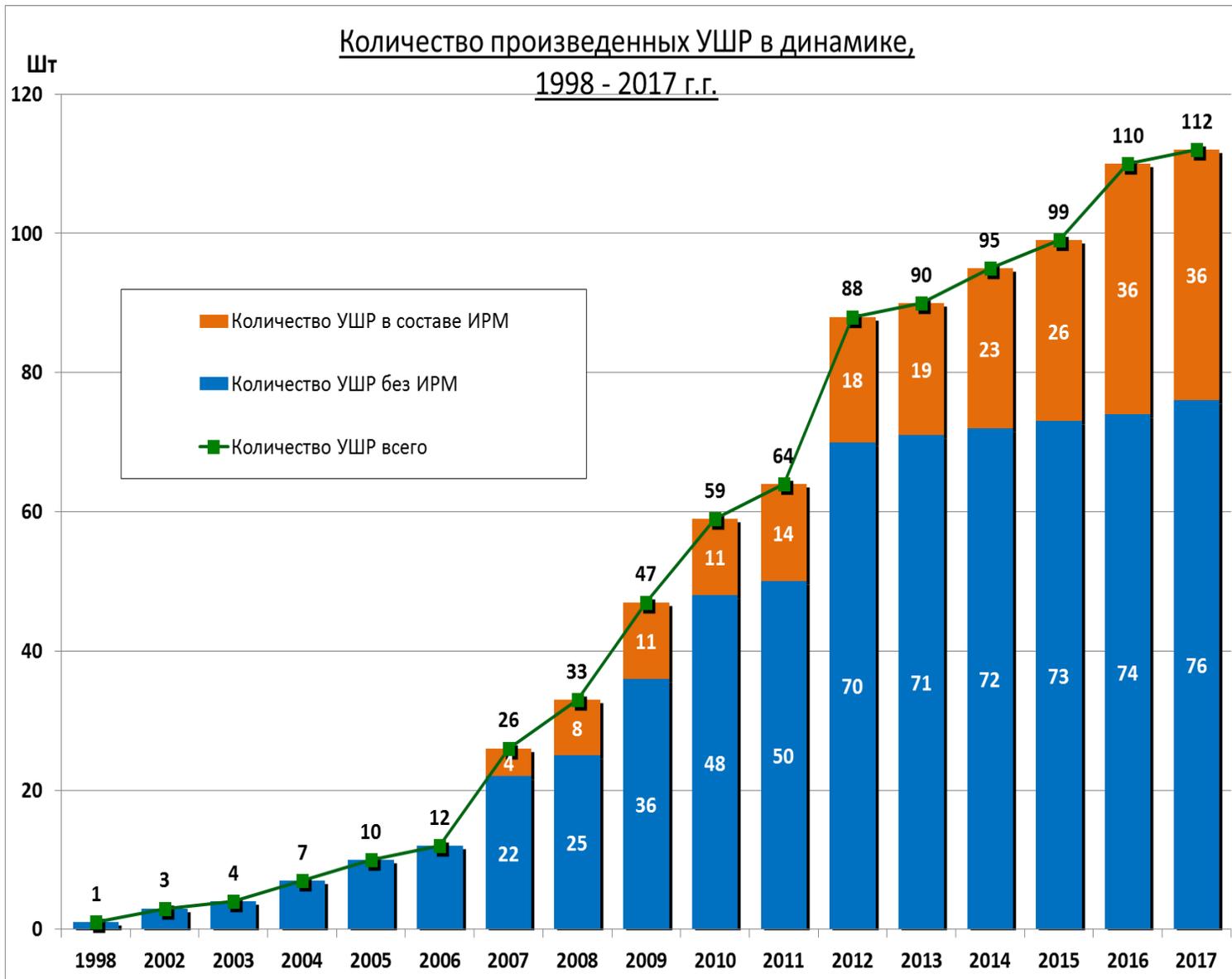




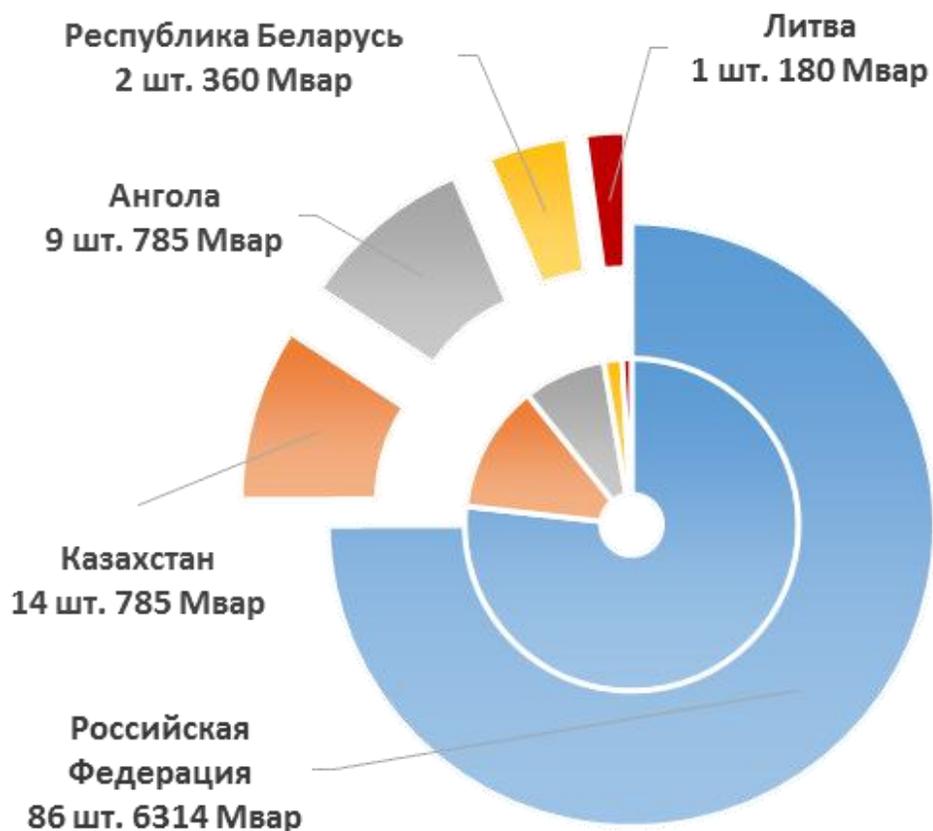
**Устройства компенсации реактивной мощности,
стабилизации напряжения и снижения потерь в
электрической сети, питающей нелинейную,
несимметричную промышленную нагрузку.**

Количество произведенных УШР в динамике,
1998 - 2017 г.г.





