

# 1 model4

## Полосовой RC-фильтр

### 1. Объяснение:

На низких частотах емкостной импеданс велик и шум на выходе это шум  $e_2$  одного резистора  $R$ . На высоких частотах малый импеданс емкостей эффективно закорачивает выход, делая выходной шум малым. Коэффициент передачи имеет максимум на частоте  $f_0$ . Спад коэффициента передачи на низких частотах при постоянстве уровня шума на выходе обеспечивает резкий рост коэффициента шума.

Формула коэффициента шума  $K = 20lg \left( \frac{e_n(f)}{\sqrt{4kTR}} \right)$

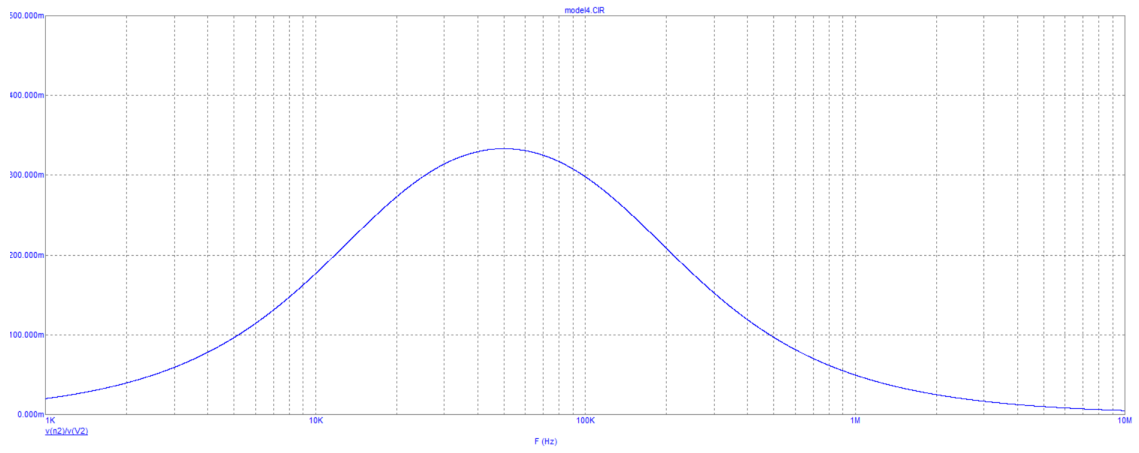


Рис. 1:  $f_0 = 50k$ ,  $\Delta f = 152k$ ,  $K = 0.33$ , с теорией сходится

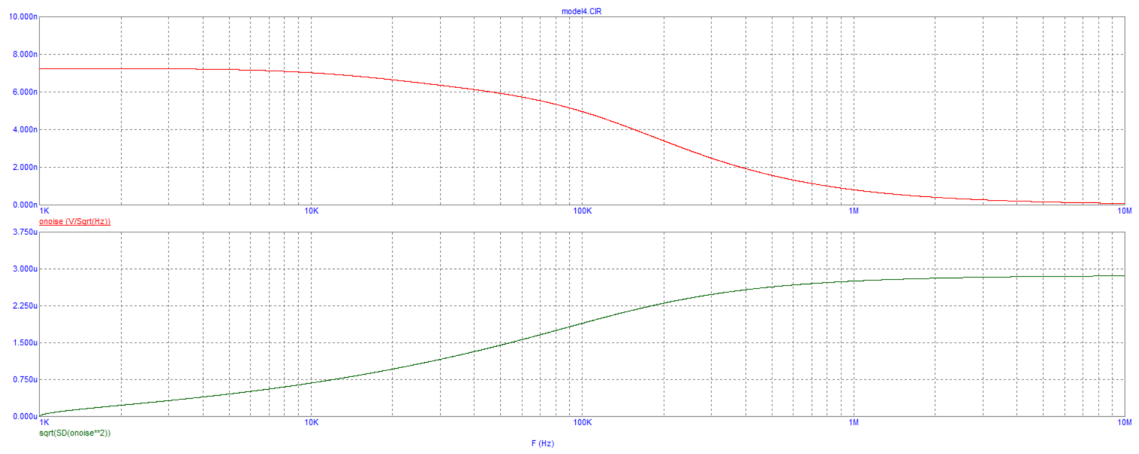


Рис. 2:  $n(f_0) = 5.88n$ ,  $n(10f_0) = 1.56n$ ,  $\sigma = 2.86\mu$ , оба резистора шумящие

