

**МАЛЬЦЕВ**  
**НИКОЛАЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**8- 905- 558- 04-29**

**E-mail: [maltsevn @ mail.ru](mailto:maltsevn@mail.ru).**



# Электропитание РЭА

## ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ РЭА

Все средства электропитания можно разделить на **первичные и вторичные**.

К **первичным** обычно относят такие средства, которые **преобразуют неэлектрическую энергию в электрическую**, например, электромеханические генераторы, электрохимические источники - аккумуляторы или гальванические элементы, фотоэлектрические генераторы - солнечные батареи и фотоэлементы, термоэлектрические источники и др.

**Средства вторичного электропитания** электронных устройств, называемые обычно **источниками вторичного электропитания (ИВЭП)** предназначены для формирования необходимых для работы электронных элементов напряжений с заданными характеристиками. Они могут быть выполнены в виде отдельных или входить в состав различных функциональных электронных узлов. Их основной задачей является преобразование энергии первичного источника в комплект выходных напряжений, которые могут обеспечить нормальное функционирование электронного устройства.

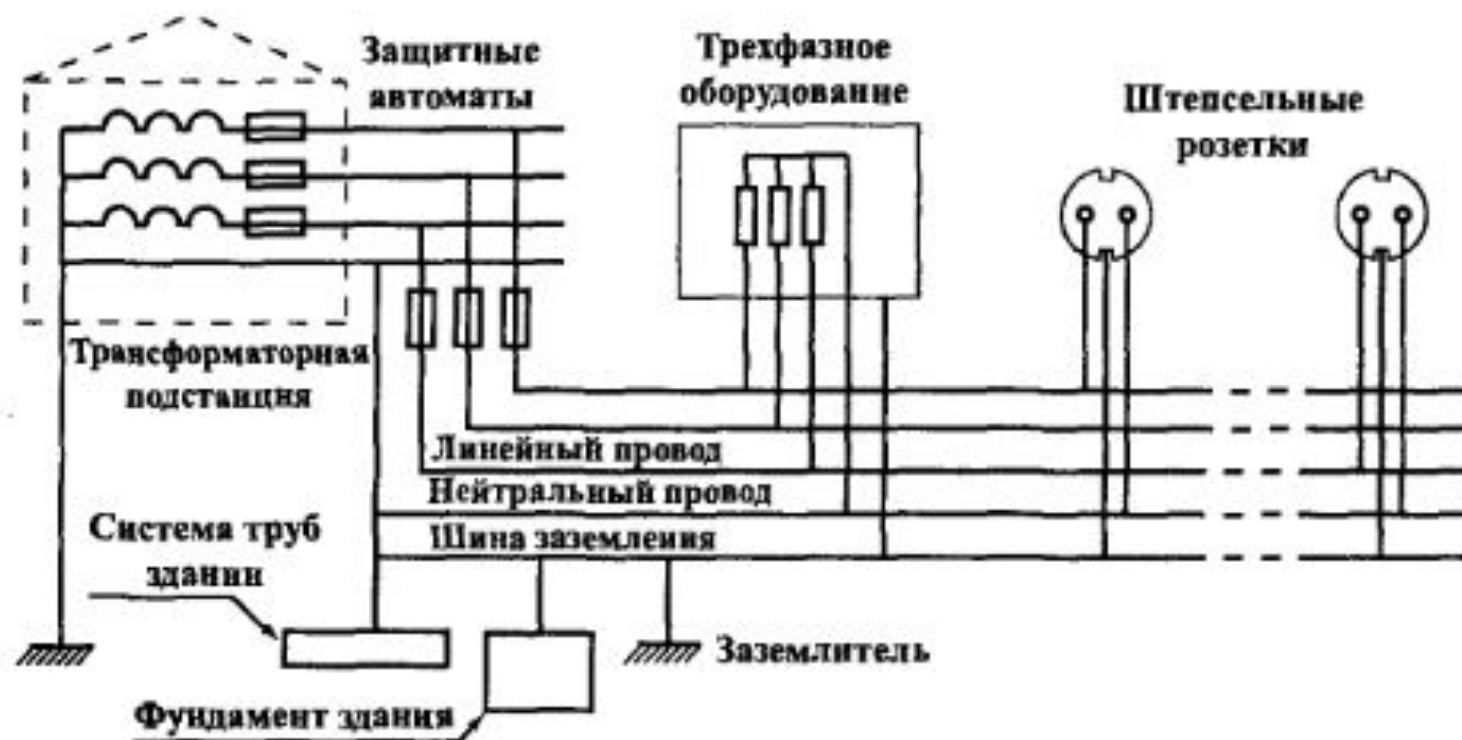


Рис. 5.14. Схема цепей электропитания здания

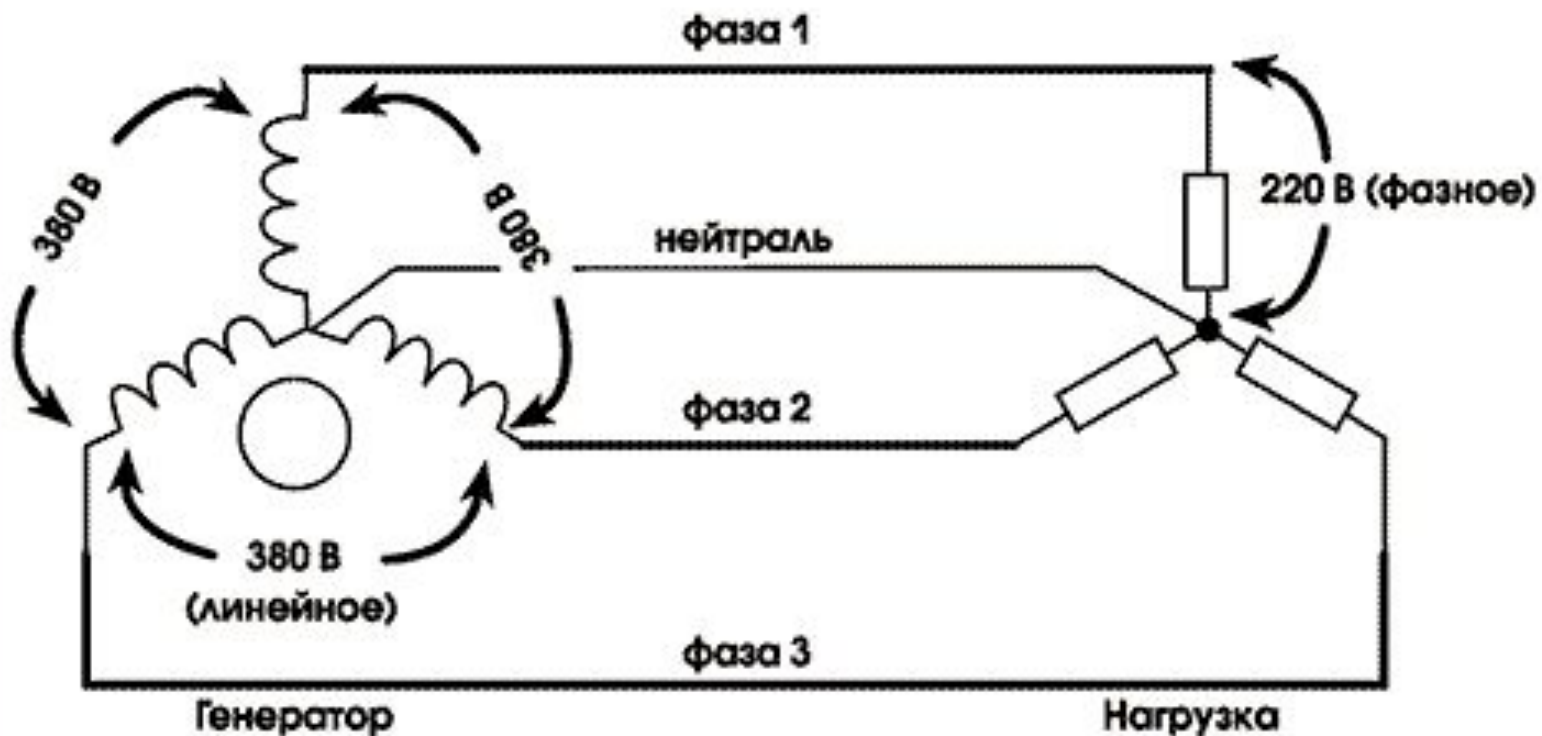
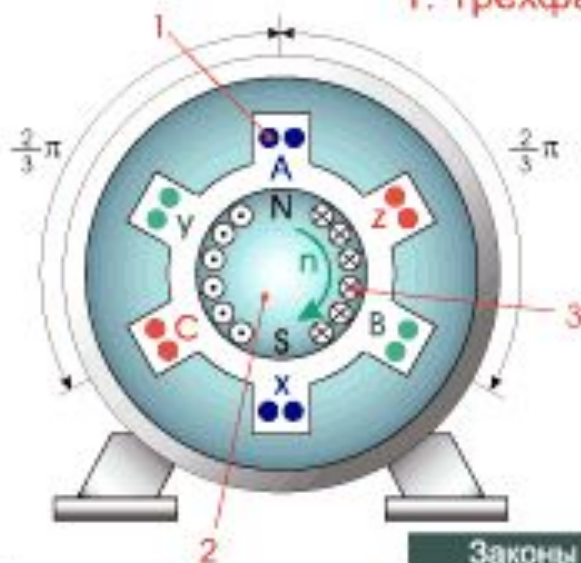


Рис. 1. Четырехпроводная трехфазная сеть

# Трехфазные электрические цепи

## 1. Трехфазные генераторы



Условные обозначения:

- 1 - трехфазная обмотка статора
- 2 - сердечник ротора
- 3 - обмотка возбуждения

Законы изменения ЭДС при  
прямом порядке чередования фаз

$$e_a = E_m \sin \omega t$$

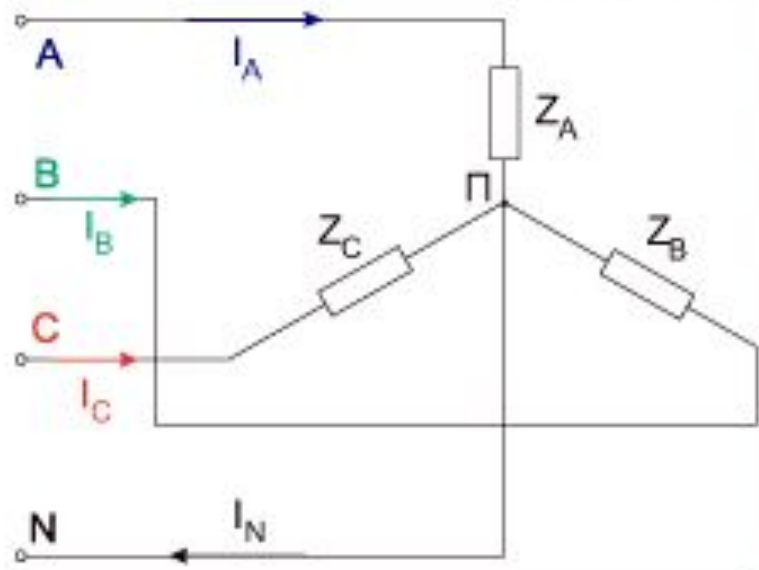
$$e_b = E_m \sin (\omega t - 120^\circ)$$

$$e_c = E_m \sin (\omega t - 240^\circ)$$



## Трёхфазные электрические цепи

### 3. Соединение потребителя по схеме "звезда"



$I_A, I_B, I_C$  фазные (линейные) токи потребителей  
 $I_N$  уравнивающий ток  
 п - нейтральная точка потребителя

Уравнивающий ток равен геометрической сумме фазных токов

$$\dot{i}_N = \dot{i}_A + \dot{i}_B + \dot{i}_C$$

На основании закона Ома

$$I_\phi = \frac{U_\phi}{Z_\phi} = \frac{U_\Delta}{\sqrt{3} Z_\phi}$$

В цепи с нейтральным проводом фазные напряжения потребителя равны фазным напряжениям источника

При одинаковых сопротивлениях фаз нагрузка будет симметричной.



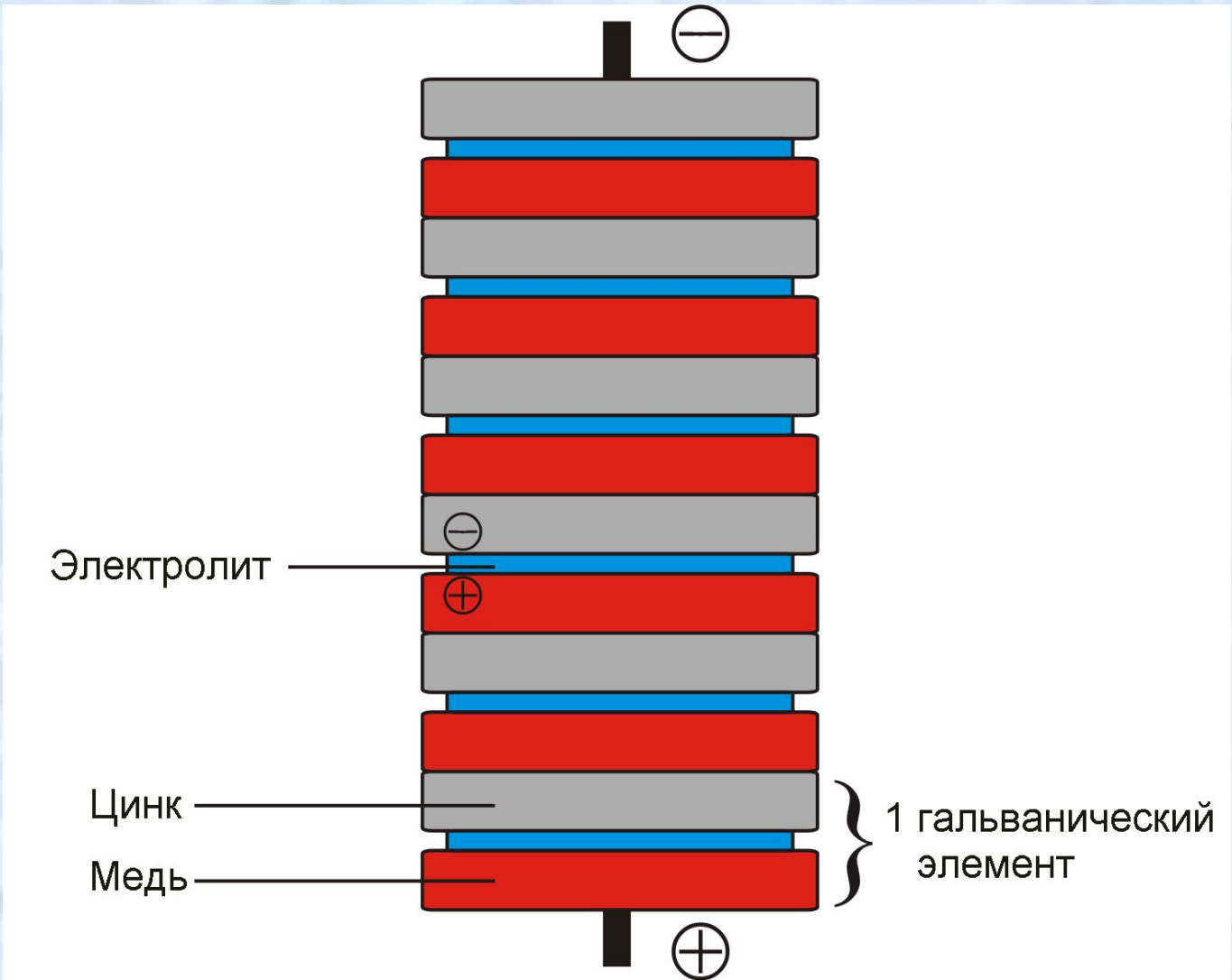
- **Химические источники тока** — устройства, в которых энергия протекающих в них химических реакций непосредственно превращается в электрическую энергию



- Первый химический источник тока был изобретён итальянским учёным [Алессандро Вольта](#)Первый химический источник тока был изобретён итальянским учёным Алессандро Вольта в [1800](#) году. Это был *элемент Вольта* — сосуд с солёной водой с опущенными в него цинковой и медной пластинками, соединенными проволокой. Затем учёный собрал [батарею](#) — сосуд с солёной водой с опущенными в него цинковой и медной пластинками, соединенными проволокой. Затем учёный собрал батарею из этих элементов, которая впоследствии была названа [Вольтовым столбом](#) — сосуд с солёной водой с опущенными в него цинковой и медной пластинками, соединенными проволокой. Затем учёный собрал батарею из этих элементов, которая впоследствии была названа Вольтовым столбом. Это изобретение впоследствии использовали другие учёные в своих исследованиях. Так, например, в [1802](#) — сосуд с солёной водой с опущенными в него цинковой и медной пластинками, соединенными проволокой. Затем учёный собрал батарею из этих элементов, которая впоследствии была названа Вольтовым столбом. Это изобретение впоследствии использовали другие учёные в своих исследованиях. Так, например, в 1802 году русский академик [В. В. Петров](#) — сосуд с солёной водой с опущенными в него цинковой и медной пластинками, соединенными проволокой. Затем учёный собрал батарею из этих элементов, которая впоследствии была названа Вольтовым столбом. Это изобретение впоследствии использовали другие учёные в своих исследованиях. Так, например, в 1802 году русский академик В. В. Петров сконструировал Вольтов столб из 2100 элементов для получения [электрической дуги](#) — сосуд с солёной водой с опущенными в него цинковой и медной пластинками



Алессандро Вольта  
1745-1827



# ВОЛЬТОВ СТОЛБ

- **Гальванический элемент** — химический источник электрического тока, названный в честь Луиджи Гальвани — химический источник электрического тока, названный в честь Луиджи Гальвани. Принцип действия гальванического элемента основан на взаимодействии двух металлов через электролит — химический источник электрического тока, названный в честь Луиджи Гальвани. Принцип действия гальванического элемента основан на взаимодействии двух металлов через электролит, приводящем к возникновению в замкнутой цепи электрического тока. ЭДС гальванического элемента зависит от материала электродов и состава электролита. Сейчас широко распространены следующие гальванические элементы:

- Основу химических источников тока составляют два электрода (катод, содержащий окислитель и анод, содержащий восстановитель), контактирующих с электролитом. Между электродами устанавливается разность потенциалов — электродвижущая сила, соответствующая свободной энергии окислительно-восстановительной реакции. Действие химических источников тока основано на протекании при замкнутой внешней цепи пространственно разделённых процессов: на катоде восстановитель окисляется, образующиеся свободные электроны переходят, создавая разрядный ток, по внешней цепи к аноду, где они участвуют в реакции восстановления окислителя.
- В современных химических источниках тока используются:
- в качестве восстановителя (на аноде) — **свинец**  $Pb$ , **кадмий**  $Cd$ , **цинк**  $Zn$  и другие металлы;
- в качестве окислителя (на катоде) — **оксид свинца(IV)**  $PbO_2$ , **гидрооксид никеля**, гидроксооксид никеля  $NiOOH$ , **оксид марганца(IV)**  $MnO_2$  и другие;
- в качестве электролита — **растворы щелочей, кислот или солей.**

- **Гальванический элемент** — химический источник электрического тока, названный в честь Луиджи Гальвани, который впервые обнаружил возникновение разности потенциалов при контакте разных видов металла с электролита.
- Принцип действия гальванического элемента основан на взаимодействии двух металлов через электролит, приводящем к возникновению в замкнутой цепи электрического тока. ЭДС гальванического элемента зависит от материала электродов и состава электролита. Сейчас широко распространены следующие гальванические элементы:



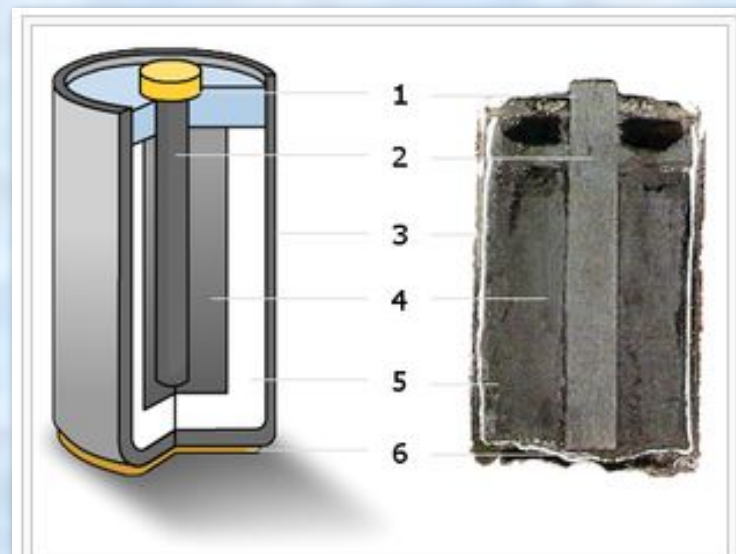
**Электропитание РЭА**  
**Автономные источники**  
**электропитания**

- По возможности или невозможности повторного использования химические источники тока делятся на:
- **гальванические элементы** (первичные ХИТ), которые из-за необратимости протекающих в них реакций, невозможно перезарядить;
- **электрические аккумуляторы** (вторичные ХИТ) — перезаряжаемые гальванические элементы, которые с помощью внешнего источника тока (**зарядного устройства**) можно перезарядить;
- **топливные элементы** (электрохимические генераторы) — устройства, подобные гальваническому элементу, но отличающиеся от него тем, что вещества для электрохимической реакции подаются в него извне, а продукты реакций удаляются из него, что позволяет ему функционировать непрерывно.



- По типу используемого **электролита** химические источники тока делятся на:
- **солевые** (например, марганцево-магниевый элемент, цинк-хлорный аккумулятор);
- **щелочные** (например ртутно-цинковый элемент, ртутно-кадмиевый элемент, никель-цинковый аккумулятор, никель-кадмиевый аккумулятор);
- **литиевые** (литиевые аноды, органический электролит и катоды из различных материалов);
- **кислотные** (например свинцово-кислотный аккумулятор, свинцово-плавиковый элемент).

- **Солевой элемент- марганцево-цинковый гальванический элемент (элемент Лекланше), в котором анодом является двуокись марганца  $MnO_2$  (пиролюзит) в смеси с графитом (около 9,5 %), катодом - металлический цинк  $Zn$ , электролитом - солевой раствор (хлорида аммония  $NH_4Cl$ ),**



Марганцево-цинковый элемент.

