

Имитационная модель токового индукционного электромагнитного реле типа РТ-80, РТ-90

*Ю.И. Никитин, к.т.н., Е.И. Меженина,
ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА;*

*Н.А. Мамаева, к.п.н., ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА,
ФГАОУ ВО национальный исследовательский ГУ*

Система электроснабжения является сложным производственным комплексом, особенностями работы которого являются быстротечность про-

текающих явлений и неизбежность повреждений аварийного характера – коротких замыканий в электротехнических установках. Поэтому надёжная эксплуатация систем электроснабжения возможна только при её широкой автоматизации. Для этого используется целый комплекс различных устройств. Среди них первостепенное значение имеют системы релейной защиты.

Электромагнитные реле издавна находят широкое применение в различных схемах автоматики и защиты систем электроснабжения. Основу их конструкции составляют электромагнит и управляемые им механические контакты [1–4]. Индукционные электромагнитные реле позволяют, кроме того, управлять переключением контактов с заданным временем задержки. Одними из индукционных реле являются реле тока РТ-80 и РТ-90, которые применяются для защиты распределительных линий и трансформаторов в сетях с напряжением 6–35 кВ. Несмотря на внедрение новых типов реле на основе микропроцессорных систем, индукционные реле ещё широко применяются в сельских электрических цепях. Поэтому при обучении будущих специалистов-электриков важно понимание принципа работы подобных устройств.

Цель исследования – создание компьютерной модели токового индукционного электромагнитного реле для проведения виртуальных лабораторных работ по исследованию поведения этих устройств.

Материал и методы исследования. Электромагнитные реле имеют разнообразную конструкцию. Основу их составляет электромагнит на стальном сердечнике 1, стальной подвижный якорь 2, подвижный 3 и неподвижный 4 контакты и противодействующая пружина 5 [3].

Уже такая конструкция, включающая электрические и механические элементы, затрудняет создание математических моделей подобных устройств, которые требуют описания взаимодействия механических и электрических элементов устройства с помощью системы дифференциальных уравнений.

Токовые индукционные электромагнитные реле типа РТ-80, РТ-90 имеют гораздо более сложную конструкцию (рис. 1.) [4]. Поэтому для анализа работы таких устройств предлагается использовать имитационный подход. Такой способ моделирования не требует вывода математических соотношений [5]. Он позволяет, используя экспериментальные

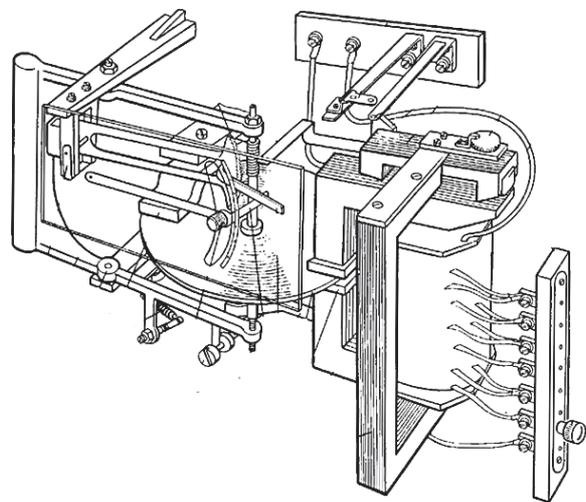


Рис. 1 – Конструкция индукционного электромагнитного реле типа РТ-80, РТ-90

сведения о поведении устройства, создать его компьютерную модель как модель «чёрного ящика», не анализируя внутреннюю структуру.

В связи с этим в данной работе предлагается одна из возможных имитационных моделей электромагнитного реле, которую можно использовать для компьютерного моделирования как самого устройства, так и более сложных систем, построенных на его основе.

Результаты исследования. Основными характеристиками электромагнитного реле являются токи срабатывания, отпускания [1]. У индукционных электромагнитных реле типа РТ-80, РТ-90 есть ещё два параметра – это ток отсечки и время задержки срабатывания, которое зависит от величины управляющего тока. Модель реле, представленная на рисунке 2, позволяет создать виртуальное устройство, имитирующее эти характеристики. Она создана на основе пакета математического моделирования Simulink программы Matlab [6–9] и позволяет моделировать реле с управлением как по постоянному, так и по переменному токам. Модель условно можно разделить на четыре части:

1 – блоки формирования сигнала управления реле (блоки 1–6);

2 – блок имитации релейной характеристики (блок 7);

3 – блок имитации задержки срабатывания, зависимой от управляющего тока, и задержки отпускания (блок 8);

4 – блок коммутации управляемого тока (блок 9)

Блоки формирования сигнала управления реле состоят из измерителя тока (1), вычисления квадрата сигнала (2), нахождения среднего значения (3), вычисления квадратного корня из среднего значения (4), блоков задания токов отпускания (5) и срабатывания (6). R и L – индуктивность и эквивалентное сопротивление потерь катушки индуктивности в цепи управления реле. Контакты 1 и 2 используются для подключения источника управляющего сигнала, 3 – для задания ограничения времени задержки, создаваемого дополнительным регулировочным винтом [4], 4 и 5 – для подключения управляемого источника.

Блок коммутации управляемого тока состоит из управляемого логическим сигналом переключателя [9].

На вход модели подаётся напряжение, от источника из библиотеки SimPowerSystems. Последовательно соединённые сопротивление R и индуктивность L моделируют эквивалентные сопротивление потерь и индуктивность управляющей катушки реле.

Входной ток измерителем 1 преобразуется в сигнал, который можно обрабатывать с помощью блоков основной библиотеки Simulink. Известно, что электромагнитная сила притяжения электромагнита в магнитной системе реле пропорциональна квадрату тока, протекающего по его катушке [4], поэтому в блоке 2 производится возведение в

квадрат текущего переменного тока. В результате усреднения в блоке 3 и извлечения квадратного корня в блоке 4 находится постоянная составляющая, которая используется для дальнейшего моделирования характеристик реле.

Блок имитации релейной характеристики (блок 7) предназначен для моделирования явления гистерезиса в работе электромагнитного реле. Модель этого блока представлена на рисунке 3. На его входы 1, 2 и 3 подаются соответственно управляющий ток реле, заданные токи отпускания (блок 3) и срабатывания (блок 4). На выходе 1 получим сигнал, который указывает на состояние реле (сработало оно или нет). На выходе 2 будет представлен управляющий ток от сработавшего реле. В этой модели 1 и 2 это блоки сравнения, а 3, 4 и 5 – логические переключатели.

Когда входной управляющий ток меньше значения тока отпускания, на выходе блоков сравнения 1 и 2 получаем логический 0. Переключатели 3 и 4 переключаются из состояния, заданного по умолчанию, при подаче на их управляющий вход логической 1. Логический 0 с блока сравнения 1 через

переключатель 3 поступает на управляющий вход переключателя 4, у которого на сигнальном входе, включённом по умолчанию, находится логическая 1. Эта 1 подаётся на управляющий вход логического переключателя 3, и он подключает выход блока сравнения 2, где происходит сравнение входного управляющего тока с током срабатывания. Поскольку ток срабатывания больше тока отпускания, то на выходе этого блока тоже получаем логический 0. Этот логический 0 с одной стороны поступает на выход блока имитации гистерезиса kontakt4 и является сигналом того, что реле не сработало. С другой стороны он поступает на вход управления переключателя 3, который снова подключает к своему выходу блок 1. На управляющем входе переключателя 5 также находится логический 0 и на выходе, предназначенном для вывода управляющего тока реле kontakt5, также будет 0.

При увеличении управляющего тока реле до величины большей тока отпускания на выходе блока сравнения 2 получаем логическую 1, которая подаётся на не подключённый в данный момент вход переключателя 3.

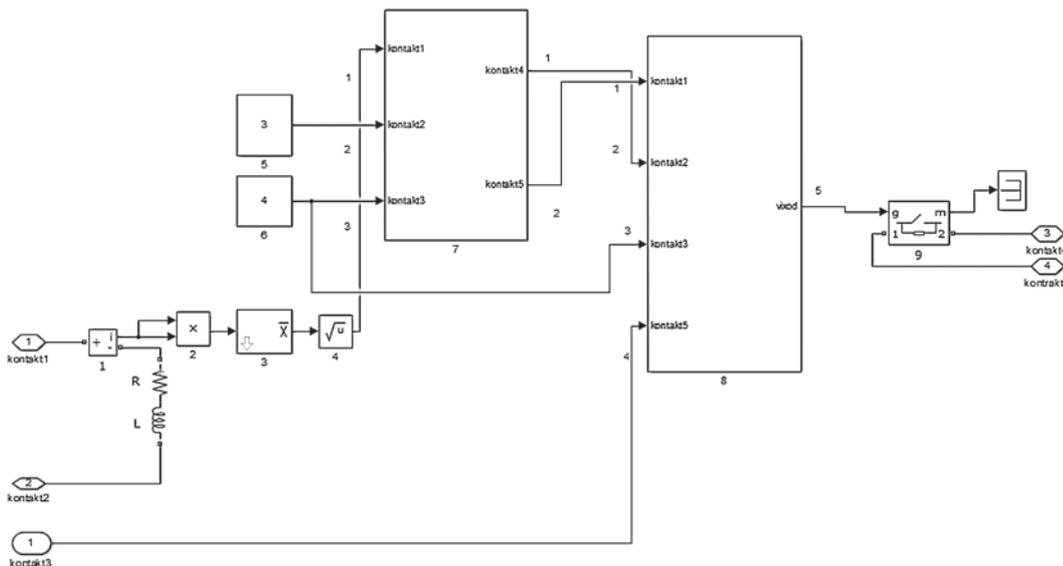


Рис. 2 – Схема имитационной модели индукционного электромагнитного реле

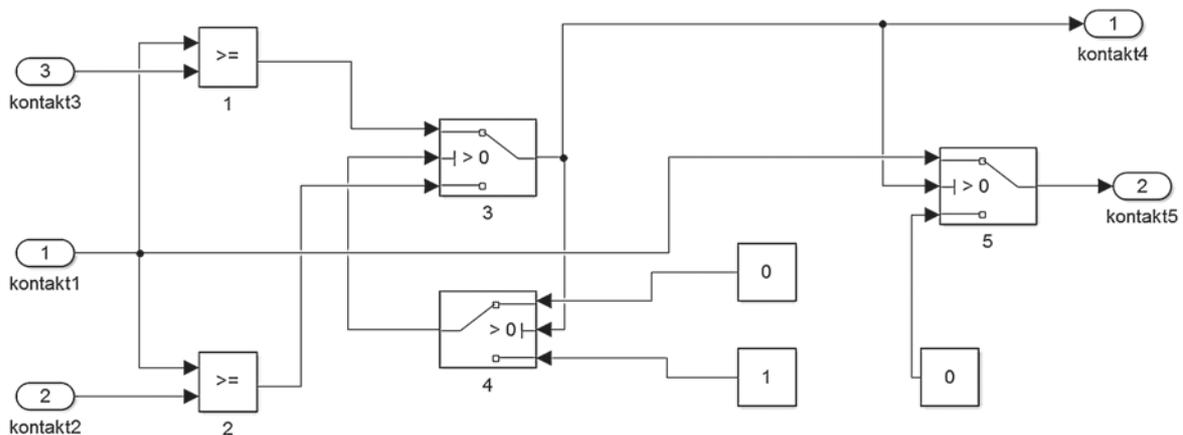


Рис. 3 – Блок имитации гистерезиса по управляющему току

Когда управляющий ток реле будет больше тока срабатывания, на выходе блока сравнения 1 появится логическая 1. В этом случае на управляющий вход переключателя 3 подаётся логический 0, и он подключает выход блока 2, на котором также будет логическая 1. Этот сигнал подаётся на kontakt4, указывая на то, что реле сработало, и на управляющий вход переключателя 5, с помощью которого на kontakt5 подаётся ток управления реле.

Если сейчас установить значение тока управления реле в промежутке между токами отпускания и срабатывания, то на выходах блоков сравнения 1 и 2 соответственно будут логические 0 и 1. Поскольку переключатель 3 передаёт на выход сигнал с блока 2, где сравниваются значения управляющего тока реле и тока отпускания, то на его выходе, на выходе kontakt4 и входе управления переключателя 5 также будет логическая 1, показывая, что реле работает и в данный момент. Это будет продолжаться до тех пор, пока входной ток управления реле не уменьшится до величины тока отпускания.

Блок имитации задержки 8 (рис. 4) создаёт имитацию задержки времени срабатывания индукционного реле. Он состоит (рис. 4) из блока деления 1, переключателей 2, 8, 9, блока 3, аппроксимирующего зависимость времени задержки от экспериментально заданного управляющего тока реле, блоков сравнения 4, 5, 14, блока 6 логической операции «И», блока задания отношения тока отсечки к току срабатывания 5, блока задания времени отсечки 6 и блоков управляемой задержки 10 и 12, блока задания времени отпускания 12, сумматора 13.

На вход блока имитации времени срабатывания подаются ток управления реле kontakt1, сигнал текущего состояния реле (сработало или не сработало) kontakt2, токи срабатывания kontakt3 и отпускания kontakt4, механическая установка максимальной задержки kontakt5. На выходе этого блока (vixod) будет задержанный сигнал управления переключателя 10 (рис. 2).

Значения входного тока управления (kontakt1) и тока срабатывания (kontakt3) одновременно по-

даются на блоки деления 1 и сравнения 5. В блоке 1 выполняется операция деления значения входного управляющего тока на ток срабатывания. Это отношение при помощи блока 3 используется для моделирования экспериментальной зависимости времени задержки от тока [4]. Оно же сравнивается с задаваемым отношением токов отсечки и срабатывания (блок 4) для создания сигнала управления временем задержки. Когда отношение входного управляющего тока к току срабатывания меньше отношения токов отсечки и срабатывания, то на управляющем входе переключателя 8 будет логический 0, а на его выходе – время задержки, вычисленное с помощью блока 3. Если наоборот, то на управляющем входе переключателя 8 будет логическая 1 и на его выходе – время задержки при отсечке.

Значение задержки на выходе блока 3 сравнивается с механической установкой максимальной задержки (kontakt5). Если последнее меньше, то на управляющий вход линии задержки 11 подаётся задержка с выхода блока 3, в противном случае – механически установленное максимальное значение.

Для имитации задержки реле при отпуске выходной управляющий сигнал с линии задержки 10 одновременно подаётся на линию задержки 12, где дополнительно задерживается на величину времени отпускания. Эти два сигнала суммируются на сумматоре 13. В результате после блока сравнения 14 на выходе блока имитации задержки времени срабатывания и отпускания получим сигнал текущего состояния реле (логическую 1 тогда, когда реле будет включено, и 0, когда выключено).

Сигнал текущего состояния реле подаётся на управляющий вход переключателя 9 (рис. 2), который в зависимости от текущего состояния реле подключает к нагрузке или отключает управляемое напряжение.

Для измерения основных параметров реле, таких, как токи и времена срабатывания и отпускания, а также времена задержки, была создана Simulink модель измерительного стенда (рис. 5). Она состоит из генератора формы сигнала 1, блока

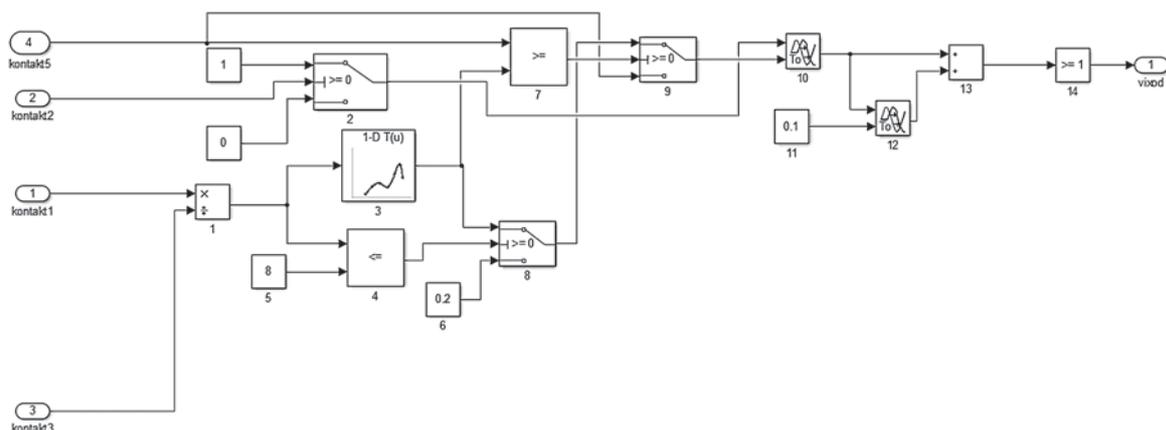


Рис. 4 – Блок имитации задержки времени срабатывания и отпускания

задания механической установки максимальной задержки 2, управляемого источника 20V, сопротивления нагрузки 1K, измерителя напряжения 4 и осциллографа 5. Отличие схем измерений времени срабатывания и отпускания и токов срабатывания и отпускания заключается в том, – что в первом случае в качестве входного сигнала для управляемого источника 3 используется прямоугольный импульс, а во втором – треугольный. Суммарное время срабатывания и задержки определяется по задержке переднего фронта, время отпускания – по задержке заднего фронта генератора прямоугольных импульсов (рис. 6а), который имитирует сигнал управления на входе реле.

При измерении тока срабатывания и отпускания используется генератор треугольных импульсов, имитирующий постепенное нарастание и убывание входного управляющего тока. Ток срабатывания определяется в точках пересечения осциллограмм входного тока реле и напряжения на нагрузке (рис. 6б).

Применение результатов исследования. Используя имитационную модель реле можно прово-

дить виртуальные исследования работы различных схем релейной защиты электрических цепей. На рисунке 7 представлена схема компьютерной модели одного звена трёхзвенной цепи токовой релейной защиты цепи электроснабжения [10], которая отключает источник электроснабжения от нагрузки с определённой зависимой от тока задержкой при появлении на нагрузке короткого замыкания.

Модель состоит из источника электроснабжения 1 с внутренним сопротивлением R_s , модели токового контактора 2, блока задания механической установки максимальной задержки реле 3, модели реле 4, модели блока задания сигнала управления реле 5, измерителя тока в цепи 6, индикаторов 7 и 10, выключателя 8 и источника сигнала управления выключателя 9. R_n – сопротивление нагрузки.

На рисунке 8 представлена осциллограмма, показывающая работу системы релейной защиты. До момента времени t_1 к электрической цепи была подключена нагрузка R_n , и ток в цепи электроснабжения был небольшой.

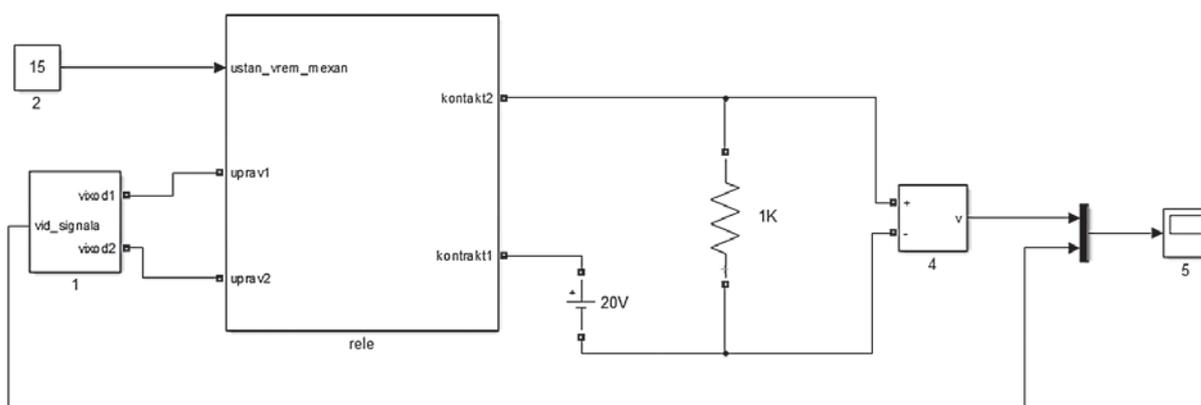


Рис. 5 – Схема измерения времени и токов срабатывания и отпускания электромагнитного реле

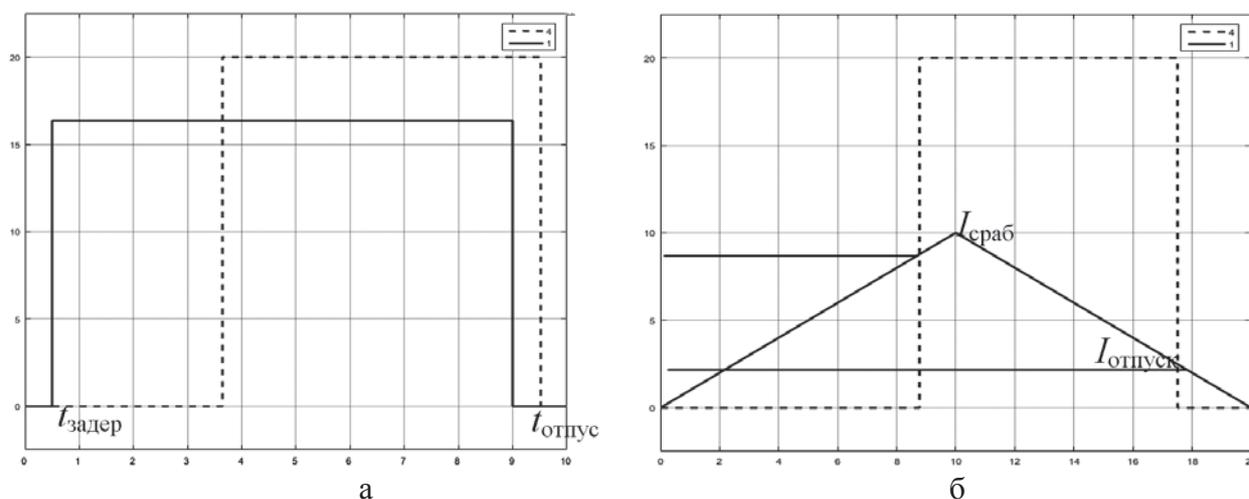


Рис. 6 – Осциллограммы сигналов на входе (—) и выходе (----) реле при измерении времени срабатывания и отпускания (а) и токов срабатывания и отпускания (б)

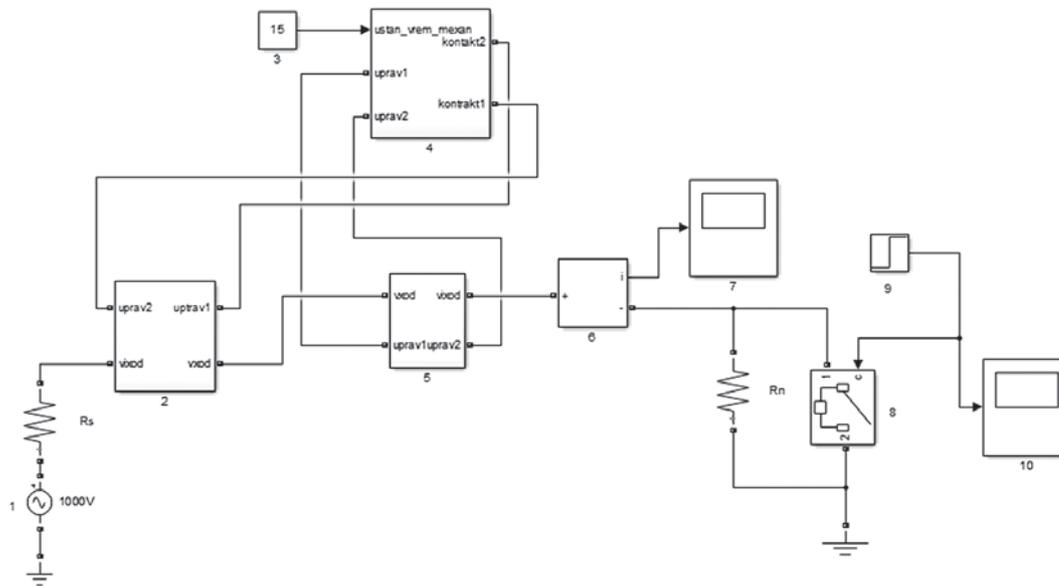


Рис. 7 – Модель звена токовой защиты источника электроснабжения при коротком замыкании на нагрузку

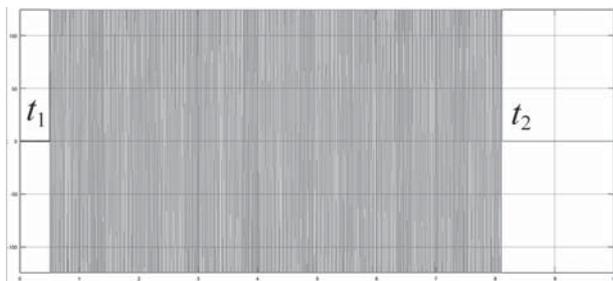


Рис. 8 – Осциллограмма работы токовой защиты

В момент t_1 произошло короткое замыкание на нагрузке и ток резко возрос. Он оставался большим до момента t_2 , когда нагрузка с помощью токового реле через заданное время запаздывания не была отключена.

Выводы. Имитационная модель токовых реле РТ-80, РТ-90, представленная в работе, позволяет как исследовать основные технические характе-

ристики самих устройств, так и создавать на её основе более сложные элементы систем защиты электроснабжения с целью обучения студентов принципам работы таких систем.

Литература

1. Гуревич В.И. Электрические реле. М.: Солон-пресс, 2011. 688 с.
2. Жданов В.С., Овчинников В.В. Электромагнитные реле тока и напряжения. М.: Энергоиздат, 1981. 72 с.
3. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. М., 2006. 639 с.
4. Труб И.И. Индукционные реле тока. М.: Энергоатомиздат, 1990. 56 с.
5. Чернобровов Н.В. Релейная защита. М.: Энергия, 1971. 624 с.
6. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. БХВ-Петербург, 2005. 403 с.
7. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. М.: Высш.шк., 2001. 343 с.
8. Черных И.В. Simulink: среда для создания инженерных приложений. ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 496 с.
9. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 Simulink 4/5 в математике и моделировании. М.: СОЛОН-Пресс, 2003. 800 с.
10. Костюченко Л.П., Чебодаев А.В. Электроснабжение. Гл. 8. Релейная защита и автоматизация // Электронный учебно-методический комплекс ФГОУ ВПО Красноярский аграрный у-т, 2006. 23 с. URL: www.kgau.ru.