

Дисциплина называется Силовая Электроника. Также есть синонимы Силовая Преобразовательная техника, Энергетическая электроника.

Кафедра РАПС – первая в стране кафедра электропривода. Дисциплина начиналась с Промышленной электроники. Электронные приборы и устройства. Есть наука о приборах и устройствах, нелинейных.

Промышленная электроника – это продолжение ТОЭ в область нелинейных устройств. Может быть недостаточно для современного специалиста. Может оказаться недостаточно

приборы

электрические цепи

электронные устройства

управление, хранение, обработка информации

Было 200 часов, на силовую электронику 280 часов. Сейчас даже курсового проекта нет. Методички по курсовому проекту будут полезны для расчетов.

Дисциплина относится к силовым устройствам

- Генераторы  $G$
- Двигатели  $M$
- Трансформаторы  $T$
- $UZ$  – преобразователи электрической энергии из одного вида в другой.

Какие параметры электрической энергии известны?:

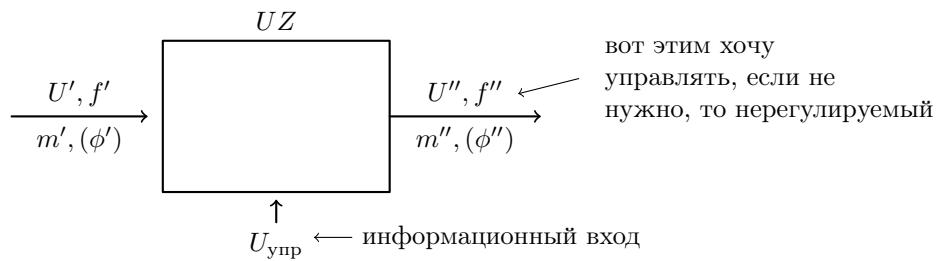
- $U_{mo}$  в розетке
- $U$
- $f$
- число фаз
- “Форма”

$G$  преобразует механическую энергию в электрическую. Аккумулятор не зарядишь переменным током. Электролиз – алюминий из бокситов, требует постоянного тока. Управление скоростью двигателей в производстве.

Чего в мире больше:  $G$ ,  $M$ ,  $T$ ,  $UZ$ ? Лифт не круглосуточный, предприятия ночью не работают.  $G$  не загружены полностью.  $T$  – по мощности больше всего. В среднем от одного  $G$  до потребителя 3.5  $T$  трансформатора. 6,10,35kV.

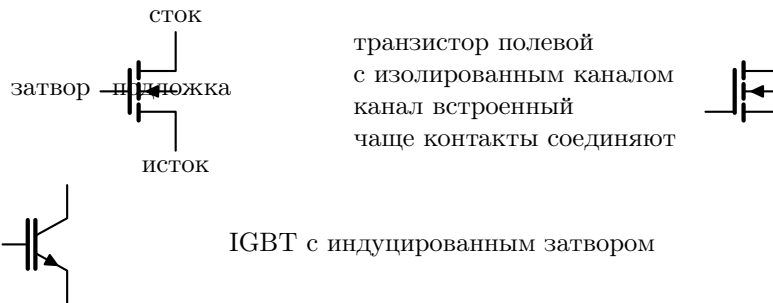
Электропривод, управляющий механизм. Электролиз, гальваника.

Задан вопрос на который у самого нет ответа.



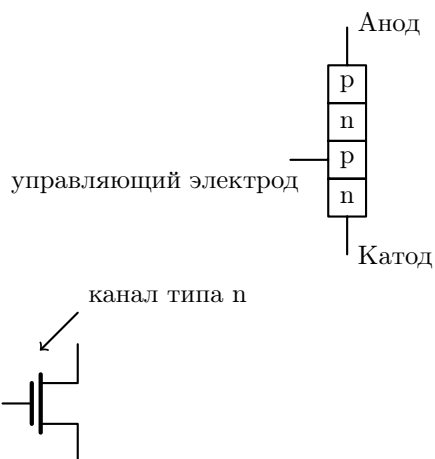
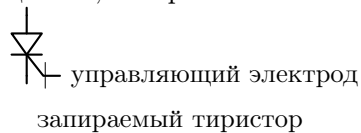
## 0.1 Силовые полупроводниковые приборы

Нарисую УГО прибора:



Я знаю, что читали приборы. Приборы надо знать, надо знать их характеристики, как ими пользоваться.

