

УДК 62-529  
**ИЗУЧЕНИЕ ВОПРОСА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ФАЗОВОЙ  
СИНХРОНИЗАЦИЕЙ**

**Хашимов Арипжан Адильович,**  
д.т.н., профессор  
**Цыпкина Виктория Вячеславовна,**  
д.т.н. (PhD), старший преподаватель  
**Муратов Хуснитдин Шарип УГЛи**  
магистрант

**Ташкентский Государственный Технический Университет имени Ислама Каримова**

**Аннотация:** в настоящей статье рассмотрены вопросы исследования электропривода с фазовой синхронизацией (ЭПФС), построенного на основе принципа фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) вращения. Особенности влияния различных способов модуляции на качество передачи сигнала в ЭПФС. Авторами проведены расчеты с применением ЭВМ на основе специального алгоритма, разработанного в программе Matlab.

**Ключевые слова:** сканирующая система, электропривод с фазовой синхронизацией, фазовая автоподстройка частоты, широтно-импульсная модуляция, цифровая модуляция, цифровые системы управления, дискретизация сигналов, алгоритм преобразования, схема выборки-хранения.

**STUDYING THE ISSUE OF USING THE METHODS OF DIGITAL CONTROL  
SYSTEMS IN ELECTRIC DRIVE RESEARCH WITH PHASE SYNCHRONIZATION**

**Khashimov Aripjan Adilovich, Tsipkina Viktoriya Vyacheslavovna, Muratov Husnitdin  
Shari ug'li**

**Abstract:** this article deals with the study of the electric drive with phase synchronization (EPPS), built on the basis of the principle of phase-locked loop (PLL) rotation. Features of the influence of various modulation methods on the quality of signal transmission in EPPS. The authors carried out calculations using a computer based on a special algorithm developed in the Matlab program.

**Keywords:** scanning system, electric drive with phase synchronization, phase-locked loop, pulse-width modulation, digital modulation, digital control systems, signal sampling, conversion algorithm, sampling-storage scheme.

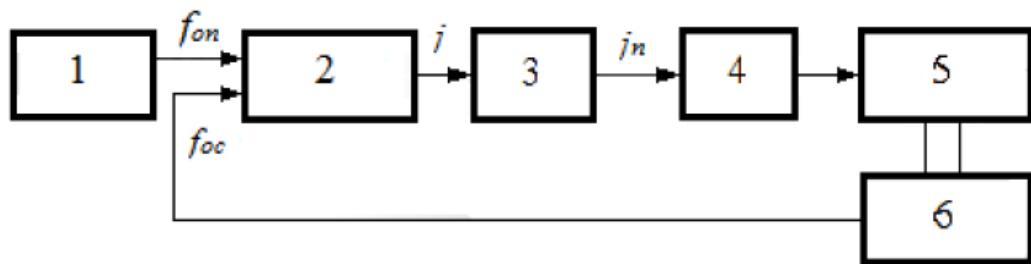
Использование сканирующих систем, которые осуществляют просмотр поля при помощи вращающегося зеркала, очень распространено. При этом система просмотра представляет собой электромеханическую систему в виде вращающихся специальных оптико-механических устройств или поступательно-перемещающиеся оптических элементов. Электромеханическая система узла оптикомеханической сканирующей системы должен обладать следующими параметрами:

- большой срок службы, высокая надёжность и повышенный ресурс работы;
- высокое быстродействие и динамика;
- высокие энергетические показатели;
- малые массогабаритные показатели;
- широкий диапазон частот вращения.

Помимо вышеперечисленных требований следящие системы должны обеспечивать высокие показатели точности и регулирования угловой скорости и фазовой автоподстройки частоты вращения. Бесконтактные двигатели постоянного тока (БДПТ) и электроприводы с фазовой синхронизацией в системах наиболее полно удовлетворяют требованиям предъявляемым к следящим системам.