- (1) — металлической колпачок,
- (2) — графитовый электрод («+»),
- (3) — цинковый стакан («-»),
- (4) — оксид марганца,
- (5) — электролит,
- (6) — металлический контакт.

# Солевые элементы (батарейки)

## Положительные эксплуатационные свойства:

- низкая конечная стоимость, определенная низкими затратами производителя;
- удобство использования;
- удовлетворительные для большинства областей применения электрические параметры.

## Эксплуатационные недостатки солевых элементов :

- резкое падение напряжения в течении разряда;
- значительное снижение отдаваемой емкости при увеличении разрядных токов до значений, необходимых для современных устройств;
- резкое ухудшение характеристик при отрицательных температурах;
- маленький срок хранения (порядка двух лет).

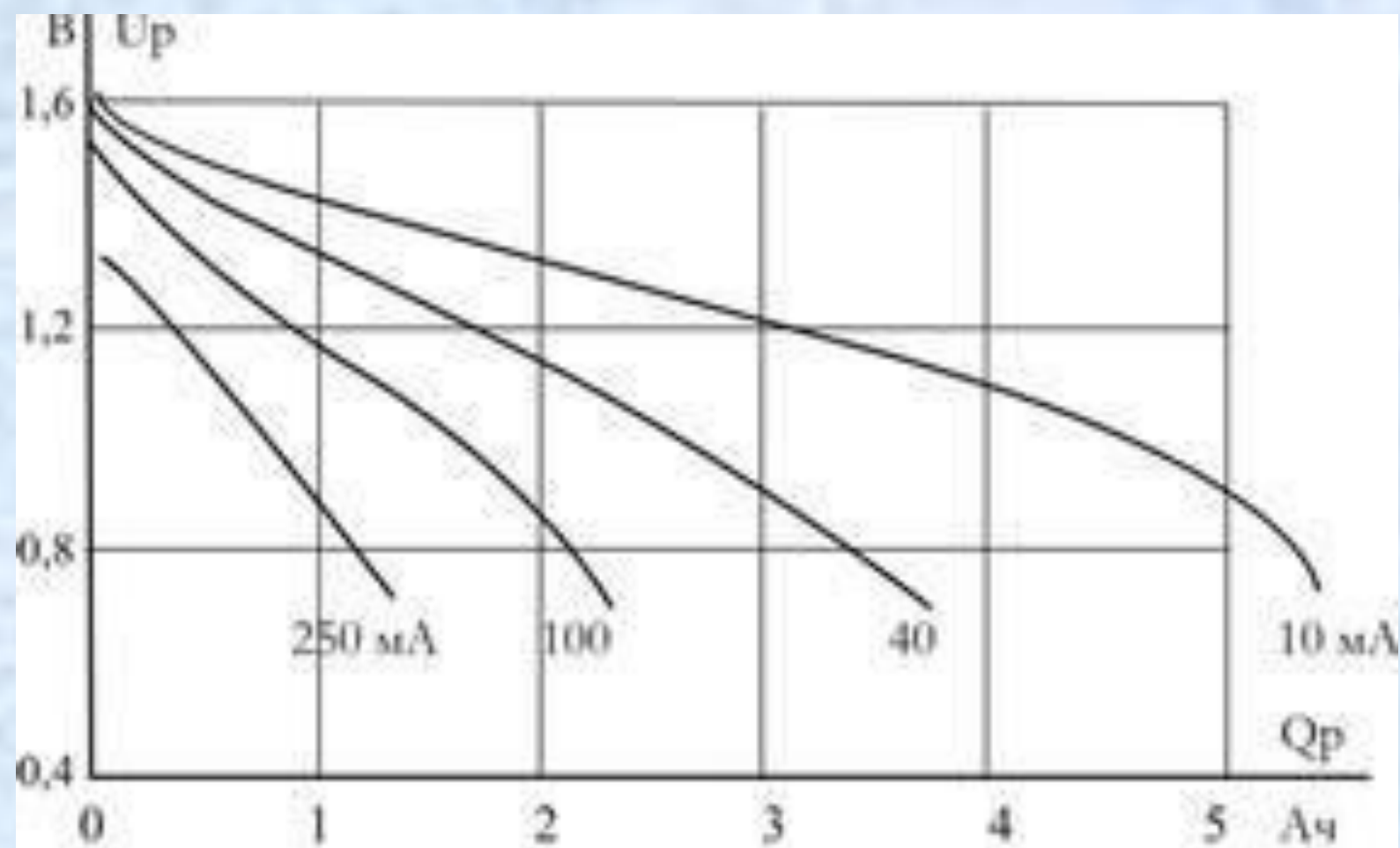
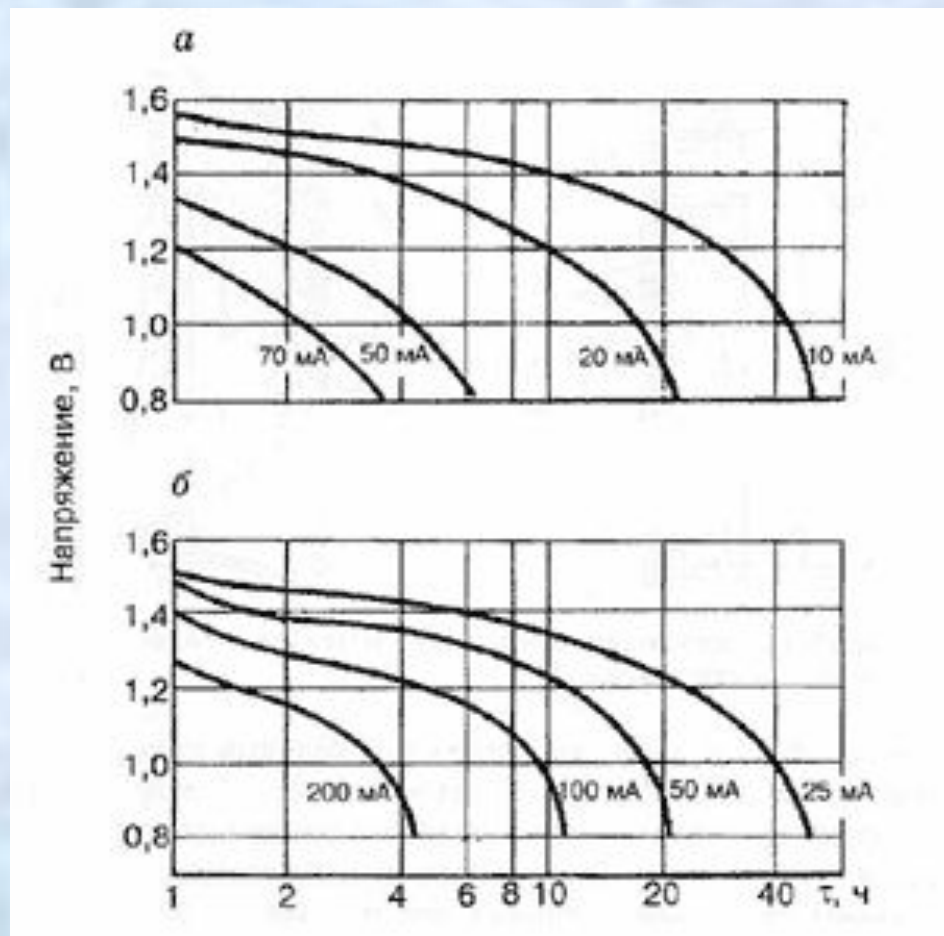


Рис.5. Разрядные кривые элемента 373 при комнатной температуре и разных токах разряда.



**Разрядные кривые марганцево-цинкового элемента при разных токах разряда:**

- **а-солевого,**
- **б-щелочного**

По мере разрядки цинковый стакан покрывается слоем цинкдиамминхлорида, за счёт чего увеличивается внутреннее сопротивление элемента. Частично восстановить ёмкость элемента можно, если удалить слой цинкдиамминхлорида с поверхности цинкового стакана. Сделать это удаётся несколькими способами:

- путём деформации цинкового стакана
- подачей на выводы батареи переменного тока особой формы.

Второй способ нередко ошибочно называют перезарядкой. Стоит, однако, отметить, что оба способа сопряжены с риском повреждения цинкового стакана и подтекания электролита, а второй способ может также привести к взрыву элемента.

Другой распространённой причиной потери ёмкости является высыхание электролита. Это обычно происходит в тех случаях, когда элемент используется в течение длительного времени в устройствах, потребляющих небольшой ток (например, электронных часах), либо после длительного хранения. В этом случае восстановление работоспособности возможно после шприцевания батарейки водой, однако после необходимо плотно закрыть отверстие, иначе электролит может в скором времени снова высохнуть, либо начать подтекать.

Ещё одной известной неисправностью является коррозия (окисление) цинкового стакана. В результате окисления происходит истончение стакана, а также (при окислении контактных площадок) — увеличение сопротивления элемента. Коррозия в дальнейшем может также перекинуться на другие металлические детали, расположенные близко к батарее. Окислившийся элемент восстановлению не подлежит.

По мере разрядки цинковый стакан покрывается слоем цинкдиамминхлорида, за счёт чего увеличивается внутреннее сопротивление элемента. Частично восстановить емкость элемента можно, если удалить слой цинкдиамминхлорида, с поверхности цинкового стакана. Сделать это удастся несколькими способами

- путем деформации цинкового стакана;
- подачей на выводы батареи переменного тока особой формы.

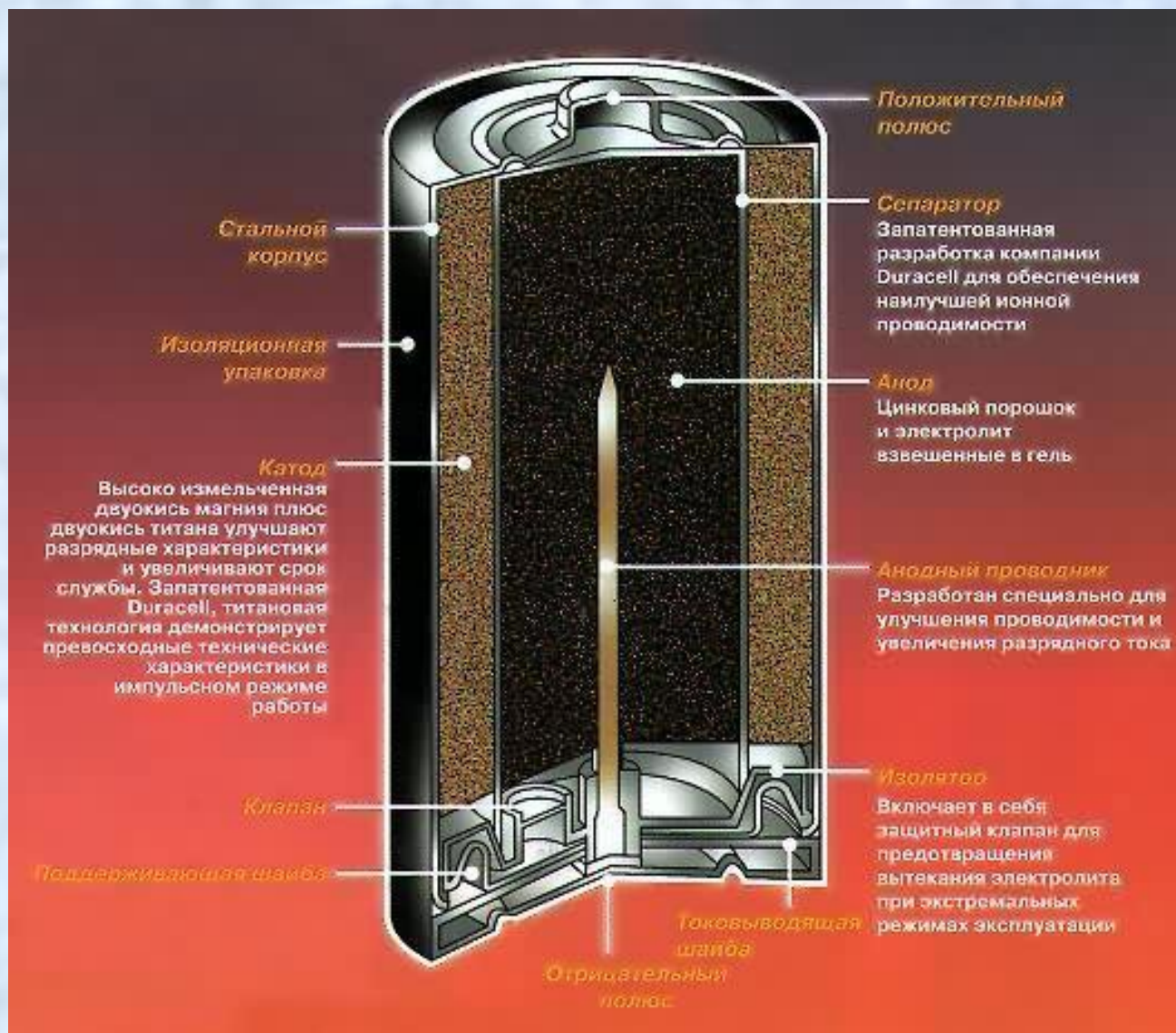
Второй способ нередко ошибочно называют перезарядкой. Стоит, однако, отметить, что оба способа сопряжены с риском повреждения цинкового стакана и подтекания электролита, а второй способ может также привести к взрыву элемента.

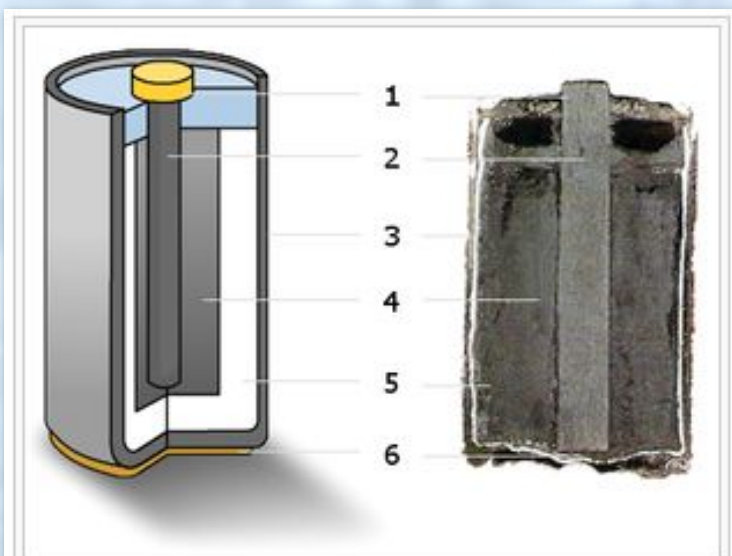
Другой распространенной причиной потери емкости является высыхание электролита, например, в процессе длительного хранения. В этом случае восстановление работоспособности возможно путем шприцевания батарейки водой, однако после необходимо плотно закрыть отверстие, иначе электролит может в скором времени снова высохнуть, либо начать подтекать.

Еще одной известной неисправностью является коррозия (окисление) цинкового стакана. В результате окисления происходит истончение стакана, а также (при окислении контактных площадок) — увеличение сопротивления элемента. Коррозия в дальнейшем может также перекинуться на другие металлические детали, расположенные близко к батарее. Окислившийся элемент восстановлению не подлежит.

- **Щелочной элемент** — марганцево-цинковый гальванический элемент, в котором в качестве катода используется диоксид марганца, анода — порошкообразный цинк, а в качестве электролита — раствор щёлочи, обычно гидроксида калия.

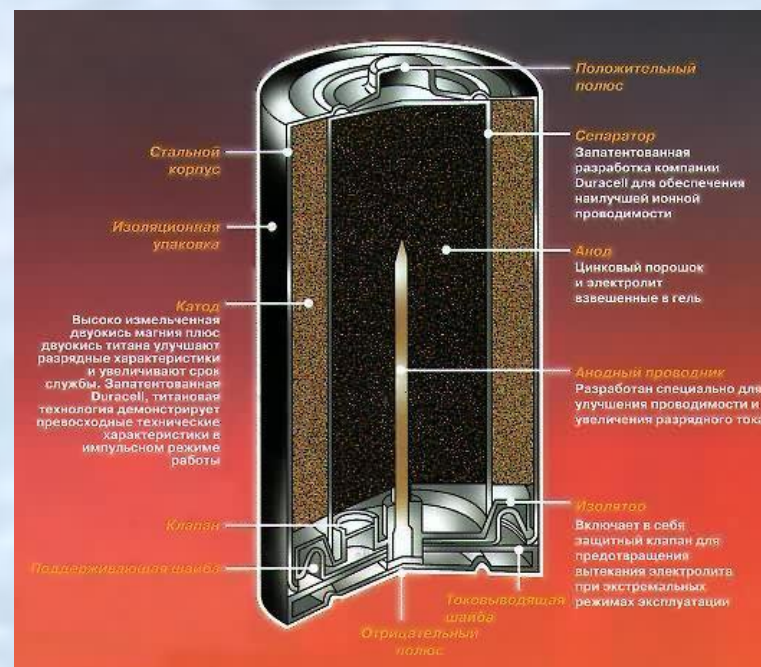






Марганцево-цинковый элемент.

- (1) — металлической колпачок,
- (2) — графитовый электрод («+»),
- (3) — цинковый стакан («-»),
- (4) — оксид марганца,
- (5) — электролит,
- (6) — металлический контакт.

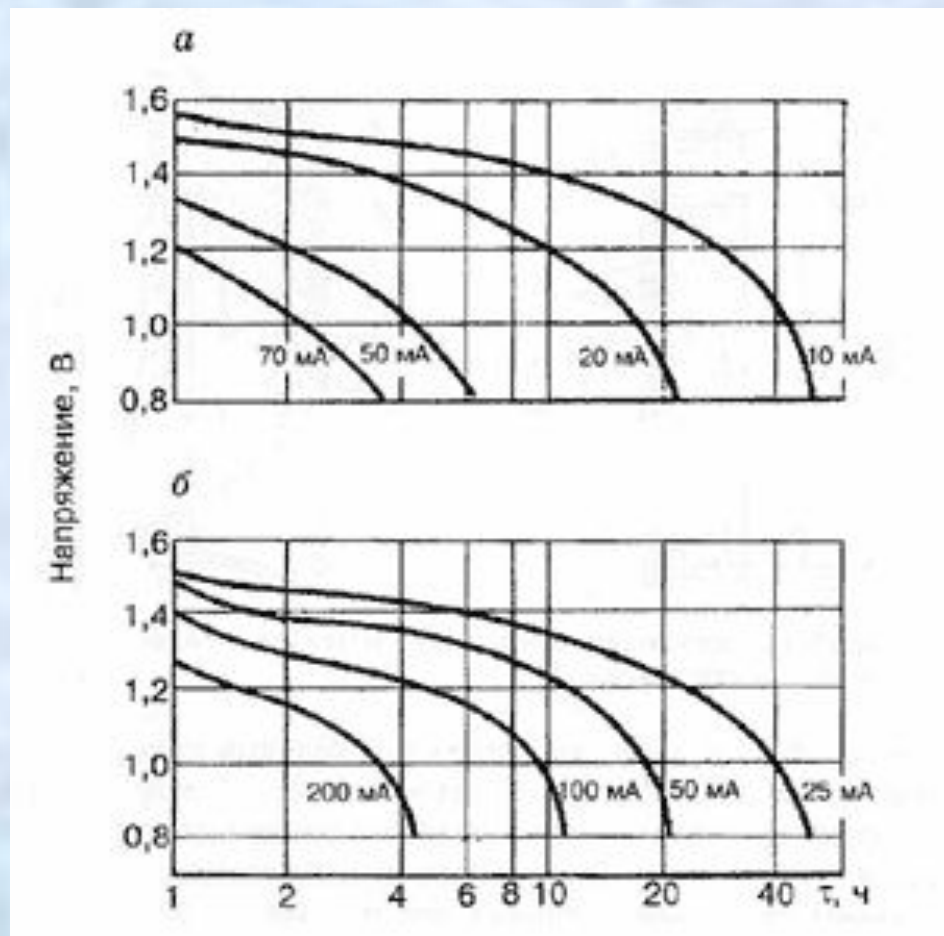


# ДОСТОИНСТВА ЩЕЛОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Емкость** — в **2-10 раз больше**, в зависимости от режима работы
- **Меньший саморазряд**, длительный срок хранения
- Лучшая работа при **низких температурах**
- Лучшая работа при **больших токах** нагрузки

# Недостатки щелочных элементов

- Более **высокая цена**
- Большая **масса**
- **Неприемлемы способы восстановления** работоспособности, применимые для солевых элементов. Однако существуют особые конструкции щелочных элементов, допускающие определённое количество (обычно, до 25) перезарядок. Такие элементы называют «Rechargeable Alkaline Manganese» (RAM, перезаряжаемые щелочные марганцевые).



