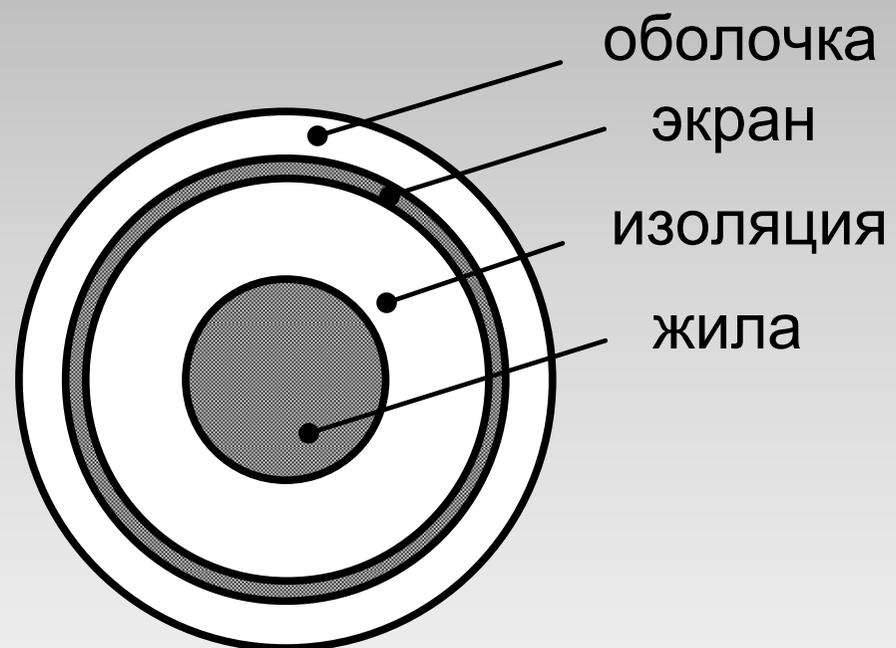


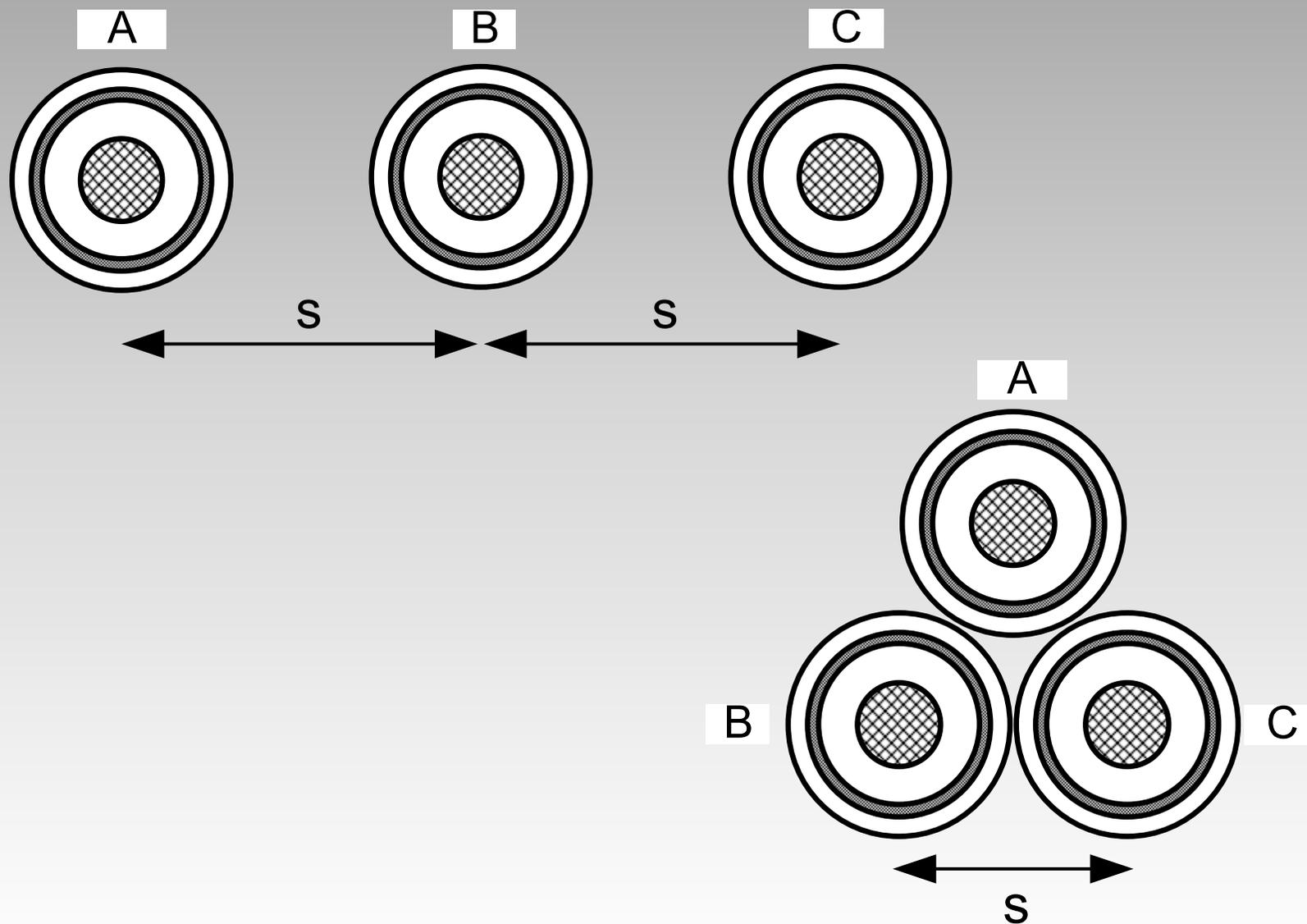
# **Заземление экранов КЛ 6-220 кВ и выбор их сечения**

**Дмитриев М.В.**  
[www.mvdm.ru](http://www.mvdm.ru)

## Однофазный кабель для сетей 6-220 кВ



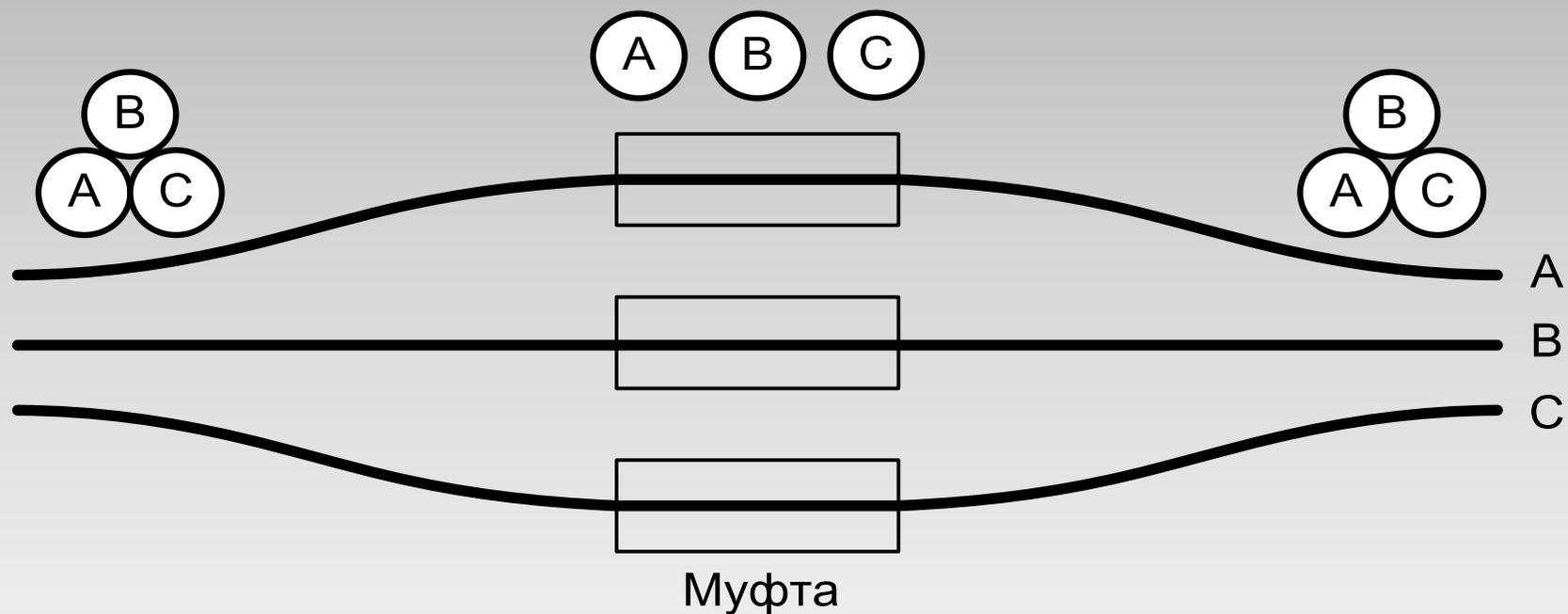
# Взаимное расположение однофазных кабелей



