Содержание:

Введение…………………………………………………………………....3

Глава 1. Общие сведения о полевых транзисторах и их модели…...…..4

* 1. Полевой транзистор с управляющим p-n переходом………………..7

1.2 Полевой транзисторы с изолированным затвором….……………….9

1.2.1 Транзисторы с встроенным каналом…….……..…………………...9

1.2.2 Транзисторы с индуцированным каналом…………..…………….10

Глава 2. Статические характеристики МДП-транзисторов…………….11

Глава 3. Виды схем включения…………………..………………………12

3.1 Схема с общим истоком………………………………..…………......13

3.2 Схема с общим стоком………………………………...……………...16

3.3 Схема с общим затвором……………………………………………..19

Заключение………………………………………………………………..20

Литература………………………………………………………………...21

**Введение**

Полупроводниковые приборы, благодаря маленьким размерам и массе, незначительному потреблению электроэнергии, высокой надёжности и долговечности широко применяются в различной радиоэлектронной аппаратуре. Сейчас почти вся бытовая радиоэлектронная техника работает на полупроводниковых приборах и микросхемах. Основные материалы из которых изготовляют транзисторы — кремний и германий, перспективные – арсенид галлия, сульфид цинка. Существует два типа транзисторов: биполярные и полевые. В последнее время очень широкого распространения получили полевые транзисторы. Основным достоинством полевого транзистора есть высокое входное сопротивление. В настоящее время биполярные транзисторы всё чаще и чаще вытесняются полевыми.

1. **Общие сведения о полевых транзисторах и их модели.**

**Полевой транзистор** - прибор, через который под влиянием продольного электрического поля протекает ток, обусловленный движением носителей заряда одного типа. Так как принцип действия полевых транзисторов основан на перемещении основных носителей заряда одного типа проводимости, такие компоненты ещё называют униполярными.

**Затвором** называют вывод полевого транзистора, к которому подводят напряжение от устройства. Управление полевыми транзисторами осуществляют напряжением. **Истоком** называют вывод, который обычно служит источником поступления в транзистор носителей заряда от устройства электропитания. **Стоком** называют вывод, через который носители заряда покидают транзистор. Перемещение основных носителей заряда от истока к стоку происходит по области, которая называется **канал** полевого транзистора. Каналы у полевых транзисторов могут быть как электронного, так и дырочного типов. Носителями заряда в полевых транзисторах n-типа выступают электроны, а в приборах p-типа – дырки. Полевые транзисторы классифицируют на приборы с управляющим переходом и с изолированным затвором. Последние подразделяют на транзисторы со встроенным каналом и приборы с индуцированным каналом.

Перейдем к моделям следующих полевых транзисторов:

- с управляющим переходом**JFET**

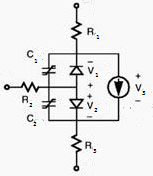
- на основе перехода металл-полупроводник (полевой транзистор с затвором на основе барьера Шотки) **MESFET**

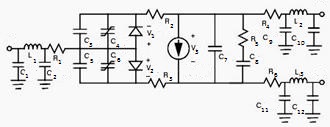
- на основе перехода металл-оксид-полупроводник, МОП-транзистор **MOSFET**

- с высокой подвижностью электронов **HEMT**

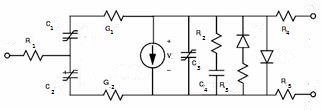
- на гетероструктурах **HFET**

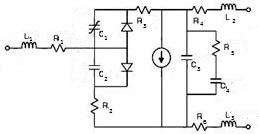
Приведем модели каждого из перечисленных полевых транзисторов:

**JFET** - полевой транзистор с управляющим переходом. Подача смещения между затвором и стоком приводит к изменению размера области заряда перехода затвор-канал. При этом изменяется сечение проводящего канала для носителей заряда, соответственно, изменяется проводимость канала. **Транзисторов JFET находит применение на частотах до нескольких сотен МГц.**  
Рис. 1.1 – Модель полевого транзистора технологии **JFET.**

