

Ю.П.Гусев, А.А.Антонов

Методика расчета параметров высоковольтных кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена

Стандарт организации



Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», объекты стандартизации и общие положения при разработке и применении стандартов организаций Российской Федерации - ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения», общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению межгосударственных стандартов, правил и рекомендаций по межгосударственной стандартизации и изменений к ним - ГОСТ 1.5-2001, правила построения, изложения, оформления и обозначения национальных стандартов Российской Федерации, общие требования к их содержанию, а также правила оформления и изложения изменений к национальным стандартам Российской Федерации - ГОСТ Р 1.5-2004.

Сведения о стандарте организации

1. РАЗРАБОТАН: Государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования "Московский энергетический институт (Технический университет)", кафедрой «Электрические станции»
2. ИСПОЛНИТЕЛИ: Ю.П. Гусев, А.А. Антонов
3. ВНЕСЕН: Департаментом РЗАиПА ОАО «ФСК ЕЭС»
4. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ: распоряжением ОАО «ФСК ЕЭС» от __.__.201 _ № __
5. ВВЕДЕН: впервые

Замечания и предложения по стандарту организации следует направлять в Дирекцию технического регулирования и экологии ОАО «ФСК ЕЭС» по адресу 117630, Москва, ул. Ак. Челомея, д. 5А, электронной почтой по адресу: zhulev-an@fsk-ees.ru.

Настоящий стандарт организации не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ОАО «ФСК ЕЭС»

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 МЕТОДИКА РАСЧЕТА	6
1.1 Допущения	6
1.2 Исходные данные	7
1.3 Учёт геометрических параметров кабелей	10
1.4 Учёт удельных сопротивлений жил и экранов	13
1.5 Учёт удельного сопротивления грунта	14
1.6 Учёт диэлектрической проницаемости изоляции	15
1.7 Учёт способа заземления экрана	16
1.8 Учёт наличия транспозиции экранов	17
1.9 Учёт наличия транспозиции кабелей:	18
1.10 Учёт взаимного расположения фаз:	18
1.11 Учёт сопротивлений заземлителей	19
1.12 Учёт наличия в одной фазе нескольких проводников	20
1.13 Учёт глубины заложения и способа укладки кабелей	23
2 АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ	24
2.1 Ввод данных по кабельной линии в программу	24
2.2 Расчёт сопротивлений кабельной линии и просмотр результатов	36
2.3 Описание алгоритма расчёта сопротивлений программы GuCables	37
3 ПРИМЕР РАСЧЁТА СОПРОТИВЛЕНИЙ ЭКРАНИРОВАННЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ	46
3.1 Пример расчёта сопротивлений одноцепной экранированной кабельной линии без взаимоиндукции с соседними линиями	46
3.2 Пример расчёта сопротивлений двух одноцепных экранированных кабельных линий с наличием взаимоиндукции между линиями	50
3.3 Пример расчёта сопротивлений одной двухцепной экранированной кабельной линии с учётом взаимоиндукции между цепями	55
ЛИТЕРАТУРА	59

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широкое применение находят кабели с теплостойкой экструдированной изоляцией (сшитый полиэтилен и этилен-пропиленовая резина). В промышленно развитых странах Европы и Америки почти 100% рынка силовых кабелей занимают кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Основные преимущества кабелей с теплостойкой экструдированной изоляцией:

- высокая пропускная способность;
- малый вес, меньший диаметр и радиус изгиба;
- низкая повреждаемость;
- малый коэффициент электрических потерь;
- возможность прокладки на сложных трассах;
- монтаж без использования специального оборудования;
- значительное снижение себестоимости прокладки;
- увеличение предела термической стойкости до 250°C.

Конструкция линий с кабелями из сшитого полиэтилена значительно отличается от линий с традиционными кабелями с бумажной изоляцией. Используются экранированные трехжильные и одножильные кабели, применяются различные варианты прокладки кабелей в земле. Из-за особенностей конструкции кабелей и кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена возникают затруднения в определении их погонных параметров и в проведении расчетов режимов сетей и токов короткого замыкания.

Целью выполненной работы являлась разработка программного обеспечения для расчета погонных параметров высоковольтных линий, использующих трехфазные трехжильные и одножильные экранированные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, для расчета режимов ЕНЭС и токов короткого замыкания.

В процессе выполнения работы решены следующие задачи:

- разработана методика расчета параметров высоковольтных кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена;
- разработан алгоритм расчета параметров кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена;
- разработано программное обеспечение расчета параметров кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена – программа GuCables.

GuCables обеспечивает возможность учета:

- геометрических параметров кабелей;
- удельных сопротивлений жил и экранов;
- электрической проницаемости изоляции;
- наличие транспозиции кабелей;
- способа заземления экранов кабелей;
- наличия транспозиции экранов;
- взаимного расположения фаз;
- наличия в одной фазе нескольких проводников;
- удельного сопротивления грунта;

- сопротивления заземлителей;
- глубины заложения и способа укладки кабелей.

Методика расчета и программное обеспечение разработаны с учетом рекомендаций стандартов МЭК 60287 и 60183.

Разрабатываемая методика расчета параметров высоковольтных кабельных линий соответствует требованиям Федеральных законов Российской Федерации от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании» и от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике».

1 МЕТОДИКА РАСЧЕТА

1.1 Допущения

При расчете сопротивлений последовательностей высоковольтных экранированных кабелей однофазного и трёхфазного исполнения приняты следующие допущения:

а) если фазы кабеля расположены в вершинах равностороннего треугольника (в соответствии с рисунком 1.1), то расстояние между центрами кабелей $s = d_{AB} = d_{BC} = d_{AC}$;

б) если фазы кабеля расположены на одном уровне (горизонтально, в соответствии с рисунком 1.2, $d_{AC} = 2 d_{AB} = 2 d_{BC}$), то при транспозиции жил кабеля расстояние между кабелями принимается среднегеометрическим $s = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{BC} \cdot d_{AC}} = 1,26 d_{AB}$. Прокладка кабелей фаз горизонтально типична для высоковольтных кабельных линий от 110 кВ и выше.

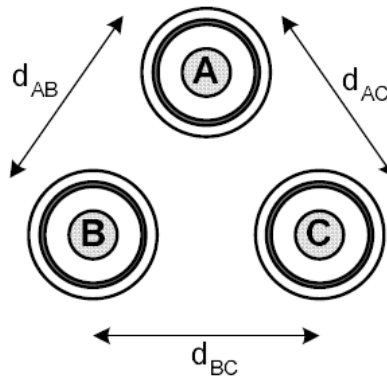


Рисунок 1.1 – Расположение кабеля в вершинах равностороннего треугольника.

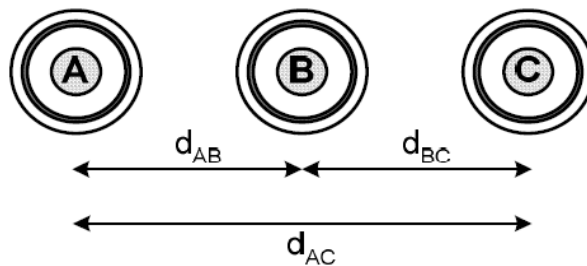


Рисунок 1.2 – Горизонтальное расположение кабеля в кабельной траншее.

в) в соответствии с рисунком 1.3 экран кабеля упрощенно считаем таким, что $r_3 \gg (r_3 - r_2)$, это позволяет пренебречь конечной толщиной экрана и в расчетах использовать лишь его средний радиус;

г) пренебрегаем токами смещения в земле;

д) пренебрегаем эффектом близости на промышленной частоте, считая активные сопротивления жил и экранов как на постоянном токе.

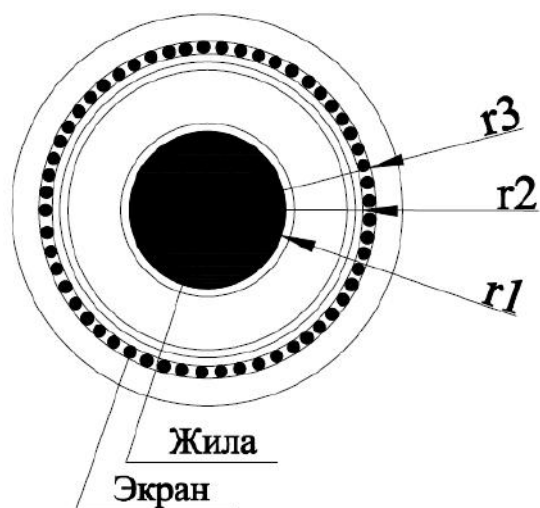


Рисунок 1.3 – Поперечное сечение однофазного экранированного кабеля

Конструкция трёхфазных экранированных кабелей приведена на рисунке 1.4. Допущения по п. в), г) и д), перечисленные для кабелей однофазного исполнения, справедливы для экранированных кабелей трёхфазного исполнения.

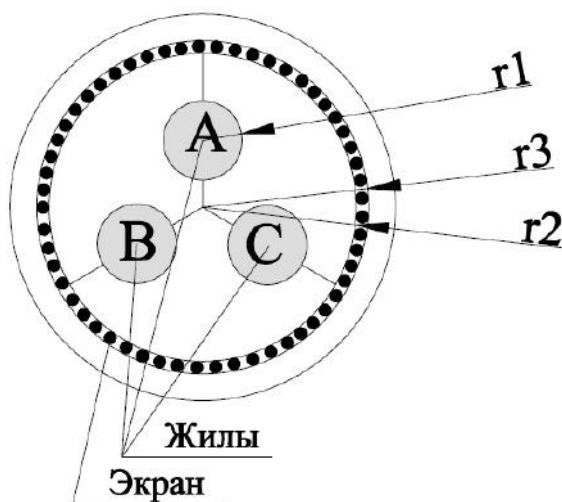


Рисунок 1.4 – Конструкция экранированного кабеля трёхфазного исполнения: экран окружает жилы трёх фаз кабеля

1.2 Исходные данные

Набор исходных данных, необходимый для расчёта сопротивлений однофазных экранированных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, приведён в таблице 1.1.

Набор исходных данных, необходимый для расчёта сопротивлений трёхфазных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, приведён в таблице 1.2.

Таблица 1.1 – Геометрические и электрические данные типовых однофазных кабелей напряжением 110 - 500 кВ

Название параметра	Обозначение	Единица измерения	Возможные значения параметров для номинального напряжения			
			110	220	330	500
1. Сечение токоведущей жилы	$F_{\text{ж}}$	мм ²	50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300, 350, 400, 500, 630, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 2000, 2500, 3000			
2. Материал токоведущей жилы			медь (Cu), алюминий (Al)			
3. Сечение экрана кабеля	$F_{\text{э}}$	мм ²	16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185			
4. Материал экрана			медь (Cu), алюминий (Al), свинец (Pb)			
5. Наружный диаметр кабеля	$D_{\text{каб}}$	мм	по каталожным данным от производителей			
6. Толщина изоляции жила-экран	$d_{\text{из}}$	мм	15 - 16	21 - 22	24 - 26	27 - 32
7. Толщина экрана	$d_{\text{э}}$	мм	0,7 – 2,0			
8. Толщина оболочки (покровной оболочки экрана)	$d_{\text{об}}$	мм	3,0 - 4,0			
9. Толщина полупроводящих покрытий по жиле, по изоляции «жила-экран» и внутренней стороне экрана	$d_{\text{п.ж}}$ $d_{\text{п.и}}$ $d_{\text{п.э}}$	мм	в диапазоне $0,6 \pm 0,3$			
10. Относительная диэлектрическая проницаемость изоляции	ε	о.е.	2,4			
11. Удельное сопротивление земли	$\rho_{\text{з}}$	Ом·м	в зависимости от типа грунта; в Центральном регионе России 100 Ом·м			
12. Способ прокладки			горизонтально или по вершинам равностороннего треугольника			
13. Расстояние между центрами кабелей соседних фаз	s	мм	$D_{\text{каб}}$ (вплотную) – 200 мм (с зазором)			
14. Способ заземления экранов			с одного конца или с обоих концов кабельной линии			
15. Наличие транспозиции экранов	s	мм	Есть или отсутствует			

Таблица 1.2 – Геометрические и электрические данные типовых трёхфазных кабелей напряжением 110 - 500 кВ

Название параметра	Обозначение	Единица измерения	Возможные значения параметров для номинального напряжения			
			110	220	330	500
1. Сечение токоведущей жилы	$F_{\text{ж}}$	мм ²	150, 185, 240, 300, 400, 500, 625, 800			
2. Материал токоведущей жилы			медь (Cu), алюминий (Al)			
3. Материал экрана			медь (Cu), алюминий (Al), свинец (Pb)			
4. Сечение экрана кабеля	$F_{\text{э}}$	мм ²	16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185			
5. Расстояние между центрами жил кабеля	s	мм	по каталожным данным от производителей			
6. Наружный диаметр кабеля	$D_{\text{каб}}$	мм	по каталожным данным от производителей			
7. Толщина оболочки кабеля поверх экрана.	$d_{\text{об}}$	мм	по каталожным данным от производителей			
8. Толщина экрана	$d_{\text{э}}$	мм	0,7 – 2,0			
9. Относительная диэлектрическая проницаемость изоляции	ε	о.е.	2,4 (СПЭ)			
10. Удельное сопротивление земли	$\rho_{\text{з}}$	Ом·м	в зависимости от типа грунта; в Центральном регионе России 100 Ом·м			
11. Способ заземления экранов			с одного конца или с обоих концов кабельной линии			

1.3 Учёт геометрических параметров кабелей

1.3.1 Расчет геометрических размеров экранированного кабеля однофазной конструкции

Детальная конструкция однофазного экранированного кабеля представлена на рисунке 1.5.

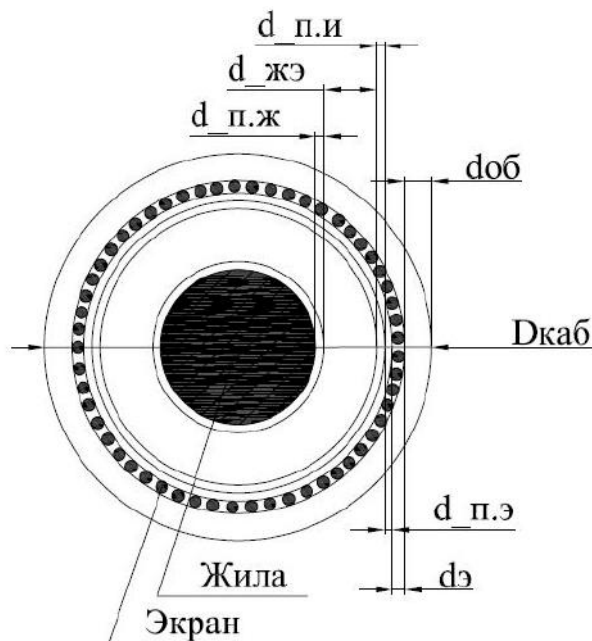


Рисунок 1.5 – Конструкция кабеля однофазного исполнения с изоляцией из СПЭ: $D_{каб}$ – наружный диаметр кабеля; $d_{об}$ – толщина изоляционной оболочки экрана; $d_{э}$ – толщина экрана; $d_{жэ}$ – толщина рабочей изоляции (промежутка «жила-кран»); $d_{п.ж}$ – толщина полупроводящего покрытия по жиле; $d_{п.и}$ – толщина полупроводящего покрытия по рабочей изоляции; $d_{п.э}$ – толщина полупроводящего покрытия по внутренней поверхности экрана

Радиус жилы кабеля определяется исходя из известного сечения:

$$r_1 = \sqrt{\frac{F_{ж}}{k_{зап} \cdot \pi}}, \text{ мм},$$

где: $F_{ж}$ – сечение жилы кабеля, мм²; $k_{зап}$ – коэффициент заполнения, учитывающий проволочную структуру жилы и принимается равным 0,90 о.е.

Внутренний радиус экрана кабеля r_2 с учётом полупроводящих покрытий по жиле, рабочей изоляции и внутренней поверхности экрана, равен:

$$r_2 = r_1 + d_{п.ж} + d_{из} + d_{п.и} + d_{п.э}, \text{ мм},$$

где: $d_{п.ж}$ – толщина полупроводящего покрытия по жиле, мм; $d_{п.и}$ – толщина полупроводящего покрытия по рабочей изоляции, мм; $d_{из}$ – толщина

изоляции жила-экран, мм; $d_{п.э}$ - толщина полупроводящего покрытия с внутренней стороны экрана, мм

Толщина экрана кабеля d_3 равна диаметру проволоки, применяемой в экране, и составляет от 0,7 до 2 мм, поэтому внешний радиус экрана r_3 равен:

$$r_3 = r_2 + d_3, \text{ мм.}$$

Если нет данных о диаметре проволок, то внешний радиус экрана кабеля, можно определить упрощенно:

$$r_3 = \sqrt{\frac{F_э}{\pi} + r_2^2}, \text{ мм,}$$

где: $F_э$ - сечение экрана, мм².

Значение внешнего радиуса по упрощенной формуле занижается. При прокладке кабелей треугольником вплотную рекомендуется точнее учитывать геометрию кабеля. С увеличением расстояния между кабелями влияние точности определения геометрических размеров на погрешность сопротивлений снижается.

Внешний радиус кабеля r_4 определяется исходя из известного внешнего диаметра $D_{каб}$:

$$r_4 = \frac{D_{каб}}{2} = \frac{72,0}{2}, \text{ мм.}$$

1.3.2 Расчет геометрических размеров экранированного кабеля трёхфазной конструкции

Детальная конструкция трёхфазного экранированного кабеля представлена на рисунке 1.6.

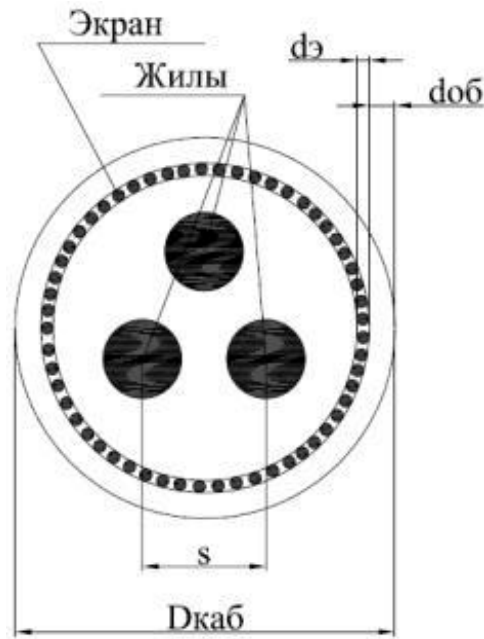


Рисунок 1.6 – Конструкция кабеля трёхфазного исполнения с изоляцией из СПЭ: $D_{\text{каб}}$ – наружный диаметр кабеля; $d_{\text{об}}$ – толщина изоляционной оболочки экрана; $d_{\text{э}}$ – толщина экрана; s – расстояние между центрами фаз трёхфазного кабеля

Радиус жилы определяется исходя из известного сечения:

$$r_1 = \sqrt{\frac{F_{\text{ж}}}{k_{\text{зап}} \cdot \pi}}, \text{ мм},$$

где: $F_{\text{ж}}$ – сечение жилы кабеля, мм^2 ; $k_{\text{зап}}$ – коэффициент заполнения, учитывающий свойства жилы, $k_{\text{зап}} = 0,90$ – для проволочной жилы и 1,0 для цельковой жилы.

Внешний радиус экрана равен:

$$r_3 = \frac{D_{\text{каб}}}{2} - d_{\text{об}}, \text{ мм},$$

где: $D_{\text{каб}}$ – внешний радиус кабеля, мм; $d_{\text{об}}$ – толщина оболочки, мм.

Толщина экрана кабеля $d_{\text{э}}$ равна диаметру проволоки, применяемой в экране, и составляет от 0,7 до 2 мм, поэтому внутренний радиус экрана r_2 равен:

$$r_2 = r_3 - d_{\text{э}}, \text{ мм}.$$

Если нет данных о диаметре проволок, то внутренний радиус экрана r_2 кабеля можно определить упрощенно:

$$r_2 = \sqrt{r_3^2 - \frac{F_3}{\pi}}, \text{ мм},$$

где: F_3 - сечение экрана, мм².