## Электрическое и магнитное поле кабельной линии

За пределами кабельной линии:

1. Нет электрического поля ( $E=0$  кВ/мм)
2. Есть магнитное поле ( $H>0$  А/м)



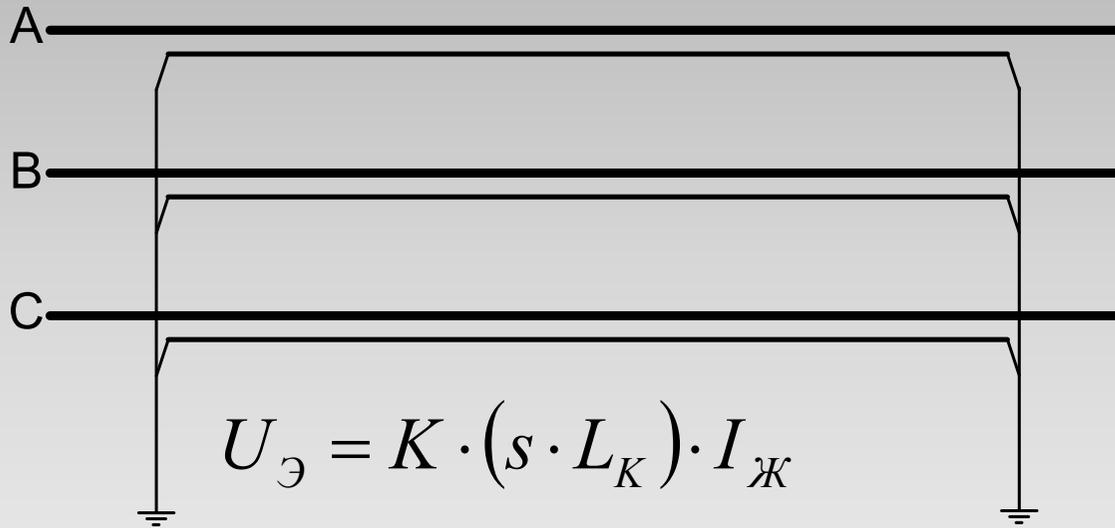
**Магнитное поле зависит:**

1. От расстояния между фазами
2. От токов в экранах

# Причины возникновения токов в экранах кабелей

Токи в экранах обусловлены:

1. Индуктивными связями (десятки % от тока в жиле)
2. Емкостными связями (лишь единицы Ампер)



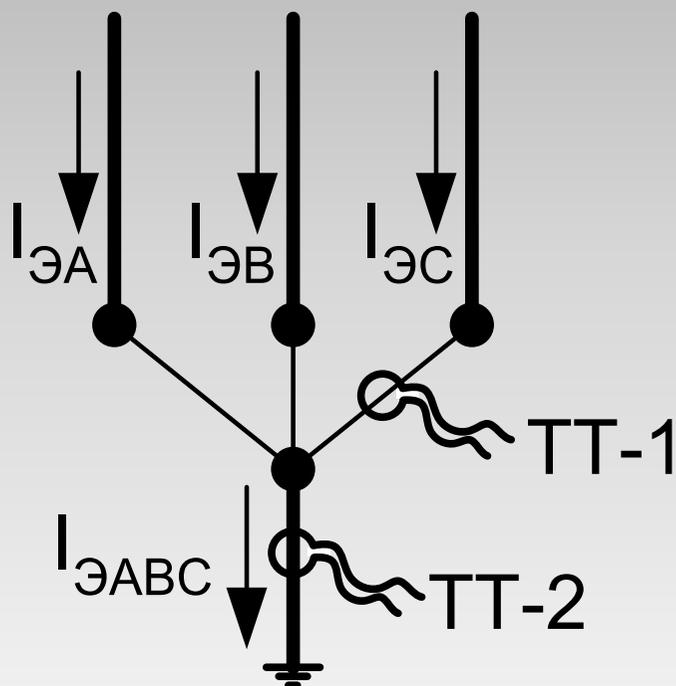
$$U_{\text{Э}} = K \cdot (s \cdot L_K) \cdot I_{\text{Ж}}$$

$$Z_{\text{Э}} = Z_{\text{Э}}^* \cdot L_K = \frac{\rho_{\text{Э}}}{F_{\text{Э}}} L_K$$

$$I_{\text{Э}} = \frac{U_{\text{Э}}}{Z_{\text{Э}}} \quad \text{или} \quad I_{\text{Э}} = K_1 \cdot (s F_{\text{Э}}) \cdot I_{\text{Ж}}$$

## Сетевые измерения токов в экранах кабелей

В нормальном (!) режиме работы (в ТТ-1):



### Вологда:

Кабель 10 кВ, 500/95 мм<sup>2</sup>  
 $I_{\text{ж}}=186$  А,  $I_{\text{э}}=115$  А (!)

### Екатеринбург:

Кабель 35 кВ, 630/35 мм<sup>2</sup>  
 $I_{\text{ж}}=900$  А,  $I_{\text{э}}=300$  А (!)

## Сравнение потерь в жиле и экране однофазного кабеля

$$P_{\text{СУМ}} = P_{\text{Ж}} + P_{\text{Э}} + P_{\text{ДИЭЛ}}$$

$$P_{\text{ДИЭЛ}} = \left( U_{\text{НОМ}} / \sqrt{3} \right)^2 \cdot \omega C \cdot \text{tg} \delta \approx 0$$

$$P_{\text{Э}} = I_{\text{Э}}^2 R_{\text{Э}}$$

$$P_{\text{Ж}} = I_{\text{Ж}}^2 R_{\text{Ж}}$$

$$\frac{P_{\text{Э}}}{P_{\text{Ж}}} = \left( \frac{I_{\text{Э}}}{I_{\text{Ж}}} \right)^2 \cdot \frac{\rho_{\text{Э}}}{\rho_{\text{Ж}}} \cdot \frac{F_{\text{Ж}}}{F_{\text{Э}}}$$

Для обоих кабелей имеет место соотношение:

$$\frac{P_{\text{Э}}}{P_{\text{Ж}}} \approx 2 \quad P_{\text{СУМ}} \approx 3 \cdot P_{\text{Ж}}$$

