

УДК 681.5.08 : 004.415.538(045)

Г. Е. Соколов, канд. физ.-мат. наук, доц.

ТЕСТИРОВАНИЕ ОСЦИЛЛОГРАФА, ПОСТРОЕННОГО НА ОСНОВЕ ВВОДА СИГНАЛА ЧЕРЕЗ ПОРТЫ ЗВУКОВОЙ КАРТЫ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА

Институт электроники и систем управления НАУ, e-mail: gennadii_sokolov@mail.ru

Исследованы метрологические свойства осциллографов, построенных на основе ввода сигнала через порты «LINE-IN» или «MICROPHONE» звуковой карты персонального компьютера и общеизвестной программы визуального просмотра и измерения сигнала.

Введение. В настоящее время персональный компьютер (ПК) используется в качестве контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) при модернизации ПК с помощью специального оборудования [1]. Однако узкоспециализированное оборудование весьма дорого по сравнению с ПК стандартного состава и потому не получило широкого распространения в Украине.

Но есть принципиальная возможность с помощью общеизвестных программ построить КИА на основе ПК стандартного состава при вводе-выводе сигнала через порты звуковой карты [2]. Однако до сих пор это направление не получило развития и метрологические свойства такой КИА не были исследованы, в противном случае сведения об этом появились бы на известном форуме [3]. Более того, по-прежнему предлагаются приборы на основе ввода-вывода сигнала через цифровые порты с вновь разработанными устройствами согласования [4].

Эта работа посвящена исследованию свойств осциллографов, построенных на основе известной программы визуального просмотра и измерения сигнала и ввода его через порты «LINE-IN» или «MICROPHONE» звуковой карты ПК.

Постановка задачи. Характеристики осциллографа определяются как программой просмотра сигнала, так и типом звуковой карты. Была поставлена задача: провести тестирование четырех типов осциллографов, построенных на основе программы VIP ELECTRONICS LAB OSCILLOSCOPE– 3.0 и встроенных звуковых карт Intel(r) 82801BA/BAM AC'97 Audio Controller (в дальнейшем ЗК1), «C-Media AC'97 Audio Device» (в дальнейшем ЗК2), при вводе сигнала через порты «LINE-IN» и «MICROPHONE» этих звуковых карт.

Измерения проводились на установке, собранной согласно блок-схеме, показанной на рис. 1.

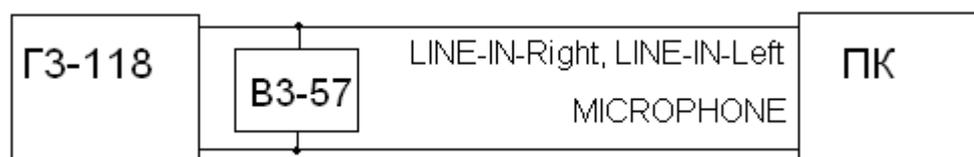


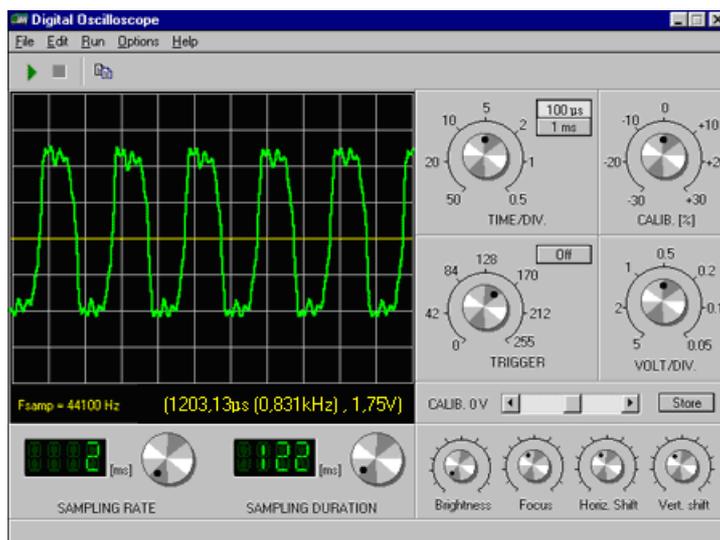
Рис. 1. Блок-схема установки для тестирования осциллографов

В установку входят следующие приборы:

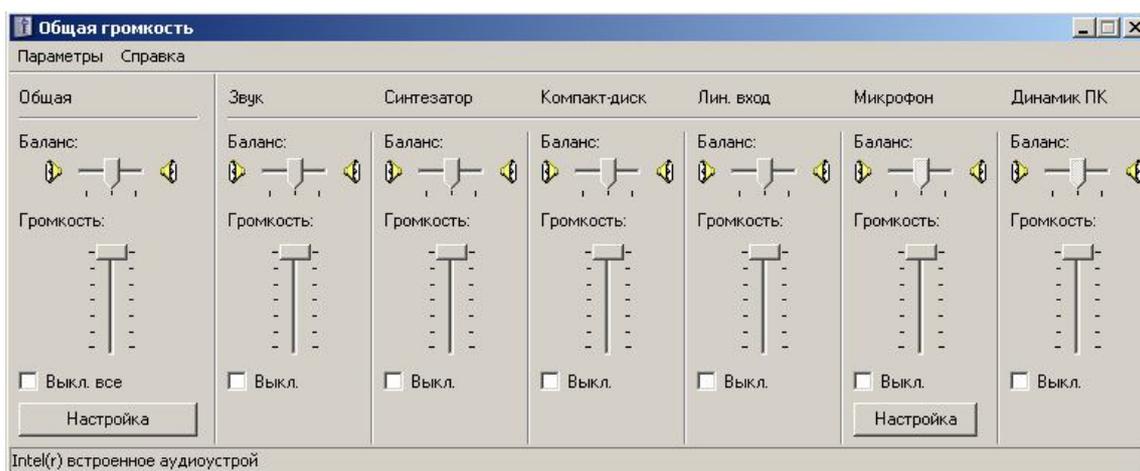
- ГЗ-118 – генератор звуковых сигналов;
- В 3-57 – ламповый вольтметр;
- ПК – персональный компьютер, в состав которого входит ЗК1 или ЗК2 и на котором инсталлирована программа VIP ELECTRONICS LAB OSCILLOSCOPE – 3.0, т. е. тестируемый осциллограф.

Контрольный сигнал на тестируемый осциллограф подается с генератора ГЗ-118 в порты «LINE-IN» или «MICROPHONE» звуковой карты.

Программа VIP ELECTRONICS LAB OSCILLOSCOPE–3.0 эмулирует на экране монитора ПК лицевую панель осциллографа, показанную на рис. 2.



a



б

Рис. 2. Лицевые панели регулировок осциллографов, эмулируемые программами:
a – VIP ELECTRONICS LAB OSCILLOSCOPE– 3.0; *б* – драйвером звуковой карты
(под Windows XP)

На рис. 2, *a* видны регулировка развертки от 50 мкс/дел до 50 мс/дел и регулировка чувствительности по напряжению от 0,05 до 5 В/дел (условных), а на рис. 2, *б* – регулировки входного напряжения «Лин. вход» и «Микрофон» от 0 до максимума в условных единицах шкалы. Все регулировки, влияющие на чувствительность по напряжению, необходимо откалибровать. Необходимо также определить частотные характеристики осциллографов: рабочую полосу частот и погрешности измерения частоты сигнала.

Тестирование осциллографа, построенного на основе ввода сигнала через порт «LINE-IN» ЗК1 (Обозначим этот осциллограф как осциллограф 1). Для калибровки чувствительности по напряжению осциллографа были проведены измерения амплитуды гармонического сигнала на экране осциллографа в условных вольтах (см. рис. 2, *a*) при подаче на входы осциллографа гармонического сигнала с генератора ГЗ-118 (см. рис. 1). подача сигнала производилась отдельно на входы «LINE-IN-Right» и «LINE-IN-Left» и

одновременно на оба входа. Выходное напряжение генератора контролировалось вольтметром ВЗ-57, частота сигнала определялась по указателям регулировок генератора. При этом указатель регулировки чувствительности с помощью драйвера звуковой карты «Лин. вход» (рис. 2, б) устанавливались на максимальную отметку. Во время проведения измерений указатель чувствительности осциллографа на лицевой панели «VOLT/DIV» устанавливался в положение максимально возможного размера изображения сигнала, но на результаты измерений эта регулировка не влияла, поскольку результаты измерений выражались не в делениях шкалы изображения, а сразу в условных вольтах на специальном табло под экраном (рис. 2, а).

Результаты калибровки представлены на рис. 3, а. На нем указаны: по оси X – значение входного напряжения осциллографа в милливольтках, а по оси Y – калиброванная амплитуда гармонического сигнала на экране осциллографа в условных вольтах ($U_{\text{ВЫХ, К}}$). Линия 1 на рис. 3, а соответствует подаче сигнала частотой 500 Гц и 5 кГц на два входа осциллографа одновременно, линия 2 – подаче сигнала частотой 50 Гц на два входа осциллографа одновременно, линия 3 – подаче сигнала частотой 500 Гц и 5 кГц на один из входов осциллографа, линия 4 – подаче сигнала частотой 50 Гц на один из входов осциллографа. Различия в картине на экране осциллографа при подаче сигнала на вход «LINE-IN-Right» и вход «LINE-IN-Left» не зафиксированы.

