

## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО КУРСУ ДИСЦИПЛИНЫ

### □ Перечень работ

- Исследование методов измерения электропотребления потребителей и приемников электроэнергии при чисто активной нагрузке.
- Исследование методов измерения электропотребления потребителей и приемников электроэнергии при активно-индуктивной нагрузке.
- Исследование методов измерения электропотребления потребителей и приемников электроэнергии при нелинейной нагрузке.

### □ Общие цели

- Дальнейшее изучение понятия электропотребления.
- Исследование методов мониторинга электропотребления.
- Исследование методов прямой фиксации электропотребления.
- Исследование методов косвенной оценки электропотребления.
- Освоение современных измерительных приборов и систем.
- Ознакомление с автоматизированными системами контроля и учета.
- Изучение методов оценки погрешности результатов измерения.
- Закрепление навыков работы с электрооборудованием.
- Освоение принципов организации работы в электроустановках.
- Изучение и дальнейшее освоение мер электробезопасности.

### □ Методика

Лабораторные работы, как правило, проводятся в составе группы и включают следующие этапы: самостоятельная подготовка обучающихся; инструктаж по мерам безопасности; подбор приборов и сборка схем; проверка правильности сборки преподавателем; проведение опытов (экспериментов) и фиксация результатов измерений; обработка и обсуждение результатов; консультирование с преподавателем; самостоятельная подготовка отчета по лабораторной работе; теоретическая подготовка к защите; индивидуальная защита лабораторной работы в форме собеседования.

### □ Отчет по работе

Отчет должен включать: титульный лист; цели работы; описание измерительных приборов; электрические (монтажные) схемы; таблицы с результатами измерений; необходимые теоретические расчеты; рисунки с графиками; выводы по работе; приложения (если имеются). Отчет оформляется в соответствии с действующими стандартами индивидуально каждым обучающимся отдельно по каждой лабораторной работе.

## □ О понятии «Электропотребление»

Очевидно, что в теории оптимального управления электропотреблением техноценозов, собственно понятие «электропотребление» занимает центральное место, однако, в его толковании имеется целый ряд проблем. Сразу отметим, что электропотребление, в зависимости от контекста, объекта, предмета и области исследований, может рассматриваться в трех различных смыслах: как показатель, как параметр и как процесс.

Как показатель электропотребление – мера, отражающая свойство объектов окружающего мира преобразовывать генерируемую источниками электромагнитную энергию (энергию электромагнитного поля, слагаемую из энергий электрического и магнитного полей). Процесс преобразования энергии сопровождается работой электрического поля по перемещению зарядов, а также работой магнитного поля по перемещению элементарных проводников с током. Часть этой энергии (активная) необратимо преобразовывается в другие виды энергии (механическую, тепловую, химическую и др.), а часть (реактивная) – циклично запасается в виде электромагнитного поля в объекте, а затем отдается обратно в источник. В теории электрических цепей и электроснабжении принято данное свойство кратко называть «потреблением электрической энергии» или «электропотреблением». Следует отметить, что термин «потребление» в данном контексте применяется не вполне корректно и имеет, скорее, коммерческий, нежели физический смысл. Источник, «сжигая первичное топливо», создает электромагнитное поле, которое в потребителе «возбуждает» процесс необратимого преобразования энергии в другие виды. Таким образом, потребитель, участвуя в «сжигании части первичного топлива», потребляет именно его, а электромагнитная энергия выступает лишь необходимым «посредником» в данном процессе и, сама по себе, не расходуется. Однако, зафиксировать долю участия именно данного потребителя в «сжигании первичного топлива» в источнике электроэнергии можно лишь на основе параметров электромагнитного поля в точке присоединения потребителя к общей электрической цепи, отсюда и термин – «электропотребление».

Особо выделяется определенный класс объектов, специально предназначенных для работы в электрических цепях систем электроснабжения, и эти объекты называются приемниками и потребителями электроэнергии. Приемник электроэнергии – функционально законченная система, предназначенная для преобразования электроэнергии в другие виды энергии. Потребитель – лицо (физическое или юридическое), приобретающее электрическую энергию для собственных бытовых или производственных нужд. Как правило, электропотребление служит мерой, отражающей основное свойство именно приемников или потребителей электроэнергии.

