

## 1. Напряжение, ток и сопротивление.

Напряжение – работа по перемещению единичного заряда (либо разность потенциалов), (В).  $U = \frac{A}{q}$  Ток – упорядоченное

движение электрических зарядов (А).  $I = \frac{q}{t}$  Закон Ома: сила тока прямопропорциональна напряжению и обратнопропорциональна сопротивлению.  $I = \frac{U}{R}$  Параллельное соединение:

$$R_{\text{экв}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \text{ после-довательное соединение: } R_{\text{экв}} = R_1 + R_2.$$

Сопротивление – противодействие протеканию электрического тока (Ом). Проводимость – величина, обратнопропорциональная сопротивлению (См). 1-й закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов всех веток, принадлежащих узлу, равна нулю. 2-й закон Кирхгофа: алгебраическая сумма напряжений всех веток, которые создают контур, равна нулю. Мощность – работа, выполненная током по перемещению заряда в единицу времени (либо скорость поступления энергии), (Вт).

**\*Что такое напряжение, единицы измерения-** это величина, которая численно равна работе, которую выполняет электрическое поле по перемещению единичного положительного заряда с некоторой начальной точки поля в конечную.  $U = \frac{A}{q_0}$ . В СИ измеряется

напряжение в Вольтах :  $1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}$ . 1В – это разность потенциалов между такими двумя точками, перенесение заряда в одну абсолютную электростатическую единицу заряда между которыми происходит выполнение работы в 1 Дж.

**\*Что такое ток, единицы измерения-** это направленный поток заряженных частиц. Электрический ток характеризуют силой тока – скалярной величиной, численно равной электрическому заряду, который проходит через поперечное сечение проводника за единицу времени:  $I = \frac{dq}{dt}$ . Измеряется в Амперах, определяется на основе

электромагнитного взаимодействия двух параллельных прямолинейных проводников, по которым проходит постоянный ток.  $1 \text{ А} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ с}}$ .

**\*Закон Ома** - открыт экспериментально, гласит: сила тока, протекающего по однородному проводнику, пропорциональна разности потенциалов на его концах (напряжению U):  $I = \frac{U}{R}$

Закон Ома в дифференциальной форме имеет вид:  $j = \frac{1}{\rho} E = \sigma E$ , где  $\frac{1}{\rho}$  удельная электропроводимость среды.

**\*Параллельное и последовательное соединение компонентов-**

На практике приходится использовать различные типы соединений.

При последовательном соединении сопротивлений их общее сопротивление равно сумме сопротивлений:  $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i$ .

Общее сопротивление батареи сопротивлений соединенных параллельно определяют по формуле:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

Поэтому, при параллельном соединении конденсаторов емкости их суммируются, а при последовательном – суммируются величины, обратные до их емкостей.

**\*Сопротивление и проводимость.** Сопротивление зависит от формы и размеров проводника, от его материала и температуры, а также- это следует помнить – от конфигурации (распределения) тока по проводнику.

В простейшем случае однородного цилиндрического проводника сопротивление  $R = \rho \frac{l}{S}$ , где  $l$  – длина проводника, -это удельное электрическое сопротивление,  $S$  – площадь его поперечного сечения.

Сопротивление измеряется в Омах.  $1 \text{ Ом} = \left[ \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А}} \right]$ .

Проводимость :  $G = \frac{1}{R}$ . Проводимость – это величина обратная сопротивлению. Измеряется в Сименсах.  $[G] = [\text{См}]$

**\*Закон Кирхгофа.** Расчет разветвленных цепей значительно упрощается, если пользоваться двумя законами Кирхгофа:

Первый 3-н (он относится к узлам цепи, т.е. к точкам ее разветвления) : алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле равна нулю. При этом токи, идущие к узлу, и токи, исходящие из узла, следует считать величинами различных знаков.

Второй 3-н (он относится к любому выделенному в разветвленной цепи замкнутому контуру) : алгебраическая сумма произведений сил токов в отдельных участках произвольного замкнутого контура на их сопротивления равна алгебраической сумме Э.Д.С.,

действующих в этом контуре:  $\sum I_k R_k = \sum \xi_k$

**\*Мощность электрических цепей –**

В электрических цепях постоянного тока мощность  $P = UI$ , где  $U$  — напряжение,  $I$  — сила тока. При переменном токе произведение мгновенных значений напряжения  $u$  и тока  $i$  представляет собой **мгновенную мощность**:  $p = ui$ , т. е. мощность в данный момент времени, которая является переменной величиной.

