Измеритель коэффициента передачи и КСВН
с использованием осциллографа.

Идея такого прибора далеко не нова. И многократно описывалась в различных радиолюбительских журналах.

Я так же пошел по пути классической схемы построения таких аналоговых панорам. Единственное , что я старался сделать по своему – это модульность конструкции. Каждый элемент измерительного тракта может быть отдельно использован и в других измерительных целях. Такая унификация больше подходит для радиолюбительского использования , что подразумевает отсутствие требований к скорости измерения и сервису прибора.
Соответственно, набор детекторов среднеквадратичного значения и логарифмические детекторы могут быть использованы для настройки СВЧ аппаратуры с индикацией на обычный мультиметр. Так же можно использовать и СВЧ мост (для измерения КСВН по точкам).

Вначале, около 3 лет назад, я собрал простой ГКЧ на 555 таймере . Использовал ГУН CRYSTEK 1000-1500 МГц и набор простейших детекторов и мостов для измерения КСВН. Его схема показана на рисунке 1.

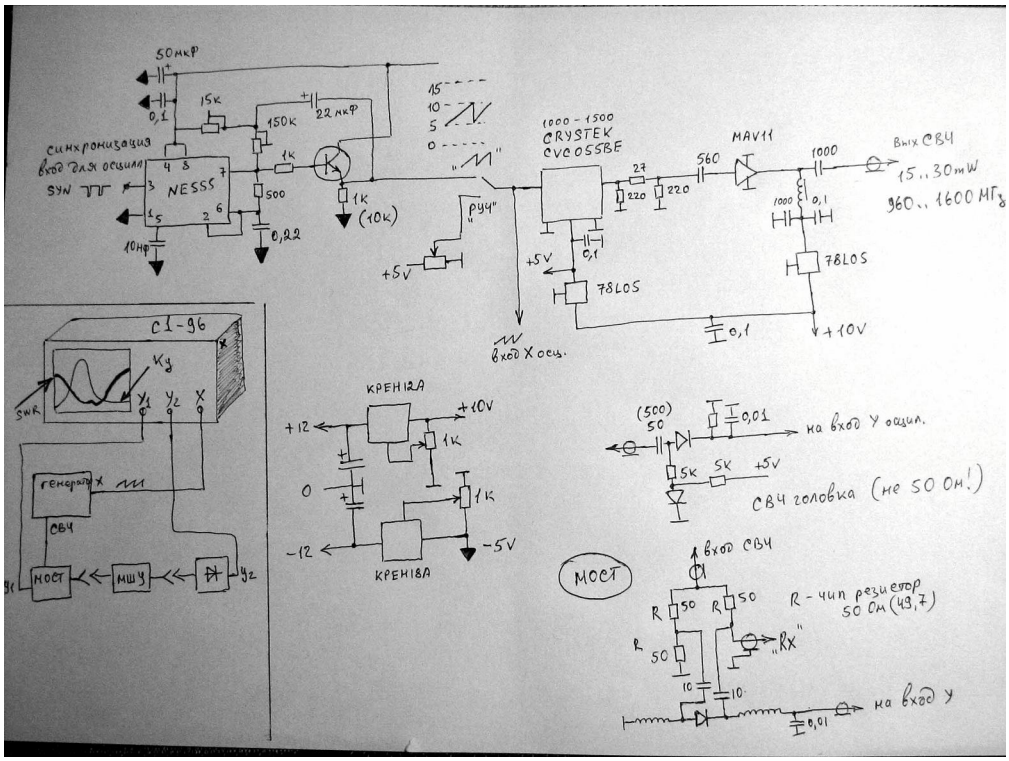


Рисунок 1.

Практическая реализация показана в макетном варианте на рисунке 2.

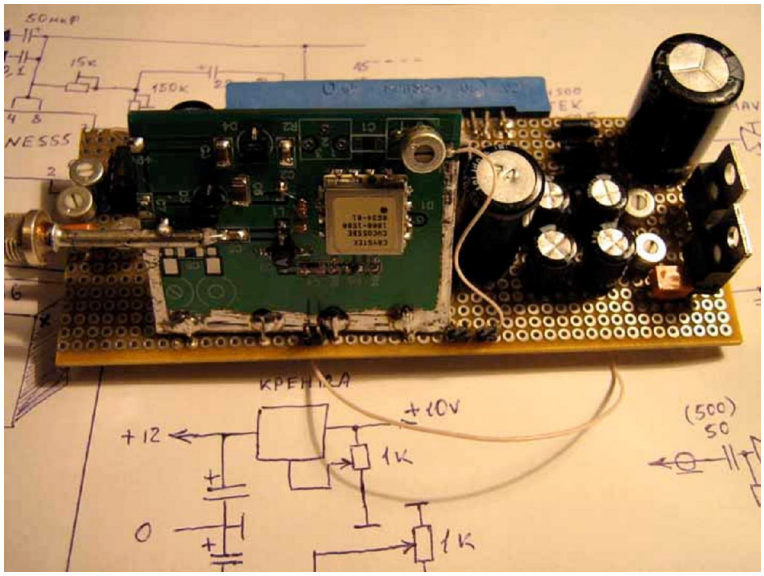


Рисунок 2.

Первые эксперименты при измерении показали, что при значительной простоте схемы , можно получить вполне приемлемые результаты измерения СВЧ узлов.

Но были и проблемы , которые простыми схемами не решались :

- стабилизация уровня “падающей мощности” (термин из ИЭ на панорамы РК2-47 и им подобных), которая решается или с помощью ARM , или более сложными способами;
- калибровка по частоте;
- отсутствие меток;
- не совсем очевидные методики калибровки по коэффициенту передачи и КСВН.

Данная “игрушка” была испытана при измерении различных фильтров и антенны на 1296 МГц. Назвать индикатором это устройство уже было можно.

Дальнейшей эволюцией идеи создания простого и дешевого измерителя коэффициента передачи и КСВН стал более совершенный комплект генератора пилообразного напряжения (ГПН) , логарифмического детектора, набора ГУН от 900 до 4200 МГц, более совершенного моста для измерения КСВН. Структурная схема измерителя показана на рисунке 3.

