

**Задание на ЛР4 по курсу электроника  
2018/2019 учебного года**

Тема: Изучение основных свойств транзисторных каскадов в ключевом режиме

Номер варианта — номер по журналу учета ЛР на портале [iu3bmstu.github.io](http://iu3bmstu.github.io)

Задание №1.

Проанализировать работу схемы на рисунке 1. Собрать схему, представленную на рисунке 1 в системе симуляции MultiSIM.

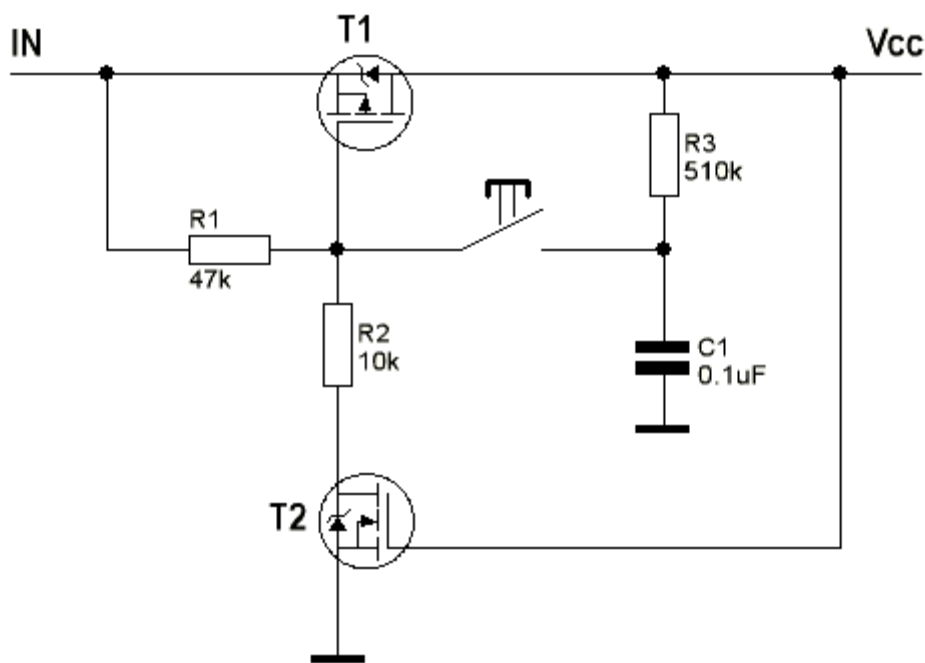


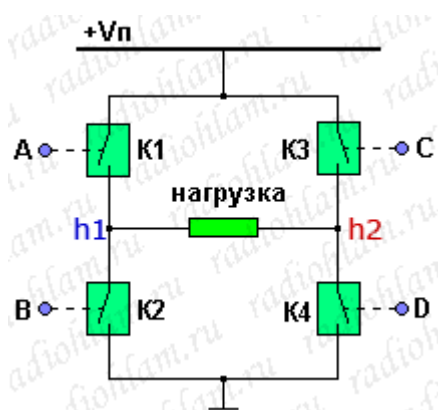
Рисунок 1. Схема электронного ключа питания

Получить диаграммы работы схемы электронного ключа питания. Рассчитать электрические и тепловые режимы работы элементов схемы электронного ключа питания. Определить минимальное напряжение питания, при котором схема стабильно функционирует.

Задание 2.

Теоретическая часть

Итак, ниже вы можете видеть схему, которую за внешнюю схожесть с буквой Н принято называть Н-мостом.



K1, K2, K3, K4 — управляемые ключи

A, B, C, D — сигналы управления ключами

Идея этой схемы очень проста:

Если ключи K1 и K4 замкнуты, а ключи K2 и K3 разомкнуты, то к точке h1 оказывается приложено напряжение питания, а точка h2 замыкается на общий провод. Ток через нагрузку в этом случае течёт от точки h1 к точке h2.

Если сделать наоборот, — ключи K1 и K4 разомкнуть, а ключи K2 и K3 замкнуть, то полярность напряжения на нагрузке изменится на противоположную, — точка h1 окажется замкнута на общий провод, а точка h2 — на шину питания. Ток через нагрузку теперь будет течь от точки h2 к точке h1.

