

УДК 681.5.08 : 004.415.538(045)

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРИБОРОВ

Институт аэронавигации НАУ, e-mail: gennadii_sokolov@mail.ru

Проведен сравнительный анализ метрологических свойств компьютерных приборов, построенных на основе ввода-вывода сигнала через порты звуковых карт разных поколений персонального компьютера.

Ключевые слова: самописец, осциллограф, генератор, метрологические свойства, звуковая карта, компьютер.

Введение. Постановка задачи. Применение компьютеров в составе приборов довольно разнообразно. Так, в последние годы наряду с обычными аналоговыми осциллографами часто используются *цифровые осциллографы*, которые допускают подключение к персональному компьютеру (ПК). Это существенно расширяет возможности таких приборов, позволяя использовать компьютерные средства обработки сигналов. Однако известные приборы такого типа очень дороги [1].

Поэтому производятся также *виртуальные осциллографы*, выполненные в виде приставок к ПК. Название этих приборов условное, так как их виртуальность проявляется лишь в том, что передняя панель осциллографа создается как виртуальная на экране дисплея ПК соответствующими программными средствами. Управление осциллографом осуществляется с помощью графического манипулятора компьютера. Однако отображают эти приборы вполне реальные сигналы на экране дисплея и главное – позволяют обрабатывать сигналы с помощью компьютера.

По сути, подобные аппараты являются цифровыми осциллографическими приставками к ПК, позволяющими исследовать вполне реальные сигналы. Их применение резко упрощает конструкцию прибора, уменьшает его стоимость; появляется возможность легко реализовать цифровые методы обработки сигналов.

В настоящее время выпускаются не только виртуальные осциллографы, но и виртуальные функциональные генераторы. Так, в работе [1] представлена *компьютеризированная измерительная лаборатория* PC-Lab 2000, собранная на базе двух приставок (осциллографа и генератора) и ноутбука. Подключение приставок осуществляется через принтерные порты LPT1, LPT2 или LPT3.

Следует отметить, что используемый термин «*компьютеризированный прибор*» более привычен и употребим по сравнению с термином «*виртуальный прибор*».

Вместе с тем есть возможность создания не «*компьютеризированного*», а «*компьютерного прибора*». В таком приборе нет никаких дополнительных приставок или плат. Сам по себе компьютер выступает в качестве генератора, осциллографа или иного прибора. Входом, принимающим аналоговый сигнал, является вход звуковой карты (ЗК) компьютера. Выходом генератора является выход ЗК компьютера [2].

Несомненно, это наиболее дешевый вид прибора, использующего компьютер. Его стоимость равна стоимости специализированной программы обработки сигнала, проходящего через ЗК компьютера.

Звуковые карты не выпускаются с гарантированными метрологическими характеристиками. Соответственно характеристики компьютерных приборов заранее не известны и существенно зависят от типа ЗК [3 – 5]. Именно поэтому компьютерные приборы не получили до сих пор распространения.

Наиболее перспективными типами ЗК ПК являются встроенные ЗК [6]. Их стандарты определяются разработками Intel, которых придерживаются и другие компании-изготовители. С 1997 г. в компьютерах применялись ЗК стандарта AC'97. С 2004 г. появился новый стандарт – High Definition Audio (HD Audio).

Настоящая работа посвящена исследованию характеристик генераторов, осциллографов, самописцев, построенных на основе известных программ обработки сигнала и ввода-вывода его через порты ЗК ноутбука стандарта HD Audio и сравнению их с характеристиками этих же приборов, построенных на основе ЗК стандарта AC'97. Целью работы является решение вопроса о пределах применимости этого отдельного вида средств измерений – компьютерного прибора.

Сравнительный анализ компьютерных генераторов. Было проведено сравнение характеристик шести типов генераторов, построенных на основе программ «BIP Electronics Lab Sine Wave Generator – 3.0» (в дальнейшем программа 1), «Audio Tester v. 1.4» (в дальнейшем программа 2) и ЗК «Intel(r) 82801BA/BAM AC'97 Audio Controller» (в дальнейшем ЗК1), «C-Media Ac'97 Audio Device» (в дальнейшем ЗК2), «Intel(R) High Definition Audio HDMI» (в дальнейшем ЗК3).

Генератор, построенный на основе ЗК3 и программы 1 обозначим как генератор 1; генератор на основе ЗК3 и программы 2 – как генератор 2; генератор на основе ЗК1 и программы 1 – как генератор 3; генератор на основе ЗК2 и программы 1 – как генератор 4; генератор на основе ЗК1 и программы 2 – как генератор 5; генератор на основе ЗК2 и программы 2 – как генератор 6. Генераторы 1 и 2 тестировались на установке, собранной согласно блок-схеме, показанной на рис. 1 и сравнивались с характеристиками генераторов 3 – 6, исследованных в работе [3].

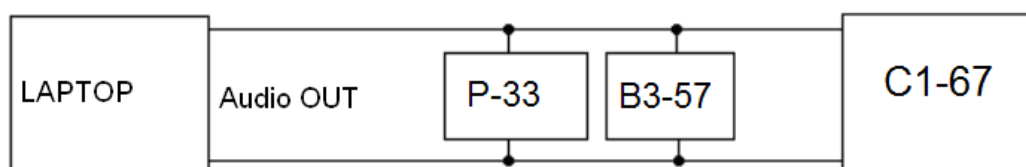


Рис. 1. Блок-схема установки для тестирования генераторов: P-33 – магазин сопротивлений; ВЗ-57 – ламповый вольтметр; С1-67 – осциллограф; LAPTOP – ноутбук

В состав ноутбука входит встроенная ЗК3, на нем установлены названные выше программы, т. е. это и есть тестируемый генератор. Выходной сигнал тестируемого генератора снимается с порта Audio-OUT ЗК.

