Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 621.31

Потери электроэнергии на подстанциях электрических сетей

Суринский Д.О., Истомин Е.С.

Государственный аграрный университет Северного Зауралья

Аннотация

Жизнедеятельность человека, в настоящее время, не возможно представить без потребления электроэнергии, а увеличение ее потребления приводит к росту электрических сетей и электросетевого комплекса. В *данной статье рассматриваются виды потерь электроэнергии, связанных с преобразованием и распределением электроэнергии на подстанциях, а также с компенсацией токов, вызванных ненормальными режимами работы сетей.*

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТКА, ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ДУГОГАСЯЩИЕ РЕАКТОРЫ

В наше время трудно представить жизнедеятельность человека без электрической энергии. Практически все современные производства, в том числе и агропромышленного комплекса, связаны с потреблением электрической энергии. Но для того, чтобы привести электроэнергию от производителя до непосредственного потребителя, необходимо доставить её от производителя электроэнергии до трансформаторной подстанции потребителя (далее ПС), а также преобразовать до класса напряжения, который потребитель электрической энергии непосредственно сможет принять. Сама же транспортировка электрической энергии имеет уникальную особенность, так как для транспортировки электрической энергии от электростанции до потребителя не требуются сторонние ресурсы — для этого используется часть самой транспортируемой электрической энергии. В связи с этим возникают потери электрической энергии — затраты электроэнергии, связанные с ее передачей по электрическим сетям и трансформировании на ПС.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

Все потери электрической энергии можно разделить на несколько типов[1]:

1) Технические потери, обусловленные физическими процессами, происходящими при транспортировке и трансформации электрической энергии, а также нагревом оборудования подстанций во время работы. Их значение можно получить только расчетным путем на основе законов электротехники;

2) Расход электроэнергии на собственные нужды подстанции для обеспечения работы оборудования подстанций и жизнедеятельности персонала. Расход электроэнергии на собственные нужды подстанции контролируется счетчиками электроэнергии, установленными на трансформаторах собственных нужд подстанции;

3) Метрологические потери (недоучет электроэнергии) обусловленные погрешностью первичных измерительных преобразователей (трансформаторов тока и трансформаторов напряжения), а также счетчиков электрической энергии. В расчет данных потерь включаются все приборы учета отпуска электроэнергии из сети, а также приборы учета расхода электроэнергии на СН подстанции;

4) Коммерческие потери, обусловленные хищением электроэнергии из электрической сети, путем самовольного подключения потребителя, несоответствия показаний счетчиков оплате электроэнергии бытовыми потребителями и другими причинами в сфере организации контроля и учета электроэнергии.

Для более детального рассмотрения потерь электроэнергии на подстанции создадим условную модель подстанции (рис. 1) и разберем из чего состоит каждый тип потерь.

