



Literature Number: JAJA396

ポータブル・アプリケーションの要件を理解して システム性能の向上を図る

— Mark Davidson、マーケティング・ディレクター

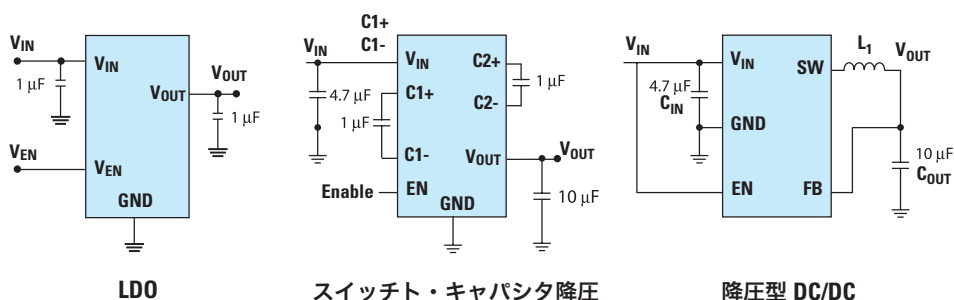


Figure 1 : デジタル・コア用電源制御の一般的なトポロジー

最近まで、システム設計における電源の重要性は正しく認識されていませんでした。設計の最終段階になってはじめて、基板全体に電圧「レール」を供給する電源の扱いについて検討していたのです。新しい電源技法として、負荷の近くにレギュレータを分散配置するポイント・オブ・ロードなどが提案されています。しかしながら現在、ポータブル型のデバイスの場合は、そのような技法のほとんどが使用できません。デジタル・プロセッサ自体に電源制御機能の搭載を考慮しなければならないほどにバッテリー動作時間の延長と消費電力の削減が重要になっているからです。電源ドメインを複数に分割して個別にオンまたはオフする方式も、 V_{CC} の電圧スケールリング（昇圧/降圧）によって与えられたインストラクション・セットに必要な最小電力を供給する方式も、電源制御が果たす役割がすべてのシステム設計で重要であることを証明しています。

高効率の電源制御システムを開発する場合、設計者はまず、ソース電源の特性を理解することから始めなければなりません。現在もっとも広く利用されているバッテリー技術はリチウムイオンです。携帯電話の圧倒的な出荷量を駆動要因として、化学反応にもとづくリチウムイオンの技術は、電力密度とコストを最大限に両立するまでに至っています。リチウムイオン電池の一般的な出力電圧は 3.0V から 4.2V の範囲です。なお本稿では、回路の大きさと効率が等しく重要な場合に使用される固定 3.3V システムを前提としています。



ポータブル機器のデジタル・コアおよび 周辺ユニット用の電源デバイス

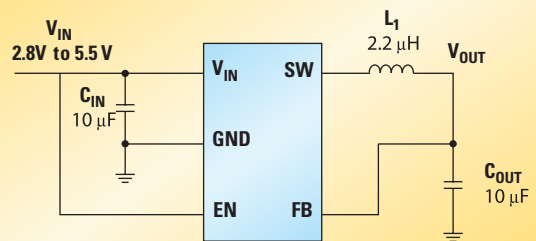
95 パーセントの高効率を実現した超小型同期整流降圧型 DC/DC コンバータ

特長

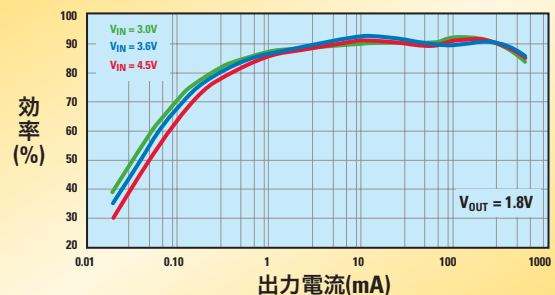
- 高スイッチング周波数、セラミック・コンデンサ、および SOT23-5 パッケージにより標準的な部品を使用した超小型のソリューションを可能に
- 多くのアプリケーションに対応する高負荷電流(300mA ~ 600mA)がシステム・デザインを柔軟に
- 全負荷にわたって高効率を実現する自動 PFM-PWM モード・オペレーション機能がバッテリー使用時間と連続待ち受け時間を延長
- 高い出力電圧精度、PFM モード時の低い出力電圧リップル、および高速過渡応答によりプロセッサはピーク処理速度を発揮することが可能に
- 2MHz、600mA の出力電流(LM3671)と 1MHz、300mA の出力電流(LM3670)
- SOT23-5 パッケージで供給

