



# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫМ АГРЕГАТОМ ПРИ НАЛИЧИИ СЛУЧАЙНЫХ ЗАПАЗДЫВАНИЙ

УДК 621.311

## УШКАРЕНКО Александр Олегович

к.т.н., доцент кафедры теоретической электротехники и электронных систем,  
Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова.

**Научные интересы:** автоматизация электроэнергетических систем,  
информационное обеспечение электроэнергетических систем.

## ХАЛЕД Омар Ганнам

аспирант кафедры теоретической электротехники и электронных систем,  
Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова.

**Научные интересы:** моделирование в электронике и электроэнергетике, микропроцессорные системы управления.

## ЯЗИД Джамал Исмаил Альшайх

аспирант кафедры теоретической электротехники и электронных систем,  
Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова.

**Научные интересы:** информационное обеспечение электроэнергетических систем,  
имитационное моделирование в электроэнергетике.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время распределенные системы управления, как правило, выполняются на базе многозадачных управляющих контроллеров и имеют сетевую организацию [1]. Различные части системы имеют разную природу (непрерывный объект и дискретная управляющая часть), а система в целом описывается сложной комбинацией дифференциальных уравнений, алгебраических уравнений и неравенств и логических условий [2]. В теории цифрового управления интервалы осуществления выборки обычно принимаются одинаковыми, а задержка управления считается несущественной или постоянной. Однако на практике это имеет место лишь в редких случаях. В микроконтроллере задачи накладываются друг на друга и блокируются в ожидании общих ресурсов. Время выполнения самих задач может изменяться. Передача данных по сети происходит с задержками, величина и стабильность которых зависит как от протокола связи, так и от загруженности каналов. В этих условиях аналитиче-

ский анализ поведения цифровых систем управления затруднен, наиболее естественным представляется путь имитационного моделирования.

Многие программы, такие как Proteus, MultiSim, позволяют выполнить моделирование аналоговых, цифровых и микропроцессорных систем, а результаты моделирования отображаются с помощью многочисленных виртуальных приборов, которые имеются в этих программах [3, 4]. Использование коммуникационных возможностей программ моделирования позволяет создавать мультимедийные модели с микропроцессорными системами управления объектами автономной электроэнергетики, в частности дизель-генераторными агрегатами. Подобный подход позволяет разработчикам перенести программное обеспечение микропроцессорных систем управления в реальные устройства без необходимости его изменения, что уменьшает время разработки и позволяет заранее выявить все ошибки программного обеспечения, основываясь на результатах

моделирования. Связь между компьютерами организуется по одному из стандартных интерфейсов (RS232, Ethernet), что также позволяет провести исследование информационных потоков, оценить влияние задержек передачи информационно-управляющих пакетов на качество управления.

**Целью статьи** является разработка моделей микропроцессорных систем управления дизель-генераторным агрегатом с целью исследования различных алгоритмов управления, а также исследование влияния временных задержек передачи информационно-управляющих пакетов на качество управления оборотами дизеля и возбуждением генератора при управлении по сети.

**ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

Судовые электроэнергетические системы (СЭС) состоят из аналоговых и дискретных компонентов и являются системами со сложным взаимодействием дискретной и непрерывной динамики, поэтому они относятся к классу гибридных систем [5]. Разработка имитационной модели гибридной системы, характеризующейся переменным значением шага квантования, может вестись различными способами. Среди готовых инструментов моделирования можно выделить построенный на базе пакета MATLAB симулятор TrueTime.

Для решения поставленной задачи необходимо выполнить построение модели электростанции и регулятора, между которыми включена сеть как элемент передачи данных. На рис. 1 представлена структурная схема распределенной системы управления.

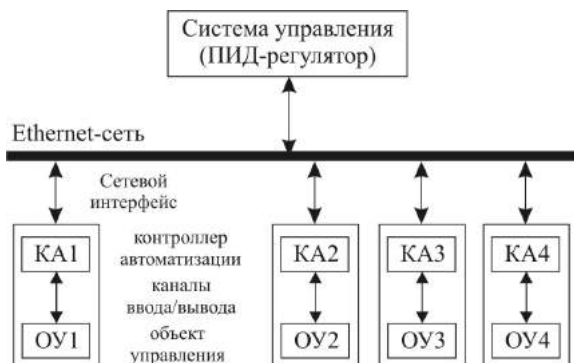


Рис. 1. Структура распределенной системы управления

Объектом управления (ОУ) являются синхронный генератор и дизельный агрегат. Моделирование объекта

управления предполагает использование асинхронного обмена информацией между приложениями, работающими на разных компьютерах. В рассмотренном случае используется клиент-серверная архитектура. Линия задержки вносит запаздывание сигнала на величину, зависящую от интервала дискретизации и интенсивности запросов:

$$T = f(v, \lambda),$$

Разработанная модель включает минимальный набор объектов, связанных между собой и допускающих внешнее управление.

