

Компонент ОПОП 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы  
наименование ОПОП

Б1.В.ДВ.02.01  
шифр дисциплины

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Дисциплины  
(модуля)

Физические основы электроники

Разработчик (и):

Шульженко А.Е.

ФИО

старший преподаватель

должность

\_\_\_\_\_  
ученая степень,  
звание

Утверждено на заседании кафедры

РЭСиТРО

наименование кафедры

протокол № 1 от 01.09.2022 года

Заведующий кафедрой РЭСиТРО

\_\_\_\_\_  
подпись

Борисова Л.Ф.  
ФИО

# 1. Критерии и средства оценивания компетенций и индикаторов их достижения, формируемых дисциплиной (модулем)

| Код и наименование компетенции                                                                                                                                                                                              | Код и наименование индикатора(ов) достижения компетенции <sup>1</sup>                           | Результаты обучения по дисциплине (модулю) <sup>2</sup>                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                  | Оценочные средства текущего контроля                                                                                                                       | Оценочные средства промежуточной аттестации |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                 | <i>Знать</i>                                                                                                                                                            | <i>Уметь</i>                                                                                                                                                                                              | <i>Владеть</i>                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                            |                                             |
| ОПК-2<br>Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа и принятия решения | ИД-1 <sub>ОПК-2</sub><br>Решает профессиональные задачи, применяя физико-математический аппарат | приёмы решения задач анализа и расчета характеристик полупроводниковых приборов;<br>- методы измерения электронных приборов;<br>- принципы обработки полученных данных; | - решать задачи анализа и расчета характеристик полупроводников, применяя соответствующий математический аппарат<br>- составлять измерительные схемы;<br>- обрабатывать полученные данные, делать выводы; | навыками решения задач анализа и расчета характеристик свойств полупроводников, применяя соответствующий математический аппарат<br>- навыками проведения экспериментов с электронными приборами. | - комплект заданий для выполнения лабораторных работ;<br>- тестовые задания;<br>- типовые задания по вариантам для выполнения расчетно-графической работы; | Результаты текущего контроля                |

<sup>1</sup>Указываются только те индикаторы, которые закреплены за дисциплиной (модулем) в соответствии с РПД

<sup>2</sup>В соответствии с РПД

|                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                            |                                                       |                                                                                                                            |                                                     |                                                                                                                                                            |                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| ПК-3 Способен к реализации программ экспериментальных исследований, в том числе в режиме удаленного доступа, включая выбор технических средств, обработку результатов и оценку погрешности экспериментальных данных | ИД-1 <sub>ПК-3</sub><br><br>Проводит экспериментальные исследования с применением средств обработки данных | принципы планирования экспериментальных исследований. | обосновывать программу эксперимента, обрабатывать результаты эксперимента, оценивать погрешности экспериментальных данных. | техникой проведения экспериментальных исследований. | - комплект заданий для выполнения лабораторных работ;<br>- тестовые задания;<br>- типовые задания по вариантам для выполнения расчетно-графической работы; | Результаты текущего контроля |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|

## 2. Оценка уровня сформированности компетенций (индикаторов их достижения)

| Показатели оценивания компетенций (индикаторов их достижения) | Шкала и критерии <sup>3</sup> оценки уровня сформированности компетенций (индикаторов их достижения)                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                               | Ниже порогового<br>(«неудовлетворительно»)                                                                                                                                                                                      | Пороговый<br>(«удовлетворительно»)                                                                                                                                                                                                                             | Продвинутый<br>(«хорошо»)                                                                                                                                                                                                                       | Высокий<br>(«отлично»)                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Полнота знаний</b>                                         | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.                                                                                                                                                          | Минимально допустимый уровень знаний. Допущены не грубые ошибки.                                                                                                                                                                                               | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущены некоторые погрешности.                                                                                                                                                  | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки.                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Наличие умений</b>                                         | При выполнении стандартных заданий не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.                                                                                                                            | Продemonстрированы основные умения. Выполнены типовые задания с не грубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме (отсутствуют пояснения, неполные выводы)                                                                                     | Продemonстрированы все основные умения. Выполнены все основные задания с некоторыми погрешностями. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.                                                                            | Продemonстрированы все основные умения. Выполнены все основные и дополнительные задания без ошибок и погрешностей. Задания выполнены в полном объеме без недочетов.                                                                                                                     |
| <b>Наличие навыков (владение опытом)</b>                      | При выполнении стандартных заданий не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.                                                                                                                             | Имеется минимальный набор навыков для выполнения стандартных заданий с некоторыми недочетами.                                                                                                                                                                  | Продemonстрированы базовые навыки при выполнении стандартных заданий с некоторыми недочетами.                                                                                                                                                   | Продemonстрированы все основные умения. Выполнены все основные и дополнительные задания без ошибок и погрешностей. Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.                                                                                                   |
| <b>Характеристика сформированности компетенции</b>            | Компетенции фактически не сформированы. Имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач.<br><br>ИЛИ<br>Зачетное количество баллов не набрано согласно установленному диапазону | Сформированность компетенций соответствует минимальным требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач.<br><br>ИЛИ<br>Набрано зачетное количество баллов согласно установленному диапазону | Сформированность компетенций в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков достаточно для решения стандартных профессиональных задач.<br><br>ИЛИ<br>Набрано зачетное количество баллов согласно установленному диапазону | Сформированность компетенций полностью соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков в полной мере достаточно для решения сложных, в том числе нестандартных, профессиональных задач.<br><br>ИЛИ<br>Набрано зачетное количество баллов согласно установленному диапазону |

