

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
“Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет “ЛЭТИ”
им. В.И. Ульянова (Ленина)” (СПбГЭТУ)

Кафедра теоретических основ радиотехники

А. А. Данилин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы по дисциплине

“ Основы метрологии и радиоизмерений”

(электронный вариант)

ПОВЕРКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Санкт-Петербург

2026 г.

6. ПОВЕРКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

В лабораторной работе изучаются устройство генераторов сигналов и принципы их применения в радиоизмерительной практике. Исследуются генераторы гармонических сигналов – низкочастотный (НЧ), высокочастотный (ВЧ) и генератор импульсов прямоугольной формы. Изучаются структурные схемы и назначение органов управления генераторов, методики контроля их параметров (поверки).

В состав лабораторной установки входят исследуемые генераторы: ГЗ-106 (НЧ), Г4-102А (ВЧ), Г5-54 (генератор импульсов), GFG -8219А (функциональный генератор сигналов сложной формы). При поверке используют вольтметр-мультиметр URE3 фирмы Rohde & Schwarz и частотомер Agilent 53181А, цифровой осциллограф АКПП-4131/1.

6.1. Принципы построения измерительных генераторов

Измерительные генераторы – источники образцовых (тестовых) сигналов. Они отличаются возможностью установки формы и параметров выходных сигналов с заданной точностью (нормируемыми метрологическими характеристиками).

Процедура контроля параметров измерительных генераторов и, в ряде случаев, их корректировки называется *поверкой*. Результатом поверки является аттестация прибора на соответствие его паспортному классу точности. Погрешность измерительной аппаратуры, используемой при поверке, не должна превышать 0,1...0,3 от допустимой погрешности контролируемого параметра.

Согласно ГОСТ 15069-86 измерительные генераторы делят по функциональному назначению на подгруппы:

Низкочастотные генераторы сигналов (подгруппа Г3) – источники гармонических (синусоидальных) колебаний низких частот (от десятков герц до сотен кГц...единиц МГц);

Высокочастотные генераторы сигналов (Г4) – приборы, вырабатывающие гармонические модулированные и немодулированные колебания высоких и сверхвысоких частот (от 0,1 МГц до десятков гигагерц);

Генераторы импульсов (Г5) – источники одиночных или периодических видеопульсов, обычно прямоугольной формы.

Генераторы сигналов специальной формы (Г6). Это функциональные генераторы низких и инфранизких частот, генераторы колоколообразных импульсов, генераторы сигналов случайной формы с нормируемыми статистическими параметрами (шумовые генераторы).

Генераторы сигналов произвольной формы с прямым цифровым синтезом сигнала (Direct Digital Synthesis – DDS)

Синтезаторы частоты на основе деления и умножения частоты опорного высокостабильного генератора.

Аналоговые измерительные генераторы гармонических сигналов (НЧ, ВЧ и СВЧ) перекрывают диапазон частот от единиц герц до десятков гигагерц. В генераторах ВЧ предусматривают возможность амплитудной (АМ), а в ряде приборов – частотной (ЧМ) и фазовой (ФМ) модуляций.

Основным блоком аналогового измерительного генератора гармонических колебаний, определяющим частоту и форму выходного сигнала, является задающий генератор. Он представляет собой автогенератор, включающий усилительный каскад и частотозависимую цепь с положительной обратной связью (ПОС) (рис. 6.1, а).

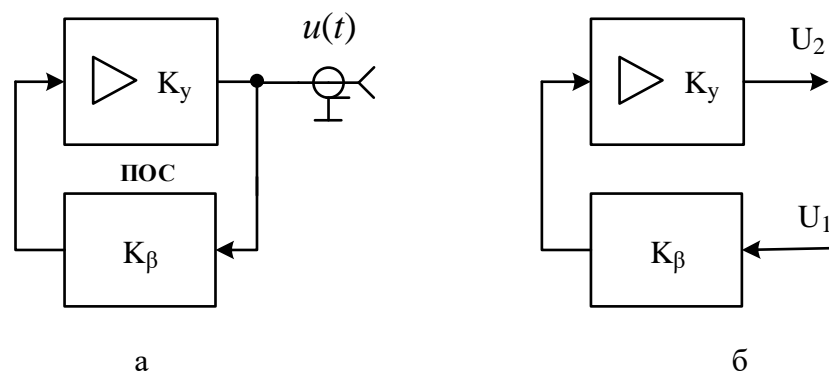


Рис. 6.1. Обобщенная схема автогенератора гармонических колебаний

Возможность генерации в системе с ПОС определяется выполнением двух условий – *баланса фаз* и *баланса амплитуд* в разомкнутой системе рис. 6.1, б. Баланс амплитуд заключается в следующем. На частоте генерации ω_2 произведение модулей коэффициентов передачи усилителя $K_y(\omega_2)$ и цепи обратной связи $K_\beta(\omega_2)$ должно быть равно единице $K_y(\omega_2) \cdot K_\beta(\omega_2) = 1$.