Как видим, в тестируемом осциллографе обеспечивается высокая степень линейности калибровочной линии чувствительности по напряжению, т. е. независимости величины чувствительности от входного напряжения. Величина дифференциальной чувствительности для линии 1 составляет $S_{д1} = 59$ усл. мВ/мВ, для линии 2 – $S_{д2} = 47$ усл. мВ/мВ, для линии 3 – $S_{д3} = 29,5$ усл. мВ/мВ, для линии 4 – $S_{д4} = 23$ усл. мВ/мВ. Характерно, что чувствительность увеличивается примерно в два раза при подаче сигнала на оба входа одновременно.

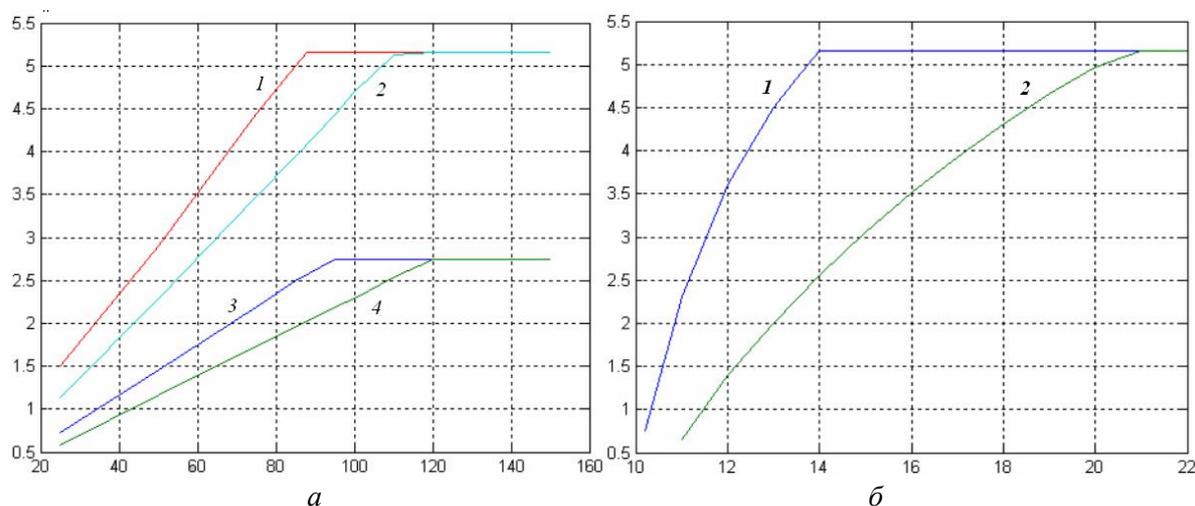


Рис. 3. Калибровочные линии чувствительности по напряжению
а – осциллографа 1; б – осциллографа 2

Сравнение графиков рис. 3, а показывает, что различные величины чувствительности по напряжению осциллографа в сочетании с ограничением сигнала в звуковой карте по выходу приводят к тому, что осциллограф обеспечивает измерение максимальной величины входного напряжения 85 мВ для линии 1; 110 мВ – для линии 2; 95 мВ – для линии 3 и 120 мВ для линии 4. Как видим, частотная зависимость характеристик калиброванной чувствительности по напряжению может быть весьма существенной. Вследствие этого были проведены исследования зависимости калиброванной амплитуды гармонического сигнала на экране осциллографа в условных вольтах $U_{\text{ВЫХ, К}}$ от частоты входного сигнала. Результаты

исследований приведены на рис. 5 (кривая 1). На нем по оси X – значение частоты входного сигнала осциллографа в герцах, а по оси Y – частотный коэффициент

$$K_f = \frac{U_{\text{вых}, f}}{U_{\text{вых}, 500}}, \quad (1)$$

где $U_{\text{вых}, f}$ – калиброванная амплитуда гармонического сигнала на экране осциллографа на частоте f ; $U_{\text{вых}, 500}$ – калиброванная амплитуда гармонического сигнала на экране осциллографа на частоте 500 Гц.

Как видим, в тестируемом генераторе обеспечивается широкий диапазон частот, в котором частотный коэффициент близок к единице. Однако считать этот диапазон рабочим диапазоном частот нельзя. Он отображает лишь процесс измерения осциллографом 1 амплитуды входного сигнала и определяется в основном аппаратурной амплитудно-частотной характеристикой ЗК1. Что касается измерения частоты гармонического сигнала, то здесь ограничение рабочего частотного диапазона определяется частотой дискретизации при оцифровке сигнала в ЗК1, устанавливаемой программно. В используемой программе VIP ELECTRONICS LAB OSCILLOSCOPE– 3.0 частота дискретизации составляет 44100 Гц. На рис. 3 показаны отображения гармонических сигналов разных частот на экране осциллографа. Видно, что уже на частоте 5 кГц искажения формы сигналов становятся значительными, и, следовательно, измерения частоты происходят со значительными погрешностями. Таким образом, измерения частоты могут проводиться в диапазоне частот 10 Гц – 5 кГц. При исследовании сигнала большей частоты на тестируемом осциллографе можно лишь отметить, что он периодичен и измерить его амплитуду. Измерение амплитуды можно провести в диапазоне 10 Гц – 20 кГц.

