

ISSN 0013-5860



ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

4 *2010*

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОПРИВОД

Шкода Р.В., Павленко С.В. Разработка мехатронной системы карьерного экскаватора ЭКГ-10 в режиме максимальных нагрузок 2

Решмин Б.И. Дискретный фильтр нижних частот для быстродействующих систем регулирования 5

УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ЗАЩИТЫ

Брянцев А.М., Брянцев М.А., Дягилева С.В., Карымов Р.Р., Лурье А.И., Маклецова Е.Е., Негрышев А.А. Регулируемые источники реактивной мощности с управляемыми подмагничиванием шунтирующими реакторами и батареями конденсаторов 11

ТРАНСФОРМАТОРЫ

Гарасько Г.И., Дулькин И.Н. Определение установившегося превышения температуры и постоянных времени по данным тепловых испытаний трансформаторов 20

ТЯГОВОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Торопыгин П.А., Таранов И.Н., Петрищев С.А. Системы управления вспомогательными электроприборами на трамвайных вагонах. 29

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ

Шевцов А.А., Глибин Е.С. Имитационное моделирование совместной работы статических компенсаторов и контактной сварочной машины 34

Баранов М.И. Зависимость фазового сдвига между возбуждающим и индукционным импульсными токами в электромагнитной системе индуктор-деталь от их частоты 38

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Годжелло А.Г., Егоров Е.Г., Иванова С.П., Леонтьев Д.И. Оценка надёжности коммутационной аппаратуры на основе цензурированной статистической информации. 46

Гаранин А.Ю. Анализ быстродействующего поляризованного электромагнита 50

Певчев В.П. Использование программы MicroCAP при моделировании процесса срабатывания импульсных электромеханических устройств. 55

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Цгоев Р.С. Влияние высоты башни ветроэнергетической установки на выработку энергии 60

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

Анатолий Евтихийевич Козярук 64

Ревмир Романович Мамошин 3-я с. обл

CONTENTS

ELECTRIC DRIVE

R.V. Shcoda, S.V. Pavlenko. Development of the open-mine excavator EKG-10 mechatronic system under maximum loading 2

B.I. Reshmin. Lower frequencies filter for the fast-acting control system 5

DEVICES FOR CONTROL, DISTRIBUTION OF ELECTRIC ENERGY AND PROTECTION

A.M. Bryantsev, M.A. Bryantsev, S.V. Dyagileva, R.R. Karimov, A.I. Lurie, E.E. Makletsova, A.A. Negrishv. Power systems of the controlled reactive power sources having magnetized shunt reactors and tandem capacity 11

TRANSFORMERS

G.I. Garasko, I.N. Dulkan. Determination of the steady-state temperature excess at the transformers heat tests. 20

TRACTION EQUIPMENT

P.A. Toropugin, I.N. Taranov, S.A. Petrishev. Control system auxiliary electric drive on tram coach 29

ELECTROTECHNOLOGY

A.A. Shevtsov, E.S. Glibin. Imitative simulation of the static compensators and contact welding machine common operation 34

M.I. Baranov. Dependence of phase change between excitant and induction impulsive currents in electromagnetic system "inductor-detail" from their frequency. 38

ELECTRICAL APPARATUSES

A.G. Godgello, E.G. Egorov, S.P. Ivanova, D.I. Leontiev. Reliability evaluation of contact apparatuses based upon statistic data 46

A.Yu. Garanin. Analysis of the fast operating polarized magnet 50

V.P. Pevtchev. MICRO-CAP program use for the simulation of impulse electromechanical devices 55

RENEWABLE ENERGY SOURCES

R.S. Tsgoev. Influence of the wind-power installation tower height on electricity production 60

OUR JUBILEERS

Anatolii Evtikhievitch Kozyaruk 64

Revmir Romanovich Mamoshin 3 p of cover

УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ЗАЩИТЫ

Регулируемые источники реактивной мощности с управляемыми подмагничиванием шунтирующими реакторами и батареями конденсаторов

БРЯНЦЕВ А.М., БРЯНЦЕВ М.А., ДЯГИЛЕВА С.В., КАРЫМОВ Р.Р.,
ЛУРЬЕ А.И., МАКЛЕЦОВА Е.Е., НЕГРЫШЕВ А.А.

Показано, что применение в сетях 110–500 кВ регулируемых источников реактивной мощности с управляемыми подмагничиванием шунтирующими реакторами и батареями конденсаторов позволяет в настоящее время существенно снизить ущерб от недоотпуска электроэнергии, сократить объём электросетевого строительства за счёт максимального использования пропускной способности существующих линий электропередачи, улучшить качество электроснабжения потребителей и является практическим освоением технологии FACTS.

Ключевые слова: *регулируемые источники реактивной мощности, батареи статических конденсаторов, управляемые подмагничиванием шунтирующие реакторы, надёжность, качество электроснабжения потребителей, технология FACTS.*

Мировая энергетика связывает прогресс в эксплуатации энергетических систем с внедрением технологии FACTS, которая предусматривает оптимальное использование электрических линий передачи и электротехнического оборудования [1–4]. Одним из основ-

It is shown that application in networks 110–500 kV adjustable sources of reactive power on based controllable magnetic reactor and capacitors banks allows to lower essentially now a damage from undersupply of energy, to reduce volume of electronetwork building at the expense of the maximum use of transmission line capacity, to improve quality of an electrical supply of consumers and is practical development of technology FACTS.