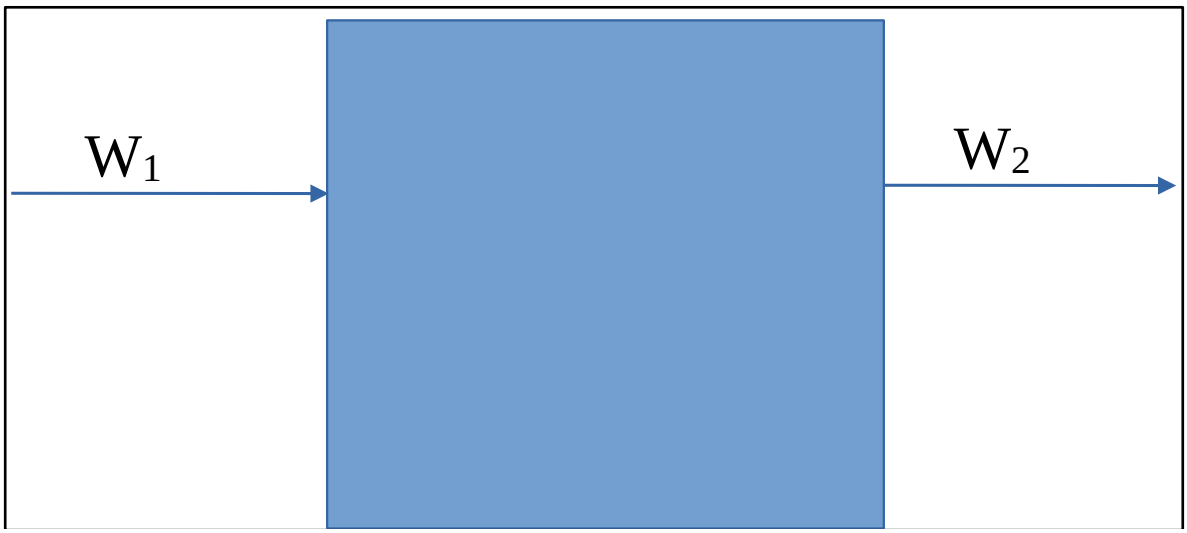

Рис. 1. Условная модель подстанции.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

На рис. 1 представлена условная модель подстанции, где W_1 — поступающая на ПС электроэнергия, а W_2 — отдаваемая с ПС электроэнергия. Общие потери электроэнергия на ПС ΔW будут определяться из разности поступающей и отдаваемой электроэнергии

$$\Delta W = W_1 — W_2 , \quad (1)$$

а также как сумма потерь электроэнергии всех типов в процессе работы

$$\Delta W = \Delta W_{тех} + \Delta W_{СН} + \Delta W_{мет} + \Delta W_{ком} , \quad (2)$$

где: $\Delta W_{тех}$ — технические потери, $\Delta W_{СН}$ — потери на собственные нужды подстанции, $\Delta W_{мет}$ — метрологические потери, $\Delta W_{ком}$ — коммерческие потери.

Поскольку в процессе работы ПС за приборами учета электроэнергии ведется постоянный контроль с помощью систем автоматизированного коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) [2], а также маловероятен шанс хищения электроэнергии с подстанции, то коммерческую составляющую потерь электроэнергии можно принимать близкой к нулю ($\Delta W_{ком} \approx 0$) [3] и, соответственно, опустить из суммы.

Также, исходя из общего принципа учета электроэнергии [2], при установке счетчика электроэнергии на вводах собственных нужд подстанции в общую сумму потерь мощности будет учитываться и отбор мощности для собственных нужд подстанции.

Метрологические потери обусловлены недоучетом мощности, потребляемой присоединением, в связи с погрешностью счетчиков электроэнергии, погрешностью трансформаторов напряжения, нелинейностью погрешности трансформаторов тока [4], зависящей от коэффициента загрузки трансформатора тока относительно номинального тока первичной обмотки, а так же потерями величин сигналов от трансформаторов тока и трансформаторов напряжения в цепях вторичной коммутации.

Перечисленные выше типы потерь обусловлены режимом работы подстанции и не могут быть приведены к нулю, так как невозможно оставить подстанцию без собственных нужд, необходимых для питания цепей управления и сигнализации подстанции, а динамически изменяющаяся нагрузка не дает нам явного представления о текущей погрешности трансформаторов тока и трансформаторов напряжения [4, 5]. Данные типы потерь, как и технологические потери, связанные с несовершенством используемого на подстанции оборудования, заложены в ценообразование тарифа для потребителя электрической энергии. Но в отличие от остальных типов потерь, потери технологические могут быть уменьшены путем усовершенствования оборудования и технологического процесса использования оборудования.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

К техническим потерям электроэнергии при работе подстанции можно отнести следующие виды потерь:

- потери в силовых трансформаторах и автотрансформаторах;
- потери на нагрев токопроводящего оборудования (ошиновка, контактные соединения, контактные соединения разъединителей и высоковольтных выключателей);
- потери в токоограничивающих реакторах и компенсирующих устройствах (при их наличии);
- потери на высокочастотных заградителях (при их наличии);
- потери на намагничивание трансформаторов тока. [1]

Потери мощности электроэнергии в силовых трансформаторах и автотрансформаторах связаны с недогрузом силовых трансформаторов и автотрансформаторов до коэффициента нагрузки, при котором КПД силового трансформатора будет близко к единице($\eta \approx 1$) [6], либо использование аморфных сталей для производства магнитопровода силового трансформатора [7].

