

## КАЛИБРОВКА МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СРЕДСТВ

Метод образцовых мер (образцовых сигналов) [1] основан на определении действительного значения измеряемой величины по реальной функции преобразования средства измерения, связывающей образцовые меры с измеряемыми физическими величинами. Реальная функция калибровки определяется в каждом цикле измерения посредством структурной, параметрической или комплексной оптимизации.

Структурная оптимизация определяет структуру функции: вид оператора исчисления или степень полинома, аппроксимирующих с минимальной погрешностью в нормированном диапазоне реальную градуировочную характеристику. Результатом структурной оптимизации служит выявление числа образцовых мер (степени аппроксимирующего полинома или оператора исчисления), автоматически корректирующих градуировочную характеристику к реальной функции калибровки. Параметрическая оптимизация, не изменяя структуру, корректирует весовые коэффициенты полиномов – параметры функций. За счет подбора параметров структура моделируемой функции калибрует реальную функцию с заданной точностью в нормируемом диапазоне. Комплексная оптимизация включает последовательность структурной и параметрической калибровки реальной функции с параллельным, последовательным или смешанным алгоритмом итерации структуры и параметров моделируемой характеристики. К недостаткам методов итерационного приближения относятся нетехнологичность и низкая оперативность из-за многошаговых циклов перебора операторов статистического анализа, аналитические методы решают задачу калибровки оперативно по прямому алгоритму без итерации [2].

Технологичность аналитических методов обусловлена выбором на этапе структурной оптимизации моделируемой характеристики в явном виде с информативными параметрами, отражающими физику аналитического контроля. Калибровка сводится к параметрической оптимизации информативных параметров по образцовым мерам и измеренным физическим величинам для моделирования реальной функции преобразования. Повышение точности калибровки достигается оптимизацией режимов управления и измерения эксперимента. Эксперимент включает последовательность циклов калибровки и измерения, последние определяют по калибровочным характеристикам, параметры которых рассчитывают по алгоритмам, корректирующим измерения по известным значениям образцовых мер. Алгоритмы расчета информативных параметров калибровки, оптимальных режимов управления и измерения действительных значений априори учитывают изменения реальной статической характеристики, т.е. аналитический метод сводится к совокупному измерению, минимизирующему аддитивную и мультипликативную погрешность, а также погрешность нелинейности [1, с. 94].

Структурная оптимизация реальной функции моделью, отражающей физику аналитического контроля, позволяет организовать калибровку в нормированном диапазоне с заданной точностью только по двум образцовым мерам, соответствующим верхней и нижней границам диапазона, а также двум информативным параметрам. В зависимости от числа информативных параметров и пропорциональным им образцовым мерам границ нормированного диапазона возможны четыре метода калибровки, отличающиеся технологичностью и метрологической эффективностью. Различные методы калибровки систематизированы в двумерном адресном пространстве информативных параметров  $\{a_0, a_1\}$  на рис. 1. Проведен сопоставительный анализ четырех методов калибровки  $\{1, 1\}$  и  $\{1, 0\}$ ,  $\{0, 1\}$  и  $\{0, 0\}$ , оценены их преимущества и недостатки на примере определения влажности  $W$  по предельному току  $I_d$ , связанных математической моделью делителя токов

$$W = W_0 \left( 1 - \frac{I_s}{I_d} \right)$$

с информативными параметрами  $W_0$  и  $I_s$ , соответствующими максимальной норме влажности и минимальному току структуры сухого материала.

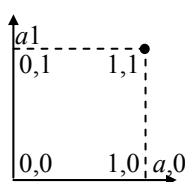


Рис. 1. Методы калибровки

Анализ методов аппроксимации [2] показывает:

1. Способы калибровки статистическими методами развиваются по метрологической и технологической эффективности от аппроксимации счисления в НКФ через НДФ к операторам алгебраического исчисления за счет сокращения избыточности аргументов и уменьшения числа образцовых мер в адаптивном диапазоне.

2. Совершенствуются способы калибровки по току структуры от статистических методов структурной и параметрической оптимизации весовых коэффициентов фиксированной градуировочной характеристики до методов аналитического контроля параметрической оптимизации информативных параметров метрологической модели, программно управляемой в адаптивном диапазоне за счет соответствующих образцовых материалов с нормированными мерами его границ.

3. Эффективность способов аналитического контроля повышается при замене косвенных измерений по аппроксимирующим зависимостям на прямые измерения характеристик для оптимизации информативных параметров по алгоритмам в явной форме и достоверного определения искомых характеристик веществ.

