

超低消費電力 16ビットオールフラッシュマイコン 78K0R/Kx3-Lの開発

大場 浩司・河合 一慶・松下 留美
石原 国泰・江藤 公治

要 旨

オールフラッシュマイコンは、お客様のシステム競争力向上のため、すべての製品をフラッシュマイコンで揃えた製品群です。近年の省エネに対する意識の高まりと、それに伴うお客様のマイコンに対する低消費電力の要求に対応するために、業界最高レベルの低消費電力性能を目指した、16ビットオールフラッシュマイコン78K0R/Kx3-Lの開発を行いました。本製品は特に電池駆動の機器に最適な、1MHz動作、スタンバイ動作の消費電力を大幅に削減することを目標とし、実現のために製品仕様、回路に工夫を行っています。本製品を使うことにより、お客様の製品の電池寿命改善に大きく寄与することができます。

キーワード

- マイクロコンピュータ ●16ビットマイコン ●フラッシュマイコン ●低消費電力
- 組み込み機器 ●電池駆動

1. まえがき

近年、家電やデジタルAVなど様々な機器で省エネ、安全、快適といった機能が求められており、これらの機器を制御するため、多くのマイクロコンピュータ（以下、マイコン）が使われています。これらの市場では、多様化する消費者のニーズに応えるため、きめ細やかな製品展開と、需要変動への対応が重要な課題となってきています。

弊社では、このようなお客様の要望に応えるため、すべてのマイコン製品を、ソフトウェアの書き換えが可能なフラッシュマイコン（フラッシュメモリを内蔵したマイコン）で揃えるオールフラッシュマイコンを展開してきました。

2. エコロジーがシステム成功の鍵に

2008年は洞爺湖サミットが開催され、世界的に環境問題に対する意識が高まった年でした。

エアコンなどのデジタルAV機器で、消費電力や待機電力への規制が求められるようになってきました。また、家庭向けの防災・セキュリティ機器や携帯機器など、身の周りの電子

機器は、ますます拡大しており、電池の長寿命化や小型化といった点で競争が激しくなっています。このように、全てのシステムにおいて、システムレベルでの省エネが重要な課題となってきています。

オールフラッシュマイコンでは、このようなシステムの省エネに貢献するため、8～32ビットマイコンで業界トップレベルの低消費電力を実現した製品を開発してきました。その中で、16ビットオールフラッシュマイコン78K0Rは、「16ビットマイコンの性能」を「8ビットマイコンの消費電力」で提供することをコンセプトに、「8ビットマイコンに対する上位互換性確保」、「快適な開発環境の提供」により従来システムの高性能化、低消費電力化に貢献します。すでに、汎用機能を備えた基本製品群である78K0R/Kx3を提供しており、幅広いお客様で好評をいただいています。

3. 78K0R/Kx3-L製品概要

16ビットオールフラッシュマイコン78K0R/Kx3-Lは今後の成長が期待される電池で駆動する小型システムの分野に対応する製品です。基本仕様を **表** に示します。

表 78K0R/Kx3-Lの基本仕様

項目		78K0R/Kx3-L
ピン数		44~100ピン
内蔵メモリ		フラッシュメモリ 16~128KB RAM 1~8KB
クロック	メインクロック	高速システムクロック セラミック / 水晶 / 外部クロック、2~20MHz
		高速内蔵発振クロック 1MHz、8MHz、20MHz
	サブクロック	水晶: 32.768KHz
	低速内蔵発振クロック	30KHz±10% (ウォッチドッグタイマ用)
タイマ		・16ビット・タイマ: 8~12ch ・ウォッチドッグ・タイマ ・リアルタイムカウンタ
シリアルインタフェース		・CSI ・UART/LIN対応UART ・IIC/簡易IIC
A/Dコンバータ(10ビット)		10~16ch
その他周辺機能		・乗除算器 ・パワーオン・クリア ・低電圧検出回路 ・コンパレータ: 2ch ・プログラマブルゲインアンプ: 1ch ・キー割り込み機能 ・オンチップ・デバッグ機能

78K0R/Kx3-Lは、従来製品となる78K0R/Kx3との機能互換性と継承性を確保しながら、ピン数で44~100ピン、ROM容量で16~128KBに対応する豊富なラインナップを用意しています。業界最小レベルの低消費電力を実現し、3種類の内蔵発振器を搭載、センサ出力信号の取り込みに必要な各種回路の内蔵、1.8Vでのプログラム書き込み対応といった特長を持ち、携帯機器やセキュリティ機器などの小型化、バッテリー寿命の向上を強力にバックアップします。

4. 78K0R/Kx3-Lの開発コンセプト

電池駆動の小型システムの中でも、定期的なセンサからの出力信号の取り込みを目的とする応用では、電池寿命の観点からスタンバイモードと通常動作モードを交互に繰り返す間欠動作が主流です。そのため、スタンバイモードと通常動作モード双方の消費電力を下げるのが電池寿命の延長につながります。この場合、センサからの情報は低速で情報量も限定的であることから、通常動作モード時の処理性能を高くする必要はありません。

