

Министерство образования и науки РФ

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет "ЛЭТИ"

ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА РАДИОИЗМЕРЕНИЙ

Методические указания к лабораторной работе

ИЗМЕРЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

Санкт-Петербург
2008

В процессе выполнения лабораторной работы исследуются амплитудные характеристики радиоэлектронных устройств, определяются коэффициенты нелинейных искажений и гармоник. Программа работы включает измерение амплитудной характеристики активного фильтра, расчет по ней зависимости коэффициента гармоник от амплитуды входного сигнала, измерение коэффициента гармоник фильтров цифровым автоматизированным прибором СК6-13.

1. Способы исследования амплитудных характеристик

Многие радиоэлектронные устройства (усилители, активные фильтры и пр.) применяют для линейного преобразования сигналов (увеличения или уменьшения уровня, изменения его спектральных характеристик и др). Однако эти устройства могут считаться линейными лишь приближенно, в определенном диапазоне амплитуд входного сигнала. Увеличение амплитуды выше этого диапазона приводит к искажениям формы сигнала на выходе устройства. Эти искажения называют *нелинейными*. Они вызывают ряд нежелательных явлений: ухудшают разборчивость речи в системах связи и качество музыкальных радиопередач, приводят к увеличению погрешностей измерительных приборов, создают помехи радио- и телеприему. Уменьшения нелинейных искажений (НИ) достигают правильным выбором режимов работы элементов радиоаппаратуры, использованием отрицательной обратной связи и схем компенсации нежелательных гармоник. Для контроля эффективности этих мер необходимо исследовать амплитудные характеристики радиоэлектронных устройств и дать количественную оценку нелинейных искажений.

Амплитудной характеристикой (АХ) устройства называют зависимость между мгновенными значениями выходного и входного напряжений в один и тот же момент времени. АХ линейного устройства представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат, АХ квазилинейного устройства - кривую, имеющую линейный участок при малых значениях сигнала (рис. 1).

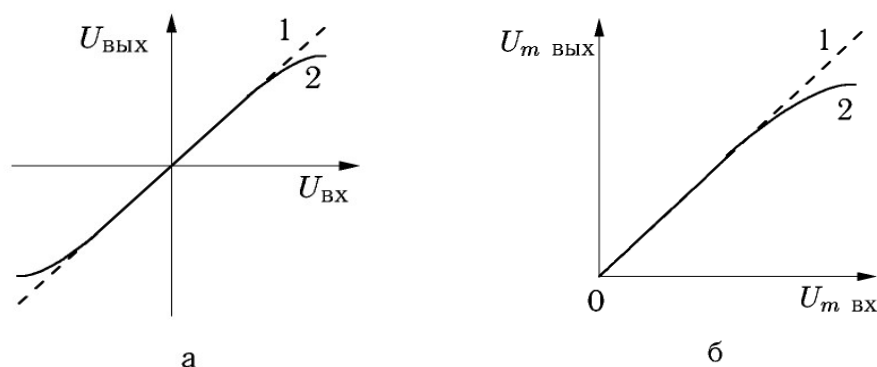


Рис. 1. Амплитудные характеристики. Зависимости между: *а* — мгновенными значениями; *б* — амплитудами напряжений; 1 — линейное устройство; 2 — квазилинейное устройство

Согласно этому определению, для измерения АХ необходимо, изменяя на входе уровень напряжения, измерять мгновенные значения на выходе. Форма напряжения при этом особой роли не играет — важно, чтобы на выходе линейные искажения этого сигнала (амплитудные и фазовые) были минимальными. В большинстве случаев используют гармоническую форму сигнала, а АХ получают измерением отношения выходной и входной амплитуд колебания. Изображение АХ и ее измерение проводят с помощью измерительной установки, показанной на рис. 2а.

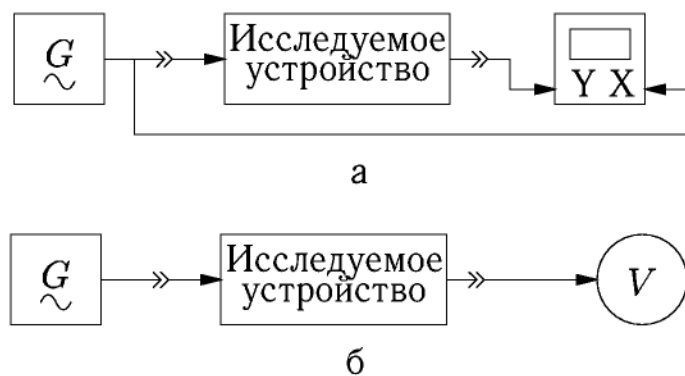


Рис. 2. Структурные схемы установок для снятия амплитудных характеристик:

а — с помощью осциллографа; *б* — с помощью вольтметра

Генератор гармонических колебаний настраивают на частоту в пределах рабочей полосы исследуемого устройства. Напряжения $u_{\text{ВХ}}$ и $u_{\text{ВЫХ}}$ подают, соответственно, на входы X и Y осциллографа. Генератор линейной развертки отключают (используют режим X - Y). Тогда отклонение луча по оси X пропор-

ционально мгновенным значениям $u_{\text{вх}}$, а по оси Y — мгновенным значениям $u_{\text{вых}}$. При отсутствии фазовых сдвигов на экране осциллографа появится изображение АХ. Для определения значений АХ в отдельных точках производят калибровку каналов X и Y по напряжению.

Приведенный выше способ определения АХ подходит для безынерционных устройств. Большинство радиоэлектронных устройств являются инерционными и вносят фазовый сдвиг. Измерение АХ с помощью осциллографа указанным способом затруднено - на экране вместо линии АХ появляется искаженная фигура Лиссажу (эллипс), соответствующая вносимому фазовому сдвигу. В этом случае амплитудную характеристику определяют как зависимость амплитуды напряжения на выходе исследуемого устройства от амплитуды гармонического напряжения на входе (рис. 1, б). Эту зависимость можно измерить с помощью генератора гармонических сигналов и вольтметра (рис. 2, б). Она не дает полных сведений о характере нелинейных искажений в устройстве, но позволяет определить коэффициент передачи по напряжению, оценить характер АХ и степень ее отклонения от линейной, установить допустимые пределы изменения амплитуды входного сигнала.

2. Измерение нелинейных искажений

По типу проявления различают гармонические и интермодуляционные НИ.

Гармонические НИ появляются при подаче на вход нелинейного устройства гармонического напряжения. При этом спектр выходного напряжения наряду с колебанием основной частоты содержит высшие гармоники. *Интермодуляционные НИ* появляются при одновременном воздействии на вход нелинейного устройства гармонических напряжений с разными частотами. Они связаны с образованием комбинационных частот в спектре выходного напряжения.

Гармонические НИ характеризуют *коэффициентом гармоник*:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}, \quad (1)$$

где $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$ — среднеквадратические значения соответствующих гармоник на выходе исследуемого устройства.

Коэффициент можно оценить, определив амплитуды гармоник с помощью анализатора спектра. Этот метод используют, в основном, на высоких частотах. В диапазоне низких частот его применять трудно из-за низкой разрешающей способности спектроанализаторов. Чаще всего для измерения коэффициента гармоник используют специализированные приборы, называемые *измерителями нелинейных искажений* (ИНИ). Упрощенная структурная

схема ИНИ приведена на рис. 3.

Прибор использует фильтровый метод измерения, основанный на подавлении первой гармоники и измерении среднеквадратического значения совокупности высших гармоник искаженного сигнала. ИНИ состоит из входной цепи, которая включает разделительный конденсатор и аттенюатор, широкополосного усилителя с регулируемым коэффициентом усиления, узко-

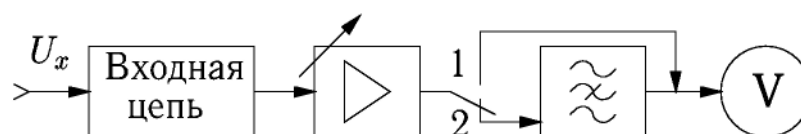


Рис. 3. Структурная схема измерителя нелинейных искажений: 1 — калибровка; 2 — измерение

полосного режекторного фильтра, предназначенного для подавления первой гармоники сигнала, и электронного вольтметра среднеквадратических значений, отградуированного в вольтах и значениях K_{Γ} .

Измерение K_{Γ} производят следующим образом. На вход ИНИ подают исследуемый сигнал. Переключатель ставят в положение 1 (см. рис.3) и фиксируют среднеквадратическое значение входного сигнала. Регулировкой коэффициента усиления добиваются показаний вольтметра, принимаемых за 100%. (режим "КАЛИБРОВКА" ИНИ). Затем ставят переключатель в положение "ИЗМЕРЕНИЕ" (2 на рис. 3). Настройкой режекторного фильтра подавляют первую гармонику сигнала. Настройка контролируется по минимальному показанию вольтметра. При этом на него поступает только сумма напряжений высших гармоник. Благодаря произведенной ранее калибровке показания вольтметра пропорциональны отношению суммарного среднеквадратического напряжения высших гармоник к среднеквадратическому напряжению полного сигнала: (2).

