

УДК 621.315

ВЛИЯНИЕ РАСЩЕПЛЕНИЯ ФАЗНЫХ ПРОВОДНИКОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЛИНИИ И ПРОВОДОВ

Б.Б. Утегулов, А.Б. Утегулов, Д.Б. Утегулова,
О.С. Волгина, Е.В. Мишина

Павлодарский государственный университет
им. С. Торайгырова

В.В. Ткаченко

Костанайский государственный университет
им. А. Байтурсынова

Активті және реактивті кедергі желісіне және фаза өткізгіштегі санның өзгерілу өткізгіштігіне зерттеулер жүргізілді. Жеке кабельдегі әр фазадағы жетік болғанда желістің реактивті кедергісі екі есеге ұлғаяды, ал металмен қапталған кабельдерді қолданғанда бұл фазалар қаптың экрандығынан азаяды, ал желістің реактивті кедергісі өзгерілмейді. Сонымен, қатар электрлік есептеуде желістегі өткізгіштің активті кедергісі және электрөткізгіштерін үнемі ток ағымында кедергінің теңдік мағынасында қолдануға болады.

Проведены исследования изменения активного и реактивного сопротивлений линии и проводов при изменении числа проводников в фазе. Установлено, что при прокладке в каждой фазе отдельного кабеля реактивное сопротивление линии увеличивается ориентировочно в два раза, а при применении кабелей с металлической оболочкой взаимное влияние фаз уменьшится из-за их экранирования оболочкой, а реактивное сопротивление линии не изменится. А также из этого следует, что при электрических расчетах активное сопротивление проводников в линиях и электропроводах можно принимать равным значению их сопротивления при постоянном токе без учета добавочных потерь.

Researches of change of active and jet resistance of a line and postings are carried out (spent) at change of number of conductors in a phase. It is established, that at a lining in each phase of a separate cable jet resistance of a line is increased roughly twice, and at application of cables with a metal environment mutual influence of phases will decrease because of their shielding by an

environment, and jet resistance of a line will not change. And also follows, that at electric calculations active resistance of conductors in lines and electro postings can be accepted equal to value of their resistance at a direct current without taking into account additional losses.

Для выполнения разного рода электрических расчетов необходимо знать электрические параметры кабельных линий и электропроводок. Для линий напряжением до 1000 В прежде всего представляют интерес удельное активное и реактивное (индуктивное) сопротивление, измеряемое обычно в Ом/км. Для линий, выполненных с одним проводником в фазе, такие данные известны и приводятся в справочной литературе /1/. Рассмотрим характер изменения активного и реактивного сопротивления линии и проводок при изменении числа проводников в фазе.

При переменном токе активное сопротивление проводника отличается от сопротивления на постоянном токе из-за возникновения поверхностного эффекта и эффекта близости /2/. Сопротивление при переменном токе $R_{\sim}$ определяется равенством:

$$R_{\sim} = R_0 \cdot k_d, \quad (1)$$

где R_0 – сопротивление при постоянном токе;

k_d – коэффициент добавочных потерь, вызванных поверхностным эффектом и эффектом близости.

Коэффициент добавочных потерь определяется выражением:

$$k_d = k_n \cdot k_b, \quad (2)$$

где k_n – коэффициент поверхностного эффекта;

k_b – коэффициент близости.

Известно /1/, что чем больше частота тока, чем меньше удельное сопротивление проводника, тем больше поверхностный эффект. При использовании проводников большого сечения из-за поверхностного эффекта внутренняя часть сечения не обтекается током и фактически не используется. Таким образом, замена одного проводника на несколько с меньшим значением диаметра ведет к улучшению использования проводникового материала.

Коэффициент близости уменьшается с увеличением расстояний между проводниками. При расщеплении фазного провода на несколько расстояние между проводниками несколько увеличивается, следовательно, уменьшается коэффициент близости.

