



**НИУ «МЭИ»**

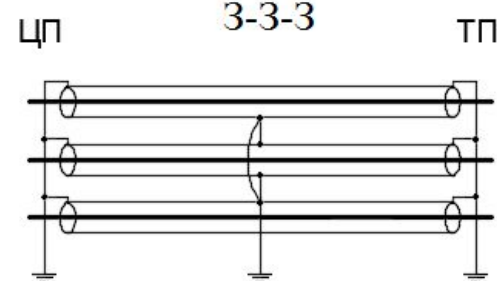
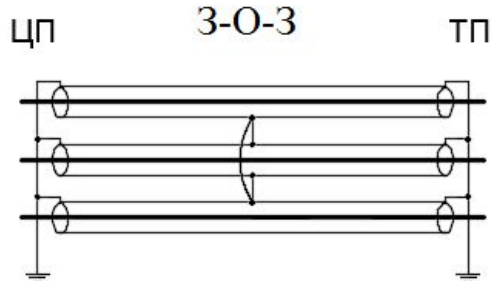
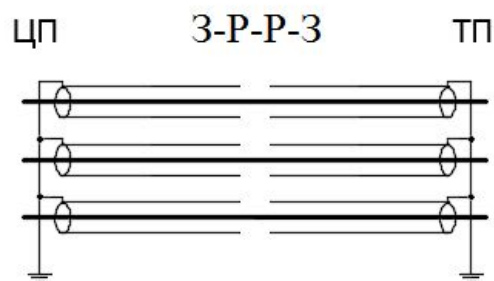
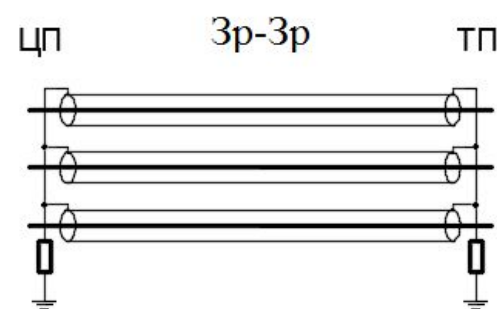
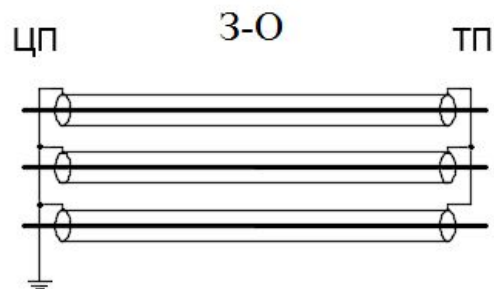
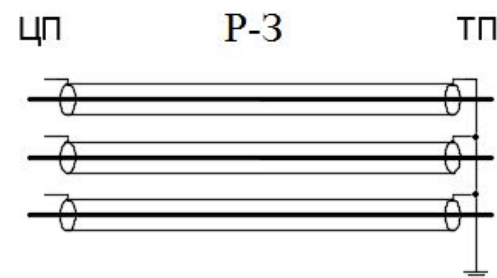
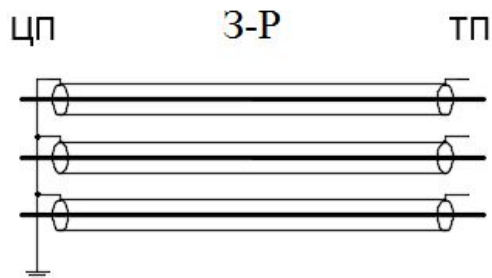
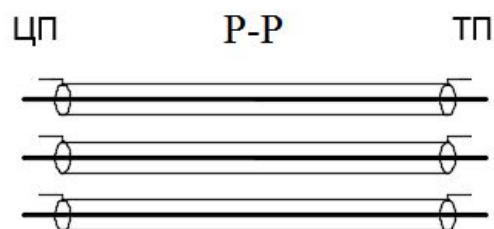
Кафедра «Электрические станции»,  
[GusevYP@mpei.ru](mailto:GusevYP@mpei.ru)

