

в результате составляющая погрешности измерения называется *наследственной погрешностью*.

Последние два слагаемых каждого из равенств (18) и (19) образуют в сумме собственную аддитивную абсолютную погрешность средства измерений.

3.2.3. Метрологическая структурная схема прямых измерений мгновенных значений измеряемой величины с помощью цифровых средств измерений

Метрологическая структурная схема прямых измерений приведена на рис. 16 и отличается от предыдущей (рис. 15) тем, что в цифровых средствах измерений осуществляется дискретизация непрерывно изменяющейся измеряемой величины, в результате чего может возникать погрешность, вызванная смещением моментов времени фактического измерения по отношению к заданным моментам t_i на Δt_i . В метрологической структурной схеме это обстоятельство отражено посредством представления в цепочке идеального преобразования, показанной пунктиром, операции идеальной дискретизации, которая должна выполняться строго по расписанию, а именно в моменты времени t_i . В цепочке реальных преобразований дискретизация выполняется в моменты времени, смещенные на время Δt_i , то есть в моменты времени $t_i + \Delta t_i$.

Смещение моментов дискретизации Δt_i называется *погрешностью датирования отсчетов*. Эта погрешность порождается затратами времени на аналого-цифровое преобразование, она непостоянна и зависит от значения измеряемой величины. Несмотря на смещение моментов измерения

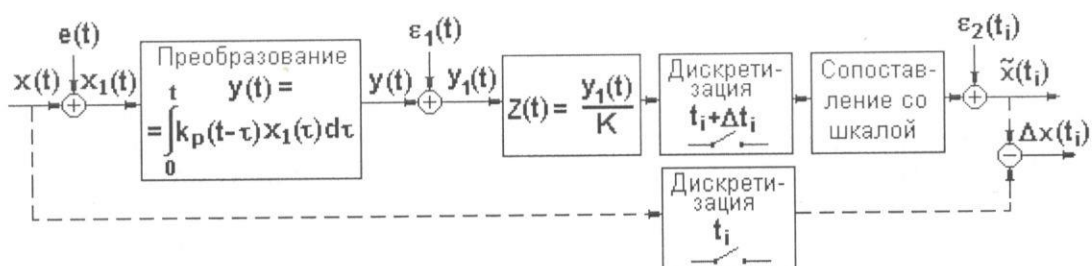


Рис. 16. Метрологическая структурная схема прямых измерений изменяющихся величин. Средство измерений линейное цифровое

относительно расписания, результаты измерений регистрируются, как относящиеся к заданным моментам времени t_i . Но за время Δt_i значение измеряемой величины изменяется, в результате чего возникает погрешность измерения мгновенного значения изменяющейся величины, именуемая *апертурной погрешностью*, которая должна учитываться в составе погрешности ϵ_2 . Аналогичная погрешность возникает и при расшифровке аналоговых записей переменных во времени величин. При этом она входит в состав погрешности расшифровки (см. раздел 3.2.2).

Апертурная погрешность аналого-цифрового преобразования может быть существенно снижена за счет применения перед АЦП специальных устройств, а именно устройств выборки-хранения (УВХ).

Апертурная погрешность равна нулю при измерении неизменных во времени величин.

В данном случае для погрешности измерений как функции времени применимо выражение (18), в котором следует все обозначения времени t снабдить индексом ' i '. Выражение в частотной области получается в результате применения к такому выражению *дискретного преобразования Фурье*.

Вторая особенность цифровых средств измерений заключается в том, что выходной величиной (для приборов – показанием) является число, которое представлено конечным числом разрядов, двоичных или десятичных. Поэтому реальная и номинальная функции преобразования цифровых измерительных приборов (выходной код – десятичный) может быть записана в виде

$$\hat{N} = \text{Ent}[f_p(x)10^n], \quad N = \text{Ent}[f(x)10^n]. \quad (20)$$

Функции преобразования аналого-цифровых преобразователей с двоичным выходным кодом имеют вид

$$\hat{N} = \text{Ent}[f_p(x)2^n], \quad N = \text{Ent}[f(x)2^n], \quad (21)$$

где x – величина на входе средства измерений, N – выходной код (показание) цифрового средства измерений, n – целое число, $\text{Ent}[\bullet]$ – операция выделения целой части числа ‘•’.