Порядок исследований описан в работах [3; 7].

На рис. 2, а сравниваются калибровочные характеристики генератора 1 (линия 1), генератора 3 (линия 3) и генератора 4 (линия 4). Видно, что ЗК стандарта HD Audio обеспечивает более высокое выходное напряжение генератора по сравнению с ЗК стандарта AC'97. Линейность калибровочных характеристик у сравниваемых генераторов одинаково высока. (Калибровочная характеристика генератора – это зависимость выходного напряжения генератора от регулировки программы 1).

На рис. 3, а сравниваются калибровочные коэффициенты регулировок драйверов «Громкость» и «Звук» генератора 1 (линии 1 и 2 соответственно), регулировки драйвера «Звук» генератора 3 (линия 2) и регулировок драйверов «Общая» и «Звук» генератора 4 (линии 3 и 4 соответственно). Видно, что регулировки «Громкость» и «Общая» обеспечивают высокую линейность характеристики в отличие от регулировки «Звук» для ЗК обоих стандартов. Однако сравнение шкал регулировок программы 1 и драйверов ЗК показывает, что для всех ЗК предпочтительней пользоваться регулировками программы 1, так как они обеспечивают более точную установку нужного выходного напряжения генератора. (Коэффициент регулировки драйвера генератора – это зависимость выходного напряжения генератора, нормированная на максимальную величину, от регулировки драйвера).

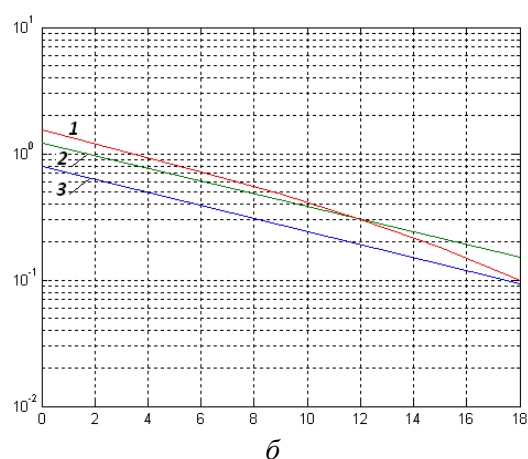
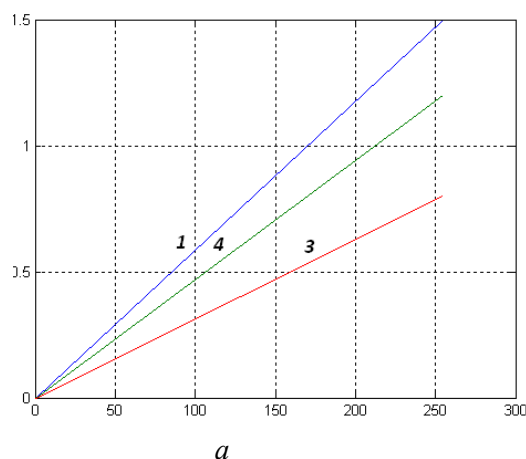


Рис. 2. Калибровочные характеристики выходного напряжения генераторов
 a – 1, 3 и 4; b – 2, 5 и 6

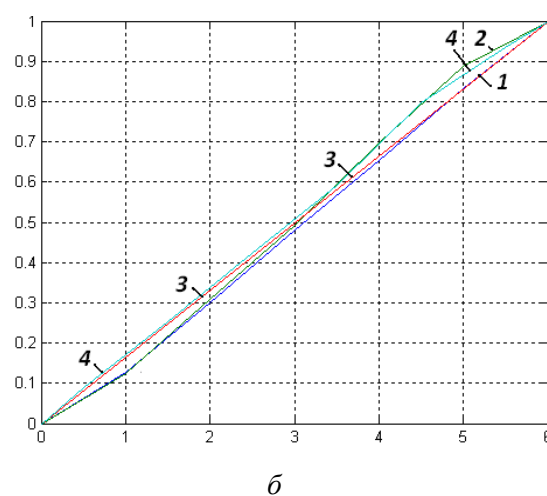
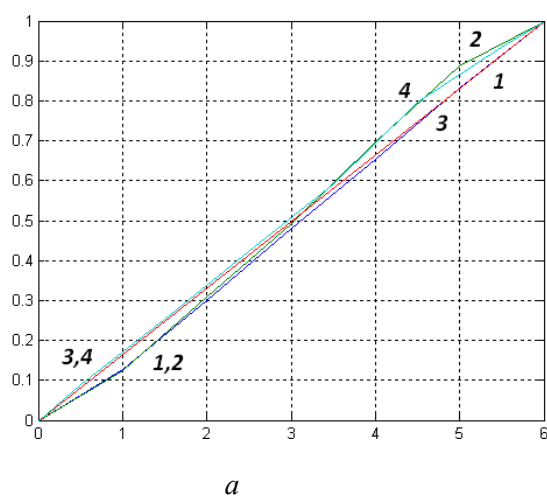


Рис. 3. Коэффициенты регулировки драйверов для генераторов
 a – 1, 3 и 4; b – 2, 5 и 6

На рис. 4, a сравниваются частотные характеристики генератора 1 (линия 1), генератора 3 (линия 2) и генератора 4 (линия 3). Видно, что ЗК стандарта HD Audio обеспечивает более равномерную частотную характеристику генератора по сравнению с ЗК стандарта AC'97. (Частотный коэффициент генератора – это зависимость выходного напряжения генератора от регулировки частоты, нормированного на величину напряжения при регулировке 500 Гц).

