

«Сейфуллин оқулары – 18: « Жастар және ғылым – болашаққа көзқарас» халықаралық ғылыми -практикалық конференция материалдары = Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 18: « Молодежь и наука – взгляд в будущее» - 2022.- Т.І, Ч.V. – С.180-184

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ЧЕТЫРЕХПРОВОДНОЙ СИСТЕМЕ САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДАХ С УЧЕТОМ ВНУТРЕННЕГО ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ФАЗАМИ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

*Рысмагамбетова К. магистрант 2 курса  
Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, г. Нур-Султан*

Одной из характерных особенностей режимов распределительных сетей является несимметрия. Она возникает вследствие неравномерного распределения однофазных электроприемников по фазам и в наибольшей степени проявляется в сетях напряжением до 1000 В. Если нулевая жила имеет тот же материал и сечение, что и фазные провода, то в однофазном режиме потери в ней будут равны потерям в фазе. В действительности нулевая жила по материалу и сечению обычно отличается от фазных проводов. В этом случае кратность увеличения потерь будет несколько больше или меньше указанного значения.

Приведенные рассуждения справедливы при допущении, что активное сопротивление провода – постоянная величина. В действительности активное сопротивление имеет температурную зависимость. Увеличение потерь в несимметричных режимах неизбежно приводит к повышению температуры нагруженных проводов. В результате активные сопротивления также изменяются (в среднем в сторону увеличения), действуя по отношению к потерям как положительная обратная связь. Все это приводит к дополнительному повышению кратности потерь в несимметричных режимах.

Для приближенной оценки этой кратности предположим, что превышение температуры провода над температурой окружающей среды  $\Delta T$  пропорционально квадрату тока. Продолжая сравнение однофазного и трехфазного (симметричного) режима, введем условие, что в однофазном режиме температура нагруженных проводов достигает предельно допустимого значения  $90^{\circ}\text{C}$  (для изоляции из сшитого полиэтилена). В трехфазном симметричном режиме токи в 3 раза меньше. Следовательно, превышение температуры нагруженных проводов уменьшится в 9 раз. Если температура окружающей среды составляет  $0^{\circ}\text{C}$ , то превышения температур

проводов в симметричном режиме будут равны  $10^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, разница температур нагруженных проводов в рассматриваемых режимах при данных условиях и допущениях составит  $80^{\circ}\text{C}$ . С учетом значения температурного коэффициента сопротивления ( $\sim 0,004 \text{ 1}/^{\circ}\text{C}$ ) данной разнице температур соответствует изменение активного сопротивления приблизительно на 32%. Таким образом, итоговая кратность потерь в однофазном режиме по сравнению с трехфазным будет равна  $6 \cdot 1,32 \approx 7,9$ .

Полученная величина существенно превышает оценку кратности потерь без учета температурной зависимости сопротивления. Это позволяет сделать следующие выводы:

- задача снижения потерь энергии в несимметричных режимах является весьма актуальной;
- при решении этой задачи целесообразно учитывать температурную зависимость сопротивления.

Расчет температурного режима четырехпроводной системы удобно производить на основе схемы замещения тепловых процессов.

Выразим потери активной мощности через токи в проводах с учетом температурной зависимости сопротивления [1]:

$$\Delta P_i = I_i^2 R_{20} [1 + \alpha (\dot{O}_i - 293)], \quad (1)$$

где  $i = A, B, C, 0$ ;

$R_{20}$  – активное сопротивление токоведущей жилы при температуре  $20^{\circ}\text{C} \approx 293 \text{ K}$  (в дальнейшем для фазных жил и нулевой жилы будем использовать обозначения  $R_{20,\phi}$  и  $R_{20,0}$ ),

$\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления.

С учетом геометрии четырехпроводной воздушной линии (рисунок 1) число параметров системы можно существенно уменьшить. Поскольку фазы А и С находятся в одинаковых условиях по отношению к фазе В и нулевому проводу, то  $S_{AB} = S_{BC}$  и  $S_{A0} = S_{C0}$ . Кроме того, фазы А и С не имеют непосредственного теплового контакта. Поэтому  $S_{AC} \rightarrow \infty$ .