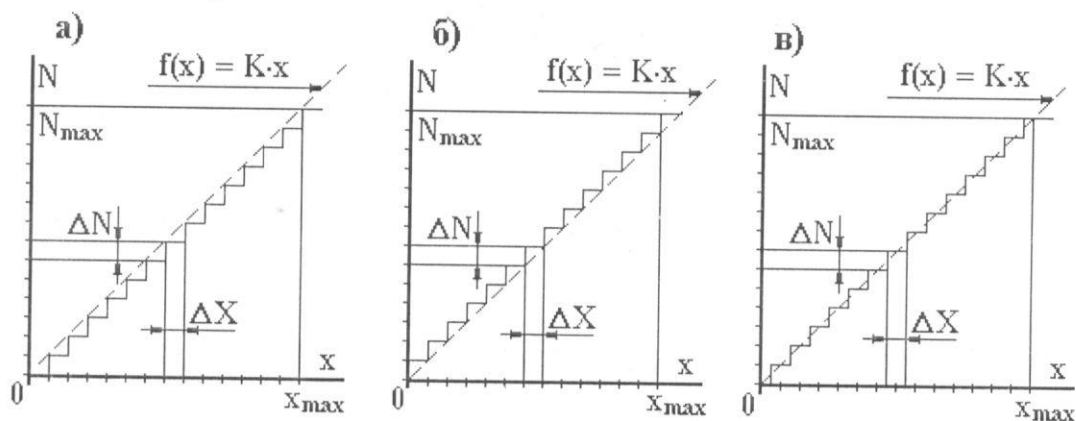


Рис. 17. Примеры функций преобразования цифровых измерительных приборов и АЦП

В результате функции преобразования цифровых средств измерений имеют ступенчатый характер и, строго говоря, никогда не станут линейными. Тем не менее характер зависимости выходного кода от входной величины именуют по характеру номинальной функции $f(x)$, которая присутствует в выражениях (20) и (21). Наиболее распространенными являются линейные цифровые средства измерений, номинальная функция преобразования которых есть $\hat{N} = \text{Ent}[Kx2^n]$. В специальных случаях могут применяться квадратичные ($f(x) = Kx^2$) и логарифмические ($f(x) = K \log x$) цифровые средства измерений.

Примеры функций преобразования цифровых средств измерений представлены на рис. 17, на которых высота каждой ступени ΔN есть единица младшего разряда выходного кода, а длина ступеньки ΔX – цена единицы младшего разряда выходного кода, которая выражается в единицах

измеряемой величины. Из этих рисунков видно, что помимо погрешности, возникающей из-за отличия $f_p(x)$ от $f(x)$, и собственной аддитивной погрешности, в составе инструментальной погрешности цифровых средств измерений непременно присутствует погрешность округления, не превышающая значения цены младшего разряда выходного кода.

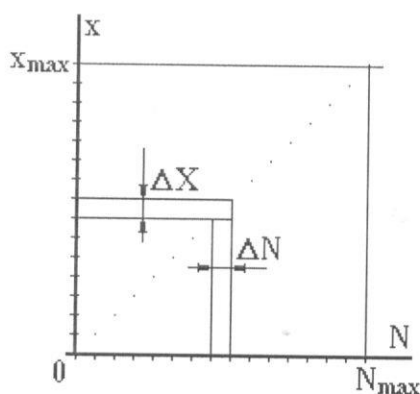


Рис. 18. Пример функции преобразования линейного ЦАП

Три примера, представленные на рис.17, демонстрируют три варианта расположения ступенчатой функции преобразования по отношению к номинальной. Наиболее выгодным является размещение ступенчатой функции со сдвигом на половину цены деления младшего разряда (см. рис.17, в)

Функции преобразования цифро-аналоговых преобразователей обратны функциям цифровых приборов и АЦП и тоже ступенчатые (рис. 18). У ЦАП

длина каждой ступеньки функции преобразования ΔN есть единица младшего разряда входного кода, а высота ступеньки ΔX — цена единицы младшего разряда входного кода, которая выражается в единицах выходной величины.

Показателем и характеристикой линейности цифровых измерительных приборов, АЦП и ЦАП является постоянство цены единицы младшего разряда кода (выходного или входного) во всем диапазоне измеряемых или воспроизводимых на выходе (у ЦАП) величин. В случаях, когда цена единицы младшего разряда непостоянна, это свойство называется *дифференциальной нелинейностью* и может нормироваться в специфических ситуациях. *Интегральная нелинейность* (то есть отличие функции $f(x)$ в (20) и (21) от линейной) также может нормироваться.

3.3. Косвенные измерения

Метрологическую структурную схему косвенных измерений рассмотрим для случаев, когда результаты косвенных измерений вычисляются

с помощью компьютера, в память которого поступают или в нем формируются результаты прямых измерений, являющиеся входными данными для компьютерных программ. Эта же структурная схема справедлива и для тех случаев, когда результаты прямых измерений считываются со шкал аналоговых приборов, в том числе, стрелочных, или с цифровых индикаторов цифровых приборов, или с диаграмм, на которых зарегистрированы значения изменяющихся измеряемых величин, а затем результаты вводятся в компьютер с клавиатуры или обрабатываются вручную.

