

入力信号レンジが SAR ADC の性能に与える影響に関する研究

Study of Influence on SAR ADC by Range of Input Signal

李 賢義
Hyunui Lee

宮原 正也
Masaya Miyahara

松澤 昭
Akira Matsuzawa

東京工業大学大学院 理工学研究科 電子物理工学専攻
Department of Physical Electronics, Tokyo Institute of Technology

1 まえがき

逐次比較型 A/D 変換器 (SAR ADC) は変換にオペアンプを必要とせず、微細化に適しているため幅広く用いられている。SAR ADC はコンパレータを用いて変換を行うため、コンパレータのノイズが性能に大きく関係している。コンパレータノイズが性能に与える影響の解析は[1]で行われているが、入力信号がフルレンジの場合を想定しており、実動作では入力信号の振幅の変動による影響を考慮する必要がある。本発表ではコンパレータのノイズと入力信号振幅との関係について明らかにする。

2 SAR ADC の動作とノイズの関係

図 1 に SAR ADC の構成と変換ステップによるノイズの影響を示す。N ビットの SAR ADC は N 回の変換ステップが必要である。コンパレータノイズはコンパレータしきい値と信号が近いときにのみ影響する。信号がフルレンジで入力されていると仮定すると MSB の変換でノイズの影響を受ける確率は信号 0 付近にある場合でしかないため、 $1/2^N$ 程度となる。以降変換が進むたびに図 1 (b) のようにコンパレータのノイズが影響する確率は 2 倍ずつ増えていくので MSB での変換が最も影響が少ない。

しかしながら、入力信号の振幅が小さくなるにつれ、MSB での変換でノイズの影響を受ける確率が増えていくと考えられる。モデルを単純化するため、MSB での変換のみが他での変換と異なる場合を考える。MSB の変換でノイズの影響を受ける確率 P_{MSB} は、信号振幅を V_{in} 、量子化ステップを V_q として以下で表される。

$$\left. \begin{aligned} P_{MSB} &= \frac{V_q}{V_{in}}, & V_{in} > V_q \\ P_{MSB} &= 1, & otherwise \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

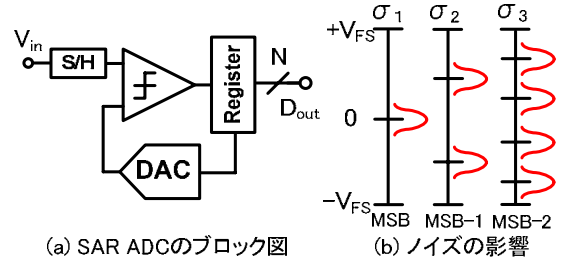
MSB での変換時のコンパレータノイズの値を v_{n_MSB} 、その他の変換時のノイズの値を v_{n_o} とすると、コンパレータのノイズによって発生する総ノイズ量 v_{n_t} の関係は、

$$v_{n_t}^2 = P_{MSB} v_{n_MSB}^2 + (1 - P_{MSB}) v_{n_o}^2 \quad (2)$$

と表すことができる。

3 シミュレーション結果

図 2 に、全ての変換においてコンパレータのノイズの値を 0.25 LSB とした時と、MSB の変換のみをノイズの値を 1LSB とし、その他の変換では 0.25 LSB とした時の 6bit SAR ADC の入力と SNR の関係を示す。点はシミュレーション、線は理論式より求めた結果を表している。MSB の変換のみ 1 LSB とした時の結果は、信号振幅が大きいときには変化させない時と比較して大差ないが、振



(a) SAR ADC のブロック図 (b) ノイズの影響
図 1 SAR ADC のブロック図及びノイズ

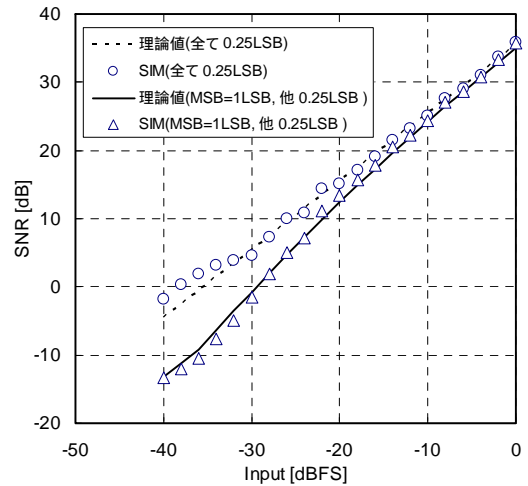


図 2 入力と SNR の関係

幅が小さい時には MSB の変換誤差の影響が大きくなるため、SNR の劣化が著しいことがわかる。また、理論値とシミュレーションの値は良い一致を示しており、ノイズのモデル式が正しいことがわかる。

4 まとめ

本発表では SAR ADC の入力信号のレンジが ADC のノイズに与える影響について検討を行った。SAR ADC では信号が小さくなるほど MSB での変換の影響が大きくなることが理論的に示された。

謝辞

本研究の一部は、総務省委託研究『電波資源拡大のための研究開発』、NEDO、並びに、東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し、日本ケイデンス株式会社との協力で行われたものである。

参考文献

- [1] 吉原 慶、"コンパレータノイズが A/D コンバータの性能に与える影響に関する研究" 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, Sep, 2008, C-12-18