Key words: *adjustable sources of reactive power, capacitors banks, controllable magnetic reactor, reliability, quality of an electrical supply of consumers, technology FACTS.*

ных элементов этой технологии является использование автоматизированных регулируемых источников реактивной мощности (ИРМ). Для этой цели уже много лет идёт разработка статических тиристорных компенсаторов (СТК), компенсаторов на основе

применения полностью управляемых тиристорных (СТАТКОМ), асинхронизированных синхронных генераторов. Однако в силу ряда объективных и субъективных причин в отечественной энергетике СТК пока имеют весьма ограниченное применение, а устройства СТАТКОМ и асинхронизированные синхронные генераторы ещё не внедрены. Вместе с тем уже более 10 лет в электрических системах РФ и СНГ происходит интенсивное внедрение ИРМ с управляемыми подмагничиванием шунтирующими реакторами (УШР) и батареями статических конденсаторов (БСК). Такие ИРМ по своим основным функциональным возможностям почти полностью аналогичны СТК, а по ряду технико-экономических и эксплуатационных показателей имеют по сравнению с СТК преимущества и являются по существу первыми, наиболее простыми устройствами на пути освоения технологии FACTS [1–3].

Недостаточная степень компенсации реактивной мощности сети приводит к возрастанию реактивной составляющей в перетоках мощности и, как следствие, к снижению напряжения и устойчивости энергосистем. Это подтвердил анализ крупных аварий, имевших место в последнее время, который показал, что одной из главных причин их возникновения является низкая обеспеченность энергосистем устройствами компенсации реактивной мощности. В связи с этим вопрос компенсации реактивной мощности в электрических сетях перешёл в разряд ключевых аспектов обеспечения надёжности функционирования энергосистем РФ [3,4].

Передача электрической энергии от генераторов к потребителям является сложным физическим процессом многократного преобразования энергии и требует наличия в процессе этого преобразования различных форм поддержания электрических и магнитных полей, а следовательно, наличия как активной, так и реактивной составляющих мощности передачи. Выработка реактивной мощности не требует непосредственного расхода энергии, но для её передачи по сети требуются дополнительные затраты на производство энергии, необходимой для покрытия потерь. Кроме того, передача реактивной мощности от генераторов к потребителям вызывает дополнительную загрузку элемен-

тов электрической сети, приводящую к снижению их пропускной способности. В связи с этим увеличение выдачи реактивной мощности генераторами с целью доставки её потребителю нецелесообразно [2–4].

Компенсация реактивной мощности у потребителя – одно из наиболее эффективных средств рационального использования электроэнергии [2–5].

Традиционно используются в сетях устройства компенсации реактивной мощности у потребителя:

- батареи статических конденсаторов;
- синхронные компенсаторы;
- синхронные двигатели, работающие в режиме перевозбуждения;
- статические тиристорные компенсаторы.

В настоящее время в электрических сетях, и в первую очередь в системах электроснабжения промышленных предприятий вследствие сравнительно низкой стоимости и простоте обслуживания нашли широкое применение БСК. Реактивную мощность, выдаваемую БСК, можно дискретно изменять за счёт изменения числа включённых конденсаторов. Однако в ряде задач ступенчатое регулирование имеет ряд недостатков. Например, для повышения пропускной способности линий электропередачи по условиям статической и динамической устойчивости, снижения потерь в линиях и оборудовании гораздо удобнее плавно регулируемая компенсация реактивной мощности. Кроме того, часто для нормализации напряжения при снижении нагрузки в электрических сетях напряжением 110 кВ и выше требуются регулируемые компенсирующие устройства, способные не только генерировать, но и потреблять реактивную мощность. Для решения этих задач на подстанциях 110 кВ и выше возможно применение СТК и СК. Одним из недостатков СТК и СК является то, что все они рассчитаны на напряжения до 35 кВ, т.е. для подключения их к сети 110–500 кВ требуется дополнительный повысительный трансформатор. Применение компенсирующих устройств, которые можно включать в сеть без промежуточного трансформатора, вносящих свои потери активной и реактивной мощности, имеют ряд преимуществ, повышающих эффективность регулирования на-

пряжения. Такие компенсирующие устройства состоят из ступенчато регулируемой конденсаторной батареи и плавно регулируемого реактора, включённых параллельно [2,5].

Для высоковольтных протяжённых линий передачи актуальна задача компенсации зарядной мощности. В настоящее время одним из важнейших элементов протяжённых линий электропередач являются неуправляемые шунтирующие реакторы, при отсутствии которых нормальное функционирование системы существенно затруднено. В то же время эти реакторы могут оказывать негативное влияние на работу системы из-за возрастающих потерь активной мощности. Основной недостаток обычных реакторов — проблемы, связанные с низкой способностью к коммутациям. Предотвращение перенапряжений заставляет держать реакторы включёнными безотносительно к передаваемой мощности, что приводит к снижению пропускной способности системы. Установка управляемого устройства потребления реактивной мощности в промежуточной точке системы передач обеспечивает преимущество, заключающееся в секционировании линии и повышении её пропускной способности (при соответствующем управлении напряжением). Реактивная мощность, потребляемая управляемыми реакторами в любом режиме работы линии электропередачи, может быть скоординирована с потоком мощности через линию. В этом случае пропускная способность линии ограничивается только допустимым значением тока, протекающим через проводники [2,5]. Это позволяет обойтись без использования некоторых других сложных и дорогих устройств, таких как СК, СТК или СТАТКОМ [2]. УШР являются перспективными устройствами для поперечной компенсации реактивной мощности на протяжённых линиях передач сверхвысокого напряжения. Использование УШР в протяжённых электрических сетях позволяет:

- управлять поддержанием напряжения или других рабочих параметров без использования высоковольтных выключателей;
- снижать потери активной мощности в электрических сетях и повышать надёжность их функционирования за счёт уменьшения числа срабатываний устройств РПН трансформаторов;

— увеличивать предел статической устойчивости;

— улучшать демпфирование в системе;

— ограничивать использование синхронных генераторов в качестве управляемых источников реактивной мощности.

ИРМ с БСК и УШР. До последнего времени существовало мнение, что УШР имеют органический недостаток — малое быстродействие. Однако сейчас уже накоплен положительный опыт эксплуатации УШР с быстродействием от нескольких десятых долей секунд до нескольких секунд. Имеются аналитические исследования, в которых на основе анализа областей устойчивости системы доказано, что эквивалентная постоянная времени может находиться в диапазоне 0,01–20 с и не оказывает существенного влияния на показатели устойчивости [2]. Этот диапазон характерен для УШР. Следовательно, и по расчётам нет необходимости в разработанных и выпускаемых промышленностью реакторах принимать какие-либо специальные меры для уменьшения постоянной времени. Исследования динамической устойчивости протяжённой электропередачи напряжением 500 кВ для наиболее тяжёлых аварий (двухфазного на землю КЗ с последующим неуспешным автоматическим повторным включением) выявили благотворное воздействие УШР на демпфирование послеаварийных колебаний. Имеется также авторитетное мнение, что в системе с внедрением технологии FACTS должен быть контур управления, отличающийся низким быстро-

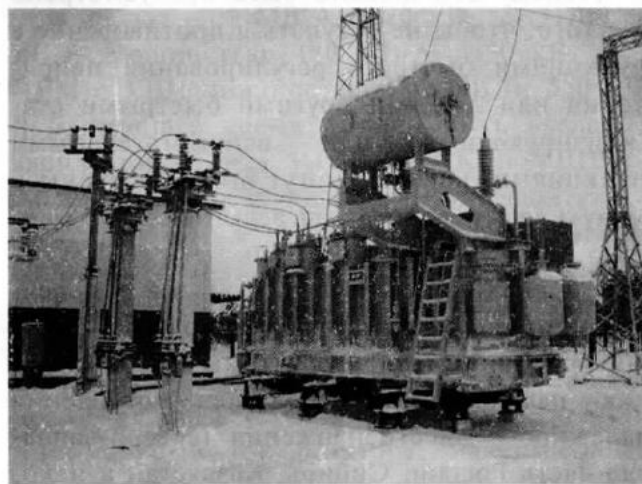


Рис. 1. ИРМ-110/42/25 с БСК мощностью 2×21 Мвар и УШР мощностью 25 МВ·А на подстанции 110 кВ «Таврическая» энергосистемы «Тюменьэнерго» (РФ) — переключающем пункте (ПП), 2008 г.

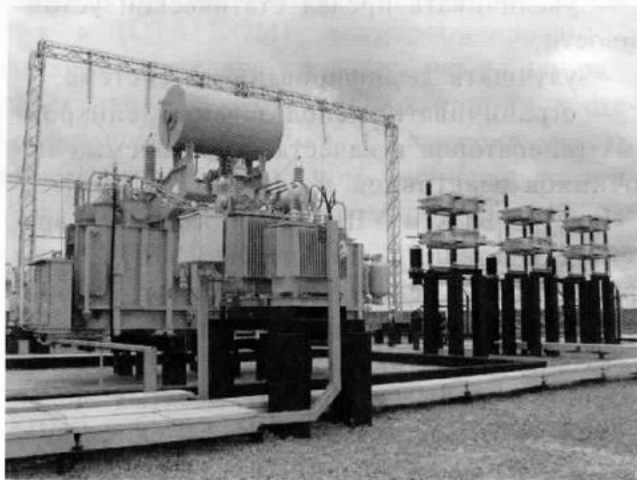


Рис. 2. ИРМ-110/25/25 с БСК мощностью 25 Мвар и УШР мощностью 25 МВ·А на подстанции 110 кВ на ПС «Звездная» (РФ), 2007 г.

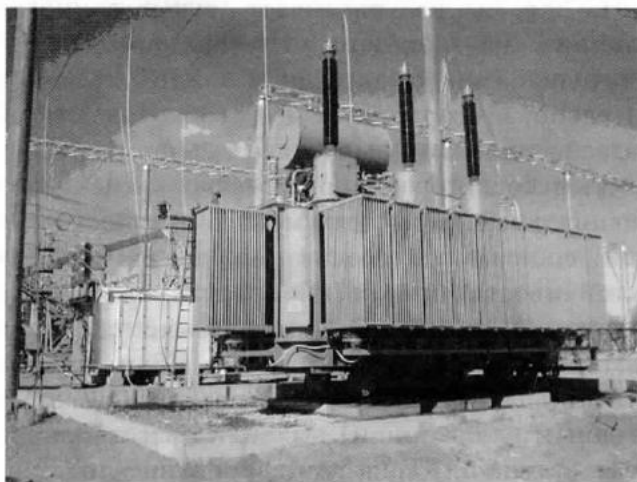


Рис. 3. ИРМ на подстанции 220 кВ «Чита» (РФ) с БСК мощностью 10 Мвар и УШР мощностью 100 МВ·А, 2002 г.

