

Управляемые высоковольтные системы
стабилизации напряжения индуктивно-ёмкостного типа.
Динамика и тенденции их инновационного развития.

Управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы (УШР) – плавнорегулируемые индуктивные сопротивления, управляемые изменением насыщения магнитной цепи.

Применение УШР целесообразно в электрической сети с переменным графиком нагрузки вместо нерегулируемых или ступенчаторегулируемых реакторов.

Работы по созданию эффективного инновационного оборудования для **автоматического регулирования напряжения** были начаты еще в конце прошлого века.

Так, в 1989 году коллективом российских ученых и конструкторов был создан опытно-промышленный образец фазы управляемого шунтирующего реактора мощностью 60 Мвар для ВЛ-500 кВ, который успешно прошел все заводские испытания и подтвердил эффективность на сетевом стенде подстанции 500 кВ «Белый Раст» ПО «Дальние электропередачи».



**Фаза реактора РОДЦУ-60/525/ $\sqrt{3}$
на ПС 500 кВ «Белый Раст», 1989 г.**

*Трехфазный управляемый подмагничиванием
Шунтирующий реактор 110 кВ типа РТУ-25000/110
на ПС 110 кВ «Кудымкар» «Пермэнерго», 1999 год.*



Следующим этапом в разработке систем стабилизации напряжения послужило создание в 1998 году головного промышленного образца УШР типа РТУ-25000/110-У1 (управляемого шунтирующего реактора 110 кВ мощностью 25 Мвар), который, совместно с установленной на подстанции 110 кВ «Кудымкар» в сетях «Пермэнерго» батареей статических конденсаторов (БСК) мощностью 52 Мвар, вот уже на протяжении 15 лет эффективно решает вопросы стабилизации напряжения в сети.

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. Брицнев
Электрические
управляемые реакторы
«01» 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»



«14» 2004 г.

«РАЗРАБОТАНО»
Технический директор
ОАО «Электрические
управляемые реакторы»



«5» 2004 г.

2004 г.

Таблица 5.48

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

Источник реактивной мощности (ИРМ) на базе УШР и батарей конденсаторов выполняет функцию синхронных или статических тиристорных компенсаторов.

Оборудование ИРМ 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 ИРМ для классов напряжения 6÷500 кВ.

На сегодняшний день выпускаемые промышленно источники реактивной мощности (ИРМ) на базе УШР и БСК являются по существу первым отечественным оборудованием для FACTS-технологии - комплекса технических и информационных средств автоматического управления параметрами линий электропередачи.

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	25 (50)
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 ИРМ

Справочник по проектированию электрических сетей стр. 276-280 (под редакцией Д.Л. Файбисовича)

Применение ИРМ позволяет превратить электрическую сеть из «пассивного» устройства транспорта электроэнергии в «активный» элемент управления режимами работы и обеспечивает:

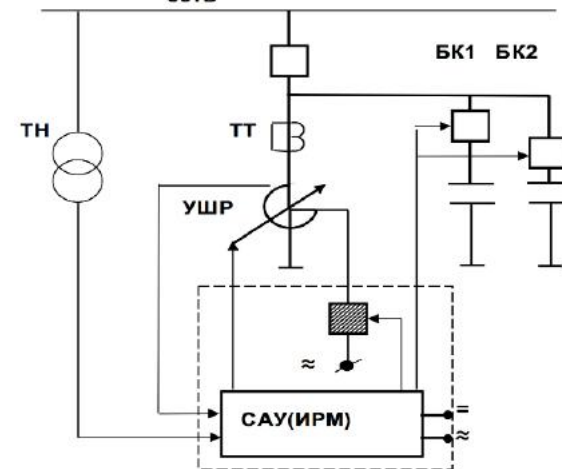
- регулирование напряжения в точке подключения в диапазоне $\pm 15\%$ от номинального напряжения
- автоматическую стабилизацию напряжения по заданной уставке с точностью $0,5\%$
- повышение пропускной способности прилегающей сети до 1,5 раз
- снижение удельных потерь в сети вплоть до 30%
- снижение уровня высших гармоник напряжения сети до требования ГОСТ
- снижение предпосылок развития аварий из-за локальных аварийных возмущений в сети
- устойчивую работу генераторов с оптимальным $\cos \varphi$



Источник реактивной мощности на базе УШР типа РТМУ-10000/35-УХЛ-1 на ПС 35 кВ «Ванкор», 2011 г.

