

# Применение среды Simulink при разработке компонентов электроэнергетических систем

В. М. Дмитриев, e-mail: dvm84@bk.ru

С. В. Кучевский, e-mail: faust2@bk.ru

ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и  
Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

***Аннотация.** В данной работе представлены примеры построения моделей компонентов систем электроэнергетики и результат исследования их характеристик.*

***Ключевые слова:** система электроснабжения, моделирование электроэнергетических систем, имитационное моделирование систем.*

## Введение

Построение систем электроснабжения связано с большим количеством необходимых расчётов как требуемых характеристик системы в целом, так и поэтапного определения характеристик и допусков отдельных компонентов. В настоящее время задача усложняется тем, что необходимо учитывать так называемую импульсно-периодическую нагрузку. Такой вид нагрузки характерен для компонентов электроэнергетических систем, созданных на принципах инверторного преобразования электроэнергии. В связи с появлением такого вида нагрузок становится актуальной оценка их влияния на общую работу системы, и оценка возможности их нормальной работы в случае запуска в момент переходных процессов в системе электроснабжения.

Для построения моделей компонентов электроэнергетических систем используются различные методы и программные средства. Одним из наиболее известных и исторически сложившихся является метод аналитического расчета системы электроснабжения по правилам теоретической электротехники. Метод позволяет получить хорошие результаты оценки характеристик, однако является достаточно затратным с точки зрения необходимого времени и зачастую не позволяет быстро учесть незначительные изменения в системе. Таким образом данное решение применяется в основном при построении концептуальной модели системы и определения характеристик системы в целом с учетом надежного обеспечения электроэнергией потребной нагрузки. В целом, на основании аналитического расчета обычно

решается задача определения потребной мощности источников электроэнергии в зависимости от планируемой нагрузки. С учетом вида нагрузки и потребного вида напряжения и токов может быть определен состав системы электроснабжения и общая конфигурация системы электроэнергетики.

После того, как определен состав, требуемые значения токов и напряжений потребителей электроэнергии может быть построена модель системы электроснабжения, которая в свою очередь позволит определить оптимальную схему системы исходя из существующих возможностей промышленности и обеспечения максимального соотношения цена/качество либо модернизационного потенциала. Для построения такой модели системы может быть использован программный комплекс Matlab. При этом, с учетом необходимости обеспечения наглядности модели и реализации возможности исследования ее характеристик, целесообразно использовать средства пакета Simscape Electrical комплекса визуального моделирования Matlab/Simulink.

С применением Simscape Electrical имеется возможность построения моделей различного уровня сложности, например, микроэлектростанции, обеспечивающей работу нескольких жилых малоэтажных домов, с использованием энергии солнечной батареи и возможностью резервирования электроэнергии в аккумуляторных батареях и использования центральной сети электроснабжения переменного тока (рис. 1).

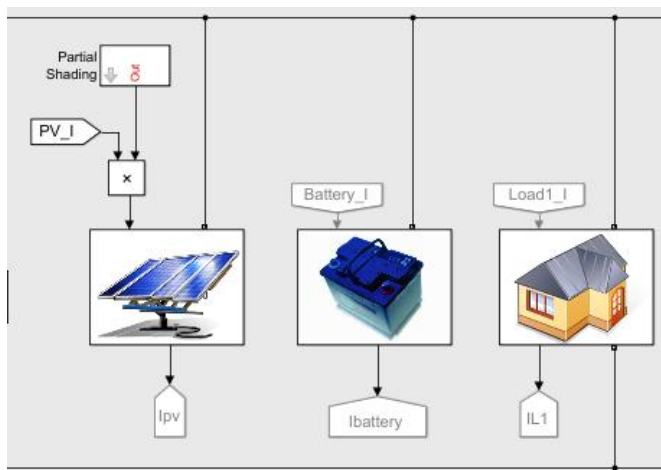


Рис. 1. Модель системы автономного электроснабжения

Как видно из рисунка модель представляет собой типовую однофазную сеть переменного тока, в которой используется энергия солнечной батареи с возможностью резервирования и обеспечения запаса энергии в блоке аккумуляторов и выдачи излишков электроэнергии во внешнюю сеть.

