

# Ограничение перенапряжений и фильтрация помех

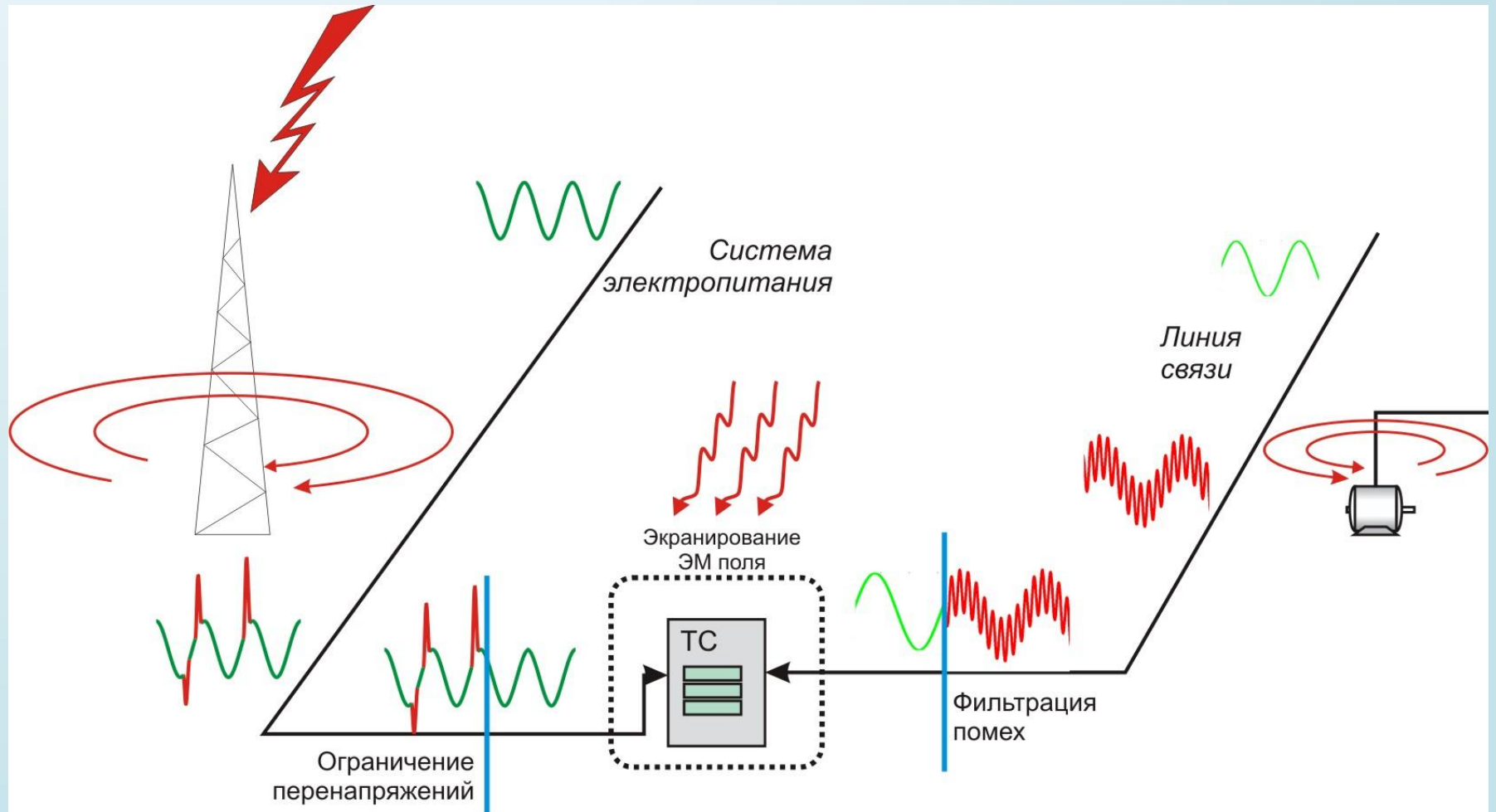
Лекция № 2

по курсу

Электромагнитная совместимость  
в электроэнергетике

*Нестеров С.В.*

# Мероприятия по снижению помех



Импульсные перенапряжения  
в цепях электропитания

Высокочастотные помехи  
в сигнальных цепях

# Пассивные помехоподавляющие устройства

## Фильтры

Фильтрация – выделение спектральных составляющих полезного сигнала из зашумленного сигнала

## Ограничители перенапряжения

Ограничение амплитуды импульсов перенапряжения в сигнале

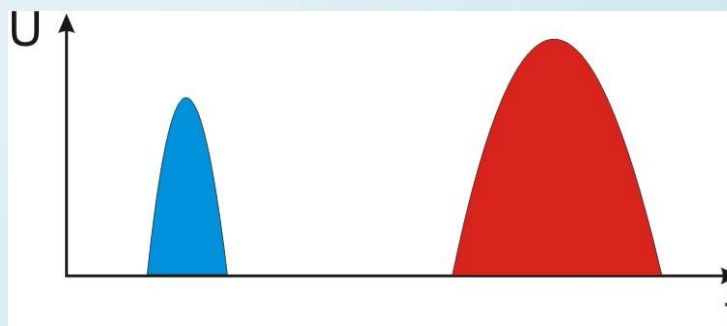
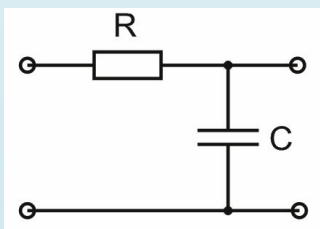
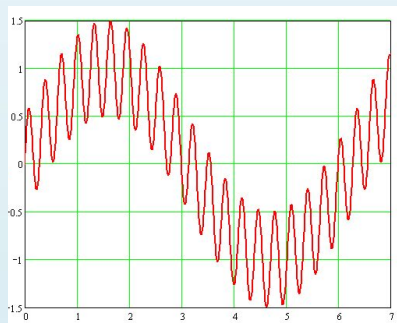
## Экраны

Снижение напряженности электромагнитного поля в определенной области пространства

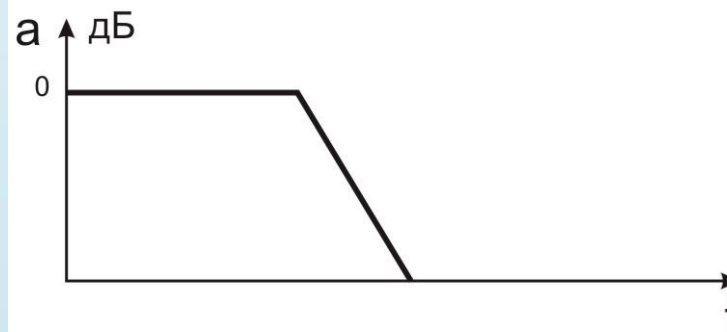
# ФИЛЬТРЫ

# Фильтрация помех

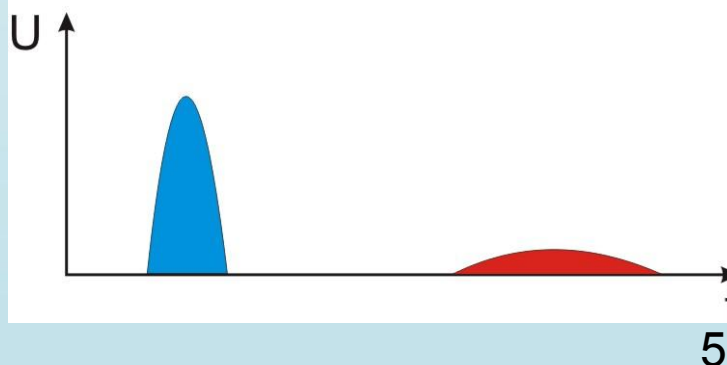
Предполагает отличие спектров полезного сигнала и помехи



Полезный сигнал и ВЧ помеха



Фильтр низких частот и АЧХ фильтра

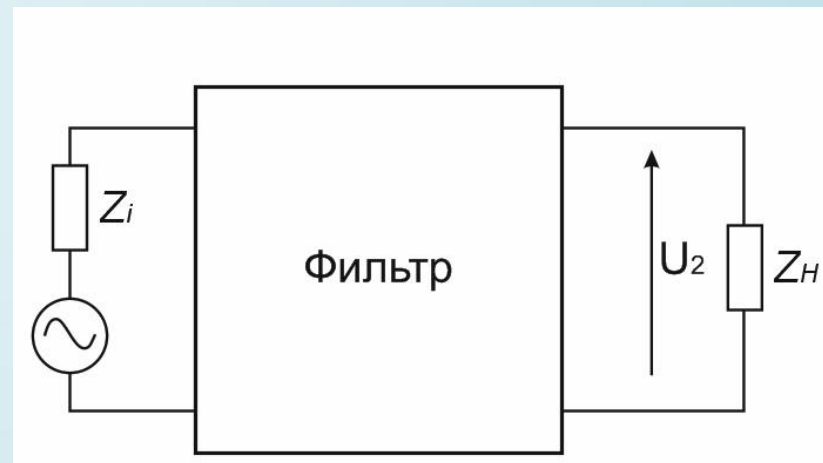
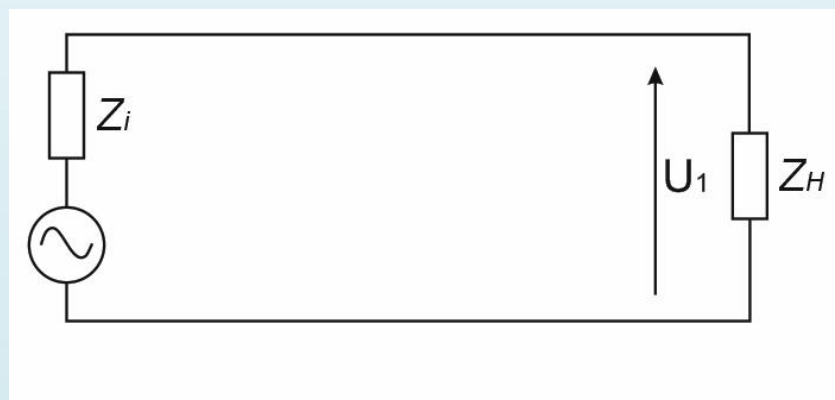


