

Необходимость генерировать производные по времени в моделях *СТ* устраняется классом методов обработки сигналов, обозначаемых операцией *RLD*. Предшественником этого класса методов является метод модуляции функций [5]. На рисунке 5 показано генеалогическое древо различных методов обработки сигналов, относящихся к этому классу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Aström, K. J. System identification / K. J. Aström, P. Eykhoff. – 1971. – A survey. *Automatica*, 7(2). – pp. 123–162,
2. Young P. Parameter estimation for continuous-time models P. Young. – A survey, *Automatica*. – vol.17. – issue.1. – pp. 23–39, 1981.
3. H. Unbehauen and G. P. Rao, Continuous-time approaches to system identification – A survey, *Automatica*, vol.26, issue.1, pp. 23-35, 1990.
4. Zaden, L. A. From Circuit Theory to System Theory. / L. A. Zaden. – 1962. – Proc. IRE, vol. 50. – pp. 856–865.
5. Shinbrot, M. On the analysis of 1Linear and nonlinear systems / M. Shinbrot. *Trans. ASME*. 1957. – № 79. –pp. 457–547.

УДК 681.5

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРЯЕМОЙ СРЕДЫ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОМЕТРОВ

Бакаленко В. И., Дейнека Т. А.

*Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Беларусь*

В [1], [2] рассматривался способ уменьшения инерционности термометров путем обработки микроконтроллером в реальном масштабе времени данных, поступающих с первичного преобразователя, где отмечалось, что применимость метода во многом зависит от того, насколько принятая в модели постоянная времени (T_M) соответствует реальной (T_0).

При ступенчатом изменении измеряемого параметра максимальную ошибку, обусловленную отличием реальной постоянной времени термометра от модели, можно оценить по формуле

$$\delta(T_0, T_M, \Delta t) = \frac{1 - e^{-\frac{\Delta t}{T_0}}}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{T_M}}} = \frac{1 - e^{-\frac{T_M}{T_0 \cdot n}}}{1 - e^{-\frac{T_M}{T_0 \cdot n}}}, \quad (1)$$

где Δt – интервал измерений.

Интервал измерений выбирается как часть постоянной времени модели, то есть $\Delta t = T_M/n$.

Зависимость ошибки расчета от интервала измерений и отношения T_M/T_0 показана на рисунке 1. Из рисунка следует, что уменьшение интервала измерений

более чувствительно к отклонениям постоянной времени математической модели от реального значения.

