

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

В. Д. Дмитриев
Д. С. Брагин

Лабораторная работа №3
«Биполярные транзисторы»

Методические указания по дисциплине «Автоматизированное проектирование СВЧ устройств» для студентов, обучающихся по направлению подготовки магистратура 11.04.01 – «Радиотехника», 11.04.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Томск
2020

УДК 621.382.3

ББК 32.84

Д 534

Рецензент(ы):

Фамилия И. О., должность, ученая степень

Бахтин А.А., заведующий кафедрой телекоммуникационных систем
национального исследовательского университета МИЭТ, канд. техн. наук

Дмитриев, Владимир Дмитриевич

Д 534 Лабораторная работа №3 «Биполярные транзисторы»: Методические указания по дисциплине «Автоматизированное проектирование СВЧ устройств» для студентов, обучающихся по направлению подготовки магистратура 11.04.01 – «Радиотехника», 11.04.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» / В. Д. Дмитриев, Д. С. Брагин. – Томск: Томск. Гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2020. – 16 с.

Представлены методические указания по выполнению лабораторной работы №3 «Биполярные транзисторы» по дисциплине «Автоматизированное проектирование СВЧ устройств» для студентов, обучающихся по направлению подготовки магистратура 11.04.01 – «Радиотехника», 11.04.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Одобрено на заседании каф. Телекоммуникаций и основ радиотехники,
протокол № 3 от 26.11.2020г.

УДК 621.382.3

ББК 32.84

© Дмитриев В. Д., Брагин Д. С.,
2020

© Томск. Гос. Ун-т систем упр. и
радиоэлектроники, 2020

Оглавление

Введение.....	4
1 Предварительные расчеты.....	5
1.1 Перевод S-параметров в классические Y- и H-параметры	5
1.2 Определение входного и выходного сопротивления	5
1.3 Оценка усилительных свойств четырехполосника на фиксированной частоте	6
1.4 Определение элементов эквивалентной модели биполярного транзистора	7
2 Пример расчета.....	9
3 Задание на лабораторную работу	11
3.1 Настройка проекта и создание схемы	11
3.2 Моделирование основных характеристик биполярного транзистора	14
Приложение А	16

Введение

Целью работы является расчет основных параметров СВЧ четырехполюсников, определение элементов эквивалентной модели биполярных транзисторов и моделирование характеристик биполярного транзистора в системе автоматизированного проектирования NI AWR.

1 Предварительные расчеты

1.1 Перевод S-параметров в классические Y- и H-параметры

Перевод выполняется по следующим формулам (1.1 – 1.8)

$$Y_{11} = \frac{1}{\rho} \cdot \left[\frac{(1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12} \cdot S_{21}}{(1+S_{11})(1+S_{22}) - S_{12} \cdot S_{21}} \right] \quad (1.1)$$

$$Y_{12} = \frac{1}{\rho} \cdot \left[\frac{-2 \cdot S_{12}}{(1+S_{11})(1+S_{22}) - S_{12} \cdot S_{21}} \right] \quad (1.2)$$

$$Y_{21} = \frac{1}{\rho} \cdot \left[\frac{-2 \cdot S_{21}}{(1+S_{11})(1+S_{22}) - S_{12} \cdot S_{21}} \right] \quad (1.3)$$

$$Y_{22} = \frac{1}{\rho} \cdot \left[\frac{(1-S_{22})(1+S_{11}) + S_{12} \cdot S_{21}}{(1+S_{11})(1+S_{22}) - S_{12} \cdot S_{21}} \right] \quad (1.4)$$

$$H_{11} = \rho \cdot \left[\frac{(1+S_{11})(1+S_{22}) + S_{12} \cdot S_{21}}{(1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12} \cdot S_{21}} \right] \quad (1.5)$$

$$H_{12} = \left[\frac{2 \cdot S_{12}}{(1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12} \cdot S_{21}} \right] \quad (1.6)$$

$$H_{21} = \left[\frac{-2 \cdot S_{21}}{(1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12} \cdot S_{21}} \right] \quad (1.7)$$

$$H_{22} = \frac{1}{\rho} \cdot \left[\frac{(1-S_{11})(1-S_{22}) - S_{12} \cdot S_{21}}{(1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12} \cdot S_{21}} \right] \quad (1.8)$$

где $\rho = 50 \text{ Ом}$ – волновое сопротивление.