Результат фильтрации помех

## Классификация электрических фильтров

- По виду амплитудно-частотной характеристики – ФНЧ, ФВЧ, ПФ, РФ
- По элементной базе - активные и пассивные фильтры
- По конфигурации схемы Г-, Т- и П – образные
- По работе с аналоговым сигналом или его цифровым представлением - аналоговые и цифровые фильтры

## Определение коэффициента затухания фильтра



$Z_i$  – сопротивление источника сигнала

$Z_H$  – сопротивление нагрузки

**Вносимое затухание фильтра** - отношения напряжения на нагрузке без фильтра и с фильтром  $U_1/U_2$

Эффективность фильтрации характеризуется **коэффициентом затухания** – логарифмом отношения напряжения на нагрузке без фильтра и с фильтром.

Коэффициент затухания, определенный в децибелах:

$$a_e \text{ (дБ)} = 20 \lg (U_1/U_2)$$

**Коэффициент передачи фильтра** - отношения напряжения на нагрузке с фильтром к напряжению без фильтра  $U_2/U_1$

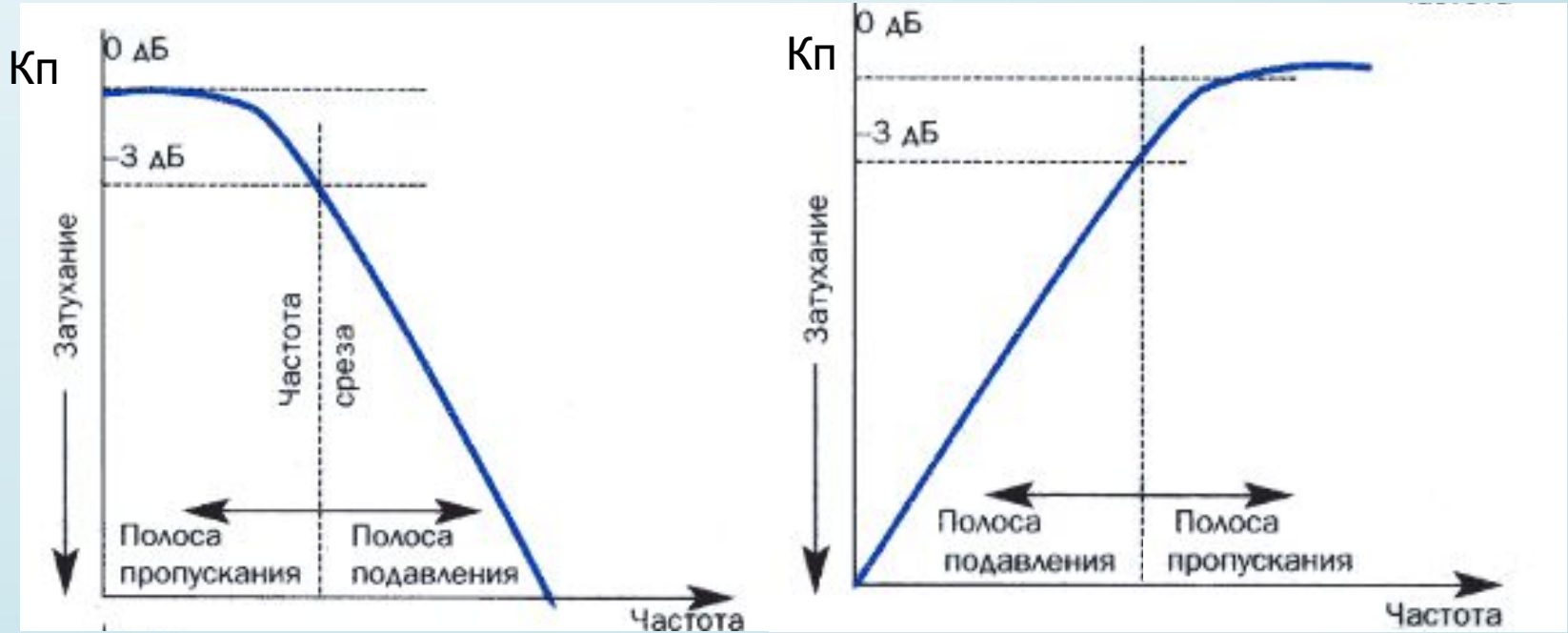
$$K_p \text{ (дБ)} = 20 \lg (U_2/U_1)$$



## ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЛЬТРА

- **Амплитудно-частотная характеристика фильтра (АЧХ)** – зависимость коэффициента передачи фильтра от частоты.
- **Полоса пропускания фильтра** – область частот, при которых  $K_p \text{ (дБ)} = 0$  ( $U_2=U_1$ , сигнал таких частот не ослабляется)
- **Полоса подавления** – область частот, в которых  $K_p \text{ (дБ)} \rightarrow -\infty$  ( $U_2 \rightarrow 0$ , сигнал таких частот подавляется)
- **Частота среза** - частота, лежащая на границе полосы пропускания, определенная при коэффициенте передачи -3 дБ
- **Крутизна среза** – скорость спада АЧХ в полосе подавления (дБ/октаву, дБ/декаду)
- **Порядок фильтра** – параметр, характеризующий крутизну среза. Фильтр первого порядка имеет крутизну среза 6 дВ/октава (20 дВ на декаду), второго порядка - 12 дВ/октава, третьего – 18 дВ/октава и т.д.

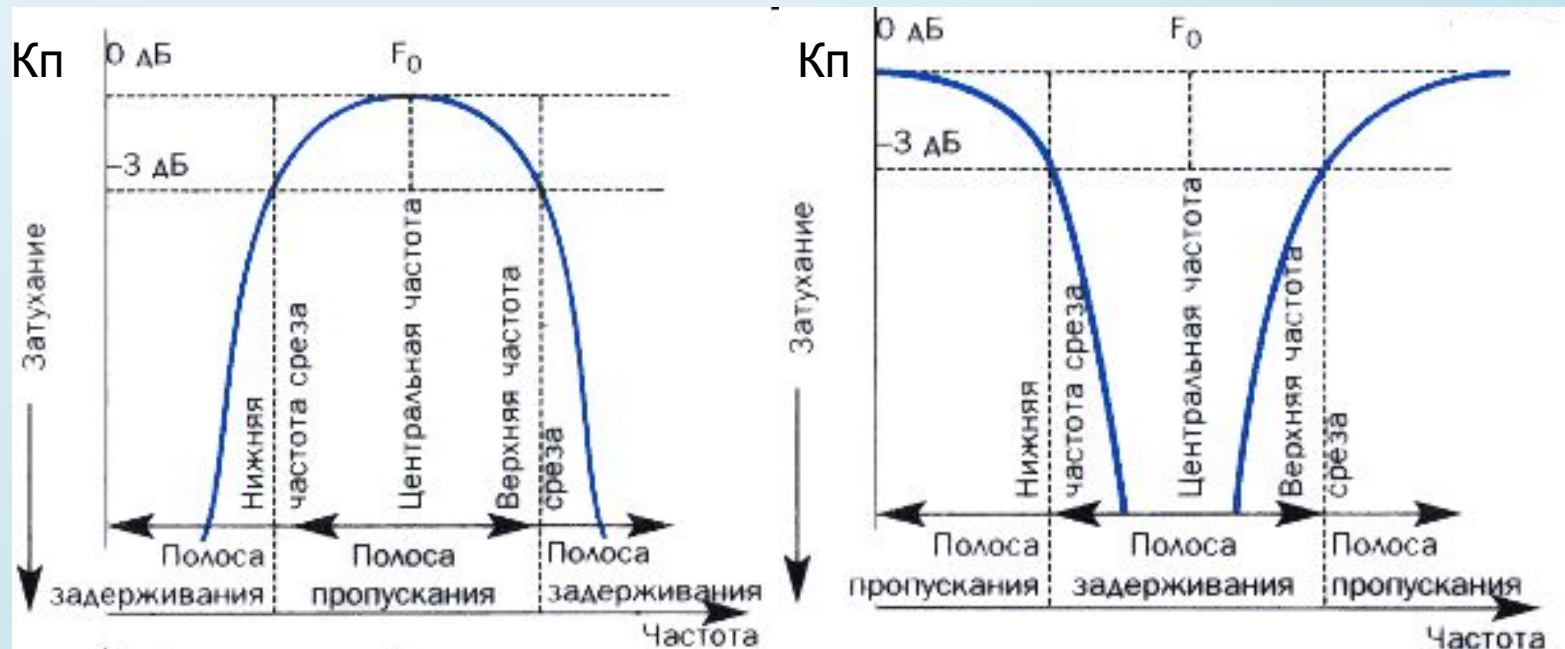
# АЧХ фильтров низкой и высокой частоты



Фильтр низкой частоты (ФНЧ)