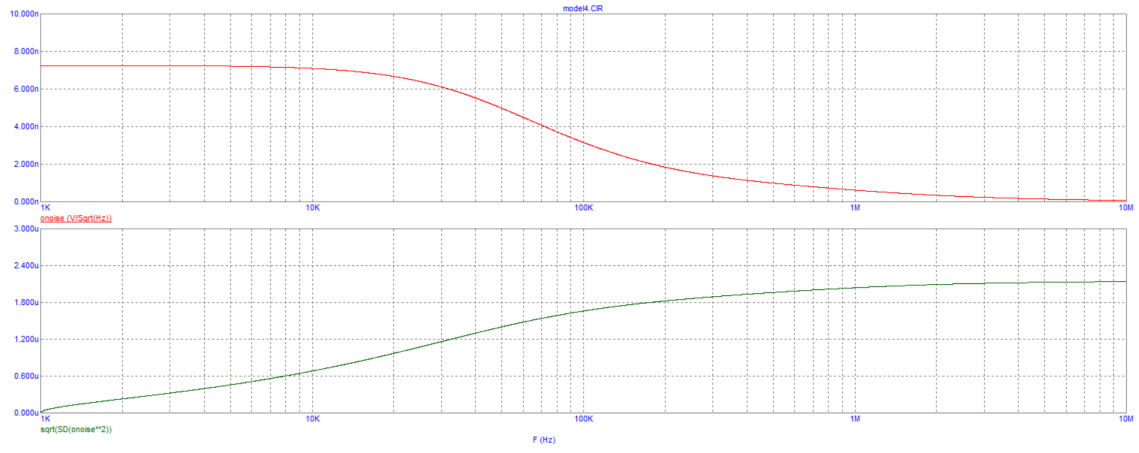


Рис. 3:  $n(f_0) = 4.96n$ ,  $n(10f_0) = 960p$ ,  $\sigma = 2.15\mu$ ,  $R_{s_2}$  не шумящий

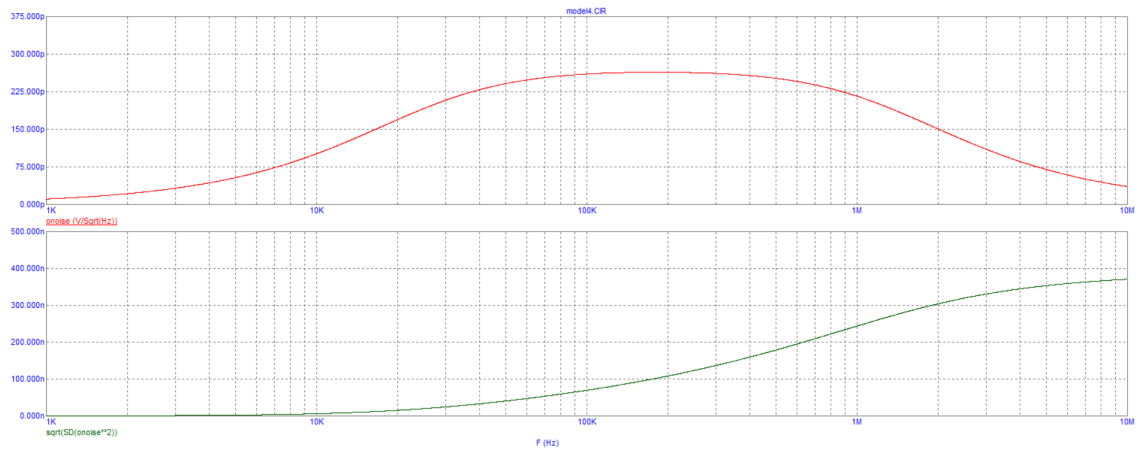


Рис. 4:  $n(f_0) = 240p$ ,  $n(10f_0) = 250p$ ,  $\sigma = 370n$ ,  $R_2$  нешумящий

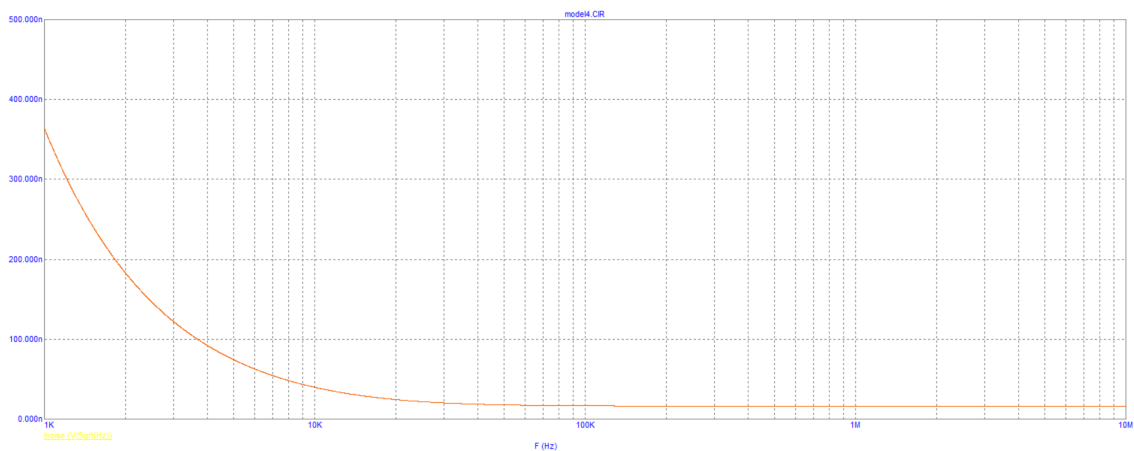


Рис. 5:  $e(f_0) = 17.7n$ ,  $e(f_0/10) = 73.45n$ ,  $e(f_0/100) = 728.6n \Rightarrow K(f_0) = 7.9$ ,  $K(f_0/10) = 20.4$ ,  $K(f_0/100) = 41$

## Полосовой LC-фильтр нижних частот

На низких частотах индуктивный импеданс мал, а емкостный велик. При этом шум на выходе создается параллельным соединением  $r||R$  и отличен от нуля. С учетом малости коэффициента передачи это приводит к высокому уровню коэффициента шума. На высоких частотах большой индуктивный импеданс эффективно отключает резистор  $r$ . Получается обычная интегрирующая RC-цепь с нулевым коэффициентом шума. Таким образом, в фильтре на параллельном контуре с омическим сопротивлением индуктивности  $r$  обнаруживается рост коэффициента шума на частотах ниже резонанса.

$$\text{Формула коэффициента шума } K = 20 \lg \left( \frac{e_n(f)}{\sqrt{4kTR}} \right)$$

1.