Это выражение определяет *коэффициент нелинейных искажений*;

$$K'_{\Gamma} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}}.$$

он связан с коэффициентом гармоник (1) простым соотношением:

$$K_{\Gamma} = \frac{K'_{\Gamma}}{\sqrt{1 - (K'_{\Gamma})^2}}.$$

При малых искажениях эти коэффициенты практически совпадают. Шкалу вольтметра градуируют в значениях K_{Γ} или $K_{\Gamma} [\%]$. В современных ИНИ процесс измерения коэффициента гармоник автоматизирован. Повышения точно-

сти измерений достигают использованием цифрового вольтметра и самокалибровки.

3. Цифровой измеритель нелинейных искажений СК6-13

Автоматизированный цифровой прибор СК6-13 предназначен для измерения коэффициента гармоник при работе со встроенным генератором и среднеквадратического значения напряжения. Измеритель СК6-13 состоит из измерителя нелинейных искажений и перестраиваемого синхронно с ним генератора, что позволяет повысить производительность измерений при сокращении необходимых измерительных средств. Прибор СК6-13 обеспечивает автоматическое и ручное переключение пределов измерения, возможность запоминания значений частоты и напряжения генератора, вывод результата измерения на печать.

Основные технические характеристики прибора СК6-13:

1. Диапазон рабочих частот: при измерений коэффициента гармоник – 10 Гц – 120 кГц; при измерении напряжения – 10 Гц – 600 кГц;
2. Диапазон измерения коэффициента гармоник (для входных напряжений 0.1... 100 В) 0,003-100 % на пределах 0.01, 0.1, 1, 10, 100 %;
3. Диапазон измерения среднеквадратического значения напряжения синусоидальной и искаженной формы (с K_f не более 30%) — 100 мкВ ... 100 В на пределах 1, 10, 100 мВ; 1, 10, 100 В в частотном диапазоне 10 Гц ... 600 кГц;
4. Входное сопротивление прибора 15 кОм в режиме измерения K_f и не менее 500 кОм в режиме измерения напряжения;
5. Диапазон установки напряжения встроенного генератора – 1 мВ... 9.99 В, выходное сопротивление $R_{\text{вых}}=600$ Ом. Для напряжений 1 ... 99.9 мВ (со встроенным делителем) $R_{\text{вых}}$ не более 10 Ом;

Метрологические параметры прибора:

1. Основная относительная погрешность измерения коэффициента гармоник $= \pm (0.01 K_f + 0.02...0.07) [\%]$;
2. Основная погрешность измерения напряжения $= \pm 0.025 U_x + 1 \cdot 10^{-5} [В]$;
3. Погрешность установки частоты встроенного генератора $\pm 0.01 f$, напряжения - $\pm (0.03 U_x + 1 \cdot 10^{-4}) [В]$;
4. Коэффициент гармоник встроенного генератора составляет 0.002... 0.004% в диапазоне частот 100 Гц...20 кГц и не хуже 0.02% в диапазоне 20...120 кГц.

Прибор позволяет вывести результат измерения в двоично-десятичном коде 8-4-2-1 на разъем принтера.

Прибор состоит из трех блоков – измерителя, генератора и микропроцес-

сорной системы (рис. 4).