Чем силовые полупроводниковые приборы отличаются от несиловых: мощность, габариты.

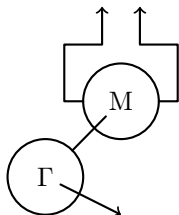


В течении двух недель изучить по любому учебнику по СПП (силовые полупроводниковые приборы). По программе ну отведено ни одного

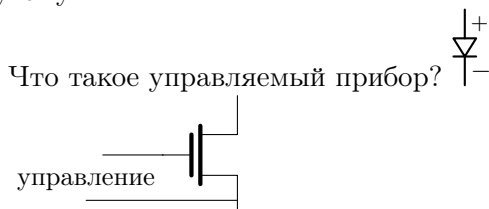
часа.

Силовые полупроводниковые приборы начали применяться с середины XX века. До этого были ионные приборы, электровакуумные. Чем они были хуже будем оценивать с точки зрения силовой электроники. Допустим, что нет никаких приборов, ни ионных, ни электровакуумных на планете.

Были механические преобразователи

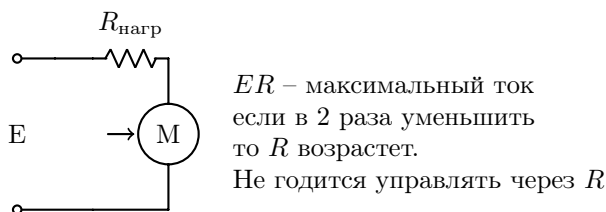


И получу на выходе, что что мне нужно:  $\mathcal{E} \rightarrow \text{М} \rightarrow \mathcal{E}$ . У силовых преобразователей КПД самый главный параметр. В компьютере всё по-другому.



Сопротивление меняется, можно плавно регулировать, значит  $R$  меняется, значит не могу силовой прибор использовать.

Чем отличается ЭДС от напряжения? В розетке ЭДС или напряжение. Напряжением будем считать ЭДС + плюс падение на внутреннем сопротивлении.

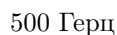


*Все полупроводниковые приборы должны работать в ключевом режиме – железное правило*

Как во всяком правиле есть исключения: если мощность не очень большая.

