



ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ РАССОГЛАСОВАНИЯ КАНАЛОВ НА ПАРАМЕТРЫ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ МНОГОКАНАЛЬНЫХ АЦП

FEATURES OF MISMATCH EFFECTS ON PARAMETERS OF HIGH-SPEED TIME-INTERLEAVED MULTICHANNEL ADCS

УДК 621.3.049.774, ББК 32.853.1

КУЛИКОВ ДМИТРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

*К. т. н., начальник отделения систем на кристалле –
заместитель генерального конструктора*

KULIKOV DMITRY V.

Ph.D

САВЕЛЬЕВ ДЕНИС ИЛЬИЧ

*Начальник отдела комплексной разработки систем
на кристалле*

SAVELYEV DENIS I.

АО «НИИМА «Прогресс»

125183, г. Москва, проезд Черепановых, 54

JSC “PROGRESS MRI”

54 Cherepanovikh Lane, Moscow, 125183, Russia

Работа посвящена особым видам искажений спектра выходного сигнала многоканальных АЦП, вызванных рассогласованием параметров используемых каналов. Проведено исследование влияния факторов, ограничивающих достижение высоких динамических характеристик.

Ключевые слова: АЦП; рассогласование каналов обработки; времяперемежение.

The paper is devoted to special types of distortions in the spectrum of output signal of multichannel ADCs caused by mismatch of parameters of the channels used. The influence of the factors limiting the achievement of high dynamic characteristics has been investigated.

Keywords: ADC; channel mismatch; time-interleave.

ВВЕДЕНИЕ

Современная электроника не может обойтись без быстродействующих аналого-цифровых преобразователей (АЦП), поскольку в тракте обработки сигнала все чаще используется непосредственная обработка сигналов на высоких частотах без переноса спектра сигнала в область низких частот.

Для снижения требований по быстродействию к каскадам АЦП применяется многоканальная конвейерная архитектура с времяперемежением [1, 2], т. е. частичным перекрытием циклов нескольких параллельно работающих каналов (см. рис. 1). Такая архитектура дает возможность достичь высокого разрешения наряду с высокой скоростью преобразования, так как каждый из каналов работает на частоте меньшей, чем частота дискретизации всего АЦП в N раз, где N — число каналов.

В идеале характеристики каналов АЦП (напряжение смещения, наклон передаточной характеристики и т. д.) должны быть

одинаковыми. Однако из-за разных напряжений смещения в каналах, разных наклонов передаточных характеристик каналов, а также наличия разброса задержек прихода тактовых сигналов в каналах АЦП, возникает особый вид искажений спектра выходного сигнала, существенно ухудшающих точностные параметры всего многоканального АЦП. Основным методом устранения данных искажений является калибровка каждого канала многоканального АЦП и тщательная разработка системы синхронизации каналов [3].

В данной статье рассмотрено влияние на спектр выходного сигнала двухканального АЦП следующих трех основных видов асимметрии между каналами:

- разброс напряжения смещения между каналами;
- разброс наклона передаточной характеристики между каналами;
- разброс задержек прихода тактовых сигналов в каналах.

