

# Шумовые параметры серийных малошумящих транзисторов 3ПЗ102-А,Б,В и 3ПЗ107АН5

А.В. Груша, А.В. Крутов, А.С. Ребров

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

**Аннотация:** в данной работе исследовалась возможность прямого измерения шумовых параметров потенциально не устойчивых устройств в частности, малошумящих GaAs PHEMT транзисторов с использованием автоматического трансформатора импеданса. Показан результат восстановления шумовой модели, с дальнейшим получением шумовых параметров серийных малошумящих транзисторов 3ПЗ102-А,Б,В и 3ПЗ107АН5 выпускаемых на предприятии АО «НПП «Исток» им. Шокина».

**Ключевые слова:** GaAs PHEMT транзистор, шумовая модель, шумовые параметры, коэффициент шума, автоматический трансформатор импеданса

## 1. Введение

Мощность шума на выходе СВЧ усилителя или транзистора и, как следствие, коэффициент шума имеют сложную зависимость от импеданса источника. Это взаимодействие определяется шумовыми параметрами. Коэффициент шума ( $N_F$ ) при любом значении коэффициента отражения источника может быть найден как

$$N_F = N_{F \min} + \frac{4R_n}{Z_0} \times \frac{|\Gamma_{opt} - \Gamma_S|^2}{|1 + \Gamma_{opt}|^2 (1 - |\Gamma_S|^2)} \quad (1)$$

где  $N_{F \min}$  — минимальный коэффициент шума;  $\Gamma_{opt}$  — коэффициент отражения (модуль и фаза), при котором значение коэффициента шума минимально;  $\Gamma_S$  — коэффициент отражения источника (модуль и фаза);  $R_n$  — шумовое сопротивление, которое описывает, как коэффициент шума увеличивается вследствие отклонения импеданса источника от оптимального значения;  $Z_0$  — опорный импеданс порта источника равный 50 Ом. [1]

Из выражения (1) следует, что шумовые параметры характеризующие шумы транзистора состоят из минимального коэффициента шума, оптимального коэффициента отражения и шумового сопротивления.

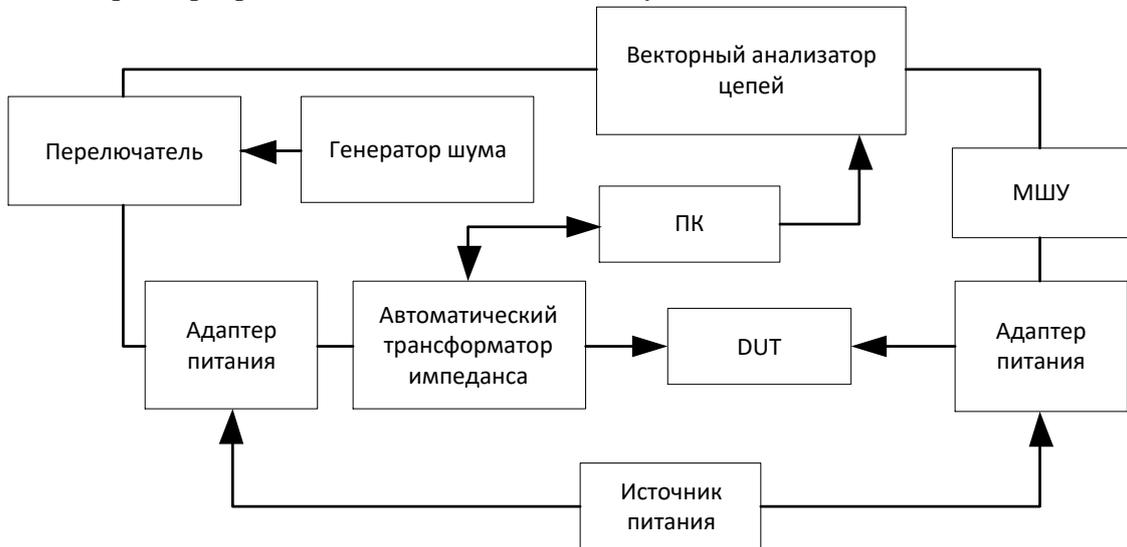
При проектировании малошумящих усилителей разработчику требуется найти компромисс между усилением каскада и его коэффициентом шума, при сохранении устойчивости в рабочем диапазоне частот и за его пределами. Для принятия этих компромиссных решений необходимо знать, как коэффициент передачи активного устройства и его коэффициент шума изменяются в зависимости от импеданса источника. Решить эту задачу можно используя либо эквивалентную схему транзистора с шумовой моделью, либо S-параметры и шумовые параметры активного прибора.

