

СУММАРНЫЕ ПОТЕРИ МОЩНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

*В.Г. Жданов¹⁾, Е.А. Логачева²⁾, В.А.Ярош³⁾,
Ассонфак Ассонго⁴⁾, Бутков А.А.⁵⁾*

1) к.т.н., доцент ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия, jdanov.valery2010@yandex.ru

2) к.т.н., доцент ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия, elena.logacheva2010@yandex.ru

3) к.т.н., доцент ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия, yarvictor@yandex.ru

4) студент электроэнергетического факультета ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, Республика Камерун, assonfackrp@gmail.com

5) студент электроэнергетического факультета ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия, alexey_butkov@mail.ru

Аннотация: Протекание электрического тока по проводам можно сравнить с протеканием воды по трубе, где давление является аналогом напряжения, а поток воды – электрического тока. С увеличением напряжения, увеличивается протекание электрического тока. Мощность, теряемая в линии передачи данного напряжения, пропорциональна квадрату протекающей мощности. Если напряжение повысить в 2 раза, то ту же мощность можно передать током в 2 раза меньшим, и соответственно потери мощности уменьшаться в 4 раза. Для увеличения напряжения переменного тока используют трансформаторы, что делает возможным передавать электроэнергию с меньшими потерями. В статье рассматривается вопрос разнесения суммарных потерь по отдельным нагрузкам.

Ключевые слова: электроэнергия, электрический ток, мощность, потери мощности, линии электропередач.

TOTAL POWER LOSSES OF INDIVIDUAL LOADS

*V.G. Zhdanov¹⁾, E.A. Logacheva²⁾, V.A. Yarosh³⁾,
Assonfak Assongo⁴⁾, Butkov A.A.⁵⁾*

1) Ph. D., associate Professor FSBEI he Stavropol state agrarian University, Stavropol, Russia jdanov.valery2010@yandex.ru

2) Ph. D., associate Professor FSBEI he Stavropol state agrarian University, Stavropol, Russia elena.logacheva2010@yandex.ru

3) Ph. D., associate Professor FSBEI he Stavropol state agrarian University, Stavropol, Russia yarvictor@yandex.ru

4) undergraduate electrical power engineering faculty of the Stavropol state agrarian University, Bordj Borric, the Algerian people's Democratic Republic

5) студент электроэнергетического факультета ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет г. Ставрополь, Россия, alexey_butkov@mail.ru

Abstract: The flow of electric current through wires can be compared with the flow of water through a pipe, where pressure is an analogue of voltage, and the flow of water is an electric current. With an increase in voltage, the flow of electric current increases. The power lost in the transmission line of a given voltage is proportional to the square of the flowing power. If the voltage is increased by 2 times, then the same power can be transmitted with a current 2 times less, and accordingly the power loss decreases by 4 times. Transformers are used to increase the AC voltage, which makes it possible to transmit electricity with less losses. The article deals with the issue of separation of total losses by individual loads.

Keywords: electric power, electric current, power, power losses, power lines.

Принцип действия постоянного тока достаточно прост – электроны, а, следовательно, и электрический ток течет в одном направлении, и напряжение не меняется. Природа переменного тока более сложна, но напряжение переменного тока можно трансформировать из одного значения в другое. И это даёт большое преимущество для передачи электроэнергии на большие расстояния [1].

Рассмотрим генератор постоянного тока, передающий энергию по длинной линии передачи к небольшой группе потребителей, состоящих из обычных ламп накаливания (рис.1). Всех потребителей можно рассматривать как одну большую лампу. Мощность генератора составляет 100 кВт а напряжение, вырабатываемое генератором, равно 100 В.

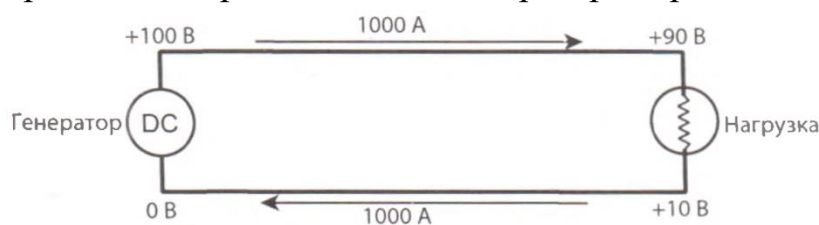


Рисунок 1 – Передача электроэнергии по линии постоянного тока

Проводя аналогию электрический ток – поток воды, напряжение – давление воды, то генератор является водяным насосом. Эта аналогия, основанная на физических закономерностях электротехники, чрезвычайно полезна. Электроны движутся внутри провода так же свободно, как молекулы воды движутся внутри трубы, и каждый электрон сталкивается с другим электроном так же, как сталкивается молекула воды друг с другом.