Фильтр высокой частоты (ФВЧ)

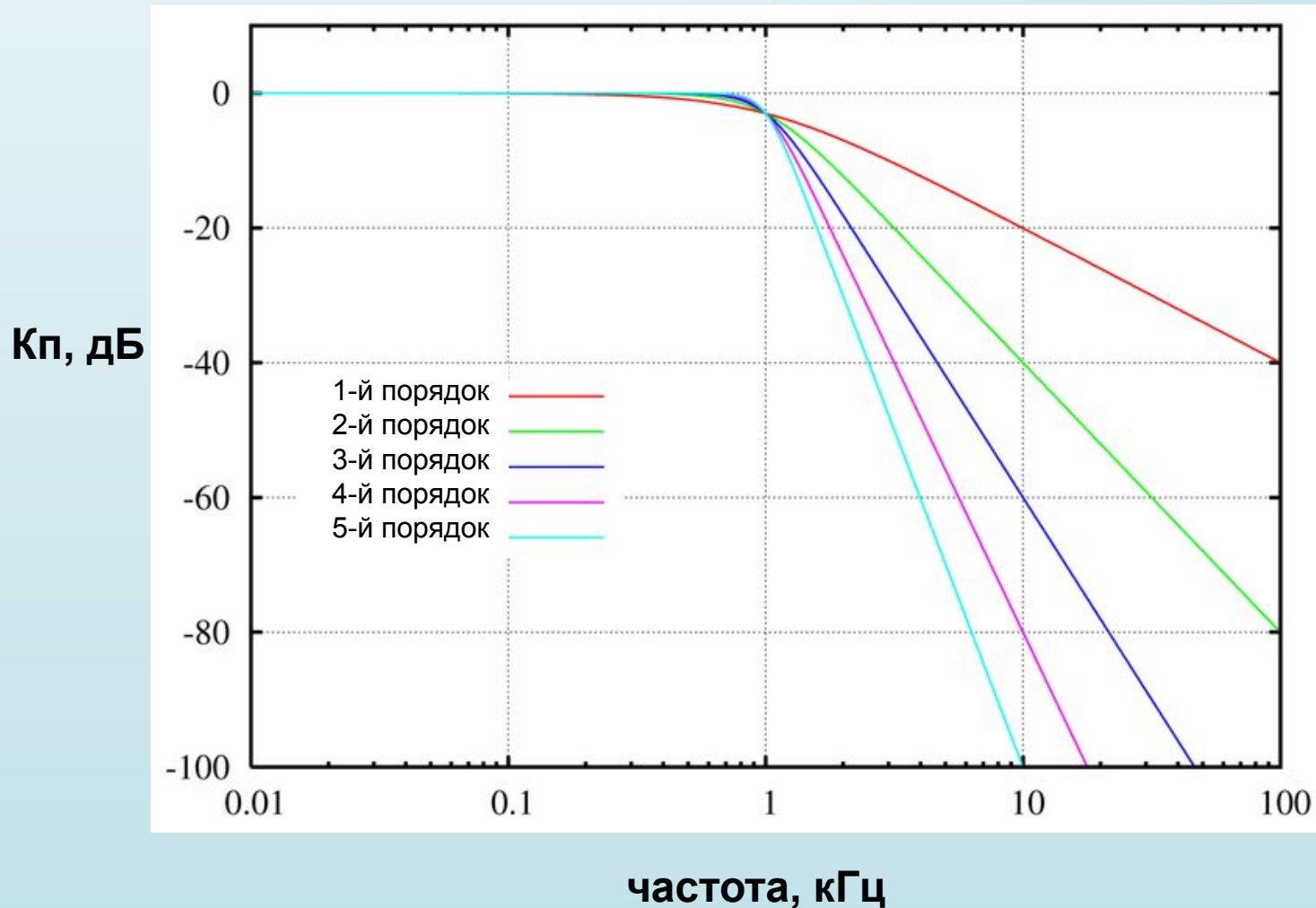
# АЧХ полосового и режекторного фильтров



Полосовой фильтр (ПФ)

Режекторный фильтр (РФ)

## Зависимость между порядком фильтра и крутизной среза (АЧХ ФНЧ 1-5-го порядков)



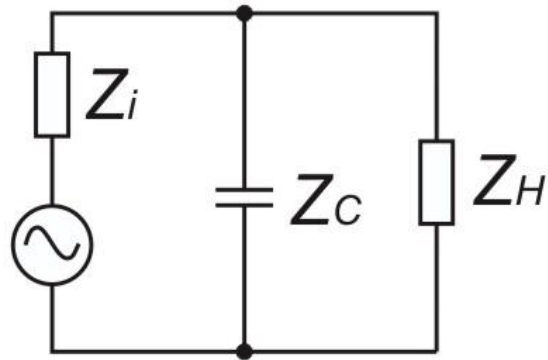
# Принцип работы аналоговых фильтров

Основан на применении в них частотозависимых сопротивлений реактивных элементов – конденсаторов и индуктивностей

$$X_c = 1/(j\omega C)$$

$$X_l = j\omega L$$

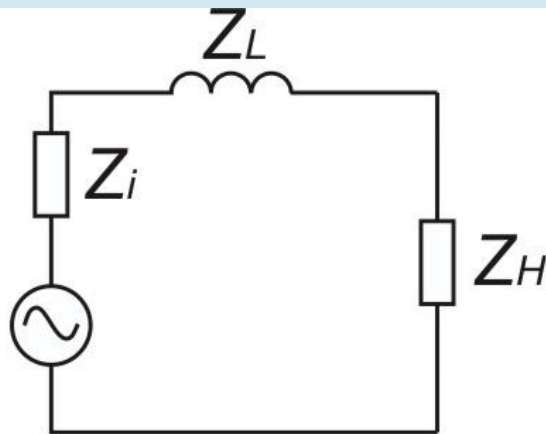
## Схемы помехоподавляющих фильтров низкой частоты первого порядка и оценка вносимого затухания



Емкостной фильтр

$$a_e = 20 \lg \frac{Z_i + \frac{Z_i Z_H}{Z_C} + Z_H}{Z_i + Z_H}$$

Эффективен при больших  $Z_i$  и  $Z_H$



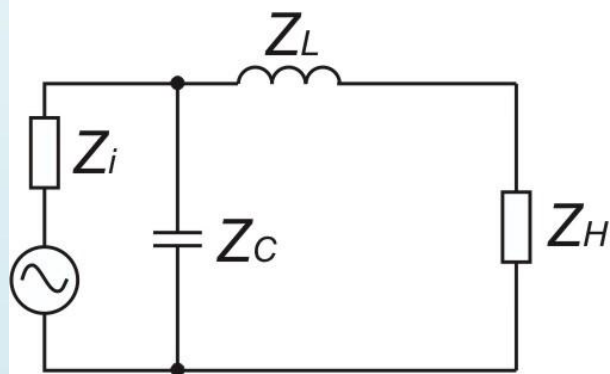
Индуктивный фильтр

$$a_e = 20 \lg \frac{Z_i + Z_L + Z_H}{Z_i + Z_H}$$

Эффективен при малых  $Z_i$  и  $Z_H$

## Схемы помехоподавляющих фильтров низкой частоты второго порядка и оценка вносимого затухания

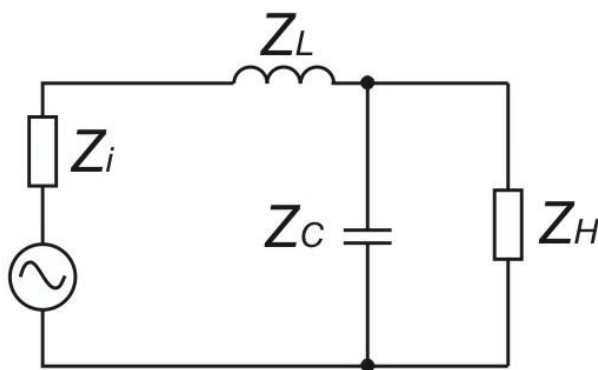
### Г – образный CL - фильтр



$$a_e = 20 \lg \frac{Z_H + Z_L + \frac{Z_i Z_H}{Z_C} + Z_i \left(1 + \frac{Z_L}{Z_C}\right)}{Z_i + Z_H}$$