В работе приведены шумовые параметры серийных транзисторов 3ПЗ102-А,Б,В и 3ПЗ107АН5. Конструкция, технология и электрические параметры, указанных выше транзисторов приведены в [2] и [3], соответственно.

## 2. Измерение шумовых параметров

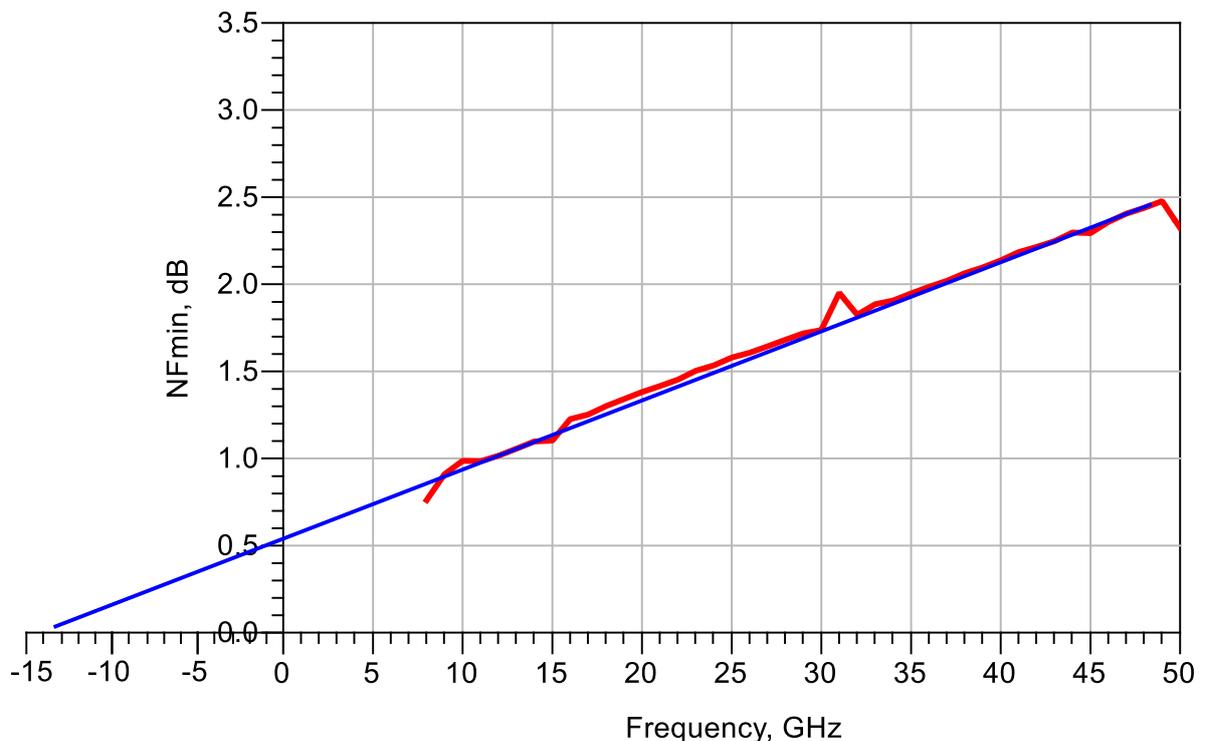
Измерение шумовых параметров полевых СВЧ транзисторов проводили на стенде, упрощенная структура которого представлена на рисунке 1.

Стенд состоит из зондовой станции Cascade Microtech Summit 12000, векторного анализатора цепей Keysight N5247A, генератор шума Keysight 346СК01, автоматического трансформатора импеданса Maury MT982BL01, источника питания/измерителя используемого для подачи напряжений питания и измерения токов потребления на измеряемый образец через адаптеры питания. Модуль МШУ Maury MT984AU01, используется для повышения чувствительности приемника шума. Управление и автоматизация процесса измерения осуществляется с помощью компьютера с программным обеспечением Maury ATS.



