

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

概要

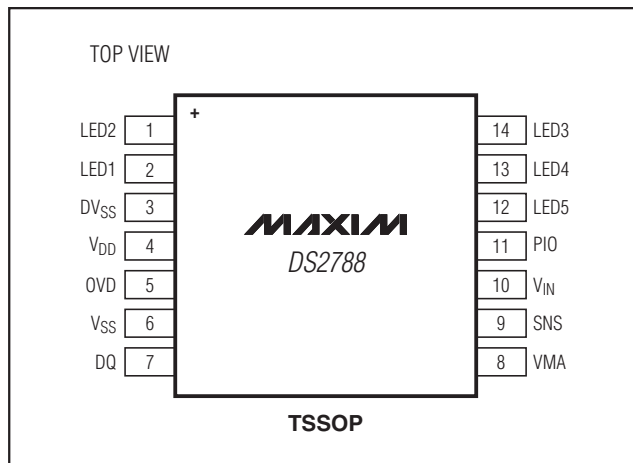
DS2788は、充電式のリチウムイオン(Li+)バッテリーやLi+ポリマバッテリーの電圧、温度、および電流を測定し、その残容量を推定します。計算に用いられるセル特性およびアプリケーションのパラメータは、内蔵EEPROMに格納されています。現在の温度、放電レート、蓄積電荷、およびアプリケーションパラメータによって取り出すことができる電荷量の控えめな推定値を、残容量レジスタが通知します。容量の推定値は、mAhによる残量値とフルのパーセント値で通知されます。

LEDディスプレイドライバとデバウンス入力によって、容量情報が簡単に表示されます。LED端子は電流を直接引き込み、LEDディスプレイの電流設定にはわずか1個の抵抗しか必要としないため、スペースとコストを節約できます。

アプリケーション

電動工具
電動自転車
電気自動車
無停電電源
デジタルカメラ

ピン配置



特長

- ◆ LED残量ゲージ表示駆動用の5つの30mA オープンドレインドライバ
- ◆ デバウンスされた残量ゲージ表示のイネーブル
- ◆ 外付け分圧器のトリミング用電圧測定利得レジスタを内蔵
- ◆ FET駆動端子によって電圧測定中のみ分圧器をイネーブルにして節電
- ◆ 高精度の電圧、温度、および電流測定システム
- ◆ 高精度で温度安定度のよい内部時間基準
- ◆ クーロンカウント、放電レート、温度、およびバッテリーセル特性から推定される絶対および相対容量
- ◆ 低バッテリー状態の高精度の警報
- ◆ クーロンカウントおよび予測寿命を不揮発性(NV) EEPROMに自動バックアップ
- ◆ 利得および温度係数の較正によって低コストの検出抵抗の使用が可能
- ◆ 24バイトのバッテリー/アプリケーションパラメータ用 EEPROM
- ◆ 16バイトのユーザ用EEPROM
- ◆ 固有IDおよびマルチドロップ1-Wire[®]インタフェース
- ◆ 14ピンTSSOPパッケージ

型番

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

+は鉛フリーパッケージを示します。
T&R = テープ&リール。

標準動作回路はデータシートの最後に記載されています。

1-WireはMaxim Integrated Products, Inc.の完全子会社であるDallas Semiconductor Corp.の登録商標です。

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Voltage Range on Any Pin Relative to V _{SS}	-0.3V to +6.0V	Operating Temperature Range	-40°C to +85°C
Voltage Range on V _{IN} , VMA Relative to V _{SS} ...	-0.3V to V _{DD} + 0.3V	Storage Temperature Range	-55°C to +125°C
DV _{SS} to V _{SS}	-0.3V to +0.3V	Soldering Temperature (10s)	Refer to IPC/JEDEC-020 Specification.
LED1-5.....	60mA each pin		

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 5.5V, T_A = -25°C to +70°C, unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V _{DD}	(Note 1)	+2.5		+5.5	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 5.5V, T_A = -25°C to +70°C, unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
ACTIVE Current	I _{ACTIVE}	2.5V ≤ V _{DD} ≤ 4.2V		70	95	μA
					105	
SLEEP Mode Current	I _{SLEEP}			1	3	μA
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	μA
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			MΩ
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

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: TEMPERATURE, VOLTAGE, CURRENT

(V_{CC} = 2.5V to 5.5V, T_A = -25°C to +70°C, unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Temperature Resolution	T _{LSB}			0.125		°C
Temperature Error	T _{ERR}				±3	°C
Voltage Resolution	V _{LSB}			4.88		mV
Voltage Full-Scale	V _{FS}		0		4.992	V
Voltage Error	V _{ERR}				±50	mV
Current Resolution	I _{LSB}			1.56		μV
Current Full-Scale	I _{FS}				±51.2	mV
Current Gain Error	I _{GERR}	(Note 2)			±1	% Full Scale
Current Offset Error	I _{OERR}	0°C ≤ T _A ≤ +70°C, 2.5V ≤ V _{DD} ≤ 4.2V (Notes 3, 4)	-7.82		+12.5	μV
Accumulated Current Offset	Q _{OERR}	0°C ≤ T _A ≤ +70°C, 2.5V ≤ V _{DD} ≤ 4.2V, V _{SNS} = V _{SS} (Notes 3, 4, 5)	-188		0	μVhr/day
Timebase Error	t _{ERR}	V _{DD} = 3.8V, T _A = +25°C			±1	%
		0°C ≤ T _A ≤ +70°C, 2.5V ≤ V _{DD} ≤ 4.2V			±2	
					±3	

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: 1-Wire INTERFACE, STANDARD

(V_{CC} = 2.5V to 5.5V, T_A = -25°C to +70°C.)

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

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

ELECTRICAL CHARACTERISTICS: 1-Wire INTERFACE, OVERDRIVE

(V_{CC} = 2.5V to 5.5V, T_A = -25°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

EEPROM RELIABILITY SPECIFICATION

(V_{CC} = 2.5V to 5.5V, T_A = -25°C to +70°C, unless otherwise noted. Typical values are at T_A = +25°C.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
EEPROM Copy Time	t _{EEC}				10	ms
EEPROM Copy Endurance	NEEC	T _A = +50°C (Note 6)	50,000			Cycles

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: Parameters guaranteed by design.

Note 4: At a constant regulated V_{DD} 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.

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

端子説明

端子	名称	機能
1	LED2	ディスプレイドライバ。バックの相対残容量を表示する場合は、V _{DD} に接続されたLEDに接続してください。
2	LED1	ディスプレイドライバ。バックの相対残容量を表示する場合は、V _{DD} に接続されたLEDに接続してください。
3	DV _{SS}	ディスプレイグランド。LEDディスプレイドライバ用のグランド接続部。V _{SS} に接続してください。
4	V _{DD}	電源入力。テカカップリング回路を介してバッテリーセルの正端子に接続してください。
5	OVD	1-Wireバスの速度制御。入力ロジックレベルによって1-Wireバスの速度が選択されます。ロジック1はオーバドライブ(OVD)を選択し、ロジック0は標準(STD)タイミングを選択します。マルチドロップバスでは、すべてのデバイスが同じ速度で動作する必要があります。
6	V _{SS}	デバイスのグランド。バッテリーセルの負端子にしかに接続してください。V _{SS} とSNSの間に検出抵抗を接続してください。
7	DQ	データの入力/出力。1-Wireデータラインでオープンドレインの出力ドライバ。この端子をバッテリーパックのDATA端子に接続してください。この端子は、ホストまたは充電器からのバックの取外しを検出する弱プルダウン(I _{PD})を内蔵しています。
8	VMA	電圧測定アクティブ。出力は、電圧変換開始前にハイに駆動され、変換サイクルの終了時にローに駆動されます。
9	SNS	検出抵抗接続部。バッテリーパックの負端子に接続してください。V _{SS} とSNSの間に検出抵抗を接続してください。
10	V _{IN}	電圧検出入力。バッテリーセルの電圧は、この入力端子を通じて監視されます。
11	PIO	プログラマブルI/O端子。ユーザ定義の外部回路を監視/制御する入力/出力として設定することができます。出力ドライバはオープンドレインです。この端子は弱プルダウン(I _{PD})を内蔵しています。入力として設定したときは、立上りエッジを認識すると残量ゲージ表示がイネーブルされます。
12	LED5	ディスプレイドライバ。バックの相対残容量を表示する場合は、V _{DD} に接続されたLEDに接続してください。LED4の設定では、接続なしの状態にしてください。
13	LED4	ディスプレイドライバ。バックの相対残容量を表示する場合は、V _{DD} に接続されたLEDに接続してください。
14	LED3	ディスプレイドライバ。バックの相対残容量を表示する場合は、V _{DD} に接続されたLEDに接続してください。

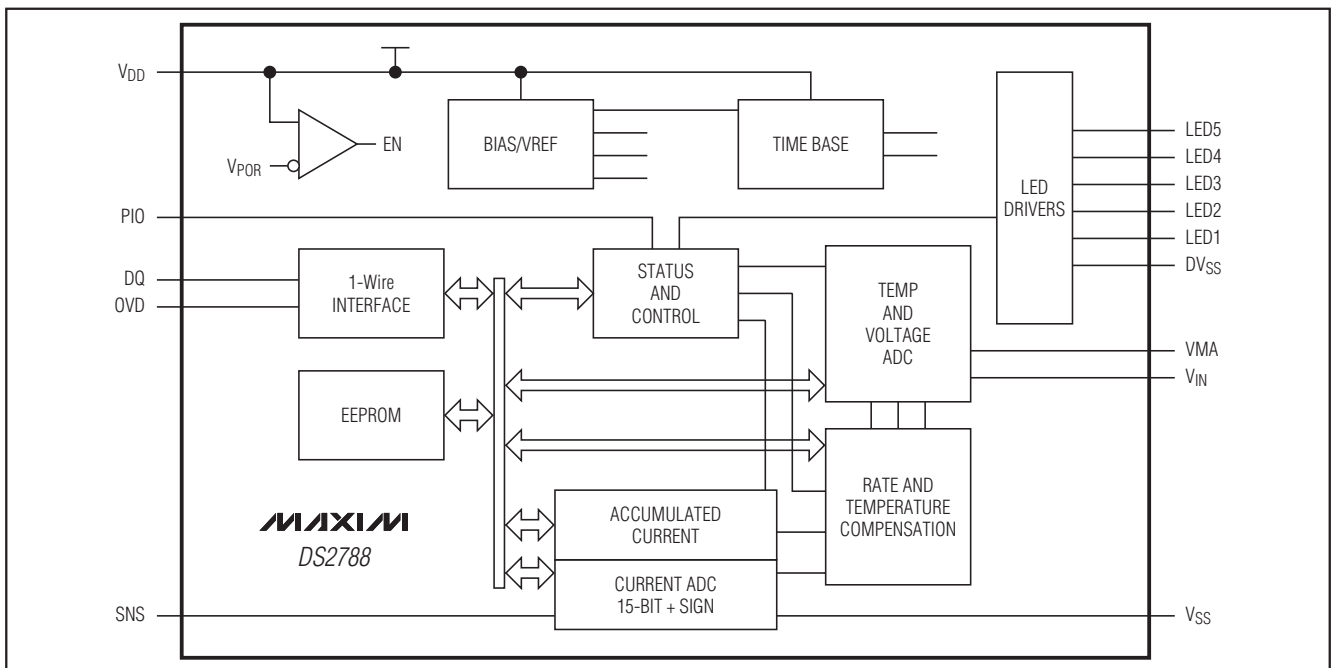


図1. ブロック図

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DQがハイに駆動されると、PMODのスリープ状態が元のアクティブモードに遷移します。

スリープに入る第2のオプションは、低電圧状態です。UVENが設定されているときに、 V_{IN} の電圧が V_{SLEEP} (公称2.45V)以下で、かつDQが t_{SLEEP} の間ローまたはハイのロジックレベルで安定していると、DS2788はスリープに遷移します。パックが完全に放電されると低電圧状態になり、この場合はバッテリーの負荷を最小にする必要があります。UVENによるスリープでは、DQでの通信が再開するまでバッテリーの I_{ACTIVE} の負担を軽減します。

注：DQ端子に接続されていない外部の充電器でバッテリーを充電するときは、PMODおよびUVENスリープ機能をディセーブルする必要があります。充電器がDQ端子をハイに駆動する場合は、PMODスリープを使用することができます。充電器がDQ端子をオン/オフする場合はUVENスリープを使用することができます。DQを正しく駆動することができない充電器でバッテリーを充電しても、DS2788はスリープ状態を維持するため、電流の測定や積算を行いません。

