

АО «Ансальдо-ВЭИ»

ИССЛЕДОВАНИЯ НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ СТАТИЧЕСКОГО КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ «АНГОЛА-СЕВЕР»

Фомин А. В.

Рассматриваемые исследования выполнялись в рамках контрактов, заключенных в декабре 2007 года компанией EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDADE, Empresa Publica (Ангола) с АО Ансальдо-ВЭИ, ОАО «Запорожтрансформатор» (Украина) и компанией ODEBRECHT-ANGOLA на поставку двух компенсаторов реактивной мощности, выполненных по схеме управляемого шунтирующего реактора трансформаторного типа (в дальнейшем называемого УШРТ), мощностью 60 МВА для подстанций 220/60 кВ Camama и Vilaia.

Математическая модель создана на основе программной среды пакета Matlab2007b и предназначена для исследования работы системы «Ангола-Север» в стационарных, переходных и аварийных режимах и определения

требований к системе автоматического управления регулятора УШРТ и ее защиты.

На основании предоставленных материалов определена упрощенная расчетная схема энергосистемы «Ангола-Север» применительно к установке УШРТ на подстанциях «Vilaia» и «Camama». Основная цель установки УШРТ (вместе с установленными на подстанциях конденсаторными батареями) – полная компенсация передаваемой реактивной мощности по линии «Camama – Cambambe» и по двум линиям «Vilaia – Cambambe». Исходная конфигурация системы электроснабжения «Ангола-Север» представлена на рисунке 1.

Конфигурация системы Ангола-Север

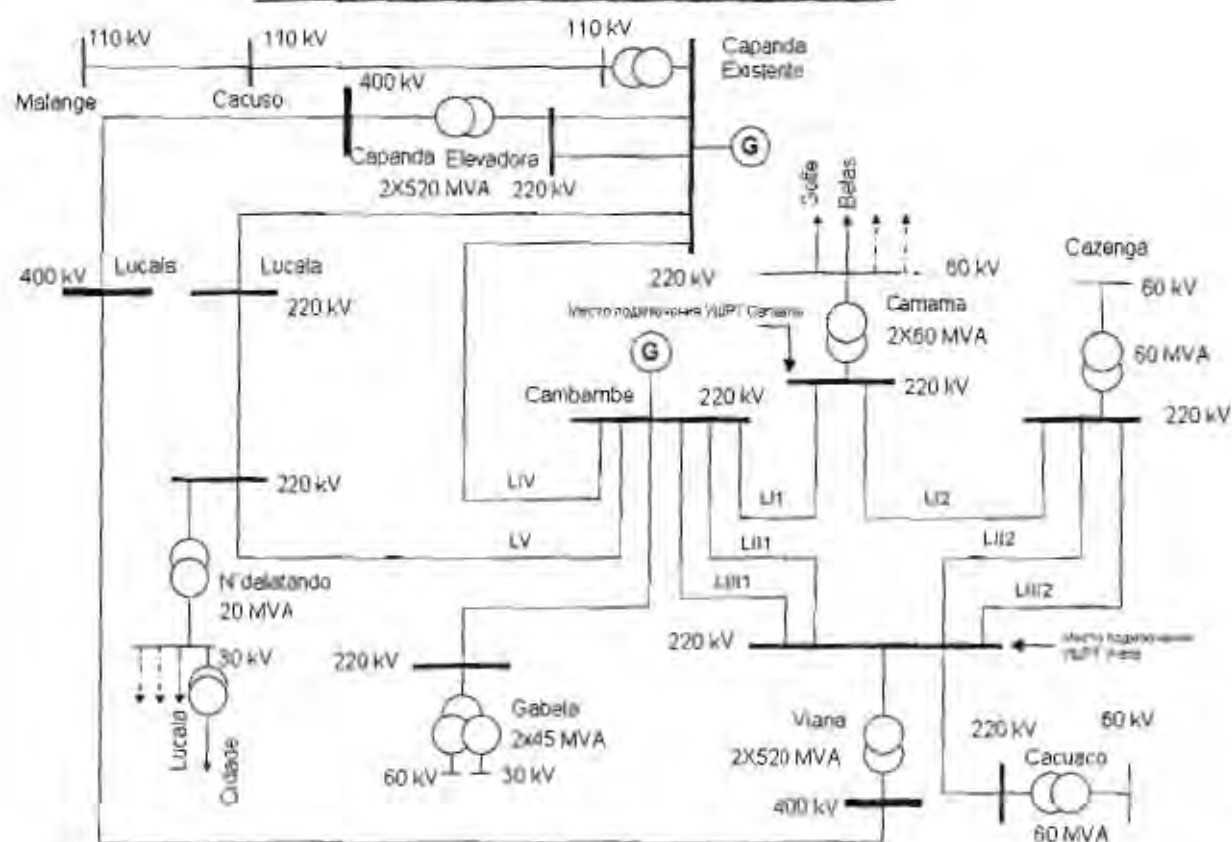


Рис. 1. Конфигурация системы электроснабжения «Ангола-Север»

