon power-up by hardware. Cleared to 0 by: User
Reserved	0	Read Only	Undefined

*\*This bit can be set by the DS2788, and can only be cleared through the 1-Wire interface.*  
*\*\*LEARNF is only cleared if ACR reaches 0 after VOLT < VAE.*

图18. 状态寄存器格式

DS2788

独立式电量计IC,  
提供LED显示驱动器

控制寄存器

所有控制寄存器位都可进行读、写操作。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中修改寄存器位的数值。利用Copy Data命令，可将映射RAM内的数值保存为上电缺省值。

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 -25µV.
UVEN	6	Read/Write	Undervoltage SLEEP Enable 0: Disables transition to SLEEP mode based on VIN voltage. 1: Enables transition to SLEEP mode if VIN < VSLEEP and DQ are stable at either logic level for tSLEEP.
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 is at a logic-low for tSLEEP.
RNAOP	4	Read/Write	Read Net Address Op Code 0: Read net address command = 33h. 1: Read net address command = 39h.
DC	3	Read/Write	Display Control 0: Enables LED5 fuel-gauge display. 1: Enables LED4 fuel-gauge display.
Reserved	0:2		Undefined

图19. 控制寄存器格式

# DS2788

## 独立式电量计IC， 提供LED显示驱动器

### 特殊功能寄存器

特殊功能寄存器的所有位都可进行读、写操作，在每一位的定义中给出了其缺省值。

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 $\leq V_{IL}$ 1: PIO pin $\geq V_{IH}$ 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 high-Z). <b>Note:</b> PIO pin has weak pulldown.

图20. 特殊功能寄存器格式

### 电量显示器

DS2788提供5个可吸收30mA电流的开漏输出驱动器。这些驱动器可用来直接驱动4或5个LED，显示剩余的有效电量(RARC)。当PIO配置为输入且PIO引脚检测到上升沿时，LED被点亮。显示器点亮4s后不管PIO引脚状态如何都会关闭。在100ms去抖延时后再次按下或释放PIO引脚的按钮都将使显示器使能(如果按键保持按下，显示器不会持续点亮)。

表2总结了LED的使能情况，B表示LED以0.5s点亮、0.5s熄灭的50%占空比闪烁，重复显示时间为4s。L表示该引脚拉低，点亮LED。X表示该引脚为高阻态，没有点亮LED。

表2. 电量显示器

CAPACITY	5 LEDs, DC: 0 LED5–LED1	4 LEDs, DC: 1 LED4–LED1
$RARC \leq 10$	XXXXB	XXXB
$10 < RARC \leq 20$	XXXXL	XXXL
$20 < RARC \leq 25$	XXXLL	XXXL
$25 < RARC \leq 40$	XXXLL	XXLL
$40 < RARC \leq 50$	XXLLL	XXLL
$50 < RARC \leq 60$	XXLLL	XLLL
$60 < RARC \leq 75$	XLLLL	XLLL
$75 < RARC \leq 80$	XLLLL	LLLL
$80 < RARC \leq 100$	LLLLL	LLLL

DS2788

独立式电量计IC,  
提供LED显示驱动器

EEPROM寄存器

EEPROM寄存器提供对EEPROM模块的访问控制。可以锁存EEPROM模块以防止更改模块中的数据。模块锁存后将

禁止对其进行写操作。一旦模块锁存将无法解锁。对EEPROM模块的读操作不受锁定/解锁状态的影响。

ADDRESS	1Fh		BIT DEFINITION
Field	Bit	Format	Allowable Values
EEC	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
LOCK	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 is not the command issued immediately following the Write command used to set the lock enable bit. Power-up default: 0
Reserved	2:6		Undefined
BL1	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
BL0	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

图21. EEPROM寄存器格式

# DS2788

## 独立式电量计IC， 提供LED显示驱动器

### 存储器

DS2788具有256字节线性存储器空间，包括测量寄存器、状态和控制寄存器，以及用于存储参数和用户信息的EEPROM存储器。读取标注为“Reserved”的字节地址时将返回未定义的数据。不能对保留字节进行写操作。为了存储16位数值，一些字节寄存器成对组成双字节寄存器，16位数值的MSB位于偶数地址，而LSB位于下一个地址(奇数)字节。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，以防止在读期间更新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EEPROM单元，并具有相应的易失映射RAM。Read Data和Write Data命令允许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。

