

Брагин А.И.

Научный руководитель – доцент, канд. техн. наук К.К. Храмов  
 Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного  
 учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени  
 Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
 602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
 e-mail: www.bragin2015@yandex.ru

### Выбор и расчет параметров катушек индуктивности для комплексного физиотерапевтического прибора

При физиотерапии на организм человека воздействуют разными типами магнитных волн: постоянным, переменным, пульсирующим, импульсным, бегущим, вращающимся. Важным параметром при воздействии магнитным полем на организм человека является индукция магнитного поля, которую в литературе также называют плотностью магнитного поля [1]. В качестве источников магнитного поля используются постоянные магниты, катушки с ферромагнитными сердечниками, а также катушки без сердечников.

При использовании в физиотерапевтической практике наиболее предпочтительными оказываются плоские катушки индуктивности (рис.1), поскольку они за счет своих геометрических и конструктивных особенностей обеспечивают большую по сравнению с цилиндрическими катушками компактность приборов, в которых они применяются [2].

Рассмотрим основные соотношения для расчета параметров плоской однослойной катушки индуктивности.

Магнитная индукция одной круговой токопроводящей петли радиуса  $r$  определяется выражением [3]

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2r},$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная;  $I$  – сила тока.

Плоская спираль состоит из концентрических круговых петель, имеющих разные радиусы, варьирующиеся от  $a$  до  $b$  (рис.1).

Полная магнитная индукция в центре

$$B = \int \frac{\mu_0 I}{2r} dn, \quad (1)$$

где  $dn$  – число витков в интервале  $[r, r+dr]$ . Отсюда следует, что  $dn = \frac{n}{b-a} dr$ .

Подставляя значение для  $dn$  в (1) и интегрируя результат по  $r$  между  $a$  и  $b$ , получаем [3]:

$$B = \int_a^b \frac{\mu_0 I}{2r} \frac{n}{(b-a)} dr = \frac{\mu_0 I n}{2(b-a)} \ln \frac{b}{a}.$$

Магнитный момент витка радиуса  $r$  равен  $p_m = I\pi r^2$ . Для  $n$  витков имеем [3]

$$p = \int p_m dn = \int_a^b I\pi r^2 \frac{n}{(b-a)} dr = \frac{\pi I n}{3(b-a)} (b^3 + a^3).$$

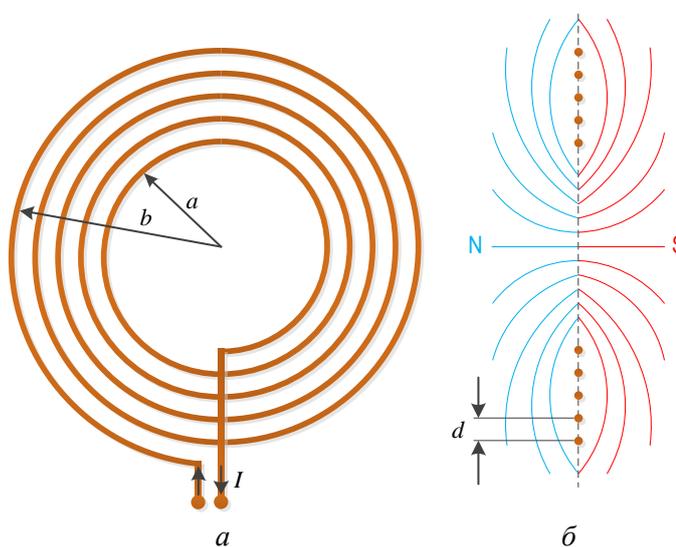


Рис.1. Плоская катушка индуктивности (а) и ее сечение (б)

Для расчета индуктивности однослойной круглой спиральной катушки используется выражение

$$L = 31,33 \mu_0 n^2 \frac{c^2}{8c + 11(b - a)},$$

где  $c = (a + b)/2$  – средний радиус катушки.

Активное сопротивление катушки

$$R = \rho l / S,$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление материала провода;  $S = \pi D^2 / 4$  – площадь поперечного сечения провода;  $D$  – диаметр провода;  $l$  – длина провода, которую можно найти как длину спирали Архимеда, используя выражение

$$l = \frac{d}{2\pi} \left[ \frac{\varphi_1}{2} \sqrt{\varphi_1^2 + 1} + \frac{1}{2} \ln(\varphi_1 + \sqrt{\varphi_1^2 + 1}) - \frac{\varphi_0}{2} \sqrt{\varphi_0^2 + 1} - \frac{1}{2} \ln(\varphi_0 + \sqrt{\varphi_0^2 + 1}) \right],$$

где  $d$  – шаг спирали;  $\varphi_0$  и  $\varphi_1$  – начальный и конечный углы поворота спирали Архимеда, которые связаны с внутренним и внешним радиусом равенствами

$$a = \frac{d}{2\pi} \varphi_0; \quad b = \frac{d}{2\pi} \varphi_1.$$

В результате расчетов были получены графические зависимости магнитной индукции  $B$  и индуктивности  $L$  плоской однослойной катушки индуктивности от силы тока  $I$ , числа витков  $n$  и ее геометрических размеров.

В докладе приводится обоснованный выбор и результаты расчета параметров рассмотренной катушки для ее применения в составе прибора для комплексной физиотерапии.

### Литература

1. Практическая физиотерапия. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ООО «Медицинское информационное агентство». 2009. – 608 с.
2. Брагин А.И., Храмов К.К. Разработка и обоснование подходов к практической реализации прибора для комплексной физиотерапии // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. XIV Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской научной конференции. Муром, 4 февр. 2022 г. – Муром: МИ ВлГУ, 2022. – 414 с.: ил. – [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – С.196-197.
3. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы / И.Е. Иродов. – 7-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 319 с.: ил. – (Технический университет. Общая физика). ISBN 978-5-9963-0064-8

Ермакова А.Ю.

*Научный руководитель: к. т. н., доцент И.А. Курилов  
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного  
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: kh@mivlgu.ru*

### **Лабораторный стенд «Кварцевый генератор»**

При построении радиотехнических устройств различного назначения широкое распространение получили кварцевые автогенераторы. Они позволяют формировать высокостабильные сигналы и используются в формированиях сигналов и при построении различных устройств синтеза частот [1].

Данное положение обуславливает актуальность разработки и построения лабораторных стендов, обеспечивающих возможность изучения и практического исследования различных вариантов схем кварцевых генераторов.

Для выбора и обоснования элементов стенда проведен расчет его электрической принципиальной схемы.

Разработанный лабораторный стенд представлен на рис. 1. Стенд включает в себя непосредственно кварцевый автогенератор (КАГ) на транзисторе VT1. А так же блок согласования (БС) на транзисторе VT2 и блок усиления (БУ) на VT3.

Частота генерации КАГ задается кварцевым резонатором ZQ1 и составляет 2 МГц. Тумблер S1 обеспечивает подключение дополнительного нагрузочного сопротивления R4 к выходу КАГ. Тумблер S2, S5 и S7 включают питание блоков КАГ, БС и БУ соответственно. Тумблер S3 соединяет выход КАГ с входом БС. Разъем X1 является выходом КАГ и позволяет исследовать изменения параметров выходного сигнала КАГ, когда последний находится в автономном режиме. Разъемы X2 и X3 – вход и выход БС. Они предназначены для автономного исследования характеристик БС при помощи внешних генераторов синусоидального или импульсного сигнала. Это обеспечивает исследование амплитудно-частотных, фазово-частотных и динамических характеристик БС. Аналогичные функции выполняют разъемы X4 и X5 для БУ. Разъем X5 кроме того является выходом генератора при одновременном последовательном включении КАГ, БС и БУ. Тумблеры S4 и S8 обеспечивают подключение дополнительных сопротивлений нагрузки R9 и R19 к выходам соответственно БС и БУ. Тумблер S6 подключает выход БС к входу БУ при их последовательном соединении.

Для исследования влияния температурных режимов КАГ на стабильность частоты его выходного сигнала применен нагреватель R17, R18, K 196 который включается тумблером S9.

Для измерения температуры нагрева кварцевого резонатора применен цифровой измеритель температуры D2 с LED дисплеем (ЗН29040205) и датчиком температуры D1 (НУ4300).

Питание стенда осуществляется от лабораторного блока питания, напряжением 9 В и 6 В. Напряжение питания подается на стенд через разъем X6.

Макетирование и экспериментальная проверка лабораторного стенда, подтвердили его работоспособность и правильность расчетов схемы электрической принципиальной.

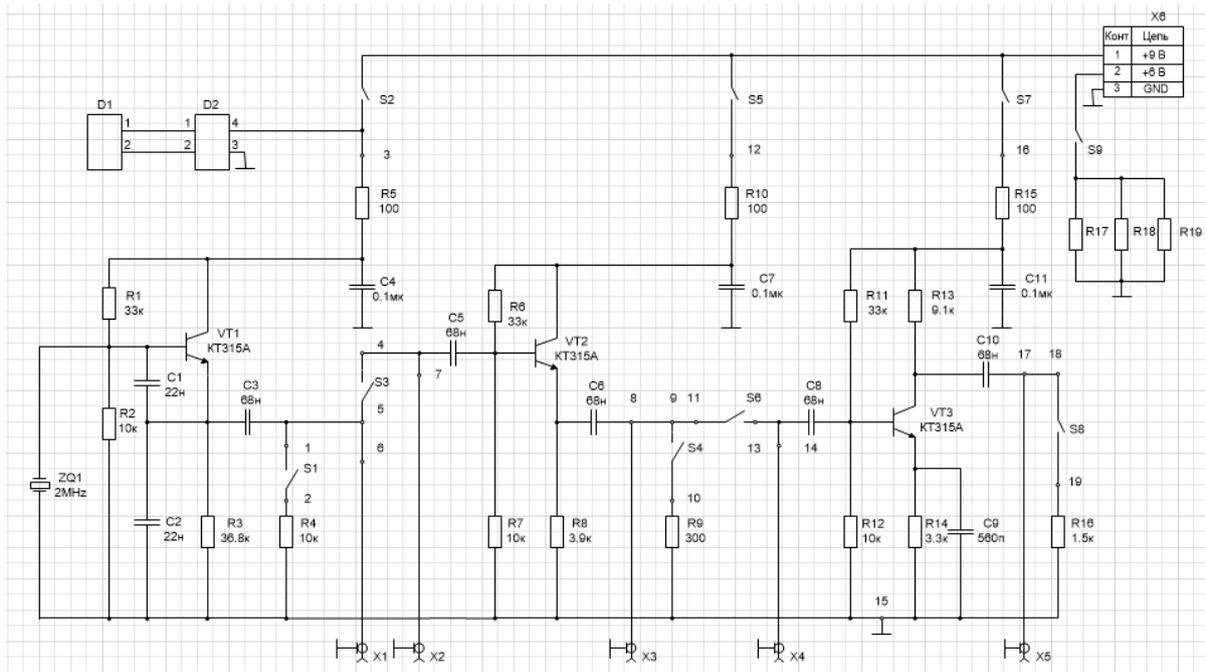


Рис. 1

### Литература

1. Васильев Г.С., Суржик Д.И., Харчук С.М., Курилов И.А Шумовые свойства формирователя сигналов с автокомпенсацией фазовых помех. – Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2015. № 4 (20). С. 5-12.

Ермакова А.Ю.

*Научный руководитель: ст. преподаватель С.М. Курилова-Харчук  
Муromский институт (филиал) федерального государственного образовательного  
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: kh@mivlgu.ru*

### Экспериментальное исследование генератора опорных сигналов

В технике связи и при построении радиоаппаратуры широкого класса назначения большое распространение получило использование высокостабильных генераторов высоких частот. Данные генераторы применяются в качестве источников опорных сигналов при построении как синтезаторов частот в системах прямого и косвенного синтеза [1], так и в качестве самостоятельных высокостабильных генераторов в системах формирования и обработки радиотехнических сигналов.

Исследуемый генератор опорных сигналов включает в себя (рис.1) три основных каскада: каскад генерации (КГ), каскад согласования (КС) и каскад усиления (КУ).

В качестве дополнительных блоков используются цифровой измеритель температуры (ИТ), с датчиком температуры (ДТ), а также источник питания (ИП) и нагреватель (Н).

КГ представляет собой автогенератор с кварцевой стабилизацией частоты на транзисторе КТ315А. Частота кварцевого резонатора  $F=2$  МГц. В качестве КС используется эмиттерный повторитель (КТ315А), а в качестве КУ – однокаскадный усилитель по схеме с общим эмиттером с температурной стабилизацией, так же на транзисторе КТ315А. Для измерения температуры используется стандартный цифровой ИТ с жидкокристаллической индикацией (ЗН29040205) и питанием ДТ (НУ4300).

