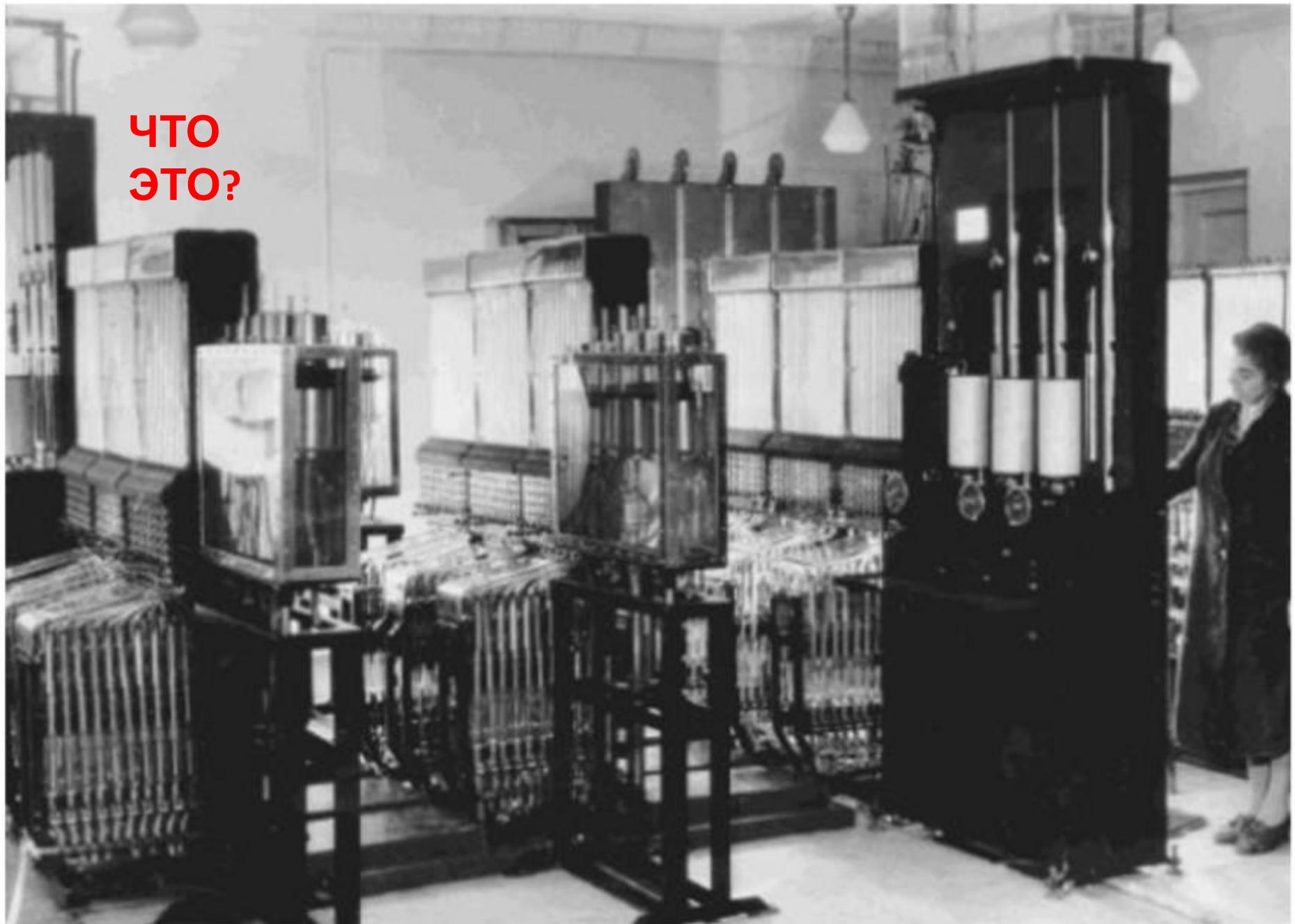


ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

10^{10} Ом

ЧТО
ЭТО?



**АНАЛОГОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА Н.Н.
ПАВЛОВСКОГО
РАБОТАЮЩАЯ НА ВОДЕ 1936 ГОД**



ЛУКЬЯНОВ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ПРЕМИЯ 1951 ГОДА

СОЗДАТЕЛЬ
ГИДРОИНТЕГРАТОР
А

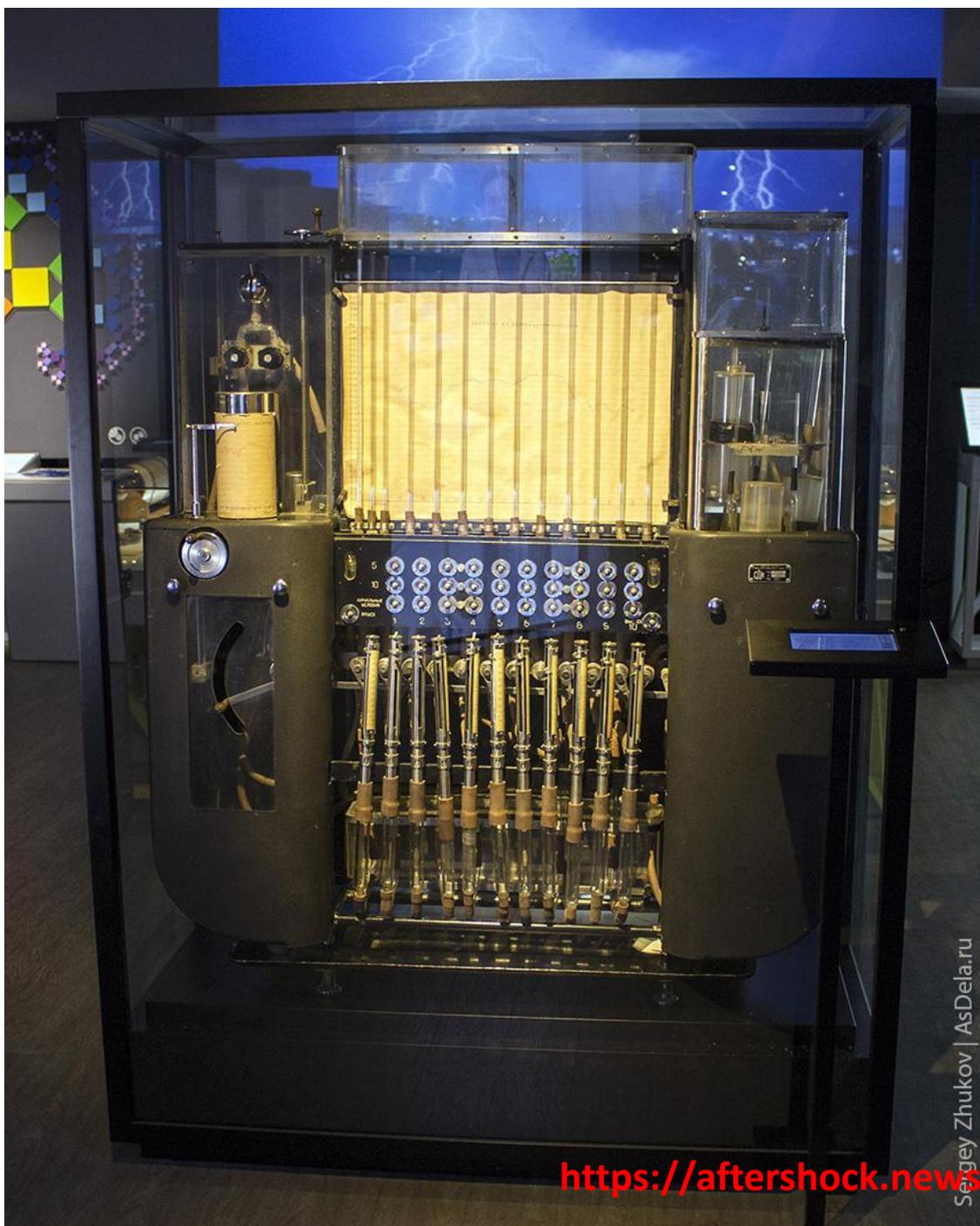
ПОЧЕМУ
ИСПОЛЬЗОВАЛАСЬ
ВОДА, А НЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ
ТОК?

1936

↑ гидроинтегратор
19 декабря 1947↑?



В середине 1970-х годов гидравлические интеграторы применялись в 115 производственных, научных и учебных организациях, расположенных в 40 городах нашей страны. Только в начале 80-х годов появились малогабаритные, дешевые, с большим быстродействием и объемом памяти цифровые ЭВМ, полностью перекрывающие возможности гидроинтегратора.

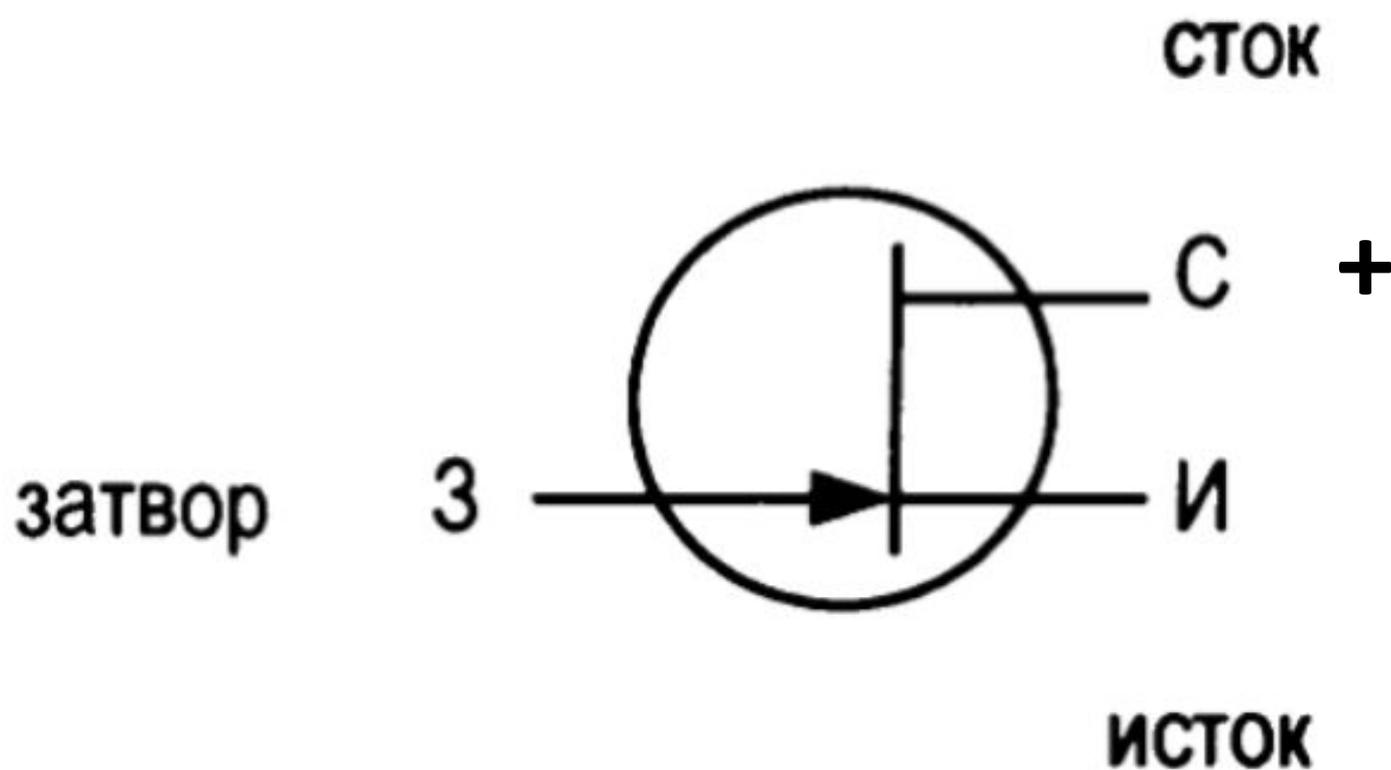


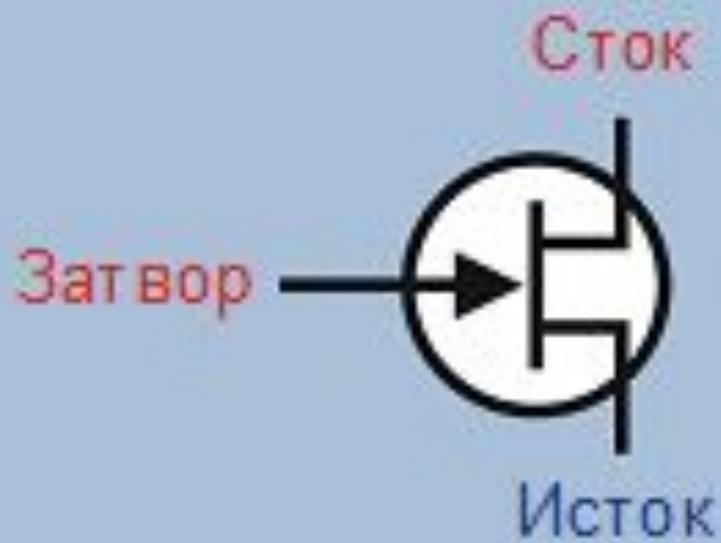
Sergey Zhukov | AsDela.ru

<https://aftershock.news/?q=node/496842&full>

После организации серийного производства интеграторы стали экспортироваться за границу: в Чехословакию, Польшу, Болгарию и Китай. Но самое большое распространение они получили в нашей стране. С их помощью провели научные исследования в поселке "Мирный", расчеты проекта Каракумского канала и Байкало-Амурской магистрали. Гидроинтеграторы успешно использовались в шахтостроении, геологии, строительной теплофизике, металлургии, ракетостроении и во многих других областях.

Полевой транзистор с *n*-каналом





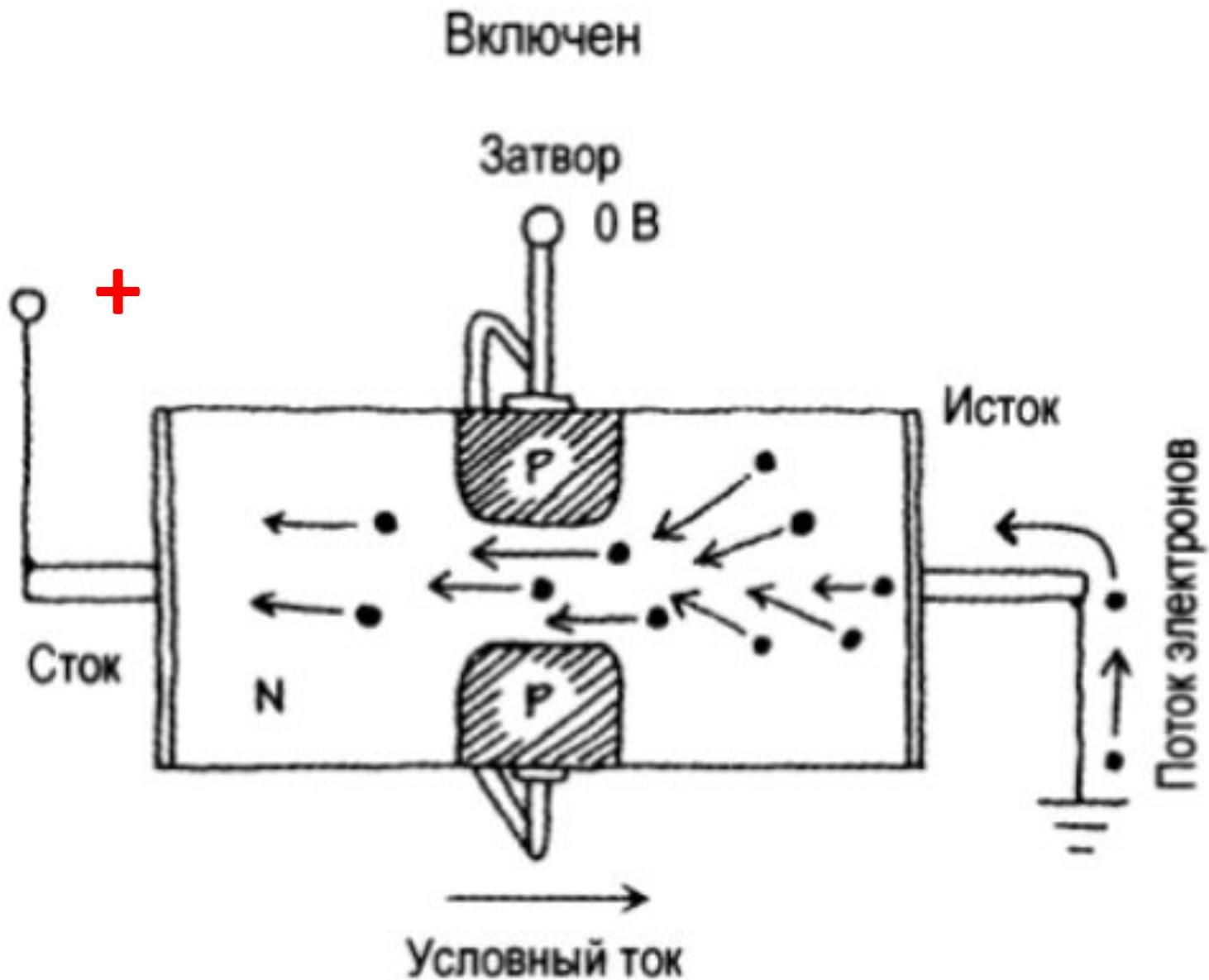
Полевой транзистор
с n-каналом



n-p-n-транзистор

УСИЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ
УСИЛИТЕЛЬ ТОКА

| | Биполярный n-p-n-транзистор | Полевой транзистор с n-каналом |
|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Тип усиления | по току | по напряжению |
| Активное смещение | положительное | отрицательное |
| Состояние без смещения | проводимость отсутствует | проводимость присутствует |
| Состояние со смещением | проводимость повышается | проводимость понижается |