Математически электропотребление в точке присоединения к общей электрической цепи определяется как работа электрического поля, т.е. интеграл функции электрической мощности в данной точке от времени, взятый в пределах, заданных тем промежутком времени, за который мы оцениваем электропотребление. При этом, в качестве электрической мощности может быть принята активная, реактивная или полная мощность. В синусоидальных электрических цепях: активная мощность – это произведение действующих значений тока и напряжения на косинус угла сдвига фаз между векторами тока и напряжения; реактивная мощность – произведение действующих значений тока и напряжения на синус угла сдвига фаз между векторами тока и напряжения; полная мощность – произведение действующих значений тока и напряжения. Следует отметить, что, при таком подходе, все параметры становятся достаточно легко измеряемыми (действующие значения тока и напряжения, а также сдвиг фаз).

Для удобства экспериментальной фиксации электропотребления приборами учета (счетчиками электроэнергии, интегрирующими мощность во времени) и нормализации договорных отношений между поставщиками и потребителями электроэнергии принято квантовать электропотребление мощностью в одну единицу на отрезке времени в один час. При этом в качестве единиц измерения электропотребления выступают внесистемные единицы: по активной мощности – кВт·ч; по реактивной мощности – кВАр·ч; по полной мощности – кВА·ч.

По конструкции счетчики электроэнергии бывают индукционными или электронными. В индукционных (электромеханических счетчиках) магнитное поле неподвижных токопроводящих катушек влияет на подвижный элемент из проводящего материала. Подвижный элемент представляет собой диск, по которому протекают токи, индуцированные магнитным полем катушек. Количество оборотов диска в этом случае прямо пропорционально потребленной электроэнергии. В электронных (статических счетчиках) переменный ток и напряжение воздействуют на электронные элементы для создания на выходе импульсов, число которых пропорционально измеряемой энергии. Счетчики электроэнергии имеют две пары зажимов, одна из которых включается в рассечку провода, по которому протекает ток нагрузки, а другая подключается параллельно на номинальное напряжение сети. Фактически, все счетчики электроэнергии реагируют на ток нагрузки (его активную и/или реактивную составляющие).

С прикладной точки зрения электропотребление в 1 кВт·ч будет зафиксировано, если электроприемник номинальной мощностью 1 кВт работает в номинальном режиме в течение 1 часа. Если взять за основу системную единицу энергии Джоуль (Дж), то 1 кВт·ч приблизительно равен 3,6 МДж. Следует отметить, что физически количество электроэнергии в 1 Дж соответствует работе электромагнитного поля по перемещению заряда в 1 Кулон (К) между точками поля с разностью потенциалов в 1 В.

Как параметр электропотребление – количественная форма одноименного показателя, фиксируемая счетчиками электроэнергии за интервал времени и определяемая как разность между значениями электропотребления в конце и начале рассматриваемого интервала. В случае стандартизации интервала времени (час, сутки, месяц, квартал, год и т.д.) значение электропотребления конкретного приемника или потребителя электроэнергии в базе данных будет фиксироваться в кВт·ч (кВАр·ч, кВА·ч) за принятый промежуток времени. При этом появляется возможность строить функции времени или временные ряды электропотребления для отдельных приемников или потребителей электроэнергии, а также ранговые параметрические распределения по электропотреблению для техноценозов. Кроме того, становится возможным интегрирование функций времени и ранговых распределений с целью определения, соответственно, суммарных значений электропотребления отдельных приемников или потребителей электроэнергии либо потенциалов энергосбережения техноценоза в целом. Энергосбытовые компании зачастую называют этот параметр «расход электроэнергии», однако, с точки зрения потребителя – это не «расход», а «потребление электроэнергии», т.е., не что иное, как «электропотребление».

