



## ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

### К вопросу о расчете токов однофазного КЗ в линиях с самонесущими изолированными проводами

Смирнов Е. А., канд. техн. наук

ООО «ГлобалЭнергоПроект-Восток», Новосибирск

При выполнении проектов электроснабжения для выбора параметров плавких вставок фидеров рассчитывают однофазные КЗ. В настоящее время при строительстве линий 0,4 кВ широко применяются самонесущие изолированные провода (СИП), для которых не нормируются параметры прямой и нулевой последовательностей, необходимые при расчете токов КЗ. В связи с этим в практических вычислениях используют упрощенную методику, в которой в качестве расчетной величины для СИП принимают полное сопротивление фаза – нуль. Показано, что применение этой методики для расчетов однофазного КЗ приводит к занижению до 25 % расчетного значения однофазного тока.

**Ключевые слова:** однофазное КЗ, самонесущие изолированные провода, методики расчета токов КЗ.

При выполнении проектов электроснабжения жилых поселков одноэтажной застройки для выбора параметров плавких вставок фидеров осуществляются расчеты токов однофазных КЗ. Для определения чувствительности к ним плавких вставок вычисляют значения этих токов в конце самой удаленной от питающей подстанции точке на вводе в жилой дом. Методика их расчета в линиях 0,4 кВ подробно изложена в [1, 2]. В настоящее время эти линии выполняются с использованием СИП. Однако из-за отсутствия данных о параметрах прямой и нулевой последовательностей для СИП выполнить расчеты по этой методике не представляется возможным.

В Западно-Сибирском управлении Федеральной службы по экологическому и атомному надзору при согласовании проектов электроснабжения на напряжении 10/0,4 кВ используют упрощенную методику расчета токов однофазного КЗ [3, 4]. Ее применение как раз и объясняется отсутствием в нормативных документах расчетных значений указанных сопротивлений. В качестве параметров СИП в данной методике используют приведенные в технической литературе расчетные значения полного сопротивления фаза – нуль СИП. Но очевидно, что токи КЗ, определенные по данной методике, имеют значительную погрешность.

В данной статье приведены параметры прямой и нулевой последовательностей СИП и выполнено сопоставление указанных выше методик при расчете токов однофазного КЗ в линиях 0,4 кВ с СИП.

В получившей широкое распространение конструкции СИП-2 изолированные фазные проводники скручены вокруг изолированного нулевого провода, являющегося несущим элементом. Эти изготавливаемые из алюминия проводники представляют собой токопроводящую жилу с количеством проволок от 7 до 19. Нулевой проводник выполнен из термоупрочненного алюминиевого сплава АВЕ.

Для определения активных и индуктивных сопротивлений прямой и нулевой последовательностей ВЛ с СИП-2 использовали программу COMSOL Multiphysics. Расчетные значения параметров прямой и нулевой последовательностей линии 0,4 кВ с СИП-2 приведены в табл. 1 и 2. Методика их вычисления описана в [5].

Согласно методике [1, 2] ток однофазного КЗ в линиях 0,4 кВ находят по выражению

$$I_{п0}^{(1)} = \frac{\sqrt{3}U_{\text{ср.н.н}}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}, \quad (1)$$

Таблица 1

Сечение токопроводящей жилы СИП-2, мм <sup>2</sup>	50	70	95	120	120
Сечение нулевого провода СИП-2, 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

Таблица 2

Сечение токопроводящей жилы СИП-2, мм <sup>2</sup>	50	70	95	120	120
Сечение нулевого провода СИП-2, мм <sup>2</sup>	54,6	54,6	70	70	95
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

где  $U_{\text{ср.н.н}}$  — среднее номинальное напряжение сети обмотки низшего напряжения трансформатора 10/0,4 кВ (при расчетах принималось равным 0,4 кВ);  $r_{1\Sigma}$ ,  $x_{1\Sigma}$  и  $r_{0\Sigma}$ ,  $x_{0\Sigma}$  — суммарные активное и индуктивное сопротивления прямой и нулевой последовательностей схемы.

Сопротивления  $r_{1\Sigma}$  и  $x_{1\Sigma}$  включают в себя: активное и индуктивное сопротивления понижающего трансформатора; суммарное активное сопротивление контактов; активное и индуктивное сопротивления проводов СИП-2, используемых для линии, и СИП-4, используемых для спусков к домам; активное сопротивление дуги в месте КЗ. Сопротивления  $r_{0\Sigma}$  и  $x_{0\Sigma}$  помимо сопротивлений, входящих в состав  $r_{1\Sigma}$  и  $x_{1\Sigma}$ , содержат активное и индуктивное сопротивления нулевого провода, используемого для линии.