スリープ状態での通信開始

PMODスリープにあるDS2788と通信を開始する場合は、マスタがまずDQをプルアップしてから1-Wireリセットパルスを送出する必要があります。UVENスリープにある場合は、この手順はUVENスリープに入ったときのDQの状態によって異なります。DQがローであった場合は、PMODスリープの場合と同様に、

マスタがDQをプルアップしてから1-Wireリセットパルスを送出する必要があります。UVENスリープに入ったときにDQがハイであった場合、DS2788はマスタから1-Wireリセットパルスを受け取る準備ができています。スリープ中にDQがローである最初の2つの場合、DS2788はDQの最初の立上りエッジにプレゼンスパルスで応答しません。

電圧測定

バッテリー電圧は、 V_{SS} を基準とする V_{IN} 入力において、0~4.992Vの範囲と4.88mVの分解能で測定されます。測定結果は440msごとに更新され、電圧(VOLT)レジスタに2の補数形式で配置されます。最大レジスタ値を超える電圧は最大値で通知され、最小レジスタ値以下の電圧は最小値で通知されます。図3に電圧レジスタの形式を示します。

V_{IN} は、通常、単一セルのLi+バッテリーの正端子に1k Ω の抵抗によって接続されています。入力インピーダンスは、複数セルのアプリケーションに対応するために、ハイインピーダンス分圧器への接続に適した大きい値(15M Ω)にしてあります。パック電圧は、 V_{IN} 入力に単一セルの平均電圧を与えるために直列セル数で割った値にする必要があります。図2では、Rの値を入力負荷によって著しい誤差が発生することのない最大1M Ω とすることができます。VMA端子は、電圧変換が始まる前の t_{PRE} だけハイに駆動されます。このため、外付けのスイッチング素子に変換開始前に分圧器をイネーブルして、安定した状態になるようにすることができます。

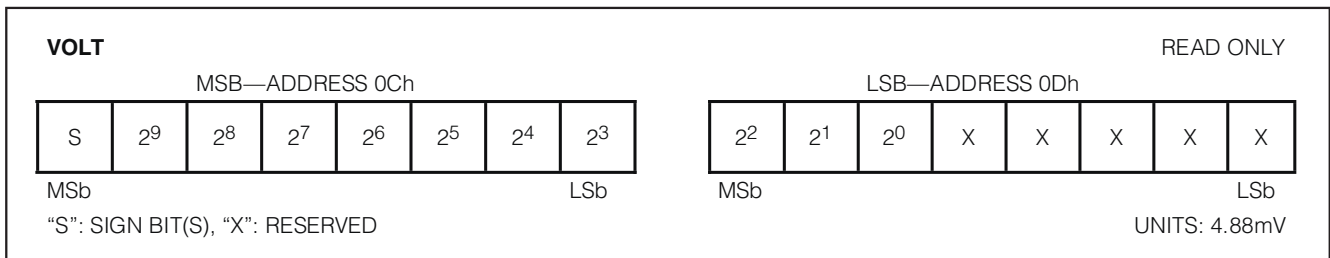


図3. 電圧レジスタの形式

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

温度測定

DS2788は、内蔵の温度センサを用いてバッテリー温度を0.125℃の分解能で測定します。温度測定値は440msごとに更新され、温度(TEMP)レジスタに2の補数形式で配置されます。図4に温度レジスタの形式を示します。

電流測定

DS2788は、アクティブ動作モードにおいて値の小さい電流検出抵抗 R_{SNS} 両端の電圧降下を測定して、バッテリーに出入りする電流を連続的に測定します。SNSと V_{SS} 間の電圧検出範囲は $\pm 51.2\text{mV}$ です。連続信号レベル(変換

サイクル期間の平均)が $\pm 51.2\text{mV}$ を超えない限り、入力ピーク信号振幅を最大102.4mVまで直線に変換します。ADCは、入力を18.6kHzで差動サンプリングし、各変換サイクルの終了時に電流(CURRENT)レジスタを更新します。

電流レジスタは、2の補数形式の電流の変換結果で3.515sごとに更新されます。最大レジスタ値を超える充電電流は最大値(7FFFh = +51.2mV)で通知され、最小レジスタ値以下の放電電流は最小値(8000h = -51.2mV)で通知されます。

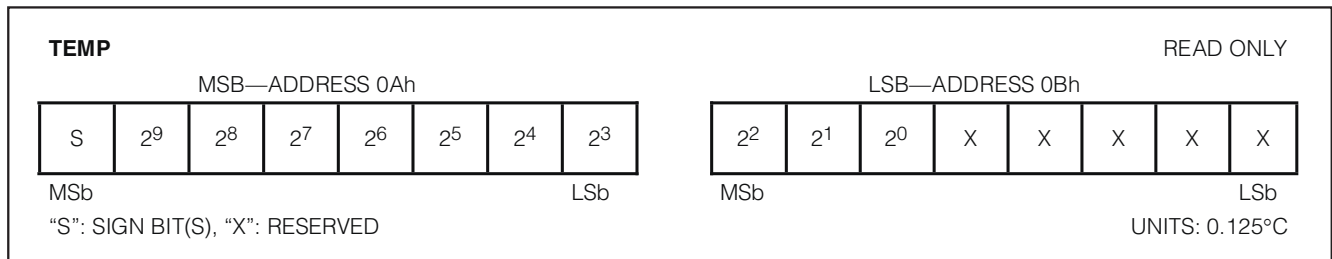


図4. 温度レジスタの形式

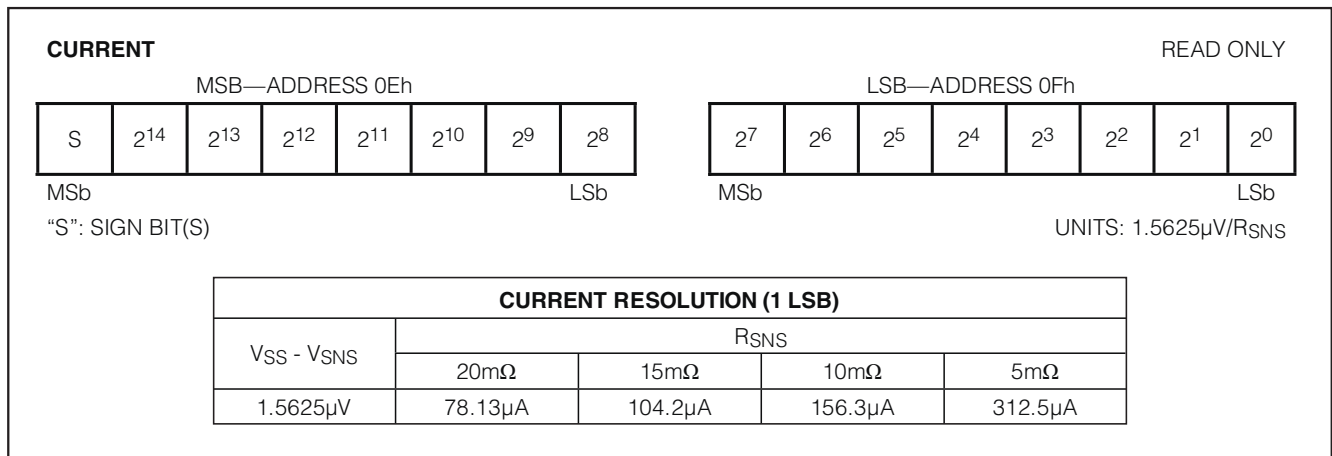


図5. 電流レジスタの形式

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

平均電流測定

平均電流(IAVG)レジスタは、直前の28秒間の平均電流レベルを通知します。レジスタ値は28秒ごとに2の補数形式で更新され、前の8回にわたる電流レジスタ更新値の平均です。図6に平均電流レジスタの形式を示します。最大レジスタ値を超える充電電流は最大値(7FFFh = +51.2mV)で通知され、最小レジスタ値以下の放電電流は最小値(8000h = -51.2mV)で通知されます。

電流オフセットの補正

ADCは1024回の変換ごとにその入力オフセットを測定して、オフセット補正を容易にします。オフセット補正は1時間にほぼ一度行われます。得られた補正係数は後続の1023個の測定値に使用されます。オフセット補正変換の間、ADCは検出抵抗の信号を測定しません。積算電流レジスタ(ACR)には1/1024の最大誤差が生じる可能性があります。誤差を減らすために、オフセット変換直前に測定された電流値を電流レジスタに保存し、電流積算処理から落ちた電流測定値に代用します。これによって、オフセット補正に起因する積算電流誤差が1/1024よりも小さくなります。

電流オフセットバイアス

電流オフセットバイアス(COB)レジスタによって、プログラム可能なオフセット値を未処理の電流測定値に加算することができます。未処理電流の測定とCOBの加算結果は電流レジスタに電流測定結果として保存され、電流の積算に使用されます。COBは静的オフセット誤差の補正に使用することが可能で、電流データ、すなわち電流積算を意図的にずらすために使用することもできます。

COBは読取りと書き込みが可能です。COBが書き込まれると、新たな値が後続の全電流測定値に適用されます。COBは、1.56μVのステップで+198.1μV~-199.7μVの任意の値に設定することができます。COBの値は、不揮発性メモリに2の補数形式で保存されます。

電流測定の較正

DS2788の電流測定利得は、データシートの規定精度を満たすように出荷時に較正されたRSGAINレジスタによって調整することができます。RSGAINはユーザによるアクセスが可能で、モジュールまたはパックの製造後に再設定して電流測定精度を改善することができます。RSGAINを調整すると外部検出抵抗の公称値から

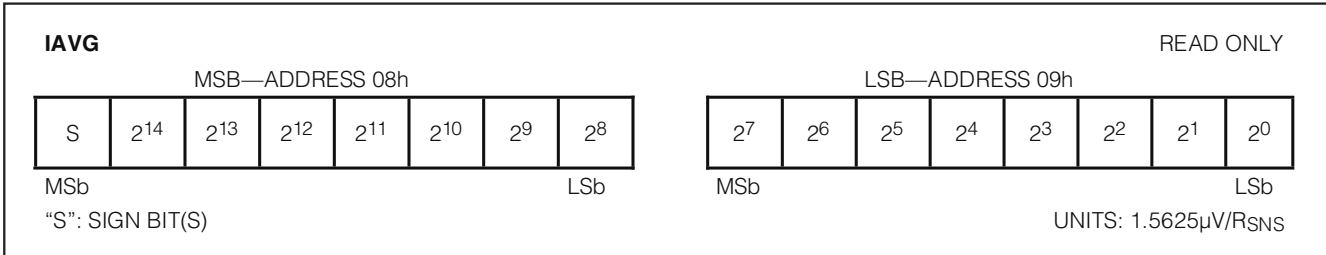


図6. 平均電流レジスタの形式

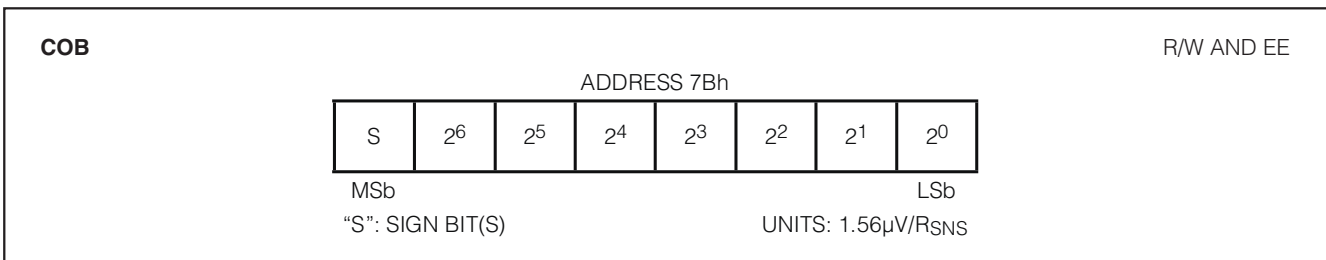


図7. 電流オフセットバイアスレジスタの形式

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

のずれが補正されるため、低コストの非精密電流検出抵抗の使用が可能になります。RSGAINは11ビット値で、2バイトのパラメータEEPROMメモリブロックに保存されます。RSGAINの値は、0~1.999の利得を0.001(正確には 2^{-10})のステップで調整します。ユーザは、電流が正確に測定されるようにRSGAINを慎重に設定する必要があります。利得較正值が、パラメータEEPROMブロック内にある再設定可能なRSGAINと読取り専用のFRSGAINの2つの別々の箇所に出荷の際に保存されます。RSGAINは、電流測定で使用される利得を決定します。読取り専用のFRSGAIN(アドレスB0hとB1h)は、出荷時の値のみを保存するために提供されており、電流測定では使用されません。

