

2. Alex Golovin Современные волоконно-оптические преобразователи тока // Цифровая подстанция: Электронный журнал. 2012. URL: <http://digitalsubstation.ru/blog/2012/12/04/sovremennyy-e-volonno-opticheskie-pr/> (дата обращения: 16.03.2015).

3. Alex Golovin Опыт применения оптических датчиков тока в электросетевой компании Transpower New Zealand: Электронный журнал. 2012. URL: <http://digitalsubstation.ru/blog/2013/01/10/opy-t-primeneniya-opticheskikh-datchikov/> (дата обращения: 16.03.2015).

4. Патент РФ № 2010136422/07, 30.08.2010. Шмойлов А.В., Прутик А.Ф. Способ построения и настройки релейной защиты с высокочастотным обменным блокирующим сигналом по проводам линии // Патент России № 2435267. 27.11.2011 Бюл. № 33.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ОТРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ

В.О. Нагорный, А.В. Аристов А.М. Гаврилов

Национальный исследовательский Томский Политехнический университет,
Россия, Томск

При создании импульсных преобразователей напряжения (ИПН) возникает потребность в применении новых законов управления и их отработке. Первоначальную отработку алгоритмов управления цифровыми системами управления наиболее целесообразно проводить на математических моделях ИПН, во избежание повреждения аппаратной части установки из-за возможных ошибок в алгоритме управления.

Можно выделить два подхода отработки алгоритмов управления ИПН с использованием математических моделей.

1. Запустить математическую модель ИПН внутри процессора системы управления вместе с самой системой управления [1].

2. Запустить алгоритм управления на персональном компьютере совместно с математической моделью ИПН [2].

При первом подходе создается математическая модель ИПН на том же языке программирования, на котором написан алгоритм работы системы управления. Затем код системы управления совместно с моделью загружается в микропроцессор управляющий ИПН.

При втором же подходе алгоритм работы системы управления переносится на персональный компьютер, где и осуществляется его отладка совместно с математической моделью.

У обоих подходов есть свои достоинства и недостатки. Во втором случае, при запуске алгоритма управления на персональном компьютере он будет выполняться на процессоре с архитектурой отличной от той, которая

применяется в системе управления ИПН. Это значит, что в исходном коде алгоритма недопустимо применение вставок на ассемблере и прямых обращений к аппаратной части. К недостаткам же первого подхода перед вторым можно отнести более сложную организацию взаимодействия с различными САПР.

Для отработки алгоритмов управления был выбран второй подход, в связи с тем, что он наиболее просто позволяет организовать взаимодействие алгоритма управления и математической модели с мощными средствами визуализации MATLAB [3]. Рассмотрим реализацию математической модели более подробно. Среда MATLAB используется для формирования параметров работы модели и для вывода графической информации после завершения симуляции. Сама модель выполнена в виде MEX-функции MATLAB [4]. Язык, используемый при создании модели – С [5, 6]. Блок схема модели представлена на рис. 1.