<sup>3</sup>Критерии могут быть уточнены/изменены на усмотрение разработчика ФОС

### 3. Критерии и шкала оценивания заданий текущего контроля

#### 3.1 Критерии и шкала оценивания лабораторных работ

Перечень лабораторных работ, описание порядка выполнения и защиты работы, требования к результатам работы, структуре и содержанию отчета и т.п. представлены в методических материалах по освоению дисциплины (модуля) и в электронном курсе в ЭИОС МГТУ.

| Оценка/баллы <sup>4</sup>  | Критерии оценивания                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Отлично</b>             | Задание выполнено полностью и правильно. Отчет по лабораторной/практической работе подготовлен качественно в соответствии с требованиями. Полнота ответов на вопросы преподавателя при защите работы.                            |
| <b>Хорошо</b>              | Задание выполнено полностью, но нет достаточного обоснования или при верном решении допущена незначительная ошибка, не влияющая на правильную последовательность рассуждений. Все требования, предъявляемые к работе, выполнены. |
| <b>Удовлетворительно</b>   | Задания выполнены частично с ошибками. Демонстрирует средний уровень выполнения задания на лабораторную/практическую работу. Большинство требований, предъявляемых к заданию, выполнены.                                         |
| <b>Неудовлетворительно</b> | Задание выполнено со значительным количеством ошибок на низком уровне. Многие требования, предъявляемые к заданию, не выполнены.<br>ИЛИ<br>Задание не выполнено.                                                                 |

#### 3.2 Критерии и шкала оценивания расчетно-графической работы

Перечень контрольных заданий, рекомендации по выполнению представлены в методических материалах по освоению дисциплины (модуля) и в электронном курсе в ЭИОС МГТУ.

В ФОС включен типовой вариант контрольного задания.

1. Уровень Ферми в примесных полупроводниках  $N_1$  и  $N_2$  находится на  $\Delta E$  ниже дна зоны проводимости (Значение  $\Delta E = \Delta E_0/Z$ ) ( $Z$ -номер варианта).

1.1, 1.2. Какова вероятность  $f_n(E)$  того, что при температуре  $T$ , энергетические уровни, расположенные на  $Z \cdot 3 \cdot kT$  выше зоны проводимости, заняты электронами.

1.3, 1.4. Какова вероятность  $f_p(E)$  того, что на уровне, расположенном у потолка валентной зоны, содержатся дырки.

1.5. Нарисовать зонную диаграмму и функции  $Z(E)$ ,  $N(E)$   $f(E)$  для данных полупроводников.

2. Имеются собственные полупроводники  $N_1$  и  $N_2$ .

2.1, 2.2. Рассчитать концентрацию собственных носителей в материалах  $N_1$ ,  $N_2$  при температуре  $T$  при известных значениях  $m_n, m_p$  для носителей заряда.

2.3, 2.4. Определить, во сколько раз различаются вероятности заполнения электронами нижнего уровня проводимости в собственных материалах при  $T$  и  $T_x$ .

2.5, 2.6. Определить положение уровня Ферми ( $E_{FP} - E_F$ ) при температурах  $T$  и  $T_x$ , для материалов  $N_1$  и  $N_2$ .

