

2. В процессе эксплуатации ИС происходят значительные изменения интенсивности отдельных спектральных линий в потоке излучения. Существенны отличия в реакции отдельных спектральных линий излучения ламп с различным временем наработки на отклонения величины питающего напряжения.

3. Различия в характеристиках излучения отдельных спектральных линий при старении ламп и отклонениях напряжения питания приводят к изменению интенсивности физиологически значимых зон излучения. Компенсация этих изменений из-за старения ламп не может быть произведена путем изменения величины напряжения питания.

4. Реальным путем учета различий и изменений спектральных характеристик ламп по причине старения, отклонений величины питающего напряжения и технологического разброса параметров является компоновка групп ламп с близкими параметрами для совместной эксплуатации в одной ОУ.

5. Из выявленной взаимосвязи коэффициента отклонения спектра и энергоемкости процесса облучения растений следует, что мероприятия по обеспечению более

точного соответствия спектрального состава применяемых ИС требуемым значениям следует считать энергосберегающими.

6. Эксплуатационное энергосбережение в облучательных установках возможно путем нормализации параметров радиационной среды теплицы, основанной на определении реальных параметров ИС в процессе их аттестации.

1. Гулин С.В., Мельник В.В., Саакян А.З. Взаимосвязь спектральных и электрических параметров газоразрядных ламп при регулировании питания // Проблемы сельскохозяйственной светотехники. – Л., 1991. – С. 44-50.
2. Карпов В.Н. Энергосбережение: метод конечных отношений. – СПб., 2005.
3. Пат. 2053644 РФ, МПК<sup>с</sup> А01G9/24, А01G31/02. Способ искусственного облучения растений в процессе выращивания / Ракутько С.А.; заявитель и патентообладатель. – №93008935/15; заявл. 17.02.93; опубл. 10.02.96.
4. Прикупец Л.Б., Тихомиров А.А. Оптимизация спектра излучения при выращивании овощей в условиях интенсивной светокультуры // Светотехника. – 1992. – № 3. – С. 5-7.
5. Ракутько С.А. Повышение эффективности использования тепличных облучательных установок на основе аттестации газоразрядных ламп: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – СПбГАУ, 1992.

Я.В. Кривохижа, Л.Я. Джунковская

#### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

*Comparative analysis of means to recovery reactive power viewed systems approach.*

Спад промышленного производства в нашей стране в предыдущие годы привел к временной неостребованности систем компенсации реактивной мощности (КРМ) ввиду малого потребления полной мощности простаивающими предприятиями. Одновременно с этим происходили следующие процессы: существующие КРМ устаревали и выходили из строя, ставшая нередкой неполная удельная загрузка промышленного оборудования привела к понижению доли активной мощности в полной и соответственно к понижению коэффициента активной мощности ( $\cos \phi$ ). Ввод в работу оборудования после капитальных ремонтов (электродвигатели, трансформаторы и т.п.), работа в две смены вместо четырех – все это привело к повышенному поступлению в сеть реактивной энергии. На современном этапе, с ростом таких сфер производства как пищевая, перерабатывающая, горно-обогатительная промышленность, первичная металлообработка, добыча и переработка нефти и газа, вновь проявляется интерес к КРМ, который обуславливается рядом объективных факторов как административного, так и технического характера.

При исследовании реактивной мощности в электрических сетях следует отметить разделение потоков этой мощности в сетях высокого (ВН), среднего (СН) и низкого (НН) напряжения ввиду особенностей выработки и транспортировки в них активной и реактивной мощности. Однако оптимальное решение существующей проблемы КРМ одновременно на всех сетевых уровнях напряжений позволяет не только обеспечить наиболее эффективный режим работы электрических сетей, но и уменьшить приведенные затраты на их сооружение и эксплуатацию. Поэтому выбор компенсирующих устройств (КУ) и их оптимальное распределение между отдельными потребителями необходимо осуществлять с точки зрения системного подхода к решению задач КРМ как в части охвата электрической системы в целом, так и в плане привязки теоретических аспектов к особенностям практического внедре-