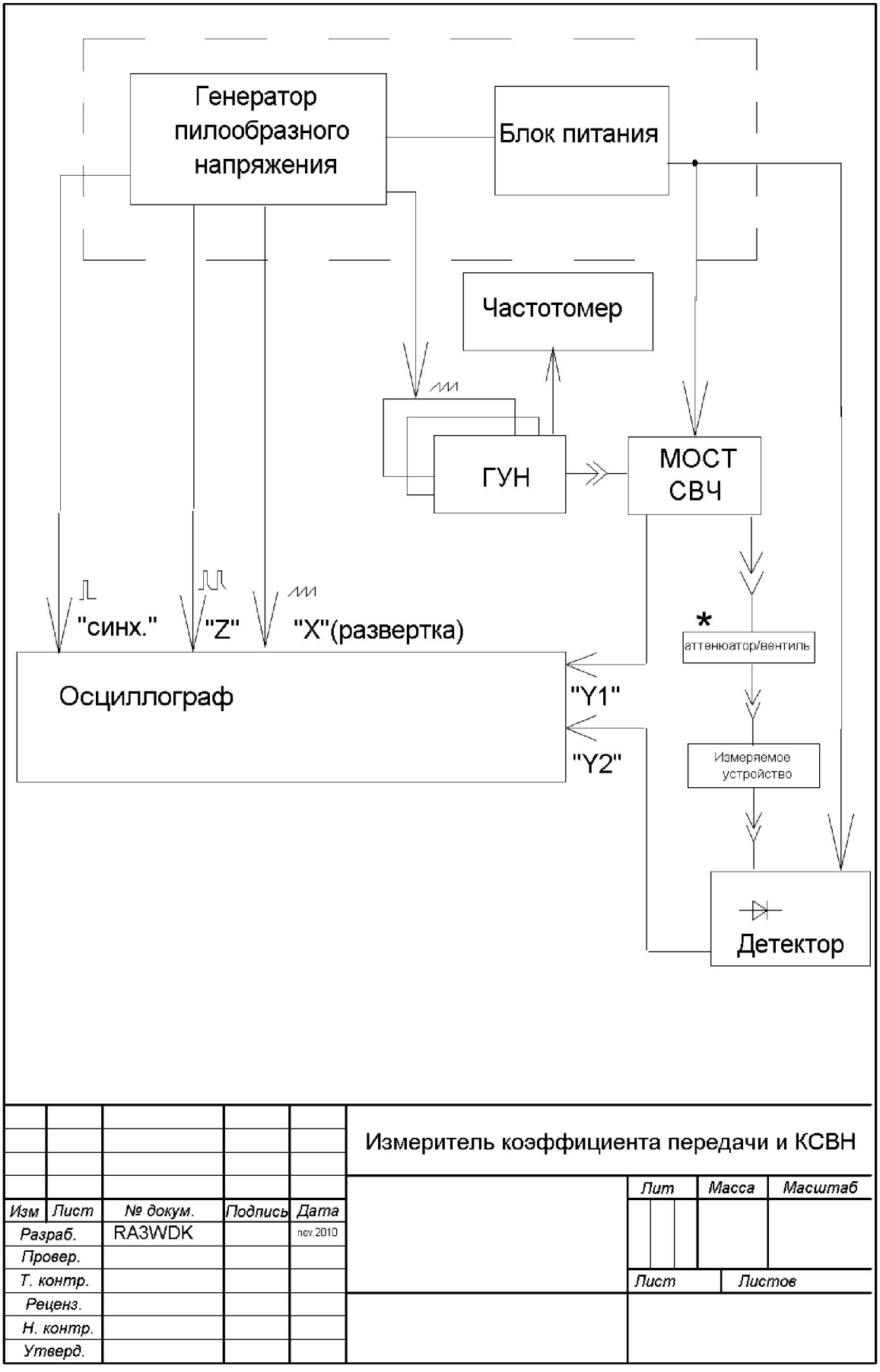

Генератор пилообразного напряжения
Блок питания
Частотомер
ГУН
МОСТ СВЧ
"синх."
"Z"
"X"(развертка)
*
аттенюатор/вентиль
Осциллограф
"Y1"
"Y2"
Измеряемое устройство
Детектор
Измеритель коэффициента передачи и КСВН
Изм
Лист
№ докум.
Подпись
Дата
Разраб.
RA3WDK
nov.2010
Провер.
Т. контр.
Реценз.
Н. контр.
Утверд.
Лит
Масса
Масштаб
Лист
Листов

Рисунок 3.

Рисунок 3 мало чем отличается от рисунка 1. Добавлен частотомер FC250 (до 200 МГц) с прескалером μPB1505 (700 - 4700 МГц), аттенюатор , набор вентилей и полуоктавных ФНЧ для подавления гармоник ГУН. Как показали экспериментальные исследования применение фильтров ФНЧ не сильно сказывается на точности измерения КСВН узкополосных устройств, но может повлиять на измерение активных устройств с широкой полосой. Применение вентилей всегда желательно при измерении коэффициента передачи (но так же не являются обязательными).

Работа с прибором требует понимания процессов, протекающих в собранной схеме, а именно, перед подачей напряжения на определенный ГУН , необходимо убедиться , что подстроечный резистор на плате ГУН позволяет использовать полный размах пилообразного напряжения на его управляющем входе, само пилообразное напряжение не ограничено сверху – что позволяет получить полную развертку на экране.

Для **ИЗМЕРЕНИЯ КСВН** необходимо согласно рисунка 3, собрать схему измерения, выход моста для измерения КСВН подключить на вход Y осциллографа . С помощью регулировки органами управления ГКЧ установить начальную частоту, конечную частоту, частоту метки, используя частотомер. Для более точного измерения АЧХ можно нанести прозрачную пленку (ламинат) на экран осциллографа и маркером нанести реперные частотные метки.

Далее, необходимо накрутить калиброванные нагрузки на входы Zx и Zref (я использую полностью симметричные мосты для измерения КСВН). С помощью ручки вертикального перемещения луча установить линию (она, скорее всего будет наклонной при измерении в широкой полосе) ближе к нижней части экрана. Далее, необходимо накрутить нагрузку с КСВН 5-6 (не имеет значения) на вход Zx и ручкой усиления по лучу Y осциллографа установить линию ближе к верхней части экрана.

При необходимости, можно накручивая различные заранее измеренные нагрузки можно маркером на пленке нанести линии, соответствующие характеристикам КСВН нагрузок.

Вместо нагрузки можно присоединять измеряемое устройство.

