

НЧ-генератор синусоидальных сигналов с 12 фиксированными частотами

Алексей Кузьминов (compmicrosys@mail.ru)

В статье описан генератор гармонических колебаний на 12 фиксированных частот в диапазоне 20 Гц...20 кГц с регулируемой амплитудой до 1,5 В, что во многих случаях достаточно для проверки и диагностики аудиоаппаратуры. Генератор сконструирован на базе ОУ ОРА2134 и миниатюрной лампы накаливания СМН6-20-1. Отличительная особенность генератора – стабильность амплитуды и низкие искажения синусоидального сигнала. Для питания генератора использован также описанный в статье миниатюрный двуполярный источник питания (ИП) со стабилизированными напряжениями $\pm 3,5$ В.

Введение

Для настройки аудиоустройств (предварительный усилитель, УМЗЧ и т.п.) требуется генератор синусоидального сигнала, работающий в звуковом диапазоне частот (20 Гц...20 кГц) с возможностью плавного изменения амплитуды от 0 до 1,5 В и имеющий достаточно низкие искажения. Если для настройки устройств, работающих с входным аудиосигналом (например, предварительный усилитель), требуются амплитуды не более 0,3 В (максимальное значение

амплитуды стандартного входного аудиосигнала), то для настройки, например, УМЗЧ требуется входной сигнал, максимальное значение которого, как правило, не превышает 1,5 В. НЧ-генераторы, выпускаемые промышленностью, если их применять для подобных целей, обладают существенной избыточностью: во-первых, их диапазон частот намного шире звукового, во-вторых, амплитуда их выходного сигнала также намного превышает 1,5 В. Кроме того, эти генераторы выпускаются с уже встроенным

источником питания (ИП) и, в связи с этим, в достаточно габаритных корпусах. В итоге стоимость подобных генераторов довольно высока (от 5000 руб. и выше).

В то же время подобный генератор можно сконструировать и своими силами. Такой генератор не обладает вышеуказанной избыточностью, в связи с чем он миниатюрен, а его стоимость на порядок меньше заводского.

В [1] описан генератор синусоидальных сигналов трёх фиксированных частот (20 Гц, 1 кГц и 20 кГц), сконструированный на базе ОУ TL072. Однако, как показала практика, этот генератор не лишён некоторых недостатков.

Во-первых, при настройке радиоаппаратуры, работающей в звуковом диапазоне частот (предварительный усилитель, УМЗЧ и т.п.), часто требуется проверить равномерность её АЧХ во всем диапазоне, в связи с чем трёх частот явно недостаточно, или, другими словами, может потребоваться настройка и на промежуточных частотах (между 20 Гц и 1 кГц и между 1 кГц и 20 кГц). В описываемом в статье генераторе количество фиксированных частот увеличено до 12, поэтому настройка тестируемых устройств может проводиться более адекватно.

Во-вторых, выходной каскад генератора, описанного в [1], можно существенно улучшить (см. далее).

В-третьих, как показала практика, при использовании ОУ общего применения TL072 (как в [1]) генератор устойчиво работает в очень узком диапазоне напряжений питания (приблизительно $\pm 8... \pm 9$ В). И даже в этом диапазоне требуется достаточно тщательная регулировка его режима работы, чтобы искажения были минимальны. Если же тестируемое устройство требует иные напряжения питания, отличные от $\pm 8... \pm 9$ В, то для него необходим дополнительный ИП, что не всегда удобно. Применённый в описываемом генераторе прецизионный ОУ ОРА2134, имеющий сверхнизкие искажения (Ultra Low Distortion), достигающие 0,00008% (правда, при некоторых условиях), существенно улучшает качество выходного сигнала генератора. Кроме того, с этим ОУ генератор рабо-