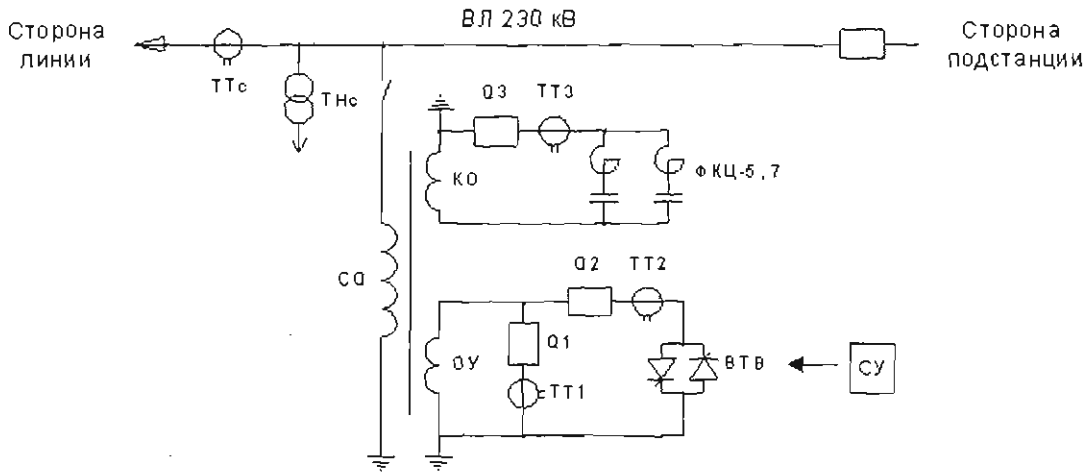


Рис. 2. Однолинейная схема УШРТ-230 кВ 60 МВА

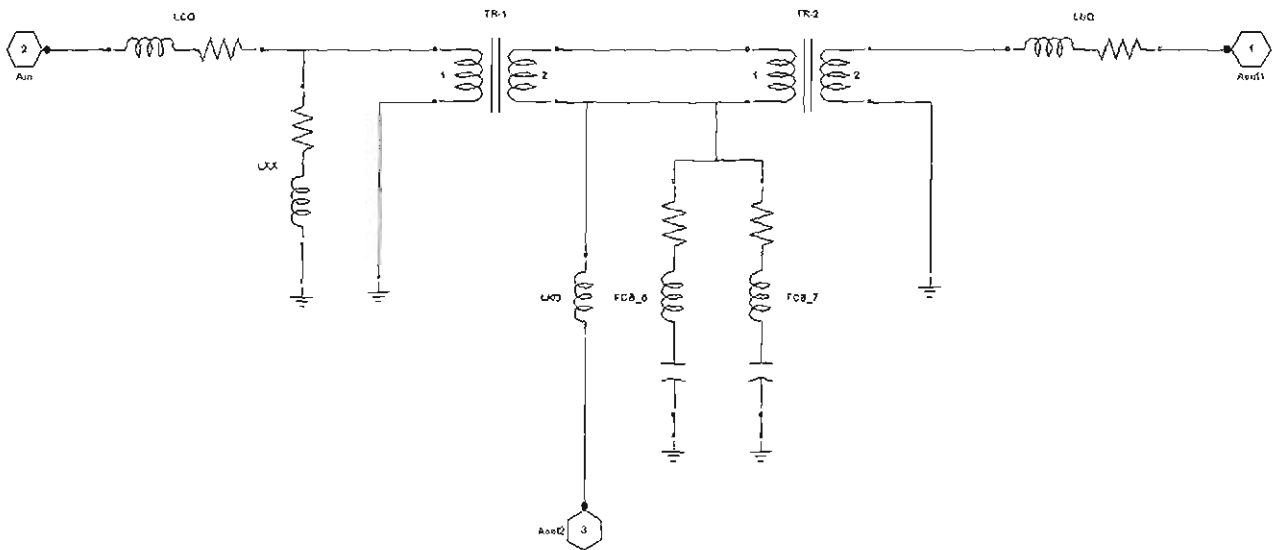


Рис. 3. Схема модели УШРТ

Расчетная схема УШРТ

Под УШРТ понимается следующее оборудование (рис. 2):