Кроме смены полярности, h-мост, в случае управления электродвигателем, добавляет нам и ещё один бонус — возможность закоротить концы обмоток, что ведёт к резкому торможению нашего движка. Такой эффект можно получить замкнув одновременно либо ключи K1 и K3, либо ключи K2 и K4. Назовём такой случай «режимом торможения». Справедливости ради стоит отметить, что этот бонус H-моста используется значительно реже, чем просто смена полярности (позже будет понятно почему).

В качестве ключей может выступать всё, что угодно: реле, полевые транзисторы, биполярные транзисторы. Промышленность делает H-мосты встроенными в микросхемы (например, микросхема LB1838, драйвер шагового двигателя, содержит два встроенных H-моста) и выпускает специальные драйверы для управления H-мостами (например драйвер IR2110 для управления полевыми). В этом случае, разработчики микросхем конечно стараются выжать максимум бонусов и устранить максимум нежелательных эффектов.

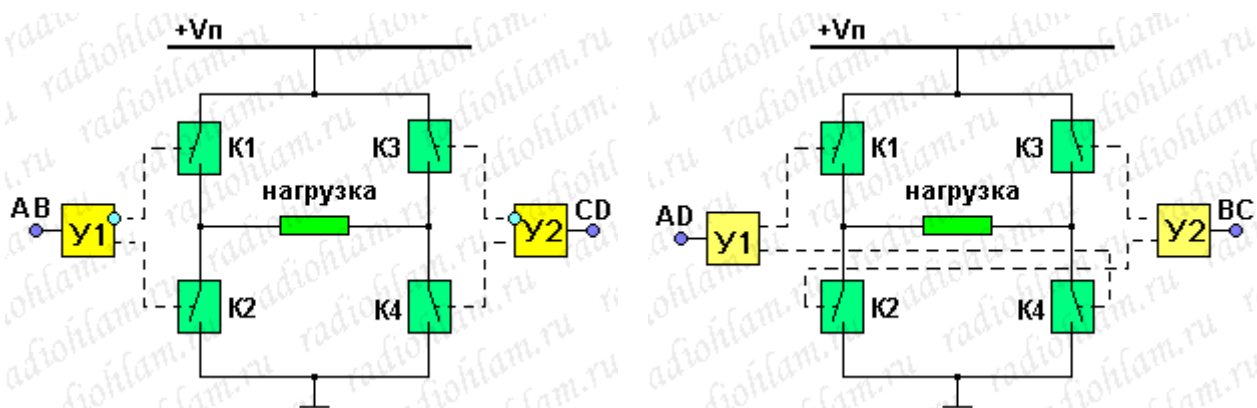
Чаще всего используют H-мосты либо на мощных MOSFET-ах (для больших токов), либо на биполярных транзисторах (для небольших токов).

Довольно часто сигналы управления ключами попарно объединяют. Объединяют их таким образом, чтобы от одного внешнего сигнала управления формировалось сразу два сигнала управления в нашей схеме (то есть сразу на два ключа). Это позволяет сократить количество внешних сигналов управления с четырёх до двух штук (и сэкономить 2 ноги контроллера, если у нас контроллерное управление).

Объединяют сигналы чаще всего двумя способами: либо A объединяют с B, а C объединяют с D, либо A объединяют с D, а B объединяют с C. Чтобы обозначить и зафиксировать различия, — назовём способ, когда образуют пары AB и CD «общим управлением противофазными ключами» (эти ключи для изменения полярности прикладываемого к нагрузке напряжения должны работать в противофазе, т.е. если один открывается — другой должен закрываться), а способ, когда образуются пары AD и BC назовём «общим управлением синфазными ключами» (эти ключи для изменения полярности работают синфазно, т.е. либо оба должны открываться, либо оба закрываться).



Чтобы было понятнее о чём идёт речь, — смотрим на рисунок справа. Договоримся далее высокий уровень напряжения считать единицей, а низкий — нулём. В левой части рисунка транзисторы управляются независимо друг от друга. Чтобы открыть верхний транзистор — нужно подать сигнал управления  $A=0$ , а чтобы его закрыть — нужно подать  $A=1$ . Для открытия и закрытия нижнего транзистора нужно подавать  $B=1$  или  $B=0$ . Если с помощью дополнительного транзистора объединить сигналы  $A$  и  $B$  (смотрим правую часть рисунка), то управлять верхним и нижним транзистором можно одним общим сигналом  $AB$ . Когда  $AB=1$  оба транзистора открываются, а когда  $AB=0$  — оба закрываются.