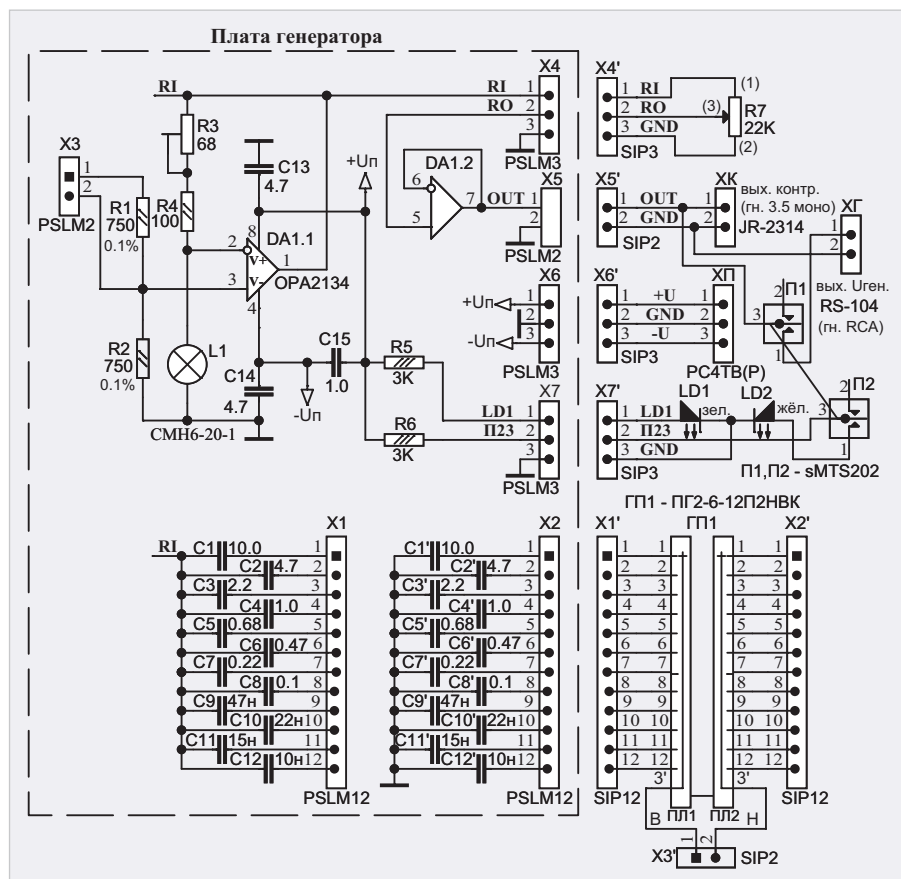


Рис. 1. Принципиальная схема генератора

тает в более широком диапазоне напряжений питания (см. далее).

И наконец, в-четвёртых, регулируемый ИП, использующийся в [1] для питания генератора, обладает избыточностью (например, его мощность на порядок больше требуемой, и, кроме того, регулировка выходного напряжения ИП не требуется – см. далее). Для питания генератора можно также использовать регулируемый ИП, описанный в [2], но и он также обладает вышеуказанной избыточностью. А эта избыточность приводит к относительно большим габаритам (и весу) вышеуказанных ИП, что не всегда удобно.

Миниатюрный ИП, описанный в настоящей статье и применённый для питания генератора, сконструирован на относительно новой элементной базе и, несмотря на свою миниатюрность, по мощности в 4 раза больше требуемой, т.е. имеет 4-кратный запас по мощности. Кроме того, размах пульсации стабилизированных напряжений этого ИП (не более 1 мВ) несколько ниже размаха пульсаций ИП, описанных в [1] и [2].

Таким образом, дальнейшее изложение будет построено следующим образом.

Вначале будут приведены принципиальные схемы генератора и ИП, затем – разводка и внешний вид их плат. Далее будут показаны их конструкции и общий вид в сборе. В конце статьи приведены результаты работы генератора.

Принципиальные схемы

Схема генератора (рис. 1) представляет собой генератор Вина-Робинсона на сдвоенном ОУ ОРА2134 (DA1) с миниатюрной лампой накаливания СМН6-20-1 (L1), служащей для стабилизации амплитуды его выходного сигнала. С помощью резисторов R3 и R4 лампа вводится в оптимальный режим работы, при котором генератор имеет минимальные искажения синусоидального сигнала. Конденсаторы C13–C15 – блокировочные; они положены в штатном режиме работы ОУ DA1. Резисторы R1 и R2 совместно с конденсаторами C1–C12 и C1'–C12' соответственно образуют RC-цепочки, определяющие частоты работы генератора. Переключение частот осуществляется галетным переключателем ПГ2-6-12П2НВК (ПП1) на 12 положений и 2 направления. Конденсаторы C1–C12 своим одним концом подключены к разъёму X1 (цанговые штыри с шагом 2,54 мм – PSLM12), а вторые их концы объединены и подключены к выходу ОУ DA1.1 (1-й вывод) – сигнал RI. Конденсаторы

C1'–C12' своим одним концом подключены к разъёму X2, аналогичному разъёму X1, а вторые их концы объединены и заземлены. К разъёмам X1 и X2 подключаются кабели, на одном конце которых расположены ответные цанговые гнезда X1' и X2' (SIP12), а вторые их концы подключены к галетному переключателю ПП1. Выходные сигналы ПП1 (выводы 3' платы 1 ПП1 и 3' платы 2 ПП1) подключены к кабелю, на втором конце которого расположен двухконтактный разъём X3' (гнезда SIP2), подключаемый к разъёму X3 (штыри PSLM2) платы. В первом положении ПП1, как видно из схемы, между верхним по схеме выводом R1 и выходом ОУ DA1.1 (сигнал RI) оказывается подключён конденсатор C1 (10 мкФ), а конденсатор C1' (также 10 мкФ) оказывается подключён между точкой соединения R1 и R2 и «землёй». В этом случае генерируется сигнал самой низкой частоты – около 20 Гц. В 12-м положении ПП1 к контактам X3 подключаются конденсаторы C12 и C12' номиналом 10 нФ, и генерируется самая высокая частота – около 20 кГц.

