

# Измерение частоты с помощью измерителя КСВН и ослабления

Э.Ю. Седышев, С.И. Федоров

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

**Аннотация:** статья посвящена настройке и измерению характеристик устройств СВЧ с активными элементами. При настройке данных устройств используется обычный индикатор КСВН и ОСЛАБЛЕНИЯ Р2-6\*. Штатный режим данного прибора включает в себя режим измерения АЧХ, но при определенных схемах включения данный комплекс может с достаточно высокой точностью измерять уровень генерации, шумовые компоненты и частоту сигнала.

**Ключевые слова:** индикатор КСВН и ослабления, пилообразный генератор, измерение частоты, генератор шума, микроволновые аттенюаторы.

## 1. Введение

Целью данной работы является создание методики синтеза и настройки устройств на активных элементах [1,2]. Широко известны в кругах инженеров измерительные комплексы серии Р2. Основное достоинство данных измерительных приборов в их простоте и надежности, на сегодняшний день известна линейка данных приборов до 100 ГГц. Сразу же отметим, что производство данных измерительных комплексов продолжается.

Наряду с цифровыми измерительными системами, данные комплексы имеют минимальный уровень цифровой обработки сигнала, что делает их работу в некоторых случаях незаменимой.

Вкратце работу комплекса можно описать несколькими предложениями: генератор пилообразного напряжения выдает требуемый наклон «пилы», которая управляет генератором СВЧ, последний в свою очередь генерирует линейную последовательность (в отличие от современных случайных трекинг-генераторов) частот, которые поступают в основной тракт. В каждый момент времени происходит детектирование сигнала двумя СВЧ-детекторами: до и после исследуемого устройства (так измеряется ослабление), при повороте второго направленного ответвителя структура позволяет измерять КСВН. Пилообразный генератор выдает сигнал в течении заданного времени от 80 мс до 1 секунды, таким образом можно оценить время генерации той или иной частоты. Это время синхронизировано с разверткой луча на экране, поэтому луч на экране индикатора проходит всю частотную шкалу (линейно) за время от 80 мс до 1 секунды, каждая точка по оси X соответствует своей частоте. Предусмотрено также ручное управление разверткой (РПЧ). Генератор качающейся частоты выполнен на транзисторе и непрерывно, и последовательно выдает в тракт качающуюся частоту. Свипирование происходит тем точнее, чем линейнее выход пилообразного напряжения.

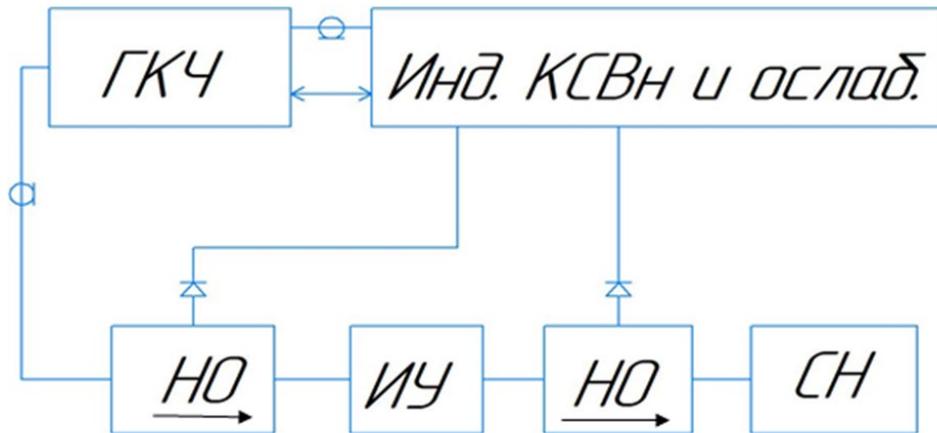
## 2. Описание схемы измерений

Структурная схема комплекса представлена на рисунке 1, в данном случае комплекс используется для измерения характеристик фильтра.

С генератора качающейся частоты СВЧ сигнал поступает в тракт, между направленными ответвителями установлено исследуемое устройство. До него сигнал

детектируется первым детектором, и информация о уровне сигнала передается в индикатор, сигнал подвергается обработке устройством и поступает на второй направленный ответвитель, часть сигнала ответвляется и детектируется, после этого информация об уровне поступает на индикатор, где сигналы детекторов сравниваются.

