МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

А.М. Горбачев, Д.В. Новиков (Санкт-Петербург)

В связи высокими темпами технического перевооружения и реконструкции систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), проектные организации вынуждены работать в сложных условиях. Сокращаются сроки, отводимые на проектные и изыскательские работы, штат работников является недостаточным [1,2]. При этом необходимо поддерживать качество выпускаемых проектов на высоком уровне для обеспечения безопасности движения поездов.

Объективными факторами, объясняющими сложность технической документации ЖАТ, особенно в части принципиальных схем, являются следующие:

– большие объемы проектной и строительной документации (один проект включает в себя тысячи листов формата А4);

– большое количество межстраничных переходов и ссылок между листами, что ведет к невозможности визуально оценить работу принципиальной схемы как единой системы;

– использование специализированных альбомов с типовыми решениями для проектирования, с одной стороны, дает возможность сократить затраты времени и повысить качество проектов, в тех случаях, когда для применяемых технических решений достаточно схем, размещенных упомянутых материалах; однако в нетиповых случаях проектировщик часто не в состоянии проверить правильность разработанных принципиальных схем.

На практике это ведет к тому, что большинство ошибок обнаруживается только на этапе пусконаладочных работ, то есть при проведении эксперимента с реальной системой в модельных условиях с целью выявления ее неисправностей. Подобный подход к проверке системы ведет к срыву в сроках ввода в эксплуатацию железнодорожных объектов.

На наш взгляд, в условиях технического прогресса наиболее совершенными методами поиска существенных ошибок в документации являются эксперименты с математической моделью системы. Это связано с тем, что данные методы позволяют оценивать фактическое состояние всей системы, исходя из физических принципов ее работы, а не формальное соответствие нормам и правилам проектирования. Для задач анализа технической документации ЖАТ (в связи с ее высокой сложностью и большими объемами) единственным реально применимым является метод имитационного моделирования.

Первые попытки моделирования устройств ЖАТ были предприняты в работах М.Н. Василенко, Д.С. Маркова в конце 80-х – начале 90-х гг. XX века [3,4] на базе систем массового обслуживания. Однако как вследствие применения интерпретируемых языков программирования, так и по причине медленнодействующих ЭВМ того времени практическое применение было затруднено: длительное время построения модели, большие затраты времени на само моделирование позволяли решать скорее научные, а не практические проблемы. Таким образом обеспечивалось моделирование ЖАТ. Развитием этих работ стали разработки О.А. Максименко в области смешанного аналого-цифрового моделирования устройств ЖАТ на базе проприетарного симулятора электрических цепей OrCad PSpice (в настоящее время Cadegence PSPICE) [5]. Высокая стоимость проприетарных программных компонентов и закрытый исходный код обусловили невысокий практический интерес к системе.

Авторы данного доклада поставили себе целью реализовать имитационное моделирование принципиальных схем ЖАТ на базе свободного программного обеспечения – симулятора электронных схем общего назначения Ngspice [6].

Основной проблемой при использовании Ngspice стало создание модели реле – основного элемента релейной системы электрической централизации и блокировки. Способы реализации поведенческой модели реле подробно описаны в [5]. Для реализации была выбрана упрощенно-дискретная модель реле [5].

Упрощенная непрерывно дискретная модель состоит из трех основных частей: аналоговых воспринимающей и исполнительной частей и дискретной части, которая является связующим звеном между двумя первыми (рис. 1).

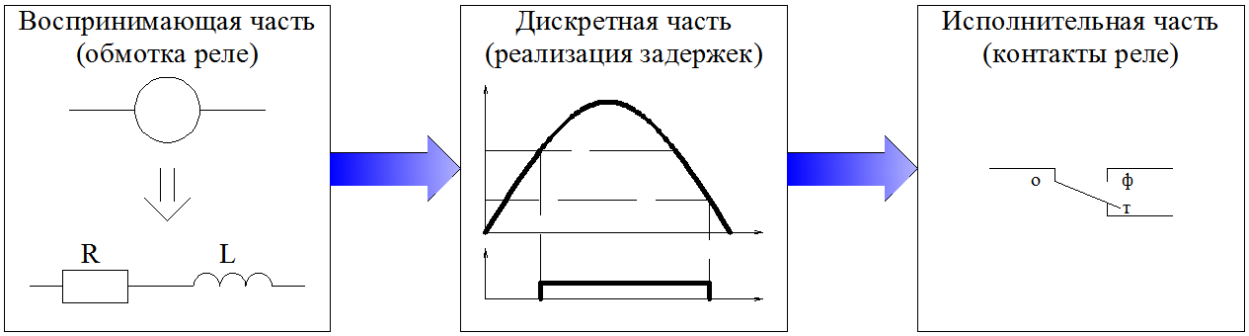

Рис. 1. Упрощенная непрерывно дискретная модель однообмоточного нейтрального реле

Для реализации упрощенной непрерывно дискретной модели однообмоточного нейтрального реле необходимо принять следующие упрощения и допущения:

1. Состояние реле определяется граничными значениями силы тока, протекающего через обмотку (воспринимающую часть реле): $I_{срab}$ – ток срабатывания реле, $I_{отп}$ – ток отпускания.