Для регулировки амплитуды выходного сигнала (от 0 до 1,5 В) служит переменный резистор R7 (СП5-35Б), построенный по груботочной схеме: в нём используются два соосных резистивных элемента, что позволяет достаточно точно регулировать амплитуду. Этот резистор подключён к одному концу кабеля, на втором конце которого расположен разъём SIP3 (X4). Этот разъём подключается к разъёму PSLM3 (X4) платы. Таким образом, резистор R7 является нагрузкой ОУ DA1.1, а его движок (3-й вывод R7) подключён к неинвертирующему входу ОУ DA1.2, на котором собран повторитель напряжения. Выход DA1.2 (7-й вывод) обладает существенно большей нагрузочной способностью, чем выходной сигнал в схеме выходного каскада генератора, описанного в [1] (470 Ом – рис. 2). Выходной сигнал генератора (сигнал OUT) подключён к двухконтактному разъёму PSLM2 (X5 платы). К этому разъёму подключён ответный разъём SIP2 (X5') кабеля, ко 2-му концу которого подключён разъём XK (JR-2314 – гнездо моно 3,5) и параллельно через переключатель П1 – разъём RS-104 (гнездо RCA). Разъём XK – контрольный; к нему подключается осциллограф для контроля выходного сигнала генератора, поскольку на этом разъёме сигнал генератора присутствует всегда. А вот на разъём XГ сигнал генератора подаётся только после включения переключателя П1. К разъёму XГ подключает-

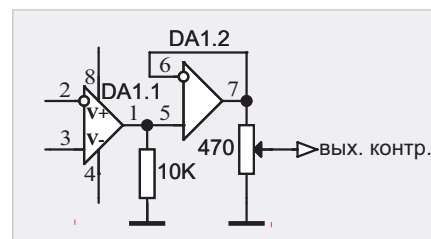


Рис. 2. Схема выходного каскада генератора [1]

ся вход тестируемого устройства. Таким образом, на вход тестируемого устройства подаётся предварительно настроенный по осциллографу сигнал генератора после включения переключателя П1. Для индикации наличия питания и наличия сигнала на разъёме XГ служат два светодиода: соответственно зелёный и жёлтый (LD1 и LD2). Светодиод LD1 постоянно подключён к кабелю, на втором конце которого расположен разъём SIP3 (X7'), а светодиод LD2 подключается к X7' через вторую группу контактов (П2) переключателя SMTS202 (тумблер на 2 положения с 2 группами контактов). Разъём X7' подключается к разъёму X7 платы. Резисторы R5 и R6 – токоограничивающие для соответствующих светодиодов. Питание на плату (+Uп, –Uп и «земля») поступает с разъёма X6 (PSLM3). К этому разъёму подключается кабель, на одном конце которого расположен ответный разъём X6' (SIP3), на втором конце – разъём XП (PC4TB(P) – розетка), который подключается к ответному разъёму ИП PC4TB(B) – вилка (см. далее).

Все постоянные резисторы и конденсаторы (керамические) – для поверхностного монтажа размером 0603. Резистор R3 – миниатюрный подстроечный многооборотный резистор марки 3266Y. ОУ DA1 – в корпусе DIP8. Вместо галетного переключателя ПГ2-6-12П2НВК можно использовать ПГ39-2В или импортный RCL371-2-2-12. Они тоже на 12 положений и 2 направления, несколько дешевле, но больше по размеру (особенно RCL371-2-2-12).

Потребление тока генератора при его питании напряжениями $\pm 3,5$ В составляет не более 25 мА при всех включённых светодиодах. Это минимальное напряжение питания, при котором сигналы генератора синусоидальны на всех без исключения частотах. Как видно из схемы рис. 1, она достаточно проста, поэтому легко разводится и достаточно миниатюрна (см. далее).

Для питания генератора использован миниатюрный стабилизированный ИП (рис. 3) с выходными напряжениями $\pm 3,5$ В и максимальным током

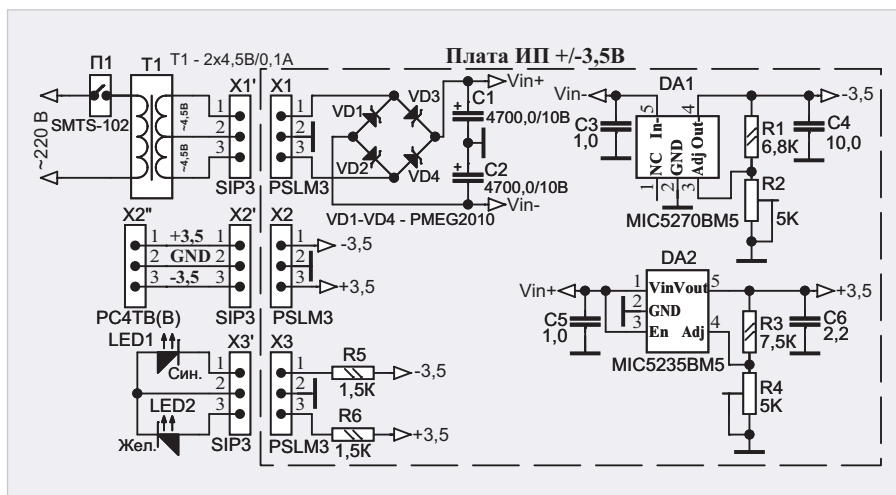
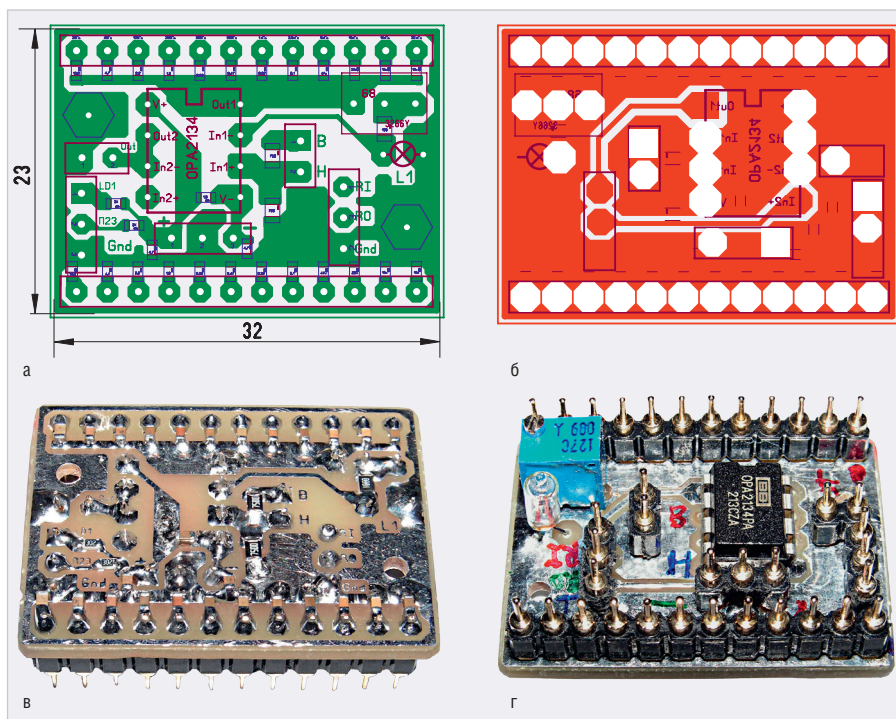
Рис. 3. Принципиальная схема ИП $\pm 3,5$ В