# **Способы борьбы с токами и потерями в экранах кабелей**

## **I. Способы некоторого снижения токов и потерь:**

- 1. Прокладка разноименных фаз треугольником**
- 2. Применение кабелей с минимальным сечением экрана**

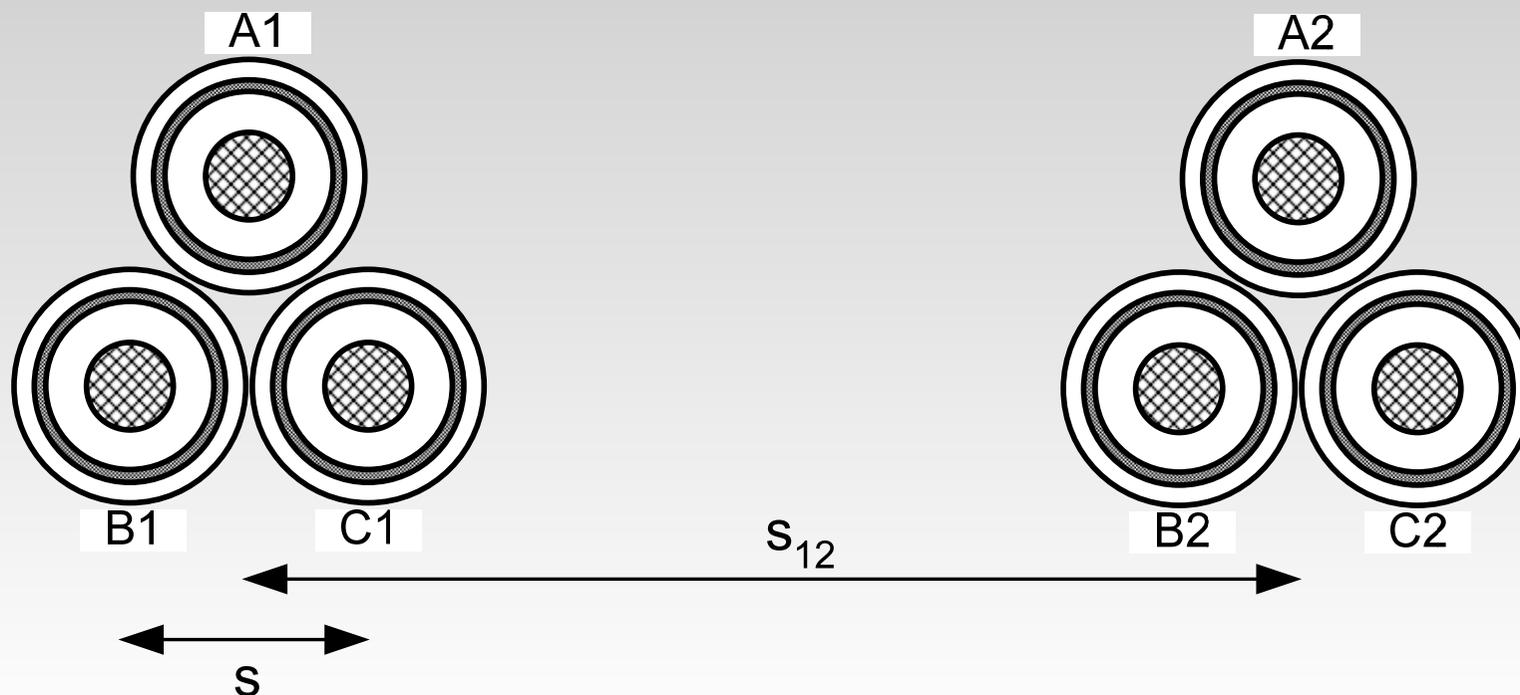
## **II. Способы радикальной борьбы с токами и потерями – это отказ от простого заземления экранов с двух сторон:**

- 1. Применение одностороннего заземления экранов**
- 2. Применение транспозиции экранов**

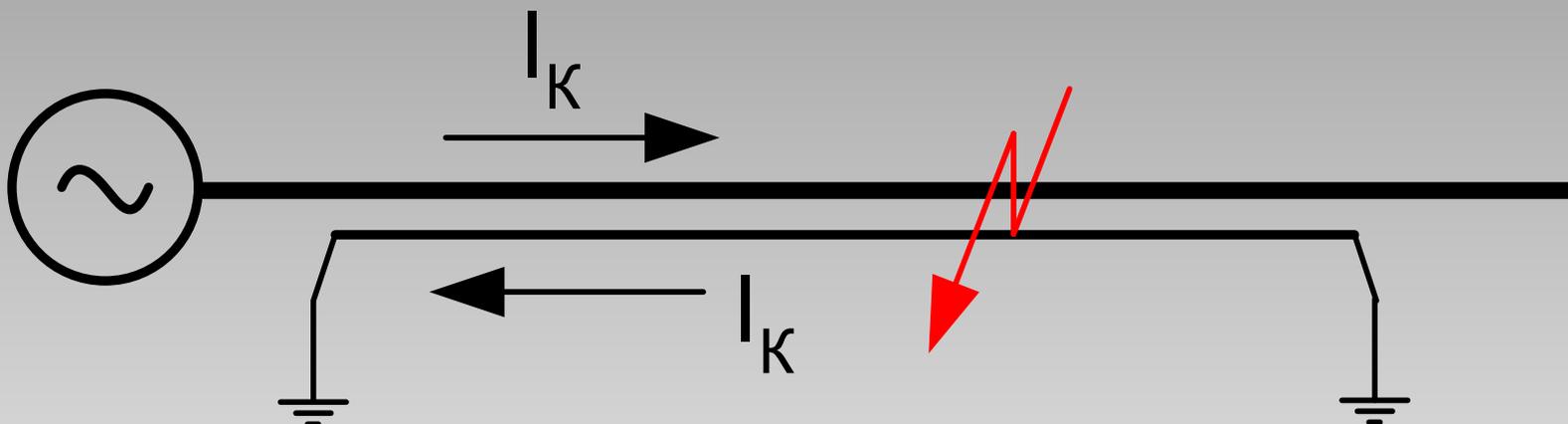
# I. Снижение токов и потерь в экранах: прокладка однофазных кабелей треугольником

При этом достигается:

1. Снижение токов и потерь в экранах
2. Повышение культуры прокладки кабельной линии
3. Повышение безопасности работ на многоцепных линиях



