

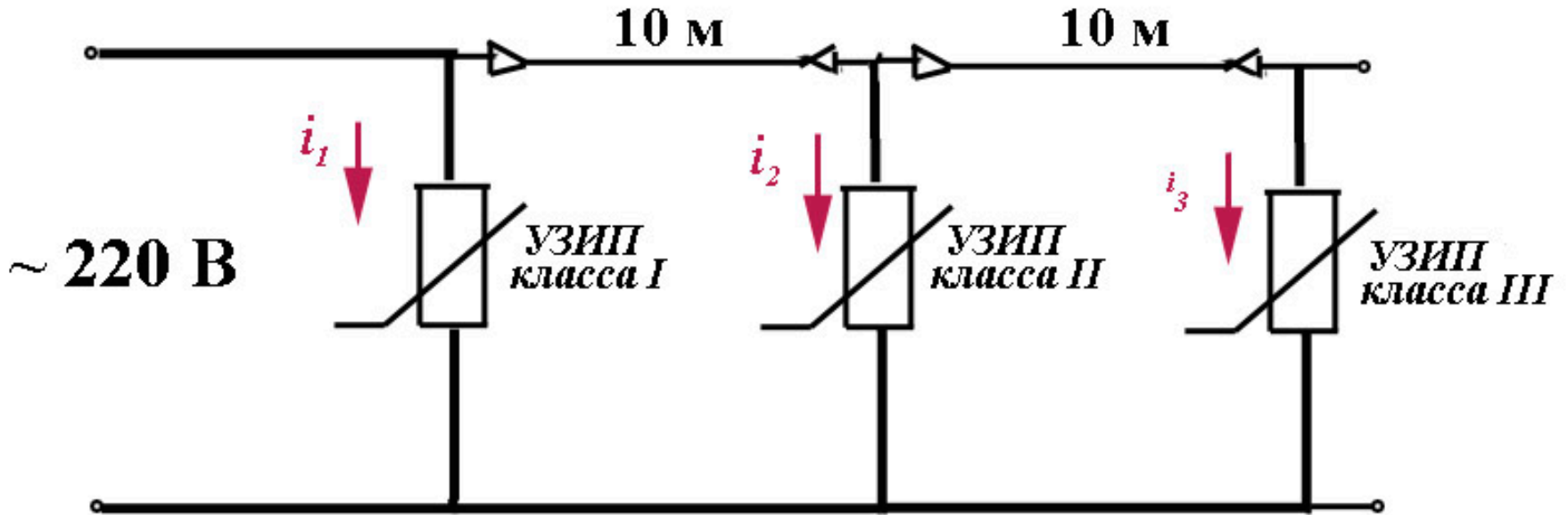


# Работа УЗИП при ступенчатой защите

Базелян Э.М.  
ОАО "ЭНИН им. Г.М.  
Кржижановского"

Федоров А.И.  
ООО "ДЕН РУС"

# Типичная схема включения УЗИП различных классов



Из-за крайне низкой электрической прочности элементов современной микроэлектроники часто приходится организовывать систему УЗИП с уровнем напряжения защиты порядка долей киловольт и ниже, используя для этой цели ступенчатое включение защитных приборов.

# Рекомендации стандартов по электромагнитной совместимости с целью обеспечения селективности



## Селективная работа УЗИП является важнейшим требованием

- отделение мест установки УЗИП различных классов друг от друга проводниками длиной 5-10 м;
- использование дросселей с индуктивностью  $\approx 10$  мкГн.

## Методика, изложенная в стандартах, учитывает воздействие импульсов тока молнии с крутым фронтом

### Реальная ситуация

Фронт импульса тока молнии часто оказывается искаженным:

- распространение тока молнии по подземным и воздушным коммуникациям длиной порядка сотни метров;
- токи положительных молний с аномально длительным фронтом.