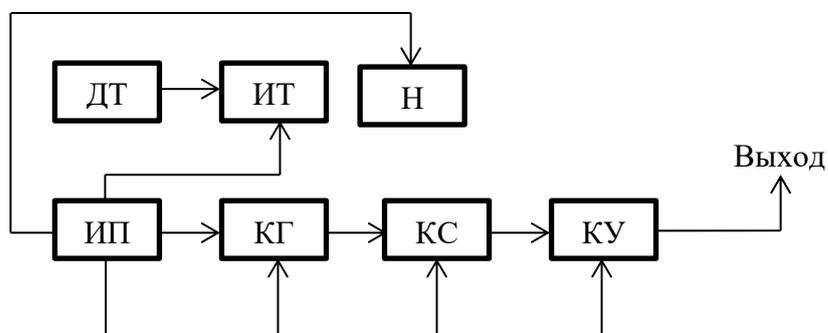


Рис.1

Нагреватель выполнен из трёх параллельно соединённых сопротивлений МЛТ мощностью 0,25 Вт. Питание схемы осуществляется от лабораторного источника питания постоянного тока Б5-47.

Для обеспечения надёжного контакта, нагреватель и ДТ закреплены на корпусе кварцевого резонатора через слой не высыхающей терморасты КПП-19.

Проведено экспериментальное исследование и приводятся полученные характеристики влияния температуры кварцевого резонатора на частоту выходного сигнала КГ.

Приводятся характеристики зависимости амплитуды и формы выходного сигнала КГ от напряжения питания.

В работе приводятся результаты исследования и анализ частотных характеристик КС и КУ. Кроме того, для трёх значений величин проведено исследование влияния сопротивлений нагрузки на амплитуды выходных сигналов КГ, КС и КУ.

Так же приводятся результаты исследования динамических свойств КС и КУ в режиме воздействия импульсного сигнала.

Проведённое исследование подтвердило работоспособность схемы и позволило получить экспериментальные характеристики как отдельных каскадов генератора опорных сигналов, так и устройства в целом при воздействии заданных факторов.

### **Литература**

1. Суржик Д.И. Цифровые вычислительные синтезаторы с автоматической компенсацией фазовых искажений [Электронный ресурс] / Д.И. Суржик. – Режим доступа: [http://diss.vlsu.ru/uploads/media/Surzhik\\_D.I.\\_Dissertacija.pdf](http://diss.vlsu.ru/uploads/media/Surzhik_D.I._Dissertacija.pdf).

Ефремов А.А.

*Научный руководитель: к.т.н., доцент С.Н. Жиганов  
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного  
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: mustangandrew@mail.ru*

### **Исследование оптимальных методов построения КИХ-фильтров**

Методы цифровой обработки сигналов (ЦОС) появились в профессиональной деятельности инженеров сравнительно недавно, но в настоящее время составляют значительную часть необходимых профессиональных навыков специалиста. Количество применяемых методов и подходов к цифровой обработке ежегодно увеличивается, появляются новые направления и виды, которые внедряются в практику, но ряд существующих разделов стали уже классическими. В системе цифровой обработки сигналов выполняются необходимые преобразования над входным сигналом  $x(n)$ , в ней и реализуются те или иные алгоритмы ЦОС. Сама система ЦОС может быть выполнена в виде процессора ЦОС, с использованием жесткой логики, при помощи программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), либо реализована на том или ином языке программирования [1].

Фильтр с конечной импульсной характеристикой (КИХ) не рекурсивен и ограничен счетным количеством  $N$  коэффициентов. В теории цифровой фильтрации при синтезе и анализе фильтров удобно использовать математический аппарат  $z$ -преобразования. Так для последовательности  $h(n)$  прямое  $z$ -преобразование определяет передаточную функцию.

КИХ фильтры применимы в самом широком спектре областей, где требуется обработка сигналов: в спектральном анализе, обработке изображений, обработке видео, обработке речи и звука и многих других приложениях.

В качестве методов используются: разложение в ряд Фурье аппроксимируемой функции, метод наименьших квадратов, алгоритм аппроксимации Ремеза.

Метод разложения в ряд Фурье аппроксимируемой функции используется для нахождения коэффициентов всех типов КИХ-фильтров с линейной фазовой характеристикой и минимально-фазовых фильтров. Несомненным достоинством этого подхода является то, что коэффициенты фильтра получаются из аналитических выражений, по которым можно рассчитать до нескольких тысяч [2].

Поиск коэффициентов аппроксимирующей функции с применением метода наименьших квадратов основан на минимизации функции. Данный метод позволяет сформировать сложную целевую функцию, которая может учитывать дополнительные ограничения на коэффициенты фильтра. Увеличение значений весовой функции в полосе пропускания или затухания приводит к повышению точности аппроксимации идеальной частотной характеристики на соответствующем участке спектра.

Алгоритм аппроксимации Ремеза используется для приближенного представления непрерывных функций многочленами и является итерационным. Выбор начального приближения состоит в поиске такого расположения точек альтернанса, которое приводит к улучшению сходимости алгоритма, т. е. к более быстрому достижению результата за счет сокращения количества дальнейших итераций. Простейшим способом является равномерное распределение точек на интервале аппроксимации [3].

В представленной работе проводится сравнительный анализ трех известных оптимальных методов синтеза КИХ фильтров.

#### **Литература**

1. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. – М.: Техносфера, 2006. – 856 с.
2. Солонина А.И., Улахович Д.А., Арбузов С.М., Соловьева Е.Б. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций. Изд. 2-е испр. и перераб. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 768 с.
3. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов: Справочник – М.: Радио и связь, 1985. – 312 с., ил.

Зуев А.А.

*Научный руководитель к.т.н., доцент каф. радиотехники Докторов А. Н.  
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного  
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: arseniy.zuev.2004@mail.ru*

### SMD «дышащий» светильник-звезда на основе микросхемы LM358

Для тренировки навыков работы с SMD компонентами производят специальные наборы для самостоятельной сборки. К одному из таких наборов относится собранный и проверенный комплект SMD «дышащий» светильник-звезда LM358. Вариаций данного комплекта существует великое множество. В рассматриваемом в этой работе комплекте используется двухсторонняя печатная плата. На печатной плате есть специальные посадочные места для 20 светодиодов, 6 резисторов разного сопротивления (3 резистора 47 кОм, резистора 100 кОм, резистора 33 кОм и резистора 22 Ом), конденсатора (47 мкФ), транзистора J3Y и микросхемы LM358 [2]. Схема имеет в своём составе 2 независимых, частотно-компенсированных операционных усилителя с высоким коэффициентом усиления, в микросхеме LM358 [1]. Напряжение питания: постоянный ток 4-6 В, «дышащий» свет, как следует из названия, светодиоды управляется микросхемой для переменного перехода от затухающего состояния в состояние свечения [2]. Принципиальная схема устройства представлена на рис. 1 [2].

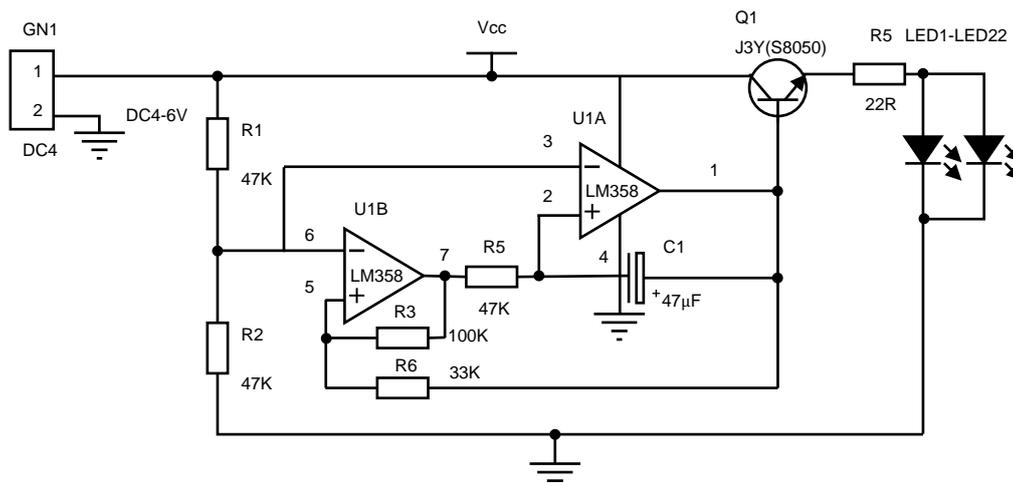


Рис. 1 – Принципиальная схема SMD «дышащего» светильника-звезды LM358

Схема представляет собой мультивибратор на операционных усилителях, который задаёт интервалы времени для цикла «затухание-свечение». Для этого в составе мультивибратора есть конденсатор ёмкостью 47мкФ, определяющий длительность цикла. При таком номинале конденсатора период времени на затухание и свечение составляет примерно 3-4 секунды. Изменение ёмкости конденсатора меняет этот период времени. Операционный усилитель - это электронный усилитель напряжения с высоким коэффициентом усиления, имеющий дифференциальный вход и обычно один выход [4]. Напряжение на выходе может превышать разность напряжений на входах в сотни или даже тысячи раз [4]. На транзисторе собран эмиттерный повторитель, нагрузкой которого является цепочка параллельно включенных светодиодов [3]. Транзистор служит для усиления тока на выходе операционного усилителя, поскольку собственная нагрузочная способность операционного усилителя мала и составляет примерно 10-15мА [3].

При монтаже элементов схемы на печатную плату использовался поверхностный монтаж SMD компонентов, что означает монтаж SMD компонентов на поверхности печатной платы [5,

б)]. Устройство состоит из двухсторонней печатной платы, на одной из них размещены светодиоды, а на другой – микросхема, резисторы, транзистор и конденсатор [2]. Монтаж SMD компонентов проводился паяльником с жалом «лопаткой». Использовался специальный тонкий припой с флюсом внутри, а также жидкий флюс.

Перед началом монтажа SMD компонентов рекомендуется нанести припой на посадочные места и только потом приступать к монтажу [5, 6]. За счёт сил поверхностного натяжения, элементы сами встанут на своё посадочное место, достаточно нагреть посадочное место с припоем. Внешний вид собранной схемы можно увидеть на рис. 2.

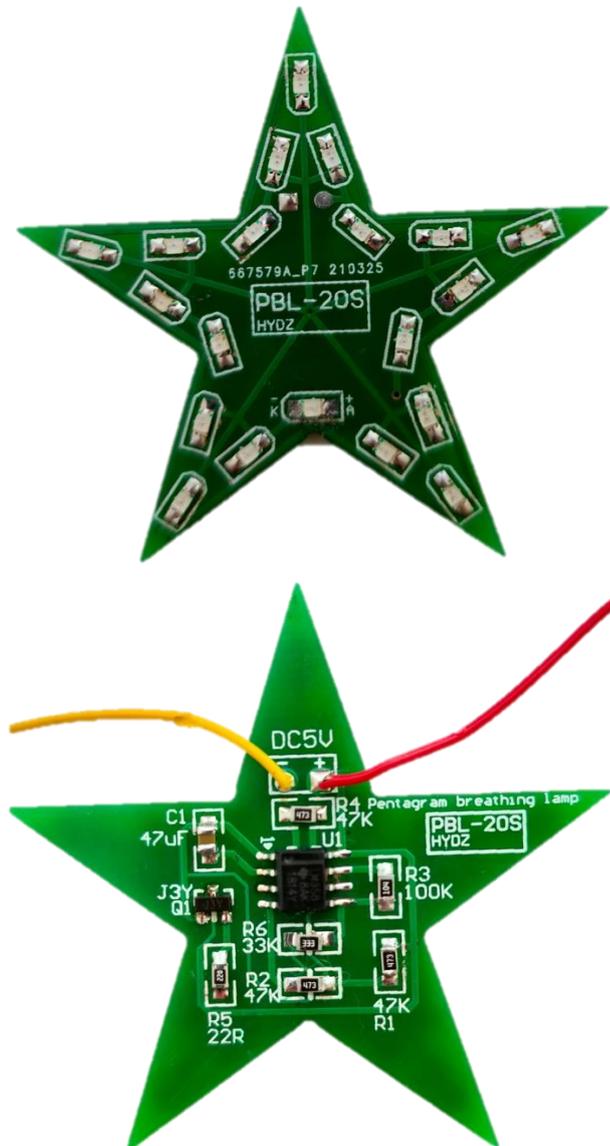


Рис. 2 - Собранная схема комплекта SMD «дышащий» светильник-звезда LM358

В результате проделанной работы был собран комплект SMD «дышащий» светильник-звезда LM358. При монтаже компонентов SMD использовался поверхностный монтаж SMT [5, 6]. Пайка была легкой, не сложной, но в конце при проверке работоспособности устройства столкнулись с проблемой. Проблема была в не функционирующей микросхеме LM358. Микросхема LM358 была заменена на такую же функционирующую микросхему. После устранения проблемы устройство работало исправно. Диоды загорались и затухали синхронно без отставаний или других отклонений. При монтаже научились определять полярность SMD диодов по корпусу и располагать их на посадочные места. Научились пользоваться паяльным

феном. Во время пайки были получены положительные эмоции от сборки, а также навык монтажа SMD компонентов.