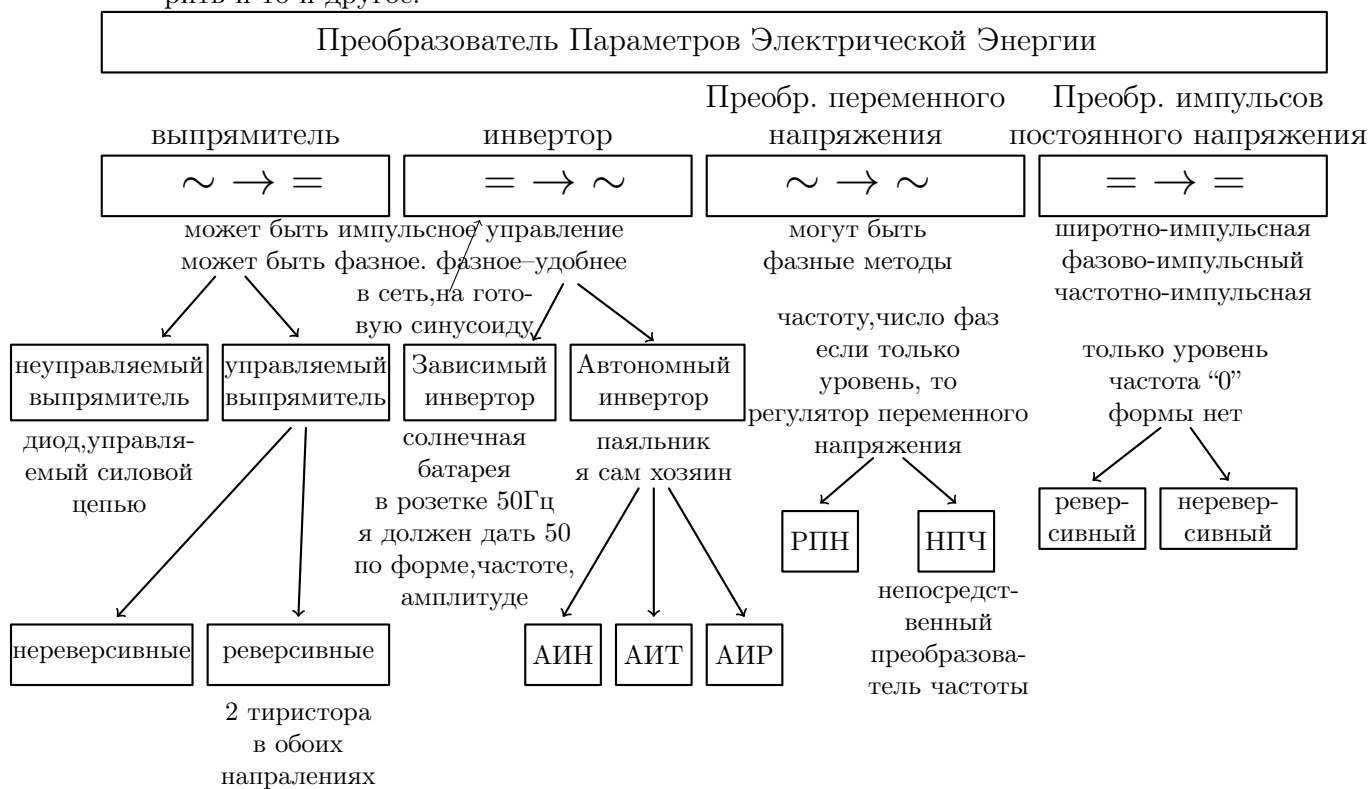
Неразумно отводить мощность от полупроводникового прибора (ПП), поэтому используется ключевой режим.