ния результатов [1]. Таким образом, цель данной работы – сравнительный анализ существующих средств КРМ, применяемых на различных сетевых уровнях, и их технических характеристик с точки зрения системного подхода к решению задач КРМ. Для реализации этой цели были определены следующие задачи:

произвести классификацию компенсирующих устройств, применяемых на различных уровнях напряжения; на основе сравнительного анализа технических характеристик рассматриваемых компенсирующих устройств предложить рекомендации по выбору и типу КУ в зависимости от вида сети и особенностей ее функционирования.

Суммарная потребляемая энергосистемой реактивная мощность в режиме наибольших нагрузок при нормальных условиях работы сети, как правило, превышает суммарную установленную активную мощность генераторов электростанций, имеющих ограничение возможности снабжения предприятий реактивной мощностью. Потребление реактивной мощности, пульсирующей с двойной частотой между источниками питания и электроприемниками, сопровождается увеличением тока, что приводит к дополнительным затратам на увеличение сечений проводников сетей и мощностей трансформаторов, создавая дополнительные потери электроэнергии. Кроме того, потери напряжения увеличиваются за счет реактивной составляющей, пропорциональной реактивной нагрузке и индуктивному сопротивлению, что понижает качество электроэнергии по уровню напряжения. Это вызывает неблагоприятные последствия, связанные с выходом из строя оборудования из-за повреждения изоляции, повышенными потерями электроэнергии от короны на проводах линий, увеличением уровня помех в каналах связи, необходимостью отключения линий электропередачи (ЛЭП) для уменьшения общей зарядной мощности линий и потреблением реактивной мощности генераторами электростанций. Для сохранения нормальных уровней напряжения при максимальной нагрузке необходимы соблюдение баланса реактивных мощностей и снижение потребления реактивной мощности предприятиями от энергосистемы, что обуславливает применение устройств КРМ [2].

Для уменьшения перетоков реактивной мощности по электрическим сетям компенсирующие устройства устанавливаются в непосредственной близости от мест ее потребления или генерации. На рынок сегодня выставле-

но множество типов устройств КРМ и множество фирм, выпускающих эти устройства. Поэтому возникает необходимость систематизировать их; предложить рекомендации по выбору и типу КУ в зависимости от вида сети и особенностей ее функционирования.

В настоящее время возрастают технические и экономические требования к линиям электропередачи, предназначенным для транспорта электроэнергии от крупных электростанций и для связи мощных энергосистем. Во многих регионах ставится вопрос об оплате стоимости отводимой под строительство опор участков земли, а также об арендной оплате земельного коридора вдоль линии [3]. Поэтому на первый план выдвигаются задачи снижения удельных капиталовложений в строительство новых и реконструкцию существующих линий. Решение этих вопросов связано с максимальным использованием ЛЭП за счет увеличения их пропускной способности и управления передаваемой мощностью, особенно в аварийных и послеаварийных режимах, что в значительной степени определяется применением управляемых статических устройств КРМ. В ЛЭП высокого и сверхвысокого напряжений передача активных мощностей сопровождается генерацией реактивной мощности, компенсация которой осуществляется шунтирующими реакторами (ШР) или другими КУ, работающими в режиме потребления реактивной мощности.

ШР применяются для компенсации зарядной мощности ЛЭП, регулирования напряжения и снижения перенапряжений в системообразующих и распределительных сетях 110-1150 кВ. Однако наличие постоянно подключенных ШР позволяет передавать по линии лишь 40-50% полной мощности из-за недопустимых снижений напряжения. Поэтому в режимах работы с большими перетоками мощности (включая послеаварийные режимы) их рекомендуется отключать, что целесообразно также по условиям динамической устойчивости электрической сети. С другой стороны, при суточных изменениях передаваемой мощности проблематичной становится частая коммутация обычных ШР из-за ограниченного ресурса коммутационного оборудования высокого напряжения. Поэтому в узлах электрической сети, где напряжение ежесуточно изменяется под влиянием переменной нагрузки, для стабилизации напряжения следует применять управляемые шунтирующие реакторы (УШР). Кроме стабилизации напряжения, замена нерегулируемых линейных ШР на УШР повышает эффективность использования ЛЭП в диапазоне передаваемых мощностей от холостого хода до номинальной мощности.

