

Испытания управляемых подмагничиванием шунтирующих реакторов

Л.Н. Конторович, технический директор ПАО «ЗТР», к.т.н.;

И.А. Широков, начальник бюро разработки систем управления реакторов ПАО «ЗТР»

Управляемый подмагничиванием шунтирующий реактор (УПШР) объединяет в себе комплекс электротехнического и электронного оборудования и предназначен для компенсации реактивной мощности линий электропередач, а также стабилизации напряжения в точке его подключения. В состав оборудования УПШР входит:

1. Электромагнитная часть (ЭМЧ), похожая на мощный силовой трансформатор. Она содержит, как минимум, две обмотки: сетевую обмотку (СО) и обмотку управления (ОУ). Распространенным вариантом является ЭМЧ с тремя обмотками, где к СО и ОУ добавлена компенсационная обмотка (КО), служащая для подавления третьей гармонической тока и питания полупроводникового преобразователя (ПП).
2. Трансформаторно-преобразовательный блок (ТПБ) подсоединен к сети собственных нужд станции или к КО. Состоит из трансформатора питания (ТП) и одного или нескольких ПП расположенных в отдельных баках с трансформаторным маслом. ТПБ обеспечивает протекание выпрямленного постоянного тока подмагничивания по ОУ.
3. Система автоматического управления (САУ) управляет ПП по алгоритмам, обеспечивающим поддержание напряжения в точке подсоединения УПШР на заданном уровне или протекание заданного тока (мощности) через СО реактора.

Испытания комплекса оборудования УПШР производятся в два этапа.

Первый этап – испытания ЭМЧ, ТПБ и САУ на заводе-изготовителе.

Второй этап – испытания комплекса УПШР на подстанции после монтажа и подключения к сети.

Испытания ЭМЧ на заводе-изготовителе

Низковольтные и высоковольтные испытания ЭМЧ УПШР в заводских условиях производятся так же и в тех же объемах, что и испытания силовых трансформаторов.

ЭМЧ УПШР, как и силовые трансформаторы подвергается приемо-сдаточным, типовым и специальным испытаниям (табл. 1, 2, 3).

Таблица 1. Приемо-сдаточные испытания ЭМЧ УПШР

Вид испытания	Методика проведения
1. Проверка на соответствие требования рабочих чертежей	Внешний осмотр и измерения соответствующим измерительным инструментом
2. Проверка коэффициента трансформации	МЭК 60076-1 п.11.3

3. Проверка группы соединения обмоток	МЭК 60076-1 п.11.3
4. Измерения сопротивления обмоток постоянному току	МЭК 60076-1 п.11.2
5. Измерение потерь и напряжения короткого замыкания в режимах СО-КО, СО-ОУ, КО-ОУ	МЭК 60076-1 п.11.4
6. Измерение потерь и тока холостого хода, в том числе определение уровня несимметрии ОУ	МЭК 60076-1 п.11.5
7. Измерение характеристик ЭМЧ в режиме потребления номинальной мощности, в том числе определения нагрузочных потерь, гармонического состава тока СО и измерение вибрации на стенках бака ЭМЧ	Методика завода-изготовителя
8. Диэлектрические испытания	МЭК 60076-3
9. Испытание на герметичность давлением и вакуумом	МЭК 60076-1 п.11.8

Таблица 2. Типовые испытания ЭМЧ реактора УПШР

Вид испытания	Методика проведения
1. Испытания на нагрев в режиме номинальной мощности	МЭК 60076-2
2. Испытания грозовым импульсом	МЭК 60076-3
3. Акустические испытания ЭМЧ (совмещаются с испытаниями на нагрев)	МЭК 60076-10

Таблица 3. Специальные испытания ЭМЧ реактора (по требованию контракта)

Вид испытания	Методика проведения
1. Определение емкостей между обмотками и между землей и обмотками	МЭК 60076-1
2. Измерение тангенса угла потерь в изоляции, емкости изоляционной системы	МЭК 60076-1
3. Измерение частотной характеристики (FRA)	МЭК 60076-1

4. Определение содержания газов,
растворенных в масле

Как видно из этих таблиц, новым методом испытаний УПШР является испытание в режиме потребления номинальной мощности (табл.1, п.7).