действием. Это должно быть предусмотрено для того, чтобы не вступать в противоречие с функциями быстрого регулирования напряжения или любыми другими быстрыми стабилизирующими или вспомогательными функциями, которые могут быть включены в общую схему управления реактивной мощностью [1].

В большинстве случаев проблема поперечной компенсации реактивной мощности связана с планами энергосистемы по сооружению параллельных цепей для повышения надёжности энергоснабжения (северо-западная часть России, Сибирь, Казахстан и некоторые другие регионы бывшего СССР).

В последние годы ИРМ с БСК и УШР интенсивно внедряются в высоковольтной сети

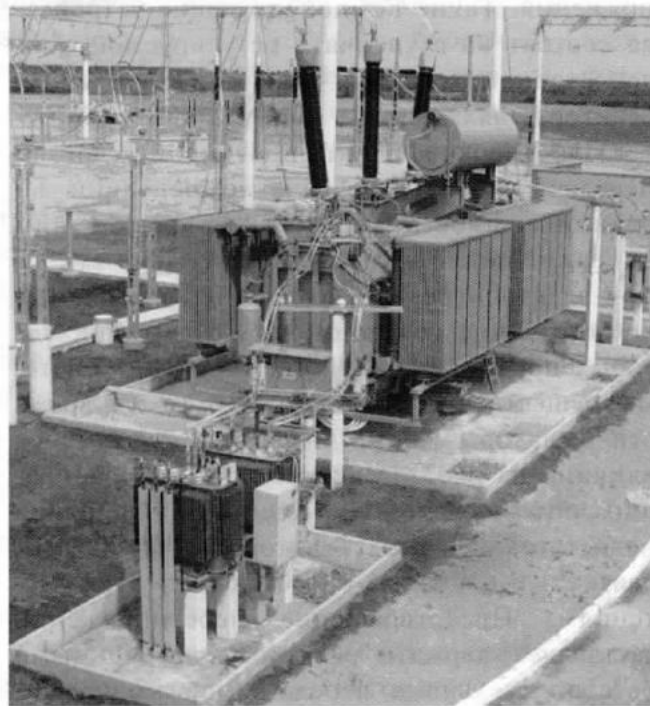


Рис. 4. ИРМ на подстанции 330 кВ ПС «Барановичи» (Белоруссия), с ФКУ напряжением 10 кВ и УШР мощностью 180 МВ·А, 2003 г.

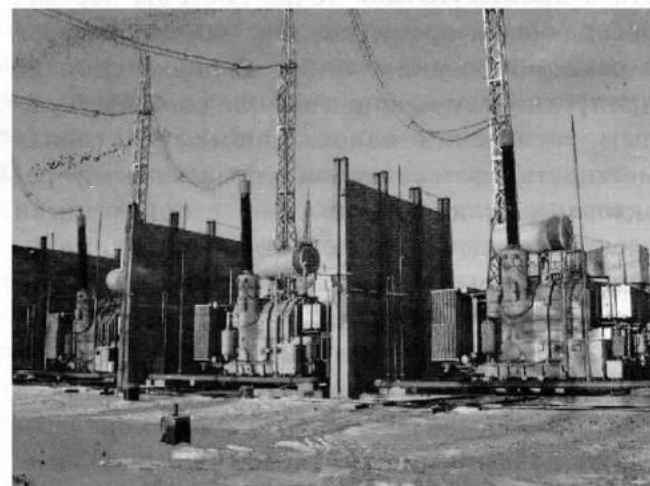


Рис. 5. ИРМ на подстанции 500 кВ ПС «Таврическая» (Новосибирск) с ФКУ напряжением 35 кВ и УШР мощностью 180 МВ·А, 2005 г.

110–500 кВ. Уже разработаны и освоены промышленностью и успешно эксплуатируются в сетях РФ и за рубежом ИРМ с БСК и УШР мощностью 25, 32, 63, 100 и 180 МВ·А на все классы напряжения от 110 до 500 кВ (рис. 1–5).

Положительный опыт эксплуатации показал, что применение УШР в ИРМ обеспечивает компенсацию зарядной мощности линий электропередачи, регулируемую в зави-

симости от нагрузки, снижение потерь мощности в линиях передачи и оборудовании подстанций, стабилизацию напряжения, повышение пропускной способности и надёжности электрических сетей ВН. Опыт эксплуатации показал их высокую надёжность. Поэтому в основных направлениях технической политики ОАО «ФСК ЕЭС» внедрение ИРМ с БСК и УШР рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений.

Успех ИРМ с БСК и УШР основан на том, что при значительно меньшей стоимости в функциональном отношении они практически полностью способны выполнять те же функции, что и вместе с повышающим трансформатором тиристорно-реакторные группы ТРГ, статические тиристорные компенсаторы СТК или вращающиеся синхронные компенсаторы СК. Важны и некоторые особенности УШР по сравнению с другими средствами компенсации реактивной мощности. После аварийных отключений или провалов напряжения в сети при повторном включении многие нагрузки оказываются отключёнными и восстанавливающееся напряжение может сильно возрасти. Однако УШР при этом мгновенно набирает практически полную мощность [5], что сразу же компенсирует подъём напряжения и позволяет избежать отказов повторного подключения нагрузки.