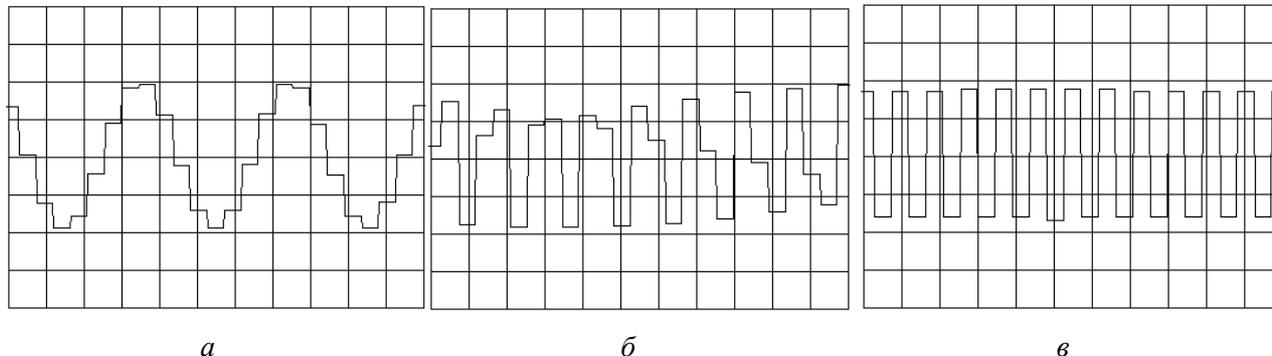


Рис. 4. Измерение частоты (1 деление – 50 мкс):
 а – частота 5 кГц; б – частота 15 кГц; в – частота 22,050 кГц

При проведении калибровки амплитуды гармонического сигнала на экране осциллографа в условных вольтах $U_{\text{вых}, k}$ тестируемого осциллографа регулировки драйвера звуковой карты 1 «Лин. вход» находились в положении максимума. В свою очередь проводилась калибровка регулировки драйвера. Результаты исследования влияния регулировки «Лин. вход» на величину $U_{\text{вых}, k}$ тестируемого осциллографа приведены на рис. 6 (кривая 1 соответствует подаче сигнала на оба входа осциллографа одновременно, а кривая 2 – подаче сигнала на один из входов). На нем по оси X – отложено значение смещения движка указателя регулировки входного напряжения осциллографа «Лин. вход» от самого нижнего положения в условных единицах, где за величину единицы принято расстояние между отметками шкалы указателя, по оси Y – значение коэффициента регулировки драйвера «Лин. вход»:

$$K_{д, зв} = \frac{U_{\text{вых}, L}}{U_{\text{вых}, \text{макс}}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{вых}, L}$ – выходное напряжение при смещении движка указателя регулировки L ; $U_{\text{вых}, \text{макс}}$ – выходное напряжение при максимальном смещении движка указателя.

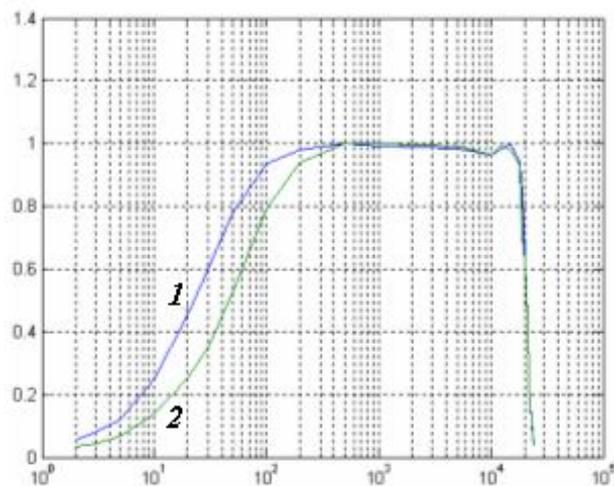


Рис. 5. Частотные коэффициенты чувствительности по напряжению осциллографов 1 и 2

