ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71920— 2024

МИКРОСХЕМЫ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ. ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Методы измерения параметров характеристики преобразования

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоэлектроники» (ФГБУ «ВНИИР»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 303 «Электронная компонентная база, материалы и оборудование»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2024 г. № 2042-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МИКРОСХЕМЫ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ. ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Методы измерения параметров характеристики преобразования

Integrated microcircuits. Digital-to-analog converters.
Methods for measuring the parameters of the conversion characteristic

Дата введения — 2025—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на интегральные микросхемы линейных цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) цифрового кода в напряжение (ток) с числом эквивалентных двоичных разрядов до 32 включительно и устанавливает методы измерения следующих параметров характеристики преобразования:

- дифференцильной нелинейности;
- интегральной нелинейности;
- погрешности в заданной точке характеристики преобразования $E[k]$;
- выходного напряжения (тока) смещения нуля $E_0(I_0)$;
- погрешности усиления $E_{ПШ}$;
- отношения сигнал/шум;
- отношения сигнал/шум и искажения;
- диапазона, свободного от гармонических искажений;
- полных нелинейных искажений;
- двухтональных интермодуляционных искажений m-го порядка $IMD_{2,m}$.

Настоящий стандарт устанавливает один метод измерения величины в заданной точке характеристики преобразования на аналоговом выходе ЦАП и вычисления статических характеристик (выходного напряжения (тока) смещения нуля, погрешности усиления, погрешности в заданной точке характеристики преобразования, дифференциальной нелинейности, интегральной нелинейности) (далее — метод 1) и один метод измерения динамических параметров ЦАП (далее — метод 2).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.019 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

ГОСТ 12.2.003 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности

ГОСТ 22261 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия

ГОСТ Р 57391 Приборы ферритовые СВЧ. Классификация и система условных обозначений

ГОСТ Р 70226 Приборы ферритовые сверхвысокочастотного диапазона спин-волновые. Система параметров

ГОСТ Р 70845 Микросхемы интегральные. Термины, определения и буквенные обозначения параметров цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей

Издание официальное

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 57391, ГОСТ Р 70226, ГОСТ Р 70845, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **характеристика преобразования;** ХП: Зависимость между значением напряжения на аналоговом выходе и множеством возможных значений входного кода, заданная в виде таблицы, графика или формулы.

3.1.2 **номинальная характеристика:** Характеристика преобразования цифро-аналогового преобразователя, установленная в технических условиях.

3.1.3 **действительная характеристика преобразования:** Характеристика преобразования, найденная экспериментальным путем, и настолько приближающаяся к истинной характеристике преобразования цифро-аналогового преобразователя, что для данной цели может быть использована вместо нее.

3.1.4 **разрешение цифро-аналогового преобразователя;** разрешение ЦАП: Номинальное значение кванта преобразования цифро-аналогового преобразователя.

3.1.5 **номинальное начальное значение величины на аналоговом выходе:** Наименьшее номинальное значение величины на аналоговом выходе, определенное по полному множеству возможных значений входного кода.

3.1.6 **номинальное конечное значение величины на аналоговом выходе:** Наибольшее номинальное значение величины на аналоговом выходе, определенное по полному множеству возможных значений входного кода.

3.1.7 **действительное начальное значение величины на аналоговом выходе:** Действительное значение величины на аналоговом выходе при значении входного кода, соответствующем номинальному начальному значению этой величины.

3.1.8 **действительное конечное значение величины на аналоговом выходе:** Действительное значение величины на аналоговом выходе при значении входного кода, соответствующем номинальному конечному значению этой величины.

3.1.9 **номинальный диапазон выходной величины $V_{ПШ,ном}$:** Область значений выходной величины, заключенная между ее номинальным начальным и номинальным конечным значениями.

3.1.10 **действительный диапазон выходной величины $V_{ПШ}$:** Область значений выходной величины, заключенная между ее действительным начальным и действительным конечным значениями.

3.1.11 **номинальное значение кванта преобразования:** Значение величины на аналоговом выходе, определяемое отношением номинального диапазона выходной величины к числу $(2^N - 1)$, где N — количество разрядов цифро-аналогового преобразователя.

3.1.12 **среднее действительное значение кванта преобразования:** Значение величины на аналоговом выходе, определяемое отношением действительного диапазона выходной величины к числу $(2^N - 1)$.