Моделирование работы систем управления выполняется путем замены непрерывного регулятора на цифровой, который программно реализован в виде цифрового автомата в микроконтроллере, и варьированием временных интервалов между изменением состояний автомата.

Передаточная функция регулятора системы возбуждения синхронного генератора имеет вид:

$$W_{EX}(s) = \frac{K_p}{T_d s + 1} = \frac{10}{0,01s + 1}, \tag{1}$$

где  $K_p$  – коэффициент усиления,  $T_d$  – постоянная времени интегрирования.

В случае управления возбуждением синхронного генератора (СГ) период дискретизации  $T_s$  соизмерим с постоянными времени системы, поэтому квантование процесса управления будет оказывать существенное влияние на динамику системы.

Для получения адекватной модели дискретной системы выполняется дискретизация непрерывной системы. Наиболее распространенным способом дискретизации является дискретизация с использованием экстраполятора нулевого порядка [4].

После выполнения z-преобразования выражения (1), передаточная функция цифрового регулятора системы возбуждения генератора принимает вид:

$$W_{EX}(z) = Z \left\{ \frac{1 - e^{-sT_s}}{s} \frac{K_p}{1 + T_d s} \right\} = \frac{bz^{-1}}{1 - az^{-1}} = \frac{8,65z^{-1}}{1 - 0,135z^{-1}}, \tag{2}$$

где

$$a = e^{-\frac{T_s}{T_d}}, b = K_p(1 - a).$$

На рис. 2 представлена модель для исследования цифрового регулятора системы возбуждения синхронно-генератора.

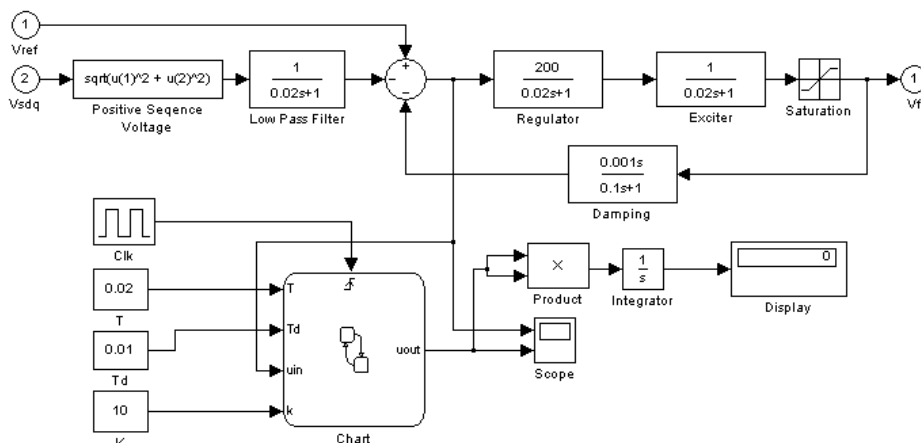


Рис. 2. Модель для исследования цифрового регулятора системы возбуждения синхронного генератора

Передаточная функция системы управления (регулятора) дизельным агрегатом имеет вид:

$$W_{DG}(s) = \frac{K(T_0s + 1)}{T_1s^2 + T_2s + 1} = \frac{40(0,2s + 1)}{0,0002s^2 + 0,01s + 1}, \quad (3)$$

где  $K$  – коэффициент усиления,  $T_1, T_2, T_3$  – постоянные времени регулятора.

После выполнения z-преобразования выражения (3), передаточная функция цифрового регулятора при периоде дискретизации 0,01 секунда имеет вид:

$$W_{DG}(z) = 40 \cdot \frac{7,437 - 7,06z^{-1}}{1 - 1,229z^{-1} + 0,606z^{-2}}. \quad (4)$$

На рис. 3 представлена модель для исследования работы цифровой системы управления дизельным агрегатом.