Импульсный режим 0,100,0,100 – 50%

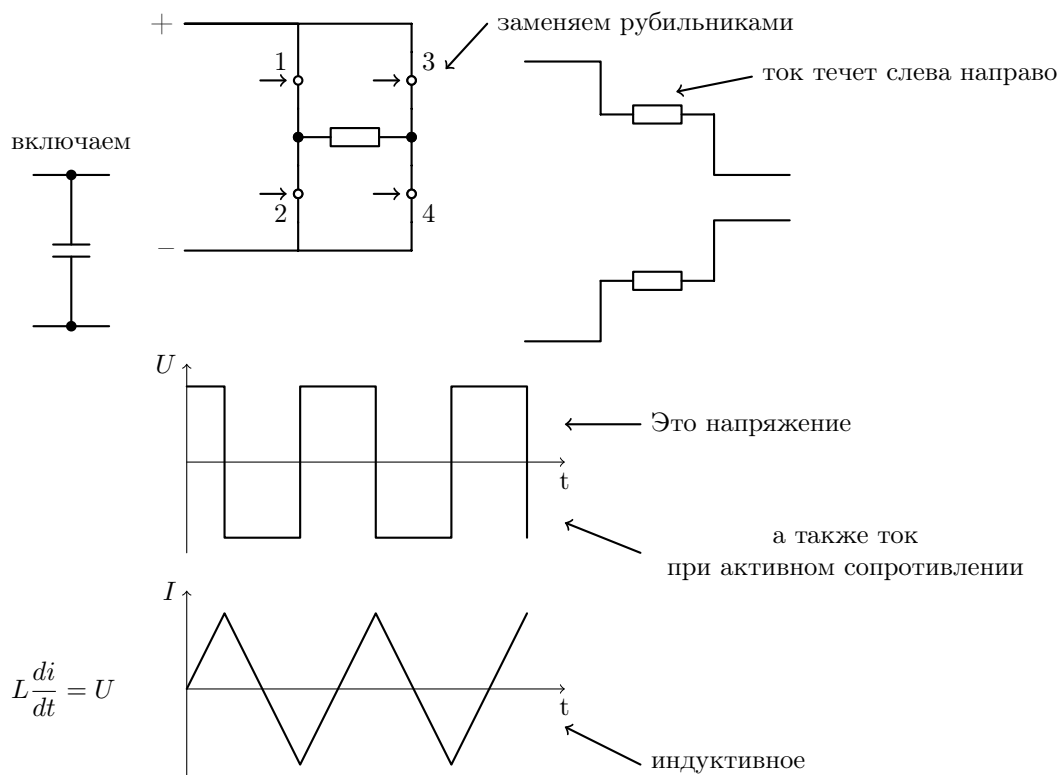


## 0.2 Классификация силовых полупроводниковых преобразователей электрической энергии

Существует много классификаций, в основу кладется тот или иной классификационный признак. Мы сделаем классификацию на основе противопоставления переменного и постоянного тока. Выпрямитель напряжения или тока? Немного нефизично.  $I$  – производить основную работу (ампер-часы). Но  $U$  является средством получения тока. Так что можно говорить и то и другое.



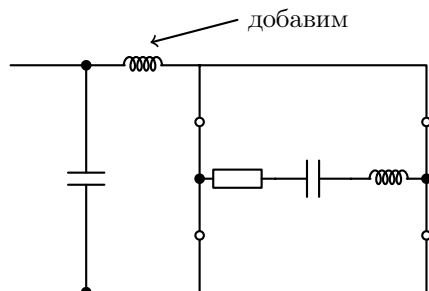
АИН –формирует на выходе кривую напряжения. АИТ – формирует на выходе кривую тока. Помним, что все приборы работают в ключевом режиме.



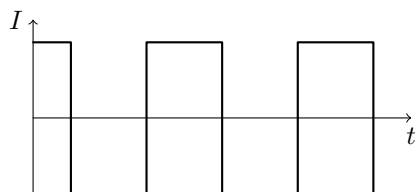
Конденсатор ставить в качестве нагрузки нельзя

$$i_c = C \frac{du_c}{dt} \quad \frac{du}{dt} = \infty$$

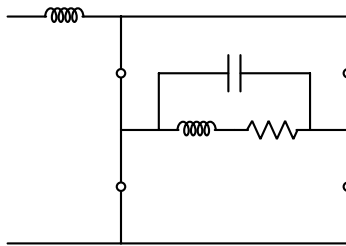
Если нельзя, но очень хочется то можно



Включаем в нагрузку. Ток в этой индуктивности

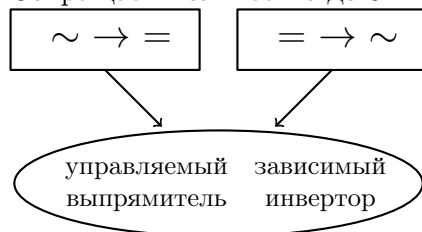


Если вставили индуктивность на входе, то теперь индуктивность в нагрузку нельзя. Если на входе индуктивность, то индуктивность в нагрузку нельзя.



АИР(автономный инвертор резонансный) резонансного типа. Для нашей специальности не очень подходит. Резонансный – значит частоту изменить не можем. Применяется для закалки стали.

Сокращаем количество до 8ми. Генераторы → Моторы.



Если энергия пошла в обратную сторону. Рассмотрим управляемый выпрямитель.

НПР ↔ Реверсивный выпрямитель. При одном направлении тока, а если поставить второй транзистор. И ток и напряжение можно инвертировать.

Переменное напряжение  $\sim$  – это постоянное, которое меняется по уровню и направлению.

$50 \sim \approx 500$

Непосредственный – это не 2х ступенчатый преобразователь (преобразователь частоты со звеном постоянного тока).

Это классификация одноступенчатых преобразователей.

НПЧ – одноступенчатый преобразователь!

Реверсивный постоянного ↔ АИН. Осталось 8, но это неполная классификация.

$\boxed{= \rightarrow =}$  – по квадрантам.

Другие классификационные признаки, выбирается параметр, по нему идет классификация.

2-й параметр) по типам силовых полупроводниковых приборов.