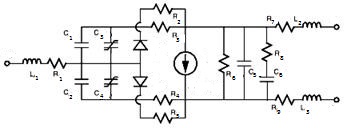
**MESFET** - полевой транзистор на основе перехода металл-полупроводник (полевой транзистор с затвором на основе барьера Шотки). Технология изготовления барьера Шотки позволяет уменьшать межэлектродные расстояния до микро-размеров. **Получение больших скоростей пролета носителей при относительно низкой напряженности поля в арсениде галлия по сравнению с кремнием позволяет повысить граничную частоту усиления.**  
Рис. 1.2 – Модель полевого транзистора технологии **MESFET**.

**MOSFET** - полевой транзистор на основе перехода металл-оксид-полупроводник, МОП-транзистор. МОП структура состоит из металла и полупроводника, разделенных слоем SiO2. Структуру называют МДП (металл - диэлектрик - полупроводник). Транзисторы на основе МОП-структур называются униполярными транзисторами, так как для их работы необходимо наличие носителей заряда только одного из двух типов. **МОП структура, часто используемая технология производства транзисторов.**

  
Рис 1.3 – Модель полевого транзистора технологии **MOSFET**.

**HEMT** - транзистор с высокой подвижностью электронов. Отличие от последних заключается в том, что проводящий канал в **HEMT** транзисторе специально создается нелегированным, для увеличения подвижности носителей заряда в канале и быстроты прибора.  
  
Рис 1.4 – Модель полевого транзистора технологии **HEMT.**

**HFET** - полевой транзистор на гетероструктурах. Из рассмотренных выше полевых транзисторов технология **HFET** является в настоящее время наиболее перспективной по мощности, частотному диапазону, КПД и надежности.

  
Рис. 1.5 – Модель полевого транзистора технологии **HFET**.

**1.1. Полевой транзистор с управляющим p-n-переходом.**

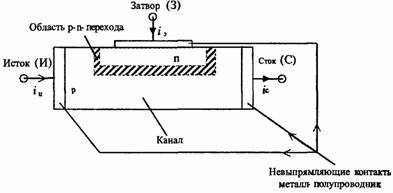
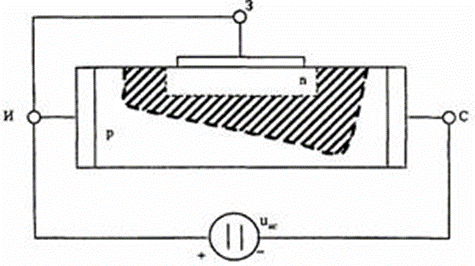
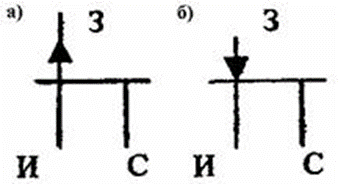


Рис.1.1.1 - Устройство полевого транзистора. [1]  
В основе транзистора лежит пластинка из полупроводника с проводимостью, например, p-типа. На противоположных концах она имеет электроды, подав напряжение на которые мы получим ток от истока к стоку (рис.1.1.1). Сверху на этой пластинке есть область с противоположным типом проводимости, к которой подключен третий электрод — затвор. Между затвором и p-областью под каналом возникает p-n переход. А поскольку n-слой значительно уже канала, то большая часть области перехода будет приходиться на p-слой. Соответственно, если мы подадим на переход напряжение обратного смещения, то, закрываясь, он значительно увеличит сопротивление канала и уменьшит ток между истоком и стоком. Таким образом, происходит регулирование выходного тока транзистора с помощью напряжения затвора.