Итак, применение УШР позволяет более полно использовать пропускную способность линий и минимизировать потери мощности и электроэнергии. Наибольший экономический эффект может быть получен при замене ШР на УШР в середине протяженной ВЛ (длиной более 600 км), когда за счет регулирования УШР восстанавливается ее пропускная способность, ранее ограниченная подключенным ШР [4].

УШР по сравнению с обычными ШР позволяют обеспечить 100% компенсации зарядной мощности ЛЭП без снижения их естественной пропускной способности и обеспечить перекомпенсацию зарядной мощности линии на время переходного процесса, сопровождающего коммутацию линии. Кроме того, при достаточно большой длине линий УШР позволяют обеспечить глубокое ограничение коммутационных перенапряжений в электрических сетях.

Возможность передачи больших мощностей, обеспечение неполнофазных режимов работы и выполнение части функций ШР делает статический тиристорный компенсатор (СТК) одним из основных элементов дальних ЛЭП. Работа СТК обеспечивает быстродействующую КРМ

нагрузки и улучшение показателей качества электроэнергии.

В настоящее время создан новый вид системы управления статическими компенсаторами реактивной мощности (СТАТКОМ).

СТАТКОМ служит для регулирования напряжения в узлах нагрузки за счет изменения потоков реактивной мощности; подавления колебаний напряжения при компенсации резкопеременной реактивной мощности, устранения несимметрии напряжения, вызванной неравномерным распределением реактивной мощности по фазам; повышения устойчивости узла нагрузки. СТАТКОМ имеет более высокую эксплуатационную надежность, чем синхронные компенсаторы и, в отличие от СТК, снижает вероятность возникновения резонансных явлений, обусловленных наличием конденсаторных батарей [5].

Рост удельного веса резкопеременных нагрузок в системах электроснабжения промышленных предприятий средней и большой мощности сопровождается увеличением потребления реактивной мощности при одновременном снижении показателей качества электроэнергии. В связи с этим появилась необходимость в разработке и серийном производстве быстродействующих тиристорных конденсаторных установок.

Тиристорные конденсаторные установки обеспечивают симметрирование токов и напряжений в сети, фильтрацию высших гармоник, стабилизацию напряжения на шинах потребителей и ограничение перенапряжений в узлах нагрузки. Но они имеют довольно высокую стоимость, применение их связано с увеличением потерь электроэнергии и потребляемой мощности в составляющих их элементах, что снижает экономические показатели данных устройств. Кроме этого, необходимо избегать подключения каких-либо нагрузок к шинам, где установлены тиристорные конденсаторные установки [6].

Для компенсации реактивной мощности при средних напряжениях широко используются синхронные компенсаторы. Техническая возможность использования их в качестве источников реактивной мощности ограничивается наибольшей величиной располагаемой реактивной мощности, которую эти устройства могут генерировать без нарушения условий допустимого нагрева обмоток статора и ротора. К недостаткам данных устройств относятся наличие вращающихся частей, взрывоопасное водородное охлаждение, дороговизна в изготовлении и обслуживании; кроме того, к ключевым недостаткам синхронных компенсаторов относится большое собственное энергопотребление.

В настоящее время разработаны и запущены в серийное производство, конденсаторные установки (КРМ-6,3...10,5 кВ 100...10000 кВАр) со ступенчатым регулированием реактивной мощности. Регулируемые конденсаторные установки КРМ1 выпускаются с шагом 50..100..150..200..300..450 кВАр на базе вакуумных конденсаторов последнего поколения и трехфазных конденсаторов, имеющих удельные потери от 0,5 до 1 Вт на 1 кВАр компенсируемой мощности. Эти установки рассчитаны на различные мощности и разные климатические исполнения [7].