2. Схема замещения воспринимающей части реле в симуляторе представляет собой последовательное соединение активного сопротивления и индуктивности. Величина сопротивления определяется активным сопротивление обмотки реле, величина индуктивности определяется состоянием реле.

3. Временные параметры реле представляют собой фиксированные значения, реализуемые посредством дискретной части модели.

Рассмотрим реализацию реле в соответствии с приведенными выше допущениями в среде моделирования Ngspice.

Для реализации реле в среде моделирования Ngspice требуется элемент, зависимость выходной величины которого определяется статической характеристикой управления реле (рисунок 2) [7]. Как видно из представленного рисунка, при увеличении входного параметры x до нуля до величины $x_{срab}$ значение выходного параметра Y сохраняется на уровне Y_{min}. В момент времени, когда параметр x достигает величины $x_{срab}$ выходной параметр Y скачкообразно изменяет свое значение до Y_{max}, и при дальнейшем увеличении x сохраняет свое значение неизменным. Аналогичным образом скачкообразное изменение параметра происходит при снижении величины параметра x до $x_{отп}$. Значения $x=x_{срab}$ и $x=x_{отп}$ называются параметрами срабатывания и отпускания соответственно.

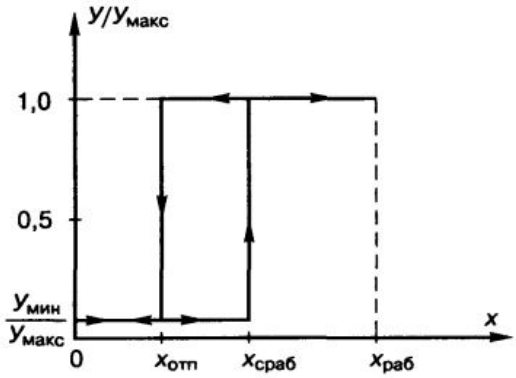

Рис. 2. Характеристика элемента релейного действия

В среде моделирования Ngspice наилучшим образом для создания элемента с релейной характеристикой подходит XSPICE-устройство adc_bridge. Это устройство представляет собой аналогово-цифровой преобразователь, цифровой сигнал на выходе которого определяется величиной поступающего на вход тока. Отличием поведения данного элемента от элемента релейного действия является то, что выходной параметр ($d_out_{сущ}$) принимает неопределенное значение при нахождении тока в интервале $\{I_{отп};I_{ср}\}$ (рисунок 3).

Для получения элемента с требуемыми выходными характеристиками ($d_out_{треб}$) было построено новое устройство adc_bridge_relay, зависимость цифрового сигнала на выходе от величины входного тока которого показана на рисунке 3.

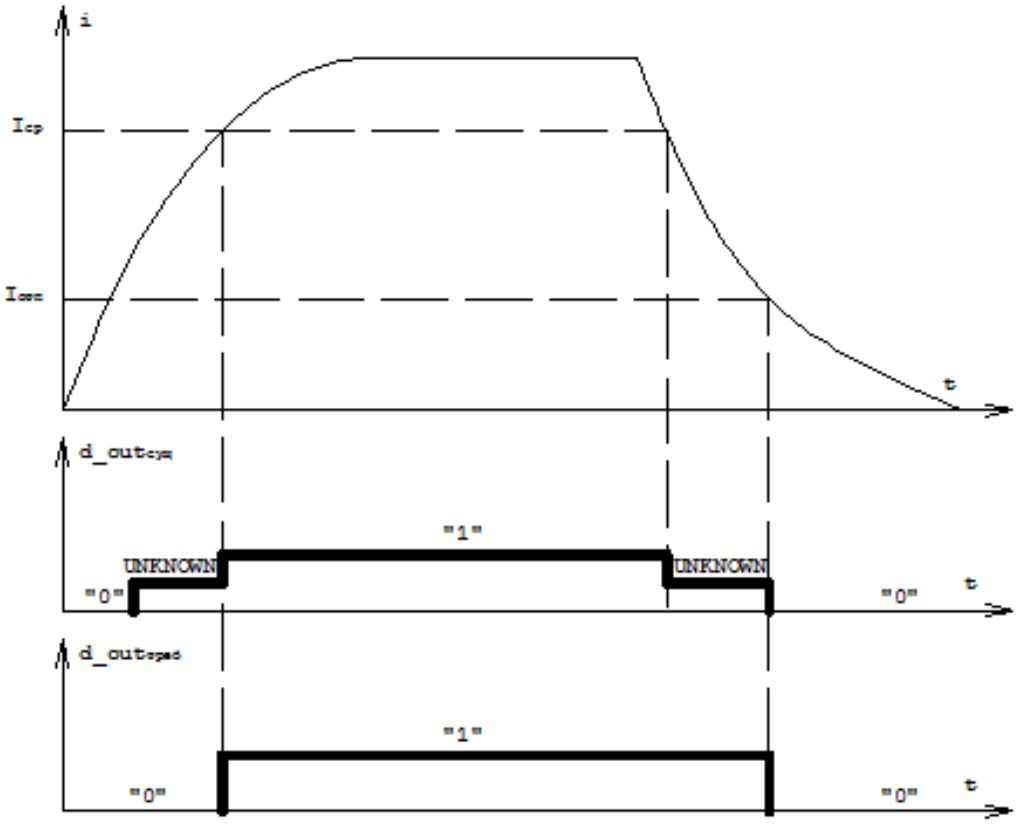

Рис. 3. Зависимость цифрового сигнала на выходе от величины входного тока

Схема замещения воспринимающей части, как уже отмечалось выше, представляет собой последовательное соединение активного сопротивления и индуктивности. Основная