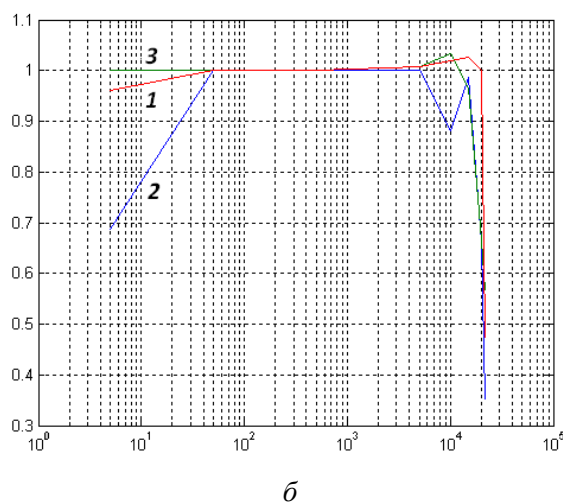
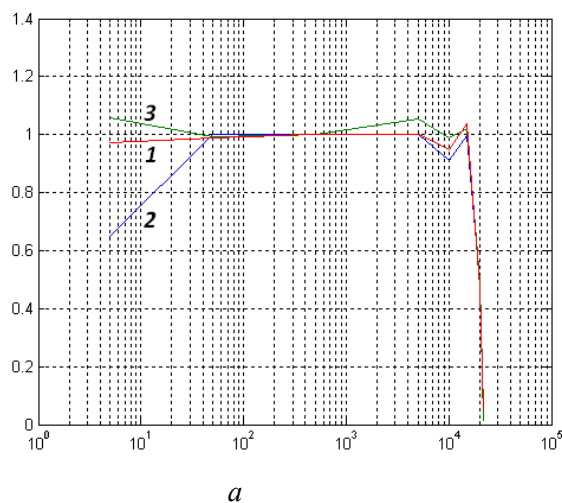


Рис. 4. Частотные коэффициенты генераторов
 a – 1, 3 и 4; b – 2, 5 и 6

На рис. 5, а сравниваются калибровочные линии регулировки частоты генератора 1 (линия 1), генератора 3 (линия 2) и генератора 4 (линия 3). (Калибровочные линии регулировки частоты генератора – это зависимость частоты выходного напряжения генератора от регулировки частоты). Видно, что необходимая точность установки нужной частоты обеспечивается для рассмотренных генераторов в пределах полосы частот (5 – 5000) Гц.

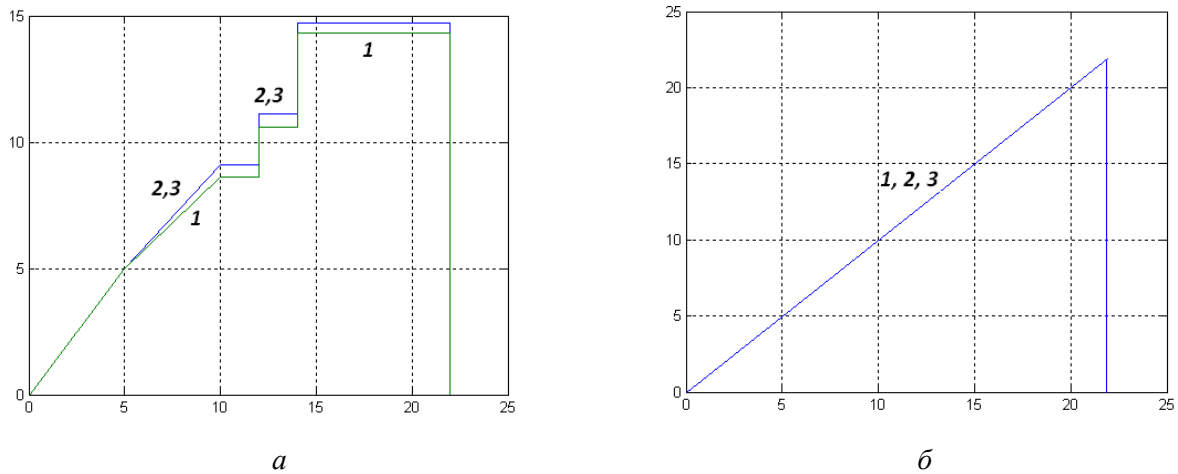


Рис. 5. Калибровочные линии регулировки частоты генераторов
а – 1, 3 и 4; б – 2, 5 и 6

В таблице сравниваются энергетические характеристики генераторов 1, 3, 4. Видно, что ЗК стандарта HD Audio обеспечивает большую выходную мощность сигнала генератора по сравнению с ЗК стандарта AC'97. Кроме того, необходимо отметить, что довольно большой разброс значений показывает, что в составе ЗК1 работает стабилизатор выходного напряжения, меняющий сопротивление генератора при изменении нагрузки.