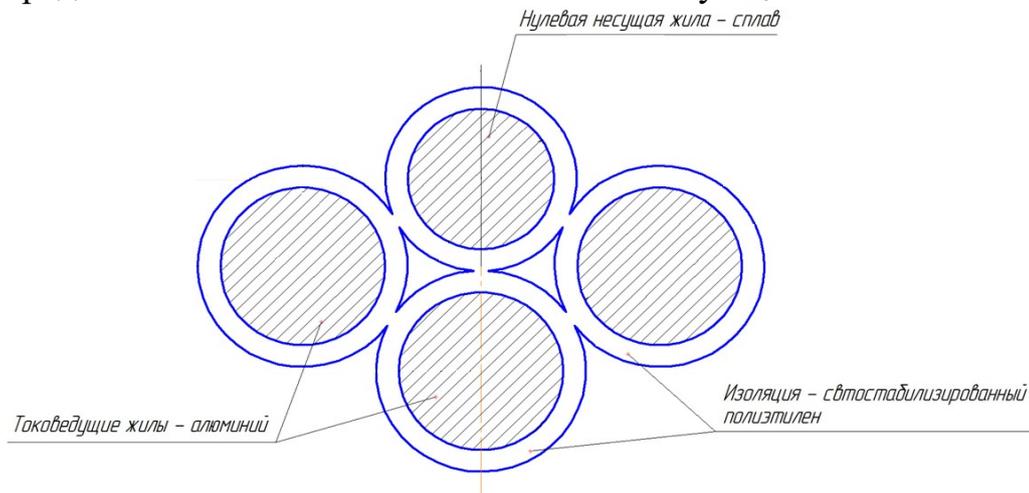


Рисунок 1 - Геометрические размеры четырехпроводной системы СИП: справа и слева расположены провода фаз А и С, снизу – фаза В, сверху – нулевой провод

Учитывая формулу (1) и геометрию линии, уравнение теплового баланса можно записать следующим образом:



(2)

Основную сложность при решении данной задачи представляет идентификация параметров системы (2), т.е. определение тепловых сопротивлений. В общем случае это можно сделать на основе расчета теплового поля четырехпроводной системы.

При нахождении тепловых сопротивлений коэффициент теплоотдачи конвекцией принимается равным постоянной величине (что соответствует вынужденной конвекции), а лучистый теплообмен не учитывается. Кроме того, не учитывается температурная зависимость сопротивления. Данные допущения не позволяют правильно рассчитать тепловой режим в реальных условиях. Однако каждому решению, полученному таким способом, соответствует вполне реальный режим при несколько других токах и условиях охлаждения (коэффициенте теплоотдачи). Этого достаточно для расчета тепловых сопротивлений.

Обозначим результаты расчета температур жил в  $i$ -м режиме как  $T_{Ai}$ ,  $T_{Bi}$ ,  $T_{Ci}$ ,  $T_{0i}$ , а соответствующие тепловыделения как  $\Delta P_{Ai}$ ,  $\Delta P_{Bi}$ ,  $\Delta P_{Ci}$  и  $\Delta P_{0i}$ . Тогда на основании системы (2) для фазы А можно записать [2]:



(3)

Путем решения системы (3) легко определяются тепловые сопротивления  $S_{AB}$ ,  $S_{AC}$ ,  $S_{A0}$ ,  $S_A$ .

Системы уравнений, аналогичные (3), составляются и решаются также для других фаз и нулевого провода. Аналогичные расчеты необходимо провести также при других условиях охлаждения (скорости ветра) с целью варьирования коэффициента теплоотдачи. В результате математических расчетов при различной скорости была выявлена связь между собственными и взаимными тепловыми сопротивлениями.

