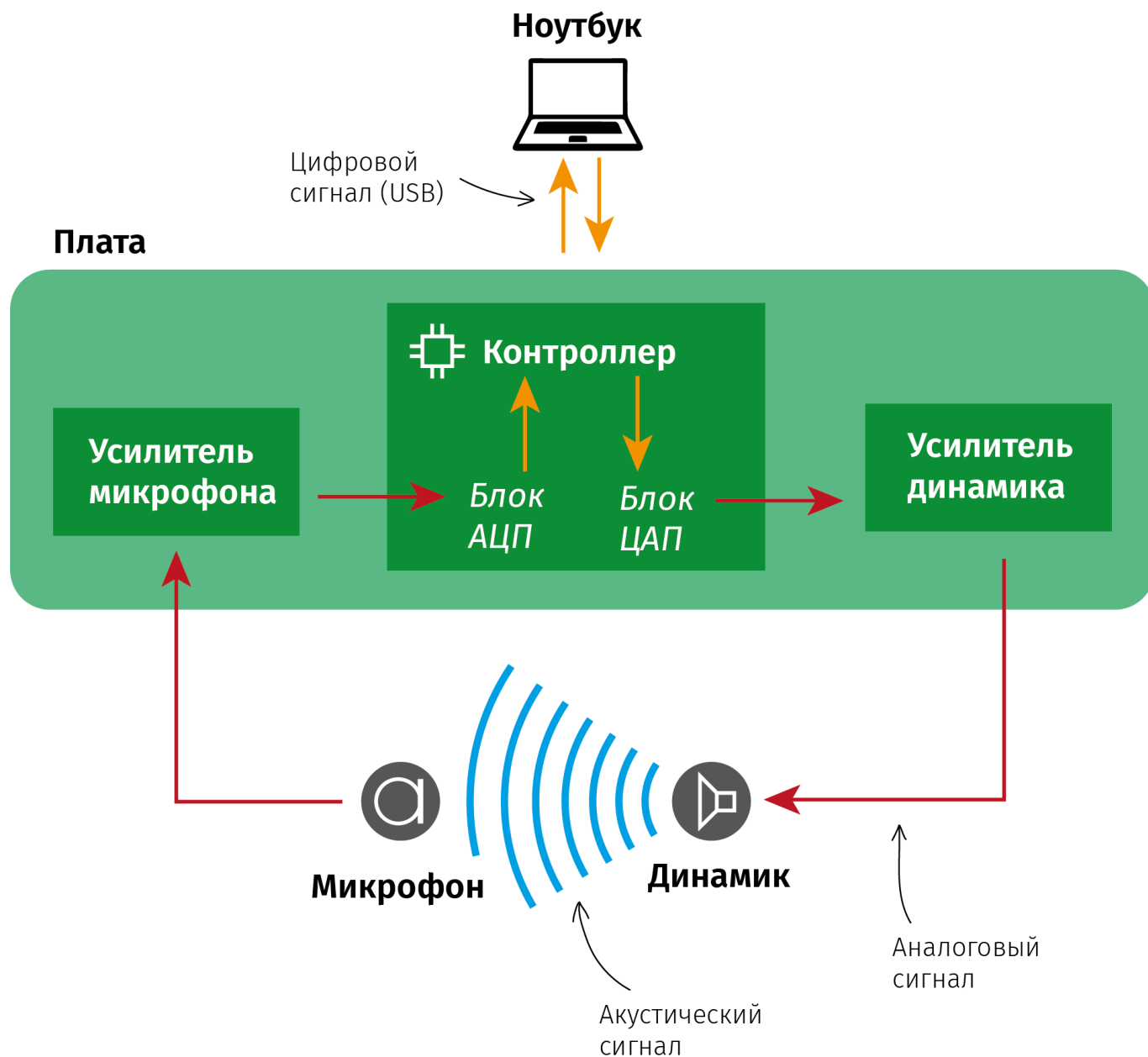


ТЮК Акустика-1
Инструкция по применению

Схема устройства и сборки установки

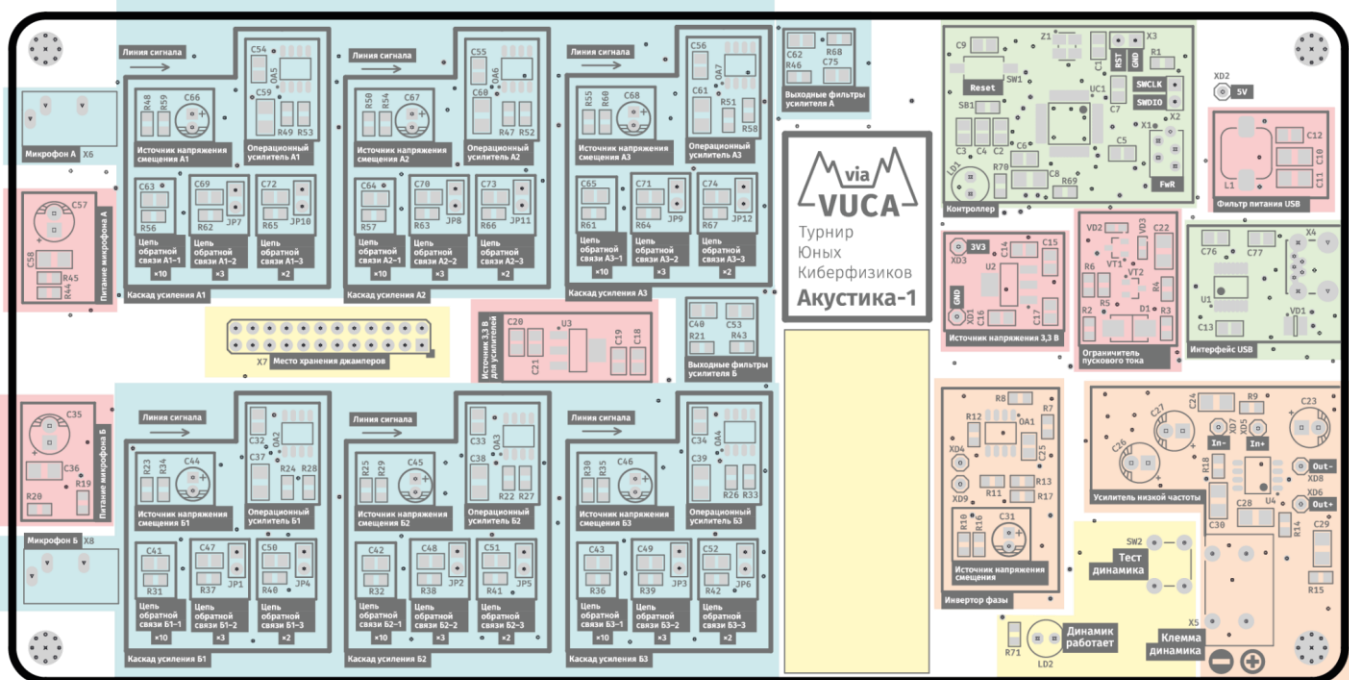


Установка состоит из трёх компонентов:

1. Платы «Акустика-1» (далее — плата) и соединительных кабелей.
2. Микрофонов и их стоек.
3. Излучателя (динамика) и его стойки.

При подключении к плате микрофонов и излучателя они образуют акустический канал связи, через который вам предстоит передавать сообщения.

Плата управляется с ноутбука, к которому подключается по кабелю miniUSB.



Цифровые блоки

Усилитель излучателя

Усилители микрофонов

Подсистема питания

Блоки удобства использования

Схемотехника платы принципиально состоит из пяти больших блоков:

1. Цифровые блоки.

- a. Микроконтроллер содержит в себе блоки ЦАП и АЦП, а также обеспечивает обмен данными с программой на компьютере через интерфейс USB. Обмен происходит по специальному протоколу. С помощью программы вы можете передавать произвольные данные на ЦАП и принимать данные с АЦП.
- b. Блок интерфейса USB. Транслирует его в протокол, понятный контроллеру (UART).

2. Усилители микрофонов. Они увеличивают амплитуду (напряжение) сигнала, снимаемого с микрофонов. Усилители канала А и канала Б состоят из трёх каскадов каждый. Коэффициенты усиления каждого каскада устанавливаются джамперами. Также содержат дополнительные фильтры на выходе.

