

## 電源をデザインしない人に読んでほしい電源の話① その電源安定していますか？

鈴木 孝宗 (Microchip 社 シニア FAE)

### はじめに

汎用マイコンのような消費電流の少ない IC の電源として LDO を使用した電源回路がよく使用されます。図 01 は 5V マイコン用の電源回路例です。大元の入力電源の AC アダプタやバッテリーなどから LDO を介してマイコンに給電しています。

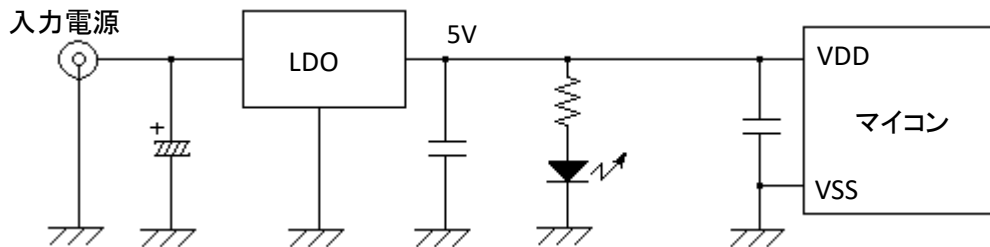


図 01 5V マイコン用電源回路例

なぜ LDO が必要なのでしょう？ AC アダプタや充電器、モバイルバッテリーの USB 出力から 5V の電源を直接供給してマイコンは安定動作できるのでしょうか？