Рис. 4. Разводка и внешний вид платы генератора со стороны компонентов для поверхностного (а, в) и навесного (б, г) монтажа

100 мА, что в 4 раза превосходит потребление тока генератором (25 мА – см. выше). Мостовой выпрямитель со средней точкой выполнен на миниатюрных диодах Шоттки PMEG2010 (VD1–VD4) в корпусе SOD323F (SC-90) размером 1,8×1,3 мм с максимальным током 1 А, максимальным обратным напряжением 20 В и падением напряжения 0,3 В при токе 100 мА (и 0,25 В при токе 25 мА). Конденсаторы C1 и C2 – сглаживающие электролитические. Для получения стабилизированных напряжений $-3,5$ и $+3,5$ В использованы миниатюрные регулируемые стабилизаторы с низким падением напряжения (Low Drop Out – LDO) MIC5270BM5 (DA1) и MIC5235BM5 (DA2) с максимальным током 100 мА и 150 мА

и с максимальным (по абсолютному значению) входным напряжением 16 В и 24 В соответственно. Настройка выходных напряжений $-3,5$ и $+3,5$ В осуществляется подстроечными резисторами R2 и R4 соответственно, входящими в состав делителей напряжения R1R2 и R3R4. Конденсаторы C3–C6 положены по штату работы соответствующих стабилизаторов. Входное переменное напряжение ($2 \times \sim 4,5$ В) подается на плату с разъема X1 (PSLM3). К этому разъему одним концом (разъемом X1' – SIP3) подключен кабель, второй конец которого подключен к двум вторичным обмоткам ($2 \times \sim 4,5$ В под нагрузкой) миниатюрного тороидального трансформатора с максимальным током 100 мА размером (D/H)

33×25 мм. Трансформатор подключается к сети ~ 220 В слаботочным двухжильным сетевым кабелем ШВВП-М сечением каждой жилы по 0,20 мм², рассчитанным на напряжение до 300 В, с помощью тумблера SMTS-102-2A2 (П1) с одной группой контактов на 2 положения, рассчитанного на напряжение 250 В и ток до 1,5 А.

Выходные стабилизированные напряжения ($\pm 3,5$ В) подаются на разъем X2 (PSLM3) платы. К этому разъему одним концом с ответным разъемом SIP3 (X2') подключается кабель, ко второму концу которого подключен разъем PC4TB(B) – вилка (X2''). К этому разъему подключается кабель питания генератора.

Для индикации наличия выходных напряжений $-3,5$ В и $+3,5$ В использованы светодиоды соответственно синего (LED1) и желтого (LED2) цвета свечения, которые подключены к кабелю, ко второму концу которого подключен разъем SIP3 (X3'). Этот разъем вставляется в ответный разъем PSLM3 (X3 платы). Резисторы R5 и R6 – токоограничивающие для светодиодов.

Постоянные резисторы и конденсаторы C3–C6 (керамические) типоразмера 0603 для поверхностного монтажа. Резисторы R2, R4 – миниатюрные подстроечные для поверхностного монтажа 3223W размером 3×4 мм и высотой 4 мм. Микросхемы MIC5270BM5 (DA1) и MIC5235BM5 (DA2) в корпусе SOT23-5. Это микросхемы производства компании MICREL, которая некоторое время назад вошла в состав компании MICROCHIP. Здесь необходимо заметить, что если помимо регулируемого LDO стабилизатора положительного напряжения MIC5235BM5 можно найти аналогичные или похожие других (кроме MICREL) производителей, то регулируемого LDO стабилизатора отрицательного напряжения (кроме MIC5270BM5) с входным напряжением до 14 В и выходным током до 100 мА в корпусе SOT23-5 других компаний автору найти не удалось.