Наиболее общая процедура получения результатов косвенных измерений реализуется в многоканальных измерительных информационных системах (ИИС). В общем случае искомый результат вычисляется, как функция многих переменных – результатов прямых измерений параметров сложного объекта, полученных в различных измерительных каналах ИИС. В частных случаях результат косвенного измерения может быть функцией одной величины, измеряемой прямым методом. Такая ситуация возникает не только в ИИС, но и при применении цифрового прибора, оснащенного процессором или компьютером, или при ручной обработке результатов прямых измерений одной величины.

В метрологической структурной схеме, представленной на рис. 19, в качестве исходных данных используются результаты прямых измерений постоянных или изменяющихся измеряемых величин.

Итак, пусть искомая величина w связана с величинами x_1, x_2, \dots, x_k , подлежащими прямым измерениям, функциональной зависимостью $w = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$. Реальные вычисления дадут результат косвенного измерения $\tilde{w} = f_p(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_k)$, содержащий абсолютную погрешность

$$\Delta w = \tilde{w} - w = f_p(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_k) - f(x_1, x_2, \dots, x_k),$$

где $\tilde{x}_1 = x_1 + \Delta x_1, \tilde{x}_2 = x_2 + \Delta x_2, \dots, \tilde{x}_k = x_k + \Delta x_k$ - результаты прямых измерений величин x_1, x_2, \dots, x_k , индекс 'p' обозначает функцию, фактически реализуемую при вычислениях.

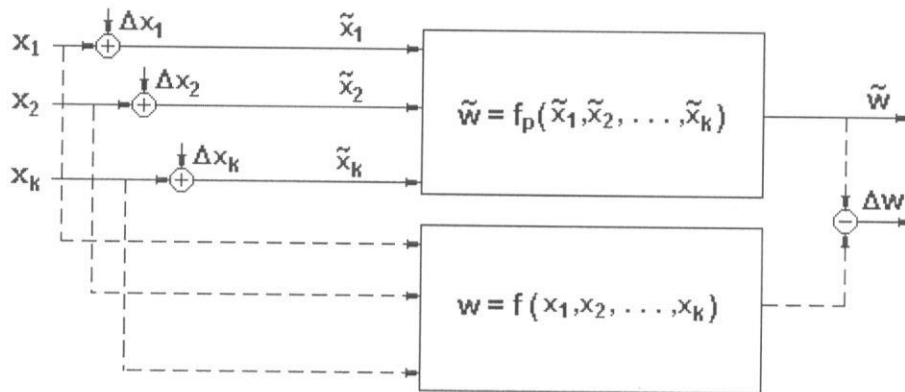


Рис. 19. Метрологическая структурная схема косвенных измерений, выполняемых ИИС

Погрешность результатов косвенных измерений возникает по следующим причинам:

приближенная реализация в цифровых ЭВМ непрерывных функций и операций, таких, например, как интегрирование и дифференцирование;

погрешности $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_k$ результатов прямых измерений, порождающие *наследственные погрешности* результата косвенных измерений;

погрешности, вызванные округлением при вычислениях, остановкой итерационных процессов и иными причинами.

При измерениях изменяющихся во времени измеряемых величин, выполняемых с помощью многоканальных ИИС, *апертурная погрешность*, входящая в состав погрешности результатов прямых измерений, может сильно возрасти. Это вызвано тем, что измерительные каналы ИИС опрашиваются компьютером последовательно и время опроса складывается из времени измерения в каждом канале, времени реализации протокола обмена и времени, обусловленного быстродействием устройств интерфейсного сопряжения. Поэтому моменты фактических измерений, выполняемых такими каналами, различаются. В то же время каждый результат косвенного измерения приписывается одному моменту времени, как правило, моменту времени обращения к первому каналу. При большом количестве каналов различие моментов времени фактических измерений величин, входящих в расчетные формулы, может оказаться существенным и вызвать значительные апертурные погрешности результатов косвенных измерений.

Таким образом, при измерении изменяющихся во времени величин с помощью многоканальных ИИС выражение для погрешности результата косвенных измерений будет иметь вид

$$\Delta w(t_i) = f_p(\tilde{x}_1(t_i + \Delta t_1), \tilde{x}_2(t_i + \Delta t_2), \dots, \tilde{x}_k(t_i + \Delta t_k)) - f(x_1(t_i), x_2(t_i), \dots, x_k(t_i))$$

где $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_k$ – погрешности датирования отсчетов в измерительных каналах ИИС, с увеличением номера канала эти погрешности возрастают.

Повторим, что значения погрешностей датирования отсчетов в ИИС определяются протоколом обмена, зависят от быстродействия устройств, обеспечивающих опрос каналов, и от быстродействия программ, управляющих опросом каналов.