При измерении антенн УКВ диапазона, рекомендуется устанавливать полосу качания ГКЧ не менее десяти предполагаемых полос пропускания антенны, это ускоряет процесс настройки , за счет расширения обзора и возможности оценки поведения характеристики антенны в полосе частот.

При желании, можно воспользоваться ручкой ручного обзора генератора ГКЧ , она согласована с разверткой при условии , что на вход X осциллографа подано пилообразное напряжение с ГКЧ. (я часто пользовался такой функцией на приборе РК2-47).

Для **ИЗМЕРЕНИЯ коэффициента передачи** необходимо согласно рисунка 3, собрать схему измерения, выход детектора подключить на вход Y осциллографа. С помощью регулировки органами управления ГКЧ установить начальную частоту, конечную частоту, частоту метки, используя частотомер. Для более точного измерения АЧХ можно нанести прозрачную пленку (ламинат) на экран осциллографа и маркером нанести реперные частотные метки.

Во многом калибровка для измерения коэффициента передачи аналогична калибровке для измерения КСВН. Используя калиброванный переключаемый аттенюатор (или набор аттенюаторов) нанести на пленку линии, соответствующие ослаблению аттенюатора. Причем, если предусматривается измерение активного устройства, имеющего усиление, калибровку желательно провести от некоторого среднего уровня аттенюатора вверх и вниз экрана осциллографа для удобства индикации АЧХ.

Если есть возможность использовать двух лучевой осциллограф – появляется возможность наблюдать обе характеристики одновременно !

БЛОК ГПН

Первой идеей доработки ГПН было пойти по пути доработки ГПН на 555 таймере. Форма пилообразного напряжения была хорошей за счет обратной связи для простейшего генератора тока, я с помощью программы MicroCap сделал несложную схему по установке полосы качания и центральной частоты качания ГПН, но неудобство использования и калибровки по частоте , в конечном итоге, привели меня к статье “Устройство управления ГКЧ” В.Жук , ж. Радио 6/97. Далее, я изучил его другие схемы для измерений. Все было изобретено до меня ☺

Я немного доработал схему , добавил управление меткой с помощью входа “Z” осциллографа, формирование пилообразного напряжения для входа “X” осциллографа с возможностью растяжки развертки и перевел схему на современную элементную базу.

Схема показана на рисунке 4. На DA1.1 (LM358) собран повторитель напряжения , снимаемого с движка резистора , которым устанавливается нижняя частота качания.

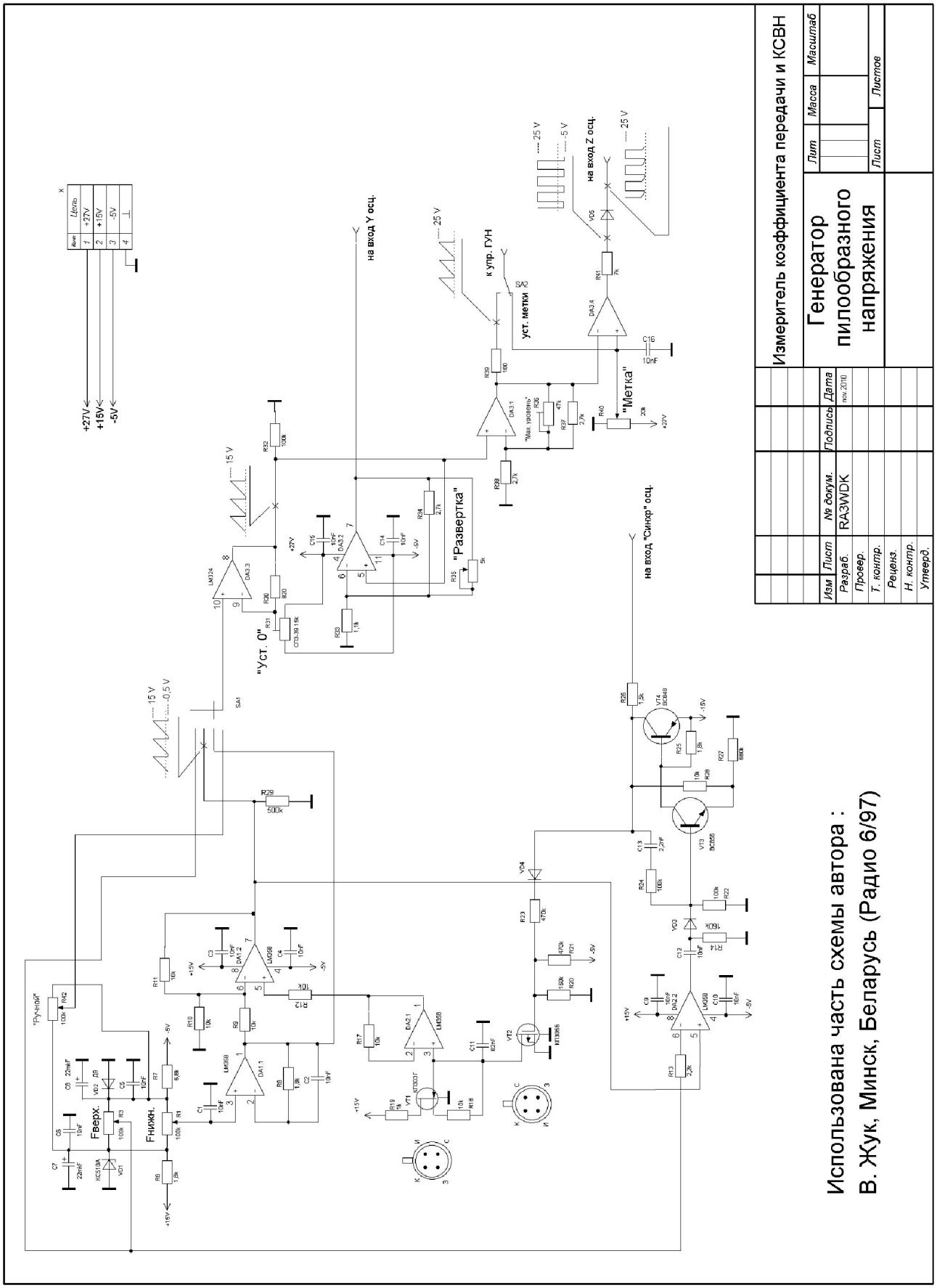

Измеритель коэффициента передачи и КСВН
Генератор пилообразного напряжения
Использована часть схемы автора :
В. Жук, Минск, Беларусь (Радио 6/97)
"Развертка"
"Уст. 0"
"Метка"
уст. метки
к упр. ГУН
на вход Y осц.
на вход Z осц.
на вход "Синхр" осц.
+27V
+15V
-5V
Fверх.
Fнижн.