неуправляемые – диоды

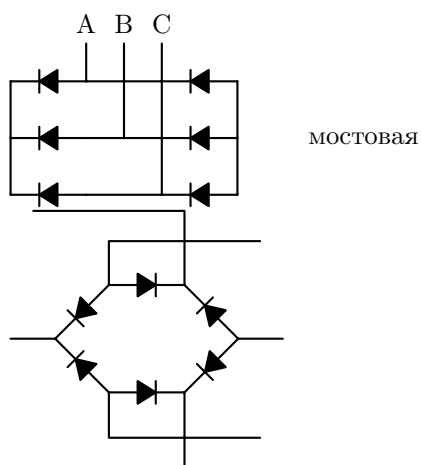
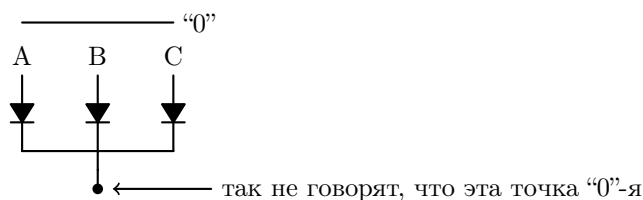
управляемые – однозначно тиристоры

Транзисторов достаточно много. Тиристор – отпираемые, незапираемые по управляющему току семистор.

3-й параметр) – тип силовой схемы.

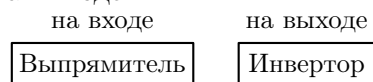
- нулевые схемы – трансформаторы с выводом “0”-й точки.  
 мостовые – содержат две нулевых. (Одна схема – объединены катоды, другая – аноды)

кольцевые  
 комбинированные



4-й признак

С трансформатором или нет. Трансформатор может быть на входе и на выходе.



5-й признак – число фаз

6-й признак – по уровню напряжения >1000 Вольт В последних гостах по среднему уровню напряжения 6|10|35 kV.

7-й признак – по назначению.

- для возбуждения
- для зарядки (электрокары)
- для гальваники

8-й признак – по конструктивному обозначению

- IR – защитная оболочка от окружающей среды
- IR=0 – открытое
- IR=23
- IR=65 – пыле-влаго

Классификация, на нее буду ссылаться

По приборам или перейти к первому типу.

Диоды	Тиристоры	Транзисторы
обычные	обычные	биполярные
быстровосста-	симметричные(симисторы)	униполярные
навливающиеся	запираемые	pn переходом
Шотки		с изолированным затвором
		со встроенным
		с индуцированным

Варисторы, стабилитроны(кремнивые ограничители). Везде делает-ся акцент на большую мощность.

9-й признак – диапазон мощности современных устройств от заряд-ки телефона, до линий передач постоянным током  $10^4$ , была линия  $10^5$  Вольт.

$$U \quad 10^0..10^4 \text{В}$$

$$I \quad 10^{-2}..10^4 \text{А}$$

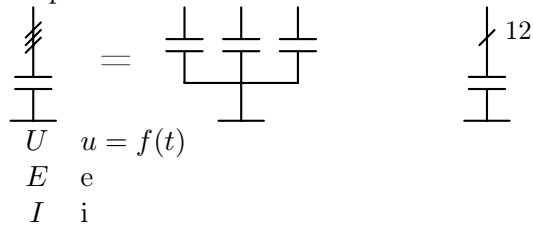
$$P \quad 10^{-1}..10^6-10^7 \text{Вт}$$

$$T \quad 0;0.50,100,200,400\text{Гц}..10^4 \quad (10^5 \text{Hz})$$

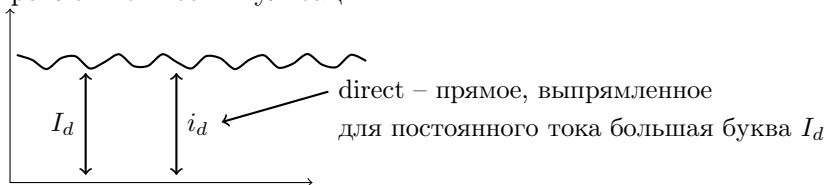
$10^5$  используется несущая частота, а не рабочая частота. — доли мик-рогерци, 1MGz – это сопротивление значительное.

