

УДК 681.5.015

Математические модели систем управления процессом производства ВУТ / И. С. Кушнир, А. И. Андреев // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХП», 2013. – № 18 (991). – С. 156–162. – Бібліогр.: 10 назв.

Наведені результати розробки узагальнених моделей систем управління виробництвом водувугільного палива (ВВП) з принципом управління за відхиленням і комбінованим принципом управління. Отримані передатні функції систем за помилкою. Розглянута можливість підвищення порядку астатизму шляхом використання компенсуючих пристроїв в комбінованій системі управління.

Ключові слова: замкнута система управління, комбінована система управління, астатизм, паливо, компоненти.

Results of development of the generalized models of a control systems on production of water coal fuel (WCF) with the principle of control on a deviation and the combined principle of control are presented. Transfer functions by mistake are taken. Possibility of increase of an order of astatism by use of compensating devices in the combined control system is considered.

Keywords: the closed control system, the combined control system, astatism, fuel, components.

УДК 621.314

В. М. РЯБЕНЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., НУК им. адм. Макарова, Николаев;
В. П. МИШУСТОВ, аспирант НУК им. адм. Макарова, Николаев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРНЫМ ВЫПРЯМИТЕЛЕМ

Предлагается структура системы импульсно-фазового управления с устойчивостью к колебаниям частоты сетевого напряжения. Получены результаты моделирования данной системы.

Ключевые слова: система импульсно-фазового управления, колебания частоты, прецизионные выпрямители.

Введение

Управляемые выпрямители являются неотъемлемой частью тех автономных электроэнергетических систем, в которых основными потребителями являются двигатели постоянного тока. Постоянное совершенствование элементной базы и, в частности, силовых управляемых вентилей, приводит к тому, что возрастает мощность потребителей, запитываемых с использованием управляемых выпрямителей.

Особенностью некоторых автономных электроэнергетических систем является наличие колебаний частоты генерируемого напряжения. Такая ситуация наблюдается при использовании в качестве источников энергии газовых двигателей, изготавливаемых заводом Дизельмаш (Первомайск, Николаевской обл.), Институтом газа (НАН Украины), а также отдельными зарубежными фирмами. Поскольку в любых автономных электростанциях используются статические преобразователи электроэнергии, то колебания частоты влияют на показатели качества электроэнергии таких преобразователей. Наиболее чувствительными к колебани-

© В. М. Рябенкий, В. П. Мишустов, 2013

ям частоты являются управляемые выпрямители, поскольку их системы управления непосредственно связаны с сетями питания. Осциллограмма (рис. 1) иллюстрирует значительные ($45\div 55\text{Гц}$) колебания частоты напряжения ГДГА, а следовательно и оборотов газового дизеля, которые будут приводить к значительным колебаниям активной мощности.

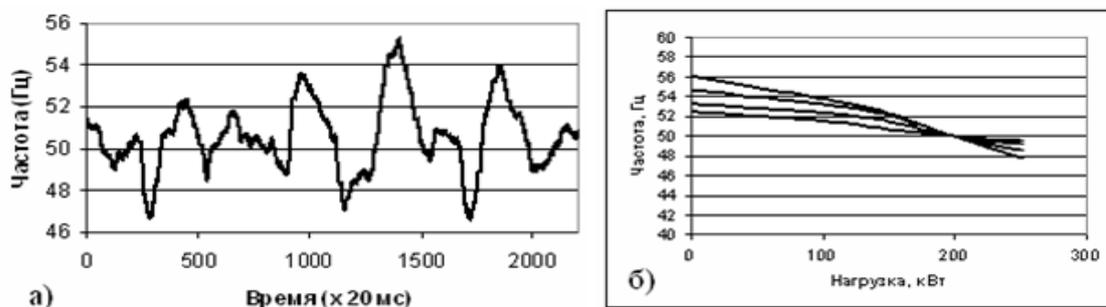


Рис. 1 – Механические характеристики ГДГА

Известно, что подавляющее большинство систем управления тиристорными выпрямителями составляют синхронные системы импульсно-фазового управления (СФУ). Однако, помимо многочисленных преимуществ, они обладают некоторыми недостатками, такими как неустойчивость к колебаниям частоты сетевого напряжения. Данный факт связан с тем, что угол управления α в данных системах подсчитывается в качестве временного промежутка между возникновением сигнала перехода сетевого напряжения через 0 и подачей импульса управления на ключи, исходя из того факта, что полный период сетевого напряжения составляет 20 мс. При изменении данного периода (вследствие колебаний частоты) происходит изменение реального угла управления, что приводит к изменению уровня напряжения на выходе выпрямителя.

