

К ВОПРОСУ О ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОВЕРОЧНОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРО- И РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Е. Н. РУЗАЕВ

(Представлена научным семинаром кафедры радиотехники)

Поверочная техника, предназначенная для контроля параметров средств измерений и обеспечения единства измерений в стране, должна иметь характеристики в 3—5 раз лучше, чем у рабочих приборов. Измерительная техника в области электро- и радиоизмерений достигла очень высоких точностей, которые реализуются при помощи довольно сложных технических решений. Поэтому научное проектирование соответствующей поверочной аппаратуры является весьма актуальной и не легкой задачей.

В процессе проектирования инженер-разработчик должен руководствоваться двумя основными принципами:

- 1) реализация заданных технических параметров;
- 2) создание для данных условий оптимального варианта.

Проектирование поверочной аппаратуры можно представить в следующей последовательности;

- 1) сбор информации о современных измерительных приборах одной функциональной группы, для проверки которой необходимо спроектировать прецизионную аппаратуру;
- 2) определение наилучших характеристик, достигаемых этими измерительными приборами, и формулирование требований, предъявляемых к поверочной аппаратуре;
- 3) окончательное определение технического задания на проектирование поверочной установки;
- 4) выбор принципа построения аппаратуры, используя который, можно реализовать техническое задание;
- 5) выбор оптимальных:
 - а) структурной схемы;
 - б) схемного решения;
 - в) конструкторской разработки.

Решение каждой из записанных выше задач оптимизации возможно при наличии соответствующего критерия. Критерий (целевая функция) должен отвечать следующим основным требованиям: он должен быть представительным, критичным к исследуемым параметрам, по возможности простым.

Представительность критерия означает оценку основной задачи, решаемой устройством.

Критичность к исследуемым параметрам состоит в значительных изменениях числового значения критерия при сравнительно малых изменениях исследуемых параметров.

Поиск оптимального варианта возможен в двух направлениях:
1) выполнение поставленных задач при минимуме затрат;
2) максимум эффективности при фиксированных материальных затратах.

Синтез целевой функции качества является наиболее трудным вопросом при решении задачи оптимального построения устройства. Существует несколько методик получения этого критерия.

Наиболее простая задача — поиск оптимального варианта при условии, что оптимизация ведется по одному параметру, который аналитически связан с другими характеристиками устройства на основе физических принципов. Решение значительно усложняется при оптимизации по нескольким параметрам.

При отсутствии аналитической связи между параметрами используют метод синтеза целевой функции качества, основанный на применении к измерениям и измерительной аппаратуре основных положений теории информации. Полученный таким способом критерий объединяет энергетические, точностные характеристики и параметры диапазонов измеряемых или генерируемых величин.

Представляет интерес синтез совокупной целевой функции с использованием оценок, полученных на основе физической взаимосвязи параметров, информационных оценок, а также надежностных, экономических, эксплуатационных и т. д. в качестве частных критериев, коэффициенты весомостей которых определяются методами математической статистики, не прибегая к экспертному анализу.

Необходимым условием для решения этой задачи является набор статистического материала, куда войдут существующие реализации данной функциональной группы и варианты проектируемого устройства.

Целевую функцию качества будем определять как

$$V = \prod_{i=1}^{\kappa} C_i^{P_i}, \quad (1)$$

где V — совокупный критерий качества функционирования;

C_i — i -й частный критерий;

P_i — весомость i -го критерия;

κ — число частных критериев.

Каждый частный критерий объединяет группу характеристик прибора

$$C_i = \xi(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}),$$

где x_{i1}, x_{i2} — параметры устройства.

Целевая функция (1) объединяет показатели возможностей устройства, но любое изделие характеризуется также и затратами.

В качестве таких характеристик могут выступать: стоимость, число дискретных элементов, потребляемая мощность, время выполнения конкретной функциональной задачи и т. д.

Известно, что показатель возможностей и показатель затрат связаны между собой. Очевидным является то, что, увеличив затраты, мы сможем увеличить и возможности. Опыт использования информационных критериев и ряд других работ [1, 2] показывают, что функция связи является степенной. Решение задачи синтеза целевой функции качества без начальных условий, которые определены из предыдущих работ или которыми задаются, практически невозможно. В качестве первого такого условия задаем вид связи показателя возможностей с характеристикой затрат в виде степенной функции

$$V = A \cdot n^b, \quad (2)$$

где A — постоянный коэффициент,
 n — показатель затрат,
 b — неизвестный показатель степени.
 Выражение (2) является записью функционального ограничения

$$V - A \cdot n^b = 0.$$

Условие равномерного степенного роста совокупного критерия качества функционирования в зависимости от базового показателя затрат можно записать в виде

$$\frac{d(\lg V)}{d(\lg n)} = \text{const}. \quad (3)$$

Переходя к конечным приращениям, получаем

$$\frac{\Delta(\lg V)}{\Delta(\lg n)} = \text{const}'.$$

Пренебрегая постоянным коэффициентом, можно записать это условие как

$$\frac{\lg V}{\lg n} = \text{const}'' = b. \quad (4)$$

Подставляя в выражение (4) значения целевой функции (1), получаем уравнение

$$\frac{\lg \prod_{i=1}^{\kappa} C_i^{P_i}}{\lg n} = b$$

или

$$\frac{P_1 \lg C_1}{\lg n} + \frac{P_2 \lg C_2}{\lg n} + \dots + \frac{P_{\kappa} \lg C_{\kappa}}{\lg n} = b.$$