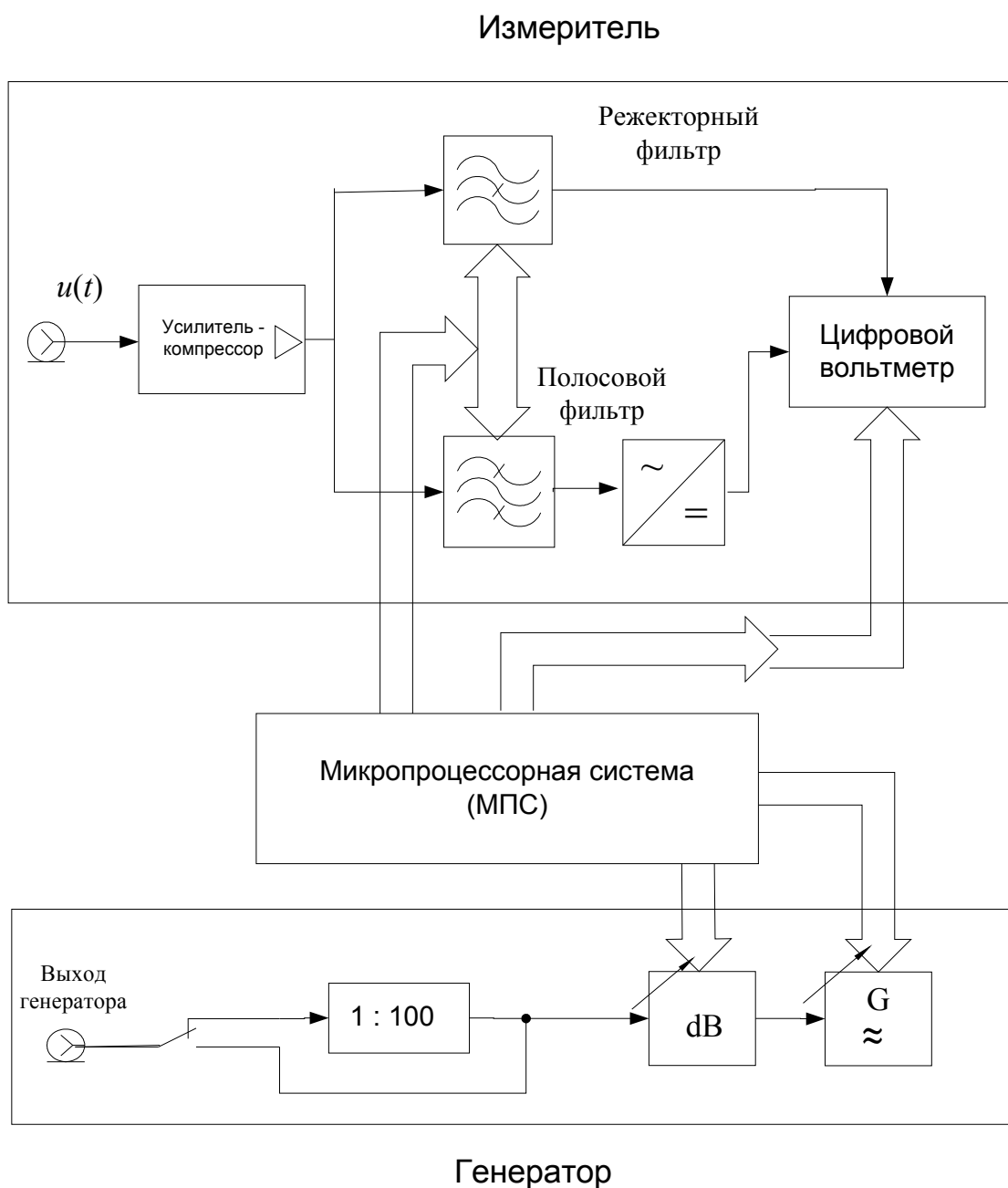


Рис. 4. Структурная схема измерителя нелинейных искажений

В режиме измерения коэффициента гармоник " K_G " сигнал со входа измерителя поступает на масштабный усилитель-компрессор. Он ограничивает динамический диапазон сигнала с 60 до 6 дБ – то есть при изменении уровня входного сигнала от 0,1 до 100 В уровень выходного сигнала усилителя поддерживается в пределах 0,85 ..2,25 В. Это упрощает работу блоков фильтрации и цифрового вольтметра и снижает искажения, вносимые самим прибором.

Далее сигнал поступает на вход режекторного фильтра, построенного на основе трех RC-звеньев с коммутацией резистивных и емкостных матриц. Этот фильтр удаляет (вычитает) из сигнала первую гармонику, оставляя высшие гармоники без изменения. Настройка режекторного фильтра производится микропроцессором тем же кодом, что и перестройка генератора. Тем самым обеспечивается точная настройка фильтра на частоту входного сигнала.

С выхода фильтра сигнал, представляющий собой сумму высших гармоник, подается на цифровой вольтметр. В его составе находится переключатель диапазонов измерения, преобразователь (детектор) среднеквадратического значения и аналого-цифровой преобразователь (АЦП). В приборе использован квадратичный детектор на сборке полевых транзисторов. Постоянное напряжение после детектора преобразуется АЦП двойного интегрирования в цифровой код.

Для вычисления коэффициента гармоник (согласно формуле (1)), требуется сигнал суммы высших гармоник нормировать к уровню первой гармоники. Для этого в приборе предусмотрен блок выделения сигнала первой гармоники. Это полосовой фильтр и линейный детектор-выпрямитель. Постоянное напряжение, пропорциональное уровню первой гармоники, подается в качестве опорного на АЦП цифрового вольтметра. При этом АЦП вырабатывает код, равный отношению среднеквадратической суммы высших гармоник к уровню первой гармоники, как и полагается по формуле (1).

В режиме измерения напряжения " V " входной сигнал подается непосредственно на вольтметр. В качестве опорного в АЦП используется его собственный образцовый источник постоянного напряжения.