78K0R/Kx3-Lはこの点に着目し、「1MHz動作における超低消費電力化」、「スタンバイ動作における超低消費電力化」を重点課題と捉えました。そしてこれらを業界No.1レベルのスペックにすることを目標に置き開発を行いました。

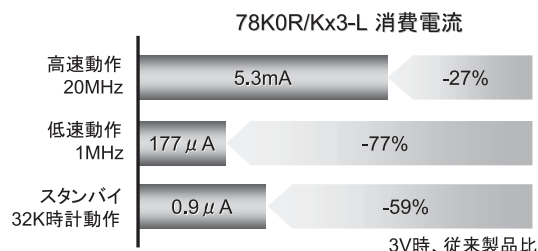


図1 業界最小レベルの低消費電力を実現

その結果、78K0R/Kx3-Lでは1MHz動作電流で177 μ A@3Vという、当時業界No.1であった200 μ A@3Vを上回る成果を得ることができました。また、スタンバイモード時の消費電流も、特に実際の応用で重視される時計動作状態で0.9 μ A以下という業界No.1クラスの超低消費電力を実現しました（図1）。

5. 1MHz動作における超低消費電力化

5.1 1MHz動作モードの新システム

1MHz動作モードにおける超低消費電力の実現手段について説明します。

(1) 1MHz内蔵発振器を搭載

従来製品は、システムクロックとして使用できる8MHz内蔵発振器を搭載しています。78K0R/Kx3-Lはこの発振器よりも自己消費電流を約20%以下に抑えた、1MHz内蔵発振器を新たに搭載しました。更に、リセット解除後に重要なシステム設定をハードウェアで自動的に行う機能（オプションバイト）により内蔵発振器を選択できる仕組みを設けました。これにより、システムに応じて最適な発振回路が実現できるだけでなく、従来製品ではリセット解除後、8MHzの2分周の動作クロックに固定となっていたものが、リセット解除後から1MHz内蔵発振器で動作することが可能となり、初期動作時も消費電流を低減することができます（図2）。

(2) 内蔵レギュレータによる低電圧動作

従来製品では20MHz動作に最適な低消費電力システムを実現するために、内蔵レギュレータにより内部電圧を2.5Vで動作させていましたが、1MHz動作に合わせて、内部電圧を最低動作電圧である1.8Vまで下げる内蔵レギュレータモードを追加しました。この新システムにより、電源電圧3V時においても消費電流を削減することができます。

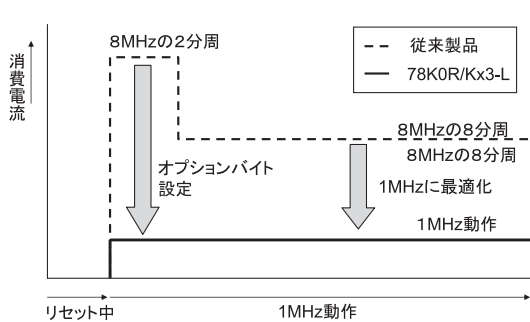


図2 リセット解除後から1MHz動作可能

(3) フラッシュメモリに「低消費電力メインモード」を新設
 従来製品のフラッシュメモリは、高速スピードで最適化されているため、低速時にはチップの消費電流の多くをフラッシュメモリが占めていました。本製品は、システムクロックが1MHzである場合において、フラッシュメモリを低消費電力化できる「低消費電力メインモード」を新たに設け、フラッシュメモリの回路を1MHz動作で最適化しました。これにより、従来製品に対し、フラッシュメモリの自己消費電流を約60%削減しました。

5.2 ローパワーCPUアーキテクチャ

78K0R/Kx3-Lに搭載するCPUは、従来製品よりも動作電流を更に低消費電力化したローパワーCPUアーキテクチャを開発しました。1MHz動作時の電流を従来比で35%、20MHz動作時電流についても27%削減を実現し、動作電流すべてにおいて低消費電力が実現できました。

以下に代表的な施策について説明します。

(1) CPU演算器を分割

従来製品のCPUは、パイプラインにより1クロックで1命令を実行するために、アドレス演算器とデータ演算器を搭載しています。命令によらず常に大きな演算器を動作させていました。ローパワーCPUでは、これらの演算器を機能ごとに分割し、命令ごとに使用しない演算器を停止することで、演算器全体の電流を約半分まで削減しました。

(2) デコーダ回路の停止

78K0Rの命令セットには、1バイト命令と2バイト命令があります。それぞれ命令デコーダで命令を判別し、演算ユニットなどCPU全体の動作を決定します。

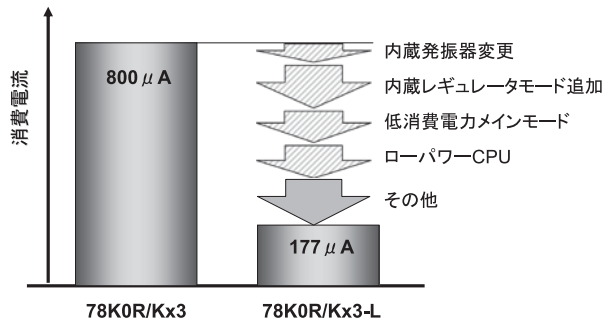


図3 1MHz動作電流削減

ここで1バイト命令に着目し、1バイト命令をデコードする際は2バイト目の判定は不要であるため、1バイト目を先に判定回路で確認し、2バイト目をデコードする回路を停止することで、デコーダの電流を約25%削減しました。
 以上に説明したとおり、1MHz動作モードの新システムによる施策、ローパワーCPUアーキテクチャによって、目標値200 $\mu\text{A}@3\text{V}$ を上回る177 μA を実現しました（図3）。