По конструкции, производству и обслуживанию при эксплуатации УШР принципиально не отличается от обычного силового трансформатора общего назначения [5–8]. На подстанции УШР располагается на открытой площадке и не требует отдельного отапливаемого помещения, установки охлаждения деионизованной водой, специального обслуживания и др.

Принципиальную возможность создания реверсивного высоковольтного ИРМ на базе УШР и БСК доказало введение в эксплуатацию в 1999 г. на подстанции «Кудымкар» первого управляемого реактора РТУ 25000/110, установленного параллельно с БСК мощностью 42 Мвар. Установленные в 2004–2005 гг. на подстанциях ОАО «Томскнефть» три высоковольтных ИРМ на базе реактора РТУ 25000/110 с БСК 46 Мвар подтвердили их высокую эффективность и

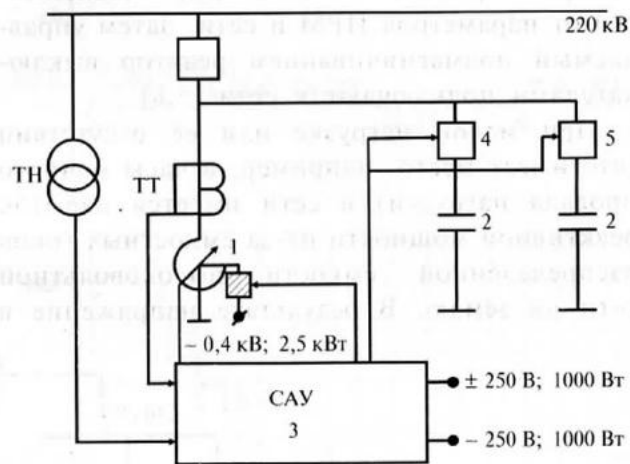


Рис. 6. Принципиальная схема ИРМ:

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

надёжность. Указанные прототипы высоковольтных ИРМ требовали ручного управления БСК. Используемые в них схемы не позволяют создать ИРМ на напряжение выше 110 кВ. Успешный опыт эксплуатации этих установок в своё время дал основание для создания новых высоковольтных реверсивных источников реактивной мощности 110–500 кВ на базе УШР. Эта работа была выполнена в МЭИ совместно с ОАО «Электрические управляемые реакторы» по заказу ОАО «ФСК ЕЭС» в рамках программы создания и применения в ЕЭС России устройств FACTS. В настоящее время в РФ и странах СНГ уже успешно эксплуатируются около двух десятков УШР: 8 ИРМ с УШР 110 кВ мощностью 25 МВ·А, один ИРМ с УШР мощностью 63 МВ·А, 110 кВ, 4 ИРМ с УШР мощностью 100 МВ·А, 220 кВ, 3 ИРМ с УШР мощностью 180 МВ·А, 330 кВ и 3 ИРМ с УШР мощностью 180 МВ·А, 550 кВ. В ближайшее время должен быть введен в эксплуатацию ряд ИРМ с БСК и УШР, и число таких действующих ИРМ удвоится.

Устройство и принцип действия ИРМ. Принципиальная схема ИРМ, состоящего из БСК и УШР показана на рис. 6. В системе автоматического управления (САУ) ИРМ устанавливаются заданные для регулирования напряжение сети (стабилизация напряжения), минимальный ток реактора, максимальный ток реактора и задержку времени Δt между соседними коммутациями секций конденсаторных батарей (включениями или отключениями секционных выключателей). Обычно

интервал времени $\Delta t = 1 \div 10$ мин, в зависимости от параметров ИРМ и сети. Затем управляемый подмагничиванием реактор выключателями подключают к сети [5,8].

При малой нагрузке или её отсутствии (что имеет место, например, в часы ночного провала нагрузки) в сети имеется избыток реактивной мощности из-за ёмкостных токов распределённой ёмкости высоковольтной сети на землю. В результате напряжение в

сети увеличивается выше заданного, что фиксируется трансформаторами напряжения ТН, и САУ вырабатывает команду на увеличение тока подмагничивания реактора. Поэтому ток реактора увеличивается (вплоть до максимального тока), ИРМ переходит в режим потребления реактивной мощности. При этом САУ отслеживает изменение напряжения из-за колебаний нагрузки в сети и осуществляет регулирование его значения на