Радикальным средством уменьшения погрешностей датирования отсчетов в многоканальных измерительных системах является многоканальное устройство выборки – хранения (УВХ). УВХ устанавливается перед коммутатором, и нормальный режим его работы – это режим слежения, то есть повторения выходным сигналом сигнала на входе. В момент t_i начала опроса каналов от компьютера по интерфейсному соединению приходит сигнал, переводящий УВХ в режим одновременного запоминания всех сигналов на выходе каналов системы. Коммутатор опрашивает каналы и по очереди отправляет мгновенные значения выходных сигналов, относящихся к одному и тому же моменту времени, на вход АЦП и далее в память компьютера для регистрации или обработки. Время перехода УВХ от режима слежения в режим запоминания составляет десятки наносекунд, а разброс этого времени еще меньше. Таким образом влияние погрешности датирования отсчетов устраняется практически полностью.

3.4. Классификация погрешностей средств измерений и результатов измерений

В соответствии с определениями (см. гл. 1) и видами погрешностей средств измерений и результатов измерений эти погрешности классифицируются по следующим признакам.

Признак – *происхождение*:

Инструментальные;

методические погрешности, то есть погрешности, вызванные несовершенством используемого метода измерений;

погрешности применения.

Признак – *условия эксплуатации*:

основная погрешность (intrinsic error) – погрешность средства измерений, то есть инструментальная погрешность в *нормальных условиях эксплуатации* (in reference conditions),

погрешность в *рабочих условиях эксплуатации* (in normal conditions) – включает в себя две составляющие: основную погрешность и *дополнительную погрешность*.

Такое разделение погрешностей необходимо для того, чтобы обеспечить арбитражные испытания средств измерений в одних и тех же нормальных условиях. Это выражено в английском наименовании нормальных условий: "reference conditions".

Нормальные условия эксплуатации устанавливаются в соответствии с ГОСТ 8.395 "Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования". Нормальные условия – это довольно жесткие ограничения на пределы допускаемых изменений значений влияющих величин (например, температура и влажность окружающей среды, атмосферное давление, параметры внешних электрических и магнитных полей, напряжение питания, солнечная радиация, амплитуда вибраций, интенсивность солнечной радиации и др.), при которых определяется и контролируется основная погрешность средств измерений во время их метрологических испытаний. Такие ограничения необходимы для обеспечения взаимного доверия к результатам контроля метрологических характеристик, проводимого в стандартизованных условиях. Рекламации, вызванные превышением основной погрешностью установленной для нее нормы, принимаются только в том случае, когда это превышение установлено в нормальных условиях.

Дополнительная погрешность (complementary error) – составляющая погрешности средства измерений, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или ее выхода за пределы нормальной области значений.

Признак – *характер зависимости от измеряемой величины* :

мультипликативная погрешность, пропорциональная значению измеряемой величины;

аддитивная погрешность – не зависит от измеряемой величины.

Признак – *характер проявления*:

систематическая погрешность;

случайная погрешность.

Признак – *режим измерения*:

погрешность измерений в статическом режиме;

погрешность измерений в динамическом режиме.

Признак – *способ представления*:

абсолютные погрешности;

относительные погрешности;

приведенные погрешности (fiducial errors).

Абсолютные и относительные погрешности могут служить характеристиками качества результатов измерений и средств измерений. Приведенные погрешности являются характеристикой только основной инструментальной погрешности средств измерений.

Приведенные погрешности вычисляются, как отношение абсолютной инструментальной погрешности средства измерений, определяемой формулами (8), (10), (13), к нормирующему значению измеряемой величины (fiducial value of a measurand) и выражаются, как правило, в процентах:

$$\gamma_{СИ} = \frac{\Delta_{инст}}{x_{норм}} 100\%.$$

В зависимости от особенностей средства измерений и характера зависимости абсолютной погрешности от измеряемой величины в качестве нормирующего значения $x_{норм}$ могут использоваться следующие значения:

$x_{\text{норм}} = |x|_{\text{max}}$ – максимальное абсолютное значение измеряемой величины из диапазона измерения, выбирается, когда основной вклад в инструментальную погрешность вносит аддитивная составляющая, при использовании такого нормирующего значения для средств измерений нормируется приведенная погрешность,

$x_{\text{норм}} = |x|$ – модуль текущего значения измеряемой величины или результат измерения, выбирается, когда основной вклад в инструментальную погрешность вносит мультипликативная составляющая, при использовании такого нормирующего значения для средств измерений нормируется относительная погрешность,

$x_{\text{норм}} = |x_{\text{max}} - x_{\text{min}}|$ – ширина диапазона измерения, выбирается, когда нуль шкалы находится внутри или вне диапазона измерения, при использовании такого нормирующего значения для средств измерений нормируется приведенная погрешность.

Только для аналоговых омметров (см. раздел 4.2), на шкале которых имеют отметки границ диапазона измерения '0' и ' ∞ ', применяется особое выражение для приведенной погрешности, в котором абсолютная погрешность и нормирующее значение измеряемой величины выражаются в единицах длины шкалы: $\Delta l [\text{мм}] = k \Delta_{\text{инст}}, L [\text{мм}]$ и

$$\gamma_{\text{ном}} = \frac{\Delta l}{L} 100 \quad .$$

Приведенные или относительные погрешности применяются при назначении и установлении норм (пределов допускаемых значений) на инструментальные погрешности средств измерений, как правило, для нормальных условий эксплуатации. Число, равное пределу допускаемой основной относительной или приведенной погрешности, используется в качестве условного обозначения *класса точности* (class index, accuracy class) измерительных приборов и преобразователей.

