

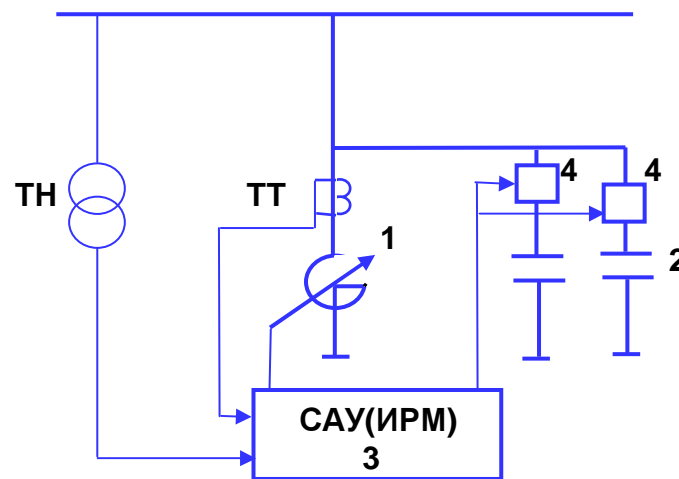
Базылев Б.И., к.т.н. зам. Технического директора ООО «ЭСКО»
Брянцев М.А., генеральный директор ООО «ЭСКО»
Дягилева С.В., ведущий научный сотрудник ООО «ЭСКО»
Карымов Р.Р., к.т.н. Технический директор ООО «ЭСКО»
Негрышев А.А., начальник отдела маркетинга ООО «ЭСКО»

Доклад: «Автоматические системы компенсации реактивной мощности и стабилизации напряжения электрической сети на базе УШР и БСК».

Актуальность и основные направления работ

1. В энергоёмких регионах мира нарастает и приобретает всё большую остроту проблема устойчивой и надёжной передачи электроэнергии с заданными параметрами качества, и в первую очередь с требуемой стабильностью напряжений сети 110 кВ и выше. На СИГРЭ-2006 **обширные системные аварии и «блэк - ауты» напрямую связаны с нестабильностью напряжения высоковольтной сети и определены на уровне «глобальной проблемы мировой электроэнергетики».**
2. Нестабильность напряжения сети – это не только угроза возникновения системных аварий. Это ещё и ограничение пропускной способности, повышенные потери электроэнергии, ускоренный износ коммутационного оборудования.
3. В значительной степени **проблема обусловлена хроническим и постоянно нарастающим дефицитом управляемых высоковольтных устройств стабилизации напряжения (FACTS-технология).** В итоге, уже сейчас в ряде важнейших регионов России наступил дефицит электроэнергии не из-за недостатка генерирующих мощностей, а из-за проблемы её транзита от генерации к потребителю.
4. МЭИ (ТУ) и ООО «ЭСКО» участвует в разработке и оснащении сетей 110-500 кВ **высоковольтными системами стабилизации напряжения (ИРМ)** на базе управляемых подмагничиванием шунтирующих реакторов (УШР) и батарей конденсаторов (БСК) (в том числе по приказам ОАО «РАО ЕЭС России» № 18 от 19.01.07, № 75 от 13.02.07).

Принципиальная схема ИРМ

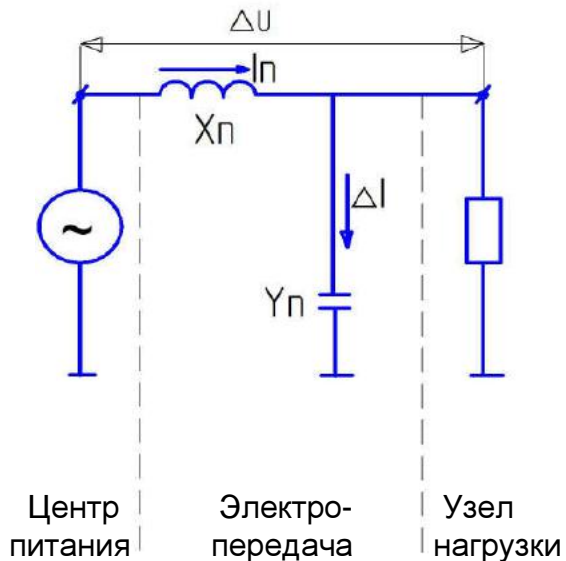


1 – УШР; 2 - БСК; 3 - САУ (ИРМ);
4 - Выключатель; ТН – трансформатор напряжения; ТТ – трансформатор тока.

