

В. А. Целищев¹

¹ *Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

ИНТЕРАКТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА Multisim

Аннотация. Отмечена важность и необходимость применения интерактивных моделей технических систем в процессе обучения и подготовки персонала, проведен краткий анализ существующих методов и особенностей моделирования. Приведены примеры реальных интерактивных моделей технических систем, в качестве которых использованы рельсовые цепи. Интерактивные модели созданы применением программного комплекса Multisim. Созданные модели реализованы и используются при проведении лабораторных занятий в дистанционном формате обучения.

Ключевые слова: моделирование, модель, рельсовая цепь, рельсовая линия, режим работы, тяговый ток.

V.A. Tselishchev¹

¹ *Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia*

INTERACTIVE MODELING OF TECHNICAL SYSTEMS USING THE SOFTWARE COMPLEX Multisim

Abstract. The importance and necessity of using interactive models of technical systems in the process of training and training of personnel is noted, a brief analysis of existing methods and features of modeling is carried out. Examples of real interactive models of technical systems are given, as which rail chains are used. Interactive models are created using the Multisim software package. The created models are implemented and used during laboratory classes in a distance learning format.

Keywords: modeling, model, rail circuit, rail line, operating mode, traction current.

Введение.

Профессиональный динамизм, как характерная черта современного общества, требует обновления форм и методов подготовки специалистов. В условиях современной системы подготовки кадров все более востребованы процедуры обучения, адаптивные к различным условиям организации учебного процесса, в том числе с использованием дистанционных технологий и электронной формы обучения. В системе профессиональной подготовки специалистов активно используются виртуальные тренажеры и симуляторы (интерактивные модели), ориентированные на формирование устойчивых моделей поведения в профессиональной среде. Актуальным становится вопрос о педагогических аспектах использования данных средств обучения в системе профессиональной подготовки. Использование разного рода моделей в учебном процессе не считается новым методом. Они используются во всех отраслях учебного процесса с начальных классов до высших образовательных учреждений. Это связано с дешевой альтернативой реальных объектов и возможностью моделировать физические процессы при проведении лабораторных работ. В ходе проведения исследований студенты укрепляют теоретические знания и получают дополнительные навыки в профессиональном освоении сложных технических систем.

Модели и моделирование

Процесс моделирования предполагает получение и обработку информации об объектах, которые взаимодействуют между собой и внешней средой. В общем случае под объектом понимается все то, на что направлена человеческая деятельность. Объект, с целью изучения которого проводятся исследования, называется оригиналом, а объект, исследуемый вместо оригинала для изучения определенных свойств, называется моделью [12].

Модель – мысленно представляемая или материально реализованная система, которая, отображая или воспроизводя объект исследования, способна замещать его так, что ее изучение дает новую информацию об объекте. В конечном итоге под моделью объекта понимается описание системы (оригинала), отображающее определенную группу ее свойств. Углубление описания – детализация модели.

Моделирование – это, во-первых, процесс создания или отыскания в природе объекта, который в некотором смысле может заменить исследуемый объект. Во-вторых, это испытание, исследование модели. То есть, моделирование связано с экспериментом, отличающимся от натурального тем, что в процесс познания включается «промежуточное звено» – модель. В-третьих, это перенос полученных на модели сведений на оригинал или приписывание свойств модели оригиналу. Чтобы такой перенос был оправдан, между моделью и оригиналом должно быть сходство, подобие.

Подобие модели и оригинала может быть физическим, геометрическим, структурным, функциональным и т.д. Степень подобия может быть разной – от полного сходства до сходства только в главном. И зависит она в полной мере от поставленных целей, сложности структуры оригинала, финансовых и материальных ресурсов и т.д. В большинстве случаев модели не должны воспроизводить полностью все стороны изучаемых объектов.

Основные цели моделирования

Основной целью моделирования является оценка поведения объекта при некотором сочетании ее управляемых и неуправляемых параметров. Здесь часто ставится задача оптимизации и анализа чувствительности объекта. Решая задачу оптимизации, определяют такое сочетание параметров и их величин, при котором обеспечиваются наилучшие показатели качества объекта. Анализ чувствительности – выявление из большого числа факторов тех, которые в наибольшей степени влияют на функционирование моделируемого объекта. Часто модель создается для применения в качестве средства обучения: модели-тренажеры, стенды, учения, деловые игры и т.п.

Классификация моделей и моделирования

Каждая модель создается для конкретной цели и, следовательно, уникальна. Однако наличие общих черт позволяет сгруппировать все их многообразие в отдельные классы, что облегчает их разработку и изучение. Актуальны следующие признаки классификации: характер моделируемой стороны объекта, характер процессов, протекающих в объекте, способ реализации модели.

В соответствии с классификацией моделей по характеру моделируемой стороны объекта модели могут быть: функциональными, структурными, информационными.

Функциональные модели отображают только поведение моделируемого объекта. В этом случае объект рассматривается как «черный ящик», имеющий входы и выходы. Физическая сущность объекта, природа протекающих в нем процессов, структура объекта остаются вне внимания потому, что неизвестны. При функциональном моделировании эксперимент состоит в наблюдении за выходом объекта при искусственном изменении входных воздействий.