1.4 Учёт удельных сопротивлений жил и экранов

1.4.1 Учёт удельных сопротивлений жил и экранов для однофазных экранированных кабелей

1.4.1.1 Активное сопротивление жилы кабеля постоянному току, Ом/км, принимается по каталожным данным производителей, либо в случае отсутствия данных рассчитывается по формуле в зависимости от материала проводника:

$$R_{ж\sim} = \frac{\rho_{ж}}{F_{ж}}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

где: $\rho_{ж}$ - удельное сопротивление жилы при температуре 20°C, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{км}}$, для

меди удельное сопротивление $\rho_{\text{Cu}} = 17,829 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, для алюминия удельное

сопротивление $\rho_{\text{Al}} = 29,547 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

1.4.1.2 Активное сопротивление жилы кабеля переменному току, Ом/км, определяется с учётом фактической рабочей температуры кабеля и поверхностного эффекта:

$$R_{ж\sim} = R_{ж\sim} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{r_1}{2 \cdot \delta_{ж}} \right)^4 \right) \cdot \frac{\nu_{ус} + \nu_{раб}}{\nu_{ус} + \nu_{норм}}; \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

где: $\delta_{ж} = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_{ж}}{\omega \cdot \mu_0}} \cdot 10^3$, мм - глубина проникновения электромагнитного поля в

алюминиевый проводник, $\omega = 314,16 \frac{1}{\text{с}}$ и $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$; $\nu_{ус}$ - условная

температура, для меди (Cu) равна 234°C, для алюминия (Al) - 236°C, для свинца (Pb) - 235°C; $\nu_{норм}$ - нормированная температура, как правило 20°C; $\nu_{раб}$

- рабочая температура кабеля.

1.4.1.3 Активное сопротивление медного экрана кабеля переменному току с учётом рабочей температуры кабеля:

$$R_{\sim} = \frac{\rho_{\sim}}{F_{\sim}} \cdot \frac{v_{\text{ус}} + v_{\text{раб}}}{v_{\text{ус}} + v_{\text{норм}}}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

где: ρ_{\sim} - удельное сопротивление жилы, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

1.4.2 Учёт удельных сопротивлений жил и экранов для трёхфазных экранированных кабелей

Удельные сопротивления жил и экрана для трёхфазных экранированных кабелей учитываются таким же образом, как и для однофазных экранированных кабелей.

1.5 Учёт удельного сопротивления грунта

1.5.1 Удельное сопротивление грунта учитывается при расчёте глубины залегания обратного проводника, в качестве которого представляется земля D_3 :

$$D_3 = 1,851 \cdot \sqrt{\frac{\rho_3}{\omega \cdot \mu_0}}, \text{ м},$$

где: ρ_3 - удельное сопротивление грунта, в котором проложена линия;
 $\omega = 314,16 \frac{1}{\text{с}}$ и $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$.

Впоследствии значение глубины залегания обратного провода D_3 участвует в расчётах собственных и взаимных индуктивных сопротивлений трехфазной КЛ с экранами.

1.5.2 Собственное индуктивное сопротивление фазы однофазного и трёхфазного кабеля:

$$X_{\text{ж}} = \omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{4} + \ln \left[\frac{D_3}{r_1} \right] \right) \cdot 10^3; \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

1.5.3 Взаимное сопротивление жилы (экрана) с соседними кабелями КЛ для однофазного и трёхфазного кабеля:

$$X_{\text{м}} = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\ln \left[\frac{D_3}{s} \right] \right) \cdot 10^3; \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

где: s – расстояние между кабелями (фактическое или эквивалентное), м.

1.5.4 Взаимное сопротивление фазы и экрана одного кабеля однофазного и трёхфазного кабеля:

$$X_{жэ} = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\ln \left[\frac{2D_3}{r_2 + r_3} \right] \right) \cdot 10^3; \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

1.5.5 Собственное сопротивление экрана однофазного и трёхфазного кабеля:

$$X_э = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\ln \left[\frac{2D_3}{r_2 + r_3} \right] \right) \cdot 10^3; \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

1.6 Учёт диэлектрической проницаемости изоляции

1.6.1 Учёт диэлектрической проницаемости изоляции для однофазных экранированных кабелей

Диэлектрическая проницаемость изоляции (СПЭ) влияет на поперечную ёмкостную проводимость кабельной линии.

Ёмкость для однофазных экранированных кабелей рекомендуется брать из каталожных данных производителя. Если справочных данных нет, можно воспользоваться расчётными выражениями, приведенными ниже.

1.6.1.1 Ёмкость кабеля между жилой и экраном:

$$C_{жэ} = \frac{2\pi \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_0}{\ln \left[\frac{r_2 + r_3}{2 \cdot r_1} \right]} \cdot 10^6, \frac{\text{мкФ}}{\text{км}};$$

где: $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ф}}{\text{км}}$ - электрическая постоянная.

1.6.1.2 Ёмкость кабеля между экраном и землей:

$$C_э = \frac{2\pi \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_0}{\ln \left[\frac{2 \cdot r_4}{r_2 + r_3} \right]} \cdot 10^6, \frac{\text{мкФ}}{\text{км}};$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ф}}{\text{км}}$ - электрическая постоянная.

1.6.1.3 Ввиду того, что для однофазных экранированных кабелей высокого напряжения заземление экранов обязательно, принимается, что ёмкость прямой последовательности равна:

$$C_1 = C_{жэ} = \frac{2\pi \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_0}{\ln \left[\frac{r_2 + r_3}{2 \cdot r_1} \right]} \cdot 10^6, \frac{\text{мкФ}}{\text{км}}.$$

1.6.1.4 Ввиду того, что для однофазных экранированных кабелей взаимная ёмкость между фазами отсутствует, ёмкость кабельной линии нулевой последовательности рассчитывается так же, как для прямой последовательности:

$$C_0 = C_1 = C_{\text{жэ}} = \frac{2\pi \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_0}{\ln \left[\frac{r_2 + r_3}{2 \cdot r_1} \right]} \cdot 10^6, \frac{\text{мкФ}}{\text{км}}.$$

1.6.2 Учёт диэлектрической проницаемости изоляции для трёхфазных экранированных кабелей

Жилы трёхфазного кабеля расположены несимметрично по отношению к экрану. Теоретический расчёт ёмкости затруднён вследствие несимметрии электрического поля внутри кабеля. Погонную ёмкость трёхфазных экранированных кабелей рекомендуется брать из каталожных данных производителя, так как это наиболее точные данные.

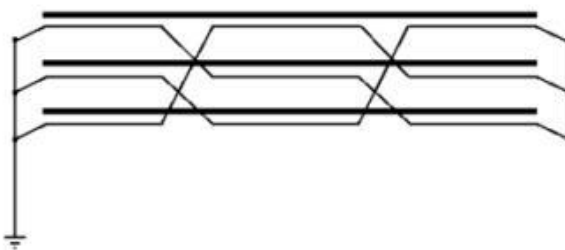
1.7 Учёт способа заземления экрана

Для кабелей используют следующие способы заземления экранов:

- заземление экрана с одного конца кабеля;
- заземления экрана с двух сторон кабелей.

Способы заземления экранов для однофазных кабелей приведены на рисунке 1.7, для трёхфазных кабелей – на рисунке 1.8.

1. Заземление экранов кабельной линии с одного конца :



2. Заземление экранов в начале и в конце кабельной линии:

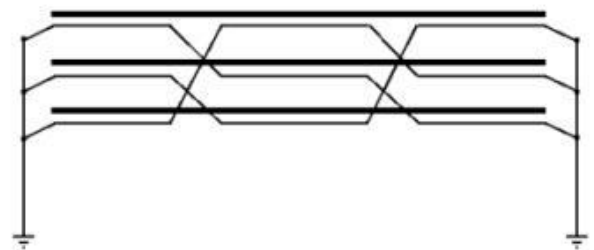
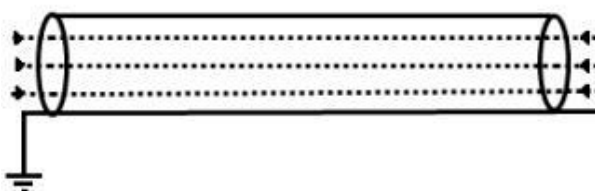


Рисунок 1.7 – Способы заземления экранов однофазных кабелей

1. Заземление экрана кабельной линии с одного конца :



2. Заземление экрана в начале и в конце кабельной линии:

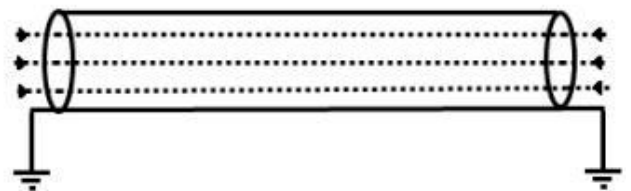


Рисунок 1.8 – Способы заземления экранов трёхфазных кабелей

Способ заземления экрана влияет на расчётные выражения для сопротивлений последовательностей. Расчётные выражения в зависимости от способа заземления экрана приведены в таблицах 1.3 и 1.4.

Таблица 1.3 – Расчёт сопротивлений последовательностей однофазных кабелей в зависимости от способа заземления экранов

Вид заземления экрана	Расчётное выражение для сопротивлений однофазных экранированных кабелей:	
	прямой последовательности	нулевой последовательности
Заземление с одной стороны	$Z_1 = Z_{\text{ж}} - Z_{\text{м}}$	$Z_{0\text{Э}+3} = Z_{\text{ж}} + 2 \cdot Z_{\text{к}}$
Заземление с двух сторон (экраны не транспонированы)	$Z_1 = Z_{\text{ж}} - Z_{\text{м}} - \frac{(Z_{\text{жЭ}} - Z_{\text{м}})^2}{Z_{\text{э}} - Z_{\text{м}}}$	$Z_{0\text{Э}+3} = Z_{\text{ж}} + 2 \cdot Z_{\text{к}} - \frac{(Z_{\text{жЭ}} + 2 \cdot Z_{\text{к}})^2}{Z_{\text{э}} + 2 \cdot Z_{\text{к}}}$
Заземление с двух сторон (экраны транспонированы)	$Z_1 = Z_{\text{ж}} - Z_{\text{м}}$	$Z_{0\text{Э}+3} = Z_{\text{ж}} + 2 \cdot Z_{\text{к}} - \frac{(Z_{\text{жЭ}} + 2 \cdot Z_{\text{к}})^2}{Z_{\text{э}} + 2 \cdot Z_{\text{к}}}$

Таблица 1.4 – Расчёт сопротивлений последовательностей трёхфазных кабелей в зависимости от способа заземления экрана

Вид заземления экрана	Расчётное выражение для сопротивлений трёхфазных экранированных кабелей:	
	прямой последовательности	нулевой последовательности
Заземление с одной стороны	$Z_1 = Z_{\text{ж}} - Z_{\text{м}}$	$Z_{0\text{Э}+3} = Z_{\text{ж}} + 2 \cdot Z_{\text{к}}$
Заземление с двух сторон	$Z_1 = Z_{\text{ж}} - Z_{\text{м}}$	$Z_{0\text{Э}+3} = Z_{\text{ж}} + 2 \cdot Z_{\text{к}} - \frac{3 \cdot Z_{\text{жЭ}}^2}{Z_{\text{э}}}$

1.8 Учёт наличия транспозиции экранов

Транспозиция экранов в соответствии с рисунком 1.9 оказывает влияние только на параметры кабельной линии, состоящей из однофазных экранированных кабелей. Транспозиция экранов оказывает влияние на сопротивление кабеля прямой последовательности, на сопротивление нулевой последовательности наличие или отсутствие транспозиции никак не сказывается.

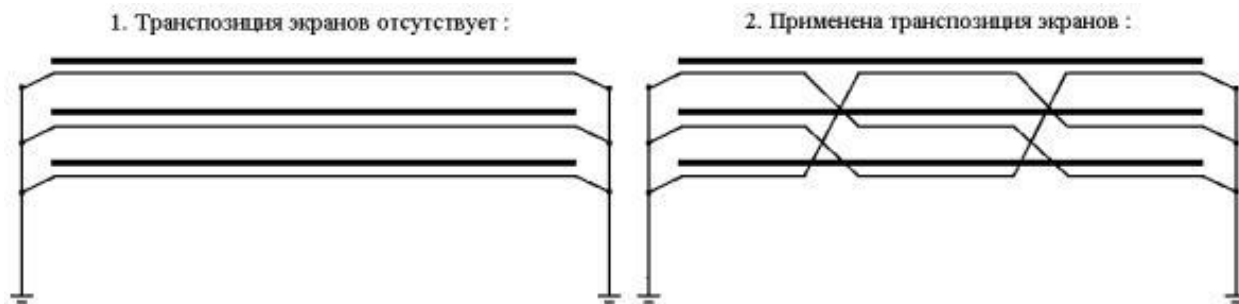


Рисунок 1.9 – Транспозиция экранов КЛ из однофазных кабелей

Расчётные выражения для кабельной линии из однофазных кабелей в случае наличия или отсутствия транспозиции приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Расчёт сопротивлений последовательностей трёхфазных кабелей в зависимости от наличия или отсутствия транспозиции экранов

Наличие транспозиции	Расчётные выражения для сопротивлений однофазных экранированных кабелей прямой последовательности:
Применена транспозиция	$Z_1 = Z_{\text{ж}} - Z_{\text{м}}$
Транспозиция отсутствует	$Z_1 = Z_{\text{ж}} - Z_{\text{м}} - \frac{(Z_{\text{жэ}} - Z_{\text{м}})^2}{Z_{\text{э}} - Z_{\text{м}}}$

1.9 Учёт наличия транспозиции кабелей:

Транспозиция кабелей учитывается в методике приведением расстояния между центрами кабелей к среднегеометрическому расстоянию при прокладке кабелей в соответствии с рисунками 1.1 и 1.2.

Расчётное расстояние между кабелями при прокладке горизонтально, при расстоянии между центрами соседних кабелей d_{AB} , d_{BC} , d_{AC} и с учётом транспозиции экранов равно:

$$s = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{BC} \cdot d_{AC}}.$$

Если $d_{AB} = d_{BC} = 2d_{AC} = d$, то формула упрощается: $s = \sqrt[3]{2} \cdot d$.

1.10 Учёт взаимного расположения фаз:

Взаимное расположение фаз кабельной линии учитывается аналогично транспонированию кабелей. В случае, если расстояние между кабелями фаз А-В, В-С и А-С не равны, при определении сопротивлений последовательностей в качестве расчётного расстояния между кабелями берется среднегеометрическое s , рассчитываемое по формуле:

$$s = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{BC} \cdot d_{AC}}.$$

1.11 Учёт сопротивлений заземлителей

Стандартная схема заземления экранов по концам кабельной линии приведена на рисунке 1.10

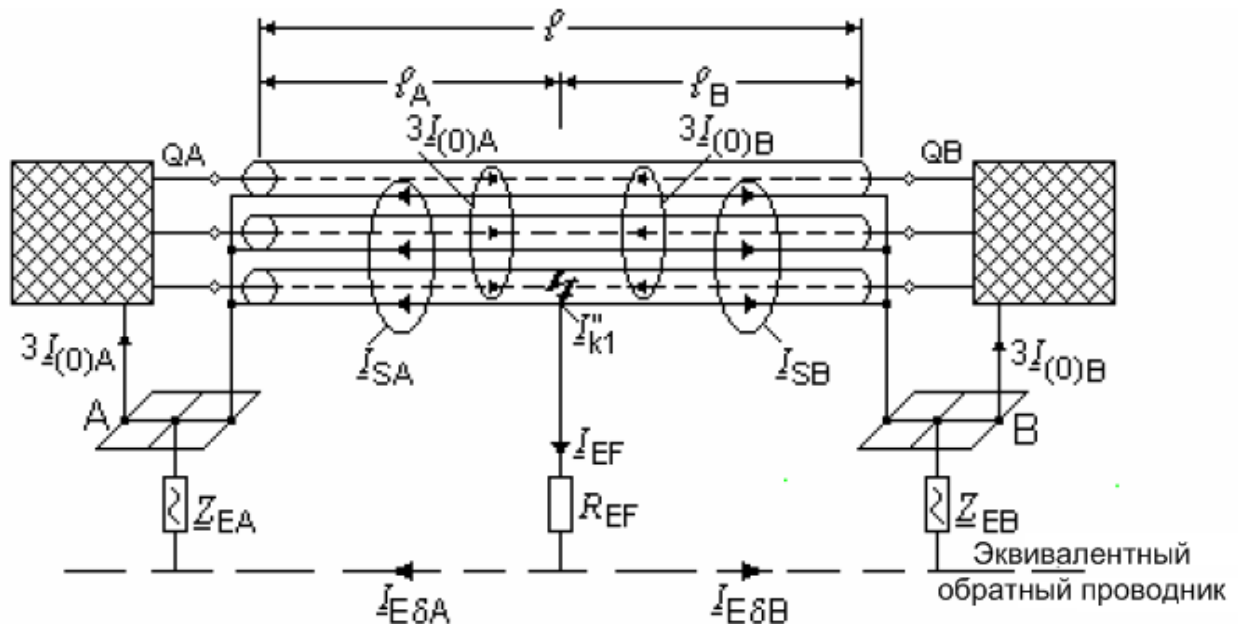


Рисунок 1.10 – Схема заземления экранов по обоим концам кабелей:

Z_{EA}, Z_{EB} - сопротивление заземлителей на подстанции, R_{EF} - сопротивление на землю в месте КЗ

Через заземлители протекают только токи в схеме нулевой последовательности (в соответствии с рисунком 1.10). Ввиду особенностей конструкции экранированных кабелей ток КЗ из жилы всегда попадает в экран. В то же время не известно, какая часть тока КЗ попадет в землю, т.к. сопротивление на землю в месте КЗ R_{EF} носит случайный характер. Согласно стандарту МЭК 60909-3 (от марта 2009, редакция 3), сопротивление нулевой последовательности в предположении, что весь ток нулевой последовательности возвращается по экранам ($R_{EF} \rightarrow \infty$) менее чем на 1% превышает сопротивление нулевой последовательности в случае возврата тока как по экрану, так и по земле ($R_{EF} \rightarrow 0$). В этом можно убедиться, воспользовавшись формулами для двух крайних случаев, приведенными ниже.

Сопротивление нулевой последовательности КЛ в случае протекания обратного тока нулевой последовательности только через экраны:

$$Z_{0_3} = Z_{\mathcal{K}} + Z_{\mathcal{I}} - 2Z_{\mathcal{K}\mathcal{I}} = R_{\mathcal{K}\square} + R_{\mathcal{I}\square} + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{4} + \ln \left[\frac{r_2 + r_3}{2r_1} \right] \right) \cdot 10^3.$$

Сопротивление нулевой последовательности КЛ в случае протекания обратного тока нулевой последовательности как по экранам, так и по земле:

$$Z_{0\text{э}+3} = Z_{\text{ж}} + 2 \cdot Z_{\text{к}} - \frac{(Z_{\text{жэ}} + 2 \cdot Z_{\text{к}})^2}{Z_{\text{э}} + 2 \cdot Z_{\text{к}}} = R_{\text{жк}} + 3 \cdot R_3 + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + 3 \cdot \ln \left[\frac{D_3}{\sqrt[3]{r_1 \cdot s^2}} \right] \right) -$$

$$- \frac{\left(3 \cdot R_3 + j3\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \left[\frac{D_3}{\sqrt[3]{0,5(r_2 + r_3) \cdot s^2}} \right] \right)^2}{R_{\text{эк}} + 3 \cdot R_3 + j3\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \left[\frac{D_3}{\sqrt[3]{0,5(r_2 + r_3)_1 \cdot s^2}} \right]}.$$

Несмотря на различную структуру формул, соответствующих двум предельным случаям, численные результаты по двум формулам отличается незначительно (на 1 – 2%).

Вывод: сопротивления заземлителей оказывают незначительное влияние на значение сопротивления нулевой последовательности. Сопротивлением заземлителей допустимо пренебрегать (это утверждение соответствует указаниям МЭК 60909-0), что и сделано в методике, используемой в программном обеспечении GuCables по расчёту параметров экранированных кабелей.

Следствие: при расчёте токов КЗ не имеет значения, где протекает ток КЗ нулевой последовательности. Допускается принимать, что обратный ток нулевой последовательности протекает только по экранам, в этом случае пренебрежение сопротивлениями заземления экранов не оказывает никакого влияния на сопротивление нулевой последовательности кабельной линии из экранированных кабелей $Z_{0\text{э}+3}$.

