

Задание
по дисциплине «Технология РЭС»

Выполнили студенты группы РЛ6-99 и РЛ6-91
Дергаев Д. О., Муханов П. А., Филимонов С. В.

Преподаватель Мешков С. А.

Оглавление

Задание.....	3
Моделирование номинальных характеристик.....	4
Моделирование статических распределений.....	8
Моделирование кинетики.....	12
Заключение.....	14

Задание

Определить гамма процентный ресурс микрополоскового смесителя частот с резонансно туннельным диодом в качестве нелинейного элемента

Три основных этапа:

1) Модуль закрывается на 11 неделе. Смоделировать ВАХ РТД и параметры смесителя частот заданной конструкции на основе РТД с номинальными параметрами.

2) 13-14 неделя. Смоделировать статистическое распределение тока РТД в рабочей точке и распределение электрических параметров смесителя частот на его основе. Учитывается технологический разброс параметров конструкции диода и смесителя, заданный преподавателем.

3) Смоделировать кинетику (изменение во времени) под действием эксплуатационных факторов (повышенная температура) тока РТД в рабочей точке и электрических параметров смесителя на его основе.

Вариант №5

- Диаметр мезы – 20 мкм.
- Гетероструктура (яма-барьеры-спейсеры, в монослоях) – 8-8-8
- Разброс РТС(толщина) = +/- 1 МС,
- Разброс площади ОК и мезы = +/- 2 мкм;