Эффективен при большом  $Z_i$  и малом  $Z_H$

### Г – образный LC - фильтр

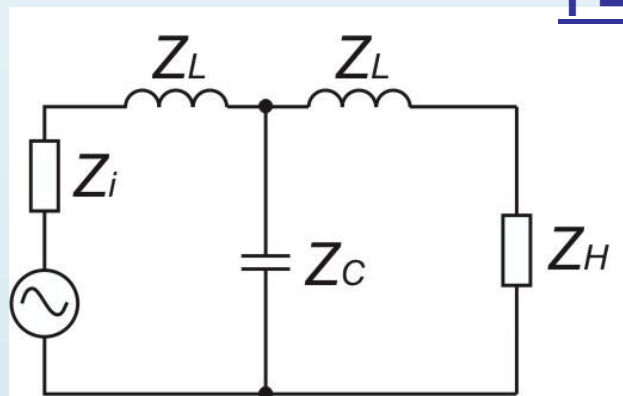


$$a_e = 20 \lg \frac{Z_H \left(1 + \frac{Z_L}{Z_C}\right) + Z_L + \frac{Z_i Z_H}{Z_C} + Z_i}{Z_i + Z_H}$$

Эффективен при малом  $Z_i$  и большом  $Z_H$

## Схемы помехоподавляющих фильтров низкой частоты третьего порядка и оценка вносимого затухания

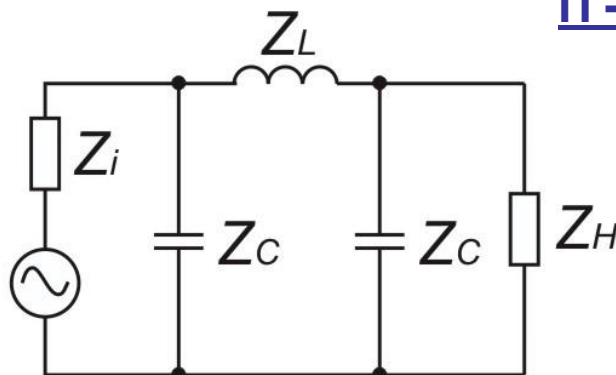
### T – образный LC - фильтр



$$a_e = 20 \lg \frac{Z_H \left(1 + \frac{Z_L}{Z_C}\right) + \frac{Z_L^2}{Z_C} + 2Z_L + \frac{Z_i Z_H}{Z_C} + Z_i \left(1 + \frac{Z_L}{Z_C}\right)}{Z_i + Z_H}$$

Эффективен при малых  $Z_i$  и  $Z_H$

### П – образный CL - фильтр

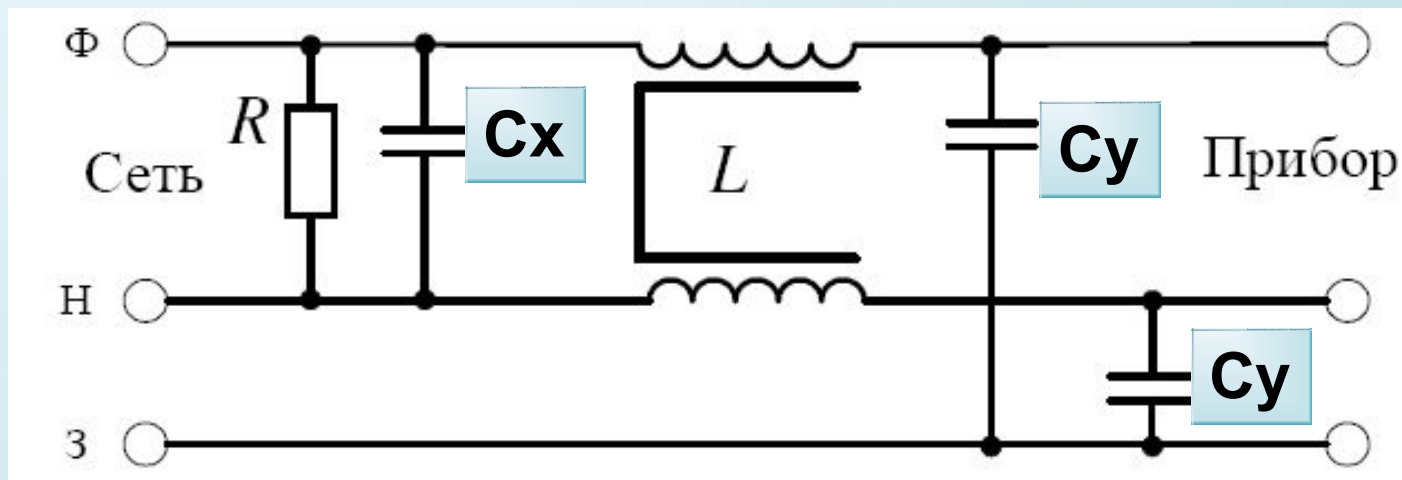


$$a_e = 20 \lg \frac{Z_H \left(1 + \frac{Z_L}{Z_C}\right) + Z_L + Z_i Z_H \left(\frac{2}{Z_C} + \frac{Z_L}{Z_C^2}\right) + Z_i \left(1 + \frac{Z_L}{Z_C}\right)}{Z_i + Z_H}$$

Эффективен при больших  $Z_i$  и  $Z_H$



## Сетевые помехоподавляющие фильтры

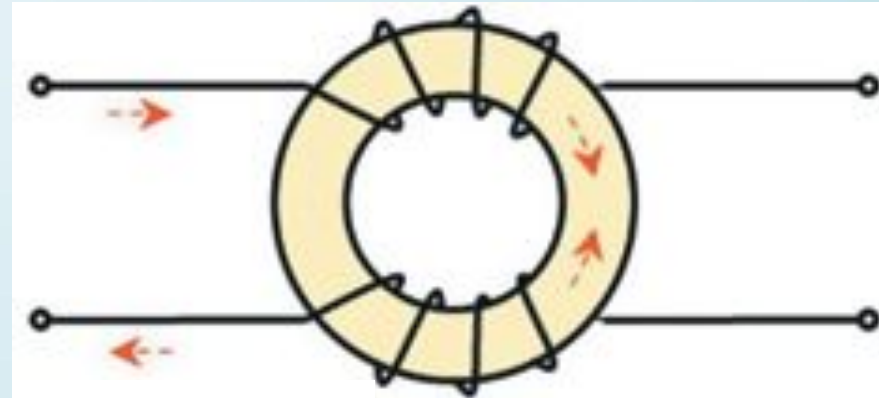


Назначение элементов фильтра:

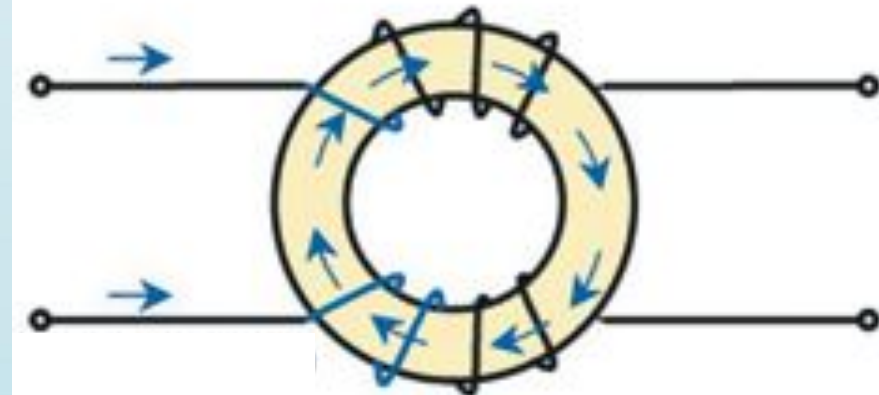
- Конденсатор  $C_x$  - для демпфирования симметричной помехи
- Резистор  $R$  для разрядки конденсатора  $C_x$  после снятия напряжения
- Конденсаторы  $C_y$  – для подавления синфазных помех
- Синфазный дроссель  $L$  – для подавления синфазных помех

## Принцип работы синфазного дросселя

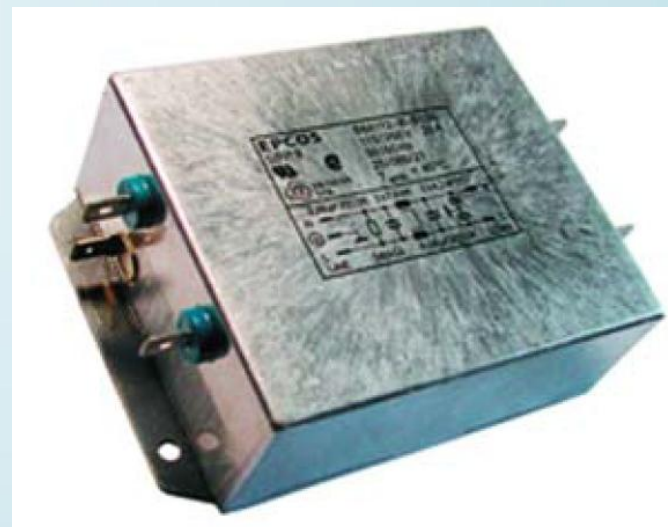
**Противофазный сигнал – индуктивность мала**  
 компенсация магнитного потока, создаваемого рабочим током