В узлах нагрузки реактивная мощность носит, как правило, индуктивный характер. В качестве КУ здесь могут использоваться нерегулируемые конденсаторные батареи (НКБ), область применения которых ограничивается компенсацией постоянных базовых частей графика узла нагрузки по реактивной мощности. В режиме ночных провалов или минимальных нагрузок в энергосистемах образуется избыток реактивной мощности, который усугубляется наличием НКБ и приводит к недопустимому повышению напряжения в узлах электрической сети. Для снижения повышенных напряжений приходится переводить в режим потребления реактивной мощности генераторы

станций, имеющие эксплуатационные ограничения по минимальному возбуждению.

Таким образом, приведенный сравнительный анализ основных типов компенсирующих устройств позволяет

произвести их классификацию по следующим признакам: уровням напряжения; области применения; диапазону мощностей; принципам регулирования; характеру изменения нагрузки и конструктивному исполнению (таблица).

#### Классификация компенсирующих устройств

Тип КУ Признак	УКМ58	УКЛ56, УКЛ57	КРМ1 среднего на- пряжения	Конденсато- ры косинус- ные низко- вольтные	Тиристорные кон- денсаторные уста- новки
1	2	3	4	5	6
Напряжение	0.4 кВ	6.3..10.5 кВ	6.3..10.5 кВ	0.4..0.69 кВ	0.4..10 кВ
Область при- менения	позволяют уменьшить затраты на оп- лату электро- энергии, уве- личить cosφ, уменьшить нагрузку и увеличить срок службы силовых трансформа- торов и кабе- лей	для увеличения cosφ в эл. рас- пределительных трехфазных се- тях промышлен- ных предпри- ятий, для сниже- ния нагрузки на трансформа- торы и кабели	может гибко подстраиваться под изменения нагрузки у по- требителя, из- меняя величину вносимой реактивной мощности	для местной компенсации; не требуют обслуживания имеют защиту от поражения эл. током	для уменьшения по- терь в ЛЭП и силовых трансформаторах, уменьшения падения напряжения, увеличе- ния срока службы эл. оборудования в 1.5 раза, не имеют огра- ничений по числу коммутаций
Диапазон мощностей	10..10000 (50; 450) кВар	50..50000 (450) кВар	100..10000 кВар	2..50 (50) кВар	10..3000 кВар
Регулирование	автоматичес- кое	ручное	ступенчатое автоматическое		автоматическое
Защита от гармоник на- пряжения	+	+	+	+	+
Габариты, мм	1000×800×280 2000×800×600	1920×1644×704		136×300	
Вес, кг	59 252	475		6.2	
Защита от бросков тока	-	-	+	+	+
Потери	0.004 Вт/кВар	0.004 Вт/кВар	0.5..1 Вт/кВар	0.004 Вт/кВар	0.004 Вт/кВар
Характер из- менения на- грузки		плавная	резкоперемен- ная, плавная		резкопеременная
Вид реактив- ного сопро- тивления	емкостное	емкостное	емкостное	емкостное	емкостное, индуктив- ное
Быстродейст- вие	-	-	-	-	+