Моделирование номинальных характеристик

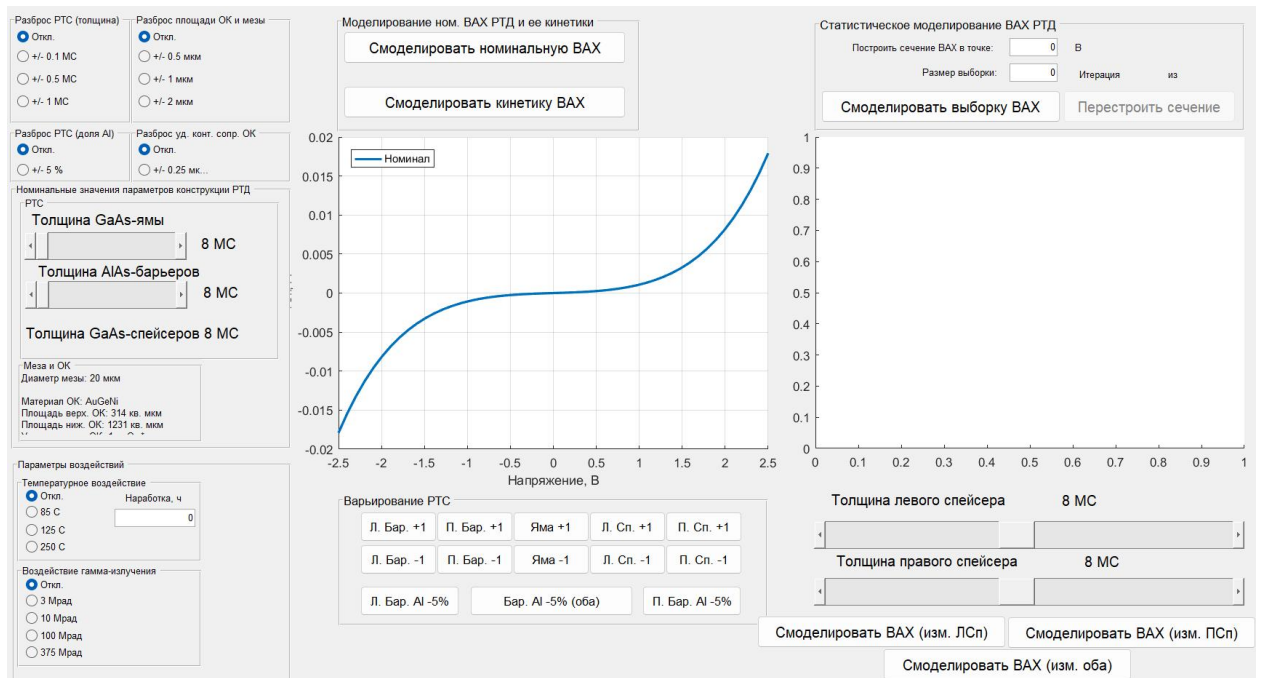


Рис. 1 – Окно программы с расчётом номинальной ВАХ

Код MATLAB для нахождения коэффициентов полинома:

```

VAN = [ ...
-2.5    , -0.01791    ;
-2      , -0.008214   ;
-1.5    , -0.003296   ;
-1      , -0.001082   ;
-0.4995 , -0.0002558  ;
0       , 0.00       ;
0.4991  , 0.0002555   ;
1.001   , 0.001083    ;
1.5     , 0.003294    ;
2       , 0.008213    ;
2.5     , 0.01791     ];
plot(VAN(:, 1), VAN(:, 2), 'o'); hold on
p = polyfit(VAN(:, 1), VAN(:, 2), 5);
fprintf('Полином: %.4f * x^5 + %.4f * x^4 + %.4f * x^3 + %.4f * x^2 + %.4f * x + %.4f\n', p(1), p(2), p(3), p(4), p(5), p(6));
x_fit = linspace(min(VAN(:, 1)), max(VAN(:, 1)), 100);
y_fit = polyval(p, x_fit);
plot(x_fit, y_fit, '-r'); hold off;
legend('Данные', 'Линия тренда');
title('График данных с линией тренда');
xlabel('X'); ylabel('Y');

```

Полученный полином:

$$0.0001 \cdot x^5 - 0.0000 \cdot x^4 + 0.0007 \cdot x^3 + 0.0000 \cdot x^2 + 0.0003 \cdot x - 0.0000$$