$$U_L = L \frac{di}{dt}$$



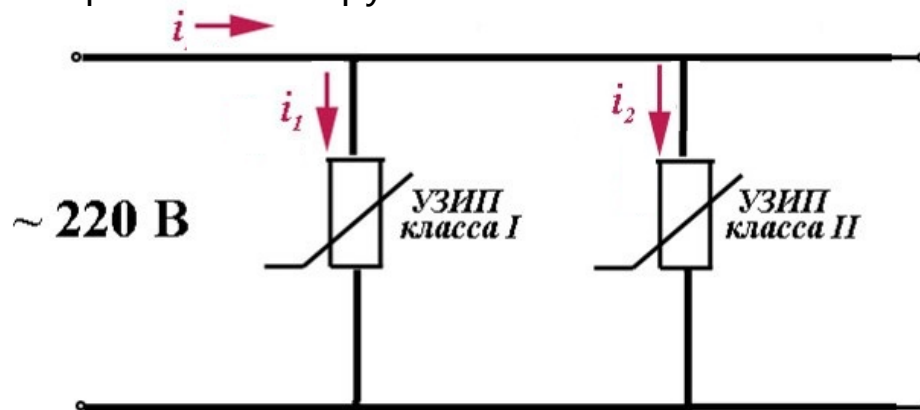
**Препятствие для селективной работы УЗИП различных классов**



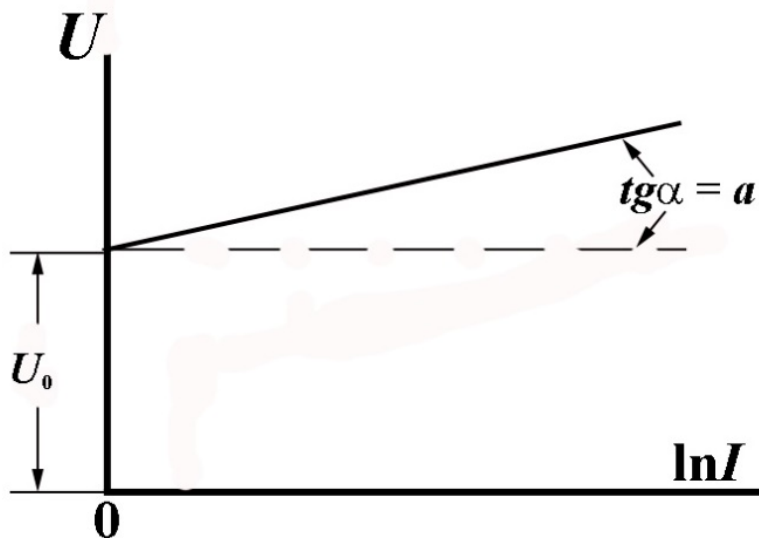
**Вероятность повреждения УЗИП низких классов**

# Распределение импульсного тока между УЗИП классов I и II, выполненных на основе варисторов

Схема для анализа режимов нагрузки УЗИП классов I и II на основе варисторов



Идеализированная вольтамперная характеристика варисторов в рабочем диапазоне тока



$$U(i) = U_0 + \alpha \ln i$$

# Анализ распределения тока молнии между УЗИП классов I и II на основе варисторов



**1 вариант:**  $\alpha_{01} = \alpha_{02}, U_{01} > U_{02}$

$$I_1 + I_2 = I; \quad U_{01} + \alpha \ln I_1 = U_{02} + \alpha \ln I_2,$$



$$I_1 = \frac{I}{1 + \exp[(U_{01} - U_{02}) / \alpha]} \quad I_2 = I - I_1$$

Например, если  $I = 1...10$  кА,  $U_{01} = 2000$  В,  $U_{02} = 1000$  В,  $\alpha = 200$



