

**ВИЗУАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПРЕЦИЗИОННЫХ ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ****П. М. Поклад (Иваново)**

Принцип действия, особенности построения импульсно-фазовых электроприводов (ИФЭП) с микропроцессорным управлением и характеристики элементов электропривода определяют системы такого класса, как нелинейные, что является следствием цифровой обработки данных, широтно-импульсной модуляции сигналов, используемых силовых преобразователей, двигателей, датчиков и режимов их работы. Перечисленные особенности ИФЭП не позволяют получить достоверные результаты исследования статических и динамических характеристик электропривода при пренебрежении дискретностью системы. При этом аналитические методы расчета динамических характеристик в переходных и квазиустановившихся режимах приводят к получению математически сложных выражений и малоинформативных результатов [1].

Поскольку для решения практических задач, связанных с исследованием и проектированием импульсно-фазовых электроприводов, необходима информация о статических и динамических свойствах реальной неидеализированной системы, возникает необходимость разработки цифровой имитационной модели, позволяющей с помощью ЭВМ выполнять расчет переходных процессов в ИФЭП.

Такая модель предназначена для исследования статических и динамических характеристик электропривода с учетом особенностей формирования и обработки сигналов, свойств используемых элементов, объектов управления и реально действующих внешних возмущений.

Процесс разработки адекватной оригиналу имитационной модели неразрывно связан с решением задачи о выборе рационального метода моделирования, обеспечивающего высокое быстродействие, простоту построения и удобство применения модели для расчета переходных процессов в ИФЭП.

Использование в ИФЭП элементов с различными принципами действия обуславливает многообразие подходов к моделированию. В то же время разработаны и успешно применяются на практике универсальные системы моделирования, ориентированные на исследование характеристик динамических объектов широкого класса, таких как Mathcad, Matlab. Известны также разработки, которые при некоторых функциональных ограничениях удобны и эффективны для расчета характеристик динамических систем [2].

Однако большинство таких программных комплексов основано на использовании методов численного интегрирования, применение которых для исследования ИФЭП не позволяет получить высокое быстродействие цифровой имитационной модели [1]. Предлагается программный комплекс Simulator PPL Drive 2.0 [3] для моделирования и исследования ИФЭП, основанный на использовании численно-аналитического метода пространства состояний [4], позволяющего рассчитать значения переменных в дискретные моменты времени, соответствующие моментам переключения отдельных блоков электропривода. Выбранный метод исключает промежуточные вычисления без потери точности расчета.

Несмотря на простоту технической реализации, импульсно-фазовый электропривод с математической точки зрения является сложным объектом, представляющим собой совокупность дискретных и непрерывных устройств. Устройства непрерывного действия описываются системой нелинейных дифференциальных уравнений, которая при соответствующей линеаризации может быть представлена матричным уравнением состояния вида

$$\frac{d}{dt}[x] = [A][x] + [B][u], \quad (1)$$

где $[x]$ – вектор состояния; $[u]$ – вектор управления; $[A]$ – матрица состояния; $[B]$ – матрица управления.

При известных значениях компонентов вектора состояния $[x]$ в начальный момент времени $t = t_{\text{нач}}$ рассматриваемое матричное уравнение позволяет получить выражение для расчета компонентов вектора $[x]$ в произвольный момент времени $t = t_{\text{нач}} + \tau$. Состояние устройств дискретного действия определяется в момент времени $t = t_{\text{нач}}$ и принимается неизменным в течение приращения времени τ .

В момент появления импульса сигнала задания частоты f_3 выполняется расчет сигналов управления ШИП, при этом используется информация о фазовом рассогласовании и положении вала двигателя, полученная на предыдущем периоде T_3 сигнала задания.

На каждом расчетном интервале τ определяется наличие импульса в сигнале обратной связи частоты f_p . В момент появления первого на текущем периоде T_3 импульса частоты f_p выполняется расчет фазового рассогласования и определяется положение вала двигателя.

Значения компонентов вектора состояния $[x]$, полученные в момент времени $t = t_{\text{нач}} + \tau$, и значение времени t принимаются начальными для расчета на следующем интервале. Затем процесс вычислений повторяется.

Программный комплекс Simulator PPL Drive 2.0 предназначен для проведения имитационного эксперимента на виртуальной модели (рис. 1) ИФЭП с коллекторными двигателями постоянного тока, бесконтактными синхронными двухфазными электрическими машинами с постоянными магнитами на роторе и асинхронными двигателями.