Учет взаимосвязи собственных и взаимных сопротивлений удобнее всего осуществить путем аппроксимации обратных величин линейными функциями [3]:

$$S_{AB}^{-1} = a_1 + b_1 S_{cp}^{-1}, \quad (4)$$

$$S_{A0}^{-1} = a_2 + b_2 S_{cp}^{-1}, \quad (5)$$

$$S_{B0}^{-1} = a_3 + b_3 S_{cp}^{-1}, \quad (6)$$

где  $S_{cp}$  – среднее значение собственных сопротивлений [3],

$$S_{cp} = \frac{S_A + S_B + S_C + S_0}{4}. \quad (7)$$

В свою очередь, собственные сопротивления могут быть аппроксимированы следующим образом [3]:

$$S_i = c_i + \frac{d_i}{\alpha_{к,i} + \alpha_{и,i}}, \quad (8)$$

где  $i = A, B, C, 0$ ;

$\alpha_{к,i}$  и  $\alpha_{и,i}$  – коэффициенты соответственно теплоотдачи конвекцией и теплопередачи излучением; первое слагаемое моделирует тепловое сопротивление изоляции, а второе – тепловое сопротивление окружающей среды.

Коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_{к,i}$  при вынужденной конвекции представляют собой постоянные величины, а при естественной конвекции являются функциями средней температуры внешней поверхности соответствующего провода  $T_{внеш,i}$  [4]. Эту температуру можно приближенно определить следующим образом [5]:

$$T_{внеш,i} = T_i - \Delta P_i c_i, \quad (9)$$

где  $i = A, B, C, 0$ .

Система уравнений (2) дополняется выражениями (1), (4) – (9) и выражениями коэффициентов теплоотдачи конвекцией и излучением. В результате получается математическая модель, позволяющая определить температуры всех жил и потери мощности с учетом нелинейности процессов теплоотдачи.

Величина потерь в проводе в целом определяется по формуле [6]:

$$\Delta P_{\Sigma} = \sum \Delta P_i \quad (11)$$

Вычисление потерь методом средних нагрузок примет вид:

$$\Delta W = k_{\lambda} k_{\kappa} \Delta P_{\Sigma_{cp}} T_j k_{\phi}^2, \quad (12)$$

где  $\Delta P_{\Sigma_{cp}}$  – потери мощности в СИП при средних за расчетный интервал нагрузках.

Выводы. Проведенные исследования создают теоретическую основу для повышения точности расчета потерь электрической энергии в самонесущих изолированных проводах с учетом воздействия на эксплуатируемые линии электропередачи температуры окружающей среды и других факторов.

#### Список использованной литературы

1 Абрамович Б.Н., Гульков В.М., Полищук В.В., Сергеев А.М., Шийко А.П. Расчет и проектирование воздушных линий с покрытой изоляцией проводами / Под общей ред. д-ра техн. наук, проф Б.Н. Абрамовича. – СПб. : Изд-во Нестор, 2003. – 109 с.

2 Воротницкий В.Э., Туркина О.В. Оценка погрешностей расчета потерь электроэнергии в ВЛ из-за неучёта метеоусловий // Электрические станции. – 2008. – №10. – С.42-49.

3 Герасименко, А.А. Комплексный учет режимно-атмосферных факторов в расчете активного сопротивления и потерь электроэнергии в ЛЭП/ А.А. Герасименко, И.В. Шульгин, Г.С. Тимофеев // Межвуз. сб-к научных трудов " Оптимизация режимов работы электрических систем". – Красноярск. – 2008 г. – С. 188-206.

4 Горюнов В.Н., Гиршин С.С., Петров А.С., Петрова Е.В. Уточнение метода расчета температуры провода при постоянной нагрузке с учетом климатических факторов ОмГТУ, 2010. – 23с. Деп. в ВИНТИ 08.04.10 № 198-B2010

5 Лут Н.Т., Мирошник А.А. Расчет потерь электрической энергии в распределительных сетях в реальном времени с учетом параметров окружающей среды / Энергетика і автоматика, 2010. - №1(3).

6 Мирошник А.А. Уточненные алгоритмы расчета потерь электроэнергии в сетях 0,38 кв в реальном времени / Problemele energeticii regionale, 2010. - 2(13).