

Автокомпенсационная измерительная система повышенной точности

Руслан ПРОСКУРЯКОВ,
д. т. н.
Сарюна ЖАМБАЛОВА

В статье рассмотрены автокомпенсационная система и способ повышения ее точности, который не нарушает условие информационной теории измерительных устройств. Результата можно достичь благодаря использованию импульсного управления. Методика реализации позволяет на несколько порядков увеличить мощность входного сигнала.

В теории измерений давно уже стало постулатом, что при оценке системы необходимо рассматривать ее точность, чувствительность, быстродействие и энергопотребление. Причем все четыре характеристики не только важнейшие: обязательным является их совместное рассмотрение (аддитивное). Согласно информационной теории измерительных устройств:

$$\gamma^2 \times \eta_0 \times Pt = 3,5 \times 10^{-20} \text{ Дж}, \quad (1)$$

где γ — относительная погрешность; η_0 — энергетический КПД; Pt — энергия, потребляемая прибором в обмен на информацию [3].

Автокомпенсатор в простейшем виде имеет структуру, показанную на рис. 1. Схема состоит из следующих элементов:

- ЭС — элемента сравнения;
- УЭ — усилителя сигнала ошибки Δx ;
- ИЭ — исполнительного силового элемента;
- КЭ — компенсационного элемента.

С точки зрения информационной теории информационный КПД $\eta_q \approx 16\%$, в то время как система прямого измерения, например вольтметр, имеет всего лишь $\eta_q \approx 5,8\%$. Преимущество очевидно, и это хорошо знают инженеры, применяя в ответственных системах автокомпенсационные самопишущие приборы [2].

Если быть очень придирчивым относительно получения высокой точности, то, анализируя структурную схему автокомпенсатора, можно заметить, что следящая система имеет зону нечувствительности, и она всегда работает. При малых входных сигналах его проходная характеристика имеет характер пропорциональной зависимости, и только где-то на уровне 0,2% от динамического диапазона она насыщается, и двигатель начинает обрабатывать величину x . Снизить зону нечувствительности можно, но система становится неустойчивой. Количество получаемой от прибора информации составляет:

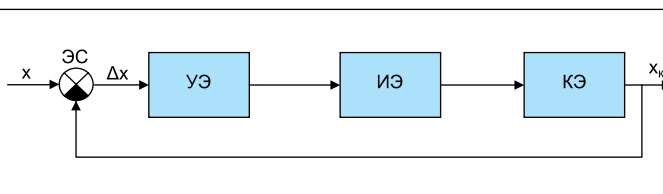


Рис. 1. Упрощенная структурная схема автоматического компенсатора

$$q = 9,3 + (\lg Pt)/2. \quad (2)$$

Корректирующие цепи усложняют систему, а снижение коэффициента обратной связи резко снижает быстродействие.

В этой работе мы предлагаем, не нарушая условие (1), повысить точность автокомпенсационной системы.

Любой специалист знает, что наибольшая погрешность измерительных систем присуща при малых входных сигналах — в начале шкалы, а автокомпенсационная система работает в нормальном режиме всегда в начале динамического ее диапазона, то есть при аддитивных и мультипликативных погрешностях. Причем, как видно на рис. 1, это астатическая система второго порядка, и ее динамическая ошибка равна 0 при отслеживании \dot{x} . Но в режиме малых сигналов: именно в режиме нормальной работы автокомпенсационной системы двигатель не может отслеживать сигнал из-за «пропорционального» участка характеристики усилителя. Эта зона нечувствительности ИС равна обычно 0,2–0,5% от динамического диапазона.

Суть нашего предложения заключается в следующем: в зоне нечувствительности (зоне пропорционального участка характеристики усилителя) следует применить импульсное управление следящей системой. Это позволит увеличить мощность управления, согласно теоретическим исследованиям, в 10^{14} раз. Это фантастическая величина, но нам это и не нужно. У нас трудность другого плана — бесконечно малый сигнал

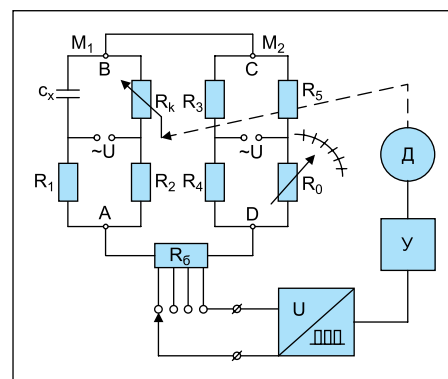


Рис. 2. Схема преобразования малой измеряемой величины x

на входе усилителя. Выход здесь таков: нужно применить схему преобразования входной величины (рис. 2).