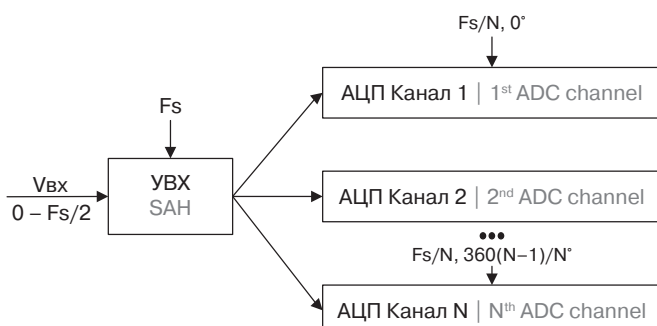


Рис. 1. N -канальные АЦП

Fig. 1. N -channel ADC

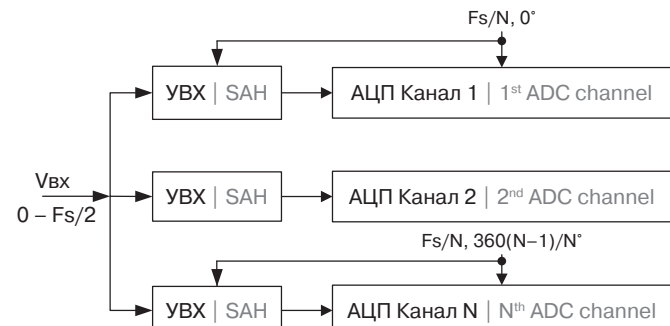




Рис. 2. Сигнал ошибки из-за разброса напряжений смещения между каналами АЦП

Fig. 2. Error signal due to offset mismatch between ADC channels

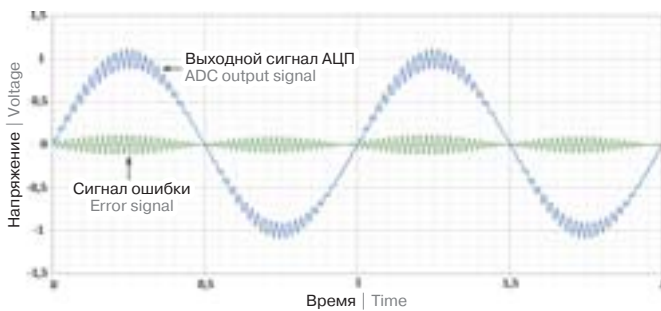


Рис. 3. Сигнал ошибки из-за разброса наклона передаточной характеристики между каналами

Fig. 3. Error signal due to gain mismatch between ADC channels

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ВИДОВ РАССОГЛАСОВАНИЯ МЕЖДУ КАНАЛАМИ АЦП И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СПЕКТР

Разброс напряжений смещения между каналами

Предположим, что в каналах многоканального АЦП различные напряжения смещения, а остальные параметры одинаковы. В этом случае каждый канал выдает свою ошибку кода

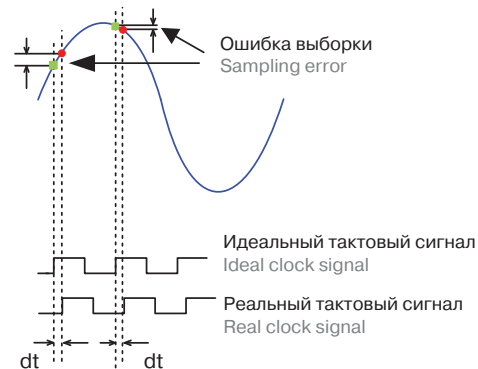
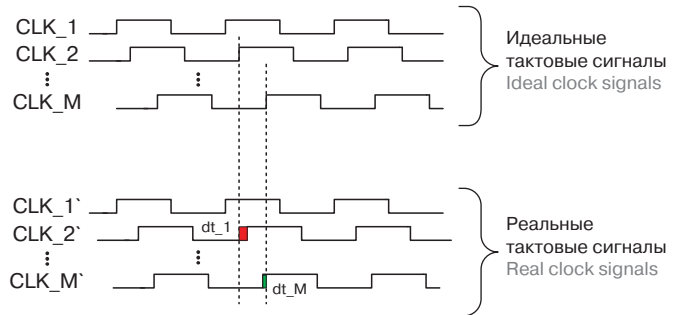


Рис. 4. Разброс задержек прихода тактовых сигналов в каналах АЦП и связанная с этим ошибка выборки

Fig. 4. Timing skew of the clocks in multichannel ADC and respective sampling errors

в выходном коде всего АЦП. Период повторения ошибки для каждого из каналов равен N/f_s , где N — количество каналов, f_s — частота дискретизации АЦП. В этом случае сигнал ошибки можно представить в виде шума, величина которого не зависит от амплитуды и частоты входного сигнала.

Представление сигнала ошибки во временной области показано на рис. 2. В частотной области сигнал ошибки для

INTRODUCTION

Modern electronics cannot do without high-performance analog-to-digital converters (ADC), because in signal processing systems ever more frequently direct signal processing at high frequencies is used without transferring signal spectrum to low frequencies region.

To decrease performance requirements for stages of high performance ADC, time-interleaved multichannel pipeline architecture has been used [1, 2], that is with partial overlapping of cycles of those channels that operate in parallel (see Fig. 1). Such architecture enables attaining high resolution along with high conversion rate, because each of the channels operates at a frequency that is lower by a factor of N than sampling frequency of the whole ADC, where N is the number of channels.

