

**И. А. КАРАБАНОВ, М. В. ПОДОБЕД,
В. Б. СМОЛОВ, А. В. ФРЕМКЕ**

(Ленинград)

МЕТОД СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ НАРЕЗКИ СПИРАЛИ НЕПРОВОЛОЧНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

В статье рассматривается структурная схема измерительно-вычислительного комплекса, представляющего собой систему статистического регулирования основной технологической операции — нарезки спирали. Дается сравнение различных методов статистической обработки результатов измерения, а также методов проверки статистических гипотез, на основании которых осуществляется регулирование настройки нарезного станка.

Массовый выпуск непроволочных сопротивлений позволяет использовать методы статистического контроля и регулирования их производства. Опыт применения автоматической системы статистического регулирования в радиоэлектронной промышленности имеется в США [1, 2].

Технологический процесс производства металлизированных сопротивлений типа МЛТ укрупненно можно разбить на три этапа: подготовка керамических оснований; нанесение токопроводящего слоя — металлизация; получение необходимого номинала — нарезка спирали.

Предварительный анализ всего технологического процесса изготовления этих сопротивлений, проведенный на предприятии, показал, что наиболее удобным объектом для статистического регулирования представляется станок для нарезки спирали. Современные нарезные станки оборудуются автоматическим устройством окончания нарезки, которое непрерывно измеряет сопротивление нарезаемой заготовки, сравнивает его с эталонным значением и при достижении их равенства отводит режущий диск, прекращая нарезку. Опыт эксплуатации автоматических линий по производству углеродистых сопротивлений в СССР и США показывает, что использование такой автоматической системы из-за расстройки станка нарезки не обеспечивает требуемой точности при изготовлении сопротивлений заданного номинала.

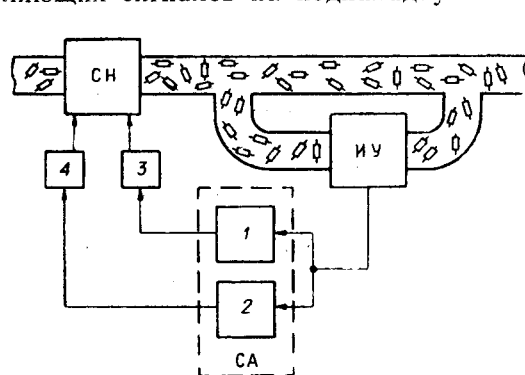
Отклонение величины готового сопротивления от требуемого номинала обуславливается целым рядом факторов, имеющих как случайный, так и систематический характер. Воздействие случайных причин характеризуется зоной рассеивания параметров готовых изделий вокруг центра распределения. Ширина этой зоны характеризует точность принятой технологии и оборудования. Если по каким-либо причинам зона «естественного рассеивания» оборудования увеличилась и возможно

наступление аварийного режима, то необходима блокировка процесса обработки для устранения причин недопустимой разладки оборудования. При этом своевременность блокировки в основном определяется точностью оценки параметров готовой продукции.

Наличие систематической составляющей может быть вызвано, например, износом режущего инструмента, медленным изменением температурных условий обработки и т. д. Воздействие этих факторов проявляется в систематическом сдвиге центра распределения собственно случайных погрешностей во времени. Оценивая величину этого сдвига, можно скомпенсировать влияние систематических факторов соответствующей коррекцией станка нарезки. При этом эффективность коррекции определяется в основном точностью оценки положения центра распределения.

Таким образом, комплексная задача поддержания требуемого качества продукции и предотвращения брака может быть решена при совместной оценке характеристик как систематических, так и случайных погрешностей. Зона «естественного рассеивания» оборудования характеризуется стандартом σ , а положение центра распределения — средним значением контролируемого параметра.

Решение поставленной задачи является основным назначением рассматриваемой автоматической системы статистического регулирования нарезки спирали. В функции этой системы входит: 1) автоматическое измерение контролируемого параметра; 2) автоматическая обработка результатов измерений с использованием методов математической статистики (вычисление оценок среднего и стандарта); 3) выработка управляющих сигналов на подналадку или блокировку процесса обработки.