Полевой транзистор с n -каналом

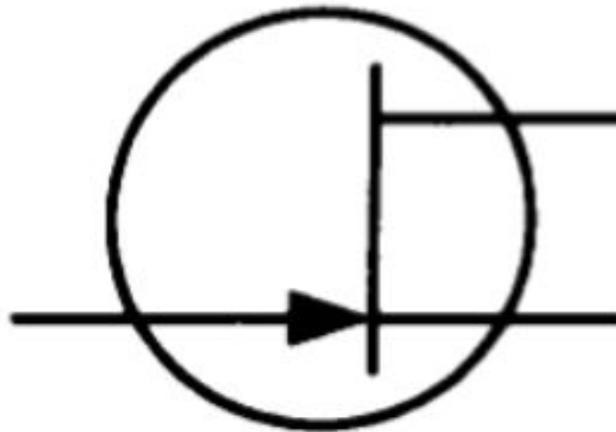
СТОК

С +

И

затвор

З



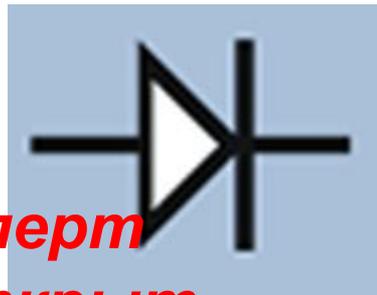
ИСТОК

n

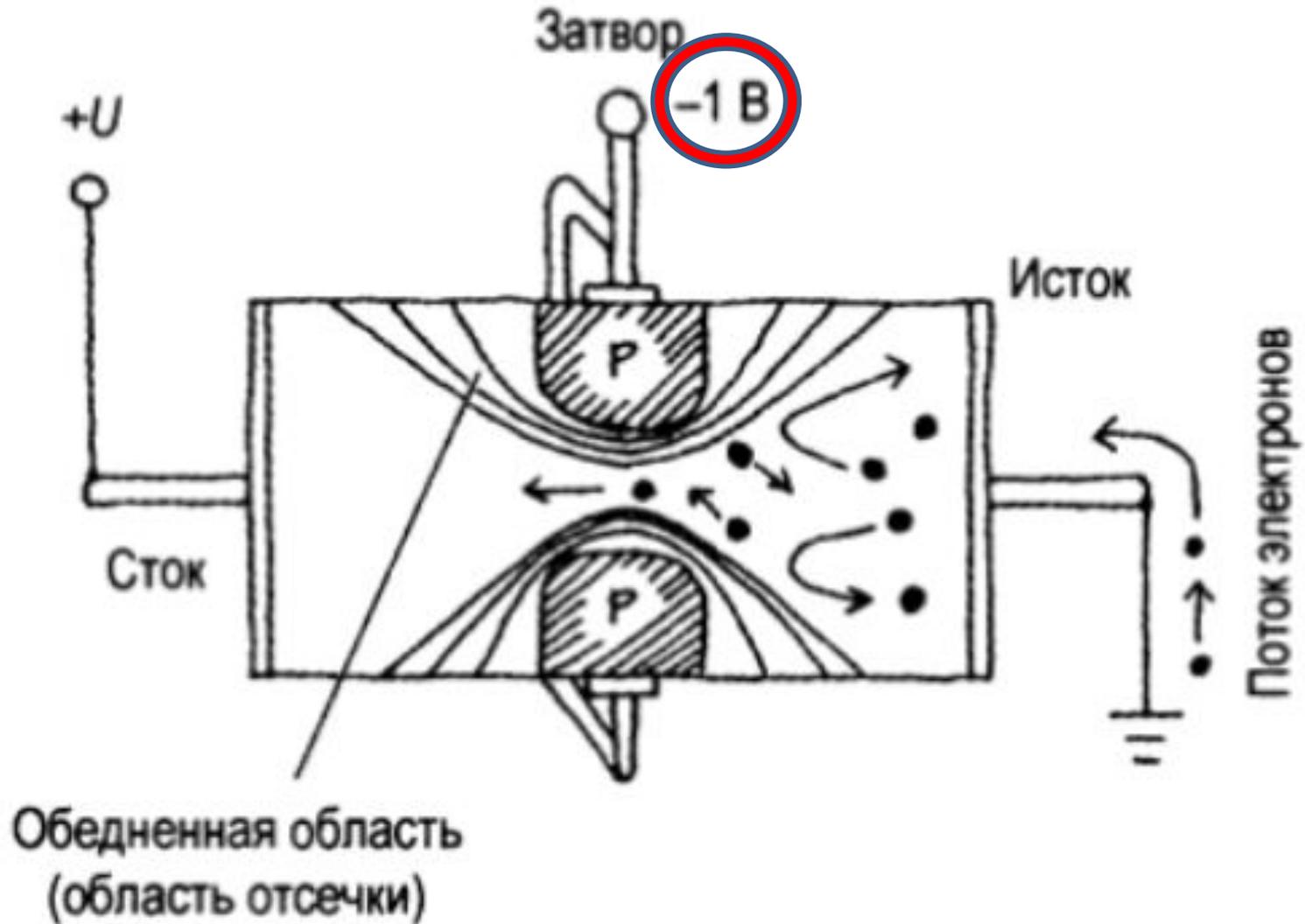
p

- заперт

+ открыт



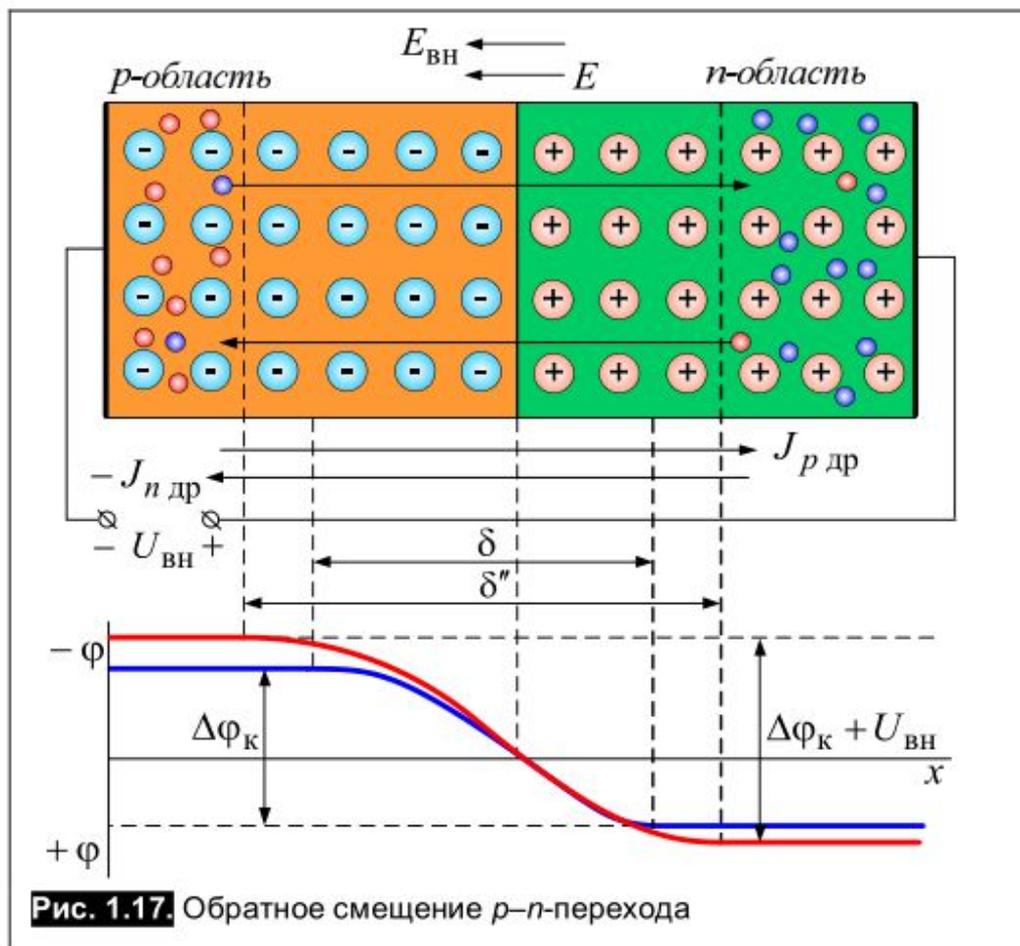
Повышенное сопротивление



Обратное включение p - n -перехода

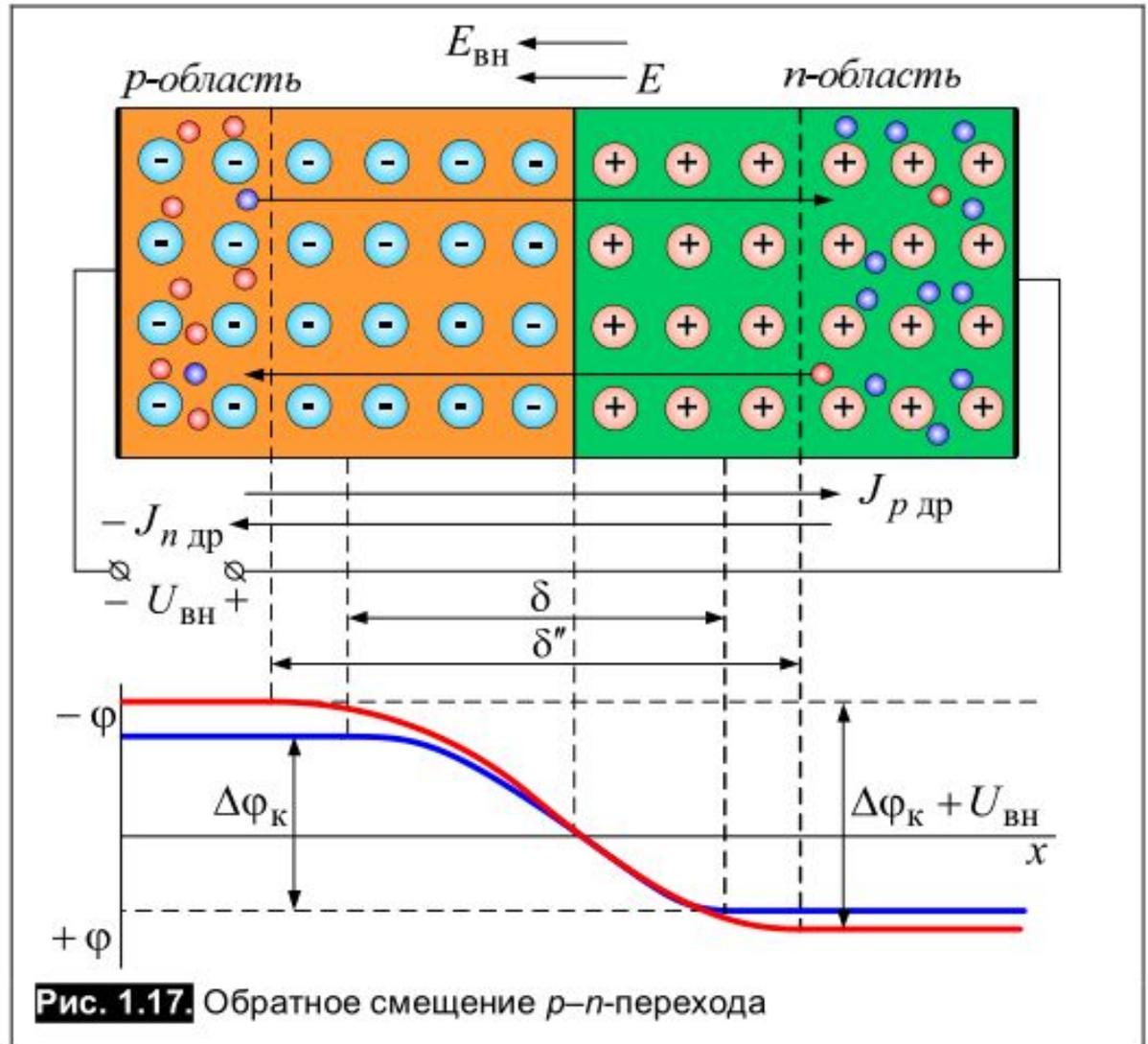
- Если к p - n -переходу подключить внешний источник с противоположной полярностью
- «-» к области p -типа, «+» к области n -типа, то такое подключение называют **обратным включением p - n -перехода** (или **обратным смещением p - n -перехода**).

ИСТОК- ЗАТВОР, КОГДА НА ЗАТВОРЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА «-» ПРАВИЛЬНО!



- Напряженность электрического поля источника $E_{\text{вн}}$ будет направлена в ту же сторону, что и напряженность электрического поля E потенциального барьера;
- высота потенциального барьера возрастает, а ток диффузии основных носителей практически становится равным нулю.

Ширина запирающего слоя δ увеличивается ($\delta'' > \delta$), а его сопротивление резко возрастает.



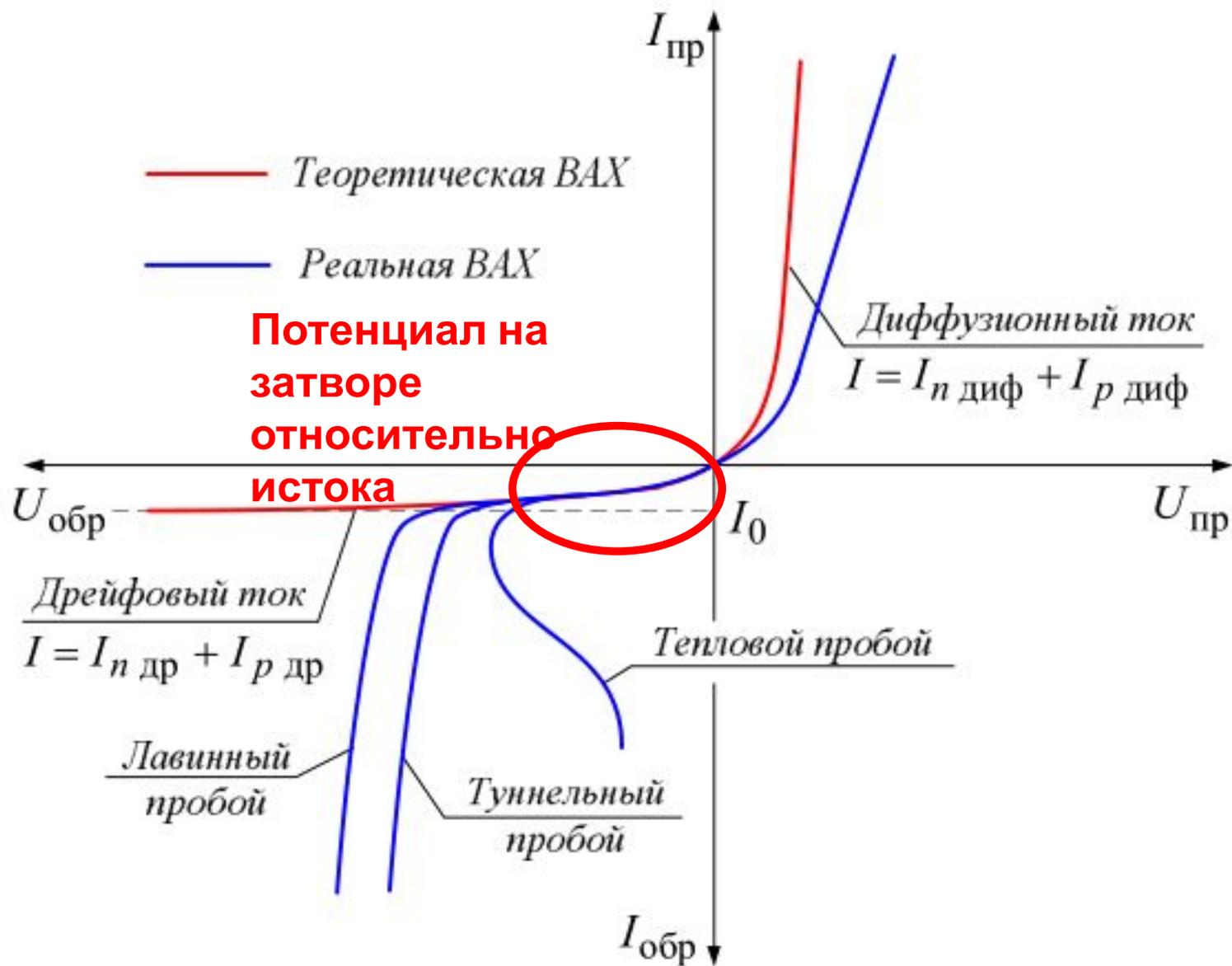
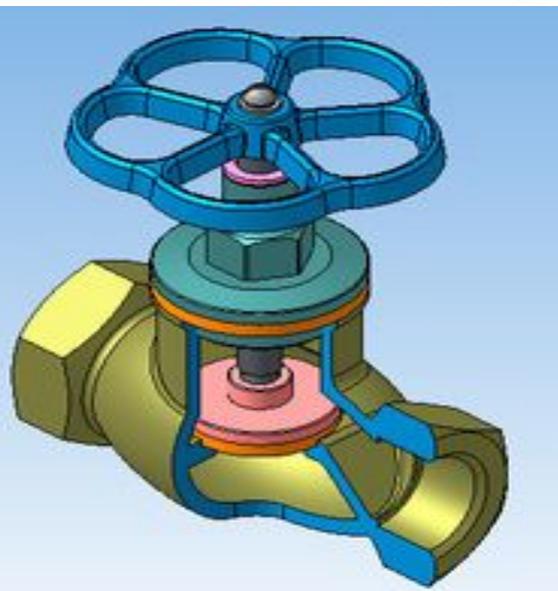