Theoretically, ADC channels characteristics (offset voltage, gain etc.) should be identical. However, mismatches such as offset and

gain mismatches among channel ADCs as well as timing skew of the clocks distributed to them degrade accuracy parameters of the whole multichannel ADC. The main method to remove such distortion is calibration of each channel in multichannel ADC and thorough development of channels synchronization system [3].

This paper analyzes three channel mismatch effects in two-channel ADC:

- offset mismatch;
- gain mismatch;
- timing skew of the clock.

THE INFLUENCE OF MAIN TYPES OF MISMATCH BETWEEN ADC CHANNELS AND THEIR INFLUENCE ON SPECTRUM

The Offset Mismatch Between ADC Channels

Let us suppose that offsets in ADC channels are different, while all the other parameters

are identical. In this case each channel issues its own code error in output code of the whole ADC. Error repetition period for each channel equals N/f_s , where N is ADC channels number and f_s is ADC sampling frequency. In this case error signal may be presented in noise form, whose value does not depend on output signal amplitude and frequency.

Fig. 2 presents error signal in time domain. In frequency domain error signal of multichannel ADC manifests itself as a disturbance at frequencies $k \cdot f_s/N$, where f_s is ADC sampling frequency, N is channels number, $k = 1, 2, 3, \dots$ (for two-channel ADC see Fig. 7).

The Gain Mismatch Between ADC Channels

Let us suppose that gains in ADC channels are different, while other parameters are identical. In this case each channel issues its own code error in output code of the whole ADC. Error

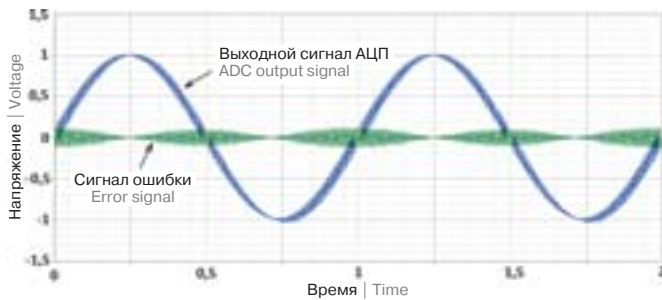


Рис. 5. Сигнал ошибки из-за разброса задержек прихода тактовых сигналов в каналах АЦП (разброс фазового сдвига)

Fig. 5. Error signal due to timing skew of the clocks in multichannel ADC

многоканального АЦП проявляется в виде помех на частотах $k \cdot f_s/N$, где f_s — частота дискретизации АЦП, N — количество каналов, $k = 1, 2, 3, \dots$ (для двухканального АЦП см. рис. 7).

Разброс наклона передаточной характеристики между каналами АЦП

Предположим, что в каналах многоканального АЦП различные наклоны передаточной характеристики, а остальные параметры одинаковы. В этом случае, каждый канал выдает свою ошибку кода в выходном коде всего АЦП. Период повторения ошибки для каждого из каналов равен N/f_s , где N — количество каналов, f_s — частота дискретизации АЦП. В этом случае, в отличие от разброса напряжений смещения, величина сигнала ошибки будет коррелировать с амплитудой входного сигнала, вызывая эффект амплитудной модуляции сигнала ошибки входным сигналом. При этом, чем больше амплитуда входного сигнала, тем больше амплитуда сигнала ошибки.

repetition period for each channel equals N/f_s , where N is ADC channels number and f_s is ADC sampling frequency. In this case, as opposed to the offset mismatch, error signal value will correlate with input signal amplitude causing the effect of error signal amplitude modulation by input signal. Hence, the largest error signal occurs at the peaks of input signal.

Fig. 3 presents error signal in time domain. In frequency domain error signal of multichannel ADC manifests itself as disturbance at frequencies $\pm f_{IN} + k \cdot f_s/N$, where f_{IN} is input signal frequency, f_s is ADC sampling frequency and N is channels number, $k = 1, 2, 3, \dots$ (for two-channel ADC see Fig. 7).

The Timing Skew of the Clock in ADC Channels

Let us suppose that we have multichannel ADC with absolutely identical channels parameters, but with clock signals arrival with different delays (see Fig. 4). In this case each channel issues its own code error in output code of the whole ADC. Error repetition

period for each channel equals N/f_s , where N is ADC channels number and f_s is ADC sampling frequency. In this case error signal value will correlate with the slew rate of input signal, so the largest error signal occurs when the input signal has the largest slew rate.