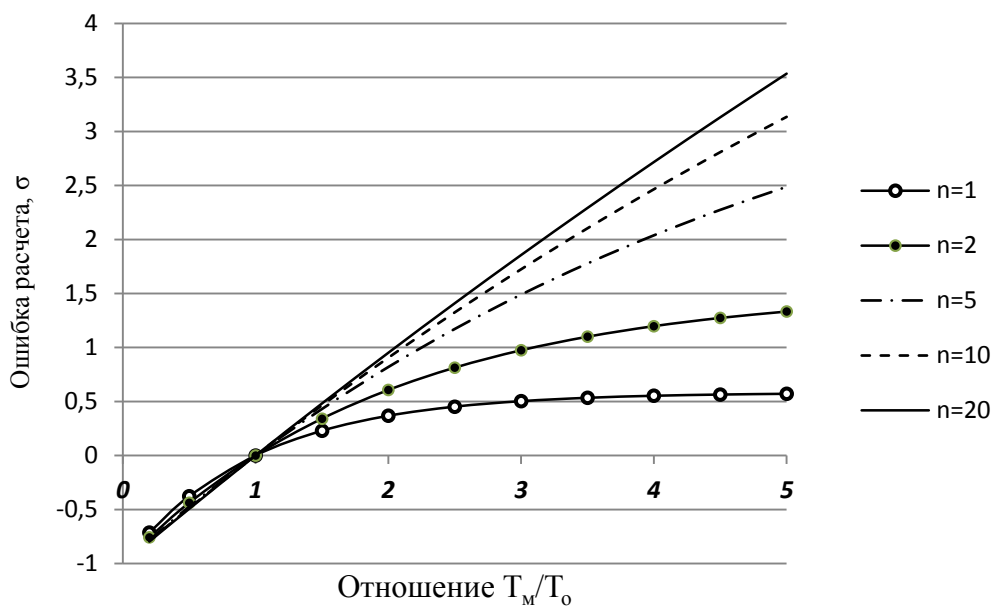


Рисунок 1 – Зависимость ошибки расчета от интервала измерений

Постоянную времени термометра (T_m) без защитной гильзы можно представить в виде

$$T_m = \frac{c_p \cdot m}{\alpha \cdot F}, \quad (2)$$

где c_p и m – теплоёмкость и масса термометра;
 F – площадь термометра, контактирующая со средой;
 α – коэффициент теплоотдачи.

Конструктивные параметры (масса термометра и площадь теплообмена) в процессе измерений остаются неизменными и, следовательно, не приводят к изменению постоянной времени модели. Изменением теплоемкости материала термометра (стали) можно пренебречь, т. к. она увеличивается на 3–5 % с ростом температуры на каждые 100 °С.

Наибольшее влияние на постоянную времени оказывает изменение коэффициента теплоотдачи (α), который зависит от параметров среды и скорости движения.

Коэффициент теплоотдачи при обтекании цилиндра может быть определен из критериальных уравнений [3]:

для жидкости при $Re > 10^3$:

$$Nu = 0,28 Re^{0,6} Pr_{жс}^{0,36} (Pr_{жс} / Pr_{ст})^{0,35}; \quad (3)$$

для воздуха при $Re > 10^3$:

$$Nu = 0,245 Re^{0,6}, \quad (4)$$

где Nu – критерий Нуссельта; Pr – критерий Прандтля; Re – критерий Рейнольдса.

В формуле (1) критерии $Pr_{жс}$ и $Pr_{ст}$ рассчитаны соответственно при температурах жидкости и стенки.

Тогда, подставляя в (1) и (2) значения критериев

$$Re = \frac{\rho V \Psi}{\mu}, \quad Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}, \quad Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda},$$

получим:

для жидкости при равенстве температур измеряемой среды и корпуса термометра

$$\alpha = 0,28 \cdot \frac{(\rho V)^{0,6} c_p^{0,36}}{\mu^{0,24} \lambda^{0,64} d^{0,4}}; \quad (5)$$

для воздуха:

$$\alpha = 0,245 \cdot \left(\frac{\rho V}{\mu} \right)^{0,6} \cdot \frac{\lambda}{d^{0,4}}, \quad (6)$$

где d – диаметр трубопровода; μ – динамическая вязкость среды; ρ – плотность среды; λ – теплопроводность среды.

В диапазоне от 0 до 100 °С зависимость плотности, теплопроводности и вязкости воздуха от температуры с погрешностью не более 5 % можно выразить линейными уравнениями:

$$\rho_t = 1,26 - 0,0034 \cdot t, \quad (7)$$

$$\mu_t = (17,2 + 0,048 \cdot t) \cdot 10^{-5}, \quad (8)$$

$$\lambda_t = (2,44 + 0,008 \cdot t) \cdot 10^{-2}. \quad (9)$$

Подставляя (7), (8) и (9) в (6), получим, что в потоке воздуха в диапазоне температур от 10 до 100 °С коэффициент теплоотдачи изменяется не более чем на 10 %, и изменением постоянной времени можно пренебречь (рисунок 2).