Модель солнечной батареи, дома и блока аккумуляторов реализованы с использованием подсистем, для каждой из которых есть возможность задания сценария работы с учетом времени суток, года и климатических особенностей местности. Это позволяет определить требуемую мощность компонентов электроэнергетической системы и выбрать оптимальный режим работы компонентов с учетом распределения нагрузки системы.

С использованием средств Simscapе Electrical есть возможность моделировать и работу отдельных компонентов электроэнергетической системы. Как было сказано выше, импульсно-периодическая нагрузка может вносить коррективы в работу системы управления инверторного преобразователя входящего в состав импульсного блока питания. Для того чтобы система управления блока питания обеспечивала стабильную работу системы целесообразно для испытания и наладки коэффициентов контроллера использовать следующую модель (рис. 2).

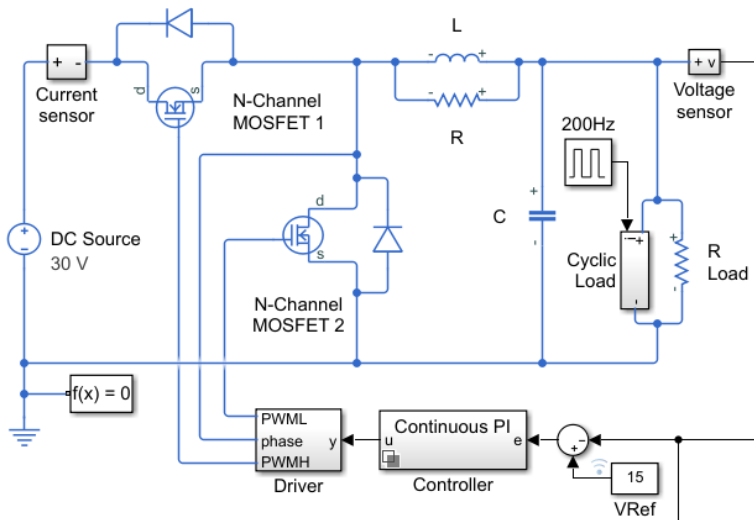


Рис. 2. Модель импульсного блока питания

Характерной особенностью представленной системы является объединение аналоговой схемы, учитывающей паразитные параметры отдельных компонентов и цифрового контроллера, реализующего заданный закон регулирования в рамках одной модели. Следует отметить что при необходимости может быть обеспечено документирование всех необходимых параметров как это показано на рис. 3.

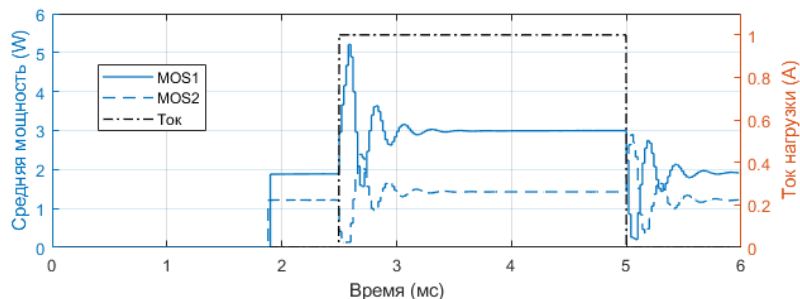


Рис. 3. Распределение нагрузки по транзисторам при увеличении тока

Среду Simscape Electrical можно использовать в том числе для оценки эффективности модулей преобразования энергии в зависимости от нагрузки. В качестве примера рассмотрим работу однокаскадного преобразователя электроэнергии используемого для обеспечения питания нагрузки переменного тока (рис. 4).