Класс точности средств измерений, погрешность которых нормируется линейной формулой, обозначается в виде несокращаемой дроби c/d.

3.5. Метрологические характеристики средств измерений, подлежащие нормированию

3.5.1. Общие положения

Анализ метрологических структурных схем, выполненный ранее в разделах 3.1 – 3.3, свидетельствует о том, что инструментальная погрешность результатов измерений определяется свойствами средств измерений. Характеристики этих свойств называются *метрологическими характеристиками* средств измерений.

В ГОСТ 8.009–84 “Государственная система обеспечения единства измерений. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений” приводится определение метрологических характеристик и их перечень, общий подход к выбору номенклатуры метрологических характеристик, а также способы установления норм на них и примеры применения.

В технической документации на средства измерений следует указывать перечень метрологических характеристик и нормы на них, исходя из того, что метрологические характеристики должны позволять:

прогнозировать характеристики погрешности результатов измерений при приобретении средства измерений или при планировании измерений,

оценивать характеристики погрешности результатов измерений – при выполнении измерений в реальных условиях эксплуатации,

контролировать сохранность при их испытаниях средств измерений с приемлемыми затратами без потери достоверности контроля.

Нормы на метрологические характеристики средств измерений устанавливаются в целях обеспечения гарантий их соблюдения и сохранности на момент приобретения средства измерений, в период их эксплуатации и хранения. В соответствии с ГОСТ 8.009–84 эти нормы сообщаются пользователю в нормативных документах: технических условиях (ТУ) или технических описаниях (ТО), а также в рекламной документации (выборочно) в виде пределов допускаемых значений метрологических характеристик. Гарантии сохранности метрологических характеристик обеспечиваются производителем и контролирующими государственными и ведомственными метрологическими органами путем метрологических испытаний средств измерений.

Метрологические характеристики делятся на следующие группы:

характеристики погрешности средств измерений;
характеристики преобразования сигналов измеряемых величин и сигналов измерительной информации;
характеристики взаимодействия с объектом и внешними средствами измерений,
прочие метрологические характеристики, то есть метрологические характеристики, которые в соответствии с ГОСТ 8.009–84 при технической необходимости могут устанавливаться дополнительно сверх указанных в этом стандарте.

3.5.2. Характеристики погрешности средств измерений

Понятия, термины и определения, приведенные в этом и следующих разделах, соответствуют ГОСТ 8.009–84 и МИ 2247–93 “Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения”.

Для средств измерений нормируются характеристики основной и дополнительной погрешностей. Напомним, что основная погрешность – это погрешность средства измерений в нормальных условиях эксплуатации.

При отсутствии или пренебрежимой малости случайной составляющей погрешности устанавливается предел допускаемой основной погрешности, которая может быть представлена в виде абсолютной либо относительной погрешности либо как приведенная к некоторому *нормирующему значению* (fiducial value) измеряемой величины.

При наличии существенной случайной составляющей погрешности нормы на характеристики систематической и случайной составляющих устанавливаются отдельно:

предел допускаемой систематической составляющей погрешности;
предел допускаемого среднеквадратического значения случайной составляющей погрешности.

Допускается устанавливать характеристику погрешности, которая включает в себя обе составляющие: систематическую и случайную. Такой характеристикой является интервал, заданный нижней (Δ_H) и верхней (Δ_B) границами, между которыми содержатся значения основной погреш-

ности с вероятностью, не меньшей заданной вероятности P_0 , обычно равной 0,80 – 0,95, то есть

$$P(\Delta_H \leq \varepsilon \leq \Delta_B) \geq P_0.$$

Как правило, эти границы симметричны относительно нуля:

$$\Delta_H = -\Delta_B = -\Delta_X.$$

При зависимости погрешности средства измерений от измеряемой величины нормы на характеристики погрешности могут быть выражены в виде функции или графика. Самым распространенным видом такой зависимости является линейная зависимость, которая существует в линейном средстве измерений при соизмеримых значениях аддитивной и мультипликативной составляющих погрешности (см. рис. 12). В этих случаях, как было указано в разделе 3.1.3, в отечественной метрологической практике нормируется основная относительная погрешность. Для нормирования применяется *двучленная формула*, которая выводится из общего выражения для абсолютной инструментальной погрешности (12).

