

Modeling of proton exchange membrane fuel cell
Belyaev P.¹, Mishchenko V.², Podberezkin D.³, Em R.⁴
Моделирование топливного элемента с протонообменной мембраной
Беляев П. В.¹, Мищенко В. С.², Подберезкин Д. А.³, Эм Р. А.⁴

¹Беляев Павел Владимирович / Belyaev Pavel – кандидат технических наук, доцент;

²Мищенко Владимир Сергеевич / Mishchenko Vladimir – студент-магистр, преподаватель,
Омский промышленно-экономический колледж;

³Подберезкин Дмитрий Анатольевич / Podberezkin Dmitry – студент-магистр;

⁴Эм Роман Артурович / Em Roman – студент,
кафедра электрической техники, факультет электроэнергетики,
Омский государственный технический университет, г. Омск

Аннотация: в данной работе построена и исследована имитационная модель источника питания на базе топливного элемента с протонообменной мембраной. В ходе имитационного моделирования в среде MATLAB/Simulink определено влияние изменения входных параметров топливного элемента: скорости расхода топлива, скорости расхода воздуха и рабочей температуры на ток и напряжение, как самого элемента, так и на ток и напряжение в нагрузке. В заключение представлены выводы о влиянии каждого из исследуемых параметров, на основании результатов моделирования.

Abstract: in this work, we constructed and studied a simulation model of the power source on the basis of the fuel cell with a proton exchange membrane. During simulation in MATLAB /Simulink the influence of changes in input parameters of the fuel cell: flow rate, fuel flow rate and air temperature on current and voltage as the actual item, and the current and voltage in the load. In the conclusion findings on the effect of each studied parameter on the basis of simulation results.

Ключевые слова: топливные элементы, протонообменная мембрана, моделирование, ток, напряжение.

Keywords: fuel cells, proton exchange membrane, modeling, current, voltage.

Введение

Топливный элемент представляет собой устройство преобразующее энергию химической реакции веществ непосредственно в электрическую энергию, без промежуточных термодинамических процессов преобразования энергии. Топливные элементы, в сравнении с другими источниками электроэнергии, более экологически чистые, а благодаря диапазону мощностей от нескольких ватт до нескольких мегаватт, отличаются и широчайшим спектром своего применения. В настоящее время топливные элементы нашли широкое распространение в транспортных средствах [1].

Среди различных типов топливных элементов, наиболее широко распространенным является топливный элемент с протонообменной мембраной (ПОМТЭ). Новые разработки данного типа элементов сделали его наиболее перспективным для стационарных и мобильных приложений в диапазоне до 200 кВт. Необходимо отметить и то, что в отличие от иных нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, таких как ветроэнергетические генераторы и фотоэлектрические станции, топливные элементы могут быть размещены в любом месте [2, 3].

Изменения входных параметров топливных элементов, должны быть учтены при использовании любого реального устройства или машины.

В работе проведено моделирование влияния изменения нескольких входных параметров на выходные характеристики тока и напряжения топливного элемента с протонообменной мембраной.

Описание имитационной модели

Для исследования работы топливного элемента в среде MATLAB 2014b/Simulink разработана его имитационная модель (рис. 1).