3.1.13 **единица младшего разряда;** EMP: В зависимости от контекста: номинальное значение кванта преобразования или разряд натурального двоичного кода, имеющий наименьший позиционный вес.

3.1.14 **начальное значение входного кода:** Значение входного кода, соответствующее номинальному начальному значению величины на аналоговом выходе.

3.1.15 **конечное значение входного кода:** Значение входного кода, соответствующее номинальному конечному значению величины на аналоговом выходе.

3.1.16 **заданная точка характеристики преобразования:** Точка характеристики преобразования, определяемая заданным значением входного кода.

3.1.17 **начальная точка характеристики преобразования:** Точка характеристики преобразования, определяемая начальным значением входного кода.

3.1.18 **конечная точка характеристики преобразования:** Точка характеристики преобразования, определяемая конечным значением входного кода.

3.1.19 **погрешность цифро-аналогового преобразователя в заданной точке характеристики преобразования *E*[*k*]:** Отклонение действительной характеристики преобразования от номинальной характеристики преобразования при заданном значении входного кода после вычета выходного напряжения смещения нуля.

3.1.20 **выходное напряжение смещения нуля E_0:** Погрешность цифро-аналогового преобразователя с выходом по напряжению при значении входного кода, соответствующем нулевому значению напряжения номинальной характеристики преобразования.

3.1.21 **выходной ток смещения нуля I_0:** Погрешность цифро-аналогового преобразователя с выходом по току при значении входного кода, соответствующем нулевому значению тока номинальной характеристики преобразования.

3.1.22 **погрешность усиления E_G:** Отклонение действительной характеристики преобразования от номинальной характеристики преобразования при значении входного кода, соответствующем конечному значению напряжения номинальной характеристики преобразования, после вычета выходного напряжения смещения нуля.

3.1.23 **дифференциальная нелинейность в заданной точке характеристики преобразования ДНЛ[*k*]:** Отклонение разности значений величины на аналоговом выходе в заданной и предшествующей ей точках действительной характеристики преобразования от номинального значения единицы младшего разряда.

3.1.24 **интегральная нелинейность в заданной точке характеристики преобразования ИНЛ[*k*]:** Отклонение действительной характеристики преобразования от установленным способом проведенной прямой, линеаризирующей действительную характеристику преобразования, определенное при заданном значении входного кода.

Примечание — Способ проведения линеаризирующей прямой — через начальную и конечную точки действительной характеристики преобразования или с помощью метода наименьших квадратов через все точки действительной характеристики преобразования.

3.1.25 **диапазон, свободный от гармонических искажений:** Отношение среднеквадратичного значения амплитуды усредненной спектральной составляющей выходного сигнала цифро-аналогового преобразователя на основной частоте к среднеквадратичному значению наибольшей паразитной спектральной составляющей в указанной полосе частот.

3.1.26 **отношение сигнал/шум и искажения:** Отношение среднеквадратичной амплитуды выходного сигнала цифро-аналогового преобразователя к среднеквадратичной амплитуде выходного шума и гармонических искажений в заданной полосе частот за исключением постоянной составляющей и основной частоты.

3.1.27 **отношение сигнал/шум:** Отношение среднеквадратичной амплитуды выходного сигнала цифро-аналогового преобразователя к среднеквадратичной амплитуде выходного шума в заданной полосе частот.

Примечание — Шум включает в себя все компоненты выходного сигнала цифро-аналогового преобразователя за исключением постоянной составляющей, основной частоты и гармонических искажений (первых 10 гармонических и паразитных составляющих, если иное не установлено в технических условиях).

3.1.28 **полные нелинейные искажения:** Отношение среднеквадратичного значения суммы наибольших первых 10 паразитных и гармонических составляющих (если иное не установлено в технических условиях) к среднеквадратичному значению амплитуды спектральной составляющей выходного сигнала цифро-аналогового преобразователя на основной частоте в указанной полосе частот.

3.1.29 **двухтональные интермодуляционные искажения *m*-го порядка $IMD_{2,m}$:** Отношение амплитуды одного из двух синусоидальных сигналов одинаковой амплитуды с частотами F_1 и F_2, ко-

торые находятся на близком расстоянии друг от друга, к наибольшей паразитной составляющей m-го порядка в спектре в указанной полосе частот.