3. Усилитель излучателя (динамика). Вместе с излучателем образует передатчик.

- a. Сам усилитель. Он уменьшает внутреннее сопротивление передатчика (как внутреннее сопротивление источника питания). Если бы мы подключили излучатель к ЦАП напрямую, без усилителя, то сигнал был бы очень тихим.
- b. Фазоинвертор. Он формирует ещё один выходной сигнал, зеркальный оригинальному, и оба их подаёт на усилитель излучателя. Такой приём позволяет в два раза увеличить громкость излучателя, не меня остальных характеристик. (Можно посмотреть схему усилителя низкой частоты на стр. 10 документа «Принципиальная схема с расширенными комментариями»).

4. Подсистема питания. Обеспечивает требуемое напряжение питания для всех остальных блоков, в том числе с соблюдением особых требований.
 - a. Источник постоянного напряжения 3,3 В для питания **контроллера**. Создаваемое им напряжение на схеме обозначается как 3V3.
 - b. Источник постоянного напряжения 3,3 В для питания **усилителей** микрофона. Создаваемое им напряжение на схеме обозначается как 3V3A, «3V3 аналоговое». Напряжение 3,3 В мы создаём два раза, чтобы минимизировать попадание в сигнал помех с контроллера.
 - c. Фильтр питания USB. Как правило, напряжение питания с компьютеров очень «грязное» из-за постоянных рывков потребления внутри самого компьютера. Если его не отфильтровать, то эти помехи попадут в сигнал и очень сильно его испортят. Входное напряжение на схеме обозначено как 5VUsb, выходное — 5V.
 - d. Ограничитель пускового тока. По спецификации USB на линии питания 5V может быть ёмкость не более 10 мкФ. У нас же — чуть больше 300 мкФ. Эта цепь обеспечивает их плавный заряд, чтобы при включении плата не вытягивала с шины USB большой ток для их заряда.
 - e. Питание микрофонов. Подают на микрофоны требуемое напряжение и дополнительно его фильтруют.
5. Блоки удобства использования. Они не влияют на основную функциональность платы, но делают её более удобной:
 - a. «Парковка» для джамперов. Неиспользованные джамперы следует устанавливать сюда, чтобы они не терялись.
 - b. Кнопка теста динамика. Если её нажать, динамик испустит встроенный сигнал (при этом данные передаваться не будут). Он полезен для проверки того, что динамик исправен и правильно подключён.
 - c. Место для заметок и маркировки. Здесь можно писать, не боясь испортить плату.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Код

Это система правил по преобразованию информации из одной формы в другую, обычно с целью передачи через канал связи (но не только). Например:

1. 123 → «сто двадцать три».
2. «SOS» → ... --- ...
3. 101101 → 45

Некоторые формы записи информации очень удобны в использовании человеком, некоторые — компьютером, а некоторые очень хорошо подходят для передачи данных. Например, азбука Морзе очень хороша для передачи сообщений по телеграфным проводам или примитивными радиопередатчиками в условиях шумов. Кодировка Unicode — для хранения символов письменных человеческих языков в памяти компьютера, запись величин десятичными дробями сильно экономнее, чем запись словами-числительными, и так далее.

Микроконтроллер

Микроконтроллер — это маленький компьютер, выполненный в виде микросхемы (в СССР их так и называли — однокристалльная электронная вычислительная машина).

Самое большое отличие микроконтроллера от компьютера (например, ноутбука) в том, что из устройств ввода у ноутбука есть клавиатура и тачпад, а у микроконтроллера — только напряжение на его ножках; выводить информацию ноутбук может на экран и на динамики, а микроконтроллер — только изменяя напряжение на своих ножках.

АЦП

Аналогово-цифровой преобразователь. Это устройство, которое преобразует напряжение (физическую величину) в число (результат измерения). Про АЦП можно думать, как про маленький очень быстрый вольтметр.

В микроконтроллере нашей платы АЦП 12-разрядное. Это означает, что оно превращает измеряемое напряжение (от 0 до 3,3 В) в 12-битное число (от 0 до 4095). Нетрудно подсчитать, одному «попугаю», в которых АЦП измеряет напряжение, соответствует чуть более 805 микроВольт.