### 0.3 Выпрямители

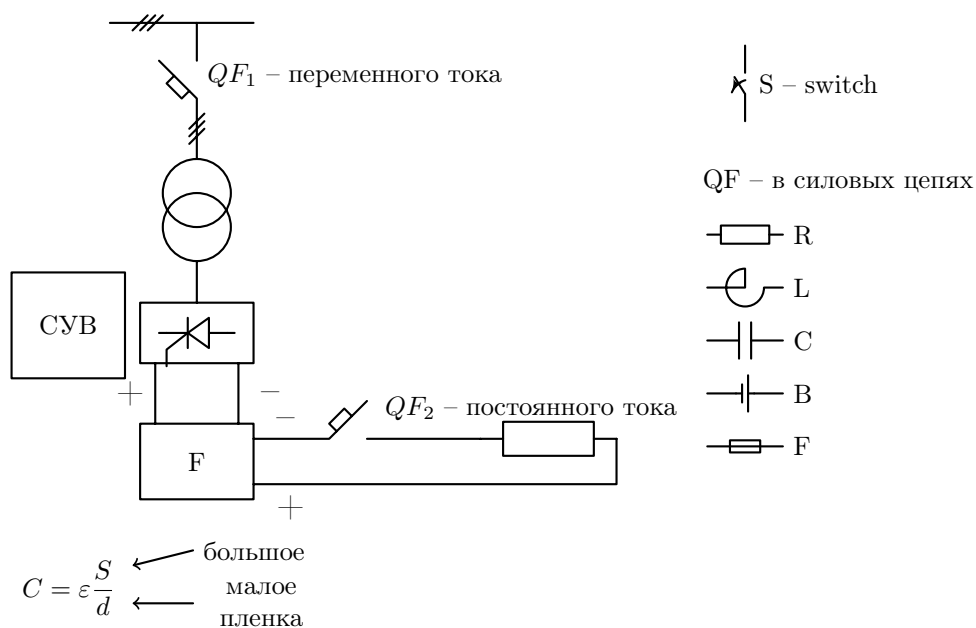
Установки большой мощности всегда трехфазные. В квартирах разво-дятся так, чтобы напряжение было приблизительно одинаковые в сред-нем для разных фаз. Будем использовать однолинейное изображение многофазных сетей



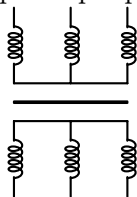
$I$  – действующее или среднеквадратичное значение. Постоянное по направлению и есть пульсации.







Электролитический конденсатор пропитан проводящим раствором, создается пленка. Выключатели по включению по часовой стрелке. Трансформаторы рисуют так:



VB – выпрямительный блок. На выходе выпрямителя есть фильтр.

СУВ – система управления выпрямителя, включает в себя диагностику, измерения, сигнализацию, контроль, защиты.

Назначение трансформатора:

- Т – изменяет уровни напряжения

$$U_1 \rightarrow U_2$$

- Т – преобразование числа фаз.

$$m_2 \rightarrow m_1$$

- гальваническая развязка
- сопротивление К.З.; ограничение тока короткого замыкания Т.К.З. Электрические аппараты должны быть устойчивы к токам К.З. Чтобы К.З. не развивалось. Не должно приводить к выводу других приборов.

Есть термическое, динамическое, всё это  $I_{КЗ}^2$ .

$I_{КЗ} = 100$ , нагрев  $10^4$

Специальные токоограничивающие реакторы.

$I_{КЗ} \approx$  кратен  $I_{ном}$  5..10..15 раз.

Рассмотрим производственное помещение, превышение 5..10..15 раз в трансформаторе, а для станков это много.

Т, вернее его  $R$  – естественный ограничитель, в некоторых случаях можно выбросить. Если нужен только токоограничитель, то ставим токоограничивающий реактор.



СУВ = СИФУ – система импульсно-фазового управления. Реализуется теми же программными средствами в микроконтроллере. выходной сигнал. через усилитель мощности подается сигнал.

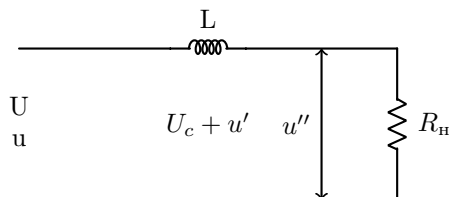
Фильтр: Всегда задаю вопрос, что такое

$R$  – коэффициент пропорциональности  $\frac{U}{I}$   
 $L$  – коэффициент пропорциональности  $\frac{\Psi}{I} = \frac{\omega\Phi}{I}$   
 $C$  –  $\frac{q}{U}$

Любая из этих величин философская, физическая.  $R$  – это потери! В нашем случае КПД на первом месте!

