Методы повышения точности измерений

Для решения задачи проведения правильных и достоверных измерений научные сотрудники, профессиональные измерители, квалифицированные метрологи применяют различные методы повышения точности измерений. Согласно [1-3], классификация методов повышения точности измерений должна строится по иерархическому порядку получения достоверных результатов измерений. Вначале необходимо определиться с методами снижения составляющих погрешности и затем применить нужные механизмы и решения по улучшению точности результата измерений.

С учетом требований действующих нормативных документов [4-5], классификация методов повышения точности измерений должна быть построена так, как показана на рисунке 1.

Рисунок 1. Классификация методов повышения точности измерений

Теперь рассмотрим каждый метод по отдельности:

<u>Метод уменьшения случайной погрешности.</u>

Общеизвестно, что в целях уменьшения случайной составляющей погрешности измерений увеличивают число наблюдений(или измерений). Оценку среднеквадратического отклонения результата измерения, которая определяет собой

случайную погрешность, теоретически можно сделать, как угодно малой, увеличив число наблюдений ***n***.

Однако на практике в большинстве случаев трудно обеспечить постоянство самого объекта измерений в течение длительного времени, а это может при увеличении числа наблюдений ***n*** привести к увеличению погрешности, а не к ее уменьшению. Многие систематические погрешности измерения, являющиеся не изменяющимися во времени функциями влияющих величин или обусловленные стабильными физическими эффектами, могут быть теоретически рассчитаны и устранены введением поправок или использованием специальных корректирующих цепей.

Другим радикальным способом устранения систематических погрешностей является поверка средств измерений (СИ) в рабочих условиях с целью определения поправок к результатам измерения. Это дает возможность учесть все систематические погрешности без выяснения причин их возникновения. Степень коррекции систематических погрешностей в этом случае, естественно, зависит от метрологических характеристик используемых эталонных приборов и случайных погрешностей поверяемых приборов.

Другим методом повышения точности измерений, за счет уменьшения случайной составляющей погрешности является **использование параллельных одновременных измерений одной и той же физической величины**. Для этого необходимо использовать сразу несколько СИ. Результаты наблюдений, полученных при этих измерениях, обрабатывают совместно. Теоретическая основа этого метода та же, что и предыдущего метода.

Ранее были рассмотрены основные методы исключения систематической погрешности, а именно: методы, основывающиеся на устранении источников систематической погрешности до начала измерений и методы исключения систематических погрешностей по окончании измерений. К числу последних относятся не только применение поправок и поправочных множителей, но и учет дополнительных погрешностей СИ.

Кроме этих методов применяют методы, позволяющие определять и исключать систематическую погрешность в процессе измерений. Последние основываются на такой организации процесса измерений и обработки получаемой измерительной информации, которые обеспечивают исключение погрешности или ее определение. Причем применение таких методов возможно и целесообразно в тех случаях, когда известна природа исключаемой систематической погрешности. К числу этих методов относятся: метод замещения, метод компенсации погрешности по знаку и различные методы, базирующиеся на совместных или совокупных измерениях.

При использовании **метода компенсации погрешности по знаку** процесс измерения организуется таким образом, что известная систематическая погрешность входит в результат каждого из двух повторных измерений с противоположным знаком.

Это позволяет после определения среднего арифметического значения исключить систематическую погрешность.

Сущность методов, базирующихся на совместных или совокупных измерениях приводящих к уменьшению систематических погрешностей, состоит в том, что в процессе данных измерений изменяют параметр, отвечающий за возникновение систематической погрешности, или осуществляют измерение физической величины совместно и последовательно с несколькими вспомогательными мерами. В результате получают систему независимых уравнений, содержащих основные и дополнительные составляющие результата измерений, из решения которой определяют значения измеряемой физической величины, но уже с учетом систематической погрешности.

Одним из наиболее радикальных путей повышения точности измерений при прочих равных условиях является использование **более точных СИ**.