# I. Снижение токов и потерь в экранах: выбор сечения экрана однофазного кабеля

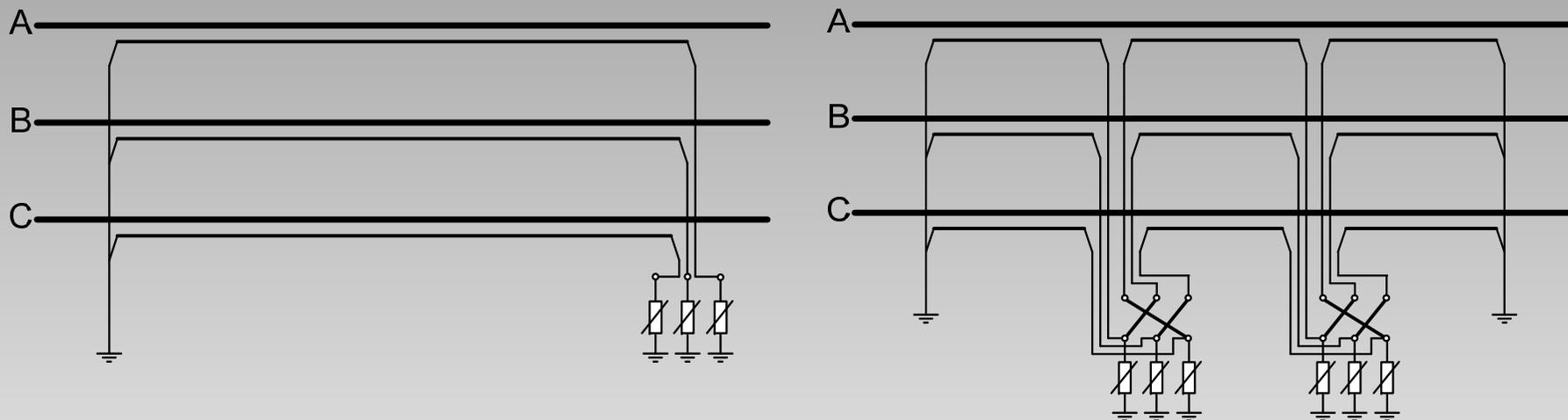


$$I_K = K_{\text{Э}} \frac{F_{\text{Э}}}{\sqrt{t_K}}$$

$$K_{\text{Э}} = 0.174 \text{ кА/мм}^2$$

в сети 6-35 кВ с изолир. Н:  $I_K$  – ток двойного К.З.  
в сети 6-35 кВ с резист. Н:  $I_K$  – ток однофазного К.З.  
в сети 110-500 кВ:  $I_K$  – ток однофазного К.З.

## II. Радикальная борьба с токами и потерями в экранах



Применение однофазных кабелей 6-500 кВ  
**требует повышенного внимания**  
к обустройству их экранов!

## **II. Радикальная борьба с токами и потерями в экранах**

### **Способ заземления экрана кабеля влияет:**

1. на электрические потери в кабеле (в экране), а значит на его тепловой режим и пропускную способность;
2. на величину напряжения на экране в нормальных и аварийных режимах, т.е. на надежность работы кабеля и безопасность его обслуживания;
3. на основные электрические параметры кабеля (активное и индуктивное сопротивления).

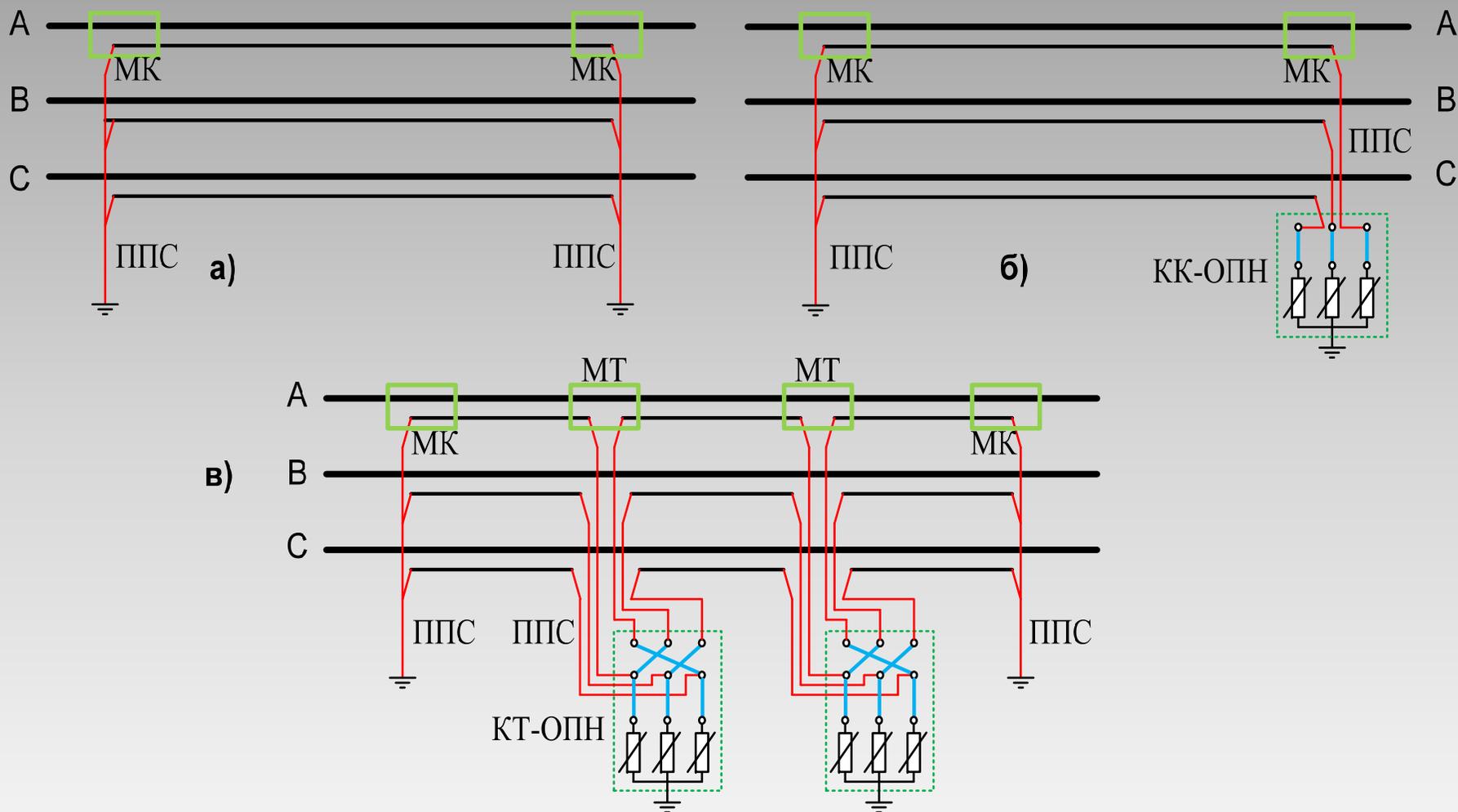
# Расчет схем заземления экранов – программа ЭКРАН

Ekran5

Исходные данные | Заземление с 2-х сторон | Заземление с 1-й стороны | Транспозиция | Стоимость потерь | Параметры кабеля | Настройки | О программе