Потери на нагрев токопроводящего оборудования, также, как и потери на намагничивание трансформаторов тока, относительно остальных типов технологических потерь являются очень малыми и поэтому могут быть фактически не учтены в расчете технических потерь электрической энергии на подстанции [1].

Для работы большинства основных защит линий 110 кВ и выше требуется организация высокочастотного (ВЧ) канала связи, для «общения» полукомплектов защит между собой. Но оборудование подстанций обладает гораздо меньшим сопротивлением нежели оборудование ВЧ-связи, тем самым шунтируя его, в то же время сигналы высших гармоник оказывают губительное действие на оборудование подстанций. Для защиты оборудования подстанций в одной или нескольких фазах приходящей линии устанавливается высокочастотный заградитель. Но данное оборудование создает дополнительные потери электрической энергии. Величина потери электроэнергии на ВЧ-заградители зависит от индуктивности заградителя, а также его номинального тока. В расчетах потерь электроэнергии, потери на ВЧ-заградителе учитываются как эквивалентная длина линии, как и было сказано ранее, зависят от индуктивности, номинального тока, а также сечения линии, на которой установлен ВЧ-заградитель. Данная величина является максимальной и учитывается в потерях, в зависимости от

схемы установки ВЧ-заградителей (заградитель в одной фазе дает только треть данного значения в общий расчет) [1].

Работа энергосистемы требует постоянной компенсации «паразитных» последовательностей мощности, а также компенсации ударных токов короткого замыкания. Для решения данной задачи на электростанциях и подстанциях устанавливают компенсирующие устройства. Введение в работу данных устройств так же вводит дополнительные потери мощности электроэнергии на их работу.

Существует несколько типов компенсирующих устройств:

- статические компенсаторы — предназначены для компенсации индуктивной составляющей реактивной мощности;
- синхронные компенсаторы — предназначены для компенсации емкостной составляющей реактивной мощности;
- токоограничивающие реакторы — предназначены для ударных токов короткого замыкания путем ограничения его дополнительной индуктивностью;
- дугогасящие реакторы и катушки — предназначены для ограничения токов короткого нулевой последовательности.

Из-за сложности установки и эксплуатации статические и синхронные компенсаторы, также, как и токоограничивающие реакторы, используются на электростанциях, либо на подстанциях магистральных электрических сетей. Гораздо большее распространение получили дугогасящие реакторы и катушки.

Увеличение количества потребителей электрической энергии, а также невозможность повсеместно увеличивать количество подстанций приводит к росту объема распределительных сетей 10 кВ, что приводит соответственно к увеличению количества однофазных коротких замыканий на «землю», а также токов утечки через изоляцию кабельных и воздушных линий электропередач. Это приводит к увеличению токов нулевой последовательности, которые необходимо компенсировать, чтобы избежать повреждения оборудования при отключении поврежденного участка энергосистемы [8].

