АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
АВТОМЕТРИЯ

№ 4 1971

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 681.2.08

М. А. ЗЕМЕЛЬМАН, Ю. З. ФАЛЬКОВИЧ
(МОСКВА)

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ САМОНАСТРОЙКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

В последнее время получают все большее распространение измерительные устройства (ИУ), в которых применяются разнообразные системы автоматической коррекции погрешностей ИУ, в частности системы самонастройки. Одним из эффективных методов самонастройки является метод образцовых сигналов [1]. Этот метод заключается в том, что периодически, по заданной программе, ИУ выключается из режима измерения и включается в режим коррекции (самонастройки); при этом на вход ИУ подается известный (образцовый) сигнал; значение приведенной к выходу погрешности ИУ, соответствующей данному образцовому сигналу, управляет некоторым параметром схемы ИУ; последний изменяется до тех пор, пока погрешность ИУ не сведется в принципе к нулю; на этом самонастройка заканчивается и ИУ переключается снова в режим измерения. Метод образцовых сигналов применим для коррекции лишь медленно меняющихся составляющих погрешности ИУ.

Анализ процесса коррекции будем вести при следующих предположениях. Корректируемая величина x не меняется в процессе коррекции и распределена с плотностью вероятности $\varphi(x)$. На корректируемую величину наложен центрированный аддитивный и не зависящий от нее шум y с интегральным законом распределения $F(y)$. Процесс коррекции осуществляется пошагово. На первом шаге на вход ИУ подается образцовый сигнал; разность z между сигналом на выходе ИУ, который совпадает с сигналом на его входе, и образцовым сигналом поступает на корректирующее устройство, которое имеет релейную характеристику с зоной нечувствительности

$$\psi(z) = q\,\frac{\operatorname{sign}(z-\Delta) + \operatorname{sign}(z+\Delta)}{2}.$$

Если на первом шаге $\psi(z_1)=0$ $(z_1=x+y_1)$, то процесс коррекции заканчивается. На втором шаге при $\psi(z_1)\neq 0$ на вход ИУ подается образцовый сигнал за вычетом $\psi(z_1)$; разность между выходом ИУ и образцовым сигналом вновь поступает на вход корректирующего устройства. Если $\psi(z_2)=0$ $(z_2=x+y_2-\psi(z_1))$, то процесс коррекции заканчивается. При $\psi(z_2)\neq 0$ осуществляется третий шаг коррекции и т. д. При этом предполагается, что значения шума y на различных шагах коррекции независимы.

Назовем «проходом» последовательность шагов коррекции, которым соответствует один и тот же знак сигнала на выходе корректирующего устройства. Нас будут интересовать статистические характеристики погрешности коррекции ε и числа проходов n, в течение которого заканчивается процесс коррекции. Отметим, что в качестве второго параметра, характеризующего работу системы коррекции, могут быть использованы также характеристики числа шагов, в течение которого заканчивается коррекция.

Используя условия независимости значений аддитивного шума y на различных шагах коррекции, можно выписать выражение для ненормированной плотности вероятности ошибки коррекции ε для реализаций уравновешивания, заканчивающихся на первом проходе:

$$\psi_1(\varepsilon) = [F(\Delta-\varepsilon) - F(-\Delta-\varepsilon)]\Big\{\sum_{k=1}^{\infty}\varphi(\varepsilon-kq)\prod_{l=1}^{k}F(-\Delta-\varepsilon+lq) + \varphi(\varepsilon) + \sum_{k=1}^{\infty}\varphi(\varepsilon+kq)\prod_{l=1}^{k}(1-F(\Delta-\varepsilon-lq))\Big\}. \quad (1)$$

Вероятность окончания коррекции на первом проходе определяется очевидным соотношением

$$P_1 = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_1(\varepsilon)\, d\,\varepsilon. \tag{2}$$

Из условия независимости значений шума на различных шагах коррекции вытекает также рекуррентное соотношение для ненормированной плотности вероятности ошибки ε, для реализаций, заканчивающихся на n-м проходе ($n \geqslant 2$):

$$\psi_n(\varepsilon) = [F(\Delta - \varepsilon) - F(-\Delta - \varepsilon)] \Big\{ \sum_{k=1}^{\infty} \varphi_{1,n}(\varepsilon - kq) \prod_{l=1}^{k} F(-\Delta - \varepsilon + lq) + \\ + \sum_{k=1}^{\infty} \varphi_{2,n}(\varepsilon + kq) \prod_{l=1}^{k} (1 - F(\Delta - \varepsilon - lq)) \Big\}, \tag{3}$$

где

$$\varphi_{1,n}(\varepsilon) = \sum_{m=1}^{\infty} \varphi_{2,(n-1)}(\varepsilon + mq) \prod_{p=1}^{m} F(-\Delta - \varepsilon + pq);$$

$$\varphi_{2,n}(\varepsilon) = \sum_{m=1}^{\infty} \varphi_{1,(n-1)}(\varepsilon - mq) \prod_{p=1}^{m} (1 - F(\Delta - \varepsilon - pq)); \quad \varphi_{1,1}(\varepsilon) = \varphi_{2,1}(\varepsilon) = \varphi(\varepsilon).$$

Вероятность окончания процесса коррекции на n-м проходе по аналогии с (2)

$$P_n = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_n(\varepsilon)\, d\,\varepsilon, \tag{4}$$

а плотность вероятности ошибки коррекции

$$\psi(\varepsilon) = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(\varepsilon). \tag{5}$$

Формулы (1)—(5) дают решение поставленной задачи.