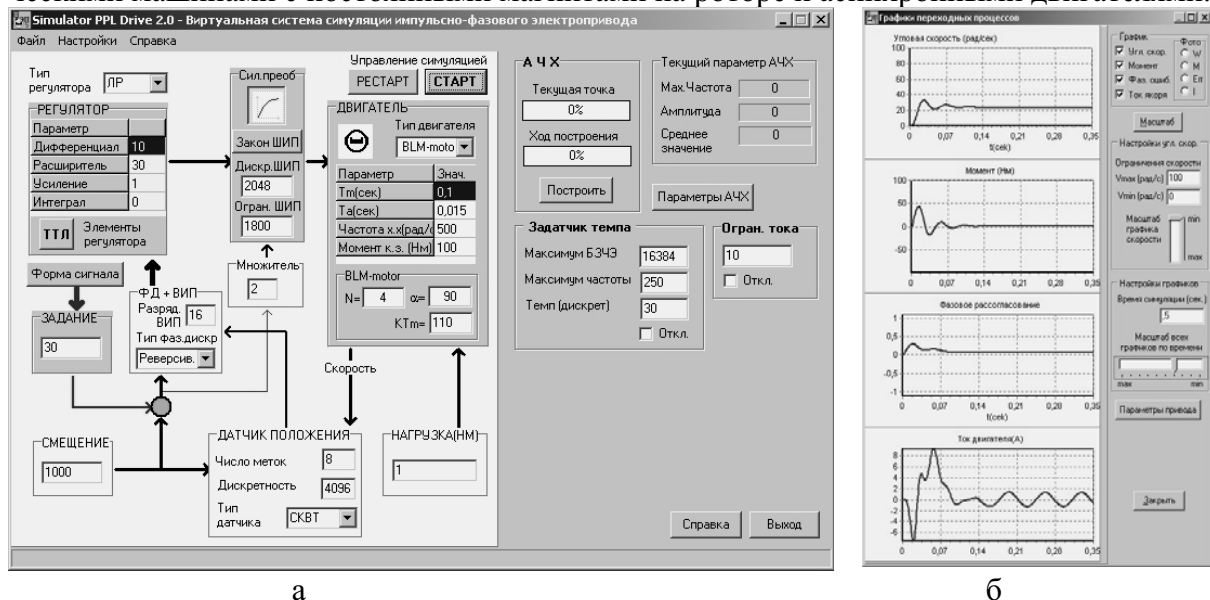


Рис. 1. Интерфейс программного комплекса:

а – мнемосхема; б – графики процессов

В качестве датчика положения вала в системе используются измерительные преобразователи с импульсными выходными сигналами: фотоимпульсные измерительные преобразователи перемещения; синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы. В качестве силовых преобразователей возможно применение аналоговых усилителей мощности (АИМ) и широтно-импульсных модуляторов (ШИМ) с симметричным и не-

симметричным законами управления. В качестве регуляторов возможно применение классического линейного, нечетких с дефазификацией по методам эквивалентной площади и центра масс. Сигнал задания может быть представлен в виде постоянного, синусоидального и прямоугольного. Система управления электроприводом может быть реализована как на дискретной логике, так и на базе средств микропроцессорной техники с преобразованием широтно-импульсного сигнала в цифровой код посредством ВИП с заданной дискретностью преобразования.

Результаты моделирования представляются в виде графиков переходных процессов и амплитудно-частотных характеристик, которые могут быть записаны на диск, напечатаны, скопированы в буфер обмена. Программный комплекс выполнен в виде отдельного исполняемого exe-модуля и конфигурационного ini-файла.

В состав комплекса для его функционирования в едином информационном пространстве под управлением графического интерфейса пользователя включены следующие элементы: имитационная система; база моделей; архив результатов; программные средства расчета и построения графиков.

Общая структура комплекса с указанием основных функций и направлений движения информации представлена на рис. 2.