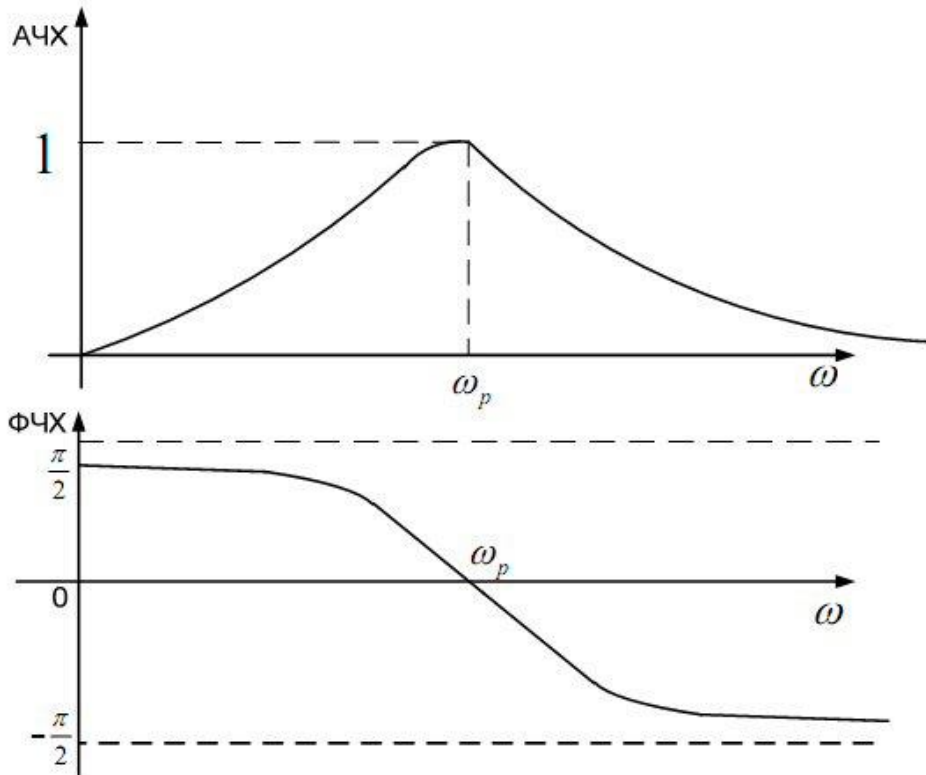


Рис. 6.1. АЧХ и ФЧХ частото задающего контура ПОС

Баланс фаз означает, что суммарный фазовый набег в усилителе и цепи ОС в разомкнутой системе на частоте генерации должен быть равен или кратен 2π :

$$\phi_y(\omega_z) + \phi_\beta(\omega_z) = 2\pi n, n = 0, 1, 2, \dots$$

Для генераторов гармонических колебаний используют резонансные цепи обратной связи (резонансный контур). Амплитудно– и фазочастотные характеристики контура показаны на рис. 6.2.

Баланс фаз выполняется на частоте, близкой к резонансной частоте контура. То есть частота генерации практически совпадает с частотой резонанса. Подбором коэффициента передачи усилителя компенсируют потери сигнала в цепи обратной связи (баланс амплитуд). Если в усилителе возникает нестабильный фазовый сдвиг (например, из-за влияния на активный элемент температуры, ухода питающего напряжения и пр.), то он компенсируется фазовым сдвигом в цепи ПОС. При линейной ФЧХ контура вблизи резонанса это приводит к смещению частоты генерации. Чем меньше наклон ФЧХ, тем больше это смещение. Для повышения стабильности ча-

стоты требуются контура с крутой ФЧХ, а, следовательно, с высокой добротностью.

В задающих генераторах ВЧ используют высокодобротные LC-контуры с переключаемыми катушками индуктивности и плавной перестройкой переменным конденсатором. Для получения высокой стабильности частоты применяют катушки индуктивности на керамических сердечниках, температурную стабилизацию контура, воздушные конденсаторы переменной емкости с малыми потерями. Однако на низких частотах параметры L и C элементов становятся неприемлемо большими (так как частота генерации обратно пропорциональна индуктивности и емкости $\omega_2 \approx \omega_p = 1/\sqrt{LC}$). Увеличивается активное сопротивление потерь катушки, больше сказывается влияние температуры на ее индуктивность, растут габариты контура. Это не позволяет получить высокую добротность LC-контура и, следовательно, необходимую стабильность частоты генератора. Поэтому на низких частотах в цепях ПОС используют фазосдвигающие RC-цепи различного вида. Переключение диапазонов осуществляют изменением величин резисторов, плавную перестройку – переменным конденсатором. Тем не менее, наклон ФЧХ такой цепи невелик и стабильность частоты RC-задающих генераторов обычно существенно хуже, чем у LC-генераторов ВЧ диапазона. В настоящее время для генерации сигналов низкой частоты применяют цифровые генераторы с прямым синтезом формы сигнала.

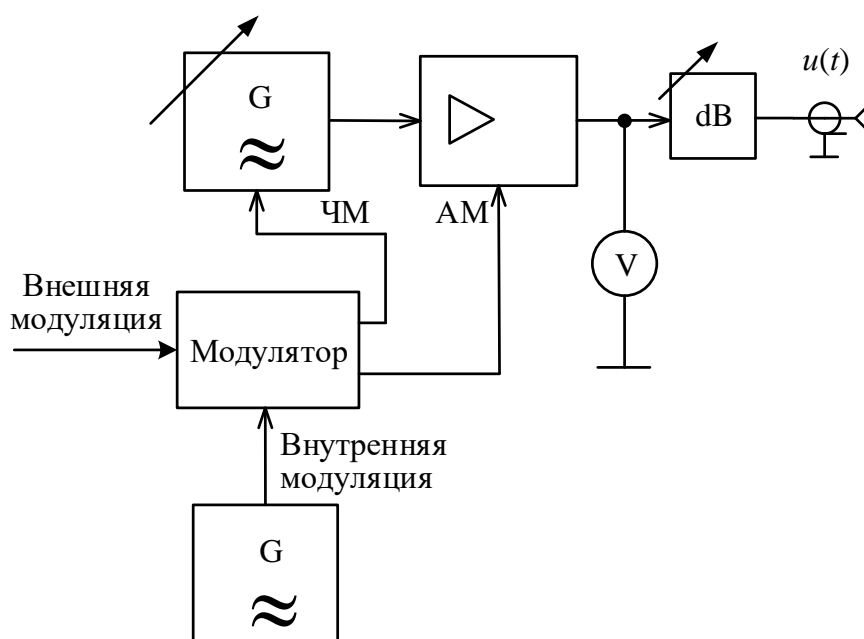


Рис. 6.3. Обобщенная структурная схема генератора ВЧ

Типовая структурная схема аналогового ВЧ генератора гармонических сигналов представлена на рис. 6.3.

Задающий генератор с LC-контуром определяет форму и частоту выходного сигнала. Усилитель предназначен для увеличения амплитуды сигнала до опорного уровня, по которому калибруют выходной аттенюатор. Усилитель обеспечивает заданную величину выходного сопротивления генератора и служит буферным блоком, исключая влияние внешней нагрузки на задающий генератор. Генераторы ВЧ обычно имеют одно постоянное значение выходного сопротивления (50 или 75 Ом).