1.2 Определение входного и выходного сопротивления

Последовательное представление входного сопротивления определяется на основе коэффициента отражения по входу S_{11} :

$$\text{Re}(Z_{\text{вх}}) = \rho \cdot \frac{1 - |S_{11}|^2}{1 - 2 \cdot |S_{11}| \cdot \cos \varphi_{11} + |S_{11}|^2} \quad (1.9)$$

$$\text{Im}(Z_{\text{вх}}) = \rho \cdot \frac{2 \cdot |S_{11}| \cdot \sin \varphi_{11}}{1 - 2 \cdot |S_{11}| \cdot \cos \varphi_{11} + |S_{11}|^2} \quad (1.10)$$

Реальная часть входного сопротивления равняется резистивному сопротивлению, а элементы мнимой составляющей определяются через частоту, на которой были определены S-параметры. Емкость соответствует отрицательному значению мнимой части, а индуктивность – положительному.

$$C_{\text{вх}} = \frac{1}{\omega \cdot \text{Im}(Z_{\text{вх}})}, \quad L_{\text{вх}} = \frac{\text{Im}(Z_{\text{вх}})}{\omega} \quad (1.11)$$

При параллельном представлении входного сопротивления необходимо определить комплексную проводимость $Y_{\text{вх}} = 1/Z_{\text{вх}}$, при этом реальная и мнимая составляющие будут равны:

$$\operatorname{Re}(Y_{\text{вх}}) = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{1 - |S_{11}|^2}{1 + 2 \cdot |S_{11}| \cdot \cos \varphi_{11} + |S_{11}|^2} \quad (1.12)$$

$$\operatorname{Im}(Y_{\text{вх}}) = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{2 \cdot |S_{11}| \cdot \sin \varphi_{11}}{1 + 2 \cdot |S_{11}| \cdot \cos \varphi_{11} + |S_{11}|^2} \quad (1.13)$$

Сопротивление будет равно: $R = 1/\operatorname{Re}(Y_{\text{вх}})$, ёмкость $C = \operatorname{Im}(Y_{\text{вх}})/\omega$, индуктивность $L = 1/(\omega \cdot \operatorname{Im}(Y_{\text{вх}}))$. Ёмкость соответствует положительному значению мнимой части, а индуктивность – отрицательному.

Подобным образом определяются и выходные сопротивления четырехполюсника, при этом коэффициент отражения по входу S_{11} заменяется на коэффициент отражения по выходу S_{22} .

$$\operatorname{Re}(Z_{\text{вх}}) = \rho \cdot \frac{1 - |S_{22}|^2}{1 - 2 \cdot |S_{22}| \cdot \cos \varphi_{22} + |S_{22}|^2} \quad (1.14)$$

$$\operatorname{Im}(Z_{\text{вх}}) = \rho \cdot \frac{2 \cdot |S_{22}| \cdot \sin \varphi_{22}}{1 - 2 \cdot |S_{22}| \cdot \cos \varphi_{22} + |S_{22}|^2} \quad (1.15)$$

$$\operatorname{Re}(Y_{\text{вых}}) = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{1 - |S_{22}|^2}{1 + 2 \cdot |S_{22}| \cdot \cos \varphi_{22} + |S_{22}|^2} \quad (1.16)$$

$$\operatorname{Im}(Y_{\text{вых}}) = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{2 \cdot |S_{22}| \cdot \sin \varphi_{22}}{1 + 2 \cdot |S_{22}| \cdot \cos \varphi_{22} + |S_{22}|^2} \quad (1.17)$$

1.3 Оценка усилительных свойств четырехполюсника на фиксированной частоте

В СВЧ-диапазоне усилительные возможности активных приборов принято характеризовать коэффициентом передачи по мощности, который в общем случае определяют, как

$$K_p = P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}} \quad (1.18)$$

где: $P_{\text{вых}}$ – мощность на выходе четырехполюсника,

$P_{\text{вх}}$ – мощность на входе четырехполюсника.

Обычно, коэффициент передачи по мощности принято определять в децибелах (дБ):

$$K_p (\text{дБ}) = 10 \cdot \lg(K_p) \quad (1.19)$$

Однонаправленный коэффициент передачи транзистора, который можно реализовать с помощью согласующих цепей, определяется по формуле

$$K_{p\text{max}} = \frac{|S_{21}|^2}{(1 - |S_{11}|^2) \cdot (1 - |S_{22}|^2)} \quad (1.20)$$

В случае идеального согласования ($S_{11} = S_{22} = 0$) коэффициент передачи определяется как $K_{p\text{max}} = |S_{21}|^2$.