На рисунке слева показан H-мост с общим управлением противофазными ключами, а на рисунке справа — с общим управлением синфазными ключами.  $Y1$  и  $Y2$  — это узлы, позволяющие из одного внешнего общего сигнала сформировать отдельный сигнал на каждый из работающих в паре ключей.

Теперь давайте подумаем что нам даёт каждый из этих двух способов управления.

При общем управлении противофазными ключами мы легко можем сделать так, чтобы оба верхних или оба нижних ключа оказались открыты (если схема такая, как у нас слева, то это произойдёт при  $AB=CD$ ), то есть нам доступен режим торможения. Однако минус в том, что при таком способе управления мы практически наверняка получим сквозные токи через транзисторы, вопрос будет только в их величине. В промышленных микросхемах для борьбы с этой проблемой вводят специальную цепь задержки для одного из транзисторов.

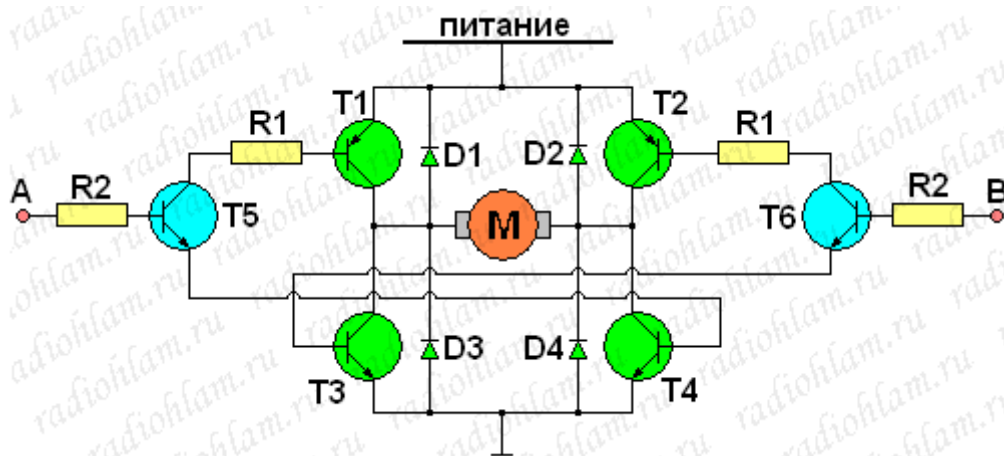
При общем управлении синфазными ключами мы легко можем побороть сквозные токи (просто нужно сначала подавать сигнал на выключение той пары транзисторов, которая используется в настоящий момент, а уже потом сигнал на включение той пары, которую мы планируем использовать). Однако при таком управлении про режим торможения можно забыть (даже более того, если мы случайно одновременно подадим на оба внешних управляющих сигнала единицу — мы устроим в схеме КЗ).

Поскольку получить сквозные токи гораздо более кислый вариант (бороться с ними непросто), то обычно предпочитают забыть про режим торможения.

Кроме всего вышеперечисленного необходимо понимать, что при частых постоянных переключениях (в преобразователях или при управлении шаговиками), для нас будет принципиально важно не только избежать возникновения сквозных токов, но и добиться максимальной скорости переключения ключей, поскольку от этого зависит их нагрев. Если же мы используем h-мост просто для реверса двигателя постоянного тока, то тут скорость

переключения не имеет такого критического значения, поскольку переключения не имеют систематического характера и ключи даже в случае нагрева скорее всего успеют остыть до следующего переключения.

Как вы понимаете, практических схем H-мостов, как и вариантов управления ими, можно придумать достаточно много, поскольку, как мы уже разобрались, важно учитывать и максимальный ток, и скорость переключения ключей, и варианты объединения управления ключами (а также вообще возможность такого объединения), поэтому для каждой практической схемы нужна отдельная статья (с указанием того, где эту конкретную схему целесообразно использовать). Итак, пример:



Сам H-мост выполнен на транзисторах T1, T2, T3, T4, а с помощью дополнительных транзисторов T5, T6 выполнено объединение управления синфазными ключами (сигнал A управляет транзисторами T1 и T4, сигнал B — транзисторами T2 и T3).

Работает эта схема следующим образом:

Когда уровень сигнала A становится высоким — начинает течь ток через резистор R2 и p-n переходы БЭ транзисторов T5 и T4, эти транзисторы открываются, в результате чего появляется ток через переход БЭ транзистора T1, резистор R1 и открытый транзистор T5, в результате чего открывается транзистор T1.