### USB 充電器や AC アダプタの出力電圧波形

負荷電流値による 5V の AC アダプタや充電器の出力電圧波形を観測してみると図 02、図 03 のように変動する電圧となっています。

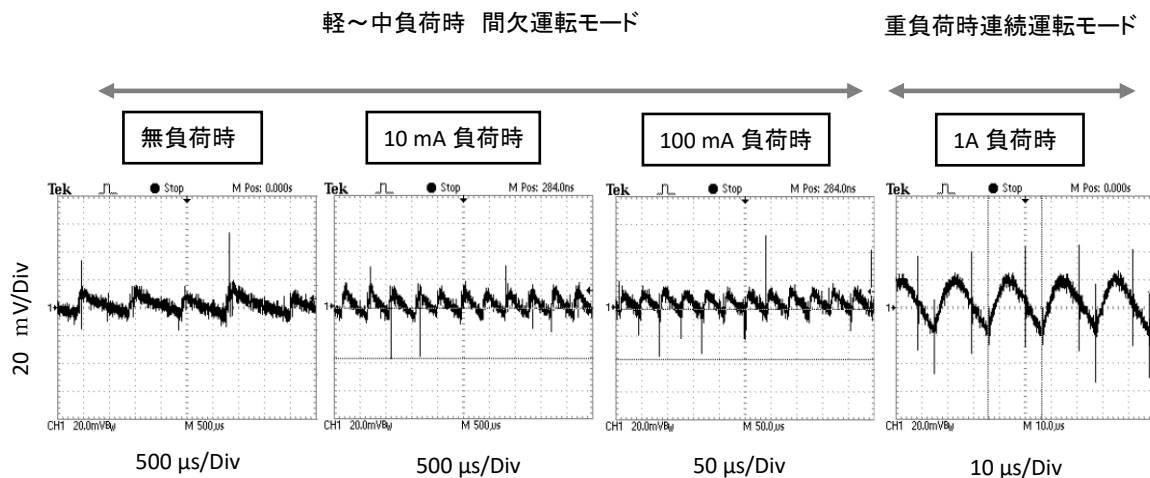


図 02 5V1.2A の USB 出力充電器の負荷電流による出力リップル電圧

出力電圧にはスイッチング動作により 20 mVPP~40 mVPP 程度の電圧変動(リップル電圧)とひげ状のスパイク電圧が発生しています。

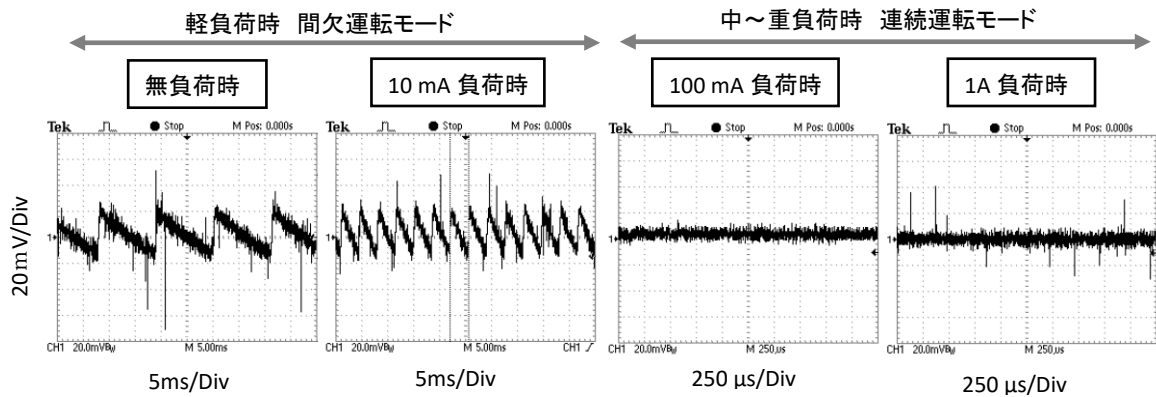


図 03 5V 2.3A の AC アダプタの負荷電流による出力リップル電圧

マイコンのデジタル回路では数 10 mV の電圧変動は問題となりませんが、マイコンのアナログ回路の動作には問題となることがあります。

数 10 mV の電圧変動の VDD に対する割合は 1%程度になります。A/D コンバータの基準電圧 VREF に電源電圧 VDD を使用している場合、VREF 自体が 1%近く変動している状態では 8 Bit=1/256 の分解能でも最小 Bit に影響が出る可能性がありますし、分解能が 10Bit=1/1024 以上では大きな問題となります。また、電源ノイズがアナログ回路に混入し信号自体に誤差を発生させる場合もあります。このために図 01 の推奨電源回路ではより高い電圧を供給し、PSRR 特性の優れたリニアレギュレータ(LDO)を使用して 5V や 3.3V に落とすことにより、リップル電圧を大幅に減少させて安定動作を確保しています。

#### 負荷電流の高速変動による出力電圧の応答

ACアダプタや充電器では負荷電流が変動した時の制御応答速度が遅く大きな電圧低下が発生することがあります。特にモータなどの負荷を同じ電源ラインに接続して使用した場合駆動開始時の突入電流は定常動作時の数倍に達することがあります。マイコンはそれ自体の消費電流は数~数 10 mA 程度と非常に小さいのですが、モータの起動時には 1A 近い突入電流が流れることがあるので無負荷状態から 1A に電流が急増した時の電源電圧の変動を試みます。

図 04 左に示すように 5V 1.2A の USB 充電器では 1A の電流急増により 400 mV、8%ほどの電圧低下が発生し電圧がもとに戻るまでに 100 μs もかかっています。この電圧変化はデジタル回路側でも問題がないとはいいいがたい量ですが、アナログ回路側ではより大きな問題となります。

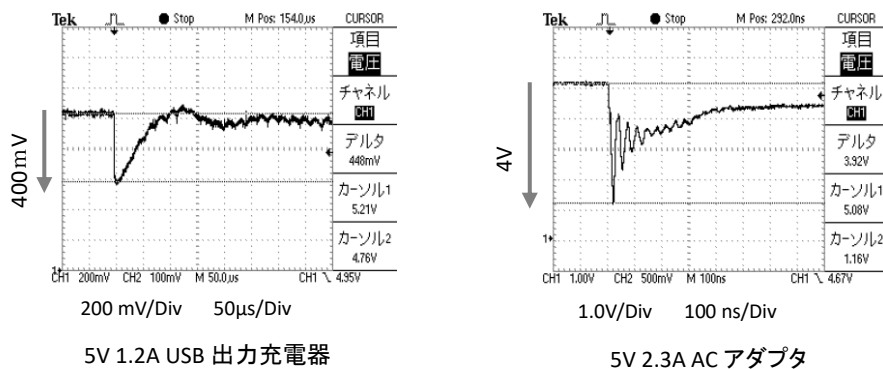


図 04 高速負荷電流変動(0→1A)による出力電圧変動

さらに図 04 右は 5V2.3A の AC アダプタによる測定ですが、これは AC アダプタの 1.8m のケーブルの丸ピンプラグ端で測定した電圧波形です。ケーブルの持つインダクタンス成分と出力コンデンサによる LC 共振振動と、ケーブルの抵抗成分などによる IR ドロップにより大きな電圧変化が発生しています。電流急増直後にはインダクタンス成分による急激な電圧低下により 4V 近い電圧低下が発生し、その後ケーブルのインダクタンスと電源内部の出力コンデンサによる LC 共振による電圧振動が発生しています。300 nsec ほどで共振振動は収束し、その後 100 nsec ほどで電圧変化はなくなっているのですが、ケーブルの抵抗などによる電圧低下で 0.8V ほど低い電圧で安定しています。このように供給電源とマイコン基板の間に長いケーブルがあると大幅な電圧低下によりマイコンの動作異常に至る可能性が非常に大きいことになります。