В усилителе предусматривают плавную регулировку опорного уровня, который контролируют с помощью электронного вольтметра. В некоторых генераторах используют автоматическую систему стабилизации опорного уровня, при этом вольтметр не используется. Установку выходного напряжения генератора производят калиброванным аттенюатором (прецизионным пассивным делителем напряжения). Он позволяет уменьшить амплитуду выходного сигнала от величины опорного уровня до необходимого (иногда довольно малого – доли микровольта) значения. Градуировку уровня выходного сигнала измерительных генераторов делают при работе генератора на согласованную нагрузку (50, 75 или 600 Ом).

Для получения амплитудной модуляции в ВЧ генераторах используют управление коэффициентом передачи усилителя модулирующим напряжением. Это напряжение формируют в блоке модулятора. Он является усилителем внешнего сигнала модуляции или сигнала от внутреннего НЧ генератора синусоидальной формы (обычно 1000 Гц). В ряде генераторов предусмотрен режим частотной модуляции. В этом случае сигнал модуляции подают на задающий генератор. В контуре его устанавливают варикап – диод с электрически управляемой емкостью $p-n$ перехода. Он позволяет управлять частотой генерации напряжением модулирующего сигнала.

Генераторы НЧ строятся по такой же схеме, однако в них не предусматривают модуляцию сигнала. В задающем генераторе используют RC-цепи (мост Вина или фазосдвигающую RC-цепочку). На выходе ряда НЧ генераторов предусматривают согласующий трансформатор для получения нескольких стандартных значений выходного сопротивления (например, 5, 50, 600 Ом). С помощью трансформатора также реализуют симметричный относительно общего провода выход, что позволяет исследовать устройства

с дифференциальным входом. Атенюатор вместе с согласующим трансформатором образуют выходное устройство генератора НЧ.

К основным *эксплуатационным* параметрам генераторов гармонических сигналов относят диапазон перестройки по частоте и пределы регулирования среднеквадратического значения выходного напряжения, а также диапазон установки параметров модуляции.

Метрологическими параметрами являются пределы допускаемой погрешности: установки частоты, уровня сигнала и параметров модуляции. Погрешность установки частоты определяется неточностью градуировки, временной нестабильностью задающего генератора, дискретностью шкалы и конструкцией отсчетного устройства. Погрешность установки выходного напряжения определяется точностью контроля опорного уровня и погрешностью градуировки аттенюатора. Паспортная точность гарантируется только при работе генератора на активную нагрузку, сопротивление которой равно заданному выходному сопротивлению генератора $R_{\text{ВЫХ}}$. При работе с несогласованной нагрузкой ($R_{\text{Н}} \neq R_{\text{ВЫХ}}$) появляется систематическая относительная погрешность установки выходного напряжения, равная

$$\delta U = \frac{R_{\text{Н}} - R_{\text{ВЫХ}}}{R_{\text{Н}} + R_{\text{ВЫХ}}}. \quad (6.1)$$

Из формулы (6.1) следует, что при подключении к генератору высокой нагрузки (вольтметра, осциллографа) выходное напряжение будет в два раза выше ожидаемого значения.

Неидеальность формы синусоидального сигнала на выходе измерительного генератора проявляется в наличии высших гармонических составляющих, допустимый которых уровень нормируется коэффициентом гармоник выходного напряжения.

Генераторы импульсов общего применения предназначены, как правило, для получения видеоимпульсов прямоугольной формы. Они используются при исследовании импульсных и цифровых устройств, измерении переходных характеристик и пр. Структурная схема типового импульсного генератора приведена на рис. 6.4.

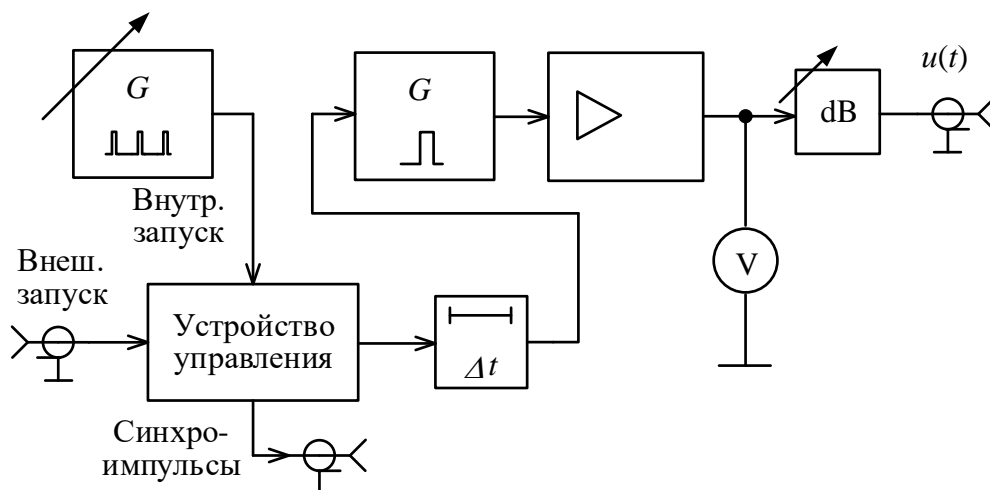


Рис. 6.4. Обобщенная структурная схема импульсного генератора

Частота повторения импульсов генератора определяется внутренним задающим генератором периодической последовательности кратковременных импульсов. Частота повторения этих импульсов устанавливается с помощью дискретного и плавного регуляторов. Устройство управления позволяет выбрать режим запуска генератора: периодический – от внутреннего генератора, внешний – от сигналов произвольной формы, подаваемой на вход прибора. Предусмотрен также разовый запуск при нажатии кнопки на передней панели. В устройстве управления предусматривают вывод синхроимпульсов, совпадающих по времени с импульсами задающего генератора. Их используют для синхронизации и запуска внешних устройств (осциллографа, частотомера и пр.). С устройства управления импульсы запуска поступают на блок временной задержки. Он обеспечивает регулируемый калиброванный временной сдвиг Δt основных импульсов генератора относительно синхроимпульсов. Этот блок удобно использовать совместно с осциллографом, работающим в режиме внешней синхронизации и запуска. Регулировкой задержки можно перемещать импульс по экрану, обеспечивая удобный вид осциллограммы. Кроме этого, калиброванная задержка позволяет измерять временные интервалы методом замещения.