Тогда для группы реализаций и вариантов проектируемого устройства можно записать следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{P_1 \lg C_{11}}{\lg n_1} + \frac{P_2 \lg C_{12}}{\lg n_1} + \dots + \frac{P_{\kappa} \lg C_{1\kappa}}{\lg n_1} &= b \\ \frac{P_1 \lg C_{21}}{\lg n_2} + \frac{P_2 \lg C_{22}}{\lg n_2} + \dots + \frac{P_{\kappa} \lg C_{2\kappa}}{\lg n_2} &= b \\ \frac{P_1 \lg C_{m1}}{\lg n_m} + \frac{P_2 \lg C_{m2}}{\lg n_m} + \dots + \frac{P_{\kappa} \lg C_{m\kappa}}{\lg n_m} &= b \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где C_{ij} i -й показатель затрат для j -го устройства;
 n_j — базовый показатель затрат для j -го устройства;
 m — число реализаций и вариантов.

Обозначив $\frac{\lg C_{ij}}{\lg n_j}$ как a_{ij} , получаем систему из m линейных однородных уравнений с $\kappa + 1$ неизвестным ($P_1 \div P_{\kappa}$ и b)

$$\left. \begin{aligned} a_{11} P_1 + a_{12} P_2 + \dots + a_{1\kappa} P_{\kappa} &= b \\ a_{21} P_1 + a_{22} P_2 + \dots + a_{2\kappa} P_{\kappa} &= b \\ \dots &\dots \\ a_{m1} P_1 + a_{m2} P_2 + \dots + a_{m\kappa} P_{\kappa} &= b \end{aligned} \right\}.$$

Но на показатель b из условия роста возможностей с увеличением затрат положены областные ограничения

$$b > 0.$$

(В принципе могут быть областные ограничения и на другие показатели). Из предыдущих работ можно определить примерный диапазон изменения b ($0 \div 15$). К тому же решение системы линейных однородных уравнений представляет известную трудность даже при его реализации на ЦВМ. Поэтому наиболее рациональным является следующий путь решения.

Значения коэффициента a_{ij} вычисляются по данным известных реализаций и вариантов проектируемого устройства. Значением показателя b задаемся. В итоге мы получаем систему из m линейных уравнений с k неизвестными. Единственное решение она будет иметь при $m = k$ и $D = \det[a_{ij}] \neq 0$. В случае получения переопределенной системы, т. е. при $m > k$, число решений будет равно числу сочетаний из m по k . В таком варианте могут быть определены наиболее вероятные значения неизвестных, используя, например, метод наименьших квадратов.

Таким образом, задавая значения b_{\min} , b_{\max} и Δb — шаг изменения b , мы можем определить серию решений.

Следующим шагом является поиск лучшего решения. Весьма объективным критерием оценки является степень рассеяния точек с координатами n_j , V_j вокруг кривой, характеризуемой показателем b_j . По минимуму дисперсии можно определить наиболее вероятное значение коэффициента b и из группы решений выбрать решение, соответствующее этому значению. Данный алгоритм легко реализуется на ЦВМ.

Критерий оценки качества функционирования устройства может быть определен в виде

$$V = \prod_{i=1}^{\kappa} C_i^{P_i} = n.$$

(В общем случае $V = A \cdot n^b$, но при использовании относительных оценок, а не абсолютных, постоянный коэффициент можно опустить).

Тогда выражение

$$\omega = \frac{V}{n^b} = \frac{\prod_{i=1}^{\kappa} C_i^{P_i}}{n^b} = 1$$

является условием того, что вариант, для которого оно выполняется при определенных C_i и n , лежит на среднем уровне технической реализации. Устройство, имеющее максимальное значение коэффициента ω , будет обладать наибольшими возможностями функционирования, приходящимися на единицу затрат. Таким образом, мы сможем получить оптимальный вариант среди предложенных для проектирования поверочного устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Штраубер. Материалы совещания стран—членов СЭВ и СФРЮ по обмену опытом при составлении научно-технических прогнозов. Прага, 1967.
2. П. В. Новицкий. Основы информационной теории измерительных устройств. Л., «Энергия», 1968.