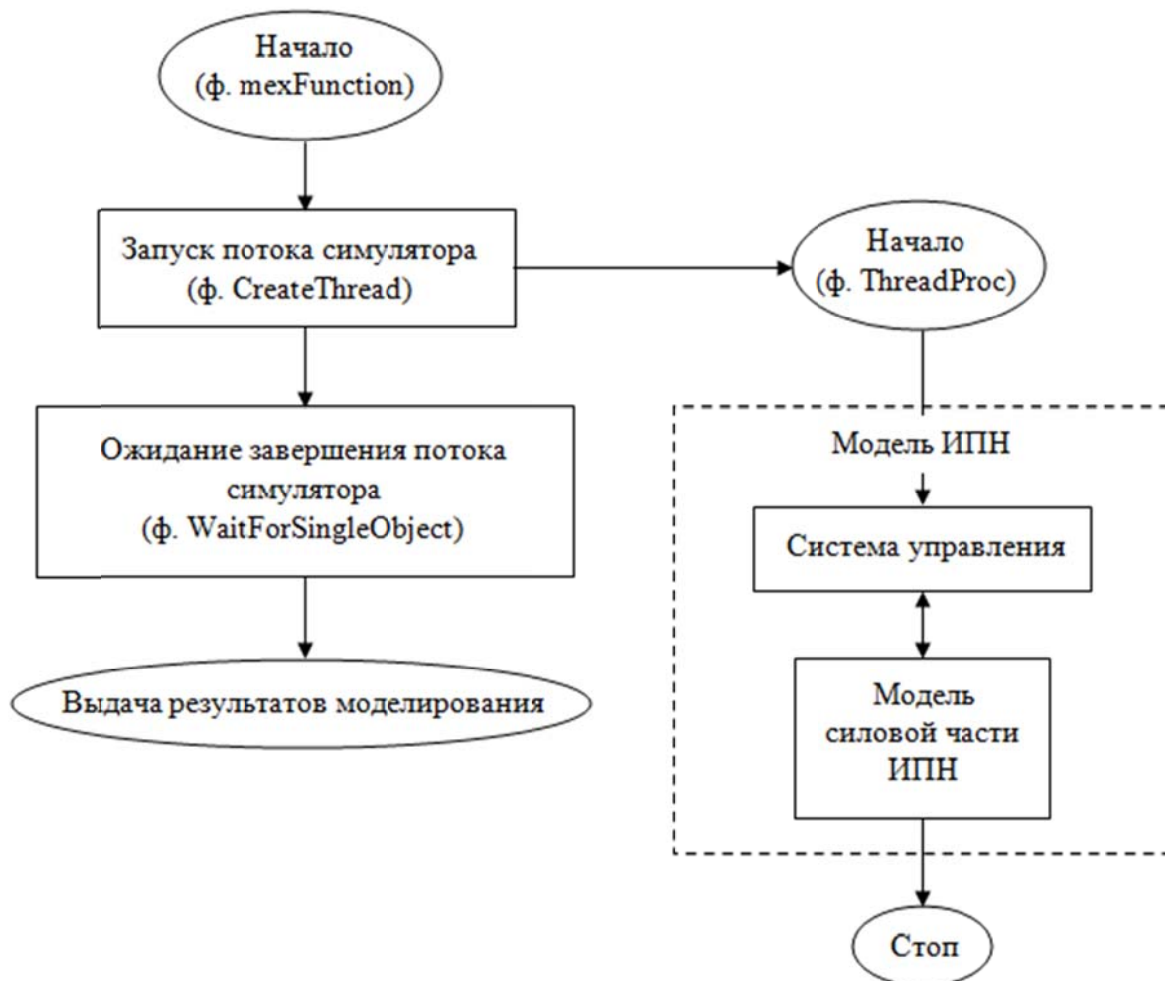


Рис. 1. Блок схема алгоритма работы математической модели ИПН

MEX-модуль представляет динамически компокуемую библиотеку (dll) [7], экспортирующую функцию mexFunction [8]. Функция mexFunction принимает параметры моделирования, создает поток симулятора (при помощи функции CreateThread [9]) и ждет его завершения (функция WaitForSingleObject [10]).

Поток симулятора запускает систему управления ИПН, а та, в свою очередь, инициирует работу модели силовой части преобразователя. Через заданный промежуток времени модель завершит свою работу, остановив поток симулятора. После завершения работы симулятора mexFunction возвращает результаты работы модели в MATLAB. Для управления математической моделью ИПН и лабораторным макетом используется один и тот же исходный код системы управления, не требующий модификации при своем переносе.

Используя подход, описанный выше, были опробованы следующие алгоритмы управления ИПН.

- Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор с ШИМ.
- Управление по балансу необходимой и накопленной энергии [11].
- Управление по балансу необходимой и накопленной энергии с ШИМ [12].

На рис. 2 представлена схема лабораторного макета ИПН. Она содержит электронный ключ VT, диод VD, дроссель L, конденсатор C, датчики тока UA1, и UA2. К выходу ИПН подключена нагрузка с сопротивлением R_n .