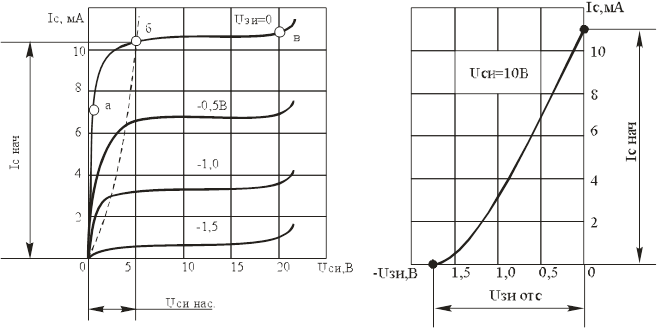
  
 Рис.1.1.2 - Режим отсечки полевого транзистора. [2]

1. <https://www.google.ru/search?q=%D1%83%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9%D1%81>  
2. https://www.google.ru/search?q=%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B8%D0%BC+%D0%BE%D1

В рабочем режиме полевого транзистора с управляющим p-n переходом напряжение на затворе должно быть либо нулевым (канал открыт полностью), либо обратным. Если величина обратного напряжения станет настолько большой, что запирающий слой закроет канал, то транзистор перейдет в **режим отсечки**(рис.1.1.2). При нулевом напряжении на затворе, между затвором и стоком существует обратное напряжение, равное напряжению исток-сток.

  
Рис.1.1.3 - Условные графические изображения полевых транзисторов (*а* — с каналом p-типа, *б* — с каналом n-типа).

##### *Статические характеристики полевого транзистора с управляющим p-n-переходом.*

  
Рис.1.1.4 - Выходная характеристика. Рис.1.1.5 - Стоко-затворная характеристика.[3]

3. https://www.google.ru/search?q=%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B8%D0%BC+%D0%BE%D1%82

Поскольку в рабочем режиме ток затвора обычно мал или вообще равен нулю, можно перейти сразу к графикам выходным(стоковым) характеристикам полевых транзисторов.

**Выходная**(**стоковая**) характеристика - зависимость тока стока от напряжения исток-сток при постоянном напряжении затвор-исток (рис.1.1.4).   
*На графике (рис.1.1.4) можно четко выделить три зоны:*

Первая зона - резкого возрастания тока стока. Это так называемая **«омическая» область**. Канал «исток-сток» ведет себя как резистор - сопротивление управляется напряжением на затворе транзистора.   
Вторая зона - **область насыщения**. Она имеет почти линейный вид. Здесь происходит перекрытие канала в области стока, которое увеличивается при дальнейшем росте напряжения исток-сток.   
Третья зона - **область пробоя**.  
**Стоко-затворная характеристика** показывает то, как зависит ток стока от напряжения затвор-исток при постоянном напряжении между истоком и стоком (рис.1.1.5).

**1.2 Полевой транзистор с изолированным затвором.**

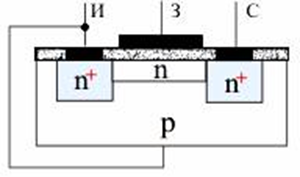


Рис. 1.1.6 - Устройство МДП транзистора. [4]

**1.2.1 Транзисторы с встроенным каналом**.

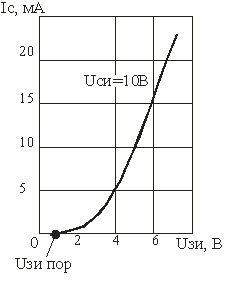
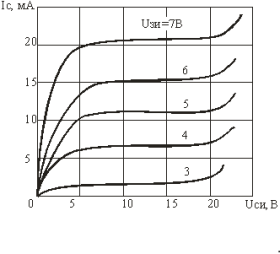
Такие транзисторы также часто называют МДП (металл-диэлектрик-полупроводник)- или МОП (металл-оксид-полупроводник). У таких устройств затвор отделен от канала тонким слоем диэлектрика. Их основная работа - эффект изменения проводимости слоя над поверхностью

