

Title	低消費電力CMOSアナログ回路の応用に関する研究
Author(s)	吉村, 隆治
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44912
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について <a>〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	吉 村 隆 治
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 18784 号
学位授与年月日	平成 16 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電子情報エネルギー工学専攻
学位論文名	低消費電力 CMOS アナログ回路の応用に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 谷口 研二 (副査) 教授 八木 哲也 助教授 原 晋介

論文内容の要旨

本論文は低消費電力アナログ回路に関する研究成果をまとめたもので、以下の 6 章から構成されている。

第 1 章では、集積回路技術の歴史的背景や発展について述べ、続いて携帯機器などで使用されている CMOS 集積回路の性能が消費電力とトレードオフの関係にあることを示した後、本研究の目的を述べている。

第 2 章では、高密度集積回路で用いられている様々な CMOS 回路に対する低消費電力化の手法について、システムとデバイスの両面から整理している。

第 3 章では、CDMA 有線データ通信システムの実装方法について述べている。章前半では、PN (Pseudo-Noise) コードと呼ばれる直交する符号を利用した CDMA (Code Division Multiple Access) 方式について述べている。一般に、転送データは通信経路に入る様々なノイズによって劣化するが、スペクトル拡散を用いた通信方式では伝送路において発生した狭帯域のノイズに対する高い除去性能を示す。この特徴を活かした新しい CDMA 有線データ通信インターフェースを提案している。このインターフェースでは、直交する符号を使用することで複数のデータの同時送受信が可能となる。送信器は、一对のバスラインを大容量のキャパシタと想定し、外的要因の変動に関わらず一定量の電荷をバスラインに送出できるチャージポンプ回路と変調回路から構成されている。受信回路では、バスライン電位をレベルシフタ回路で受け取った後、差動型ミキサと全差動型オペアンプを用いて元の信号を復調している。考案した有線 CDMA インターフェースの動作を実証するためにサブミクロン CMOS プロセスで回路の設計・試作を行っている。

第 4 章では、前章において設計・試作した有線インターフェースチップの実測結果とその評価について記述している。10 対の送受信回路を含むテスト回路と 40 対の送受信回路を含むチップをロジックアナライザとロジックテスタで評価した結果、提案する CDMA 有線インターフェースが正常に動作し、理論上だけでなく実回路で実現可能なことを示している。

第 5 章では、デバイスレベルでの低消費電力回路の例として品質保証期限モニター回路を提案している。化学反応速度が MOSFET のサブスレッショルドドリーク電流と一対一に対応していることから、MOSFET のドリーク電流の積分値で化学反応生成物の量を模擬することができる。これを極微小電力の CMOS アナログ回路で実現し、回路シミュレーションを通してボタン電池一個で 1 年間以上の動作が可能となることを確認している。

第 6 章は、本論文をまとめている。

論文審査の結果の要旨

1970年代初頭にインテル社が4ビットCPUと1k半導体メモリの発表をして以来、シリコン集積回路内のトランジスタ数は1.5年で2倍になるというムーアの法則に沿ってその集積度を上昇させている。トランジスタ数が増加すると集積回路の性能や機能は格段に向上するが、それと同時に消費電力も必然的に大きくなる。多大な消費電力は実装するパッケージやチップの信頼性などに影響するため、システム、回路、デバイスなどの各方面から消費電力の削減が続けられている。

本研究では集積回路内の機能ブロック間データ転送に対する低消費電力化の手法として、多元接続CDMA有線バスラインインターフェースを提案している。バスライン上で同時にデータ転送ができ、複数のブロック間通信ができる有線CDMAインターフェースは、従来、無線通信の分野で利用されていたCDMA方式を有線バスに応用したものであり、拡散符号で広帯域拡散した信号をバスラインに出力する手法を採用している。この方式を回路実装するに際して、大きな容量のキャパシタを有する任意電位のバスラインへ一定量の電荷を送出することができる新しいチャージポンプ回路を考案している。さらに複数の送受信器を搭載したCDMAバスインターフェースを試作し、ロジックテストなどの実測結果からその実現の可能性を検証している。

この有線CDMAインターフェースは多数の機能ブロックが絶えまなくデータ通信を行うシステムにおいて効果期待できることを示している。本CDMAインターフェースは直交符号の特徴から、劣悪な周辺環境下においても低消費電力で正確にデータ通信ができるだけでなく、拡散符号の割り当てを変えると動的に相互接続の変更ができる特徴を持っている。

また、もう一つの低消費電力システムとして提案された品質保証期限モニター回路は、生産者から消費者に至る流通経路における食料品のトレーサビリティを保証するチップとして位置づけられる。品質保証モニターチップでは、物質の劣化量が模擬的にアナログドメインで計算されているため、従来のデジタル方式(温度計測、ADコンバータ、MPU)に比べて1/1000以下の消費電力で済む。今後のユビキタス社会で使用される膨大な数のセンサチップの消費電力低減に向けた一つの方向性を示している。これは工学的意義だけではなく、社会的な貢献といった観点からも高く評価できる。

以上のように本論文は高集積化が進む集積回路における低消費電力化を図るための手法としてシステム面からCDMA通信方式を用いることを提案し、その実装が可能であることを初めて示している。また、この新しい方式はインターフェースの低消費電力化だけに留まらず、データ駆動プロセッサや脳を模擬したニューロシステムなど組み上げる際、従来の集積回路設計で最大の問題となっていたノイマンボトルネックを解消する工学的な解決方法を提案している。

また、デバイス面からの低消費電力化の方法として、弱反転(サブスレッショルド)領域で動作するMOSデバイスの電流特性を積極的に利用した応用回路も提案している。MOSFETの弱反転領域特性を利用したシステムの提案は、従来の強反転動作MOSFETを前提としていたアナログ回路設計および低消費電力化の手法を根底から変える意味でも将来の集積回路技術の進展に大いに貢献する成果である。

よって、本論文を博士論文として価値あるものと認める。