

состояний $x_1 - x_5$ автомата дискретного логического устройства.

В процессе моделирования схемы активные состояния и переходы автомата подсвечиваются синим контуром, что позволяет визуально оценить достоверность функционирования полученной модели.

Разработанная *Simulink*-модель позволяет достаточно быстро оценить достоверность полученных ранее математических моделей законов коммутации ключей вентильных преобразователей и на ранних этапах проектирования выявить ошибки, если таковые имеются.

Список литературы

1. *Охоткин, Г.П.* Анализ законов коммутаций ключей мостовой схемы импульсного преобразователя / Г.П. Охоткин, Е.С. Романова // Вестник Чувашского университета. 2012. №3. С. 142-149.

2. *Охоткин, Г.П.* Разработка методики синтеза дискретного логического управляющего устройства САР тока / Г.П. Охоткин // Вестник Чувашского университета. – 2014. – №2. – С. 74-83.

3. *Охоткин, Г.П.* Разработка математической модели диагонального закона коммутации ключей с переключением верхнего транзистора мостовой схемы преобразователя / Г.П. Охоткин, Е.С. Романова // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2014. – С. 77–86.

Материал поступил в редколлегию 12.10.20.

DOI: 10.51932/9785907271739_296

УДК 621.3

Г.П. Охоткин, С.В. Угарин, А.А. Дарвин

(г. Чебоксары, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИММЕТРИЧНОГО ЗАКОНА КОММУТАЦИИ В *SIMULINK* С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАКЕТА РАСШИРЕНИЯ *STATEFLOW*

SIMULATION OF A SYMMETRIC COMMUTATION LAW IN SIMULINK USING THE STATEFLOW PACKAGE

Показан способ моделирования системы управления полупроводниковым преобразователем в САПР Matlab Simulink с использованием библиотеки Stateflow.

A method for modeling the control system of a semiconductor Converter in the Matlab Simulink CAD system using the Stateflow library is shown.

Ключевые слова: моделирование, Simulink, симметричный закон коммутации, полупроводниковые преобразователи.

Keywords: simulation, simulink, symmetric commutation law, semiconductor converters.

Моделирование систем силовой электроники, используя современные САПР, позволяет убедиться в достоверности ранее полученных

математических моделей, а также ускорить разработку полупроводниковых преобразователей. Большое распространение получила среда динамического моделирования сложных технических систем *Matlab-Simulink*. Мощный графический инструмент *Simulink* позволил завоевать популярность среди ученых, инженеров и студентов.

Существует несколько подходов к построению *simulink*-моделей систем управления силовыми полупроводниковыми преобразователями, из которых наиболее распространены:

1) с использованием стандартных блоков основной библиотеки *simulink* (компараторы, сумматоры, триггеры, логические функции и т.д.);

2) с использованием кода на языке *C*, описывающего функционирование системы управления.

В данной работе приводится моделирование симметричного закона коммутации ключей мостовой схемы полупроводникового преобразователя, построенной с применением расширения *Stateflow*. Это расширение *Matlab-Simulink* предназначено для разработки конечных автоматов и машин состояний, предоставляет эффективную среду для разработки встраиваемых систем с управляющей логикой. Расширение *Stateflow* позволяет моделировать управляющую логику используя графы переходов (блоки *Chart*), таблицы переходов автомата (*State Transition Table*) и таблицы истинности (*Truth Table*).

В работе [1] разработана математическая модель симметричного закона коммутации полупроводниковых вентилях мостового преобразователя, представляющая собой граф переходов автоматов, которая с минимальными преобразованиями легко переносится в *simulink*-модель, используя расширение *Stateflow*. Для моделирования закона коммутации построена следующая *simulink*-модель, представленная на рис. 1.

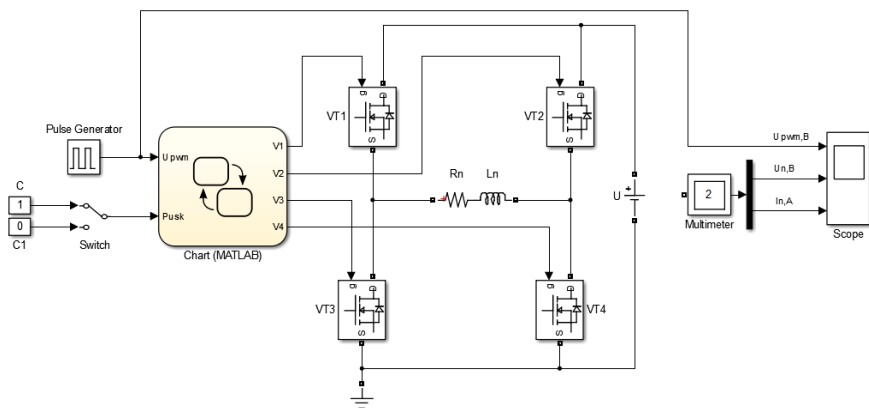


Рис. 1. Simulink-модель мостового преобразователя

Модель состоит из четырех *mosfet*-транзисторов *VT1-VT4* со встроенными диодами, образующих мостовую схему преобразователя, в качестве активно-

индуктивной нагрузки применен блок *RL-branch* с обозначением *Rn* и *Ln*. Напряжение и ток нагрузки определяется блоком мультиметра *Multimeter*. Система управления мостовым преобразователем представлена блоком *Chart*, содержащей в себе управляющую логику. Блок *Chart* имеет 4 выходных сигнала *V1 – V4*, поступающие на соответствующие затворы транзисторов *VT1-VT4*, и два входа *Upwm* и *Pusk*. На вход *Upwm* поступает сигнал с блока генератора прямоугольных импульсов *Pulse Generator*. Входной сигнал *Pusk* определяет запуск и останов работы логического устройства *Chart*. Двойным кликом левой кнопкой мыши по блоку *Switch* выбирается сигнал «0» (останов) или «1» (запуск), разрешающий работу логического устройства.