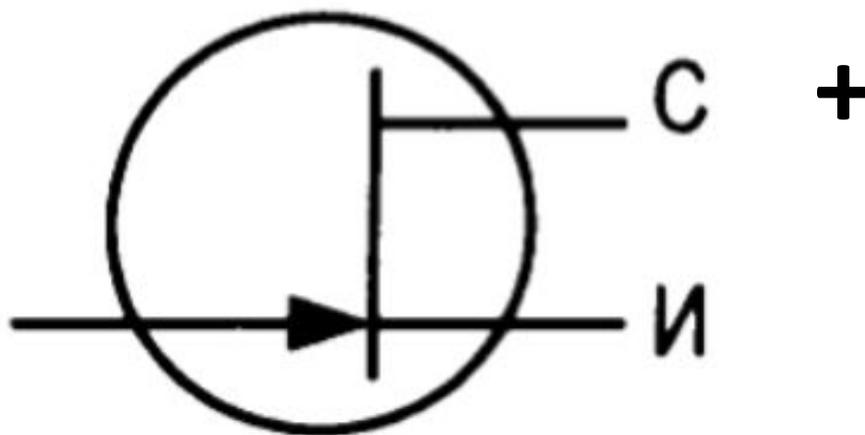
Рис. 1.19. Вольт-амперная характеристика p - n -перехода

Полевой транзистор с *n*-каналом



затвор

3



СТОК

ИСТОК

Полевой транзистор с *n*-каналом

СТОК

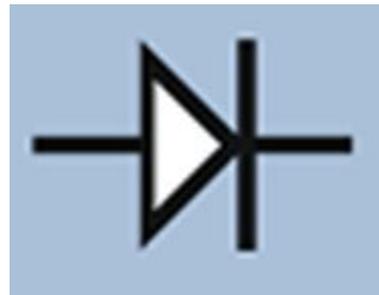
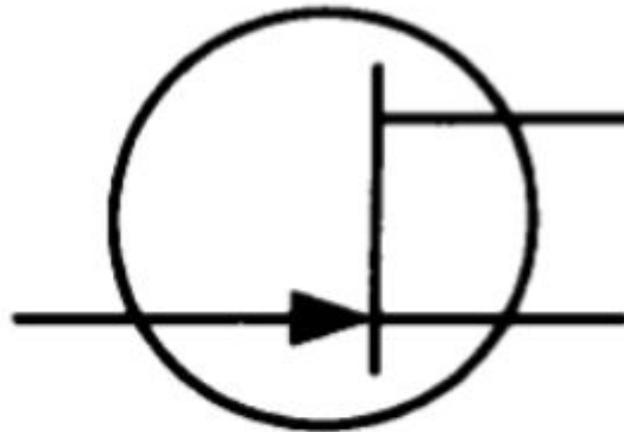
С +

И

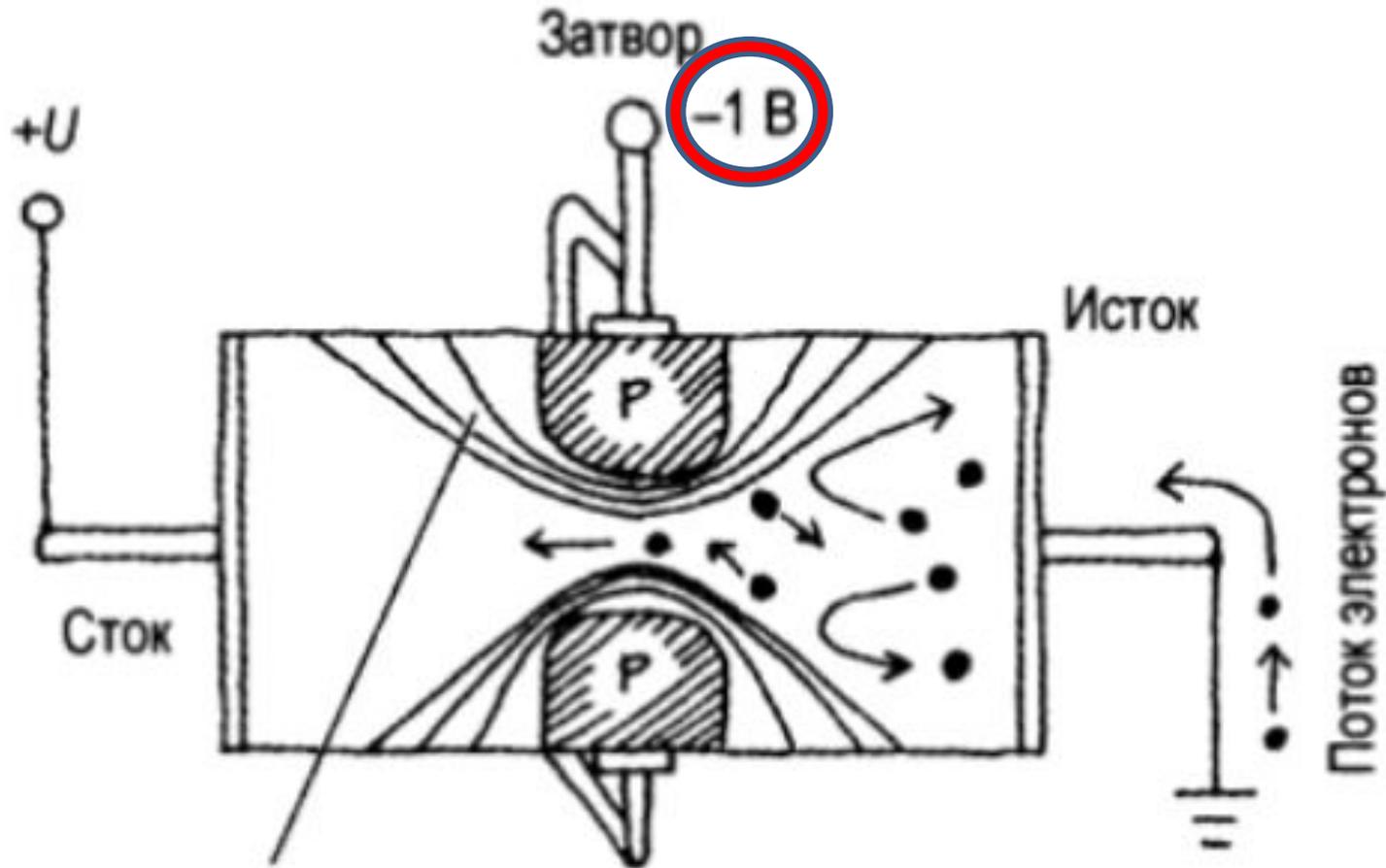
ИСТОК

затвор

З

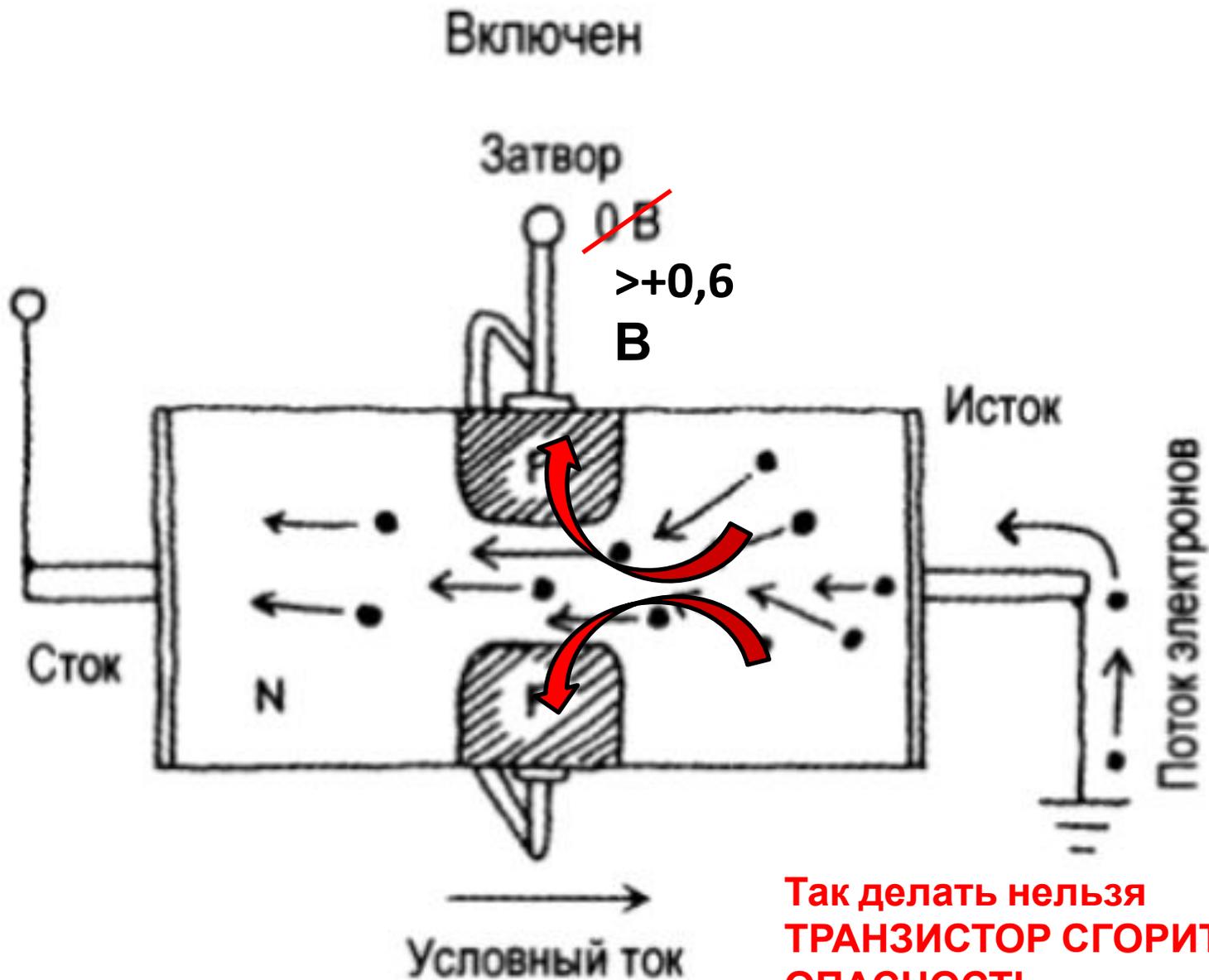


Повышенное сопротивление



Обедненная область
(область отсечки)

А ЕСЛИ ПОДАТЬ НА ЗАТВОР +0,6В ИЛИ БОЛЬШЕ?



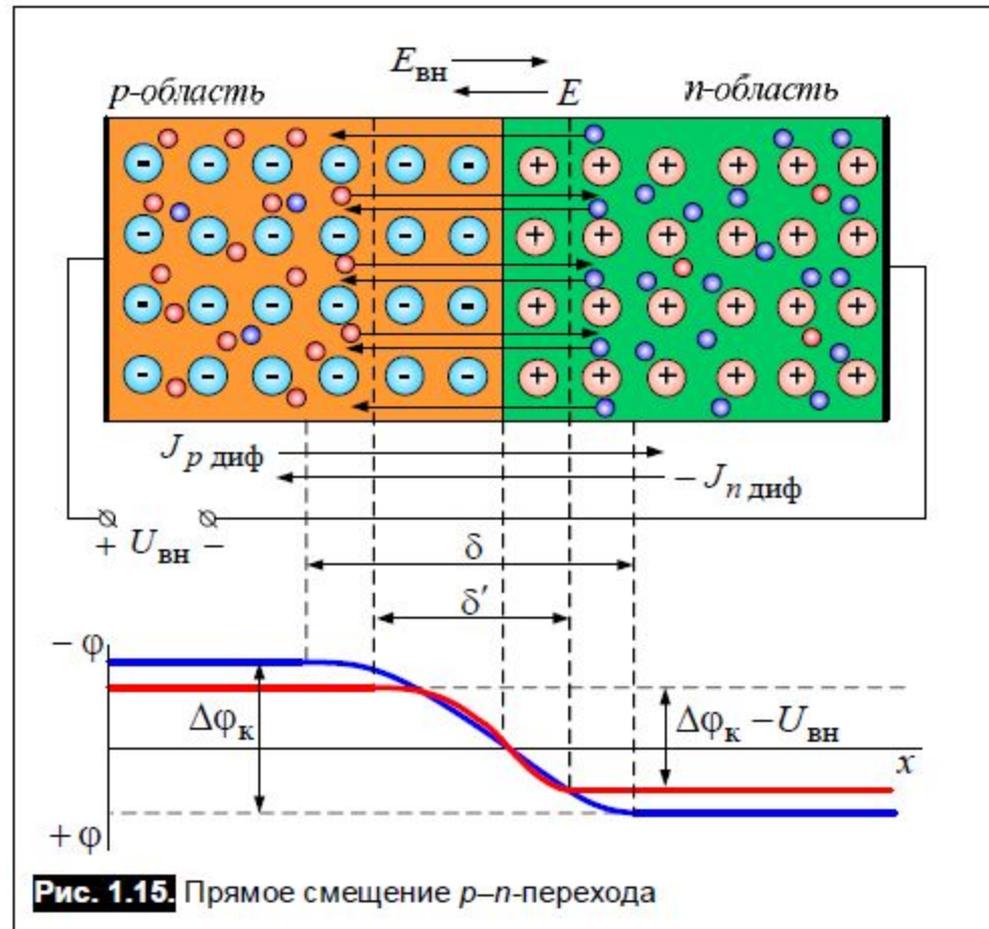
Так делать нельзя
ТРАНЗИСТОР СГОРИТ!
ОПАСНОСТЬ
СТАТИЧЕСКОГО
ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ПРИ

Как отмечалось ранее, подключение полевого транзистора с управляющим переходом с прямым смещением может привести к ситуации, когда напряжение на затворе превысит напряжение на истоке приблизительно на 0,6 В или более (в полевом транзисторе с п-каналом), и переход между затвором и истоком начнет вести себя подобно диоду с прямым смещением, то есть приобретет очень малое сопротивление, что приведет к возникновению избыточного тока и разрушительным последствиям. Необходимо проектировать устройства таким образом, чтобы возможные ошибочные действия пользователя никогда не приводили к подобному исходу.

Прямое включение $p-n$ -перехода

- Рассмотрим $p-n$ -переход, к которому подключен внешний источник напряжения $U_{\text{ВН}}$,
- «+» к области p -типа, «-» к области n -типа.
- Такое подключение называют **прямым включением $p-n$ -перехода** (или **прямым смещением $p-n$ -перехода**).

ИСТОК-ЗАТВОР, КОГДА НА ЗАТВОРЕ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА «+» НЕПРАВИЛЬНО! СГОРИТ!