Разрядные кривые марганцево-цинкового элемента при разных токах разряда:

- **а-солевого,**
- **б-щелочного**

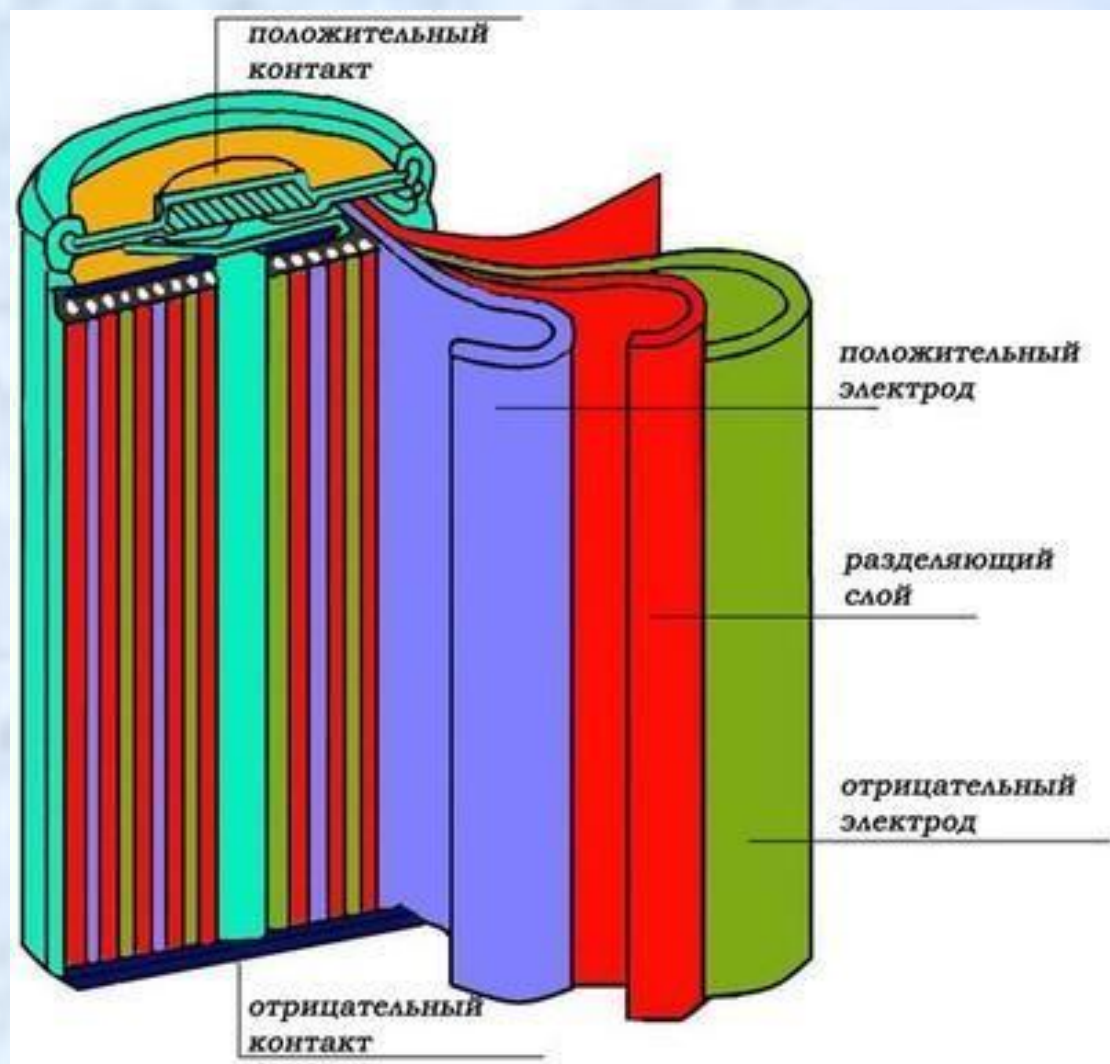
Тип	ЭДС (В)	Положительные свойства
угольно-цинковые (солевые)	1,5	дешёвые
щелочные (алкалиновые)	1,6	высокий ток, ёмкие
никельоксигидроксидные (NiOOH)	1,6	высокий ток, очень ёмкие
литиевые	3,0	очень высокий ток, очень ёмкие

Распространены солевые и щелочные элементы следующих типоразмеров:

Американское название	Название МЭК	Название ГОСТ	Обиходное название
AAA	R03	286	мизинчик, тонкая
AA	R6	316	пальчик
C	R14	343	"дюймовочка"
D	R20	373	большая, бочка

Распространены солевые и щелочные батареи элементов следующих типоразмеров:

Название МЭК	Название ГОСТ	Обиходное название	Описание
3R12	3336	квадратная, плоская	3 элемента 12 (337) 4,5 В
6LR61	—	крона	6 спец. галетных элементов 9 В



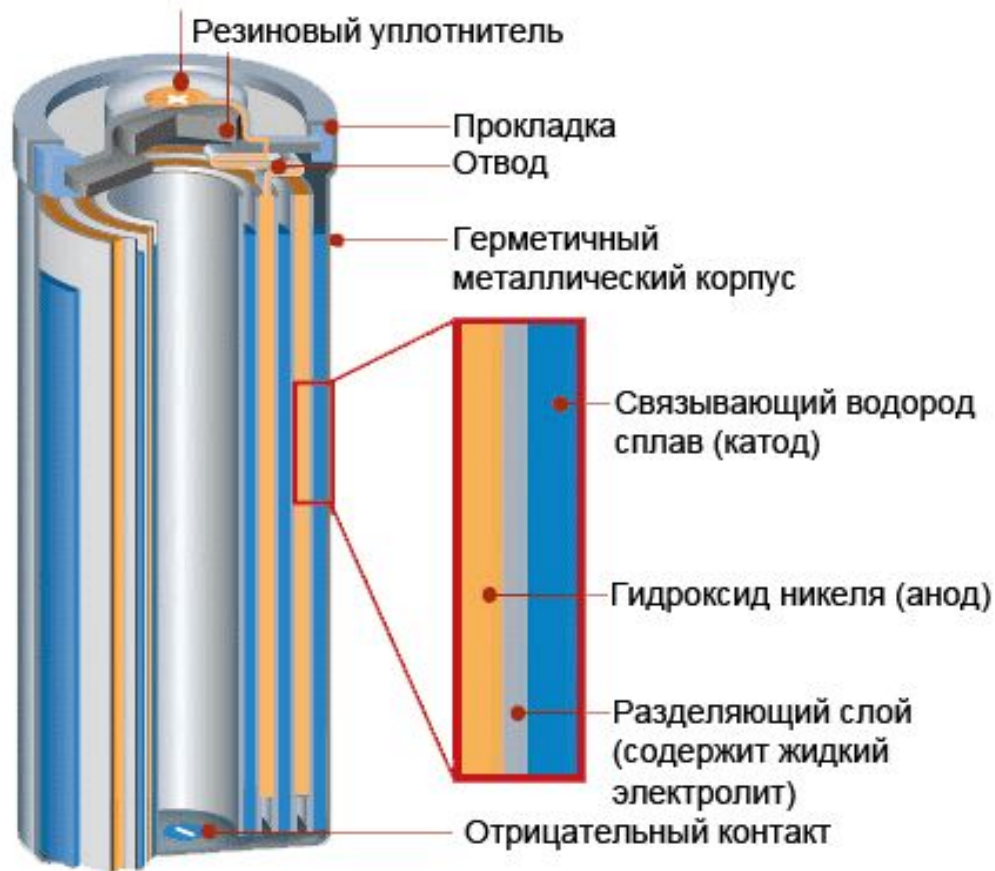
## Строение и принцип работы аккумуляторов (батарей NiMH)

В батареях NiMH химическую энергию в электрическую энергию преобразовывает гальванический элемент. Строение этого гальванического элемента представлено на рисунке.


Гальванический элемент состоит из трех слоев фольги. Внешний слой является катодом. Внутренний — анодом. А слой между ними разделяющий, он пропитан электролитом.

Также батарея состоит из отвода, прокладки, резинового уплотнителя, положительного и отрицательного контакта, и герметического металлического корпуса.

### Положительный контакт





A cylindrical battery with a gold-colored body and a red band on the right side. The text is printed on the gold surface.

**Camelion®**

**ALKALINE PLUS**

PUISSANCE LONGUE DURÉE

3LR12 4,5V

Тип	Достоинства	Недостатки
<b>Сухие</b> («солевые», <b>LeClanche,</b> угольно- цинковые)	Самый дешёвый, массово производится.	Наименьшая ёмкость; спадающая кривая разряда; плох в работе с мощными нагрузками (большим током); плох при низких температурах.
<b>Heavy Duty</b> («мощный» сухой элемент, хлорид цинка)	Менее дорогой, чем щелочной. Лучше LeClanche при высоком токе и низких температурах.	Низкая ёмкость. Спадающая кривая разряда.
<b>Щелочные</b> («алкалиновые», щёлочно- марганцевые)	Средняя стоимость. Лучше предыдущих при большом токе и низких температурах. При разряде сохраняет низкое значение полного сопротивления. Широко выпускается.	Спадающая кривая разряда.
<b>Ртутные</b>	Постоянство напряжения, высокая энергоёмкость и энергоплотность.	Высокая цена. <i>Из-за вредности ртути уже почти не производятся.</i>
<b>Серебряные</b>	Высокая ёмкость. Плоская кривая разряда. Хорош при высоких и низких температурах. Превосходная длительность хранения.	Дорогой.
<b>Литиевые</b>	Наивысшая ёмкость на единицу массы. Плоская кривая разряда. Превосходен при низких и высоких температурах. Чрезвычайно длительное время хранения. Высокое напряжение на элемент (ЗВ). Лёгкий.	Дорогой.

- В названии МЭК если элемент **щелочной**, перед буквой R добавляется **L**. А если элемент никельоксигидроксидный добавляется буква **X**.
- Также известны несколько десятков типоразмеров **пуговичных** (таблеточных) элементов разных электрохимических систем. Их обычно применяют в часах, микрокалькуляторах и т. п.

## **Таблица стандартов дисковых литиевых элементов питания**

- **1. Электрохимическая система**

Первые две буквы в маркировке дискового элемента питания обозначают его электрохимическую систему, где:

- **CR** - марганцево-литиевый элемент
- **BR** - фторуглеродно-литиевый элемент

- **2. Типоразмер**

**Типоразмер дискового литиевого элемента состоит из четырех цифр. Первые две цифры обозначают целочисленное значение диаметра в мм, а вторые две - высоту элемента в целых и десятых долях мм (точные размеры приведены в таблице).**

Пример: **CR 1225**

**Марганцево-литиевый элемент диаметром 12,5 мм и высотой 2,5 мм.**

## **Марганцево-литиевые элементы**

- отличаются повышенной токоотдачей, они предназначены для работы в приборах с высоким потреблением тока.

## **Фторуглеродно-литиевые элементы**

- рассчитаны на работу в более широком температурном диапазоне, чем марганцево-литиевые дисковые элементы.

Тип	Диам. х Высота мм х мм	Напр. V	Обозначение	Емкость мАч	Другое обозначение
1025	10х2.5	3	CR 1025	30	
1216	12.5х1.6	3	CR 1216	25-29	
			BR 1216	25	
1220	12.5х2.0	3	CR 1220	30-40	DL 1220
			BR 1220	35	
1225	12.5х2.5	3	CR 1225	40-50	
			BR 1225	48	
1616	16х1.6	3	CR 1616	40-55	DL 1616
			BR 1616	48	
1620	16х2.0	3	CR 1620	50-79	DL 1620
1632	16х3.2	3	CR 1632	125	
			BR 1632	120	
2012	20х1.2	3	CR 2012	50-58	
2016	20х1.6	3	CR 2016	65-80	DL 2016, L-F 1/4V
			BR 2016	75	
2020	20х2.0	3	BR 2020	100	
2025	20х2.5	3	CR 2025	130-170	DL 2025, L-F 1/2V
2032	20х3.2	3	CR 2032	180-225	DL 2032, L-F 1/2W
			BR 2032	190	
2320	23х2.0	3	CR 2320	120-135	DL 2320
			BR 2320	110	
2325	23х2.5	3	CR 2325	160-200	DL 2325
			BR 2325	165-185	
2330	23х3.0	3	CR 2330	265-280	
			BR 2330	255	
2354	23х5.4	3	CR 2354	560	
2430	24.5х3.0	3	CR 2430	270-290	DL 2430
2432	24.5х3.2	3	CR 2432	290	
2450	24.5х5.0	3	CR 2450	500-575	DL 2450
2477	24.5х7.7	3	CR 2477	1000	
3032	30х3.2	3	CR 3032	500	
			BR 3032		

## Li-Mn элементы питания таблеточного типа

CR927



CR1025



CR1216



CR1220



CR1225



CR1616



CR1620



CR1632



CR2016



CR2025



CR2032



CR2330



CR2354



CR2430



CR2450

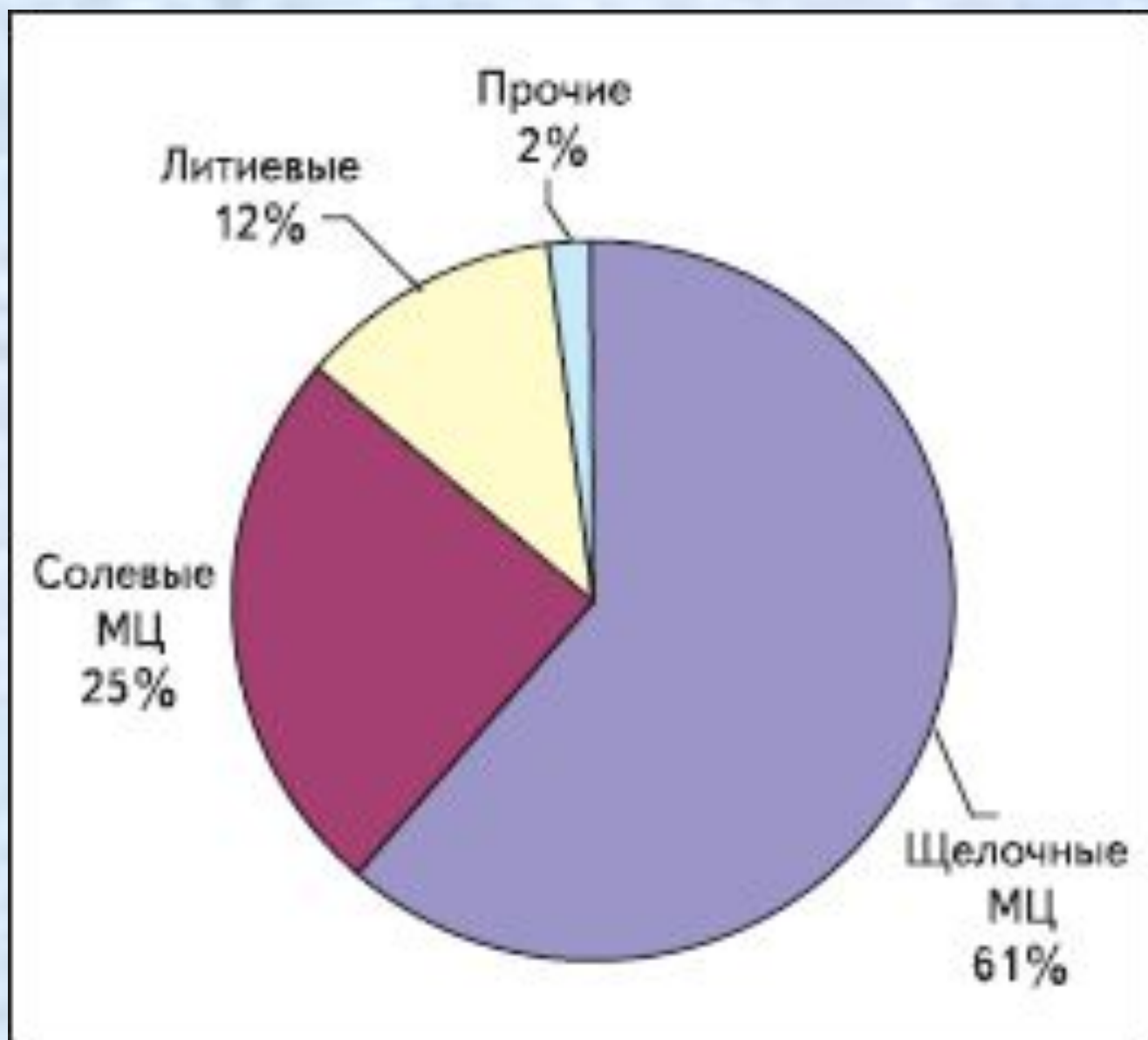


CR2477

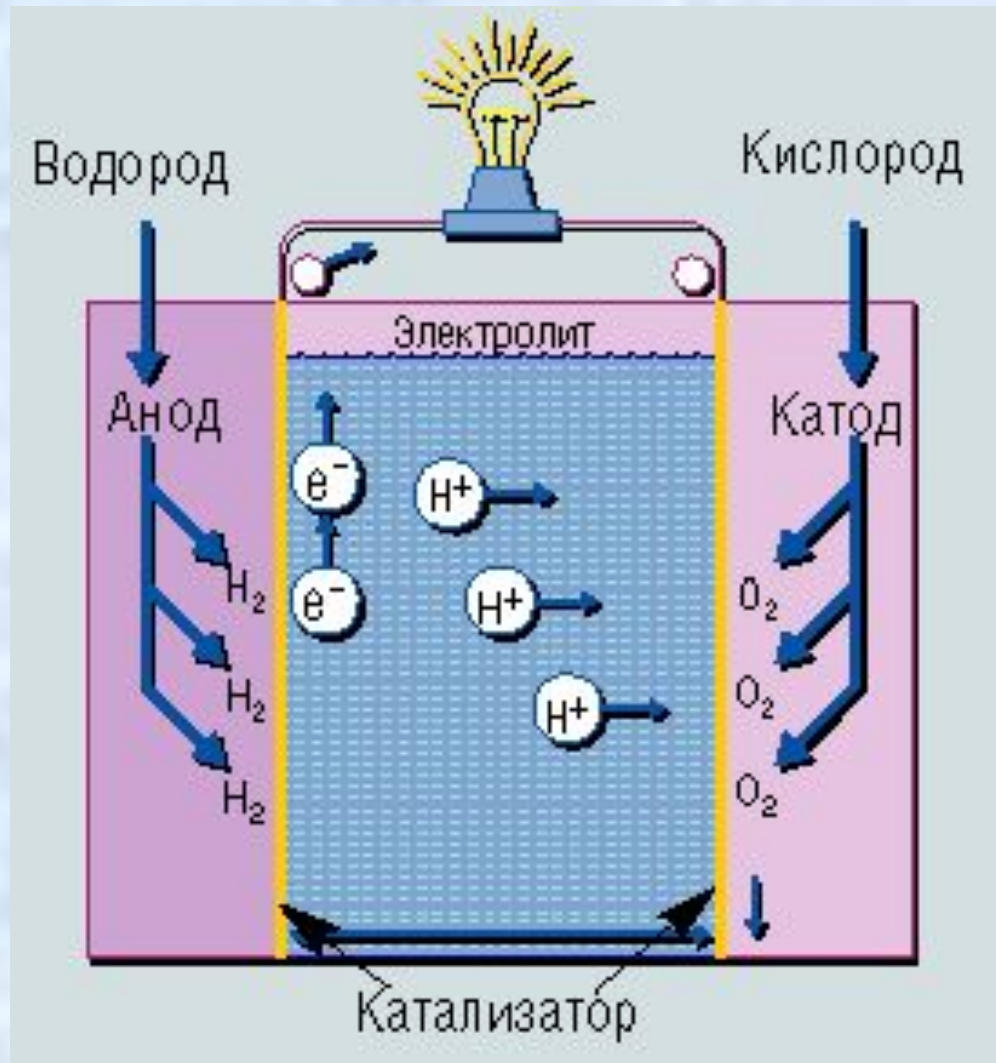


CR2477T









# Топливный элемент

Компания Sony также представила 2 зарядных устройства на технологии топливных элементов. Первый оснащен баком для метанола на 10 куб. см., что эквивалентно 13.7 ватт-часов при использовании с Li-Ion аккумулятором 3.7 В. Это зарядное устройство может заряжать мобильный телефон с типовым аккумулятором 600....800 мАч несколько раз в неделю.



Вторая модель зарядного устройства имеет бак на 100 куб. см. и позволяет совершать по 25 зарядок телефонов через 2 USB-порта на протяжении месяца.

- **Аккумулятор** (от лат. accumulator — собиратель, accumulo — собираю, накапливаю) — устройство для накопления энергии с целью ее последующего использования. Электрический аккумулятор преобразует электрическую энергию в химическую и по мере надобности обеспечивает обратное преобразование. **Зарядка аккумулятора происходит путем пропускания через него электрического тока.** В результате вызванных химических реакций один из электродов приобретает положительный заряд, а другой — отрицательный.
- Аккумулятор, как электрический прибор, характеризуется следующими основными параметрами: электрохимической системой, напряжением, электрической емкостью, внутренним сопротивлением, током саморазряда и сроком службы.

# Аккумуляторы

- свинцово-кислотные (Sealed Lead Acid, SLA);
- никель-кадмиевые (Ni-Cd);
- никель-металлогидридные (Ni-MH);
- литий-ионные (Li-Ion);
- литий-полимерные (Li-Pol);

- **Емкость аккумулятора** — количество энергии, которой должен обладать полностью заряженный аккумулятор. В практических расчетах емкость принято выражать ампер-часах (Ач). Количество ампер-часов показывает период времени, в течение которого будет работать данный аккумулятор при силе тока в 1 ампер. Стоит, правда, добавить, что современных мобильных устройствах используются токи гораздо меньшей силы, поэтому емкость аккумуляторов часто измеряется в миллиампер-часах (мА/ч или мАч, или mAh).  
**Номинальная емкость** (как должно быть) всегда указывается на самом аккумуляторе или на его упаковке. Однако реальная емкость не всегда совпадает с номинальной. На практике, реальная емкость аккумулятора колеблется в пределах от 80% до 110% от номинального значения.
- **Удельная емкость** — отношение емкости аккумулятора к его габаритам или массе.
- **Цикл** — одна последовательность заряда и разряда аккумулятора.

## ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

- **Напряжение**, измеряемое в Вольтах (V)
- **Емкость**, измеряемая в Ампер-Часах (Ah) (или в миллиАмпер – часах (mAh)  $1\text{Ah} = 1000\text{mAh}$ )

**Количество энергии**, запасенное в аккумуляторной батарее (в Ватт - часах) можно определить как произведение номинального напряжения на емкость. Однако, так как для питания устройства используются батареи строго одного напряжения, можно сказать, что продолжительность автономной работы будет тем больше, чем больше емкость батареи.

Некоторые батареи могут иметь емкость отличную от емкости оригинальной батареи. Это не означает их несовместимость, а лишь характеризует продолжительность автономной работы.

**Ёмкость (химического источника тока)** — общее количество электрического заряда, который может отдать источник тока. Измеряется в Амперах\*секунду или в Кулонах, обозначается латинской буквой *C*.

Ёмкость батареек или аккумуляторов часто указывают на этикетках. Но эту обозначенную ёмкость источник может выдать лишь кратковременно, и использовать его в таких условиях не рекомендуется. Для успешного длительного использования следует соблюдать максимально допустимые условия разряда, указанные в паспортных данных. Но в большинстве случаев ток "нормального" разряда приблизительно равен одной десятой части от указанной ёмкости батарейки. Например, если указанная ёмкость равна 2700 мА\*ч (рис. 3), то максимально допустимый ток долговременной работы будет равен 270 миллиампер. При таком токе батарея или аккумулятор теоретически может прослужить около 10 часов. Но на самом деле в реальных условиях это время оказывается несколько меньше.

Нужно так же заметить, что указанная ёмкость часто является лишь маркетинговым трюком для стимуляции покупателей. Поэтому при выборе нужно быть осторожным, особенно с товаром неизвестных фирм.



Рис. 3. Обозначение ёмкости в мА\*ч.

**И**ногда путают емкость аккумулятора и заряд (заряженность) аккумулятора. Емкость показывает потенциал аккумулятора, то, сколько времени он сможет питать нагрузку, если будет полностью заряжен.