В качестве решения проблемы колебаний частоты предлагается применение интегральной системы импульсно-фазового управления. Функциональная схема интегральной СФУ представлена на рис. 2

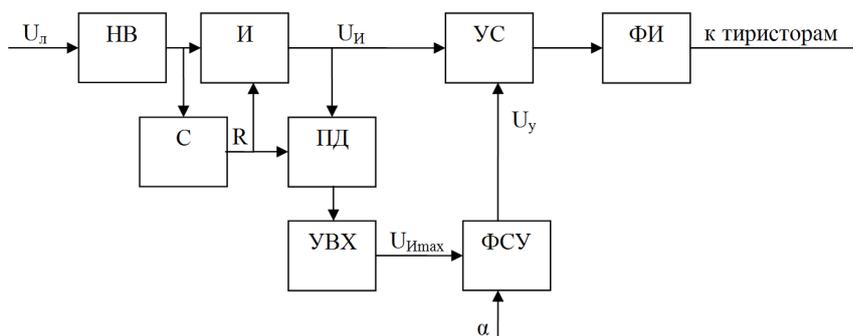


Рис. 2 – Функциональная схема одного из трех идентичных блоков интегральной СФУ

На рис. 2 представлены: НВ – неуправляемый выпрямитель, И – интегратор (с входом сброса), С – схема сброса (контроль перехода через 0), ПД – пиковый детектор, УВХ – устройство выборки – хранения, ФСУ – формирователь сигнала управления, УС – устройство сравнения, ФИ – формирователь импульсов, α - угол управления, U_L – линейное напряжение, R – сигнал сброса, U_I – сигнал на выходе интегратора, $U_{I\max}$ – максимум сигнала на выходе интегратора, U_y – управляющее воздействие.

Линейное напряжение сети через неуправляемый выпрямитель подается на вход интегратора. Сигнал на выходе интегратора вычисляется как:

$$U_{II} = \int_0^{\frac{\alpha}{\omega}} U_m \cdot \sin(\omega \cdot t) dt = -\frac{U_m}{\omega} \cos(\omega \cdot t) \Big|_0^{\frac{\alpha}{\omega}} = \frac{U_m}{\omega} - \frac{U_m}{\omega} \cdot \cos(\alpha), \quad (1)$$

где U_m – амплитудное значение интегрируемого напряжения;

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – угловая частота;

α – угол управления (радианы);

Блок С формирует сигнал сброса в момент перехода сетевого напряжения через 0. Сигнал на выходе интегратора в этот момент (при $\alpha = \pi$) :

$$U_{II \max} = \frac{2 \cdot U_m}{\omega}, \quad (2)$$

Данный уровень фиксируется пиковым детектором и записывается в устройство выборки-хранения. На основании данного значения в блоке ФСУ формируется управляющее воздействие:

$$U_v = \frac{U_{II \max} \cdot (1 - \cos(\alpha))}{2}, \quad (3)$$

Устройство сравнения в случае совпадения уровня сигнала управления и сигнала на выходе интегратора подает сигнал на формирователь импульсов, который непосредственно управляет силовыми ключами.