Энергетические характеристики генераторов 1, 3, 4

Параметры	ЗК1(генераторы 3, 5)	ЗК2(генераторы 4, 6)	ЗК3 (генераторы 1, 2)
$R_{г}, \text{Ом}$	$11,1 \pm 0,2$	$39,9 \pm 0,2$	$6,53,1 \pm 0,65$
$I_{\text{макс}}, \text{мА}$	72	30,1	230
$P_{\text{макс}}, \text{мВт}$	15,3	9,0	86

На рис. 2, б сравниваются калибровочные характеристики генератора 2 (линия 1), генератора 5 (линия 2) и генератора 6 (линия 3). Видно, что ЗК стандарта HD Audio обеспечивает более высокое выходное напряжение генератора по сравнению с ЗК стандарта AC'97, однако линейность калибровочных характеристик у генератора 2 существенно хуже.

На рис. 3, б сравниваются калибровочные характеристики регулировок драйверов «Громкость» и «Звук» генератора 2 (линии 1 и 2), регулировки драйвера «Звук» генератора 5 (линия 2) и регулировок драйверов «Общая» и «Звук» генератора 6 (линии 3 и 4). Видно, что эти характеристики с графической точностью близки к тем, что приведены для генераторов 1, 3, 4 на рис. 3, а, поэтому можно сделать вывод: регулировки программ 1 и 2 и регулировки драйверов ЗК не влияют друг на друга.

На рис. 4, б и 5, б сравниваются частотные свойства генератора 2 (линия 1), генератора 5 (линия 2) и генератора 6 (линия 3). Видно, что ЗК стандарта HD Audio обеспечивает более равномерную частотную характеристику генератора по сравнению с ЗК стандарта AC'97. Что касается необходимой точности установки нужной частоты, то она обеспечивается для рассмотренных генераторов в пределах полосы частот (5 – 22000) Гц. Таким образом, программа 1 существенно ухудшает частотные свойства генераторов.

Энергетические характеристики генераторов 2, 5, 6 сравниваются в таблице. Они совпадают с энергетическими характеристиками генераторов 1, 3, 4. Таким образом, эти характеристики полностью определяются видом ЗК.

Сравнительный анализ компьютерных осциллографов. Проведено сравнение характеристик шести типов осциллографов, построенных на основе программы «BIP electronics lab oscilloscope – 3.0» (в дальнейшем программа 3) и звуковых карт ЗК1, ЗК2, ЗК3.

Осциллограф, построенный на основе ввода сигнала через порт «Audio in» в режиме «Лин. вход» ЗК3 обозначим как осциллограф 1; осциллограф на основе ввода сигнала через порт «Audio in» в режиме «Микрофон» ЗК3 – как осциллограф 2; осциллограф на основе ЗК1 и ввода сигнала через порт «LINE-IN» – как осциллограф 3; осциллограф, построенный на основе ЗК2 и ввода сигнала через порт «LINE-IN» – как осциллограф 4; осциллограф на основе ЗК1 и ввода сигнала через порт «MICROPHONE» – как осциллограф 5; осциллограф на основе ЗК2 и ввода сигнала через порт «MICROPHONE» – как осциллограф 6. Осциллографы 1 и 2 тестировались на установке, собранной согласно блок-схеме, показанной на рис. 1 и сравнивались с характеристиками осциллографов 3 – 6, исследованных в работе [4].

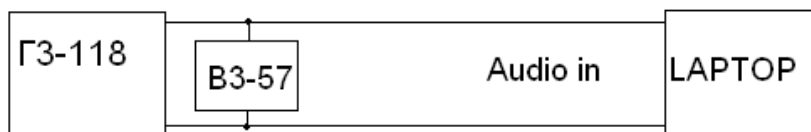


Рис. 6. Блок-схема установки для тестирования осциллографов и самописцев: ВЗ-57 – ламповый вольтметр; ГЗ-118 – генератор звуковых сигналов; LAPTOP – ноутбук

Контрольный сигнал на тестируемый осциллограф подается с генератора ГЗ-118 в порты «Audio in» звуковой карты. Порядок исследований описан в работах [4; 8].

Калибровочные характеристики осциллографа 1 сравниваются на рис. 7, а (линии 1 – подача сигнала производилась отдельно на физические входы разъема «Audio in Right» или «Audio in Left» и 2 – одновременно на оба входа), осциллографа 3 (линия 3) и осциллографа 4 (линия 4). Видно, что ЗК стандарта HD Audio обеспечивает примерно одинаковую дифференциальную чувствительность и динамический диапазон по сравнению с ЗК стандарта AC'97. Линейность калибровочных характеристик у сравниваемых осциллографов одинаково высока. (Калибровочная характеристика чувствительности осциллографа – это зависимость измеряемой амплитуды гармонического сигнала в условных единицах от эффективной величины входного сигнала).

На рис. 8, а сравниваются коэффициенты регулировки драйверов «Лин. вх» осциллографа 1 (линия 1), осциллографа 3 (линия 2) и осциллографа 4 (линия 3).