Fig. 5 presents error signal in time domain. In frequency domain error signal of multichannel ADC manifests itself as disturbance at frequencies $\pm f_{IN} + k \cdot f_s/N$, where f_{IN} is input signal frequency, f_s is ADC sampling frequency and N is channels number, $k = 1, 2, 3, \dots$ (for two-channel ADC see Fig. 7).

It should be noted that in the offset and gain mismatch cases, the signal/noise ratio (S/N) at the output of multichannel ADC keeps constant as the input signal frequency increases, but in the timing skew case, S/N ratio at the output decreases as the input signal frequency increases (see Fig. 6).

Thus, being aware of influence of the mismatch effects between the channels of ADC on its output signal spectrum it is possible to make the following estimates:

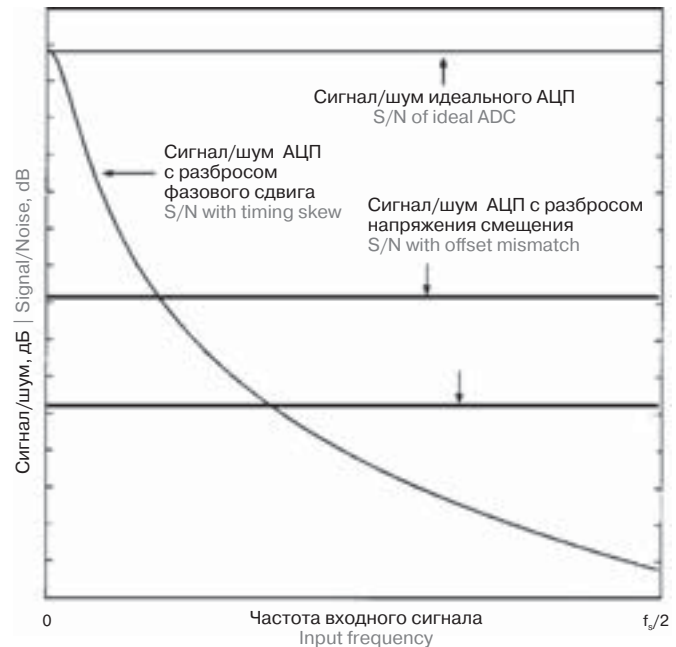


Рис. 6. Изменение отношения сигнал/шум на выходе многоканального АЦП в зависимости от частоты входного сигнала при наличии одного из рассматриваемых типов ошибки

Fig. 6. Change in noise to signal ratio of multichannel ADC output depending on input signal frequency in the presence of one of the analyzed error types

Представление сигнала ошибки во временной области показано на рис. 3. В частотной области сигнал ошибки для многоканального АЦП проявляется в виде помех на частотах $\pm f_{IN} + k \cdot f_s/N$, где f_{IN} — частота входного сигнала, f_s — частота дискретизации

- to estimate dominating factors and degree of mismatch between channels before ADC calibration;
- to estimate the quality of calibration of ADC parameters.

Due to difficulties caused by calibration of the clock skew, it is necessary to pay special attention to circuit and layout implementation of synchronization system and clock trees in multichannel ADCs.

REFERENCES

1. Waltari M. E., Halonen K. *Circuits Techniques for Low-voltage and High-speed A/D Converters*. // Kluwer Academic Publishers. 2002.
2. Sandeep Gupta, Michael Choi. *A 1Gs/s 11b Time-interleaved ADC in 0.13mm CMOS* // ISSCC 2006 / Session 31 / Very High-speed ADCs and DACs / 10.4.
3. Petraglia A. and Mitra S. K. "Analysis of Mismatch Effects Among A/D Converters in a Time-interleaved Waveform Digitizers", IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 40, pp. 831–835, Oct. 1991.

АЦП, N — количество каналов, $k = 1, 2, 3, \dots$ (для двухканального АЦП см. рис. 7).

Разброс задержек прихода тактовых сигналов в каналах АЦП (разброс фазового сдвига)

Предположим, что мы имеем многоканальный АЦП, параметры каналов которого абсолютно одинаковы, но тактовые сигналы приходят с разными задержками (см. рис. 4). В этом случае, каждый канал выдает свою ошибку кода в выходном коде всего АЦП. Период повторения ошибки для каждого из каналов равен N/f_s , где N — количество каналов, f_s — частота дискретизации АЦП. В этом случае величина сигнала ошибки будет коррелировать со скоростью изменения входного сигнала, при этом, чем больше скорость изменения входного сигнала, тем больше амплитуда сигнала ошибки.