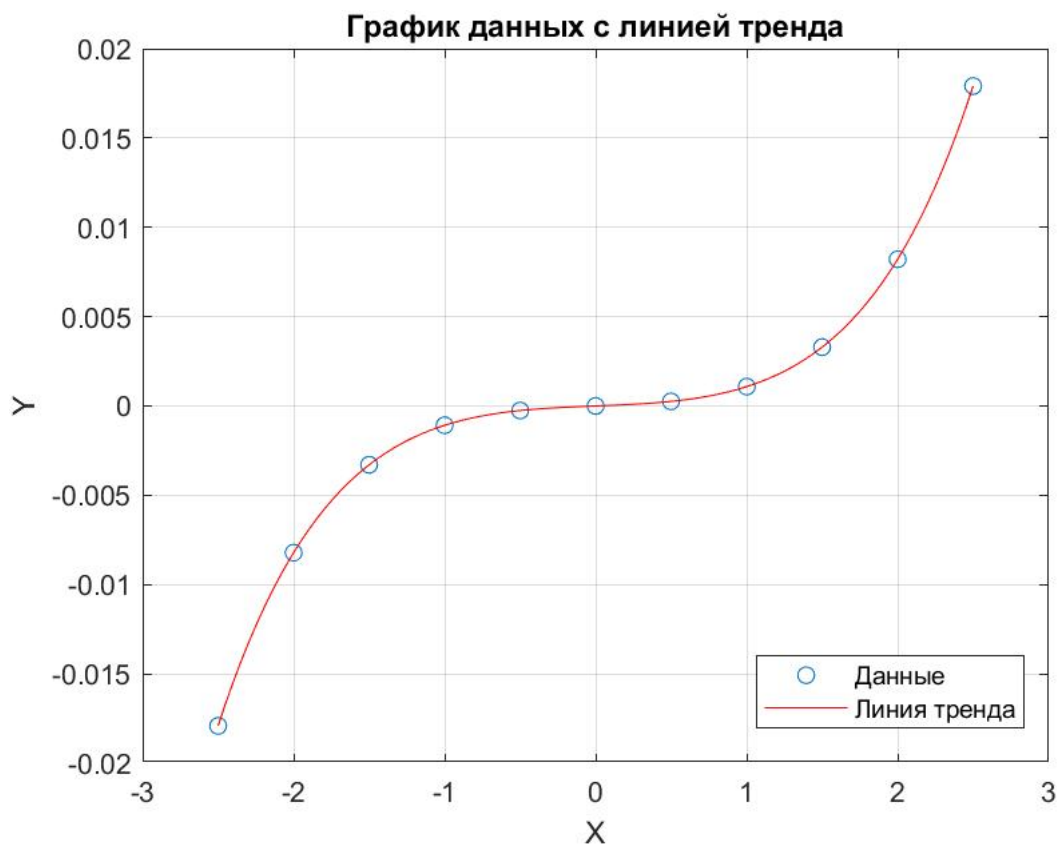


Рис. 2 – График данных с линией тренда

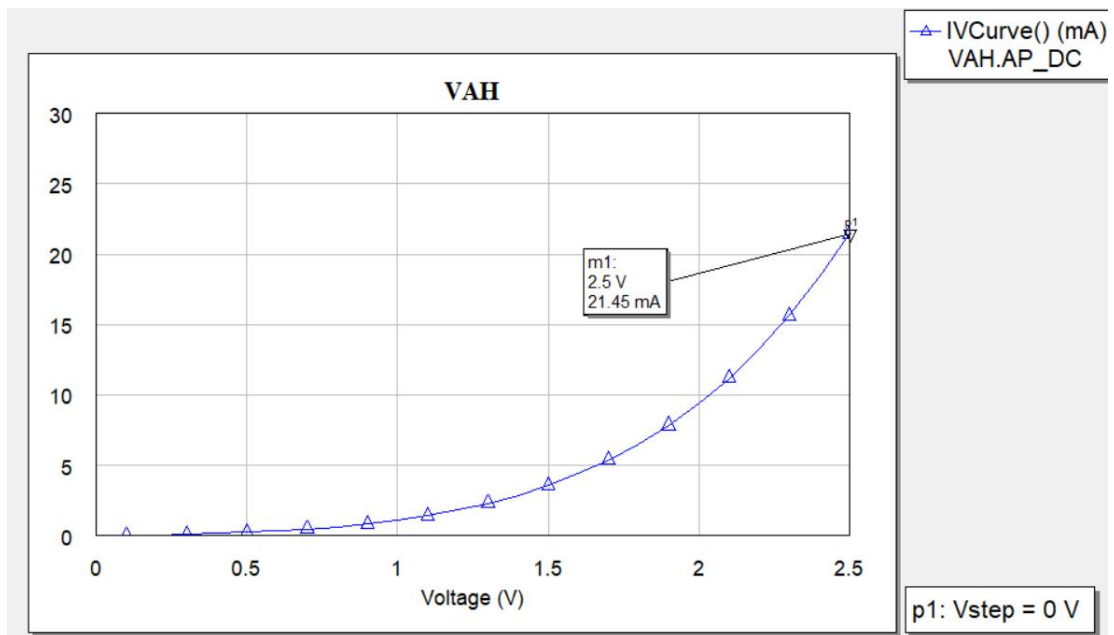


Рис. 3 – Полученная ВАХ РТД

Получение параметра SC для подгонки значения ВАХ к номинальному:

$$SC = 0.01791/0.02145 = 0.835$$

Свойства: Element Options: NLRES - (Obsolete) Nonlinear Resistor (Showing 19 of 19)

Parameters User Attributes Symbol Layout Model Options

Yield

Name	Value	Unit	Tune	Optimize	Constrain	Lower	Upper	Step Size	Hide	Hide Label	Description
ID	R1								<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Device ID
SC	0.835		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Scale factor
VTH	-100000000	V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Threshold voltage
A0	0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Polynomial coefficient
A1	0.0003		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Polynomial coefficient
A2	0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Polynomial coefficient
A3	0.0007		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Polynomial coefficient
A4	0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Polynomial coefficient
A5	0.0001		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Polynomial coefficient
A6	0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Polynomial coefficient
A7	0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Polynomial coefficient
A8	0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Polynomial coefficient
A9	0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Polynomial coefficient
A10	0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Polynomial coefficient
A11	0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Polynomial coefficient
A12	0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Polynomial coefficient
A13	0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Polynomial coefficient
A14	0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Polynomial coefficient
A15	0		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Polynomial coefficient

Polynomial coefficient
☒ Enable ☐ Freeze ☐ Hide Name ☐ Bold Name Part Number:

OK Отмена Справка Element Help Vendor Help

Рис. 4 – Итоговые параметры элемента NLRES

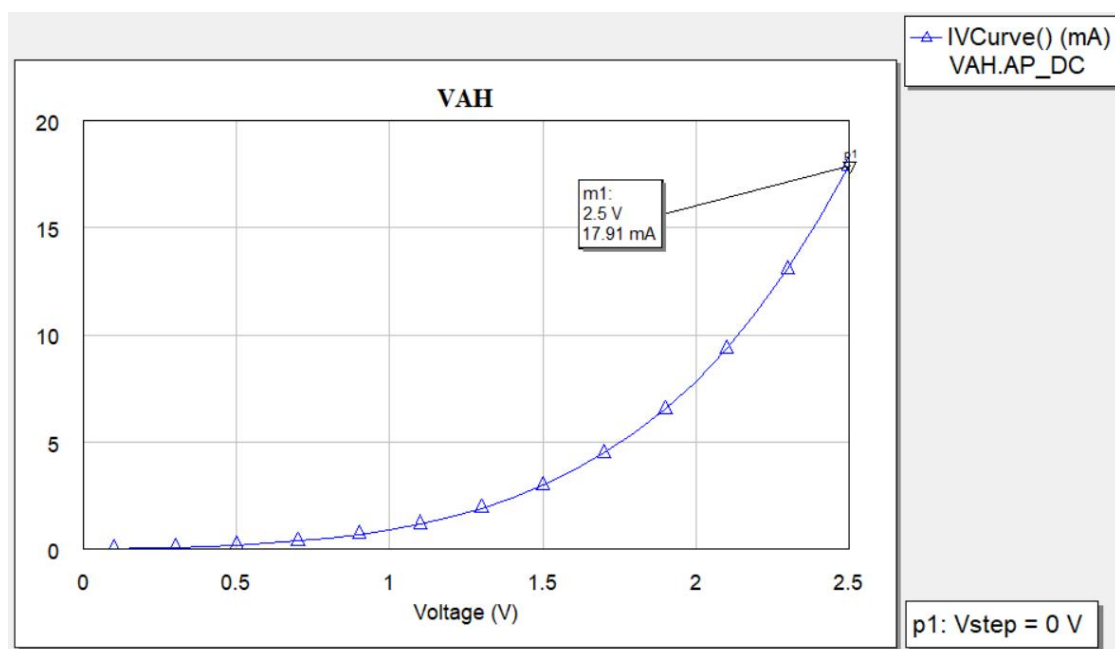


Рис. 5 – Скорректированная ВАХ РТД

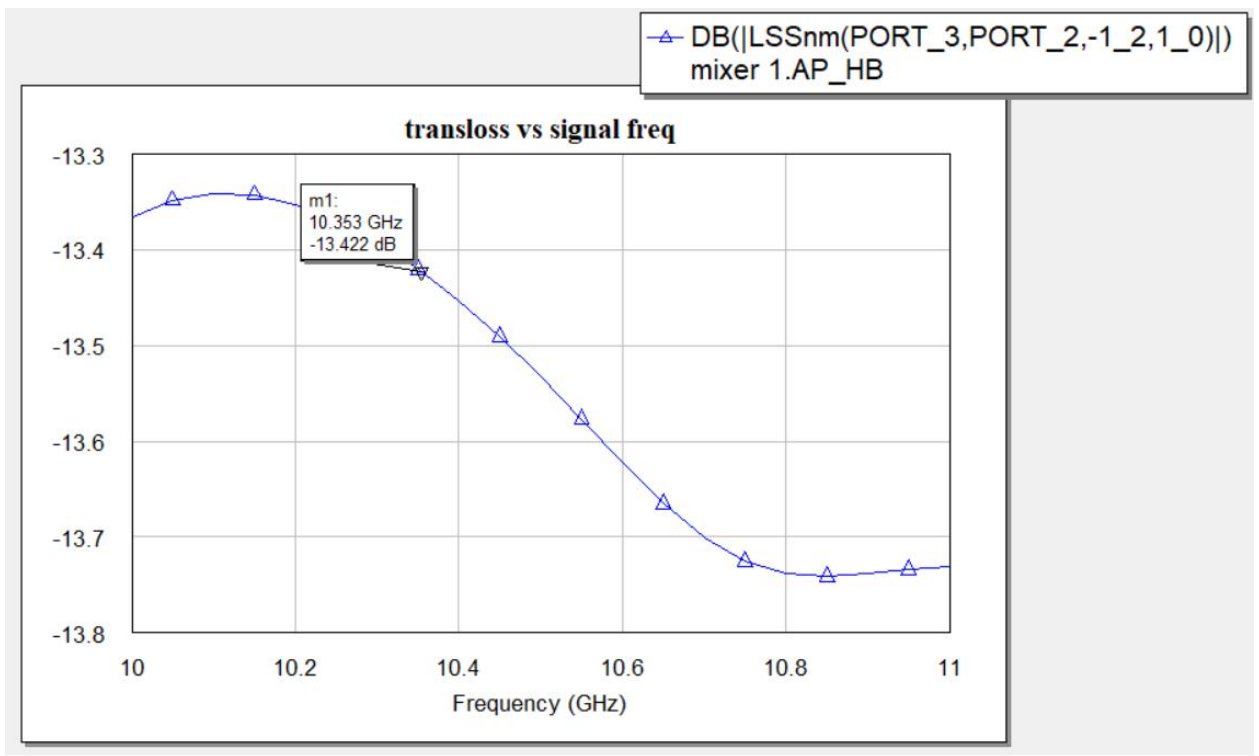


Рис. 6 – Коэффициент передачи

Коэффициент передачи попадает в диапазон Optimizer Goals.

Моделирование статистических распределений

При заданных вариантом №5 значениях:

- Разброс РТС (толщина) = ± 1 МС,
- Разброс площади ОК и мезы = ± 2 мкм;