1.12 Учёт наличия в одной фазе нескольких проводников

Расчёт сопротивлений двух параллельных трёхфазных КЛ, состоящих из экранированных однофазных кабелей и проложенных в одной траншее, основан на аналогии с расчетом двух одноцепных воздушных ЛЭП с грозотросами, идущих в одном коридоре.

Методика позволяет учесть взаимоиндукцию экранированных кабельных линий, проложенных в одной траншее. Взаимное влияние двух параллельных экранированных кабельных линий показано на схеме, рисунок 1.11. Каждая кабельная линия представляется эквивалентными жилой и экраном. Система двух экранированных линий образует 6 пар проводников со взаимоиндукцией: жила1 – экран1, жила1 – экран2, жила2 – экран1, жила2 – экран2, жила1 – жила2, экран1 – экран2. Собственное сопротивление нулевой последовательности каждой кабельной линии определяется с учётом влияния жилы и экрана соседних кабелей.

Для расчёта сопротивления взаимоиндукции между линиями необходимо задаться расстояниями между кабелями КЛ-1 и КЛ-2 в соответствии с рисунком 1.12.

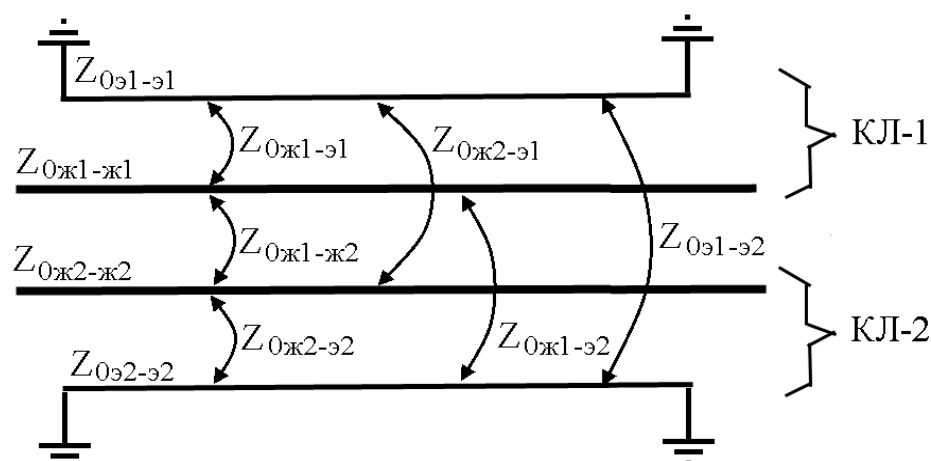


Рисунок 1.11 – Схема нулевой последовательности двух параллельных экранированных кабельных линий: КЛ-1 – кабельная линия №1, КЛ-2 – кабельная линия №2

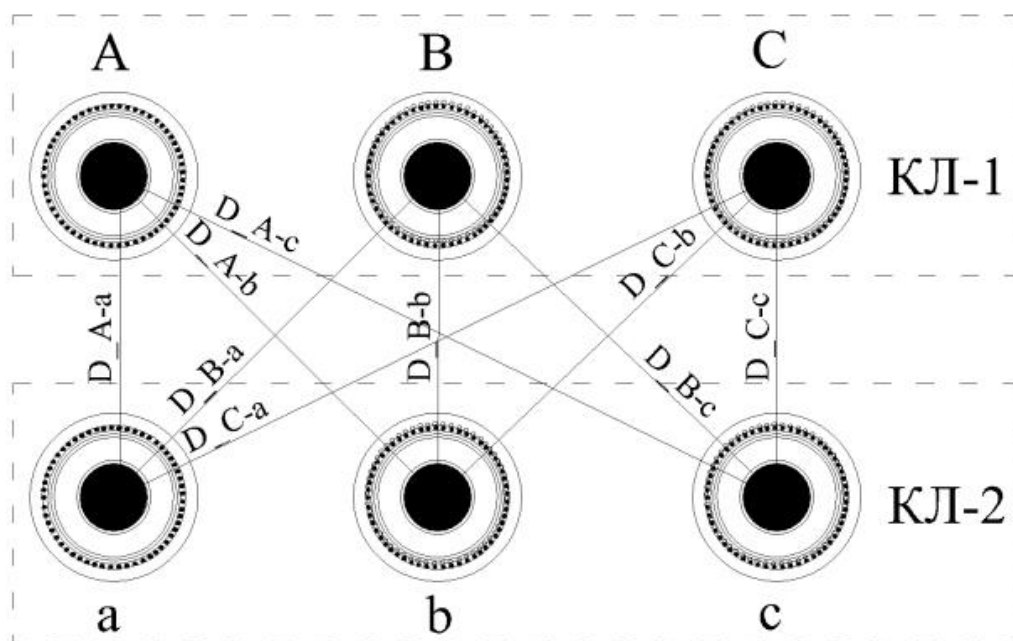


Рисунок 1.12 – Схема расположения однофазных кабелей: КЛ-1 – кабельная линия №1, КЛ-2 – кабельная линия №2

Сопротивление нулевой последовательности кабельной линии-1 с учётом влияния кабельной линии-2 и экранов первой и второй линий:

$$Z_{01}^{(3)} = Z_{01-1} - \frac{Z_{01-\varepsilon1}(Z_{01-\varepsilon2}Z_{0\varepsilon1-\varepsilon2} - Z_{01-\varepsilon1}Z_{0\varepsilon2-\varepsilon2}) + Z_{01-\varepsilon2}(Z_{01-\varepsilon1}Z_{0\varepsilon1-\varepsilon2} - Z_{01-\varepsilon2}Z_{0\varepsilon1-\varepsilon1})}{Z_{0\varepsilon1-\varepsilon2}^2 - Z_{0\varepsilon1-\varepsilon1} \cdot Z_{0\varepsilon2-\varepsilon2}}.$$

Сопротивление нулевой последовательности кабельной линии-2 с учётом влияния кабельной линии-1 и экранов первой и второй линий:

$$Z_{0II}^{(3)} = Z_{0II-II} - \frac{Z_{0II-31}(Z_{0II-32}Z_{031-32} - Z_{0II-31}Z_{032-32}) + Z_{0II-32}(Z_{0II-31}Z_{031-32} - Z_{0I-32}Z_{031-31})}{Z_{031-32}^2 - Z_{031-31} \cdot Z_{032-32}}.$$

Взаимное сопротивление нулевой последовательности между кабельными линиями-1 и 2 с учётом влияния экранов первой и второй линий:

$$Z_{0I-II}^{(3)} = Z_{0I-II} - \frac{Z_{0I-31}(Z_{0II-32}Z_{031-32} - Z_{0II-31}Z_{032-32}) + Z_{0I-32}(Z_{0II-31}Z_{031-32} - Z_{0II-32}Z_{031-31})}{Z_{031-32}^2 - Z_{031-31} \cdot Z_{032-32}},$$

$$\text{где: } Z_{0I-I} = R_{ж1\Box} + 3 \cdot R_3 + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + 3 \cdot \ln \left[\frac{D_3}{\sqrt[3]{r_{ж1} \cdot s_1^2}} \right] \right);$$

$$Z_{0II-II} = R_{ж2\Box} + 3 \cdot R_3 + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4} + 3 \cdot \ln \left[\frac{D_3}{\sqrt[3]{r_{ж2} \cdot s_2^2}} \right] \right);$$

$$Z_{031-31} = \frac{3R_{31\Box}}{3} + 3 \cdot R_3 + j3\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \ln \left[\frac{D_3}{\sqrt[3]{r_{31cp} \cdot s_1^2}} \right], \quad r_{31cp} = \frac{r_2^{(1)} + r_3^{(1)}}{2};$$

$$Z_{032-32} = \frac{3R_{32\Box}}{3} + 3 \cdot R_3 + j3\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \ln \left[\frac{D_3}{\sqrt[3]{r_{32cp} \cdot s_2^2}} \right], \quad r_{32cp} = \frac{r_2^{(2)} + r_3^{(2)}}{2};$$

$$Z_{0I-II} = 3 \cdot R_3 + j3\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \ln \left[\frac{D_3}{D_{I-II}} \right],$$

$$D_{I-II} = \sqrt[9]{D_{A1A2} \cdot D_{A1B2} \cdot D_{A1C2} \cdot D_{B1A2} \cdot D_{B1B2} \cdot D_{B1C2} \cdot D_{C1A2} \cdot D_{C1B2} \cdot D_{C1C2}};$$

$$Z_{0I-31} = 3 \cdot R_3 + j3\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \ln \left[\frac{D_3}{\sqrt[3]{r_{31cp} \cdot s_1^2}} \right];$$

$$Z_{0II-32} = 3 \cdot R_3 + j3\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \ln \left[\frac{D_3}{\sqrt[3]{r_{32cp} \cdot s_2^2}} \right];$$

$$Z_{0I-32} = 3 \cdot R_3 + j3\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \ln \left[\frac{D_3}{D_{I-32}} \right],$$

$$D_{I-32} = \sqrt[9]{(D_{A1A2} - r_{32cp}) \cdot (D_{A1B2} - r_{32cp}) \cdot (D_{A1C2} - r_{32cp}) \cdot (D_{B1A2} - r_{32cp}) \cdot (D_{B1B2} - r_{32cp}) \cdot (D_{B1C2} - r_{32cp}) \cdot (D_{C1A2} - r_{32cp}) \cdot (D_{C1B2} - r_{32cp}) \cdot (D_{C1C2} - r_{32cp})};$$

$$Z_{0II-31} = 3 \cdot R_3 + j3\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \ln \left[\frac{D_3}{D_{II-31}} \right],$$

$$D_{II-31} = \sqrt[9]{(D_{A1A2} - r_{31cp}) \cdot (D_{A1B2} - r_{31cp}) \cdot (D_{A1C2} - r_{31cp}) \cdot (D_{B1A2} - r_{31cp}) \cdot (D_{B1B2} - r_{31cp}) \cdot (D_{B1C2} - r_{31cp}) \cdot (D_{C1A2} - r_{31cp}) \cdot (D_{C1B2} - r_{31cp}) \cdot (D_{C1C2} - r_{31cp})};$$

$$Z_{0Э1-Э2} = 3 \cdot R_3 + j3\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \ln \left[\frac{D_3}{D_{Э1-Э2}} \right],$$

$$D_{Э1-Э2} = \sqrt[9]{(D_{A1A2} - r_{Э1cp} - r_{Э2cp}) \cdot (D_{A1B2} - r_{Э1cp} - r_{Э2cp}) \cdot (D_{A1C2} - r_{Э1cp} - r_{Э2cp}) \cdot (D_{B1A2} - r_{Э1cp} - r_{Э2cp}) \cdot (D_{B1B2} - r_{Э1cp} - r_{Э2cp}) \cdot (D_{B1C2} - r_{Э1cp} - r_{Э2cp}) \cdot (D_{C1A2} - r_{Э1cp} - r_{Э2cp}) \cdot (D_{C1B2} - r_{Э1cp} - r_{Э2cp}) \cdot (D_{C1C2} - r_{Э1cp} - r_{Э2cp})};$$

Если две рассматриваемые линии со взаимной индукцией являются цепями одной двухцепной линии и работают параллельно, то собственные сопротивления каждой линии равны $Z_{0I-I}^{(э)} = Z_{0II-II}^{(э)} = Z_{0собр}^{(э)}$. Сопротивление нулевой последовательности двухцепной линии с учётом взаимной индукции между цепями определяется по следующей формуле:

$$Z_{0-2ц}^{(э)} = \frac{Z_{0собр}^{(э)} + Z_{0I-II}^{(э)}}{2}.$$

Взаимную индукцию необходимо учитывать в том случае, если расстояние между средними линиями КЛ-1 и КЛ-2 составляет 1 м и менее. В случае, если кабельные линии расположены друг от друга на расстоянии более 1 м, такие кабельные линии допускается рассчитывать как одиночные без взаимной индукции. При этом погрешность сопротивления нулевой последовательности не превысит 5%.

На практике разрешается учитывать только взаимную индукцию между линиями, проложенными в одной траншее. Взаимная индукция между кабелями, проходящими в разных траншеях, отсутствует.

1.13 Учёт глубины заложения и способа укладки кабелей

Глубина заложения кабелей h теоретически влияет на собственные и взаимные индуктивные сопротивления кабельной линии. Однако при глубинах залегания эквивалентного проводника D_3 сотни метров и более (зависит от типа грунта) и глубинах прокладки кабельных линий 1 - 2 м $D_3 \gg h$, глубиной залегания допустимо пренебрегать. Например, собственное индуктивное сопротивление жилы с учётом глубины прокладки кабелей рассчитывается:

$$X_{ж} = \omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{4} + \ln \left[\frac{D_3 - h}{r_1} \right] \right) \cdot 10^3 \approx \omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{4} + \ln \left[\frac{D_3}{r_1} \right] \right) \cdot 10^3.$$

Способ укладки кабелей учитывается аналогично п. 1.10 данного отчёта.

2 АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

2.1 Ввод данных по кабельной линии в программу

2.1.1 В программе GuCables все параметры кабельных линий находятся в таблице, расположенной в главном окне ПО, рисунок 2.1. Каждая строка таблицы соответствует одной одноцепной линии или одной цепи двухцепной линии. В данной таблице сохраняются как исходные данные, так и рассчитанные сопротивления линий. Имеется возможность посмотреть результаты расчётов и распечатать отчёт.

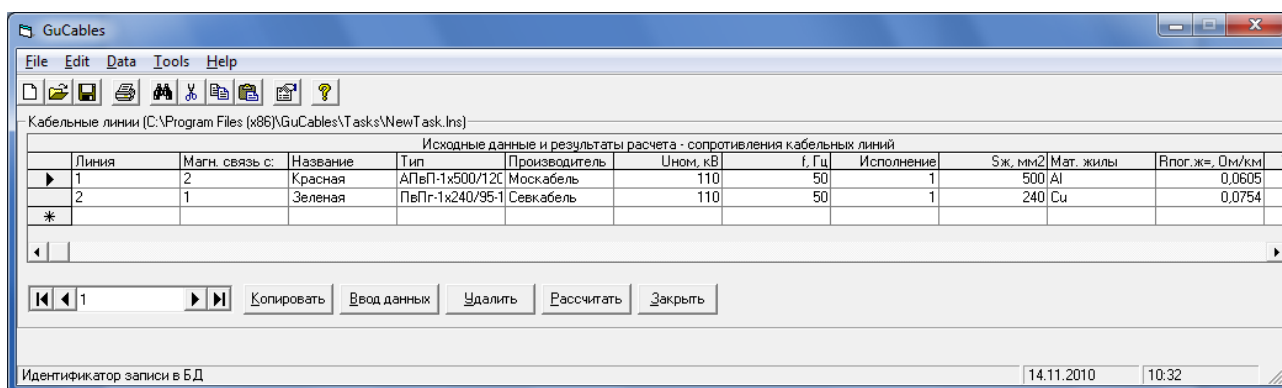


Рисунок 2.1 – Главное окно программы GuCables

2.1.2 Редактирование исходных данных, необходимых для расчёта сопротивлений кабельных линий, возможно как непосредственно через таблицу, так и в окне «Параметры линии». Для открытия окна «Параметры линии»:

- 1) в соответствии с рисунком 2.2 выберите строку в таблице главного окна;
- 2) нажмите на кнопку «Ввод данных».

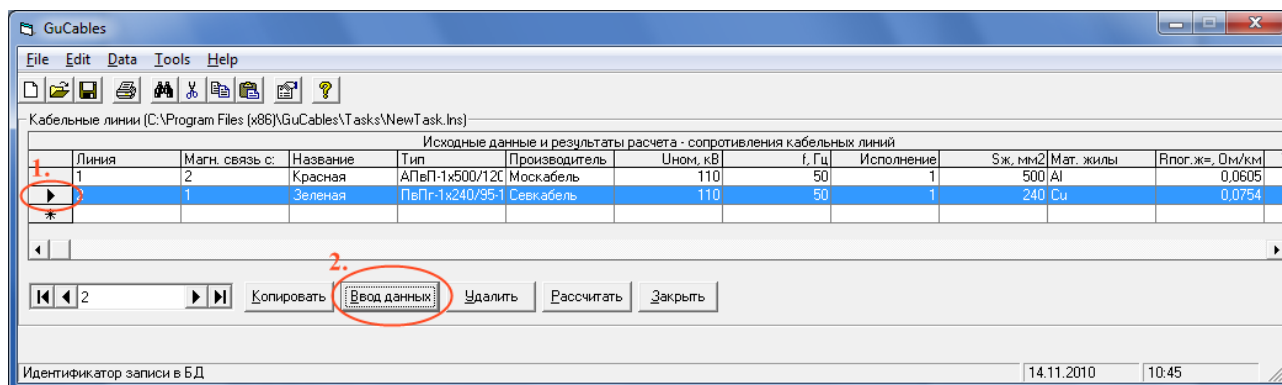


Рисунок 2.2 – Открытие окна «Параметры линий»

В окне параметров имеется 4 вкладки, в которых сгруппированы параметры кабельной линии:

а) вкладка «Кабель», рисунок 2.3, содержит справочные данные по однофазному или трёхфазному кабелю:

- марка кабеля, производитель;
- номинальное напряжение;
- исполнение кабеля (однофазное или трёхфазное);
- сечения жилы и экрана;
- материалы жилы и экрана;
- удельное активное сопротивление жилы постоянному току;
- диэлектрическую проницаемость изоляции;
- толщины слоёв изоляции.

В нижней части вкладки расположен справочник с распространёнными каталожными данными от производителей, откуда можно вставлять данные в поля формы. Содержимое справочника приведено в п. 2.1.3 отчёта.

Параметры линии

Вкладка: **Кабель**

Кабель:

Производитель: Севкабель Уном, кВ: 110 ☒ Однофазное исполнение

Марка (тип): ПвПг-1х240/95-110 Диэл. проницаемость: 2.4 ☐ Трёхфазное исполнение

Токоведущая жила

Сечение, кв. мм: 240 Погонное сопротивление жилы, Ом/км: ☒ Из справочника: 0.0754 Тнорм, град.: 20

Материал жилы: Cu ☐ Расчет исходя из материала жилы

Экран кабеля

Сечение, кв. мм: 95 Материал экрана: Cu

Толщина слоёв изоляции, мм

Дкаб: 64 d_жз: 16

dob: 3.2 d_п.ж: 0.4

dз: 1.5 d_п.и: 0.4

d_п.з: 0.4

Справочник

FullType	Manufacturer	Un	IsolationCable	Fcore	MaterialCore	RO_CoreDC
ПвПг-1х240/95-110	Севкабель	110	1	240	Cu	0.0754
АПвПг-1х300/120-1	Севкабель	110	1	300	Al	0.1
ПвПг-1х300/120-11	Севкабель	110	1	300	Cu	0.0601
АПвПг-1х350/120-1	Севкабель	110	1	350	Al	0.0873
ПвПг-1х350/120-11	Севкабель	110	1	350	Cu	0.0526
АПвПг-1х400/120-1	Севкабель	110	1	400	Al	0.0773
ПвПг-1х400/120-11	Севкабель	110	1	400	Cu	0.047
АПвПг-1х400/120-11	Севкабель	110	1	400	Al	0.047

Диаграмма сечения кабеля:

Жила, Экран

Параметры сечения: d_п.и, d_жз, d_п.ж, d_п.и, d_п.з, d_каб, d_з

Выбор: ПвПг-1х240/95-110

Расчётчик

Отменить Применить Выход

Рисунок 2.3 – Окно «Параметры линий» программы, вкладка «Кабель»

б) вкладка «Прокладка линии», рисунок 2.4, содержит данные:

- наименование линии;
- протяжённость линии;
- рабочая температура жилы кабельной линии;
- частота сети;
- удельное сопротивление грунта;
- вид прокладки кабельной линии.