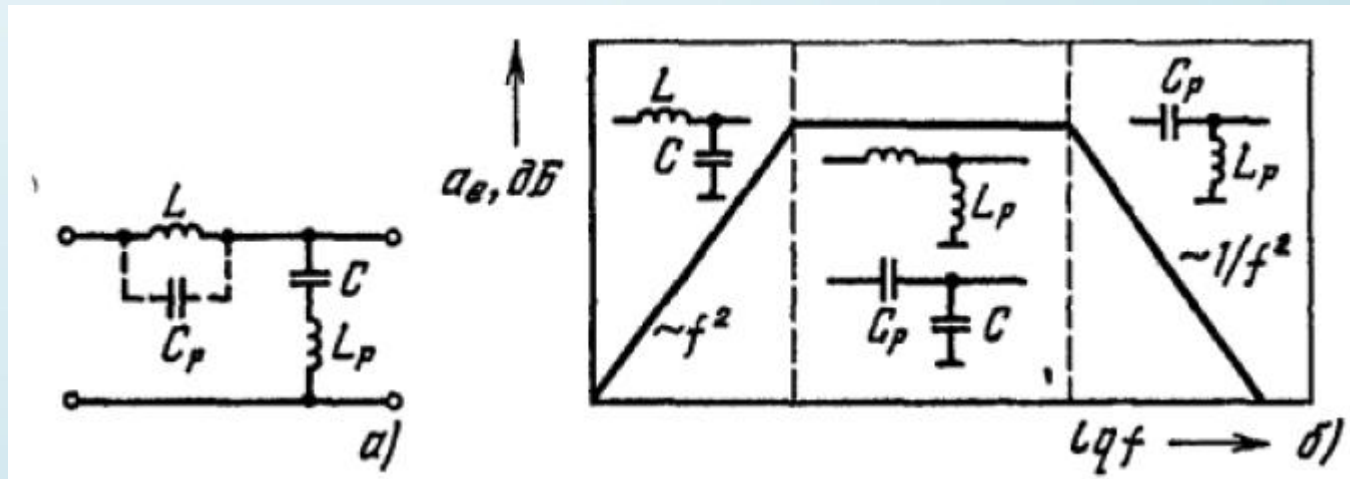
**Синфазный сигнал – индуктивность максимальна**



## Сетевые помехоподавляющие фильтры



## Паразитные характеристики элементов



$C_p$  – паразитная емкость катушки (межвитковая, конструктивная и т.п.)

$L_p$  – паразитная индуктивность конденсатора (индуктивность обкладок, выводов конденсатора и т.п.)

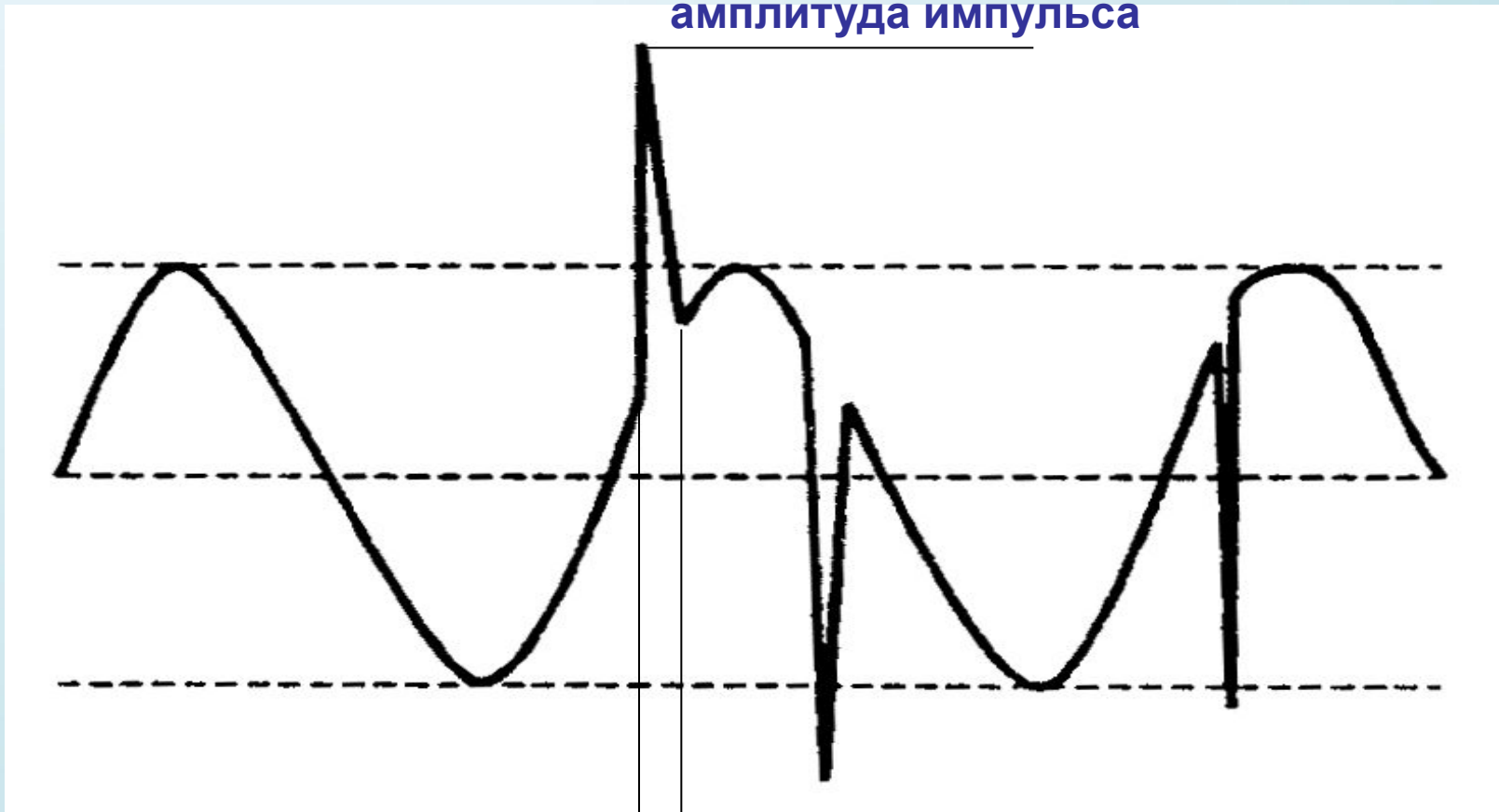
# Ограничители перенапряжений

## ГОСТ 13109-97

НОРМЫ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

- **импульс напряжения** - резкое изменение напряжения в точке электрической сети, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня за промежуток времени до нескольких миллисекунд;
- **амплитуда импульса** - максимальное мгновенное значение импульса напряжения;
- **длительность импульса** - интервал времени между начальным моментом импульса напряжения и моментом восстановления мгновенного значения напряжения до первоначального или близкого к нему уровня;

амплитуда импульса



длительность импульса

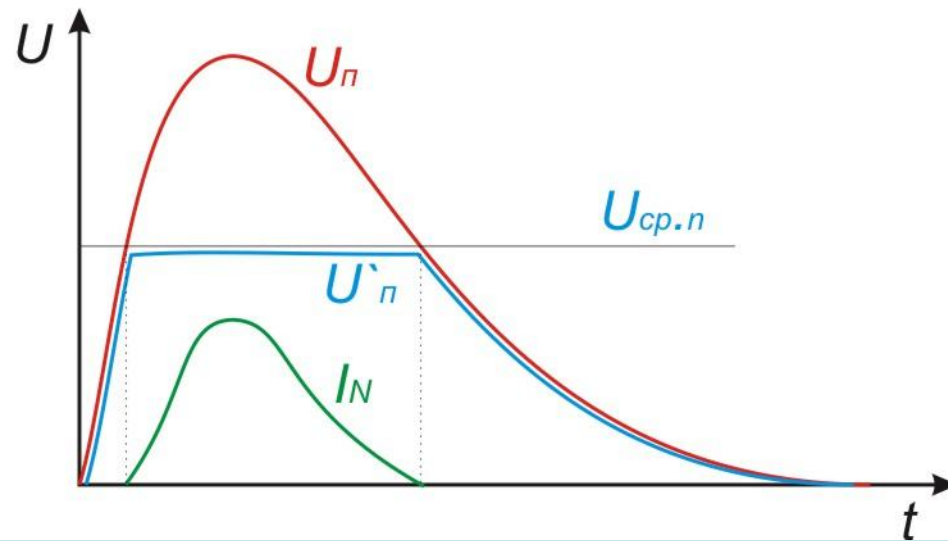
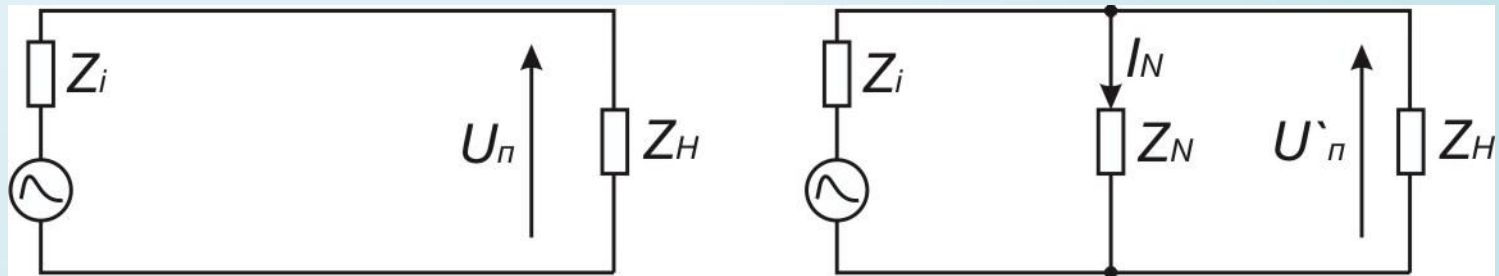
**Устройство для защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП):** Устройство, которое предназначено для ограничения переходных перенапряжений и отвода импульсов тока.