ЦАП

Цифро-аналоговый преобразователь. Это модуль, который преобразует подаваемые ему числа в постоянное напряжение. В нашем микроконтроллере ЦАП также 12-битный, и может изменять выдаваемое напряжение в диапазоне от 0 до 3,3 В с шагом в примерно 805 микроВольт.

USB

Universal Serial Bus, Универсальная последовательная шина. Это аппаратный интерфейс (система коммуникации) для взаимодействия устройств, который вы наверняка много раз видели. Сам по себе он устроен довольно сложно, но позволяет очень удобно и просто подключать к компьютерам всевозможные устройства.

UART

Universal asynchronous receiver/transmitter, Универсальный асинхронный приёмопередатчик. Это один из самых простых аппаратных интерфейсов (систем коммуникации) между устройствами, который часто используется в микроконтроллерах. Он устроен очень просто, и вам не составит труда разобраться в нём самим, а может, даже реализовать его самим.

Внутреннее сопротивление

Это один из способов представлять в схемотехнике физически сложные электрические устройства. Например, если мы рассмотрим батарейку или аккумулятор, то они производят электрическую энергию в результате весьма сложных химических и физико-химических процессов. В батарейках и аккумуляторах эти процессы ограничивают не только их напряжение и максимальную ёмкость, но и то, какой максимальный ток они способны отдать.

В схемотехнике такие устройства бывает удобно представлять, как идеальный источник напряжения, но с подключенным «паразитным» резистором, из-за которого ограничивается максимальный ток, отдаваемый источником, и выдаваемое напряжение начинает изменяться в зависимости от сопротивления подключаемой нагрузки.

Конечно, замена реального сложного физического (и химического) устройства таким эквивалентом — это аналогия/приближение, которое, однако, очень удобно и плодотворно на практике.

Усилитель

Максимально абстрактно — это устройство, пропорционально увеличивающее какую-либо физическую величину. В схемотехнике таких величин две — напряжение и ток.

Усилитель напряжения просто умножает входящее в него напряжение на заданную величину.

Усилитель тока не изменяет напряжение и просто повторяет его. Но он имеет меньшее внутреннее сопротивление, и поэтому способен работать с более требовательной нагрузкой с меньшими искажениями.

В схемотехнике существует множество типов обоих вариантов усилителей, отличающихся друг от друга «второстепенными» деталями, вроде максимальной частоты, нелинейности и тому подобным, включая сложность и стоимость. Мастерство схемотехники состоит не в том, что решить, что «здесь нам нужен усилитель», а в том, чтобы выбрать такой, который хорошо решит стоящую задачу.

Фазоинвертор

Устройство, которое из заданного сигнала делает другой, фаза которого смещена на 180° . Это простое и понятное определение, если вы знакомы с понятием гармонических колебаний. Если нет, ничего страшного, ведь наш фазоинвертор работает совсем просто: он берёт входной сигнал, и зеркально отражает его относительно заданного ему напряжения смещения (1,65 В). Например, если у него на входе находится сигнал в 2 В, то на выходе будет $1,65 + (1,65 - 2) = 1,3$ В. Если на входе будет сигнал в 1 В, то на выходе будет $1,65 + (1,65 - 1) = 2,3$ В. Математические свойства тригонометрических функций таковы, что отзеркаленная синусоида есть она сама, просто смещённая на половину периода (те самые 180°), и зеркалируя её амплитуду, мы инвертируем её фазу!

Пусковой ток

Электронные устройства, как правило, содержат массу конденсаторов, основная задача которых — гасить возникающие внутри устройств помехи, неизбежно появляющиеся при изменении их потребления в ходе их работы. Если мы зажгли светодиод, то потребление устройства скачком изменилось, что не может не вызвать скачка напряжения на линии питания устройства из-за ненулевых реальных сопротивления и индуктивности любого проводника.

Конденсаторы хорошо справляются с этой проблемой, но создают другую. В выключенном устройстве они все полностью разряжены, и при включении начинают заряжаться. Ток, который они при этом потребляют, ограничен только сопротивлением проводника питания; оно мало, поэтому этот ток огромен, обычно в сотни раз больше тока, потребляемого устройством при нормальной работе.