Параметры линии

Кабель **Прокладка линии** Соединение экранов Взаимоиндукция

Название КЛ: Зеленея Рабочая температура кабеля, гр.Ц.: 30

Длина КЛ, км: 10 Частота сети, Гц: 50

Удельное сопротивление земли в зависимости от типа грунта:

Удельное сопротивление грунта, Ом*м: 30

Вид прокладки и расстояние между центрами фаз кабелей

☐ Треугольник
 ☒ Горизонтально
 ☐ Произвольно

d_{AB} , мм: 200
 d_{BC} , мм: 200
 d_{AC} , мм: 400

Отменить Применить Выход

Рисунок 2.4 – Окно «Параметры линии», вкладка «Прокладка линии»

в) вкладка «Соединение экранов», рисунок 2.5, содержит данные:

- способ заземления экранов (с одного или с двух сторон);
- наличие транспозиции экранов (транспозиция отсутствует или применена).

г) вкладка «Взаимоиндукция», рисунок 2.6, содержит данные:

- номер линии, с которой у рассматриваемой линии имеется магнитная связь (взаимоиндукция);
- характеристика линий со взаимной индукцией (две одноцепные линии со взаимной индукцией или одна двухцепная линия со взаимной индукцией между цепями);
- расстояния между кабелями двух взаимноиндуктирующих линий.

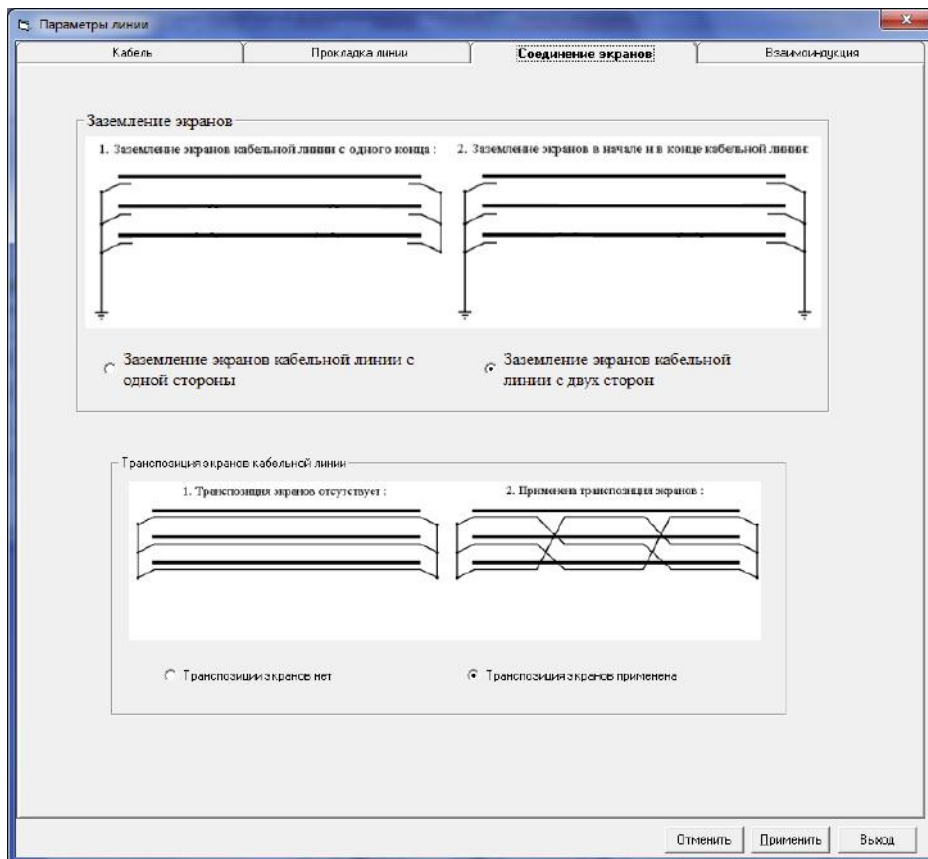


Рисунок 2.5 – Окно «Параметры линии», вкладка «Соединение экранов»

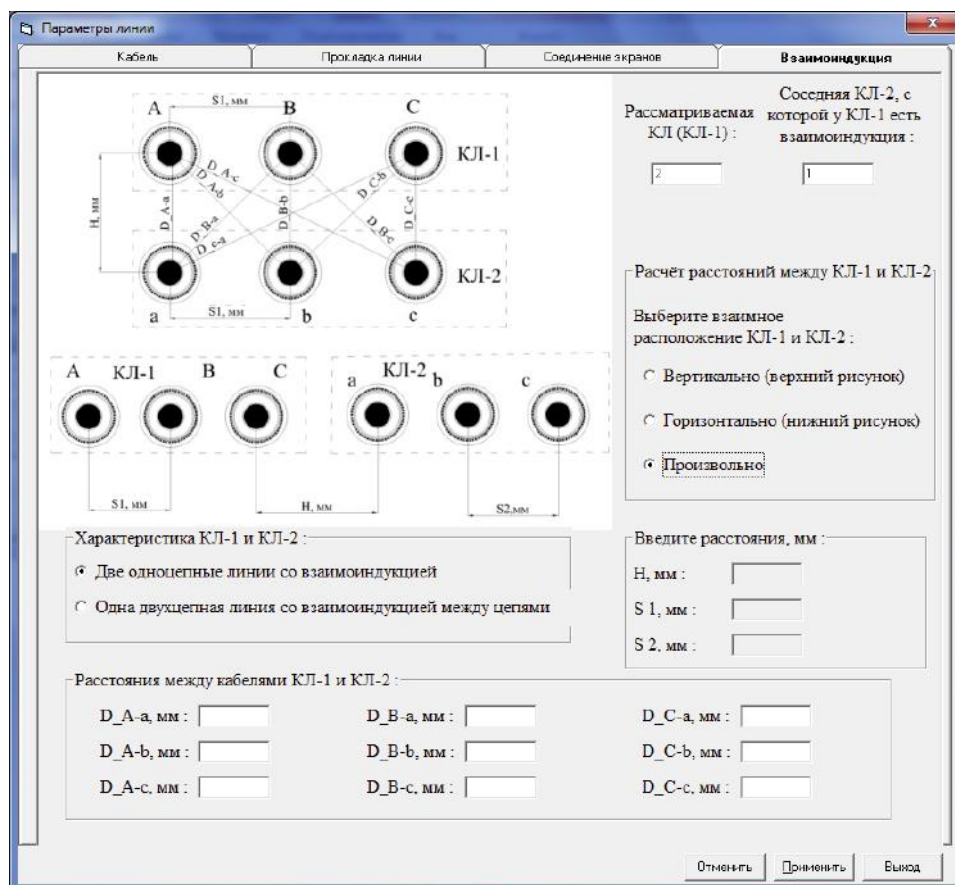


Рисунок 2.6 – Окно «Параметры линии», вкладка «Взаимоиндукция»

2.1.3 Справочник с техническими параметрами кабелей

2.1.3.1 Справочник содержит следующие технические параметры кабелей:

- марка (тип);
- производитель;
- номинальное напряжение;
- исполнение (однофазное или трёхфазное);
- сечения жилы и экрана;
- материалы жилы и экрана;
- удельное активное сопротивление жилы постоянному току;
- диэлектрическая проницаемость изоляции;
- толщины слоёв изоляции.
- - наружный диаметр кабеля $D_{\text{каб}}$;
- - толщина оболочки экрана $d_{\text{об}}$;
- - толщина экрана $d_{\text{э}}$;
- - дополнительно для кабелей однофазного исполнения:
 - толщина изоляции жила-экран $d_{\text{жэ}}$;
 - толщина полупроводящего слоя по жиле $d_{\text{п.ж}}$;
 - толщина полупроводящего слоя по изоляции жила-экран $d_{\text{п.и}}$;
 - толщина полупроводящего слоя по внутренней стороне экрана $d_{\text{п.э}}$;
- - расстояние между центрами жил для трёхфазного кабеля s .

2.1.3.2 Содержание справочника с техническими данными однофазных и трёхфазных экранированных кабелей представлено в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Справочник по техническим параметрам кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена

Тип	Производитель	Уном, кВ	Исполнение	Сж, мм2	Мат. жилы	Rпог.ж=, Ом/км	Тнорм, град.	Сэк, мм2	Мат. экрана	d_ж- э, мм	d_п.ж, мм	d_п.и, мм	d_п.э, мм	d_эк, мм	d_об, мм	D_каб, мм	S3- ф	eps
ПвПу2г-1х185/95-110	Москабель	110	1	185	Cu	0,0991	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	4	62		2,4
ПвВнг-1х185/95-110	Севкабель	110	1	185	Cu	0,0991	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3	62		2,4
ПвВнг-1х185/95-110	Москабель	110	1	185	Cu	0,0991	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3	60		2,4
ПвП2г-1х185/95-110	Севкабель	110	1	185	Cu	0,0991	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	4	64		2,4
АПвПг-1х185/95-110	Севкабель	110	1	185	Al	0,164	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3	62		2,4
ПвПг-1х185/95-110	Севкабель	110	1	185	Cu	0,0991	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3	62		2,4
АПвВнг-1х185/95-110	Севкабель	110	1	185	Al	0,164	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3	62		2,4
ПвВ-1х185/95-110	Москабель	110	1	185	Cu	0,0991	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3	60		2,4
АПвП2г-1х185/95-110	Севкабель	110	1	185	Al	0,164	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	4	64		2,4
АПвПу2г-1х185/95-110	Москабель	110	1	185	Al	0,164	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	4	62		2,4
АПвВнг-1х185/95-110	Москабель	110	1	185	Al	0,164	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3	60		2,4
АПвВнг-1х185/95-110	Москабель	110	1	185	Al	0,164	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3	60		2,4
АПвП-1х185/95-110	Москабель	110	1	185	Al	0,164	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3	60		2,4
ПвП-1х185/95-110	Москабель	110	1	185	Cu	0,0991	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3	60		2,4
ПвВнг-1х185/95-110	Москабель	110	1	185	Cu	0,0991	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3	60		2,4
АПвВ-1х185/95-110	Москабель	110	1	185	Al	0,164	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3	60		2,4
АПвВ-1х185/95-110	Севкабель	110	1	185	Al	0,164	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3	62		2,4
ПвВ-1х185/95-110	Севкабель	110	1	185	Cu	0,0991	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3	62		2,4
ПвПу2г-1х240/95-110	Москабель	110	1	240	Cu	0,0754	20	95	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4,4	64		2,4
АПвВнг-1х240/95-110	Москабель	110	1	240	Al	0,125	20	95	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,2	62		2,4
ПвП2г-1х240/95-110	Севкабель	110	1	240	Cu	0,0754	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	4,2	67		2,4
АПвВ-1х240/95-110	Севкабель	110	1	240	Al	0,125	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,2	64		2,4
АПвПг-1х240/95-110	Севкабель	110	1	240	Al	0,125	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,2	64		2,4
АПвП2г-1х240/95-110	Севкабель	110	1	240	Al	0,125	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	4,2	67		2,4
ПвВ-1х240/95-110	Севкабель	110	1	240	Cu	0,0754	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,2	64		2,4
ПвВ-1х240/95-110	Москабель	110	1	240	Cu	0,0754	20	95	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,2	62		2,4
2XS(FL)2Y 1х240RM/50 127/220 kV	NKT Cables	220	1	240	Cu	0,0754	20	50	Cu	25	0,8	0,8	0,5	1,5	4	83		2,4
АПвПу2г-1х240/95-110	Москабель	110	1	240	Al	0,125	20	95	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4,4	64		2,4
АПвП-1х240/95-110	Москабель	110	1	240	Al	0,125	20	95	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,2	62		2,4
ПвП-1х240/95-110	Москабель	110	1	240	Cu	0,0754	20	95	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,2	62		2,4
ПвПг-1х240/95-110	Севкабель	110	1	240	Cu	0,0754	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,2	64		2,4
ПвВнг-1х240/95-110	Москабель	110	1	240	Cu	0,0754	20	95	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,2	62		2,4
АПвВ-1х240/95-110	Москабель	110	1	240	Al	0,125	20	95	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,2	62		2,4
ПвВнг-1х240/95-110	Москабель	110	1	240	Cu	0,0754	20	95	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,2	62		2,4
A2XS(FL)2Y 1х240RM/50 127/220 kV	NKT Cables	220	1	240	Al	0,125	20	50	Cu	25	0,8	0,8	0,5	1,5	4	83		2,4
АПвВнг-1х240/95-110	Москабель	110	1	240	Al	0,125	20	95	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,2	62		2,4
АПвВнг-1х240/95-110	Севкабель	110	1	240	Al	0,125	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,2	64		2,4
АНХСНВМК-1х240/95- 110	REKA Cables (Финляндия)	110	1	240	Al	0,125	20	95	Cu	18	0,8	0,8	0,5	1,5	3,1	69		2,4
ПвВнг-1х240/95-110	Севкабель	110	1	240	Cu	0,0754	20	95	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,2	64		2,4

Тип	Производитель	Уном, кВ	Исполнение	Сж, мм2	Мат. жилы	Rпог.ж=, Ом/км	Тнорм, град.	Сэк, мм2	Мат. экрана	d_ж- э, мм	d_п.ж, мм	d_п.и, мм	d_п.э, мм	d_эк, мм	d_об, мм	D_каб, мм	S3- ф	eps
2XS(FL)2Y 1x300RM/50 127/220 kV	NKT Cables	220	1	300	Cu	0,0601	20	50	Cu	24	0,8	0,8	0,5	1,5	4	83		2,4
АПВВ-1х300/120-110	Москабель	110	1	300	Al	0,1	20	95	Cu	14	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	62		2,4
ПВВ-1х300/120-110	Москабель	110	1	300	Cu	0,0601	20	95	Cu	14	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	62		2,4
ПВВнг-1х300/120-110	Москабель	110	1	300	Cu	0,0601	20	95	Cu	14	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	62		2,4
АПВВнг-1х300/120-110	Москабель	110	1	300	Al	0,1	20	95	Cu	14	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	62		2,4
ПВВ-1х300/120-110	Севкабель	110	1	300	Cu	0,0601	20	120	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	67		2,4
АПВП-1х300/120-110	Москабель	110	1	300	Al	0,1	20	95	Cu	14	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	62		2,4
ПВП-1х300/120-110	Москабель	110	1	300	Cu	0,0601	20	95	Cu	14	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	62		2,4
АПВПг-1х300/120-110	Севкабель	110	1	300	Al	0,1	20	120	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	67		2,4
ПВВнг-1х300/120-110	Москабель	110	1	300	Cu	0,0601	20	95	Cu	14	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	62		2,4
АПВВнг-1х300/120-110	Москабель	110	1	300	Al	0,1	20	95	Cu	14	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	62		2,4
ПВПг-1х300/120-110	Севкабель	110	1	300	Cu	0,0601	20	120	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	67		2,4
ПВВнг-1х300/120-110	Севкабель	110	1	300	Cu	0,0601	20	120	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	67		2,4
АПВВ-1х300/120-110	Севкабель	110	1	300	Al	0,1	20	120	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	67		2,4
АПВП2г-1х300/120-110	Севкабель	110	1	300	Al	0,1	20	120	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	4,4	69		2,4
ПВП2г-1х300/120-110	Севкабель	110	1	300	Cu	0,0601	20	120	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	4,4	69		2,4
A2XS(FL)2Y 1x300RM/50 127/220 kV	NKT Cables	220	1	300	Al	0,1	20	50	Cu	24	0,8	0,8	0,5	1,5	4	83		2,4
АПВВнг-1х300/120-110	Севкабель	110	1	300	Al	0,1	20	120	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	67		2,4
АНХСНВМК-1х300/35-110	REKA Cables (Финляндия)	110	1	300	Al	0,1	20	35	Cu	18	0,8	0,8	0,5	1,5	4	74		2,4
ПВПу2г-1х300/120-110	Москабель	110	1	300	Cu	0,0601	20	95	Cu	14	0,4	0,4	0,4	1,5	4,4	64		2,4
АПВПу2г-1х300/120-110	Москабель	110	1	300	Al	0,1	20	95	Cu	14	0,4	0,4	0,4	1,5	4,4	64		2,4
АПВПг-1х350/120-110	Севкабель	110	1	350	Al	0,0873	20	120	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	69		2,4
ПВПг-1х350/120-110	Севкабель	110	1	350	Cu	0,0526	20	120	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	69		2,4
ПВП2г-1х350/120-110	Севкабель	110	1	350	Cu	0,0526	20	120	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	4,4	71		2,4
АПВВ-1х350/120-110	Севкабель	110	1	350	Al	0,0873	20	120	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	69		2,4
АПВП2г-1х350/120-110	Севкабель	110	1	350	Al	0,0873	20	120	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	4,4	71		2,4
ПВВ-1х350/120-110	Севкабель	110	1	350	Cu	0,0526	20	120	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	69		2,4
ПВВнг-1х350/120-110	Севкабель	110	1	350	Cu	0,0526	20	120	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	69		2,4
АПВВнг-1х350/120-110	Севкабель	110	1	350	Al	0,0873	20	120	Cu	16	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	69		2,4
АПВВнг-1х400/120-110	Москабель	110	1	400	Al	0,0778	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	62		2,4
АПВП-1х400/120-110	Москабель	110	1	400	Al	0,0778	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	62		2,4
ПВВ-1х400/120-110	Москабель	110	1	400	Cu	0,047	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	62		2,4
АПВВ-1х400/120-110	Москабель	110	1	400	Al	0,0778	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	62		2,4
ПВВнг-1х400/120-110	Москабель	110	1	400	Cu	0,047	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	62		2,4
АПВП2г-1х400/120-110	Севкабель	110	1	400	Al	0,0778	20	120	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4,4	71		2,4
ПВП-1х400/120-110	Москабель	110	1	400	Cu	0,047	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	62		2,4
ПВВнг-1х400/120-110	Севкабель	110	1	400	Cu	0,047	20	120	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	69		2,4
АПВВнг-1х400/120-110	Севкабель	110	1	400	Al	0,0778	20	120	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	69		2,4
ПВВ-1х400/120-110	Севкабель	110	1	400	Cu	0,047	20	120	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	69		2,4
АПВВ-1х400/120-110	Севкабель	110	1	400	Al	0,0778	20	120	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	69		2,4
ПВПг-1х400/120-110	Севкабель	110	1	400	Cu	0,047	20	120	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	69		2,4