Генератор прибора представляет собой функциональный генератор с цифровым управлением. Он содержит два интегратора и суммирующий усилитель. Частота генератора регулируется переключением матрицы конденсаторов и резистивной матрицы делителя напряжения. Уровень выходного напряжения стабилизирован по амплитуде. К выходу функционального генератора подключен дискретный аттенюатор с цифровым управлением. Для получения малых значений выходного напряжения (до 100 мВ) предусмотрен дополнительный делитель напряжения 1:100, включаемый вручную тумблером на передней панели.

Управляющая часть прибора представляет собой цифровой блок, реализующий:

- Прием и обработку команд с клавиш управления прибором;
- Управление работой цифрового вольтметра;
- Перестройкой частоты генератора и режекторного фильтра;
- Запоминание 9 значений частоты и уровня сигнала генератора (режим ПАМЯТЬ)
- переключение пределов измерения в ручном или автоматическом режимах;

- индикацию результатов измерения на цифровом табло.

4. Описание лабораторной установки

В данной работе исследуются гармонические нелинейные искажения, возникающие в активных фильтрах. *Активным* называют частотный фильтр, содержащий один или несколько усилительных элементов. Такие фильтры реализуют на основе усилителей с обратными связями, как правило, в виде специализированных микросхем. Активные фильтры широко применяют в радиоэлектронике; они имеют значительно меньшие габариты и массу по сравнению с пассивными (выполненными на *RLC*-элементах), но являются квазилинейными устройствами и могут работать лишь в ограниченных пределах изменения входных сигналов.

Лабораторный макет содержит два активных фильтра — верхних (ФВЧ) и нижних (ФНЧ) частот. Они подключаются к разъемам "ВХОД" и "ВЫХОД" с помощью сдвоенного переключателя. Положение 1 переключателя соответствует включению фильтра нижних частот с частотой среза $f_v = 2.5$ кГц; положение 2 — включению фильтра верхних частот с частотой среза $f_n = 100$ Гц. Положение 3 переключателя позволяет соединить вход и выход макета непосредственно, что обеспечивает возможность контроля входного напряжения.

В лабораторную установку входит измеритель СК6-13 и двухканальный аналоговый осциллограф GOS-653G для измерения амплитудных характеристик и наблюдения формы сигналов на выходах устройств.

5. Задание и указания к выполнению работы

5.1. Подготовка макета и прибора СК6-13 к работе

Подключите выход генератора прибора СК6-13 ко входному разъему макета. Вход измерителя прибора СК6-13 соедините с выходным разъемом макета. Двухканальный осциллограф GOS-653G подключите к макету следующим образом: канал *CH1* (в режиме "*X — Y*" он выполняет функции канала *X*) соедините с входным разъемом (на него подается напряжение генератора), канал *CH2* (канал *Y*) - с выходным разъемом макета. Включите питание приборов и макета.

Установите исходные параметры генератора, встроенного в прибор СК6-13 — частоту 1 кГц и напряжение 1 В. Используйте следующую методику настройки прибора СК6-13. Для установки частоты генератора нажмите кнопку "F" генератора, выберите желаемую единицу измерения Гц или кГц, нажав соответственно, кнопку "mV/Hz" или "V/kHz". Набор численного значения произ-

водится с помощью цифровых клавиш. Выбор старшего разряда трехзначного числа, соответствующего устанавливаемой частоте, производится кнопкой "P3". Аналогично устанавливаются средний ("P2") и младший разряды ("P1"). Для установки десятичной точки нажмите кнопку ",". Если точка не устанавливается, то необходимо стереть набранные значения кнопкой "x". Выбор установки выходного напряжения генератора производится кнопкой "V", единица измерения мВ или В кнопками "mV/Hz" и "V/kHz". Численное значение напряжения устанавливается по описанной выше методике аналогично. Переключатель выхода установите в положение 1:1 600 Ом. Кнопки ПАМЯТЬ и ▲ должны быть неактивны.

Включите ручной режим измерения напряжения «V», внутренние фильтры измерителя ФНЧ-ФВЧ должны быть выключены.

5.2. *Измерение амплитудной характеристики активного ФВЧ*

Амплитудную характеристику в данной лабораторной работе измеряют с помощью осциллографа. Для центровки положения осциллограммы используйте непосредственное соединение входа и выхода макета (положение 3 переключателя). Осциллограф поставьте в режим "X — Y" (нажата кнопка X-Y, выбор канала вертикального отклонения – CH2, режим синхронизации X — Y). Отрегулируйте коэффициенты отклонения в каналах - они должны быть одинаковыми и равными 1 В/дел (проверьте установку крайних положений плавных регуляторов каналов).