Поскольку сети 10 кВ работают в режиме изолированной нейтрали, то для работы дугогасящего реактора (ДГР) необходимо создать нулевой проводник, непосредственно связанный с сетью. Для таких целей используется трансформатор 10/0,4 кВ, собранный по схеме «звезда — треугольник» (Т-ДГР). К нулевому выводу такого трансформатора подключается ДГР, второй вывод которого жестко заземляется. Такой способ подключения

ДГР создает дополнительные потери электроэнергии в Т-ДГР на холостой ход и намагничивание трансформатора. Однако также, как и в Т-ДГР непосредственно в катушке ДГР существуют потери электроэнергии на намагничевание катушки, на перекомпенсацию емкостных токов, на нагрев оборудования. Современные исследования и разработки в данной области показывают, что существуют способы уменьшения данных потерь путем изменения схем управления индуктивностью ДГР и принципов работы самого дугогасящего реактора путем увеличения скорости перемещения сердечника внутри катушки [9] и применением дополнительной обмотки, предназначенной для подмагничивания ДГР в целях уменьшения токов против ЭДС дугогасящего реактора при изменении положения сердечника катушки [10]. Однако данные разработки решают вопрос со стороны скорости настройки ДГР на емкостной ток сети, но не решают вопрос со стороны потерь электроэнергии в самом ДГР, которые с «ростом» сетей 10 кВ и необходимостью установки тококомпенсирующих устройств ПТЭ [8] будут только расти.

Список использованных источников:

1. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. - М.: ЭНАС, 2009. - 456 с.
2. Shirobokova T., Surinsky D., Egorov S. Modeling of led luminaires with optimal temperature operation of leds // Intelligent Information Technology and Mathematical Modeling. - 2021. - Vol.174. - No. 529; DOI: 10.1088/1742-6596/2131/5/052093.
3. Зацепина В.И., Артамонов И.В. Решение коммерческих потерь электрической энергии с помощью автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии // MODERN SCIENCE - №4-1. - 2022. - С. 432-434.
4. Никольский О.К., Воробьев Н.П., Куликова Л.В. [и др.] Методология управления техногенными рисками опасности электроустановок на объектах АПК // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31, № 3. – С. 58-64.
5. Никольский О.К., Фараносов В.В., Суринский Д.О. Контроль и предотвращение пожаров от токов утечки в электроустановках производственного объекта [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/5/st_538.pdf. DOI: https://doi.org/10.51419/202125538.
6. Вахитова А.В. Влияние коэффициента загрузки трансформатора на потери // Экология и безопасность жизнедеятельности: Сборник статей XXII Международной научно-практической конференции, Пенза, 13–14 декабря 2022 года / Под редакцией В.А.

Селезнева, И.А. Лукшина. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 57-60. – EDN HDSPNU.

7. Араратьян Л.С., Крупнов А.В., Кожекин А.Н. Энергоэффективные силовые Трансформаторы с сердечником из аморфной стали // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Строительство. Электротехника и химические технологии. – 2019. – № 3(3). – С. 51-57. – EDN BDJDOM.

8. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации : приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 19 июня 2003 г. № 229 "Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации". – Москва : Омега-Л, 2012. – (Безопасность и охрана труда). – ISBN 978-5-370-02566-2. – EDN QMLSLB.

9. Патент на полезную модель № 199742 U1 Российская Федерация, МПК H02J 3/18. Устройство компенсации емкостных токов на основе дугогасящего реактора с подмагничиванием : № 2020113628 : заявл. 16.04.2020 : опубл. 17.09.2020 / А. Базаррагчаа, И.Р. Баязитов, А.А. Кузьмин [и др.]; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "НИР Энерго". – EDN ZDXICH.

10. Патент № 2704315 C1 Российская Федерация, МПК H01F 29/08. Дугогасящий реактор и способ регулирования немагнитного зазора дугогасящего реактора : № 2019118832 : заявл. 18.06.2019 : опубл. 28.10.2019 / М.С. Агарков, Д.Л. Негода; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "РЕАКТОРНЫЕ МАШИНЫ". – EDN IRAPOD.

==========

Цитирование:

Суринский Д.О., Истомин Е.С. Потери электроэнергии на подстанциях электрических сетей [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/2/st_253.pdf. DOI: https://doi.org/10.51419/202132253.