ワイヤレス・ハンドセット、デジタルカメラ、MP3 プレーヤ、PDA、ハードディスク・ドライバ、ワイヤレス LAN など、低電力で小型の携帯機器の効率とサイズの最適化を実現します。

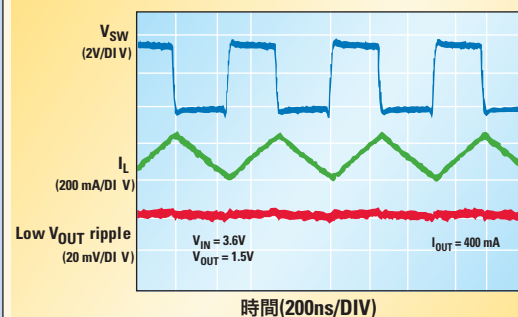
ブロック図



効率 vs 負荷電流



PWM 波形および出力電圧リップル



ポータブル・アプリケーションの要件を理解する

電源制御デバイスの選定では、多くのエンジニアは単純に入力電圧、出力電圧、そして電流要件だけを考慮しがちです。しかし効率的な電源制御を行うには負荷の性質に関する知識が求められます。電子的なシステムで電源制御を必要とする代表的なアプリケーションは、デジタル・サブシステム（コアと I/O）と信号増幅（アナログまたは RF）の 2 種類です。システムの最適性能を得るトレードオフは両者で異なります。電源制御方式の一般的なトポロジーを Figure 1 に、デジタル・サブシステムと信号増幅における優先項目を Table 1 に、それぞれまとめました。

コアと I/O に対応した電源制御の設計

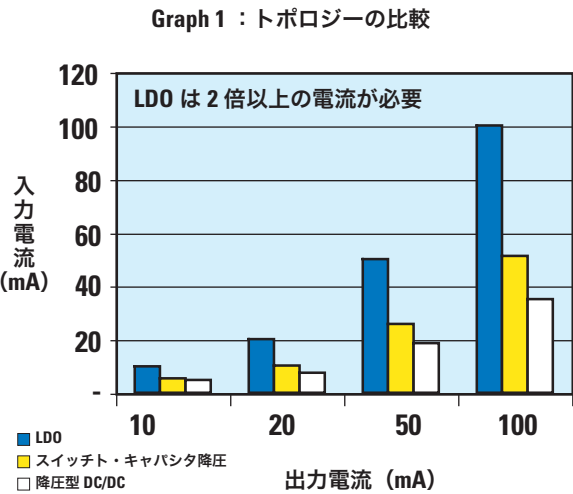
ほぼすべてのポータブル・デバイスで、全体電力の大半を消費するのはデジタル・サブシステム（プロセッサとデジタル I/O）です。またシステムがスタンバイ状態にあっても、多くの場合、プロセッサはオンのまま動作を維持しています。入力電圧よりも大幅に低い 1V 程度の V_{CC} で動作する最近のデジタル・サブシステムで、高い効率を実現することは、従来に比べてかなり面倒な問題です。上記のような要件のシステムには最新型の同期整流降圧レギュレータが適切です。Graph 1 は、3 種類のトポロジーそれぞれで入力側電流を比較したグラフ