Установите частоту генератора 1 кГц, выходное напряжение уменьшите до нуля. На экране осциллографа в режиме "X — Y" появится светящаяся точка. Регуляторами смещения по осям X и Y установите ее на пересечение центральных линий координатной сетки (начало координат). Увеличивая значение выходного напряжения генератора, вы должны наблюдать прямую линию (см. рис. 1, а), под углом 45°. Если это не выполняется, проверьте коэффициенты отклонения каналов осциллографа (они должны быть равными).

Подключите ФВЧ (положение переключателя 2) и установите напряжение генератора $U_c = 5$ В. При этом на экране появится изображение амплитудной характеристики ФВЧ. Координаты точек характеристики в делениях масштабной сетки по оси X определяются мгновенными значениями $u_{вх}$, по оси Y — мгновенными значениями $u_{вых}$ в вольтах. Наблюдаемое небольшое раздвоение линии изображения вызвано фазовым сдвигом в фильтре, разница напряжения генератора и входного напряжения объясняется влиянием входного сопротивления ФВЧ.

Измерьте амплитудную характеристику по точкам. Увеличивая средне-

квадратическое значение напряжения генератора от 0 до $U_z = 5$ В с шагом 0.5 В, измеряйте амплитуды входного и выходного напряжения $U_{m\text{ вх}}$ и $U_{m\text{ вых}}$ по экрану осциллографа методом калиброванных шкал. Результаты измерений занесите в таблицу. Постройте график амплитудной характеристики ФВЧ $U_{m\text{ вых}} = f(U_{m\text{ вх}})$ (см. рис. 1, б).

5.3. *Измерение зависимости коэффициента гармоник выходного сигнала активных фильтров от уровня входного сигнала*

Соедините кабелем выход лабораторного макета с гнездом "ВХОД" прибора СК6-13. Для контроля работы режекторного фильтра в приборе предусмотрен выход отфильтрованного сигнала (без первой гармоники). Соедините этот выход измерителя с входом канала вертикального отклонения *СН1* осциллографа и настройте осциллограф на работу с генератором развертки в режиме внутренней синхронизации (режим X-Y надо отключить). Для наблюдения результатов подавления первой гармоники удобно применить поочередный или прерывистый (СНОР) режим работы коммутатора каналов Y. Установите положение DUAL переключателя рода работ канала вертикального отклонения. При этом по первому каналу будет наблюдаться сигнал суперпозиции высших гармоник, по второму – выходной сигнал фильтра.

Включите ФНЧ - для этого переключатель макета поставьте в положение 1. На измерителе СК6-13 нажмите кнопку " K_z ". Установите на генераторе частоту 200 Гц и малый уровень напряжения (0.5В). На табло " K_z " прибора СК6-13 появится показание, указывающее значение K_z в процентах. Выберите необходимый предел K_z или пользуйтесь автоматический режим настройки прибора. Правильный выбор предела можно проконтролировать по виду отфильтрованного сигнала – он не должен быть ограничен по уровню. Устойчивые показания на табло " K_z " свидетельствуют о завершении измерения.

Измерьте значения K_z , соответствующие среднеквадратическим значениям напряжения генератора $U_z = 0.5 \dots 5$ В с шагом 0.5 В. Повторите измерения на частотах 1 и 2 кГц. Для напряжения $U_z = 5$ В зарисуйте осциллограммы напряжений на выходах макета и прибора. Результаты измерений и расчетов занесите в таблицу по форме 1.

Включите ФВЧ (переключатель макета в положении 2) и проделайте аналогичные измерения для этого фильтра. Отдельно для ФНЧ и ФВЧ постройте семейства графиков измеренных зависимостей K_z от $U_{m\text{ вх}} = \sqrt{2} U_z$ используя в качестве параметра зависимостей частоту входного сигнала.

5.4. *Оценка собственного коэффициента гармоник встроенного*

генератора

Измерьте зависимость собственного коэффициента гармоник генератора прибора СК6-13 от частоты сигнала. Используйте непосредственное соединение входа и выхода макета (положение 3 переключателя) или режим самоконтроля прибора (кнопка ▲), при котором сигнал генератора поступает на вход измерителя. Установите напряжение генератора 5 В. Выберите 10...15 частотных точек в диапазоне 200 Гц ... 200 кГц и измерьте на этих частотах K_g сигнала генератора. Занесите данные измерения в таблицу. Постройте частотную зависимость K_g (f).