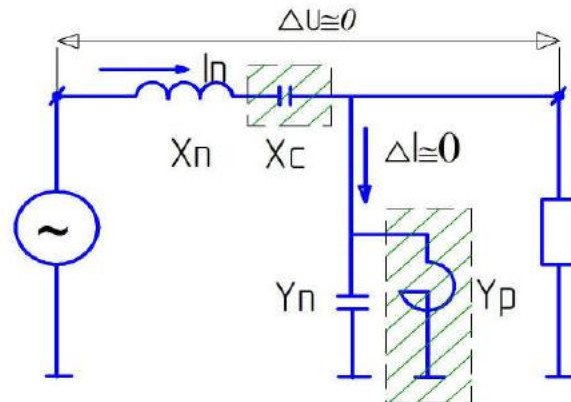
Индуктивные и ёмкостные параметры электропередачи вызывают колебания напряжения в узлах нагрузки и перегрузку сети реактивными токами.

Поперечная и продольная компенсация параметров электропередачи управляемыми L-C устройствами эффективна только при стабильном значении передаваемой мощности.

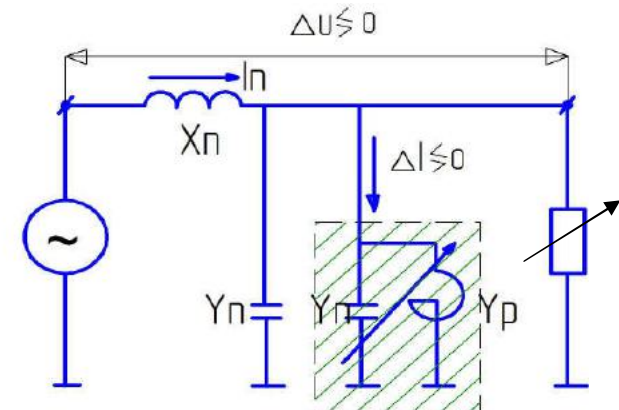
Управляемая передача, оснащенная ИРМ, обеспечивает оптимальный режим передачи при переменных значениях передаваемой мощности (FACTS- технология)



$$U_n = U_{цп} - \Delta U; I_n = I_{цп} - \Delta I$$

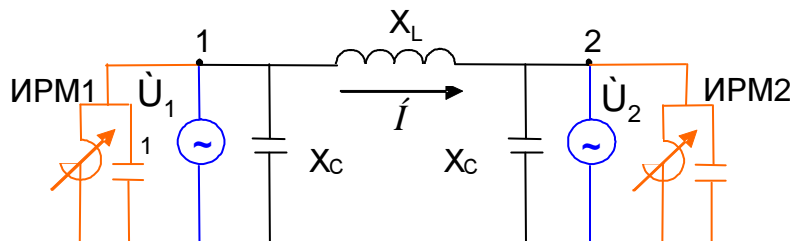


$$U_n \approx U_{цп}; I_n \approx I_{цп} = \text{const}$$



$$U_n \geq U_{цп}; I_n \approx I_{цп}$$

К понятию реактивной мощности и её баланса



$$P = \frac{U_1 U_2 \sin \varphi}{X_L}$$

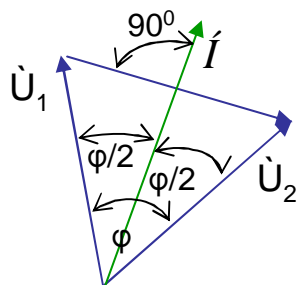
Активная мощность передачи.

$$Q_{p1} = U_1 \cdot I \sin \varphi_1;$$

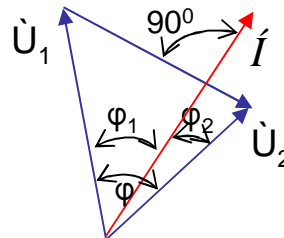
$$Q_{p2} = U_2 \cdot I \sin \varphi_2.$$

Реактивная мощность передачи.

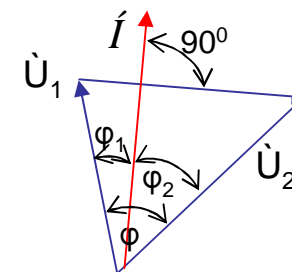
Три характерных случая



A). $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi/2$
 $|U_1| = |U_2|$
 $Q_{p1} = Q_{p2} = U_1 \cdot I \sin \varphi/2;$