Испытания с выведением ЭМЧ УПШР на номинальную мощность в заводских условиях производится в режиме индуктивно-емкостного резонанса токов с использованием в качестве источников переменного напряжения низкосинусных синхронных генераторов с электрическим приводом. Особенность этих генераторов такова, что они могут питать только активно-индуктивную нагрузку. Если в обмотках статора появляется емкостной ток, то магнитный поток, создаваемый ими, совпадет с намагничивающим потоком ротора, генератор самовозбудится и станет неуправляемым. Схема испытаний показана на рис.1.

Используя показанное на рис.1 оборудование, вывод ЭМЧ УПШР в режим потребления номинальной мощности производят по следующему алгоритму:

1. Проверяется работоспособность собранной рабочей схемы испытаний на холостом ходу. Для этого от генератора Г1 через согласующий трансформатор на СО подается номинальное напряжение питания при отключенной конденсаторной батарее и отключенной системе подмагничивания (ТМП и САУ).

С помощью измерительной системы IS проверяется величина подаваемого напряжения и индуктивности СО ЭМЧ. После чего генератор Г1 отключается.

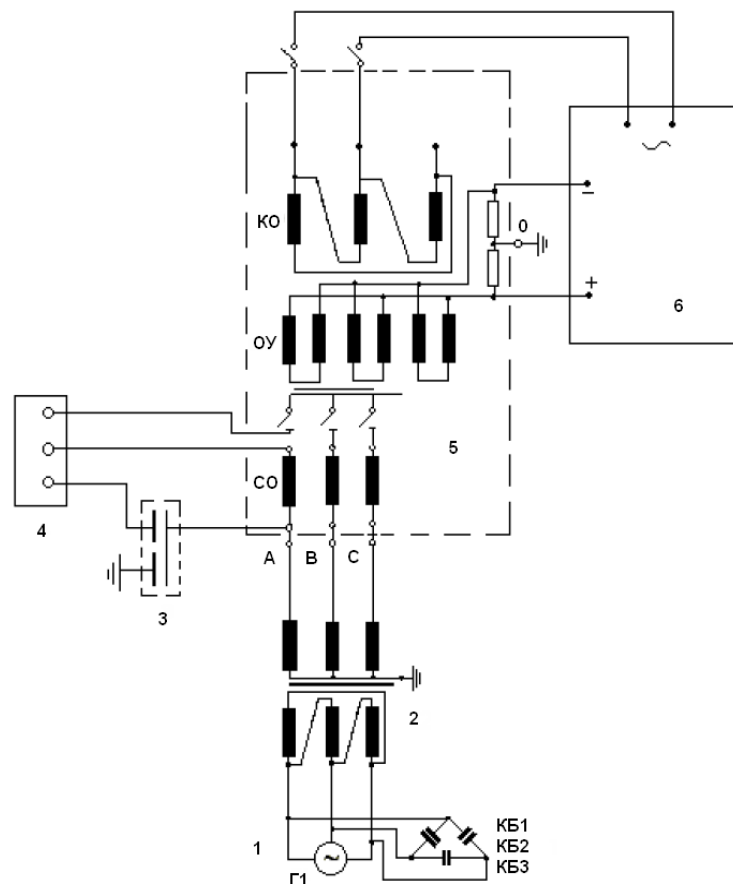


Рисунок 1 – Принципиальная схема испытаний ЭМЧ УПШР в режиме потребления номинальной мощности

На рис.1 обозначены:

- 1 – генератор;
- КБ1, КБ2, КБ3 – конденсаторная батарея;
- 2 – согласующий трансформатор;
- 3 – высоковольтный конденсатор 50,039 пФ 600 кV (Haefely);
- 4 – IS-цифровая измерительная система, тип 2840 (Haefely);
- 5 – испытываемая ЭМЧ с обмотками СО, ОУ, и КО фаз А, В, С;
- 6 – ТМП и САУ.

