

ウェアラブル/ヘルスケア機器に最適な パワーマネジメント・ソリューション

著者：デジタル・ヘルスケア事業部門担当 プロダクト・ライン シニア・ディレクター
Frank Dowling氏

デジタル・ヘルスケア市場は世界的な規模で成長を続けています。健康管理のデジタル化は新たなサービスの創出や社会保障費（医療費）の抑制につながるため、ベンチャーを中心とした民間企業の参入が活発なだけでなく、国レベルでの振興や法整備（規制緩和）も進められています。また、アルゴリズムを含むセンシング技術の向上、ウェアラブル・デバイスを中心としたデジタル・ヘルスケア機器の高機能化と低価格化、スマートフォン・アプリやクラウドサービスの発展などが成長を後押ししていると言えるでしょう。

本稿ではデジタル・ヘルスケア機器における電源設計の重要性と、アナログ・デバイスが開発したパワーマネジメント・ソリューションについて説明します。

ウェアラブル・デバイスに不可欠な低Iq電源

バイタルデータをモニターするシステムは2種類に大別できます。ひとつは、病院でよく見かける医療機器で、アナログ・デバイスはこの分野で多くの実績があります。ただし市場の成長はそれほど大きく見込めません。

もうひとつの市場がウェアラブル・デバイスです。すでに多くの人がスマートウォッチやスマートリング（指輪）を装着していることから、その成長度合いが分かります。また、COVID-19が蔓延した際、リモートでの健康管理に価値があることが明確に示されたように、ウェアラブル・デバイスはパーソナル分野だけでなく医療分野での活用も見込まれています。

ウェアラブル・デバイスの価値を決める重要なスペックが、バッテリーの動作可能時間とデバイスの大きさです。大容量バッテリーを搭載すれば解決しますが、デバイスのケースがぶ厚く大きくなってしまいます。つまり電源の設計を含めて、デバイス全体の消費電力をいかに抑えるかが製品の競争力につながるのです。

ウェアラブル・デバイスにて定常的なモニタリング動作を行う場合の典型的な動作概念図を図1に示します。消費電力は外部との通信の際にもっとも大きくなり、計測時も増加します。一方でスリープ・モード時の消費電力はわずかです。

しかし動作時間の大半をスリープ・モードで占めている場合、図1右の円グラフが示すように、スリープ・モード中の消費電力は積算で考えると決して無視できない大きさになるでしょう。

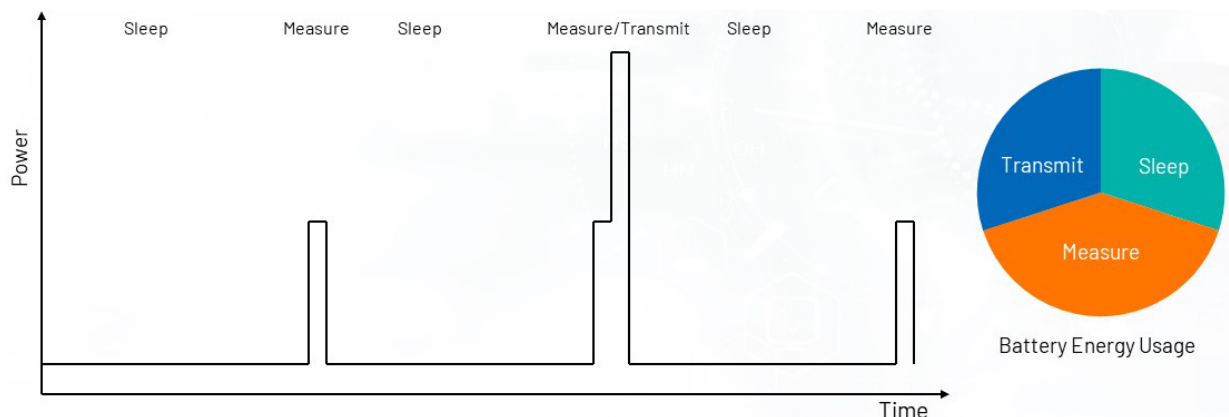


図1. バイタルデータをモニターするウェアラブル・デバイスの動作プロフィール模式図。スリープ状態では消費電力は少ないものの時間比率が高いため、積算で考えると円グラフのように無視できない割合を占める。

スリープ・モード時の電力を抑えるにはどうすればいいでしょうか。回路の待機時電流を抑える手段のひとつが、I_q (自己消費電流)の小さいパワーマネジメントICを採用することです。