Задержанные импульсы подают на блок формирования основных импульсов. Он вырабатывает прямоугольный импульс с заданной длительностью. Далее импульс усиливается и поступает на блок контроля амплитуды импульсов (амплитудный вольтметр) и выходной аттенюатор.

К эксплуатационным параметрам импульсного генератора относят диапазон регулирования частоты повторения, длительности и амплитуды

импульсов, диапазон установки времени их задержки. *Метрологическими* параметрами являются пределы допускаемой погрешности установки этих параметров и точность воспроизведения формы импульса (задается длительностями фронта и среза импульса).

Осциллограмма реального выходного импульса измерительного генератора представлена на рис. 6.5.

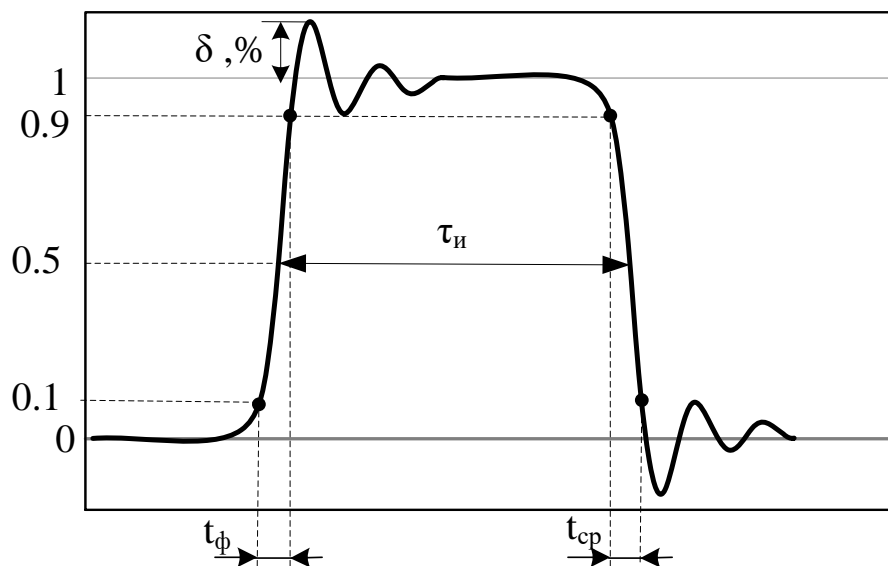


Рис. 6.5. Осциллограмма реального импульса с выбросами

Параметры импульса характеризуют степень близости его формы к идеальной прямоугольной. Амплитуду импульса U_m отсчитывают по усредненной вершине (без учета выброса δ), длительность импульса τ определяют по уровню $0,5U_m$. Длительности фронта τ_ϕ и среза $\tau_{ср}$ показывают качество воспроизведения формы импульса. Эти параметры отсчитывают по уровням $0,1U_m$ и $0,9U_m$. Принято считать импульс прямоугольным, если $\tau_\phi, \tau_{ср} < 0,3\tau$.

6.2. Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят исследуемые генераторы – высокочастотный Г4-102 и низкочастотный ГЗ-106, импульсный генератор Г5-54. Функциональный генератор GFG-8219A используется как источник сигнала модуляции. Образцовые приборы, позволяющие провести поверку этих генераторов – электронно-счетный частотомер Agilent 53181A, вольт-

метр-мультиметр URE3 фирмы Rohde & Schwarz, цифровой осциллограф (ЦО) АКИП-4131/1.

Приведем технические характеристики исследуемых генераторов:

Генератор сигналов высокочастотный Г4-102. Структурная схема прибора соответствует традиционной схеме LC-генератора. Диапазон рабочих частот прибора (0.1...50 МГц) разбит на восемь поддиапазонов. Относительная погрешность установки частоты $\pm 1 \%$, нестабильность частоты $\pm (250 \cdot 10^{-6}f + 50)$ Гц. Коэффициент гармоник $\leq 5 \%$.

Пределы регулировки среднеквадратического значения выходного напряжения на нагрузке 50 Ом от 0.5 мкВ до 0.5 В. Максимальное значение выходного напряжения (опорный уровень) равно 0.5 В (5×10^5 мкВ). Погрешность установки выходного напряжения не более ± 1 дБ. Предусмотрена возможность амплитудной модуляции от внутреннего генератора гармонического сигнала с частотой 1000 Гц и внешней модуляции с частотой 50...5000 Гц. Коэффициент модуляции АМ устанавливается в пределах 0...90 % ступенями по 10 %. Погрешность установки - не хуже 10 %.

В генераторе предусмотрен стрелочный вольтметр. Его используют для контроля опорного уровня на входе аттенюатора и установки уровня модулирующего напряжения (отметка К на шкале прибора). В генераторе предусмотрен некалиброванный выход "IV", который обычно используют для контроля частоты внешним электронным частотомером.

Генератор сигналов низкочастотный Г3-106. Представляет собой источник гармонического немодулированного НЧ-сигнала и сигнала прямоугольной формы (меандра). Генератор имеет следующие параметры:

- Диапазон частот – 20 Гц ...200 кГц (4 поддиапазона).
- Основная погрешность установки частоты – $\pm(3+30/f) \%$.
- Нестабильность частоты – $\pm 20 \cdot 10^{-4}f$ (за 15 минут).
- Максимальное выходное напряжение – 5 В (на согласованном сопротивлении нагрузки 600 Ом).
- Ослабление выходного напряжения 0...60 дБ с дискретностью через 20 дБ (с делителем).
- Погрешность установки выходного напряжения – $\pm 6 \%$ (установка опорного уровня); ± 0.8 дБ (погрешность аттенюатора).
- Нестабильность выходного напряжения – $\pm 1 \%$ (за 15 минут); $\pm 10 \%$ (за 3 часа).

- Коэффициент гармоник, % 0.5 (20-200 Гц); 0.3 (200 Гц-20 кГц); 1 (20-200 кГц).
- Параметры сигнала прямоугольной формы: амплитуда – 5 В (600 Ом), скважность – 2, длительность фронта и среза – 150 нс.