При структурном моделировании создается и исследуется модель, структура которой подобна структуре моделируемого объекта.

Классификация моделей по признаку характера процессов, протекающих в объекте модели могут быть детерминированными или стохастическими, статическими или динамическими, дискретными или непрерывными или дискретно-непрерывными.

Детерминированные модели отображают процессы, в которых отсутствуют случайные воздействия. Стохастические модели отображают вероятностные процессы и события. Статические модели служат для описания состояния объекта в какой-либо момент времени. Динамические модели отображают поведение объекта во времени. Дискретные модели отображают поведение систем с дискретными состояниями. Непрерывные модели представляют

системы с непрерывными процессами. Дискретно-непрерывные модели строятся тогда, когда исследователя интересуют оба эти типа процессов.

Классификация моделей и моделирования по способу реализации модели делится на два обширных класса: абстрактные (мысленные) и материальные.

Абстрактные модели представляют собой определенные конструкции из общепринятых знаков на бумаге или другом материальном носителе или в виде компьютерной программы. Абстрактные модели делят на символические и математические.

Символическая модель – это логический объект, выражающий его основные свойства с помощью определенной системы знаков или символов. Это либо слова естественного языка, либо графики, диаграммы и т.п.

Математическое моделирование – это процесс установления соответствия моделируемому объекту математической модели и исследование ее в целях получения характеристик моделируемого объекта [12].

Математические модели могут быть аналитическими, имитационными, смешанными (аналитико-имитационными).

Аналитические модели представляют собой функциональные системы алгебраических, дифференциальных, интегро-дифференциальных уравнений, а также логических условий. Преобразование математических моделей по известным законам и правилам можно рассматривать как эксперименты над исходным объектом. Для сложных систем построить аналитическую модель, достаточно полно отражающую реальный процесс, удастся не всегда. Но есть процессы, например, марковские, актуальность моделирования которых аналитическими моделями доказана практикой.

Бурное развитие вычислительных машин и их возможностей привело к появлению имитационных моделей. Имитационное моделирование предполагает представление модели в виде некоторого алгоритма – компьютерной программы, выполнение которого имитирует последовательность смены состояний в системе и представляет собой поведение моделируемого объекта.

Если исследование объекта затруднено использованием только вида моделирования применяют аналитико-имитационное моделирование. При построении таких моделей процессы функционирования объекта делят на составляющие, для части которых используют аналитические модели, а для остальных имитационные модели.

Материальное или физическое моделирование основано на применении моделей, представляющих собой реальные технические конструкции. Это может быть сам объект или его элементы.

Интерактивное обучение в профессиональной подготовке

Интерактивные модели – это имитаторы управления процессом, оборудованием, механизмом, а также имитаторы факторов, воздействующих на объект моделирования в процессе его функционирования. Главная цель интерактивных моделей – обучение через действие. Чаще всего интерактивные модели, используемые в наши дни, представлены механическими и компьютерными (виртуальными) программными пакетами [12].

К преимуществам применения интерактивных моделей можно отнести:

- Скорость применения. Обучение позволяет быстрее всего научить тем или иным практическим навыкам новичков;
- Актуальность. Технологии в современном мире меняются очень быстро. Учащимся, персоналу, которые используют интерактивные модели удастся достойно соответствовать реальным требованиям;
- Точность и контроль. Возможность фиксировать процесс обучения, наблюдать и корректировать действия;
- Вовлеченность и увлеченность в процесс обучения. Усиление эффекта интерактивности, а с ними и увеличение уровня мотивации, эмоциональное вовлечение в процесс обучение благоприятно влияет на уровень усвоения материала, продуктивность.

При разработке интерактивных моделей важно четко:

- определиться с задачами, которые должны быть решены. Это может быть только обучение (трансляция знаний, тренировка навыков, умений), а может быть контроль за полученными знаниями;
- учитывать реальные параметры, пропорции моделируемого объекта. Интерфейс интерактивных моделей должен быть не игровым, а приближенным к реальному оборудованию;
- обеспечить запуск модели на разных устройствах.

Интерактивные модели все более широко используются в профессиональном образовании. Они позволяют получить отличный опыт еще до доступа к реальному технологическому, производственному процессу. Они выводят эффективность обучения на новый уровень, отлично поддерживают концепт «Я сделал – я понял!». Интерактивное обучение позволяет быстро внедрять новые регламенты и технологии, а во время обучения идти в ногу с инновациями. Оно же – отличная возможность оптимизировать бюджет учебного центра, колледжа, университета при оснащении материально-технической базы.

Для создания интерактивных моделей широко применяют различные пакеты прикладных программ. К ним относят программный пакет Multisim – имитатор для создания моделей разных видов электронных схем. Это уникальный интерактивный эмулятор, позволяющий моделировать и тестировать электрические схемы в одной среде разработки с использованием виртуальных приборов. При помощи данной программы можно облегчить понимание основ электротехники и углубить свои знания в проектировании схем. Компонентная база программы состоит из огромного количества элементов. Разнообразие подключаемых к схеме виртуальных приборов Multisim позволяет быстро увидеть результат с помощью имитации реальных событий.