# ***Способы заземления экранов кабелей***

# Критерии для сопоставления способов заземления экранов (с использованием программы EMTP-RV)

1. **Электробезопасность: напряжение повреждения, напряжение прикосновения, шаговое напряжение, сопротивление заземляющих устройств (ЗУ)**
2. **Вынос потенциала ЗУ центра питания (ЦП) на ЗУ трансформаторной подстанции (ТП)**
3. **Термическая стойкость и невозгораемость**
4. **Потери в кабельной линии (КЛ)**
5. **Коррозия экранов кабелей**
6. **Падение напряжения в КЛ**
7. **Пропускная способность КЛ**

# Некоторые варианты заземления экранов кабелей

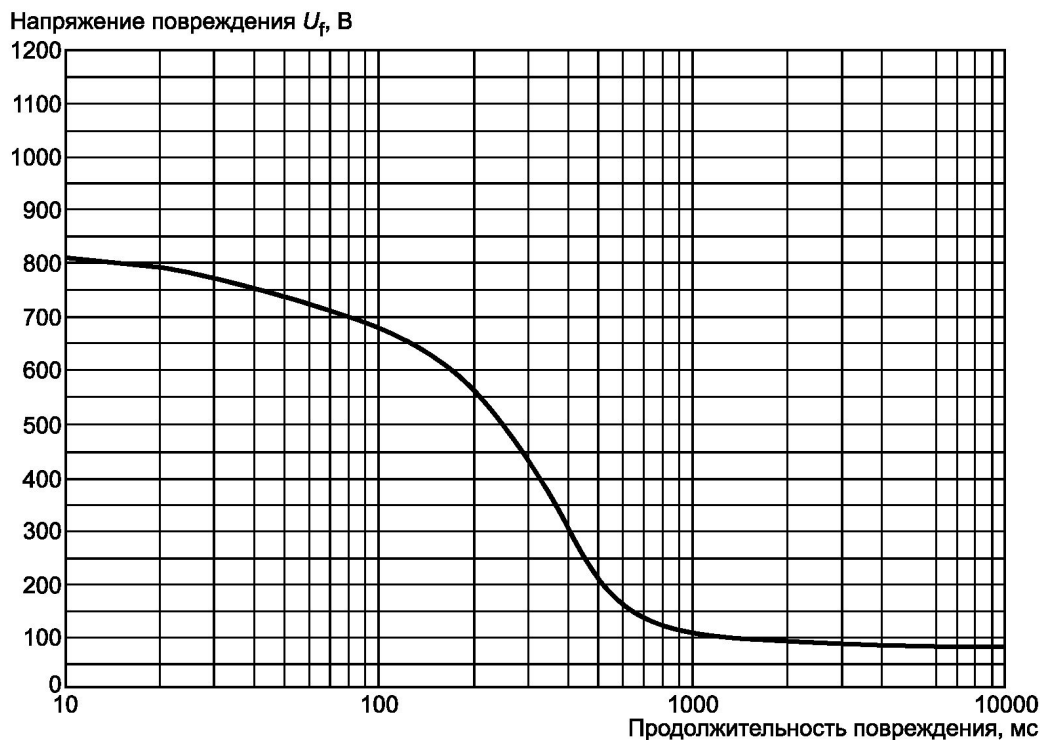


Р – разземлен; З – заземлен; О – объединены; Зр – заземлен через резистор.

# Допустимое напряжение повреждения

ГОСТ Р 50571-4-44-2011 Электроустановки низковольтные. Часть 4-44. Требования по обеспечению безопасности. Защита от отклонений напряжения и электромагнитных помех

Допустимое напряжение повреждения\*  
при замыкании на землю в сети ВН (*200 В при 0,5 с вместо 105 В*)



*\*Напряжение повреждения - возникает в системе низкого напряжения между открытыми токопроводящими частями и землей во время повреждения на высоковольтной части ЭУ (ГОСТ Р 50571-4-44-2011)*

# Требования к сопротивлению заземляющих устройств (ЗУ) подстанций

1. По п. 1.7.101 ПУЭ для ЭУ >1 кВ с **изолированной нейтралью** ≤ **250/I**, но не более 10 Ом (для > 1 с). Факт: 0,3 – 0,5 Ом
2. По СТП 09110.20.187-09 ГП «Белэнерго» (!) для ЭУ >1 кВ с **резистивно-заземленной нейтралью**

$$R_{ЗУ} \leq \frac{R_{ЗУ.из.н.} \cdot R_N}{\sqrt{R_N^2 + X_C^2}}$$

$R_{ЗУ.из.н.}$  - сопротивление ЗУ ЭУ > 1 кВ  
с изолированной нейтралью сети;

$R_N$  – сопротивление резистора в цепи  
заземления нейтрали сети;

$X_C$  – емкостное сопротивление сети.