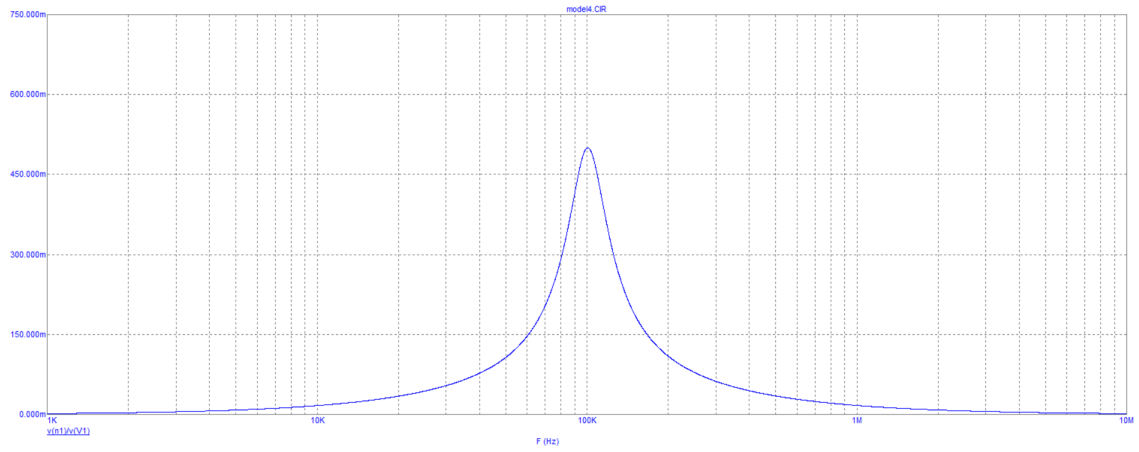


Рис. 6:  $f_0 = 102k$ ,  $\Delta f = 36k$ ,  $K(f_0) = 0.5$ ,  $K(0) = 0.02$ , с теорией сходится

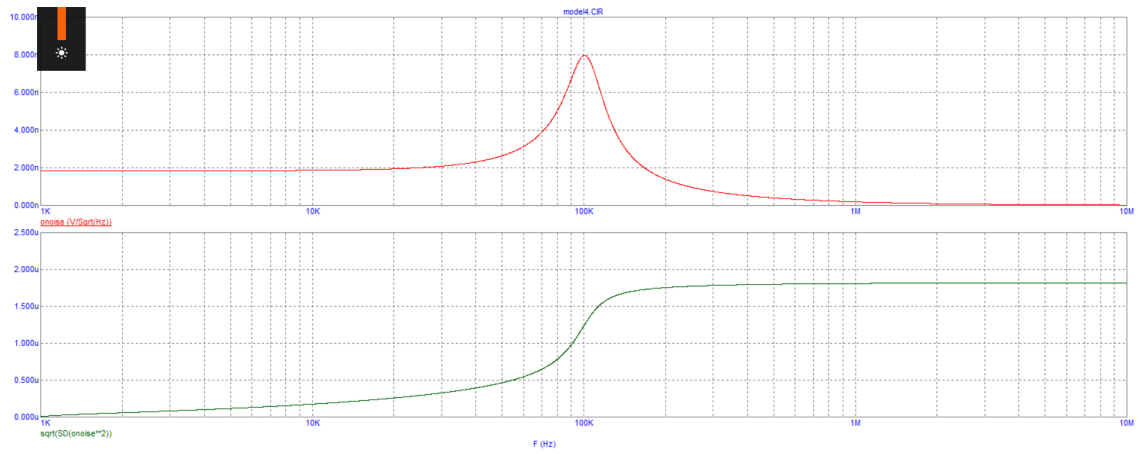


Рис. 7:  $n(f_0) = 7.9n$ ,  $n(f_0/100) = 1.8n$ ,  $\sigma = 1.8\mu$ , оба шумящие

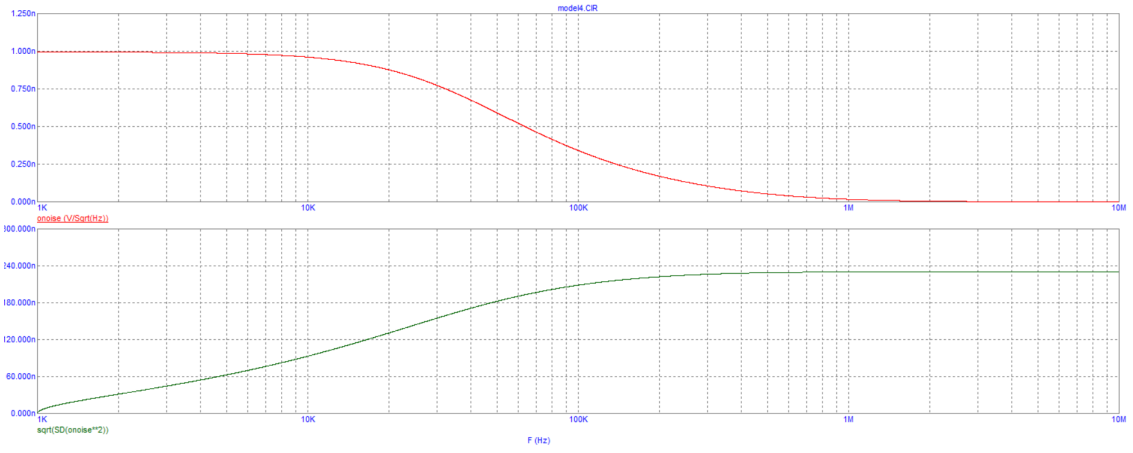


Рис. 8:  $n(f_0) = 355p$ ,  $n(f_0/100) = 1.0n$ ,  $\sigma = 228.9n$ ,  $R_3$  шумящий