- Напряженность электрического поля внешнего источника $E_{\text{вн}}$ будет направлена навстречу напряженности поля потенциального барьера E и, следовательно, приведет к снижению результирующей напряженности $E_{\text{рез}}$:

$$E_{\text{рез}} = E - E_{\text{вн}} .$$

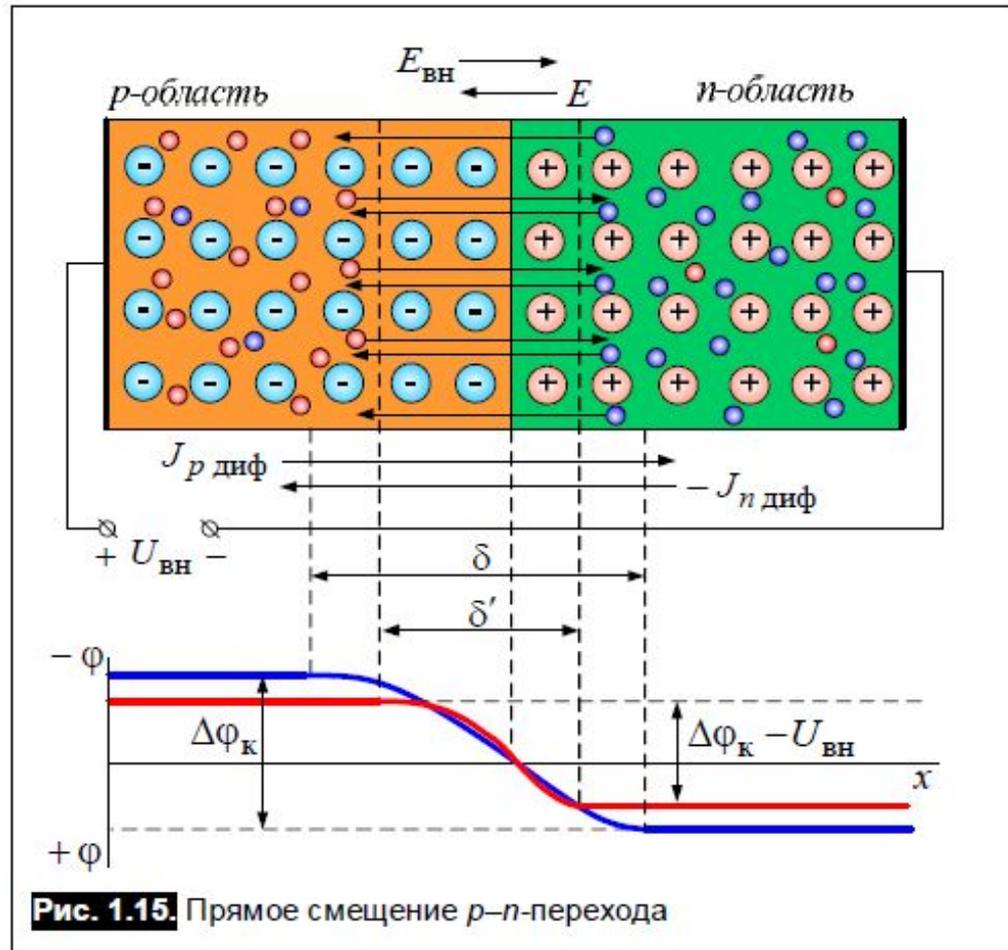


Рис. 1.15. Прямое смещение p - n -перехода

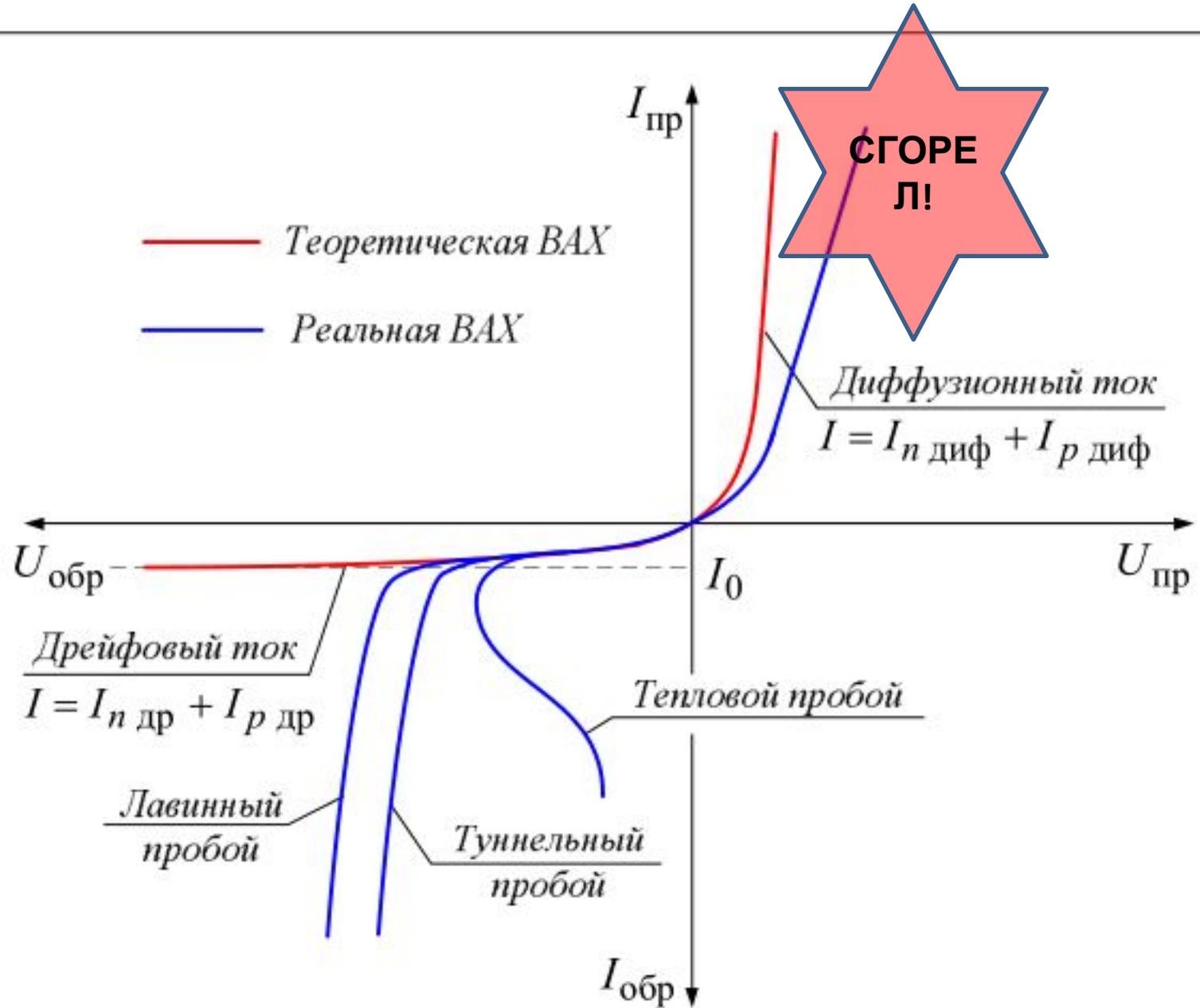
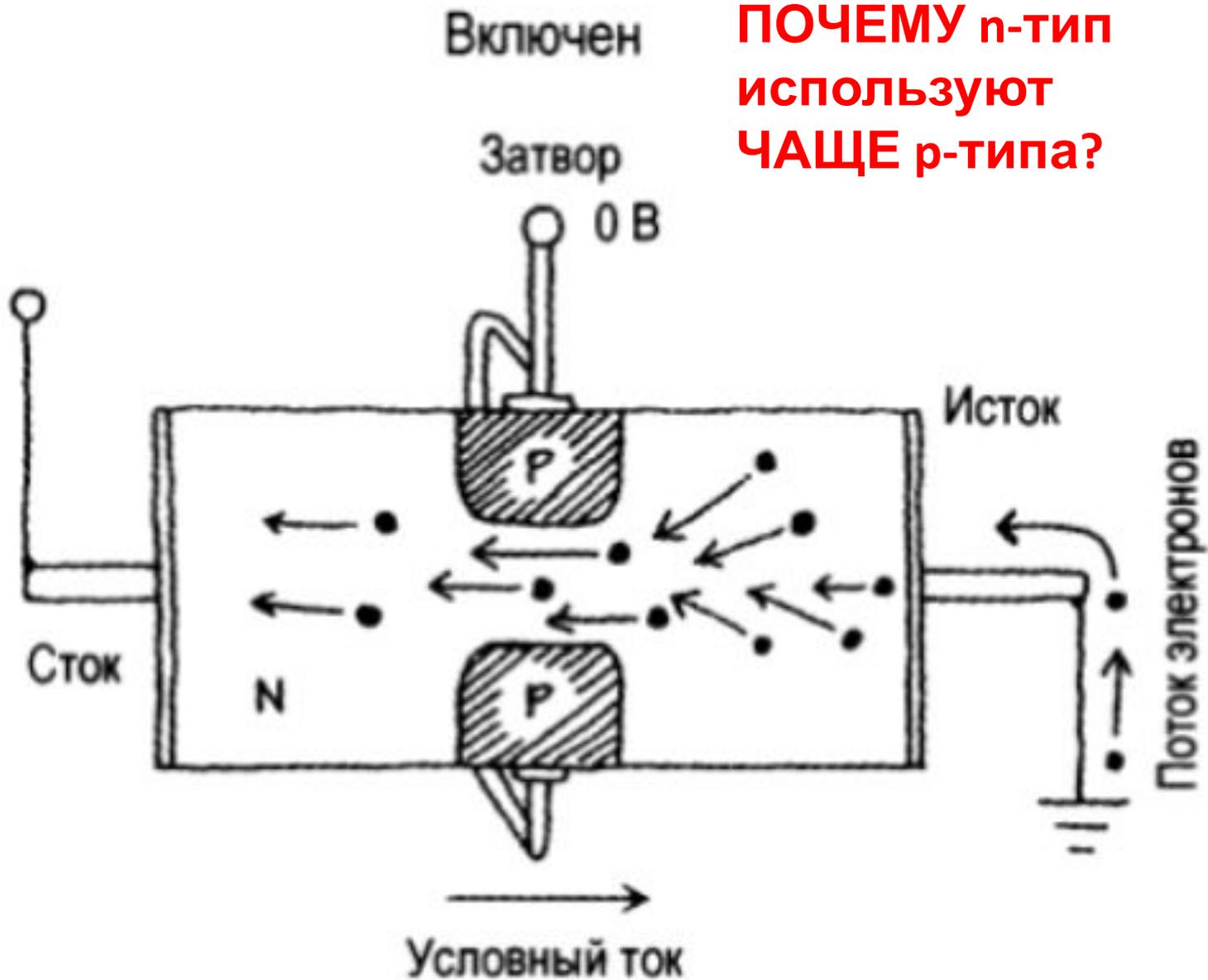
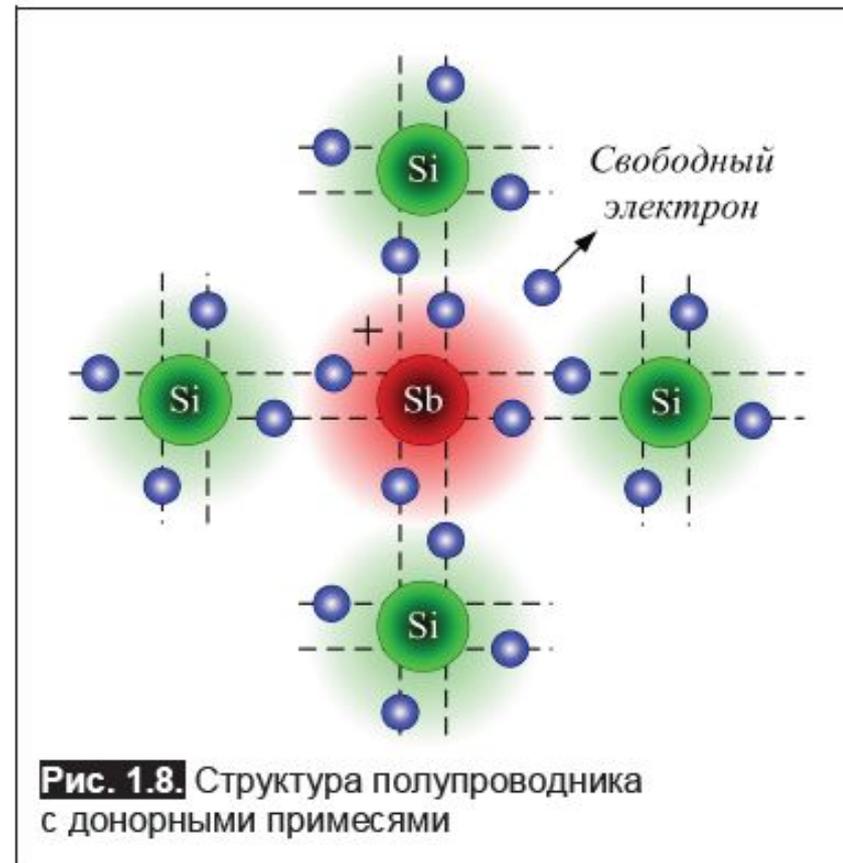


Рис. 1.19. Вольт-амперная характеристика p - n -перехода

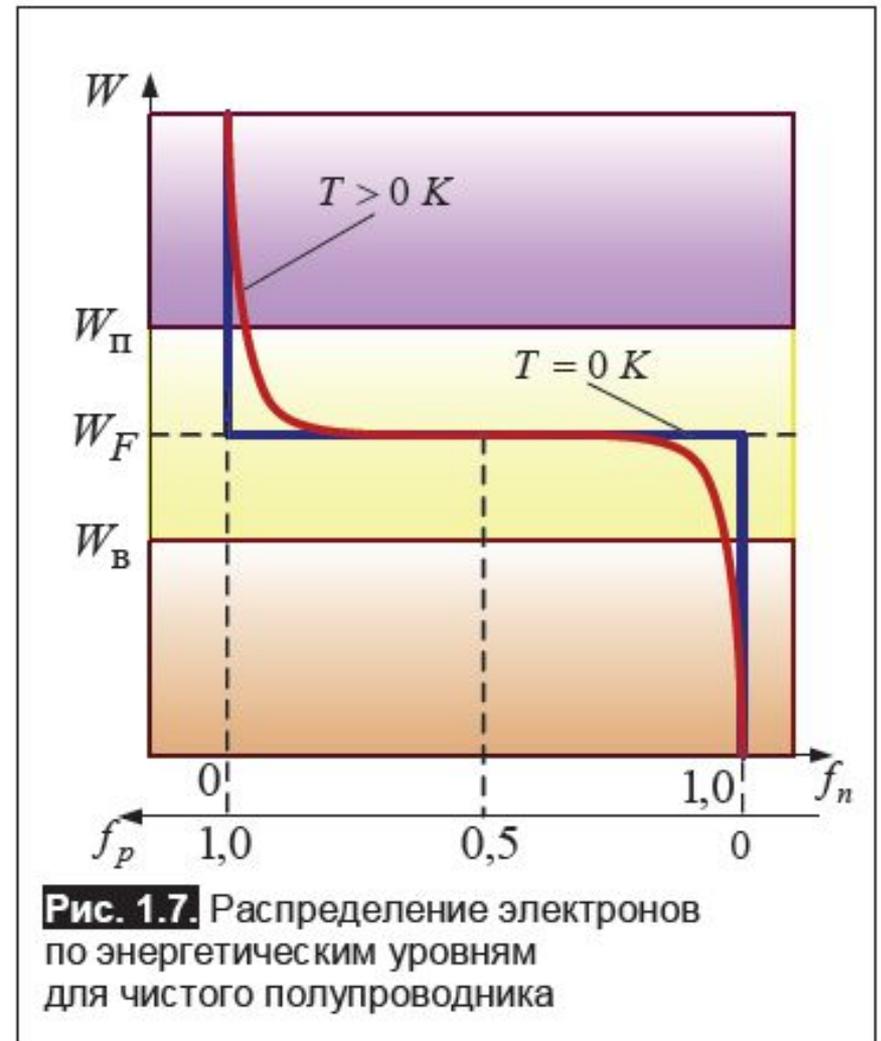
**ПОЧЕМУ n-тип
используют
ЧАЩЕ p-типа?**



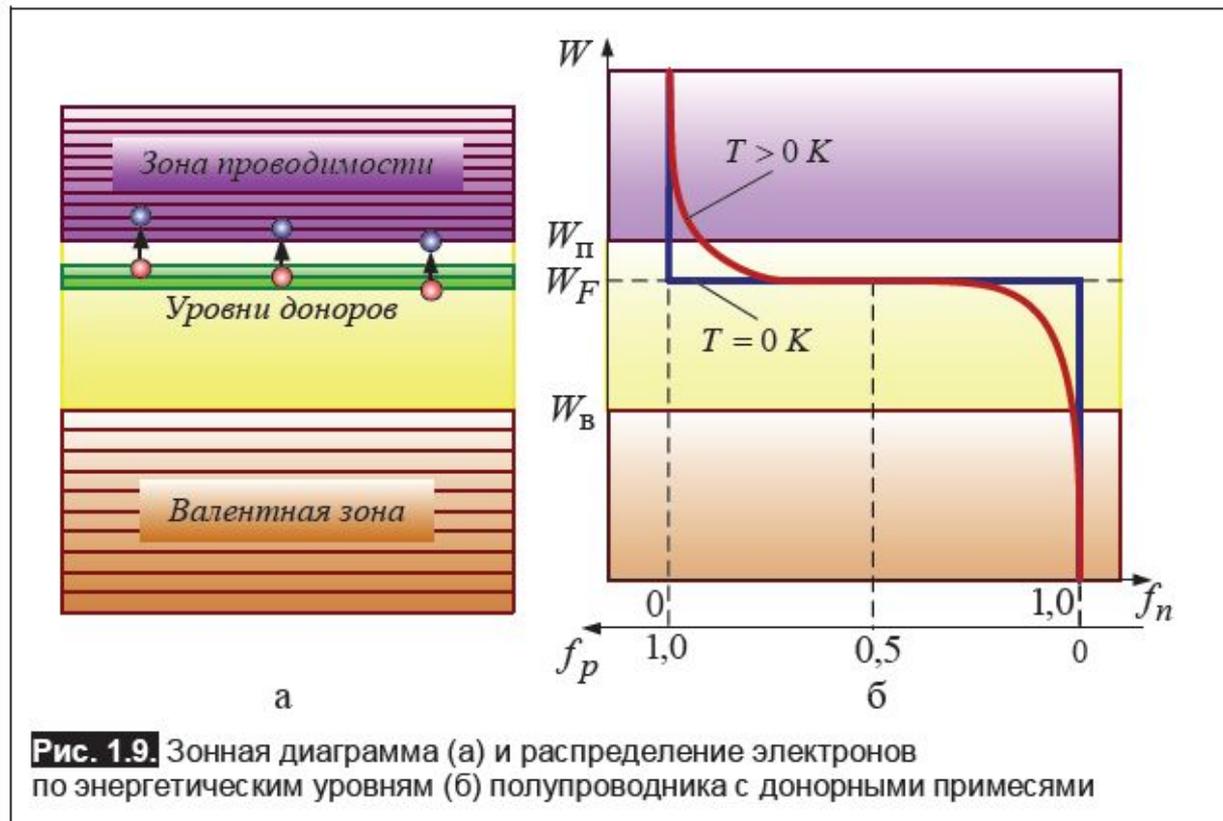
- Пример донорной примеси – сурьма (Sb) (элемент V группы таблицы Менделеева).
- У атома сурьмы на наружной электронной оболочке находятся **пять валентных электронов**.
- **Четыре** электрона устанавливают ковалентные связи с четырьмя соседними атомами кремния,
- а **пятый** валентный электрон такой связи установить не может, так как в атомах кремния все свободные связи (уровни) уже заполнены.