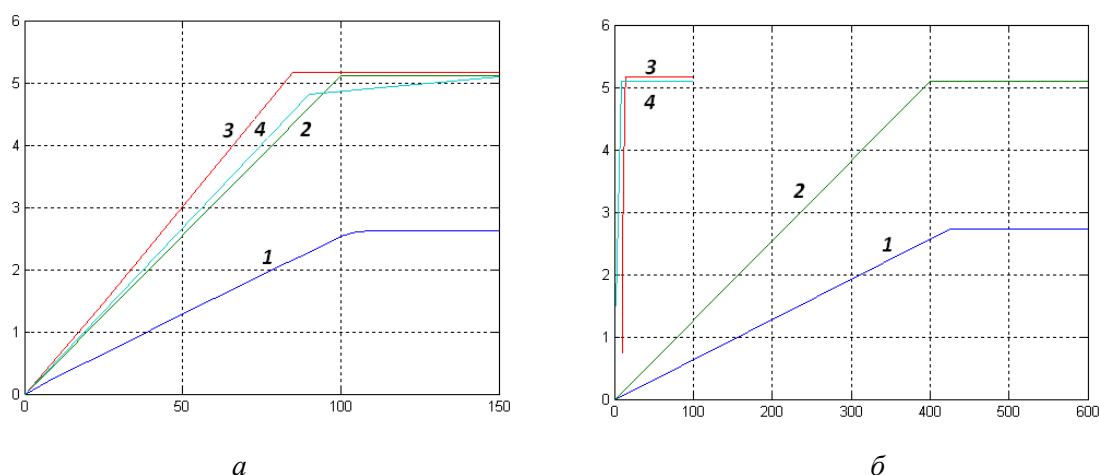


Рис. 7. Калибровочные характеристики чувствительности по напряжению осциллографов:
а – 1, 3 и 4; б – 2, 5 и 6

Видно, что обеспечивается довольно высокая линейность характеристик для ЗК обоих стандартов с примерно одинаковым качеством. Однако для всех ЗК предпочтительней пользоваться регулировками программы 1, так как они обеспечивают более точное

измерение входного напряжения осциллографа. (Коэффициенты регулировки драйвера осциллографа – это зависимость измеряемой амплитуды гармонического сигнала в условных единицах, нормированная на максимальную величину, от регулировки драйвера).

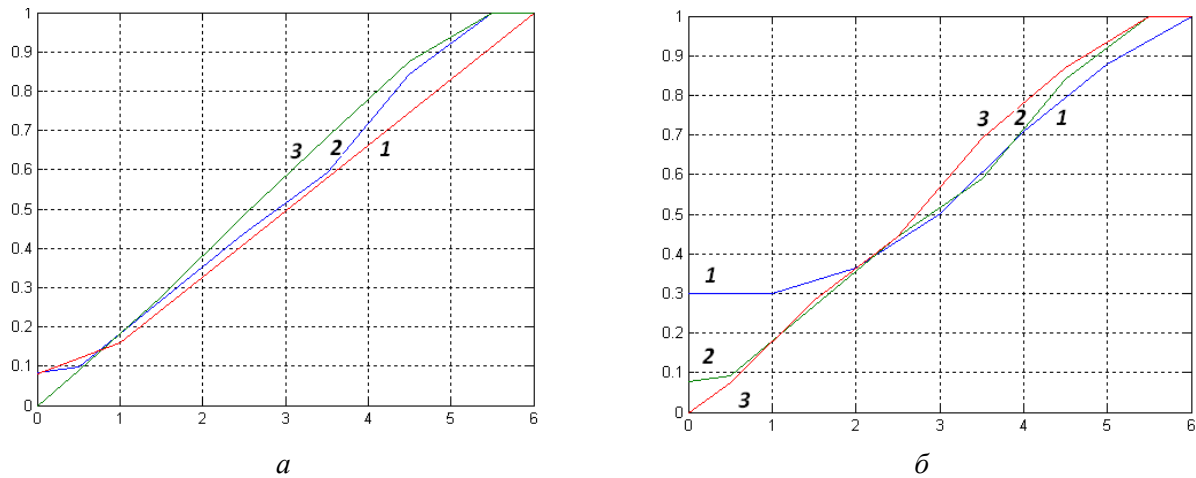


Рис. 8. Коэффициенты регулировки драйверов осциллографов
а – 1, 3 и 4; б – 2, 5 и 6

На рис. 9, а сравниваются частотные свойства осциллографа 1 (линия 1), осциллографа 3 (линия 2) и осциллографа 4 (линия 3). (Частотный коэффициент чувствительности по напряжению осциллографа – это зависимость измеряемого напряжения от частоты входного напряжения, нормированного на величину напряжения при 500 Гц). Видно, что ЗК стандарта HD Audio обеспечивает более равномерную частотную характеристику осциллографа по сравнению с ЗК стандарта AC'97.