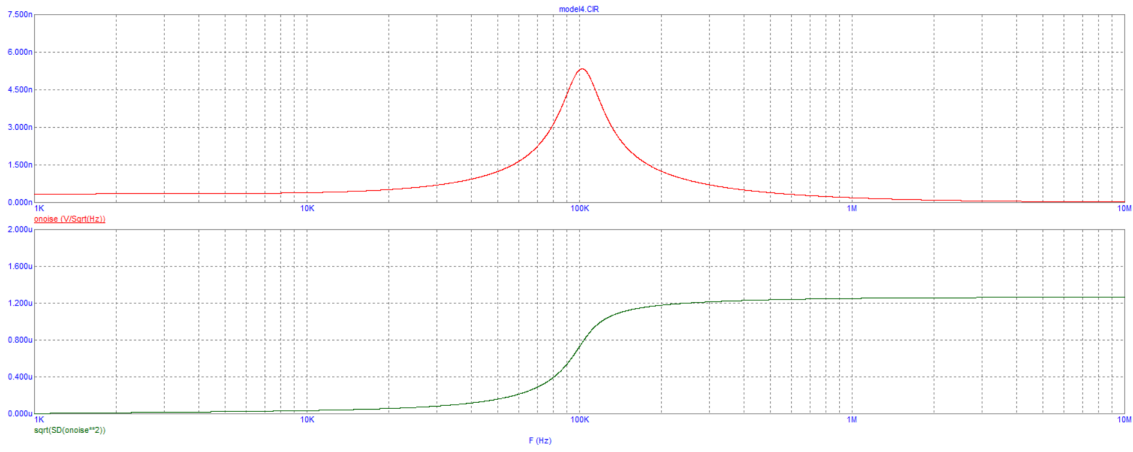


Рис. 9:  $n(f_0) = 1.8n$ ,  $n(f_0/100) = 11.2n$ ,  $\sigma = 1.7\mu$ ,  $R_{s3}$  шумящий

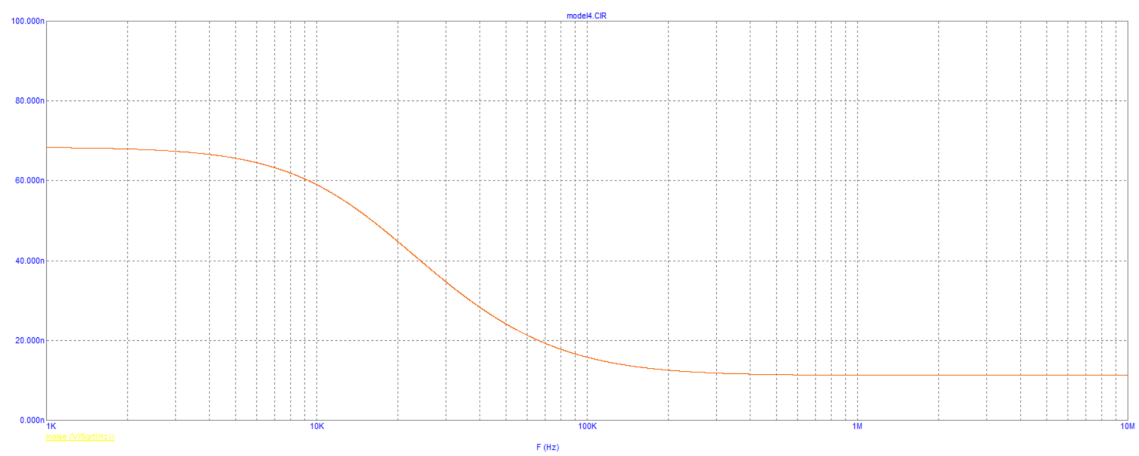


Рис. 10:  $e(f_0) = 15.4n$ ,  $e(f_0/100) = 68.3n$ ,  $e(10f_0) = 10.9n \Rightarrow K(f_0) = 31.5$ ,  $K(f_0/100) = 18.9$ ,  $K(10f_0) = 15.8$

## 2 model5

1.  $I_c = 1 \text{ мА}, r_b = 100 \text{ Ом}$

Такой ток соответствует  $I_1 = 13.5 \text{ мкА}$ .

### **Измерение шумового коллекторного тока**

- 1.



