



## ЭКСПЛУАТАЦИЯ, МОНТАЖ И НАЛАДКА

### Определение активных и индуктивных сопротивлений самонесущих изолированных проводов низкого напряжения

Смирнов Е. А., канд. техн. наук

ООО «ГлобалЭнергоПроект-Восток», Новосибирск

Рассмотрена конструкция воздушных линий (ВЛ) до 1 кВ с применением самонесущих изолированных проводов (СИП). Для определения токов в нормальных режимах и при КЗ в электрических сетях 0,4 кВ используются сопротивления прямой и нулевой последовательностей СИП. Приведены расчетные значения параметров этих последовательностей при различных сечениях токопроводящей жилы и нулевого провода.

**Ключевые слова:** самонесущие изолированные провода, активные сопротивления, индуктивные сопротивления, прямая последовательность, нулевая последовательность.

В настоящее время при строительстве ВЛ до 1 кВ широко используются самонесущие изолированные провода, которые следует применять на линиях данного напряжения согласно главе 2.4 ПУЭ [1].

ВЛ до 1 кВ с СИП обозначаются как ВЛИ. Конструктивно ВЛИ выполняются на опорах с применением железобетонных и металлических стоек, на которых посредством специальной арматуры подвешены СИП. Крепление проводов к опорам осуществляется с помощью бандажных лент, поддерживающих и натяжных зажимов, а соединения и ответвления — с помощью соединительных и ответвительных зажимов.

Конструктивно СИП представляют собой скрученные в один жгут нулевой и фазные проводники, покрытые изоляционной оболочкой, выполненной из сшитого полиэтилена. В получившей широкое распространение конструкции СИП-2 (рис. 1) изолированные фазные проводники скручены вокруг изолированного нулевого провода, который является несущим элементом. Эти изготавливаемые из алюминия проводники представляют собой многожильный токопровод с количеством проволок от 7 до 19. Нулевой проводник выполнен из термоупрочненного алюминиевого сплава АВЕ.

Основное преимущество ВЛИ с СИП по сравнению с воздушными линиями с неизолированными проводами — меньшее (более чем в 3 раза) реактивное сопротивление, что обуславливает снижение потерь электроэнер-

гии и эксплуатационных затрат, а также повышение надежности линий.

Для расчета нормальных режимов и токов КЗ в электрической сети 0,4 кВ используются сопротивления прямой и нулевой последовательностей ВЛИ. В технической информации, представляемой производителями СИП, обычно указаны значения:

активных сопротивлений токопроводящих (фазных) проводов по постоянному току;

активных сопротивлений нулевого провода по постоянному току;

индуктивного сопротивления фазного провода;

индуктивного сопротивления нулевого провода.

Отсюда можно сделать вывод, что данные сопротивления определены без учета влияния

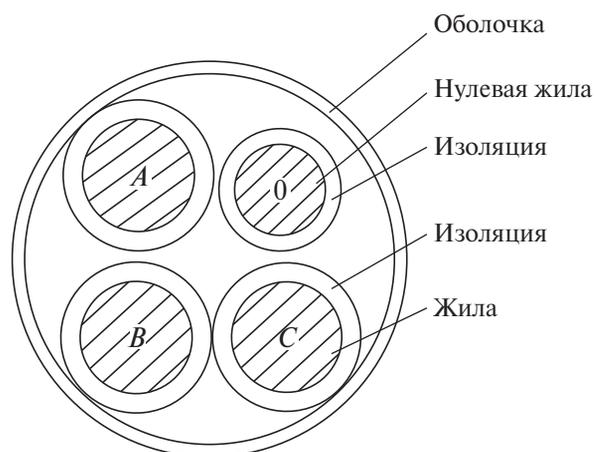


Рис. 1

Таблица 1

СИП-2	Электрическое сопротивление фазного/нулевого провода, Ом/км	Радиус токопроводящей жилы/нулевого провода, мм	Толщина изоляции жилы/нулевого провода, мм	Радиус жилы с изоляцией, мм	Радиус нулевого провода с изоляцией, мм	Расстояние между центрами жил А, В и В, С, мм	Расстояние между центрами жил А и С и нулевым проводом, мм
$3 \times 120 + 1 \times 95$	0,253/0,363	6,55/5,85	1,70/1,70	8,25	7,55	16,5	15,8
$3 \times 120 + 1 \times 70$	0,253/0,493	6,25/4,93	1,70/1,70	7,95	6,63	15,9	14,58
$3 \times 95 + 1 \times 70$	0,320/0,493	5,55/4,73	1,70/1,70	7,25	6,43	14,5	13,68
$3 \times 70 + 1 \times 54,6$	0,443/0,630	4,73/4,6	1,50/1,60	6,23	6,20	12,45	12,43
$3 \times 50 + 1 \times 54,6$	0,641/0,630	3,93/4,60	1,50/1,60	5,43	6,20	10,85	11,63

токов прямой и нулевой последовательностей, протекающих в соседних фазах и в нулевом проводе.

Активное и индуктивное сопротивления прямой (обратной) последовательности СИП определяют по известным выражениям для ВЛ [2]. Активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности для трех проводов СИП вычисляют так же, как для ВЛ [2], вводя в выражение для расчета сопротивления нулевой последовательности воздушной линии средний геометрический радиус трех фаз СИП.

В системе трех фазных проводов СИП с нулевым проводом в схеме нулевой последовательности нулевой провод образует контур для протекания токов нулевой последовательности. При замыкании фазного провода СИП на нулевой провод последний служит обратным проводом. Следовательно, в данной схеме нулевой провод в схеме нулевой последовательности оказывает влияние на сопротивление фазных проводов СИП. И наоборот, при определении сопротивления нулевого провода в случае протекания токов

нулевой последовательности необходимо учесть взаимную индукцию между фазными проводами СИП и нулевым проводом, что довольно затруднительно при использовании существующих моделей.