Когда уровень сигнала A становится низким — запираются p-n переходы БЭ транзисторов T5 и T4, эти транзисторы закрываются, прекращает течь ток через переход БЭ транзистора T1 и он тоже закрывается.

Как такую схему рассчитать? Очень просто. Пусть у нас напряжение питания 12В, максимальный ток двигателя 1А и сигнал управления также 12-ти вольтовый (состоянию «1» соответствует уровень напряжения около 12В, состоянию «0» — уровень около нуля вольт).

Сначала выбираем транзисторы T1, T2, T3, T4. Подойдут любые транзисторы, способные выдержать напряжение 12В и ток 1А, например, КТ815 (npn) и его комплиментарная пара — КТ814 (pnp). Эти транзисторы рассчитаны на ток до 1,5 Ампер, напряжение до 25 Вольт и имеют коэффициент усиления 40.

Рассчитываем минимальный ток управления транзисторов T1, T4:  $1\text{А}/40=25\text{ мА}$ .

Рассчитываем резистор R1, полагая, что на р-п переходах БЭ транзисторов T1, T4 и на открытом транзисторе T5 падает по 0,5В:  $(12-3*0,5)/25=420$  Ом. Это максимальное сопротивление, при котором мы получим нужный ток управления, поэтому мы выберем ближайшее меньшее значение из стандартного ряда: 390 Ом. При этом наш ток управления будет  $(12-3*0,5)/390=27$  мА, а рассеиваемая на резисторе мощность:  $U^2/R=283$  мВт. То есть резистор надо ставить на 0,5 Вт (ну или поставить несколько 0,125 ваттных параллельно, но чтоб их общее сопротивление получилось 390 Ом)

Транзистор T5 должен выдерживать всё те же 12В и ток 27 мА. Подойдёт, например, КТ315А (25 Вольт, 100 мА, минимальный коэффициент усиления 30).

Рассчитываем его ток управления:  $27 \text{ мА} / 30 = 0,9 \text{ мА}$ .

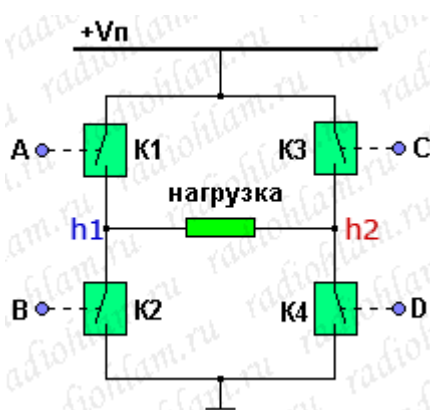
Рассчитываем резистор R2, полагая, что на переходах БЭ транзисторов T5 и T4 падает по 0,5 В:  $(12-2*0,5)/0,9 = 12$  кОм. Опять выбираем ближайшее меньшее значение из стандартного ряда: 10 кОм. При этом ток управления T5 будет 1,1 мА и на нём будет рассеиваться 12,1 мВт тепла (то есть подойдёт обычный резистор на 0,125 Вт).

Вот и весь расчёт.

Далее хотелось бы поговорить вот о чём. В приведённых в статье теоретических схемах Н-мостов у нас нарисованы только ключи, однако в рассматриваемом примере, кроме ключей присутствуют ещё одни элементы — диоды. Каждый наш ключ шунтирован диодом. Зачем это сделано и можно ли сделать как-то иначе?

В нашем примере мы управляем электродвигателем. Нагрузкой, на которой мы переключаем полярность с помощью Н-моста, является обмотка этого двигателя, то есть нагрузка у нас индуктивная. А у индуктивности есть одна интересная особенность — ток через неё не может измениться скачком.

Индуктивность работает как маховик — когда мы его раскручиваем — он запасает энергию (и мешает раскручиванию), а когда мы его отпускаем — он продолжает крутиться (расходуя запасённую энергию). Так и катушка, — когда к ней прикладывают внешнее напряжение — через неё начинает течь ток, но он не резко вырастает, как через резистор, а постепенно, поскольку часть передаваемой источником питания энергии не расходуется на разгон электронов, а запасается катушкой в магнитном поле. Когда мы это внешнее напряжение убираем, — ток через катушку тоже не спадает мгновенно, а продолжает течь, уменьшаясь постепенно, только теперь уже на поддержание этого тока расходуется запасённая ранее в магнитном поле энергия.