B). $\varphi_1 > \varphi_2$
 $|U_1| > |U_2|$
 $Q_{p1} > Q_{p2}$



C). $\varphi_1 < \varphi_2$
 $|U_1| < |U_2|$
 $Q_{p1} < Q_{p2}$

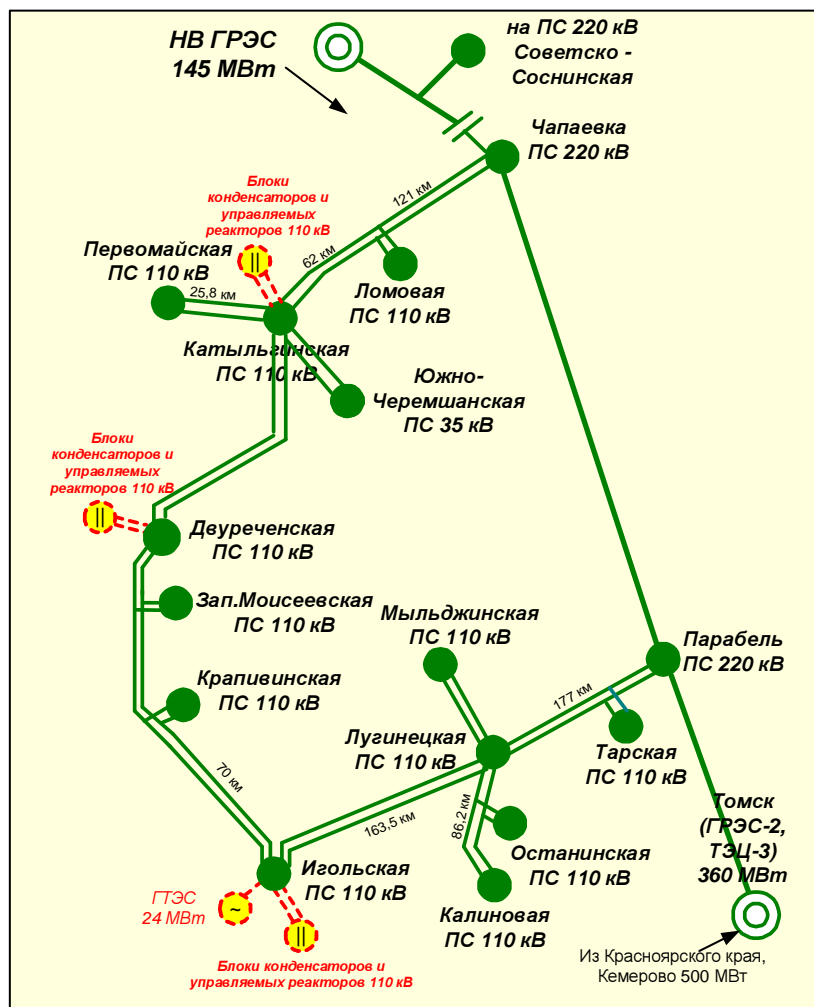
При соблюдении баланса (A)

- модули напряжений генератора и нагрузки одинаковы по величине, напряжение нагрузки стабилизировано.
- передача заданной мощности происходит при минимально возможном токе, а следовательно и потерях в линии, т.к. переток по реактиву равен нулю.

Почему нужны управляемые ИРМ.

Переменному графику передачи активной мощности (φ_{var}) должна соответствовать постоянная подстройка баланса реактивной мощности, поэтому на ПС устанавливаются ШР, СК, УШР, СТК, СТАТКОНЫ и прочие ИРМ.

Пример применения ИРМ -110/25/25 на основе УШР и БСК в сети 110 кВ



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.

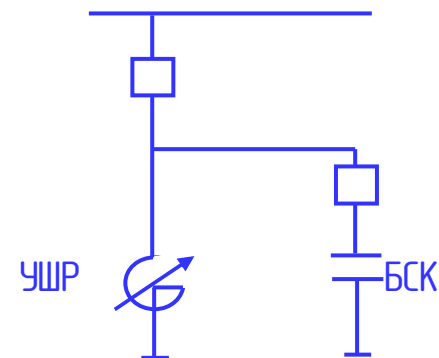
3.2. Снижают потери активной мощности в проводах ВЛ-110кВ. При нагрузке 72 МВт потери составляют 7,5 МВт против 11,9 МВт, в том числе в сетях ООО «ЭнергонефтьТомск» 1.8 МВт против 2.9 МВт.

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

Главный энергетик ЗАО «ЮКОС-ЭП»

В.В.Садовой

ИРМ-110/25/25 на ПС «Звездная» (ПС «Сугмутская-2»), РФ 2007г.



Основные технические данные:

1. Номинальное напряжение 121 кВ
2. Номинальная мощность 25/25 Мвар
3. Диапазон изменения мощности ± 25 Мвар

Изменение параметров сети до и после ввода в работу ИРМ-110/50/25 на ПШ «Таврическая», РФ 2008 г.