Реализация модели интегральной СФУ представлена на рис. 3

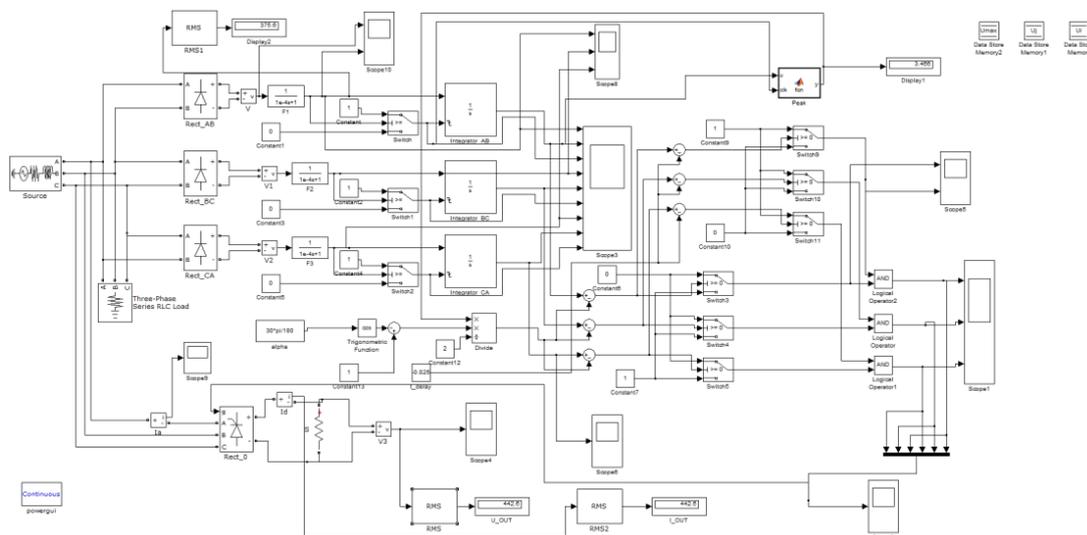


Рис. 3 – Реализация модели интегральной СФУ

В качестве источника питания используется трехфазный источник напряжения мощностью 800 кВт. Мощность, потребляемая управляемым выпрямителем, соизмерима с мощностью источника, что позволяет рассматривать модель как автономную электроэнергетическую систему. Линейное напряжение сети через неуправляемый выпрямитель подается на вход соответствующего интегратора. Ин-

тегратор имеет вход сброса, схема сброса контролирует переход линейного напряжения через ноль. Пиковый детектор совместно с устройством выборки-хранения представлен блоком Peak. Задача пикового детектора и устройства выборки-хранения – фиксация максимального значения интеграла сетевого напряжения. Группа управляемых переключателей совместно с элементами AND (логическое и) формируют импульсы управления тиристорным выпрямителем. Угол управления задается в радианах (блок alpha), возможно изменение длительности импульсов управления тиристорными ключами. Три блока – ячейки памяти (U_i , U_j , U_{max}) используются в работе пик-детектора.

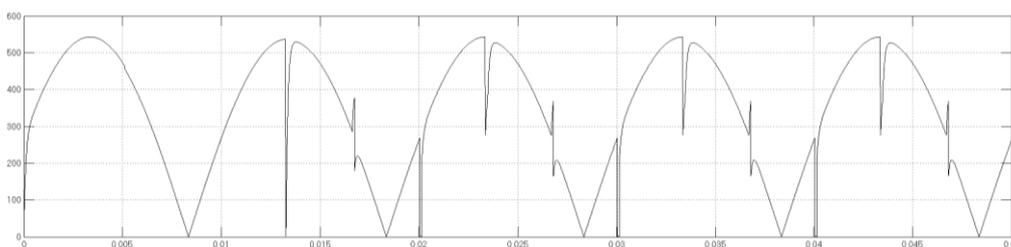


Рис. 4 – График пульсирующего напряжения на выходе неуправляемого выпрямителя

На рис. 4 представлен график пульсирующего напряжения на выходе неуправляемого выпрямителя. Отчетливо видны коммутационные провалы, которые в некоторых случаях способны вызвать ложный сигнал перехода через ноль сетевого напряжения, что вызовет ошибку управления выпрямителем. Во избежание данной ошибки в данной модели применен фильтр низких частот на выходе неуправляемого выпрямителя, который позволяет уменьшить влияние коммутационных провалов на работу СФУ. График напряжения на выходе фильтра представлен на рис. 5