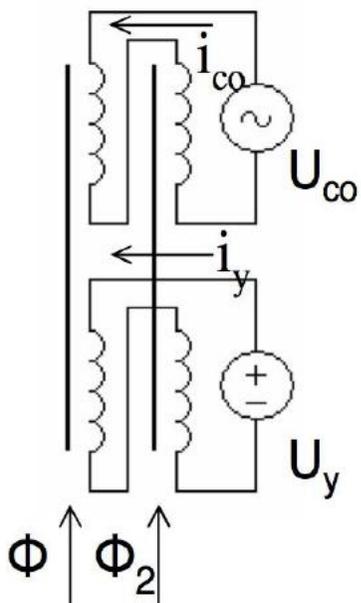
За последние годы УШР и ИРМ подтвердили свою эффективность на 87 объектах (от Заполярья до экватора)



Тип УШР	Класс напряжения	Всего УШР		УШР в составе ИРМ	
	кВ	шт	Мвар	шт	Мвар
10 000/10	10	6	60	6	60
10 000/35	35	4	40	4	40
25 000/35	35	11	275	5	125
25 000/110	110	31	775	10	250
63 000/110	110	1	63	-	-
25 000/220	220	2	50	1	25
63 000/220	220	1	60	-	-
63 000/220	220	7	441	1	60
100 000/220	220	20	2 000	1	100
180 000/330	330	4	720	1	180
100 000/400	400	7	700	7	700
180 000/500	500	18	3 240	-	-
ИТОГО:		112	8 424	36	1 540

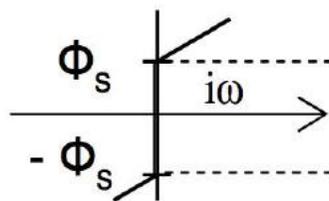


Принципиальная
схема фазы:



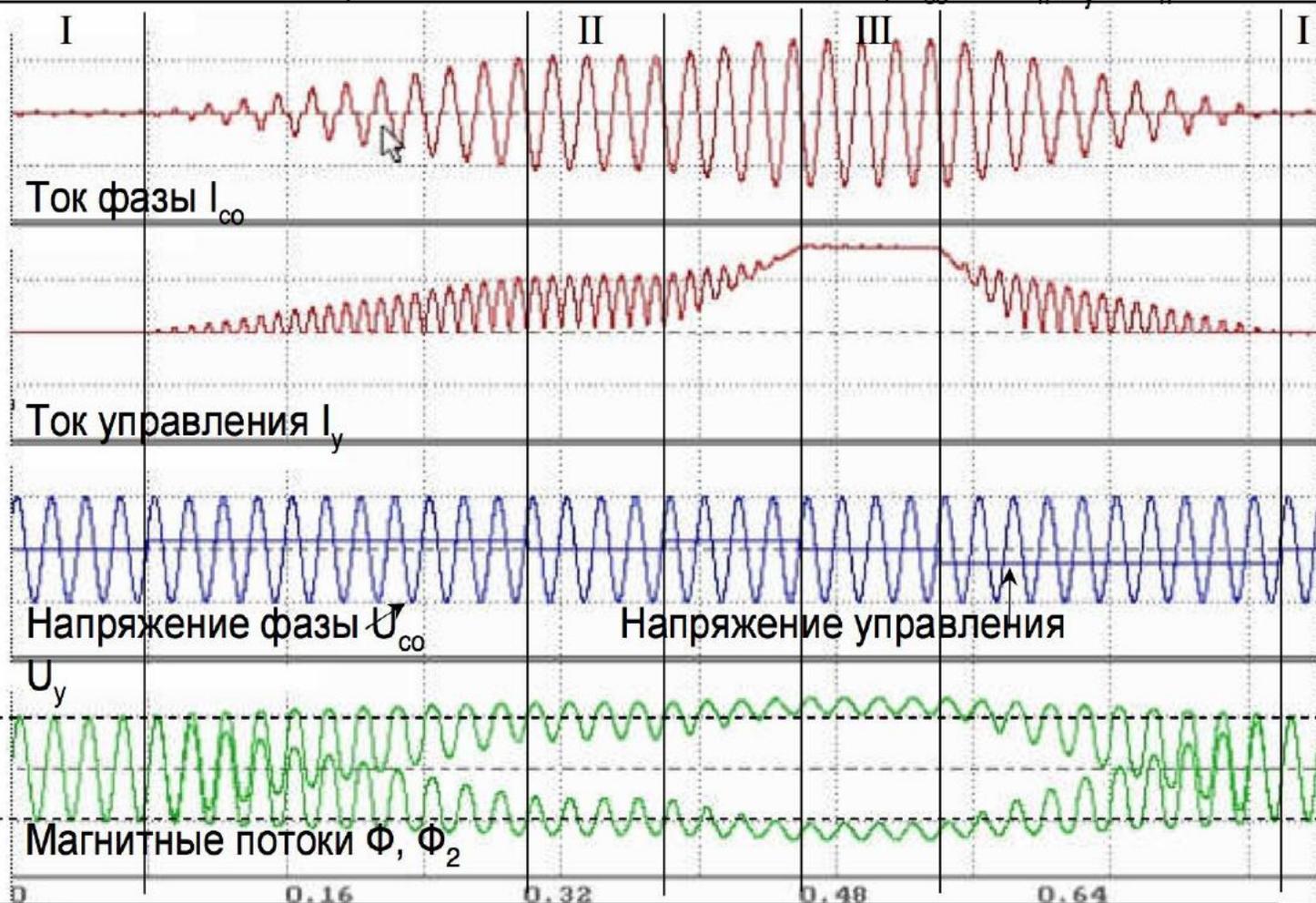
$$U_y = (0,01 \dots 0,03) U_{co}$$

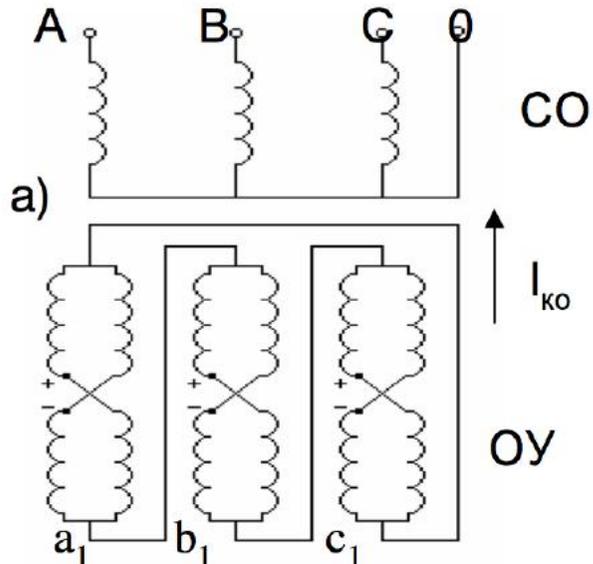
$$\tau = (0,1 \dots 1) \text{с}$$



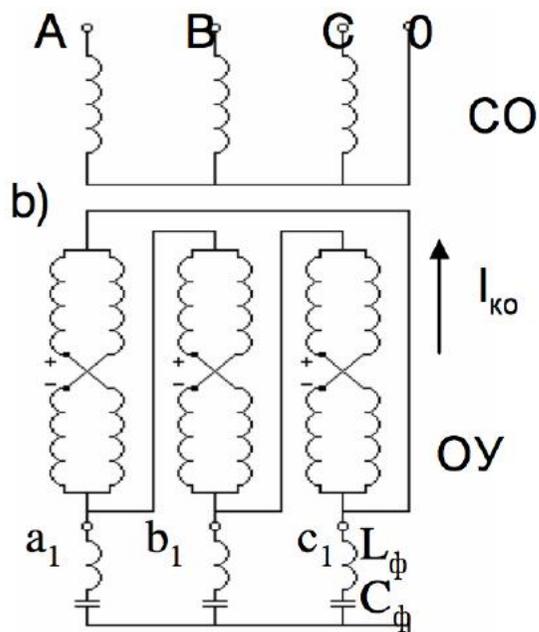
Характерные режимы:

I. Холостой ход (не насыщенный режим) $I_{co} = I_y \approx 0$	II. Номинальный режим (полупериодное насыщение) $I_{co} = I_y = I_H$	III. Максимальный режим (полнопериодное насыщение) $I_{co} = 1,3 I_H ; I_y \approx 2 I_H$
---	---	--



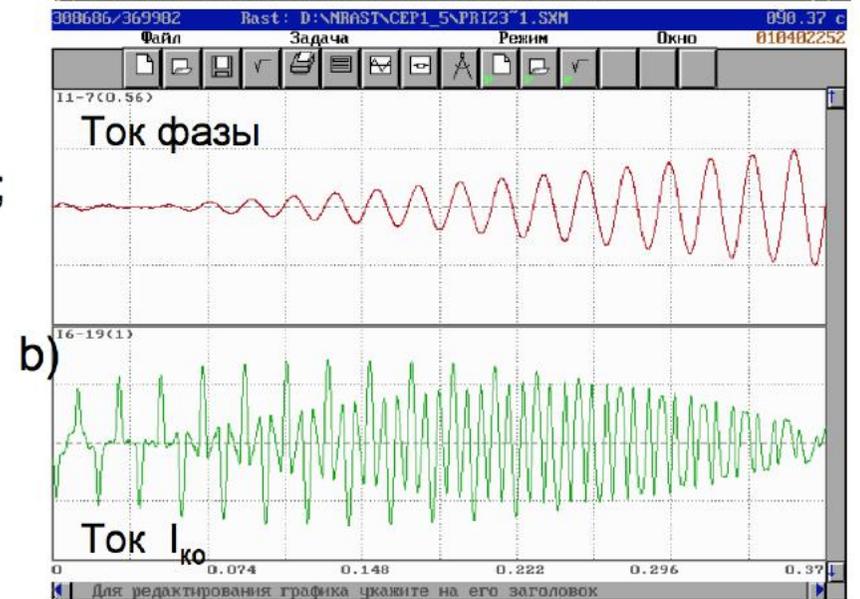
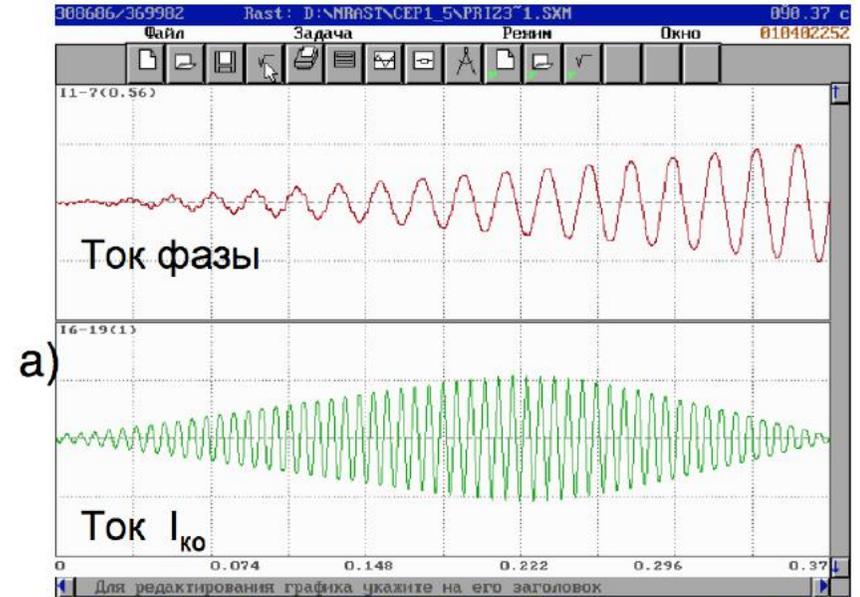


$$a) I_{иск} \leq 0,04 I_H$$



$$b) Q_{\phi} = (0,03 \dots 0,05) Q_H;$$

$$I_{иск} \leq 0,02 I_H$$





Назначение:

Сетевые испытания: регулировочные, динамические, вибро-шумовые, коммутационные характеристики, нелинейные искажения тока, резонансные явления)

Основные технические данные:

Номинальное напряжение	525/ $\sqrt{3}$ кВ
Номинальная мощность	60 Мвар
Диапазон изменения мощности	0,2÷81 Мвар
Время изменения мощности	0,3 с
Потери:	
- холостого хода	90 кВт
- номинальные	465 кВт
Мощность управления	1,8 МВА
Полная масса	138 т



Заключение Заказчика «Дальние Электропередачи»:

Опытно-промышленный образец фаза управляемого реактора РОДЦУ-60/525/ $\sqrt{3}$ успешно прошел испытания и может быть принят за прототип при создании головного образца



Назначение:

Стабилизация напряжения в точке подключения и оптимизация перетоков реактивной мощности в прилегающей сети.

Подключен в параллель с ШКБ 42 Мвар

Основные технические данные:

Номинальное напряжение	121 кВ
Номинальная мощность	25 Мвар
Диапазон изменения мощности	0,25÷30 Мвар
Время изменения мощности	2,0 с
Потери:	
- холостого хода	200 кВт
- номинальные	25 кВт
Мощность управления	160 КВА
Высшие гармоники	<4%
Полная масса	69 т



Заключение Заказчика. Решение выездного семинара РАО «ЕЭС России» на месте установки:

1. Колебания напряжения ограничены до 1,5%
2. В часы максимума нагрузки потери энергии в прилегающей сети снижена до 2,5 МВт
3. За счет повышения пропускной способности транзита строительство дополнительной линии 220 кВ отнесено на 10-15 лет.



Назначение:

Стабилизация напряжения в точке подключения и разгрузка генераторов по реактивной мощности

Основные технические данные:

Номинальное напряжение	220 кВ
Номинальная мощность	100 Мвар
Диапазон изменения мощности	-2,5÷113 Мвар
Время изменения мощности	0,4 с
Потери:	
- холостого хода	87,7 кВт
- номинальные	558 кВт
Мощность управления	1 МВА
Высшие гармоники	<2%
Полная масса	183 т



Заключение Заказчика. Решение НТС РАО «ЕЭС России» от 29.12.2003г:

Рекомендовать ПАО «ФСК ЕЭС» применение аналогичных управляемых реакторов в сети 110-330 кВ.



Назначение:

Стабилизация напряжения в точке подключения, разгрузка генераторов по реактивной мощности

Основные технические данные:

Номинальное напряжение	347 кВ
Номинальная мощность	180 Мвар
Диапазон изменения мощности	-5÷195 Мвар
Время изменения мощности	0,7 с
Потери:	
- холостого хода	138 кВт
- номинальные	753 кВт
Мощность управления	1 МВА
Высшие гармоники	<2%
Полная масса	320 т



Заключение Заказчика. Технический совет «Белэнергосетьпроект»:

Рекомендовать «Белэнерго» применение в сети 330 кВ исключительно управляемые шунтирующие реакторы