2. Подключается конденсаторная батарея и система подмагничивания. В ОУ ЭМЧ при помощи САУ и ПП предварительного подмагничивания, питающегося от сети собственных нужд, создается ток начального подмагничивания, величина которого примерно равна 200 А.

При этом на основной ПП, питающийся от КО ЭМЧ, от САУ подаются сигналы управления, переводящие его тиристоры в диодный режим.

3. Включается генератор Г1 и через согласующий трансформатор на СО ЭМЧ подается напряжение, величина которого определяется остаточным напряжением генератора.

4. Подводимое к СО ЭМЧ напряжение плавно увеличивается. При этом постоянно контролируется величина индуктивности СО ЭМЧ, ток генератора Г1 и ток ОУ ЭМЧ.

5. При достижении током ОУ ЭМЧ величины, примерно равной 400 А, производится блокировка сигналов управления и последующее отключение ПП предварительного подмагничивания. Дальнейшее управление величиной тока ОУ ЭМЧ осуществляется при помощи САУ и основного ПП.

6. Подводимое к СО ЭМЧ напряжение плавно увеличивается. При этом постоянно контролируется величина индуктивности СО ЭМЧ, ток генератора Г1 и ток ОУ ЭМЧ.

При достижении током генератора Г1 максимально допустимого значения при помощи САУ увеличивается угол управления тиристорами ПП, что приводит к снижению тока генератора.

7. Действия, описанные в п.6 повторяются до выведения ЭМЧ в режим потребления номинальной мощности.

На рис.2. показана приведенная к стороне генератора Г1, вольтамперная характеристика элементов оборудования рис.1, при выводе ЭМЧ УПШР в режим потребления номинальной мощности.