ウェアラブル・デバイスに適した低I_qソリューションの一例が、2つの降圧レギュレータと3つのリニアレギュレータをシングル・パッケージに封止した**MAX20335**です (図2)。

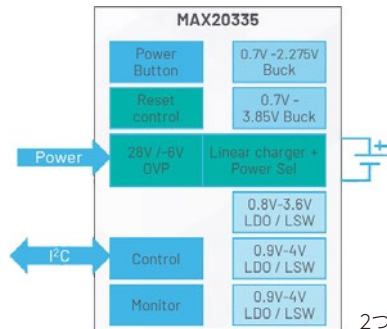


図2. ウェアラブル・デバイスに最適な低I_qの
パワーマネジメントIC **MAX20335**。
2つの降圧コンバータと3つのリニアレギュレータを内蔵。

降圧レギュレータは出力0.7V～2.275V/200mA (I_q=0.9μA)と出力0.7V～3.85V/200mA (I_q=1μA)、リニアレギュレータは、LDO1が出力0.8V～3.6V (I_q=0.6μA)、LDO2とLDO3は出力0.9V～4.0V (I_q=1μA)で、最大出力500mAのリチウムイオン・バッテリー用充電回路も内蔵しています。自己消費電流がμAオーダーに抑えられているので、バッテリー動作時間の延長が可能です。

アナログ・デバイスでは、このほかにもさまざまな低I_qソリューションを取り揃えています (図3)。

Product portfolio

Ultra Fast DVS Bucks									
Feature	MAX14676	MAX14690 MAX14745 MAX20335	MAX20303 MAX20353	MAX20345	MAX20355*	MAX20360	MAX20343 MAX20344	MAX14720 MAX14750	MAX20310
Battery Chemistry	Lithium rechargeable	Lithium rechargeable	Lithium rechargeable	Lithium rechargeable	Lithium rechargeable	Lithium rechargeable	Various 1.8V to 5.5V	Various 1.8V to 5V	Zinc Air, Silver Oxide, Alkaline
Charge Current	8 to 350mA	5 to 500mA	5 to 500mA	5 to 500mA	5 to 500mA	5 to 500mA			
Buck	1	2	2	3	3	3		1	
Buck-Boost			0.3W	1.5W	1.5W	1.5W	3.5W	0.3W	2 (0.2W tot.)
LDO	2	3		3	3	2			
Charge Pump	6V		6V/5V			6V/5V		1	2
HV Boost	1		1			1			
Current Sinks	3		3			1			
RTC					1				
Haptic Driver			ERM/LRA			ERM/LRA			
Fuel Gauge	Model Gauge	Monitor Mux	Model Gauge	Monitor Mux	M5 EZ config	M5 EZ config		Monitor Mux	Monitor Mux
Size	3,2 x 3,5mm ²	2,5 x 2,7mm ²	3,7 x 4,2mm ²	3,0 x 3,4mm ²	4,25 x 4,25mm ²	4,2 x 4,8mm ²	1,8 x 2,0mm ²	2,1 x 2,3mm ²	1,7 x 1,7mm ²

図3. ウェアラブル・デバイス用パワーマネジメントICの代表的なソリューション。
黄色の3品種は後述のDVS (ダイナミック電圧スケールリング) に対応している。

電源のS/N比の改善もローパワー化に効果

次に、バイタルデータの計測において重要な性能指標のひとつであるS/N比 (SNR) の観点で消費電力を考察してみましょう。

皮膚に照射したLED光の反射量から血流の脈動を検知する光電式容積脈波記録法 (PPG: Photo Plethysmography) を用いて脈拍を計測する場合、ウェアラブル・デバイスの装着者が安静の状態であれば、光学センサーは安定した信号を出力するため、LEDの駆動電流をある程度絞って光量を落としても問題なく計測できるはず。たとえば電流を40mAとします。ここで、光学センサーのフロントエンドにおけるS/N比が高ければ、LEDの駆動電流をさらに35mAにまで絞り光量を落としても、血流の変化を正しく抽出できるでしょう。つまり、S/N比が高ければ消費電力の削減が図れ、バッテリーを長持ちさせることが可能になるのです。

アナログ・フロントエンドのS/N比を高める方法としては、リップルノイズの多いスイッチング・レギュレータの後段にノイズの少ないリニアレギュレータを置いて電源を供給する方法が一般的に用いられます。しかし、スイッチング・レギュレータに比べ電源の変換効率が低いリニアレギュレータを使うこの方法では、デバイス全体の消費電力が増えてしまいます。