Тип	Производитель	Уном, кВ	Исполнение	Сж, мм2	Мат. жины	Rпог.ж≡, Ом/км	Тнорм, град.	Сжк, мм2	Мат. экрана	d_ж- э, мм	d_п.ж, мм	d_п.и, мм	d_п.э, мм	d_эк, мм	d_об, мм	D_каб, мм	S3- ф	eps
АПвПг-1х400/120-110	Севкабель	110	1	400	Al	0,0778	20	120	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	69		2,4
ПвП2г-1х400/120-110	Севкабель	110	1	400	Cu	0,047	20	120	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4,4	71		2,4
АПвПу2г-1х400/120-110	Москабель	110	1	400	Al	0,0778	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4,4	64		2,4
НХСНВМК-1х400/70-110	REKA Cables (Финляндия)	110	1	400	Cu	0,047	20	70	Cu	18	0,8	0,8	0,5	1,5	3,3	77		2,4
A2XS(FL)2Y 1х400RM/50 127/220 kV	NKT Cables	220	1	400	Al	0,0778	20	50	Cu	22	0,8	0,8	0,5	1,5	4	82		2,4
АНХСНВМК-1х400/50-110	REKA Cables (Финляндия)	110	1	400	Al	0,0778	20	50	Cu	18	0,8	0,8	0,5	1,5	4	77		2,4
ПвПу2г-1х400/120-110	Москабель	110	1	400	Cu	0,047	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4,4	64		2,4
2XS(FL)2Y 1х400RM/50 127/220 kV	NKT Cables	220	1	400	Cu	0,047	20	50	Cu	22	0,8	0,8	0,5	1,5	4	82		2,4
ПвВнг-1х400/120-110	Москабель	110	1	400	Cu	0,047	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	62		2,4
АПвВнг-1х400/120-110	Москабель	110	1	400	Al	0,0778	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	62		2,4
АПвВнг-1х500/120-110	Москабель	110	1	500	Al	0,0605	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	66		2,4
A2XS(FL)2Y 1х500RM/50 127/220 kV	NKT Cables	220	1	500	Al	0,0605	20	50	Cu	22	0,8	0,8	0,5	1,5	4	86		2,4
2XS(FL)2Y 1х500RM/50 127/220 kV	NKT Cables	220	1	500	Cu	0,0366	20	50	Cu	22	0,8	0,8	0,5	1,5	4	86		2,4
АПвВ-1х500/120-110	Москабель	110	1	500	Al	0,0605	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	66		2,4
ПвВ-1х500/120-110	Москабель	110	1	500	Cu	0,0366	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	66		2,4
ПвП2г-1х500/120-110	Севкабель	110	1	500	Cu	0,0366	20	120	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4,4	74		2,4
АПвП2г-1х500/120-110	Севкабель	110	1	500	Al	0,0605	20	120	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4,4	74		2,4
ПвВнг-1х500/120-110	Москабель	110	1	500	Cu	0,0366	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	66		2,4
АПвП-1х500/120-110	Москабель	110	1	500	Al	0,0605	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	66		2,4
АПвПу2г-1х500/120-110	Москабель	110	1	500	Al	0,0605	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4,4	68		2,4
НХСНВМК-1х500/120-110	REKA Cables (Финляндия)	110	1	500	Cu	0,0366	20	120	Cu	18	0,8	0,8	0,5	1,5	4	82		2,4
ПвПу2г-1х500/120-110	Москабель	110	1	500	Cu	0,0366	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4,4	68		2,4
ПвВнг-1х500/120-110	Москабель	110	1	500	Cu	0,0366	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	66		2,4
АПвВнг-1х500/120-110	Москабель	110	1	500	Al	0,0605	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	66		2,4
АПвВнг-1х500/120-110	Севкабель	110	1	500	Al	0,0605	20	120	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	72		2,4
АНХСНВМК-1х500/50-110	REKA Cables (Финляндия)	110	1	500	Al	0,0605	20	120	Cu	18	0,8	0,8	0,5	1,5	4	81		2,4
АПвПг-1х500/120-110	Севкабель	110	1	500	Al	0,0605	20	120	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	72		2,4
ПвПг-1х500/120-110	Севкабель	110	1	500	Cu	0,0366	20	120	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	72		2,4
АПвВ-1х500/120-110	Севкабель	110	1	500	Al	0,0605	20	120	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	72		2,4
ПвВнг-1х500/120-110	Севкабель	110	1	500	Cu	0,0366	20	120	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	72		2,4
ПвП-1х500/120-110	Москабель	110	1	500	Cu	0,0366	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	66		2,4
ПвВ-1х500/120-110	Севкабель	110	1	500	Cu	0,0366	20	120	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,4	72		2,4
НХСНВМК-1х630/95-110	REKA Cables (Финляндия)	110	1	630	Cu	0,0283	20	95	Cu	18	0,8	0,8	0,5	1,5	4	84		2,4
АПвВнг-1х630/150-110	Севкабель	110	1	630	Al	0,0469	20	150	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,6	75		2,4
ПвПу2г-1х630/150-110	Москабель	110	1	630	Cu	0,0283	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4,6	71		2,4
ПвВнг-1х630/150-110	Севкабель	110	1	630	Cu	0,0283	20	150	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,6	75		2,4

Тип	Производитель	Уном, кВ	Исполнение	Сж, мм2	Мат. жилы	Rпог.ж=, Ом/км	Тнорм, град.	Сэк, мм2	Мат. экрана	d_ж- э, мм	d_п.ж, мм	d_п.и, мм	d_п.э, мм	d_эк, мм	d_об, мм	D_каб, мм	S3- ф	eps
FXLJ-1x630/185-220	ABB	220	1	630	Cu	0,0283	20	185	Cu	23	0,4	0,4	0,4	1,5	5	92		2,4
АПвП2г-1x630/150-110	Севкабель	110	1	630	Al	0,0469	20	150	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4,6	78		2,4
ПвП2г-1x630/150-110	Севкабель	110	1	630	Cu	0,0283	20	150	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4,6	78		2,4
АПвВ-1x630/150-110	Севкабель	110	1	630	Al	0,0469	20	150	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,6	75		2,4
ПвВ-1x630/150-110	Севкабель	110	1	630	Cu	0,0283	20	150	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,6	75		2,4
АПвВнг-1x630/150-110	Москабель	110	1	630	Al	0,0469	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,6	69		2,4
АНХСНВМК-1x630/50-110	REKA Cables (Финляндия)	110	1	630	Al	0,0469	20	95	Cu	18	0,8	0,8	0,5	1,5	4	84		2,4
A2XS(FL)2Y 1x630RM/50 127/220 kV	NKT Cables	220	1	630	Al	0,0469	20	50	Cu	22	0,8	0,8	0,5	1,5	4	90		2,4
АПвПу2г-1x630/150-110	Москабель	110	1	630	Al	0,0469	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4,6	71		2,4
АПвВ-1x630/150-110	Москабель	110	1	630	Al	0,0469	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,6	69		2,4
ПвПг-1x630/150-110	Севкабель	110	1	630	Cu	0,0283	20	150	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,6	75		2,4
АПвВнг-1x630/150-110	Москабель	110	1	630	Al	0,0469	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,6	69		2,4
АПвПг-1x630/150-110	Севкабель	110	1	630	Al	0,0469	20	150	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,6	75		2,4
ПвВнг-1x630/150-110	Москабель	110	1	630	Cu	0,0283	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,6	69		2,4
ПвВ-1x630/150-110	Москабель	110	1	630	Cu	0,0283	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,6	69		2,4
ПвВнг-1x630/150-110	Москабель	110	1	630	Cu	0,0283	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,6	69		2,4
АПвП-1x630/150-110	Москабель	110	1	630	Al	0,0469	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,6	69		2,4
ПвП-1x630/150-110	Москабель	110	1	630	Cu	0,0283	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,6	69		2,4
2XS(FL)2Y 1x630RM/50 127/220 kV	NKT Cables	220	1	630	Cu	0,0283	20	50	Cu	22	0,8	0,8	0,5	1,5	4	90		2,4
АПвП-1x800/185-110	Москабель	110	1	800	Al	0,0367	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,8	74		2,4
ПвП-1x800/185-110	Москабель	110	1	800	Cu	0,0331	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,8	74		2,4
ПвВнг-1x800/185-110	Севкабель	110	1	800	Cu	0,0331	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,8	80		2,4
АПвВ-1x800/185-110	Севкабель	110	1	800	Al	0,0367	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,8	80		2,4
2XS(FL)2Y 1x800RM/50 290/500 kV	NKT Cables	500	1	800	Cu	0,0221	20	170	Cu	35	0,8	0,8	0,5	1,5	4	126		2,4
ПвВ-1x800/185-110	Севкабель	110	1	800	Cu	0,0331	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,8	80		2,4
FXLJ-1x800/185-220	ABB	220	1	800	Cu	0,0221	20	185	Cu	23	0,4	0,4	0,4	1,5	5	97		2,4
A2XS(FL)2Y 1x800RM/50 127/220 kV	NKT Cables	220	1	800	Al	0,0367	20	50	Cu	19	0,8	0,8	0,5	1,5	4	88		2,4
2XS(FL)2Y 1x800RM/50 127/220 kV	NKT Cables	220	1	800	Cu	0,0221	20	50	Cu	19	0,8	0,8	0,5	1,5	4	88		2,4
АПвВнг-1x800/185-110	Севкабель	110	1	800	Al	0,0367	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,8	80		2,4
АПвП2г-1x800/185-110	Севкабель	110	1	800	Al	0,0367	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4,8	82		2,4
АПвВнг-1x800/185-110	Москабель	110	1	800	Al	0,0367	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,8	74		2,4
A2XS(FL)2Y 1x800RM/50 290/500 kV	NKT Cables	500	1	800	Cu	0,0367	20	170	Cu	35	0,8	0,8	0,5	1,5	4	126		2,4
ПвВнг-1x800/185-110	Москабель	110	1	800	Cu	0,0331	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,8	74		2,4
АПвВнг-1x800/185-110	Москабель	110	1	800	Al	0,0367	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,8	74		2,4
ПвП2г-1x800/185-110	Севкабель	110	1	800	Cu	0,0331	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4,8	82		2,4
ПвВнг-1x800/185-110	Москабель	110	1	800	Cu	0,0331	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,8	74		2,4
АПвВ-1x800/185-110	Москабель	110	1	800	Al	0,0367	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,8	74		2,4

Тип	Производитель	Уном, кВ	Исполнение	Сж, мм2	Мат. жины	Rпог.ж=, Ом/км	Тнорм, град.	Сжк, мм2	Мат. экрана	d_ж- э, мм	d_п.ж, мм	d_п.и, мм	d_п.э, мм	d_эк, мм	d_об, мм	D_каб, мм	S3- ф	eps
ПвВ-1х800/185-110	Москабель	110	1	800	Cu	0,0331	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	3,8	74		2,4
ПвПг-1х800/185-110	Севкабель	110	1	800	Cu	0,0331	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,8	80		2,4
АПвПу2г-1х800/185-110	Москабель	110	1	800	Al	0,0367	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4,8	76		2,4
ПвПу2г-1х800/185-110	Москабель	110	1	800	Cu	0,0331	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4,8	76		2,4
АПвПг-1х800/185-110	Севкабель	110	1	800	Al	0,0367	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	3,8	80		2,4
АПвПг-1х1000/185-110	Севкабель	110	1	1000	Al	0,0291	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4	84		2,4
A2XS(FL)2Y 1х1000RM/50 290/500 kV	NKT Cables	500	1	1000	Cu	0,0291	20	170	Cu	33	0,8	0,8	0,5	1,5	4	126		2,4
A2XS(FL)2Y 1х1000RM/50 127/220 kV	NKT Cables	220	1	1000	Al	0,0291	20	50	Cu	19	0,8	0,8	0,5	1,5	4	92		2,4
АПвПу2г-1х1000/185-110	Москабель	110	1	1000	Al	0,0291	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	5	81		2,4
АПвВ-1х1000/185-110	Севкабель	110	1	1000	Al	0,0291	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4	84		2,4
ПвВ-1х1000/185-110	Севкабель	110	1	1000	Cu	0,0176	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4	84		2,4
2XS(FL)2Y 1х1000RM/50 127/220 kV	NKT Cables	220	1	1000	Cu	0,0176	20	50	Cu	19	0,8	0,8	0,5	1,5	4	92		2,4
ПвПг-1х1000/185-110	Севкабель	110	1	1000	Cu	0,0176	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4	84		2,4
ПвВнг-1х1000/185-110	Севкабель	110	1	1000	Cu	0,0176	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4	84		2,4
ПвВнг-1х1000/185-110	Москабель	110	1	1000	Cu	0,0176	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4	79		2,4
АПвВнг-1х1000/185-110	Москабель	110	1	1000	Al	0,0291	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4	79		2,4
АПвВ-1х1000/185-110	Москабель	110	1	1000	Al	0,0291	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4	79		2,4
ПвВ-1х1000/185-110	Москабель	110	1	1000	Cu	0,0176	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4	79		2,4
ПвП2г-1х1000/185-110	Севкабель	110	1	1000	Cu	0,0176	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	5	86		2,4
АПвП2г-1х1000/185-110	Севкабель	110	1	1000	Al	0,0291	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	5	86		2,4
ПвПу2г-1х1000/185-110	Москабель	110	1	1000	Cu	0,0176	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	5	81		2,4
АПвП-1х1000/185-110	Москабель	110	1	1000	Al	0,0291	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4	79		2,4
АПвВнг-1х1000/185-110	Севкабель	110	1	1000	Al	0,0291	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4	84		2,4
FXLJ-1х1000/185-220	ABB	220	1	1000	Cu	0,0176	20	185	Cu	23	0,4	0,4	0,4	1,5	5	101		2,4
ПвП-1х1000/185-110	Москабель	110	1	1000	Cu	0,0176	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4	79		2,4
ПвВнг-1х1000/185-110	Москабель	110	1	1000	Cu	0,0176	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4	79		2,4
АПвВнг-1х1000/185-110	Москабель	110	1	1000	Al	0,0291	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4	79		2,4
2XS(FL)2Y 1х1000RM/50 290/5000 kV	NKT Cables	500	1	1000	Cu	0,0176	20	170	Cu	33	0,8	0,8	0,5	1,5	4	126		2,4
ПвП2г-1х1200/185-110	Севкабель	110	1	1200	Cu	0,0151	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	5	90		2,4
АПвПг-1х1200/185-110	Севкабель	110	1	1200	Al	0,0247	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4	88		2,4
ПвВ-1х1200/185-110	Москабель	110	1	1200	Cu	0,0151	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4	85		2,4
АПвП-1х1200/185-110	Москабель	110	1	1200	Al	0,0247	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4	85		2,4

Тип	Производитель	Уном, кВ	Исполнение	Сж, мм2	Мат. жины	Rпог.ж≡, Ом/км	Тнорм, град.	Сэк, мм2	Мат. экрана	d_ж- э, мм	d_п.ж, мм	d_п.и, мм	d_п.э, мм	d_эк, мм	d_об, мм	D_каб, мм	S3- ф	eps
ПвП-1х1200/185-110	Москабель	110	1	1200	Cu	0,0151	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4	85		2,4
АПвВ-1х1200/185-110	Москабель	110	1	1200	Al	0,0247	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4	85		2,4
ПвВнг-1х1200/185-110	Москабель	110	1	1200	Cu	0,0151	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4	85		2,4
АПвВнг-1х1200/185-110	Москабель	110	1	1200	Al	0,0247	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4	85		2,4
АПвВнг-1х1200/185-110	Севкабель	110	1	1200	Al	0,0247	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4	88		2,4
ПвВ-1х1200/185-110	Севкабель	110	1	1200	Cu	0,0151	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4	88		2,4
АПвВ-1х1200/185-110	Севкабель	110	1	1200	Al	0,0247	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4	88		2,4
АПвВнг-1х1200/185-110	Москабель	110	1	1200	Al	0,0247	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4	85		2,4
FXLJ-1х1200/185-220	ABB	220	1	1200	Cu	0,0151	20	185	Cu	23	0,4	0,4	0,4	1,5	5	109		2,4
ПвПг-1х1200/185-110	Севкабель	110	1	1200	Cu	0,0151	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4	88		2,4
ПвВнг-1х1200/185-110	Севкабель	110	1	1200	Cu	0,0151	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	4	88		2,4
ПвПу2г-1х1200/185-110	Москабель	110	1	1200	Cu	0,0151	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	5	87		2,4
АПвП2г-1х1200/185-110	Севкабель	110	1	1200	Al	0,0247	20	185	Cu	15	0,4	0,4	0,4	1,5	5	90		2,4
ПвВнг-1х1200/185-110	Москабель	110	1	1200	Cu	0,0151	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	4	85		2,4
АПвПу2г-1х1200/185-110	Москабель	110	1	1200	Al	0,0247	20	95	Cu	13	0,4	0,4	0,4	1,5	5	87		2,4
FXLJ-1х1400/185-220	ABB	220	1	1400	Cu	0,0129	20	185	Cu	23	0,4	0,4	0,4	1,5	5	114		2,4
FXLJ-1х1600/185-220	ABB	220	1	1600	Cu	0,0113	20	185	Cu	23	0,4	0,4	0,4	1,5	5	118		2,4
FXLJ-1х2000/185-220	ABB	220	1	2000	Cu	0,009	20	185	Cu	23	0,4	0,4	0,4	1,5	5	122		2,4
FXLJ-1х2500/185-220	ABB	220	1	2500	Cu	0,0072	20	185	Cu	23	0,4	0,4	0,4	1,5	5	133		2,4
FXLJ-1х3000/185-220	ABB	220	1	3000	Cu	0,006	20	185	Cu	23	0,4	0,4	0,4	1,5	5	139		2,4

2.1.4 Для записи измененных параметров кабельной линии необходимо нажать кнопку «Применить» или «Выход». После нажатия кнопки «Применить» данные из параметров линии записываются в таблицу главного окна программы, окно с параметрами КЛ остается открытым. При нажатии на кнопку «Выход» данные из параметров линии записываются в таблицу главного окна программы, окно с параметрами КЛ закрывается. Кроме того, при нажатии кнопок «Применить» или «Выход» осуществляется проверка данных, введенных в окне «Параметры линий». В соответствии с рисунком 2.7, если имеются незаполненные или неверно заполненные поля окна «Параметры линий», выводится соответствующее сообщение со списком проблем.

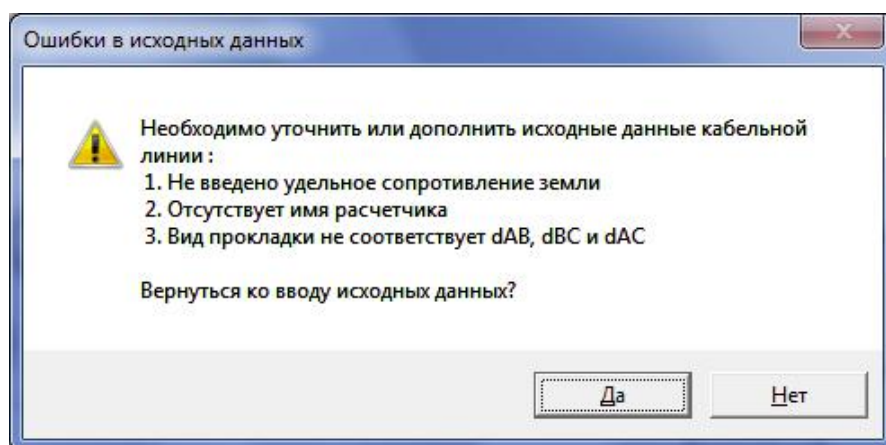


Рисунок 2.7 – Окно сообщения о выявленных проблемах в исходных данных кабельной линии

Предлагается вернуться к вводу данных и исправить недочёты нажав «Да». Пользователь может проигнорировать выявленные проблемы, выбрав «Нет», однако в дальнейшем неисправленные проблемы могут привести к неверному расчёту сопротивлений кабельной линии.

Вторая проверка, которую осуществляет программа – наличие ошибочно введенной текстовой информации на месте числовых значений. В случае выявления некорректно введенных данных, в соответствии с рисунком 2.8, программа выдает сообщение об ошибке и выделяет проблемные поля красным фоном.

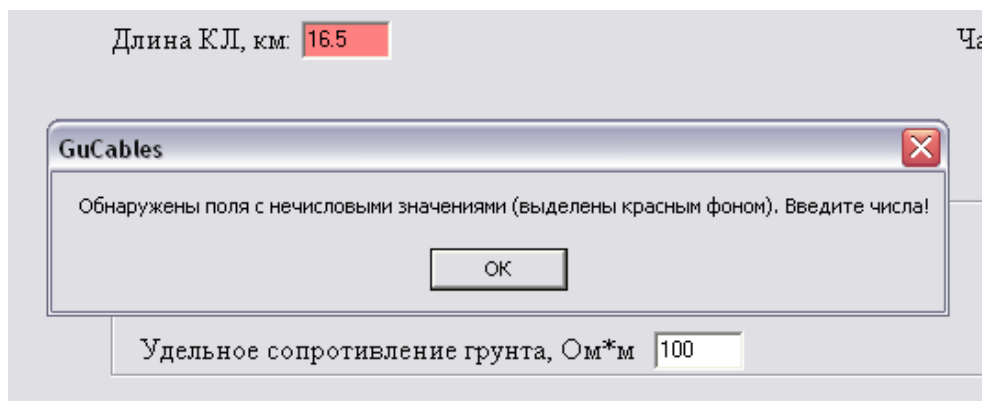


Рисунок 2.8 – Защита от ошибочного ввода в числовые поля текстовой информации

Пока пользователь не исправит данные, программа не возвратится к главному окну. Эта проверка позволяет выявлять ошибки, когда пользователь по невнимательности в качестве разделителя между целой и дробной частью числа вводит точку вместо запятой.

2.1.5 Пользователь имеет возможность производить редактирование справочника

Рекомендации по редактированию справочника:

а) Необходимо проверять вводимые данные по кабелю на достоверность, по возможности не оставлять незаполненных ячеек, т.к. при расчёте в любом случае незаполненные данные придется заполнять данными;

б) При затруднениях с пополнением справочника обращайтесь к разработчикам программы.

2.2 Расчёт сопротивлений кабельной линии и просмотр результатов

2.2.1 Для начала расчёта сопротивлений кабельной линии нажмите кнопку «Рассчитать» в главном окне программы в соответствии с рисунком. 2.9. Обратите внимание, что расчёт сопротивлений производится для всех строк таблицы.