Теоретически обоснованные и проверенные опытом коэффициенты добавочных потерь имеются для уединенных проводников ограниченного числа видов сечений: круглого, кольцевого и прямоугольного /1/. Коэффициент добавочных джоулевых потерь для уединенных про-

водников круглого сечения при частоте 50 Гц может быть определен по кривым /1/ в зависимости от параметра $R_o^{-0,5}$, где R_o – погонное сопротивление проводника постоянному току при расчетной температуре, Ом/м.

$$100 = R_o^{-0,5} = \sqrt{\frac{S}{\rho \cdot l}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot \rho \cdot l}} = d \cdot \sqrt{\frac{\pi}{4 \cdot \rho \cdot l}}$$

Для алюминиевых проводников длиной 1м с $r = 0,03$ мкОм/Чм:

$$100 = d \cdot \sqrt{\frac{3,14}{4 \cdot 0,03}} = 5,12 d.$$

Для медных проводников длиной 1м с $r = 0,017$ мкОм/Чм:

$$100 = d \cdot \sqrt{\frac{3,14}{4 \cdot 0,017}} = 6,8 d.$$

Таким образом, при диаметрах проводников меньше, чем

$$\frac{100}{5,12} = 19,53 \text{ мм.}$$

для алюминиевых проводников коэффициентом добавочных потерь можно пренебречь.

Максимальные сечения проводников, при которых можно пренебречь коэффициентом добавочных потерь, составляют 299,4 мм² для алюминиевых проводников и 169,6

При значении параметра $R_o^{-0,5}$ 100 коэффициент добавочных потерь составляет единицу. Отсюда можно определить минимальный диаметр круглого проводника, при котором коэффициент добавочных потерь равен единице.

мм² для медных проводников. С учетом стандартного ряда сечений проводников максимальные значения составят 240 мм² для алюминиевых проводников и 150 мм² для медных.

Таким образом, расщепление проводников практически не влияет на величину коэффициента добавочных потерь для алюминиевых проводников, применяемых в электропроводках, т.к. максимальное значение сечения для них составляет 240 мм². Расщепление медных проводников при сечениях больше 150 мм², а именно 185 и 240 мм² позволит уменьшить коэффициент добавочных потерь.

Значения коэффициента добавочных потерь для медных проводников составит /1/:

- для сечения 185 мм² – 1,02;
- для сечения 240 мм² – 1,03.

Отсюда можно сделать вывод, что при электрических расчетах активное сопротивление проводников в линиях и электропроводках можно принимать равным значению их

сопротивления при постоянном токе без учета добавочных потерь.

Реактивное сопротивление ка-

$$x_o = 145 \cdot 10^{-3} \lg \frac{2 \cdot l_{cp}}{d} + 0,016, \quad (3)$$

где l_{cp} – среднее геометрическое расстояние между центрами жил кабеля;

d – диаметр жилы кабеля.

Среднее геометрическое расстояние между фазными проводниками /3/:

$$l_{cp} = \sqrt[3]{l_{12} \cdot l_{23} \cdot l_{31}}, \quad (4)$$

где l_{12} , l_{23} и l_{31} – расстояния между проводниками фаз 1-2, 2-3 и 3-1.

При выполнении линий двумя, тремя или четырьмя кабелями с соединением всех проводников одной фазы под один зажим (аппаратный или другой конструкции), реактивные сопротивления отдельных кабелей получаются подключенными параллельно. Общее реактивное сопротивление линии, состоящей из n кабелей с реактивным сопротивлением X_{o1} каждый, будет равно:

$$X_{on} = \frac{X_{o1}}{n}.$$

Таким образом, общее реактивное сопротивление линии при расщеплении фазных проводников уменьшается.

$$l_{cp} = \sqrt[3]{2d \cdot 2d \cdot 4d} = \sqrt[3]{16d} = 2,52 \cdot d = 2,52 \cdot 23,9 = 60,23 \text{ мм.}$$

бельной линии или электропроводки определяется по формуле /3/, Ом/км:

При выполнении линии с отдельными кабелями в каждой фазе увеличивается, с одной стороны, расстояние между фазами l_{cp} , с другой стороны, диаметр кабеля (d).

