

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор ОАО «Октава»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ТУСУР



Ю.Б. Мякишев

2013 г.



А.А. Шелупанов

2013 г.

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Выходная мощность, коэффициент усиления по мощности,
коэффициент полезного действия стока и оптимальный импеданс нагрузки
СВЧ-транзисторов в бескорпусном исполнении

Методика выполнения измерений

ЕГВА.468166.253ПМ

СОГЛАСОВАНО

Главный конструктор ОКР
«Дискрет-22»

В.П. Цибаев

2013 г.

Разработчики

Главный конструктор СЧ ОКР
«Дискрет-22-О»

Л.И. Бабак

2013 г.

Начальник отдела метрологии
ТУСУР

Р.С. Мельников

2013 г.

ЕГВА.468166.253ПМ

инв. №	Подпись и дата.	Инв. №	Подпись и дата.	ЕГВА.468166.253ПМ <table border="1"> <tr> <td>Лит.</td> <td>Лист</td> <td>Листов</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td></td> </tr> </table>	Лит.	Лист	Листов		1	
	Лит.	Лист	Листов							
		1								
	Взам. инв									
	Изм. Лист	№ докум.	Подп.							
Дата										
Разраб.	Шеерман									
Пров.	Бабак									
Т.контр.										
Н.контр.	Бабак									
Утв.										

Выходная мощность, коэффициент усиления по мощности, коэффициент полезного действия стока и оптимальный импеданс нагрузки СВЧ-транзисторов в бескорпусном исполнении

1. Назначение и область применения методики

Настоящий документ устанавливает методику измерения выходной мощности, коэффициента усиления по мощности и коэффициента полезного действия стока и оптимального импеданса нагрузки бескорпусных СВЧ транзисторов при помощи зондовой станции. Измерения выполняются в нормальных условиях в соответствии с ГОСТ 8.395-80. Общие требования по безопасности при измерении – по ГОСТ 12.3.019-80.

2. Нормативные ссылки

В настоящем документе использованы ссылки на следующие нормативные документы

- 2.1 ГОСТ 11326.0-78 Кабели радиочастотные. Общие технические условия.
- 2.2 ГОСТ РВ 51914 2002 Элементы соединения СВЧ трактов радиоизмерительных приборов. Присоединительные размеры
- 2.3 Постановление №848-70 от 30.03.1970 г. Санитарные нормы и правила при работе с источниками электромагнитных полей высоких, ультравысоких и сверхвысоких частот
- 2.4 ГОСТ 12.3.019-80 Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности
- 2.5 ГОСТ 22261-94 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия
- 2.6 ГОСТ Р 51350 -99 (МЭК 61010-1-90) Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования
- 2.7 ГОСТ 12.2.007.0-75 Изделия электротехнические. Общие требования безопасности
- 2.8 ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление

3. Требования к показателям точности измерений

- 3.1 Пределы допускаемой относительной погрешности по данной методике измерений зависят от выбранных средств измерений (СИ), диапазонов измерений. Методика определения погрешностей представлена в разделе 11.

4. Требования к средствам измерений, вспомогательному оборудованию и материалам

- 4.1 При выполнении измерений применяют средства измерений, вспомогательные устройства и материалы, приведенные в таблице 1.

инв. №	Подпись и дата.	инв. №	Подпись и дата.							
инв. №	Подпись и дата.	инв. №	Подпись и дата.	Взам. инв.	инв. №	Подпись и дата.	инв. №	Подпись и дата.		
Изм	Лист	№ докум	Подп.	Дата	ЕГВА.468166.025ПМ					Лист 2

Таблица 1

№ п/п	Наименование	Нормативные документы	Метрологические и технические характеристики
1	СВЧ коаксиальные соединительные кабели	ГОСТ 11326.0-78	Волновое сопротивление 50 Ом
2	Зондовая станция		Точность позиционирования зондов 2 мкм
3	Двухканальный источник питания с возможностью измерения тока и напряжения	Свидетельство об утверждении типа средства измерения №2013/204 от 29.04.2013	Погрешность установки по напряжению: не более 0,05% по току: не более 0,2%
4	Датчик мощности	Свидетельство об утверждении типа средства измерения №2/201-08110-13 от 12.04.2013	Погрешность измерения мощности: не более 2 %
5	Генератор возбуждения	Свидетельство об утверждении типа средства измерения	Погрешность задания мощности: не более 2 %
6	Втулки питания		
7	СВЧ зонды		
8	Согласующие трансформаторы		

4.2 Выходную мощность, коэффициент усиления по мощности, коэффициент полезного действия стока следует измерять на установке, электрическая структурная схема которой приведена на рис. 1.