Примечание — Если не указан порядок интермодуляционных искажений, то они относятся к составляющим третьего порядка с частотами $(2F_2 - F_1)$ и $(2F_1 - F_2)$.

3.1.30 **монотонность:** Цифро-аналоговый преобразователь считается монотонным, если его выходной сигнал увеличивается или остается постоянным с увеличением цифрового входного сигнала.

Примечание — Условие монотонности требует, чтобы производная передаточной функции никогда не меняла знак. Для монотонного цифро-аналогового преобразователя дифференциальная нелинейность более положительна, чем минус одна единица младшего разряда.

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

дБПШ — децибелы по отношению к полной шкале сигнала;

дБн — децибелы по отношению к несущей;

ДНЛ — дифференциальная нелинейность;

ЕМР — единица младшего разряда;

ИНЛ — интегральная нелинейность;

ИОН — источник опорного напряжения;

ОУ — операционный усилитель;

МНК — метод наименьших квадратов;

ТУ — технические условия;

ХП — характеристика преобразования;

SFDR — динамический диапазон, свободный от гармониеских искажений (spurious-free dynamic range);

SINAD — отношение сигнала к шуму и искажениям (signal-to-noise and distortion ratio);

SNR — отношение сигнал/шум (signal-to-noise ratio);

THD — полные нелинейные искажения (total harmonic distortion).

4 Метод 1. Измерение погрешности в заданной точке характеристики преобразования

4.1 Погрешность в заданной точке характеристики преобразования

Погрешность в заданной точке ХП определяют путем нахождения отклонения действительного значения напряжения (тока) на аналоговом выходе при заданном значении входного кода от его номинального значения, установленного в ТУ, после вычета выходного напряжения смещения нуля.

4.2 Измерительная аппаратура

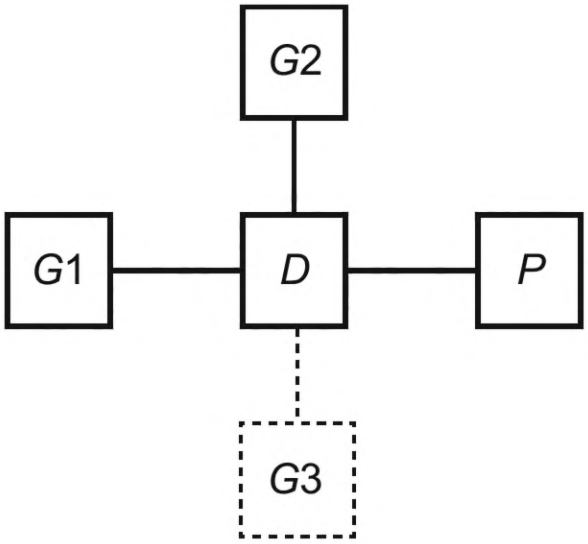
4.2.1 Измерения проводят на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 1.

4.2.2 Генератор кода *G*1 должен обеспечивать подачу на входы ЦАП напряжений, соответствующих любому из множества возможных значений входного кода. Значения напряжения высокого и низкого уровней на входах ЦАП должны соответствовать установленным в ТУ.

4.2.3 Источник напряжения питания *G*2 должен обеспечивать подачу на ЦАП напряжений и токов, параметры которых должны соответствовать установленным в ТУ.

4.2.4 ИОН *G*3 должен обеспечивать подачу на ЦАП напряжения, параметры которого должны соответствовать установленным в ТУ.

4.2.5 Устройство измерительное *P* должно обеспечивать измерение среднего значения напряжения (тока) на аналоговом выходе ЦАП. В качестве измерительного устройства рекомендуется использовать средство измерений, реализующее метод непосредственной оценки либо дифференциальный метод.



D — ЦАП; *G*1 — генератор кода; *G*2 — источник напряжения питания; *G*3 — ИОН; *P* — устройство измерительное

Примечания

1 При измерении электрических параметров ЦАП со встроенным ИОН источник *G*3 в измерительной установке может отсутствовать.

2 К аналоговому выходу ЦАП при измерении подключают нагрузку, параметры и схемы включения которой должны соответствовать установленным в ТУ.