(из презентации «Тюмень, 2007. Компенсация реактивной мощности и стабилизация напряжения в электрических сетях ОАО «Тюменьэнерго», питающих предприятия нефтегазового комплекса»)

Таким образом, достигнуто:

1. Увеличение напряжения на ПС «Таврическая» и в прилегающем узле на 4,5%

Снижение колебаний напряжения в течение суток в 8,7 раз

2. Снижена нагрузка:

2.1 автотрансформаторов на:

ПС «Кирилловская» по полному току на 3,2%

по реактивной мощности 9,2%

ПС «Прогресс» по полному току на 2,2%

по реактивной мощности 20 %

питающих линий:

2.2 ВЛ – 110 Кирилловская - Айка по полному току на 12 %

по реактивной мощности 37 %

2.3 ВЛ – 110 Инга – Таврическая по полному току на 7 %

по реактивной мощности 33 %

2.4 ВЛ – 110 Прогресс – Таврическая по полному току на 6,5%

по реактивной мощности 35 %

2.5 ВЛ – 110 Прогресс – Фотон по полному току на 6,6%

по реактивной мощности 42 %

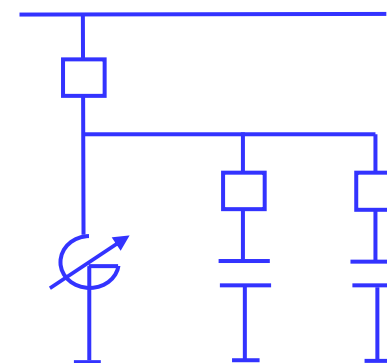
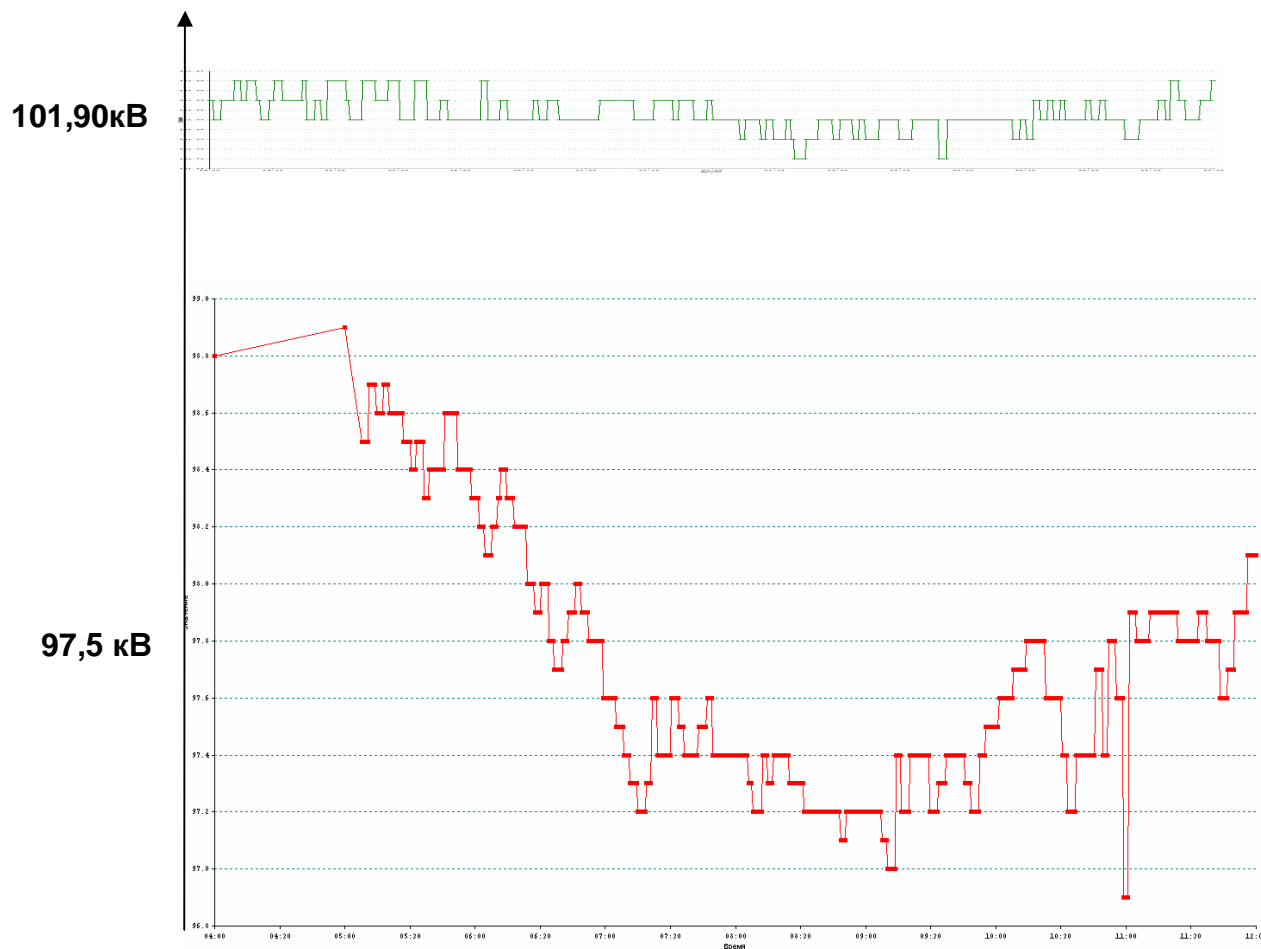


График напряжения на ПП «Таврическая»