5V 1.2A の USB 充電器は充電器のコネクタ直近での測定なので共振や大きな電圧低下は発生していませんが、長い USB ケーブルを使用して給電すると、共振と電圧低下が同様に発生します。長い電源供給ラインは様々なトラブルの原因となりますので使用には注意が必要となります。

### USB 充電器の過渡応答特性

図 04 左の USB 充電器の電圧低下が元に戻るまでに 100  $\mu$ s もの時間がかかっていたのはどうしてでしょうか？ USB 充電器は AC アダプタに比べると電圧回復時間が大幅に遅くなっている場合があります。AC アダプタは汎用電源用途として設計されているのでさまざまな負荷変動に対する追従速度を重視した設計になっているのに対して、充電器は一定の電流(CC)を供給し、設定電圧(CV)に達した後は徐々に電流が減少し、満充電の判定で電流が 0 になるという CCCV 制御用に作られており、高速な負荷電流の変動に応答する必要がなく、応答速度より安定性を重視した設計になっていることがあるためです。

突入電流が発生するなど負荷変動が大きなアプリケーションの場合は電圧変動の発生量を

確認しておくことが必要となります。

### モバイルバッテリーの出力電圧波形

マイコンをポータブルで運用したい場合、乾電池 5~6 本+LDO による運用が確実でお手軽ですが、5V の USB 出力を持つモバイルバッテリーからマイコンへの直接給電は使用可能でしょうか。モバイルバッテリーは 3.7V の Li-ION 電池から昇圧コンバータによるスイッチングにより 5V を作っています。モバイルバッテリーは充電に使用している時間より待機状態の時間の方がはるかに長いために待機時の自己消費電流を下げるためのさまざまな工夫が行われます。

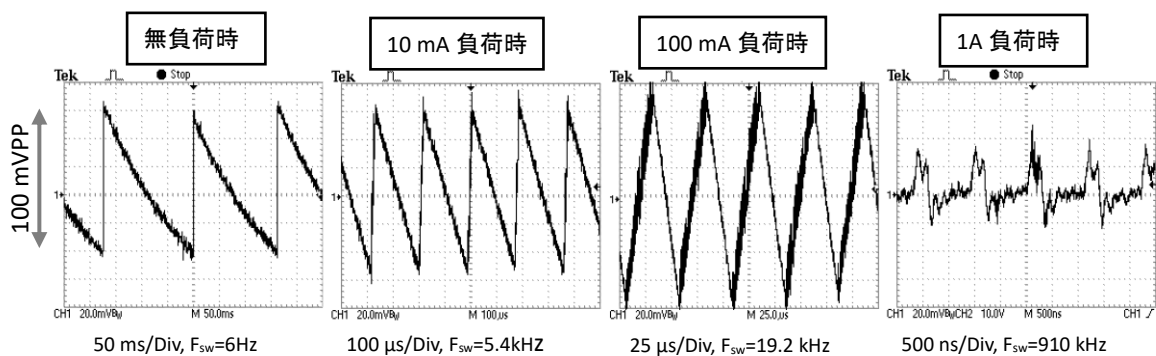


図 05 A 社モバイルバッテリーの負荷電流による出力リップル電圧

図 05 の A 社モバイルバッテリーでは無~軽負荷時にはスイッチング周期を低下させて軽負荷時の電力消費を軽減する間欠運転を行っており、重負荷ではスイッチング速度を増加させて連続運転となっています。重負荷時には連続運転動作によりリップル電圧はちいさくなっていますが、無負荷~軽負荷では間欠運転による昇圧と休止を行っているために発生するリップル電圧は 100~160 mVPP と非常に大きくなっています。無負荷でも 5V 出力を維持していますが大きなリップル電圧によるノイズでの誤動作が心配となります。