Такой ток может вывести питающее устройство из строя, либо оно может принять этот скачок за короткое замыкание и отключить всю систему. Для борьбы с этим используют два подхода:

1. Делают источник питания устойчивым к коротким всплескам нагрузки, а его защиту — игнорировать их, если они достаточно короткие.
2. Применяют решения, ограничивающие пусковой ток в самом подключаемом устройстве, например, подключающие его через резистор до тех пор, пока внутренние конденсаторы не зарядятся.

Шум

Всевозможные нежелательные искажения, попадающие в сигнал. Они могут появляться во время его прохождения через физическую среду (проводник, воздух, электромагнитное поле и т.п.). Такие шумы называются внешними. Самый простой пример такого шума, который вы сможете увидеть своими глазами — это если кто-то говорит во время передачи сообщения платой «Акустика-1». Более сложный пример — эхо. Его можно хорошо увидеть, если расположить ось излучателя и микрофона параллельно твёрдой поверхности, вроде стены или стола.

Шумы могут быть и внутренними — возникающими в устройствах, которые обеспечивают кодирование и преобразования сообщения в процессе его передачи.

Самый простой пример можно увидеть, если на компьютерных колонках выкрутить громкость на максимум, не подавая на них звука. Вы скорее всего услышите негромкий шум и потрескивания. Это, как правило, внутренние шумы усилителя звуковой карты.

Технический канал связи

Это способ коммуникации с использованием технических устройств. Сообщение всегда несколько раз перекодируется и как правило проходит через физическую среду, которая вносит в него помехи. Задача технического канала связи — передать сообщение на расстояние (в пространстве и/или времени), чтобы переданное сообщение не отличалось от передаваемого.

Гармонические колебания

Это особая разновидность периодического движения, при котором:

- на объект действует возвращающая сила — направленная к центру равновесия;
- эта сила прямо пропорциональна величине отклонения объекта от центра равновесия.

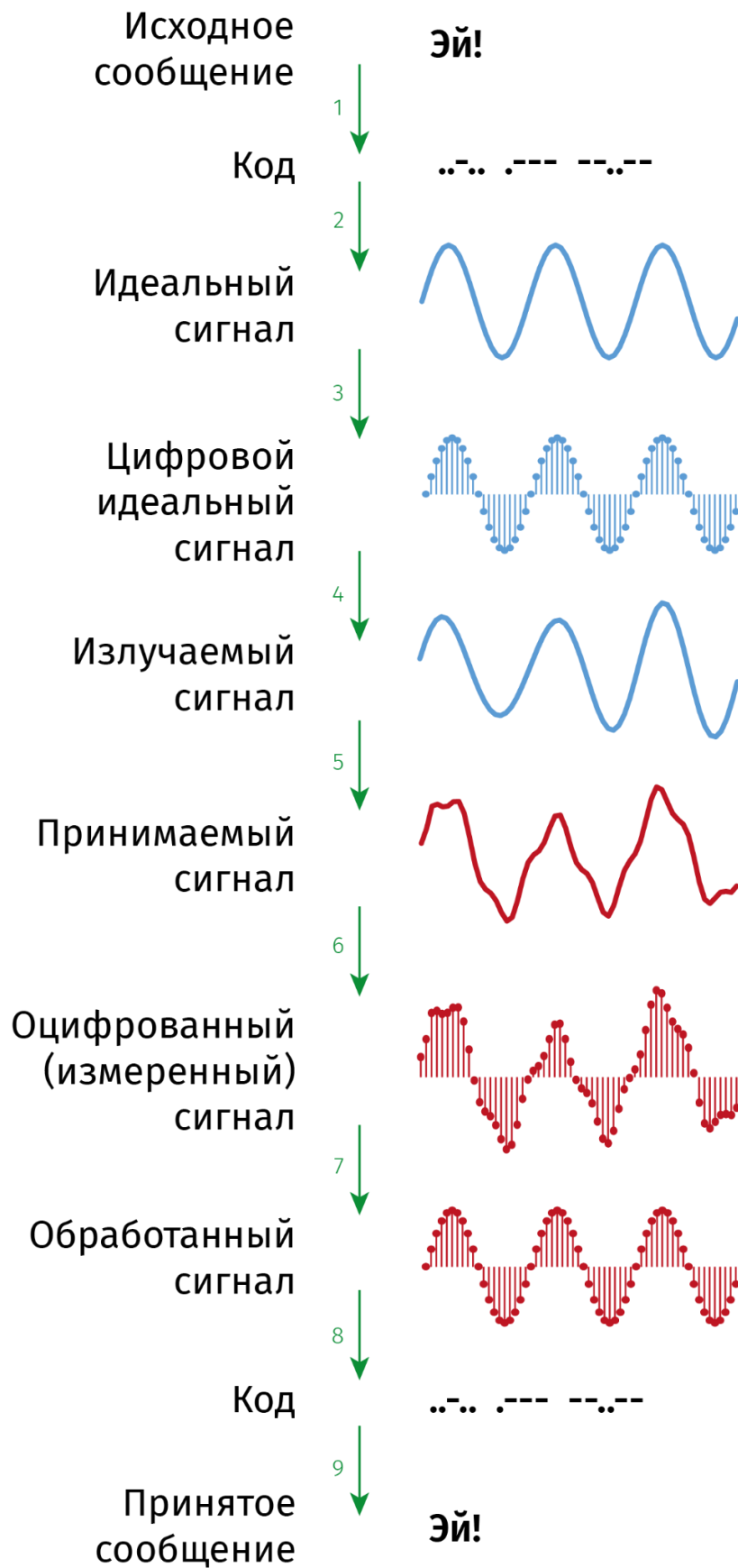
Математическим следствием этих свойств является то, что движение такого объекта будет описываться синусоидой: $x(t) = A \sin(\omega t)$, где A и ω — коэффициенты, отвечающие за амплитуду («величину» колебаний) и частоту (их «скорость»).