Характер изменения реактивного сопротивления линии в этом случае нужно определять расчетом по формуле (3).

Выполним расчет удельного реактивного сопротивления линий, выполненных отдельными кабелями марки АВВГ в каждой фазе, для случаев прокладки кабеля по кабельным конструкциям и в траншее.

При прокладке кабеля АВВГ в воздухе по кабельным конструкциям, минимальное расстояние между кабелями принимается равным диаметру кабеля.

Пусть линия выполнена кабелем АВВГ-1 (4г25) в каждой фазе. Диаметр кабеля составляет 23,9 мм, толщина оболочки кабеля составляет 1,45 мм, толщина изоляции жил – 1,2 мм.

Среднее геометрическое расстояние между фазными проводниками составит:

Эквивалентный диаметр фазного проводника будет равен диаметру кабеля без оболочки и изоляции жил с внешней стороны:

$$d_{\text{экв}} = d_{\text{каб}} - 2\delta_{\text{об}} - 2\delta_{\text{из}};$$

$$d_{\text{экв}} = 23,9 - 2 \cdot 1,45 - 2 \cdot 1,2 = 18,6 \text{ мм.}$$

Реактивное сопротивление кабеля, Ом/км:

$$x_o = 145 \cdot 10^{-3} \lg \frac{2 \cdot 60,23}{18,6} + 0,016 = 0,134 \text{ Ом/км.}$$

Реактивное сопротивление кабеля АВВГ-1кВ сечением 4г25 мм² согласно /1/ составляет 0,066 Ом/км. Таким образом, реактивное сопротивление линии увеличилось примерно в два раза. Не трудно за-

метить, что при вышеописанном расположении кабелей, если пренебречь толщиной оболочки и изоляции кабеля, реактивное сопротивление кабеля для любого сечения:

$$x_o \approx 145 \cdot 10^{-3} \lg \frac{2 \cdot 2,52d}{d} + 0,016 \approx 0,118 \text{ Ом/км.}$$

Это значение реактивного сопротивления кабелей марки АВВГ допустимо принимать при ориентировочных электрических расчетах кабельных линий.

Для кабельной линии, проклады-

ваемой в траншее, когда в каждой фазе прокладывается отдельный кабель, и расстояние между отдельными кабелями составляет 100 мм, среднее геометрическое расстояние между фазными проводниками составляет:

$$l_{\text{ср}} = \sqrt[3]{2 \cdot (100 + d) \cdot (100 + d) \cdot (100 + d)} = \sqrt[3]{2} \cdot (100 + d) = 1,26 \cdot (100 + d).$$

Пренебрегая толщиной оболочки и изоляции кабеля, получим:

$$x_o \approx 145 \cdot 10^{-3} \lg \frac{1,26 \cdot (100 + d)}{d} + 0,016;$$

$$x_o = 145 \cdot 10^{-3} \lg \left(1,26 + \frac{126}{d} \right) + 0,016.$$

Для четырехжильных кабелей АВВГ диаметр d изменяется от 11,4

мм при сечении жил 2,5 мм² до 46,4 мм при сечении жил 185 мм². Удель-

ное реактивное сопротивление при этом будет изменяться в пределах от 0,174 до 0,103 Ом/км.

Таким образом, при прокладке в каждой фазе отдельного кабеля реактивное сопротивление линии увеличивается ориентировочно в

два раза.

При применении кабелей с металлической оболочкой взаимное влияние фаз уменьшится из-за их экранирования оболочкой, а реактивное сопротивление линии не изменится.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электротехнический справочник: В 3-х т. Т.2. Электротехнические изделия и устройства. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 712 с.

2. Семчинов А.М. Токопроводы промышленных предприятий. –

Л.: Энергия, 1972. – 200 с.

3. Анастасиев П.И., Бранзбург Е.З. и др., под общ. ред. Хромченко Г.Е. Проектирование кабельных сетей и проводок. – М.: Энергия, 1979. – 328 с.