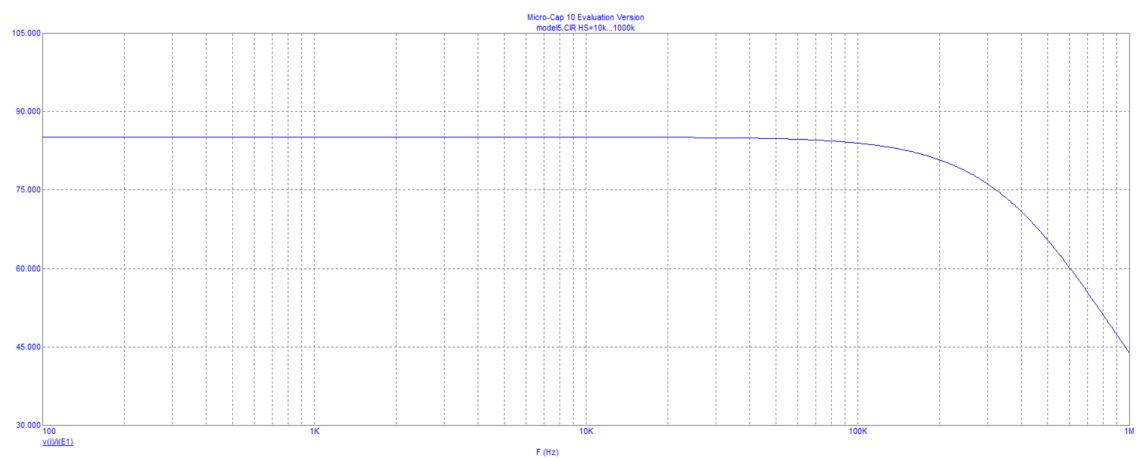


Рис. 11:  $h_{21} = 85.1$

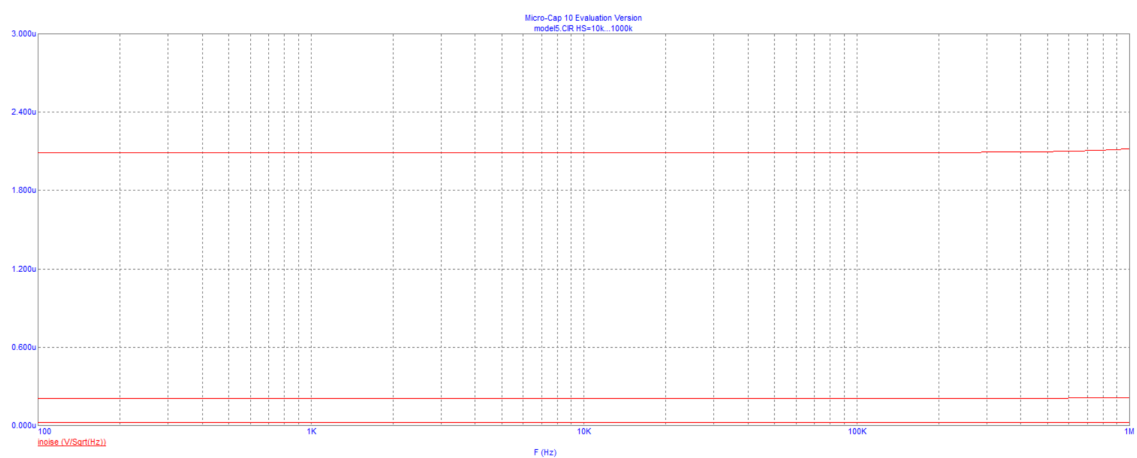


Рис. 12: Варьирование  $H_s = [10, 1000k|Log10]$

2.

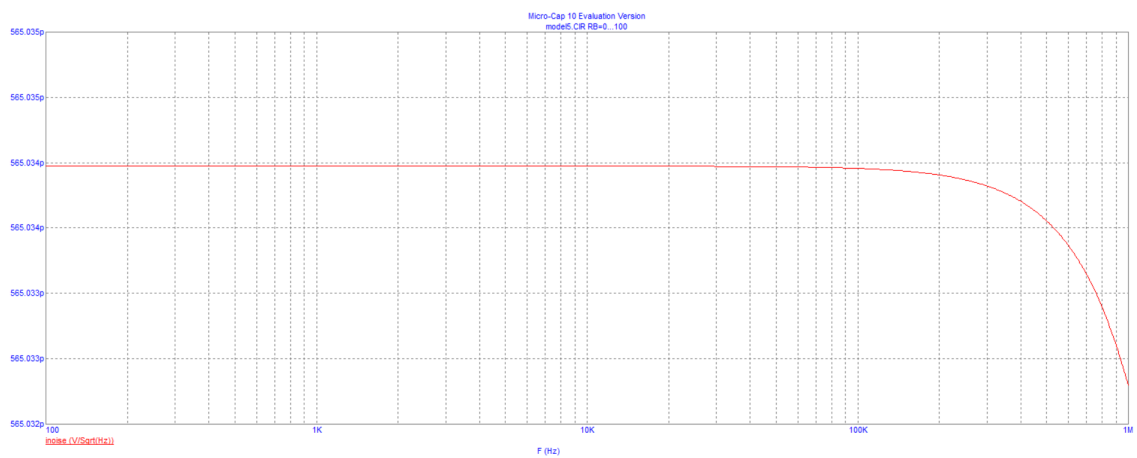


Рис. 13: Варьирование  $RB = [0, 100|25]$

3.