- При $T = 0 \text{ K}$ все энергетические уровни, находящиеся выше уровня Ферми, свободны.

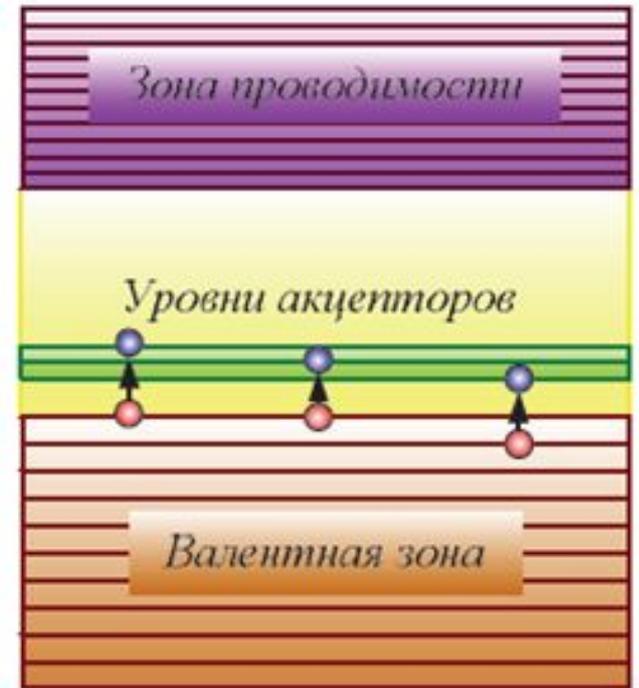


- Уровень Ферми будет смещаться вверх, к границе зоны проводимости W_{Π} .
Малейшее приращение энергии электрона приводит к его переходу в зону проводимости.



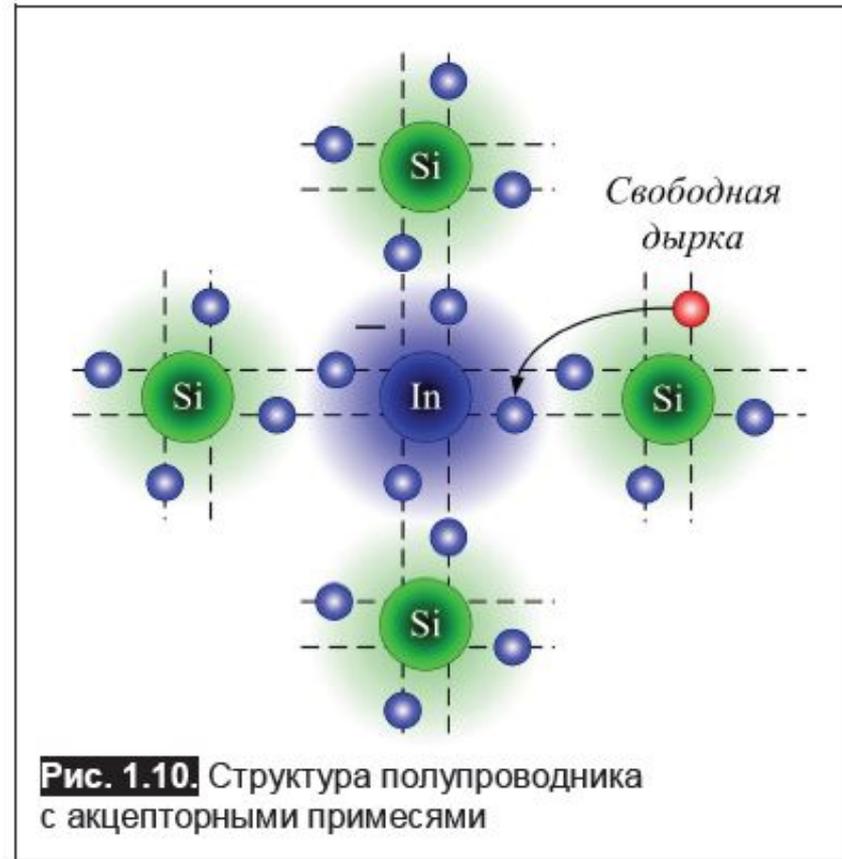
Акцепторные примеси

- *Акцептор* – это примесный атом, создающий в запрещенной зоне энергетический уровень, свободный от электрона в невозбужденном состоянии и способный захватить электрон из валентной зоны в возбужденном состоянии.



Зонная диаграмма
полупроводника
с акцепторными примесями

•Если в кристаллическую решетку полупроводника кремния ввести атомы примеси - индия (In) (элемент III группы таблицы Менделеева), имеющего на наружной электронной оболочке три валентных электрона, то эти три валентных электрона устанавливают прочные ковалентные связи с тремя соседними атомами кремния из четырех.



Напряжение затвора равно напряжению на истоке

ППТ с n-каналом

Затвор



Ток условного направления
ОТ СТОКА К ИСТОКУ

Поток электронов
ОТ ИСТОКА К СТОКУ

Полевой эффект отсутствует

Напряжение затвора *меньше* напряжения на истоке

ППТ с n-каналом

Сток

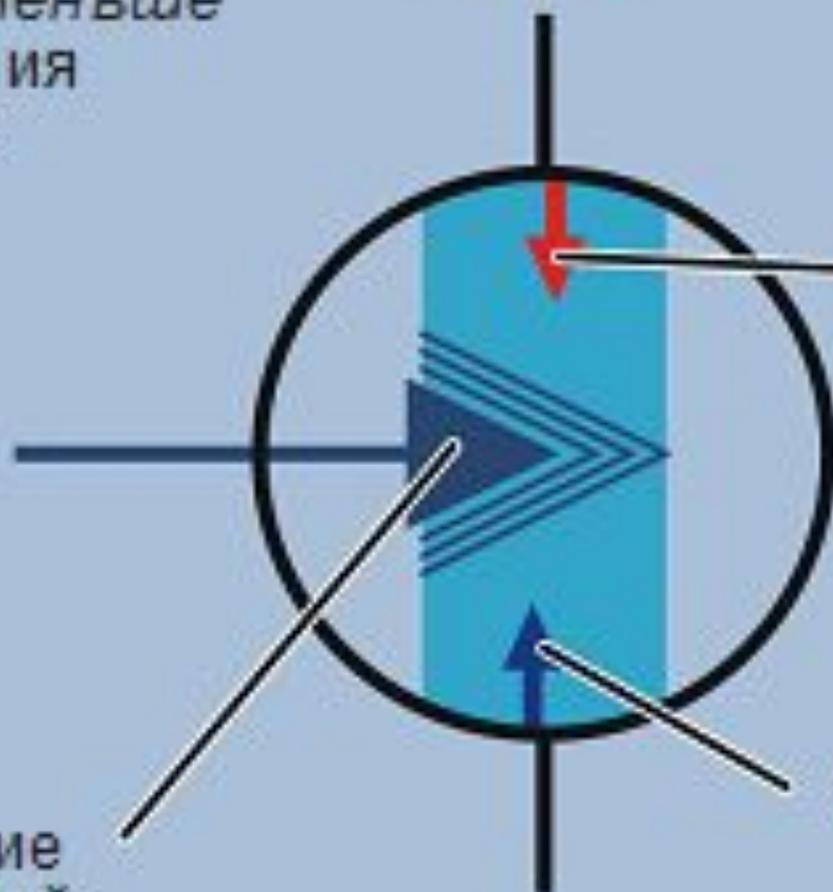
Пониженный ток условного направления

Затвор

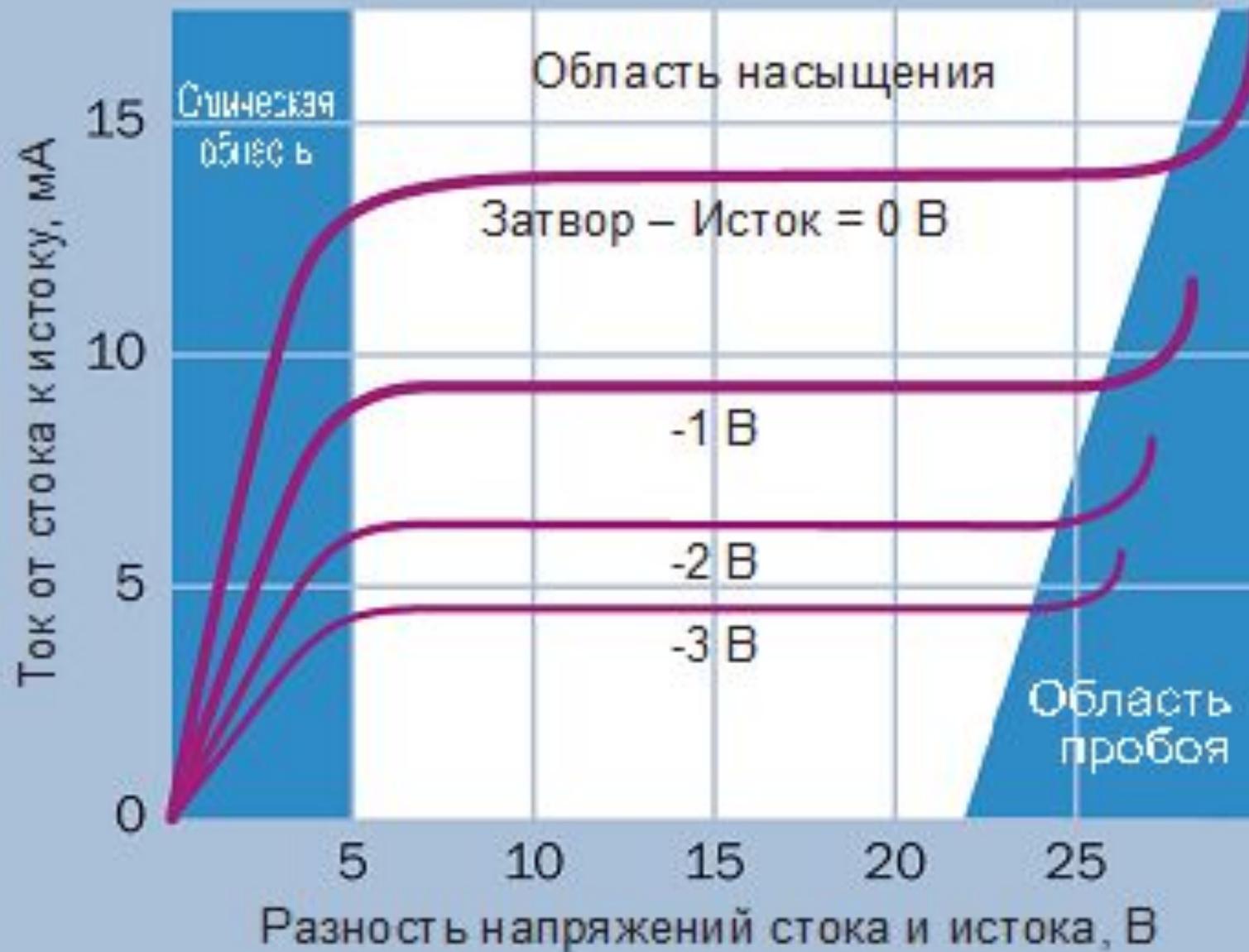
Полевой эффект: увеличение обедненной области