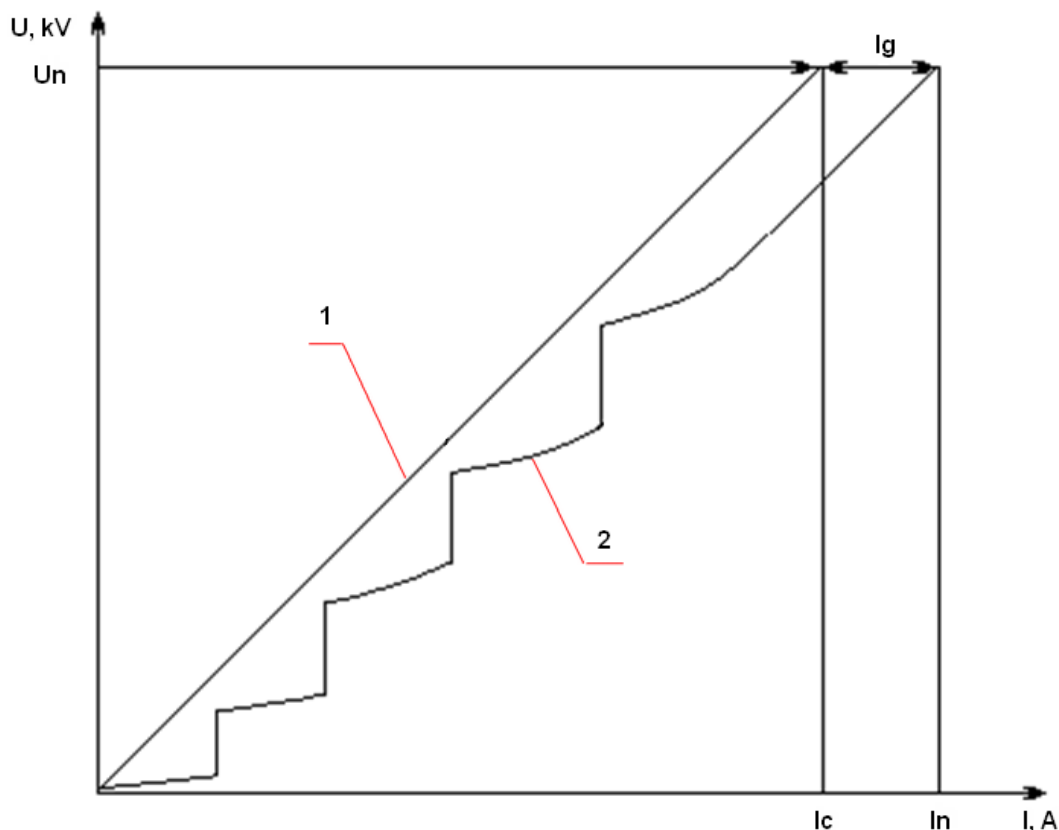


Рисунок 2 – Вольтамперная характеристика элементов оборудования при испытаниях ЭМЧ УПШР в режиме потребления номинальной мощности

На рис.2 обозначены:

1 – вольтамперная характеристика конденсаторных батарей;

2 – вольтамперная характеристика ЭМЧ УПШР;

I_c – ток конденсаторных батарей;

I_g – ток генератора;

I_n – номинальный ток ЭМЧ УПШР, приведенный к стороне генератора.

Основные параметры ЭМЧ УПШР в режиме потребления номинальной мощности (напряжение на обмотке СО, ток обмотки СО, гармонический состав тока обмотки СО, реактивная мощность, потребляемая ЭМЧ, мощность потерь ЭМЧ) при проведении указанных выше испытаний фиксируются цифровой измерительной системой.

При испытаниях на нагрев в режиме номинальной мощности, для измерений активных сопротивлений и температур используются и другие измерительные приборы и устройства.

Испытания ПП на заводе-изготовителе

На заводе-изготовителе ПП УПШР подвергается прямо-сдаточным, типовым и специальным испытаниям (табл. 4, 5, 6).

Таблица 4. Приемо-сдаточные испытания ПП УПШР

Вид испытания	Методика проведения
1. Проверка на соответствие требованиям рабочих чертежей	Внешний осмотр и измерения соответствующим измерительным инструментом
2. Проверка на герметичность бака ПП	Методика завода-изготовителя
3. Проверка сопротивления изоляции ПП относительно бака	Методика завода-изготовителя
4. Испытания изоляции приложенным напряжением	Методика завода-изготовителя

Таблица 5. Типовые испытания ПП УПШР

Вид испытания	Методика проведения
1. Контроль формы импульсов управления	Методика завода-изготовителя
2. Проверка функционирования ПП при номинальном напряжении	Методика завода-изготовителя
3. Проверка функционирования ПП при номинальном токе	Методика завода-изготовителя
4. Испытания на нагрев (совмещаются с проверкой функционирования при номинальном токе)	Методика завода-изготовителя

Таблица 6. Специальные испытания ПП УПШР

Вид испытания	Методика проведения
1. Проверка функционирования в составе оборудования УПШР	Методика завода-изготовителя (табл.1, п.7)

Испытание бака на герметичность (табл.4, п.2), проводится столбом масла высотой 2 м над плоскостью крышки в течение 1 часа при температуре масла от плюс 10 до плюс 60 °С.

Проверка сопротивления изоляции преобразователя относительно бака (табл.4, п.3), проводится путем измерения сопротивления изоляции между каждым вводом преобразователя и устройством заземления бака. Измерения должны проводиться

мегомметром с напряжением 500 V. Величины измеренных сопротивлений должны быть не менее 100 МΩ.

Испытания изоляции (табл.4, п.4), проводится путем приложения напряжения 3 kV, 50 Hz в течение 1 минуты между баком и соединенными между собой всеми вводами на крышке бака ПП.

Контроль импульсов управления (табл.5, п.1), проводится при помощи осциллографа, подключенного к клеммам управления ПП.

Проверка функционирования ПП при номинальном напряжении (табл.5, п.2), проводится путем подключения к выходу ПП большой активной нагрузки, подачи на силовой вход ПП номинального напряжения питания и на управляющий вход импульсов управления, соответствующих максимальному выходному напряжению ПП.

Проверка функционирования ПП при номинальном токе (табл.5, п.3), проводится путем подключения к выходу ПП активно-индуктивной нагрузки, подачи на силовой вход ПП напряжения питания, достаточного отпирания тиристоров ПП и на управляющий вход импульсов управления, соответствующих номинальному выходному току ПП.