Наряду с отмеченным выше коэффициентом передачи используется однонаправленный коэффициент передачи с нейтрализацией обратной связи $K_{p \max \max}$, который является максимально возможным при двухстороннем комплексно-сопряженным согласовании транзистора. Данный коэффициент связан с коэффициентом устойчивости K_y .

$$K_y = \frac{1 + |\Delta S|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2 \cdot |S_{12}| \cdot |S_{21}|} \quad (1.21)$$

где $\Delta S = S_{11} \cdot S_{22} - S_{12} \cdot S_{21}$ – определитель матрицы $[S]$.

При $K_y > 1$ транзистор считается устойчивым, т.е. не будет самовозбуждаться. При этом $K_{p \max \max}$ будет равен:

$$K_{p \max \max} = \frac{|S_{21} / S_{12} - 1|^2}{2 \cdot K_y \cdot |S_{21} / S_{12}| - 2 \cdot \text{Re}(S_{21} / S_{12})} \quad (1.22)$$

Примечание: при расчете варианта, если коэффициент устойчивости ($K_y > 1$), то расчет $K_{p \max \max}$ производить не нужно.

1.4 Определение элементов эквивалентной модели биполярного транзистора

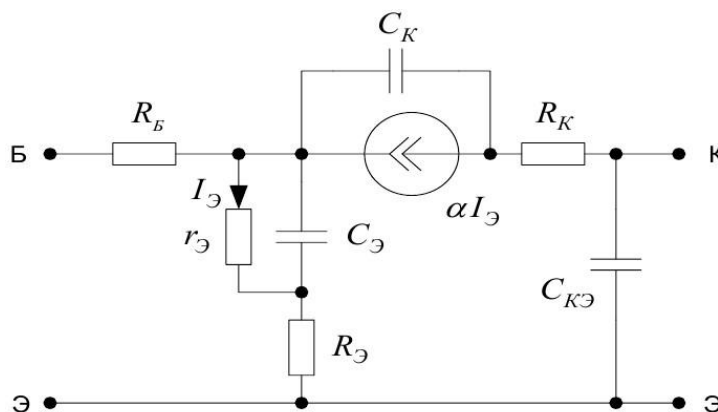


Рисунок 1.1 – Эквивалентна схема биполярного транзистора

На рисунке 1.1 указаны следующие элементы эквивалентной схемы:

R_B – сопротивление базы;

$r_Э$ – дифференциальное сопротивление эмиттера;

$R_Э$ – контактное сопротивление эмиттера;

C_K – ёмкость перехода коллектор – база;

R_K – контактное сопротивление коллектора;

$C_{КЭ}$ – ёмкость коллектор –эмиттер;

α – коэффициент усиления по току в схеме с общей базой.

Дифференциальное сопротивление определяется известным соотношением через ток эмиттера $I_Э$:

$$r_Э = \phi_m / I_Э, \quad (1.23)$$

где $\phi_m = 26$ мВ – температурный потенциал.

Для определения других параметров требуется нахождение предельной частоты по схеме с ОЭ $f_T(\omega_T=2\pi f_T)$ и $f_\alpha(\omega_\alpha=2\pi f_\alpha)$ – предельная частота для схемы с ОБ. Частота f_T определяется через модуль $|H_{21}|$ в виде:

$$f_T = |H_{21}| \cdot f \quad (1.24)$$

где f – частота, на которой определяется H_{21} (частота варианта).

Предельная частота f_α связана с f_T простым соотношением

$$f_\alpha = \sqrt{2} \cdot f_T \quad (1.25)$$

Элементы эквивалентной схемы (рис. 1.1) находятся по следующим выражениям:

$$C_K = \frac{1 - 2 \cdot |S_{22}| \cdot \cos \varphi_{22} + |S_{22}|^2}{Z_0 \cdot (1 - |S_{22}|) \cdot \omega_T} \quad (1.26)$$

где $Z_0 = 50$ Ом.

$$R_\varepsilon + r_\varepsilon = 1/\omega'_T \quad (1.27)$$

где
$$\omega'_T = \frac{\omega_T \cdot \alpha}{\alpha + \omega_T \cdot C_K \cdot Z_0},$$

$$C_0 = \frac{1}{\omega \cdot (R_0 + Z_0) \cdot \operatorname{tg}(\varphi_{21} - 90)},$$

$$R_0 = \frac{2 \cdot Z_0 \cdot \omega'_T - Z_0 \cdot \omega \cdot |S_{21}|}{\omega \cdot |S_{21}|}.$$

Коэффициент усиления по току α для схемы с ОБ определяется через H_{21} :

$$\alpha = |H_{21}| / (1 + |H_{21}|) \quad (1.28)$$

$$R_B = \frac{Z_0 \cdot (1 - |S_{11}|)}{1 - 2 \cdot |S_{11}| \cdot \cos \varphi_{11} + |S_{11}|^2} \quad (1.29)$$

$$R_K = m \cdot R_B \quad (1.30)$$

где $m = 0,35 \dots 0,5$.