### Литература

1. Информация о микросхеме LM358 [Электронный ресурс] <https://www.joyta.ru/5934-opisanie-i-primeneniye-operacionnogo-usilitelya-lm358/>
2. Комплектация устройства SMD «дышащий» светильник-звезда LM358 [Электронный ресурс] [https://aliexpress.ru/item/1005002393853285.html?\\_ga=](https://aliexpress.ru/item/1005002393853285.html?_ga=)
3. Информация о транзисторе J3Y [Электронный ресурс] <https://shematok.ru/transistor/j3y>
4. Что такое операционный усилитель [Электронный ресурс] [http://zpostbox.ru/operatsionny\\_usilitel.html](http://zpostbox.ru/operatsionny_usilitel.html)
5. SMT монтаж SMD компонентов [Электронный ресурс] <https://go-radio.ru/smt-montazh-i-smd-komponenty.html>
6. SMT монтаж SMD компонентов [Электронный ресурс] <https://www.ruselectronic.com/kak-pravilno-pajat-smd/>

Колпаков А.Д.

*Научный руководитель: к.т.н. К.А. Якименко*

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: qqwp7@icloud.com*

### **Методы снижения уровня фазовых шумов гибридных синтезаторов частот**

Известны несколько типов гибридных синтезаторов частот на основе прямого цифрового и косвенного методов синтеза [1–3]: гибридный синтезатор с цифровым вычислительным синтезатором (ЦВС) в качестве опорного генератора системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), гибридный синтезатор с ЦВС в цепи обратной связи ФАПЧ, гибридный синтезатор с ЦВС в качестве генератора подставки ФАПЧ, гибридный синтезатор, использующий образы основной частоты ЦВС. Основная характеристика качественных показателей выходного сигнала синтезаторов частот — уровень фазовых шумов, который оценивается спектральной плотностью мощности (СПМ) фазовых шумов. Целью данной работы является проведение обзора методов снижения уровня фазовых шумов гибридных синтезаторов частот на основе прямого цифрового и косвенного методов синтеза.

В работе был проведен анализ литературы по гибриднему методу синтеза частот. Определено, что наиболее оптимальным способом улучшения шумовых характеристик всех формирователей на основе ФАПЧ является уменьшение коэффициента деления в цепи обратной связи. Такой способ подходит для гибридных синтезаторов с ЦВС в качестве генератора подставки и использующих образы основной частоты. В таком случае, необходимо увеличить частоту генератора подставки. В обоих случаях в качестве генераторов подставки используются цифровые вычислительные синтезаторы. Частоту их выходного сигнала можно увеличить, используя умножители частот. Однако, такие устройства существенно (пропорционально квадрату коэффициента умножения) увеличивают уровень фазовых шумов, а также вносят большое количество нежелательных дискретных побочных спектра. Кроме того, использование умножителей частоты приводит к увеличению шага перестройки по частоте всего гибридного синтезатора. В связи с этим, необходим другой способ увеличения выходной частоты цифровых синтезаторов. Таким способом может являться применение образов основной частоты цифровых синтезаторов (копий спектра сигнала основной частоты) [4]. Образы представляют собой результат цифро-аналогового преобразования цифровых отсчетов, синусоиды. Частота образов определяется по формуле

$$f_{OBR} = |n \cdot f_T + f_{ЦВС}|,$$

где  $n = \dots -n_{max}, -2, -1, 1, 2, n_{max} \dots$  — номера образа. Образы можно выделять, используя полосовой фильтр. Применение образов позволяет увеличить выходную частоту ЦВС без существенного увеличения уровня фазовых шумов, сохраняя шаг перестройки по частоте.

### **Литература**

1. Рыжков, А.В. Синтезаторы частот в технике радиосвязи / А.В. Рыжков, В.Н. Попов. — М. : Радио и связь, 1991. — 264 с.
2. Ямпурин, Н.П. Формирование прецизионных частот и сигналов: Учеб. пособие. / Н.П. Ямпурин, Е.В. Сафонова, Е.Б. Жалнин. — Нижегород. гос. техн. ун-т. Нижний Новгород, 2003. — 187 с.
3. Ромашов, В.В. Моделирование шумовых характеристик гибридных синтезаторов частот / В.В. Ромашов, Л.В. Ромашова, К.К. Храмов, А.Н. Докторов, К.А. Якименко // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. — 2014. — №1. — С. 5-20.
4. Romashov, V.V. Modelling and comparing of phase noise curves of hybrid synthesizers / V.V. Romashov, K.A. Yakimenko // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015. — Omsk State Technical University. Russia, Omsk. May 21-23, 2015. — DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147198. — Pp. 714–719.

Косяков А.А.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» 602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23*

### **Обнаружение объекта на изображении в присутствии фона и шумовых помех**

В настоящее время большое внимание уделяется системам видеонаблюдения в оптическом и инфракрасном диапазонах.[1] Особенности современного противовоздушного боя является непрерывное ведение противником радиоэлектронной разведки в сочетании с интенсивным применением искусственных помех оптического и радиодиапазонов, средств высокоточного оружия и проведением боевых действий в темное время суток. Эффективность зенитно-ракетных комплексов в этих условиях в значительной степени определяется возможностями информационных каналов. Современные зенитно-ракетные комплексы имеют оптические каналы, работающие в видимом или инфракрасном диапазонах длин волн. В исследованиях будем ориентироваться на работу инфракрасного комплекса наблюдения в составе перспективной управляемой ракеты с головкой самонаведения, которая предназначена для поражения высокоскоростных воздушных целей.

Цель доклада – рассмотреть принцип обнаружения яркостного точечного слабоконтрастного объекта на фоне нестационарного коррелированного фона при стабилизации вероятности ложной тревоги в условиях воздействия дополнительных шумов.

При синтезе статистически оптимальных устройств необходимо определить критерий, в соответствии с которым будет оптимизирована система. При фиксированном времени наблюдения наиболее используемым критерием на практике является критерий Неймана – Пирсона. В этом критерии предположений об априорных распределениях параметра  $\theta$  (индикатор наличия или отсутствия сигнала) не делается. Задаётся вероятность ложной тревоги  $F=F_3$  и максимизируется вероятность правильного обнаружения  $D$ . В соответствии с этим критерием оптимизации обеспечивается поиск решающего правила  $\delta^*$ , которое использует наблюдаемый процесс  $U^{(K)}$  с фиксированным объемом  $K$ ,

$$\delta^* \rightarrow \begin{cases} D = \max, \\ F \leq F_3 \end{cases}$$

Можно показать, что критерий Неймана-Пирсона приводит к следующему решающему правилу:

$$\delta^* \rightarrow \begin{cases} d_1, \\ d_0, \end{cases}$$

где решение  $d_1$  об обнаружении сигнала принимается в случае, если

$$\Lambda = w(U/\theta = 1)/w(U/\theta = 0) \geq h_{NP};$$

решение  $d_0$  принимается в том случае, когда  $\Lambda < h_{NP}$ ;  $h_{NP}$  - порог обнаружителя при использовании критерия Неймана-Пирсона;  $w(U/\theta)$  - апостериорные плотности распределения вероятностей при различных гипотезах.

Таким образом, при реализации оптимальный по Нейману-Пирсону обнаружитель должен сформировать отношение правдоподобия  $\Lambda$  и сравнить его с порогом  $h_{NP}$ . Порог обнаружения определяется из условия обеспечения заданной вероятности ложной тревоги  $F_3$ .

Конкретизируем общие алгоритмы для задачи обнаружения теплового сигнала на фоне помех и шума в рамках одного кадра с номером  $K$

$$U_{ij}^{(K)} = \theta S_{ij} + V_{ij} + \xi_{ij},$$

где  $\theta$  - индикатор наличия или отсутствия сигнала,  $\theta = 0$  в случае отсутствия сигнала или  $\theta = 1$  при его наличии;  $S_{ij}$  - полезный сигнал;  $V_{ij}$ - коррелированная помеха;  $\xi_{ij}$ - широкополосный шум, аппроксимирующий некоррелированную составляющую наблюдаемого сигнала.

Прежде всего заметим, что помеха  $V_{ij}$  является нестационарным коррелированным процессом, у которого изменяется как среднее значение, так и дисперсия. Поэтому в качестве интервала наблюдения возьмем интервал времени, на котором этот процесс можно считать стационарным. К формированию этого интервала можно подойти с двух позиций: 1) при

построчной развертке последовательно считываем сигнал, соответствующий пикселю, т.е. рассматриваем последовательно развивающийся в реальном времени процесс  $U_{ij}^{(K)}$ ; 2) сигнал принимается в буферное запоминающее устройство в течение всего кадра, а затем данный кадр доступен для обработки в виде матрицы  $U^{(K)}$ .

Фрагмент разворачивающегося по строкам напряжения приведен на рис. 1. Сигналу текущей точки (пикселя) с координатами  $i, j$  предшествуют пиксели строк  $0, 1, \dots, j-1$  и часть текущей  $j$ -ой строки с пикселями  $0, 1, \dots, i-1$ . Стрелкой показано направление развития процесса (вдоль строки). Фрагмент зафиксированного в процессе наблюдения кадра приведен на рис. 2. В данном случае пиксель с координатами  $i, j$  окружен всеми имеющимися в кадре пикселями, координаты которых не совпадают с рассматриваемыми.

$j-2, i-3$	$j-2, i-2$	$j-2, i-1$	$j-2, i$	$j-2, i+1$		$j-1, i-3$	$j-1, i-2$	$j-1, i-1$	$j-1, i$	$j-1, i+1$
$j-1, i-3$	$j-1, i-2$	$j-1, i-1$	$j-1, i$	$j-1, i+1$		$j, i-3$	$j, i-2$	$j, i-1$	$j, i$	$j, i+1$
$j, i-3$	$j, i-2$	$j, i-1$	$j, i$		$\rightarrow$	$j+1, i-3$	$j+1, i-2$	$j+1, i-1$	$j+1, i$	$j+1, i+1$

Рис. 1 – Расположение пикселей в реальном времени

Рис. 2 – Расположение пикселей в фиксированном кадре

Рассматриваемый алгоритм имеет оценочно-корреляционно-компенсационный характер, так как в нем предусматривается оценивание помехи в двух возможных ситуациях: при наличии сигнала и при его отсутствии. После компенсации помехи осуществляется корреляция оценки и некомпенсированных остатков помехи с наблюдаемым процессом  $U_{ij}$ .

Одной из основных операций полученных алгоритмов является оценивание помехи и ее компенсация. Алгоритм компенсатора помехи при дискретном времени наблюдения может быть представлен соотношением

$$\tilde{\xi}_{0i} = U_{ij} - \hat{V}_{0i,i-1,j}$$

а его структурная схема представлена на рис. 3, где обозначено: ВУ – вычитающее устройство; ОЭП<sub>0</sub> – оптимальный экстраполятор помехи при отсутствии сигнала.

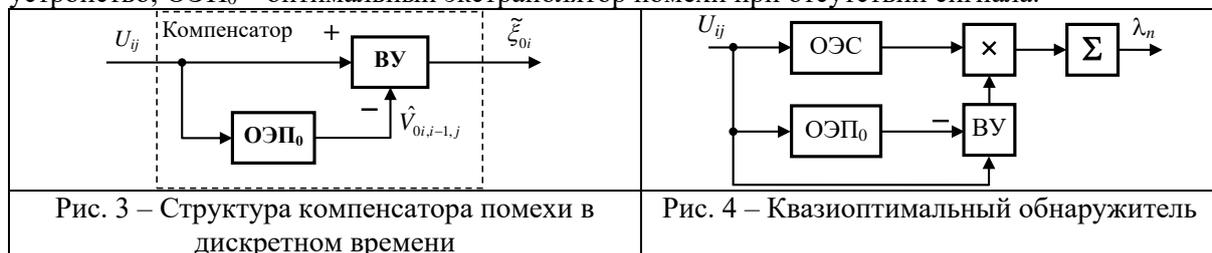


Рис. 3 – Структура компенсатора помехи в дискретном времени

Рис. 4 – Квазиоптимальный обнаружитель

В рассматриваемом случае фон имеет большое отношение фон-шум (более 25...30 дБ), поэтому при выборе структуры обнаружителя воспользуемся условием высокой апостериорной точности.