2.7 Рассчитать и построить зависимость  $\ln n_i(1/T)$  для материалов  $N_1$  и  $N_2$  (на одном графике)

3. Имеются примесные полупроводники.

В материале  $N_1$  находится примесь  $N_{np1}$ ; в материале  $N_2$  - примесь  $N_{np2}$ .

<sup>4</sup>Шкала оценивания определяется разработчиком ФОС

3.1,3.2. Определить температуру ионизации  $T_s$  примесей в материалах  $N_1$  и  $N_2$  (учесть, что  $N_c$  и  $N_v$  зависят от температуры).

3.3, 3.4. Определить температуру перехода к собственной проводимости  $T_i$  в материалах  $N_1$  и  $N_2$  (учесть, что  $N_c$  и  $N_v$  зависят от температуры).

3.5, 3.6. Учитывая значения величин  $T_i$  и  $T_s$  определить концентрацию основных и неосновных носителей в материале  $N_1$  при температуре  $T$ .

3.7, 3.8. Учитывая значения величин  $T_i$  и  $T_s$  определить концентрацию основных и неосновных носителей в материале  $N_2$  при температуре  $T$ .

3.9, 3.10. Определить концентрацию основных и неосновных носителей в материале  $N_1$  при температуре  $(T+0.1T)$

3.11. Построить качественно зависимость концентрации основных носителей  $\ln n(1/T)$  для материалов  $N_1$  и  $N_2$  (на одном графике).

4. Имеется материал  $N_1$  (или  $N_2$ ) с примесями концентрацией  $N_{np2}$  (или  $N_{np1}$ ). Плотность тока через образец равна  $j = 10^5$  А, температура  $T$ .

4.1, 4.2. Определить тепловую скорость основных и неосновных носителей.

4.3, 4.4. Определить дрейфовую скорость основных и неосновных носителей.

4.5 Определить отношение полного тока через образец к току, обусловленному дырочной составляющей.

4.6. Определить удельное сопротивление материала  $\rho(T)$ .

4.7. Рассчитать значение проводимости материала  $N_1$  (или  $N_2$ ) при известных значениях подвижности  $\mu_n, \mu_p$  при температуре  $(T+0.3T)$ .

#### Исходные данные

|                             | Номер варианта                                                                                                                     |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                             | 1                                                                                                                                  | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        |
|                             | $N_1 - \text{Si} : \Delta E_z = 1,11 \text{ эВ (300K)} ; N_2 - \text{Ge} : \Delta E_z = 0,72 \text{ эВ (300K)}$                    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| $T, \text{K}$               | 305                                                                                                                                | 310       | 315       | 320       | 325       | 330       | 335       | 340       | 345       | 350       |
| $T_x, \text{K}$             | 245                                                                                                                                | 250       | 255       | 260       | 265       | 270       | 275       | 280       | 285       | 290       |
| Пр1                         | As                                                                                                                                 | P         | Sb        | As        | P         | Sb        | As        | P         | Sb        | As        |
| Пр2                         | In                                                                                                                                 | B         | Al        | In        | B         | Al        | In        | B         | Al        | In        |
| $N_{np1}$                   | $10^{20}$                                                                                                                          | $10^{23}$ | $10^{21}$ | $10^{24}$ | $10^{22}$ | $10^{23}$ | $10^{21}$ | $10^{24}$ | $10^{22}$ | $10^{23}$ |
| $N_{np2}$                   | $10^{22}$                                                                                                                          | $10^{20}$ | $10^{23}$ | $10^{22}$ | $10^{24}$ | $10^{20}$ | $10^{23}$ | $10^{22}$ | $10^{24}$ | $10^{21}$ |
| $\mu, \text{м}^2/\text{Вс}$ | Значения выбираются по графикам $\mu(N_{np})$ (см. рис.1 и рис.2) с учетом влияния температуры: $\mu(T) = \mu(300) (T/300)^{-3/2}$ |           |           |           |           |           |           |           |           |           |