$$\tau = R_B \cdot C_K \quad (1.31)$$

$$C_\varepsilon = \frac{1}{\omega_\alpha \cdot (R_\varepsilon + r_\varepsilon)} \quad (1.32)$$

$$C_{K\varepsilon} = \frac{1}{\omega} \operatorname{Im} \left[\frac{1}{Z_0} \cdot \frac{(1 + S_{11}) \cdot (1 - S_{22}) + S_{12} \cdot S_{21}}{(1 + S_{11}) \cdot (1 + S_{22}) - S_{12} \cdot S_{21}} \right] \quad (1.33)$$

2 Пример расчета

Исходные данные:

$$f = 500 \text{ МГц};$$

$$|S_{11}| = 0,46, \quad \varphi_{11} = -137;$$

$$|S_{12}| = 0,025, \quad \varphi_{12} = 56;$$

$$|S_{21}| = 13,2, \quad \varphi_{21} = 100;$$

$$|S_{22}| = 0,57, \quad \varphi_{22} = -26.$$

1. Преобразование S-параметров в алгебраическую форму.

$$\begin{aligned} S_{11} &= |S_{11}| \cdot (\cos(\varphi_{11}) + j \cdot \sin(\varphi_{11})) = \\ &= 0.46 \cdot (\cos(-137) + j \cdot \sin(-137)) = -0.336 - j \cdot 0.314 \end{aligned}$$

$$S_{12} = 0.013 + j \cdot 0.021$$

$$S_{21} = -2.292 + j \cdot 13$$

$$S_{22} = 0.512 - j \cdot 0.25$$

2. Расчет Y- и H-параметров по формулам 2.1 – 2.8.

$$Y_{11} = \frac{1}{\rho} \cdot \left[\frac{(1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12} \cdot S_{21}}{(1+S_{11})(1+S_{22}) - S_{12} \cdot S_{21}} \right] = 18.938 \cdot 10^{-3} + j \cdot 16.437 \cdot 10^{-3}$$

$$Y_{12} = \frac{1}{\rho} \cdot \left[\frac{-2 \cdot S_{12}}{(1+S_{11})(1+S_{22}) - S_{12} \cdot S_{21}} \right] = -20.836 \cdot 10^{-6} - j \cdot 689.029 \cdot 10^{-6}$$

$$Y_{21} = \frac{1}{\rho} \cdot \left[\frac{-2 \cdot S_{21}}{(1+S_{11})(1+S_{22}) - S_{12} \cdot S_{21}} \right] = 244.808 \cdot 10^{-3} - j \cdot 269.343 \cdot 10^{-3}$$

$$Y_{22} = \frac{1}{\rho} \cdot \left[\frac{-2 \cdot S_{21}}{(1+S_{11})(1+S_{22}) - S_{12} \cdot S_{21}} \right] = 89.778 \cdot 10^{-6} + j \cdot 2.454 \cdot 10^{-3}$$

$$H_{11} = \rho \cdot \left[\frac{(1+S_{11})(1+S_{22}) + S_{12} \cdot S_{21}}{(1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12} \cdot S_{21}} \right] = 14.847 - j \cdot 16.34$$

$$H_{12} = \left[\frac{2 \cdot S_{12}}{(1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12} \cdot S_{21}} \right] = 18.638^{-3} + j \cdot 20.207 \cdot 10^{-3}$$

$$H_{21} = \left[\frac{-2 \cdot S_{21}}{(1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12} \cdot S_{21}} \right] = 332.475 \cdot 10^{-3} - j \cdot 14.511$$

$$H_{22} = \frac{1}{\rho} \cdot \left[\frac{(1-S_{11})(1-S_{22}) - S_{12} \cdot S_{21}}{(1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12} \cdot S_{21}} \right] = 10.095 \cdot 10^{-3} + j \cdot 2.381 \cdot 10^{-3}$$

3. Расчет входного сопротивления

В последовательном представлении:

$$\text{Re}(Z_{\text{вх}}) = \rho \cdot \frac{1 - |S_{11}|^2}{1 - 2 \cdot |S_{11}| \cdot \cos \varphi_{11} + |S_{11}|^2} = 20.919$$

$$\text{Im}(Z_{\text{вх}}) = \rho \cdot \frac{2 \cdot |S_{11}| \cdot \sin \varphi_{11}}{1 - 2 \cdot |S_{11}| \cdot \cos \varphi_{11} + |S_{11}|^2} = -16.648$$

$$R_{\text{вх}} = \text{Re}(Z_{\text{вх}}) = 20.919, \quad C_{\text{вх}} = \frac{1}{\omega \cdot \text{Im}(Z_{\text{вх}})} = 19.12 \text{ пФ}$$