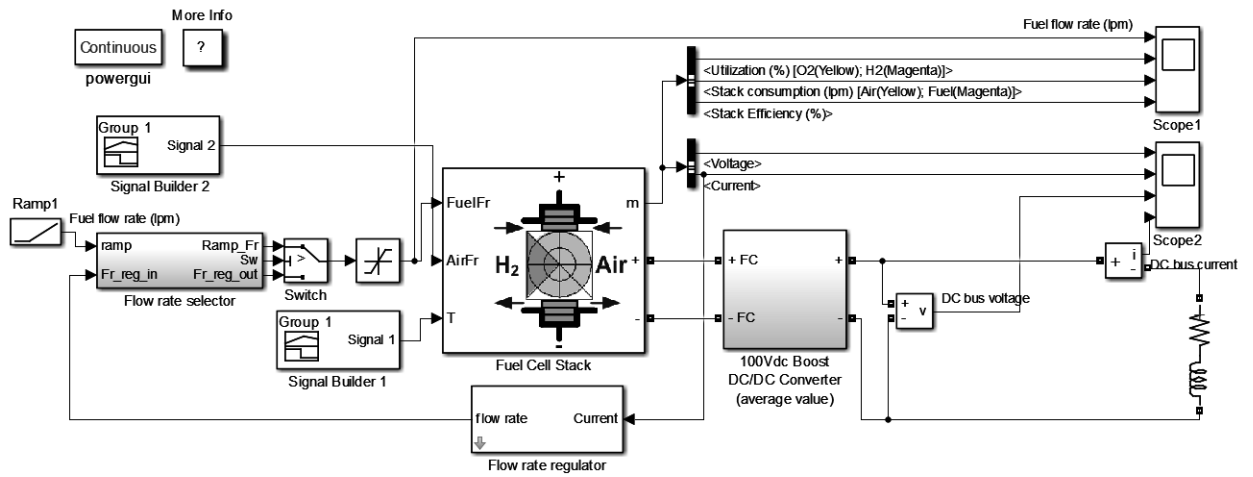


Рис. 1. Имитационная модель работы топливного элемента

В качестве первичного источника электропитания использован блок Fuel Cell Stack. Вольт-амперная характеристика и зависимость выходной мощности от тока нагрузки, приведены на рисунке 2.

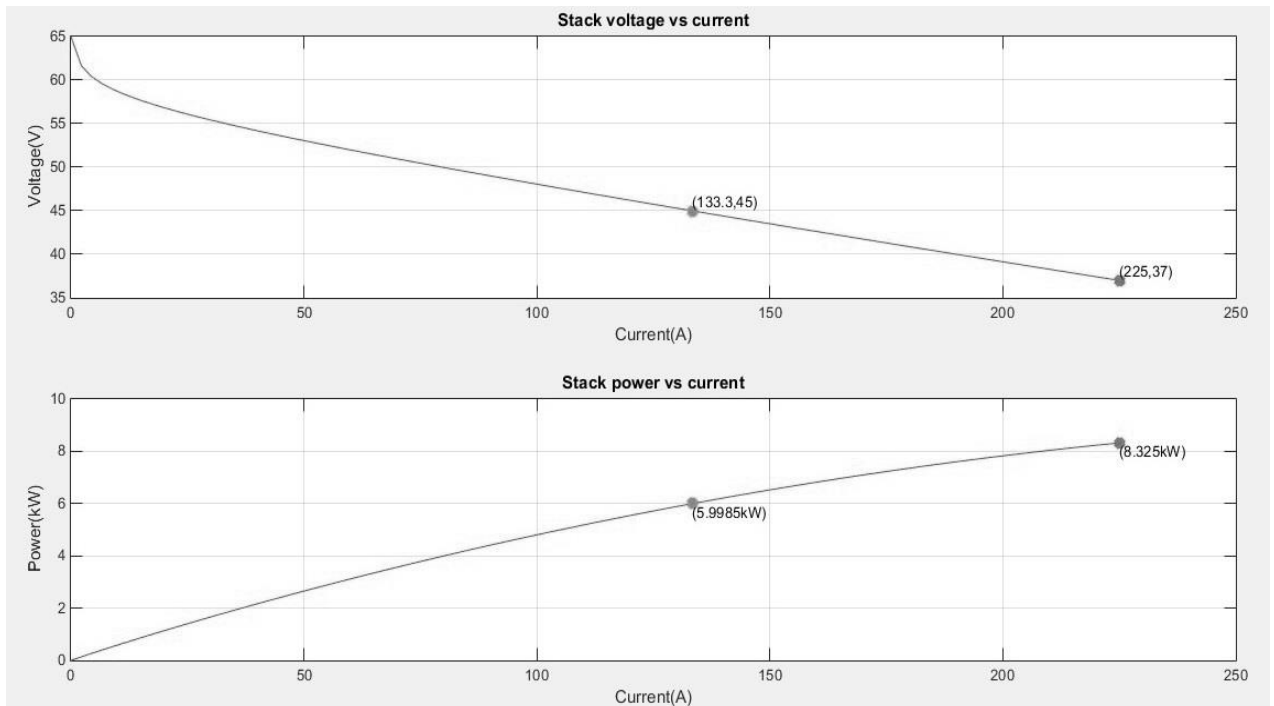
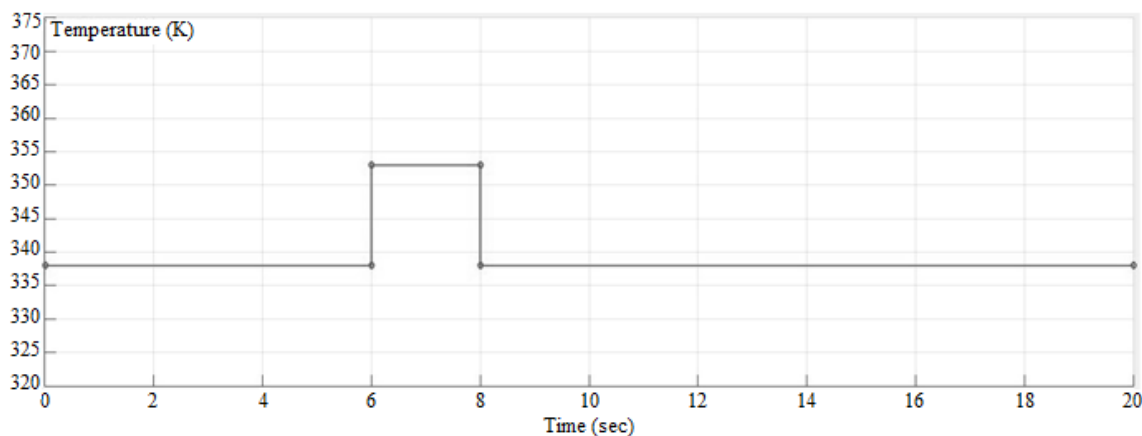