Появление и развитие микроэлектроники и микропроцессоров, обеспечивающие возможность практически полной автоматизации самых сложных измерительных процессов, позволили использовать для увеличения точности СИ, рассмотренные выше методы повышения точности измерений.

Классификация методов повышения точности СИ, которая применяется производителями СИ при изготовлении СИ, приводится на рисунке 2.

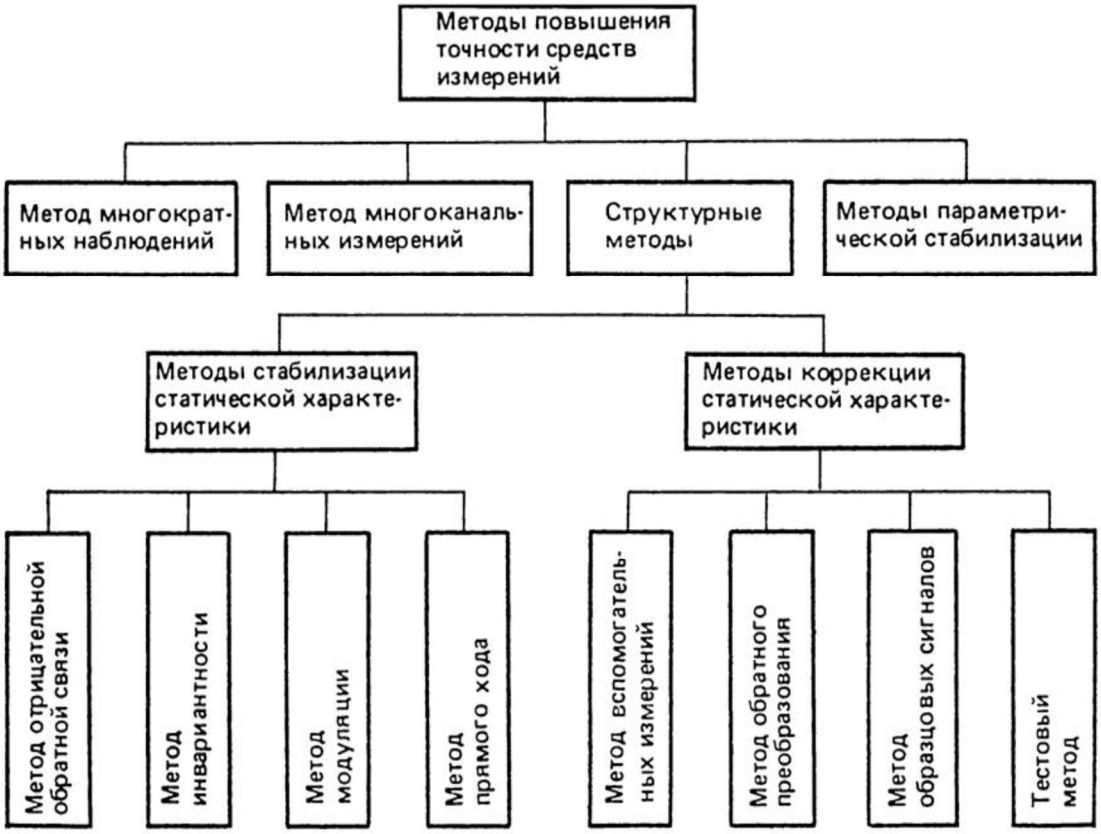

Рисунок 2. Классификация методов повышения точности средств измерений

В целях изучения данной классификации методов повышения точности СИ рассмотрим каждый из приводимых методов в отдельности:

Основной и часто используемым является ***метод многократных наблюдений(или измерений)***. Он используется для уменьшения случайной составляющей погрешности СИ и состоит в том, что: за некоторый постоянный интервал времени, отведенный для измерения, выполняют несколько наблюдений, затем с помощью вычислительного устройства(процессора), входящего в состав данного СИ, вычисляют среднее арифметическое значение измеряемой величины и оценку среднеквадратического отклонения результата измерения. Данный метод автоматизирован и применяется во многих современных цифровых СИ, например.