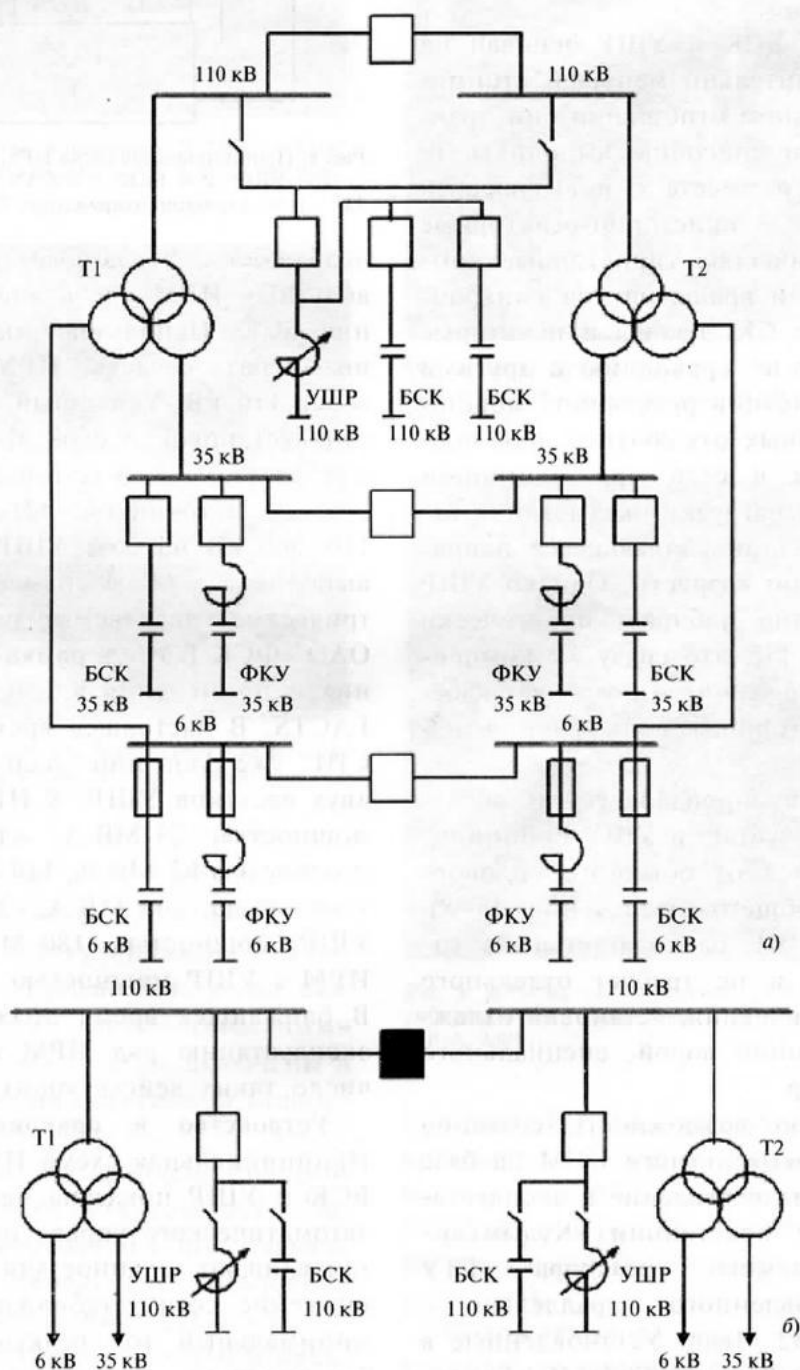


Рис. 7. Принципиальная схема подключения ИРМ к двухтрансформаторной подстанции (на примере подстанции 110 кВ):

а – установка ИРМ на шинах 110 кВ и 6–35 кВ; б – вариант, когда на входных шинах подстанции отсутствует шинный выключатель

уровне заданной уставки за счёт плавного, непрерывного изменения тока подмагничивания реактора.

При увеличении нагрузки в сети возникает недостаток реактивной мощности. Система САУ, реагируя на снижение напряжения и проверяя выполнение условия — ток реактора меньше минимального, даёт команду на подключение к сети выключателем одной секции КБ, переводя ИРМ в режим выработки реактивной мощности. При этом плавное регулирование напряжения и реактивной мощности осуществляется реактором.

При дальнейшем увеличении нагрузки сети снова возникают условия, при которых напряжение сети становится меньше заданного, и ток реактора меньше минимального. САУ даёт команду на подключение выключателем второй секции КБ.

При снижении нагрузки в сети возникает избыток реактивной мощности, и напряжение возрастает. От ИРМ требуется переход от режима выдачи реактивной мощности к режиму потребления реактивной мощности. Поэтому САУ вырабатывает команды на увеличение тока реактора и на отключение секций КБ [5,8].

Особые требования предъявляются к ИРМ при «нештатных» режимах — при ремонтах и после аварийных отключений. Мощность ИРМ (номинальная мощность БСК и УШР) определяется, как правило, из этих режимов и из режимов зимнего максимума и летнего минимума нагрузки. При оптимальном выборе мест установки ИРМ в энергосистеме на подстанциях и мощности БСК и УШР удаётся обеспечить нормальное энергоснабжение потребителей во всех режимах.

Принципиальная схема подключения ИРМ к двухтрансформаторной подстанции (на примере подстанции 110 кВ) дана на рис. 7.

На рис. 7,а показана установка ИРМ на шинах 6–35 кВ и 110 кВ.

На шинах 6–35 кВ мощность конденсаторов БСК должна обеспечить снижение реактивной составляющей тока трансформаторов вплоть до полной компенсации реактивной мощности нагрузки. Фильтро-компенсационные установки (ФКУ) предназначены для снижения искажений в кривой напряжения высших гармоник.