В целях получения выражения для относительной погрешности разделим обе части равенства (12) на x :

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{инст}} &= \frac{\Delta K}{K} 100\% + \frac{\varepsilon}{x} 100\% = \frac{\Delta K}{K} 100\% + \frac{\varepsilon}{|x_{\text{max}}|} 100\% + \frac{\varepsilon}{x} 100\% - \frac{\varepsilon}{|x_{\text{max}}|} 100\% = \\ &= \left(\frac{\Delta K}{K} + \frac{\varepsilon}{|x_{\text{max}}|} \right) 100\% + \frac{\varepsilon}{|x_{\text{max}}|} \left(\frac{|x_{\text{max}}|}{x} - 1 \right) 100\%. \end{aligned}$$

Таким образом, если будут установлены такие значения $c > 0$ и $d > 0$, что

$$\left(\left| \frac{\Delta K}{K} \right| + \frac{|\varepsilon|}{|x_{\text{max}}|} \right) 100\% \leq c, \quad \frac{|\varepsilon|}{|x_{\text{max}}|} 100\% \leq d,$$

то пределы допускаемой основной относительной погрешности могут быть нормированы в соответствии с ГОСТ 8.401 *двучленной формулой*:

$$|\gamma_{\text{инст}}| \leq \left[c + d \left(\frac{|x_{\text{max}}|}{|x|} - 1 \right) \right] \%, \quad (22)$$

в которой значения коэффициентов c и d выбираются из ряда чисел, приведенного в ГОСТ 8.401 (см. также разд. 5.1):

$1 \cdot 10^n$; $1,5 \cdot 10^n$; $(1,6 \cdot 10^n)$; $2 \cdot 10^n$; $2,5 \cdot 10^n$; $(3 \cdot 10^n)$; $4 \cdot 10^n$; $5 \cdot 10^n$; $6 \cdot 10^n$, где $n = 1, 0, -1, -2, \dots$. Значения, указанные в скобках, не рекомендованы и используются в порядке исключения.

Снова обратимся к абсолютной инструментальной погрешности:

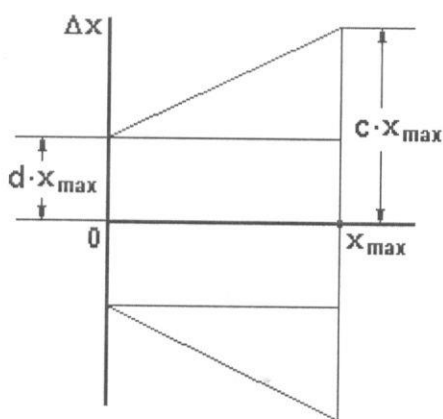


Рис. 20. Пределы допускаемой основной погрешности линейных средств измерений

$$\Delta_{\text{инст}} = \frac{\gamma_{\text{инст}} \cdot x}{100} = \frac{\Delta K}{K} x + \varepsilon. \quad (23)$$

Из выражений (22), (23) следует, что допускаемые значения абсолютной инструментальной погрешности линейного средства измерений могут быть ограничены двумя прямыми линиями, (см. рис. 12, 20. В начале диапазона измерения при $x = 0$ погрешность определяется только аддитивной составляющей ε , а d есть не что иное, как предел допускаемой приведенной аддитивной погрешности. В конце диапазона

при $x = x_{\text{max}}$, как это следует из двучленной формулы, пределом допускаемой приведенной погрешности является коэффициент c .

Нормы на характеристики дополнительной погрешности устанавливаются в виде пределов допускаемых *изменений* характеристик основной погрешности, вызванных отклонением влияющих величин от нормальных значений. Эти пределы указываются в долях от норм на соответствующие характеристики основной погрешности по каждой из влияющих величин раздельно.

При незначительной дополнительной погрешности или по требованию пользователя вместо указания характеристик основной погрешности могут быть приведены характеристики погрешности средства измерений для расширенной области изменения влияющих величин вплоть до области, соответствующей рабочим условиям применения (в англоязычных документах для обозначения рабочих условий применения средств измерений используется термин “normal conditions”). В таких случаях указание характеристик дополнительной погрешности оказывается излишним. Но

при этом следует иметь в виду, что экспериментальный контроль характеристик погрешности, установленных для рабочих условий, сильно усложняется, поскольку придется искусственно создавать указанные условия путем контролируемого воспроизведения совместного действия влияющих величин в широкой области значений и в достаточном объеме, требующемся для размещения в нем средства измерений.

К характеристикам погрешности средств измерений относятся метрологические характеристики, отражающие погрешности отсчитывания результата измерения или его округления при представлении результатов измерений или значений физических величин в цифровом коде.

Таковыми метрологическими характеристиками являются:

цена наименьшего деления шкалы,

цена младшего разряда выходного кода АЦП или индикатора цифрового прибора,

значение наименьшей ступени физической величины, которая воспроизводится многозначными мерами, или величины, формируемой на выходе цифроаналогового преобразователя.