Генератор состоит из задающего генератора, усилителя и аттенюатора. В качестве задающего использован транзисторный RC-генератор с автоматической стабилизацией амплитуды выходного сигнала. Усилитель позволяет плавно регулировать уровень сигнала до опорного уровня 5В с контролем по стрелочному вольтметру и обеспечивает стандартное выходное сопротивление 600 Ом. Выходной аттенюатор позволяет уменьшать выходной уровень сигнала на 20, 40 и 60 дБ (в 10, 100 и 1000 раз по напряжению при работе на согласованную нагрузку 600 Ом).

Генератор импульсов Г5-54. Прибор вырабатывает видеоимпульсы прямоугольной формы положительной или отрицательной полярности. Максимальная амплитуда основных импульсов U_m на согласованной нагрузке 500 Ом не менее 50В; амплитуда регулируется плавно и дискретно. Погрешность установки амплитуды импульсов $\pm(0.1U_m)$, В, выходное сопротивление генератора 500 Ом.

Диапазон регулировки длительности импульсов 0.1...1000 мкс (восемь поддиапазонов). Погрешность установки длительности не превышает $\pm(0.1\tau + 0.03)$ мкс, нестабильность за один час не превышает $\pm(3 \cdot 10^{-3}\tau + 0.003)$ мкс.

Диапазон установки частоты следования импульсов при внутреннем запуске – 10 Гц...100 кГц. Погрешность установки не хуже 10 %. Предусмотрены также режимы внешнего и однократного запуска.

Длительности фронта и среза основных импульсов на согласованной нагрузке 500 Ом не превышает соответственно 50 и 100 нс. Выброс вершины импульса не более 5 %, неравномерность вершины $\leq 5\%$.

Генератор вырабатывает синхроимпульсы положительной и отрицательной полярности с плавно регулируемой амплитудой. Задержка основных импульсов относительно синхроимпульсов Δt (временной сдвиг) регулируется в пределах 0,1...1000 мкс и устанавливается с погрешностью не хуже $\pm(0.1\Delta t + 0,03)$ мкс.

6.3. Задание и указания к выполнению работы

В процессе лабораторного занятия выполняется поверка измерительных генераторов – высокочастотного Г4-102 и импульсного генератора Г5-54. Дополнительно (по указанию преподавателя) исследуются параметры низкочастотного RC-генератора Г3-106.

6.3.1. Поверка высокочастотного генератора Г4-102

Схема подключения приборов для поверки генератора ВЧ показана на рис. 6.6.

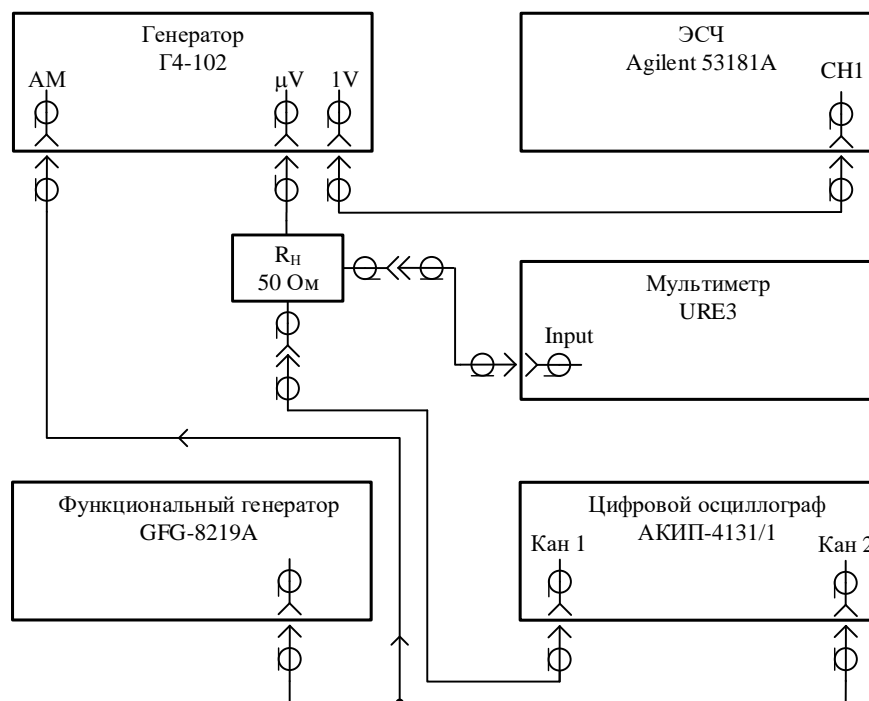


Рис. 6.6. Структурная схема поверки ВЧ генератора Г4-102

1. Подключите дополнительный выход генератора «1V» (некалиброванный выход сигнала несущей частоты) к входу частотомера.
2. Основной калиброванный выход генератора (разъем « μV ») через согласующую нагрузку 50 Ом и коаксиальный тройник подключите к входу мультиметра и входу первого канала осциллографа.
3. К разъему «AM» генератора Г4-102А и к второму каналу осциллографа подключите функциональный генератор GFG-8219А.

4. На генераторе Г4-102А установите режим модуляции *ВНЕСИ*, глубину модуляции 0%.

5. Включите приборы. Кнопка включения мультиметра URE3 находится на задней панели прибора.

6.3.2. Измерение погрешности установки частоты ВЧ генератора Г4-102А

Измерение частоты генератора Г4-102А производится электронно-счетным частотомером Agilent 53181А.

1. Установите частотомер в режим измерения частоты по первому каналу (кнопка «*Freq Ch1*»), входной фильтр «*100 kHz*» должен быть отключен соответствующей кнопкой. Выход генератора «*IV*» должен быть включен.