Так вот. Посмотрим ещё раз наш самый первый рисунок. Допустим у нас были замкнуты ключи К1 и К4. Когда мы эти ключи размыкаем, у нас через обмотку продолжает течь ток, то есть заряды продолжают перемещаться от точки h1 к точке h2 (за счёт энергии, накопленной обмоткой в магнитном поле). В результате этого перемещения зарядов, потенциал точки h1 падает, а потенциал точки h2 вырастает. Возникновение разности потенциалов между точками h1 и h2 при отключении катушки от внешнего источника питания известно также как ЭДС самоиндукции. За то время, пока мы открываем ключи К3 и К2, потенциал точки h1 может упасть значительно ниже нуля, также как и потенциал точки h2 может вырасти значительно выше потенциала шины питания. То есть наши ключи могут оказаться под угрозой пробоя высоким напряжением.

Как с этим бороться? Есть два пути.

Первый путь. Можно зашунтировать ключи диодами, как в нашем примере. Тогда при падении потенциала точки h1 ниже уровня общего провода откроется диод D3, через который с общего провода в точку h1 потечёт ток, и дальнейшее падение потенциала этой точки прекратится. Аналогично, при росте потенциала точки h2 выше потенциала шины питания откроется диод D2, через который потечёт ток из точки h2 на шину питания, что опять же предотвратит дальнейший рост потенциала точки h2.

Второй путь основан на том факте, что при перекачивании зарядов из одной точки схемы в другую, изменение потенциалов между этими двумя точками будет зависеть от ёмкости схемы между этими точками. Чем больше ёмкость — тем больший заряд нужно переместить из одной точки в другую для получения одной и той же разности потенциалов. Исходя из этого можно ограничить рост разности потенциалов между концами обмотки двигателя (а, соответственно, и рост разности потенциалов между точками h1, h2 и шинами питания и земли), зашунтировав эту обмотку конденсатором. Это, собственно, и есть второй путь.

## Практическая часть

Исследовать схему Н-моста, приведенную на рисунке 2.

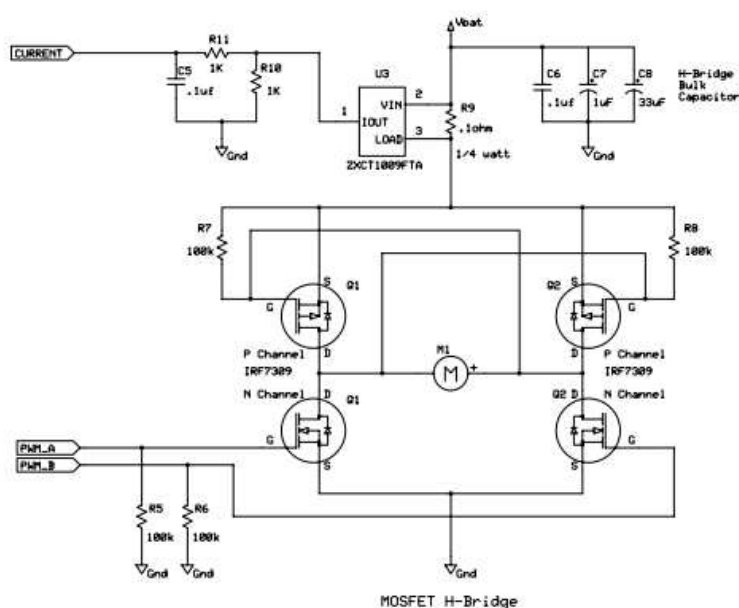


Рисунок 2. Схема Н-моста на МОП-транзисторах

### Задание 3.

#### Расчет усилителя класса D.

##### Теоретическая часть.

Коэффициент полезного действия является основным параметром для усилителей мощности звуковой частоты. Особенно это важно для портативной аппаратуры, такой как радиоприемники или сотовые телефоны. Усилители с высоким к.п.д. применяются и в стационарных устройствах, таких как компьютеры или телевизоры. Усилители класса С позволяет получить достаточно большие значения к.п.д. но их невозможно использовать для усиления звуковых сигналов.

Основным параметром, определяющим потребление энергии выходным усилительным каскадом, является мощность, рассеиваемая на его транзисторах. При этом мощность не будет рассеиваться в двух случаях:

1. ток через транзистор при ненулевом напряжении равен нулю;
2. напряжение на транзисторе при ненулевом токе равно нулю.

Эти условия выполняются при работе транзистора в ключевом режиме. Первое условие будет выполнено, если транзистор полностью закрыть (режим отсечки). Второе условие будет выполнено, если транзистор полностью открыть (режим насыщения). Так работают транзисторы в цифровых микросхемах, например КМОП логики.