です。これから DC/DC コンバータの優位がわかります。

DC/DC コンバータはハーフ・ブリッジ出力段のあとに LC フィルタを使用します。主な利点は、V_{OUT}/V_{IN} 比によらず、高い効率でレギュレート出力が得られるという点です。ただし、DC/DC コンバータ構成にはトレードオフもあり、インダクタに始まり、使用するすべての外付け部品の選択には充分の注意が必要です。システムの実装では超小型の部品が求められますが、インダクタンス値を小さくするとリップル電流が大きくなるので、設計者はこのようなトレードオフを理解しておかなければなりません。またスイッチング周波数を高くすると小さいインダクタンスを使用できるようになりますが、MOSFET のオン/オフの遅れによりスイッチング損失が増大(効率が低下)します。また、ゲート容量を高速に充電する電力も必要になります。FET のゲートとソース間には容量が存在し、この容量の「充電」期間中は FET は完全な飽和領域にはありません（ドレイン＝ソース間抵抗 (R_{DS-ON}) が最小ではない状態）。ハーフ・ブリッジを集積化した統合型 DC/DC コンバータの場合、この影響は IC メーカーによって抑えられています。外付け FET を必要とするコントローラを使う場合は、同じ R_{DS-ON} であればゲート容量の小さい FET を選択することが求められます。部品選択の詳細は電源制御デバイスのデータシートに記載されています。

DC/DC コンバータは、インダクタ電流リップルを出力コンデンサの ESR で乗じた出力電圧リップルを発生します。

$$I_{\text{RIPPLE}} = \left(\frac{V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}}}{2 + L} \right) + \left(\frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}} \right) + \left(\frac{1}{f} \right)$$



電源タイプ	電圧範囲	電流範囲	性能要件	主なトポロジー
デジタル・コア	出力電圧 1V から 2.5V	最大 1A、ただし 1mA 未満時の効率も重要	負荷過渡応答、効率	降圧型 DC/DC レギュレータ
信号増幅	出力電圧 2.5V から 3.3V	500mA 未満	ノイズ、電源電圧 除去比 (PSRR)	低ドロップアウト・ レギュレータ

Table 1 : デジタル・コア用と信号増幅用の優先度

コイル不要のコアおよび周辺ユニット用の電源デバイス

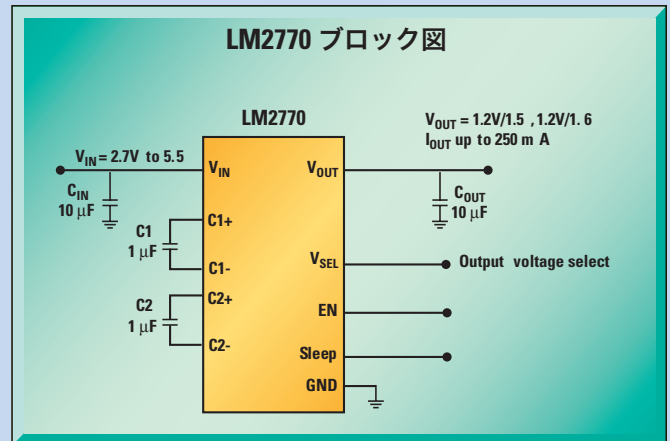
LM2770/88/98 DC/DC コンバータはサイズと効率を最適化

特長

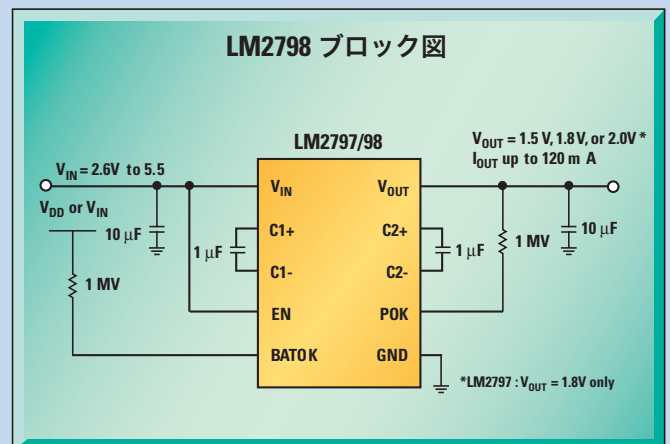
- マルチ・ゲイン、ゲイン・ホッピング・アーキテクチャおよび低待機時消費電流スリープ・モードにより 90% の高効率を実現
- 入出力電圧モニタリング機能が無駄な電力消費とアプリケーションの不安定動作を防ぐ
- コイル不要、小型の外付け部品、および小型の MOSP-8 および LLP-10 パッケージにより小型化に貢献し、アプリケーション BOM(部材費)を低減