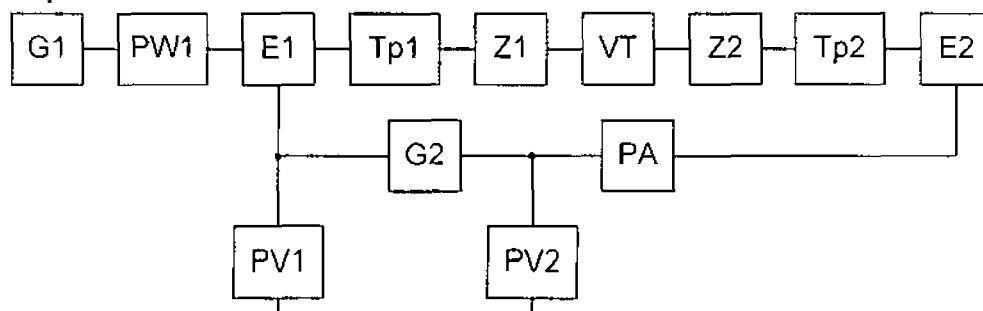


Рис. 1 – Схема установки для измерения выходной мощности, коэффициента усиления по мощности и коэффициента полезного действия стока

инв. №	Подпись и дата.	Взам. инв.	Изм. №	Подпись и дата.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕГВА.468166.025ПМ

Лист
3

(G1 – генератор возбуждения; PW1 – измеритель входной мощности; E1, E2 – втулки питания; Тр1, Тр2 – согласующие трансформаторы; G2 – блок питания транзистора; Z1, Z2 – подводящие воздушные линии и СВЧ зонды; VT – измеряемый бескорпусной транзистор; РА – измеритель постоянного тока стока; PV1, PV2 – измерители постоянных напряжений на затворе и стоке); PW2 – измеритель выходной мощности)

4.3 При необходимости элементы установки соединяются при помощи коаксиального кабеля, который должен соответствовать ГОСТ РВ 51914 2002, тип кабеля определяется в соответствии с требуемым частотным диапазоном.

4.4 Для измерения бескорпусного транзистора и подведения к нему СВЧ зондов используется зондовая станция с вакуумной присоской, которая обеспечивает удержание и фиксацию измеряемого прибора (рис. 2). Для управления положением СВЧ зондов Z1 и Z2 используются позиционеры, установленные на зондовую станцию (рис. 3).