こうした課題を踏まえ、アナログ・デバイスでは低I_qかつ低ノイズのスイッチング・レギュレータを使う方法をご提案します。

では、スイッチング・レギュレータからアナログ・フロントエンドに電源を直接供給した場合、実際のS/N比はどのようになるでしょうか。リニアレギュレータの**MAX1819**を使ってS/N比120dBのアナログ・フロントエンドを駆動した場合と、低ノイズのスイッチング・レギュレータ**MAX20343**を使って駆動した場合を評価してみました (図4)。結果は、**MAX1819**を使用した場合と**MAX20343**を使用した場合とで、アナログ・フロントエンドのS/N比にはほとんど差が見られませんでした。すなわち、**MAX20343**を使うことで、後段のリニアレギュレータを必要とせず、高い電力変換効率と高いS/N比を維持できることが確認できました。

また、低I_qの昇降圧レギュレータ**MAX20345**を競合他社の同期整流昇圧コンバータと比較したところ、LED電流が15μAや32μAのとき、**MAX20345**のほうがS/N比において7dBほど高くなることも確認しています。

なお、低ノイズのリニアレギュレータによる電源供給においても、負荷電流の変化が大きい場合にリニアレギュレータの出力電圧が変動し、回路としてS/N比が悪化することがあります。2023年にリリースした**MAX20356**はそうした課題に応えるソリューションで、単体LDOを上回る過渡応答性能を実現したLDOを内蔵しているのが特長です。2020年にリリースした**MAX20360**の内蔵LDOに比べて、負荷変動に対して1~2dB程度のS/N比の改善が得られます。

VLED Source	PPG1 SNR (dB)	PPG1 SNR (dB) with 0.5-4Hz BandPass	PPG2 SNR (dB)	PPG2 SNR (dB) with 0.5-4Hz BandPass
MAX8616 LDO	107.7	117.4	107.6	116.4
MAX20343 Buck-Boost	107.6	118.8	107.2	117.5

- ▶ Buck boost Architecture matches performance of Clean-up LDO
- ▶ Without the power and space cost of a Clean-up LDO

図4. 光電式容積脈波記録法 (PPG) のアナログ・フロントエンドをリニアレギュレータ**MAX1819**とスイッチング・レギュレータ**MAX20343**で駆動したときのS/N比の比較。**MAX20343**でも遜色のないことが分かる。

システムのノイズを低減するもうひとつの方法を紹介します。ここまで紹介したパワーマネジメントICに組み込まれている降圧レギュレータは、一般的なPWM (パルス幅変調) ではなくPFM (パルス周波数変調) によって出力電圧を制御する方式を採用しています。そのため、負荷電流に応じてスイッチング周波数が変化します。

ここで、ウェアラブル・デバイスにGPS (GNSS) レシーバが搭載されていて、200mAを消費するとき、スイッチング周波数は2MHzに上昇すると仮定します。

ではスイッチング周波数2MHzで生じるスイッチング・ノイズがGPSレシーバ回路にとって好ましくない周波数帯であった場合に、どうすればいいでしょうか。

アダプティブ電流ピーク機能を備えている**MAX20356**は、レジスタへのプログラミングを通じてこの機能をオフにすると、図5で示す緑の線のような特性で電流の増加とともにスイッチング周波数は上昇を続けます。この場合、200mA出力に対応したスイッチング周波数は4MHzに上がるため、GPSレシーバ回路にとってセンシティブな帯域を回避することができるかもしれません。ピーク電流自体もレジスタからプログラミングできるため、スイッチング周波数がノイズ帯に作用しないように、システムに応じた使い方ができます。

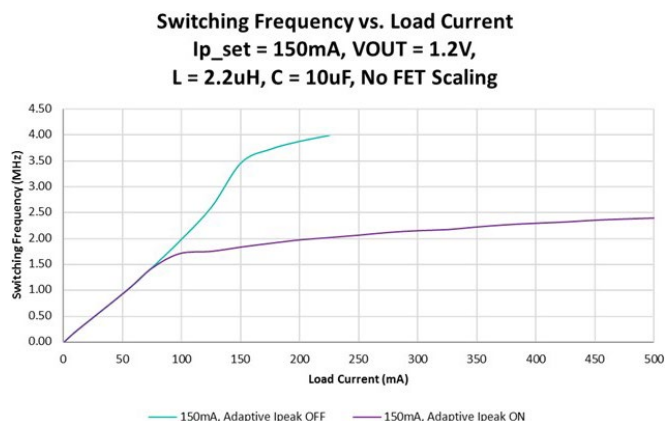


図5. PFM (パルス周波数変調) では出力電流 (横軸) に応じてスイッチング周波数 (縦軸) が高くなる。また、アダプティブ電流ピーク機能がオンのときは紫の線のような特性を示し、オフのときは緑の線のような特性を示す。アダプティブ電流ピーク機能のオンオフや、機能が作用し始めるピーク電流値をレジスタから制御することで、他の回路への影響を回避するように、所定の電流値におけるスイッチング周波数を上手にコントロールすることができる。