Современные комплексы серии Р2-5(6)\* оснащены *блоками цифровых меток (БЦМ)*, которые позволяют оператору, совмещая метку с точкой на экране, оценивать частоту данного участка АЧХ. Стабильность данных меток высока и при сравнении их с эталонными генераторами можно сделать вывод о высокой точности (единицы МГц) устройства БЦМ.

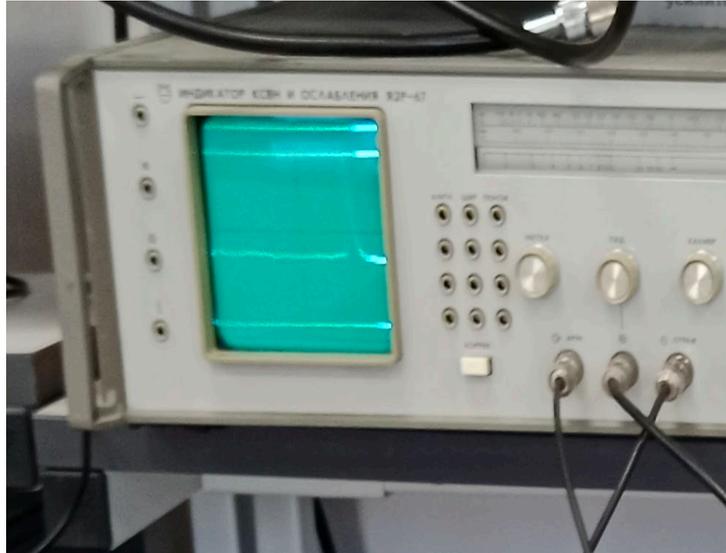


**Рисунок 1.** Структурная схема измерения ослабления (ГКЧ - генератор качающейся частоты, НО –направленный ответвитель, ИУ –исследуемое устройство, СН –согласованная нагрузка).



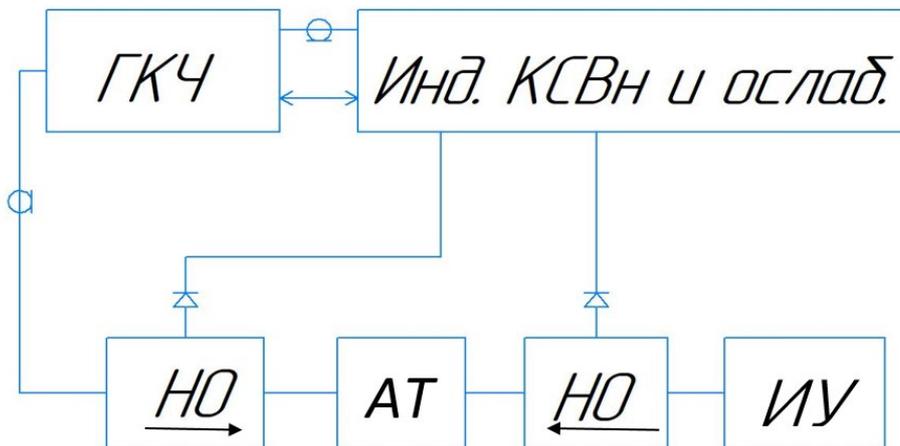
**Рисунок 2.** Общий вид стенда при измерении АЧХ фильтра.

Амплитудно-частотная характеристика устройства отображена на экране, где каждой точке по оси X соответствует конечная частота, наиболее точные результаты можно получить, используя ручное качание частоты.



**Рисунок 3.** АЧХ узкополосного ППФ типа «иглолка».

Измерение КСВН производится, как уже говорилось выше, поворотом второго направленного ответвителя, в этом случае второй канал индикатора фиксирует и обрабатывает отраженную от нагрузки волну.



**Рисунок 4.** Структурная схема измерения КСВН (АТ-аттенуатор, ИУ – исследуемое устройство).

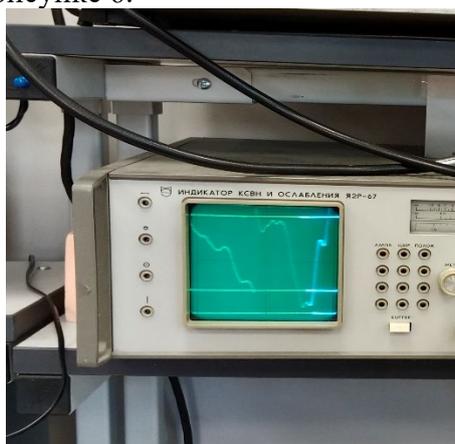
Настроим наш прибор для измерения КСВН, то есть развернем второй, НО на 180 градусов. Структурная схема измерений с некоторыми изменениями представлена на рисунке 4. Предлагаемая нами структура дополнена плавным аттенуатором.