В параллельном представлении:

$$\operatorname{Re}(Y_{\text{вх}}) = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{1 - |S_{11}|^2}{1 + 2 \cdot |S_{11}| \cdot \cos \varphi_{11} + |S_{11}|^2} = 29.267 \cdot 10^{-3}$$

$$\operatorname{Im}(Y_{\text{вх}}) = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{2 \cdot |S_{11}| \cdot \sin \varphi_{11}}{1 + 2 \cdot |S_{11}| \cdot \cos \varphi_{11} + |S_{11}|^2} = -23.292 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{\text{вых.паралл}} = 1 / \operatorname{Re}(Y_{\text{вх}}) = 34.168, \quad C_{\text{вых.паралл}} = \frac{\operatorname{Im}(Y_{\text{вх}})}{\omega} = 7.414 \text{ пФ}$$

4. Расчет выходного сопротивления

В последовательном представлении:

$$\operatorname{Re}(Z_{\text{вых}}) = \rho \cdot \frac{1 - |S_{22}|^2}{1 - 2 \cdot |S_{22}| \cdot \cos \varphi_{22} + |S_{22}|^2} = 112.414$$

$$\operatorname{Im}(Z_{\text{вых}}) = \rho \cdot \frac{2 \cdot |S_{22}| \cdot \sin \varphi_{22}}{1 - 2 \cdot |S_{22}| \cdot \cos \varphi_{22} + |S_{22}|^2} = -83.214$$

$$R_{\text{вых}} = \operatorname{Re}(Z_{\text{вых}}) = 112.414, \quad C_{\text{вых}} = \frac{1}{\omega \cdot \operatorname{Im}(Z_{\text{вых}})} = 3.825 \text{ пФ}$$

В параллельном представлении:

$$\operatorname{Re}(Y_{\text{вых}}) = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{1 - |S_{22}|^2}{1 + 2 \cdot |S_{22}| \cdot \cos \varphi_{22} + |S_{22}|^2} = 5.747 \cdot 10^{-3}$$

$$\operatorname{Im}(Y_{\text{вых}}) = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{2 \cdot |S_{22}| \cdot \sin \varphi_{22}}{1 + 2 \cdot |S_{22}| \cdot \cos \varphi_{22} + |S_{22}|^2} = -4.254 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{\text{вых.паралл}} = 1 / \operatorname{Re}(Y_{\text{вх}}) = 174.013, \quad C_{\text{вых.паралл}} = \frac{\operatorname{Im}(Y_{\text{вых}})}{\omega} = 7.414 \text{ пФ}$$

5. Расчет коэффициента передачи

Без согласующих цепей, в тракте 50 Ом:

$$K_{p \max} = |S_{21}|^2 = 174.24$$

С учетом согласующих цепей:

$$K_{p \max} = \frac{|S_{21}|^2}{(1 - |S_{11}|^2) \cdot (1 - |S_{22}|^2)} = 327.366$$

$$10 \cdot \log_{10}(K_{p \max}) = 25.15$$

6. Расчет коэффициента устойчивости

$$\Delta S = S_{11} \cdot S_{22} - S_{12} \cdot S_{21} = 0.051 - j \cdot 0.211$$

$$K_y = \frac{1 + |\Delta S|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2 \cdot |S_{12}| \cdot |S_{21}|} = 0.774$$

7. Определение элементов эквивалентной модели

$$r_3 = \varphi_m / I_3 = 1.3 \quad f_T = |H_{21}| \cdot f = 7.257 \text{ ГГц} \quad f_\alpha = \sqrt{2} \cdot f_T = 10.263 \text{ ГГц}$$

$$C_K = \frac{1 - 2 \cdot |S_{22}| \cdot \cos \varphi_{22} + |S_{22}|^2}{Z_0 \cdot (1 - |S_{22}|) \cdot \omega_T} = 0.306 \text{ пФ}$$

$$\alpha = |H_{21}| / (1 + |H_{21}|) = 0.935$$

$$\omega'_T = \frac{\omega_T \cdot \alpha}{\alpha + \omega_T \cdot C_K \cdot Z_0} = 26.11 \cdot 10^9$$

$$R_0 = \frac{2 \cdot Z_0 \cdot \omega'_T - Z_0 \cdot \omega \cdot |S_{21}|}{\omega \cdot |S_{21}|} = 12.962$$