検出抵抗の温度補償

DS2788は、電流検出抵抗を温度補償して、温度に対する検出抵抗の値の変動を補正することができます。DS2788は、出荷時の設定において検出抵抗の温度係数RSTCがゼロに設定され、これによって温度補償機能がオフになっています。RSTCはユーザによるアクセスが可能で、温度係数の大きい電流検出抵抗を使うときには、モジュールまたはパックの製造後に再設定して電流精度を改善することができます。RSTCは、8ビット値でパラメータEEPROMメモリブロックに保存されます。RSTC値は、0~+7782ppm/°Cの温度係数を30.5ppm/°Cのステップで設定します。ユーザは、電流が正確に測定されるようにRSTCを慎重に設定する必要があります。

温度補償調整は、温度レジスタが0.5°Cの限界を超えたときに行われます。抵抗を V_{SS} 端子のできる限り近くに配置して、抵抗から内蔵温度センサへの熱結合を最適にした場合に、温度補償が最も効果的になります。銅の

PCBトレースによって電流の分路を形成する場合は、このトレースは可能であればDS2788パッケージの下に配置してください。

電流の積算

電流測定値は各変換期間の終了時に内部で加算または積算され、結果が積算電流レジスタ(ACR)に保存されます。ACRの精度は電流測定値と変換時間基準の両方に依存します。ACRの範囲は0~409.6mVhで、LSb(最下位ビット)は6.25 μ Vhです。追加の読取り専用レジスタ(ACRL)は、各積算結果の小数部分を保持して切捨て誤差を防止します。最大レジスタ値を超える充電電流の積算値は最大レジスタ値(7FFFh)で通知され、反対に最小レジスタ値以下の放電電流の積算値は最小値(8000h)で通知されます。

ACRに対しては読取りと書込みが可能です。ACRにはMSB(最上位バイト)を最初に、LSB(最下位バイト)を後に書き込む必要があります。書込みは3.515s(1回のACRレジスタの更新期間)以内に終了する必要があります。ACRに書込みを行うと、ADCはオフセット補正変換を行って内部オフセットの補正係数を更新します。電流の測定と積算は、ACRへの書込みに続く2回目の変換で始まります。ACRに書込みを行うとACRLの小数値がクリアされます。ACRの形式を図8に示し、ACRLの形式を図9に示します。

停電に備えてACR値を保護するために、ACR値はEEPROMにバックアップされます。ACR値は電源投入時にEEPROMから読み戻されます。具体的なアドレス位置とバックアップ頻度については、表3のメモリマップを参照してください。

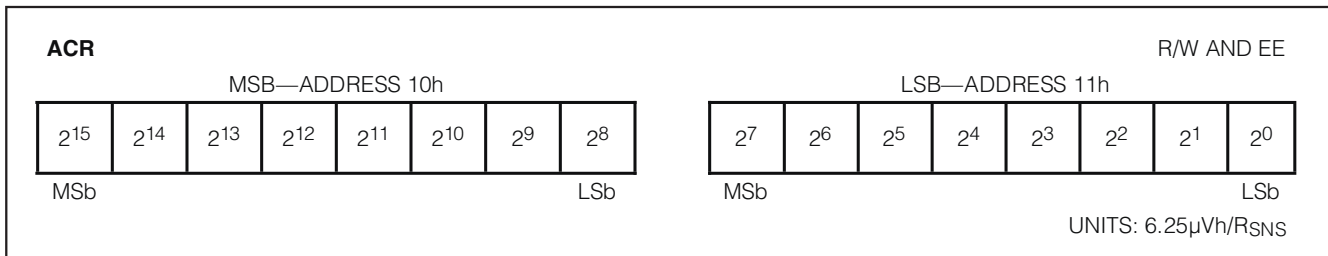


図8. 積算電流レジスタ(ACR)の形式

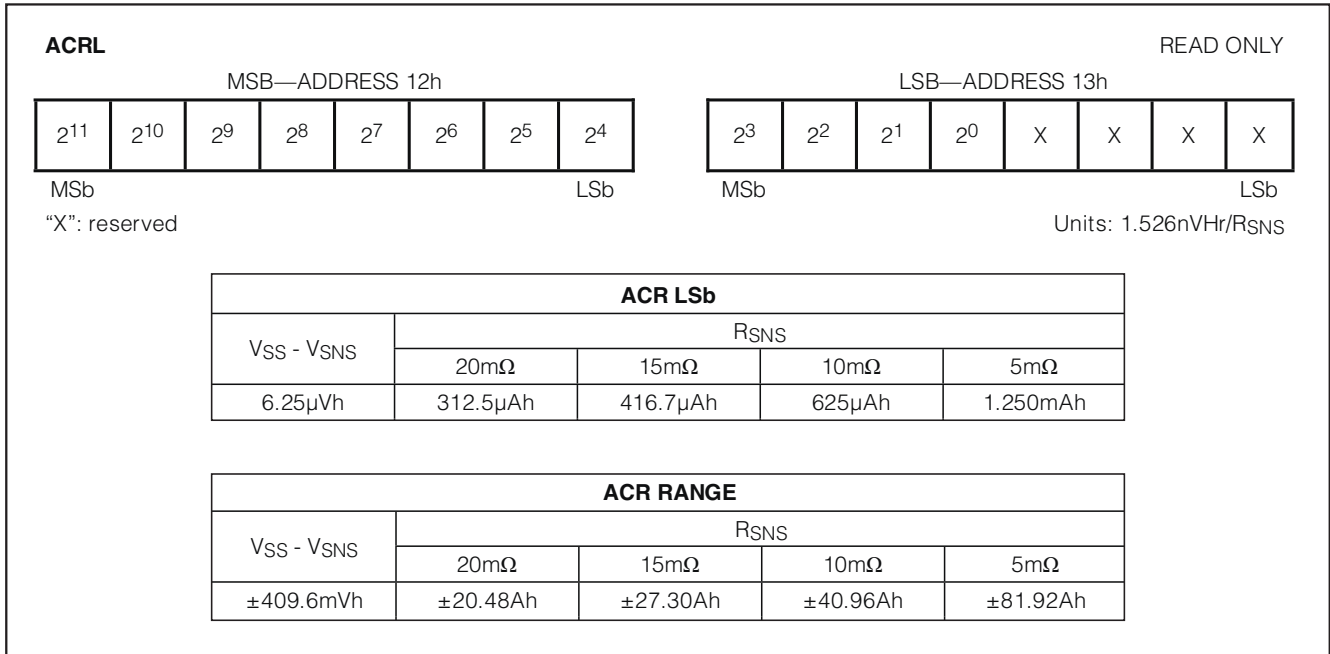


図9. 小数部/低積算電流レジスタ(ACRL)の形式

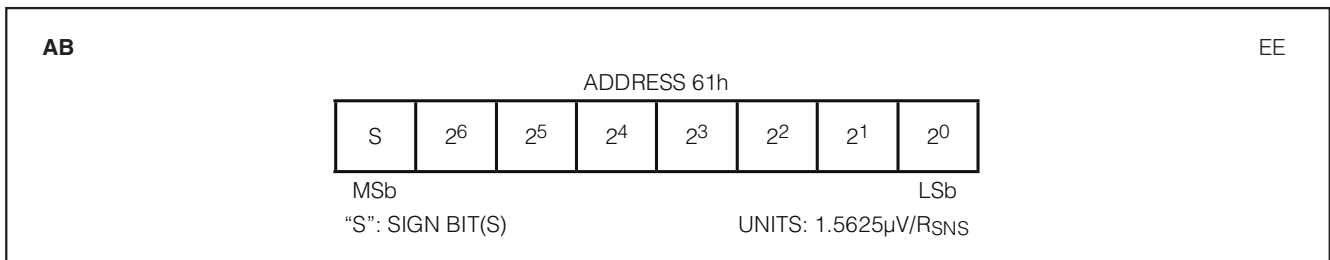


図10. 積算バイアスレジスタの形式

電流ブランキング

電流ブランキング機能は、ACRに積算される前の電流測定結果に修正を加えます。電流ブランキングは、電流測定値(未処理電流 + COB)が2つの規定範囲の1つに該当する場合に限って行われます。一方の範囲は、100μV以下の充電電流の積算をしないようにするもので、他方の範囲は25μV以下の放電電流の積算をしないようにするものです。充電電流のブランキングは常時行われますが、放電電流のブランキングを行うためには、制御レジスタのNBENビットを設定してイネーブルする必要があります。詳細については、レジスタの説明を参照してください。

積算バイアス

積算バイアス(AB)レジスタによって、任意のバイアスを電流積算処理に導入することができます。ABを使用すると、検出抵抗を流れない電流の把握、測定しにくい微小電流の予測、バッテリーの自己放電の予測、または各DS2788デバイスの静的オフセットの補正を行うことができます。ABレジスタは、ユーザが設定した正または負極性バイアスの定数を電流積算処理に含めることができます。ビットの重みが電流レジスタと同じであるユーザが設定した2の補数値は、各電流変換サイクルにつき一度ACRに加算されます。ABの値は、電源投入時にEEPROMメモリからロードされます。図10にABレジスタの形式を示します。

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

容量推定アルゴリズム

残容量の推定では、リアルタイムで測定された値と、セル特性およびアプリケーションの動作限界を表す保存されたパラメータが使用されます。図11にアルゴリズムの入力と出力を示します。

セルスタック特性のモデリング

残容量の推定で相応な精度を実現するためには、温度に対するセルスタックの性能特性、負荷電流、および充電終了時点を検討する必要があります。Li+セルの挙動は非線形であることから、許容レベルの容量推定精度を

実現するためには、これらの特性を容量推定に含める必要があります。DS2788に使用されているFuelPack™方式の概要は、「アプリケーションノート131: Litium-Ion Cell Fuel Gauging with Dallas Semiconductor Battery Monitor ICs」に記載されています。ハードウェアで有効な実現を図るために、AN131で概説された方法の修正版を採用してセル特性をDS2788に保存しています。フルおよびエンプティポイントを参照処理で回収し、フル、アクティブエンプティ、およびスタンバイエンプティという名前の3本の曲線から成る区分的線形モデルを元に戻します。