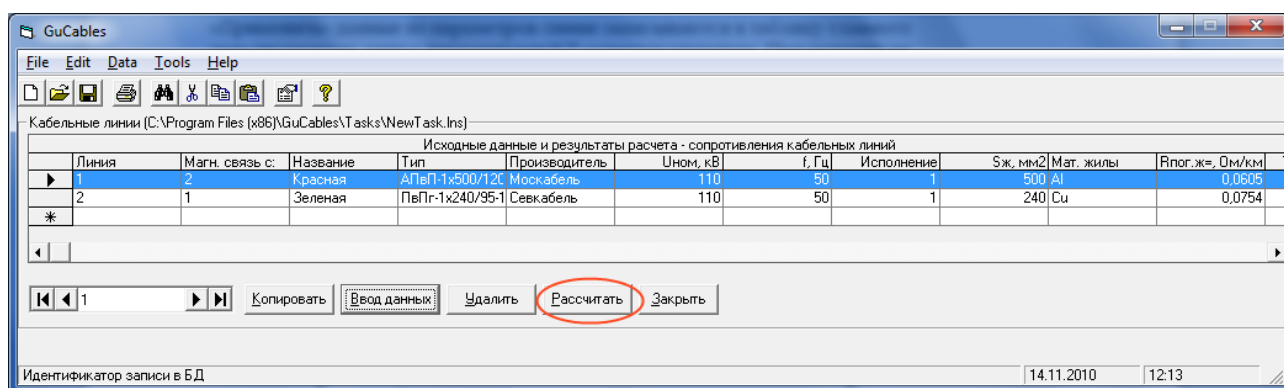


Рисунок 2.9 – Запуск расчёта сопротивлений кабельных линий

По окончании расчёта, в соответствии с рисунком 2.10, пользователю будут автоматически показаны столбцы с рассчитанными сопротивлениями.

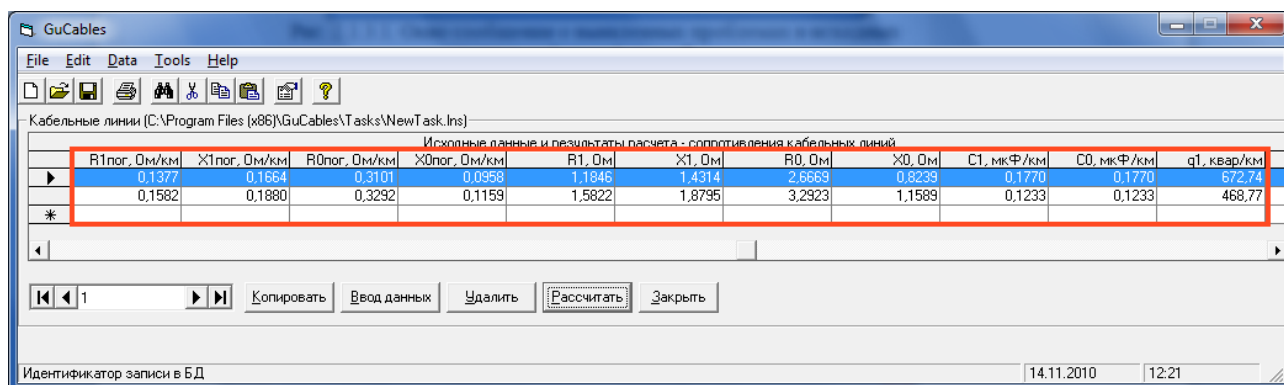


Рисунок 2.10 – Отображение результатов расчёта сопротивлений

2.2.2 Просмотр и печать результатов можно осуществить из меню File.

File – Print Preview – предварительный просмотр результатов. Для каждой кабельной линии результаты расчёта, в соответствии с рисунком 2.11, располагаются на отдельной странице.

File – Print Setup – настройка печати и печать на принтере.

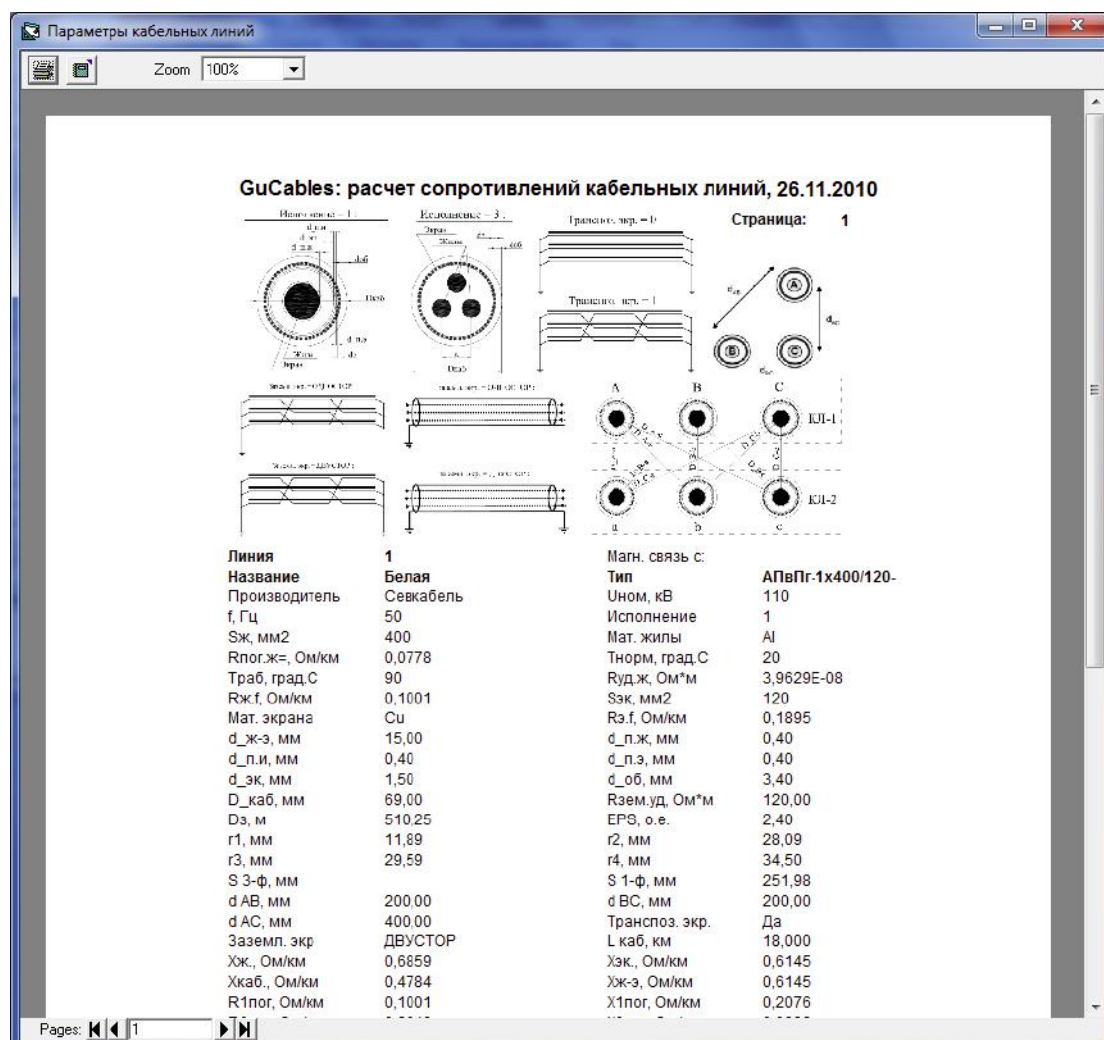


Рисунок 2.11 – Предварительный просмотр и печать результатов

2.3 Описание алгоритма расчёта сопротивлений программы GuCables

Название и смысл величин, используемых в объяснении алгоритма, изложены в разделе 1 отчёта. Программа рассчитывает сопротивления кабельных линий в последовательности, указанной ниже. В первом подпункте каждого пункта указаны исходные данные, на основе которых рассчитываются значения величин.

2.3.1 Расчёт геометрических размеров кабельной линии

2.3.1.1 Исходные данные для расчёта геометрии кабеля:

- исполнение кабеля;
- сечение жилы $F_{\text{ж}}$;
- наружный диаметр кабеля $D_{\text{каб}}$;
- толщина оболочки экрана $d_{\text{об}}$;
- толщина экрана $d_{\text{э}}$;
- дополнительно для кабелей однофазного исполнения
 - толщина изоляции жила-экран $d_{\text{из}}$;
 - толщина полупроводящего слоя по жиле $d_{\text{п.ж}}$;
 - толщина полупроводящего слоя по изоляции жила-экран $d_{\text{п.и}}$;
 - толщина полупроводящего слоя по внутренней стороне экрана $d_{\text{п.э}}$.

В зависимости от вида исполнения кабеля расчёт геометрии кабелей различается.

2.3.1.2 Радиус жилы кабеля однофазного и трёхфазного исполнения определяется исходя из известного сечения:

$$r_1 = \sqrt{\frac{F_{\text{ж}}}{k_{\text{зап}} \cdot \pi}}, \text{ мм.}$$

2.3.1.3 Если исполнение кабеля =1 (однофазное)

а) Внутренний радиус экрана кабеля r_2 с учётом полупроводящих покрытий по жиле, рабочей изоляции и внутренней поверхности экрана, равен:

$$r_2 = r_1 + d_{\text{п.ж}} + d_{\text{из}} + d_{\text{п.и}} + d_{\text{п.э}}, \text{ мм.}$$

б) Внешний радиус экрана r_3 равен:

$$r_3 = r_2 + d_{\text{э}}, \text{ мм.}$$

в) Внешний радиус кабеля r_4 определяется исходя из известного внешнего диаметра $D_{\text{каб}}$:

$$r_4 = \frac{D_{\text{каб}}}{2}, \text{ мм.}$$

2.3.1.4 Если исполнение кабеля =3 (трёхфазное)

а) Внешний радиус кабеля r_4 определяется исходя из известного внешнего диаметра $D_{\text{каб}}$:

$$r_4 = \frac{D_{\text{каб}}}{2}, \text{ мм.}$$

б) Внешний радиус экрана:

$$r_3 = \frac{D_{\text{каб}}}{2} - d_{\text{об}}, \text{ мм.}$$

в) Внутренний радиус экрана r_2 с учётом толщины экрана кабеля d_3 :

$$r_2 = r_3 - d_3, \text{ мм.}$$

2.3.2 Расчёт собственных и взаимных сопротивлений кабельной линии

2.3.2.1 Исходные данные для расчёта собственных и взаимных сопротивлений кабельной линии:

- исполнение кабеля;
- сечение жилы $F_{\text{ж}}$;
- материал жилы;
- погонное активное сопротивление жилы кабеля $R_{\text{ж=}}$
- сечение экрана F_3 ;
- материал экрана;
- удельное сопротивление земли ρ_3 ;
- радиус жилы r_1 (из п. 2.3.1);
- внутренний радиус экрана кабеля r_2 (из п. 2.3.1);
- внешний радиус экрана кабеля r_3 (из п. 2.3.1);
- нормированная температура $\nu_{\text{норм}}$;
- рабочая температура жилы кабеля $\nu_{\text{раб}}$;
- информация о прокладке КЛ d_{AB} , d_{BC} , d_{AC} (для кабелей однофазного исполнения)
- расстояние между центрами жил трёхфазного кабеля s .

2.3.2.2 Активное сопротивление жилы кабеля постоянному току, Ом/км, при нормированной температуре (обычно 20 °С) принимается по каталожным данным производителей (одинаково для кабелей трёхфазного и однофазного исполнения).

В случае отсутствия данных по погонному сопротивлению кабеля из справочника (поле с сопротивлением жилы постоянному току « $R_{\text{пог.ж=}}$ » в «Параметрах линии» допускается не заполнять) и рассчитывать по формуле в зависимости от материала проводника:

$$R_{ж\sim} = \frac{\rho_{ж}}{F_{ж}}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

где: $\rho_{ж}$ - удельное сопротивление жилы при температуре 20°C, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{км}}$, для меди удельное сопротивление $\rho_{\text{Cu}} = 17,829 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, для алюминия удельное сопротивление $\rho_{\text{Al}} = 29,547 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

2.3.2.3 Активное сопротивление жилы кабеля переменному току, Ом/км, получается пересчётом погонного сопротивления постоянному току из п. 2.3.2.1 с учётом фактической рабочей температуры кабеля и поверхностного эффекта (одинаково для кабелей трёхфазного и однофазного исполнения):

$$R_{ж\sim} = R_{ж=} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{r_1}{2 \cdot \delta_{ж}} \right)^4 \right) \cdot \frac{\nu_{\text{yc}} + \nu_{\text{раб}}}{\nu_{\text{yc}} + \nu_{\text{норм}}}; \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

2.3.2.4 Активное сопротивление медного экрана кабеля переменному току с учётом рабочей температуры кабеля (одинаково для кабелей трёхфазного и однофазного исполнения):

$$R_{э\sim} = \frac{\rho_{э}}{F_{э}} \cdot \frac{\nu_{\text{yc}} + \nu_{\text{раб}}}{\nu_{\text{yc}} + \nu_{\text{норм}}}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

2.3.2.5 Глубина залегания обратного проводника, в качестве которого представляется земля D_3 (одинаково для кабелей трёхфазного и однофазного исполнения):

$$D_3 = 1,851 \cdot \sqrt{\frac{\rho_3}{\omega \cdot \mu_0}}, \text{ м},$$

Впоследствии глубина залегания обратного провода D_3 участвует в расчётах собственных и взаимных индуктивных сопротивлений КЛ.

2.3.2.6 Собственное индуктивное сопротивление фазы однофазного и трёхфазного кабеля (одинаково для кабелей трёхфазного и однофазного исполнения):

$$X_{\text{ж}} = \omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{4} + \ln \left[\frac{D_3}{r_1} \right] \right) \cdot 10^3; \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

2.3.2.7 Взаимное сопротивление кабеля (расчётное выражение зависит от исполнения кабеля):

а) Взаимное сопротивление жилы (экрана) с кабелем соседней фазы для КЛ однофазного исполнения:

$$X_{\text{м}} = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\ln \left[\frac{D_3}{s} \right] \right) \cdot 10^3; \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

где: s – эквивалентное расстояние между центрами кабелей КЛ (в соответствии с рис. 1.1 и 1.2), мм, рассчитывается по формуле: $s = \sqrt[3]{d_{AB} \cdot d_{BC} \cdot d_{AC}}$

б) Взаимное сопротивление между жилами кабеля трёхфазного исполнения:

$$X_{\text{м}} = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\ln \left[\frac{D_3}{s} \right] \right) \cdot 10^3; \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

где: s – расстояние между центрами жил трёхфазного кабеля КЛ (в соответствии с рис. 1.6), мм, справочная величина, определяется по каталогам производителей кабеля.

2.3.2.8 Взаимное сопротивление между фазой и экраном одного кабеля (одинаково для кабелей трёхфазного и однофазного исполнения):

$$X_{\text{жэ}} = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\ln \left[\frac{2D_3}{r_2 + r_3} \right] \right) \cdot 10^3; \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

2.3.2.9 Собственное сопротивление экрана (одинаково для кабелей трёхфазного и однофазного исполнения):

$$X_{\text{э}} = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\ln \left[\frac{2D_3}{r_2 + r_3} \right] \right) \cdot 10^3; \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

2.3.2.10 Сопротивление, учитывающее потери активной мощности в земле от протекающего в ней тока (не зависит от проводимости земли):

$$R_3 = \omega \cdot \frac{\mu_0}{8}; \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

2.3.2.11 Собственное комплексное сопротивление жилы:

$$Z_{жк} = R_{ж\Box} + R_3 + jX_{жк}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

2.3.2.12 Взаимное комплексное сопротивление КЛ:

$$Z_{м} = R_3 + jX_{м}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

2.3.2.13 Взаимное комплексное сопротивление фазы и экрана одного кабеля:

$$Z_{жэ} = R_3 + jX_{жэ}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

2.3.2.14 Собственное комплексное сопротивление экрана:

$$Z_{э} = R_{э\Box} + R_3 + jX_{м}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

2.3.3 Расчёт сопротивлений прямой, обратной и нулевой последовательности кабельной линии

2.3.3.1 Исходные данные для расчёта сопротивлений последовательностей:

- исполнение кабеля;
- собственное комплексное сопротивление жилы $Z_{ж}$ (из 2.3.2.11);
- собственное комплексное сопротивление экрана $Z_{э}$ (из 2.3.2.14);
- взаимное комплексное сопротивление между жилой и экраном $Z_{жэ}$ (из 2.3.2.13);
- взаимное комплексное сопротивление КЛ $Z_{к}$ (из 2.3.2.12);
- вид заземления экранов (одностороннее или двустороннее заземление);
- наличие транспозиции экранов (есть или отсутствует).

2.3.3.2 Расчет сопротивления прямой последовательности для кабельной линии из кабелей однофазного исполнения

а) Если: исполнение = 1 (однофазный кабель), Заземл. экр. = «ОДНОСТОП» (заземление экранов КЛ с одной стороны), независимо от транспозиции экранов:

$$Z_1 = Z_{ж} - Z_{м}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

б) Если: исполнение = 1 (однофазный кабель), Заземл. экр. = «ДВУСТОП» (заземление экранов КЛ с двух концов КЛ), Транспоз. экр. = 0 (транспозиции экранов нет):

$$Z_1 = Z_{\text{ж}} - Z_{\text{м}} - \frac{(Z_{\text{жэ}} - Z_{\text{м}})^2}{Z_{\text{э}} - Z_{\text{м}}}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

в) Если: исполнение = 1 (однофазный кабель), Заземл. экр. = «ДВУСТОП» (заземление экранов КЛ с двух концов КЛ), Транспоз. экр. = 1 (применена транспозиция экранов):

$$Z_1 = Z_{\text{ж}} - Z_{\text{м}}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

2.3.3.3 Расчет сопротивления нулевой последовательности для кабельной линии из кабелей однофазного исполнения (независимо от транспозиции экранов)

а) Если: исполнение = 1 (однофазный кабель), Заземл. экр. = «ОДНОСТОП» (заземление экранов КЛ с одной стороны):

$$Z_{0\text{э}+3} = Z_{\text{ж}} + 2 \cdot Z_{\text{к}}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

б) Если: исполнение = 1 (однофазный кабель), Заземл. экр. = «ДВУСТОП» (заземление экранов КЛ с двух концов КЛ):

$$Z_{0\text{э}+3} = Z_{\text{ж}} + 2 \cdot Z_{\text{к}} - \frac{(Z_{\text{жэ}} + 2 \cdot Z_{\text{к}})^2}{Z_{\text{э}} + 2 \cdot Z_{\text{к}}}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

2.3.3.4 Расчет сопротивления прямой последовательности для кабельной линии из кабеля трёхфазного исполнения

$$Z_1 = Z_{\text{ж}} - Z_{\text{м}}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

2.3.3.5 Расчет сопротивления нулевой последовательности для кабельной линии из кабеля трёхфазного исполнения

а) Если: исполнение = 3 (трёхфазный кабель), Заземл. экр. = «ОДНОСТОП» (заземление экранов КЛ с одной стороны):

$$Z_{0\text{э}+3} = Z_{\text{ж}} + 2 \cdot Z_{\text{к}}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

б) Если: исполнение = 3 (трёхфазный кабель), Заземл. экр. = «ДВУСТОП» (заземление экранов КЛ с двух концов КЛ):

$$Z_{0\dot{3}+3} = Z_{\text{ж}} + 2 \cdot Z_{\text{к}} - \frac{3 \cdot Z_{\text{жэ}}^2}{Z_{\dot{3}}}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

2.3.4 Расчёт собственных и взаимных сопротивлений в схеме нулевой последовательности при наличии взаимоиндукции между линиями

Расчёт собственных и взаимных сопротивлений при наличии взаимоиндукции между линиями однофазного исполнения осуществляется на втором этапе, когда рассчитаны сопротивления прямой и нулевой последовательностей в каждой строке таблицы. Расчёт взаимоиндукции возможен только для парных линий, у которых экраны заземлены с двух сторон.