Получаются данные графики:

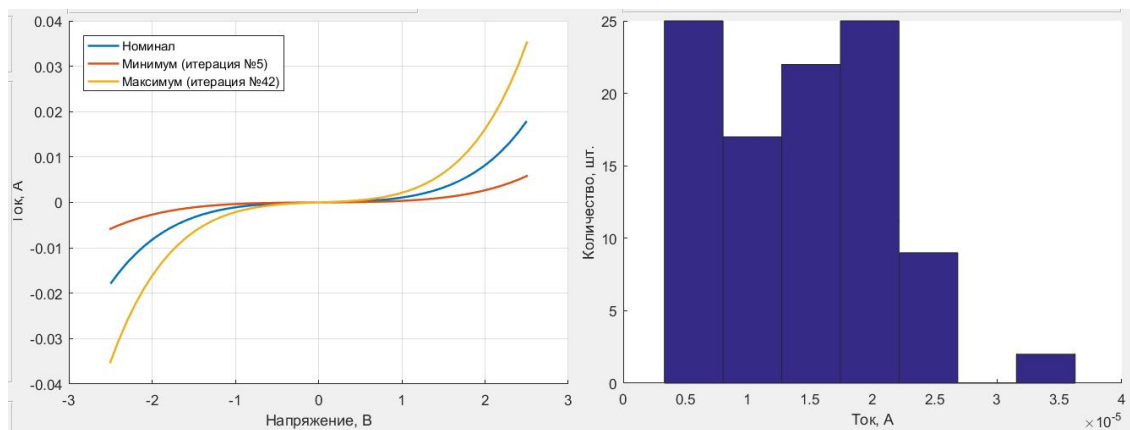


Рис. 7 – Смоделированная выборка ВАХ

Таблица 1 – Параметры столбцов гистограммы

№	Количество	Центры
1	25	0,00127
2	17	0,00234
3	22	0,0034
4	25	0,00446
5	9	0,00552
6	0	0,00658
7	2	0,00764

Вычислим параметры полученного распределения:

- Выборочное среднее: 0,0032279
- Медиана: 0,0034
- СКО: 0,0015299
- Коэффициент вариаций: 47,39%
- Дисперсия: 0,0015
- Коэффициент асимметрии: -0,8

