



В ходе исследования была выявлена высокая эффективность применения имитационного моделирования для оптимизации работы транспортной системы массового обслуживания в программной среде имитационного моделирования AnyLogic.

### Литература

1. Старцева Ю.Г., Якимов И.М., Кирпичников А.П. Моделирование движения автотранспорта на управляемом У – образном перекрестке // Вестник Казанского технологического университета. - 2015. - Т. 18. - № 7. - С. 263-267.
2. Мокшин В.В. Параллельный генетический алгоритм отбора значимых факторов, влияющих на эволюцию сложной системы // Вестник Казанского госуд. технич. ун-та им. А.Н. Туполева. - 2009.- Т. 7. - № 1. - С.66-76.
3. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Маряшина Д.Н. Сравнение систем структурного и имитационного моделирования ANYLOGIC, STRATUM 2000, ACTOR PILGRIM // Вестник Казанского технологического университета. - 2018. - Т. 21. - № 10. - С. 140-143.
4. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Зайнуллина Г.Р., Яхина З.Т. Оценка достоверности результатов имитационного моделирования по результатам имитационного моделирования // Вестник Казанского технологического университета. - 2015. - Т. 18.- № 6. - С. 173-178.

А.А. Мухаммадиев

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ И ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

(Казанский национальный исследовательский технический университет  
им А.Н. Туполева-КАИ)

Анализ частотных характеристик осуществляется частотным методом, при котором электрическая цепь задается своими частотными характеристиками (АЧХ и ФЧХ), которые в большинстве практических случаев, для простых электрических схем, могут быть рассчитаны. Частотный метод анализа включает в себя задачу частотного или спектрального представления воздействия в виде суммы гармонических составляющих с определенными амплитудами, начальными фазами и частотами, а также задачу определения реакций цепи на каждую гармоническую составляющую воздействия и их суммирование [1].

Цель работы – моделирование частотных (входных и передаточных) и переходных характеристик произвольной электрической цепи.

Для моделирования предлагается использовать программу Electronics Workbench [2, 3]. Пример схемы измерения частотных характеристик цепи приведен на рис. 1. На рис. 2 и 3 представлены результат моделирования АЧХ и ФЧХ. Схема измерения частотных характеристик входного сопротивления цепи приведена на рис. 4.