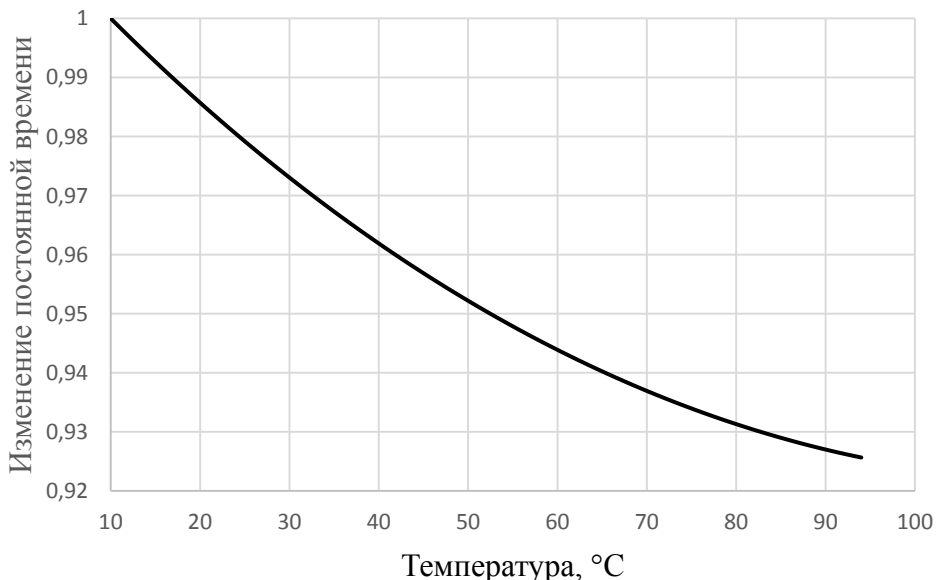


Рисунок 2 – Изменение постоянной времени в воздухе

Зависимости плотности, вязкости и теплопроводности от температуры для жидкостей имеют более сложный характер.

Вязкость масел в диапазоне температур от 10 до 100 °С уменьшается в 10 раз, при этом зависимость практически линейная. Плотность также линейно уменьшается, но в значительно меньшей степени (около 10–15 %).

Для воды зависимости имеют нелинейный характер и в диапазоне от 20 до 100 °С с погрешностью не более 5 % могут быть представлены в виде:

$$\rho_t = (1000 - 0,07 \cdot t - 0,0036 \cdot t^2), \quad (10)$$

$$\mu_t = (1,6 \cdot e^{-0,02t}) \cdot 10^{-3}, \quad (11)$$

$$\lambda_t = (0,55 + 0,0026 \cdot t - 1 \cdot 10^{-5} \cdot t^2). \quad (12)$$

Аналогично, подставляя (10), (11) и (12) в (5), получим зависимость изменения постоянной времени от температуры (рисунок 3).