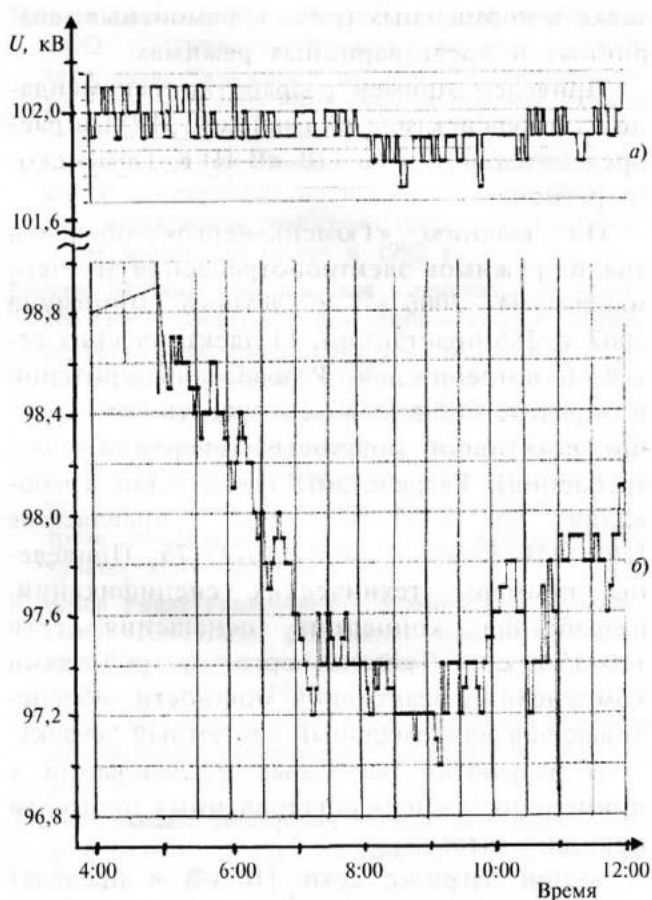


Рис. 8. Фрагменты суточных графиков напряжения (от 04:00 до 12:00) на шинах 110 кВ ПС «Таврическая» энергосистемы «Тюменьэнерго»:

а — после установки ИРМ-110/50/25 (УШР 25 МВ·А и БСК 50 Мвар), размах напряжений $\Delta U = 0,4$ кВ при среднем напряжении 101,9 кВ; б — до установки ИРМ, размах изменения напряжения в течение суток $\Delta U = 2,6$ кВ при среднем напряжении 97,5 кВ (на фрагменте $\Delta U = 2,0$ кВ)

На шинах 110 кВ установлен ИРМ с УШР, БСК и ФКУ. Мощность конденсаторов БСК на шинах 110 кВ необходима для повышения напряжения на входных шинах подстанции (вплоть до наибольшего рабочего). ФКУ обычно установлены также на шинах компенсационных обмоток УШР.

Если на входных шинах подстанции отсутствует шинный выключатель (рис. 7,б), то плавное регулирование напряжения узла нагрузки в пределах допустимого рабочего диапазона обеспечивается установкой не одного, а двух ИРМ 110, в каждом из которых есть УШР 110 и БСК 110.

Установка ИРМ обеспечивает повышение пропускной способности сети по условиям предельно допустимого рабочего тока и напряжения и автоматическую стабилизацию напряжения узла нагрузки по заданной ус-

тавке в нормальных (рис.8), ремонтных, аварийных и послеаварийных режимах.

Приведём пример разработки рекомендации по перспективе применения ИРМ в распределительной сети 110 кВ НГК Тюменского региона.

По заданию «Тюменьэнерго» проведён анализ режимов электропотребления зимнего максимума 2006 г. и летнего минимума 2007 г. 286 подстанций, 11 электрических сетей, 6 потребителей. Разработаны критерии и определён общий объём средств компенсации реактивной мощности (генерации и потребления). Разработаны технические требования на высоковольтные управляемые ИРМ-110/50/25 и ИРМ-110/25/25. Приведены примеры технических спецификаций; разработана концепция оснащения сети 110/35/6 кВ «Тюменьэнерго» устройствами компенсации реактивной мощности, обеспечивающая максимальный системный эффект.

В результате расчётных исследований с применением специализированных программ показано, что:

- при загрузке сети 110 кВ в пределах 50–70% проектной значительная часть подстанций имеет заниженные рабочие напряжения (вплоть до предельно допустимых), что обусловлено повышенным уровнем реактивной мощности ($\text{tg}\varphi \geq 0,4$) и «слабой» сетью (более 30% подстанций 110 кВ имеют токи КЗ менее 5 кА);

- дооснащение сети плавно управляемыми устройствами компенсации реактивной мощности, в первую очередь подстанций 110 кВ с токами КЗ менее 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 (около 5 Гвар) позволяет не менее чем в 1,3 раза (дополнительно 2,5 ГВт) повысить пропускную способность сети при одновременном снижении удельных потерь на 20–30%.

Аналогичные рекомендации разработаны и для других энергосистем и сетей: Дальневосточной межрегиональной распределительной сетевой компании (МРСК), ФСК РФ, ОАО «КЕГОС» и др. Достижимые результа-

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

- автоматическая стабилизация напряжения сети 110–500 кВ по заданной уставке в нормальных, ремонтных и послеаварийных режимах;

- исключение коммутационного оборудования из процессов регулирования напряжения в нормальных режимах;

- повышение пропускной способности существующей сети до 1,5 раз;

- снижение удельных потерь до 20–30%.