(из презентации «Тюмень, 2007. Компенсация реактивной мощности и стабилизация напряжения в электрических сетях ОАО «Тюменьэнерго», питающих предприятия нефтегазового комплекса»)



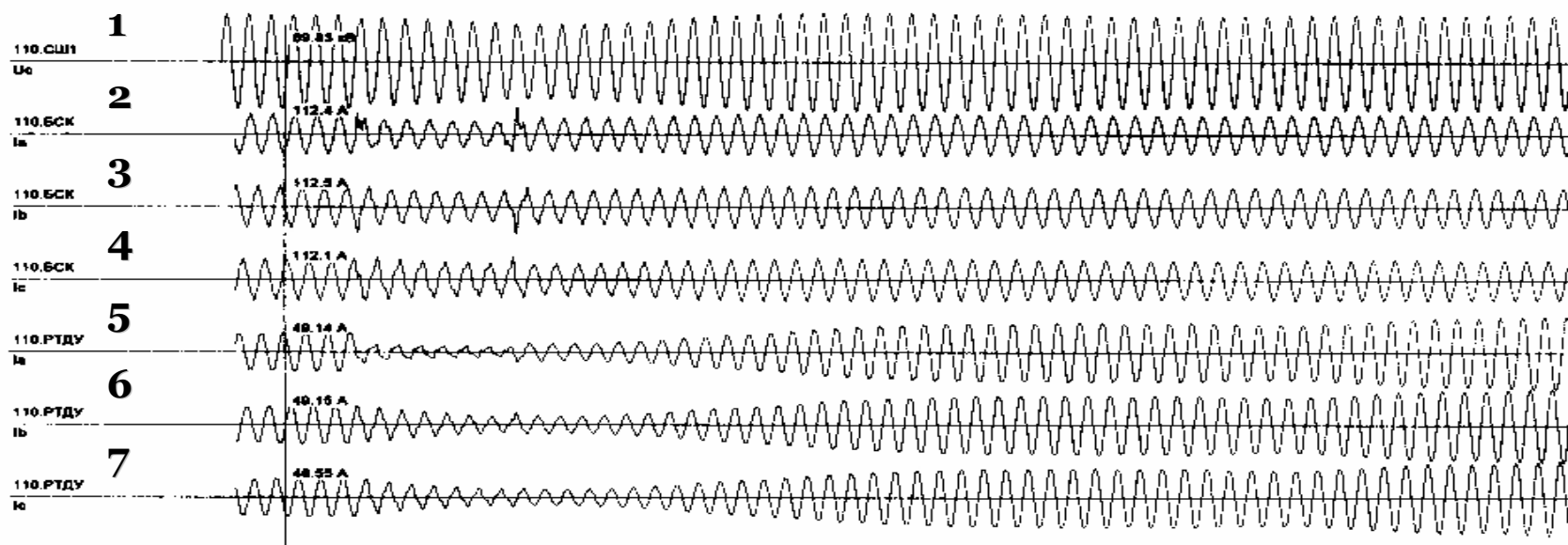
Режим с ИРМ-110/50/25
 $\Delta U = 0,4 \text{ кВ}$

Режим без ИРМ-110/50/25
 $\Delta U = 2,6 \text{ кВ}$

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).

Пример переходного процесса

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.

Перспективы применения ИРМ в распределительной сети 110 кВ НГК Тюменского региона.

1. По заданию ОАО «Тюменьэнерго» проведен анализ режимов электропотребления зимнего максимума 2006 г. и летнего минимума 2007 г. 286-ти подстанций, 11-ти электрических сетей, 6-ти потребителей.

2. Разработаны критерии и определен общий объем средств компенсации реактивной мощности (генерация / потребление).

