

セル電話 ハンドセットの ノイズ管理

今日あるセル電話は、多様な信号にさらされつつも動作しなければなりません。標準的な電話において、信号振幅が僅か $0.35\mu\text{V}$ で、その近くのノイズの振幅より 100dB 以上も弱いといった可能性もあります。この信号を復調に適したレベルまで増幅するために、セル電話では 80dB 以上の利得を持つ中間周波数(IF)部が使用されることが多々あります。

ビットエラーレート(BER)の条件を満たすためには、ノイズを管理する必要があります。シールド及びフィルタは効果的ですが、重量、サイズ及びコストがかさむと同時にバッテリー寿命が短くなります。これより賢明な方法は、当初より低ノイズを目指して設計し、既知のノイズスペクトルが無線性能に干渉しないようにすることです。こうしたノイズ管理を行うためには、以下の事項を理解する必要があります。

- ・ ノイズ伝播機構
- ・ ノイズに最も敏感な箇所
- ・ ノイズ発生回路

セル電話ハンドセット

デジタルセル電話は、パッケージング、ヒューマンインタフェース及び省電力の傑作です。RF部はフィルタ、低ノイズアンプ、ミキサ、パワーアンプ(PA)及び周波数シンセサイザからなっています。混合モードASICが送信部と受信部をIF信号に接続します。DSPとシステム制御プロセッサを含むデジタルASICと協同して動作するこの混合モードASICは、IF信号の変調及び復調用のデータコンバータを含んでいます。システム制御プロセッサは、ヒューマンインタフェースとシステム電源の管理も行います。

電源分配サブシステムはバッテリーパックを管理し、ハンドセット内の動作電圧を分配します(図1)。セル電話は、セル電圧をPAに適したレベルまで昇圧するためのスイッチモード電源を備えている場合もあります。新しい低電圧ASICは、小型ステップダウンスイッチモード電源で駆動することが可能です。残りのRF及びアナログ回路は、リニア低ドロップアウト(LDO)レギュレータで駆動できます。様々なレギュレータがプロセッサの制御下でターンオンし、ワイヤレスプロトコル(例えばGSM又はIS-95)が要求する動作を選択します。

ノイズ伝播機構

ノイズは伝導及び放射によって伝播します。伝導はワイヤ、プリント回路トレース、金属シャーシ又は電気部品を通じてノイズを伝えます。放射は空気又は回路基板材料のような誘電体を通じてノイズエネルギーを運びます。伝導ノイズは従来の回路技法によってフィルタリングすることができます。放射ノイズは、ノイズ源で低減されない限り、シールドを必要とします。伝導ノイズが効率的なアンテナに出会うと放射ノイズとなります。放射ノイズはシールド、導電性コーティング及びガスケットによって抑制することができますが、適正なプリント基板レイアウト及びフィルタリングによってノイズが伝導モードに制限されている限りこうした対策は必要ありません。ノイズはできる限り伝導ノイズの状態に保ち、放射されないようにするのが最良です。

パワーアンプ

PAは大電流を消費することによりノイズを発生します。 3.6V 、効率 50% 、アンテナに達するまでの信号ロスが 3dB のPAは、リチウムイオン(Li+)セルから最大 800mA の電流を引き出します。この電流はバッテリーコネクタ、プリント基板トレース及びグランド経路内の抵抗を流れて電源ライン上にノイズを発生します。GSM及びIS-136 TDMA規格で指定されているバースト送信を使用している電話においては、この問題がさらにひどくなります。短時間のPAバーストにより、電源及び分配サブシステムにトランジェントが生じます。