**Активная мощность/Среднее за период T значение мгновенной**

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

мощности называется активной мощностью:  $P = UI \cos \phi$ , где  $U$  и  $I$  — действующие значения напряжения и тока,  $\phi$  — угол сдвига фаз между ними. Активная Э. м. характеризует скорость необратимого превращения электрической энергии в другие виды энергии (тепловую, световую и т. п.). Активная мощность может быть также выражена через силу тока, напряжение и активную составляющую сопротивления цепи  $r$  или её проводимость  $g$  по формуле  $P = I^2 r = V^2 g$ . В любой электрической цепи как синусоидального, так и несинусоидального тока активная мощность всей цепи равна сумме активных мощностей отдельных частей цепи. С полной мощностью  $S$  активная связана соотношением  $P = S \cos \phi$ . Единица активной мощности — **ватт (W, Вт)**. Для СВЧ электромагнитного сигнала, в линиях передачи, аналогом активной мощности является мощность, поглощаемая нагрузкой.

**Реактивная мощность** Реактивная мощность — величина, характеризующая нагрузки, создаваемые в электротехнических устройствах колебаниями энергии электромагнитного поля в цепи переменного тока, равна произведению действующих значений напряжения  $U$  и тока  $I$ , умноженному на синус угла сдвига фаз  $\phi$  между ними:  $Q = UI \sin \phi$ . Единица реактивной мощности — **вольт-ампер реактивный (вар)**. Реактивная мощность связана с полной мощностью  $S$  и активной мощностью  $P$  соотношением:

$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$ . Реактивная мощность в электрических сетях вызывает дополнительные активные потери (на покрытие которых расходуется энергия на электростанциях) и потери напряжения (ухудшающие условия регулирования напряжения). В некоторых электрических установках реактивная мощность может быть значительно больше активной. Это приводит к появлению больших реактивных токов и вызывает перегрузку источников тока. Для устранения перегрузок и повышения мощности коэффициента электрических установок осуществляется компенсация реактивной мощности. Для СВЧ электромагнитного сигнала, в линиях передачи, аналогом реактивной мощности является мощность, отраженная от нагрузки. Спасибо за информацию)

**Полная мощность** — величина, равная произведению действующих значений периодического электрического тока в цепи  $I$  и напряжения  $U$  на её зажимах:  $S = U \times I$ ; связана с активной и реактивной мощностями соотношением:  $S = P + jQ$ , где  $P$  — активная мощность,  $Q$  — реактивная мощность (при индуктивной нагрузке  $Q > 0$ , а при ёмкостной  $Q < 0$ ). Единица полной электрической мощности — **вольт-ампер (ВА, ВА)**.

## 2. Полевые транзисторы

### ЭФФЕКТ ПОЛЯ

Эффектом поля называется изменение концентрации носителей заряда при поверхностном слое полупроводника при воздействии магнитного поля.

## Сущность эффекта

Система «метал-диэлектрик-проводник» при подаче напряжения образуют конденсатор у которого одна из обкладок будет полупроводником. На этой обкладке будет наводиться заряд такой же как и на металлической обкладке, однако он будет сосредоточен не на поверхности, а будет распространяться в глубь диэлектрика. Поле в диэлектрике – постоянно, а в полупроводнике – не спостоянно, из за того что заряд спадает с поверхности в глубь проводника.

В дырочном полупроводнике заряд обеспечен дырками которые притянуты к поверхности, а электронном полупроводнике – ионным донором от которого ушли электроны. В первом случае происходит обогащение полупроводника, а во втором – обеднение.

Поле в полупроводнике распределяется между диэлектриками и полупроводником. Оно возрастает при уменьшении ширины диэлектрика и может произойти пробой диэлектрика.

## ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

**Полевой транзистор** — полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей, протекающим через проводящий канал, и управляемым электрическим полем.