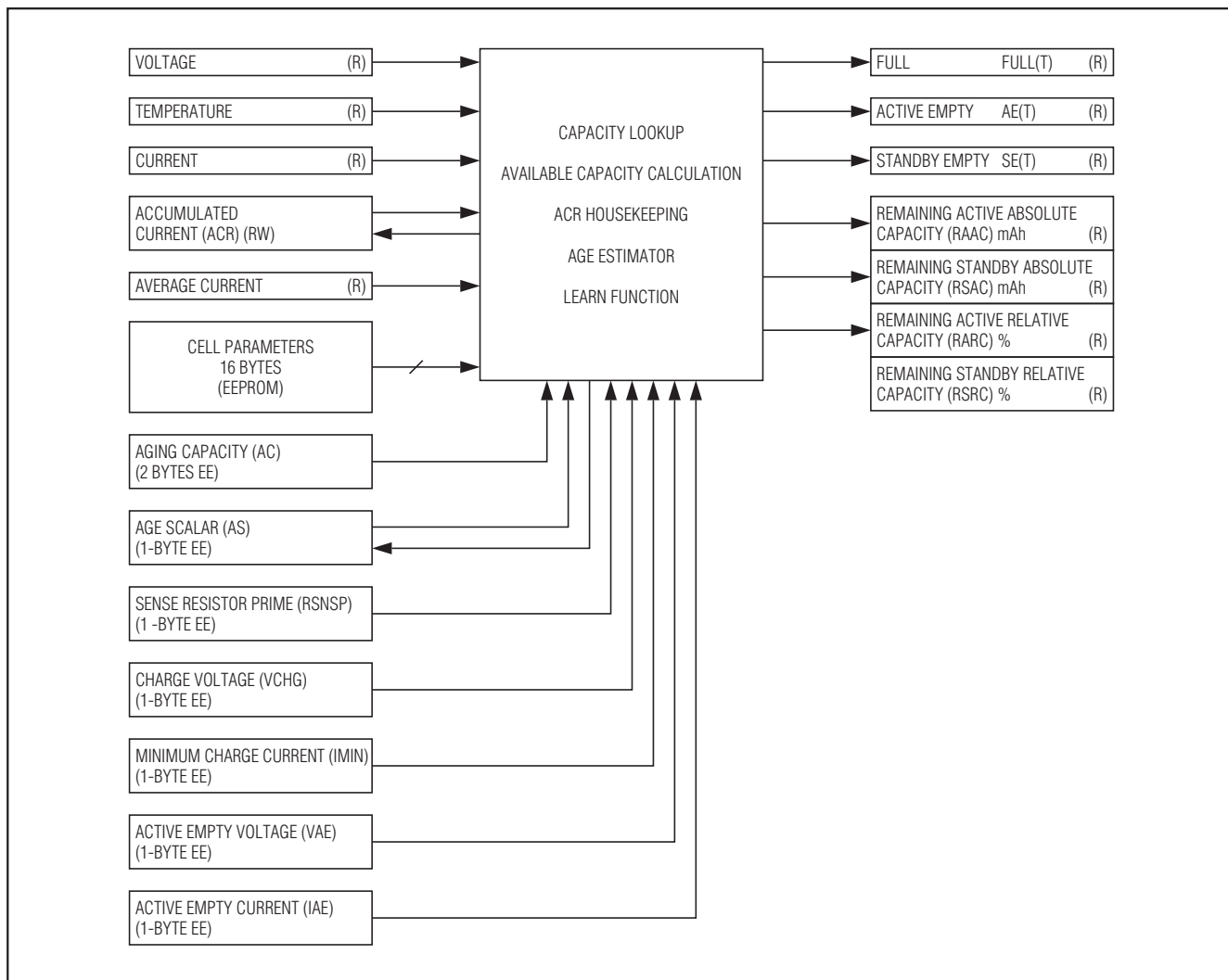


図11. トップレベルのアルゴリズムダイアグラム

FuelPackはMaxim Integrated Products, Inc.の完全子会社であるDallas Semiconductor Corp.の商標です。

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

各モデル曲線は1から5までの番号が付いた5本のラインセグメントで構成されます。+50℃以上では、セグメント5のモデル曲線が傾斜ゼロで無限に伸びており、+50℃以上の温度におけるLi+セルのほぼ平坦な容量変化と近似します。各モデル曲線のセグメント4は、その上端の+50℃を起点として温度が下がる方向に+25℃まで延びています。セグメント3は、セグメント2と接合し、さらにセグメント1と接合します。各モデル曲線のセグメント1は、セグメント2との接合点から無限の低温まで延びています。セグメントの傾斜は1℃当りμVh ppm変化として保存されます。各セグメントを接合する2つの接合点またはブレイクポイント(図12でTBP12およびTBP23と記された)は、-128℃~+25℃の範囲で1℃の刻みでプログラムすることができます。これらは、TBP23が7Chに、またTBP12が7Dhに2の補数形式で保存されます。セグメント1、2、3、および4に対応する傾斜あるいは微分係数もプログラム可能です。

フル(Full)：フル曲線は、所定のセルスタックのフルポイントが所定の充電終了に対してどのように温度に依存するかを示しています。アプリケーションに使用される充電終了方式は、表の各値の決定に使用されます。DS2788は、フルのラインをセルの特性表の値から再現して、各温度におけるバッテリーのフル容量を決定します。再現は1℃の温度刻みで行われます。フルの値は1℃当りのppm変化として保存されます。たとえば、セルの公称容量が+50℃で1214mAh、フル値が+25℃で1199mAh、そして0℃で1182mAh (TBP23)であれば、セグメント3の傾斜は次のようになります。

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

傾斜レジスタの1 LSBは61ppmに等しいため、フルのセグメント3の傾斜レジスタ(位置は0x09h)は、0x09hの値を用いてプログラムされます。各傾斜レジスタは0ppm~15555ppmのダイナミックレンジを持っています。

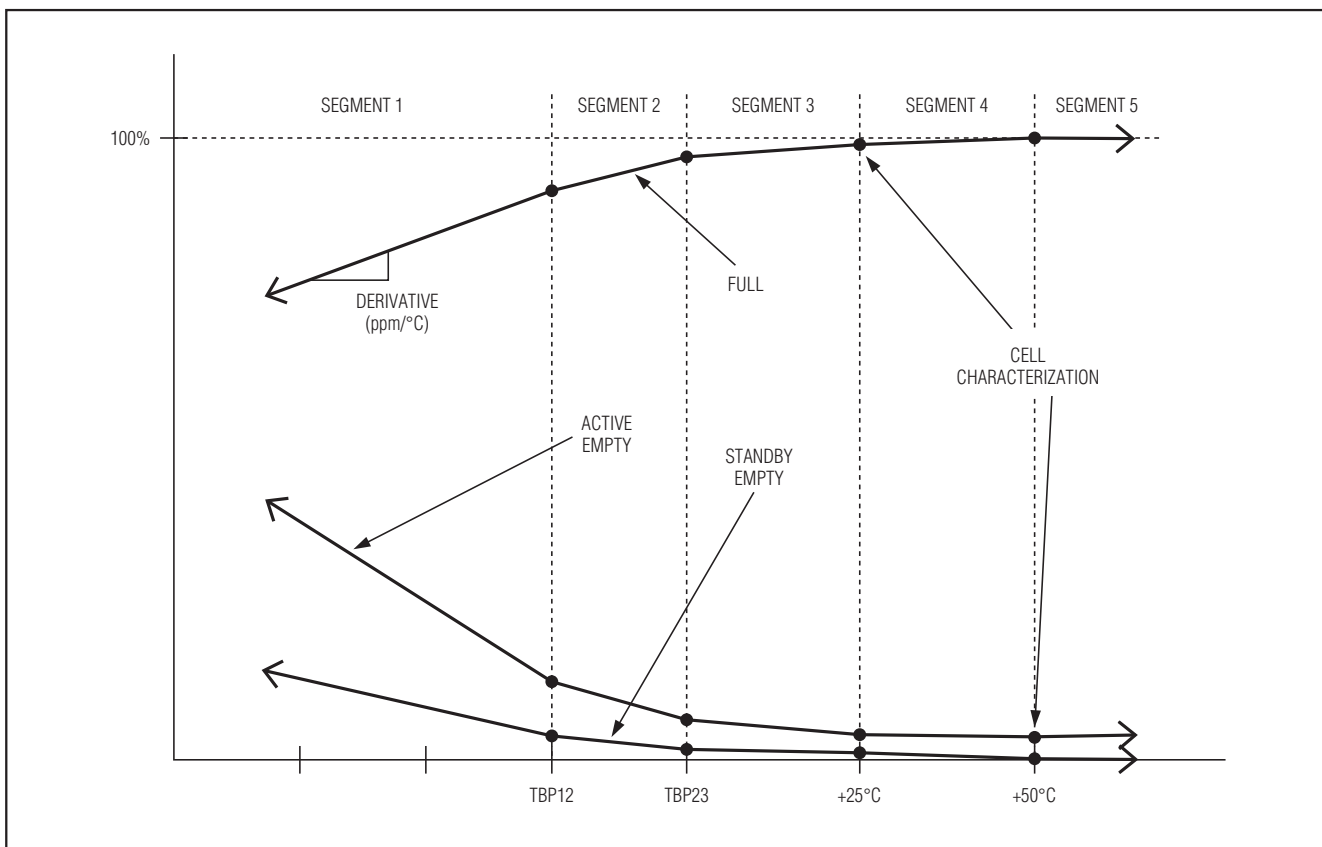


図12. セルモデルの実例図

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

アクティブエンプティ(Active Empty) : アクティブエンプティ曲線は、高レベルの負荷電流(ハイパワー動作モードで持続する負荷電流)およびシステム動作に必要な最小電圧に基づく放電プロファイルのエンプティポイントの温度変動を規定します。この負荷電流はアクティブエンプティ電流(IAE)としてプログラムされ、電流レジスタからの読取り値に対応した3.5秒の間の平均値であり、指定された最小電圧あるいはアクティブエンプティ電圧(VAE)は、電圧レジスタからの読取り値に対応した250msの間の平均値です。DS2788は、セル特性表の値からアクティブエンプティラインを再現して、各温度におけるバッテリーのアクティブエンプティ容量を決定します。再現は1°Cの温度刻みで行われます。アクティブエンプティのセグメントの傾斜は、フルのセグメントの説明と同様に保存されます。

スタンバイエンプティ(Standby Empty) : スタンバイエンプティ曲線は、スタンバイ動作に必要なアプリケーションスタンバイ電流および最小電圧によって規定された放電におけるエンプティポイントの温度変動を規定します。スタンバイエンプティは、バッテリーがサポートすることのできない携帯電話のメモリデータ保存機能やオーガナイザ機能などのフルアプリケーション動作のサブセットのポイントを表します。スタンバイエンプティのセグメントの傾斜は、フルのセグメントの説明と同様に保存されます。

スタンバイ負荷電流および電圧はセル特性の決定に使用されますが、DS2788にはプログラムされません。DS2788は、セル特性表の値からスタンバイエンプティのラインを再現して、各温度におけるバッテリーのスタンバイエンプティ容量を決定します。再現は1°Cの温度刻みで行われます。

セルスタックモデルの構成

このモデルは、すべてのポイントを+50°Cでのフル充電状態に正規化して構築されます。セルパラメータEEPROMブロックは、初期値、mVh単位の+50°Cフル値、および+50°Cフル値の小数部としての+50°Cアクティブエンプティ値を保存します。+50°Cにおけるスタンバイエンプティは定義上0であるため、保存が不要です。各モデル曲線に対する4つのセグメントの傾斜(微分係数)も、各セグメントのブレイクポイント温度とともにセルパラメータEEPROMブロックに保存されます。表1は、この方法で保存されるデータの例を示します。

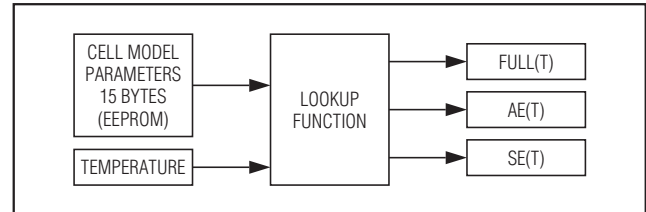


図13. 参照機能図

表1. セル特性化の例(+50°Cに正規化)

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

アプリケーションパラメータ

フルポイントおよびエンプティポイントを検出して結果をmAh単位で計算するためには、セルモデルの特性のほかにも数個のアプリケーションパラメータが必要です。

検出抵抗の素数(Sense Resistor Prime, RSNSP)

RSNSPは、絶対容量結果を計算する際に使用する検出抵抗の値を保存します。この値は、1バイトのコンダクタンス値としてモールの単位で保存されます。RSNSPは $1\Omega\sim 3.922\text{m}\Omega$ の抵抗値をサポートします。RSNSPはパラメータEEPROMブロックに存在します。

充電電圧(Charge Voltage, VCHG)

VCHGは、完全な充電状態の検出に使用する充電電圧スレッショルドを保存します。値は1バイトの電圧として 19.52mV の単位で保存され、 $0\sim 4.978\text{V}$ の範囲で変化します。VCHGは、信頼性の高い充電終了検出を確実にするために、充電サイクル最後のセル電圧よりもわずかに低く設定する必要があります。VCHGはパラメータEEPROMブロックに存在します。

最小充電電流(Minimum Charge Current, IMIN)

IMINは、完全な充電状態の検出に使用する充電電流スレッショルドを保存します。値は1バイト値として $50\mu\text{V}$ の単位で保存され、 $0\sim 12.75\text{mV}$ の範囲で変化します。 $R_{\text{SNS}} = 20\text{m}\Omega$ と仮定すると、IMINは $0\sim 637.5\text{mA}$ の範囲を 2.5mA のステップでプログラムすることができます。IMINは、信頼性の高い充電終了検出を確実にするために、充電サイクル最後の充電電流よりもわずかに大きく設定する必要があります。IMINはパラメータEEPROMブロックに存在します。

アクティブエンプティ電圧 (Active Empty Voltage, VAE)

VAEは、アクティブエンプティポイントの検出に使用する電圧スレッショルドを保存します。値は 19.52mV 単位の1バイトで保存され、 $0\sim 4.978\text{V}$ の範囲で変化します。VAEはパラメータEEPROMブロックに存在します。

アクティブエンプティ電流 (Active Empty Current, IAE)