При работе ИПН система управления собирает информацию о текущем токе дросселя (i_L), токе нагрузки (i_n) и напряжении нагрузки (U_n), вычисляет энергетический баланс, учитывая значение опорного напряжения $U_{оп}$, и в момент времени, когда энергетический баланс становится равным нулю, выдает сигнал управления F_y на драйвер. Драйвер, в свою очередь, управляет транзистором VT сигналом F_k .

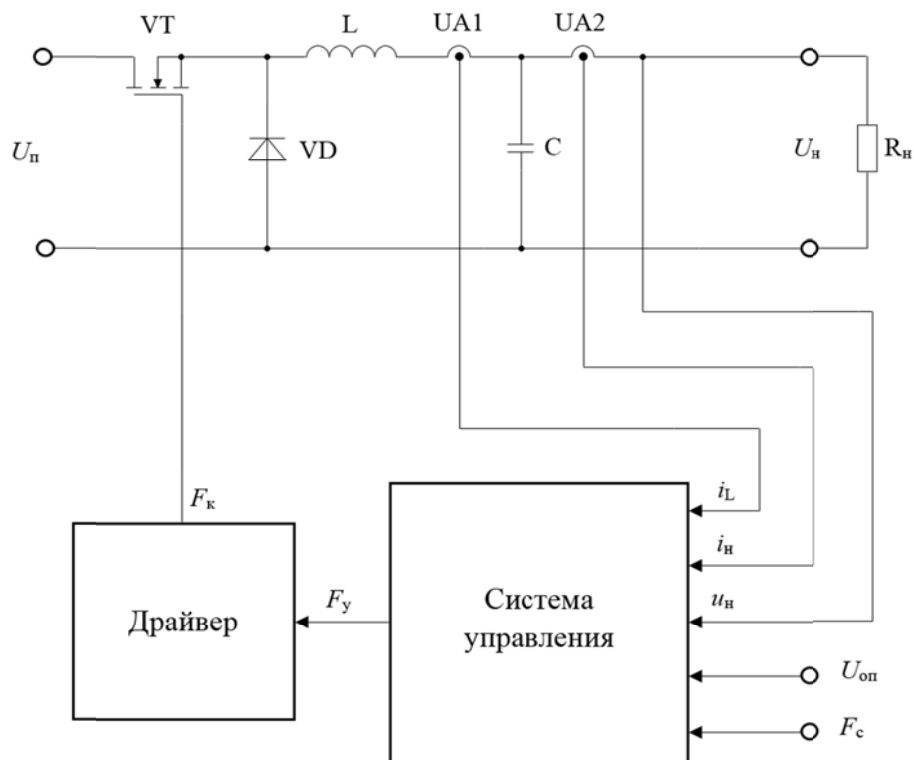


Рис. 2. Схема лабораторного макета ИПН

При необходимости вводится сигнал синхронизации F_c (для ограничения частоты переключения силового ключа, обеспечения синхронной работы ИПН и др.).

В качестве примера, на рис. 3 представлен процесс включения ИПН с управлением по балансу необходимой и накопленной энергии, полученный при помощи математической модели, описанной выше.

На верхнем графике показаны зависимости напряжения нагрузки U_H и тока дросселя i_L от времени t , где $t_{к.к}$ – время первой коммутации силового ключа, $T_{п.п}$ – длительность переходного процесса. На среднем графике представлена зависимость энергетического баланса [13] F_3 от времени. На нижнем графике приведена диаграмма напряжения на входе фильтра ИПН $U_{вх.ф.}$.