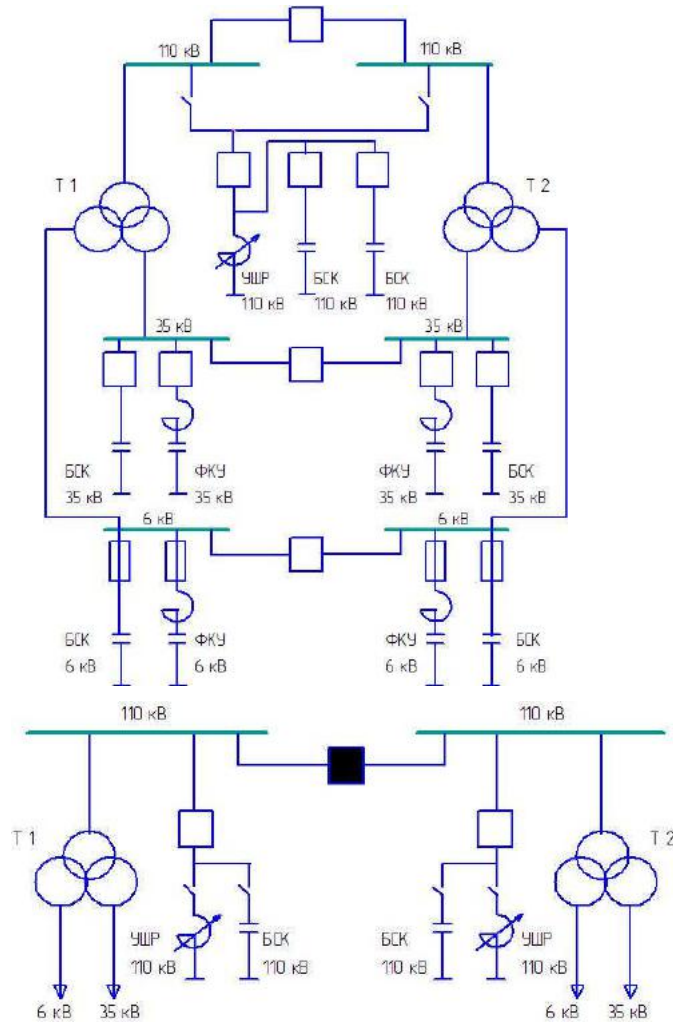
3. Разработаны технические требования на высоковольтные управляемые источники реактивной мощности ИРМ-110/50/25 и ИРМ-110/25/25. Приведены примеры технических спецификаций.

4. Разработана концепция оснащения сети 110/35/6 кВ ОАО «Тюменьэнерго» устройствами компенсации реактивной мощности, обеспечивающая максимальный системный эффект.

Показано, что:

- при загрузке сети 110 кВ в пределах 50÷70% от проектной, **значительная часть подстанций имеет заниженные рабочие напряжения (вплоть до предельно допустимых)**, что обусловлено повышенным уровнем реактивной мощности ($\text{tg}\phi$ от 0,4 и выше) и «слабой» сетью (более 30 % подстанций 110 кВ имеют токи к.з. ≤ 5 кА);
- дооснащение сети плавно управляемыми устройствами компенсации реактивной мощности, в первую очередь подстанций 110 кВ с токами к.з. ≤ 5 кА позволяет **автоматизировать процесс стабилизации напряжения в узлах нагрузки по заданной уставке в нормальных ремонтных и послеаварийных режимах(технология FACTS)**;
- реализация мероприятий по стабилизации напряжений и компенсации реактивной мощности сети в объеме п.п. 1÷5 **(около 5 Гвар) позволит не менее чем в 1,3 раза (дополнительно 2,5 ГВт) повысить пропускную способность сети при одновременном снижении удельных потерь на 20÷30 %.**

Принципиальная схема подключения ИРМ к двухтрансформаторной подстанции 110 кВ.



Функциональное назначение оборудования

БСК(ФКУ)35,6 -
снижение реактивной составляющей тока трансформаторов (вплоть до полной компенсации).

БСК 110 -
повышение напряжения узла нагрузки (вплоть до наибольшего рабочего).

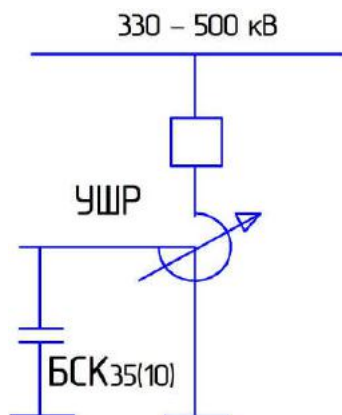
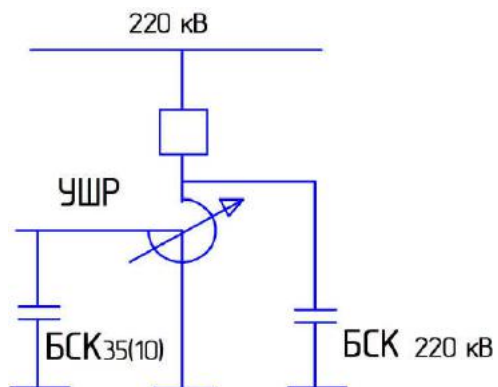
УШР 110 -
Плавное регулирование напряжения узла нагрузки в пределах допустимого рабочего диапазона.

Повышение пропускной способности сети по условиям предельно допустимого рабочего тока и напряжения.

Автоматическая стабилизация напряжения узла нагрузки по заданной уставке в нормальных, ремонтных, аварийных и послеаварийных режимах.

Источники реактивной мощности на базе УШР 220,330-500 кВ.