Функциональная схема системы статистического регулирования нарезки спирали представлена на рисунке. Из обработанных на станке нарезки (СН) изделий извлекается некоторое количество нарезанных сопротивлений, необходимое для определения основных характеристик систематических и случайных погрешностей. Параметры сопротивлений этой группы измеряются в блоке измерительного устройства (ИУ), и результаты измерений посту-

пают в статистический анализатор (СА), состоящий из блоков 1 и 2. В блоке 1 производится вычисление статистической оценки среднего и выработка управляющих сигналов на подналадку станка через соответствующее исполнительное устройство 3. В функции второго блока анализатора входит выработка сигналов на блокировку процесса нарезки по результатам вычисления статистической оценки стандарта. Блокировка процесса осуществляется исполнительным устройством 4.

При статистической обработке результатов измерения могут быть использованы разные оценки среднего и стандарта, положенные в основу различных методов статистического регулирования. Из предварительного анализа данных о производстве сопротивлений типа МЛТ следует, что распределение значений сопротивления после операции нарезки спирали достаточно хорошо согласуется с нормальным. Методы статистиче-

ской оценки, которые могут быть использованы в этом случае, приведены в таблице, где приняты следующие обозначения: n^+ — число изделий, параметры которых превышают допустимое наибольшее значение контролируемого параметра; n^- — число изделий, параметры которых меньше допустимого наименьшего значения контролируемого параметра; n — объем выборки; x_i — текущее значение контролируемого параметра ($i=1, 2, \dots, m, m+1, \dots, n$); $\Delta x_{\text{ср}}$ — смещение среднего относительно номинала; d_n — коэффициент, определяемый по таблицам [3].

Методы статистического регулирования	Используемые статистические оценки	
	среднего $x_{\text{ср}}$	стандарта σ
Метод группировок	$n^+ - n^- \equiv \Delta x_{\text{ср}}$ (косвенная)	$n^+ + n^- \equiv \sigma$ (косвенная)
Метод среднего арифметического \bar{x} , стандарта S , среднего абсолютного отклонения θ	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ $\sigma_S = \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}$ $\theta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - \bar{x} = k \sigma$ $\sigma_{\theta} = \sqrt{\frac{\pi - 2}{2n}} \sigma$
Метод медиан Me и размаха R	$Me = \frac{x_m + x_{m+1}}{2} \quad (n = 2m)$ $Me = x_{m+1} \quad (n = 2m + 1)$ $\sigma_{Me} = \sqrt{\frac{\pi}{2n}} \sigma$	$R = x_{\text{max}} - x_{\text{min}}$ $\sigma_R = d_n \sigma$
Комбинированный метод	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$n^+ + n^- \equiv \sigma$ (косвенная)

Сравнение различных методов статистического регулирования позволяет сделать следующие выводы:

1. Наиболее точным является метод среднего арифметического и стандарта. Однако сложность вычисления стандартов не дает возможности использовать этот метод достаточно эффективно.

2. Метод медиан и размаха, наиболее часто используемый при ручной обработке данных, требует предварительного упорядочения и хранения данных выборки. Эта задача может быть решена при использовании, например, ассоциативного запоминающего устройства, особенностью

которого является выборка информации не по жестко закрепленному за каждой ячейкой номеру (адресу), а по заданной совокупности признаков.

Значительное усложнение схемы анализатора, связанное с необходимостью преобразования данных выборки в вариационный ряд, не дает выигрыша в надежности и точности по сравнению с методом среднего арифметического и стандарта. Поэтому использование этих оценок при автоматическом статистическом регулировании нецелесообразно [4]. Кроме того, оценка стандарта по размаху допустима лишь для малых по объему выборок ($n < 20$). Для больших n эффективность этой статистики много меньше, чем эффективность оценки σ по S и Θ [3].

3. Использование косвенных оценок среднего и стандарта (метод группировок) позволяет значительно упростить схему анализатора. До последнего времени этот метод чаще всего использовался при создании полуавтоматических и автоматических систем статистического контроля и регулирования [3, 4].