- $L$
- $C$
- $L-C$
- $C-L$  Г-образная
- $C-L-C$  Т-образная

Основные характеристики фильтра: Во сколько раз снижается пульсаций.

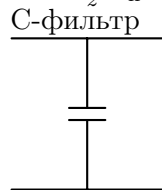


Обмотка возбуждения генератора это хорошо?

Коэффициент сглаживания фильтра  $= \frac{u''}{u'}$

$$Z = \sqrt{R_n^2 + (\omega L)^2}$$

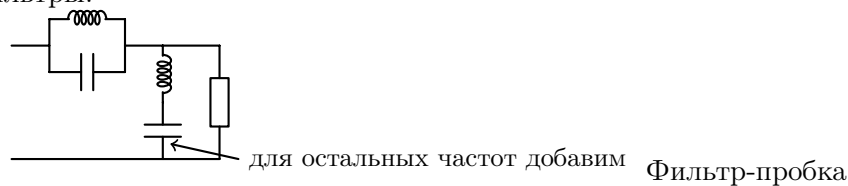
Отсюда коэффициент сглаживания фильтра =  
 $K = \frac{u'}{\frac{u'}{Z} R_n} = \frac{Z}{R_n} = \sqrt{1 + (\omega T)^2} \approx \omega T$ , при  $\omega T = 4$



Пульсация до установки на пульсацию после. Фильтр будет хорошо действовать когда будут диоды, будет их запирасть.

Коэффициент сглаживания фильтров – самостоятельно. Зарисовать схемы.

Это классические реактивные фильтры. Существуют резонансные фильтры.

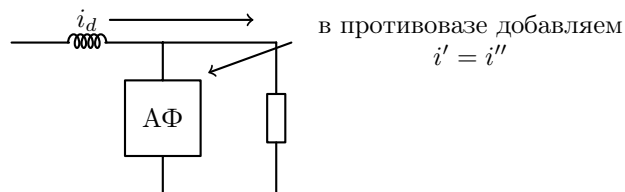


$$\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Теоретически задержит полностью. Он эффективен только на одной частоте.  $\omega_{\text{рез}}$  – здесь на резонансной частоте сопротивление 0

В последнее время применяют активные фильтры.

Активный генератор переменной составляющей:



Это тоже что и резонансный фильтр, но <имеет собственный источник энергии>. Это тоже преобразователь.

Д.з. – транзисторы и фильтры.

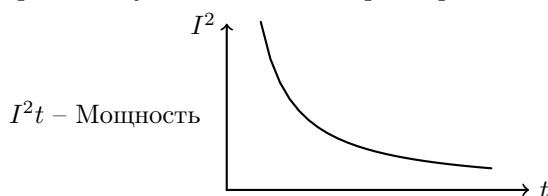
## 0.4 Элементы защиты

L и C выдержит пока не горит изоляция. Основной элемент ПП - кристалл очень малых размеров

Трансформатор, реактор, мотор можно перегружать в десятки раз. ПП – граммы. Защита по току очень важна.

ПП – прочность обратного рп-перехода ограничена. Малое время для защиты по току (быстродействующая защита). А по напряжению защита нет. Если перенапряжение состоялось, то всё распространяется со скоростью света. Защита по напряжению, по недопущению перенапряжения.

Из-за малой теплоемкости по току защита  $10^{-3} \dots 10^{-2}$ . Существуют быстродействующие плавкие предохранители.