Принципиальные схемы



Прототипы



УШР-100/220 + БСК₁₀(БСК₂₂₀)
 ПС «Чита» (ПС «Озёрная»)

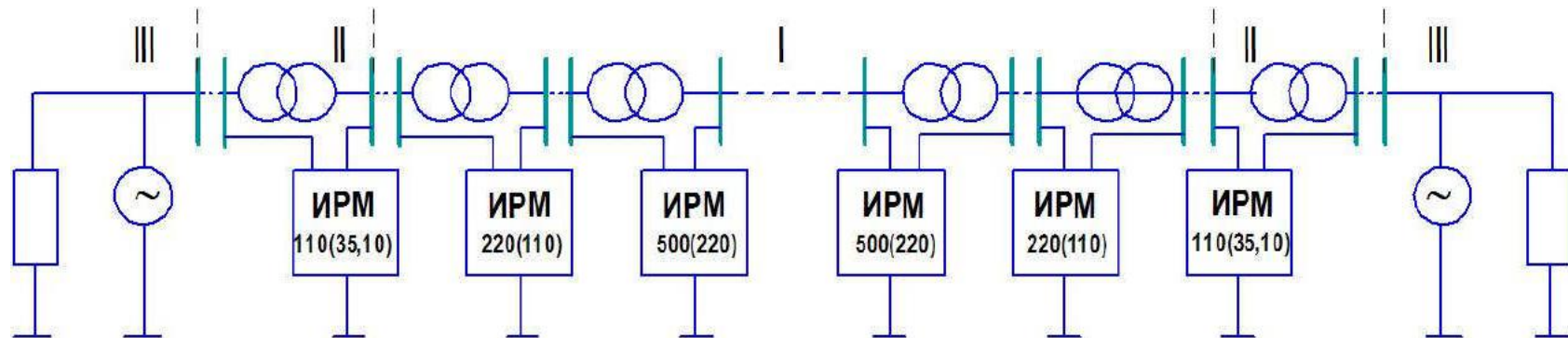


УШР-180/330 + БСК₁₀
 ПС «Барановичи»
 ПС «Игналинская»



УШР-180/500 + БСК₃₅
 ПС «Таврическая»
 ПС «Барабинская»

1. Принципы (концепция) оснащения электрической сети 110-500кВ высоковольтными источниками реактивной мощности.



- 1.1. **Распределенность (локализация)** – по классам напряжения и узлам нагрузки (чем чаще, тем лучше эффект).
- 1.2. **Секционирование («эшелонированность»)** - законченность технологического процесса управления режимами напряжения в рамках отдельно хозяйствующего объекта.
- 1.3. **Достаточность (в пределах каждого «эшелона»)** - для обеспечения управляемости сети в нормальных, ремонтных и аварийных режимах.

2. Достижимые результаты (по итогам исследований режимов сетей МРСК «Тюменьэнерго», Дальневосточной МРСК, ФСК РФ, ОАО «КЕГОС» и др.).

- 2.1. **Автоматическая стабилизация напряжения сети 110-500 кВ по заданной уставке** в нормальных, ремонтных и послеаварийных режимах.
- 2.2. **Исключение коммутационного оборудования** из процессов регулирования напряжения в нормальных режимах.
- 2.3. **Повышение пропускной способности** существующей сети до 1,5 раз.
- 2.4. **Снижение удельных потерь** до 20-30%.

3. **Общая потребность в установленной мощности ИРМ составляет не менее 100 % от значения максимума потребления мощности сети 110-500кВ.**

Формирование и освоение рынка ИРМ и других устройств управления индуктивно-ёмкостными параметрами сети (FACTS- технология)

1. Основные типы и эффективность устройств FACTS.

- 1.1. В мире налажено производство следующих типов устройств управления индуктивно-ёмкостными параметрами сети (устройства FACTS) :
 - нерегулируемые индуктивные (реакторы) и ёмкостные (батареи статических конденсаторов);
 - дискретно регулируемые индуктивно-ёмкостные (группы реакторов и (или) батарей конденсаторов);
 - плавно регулируемые индуктивно-ёмкостные (электромашинные, полупроводниковые, магнитно-полупроводниковые и прочее).
- 1.2. Устройства FACTS позволяют решить проблему стабильности напряжения любой современной сети 110-500 кВ;
 - ликвидируют предпосылку развития системных аварий;
 - повышают пропускную способность сети (до 1,5 раз);
 - практически исключают (в десятки раз уменьшают число срабатываний) работу коммутационного оборудования при регулировании напряжения узлов нагрузки;
 - до 30 % снижают удельные потери электроэнергии.

2. Принципы формирования рынка устройств FACTS.

- 2.1. Ужесточение требований к нормализации и степени стабилизации значений напряжения и ограничению перетоков реактивной мощности высоковольтной сети 110-500 кВ на границах раздела субъектов хозяйствования (ФСК-МРСК, ФСК-ОГК, ФСК- потребитель и т.д.)
- 2.2. Разработка системы стимулирования и механизмов понуждения хозяйствующих объектов к соблюдению требований по п. 2.1 (отраслевые стандарты, приказы, распоряжения и т.д.)
- 2.3. Создание системы экономической мотивации к оснащению сети 110-500 кВ устройствами FACTS до технически целесообразного уровня.