С помощью генератора создается электрический ток – поток электрической энергии. Этот поток выходит из положительного зажима генератора течет по одному проводу линии электропередачи, затем проходит через лампу освещения и возвращается обратно на отрицательный зажим генератора по второму проводу линии электропередачи.

Такая система подобна идеальной из-за того, что в ней нет потери электрической «жидкости», как и в водопроводной системе. Электроны не могут теряться из провода. Вытекающий в лампу ток равен току, вытекающему из лампы. Часть электрической энергии используется в лампе освещения, а другая ее часть теряется в линии электропередачи, но величина тока не изменяется. Вытекающий ток из любого узла сети, должен сразу же замещаться таким же по величине током, поступающим в этот узел. Об этом и говорится в первом законе Кирхгофа – сумма токов в узле должен быть равен нулю.

С помощью выключателя, установленного в одном из проводов, подключенных к лампе, можно отключить осветительную лампу. При этом останавливается течение тока, аналогично тому если бы мы закрыли водопроводный кран. В обычных условиях электроны не «перескакивают» по воздуху. Выключатель можно поставить в проводе как до лампы, так и после. Подключение лампы к генератору с помощью одного провода не передает ей электрической энергии. Чтобы энергия выделилась в лампе, электрический ток должен пройти через лампу и вернуться к генератору тем самым образуя замкнутый контур, т.е. электрическую цепь [2-3].

Второй закон Кирхгофа – сумма падений напряжения в замкнутом контуре равна нулю. Как видно из рис. 1:

$$(100 - 90) + (90 - 10) + (10 - 0) + (0 - 100) = 0.$$

Электроны в лампе движутся быстрее вследствие того, что сечение нити накаливания меньше провода, аналогично убыстрению течения реки в узком месте. Двигаясь быстрее, электроны сталкиваются с большей силой с атомами вольфрама нити накаливания, из-за чего нить накаливания раскаляется. Возникающее трение приводит также к тому, что напряжение снижается с 90 В на входе лампы до 10 В на выходе из нее (рис. 1). Быстрое протекание электронов по тонкому проводу, как и протекание реки через узкое место, требует затрат энергии. Электрическая мощность P , потребляемая в любом элементе электрической сети, равна падению напряжения U в этом элементе, умноженному на протекающий через него ток I и измеряется в ваттах (Вт).

На рис. 1 мощность, используемая в лампе, равна $80\text{В} \times 1000\text{ А}$, т.е. $80\,000\text{ Вт}$, или 80 кВт . Аналогичным образом, выходная мощность генератора $100\text{ В} \times 1000\text{ А}$ равна 100 кВт . Разница между этими двумя величинами обусловлена потерями в линиях электропередачи. В каждом из проводов линии электропередачи теряется $10\text{ В} \times 1000\text{ А} = 10\,000\text{ Вт}$ или 10 кВт .

При протекании через нить накаливания осветительной лампы электрический ток испытывает большее электрическое «трение»,

затрудняющее его протекание, чем при протекании по проводу линии электропередачи гораздо большего диаметра. При протекании через нить накаливания падение напряжения (давления) должно быть значительно большее, чтобы ток по величине был равен току, протекающему по линии электропередачи. Об этом соотношении между напряжением, током и «трением» говорится в законе Ома. Электрическое «трение», определяющая трудность протекания электрического тока через провода или электрическое оборудование, называется сопротивлением (R , Ом).

Согласно закону Ома, напряжение равно произведению тока на сопротивление ($U = I \times R$). Электрический ток I , протекающий через проводник, равен падению напряжения на проводнике U , деленному на сопротивление R ($I = U / R$). Вследствие того, что сопротивление обычно является постоянным, из закона Ома следует важное соотношение. Для того чтобы увеличить вдвое протекающий через провод ток необходимо также вдвое увеличить приложенное к нему напряжение.