Второй метод - ***метод многоканальных измерений*** аналогичен рассмотренному методу параллельных измерений. Современные СИ с помощью которых реализуется данный метод, содержат несколько идентичных по характеристикам параллельных измерительных цепей (каналов) и вычислительное устройство. Последнее, получая измерительную информацию по этим каналам, вычисляет среднее арифметическое значение измеряемой величины и оценку среднеквадратического отклонения результата измерения. Такой метод позволяет уменьшить случайную составляющую погрешности СИ.

Третий - ***метод параметрической стабилизации*,** называемый еще конструктивно-технологическим, состоит в стабилизации статической характеристики СИ. Параметрическая стабилизация реализуется путем изготовления СИ из точных и стабильных элементов, параметры которых мало подвержены:

- внешним влияниям;

- стабилизации параметров питания СИ;

-экранировки СИ от магнитных и электрических полей и т. п.

Данный метод в целом снижает систематическую и случайную погрешности СИ. Он является классическим в современном приборостроении и используется до настоящего времени.

Четвертый - ***структурные методы*** основаны на том, что в состав СИ включаются дополнительные узлы, элементы и меры, обеспечивающие повышение точности этих СИ за счет информации, полученной сих помощью.

Структурные методы повышения точности СИ в свою очередь подразделяются на ***методы, обеспечивающие стабилизацию статической характеристики СИ***, и ***методы, основанные на коррекции этой характеристики***. Это связано с тем, что каждый новый элемент внесенный в

измерительную схему может в свою очередь дать изменения в статистических характеристиках всего СИ в целом. В связи с этим, рассмотрим структурные методы более подробно:

Структурные методы стабилизации статической характеристики СИ состоят из**:**

- **метода отрицательной обратной связи;**

- **метода инвариантности;**

- **метода модуляции;**

и **метода прямого хода;**

Метод отрицательной обратной связи реализуем только при наличии преобразовательных элементов или группы преобразователей, способных осуществлять преобразование выходного сигнала СИ во входной(или обратный преобразователь). Создание таких преобразователей(или цепей отрицательной обратной связи) – часто сложная техническая задача. Применение данного метода обеспечивает уменьшение мультипликативной погрешности и погрешности нелинейности, а относительная аддитивная погрешность при этом не изменяется. В то же время использование такого метода приводит к уменьшению чувствительности СИ. Данный метод повышает точность СИ и наряду с методом параметрической стабилизации является наиболее распространенным.

Метод инвариантности состоит в том, что в СИ помимо измерительной цепи (канала) имеется сравнительная цепь (канал), к которой не подается входной сигнал, но которая, как и измерительная цепь, находится под воздействием некоторой влияющей величины. Причем параметры сравнительной цепи подобраны так, что изменение ее сигнала под действием влияющей величины идентично изменению сигнала измерительной цепи под действием этой величины, т.е. возмущения, вызванные влияющей величиной, поступают в СИ по двум каналам (принцип двухканальности). Использование разности сигналов измерительной и сравнительной цепей

(при дифференциальном включении этих цепей) обеспечивает независимость (инвариантность) результирующего сигнала от названной влияющей величины, т.е. данный метод, обеспечивает исключение дополнительной погрешности, вызванной изменениями некоторой, как правило, основной влияющей величины.

Метод модуляции состоит в том, что сигнал, поступающий на вход СИ, или параметры этого СИ подвергаются принудительным периодическим изменениям (модуляции) с частотой, несовпадающей (обычно более высокой) с областью частот измеряемого сигнала. Использование метода модуляции позволяет уменьшить погрешности от сил трения, явлений поляризации и гистерезиса.

Метод прямого хода состоит в том, что измеряемый сигнал поступает к чувствительному элементу СИ через ключ, с помощью которого осуществляется периодическое во времени отключение измеряемого сигнала от чувствительного элемента и подача к последнему сигнала, значение которого равно нулю. Это обеспечивает работу СИ на восходящей ветви (прямой ход) статической характеристики при всех значениях измеряемого сигнала, что исключает наиболее существенную погрешность многих средств измерений – погрешность от вариации.