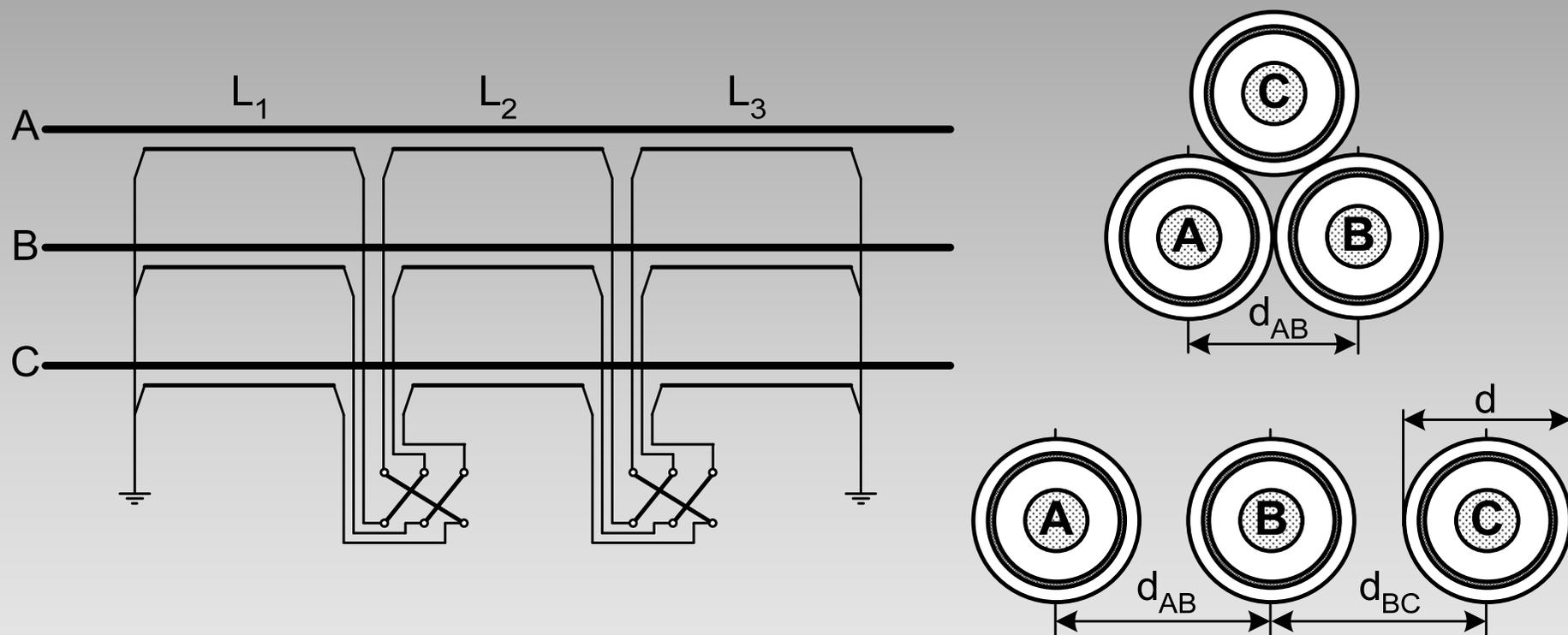
Кабель		Сеть	
Уном каб, кВ	<input type="text" value="110"/>	Уном сети, кВ	<input type="text" value="110"/>
Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	<input type="text" value="300"/> <input type="text" value="Cu"/>	Нейтраль сети	<input type="text" value="глухо или эффект заземл"/>
Сечение экрана, мм <sup>2</sup>	<input type="text" value="95"/> <input type="text" value="Cu"/>	Ток норм режима1, А	<input type="text" value="100"/>
Длина кабеля, м	<input type="text" value="2000"/>	Ток норм режима2, А	<input type="text" value="200"/>
S между краями фаз, м	<input type="text" value="0"/>	Ток норм режима3, А	<input type="text" value="400"/>
Расположение фаз	<input type="text" value="в треугольник"/>	Ток трехфазн. КЗ, кА	<input type="text" value="20"/>
Параметры земли	<input type="text" value="определяются коммуникациями"/>	Ток однофазн.КЗ, кА	<input type="text" value="20"/>

## Основные схемы заземления экранов кабелей



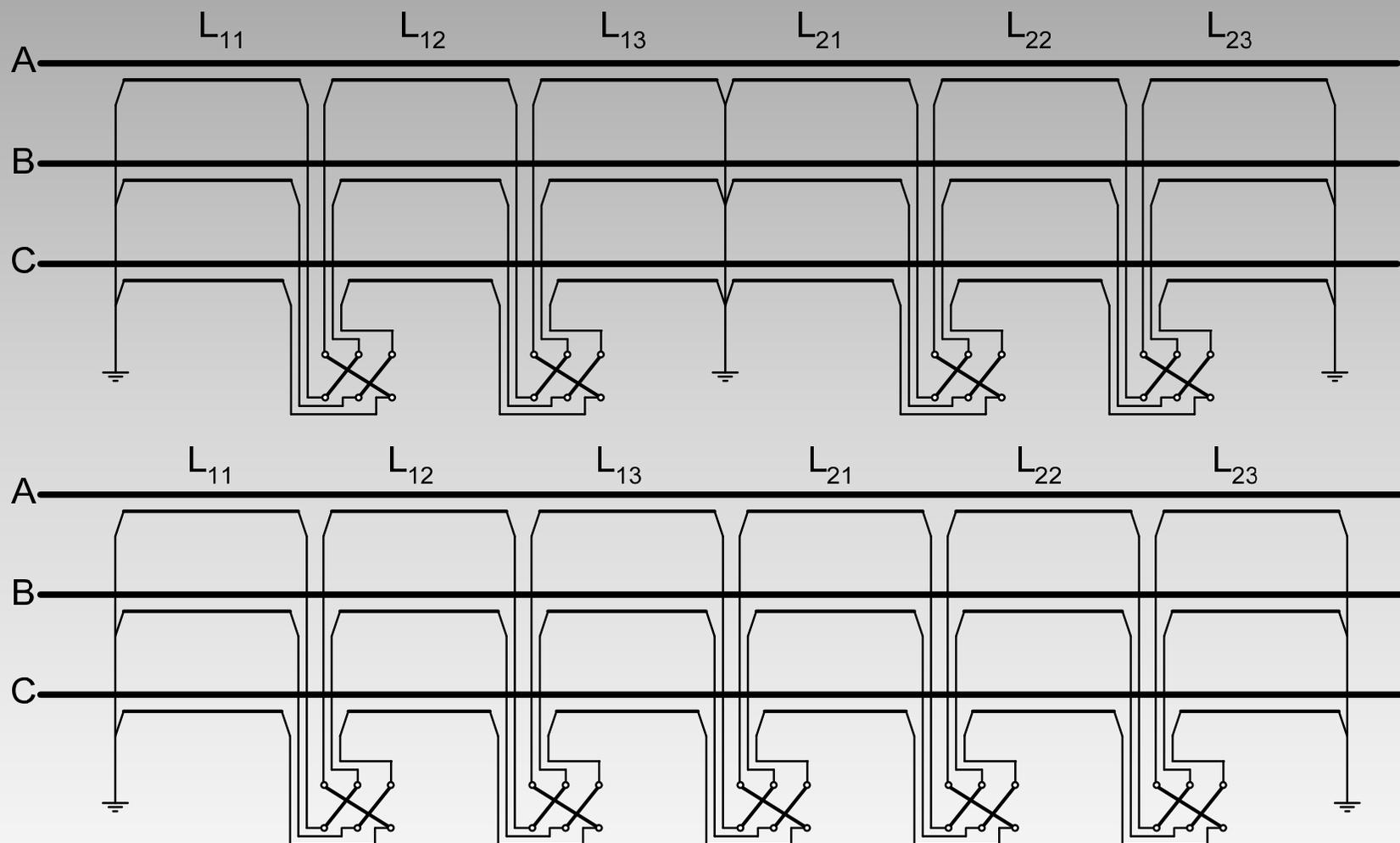
- (а) – заземление экранов с двух сторон
- (б) – заземление экранов с одной стороны
- (в) – транспозиция экранов

