ДЕМИДОВ А. А.

Московский государственный инженерно-физический институт (технический университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ АЦП ИНТЕГРИРУЮЩЕГО ТИПА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СТАЦИОНАРНОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Рассматриваются критерии радиационной стойкости, методика оценки деградации характеристик АЦП интегрирующего типа при испытаниях на стойкость к воздействию стационарного ионизирующего излучения. Установлено, что даже малые радиационно-стимулированные изменения параметров внутренних элементов АЦП могут вызвать отказ по точностным параметрам. Результаты имитационных испытаний показали, что оценка стойкости АЦП может проводиться по результатам измерения деградации погрешности преобразования в крайних точках шкалы преобразования. Данный подход позволяет существенно снизить время и затраты на проведение испытаний, по сравнению с тестированием во всем диапазоне входного сигнала.

Введение

Аналого-цифровые преобразователи интегрирующего типа (далее АЦП) могут применяться в измерительной аппаратуре, предназначенной для использования в полях ионизирующих излучений, что ставит задачу проведения их испытаний на радиационную стойкость. Для получения достоверных результатов необходимо, чтобы методика испытаний таких приборов учитывала характерный для АЦП состав параметров-критериев отказа, а используемое измерительное оборудование имело относительно малый собственный шум и высокую чувствительность [1,2]. Аппаратура и методика тестирования должны позволять контролировать основные параметры АЦП и проверять различные режимы отказа. Вместе с тем измерение характеристики преобразования во всем диапазоне изменения входного сигнала требует значительных временных затрат (для 3.5-декадного АЦП может потребоваться более 10 минут). Поэтому возникает задача разработки упрощенной методики, которая обеспечит адекватную информацию о реакции АЦП на поглощенную дозу при значительном снижении времени тестирования. Для решения этой задачи необходим обоснованный выбор системы параметров-критериев стойкости на основе анализа доминирующих механизмов отказа АЦП. При этом следует обратить особое внимание на соответствие режима работы при испытаниях условиям применения АЦП.

Методика испытаний

Определение режима работы преобразователя во время облучения требует выбора способа актирования (от внутреннего или от внешнего тактового генератора) и входного напряжения, при этом следует руководствоваться типичными условиями применения прибора. Использование внутреннего тактового генератора предпочтительно, так как в типовых применениях АЦП 1175ПВ2 является практически автономным устройством, для функционирования которого достаточно подключить лишь источник опорного напряжения. По принципу действия АЦП предназначен для работы только со статическими сигналами, поэтому можно использовать постоянный входной сигнал - надо только выбрать его напряжение. Исследование влияния дозовых эффектов на характеристики прибора проводилось на рентгеновском имитационном источнике с интенсивностью 200 рад(Si)/с. АЦП тактировался с частотой 130 кГц от внутреннего тактового генератора. Во время облучения на вход АЦП подавался постоянный входной сигнал напряжением +1.900 В, при этом постоянно контролировался ток потребления и выходной ток одного из выводов, предназначенного для управления светодиодным индикатором. По мере накопления поглощенной дозы периодически проводилось измерение характеристик преобразования.

Результаты испытаний

По результатам имитационных испытаний на рентгеновской установке можно сделать вывод, что ток потребления и выходной ток разрядов при эквивалентном уровне дозы до 105 рад(81) изменяются несущественно, а критическим параметром

является погрешность преобразования, увеличение которой определяет отказ АЦП, связанный с деградацией точностных параметров преобразователя. Характер полученных результатов показывает, что деградирует главным образом коэффициент передачи характеристики преобразования (рис. 1).