Рис. 2. Вольт-амперная и ватт-амперная характеристика топливного элемента

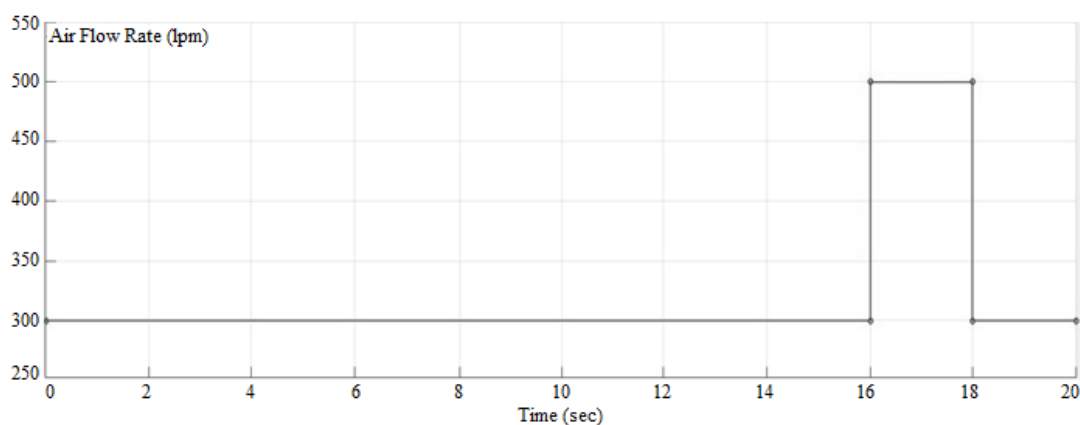
Регулирование скорости расхода топлива осуществляется с помощью обратной связи.

Используя регулятор расхода топлива (Flow rate regulator) поддерживаем в течение первых 10 секунд расход водорода постоянным и приближенным к номинальному значению ($H_2 = 99,56\%$). Далее, регулятор расхода отключается, и скорость расхода топлива увеличивается до максимальной величины в 85 литров в минуту, что осуществляется с использованием блоков Ramp, Flow rate selector, Switch и Saturation [4,5].