Рисунок 4.

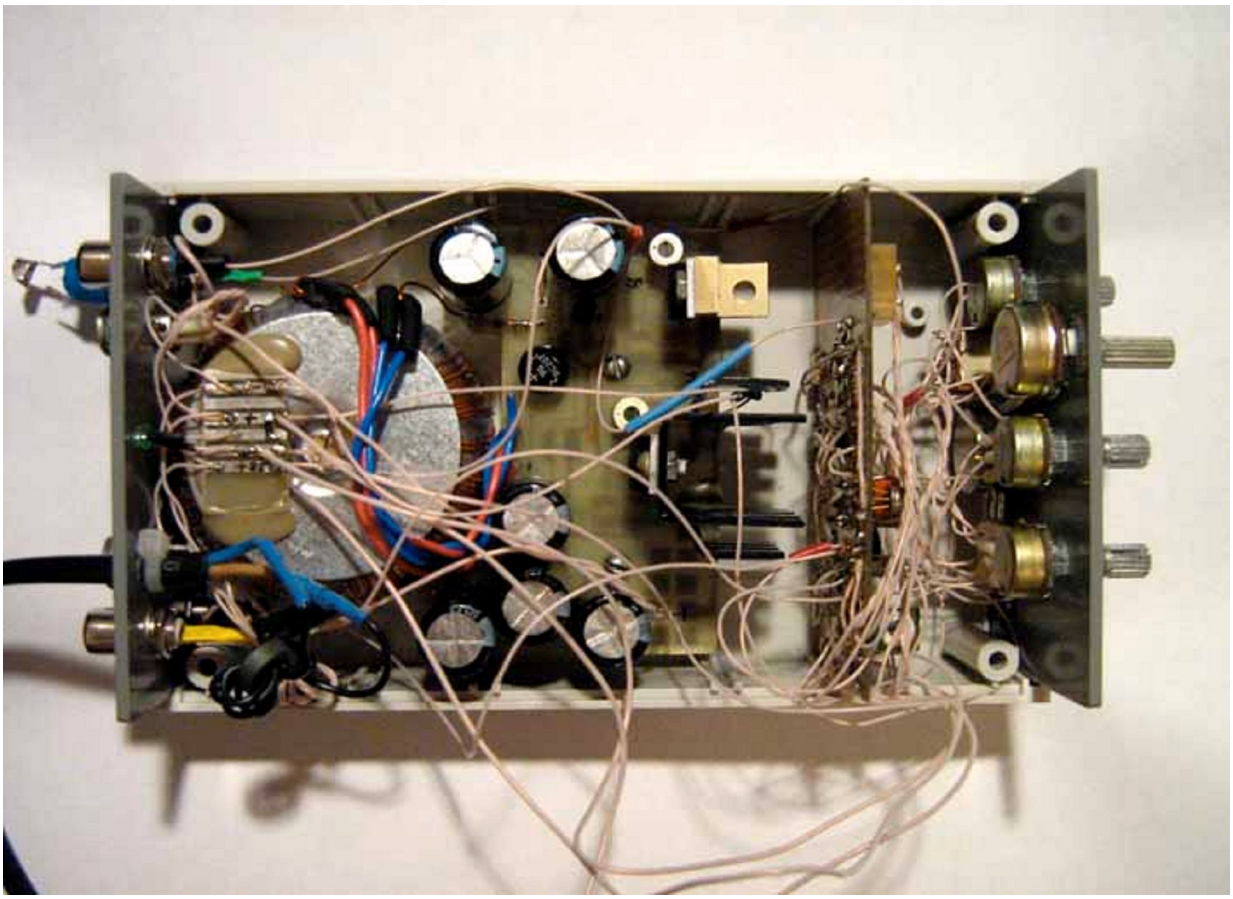
На DA1.2 собран сумматор напряжения с DA1.1 и пилообразного напряжения с выхода повторителя DA2.1. DA2.2 включен как компаратор, на неинвертирующий вход которого приходит пилообразный сигнал с выхода DA1.2 (с постоянной составляющей сдвига по частоте) , а на инвертирующий вход которого приходит сигнал с движка резистора, которым устанавливается верхняя частота качания ГПН. На выходе DA2.2 включена дифференцирующая цепочка C12 R14 , импульс от которой запускает одновибратор на транзисторах VT3-VT4 и открывает полевой транзистор с изолированным затвором VT2, который разряжает, задающий частоту ГПН, конденсатор C11. На VT1 собран генератор тока.

Переключатель SA1 позволяет скоммутировать напряжения, соответствующие нижней, верхней частоте качания, пилообразное напряжение и напряжение для ручного управления ГУН. Этот сервис позволяет с помощью частотомера установить частоты начала и конца качания, а так же нанести реперные точки на прозрачный ламинат, накладываемый на экран осциллографа (частотные метки).

На DA3.3 собран сумматор для установки нижней границы пилообразного напряжения в ноль. На DA3.2 собран усилитель развертки для входа “X” осциллографа (не на всех осциллографах есть широкий сервис по работе с входом горизонтальной развертки). С помощью резистора R35 можно регулировать растяжку картинки на экране. На DA3.1 собран усилитель пилообразного напряжения для ГУН, с помощью резистора R35 устанавливается верхняя граница усиления для неискаженного (срезанного сверху, вследствие ограничения ОУ). На DA3.4 собран компаратор для реализации метки с использованием входа “Z” осциллографа. Так же, думал использовать дифференцирующую цепь , но пришел к выводу , что двигающаяся по характеристике на экране яркая линия более наглядная и более точно индицирует частоту ГУН.

Блок питания обеспечивает стабильное напряжение питания +15 В , +27 В , -12в . Блок ГПН и питания обеспечивают питание всех активных узлов измерителя. С дополнительных разъемов питание может подаваться и на исследуемое устройство или генератор шума.