### 用户EEPROM

16字节用户EEPROM存储器(模块0，地址20h–2Fh)提供与其它DS2788功能无关的非易失存储器。访问用户EEPROM模块不会影响DS2788的工作。用户EEPROM可锁存，锁存时将禁止写操作。电池包或主机系统制造商可编程批次代码、日期码以及其它制造、质保或诊断信息，然后锁定以保护数据。用户EEPROM还可存储充电参数以支持主机设备中不同尺寸的电池，以及辅助的模型数据，如完全充满的时间估计参数。

### 参数EEPROM

电池模型数据以及应用参数都存储在参数EEPROM存储器中(模块1，地址60h–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。这可使DS2788位于保护FET之外。采用这种方式，如果触发了保护器件，DS2788不会丢失超过4%的充电或放电数据。

表3. 存储器映射

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*

# 独立式电量计IC, 提供LED显示驱动器

表3. 存储器映射(续)

ADDRESS (HEX)	DESCRIPTION	READ/WRITE
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 AD	Reserved	—
AE	<b>FVGAIN:</b> Factory Voltage Gain MSB	R
AF	<b>FVGAIN:</b> Factory Voltage Gain LSB	R
B0	<b>FRSGAIN:</b> Factory Sense Resistor Gain MSB	R
B1	<b>FRSGAIN:</b> Factory Sense Resistor Gain LSB	R
B2 to FF	Reserved	—

\*在ACTIVE模式下，寄存器值自动保存到EEPROM中，并在上电时从EEPROM中恢复数据。

表4. 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 50	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 50 MSB	7A	<b>RSTC:</b> Sense Resistor Temp Coefficient
6B	Full 50 LSB	7B	<b>COB:</b> Current Offset Bias
6C	Full Segment 4 Slope	7C	<b>TBP23</b>
6D	Full Segment 3 Slope	7D	<b>TBP12</b>
6E	Full Segment 2 Slope	7E	<b>VGAIN:</b> Voltage Gain MSB
6F	Full Segment 1 Slope	7F	<b>VGAIN:</b> Voltage Gain LSB

# DS2788

## 独立式电量计IC， 提供LED显示驱动器

### 1-Wire总线系统

1-Wire总线是一个具有单总线主机和一个或多个从机的系统。多点总线是挂接了多个从机的1-Wire总线。而单点总线上仅有一个从机。在任何情况下，DS2788都作为从机。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DS2788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(DS2788的家族码为32h)。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22)。64位网络地址和器件内置的1-Wire I/O电路使DS2788能够通过1-Wire协议与主机通信，1-Wire协议的详细说明参见1-Wire总线系统部分。

### 生成CRC

DS2788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DS2788的CRC进行比较。系统主机负责校验CRC值并根据校验结

果采取相应措施。DS2788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23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Maxim 1-Wire CRC的信息请参考应用笔记27：理解和运用Maxim iButton产品中的循环冗余校验(CRC)。

在图23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。

### 硬件配置

由于1-Wire总线系统中仅有一条数据线，因此在合适的时间驱动总线上的各个器件十分重要。为使上述操作易于实现，挂接在1-Wire总线上的每个器件必须都通过漏极开路或三态输出驱动器连接总线。DS2788采用开漏极输出驱动器作为双向接口电路，如图24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。