2.3.4.1 Исходные данные для расчёта сопротивления нулевой последовательности КЛ с учётом взаимоиндукции:

- активное сопротивление жилы переменному току для КЛ-1 и КЛ-2 $R_{\text{ж1}\sim}$ и $R_{\text{ж2}\sim}$;
- активное сопротивление экрана переменному току для КЛ-1 и КЛ-2 $R_{\text{э1}\sim}$ и $R_{\text{э2}\sim}$;
- активное сопротивление земли R_3 ;
- глубина залегания обратного проводника, в качестве которого представляется земля D_3 ;
- радиус жилы r_1 для КЛ-1 и КЛ-2 ($r_1^{(1)}$ и $r_1^{(2)}$);
- внутренний радиус экрана кабеля r_2 для КЛ-1 и КЛ-2 ($r_2^{(1)}$ и $r_2^{(2)}$);
- внешний радиус экрана кабеля для КЛ-1 и КЛ-2 ($r_3^{(1)}$ и $r_3^{(2)}$);
- среднегеометрическое расстояние между кабелями s для КЛ-1 и КЛ-2 (s_1 , s_2);
- расстояния между кабелями КЛ-1 и КЛ-2 - D_{A1A2} , D_{A1B2} , D_{A1C2} , D_{B1A2} , D_{B1B2} , D_{B1C2} , D_{C1A2} , D_{C1B2} , D_{C1C2} в соответствии с рисунком 1.12.

2.3.4.2 Расчётные выражения полностью совпадают с п. 1.12 отчёта и в данном пункте не приведены.

2.3.5 Расчёт ёмкости и зарядной мощности кабельной линии однофазного исполнения

2.3.5.1 Расчёт погонной ёмкости для прямой (обратной) и нулевой последовательности приведён в п. 1.6 отчёта.

2.3.5.2 Расчёт погонной зарядной мощности кабельной линии

а) Погонная зарядная мощность КЛ прямой (обратной) последовательности:

$$q_1 = U_{\text{ном}}^2 \cdot \omega \cdot C_1 \cdot 10^{-3}, \frac{\text{квар}}{\text{км}}.$$

б) Погонная зарядная мощность КЛ нулевой последовательности:

$$q_0 = U_{\text{ном}}^2 \cdot \omega \cdot C_1 \cdot 10^{-3}, \frac{\text{квар}}{\text{км}}.$$

3 ПРИМЕР РАСЧЁТА СОПРОТИВЛЕНИЙ ЭКРАНИРОВАННЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

3.1 Пример расчёта сопротивлений одноцепной экранированной кабельной линии без взаимоиндукции с соседними линиями

3.1.1 Расчётная схема в соответствии с рисунком 3.1 состоит из системы и одиночной кабельной линии КЛ-1, выполненной однофазными кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена, напряжением 110 кВ. Точка КЗ расположена в конце КЛ-1.



Рисунок 3.1 – Расчетная схема участка электрической сети 110 кВ с КЛ-1

3.1.2 Исходные данные кабельной линии КЛ-1:

Для расчёта выбрана одноцепная кабельная линия напряжением 110 кВ, выполненная из кабелей однофазного исполнения марки АПвПг – 1х500/120-110. Длина КЛ $L=10$ км. Жила алюминиевая, экран медный. Погонное сопротивление жилы постоянному току при 20°C (нормированная температура) $r_0 = 0,0605$ Ом/км. Наружный диаметр $D_{\text{каб}}=72$ мм, толщина рабочей изоляции $d_{\text{из}} = 15$ мм, толщина экрана $d_3 = 1,5$ мм, толщина полупроводящих слоёв по жиле $d_{\text{п.ж}}$, изоляции «жила-экран» $d_{\text{п.и}}$ и внутренней поверхности экрана $d_{\text{п.э}}$ одинакова и равна 0,4 мм. Изоляция – СПЭ, диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 2,4$. Кабели фаз КЛ проложены горизонтально с расстоянием между центрами жил соседних фаз 150 мм, экраны по концам кабеля заземлены, по трассе транспонированы. Грунт, в котором проложена КЛ, имеет удельное сопротивление 100 Ом·м (средняя полоса России). Максимальная рабочая температура кабеля $\nu_{\text{max.раб}}=90^\circ\text{C}$.

3.1.3 Схемы замещения прямой обратной и нулевой последовательности одиночной КЛ-1 приведены на рисунке 3.2.

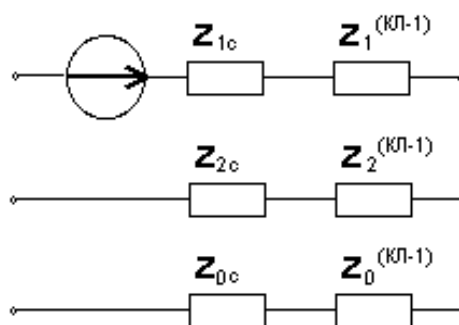


Рисунок 3.2 – Схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей КЛ-1

3.1.4 Ввод исходных данных для КЛ-1 в программу GuCables.

Объём исходных данных для КЛ-1, которые нужно ввести в программу, приведен на рисунках 3.3, 3.4, 3.5 и 3.6 по вкладкам окна «Параметры линии» программы GuCables.

Для одиночной КЛ-1 заполняются только 3 вкладки: «Кабель», «Прокладка линии» и «Соединение экранов». Вкладка взаимоиндукция не заполняется.

Параметры линии

Кабель: Производитель: Севкабель Уном, кВ: 110 Дизл. проникаемость: 2.4

Марка (тип): АПвПр-1х500/120-110

Токоведущая жила: Сечение, кв.мм: 500 Материал жилы: Al

Погонное сопротивление жилы, Ом/км: Из справочника: 0.0605 Тнорм, град.: 20

Экран кабеля: Сечение, кв.мм: 120 Материал экрана: Cu

Толщина слоёв изоляции, мм: Дкаб: 72 d_жэ: 15 доб: 3.4 d_п.ж: 0.4 dэ: 1.5 d_п.и: 0.4 d_п.э: 0.4

Справочник:

Тип	Производитель	Уном, кВ	Исполнение	Сж, мм ²	Мат. жилы	Рпог.ж=, Ом/км
ПвПр-1х350/120-11	Севкабель	110	1	350	Cu	0.0526
АПвПр-1х400/120-1	Севкабель	110	1	400	Al	0.0778
ПвПр-1х400/120-11	Севкабель	110	1	400	Cu	0.047
АПвПр-1х500/120-1	Севкабель	110	1	500	Al	0.0605
ПвПр-1х500/120-11	Севкабель	110	1	500	Cu	0.0366
АПвПр-1х630/150-1	Севкабель	110	1	630	Al	0.0469
ПвПр-1х630/150-11	Севкабель	110	1	630	Cu	0.0293

Тип кабеля: АПвПр-1х500/120-1

Расчётчик: Петров А.А.

Отменить Применить Выход

Рисунок 3.3 – Ввод данных по кабелю из встроенного справочника КЛ-1

Параметры линии

Кабель Прокладка линии Соединение экранов Возмущения

Название КЛ: Рабочая температура кабеля, гр.Ц.:

Длина КЛ, км: Частота сети, Гц:

Удельное сопротивление земли в зависимости от типа грунта:

Удельное сопротивление грунта, Ом*м

Вид прокладки и расстояние между центрами фаз кабелей

☐ Треугольник ☒ Горизонтально ☐ Произвольно

d_{AB} мм d_{BC} мм d_{AC} мм

Отменить Применить Выход

Рисунок 3.4 – Ввод данных по прокладке кабеля КЛ-1

Параметры линии

Кабель Прокладка линии Соединение экранов Возмущения

Заземление экранов

1. Заземление экранов кабельной линии с одного конца:

2. Заземление экранов в начале и в конце кабельной линии:

☐ Заземление экранов кабельной линии с одной стороны ☒ Заземление экранов кабельной линии с двух сторон

Транспозиция экранов кабельной линии

1. Транспозиция экранов отсутствует:

2. Применена транспозиция экранов:

☐ Транспозиция экранов нет ☒ Транспозиция экранов применена

Отменить Применить Выход

Рисунок 3.5 – Ввод данных по соединению и заземлению экранов КЛ-1

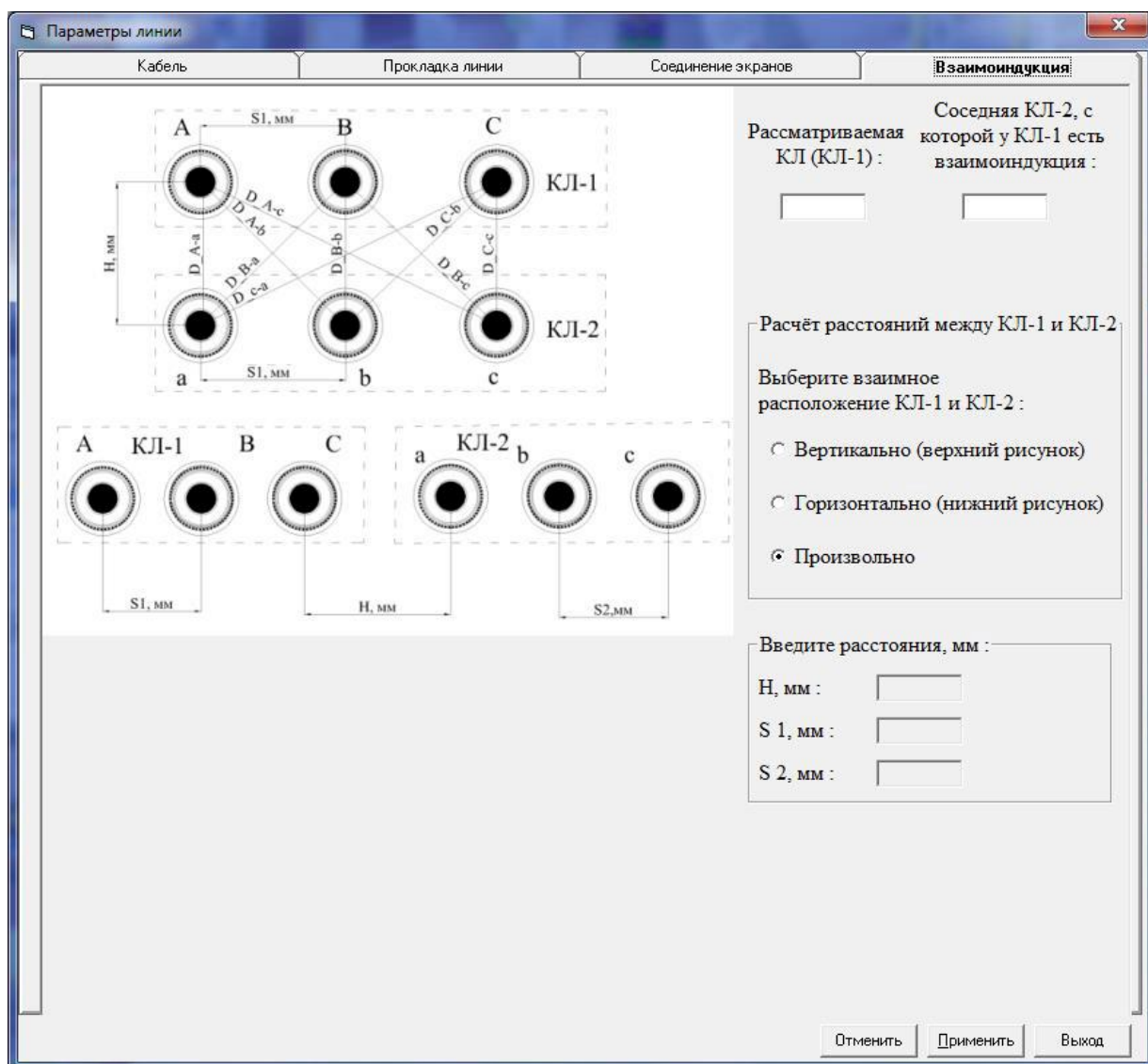


Рисунок 3.6 – Ввод данных по взаимной индукции для КЛ-1 (не заполняется)

3.1.5 Результаты расчёта сопротивлений КЛ-1 показаны на рисунке 3.7.

Исходные данные и результаты расчета - сопротивления кабельных линий										
R1пог, Ом/км	X1пог, Ом/км	R0пог, Ом/км	X0пог, Ом/км	R1, Ом	X1, Ом	R0, Ом	X0, Ом	C1, мкФ/км	C0, мкФ/км	q1, квар/км
0,0784	0,1825	0,2639	0,0875	0,7836	1,8247	2,6393	0,8747	0,1622	0,1622	616,74

R1пог, Ом/км	X1пог, Ом/км	R0пог, Ом/км	X0пог, Ом/км	R1, Ом	X1, Ом	R0, Ом	X0, Ом
0,0784	0,1825	0,2639	0,0875	0,7836	1,8247	2,6393	0,8747

Рисунок 3.7 – Результаты расчёта сопротивлений КЛ-1

В соответствии со схемой замещения, рисунок 3.2 определены сопротивления КЛ-1 прямой, обратной и нулевой последовательности.

Погонное сопротивление прямой последовательности КЛ-1:

$$Z_{\text{пог}}^{(\text{КЛ-1})} = R_{\text{пог}} + jX_{\text{пог}} = (0,0784 + j0,1825) \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Погонное сопротивление обратной последовательности КЛ-1:

$$Z_{2\text{пог}}^{(\text{КЛ-1})} = Z_{1\text{пог}}^{(\text{КЛ-1})} = R_{\text{пог}} + jX_{\text{пог}} = (0,0784 + j0,1825) \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Погонное сопротивление нулевой последовательности КЛ-1:

$$Z_{0\text{пог}}^{(\text{КЛ-1})} = R_{0\text{пог}} + jX_{0\text{пог}} = (0,2639 + j0,0875) \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Сопротивление прямой последовательности КЛ-1:

$$Z_1^{(\text{КЛ-1})} = R_1 + jX_1 = (0,7836 + j1,8247) \text{ Ом}.$$

Сопротивление обратной последовательности КЛ-1:

$$Z_2^{(\text{КЛ-1})} = Z_1^{(\text{КЛ-1})} = R_1 + jX_1 = (0,7836 + j1,8247) \text{ Ом}.$$

Сопротивление нулевой последовательности КЛ-1:

$$Z_0^{(\text{КЛ-1})} = R_0 + jX_0 = (2,6393 + j0,8747) \text{ Ом}.$$

3.2 Пример расчёта сопротивлений двух одноцепных экранированных кабельных линий с наличием взаимной индукции между линиями

3.2.1 Расчётная схема в соответствии с рисунком 3.8 состоит из системы и двух кабельных линий КЛ-1 и КЛ-2 со взаимной индукцией, выполненных однофазными кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена, напряжением 110 кВ. Точка КЗ расположена в конце КЛ-1. КЛ-1 и КЛ-2 проходят в одной кабельной траншее и являются одиночными кабельными линиями с наличием взаимной индукции.

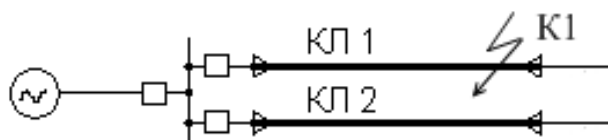


Рисунок 3.8 – Расчетная схема участка электрической сети 110 кВ с двумя линиями КЛ-1 и КЛ-2 со взаимной индукцией

3.2.2 Исходные данные кабельной линии КЛ-1 и КЛ-2

В качестве кабеля для КЛ-1 и КЛ-2 взяты КЛ из примера расчёта п. 3.1.

В качестве КЛ-1 и КЛ-2 выступает одноцепная кабельная линия напряжением 110 кВ, выполненная из кабелей однофазного исполнения марки АПвПг – 1х500/120-110. Длина КЛ $L=10$ км. Жила алюминиевая, экран медный. Погонное сопротивление жилы постоянному току при нормируемой температуре 20°C составляет $r_0 = 0,0605$ Ом/км. Наружный диаметр $D_{\text{каб}}=72$ мм, толщина рабочей изоляции $d_{\text{из}} = 15$ мм, толщина полупроводящих слоёв по жиле $d_{\text{п.ж}}$, изоляции «жила-экран» $d_{\text{п.и}}$ и внутренней поверхности экрана $d_{\text{п.э}}$ одинакова и равна 0,4 мм. Изоляция – СПЭ, диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 2,4$. Кабели фаз КЛ проложены горизонтально с расстоянием между центрами жил соседних фаз 150 мм, экраны по концам кабеля заземлены, по трассе транспонированы. Грунт, в котором проложена КЛ, имеет удельное сопротивление 100 Ом·м (средняя полоса России). Максимальная рабочая температура кабеля $\nu_{\text{max.раб}}=90^{\circ}\text{C}$.

3.2.3 Схемы замещения последовательностей двух одноцепных КЛ с взаимной индукцией представлены на рисунках 3.9, 3.10. Схемы замещения прямой и обратной последовательностей не зависят от наличия взаимной индукции. Тогда как схема нулевой последовательности меняется. Собственные сопротивления нулевой последовательности КЛ-1 и КЛ-2 рассчитываются с учётом влияния соседней линии. Поэтому схема замещения нулевой последовательности каждой КЛ содержит сопротивление взаимной индукции с соседней линией.

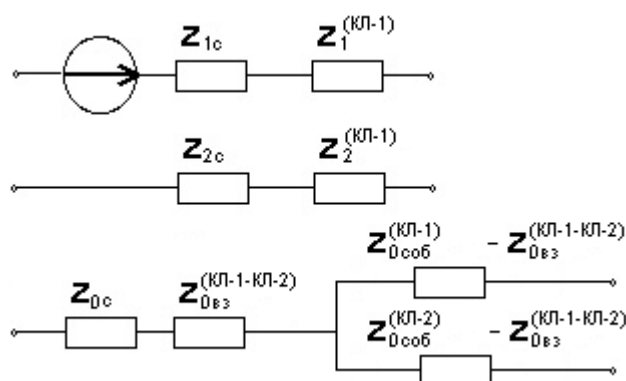


Рисунок 3.9 – Схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательности КЛ-1

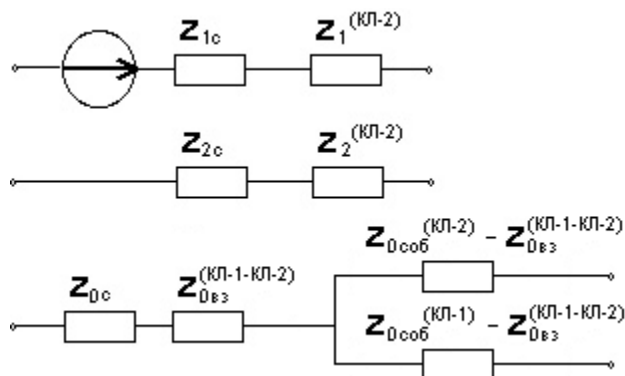


Рисунок 3.10 – Схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательности КЛ-2

3.2.4 Ввод исходных данных для КЛ-1 и КЛ-2 в программу GuCables.

Объём исходных данных для КЛ-1 и КЛ-2, которые нужно ввести в программу во вкладках «Кабель», Прокладка линии» и «Соединение экранов», аналогичен рисункам 3.3, 3.4, 3.5.

Ввод данных по взаимоиנדукции между КЛ-1 и КЛ-2 показан на рисунке 3.11.

Параметры линии

Кабель Прокладка линии Соединение экранов **Взаимоиндукция**

Рассматриваемая КЛ (КЛ-1):

Соседняя КЛ-2, с которой у КЛ-1 есть взаимоиנדукция:

Расчёт расстояний между КЛ-1 и КЛ-2

Выберите взаимное расположение КЛ-1 и КЛ-2:

☒ Вертикально (верхний рисунок)

☐ Горизонтально (нижний рисунок)

☐ Произвольно

Введите расстояния, мм:

H, мм:

S 1, мм:

S 2, мм:

Характеристика КЛ-1 и КЛ-2:

☒ Две одноцепные линии со взаимоиנדукцией

☐ Одна двухцепная линия со взаимоиנדукцией между цепями

Расстояния между кабелями КЛ-1 и КЛ-2:

D_A-a, мм: <input type="text" value="400,00"/>	D_B-a, мм: <input type="text" value="427,20"/>	D_C-a, мм: <input type="text" value="500,00"/>
D_A-b, мм: <input type="text" value="427,20"/>	D_B-b, мм: <input type="text" value="400,00"/>	D_C-b, мм: <input type="text" value="427,20"/>
D_A-c, мм: <input type="text" value="500,00"/>	D_B-c, мм: <input type="text" value="427,20"/>	D_C-c, мм: <input type="text" value="400,00"/>

Отменить Применить Выход

Рисунок 3.11 – Ввод данных по взаимоиנדукции между КЛ-1 и КЛ-2

Для расчёта сопротивления взаимоиндукции необходимо задаться расстояниями между КЛ-1 и КЛ-2 в соответствии с рисунком 1.12.