Рисунок 1

Погрешность измерительного устройства в диапазоне измерения, соответствующем номинальному диапазону выходного напряжения (тока) ЦАП, с установленной вероятностью 0,95 должна соответствовать установленной в ТУ и находиться в интервале:

а) ±1/8 EMP — для ЦАП с числом эквивалентных двоичных разрядов до 10;

б) ±1/4 EMP — для ЦАП с числом эквивалентных двоичных разрядов от 11 до 14;

в) ±1/2 EMP — для ЦАП с числом эквивалентных двоичных разрядов от 15 и более.

4.2.6 Допускается измерение параметров ХП ЦАП с выходом по току и с внутренним резистором обратной связи проводить в схеме включения с внешним ОУ. За аналоговый выход ЦАП в этом случае принимается выход ОУ. Параметры и схема включения внешнего ОУ должны соответствовать установленным в ТУ.

4.3 Подготовка к измерениям

4.3.1 Подготавливают измерительную установку к работе в соответствии с эксплуатационной документацией на установку.

4.3.2 Подключают ЦАП к измерительной установке.

4.4 Проведение измерений

4.4.1 Напряжения питания от источника *G*2, опорное напряжение от источника опорного напряжения *G*3 и выходные напряжения от генератора кода *G*1 подают в порядке, установленном в ТУ.

4.4.2 Измеряют напряжение (ток) на аналоговом выходе ЦАП измерительным устройством *P*.

4.5 Обработка результатов

Погрешность в заданной точке ХП $E[k]$ определяют путем нахождения отклонения действительной ХП от номинальной ХП при заданном значении входного кода после вычета выходного напряжения смещения нуля.

Выходное напряжение смещения нуля E_0 определяют как отклонение действительного начального значения величины на аналоговом выходе от номинального начального значения величины на аналоговом выходе.

Погрешность усиления $E_{ПШ}$ определяют как отклонение действительного конечного значения величины на аналоговом выходе от номинального конечного значения величины на аналоговом выходе после вычета выходного напряжения смещения нуля.

Значение выходного напряжения смещения нуля ЦАП E_0 в ЕМР рассчитывают по формуле

$$E_0 = \frac{U[0] - U_{ном}[0]}{Q}, \quad (1)$$

где $U[0]$ — действительное начальное значение величины на аналоговом выходе;

$U_{ном}[0]$ — номинальное начальное значение величины на аналоговом выходе, установленное в ТУ;

Q — номинальное значение кванта преобразования, вычисляемое по формуле

$$Q = \frac{V_{ПШ,ном}}{\left(2^N - 1\right)}, \quad (2)$$

где $V_{ПШ,ном}$ — номинальный диапазон выходной величины;

N — разрядность ЦАП.

Значение погрешности ЦАП в заданной точке ХП [k] в ЕМР рассчитывают по формуле

$$E[k] = \frac{U[k] - U_{ном}[k]}{Q} - E_0, \quad (3)$$

где $k \in [1; 2^N - 1]$;

$U[k]$ — действительное значение величины на аналоговом входе при заданном значении входного кода;

$U_{ном}[k]$ — номинальное значение величины на аналоговом выходе при заданном значении входного кода, установленное в ТУ.

Значение погрешности усиления ЦАП E_G в ЕМР рассчитывают по формуле

$$E_G = \frac{U\left[2^N - 1\right] - U_{ном}\left[2^N - 1\right]}{Q} - E_0, \quad (4)$$

где $U[2^N - 1]$ — действительное конечное значение величины на аналоговом выходе;

$U_{ном}[2^N - 1]$ — номинальное конечное значение величины на аналоговом выходе, установленное в ТУ.

4.6 Формула для расчета показателей точности измерений приведена в приложении А.

5 Измерение дифференциальной нелинейности

5.1 ДНЛ определяют путем нахождения максимального по абсолютной величине значения max {|ДНЛ[k]|}. Для ЦАП с количеством разрядов менее 20 ($N < 20$) значения дифференциальной нелинейности ДНЛ[k] определяются для всех точек ХП. Допускается для ЦАП с количеством разрядов не менее 20 ($N \geq 20$) приводить значения дифференциальной нелинейности ДНЛ[k] для ограниченного набора входных цифровых кодов в соответствии с ТУ.

ДНЛ в заданной точке ХП определяют путем нахождения отклонения разности действительных значений напряжения (тока), соответствующих заданной и смежной с заданной предшествующей ей точкам ХП, от среднего номинального значения ЕМР.

5.2 Аппаратура — по 4.2.

5.3 Подготовка к измерениям — по 4.3.