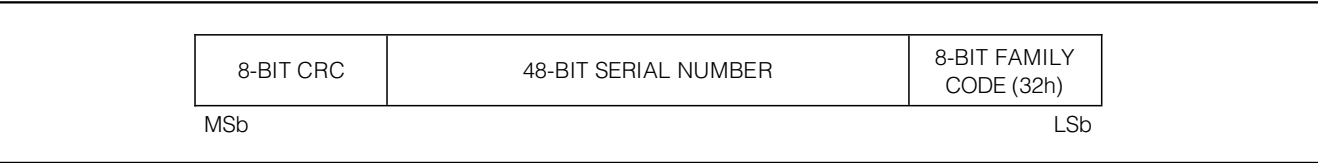


图22. 1-Wire网络地址格式

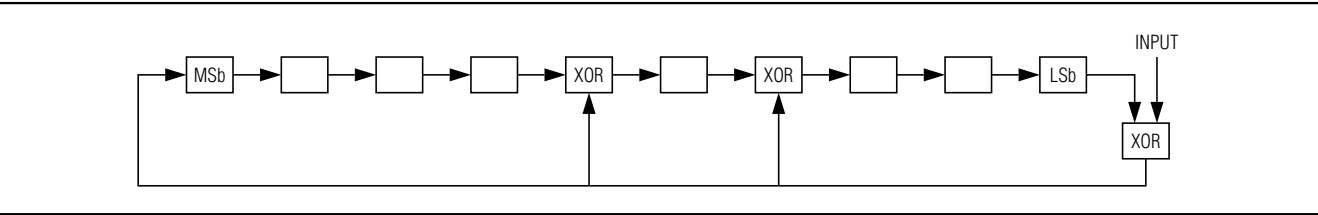


图23. 1-Wire CRC生成方框图

iButton是Maxim Integrated Products, Inc.的注册商标。



# DS2788

## 独立式电量计IC， 提供LED显示驱动器

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，总线必须保持在空闲状态以便稍后恢复通信。如果总线保持低电平的时间超过 $120\mu s$  (在高速模式下为 $16\mu s$ )，则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。

DS2788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时序在*Electrical Characteristics: 1-Wire Interface*中列出。

### 处理流程

通过1-Wire端口访问DS2788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，由总线主机发送的复位脉冲以及DS2788和总线上其它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的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25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DS2788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。

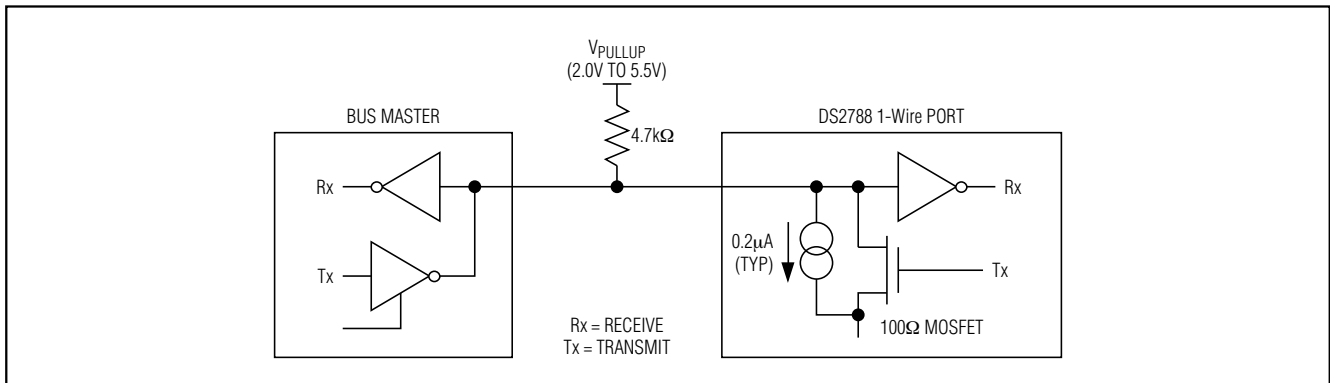


图24. 1-Wire总线接口电路

# DS2788

## 独立式电量计IC， 提供LED显示驱动器

**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DS2788。只有地址匹配的DS2788才会响应随后的功能命令。所有其它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DS2788时，该命令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 iButton Standards*的第5章，其中还包括一个示例(该资料可从[china.maxim-ic.com/ibuttonbook](http://china.maxim-ic.com/ibuttonbook)下载)。

**Resume [A5h]:** 在多点应用环境中，当需要多次访问DS2788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DS2788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，DS2788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DS2788。访问总线上的其它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DS2788。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5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DS2788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。更多详细信息参见存储器部分。

**Write Data [6Ch, XX]:** 该命令从存储器地址XX开始将数据写入DS2788。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部分。

# DS2788

## 独立式电量计IC, 提供LED显示驱动器

**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, 并忽略其它写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5. 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