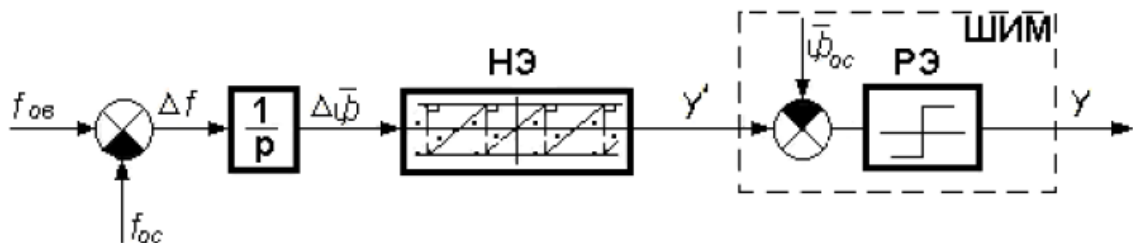
Следящие электромеханические системы являются сложной нелинейной системой

регулирования, в которой используются элементы логического устройства, позволяющие получить высокое быстродействие и точностные показатели и соответственно широкий диапазон регулирования угловой скорости.



**Рис. 1. Функциональная схема следящей электромеханической системы**

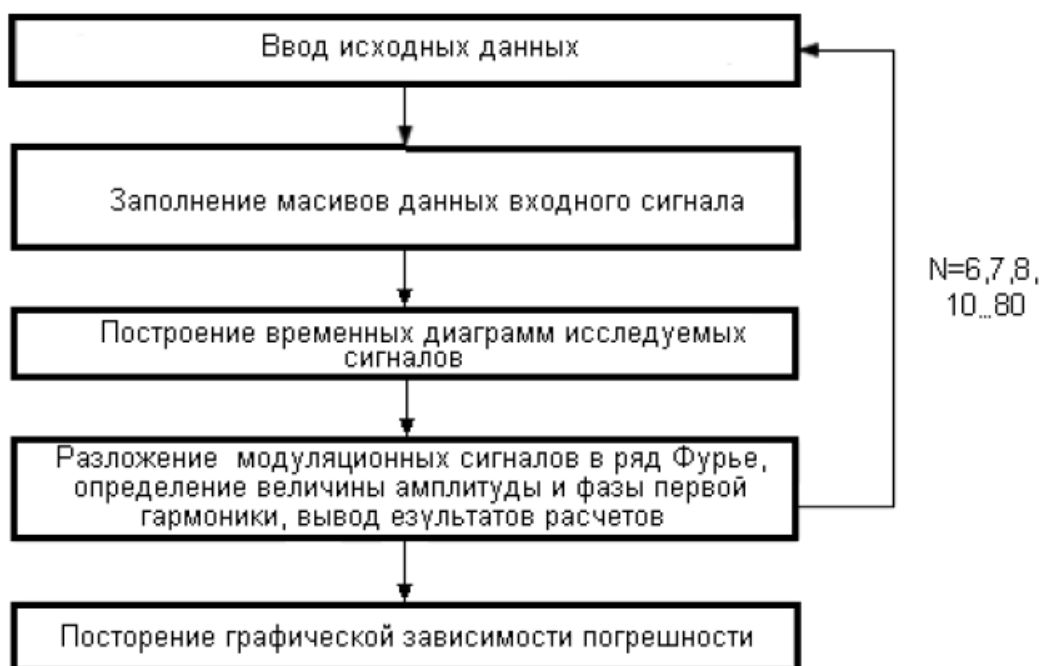
Функциональная схема следящей системы (рис. 1) состоит из генератора высокой частоты (1), импульсного частотно-фазового дискриминатора (2), демодулятора (3), блока управления (4), электродвигателя (5), импульсного датчика частоты вращения (6). Данная электромеханическая система позволяет обеспечить высокую точность регулирования углового положения вала электродвигателя и свести к нулю установившиеся ошибки регулирования или слежения - астатизм по угловой скорости [2], которые обеспечивают более высокие точностные показатели работы. При этом устройства данного типа работают в режимах работы: насыщения, фазового сравнения и пропорциональном, исследование которых возможно лишь изучением динамических процессов посредством математического моделирования. Основным узлом исследования является импульсный датчик частоты вращения (ИЧФД) [3], который состоит из нелинейного элемента типа «многозначная статическая нелинейность» (МСН), отражающий логику работы ИЧФД, и модели ШИМ на основе релейного элемента. Структурная схема для изучения процессов в различных областях частот вращения приведена на рис.