Для определения сопротивлений прямой и нулевой последовательностей ВЛ с СИП применяли программу COMSOL Multiphysics, предназначенную для моделирования и расчетов инженерных задач, основанных на решении дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных элементов. С помощью программного обеспечения осуществляли конечноэлементный анализ вместе с сеткой, учитывающей геометрическую конфигурацию тел, с использованием разнообразных численных решателей. Для расчета квазистатических полей в проводящих магнитных и диэлектрических материалах ВЛ с СИП применяли модель AC/DC Module раздел (Quasi-Statics, Electromagnetic In-Plane Electric and Induction Currents, Potentials).

Расчеты выполняли для конструкции СИП-2 с изолированными фазными и нулевыми проводами [3], показанной на рис. 1. В качестве изоляции фаз и нулевого провода, а также оболочки был использован светостаби-

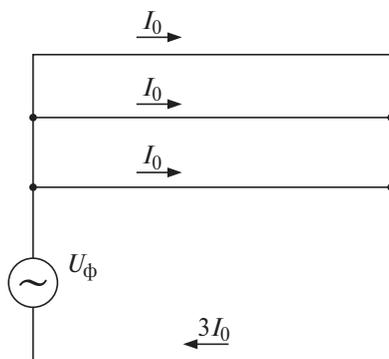


Рис. 2

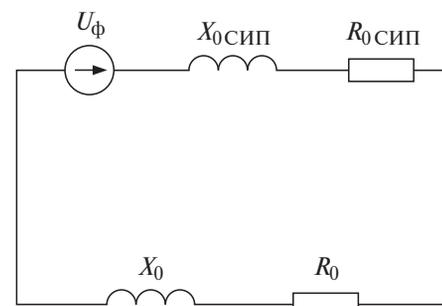


Рис. 3

Таблица 2

Сечение токопроводящей жилы СИП-2, мм <sup>2</sup>	50	70	95	120	120
Сечение нулевого провода, мм <sup>2</sup>	54,6	54,6	70	70	95
Активное сопротивление прямой последовательности, Ом/км	0,4982	0,4350	0,3167	0,2286	0,2176
Индуктивное сопротивление прямой последовательности, Ом/км	0,0831	0,0841	0,0830	0,0802	0,084
Активное сопротивление нулевой последовательности фаз СИП, Ом/км	0,8496	0,7820	0,6766	0,5772	0,4851
Индуктивное сопротивление нулевой последовательности фаз СИП, Ом/км	0,3480	0,3584	0,3563	0,3311	0,2490
Активное сопротивление нулевой жилы в цепи нулевой последовательности, Ом/км	0,3582	0,3486	0,3123	0,2709	0,2074
Индуктивное сопротивление нулевой жилы в цепи нулевой последовательности, Ом/км	0,0279	0,0280	0,0348	0,0408	0,0444
Эквивалентное активное сопротивление нулевой последовательности, Ом/км	1,9241	1,8277	1,6136	1,3839	1,1073
Эквивалентное индуктивное сопротивление нулевой последовательности, Ом/км	0,430	0,4425	0,4607	0,4534	0,3822

лизированный сшитый полиэтилен. Основные конструктивные характеристики СИП-2 приняты по типовому проекту 26.0086-ПЗ [4] и ГОСТ Р 52373–2005 [5]. В табл. 1 приведены геометрические размеры, а также активные сопротивления фазных и нулевых проводов [4] разных конструкций СИП-2.

Для расчета сопротивлений нулевой последовательности в ВЛИ с СИП-2 воспользуемся схемой токов нулевой последовательности  $I_0$  на рис. 2. Схема замещения токов нулевой последовательности цепи “три фазы — нулевой провод” приведена на рис. 3. В данной схеме сопротивлением земли пренебрегаем исходя из того, что практически весь ток нулевой последовательности течет по нулевому проводу. В этом случае эквивалентное сопротивление нулевой последовательности  $Z_{0\text{эк}}$  определяется по формуле

$$Z_{0\text{эк}} = (R_{0\text{СИП}} + jX_{0\text{СИП}}) + 3(R_0 + jX_0),$$

где  $R_{0\text{СИП}}$ ,  $X_{0\text{СИП}}$  — активное и индуктивное сопротивления фазных проводов СИП при протекании токов нулевой последовательности;  $R_0$  и  $X_0$  — активное и индуктивное сопро-

тивления нулевого провода при протекании тока нулевой последовательности.

Результаты расчетов параметров ВЛИ с СИП-2 при разных сечениях токопроводящей жилы и нулевого провода представлены в табл. 2. Эти данные могут быть использованы при определении потерь напряжения и мощности в ВЛИ, а также трехфазных и однофазных токов КЗ в сети 0,4 кВ.

#### Список литературы

1. **Правила** устройства электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 2002.
2. **Электромагнитные** переходные процессы в электрических системах: Учеб. для электротехн. и энерг. вузов. — М.: Энергия, 1970.
3. **Рекомендации** по применению самонесущих изолирующих проводов и линейной арматуры на воздушных линиях 0,4 кВ. — М.: ООО “НИЛЕД-ТД”, 2007.
4. **Типовой** проект “Одноцепные, двухцепные и переходные железобетонные опоры ВЛ 0,38 кВ с линейной арматурой компании “Тайко Электроникс Симель”. РОСЭП, 2006.
5. **ГОСТ Р 52373–2005.** Провода самонесущие изолированные и защищенные для воздушных линий электропередачи.

smirnov@global-epv.ru