**Рисунок 1.** Упрощенная структурная схема стенда для измерения шумовых параметров транзистора

Полученный результат измерения минимального коэффициента шума транзистора 3П3102-В в частотном диапазоне 8-50 ГГц, при напряжении питания на стоке 2 В и токе 14 мА, показан на рисунке 2.



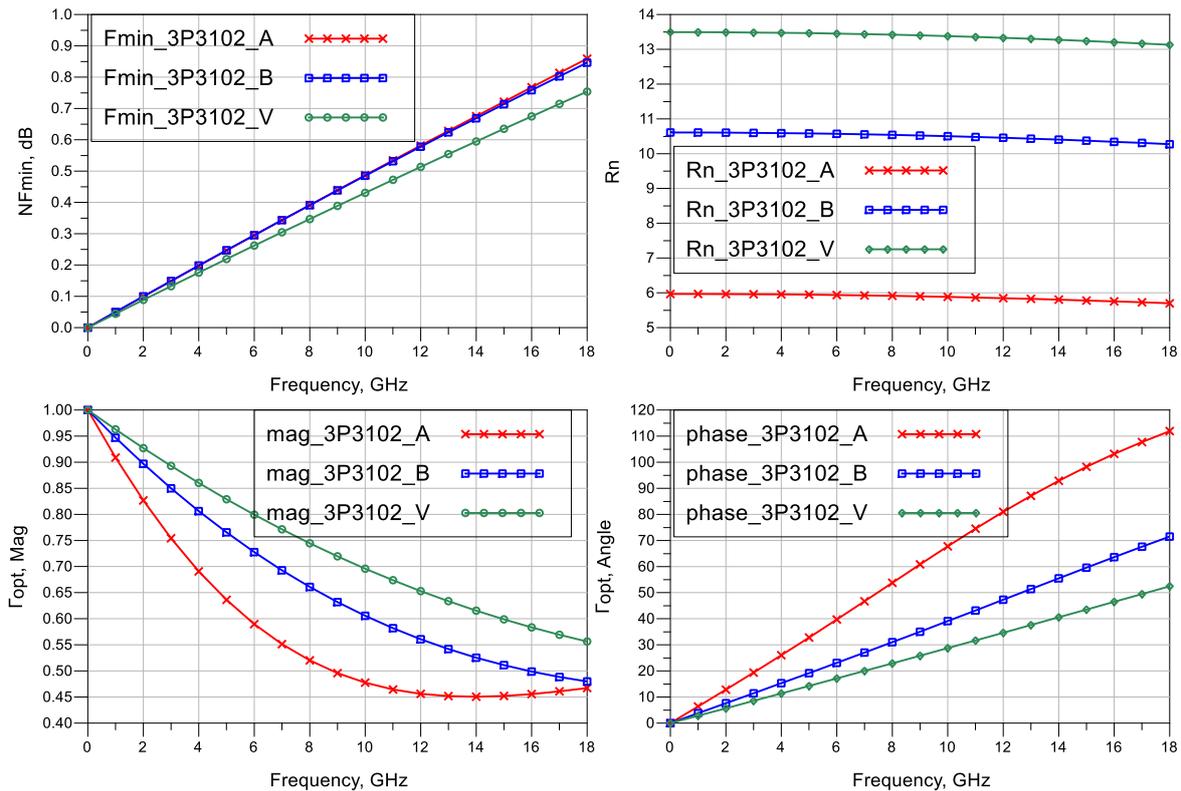
**Рисунок 2.** Измеренный минимальный коэффициент шума транзистора 3П3102-В в зависимости от частоты

Если продлить наклонную линию  $N_F \min$  до пересечения с осью частот, то мы получим, что минимальный шум на нулевой частоте не равен нулю (рисунок 2, пунктирная линия). Опираясь на понятие минимального коэффициента шума, описанное в статьях [4] и [5], можно сделать вывод, что полученный результат является не корректным. Это можно объяснить тем, что при измерении шумовых параметров потенциально неустойчивых устройств, каковым является транзистор 3П3102-В с шириной затвора 120 мкм, автоматическому трансформатору импеданса со снижением частоты не хватает диапазона перестройки сопротивлений. Стоит также отметить, что в программном обеспечении Maury ATS предусмотрена автоматическая фильтрация массива выводимого результата измерений от некорректных значений.