А специальные интерактивные элементы (переключатели, потенциометры) позволяют в режиме реального времени производить изменения элемента с одновременным отражением этого в имитации. Главная особенность Multisim – простой наглядный интерфейс, мощные средства графического анализа результатов моделирования, наличие виртуальных измерительных приборов, копирующих реальные аналоги. Создание интерактивных моделей позволяет организовывать, проводить практические и лабораторные занятия в удаленном формате [14].

В целях обеспечения выполнения лабораторных занятий в удаленном формате по учебной дисциплине «Специальные измерения и рельсовые цепи» проведено интерактивное моделирование фазочувствительной рельсовой цепи частотой сигнального тока 25 Гц (рис. 1) с применением программного пакета Multisim (рис. 2) [1, 2, 3].

Интерактивная модель включает в себя:

- в качестве питающего конца применен генератор XFG3, который подает на схему переменное напряжение частотой 25 Гц;
- на релейном и питающем концах использованы виртуальные трансформаторы PRTA1 с коэффициентом трансформации 9;
- виртуальные дроссель-трансформаторы DT с коэффициентом трансформации 3;
- резисторы $R_{сп}$, имитирующие сопротивление соединительных проводов;
- резистор R_p , имитирующий входное сопротивление путевого реле ДСШ-16;
- вольтметры V1, V2, V3, V4; для измерения напряжений.

Четырехполюсник (рис. 3), примененный для моделирования рельсовой линии, включает в себя: резисторы R_g , имитирующее активное электрическое сопротивление рельса, индуктивность L , имитирующее индуктивное сопротивление рельса, $C1$ и резистор R_{iz} , имитирующие емкостную и активную составляющие сопротивления изоляции рельсовой линии [5,7].