■ DVSマイコンに対応した低遅延の電圧切り替え

アナログ・デバイスズのウェアラブル・デバイス用パワーマネジメントICのうち、**MAX20345**、**MAX20356**、および**MAX20360**にはDVS (ダイナミック電圧・スケーリング) に対応した電圧制御機能が搭載されています。

DVSとは、アクティブ・モード、スリープ・モード、ディープスリープ・モード、バックアップ・モードといった動作モードに応じて異なる電圧を要求する機能です。アクティブ・モードでは電源回路に対して高めの電圧を要求し、スリープ・モードやディープスリープ・モードでは消費電力を抑えるために低めの電圧を要求します。

円滑かつ高速なモード遷移を実現するには、マイコンからの指示に従って速やかに出力電圧を制御できるパワーマネジメントICが必要です。**MAX20360**の場合、GPIOを経由して0.55V出力を1.1Vに高める指示を受けたときの応答速度は、降圧コンバータ3系統ともにわずか14μsと高速です。また、I²Cを経由して0.6V出力を1.0Vに高める指示を受けたときの応答速度は、I²Cのトランザクションを含めて59μsと高速で、モードの遷移に速やかに追従できます。

図1に示したような、アイドル、計測、送信といったシステムの動作に合わせて、マイコンの動作モードとコア電圧を小まめに調整してシステム全体の消費電力を抑えることで、バッテリー動作時間のさらなる延長が可能です。

このDVS機能は本来マイコン向けですが、これをLEDの駆動に応用して消費電力を抑えるテクニックを紹介します。

LEDは色 (波長) によって順方向電圧 (VF) が異なります。ウェアラブル・デバイスに使われるLEDの場合、緑色LEDのVFがもっとも高く、赤色LED、赤外線LED (IR LED) の順でVFは低くなります。もしもウェアラブル・デバイスのLED駆動回路をもっともVFの高い緑色LEDに合わせて設計したとすると、赤色LEDや赤外線LEDを駆動する場合でも緑色LEDと同じVFが印加されることを意味します。

ここで、DVSに対応したパワーマネジメントICをVLEDの生成に使うと、発光させるLEDに応じて最適な電圧に切り替えることが可能です (図6)。

Why Optical DVS?

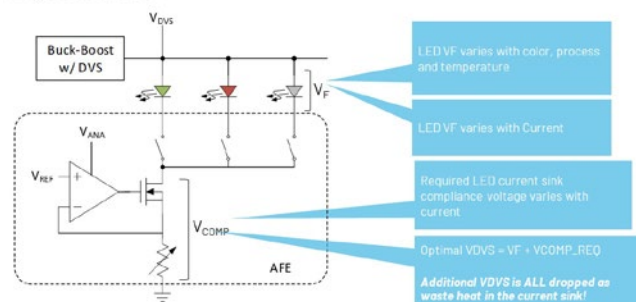
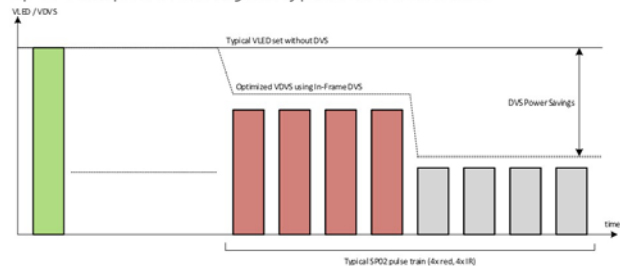


図6. 順方向電圧 (VF) が異なる緑色LED、赤色LED、赤外線LEDの駆動にDVSを応用し、最適なVLEDを与えることで、LED点灯時の消費電力を抑制。

赤色LEDと赤外線LEDを使ってSpO₂ (血中酸素飽和度)を計測するシーケンスを考えてみます。アルゴリズムとして、赤色LEDを4回発光させ、その後赤外線LEDを4回発光させる場合、それぞれのVLEDを適切な電圧まで下げられますので、VFがもっとも高い緑色LEDに対応したVLEDを単純に印加する場合に比べて、30%から50%程度の消費電力の節減が期待されます (図7)。