## Элементы УЗИП

- **Разрядник** представляет собой устройство из двух токопроводящих пластин с калиброванным зазором. При существенном повышении напряжения между пластинами возникает дуговой разряд, обеспечивающий снижение напряжения высоковольтного импульса.
- **Варистор** - резистивный элемент с резко выраженной нелинейной ВАХ. Обладают сильной зависимостью сопротивления от приложенного напряжения. Изготавливаются преимущественно из оксида цинка (ZnO).
- **Полупроводниковые ограничители** (помехоподавляющие диоды, стабилитроны). При превышении рабочего напряжения происходит обратимый лавинный пробой диода, в результате чего он переходит в состояние с низким динамическим сопротивлением.

## Ограничение перенапряжений при помощи нелинейного сопротивления



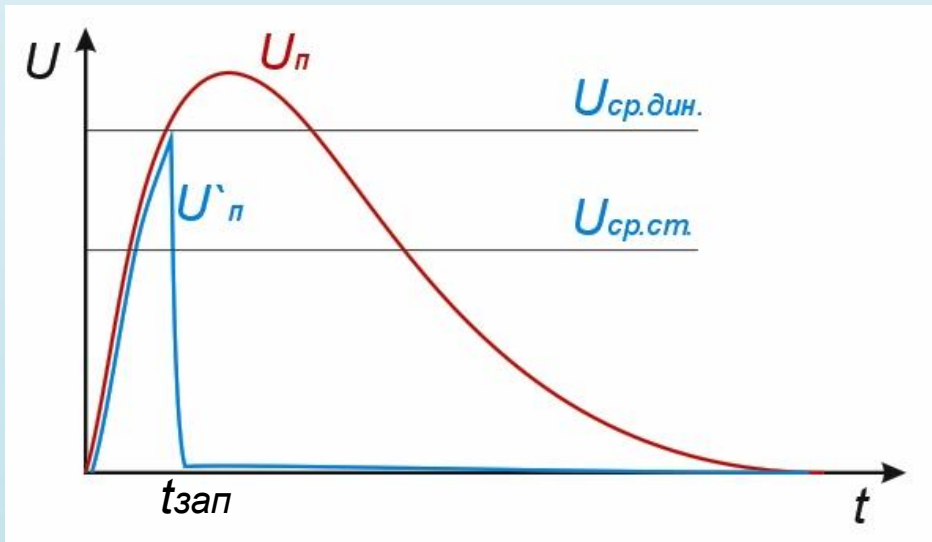
## Основные характеристики ограничителей напряжения

Характеристики	Диапазон значений для различных ограничителей		
	Разрядники	Варисторы	Полупроводниковые ограничители
Рабочие напряжения, В	$10^2 \dots 4 \cdot 10^4$	$10^1 \dots 5 \cdot 10^3$	3... <b>600</b>
Импульсные токи, А	$10^2 \dots 2 \cdot 10^5$	$10^2 \dots 10^5$	$10^1 \dots 10^3$
Время срабатывания, с	<b><math>10^{-6} \dots 10^{-5}</math></b>	$10^{-9} \dots 10^{-8}$	<b><math>10^{-11} \dots 10^{-9}</math></b>
Межэлектродные емкости, пФ	<b>2 ... 30</b>	200 ... <b>20000</b>	10 ... 10000

# Разрядники

**Достоинства разрядников** – малая межэлектродная емкость, способность пропускать большие импульсные токи.

**Недостатки разрядников** – запаздывание срабатывания при большой крутизне фронта импульса перенапряжения (отличие динамического напряжения пробоя от статического). Возможность горения дуги после срабатывания если напряжении сети больше напряжения горения дуги.



Реакция разрядника  
на импульсное напряжение

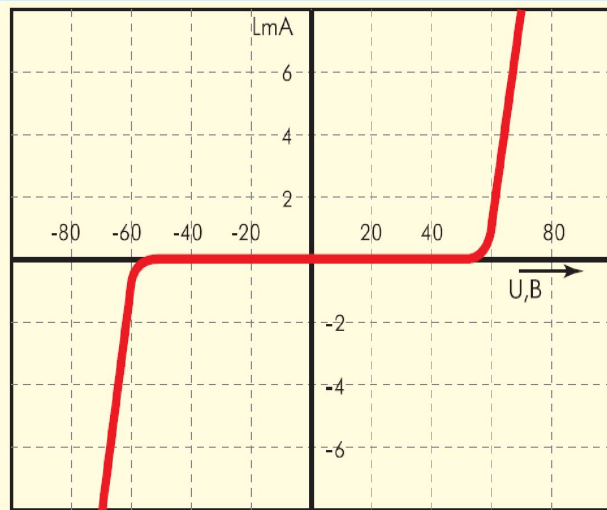


Малогабаритные разрядники  
фирмы EPCOS

# Варисторы

**Достоинства варисторов** – отсутствие времени запаздывания при срабатывании.

**Недостатки варисторов** – значительная внутренняя емкость (десятки нФ), что неприемлемо для цепей передачи высокочастотных сигналов.



Вольт –амперная характеристика в рабочей области приближенно описывается выражением:

$$I = K U^\alpha.$$

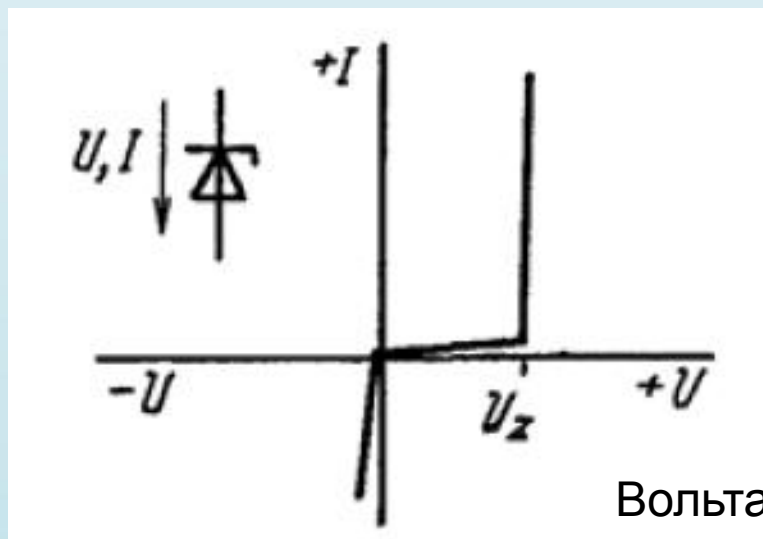
Коэффициент  $K$  зависит от размеров (диаметра и толщины диска), а показатель степени  $\alpha$  ( $\alpha > 25$ ) зависит материала варистора.

Энергия, поглощаемая варистором: 
$$W = \int_0^{\tau} i(t)u(t)dt$$

## Полупроводниковые ограничители

**Достоинства полупроводниковых ограничителей** – отсутствие времени запаздывания при срабатывании, сравнительно малая емкость.

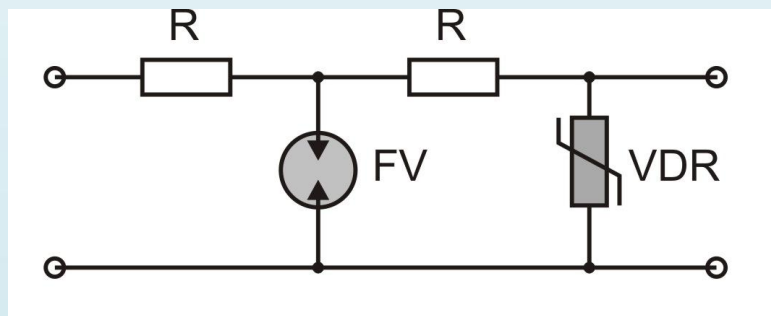
**Недостатки полупроводниковых ограничителей** – ограниченный диапазон рабочих напряжений и токов.