Для примера приведём заключение главного энергетика «ЮКОС-ЭП» об опыте применения ИРМ на ПС-110кВ для электрообеспечения нефтяных месторождений «Томскнефть» (октябрь 2004 г. – март 2005 г.).

1. К исходу 2003 г. на нефтяных месторождениях Южного Васюгана «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 2004 г. после ввода на ПС-110 «Игольская» БСК 23 Мвар, УШР 25 Мвар 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 БСК дали следующие результаты:

- обеспечиваются оптимальные потоки реактивной мощности, позволяющие довести передаваемую мощность до предельно допустимой по сечению проводов;

- по состоянию нагрузок на март 2005 г. на 100% осуществляется взаимное резервирование нагрузок электропередачи «Парабель–Двуреченская–Чапаевка»;

- отпадает необходимость перевода региона на напряжение 220 кВ (строительство новой воздушной линии);

– снижаются потери активной мощности в проводах ВЛ-110 кВ, при нагрузке 72 МВт потери составляют 7,5 МВт (раньше 11,9 МВт), в том числе в сетях «Энерго-нефтьТомск» 1,8 МВт (раньше 2,9 МВт);

– обеспечивается плавная автоматическая стабилизация заданных уровней напряжения в установившихся режимах при сокращении числа коммутаций БСК и РПН в десятки раз.

В заключение следует указать, что широкое применение ИРМ на базе УШР и БСК на линиях 110 кВ и выше позволит существенно снизить ущерб от недоотпуска электроэнергии и сократить объём электросетевого строительства за счёт максимального использования пропускной способности существующих линий электропередачи. Общая потребность в установленной мощности ИРМ составляет не менее 100% значения максимума потребления мощности сети 110–500 кВ.

Список литературы

1. N.G. Hingorani, L. Gyugyi. Understanding FACTS Concept and Technology of Flexible AC Transmission Systems// IEEE Press, NY. 2000.
 2. Брянцев А.М., Дорофеев В.Т., Зильберман С.М. и др. Применение управляемых подмагничиванием шунтирующих реакторов на линиях электропередачи высокого и сверхвысокого напряжений: Доклад СИГРЭ В4-307, Париж, 2006.
 3. Паули В.К., Воронников Р.А. Компенсация реактивной мощности как эффективное средство рационального использования электроэнергии// Энергоэксперт. 2007. №2.
 4. Бурман А.П., Строев В.А. Основы современной энергетики: Курс лекций для менеджеров энергетических компаний. Ч.2. Современная электроэнергетика. М.: Изд-во МЭИ, 2003.
 5. Управляемые подмагничивание электрические реакторы / Под ред. А.М. Брянцева. М.: «Знак», 2004.
 6. Пат. 2335056 РФ. Источники реактивной мощности/ А.М. Брянцев// БИ. 2008. № 27.
 7. Пат. 2335026 РФ. Источники реактивной мощности/ А.М. Брянцев// БИ. 2008. № 27.
 8. Пат. 2337424 РФ. Способы управления источником реактивной мощности / А.М. Брянцев // БИ. 2008. № 30.
- Брянцев Александр Михайлович** – главный конструктор ООО «Электросетевые компенсаторы», доктор техн. наук, проф., академик АЭН РФ, лауреат премии правительства РФ в области науки и техники за 2003 г. Окончил энергетический факультет Казахского политехнического института в 1973 г. Защитил диссертацию по теме «Магнитно-вентильные управляемые реакторы с предельным насыщением магнитной цепи» в 1992 г.
- Брянцев Михаил Александрович** – генеральный директор ООО «Электросетевые компенсаторы», лауреат премии правительства РФ в области науки и техники за 2003 г. Окончил факультет автоматизации и вычислительной техники МЭИ в 2002 г.
- Дягилева Светлана Викторовна** – аспирант Московского энергетического института, магистр техники и технологии по направлению электротехника, электромеханика и электротехнологии. Окончила факультет ИЭТ МЭИ в 2007 г.
- Карымов Ринат Рамильевич** – технический директор ООО «Источники реактивной мощности» канд. техн. наук. Окончил Новосибирский электротехнический институт в 1980 г. Защитил диссертацию по теме «Методика расчёта установившихся режимов энергосистем, содержащих передачи и вставки постоянного тока» в 1989 г.
- Лурье Александр Иосифович** – канд. техн. наук, старший научный сотрудник, доктор электротехники, чл.-кор. АЭН РФ, лауреат премии правительства РФ в области науки и техники за 2003 г. Окончил электромеханический факультет МЭИ в 1958 г. Защитил диссертацию по теме «Исследование и применение математического моделирования магнитных полей рассеяния трансформаторов и реакторов на электропроводящей бумаге» в 1965 г.
- Маклецова Елена Евгеньевна** – заместитель генерального директора ООО «Электросетевые компенсаторы», канд. физ.-мат. наук, доцент, лауреат премии правительства РФ в области науки и техники за 2003 г. Окончила физический факультет Казахского ГУ в 1968 г. Защитила диссертацию по теме «Исследование зависимости термодиффузионного разделения бинарных смесей газов от температуры и концентрации» в 1973 г.
- Негрышев Алексей Александрович** – генеральный директор ООО «Источники реактивной мощности». Окончил факультет технической кибернетики Владимирского ГТУ в 1996 г.