Двойным кликом левой кнопки мыши по блоку *Chart* входим в режим программирования структуры блока, куда переносим разработанную в работах [1,2] математическая модель симметричного закона коммутации, представленная в виде графа переходов автомата. Структура блока *Chart*, реализующая закон симметричной коммутации, приведена на рис. 2.

Модель состоит из трех состояний P2B, P2H и P0, над дугами указаны условия перехода из одного состояния в другое. В процессе моделирования активные состояния и дуги переходов автомата подсвечиваются синим цветом, что позволяет наглядно проконтролировать функционирование и достоверность полученной ранее математической модели. Двойным кликом мыши по блоку *Switch*, даже в процессе симуляции модели, выбирается режим работы логического устройства.

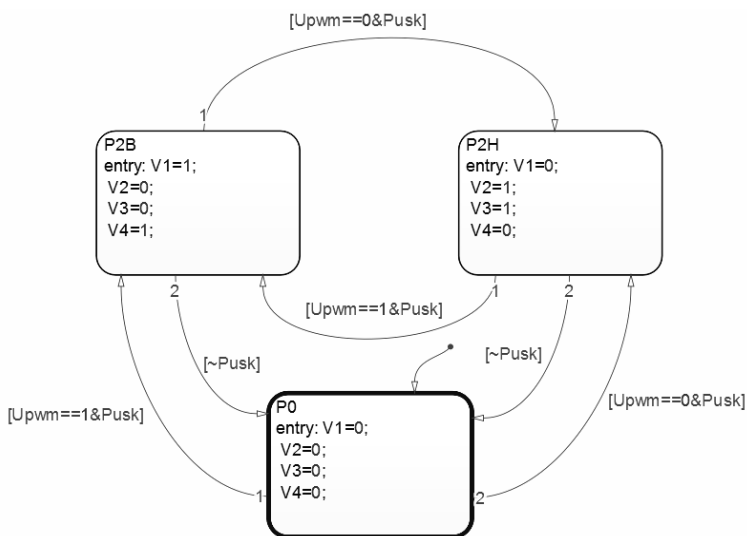


Рис. 2. Структура блока *Chart*

Осциллограммы установившегося режима работы *simulink*-модели представленные на рис. 3 подтверждают выводы, полученные в работе [3].

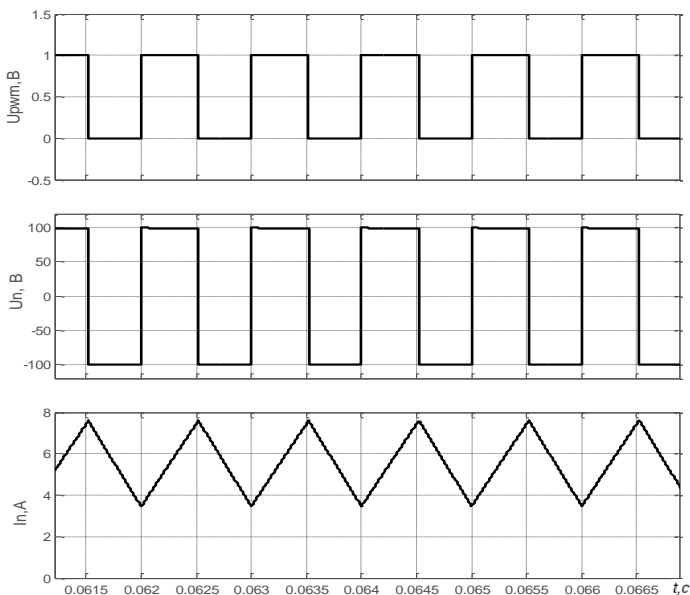


Рис. 3. Осциллограммы моделирования работы преобразователя

Модели систем управления, построенные с использованием расширения *Stateflow*, наиболее наглядны и уменьшают возможность совершения ошибок разработчиков, также они упрощают модернизацию управляющей логики. На основе разработанной *Stateflow*-модели системы управления в последующем возможно в автоматическом режиме сгенерировать тексты программ на языке *C/C++*, *VHDL* и *PLC*, используя соответственно *Simulink Coder*, *HDL Coder* и *PLC Coder*.

Список литературы

1. Охоткин, Г.П. Разработка математической модели симметричного закона коммутации ключей мостовой схемы вентиляционного преобразователя / Г.П. Охоткин, Е.С. Романова // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы X Всерос. науч.-техн. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2013. – С. 180–186.
2. Охоткин Г.П. Синтез логического устройства и распределителя импульсов САР тока / Г.П. Охоткин, Е.С. Романова // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы X Всерос. науч.-техн. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2013. – С. 194–203.
3. Охоткин, Г.П. Разработка на *Multisim* модели системы автоматического регулирования тока с релейным регулятором тока при симметричном законе коммутации ключей вентиляционного преобразователя / Г.П. Охоткин // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы XI Всерос. науч.-техн. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2015. – С. 119–125.

Материал поступил в редколлегию 12.10.20.