Испытания на нагрев (табл.5, п.4). проводятся путем измерения температуры ПП в интересующих точках (корпус тиристора, тело радиатора тиристора, различные слои масла и т. д.), при работе ПП с номинальным током нагрузки.

Испытания САУ на заводе-изготовителе

На заводе-изготовителе САУ УПШР подвергается приемо-сдаточным, типовым и специальным испытаниям (табл. 7, 8, 9).

Таблица 7. Приемо-сдаточные испытания САУ УПШР

Вид испытания	Методика проведения
1. Проверка на соответствие требованиям рабочих чертежей	Внешний осмотр и измерения соответствующим измерительным инструментом
2. Проверка функционирования каналов измерения	Методика завода-изготовителя
3. Проверка функционирования каналов управления	Методика завода-изготовителя
4. Проверка сопротивления изоляции электрически разобщенных цепей	Методика завода-изготовителя

Таблица 8. Типовые испытания САУ УПШР

Вид испытания	Методика проведения
1. Проверка алгоритмов и программного обеспечения системы.	Методика завода-изготовителя

Таблица 9. Специальные испытания САУ УПШР

Вид испытания	Методика проведения
1. Проверка функционирования в составе оборудования УПШР	Методика завода-изготовителя (табл.1, п.7)
2. Испытания на электромагнитную совместимость	МЭК61000.4.2 - МЭК61000.4.6, МЭК61000.4.11 - МЭК61000.4.14, МЭК61000.4.16, МЭК61000.4.28 МЭК1000.4.9.95, МЭК1000.4.8.93

Проверка функционирования каналов измерения (табл.7, п.2), проводится путем подачи от имитаторов оборудования подстанции образцовых сигналов на входы САУ и контроля их величин на органах индикации САУ.

Проверка функционирования каналов управления (табл.7, п.3), проводится путем измерения командных сигналов САУ с помощью стандартных средств измерительной техники.

Проверка сопротивления изоляции электрически разобщенных цепей (табл.7, п.4), проводится путем измерения сопротивления между ними а также, между ними и корпусом с помощью стандартных средств измерительной техники.

Проверка алгоритмов и программного обеспечения (табл.8, п.1), проводится путем подачи от имитаторов оборудования подстанции тестовых сигналов на входы САУ и контроля командных сигналов на выходах САУ.

Испытания УПШР на объекте Заказчика

Второй этап испытаний комплекса УПШР проводится на электрической станции (объект Заказчика) после монтажа и подключения УПШР к сети.

При этом с Заказчиком согласовывается оперативная программа работ и УПШР подвергается испытаниям в объеме, указанном в таблице 10.

\

Таблица 10. Испытания УПШР на объекте Заказчика

Вид испытания	Методика проведения
1. Проверка и при необходимости коррекция схем первичных и вторичных соединений составных частей УПШР	Внешний осмотр
2. Проверка функционирования САУ и ТМП без подачи напряжения на СО УПШР	Методика завода-изготовителя, согласованная с Заказчиком
3. Проверка функционирования САУ и ТМП с подачей напряжения на СО УПШР	Методика завода-изготовителя, согласованная с Заказчиком
4. Проверка функционирования УПШР в режиме ручного регулирования	Методика завода-изготовителя, согласованная с Заказчиком
5. Проверка функционирования УПШР в автоматических режимах, проверка динамических характеристик УПШР	Методика завода-изготовителя, согласованная с Заказчиком
6. Работа УПШР в сети в течение 72 часов	Методика завода-изготовителя, согласованная с Заказчиком

При проверке функционирования САУ и ТМП (табл.10, п.2, п.3) ТМП отключаются от ОУ УПШР и подключаются к активной нагрузке. Вводы ОУ УПШР при этом заземляются.

Проверка функционирования САУ и ТМП, подключенного к сети собственных нужд подстанции (табл.10, п.2), проводится путем подачи на ТМП управляющих сигналов от САУ и контроля напряжения на активной нагрузке, подключенной к выходу ТМП.