- трансформатор с напряжением короткого замыкания относительно обмотки управления (OU) 100%. Имеет три обмотки:
- Сетевая обмотка (CO). Соединяется в звезду с заземленной нейтралью и присоединяются к воздушной линии через разъединитель;
- Компенсационная обмотка (KO). Соединяется в треугольник с одной заземленной вершиной и служит для компенсации 3-ей гармоники, а также для присоединения фильтров 5-ой и 7-ой гармоник;
- Обмотка управления (OU). Соединяется по схеме «звезда» с заземленной нейтралью.

Регулятор, в состав которого входят:

- трехфазный высоковольтный тиристорный вентиль (ВТВ) двуполярной проводимости с системой охлаждения, каждая фаза которого подключена параллельно обмотке управления;
- два выключателя: Q1, шунтирующий OU, и Q2, защищающий ВТВ;
- система управления УШРТ, обеспечивающая регулирование тока в CO путем изменения угла управления

ВТВ, и выполняющая весь комплекс автоматики, защит, сигнализации и индикации, состоящая из двух шкафов (ШТВ и ШУ);

- фильтрокомпенсирующие цепи (ФКЦ) 5-й и 7-й гармоник, обеспечивающие фильтрацию гармонических токов реактора, вызванных работой тиристорных вентилях, соединенные по схеме «звезда» с изолированной расщепленной нейтралью и подключенные к КО через выключатель Q3.

В математической модели УШРТ, приведенной на рисунке 3, каждая фаза реактора/трансформатора представлена последовательным включением двух идеальных трансформаторов TR-1 и TR-2, воспроизводящих коэффициенты трансформации между сетевой обмоткой (CO) TR-1 и его вторичной обмоткой, выполняющей роль компенсационной обмотки (KO). TR-2 обеспечивает связь между КО и обмоткой управления (OU). В трехфазной схеме реактора CO соединяется в «звезду», КО – в «треугольник», OU – в «звезду». Последовательно с сетевой обмоткой TR-1 включается блок LCO – моделирующий реактанс КЗ между CO и КО, приведенный к напряжению CO. Блок Lxx, включенный параллельно CO, моделирует реактанс холостого хода реактора. Блок LCO моделирует реактивное сопротивление КО. Блок LCO мо-