IAEは、アクティブエンプティポイントの検出に使用する放電電流スレッショルドを保存します。符号なしの値は放電電流の大きさを表し、 $200\mu\text{V}$ 単位の1バイトで保存され、 $0\sim 51.2\text{mV}$ の範囲で変化します。 $R_{\text{SNS}} = 20\text{m}\Omega$ と仮定すると、IAEは $0\text{mA}\sim 2550\text{mA}$ の範囲を 10mA のステップでプログラムすることができます。IAEはパラメータEEPROMブロックに存在します。

経年変化容量(Aging Capacity, AC)

ACは通常の使用中に起きるバッテリー容量低下の推定に使用する定格バッテリー容量を保存します。値は、ACR

($6.25\mu\text{Vh}$)と同じ単位の2バイトで保存されます。ACをメーカーの定格容量に設定すると、経年変化率が100サイクルの全容量相当放電につき約2.4%に設定されます。全容量相当放電とするために部分放電サイクルが加えられます。デフォルトの推定では、500回相当のサイクル後に88%の容量になります。推定経年変化率は、ACをセルメーカーの定格とは異なる値に設定して調整することができます。ACを低い値に設定すると、推定経年変化が加速されます。ACを高い値に設定すると、推定経年変化が減速されます。ACはパラメータEEPROMブロックに存在します。

寿命スケーラ(Age Scalar, AS)

ASは、セルの経年変化を補償するために容量推定結果を下方に調整します。ASは49.2%~100%の値を表す1バイト値です。LSBには0.78% (正確には 2^{-7})の重みが付けられます。100% (10進で128、または80h)の値は、経年変化のないバッテリーを表します。セル特性表でプログラムされた公称容量よりも大きい初期容量を持つバッテリーでは、より大きい容量の学習が可能となるようにするために、パック製造時点での最初のAS値としては95%の値が推奨されます。ASは、前記のサイクルカウントベースの予想寿命および容量学習機能によって修正されます。ホストシステムはASへの書込みと読取りアクセスをしますが、ASを書き込むときは、累積予想寿命が不正な値で上書きされないように注意する必要があります。通常、ASはDS2788によって自動的に一定時間間隔でEEPROMに保存されるため、ホストによるASの書込みは不要です。(詳しくは「メモリ」の項を参照してください。) EEPROMに保存されたASの値は電源投入時に呼び出されます。

容量推定ユーティリティ機能

経年変化予測

前記のように、ASレジスタ値は放電の累積に基づいて時々調整されます。ACRレジスタが各放電サイクルの間にデクリメントされるため、内部カウンタはACの32倍になるまでインクリメントされます。このとき、ASは1だけデクリメントされるため、0.78%の重み付きフルバッテリー容量が低下します。経年変化予測率のカスタマイズに関する推奨事項については、ACレジスタの説明を参照してください。

学習機能

Li+セルは1に近い充電効率を示すため、既知のエンプティポイントから既知のフルポイントまでのLi+セルに対する充電がセル容量の信頼できる基準となります。エンプティからフルまでの連続充電は「学習サイクル」となります。まず、アクティブエンプティポイントを検出する必要があります。この時点で学習フラグ(LEARNF)が設定されます。その後充電が始まると、バッテリーが完全に充電されるまで充電が途切れることなく続けられる必要があります。フルが検出されると

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

LEARNFがクリアされ、フルに充電(CHGTF)のフラグが設定され、また寿命スケアラ(AS)がセルの学習済み容量にしたがって調整されます。

ACR管理

ACRレジスタ値は、クーロンカウントをモデル曲線の限界内に維持するために時々調整されます。バッテリーが完全に充電されると(CHGTF設定)、ACRは現在温度で寿命の重みが最大の参照値に等しく設定されます。学習サイクルが進行している場合は、寿命スケアラ(AS)が更新された後にACR値が補正されます。

EMPTY状態が検出される時は(AEFまたはLEARNF設定)、ACRの調整に条件が付きます。AEFが設定されLEARNFが設定されなければ、アクティブEMPTYポイントは検出されておらず、バッテリーはモデルのアクティブEMPTY容量以下であると予想されます。ACRは、これがアクティブEMPTYモデル値よりも大きい場合にのみ、アクティブEMPTYモデル値に設定されます。LEARNFが設定されると、バッテリーはアクティブEMPTYポイントにあり、ACRはアクティブEMPTYモデル値に設定されます。

フル検出

電圧(VOLT)の読取り値が2回の平均電流(IAVG)の読取りの間にVCHGスレッシュホールドを超えているときは、フル検出が行われます。この場合、2つのIAVGの読取り値はIMIN以下です。また、2つの連続したIAVG読取り値は正(ゼロを除く)でなければなりません。この条件によって、バッテリーを充電器から取外したときのフルの誤検出がなくなります。フル検出は、ステータス(STATUS)レジスタ内のフルに充電(CHGTF)ビットを設定します。

アクティブEMPTYポイント検出

電圧レジスタがVAEスレッシュホールド以下に低下し、かつ2つの直前の電流読取り値がIAEを超えると、アクティブEMPTYポイントが検出されます。これで、バッテリーがアクティブEMPTYポイントに達したという事実が得られます。ここで、2つの直前の読取り値は負で、かつIAEよりも大きい振幅、すなわち、IAEスレッシュホールドで指定された値よりも大きい放電電流でなければならないことに注意してください。電圧レベルを放電レートで制限すると、モデルの構成に使用する負荷よりもはるかに軽い負荷では、アクティブEMPTYポイントが検出されなくなります。また、非常に軽い負荷での深い放電の後にIAEよりも大きい負荷が続くときは、アクティブEMPTYが検出されてはなりません。これらのいずれの場合も、次のフル充電の際の学習サイクルでスタンバイ容量の一部がアクティブ容量の測定に含められるようになります。アクティブEMPTYが検出されると、ステータスレジスタ内の学習フラグビット(LEARNF)が設定されます。

結果レジスタ

DS2788は、測定値とセル特性を3.5s間隔で処理して7個の結果レジスタに渡します。結果レジスタは、ほとんどのアプリケーションでユーザに対して直接表示が可能な条件を満たしています。ホストシステムは、システム用にカスタマイズされた値を生成したり、測定、結果、およびユーザEEPROMの値を組み合わせてユーザ表示を生成したりすることができます。

フル(FULL(T))：現在温度におけるバッテリーの全容量は、+50°Cのフル値に正規化されて通知されます。この15ビット値は、所定温度におけるセルモデルのフル値を反映しています。FULL(T)は、100%~50%の値を61ppm(正確には 2^{-14})の分解能で通知します。レジスタの形式は100%を超える値を許容しますが、このレジスタ値は100%の最大値にクランプされます。

アクティブEMPTY(Active Empty, AE(T))：現在温度におけるバッテリーのアクティブEMPTY容量は、+50°Cのフル値に正規化されて通知されます。この13ビット値は、所定温度におけるセルモデルのアクティブEMPTY値を反映しています。AE(T)は、0%~49.8%の値を61ppm(正確には 2^{-14})の分解能で通知します。

スタンバイEMPTY(Standby Empty, SE(T))：現在温度におけるバッテリーのスタンバイEMPTY容量は、+50°Cのフル値に正規化されて通知されます。この13ビット値は、現在温度におけるセルモデルのスタンバイEMPTY値を反映しています。SE(T)は、0%~49.8%の値を61ppm(正確には 2^{-14})の分解能で通知します。

アクティブ絶対残容量(Remaining Active Absolute Capacity, RAAC [mAh])：RAACは、アクティブEMPTYポイントまでのアクティブEMPTY放電レート(IAE)における現在の温度条件での残容量をmAhの絶対単位で通知します。RAACは16ビットです。

スタンバイ絶対残容量(Remaining Standby Absolute Capacity, RSAC [mAh])：RSACは、スタンバイEMPTYポイント容量までのスタンバイEMPTY放電レート(ISE)における現在の温度条件での残容量をmAhの絶対単位で通知します。RSACは16ビットです。

アクティブ相対残容量(Remaining Active Relative Capacity, RARC [%])：RARCは、アクティブEMPTYポイントまでのアクティブEMPTY放電レート(IAE)における現在の温度条件での残容量を%の相対単位で通知します。RARCは8ビットです。

スタンバイ相対残容量(Remaining Standby Relative Capacity, RSRC [%])：RSRCは、スタンバイEMPTYポイント容量までのスタンバイEMPTY放電レート(ISE)における現在の温度条件での残容量を%の相対単位で通知します。RSRCは8ビットです。

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

結果の計算

$$\text{RAAC [mAh]} = (\text{ACR[mVh]} - \text{AE(T)} \times \text{FULL50[mVh]}) \times \text{RSNSP [mhos]}$$

$$\text{RSAC [mAh]} = (\text{ACR[mVh]} - \text{SE(T)} \times \text{FULL50[mVh]}) \times \text{RSNSP [mhos]}$$

$$\text{RARC [\%]} = 100\% \times (\text{ACR[mVh]} - \text{AE(T)} \times \text{FULL50[mVh]}) / \{(\text{AS} \times \text{FULL(T)} - \text{AE(T)}) \times \text{FULL50[mVh]}\}$$

$$\text{RSRC [\%]} = 100\% \times (\text{ACR[mVh]} - \text{SE(T)} \times \text{FULL50[mVh]}) / \{(\text{AS} \times \text{FULL(T)} - \text{SE(T)}) \times \text{FULL50[mVh]}\}$$

ステータスレジスタ

ステータスレジスタは、デバイスのステータスを通知するビットを含んでいます。これらのビットはDS2788によって内部で設定することができます。CHGTF、AEF、SEF、LEARNF、およびVERの各ビットは、ハードウェア

によるクリアが可能な読取り専用のビットです。UVFとPORFの各ビットは1-Wireインタフェースを通じてのみクリアすることができます。

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.

図14. ステータスレジスタの形式

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

制御レジスタ

すべての制御レジスタのビットは読取りと書込みが可能です。制御レジスタは、電源投入時にパラメータEEPROMメモリから呼び出されます。レジスタのビット値は、電源投入後にシャドウRAMで変更することができ

ます。シャドウRAMの値は、Copy Dataコマンドを使って電源投入時のデフォルト値として保存することができます。

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 μ V.
UVEN	6	Read/Write	Undervoltage SLEEP Enable 0: Disables transition to SLEEP mode based on V_{IN} voltage. 1: Enables transition to SLEEP mode if $V_{IN} < V_{SLEEP}$ and DQ are stable at either logic level for t_{SLEEP} .
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 t_{SLEEP} .
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

図15. 制御レジスタの形式

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

特殊機能レジスタ

すべての特殊機能レジスタのビットは読取りと書込みが可能で、各ビットの定義で指定されたデフォルト値を持っています。

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). Note: PIO pin has weak pulldown.	