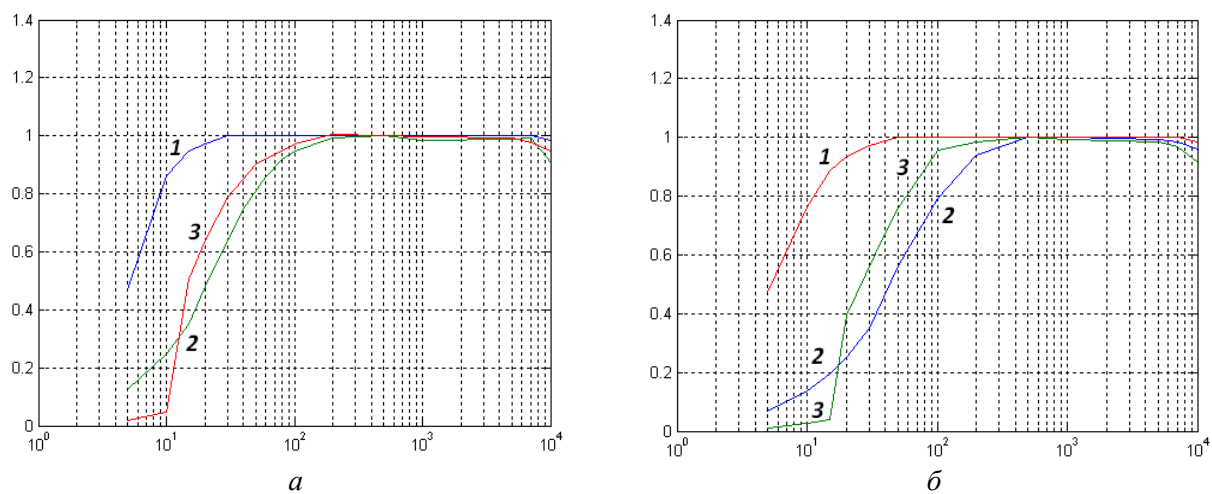


Рис. 9. Частотные коэффициенты чувствительности по напряжению осциллографов:
а – 1, 3 и 4; б – 2, 5 и 6

На рис. 7, б сравниваются калибровочные характеристики чувствительности по напряжению осциллографа 2 (линия 1 и 2), осциллографа 5 (линия 3) и осциллографа 6 (линия 4). Видно, что ЗК стандарта HD Audio обеспечивает гораздо более широкий динамический диапазон и линейность калибровочных характеристик осциллографа по сравнению с ЗК стандарта AC'97, однако дифференциальная чувствительность калибровочных характеристик у осциллографа 2 на много меньше, что не позволяет исследовать слабые сигналы.

На рис. 8, б сравниваются коэффициенты регулировок драйверов «Микрофон» осциллографа (линия 1), осциллографа 5 (линия 2) и осциллографа 6 (линия 3). Видно, что эти характеристики несколько отличаются от тех, что приведены для осциллографов 1, 3, 4 на рис. 8, а, поскольку используют различные входы ЗК.

На рис. 9, б сравниваются частотные свойства осциллографа 2 (линия 1), осциллографа 5 (линия 2) и осциллографа 6 (линия 3). Видно, что ЗК стандарта HD Audio обеспечивает более равномерную частотную характеристику генератора по сравнению с ЗК стандарта AC'97. Эти характеристики практически очень близки к тем, что приведены для осциллографов 1, 3, 4 на рис. 9, а, поэтому обобщающие выводы для них те же.

Как видим, в тестируемых осциллографах 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 ЗКЗ. Что касается измерения частоты гармонического сигнала, то здесь ограничение рабочего частотного диапазона определяется частотой дискретизации при оцифровке сигнала в ЗКЗ, устанавливаемой программно. В используемой программе VIP ELECTRONICS LAB OSCILLOSCOPE– 3.0 частота дискретизации составляет 44100 Гц. 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 рабочем диапазоне частот 5 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 дополнительно вне рабочего диапазона на частотах 5 – 10 кГц (с неопределенными, но значительными погрешностями).

Сравнительный анализ компьютерных самописцев. Проведено сравнение характеристик шести типов самописцев, построенных на основе программ «Звукозапись» и «MATLAB 6.5» (в дальнейшем программа 4) и звуковых карт ЗК1, ЗК2, ЗК3.

Самописец, построенный на основе ввода сигнала через порт «Audio in» в режиме «Лин. вход» ЗКЗ обозначим как самописец 1; самописец на основе ввода сигнала через порт «Audio in» в режиме «Микрофон» ЗКЗ – как самописец 2; самописец на основе ЗК1 и ввода сигнала через порт «LINE-IN» – как самописец 3; самописец на основе ЗК1 и ввода сигнала через порт «MICROPHONE» – как самописец 5; самописец на основе ЗК2 и ввода сигнала через порт «LINE-IN» – как самописец 4; самописец на основе ЗК2 и ввода сигнала через порт «MICROPHONE» – как самописец 6. Самописцы 1 и 2 тестировались на установке, собранной согласно блок-схеме, показанной на рис. 6 и сравнивались с характеристиками самописцев 3 – 6, исследованных в работе [5].

Контрольный сигнал на тестируемый осциллограф подавался с генератора ГЗ-118 в порты «Audio in» ЗК. Порядок исследований описан в работе [5].

На рис. 10, а сравниваются калибровочные характеристики чувствительности по напряжению самописцев 1, 3 и 4 (линии 1– подача сигнала производилась отдельно на физические входы разъема «Audio in- Right» или «Audio in- Left», 2 – одновременно на оба входа, 3 – одновременно на оба входа и запись в режиме «стерео»). Видно, что ЗК стандарта HD Audio обеспечивает примерно одинаковую дифференциальную чувствительность и динамический диапазон по сравнению с ЗК стандарта AC'97. Линейность калибровочных характеристик у сравниваемых самописцев одинаково высока.

Обращает внимание некоторое различие линий 2 и 3. Оно показывает влияние программы «Звукозапись» на характеристики самописца 1. Это необходимо учитывать при двухканальной записи самописцем.