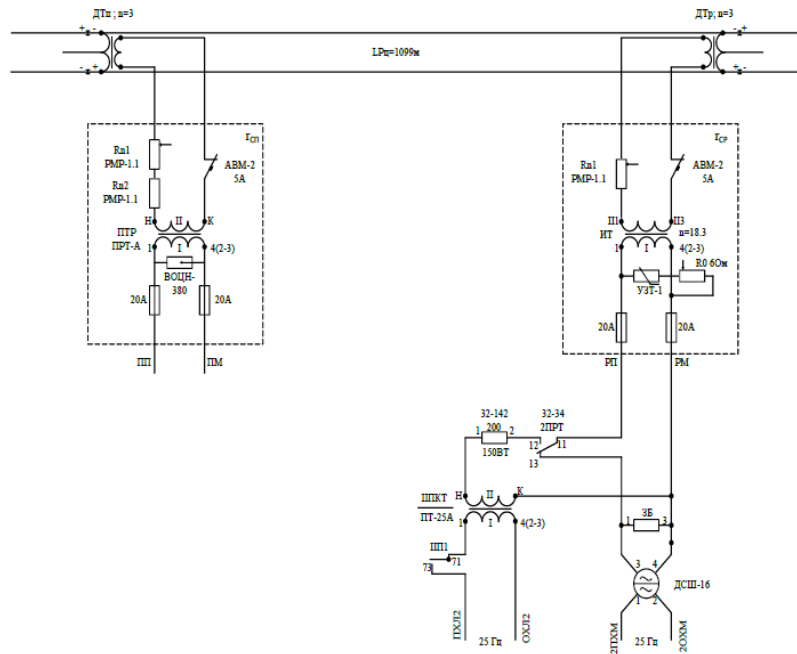


Рис. 1. Фазочувствительная рельсовая цепь частотой сигнального тока 25 Гц

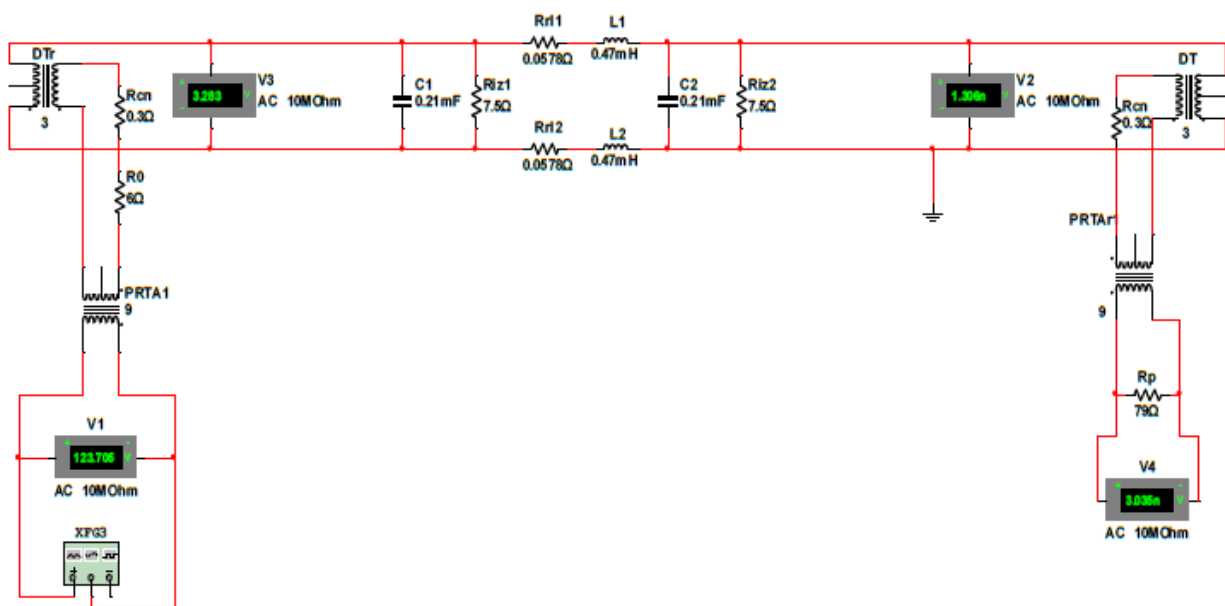


Рис. 2. Интерактивная модель фазочувствительной рельсовой цепи

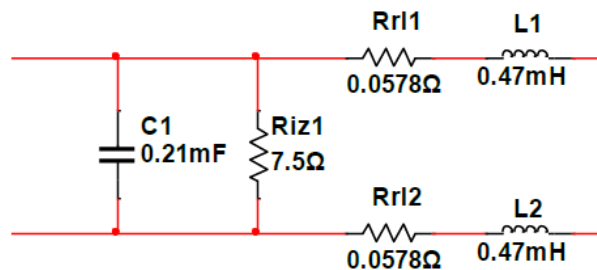


Рис. 3. Схема четырехполюсника

Для моделирования рельсовой линии заданной длины может быть применено несколько четырехполюсников (достаточно пяти четырехполюсников), соединенных последовательно [4, 5, 6, 7, 8, 9, 15].

Модель рельсовой цепи в нормальном режиме

Нормальный режим работы соответствует свободному и исправному состоянию рельсовой линии. В этом режиме определяющими являются напряжение на входе путевого приемника, длина рельсовой линии, сопротивление изоляции рельсов. Модель рельсовой цепи представлена на рис. 4.

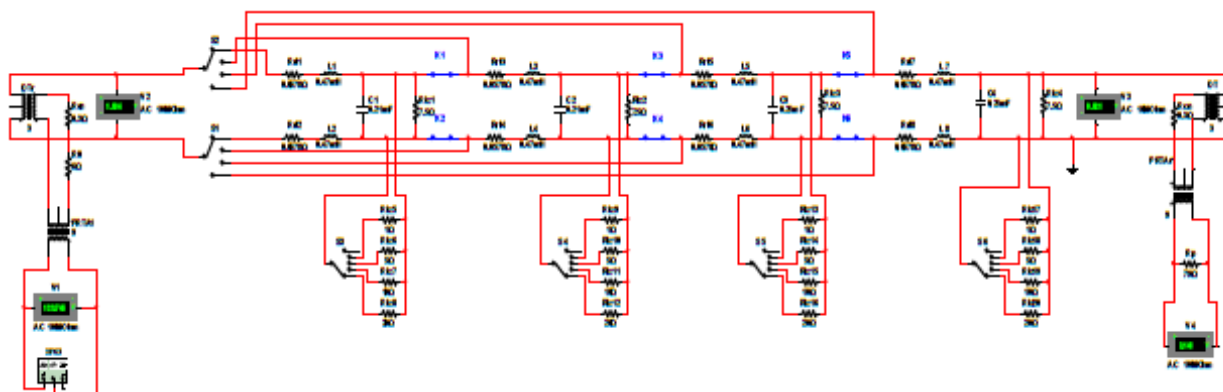


Рис. 4. Модель рельсовой цепи в нормальном режиме работы

Модель позволяет исследовать, как меняется напряжение на обмотке путевого реле U_p от длины рельсовой линии $l_{рл}$ и величины сопротивления изоляции рельсов. Изменение длины рельсовой линии достигается переключением ключей $S1$ и $S2$, $K1...K6$, а величина сопротивления изоляции – переключением ключей $S3...S6$.

В результате моделирования рельсовой цепи получены данные, представленные таблицей 1.

Таблица 1.

Зависимость U_p от $L_{рл}$

$L_{рл}$, м	274,75	549,5	824,24	1099
U_p , В	3,47	3,06	2,71	2,35

На основании данных таблицы построен график $U_p = f(L_{рл})$ (рис. 5).

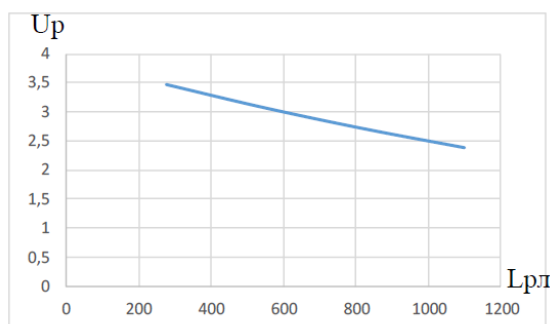


Рис. 5. График зависимости $U_p = f(L_{рл})$.

Из результата моделирования видно, что с увеличением длины рельсовой линии напряжение на обмотке путевого приемника снижается с 3,472 В до 2,369 В. Это связано с тем что, с увеличением длины рельсовой линии увеличивается ее сопротивление протеканию сигнальному току, и, как следствие, приводит к уменьшению величины напряжения на обмотке путевого приемника.