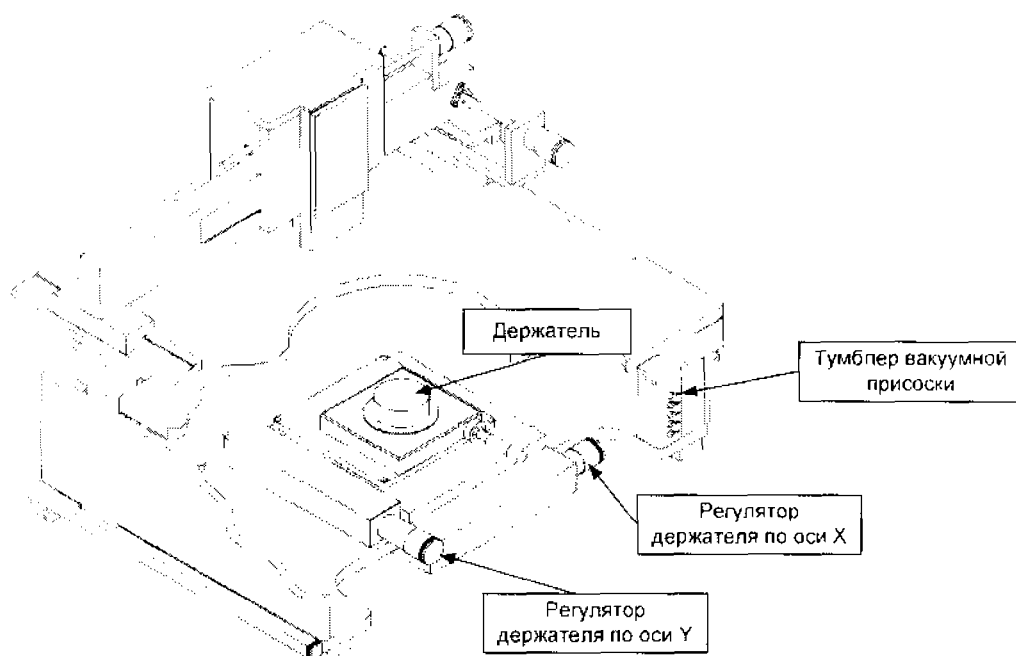


Рис.2 – Эскизное изображение зондовой станции

инв. №	Подпись и дата.	Взам. инв	Инд. №	Подпись и дата.										
<table border="1"> <tr> <td>Изм.</td><td>Лист</td><td>№ докум</td><td>Подп.</td><td>Дата</td></tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>					Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата					
Изм.	Лист	№ докум	Подп.	Дата										
ЕГВА.468166.025ПМ				Лист										
				4										

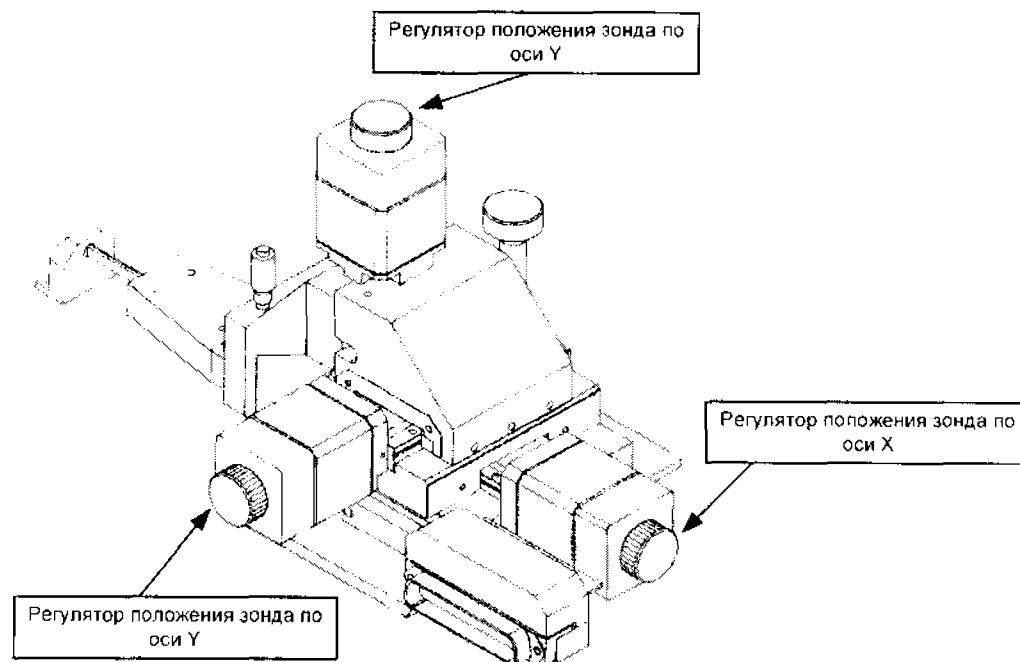


Рис.3 – Эскизное изображение позиционера СВЧ зонда

5. Метод измерений

5.1 Измерения мощности $P_{вх}$, поступающей от генератора G1 на вход согласующего трансформатора Tr1, а также мощности $P_{вых}$ на выходе согласующего трансформатора Tr2 выполняют прямым методом с использованием калиброванных датчиков мощности. Расчет мощности $P_{вх1}$, непосредственно поступающей на вход транзистора VT, и мощности $P_{вых1}$ на выходе транзистора проводят математическим методом с учетом потерь устройств (втулок питания, согласующих трансформаторов и зондов), находящихся между датчиком мощности и транзистором. Расчет потерь каждого устройства производится на основе его измеренных параметров рассеяния. Формулы для расчета мощностей $P_{вх1}$ и $P_{вых1}$ с учетом потерь приведены в разделе 11.