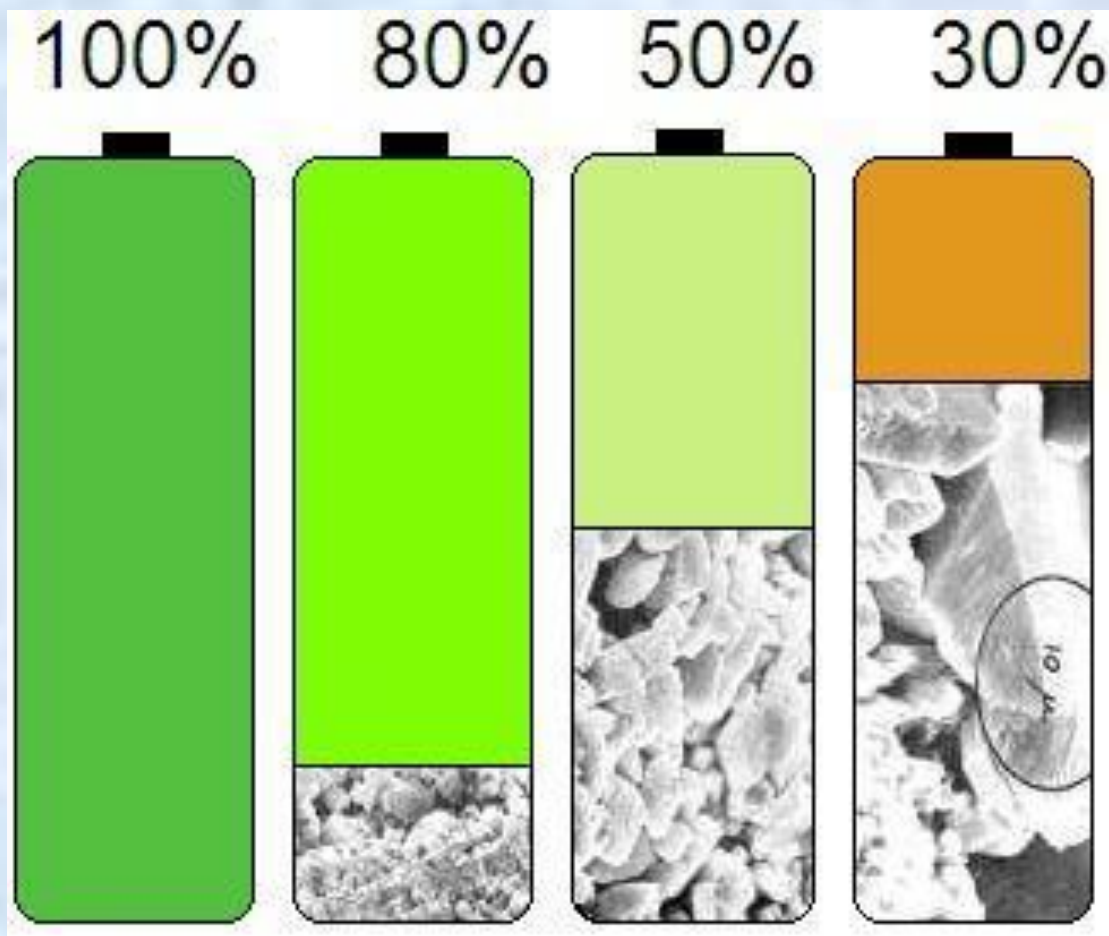
**М**ожно провести аналогию со стаканом воды. Емкость (объем) стакана не изменяется в зависимости от того, полный он или пустой. Так и с аккумулятором - в заряженном и разряженном состоянии аккумулятор имеет одну и ту же емкость.





- **Эффект памяти** — потеря емкости аккумулятора в процессе его эксплуатации. Она проявляется в тенденции аккумулятора приспособливаться к рабочему циклу, по которому батарея работала определенный период времени. Другими словами, если заряжать аккумулятор несколько раз, не разрядив его перед этим полностью, он как бы «запоминает» свое состояние и в следующий раз просто не сможет разрядиться полностью, следовательно, емкость его уменьшается. По мере увеличения числа зарядно-разрядных циклов эффект памяти проявляется все отчетливее.

При таких условиях эксплуатации внутри аккумулятора происходит увеличение кристаллов на пластине (о строении аккумуляторов будет рассказано ниже), которые и уменьшают поверхность электрода. При мелких кристаллических образованиях внутреннего рабочего вещества площадь поверхности кристаллов максимальна, следовательно, максимально и количество энергии, запасаемой аккумулятором. При укрупнении кристаллических образований в процессе эксплуатации — площадь поверхности электрода уменьшается и, как следствие, уменьшается реальная емкость.



Эффект памяти  
аккумулятора



- **Саморазряд** — самопроизвольная потеря аккумулятором запасенной энергии с течением времени. Это явление вызвано окислительно-восстановительными процессами, протекающими самопроизвольно, и присуще всем типам аккумуляторов, независимо от их электрохимической системы. Для количественной оценки саморазряда используется величина потерянной аккумулятором за определенное время энергии, выраженная в процентах от значения, полученного сразу после заряда.

# НИКЕЛЬ-КАДМИЕВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ (NiCd)

- В числе преимуществ NiCd-аккумуляторов можно назвать следующие:
  - работоспособность в широком интервале рабочих токов заряда, разряда и температур окружающей среды (допустимый ток разряда составляет 0,2-2 Сн, диапазон рабочих температур - от  $-40$  до  $+50$  °С);
  - **высокая нагрузочная способность** даже при низких температурах (NiCd-аккумулятор при низких температурах даже можно перезаряжать);
  - возможность **быстрой и простой зарядки** в любом режиме (NiCd-аккумуляторы нетребовательны к типу зарядного устройства);
  - большое количество циклов зарядки-разрядки (при правильном обслуживании NiCd-аккумулятор выдерживает свыше 1000 цикл.);
  - возможность восстановления после понижения емкости или длительного хранения;
  - пожаро- и взрывобезопасность, устойчивость к механическим нагрузкам;
  - низкая цена, длительный срок службы.

- Наряду с преимуществами, данные элементы имеют серьезные недостатки. у NiCd-аккумуляторов **наблюдался эффект, получивший название «эффект памяти»**. Его возникновение объясняется тем, что в процессе циклической эксплуатации источника меняется структура поверхности электродов, а в сепараторе аккумулятора образуются химические соединения, мешающие его дальнейшей разрядке малыми токами. Источник как бы запоминает свое состояние неполного разряда. Чтобы избежать возникновения данного эффекта, необходимо после того, как NiCd-батарея отработала, обязательно ее разрядить. Если этого не делать, то NiCd-аккумулятор постепенно теряет эффективность, то есть его емкость постепенно уменьшается — он очень быстро заряжается, но так же быстро и разряжается, имея при этом пониженное напряжение на выходе.

- **Хранить NiCd-батареи необходимо в разряженном состоянии.**  
Если ваше зарядное устройство не имеет встроенного разрядника, то для полного разряда батареи можно воспользоваться лампочкой накаливания с номинальным напряжением и с допустимым током 3-20 А. Необходимо подключить такую лампу к аккумулятору и дождаться того момента, когда спираль начнет краснеть (кстати, глубокая разрядка вовсе не означает, что аккумулятор следует посадить «в ноль»). NiCd-батареи — это единственный тип аккумуляторов, которые лучше выполняют свои функции в случае, если периодически подвергаются полной разрядке. Электрохимические аккумуляторы всех остальных разновидностей нуждаются в неглубокой разрядке. Впрочем, если выполнять процедуру полного разряда слишком часто, то и NiCd-аккумуляторы неизбежно изнашиваются.





# Никель-металлгидридные аккумуляторы (NiMH)

- Отличительные особенности современных NiMH-аккумуляторов:
  - **высокая удельная энергия** по массе и объему (емкость в 1,5-2 раза больше, чем у стандартных NiCd-аккумуляторов тех же габаритов);
  - диапазон рабочих температур от  $-10$  до  $+40$  °C;
  - **меньшая склонность к эффекту памяти**, чем у NiCd-батарей (то есть периодических циклов восстановления практически не требуется);
  - устойчивость к **длительному перезаряду** малыми токами;
  - механическая прочность и устойчивость к механическим нагрузкам;
  - **длительный срок службы и хранения** (в разряженном состоянии);
  - меньшая токсичность при утилизации.

- ***Недостатки никель-гидридных аккумуляторов:***

> выдерживают меньшее число циклов зарядки/разрядки по сравнению с другими технологиями (в среднем чуть более 500 циклов для современных аккумуляторов). Причем предпочтительнее поверхностный, а не глубокий разряд, а срок службы непосредственно связан с глубиной разряда;

> плохо выдерживают пиковые нагрузки: оптимальный режим работы при нагрузке — от одной пятой до половины номинальной;

> ограниченный срок службы — если неоднократно в течение циклов работы повторяются высокие пиковые нагрузки, то эксплуатационные показатели начинают ухудшаться после 200-300 циклов и время работы до полной разрядки постепенно снижается;

> эксплуатационные показатели сильно ухудшаются, если хранить эти батареи при высоких температурах. При температурах, близких к 0 °С, можно сохранить более половины заряда;

- более сложный алгоритм зарядки — эти аккумуляторы сильно греются в процессе зарядки большими токами, поэтому требуется тщательная регулировка напряжения и более длительное время зарядки, чем у NiCd-аккумуляторов;  
NiMH-аккумуляторы не могут заряжаться так быстро, как NiCd. Время заряда обычно в 2-3 раза больше, чем у NiCd. Рекомендуемый ток разряда — от одной пятой до половины значения номинальной емкости;  
имеют очень высокую саморазрядку (до 30% в месяц) — необходимо часто перезаряжать после хранения;  
приблизительно на 20-30% дороже, чем NiCd-аккумуляторы сравнимой емкости.

# ЛИТИЙ-ИОННЫЕ (Li-Ion) АККУМУЛЯТОРЫ

- Наиболее современные источники питания, имеющие наибольшую удельную ёмкость и наименьший вес. Имеют напряжение 3,7 В на банку. Как правило, поставляются со встроенным контроллером (защитой), не позволяющим достичь глубокого разряда или перезаряда, приводящего аккумуляторы в негодность. Могут обеспечить высокие токи питания. Зарядные устройства — специализированные, с автоматическим контролем заряда (иногда возложенным на схему в самом аккумуляторе).
- Эффект «памяти» и саморазряд практически отсутствуют, аккумуляторы можно заряжать в любой момент, не дожидаясь полного разряда. При непрерывной эксплуатации, через 2-3 года емкость аккумуляторов снижается почти в 2 раза. При нормальной эксплуатации аккумулятор сохраняет работоспособность в течение 10-ти лет и более. Кроме того, литиевые аккумуляторы работают на морозе намного лучше, чем Ni-MH.

# Литий-ионные аккумуляторы (Li-Ion)

- Из преимуществ современных Li-Ion-аккумуляторов по сравнению с другими технологиями можно отметить следующие:
  - самый высокий уровень удельной емкости и плотности разрядного тока;
  - минимальный саморазряд (для некоторых типов литий-ионных батарей при 20 °С — не более 3% в год);
  - длительный срок службы (до 10 лет);
  - большое количество циклов зарядки-разрядки (гарантируется свыше 1000 циклов);
  - работоспособность в широком диапазоне температур;
  - высокая сохранность запасенной энергии и постоянная готовность к работе.

- ***Достоинства литий-ионных аккумуляторов:***
  - > высокая удельная энергоемкость с большим потенциалом для дальнейшего совершенствования;
  - > относительно низкий саморазряд — примерно 3-5% в первый месяц, затем уменьшение до 1-3% в месяц, но дополнительно около 3% в месяц потребляет схема управления (это в 2-3 раза ниже, чем у NiCd и NiMH);
  - > высокое напряжение единичного элемента (3,6 В против 1,2 В у NiCd и NiMH), что упрощает конструкцию и уменьшает габариты — можно применять один элемент там, где раньше требовалось три;
  - > низкие эксплуатационные расходы — отсутствие необходимости периодической разрядки/зарядки;
  - > практически полное отсутствие «памяти» — их можно ставить на зарядку когда угодно и держать в зарядном устройстве сколь угодно долго (зарядные устройства для Li-Ion-аккумуляторов после окончания заряда автоматически отключаются).

- ***Недостатки литий-ионных аккумуляторов:***

- > необходимость в схемах защиты, которые ограничивают напряжение и силу тока при зарядке/разрядке и следят за температурой элемента, что, в свою очередь, практически исключает возможность металлизации лития. Однако это ведет к дополнительному повышению стоимости и снижению надежности аккумулятора;
- > батарея безопасна только пока не имеет повреждений;
- > аккумуляторы этого типа подвержены старению, причем даже тогда, когда они не используются, а высокая температура способствует ускоренной деградации. Для уменьшения процесса старения необходимо хранить их при низкой температуре и заряженными на 60-90%;
- > умеренный ток разрядки;
- > высокая стоимость (в 2-3 раза выше, чем у NiCd и NiMH).

-

- Однако Li-Ion-технология, помимо высокой цены, имеет и другие недостатки. Известно, что стандартные литий-ионные аккумуляторы лучше всего функционируют при комнатной температуре, а работа при повышенной температуре сокращает срок их службы, поскольку это приводит к ускоренному старению, сопровождаемому увеличением внутреннего сопротивления. Плохо реагируют Li-Ion-аккумуляторы и на отрицательные температуры.



- Li-Ion-аккумуляторы используются главным образом там, где необходима высокая энергоемкость при малом размере и весе. Однако сами элементы на основе лития довольно капризны и для обеспечения безопасности и долговечности их работы требуются специальные управляющие интегральные схемы и управляющие ключи, которые ограничивают пиковое напряжение на каждом элементе в течение зарядки и предотвращают слишком резкое падение напряжения на клеммах элемента при разрядке. Кроме того, они имеют датчики температуры и тепловые предохранители, которые контролируют температуру элементов во избежание опасного перегрева в процессе зарядки/разрядки (впрочем, аккумуляторы на основе никеля тоже могут содержать внутренний тепловой предохранитель и датчик температуры).

- Другая проблема — деградация («старение») Li-Ion-батарей, поэтому большинство производителей обходят молчанием сроки их эксплуатации. Часто повреждения аккумулятора, вызванные неправильной эксплуатацией, использованием неисправного зарядного устройства, переохлаждением или перегревом, а иногда и браком по вине изготовителя или поставщика, списывают на эффект памяти, но аккумуляторы на основе лития его влиянию не подвержены. Некоторое неизбежное уменьшение емкости наступает уже через год после выпуска, причем независимо от того, находится ли батарея в активном использовании или нет. По истечении двух-трех лет многие Li-Ion-аккумуляторы безвозвратно теряют емкость и, в отличие от NiCd-аккумуляторов, уже не восстанавливаются. Впрочем, и другие химические батареи (в том числе и одноразовые) также склонны к проявлению возрастных дегенеративных эффектов. Особенно заметно проявляется деградация у тех же NiMH-аккумуляторов, если они были подвергнуты воздействию высоких температур (в том числе и при хранении). Для Li-Ion-батарей изготовители рекомендуют температуру хранения не выше 15 °С. Кроме того, батарея при хранении должна быть обязательно заряжена.

- Области применения Li-Ion-аккумуляторов — это портативные компьютеры, сотовые телефоны и коммуникаторы. Причем изготовители постоянно улучшают химические свойства батарей и расширяют спектр применения (различные усовершенствования представляются раз в полгода или даже чаще).



Tenergy Corporation, Fremont, CA 94538 Made in China

**TENERGY**  
**PREMIUM**

5000mAh NI-MH RECHARGEABLE

- Сегодня аккумуляторы на основе лития считаются наиболее эффективными и удобными по многим параметрам: они имеют большую удельную энергоемкость (в 2-3 раза выше, чем у NiCd-батарей), показывают неплохие нагрузочные характеристики как при низких, так и при высоких температурах, имеют малое внутреннее сопротивление и очень длительный саморазряд (2-5% в месяц). При этом Li-Ion-аккумулятор не имеет недостатков NiMH и ведет себя аналогично NiCd (форма их разрядных характеристик сходна и различается лишь напряжением). Плоская кривая разрядки обеспечивает эффективное использование накопленной энергии в необходимом спектре напряжений. Сейчас это самая прогрессивная и быстро развивающаяся технология. Производители непрерывно совершенствуют аккумуляторы на основе ионов лития. Идет постоянный поиск и улучшение материалов электродов и состава электролита. Параллельно предпринимаются усилия для повышения безопасности литий-ионных аккумуляторов как на уровне источников тока, так и на уровне управляющих электрических схем.



## *Литий-полимерные аккумуляторы (Li-Pol, или Li-Polymer)*

Наиболее продвинутой технологией, используемой сегодня при создании аккумуляторов, является литий-полимерная. Уже сейчас среди производителей, как батарей, так и компьютерных устройств наметилась тенденция по постепенному переходу к этому типу элементов. Главным преимуществом литий-полимерных батарей является отсутствие жидкого электролита. Анод отделен от катода полимерной перегородкой, композитным материалом, таким как полиакрилонитрит, который содержит литиевую соль.

- Благодаря отсутствию жидких компонентов, литий-полимерные элементы могут принимать практически любую форму, в отличие от цилиндрических батарей других типов. Обычными формами упаковки для них являются плоские пластины или бруски. В таком виде они лучше заполняют пространство батарейного отсека. В результате, при одинаковой удельной плотности, литий-полимерные батареи оптимальной формы могут хранить на 22% больше энергии, чем аналогичные литий-ионные. Это достигается за счет заполнения "мертвых" объемов в углах отсека, которые остались бы неиспользованными в случае применения цилиндрической батареи.

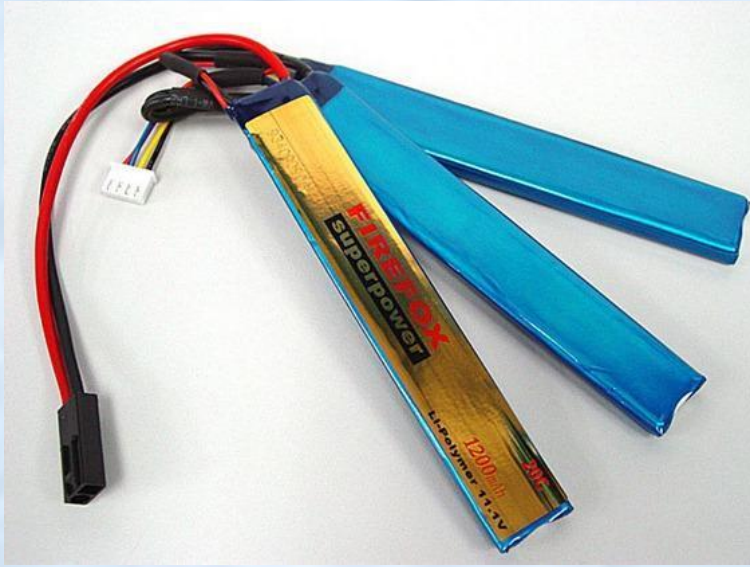
- ***Достоинства литий-полимерных аккумуляторов:***

- > существенное снижение размеров и веса — возможность изготовления батарей размером и толщиной с кредитную карточку (металлический корпус необязателен);
- > возможность гибкого изменения формы — может быть реализован аккумулятор любого разумного размера и мощности;
- > улучшенная безопасность — аккумулятор более стоек к перегрузкам, практически не подвержен утечкам электролита.



- ***Недостатки литий-полимерных аккумуляторов:***

- > меньшая, чем у Li-Ion, энергоемкость;
- > более сложные миниатюрные схемы управления;
- > высокая температура для оптимальной работы — от 60 до 100 °С;
- > глубокий разряд отрицательно сказывается на внутренней структуре аккумулятора;
- > высокая стоимость (выше, чем у Li-Ion).



- *Степень зарядки аккумулятора при хранении зависит от его типа:*

**NiCd**-аккумуляторы при саморазряде теряют емкость вследствие эффекта памяти, поэтому их необходимо полностью зарядить, а затем разрядить по крайней мере до одного вольта на элемент (некоторые источники рекомендуют разряжать до нуля, но разряженные таким образом батареи может восстановить только специальное зарядное устройство). Фактически, NiCd-аккумуляторы — это единственный тип аккумуляторов, который перед хранением необходимо разрядить;

**NiMH** и **Li-Metal, Li-Ion, Li-Pol** лучше хранить заряженными на 60-90%;

свинцово-кислотные аккумуляторы предпочтительно хранить в полностью заряженном состоянии.

- Типичные сроки сохранности заряда различных типов аккумуляторов:
  - NiMH** — 2 недели (саморазряд 30% в месяц);
  - NiCd** — 3 недели (саморазряд 20% в месяц);
  - Li-Ion** — 6 недель (саморазряд 10% в месяц);
  - свинцово-кислотные (SLA)** — 3 месяца (саморазряд 5% в месяц);
  - Li-Metal** — 1 год.

## Сроки хранения аккумуляторов:

**СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫЕ (SLA)** — около двух лет в полностью заряженном состоянии (во время хранения требуется периодическая подзарядка);

**Li-Ion** — 2-3 года независимо от обслуживания;

**NiMH** — более трех лет. Срок хранения зависит от глубины разряда;

**NiCd** — могут храниться в необслуживаемом состоянии до пяти лет.

Количество элементов в батарее	Напряжение элемента (Вольт)	Напряжение батареи (Вольт)	Типовое применение
1	3,6 или 3,7	3,6 или 3,7	Сотовые телефоны, цифровые фотокамеры, КПК, MP3
2	3,6 или 3,7	7,2 или 7,4	Цифровые фото, видеокамеры, некоторые ноутбуки
3	3,6 или 3,7	10,8 или 11,1	Ноутбуки
4	3,6 или 3,7	14,4 или 14,8	Ноутбуки

Поэтому мы можем считать, что: Батарея на 3,6 Вольт взаимозаменяема с батареей на 3,7 Вольт.

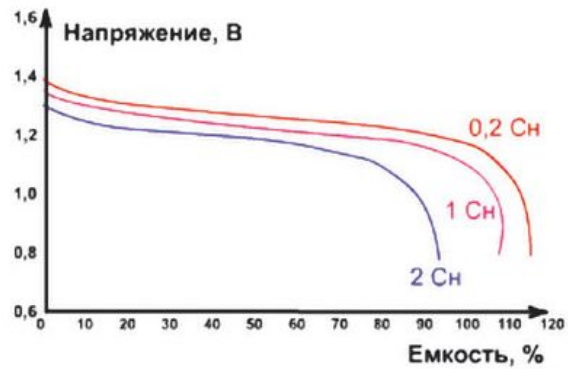
Батарея на 7,2 Вольт взаимозаменяема с батареей на 7,4 Вольт.

