

超低静止電流の DC/DC および LDO により 20 年間稼働するスマート・メーターを実現する方法

温度、水道、ガスのスマート・メーターは、システムの電力管理に厳しい要件が設けられており、電力系統への接続がないため充電のできない一次電池が電源です。このようなメーターは世界中で何億個も設置されていますが、電池交換のための現地保守作業の回数は、極限まで減らす必要があります。そのため、これらのメーターは通常 20 年もの間、電池交換なしで稼働します。20 年間稼働させるためには、静止電流 (I_Q) を非常に低く抑える電力管理が極めて重要です。

超低 I_Q の電源を使用して、高いバッテリー電圧を、常時オンになっているシステムのマイコンに必要な電圧まで下げます。図 1 は、スマート・メーター、およびビル・オートメーションやパーソナル・エレクトロニクスなどの超低電力システムに使われる、各種のバッテリー構成の一部です。未使用時の消費電流をカットするため、通信機能のような負荷は、負荷スイッチまたは低ドロップアウト・リニア・レギュレータ (LDO) により無効にされます。

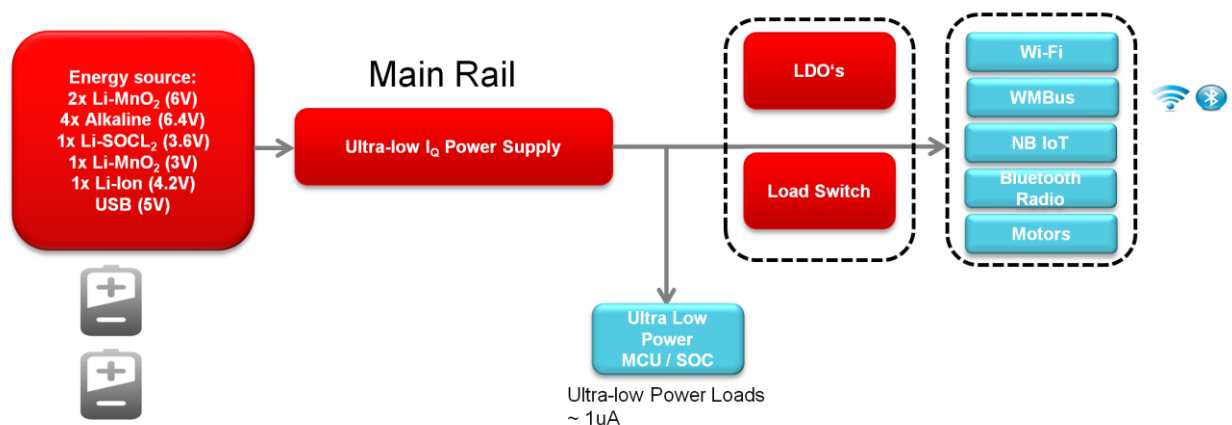


図 1 : 超低 I_Q 電力管理によるスマート・メーターの標準的なシステム・ブロック図

マイコンの内部がスリープ・モードまたはスタンバイ・モードのときは、マイコンの消費電流は $1\mu\text{A}$ か、それよりずっと低くなります。電源は、このような極度な軽負荷時に効率を高め、余分なバッテリー・エネルギーを消費しないために、超低 I_Q であることが求められます*1。超低 I_Q スイッチング降圧コンバータ (DC/DC) と超低電力 LDO のどちらを選択するかで、効率やコスト、部品点数、使いやすさなど、いくつかの設計上のトレードオフがあります。

効率

超低静止電力 LDO の I_Q は DC/DC より低いため、これまで超低電力システムには超低 I_Q の LDO が使われてきました。例えば、TI の LDO 『[TPS7A02](#)』の I_Q は 25nA ですが、TI の DC/DC 『[TPS62840](#)』の I_Q は 60nA です。しかし、LDO と DC/DC のいずれも I_Q 値がかなり低い場合には、 I_Q だけが超低 I_Q の電源を選ぶ決め手にはなりません。課題は、それに対応するバッテリー電流の消費です。マイコンの消費電流によっては、 I_Q だけでは全貌がつかめません。

25nA や 60nA といった I_Q 値は、それぞれのデバイスにより消費される無負荷入力電流を指します。その名前が示すように、無負荷入力電流は、システムが無負荷の状態の場合にのみ該当しますが、マイコンが常時オンの場合は厳密にこの値になることはありません。スリープ・モードやスタンバイ・モードのときでも、マイコンはリーク電流を消費します。このリーク電流が電源に対する負荷として働き、指定された I_Q 値を上回るバッテリー電流の増加につながります。