5.2 Измерения коэффициента усиления по мощности $K_{ур}$ транзистора выполняют косвенным методом на основе рассчитанной выходной $P_{вых1}$ и входной $P_{вх1}$ мощностей по формуле, приведенной в разделе 11.

5.3 Измерения коэффициента полезного действия стока η_c транзистора выполняют косвенным методом на основе рассчитанной выходной мощности $P_{вых1}$ и измеренных значений тока стока I_c и напряжения стока U_c , по формуле, приведенной в разделе 11. Измерения тока стока I_c и напряжения стока U_c выполняют прямым методом с использованием калиброванных измерителей тока и напряжения.

5.4 Измерение оптимального импеданса нагрузки $Z_{опт}$, соответствующего максимальной выходной мощности транзистора, выполняют косвенным методом на основе приведенных в инструкции по эксплуатации параметров рассеяния согласующего трансформатора Tr2, настроенного на максимум $P_{вых}$, по формуле в разделе 11.

5.5 Измерение выходной мощности $P_{вых}$, коэффициента усиления по мощности $K_{ур}$, коэффициента полезного действия стока η_c и оптимального импеданса нагрузки $Z_{опт}$ следует проводить при напряжениях источников питания затвора и стока, входной мощности и частоте измерения, указанных в стандартах, технических условиях на транзисторы конкретных типов или в программах испытаний.

инв. №	Подпись и дата,	Взам. инв	Инв. №	Подпись и дата,

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЕГВА.468166.025ПМ

Лист
5

5.6 Измерения проводят в соответствии с указаниями технических условий на транзисторы конкретного типа.

6. Требования к квалификации операторов

6.1 К выполнению измерений и обработке их результатов допускаются лица с высшим образованием, прошедшие инструктаж по технике безопасности и освоившие методику измерений.

7. Требования к условиям измерений

7.1 При выполнении измерений соблюдают условия, приведенные в таблице 2.

Таблица 2

Наименование измеряемых величин	Наименование влияющих величин	Номинальное значение	Предельные отклонения
Выходная мощность, коэффициент усиления, коэффициент полезного действия стока	Температура окружающей среды, °C	23	± 5 °C
	Относительная влажность воздуха, %	45	± 25 %

8. Подготовка к выполнению измерений

8.1 Внести в протокол (Приложение 1) паспортные данные измеряемого транзистора и условия проведения измерений. Установить и заземлить приборы в соответствии с инструкциями по эксплуатации.

8.2 Выполнить измерение параметров рассеяния втулок питания E1 и E2 в соответствии со стандартной методикой. Взять измеренные параметры рассеяния зондов Z1, Z2 из инструкции по эксплуатации.

8.3 Выполнить калибровку согласующих трансформаторов для всех используемых значений импеданса, руководствуясь инструкцией по эксплуатации.

8.4 Собрать схему измерительного стенда, приведенную на рис. 1. При сборке при необходимости использовать коаксиальные кабели, соответствующие частотному диапазону измеряемого транзистора, и коаксиальные переходы.

На выходе возбуждающего генератора G1 рекомендуется использовать развязывающие устройства, например, ферритовый вентиль или аттенюатор.

Для измерения входной мощности при необходимости можно использовать направленный ответвитель соответствующего диапазона частот.

8.5 Включить генератор, датчики мощности, согласующие трансформаторы и источник питания, проверить и подготовить режимы работы в соответствии с инструкциями по эксплуатации и заданием на измерение транзистора.

инв. №	Подпись и дата.	Взам. инв	Инв. №	Подпись и дата.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕГВА.468166.025ПМ	Лист
						6

8.6 Бескорпусной транзистор устанавливают на держателе зондовой станции, включают тумблер вакуумной присоски и обеспечивают надежную фиксацию транзистора. При помощи регуляторов позиционеров зондовой станции и регуляторов зондовой станции устанавливают СВЧ зонды Z1 и Z2 на контакты транзистора. При установке СВЧ зондов рекомендуется использовать микроскоп.

9. Порядок выполнения измерений

9.1 Устанавливается режим работы транзистора по постоянному току при помощи блока питания G2 согласно заданию на измерение транзистора. Снимают значения напряжения стока U_c и тока стока I_c транзистора.

9.2 От генератора возбуждения G1 подают на измеряемый транзистор входную мощность $P_{вх}$, значение которой измеряют измерителем PW1.