Исследуя влияние сопротивления изоляции на работу рельсовой цепи в нормальном режиме работы получены результаты, занесенные в таблицу 2.

Таблица 2.

Зависимость U_p от $R_{из}$				
$R_{из}, \text{ Ом}$	0.22	0.75	1.07	1.36
$U_p, \text{ В}$	0.632	1.64	1.948	2.141

На рис. 6 представлен график зависимости $U_p = f(R_{из})$.

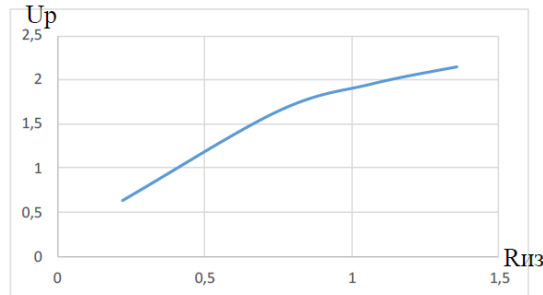


Рис. 6. График зависимость $U_p = f(R_{из})$

Модель рельсовой цепи в шунтовом режиме.

Шунтовый режим работы соответствует занятому подвижным составом состоянию рельсовой цепи. В этом режиме происходит шунтирование рельсовых нитей колесными парами, имеющими очень малое сопротивление протеканию тока по сравнению с сопротивлением обмотки путевого реле.

Модель рельсовой цепи в шунтовом режиме работы представлена на рис. 7.

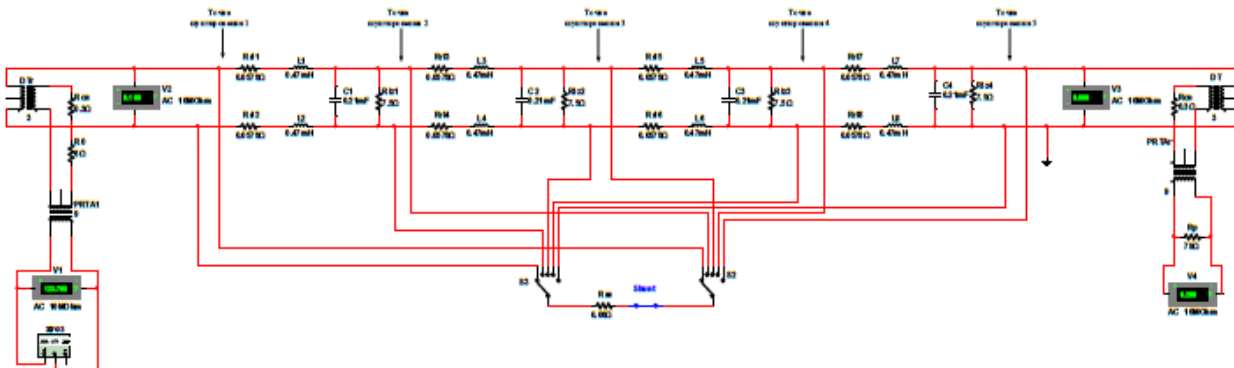


Рис. 7. Модель рельсовой цепи в шунтовом режиме

Модель позволяет изучить, как рельсовая цепь реагирует на появление подвижной единицы на рельсовой линии. Наложение поездного шунта моделируется резистором $R_{ш}$, а изменение точки его наложения на рельсовую линию достигается переключением ключей $S1$ и $S2$. В этом режиме на входе путевого приемника должен быть обеспечен уровень тока (напряжения), достаточный для надежной фиксации занятого состояния рельсовой цепи при наложении в любой точке рельсовой линии поездного шунта с сопротивлением, меньшим или равным нормативному.

В ходе исследования были получены данные, показанные таблицей 3.

X	1	2	3	4	5
$U_p, В$	0,206	0,221	0,235	0,247	0,257

На рис. 8 представлен график зависимости $U_p = f(X)$.

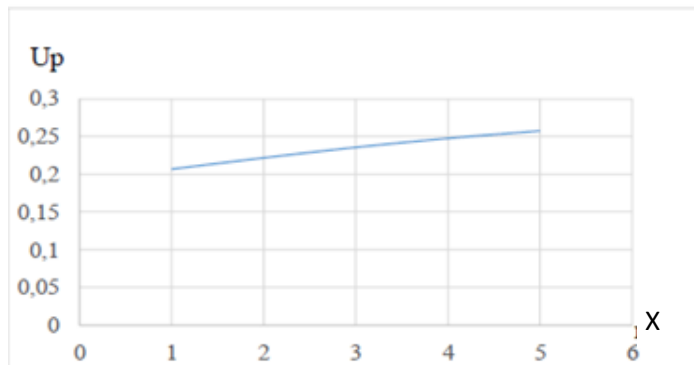


Рис. 8. График зависимости $U_p = f(X)$

Модель рельсовой цепи в контрольном режиме.

Контрольный режим соответствует свободной от подвижной единицы, но неисправной рельсовой линии (лопнувший рельс, изъятие рельса и др.).