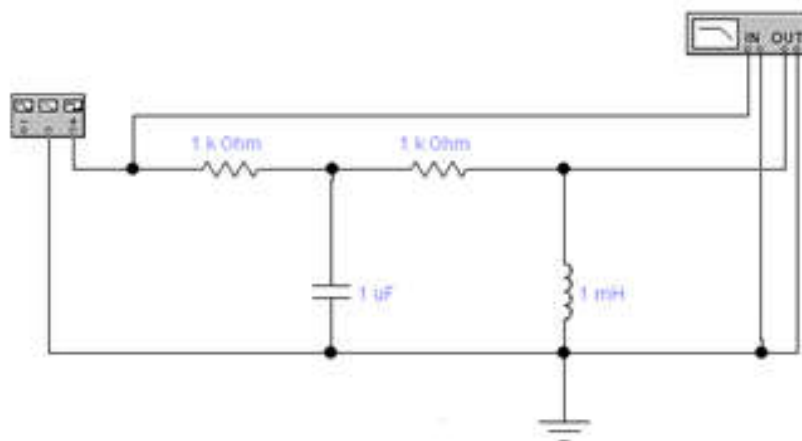


Рис. 1. Схема измерений

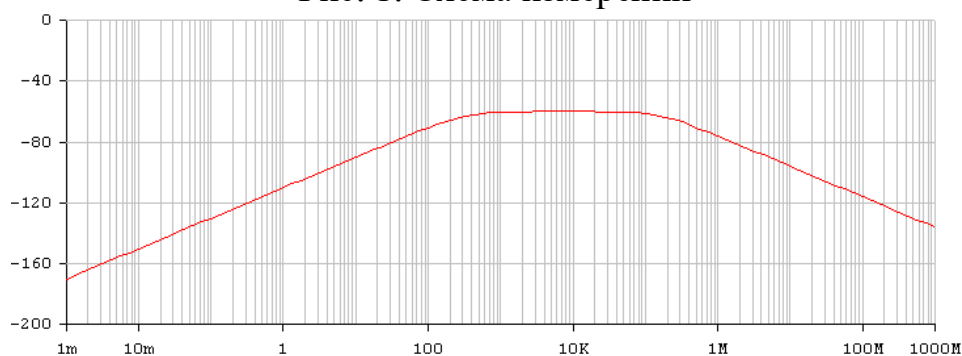


Рис. 2. АЧХ в логарифмическом масштабе

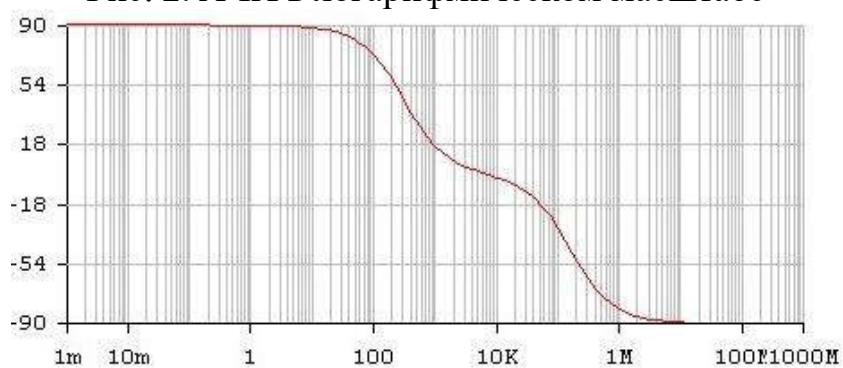


Рис. 3. ФЧХ в логарифмическом масштабе

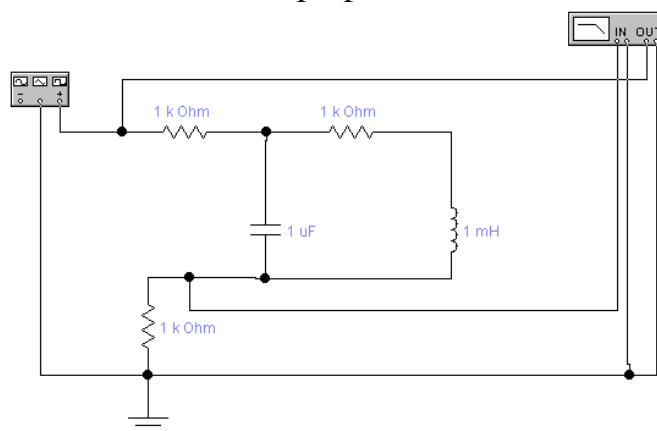


Рис. 4 Схема к проведению измерений входных характеристик  
На рис. 5 представлены результат моделирования АЧХ входной цепи.

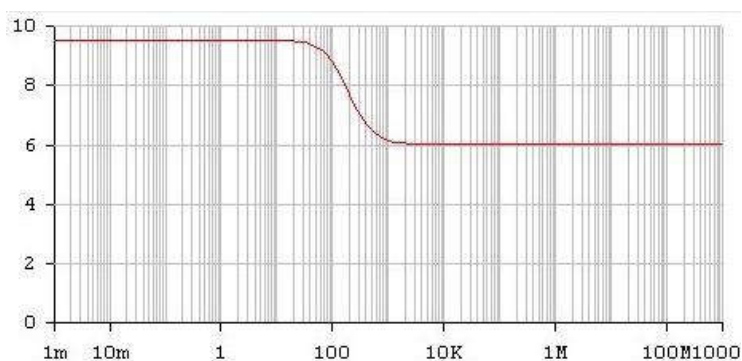


Рис. 5. АЧХ в логарифмическом масштабе

Схема измерения переходной характеристики (ПХ) приведена на рис. 6. На рис. 7 приведен пример измерения переходной характеристики цепи для области больших времен.

Таким образом, в работе проведено компьютерное моделирование частотных и переходных характеристик электрической цепи с помощью измерительных приборов входящих в состав виртуальной измерительной лаборатории Electronics Workbench. Используются следующие измерительные приборы виртуальной лаборатории: осциллограф; генератор; измеритель диаграмм Боде (или плоттер Боде). Данная программа также хорошо подходит для расчета переходных характеристик цепей для анализа задачи воздействия электромагнитных помех по сети электропитания [4, 5, 6].