Код Matlab для анализа распределения:

```
centers = [1.27e-3, 2.34e-3, 3.4e-3, 4.46e-3, 5.52e-3, 6.58e-3, 7.64e-3];
hits = [25, 17, 22, 25, 9, 0, 2];
mean_value = sum(centers.*hits) / sum(hits);
variance = sum (hits.*(centers - mean_value).^2) / sum(hits);
std_dev = sqrt(variance);
coeff_variation = std_dev / mean_value;
skewness_coeff = sum(hits.*(centers - mean_value).^3) / (sum(hits)*std_dev^3);
fprintf('Выборочное среднее: %.4e\n', mean_value);
fprintf('Дисперсия: %.4e\n', variance);
fprintf('СКО: %.4e\n', std_dev);
fprintf('Коэффициент вариации: %.4f\n', coeff_variation);
fprintf('Коэффициент асимметрии: %.4f\n', skewness_coeff);
```

Смоделируем влияние разброса технологических параметров подложки и МПЛ в Microwave office на потери преобразования путем использования yield analysis. Полученное распределение представлено на рис. 16.

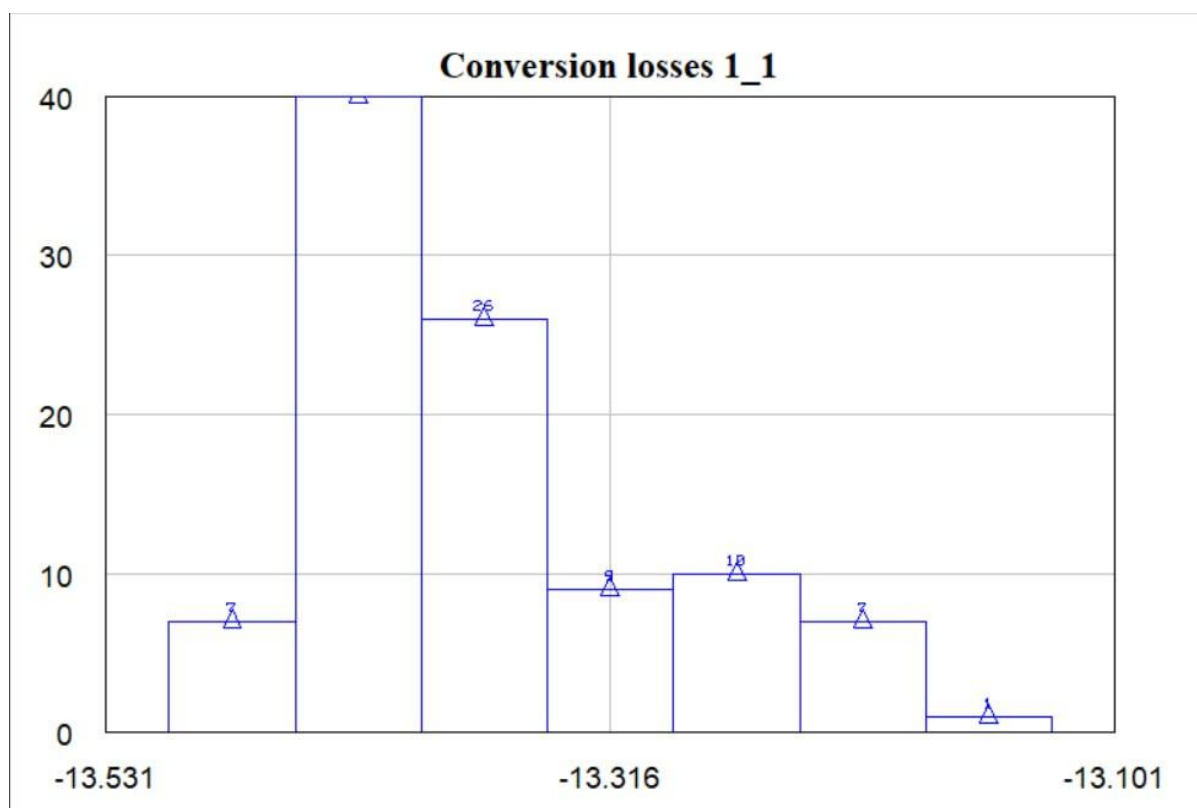


Рис. 7 – Гистограмма распределения потерь преобразования в зависимости от технологического разброса параметров конструкции

Его асимметрия в правую сторону обусловлена тем, что была произведена оптимизация: значения параметров МПЛ уже лежат в оптимальной области, поэтому технологические погрешности не могут улучшить ситуацию (отсутствие малых столбцов справа, что характерно для нормального распределения), а также ухудшить её.