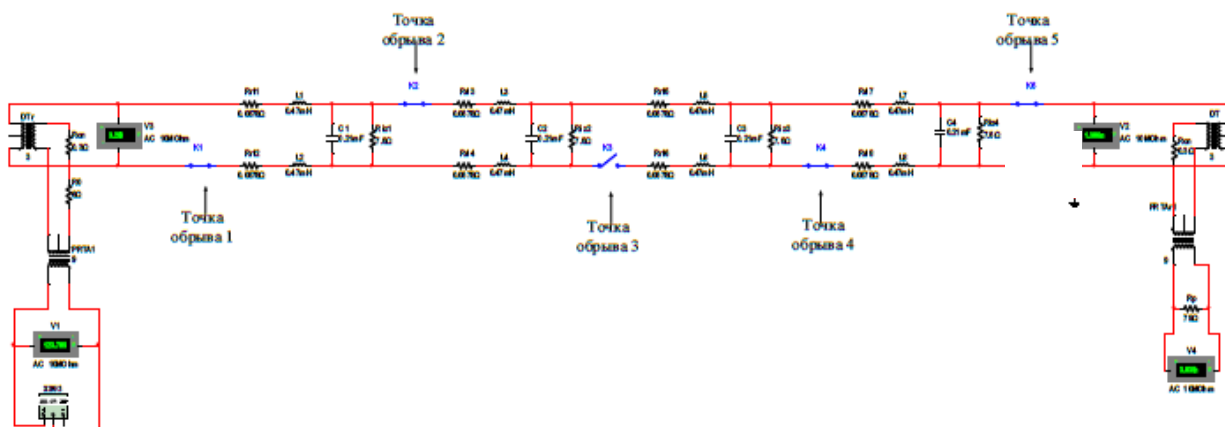


Рис. 9. Модель рельсовой цепи в контрольном режиме

Представленная модель (рис. 9) симулирует излом рельсовой линии в нескольких точках с помощью ключей $K1...K5$. Это позволяет оценить реакцию рельсовой цепи на возникшую ситуацию. В этом режиме на входе путевого приемника должен быть обеспечен уровень тока (напряжения), достаточный для надежной фиксации неисправного (занятого) состояния рельсовой цепи при изломе или изъятии рельса в любой точке рельсовой линии.

В ходе исследования получены данные, представленные таблицей 4.

Таблица 4.

X	1	2	3	4	5
$U_p, В$	0	0	0	0	0

Результаты эксперимента свидетельствуют о чувствительности рельсовой цепи к обрыву рельсовой нити. При обрыве рельсовой линии в экспериментальных точках напряжение на обмотке путевого приемника падает до нуля. В результате путевого приемник отпускает

якорь, на ограждающем блок участке светофоре должен загореться красный запрещающий сигнал.

Модель влияния тягового тока на рельсовую цепь

В ряде случаев тяговый ток оказывает неблагоприятное влияние на работу рельсовой цепи. В рельсовых цепях для пропуска тягового тока в обход изолирующих стыков используются дроссель-трансформаторы. При протекании тягового тока в рельсовой линии возникает продольная и поперечная асимметрия. Продольная асимметрия возникает при неравенстве сопротивлений рельсовых нитей, поперечная – когда к рельсам подключаются цепи заземления опор контактной сети и других конструкций. Если продольная асимметрия [3] может быть уменьшена путем поддержания в исправном состоянии соединений стыков и стыковых соединителей, то поперечная асимметрия на электрифицированных железных дорогах присутствует всегда там, где к правой по ходу рельсовой нити подключаются цепи заземления опор контактной сети и других металлических конструкций.

В процессе моделирования (рис. 10) исследуется влияние продольной асимметрии тягового тока на работоспособность аппаратуры рельсовой цепи.

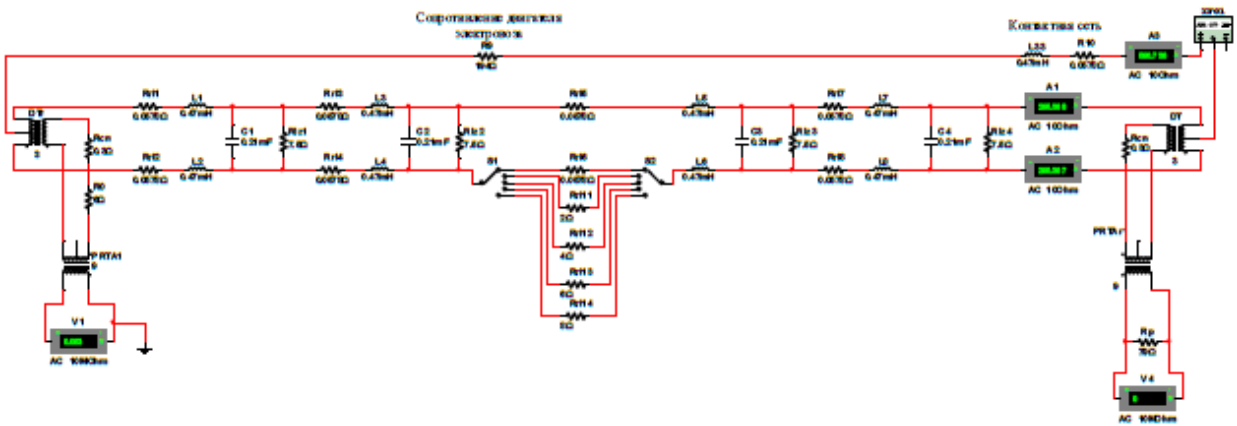


Рис. 10. Модель влияния тягового тока на рельсовую цепь.