$$I_1 = 0,7\% I$$



**Гарантированное разрушение менее мощного варистора УЗИП класса II**

# Анализ распределения тока молнии между УЗИП классов I и II на основе варисторов



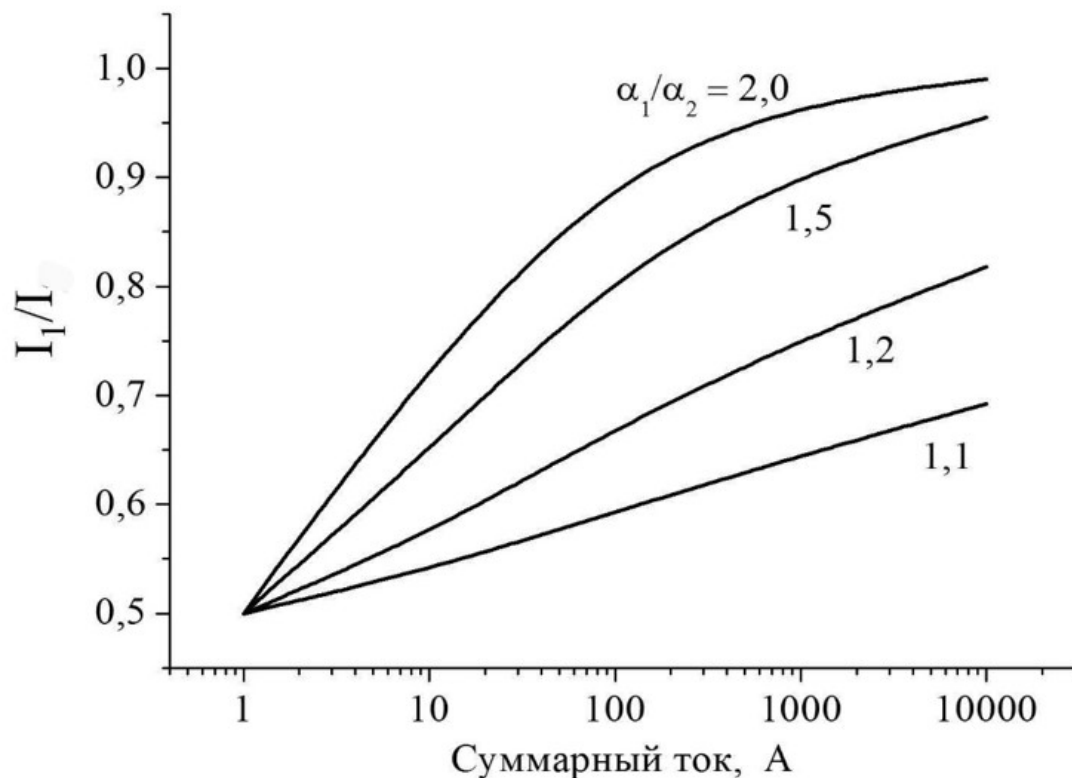
**2 вариант:**  $\alpha_{01} \neq \alpha_{02}, U_{01} = U_{02}$

$$I_1 + I_2 = I;$$

$$\alpha_1 \ln I_1 = \alpha_2 \ln I_2,$$



$$\ln I_1 - \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \ln(I - I_1) = 0$$



**При случайном изменении одного из параметров  $\alpha$  в пределах 20% токовая нагрузка может измениться от двух до четырех раз.**

# Оценка длительности фронта импульса тока молнии, при которой обеспечивается селективная работа УЗИП



Падение напряжения на индуктивности, выравнивающей токовые нагрузки УЗИП с различными вольтамперными характеристиками:

$$U_L = U_{02} - U_{01} + (\alpha_2 - \alpha_1) \ln \frac{I}{2}$$

$$(U_{02} - U_{01}) = 1000 \text{ В}, (\alpha_2 - \alpha_1) = 100, I = 10 \text{ кА}$$



$$U_L \approx 1850 \text{ В}$$

**При индуктивности  $\approx 10$  мкГн требуемое падение напряжение будет обеспечено при средней крутизне тока молнии  $A_1 \approx 1,85 \times 10^8$  А/с, чему соответствует длительность фронта не более 50 мкс**