Схема измерений для настройки активных устройств малой мощности выглядит следующим образом: вместо исследуемой нагрузки мы устанавливаем дополнительный регулируемый аттенуатор порядка 0...30 дБ (правильный выбор данного элемента полностью определяет результат исследования), а вместо исследуемого устройства мы подключаем выход активного устройства (генератор, смеситель, усилитель) [3,4]. Структурная схема измерений и стенд представлены на рисунках 4 и 5.



**Рисунок 5.** Структурная схема измерителя при работе с генератором.

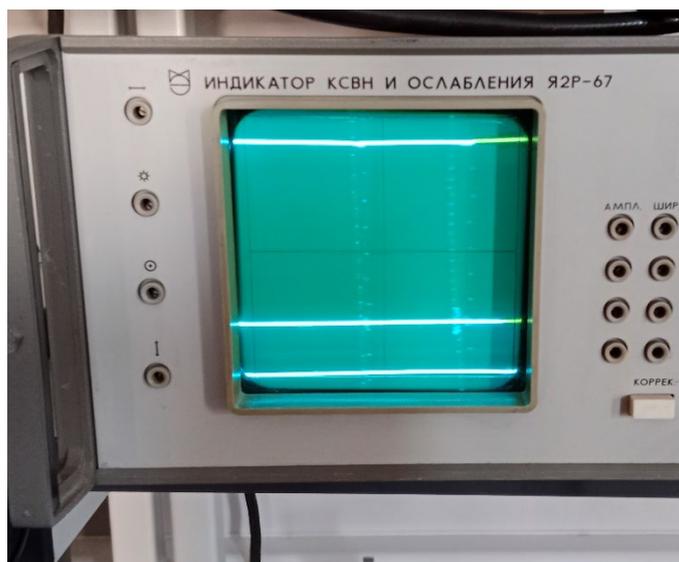
При работе с активными устройствами в режиме измерения КСВН точки генерации (усиления) могут быть ассоциированы с идеальным КСВН (провалы на осциллограмме), так как в тракт отраженного канала на этих частотах поступает дополнительная мощность от внешнего источника. АЧХ (если ее можно так назвать) устройства приведена на рисунке 6.



**Рисунок 6.** Провалы на осциллограмме в точках генерации внешнего устройства (генератора X).

С изменением номинала аттенюатора можно добиться довольно точных значений по частоте, тогда осциллограмма колебаний будет выглядеть, как показано на рисунке 7. при этом надо помнить, что синфазность колебаний собственного генератора и внешнего источника отсутствует. Если внешний источник обладает малым фазовым шумом, то на экране осциллограммы «пик» частоты будет то положительным, то отрицательным [2].

При стабильности генератора «хуже», чем эталонного в приборе, пик частоты направлен обычно вниз.



**Рисунок 7.** Определение частоты с высокой точностью ( $\pm 5$  МГц)

Отметим, что стоимость комплекса Р2-5(6)\* в десятки раз меньше, чем современных цифровых анализаторов и устройств измерения частот, но в силу ряда конструктивных особенностей измерение частоты такими косвенными методами дает порой более точный результат, чем результаты измерений после многократного переноса частоты смесителями [2,5].

Проверка данного метода группой синтеза СВЧ устройств СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича позволяет судить о том, что точность метода в X-диапазоне составляет доли процента.

#### Список литературы:

1. Объемные интегральные схемы СВЧ. Гвоздев В.И., Нефедов Е.И. – 1985.
2. Фальковский О.И. Техническая электродинамика: учебник. – СПб: Лань, 2009. – 432 с.
3. СВЧ Цепи. Анализ и автоматизированное проектирование / В. Фуско / перевод с англ. А.А. Вольман, А.Д. Муравцова, - М. – Радио и Связь, - 1990.
4. Новые функциональные элементы схем СВЧ / Э.Ю. Седышев / 60 НТК ППС СПбГУТ, - СПб. – СПбГУТ, - 2008.
5. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ : учебник для студентов вузов по специальности «Электронные приборы»: Под ред. Девяткова Н.Д. М.: Высшая школа, 1970. Т. 1. – 440 с.