Отличие нашего решения от всех других следующее: малое значение x преобразуется мостом M_1 в малое же напряжение, под действием которого между мостами протекает уравнительный ток I_p , направление которого определяется знаком разности потенциалов $Y_{AB} - Y_{CD}$. Эту разность потенциалов увеличиваем на статистическом усилителе — потенциометре R_{Π} — до значения, когда схема преобразования напряжения в импульсы (рис. 3) будет работать «комфортно» [4].

При повышении напряжения на ТД значение M в точке E ВАХ «перескакивает» в точку F характеристики, при этом ток также скачком меняется на резисторе R_{Π} от значения N

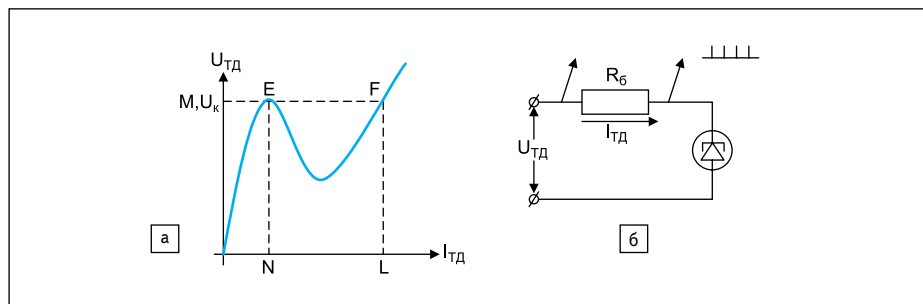


Рис. 3. а) Вольт-амперная характеристика (ВАХ) туннельного диода; б) электрическая схема съема входного сигнала

до значения L . Сигнал на входе усилителя U (рис. 2) скачком меняется до уровня насыщения, двигатель отрабатывает R_K до нулевого уровня $F_{TД}$, точка M (рис. 3) уходит вниз, ток скачком уменьшается от точки L до точки N и т. д. На R_6 получим напряжение диода.

На рис. 4 T — период, t_U — длительность управляющих импульсов, t_U/T — скважность. Мощность поступающего на вход электрического сигнала увеличивается в T/t_U раз, то есть на несколько порядков, так как при перескакивании точки E в точку F ВАХ диода будет определяться быстродействием следящей системы.

Сложность реализации заключается в следующем: в зоне нечувствительности трудно создать $U_{TД}$, равное U_M , на ВАХ диода. Здесь на помощь приходит M_2 , резистором R_0 ко-

торого создаем противоток на R_6 таким образом, чтобы при необходимом значении x (ноль нашей шкалы) рабочая точка на ВАХ диода была максимально приближена к точке M [1].

Эта подстройка нуля у прибора, так же как подстройка чувствительности, осуществляется резистором R_K и делителем R_6 .

Порог энергетической чувствительности, равный:

$$C_3 = \gamma 2 \times \eta_3 \times Pt, \quad (3)$$

можно подстроить с помощью R_6 и соответствующей характеристики туннельного диода (скважности).

Вывод. При малых входных сигналах энергетический порог чувствительности прибо-

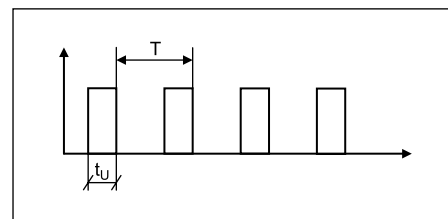


Рис. 4. Напряжение на входе усилителя

ров, определяемый соотношением (2), становится меньше уровня термодинамического шума $3,5 \times 10^{-20}$ Дж, и здесь никакие измерения приборами невозможны. Использование импульсного управления и методики его реализации позволяет на несколько порядков увеличить мощность входного сигнала, обеспечивая как условие (2), так и уровень энергетического порога чувствительности. ■

Литература

1. Дыхта В. А., Самсонюк О. Н. Оптимальное импульсное управление с приложениями. М.: Физматлит, 2000.
2. Котченко Ф. Ф. Следящие системы автоматических компенсаторов. Л.: Недра, 1965.
3. Новицкий П. В. Основы информационной теории измерительных устройств. Л.: Энергия, 1968.
4. <http://tte-info.ru/crystal-diode/tunnel-diode.html>