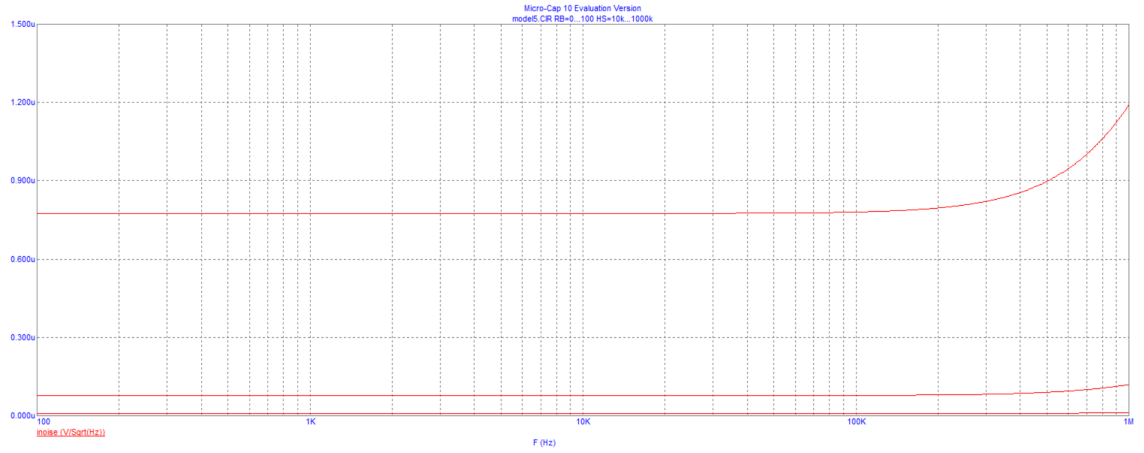


Рис. 14: Варьирование  $H_s = [10, 1000|Log10]$  для  $I_c = 0.1m, I_1 = 1.83\mu$

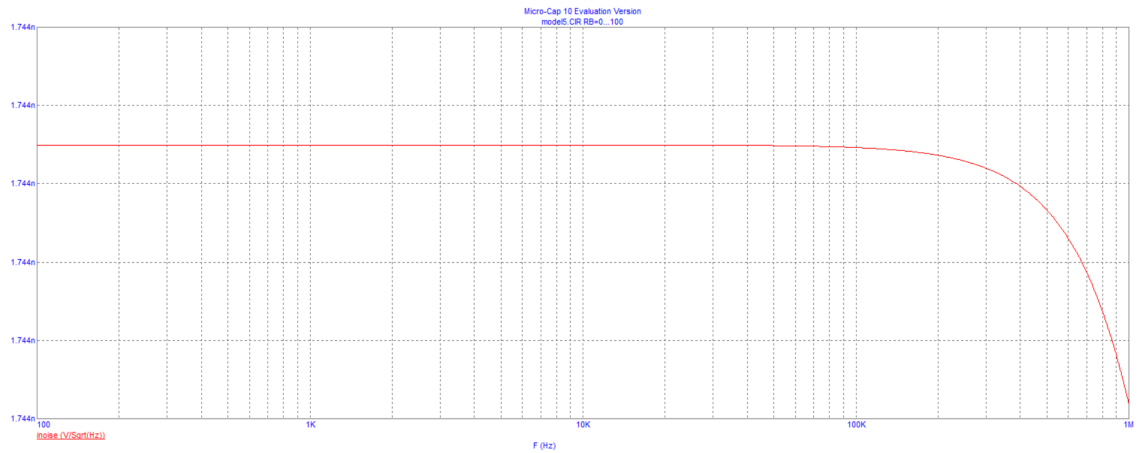


Рис. 15: Варьирование  $RB = [0, 100|25]$  для  $I_c = 0.1m, I_1 = 1.83\mu$

Варьирование  $H_s$  ожидаемо дает различные значения тока на выходе, причем при больших сопротивлениях ток больше. От сопротивления ток на коллекторе зависит линейно, т.е. увеличивается в 10 раз при шаге варьирования.

При уменьшении подаваемого тока нелинейно падает ток на коллекторе.

Варьируя объемное сопротивление базы при нулевом сопротивлении  $H_s$ , подаваемый ток с  $H_s$  равен нулю, а вклад остается только у теплового шума объемного сопротивления базы, что и повышает ток при увеличении тока пропорционально корню из его значения ( $I_c \cdot r$ ).

# Измерение коэффициента шума

1.  $R_s = 40k$ .