Структурная схема данного обнаружителя представлена на рис. 4. Основу схемы составляет компенсатор помехи и устройство оптимальной оценки сигнала. В блоке ОЭП<sub>0</sub> формируется экстраполяционная оценка помехи при  $\theta = 0$ . Блок ОЭС производит на основе наблюдения  $U_{ij}$  оценивание сигнала при условии, что  $\theta = 1$ . Снижение уровня помехи осуществляется путем вычитания ее оценки  $\hat{V}_{0k}$  из наблюдаемого процесса. Оценка сигнала коррелируется с остатками компенсации, после чего осуществляется накопление статистики обнаружения и сравнение с порогом для выявления полезного сигнала.

В результате проведенной работы по анализу описанных выше алгоритмов была получена структурная схема квазиоптимального обнаружителя, способного выделять яркие точечные слабоконтрастные объекты на фоне в условиях воздействия дополнительных шумов.

### Литература

1. Якушенков Ю.Г., Тарасов В.В. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. - М.: Логос, 2004. - 430 с.

Кочуев А.О.

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Д.Н. Романов  
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного  
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: sanek-pavl@yandex.ru*

### Разработка и анализ работы усилителя сигнала Wi-Fi

При функционировании в помещении регулярно возникают проблемы с покрытием сигналом Wi-Fi: мертвые зоны, недостаточная сила сигнала, перебои из-за фоновых наводок от другой техники.

Для компенсирования этого используется репитер или повторитель. Он ловит сигнал от центрального роутера, находясь в зоне видимости, и повторяет этот сигнал. Таким образом репитер усиливает сигнал и расширяет зону покрытия Wi-Fi.

Целью работы является сборка и испытание устройства.

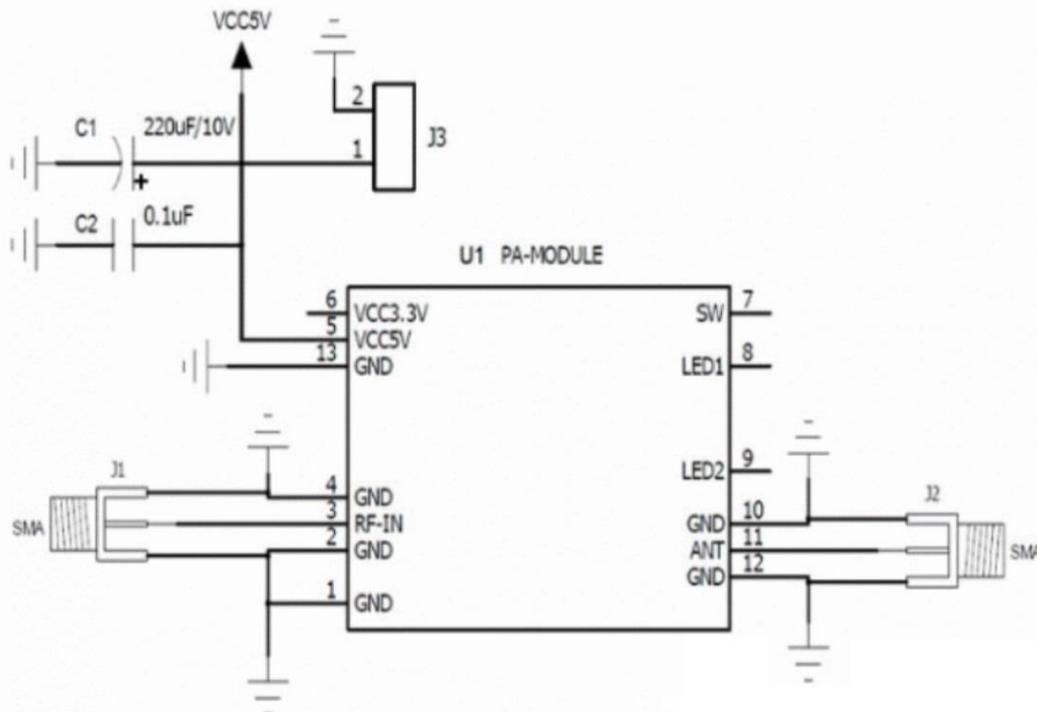


Рис. 1 – Схема электрическая-принципиальная усилителя сигнала

Рассмотрим пример работы повторителя. Центральный роутер может располагаться в любом помещении на территории квартиры. В этом случае сигнал практически не достигает помещений, удаленных от точки установки роутера. Для преодоления этого устанавливаются ретрансляторы. Рекомендуется размещать его ближе к мертвой зоне. После подключения и настройки будет обеспечен достаточный уровень Wi-Fi по всему дому.

Функционирование Wi-Fi-антенн практически идентично работе устройств, которыми оснащены обычные домашние радиоприёмники. Единственное отличие заключается в том, что роутерная антенна способна работать как на приём, так и на передачу сигнала. В ней наводятся высокочастотные токи, а на качество этого процесса влияют конструкция устройства и материал, послуживший для его изготовления.

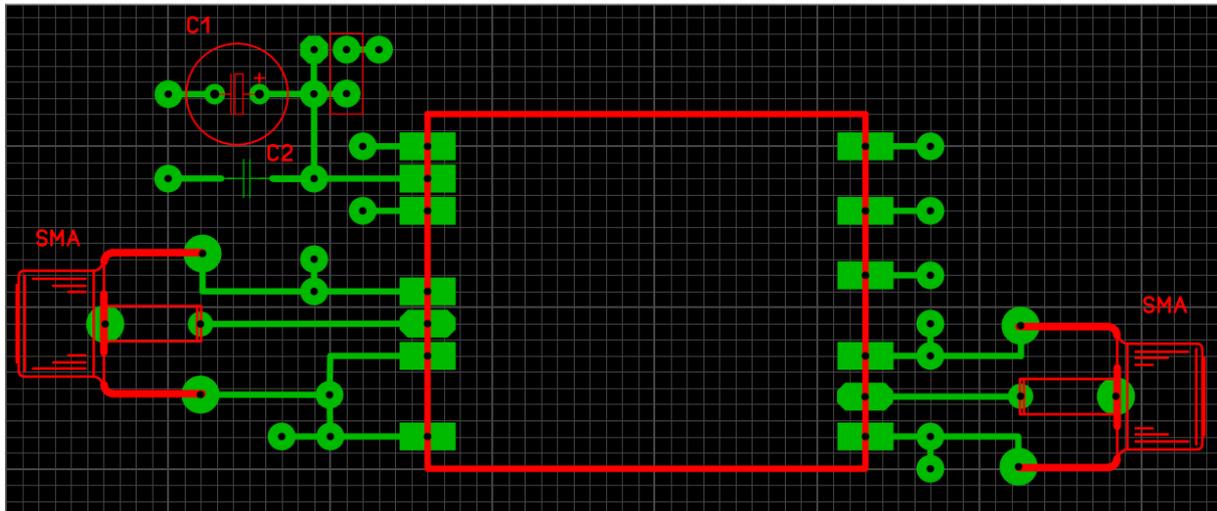


Рис. 2 – Схема печатная в программе Sprint-Layout

Элементная база устройства:

Приемо-передающий модуль: XQ-02A

C1 - 220 нФ

C2 - 0.1 нФ

Блок питания: 5В на 1А

Гнездо блока питания

2 гнезда SMA

### Литература

1. [Усилитель Wi-Fi сигнала своими руками: схема, чертёж, инструкция \(wifigid.ru\)](http://wifigid.ru)
2. [Усилитель Wi-Fi сигнала своими руками: антенны, характеристики, настройка \(14bytes.ru\)](http://14bytes.ru)

Мольков А.В.

Научный руководитель д.т.н., профессор,  
заведующий каф. радиотехники МИ ВлГУ Ромашов В.В.  
602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: molkov.photo@yandex.ru, romashovmirom@mail.ru

### Дельта-сигма аналого-цифровой преобразователь с шумом

Аналого-цифровое преобразование играет важную роль в современной электронной индустрии. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) позволяет получить цифровой код из непрерывного входного аналогового сигнала. Преобразование аналогового сигнала включает в себя дискретизацию по времени и квантование по амплитуде входного сигнала.[2] Разрешающая способность (рис.1) и скорость преобразования являются определяющими параметрами АЦП. В зависимости от данных параметров определяется тип архитектуры АЦП, который будет в последствие изготовлен для той или иной системы.[1,4]

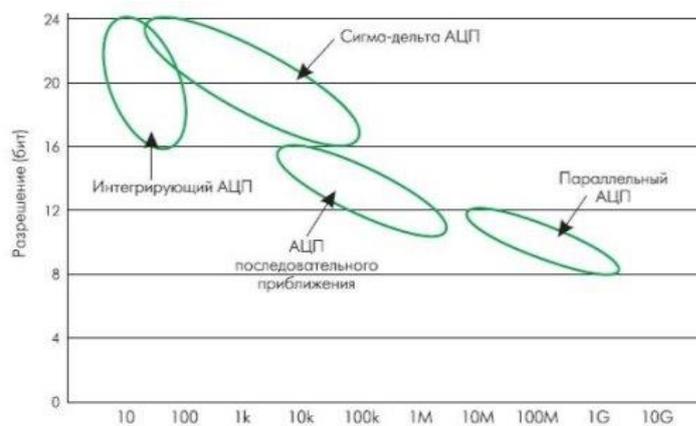


Рис.1. Типы АЦП – график разрешения в зависимости от частоты преобразования АЦП

В этой статье показана простая реализация сигма-дельта аналого-цифрового преобразователя в программе Matlab и реализация модели в simulink. Вход в диапазоне от 0 до  $V_{ref}$  ( $=1$  В) интегрируется до тех пор, пока не вызовет сброс интегратора. Время сброса пропорционально входному значению. Демодуляция импульсов осуществляется фильтром нижних частот. Блок асинхронной выборки и удержания ведет себя как триггер D-типа, запускаемый фронтом, передавая вход  $U$  на выход  $Y$  только по переднему фронту тактового сигнала. Эту модель можно использовать для изучения и понимания влияния искажений операционных усилителей.

Модель работает с фиксированным шагом. Это выбрано для скорости моделирования. Размер шага симуляции параметризуется параметром рабочей области  $T_{sim}$ , значение которого должно быть увеличено с некоторого небольшого значения до точки, в которой будут затронуты результаты. Параметр  $T_{sim}$  также устанавливает время расчета шума в блоке  $V_n$ . [3]

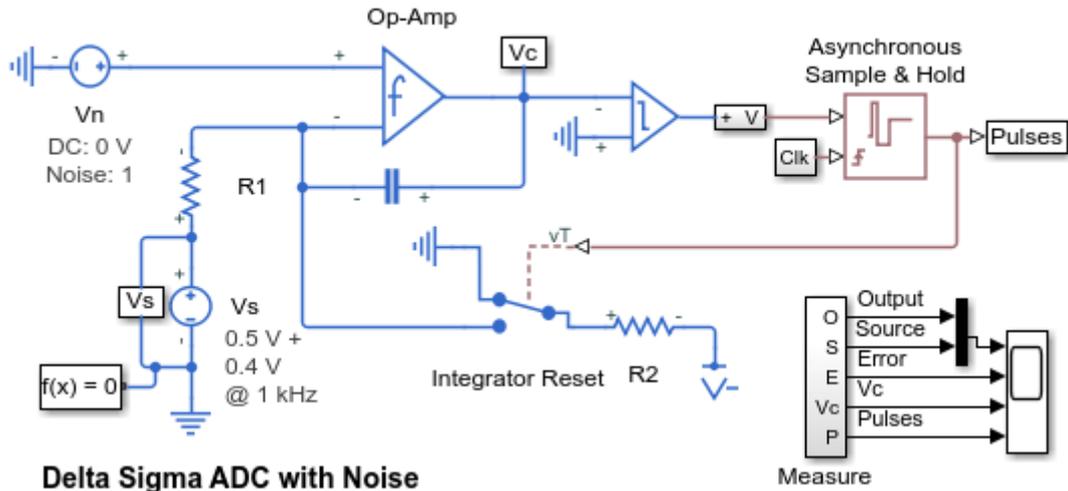


Рис. 2 – Модель дельта-сигма АЦП с шумом

На приведенном ниже графике показаны выходные параметры схемы преобразователя дельта-сигма.