Здесь необходимо добавить, что генератор работоспособен не только при напряжениях питания $\pm 3,5$ В. Это минимальные напряжения с некоторым запасом (при напряжениях $\pm 3,2 \dots \pm 3,3$ В начинают уже проявляться искажения синусоиды – в основном обрезаются её минимумы, а верхушки остаются). Автор проверял работоспособность генератора с помощью ИП, описанного в [2], при напряжениях питания от $\pm 3,5$ до ± 16 В. В этом диа-

пазоне напряжений питания генератор идеально работает и никаких искажений обнаружено не было. Это позволяет использовать этот ИП, если тестируемое устройство имеет напряжения питания, отличные от $\pm 3,5$ В. В этом случае генератор подключается к дублирующему напряжения разъёму РС4ТВ(В), а тестируемое устройство – к клеммам ИП (см. [2]).

Настройка генератора

Настройка генератора в основном сводится к подбору лампы накаливания. Наилучшие результаты как по стабильности генерации, так и по качеству сигнала для всех частот показала миниатюрная лампа СМН6-20-1 (с номинальным напряжением 6 В и током 20 мА). Здесь необходимо особо отметить, что эти лампы имеют очень большой разброс по сопротивлению в холодном состоянии: приблизительно от 28 до 45 Ом. Оптимальные результаты (как по стабильности амплитуды, так и по «идеальности» синусоиды) получены при сопротивлениях ламп в диапазоне от 30 до 35 Ом. Измерять сопротивление ламп в холодном состоянии нужно только цифровым тестером из-за малого тока, который он пропускает через резистор для измерения его сопротивления. Стрелочный тестер для таких измерений не годится. Например, если попытаться измерить сопротивление лампы стрелочным тестером ТЛ-4 на диапазоне 1 Ом, то через лампу потечёт такой ток, что она загорится (это можно очень легко увидеть), и её сопротивление, естественно, возрастёт до 100 Ом и более.

В схеме рис. 1 измеренное сопротивление лампы L1 в холодном состоянии составило 32,6 Ом. Поскольку сейчас стоимость лампы СМН6-20-1 не превышает 2–3 руб./шт, имеет смысл приобрести с десяток таких ламп и выбрать из них одну с необходимым сопротивлением (автор в своё время приобрёл 50 таких ламп ещё по стоимости 1 руб./шт).

Помимо выбора лампы, возможна некоторая подстройка генератора вращением резистора R3.

Разводка и внешний вид плат

Разводка плат генератора и ИП сделана автором с помощью программы SprintLayout 6.0. Файл разводки в формате *.laub приведён в дополнительных материалах к статье на сайте журнала. Рисунки разводки плат и их фотографии приведены на рис. 4 и 5. На рис. 4г можно увидеть лампу СМН6-20-1 (она расположена в левой

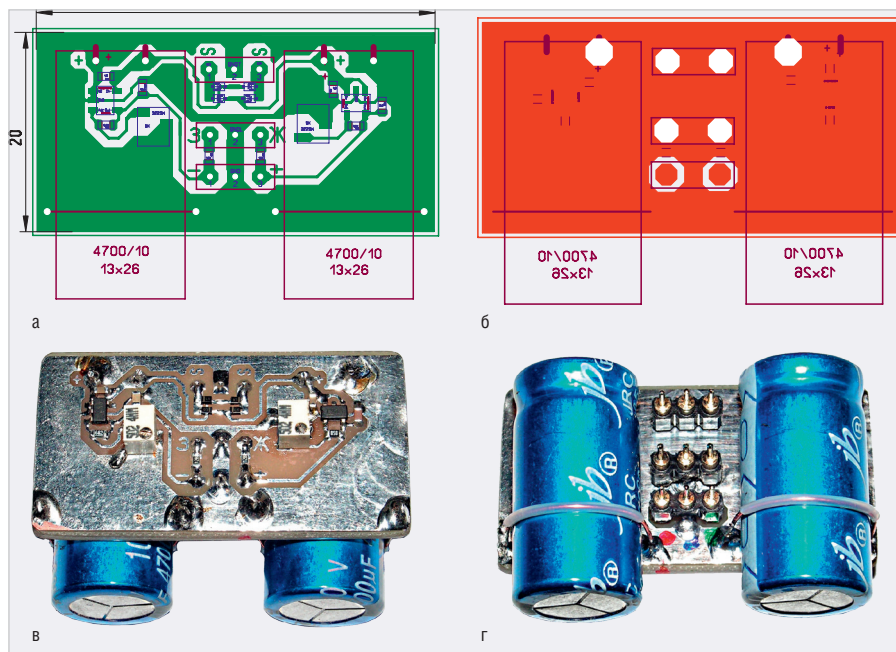


Рис. 5. Разводка и внешний вид платы ИП со стороны компонентов для поверхностного (а, в) и навесного (б, г) монтажа

части платы снизу от подстроечного резистора голубого цвета). Как можно убедиться, лампа не занимает много места на плате (размер колбы лампы (d/h) всего 3×6 мм). Тем не менее это настоящая лампа накаливания: у неё есть вольфрамовая спираль и даже специальный крючок, поддерживающий спираль, чтобы она не провисала при нагреве. Кроме того, как и у обычной лампы накаливания, из её колбы откачан воздух.