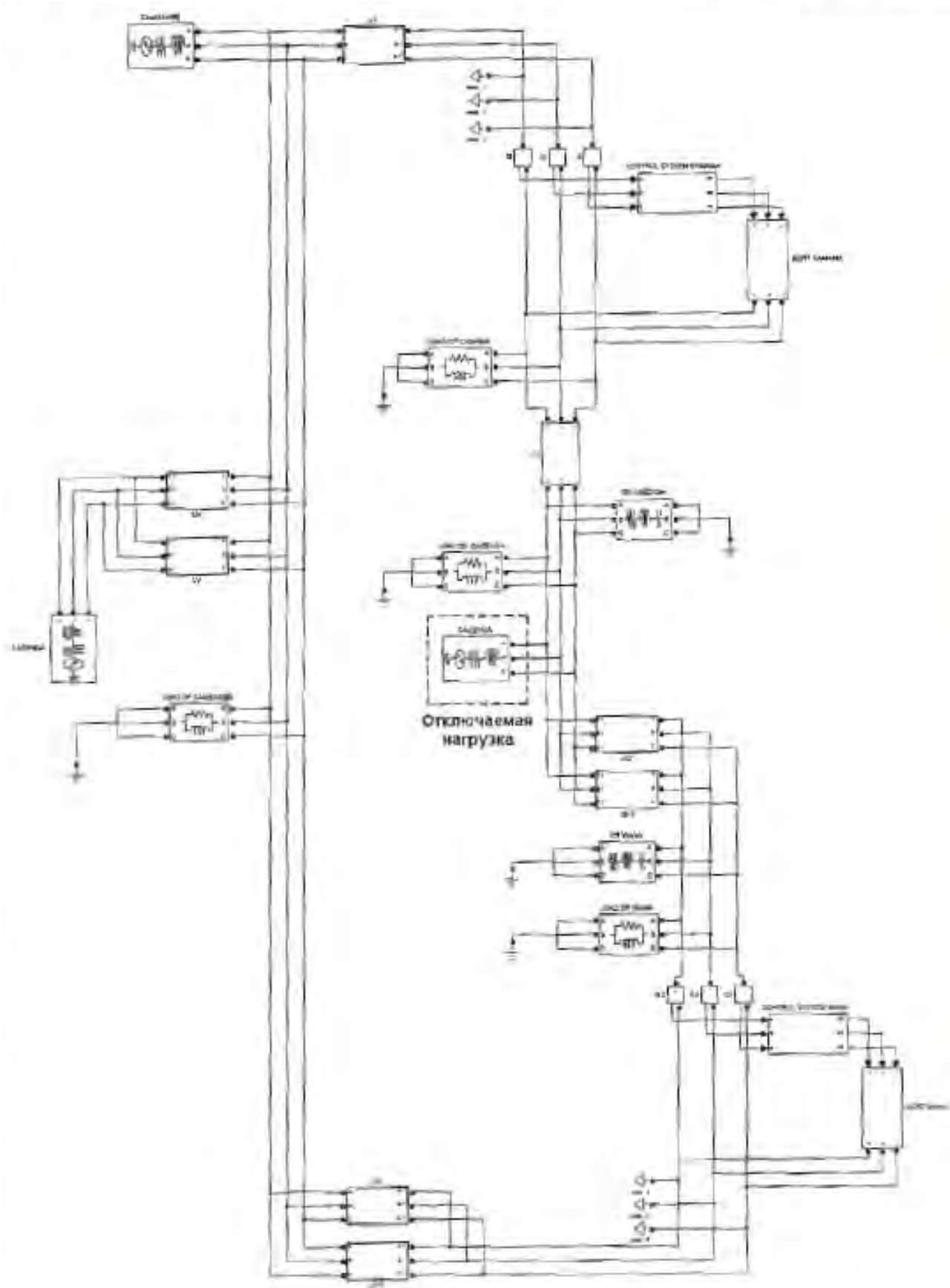


Рис. 4. Схема модели сети 220 кВ системы «Ангولا-Север» в программной среде пакета Matlab2007b.

регулирует реактанс КЗ между КО и ОУ, приведенный к напряжению ОУ.

На напряжение КО включены фильтры 5 и 7 гармоник, представленные блоками FCB-5 и FCB-7 на схеме. Фильтры включены в звезду с заземленным нулем. Каждая фаза обмотки управления нагружена на встречно-параллельно включенные управляемые вентили, подключаемые к выводу Aout1. Вывод Aout2 предназначен для связи между компенсационными обмотками всех трех фаз и для соединения их в «треугольник».

Система управления

Основной алгоритм регулирования заключается в том, что по измеренным значениям фазных токов и напряжений в точках подсоединения УШРТ (на рисунке 4 – шины подстанции «Viana» (SCRT Viana) и шины подстанции «Camama» (SCRT Camama)) вычисляется текущее значение реактивного тока линии, в результате сравнения которого с уставкой вырабатывается сигнал управления, подаваемый на устройство формирования импульсов, которое преобразует его в импульсы управления соответствующими тиристорами. Система регулирования также содержит канал регулирования напряжения, переводящий УШРТ в режимы максимальной и минимальной мощности, при повышении и понижении напряжения.

Другими словами, в зависимости от происходящих в энергосистеме процессов система управления изменяет углы отпирания тиристоров, тем самым, регулируя мощность, потребляемую УШРТ.

Расчетная схема сети 220 кВ системы «Ангола-Север»

Расчетная схема сети 220 кВ в обозначениях, принятых в Matlab2007b, приведена на рисунке 4.