Удивительно, но гармонические колебания очень распространены. Например:

- Груз, качающийся на пружине. Сила, с которой пружина тянет или толкает груз, пропорциональна величине её растяжения.
- Маятник (или качели). Здесь математика не столь тривиальна, но эти колебания — тоже гармонические.
- Любой объект, на который действует внешняя сила, имеющие указанные выше свойства. Например, мембрана динамика сама по себе может таких свойств не иметь (обычно его собственная возвращающая сила действует по более сложному закону), но если такая внешняя сила значительно больше его собственной возвращающей силы, то колебания мембраны будут неотличимы от гармонических, и будут издавать чистый и приятный звук.

Разумеется, в любой реальной физической системе всегда действует множество различных сил, вроде трения или сопротивления воздуха (особенно если мы говорим о динамиках), ведь физические законы выполняются все и сразу, а не по-одному или по-очереди. Но если одна из сил значительно больше остальных, то их влияние будет достаточно мало, чтобы не иметь ощутимых практических последствий.

Превращения сообщения



Сообщение на пути от составителя к адресату по техническому каналу связи всегда претерпевает довольно много трансформаций. Коротко охарактеризуем их.

1. Кодирование. Сообщение нужно превратить в форму, удобную для дальнейшей передачи по каналу связи. Выбор кода — не всегда тривиальная задача: хороший код должен минимально исказить сообщение (например, попробуйте записать кириллицей английское слово queue так, чтобы его можно было правильно прочитать), так и минимально искажаться каналом связи, который мы собираемся использовать.
2. Математическое преобразование закодированного сообщения в математическую модель физического сигнала, который мы собираемся подавать в канал связи. Как правило, это гармонический колебательный сигнал.
3. Преобразование идеального математического сигнала в цифровой. В нашем случае он превращается в последовательность 12-битных чисел.
4. Преобразование цифрового сигнала в излучаемый. У нас оно происходит в несколько этапов:
 - a. Преобразование цифрового сигнала в аналоговый: модуль ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь) превращает каждое число от 0 до 4095 в напряжение от 0 до 3,3 Вольт, пропорционально.
 - b. Усиление сигнала, чтобы излучатель звучал громче.
 - c. Излучение сигнала. Изменения напряжения на контактах излучателя приводят к колебаниям его мембраны, которые создают звуковые волны.
5. Преобразование принимаемого сигнала в электрический. В нашей плате здесь также задействовано несколько преобразований.
 - a. Преобразование звука в напряжение. Колебания мембраны микрофона приводят к изменению его сопротивления. Если его подключить как одно из плеч делителя напряжения, то напряжение на делителе будет изменяться вслед за звуковыми колебаниями, принимаемыми микрофоном.
 - b. Усиление сигнала с микрофона. Напряжение на выходе микрофона изменяется очень слабо — амплитуда составляет порядка 10 милливольт. Блок АЦП (аналого-цифрового преобразователя), которым мы будем измерять сигнал, имеет входную амплитуду в 3,3 Вольта. Если подать сигнал с микрофона напрямую, точность измерения будет очень мала, и с таким сигналом будет неудобно, если не невозможно работать. Поэтому этот сигнал мы усиливаем — умножаем его напряжение на нужную нам величину.
6. Приём сигнала с помощью АЦП. Он очень быстро измеряет напряжение на своём входе и преобразует его в число от 0 до 4095 (тоже 12 бит). Эти числа контроллер отправляет в компьютер.
7. Фильтрация сигнала. Это как правило математически нетривиальные преобразования, задача которых всегда одна: отделить полезный сигнал от шума. Для решения этой задачи важно учитывать характеристики кода, который мы ожидаем.
8. Преобразование сигнала в код. Это математическое преобразование, обратное тому, что мы использовали на этапе 2, но с особенностью. Оно должно быть