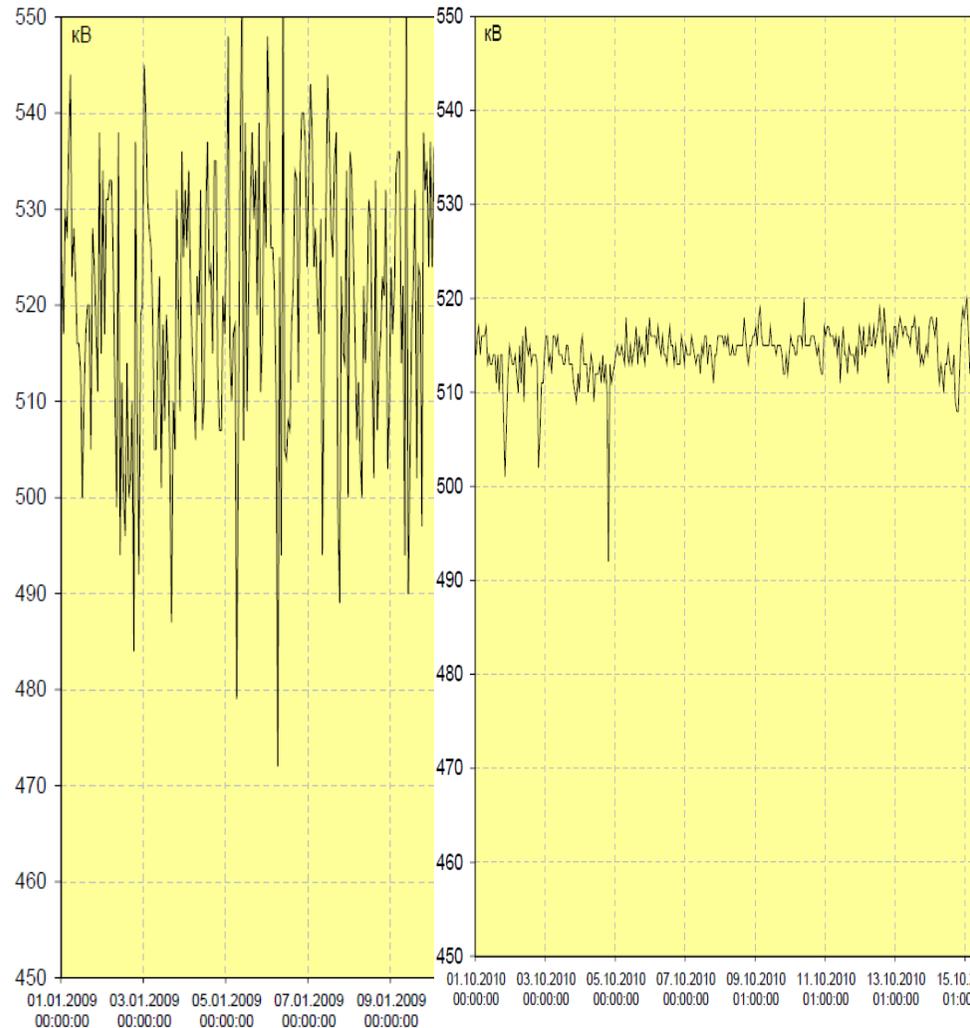


В апреле 2005 г. АО КЕГОС успешно проведено испытание инновационного оборудования в рамках реализации проекта «Строительство второй линии электропередачи 500 кВ транзита Север-Юг».

УШР позволяют:

- оптимизировать режимы работы электрических сетей транзита «Север-Юг Казахстана»
- снизить нормативные потери при транспортировке и распределении электроэнергии
- в десятки раз уменьшает интенсивность износа коммутационного оборудования

В рамках реализации проекта на подстанциях 500 кВ «ЮКГРЭС» и «Агадырь» было установлено 3 единицы УШР 500 кВ производства «Запорожтрансформатор».

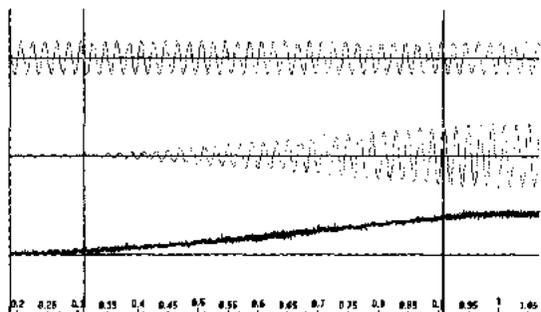


(без УШР)

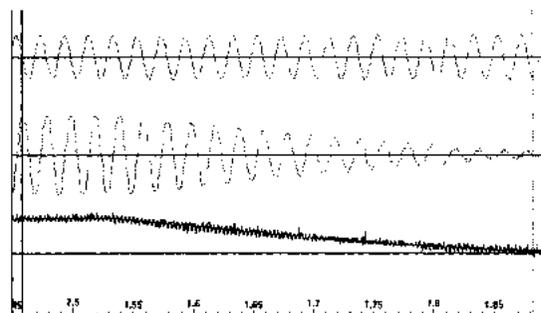
(с внедрением УШР)



Максимальная скорость изменения токов в нормальном режиме, УШР 110/220 ПС «Чита»

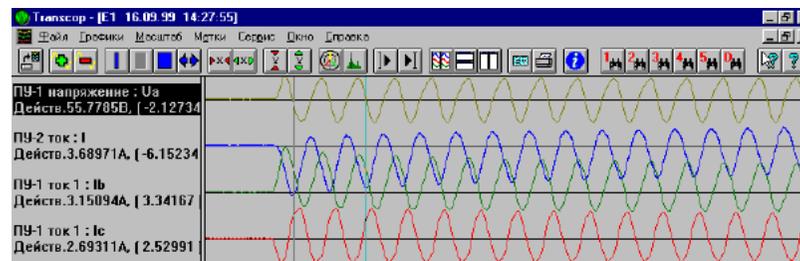


а)



б)