Согласно упрощенной методике [3, 4] ток однофазного КЗ определяют по формуле

$$I_{\text{п0}}^{(1)} = \frac{U_{\text{ср.н.н}}}{\sqrt{3} \left( \frac{Z_{\text{тр}}}{3} + Z_{\text{СИП-2}} + Z_{\text{СИП-4}} + R_{\text{к}} \right)}, \quad (2)$$

где  $Z_{\text{тр}}$  — полное сопротивление понижающего трансформатора с вторичным напряжением 0,4 кВ току однофазного КЗ;  $Z_{\text{СИП-2}}$  и  $Z_{\text{СИП-4}}$  — полные сопротивления петли фаза — нуль для СИП-2 и СИП-4;  $R_{\text{к}}$  — суммарное активное сопротивление контактов и сопротивление дуги в месте КЗ.

Исходные данные для расчета токов КЗ по выражению (1) представлены в табл. 3, а по формуле (2) — в табл. 4.

В табл. 5 приведены значения токов однофазного КЗ в конце линий, определенные по упрощенной методике и Руководящим указаниям с использованием расчетных данных о СИП-2 и СИП-4. Значения, полученные по упрощенной методике, ниже на 11,0 – 20,5 % по сравнению с вычисленными

Таблица 3

Фидер	Длина линии, м	Длина спуска, м	Прямая последовательность				Нулевая последовательность				Суммарное сопротивление контактов и дуги в месте КЗ, Ом
			Активное сопротивление трансформатора с группой соединения $Y/Y_0$ , Ом	Индуктивное сопротивление трансформатора с группой соединения $Y/Y_0$ , Ом	Удельное активное сопротивление СИП-4, Ом/км	Удельное индуктивное сопротивление СИП-4, Ом/км	Активное сопротивление трансформатора с группой соединения $Y/Y_0$ , Ом	Индуктивное сопротивление трансформатора с группой соединения $Y/Y_0$ , Ом	Удельное активное сопротивление СИП-4, Ом/км	Удельное индуктивное сопротивление СИП-4, Ом/км	
ВЛ-1	343,0	20,0	0,0055	0,0171	1,534	0,4895	0,0556	0,149	4,602	1,4685	0,036
ВЛ-2	451,5	20,0	0,0055	0,0171	1,534	0,4895	0,0556	0,149	4,602	1,4685	0,036
ВЛ-3	427,5	20,0	0,0055	0,0171	1,534	0,4895	0,0556	0,149	4,602	1,4685	0,036
ВЛ-4	340,5	20,0	0,0055	0,0171	1,534	0,4895	0,0556	0,149	4,602	1,4685	0,036
ВЛ-5	382,0	20,0	0,0055	0,0171	1,534	0,4895	0,0556	0,149	4,602	1,4685	0,036
ВЛ-6	359,0	20,0	0,0055	0,0171	1,534	0,4895	0,0556	0,149	4,602	1,4685	0,036

Таблица 4

Фидер	Длина линии, м	Длина спуска, м	Полное сопротивление трансформатора току однофазного КЗ с группой соединения $Y/Y_0$ , Ом	Полное удельное сопротивление СИП-2 петли фаза – нуль, Ом/км	Полное удельное сопротивление СИП-4 петли фаза – нуль, Ом/км	Суммарное сопротивление контактов и дуги в месте КЗ, Ом
ВЛ-1	343,0	20,0	195	0,72	2,54	0,036
ВЛ-2	451,5	20,0	195	0,72	2,54	0,036
ВЛ-3	427,5	20,0	195	0,72	2,54	0,036
ВЛ-4	340,5	20,0	195	0,72	2,54	0,036
ВЛ-5	382,0	20,0	195	0,72	2,54	0,036
ВЛ-6	359,0	20,0	195	0,72	2,54	0,036

Таблица 5

Фидер	Длина фидера, м	Расчетный ток линии, А	Ток однофазного КЗ в конце линии, А		
			По упрощенной методике	По РУ для расчета токов КЗ и выбора электрооборудования	Разница значений тока КЗ, %
ВЛ-1	343,0	118,8	611,4	723,6	18,3
ВЛ-2	451,5	96,5	506,6	610,6	20,5
ВЛ-3	427,5	92,4	526,5	630,4	19,7
ВЛ-4	340,5	104,9	635,7	726,7	14,3
ВЛ-5	382,0	108,0	569,0	678,4	19,2
ВЛ-6	359,0	102,1	634,7	704,4	11,0

по Руководящим указаниям. С увеличением длины рассматриваемой линии погрешность при расчете по упрощенной методике возрастает.

#### Список литературы

1. РД 153-34.0-20.527–98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования.
2. ГОСТ 28249–93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока до 1 кВ.
3. Шаповалов И. Ф. Справочник по расчету электрических сетей. 3-е изд., перераб. и доп. — Киев: Будівельник, 1986.
4. Справочник по проектированию электроснабжения/ Под ред. В. И. Круповича. 3-е изд. перераб. и доп. — М.: Энергия, 1980.
5. Смирнов Е. А. Активные и индуктивные сопротивления самонесущих изолированных проводов низкого напряжения. — Промышленная энергетика, 2013, № 6.

smirnov@global-epv.ru