# DS2788

独立式电量计IC,  
提供LED显示驱动器

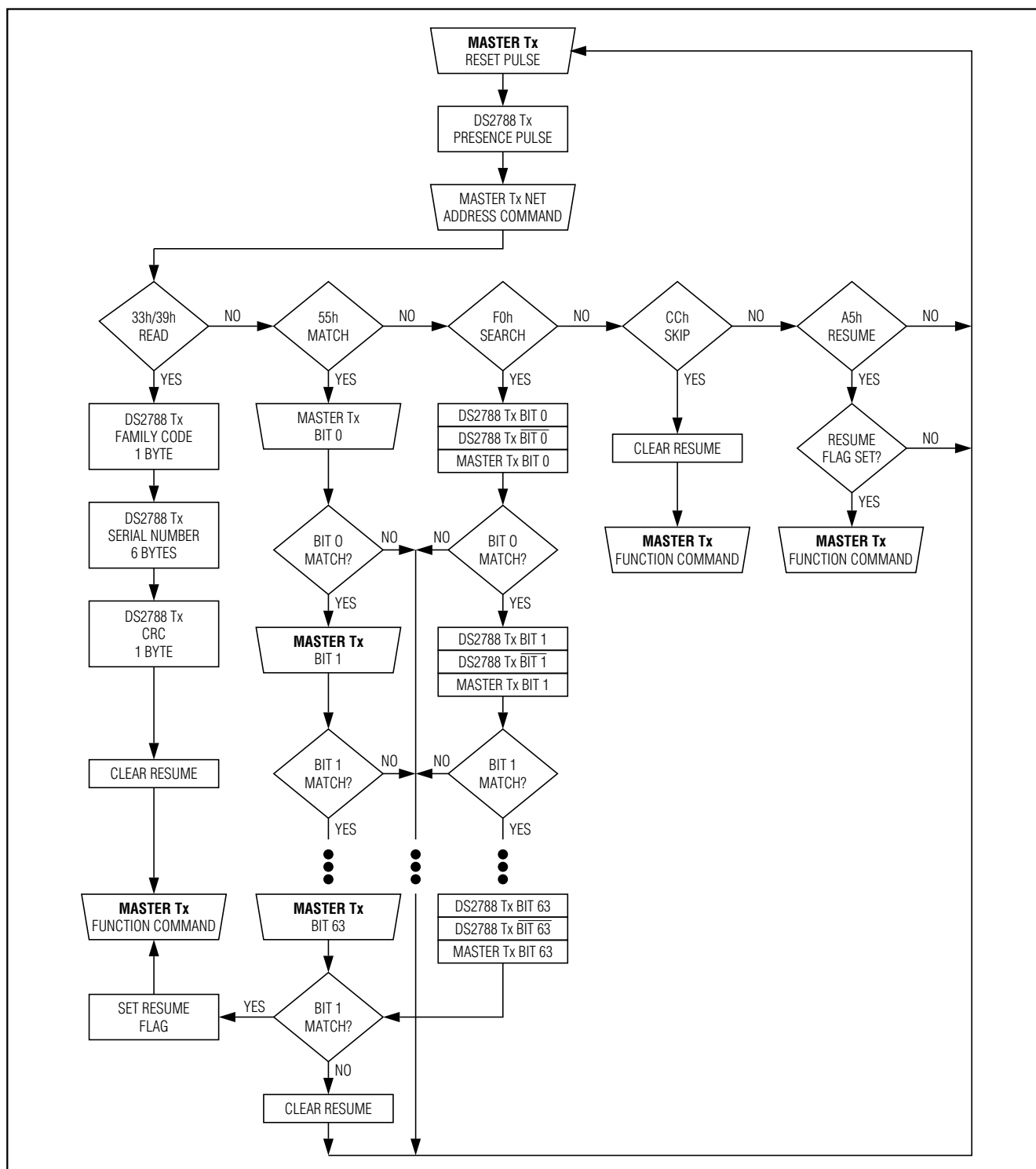


图25. 网络地址命令流程图

# DS2788

## 独立式电量计IC, 提供LED显示驱动器

### 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。DS2788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DS2788的任何通信都必须从初始化过程开始，如图26所示。复位脉冲之后的在线应答脉冲表明DS2788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。DS2788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。

### 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( $t_{REC}$ )。DS2788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27)。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DS2788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。DS2788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27。