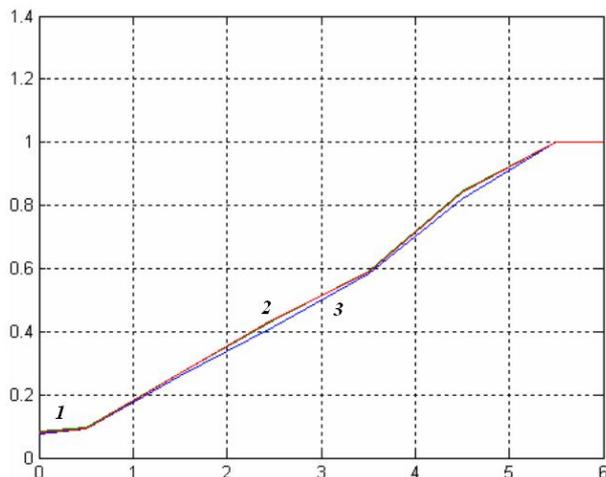


Рис. 6. Коэффициенты регулировки драйверов осциллографов 1 и 2

Как видим, в тестируемом осциллографе не обеспечивается линейность регулировки драйвера ЗК1 «Лин. вход», однако калибровочная кривая не зависит от частоты во всем рабочем диапазоне частот, причем практически совпадает для обоих вариантов подачи входного напряжения.

Таким образом, выходное напряжение осциллографа при произвольном положении регулировок определяется выражением

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}, к} K_f K_{д, зв}, \quad (3)$$

где первый множитель определяется кривой 1 (или 2) на рис. 3, а, второй – кривой 1 на рис. 4, а третий – кривой 1 на рис. 6.

Тестирование осциллографа, построенного на основе ввода сигнала через порт «MICROPHONE» ЗК1. (Обозначим этот осциллограф как осциллограф 2). Для калибровки чувствительности по напряжению осциллографа были проведены измерения амплитуды гармонического сигнала на экране осциллографа в условных вольтах (см. рис. 2, а) при подаче на вход осциллографа гармонического сигнала с генератора ГЗ-118 (см. рис. 1). Подача сигнала производилась на вход «MICROPHONE». Выходное напряжение генератора контролировалось вольтметром ВЗ-57, частота сигнала определялась по указателям регулировок генератора. При этом указатель регулировки чувствительности с помощью драйвера звуковой карты «Микрофон» (рис. 2, в) устанавливался на максимальной отметке. Во время проведения измерений указатель чувствительности осциллографа на лицевой панели «VOLT/DIV» устанавливался в положение максимально возможного размера изображения сигнала, но на результаты измерений эта регулировка не влияла, поскольку результаты измерений выражались в условных вольтах, а не в делениях шкалы изображения. Результаты калибровки показаны на рис. 3, б. На нем указаны: по оси X – значение входного напряжения осциллографа в милливольтках, а по оси Y – калиброванная амплитуда гармонического сигнала на экране осциллографа в условных вольтах $U_{\text{вых}, к}$. Линия 1 на

рис. 3, б соответствует подаче сигнала частотой 500 Гц и 5 кГц на вход осциллографа, линия 2 – подаче сигнала частотой 50 Гц на вход осциллографа.

Как видим, в тестируемом осциллографе не обеспечивается высокая степень линейности калибровочной линии чувствительности по напряжению, т. е. величины чувствительности зависят от входного напряжения. Средняя величина дифференциальной чувствительности для линии 1 $S_{д1} = 1290$ усл. мВ/мВ, а для линии 2 – $S_{д2} = 730$ усл. мВ/мВ при изменении входного напряжения в пределах 10–14 мВ. Характерно, что чувствительность меняется нелинейно, что принципиально увеличивает погрешность измерений. В то же время, значение чувствительности на порядок больше, чем у осциллографа 1, что дает возможность исследовать весьма слабые сигналы.

Сравнение графиков рис. 3, б показывает, что различные значения чувствительности по напряжению осциллографа в сочетании с ограничением сигнала в звуковой карте по выходу приводят к тому, что осциллограф обеспечивает измерение максимальной величины входного напряжения 14 мВ для линии 1, 21 мВ – для линии 2. Как видим, частотная зависимость характеристик калиброванной чувствительности по напряжению для осциллографа 2 очень существенна.

Исходя из этого были проведены исследования зависимости величины $U_{\text{вых, к}}$ от частоты входного сигнала. Результаты исследований приведены на рис. 5 (кривая 2). На нем по оси X показано значение частоты входного сигнала осциллографа в герцах, а по оси Y – частотный коэффициент K_f , определенный по формуле (1). Как видим, по своим частотным свойствам осциллограф 2 мало отличается от осциллографа 1.

При проведении калибровки амплитуды гармонического сигнала на экране осциллографа в условных вольтах $U_{\text{вых, к}}$ тестируемого генератора регулировки драйвера звуковой карты 1 «Микрофон» находились в максимально верхнем положении. В свою очередь проводилась калибровка регулировки драйвера. Результаты исследования влияния регулировки «Микрофон» на величину $U_{\text{вых, к}}$ тестируемого осциллографа приведены на рис. 6 (кривая 3). На нем по оси X показано значение смещения движка указателя регулировки входного напряжения осциллографа «Микрофон» от самого нижнего положения в условных единицах, где за единицу измерения принято расстояние между отметками шкалы указателя. По оси Y отложено значение коэффициента регулировки драйвера «Микрофон», определенное по формуле (2).