Проверка функционирования САУ и ТМП, подключенного к КО УПШР (табл.10, п.3), проводится при включенном в режиме холостого хода УПШР. Проверка производится путем подачи на ТМП управляющих сигналов от САУ и контроля напряжения на активной нагрузке, подключенной к выходу ТМП.

Проверка функционирования УПШР в режиме ручного регулирования (табл.10, п.4) проводится при основной рабочей схеме включения оборудования УПШР. Проверка проводится путем подачи на ТМП управляющих сигналов от САУ в режиме ручного регулирования тока СО УПШР и контроля основных параметров УПШР средствами САУ и оборудования подстанции. В ходе проверки производится настройка величины тока предварительного подмагничивания УПШР, проверка блокировки включения УПШР при отсутствии предварительного подмагничивания, снятие регулировочной характеристики УПШР, проверка работы дифференциальных защит.

Проверка функционирования УПШР в автоматических режимах (табл.10, п.5) проводится путем подачи на ТМП управляющих сигналов от САУ в режимах автоматического регулирования тока СО УПШР (мощности УПШР), автоматического регулирования напряжения в точке подключения УПШР и контроля основных параметров УПШР средствами САУ и оборудования подстанции.

Проверка динамических характеристик УПШР (табл.10, п.5) проводится при скачкообразном изменении в САУ заданного значения регулируемой величины (напряжения или тока в СО). Эти изменения выбираются так, чтобы УПШР перешел в режим набора мощности (из режима холостого хода в режим потребления номинальной мощности) или сброса мощности (из режима потребления номинальной мощности в режим холостого хода) с максимальным быстродействием. При этом записываются и контролируются с помощью САУ УПШР и оборудования станции осциллограммы токов и напряжений в обмотках СО и ОУ УПШР (например, рис.3, рис.4).

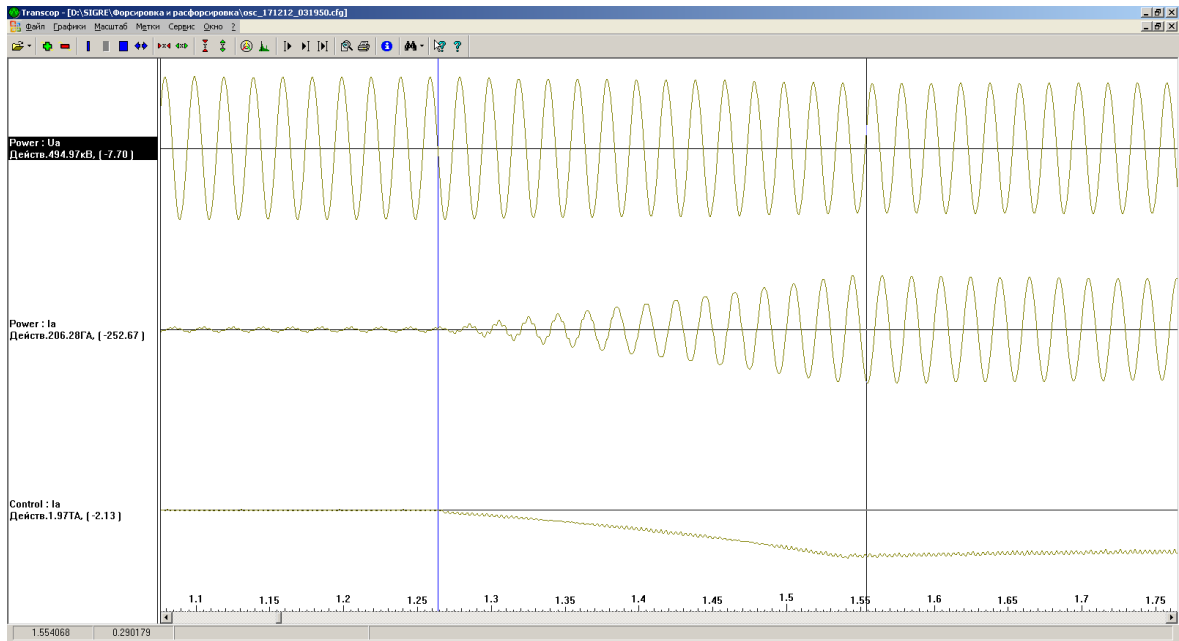


Рисунок 3 – Осциллограммы напряжения на СО, тока в СО и тока ОУ при переходе трехфазного реактора УПШР 180МВАр/500кВ из режима холостого хода в режим потребления номинальной мощности