Фото ГПН и блока питания внутри :



После изготовления ГПН необходимо убедиться в линейности и амплитуде пилообразного напряжения. Единственный недостаток данной схемы – это изменяющаяся частота колебаний , при изменении границ качания частоты, но так как установка этих пределов происходит при калибровке измерительной схемы , то и неудобств этот недостаток.
При максимальной полосе качания должен получится импульс линейно изменяемого напряжения длительностью около 5 мс. При уменьшении полосы до разумного предела – около 300 мкс. Этой длительности вполне достаточно для самодельных детекторов.

Линейность нарастания напряжения вполне достаточная , на рисунке 5 и 6 показаны осциллограммы с максимальной и минимальной полосой качания ГПН (5 мс и 300 мкс)

ЛОГАРИФМИЧЕСКИЙ ДЕТЕКТОР

Логарифмический детектор выполнен по традиционной схеме на AD8307, рисунок 7. **Необходимо учитывать факторы, влияющие на скорость нарастания напряжения на выходе логарифмического детектора ! Это важно!** Импульсная характеристика детектора влияет на точность индикации АЧХ. Для любительских целей можно ограничиться импульсом с неискаженным фронтом и неискаженной амплитудой с отношением 1:50(100) длительности импульса к минимальной длительности развертки ГПН.

Масштабирующий усилитель на LM368 имеет коэффициент передачи равным пяти. Входные конденсаторы составлены из двух : 1000 пФ и 56 пФ. Чип резистор 51 Ом, установленный вблизи входного SMA разъема, позволяет достичь приемлемого КСВН до 500 МГц.

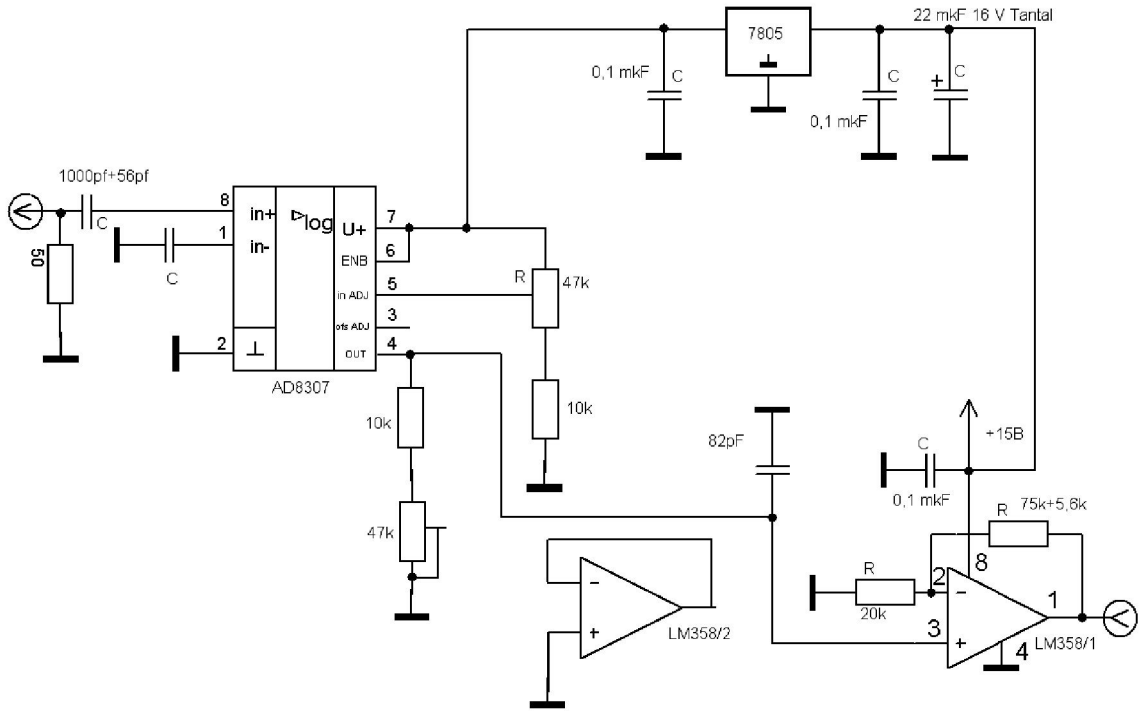
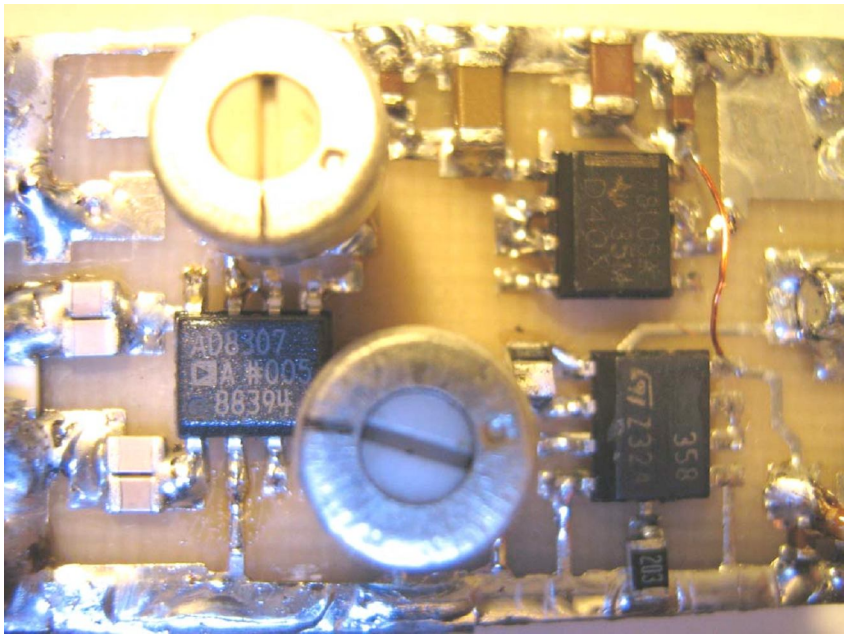


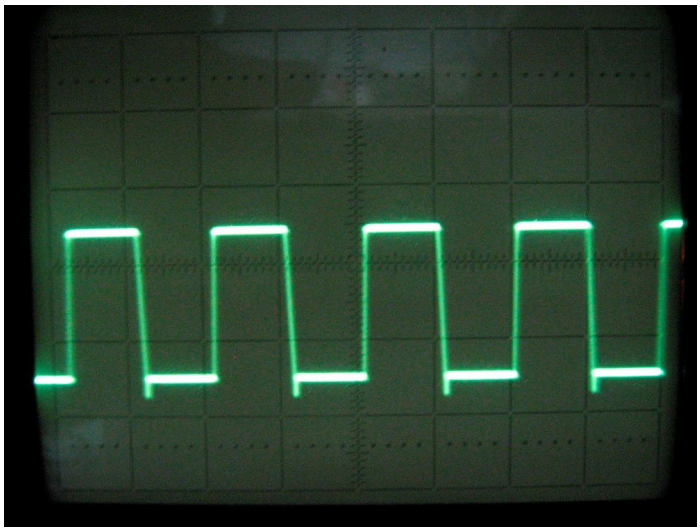
Рисунок 7

Реализация логарифмического детектора показана на фото.