Модель предполагает моделирование только продольной асимметрии путем изменения сопротивления одной из ниток рельсовой линии. Контактная сеть представлена резистором R10 и индуктивностью L33, двигатель электровоза сопротивлением R19. Генератор XFG1 моделирует тяговую подстанцию. Переключая ключи S1 и S2, можно менять сопротивление одной нитки рельсовой линии. Амперметры A1 и A2 фиксируют силу тока в нитях рельсовой цепи. В данной модели исследуется зависимость коэффициента асимметрии от разности сопротивлений рельсовых линий. Коэффициент асимметрии K_A – это относительное значение асимметрии обратного тягового тока, которое вычисляется по формуле: $K_A = [(I_1 - I_2) / (I_1 + I_2)]$, где I_1 – обратный тяговый ток в первой нитке рельсовой цепи, I_2 – обратный тяговый ток во второй нитке рельсовой цепи.

Результатом моделирования стала таблица 5.

Таблица 5.

Влияние разности сопротивлений рельсовых нитей на параметры рельсовой цепи

r1	0,0575	0,0575	0,0575	0,0575	0,0575
r2	0,0575	2	4	6	8
R	0	1,943	3,943	5,943	7,943
I1	45,571	47,355	48,302	48,875	49,259
I2	45,571	43,653	42,646	42,041	41,638
I3	91,142	90,997	90,919	90,871	90,84
Kас	0	4,067774	6,218938	7,516829	8,384215
Uпк	0	131,496	202,051	244,998	273,884
Uрк	0	5,165	7,936	9,621	10,758

По данным таблицы 5 построен график зависимости коэффициента асимметрии $K_{ас}$ от разности сопротивлений рельсовых нитей (рис. 11).

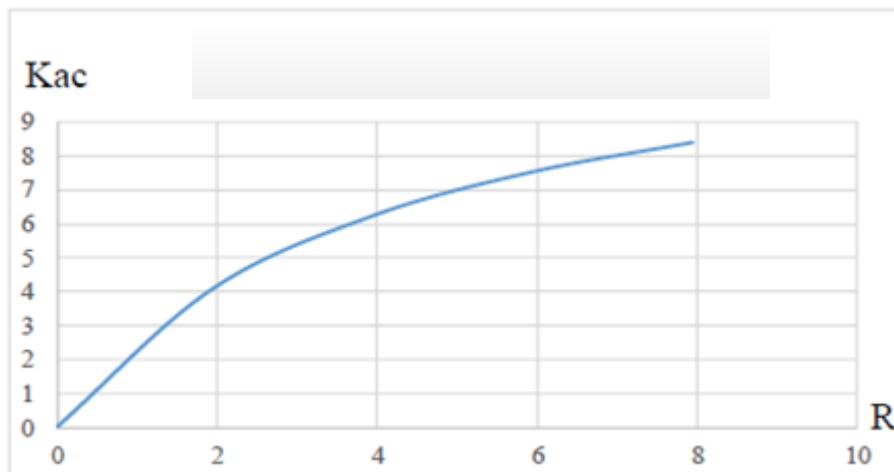


Рис. 11. График зависимости $K_{ас} = f(R)$.

При отсутствии разности токов I_1 и I_2 напряжения на питающем конце $U_{пк}$ и релейном конце $U_{рк}$ равны нулю. В результате коэффициент асимметрии так же равен нулю. Но с появлением разности токов увеличивается разность напряжений $U_{пк}$ и $U_{рк}$, и, как следствие, возникает асимметрия тягового тока. Коэффициент асимметрии увеличивается и при определенной разности токов в рельсовых нитях может превысить установленных пределов для рассматриваемой рельсовой цепи [11].

Заключение

Представленные интерактивные модели позволяют исследовать все основные режимы работы рельсовых цепей, а также влияние тягового тока на аппаратуру рельсовой цепи. Модели можно использовать как при подготовке технического персонала, так и в учебном процессе в рамках выполнения лабораторных работ, как в очном, так и в дистанционном формате обучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аркатов В.С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: справочник / В.С. Аркатов, А.И. Баженов, Н.Ф. Котляренко: под ред. В.С. Аркатова. – М.: Транспорт, 1992. – 383 с.
2. Аркатов В.С. Рельсовые цепи: анализ работы и техническое обслуживание / В.С. Аркатов, Ю.А. Кравцов, Б.М. Степенский – М.: Транспорт, 1990. – 295 с.
3. Электрические рельсовые цепи: учеб. пособие / А.Г. Кириленко, Н.А. Пельменева. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2006. – 94 с.
4. Брылеев А.М. Устройство и работа рельсовых цепей / А.М. Брылеев, А.В. Шишляков, Ю.А. Кравцов – М.: Транспорт, 1966. – 264 с.
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высш. шк., 1973. – 740 с.
6. Пельменева Н.А. Рельсовые цепи для участков с электротягой переменного тока: методические указания по выполнению лабораторной работы / Н.А. Пельменева, А.Г. Кириленко – Хабаровск: ДВГУПС, 1997. – 32 с.
7. Кириленко А.Г. Расчет электрических цепей железнодорожной автоматики с применением современных средств вычислительной техники: учебное пособие / А.Г. Кириленко. – Хабаровск: ХаБИИЖТ, 1989. – 79 с.
8. Котляренко Н.Ф. Электрические рельсовые цепи / Н.Ф. Котляренко. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 327 с.
9. Сороко В.И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: справочник: в 2-х кн. / В.И. Сороко, В. А. Милюков. – М.: НПФ «ПЛАНЕТА», 2000. – Кн. 1. 960 с.

