



Т.С. Ларкина
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске, Белорусско-Российский университет

К ВОПРОСУ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ДЛЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

В статье описан метод анализа динамической модели химических источников тока для тяговых электроприводов. Представленное исследование дает возможность для разработки комбинированных энергоустановок. В статье представлены математическое описание и обобщенная структурная схема химических источников тока для тяговых электроприводов. Для исследований были применены пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений MATLAB Simulink. Рассмотрена возможность применения среды динамического и функционального моделирования технических систем SimInTech, выполненной российскими разработчиками.

Химические источники тока, ХИТ, аккумуляторная батарея, АКБ, MATLAB, Matlab Simulink, Simintech, моделирование.

Химические источники тока (ХИТ) представляют собой преобразователи химической энергии в электрическую. В ходе химической реакции взаимодействующих реагентов происходит основная работа ХИТ (разряд). Выделяется во время разряда энергия в форме энергии постоянного электрического тока [1].

Различают ХИТ в зависимости от размеров, природы протекания реакций токообразования и конструкции, что влияет в свою очередь на параметры эксплуатации. Стоит отметить, что ХИТ может быть применено в различных, в том числе специфических областях, потому обосновано подобное разнообразие ХИТ.

Вопрос энергосбережения в сфере деятельности электротранспорта представляет собой важную задачу в области инженерии и технологии.

Управление тяговыми электродвигателями осуществляется при помощи преобразователей на транзисторных ключах с высокой частотой коммутации. Однако с ростом частоты влияние величин электрической емкости C и индуктивности L увеличивается, несмотря на то, что величины C и L малы [2].

По этой причине для анализа динамических свойств тяговых электроприводов возникает необходимость определения инерционности источников питания.

Эквивалентная схема замещения ХИТ для внутреннего сопротивления может иметь следующий вид (рис. 1).

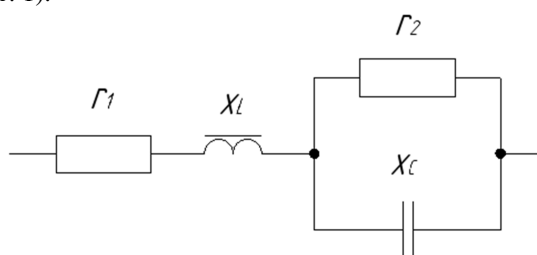


Рис. 1. Эквивалентная схема замещения ХИТ для внутреннего сопротивления: r_1 – омическое сопротивление; L – индуктивность; C – емкость; r_2 – сопротивление поляризации

Полное внутреннее сопротивление ХИТ с учетом статических и динамических свойств источника питания примет следующий вид [3]:

$$Z(s) = r_1 + Ls + \frac{\frac{1}{Cs} r_2}{r_2 + \frac{1}{Cs}} = r_1 + Ls + \frac{r_2}{r_2 Cs + 1} \quad (1)$$

Величины напряжений на выходе АКБ примут следующий вид:

$$U = U_0 - \frac{1}{r_2 C} \int \left[(K_0 + K_A i)(q - q_0) + r_1 r_2 C \frac{di}{dt} - U_{RC} \right] dt - L \frac{di}{dt} \quad (2)$$

при $q > q_n$.

$$U = U_0 - \frac{1}{r_2 C} \int \left[(K_0 + K_A i)(q - q_0) + r_1 r_2 C \frac{di}{dt} - U_{RC} \right] dt - L \frac{di}{dt} \quad (3)$$

при $q < q_n$.

Математическая модель обобщенной структурной схемы ХИТ, реализованная в среде MATLAB Simulink [4], приведена на рисунке 2.

Разрядные характеристики ХИТ, полученные на базе предложенной математической модели обобщенной структурной схемы ХИТ, реализованной в среде MATLAB Simulink, для различных значений тока приведены на рисунке 3.

Графики зависимостей полного внутреннего сопротивления ХИТ Z от частоты ω на базе предложенной математической модели обобщенной структурной схемы ХИТ, реализованной в среде MATLAB Simulink, для различных степеней разряженности приведены на рисунке 4.