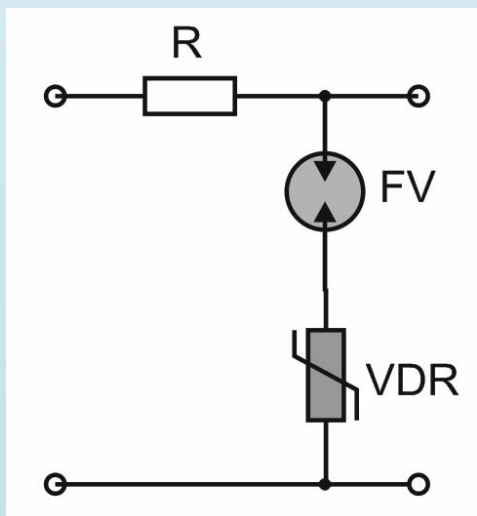
Вольтамперная характеристика стабилитрона

## Комбинированные схемы ограничения перенапряжений

Сочетают в себе достоинства отдельных элементов

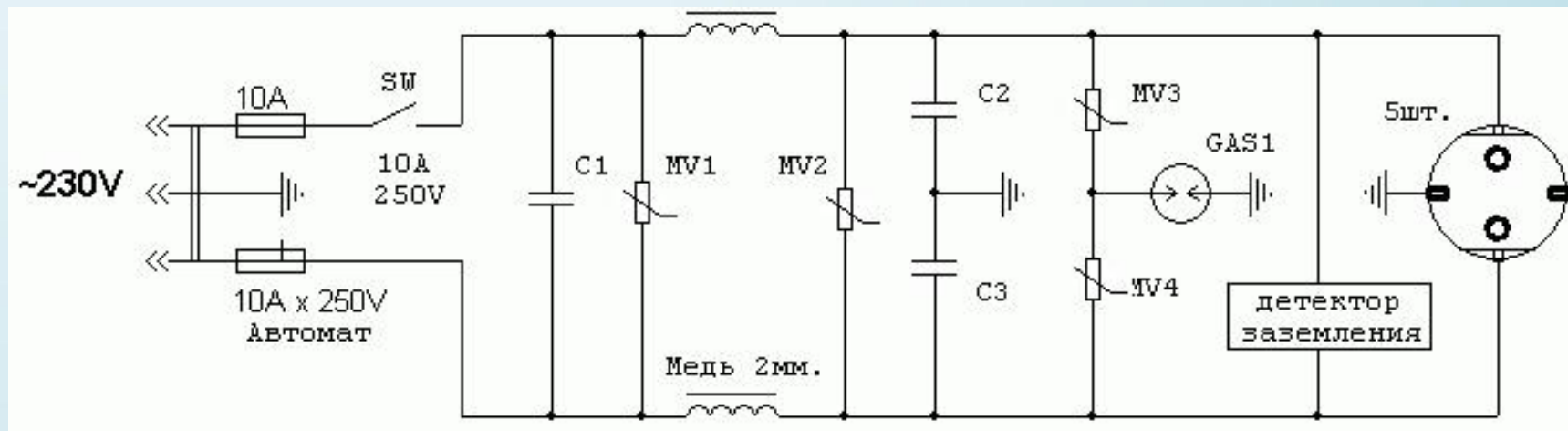


Ступенчатый фильтр разрядник – варистор. Достоинства – большая поглощаемая энергия, малое остающееся напряжение на выходе фильтра.



Последовательное включение разрядника и варистора с целью исключения горения дуги в разряднике после его срабатывания.

# Комбинированные устройства ограничения перенапряжений



**Схема сетевого фильтра APC E25-GR**

Предназначен для защиты цепей электропитания компьютеров, периферии и другой электронной аппаратуры от:

- импульсных перенапряжений и выбросов тока, возникающих в результате коммутации и работы промышленного оборудования
- высокочастотных помех, распространяющихся по сетям электропитания
- импульсных перенапряжений, возникающих в результате грозových разрядов



## **Грозовые микросекундные импульсные перенапряжения возникают:**

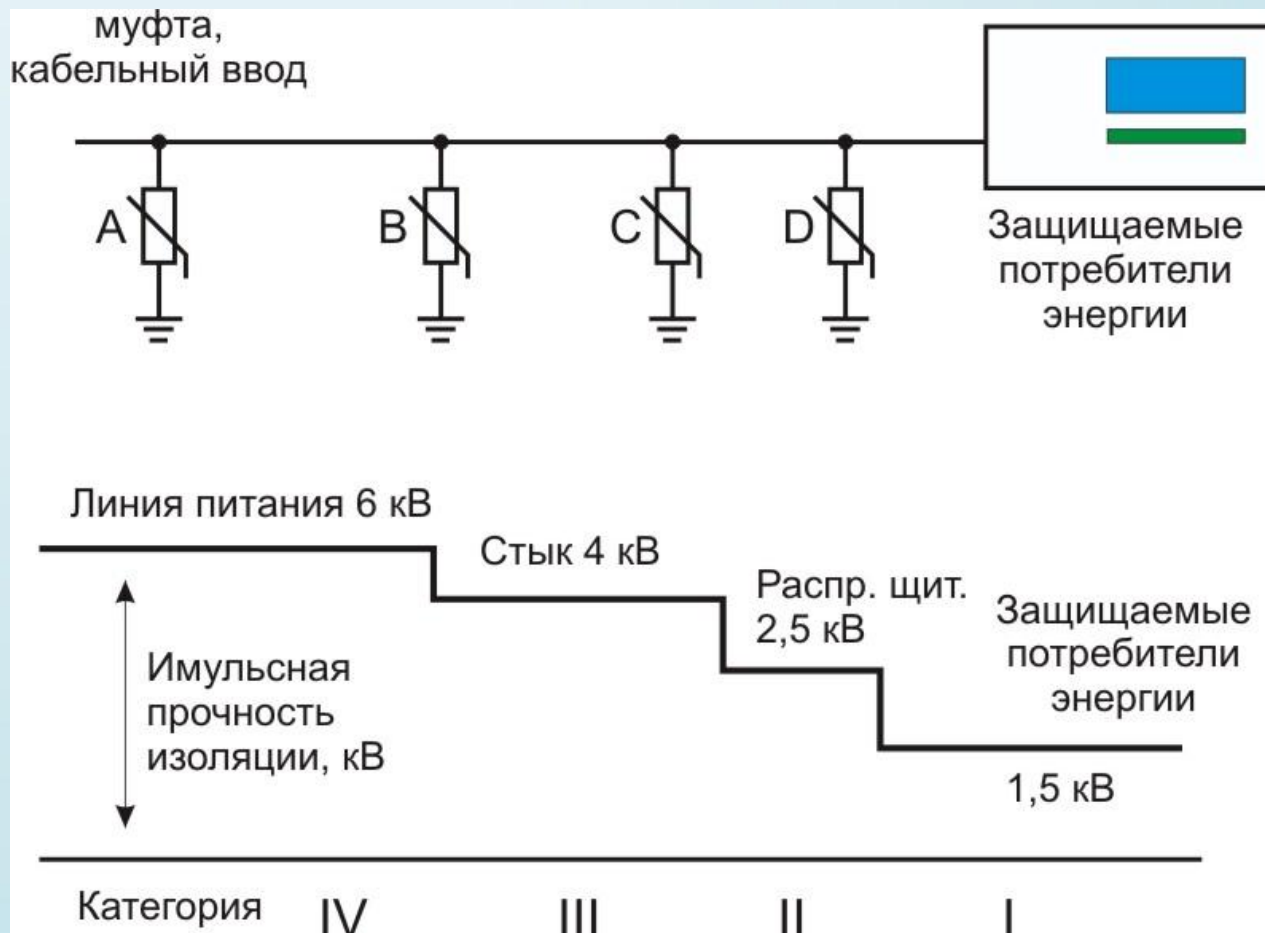
- при непосредственном ударе молнии в наружную цепь
- при косвенном ударе молнии (образующееся при этом электромагнитное поле индуцирует напряжение в проводниках цепей)
- при ударе молнии в грунт создается разность потенциалов в системе заземления

## **Коммутационные импульсы перенапряжения появляются в результате:**

- переключений в мощных системах энергоснабжения
- переключений в системах электроснабжения в непосредственной близости от электроустановок зданий
- резонансных колебаний напряжения в электрических сетях при работе тиристорных и симисторных устройств
- повреждений в системах, например, при коротких замыканиях на землю