Представление сигнала ошибки во временной области показано на рис. 5. В частотной области сигнал ошибки для многоканального АЦП проявляется в виде помех на частотах $\pm f_{IN} + k \cdot f_s/N$, где f_{IN} — частота входного сигнала, f_s — частота дискретизации АЦП, N — количество каналов, $k = 1, 2, 3, \dots$ (для двухканального АЦП см. рис. 7).

Стоит заметить, что величина сигнал ошибки из-за разброса напряжений смещения и наклона передаточных характеристик каналов АЦП не зависит от частоты входного сигнала, а величина сигнала ошибки из-за разброса задержек прихода тактового сигнала увеличивается с ростом частоты входного сигнала (см. рис. 6).

Таким образом, зная особенности влияния тех или иных типов ошибки рассогласования каналов многоканального АЦП на спектр выходного сигнала АЦП, можно провести следующие оценки:

- оценить доминирующие факторы и степень рассогласования между каналами до калибровки АЦП;
- оценить качество калибровки АЦП по каждому из калибруемых параметров.

Исключением являются разброс фазового сдвига и наклона передаточной характеристики между каналами АЦП, которые имеют схожую спектральную структуру. Вследствие трудности

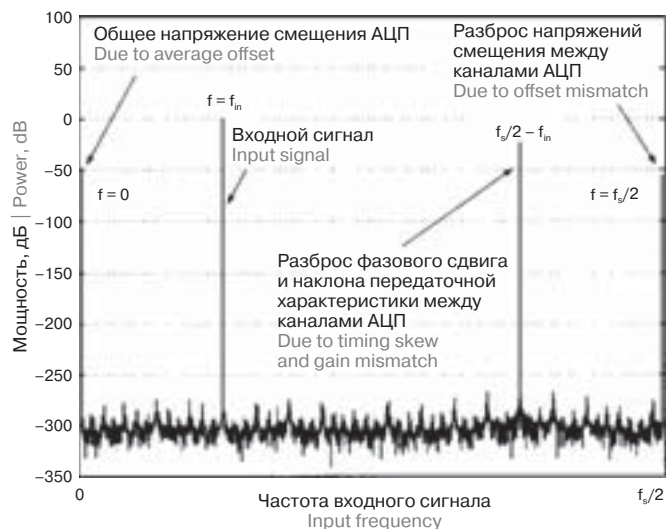


Рис. 7. Влияние трех рассматриваемых типов ошибки на спектр выходного сигнала двухканального АЦП

Fig. 7. The influence of three analyzed error types on output signal spectrum for two-channel ADC

калибровки разброса фазового сдвига, необходимо уделять особое внимание схемотехнической и топологической реализации системы синхронизации и деревьям тактового сигнала в многоканальных АЦП.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Waltari M. E., Halonen K. *Circuits Techniques for Low-voltage and High-speed A/D Converters* // Kluwer Academic Publishers. 2002.
2. Sandeep Gupta, Michael Choi. *A 1Gs/s 11b Time-interleaved ADC in 0.13mm CMOS* // ISSCC 2006 / Session 31 / Very High-speed ADCs and DACs / 10.4.
3. Petraglia A. and Mitra S. K. "Analysis of Mismatch Effects Among A/D Converters in a Time-interleaved Waveform Digitizers", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, Vol. 40, pp. 831–835, Oct. 1991.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



МИКРОСХЕМЫ ДЛЯ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Практическое пособие. Издание 2-е, испр. и доп.
Под общ. ред. академика РАН А.Н. Саурова

Книга содержит сведения о микросхемах, разработанных научно-производственным комплексом «Технологический центр» и предназначенных для применения в аппаратуре космического назначения. Приведены сведения о разработанных и освоенных в производстве базовых и базовых матричных кристаллах, являющихся основой для разработки специализированных микросхем. Детально описаны серийно выпускаемые полужаказные и заказные микросхемы общего применения.

Книга предназначена для разработчиков радиоэлектронной аппаратуры, а также для преподавателей, студентов старших курсов и аспирантов.

Цена 840 руб.

М: ТЕХНОСФЕРА, 2017. – 388 с.
ISBN 978-5-94836-475-9

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

☎ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 (495) 234-0110; ☎ +7 (495) 956-3346; ✉ knigi@technosfera.ru, sales@technosfera.ru