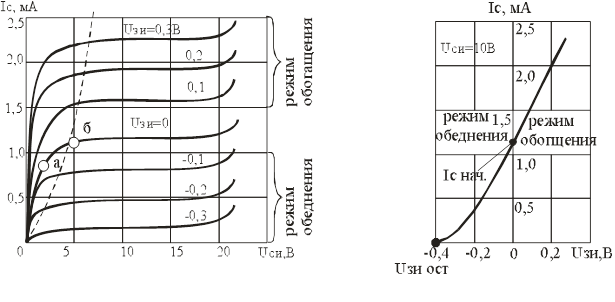
4. http://studopedia.ru/10\_132538\_ustroystvo-polevogo-tranzistora-s-izolirovannim-zatvorom.html

полупроводника на границе с диэлектриком под воздействием электрического поля. Устройство транзисторов такого вида - есть подложка из полупроводника с p-проводимостью, в которой сделаны две сильно легированные области с n-проводимостью (исток и сток). Между ними пролегает узкая перемычка, проводимость которой также n-типа. Над ней на поверхности пластины имеется тонкий слой диэлектрика. На этом слое расположен затвор (рис.1.1.6). Подадим на затвор отрицательное относительно истока напряжение. Возникшее поперечное электрическое поле вытолкнет электроны из канала в подложку, а значит, возрастет сопротивление канала и уменьшится ток. Режим, при котором с возрастанием напряжения на затворе выходной ток падает, называют **режимом обеднения**. Если подать на затвор напряжение, которое будет способствовать возникновению поля, которое помогает электронам пройти в канал из подложки, при этом сопротивление канала будет падать, а ток через него расти, то транзистор будет работать в **режиме обогащения**.   
  
**1.2.2 Транзистор с индуцированным каналом.**  
У транзистора канал между сильно легированными областями стока и истока появляется только при подаче на затвор напряжения определенной полярности. Подаем напряжение только на исток и сток. Ток между ними течь не будет, поскольку один из p-n переходов между ними и подложкой закрыт. Подадим напряжение на затвор. Электрическое поле будет тянуть электроны из сильнолегированных областей в подложку в направлении затвора. Когда значение напряжения достигнет верхнюю зону произойдет инверсия. Следовательно, транзистор начнет проводить ток, тем сильнее, чем выше напряжение на затворе. 

**Обозначения транзисторов с изолированным затвором:**

#### *а* − со встроенным каналом n- типа *б* − со встроенным каналом р- типа *в* − с выводом от подложки *г* − с индуцированным каналом n- типа *д* − с индуцированным каналом р- типа *е* − с выводом от подложки https://habrastorage.org/storage1/72afff73/52f029a7/348c1e53/bea74239.png

1. **Статические характеристики МДП-транзисторов.**  
     
   Рис. 2.1- Стоковая и стоко-затворная характеристики для транзистора с индуцированным каналом.[5]

  
Рис. 2.2 - Стоковая и стоко-затворная характеристики транзистора с встроенным каналом.[6]

5,6. http://studopedia.ru/9\_90264\_klassifikatsiya-i-oboznachenie-polevih-tranzistorov.html

#### Виды схем включения полевых транзисторов.

Полевой транзистор можно рассматривать как четырехполюсник, у которого два из четырех контактов совпадают. Таким образом, получаются три вида схем включения: с общим истоком, с общим стоком и с общим затвором.   
Чаще всего применяется **схема с общим истоком**, как дающая большее усиление по току и мощности.   
**Схему с общим стоком** называют *истоковым повторителем*. Ее коэффициент усиления по напряжению близок к единице, входное сопротивление велико, а выходное мало.