Таким образом, выходное напряжение осциллографа при произвольном положении регулировок определяется выражением (3), где первый множитель показан кривой 1 на рис. 3, б, второй – кривой 2 на рис. 4, а третий – кривой 3 на рис. 6.

Тестирование осциллографа, построенного на основе ввода сигнала через порт «LINE-IN» ЗК2. (Обозначим этот осциллограф как осциллограф 3). Для калибровки чувствительности по напряжению осциллографа были выполнены те же измерения, что и при калибровке осциллографа 1.

Результаты калибровки показаны на рис. 7, а. На нем указаны: по оси X – значение входного напряжения осциллографа в милливольтках, а по оси Y – калиброванная амплитуда гармонического сигнала на экране осциллографа в условных вольтах $U_{\text{вых, к}}$. Линия 1 на рис. 7, а соответствует подаче сигнала частотой 500 Гц и 5 кГц на два входа осциллографа одновременно, линия 2 соответствует подаче сигнала частотой 500 Гц и 5 кГц на один из входов осциллографа. Различия в картине на экране осциллографа при подаче сигнала на вход «LINE-IN-Right» и вход «LINE-IN-Left» не зафиксированы.

Как видим, в тестируемом осциллографе обеспечивается высокая степень линейности калибровочной линии чувствительности по напряжению, т. е. независимости величины чувствительности от входного напряжения. Величина дифференциальной чувствительности для линии 1 составляет $S_{д1} = 54,5$ усл. мВ/мВ, для линии 2 – $S_{д2} = 28$ усл. мВ/мВ. Характерно, что величины чувствительности мало отличаются от величин чувствительности

осциллографа 1. Это же справедливо и для величин максимального входного напряжения, которое может быть измерено данным осциллографом.

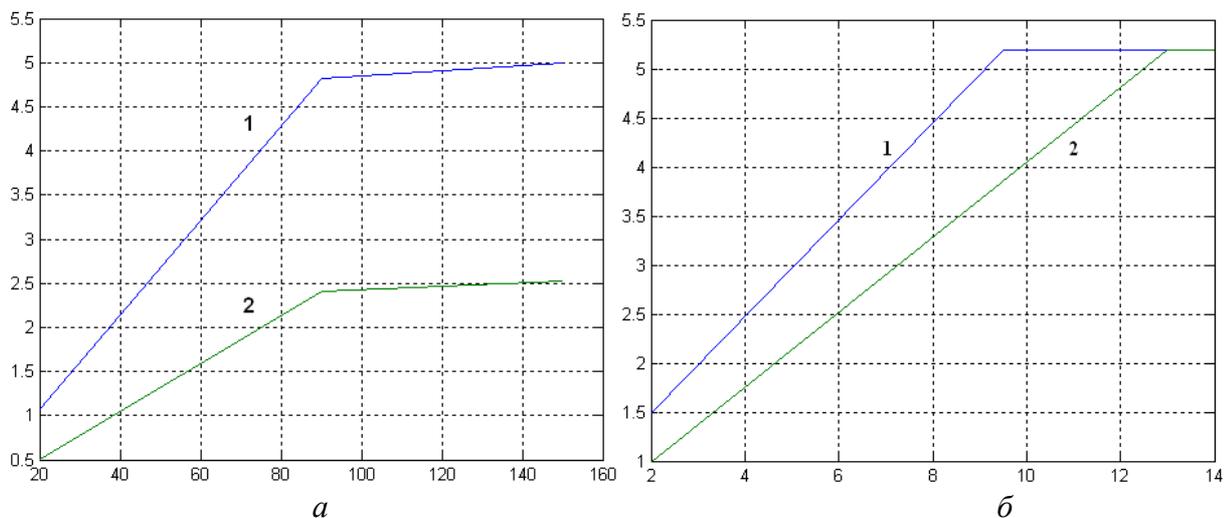


Рис. 7. Калибровочные линии чувствительности по напряжению
a – осциллографа 3 и *б* – осциллографа 4

Что касается величин частотных коэффициентов чувствительности по напряжению для осциллографа 3, то их значения сильно отличаются от значений частотных коэффициентов чувствительности по напряжению для осциллографа 1. Эти значения приведены на рис. 8 (кривая 1). Видно, что с помощью тестируемого осциллографа можно измерять амплитуды переменного напряжения до 60 кГц (при условии соответствующих частотных корректировок). Это не относится к измерению частот периодических сигналов, где картина отображения гармонического сигнала на экране такая же, как на рис. 4, соответственно и диапазон измеряемых частот составляет 20 Гц – 5 кГц. Здесь ограничение рабочего частотного диапазона определяется частотой дискретизации при оцифровке сигнала в ЗК2, устанавливаемой программно той же программой VIP ELECTRONICS LAB OSCILLOSCOPE– 3.0.