リチウムイオンまたは 3 セルのニッケル/ニッカド電池駆動のポータブル・システムや 2.8V ~ 5.5V の入力電圧レールに最適です。

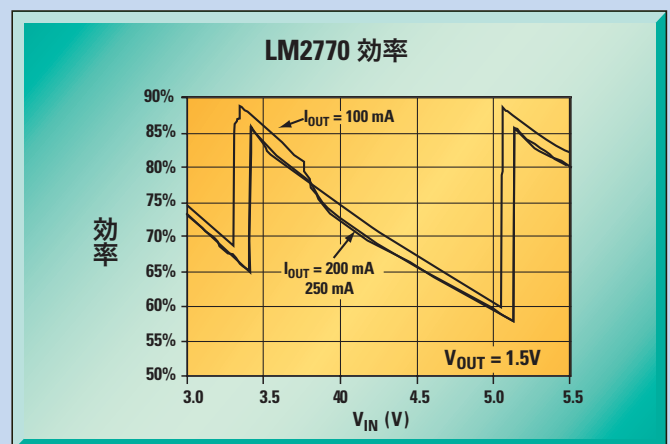
LM2770 ブロック図



LM2798 ブロック図



LM2770 効率



ポータブル・アプリケーションの要件を理解する

出力コンデンサの ESR はコンデンサのデータシートに記載されています。また f は DC/DC コンバータのスイッチング周波数です（デバイスに利用できるインダクタンスの範囲はデータシートに規定されています）。セラミック・コンデンサの ESR はきわめて小さいため可能ならば採用を検討すべきです。ただし DC/DC コンバータがそのような小さな ESR でも安定して動作することが条件です。

DC/DC コンバータのスイッチング周波数が一定であれば、DC/DC コンバータが生成する di/dt ノイズの周波数成分を把握することが可能になります。ただし、スイッチング動作周波数を一定にすると負荷が軽い場合に効率が悪化します。負荷が「フルパワー」とオフの状態とに切り替わる場合には一定周波数動作は重要ではありません。スタンバイ状態でデジタル・プロセッサや揮発性メモリに電源を与えなければならないシステムには、パルス・スキッピング、またはパルス周波数変調（PFM）方式の電源制御デバイスが適しています。PFM 方式では、出力電圧がコンパレータ・スレッシュホールドを下回ったときに限りハーフ・ブリッジの上側 FET がオンになります。このとき、P-FET がオンになり出力フィルタが再充電されます。この状態は、出力電流があるスレッシュホールドを超えたと検出され、PWM 動作が再び必要となるまで継続します。PFM 方式には 2 つの利点があります。1 つは内部回路をオフにすることによって DC/DC コンバータへ供給すべき消費電流を大幅に削減できる点と、もう 1 つは必要な場合のみオン/オフが起こるため、各周期の開始時にオン/オフする場合と比べて、出力段のスイッチング損失を抑えられる点です。

他の電源制御方式と同じようにこの方式にも欠点があります。スイッチング周波数が一定ではないため di/dt ノイズの周波数成分は予測不可能です。ただし最適に設計された PFM 回路は、再充電を行っている間、通常の固定周波数に近いスイッチングを維持します。また出力にきわめて周期の遅いリップルが観測されますが、これは出力コンデンサを単純に充放電するため、EMI 的には無視できます。

設計で優先すべき他の事項に負荷過渡応答があります。負荷過渡応答とは出力電力（負荷電流）の急激な変動に対する DC/DC コンバータの追従能力のことです。最近の DC/DC コンバータのほとんどは負荷過渡応答に最適化された制御ループを備えています。先に述べたように、外付け部品がシステム性能を左右します。過渡特性を得るにはやはり小型のインダクタが適しますが、合わせて、出力コンデンサを大きくする必要があります。

最高レベルの効率を求めないのであればスイッチト・キャパシタ降圧型レギュレータが理想的な選択肢です。このトポロジはインダクタを使用しなくとも LDO よりも高い効率を達成します。最大負荷電流が 200mA の場合に 70 ~ 80% の効率が得られます。最新のスイッチト・キャパシタ降圧型レギュレータには、 V_{OUT}/V_{IN} 比に応じてチャージ・ポンプの利得を動的に変える制御方式が採用されています。このような電源制御デバイスは、利得の自動的な調整によって、与えられた条件下で求め得る最高の効率を実現します。