**Батарея на 10,8 Вольт взаимозаменяема с батареей на 11,1 Вольт.**

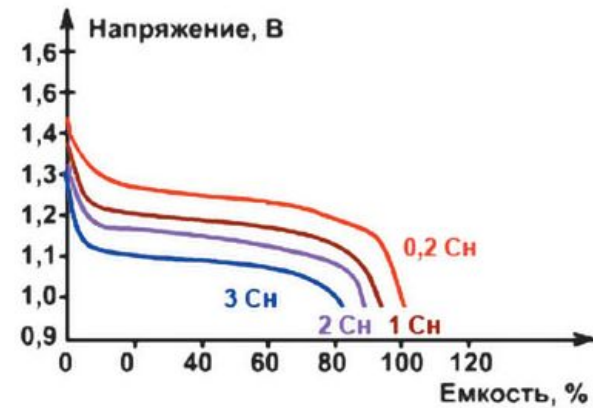
**Батарея на 14,4 Вольт взаимозаменяема с батареей на 14,8 Вольт.**

Еще один показатель, который важно знать для каждого типа батарей, это удельная емкость. Она определяется как отношение энергии элемента к его массе или объему и выражается в Ватт-часах на единицу массы или объема. Чем выше этот коэффициент, тем больше энергии может храниться в единице веса, и тем более привлекательна она для использования в переносных устройствах. В этой таблице приведены отношения для различных типов аккумуляторов, выраженные в Ватт-часах/кг.

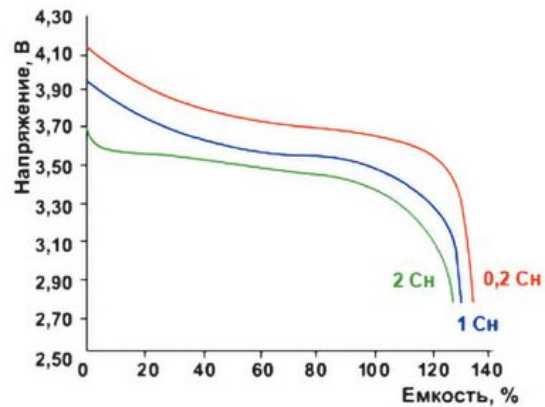
Тип	Вольтаж	Уд.емкость
Ni-Cad	1,2	40 - 60
NiMH	1,2	60 - 80
Li-Ion	3,6	90 - 110
Li-Polymer	3,6	130 - 150



Разрядные характеристики NiCd-аккумуляторов при различных токах разряда при температуре окружающей среды 20 °С



Разрядные характеристики NiMH-аккумуляторов при различных токах разряда при температуре окружающей среды 20 °С



Разрядные характеристики Li-Ion-аккумуляторов при различных токах разряда при температуре окружающей среды 15-25 °С





## ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ РЭА

Все средства электропитания можно разделить на **первичные и вторичные**.

К **первичным** обычно относят такие средства, которые **преобразуют неэлектрическую энергию в электрическую**, например, электромеханические генераторы, электрохимические источники - аккумуляторы или гальванические элементы, фотоэлектрические генераторы - солнечные батареи и фотоэлементы, термоэлектрические источники и др.

**Средства вторичного электропитания** электронных устройств, называемые обычно **источниками вторичного электропитания (ИВЭП)** предназначены для формирования необходимых для работы электронных элементов напряжений с заданными характеристиками. Они могут быть выполнены в виде отдельных или входить в состав различных функциональных электронных узлов. Их основной задачей является преобразование энергии первичного источника в комплект выходных напряжений, которые могут обеспечить нормальное функционирование электронного устройства.

# • **Источники питания электронной аппаратуры.**

- Вторичные источники питания предназначены для получения напряжения, необходимого для непосредственного питания электронных и других устройств. Предполагается, что вторичные источники в свою очередь получают энергию от первичных источников питания, вырабатывающих электричество. **Питать электронные устройства непосредственно от первичных источников не всегда возможно.**
- Вторичные источники питания являются одними из наиболее важных устройств электроники. Например, часто надежность того или иного устройства электроники существенно зависит от того, насколько надежен его вторичный источник питания. **Принято вторичные источники называть источниками питания.**

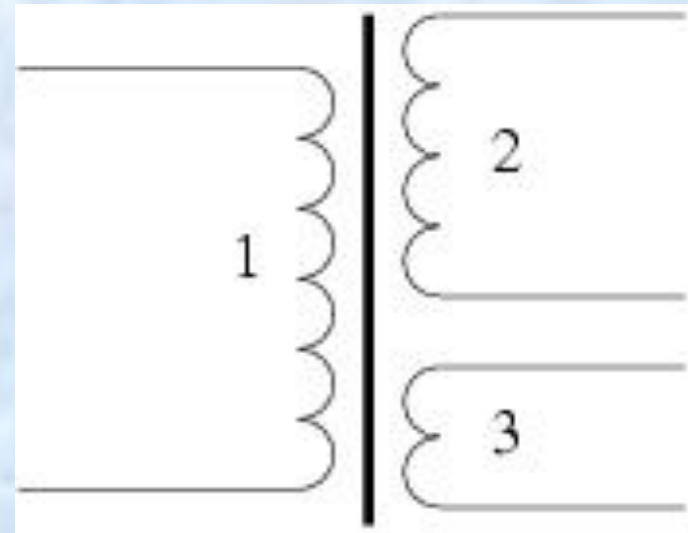
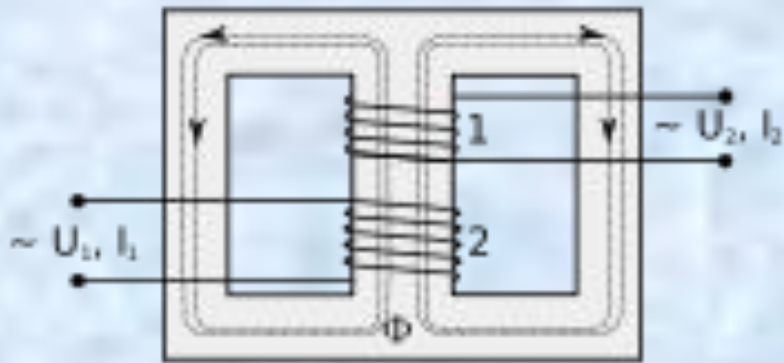
- Рассмотрим типичные структурные схемы источников питания, получающих энергию от промышленной сети с частотой 50 Гц.
- Рассмотрим вначале источник питания без преобразователя частоты, структурная схема которого представлена на рисунке.



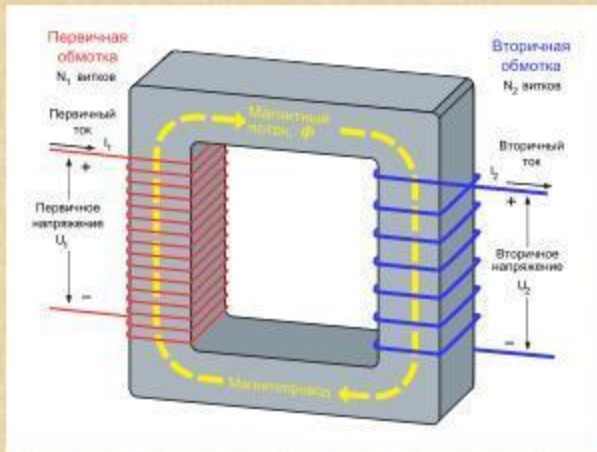
*Трансформатор предназначен для гальванической развязки питающей сети и нагрузки и изменения уровня переменного напряжения. Обычно трансформатор является понижающим. Выпрямитель преобразует переменное напряжение в напряжение одной полярности (пульсирующее). Сглаживающий фильтр уменьшает пульсации напряжения на выходе выпрямителя. Стабилизатор уменьшает изменения напряжения на нагрузке (стабилизирует напряжение), вызванные изменением напряжения сети и изменением тока, потребляемого нагрузкой.*

*Напряжение в сети обычно может изменяться в диапазоне +15...—20 % от номинального значения.*

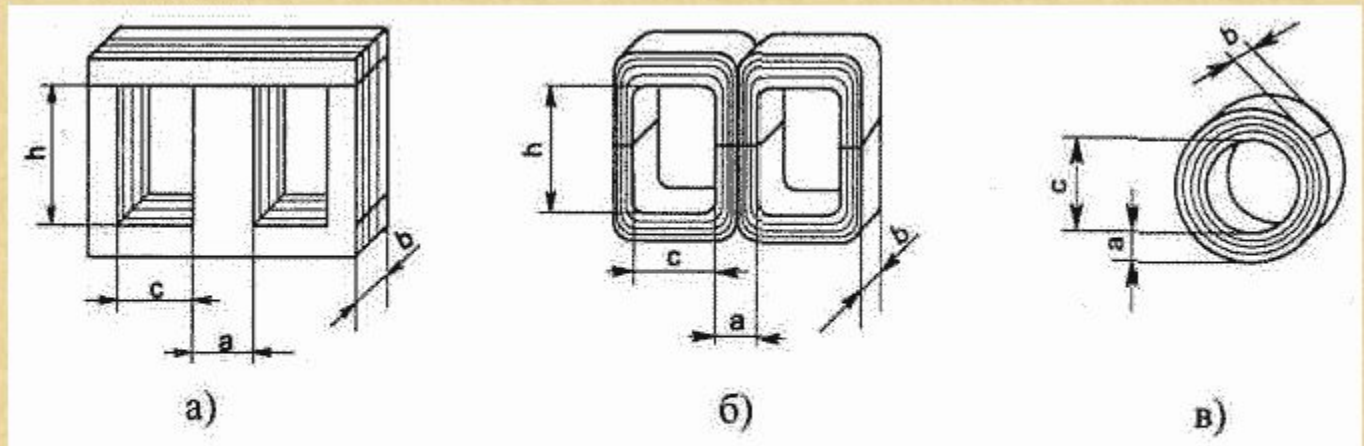
- **Трансформатор** (от [лат.](#) *transformo* — преобразовывать) — статическое (не имеющее подвижных частей) электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции системы переменного тока одного напряжения в систему переменного тока обычно другого напряжения при неизменной частоте и без существенных потерь мощности.



**Трансформатор** – это электронное устройство для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения. Принцип действия трансформатора основан на явлении электромагнитной индукции. Обычно трансформатор состоит из одной первичной обмотки, одной или нескольких изолированных проволочных вторичных обмоток и магнитопровода.



Наиболее часто встречаются три типа конструкции магнитопровода:



Конструкции магнитопроводов трансформаторов: а) броневого пластинчатого; б) броневого ленточного; в) кольцевого ленточного

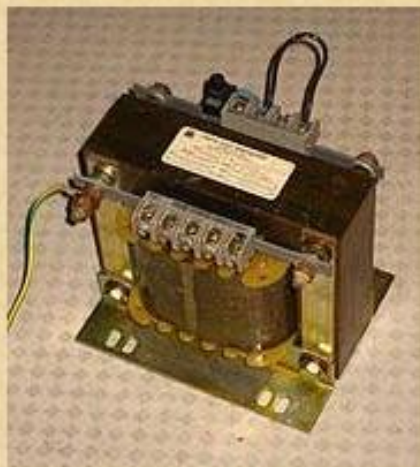
**Силовые трансформаторы** – это очень распространенное устройства, одна из важных единиц электронного оборудования.

**Силовой трансформатор** - устройство, которое осуществляет преобразование энергии переменного тока в сетях энергоснабжения. Без силовых трансформаторов не обойтись для работы радиотехники, систем автоматики и других устройств, питающихся от электросети.

**Трансформаторы тока** были созданы для существенного увеличения напряжения тока, которое поступает от электростанции. Еще такой силовой трансформатор называют повышающим трансформатором тока. С другой стороны, силовые трансформаторы (трансформаторы тока) сокращают высокое напряжение до необходимого для питания электрооборудования придела, к примеру, до 220 вольт. Это есть понижающие силовые трансформаторы.

Еще **трансформатор тока**, используется для измерения больших токов. Первичная обмотка такого трансформатора тока включается в цепь, по которой течет измеряемый переменный ток, а к вторичной подключаются измерительные приборы. Ток, протекающий по вторичной обмотке трансформатора тока, пропорционален току, протекающему в его первичной обмотке.

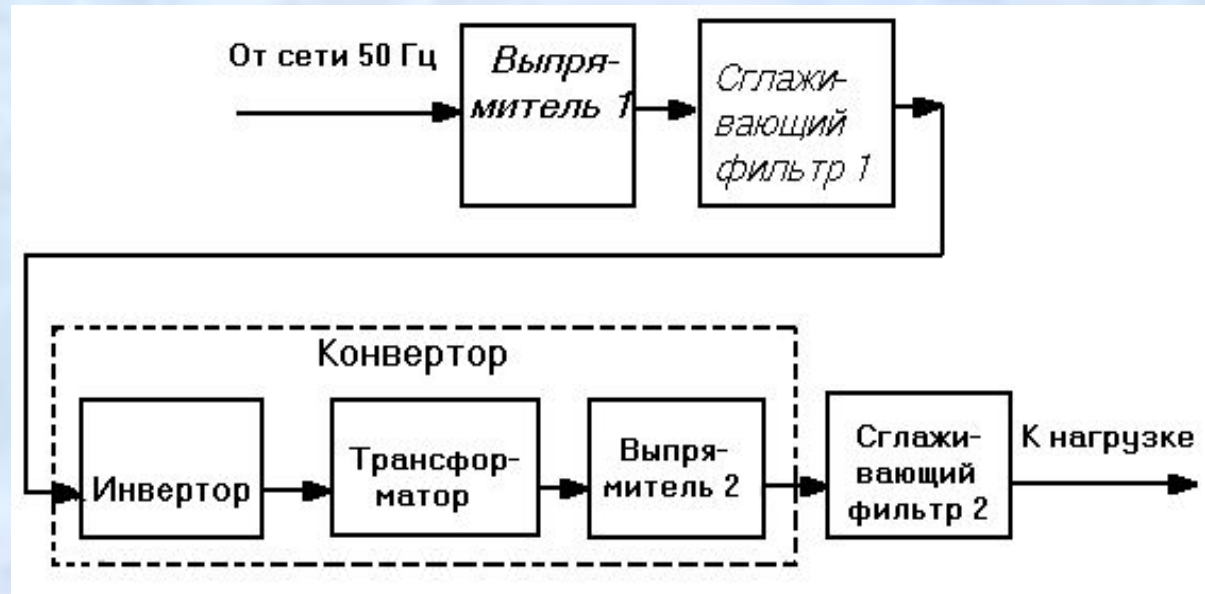
**Трансформатор напряжения** — трансформатор, созданный для преобразования высокого напряжения в низкое напряжение в цепях, в измерительных цепях и цепях РЗА. Использование трансформатора напряжения позволяет изолировать логические цепи защиты или(и) цепи измерения от цепи с высоким напряжением.





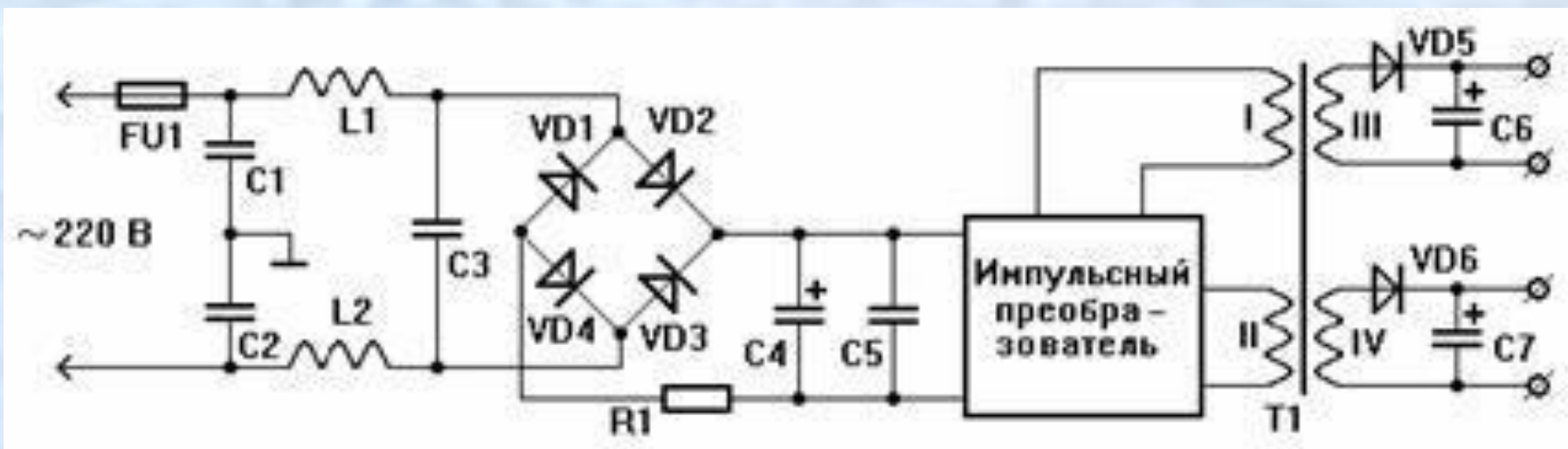
- **Рассмотрим источник питания с преобразователем частоты :**

• В этих источниках напряжение от сети подается непосредственно на выпрямитель 1. На выходе сглаживающего фильтра 1 создается постоянное напряжение, которое вновь преобразуется в переменное с помощью так называемого инвертора.



• Полученное переменное напряжение имеет частоту, значительно превышающую 50 Гц (обычно используют частоты в десятки кГц). Затем напряжение передается через трансформатор, выпрямляется и фильтруется. Так как трансформатор в этой схеме работает на повышенной частоте, то его вес и габариты, а также вес и габариты сглаживающего фильтра 2 оказываются очень незначительными. Как и в предыдущей схеме, основная роль трансформатора состоит в гальванической развязке сети и нагрузки. Инвертор, трансформатор и выпрямитель 2 образуют конвертор — устройство для изменения уровня постоянного напряжения.

• Необходимо отметить, что в такой схеме инвертор выполняет роль стабилизатора напряжения. В качестве активных приборов в инверторе используются транзисторы (биполярные или полевые). Иногда применяются тиристоры.

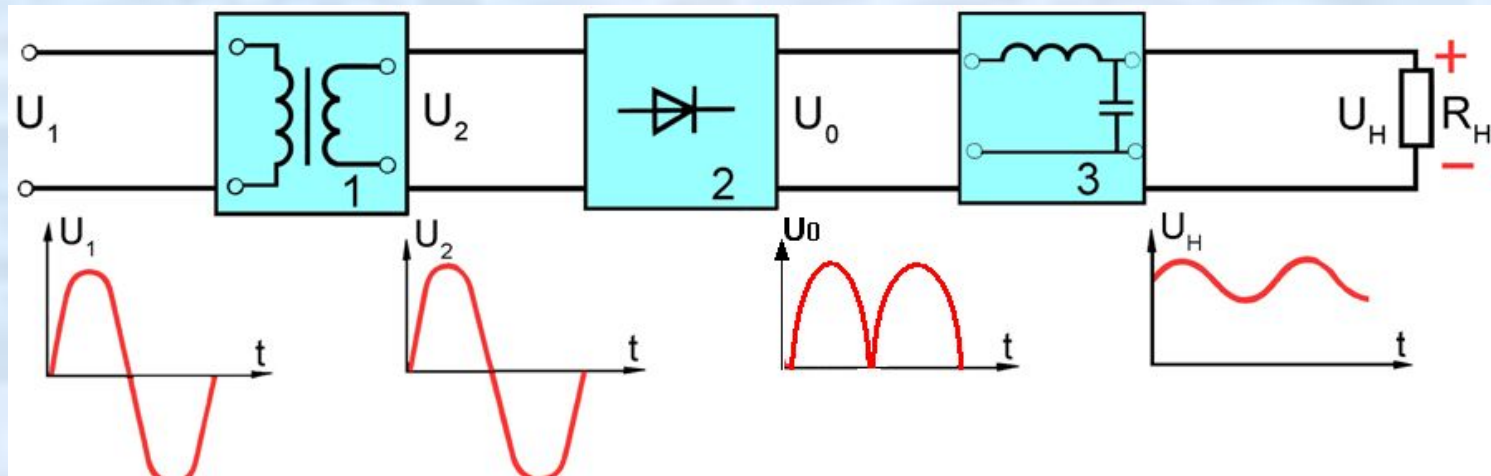


**Импульсный блок питания**

# •Выпрямители

- Выпрямители предназначены для преобразования переменного напряжения (тока) в постоянный. Они применяются для питания радиотехнических устройств на полупроводниковых и интегральных элементах. ,
  - В зависимости от числа фаз различают: однофазные и многофазные (обычно трехфазные) выпрямители.
  - По величине мощности выпрямители делят на: выпрямители малой, средней к большой мощности. Выпрямители малой мощности, как правило, являются однофазными, средней и большой мощности - трехфазные.