Из сравнения способов калибровки характеристики токов структуры следует:

1. Методы определения влажности развиваются от косвенных и прямых измерений токов структуры к комплексным измерениям через полный ток.

2. Повышается эффективность способов калибровки за счет сокращения числа аппроксимируемых характеристик: от полных и структурных токов по множеству неопределенных мер до калибровки по двум образцам с известной влажностью на границах адаптивного диапазона.

3. Совершенствуется технологичность проектирования метрологических средств благодаря выявленным закономерностям калибровки, регламентирующим тождественность измеряемых и действительных значений образцовых мер.

4. Закономерности калибровки замещают математические модели с кодом  $\{1, 0\}$  на тождественные – с информативными параметрами  $\{W_0, I_s\} = \{1, 1\}$ , поэтому эвристическая аппроксимация с субъективной оценкой по итерационному алгоритму заменяется объективной идентификацией по априори оптимальным алгоритмам калибровки информативных параметров по образцам с нормированными мерами.

Сопоставление способов калибровки характеристик нормированной влажности и токов структуры приводит к следующим выводам.

1. Калибровка по нормированной влажности модели  $\{0, 1\} = \{W_{i0}, I_{i0}\}$ , в отличие от моделирования с кодом  $\{1, 0\} = \{1, I_{si}\}$ , значительно сложнее из-за инверсных характеристик разрывной функции в отрицательной и положительной области ненормированного диапазона  $\overline{[0, \infty]} = W_{i0}$ .

2. Калибровка по характеристике тока структуры модели  $\{1, 0\}$  более предпочтительна модели  $\{0, 1\}$  из-за подобия функций предельного  $I_i$  и структурного  $I_{si}$  токов, изменяющихся в относительных координатах влажности унитарного диапазона  $\{0, 1\} = W_{0i}$  образцов с известными характеристиками.

3. Метрологическая и технологическая эффективность снижается при аппроксимации по модели  $\{0, 1\}$  из-за неявной оценки информативных параметров  $\{W_0, I_s\}$  по алгоритмам их оптимизации относительно известных мер образцов границ адаптивного диапазона.

Анализ аппроксимации желаемой функции по модели  $\{0, 0\} = \{W_{i0}, I_{is}\}$  показывает:

1. Сложность процедуры калибровки из-за использования трех взаимозависимых характеристик  $W_i(I_i, W_{i0}, W_{is})$ ,  $W_{i0}(I_i, I_{is})$  и  $I_{is}(W_{0i}, W_{i0})$  в отличие от двух и одной по моделям с кодами  $\{0, 1\} = \{W_{i0}, I_{i0}\}$ ,  $\{1, 0\} = \{W_0, I_{si}\}$  и  $\{1, 1\} = \{W_0, I_s\}$ .

2. Неявную связь информативных параметров  $\{W_0, I_s\}$  от нормированных значений образцов  $\{W_{0i}, W_{0i+1}\}$  для  $i$  и  $(i+1)$ -х границ диапазонов  $\{D_W, D_I\}$  при их регламентации от взаимозависимых значений характеристик  $\{W_{0i}, I_{is}\}$ .

3. Низкую метрологическую и технологическую эффективность аналитического контроля из-за иррациональных аппроксимаций по итерационным алгоритмам последовательного приближения субъективных мер измерения.

Следовательно, предельным образом модели  $\{0, 1\}$  с произвольной постоянной  $I_0$  и функцией нормированной влажности  $W_{i0}$ , компенсирующей неопределенность константы, является оптимальная математическая модель  $\{1, 1\}$  с оптимальными информативными параметрами  $\{W_0, I_s\}$ . Информативными параметрами программно управляют по алгоритмам оптимизации в адаптивном диапазоне образцами с известными значениями влажности, нормируемыми на его границах.

Оценка нелинейности моделей  $\{1, 0\}$  и  $\{0, 1\}$  с фиксируемой произвольной константой и компенсирующей ее неопределенность функцией показывает их стремление к оптимальному образу модели  $\{1, 1\}$  с программно управляемыми по образцам информативными параметрами. Оптимизация модели  $\{0, 0\}$  с двумя варьируемыми функциями  $\{W_{i0}, I_{si}\}$  приводит решение через моделирование калибровки по характеристикам нормируемой влажности, току структуры к явной модели  $\{1, 1\}$  с информативными параметрами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фарзани, Н.Г. Технологические измерения и приборы / Н.Г. Фарзани, Л.В. Илясов, А.Ю. Азим-заде. – М. : Высшая школа, 1989. – 459 с.
2. Глинкин, Е.И. Схемотехника микропроцессорных систем / Е.И. Глинкин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 1998. – 158 с.

Кафедра «Биомедицинская техника»