図16. 特殊機能レジスタの形式

残量ゲージの表示

DS2788は、30mAを引き込むことが可能な5個のオープンレインドライバを備えています。これらのドライバを使用して4個または5個のLEDを直接駆動すると、パックのアクティブ相対残容量(RARC)を表示することができます。PIOが入力として設定されてPIO端子が立上りエッジを認識すると、LEDがイネーブルされます。表示は、4秒間点灯してからPIO端子の状態に関係なくディセーブルされます。100msのデバウンス遅延後にPIO端子に接続されたボタンをさらに押し下げるまたは放すと、表示はイネーブルされます(ボタンを押し下げたままでは表示は点灯し続けません)。

表2に各LEDがどのようにイネーブルされるかを要約します。Bは、LEDが4秒の表示時間に、50%のデューティサイクルで、0.5秒のオン、0.5秒のオフの点滅を繰り返していることを表します。Lは、端子がローに駆動されてLEDが点灯していることを表します。Xは、端子がハイインピーダンスでLEDが消灯していることを表します。

表2. 残量ゲージ表示の要約

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

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

EEPROMレジスタ

EEPROMレジスタはEEPROMブロックのアクセス制御を行います。EEPROMブロックは、ブロック内部のデータ変更を阻止するためのロックが可能です。ブロックをロックするとブロックへの書込みアクセスがディセー

ブルされます。いったんロックしたブロックは、ロック解除をすることができません。EEPROMブロックへの読取りアクセスは、ロックやロック解除の影響を受けません。

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	
BLO	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	

図17. EEPROMレジスタの形式

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

メモリ

DS2788は、計測、ステータス、および制御用のレジスタが配置された256バイトのリニアメモリ空間を、パラメータとユーザ情報を保存するEEPROMブロックとともに備えています。「予備(Reserved)」として指定されたバイトアドレスは、読取りが行われると未定義のデータを返します。予備のバイトに書き込んではいけません。16ビット値を保存するためには、複数のバイトレジスタをペアにして2バイトレジスタとします。16ビット値のMSBは偶数アドレスに存在し、LSBは次のアドレス(奇数)に存在します。2バイトレジスタのMSBが読み取られると、MSBとLSBは同時にラッチされてRead Dataコマンドの期間保存され、読取り中の最下位バイトの更新が阻止されます。こうして、2つのレジスタバイト間の同期が確保されます。結果に一貫性を持たせるために、同じRead Dataコマンドシーケンス中に2バイトレジスタのMSBとLSBを必ず読み取ってください。

EEPROMメモリは、揮発性シャドウRAMをオーバーレイしたNV EEPROMセルで構成されます。Read DataとWrite Dataの各コマンドを使用すると、1-Wireインタフェースを通じてシャドウRAMのみに直接アクセスすることができます。Copy DataとRecall Dataの各機能コマンドを使用すると、シャドウRAMとEEPROMのセル間でデータが転送されます。EEPROMセルに保存されたデータを変更するためには、データをシャドウRAMに書き込んだ後にEEPROMにコピーする必要があります。

EEPROMセルに保存されたデータを確認するためには、EEPROMデータをシャドウRAMに呼び出した後にシャドウRAMから読み取る必要があります。

ユーザEEPROM

16バイトのユーザEEPROMメモリ(ブロック0、アドレス20h~2Fh)は、DS2788の他の機能に拘束されないNVメモリを備えています。ユーザEEPROMブロックにアクセスしても、DS2788の動作に影響はありません。ユーザEEPROMはロックが可能で、いったんロックすると書き込みアクセスが不可能になります。バッテリーパックあるいはホストシステムのメーカは、ロットコード、日付コード、およびその他の製造、保証、または診断の各情報をプログラムし、これをロックしてデータを保護することができます。さらに、ユーザEEPROMは、ホストデバイス内の各種サイズのバッテリーをサポートする充電に関するパラメータを、完全充電までの予想時間パラメータなどの補足モデルデータとともに保存することができます。

パラメータEEPROM

セルに関するモデルデータおよびアプリケーションの動作パラメータは、パラメータEEPROMメモリ(ブロック1、アドレス60h~7Fh)に保存されます。RARCの結果が4%の限界を超えると、ACR (MSBとLSB)とASの各レジスタは自動的にEEPROMに保存されます。このため、DS2788は保護FETの外部に配置することができます。こうすると、保護デバイスがトリガされてもDS2788は充放電データの4%以上を失うことはありません。

表3. メモリマップ

ADDRESS (HEX)	DESCRIPTION	READ/WRITE
00	Reserved	R
01	STATUS: Status Register	R/W
02	RAAC: Remaining Active Absolute Capacity MSB	R
03	RAAC: Remaining Active Absolute Capacity LSB	R
04	RSAC: Remaining Standby Absolute Capacity MSB	R
05	RSAC: Remaining Standby Absolute Capacity LSB	R
06	RARC: Remaining Active Relative Capacity	R
07	RSRC: Remaining Standby Relative Capacity	R
08	IAVG: Average Current Register MSB	R
09	IAVG: Average Current Register LSB	R
0A	TEMP: Temperature Register MSB	R
0B	TEMP: Temperature Register LSB	R
0C	VOLT: Voltage Register MSB	R
0D	VOLT: Voltage Register LSB	R
0E	CURRENT: Current Register MSB	R
0F	CURRENT: Current Register LSB	R
10	ACR: Accumulated Current Register MSB	R/W*
11	ACR: Accumulated Current Register LSB	R/W*

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

表3. メモリマップ(続き)

ADDRESS (HEX)	DESCRIPTION	READ/WRITE
12	ACRL: Low Accumulated Current Register MSB	R
13	ACRL: Low Accumulated Current Register LSB	R
14	AS: Age Scalar	R/W*
15	SFR: Special Feature Register	R/W
16	FULL: Full Capacity MSB	R
17	FULL: Full Capacity LSB	R
18	AE: Active Empty MSB	R
19	AE: Active Empty LSB	R
1A	SE: Standby Empty MSB	R
1B	SE: Standby Empty LSB	R
1C to 1E	Reserved	—
1F	EEPROM: 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	FVGAIN: Factory Voltage Gain MSB	R
AF	FVGAIN: Factory Voltage Gain LSB	R
B0	FRSGAIN: Factory Sense Resistor Gain MSB	R
B1	FRSGAIN: Factory Sense Resistor Gain LSB	R
B2 to FF	Reserved	—

*レジスタの値は、アクティブモードで動作中に自動的にEEPROMに保存され、電源投入時にEEPROMから呼び出されます。

表4. パラメータEEPROMメモリブロック1

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 50	78	RSGAIN: Sense Resistor Gain MSB
69	RSNSP: Sense Resistor Prime	79	RSGAIN: Sense Resistor Gain LSB
6A	Full 50 MSB	7A	RSTC: Sense Resistor Temp Coefficient
6B	Full 50 LSB	7B	COB: Current Offset Bias
6C	Full Segment 4 Slope	7C	TBP23
6D	Full Segment 3 Slope	7D	TBP12
6E	Full Segment 2 Slope	7E	VGAIN: Voltage Gain MSB
6F	Full Segment 1 Slope	7F	VGAIN: Voltage Gain LSB

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

1-Wireバスシステム

1-Wireバスは、単一のバスマスタと1個以上のスレーブを備えたシステムです。マルチドロップバスは複数のスレーブが接続された1-Wireバスです。シングルドロップバスは、スレーブデバイスが1つだけ接続されたバスです。DS2788はいかなる場合もスレーブデバイスです。バスマスタは、通常、ホストシステム内のマイクロプロセッサです。このバスシステムの説明は、64ビットネットアドレス、ハードウェア構成、トランザクションシーケンス、および1-Wire信号方式の4つのトピックスに分類されます。

64ビットネットアドレス

各DS2788は、出荷時にプログラムされた固有の64ビット長の1-Wireネットアドレスを備えています。最初の8ビットは1-Wireのファミリーコード(DS2788の場合は32h)です。次の48ビットは固有のシリアル番号です。最後の8ビットは最初の56ビットの巡回冗長検査(CRC)です(図18参照)。64ビットのネットアドレスとデバイスに内蔵された1-Wire I/O回路によって、DS2788は、「1-Wireバスシステム」の項に詳しく述べた1-Wireプロトコルにしたがって通信することができます。

CRC生成

DS2788は、その1-WireネットアドレスのMSBに保存された8ビットCRCを備えています。アドレスをエラーなしで送信するために、ホストシステムはアドレスの最初の56ビットからCRC値を計算し、これをDS2788からのCRCと比較します。ホストシステムはこのCRC値

を確認し、その結果に対して措置を講じる必要があります。DS2788はCRC値を比較せず、CRCが一致しなくてもコマンドシーケンスを進めてしまいます。CRCを正しく使用すると非常に高い完成度の通信チャンネルが得られます。

CRCは、図19に示すようにホスト側でシフトレジスタとXORゲートから成る回路を使って生成することができますが、ソフトウェアで生成することもできます。マキシムの1-Wire CRCの詳細は、「アプリケーションノート27：マキシムのiButton製品に用いる巡回冗長検査(CRC)の理解と用法」(japan.maxim-ic.com/appnoteindex)に記載されています。

図19の回路では、シフトレジスタビットが0に初期化されます。この後、ファミリーコードのLSbから1ビットずつシフトインされます。ファミリーコードの8番目のビットが入力されると、続いてシリアル番号が入力されます。シリアル番号の48番目のビットが入力されると、シフトレジスタにCRC値が保存されます。

ハードウェア構成

1-Wireバスには1本のラインしかないため、バス上の各デバイスは適時にバスの駆動が可能であることが重要です。このためには、1-Wireバス上の各デバイスをオープンドレインまたはトライステート出力ドライバを介してバスに接続する必要があります。DS2788は、オープンドレイン出力ドライバを図20に示す双方向インタフェース回路の一部として使用しています。バスマスタに双方向端子がない場合は、独立した出力端子と入力端子を互いに接続して使用することができます。

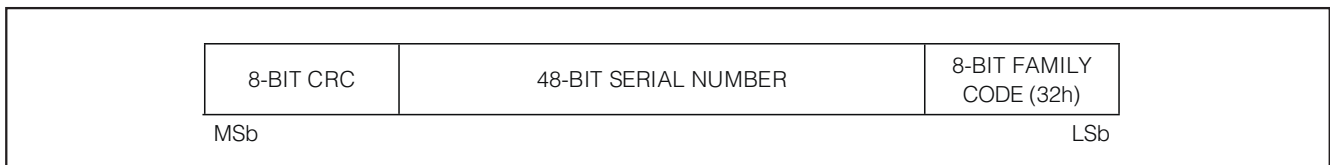


図18. 1-Wireネットアドレスの形式

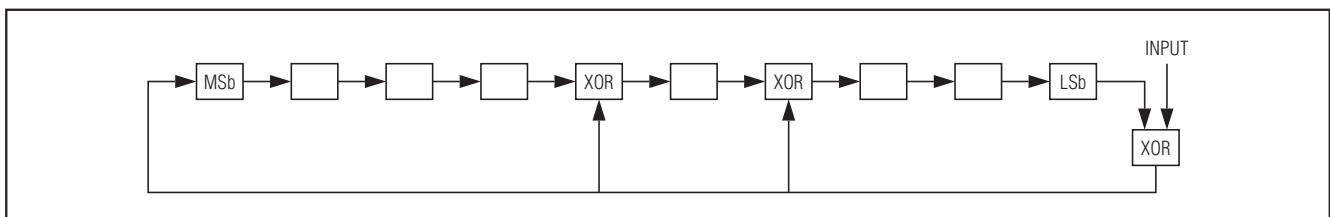


図19. 1-Wire CRC生成のブロック図

iButtonはMaxim Integrated Products, Inc.の完全子会社であるDallas Semiconductor Corp.の登録商標です。

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

1-Wireバスは、バスのバスマスタ端にプルアップ抵抗を備えている必要があります。ラインの長さが短い場合、この抵抗の値として約5kΩが推奨されます。1-Wireバスのアイドル状態はハイです。何らかの理由でバスのトランザクションを中断しなければならない場合は、後でトランザクションを適正に再開するためにバスをアイドル状態にしておく必要があります。バスが120μs (オーバドライブ速度の場合は16μs)以上の間ローのままになると、バス上のスレーブデバイスはこのロー期間をリセットパルスと解釈してトランザクションを有効に終了します。

DS2788は、標準およびオーバドライブの2つの通信速度モードで動作します。速度モードは、OVD端子の入力ロジックレベルで決定され、ロジック0で標準速度が、またロジック1でオーバドライブ速度が選択されます。リセットパルスでトランザクションを初期化する前は、OVD端子が0または1の安定なロジックレベルにあるものとします。正常に動作するためには、マルチノードバス上のすべての1-Wireデバイスが同じ通信速度で動作しなければなりません。標準とオーバドライブの両速度に対する1-Wireのタイミングは、「Electrical Characteristics: 1-Wire Interface」の表に記載されています。

トランザクションシーケンス

1-Wireポートを通じてDS2788にアクセスするプロトコルは次の通りです。

- 初期化
- ネットアドレスコマンド

- 機能コマンド
- トランザクション/データ

これらの手順を以下の項で詳しく説明します。

1-Wireバスのすべてのトランザクションは、バスマスタが送信するリセットパルス、およびこれに続くバス上のDS2788などのスレーブが同時に送信するプレゼンスパルスから成る初期化シーケンスで始まります。プレゼンスパルスは、少なくとも1個のデバイスがバス上にありかつ動作準備が整っていることをマスタに伝えます。詳しくは、「1-Wire信号方式」の項を参照してください。

ネットアドレスコマンド

バスマスタは、少なくとも1個のスレーブの存在を検出すると、以下のパラグラフで説明するネットアドレスコマンドの1つを送出することができます。各ROMコマンドの名前の後には、そのコマンドに対応した8ビットのオペコードが角括弧内に続きます。図21は、ネットアドレスコマンドのトランザクションフローチャートを示します。