Состав оборудования ИРМ:

- УШР (управляемый шунтирующий реактор)
- БСК (батареи статических конденсаторов)
- САУ (станция автоматического управления)

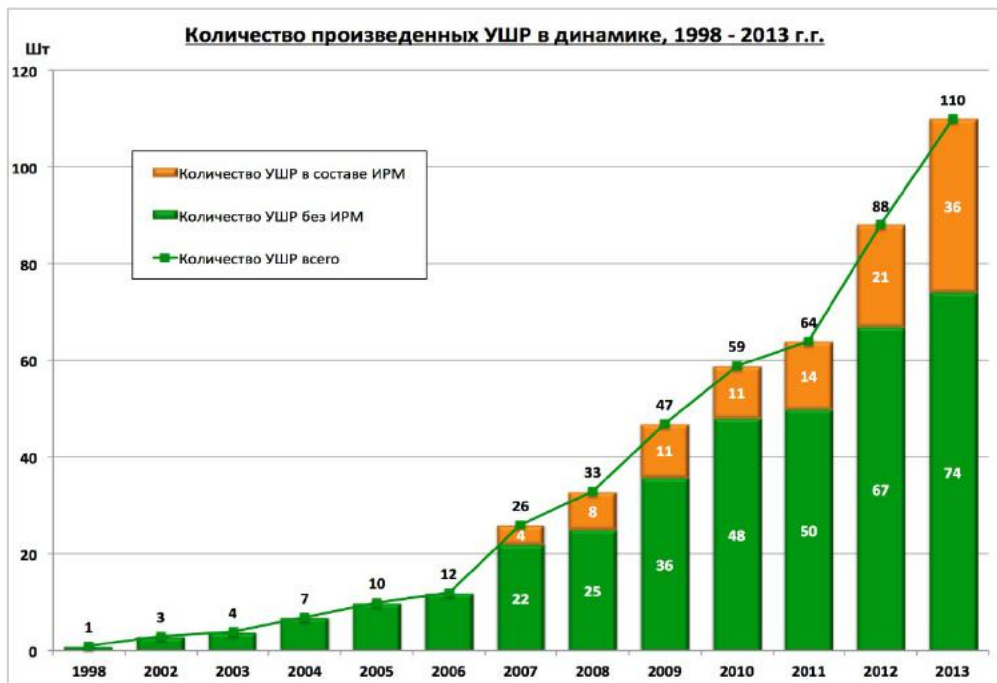


За последние 15 лет УШР и ИРМ подтвердили свою эффективность на 86 объектах (от Заполярья до экватора).

География поставок УШР

	Россия	Казахстан	Ангола	Беларусь	Литва
Количество, шт *	84	14	9	2	1
Мощность, Мвар	6264	785	785	360	180

* - в том числе в составе ИРМ.



При этом объем поставок оборудования по проектам с использованием технических решений ООО «ЭСКО» за этот период составил 8374 Мвар, из них 33% в количественном исчислении в составе ИРМ (1540 Мвар), в том числе 19 штук УШР 6÷35 кВ суммарной мощностью 325 Мвар.

Производство УШР и ИРМ с 1998 г. по 2017 г.

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	8	504	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

2009 год – возникла потребность применения ИРМ в слабых и изношенных электрических сетях среднего напряжения региональных электросетевых и нефтедобывающих компаний - реализованы первые ИРМ для сети 35 кВ.

2011 год - налажено производство и поставка ИРМ 6, 10 и 35 кВ на основе управляемых реакторов нового поколения (SIA Clever Reactor), обладающих лучшими техническими характеристиками и меньшими массогабаритными параметрами.

Ассортимент выпускаемого оборудования динамично расширялся в зависимости от потребностей и на сегодня включает в себя следующее:

Наименование	Номинальная мощность, Мвар				
УШР 6, 10, 35 кВ для электрических сетей с изолированной нейтралью	3,6	6,3	10	16	25
УШР 110, 220, 330, 500, 750 кВ для электрических сетей с заземленной нейтралью	25	63	100	180	330
ИРМ 6 ÷ 750 кВ на базе УШР и БСК	от ± 3,6 до ± 330				

Настоящее время:

Активно ведется работа по совершенствованию оборудования. Так, с учетом проведенных исследований, накопленного опыта проектирования, производства, анализа результатов многих заводских и сетевых испытаний, специалистами ООО «ЭСКО» проведена очередная инновационная разработка для FACTS-технологии:

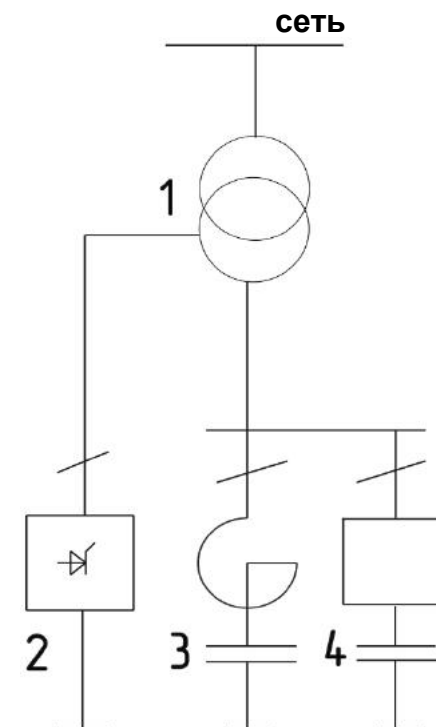
Статический компенсатор реактивной мощности электромагнитного типа, обладающий лучшими технико-экономическими показателями.