5.4 Проведение измерений

Измерение напряжения (тока) на аналоговом выходе в начальной $U[0]$, конечной $U[2^N - 1]$, заданной $U[k]$ и смежной с заданной $U[k - 1]$ точках ХП — по 4.4.

5.5 Обработка результатов

Значение ДНЛ в заданной точке ХП ДНЛ[*k*] в ЕМР рассчитывают по формуле

$$\text{ДНЛ}[k] = \frac{U[k] - U[k-1]}{Q} - 1. \quad (5)$$

6 Измерение интегральной нелинейности

6.1 ИНЛ определяют путем нахождения максимального по абсолютной величине значения max {|ИНЛ[*k*]|}. Для ЦАП с количеством разрядов менее 20 ($N < 20$) значения ИНЛ[*k*] определяются для всех точек ХП. Допускается для ЦАП с количеством разрядов не менее 20 ($N \geq 20$) приводить значения ИНЛ[*k*] для ограниченного набора входных цифровых кодов в соответствии с ТУ.

ИНЛ в заданной точке ХП определяют путем нахождения отклонения действительного значения напряжения (тока) на аналоговом выходе, соответствующего заданному значению входного кода, от значения напряжения (тока), определяемого прямой, линеаризирующей действительную ХП ЦАП, и заданным значением входного кода.

Способ проведения линеаризирующей прямой — через начальную и конечную точки действительной ХП или с помощью МНК через все точки действительной ХП. В примечаниях к значениям ИНЛ необходимо указать способ проведения линеаризирующей прямой.

6.2 Аппаратура — по 4.2.

6.3 Подготовка к измерениям — по 4.3.

6.4 Проведение измерений

Измерение напряжения (тока) на аналоговом выходе в начальной $U[0]$, конечной $U[2^N - 1]$ и заданной $U[k]$ точках ХП — по 4.4.

6.5 Обработка результатов

6.5.1 Значение ИНЛ[*k*] относительно прямой, проведенной через начальную и конечную точки ХП, для заданной точки ХП в ЕМР рассчитывают по формуле

$$\text{ИНЛ}[k] = \frac{U[k] - V_{OS} - G \cdot (Q \cdot k + U_{\text{ном}}[0])}{Q}, \quad (6)$$

где коэффициенты G и V_{OS} рассчитывают по формулам:

$$G = \frac{U[2^N - 1] - U[0]}{Q \cdot (2^N - 1)}; \quad (7)$$

$$V_{OS} = U_{\text{ном}}[0] + G \cdot U[0]. \quad (8)$$

6.5.2 Значение ИНЛ[*k*] относительно прямой, проведенной с помощью МНК через все точки ХП, для заданной точки ХП в ЕМР рассчитывают по формуле

$$\text{ИНЛ}[k] = \frac{U[k] - V_{OS} - G \cdot (Q \cdot k + U_{\text{ном}}[0])}{Q}, \quad (9)$$

где коэффициенты G и V_{OS} рассчитывают по формулам:

$$G = \frac{\sum_{k=0}^{2^N-1} k \cdot \sum_{k=0}^{2^N-1} U[k] - 2^N \cdot \sum_{k=0}^{2^N-1} k \cdot U[k]}{Q \cdot \left(\left(\sum_{k=0}^{2^N-1} k \right)^2 - 2^N \cdot \sum_{k=0}^{2^N-1} k^2 \right)}; \quad (10)$$

$$V_{OS} = \frac{\left(Q \sum_{k=0}^{2^N-1} k + 2^N U_{\text{ном}}[0] \right) \sum_{k=0}^{2^N-1} kU[k] - \left(Q \sum_{k=0}^{2^N-1} k^2 + U_{\text{ном}}[0] \sum_{k=0}^{2^N-1} k \right) \sum_{k=0}^{2^N-1} U[k]}{Q \left(\left(\sum_{k=0}^{2^N-1} k \right)^2 - 2^N \cdot \sum_{k=0}^{2^N-1} k^2 \right)}. \quad (11)$$