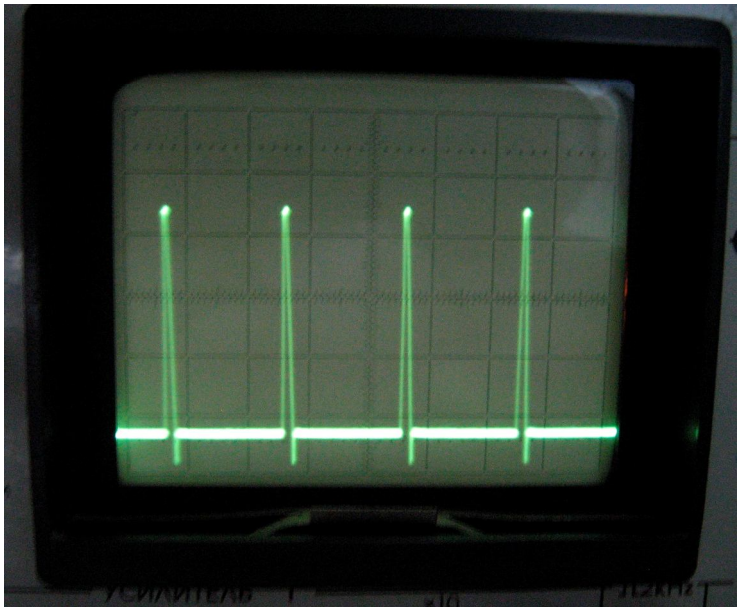


Емкость в 82 пф позволяет пропускать неискаженные импульсы до 8 мкс.Этого вполне достаточно для отсутствия искажений при индикации АЧХ.Для проверки импульсной характеристики используется любой ВЧ генератор с возможностью амплитудной импульсной модуляции (Pulse).

При установке длительности импульса 10 мкс и периода 20 мкс (меандр), на экране осциллографа после детектирования мы должны увидеть осциллограмму, показанную на фото.



Для имитации режима работы ГПН с минимальной полосой качания 300 мкс можно установить период импульсов на генераторе 100 мкс и длительность импульса 5-8 мкс . Будет видно , что уменьшение длительности импульса после определенного предела начинает уменьшать амплитудный отклик на осциллографе . Вот почему нельзя частоту ГПН повышать выше разумного предела. Этот же эффект наблюдается на приборе РК2-47(там реализована регулировка скорости развертки. На следующем фото видно, что у нас все в порядке , и при минимальной полосе обзора импульс не изменяет амплитуду и искажается в допустимых пределах.



Характеристика КСВН показана на рисунке 8. Видно, что на 1296 МГц КСВН равен 3 , но детектор можно применять и на этой частоте с аттенюатором, ведь проводится калибровка тракта аттенюатором и наносятся метки на осциллографе. Как показал эксперимент , погрешность измерения уровня на частоте 1296 МГц с помощью AD8307 составляет не более 20% в динамическом диапазоне до 40-50 дб , что вполне приемлемо для настройки фильтров и трансвертеров этого диапазона.

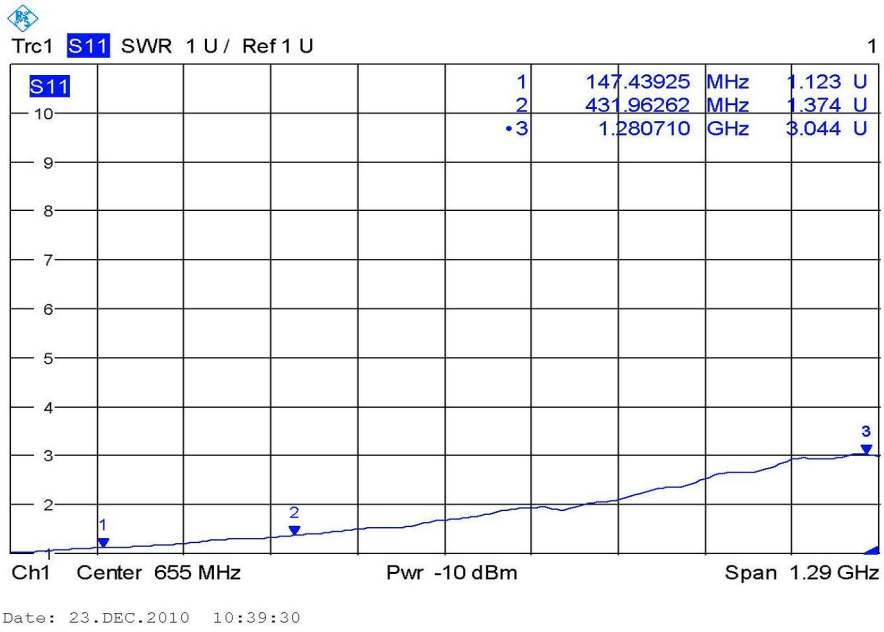
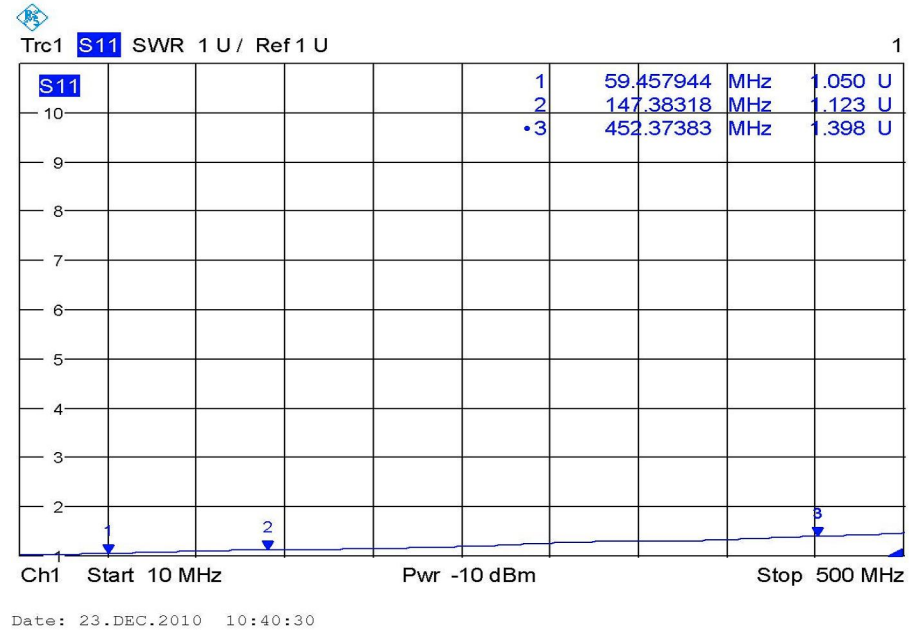