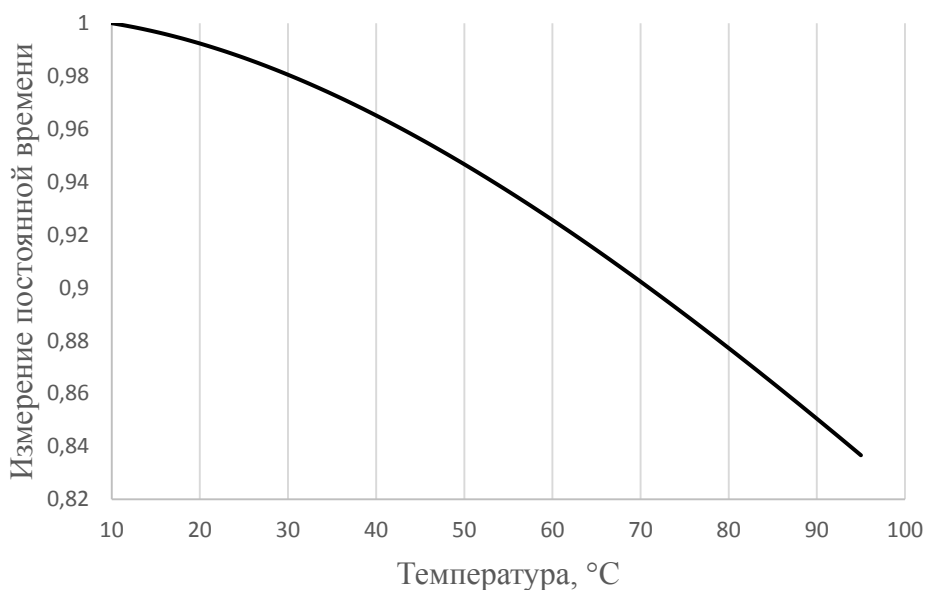


Рисунок 3 – Изменение постоянной времени в воде

Для воды влияние температуры более существенно, но в исследуемом диапазоне температур не превышает 20%.

Таким образом, наиболее существенное влияние на постоянную времени средства измерения оказывает изменение скорости потока. В реальных условиях (при изменении положения регулирующего органа) скорость потока может изменяться в десятки раз. Например, при изменении скорости потока в 20 раз (при постоянной температуре) постоянная времени уменьшится в 6 раз.

Использование (3) и (4), при составлении модели термометра для [1], позволит получать корректные данные даже при использовании малых интервалов изменений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бакаленко, В. И. Улучшение динамических характеристик термометров / В. И. Бакаленко, Д. С. Карпович // 84-я научно-техническая конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов БГТУ. Секция химической технологии и техники. – Минск, 2020. – С. 287–289.

2. Бакаленко, В. И. Уменьшение погрешности средств измерений / В. И. Бакаленко, Т. А. Дейнека // Нефтехимия – 2021 : материалы IV Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 22–24 ноября 2021 г. – Минск : БГТУ, 2021. – С. 243–244.

3. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977, 344 с. с ил.

УДК 621.316.7

КОМПЕНСАТОР РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ БЫТОВЫХ НАГРУЗОК

Вабищевич Л. И., Ярошевич А. В.

*Брестский государственный технический университет,
г. Брест, Республика Беларусь*

Потери в сетях электроснабжения анализируются давно, обстоятельно и системно. В полной мере это относится и к потерям из-за реактивных нагрузок. Однако, ситуация в бытовом потреблении электроэнергии анализируется в самом общем виде. Требования к компенсаторам реактивной мощности (КРМ) для бытовых нагрузок не сформулированы. Учитывая значительную долю бытового потребления электроэнергии, задача разработки КРМ является актуальной. Способ решения этой задачи и некоторые требования к устройствам предложены путём применения аналоговой схемы вычислителя для КРМ [1].

Для обеспечения экономической целесообразности применения решающим параметром должна быть стоимость устройства. Стоимость определяется построением электрических схем из простых и надёжных элементов, количество которых в схеме невелико. Такой подход позволит обеспечить и другое важнейшее требование – небольшие габариты – позволяющие встраивать КРМ в квартирные щиты энергоснабжения.

Распространение бытовых приборов с трансформаторами, электродвигателями и сложными электронными цепями привело к появлению реактивной (индуктивной) составляющей мощности (РМ), $\cos\varphi$ в таких цепях может составлять $\cos\varphi = 0,65 \dots 0,97$ [2]. Средневзвешенное значение $\cos\varphi = 0,85$.

Передача РМ к потребителю и ее потребление в сети приводят к дополнительным потерям активной мощности (АМ) в распределительных электрических сетях. При значении $\cos\varphi = 0,85$ РМ составляет 60 % от АМ. Вследствие этого возрастают и активные потери от передачи электроэнергии, которые при $\cos\varphi = 0,85$ составляют 15 % от полезной активной мощности у потребителя при 10% в случае чисто активной нагрузки.

При реализации схемы компенсации РМ необходимо решить следующие проблемы:

- измерение величины реактивных потерь в реальном времени;
- определение ёмкости компенсирующего конденсатора;
- коммутация к сети ёмкости из конденсаторной батареи.

Общая схема предлагаемого устройства для компенсации РМ бытового потребителя электрической энергии представлена на рисунке 1.