На рисунке обозначено:

– Cambambe, Saranda, Cazenga – эквивалентные ЭДС генераторов на одноименных подстанциях, с

учетом эквивалентного реактанса КЗ, приведенного к шинам 220 кВ подстанций;

- LI1 – линия 220 кВ между подстанциями «Camama» и «Cambambe»;
- LI2 – то же между подстанциями «Camama» и «Cazenga»;
- LI11 и LI111 – линии 220 кВ между подстанциями «Viana» и «Cambambe»;
- LI12 и LI112 – то же между подстанциями «Viana» и «Cazenga»;
- LIV и LV – то же между Saranda и Cambambe;
- Load of Cambambe, Camama, Cazenga, Viana – эквивалентные активные и реактивные нагрузки на шинах одноименных подстанций, вычисляемые для конкретных режимов нагрузки по соответствующим мощностям;
- CB Camama, CB Viana – конденсаторные батареи, установленные на одноименных подстанциях;
- SCRT Camama, SCRT Viana – компенсаторы реактивной мощности (УШРТ), установленные на одноименных подстанциях;
- Control system Camama, Control system Viana – системы управления одноименными компенсаторами реактивной мощности (УШРТ);
- Ia, Ib, Ic, Ia1, Ib1, Ic1, Node 1-6 – датчики фазных токов и напряжений для систем управления УШРТ Camama (токи – без индексов, напряжения Node 1-3) и УШРТ Viana (токи – индекс 1, напряжения Node 4-6);

Для демонстрации адекватной работы модели в переходных режимах и правильности расчета параметров УШРТ проведен опыт отключения самой мощной нагрузки в сети. Такой нагрузкой является нагрузка на подстанции «Cazenga». Отключение происходило на 0,3 секунды модельного времени. Процесс иллюстрируется осциллограммами, приведенными на рисунках 5, 6 и 7.

В начальном режиме часть реактивной мощности, потребляемой нагрузкой на подстанции «Cazenga», передавалась от генераторов, установленных на подстанциях

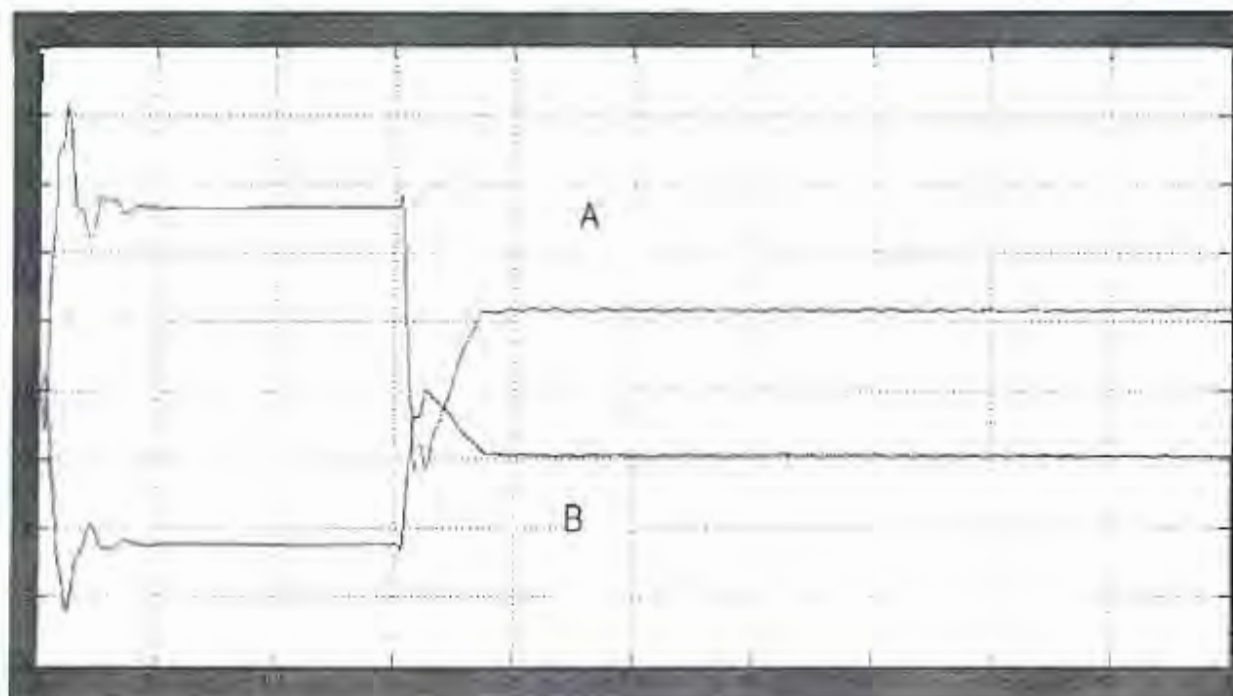


Рис. 5. Осциллограмма реактивных мощностей в контролируемых точках
A – на линии «Camama – Cambambe»; B – «Viana – Cambambe»