- **Обобщенная блок-схема выпрямителя малой мощности приведена на рисунке**



*Выпрямитель состоит из силового трансформатора (1), понижающего напряжение в сети, выпрямителя (2), преобразующего переменное напряжение  $U_2$  в пульсирующее  $U_0$ , постоянного по направлению и сглаживающего фильтра (3).*

## **Эксплуатационные свойства выпрямителей характеризуют следующие основные величины:**

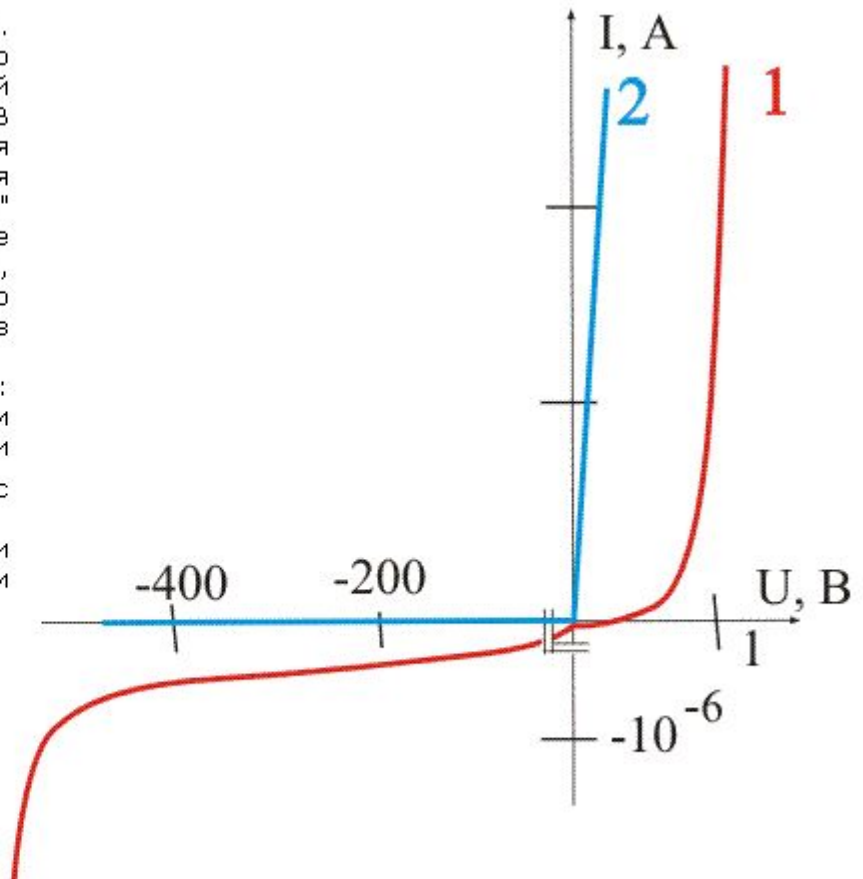
- **Среднее значение выпрямленного напряжения и тока ( $U_0, I_0$ ).**
- **Коэффициент полезного действия (КПД).**
- **Коэффициент пульсаций  $P$ , определяемый отношением амплитуды первой гармоники  $U_{m1}$  выпрямленного напряжения к величине его средней составляющей  $U_0$**
- **$$P = U_{m1} / U_0 .$$**
- **Внешняя характеристика - зависимость выходного (выпрямленного) напряжения от величины потребляемого нагрузкой тока  $U_0 = f(I_n)$ .**

Для различных нагрузок коэффициент пульсаций не должен превышать определенного значения, например, для электропитания портативных звуковоспроизводящих устройств, коэффициент пульсации выпрямленного напряжения должен быть в пределах  $10^{-3} \dots 10^{-2}$ , микрофонных и предварительных каскадов усилителей низкой частоты -  $10^{-5} \dots 10^{-4}$ .

Простейшим полупроводниковым прибором является диод. Выпрямительный диод предназначен для преобразования переменного напряжения в постоянное. Идеальный выпрямитель должен при одной полярности ток пропускать, при другой полярности не пропускать. В качестве примера на правом рисунке показана вольтамперная характеристика кремниевых диода средней мощности (линия 1). Для примера на этом же графике приведена характеристика "идеального" ключа, который пропускает ток при положительном напряжении и не пропускает при отрицательном. Как видно из сравнения графиков, свойства полупроводникового диода близки к свойствам идеального выпрямителя, поскольку для него ток в прямом направлении может в миллионы раз быть больше тока в обратном направлении.

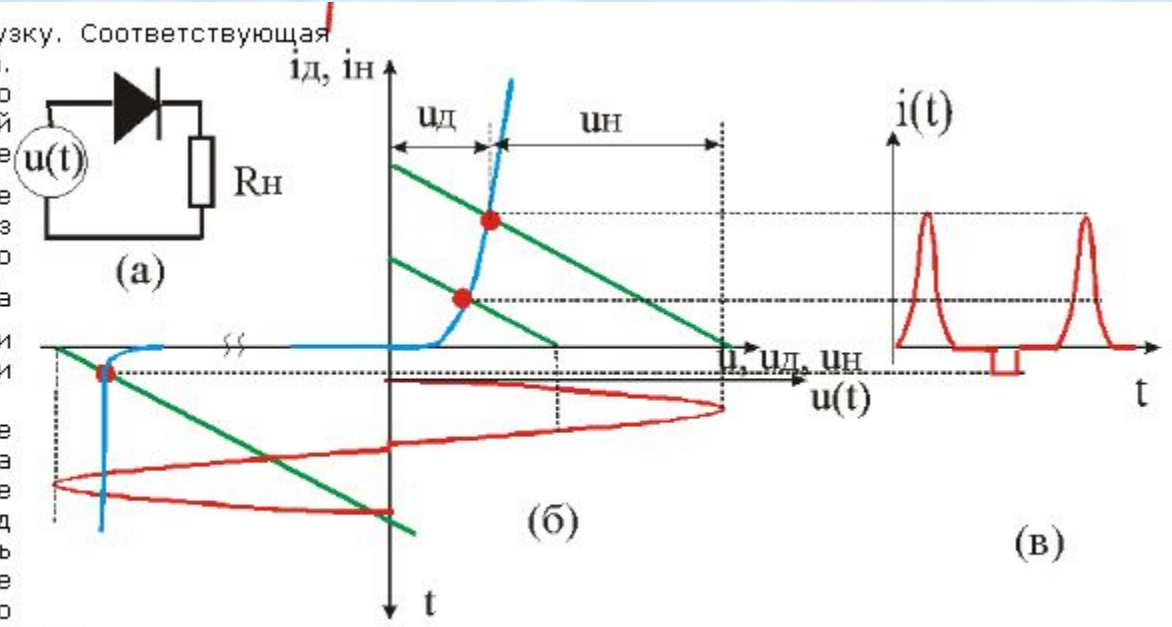
К основным недостаткам полупроводникового диода следует отнести: при прямом смещении - наличие области малых токов на начальном участке ("пятка") и конечного сопротивления толщ  $r_s$  ; при обратном - наличие пробоя и небольшого (сильно возрастающего с температурой) обратного тока.

Следует обратить внимание на то, что прямая и обратная ветви вольтамперной характеристики представлены на рисунке в разном масштабе.

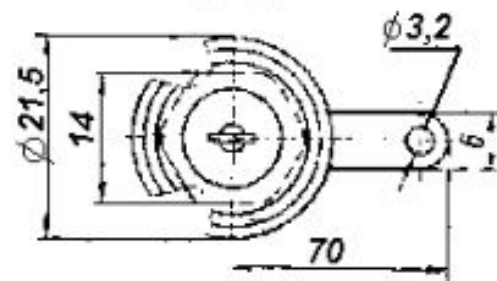
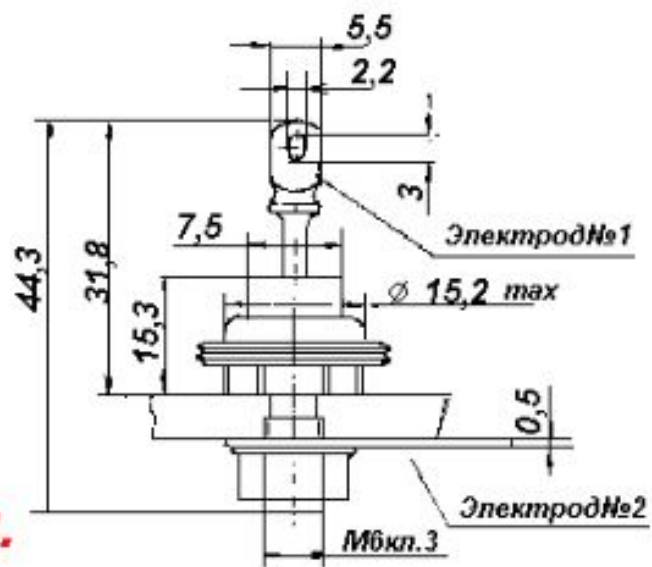
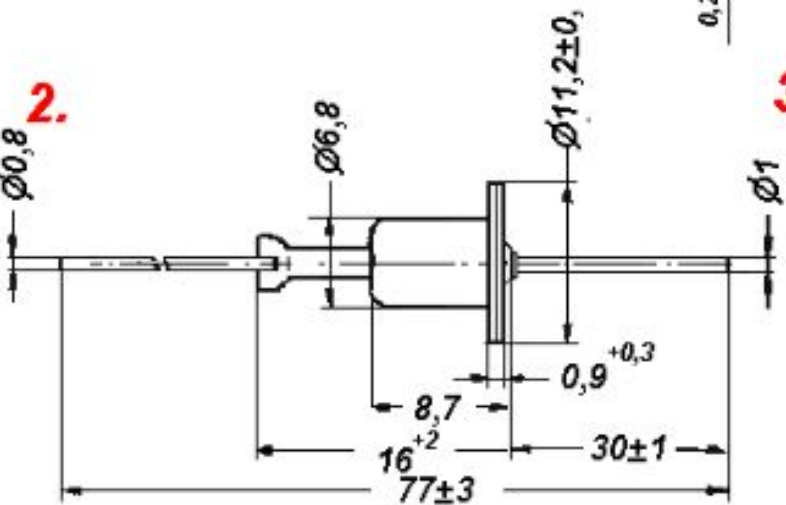
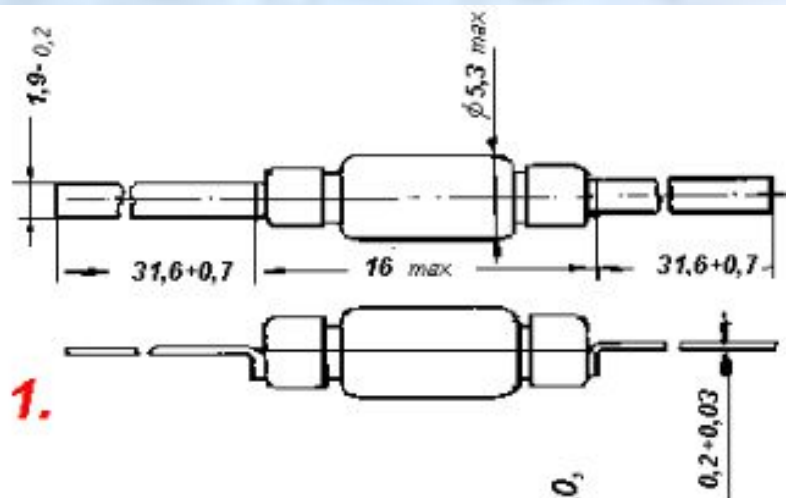


Рассмотрим работу диода на активную нагрузку. Соответствующая схема показана на следующем рисунке справа. Ток через диод описывается его вольтамперной характеристикой  $I_{\text{диод}} = f(U_{\text{диод}})$ , ток через нагрузочное сопротивление, поскольку соединение последовательное, будет равен току через диод  $I_{\text{диод}} = I_{\text{нагр}} = I$  и для него справедливо соотношение  $I_{\text{нагр}} = (U(t) - U_{\text{диод}})/R_{\text{н}}$ . На рисунке показаны линии, описывающие эти функциональные зависимости: ВАХ диода и нагрузочную характеристику.

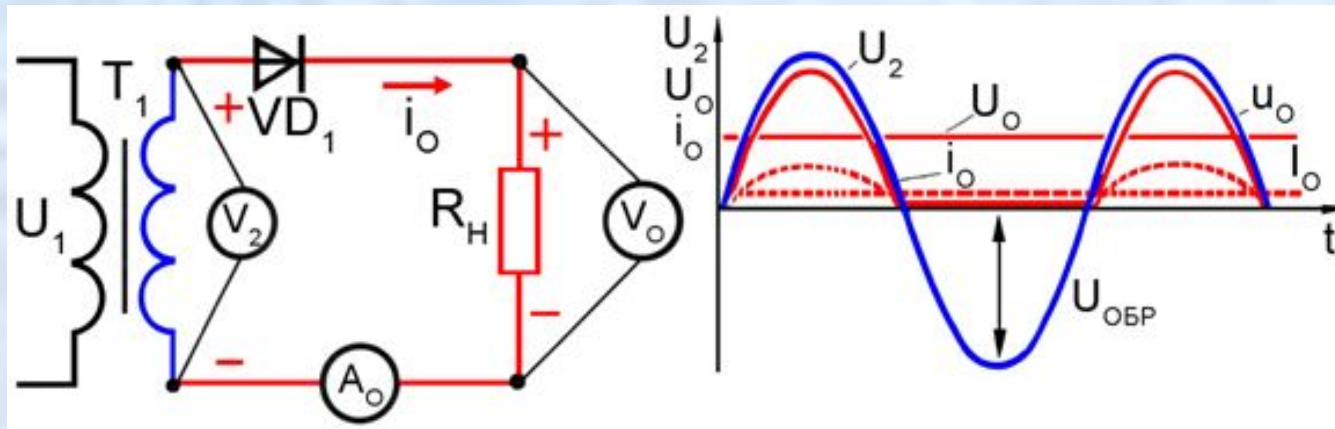
Как видно из рисунка, чем круче характеристика диода и чем меньше зона малых токов ("пятка"), тем лучше выпрямительные свойства диода. Заход рабочей точки в предпробойную область приводит не только к выделению в диоде большой мощности и возможному его разрушению, но и к потере выпрямительных свойств.





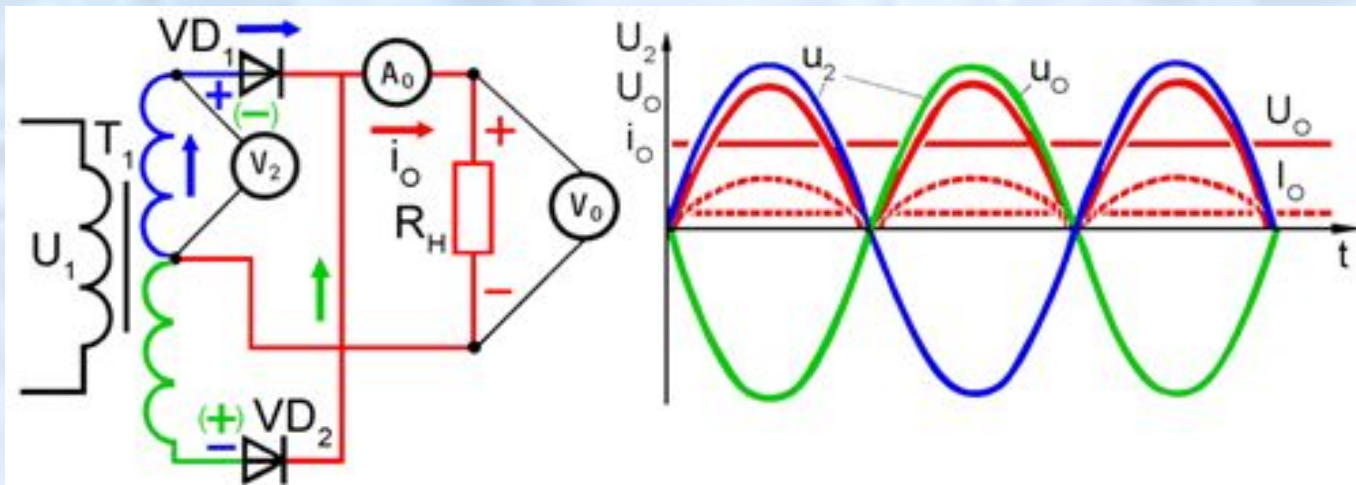


# • Однополупериодный выпрямитель.



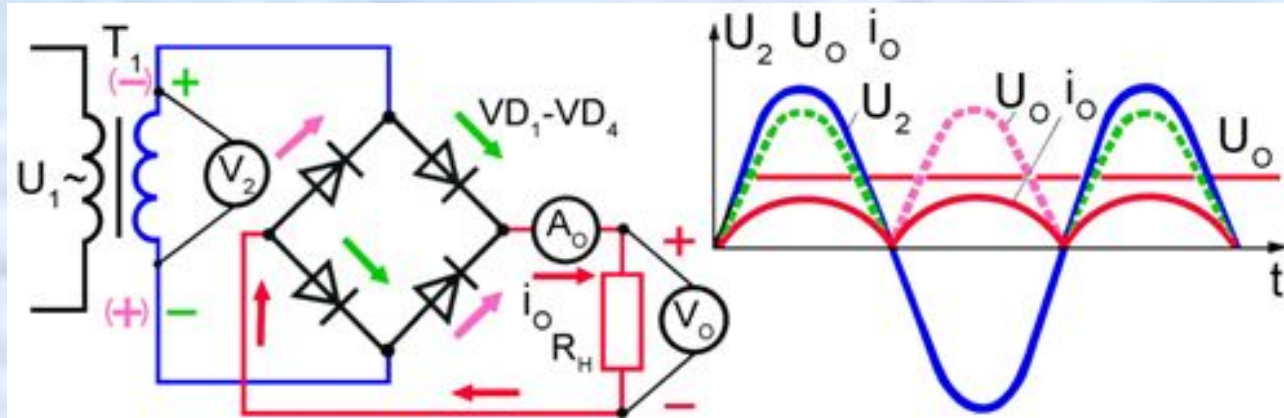
- *Выпрямление основано на односторонней проводимости (вентильных свойствах) полупроводниковых диодов.*
- *Ток в цепи нагрузки протекает только когда напряжение на выходе трансформатора имеет указанные знаки.*
- *$I_o$  и  $U_o$  – постоянные составляющие напряжения и тока в нагрузке*

# • Двухполупериодный выпрямитель.

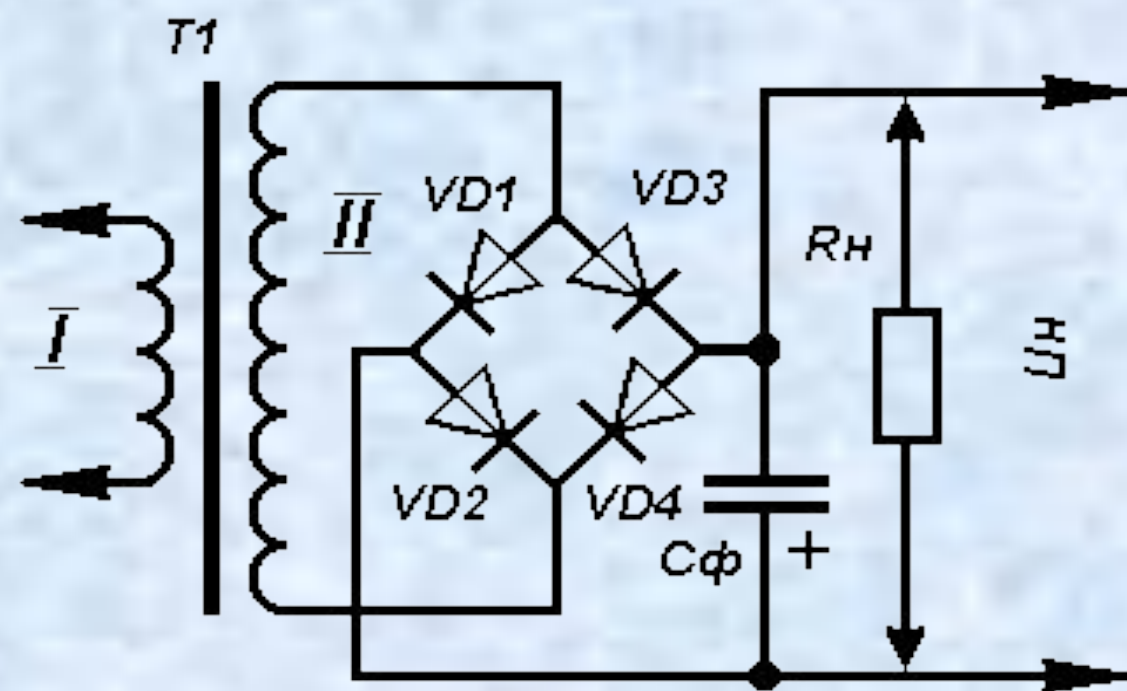


- Ток в течении первого полупериода протекает через диод  $VD_1$ , как показано на рисунке. В течении второго полупериода знаки потенциалов меняются (показано в скобках) и ток протекает через диод  $VD_2$ . В нагрузке в течении обоих полупериодов протекает пульсирующий ток, постоянный по направлению

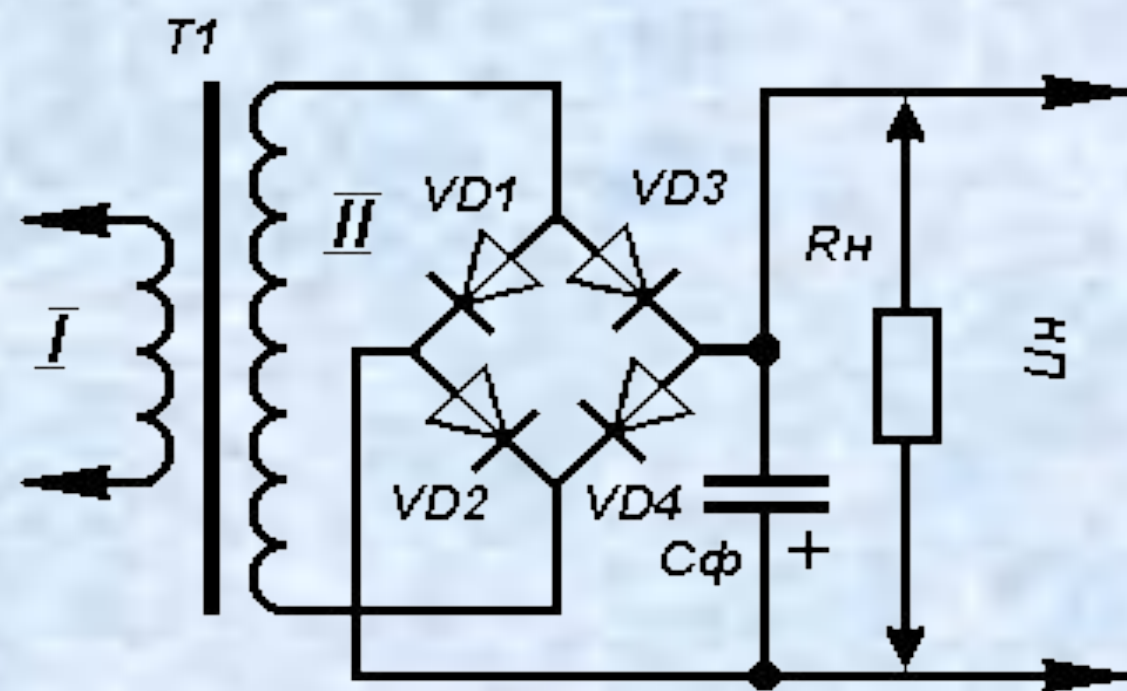
# • Мостовой выпрямитель



- В этой схеме каждый полупериод ток протекает через два противоположных диода.
- Ток обозначен красным цветом. Напряжение в один полупериод обозначено зеленым цветом, а в другой розовым.