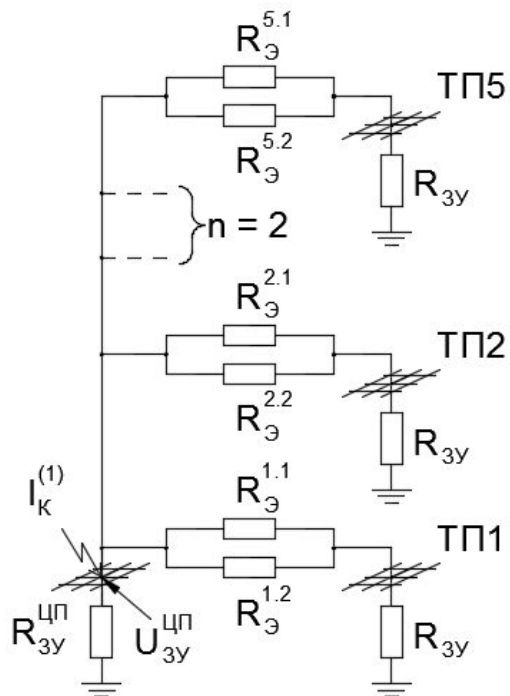
**$R_{ЗУ} \leq 0,58 \cdot R_{ЗУ.из.н.} = 0,12 \text{ Ом (!)}$**  при  $R_N = 12 \text{ Ом}$  и  $X_C = 17 \text{ Ом}$   
(соответствует емкостному току 680 А в сети 160 км)

3. По МЭК **не нормируются** (растекание тока по броне и экранам?)!

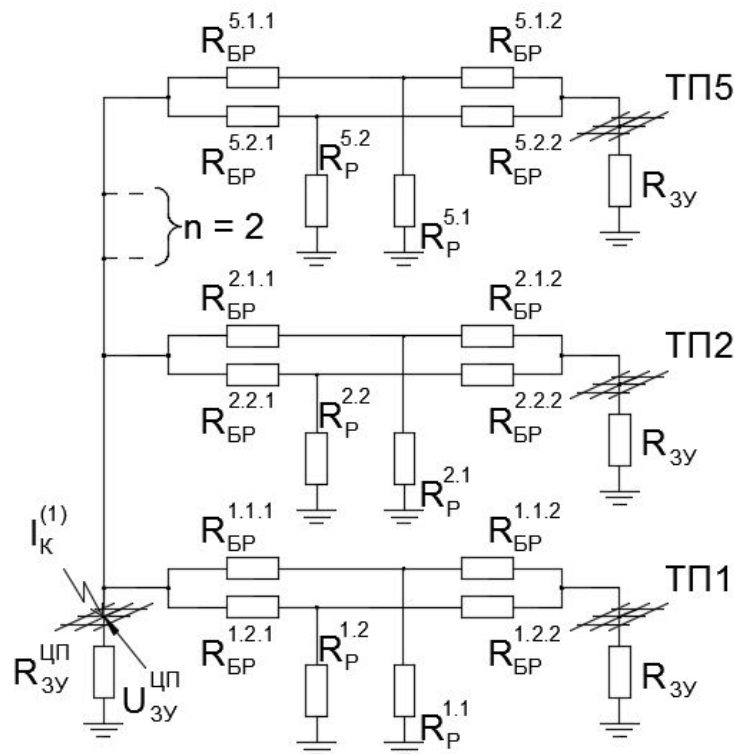
**Требования ПУЭ не корреспондируются с ГОСТ и СТО!**

# Вынос потенциала с ЦП 220/20 кВ на ТП 20/0,4 кВ

При однофазном КЗ с током 30 кА на ОРУ 220 кВ ЦП с ЗУ 0,3 Ом, ЗУ ТП 20 кВ – 4 Ом, сеть 20 кВ состоит из 10 КЛ длиной 4 км с двухсторонним заземлением экранов кабелей:



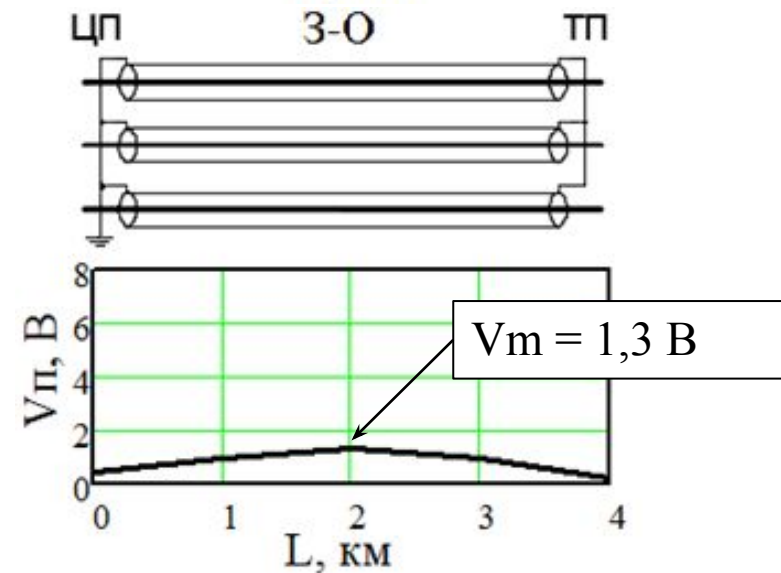
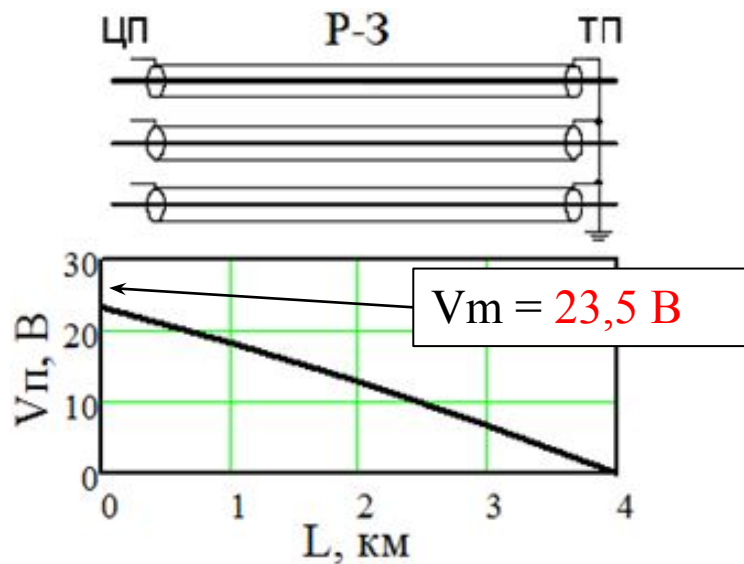
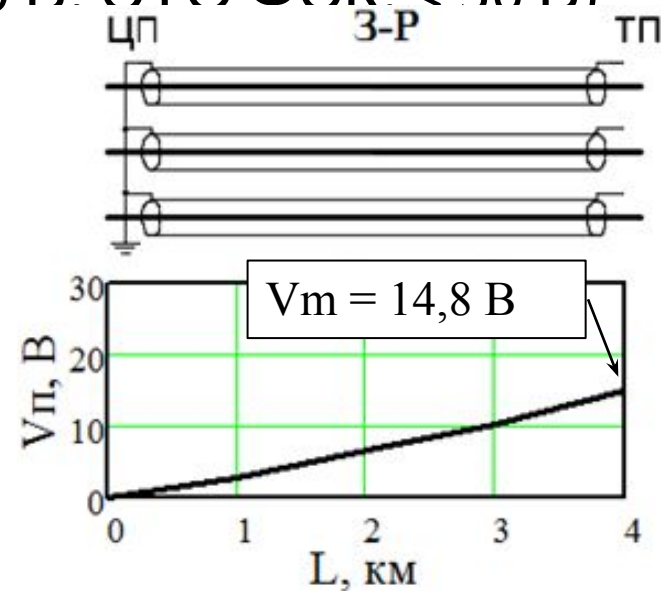
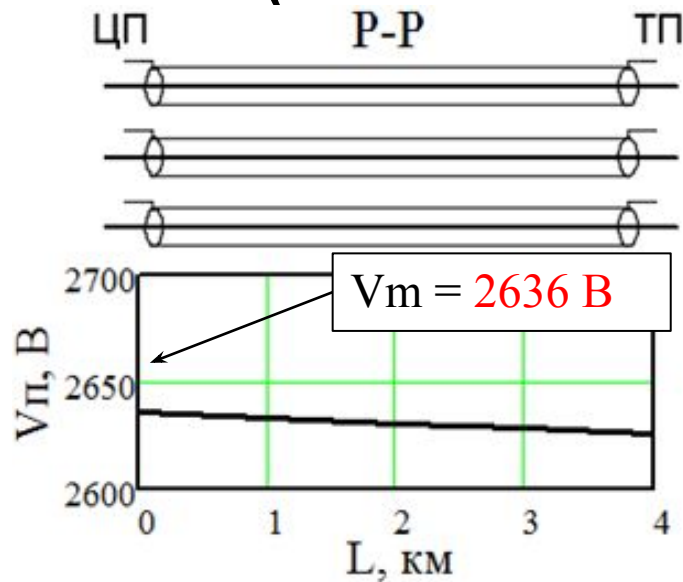
СПЭ: на ЦП 0,22 Ом - 6,6 кВ;  
на ТП 3,5 Ом - **6,1 кВ.**