3. Этапы освоения рынка устройств FACTS.

- 3.1. Определение потребностей и типов устройств FACTS (поперечные; продольные; комбинированные с функциями токоограничения, гибкой связи энергосистем, симметрирования, фильтрации высших гармоник и прочее).
- 3.2. Определение мест первоочередных (пилотных) проектов устройств FACTS (по критериям эффективности и потребности).
- 3.3. Разработка технических решений и технических требований к устройствам FACTS в пилотных проектах (в первую очередь освоенных промышленностью).
- 3.4. Разработка технических спецификаций и реализация пилотных проектов устройств FACTS на тендерных условиях.
- 3.5. Оценка эффективности и аттестация устройств FACTS по итогам реализации пилотных проектов.
- 3.6. Разработка общих технических требований к аттестованным устройствам FACTS.
- 3.7. Разработка рекомендаций к широкомасштабному применению устройств FACTS.

Состояние и перспективы использования ИРМ в электрических системах РФ и СНГ

Референц-лист УШР (ИРМ). Состояние на 10.04.2009.

№	Номинальная мощность kVAг	Номинальное напряжение kV	Место установки		Дата	
			Страна	Подстанция	изготовления	ввода в эксплуатацию
1	25000	110	Россия	Кудымкар	1998	1998
2				Двуреченская	2003	2004
3				Катыльгинская	2004	
4				Игольская		
5				Сугмут	2007	2007
6			Казахстан	Актогай		2008
7				Актогай		
8			Россия	Фоминская		2010 *
9				Фоминская		
10				Новогодняя		
11				Таврическая		2008
12				Вандмтор		
13				Чурапча		2008
14				Эльдикан		
15				Сочи		
16				Лысенковская		
17				Восточный		
18				Бахилловская	2008	2009
19				Ургал		2009*
20	63000	110	Советск	2005	2005	
21	100000	220	Чита	2002	2002	
22			Хабаровск	2004	2005	
23			Хехцир	2005	2007	
24			Уренгой	2008	2009*	
25			Владивосток			
26			Надым			
27			Тында	2009*	2010*	
28			Ангара		2010*	
29			Ангара			

№	Номинальная мощность kVAг	Номинальное напряжение kV	Место установки		Дата	
			Страна	Подстанция	изготовления	ввода в эксплуатацию
30	180000	330	Белоруссия	Барановичи	2002	2003
31				Мирадино	2006	2007
32			Литва	Игналинская АЭС		2008
33				Казахстан	Агадырь	2007
34			Агадырь			
35	ЮКГРЭС	2009*				
36	3 x 60000 = 180000	500	Россия	Таврическая	2005	2005
37				Барабинская	2006	2007
38				Иртыш	2009	2009*
39			Казахстан	Аксу	2009*	2009*
40				Томская		
41			Россия	Ангара	2010*	
42				Лозовая		

Референц-лист по обследованию подстанций электрических сетей

Название сети	ОАО «Тюменьэнерго»	ОАО «ДРСК»	ОАО «КЕГОС»	ОАО ФСК РФ
Обследовано п/ст.	286	48	72	92
Рекомендована установка ИРМ(УШР)	74	21	6	28

Заключение

1. На основе авторских решений и с непосредственным участием специалистов МЭИ(ТУ), ООО «ЭСКО» разрабатываются, промышленно осваиваются, производятся электросетевые компенсаторы реактивной мощности различных типов:
 - 1.1. УШР 110-500 кВ трёхобмоточные с симметричным регулированием мощности фаз;
 - 1.2. УШР 110-500 кВ двухобмоточные с пофазным регулированием мощности фаз;
 - 1.3. УШР 6÷35 кВ однообмоточные самоподмагничиваемые;
 - 1.4. источники реактивной мощности (ИРМ) 6÷500 кВ на базе УШР и БСК;
 - 1.5. специальные ИРМ 6÷220 кВ с функциями симметрирования, фильтрации высших гармоник, ограничения токов короткого замыкания в электрической сети;
 - 1.6. высоковольтные (до 220 кВ включительно) вставки переменного тока промышленной частоты индуктивно-ёмкостного типа.
2. В течение последних трёх лет объем поставок электросетевых компенсаторов для электрических сетей РФ, СНГ, ЕС превысил 100 миллионов долларов США, что составляет лишь незначительную часть общей потребности.
3. В целях оперативного полномасштабного освоения рынка электросетевых компенсаторов МЭИ(ТУ), ООО «ЭСКО»:
 - 3.1. оказывают услуги в разработке и инженерном сопровождении целевых программ по оснащению сети электросетевыми компенсаторами до технически целесообразного уровня;
 - 3.2. предлагают сотрудничество по расширению объемов промышленного освоения в том числе с использованием производственной базы отечественных производителей.