$$C_0 = \frac{1}{\omega \cdot (R_0 + Z_0) \cdot \text{tg}(\varphi_{21} - 90)} = 28.672 \text{ пФ}$$

$$R_э = 1/\omega'_T - r_э = 0.036 \text{ Ом}$$

$$R_B = \frac{Z_0 \cdot (1 - |S_{11}|)}{1 - 2 \cdot |S_{11}| \cdot \cos \varphi_{11} + |S_{11}|^2} = 14.328 \text{ Ом}$$

$$R_K = m \cdot R_B = 4.298 \text{ Ом}$$

$$\tau = R_B \cdot C_K = 4.388 \text{ пс}$$

$$C_э = \frac{1}{\omega_\alpha \cdot (R_э + r_э)} = 11.61 \text{ пФ}$$

$$C_{КЭ} = \frac{1}{\omega} \text{Im} \left[\frac{1}{Z_0} \cdot \frac{(1 + S_{11}) \cdot (1 - S_{22}) + S_{12} \cdot S_{21}}{(1 + S_{11}) \cdot (1 + S_{22}) - S_{12} \cdot S_{21}} \right] = 0.417 \text{ пФ}$$

3 Задание на лабораторную работу

В ходе выполнения лабораторной работы необходимо выполнить моделирование основных параметров биполярного транзистора, элементы эквивалентной схемы которого были определены во время выполнения расчетного задания.

3.1 Настройка проекта и создание схемы

Установите начальную и конечную частоту моделирования в настройках проекта в соответствии с рисунком 3.1.

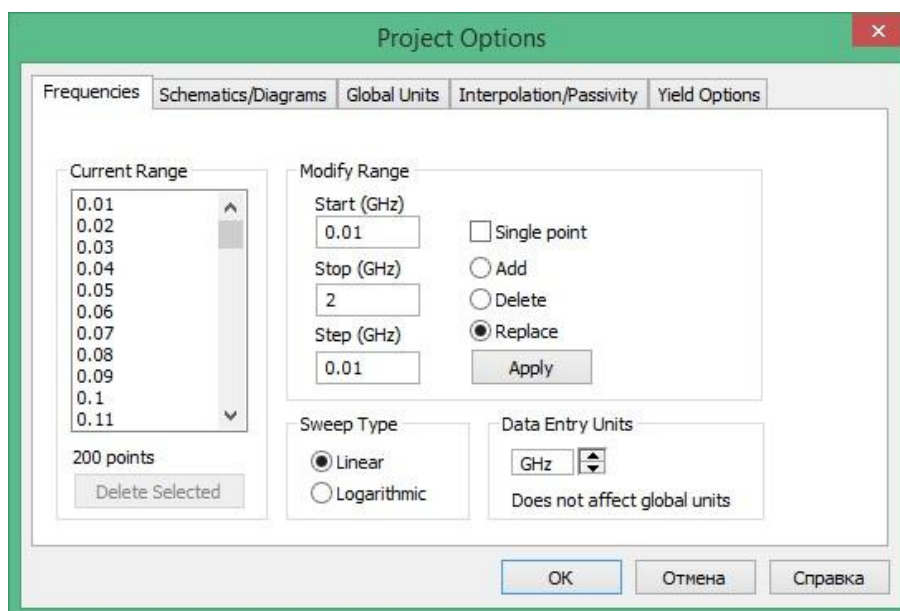


Рисунок 3.1 – Настройки частот моделирования

Для построения схемы необходимо использовать линейную модель биполярного транзистора Elements->Circuit Elements->Linear Devices->BJT.

Первый порт подключается к базе транзистора (1), второй к коллектору (2), вывод эмиттера соединяется с общим проводом (3). Между коллектором и эмиттером, параллельно транзистору, подключается конденсатор. На рисунке 3.2 приведена схема подключения модели транзистора, в таблице 3.1 приведены соответствия между рассчитанными параметрами и параметрами модели транзистора, на рисунке 3.2 приведен пример определения параметров модели транзистора.