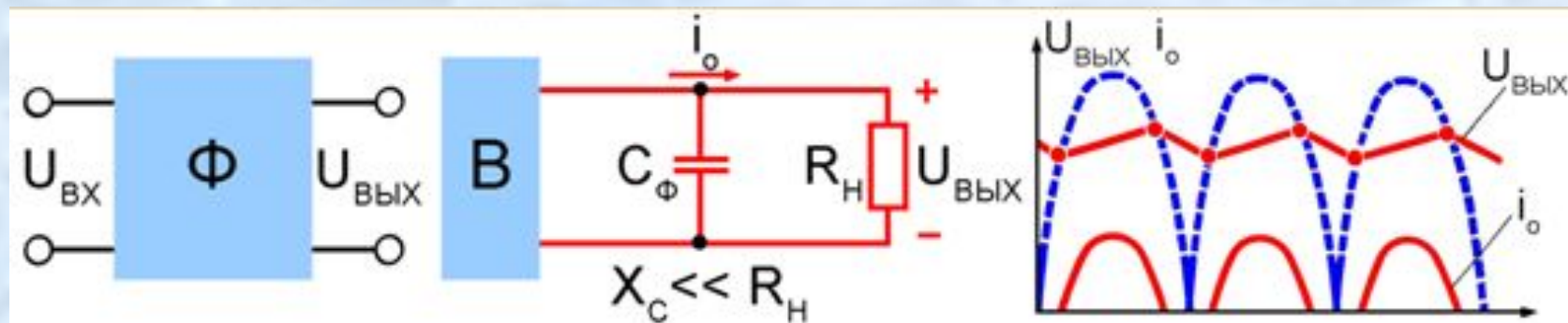


*Рис. 1*



*Рис. 1*

# • Фильтры.

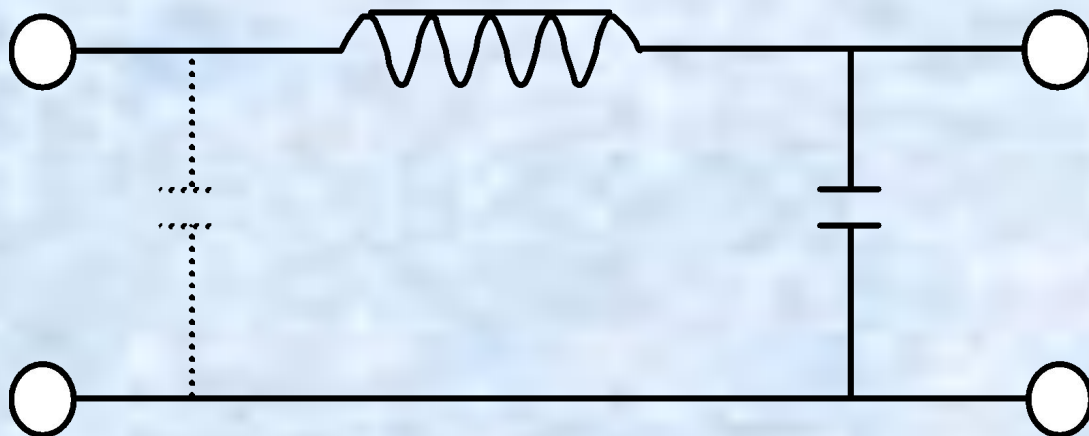


- Емкостный сглаживающий фильтр

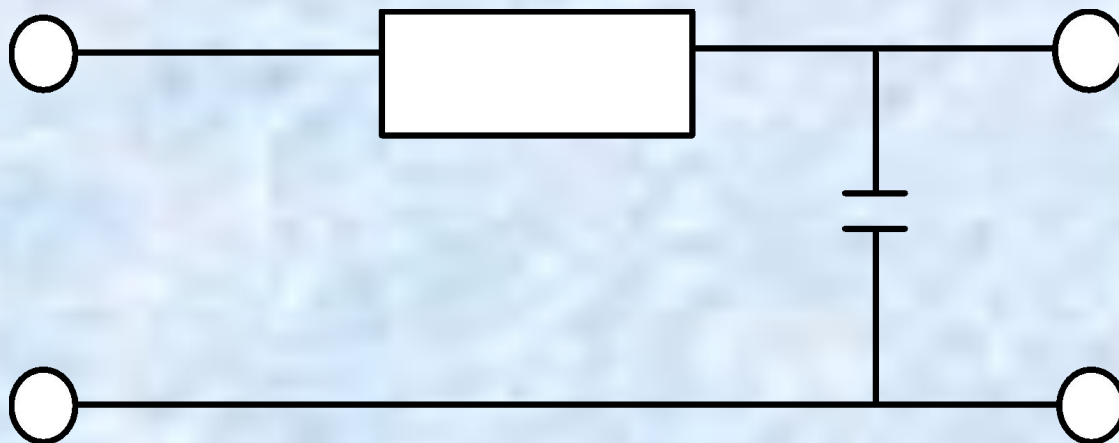
$B$  – выпрямитель

Выпрямитель выдает пульсирующее напряжение для питания большинства электронных устройств. **Простейшим сглаживающим фильтром является конденсатор, подключенный параллельно нагрузке.** В течении части периода, когда напряжение выпрямителя превышает напряжение на конденсаторе, он подзаряжается, а затем отдает накопленные заряды, поддерживая ток в нагрузке. В результате пульсации значительно уменьшаются при достаточно большой емкости конденсатора.

**LC – фильтр**



**•RC – фильтр**





- **Стабилизатор напряжения** — электрическое устройство, получающее питание от внешнего источника питания и выдающее на своём выходе напряжение, не зависящее от напряжения питания (при условии, что напряжение питания не выходит за допустимые пределы).
- По типу выходного напряжения стабилизаторы делятся на стабилизаторы постоянного тока и переменного тока.

## Стабилизаторы постоянного напряжения

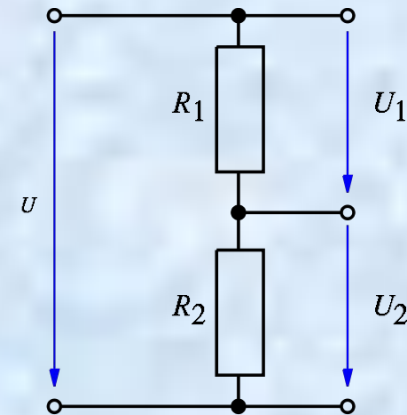


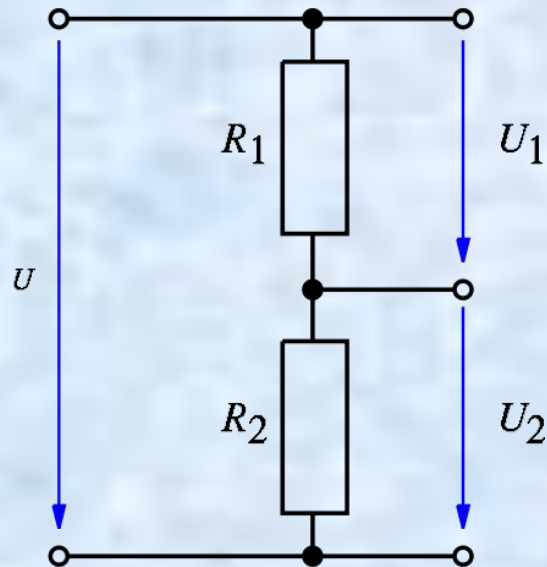
$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{вых}}$$

**Коэффициент стабилизации  
напряжения (100-1000 единиц)**

- **Параметрические стабилизаторы.**
- **Компенсационные.**
  
- **Аналоговые.**
- **Импульсные.**

**ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ** - электрическая схема, состоящая из двух сопротивлений, подключенных к источнику питания последовательно, к точке соединения которых (параллельно одному из сопротивлений) подключена нагрузка. Можно представить как два участка цепи, называемые плечами, сумма напряжений на которых равна входному напряжению. Плечо между нулевым потенциалом и средней точкой называют нижним, а другое — верхним. Сопротивление может быть как активным, так и реактивным, как линейным так и нелинейным. Делитель напряжения имеет важное значение в схемотехнике. В качестве реактивного делителя напряжения можно привести простейший электрический фильтр, а в качестве нелинейного — параметрический стабилизатор напряжения.





**Простейший резистивный делитель напряжения представляет собой два последовательно включённых резистора  $R_1$  и  $R_2$ , подключённых к источнику напряжения  $U$ .**

Поскольку резисторы соединены последовательно, то ток через них будет одинаковый. Падение напряжения на каждом резисторе согласно закону Ома будет пропорционально сопротивлению  **$U=I \cdot R$** .

$$U = U_1 + U_2 ; U_1 = I \cdot R_1 ; U_2 = I \cdot R_2$$

Разделив выражение для  $U_1$  на выражение для  $U_2$  в итоге получаем:

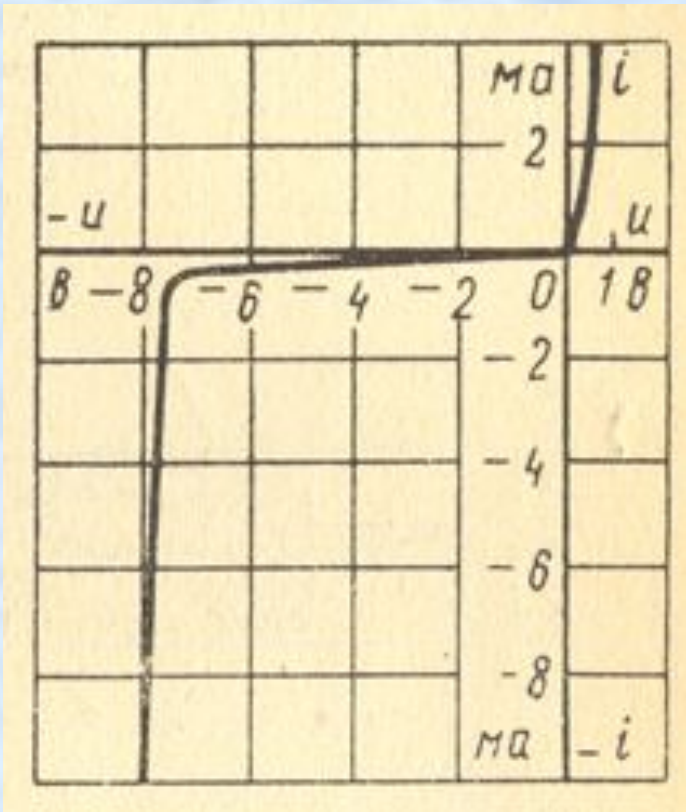
$$U_1/U_2 = R_1/R_2$$

**отношение напряжений  $U_1$  и  $U_2$  = отношению сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ .**

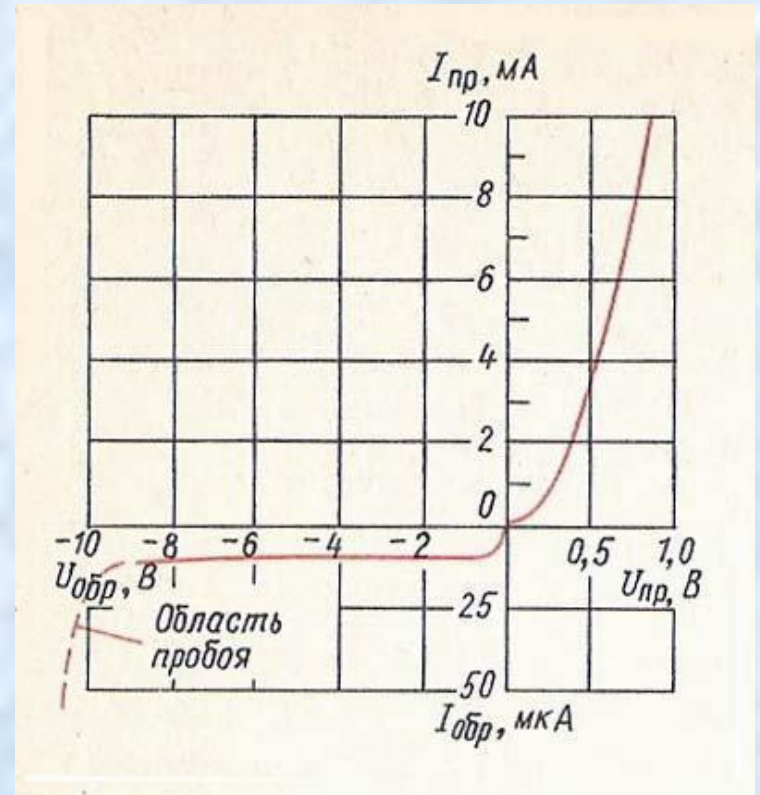
- Следует обратить внимание, что сопротивление нагрузки делителя напряжения должно быть много больше собственного сопротивления делителя, так, чтобы в расчетах этим сопротивлением можно было бы пренебречь.

## ЛИНЕЙНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР

- Линейный стабилизатор представляет собой делитель напряжения, на вход которого подаётся входное (нестабильное) напряжение, а выходное (стабилизированное) напряжение снимается с нижнего плеча делителя. Стабилизация осуществляется путём изменения сопротивления одного из плеч делителя: сопротивление постоянно поддерживается таким, чтобы напряжение на выходе стабилизатора находилось в установленных пределах. Линейный стабилизатор имеет низкий КПД, так как часть мощности  $P_{\text{расс}} = (U_{\text{in}} - U_{\text{out}}) * I_t$  рассеивается в виде тепла на регулирующем элементе. Исходя из этого, регулирующий элемент должен иметь соответствующую рассеиваемую мощность и, при необходимости, должен быть установлен на радиатор нужной площади. Преимущество линейного стабилизатора — простота и небольшое количество используемых деталей.
- В зависимости от расположения элемента с изменяемым сопротивлением линейные стабилизаторы делятся на два типа:
- **Последовательный**: регулирующий элемент находится в верхнем плече делителя (то есть последовательно с нагрузкой).
- **Параллельный**: регулирующий элемент находится в нижнем плече делителя (то есть параллельно нагрузке).



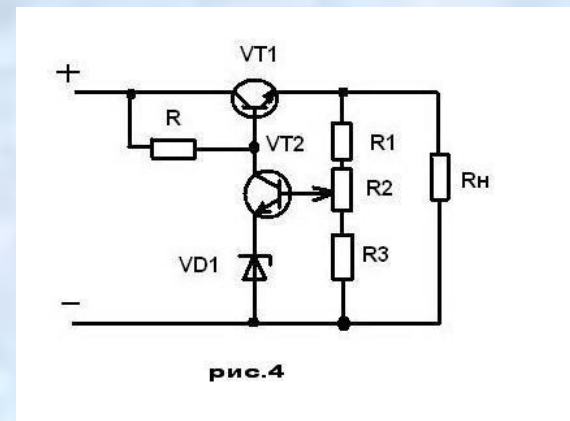
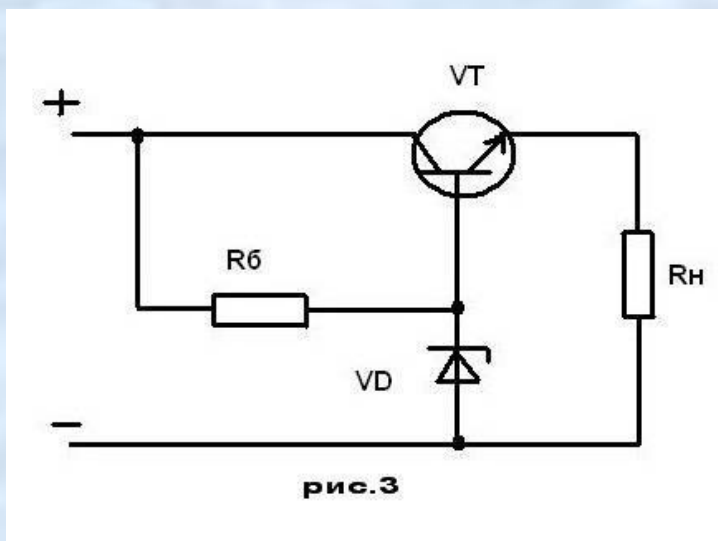
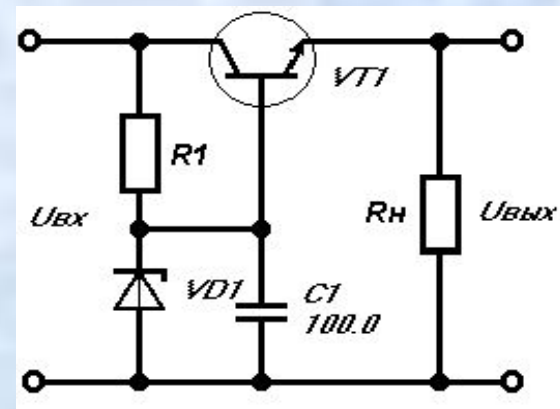
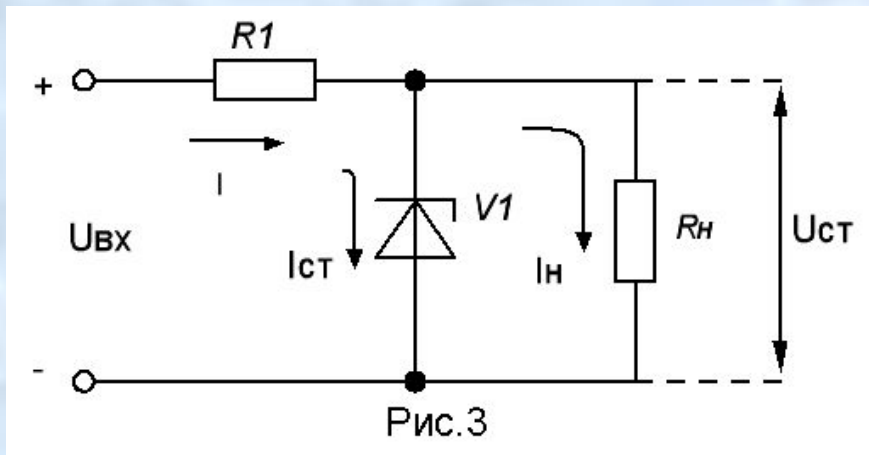
ВАХ стабилитрона



ВАХ диода



- Для питания низковольтных устройств широко используются полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения. Стабилизаторы делятся на два основных класса: параллельного и последовательного типов. Наибольшее распространение получили стабилизаторы последовательного типа.
- К основным параметрам стабилизаторов напряжения относятся: выходное сопротивление, коэффициент стабилизации, коэффициент полезного действия стабилизатора.
- **Выходное сопротивление** стабилизатора напряжения равно отношению изменения выходного напряжения к соответствующему изменению тока нагрузки.
- **Коэффициент стабилизации** равен отношению относительного изменения входного напряжения к относительному изменению выходного напряжения:
- **Коэффициент полезного действия** – это отношение номинальной мощности в нагрузке к номинальной входной мощности.



## Параметрические стабилизаторы напряжения

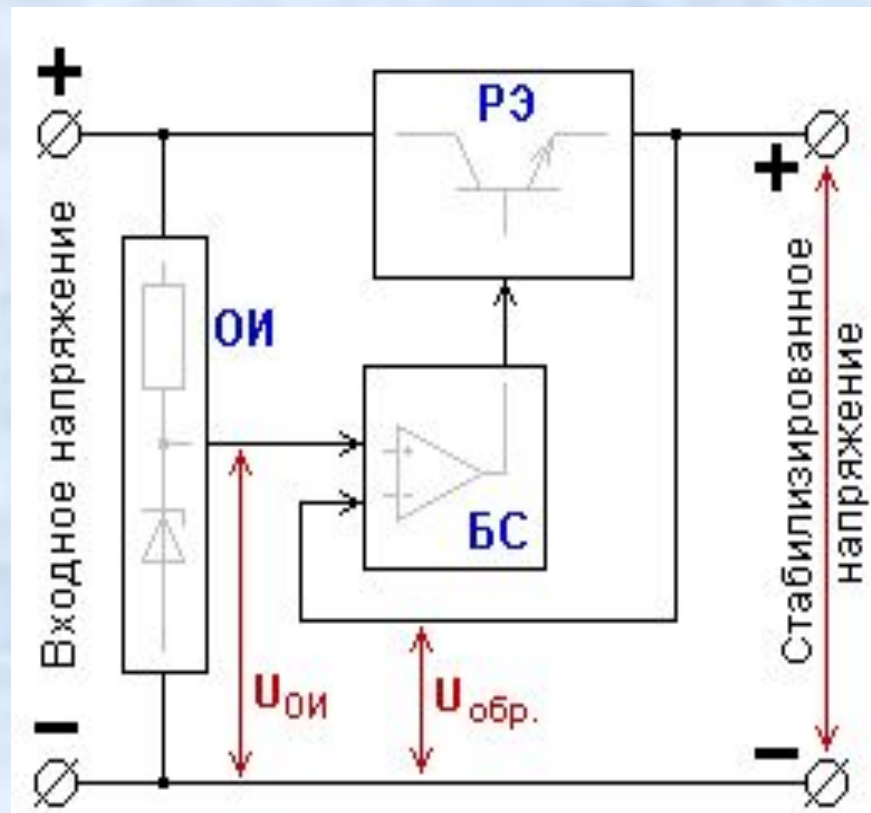
**Опорный Источник ОИ** является задающей основой и неотъемлемой частью всех стабилизаторов. В простейшем случае представляет собой параметрический стабилизатор на стабилитроне.

Опорный источник вырабатывает точно заданное напряжение  $U_{ОИ}$ .