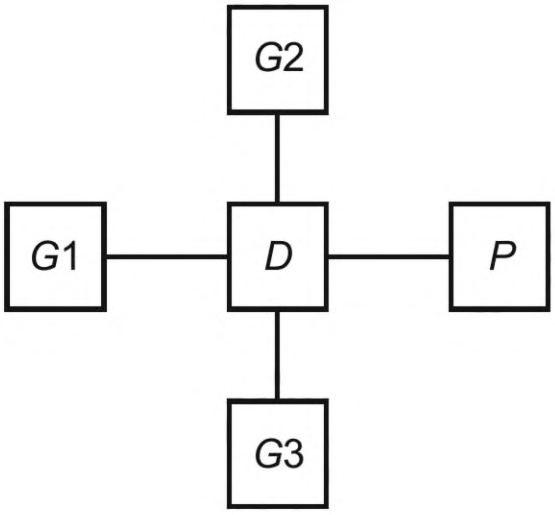
7 Метод 2. Измерения динамических характеристик цифро-аналогового преобразователя

7.1 Динамические характеристики ЦАП определяют путем подачи на его входы синтезированного в цифровом виде одно- или многотонального синусоидального сигнала, получения спектра выходного сигнала ЦАП на спектроанализаторе и вычисления динамических характеристик в соответствии с формулами (12)—(17).

Все динамические параметры должны сопровождаться информацией об амплитуде, частоте выходного сигнала, частоте обновления ЦАП и о полосе пропускания измерительной системы (если не указана, то данное значение динамических параметров представлено для всего диапазона от 0 до $F_S/2$). В случае несоответствия полосы пропускания полной полосе Найквиста ЦАП (0 до $F_S/2$), ко всем динамическим параметрам приписывается слово «узкополосный» с указанием полосы пропускания. Частота выходного сигнала ЦАП F_0 не должна быть субгармоникой частоты обновления F_S.

7.2 Измерительная аппаратура

7.2.1 Измерения проводят на установке, электрическая структурная схема которой приведена на рисунке 2.



D — ЦАП; *G*1 — генератор кода; *G*2 — источник напряжения питания; *G*3 — ИОН; *P* — устройство измерительное (спектроанализатор)

Примечания

1 При измерении электрических параметров ЦАП со встроенным источником опорного напряжения источник *G*3 в измерительной установке может отсутствовать.

2 К аналоговому выходу ЦАП при измерении подключают нагрузку, параметры и схемы включения которой должны соответствовать установленным в ТУ.

Рисунок 2

7.2.2 Генератор кода *G*1 должен обеспечивать подачу на входы ЦАП напряжений, соответствующих любому из множества возможных значений входного кода. Значения напряжений высокого и низ-

кого уровней на входах ЦАП должны соответствовать установленным в ТУ. Длина входной последовательности ЦАП M должна включать все коды ЦАП и удовлетворять соотношению

$$M > 2^N\pi. \quad (12)$$

Амплитуда основной частоты должна быть максимально возможной (0 дБПШ или минус 1 дБПШ), если иное не установлено в ТУ.

7.2.3 Требования к источнику напряжения питания $G2$ — по 4.2.3.

7.2.4 Требования к ИОН $G3$ — по 4.2.4.

7.2.5 В качестве измерительного прибора для определения динамических характеристик ЦАП рекомендуется использовать спектроанализатор. Спектроанализатор должен иметь динамический диапазон, как минимум на 10 дБ превышающий динамический диапазон тестируемого ЦАП. Вход анализатора спектра не должен быть перегружен основным сигналом.

7.2.6 Допускается измерение динамических характеристик ЦАП с выходом по току и с внутренним резистором обратной связи проводить в схеме включения с внешним ОУ. За аналоговый выход ЦАП в этом случае принимается выход ОУ. Параметры и схема включения внешнего ОУ должны соответствовать установленным в ТУ.

7.3 Подготовка к измерениям — по 4.3.

7.4 Проведение измерений

7.4.1 Напряжения питания от источника $G2$, опорное напряжение от ИОН $G3$ и входные напряжения от генератора кода $G1$ подают в порядке, установленном в ТУ.

7.4.2 Измеряют отношения амплитуд основного тона, гармонических искажений и уровня шума с помощью спектроанализатора. Точность измерения динамических характеристик ЦАП регламентируется типом спектроанализатора.

Динамические параметры должны быть приведены для нескольких частот выходного сигнала, если иное не установлено в ТУ. Самая низкая частота F_{min} из этой выборки должна определяться выражением

$$F_{min} = \frac{F_S}{M}. \quad (13)$$

Частоты необходимо выбирать так, чтобы входная последовательность содержала целое число периодов, а отношение F_S/F_{min} представляло собой целое число, относительно простое к M.