6. スタンバイ時動作の超低消費電力化

6.1 時計モードの新設

78K0Rは、2099年までCPUの起動なしに自動的に日時を更新可能なカレンダー機能（以下、RTC）を内蔵しており、ウェイクアップなしで時計動作を継続できます。

78K0R/Kx3-Lは、電池駆動の小型システムのスタンバイ

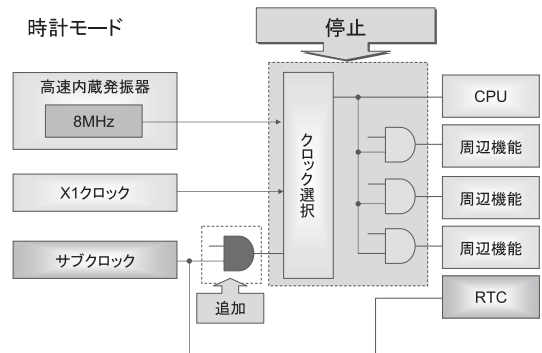


図4 時計モード

モードで重視される時計動作をターゲットとし、スタンバイモード時にRTCのみを動作させることを前提とした「時計モード」を設けました。

従来製品ではCPU及び周辺機能を停止させた状態においても、システムクロック選択回路部と周辺機能にサブクロックが入力されていました。「時計モード」に設定し、RTCを動作許可に設定してスタンバイモードに移行すると、システムクロック選択回路部と周辺機能へのクロック供給回路を停止させ、RTCのみにクロックを供給します(図4)。最低限必要となる回路のみを動作させることで消費電流を削減しました。

6.2 3段階ゲイン切り替えの低消費サブ発振器内蔵

スタンバイモード時に動作するRTCの動作クロックは、サブ発振器から供給されます。このサブ発振器は、従来製品では自己消費電流が多いことが分かっており、本製品では、発振特性を確保しながら自己消費電流をいかに削減するかが、大きな課題の1つでした。

これまでサブ発振器の回路構成は大きく変わっていませんでしたが、78K0R/Kx3-Lは、サブ発振器の回路構成を根本から見直すことにチャレンジしました。さらには、サブ発振器に内蔵するアンプのゲインを切り替え可能としました。これにより、最小ゲイン設定時には、サブ発振器の自己消費電流を従来製品の半分以下に削減し、RTC動作と合わせて $0.6\mu\text{A}$ を実現しています。

6.3 レギュレータとPOCの消費電流を低減

従来製品は、レギュレータとパワーオン・クリア回路(以下、POC)を内蔵しており、スタンバイモード時には常時動作しています。これらの回路の最適化を行い、レギュレータとPOCを合わせた消費電流を $0.33\mu\text{A}$ に抑えました。



図5 ストップモード電流

この電流値は、本製品のストップモード時の電流であり、従来製品に対し70%の削減効果が得られました(図5)。

以上の施策により、時計モード電流は、従来製品の $2.2\mu\text{A}$ から $0.9\mu\text{A}$ に削減することができ、開発当初に掲げたターゲット電流 $1\mu\text{A}$ 以下を実現しました。

7. おわりに

このように、78K0R/Kx3-Lでは大幅に電力性能を改善し、1MHz動作電流 $177\mu\text{A}@3\text{V}$ 、スタンバイ電流 $0.9\mu\text{A}@3\text{V}$ という、従来製品を大幅に上回る業界No.1レベルの低消費電力を実現することができました。これにより、お客様の機器の電池駆動時間の改善に大きく貢献できます。

今後もオールフラッシュマイコンでは、さらなる低電力化、周辺機能の取り込み、豊富な製品展開を図り、お客様のニーズに応える製品展開をますます拡充していきます。

*本製品はSilicon Storage Technology, Inc.からライセンスを受けた「SuperFlash®」を使用しています。

*SuperFlashは、米国Silicon Storage Technology, Inc.の米国、日本などの国における登録商標です

執筆者プロフィール

大場 浩司
NECエレクトロニクス
マイクロコンピュータ事業本部
汎用マイコンシステム事業部
チームマネージャ

河合一慶
NECエレクトロニクス
マイクロコンピュータ事業本部
第二マイコン事業部

松下 留美
NEC マイクロシステム
マイコン開発事業部
主任

石原 国泰
NEC マイクロシステム
マイコン開発事業部
主任

江藤 公治
NEC マイクロシステム
マイコン開発事業部
主任

●本論文に関する詳細は下記をご覧ください。

関連URL

<http://www.necel.com/micro/index.html>