信号増幅用電源

信号増幅デバイス用の電源に求められる要件は、デジタル・システム用電源の要件とはかなり異なります。信号増幅デバイスは実際のアナログ信号を取り扱うため、信号インテグリティを損ねることは許されません。そのため、信号増幅デバイス用電源の設計では優先されるべき事項が違ってきます。

信号増幅デバイス用電源に使われるもっとも一般的なトポロジは低ドロップアウト（LDO）レギュレータです。必要となる出力電圧は比較的高く、一方で出力電流は比較的小さいため、リニア・デバイスの電力損失はシステムの全体効率にわずかな影響しか与えません。電源デバイスからみた負荷特性は比較的安定した状態と考えられます。そのため、最適化を図るべき特性は、伝導ノイズ、電源電圧除去、そしてドロップアウトの 3 点です。

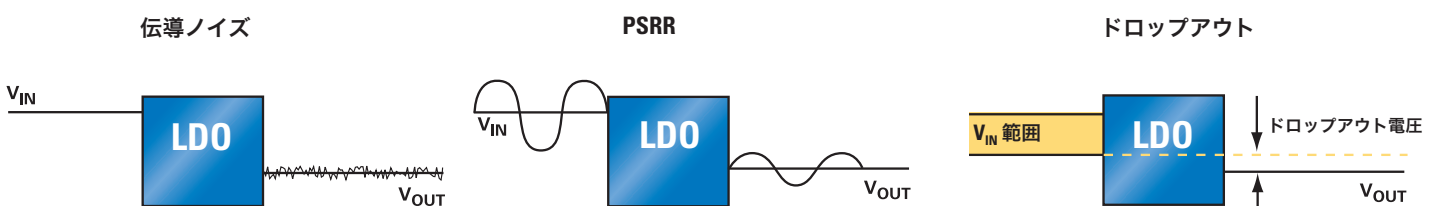


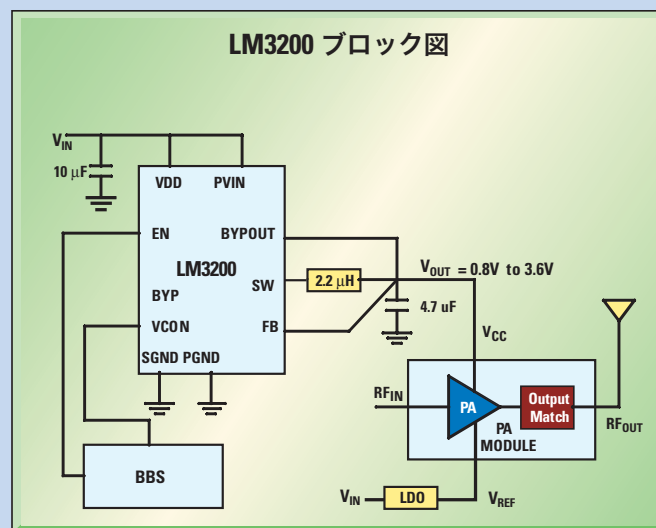
Figure 2 : 信号増幅用小型電源の主要なパラメータ

RF パワーアンプ用の電源 IC

RF パワーアンプ携帯電話、ワイヤレス LAN、PDA などの携帯ワイヤレス機器の省電力化と実装面積低減に最適

LM3200 の特長

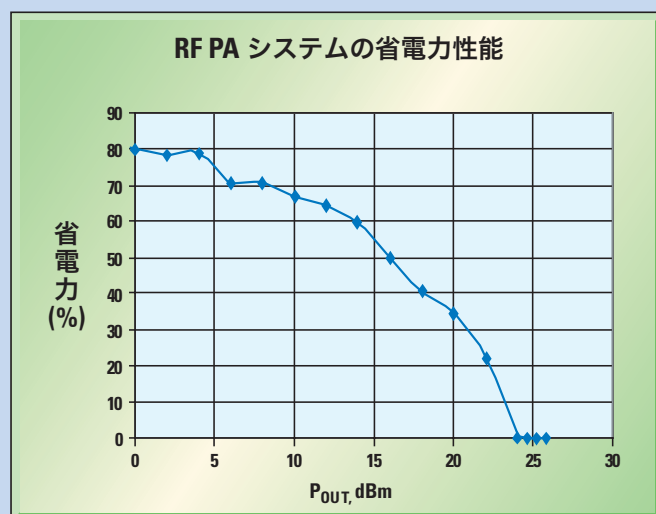
- 2.7V から 5.5V の入力電圧を 0.8V から 3.6V の可変出力電圧に降圧。出力電圧の設定にはアナログ入力の制御電圧を用い、RF パワーアンプのパワー・レベルと効率を最適化。
- 強制バイパス・モードは、内部バイパス・スイッチをオンにして、バッテリーから直接、パワーアンプに電力を供給。自動バイパス・モードは、バッテリーの電圧が出力電圧に近づくと、バイパス・スイッチをオンにして、ドロップアウトを最小化。
- 高いスイッチング周波数（2MHz）を持ち、わずか 2.2mm × 1.8mm の 10 ピン鉛フリー micro SMD パッケージで提供されるため、小型の表面実装型部品が使用可能。