Up to 50% power savings in typical SP02 use case



- ▶ 50% savings at 40mA
- ▶ 30% savings at 100mA
- ▶ Significant power savings compared to fixed VLED in SP02 use case

図7. DVSを利用し赤色LEDと赤外線LEDの駆動時のVLEDを下げ消費電力を抑えるイメージ図。

ヘルス・システム・プラットフォーム4.0を新たに提供

最後のセクションでは付帯的な情報を紹介します。

ウェアラブル・デバイス向けパワーマネジメントICの一部には、リチウムイオン・バッテリーの残量を計測する機能が搭載されています (図3)。[MAX14690](#)、[MAX14745](#)、[MAX20335](#)、[MAX20345](#)、[MAX14720](#)、[MAX14750](#)、[MAX20310](#)にはバッテリーセル電圧から残量を推定するもっとも単純なモニター方式が採用されています。[MAX14676](#)、[MAX20303](#)、[MAX20353](#)には同じく電圧のみで推定するModelGauge方式が採用されていますが、Monitorよりも高い推定精度を実現しています。

さらに[MAX20356](#)と[MAX20360](#)には、旧マキシムが開発した高精度な「ModelGauge m5 EZ」方式が採用されています。クローン・カウンタ方式の精度とリニアリティ、セル電圧測定による安定性、および温度補償とを組み合わせたアルゴリズムで、低温などの環境でも高い精度が得られるのが特長です。パワーマネジメントICに統合されていますので、単体のModelGauge m5 EZソリューション[MAX17055](#)に比べて消費電力の増加はわずかです。

その他の付加機能として[MAX20303](#)、[MAX20353](#)、および[MAX20360](#)は (図3) 偏心モーター (ERM) とリアクタ (LRA) の両方に対応したハプティック・ドライバを内蔵しています。また、太陽光でウェアラブル・デバイスを駆動するエナジー・ハーベスティング・ソリューション[MAX20361](#)も用意しています。1セルから3セルの太陽電池パネルに対応しています。

ドイツで開催されたelectronica 2022で出展したヘルス・システム・プラットフォーム4.0 (HSP 4.0) (型番[MAXREFDES106#](#)) は、バイタルデータ・モニタリングの開発プラットフォームです (図8)。32mm×52mmの本体に、Arm Cortex-M4ベースのマイクロ・コントローラ[MAX32666](#)、デジタル温度センサー[MAX30210](#)×2個、アナログ・フロントエンド[MAX86178](#)、3軸MEMS加速度センサー[ADXL367](#)、アルゴリズム・ハブ[MAX32674C](#)、パワーマネジメントIC [MAX20356](#)、および190mA/hのリチウムイオン・バッテリーと64MBのフラッシュメモリが搭載されています。

計測できる項目は、心電図、脈拍、SpO₂、呼吸数、ICG (インピーダンス・カーディオグラフィ)、生体電気インピーダンス、体温および環境温度です。回路図やアルゴリズムも提供されますので、お客様のウェアラブル・デバイスの開発にお役立てください。



Figure 2. A MAXREFDES106# annotated hardware diagram (32 mm × 52 mm).

Triangle Area Identified by 1, 2, and 3:

- 1 Collarbone
- 2 Shoulder blade
- 3 Upper chest



図8. アナログ・デバイスのソリューションで構成されたヘルス・システム・プラットフォーム4.0 (HSP 4.0)。回路図やアルゴリズムなどの設計リソースも提供される。

以上、ウェアラブル・デバイス向けのパワーマネジメントICソリューションや設計のポイントを説明しました。小型化とバッテリー動作時間はウェアラブル・デバイスの市場競争力に大きく影響を与える要素であり、自己消費電流の削減、S/N比の向上、EMIノイズの抑制など、さまざまな課題を考慮しなければなりません。

アナログ・デバイスではこれからも、ヘルスケアや医療機器を対象にしたパワーマネジメントICソリューションだけでなく、アナログ・フロントエンドなどのさらなるエンハンスを進めていきます。

著 Frank Dowling氏

デジタル・ヘルスケア事業部門担当
プロダクト・ライン シニア・ディレクター

EngineerZone®

オンライン・サポート・コミュニティ

アナログ・デバイセズのオンライン・サポート・コミュニティに参加すれば、各種の分野を専門とする技術者との連携を図ることができます。難易度の高い設計上の問題について問い合わせを行ったり、FAQを参照したり、ディスカッションに参加したりすることが可能です。

 **ADI** EngineerZone™
SUPPORT COMMUNITY

Visit ez.analog.com

※本稿は2023年10月時点の情報に基づいています。