Токи фаз УШР 25/110 п/ст «Кудымкар», при подключении к сети



1 – напряжение сети

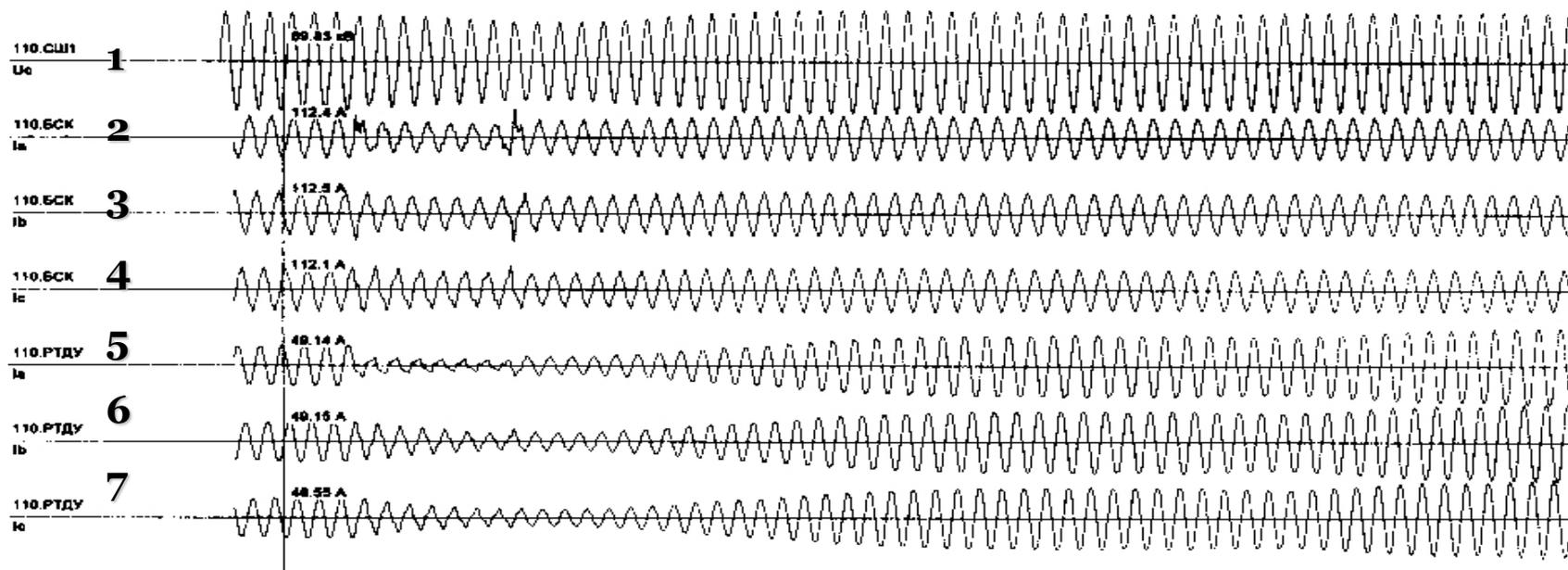
2 – токи фаз

3 – ток управления



Переходные процессы в управляемом реакторе 25 МВА, 110 кВ и батареях конденсаторов 23 МВА, 110 кВ на ПС «Игольская» при удаленном КЗ на ПС «Парабель» (расстояние около 350 км).

ПС Игольская 11-Апр-2005 13:11:17.171 АК: 110.СШ1.Уа

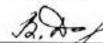
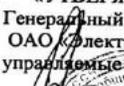
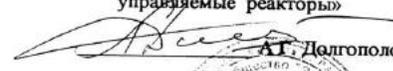


- 1 – напряжение шин 110 кВ ПС «Игольская» фаза «С».
- 2, 3, 4 – токи фаз батареи конденсаторов 23 МВА, 110 кВ.
- 5, 6, 7 – токи фаз управляемого реактора 25 МВА, 110 кВ.



Опыт эксплуатации первых промышленных образцов УШР положительно сказался на признании инновации одной из крупнейших электросетевых компаний – ПАО «ФСК ЕЭС».

Так, в 2004 году на серию реакторов УШР в установленном порядке дополнительно были разработаны и согласованы технические условия ТУ 3411-001-53950285-2004 «Реакторы управляемые трехфазные масляные тип РТУ мощностью от 32000 до 180000 квар классов напряжения 110, 220, 330 и 500 кВ».

ОКП 34 1127	ГР	от
	Группа	Е 64
«СОГЛАСОВАНО» Зам. Председателя Правления ОАО «ФСК ЕЭС»  В.В. Дорофеев «06»  2004 г.	«УТВЕРЖДАЮ» Генеральный директор ОАО «Электрические управляемые реакторы»  А.М. Брянтsev «07»  2004 г.	
РЕАКТОРЫ УПРАВЛЯЕМЫЕ ТРЕХФАЗНЫЕ МАСЛЯНЫЕ ТИПА РТУ МОЩНОСТЬЮ ОТ 32000 ДО 180000 КВА КЛАССОВ НАПРЯЖЕНИЯ 110, 220, 330 И 500 КВ		
ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТУ 3411-001-53950285-2004 Вводятся впервые Срок действия: с 07.2004 по 07.2007 г.		
«СОГЛАСОВАНО» Первый заместитель генерального директора – главный инженер ОАО «Институт Энергосетьпроект»  А.Т. Долгополов «14»  2004 г.	«РАЗРАБОТАНО» Технический директор ОАО «Электрические управляемые реакторы»  А.Т. Долгополов «5»  2004 г.	
2004 г.		



ОСНОВНЫЕ:

1. Регулируется автоматически или с помощью оператора значение потребляемой мощности в диапазоне от 0,01 до 1,2 номинальной с неограниченным ресурсом возможных изменений.

2. Гарантированная скорость плавного изменения мощности от одного установившегося значения к другому 0,3÷0,5 с.

3. Действующее значение тока искажения, потребляемого из сети, во всем диапазоне регулирования не более 5% от номинального тока основной гармоники.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ:

4. Сохранение работоспособности в несимметричном и неполнофазном режимах.

5. Быстрый, не более чем за 0,02 с, переход из любого текущего значения в режим повышенного потребления мощности, с последующим возвратом в исходное состояние.

6. Корректировка формы потребляемого тока с уменьшением тока искажения до 2 % от номинального значения основной гармоники.

7. Отбор мощности на стороне низкого напряжения.



1. Основные технико-экономические показатели УШР серии РТУ 110 – 500 кВ:
 - удельная полная масса 1,5 – 3 кг/КВАр;
 - удельные потери:
 - холостого хода 0,5 – 1,0 Вт/КВАр;
 - номинальные 4 – 8 Вт/КВАр.
2. Эксплуатационные показатели:
 - полностью автоматический режим эксплуатации;
 - издержки эксплуатации, надежность, текущее обслуживание аналогично обычным шунтирующим реакторам.
3. Функциональные показатели:
 - в полном объеме выполняют функции обычных шунтирующих реакторов, ступенчато регулируемых реакторов, тиристорно-реакторных групп;
 - в сочетании с батареями конденсаторов выполняют функции синхронных или тиристорных компенсаторов.



Оборудование источники реактивной мощности (IPM) на базе УШР и БСК полностью соответствует электротехническим требованиям, признано научным сообществом и внесено в Справочник по проектированию электрических сетей (под редакцией Д.Л. Файбисовича) в качестве устройств «Стабилизации напряжения и управления перетоками реактивной мощности» с указанием номенклатуры и схем IPM для классов напряжения 6÷500 кВ.

Сегодня выпускаемые промышленно IPM являются по существу первым отечественным оборудованием для FACTS-технологии – комплекса технических и информационных средств автоматического управления параметрами линий электропередачи.

Справочник по проектированию электрических сетей

стр. 276-280 (под редакцией Д.Л. Файбисовича)

Таблица 5.48

Источники реактивной мощности на базе управляемых подмагничиванием шунтирующих реакторов 6–500 кВ, фильтрокомпенсирующих устройств и батарей статических конденсаторов (БСК)

Наименование	Схема*	$U_{ном}$, кВ**	Q_p , Мвар**	QФКУ, Мвар	QБСК, Мвар***
ИРМ–6/3,6 (6,3)/3,6		6	3,6	–	3,6 (6,3)
ИРМ–6/6,3 (12,6)/6,3		6	6,3	–	6,3 (12,6)
ИРМ–6/10 (20)/10		6	10	–	10 (20)
ИРМ–10/3,6 (6,3)/3,6		10	3,6	–	3,6 (6,3)
ИРМ–10/6,3 (12,6)/6,3		10	6,3	–	6,3 (12,6)
ИРМ–10/10 (20)/10		10	10	–	10 (20)
ИРМ–35/10 (20)/10		35	10	–	10 (20)
ИРМ–35/16 (32)/16		35	16	–	16 (32)
ИРМ–35/25 (50)/25		35	25	–	25 (50)
ИРМ–110/25 (50)/25			110	25	2,5
ИРМ–110/50 (100)/50	110		50	5	50 (100)
ИРМ–220/30/100	220		100	10	30****
ИРМ–220/50 (100)/100	220		100	10	50 (100)
ИРМ–220/100 (200)/100	220		100	10	100 (200)
ИРМ–330/10/100		330	100	10	–
ИРМ–330/50/100		330	100	10	до 50****
ИРМ–330 (500)/18/180		330; 500	180	18	–
ИРМ–330 (500)/90/180		330; 500	180	18	до 90****