9.3 Трансформаторами Tr1 и Tr2 настраивают измеряемый транзистор до достижения максимальной выходной мощности $P_{вых}$.

9.4 Управление трансформаторами осуществляется при помощи программного обеспечения согласно инструкции по эксплуатации трансформаторов, предоставляемой производителем.

9.5 Измерителем PW2 измеряют значение выходной мощности $P_{вых}$.

9.6 Занести полученные после обработки результаты измерений в протокол в виде графиков и табличных значений.

10. Обработка результатов измерений

10.1 Выходная мощность транзистора $P_{вых1}$ определяется по следующей формуле:

$$P_{вых1} = P_{вых} / (L_{E2} L_{Tr2} L_{Z2} L_{C2});$$

$$P_{вых1} [\text{дБм}] = P_{вых} [\text{дБм}] - L_{E2} [\text{дБ}] - L_{Tr2} [\text{дБ}] - L_{Z2} [\text{дБ}] - L_{C2} [\text{дБ}],$$

где $P_{вых}$ – значение выходной мощности, считываемое с датчика мощности PW2; L_{E2} – потери во втулке питания E2; L_{Tr2} – потери в выходном согласующем трансформаторе Tr2; L_{Z2} – потери в выходном СВЧ зонде Z2; L_{C2} – потери в соединительных коаксиальных кабелях на выходе установки.

Входная мощность транзистора $P_{вх1}$ определяется следующим образом:

$$P_{вх1} = P_{вх} / (L_{E1} L_{Tr1} L_{Z1} L_{C1});$$

$$P_{вх1} [\text{дБм}] = P_{вх} [\text{дБм}] - L_{E1} [\text{дБ}] - L_{Tr1} [\text{дБ}] - L_{Z1} [\text{дБ}] - L_{C1} [\text{дБ}],$$

где $P_{вх}$ – значение выходной мощности, считываемое с датчика мощности PW1; L_{E1} – потери во втулке питания E1; L_{Tr1} – потери в выходном согласующем трансформаторе Tr1; L_{Z1} – потери в выходном СВЧ зонде Z1; L_{C1} – потери в соединительных коаксиальных кабелях на входе установки.

Потери в устройствах (втулка питания, СВЧ зонд, согласующий трансформатор) определяются по параметру рассеяния S_{21} устройств следующим образом:

$$L = 1/|S_{21}|^2;$$

$$L [\text{дБ}] = -20 \cdot \log(S_{21}).$$

инв. №	Подпись и дата.	Взам. инв.	Инд. №	Подпись и дата.	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕГВА.468166.025ПМ	Лист
											7

10.2 Коэффициент усиления по мощности $K_{ур}$ транзистора рассчитывается по формуле:

$$K_{ур} = P_{вых1} / P_{вх1};$$

$$K_{ур} [дБ] = P_{вых1} [дБм] - P_{вх1} [дБм].$$

10.3 Коэффициент полезного действия стока η_c транзистора определяют по формуле:

$$\eta_c = \frac{P_{вых1}}{I_c \cdot U_c},$$

где I_c – ток стока, считываемый с блока питания транзистора G2, U_c – напряжение стока, считываемое с блока питания транзистора G2.

10.4 Оптимальный импеданс нагрузки Z_{opt} , соответствующий максимальной выходной мощности транзистора, определяют по формуле:

$$Z_{opt} = \frac{1 + S_{11(Гр2)}}{1 - S_{11(Гр2)}},$$

где $S_{11(Гр2)}$ – параметр рассеяния согласующего трансформатора Гр2, настроенного на максимум выходной мощности $P_{вых}$.

10.5 Границу интервала (δ_p), в котором с вероятностью 0.997 находится погрешность измерений выходной мощности $P_{вых}$, определяют по формуле:

$$\delta_p = \pm \sqrt{\delta_{осн}^2 + (\alpha_{U_p} \cdot \delta_U)^2 + (\alpha_{f_p} \cdot \delta_f)^2 + (\alpha_{T_p} \cdot \delta_T)^2}$$

где $\delta_{осн}$ – основная погрешность измерительной установки;

$\delta_U, \delta_f, \delta_T$ – погрешности установления напряжения стока, частоты измерения, температуры окружающей среды;

$\alpha_{U_p}, \alpha_{f_p}, \alpha_{T_p}$ – коэффициенты влияния напряжения стока, частоты измерения и температуры окружающей среды на измеряемую выходную мощность транзистора.