5.5. Расчет зависимости коэффициента гармоник активного ФВЧ от амплитуды входного напряжения по экспериментально полученной АХ

Алгоритм вычислений основан на расчете значений K_g по формуле (2.1), в которую подставляются значения амплитуд гармоник (до пятой включительно). Если характеристика $U_{m \text{ вых}} = f(U_{m \text{ вх}})$ задана таблично или графически, то амплитудный спектр реакции на гармоническое воздействие можно определить, не вычисляя коэффициенты аппроксимирующего полинома. При заданной амплитуде входного напряжения $U_{\text{вх}}$ и известном положении рабочей точки они могут быть вычислены приближенным графическим методом "семи ординат" (см. Трохименко Я. К., Любич Ф. Д. Радиотехнические расчеты на микрокалькуляторах, 1983). При слабой нелинейности зависимости $U_{m \text{ вых}} = f(U_{m \text{ вх}})$ с достаточно гладкими участками между семью равноотстоящими узлами с шагом $U_{m \text{ вх}}/3$ (рис. 2.5) амплитуды первых шести гармоник и постоянную составляющую можно вычислить по формулам

$$U_0 = y_4 + (-270\alpha_1 + 756\alpha_2 + 334\alpha_3)/2560;$$

$$U_1 = (-180\beta_1 + 1008\beta_2 + 668\beta_3)/2560;$$

$$U_2 = (-1215\alpha_1 + 486\alpha_2 + 559\alpha_3)/2560;$$

$$U_3 = (-630\beta_1 - 360\beta_2 + 450\beta_3)/2560;$$

$$U_4 = (270\alpha_1 - 756\alpha_2 + 306\alpha_3)/2560;$$

$$U_5 = (810\beta_1 - 648\beta_2 + 162\beta_3)/2560;$$

$$U_6 = (1215\alpha_1 - 486\alpha_2 + 81\alpha_3)/2560,$$

где $\alpha_1 = y_5 + y_3 - 2y_4$, $\alpha_2 = y_6 + y_2 - 2y_4$, $\alpha_3 = y_7 + y_1 - 2y_4$, $\beta_1 = y_1 - y_3$, $\beta_2 = y_6 - y_2$, $\beta_3 = y_7 - y_1$; $y_1 \dots y_7$ — ординаты АХ (мгновенные значения выходного напряжения).

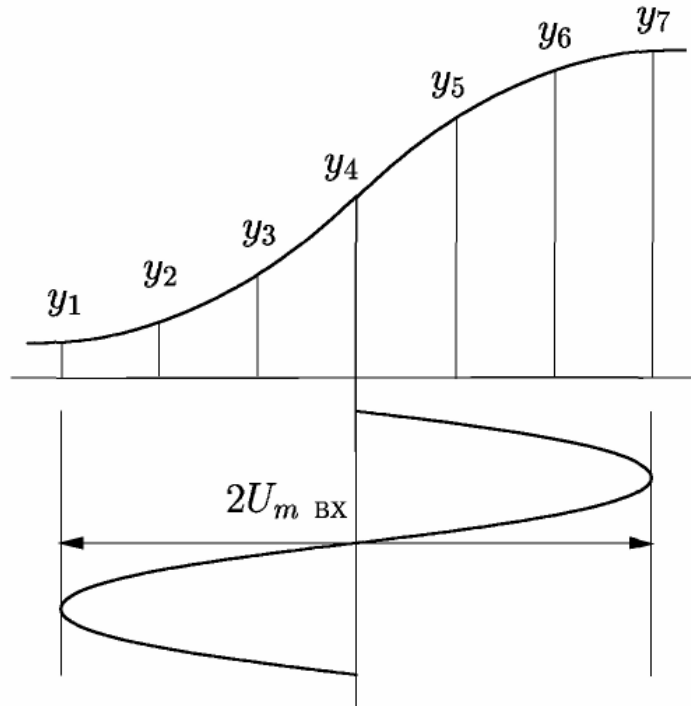


Рис. 5. Выбор ординат амплитудной характеристики (метод "семи ординат")

Вариант метода для симметричной АХ и рабочей точки, расположенной в нуле, позволяет оценить K_T только по третьей и пятой гармоникам (остальные при этом равны нулю, а высшие не учитываются из-за их малости).

Амплитудная характеристика является в этом случае нечетной функцией. На рис. 6 представлен график, поясняющий положение отсчетных ординат АХ в этом случае относительно амплитуды сигнала; они берутся через интервал $U_{m \text{ ВХ}}/3$, и $U_{m \text{ ВХ}}$ соответствует y_3 .

В этом случае ненулевые амплитуды гармоник $u_1 \dots u_3$ равны:

$$\begin{aligned} u_1 &= (-180y_1 + 1008y_2 + 668y_3)/1280; \\ u_3 &= (-630y_1 - 360y_2 + 450y_3)/1280; \\ u_5 &= (810y_1 - 648y_2 + 162y_3)/1280, \end{aligned}$$

где $y_1 \dots y_3$ — ординаты положительной части АХ (мгновенные значения выходного напряжения).