Конструкция и внешний вид устройств

Генератор собран в пластиковом корпусе размером 95×48×38 мм (G1068B) – рис. 6. Плата генератора прикручена к днищу корпуса двумя винтами M2 впота и гайками через пластиковые стойки высотой 3 мм. Кабель питания расположен на днище корпуса; он пропущен через резиновую втулку, прижимаемую к днищу крышкой корпуса, в которой сделано специальное углубление. Светодиоды в специальных оправках, галетный переключатель частот, тумблер, подключающий сигнал к разъёму RCA и зажигающий жёлтый светодиод, и переменный резистор, регулирующий амплитуду, расположены на верхней части крышки корпуса, а разъёмы (RCA и 3,5 моно) – на торце крышки. Обе половины корпуса скручены саморезами, входящими в комплект поставки корпуса.

Здесь необходимо добавить, что все 2- и 3-проводные кабели необходимо скрутить и закрепить от раскручивания, например, обмотав их тонкой фум-

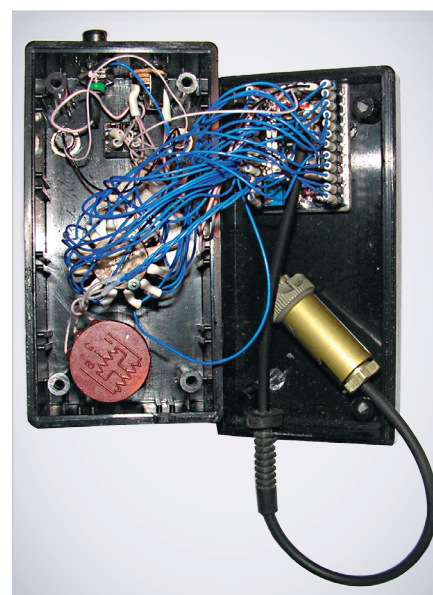


Рис. 6. Генератор в открытом корпусе

лентой или 2–3 полосками обычной изолянт. 12-проводные кабели также необходимо закрепить в 2–3 местах изолянт. Если этого не сделать и оставить всё так, как показано на рис. 6, то на некоторых частотах могут появиться искажения (в основном это может быть низкочастотная амплитудная модуляция). В связи с простотой процедуры фотография со скрученными кабелями не приводится. Таким образом, выполнение вышеуказанной процедуры является строго обязательным. В этом случае все сигналы генератора частотой, соответствующей положению галетного переключателя частот (ГП1, рис. 1), и амплитудой, соответствующей положению регулято-

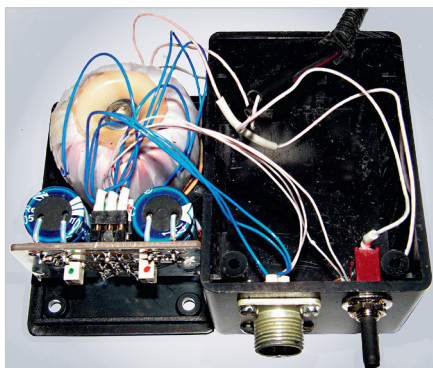


Рис. 7. ИП в открытом корпусе



Рис. 8. Общий вид подключённого к ИП генератора в сборе

ра амплитуды (R7, рис. 1), воспроизводятся идеально без каких-либо искажений.

ИП собран в пластиковом корпусе размером 64×44×32 мм (G1031B) – рис. 7. Трансформатор укреплен на днище корпуса. Для этого использована металлическая стойка с внутренней резьбой М3, которая прикручена к днищу корпуса винтом М3 впотай. Трансформа-

тор прикручен к стойке винтом М3 через специальную чашку. Между трансформатором и чашкой установлена резиновая прокладка чуть больше размера чашки, а между трансформатором и днищем корпуса также установлена резиновая прокладка по размеру трансформатора. Эти две прокладки вырезаны из резинового бинта толщиной 0,5 мм. Сетевая кабель пропущен через резиновую втулку, которая прижимается крышкой с углублением к днищу корпуса. Плата ИП укреплена вертикально. Разъём с выходными напряжениями и тумблер, включающий питание, расположены на торце крышки, а светодиоды в специальных оправках – на верхней части крышки. Обе половины корпуса скручиваются саморезами, которые поставляются вместе с корпусом.

После подключения кабеля питания генератора к ИП и включения тумблера на ИП генератор включается в работу (рис. 8).

Для определения переключателя определённым частотам, на бумаге был распечатан «лимб», который был вырезан и приклеен на верхнюю поверхность корпуса генератора (вокруг клювика переключателя). В дополнительных материалах к статье этот лимб приведён в масштабе 1:1 в формате *.pdf.

Результаты работы генератора

На рис. 9–11 приведены осциллограммы сигналов генератора (жёлтого цвета) и их спектры, подсчитанные по БПФ (fast Fourier transform – FFT), сиреневого цвета. На всех осциллограммах амплитуда сигналов установлена равной 1 В, т.е. размах от пика до пика, равный двойной амплитуде, составляет 2 В (надпись внизу в середине жёлтого цвета «Vpp(1) = 2.00V»). Разрешение по вертикали для всех осциллограмм составляет 500 мВ/деление (надпись «500mV» в левом нижнем углу жёлтого цвета).