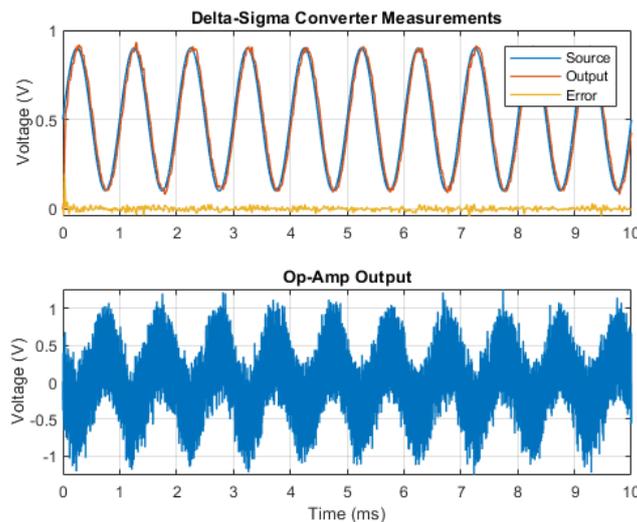


Рис. 3 – Выходные параметры модели, реализованные в программе Matlab

### Литература

1. Федерков Б.Г., Телец В.А., Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение.- М.: Энергоиздат, 1990. –320с.
2. Магеррамов, Р. В. Аналого-цифровое преобразование / Р. В. Магеррамов. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 2 (136). — С. 152-155.
3. Henry T. Nicholas, III and Henry Samueli, An Analysis of the Output Spectrum of Direct Digital Frequency Synthesizers in the Presence of Phase-Accumulator Truncation, IEEE 41st Annual Frequency Control Symposium Digest of Papers, 1987, pp. 495-502, IEEE Publication No.CH2427-3/87/0000-495.
4. Аналоговая и цифровая электроника. Учебник для вузов/ Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров.- М.: Горячая Линия – Телеком, - 1999.- 768 с.

Мольков А.В.

Научный руководитель д.т.н., профессор,  
заведующий каф. радиотехники Ромашов В.В.  
602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: molkov.photo@yandex.ru, romashovmirom@mail.ru

### Коммутируемый конденсаторный аналого-цифровой преобразователь

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) являются устройствами, которые принимают входные аналоговые сигналы и генерируют соответствующие им цифровые сигналы, пригодные для обработки микропроцессорами и другими цифровыми устройствами.

Процедура аналого-цифрового преобразования непрерывных сигналов, которую реализуют с помощью АЦП, представляет собой преобразование непрерывной функции времени  $U(t)$ , описывающей исходный сигнал, в последовательность чисел  $\{U'(t_j)\}$ ,  $j=0,1,2,;$  отнесенных к некоторым фиксированным моментам времени. Эту процедуру можно разделить на две самостоятельные операции. Первая из них называется дискретизацией и состоит в преобразовании непрерывной функции времени  $U(t)$  в непрерывную последовательность  $\{U(t_j)\}$ . Вторая называется квантованием и состоит в преобразовании непрерывной последовательности в дискретную  $\{U'(t_j)\}$ .

В этой статье показана реализация и моделирование выходного процесса в программе Matlab. Сигма-дельта АЦП (аналого-цифровой преобразователь) использует сигма-дельта модуляцию для преобразования аналогового входного сигнала в цифровой выходной сигнал. Аналоговый вход сигма-дельта АЦП управляет генератором, который производит импульсы фиксированного напряжения и длительности благодаря конденсатору, но период между импульсами обратно пропорционален аналоговому входу. Импульсы генератора интегрируются в течение фиксированного интервала времени, чтобы дать цифровое представление аналогового входного сигнала. [1,2]

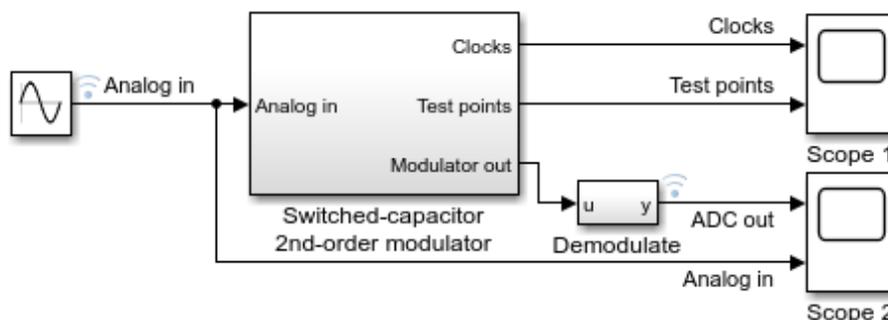


Рис.1. Модель коммутируемого конденсаторного аналого-цифрового преобразователя в Matlab

На графике (рис.3) показаны входной и выходной сигнал модели схемы аналого-цифрового преобразователя с переключаемым конденсатором. На графиках видно, как данная схема выполняет реализацию из аналогового сигнала в цифровой. Аналоговый сигнал – непрерывный, а в цифровом сигнале мы видим работу импульсов фиксированного напряжения и длительности.

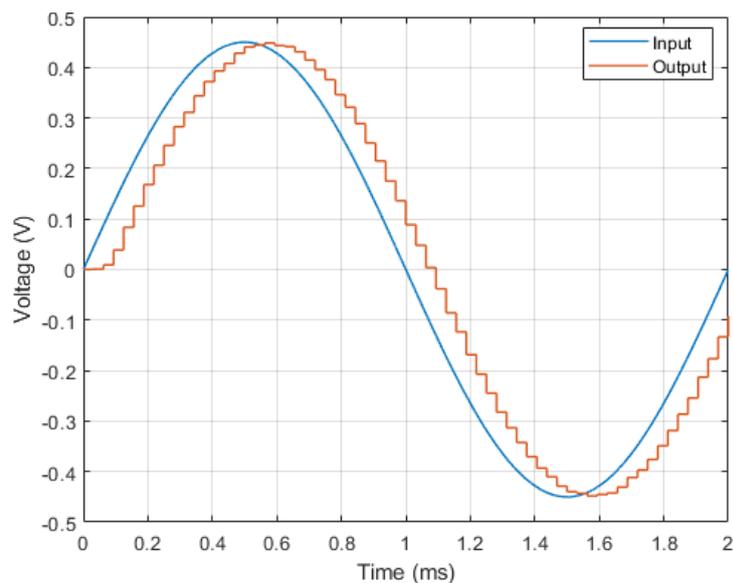


Рис. 3 – Результаты моделирования АЦП с переключаемым конденсатором, полученные в Matlab

#### Литература

1. Федерков Б.Г., Телец В.А., Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение.- М.: Энергоиздат, 1990. –320с.
2. Henry T. Nicholas, III and Henry Samueli, An Analysis of the Output Spectrum of Direct Digital Frequency Synthesizers in the Presence of Phase-Accumulator Truncation, IEEE 41st Annual Frequency Control Symposium Digest of Papers, 1987, pp. 495-502, IEEE Publication No.CH2427-3/87/0000-495.

Поскрёбин М.П.

*Научный руководитель к.т.н., доцент каф. радиотехники Докторов А.Н.  
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного  
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: pposkrebin@yandex.ru, doctorov\_a\_n@mail.ru*

### Супергетеродинный УКВ ЧМ радиоприемник с АПЧ и ИТН NM0703

Супергетеродинные приемники давно используются в радиотехнике, и имеют ряд преимуществ перед остальными типами приемников. В 1918 году немец Вальтер Шоттки и американец Эдвин Армстронг предлагают новую схему построения приемников и называют ее "супергетеродин"[1].

Супергетеродинный радиоприёмник — один из типов радиоприёмников, основанный на принципе преобразования частоты принимаемого сигнала в некую фиксированную частоту и все последующие тракты приемника работают только с этой частотой, которая не зависит от частоты входного сигнала, с последующим её усилением. Основное преимущество супергетеродина перед радиоприёмником прямого усиления в том, что наиболее критичные для качества приёма части приёмного не должны перестраиваться по частоте, что позволяет выполнить их со значительно лучшими характеристиками.

Преимущества: Высокая чувствительность. Супергетеродин позволяет получить большее усиление по сравнению с приёмником прямого усиления. Возможность принимать сигналы с модуляцией любого вида, в том числе с амплитудной манипуляцией и однополосной модуляцией. [2].

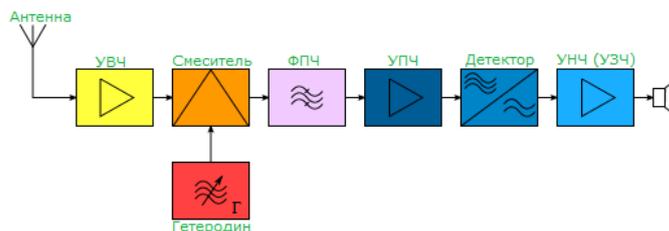


Рис. 1 – Структурная схема приёмника

Структурная схема супергетеродинного приемника показана на рис. 1. Радиосигнал, принятый антенной, усиливается УВЧ — усилителем высокой частоты и поступает на специальный узел — смеситель. На другой вход смесителя подается сигнал с гетеродина. Гетеродин представляет собой генератор, частота которого может изменяться. Частота гетеродина подбирается таким образом, чтобы она была выше частоты принимаемого сигнала. Таким образом, в смеситель поступает сразу два сигнала — принятого антенной и гетеродина. Эти сигналы подаются на выход смесителя и попадают на специальный фильтр, который называется фильтр ПЧ. Этот фильтр занимается тем, что выбирает из сигналов на выходе смесителя разность данных частот, которая называется промежуточной частотой (ПЧ)[1]. После фильтра ПЧ полученный сигнал поступает в усилитель ПЧ, а затем в частотный детектор, где фактически из сигнала УПЧ получаем напряжение величина которого зависит только от частоты на входе ЧД. Далее напряжение в УНЧ преобразуется в сигнал низкой частоты, то есть в слышимый звук.

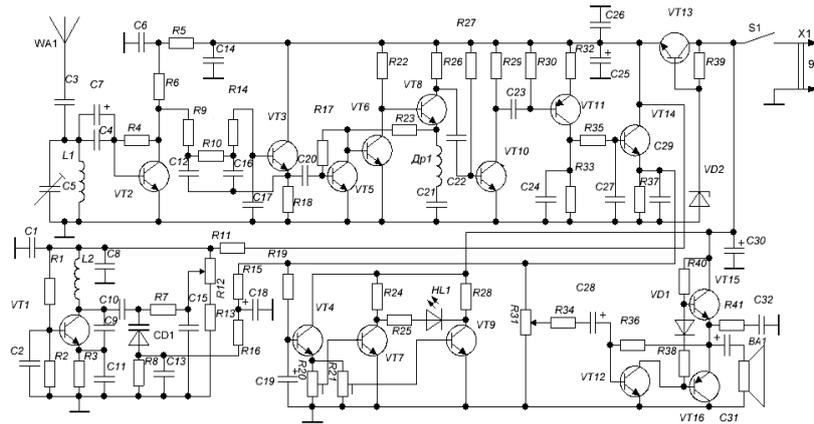


Рис. 2 – Принципиальная схема приёмника

Приёмник собран по супергетеродинной схеме с одним преобразованием частоты. Частота преобразования выбрана 100-250 кГц, то есть разница между частотой приёма и частотой гетеродина составляет 100-250 кГц. Фильтр ПЧ собран на транзисторах по простейшей схеме и при этом обеспечивает приемлемое качество приема. Особенностью данной конструкции является простейший частотный детектор, выполненный на 3 транзисторах. В схему введён простейший индикатор настройки. Простота схемы приемника приводит к появлению зеркальных каналов с шагом 225 кГц, а так же низкой селективностью к соседнему каналу [3].

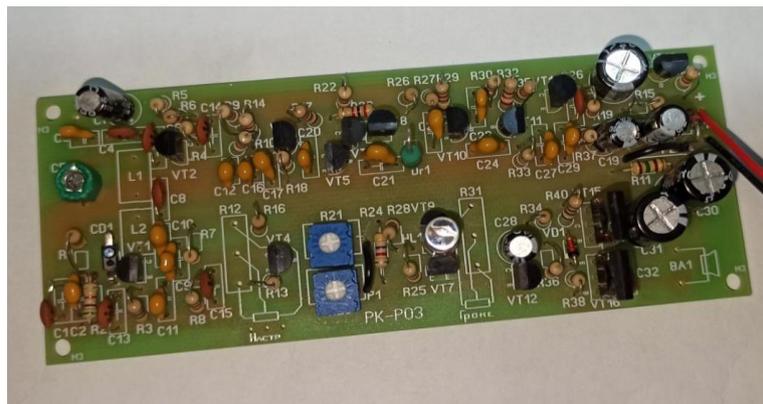


Рис. 3 – Собранная печатная плата

Сборка приёмника была достаточно легкой, ведь в схеме отсутствуют микросхемы и другие сложные компоненты. Пайка производилась обычным паяльником с регулировкой температуры. После сборки плата была проверена на наличие замыканий, и после этого было проведено включение с последующей регулировкой устройства, в том числе подстроечного конденсатора, двух подстроечных резисторов. После этого экспериментальным путём было выяснено, что устройство отлично себя показывает, несмотря на немногочисленные недостатки самой схемы.