4. Наиболее перспективным направлением при создании автоматических систем статистического регулирования, на наш взгляд, является совместное использование статистических и косвенных оценок среднего и стандарта [4]. Основным достоинством такого комбинированного метода является возможность достижения точности коррекции, свойственной методу среднего, при простоте исполнения, присущей методу группировок. Кроме того, использование комбинированного метода позволит также расширить функции, выполняемые всем комплексом. Система обеспечивает дополнительно автоматическую разбраковку изделий по классам точности и подсчет годной и бракованной продукции.

Выработка управляющих сигналов на подналадку или блокировку процесса обработки может производиться лишь после сравнения расчетных значений принятых статистических оценок с критическими. Принятие того или иного решения по результатам сравнения производится на основании теории проверки статистических гипотез. Задача проверки какой-либо гипотезы может быть решена следующими методами [3]:
1) классического (простого) анализа, 2) последовательного анализа, 3) ограниченного последовательного анализа.

1. Выработка управляющих сигналов по методу простого анализа производится лишь после того, как полностью набрана выборка. Отличительной чертой этого метода является постоянство объема выборки, т. е. количества данных, необходимых для принятия одного из двух возможных решений (например: а) нужна подналадка, б) подналадка не требуется).

2. При последовательном анализе общее количество анализируемых данных, необходимых для принятия какого-либо решения, является величиной случайной. На каждом шаге накопления данных вычисляются соответствующие оценки среднего и стандарта, которые проверяются затем по последовательному критерию отношения вероятностей [5]. По результатам сравнения принимается одно из трех возможных решений: а) необходим управляющий сигнал, б) процесс не нуждается в подналадке или блокировке, в) собранных данных недостаточно для принятия окончательного решения. Основным достоинством этого метода является значительное уменьшение объема информации, необходимой для выработки управляющих сигналов, по сравнению с классическим методом при той же достоверности результатов.

3. Принятие решения о выработке управляющих сигналов при использовании метода ограниченного последовательного анализа производится следующим образом. В течение накопления определенного объ-

ема данных решение принимается по методу последовательного анализа. Если после набора выборки окончательное решение не было принято, производится проверка рассматриваемой гипотезы по классическому методу и принимается одно из двух возможных решений. Использование этого метода дает возможность совместить определенные достоинства двух других методов, но при этом значительно усложняется алгоритм работы анализатора.

Предварительный анализ различных вариантов построения анализатора показал, что выработку управляющих сигналов для подналадки оборудования в данной технологической операции целесообразно производить по классическому методу анализа. В то же время при использовании комбинированного метода статистического регулирования можно осуществлять выработку блокирующих сигналов на основе метода ограниченного последовательного анализа. В этом случае при резком увеличении количества бракованной продукции блокировка процесса нарезки произойдет раньше, чем будет набрана выборка заданного объема.

ЛИТЕРАТУРА

1. I. H. Boatwright. Using a Computer for Quality Control of Automatic Production.— *Computers and Automation*, 1964, № 2.
2. A. Minto. Applying Computers Control to a Production System.— *Automation*, 1963, № 3.
3. И. В. Дунин-Барковский, Н. В. Смирнов. Теория вероятностей и математическая статистика в технике (общая часть). М., Гостехиздат, 1955.
4. K. Brücken-Steinkuhl. Automatische Regelung von Fabrikationsprozessen nach Mathematischstatistischen Grundsätzen.— *Regelungstechnik*, 1961, № 2, 3.
5. А. Вальд. Последовательный анализ. М., Физматгиз, 1960.

*Поступила в редакцию
11 февраля 1966 г.,
окончательный вариант —
19 июля 1966 г.*

**I. A. Karabanov, M. V. Podobed,
V. B. Smolov and A. V. Fremke**

STATISTICAL CONTROL OF RESISTOR THREAD

Block diagram of measuring computing system for statistical control of thread as main technological operation. Comparison of various methods of statistical treatment of measurements is given; so for statistical hypotheses test.