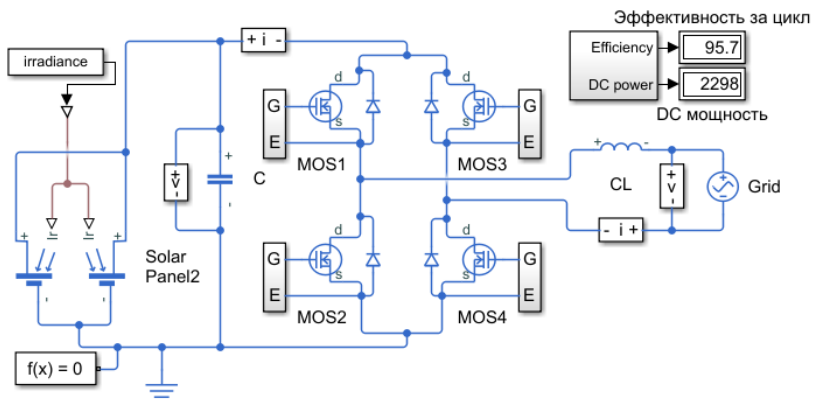


Рис. 4. Определение КПД однокаскадного преобразователя DC – AC

Simscape Electrical входит в общий пакет Simscape, он, в свою очередь состоит из нескольких доменов, каждый из которых позволяет моделировать отдельное физическое направление такое как электрика, электромагнитные поля, гидравлика, термодинамика и другие. Благодаря мульти доменному моделированию при использовании Simscape Electrical есть возможность построения модели, в которой будут одновременно учитываться и электрические явления, и изменение температуры силовых компонентов в случае повышения нагрузки. Вариант реализации такой модели для линейного регулятора напряжения обеспечивающего стабильную работу импульсно-периодической нагрузки представлен на рис. 5.

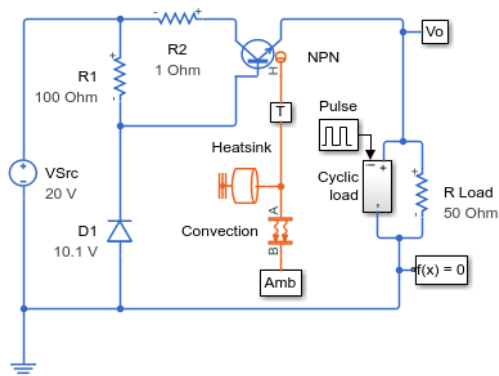


Рис. 5. Модель линейного регулятора напряжения

В результате моделирования получены графики зависимости температуры кристалла силового транзистора и температуры его корпуса.

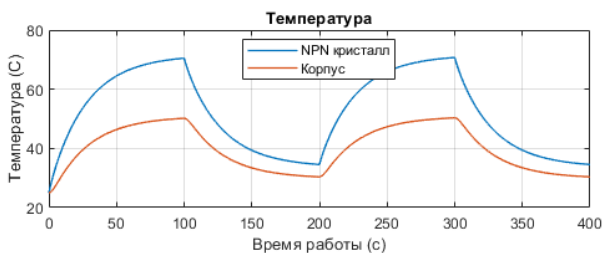


Рис. 6. Моделирование изменения температуры силового элемента от нагрузки в регуляторе напряжения

### Заключение

Имитационное моделирование электроэнергетических систем с применением Simscape Electrical позволяет определить не только оптимальный состав и режим работы, но и исследовать работу отдельных компонентов и устройств. При этом показана возможность оценивать эффективность работы системы при условии наличия импульсно-периодической нагрузки. Представлен вариант оценки КПД в зависимости от нагрузки. Показана возможность моделирования изменения температуры кристалла и корпуса силового транзистора с изменением нагрузки.

## Литература

1. Моделирование сложных электроэнергетических систем летательных аппаратов: монография / С.П. Халютин, М.Л. Тюляев, Б.В. Жмуров, И.Е. Старостин – М.: ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2010. – 188 с.
2. Герман-Галкин, С. Г. MATLAB&Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С.Г. Герман-Галкин – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
3. 10 Ways to Speed Design for Digitally Controlled Power Converters with Simulink [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.mathworks.com/solutions/power-electronics-control.html>