バーストモードPAを駆動するためによく使われる方法は、電源電圧を昇圧してピーク電流を低減し、ノイズを最小限に抑え、そしてより安価なPA技術の使用を可能に

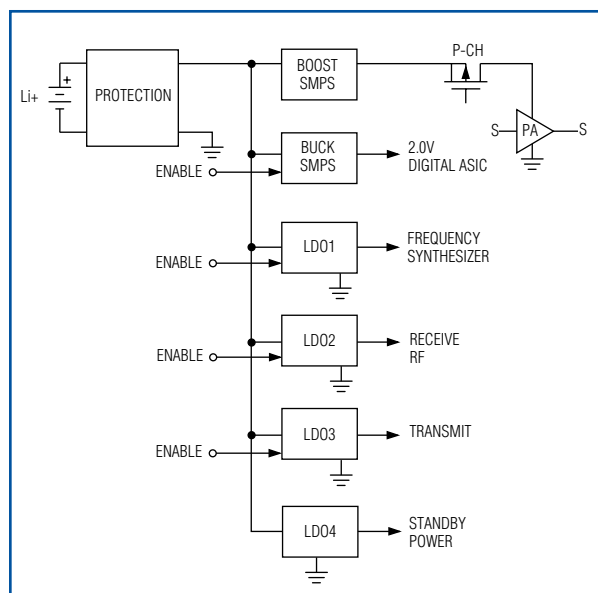


図1. スイッチモード及びリニアレギュレータによるクリーンで効率的な電源分配

することです。それでも、電流ピークに対応するために過度に高仕様のブーストコンバータを要することがしばしばあります。これに対して、昇圧されたエネルギーをコンデンサに保存する方法にすると、ブーストコンバータがトランスミッタのバーストとバーストの間にコンデンサを充電するだけで良いため、前述の方法より優れています。しかし、標準的なDC-DCコンバータにおいては、コンデンサの電圧降下を検出された時にまだ問題が残ります。即ち、コンバータができるだけ速く電荷を補充しようとする時にLi+セルから電流サージが流れて新しいノイズを発生します。新しいIC(MAX1687/MAX1688)に導入された解決法は、PAタンクコンデンサ充電速度をユーザ設定のピークバッテリー電流又は自動的に設定される適応型電流リミットに制限します(図2)。この結果、コンデンサとパワーコンバータが協力して、PA電流サージに伴うシステムの乱れを最小限に抑えつつ、効率的な電力変換を維持します。ノイズをさらに抑制するために、送信バースト中にこれらのチップをディセーブルすることができます。

PAバイアス

GaAsFET PAのバイアス電圧はバイアス電流を制御し、このバイアス電流がPA利得と出力インピーダンスを設定します。バイアスピンは振幅変調された入力であるため、バイアスノイズはRF出力に現れ、希望の信号と共にアンテナから放射されます。GaAs PAはディプリーションモードMOSFETであるため、ゲートバイアスがないうちに最大ドレイン電流が流れます。ドレイン電流を制御するため、ゲートは負(グランドより下)でなければなりません。安定で、静かな、しかも正確なバイアス電圧を生成するには、反転チャージポンプの後にオペアンプレギュレータを配置するのが一般的な手法です。この方法はフレキシブルですが、回路の物理的寸法としては最小にはなりません。

PAバイアス生成用で入手可能な最小回路はMAX881です。MAX881は、反転チャージポンプと負のレギュレータを超小型10ピンμMAXパッケージに内蔵しています。このICは、GaAs PAに必要な全てのバイアス条件を満た

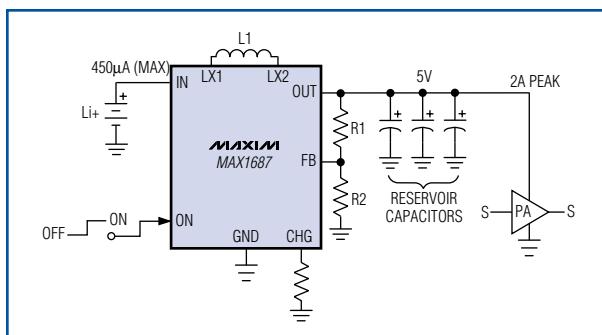


図2. IS-136及びGSM等のバースト機器の場合、バッテリーの大きなトランジェントはタンクコンデンサとブーストコンバータによって最小限に抑えることができます。

します。通常動作条件においては、出力ノイズ及びリップル(~1mVp-p)は、RF出力における望ましくないサイドバンドを防止するのに十分なだけ低くなっています。また、MAX881は負バイアス電圧を検出することにより、PAのメイン電源が印加された時にドレイン電流が制御されることを保証します。この安全インターロックにより、PAの損傷が防止されます(図3)。