**Рис. 2. Полная математическая модель ИЧФД**

В области высоких частот вращения демодуляция выходного сигнала ИЧФД осуществляется с помощью фильтра низких частот (ФНЧ), что позволяет обеспечить его качественную фильтрацию. ЭПФС исследуется как САУ, в которой учитывается только элемент модели ИЧФД типа «многозначная статическая нелинейность», а широтно-импульсная модуляция выходного сигнала ИЧФД в пропорциональном режиме работы электропривода не учитывается вследствие линеаризации передаточной функции ШИМ на высоких частотах модуляции. В этом случае исследование динамических процессов в ЭПФС проводится с помощью методов анализа нелинейных САУ (метод фазовой плоскости), а в пропорциональном режиме работы – с помощью методов линейных САУ [1].

При пропорциональном режиме работы выходной сигнал имеет форму сходную с цифровым сигналом с постоянным периодом дискретизации. В этой связи можно рассмотреть метод цифровых САУ для анализа динамических процессов, протекающих при вращении механизма. Разработка алгоритма позволит повысить качество преобразования выходного сигнала ИЧФД.



**Рис. 3. Алгоритм исследования различных видов дискретизации синусоидального сигнала**

Разработанная математическая модель позволила провести исследования различных способов дискретизации сигналов [4, 5], реализованный в программе Matlab, а также провести сравнительный анализ влияния ШИМ и цифровой модуляции на качество преобразования синусоидального сигнала.

С помощью компьютерного моделирования были проведены дополнительные исследования в программном пакете *Simulink* программы Matlab, реализованные на основе имитационных моделей рассматриваемых преобразователей синусоидального сигнала (рис.6). В ходе моделирования входной синусоидальный сигнал преобразовывался с помощью ШИМ (без ДМ и с ДМ на основе СВХ) и цифровой модуляции при различных частотах дискретизации. Для определения погрешностей исследуемых преобразователей сигнала, вносимых по основной гармонике, входной и выходные сигналы преобразователей фильтровались с помощью ФНЧ второго порядка. Пример временных диаграмм, полученных в ходе моделирования для  $N = 10$  и  $N = 15$ .

Результаты, полученные в ходе математического моделирования, подтверждают результаты расчетов и позволяют сделать вывод о том, что величины фазовой ошибки в выходных сигналах демодуляторов.

В программном пакете *Simulink* программы *Matlab* было проведено компьютерное моделирование ШИМ с демодулятором на основе СВХ, цифрового дискретизатора на основе экстраполятора нулевого порядка и их модернизированных аналогов (рис. 5).

При использовании модифицированного цифрового дискретизатора оба вида модифицированных преобразователей несколько увеличивают ошибку по амплитуде, характер взаимного изменения которой отличается от исходных видов модуляции. Использование рассмотренного алгоритма коррекции выходного сигнала преобразователей на основе ШИМ и ЦМ позволяет искусственным путем вводить в их выходные сигналы дифференциальную составляющую, что позволяет повысить устойчивость работы электропривода.

Однако использование данного алгоритма позволяет графически определить зависимости погрешности преобразования амплитуды и сузить область использования методов цифровых систем управления для исследования процессов в системах с ШИМ. Полученные в ходе работы результаты исследований могут быть использованы при проектировании цифровых регуляторов.

### Список литературы

1. Бубнов А.В., Бубнова Т.А., Федоров В.Л. Современное состояние и перспективы развития теории синхронно- синфазного электропривода: монография. – Омск: ОмГТУ, 2010. – 104 с.
2. Трахтенберг Р.М. Импульсные астатические системы электропривода с дискретным управлением. – М.: Энергоиздат, 1982. – 168 с.
3. Стребков В.И. Импульсный частотно-фазовый дискриминатор на интегральных микросхемах // Электронная техника в автоматике: сб. статей / под ред. Ю.И. Конева. – М.: Сов. радио, 1982. – Вып. 9. – С. 223–230.
4. Бубнов А.В. Математическая модель логического устройства сравнения для электропривода с фазовой синхронизацией // Электричество. – 2005. – № 5. – С. 27–31.
5. Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем. – М.: Физматгиз, 1963. – 968 с.