図 2 に、 $I_Q=60\text{nA}$ の DC/DC と $I_Q=25\text{nA}$ の LDO のそれぞれについて、出力電圧が 1.8V のときの効率とバッテリー消費電流を示します。図 3 は、出力電圧が 3.3V のときの同じデータを示したものです。両方のグラフで、入力電源には一般的に使われる 3.6V バッテリー電圧を用いています。X 軸の左端の点は、負荷電流 100nA です。

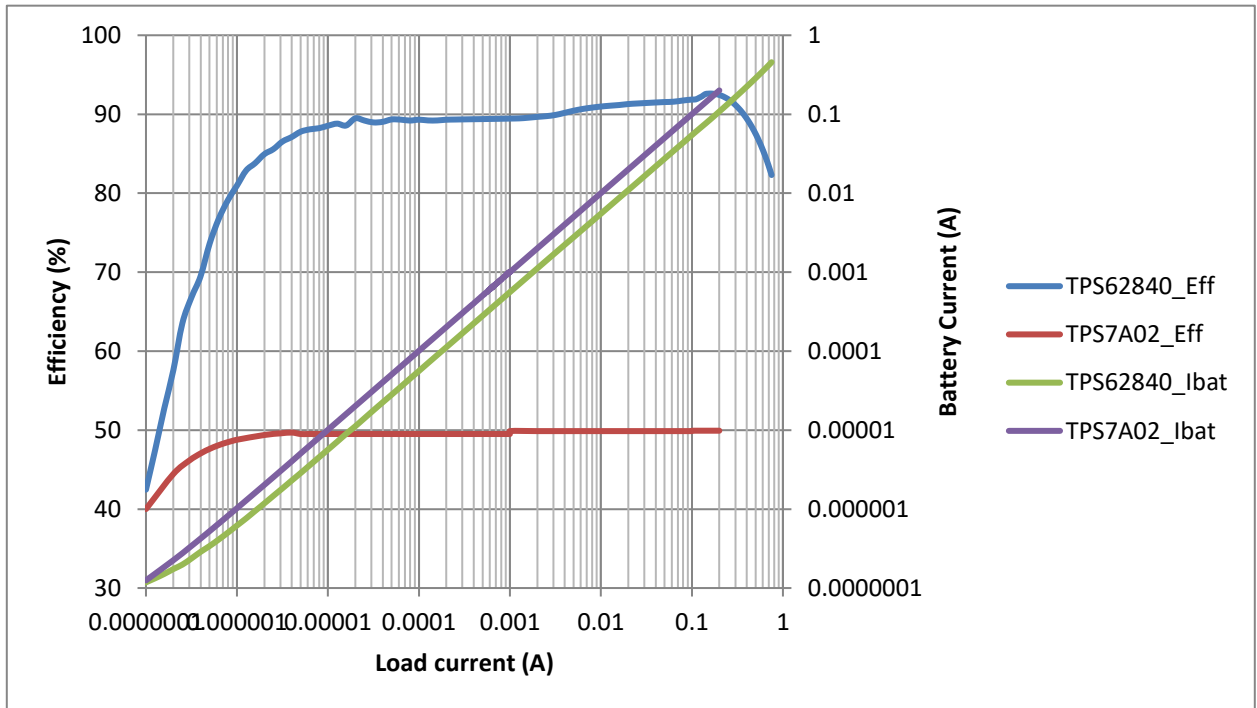


図 2 : 1.8V_{OUT}での超低 I_Q DC/DC および LDO の効率とバッテリー消費電流

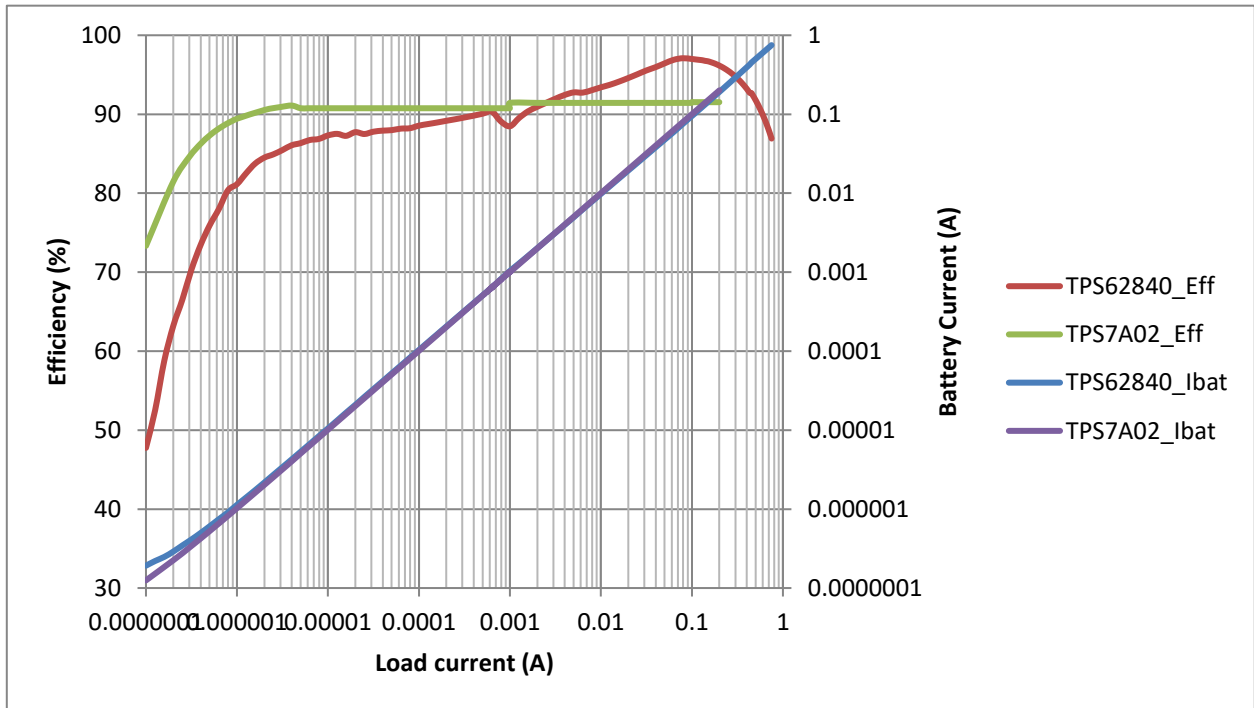


図 3 : 3.3V_{OUT}での超低 I_Q DC/DC および LDO の効率とバッテリー消費電流

LDO の効率は、理論的 maximum である $\frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$ (1.8V_{OUT} で 50%、3.3V_{OUT} で 92%) に漸近的に近づくため、かなりフラットです。I_Q のせいで、効率は理論的 maximum よりも下がりますが、この効率低下は、負荷が最も軽いときに非常に顕著です。DC/DC の効率は、ほとんどの負荷範囲で 90% を超えています。高負荷に達すると低下します。高負荷電流では回路の抵抗性損失が支配的になり、効率を低下させます。軽負荷時にも、I_Q により効率が著しく低下します。