* Возможно применение других схем IPM



Без ИРМ:

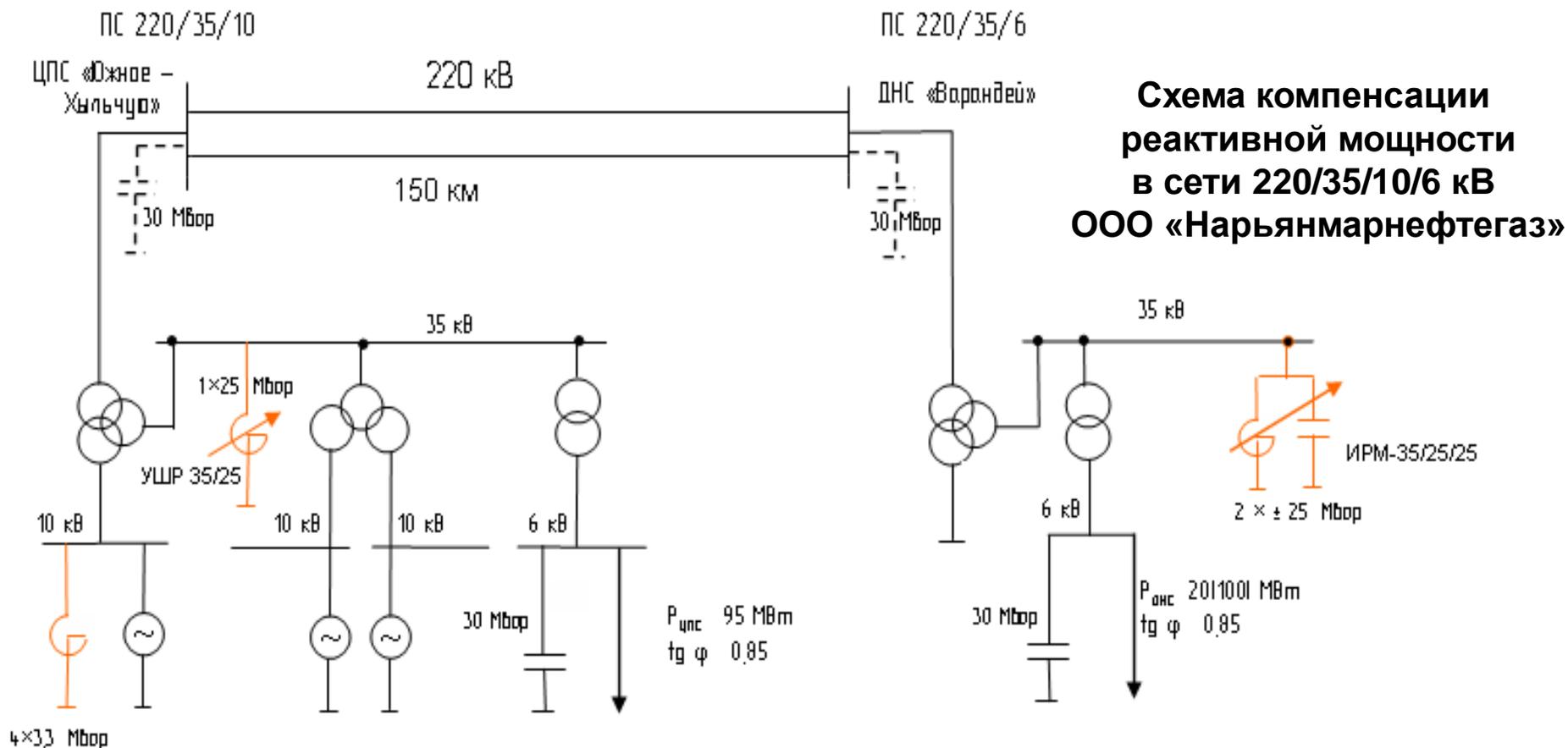
- Нарушения электроснабжения в сетях АО «КЕГОС»
- Ограничения со стороны КЕГОС из-за низкой пропускной способности АТ 220/110 кВ в ремонтный период
- Низкий уровень напряжения (105 кВ) и рост электропотребления
- Непокрытие потребности ТП и ПККР за счет собственной генерации
- Снижение добычи

С внедрением ИРМ:

1. Стабилизация напряжения 110 кВ с точностью $\pm 0,5$ % при колебаниях напряжения в сети 220/110 кВ до $\pm 15\%$ от номинального
2. Устойчивость работы сети 110/6 кВ при коротких замыканиях в сети 220/110 кВ, глубоких кратковременных провалах напряжения (до 30%) и асинхронном ходе в сети 220 кВ АО «КЕГОС»
3. Обеспечение устойчивости работы ГТУ в стабильном режиме с заданным $\cos \varphi$ (диапазон 0,98-0,9) с максимальной выработкой активной мощности
4. Повышение пропускной способности собственной сети 110/6 кВ на 25 %
5. Уменьшение потерь на 15-20 % за счет снижения $\operatorname{tg} \varphi$ нагрузки и стабилизации напряжения шин 110 кВ
6. Исключение работы РПН трансформаторов в нормальных режимах



Изолированная энергосистема



Без ИРМ:

1. Несбалансированные перетоки реактивной мощности
2. Нестабильное электроснабжение
3. Отключения ГТУ при подключении ВЛ 220 кВ

С внедрением ИРМ:

1. Стабилизация уровней напряжения
2. Надежное электроснабжение потребителей во всех режимах



Основные исходные данные для разработки схемы компенсации реактивной мощности электрической сети 35/220 кВ ООО «Нарьянмарнефтегаз»

1. Общая однолинейная схема электроснабжения на напряжение 220,35,10,6 кВ (разработчик ОАО «Гипровостокнефть» - чертежи №9957-000-PSS-002_4, №9957-000-PSS-0034) прилагается.
 2. Номинальная мощность передачи:
 - сеть 220 кВ- 20 МВт (с перспективой увеличения мощности до 100 МВт);
 - сеть 35 кВ (ЦПС + кусты) - 95 МВт.
 3. Диапазон изменения мощности в нормальных режимах от 85 МВт (летний период) до 115 МВт (зимний период), в том числе:
 - суточный 95-100%
 - недельный 98-100%
 4. Расчетный тангенс нагрузки $\operatorname{tg} \phi=0,85$
 5. Расчетный ремонтный режим сети 220 кВ - отключение одной из цепей 220 кВ.
 6. Послеаварийный (пусковой) режим-подключение электрической сети 35/220кВ при нулевой нагрузке.
 7. Требования к качеству напряжения в сети 35/220 кВ, обеспечиваемые средствами компенсации реактивной мощности (при среднем положении РПН трансформаторов 220/35 и номинальном напряжении на шинах генераторов)
 - 7.1 В нормальных режимах:
 - автоматическая стабилизация напряжения 35/220 кВ в диапазоне $(36,5 \pm 0,35/ 230 \pm 2,5)$ кВ
 - 7.2 В ремонтном режиме:
 - автоматическая стабилизация напряжения 35 кВ в диапазоне $35 \div 36$ кВ
 - автоматическая стабилизация напряжения 220 кВ в диапазоне $220 \div 225$ кВ
 - 7.3 В после аварийном режиме (пусковом) - автоматическая стабилизация напряжения в диапазоне $35 \div 36$ кВ и $220 \div 225$ кВ
 - 7.4 Гарм. состав напряжений 35/220 кВ - в соответствии с требованиями ГОСТ 131 09-97
 - 7.5 Требования к ограничению перетоков реактивной мощности: - в соответствии с приказом Минпромэнерго РФ №49 от 22.02.2007г.
 - 7.6 Во всех режимах работы сети режима нагрузки генераторов - активно-индуктивный с $\cos \phi \leq 0,96$.
 8. При включении трансформатора 63 МВ А 35/6 кВ толчком от шин генератора происходит останов генераторов. На данный момент с институтом отрабатывается реализация схемы синхронизации на стороне 35 кВ для плавного включения цепи генератор-трансформатор.
- Примечания:
-на сегодняшний день схема укомплектована:
БСК-6 кВ (кусты) - 23,7 Мвар с подключением к ячейкам ПС 35/6 кВ кустов;
БСК-10 кВ (ЦПС) - 3,6 Мвар с подключением к ячейкам РУ 10 кВ.
-планируется закупка шунтирующих реакторов 3,3 Мвар 10 кВ -4шт., и 3,3 МВАР 6кВ 2шт.