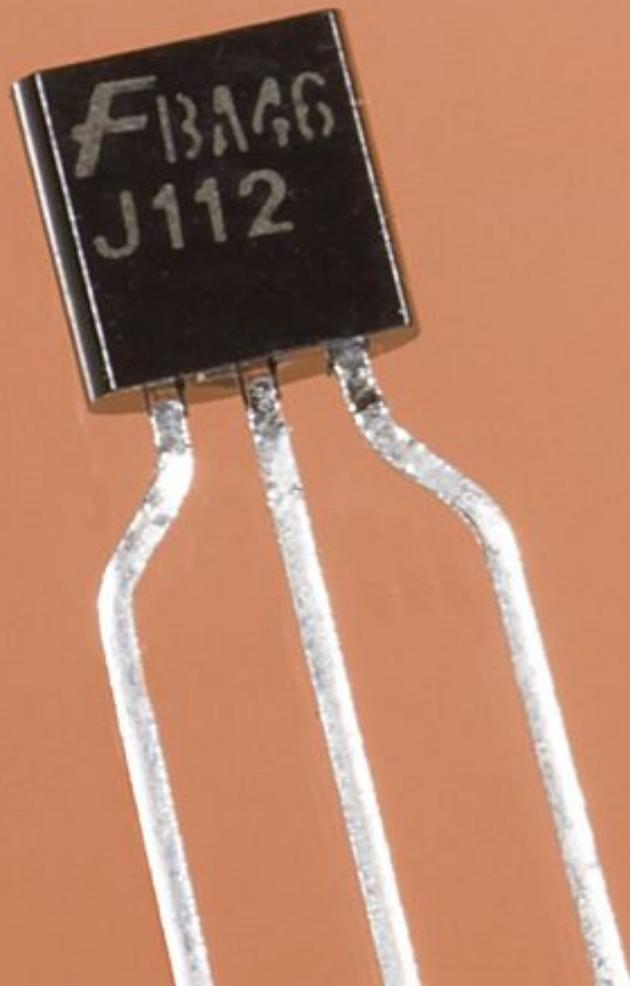
Исток

Уменьшенный поток электронов

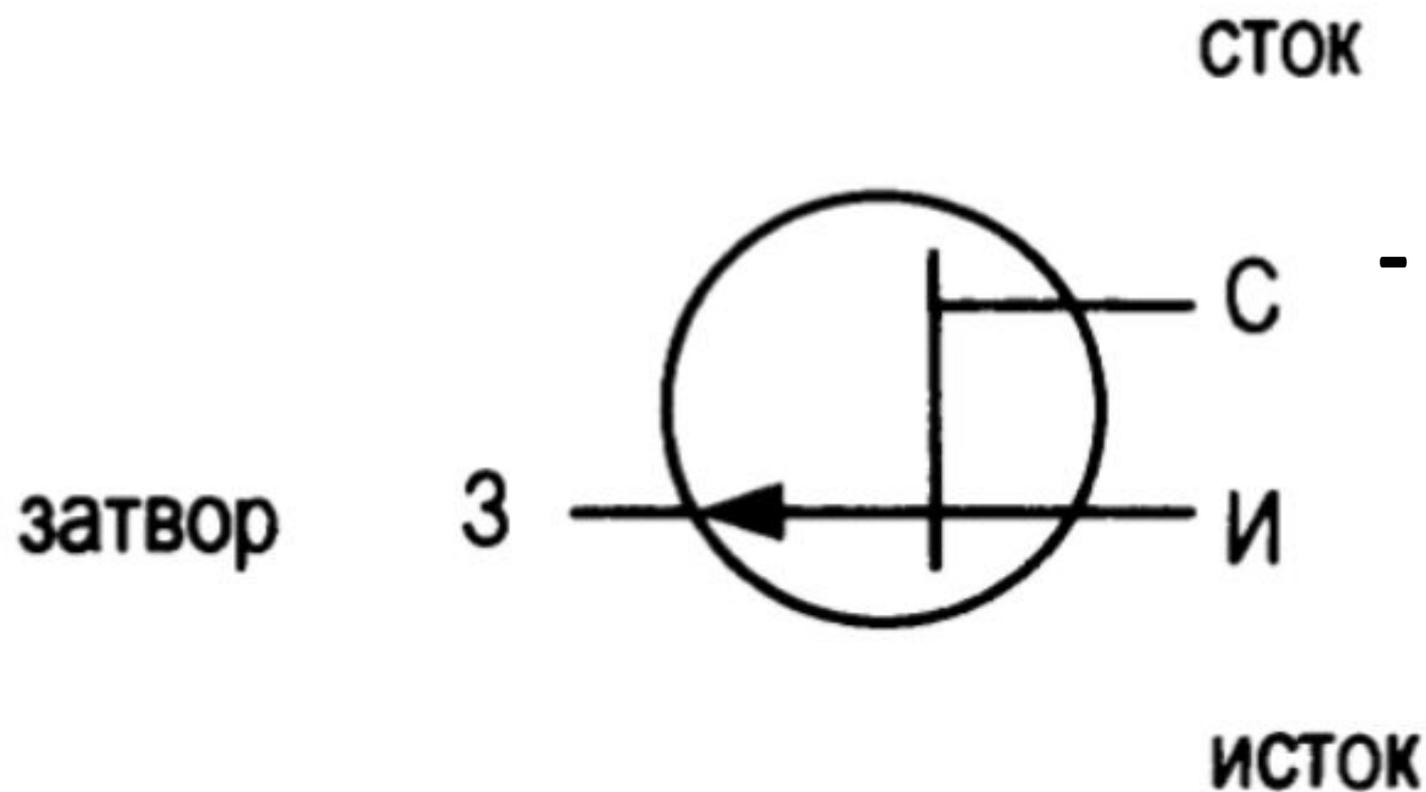


Характеристики гипотетического полевого транзистора с n-каналом



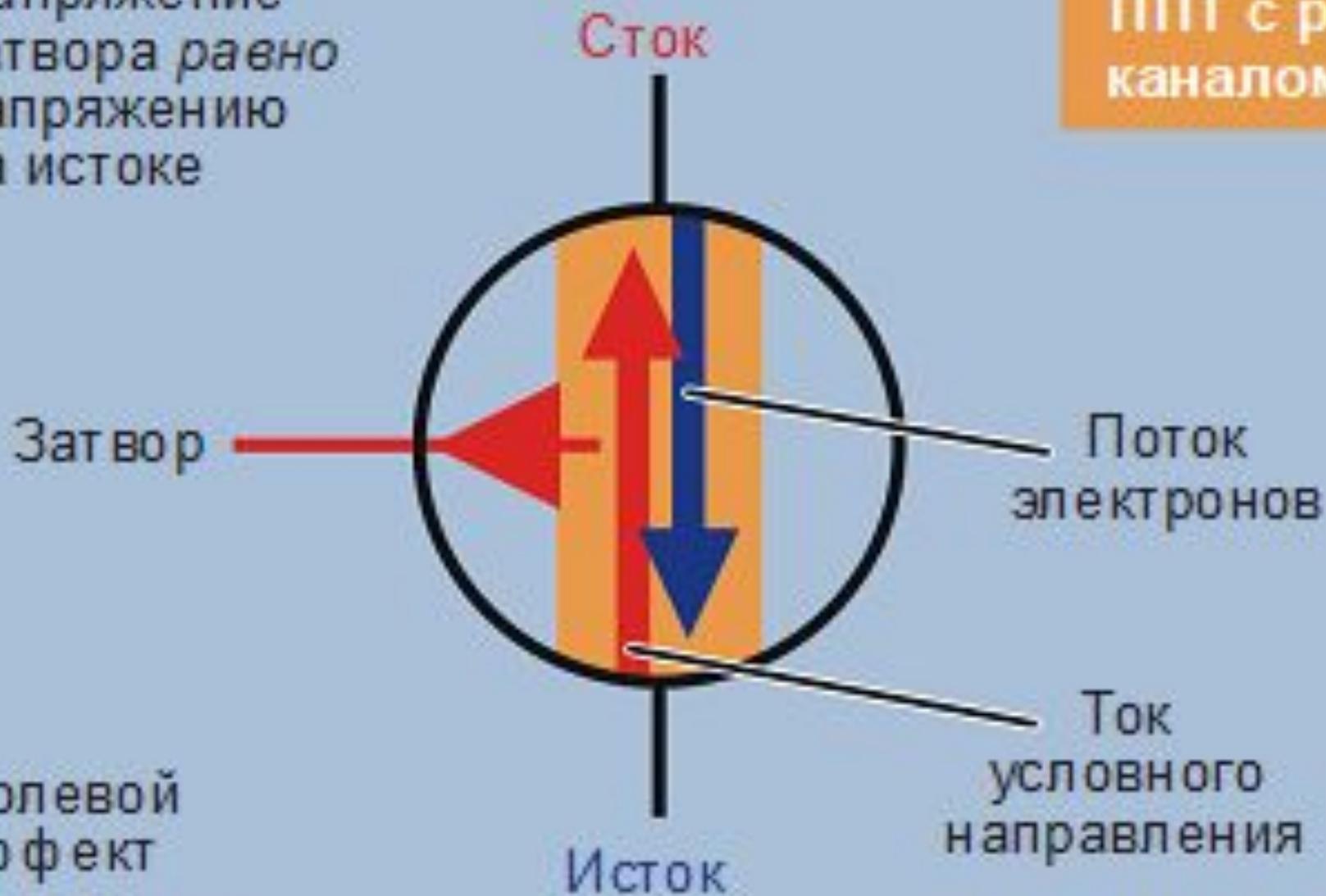


Полевой транзистор с p -каналом



Напряжение затвора равно напряжению на истоке

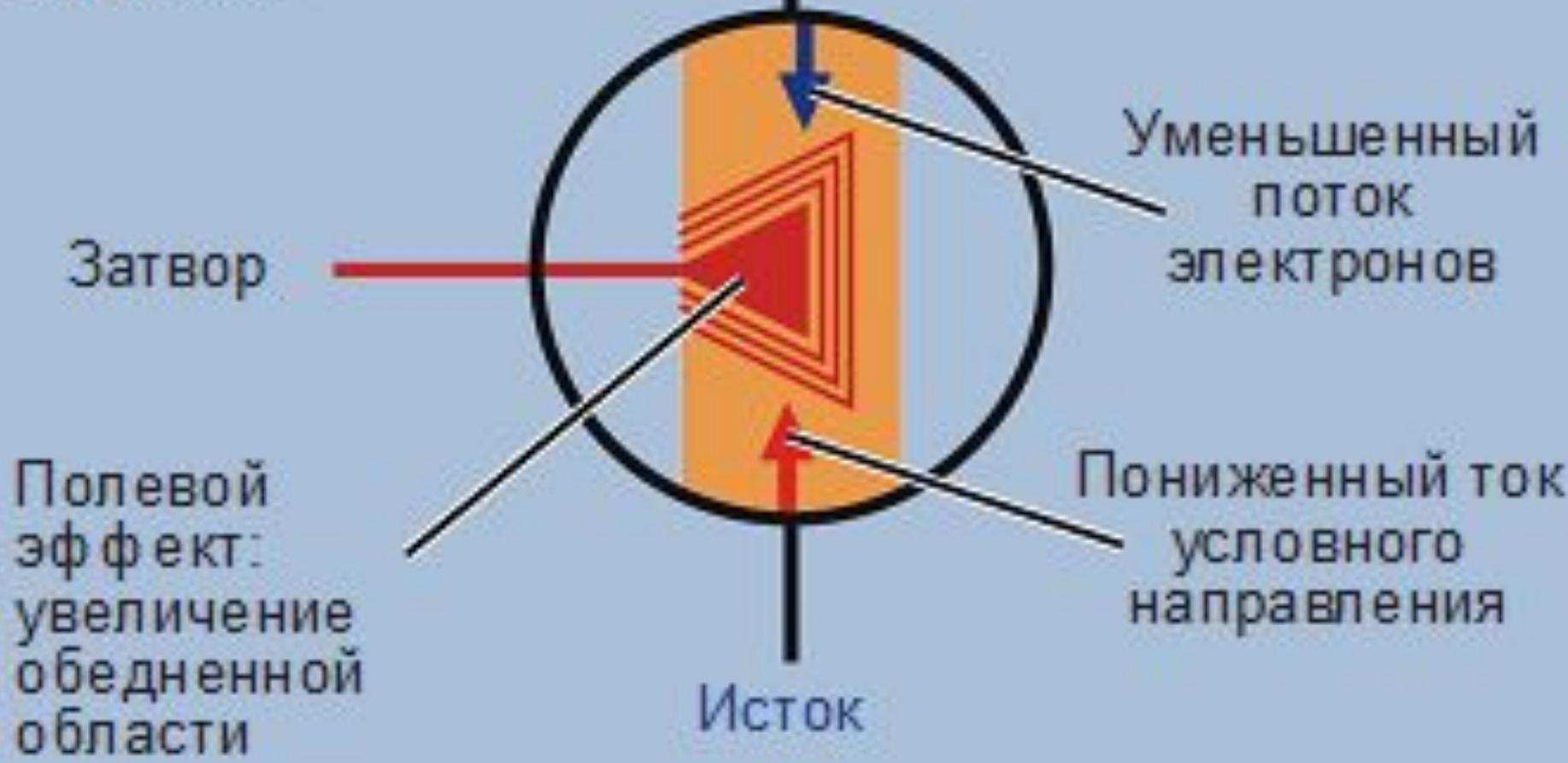
ППТ с р-каналом



Полевой эффект отсутствует

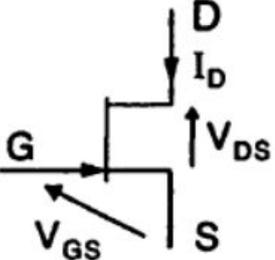
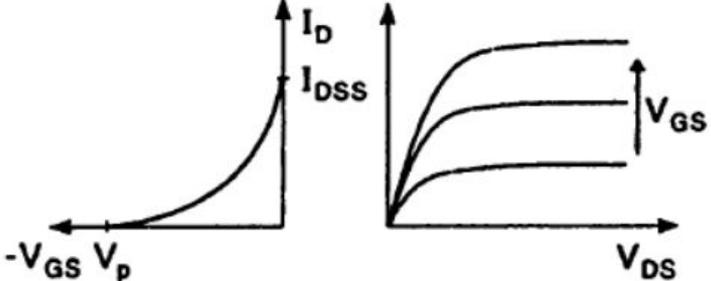
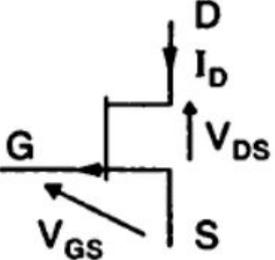
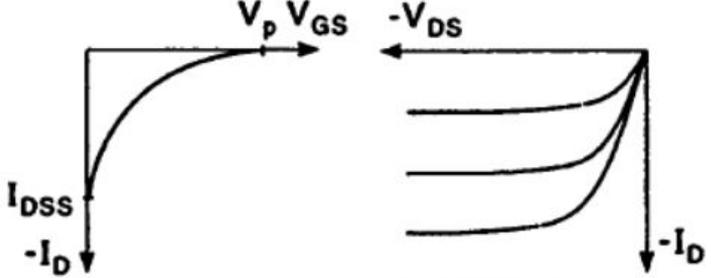
Напряжение затвора больше напряжения на истоке

ППТ с р-каналом



Характеристики гипотетического полевого транзистора с р-каналом



| Тип | Обозначение | Характеристики |
|---|--|--|
| <p><i>n</i>-канальный полевой транзистор с управляющим <i>p-n</i>-переходом</p> |  |  |
| <p><i>p</i>-канальный полевой транзистор с управляющим <i>p-n</i>-переходом</p> |  |  |

МОП ТРАНЗИСТОРЫ

Исток

Затвор

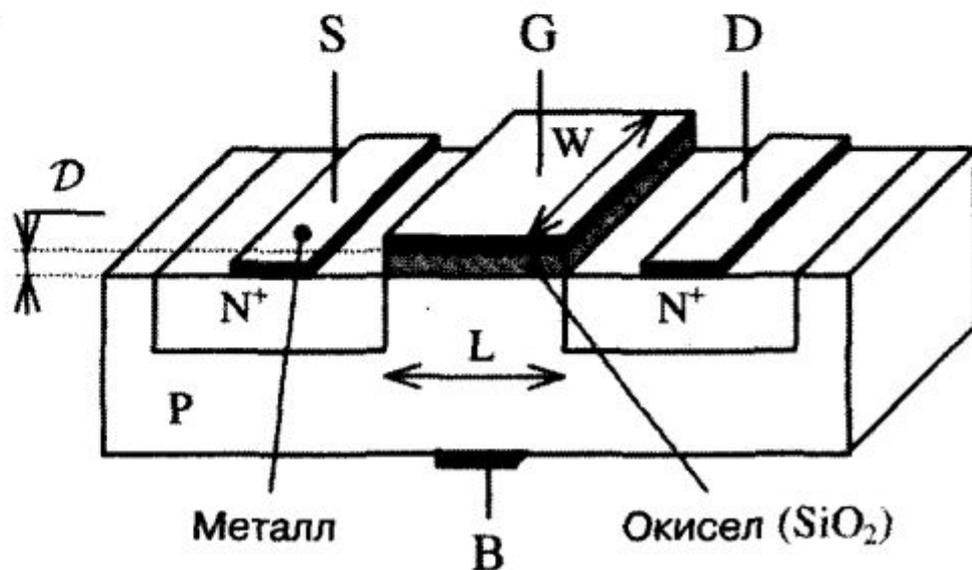
Сток



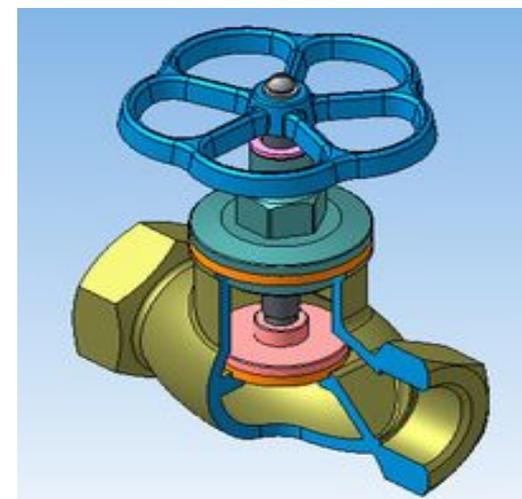
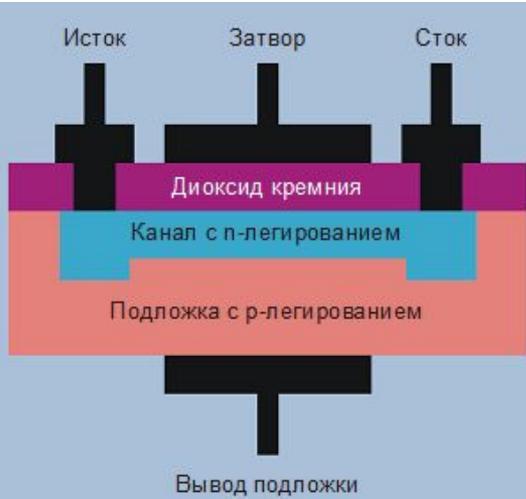
18.2. N-канальный обогащенный полевой транзистор

- **Структура** (рис. 18.1). Между истоком и стоком канал длиной L , шириной W покрыт тонким слоем окиси кремния толщиной D с диэлектрической проницаемостью ϵ , согласно технологии D составляет от 4 нм до 100 нм. Отношение W/L называется геометрическим коэффициентом или коэффициентом формы транзистора.