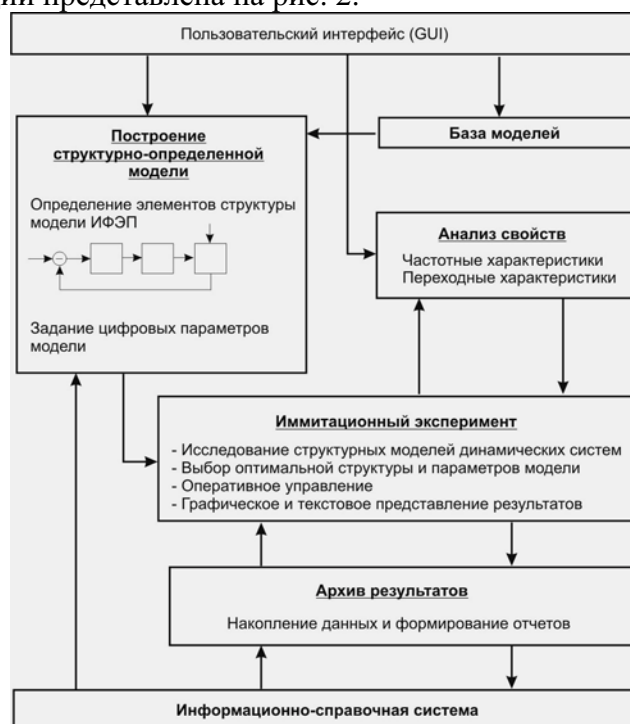


Рис. 2. Блок-схема решаемых задач и информационных потоков комплекса Simulator PPL Drive 2.0

Пользовательский интерфейс представляет собой инструмент формирования структурной организации и параметризации элементов системы управления ИФЭП с последующим анализом и обработкой полученных графических данных. Имеющиеся средства в режиме графического диалога позволяют создавать структурные модели многофункциональных ИФЭП, организовывать пользовательский архив построенных схем и результатов исследований рассматриваемых систем.

База моделей является основной частью информационного наполнения программы, содержит в своем составе программно-реализованные алгоритмы функционирования основных элементов цифровых систем на базе контура фазовой синхрониза-

ции, таких как двигатель, силовой преобразователь, датчик обратной связи, фазовый дискриминатор, регулятор.

Архив результатов также является частью информационного обеспечения программы. Его назначение заключается в представлении возможности сохранения в виде графических и текстовых файлов результатов экспериментов.

Для практической реализации элементов ИФЭП предусмотрено функционирование программы в следующих режимах: в режиме имитационного эксперимента; предварительного задания структуры и параметрирования элементов системы управления; результатов экспериментов; сохранения накопленной информации.

Программа позволяет копировать в буфер обмена, печатать и записывать на диске результаты моделирования, представленные в виде графиков переходных процессов и амплитудно-частотных характеристик (АЧХ).

В ходе машинных экспериментов проведен анализ функционирования ИФЭП с линейным регулятором (ЛР) и нечеткими регуляторами с дефазификацией по методу центра масс ($НР_M$) и по методу эквивалентной площади ($НР_C$). На рис. 3 представлены графики переходных характеристик ИФЭП с разными типами регуляторов при одинаковых его настройках. Анализ этих характеристик показывает, что система с нечетким регулятором обеспечивает несколько меньшее ускорение вала. Однако перерегулирование при этом уменьшается. Снижается и колебательность системы. Общая длительность переходного процесса остается примерно постоянной. При сравнении нечетких регуляторов $НР_C$ - и $НР_M$ -дефазификаторами выявлено, что использование нечеткого регулятора с $НР_C$ -дефазификатором обеспечивает максимальное снижение колебательности ИФЭП при некотором увеличении его быстродействия.