10. Сороко В.И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: справочник: в 2-х кн. / В.И. Сороко, Е. Н. Розенберг. – М.: НПФ «ПЛАНЕТА», 2000. – Кн. 2. 1008 с.
11. Нормы технического проектирования устройств автоматики и телемеханики на федеральном железнодорожном транспорте НТПССБ/МПС-99. – СПб: Гипротрансигнальсвязь, 1999. – 78 с.
12. Тарасов Е.М. Математическое моделирование рельсовых цепей с распределенными параметрами рельсовых линий: Учеб. пособие. – Самара: СамГАПС, 2003. – 118с.
13. Тарасик В. П. Математическое моделирование технических систем: Учебник для вузов. – Мн.: ДизайнПРО, 1997. – 640 с.
14. Марк Е. Хернитер. Multisim современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. Издательский дом «ДМК-пресс». Москва, 2006. – 488 с.
15. Целищев В.А. Специальные измерения и рельсовые цепи: лаб. практикум / сост. В.А. Целищев. – Иркутск: ИрГУПС, 2017. – 60с.

REFERENCES

1. Arkatov V.S. *Rail chains of mainline railways*/ V.S. Arkatov, A.I. Bazhenov, N.F. Kotlyarenko: edited by V.S. Arkatov. – М.: Transport, 1992. – 383 p.
2. Arkatov V.S. *Rail chains: work analysis and maintenance* / V.S. Arkatov, Yu.A. Kravtsov, B.M. Gradovsky – М.: Transport, 1990. – 295 p.
3. *Electric rail circuits*/A.G. Kirilenko, N.A. Pelmeneva. – Khabarovsk: 2006. – 94 p.
4. Bryleev A.M. *The device and operation of rail chains* / A.M. Bryleev, A.V. Shishlyakov, Yu.A. Kravtsov - М.: Transport, 1966. – 264 p.
5. Bessonov L.A. *Theoretical foundations of electrical engineering*. – М.: Higher School, 1973. – 740 p.
6. Pelmeneva N.A. *Rail circuits for sections with alternating current electric traction: methodological guidelines for laboratory work* / N.A. Pelmeneva, A.G. Kirilenko - Khabarovsk: DVGUPS, 1997. – 32 p.
7. Kirilenko A.G. *Calculation of electric circuits of railway automation with the use of modern computer technology*/ A.G. Kirilenko. – Khabarovsk: Habiiizht, 1989. – 79 p
8. Kotlyarenko N.F. *Electric rail circuits* / N.F. Kotlyarenko. – М.: Transzheldorizdat, 1961. – 327 p.
9. Soroko V.I. *Equipment of railway automation and telemechanics*/ V.I. Soroko, V. A. Milyukov. – М.: NPF "PLANET", 2000. – Book 1. 960 p.
10. Soroko V.I. *Equipment of railway automation and telemechanics*/ V.I. Soroko, E. N. Rosenberg. – М.: NPF "PLANET", 2000. – Book 2. 1008 p.
11. *Norms of technical design of automation and telemechanics devices on federal railway transport NTPSSB/MPS-99*. – St. Petersburg: Giprottranssignalsvyaz, 1999. – 78 p
12. Tarasov E.M. *Mathematical modeling of rail circuits with distributed parameters of rail lines*/ – Samara: SamGAPS, 2003. - 118s.
13. Tarasik V. P. *Mathematical modeling of technical systems*/– Мн.: DesignPro, 1997. – 640 p.
14. Mark E. Herniter. *Multisim is a modern system of computer modeling and analysis of electronic device circuits*. DMK-Press Publishing House. Moscow, 2006. – 488 p.
15. Tselishchev V.A. *Special measurements and rail chains: lab. practicum* / comp. V.A. Tselishchev. – Irkutsk: IrGUPS, 2017. – 60s.

Информация об авторах

Владимир Александрович Целищев – доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь» Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: celishhev-vladimir@rambler.ru.

Authors

Vladimir Aleksandrovich Tselishchev – Assistant Professor of Automatic, Telemechanic and Telecommunication Systems Department of Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: celishhev-vladimir@rambler.ru.

Для цитирования

Целищев В.А. Интерактивное моделирование технических систем применением программного комплекса Multisim // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2022. – №4(16). – С. 22-33 – DOI: 10.26731/2658-3704.2022.4(16).22-33 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/416-2022>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 17.12.2022).

For citations

Tselishchev V.A. Interactive modeling of technical systems using the Multisim software package // *Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2022. No. 4(16). P. 22-33. DOI: 10.26731/2658-3704.2022.4(16).22-33 [Accessed 17/12/22].