Рис. 18.1. Структура N-канального обогащенного МОП-транзистора

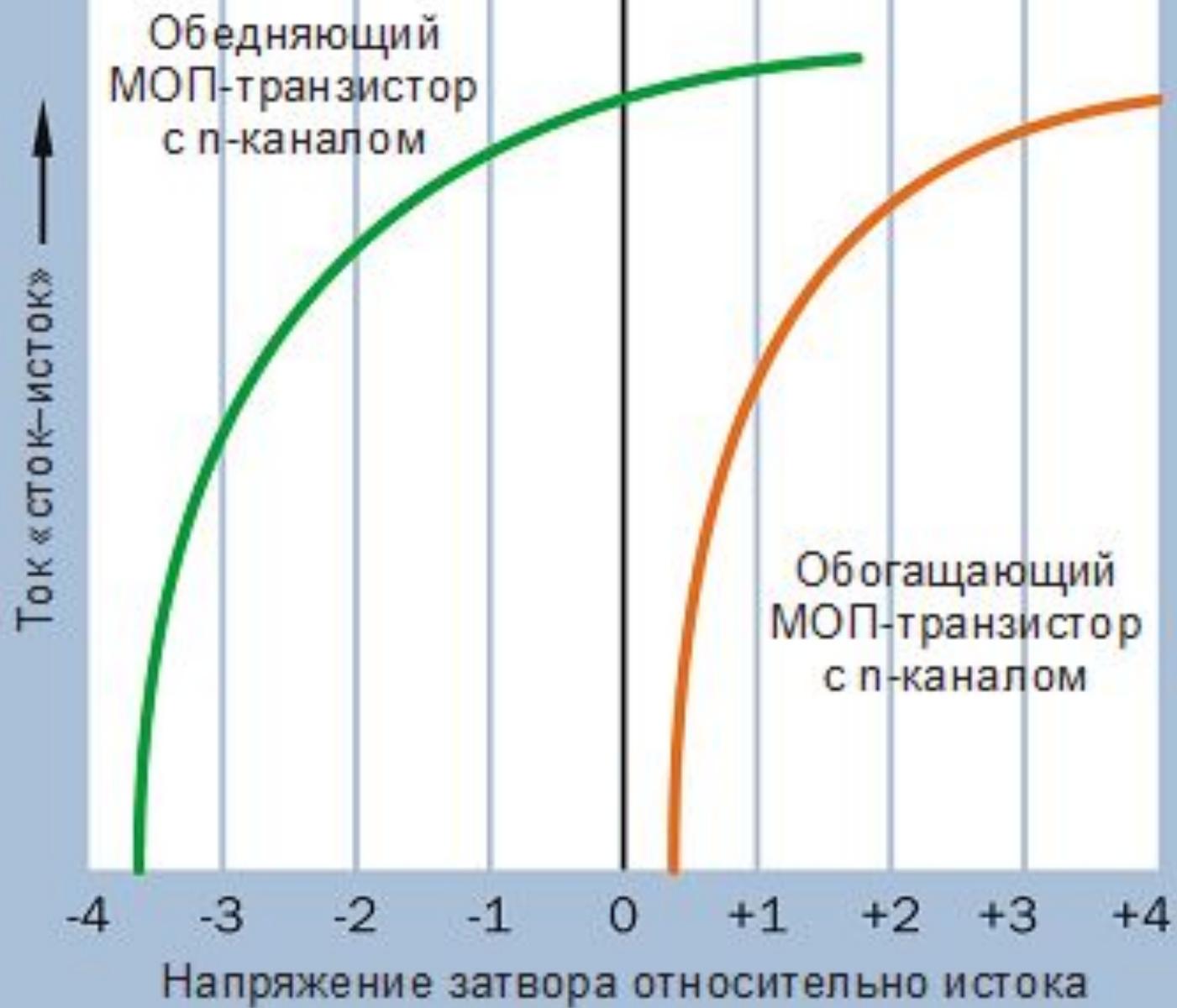


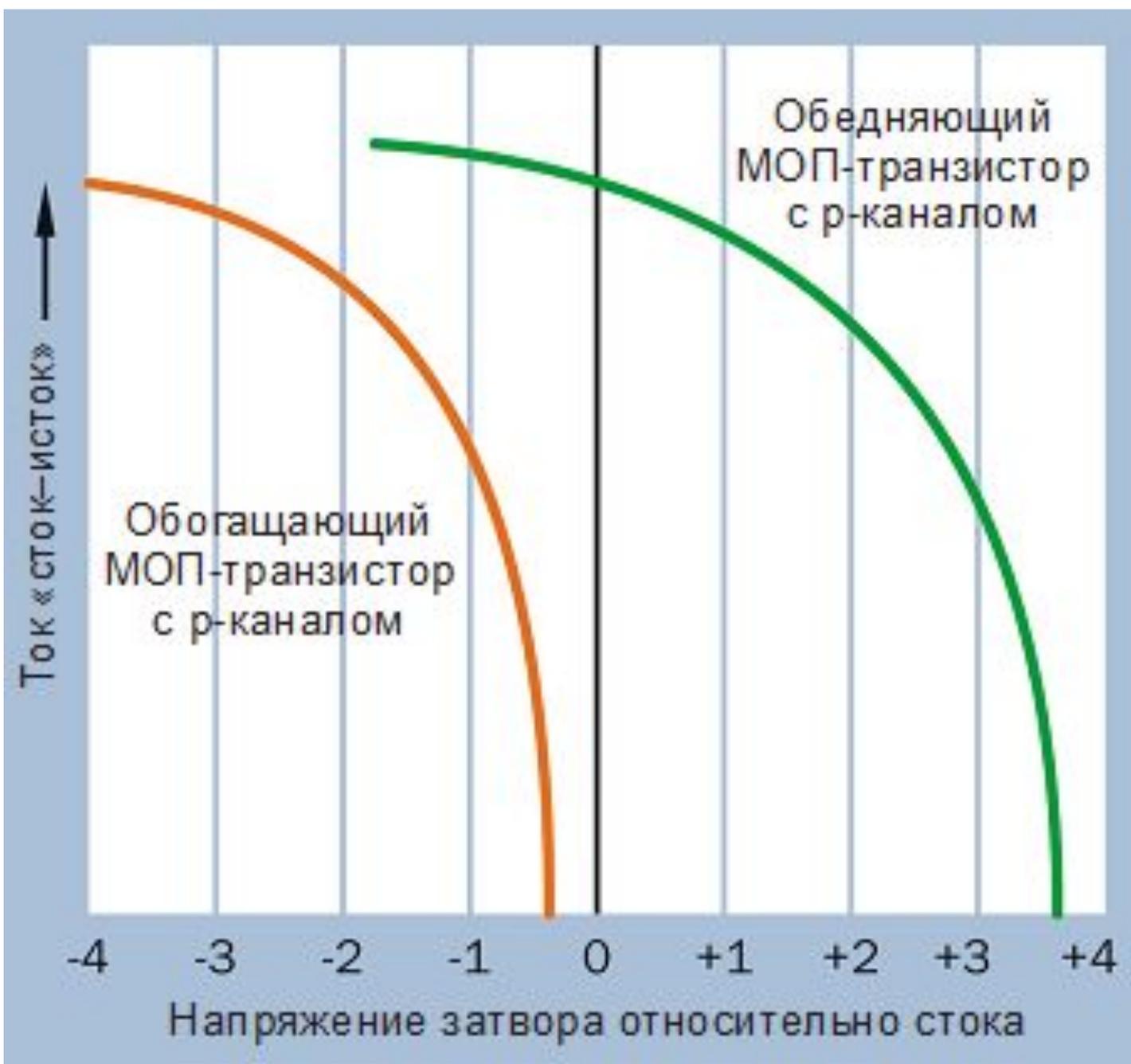
Сочетание очень высокого импеданса затвора, очень низкого уровня помех, очень малого потребления мощности в нерабочем состоянии и очень быстрой переключательной способности делает МОП-транзисторы пригодными для многих приложений.



| | Обозначения по ИИЭР ² | | Упрощенное обозначение | |
|----------------|----------------------------------|------------|------------------------|------------|
| | обогащенный | обедненный | обогащенный | обедненный |
| Канал P | | | | |
| Канал N | | | | |

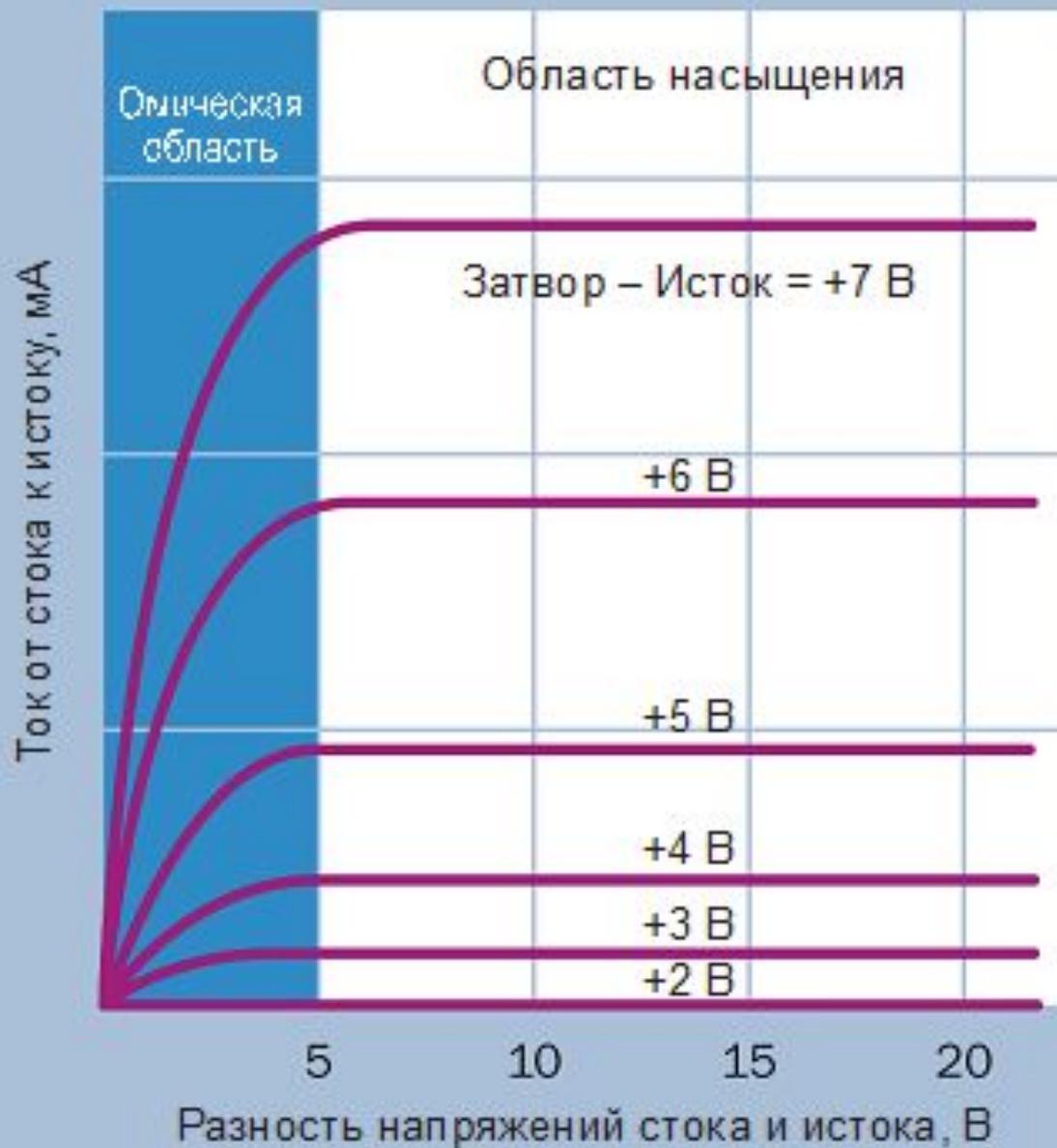
МОП-транзисторы с р-каналом обычно менее популярны, чем МОП-транзисторы с п-каналом, вследствие более высокого удельного сопротивления кремния р-типа, что приводит к меньшей подвижности носителей заряда и является некоторым неудобством.





МОП-транзистор обогащающего типа с n-каналом особенно удобен в качестве переключателя, поскольку в состоянии «нормально выключен» (при нулевом смещении) он проявляет очень сильное сопротивление протеканию тока. Ему необходимо довольно низкое положительное напряжение на затворе и фактически нулевой ток затвора, чтобы начать пропускать ток условного направления от стокового вывода к выводу-истоку. Поэтому им можно управлять напрямую с помощью типичной микросхемы на 5 В.

Обогащающий МОП-транзистор с n-каналом



Поскольку затвор МОП-транзистора изолирован от остальных его компонентов и функционирует во многом подобно пластине конденсатора, то он с большой вероятностью способен накапливать статическое электричество. Этот статический заряд может впоследствии разрядиться внутрь транзистора, повредив его.

Особо уязвимы к электростатическому разряду МОП-транзисторы, поскольку слой оксида у них очень тонкий, и вам следует принимать особые меры предосторожности при обращении с ними, — при работе с МОП-транзисторами всегда дотрагивайтесь до заземленного предмета или носите заземленный браслет, а также убедитесь в том, что любая цепь, использующая МОП-транзисторы, содержит соответствующую защиту от статического электричества и всплесков напряжения.

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ И УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

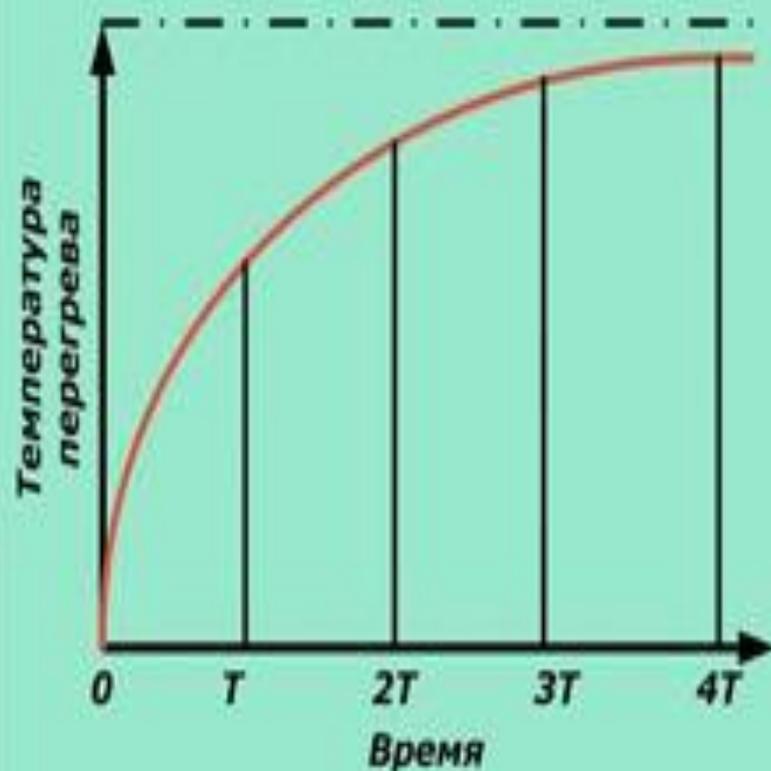


Предохранители

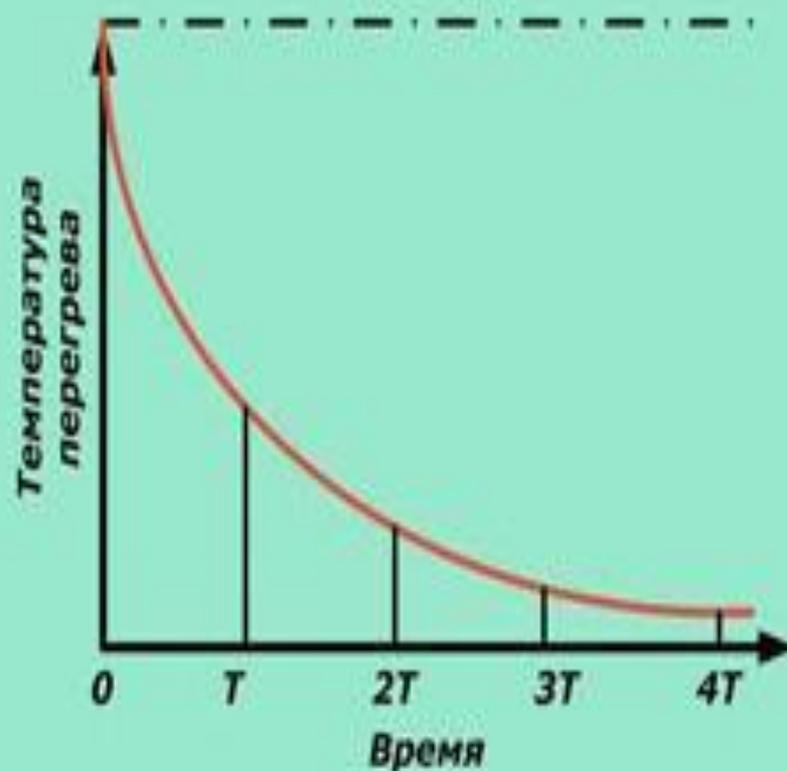


Графики поведения проводника при нагреве и охлаждении

Характеристика длительного нагрева провода



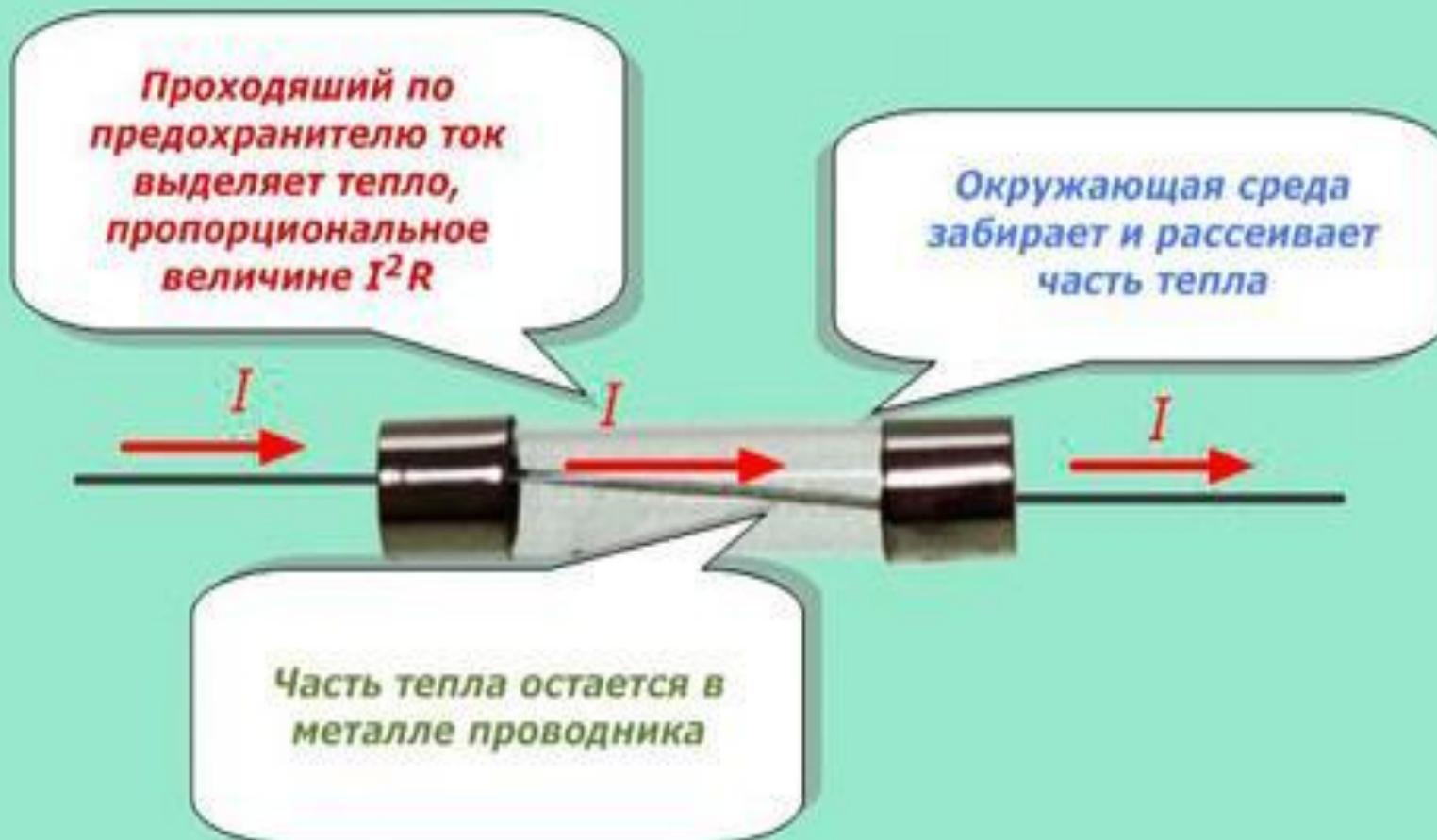
Характеристика длительного охлаждения провода