Рисунок 8.

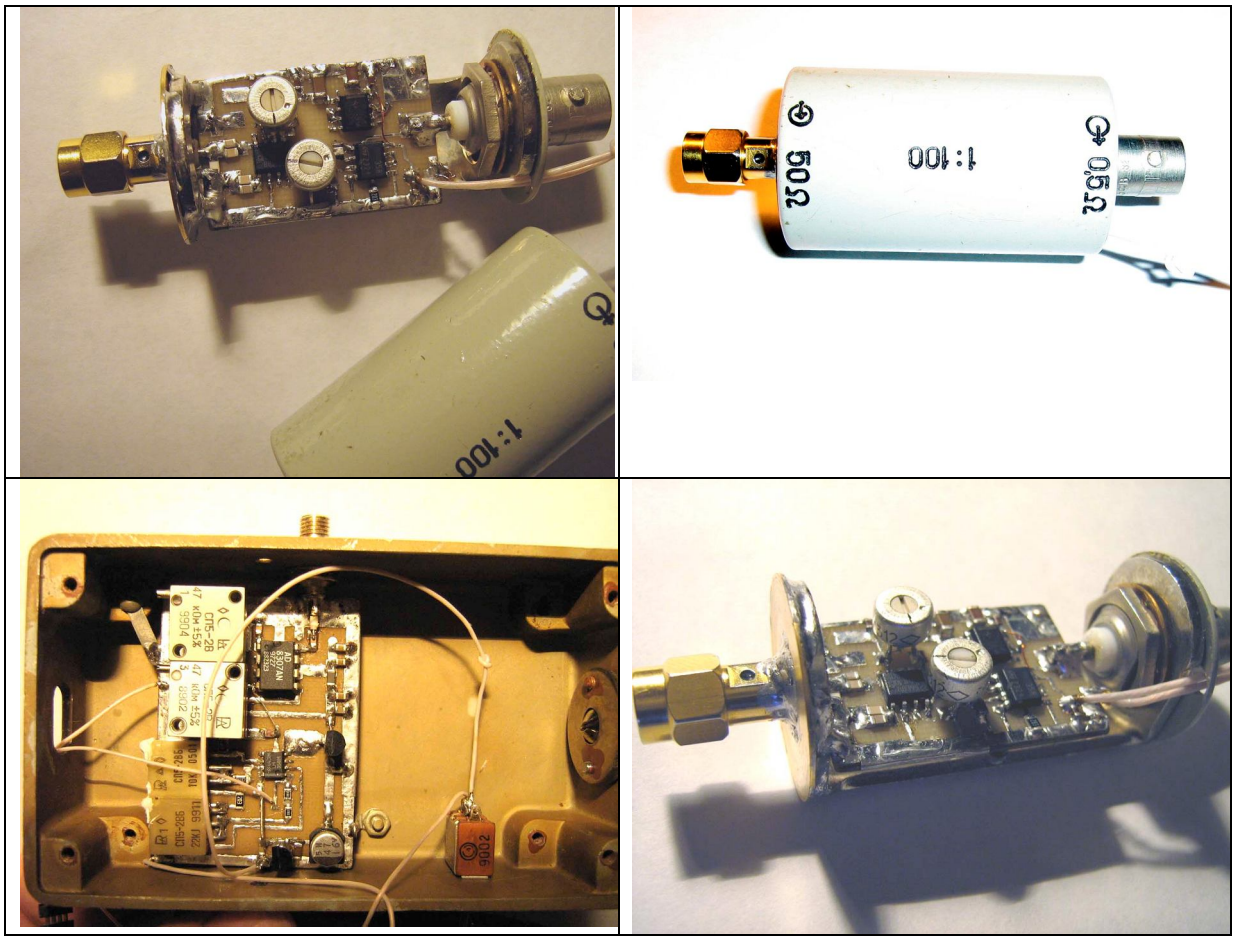
На рисунке 9 показана характеристика КСВН до 500 МГц, видно, что можно в этом диапазоне аттенюатор на входе детектора не использовать



.

Рисунок 9.

Ниже на фото показаны различные способы реализации логарифмического детектора.



Для работы в диапазоне частот выше 1300 МГц необходимо применять более высокочастотные логарифмические детекторы (AD8313 и AD8317). Инверсные характеристики некоторых типов детекторов легко преобразуются с помощью инвертора на LM358.

АМПЛИТУДНЫЙ ДЕТЕКТОР СВЧ

Для наблюдения АЧХ фильтров и КСВН в линейном масштабе используется амплитудный детектор. Можно использовать схему из статьи “Устройство управления ГКЧ” В.Жук , ж. Радио 6/97 . Автор применил классический измерительный усилитель на двух ОУ.

ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ НАБОРА ГУН-ов

В настоящее время целесообразно использовать ГУН промышленного производства на частоты свыше 500 МГц. Они относительно недороги и их характеристики вполне удовлетворяют нашим требованиям. Однако у современных ГУН с перекрытием по частоте более октавы есть существенный недостаток – значительное изменение амплитуды в рабочем диапазоне частот.