Дополнительные преимущества:

- возможность регулирования напряжения сети на стороне вторичного напряжения
- использование БСК низшего класса напряжения
- отбор мощности на стороне вторичной обмотки с сохранением регулировочных функции оборудования

Состав оборудования:

1. Специальный трансформатор с регулируемым насыщением фаз
2. Быстродействующий регулятор насыщения фаз трансформатора
3. Широкополосный фильтр высших гармоник
4. БСК (батареи статических конденсаторов)



KEGOC внедряет новые технологии в НЭС Казахстана

АО KEGOC успешно проведено испытание инновационного оборудования в рамках реализации прорывного проекта «Строительство второй линии электропередачи 500 кВ транзита Север-Юг».

В период с 3 по 6 апреля на подстанции (ПС) 500 кВ «Агадырь» проводилось комплексное опробование управляемого трехфазного шунтирующего реактора (УШР) 500 кВ.

УШР предназначены для автоматического управления потоками реактивной мощности и отличаются высоким уровнем энергосбережения. Оборудование указанного типа применяется впервые в Республике Казахстан.

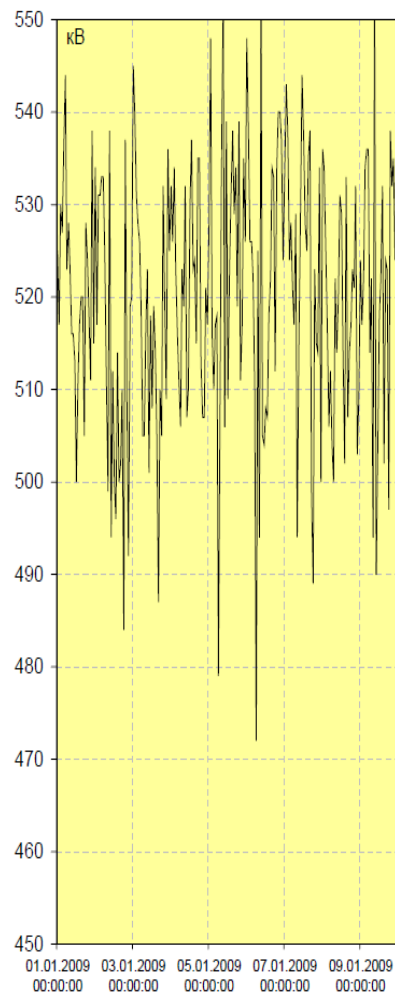
Внедрение новых технологий в НЭС Казахстана имеет ряд положительных преимуществ, включая повышение качества энергоснабжения и предоставляемых услуг потребителям.

Инновационные решения, основанные на управлении подмагничиванием шунтирующих реакторов, позволяют оптимизировать режимы электрической сети, снизить нормативные потери при транспортировке и распределении электроэнергии.

УШР представляет собой уникальный комплекс, обеспечивающий стабилизацию напряжения и управление мощностью в протяженных линиях электропередач и распределительных сетях.

Эксплуатация управляемых реакторов улучшит режим работы электрических сетей транзита «Север-Юг Казахстана», в десятки раз уменьшает интенсивность износа коммутационного оборудования.

Всего, в рамках реализации проекта «Строительство второй линии электропередачи 500 кВ транзита Север-Юг» на подстанциях 500 кВ «ЮКГРЭС» и «Агадырь» будет установлено 3 единицы (УШР) 500 кВ (производство ОАО «Запорожтрансформатор»).



(без УШР)



(с внедрением УШР)

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.