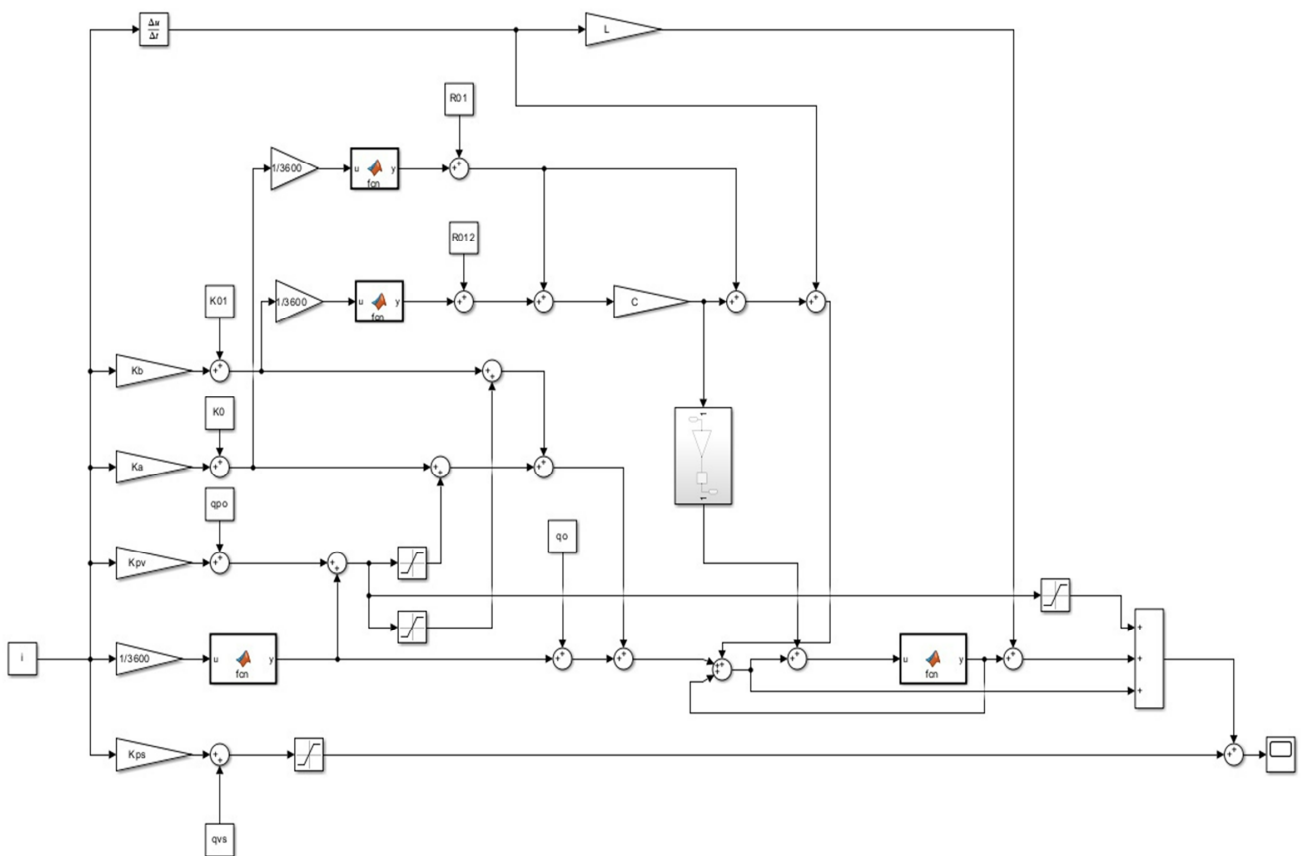


Рис. 2. Математическая модель обобщенной структурной схемы ХИТ, реализованная в среде MATLAB Simulink