Идентичность каналов при двухканальной записи самописцем измерялись при подаче одного сигнала частотой 500 Гц на вход «LINE-IN-Right» и вход «LINE-IN-Left» одновременно. Исследования были проведены для самописцев 1, 3, 5. Они показали, что идентичность каналов в звуковой карте нового стандарта существенно улучшена по сравнению с предыдущим стандартом.

На рис. 10, б аналогично сравниваются калибровочные характеристики чувствительности по напряжению самописцев 2, 5 и 6. Видно, что ЗК стандарта HD Audio

обеспечивает гораздо более широкий динамический диапазон и линейность калибровочных характеристик осциллографа по сравнению с ЗК стандарта АС'97, что дает возможность использовать самописец 2 по назначению, в то время, как узкий динамический диапазон сильно ограничивает возможности самописцев 5 и 6 (так же, как и осциллографов 5 и 6).

И это не единственное сходство свойств самописцев и осциллографов одинаковых номеров. У них одинаковые коэффициенты регулировки драйверов (см. рис. 8) и одинаковые частотные коэффициенты чувствительности по напряжению (см. рис. 9) (при условии установления частоты дискретизации самописца 44100 Гц). Этот факт поясняется тем, что данные компьютерные приборы используют одинаковые входы одинаковых ЗК и отличаются лишь программами обработки введенного сигнала. Очевидно, что программа 4 обладает несоизмеримо большими возможностями такой обработки по сравнению с программой 3.

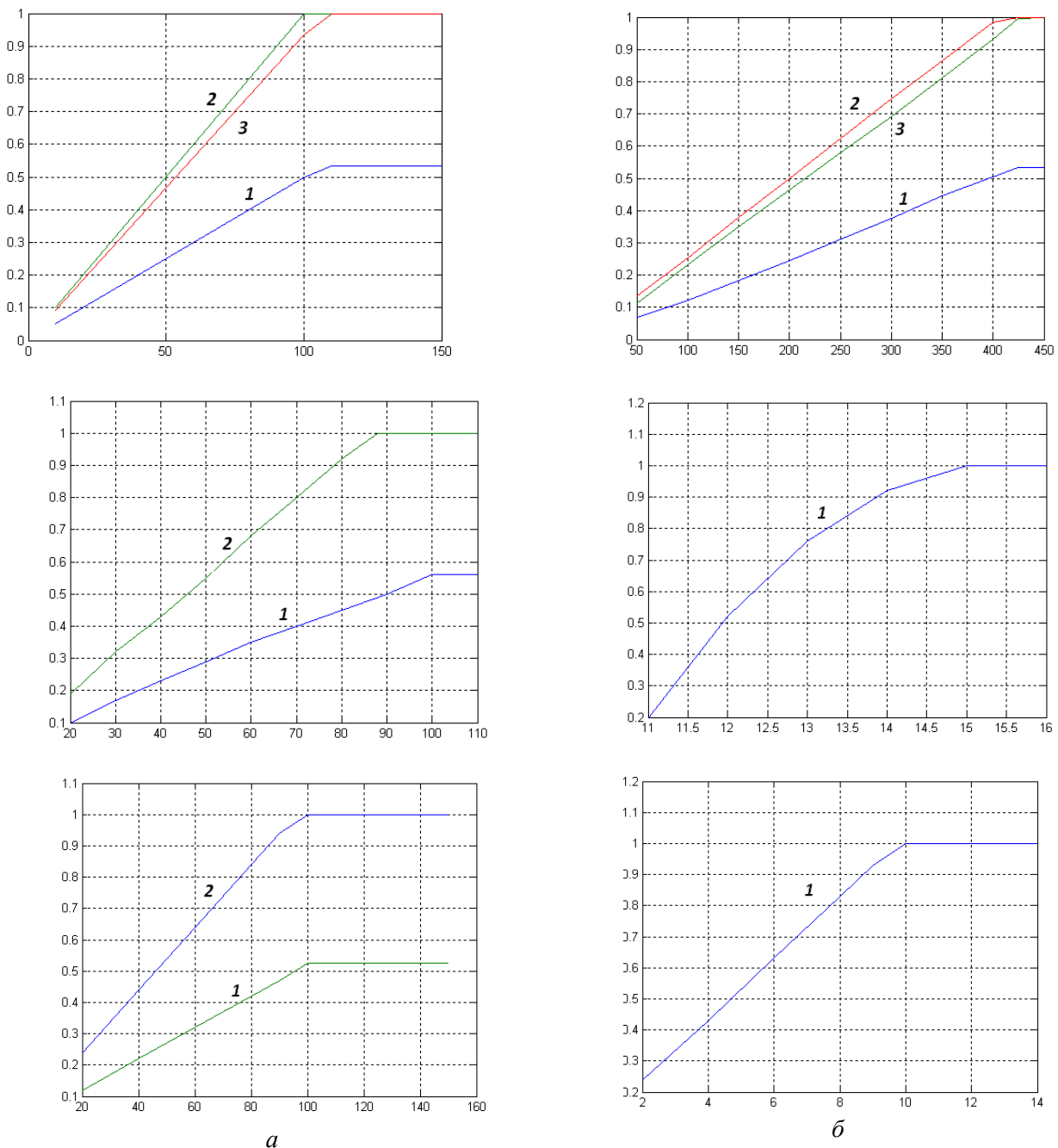


Рис 10. Калибровочные линии чувствительности самописцев по напряжению
 а – 1, 3 и 4; б – 2, 5 и 6

Выводы.