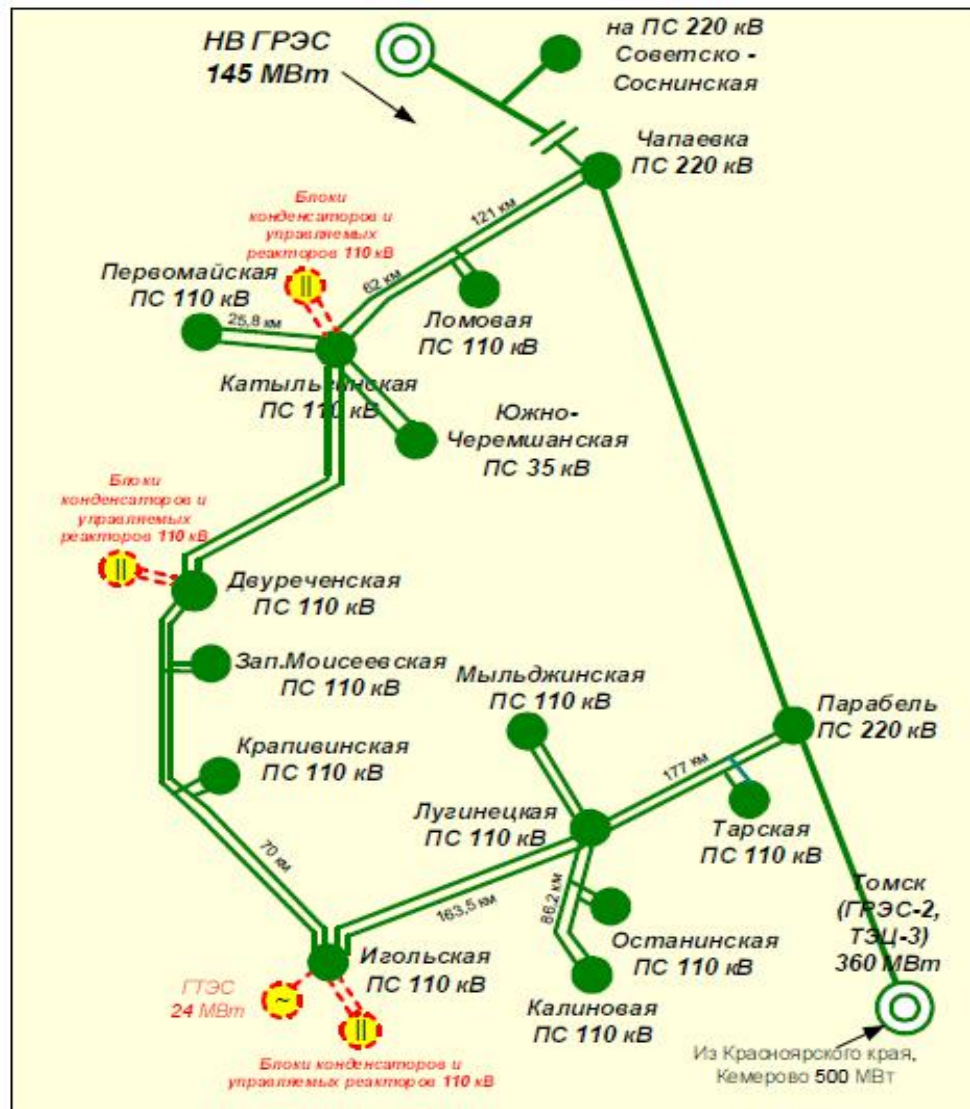
2. И только в августе-октябре 2004года после ввода на ПС-110 «Игольская» батареи статических конденсаторов (БСК) 23МВАР, управляемого шунтирующего реактора (УШР) 25МВАР и ПС-110 «Двуреченская» с БСК-23 и УШР-25 ситуация изменилась коренным образом в лучшую сторону. Пропускная способность выросла на 30-50% , 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:

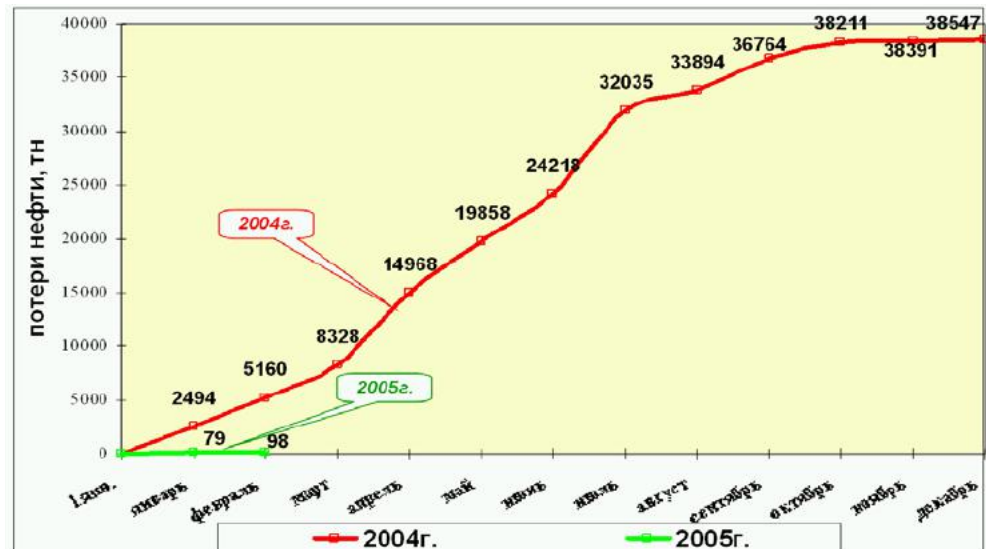
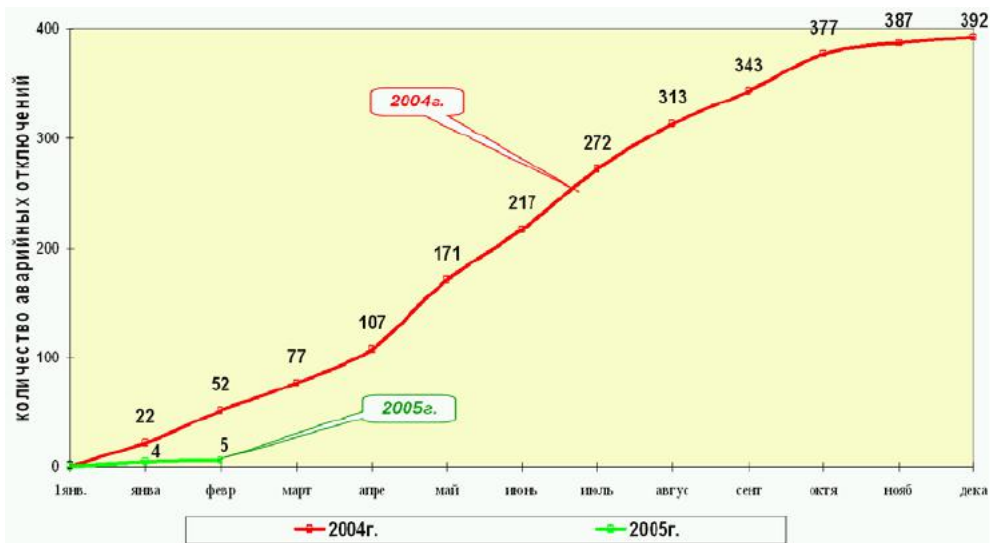
3.1. Обеспечивают оптимальные потоки реактивной мощности позволяющие довести передаваемую мощность до предельно допустимой по сечению проводов. По состоянию нагрузок на март 2005г обеспечивается 100% взаимное резервирование эл.нагрузок электропередачи «Парабель - Двуреченская - Чапаевка»(Таблица 3).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



Управляемый реактор РТУ-25000/110
на п/с 110/35/6 кВ «Двуреченская»



Состав оборудования ИРМ:

- 2 УШР 38,5 кВ по 10 Мвар
- 2 БСК 38,5 кВ по 10 Мвар
- 2 ФКУ 6,3 кВ по 4 Мвар
- 3 ТОР 35 кВ по 12 Ом

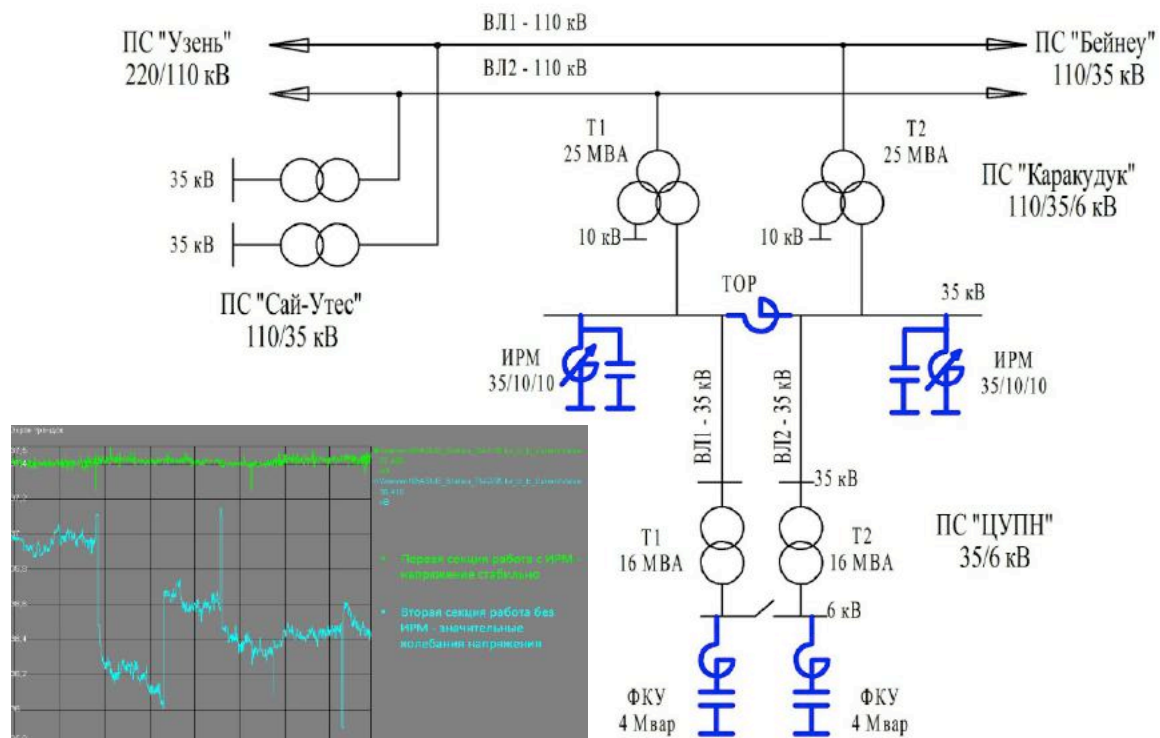
Без ИРМ:

1. Нарушения электроснабжения в сетях 110 кВ МРЭК
2. Большая протяженность ВЛ и высокий износ сетей 110 кВ
3. Нестабильное низкое напряжение на шинах ПС Каракудук (100 кВ)
4. Ограниченная пропускная способность ВЛ 110 кВ МРЭК
5. Ограниченная пропускная способность собственных сетей 35 кВ

С внедрением ИРМ

1. Стабилизация напряжения 35 кВ Потребителя с точностью $\pm 0,5\%$ при колебаниях напряжения в сети 110 кВ до $\pm 15\%$ от номинального
2. Устойчивость работы сети 35/6 кВ Потребителя при глубоких кратковременных провалах напряжения (до 30%) в сети 110 кВ «МРЭК»
3. Повышение пропускной способности сети 110 кВ собственной МРЭК и собственной сети 35/6 кВ на 25 %
4. Бесперебойное электроснабжение потребителей при отключении одной из питающих ВЛ-110 кВ
5. Уменьшение потерь на 10-15 % за счет снижения tgφ нагрузки и стабилизации напряжения шин 35 кВ
6. Исключение работы РПН трансформаторов в нормальных режимах

Схема компенсации реактивной мощности в электрической сети 110/35/6 кВ ТОО «Каракудукмунай»



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

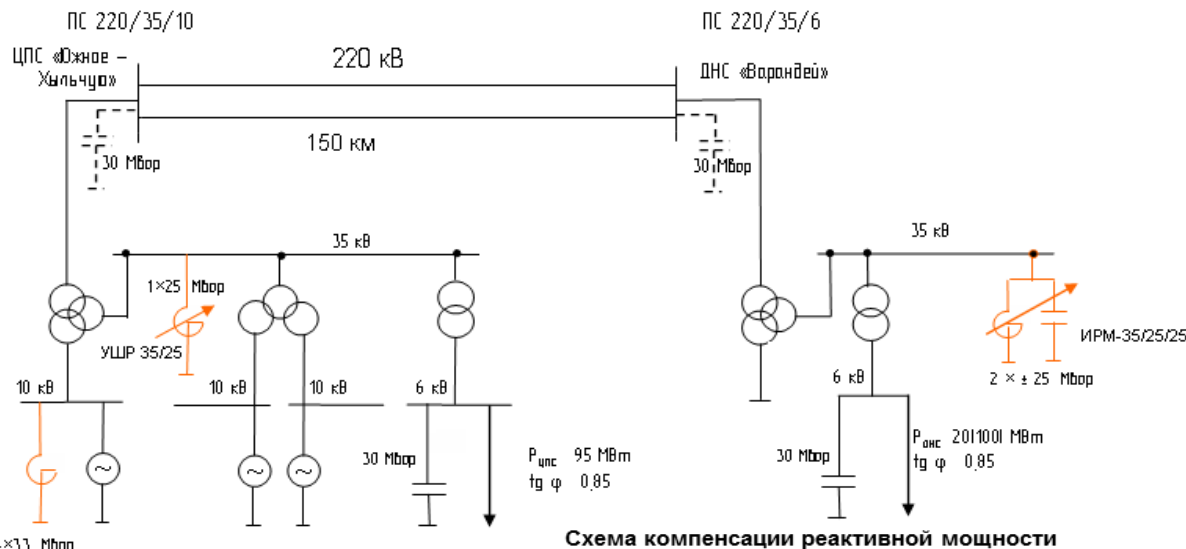


Схема компенсации реактивной мощности в электрической сети 220/35/10/6 кВ ООО «Нарьянмарнефтегаз»

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 $\text{tg } \varphi = 0,85$
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 $\cos \varphi \leq 0,96$.

8. При включении трансформатора 63 МВ А 35/6 кВ толчком от шин генератора происходит останов генераторов. На данный момент с институтом отработывается реализация схемы синхронизации на стороне 35 кВ для плавного включения цепи генератор-трансформатор.