Частота дискретизации должна быть как минимум в два раза выше максимальной рассматриваемой частотной составляющей.

7.5 Обработка результатов

7.5.1 Измерение динамического диапазона, свободного от гармонических искажений

SFDR определяют по амплитудному спектру выходного сигнала ЦАП на спектроанализаторе как отношение среднеквадратичного значения амплитуды усредненной спектральной составляющей выходного сигнала ЦАП на основной частоте к среднеквадратичному значению наибольшей паразитной спектральной составляющей в указанной полосе частот.

7.5.2 Измерение двухтональных интермодуляционных искажений m-го порядка $IMD_{2,m}$

Двухтональные интермодуляционные искажения m-го порядка $IMD_{2,m}$ определяют по амплитудному спектру выходного сигнала ЦАП на спектроанализаторе как отношение амплитуды одного из двух синусоидальных сигналов одинаковой амплитуды с частотами F_1 и F_2, которые находятся на близком расстоянии друг от друга, к наибольшей паразитной составляющей m-го порядка в спектре в указанной полосе частот. Интермодуляционные искажения m-го порядка для двухтонального входного сигнала $F_{IMD_{2,m}}$ с частотами F_1 и F_2 возникают на частотах

$$F_{IMD_{2,m}} = (k_1 \cdot F_1 + k_2 \cdot F_2), \quad (14)$$

где k_1, k_2 — целые числа — такие, что для интермодуляционных искажений m-го порядка выполняются условия:

$$|k_1| + |k_2| = m; \quad (15)$$

$$F_{IMD_{2,m}} > 0. \quad (16)$$

Если не указан порядок интермодуляционных искажений, то они относятся к составляющим третьего порядка с частотами $(2F_2 - F_1)$ и $(2F_1 - F_2)$.

7.5.3 Измерение отношения сигнал/шум

SNR определяют по амплитудному спектру выходного сигнала ЦАП на спектроанализаторе как отношение среднеквадратичной амплитуды выходного сигнала ЦАП к среднеквадратичной амплитуде выходного шума в заданной полосе частот. Шум включает в себя все компоненты выходного сигнала ЦАП за исключением постоянной составляющей, основной частоты и гармонических искажений (по умолчанию — первых 10 гармоник, если иное не установлено в ТУ).

SNR вычисляется следующим образом: в начале определяется уровень шума по отношению к уровню входного сигнала N_L. Уровень шума определяется на участке спектра, свободного от гармонических искажений.

$$\mathrm{SNR} = N_L - 10\log_{10}\left(\frac{F_S}{2BW}\right), \quad (17)$$

где $10\log_{10}\left(\frac{F_S}{2BW}\right)$ — поправочный коэффициент обработки;

BW — разрешение спектроанализатора по частоте.

7.5.4 Измерение полных нелинейных искажений

THD определяют по амплитудному спектру выходного сигнала ЦАП на спектроанализаторе как отношение среднеквадратичного значения суммы наибольших 10 (если иное не установлено в ТУ) паразитных и гармонических составляющих к среднеквадратичному значению амплитуды спектральной составляющей выходного сигнала ЦАП на основной частоте в указанной полосе частот.

Уровни гармонических и паразитных составляющих рассчитываются по отношению к уровню основного сигнала в единицах дБн, затем переводятся в линейные единицы, вычисляется корень из суммы их квадратов, и он переводится в дБ согласно формуле

$$\mathrm{THD} = 20\log_{10}\sqrt{\sum_{k=2}^{H}\left(10^{-\frac{V[k]}{20}}\right)^2}, \quad (18)$$

где H — номер максимальной гармоники (по умолчанию $H = 10$);

$V[k]$ — k-я гармоника, дБн.

7.5.5 Измерение отношения сигнал/шум и искажения

SINAD определяют по амплитудному спектру выходного сигнала ЦАП на спектроанализаторе как отношение среднеквадратичной амплитуды выходного сигнала ЦАП к среднеквадратичной амплитуде выходного шума и гармонических искажений в заданной полосе частот за исключением постоянной составляющей и основной частоты. SINAD вычисляется как корень из суммы квадратов SNR и THD:

$$\mathrm{SINAD} = 20\log_{10}\left(\sqrt{\left(10^{\frac{\mathrm{SNR}}{20}}\right)^2 + \left(10^{-\frac{\mathrm{THD}}{20}}\right)^2}\right). \quad (19)$$

8 Требования безопасности

8.1 Средства измерений должны соответствовать требованиям безопасности по ГОСТ 22261, ГОСТ 12.1.019, ГОСТ 12.2.003.