負荷電流の増加は、Wi-Fi や GSM (Global System for Mobile Communications)、WMBus (Wireless Meter Bus) などの接続を通じた送受信動作、またはモーターを回して水道メーターの給水栓を閉めるといった高電流動作に対応します。この例の超低 I_Q DC/DC は、高いピーク電流動作に対応するために、LDO の 200mA に対して、750mA の出力電流能力があります。DC/DC は LDO に比べて高負荷時の効率が良く、その分発熱が抑えられることが、一般的に LDO よりも DC/DC の方が高い電流に対応できる主な理由です。

効率に違いがある一方で、バッテリー電流の違いも、アプリケーションへの影響（この場合、一次電池によるスマート・メーターの 20 年の駆動時間）をしっかりと見極める助けになります。バッテリー電流の消費量でバッテリーの大きさが決まり、mAh (ミリアンペア時) で表される必要容量も決まります。出力電圧が 3.3V の場合は、バッテリー電圧と出力電圧が非常に近いの

で、バッテリー消費電流に大きな差はありません。しかし、それより低い 1.8V の場合は、DC/DC と LDO で、バッテリー消費電流にほぼ 50% の差があります。

コストと部品点数

図 4 は、超低 I_Q DC/DC および LDO の電源の回路図です。両方とも非常にシンプルで、必要なパッシブ部品は数点しかありません。DC/DC には、出力電圧の設定にパワー・インダクタ 1 個、セラミック・コンデンサ 2 個、抵抗 1 個が必要です。LDO では、出力電圧が集積回路 (IC) 内部で直接設定されるため、必要なのはセラミック・コンデンサ 2 個のみです。いずれも非常にシンプルな電源で、一般的な市販の部品を使用できます。