Примечания:

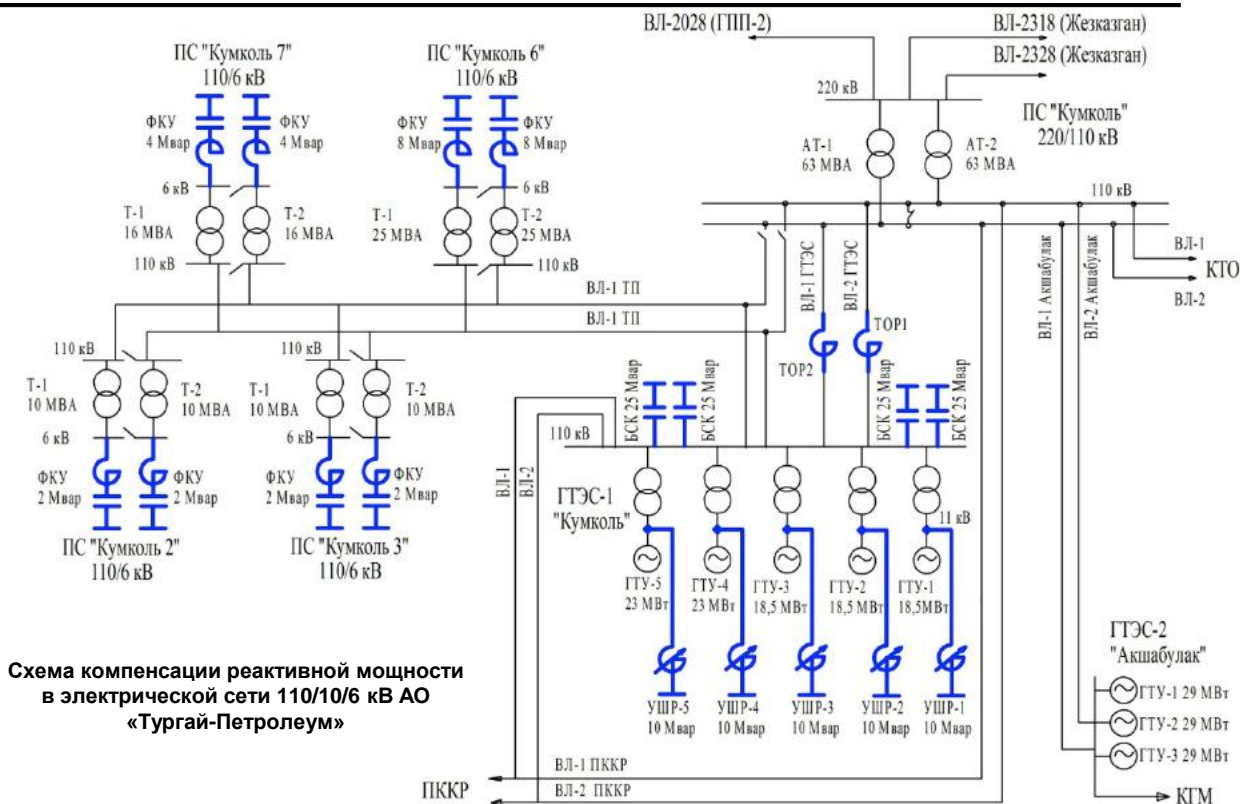
- на сегодняшний день схема укомплектована:
- БСК-6 кВ (кусты) - 23,7 Мвар с подключением к ячейкам ПС 35/6 кВ кустов;
- БСК-10 кВ (ЦПС) - 3,6 Мвар с подключением к ячейкам РУ 10 кВ.
- планируется закупка шунтирующих реакторов 3,3 Мвар 10 кВ -4шт., и 3,3 МВАР 6кВ 2шт.

Состав оборудования ИРМ:

- 5 УШР 11 кВ по 10 Мвар
- 4 БСК 110 кВ по 25 Мвар
- 8 ФКУ 6,3 кВ суммарно 32 Мвар
- 6 ТОР 110 кВ по 40 Ом

Без ИРМ:

1. Нарушения электроснабжения в сетях КЕГОС
2. Ограничения со стороны КЕГОС из-за низкой пропускной способности АТ 220/110 кВ в ремонтный период
3. Низкий уровень напряжения (105 кВ) и рост электропотребления
4. Не покрытие потребности ТП и ПККР за счет собственной генерации
5. Нестабильная работа ГТЭС и снижение генерации из-за дефицита топливного газа (снижение добычи)



С внедрением ИРМ

1. Стабилизация напряжения 110 кВ Потребителя с точностью $\pm 0,5 \div 2\%$ при колебаниях напряжения в сети 220/110 кВ до $\pm 15\%$ от номинального
2. Устойчивость работы сети 110/6 кВ Потребителя при коротких замыканиях в сети 220/110 кВ, глубоких кратковременных провалах напряжения (до 30%) и асинхронном ходе в сети 220 кВ «КЕГОС»
3. Обеспечение устойчивости работы ГТУ в стабильном режиме с заданным $\cos \phi$ (в диапазоне $0,9 \div 0,98$) 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 $\tan \phi$ нагрузки и стабилизации напряжения шин 110 кВ
6. Исключение работы РПН трансформаторов в нормальных режимах