8.2 В целях обеспечения безопасности труда при измерении параметров ЦАП к работе на средствах измерений допускаются лица, обученные правилам электробезопасности, прошедшие инструктаж по правилам эксплуатации средств измерений и изучившие меры первой помощи при поражениях электрическим током.

Для предупреждения поражения электрическим током предусматривают надежное заземление средств измерений.

8.3 При работе на средствах измерений обеспечивают соблюдение правил [1] и [2].

Для обеспечения пожаробезопасности предусматривают наличие в помещениях средств пожаротушения (кошма, огнетушитель углекислотный).

8.4 Средства измерений не должны устанавливаться в пожаро- и взрывоопасных местах.

Приложение А
(справочное)

Расчет показателей точности измерения параметров характеристики преобразования

А.1 Границы интервала погрешности измерения в заданной точке ХП δ_1 определяют по формуле

$$\delta_1 = \pm K \sqrt{\left(\frac{\delta_p}{k_p}\right)^2 + \sum_{i=1}^{l}\left(a_i \frac{\delta_i}{k_i}\right)^2 + \sum_{j=1}^{m}\left(a_j \frac{\delta_j}{k_j}\right)^2 + \left(a_k \frac{\delta_k}{k_k}\right)^2 + \left(a_u \frac{\delta_u}{k_u}\right)^2 + \sum_{r=1}^{n}\left(a_r \frac{\delta_r}{k_r}\right)^2 + \left(a_{1,n} \frac{U_{1,n}}{K_{1,n}}\right)^2}, \quad (A.1)$$

где δ_p — погрешность устройства измерительного P;
δ_i — погрешность установления и поддержания напряжения питения на i-м выводе питания;
δ_j — погрешность установления и поддержания j-го параметра внешних условий;
δ_k — погрешность установки и поддержания параметра нагрузки на аналоговом выходе;
δ_u — погрешность установления и поддержания опорного напряжения;
δ_r — погрешность r-го параметра схемы включения внешнего ОУ;
$U_{1,n}$ — эквивалентное выходное напряжение шумов ЦАП;
a_i — коэффициент влияния напряжения питания на i-м выводе питания на измеряемый параметр;
a_j — коэффициент влияния j-го параметра внешних условий на измеряемый параметр;
a_k — коэффициент влияния параметра нагрузки на измеряемый параметр;
a_u — коэффициент влияния опорного напряжения на измеряемый параметр;
a_r — коэффициент влияния r-го параметра схемы включения внешнего ОУ на измеряемый параметр;
$a_{1,n}$ — коэффициент влияния эквивалентного выходного напряжения шумов ЦАП на измеряемый параметр;
K, k_i, k_p, k_j, k_k, k_u, k_r — коэффициенты, зависящие от закона распределения соответствующей погрешности δ_1, δ_i, δ_p, δ_j, δ_k, δ_u, δ_r и установленной вероятности;
$K_{1,n}$ — коэффициент, зависящий от закона распределения эквивалентного выходного напряжения шумов ЦАП и установленной вероятности;
l — число выводов питания;
m — число параметров внешних условий;
n — число параметров схемы включения внешнего ОУ.

А.2 Границы интервала погрешности измерения дифференциальной нелинейности в заданной точке ХП δ_2 определяют по формуле

$$\delta_2 = \pm 1{,}41\delta_1. \quad (A.2)$$

А.3 Границы интервала погрешности измерения нелинейности в заданной точке ХП δ_3 определяют по формуле

$$\delta_3 = \pm 1{,}41\delta_1. \quad (A.3)$$

Библиография

[1] Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии, утвержденные приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 12 августа 2022 г. № 811

[2] Правила противопожарного режима в Российской Федерации, утвержденные Постановлением Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2020 г. № 1479

УДК 621.3.049.77:621.3.083:006.354

ОКС 17.080
17.220.20
31.080

Ключевые слова: микросхемы, цифро-аналоговые преобразователи, характеристика преобразования

Редактор *Е.Ю. Митрофанова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 09.01.2025. Подписано в печать 06.02.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,58.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru