

Грыжов Владимир Константинович

канд. техн. наук, доцент

Корольков Владимир Гаврилович

старший преподаватель

Смоленский областной казачий институт
промышленных технологий и бизнеса (филиал)

ФГБОУ ВО «Московский государственный

университет технологий и управления

им. К.Г. Разумовского (ПКУ)»

г. Вязьма, Смоленская область

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЗЕРВА И АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПОДСТАНЦИИ

***Аннотация:** в статье приводятся результаты разработки на основе имитационного моделирования эскизного проекта развития районной электрической сети, в связи с появлением новых нагрузок в среде динамического программирования VisSim. Разработаны модель автоматического включения резерва на подстанциях с двумя трансформаторами и модели, имитирующие аварийные ситуации.*

***Ключевые слова:** подстанция, трансформатор, имитационное моделирование, секционный переключатель, команда управления, импульсное короткое замыкание, автоматизированная система управления.*

Рассмотрим характеристику промышленного района.

По воздушной линии 220кВ «Компрессорная-Восток» получает питание подстанция электрических сетей «Восток», от этой подстанции в свою очередь питаются подстанции районов Смоленской области 110/35/10 кВ.

Задачей предлагаемых разработок является – на основе имитационного моделирования создание эскизного проекта развития районной электрической сети

в связи с появлением новых нагрузок в связи с реконструкцией ООО «Технографит».

На рисунке 1 приводится принцип действия схем автоматического включения резерва (АВР) двухтрансформаторной подстанции [1]. Исходно оба трансформатора $T1$ и $T2$ включены и осуществляют питание потребителей секций шин низшего напряжения, а выключатель $Q5$ выключен. обеспечивает однократность АВР и поэтому называется реле однократности включения.

При отключении по любой причине выключателя $Q1$ трансформатора $T1$ контакт $SQ1.2$ размыкает цепь обмотки промежуточного реле $KL1$. В результате контактная система реле $KL1$ при снятии напряжения возвращается в исходное положение с некоторой выдержкой времени и размыкает контакты. Второй контакт $SQ1.3$ выключателя $Q1$, замыкаясь, подает плюс через еще замкнутый контакт $KL1.1$ на обмотку промежуточного реле $KL2$, которое своими контактами производит включение секционного выключателя $Q5$, воздействуя на контактор включения $YAC5$. По истечении установленной выдержки времени реле $KL1$ замыкает контакт $KL1.1$ и разрывает цепь обмотки промежуточного реле $KL2$. Если секционный выключатель $Q5$ включится действием схемы АВР на неустранившееся КЗ и отключится релейной защитой, то его повторного включения не произойдет. Таким образом, реле $KL1$

Реле $KL1$ вновь замкнет свои контакт $KL1.1$ и подготовит схему АВР к новому действию лишь после того, как будет восстановлена нормальная схема питания подстанции и включен выключатель $Q1$. Выдержка времени на размыкание контакта $KL1$ должна быть больше времени включения выключателя $Q5$, для того чтобы он успел надежно включиться.

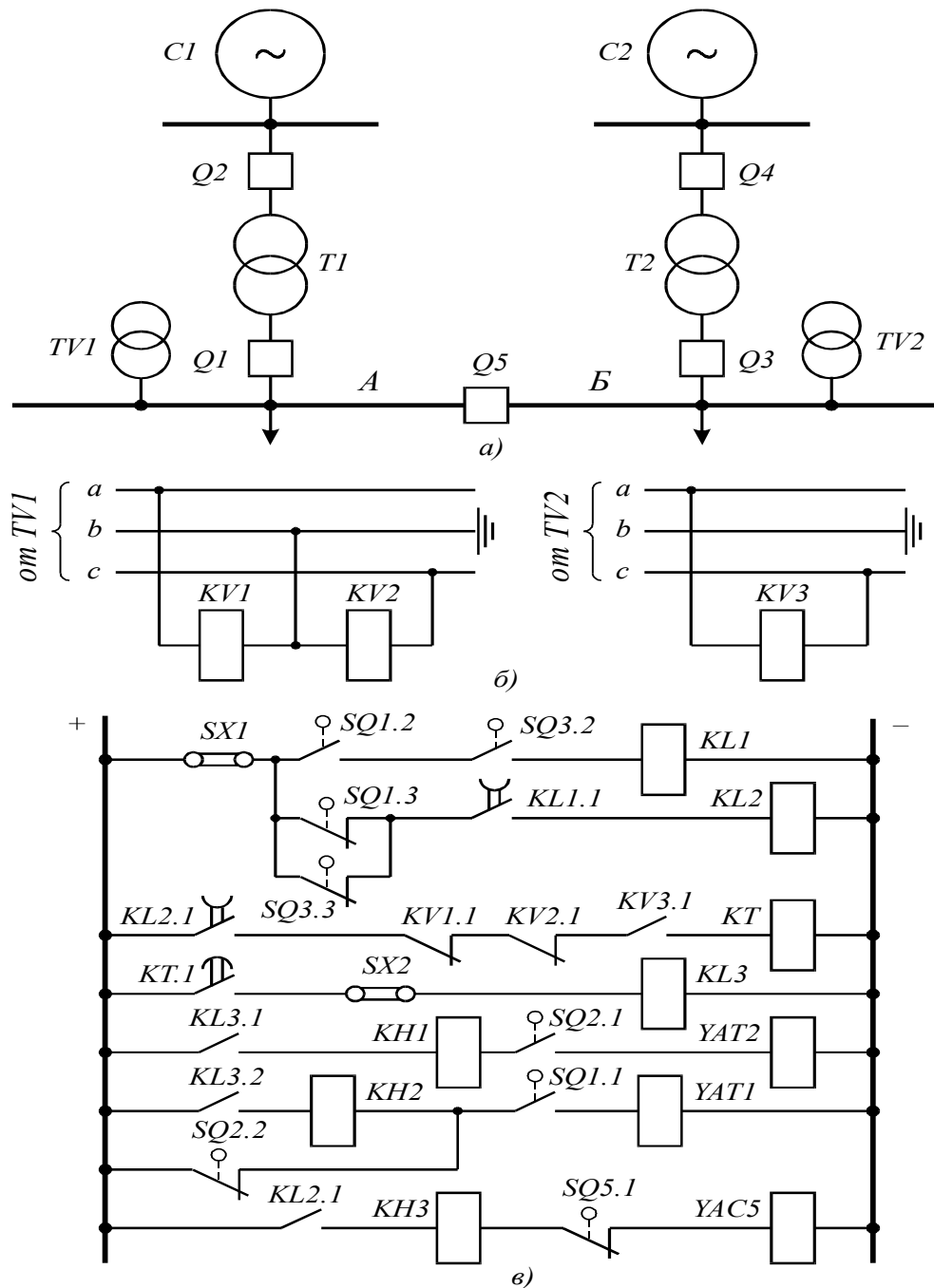


Рис. 1. Схема АВР секционного выключателя: а) схема первичных соединений; б) цепи переменного напряжения; в) цепи оперативного тока

С целью обеспечения АВР при отключении выключателя $Q2$ от его вспомогательного контакта $SQ2.2$ подается команда на катушку отключения $YAT1$ выключателя $Q1$. После отключения $Q1$ схема АВР запускается и действует, как рассмотрено выше.

Аналогично рассмотренному выше АВР секционного выключателя будет действовать и при отключении трансформатора $T2$.

Кроме рассмотренных случаев отключения одного из трансформаторов потребители также потеряют питание, если по какой-либо причине останутся без напряжения шины высшего напряжения. Схема АВР при этом не подействует, так как оба выключателя $T1$ ($Q1$ и $Q2$) или $T2$ ($Q3$ и $Q4$) останутся включенными. Для того чтобы обеспечить действие схемы АВР и в этом случае, предусмотрен специальный пусковой орган минимального напряжения, в состав которого входят реле $KV1$, $KV2$ и $KV3$. При исчезновении напряжения на шинах высшего напряжения питающих $T1$, а следовательно, и на шинах A минимальные реле напряжения, подключенные к трансформатору напряжения $TV1$, замкнут свои контакты и подадут плюс оперативного тока на обмотку реле времени KT через контакт реле $KV3$. Реле KT при этом запустится и по истечении установленной выдержки времени подаст плюс на обмотку выходного промежуточного реле $KL3$, которое произведет отключение выключателей $Q1$ и $Q2$ трансформатора $T1$. После отключения выключателя $Q1$ схема АВР подействует, как рассмотрено выше.

Реле напряжения $KV3$ предусмотрено для того, чтобы предотвратить отключение трансформатора $T1$ от пускового органа минимального напряжения в случае отсутствия напряжения на шинах низшего напряжения другой секции, когда действие схемы АВР будет заведомо бесполезным. Реле $KV3$, подключенное к трансформатору напряжения $TV2$ секции шин B , при отсутствии напряжения на ней размыкает контакт $KV3.1$ и разрывает цепь от контактов $KV1.1$ и $KV2.1$ к обмотке реле времени KT .

Аналогичный пусковой орган минимального напряжения предусматривается для отключения трансформатора $T2$ в случае исчезновения напряжения на шинах высшего напряжения питающих $T2$ (на рисунок.1 не показан).

Для выполнения поставленной задачи было проведено имитационное моделирование АВР на подстанциях в среде динамического программирования Vis-Sim. Эта среда успешно применяется для проектирования технических средств автоматизации и автоматизированных систем управления технологическими процессами весьма широко раскрыты в работах [2–5].

Модель автоматического включения резерва на подстанциях с двумя трансформаторами представлена на рисунке 2. Структура модели состоит из блоков, в которых содержатся функциональные модули.

Все обозначения на рисунке 2 соответствуют обозначениям на рисунке 1.

На рисунке представлен режим работы подстанции без аварийных ситуаций, т.е. каждый трансформатор работает в штатном режиме на свою линию.

Секционный выключатель на рисунке 2 представляет собой составной блок-Q5.

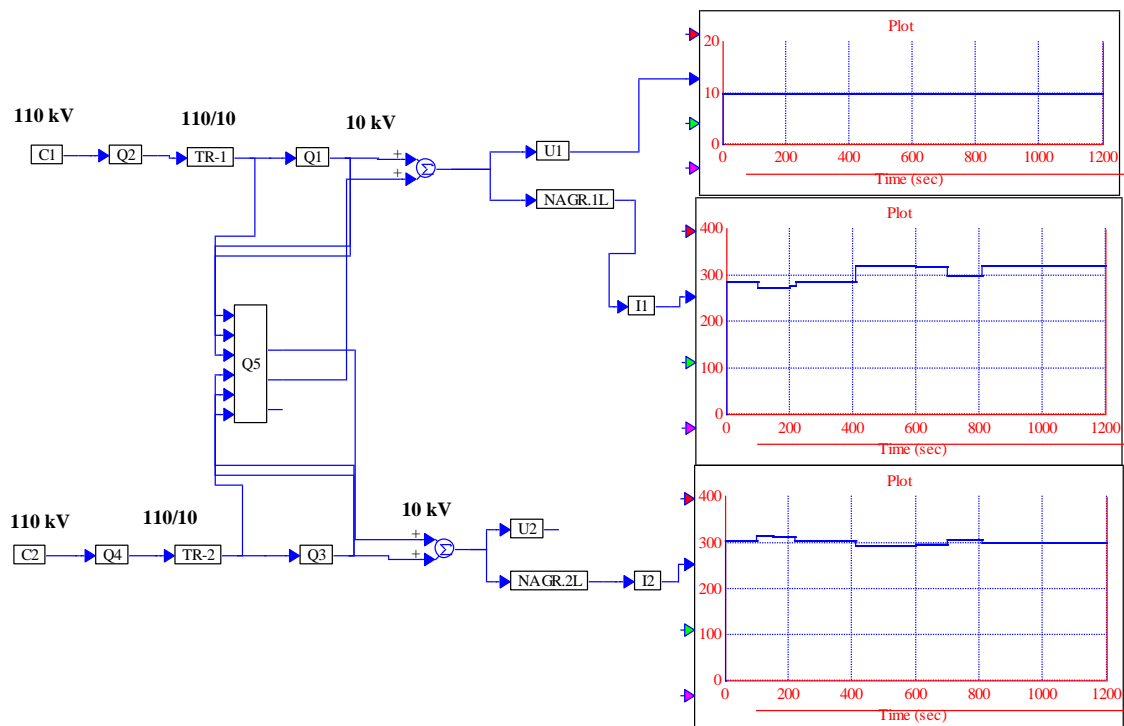


Рис. 2. Модель автоматического включения резерва на подстанциях с двумя трансформаторами

На входы трансформаторов TR-1 и TR-2 подаются напряжения 110 кВ. по отдельным линиям. Включение- выключение может производиться вручную и автоматически.

Трансформаторы TR-1 и TR-2 понижают напряжение до 10 кВ.

Напряжения U1 и U2 равны:

$U1 = U2 = 10 \text{ кВ.}$, поступают на обобщенные нагрузки двух соответствующих линий NAGR.1L и NAGR.2L.

Нагрузки в линиях, как правило, не равны, соответственно токи I_1 и I_2 изменяются во времени по-разному, что можно проследить на осциллограммах (2) и (3). Значения токов I_1 и I_2 близки к 300 А.

На рисунке 3 представлена модель работы понижающего трансформатора 110/10 кВ. На осциллограмме показаны графики трехфазного переменного напряжения частотой 50 Гц. Действующее значение переменного напряжения – 10 кВ., а амплитудное $U_{\max} = 14,15$ кВ.

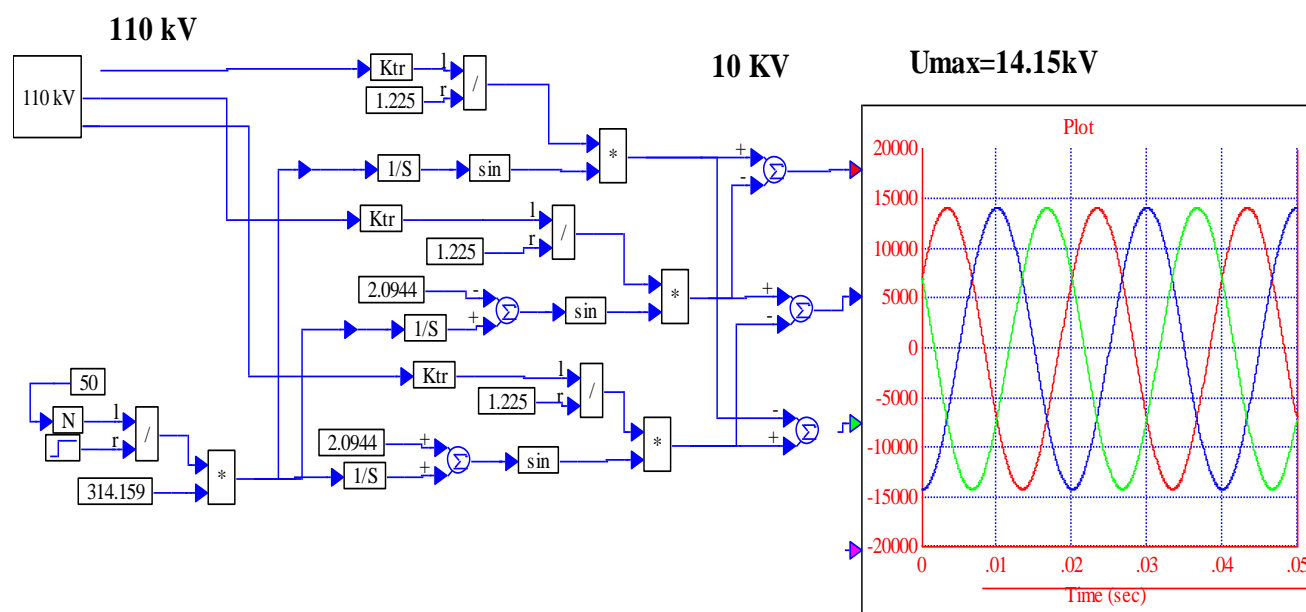


Рис. 3. Модель работы понижающего трансформатора 110/10 кВ

Для собственных энергетических нужд на подстанции выделена отдельная линия напряжением 0,4 кВ., т.е. 380/220 В. С понижающим трансформатором TR-3 и выключателями Q02 и Q01 (рисунок 4).

На осциллограммах показано напряжение $U = 220$ в., ток нагрузки I изменяющийся во времени в пределах 80- 130 А.

Теперь проведем исследование аварийных ситуаций на подстанции 110/10 кВ. с помощью имитационного моделирования.

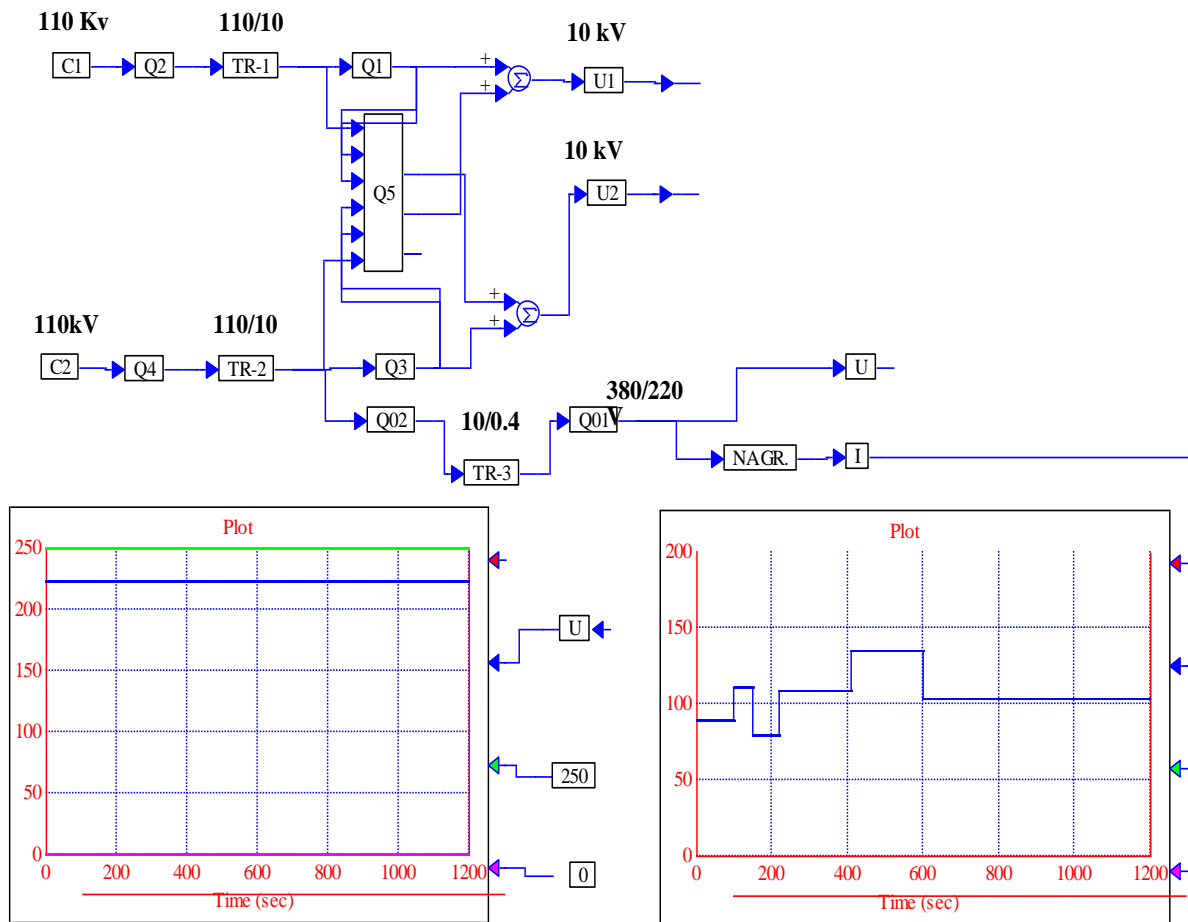


Рис. 4. Линия напряжением 380/220 В

Для имитации аварийной ситуации создадим в момент времени $t_1 = 850$ сек переход трансформатора TR-1 по какой-либо причине в режим отказа (рисунок 5, осциллограмма 1). В данном случае в момент времени t_1 напряжение падает до 0 В, т.е. трансформатор отключается.

На осциллограммах 2 и 3 напряжение нагрузки и сила тока падают до нуля. В этом случае приборы контроля напряжения и тока передают информацию о выходе из строя первого трансформатора TR-1 на входы секционного переключателя Q5 и выключатели Q2 и Q1.

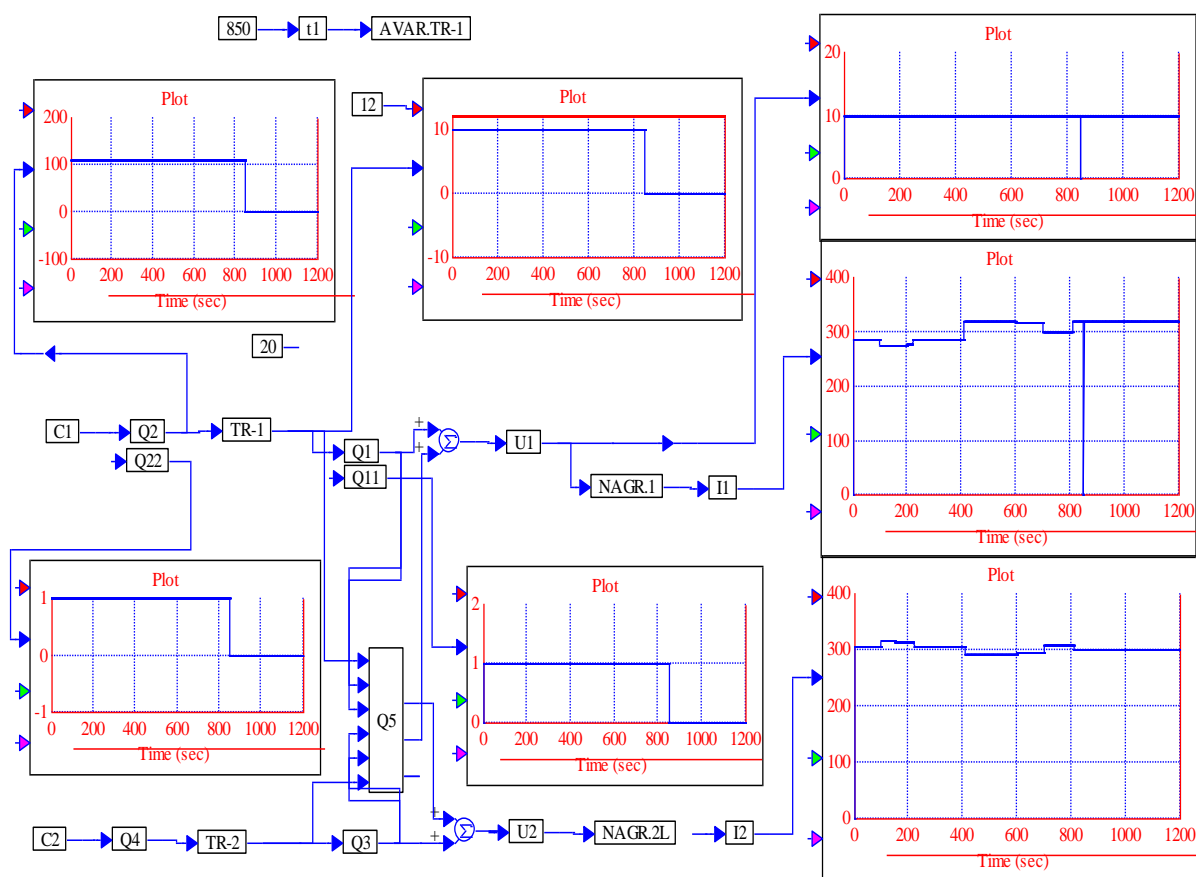


Рис. 5. Переход трансформатора TR-1 по какой-либо причине
в режим отключения

Модель секционного переключателя Q5 собрана в среде моделирования Vis-Sim из стандартных блоков и приводится на рисунке 6.

В модели используются:

- блоки логических элементов;
- блоки временных задержек;
- умножители;
- сумматоры.

Выключатель Q2 отключает высокое напряжение 110 кВ (рисунок 5, осциллограмма 4), поступавшего на вход трансформатора TR-1, выключатель Q1 полностью отключает трансформатор TR-1 от линии нагрузки.

На осциллограмме 5 представлена команда управления на выключатель Q2 на отключения высокого напряжения, а на осциллограмме 6 представлена команда на отключение сети нагрузки.

После этих операций секционный переключатель Q5 подает команду переключения – подключения трансформатора TR-2 к первой линии нагрузки. На осциллограммах 2 и 3 показан процесс практически мгновенного восстановления значений напряжения нагрузки и силы тока.

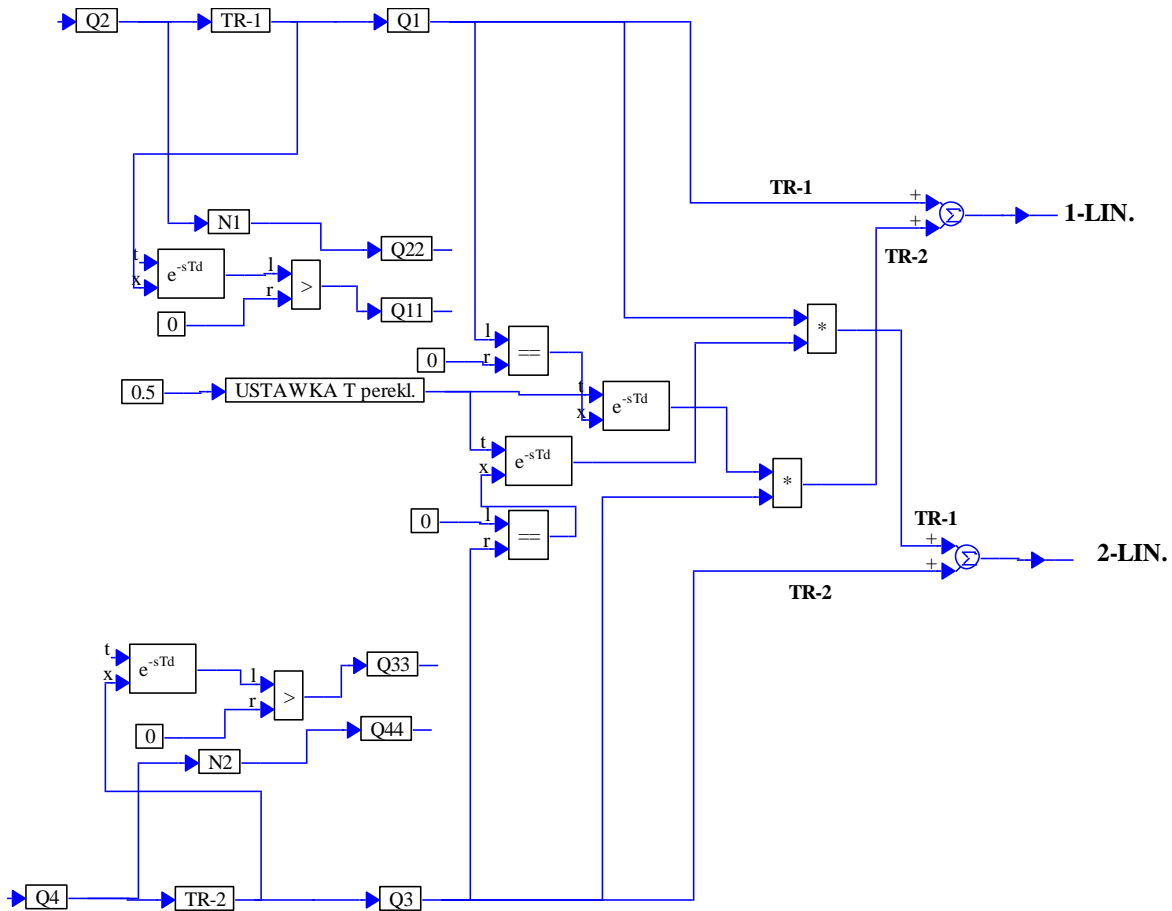


Рис. 6. Модель секционного переключателя Q5 собрана в среде моделирования VisSim

На осциллограмме 7 представлен график зависимости силы тока I_2 от времени во второй линии.

На входе первого трансформатора TR-1 подстанции ООО «Технографит» напряжением 110/35/10 кВ высокое напряжение 110кВ. по какой-либо причине обратилось в ноль (рисунок 7, осциллограмма 1).

Соответственно, выходное напряжение на первом трансформаторе TR-1 также обратилось в ноль (рисунок 7, осциллограмма 2). На входе второго трансформатора TR-2 напряжение осталось неизменным (110 кВ).

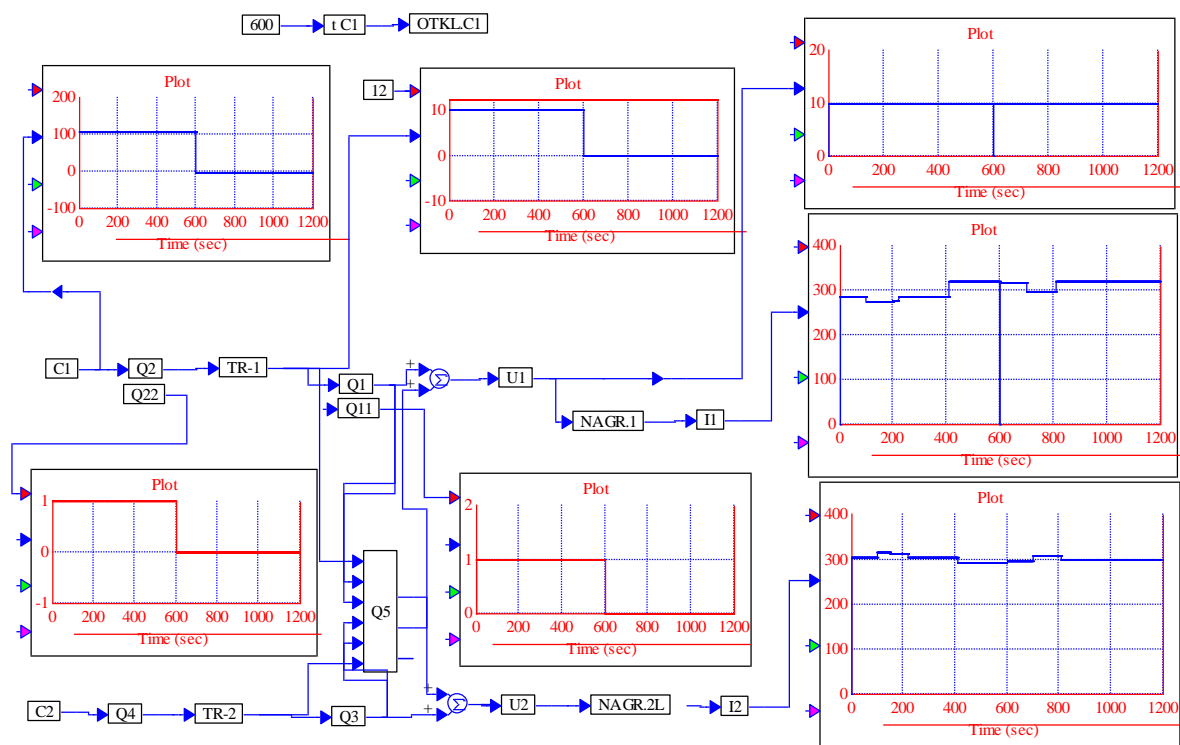


Рис. 7. Аварийная ситуация на входе ВН первого трансформатора TR-1

Информация о процессах, происходящих на трансформаторе TR-1, поступает на соответствующие входы переключателя Q5. Практически мгновенно происходит выключение на Q1 и Q2 (рисунок.7, осциллограммы 3 и 4).

Секционный переключатель Q5 подключает первую нагрузочную линию к трансформатору TR-2 (осциллограммы 5 и 6).

По какой-либо причине произошло отключения выключателя Q3 и вторая нагрузочная линия оказалась обесточенной (рисунок 8, осциллограммы 1 и 2). В этот момент происходит отключение высокого напряжения выключателем Q4 (рисунок 8, осциллограмма 4). Выключателем Q3 отключает всю линию (рисунок 8, осциллограмма 3).

Секционный переключатель Q5 подключает трансформатор первой линии TR-1 для питания второй нагрузочной линии, т.е. трансформатор TR-1 работает на две нагрузочные линии.

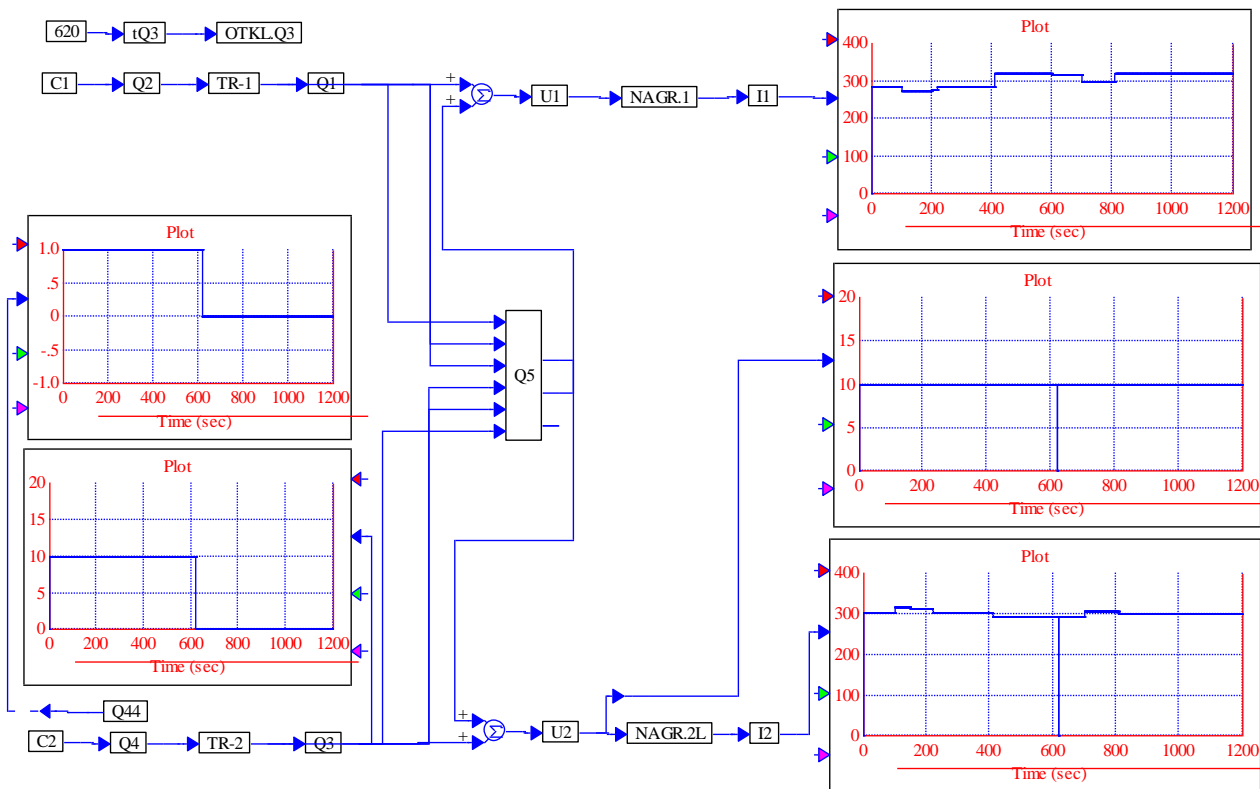


Рис. 8. Работа трансформатора TR-1 на две нагрузочные линии

Режимы короткого замыкания (KZ1 и KZ2) рассмотрим для цепи низкого напряжения 220 В.

На рисунке 9 представлена ситуация, имитирующая импульсное короткое замыкание в сети для внутренних нужд подстанции.

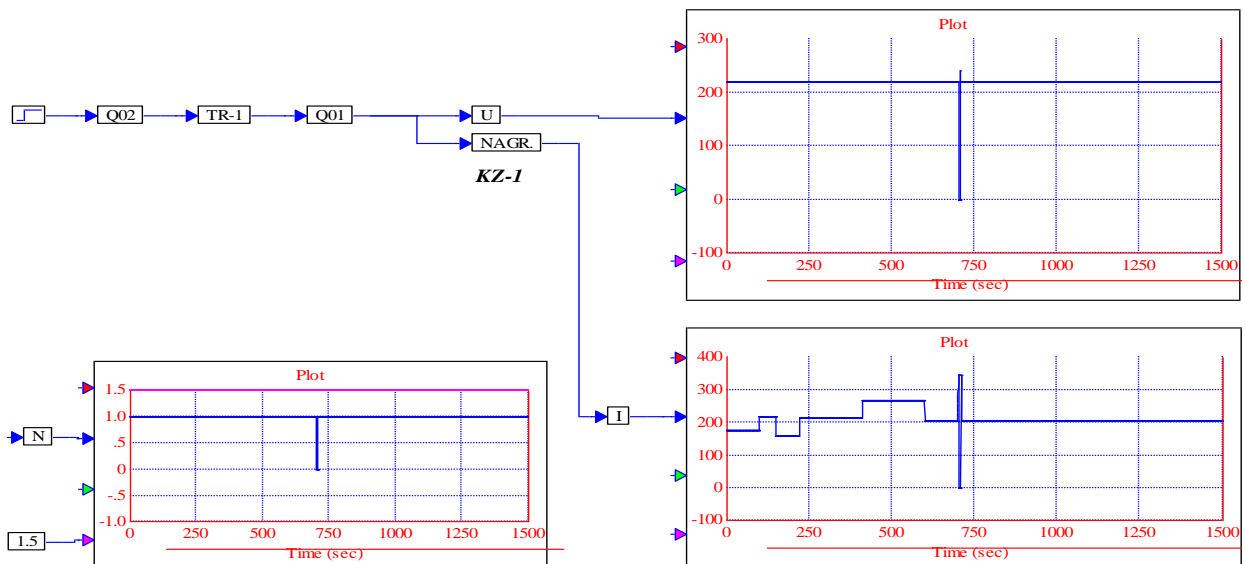


Рис. 9. Ситуация, имитирующая импульсное короткое замыкание в сети для внутренних нужд подстанции

В этом случае происходит мгновенное отключение трансформатора TR-3 выключателя Q01.

Через интервал времени $t= 0,4$ сек. (задается настройкой реле) происходит повторное включение сети. Если короткое замыкание за этот интервал времени исчезло, то выключатель Q01 остается включенным. На рисунке 10 режим короткого замыкания сохраняется и после повторного включения сети выключатель Q01 отключает трансформатор TR-3.

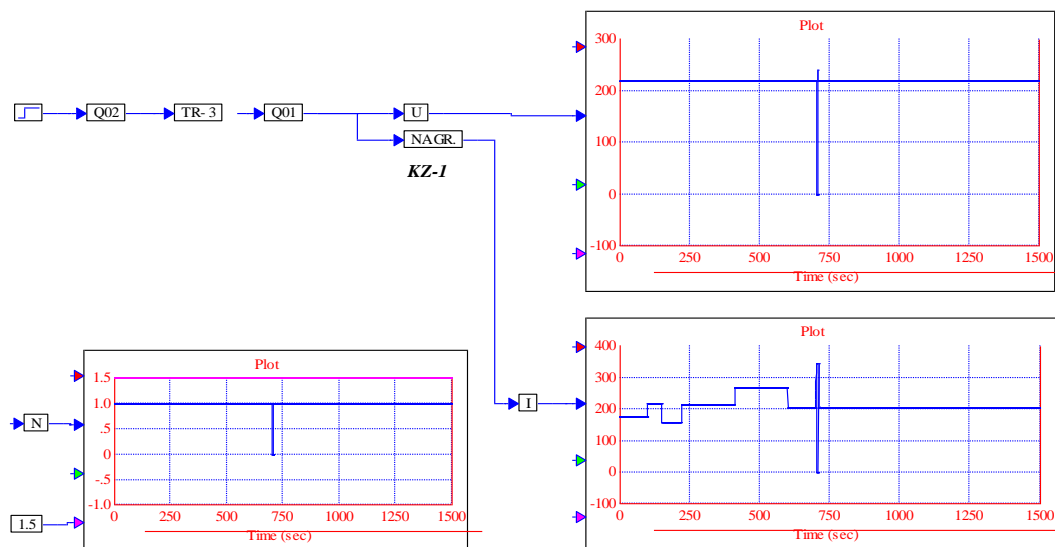


Рис. 10. Режим короткого замыкания сохраняется и после повторного включения сети выключатель Q01 отключает трансформатор TR-3

На рисунке 11 смоделирована нетипичная ситуация, когда происходят две аварийные ситуации:

- сначала трансформатор TR-1 переходит в состояние отказа;
- затем отключается трансформатор TR-2.

В этом случае обе нагрузочные линии остаются обесточены.

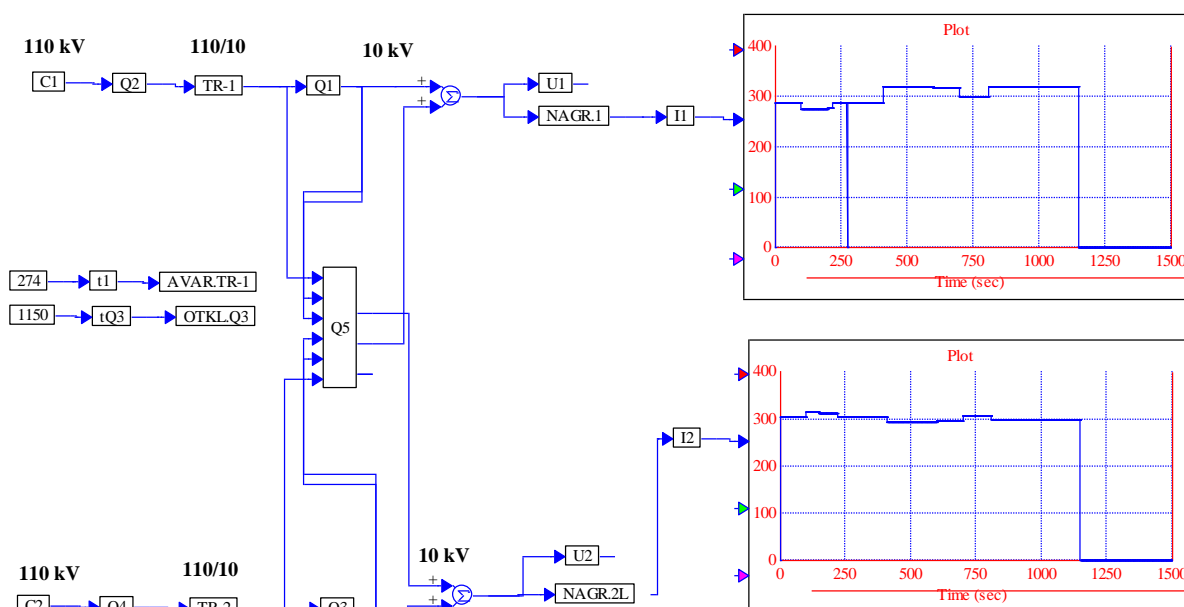


Рис. 11. Ситуация, когда происходят две аварии: 1) сначала трансформатор TR-1 переходит в состояние отказа; 2) затем отключается трансформатор TR-2

В результате проведенных исследований разработан эскизный проект новой подстанции 110/35/10 кВ для обеспечения электроэнергией ООО «Технографит», предусматривающий установку современного оборудования. Проработаны вопросы релейной защиты проектируемой подстанции. Рассмотрены вопросы грозозащиты, заземления и охраны труда.

Предлагаемые технические решения и имитационные модели систем автоматики и релейной защиты могут быть применены при проектировании и разработке аналогичных систем автоматического управления.

Список литературы

1. Петров Н.В. Устройства автоматики электрических станций и подстанций, Методические указания. – Киров, 2001 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.antiplagiat.ru>

2. Gryzhov V.K. Flexible converter of analog signal into discrete digital one with the example of double integration voltmeter / V.K. Gryzhov, V.G. Korol'Kov, E.V. Gryzhov, A.D. Akshinsky // Automation and Remote Control. – 2014. – Т. 75. – №4. – С. 761–766.

3. Корольков В.Г., Грызов В.К., Грызов Е.В. Гибкий преобразователь аналогового сигнала в дискретный цифровой на примере вольтметра следящего уравнивания / В.Г. Корольков, В.К. Грызов, Е.В. Грызов. – М.: Автоматизация в промышленности. – 2013. – №6. – С. 65–68.

4. Фролин Д.В. Оптимизация управления температурой в цилиндре экструдера при производстве термопластичных изделий при помощи среды имитационного моделирования VisSim / Д.В. Фролин, В.К. Грызов. – М.: Московское научное обозрение, 2013. – №10 (38). – С. 15–18.

5. Фролин Д.В. Разработка имитационной модели системы автоматического управления температурой перерабатываемого материала в цилиндре экструдера при помощи среды VisSim / Д.В. Фролин, В.К. Грызов. – М.: Московское научное обозрение, 2013. – №7 (35). – С. 13–15.