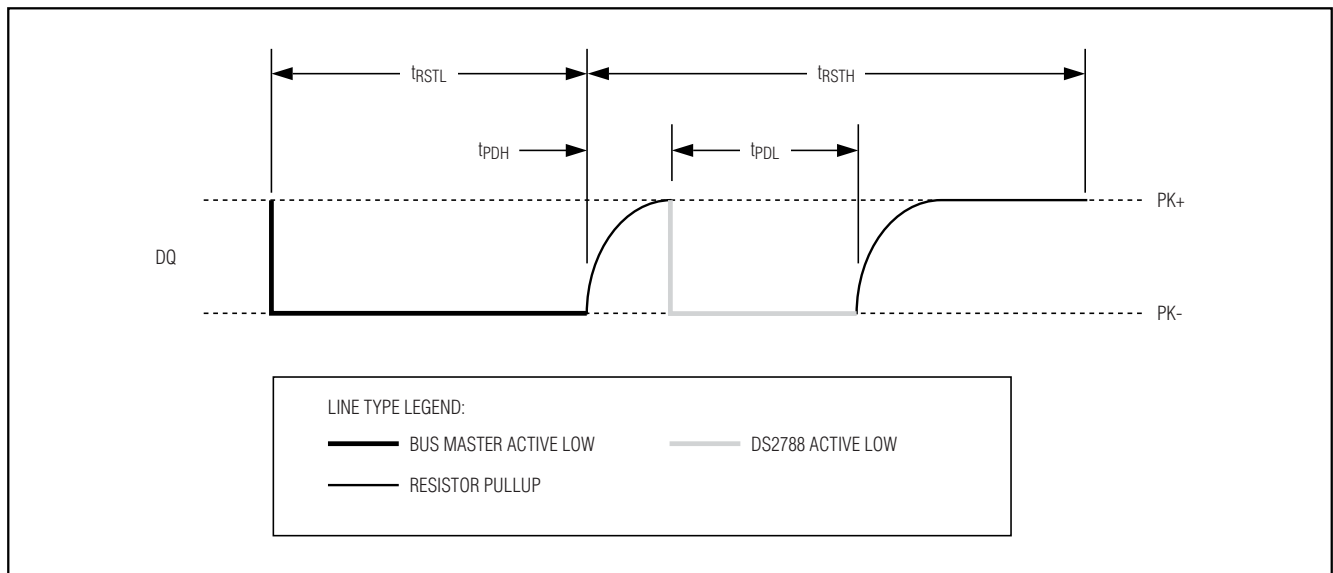


图26. 1-Wire初始化时序

# DS2788

独立式电量计IC,  
提供LED显示驱动器

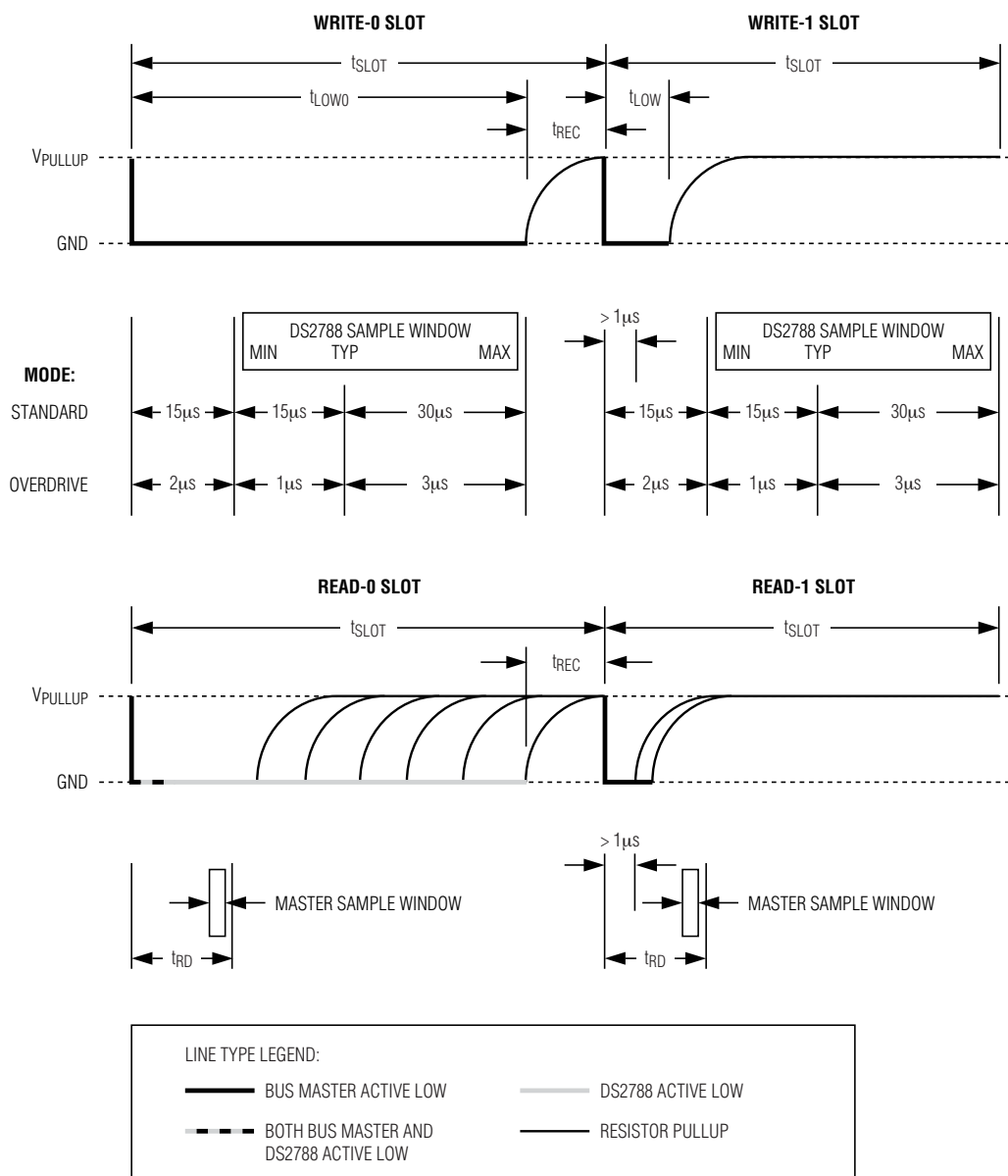
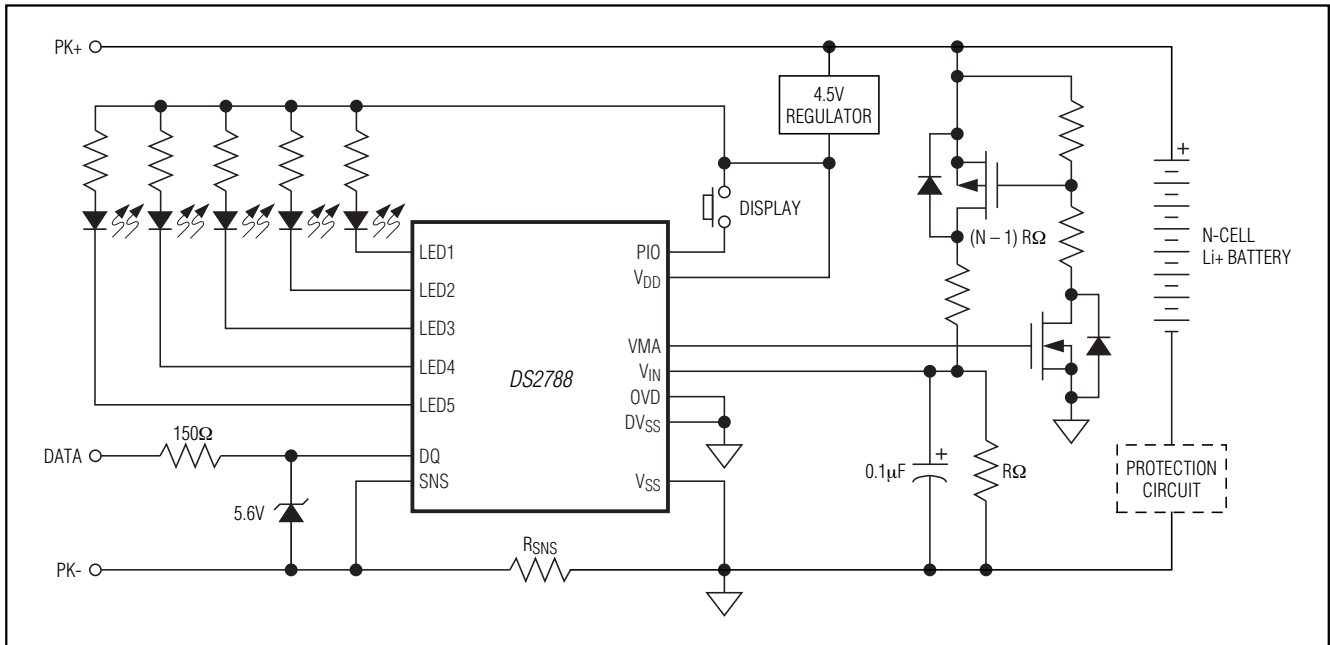


图27. 1-Wire 写时隙和读时隙

# DS2788

## 独立式电量计IC, 提供LED显示驱动器

典型工作电路



封装信息

如需最近的封装外形信息和焊盘布局，请查询 [china.maxim-ic.com/packages](http://china.maxim-ic.com/packages)。

封装类型	封装编码	文档编号
14 TSSOP	U14+1	<a href="#">21-0066</a>

# DS2788

## 独立式电量计IC， 提供LED显示驱动器

### 修订历史

修订次数	修订日期	说明	修改页
0	10/07	最初版本。	—
1	6/08	在RAAC、RSAC、RARC和RSRC说明中增加了图14至图17。	17
2	5/09	将工作电压修改为最大4.5V。	2-4, 6, 7, 31

### 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。