PLL周波数シンセサイザ

多くのセル電話においては、第1の局部発振器(LO)は位相ロックループ(PLL)周波数シンセサイザによって生成されます。AMPS電話においては、電圧制御発振器(VCO)は880MHz付近の±12.5MHzにわたって30kHzステップで同調します。(実際のVCOは第1のIFでオフセットされた周波数を生成します)。PLLが3Vで動作すると仮定した場合は、2Vの同調電圧(制御電圧)によって25MHzの同調範囲全域をカバーすべきです。これにより、PLLがトランジェント又は温度ドリフトに対して飽和しないことを保証するマージンが得られます。

VCO利得は25MHz/2V又は12.5MHz/Vです。利得が高いとVCOは制御ライン上のノイズに敏感になります。高利得PLLの位相ディテクタ及びVCOが別々になっている場合、VCOが放射ノイズを拾うことがよくあるため、VCOノイズスペクトルを維持するためにシールド付ケーブルが必要です。VCOを変調する可能性のあるその他の擾乱を以下に示します。

- 1) PLL位相ディテクタに注入された電源ノイズ
- 2) VCOに注入された電源ノイズ
- 3) 能動積分器又はループフィルタの出力にまで達した電源ノイズ(これを最小限に抑えるには、アンプのPSRRに気をつけて下さい。)

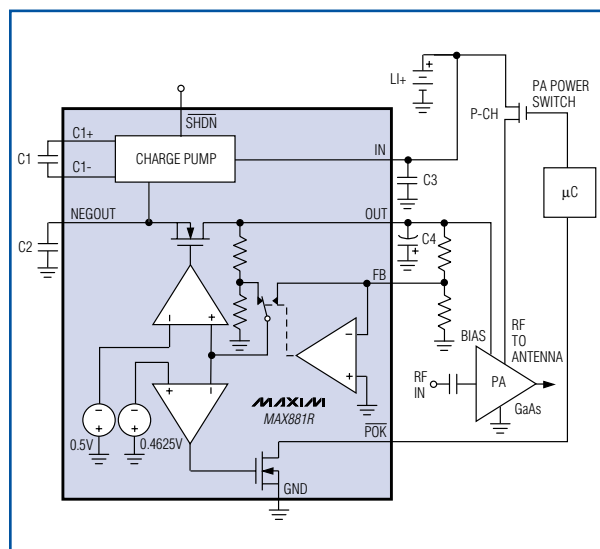


図3. MAX881Rのインターロック機能がGaAs PAの損傷を防ぎます。

4) 水晶発振器(TCXO/VCTCXO)のノイズ。高Q回路の発振器信号はクリーンかつ無ノイズであるべきですが、電源電圧ノイズが過剰の場合には発振器のノイズフロアが上がる場合があります。PLLはループ帯域幅内のノイズをPLL分割比(AMPSハンドセットの場合~30,000)だけ増倍するため、周波数シンセサイザはTCXOからのノイズに非常に敏感です。

5) VCO出力負荷インピーダンスの変動に起因するノイズは反射されてVCOに戻り、動作周波数を引きつけます。

ループ帯域幅によってノイズスペクトルがDCと500kHzの間になるように形成されている機器においては、第1~4項を受動フィルタリングによって改善することが可能です。周波数シンセサイザは、電源から伝導されるノイズを避けるために個別のLDOを必要とします。デジタル電話機器の場合は、それでも電源による変調に起因する残留位相ノイズが大きすぎます。LDOは周波数シンセサイザ用にクリーンな安定化電源電圧を提供しますが、ノイズを発生する場合があります。