Постоянная времени нагрева T определяет отношение теплопоглощения металла к его теплоотдаче

<http://electricalschool.info>

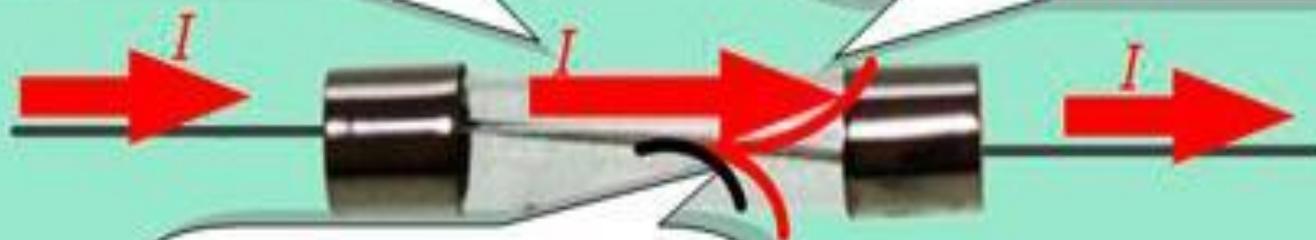
Баланс тепла в плавкой вставке предохранителя



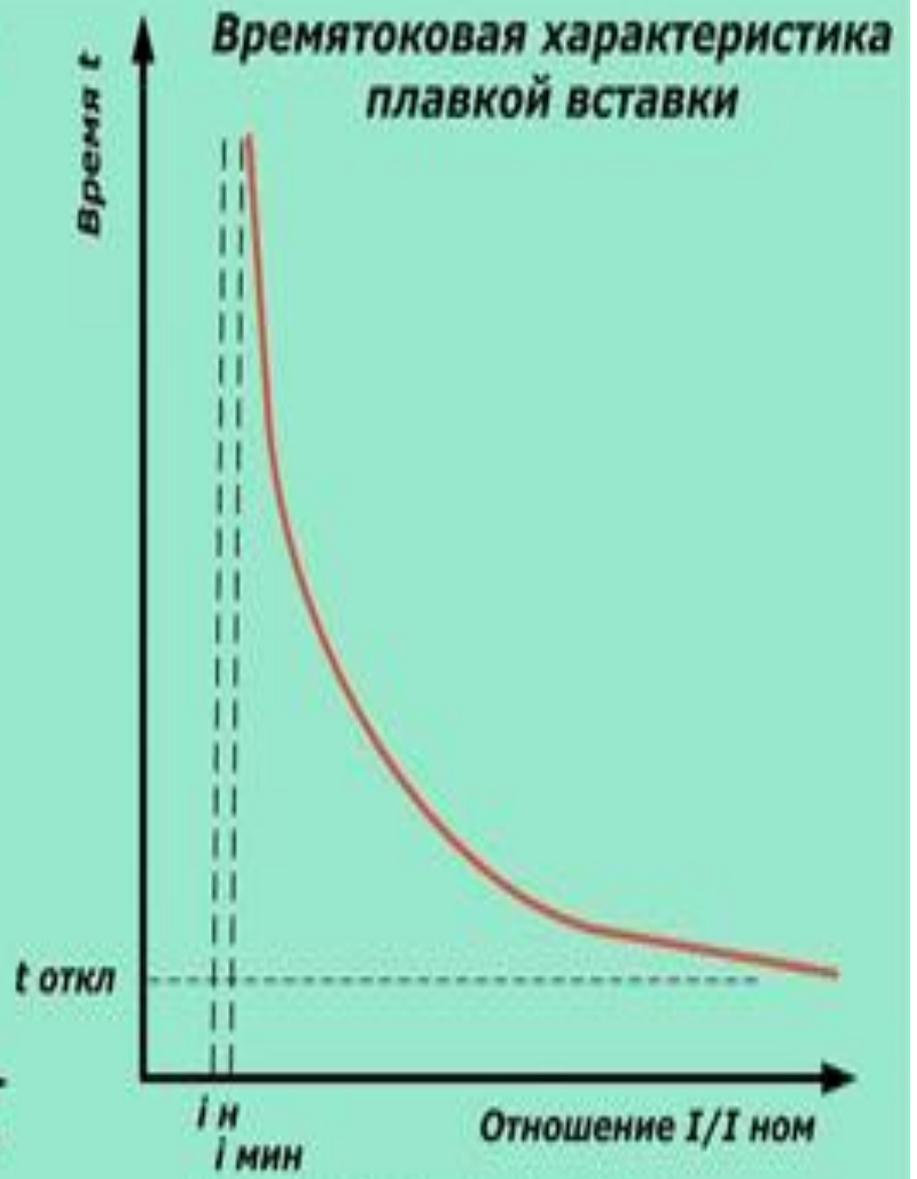
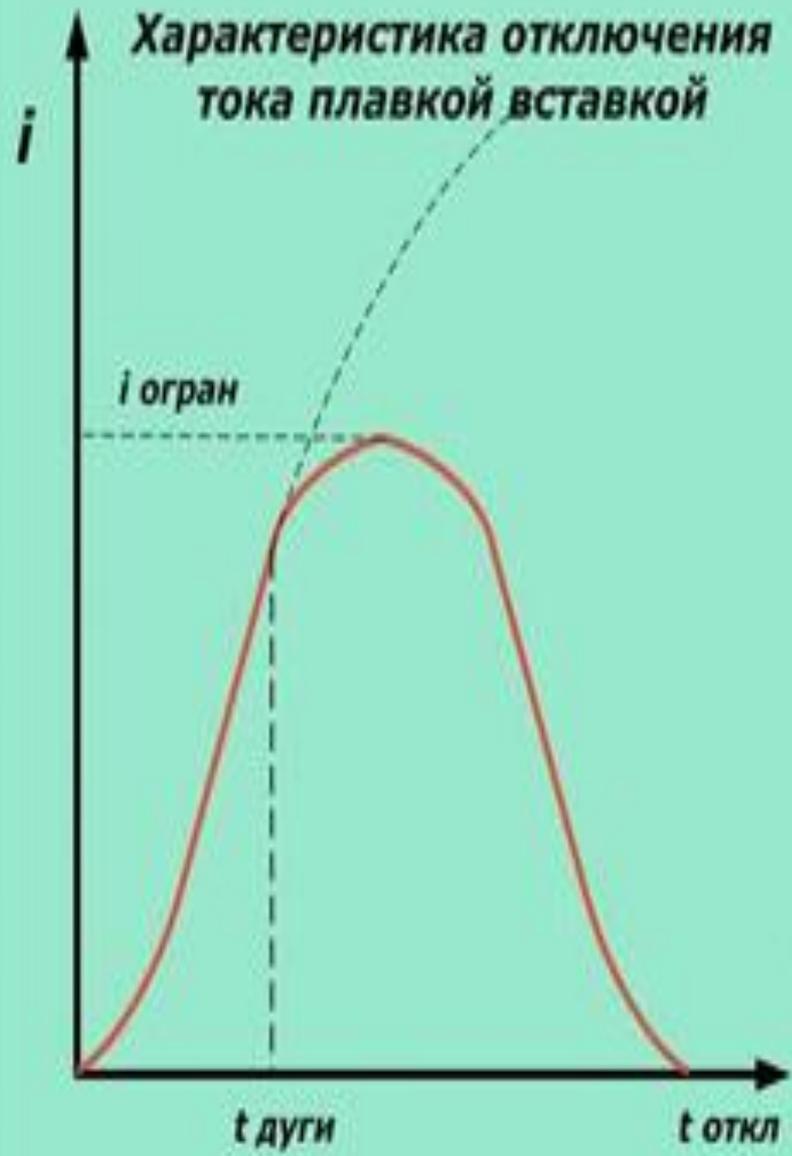
Нарушение теплового баланса в плавкой вставке предохранителя

Проходящий по предохранителю ток превышает расчетное значение

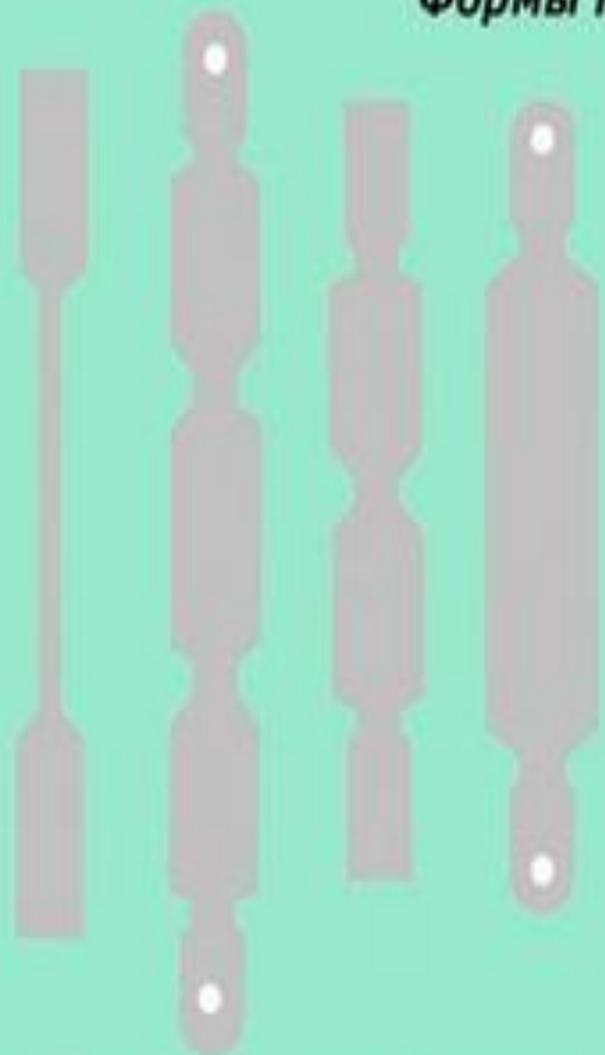
Окружающая среда забирает и рассеивает часть тепла, но его большая часть остается в проводнике



Металл проводника плавится, закипает и разрывает цепь



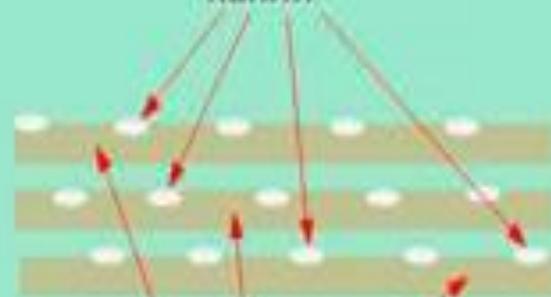
Формы применяемых плавких вставок



Переменное сечение плавкой вставки

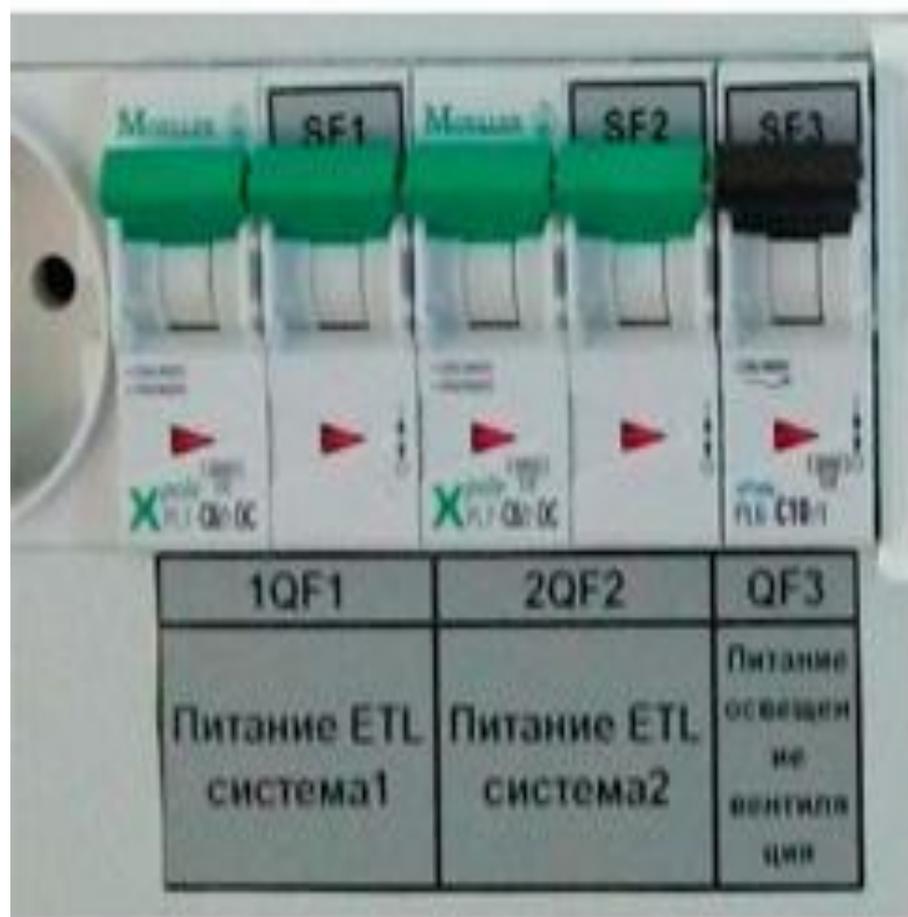
Металлургический эффект

Легкоплавкие оловянные капли



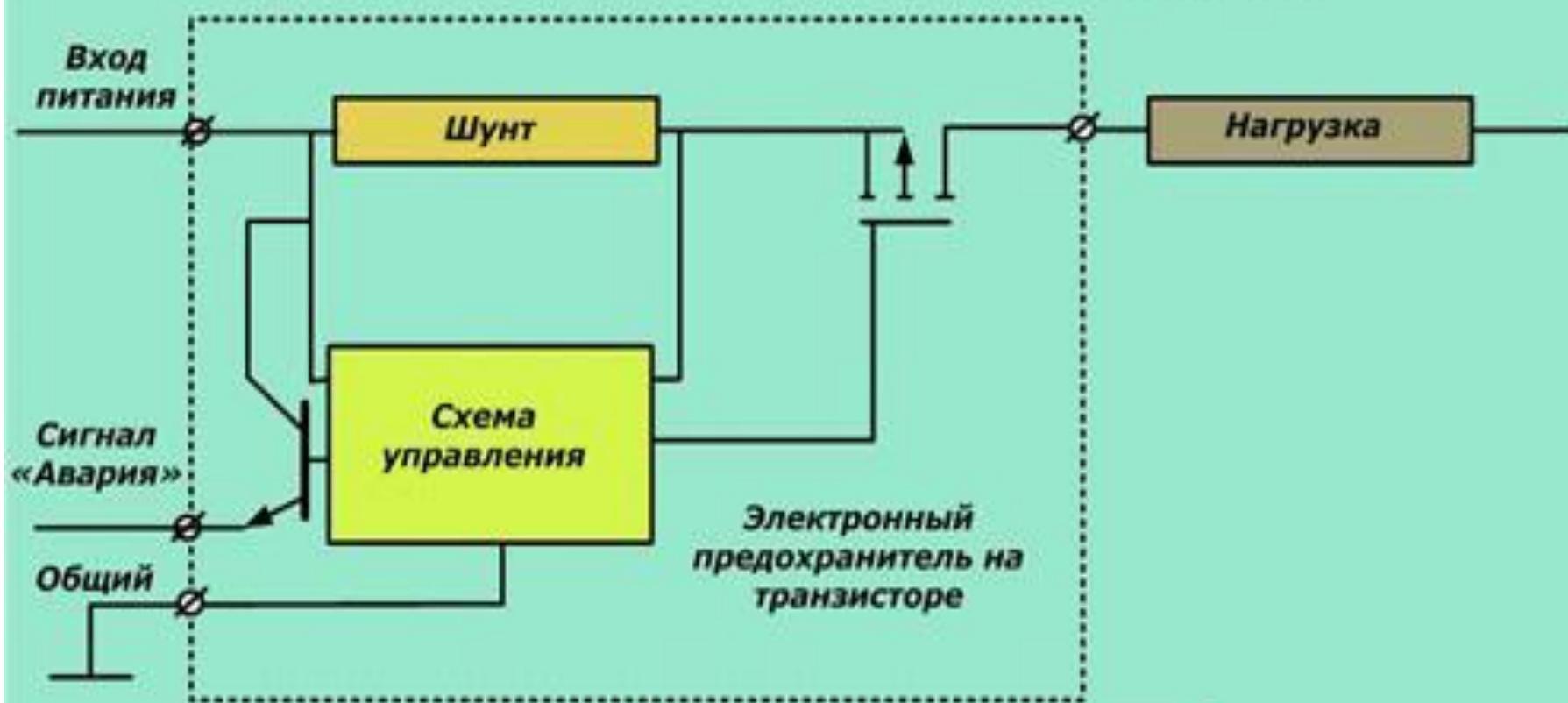
Тонкие многожильные проволочки

Автоматические выключатели



<http://electricalschool.info>

Структурная схема электронного предохранителя



<http://electricalschool.info>

Самовосстанавливающиеся предохранители