**Схема с общим затвором** усиления тока почти не дает и имеет маленькое входное сопротивление.

|  |  |
| --- | --- |
| **3.1 Схема с общим истоком.**  **http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/017R1.jpg** Рис. 3.1.1 - Принципиальная схема усилителя. [7]  Принцип построения схемы аналогичен схеме усилителя на биполярном транзисторе включенном с общим эмиттером. В данной схеме RИ,RЗ и СИ образуют цепочку автоматического смещения. На RИ происходит падение напряжения обусловленное током стока, которое передается на затвор через резистор RЗ, и определяет положение рабочей точки, т.е. режим работы транзистора по постоянному току.   |  | | --- | | *Расчет по постоянному току:*  Выбор полевого транзистора производится аналогично биполярному (по заданным значениям EСИmax,IСmax и Pmax). Выходную цепь усилителя можно описать следующей системой уравнений:  **http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/018F1.JPG**  Уравнение (1) представляет собой уравнение нагрузочной прямой, (2) – выходные характеристики транзистора.  **http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/018G1.jpg** Рис. 3.1.2 - Графоаналитическое решение системы. [8]  7,8. http://www.club155.ru/transistors-fet-modes  Также, как и для усилителя на биполярном транзисторе, в режимах холостого хода и короткого замыкания, определяют крайние точки нагрузочной прямой.**http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/018F2.jpg** При проектировании каскада проводят нагрузочную линию соответствующим образом и зная IКЗ определяют суммарное сопротивление:  http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/018F3.jpg (3)  **http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/018F4.jpg** (4)  Емкость СИ выбирается из условия, чтобы при подаче входного переменного сигнала выполнялось неравенство:  **http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/018F5.jpg** (5) | |

где ωmin – минимальная частота усиливаемого входного сигнала.

|  |
| --- |
| *Расчет схемы по переменному току:*  Рис. 3.1.3 - Схема замещения усилителя. [9]  В диапазоне средних звуковых частот, аналогично RC усилителям на биполярных транзисторах, разделительными конденсаторами СP1 и СP2, а также емкостями CПр, СВх и СHΣ можно пренебречь. Исходя из этого модель усилителя для средних звуковых частот будет иметь вид (рис. 3.1.4).  9. http://studopedia.ru/7\_35310\_usilitelniy-kaskad-s-obshchim-istokom-na-polevih-tranzistorah.html  **http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/20R2.jpg** Рис. 3.1.4 - Модель усилителя в диапазоне средних звуковых частот. [10]*Определим коэффициент усиления схемы по напряжению:*Выходное напряжение можно записать в следующем виде: UВых = -S\*UВх\*RЭ, где RЭ = Ri||RC||RH, UЗИ = UВх. (6) Т.к. Ri для маломощных полевых транзисторов порядка сотен кОм, RH – единицы МОм, а RC – десятки кОм, то RЭ ≈ RC.  Следовательно: **http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/20F1.jpg** (7)*Определение коэффициента усиления по току:*  Коэффициент усиления по току определяется аналогично биполярным транзисторным каскадам:  **http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/20F2.jpg** (8)Анализируя это выражение, получим |ki|>>1*Определение входного сопротивления:*  Из модели следует, что: RВх=RЗ. На высоких частотах необходимо учитывать влияние СПр и СВх, при этом входное сопротивление будет определяться в виде: RВх=RЗ||CВх||CСпр•(1+kU).При значениях коэффициента усиления (10÷100), и при характерных значениях СПР≈1пФ, получаем преобладающее действие СПР под СВх, значение которой порядка единиц пФ.  *Определение выходного сопротивления:* **http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/20F3.jpg** (9)  10. http://life-prog.ru/1\_41001\_harakteristiki-usiliteley-napryazheniya-v-oblasti-srednih-zvukovih-chastot.html |

|  |
| --- |
| **3.2 Схема с общим стоком.**  **http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/020R1.jpg** Рис. 3.2.1 - Принципиальная схема усилителя на ПТ по схеме с общим стоком. [11]    Расчет данной схемы по постоянному току производится также, как в схеме усилителя с общим истоком.Для расчета стокового повторителя по переменному току воспользуемся линейной моделью усилителя приведенной(рис.3.2.1).  **http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/020R2.jpg** Рис. 3.2.2 - Схема замещения стокового повторителя. [12]  При расчете основных параметров каскада в диапазоне средних звуковых частот разделительными емкостями CP1 и СP2 можно тоже пренебречь. Методика расстановки направлений напряжений и токов в модели, соответствует рассмотренной ранее при определении k U. |