трудность при реализации реле в различных средах моделирования состоит в том, чтобы получить модель с изменяющейся в зависимости от состояния реле индуктивностью.

Индуктивность реле является величиной переменной, которая изменяет свое значение в зависимости от величины протекающего по обмотке тока, величины воздушного зазора между якорем и сердечником и от режима насыщения магнитной цепи реле [8]. При включенном состоянии реле (s=1) индуктивность равна своему максимальному значению, при выключенном (s=0) – минимальному. Поскольку время нахождения реле в одном из устойчивых состояний (включенном или выключенном) значительно больше времени срабатывания реле и времени перелета якоря, можно принять схему изменения индуктивности в процессе моделирования реле, которая может быть описана формулой (1):

$$L = \begin{cases} L_{max} \text{ при } s = \{1;\ 0 \to 1\} \\ L_{min} \text{ при } s = \{0;\ 1 \to 0\} \end{cases} \quad (1)$$

Указанная зависимость может быть получена при помощи параллельного подключения индуктивностей, одна из которых подключается через «внутренний контакт» моделируемого реле (рисунок 4).

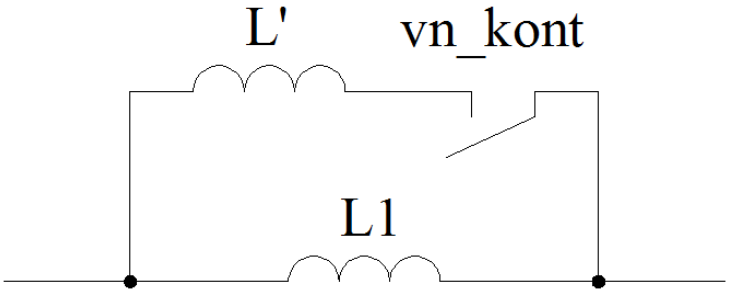

Рис. 4. Включение индуктивностей в схеме замещения воспринимающей части модели реле

В выключенном состоянии реле индуктивность равна своему максимальному значению ($L_{max} = L_1$), во включенном – минимальному значению L_{min}, которое равно общей индуктивности L_2 параллельного соединения L_1 и L'. Зная величины значений индуктивностей реле L_1 и L_2 в выключенном и включенном состояниях определить индуктивность L' можно по формуле (2):

$$L' = \frac{L_1 L_2}{L_1 - L_2} \quad (2)$$

Таким образом, в рамках проведенного исследования была уточнена теоретическая модель реле и была разработана реализация на базе Ngspice, которая обеспечивает возможность моделирования сложных релейных систем на базе свободного программного обеспечения.

В перспективе имитация работы систем ЖАТ при наличии графика движения и перечня технологический операций позволит осуществить подсчет количества срабатываний реле за определенный период, что, в свою очередь, может быть использовано для получения графиков технологического процесса обслуживания и определения ресурса приборов.

Литература

1. **Василенко М.Н., Горбачев А.М.** Оптимизация проектирования трассы кабеля по критерию стоимости работ и материалов ТЕСТ / Вестник ВНИИЖТ. – 2010. – № 4. – С. 43–46.
2. **Горбачев А.М., Василенко М.Н.** Применение теории и методов экспертизы схемных решений ЖАТ для повышения качества ведения технической документации // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 6 (43). – С. 40–42.
3. Анализ работоспособности систем автоматики средствами вычислительной техники / М.Н. Василенко, Д.С. Марков, Н.И. Рубинштейн // Автоматика, телемеханика и связь. – 1987. – № 8.
4. Экспертные системы железнодорожной автоматики и телемеханики / М.Н. Василенко, В.П. Быков, В.В. Сапожников, Н.И. Рубинштейн // Автоматика, телемеханика и связь. – 1992. – № 6.
5. **Максименко О.А**. Методы и алгоритмы автоматизации моделирования и проверки проектов станционных систем железнодорожной автоматики и телемеханики: дис. … канд. техн. наук / ПГУПС. – СПб., 2004. – 249 с.
6. **Nenzi P., Vogt H.,** Ngspice Users Manual, 2013. – 582 с. www.ngspice. source-forge.net/docs/ngspice-manual.pdf
7. **Сороко, Милюков.** Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. – М.: Транспорт, 1981. – Т.1. – С.7–8.
8. **Брылеев А.М, Переборов А.С., Сапожников Вл.В., Смирнова А.В., Эйлер А.А.** Теоретические основы автоматики и телемеханики. – М.: Транспорт. – 1984. – С. 64.