## Неидеальная транспозиция экранов: две причины



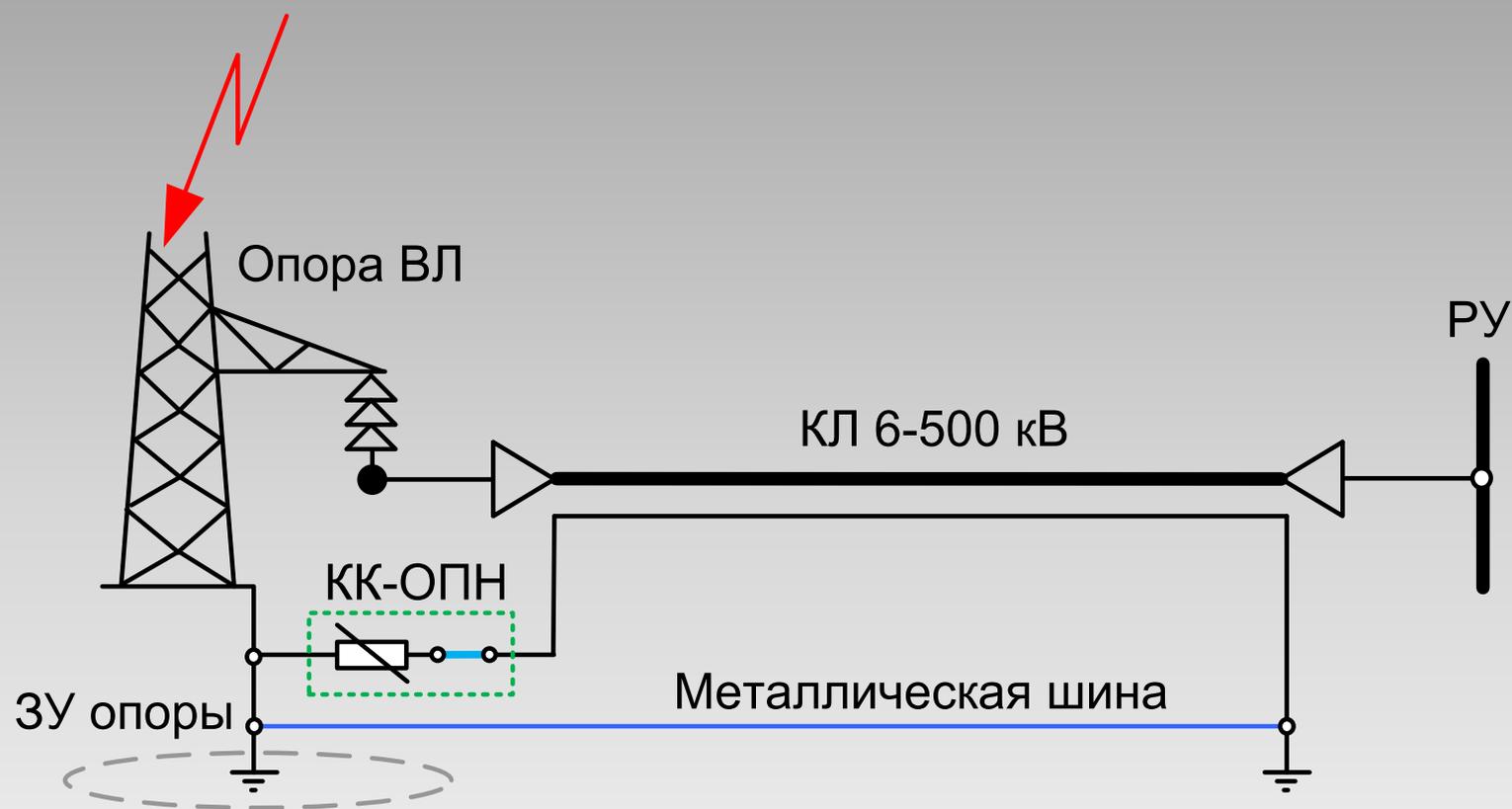
1. Различные длины участков между узлами
2. Различные расстояния между фазами на участках

## Несколько циклов транспозиции экранов: обустройство средней точки



- (а) – с заземлением средней точки  
(б) – без заземления средней точки

## Металлическая шина вдоль кабелей



Кабельные заходы воздушной линии (ВЛ)  
в распределительное устройство (РУ)

## Оборудование для заземления экранов кабелей электроустановочные коробки с ОПН



коробка транспозиции  
**КТ-ОПН**

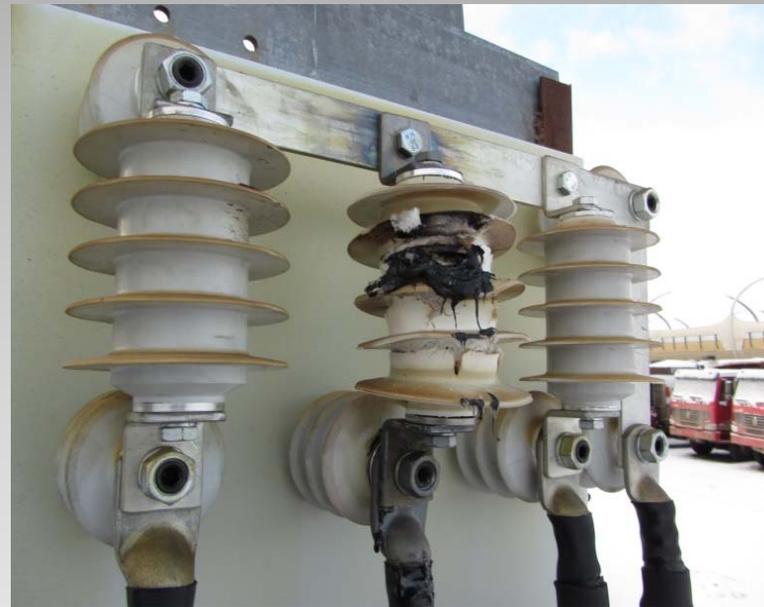


коробка концевая  
**КК-ОПН**

## Применение в коробках ОПН 3 кВ



повреждение ОПН 3 кВ  
немецкой фирмы



повреждение ОПН 3 кВ  
российской фирмы

## Применение в коробках ОПН 8-10 кВ

1. Позволяет проводить испытания оболочки кабелей постоянным напряжением 10 кВ без предварительного вскрытия коробок и отключения установленных в них ОПН
2. Позволяет за одно испытание напряжением 10 кВ проверить не только саму оболочку кабеля, но и установленные в коробках ОПН