Read Net Address [33hまたは39h]。このコマンドを使用すると、バスマスタはDS2788の1-Wireネットアドレスを読み取ることができます。このコマンドは、バス上に1個のスレーブがある場合にのみ使用することができます。複数のスレーブが存在する場合は、すべてのスレーブが同時に送信しようとするデータとの衝突が起きます(オープンドレインはワイヤードAND出力を発生します)。ステータスレジスタのRNAOPビットは、このコマンドに対応するオペコードをRNAOP = 0 (33hを示す)およびRNAOP = 1 (39hを示す)として選択します。

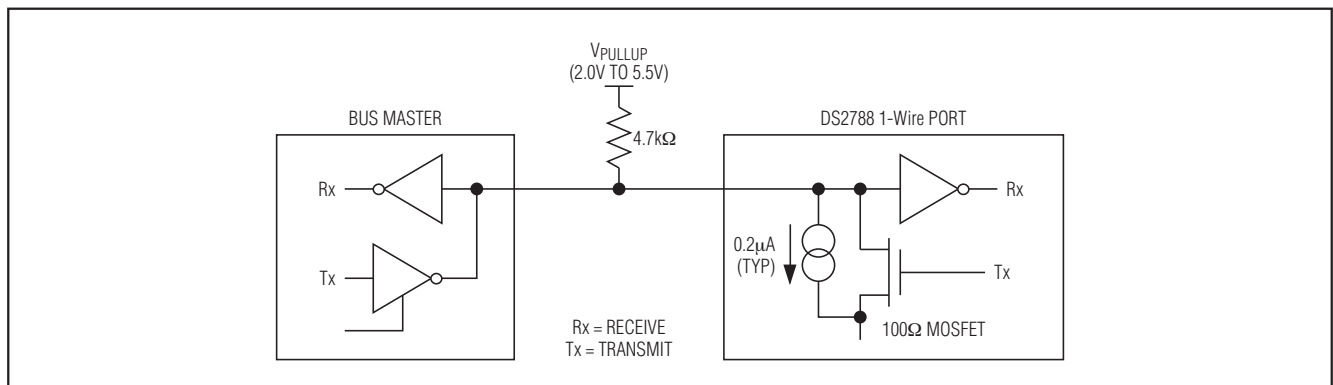


図20. 1-Wireバスインタフェース回路

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

Match Net Address [55h]。このコマンドを使用すると、バスマスタは1-Wireバス上にある1個のDS2788を特別にアドレス指定することができます。アドレス指定されたDS2788のみが後続の機能コマンドに応答します。その他のすべてのスレーブデバイスは、機能コマンドを無視してリセットパルスを待ちます。このコマンドは、バス上の1個以上のスレーブデバイスに使用することができます。

Skip Net Address [CCh]。このコマンドは、バス上にDS2788が1個しかないときに、バスマスタがスレーブのアドレスを指定せずに機能コマンドを送出するようにして時間を節約します。バス上に複数のスレーブデバイスが存在する場合は、すべてのスレーブが同時に送信すると、後続の機能コマンドがデータの衝突を起すことがあります。

Search Net Address [F0h]。このコマンドを使用すると、バスマスタは消去法を使ってバス上に存在するすべてのスレーブデバイスの1-Wireネットアドレスを識別することができます。この検索処理は、ビットの読取り、そのビットの補数の読取り、さらにそのビットに必要な値の書込みなどの簡単な3ステップルーチンの繰返しです。バスマスタは、この簡単な3ステップのルーチンをネットアドレスの各ビット位置で実行します。64ビットすべてについて1回の試行を終了すると、バスマスタは1個のデバイスのアドレスを知ることができます。この処理の後続の試行によって残りのデバイスが識別されます。実例を含むネットアドレス検索の詳細な説明については、「Book of iButton Standards」の5章を参照してください(japan.maxim-ic.com/ibuttonbook)。

Resume [A5h]。このコマンドは、DS2788へのアクセスが何度も必要なマルチドロップ環境におけるデータのスループットを向上させます。Resumeコマンドは、DS2788にアクセスするたびに64ビットネットアドレスを送信する必要がないという点で、Skip Net Addressコマンドに似ています。Match Net AddressコマンドまたはSearch Net Addressコマンドが正しく実行されると、DS2788に内部フラグが設定されます。このフラグが設定されると、Resumeコマンド機能によってDS2788へのアクセスを繰り返すことができます。バス上の別のデバイスにアクセスするとフラグがクリアされるため、Resumeコマンド機能に対する複数デバイスの同時応答が防止されます。

機能コマンド

ネットアドレスコマンドの1つが正常に終了すると、バスマスタは以下のパラグラフに説明する機能コマンドのどれかを使ってDS2788の機能にアクセスすることができます。各機能の名前の後には、そのコマンドに対応する8ビットのオペコードが角括弧内に続きます。表5に機能コマンドの要約を示します。

Read Data [69h, XX]。このコマンドは、メモリアドレスXXで始まるデータをDS2788から読み取ります。アドレスXXにあるデータの最下位ビット(LSb)は、アドレスの最上位ビット(MSb)が入力された直後に読み取って利用することができます。アドレスは、各バイトのMSbが受信されると自動的にインクリメントされるため、アドレスXX + 1のデータのLSbは、アドレスXXにあるデータのMSbの直後に読み取ることができます。バスマスタがアドレスFFhを超えて読取りを続けると、データはメモリアドレス00から読み取られ、アドレスは、リセットパルスが発生するまで自動的にインクリメントされます。メモリマップに「予備(Reserved)」と記されたアドレスは、未定義のデータ値を含んでいます。バスマスタは、リセットパルスを用いてRead Dataコマンドを任意のビット境界で終了させることができます。EEPROMブロックのアドレスから読取りを行うと、シャドウRAMのデータが返されます。EEPROMからシャドウRAMへのデータ転送にはRecall Dataコマンドが必要です。詳しくは「メモリ」の項を参照してください。

Write Data [6Ch, XX]。このコマンドは、データをメモリアドレスXXからDS2788に書き込みます。アドレスXXに保存されるデータのLSbは、アドレスのMSbが入力された直後に書き込むことができます。アドレスは各バイトのMSbが書き込まれると自動的にインクリメントされるため、アドレスXX + 1に保存されるLSbは、アドレスXXに保存されるMSbの直後に書き込むことができます。バスマスタがアドレスFFhを超えて書き込みを続けると、アドレス00で始まるデータが上書きされます。読取り専用アドレス、予備アドレス、およびロックされたEEPROMブロックへの書き込みは無視されます。不完全なバイトは書き込まれません。ロック解除されたEEPROMブロックアドレスに書き込みを行うと、シャドウRAMが変更されます。シャドウRAMからEEPROMへのデータ転送にはCopy Dataコマンドが必要です。詳しくは「メモリ」の項を参照してください。

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

Copy Data [48h, XX]。このコマンドは、EEPROM シャドウRAMの内容を、アドレスXXを格納するEEPROM ブロックの各EEPROMセルにコピーします。ロックされたブロックのアドレスを指定するCopy Dataコマンドは無視されます。Copy Dataコマンドが実行されている間、EEPROMレジスタのEECビットは1に設定され、EEPROMアドレスへの書込みは無視されます。非EEPROMのアドレスに対する読取りと書込みは、コピーが進行中も行うことができます。Copy Dataコマンドは、アドレス送信後の最初の立上りエッジで開始され、実行には t_{EEC} の時間がかかります。

Recall Data [B8h, XX]。このコマンドは、各EEPROMセルの内容を、アドレスXXに格納するEEPROMブロックのEEPROMシャドウメモリに呼び出します。

Lock [6Ah, XX]。このコマンドは、メモリアドレスXXを格納するEEPROMメモリのブロックをロック(書込み保護)します。Lockコマンドを実行する前にEEPROMレジスタのロックビットを1に設定する必要があります。意図しないロックを防ぐためには、ロックビット(EEPROMレジスタ、アドレス1Fh、ビット06)を1に設定した直後にLockコマンドを送出する必要があります。ロックビットが0の場合やLockコマンドの直前にロックビットを1に設定しない場合は、Lockコマンドは無効となります。Lockコマンドは永久的であり、ロックされたブロックへの再書込みはできません。

表5. 機能コマンド

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

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

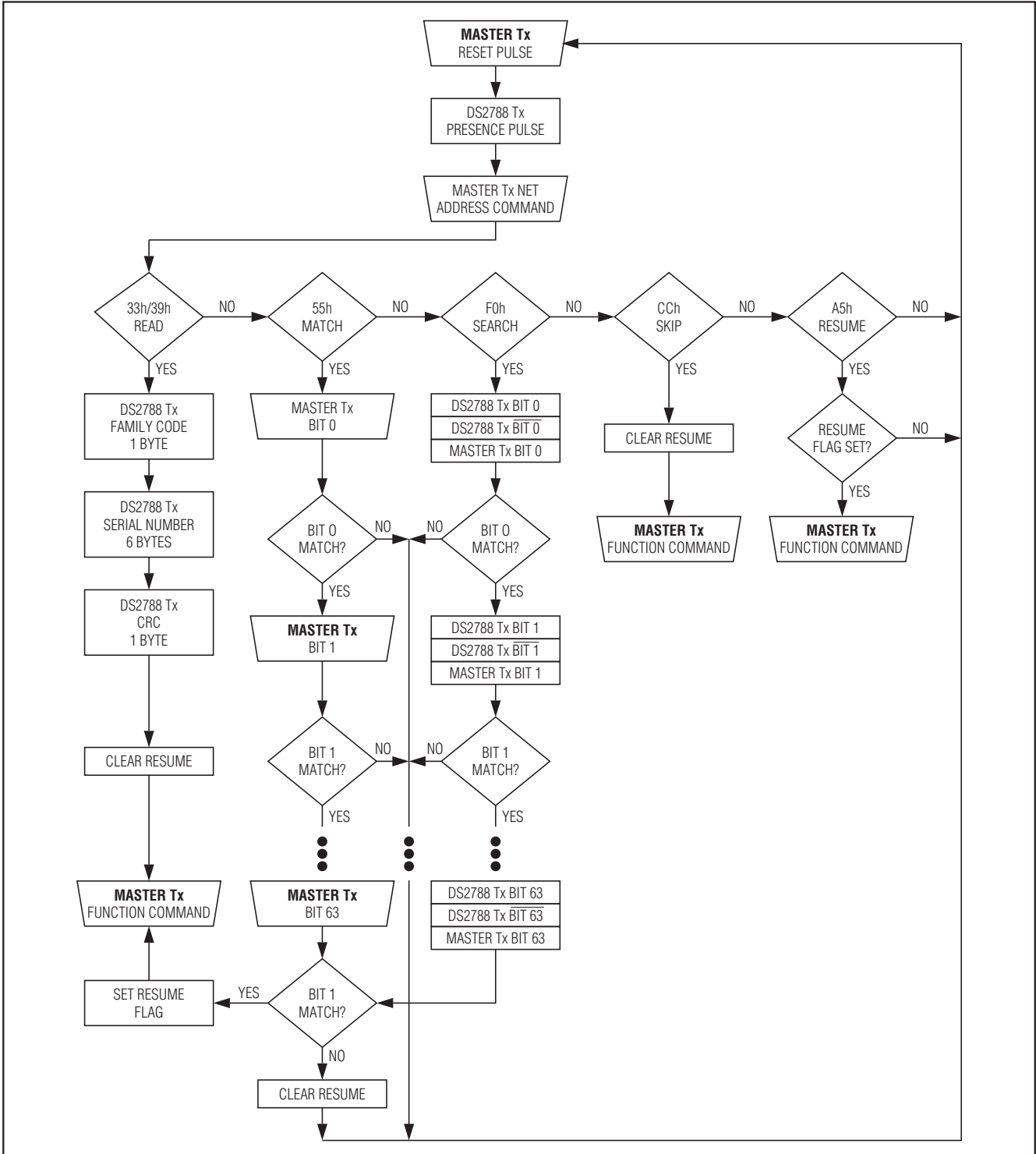


図21. ネットアドレスコマンドのフローチャート

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

1-Wire信号方式

1-Wireバスには、データの完全性を確保するための厳格な信号方式のプロトコルが必要です。DS2788で使用されるプロトコルは、初期化シーケンス(リセットパルスに続くプレゼンスパルス)、書込み0、書込み1、および読取りデータの4つです。プレゼンスパルスを除くこれらすべての信号は、バスマスタによって生成されます。