10.6 Границу интервала (δ_K), в котором с вероятностью 0.997 находится погрешность коэффициента усиления по мощности $K_{ур}$, определяют по формуле:

$$\delta_K = \pm \sqrt{\delta_{осн}^2 + (\alpha_{U_K} \cdot \delta_U)^2 + (\alpha_{f_K} \cdot \delta_f)^2 + (\alpha_{T_K} \cdot \delta_T)^2}$$

где $\alpha_{U_K}, \alpha_{f_K}, \alpha_{T_K}$ – коэффициенты влияния напряжения стока, частоты измерения и температуры окружающей среды на измеряемый коэффициент усиления по мощности транзистора.

10.7 Границу интервала (δ_η), в котором с вероятностью 0.997 находится погрешность коэффициента полезного действия стока η_c , определяют по формуле:

$$\delta_\eta = \pm \sqrt{\delta_{осн}^2 + (\alpha_{I_\eta} \cdot \delta_I)^2 + (\alpha_{U_\eta} \cdot \delta_U)^2 + (\alpha_{f_\eta} \cdot \delta_f)^2 + (\alpha_{T_\eta} \cdot \delta_T)^2}$$

где δ_I – погрешность измерения постоянного тока стока;

инв. №	Подпись и дата.	Взам. инв.	Инв. №	Подпись и дата.	ЕГВА.468166.025ПМ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

$\alpha_{V\eta}, \alpha_{I\eta}, \alpha_{T\eta}, \alpha_{\eta}$ - коэффициенты влияния напряжения стока, частоты измерения и температуры окружающей среды и тока стока на измеряемый коэффициент полезного действия стока транзистора.

10.8 Границу интервала (δ_z), в котором с вероятностью 0.997 находится погрешность измерений оптимального импеданса нагрузки Z_{opt} , определяют по формуле:

$$\delta_z = \pm 2\delta_{\eta H},$$

где $\delta_{\eta H}$ - погрешность измерения параметра рассеяния согласующего трансформатора Tr2, указанная в инструкции по эксплуатации.

11.Оформление результатов измерений

11.1 Результаты измерений оформляют протоколом, форма протокола представлена в приложении 1.

11.2 В протоколе приводятся условия, при которых проводились испытания, а также режимы работы средств измерений.

11.3 Результаты измерений удостоверяет лицо, проводившее измерения, при необходимости протокол подписывается административно ответственным лицом и заверяется печатью организации.

11.4 Протокол может сопровождаться переносными носителями информации, содержащими файлы с результатами измерений.

инв. №	Подпись и дата.	Взам. инв	Инв. №	Подпись и дата.	ЕГВА.468166.025ПМ Лист 9
	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	

ПРОТОКОЛ № ____

От «__» _____ 201__ г.

Заказчик испытаний

Объект испытаний

Приводится краткое описание исследуемых транзисторов

Цель испытаний

Измерение выходной мощности, коэффициента усиления по мощности и коэффициента полезного действия стока транзисторов в заданных режимах работы;

Место проведения испытаний

Научно-образовательный центр «Нанотехнологии» (НОЦ) Томского университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР).

Объем испытаний

Приводится количество исследуемых транзисторов

Перечень средств измерений (СИ)

Наименование СИ	Тип СИ	Заводской номер, год выпуска	№ свидетельства о поверке и дата поверки
Генератор возбуждения			
Источник питания			
Датчик мощности			

Условия проведения испытаний

Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Атмосферное давление, мм. рт. ст.

Результаты испытаний и вычислений

Таблица 1 – Параметры рассеяния транзистора

№	I_c , мА	U_c , В	$P_{вх.}$, дБм	$P_{вых.}$, дБм	$K_{ур.}$, дБ	$\eta_c, \%$

инв. №	Подпись и дата.	Взам. инв	Инв. №	Подпись и дата.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЕГВА.468166.025ПМ	Лист
						10

Заключение

Инженер-испытатель _____ / _____ /
« ____ » _____ 20__ г.

Утвердил _____ / _____ /
« ____ » _____ 20__ г.

инв. №	Подпись и дата.	Взам. инв	Инв. №	Подпись и дата.

Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата

ЕГВА.468166.025ПМ