### Литература

1. Описание принципов работы готового приёмника [Электронный ресурс] URL: <https://masterkit.ru/blog/articles/sobiraem-ukv-chm-radiopriemnik-s-apch-i-itn>
2. Описание супергетеродинного приёмника [Электронный ресурс] URL: <https://radiostorage.net/537-priemnik-supergeterodin-chto-eh-to-takoe.html>
3. Принцип работы компонентов схемы [Электронный ресурс] URL: <https://www.radiokot.ru/start/analog/practice/19/>

Рожкина Д.В.

*Научный руководитель к.т.н., доцент каф. радиотехники Докторов А. Н.  
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного  
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: rozkinad@gmail.com, doctorov\_a\_n@mail.ru*

### Формирователь тактового сигнала цифрового вычислительного синтезатора на транзисторах 2SC3357

Существует проблема формирования симметричного тактового сигнала цифрового вычислительного синтезатора. К таким формирователям предъявляются особые требования к стабильности частоты, уровню фазовых шумов, прямоугольной форме импульсов, а также необходимость генерации симметричного сигнала с определенными значениями логических уровней. Цифровой вычислительный синтезатор работает на основе метода прямого цифрового синтеза, когда из базового тактового сигнала прямоугольной формы формируются выходные колебания синусоидальной формы требуемой частоты, фазы и амплитуды, задаваемой программно [1, 2]. Преобразование осуществляется с помощью цифровых операций суммирования, адресации ячеек памяти со значениями выборок синусоидального сигнала. Одним из лидеров по разработке новых ЦВС является компания Analog Devices [3]. Тактовый сигнал может подаваться на тактовый вход ЦВС разными способами: в виде синусоидальных колебаний от несимметричного источника, в виде прямоугольных колебаний, от несимметричного источника, от симметричного источника с цифровым формированием прямоугольных сигналов логик LVDS, PECL.[4] Однако для этого требуется использование дорогостоящих интегральных микросхем, способных работать на высоких тактовых частотах и носящих минимальные искажения фронтов тактовых импульсов.

В данной работе исследуется схема формирователя тактовых сигналов ЦВС на основе транзисторов 2SC3357, она позволяет сформировать симметричный тактовый сигнал в виде прямоугольных импульсов. Схема формирователя приведена на рисунке 1.

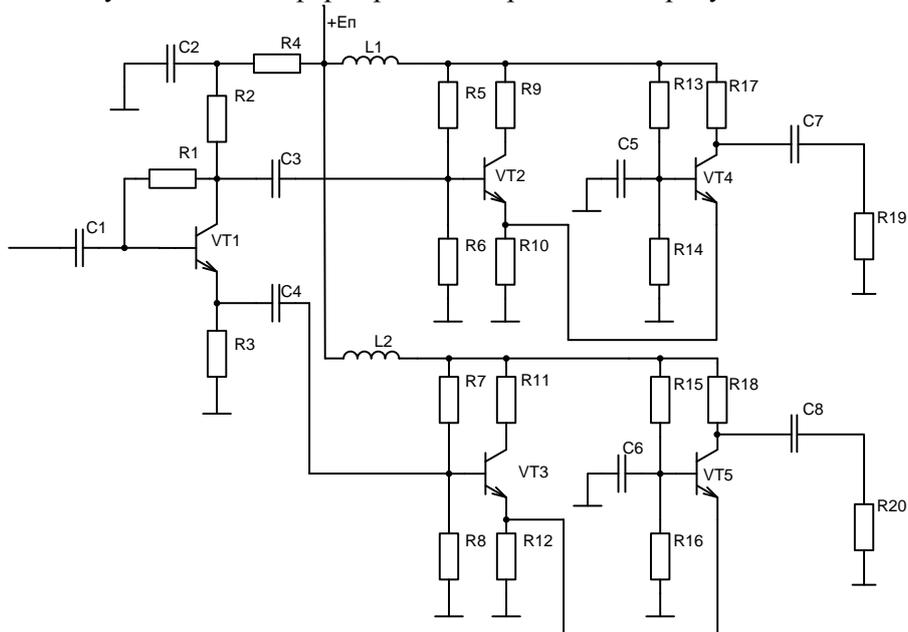


Рис. 1 – Схема формирователя тактовых сигналов ЦВС на основе транзисторов 2SC3357

Схема формирователя тактовых сигналов ЦВС на основе транзисторов 2SC3357 [5] работает следующим образом. Входной синусоидальный опорный сигнал от высокостабильного высокочастотного источника через конденсатор С1 поступает на предварительный каскад, формирующий два противофазных синусоидальных колебания,

каждое из которых поступает на соответствующий вход преобразователей формы сигнала из синусоидальной в прямоугольную. Каскады преобразователей представляют собой дифференциальные усилители, охваченные глубокой положительной обратной связью, при которой в случае поступления на входы сигнала начинается генерация прямоугольных импульсов. Это является ключевой особенностью данной схемы, но также может вызвать значительные трудности при изготовлении и настройке прототипа формирователя тактовых сигналов. Поэтому возможно изменение принципиальной схемы для повышения устойчивости ее работы. В качестве резисторов R19, R20 на схеме показаны входные сопротивления симметричных тактовых входов исследуемого цифрового вычислительного синтезатора AD9910.

Используемые для разработки транзисторы 2SC3357 обладают высокой граничной частотой, равной 7 ГГц, и достаточно высокой мощностью (1.2 Вт). Поэтому на основе данных транзисторов возможна реализация данного устройства.

В данной работе предполагается анализ работоспособности схемы, поиск альтернативных схемотехнических решений, разработка двухсторонней печатной платы транзисторного формирователя тактовых сигналов ЦВС. При разработке печатной платы необходимо учитывать особенности трассировки высокочастотных цепей, поскольку диапазон рабочих частот достигает 500-1000 МГц. Для этого необходимо учитывать паразитные индуктивности и емкости дорожек, сдвиги фаз от различной длины дорожек, организовать экранирование каскадов друг от друга, и согласование волновых сопротивлений входов и выходов формирователя сигналов с 50-ти омными линиями для уменьшения потерь. В качестве высокочастотных соединителей предполагается использовать коаксиальные разъемы типа SMA, максимальная рабочая частота которых равна 3 ГГц. Экранирование необходимо реализовать с использованием второй металлизированной стороны печатной платы для повышения устойчивости работы схемы.

Разрабатываемая печатная плата транзисторного формирователя тактовых сигналов ЦВС в дальнейшем будет использоваться в экспериментальных исследованиях характеристик и параметров интегральных цифровых вычислительных синтезаторов.

### Литература

1. Kroupa, V.F. Direct Digital Frequency Synthesizers. / V.F. Kroupa – New York: John Wiley & Sons, Ltd, 1998. – 396 p.
2. Technical Tutorial on Digital Signal Synthesis. /Analog Devices, 1999, Inc., - 122 p.
3. Сайт компании Analog Devices, Inc., 2022. [Электронный ресурс] URL: <http://www.analog.com>
4. Описание ЦВС AD9910 [Электронный ресурс] URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9910.pdf>
5. Описание транзисторов 2SC2257 [Электронный ресурс] URL: <http://www.unisonic.com.tw/datasheet/2SC3357.pdf>

Токарев А.Е.

*Научный руководитель к.т.н., доцент каф. радиотехники Докторов А.Н.  
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного  
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: Alex20041233@yandex.ru*

### Сборка и проверка работоспособности комплекта «Усилитель звукового сигнала на одном транзисторе»

Для тренировки навыков пайки производят специальные наборы для самостоятельной сборки. К одному из таких наборов относится комплект «Усилитель звукового сигнала на одном транзисторе» [1]. Вариаций данного комплекта существует великое множество. В рассматриваемом в этой работе комплекте используется односторонняя печатная плата. На печатной плате есть специальные посадочные места для 4 конденсаторов разной емкости (конденсатора 4,7 мкФ, 2 конденсатора 100 мкФ, конденсатора 102 мкФ), 5 резисторов разного сопротивления (резистора 220 Ом, резистора 2,2 кОм, 2 резистора 22 кОм и подстроечный резистор до 500 кОм), транзистора S9013 и трех штырей. Данная схема является усилителем сигнала звуковой частоты [2]. Сигнал подается на вход через C1, а снимается с выхода конденсатора C4. От данных конденсаторов зависит нижняя частота полосы пропускания усилителя, а сами конденсаторы называются разделительными. Основной усиливающий элемент в схеме – транзистор. Слабое изменение тока базы приводит к сильному изменению тока коллектора. Для того чтобы транзистор перешел в режим усиления класса А, необходимо задать требуемое напряжение смещения, для этого служит делитель на резисторах R1, R2, R3. Изменяя резистор R1, мы можем изменить напряжение смещения. Для температурной стабилизации [3] постоянного тока коллектора служит цепочка обратной связи расположенной в цепи эмиттера и построенная на резисторе R5 и конденсаторе C3. Принципиальная схема устройства представлена на рис. 1.

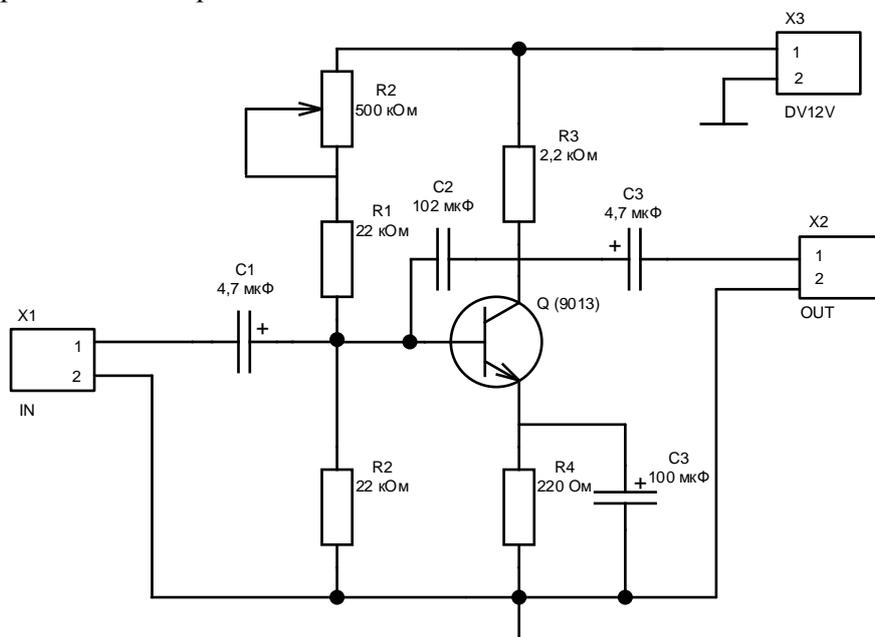


Рис. 1 – Принципиальная схема «Усилителя звукового сигнала на одном транзисторе»

При монтаже радиоэлементов схемы на печатную плату использовался выводной монтаж [4], что означает монтаж радиокомпонентов в сквозные отверстия на печатной плате. Устройство состоит из односторонней печатной платы, где проводящий рисунок находится только на одной стороне. Пайку лучше всего производить паяльником с тонким жалом и регулировкой температуры. Используется специальный тонкий трубчатый припой с канифолью

внутри. Пайка производится методом внесения трубчатого припоя в область пайки. Так же плюсами выводного монтажа является тот факт, что компоненты закреплены плотно, следовательно, данное устройство имеет максимальную надежность, а так же лучше проводимость за счет большого количества припоя. Но так же есть и недостатки, такие как необходимость проведения дополнительных работ (обрезание длинных выводов), а также большие габариты устройства.

Внешний вид собранной схемы можно увидеть на рис. 2.

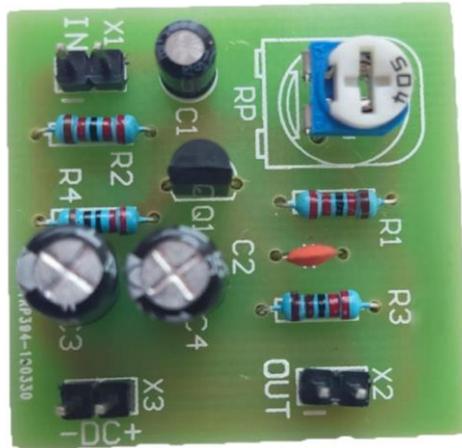


Рис. 2 - Собранная схема комплекта «Усилителя звукового сигнала на одном транзисторе»

В результате проделанной работы был собран комплект «Усилитель звукового сигнала на одном транзисторе». Использовался монтаж типа DIP (монтаж сквозь отверстие) [4]. Пайка была несложной, проверка работоспособности устройства прошла успешно. Коэффициент усиления [5] схемы составил 200 раз. При выводном монтаже научились пользоваться паяльником с тонким жалом. Во время пайки были получены хорошие эмоции от сборки, и полезные навыки пайки радиокомпонентов.