Осциллограммы приведены в области низких (рис. 9), средних (рис. 10) и высоких (рис. 11) частот. Разрешение по горизонтали у всех осциллограмм разное, поскольку на них показаны сигналы 7 различных частот. Это разрешение указано в нижней правой части осциллограмм надписью светло-серого цвета «Time ...». Например, разрешение по горизонтали на рис. 9а составляет 10 мс/деление (надпись «Time 10.00ms»). Также в правой нижней части осциллограмм указана частота в Гц или кГц – надпись жёлтого цвета «Freq(1) = ...». Например, частота на рис. 9а составляет 25,38 Гц (надпись «Freq(1) = 25.38Hz»). Действующее значение напряжения сигнала (V_{RMS}) показано в левой нижней части осциллограмм надписью жёлтого цвета « $V_{RMS}(1) = ...$ ». Например, действующее значение напряжения на рис. 9а равно 705 мВ (« $V_{RMS}(1) = 705mV$ »). На всех осциллограммах автором установлена такая развёртка, чтобы на экране уместилось как минимум 2 периода сигнала.

Для определения синусоидальности сигнала используют отношение действующего значения напряжения (V_{RMS}) к среднему за полупериод (V_{CP}), называемое коэффициентом формы K_{Φ} . Для чистой синусоиды $K_{\Phi} = 1,11$. Иногда синусоидальность оценивают отношением амплитудного значения (V_{AMP}) к действующему (V_{RMS}). Коэффициент $K_A = V_{AMP}/V_{RMS}$ называют коэффициентом амплитуды. Для чистой синусоиды V_{AMP} больше V_{RMS} в $\sqrt{2}$ раз, т.е. $K_A = \sqrt{2} (\approx 1,414)$.

В таблице приведены значения V_{AMP} и V_{RMS} , взятые из осциллограмм рис. 9–11. Там же подсчитаны коэффициент амплитуды K_A и его относительная погрешность в % по сравнению с числом $\sqrt{2}$. Как видно из табл. 1, максимальная погрешность, или, другими словами, «несинусоидальность» сигналов генератора не превышает 1%.

Здесь необходимо добавить, что сами значения V_{AMP} и V_{RMS} подсчитаны (осциллографом) также с некоторой ошибкой. Эта ошибка определяется дискретностью (ступенчатостью) воспроизведения сигнала цифровым осциллографом, что легко увидеть на любой осциллограмме (рис. 9–11). Однако если посмотреть на осциллограмму сигнала генератора на обычном аналоговом осциллографе, то там синусоида абсолютно гладкая.

Кроме того, если посмотреть на спектры сигналов (сиреневого цвета, рис. 9–11), то можно обнаружить сле-

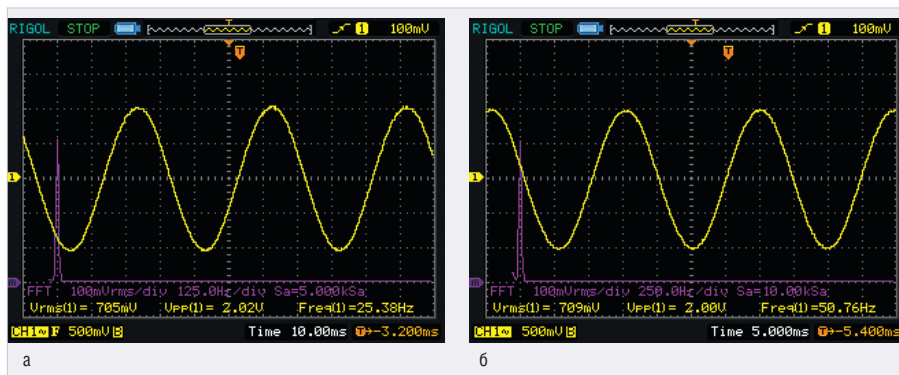


Рис. 9. Осциллограммы сигналов генератора амплитудой 1 В в НЧ-области частот: а – 25 Гц, б – 50 Гц

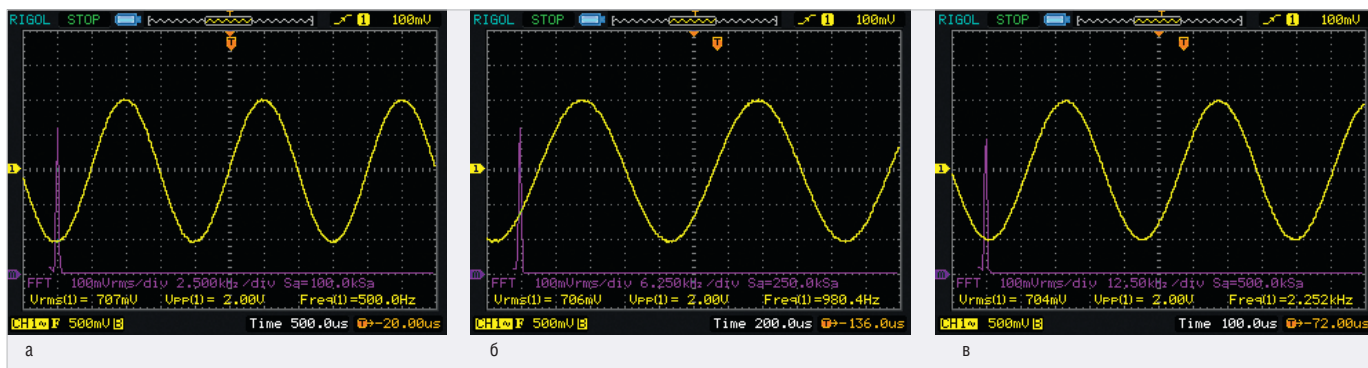


Рис. 10. Осциллограммы сигналов генератора амплитудой 1 В в СЧ-области частот: а – 500 Гц, б – 1 кГц, в – 2,2 кГц