1. Проведен сравнительный анализ характеристик генераторов, построенных на основе вывода сигналов через порты компьютерных ЗК стандарта HD Audio и стандарта AC'97.

Генераторы, построенные на основе звуковых карт стандарта HD Audio по сравнению с генераторами на основе ЗК стандарта AC'97 обладают:

- большим выходным напряжением;
- большей выходной мощностью;
- более равномерной частотной характеристикой;
- одинаковым качеством характеристик регулировок драйверов ЗК;

Наилучший генератор, построенный на основе звуковой карты «INTEL(R) HIGH DEFINITION AUDIO HDMI» и программы «AUDIO TESTER V. 1.4», имеет:

- рабочий частотный диапазон 5 – 20000 Гц;
- диапазон выходных напряжений 0 – 1,55 В;
- максимальную мощность в нагрузке 86,0 мВт.

2. Проведен сравнительный анализ характеристик осциллографов, построенных на основе вывода сигналов через порты компьютерных ЗК стандарта HD Audio и стандарта AC'97.

Осциллографы, построенные на основе ЗК стандарта HD Audio по сравнению с осциллографами на основе ЗК стандарта AC'97 обладают:

- одинаковой чувствительностью и динамическим диапазоном на входе «Лин. вход»;
- гораздо меньшей чувствительностью и гораздо большим динамическим диапазоном на входе «Микрофон»;
- более равномерной частотной характеристикой;
- одинаковым качеством характеристик регулировок драйверов ЗК;
- одинаковым частотным диапазоном.

Наилучший осциллограф, построенный на основе ввода сигнала через порт «Audio in» в режиме «Лин. вход» звуковой карты «INTEL(R) HIGH DEFINITION AUDIO HDMI» и программы «BIP ELECTRONICS LAB OSCILLOSCOPE – 3.0», имеет:

- рабочий частотный диапазон 10 – 5000 Гц;
- максимальную дифференциальную чувствительность 51,0 усл. ед. мВ/мВ в диапазоне входных напряжений 0 – 100 мВ.

3. Проведен сравнительный анализ характеристик самописцев, построенных на основе вывода сигналов через порты компьютерных ЗК стандарта HD Audio и стандарта AC'97.

Отличие самописцев, построенных на основе ЗК стандарта HD Audio от самописцев на основе ЗК стандарта AC'97 аналогично отличию соответствующих осциллографов, что указывает на характеристики ЗК в качестве основной причины указанного отличия.

Наилучший двухканальный самописец, построенный на основе ввода сигнала через порт LINE- IN звуковой карты «INTEL(R) HIGH DEFINITION AUDIO HDMI» и программы «MATLAB 6.5» имеет:

- рабочий частотный диапазон 10 – 5000 Гц;
- максимальную дифференциальную чувствительность $10 \cdot 10^{-3}$ усл. ед./мВ в диапазоне входных напряжений 0 – 100 мВ.
- относительную разницу значений амплитуд сигналов в двух каналах самописца – менее 0,1 %, при этом разницы в сдвиге фазы составляет меньше, чем возможно зафиксировать (4°).

4. При таких характеристиках исследованные компьютерные приборы могут найти применение в таких областях деятельности, как образование, медицина, акустика..

5. Конструировать компьютерные приборы лучше на основе программы «MATLAB 6.5» и ее дальнейших модернизаций.

Список литературы

1. Афонский А. А. Измерительные приборы и массовые электронные измерения / А. А. Афонский., В. П. Дьяконов – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2007. – 544 с.
2. Зубаль Игорь. Компьютер в роли осциллографа, спектроанализатора, частотомера и генератора. <http://www.terralab.ru/supply/17758/>
3. Соколов Г. Е. Тестирование генератора, построенного на основе вывода сигнала через порт звуковой карты персонального компьютера // Електроніка та системи управління. – 2008. – №4(18). – С. 40 – 47.
4. Соколов Г. Е. Тестирование осциллографа, построенного на основе ввода сигнала через порты звуковой карты персонального компьютера // Електроніка та системи управління. – 2009. – №1(19). – С. 60 – 68.
5. Соколов Г. Е. Тестирование самописца, построенного на основе ввода сигнала через порты звуковой карты персонального компьютера // Електроніка та системи управління. – 2009. – №3(21). – С. 5 – 13.
6. Мюллер, Скотт. Модернизация и ремонт ПК. – 18-е изд.: пер. с англ. – М.: ООО «И.д. Вильямс», – 2009. – 1280 с.
7. Соколов Г. Е. Сравнительный анализ характеристик компьютерных генераторов: матеріали ІХ Міжнар. наук.-техн. конф. «Авіа-2009» (Київ, 2009 р.) – К.: НАУ, 2009. – С. 12.46 – 12.53.
8. Соколов Г. Е. Сравнительный анализ характеристик компьютерных осциллографов: матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2009» (Київ, 2009 р.) – К.: НАУ, 2009. – С. 12.54 – 12.60.

Г. Є. Соколов

Порівняльний аналіз комп'ютерних приладів

Проведено порівняльний аналіз метрологічних характеристик комп'ютерних приладів, побудованих на основі введення-виведення сигналу через порти звукових карт різних поколінь персонального комп'ютера.

G. E. Sokolov

Comparative analysis of computer instruments

Comparative analysis of metrology characteristic of computer instruments that were constructed based upon signal incoming- outgoing through the ports of different generations computer sound cards.