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
Тип КУ	СТК	Статический вар-компенсатор реактивной мощности	Шунтирующий реактор	Управляемый шунтирующий реактор	Батареи статических конденсаторов
Напряжение	110..1150 кВ	6.3..35 кВ	110..1150 кВ	110..1150 кВ	0.4..110 кВ
Применение	для стабилизации напряжения и регулирования перетоков реактивной мощности, увеличения пропускной способности ЛЭП; ограничения коммутационных перенапряжений, компенсации несимметричных режимов сети	в режиме реального времени генерируют реактивную мощность, необходимую в данный момент, что позволяет уменьшить потери эл. энергии в распределительных сетях, увеличить объем передаваемой электроэнергии и сглаживать броски напряжения, смягчает колебания акт. мощности; используется в тяжелом машиностроении, ж/д транспорте	для компенсации зарядной мощности ЛЭП; регулирования напряжения и уменьшения перенапряжений для гашения дуги	там же, что и нерегулируемые ШР, а также для уменьшения перенапряжений при коммутациях ЛЭП; для гашения дуги в течение заданного времени в паузе ОАПВ	для увеличения напряжения на шинах ПС на 3-4 %, уменьшения потерь а также коррективировки перетоков энергии, выдачи реактивной мощности и поддержания желаемого напряжения
Диапазон мощностей		2-200 МВар			10-200 МВар
Регулирование	симметричное, пофазное, непрерывно регулируемое	автоматическое непрерывно регулируемое	нерегулируемые	симметричное, пофазное	автоматическое
Защита от гармоник напряжения	+	+	гармоники не возникают	гармоники не возникают	+
Защита от бросков тока	+	+	+	+	+
Потери	0.004 Вт/кВар	0.004 Вт/кВар	0.004 Вт/кВар	0.004 Вт/кВар	0.004 Вт/кВар
Характер изменения нагрузки	неравномерная	тяговая	плавная	неравномерная	тяговая, неравномерная
Вид реактивного сопротивления			индуктивное		
Быстродействие	+	+	-	+	+

Из данных, представленных в таблице, видно, что при плавном изменении нагрузки потребителей допускается применение нерегулируемых КУ – таких как УКЛ56, УКЛ57 на напряжение 6.3 (10.5) кВ и нерегулируемых шунтирующих реакторов на более высокое напряжение. При резкопеременной неравномерной нагрузке у потребителей необходимо применение регулируемых КУ – таких как управляемые шунтирующие реакторы, тиристорные конденсаторные установки и СТК, которые отличаются быстродействием.

Таким образом:

1. Представленный в данной работе сравнительный анализ основных типов компенсирующих устройств позволяет выделить области их наиболее эффективного применения в зависимости от вида сети и особенностей ее функционирования.
2. Для оптимального управления потоками реактивной мощности в электрической сети необходим выбор таких типов КУ и мест их установки, которые связаны с функционированием энергосистемы как единого целого и определяют взаимодействие отдельных элементов сис-

темы (перетоки активной и реактивной мощности по линиям электропередачи, суммарные генерации отдельных станций и подсистем, потребление крупных узлов и районов, напряжение в контрольных точках системы и др.).

1. Ковалев И.Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей. – М. Энергоатомиздат. 1990.
2. Кочкин В.И. Управляемые статические устройства компенсации реактивной мощности для линий электропередачи // Электричество. – 2000. – № 9. – С. 11.
3. Попов Ю.П., Дмитриев Ю.А., Кириллина О.И. Управление компенсацией реактивной мощности в узлах промышленной нагрузки // Электрика. – 2006. – № 12. – С. 15.
4. Подъячев В.Н., Сазонов В.К., Хвоцинская З.Г. Актуальность применения управления шунтирующих реакторов в системообразующих сетях 500 кВ. // Энергетик. – 2005. – № 8. – С. 21.
5. Розанов Ю.А., Кошелев К.С., Смирнов М.И. Цифровая система управления статическим компенсатором реактивной мощности // Электричество. – 2006. – № 7.
6. Статические компенсаторы для регулирования реактивной мощности / под ред. Р.М. Матура. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
7. Карпов Ф.Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. – М.: Энергия, 1975.