*Определение коэффициента усиления по напряжению:*

|  |
| --- |
| Выходную цепь эквивалентной схемы можно описать в соответствии со вторым законом Кирхгофа:  http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/020F1.jpg (10)  11, 12. https://www.google.ru/search?q=%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BF  где UЗИ=UВх-UВых. RЭкв=RC||RH.  Следовательно, выходное напряжение можно представить в виде:  http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/020F2.jpg (11) Подставляя UЗИ=UВх-UВых, получим:  http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/020F3.jpg (12)  Преобразовав:  http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/020F4.jpg (13)  Коэффициент усиления повторителя по напряжению:  http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/020F5.jpg (14)  Анализируя последнее выражение для kU, можно убедится, что kU<1 и по аналогии с эмиттерным повторителем имеет значения порядка kU=0.9÷0.99.  *Определение коэффициента усиления по току:*  http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/020F6.jpg (15) Поскольку: kU≈1; RВых≈RЗ; RH≈(2÷ 5)\*RВых, т.е. сотни Ом – единицы кОм, то ki получаем порядка 10³. Следовательно, ki>>1. |

*Определение входного сопротивления:*

|  |
| --- |
| Входную цепь каскада можно описать в соответсвии со вторым законом Кирхгофа: UВх-UВых=UВх-kU\*UВх=IВх\*RЗ, (16)  => UВх\*(1-kU)=IВх\*RЗ. (17) Входное сопротивление каскада:  http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/022F1.jpg (18)  Для типовых значений kU=0.9÷0.99, получим RВх≈(10÷ 100)RЗ. Эта схема обладает очень большим входным сопротивлением, значение которого может достигать десятков –сотен МОм.  *Определение выходного сопротивления:*  http://www.vasiligordee.narod.ru/radio/022F2.jpg (19)  Полное выходное сопротивление усилителя определяется как параллельное включение RВых.Тр и RC, тогда: RВых.ус=RВых.Тр||RC. Для типовых параметров маломощных полевых транзисторов RВых порядка десятков – сотен Ом. |

**3.3 Схема с общим затвором.**

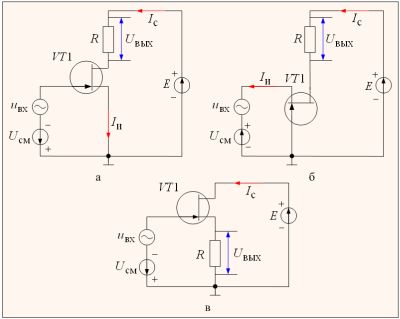
****

Рис. 3.3.1 - Схема усилителя с общим затвором.

Эта схема включения используется для преобразования низкого входного сопротивления в высокое выходное. Входное сопротивление имеет здесь примерно то же значение, что и выходное в схеме с общим стоком. Коэффициент усиления по напряжению для схемы с общим затвором:

formula  (20)

где Rr - внутреннее сопротивление генератора входного сигнала.

*Входное сопротивление каскада:*

formula      (21)

*Выходное сопротивление каскада:*

formula      (22)

**Заключение.**

Развитие полупроводниковых приборов происходит весьма быстрыми темпами. Разрабатываются приборы для работы в области высоких частот, мощностей и температур при минимизации их размеров. Особое внимание уделяется повышению надежности, стабильности и долговечности работы транзисторов в различных режимах и условиях эксплуатации.

В данной курсовой работе были рассмотрены общие сведения о полевых транзисторах, их модели, виды и режимы работы в различных схемах включения.

**Литература.**

1. Дулин В. К. Электронные приборы, М., Энергия, 1977.
2. Флёров А.Н. Электроника; Физические основы микроэлектроники; тезисы, 2015.
3. Флёров А.Н. Схемотехника АЭУ; тезисы, 2016.
4. Спиридонов Н.С. Основы теории транзисторов. — К.: Техника, 1969.
5. Полевые транзисторы и их применение, 2016. <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=729859#1>