Недостатком данного моделирования является то, что не учитываются параметры технологического разброса РТД. Они могут быть учтены путём построения аналогичных распределений для РТД, ВАХ которого будет откорректирована с учётом полученной редуцированной выборки, представленной на рисунке 7.

Форма ВАХ будет отличаться также, как отличается размерный коэффициент тока в рабочей точке, поэтому для модели РТД достаточно изменять масштабный коэффициент полинома. Yield analysis будет

проводиться для размера выборки, соответствующей столбцам редуцированной выборки, что основано на простой логике: если в результате моделирования в программе для РТД вероятность попадания тока рабочей точки в 1 столбец равна 7/100 (7 в первом столбце, 100 вся выборка), то и доля значений в гистограмме разброса параметров подложки и МПЛ должна быть такая же.

Рабочая точка относится к столбцу со средним значением 3,23 мА. Полученные коэффициенты масштабирования для остальных столбцов:

$$SC_1 = \frac{1.27}{3.23} = 0.39; SC_2 = \frac{2.34}{3.23} = 0.72; SC_3 = \frac{3.4}{3.23} = 1.05;$$

$$SC_4 = \frac{4.46}{3.23} = 1.38; SC_5 = \frac{5.52}{3.23} = 1.7; SC_6 = \frac{6.58}{3.23} = 2.04$$

$$SC_7 = \frac{7.64}{3.23} = 2.36$$

Для каждого столбца построим гистограммы, а затем объединим в единую. Результат представлен на рисунке 15.

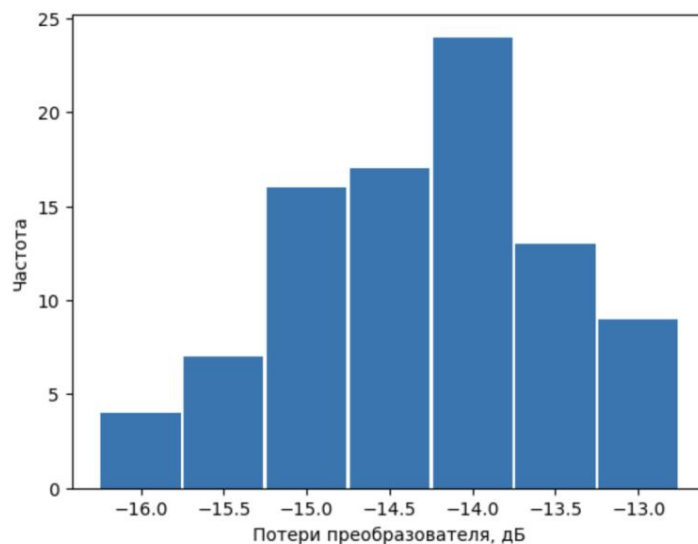


Рис. 15 - Гистограмма распределения потерь преобразования в зависимости от разброса технологических параметров MIDI, подложки и РТД

Таким образом, из гистограммы имеем, что лишь 1 реализация вышла за пределы -16 дБ и потому «отказала» по нашим соображениям.

Моделирование кинетики

Так как форма распределения потерь преобразования (он же коэффициент передачи) с течением времени не изменяется (считаем, что технологические разбросы подложки и МПЛ не изменяются со временем), то деградационный процесс РТД приводит к смещению распределения.

С помощью программы для моделирования РТД получим номинальную ВАХ при указанном температурном режиме (+125°C) на заданной наработке. После чего вычислим коэффициенты SC для полинома, внесём их в модель РТД в Microwave office, построим распределение как в предыдущем пункте в соответствии со столбцами редуцированной выборки и узнаем, насколько сместилось распределение.

На рисунке 18 представлены полученные с помощью программы ВАХ после воздействия температуры.