Д.Н. Панькова

### ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ И В БЫТУ

*Now there is a problem of biological electromagnetic compatibility, the analysis of electromagnetic influences on people, working in electric installations, with the further development of safe conditions for people and normal functioning of the electric equipment in a real electric network.*

Изучению влияния электромагнитной обстановки как фактора негативного влияния на здоровье человека придается серьезное значение. Большое количество публикаций и сообщений посвящено повышенному риску появления заболеваний жизненно важных органов и систем у людей, длительно проживающих вблизи линий электропередачи высокого напряжения, у персонала объектов электроэнергетики напряжением выше 220 кВ при длительном воздействии электрических и магнитных полей промышленной частоты на рабочих местах и пр. Существует вероятность недооценки опасного влияния электромагнитных полей на человека.

Организации, занимающиеся вопросами нормирования воздействующих на персонал и население электрических, магнитных и электромагнитных полей, включая поля промышленной частоты – такие как Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), Международная электротехническая комиссия (МЭК), Международная ассоциация по защите от ионизирующих излучений (IRPA), Европейский комитет по нормированию в области электротехники (CENELEC) и другие – уделяют огромное внимание этим проблемам.

Электромагнитная обстановка характеризуется напряженностями электрического и магнитного полей. Согласно многочисленным исследованиям воздействия полей на человека неопасной считается плотность тока в организме примерно  $10 \text{ мА/м}^2$ , что соответствует при частоте 50 Гц напряженности внешних полей 20 кВ/м и 4 кА/м.

На рис. 1 представлены усредненные данные, полученные в результате анализа многочисленных отечественных и зарубежных публикаций, непосредственных измерений под воздушными линиями электропередачи (ВЛ) и на открытых распределительных устройствах (ОРУ) напряжением более 220 кВ, характерных напряженностей электрических (E, В/м) и магнитных полей (H, А/м) промышленной частоты [2] объектов электроэнергетики, жилых зданий, бытовых приборов и др.

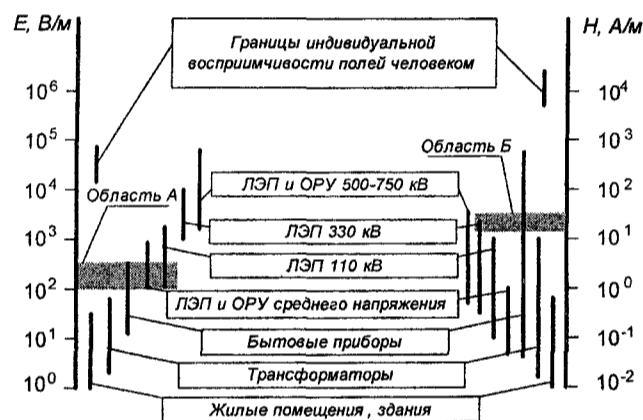


Рис. 1. Характерные напряженности ЭМП промышленной частоты.

Здания экранируют постоянное электрическое поле (ЭП) Земли 9 (на открытой местности оно составляет  $100 - 500 \text{ В/м}$  – область А рис. 1) и электрическое поля промышленной частоты, созданное линиями электропередачи высокого напряжения и иными объектами. Внутри зданий постоянное электрическое поле определяется в основном наличием электризующихся природных и синтетических материалов, являющихся основой для покрытий полов, мебели, одежды, обуви и т.д.; напряженность электростатического поля в помещении может достигать десятков и сотен кВ/м.

Электрические поля возникают и вблизи некоторых приборов, не имеющих специальной защиты, использующих высокое постоянное напряжение (телевизоры, мониторы, осциллографы и т.д.).

Значение напряженности постоянного магнитного поля (МП) Земли лежит в пределах области Б (рис. 1). На постоянное поле накладывается медленно изменяющееся геомагнитное поле, порожденное токами в магнитосфере и ионосфере, содержащее широкий спектр частот, в том числе и низкочастотную (до 100 Гц) составляющую. Геомагнитные постоянные и низкочастотные поля в отличие от электрических не экранируются стенами здания и другими объектами, за исключением изготовленных из ферромагнитных материалов. Например, внутри зданий, имеющих стальной каркас, напряженность геомагнитного поля снижается в несколько раз.

В таблице приведены граничные значения напряжен-