Допустим, линии КЛ-1 и КЛ-2 проложены вертикально одна над другой, в соответствии с рисунком 3.11, где $D_{A-a} = D_{B-b} = D_{C-c} = 400$ мм.

$$\begin{aligned} \text{Тогда } D_{A-b} = D_{B-c} = D_{B-a} = D_{C-b} &= \sqrt{D_{A-a}^2 + s^2} = \sqrt{400^2 + 150^2} = 427,2 \text{ мм}, \\ D_{A-c} = D_{C-a} &= \sqrt{D_{A-a}^2 + (2s)^2} = \sqrt{400^2 + (2 \cdot 150)^2} = 500,0 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Среднегеометрическое расстояние между КЛ-1 и КЛ-2:

$$\begin{aligned} D_{I-II} &= \sqrt[9]{D_{A-a} \cdot D_{A-b} \cdot D_{A-c} \cdot D_{B-a} \cdot D_{B-b} \cdot D_{B-c} \cdot D_{C-a} \cdot D_{C-b} \cdot D_{C-c}} = \\ &= \sqrt[9]{400 \cdot 427,2 \cdot 500,0 \cdot 427,2 \cdot 400 \cdot 427,2 \cdot 500,0 \cdot 427,2 \cdot 400} = 432,81 \text{ мм}. \end{aligned}$$

В соответствии с рисунком 3.11 программа упрощает расчёт взаимных расстояний между кабелями КЛ-1 и КЛ-2, для этого необходимо выбрать вид взаимного расположения КЛ-1 и КЛ-2: «Вертикально», «Горизонтально» либо «Произвольно». Программа помогает пользователю вычислять расстояния D_{A-a} , D_{A-b} , D_{A-c} , D_{B-a} , D_{B-b} , D_{B-c} , D_{C-a} , D_{C-b} , D_{C-c} при выборе «Вертикально» либо «Горизонтально».

Обратите внимание, что для установки взаимоиндукции между КЛ-1 (строка 1) и КЛ-2 (строка 2) в соответствии с рисунком 3.12 должны быть указаны номера линий, с которыми есть взаимоиндукция в таблице главного окна программы. Т.е., для КЛ-1 указываем 2, для КЛ-2 указываем 1.

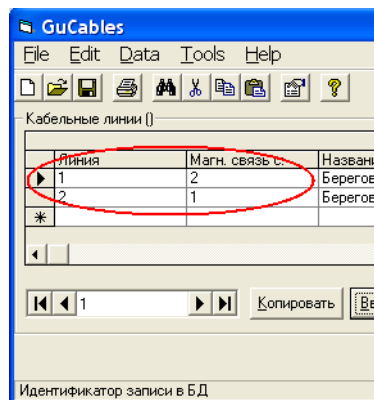


Рисунок 3.12 – Установление связей взаимоиндукции между КЛ

3.2.5 В соответствии со схемой замещения, рисунки. 3.9 и 3.10, определены сопротивления КЛ-1 и КЛ-2 прямой, обратной и нулевой последовательности (см. рис. 3.13 с результатами расчёта в программе).

GuCables

File Edit Data Tools Help

Кабельные линии [C:\Program Files (x86)\GuCables\Tasks\26112010.lns]

Исходные данные и результаты расчета: сопротивления кабельных линий

R0соб.пог.	X0соб.пог.	R0вз.пог.	X0вз.пог.	R0соб. Ом	X0соб. Ом	R0вз. Ом	X0вз. Ом	R1пог.2ц. Ом/км	X1пог.2ц. Ом/км
0,2382	0,1241	0,0273	-0,0447	2,3819	1,2414	0,2728	-0,4468		
0,2382	0,1241	0,0273	-0,0447	2,3819	1,2414	0,2728	-0,4468		

Копировать Ввод данных Удалить Рассчитать Закрыть

Диспетчерское наименование или название линии 26.11.2010 3:12

R0соб.пог.	X0соб.пог.	R0вз.пог.	X0вз.пог.	R0соб. Ом	X0соб. Ом	R0вз. Ом	X0вз. Ом
0,2382	0,1241	0,0273	-0,0447	2,3819	1,2414	0,2728	-0,4468
0,2382	0,1241	0,0273	-0,0447	2,3819	1,2414	0,2728	-0,4468

Рисунок 3.13 – Результаты расчёта собственных и взаимных сопротивлений нулевой последовательности для КЛ с взаимоиндукцией

Погонное сопротивление прямой последовательности КЛ-1 и КЛ-2:

$$Z_{\text{пог}}^{(\text{КЛ-1})} = Z_{\text{пог}}^{(\text{КЛ-2})} = R_{\text{пог}} + jX_{\text{пог}} = (0,0784 + j0,1825) \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Погонное сопротивление обратной последовательности КЛ-1 и КЛ-2:

$$Z_{2\text{пог}}^{(\text{КЛ-1})} = Z_{1\text{пог}}^{(\text{КЛ-1})} = R_{\text{пог}} + jX_{\text{пог}} = (0,0784 + j0,1825) \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

$$Z_{2\text{пог}}^{(\text{КЛ-2})} = Z_{1\text{пог}}^{(\text{КЛ-2})} = R_{\text{пог}} + jX_{\text{пог}} = (0,0784 + j0,1825) \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Собственное погонное сопротивление нулевой последовательности КЛ-1 и КЛ-2:

$$Z_{0\text{соб.пог}}^{(\text{КЛ-1})} = Z_{0\text{соб.пог}}^{(\text{КЛ-2})} = R_{0\text{соб.пог}} + jX_{0\text{соб.пог}} =$$

$$= (0,2382 + j0,1241) \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Взаимное погонное сопротивление нулевой последовательности между КЛ-1 и КЛ-2:

$$Z_{0\text{вз.пог}}^{(\text{КЛ-1-КЛ-2})} = R_{0\text{вз.пог}} + jX_{0\text{вз.пог}} = (0,0273 - j0,0447) \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Собственное сопротивление нулевой последовательности КЛ-1 и КЛ-2:

$$Z_{0\text{соб}}^{(\text{КЛ-1})} = Z_{0\text{соб}}^{(\text{КЛ-2})} = R_{0\text{соб}} + jX_{0\text{соб}} = (2,3819 + j1,2414) \text{ Ом}.$$

Взаимное сопротивление нулевой последовательности между КЛ-1 и КЛ-2:

$$Z_{0вз}^{(КЛ-1-КЛ-2)} = R_{0вз} + jX_{0вз} = (0,2728 - j0,4468) \text{ Ом.}$$

3.3 Пример расчёта сопротивлений одной двухцепной экранированной кабельной линии с учётом взаимной индукции между цепями

3.3.1 Расчётная схема в соответствии с рисунком 3.14 состоит из системы и одной двухцепной кабельной линии КЛ-1 с взаимной индукцией между её цепями. Линия выполнена однофазными кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена, напряжением 110 кВ. Точка КЗ расположена в конце двухцепной линии КЛ-1.

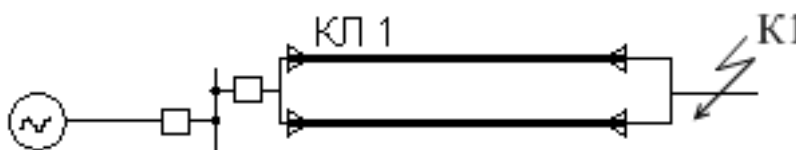


Рисунок 3.14 – Расчетная схема участка электрической сети 110 кВ с двухцепной КЛ-1 со взаимной индукцией между цепями

3.3.2 Исходные данные кабельной линии КЛ-1

В качестве цепей кабельной линии КЛ-1 выступает линия, взятая в качестве примера в п. 3.1.

Схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей двухцепной КЛ-1 с взаимной индукцией между цепями представлены на рисунке 3.15.

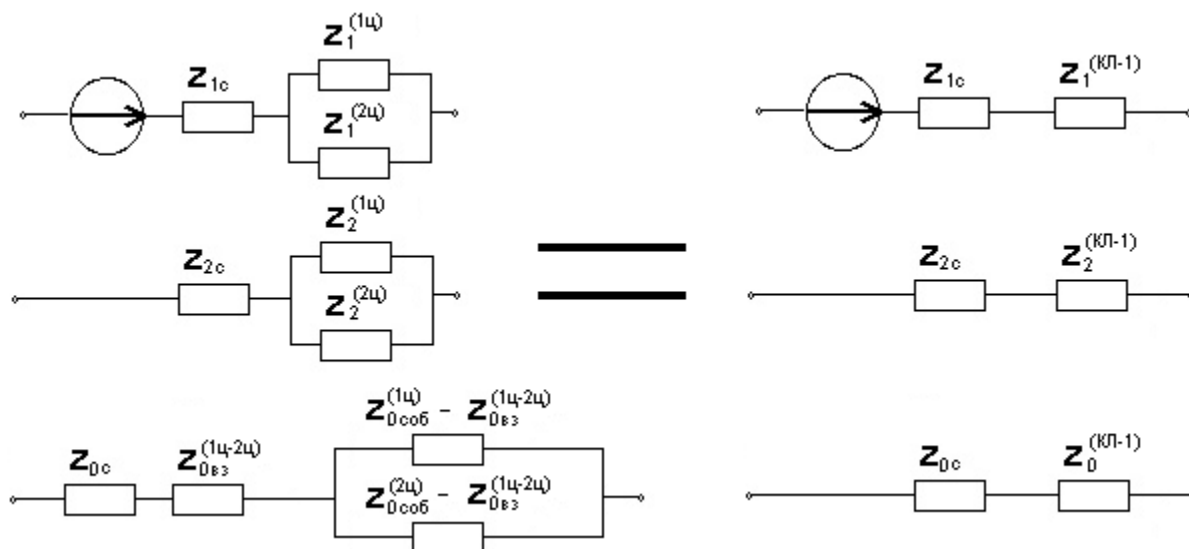


Рисунок 3.15 – Схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательности двухцепной КЛ-1

3.3.3 Ввод исходных данных для каждой цепи КЛ-1 в программу GuCables. Каждой цепи КЛ-1 соответствует отдельная строка в таблице.

Объём исходных данных для цепи 1 и цепи 2 КЛ-1, который нужно ввести в программу во вкладках «Кабель», Прокладка линии» и «Соединение экранов», аналогичен рисункам 3.3, 3.4, 3.5. Параметры взаимной индукции между цепями КЛ-1 вводятся в программу в соответствии с рисунком 3.16.

Параметры линии

Кабель Прокладка линии Соединение экранов **Взаимоиндукция**

Рассматриваемая КЛ (КЛ-1): Соседняя КЛ-2, с которой у КЛ-1 есть взаимная индукция:

Расчёт расстояний между КЛ-1 и КЛ-2

Выберите взаимное расположение КЛ-1 и КЛ-2:

☒ Вертикально (верхний рисунок)

☐ Горизонтально (нижний рисунок)

☐ Произвольно

Введите расстояния, мм:

H, мм:

S 1, мм:

S 2, мм:

Характеристика КЛ-1 и КЛ-2:

☐ Две одноцепные линии со взаимной индукцией

☒ Одна двухцепная линия со взаимной индукцией между цепями

Расстояния между кабелями КЛ-1 и КЛ-2:

D_{A-a}, мм: D_{B-a}, мм: D_{C-a}, мм:

D_{A-b}, мм: D_{B-b}, мм: D_{C-b}, мм:

D_{A-c}, мм: D_{B-c}, мм: D_{C-c}, мм:

Отменить Применить Выход

Рисунок 3.16 – Настройка параметров взаимной индукции двухцепной линии

Программа воспринимает КЛ-4 двухцепной, если в таблице указана взаимная индукция между цепями и для поля «2-х цеп.» стоит значение «Истина» (Да) в соответствии с рисунком 3.17.

GuCables

File Edit Data Tools Help

Кабельные линии (C:\Program Files (x86)\GuCables\Tasks\Test3.lns)

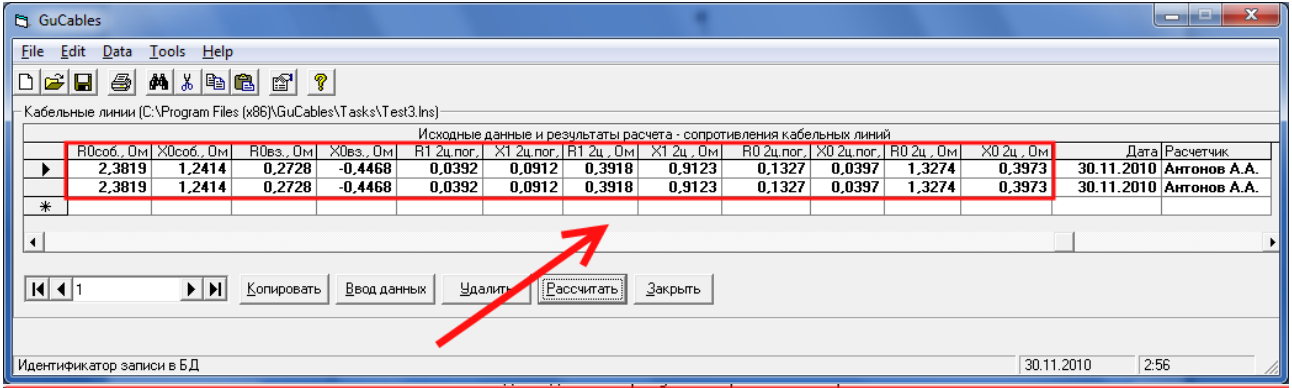
Исходные данные и результаты расчёта - сопротивления кабельных линий

Линия	Магн. связь с:	Название	D C-с, мм	2-х цеп.	Uном, кВ	f, Гц	Исполнение
1	2	Новая	400	Да	110	50	1
2	1	Ракитино	400	Да	110	50	1
*							

Копировать Ввод данных Удалить Рассчитать Закрыть

Рисунок 3.17 – Настройка расчёта двухцепной КЛ

3.3.4 В соответствии со схемой замещения, рисунок 3.15, определены сопротивления цепей КЛ-1 прямой, обратной и нулевой последовательности, см. рисунок 3.18.



Исходные данные и результаты расчета - сопротивления кабельных линий

	ROсоб., Ом	XOсоб., Ом	ROвз., Ом	XOвз., Ом	R1 2ц. пог.	X1 2ц. пог.	R1 2ц., Ом	X1 2ц., Ом	RO 2ц. пог.	XO 2ц. пог.	RO 2ц., Ом	XO 2ц., Ом	Дата	Расчетчик
▶	2,3819	1,2414	0,2728	-0,4468	0,0392	0,0912	0,3918	0,9123	0,1327	0,0397	1,3274	0,3973	30.11.2010	Антонов А.А.
*	2,3819	1,2414	0,2728	-0,4468	0,0392	0,0912	0,3918	0,9123	0,1327	0,0397	1,3274	0,3973	30.11.2010	Антонов А.А.

ROсоб., Ом	XOсоб., Ом	ROвз., Ом	XOвз., Ом	R1 2ц. пог.	X1 2ц. пог.	R1 2ц., Ом	X1 2ц., Ом	RO 2ц. пог.	XO 2ц. пог.	RO 2ц., Ом	XO 2ц., Ом
2,3819	1,2414	0,2728	-0,4468	0,0392	0,0912	0,3918	0,9123	0,1327	0,0397	1,3274	0,3973
2,3819	1,2414	0,2728	-0,4468	0,0392	0,0912	0,3918	0,9123	0,1327	0,0397	1,3274	0,3973

Рисунок 3.18 – Результаты расчёта сопротивлений прямой, обратной и нулевой последовательности двухцепной линии КЛ-1

Погонное сопротивление прямой последовательности цепей 1 и 2 КЛ-1:

$$Z_{\text{1пог}}^{(1\text{ц})} = Z_{\text{1пог}}^{(2\text{ц})} = R_{\text{1пог}} + jX_{\text{1пог}} = (0,0784 + j0,1825) \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Погонное сопротивление обратной последовательности цепей 1 и 2 КЛ-1:

$$Z_{\text{2пог}}^{(1\text{ц})} = Z_{\text{2пог}}^{(2\text{ц})} = R_{\text{1пог}} + jX_{\text{1пог}} = (0,0784 + j0,1825) \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Собственное погонное сопротивление нулевой последовательности цепей 1 и 2 КЛ-1:

$$\begin{aligned} Z_{\text{0соб.пог}}^{(1\text{ц})} &= Z_{\text{0соб.пог}}^{(2\text{ц})} = R_{\text{0соб.пог}} + jX_{\text{0соб.пог}} = \\ &= (0,2382 + j0,1241) \frac{\text{Ом}}{\text{км}}. \end{aligned}$$

Взаимное погонное сопротивление нулевой последовательности между цепями 1 и 2 КЛ-1:

$$Z_{\text{0вз.пог}}^{(1\text{ц}-2\text{ц})} = R_{\text{0вз.пог}} + jX_{\text{0вз.пог}} = (0,0273 - j0,0447) \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Сопротивление прямой последовательности цепей 1 и 2 КЛ-1:

$$Z_1^{(1ц)} = Z_1^{(2ц)} = R_1 + jX_1 = (0,7836 + j1,8247) \text{ Ом.}$$

Сопротивление обратной последовательности цепей 1 и 2 КЛ-1:

$$Z_2^{(1ц)} = Z_2^{(2ц)} = R_1 + jX_1 = (0,7836 + j1,8247) \text{ Ом.}$$

Собственное сопротивление нулевой последовательности цепей 1 и 2 КЛ-1:

$$Z_{0\text{соб}}^{(1ц)} = Z_{0\text{соб}}^{(2ц)} = R_{0\text{соб}} + jX_{0\text{соб}} = (2,3819 + j1,2414) \text{ Ом.}$$

Взаимное сопротивление нулевой последовательности между цепями 1 и 2 КЛ-1:

$$Z_{0\text{вз}}^{(1ц-2ц)} = R_{0\text{вз}} + jX_{0\text{вз}} = (0,2728 - j0,4468) \text{ Ом.}$$

Погонное сопротивление прямой (обратной) последовательности КЛ-1 (в соответствии с результатами расчёта, рисунок 3.18):

$$Z_{1\text{пог}}^{(\text{КЛ-1})} = R_{1\text{ 2ц.пог}} + jX_{1\text{ 2ц.пог}} = (0,0392 + j0,0912) \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Сопротивление прямой (обратной) последовательности КЛ-1 (в соответствии с результатами расчёта, рисунок 3.18):

$$Z_1^{(\text{КЛ-1})} = R_{1\text{ 2ц.}} + jX_{1\text{ 2ц.}} = (0,3918 + j0,9123) \text{ Ом.}$$

Погонное сопротивление нулевой последовательности КЛ-1 (в соответствии с результатами расчёта, рисунок 3.18):

$$Z_{0\text{пог}}^{(\text{КЛ-1})} = R_{0\text{ 2ц.пог}} + jX_{0\text{ 2ц.пог}} = (0,1327 + j0,0397) \frac{\text{Ом}}{\text{км}}.$$

Сопротивление нулевой последовательности КЛ-1 (в соответствии с результатами расчёта, рисунок 3.18):

$$Z_0^{(\text{КЛ-1})} = R_{0\text{ 2ц.}} + jX_{0\text{ 2ц.}} = (1,3274 + j0,3973) \text{ Ом.}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 11. Расчёт токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110 – 750 кВ. – М.: Энергия, 1979. – 152 с.
2. IEC 60909-3. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 3: Currents during two separate simultaneous line-to-earth short circuits and partial short circuit currents flowing through earth. Edition 3.0. – Geneva: Publication of International Electrotechnical Commission, 2009. – 118 с.
3. Кадомская К. П. Электромагнитные процессы в кабельных линиях высокого напряжения – Новосибирск: Новосиб. гос. техн. ун-т, 1997. - 141 с.
4. Дмитриев М.В., Евдокунин Г.А. Однофазные силовые кабели 6 – 500 кВ. Расчёт заземления экранов//Новости электротехники. 2007. №2(44). С. 124-128.