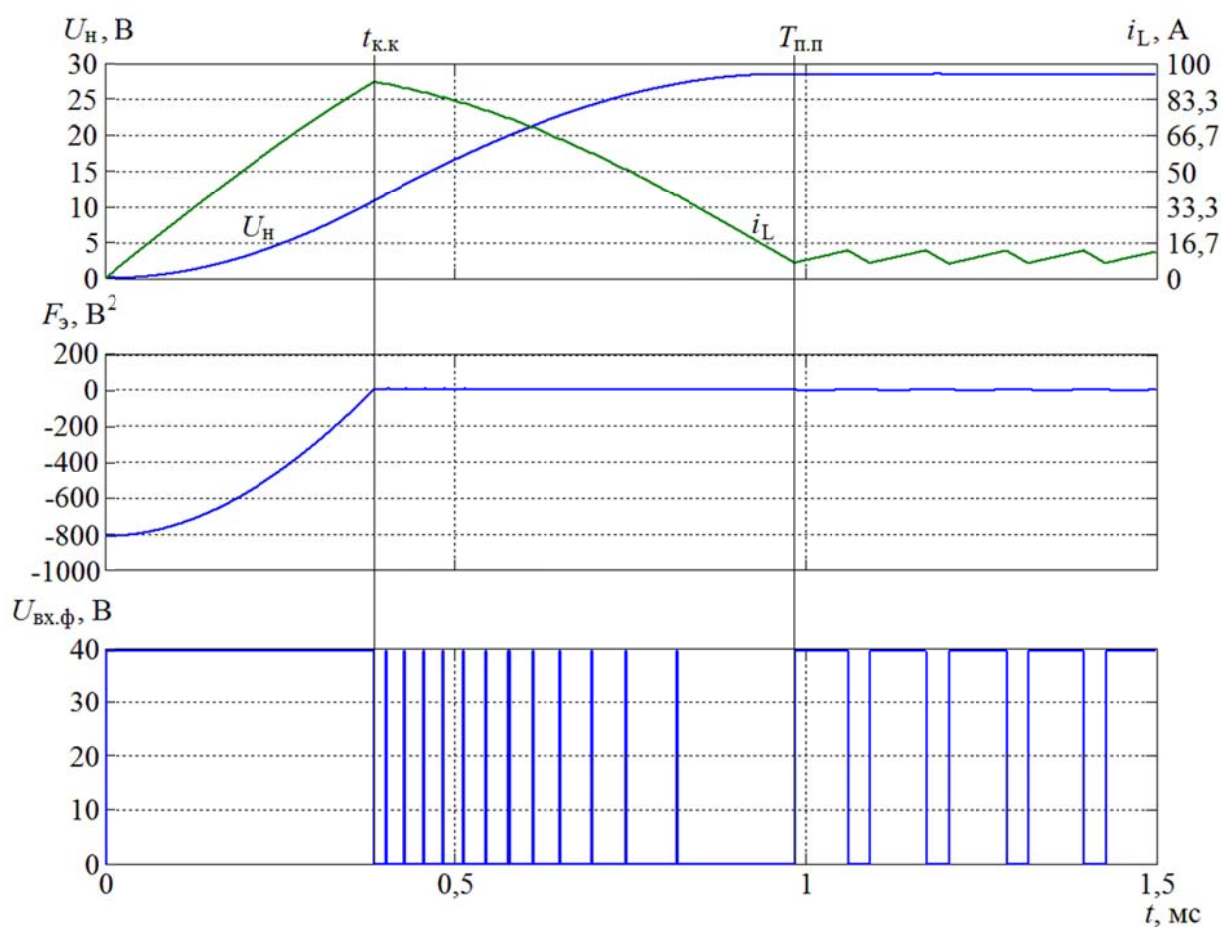


Рис. 3. Переходный процесс ИПН при включении с нулевых начальных условий

Выводы

- Разработаны математическая модель ИПН и макет для лабораторной отработки алгоритмов управления.
- Применение предложенного подхода позволяет отрабатывать различные алгоритмы управления на математической модели с дальнейшим применением на ИПН, используя лабораторный макет.