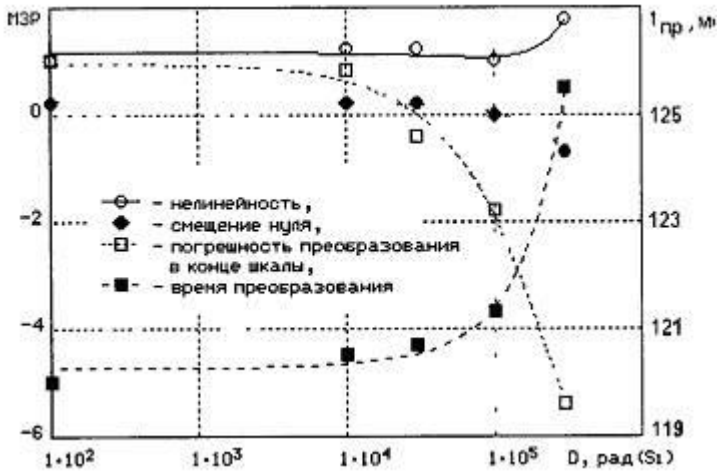


Рис. 1. Зависимость параметров АЦП от поглощенной дозы

Другие параметры (линейность, смещение нуля) деградируют слабо. Из анализа результатов видно, что при накоплении дозы АЦП начинает завышать значения входного напряжения, то есть увеличивается время разряда конденсатора. Возможными причинами этого эффекта являются: заряд конденсатора током повышенного уровня, или же разряд током меньшего уровня, чем юг, который соответствует U_{ref}. Возможное подключение к выходу буферного усилителя какого-либо паразитного источника тока, увеличивающего ток заряда и соответственно уменьшающего ток разряда, в данном случае следует исключить из рассмотрения, поскольку это привело бы к параллельному сдвигу всей характеристики преобразования, чего на самом деле не наблюдается. Причин для увеличения тока заряда в фазе интегрирования тоже нет, так как напряжение входного сигнала через аналоговые ключи и буферный усилитель поступает на вход интегратора. Наличие буферного КМОП усилителя делает схему нечувствительной к сопротивлению ключей во включенном состоянии. Таким образом, возможным объяснением можно считать разряд опорного конденсатора, связанный с увеличением токов утечки аналоговых ключей в разомкнутом состоянии.

При этом средний ток утечки можно оценить: так как

$$\Delta q = I\Delta T = C\Delta U$$

то:

$$I = C\Delta U/\Delta T$$

Считая емкость опорного конденсатора C=0.1 мкФ, погрешность преобразования в конце шкалы ΔU=5 мВ, и время, в течение которого конденсатор отключен от источника опорного напряжения, т.е. время разряда ΔT= 90 мс, получим что средний ток утечки равен примерно 5 нА. Аналогичная оценка тока утечки, который приведет к увеличению погрешности преобразования до максимально допустимого значения 0.1 мВ (при опорном напряжении 0.1 В) дает значение 0.1 нА, т.е. примерно в пятьдесят раз меньше чем при облучении до эквивалентной дозы 105 рад (Si). Так как разряд опорного конденсатора, являющийся основной причиной увеличения погрешности коэффициента передачи, будет тем больше, чем дольше он отключен от источника опорного напряжения, то условия, при которых АЦП работает в данном режиме, будут критическими. Это происходит при максимальном уровне входного сигнала. Следовательно, для получения достоверного результата о стойкости преобразователя достаточно контролировать погрешность

преобразования только вблизи конца шкалы преобразования (например, на уровне 1.950 В), что существенно упрощает процедуру измерения.

Заключение

Проведено исследование радиационного поведения КМОП БИС АЦП интегрирующего типа при воздействии рентгеновского излучения. Установлено, что наиболее чувствительным параметром АЦП является погрешность преобразования, возрастание которой при облучении связано с увеличением токов утечки аналоговых ключей, приводящих к разряду опорного конденсатора. Поскольку наибольшее влияние разряда конденсатор проявляется при уровне входного сигнала, близком к максимальному, то возникает возможность проводить испытания лишь в точке, соответствующей концу шкалы, вместо проверки погрешности во всем диапазоне входного напряжения. На этой основе разработана инженерная методика радиационных испытаний БИС АЦП интегрирующего типа, обеспечивающая достоверность результатов при снижении временных затрат.

Литература

1. И . Turflinger T.L., Davey M.V., Bings J.P. Radiation effects in analog CMOS analog-to-digital converters // IEEE Radiation Effects Data Workshop Record, 1996. P. 6-12.
2. Lee C.I., Rax B.G., Johnston A.H. Hardness assurance and testing techniques for high resolution (12-to 16-bit) Analog-to-Digital Converters // IEEE Trans. Nucl. Sci. Vol. 42. № 6. P. 1681-B, 1995.
3. Фсдорков Б. Г., Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. М.: Энергоатом-издат 1990.