БМИ: на ЦП 0,08 Ом - 2,4 кВ;  
на ТП 1,2 Ом - **0,11 кВ.**

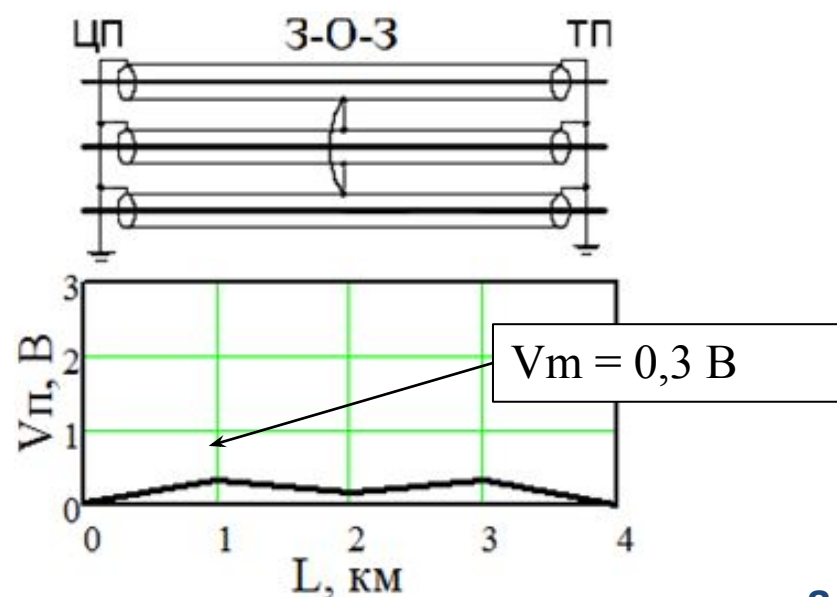
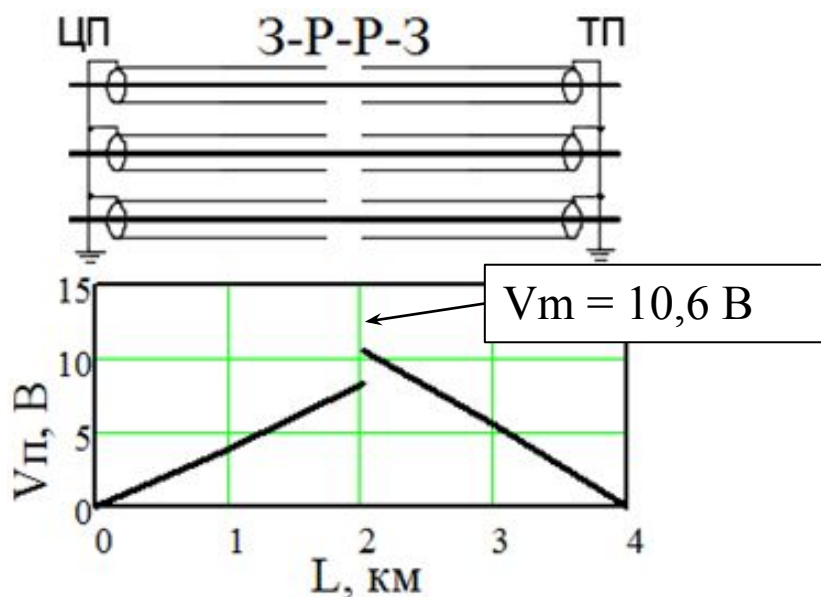
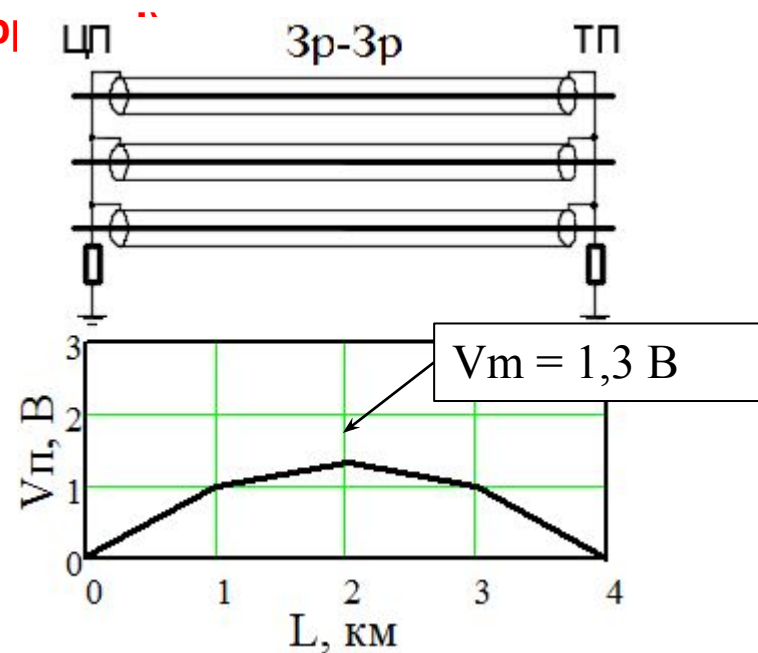