В [2] отмечалось, что при рассмотренном выше алгоритме коррекции ошибка коррекции может получиться чрезмерно большой. Для ее уменьшения алгоритм можно усложнить, заканчивая, например, коррекцию при отсутствии сигнала на выходе корректирующего устройства в течение не одного, а w тактов коррекции подряд. В этом случае принципиально несложно выписать выражения для плотностей вероятности ошибки коррекции. Так, для реализаций коррекции, заканчивающихся на первом проходе, плотность вероятности ошибки коррекции имеет следующий вид:

$$\psi_w(\varepsilon) = [F(\Delta - \varepsilon) - F(-\Delta - \varepsilon)]^w \Big\{ \sum_{k=1}^{\infty} \varphi(\varepsilon - kq) \times \\ \times \prod_{l=1}^{k} F(-\Delta - \varepsilon + lq) + \sum_{k=1}^{\infty} \varphi(\varepsilon + kq) \prod_{l=1}^{k} (1 - F(\Delta - \varepsilon - lq)) \Big\}. \tag{6}$$

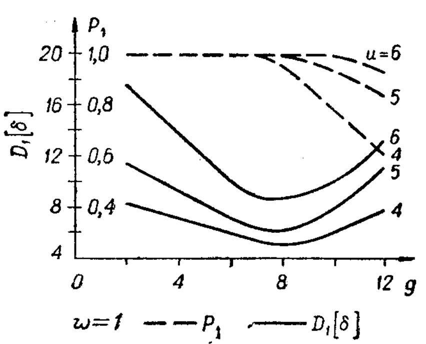

Рис. 1.

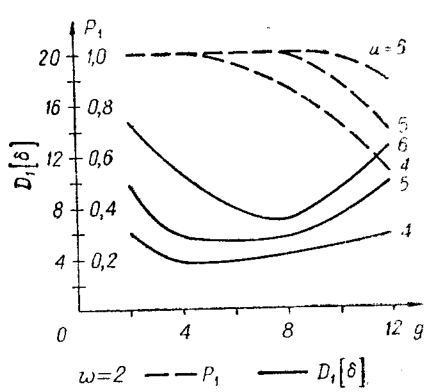

Рис. 2.

а вероятность окончания коррекции на первом проходе

$$P_w = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_w(\varepsilon)\, d\varepsilon. \quad (7)$$

Полученные выше соотношения могут служить для определения параметров системы коррекции при заданных условиях. Рассчитываемыми параметрами системы являются: ширина 2Δ зоны нечувствительности корректирующего устройства; шаг q коррекции; количество w попаданий погрешности ИУ в зону $\pm\Delta$, при котором следует закончить режим коррекции.

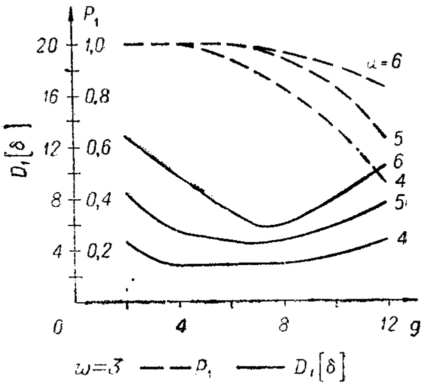

Рис. 3.

На рис. 1—3 приведены графики зависимости вероятности P_1 окончания коррекции на первом проходе, а также дисперсии $D_1(\delta)$ относительной ошибки коррекции $\delta=\varepsilon/\sigma$ при условии завершения коррекции на первом проходе от относительного шага коррекции $g = \frac{q}{\sigma}$, относительной ширины зоны нечувствительности $u = \frac{\Delta}{\sigma}$ и числа w. Здесь σ — среднеквадратическое отклонение шума y. При этом предполагается, что $\varphi(x)$ — равномерная плотность в пределах от $-10\ \sigma$ до $+10\sigma$, а закон распределения шума — нормальный. Из кривых рис. 1—3 видно, что имеется некоторое оптимальное значение относительного шага коррекции, при котором дисперсия ошибки коррекции минимальна.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Земельман. Общие принципы повышения точности измерительных устройств.— Измерительная техника, 1968, № 5.
2. М. А. Земельман. Определение оптимальных параметров системы автоматической коррекции погрешностей развертывающего аналого-цифрового преобразователя.— Измерительная техника, 1966, № 6.

Поступило в редакцию
5 ноября 1969 г.,
окончательный вариант —
11 сентября 1970 г.

УДК 681.322.05

В. Г. КАТЮШКИН

(МОСКВА)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МНОГОКАНАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ «АНАЛОГОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ — КОД»

Функциональную схему, отражающую принцип работы большинства типов преобразователей «аналог — код», можно представить в виде рис. 1. Преобразуемое напряжение $U_п$ подается на схему сравнения (СС). Схема управления (СУ) производит перебор состояний регистра, и одновременно с помощью суммирующей матрицы (СМ) осуществляется соответствующее преобразование код — напряжение. Подбор необходимого