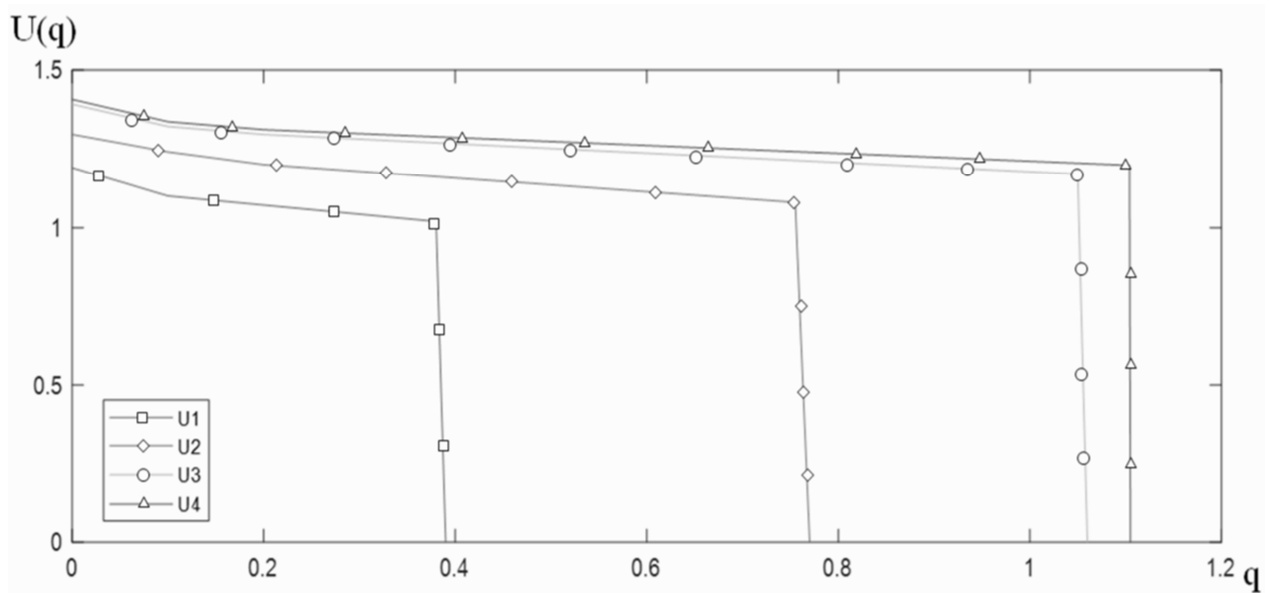


Рис. 3. Разрядные характеристики ХИТ

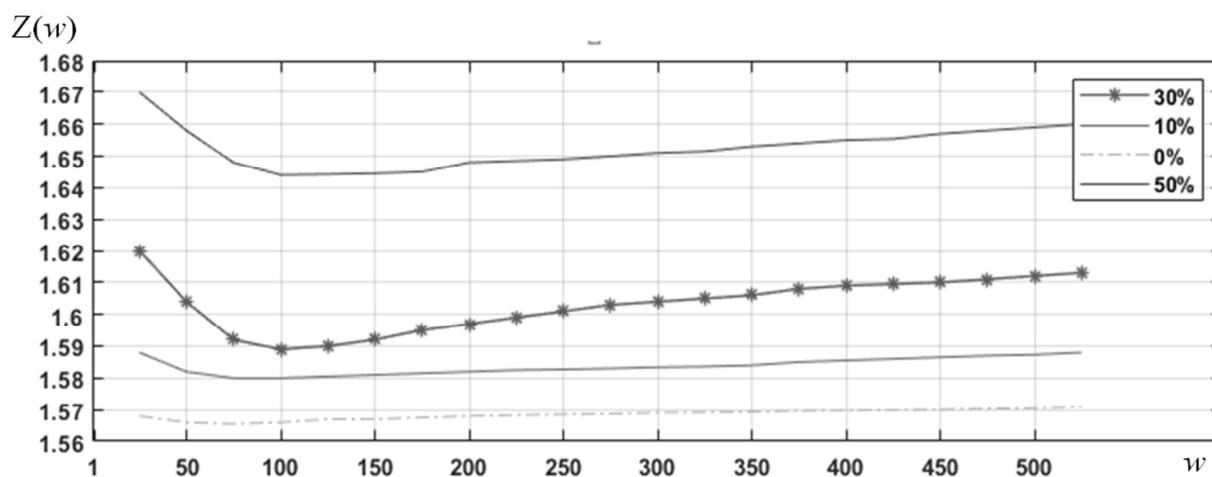


Рис. 4. Графики зависимостей полного внутреннего сопротивления ХИТ Z от частоты w

Представленные экспериментальные исследования верифицируют теоретические расчеты.

Исходя из анализа полученных графических зависимостей, можно сделать вывод, что величины резонансной частоты w и полного внутреннего сопротивления ХИТ Z увеличиваются с ростом степени разряженности АКБ.

Так как аккумуляторная батарея является базовым элементом системы электроснабжения автомобилей, то исследование динамической модели химических источников для тягового транспорта дает возможность для поиска и разработки усовершенствованных АКБ, что позволит снизить потери, связанные с процессами коммутации, а также потерями, вызванными нагрузкой и ее изменением.

Программная реализация, предложенная для решения задачи анализа динамической модели химических источников тока для тяговых электроприводов, позволяет определить энергоэффективность работы рассматриваемой системы. Это имеет большое значение для оптимизации и контроля процесса заряда и разряда АКБ, обеспечивая достижение требуемых результатов и эффективное использование ресурсов, что имеет значение для инженерной практики и научных исследований в данной области.

Отмечается, что для моделирования рассматриваемой системы возможно применение среды динамического и функционального моделирования технических систем SimInTech [5], выполненной российскими разработчиками.

Литература

1. Козадеров, О. А. Современные химические источники тока: учебное пособие / О. А. Козадеров, А. В. Введенский. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2017. – 132 с.
2. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник для бакалавров / Л.А. Бессонов. – Москва : Юрайт, 2015. – 701 с.
3. Жаворонков, М. А. Электротехника и электроника : учебное пособие / М. А. Жаворонков, А.В. Кузин. – Москва : ИЦ Академия, 2016. – 400 с.
4. Агравал, Г. П. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB : учебное пособие / Г. П. Агравал. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 208 с.
5. Хабаров, С. П. Основы моделирования технических систем. Среда Simintech / С. П. Хабаров, М. Л. Шилкина. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 120 с.

T.S. Larkina

*National Research University MPEI in Smolensk
Belarusian-Russian University*

ON ANALYSIS OF CHEMICAL CURRENT SOURCES DYNAMIC MODEL FOR TRACTION ELECTRIC DRIVES

The article describes a method for analyzing a dynamic model of chemical current sources for traction electric drives. The presented study provides an opportunity to develop combined power plants. The article presents a mathematical description and a generalized structural diagram of chemical current sources for traction electric drives. A package of applied programs for solving technical computing problems MATLAB Simulink was used for research. The possibility of using the environment for dynamic and functional modeling of technical systems SimInTech, made by Russian developers, is considered.

Chemical current sources, CCS, battery, battery, MATLAB, Matlab Simulink, Simintech, modeling.