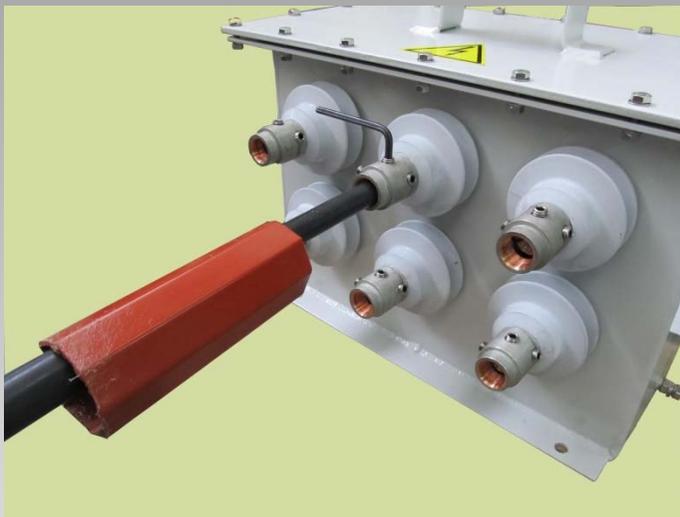
собранный коробка в колодце



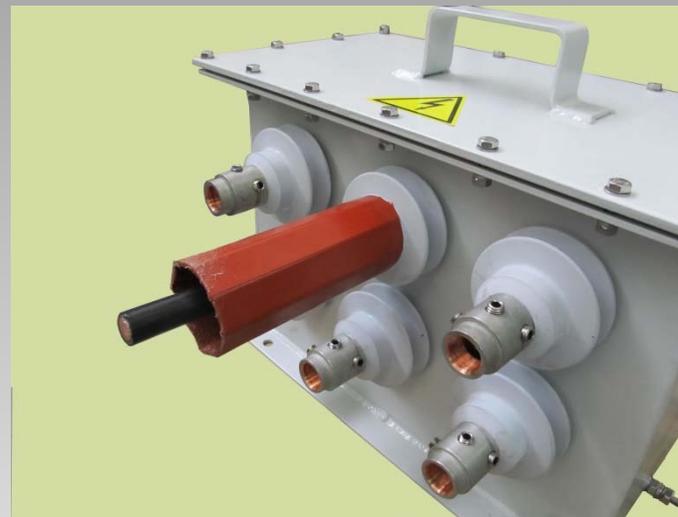
откручены болты

# Монтаж коробки транспозиции без ее вскрытия

1



2



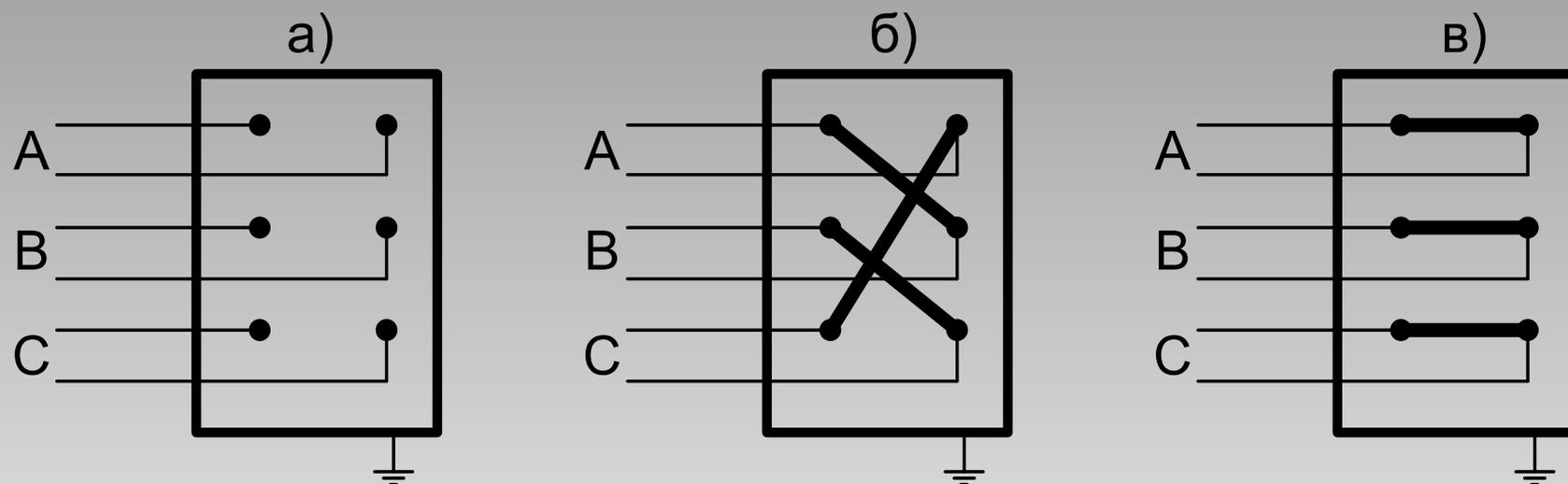
3



4



## Переключения в коробках транспозиции

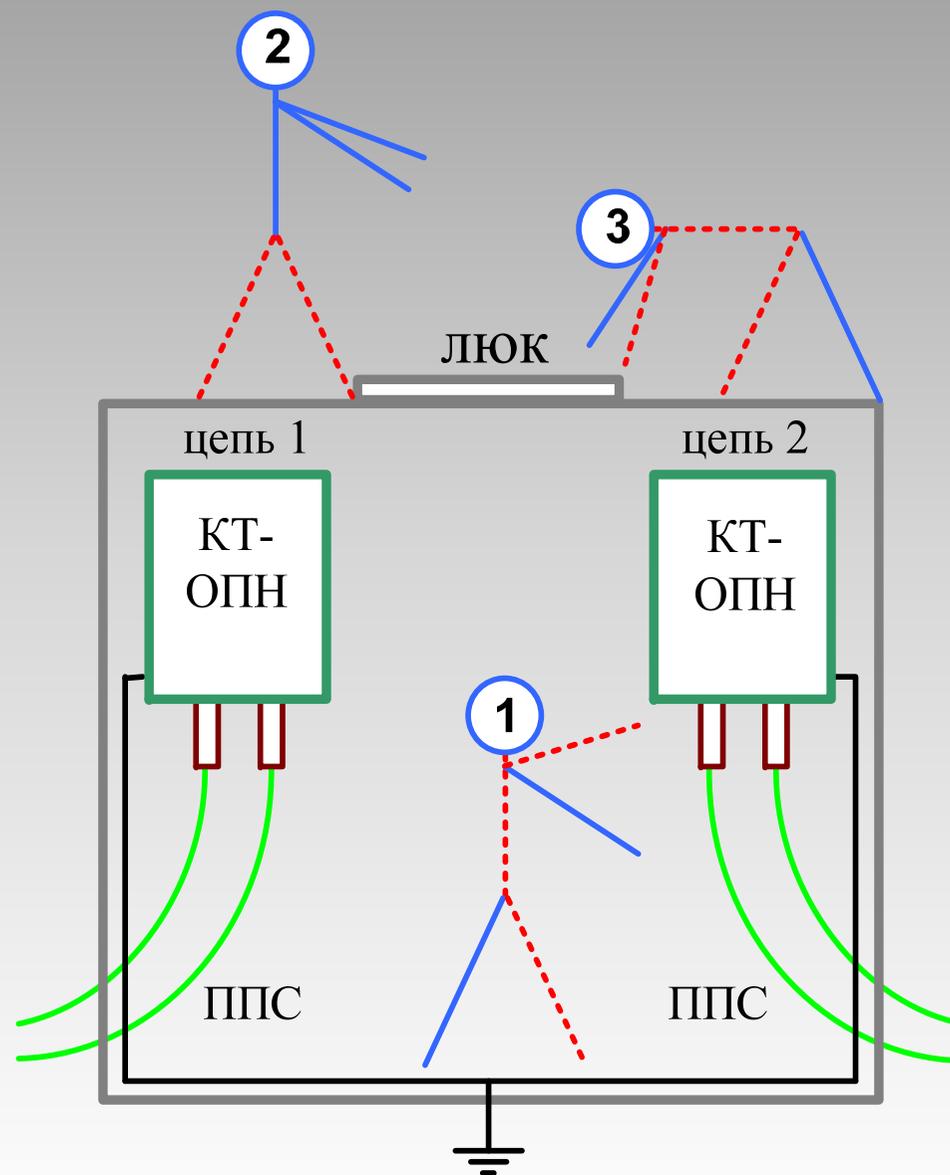


надземный узел транспозиции

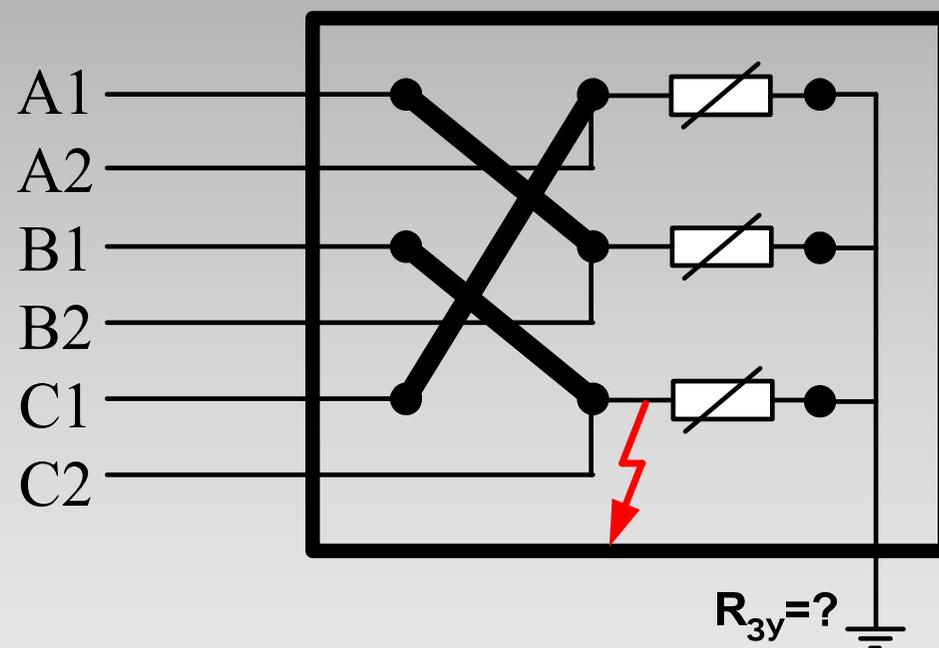
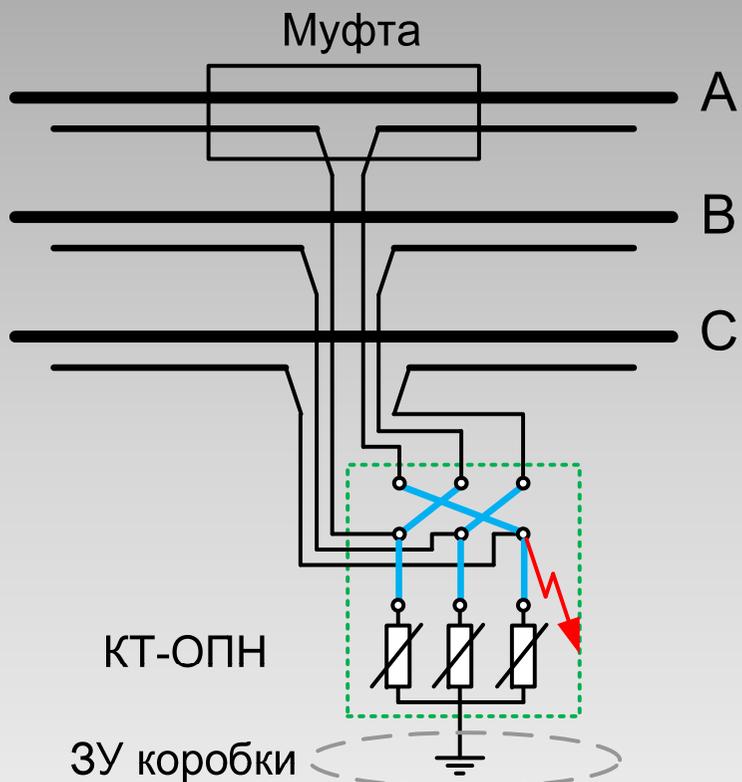


подземный узел транспозиции

## Безопасность персонала при работе с транспозицией



## Требования к сопротивлению заземления колодцев



Основной расчетный случай для формирования требований к  $R_{3y}$

## **Проблемы традиционных колодцев транспозиции**

В настоящее время у колодцев транспозиции имеются две главные проблемы:

1. отсутствие герметичности
2. необходимость выполнения контура заземления с малым сопротивлением заземления вплоть до 0.5 Ом