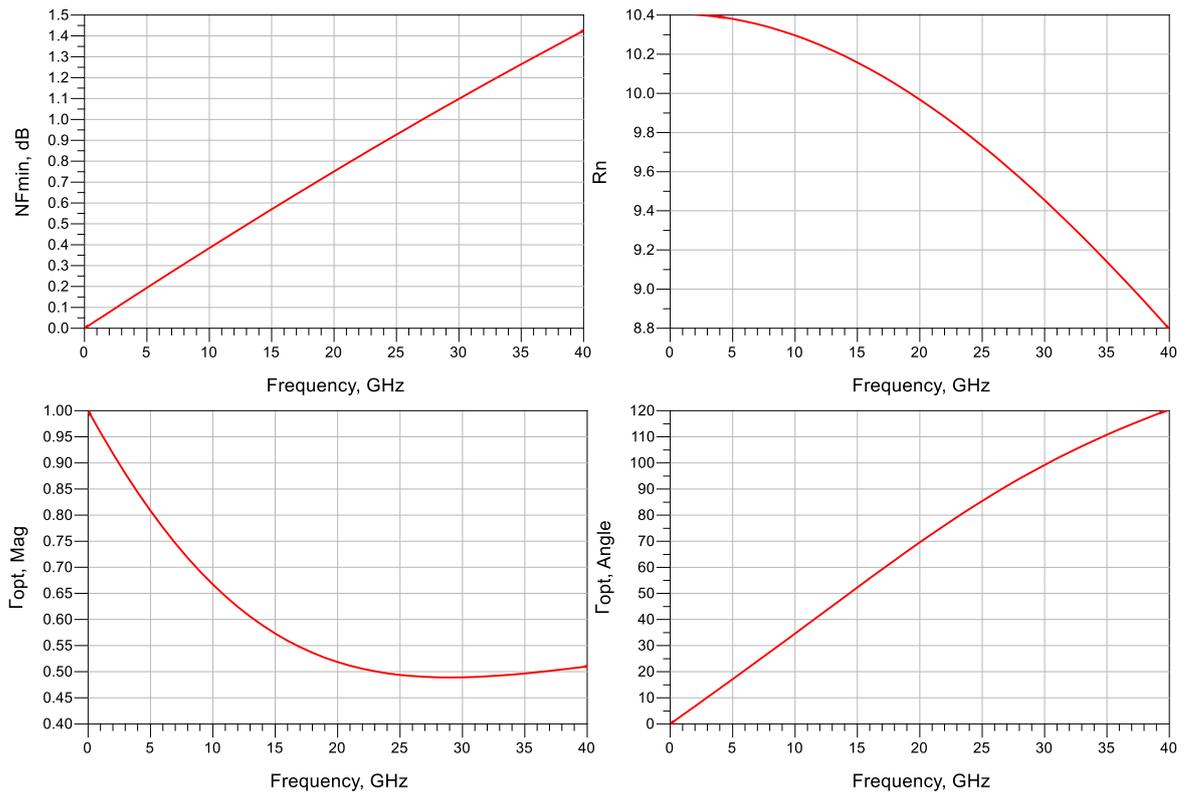
### 3. Шумовые параметры транзисторов 3П3102-А,Б,В и 3П3107АН5

Для нахождения шумовых параметров транзисторов 3П3102-А,Б,В и 3П3107АН5 были проведены измерения коэффициента шума в 50-омной линии с последующей математической обработкой и восстановлением шумовой модели Ван дер Зила, по методике, описанной в [6].

С использованием шумовой модели были получены шумовые параметры серийных транзисторов 3П3102-А,Б,В (рисунок 3) и 3П3107АН5 (рисунок 4) в зависимости от частоты. Приведенные параметры соответствуют следующему режиму работы транзисторов, напряжение на стоке 2 В, рабочий ток 100 мА/мм.