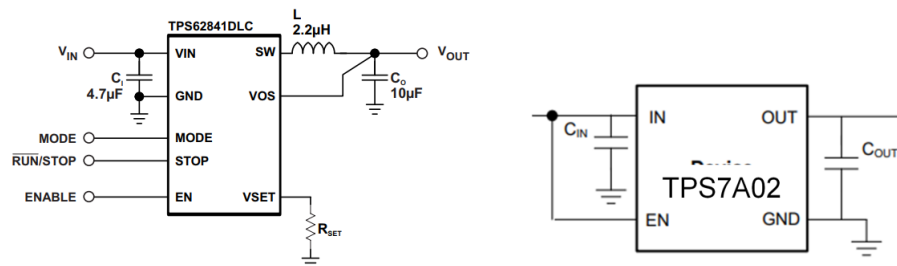


図 4 : 超低 I_Q DC/DC および LDO の回路図

DC/DC にはインダクタと抵抗が余計に必要なので、LDO に比べてソリューションにかかるコストがわずかながら増えます。さらに、LDO の IC は、DC/DC の IC よりもサイズが小さく動作が単純なので、一般に低コストです。『[TPS7A02](#)』のスマール・アウトライン・ノーリード (SON) パッケージの大きさは 1mm×1mm、一方『[TPS62840](#)』の SON パッケージは 1.5mm×2mm です。パワー・トランジスタ 2 個を搭載し、スイッチング動作を行う同期整流 DC/DC と比較して、LDO はパワー・トランジスタが 1 個で、スイッチングを行わないため、動作がシンプルになります。1,000 個単位の価格は、『[TPS62840](#)』が 0.70 ドル、『[TPS7A02](#)』が 0.49 ドルです。

使いやすさ

DC/DC と LDO は両方とも部品点数が少ないので、プリント基板 (PCB) への作り込みが簡単です。ピンや部品がより少ない LDO は、さらに実装が単純です。スイッチング動作がまったくないので、LDO では出力電圧リップルが発生せず、電磁干渉 (EMI) もありません。出力電圧リップルと EMI は両方とも、影響を受けやすい周辺のアナログ回路に干渉する可能性があります。『[TPS62840](#)』には、DC/DC につきもののスイッチング動作で発生する出力電圧リ

リップルの懸念を解消する方法が3つあります。低電力なので、DC/DCのEMIはすでに低いレベルです。

1つ目の方法では、MODEピンによりDC/DCを低リップル・モードで動作させます。このモードでは、軽負荷時の効率が落ちます。比較的短期間リップルを抑える必要がある場合、例えば送受信操作中に、マイコンがこのモードを制御することができます。2つ目の方法では、STOPピンでスイッチング動作を停止させ、すべてのノイズをDC/DCから除去します。ノイズのない環境で数マイクロ秒以内の高感度測定を行う場合、マイコンがこのピンを制御します。測定後は、マイコンがSTOPピンを切り替えて、即座にDC/DCを再起動します。最後の方法では、TIのDCS-Controlトポロジを使用します。このトポロジは、シングル・パルス省電力モードでリップルを最小限に抑えます^{*2}。超低電力システムでのノイズは、DC/DCとLDOの両方とも十分低いレベルです。

DC/DCとLDOはいずれも幅広い入力電圧範囲で動作するため、二酸化マンガン・リチウム電池(Li-MnO₂)、塩化チオニル・リチウム電池(Li-SOCl₂)、リチウムイオン電池(Li-ion)、アルカリ電池など、スマート・メーターやその他の超低電力システムによく使われる各種のバッテリーに対応します。DC/DCは、直列構成のアルカリ4セルといった多セルの高電力システムを想定して、やや高い6.5Vの入力電圧範囲をサポートします。各種バッテリーに同じDC/DCまたはLDO ICを使用することで、さまざまなシステム、さらにはさまざまな市場に同じ電源を使用できるようになります。

最後に、DC/DCとLDOのいずれにも、SON、リード付き、ウェハー・チップ・スケール(WCSP)などの各種パッケージが用意されています。パッケージごとに、サポートするアプリケーションが異なります。SONパッケージは、小型、容易な組立、良好な熱特性という長所をバランス良く備えています。リード付きパッケージは、組立やリワークが非常に簡単な一方、リード間隔が広めです。ガス・メーターなど本質的に安全性が求められるアプリケーションには、リード間隔の広さが非常に重要です。最後に、個人向け携帯電子機器のようなアプリケーションで必要となる超小型のソリューション・サイズ向けに、どちらのデバイスでもWCSPパッケージを用意しています。さまざまなパッケージが用意されているので、超低I_QのDC/DCおよびLDOのどちらも、ほとんどすべてのアプリケーションに使用できます