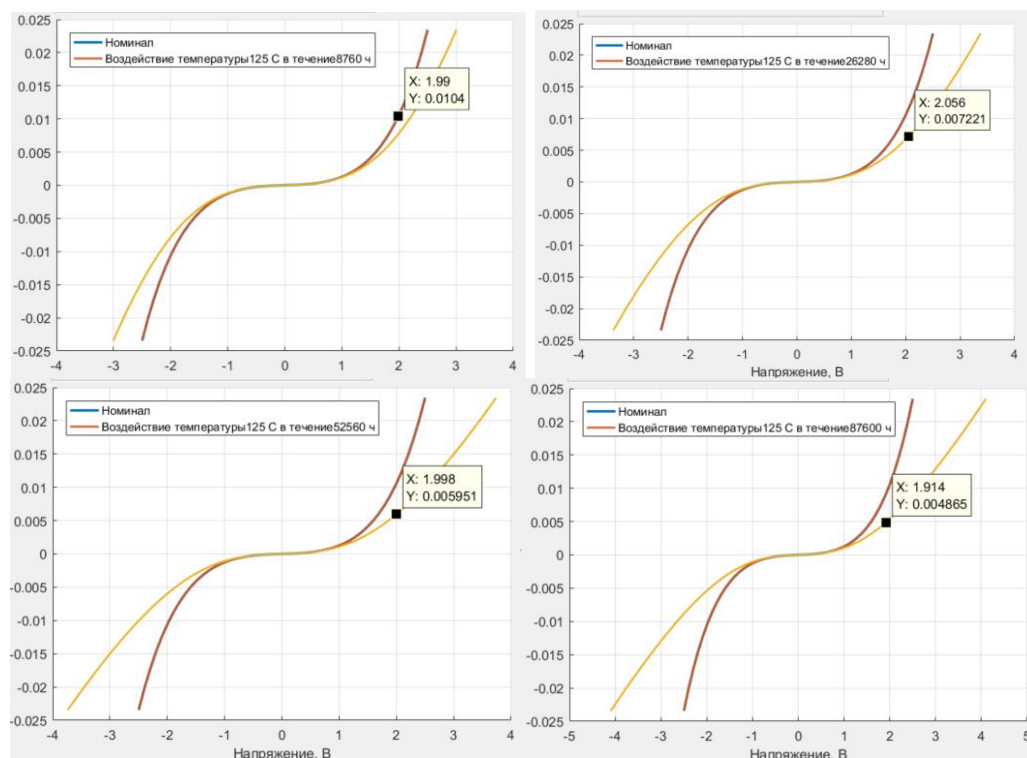


Рис. 18 – Моделирование кинетики ВАХ

Коэффициенты SC составили:

$$SC_1 = \frac{8.9}{10.6} = 0.8396, SC_2 = \frac{7.2}{10.6} = 0.6792,$$

$$SC_3 = \frac{5.9}{10.6} = 0.5566, SC_4 = \frac{4.8}{10.6} = 0.4528$$

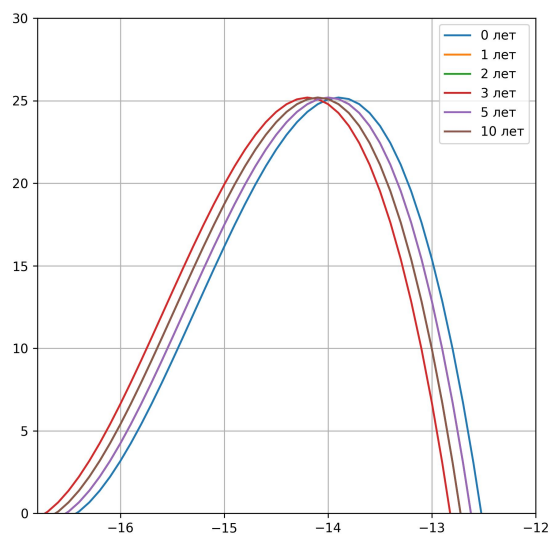


Рис. 21 – Кинетика распределения потерь преобразования

Таким образом, отказ 5 приборов из 100 произойдёт через ≈ 10 лет, что и соответствует 95% γ -наработке, так как 95% γ -наработка – наработка, в течение которой отказ не наступит с вероятностью 95%.

Заключение

В ходе работы было проанализировано влияние технологических разбросов конструкции БС на показатели назначения. В результате моделирования была получена диаграмма распределения потерь преобразования 100 приборов, а также кинетика данного распределения в результате воздействия на приборы температуры эксплуатации, равной $+125^{\circ}\text{C}$. Как итог, было получено, что $\gamma = 95\%$ наработка составит 10 лет.