**Рисунок 3.** Шумовые параметры серийных транзисторов 3П3102-А,Б,В в зависимости от частоты (напряжение на стоке 2 В, рабочий ток для 3П3102-А — 36 мА, для 3П3102-Б — 18 мА, для 3П3102-В — 12 мА)



**Рисунок 4.** Шумовые параметры серийного транзистора 3П3107АН5 в зависимости от частоты (напряжение на стоке 2 В, рабочий ток 16 мА)

#### 4. Верификация шумовых параметров транзистора

Верификацию шумовых параметров транзистора проводили путем измерения коэффициента шума в 50-омной линии монолитной интегральной схеме двухкаскадного малошумящего усилителя (МШУ). Измерения проводили на пластине, на зондовой станции Cascade Microtech Summit 12000 с использованием измерителя коэффициента шума Agilent N8975A. МШУ выполнен по размерной обработке 0,15 мкм на подложке арсенида-галлия 100 мкм, напряжение питания 5 В, рабочий ток 30 мА. На рисунке 3 приведен результат измерения (пунктирная линия) малошумящего усилителя и результат электромагнитного моделирования топологии усилителя с подстановкой шумовой модели транзистора (сплошная линия). Различие результатов по коэффициенту шума не превышает 0,2 дБ, по коэффициенту усиления 1,5 дБ.

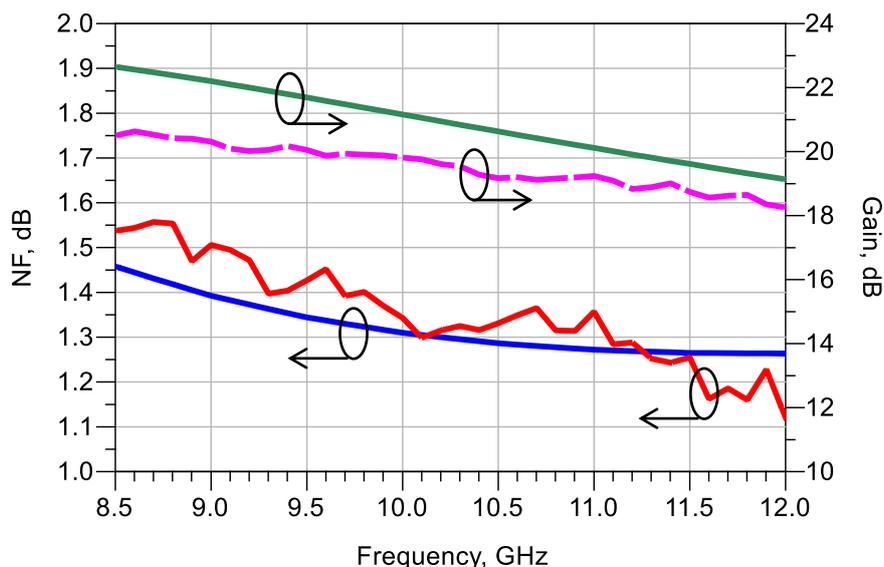


Рисунок 5. Зависимость коэффициента шума малошумящего усилителя от частоты

## 5. Заключение

С появлением современных систем повысилась скорость и точность измерений коэффициента шума и шумовых параметров, однако для каждого типа прибора, требуется индивидуальный подход по выбору методики и оборудования, для получения корректных результатов.

В результате были получены шумовые параметры серийных малошумящих транзисторов 3П3102-А,Б,В и 3П3107АН5. Верификация шумовой модели транзистора показала хорошее совпадение с измеренными результатами малошумящего усилителя.

### Список литературы

1. Gonzalez G. Microwave transistor amplifiers: analysis and design / G. Gonzalez. — 2nd ed. — 1996.
2. Крутов А. В. Серия малошумящих GaAs PHEMT транзисторов 3П3102 / А. В. Крутов, Н. А. Кувшинова, А. С. Ребров // Материалы 2-ой всероссийской научно-технической конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ». — Санкт-Петербург. — 2013.
3. Крутов А. В. Малошумящий GaAs PHEMT транзистор с повышенным динамическим диапазоном 3П3107 / А. В. Крутов, Н. А. Кувшинова, А. С. Ребров // Материалы 7-ой международной конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ». — Санкт-Петербург — 2016. — С. 96—97.
4. Rothe H. Theory of Noisy Fourpoles / H. Rothe // Proceedings of the IRE — Vol.44 — 1956 — P. 811-818.
5. Fukui H. Design of Microwave GaAs MESFET's for Broad-Band Low-Noise-Amplifier / H. Fukui // IEEE Transactions On Microwave Theory and Techniques — Vol.7. — 1979. — P. 643-650.
6. Krutov A. V. An experimental extraction of GaAs and GaN PHEMT linear equivalent circuit and noise model / A. V. Krutov, A. S. Rebrov // 20th Int. Crimean Conf. Microwave & Telecommunication Technology (CriMiCo'2010). Sevastopol. — 2010. — P. 214—215.