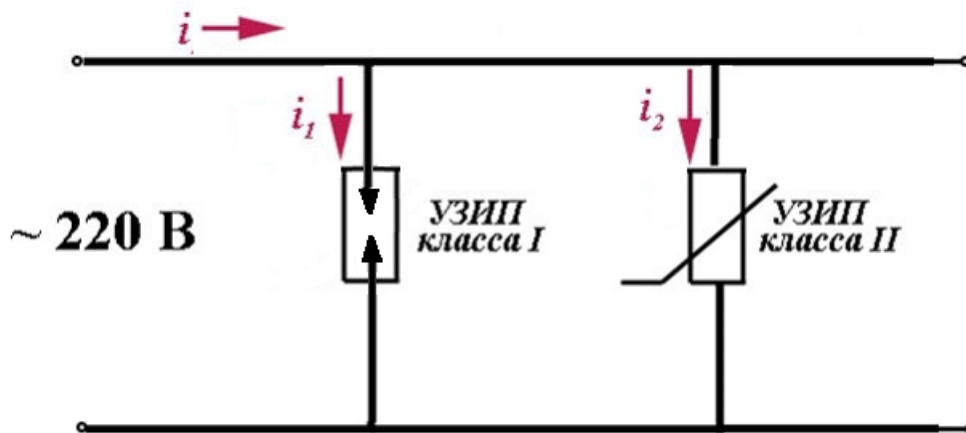


**Вероятность повреждения УЗИП при воздействии токов молнии с длинным фронтом** (положительные молнии, импульсы тока, поступающие по длинным воздушным линиям и подземным коммуникациям)

# Распределение импульсного тока между УЗИП класса I на основе разрядника и класса II на основе варистора



Схема для анализа режимов нагрузки УЗИП класса I на основе разрядника и класса II на основе варисторов



Условие срабатывания разрядника:

$$U_{pI} < U_L + U_{pII}$$

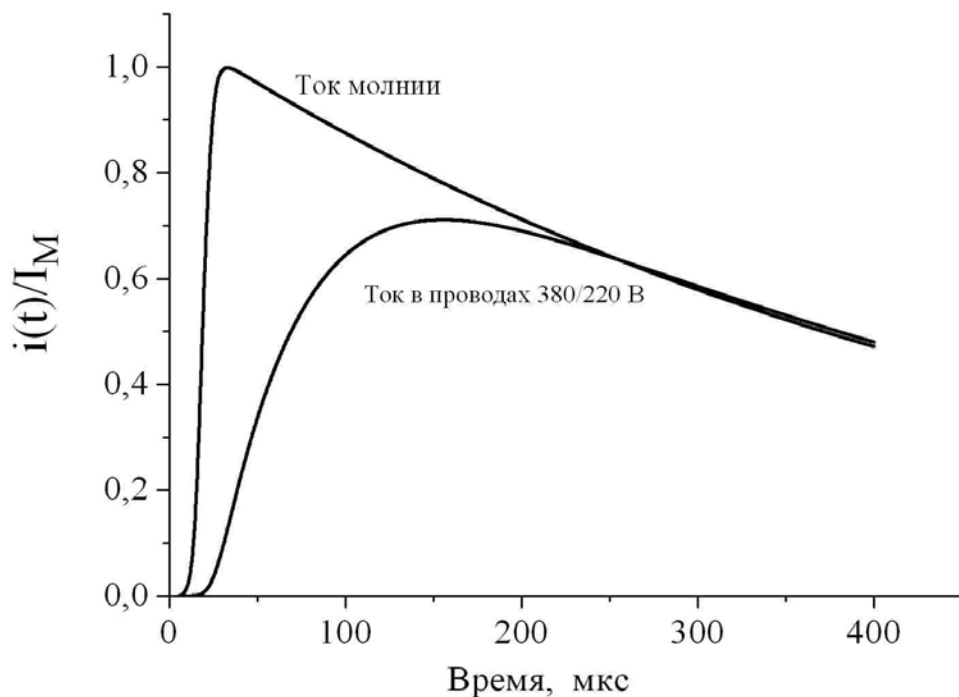


$$U_L > U_{pI} - U_{pII}$$

**В реальных условиях** ( $U_{pI} - U_{pII} \approx 2000-3000$  В, рабочий диапазон токов варистора до 10 кА) **ввод разделительной индуктивности порядка 10 мкГн далеко не всегда обеспечивает селективность работы УЗИП.**