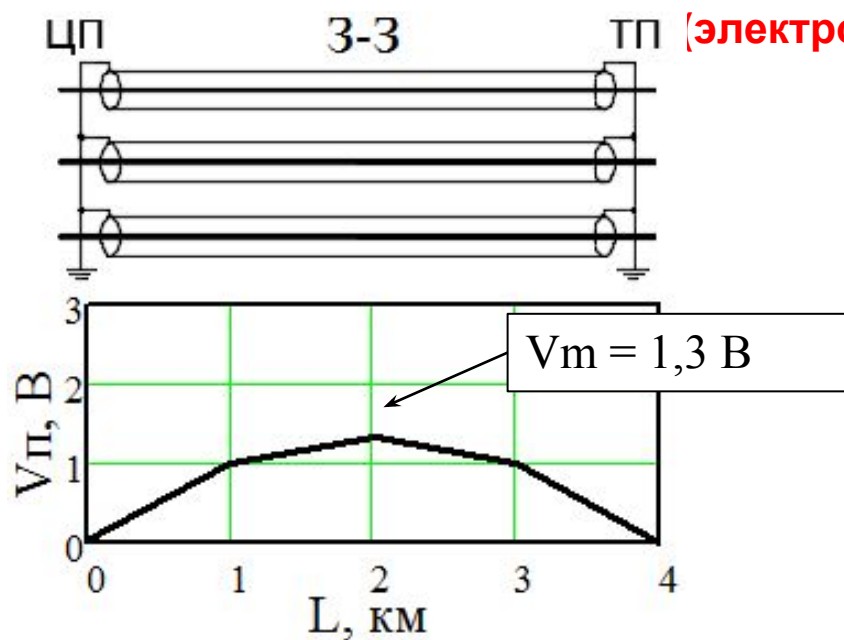
# Напряжения на экранах кабелей при наибольших рабочих токах

(ГОСТ Р 50571-4-44: < 20 В; СТО ФСК: < 36 В)