При проведении калибровки амплитуды гармонического сигнала на экране осциллографа в условных вольтах $U_{\text{вых, к}}$ тестируемого генератора регулировки драйвера ЗК2 «Лин. вход» находились в положении максимума. В свою очередь, проводилась калибровка регулировки драйвера. Результаты исследования влияния регулировки «Лин. вход» на величину $U_{\text{вых, к}}$ тестируемого осциллографа приведены на рис. 9 (здесь кривая 1 соответствует подаче сигнала на оба входа осциллографа одновременно, а кривая 2 – подаче сигнала на один из входов). На нем по оси X отложено значение смещения движка указателя регулировки входного напряжения осциллографа «Лин. вход» от самого нижнего положения в условных единицах, где как единицу измерения взято расстояние между отметками шкалы указателя. По оси Y отложено значение коэффициента регулировки драйвера «Лин. вход», определенное по формуле (2).

Как видим, в тестируемом осциллографе обеспечивается хорошая линейность регулировки драйвера ЗК1 «Лин. вход», калибровочная кривая не зависит от частоты во всем рабочем диапазоне частот, причем почти совпадает для обоих вариантов подачи входного напряжения.

Таким образом, выходное напряжение осциллографа при произвольном положении регулировок определяется выражением (3), где первый множитель показан кривой 1 (или 2) на рис. 7, *a*, второй – кривой 1 на рис. 8, а третий – кривой 1 на рис. 9.

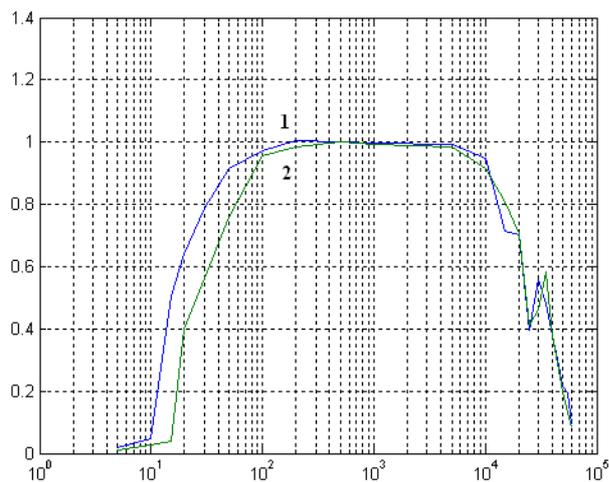


Рис. 8. Частотные коэффициенты чувствительности по напряжению осциллографов 3 и 4

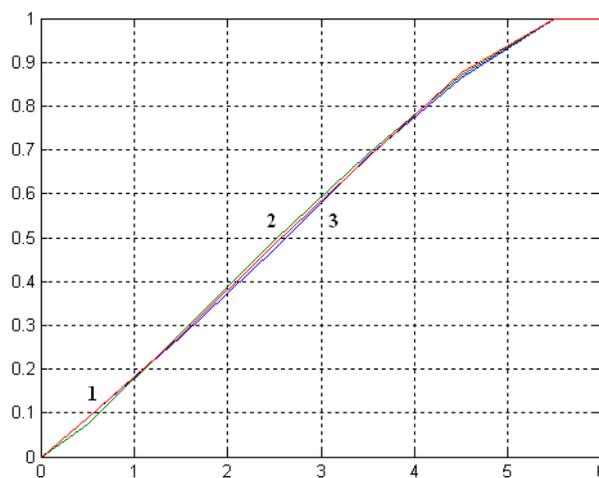


Рис. 9. Коэффициенты регулировки драйверов осциллографов 3 и 4

Тестирование осциллографа, построенного на основе ввода сигнала через порт «MICROPHONE» ЗК2. (Обозначим этот осциллограф как осциллограф 4). Для калибровки чувствительности по напряжению осциллографа были проведены те же измерения, что и при калибровке осциллографа 2.

Результаты калибровки показаны на рис. 7, б. На нем указаны: по оси X – значение входного напряжения осциллографа в милливольтгах, а по оси Y – калиброванная амплитуда гармонического сигнала на экране осциллографа в условных вольтах $U_{\text{вых,к}}$. Линия 1 на рис. 3, б соответствует подаче сигнала частотой 500 Гц и 5 кГц на вход осциллографа, линия 2 – подаче сигнала частотой 50 Гц на вход осциллографа.