2. Произведите поверку точности установки частоты генератора в трех высокочастотных диапазонах (6, 7 и 8 диапазоны) по 6 измерений в каждом. Выберите на шкале генератора три произвольные точки для измерения: точку слева, точку справа и точку посередине диапазона на оцифрованных отметках шкалы. В каждой точке проведите измерение частоты дважды: при подходе к отметке слева и справа. Фиксируйте результат измерения частоты с точностью не менее 5 значащих цифр. Рассчитайте относительное отклонение частоты $\delta f = \frac{f - f_{\text{изм}}}{f_{\text{изм}}} 100 \%$, где f – отметка по шкале генератора,

$f_{\text{изм}}$ – измеренное значение частоты. За погрешность установки частоты генератора принимают максимальное из двух вычисленных значений отклонения. Результаты поверки занесите в таблицу 6.1.

Таблица 6.1

Установленное значение (по шкале генератора)	Измеренное значение	Относительная погрешность установки, %	Паспортное значение предела погрешности, %

6.3.3. Измерение погрешности установки выходного напряжения на калиброванном выходе генератора Г4-102

Измерение уровня выходного сигнала генератора в лабораторной работе производится цифровым мультиметром UR3, подключенным через согласующую нагрузку 50 Ом к основному выходу генератора (разъем « μV »).

1. На генераторе установите частоту 0.1 МГц (1 поддиапазон), выход « μV » – включен. Измерение уровня проводите в режиме непрерывной генерации (переключатель «*AM*» - в положении «*ВНЕШ*», переключатель «*ГЛУБИНА МОД, %*» в положение 0 %).

2. На мультиметре используйте режим, устанавливаемый по умолчанию: измерение среднеквадратического значения – RMS, закрытый вход по переменному току – AC, выбор диапазона – *AUTO*, аналоговый дисплей в верхней части индикатора показывает уровень измеряемого сигнала. В нижней части экрана должна появиться строка вывода результата измерения напряжения «*RMS 0.100 V AC*».

Если этот режим не включен, его надо вызвать из памяти установок прибора. Для этого нажмите кнопку *SETUP*, затем нажмите функциональную кнопку из группы *MENU*, которая находится под цифрой 0 на дисплее. Завершите установку режима кнопкой функционального меню *RCL*. По умолчанию измерения мультиметр выполняет в периодическом режиме. В случае выхода из этого режима, возобновить измерения можно, нажав кнопку *MEAS* в углу передней панели управления прибором.

3. Установите плавный регулятор напряжения генератора Г4-102 на отметку «1.0» по черной шкале, дискретный множитель аттенюатора $\times 10^5$ (черный). Это соответствует среднеквадратическому напряжению выходного сигнала 100 мВ на нагрузке 50 Ом. При переключении аттенюатора на соседнюю красную отметку выходное напряжение меняется на 10 дБ (в 3.16 раза). Это соответствует показаниям плавного регулятора выходного уровня по красной шкале.

4. Измерьте среднеквадратическое значение напряжения (RMS) во всех точках, соответствующих дискретным положениям аттенюатора генератора (черная и красная шкалы).

5. Рассчитайте погрешность установки напряжения генератора:

$$\delta U = \frac{U_{\text{изм}} - U_{\text{уст}}}{U_{\text{изм}}} 100 \% .$$

Результаты измерений и расчетов сведите в таблицу 6.1.

6.3.3. Измерение погрешности установки коэффициента амплитудной модуляции

Исследование режима АМ генератора Г4-102 проводите в режиме внешней модуляции. Установите на генераторе Г4-102 частоту 0.1 МГц, уровень напряжения 100 мВ ($1.0 \cdot 10^5$ мкВ по черной шкале), коэффициент модуляции 90 %.

1. Подайте на вход АМ синусоидальный сигнал с генератора GFG-8219A, для чего нажмите кнопку «~».

2. Установите частоту сигнала модуляции 1000 Гц. Для этого используйте ручку «*FREQUENCY*» и кнопку частотного диапазона «1К».

3. Отрегулируйте уровень сигнала (ручкой «*AMP*») так, чтобы на контрольном индикаторе генератора Г4-102 стрелка показывала на риску «К». Точную регулировку проводите ручкой «*ГЛУБИНА МОД, %*» генератора.


4. Измерение коэффициента модуляции проведите с помощью цифрового осциллографа АКПП-4131/1. Для этого подайте исследуемый сигнал с выхода « μV » генератора Г4-102А на первый канал осциллографа, на второй канал через тройник подайте сигнал модуляции с генератора GFG-8219A. Вызовите из памяти настройки осциллографа, запомненные в файле №1 (*Save/Recall => Настройку №1=> Press to Recall*). Проверьте установки осциллографа: работа ЦО в двухканальном режиме, коэффициенты отклонения: первого канала 50 мВ/дел, второго канала 1 В/дел, коэффициент развертки 500мкс/дел, режим развертки Auto, синхронизация от второго канала (CH2).


5. Определение коэффициента модуляции выполните, измеряя на экране максимальный U_{max} и минимальный U_{min} размеры изображения АМ сигнала по вертикали. Для этого используйте горизонтальные курсоры осциллографа (*Cursors => Y*). Расстояние между курсорами Y_1 и Y_2 осциллографа обозначено ΔY , перемещение курсоров (вместе или по отдельности) осуществляйте ручкой *Adjust*. Переключение между верхним и нижним курсорами осуществляется нажатием этой ручки.

6. Коэффициент модуляции рассчитайте по формуле

$$m, \% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \cdot 100 \%$$

7. Проведите измерения коэффициента модуляции для дискретных значений $m=10, 30, 50, 70, 90 \%$. 8. Рассчитайте погрешность установки коэффициента модуляции. Результаты измерений и расчетов занесите в табл. 6.2.

Зарисуйте или сфотографируйте форму АМ сигнала для $m=90\%$ .

8. Исследуйте режим АМ $m=90\%$ с другими формами модулирующего сигнала генератора GFG-8219A (треугольник и меандр). Сфотографируйте осциллограммы АМ сигнала в этих случаях .


9. Меняя частоту меандра в пределах 10-30 кГц и подстраивая коэффициент развертки для получения удобного масштаба по горизонтали (ручка «Horizontal S-nS»), исследуйте искажения формы огибающей, возникающих из-за ограниченной полосы частот модулятора генератора Г4-102. Зарисуйте или сфотографируйте полученные осциллограммы для нескольких значений частот модуляции .