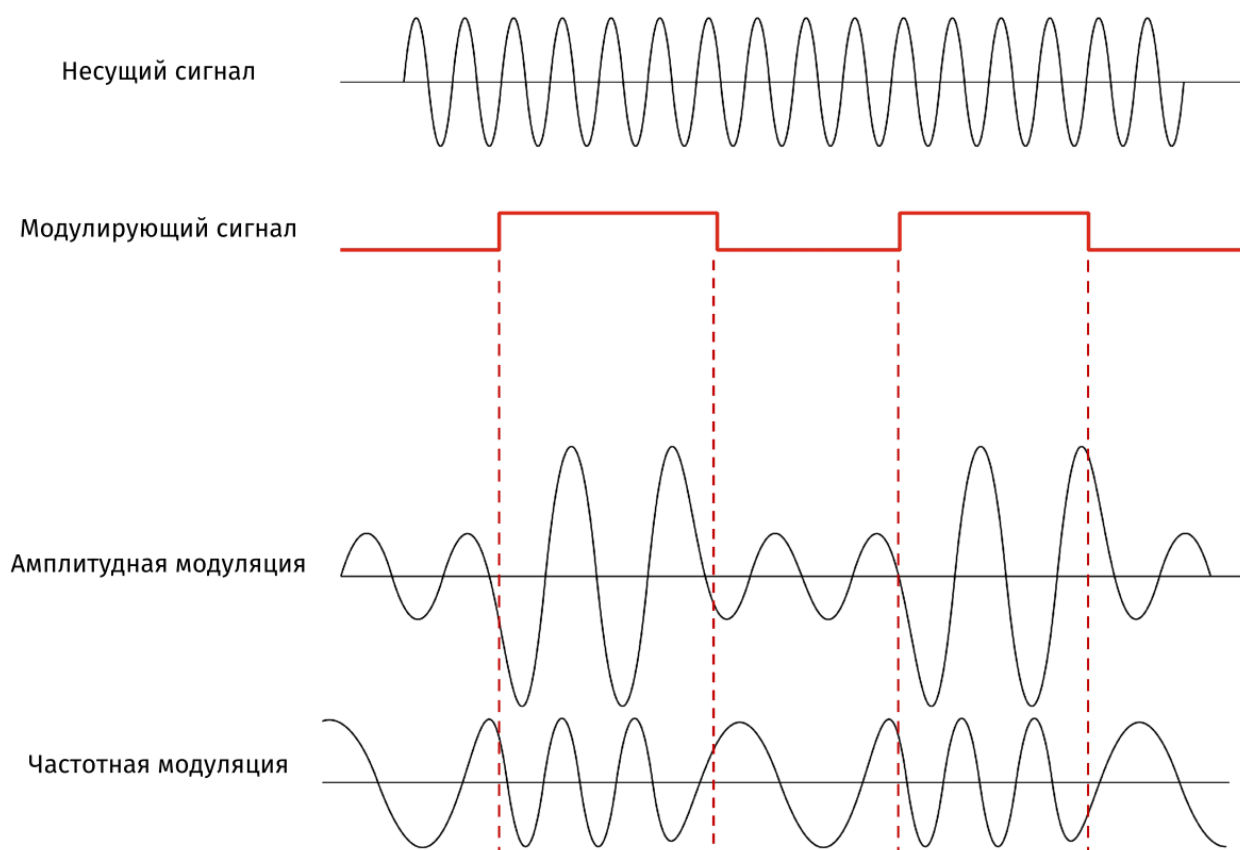
устойчиво к небольшим отклонениям сигнала от идеального, поскольку шум и помехи никогда не удастся отфильтровать полностью. Из-за этого этот этап часто настолько тесно связан с предыдущим, что они сливаются в один.