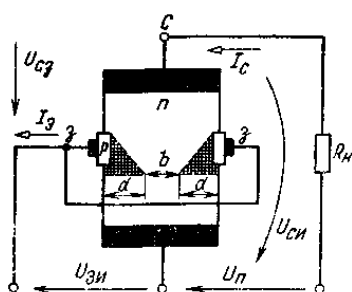
Основным способом движения носителей заряда, образующих ток полевого транзистора, является их дрейф в электрическом поле. Проводящий слой, в котором создается рабочий ток полевого транзистора, называют каналом. Полевой транзистор — полупроводниковый усилительный прибор которым управляет напряжение (электрическое поле, отсюда и название — полевой).

Металлический электрод, создающий эффект поля, называют затвором (З), два других электрода — истоком (И) и стоком (С). Различают три схемы включения полевого транзистора: с общим истоком (ОИ), с общим затвором (ОЗ) и общим стоком (ОС). Наибольшее распространение на практике нашла схема с ОИ.

Полевые транзисторы делятся на:

- Транзисторы с управляющим р-п переходом
- Транзисторы с изолированным затвором (МДП-транзисторы)
  - МДП-транзисторы с индуцированным каналом
  - МДП-транзисторы со встроенным каналом

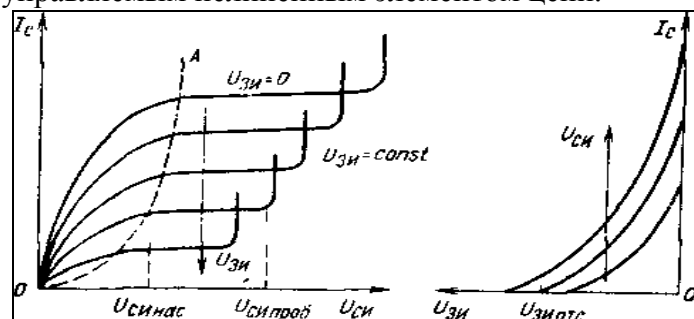
## Принцип работы полевого транзистора.



В полевом транзисторе с объемным каналом площадь поперечного сечения канала меняется за счет изменения площади

обедненного слоя обратно включенного р-п-перехода. На р-п-переход (затвор) —исток) подается обратное напряжение  $U_{зи}$ . При его уменьшении глубина  $d$  обедненного слоя (заштрихованная область на рис) возрастает, а токопроводящее сечение канала сужается. При этом увеличивается сопротивление канала, а следовательно, снижается выходной ток  $I_c$  транзистора. Поскольку напряжение  $U_{зи}$  прикладывается к р-п-переходу в обратном направлении, ток  $I_z$  ничтожно мал и практически не зависит от управляющего напряжения.

Для полевых транзисторов входная характеристика (зависимость  $I_z$  от  $U_{зи}$  при фиксированном значении  $U_{си}$ ) не имеет практического применения и при расчетах используют только передаточные и выходные ВАХ. На рис. приведены выходные и передаточные характеристики полевого транзистора с управляющим р-п-переходом для схемы включения с ОИ. Эти характеристики имеют нелинейный характер, а, следовательно, полевой транзистор является управляемым нелинейным элементом цепи.



При заданном напряжении  $U_{зи}$  и постепенном увеличении напряжения от тока, зависимость тока стока имеет сначала крутой подъём, а потом пологий и почти горизонтальный участок. Это связано с перекрытием канала  $U_{стока}$  за счет напряжения  $U_{сз}$ .

Пологий участок выходных характеристик называют областью насыщения. Математическое описание этого участка:

$$I_c = I_{c_{нач}} \left(1 - \frac{U_{зи}}{U_{зи \text{ отсечки}}}\right)^2$$

Наклон выходной характеристики в области насыщения задается остаточным сопротивлением стока или его остаточной выходной проводимостью с общим истоком. Для расчетов схем часто используются значения крутизны в области насыщения, которые определяются по формуле:

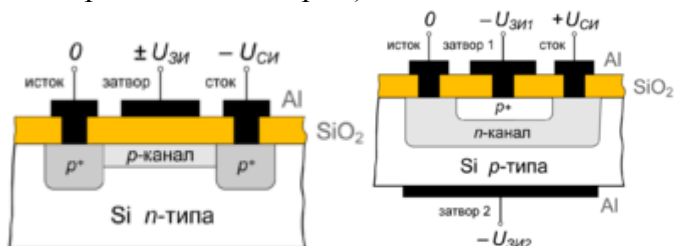
$$S = \left| \frac{dI_c}{dU_{зи}} \right| = S_0 \left(1 - \frac{U_{зи}}{U_{зи \text{ отсечки}}}\right)$$

$$S_0 = \frac{dI_{c_{нас}}}{dU_{зи \text{ отсечки}}} - \text{удельная крутизна}$$

В импульсных и ключевых режимах существенным параметром является проводимость канала:

При  $U_{си}=0$  
$$g_{си} = \frac{1}{R_{си}} = S$$

Реальная структура МДП-транзистора с каналом и-типа показана на рис. Металлический затвор изолирован от полупроводниковой подложки слоем диэлектрика (отсюда эквивалентное название МДП-транзистора — полевой транзистор с изолированным затвором).



МДП-транзистор

С управляющим p-n-переходом

## Основные параметры ПТ

Основными параметрами, характеризующими полевой транзистор как нелинейный элемент, являются: **коэффициент усиления по напряжению**

$$k_U = \mu = \Delta U_{си} / \Delta U_{зи} \text{ при } I_c = \text{const};$$

**крутизна** (определяется по передаточной характеристике)

$$s = \Delta I_c / \Delta U_{зи} \text{ при } U_{си} = \text{const};$$

**дифференциальное выходное** (внутреннее  $R_i$ ) **сопротивление**

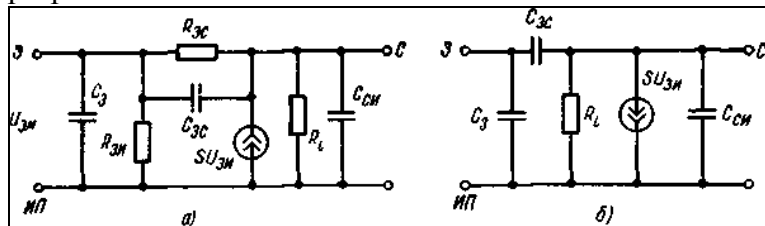
$$r_{вых} = R_i = \Delta U_{си} / \Delta I_c \text{ при } U_{зи} = \text{const};$$

**дифференциальное сопротивление участка затвор — сток**

$$R_{зс} = \Delta U_{зс} / \Delta I_c.$$

## Эквивалентные схемы полевых транзисторов.

На этих схемах принято, что вывод подложки электрически соединен с истоком. Такое включение наиболее часто используется при разработке схем на ПТ.



## Отличительные особенности полевого транзистора.

Из принципа действия полевого транзистора вытекают две основные его особенности: в установившемся режиме работы входной ток поле-пит транзистора стремится к нулю (т. е.  $r_{вх} \rightarrow \infty$ ), инерционность полевого транзистора в отличие от

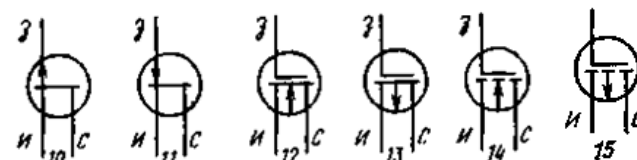
биполярного обусловлена только процессами перезаряда его входной и выходной емкостей.

Принято считать, что в общем случае по быстродействию, усилению и частотным свойствам полевой транзистор, как правило, не имеет преимуществ перед биполярным транзистором.

Полевые транзисторы имеют преимущество перед биполярными транзисторами в большей температурной стабильности их характеристик.

Основными преимуществами полевого транзистора являются его большое входное сопротивление по постоянному току и высокая технологичность.

## УГО



10 - полевой транзистор с управляющим p-n-переходом и л-каналом; 11 — полевой транзистор с управляющим p-n-переходом и p-каналом; 12 — МДП транзистор с встроенным n-каналом; 13 — полевой транзистор с встроенным p-каналом. 14- МДП транзистор с индуцированным n-каналом: 15 — МДП транзистор с индуцированным p каналом.