Таблица 6.2

Установленное значение к-та модуляции, %	Размеры U_{\max}, U_{\min} .	Измеренное значение коэффициента модуляции, %	Относительная погрешность установки, %

6.3.4. Измерение параметров выходных импульсов генератора Г5-54.

Визуальный контроль формы и оценка длительности и амплитуды выходных импульсов генератора Г5-54.

1. Соберите схему проверки генератора импульсов согласно рис. 6.9. Подключите вход канала 1 осциллографа и вход частотомера ко выходу 1:1 генератора через согласующую нагрузку 500 Ом.

2. Соедините выход «СИНХРОИМПУЛЬСЫ» генератора Г5-54 с входом «Ext.» осциллографа.

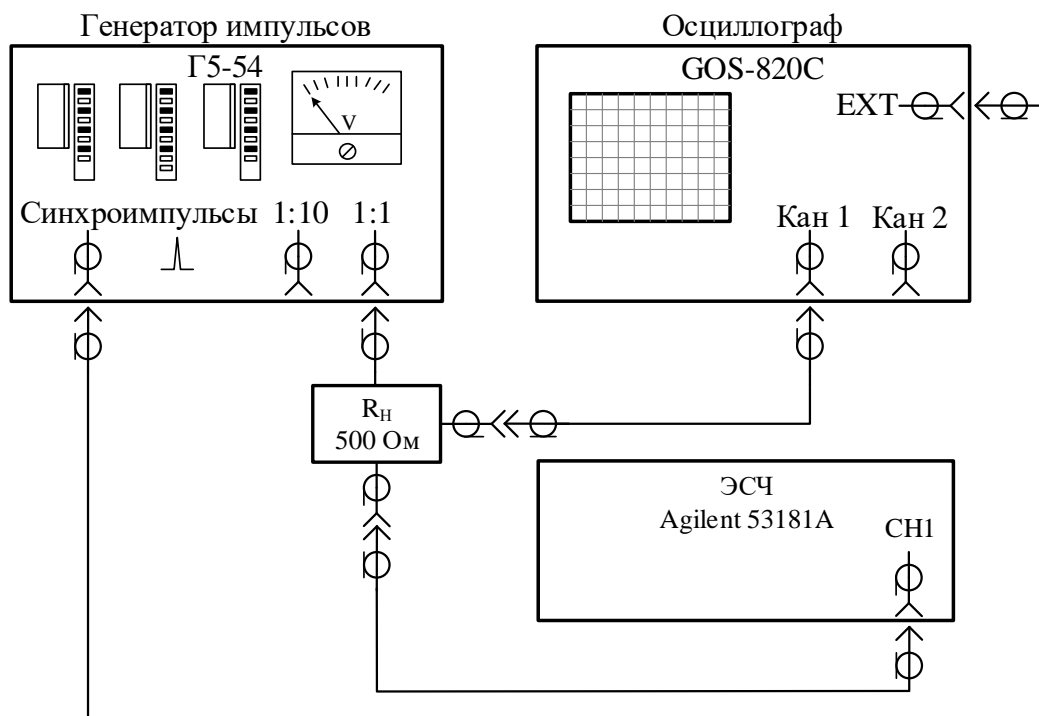


Рис. 6.7. Структурная схема поверки генератора импульсов Г5-54

3. Включите генератор Г5-54. Установите на генераторе режим внутреннего запуска (кнопка «ЗАПУСК» нажата), частоту повторения – 1 кГц (1.0 по белой шкале, белая кнопка $\times 10^3$), временной сдвиг импульсов – 0 мкс, длительность импульсов – 1 мкс. Амплитуда выходных импульсов на выходе 1:1 – 2 В. (для этого установите по прибору генератора 20 В и нажмите кнопку делителя напряжения « $\times 0,1$ »).

4. Вызовите настройки осциллографа, запомненные в файле №2 (Save/Recall => Настройки №2 => Press to Recall). Проверьте установки осциллографа: работа ЦО в одноканальном режиме (канал 1); коэффициент отклонения 500 мВ/дел, коэффициент развертки 200 нс/дел (200 ns), режим развертки Auto, синхронизация от внешнего источника (Ext).

5. Установите максимальной амплитуду положительных синхроимпульсов генератора Г5-54 ручкой «АМПЛ». Отрегулируйте запуск развертки осциллографа ручкой Level до получения устойчивого изображения прямоугольного импульса генератора.

6. Зарисуйте или сфотографируйте форму импульса .

7. Получите параметры импульса, используя режим измерения параметров сигнала цифрового осциллографа (кнопка Measure). Запишите в таб-

лицу 6.3 амплитуду импульса « $Amp(I)$ », время нарастания « $Rise(I)$ » и время среза « $Fall(I)$ », длительность импульса « $Width(I)$ ».

8. Повторите измерение амплитуды при установленных значениях 3, 4, 5 и 6 В. В каждом случае подбирайте оптимальный коэффициент отклонения канала 1 осциллографа (ручка « $Vertical V-mV$ »). Рассчитайте погрешности установки амплитуды импульса. Результаты занесите в таблицу 6.3.

12. Установите исходную амплитуду 2 В и повторите измерения временных параметров импульса при установленной длительности импульса генератора 10 мкс и 100 мкс. Для этих случаев подбирайте коэффициент развертки (ручка « $Horizontal S-nS$ ») так, чтобы импульс был виден на экране целиком. Рассчитайте погрешности установки длительности импульса. Результаты занесите в таблицу 6.4.

Таблица 6.3

Установленная Амплитуда импульса, В	Измеренная амплитуда V, В	Погрешность установки амплитуды, В	Паспортное значение погрешности, В

Таблица 6.4

Установленная длительность импульса, мкс	Измеренная длительность, мкс	Измеренное время нарастания, мкс	Измеренное время спада, мкс	Паспортная погрешность установки длительности, мкс

Измерение погрешности установки частоты следования импульсов генератора Г5-54.

1. Подключите вход частотомера к выходу генератора импульсов.
2. Установите длительность импульса 1 мкс.
3. Проведите измерение частоты следования импульсов, устанавливая плавный регулятор частоты генератора на отметках 1, 3 белой шкалы и 7, 10 черной шкалы на всех поддиапазонах генератора.
4. Рассчитайте относительную погрешность установки частоты, результаты занесите в таблицу 6.1.