# Напряжения на экранах кабелей при наибольших рабочих токах

## тока





## Потери в КЛ 20 кВ зависят от <sup>\*)</sup> :

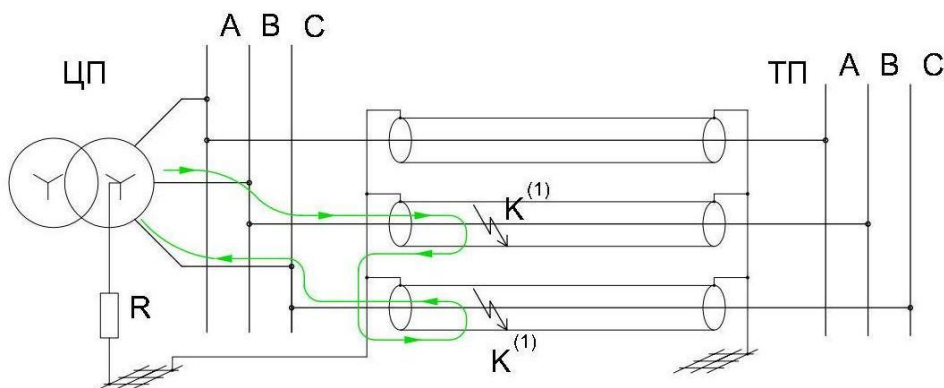
1. Способа прокладки (*треугольником* **+3%**/линейно **+8%**, *без просвета* **+3%**/ с просветом 70 мм **+24%**)
2. Токовой загрузки ( $30\%^{\text{Россия}}$  – **17%**...  $100\%^{\text{Англия}}$  – **100%**)
3. Сечения экранов ( $6^{\text{Китай}}$  ...  $16^{\text{Франция}}$  **0%**...  $70^{\text{Россия}}$  **+3%**) мм<sup>2</sup>
4. Способа соединения/ заземления экранов (З-З, З-О, О-З , ...) **1%**

<sup>\*)</sup>Для КЛ 3хАПвП2г-1х500/70-20, длиной 4 км, по сравнению с прокладкой треугольником без просвета.

**Способ заземления экранов незначительно влияет на потери электроэнергии в КЛ 20 кВ (в отличие от КЛ 6(10) кВ!).**

# Термическая стойкость экранов КЛ 20 кВ: < 250 °С

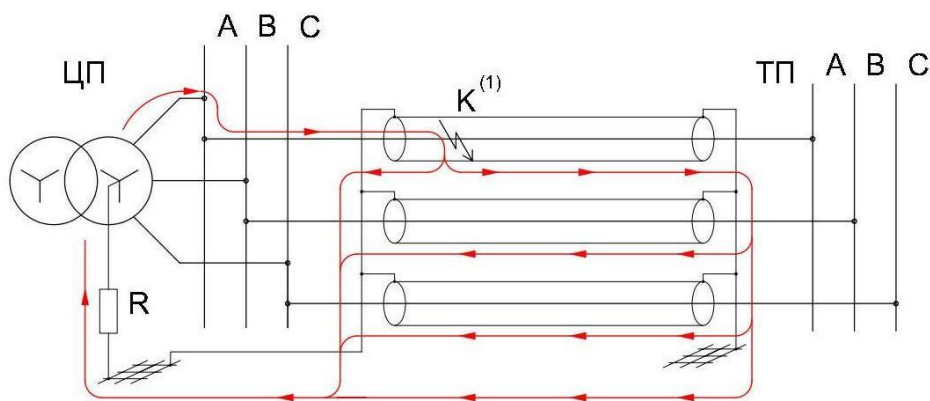
## Двойное ОЗЗ в начале КЛ (для комп. N)



### Токи в экранах:

- Двойное ОЗЗ в начале КЛ – **12185 А**
- ОЗЗ в начале КЛ с жилы на экран – **1347 А** (резист. заземл. N);
- ОЗЗ на шинах ТП 20/0,4 кВ – **374 А**;
- Трехфазное КЗ на шинах ТП 20/0,4 кВ – **329 А**.
- Двухфазное КЗ на землю в начале КЛ К (1,1) – **308 А**;

## ОЗЗ в начале КЛ (для резист. заземл. N)



## Заключение

- Двухстороннее заземление экранов кабелей (3-3) приводит к опасности выноса потенциала на ЗУ ТП
- Заземление экранов кабелей по схеме 3-О может быть использовано вместо двухстороннего заземления
- Мощность потерь в экранах кабелей 20 кВ, в отличие от 10 кВ, незначительна и практически не зависит от способа заземления экранов
- При проверке термической стойкости экранов кабелей в качестве расчетного вида следует использовать однофазное замыкание в кабеле

***Выбор способа заземления экранов кабелей СПЭ должен производиться с учетом параметров электрической сети и параметров КЛ.***

***Необходимо разработать МУ по выбору способа соединения и заземления экранов для КЛ 6(10) и 20 кВ.***

***Спасибо за внимание!***