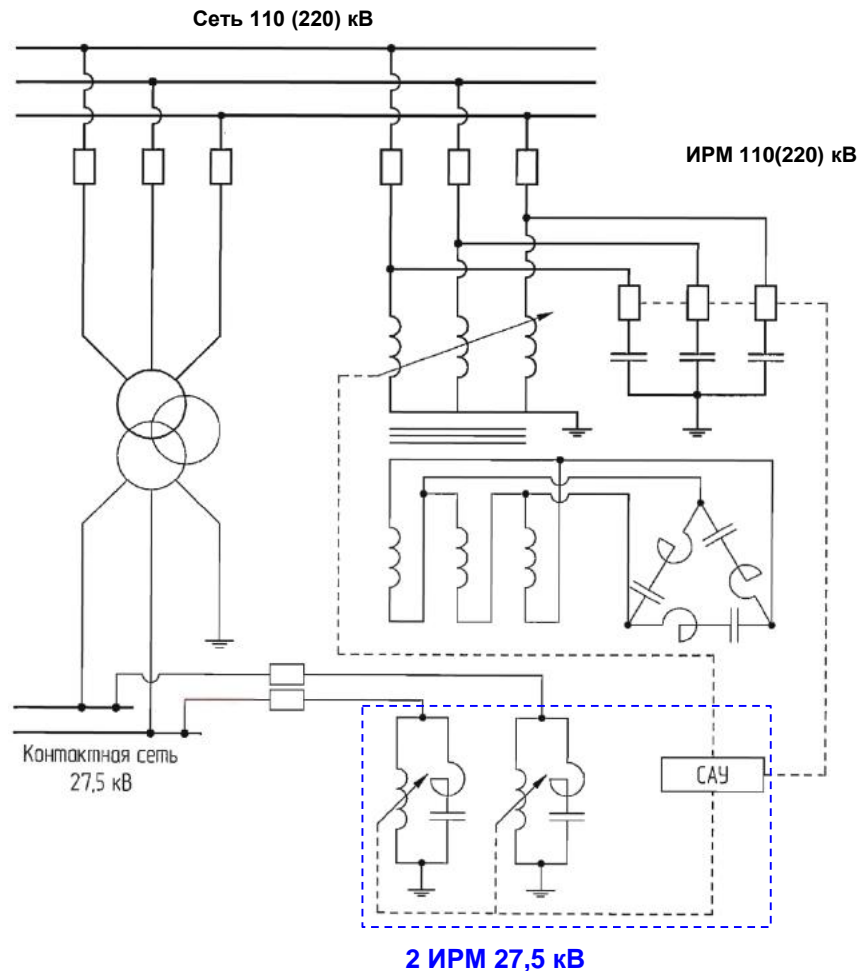
Состав ИРМ 27,5 кВ для тяговой сети:

- **УШР** (управляемый шунтирующий реактор)
- **ФКУ** (фильтрокомпенсирующее устройства)
- **САУ** (станция автоматического управления)

В зависимости от поставленных задач оборудование ИРМ обеспечивает:

1. Автоматическую стабилизацию напряжения сети 27,5 кВ по заданной уставке с точностью $\pm 0,5\%$;
2. Регулирование напряжения в точке подключения в диапазоне $\pm 15\%$ от номинального;
3. Компенсацию реактивной мощности с фиксированным перетоком в заданной точке сети;
4. Снижение уровня высших гармоник напряжения и тока в тяговой сети до требования ГОСТ;
5. Снижение предпосылок развития аварий из-за локальных аварийных возмущений в сети;
6. Повышение пропускной способности прилегающей сети до 1,5 раз;
7. Снижение удельных потерь в сети вплоть до 30%;
8. Исключение работы РПН трансформаторов в нормальных режимах.

Схема комплекса ИРМ для тяговой подстанции 110(220)/27,5 кВ
(тяговая подстанция показана упрощенно одним трансформатором)



Предлагаемые нами управляемые шунтирующие реакторы (УШР) и источники реактивной мощности (ИРМ) эффективно решают назревшую проблему создания надежных, быстродействующих и плавно регулируемых систем стабилизации напряжения в электрических сетях всех классов напряжения.

Достаточное быстродействие и широкий диапазон регулирования реактивной мощности УШР и ИРМ оптимизируют стационарные режимы работы электрических сетей и синхронных генераторов по критериям потерь мощности и устойчивости, практически позволяют отказаться от устройств РПН трансформаторов, обеспечивают автоматическую стабилизацию напряжения, облегчают работу коммутационной аппаратуры, кратно повышают надежность и качество электроснабжения.

Спасибо за внимание!

Контактная информация:

ООО «Электросетевые компенсаторы» (ООО «ЭСКО»)

111401, Москва, 1-я Владимирская, д.33, стр.1

Телефон: +7 (495) 995-52-28, факс: +7 (495) 995-52-29

www.eskomoscow.com