広帯域ノイズソース

LDOレギュレータの電圧リファレンスとエラーアンプは、大きなノイズ成分を持っていることがあります。MAX8877のような低ノイズ素子は、コンデンサでノイズをグラウンドにバイパスできるようなピンまでリファレンス電圧を持ってくることによって、このノイズに対抗します。例えば0.01 μ Fコンデンサを使用すると、10Hz~100kHzの帯域幅における出力ノイズが30 μ V_{RMS}にまで低下します(図4)。この改善により、900MHzにおけるPLLのノイズが最大20dB低下します。LDOはハンドセットの各部分を分離する役目も果たします。MAX8877はLDOの帯域幅内で10kHzにおける電源ノイズを60dB抑圧します。プリント基板面積の観点から見て、この抑圧比は優れています(このICはSOT23パッケージです)。このレベルのフィルタリングを提供する受動部品は、特に低周波数用はさらに大きくなります。

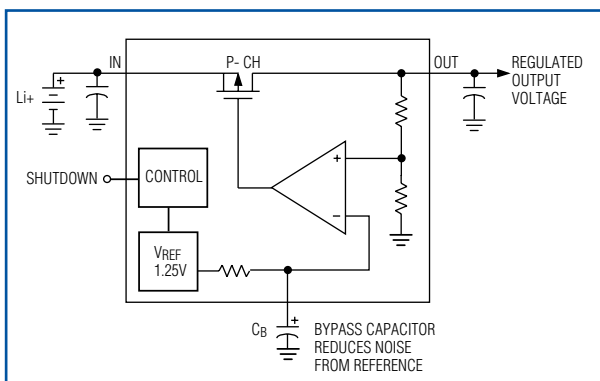


図4. LDOからの出力ノイズは電圧リファレンスにバイパスコンデンサ(C_B)を付加することによって低減されます。

効率の改善

セルラ電話用に設計された最近のスイッチモード電源(SMPS)は小型、高効率、低ドロップアウト電圧、小型外付部品及びノイズ抑圧機能といった特長を持っています。例えば、MAX1692ステップダウンパワーコンバータは、パルス幅変調(PWM)と同期整流を使用することにより90%以上の効率を達成しつつ、ノイズは低く、ノイズスペクトルも予期可能なものになっています。3V~4.2Vの単一Li+セルで動作する本素子は、大型ASIC用に最低1.25Vの電源電圧を生成します。

IFのような高利得RF部の干渉を抑圧するために、MAX1692は外部水晶制御クロック(例えばTCXOの発生するクロック)と(500kHz~1MHzの周波数範囲で)同期させることができます。SMPSを高周波数で動作させることは、小型外付部品の使用及びノイズスペクトルの計算に重要です。

スイッチモード電源は、最低周波数がSMPSの基本スイッチング周波数であるノイズスペクトルを発生します。高調波同士の間隔はこの基本周波数と同じですが、このスペクトルのその他の様相は予測することが困難です。各高調波に分配されるノイズパワーは波形(対時間)、電流レベル、インダクタ値、コンデンサ値及びプリント基板レイアウトの関数となります。

スイッチングノイズは入力、出力及びグラウンドラインに乗って伝導するか、あるいはプリント基板トレースから放射します。SMPSから伝導するリップルとノイズは常に最小限に抑えて下さい。ただし、伝導ノイズを低減するためにフィルタネットワークを加えると、放射ノイズが増えてしまうことがあることに注意して下さい。こうしたノイズはレイアウトから放射され、システム中を効率よく伝播するため、その周辺全体からノイズが出ているように見えます。

セル電話のノイズの問題に対処する最良の道は、電話のノイズカップリング機構、ノイズに敏感な回路ノード及びノイズ発生回路を理解することです。ブーストパワーコンバータ及び大型コンデンサによって、GSM/TDMA機器のPAトランジエントからの伝導ノイズを最小限に抑えることができます。SMPSからの放射ノイズはプリント基板に強く依存します。写実的な図式表現を参考にしてレイアウト作業を進めることにより、初回から成功させることができます。小型リニアレギュレータは能動的ノイズフィルタリングを提供し、リファレンスのバイパスと併用することによって周波数シンセサイザに必要な超低ノイズレベルをもたらすことができます。最後に、IFを電源のノイズ高調波同士間の静かなゾーンに配置することにより、デジタルセル電話のビットエラーレートを悪化させる信号汚染を排除することができます。各要因の最も効果的なバランスを計るため、設計の初期の段階でこれらのノイズ計画ステップを考慮して下さい。