# **Зонная концепция защиты приемников электроэнергии от перенапряжений**

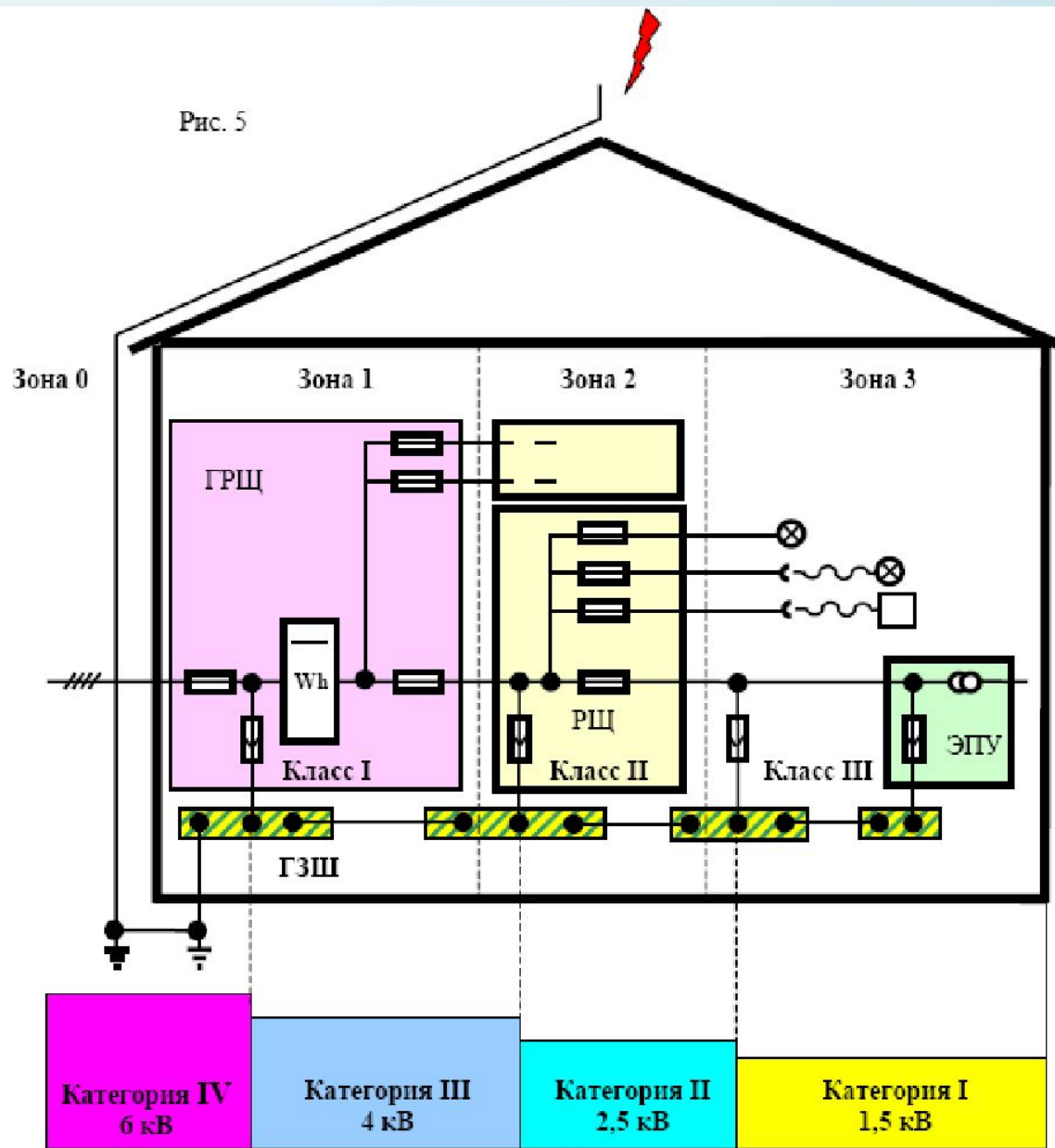
Эта концепция предусматривает одноступенчатую защиту вне помещений и трехступенчатую схему включения защитных устройств внутри помещения.

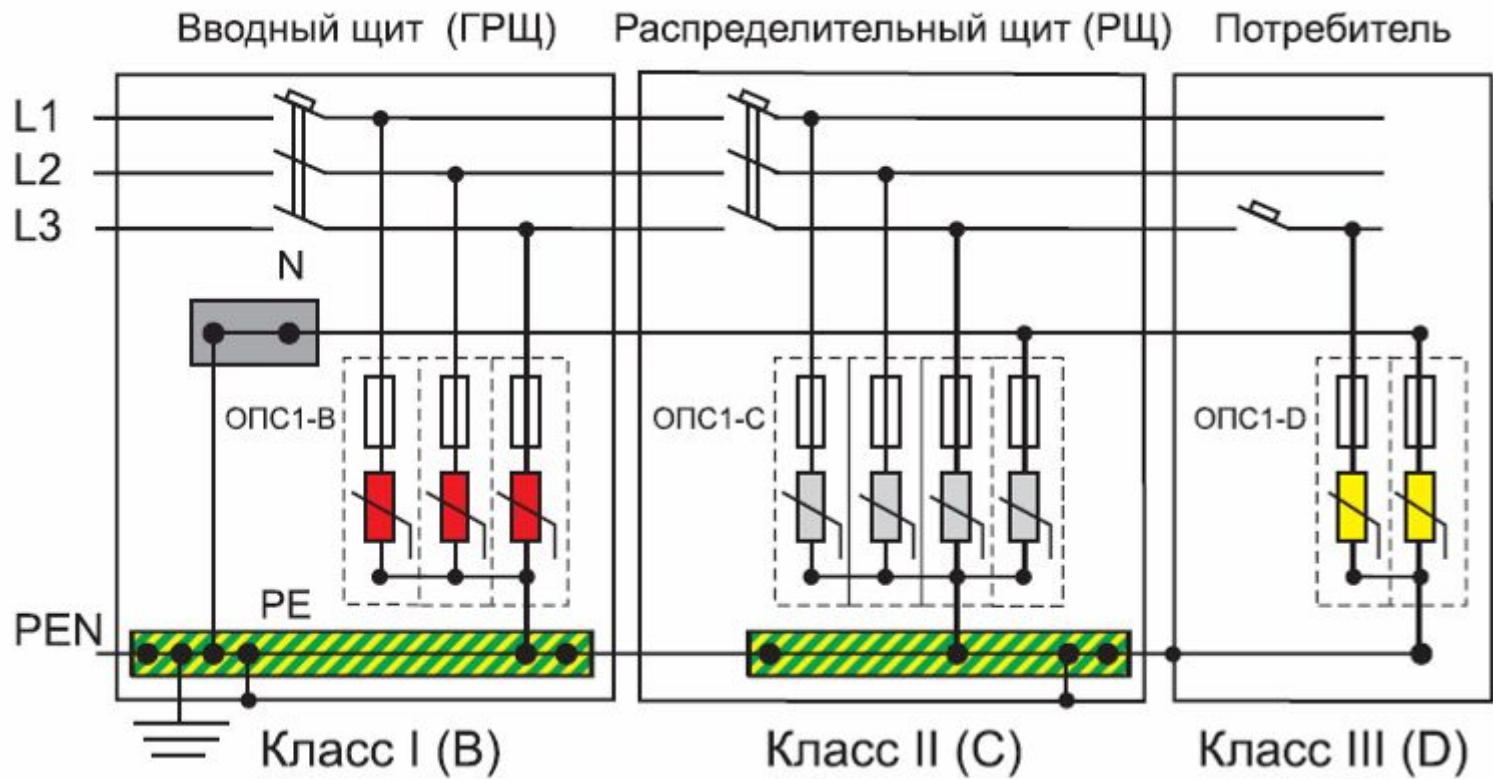


## КЛАССИФИКАЦИЯ УЗИП В СООТВЕТСТВИИ С ЗОННОЙ КОНЦЕПЦИЕЙ

- **Группа А** Ограничители этой группы предназначены для защиты устройств и сетей низкого напряжения от перенапряжений, возникающих вследствие попадания разрядов в объекты, находящиеся рядом с воздушными линиями электропередачи или прямо в линию на большом расстоянии от места установки этих ограничителей.
- **Группа В (Класс I в России)** Ограничители группы В - это первая степень защиты внутри объекта. Главная их задача -ограничение перенапряжений до уровня 4 кВ.
- **Группа С (Класс II в России)** Главной задачей ограничителей группы С (вторая степень защиты) является уменьшение перенапряжения, пропущенного через ограничители группы В и значение которого все еще велико для защищаемых устройств. Допускаемый уровень перенапряжения не более 2,5 кВ.
- **Группа D (Класс III в России)** Ограничители группы D предназначены для точной защиты потребителей, особенно чувствительных к коротким перенапряжениям и устойчивость изоляции которых не превышает 1,5 кВ.

Рис. 5





## Деление электропроводки на категории по перенапряжению

**Категория IV** - относится к устройствам, находящимся в первой части электропроводки: линии питания главных щитов, для которых импульсная устойчивость изоляции должна быть не менее 6кВ (ввиду прямого риска атмосферного перенапряжения или других видов перенапряжений).

**Категория III** - относится к устройствам и частям электропроводки (например, соединениям), подвергаемым опасности: атмосферных перенапряжений, сниженных ограничителями перенапряжения (типа А), установленными в первой части электропроводки; Защищаемые потребители энергии ETITEC D - перенапряжений от включения и выключения электрических устройств большой мощности.

**Категория II** - относится к устройствам, запитанным из распределительных щитов, подвергнутых риску атмосферных перенапряжений, сниженных ограничителями типа В.

**Категория I** - относится к таким частям электропроводки, в которых уровень перенапряжений определен ограничителями типа С.

# Вопросы к зачету

1. Пассивные фильтры. Их классификация и основные характеристики. Принцип работы.
2. Схемы помехоподавляющих фильтров низкой частоты. Сетевые помехоподавляющие фильтры и их элементы.
3. Ограничение перенапряжений. Элементы УЗИП, их характеристики, достоинства и недостатки.
4. Зонная концепция ограничения перенапряжений. Классы УЗИП и категории электропроводки.



**Спасибо за внимание !**