LP3985/95/99 の特長

- RF 回路やアナログ回路の電源設計に不可欠な低ノイズと高 PSRR
- 超低ノイズの RF/アナログ回路電源向けレギュレータ
- 高い電源電圧ノイズ除去率がクリアなアナログ信号を可能に

小型化と効率化が最重要視される携帯機器システムの RF パワーアンプの電源として最適です。



製品名	ノイズ出力	PSRR@ 1kHz	全負荷時ドロップアウト電圧	出力電圧	出力電流	パッケージ
RF パワーアンプ電源向け DC/DC コンバータ						
LM3200	<10 mV	n/a	50 mV	0.8V ~ 3.6V	500 mA	micro SMD
RF パワーアンプおよびその他 RF シグナル・パス製品向け低ノイズ LDO						
LP3985	30 μV rms	70 dB	60 mV	2.5V ~ 4.7V	150 mA	micro SMD, SOT-23
LP3995	25 μV rms	70 dB	60 mV	1.8V ~ 3.3V	150 mA	micro SMD
LP3999	25 μV rms	70 dB	60 mV	1.8V ~ 3.3V	150 mA	micro SMD, LLP

ポータブル・アプリケーションの要件を理解する

伝導ノイズはスプリアスに発生する予測不能ノイズで、電源デバイスを通して入力から伝わる場合と、電源デバイス自身から発生する場合とがあります。過度のノイズは信号に重畳してしまう可能性があり、データ・エラーを誘起したり、システムのデータ読み取り能力を低下させます。仕様を規定する一般的な方法が存在しないため、伝導ノイズをデータシートから判読することは困難です。このパラメータがシステム全体に及ぼす影響を把握するには、面倒でも、試作環境での分析がもっとも効率的です。

電源電圧除去とは入力の変動を出力に伝達させない電源制御デバイスの性能を意味します。入力電圧に重畳させた一定周波数の正弦波と、出力電圧に現れる正弦ノイズの大きさの比で表わします。このパラメータは PSRR と呼ばれ、先ほど述べた伝導ノイズと合わせて検討が必要です。

ドロップアウトは低い入力電圧から出力を生成するために LDO が必要とするマージンに対応します。ドロップアウトは、実効的に、PMOS デバイスの R_{DS-ON} に出力電流を乗じた値になります。出力電流が増えるにつれて、ドロップアウト要件はより厳しくなります。以上の各パラメータの定義を Figure 2 にまとめています。

信号増幅デバイス用電源の領域では新しい方式が出現しています。適用対象は RF パワーアンプ (PA) であり、専用の DC/DC コンバータを設けて PA に V_{CC} を供給するという方式です。アプリケーションはこれまで携帯電話に限られていましたが、現在では WLAN や他の無線プロトコル・デバイスなどにも適用されはじめています。PA サブシステムと DC/DC コンバータの位置関係を Figure 3 と Figure 4 に示します。

最新の PA は、従来の PA が対象としていた 3V 以上の電圧範囲に比べて、はるかに低い V_{CC} 電圧でもリニアリティを維持します。また PA は実効的に一定のインピーダンス負荷として見えるため、 V_{CC} が低いということは電流消費も少ないことを意味します。携帯電話に適用した場合、RF の送信プロファイルに依存しますが、電力消費は 80% 以上削減されます。検出された電力に比例する制御信号を DC/DC コンバータに印加して V_{CC} を調整します。送信電力が低くてもいい場合は、 V_{CC} を下げて貴重な電流を節減することが可能です。RF PA