3.5.3. Характеристики преобразования измеряемой величины и сигналов измерительной информации в измерительных информационных системах

В документации на измерительный преобразователь должны быть указаны:

номинальная функция преобразования (иначе – номинальная статическая характеристика преобразования) измеряемой величины $f(x)$;

динамические характеристики, описывающие преобразование изменяющихся во времени сигналов измеряемой величины или сигналов измерительной информации.

Форма представления номинальных характеристик – функция, график или таблица. Если номинальная функция преобразования линейна и проходит через начало координат, указывается значение номинального коэффициента преобразования.

Пределы допускаемых отклонений реальной функции преобразования от номинальной не нормируются, поскольку нормами на эти отклонения, по сути, являются нормы, которые установлены на характеристики погрешности.

Динамические характеристики указываются в документации на средства измерений, предназначенные для измерений в динамическом режиме. Предельно допускаемый разброс динамических характеристик на множестве экземпляров средств измерений ограничивается посредством установления граничных динамических характеристик (верхней и нижней).

Примерами динамических характеристик могут служить характеристики, которые были применены ранее при анализе метрологических структурных схем измерений в динамическом режиме в разд. 3.2.2, а именно *импульсная переходная характеристика (весовая функция) $k(t)$* , использованная в выражениях (17, 18), и *комплексная частотная характеристика $K(j\omega)$* , фигурирующая в выражении (19). Эти характеристики называются *полными динамическими характеристиками*. Они взаимно-однозначно связаны преобразованием Фурье:

$$K(j\omega) = \int_0^{\infty} k(t)e^{-j\omega t} dt, \quad k(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K(j\omega)e^{j\omega t} d\omega.$$

К полным динамическим характеристикам также относятся *передаточная функция*, которая получается из $K(j\omega)$ простой заменой $j\omega = p$;

амплитудно-частотная характеристика $A(\omega)$ в комплекте с *фазо-частотной характеристикой $\varphi(\omega)$* ;

переходная характеристика $H(t)$.

Физический смысл импульсной переходной характеристики – это выходной сигнал линейного аналогового преобразователя, возникающий как реакция преобразователя на входной сигнал в виде δ -функции, то есть очень короткого импульса, мощность которого достаточна для получения заметного сигнала на выходе.

Переходная характеристика – это выходной сигнал линейного аналогового преобразователя, возникающий как реакция преобразователя на входной сигнал в виде единичного скачка.

$$H(t) = \int_0^t k(\tau) d\tau, \quad k(t) = \frac{dH(t)}{dt}.$$

Амплитудно-частотная характеристика – это зависящее от частоты отношение амплитуды синусоидального выходного сигнала к амплитуде вызвавшего его синусоидального входного сигнала (то есть зависящий от частоты коэффициент усиления амплитуд гармоник входного сигнала).

Фазочастотная характеристика – зависящий от частоты сдвиг фазы выходного синусоидального сигнала по отношению к фазе вызвавшего его синусоидального входного сигнала и его гармоник.

$$A(j\omega) = |K(j\omega)|, \quad K(j\omega) = A(j\omega)e^{j\varphi(\omega)}.$$

Комплексная частотная характеристика реального средства измерений представляет собой отношение двух полиномов от $j\omega$, причем степень полинома числителя не превосходит степени полинома знаменателя.

На рис. 21 в качестве примеров представлены графики некоторых из перечисленных характеристик первого и второго порядка, чему соответствуют индексы у обозначений этих характеристик. Переходная характеристика и импульсная переходная характеристика второго порядка имеют колебательный характер, амплитудно-частотная характеристика может иметь максимум, а ее фазочастотная характеристика с увеличением частоты стремится к $(-\pi/2)$. Фазочастотные характеристики всех физически реализуемых динамических звеньев отрицательны. Это говорит о том, что преобразование изменяющихся во времени величин сопровождается запаздыванием, различным на различных частотах.

В ряде случаев достаточными для применения оказываются менее подробные *частные динамические характеристики*, такие как *время реакции* t_p средства измерений (см. рис. 21) и граничные значения частот, между которыми амплитудно-частотная характеристика отклоняется от своего номинального значения не более, чем на заданную величину. На рис. 21 показана лишь верхняя частота ω_B частотной полосы.