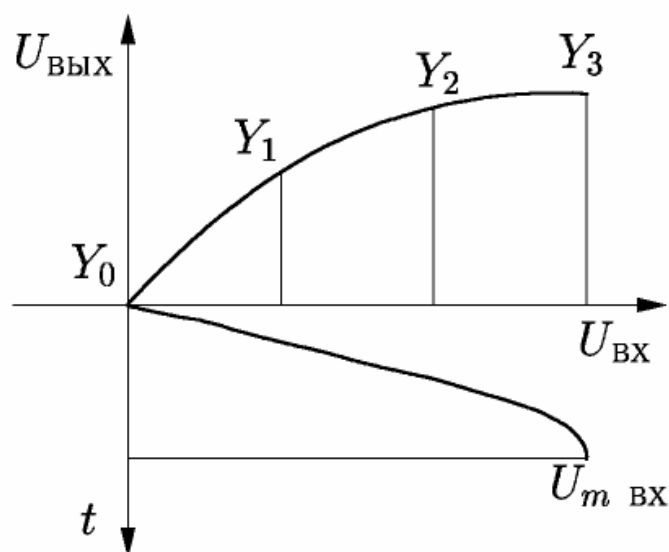


Рис. 6. Выбор ординат амплитудной характеристики для расчета коэффициента гармоник

Вычисления произведите для амплитуд входного напряжения $U_{m \text{ ВХ}} = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ В}$. Значения ординат АХ $y_1 \dots y_3$ возьмите с кривых, построенных по результатам измерений в пункте 5.2. Результаты расчетов сведите в табл. 2. Постройте на одном графике зависимости K_G и амплитуд гармоник от амплитуд входного напряжения. Сравните расчетную зависимость K_G с экспериментальной, полученной для ФВЧ в 5.4.

6. Содержание отчета

Отчет должен содержать структурную схему измерительной установки, упрощенную структурную схему измерителя нелинейных искажений, таблицы с результатами измерений, графики измеренных и рассчитанных зависимостей, а также краткие выводы по каждому из пунктов задания.

7. Рекомендуемые формы таблиц

Таблица 1

$U_{вх}, В$	$U_{m вх}, В$	$K_{Г}, \%$		
		$f = 200, Гц$	$f = 1, кГц$	$f = 2, кГц$

Таблица 2

$U_{вх}, В$	$U_{m 1}, В$	$U_{m 3}, В$	$U_{m 5}, В$	$K_{Г}, \%$

Контрольные вопросы

1. Что такое амплитудная характеристика устройства? Как ее измеряют?
2. Назовите причины возникновения нелинейных искажений в радиоэлектронных устройствах. Укажите нежелательные эффекты, которые они вызывают.
3. Назовите виды нелинейных искажений. В чем их различие?
4. Что называют коэффициентом гармоник? Чем он отличается от коэффициента нелинейных искажений?
5. Объясните принцип действия измерителя нелинейных искажений.
6. Дайте пояснения по структурной схеме прибора СК6-13.
7. Объясните взаимосвязь между формой амплитудной характеристики устройства и зависимостью коэффициента гармоник от амплитуды входного сигнала.
8. Почему значения коэффициента гармоник ФНЧ, измеренные на разных частотах, но при одинаковом входном напряжении, различны?
9. Почему, несмотря на однотипность микросхем ФНЧ и ФВЧ, зависимости их коэффициентов гармоник от входного напряжения разные?
10. С чем связаны трудности измерения АХ инерционных устройств?

Список литературы

Винокуров В. И., Каплин С. И., Петелин И. Г. Электрорадиоизмерения. М.: Высш. шк., 1986.

Мирский Г. З. Электронные измерения. М.: Радио и связь, 1986.

Дворяшин Б. В. Основы метрологии и радиоизмерения. М.: Радио и связь, 1993.

Трохименко Я. К., Любич Ф. Д. Радиотехнические расчеты на микрокалькуляторах. М.: Радио и связь, 1983.

Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин. М.: Высш. шк., 1986.

Основы метрологии и электрические измерения / Под ред. Е. М. Душина. Л.: Энергоатомиздат, 1987.

Кукуш В. Д. Электрорадиоизмерения. М.: Радио и связь, 1986.

Измерения в электронике: Справ. / Под ред. В. А. Кузнецова. М.: Энергоатомиздат, 1987.

Основные термины в области метрологии. / М. Ф. Юдин, М. Н. Селиванов, О. Ф. Тищенко и др. М.: Изд-во стандартов, 1986.

Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений / Пер. с англ. М.: Мир, 1990.