Диаграммы генерируемых сигналов изображены на рисунке 3.



a)



б)

Рис. 3. Диаграммы сигналов, генерируемых блоками Signal Builder 1 (а) и Signal Builder 2 (б)

Кроме того, данная схема включает в себя преобразователь постоянного напряжения, без гальванической развязки, работающий в режиме непрерывных токов [6].

Моделирование электромагнитных процессов

На предварительном этапе выделяем несколько интервалов времени работы источника, определяющих характерные процессы.

1. $T = 0 - 4$ с.

Преобразователь DC / DC при $T = 0$ с прикладывает к нагрузке 100 В (начальный ток нагрузки 0 А). Потребление топлива возрастает до номинального значения 99,56%. Ток увеличивается до величины 133 А.

$T = 4$ с.

С помощью построителя сигналов Signal Builder 1 изменяем температуру работы топливного элемента с номинального значения равной 65°C (338 К) до 80° С (353 К) за временной промежуток в 2 с.

$T = 10$ с.

Расход топлива увеличился с 50 л в минуту (LPM) до 85 литров в минуту в течение 3,5 с. с понижением потребления водорода.

$T = 16$ с.

За промежуток времени в 2 с., помощью построителя сигналов Signal Builder 2 ступенчато изменяем расход подаваемого в ячейку воздуха с номинального значения 300 л в минуту до максимального значения 500 л в минуту.

Результаты моделирования на временном промежутке 0 - 20 с. приведены на рисунках 4 – 5.