Figure 3 : 標準 PA 電源制御

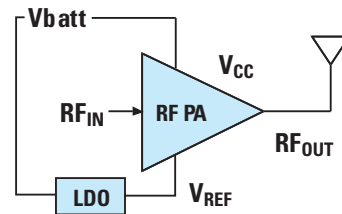
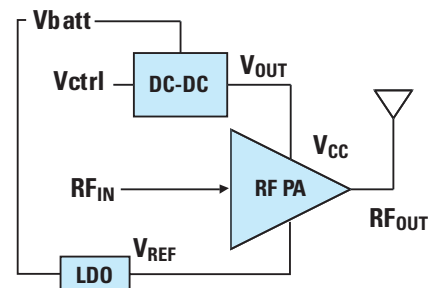


Figure 4 : PA + DC/DC コンバータによる新しい電源制御



を設計する場合、設計者は利用できる最低 V_{CC} 電圧を把握しておかなければなりません。PA が 1.5V 以下でもリニアリティを維持する場合は、上記のような専用 DC/DC コンバータの採用を検討してください。

電源設計の優先度を理解し、必要条件を初期段階からシステム・アーキテクチャの設計に盛り込めばシステム設計の最適化が図れます。バッテリー動作の長時間化を維持しながら卓越した特性と機能を実装することによって、ハードウェア・メーカーは競合他社製品に対する自社製品の優位性を獲得できるのです。

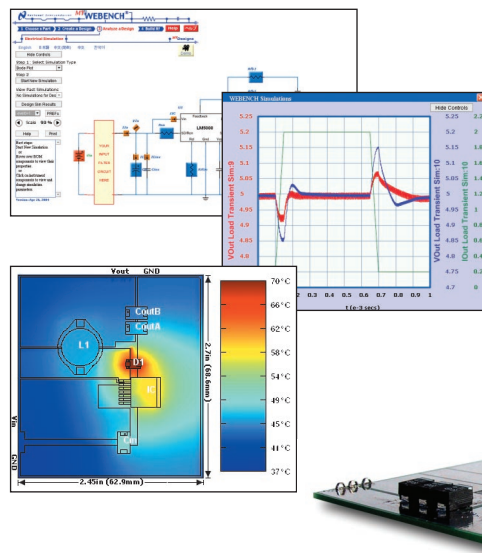
電源回路設計ツール

WEBENCH® オンライン設計支援ツール

回路設計からプロトタイプ入手までがオンラインで完了。
設計時間を大幅に短縮できます。

1. 選ぶ
2. 設計する
3. 電源回路を分析する
 - 電気特性シミュレーション
 - 熱特性シミュレーション
4. 製作する
 - カスタム・プロトタイプを注文

webench.national.com/jpn



オンデマンド・オンライン・セミナー

以下のテーマをはじめ、適切な設計のために役立つ
ナショナルのオンライン・セミナーをご覧ください。

「携帯機器に適した降圧型コンバータの実践」

www.national.com/JPN/onlineSeminar/

ナショナルのパワー製品サイト : power.national.com/jpn

お問い合わせ : JPN.feedback@nsc.com
0120-666-116

ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社（以下TIJといいます）及びTexas Instruments Incorporated（TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといいます）は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間に取り引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準販売契約約款に従って販売されます。

TIは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIJとの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定されうる危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証もしくは是認するということを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、かつその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、かつ不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

TIは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション（例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの）に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されていません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されていません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2011, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位（外装から取り出された内装及び個装）又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で（導電性マットにアースをとったもの等）、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。（但し、結露しないこと。）

- 直射日光が当たる状態で保管・輸送しないこと。

3. 防湿梱包

- 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。

4. 機械的衝撃

- 梱包品（外装、内装、個装）及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。

5. 熱衝撃

- はんだ付け時は、最低限260℃以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。（個別推奨条件がある時はそれに従うこと。）

6. 汚染

- はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質（硫黄、塩素等ハロゲン）のある環境で保管・輸送しないこと。
- はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。（不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。）

以上