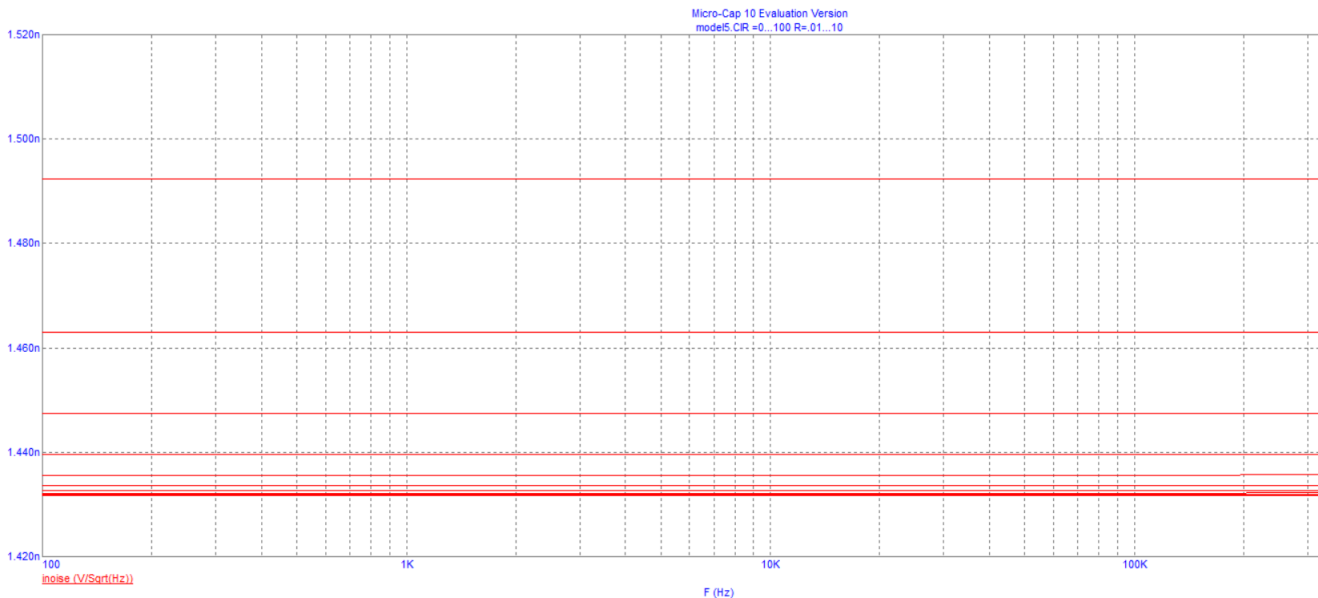


Рис. 16: Шумовой ток, варьирование  $R$

При низком сопротивлении  $R$  коэффициент шума падает, и в пределе  $i = 1.42$  нА. Шумовая температура составит  $T = 300$  К, а усилителя  $R_n = 5$  кОм. На выходе  $\sigma \approx 200$  нА.

## 3 model6

1.  $U_p = 1.1$  В,  $R_g = 25$  Ом,  $I_d = 1m$ ?

## Исследование шумового тока

$U_p$	2	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
$S$	1.13	1.44	1.65	1.80	1.92	2.02	2.11	2.18	2.24	2.29

Таблица 1: Для  $U_p = 1.1V$   $\frac{1}{S} \approx 0.5$

1.

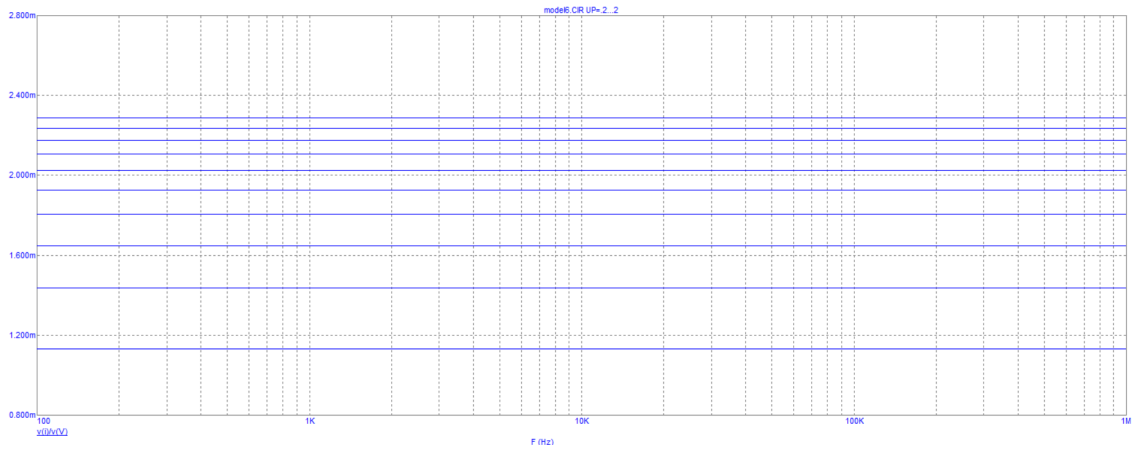


Рис. 17: Крутизна транзистора

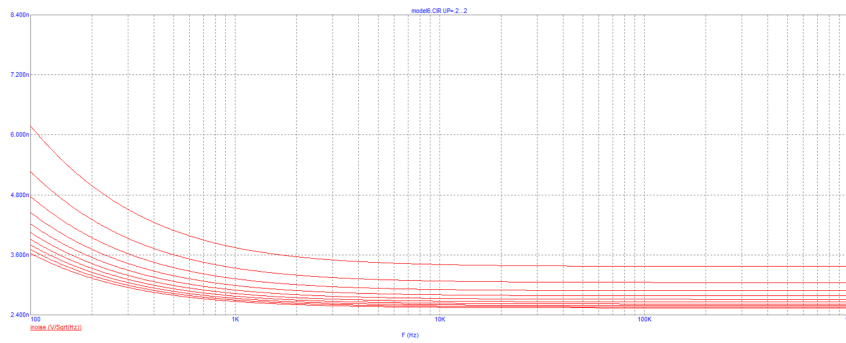


Рис. 18: Шумовой ток, варьирование  $U_p$

$U_p$	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
$i_d$ , p	3.37	3.05	2.88	2.78	2.71	2.66	2.62	2.59	2.56	2.54

Таблица 2: Для  $U_p = 1.1V$   $\gamma = \frac{i_d^2}{4kTS} \approx 0.65$

$H$ , Meg	0	0.5	1	1.5	2
$i_d$ , n	2.83	64.26	129.34	192.09	257.77

При мегаомном сопротивлении  $H$  ток совпадает с током при подключенном шумящем сопротивлении  $R$ , что неудивительно вследствие рассматриваемого диапазона частот и напряжений.