#### Литература

1. Комплект «Усилитель звукового сигнала» [Электронный ресурс]: [https://a.aliexpress.com/\\_ACasL3](https://a.aliexpress.com/_ACasL3)
2. Усилитель низкой частоты [Электронный ресурс]: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Усилитель\\_низкой\\_частоты](https://ru.wikipedia.org/wiki/Усилитель_низкой_частоты)
3. Температурная стабилизация усилителей [Электронный ресурс]: [https://studopedia.ru/5\\_76277\\_temperaturnaya-stabilizatsiya-usiliteley.html](https://studopedia.ru/5_76277_temperaturnaya-stabilizatsiya-usiliteley.html)
4. Выводной монтаж [Электронный ресурс]: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Выводной\\_монтаж](https://ru.wikipedia.org/wiki/Выводной_монтаж)
5. Коэффициент усиления [Электронный ресурс]: <http://ru.solverbook.com/spravochnik/koefficienty/koefficient-usileniya-tranzistora/>

Фроленков Д.В.

Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
e-mail: www.frolenkov245@yandex.ru

### Разработка и исследование лабораторного стенда по дисциплине «Схемотехника аналоговых электронных устройств»

Аналоговые электронные устройства – это устройства усиления и обработки аналоговых электрических сигналов, выполненные на основе электронных приборов.

Все электронные устройства можно разделить на две группы: аналоговые и цифровые. Преимущество аналоговых устройств – сравнительная простота, высокая надежность и меньшая стоимость, что обеспечило им широкое применение, несмотря на меньшую точность обработки сигналов в отличие от цифровых устройств [1].

Целью исследования является разработка лабораторного стенда по дисциплине «Схемотехника аналоговых электронных устройств», позволяющего проводить следующие лабораторные работы: «Исследование резисторного каскада предварительного усиления на транзисторе», «Исследование влияния обратных связей на свойства и характеристики усилительного каскада», «Исследование эмиттерного повторителя», «Исследование широкополосного усилителя с коррекцией». Также стенд должен позволять исследовать: амплитудную характеристику каскадов, амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) каскадов, переходные искажения, влияние параметров элементов на характеристики каскадов.

Особенностью проводимых исследований является то, что разрабатываемые электронные устройства сначала моделируются в программе схемотехнического моделирования MicroCap с тем, чтобы выбрать необходимые диапазоны изменяемых параметров элементов схемы. Затем реализуется физическая модель стенда и проводятся ее экспериментальные исследования.

Общая принципиальная схема стенда по дисциплине «Схемотехника аналоговых электронных устройств» показана на рис. 1. Данная схема позволяет реализовать все электронные устройства по всем лабораторным работам. Соответствующими переключателями устанавливается вид исследуемого электронного устройства и его параметры.

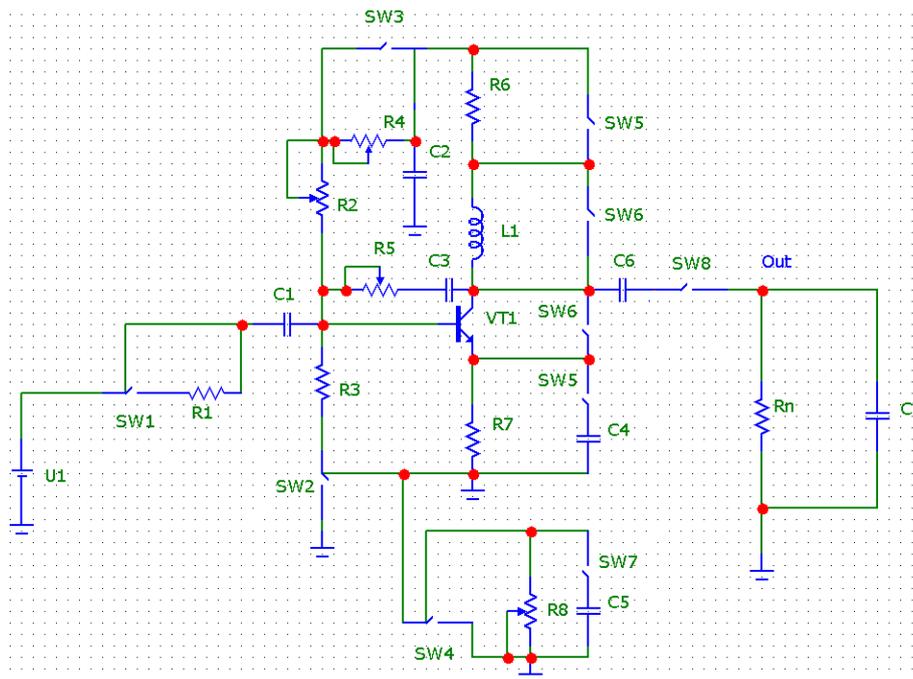
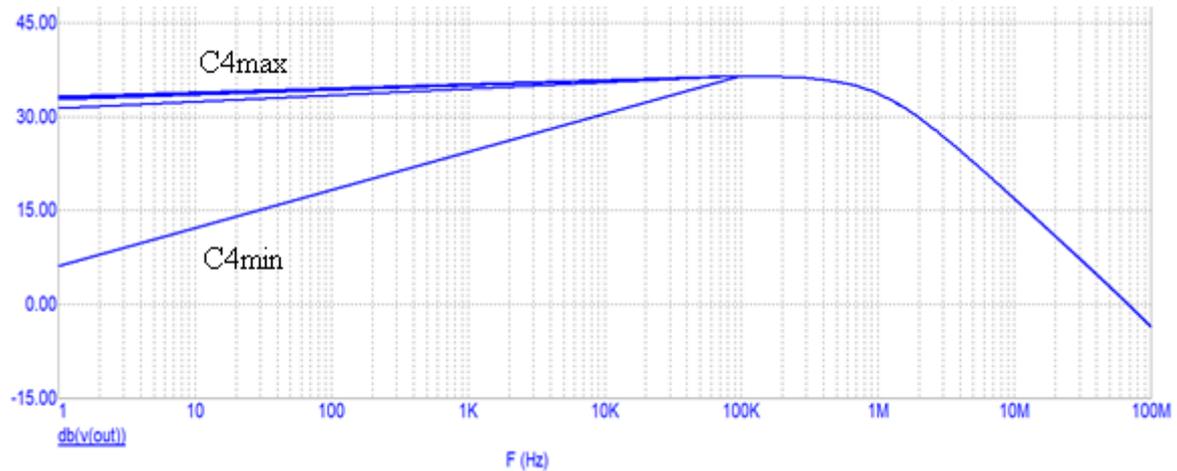
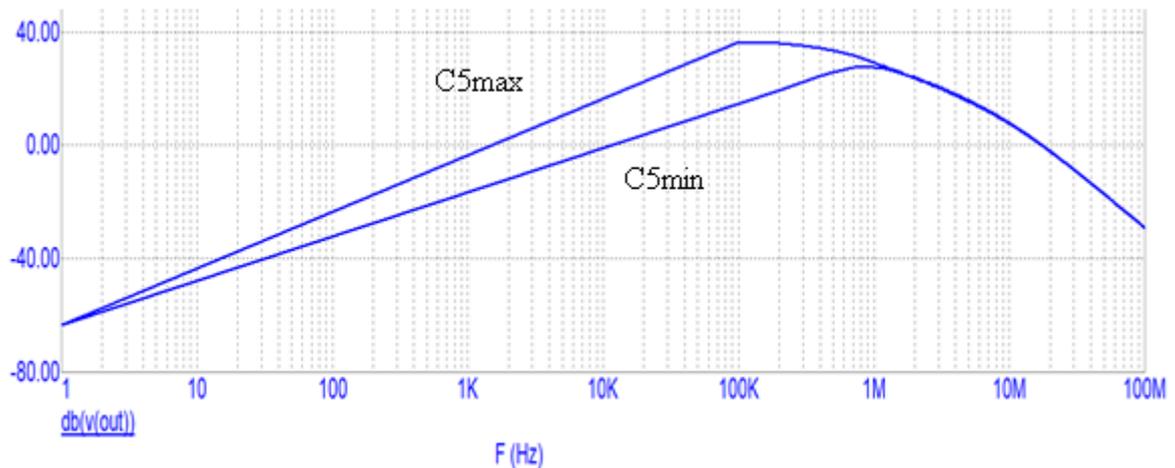


Рис. 1. Общая принципиальная схема стенда

Проведено моделирование всех электронных устройств, выбраны необходимые диапазоны изменяемых параметров. На рис.2а приведен пример моделирования зависимости АЧХ каскадов от элементов схемы. Например, при малых значениях  $C4$  идет сильный завал частотной характеристики на нижних частотах, при увеличении емкости  $C4$  завал АЧХ уменьшается, полоса пропускания увеличивается. На рис. 2б приведены результаты моделирования коррекции АЧХ в области верхних частот. Видно, что частотозависимая обратная связь  $R8$ ,  $C5$  способствует расширению полосы пропускания и снижению частотных искажений в пределах заданного диапазона частот.



а)



б)

Рис.2. АЧХ резисторного каскада предварительного усиления на транзисторе (а) и резисторного каскада с отрицательной обратной связью

Таким образом, выбраны и обоснованы электрические принципиальные схемы каскадов для исследования, разработаны компьютерные модели исследуемых устройств для получения характеристик и проведено моделирование всех электронных устройств. Экспериментальное исследование разрабатываемого стенда показало хорошее совпадение с результатами моделирования.

### Литература

1 Теоретические сведения об усилителях. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://helpiks.org/4-8536.html> (дата обращения: 05.04.2022).

Шикинова В.С.

*Научный руководитель к.т.н., доцент каф. РТ Докторов А.Н.**Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23**E-mail: niks.shik69@gmail.com***Сборка и проверка работоспособности комплекта «Сигнализация на основе PIR датчика»**

Инфракрасные датчики движения широко применяются в различных системах сигнализации и управления освещением, они работают на основе обнаружения движения человека в охраняемой зоне. Для обнаружения человека используется тепло, изучаемое им в окружающую среду. В данной работе проводилась сборка и анализ работы схемы сигнализации на основе инфракрасного PIR датчика.

После включения питания, когда пироэлектрический инфракрасный датчик PIR обнаруживает инфракрасный сигнал, излучаемый человеческим телом перед ним, слабый электрический сигнал усиливается измерительным трактом на операционных усилителях, включается звуковой сигнал. Когда человек покидает зону обнаружения, сигнализация выключается.

Сборка производилась по приложенной в инструкции схеме (рис. 1)[1].

Рассмотрим принцип работы данного устройства. Выходной сигнал PIR датчика с контакта 2 усиливается каскадом предварительного усиления на транзисторе VT1, а затем поступает на вход каскада усиления на операционном усилителе LM358 (IC2A)[2]. Усиленный сигнал с выхода усилителя подается на один из входов компаратора, служащего для сравнения сигнала от датчика и некоторого порогового сигнала, определяемого цепочкой элементов R10, R11, VD1 и RP1. Переменный резистор определяет опорное пороговое напряжение, с которым сравнивается усиленный сигнал датчика. Таким образом, можно изменять чувствительность схемы. Следующий каскад с операционным усилителем IC3 необходим для организации задержки срабатывания датчика. Пока напряжение на конденсаторе C6 низкое, импульс выходного сигнала от предыдущего компаратора IC2B, поступающего через диод VD2 не проходит через компаратор на операционном усилителе IC3 (LM393). Конденсатор C6 будет заряжаться примерно 30 секунд, что приводит к задержке сигнала тревоги, в то время как VT3, R20 и C7 образуют схему задержки запуска.

Напряжение питания может быть выбрано или 12 В (при подключении к J1) или 6 В (при подключении к J2).

Чем ближе человеческое тело находится к пироэлектрическому датчику, тем сильнее сигнал тревоги.