Как видим, в тестируемом осциллографе обеспечивается высокая степень линейности калибровочной линии чувствительности по напряжению, т. е. значения чувствительности не зависят от входного напряжения, в отличие от осциллографа 2. Значение дифференциальной чувствительности для линии 1 меняется в пределах $S_{д1} = 500$ усл. мВ/мВ, для линии 2 – $S_{д2} = 380$ усл. мВ/мВ.

Были проведены исследования зависимости величины $U_{\text{вых,к}}$ от частоты входного сигнала. Результаты исследований приведены на рис. 8 (кривая 2). На нем указаны по оси X – значение частоты входного сигнала осциллографа в герцах, а по оси Y – значение частотного коэффициента K_f , определенное по формуле (1). Как видим, по своим частотным свойствам осциллограф 4 мало отличается от осциллографа 3.

Кроме того, проводилась калибровка регулировки драйвера. Результаты исследования влияния регулировки «Микрофон» на величину $U_{\text{вых,к}}$ тестируемого осциллографа приведены на рис. 6 (кривая 3). На нем указаны по оси X – значение смещения движка указателя регулировки входного напряжения осциллографа «Микрофон» от самого нижнего положения в условных единицах, где как единицу измерения использовано расстояние между отметками шкалы указателя. По оси Y отложено значение коэффициента регулировки драйвера «Микрофон», определенное по формуле (2).

Таким образом, выходное напряжение осциллографа при произвольном положении регулировок определяется выражением (3), где первый множитель показан кривой 1 на рис. 7, б, второй – кривой 2 на рис. 8, а третий – кривой 3 на рис. 9.

Выводы

1. Произведена калибровка четырех осциллографов, построенных на основе ввода сигнала через порты «LINE-IN» и «MICROPHONE» двух встроенных звуковых карт («INTEL(R) 82801BA/BAM AC'97 AUDIO CONTROLLER», «C-MEDIA AC'97 AUDIO

DEVICE») и программы визуального просмотра и измерения сигнала (BIP ELECTRONICS LAB OSCILLOSCOPE – 3.0).

2. Осциллограф, построенный на основе ввода сигнала через порт «LINE-IN» звуковой карты «INTEL(R) 82801BA/BAM AC'97 AUDIO CONTROLLER» и программы (BIP ELECTRONICS LAB OSCILLOSCOPE – 3.0), имеет:

- рабочий частотный диапазон 10–5000 Гц;
- максимальную дифференциальную чувствительность 59 усл. мВ/мВ в диапазоне входных напряжений 0–85 мВ.

3. Осциллограф, построенный на основе ввода сигнала через порт «MICROPHONE» звуковой карты «INTEL(R) 82801BA/BAM AC'97 AUDIO CONTROLLER» и программы (BIP ELECTRONICS LAB OSCILLOSCOPE – 3.0), имеет:

- рабочий частотный диапазон 10–5000 Гц;
- максимальное значение средней дифференциальной чувствительности 1290 усл. мВ/мВ в диапазоне входных напряжений 10–14 мВ.

4. Осциллограф, построенный на основе ввода сигнала через порт «LINE- IN» звуковой карты «С-MEDIA AC'97 AUDIO DEVICE» и программы (BIP ELECTRONICS LAB OSCILLOSCOPE – 3.0), имеет:

- рабочий частотный диапазон 10–5000 Гц;
- максимальную дифференциальную чувствительность 54,5 усл. мВ/мВ в диапазоне входных напряжений 0–85 мВ.

5. Осциллограф, построенный на основе ввода сигнала через порт «MICROPHONE» звуковой карты «С-MEDIA AC'97 AUDIO DEVICE» и программы (BIP ELECTRONICS LAB OSCILLOSCOPE – 3.0), имеет:

- рабочий частотный диапазон 20–5000 Гц;
- максимальную дифференциальную чувствительность 590 усл. мВ/мВ в диапазоне входных напряжений 0–10 мВ.

Список литературы

1. <http://www.ni.com/russia>.
2. Зубаль Игорь. Компьютер в роли осциллографа, спектроанализатора, частотомера и генератора. <http://www.terralab.ru/supply/17758/>.
3. <http://www.terralab.ru/>.
4. Тяпичев Г. А. Персональный компьютер в радиолюбительской практике – К.: «Мк- Пресс». – М.: Издат. дом «Додэка-XXI», 2007. – 400 с.

Г. Е. Соколов

Тестування осцилографів, побудованих на основі введення сигналу через порти звукової карти персонального комп'ютера

Досліджено метрологічні властивості осцилографів, побудованих на основі введення сигналу через порти «LINE-IN» або «MICROPHONE» звукової карти персонального комп'ютера та програми візуального огляду та вимірювання сигналу.

G. E. Sokolov

The test of oscilloscopes, were constructed based on signal leading through the computer sound card

This article describes the test of oscilloscopes, were constructed based upon signal incoming through the ports LINE-IN or MICROPHONE of computer sound card.