

## Літаратура

1. Глазков, В. И. Определение переходного сопротивления подземных металлических трубопроводов / В. И. Глазков, В. Г. Котик, Н. П. Глазов // Коррозия и защита в нефтедобывающей промышленности. – 1967. – № 5. – С. 29–34.
2. Иванов, В. Т. Влияние неоднородных участков изоляции на распределение тока при электрохимической защите металлов от коррозии / В. Т. Иванов, Ф. Г. Гадилова // Электрохимия, 1981. – Вып. 2. – Т. 17. – С. 321–325.
3. Александров, Ю. В. Разработка методологии эффективного предупреждения разрушения длительно эксплуатируемых газопроводных систем, подверженных стресс-коррозии : автореф. ... дис. д-ра техн. наук / Ю. В. Александров / Ухтин. гос. техн. ун-т. – Ухта, 2013. – 43 с.

УДК 621.38

### ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Ю. А. Козусев

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

*Применена операция интегрирования сигнала для повышения точности измерения.*

**Ключевые слова:** постоянная времени, интегрирование сигнала, помехозащищенность.

### INCREASING THE IMMUNITY OF MEASURING TRANSDUCERS

Y. A. Kozusev

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

*Application of signal integration operation to improve measurement accuracy.*

**Keywords:** time constant, signal integration, noise immunity.

Постоянная времени является основной частной динамической характеристикой различных датчиков и измерительных преобразователей с выходным сигналом постоянного тока. Постоянная времени может характеризовать динамические свойства не только инерционных звеньев первого порядка, но и объектов с передаточной функцией более высокого порядка с одной доминирующей постоянной времени, например термоэлектрических, сильнодемпфированных механоэлектрических, акустических или гидравлических преобразователей.

Рассмотрим случай гармонической помехи. Тогда контролируемый сигнал представляет собой суперпозицию

$$U(t) = U_{\text{уст}}(1 - e^{-t/T_x}) + U_m \sin(\omega t), \quad (1)$$

где  $U_m$  и  $\omega$  – амплитуда и частота помехи.

На рис. 1 построены диаграммы сигналов при  $T_x = 0,1$  с,  $U_{\text{уст}} = 1$  В в условиях влияния помехи промышленной частоты  $f = 50$  Гц с амплитудой  $U_m = 0,1$  В. При некоррелированной помехе возникает имеющая случайный характер неопределенность сравнения сигнала с опорным уровнем, ограниченная интервалом  $\Delta t$  (рис. 1).

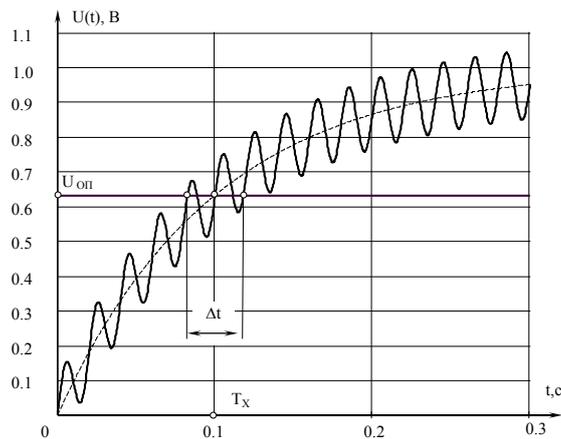


Рис. 1. Влияние помехи на результат измерения постоянной времени

Для уменьшения погрешности измерения предлагается следующий алгоритм: на вход объекта подается скачок напряжения, из выходного напряжения вычитается опорное напряжение, разность интегрируется. Результат измерения формируется в момент равенства нулю напряжения интегратора. Опорное напряжение выбирается из условия:

$$U_{\text{оп}} = \frac{m-1}{m} U_{\text{уст}}, \quad m > 1, \quad (2)$$

где  $m$  – коэффициент преобразования.

Временные диаграммы сигналов для  $m = 5$ ,  $T_{\text{и}} = T_{\text{х}}$  и  $U_{\text{уст}} = 1$  В приведены на рис. 2.