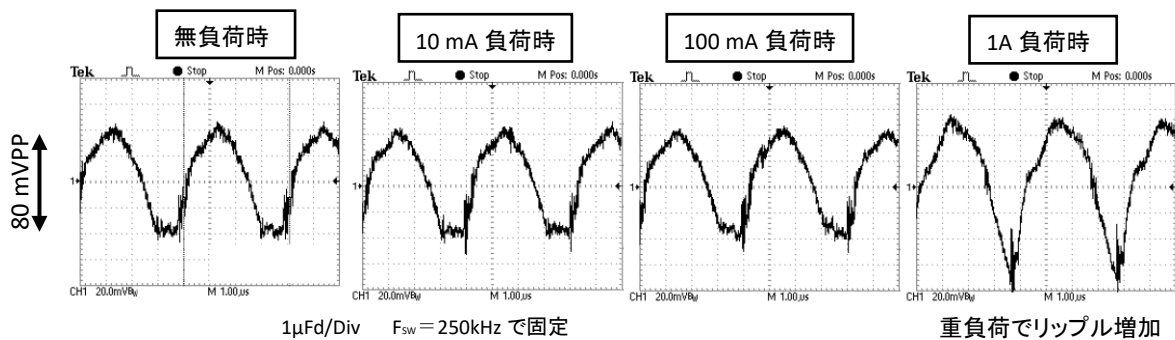


図 06 B 社モバイルバッテリーの負荷電流による出力リップル電圧

モバイルバッテリーのリプル電圧の状態は、製品によって様々です。図 06 の B 社モバイルバッテリーでは充電に使用していない待機状態での無負荷時にはスイッチング動作を停止し、昇圧なしで Li-ION 電池の電圧をそのままスルーで出力し、USB プラグを接続すると挿入を電氣的に検出して昇圧を開始します。軽負荷から重負荷まで同じ高いスイッチング速度で動作していますがリプル電圧はやはり 80~140 mV と大きめです。モバイルバッテリーは携帯性を考慮して小型薄型に設計するために大型となる大容量の出力コンデンサを搭載していないでリプル電圧が大きめとなることがあります。モバイルバッテリーを入力電源として使用の場合は電源ラインには 100  $\mu$ F 級の低 ESR コンデンサを追加することで改善できることがあります。しかし、軽負荷時の制御方式が 2 値ヒステリシス制御の場合、容量を追加してもリプル電圧は低下しませんのでリプル電圧の低下方法は制御方式にも依存します。

モバイルバッテリーを使用する場合のさらなる問題点は、B 社のモバイルバッテリーでは図 07 に示すように電流が減少すると 15 秒後にスイッチングを停止して電圧が低下してしまうことです。スイッチングを継続させるには 22 mA 以上の負荷電流が必要でした。これ以外の製品でも USB プラグの接続を機械的に検出し昇圧を開始してプラグを抜くまでスイッチングを継続する製品、プラグ接続で昇圧を開始するが電流減少や数時間の経過で昇圧を停止する製品など、さまざまな出力制御を行う製品があります。多くのモバイルバッテリーは Li-ION 電池の充電器として設計されており、高性能で高信頼性の製品では電池の過充電や再充電などを防ぐために出力電流値により充電状態を監視し、充電異常を検出すると出力を停止してしまいます。数 mA といった微小電流で動作し続けるマイコンの電源として使用できないことがあります。

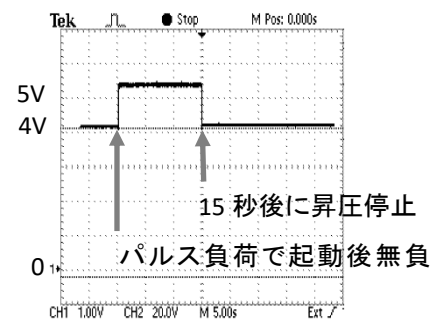


図 07 無負荷時の起動保持時間時間

### LDO によるリプル電圧のフィルタリング

乾電池による給電の場合はスイッチング電源によるリプル電圧などのノイズの発生はありませんが、電池の消耗とともに電圧が低下するので高い電圧から LDO を使用して安定した 5.0V や 3.3V をつくる必要があります。AC アダプタやモバイルバッテリーなどのスイッチング電源による給電の場合には大きなリプル電圧が問題となりますが、高い PSRR 能力を持った LDO を使用する事により LDO をリプルフィルタとして動作させ、きれいな直流電圧を作ることができます。5V 動作のマイコンではより高い電圧の AC アダプタを使用し、3.3V 動作のマイコンでは充電器やモバイルバッテリーの 5V から LDO でドロップさせて使用することができます。ではスイッチング電源を供給源とした場合、LDO により電圧を落として使用するだけでマイコンを問題なく動作させることができるようになるのでしょうか。



9月号は 電源をデザインしない人に読んでほしい電源の話②  
気にしたことありますか？LDO の出力変動

- Microchip 社の[電源製品一覧](#)