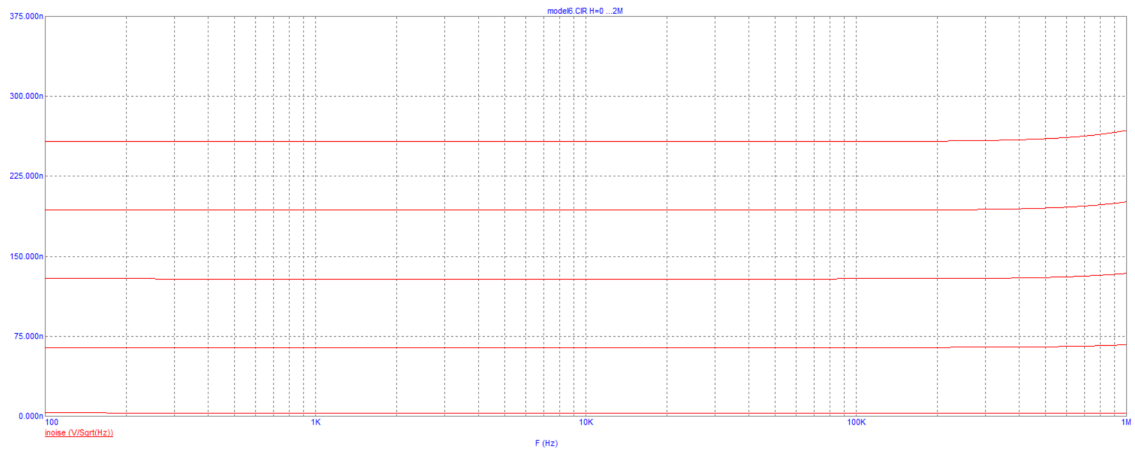


Рис. 19: Шумовой ток, варьирование  $N$

## Исследование коэффициента шума

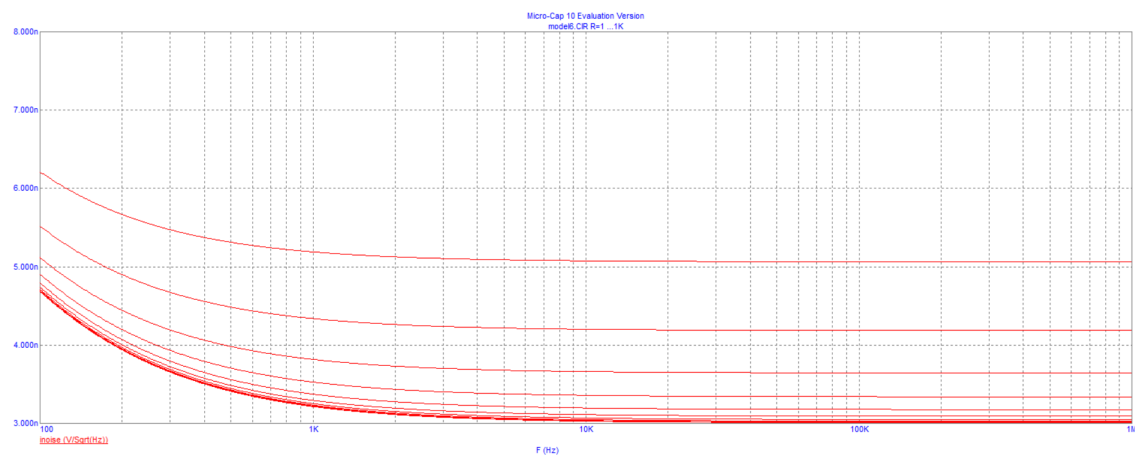


Рис. 20: Шумовой ток, варьирование  $R$

Как видно, при сопротивлении  $R$  стремящемся к нулю, шумовое значение составит 3 нА. Шумовое сопротивление из формулы  $R_n = \sqrt{\frac{\gamma R_g}{S}} \approx 18$  кОм. Шумовая температура составляет 300 К. А при  $R = R_n$  шум на выходе равен  $\sigma = 17.7$  нА.

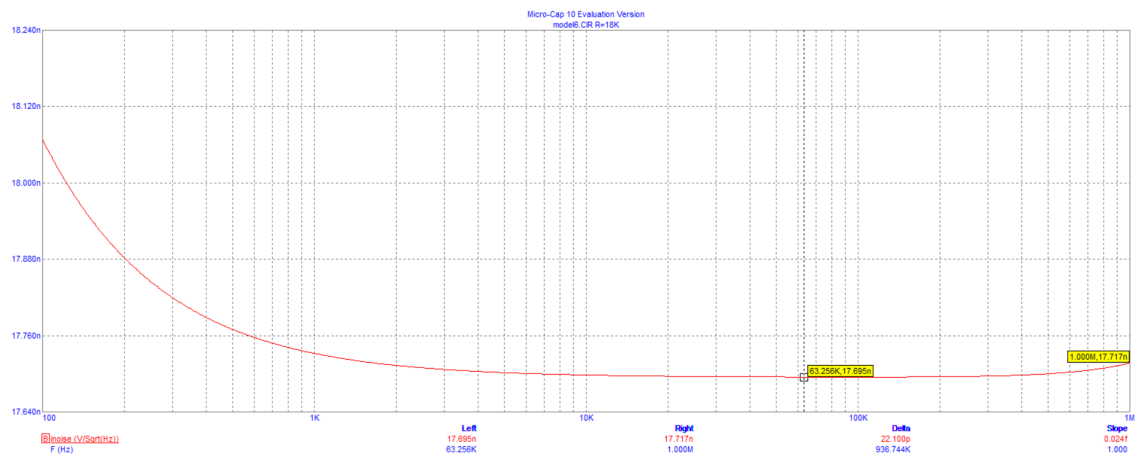


Рис. 21: Шумовой ток,  $R = R_n$