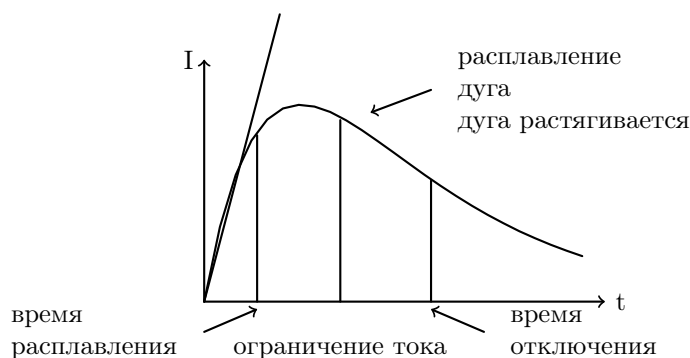
Обычные плавкие предохранители олово+медь. Используется плавкая вставка из технического серебра 99.9% техническое чистое серебро (драгоценный, но не благородный металл). Плавкая вставка должна быть меньше чем ПП, чтобы быстро сгорела – она должна быть горячей в нормальном режиме.

$$W = \left( \int I^2 dt \right)_{\text{тиристора}} > W_{\text{предохранителя}}$$

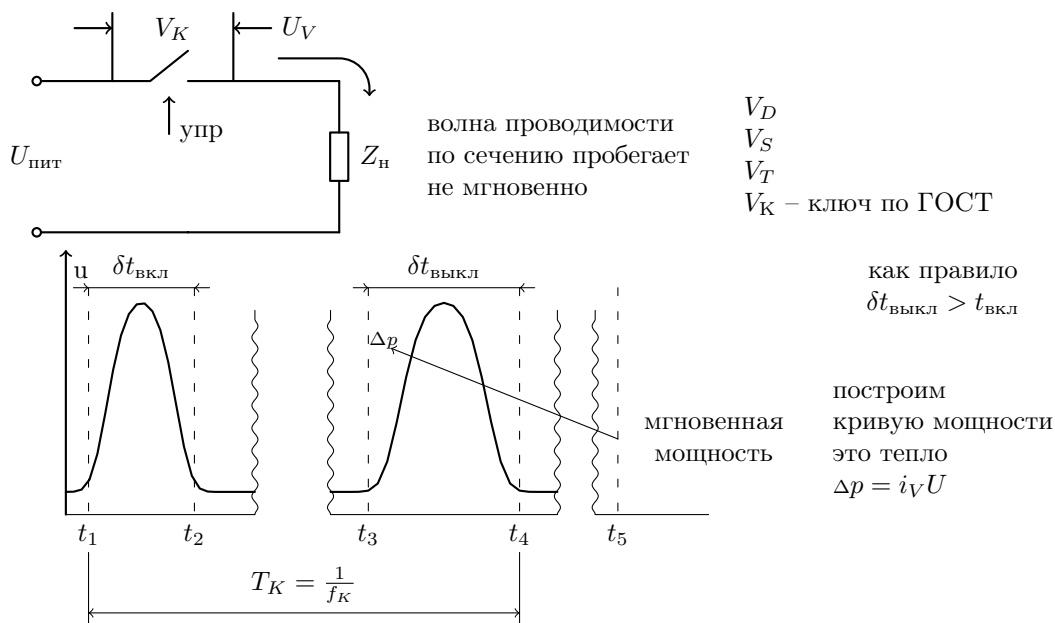
В этом случае тиристор может выдержать.

Все зависит от отношения

$$\frac{I^2 R}{c} \leftarrow \begin{array}{l} \text{– мощность} \\ \text{– теплоемкость} \end{array}$$



## 0.5 Требования ключевого режима



Энергия в секунду = мощность.

$\Delta P = \frac{w}{T_K}$  – энергия в сек, мощность.

$$= f_K \int_{t_1}^{t_1+T_K} U_V i_V dt$$

где  $f_K$  – энергия потерь на переключении.


- мощность, выделяемая в открытом состоянии


- мощность в закрытом состоянии

1)  $\gg$  2)

Чем больше частота, тем больше потери, но частоту нужно повышать.

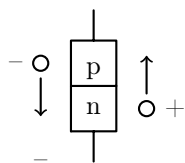
## 0.6 Основные типы полупроводниковых приборов

Приборы неуправляемые – диоды 

стабилитроны 

КСОН – кремниевый стабилизированный ограничитель напряжения.

варисторы 



транзисторы	{	МДП	–	метал-диэлектрик-полупроводник
		МОП	–	метал-оксид-полупроводник
		униполярные		
		с изолированным затвором		

## 0.7 Вольт-амперная характеристика