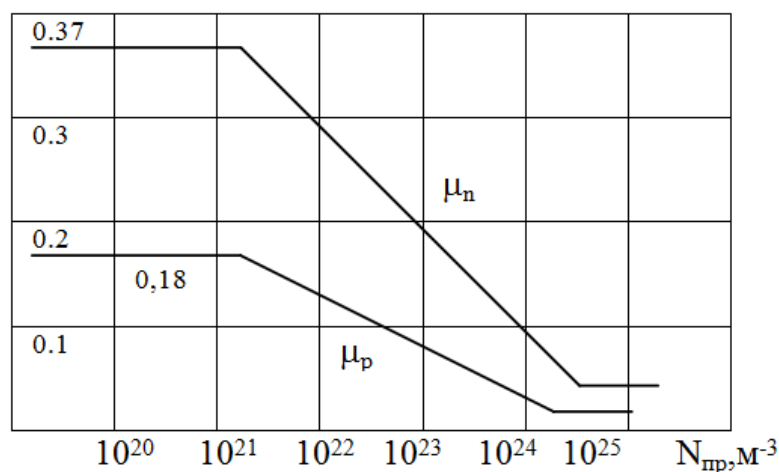


Рис.1. Зависимость подвижности электронов и дырок в германии от концентрации примесей (300К)

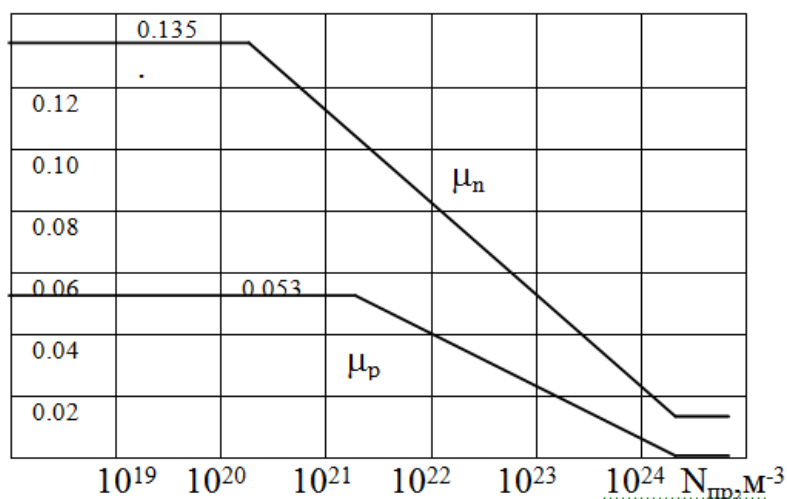


Рис.2. Зависимость подвижности электронов и дырок в кремнии от концентрации примесей (300К)

Вариант для расчета выбирается по последней цифре номера зачетной книжки студента.

| Оценка/баллы <sup>5</sup>  | Критерии оценивания                                                                                                                                                                  |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Отлично</b>             | Работа выполнена полностью, без ошибок (возможна одна неточность, описка, не являющаяся следствием непонимания материала).                                                           |
| <b>Хорошо</b>              | Работа выполнена полностью, но обоснования шагов решения недостаточны, допущена одна негрубая ошибка или два-три недочета, не влияющих на правильную последовательность рассуждений. |
| <b>Удовлетворительно</b>   | В работе допущено более одной грубой ошибки или более двух-трех недочетов, но обучающийся владеет обязательными умениями по проверяемой теме.                                        |
| <b>Неудовлетворительно</b> | В работе есть грубые ошибки и недочеты                                                                                                                                               |

<sup>5</sup>Шкала оценивания определяется разработчиком ФОС

|  |                                         |
|--|-----------------------------------------|
|  | ИЛИ<br>Контрольная работа не выполнена. |
|--|-----------------------------------------|

#### 4. Критерии и шкала оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю) при проведении промежуточной аттестации

##### Критерии и шкала оценивания результатов освоения дисциплины (модуля) с зачетом

Если обучающийся набрал зачетное количество баллов согласно установленному диапазону по дисциплине(модулю), то он считается аттестованным.

| Оценка           | Баллы    | Критерии оценивания                                                     |
|------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------|
| <i>Зачтено</i>   | 60 - 100 | Набрано зачетное количество баллов согласно установленному диапазону    |
| <i>Незачтено</i> | менее 60 | Зачетное количество согласно установленному диапазону баллов не набрано |

#### 5. Задания диагностической работы для оценки результатов обучения по дисциплине (модулю) в рамках внутренней независимой оценки качества образования

ФОС содержит задания для оценивания знаний, умений и навыков, демонстрирующих уровень сформированности компетенций и индикаторов их достижения в процессе освоения дисциплины (модуля).