DS2788との通信の開始に必要な初期化シーケンスを図22に示します。リセットパルスに続くプレゼンスパルスは、DS2788がネットアドレスコマンドの受入れ準備が整っていることを示します。バスマスタは、 t_{RSTL} の間リセットパルスを送信します(Tx)。この後、バスマスタはラインを解放して受信モードに入ります(Rx)。そして、1-Wireバスラインはプルアップ抵抗によってハイに駆動されます。DS2788はDQ端子の立上りエッジを検出すると、 t_{PDH} の間待つてから t_{PDL} の間にプレゼンスパルスを送信します。

書込みタイムスロット

書込みタイムスロットは、バスマスタが1-Wireバスをロジックハイ(非アクティブ)レベルからロジックローレベルに駆動すると始まります。書込みタイムスロットには書込み1と書込み0の2種類があります。すべての書込みタイムスロットは、持続時間が t_{SLOT} で、最小回復時間が $1\mu s$ 、サイクル間が t_{REC} であるものとします。DS2788は、ラインがローになった後の $15\mu s\sim 60\mu s$

の間(オーバドライブ速度の場合は $2\mu s\sim 6\mu s$ の間)に1-Wireバスラインをサンプリングします。ラインがサンプリング時にハイであれば書込み1が行われます。ラインがサンプリング時にローであれば書込み0が行われます(図23参照)。バスマスタが書込み1タイムスロットを生成する場合は、バスラインをローに駆動してから解放して、書込みタイムスロットの開始後 $15\mu s$ (オーバドライブ速度の場合は $2\mu s$)以内に、ラインをハイに駆動する必要があります。ホストが書込み0タイムスロットを生成する場合は、バスラインをローに駆動して、書込みタイムスロットの持続中はローに保つ必要があります。

読取りタイムスロット

読取りタイムスロットは、バスマスタが1-Wireバスラインをロジックハイレベルからロジックローレベルに駆動すると始まります。バスマスタは、バスラインを少なくとも $1\mu s$ の間ローに保つてからこれを解放して、DS2788が有効なデータを伝送することができるようにする必要があります。この後、バスマスタは読取りタイムスロットの開始から t_{RDV} の間にデータをサンプリングすることができます。読取りタイムスロットの最後までにDS2788はバスを解放し、これを外付けプルアップ抵抗によってハイに駆動されるようにすることができます。すべての読取りタイムスロットは、持続時間が t_{SLOT} で、最小回復時間が $1\mu s$ 、サイクル間が t_{REC} であるものとします。詳細については、図23を参照してください。

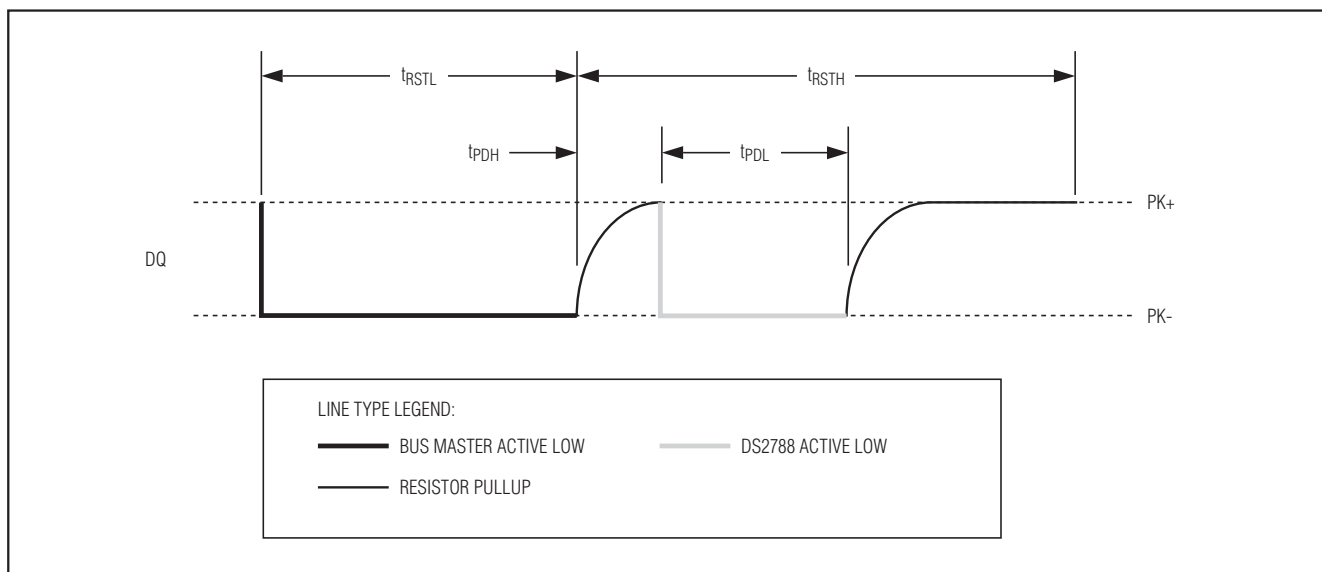


図22. 1-Wireの初期化シーケンス

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

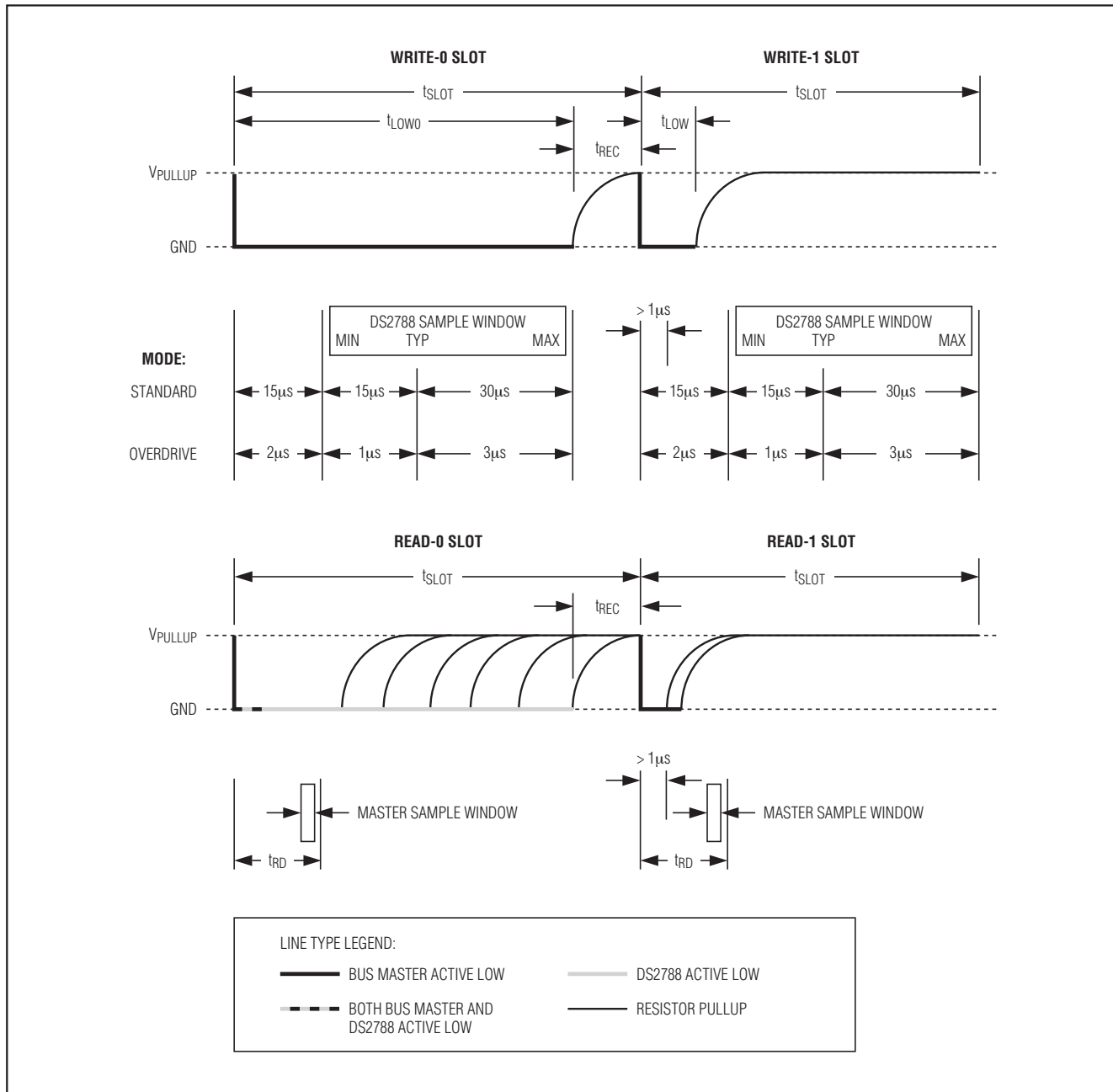
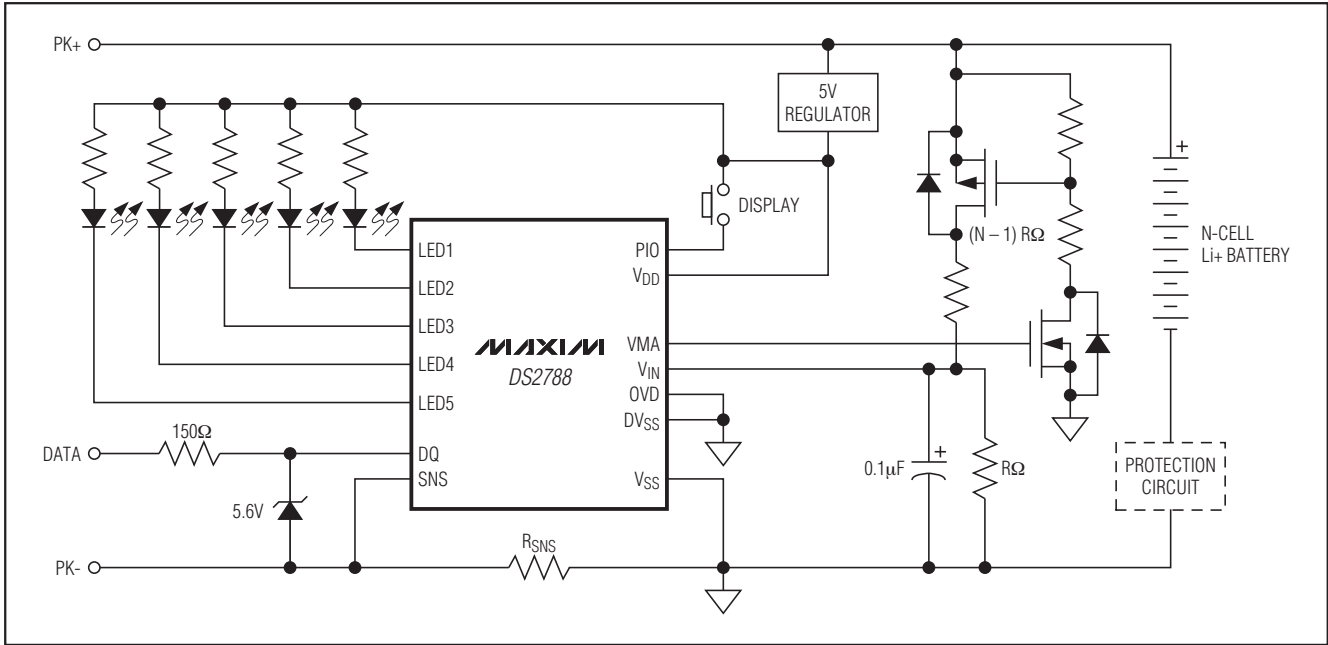


図23. 1-Wireの書き込みタイムスロットおよび読み取りタイムスロット

LEDディスプレイドライバ付き、 スタンドアロン残量ゲージIC

DS2788

標準動作回路



パッケージ

最新のパッケージ情報は、japan.maxim-ic.com/DallasPackInfo をご参照ください。

パッケージタイプ	ドキュメント番号
14 TSSOP	56-G2015-000

マキシム・ジャパン株式会社

〒169-0051 東京都新宿区西早稲田3-30-16 (ホリゾン1ビル)
TEL. (03)3232-6141 FAX. (03)3232-6149

マキシムは完全にマキシム製品に組み込まれた回路以外の回路の使用について一切責任を負いかねます。回路特許ライセンスは明言されていません。マキシムは随時予告なく回路及び仕様を変更する権利を留保します。

30 **Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 408-737-7600**

© 2007 Maxim Integrated Products

MAXIM is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.