Если совместно рассматривать закон Ома и определение мощности, то можно понять, почему используется высокое напряжение для передачи электрического тока. Сначала рассчитаем сопротивление линий передачи на рис. 1. Используя закон Ома к одному из проводов линии электропередачи ($R = U / I$), получим, что $R = 10 / 1000 = 0,01$ Ом. Теперь представим себе, что напряжение на зажимах генератора на рис. 1 равно 1000В, а ток равен 100 А. Выходная мощность при этом не изменится и составит 100кВт. Каковы будут потери в линии электропередачи при таких условиях? В соответствии с законом Ома падение напряжения между двумя концами линии $U = I \times R = 100 \times 0,01 = 1$ В, что в 10 раз меньше, чем на рис. 1. Кроме того ток в линии равен 100 А, что также в 10 раз меньше, чем на рис. 1. Потеря мощности в линии равна $\Delta P = 1 \text{ В} \times 100 \text{ А} = 100 \text{ Вт}$, что в 100 раз меньше чем на рис.1. Таким образом, увеличение напряжения в 10 раз без изменения передаваемой мощности уменьшает потери в линии в 100 раз. Из 20 кВт мощности, которые раньше терялись, 19,8 кВт могут быть теперь использованы потребителями.

Потери в линии: $\Delta P = \alpha P^2$, где $\alpha = R_L / U^2$. Потери в линии ΔP , пропорциональны квадрату мощности P , потребляемой нагрузкой, и сопротивлению в линии R_L и обратно пропорциональны квадрату напряжения в линии U . Это соотношение объясняет уменьшение потерь с увеличением напряжения.

Для того чтобы вывести это соотношение, представим себе, что мощность нагрузки изменяется, а системный оператор поддерживает постоянное напряжение. Потребляемая мощность нагрузки равна $P = U \cdot I$, где ток, протекающий через нагрузку по величине равен току, протекающему в линии. Поэтому ток в линии электропередачи I_L равен I и равен соотношению P/U . По закону Ома разность напряжений между началом и концом линии электропередачи определяется следующими соотношениями:

$$\Delta U = I \cdot R_L \quad \Delta P = \Delta U \cdot I \quad \Delta P = I^2 \cdot R_L = (P/U)^2 \cdot R_L.$$

Из выражения следует, что потери мощности в линии прямо пропорциональны квадрату мощности, передаваемой по линии, и обратно пропорциональны квадрату напряжения в этой линии. Например, при увеличении напряжения с 200В до 500кВ переменного тока потери мощности в линии электропередачи уменьшатся примерно в шесть миллионов раз. Это делает передачу большой мощности на большие расстояния выгодной на большом напряжении [4-5].

В электрических сетях переменного тока используются трансформаторы для повышения напряжения и передачи электроэнергии на большие расстояния, у потребителей с помощью понижающих трансформаторов снижают напряжение до безопасного уровня для потребления [4, 6].

Потери мощности в линии пропорциональны квадрату мощности, потребляемой нагрузкой, соответственно две одинаковые по мощности нагрузки создают в 4 раза большие потери, чем каждая из этих нагрузок по отдельности. Это делает невозможным какое-либо аргументированное разнесение суммарных потерь по отдельным нагрузкам. Точно так потери в линиях из-за параллельной работы генераторов не могут быть отнесены к конкретному генератору.

Список использованных источников:

1. Эксплуатация линий распределительных сетей систем электроснабжения: учебное пособие / Е.Е. Привалов, А.В. Ефанов, С.С. Ястребов, В.А. Ярош под ред. Е.Е. Привалова. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2018, – 204 с.
2. Электробезопасность: учебное пособие / Е.Е. Привалов, А.В. Ефанов, С.С. Ястребов, В.А. Ярош под ред. Е.Е. Привалова. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2018, – 209 с.
3. Электробезопасность работников электрических сетей: учебное пособие / Е.Е. Привалов, А.В. Ефанов, С.С. Ястребов, В.А. Ярош под ред. Е.Е. Привалова. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2018, – 370 с.
4. Повышение надежности работы электрооборудования в сельскохозяйственных организациях и на объектах переработки сельскохозяйственной продукции: научно-практическое пособие / И.В. Атанов, В.Я. Хорольский, А.В. Ефанов, А.Б. Ершов, В.Г. Жданов, С.С. Ястребов, В.А. Ярош; Ставропольский гос. аграрный ун-т. – Ставрополь, 2018. – 104 с.
5. Мастепаненко М.А., Ефанов А.В., Ярош В.А., Вахтина Е.А. Аналитический метод определения переходных отклонений напряжения системы автономного электроснабжения при воздействии детерминированных возмущений // Электротехника. 2018. № 7. С. 26-29.
6. Зинченко О.И., Манин М.П., Горovenko Л.А. Разработка прототипа конфигуратора параметров целевой функции для задач моделирования

энергосбережения // Прикладные вопросы точных наук: Материалы I Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, преподавателей.- Армавир: ООО «Типография имени Г. Скорины», 2017. – С.220-226.