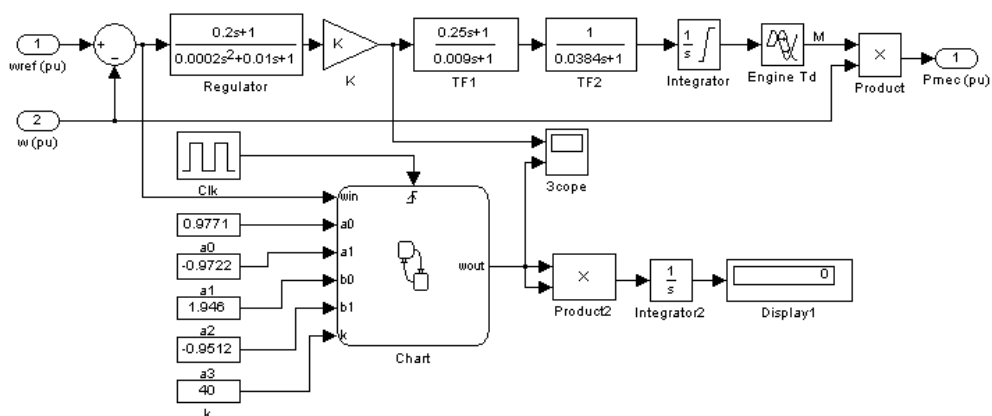


Рис. 3. Модель для исследования работы цифровой системы управления дизельным агрегатом

Реализации цифровых систем управления возбуждением синхронного генератора (2) и оборотами дизельного агрегата (4) в виде диаграмм состояний цифрового

автомата при случайном значении периода дискретизации, представлены на рис. 4, а, б, соответственно.

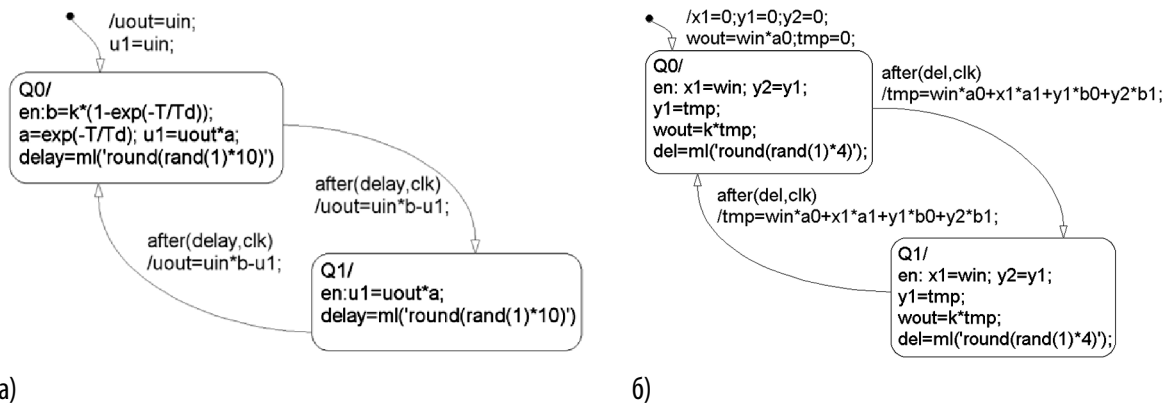


Рис. 4. Реализации цифровых систем управления в виде диаграмм состояний: а – возбуждением синхронного генератора; б – оборотами дизельного агрегата

Основными показателями качества работы регулятора, которые вычисляются по переходной характеристике, является перерегулирование, колебательность, интегральная оценка. В работе для оценки качества управления используется интегральный показатель критерия качества управления  $A$ :

$$A = \int_0^{\infty} (h(t) - h_{cm}(t))^2 dt.$$

Зависимость интегрального показателя критерия качества управления от задержки передачи информационно-управляющих пакетов на удаленный регулятор системы возбуждения синхронного генератора представлена на рис. 5, а. Зависимость интегрального критерия качества управления от задержки передачи информационно-управляющих пакетов на удаленный регулятор оборотов дизельного агрегата представлен на рис. 5, б.