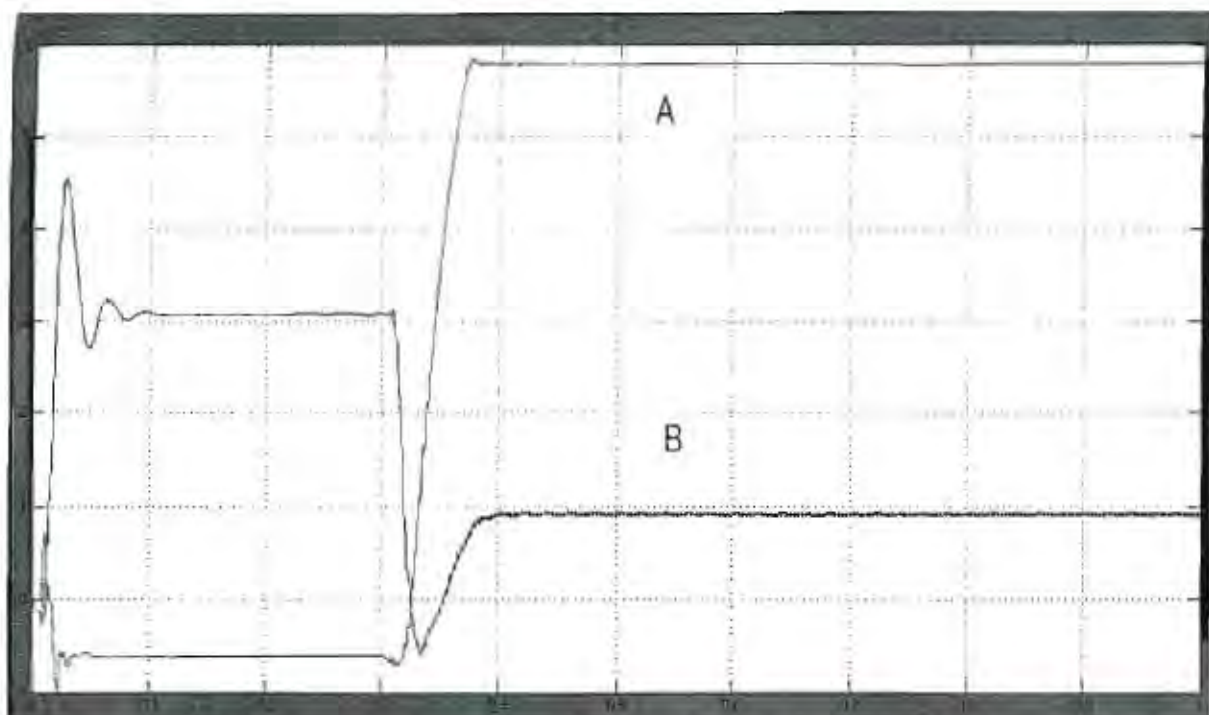


Рис. 6. Осциллограмма реактивных мощностей в точках подключения УШРТ.
А – на линии «Viapa»; В – на линии «Viapa»