**Обе эти проблемы удастся решить с приходом в кабельные сети полимерных колодцев транспозиции, оснащенных стеклопластиковыми коробками транспозиции**

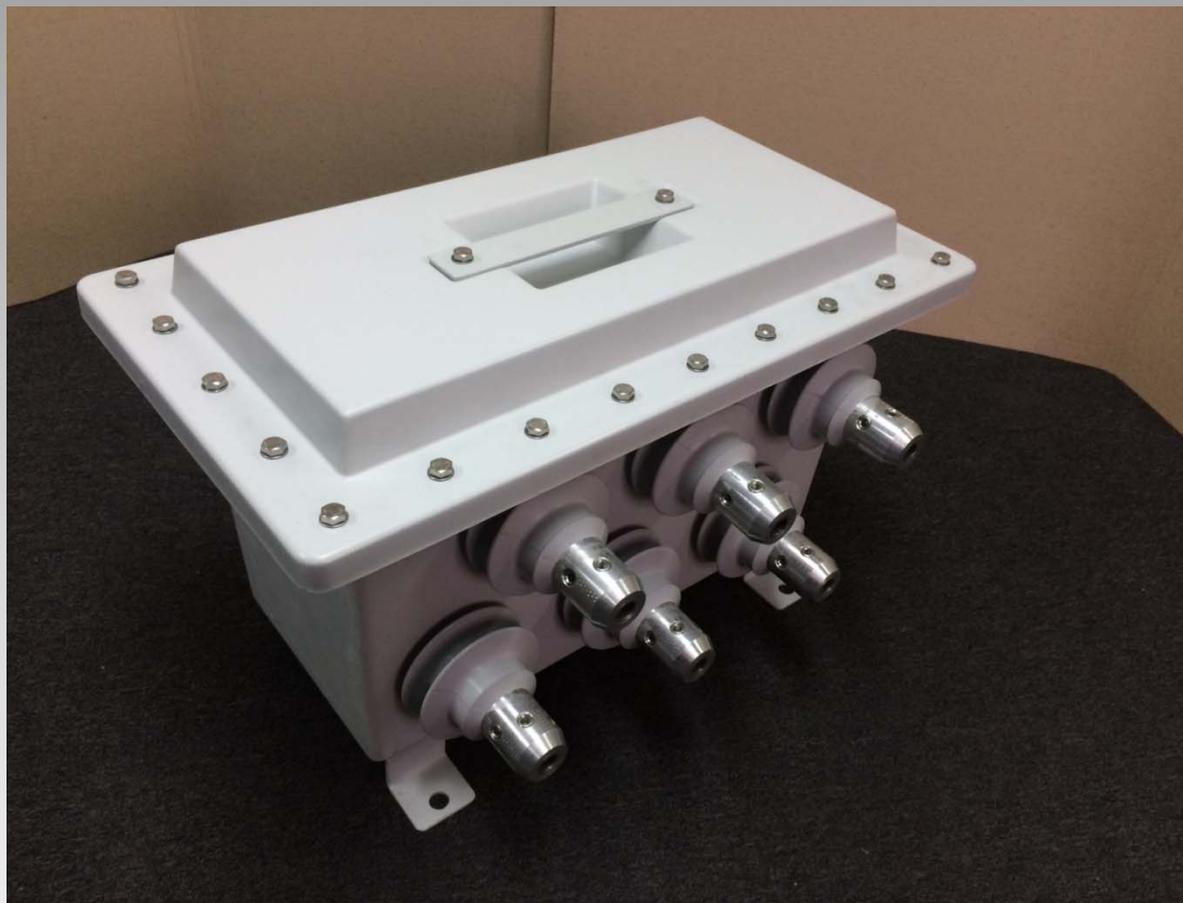
## Полимерные колодцы транспозиции – на заводе



## Полимерные колодцы транспозиции – на объекте



## Стеклопластиковые коробки транспозиции



1. Отсутствие коррозии элементов
2. Стойкость к агрессивным средам и дорожным реагентам
3. Полная безопасность персонала при любом R заземления

## **Перспективы применения новых узлов транспозиции**

1. повышение герметичности и защиты от агрессивной среды
2. снижение сроков строительства
3. повышение удобства обслуживания узлов транспозиции
4. повышение безопасности персонала
5. возможность делать контур с сопротивлением 10-20 Ом
6. отказ от «правила 100 В» и снижение необходимого числа циклов транспозиции экранов

**Применение новых колодцев - выгодное техническое решение!**

**Спасибо за внимание!**