Теперь рассмотрим методы коррекции статистической характеристики СИ. Он состоит из:

- метода вспомогательных измерений;

- метода обратного преобразования (итерационный метод);

- метода образцовых сигналов (образцовых мер);

- тестового метода

Метод вспомогательных измерений. Он заключается в автоматизации процесса учета дополнительной погрешности СИ по известным функциям влияния ряда влияющих величин. Для этого осуществляется измерение значений этих величин и с помощью вычислительного устройства, построенного с учетом названных функций влияния, автоматически корректируется выходной сигнал СИ. То есть благодаря вспомогательным измерениям мы определяем и автоматически корректируем точность СИ при выполнении измерений.

Метод обратного преобразования (итерационный метод) базируется на использовании дополнительно в составе СИ, кроме прямой измерительной цепи (прямого преобразователя), цепи, способной осуществлять обратное преобразование выходного сигнала (обратный преобразователь), имеющей существенно большую точность, чем цепь прямого преобразования. Результат измерения получают путем итераций. В процессе каждой итерации последовательно осуществляются: прямое преобразование измеряемой величины и запоминание результата, обратное преобразование запомненного значения этой величины, прямое преобразование сиг нала обратного преобразователя, соответствующего запомненному значению измеряемой величины, и сравнение результатов этих двух преобразований, на основе которого формируется корректирующий сигнал. Обратный преобразователь в данном методе играет роль как бы многозначной меры, по которой корректируется статическая характеристика прямого преобразователя. Метод обратного преобразования позволяет уменьшать в зависимости от используемого алгоритма коррекции аддитивную и мультипликативную погрешности СИ.

Метод образцовых сигналов (образцовых мер) состоит в определении в каждом цикле измерения реальной функции пре образования СИ с помощью образцовых сигналов (мер), т. е. метод состоит в автоматической градуировке СИ в

каждом цикле. Цикл, включает в себя измерение физической величины, поступающей на вход СИ, поочередное измерение одной или нескольких мер, подключаемых вместо измеряемой физической величины на вход СИ, и решение системы уравнений с помощью вычислительного устройства, из которого определяется значение измеряемой физической величины. В этом решении уже учтены изменения реальной статической характеристики, т. е. данный метод сводится к совокупному измерению. Он позволяет уменьшить аддитивную и мультипликативную погрешность, а также погрешность нелинейности.

Тестовый метод сводится к проведению совокупных измерений. В отличие от метода образцовых сигналов в тестовом методе в каждом цикле работы СИ, кроме измерения физической величины, поступающей на вход СИ, осуществляют измерение величин-тестов, каждая из которых формируется из меры и измеряемой величины. В конечном итоге значение измеряемой величины определяется из системы уравнений, решаемой с помощью вычислительного устройства. По существу данный метод является развитием метода образцовых сигналов.

Список использованной литературы:

1. О.В.Полякова. Методы и способы повышения точности измерений. Часть первая. // Главный метролог.- 2018. - №5.
2. Канке А.А., Кошевая И.П. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник, ВУЗ. – Издательство: Форум, 2010. – 416 с.
3. Гугелев А.В. Стандартизация, метрология и сертификация. Учебное пособие, ВУЗ. – Издательство: Дашков и К., 2009. – 272 с.
4. Абдувалиев А.А., Латипов В.Б., Умаров А.С. и др. «Основы стандартизация, метрология, сертификация и управления качеством» – Ташкент: НИИСМС,2007. 555с.
5. МИ 1317-2004 «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров».
6. O‘z DSt 8.016:2002Государственная система обеспечения единства измерений Республики Узбекистан. Методики выполнения измерений. Основные положения.

Подготовил: Утабаев Б.С.,
ведущий инженер БМС при ГУП UNICON.UZ»