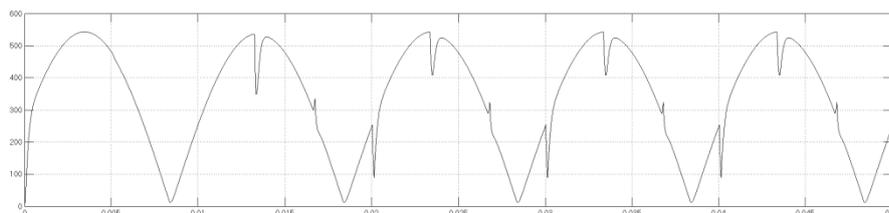


Рис. 5 – График пульсирующего напряжения на выходе фильтра

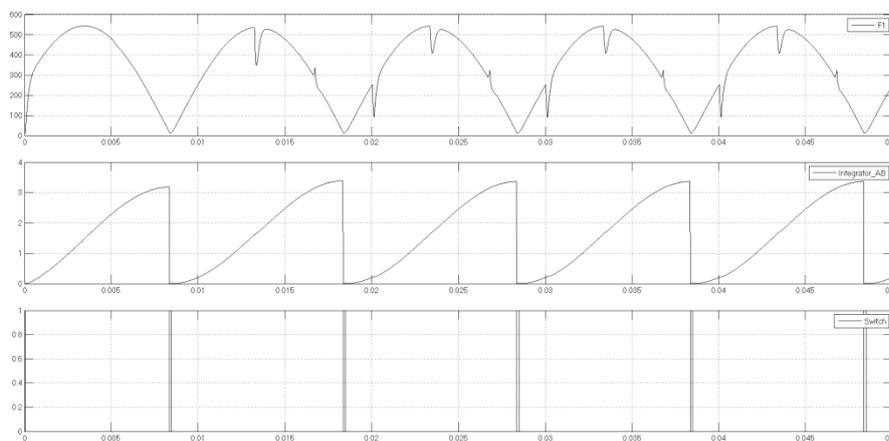


Рис. 6 – Диаграммы работы основных компонентов интегральной СФУ

На рис. 6 представлены диаграммы работы основных компонентов СФУ (один из трех идентичных блоков для каждой из фаз). Верхний график – напряжение на выходе фильтра, которое является напряжением на входе интегратора, средний график – сигнал на выходе интегратора, нижний график – импульсы сброса интегратора в момент перехода сетевого напряжения через ноль.

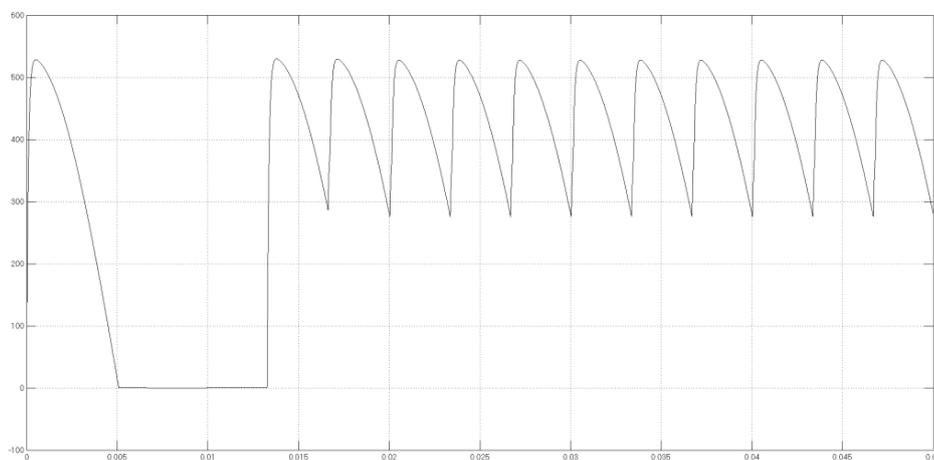


Рис. 7 – Форма напряжения на выходе управляемого выпрямителя

На рис. 7 представлена форма напряжения на выходе управляемого выпрямителя. Система начинает стабильно работать после определенной задержки, которая связана с наличием устройств выборки-хранения на выходах пик-детекторов. Однако данное время меньше периода сетевого напряжения. На рис. 8 представлена форма потребляемого тока в одной из фаз трехфазной питающей сети. Очевидно отсутствие неканонических гармоник потребляемого тока, что говорит о допустимости применения интегральной СФУ в реальных энергетических системах.