9. Декодирование сообщения. Как правило, декодированное сообщение должно полностью совпадать с переданным.

Модуляция

Преобразования физических сигналов для передачи информации преследуют разные задачи, но в общем случае они связаны с преодолением ограничений физической среды. Например, передача звука на большие расстояния — задача нетривиальная, ведь любые колебания рано или поздно затухают. Решением этой и многих других проблем выступает модуляция. Это «наложение» полезного сигнала (называемого модулирующим) на высокочастотное колебание (называемое несущим сигналом). Чем выше частота, тем больше энергии несут колебания (это важное свойство колебаний), а значит, их труднее рассеять.

Тип модуляции определяет, как происходит «наложение» полезного сигнала. Наиболее наглядные для гармонического колебания — амплитудная и частотная модуляции. По их названию можно понять, что именно меняется в несущем сигнале.



В амплитудной модуляции чем выше амплитуда модулирующего сигнала, тем выше амплитуда несущего (амплитуда умножается на амплитуду).

В частотной модуляции чем выше амплитуда модулирующего сигнала, тем выше частота несущего (амплитуда умножается на частоту).

Усилитель

На плате есть два усилителя, по одному для каждого микрофона. Каждый усилитель умножает амплитуду проходящего через него снятого с микрофона электрического сигнала на заданное число, для того, чтобы из тихого сигнала сделать громкий (или наоборот, приглушить слишком громкий сигнал).

Каждый усилитель состоит из трёх последовательных каскадов. Каждый каскад сам по себе представляет собой отдельный усилитель. Каждый из них может усилить сигнал в 2, 3 или 10 раз. Таким образом, после прохождения всех трёх каскадов сигнал может усиливаться в диапазоне от 8 до 1000 раз¹.

В каждом каскаде есть два джампера, замыкая которые, вы и выбираете коэффициент усиления:

1. Если джамперов нет, то коэффициент составляет $\times 10$.
2. Если установлен джампер « $\times 3$ », коэффициент усиления составит 3.
3. Если установлен джампер « $\times 2$ », коэффициент усиления составит 2.
4. Если установлены оба джампера... попробуйте определить результирующий коэффициент усиления самостоятельно, экспериментальным путём.

¹ Важно помнить, что у всех компонентов есть физические погрешности, и усиление « $\times 2$ » может отличаться от идеального на несколько процентов, например, $\times 1,9925$ или $\times 2,0143$. Соответственно, если вы выставите на одном каскаде усиление $\times 3$, а на втором $\times 10$, а затем поменяете коэффициенты усиления местами, то результирующий коэффициент скорее всего будет немного отличаться. Это нормально, и на решение задач этот эффект влияния не окажет.

Описание турнира

В турнире предстоит решить три задачи по передаче данных.

Приём

В этой задаче имеются заранее закодированные сообщения, которые вам нужно передать и декодировать. Сообщения содержатся в отдельном (зашифрованном) файле, который передаётся так же, как нормальное сообщение, только перед отправкой расшифровывается.

Передача

В этой задаче имеется автоматический декодер, настроенный на заранее заданный способ кодирования сообщений. Ваша задача — по заданному сообщению сформировать такой сигнал на излучателе, чтобы автодекодер корректно распознал передаваемое сообщение.

Максимальная плотность данных

Здесь вы можете придумать любой способ кодирования, который считаете нужным для достижения главной цели: безошибочно передать в 125-миллисекундном пакете как можно большее число бит.