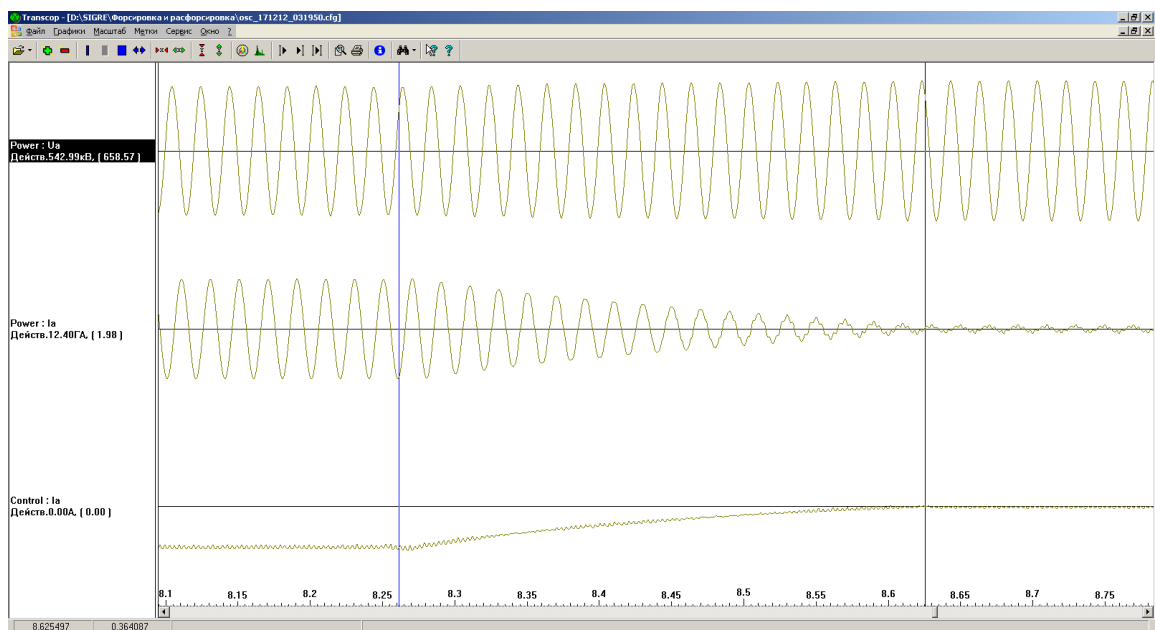


Рисунок 4 – Осциллограммы напряжения на СО, тока в СО и тока ОУ при переходе трехфазного реактора УПШР 180МВАр/500кВ из режима потребления номинальной мощности в режим холостого хода

Работа УПШР с включением в электрическую сеть Заказчика в течение 72 часов (табл.10, п.6) проводится в стандартном автоматическом режиме работы с заданными Заказчиком значениями регулируемых величин (напряжения в точке подключения УПШР или тока (мощности) УПШР). При этом с помощью средств САУ и оборудования станции контролируются все основные параметры УПШР.

После успешной работы в течении 72 часов комплекс УПШР считается принятым к эксплуатации.

Приведенные в данной статье методики испытаний уже более 10 лет используются на ПАО «Запорожтрансформатор» (Украина) и служат подтверждением надежной работы управляемых подмагничиванием шунтирующих реакторов классов напряжений от 110кВ до 500кВ, мощностей от 25 МВАр до 180 МВАр.

© Copyright 2014 ПАО «Запорожтрансформатор». Документ, или его части, не может копироваться, распространяться или использоваться иным образом без предварительного письменного согласия ПАО «Запорожтрансформатор».