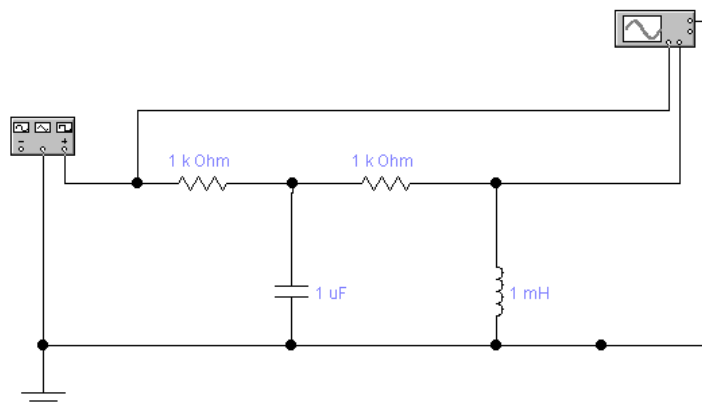


Рис. 7. Схема измерения ПХ

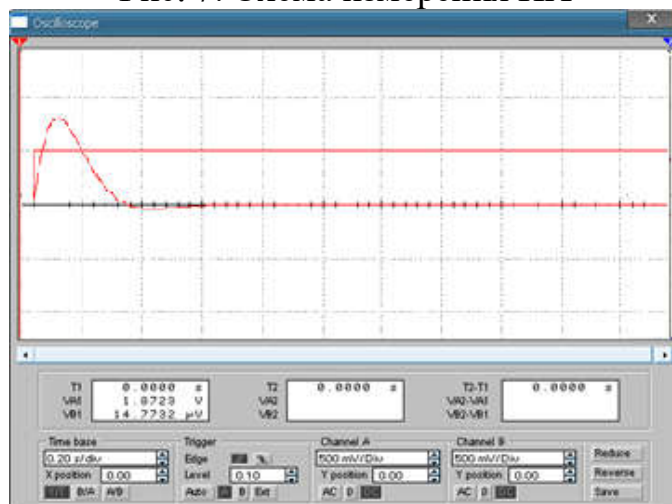


Рис. 8. Моделирование ПХ цепи для области больших времен



### Литература

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1999. – 263 с.
2. Карлащук В. И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. – М.: Солон-Р, 2000. – 506 с.
3. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Практикум на Electronics Workbench. В 2-х томах. Под ред. Д. И. Панфилова. – М.: Додэко, 2000. – 287 с.
4. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Зиатдинов И.Н. Моделирование электромагнитного воздействия на электронные средства по сети электропитания здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2014. – №7-8. – С. 104-110.
5. Гизатуллин Р.М., Гизатуллин З.М. Помехоустойчивость и информационная безопасность вычислительной техники при электромагнитных воздействиях по сети электропитания: монография. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2014. – 142 с.
6. Гизатуллин З.М. Электромагнитная совместимость электронных средств объектов электроэнергетики при внешних электромагнитных воздействиях по сети питания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2007. – №9-10. – С. 37-45.

А.Л. Нуруллина, Г.Л. Нуруллина, П.С. Медведев, А.Т. Садыкова

### РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СКЛАДА В СРЕДЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC

(АФ КНИТУ-КАИ им А.Н.Туполева)

*Ключевые слова: имитационное моделирование, оптовый склад, система AnyLogic.*

*Для решения практических задач используют компьютерное моделирование. Зачастую невозможно провести натурные эксперименты для нахождения ошибок, так как это очень затратно. В таких случаях её описывают на языке моделирования. Одним из таких языков является AnyLogic. В данной статье представлена структурная схема склада в виде диаграмм. Вышеуказанная модель работы склада представляет человеческие ресурсы средствами системы имитационного моделирования AnyLogic. Обоснованием возможности использования предложенного алгоритма являются временные характеристики нахождения паллет на складе, а также загруженность человеческих ресурсов, транспорта, используемых на данном складе, сведенные вместе с результатами имитационного моделирования.*