まとめ

表1は、超低I_QのDC/DCおよびLDOの効率とバッテリー電流を比較したものです。表2では、コスト、部品点数、使いやすさを比較しました。一般的な3.6Vバッテリーから1.8Vの出力電圧に下げる場合、低I_QLDOに比べて超低I_QDC/DCの方が効率が良く、バッテリー消費電流が低くなります。一方、出力電圧が3.3Vの場合は、入力電圧と出力電圧の差がずっと小さい

ため、100nA 負荷時では超低 I_Q LDO の消費電流の方がずっと小さく、高負荷のときはほぼ同じです。

	1.8 V _{OUT}		3.3 V _{OUT}	
	DC/DC	LDO	DC/DC	LDO
100nA 負荷時の効率	43%	40%	48%	73%
100nA 負荷時の入力消費電流	118 nA	125 nA	192 nA	125 nA
10μA 負荷時の効率	89%	50%	87%	91%
10μA 負荷時の入力消費電流	5.7 μA	10.1 μA	10.5 μA	10.1 μA
10mA 負荷時の効率	91%	50%	93%	91%
10mA 負荷時の入力消費電流	5.5 mA	10 mA	9.8 mA	10 mA

表 1 : 超低 I_Q DC/DC および LDO の効率とバッテリー消費の比較

計測など、ほとんどの時間がスタンバイ状態のアプリケーションでは、一定のバッテリー駆動時間を達成する上で、一般的にスタンバイ・モード時の入力消費電流が重要な要素になります。総合的なバッテリー消費電流の計算には、高電力モード対スタンバイ・モードのシステムのデューティ・サイクルが使われます。例として、メーターの 3.3V マイコンが、利用データを転送するために、1 時間ごとに 360 ミリ秒だけ 10mA を消費するとします（高電力モード）。それ以外の時間は 100nA のスタンバイ・モードです。この 0.01% のデューティ・サイクルから、計算で求められる平均入力電流は、DC/DC で $(0.192\mu\text{A} * 99.99\%) + (9,800\mu\text{A} * 0.01\%) = 1.172\mu\text{A}$ 、LDO で $(0.125\mu\text{A} * 99.99\%) + (10,000\mu\text{A} * 0.01\%) = 1.125\mu\text{A}$ です。

	DC/DC	LDO
IC の価格 (米ドル、1000 個)	0.70 ドル	0.49 ドル
部品点数	5	3
使いやすさ	シンプル	最もシンプル
ノイズ	低	なし
サポートするバッテ リのタイプ	アルカリ 4 セル	アルカリ 3 セル
	二酸化マンガン・リチウム電池 (Li-Mn O ₂) ×2	二酸化マンガン・リチウム電池 (Li-Mn O ₂) ×2
	塩化チオニル・リチウム電池 (Li-SOCL ₂) ×1	塩化チオニル・リチウム電池 (Li-SOCL ₂) ×1
	二酸化マンガン・リチウム電池 (Li-Mn O ₂) ×1	二酸化マンガン・リチウム電池 (Li-Mn O ₂) ×1
	リチウムイオン (Li-ion) ×1	リチウムイオン (Li-ion) ×1
パッケージ	SON、リード付き、WCSP	SON、リード付き、WCSP

表 2 : 超低 I_Q の DC/DC および LDO の価格、部品点数、使いやすさの比較

超低 I_Q LDO は、DC/DC より実装がシンプルで、IC の価格と必要なパッシブ部品から費用対効果の高いソリューションです。超低 I_Q の DC/DC および LDO は両方とも各種のバッテリー構成に対応しますが、DC/DC は直列構成のアルカリ 4 セルもサポートします。パッケージの種類もいくつかあるので、ほとんどのアプリケーションに適合します。どちらのデバイスも I_Q が

非常に低いので、スマート・メーターやその他の低電力システムで非常に長時間のバッテリー駆動を実現します。

出典

+アナログ・アプリケーション・ジャーナル（英語）

1. “[I_Q: What it is, what it isn't, and how to use it.](#)”
2. “[High-efficiency, low-ripple DCS-Control offers seamless PWM/power-save transitions.](#)”

※すべての登録商標および商標はそれぞれの所有者に帰属します。

※ご質問は [E2E Support Forum](#) にお願ひ致します。

###