ОПЫТ применения компенсирующих устройств на ПС-110кВ. «Игольская» и «Двуреченская» для электроснабжения нефтяных месторождений ОАО «Томскнефть» (Октябрь 2004г.- март 2005г.)

1. К исходу 2003года на нефтяных месторождениях Южного Васюгана ОАО «Томскнефть» возникла кризисная ситуация. **Пропускная способность** электропередачи 110 кВ «Парабель-Лугинецкая-Игольская-Крапивинская» была исчерпана, а уровни напряжения на ПС-110 «Крапивинская» **не превышали 85 % номинального.**

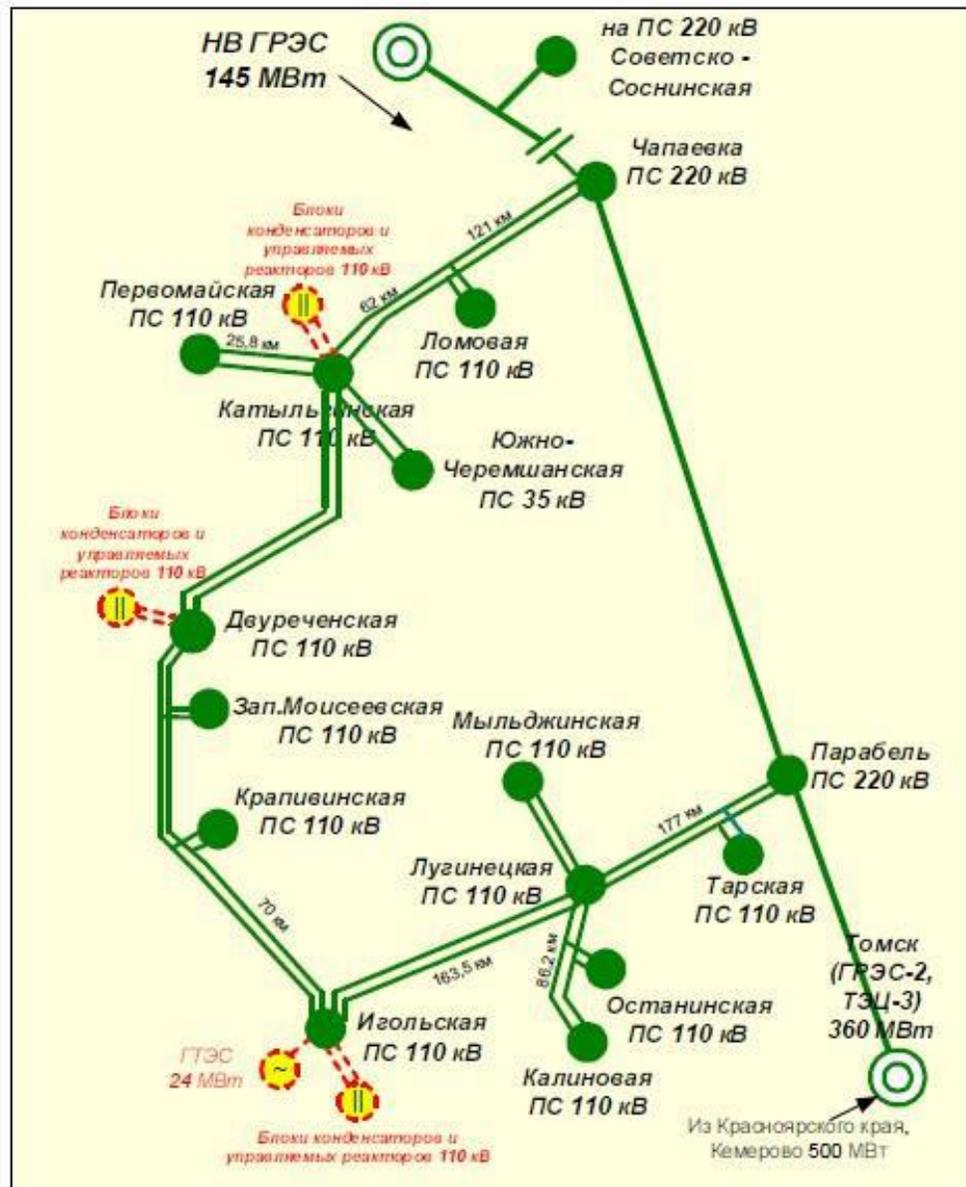
2. И только в августе-октябре 2004года после ввода на ПС-110 «Игольская» батареи статических конденсаторов (БСК) 23МВАР, управляемого шунтирующего реактора (УШР) 25МВАР и ПС-110 «Двуреченская» с БСК-23 и УШР-25 ситуация изменилась коренным образом в лучшую сторону. **Пропускная способность выросла на 30-50% , уровни напряжения достигли 105-110% номинального и могут регулироваться в широком диапазоне в зависимости от режимов.**

3. Даже непродолжительный период эксплуатации реакторов РТУ- 25000/110-У1 позволяет отметить, что реакторы совместно с батареями статических конденсаторов:

3.1. Обеспечивают оптимальные потоки реактивной мощности позволяющие довести передаваемую мощность до предельно допустимой по сечению проводов. По состоянию нагрузок на март 2005г обеспечивается 100% взаимное резервирование эл.нагрузок электропередачи «Парабель - Двуреченская - Чапаевка»(Таблица 3). Необходимость перевода региона на напряжение 220кВ потеряло свою актуальность.