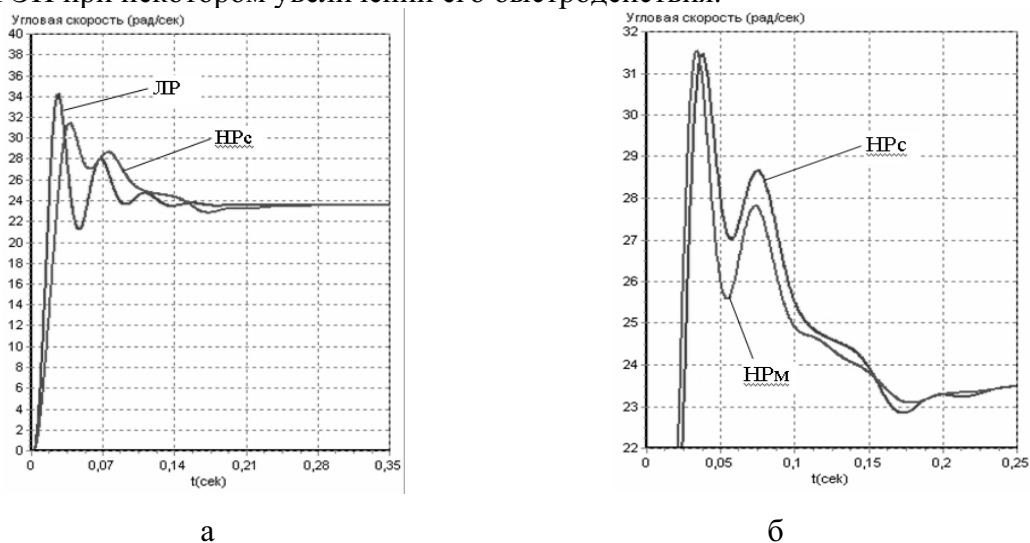


Рис. 3. Графики скорости в пусковых режимах: а – ЛР и $НР_C$; б – $НР_C$ и $НР_M$

Анализ частотных характеристик ИФЭП, представленных на рис. 4, показывает, что применение НР существенно снижает максимум АЧХ при практическом сохранении полосы пропускания электропривода.

Очевидно, что при большем быстродействии система с НР имеет больший провал скорости и более высокую интегральную оценку в отличие от системы с ЛР. Анализ этих результатов показывает, что система с нечетким регулятором имеет значительное перерегулирование, особенно при больших управляющих воздействиях.

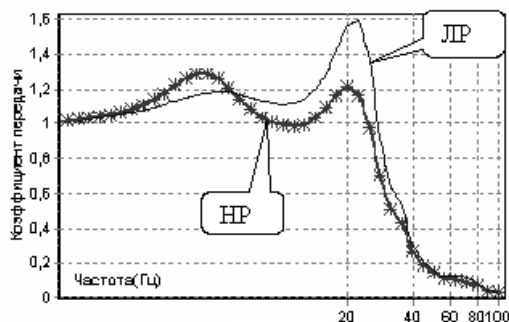


Рис. 4. Частотные характеристики электропривода с ЛР и НР

В то же время динамический провал скорости при набросе нагрузки в системе с нечетким регулятором меньше, чем в такой же системе с аналоговым регулятором. Отсюда можно сделать следующие выводы: применение нечеткого регулятора значительно уменьшает колебательность системы; быстродействие системы в основном определяется инерционностью статора используемого двигателя; динамические свойства системы достаточно сильно зависят от способа дефазификации, выбор которого определяется режимом работы системы. При этом свойства систем с НР_м- и НР_с-дефазификаторами отличаются незначительно, а потому предпочтительным является использование последнего из-за более простого математического аппарата.

Испытания предлагаемого программного комплекса имитационного моделирования ИФЭП показывают его эффективность при обеспечении адекватности результатов моделирования исследуемому объекту. При этом затраты времени на машинные эксперименты значительно сокращаются по сравнению с аналогичными работами, проведенными с использованием универсального пакета Matlab/Simulink.

Комплекс Simulator PPL Drive может быть использован в научно-исследовательских организациях для проведения разработок систем автоматического управления, построенных на базе контура фазовой синхронизации, в частности ИФЭП с цифровым управлением, а также в учебном процессе высших учебных заведений для изучения студентами технических специальностей принципов построения автоматизированных цифровых электроприводов на базе контура фазовой синхронизации при исследовании характеристик таких систем в разнообразных режимах работы. Структура среды моделирования обеспечивает ее расширяемость за счет возможности добавления новых компонентов. Разработанная графическая мнемосхема ИФЭП представляет собой удобный и интуитивно понятный инструмент описания моделируемой схемы электропривода.

Литература

1. **Фалеев М. В.** Микропроцессорные импульсно-фазовые электроприводы информационно-измерительных систем (теория, разработка, исследование, внедрение): Дис. ... д-ра техн. наук. Иваново, 1998. 313 с.
2. **Колганов А. Р., Таланов В. В.** Компьютерный комплекс имитационного моделирования динамических систем: Практ. пособие. Иваново: Иван. гос. энерг. ун-т. 1997. 76 с.
3. **Поклад, П. М., Киселев А. А.** Виртуальная система симуляции импульсно-фазового электропривода "Simulator PPL Drive 2.0" // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2010615957. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 13.09.2010.
4. **Деруссо П.** Пространство состояний в теории управления (для инженеров)/ Пер. с англ. / П. Деруссо, Р. Рой, Ч. Клоуз. М.: Наука, 1970. 620 с.