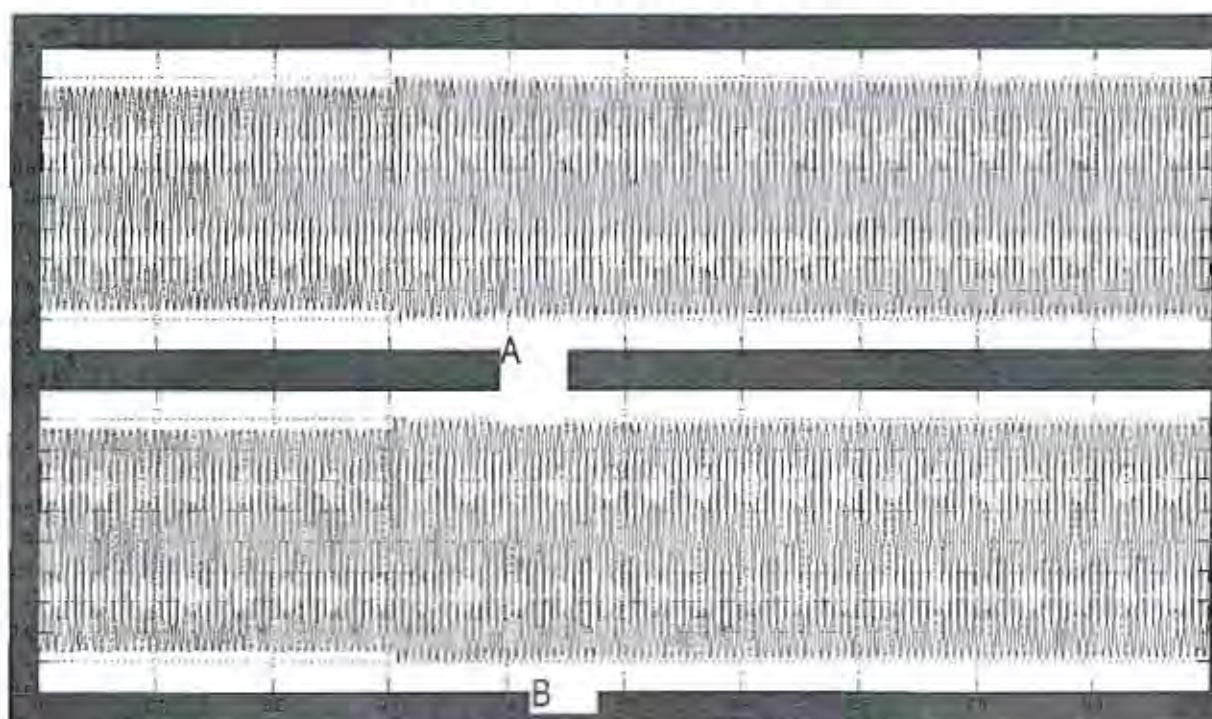


Рис. 7. Осциллограмма напряжений на шинах
А – на линии «Viapa»; В – на линии «Viapa»

«Saranda» и «Cambambe» по линиям LI1, LI2, LIV и LV через подстанцию «Samata» и линии LI1, LI11, LI12, LI12 через подстанцию «Viapa».

В этом режиме оба УШРТ работают с выдачей реактивной мощности, генерируемой фильтрами пятой и седьмой гармоник, установленными на компенсационной обмотке УШРТ.

Сброс потребления реактивной мощности на подстанции «Cazenga» приводит к тому, что реактивная мощ-

ность, генерируемая генераторами и конденсаторными батареями на подстанции «Cazenga», начинает выдаваться в сторону подстанций «Saranda» и «Cambambe», повышая напряжение в сети на шинах подстанций «Cazenga», «Viapa» и «Samata». УШРТ, установленные на шинах «Viapa» и «Samata», переходят в режим потребления реактивной мощности.

Из приведенных осциллограмм видно, что переходный режим при работе УШРТ заканчивается через 0,08с.

Выводы

На основе проведенного модельного исследования можно сделать вывод о том, что работа УШРТ обеспечивает ограничение перетока реактивной мощности по линиям «Samata – Cambambe» и «Viapa – Cambambe» и, как следствие, улучшение качества, электропередачи системы «Ангола-Север» в целом, что и являлось основной целью исследования. Необходимо отметить, что положительный результат достигнут не только в стационарных, но и в переходных и аварийных режимах работы – переходные процессы в линиях в аварийных режимах затухают в течение 0,08 сек, то есть не более чем за 4 периода основной частоты, что обеспечивается быстродействием системы регулирования УШРТ и его физическим быстродействием.

Этот факт говорит о том, что параметры регулятора УШРТ выбраны правильно и использование принятых в модели алгоритмов и параметров системы управления обеспечивает требуемое качество регулирования происходящих в энергосистеме процессов.

Литература

1. Крюков А. А., Либкинд М. С., Сорокин В. М. Управляемая поперечная компенсация электропередачи переменного тока. – М.: Энергоатомиздат, 1981 г. – 184 с., ил.
2. Зевеке Г. В., Ионкин П. А., Нетушил А. В., Страхов С. В. Основы теории цепей. – М.: Энергоатомиздат, 1989 г. – 528 с., ил.
3. Кочкин В. И., Нечаев О. П. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий. – М.: НЦ ЭНАС, 2000 г. – 248 с., ил.
4. Матура Р. М. Статические компенсаторы для регулирования реактивной мощности: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987 г. – 160 с., ил.
5. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0: Учебное пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001 г. – 320 с., ил.
6. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008 г. – 288 с.: ил.