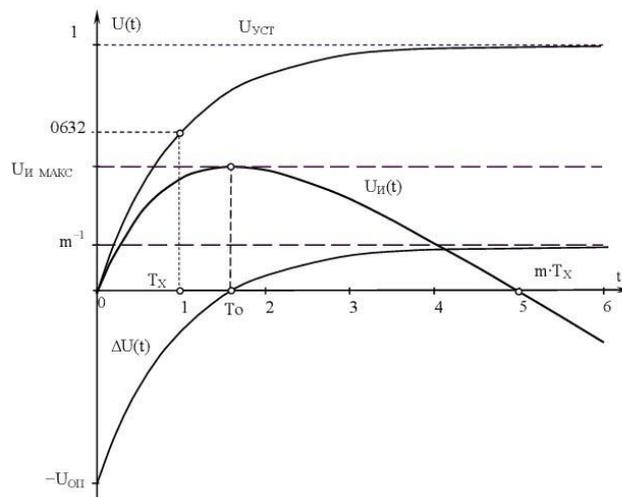


Рис. 2. Преобразование постоянной времени

Разность напряжений:

$$\Delta U(t) = U(t) - U_{\text{оп}} = U_{\text{уст}} \left( 1 - e^{-t/T_x} - \frac{m-1}{m} \right) = U_{\text{уст}} \left( \frac{1}{m} - e^{-t/T_x} \right). \quad (3)$$

Результат интегрирования:

$$U_{\text{и}}(t) = -\frac{1}{T_{\text{и}}} \int_0^t \Delta U(\xi) d\xi = -\frac{U_{\text{уст}}}{T_{\text{и}}} \int_0^t \left( \frac{1}{m} - e^{-\xi/T_x} \right) d\xi = -\frac{U_{\text{уст}}}{T_{\text{и}}} \left( \frac{t}{m} - T_x (1 - e^{-t/T_x}) \right). \quad (4)$$

Полагая  $U_{\text{и}}(T) = 0$ , находим результат преобразования:

$$T = mT_x (1 - e^{-T/T_x}). \quad (5)$$

Значение  $T$  получено в неявном виде. При  $m > 1$  множитель в скобке стремится к единице, измеренная величина имеет вид:

$$T = mT_x (1 - \delta_m) \approx mT_x, \quad (6)$$

где  $\delta_m = e^{-m}$  – относительная погрешность нелинейности, методическая погрешность.

С увеличением значения  $m$  методическая погрешность быстро уменьшается:  $\delta_m(3) = 3\%$ ,  $\delta_m(5) = 0,7\%$ ,  $\delta_m(7) = 0,033\%$ , при  $m \geq 10$  пренебрежимо мала. Таким образом, для практических случаев методическая погрешность отсутствует, преобразование линейно.

При измерениях в микросекундном диапазоне при  $m > 10$  дискретная составляющая погрешности может быть уменьшена более чем на порядок.

Операция интегрирования позволяет снизить влияние помехи. Результат интегрирования разности сигнала с помехой (1) и опорного уровня (2) имеет вид

$$\begin{aligned} U_{\text{и}}(t) &= -\frac{U_{\text{уст}}}{T_{\text{и}}} \left( \frac{t}{m} - T_x (1 - e^{-t/T_x}) \right) + \frac{U_m}{T_{\text{и}} \omega} \cos(\omega t) = \\ &= -\frac{U_{\text{уст}}}{T_{\text{и}}} \left( \frac{t}{m} - T_x (1 - e^{-t/T_x}) - \frac{U_m}{U_{\text{уст}} \omega} \cos(\omega t) \right) = -\frac{U_{\text{уст}}}{T_{\text{и}}} \left( \frac{t}{m} - T_x - \frac{\delta_{\text{п}}}{\omega} \cos(\omega t) \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Последнее слагаемое – абсолютная погрешность измерения  $T_x$  вследствие помехи, а так как  $|\cos(\omega t)| \leq 1$ , то оценки абсолютной и относительной погрешности:

$$\Delta_x \leq \frac{\delta_{\text{п}}}{\omega}; \quad (8)$$

$$\delta_x \leq \frac{\Delta_T}{T_x} = \frac{\delta_{\text{п}}}{\omega T_x}. \quad (9)$$

На рис. 3 построены графики сигналов.

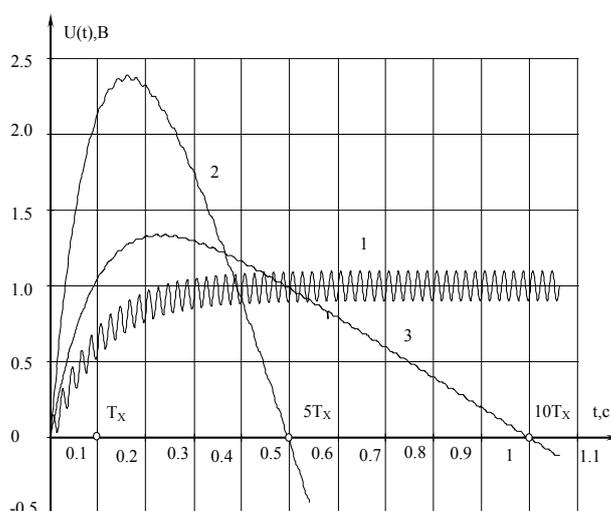


Рис. 3. Преобразование постоянной времени при наличии помехи:

- 1 – контролируемый сигнал;  $T_x = 0,1$  с;  $U_{уст} = 1$  В;  $U_m = 0,1$  В;  
 2 – результат преобразования;  $m = 5$ ,  $T_{и} = 0,02$  с;  
 3 – результат преобразования;  $m = 10$ ,  $T_{и} = 0,05$  с

Операция интегрирования уменьшает влияние помехи в соответствии с (9), с ростом частоты помехи уменьшаются абсолютная и относительная погрешности измерения постоянной времени. Для принятых значений при частоте помехи  $f = 50$  Гц и  $\delta_{п} = 0,1$ :

$$\delta_x \leq \frac{\delta_{п}}{\omega T_x} = \frac{\delta_{п}}{2\pi f T_x} = \frac{\delta_{п}}{10\pi} = 0,032\delta_{п} = 0,0032. \quad (10)$$

Ослабление влияния помехи обеспечивается для всех частот помехи, удовлетворяющих условию:

$$f > \frac{1}{2\pi T_x}. \quad (11)$$

Постоянная времени интегрирования  $T_{и}$  не входит в результат преобразования, к точности и стабильности параметров интегратора не предъявляются высокие требования, что является достоинством способа преобразования  $T_x$ .

Применение операции интегрирования позволило разработать точные помехозащищенные преобразователи [1–4].

#### Литература

1. Устройство для измерения емкости конденсатора : пат. 19854 Респ. Беларусь на изобретение, МПК6 G 01R 27/26 / Козусев Ю. А., Кочешов Е. В. ; 28.02.2016 // Афіцыйны бюл. / Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры. – 2016. – № 1. – С. 124.
2. Способ определения постоянной времени переходного процесса и устройство для его осуществления: пат. 19865 Респ. Беларусь на изобретение, МПК6 G 01R 27/02 / Ю. А. Козусев ; 28.02.16 // Афіцыйны бюл. / Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры. – 2016. – № 1. – С. 122.

3. Способ определения постоянной времени переходного процесса и устройство для его осуществления : пат. 20066 Респ. Беларусь на изобретение, МПК6 G 01R 29/02 / Козусев Ю. А. ; 30.04.16 // Афіцыйны бюл. / Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры. – 2016. – № 2. – С. 115.
4. Способ определения постоянной времени переходного процесса и устройство для его осуществления : пат. 20094 Респ. Беларусь на изобретение, МПК6 G 01R 29/02 / Козусев Ю. А., Кухаренко С. Н. ; 30.04.16 // Афіцыйны бюл. / Вынаходствы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя ўзоры. – 2016. – № 2. – С. 116.

УДК 62-50:62-529

## АНАЛИЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА SCILAB

Э. М. Виноградов

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

*Рассмотрено использование программного пакета Scilab для анализа линейной системы автоматического управления.*

**Ключевые слова:** пакет Scilab, система автоматического управления, передаточная функция, временные характеристики, частотные характеристики.

## CONTROL SYSTEM ANALYSIS WITH A HELP OF SOFTWARE PACKAGE SCILAB

E. M. Vinogradov

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

*The report considers usage of software package Scilab for analysis linear control system.*

**Keywords:** linear control system, transfer function, time response functions, frequency functions.

В последнее время в учебных целях начал широко использоваться бесплатный, свободно распространяемый программный продукт *Scilab*, который предназначен для выполнения инженерных и научных вычислений. Последнюю версию пакета вместе с технической документацией на английском языке можно скачать с официального сайта программы – [www.scilab.org](http://www.scilab.org). Следует отметить, что имеется очень мало русскоязычных руководств по *Scilab*, особенно по способам его применения для решения задач автоматического управления.

В инженерной практике наиболее часто используется представление системы автоматического управления в виде структурной схемы, состоящей из типовых динамических звеньев. Каждое звено описывается передаточной функцией. *Scilab* также позволяет использовать этот подход.

В пакете *Scilab* имеется функция *syslin()*, которая определяет линейное динамическое звено (или систему) по ее передаточной функции  $W(s)$  следующим образом:

$$W = \text{syslin}('c', W(s)),$$

где параметр 'c' указывает, что система с непрерывным временем, а  $s$  – символьная переменная. Затем, используя обычные правила преобразования структурных схем, необходимо получить эквивалентную функцию всей системы управления.