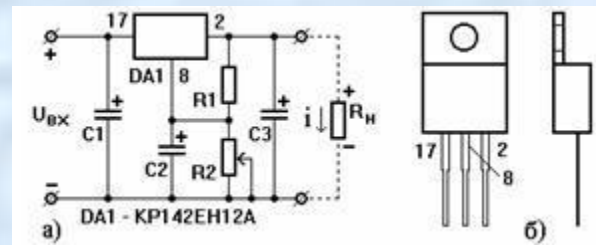
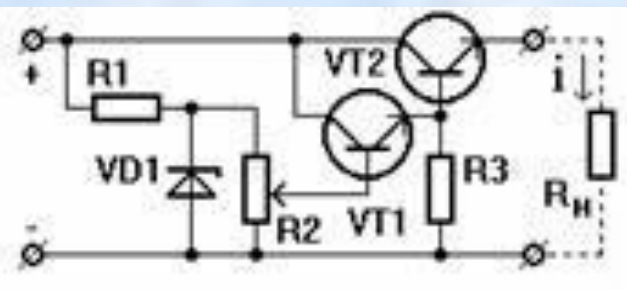
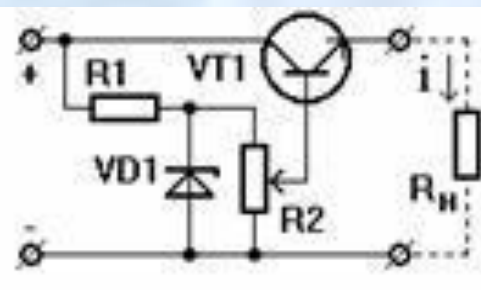
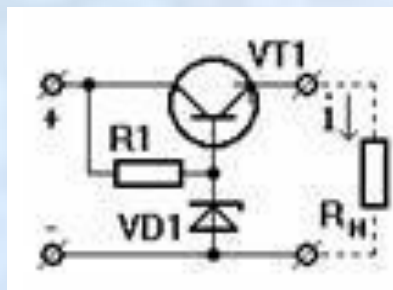
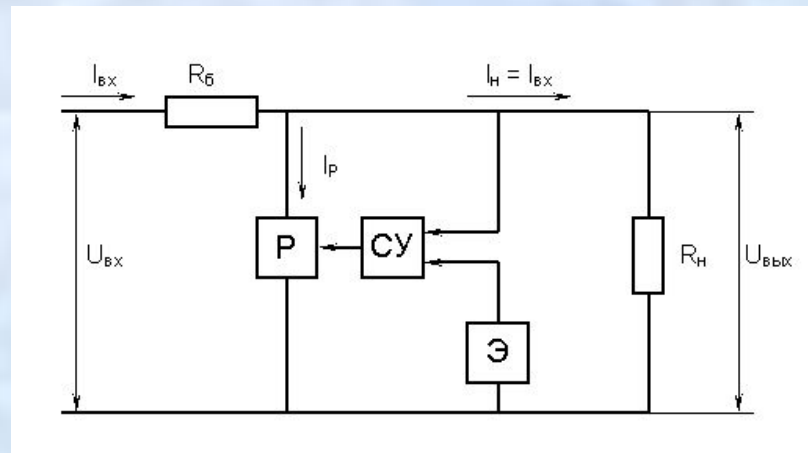
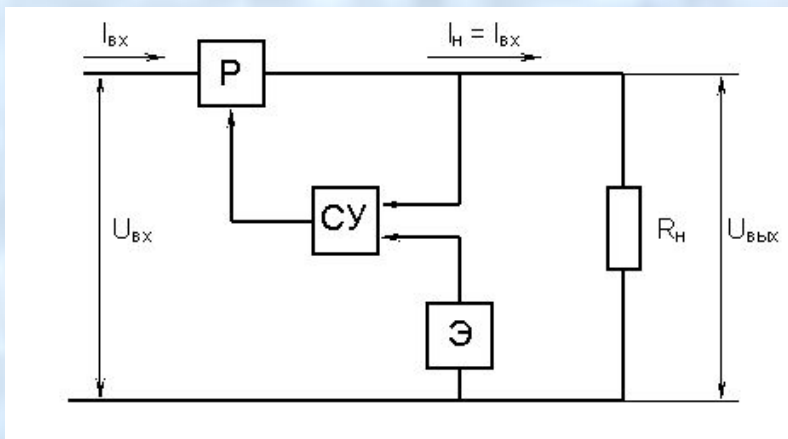
**Блок Сравнения БС** сравнивает напряжение на выходе стабилизатора (напряжение обратной связи)  $U_{обр.}$  с напряжением Опорного Источника  $U_{ОИ}$ .

Выход Блока Сравнения соединён с **Регулирующим Элементом РЭ**.

Регулирующий Элемент может менять своё сопротивление в зависимости от управляющего сигнала Блока Сравнения.



**Компенсационный стабилизатор**



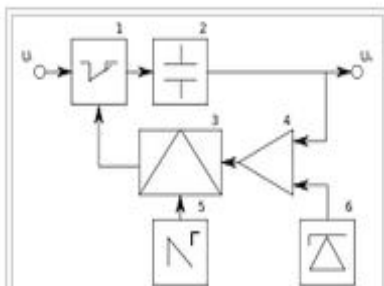
## Компенсационные стабилизаторы напряжения

- Сущность компенсационного метода стабилизации сводится к автоматическому регулированию выходного напряжения.
- В компенсационных стабилизаторах производится сравнение фактической величины входного напряжения с его заданной величиной и в зависимости от величины и знака рассогласования между ними автоматически осуществляется корректирующее воздействие на элементы стабилизатора, направленное на уменьшение этого рассогласования.
- Схемы компенсационных стабилизаторов постоянного напряжения бывают последовательного и параллельного типов

Для различных нагрузок коэффициент пульсаций не должен превышать определенного значения, например, для электропитания портативных звуковоспроизводящих устройств, коэффициент пульсации выпрямленного напряжения должен быть в пределах  $10^{-3} \dots 10^{-2}$ , микрофонных и предварительных каскадов усилителей низкой частоты -  $10^{-5} \dots 10^{-4}$ .

- **Импульсный стабилизатор напряжения — это стабилизатор напряжения, в котором регулирующий элемент работает в ключевом режиме, то есть большую часть времени он находится либо в режиме отсечки, когда его сопротивление максимально, либо в режиме насыщения — с минимальным сопротивлением, а значит может рассматриваться как ключ.**
- Плавное изменение напряжения происходит благодаря наличию интегрирующего элемента: напряжение повышается по мере накопления им энергии и снижается по мере отдачи её в нагрузку. Такой режим работы позволяет значительно снизить потери энергии, а также улучшить массогабаритные показатели, однако имеет свои особенности.

Важнейшими элементами импульсного источника питания являются ключ — устройство, способное за короткое время изменить сопротивление прохождению тока с минимального на максимальное, и наоборот, и интегратор, напряжение на котором не может измениться мгновенно, а плавно растёт по мере накопления им энергии и так же плавно падает по мере отдачи её в нагрузку. Простейшим примером такого элемента может служить конденсатор, перед которым включено некоторое ненулевое сопротивление (в качестве которого может служить, к примеру, внутреннее сопротивление источника питания)<sup>[замечание 1]</sup>.

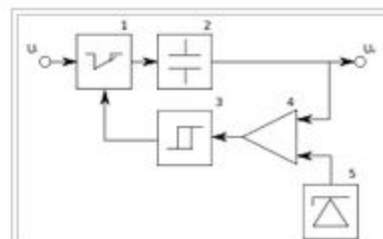


Функциональная схема импульсного стабилизатора

На рисунке изображена функциональная схема импульсного стабилизатора на основе **широтно-импульсной модуляции**. Входное напряжение  $U_1$  через **ключ (1)** поступает на интегратор (2). Интегратор накапливает энергию, подаваемую с ключа и отдаёт её в нагрузку, когда ключ разомкнут. В результате на выходе имеем усреднённое значение напряжения, которое зависит от входного напряжения и **скважности** импульсов с небольшой пульсацией, зависящей от **частоты** генератора и **ёмкости** конденсатора. Это напряжение с помощью **операционного усилителя (4)** сравнивается с опорным напряжением с эталона (6). Разница между ними поступает на **модулятор (3)**. Модулятор преобразует импульсы генератора (5) в прямоугольные импульсы, скважность которых зависит от разности между опорным и выходным напряжением. Обычно генератор выдаёт треугольные или пилообразные импульсы, которые преобразуются в прямоугольные с помощью порогового элемента с регулируемым порогом срабатывания. Импульсы с выхода модулятора управляют замыканием и размыканием ключа (1).

Несколько иначе устроен **ключевой** стабилизатор напряжения (называемый также **релейным** или **стабилизатором с двухпозиционным регулированием**<sup>[2]</sup>). В нём также входное напряжение поступает через ключевой элемент (1) на накопитель (2), а выходное сравнивается с опорным в ОУ (4). Однако разность между ними подаётся на **триггер Шмитта (3)**. Как только выходное напряжение превышает опорное на определённую величину  $U_1$ , триггер Шмитта открывается и закрывает ключ (1). Накопитель разряжается, пока напряжение на нём не упадёт ниже некоторой величины  $U_2$ , после чего ключ снова открывается и процесс повторяется.

Такой стабилизатор проще по конструкции, однако частота замыкания/размыкания ключа в нём непостоянна, что не всегда удобно. Кроме того, при двухпозиционном регулировании возможно использование не всех видов преобразователей: например невозможно использование описанного ниже повышающего преобразователя.

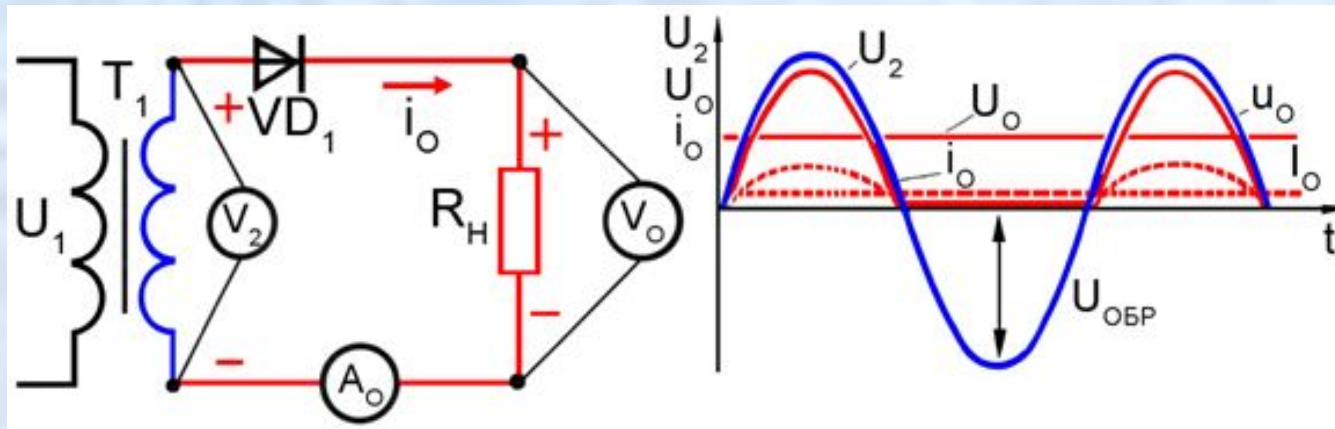


Функциональная схема ключевого стабилизатора



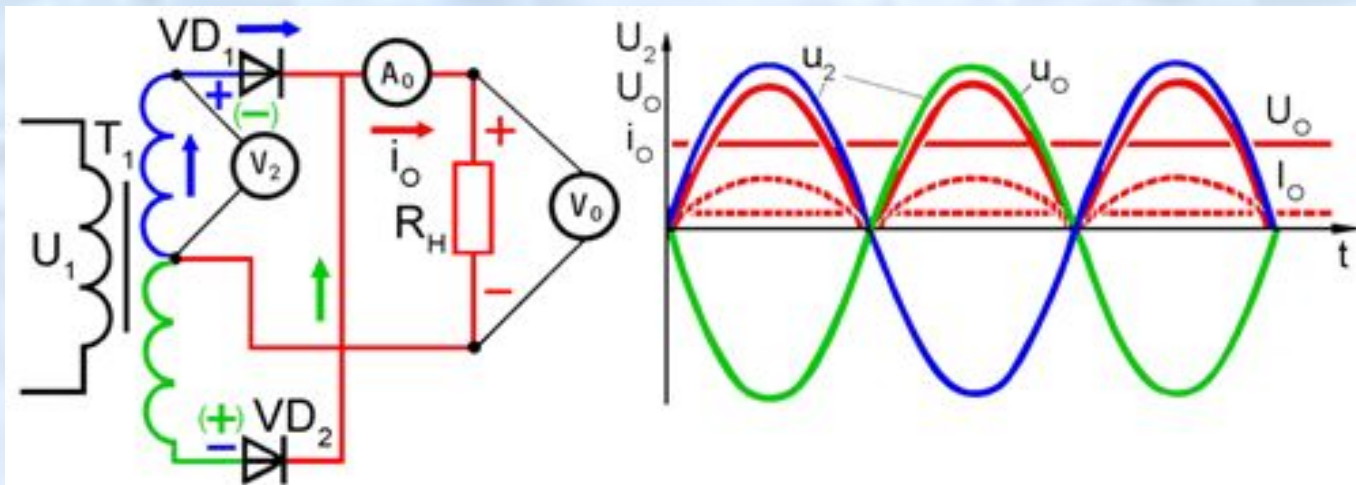


# • Однополупериодный выпрямитель.



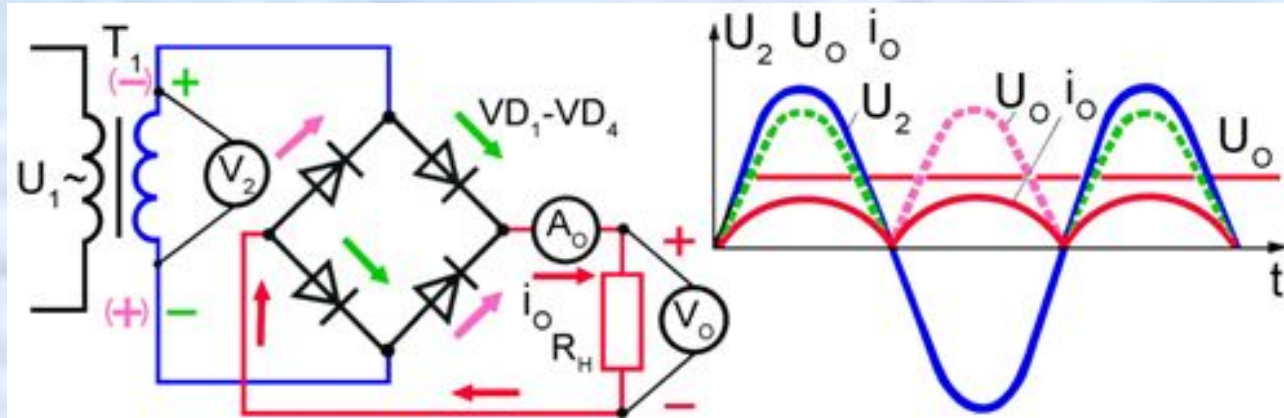
- *Выпрямление основано на односторонней проводимости (вентильных свойствах) полупроводниковых диодов.*
- *Ток в цепи нагрузки протекает только когда напряжение на выходе трансформатора имеет указанные знаки.*
- *$I_0$  и  $U_0$  – постоянные составляющие напряжения и тока в нагрузке*

# • Двухполупериодный выпрямитель.



- Ток в течении первого полупериода протекает через диод  $VD_1$ , как показано на рисунке. В течении второго полупериода знаки потенциалов меняются (показано в скобках) и ток протекает через диод  $VD_2$ . В нагрузке в течении обоих полупериодов протекает пульсирующий ток, постоянный по направлению

# • Мостовой выпрямитель



- В этой схеме каждый полупериод ток протекает через два противоположных диода.
- Ток обозначен красным цветом. Напряжение в один полупериод обозначено зеленым цветом, а в другой розовым.

- **Стабилизатор напряжения** — электрическое устройство, получающее питание от внешнего источника питания и выдающее на своём выходе напряжение, не зависящее от напряжения питания (при условии, что напряжение питания не выходит за допустимые пределы).
- По типу выходного напряжения стабилизаторы делятся на стабилизаторы постоянного тока и переменного тока.

## Стабилизаторы постоянного напряжения



$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta U_{вых}}$$

**Коэффициент стабилизации  
напряжения (100-1000 единиц)**

- **Основные электрические характеристики батарей.**
- Напряжение на выходе Литий-ионного элемента **аккумуляторной батареи** непостоянно и изменяется в зависимости от степени заряда и режима использования в диапазоне от 3 до 4,2 Вольт. Номинальное напряжение является условным понятием и используется только для маркировки. Причем, разные заводы могут маркировать однотипные элементы и напряжением 3,6 В и 3,7 В. Функционально эти элементы совершенно одинаковы. Так как аккумуляторная батарея часто состоит из нескольких соединенных последовательно элементов, номинальное напряжение батареи вычисляется как сумма номинальных напряжений отдельных элементов.

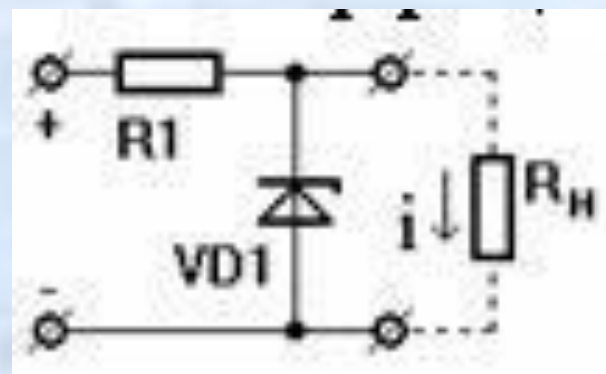
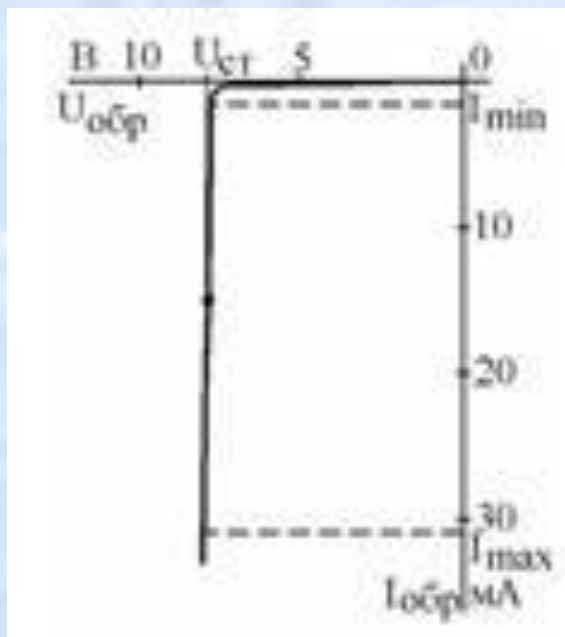




- **Линейный стабилизатор**

- Линейный стабилизатор представляет собой делитель напряжения, на вход которого подаётся входное (нестабильное) напряжение, а выходное (стабилизированное) напряжение снимается с нижнего плеча делителя. Стабилизация осуществляется путём изменения сопротивления одного из плеч делителя: сопротивление постоянно поддерживается таким, чтобы напряжение на выходе стабилизатора находилось в установленных пределах. Линейный стабилизатор имеет низкий КПД, так как часть мощности  $P_{\text{расс}} = (U_{\text{in}} - U_{\text{out}}) * I_t$  рассеивается в виде тепла на регулирующем элементе. Исходя из этого, регулирующий элемент должен иметь соответствующую рассеиваемую мощность и, при необходимости, должен быть установлен на радиатор нужной площади. Преимущество линейного стабилизатора — простота и небольшое количество используемых деталей.
- В зависимости от расположения элемента с изменяемым сопротивлением линейные стабилизаторы делятся на два типа:
- **Последовательный**: регулирующий элемент находится в верхнем плече делителя (то есть последовательно с нагрузкой).
- **Параллельный**: регулирующий элемент находится в нижнем плече делителя (то есть параллельно нагрузке).

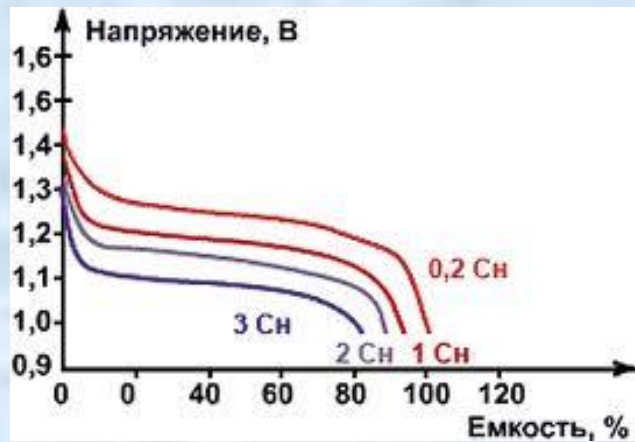
- Для питания низковольтных устройств широко используются полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения. Стабилизаторы делятся на два основных класса: параллельного и последовательного типов. Наибольшее распространение получили стабилизаторы последовательного типа.
- К основным параметрам стабилизаторов напряжения относятся: выходное сопротивление, коэффициент стабилизации, коэффициент полезного действия стабилизатора.
- **Выходное сопротивление** стабилизатора напряжения равно отношению изменения выходного напряжения к соответствующему изменению тока нагрузки.
- **Коэффициент стабилизации** равен отношению относительного изменения входного напряжения к относительному изменению выходного напряжения:
- **Коэффициент полезного действия** – это отношение номинальной мощности в нагрузке к номинальной входной мощности.



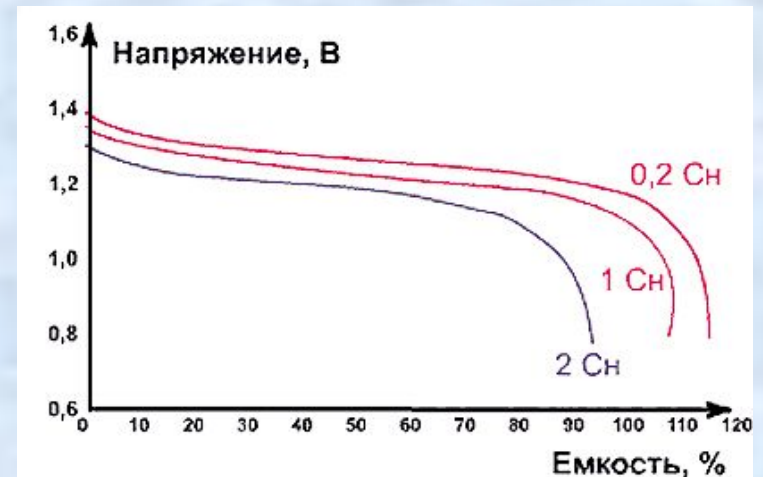
## Параметрические стабилизаторы напряжения

- **Стабилизатор напряжения** — электрическое устройство, получающее питание от внешнего источника питания и выдающее на своём выходе напряжение, не зависящее от напряжения питания (при условии, что напряжение питания не выходит за допустимые пределы).
- По типу выходного напряжения стабилизаторы делятся на стабилизаторы постоянного тока и переменного тока.





Разрядные характеристики NiMH-аккумуляторов



Разрядные характеристики Li-Ion-аккумуляторов