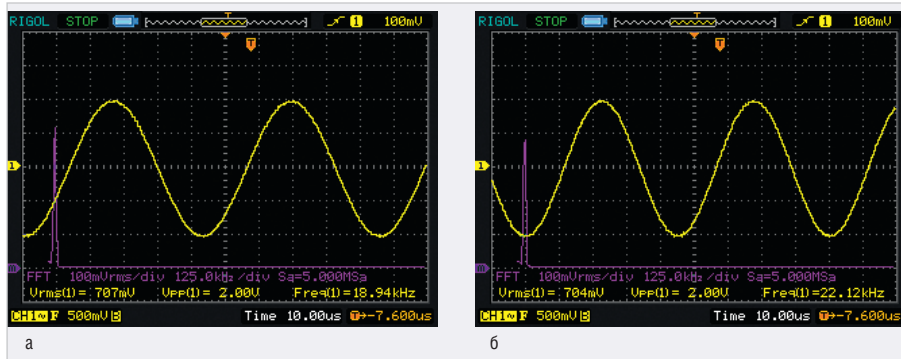


Рис. 11. Осциллограммы сигналов генератора амплитудой 1 В в ВЧ-области частот: а – 18 кГц, б – 22 кГц

Таблица. Относительные ошибки коэффициента амплитуды DK_A [%]

Частота	V_{AMP} [мВ]	V_{RMS} [мВ]	$KA = V_{AMP} / V_{RMS}$	$DKA = 100 \times KA - \sqrt{2} / \sqrt{2}$
25 Гц	1000	705	1,418	0,31
50 Гц	1000	709	1,410	0,25
500 Гц	1000	707	1,414	0,03
1 кГц	1000	706	1,416	0,17
2,2 кГц	1000	704	1,420	0,46
19 кГц	1000	707	1,414	0,03
22 кГц	1000	704	1,420	0,46

дующее. Во-первых, в спектрах имеется единственный пик на основной частоте. Никаких других пиков в спектрах больше нет, а пик достаточно узок. Во-вторых, в спектрах отсутствуют какие-либо боковые лепестки (как, например, у спектра прямоугольного меандра). Всё это показывает, что сигнал достаточно близок к синусоидальному.

Заключение

Описанный генератор, на взгляд автора, лёгок, компактен, достаточно удобен для настройки аудиоустройств и несложен в изготовлении своими силами. Автор рекомендует его для использования.

Литература

1. Кузьминов А. Ю. Электронные устройства. Современные аппаратные и программные средства. М.: Перо, 2021.
2. Кузьминов А. Применение мощного ОУ LM1875Т в новых (не аудио) приложениях // Современная электроника. 2021. № 7. С. 40–44.

НОВОСТИ МИРА

Европе не под силу достичь микропроцессорного суверенитета

Когда в начале 2021 г. Еврокомиссии был официально представлен план развития европейской полупроводниковой индустрии – 2030 Digital Compass, авторы соответствующего доклада смотрели в будущее довольно оптимистично. Теперь же, под конец года, один из этих авторов, ныне комиссар по вопросам состязательности Маргрет Вестагер (Margrethe Vestager), настроена значительно менее позитивно. В интервью корреспонденту CNBS комиссар заявила: «Сумма, о которой я слышала, объём прямых инвестиций, который обеспечил бы полный суверенитет в этом плане, – она делает задачу нереальной».

Речь идёт о сумме примерно в 150 млрд долл. США – примерно столько, по свежим оценкам европейских экспертов, необходимо, чтобы от нынешнего уровня развития полупроводниковой индустрии в ЕС перейти к полному самообеспечению всеми необходимыми союзу чипами. Более того, даже если желающие вложить такие деньги в развитие европейских чипмейкеров и найдутся, не факт, что построенные в итоге фабрики сумеют выпускать конкурентоспособную продукцию. Мировые лидеры индустрии полупроводников – Intel, Samsung, TSMC – не только имеют уже значительную фору, но и в совокупности инвестируют в дальнейшее развитие своих технологий около 30 млрд долл. ежегодно, что делает задачу догнать и пе-

регнать их (да хотя бы даже поравняться) чрезвычайно сложной.

Если в 1990-х страны, составляющие ныне Евросоюз, выпускали около 40% всех потреблявшихся в них полупроводников, то сегодня эта доля не превышает 10%. И наиболее реалистичная цель плана 2030 Digital Compass, не подразумевающая столь заоблачных по размерам инвестиций, – к 2030-му увеличить эту долю хотя бы вдвое. Напомним, что в ЕС нет предприятий, которые выпускали бы смартфоны или ПК. Но Евросоюз не надеется достичь микропроцессорного суверенитета даже в области СБИС для оснащения автомобилей, умных станков, бытовой электроники и прочих товаров, традиционно не относившихся к разряду ИТ.

itbestsellers.ru