6.3.5. Измерение параметров НЧ генератора ГЗ-106

(по указанию преподавателя)

1. Сигнал с выхода НЧ генератора «Ослабление, дБ 0 дБ» через согласующую нагрузку 600 Ом и коаксиальный тройник подайте на входы мультиметра и частотомера (рис. 6.10).

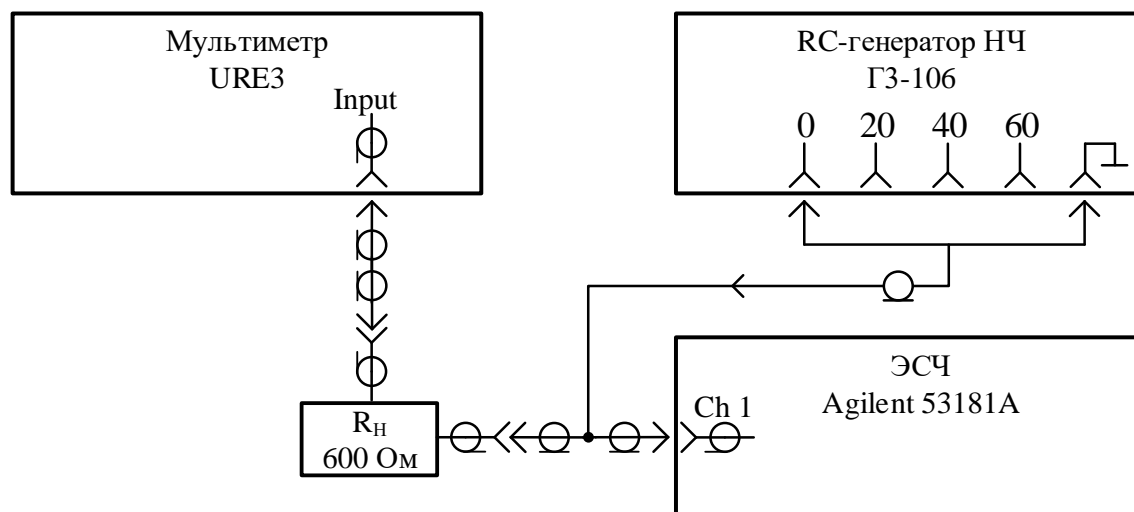


Рис. 6.10. Структурная схема поверки НЧ генератора ГЗ-106

2. Переключатель вида сигнала генератора ГЗ-106 поставьте в положение «~». Ручку плавной регулировки выходного сигнала установите в крайнее правое положение, соответствующее максимальному значению уровня.

Измерение погрешности установки частоты генератора ГЗ-106.

Произведите поверку точности установки частоты генератора в трех точках каждого поддиапазона, соответствующих отметкам шкалы 20, 100, 200. В каждой точке измерения проведите дважды: при подходе к отметке слева и справа. Вычислите относительные отклонения частоты

$$\delta f = \frac{f_{\text{изм}} - f_{\text{уст}}}{f_{\text{изм}}} 100 \%,$$

где $f_{\text{уст}}$ – отметка по шкале генератора, $f_{\text{изм}}$ – измеренное значение частоты. За погрешность установки принимают максимальное из двух полученных значений. Результаты поверки занесите в таблицу 6.1.

Измерение погрешности установки уровня выходного аттенюатора генератора ГЗ-106.

1. Установите частоту генератора 1 кГц (100 х 10), ослабление 0 дБ. Плавной регулировкой выходного напряжения генератора последовательно устанавливайте на вольтметре генератора и измеряйте мультиметром напряжения на отметках 1, 2, 3 и 5 В. Результаты измерений занесите в таблицу 6.5.

2. Измерьте погрешность выходного аттенюатора генератора. Для этого проведите измерения для уровня сигнала 5 В при подаче сигнала с гнезд 20 дБ, 40 дБ и 60 дБ. Результаты измерений занесите в таблицу 6.5.

Таблица 6.5

Установленное ослабление, дБ	Установленное на генераторе напряжение, В	Измеренное напряжение В (мВ)	Погрешность установки напряжения %	Паспортное значение погрешности,

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- Структурные схемы подключения приборов к исследуемым генераторам;
- Таблицы с результатами измерений и расчетов;
- Осциллограммы сигналов с амплитудной модуляцией;
- Осциллограммы импульса генератора Г5-54.

Контрольные вопросы

1. Что такое измерительный генератор сигналов? Чем он отличается от других источников сигналов?
2. Как делятся измерительные генераторы по функциональному назначению? Какие типы генераторов гармонических сигналов используют в радиоизмерениях?
3. Чем отличаются генераторы гармонических сигналов низких и высоких частот?
4. Почему на низких частотах автогенераторы с LC-контурами не обеспечивают высокой стабильности частоты?
5. Что такое модуляция радиосигнала? Какие виды модуляции применяют в генераторах ВЧ? Почему в НЧ генераторах модуляция не используется?
6. Как в генераторах ВЧ обеспечивают точную установку значения выходного напряжения?
7. Что такое выходной аттенюатор измерительного генератора, для какой цели его применяют?
8. Для чего предназначены генераторы импульсов? Какую форму сигнала имеет реальный выходной сигнала? Как характеризуют качество его формы?
9. Для чего в генераторах импульсов предусматривают дополнительный выход синхроимпульсов? Чем они отличаются от основных импульсов генератора?

Оглавление

6. ПОВЕРКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ	2
6.1. Принципы построения измерительных генераторов	2
6.2. Описание лабораторной установки	9
6.3. Задание и указания к выполнению работы	12
6.3.1. Поверка высокочастотного генератора Г4-102	12
6.3.2. Измерение погрешности установки частоты ВЧ генератора Г4-102А	13
6.3.3. Измерение погрешности установки выходного напряжения на калиброванном выходе генератора Г4-102	14
6.3.3. Измерение погрешности установки коэффициента амплитудной модуляции.....	15

6.3.4. Измерение параметров выходных импульсов генератора Г5-54.	16
6.3.5. Измерение параметров НЧ генератора ГЗ-106	19
Содержание отчета	20
Контрольные вопросы	21
Оглавление.....	21