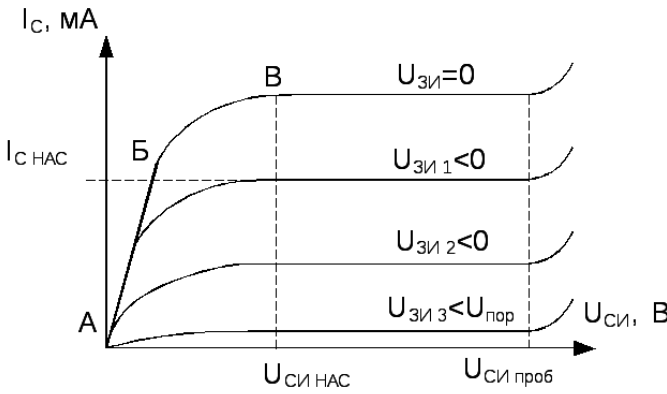
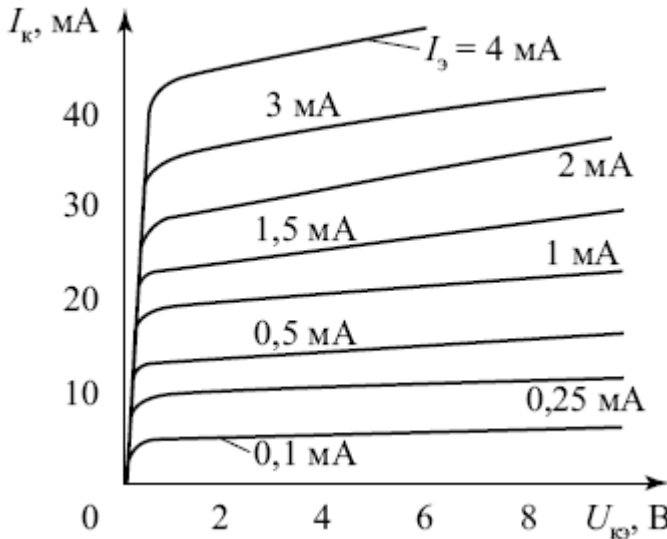
Комплект заданий разработан таким образом, чтобы осуществить процедуру оценки каждой компетенции, формируемых дисциплиной (модулем), у обучающегося в письменной форме.

Содержание комплекта заданий включает: тестовые задания.

##### **Комплект заданий диагностической работы**

|                                                                                                                     |                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Компетенция ОПК-2 Способен осуществлять испытания радиоэлектронных систем и комплексов, анализировать их результаты |                                                                        |
| 1                                                                                                                   | Что такое валентная зона, зона проводимости и запрещенная зона?        |
| 2                                                                                                                   | Принцип работы p-n перехода.                                           |
| 3                                                                                                                   | Концентрация носителей заряда в собственном полупроводнике.            |
| 4                                                                                                                   | Входная ВАХ биполярного транзистора.                                   |
| 5                                                                                                                   | Выходная ВАХ биполярного транзистора                                   |
| 6                                                                                                                   | Концентрация носителей заряда в примесном полупроводнике               |
| 7                                                                                                                   | Какие материалы используют для создания полупроводников донорного типа |
| 8                                                                                                                   | Какие электроны называются свободными                                  |



|                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Компетенция ПК-3 Способен к реализации программ экспериментальных исследований, в том числе в режиме удаленного доступа, включая выбор технических средств, обработку результатов и оценку погрешности экспериментальных данных |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 1                                                                                                                                                                                                                               | Опишите методику измерения коэффициента усиления по току для партии биполярных транзисторов                                                                                                                                                                                             |
| 2                                                                                                                                                                                                                               | Измерьте коэффициент усиления тока для биполярного транзистора используя данный вам измеритель                                                                                                                                                                                          |
| 3                                                                                                                                                                                                                               | Опишите методику измерения крутизны проходной характеристики для партии полевых транзисторов                                                                                                                                                                                            |
| 4                                                                                                                                                                                                                               | Опишите методику измерения емкости для партии диодов                                                                                                                                                                                                                                    |
| 5                                                                                                                                                                                                                               | Опишите методику измерения сопротивления в открытом состоянии для партии диодов                                                                                                                                                                                                         |
| 6                                                                                                                                                                                                                               | Опишите методику измерения выходной проводимости для партии транзисторов                                                                                                                                                                                                                |
| 7                                                                                                                                                                                                                               | Единицы измерения проводимости                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 8                                                                                                                                                                                                                               | <p>Какое из представленных изображения соответствует выходной ВАХ полевого транзистора</p> <p>1)</p>  <p>2)</p>  |