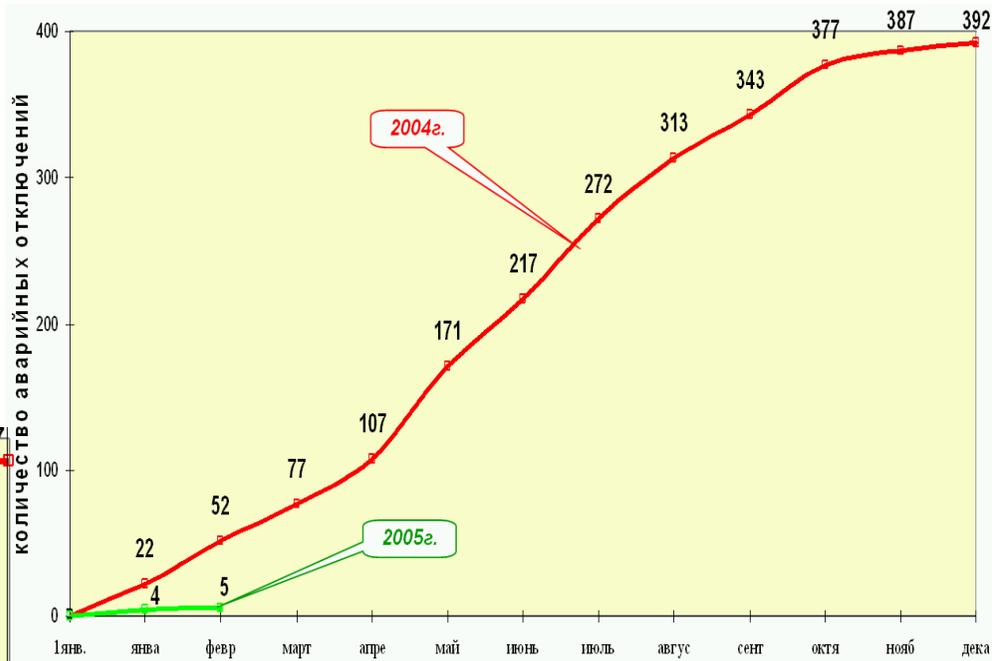
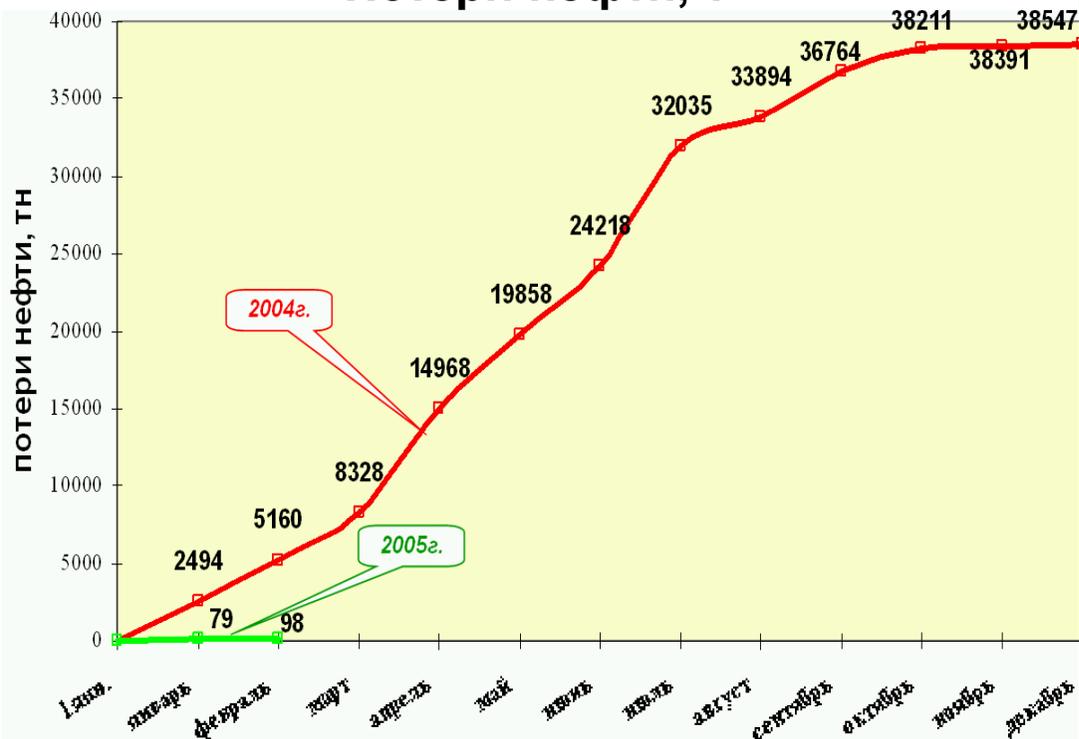
3.2. Снижают потери активной мощности в проводах ВЛ-110кВ. При нагрузке 72 МВт потери составляют 7,5 МВт против 11,9 МВт, в том числе в сетях ООО «ЭнергонефтьТомск» 1.8 МВт против 2,9 МВт.

3.3. Обеспечивают плавную автоматическую стабилизацию заданных уровней напряжения в установившихся режимах, при сокращении числа коммутаций БСК и РПН в десятки раз.





Потери нефти, т



Количество аварийных отключений



В конце 2018 года закончилась масштабная реконструкция цифровой подстанции 220 кВ «Петровск-Забайкальская, которая позволяет увеличить переток между Республикой Бурятией и Забайкальским краем, повысить надежность электроснабжения потребителей, в числе которых объекты Транссибирской магистрали. Общий объем вложений ПАО «ФСК ЕЭС» (входит в группу «Россети») в проект составит 2,15 млрд рублей.

Интеллектуальные функции в системах сбора и обработки информации, управления и автоматизации подстанций позволяют тщательно контролировать допустимую нагрузку и эксплуатировать электросетевое оборудование с максимальной эффективностью.

Одним из элементов интеллектуальной сети Smart Grid в рамках строительства цифровой подстанции стало внедрение **двух** управляемых шунтирующих реакторов:

- модернизированной серии
- мощностью 25 Мвар
- напряжением 35 кВ
- производства CLEVER REACTOR SIA.



**Заказчик Филиал ПАО
«ФСК ЕЭС» – МЭС
Сибири**



**Генеральный
подрядчик
ООО «ЭЛВЕСТ»**



**Производитель УШР
CLEVER REACTOR SIA**



**Инжиниринг и авторское
сопровождение
ООО «ЭСКО»**



ПС 220 кВ Петровск-Забайкальская стала **21 объектом** в МЭС Сибири, на котором установлены УШР с подмагничиванием разработки ООО «ЭСКО».







**Заказчик Филиал ПАО
«ФСК ЕЭС» – МЭС
Сибири**



**Генеральный
подрядчик
ООО «ЭЛВЕСТ»**



**Производитель УШР
CLEVER REACTOR SIA**



**Инжиниринг и авторское
сопровождение
ООО «ЭСКО»**



ПС 220 кВ Петровск-Забайкальская стала **21 объектом** в МЭС Сибири, на котором установлены УШР с подмагничиванием разработки ООО «ЭСКО».



- 1. Значительные колебания напряжения на шинах 35 кВ. При регулировании мощности УШР-1, УШР-2 при изменении мощности от холостого хода до номинального значения зафиксировано изменение напряжения от 40,5 кВ до 33,5 кВ, что составляет 20% от номинального значения**
- 2. В прилегающей сети, питающей нелинейную несимметричную нагрузку, периодически возникают несимметричные режимы с нерегулярным изменением несимметрии.**
- 3. В автоматическом режиме УШР-1, УШР-2 обеспечивают стабилизацию напряжения с точностью 0,3% от заданного значения**



- 1. С начала ввода в эксплуатацию УШР-1, УШР-2 стабилизируют напряжение в полном соответствии с требованиями технической спецификации Заказчика.**
- 2. Результаты эксплуатации УШР-1, УШР-2 получили положительную оценку персонала подстанции.**
- 3. Опыт эксплуатации полностью подтвердил функциональные возможности модифицированной серии. Модифицированные УШР с расширенными функциональными возможностями позволяют:**
 - регулировать и автоматически стабилизировать напряжение,**
 - устранять нелинейные искажения**
 - восстанавливать симметрию режимов трехфазной сети.**