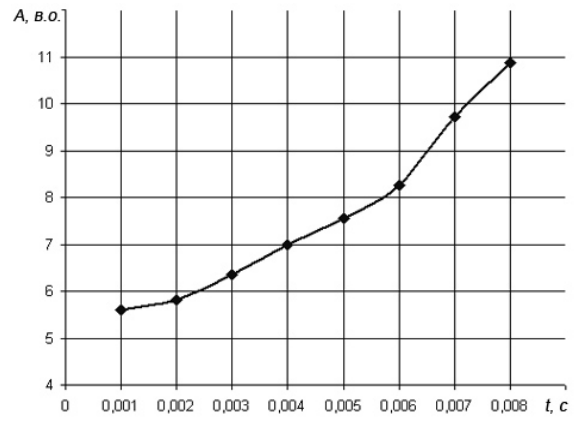
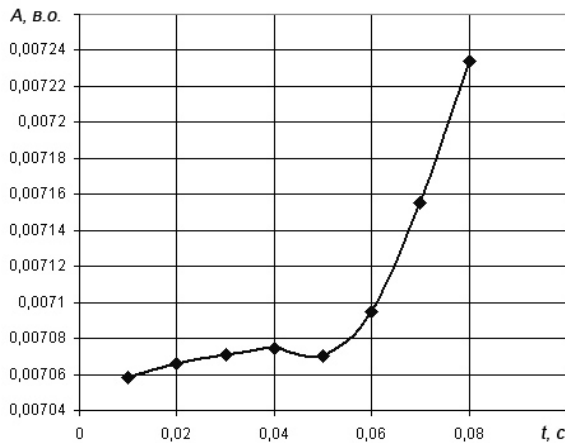


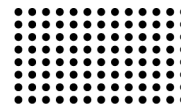
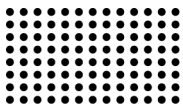
Рис. 5. Зависимость интегрального показателя критерия качества управления от величины задержки: а – системы возбуждения синхронного генератора; б – оборотов дизельного агрегата

Как видно из графиков, при увеличении величины запаздывания качество управления ухудшается. Чтобы избежать негативного влияния запаздывания и оптимально использовать доступные системе управления вычислительные ресурсы, проектирование алгоритмов

управления и программного обеспечения должно вестись с учетом данного фактора.

### ВЫВОДЫ

С использованием разработанных гибридных моделей для исследования процесса управления дизель-



генераторным агрегатом при наличии случайных запаздываний в контуре управления были получены зависимости интегрального показателя критерия качества управления от величины временной задержки. Использование автоматного подхода позволяет выполнить изоморфный переход от аналитической записи закона регулирования к его программной реализации. Для управления объектами автоматизации в режиме реального времени необходимо минимизировать задержки

передачи пакетов по сети. Этого можно достичь поиском оптимального маршрута передачи сообщений, оптимизации алгоритмов обработки потоков в узлах сети, распределение потоков на классы обслуживания с целью выделения наиболее приоритетных. Выбор оптимального параметра оптимизации определяется задачами, решаемыми сетью, и в общем случае может изменяться в процессе функционирования сети в зависимости от режима работы судовой электростанции.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Dubickij, M. A. *Выбор i ispol'zovanie rezervov generirujushhej moshhnosti v jelektrojenergeticheskix sistemah* [Tekst] / M. A. Dubickij, Ju. N. Rudenko, M. B. Shel'cov. – М.: Jenergoatomizdat, 1988. – 272 s.
2. Ornov, V. G. *Zadachi operativnogo i avtomaticheskogo upravlenija jenergosistemami* [Tekst] / V. G. Ornov, M. A. Rabinovich. – М.: Jenergoatomizdat, 1988. – 223 s.
3. Babkov S.P. *Modelirovanie sistem: uch. posobie* / S.P. Babkov, D.O. Bytev, Ivan. gos. him. – tehnolog. un-t. – Ivanovo, 2008. – 156 s.
4. Borodjuk V.P. *Diskretnye cepi Markova v zadachah optimizacii tehniceskix sistem* / V.P. Borodjuk Ju.E. Goljas. – М.: Mosk. jenerg. in-t, 1989. – 76 s.
5. Rjaben'kij V.M. *Issledovanie provalov i vspletkov naprjazhenija v avtonomnyx jelektrojenergeticheskix sistemah* / V.M. Rjaben'kij, O.O. Ushkarenko, Nguen Van Than' // *Tehnichna elektrodinamika. Tem. vipusk. Kiiiv, 2010. Ch.1. S.182-186.*