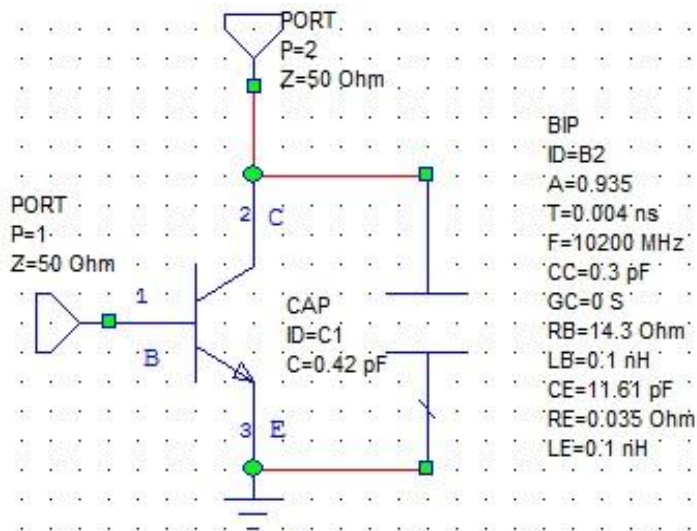


Рисунок 3.2 – Схема подключения модели транзистора

Таблица 3.1 – Таблица соответствия

Расчетный параметр	Параметр модели	Расчетный Параметр	Параметр модели
$R_{\text{Э}}$	RE	$C_{\text{Э}}$	CE
f_{α}	F	$C_{\text{КЭ}}$	Паралл. ёмк.
$C_{\text{К}}$	CC	T	T
α	A	Всегда равен 0	GC
$R_{\text{Б}}$	RB	0.1 нГн	LB, LE

Name	Value	Unit	Tune	Opt	Limit	Lower	Upper	Step	Description
ID	B2								Element ID
A	0.935					0.4679999995	0.980000019		Magnitude of DC current gain (alp)
T	0.004	ns							Current gain time delay
F	10200	MHz				0	14514		-3dB frequency for current gain
CC	0.3	pF							Collector capacitance
GC	0	S				0.00100000005	1.49600005		Collector conductance
RB	14.3	Ohm							Base resistance
LB	0.1	nH							Base inductance
CE	11.61	pF				0.100000001	23.2000008	0.100000001	Emitter capacitance
RE	0.035	Ohm				0.0175000001	100	0.0999825001	Emitter resistance
LE	0.1	nH							Emitter inductance

Рисунок 3.3 – Пример определения параметров модели

3.2 Моделирование основных характеристик биполярного транзистора

Необходимо выполнить построение следующих графиков: S-параметры транзистора (S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22}) в линейном формате и максимальный коэффициент передачи по мощности $K_{p \max}$.

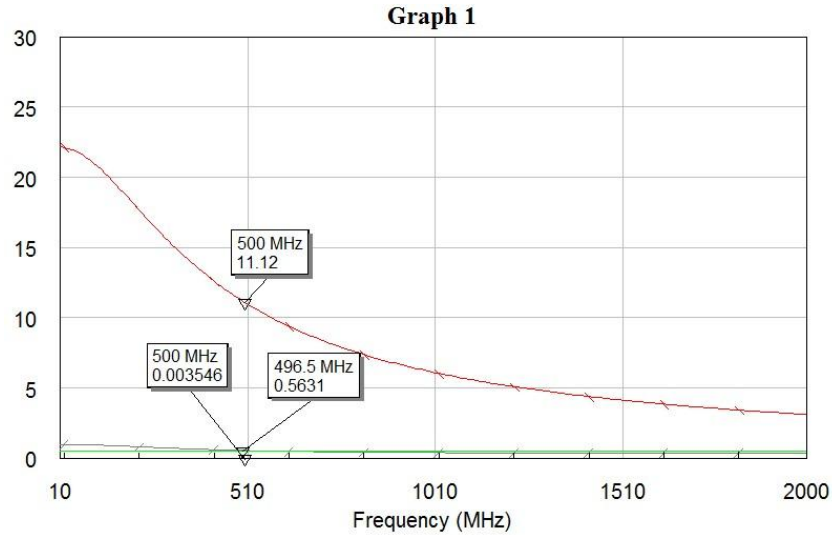


Рисунок 3.4 – Пример S-параметров биполярного транзистора

Для построения графика максимального коэффициента передачи по мощности необходимо при добавлении измерения на график выбрать Measurement Type->Linear->Gain и Measurement->Gmax, при добавлении измерения необходимо, также, выбрать отображение данных в дБ. На рисунке 3.5 приведен пример параметров выбора измерений, на рисунке 3.6 приведен пример графика максимального коэффициента передачи по мощности