К примеру , я использую ГУНы фирмы Crystek и Synergy (DCMO150320-5, DCMO90220-5, DCMO250512-5) . На рисунке 10 показана типичная характеристика выходного уровня мощности от частоты. Мощность меняется на 5-6 дб !

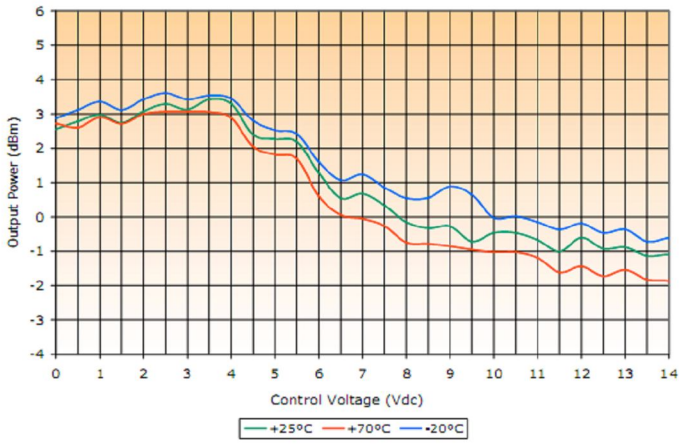
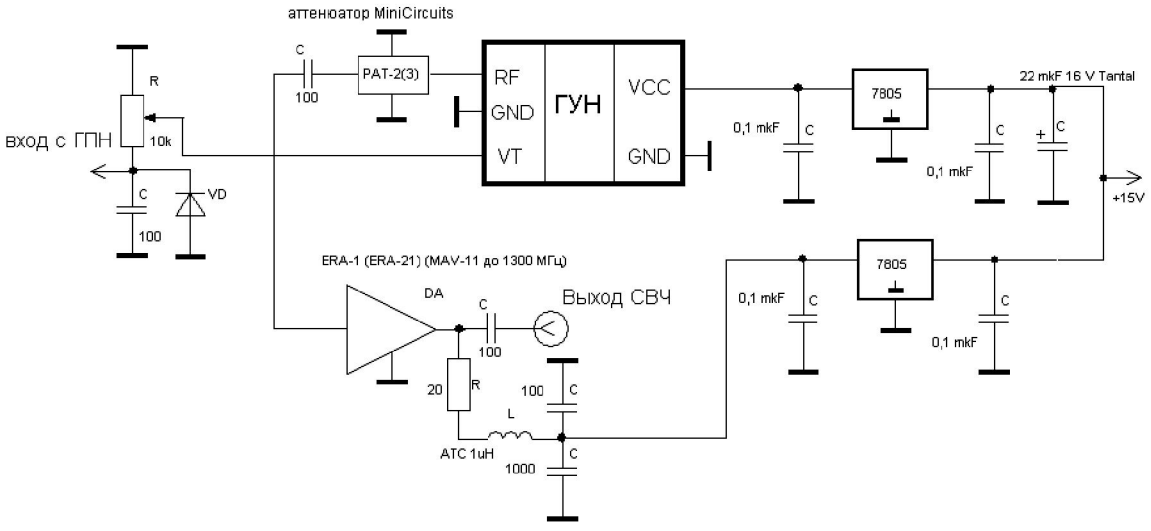


Рисунок 10.

Для устранения влияния измерения выходной мощности можно пойти несколькими путями : применение АРМ (как к РК2-47 и др.) или различных усилителей с АРУ или усилителей с насыщением по уровню.

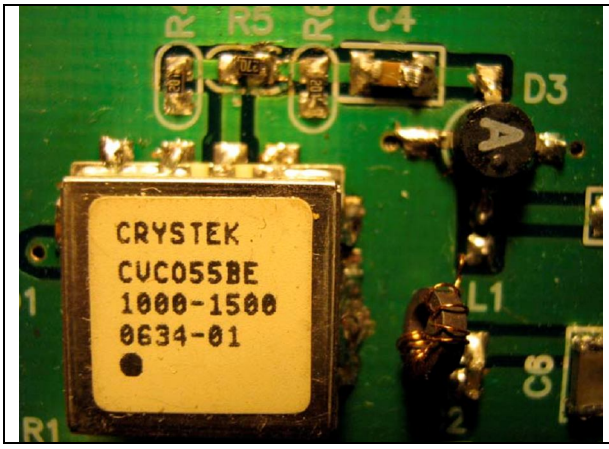
Я не стал усложнять схему, поэтому при калибровке в широкой полосе характеристика получается наклонной по оси Y.

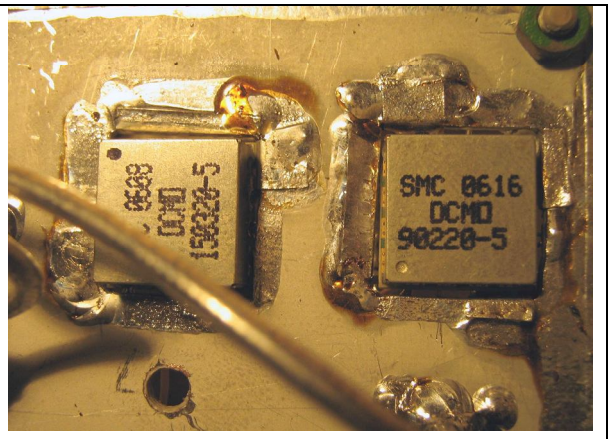
Генератор на ГУН особенностей не имеет, вся информация по характеристикам ГУН взята из даташита. Построечный резистор и цепь защиты по управляющему входу установлены для масштабирования



Два стабилизатора необходимы для минимизации связи по питанию ГУН и MMIC, тем более , что MMIC может потреблять до 60-70 мА , а ГУН до 30 мА. Конструктивно генераторы могут располагаться в СВЧ корпусах с обычными требованиями к СВЧ монтажу . При работе с генераторами для увеличения развязки с измеряемым устройством желательно применять вентили типа ФВК-хх соответствующего диапазона.

При монтаже ГУНов можно устанавливать их согласно даташиту , а можно и в отверстие квадратной формы , главное условие – достигнуть приемлимого КСВН на верхней рабочей частоте ГУНа. Пример установки на фото.





ПРОДОЛЖЕНИЕ СЛЕДУЕТ…..