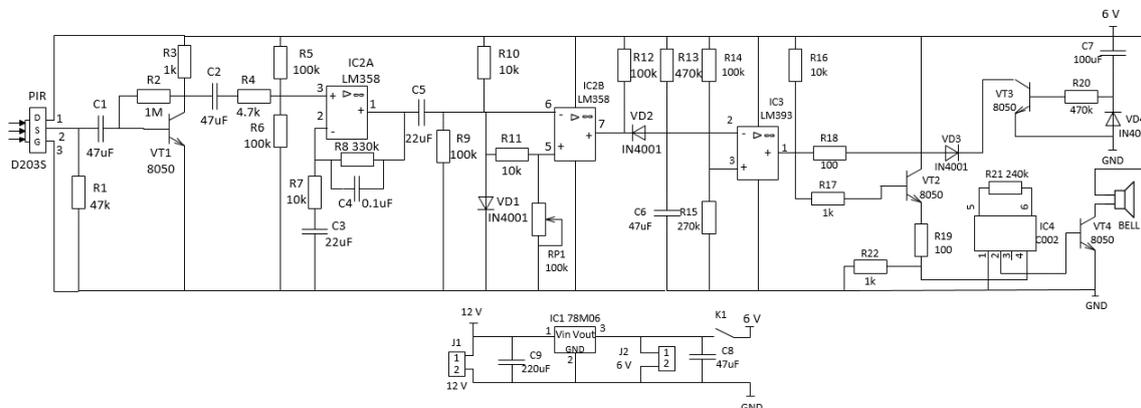


Рис. 1 – Принципиальная схема сигнализации

Собранное устройство (рис. 2) имеет достаточно высокий уровень сложности монтажа: двухсторонняя печатная плата, наличие одновременно выводных и SMD компонентов:

конденсаторов, микросхем 78M06, LM358 и LM393, стабилизатора напряжения, PIR датчика, SMD транзисторов и других элементов.

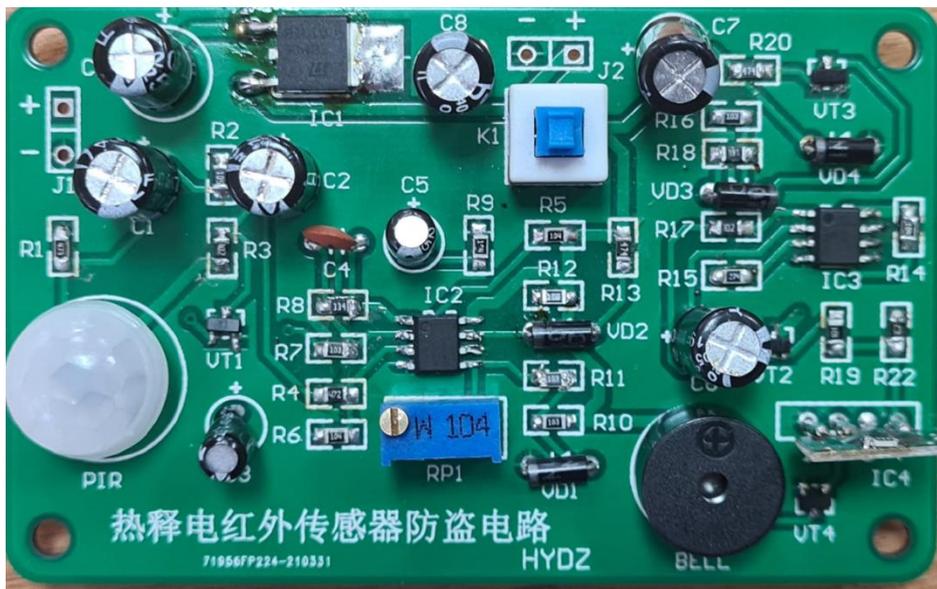


Рис. 2 – Собранная печатная плата

При наладке и проверке работоспособности нужно особое внимание уделять микромодулю IC4, который является звуковым генератором для пассивного пьезоизлучателя (BELL). По отзывам, высока вероятность повреждения или брака данного электронного компонента, поэтому в некоторых случаях можно использовать активный пьезоизлучатель с встроенным звуковым генератором, микромодуль IC4 при этом демонтируется, а контакты 2 и 4 на плате в месте его установки закорачиваются перемычкой.

Схему можно использовать и без звукового модуля и излучателя, используя получаемый импульс постоянного напряжения для включения нужных исполнительных устройств, например, коммутации мощной нагрузки, ламп освещения, передачи сигнала о тревоге с помощью радиопередающих устройств.

Сборка схемы позволяет получить навыки монтажа выводных и smd компонентов, дает представление о двухсторонних печатных платах, методиках сборки двухсторонних печатных плат с металлизацией отверстий.

#### Литература

1. Инструкция по сборке комплекта [Электронный ресурс]: [https://aliexpress.ru/item/1005002085180460.html?gatewayAdapt=glo2rus&sku\\_id=12000018692242282&spm=a2g0o.order\\_list.0.0.21efa396ByIz0J](https://aliexpress.ru/item/1005002085180460.html?gatewayAdapt=glo2rus&sku_id=12000018692242282&spm=a2g0o.order_list.0.0.21efa396ByIz0J)
2. Описание микросхемы LM358 [Электронный ресурс]: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm358.pdf>
3. Описание микросхемы LM393 [Электронный ресурс]: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm393.pdf>

Яшина Н.А.

*Научный руководитель к.т.н., доцент каф. радиотехники Докторов А. Н.  
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного  
учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: Nata.yashina201@yandex.ru, doctorov\_a\_n@mail.ru*

### Формирователь тактового сигнала цифрового вычислительного синтезатора на основе микросхемы ADCLK944

На данный момент цифровые вычислительные синтезаторы широко применяются в современных телекоммуникационных системах, контрольно-измерительной аппаратуре и радиолокационных станциях благодаря более высоким техническим характеристикам, чем у других типов синтезаторов частот. Цифровые вычислительные синтезаторы используют в качестве формирователей стабильных частот и сигналов различных радиотехнических устройств. Сигнал формируется из тактовых сигналов с использованием цифровой обработки [1, 2].

ADCLK944 – интегральная микросхема, реализующая сверхбыстрый буфер разветвления тактовых импульсов. Она разработана и производится компанией Analog Devices.[3] Для исследования свойств данной интегральной микросхемы компанией Analog Devices предлагается отладочный модуль ADCLK944 EBZ. Данная печатная плата предназначена для формирования высокочастотного тактового сигнала для применений в составе устройств, к которым предъявляются требования низких уровней фазовых шумов и низкого частотного отклонения передаваемого сигнала. Принципиальная схема отладочного модуля приведена на рис.1 [4].

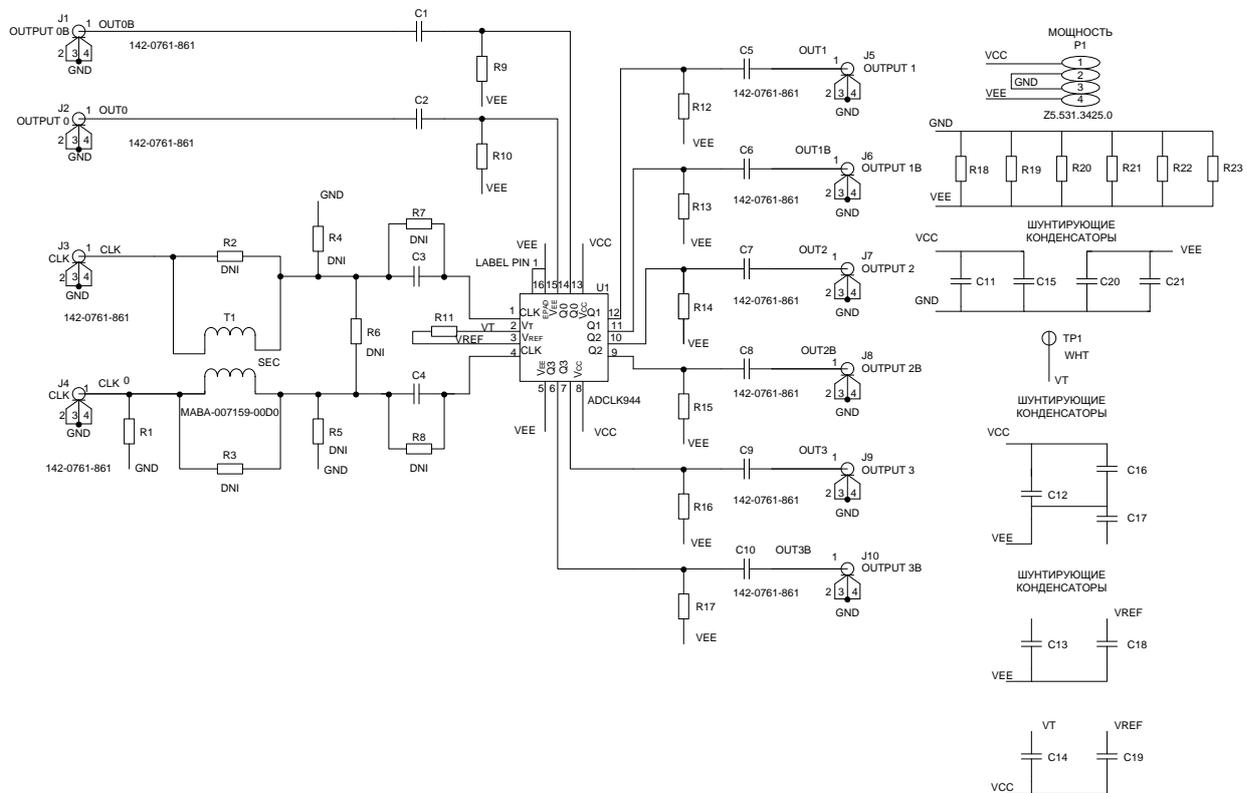


Рис.1 – Принципиальная схема отладочного модуля ADCLK944 EBZ

Данный формирователь используется для формирования симметричного тактового сигнала цифрового вычислительного синтезатора. Устройство имеет дифференциальный вход, оснащенный встроенными согласующими резисторами 100 Ом. Вход может принимать LVPECL со связью по постоянному току, CML, CMOS 3,3 В (несимметричный), и входы 1,8 В CMOS, LVDS и LVPECL со связью по переменному току. VREF - доступен для смещения входов со связью по переменному току. ADCLK944 оснащен четырьмя полноповоротными логическими схемами с эмиттерной связью (ECL) выходные драйверы. Для работы LVPECL (положительный ECL) смещения VCC к положительному источнику питания и VEE к земле.

ADCLK944 принимает вход дифференциального тактового сигнала и распределяет его по всем четырем выходам LVPECL. оснащенный дифференциальный, встроенные согласующие резисторы 100 Ом. Вход может принимать входы LVPECL, CML, 3,3 В CMOS со связью по постоянному току (несимметричный, только работа при 3,3 В) и 1,8 В CMOS, LVDS и LVPECL со связью по переменному току. Вывод VREF доступен для смещения входов, связанных по переменному току.

ADCLK944 специально разработан для минимизации дополнительного случайного джиттера в широком диапазоне скоростей нарастания входного сигнала. Выходы LVPECL ADCLK944 предназначены для прямой передачи 800 мВ в кабель с сопротивлением 50 Ом или в микрополосковые/полосковые линии передачи с сопротивлением 50 Ом относительно напряжения  $V_{CC} - 2$  В. Выходы предназначены для наилучшего согласования с линией передачи.

В данной работе планируется разработка, сборка двухсторонней печатной платы, на которой планируется разместить элементы принципиальной схемы, показанной на рис.1. Внешние подключения высокочастотных сигналов планируется реализовать через коаксиальные разъемы типа SMA. Для наилучшей возможной производительности в целевом приложении необходимо обеспечить наименьшую индуктивность всех заземленных участков для коммутационных токов. Входной опорный сигнал от высокостабильного синусоидального источника подается на один из входов clk. Второй из входов clk подключается к земле через разделительный конденсатор. Для согласования волнового сопротивления входных линий применяется согласующий трансформатор T1 [5]. Предполагаются некоторые сложности с установкой микросхемы ADCLK944, поскольку корпус типа lfcsfp-wq-16 имеет малые размеры 3x3 мм.

Разрабатываемая печатная плата формирователя тактового симметричного сигнала ЦВС позволит провести экспериментальные исследования, как системы симметричного тактового сигнала, так и определение параметров цифровых вычислительных синтезаторов, использующих симметричный тактовый сигнал.

### Литература

1. Kroupa, V.F. Direct Digital Frequency Synthesizers. / V.F. Kroupa – New York: John Wiley & Sons, Ltd, 1998. – 396 p.
2. Technical Tutorial on Digital Signal Synthesis. /Analog Devices, 1999, Inc., - 122 p.
3. Сайт компании Analog Devices, Inc., 2022. [Электронный ресурс] URL: <http://www.analog.com>
4. Оценочный модуль ADCLK944 eval board [Электронный ресурс] URL: <https://www.analog.com/ru/design-center/evaluation-hardware-and-software/evaluation-boards-kits/eval-adclk944.html>
5. Описание согласующего трансформатора MABA-007159-000000 [Электронный ресурс] URL: <https://cdn.macom.com/datasheets/MABA-007159-000000.pdf>