Следует иметь в виду, что в данном случае мы имеем дело с понятием, так называемого, дифференциального (от англ. «difference») электропотребления, отражающего разницу в электропотреблении приемника или потребителя в конце и начале стандартизированного (заранее оговоренного) промежутка времени. Данное понятие отличается от электропотребления как показателя, поэтому предлагается его называть «дифференциальным электропотреблением». В качестве единицы измерения здесь следует использовать внесистемную единицу  $\text{кВт}\cdot\text{ч}\backslash\text{T}$  ( $\text{кВАр}\cdot\text{ч}\backslash\text{T}$ ,  $\text{кВА}\cdot\text{ч}\backslash\text{T}$ ), где T – стандартизированный интервал времени (час, сутки, месяц, квартал, год и т.д.). Следует отметить, что применяемый здесь экранирующий символ (обратная косая черта) подчеркивает то, что киловатт-часы не делятся на промежуток времени, а поступают в базу данных вместе со значением этого промежутка. Таким образом, запись «дифференциальное электропотребление объекта в феврале 2017 года составляет  $300 \text{ кВт}\cdot\text{ч}\backslash\text{мес}$ » означает, что разница в показаниях установленного на объекте счетчика электроэнергии в начале и конце указанного месяца составила  $300 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ . В практическом плане эта цифра ляжет в основу взаиморасчетов с энергосбытовой компанией за февраль, а в ходе исследований на графике временного ряда электропотребления данного потребителя появится точка с абсциссой, соответствующей границе между февралем и мартом 2017 года (0 часов, 0 минут и 0 секунд 1 марта 2017 года), и ординатой в  $300 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ .

Как процесс электропотребление – управляемый (фиксируемый в базе данных, оцениваемый, прогнозируемый, нормируемый и потенцируемый) процесс потребления электроэнергии приемниками или потребителями, осуществляемый автономно либо в составе техноценоза. Управление

электропотреблением осуществляется с целью максимальной экономии электроэнергии при минимизации затрат на всестороннее обеспечение данного процесса. Вводится понятие «показателя качества электропотребления» приемника или потребителя, под которым понимается мера минимизации потребления электроэнергии, при условии обязательного выполнения основных функциональных задач по предназначению. Количественно данный показатель может быть оценен с помощью абсолютного или относительного дифлекс-параметра, под которым понимается отклонение (абсолютное или относительное) значения электропотребления приемника или потребителя техноценоза от нижней границы переменного доверительного интервала, построенного в процедуре дифлекс-анализа рангового параметрического распределения техноценоза по электропотреблению. Примечательно, что оценить качество электропотребления приемника или потребителя можно только в составе техноценоза.

Оптимальное управление, в конечном итоге, реализует критерий эффективности электропотребления, заключающийся в стремлении к единице целевой функции – отношения интегрального показателя качества к интегральному показателю затрат. Эффективность процесса управления электропотреблением техноценоза в целом может быть оценена по результатам реализации ZP-анализа. При этом интегральный показатель, позволяющий оценить успешность процесса оптимального управления электропотреблением, по сути, представляет собой относительный Z-потенциал энергосбережения техноценоза. При этом на отдельных этапах реализации ZP-плана энергосбережения применяются Z1- и Z2-потенциалы. Результирующий интегральный показатель, отражающий степень близости текущей аппроксимационной кривой рангового параметрического распределения по электропотреблению к нижней границе переменного доверительного интервала (ограничивающей Z1- или Z2-потенциал), определяется как отношение интегрального показателя качества, рассчитанного для текущего момента времени, к показателю, соответствующему нижней границе. Затраты на реализацию оптимального управления электропотреблением также оцениваются интегральным показателем, который отражает степень отличия совокупных затрат на энергосбережение, рассчитанных на текущем временном интервале, от стоимости электроэнергии, соответствующей Z-потенциалу (Z1 или Z2). В условиях индивидуальных тарифов на электроэнергию, предъявляемых на отдельных этапах управления, данный показатель определяется как прибавленное к единице отношение, в числителе которого находятся интегральные совокупные затраты на энергосбережение, а в знаменателе – разность в интегральной стоимости электроэнергии, потребленной техноценозом в целом. При этом от стоимости электроэнергии на текущем временном интервале отнимается стоимость на временном интервале, в котором достигается Z-потенциал энергосбережения.