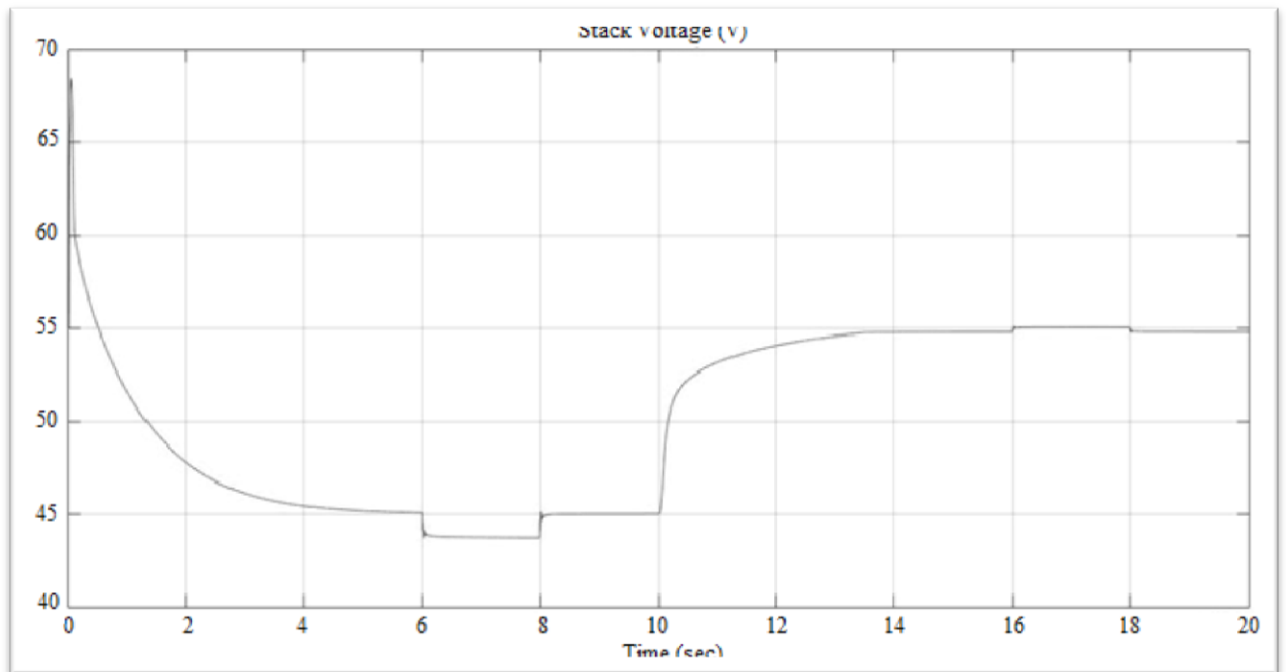


Рис. 4. Напряжение на топливном элементе

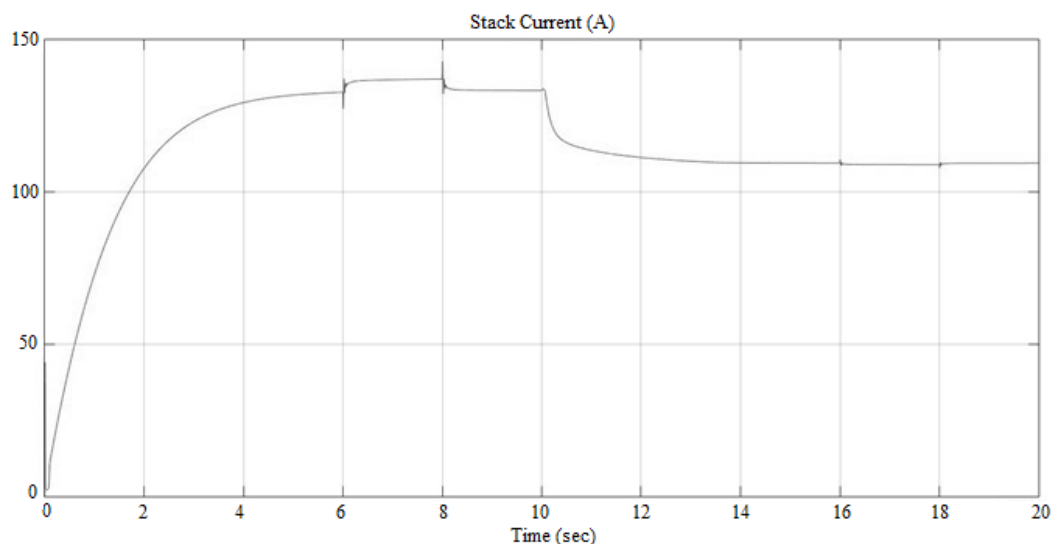


Рис. 5. Ток на топливном элементе

Выводы

В статье описаны результаты имитационного моделирования топливного элемента с протонообменной мембраной. В процессе исследований, было произведено регулирование скорости расхода топлива, воздуха и изменение рабочей температуры. По результатам моделирования можно сделать выводы о влиянии изменения исследуемых параметров на выходные характеристики топливного элемента.

Литература

1. Njoya S. M., Tremblay O., Dessaint L. A. A generic fuel cell model for the simulation of fuel cell vehicles // Vehicle Power and Propulsion Conference, 2009. VPPC'09. IEEE. – IEEE, 2009. С. 1722 - 1729.
2. Состояние гелиоэнергетики в мире. Беляев П.В., Комарова Н.Г. Динамика систем, механизмов и машин. 2014. № 1. С. 198 - 202.
3. Belyaev P. V., Sadayev D. S. Comparing indices characterizing nonsinusoidality of supply voltage (2015) 2014 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines, Dynamics, 2014. Proceedings, art. no. 7005637.

4. *Friede W., Raël S., Davat B.* Mathematical model and characterization of the transient behavior of a PEM fuel cell //Power Electronics, IEEE Transactions on, 2004. T. 19. № 5. C. 1234 - 1241.
5. *Lee J. M., Cho B. H.* A dynamic model of a PEM fuel cell system //Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2009. APEC 2009. Twenty-Fourth Annual IEEE. – IEEE, 2009. C. 720 - 724.
6. *Hamelin J. et al.* Dynamic behavior of a PEM fuel cell stack for stationary applications //International Journal of Hydrogen Energy, 2001. T. 26. № 6. C. 625 - 629.