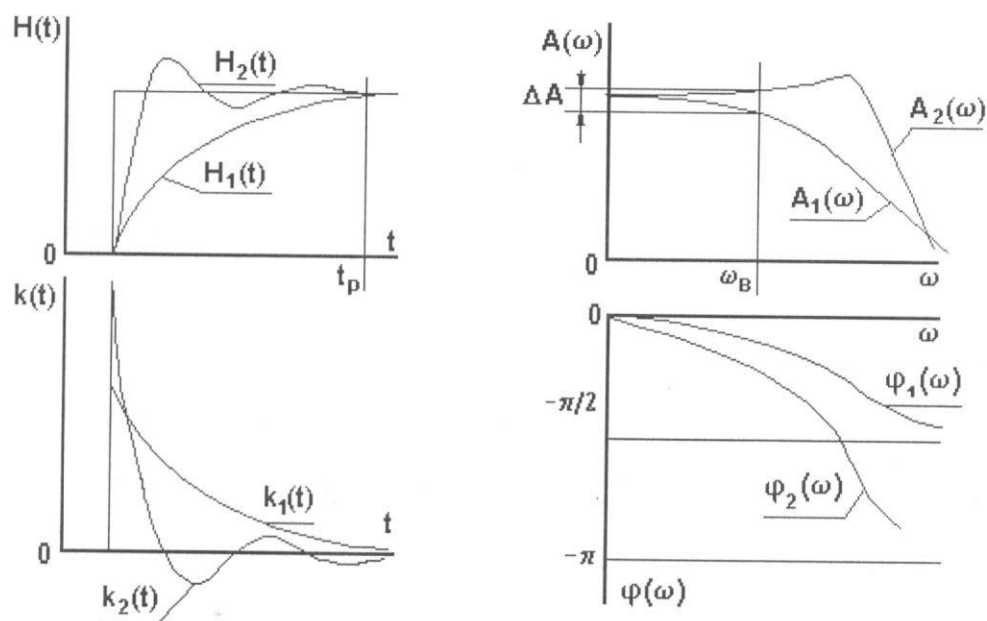


Рис. 21. Полные и частные динамические характеристики

Время реакции средства измерений (response time) – интервал времени между моментом скачкообразного изменения сигнала на входе средства измерений и моментом, начиная с которого выходной сигнал отличается от своего установившегося значения не более чем на заданную величину (например, не более чем на предел допускаемой основной погрешности).

Динамические характеристики цифровых средств измерений:

максимальная частота измерений (число измерений в единицу времени);

длительность цикла одного преобразования;

погрешность датирования отсчетов, в качестве которой в большинстве случаев используется длительность цикла преобразования.

Динамические характеристики цифроаналоговых преобразователей и программно управляемых калибраторов:

максимальный темп смены входного кода при условии установления значения выходной величины с нормированной точностью;

время реакции на смену входного кода.

При управлении цифровым измерительным прибором, аналого-цифровым преобразователем, ЦАП или калибратором от компьютера зна-

чения перечисленных характеристик должны указываться с учетом быстрого действия элементов используемого интерфейса, управляющих программ и компьютера.

3.5.4. Характеристики взаимодействия с объектом и внешними средствами измерений

Характеристики свойств средства измерений, отражающие их способность к взаимодействию с внешними объектами или устройствами:

диапазон изменения измеряемой величины на входе средства измерений (*диапазон измерения*),

входное сопротивление (или входной импеданс, или сила потребляемого от объекта тока) для средств измерений силы тока, напряжения, мощности, электрической энергии, измерительных преобразователей с электрическим входным сигналом,

выходное сопротивление (или выходной импеданс) для аналоговых измерительных преобразователей с электрическим выходным сигналом,

другие характеристики средств измерений, отражающие их способность влиять на объект измерения, на информативные параметры сигнала измеряемой величины,

вид выходного кода, количество разрядов выходного кода аналого-цифровых преобразователей и цифровых приборов, снабженных устройствами связи с компьютером (процессором),

вид входного кода, количество разрядов входного кода, цена единицы младшего разряда входного кода ЦАП и кодоуправляемых калибраторов.

3.5.5. Метрологические характеристики однозначных и многозначных мер

Для мер, в том числе, для государственного эталона и государственных стандартных образцов нормируются метрологические характеристики из следующего перечня.

1. Для однозначных мер нормируются следующие метрологические характеристики:

номинальное значение величины, воспроизводимое мерой,
предел допускаемой основной относительной погрешности воспроиз-
ведения значения величины,

действие влияющих величин на значения воспроизводимой величины,
которое, в свою очередь, нормируется одним из следующих способов:

пределами допускаемых дополнительных погрешностей – по
каждой влияющей величине отдельно,

функциональной зависимостью значения воспроизводимой ве-
личины от влияющих величин – для введения поправок.

2. Для многозначных мер нормируются следующие метрологические
характеристики:

диапазон значений величины, воспроизводимых мерой;

значение наименьшей ступени величины, воспроизводимой мерой,

выходное сопротивление или импеданс – для мер, воспроизводящих
электрические величины, или характеристика взаимодействия меры с уст-
ройством, для которого воспроизводится величина;

пределы допускаемой основной относительной погрешности воспро-
изведения значений величины (нормируются двучленной формулой путем
задания коэффициентов c и d);

пределы допускаемой дополнительной погрешности, нормируются по
каждой влияющей величине отдельно;

для мер, управляемых дистанционно (например, от компьютера) ука-
зывается вид входного кода, диапазон его возможных значений, номиналь-
ная цена единицы младшего разряда входного кода, время реакции выход-
ного сигнала на изменение входного кода на значение, равное 80 % диа-
пазона значений этого кода.