- Реализация предложенного подхода позволяет использовать отработанный на математической модели алгоритм в системе управления ИПН без дополнительных изменений.
- Запуск алгоритма на персональном компьютере упрощает процесс его отладки и позволяет пользоваться мощными средствами визуализации различных САПР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Anuchin A., Kulmanov V., Belyakov Y. Simulation of Power Converter Control System with Compensation of Harmonic Distortion in Output Voltage Waveform // Control and Communications (SIBCON), 2015 International Siberian Conference on.
2. Martyanov A., Solomin E. Development of control algorithms in Matlab/Simulink // Control and Communications (SIBCON), 2015 International Siberian Conference on.
3. MathWorks – MATLAB and Simulink for Technical Computing. URL: <http://www.mathworks.com/> (дата обращения: 8.09.2015).
4. Build MEX function from C/C++ or Fortran source code - MATLAB mex. URL: <http://www.mathworks.com/help/matlab/ref/mex.html> (дата обращения: 8.09.2015).
5. Керниган Б., Ритчи Д. Язык программирования Си. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2007. – С. 304.
6. ISO/IEC 9899:2011 - Information technology – Programming languages -- C URL: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?snumber=57853 (дата обращения: 8.09.2015).
7. What is a DLL? URL: <https://support.microsoft.com/ru-ru/kb/815065> (дата обращения: 8.09.2015).
8. Entry point to C/C++ or Fortran MEX-file - MATLAB URL: <http://www.mathworks.com/help/matlab/apiref/mexfunction.html> (дата обращения: 8.09.2015).
9. CreateThread function (Windows) URL: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms682453%28v=vs.85%29.aspx> (дата обращения: 8.09.2015).
10. WaitForSingleObject function (Windows) URL: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms687032%28v=vs.85%29.aspx> (дата обращения: 8.09.2015).
11. Лекарев А.Ф., Нагорный В.О., Аристов А.В. Управление импульсным преобразователем напряжения по балансу необходимой и накопленной в системе энергии // Электромеханические преобразователи энергии : материалы VI междунар. науч.-техн. конф. Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2013. С. 192 – 196.

12. Казанцев Ю.М., Лекарев А.Ф. Формирование управления по балансу необходимой и накопленной в системе энергии // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2009. № 5. С. 17 – 20.

13. Aristov A.V., Nagorniy V.O., Gavrilov A.M. Voltage converter with the controlled energy balance for the electric drive with the pulsation motion mode // Control and Communications (SIBCON), 2015 International Siberian Conference on.

АВАРИЙНЫЙ ДВУХФАЗНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Е.С. Больных, Г.И. Однокопылов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, Томск

Существуют такие опасные объекты как: военные, ядерные, строительные, химические и многие другие. На таких предприятиях существует проблема, которая заключается в том, что необходимо обеспечить живучесть функционирования технических объектов, важной частью их является вентильный электропривод (ВД). Обеспечение отказоустойчивого управления ВД предполагает его работу в аварийном двухфазном режиме работы.

Представляет интерес рассмотрение алгоритмического восстановления работоспособности трехфазного ВД на основе микроконтроллерной системы управления. Для решения этой задачи необходимо обеспечить выбор и обоснование угла нагрузки в аварийном двухфазном режиме работы.

При разработке математической модели приняты следующие допущения: магнитная цепь двигателя принимается ненасыщенной, потери в стали и механические потери пренебрежимо малы, распределение МДС и индукции синусоидальное, высшие гармоники отсутствуют, воздушный зазор равномерен, механические связи двигателя и нагрузки абсолютно жесткие.

На рис. 1 приведена схема замещения синхронного двигателя при обрыве фазы "В", которой в установившемся режиме соответствуют уравнения в комплексной форме (1) на основе которых была разработана расчетная модель (2) в тригонометрической форме:

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{I}_A \cdot r + j \cdot \dot{I}_A \cdot X_S + j \cdot \dot{I}_A \cdot X_A - j \cdot \dot{I}_C \cdot X_M - \dot{E}_A; \\ \dot{U}_C &= \dot{I}_C \cdot r + j \cdot \dot{I}_C \cdot X_S + j \cdot \dot{I}_C \cdot X_A - j \cdot \dot{I}_A \cdot X_M - \dot{E}_C. \end{aligned} \quad (1)$$