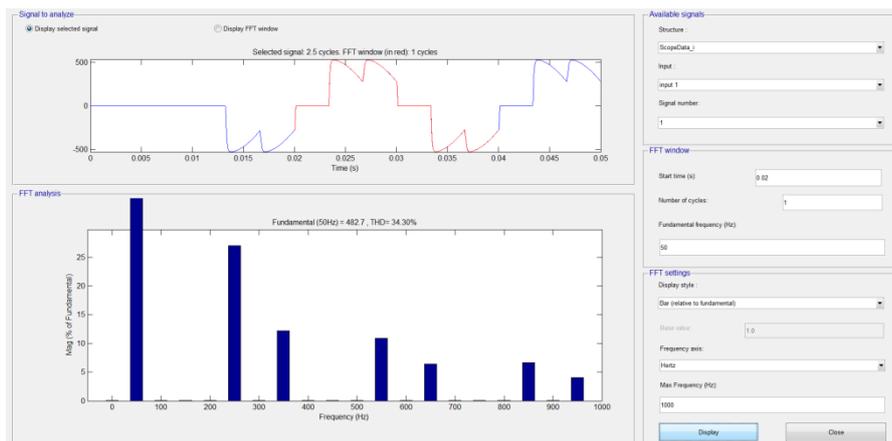


Рис. 8 – Форма потребляемого тока

Моделирование проводилось для различных значений частоты сетевого напряжения. В табл. приведены данные, полученные при моделировании (угол управления 30 градусов). Из таблицы следует, что данная СФУ демонстрирует устойчивость к колебаниям частоты в широких пределах.

Таблиця – Результати моделювання роботи інтегральної СФУ

| Частота сети, Гц | Напряжение на выходе выпрямителя, В |
|------------------|-------------------------------------|
| 40 | 451.8 |
| 46 | 452.6 |
| 50 | 453.1 |
| 54 | 453.7 |

Выводы

Представленная модель является моделью системы импульсно-фазового управления, что подтверждается диаграммами её работы. Принципом её работы является интегрирование кривой сетевого напряжения для формирования импульсов управления тиристорным выпрямителем. Результаты моделирования подтверждают устойчивость интегральной СФУ к колебаниям частоты сетевого напряжения. Искажения формы сетевого напряжения, связанные с коммутационными провалами, в данной модели устраняются путем применения фильтра низких частот, однако применение других типов фильтров позволит повысить устойчивость системы к ложным срабатываниям.

Список литературы: 1. *Рябенский В.М.* Исследование провалов и всплесков напряжения в автономных электроэнергетических системах / *В.М. Рябенский, А.О. Ушкаренко, Нгуен Ван Тхань* // Технічна електродинаміка. Тем. випуск. Київ, 2010. Ч.1. – С.182-186. 2. *Спирidonov А.А.* Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. – 182 с. 3. *Ушкаренко О.О., Спекторенко Р.А., Світлинський К.В.* Реалізація системи керування трифазним тиристорним випрямлячем з використанням автоматного програмування. // Електротехніка і електромеханіка: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів, молодих вчених з міжнародною участю. – Миколаїв: НУК, 2007. – С. 87-91. 4. *Рябенский В.М., Воскобоев В.И., Нгуен Ван Тхань, Мишустов В.П.* Причины возникновения и способ устранения низкочастотных колебаний оборотов газового двигателя // Збірник наукових праць НУК. Миколаїв: НУК, 2010. – № 6.

Надійшла до редколегії 14.03.2013

УДК 621.314

Моделирование интегральной системы импульсно-фазового управления тиристорным выпрямителем / В. М. Рябенский, В. П. Мишустов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 18 (991). – С. 162-167. – Бібліогр.: 4 назв.

Пропонується структура системи імпульсно-фазового управління із стійкістю до коливань частоти напруги мережі. Отримано результати моделювання даної системи.

Ключові слова: система імпульсно-фазового управління, коливання частоти, прецизійні випрямлячі.

The proposed structure of the pulse-phase control, with resistance to the frequency of the mains voltage fluctuations. The simulation results of the system were obtained.

Keywords: pulse-phase control, frequency variations, precision rectifiers.