# Расчетный импульс тока молнии, набегающий на подстанцию по воздушной линии длиной 300 м



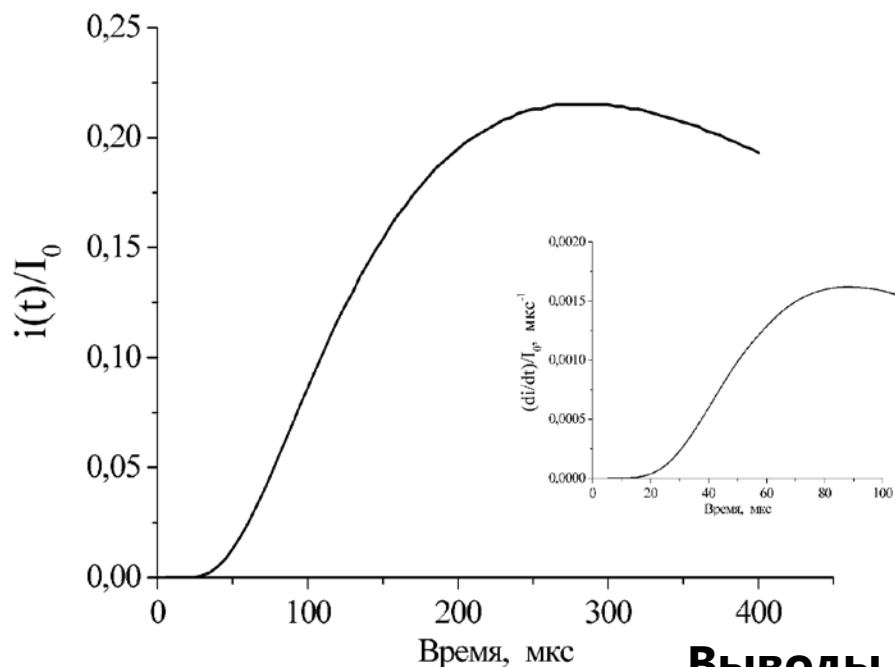
## Расчет выполнен при следующих условиях:

- длина воздушной линии между точкой удара и ПС 300 м;
- нормированный импульс тока первого компонента молнии 10/350 мкс;
- сопротивление заземления сооружения 8 Ом;
- сопротивление заземления подстанции 0,5 Ом.

## Выводы из расчета

- Максимальная крутизна деформированного фронта импульса снизилась до  $A_1 \approx 2 \times 10^4$  [А/с].
- При амплитудном значении тока 10 кА и индуктивности 10 мкГн напряжение на УЗИП класса I поднимется всего до 2000 В и может не обеспечить пробоя искрового промежутка.

# Расчетный импульс тока молнии, занесенный к заземлителю объекта по подземной коммуникации длиной 300 м в грунте с $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .



## Расчет выполнен при следующих условиях:

- длина подземной коммуникации радиусом 1 см, расположенной на глубине 0,5 м в грунте – 300 м;
- импульс тока с прямоугольным фронтом длительностью 200 мкс;
- удельное сопротивление грунта – 100 Ом\*м;
- сопротивление заземления дальнего конца коммуникации 1 Ом.

## Выводы из расчета

- Характерно, что при распространении по подземной коммуникации заваливается не только фронт импульса, но и очень заметно снижается его амплитуда, от чего крутизна фронта уменьшается в еще большей степени.
- Динамика изменения крутизны импульса показывает, что ее максимальное значение близко к  $0,0016I_0$  кА/мкс и, следовательно, ток молнии амплитудой  $\approx 30$  кА создаст на разделительной индуктивности 10 мкГн напряжение около 500 В, вряд ли достаточное для срабатывания УЗИП.

1. Оснащение УЗИП типовой индуктивностью, например, встроенным в его корпус дросселем без сердечника, далеко не всегда обеспечивает селективную работу защитных средств. Задача требует конкретных решений.
2. С рассматриваемых позиций предпочтительным является применение комбинированных УЗИП класса I+II или I+II+III, сочетающих в себе высокую пропускную способность с низким уровнем напряжения защиты.
3. Если применение комбинированных УЗИП по каким-либо причинам невозможно и используется ступенчатая схема защиты, следует отдавать предпочтение УЗИП класса I как можно с более низким уровнем напряжения защиты. В этом случае его своевременное срабатывание будет обеспечиваться в максимально большом числе практически значимых ситуаций с малым временем запаздывания даже при воздействии импульсов тока молнии с длительностью фронта порядка 100 мкс, а риск повреждения УЗИП последующих классов окажется минимальным.