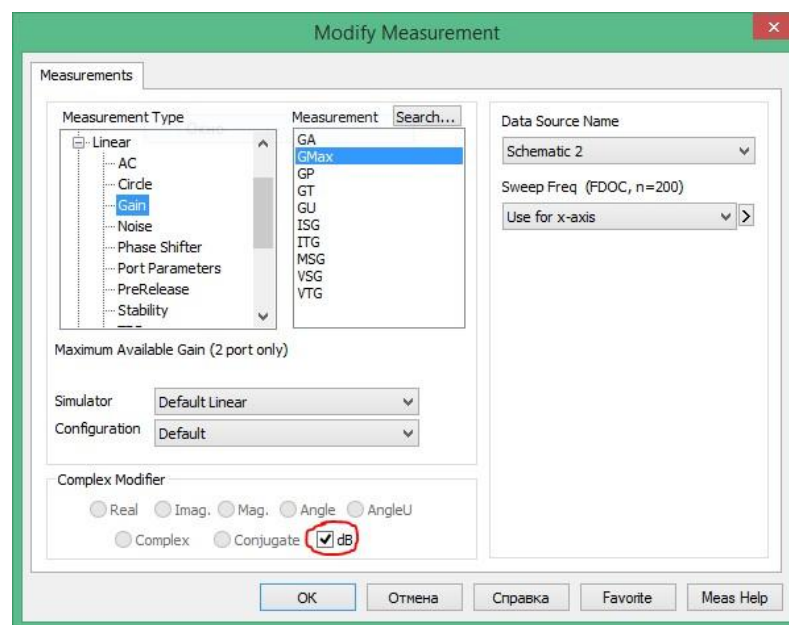


Рисунок 3.5 – Вывод графика максимального коэффициента передачи по мощности

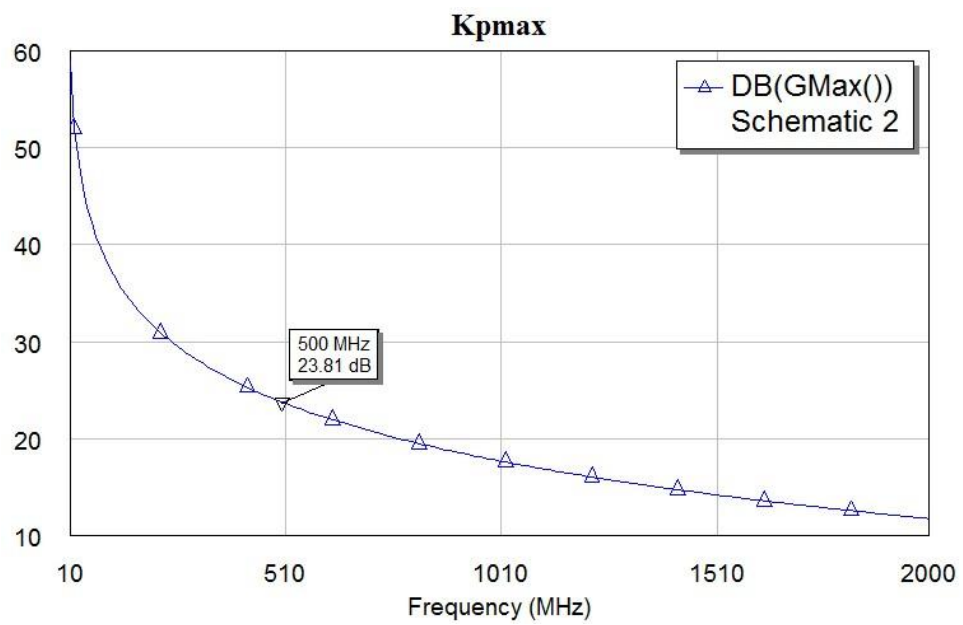


Рисунок 3.6 – Пример графика максимального коэффициента передачи по мощности

Приложение А

Таблица А.1 – Варианты расчетных заданий

№	$ S_{11} $	$\varphi_{11гр}$	$ S_{12} $	$\varphi_{12гр}$	$ S_{21} $	$\varphi_{21гр}$	$ S_{22} $	$\varphi_{22гр}$	f, МГц	I _э , мА
1	0.85	-30	0.013	64	23.2	158	0.93	-11	100	10
2	0.58	-112	0.035	44	12.2	109	0.62	-30	500	10
3	0.49	-156	0.044	43	6.7	85	0.5	-33	1000	10
4	0.49	-178	0.056	47	4.6	71	0.46	-36	1500	10
5	0.5	-160	0.068	47	3.4	59	0.45	-41	2000	10
6	0.65	-46	0.01	59	33	150	0.89	-15	100	20
7	0.46	-137	0.025	56	13.2	100	0.57	-26	500	20
8	0.43	-175	0.038	58	6.8	80	0.52	-29	1000	20
9	0.44	-63	0.048	61	4.6	67	0.51	-32	1500	20
10	0.47	-148	0.062	60	3.5	56	0.5	-37	2000	20