Но ведь в этом случае амплитуда сигнала на выходе будет иметь только два уровня. Для того чтобы можно было получить амплитуду сигнала, соответствующую входной, на выходе усилителя звука, в ключевом режиме используется широтно-импульсная модуляция — ШИМ.

Широтно-импульсная модуляция реализуется при помощи компаратора, на входы которого подаются полезный сигнал и пилообразное напряжение. В результате ширина импульса на его выходе будет пропорциональна амплитуде полезного сигнала. Данный процесс иллюстрируется рисунком 3.

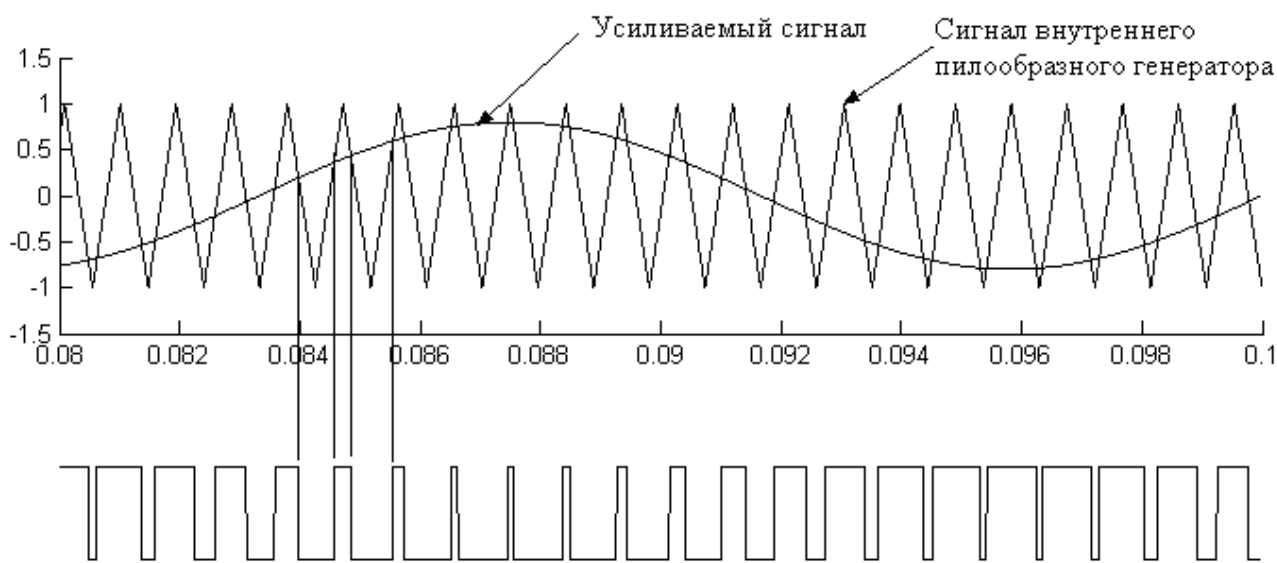


Рисунок 3. Процесс формирования ШИМ

Как видно из рисунка 3, средний уровень сигнала зависит от ширины импульсов. Чем она меньше — тем меньше будет средний уровень сигнала, чем больше — тем больше. В спектре широтно-импульсной модуляции присутствует исходный низкочастотный звуковой сигнал, поэтому обратное преобразование ШИМ в аналоговый сигнал осуществляется любым фильтром низкой частоты. Достаточно отфильтровать высокочастотные составляющие двухуровневого сигнала и усиленный первоначальный сигнал можно подавать на громкоговоритель. Спектр широтно-импульсной модуляции синусоидального сигнала приведен на рисунке 4.

Так как мощность на выходе усилителя мощности обычно составляет значение от единиц до сотен ватт, то обычно применяются LC фильтры. Задача фильтра заключается в подавлении частоты пилообразного сигнала, модулированного полезным сигналом и его гармоник. Для того, чтобы можно было применить простейший фильтр второго порядка, частоту пилообразного сигнала выбирают в пределах двух мегагерц. Так как частота модулирующего сигнала превышает верхнюю частоту звукового спектра в 100 раз, то фильтр второго порядка, состоящий из индуктивности и конденсатора, способен подавить мешающие сигналы на 80 дБ (при соответствующем конструктивном исполнении).

Структурная схема усилителя низкой частоты, работающего в режиме класса D, приведена на рисунке 5

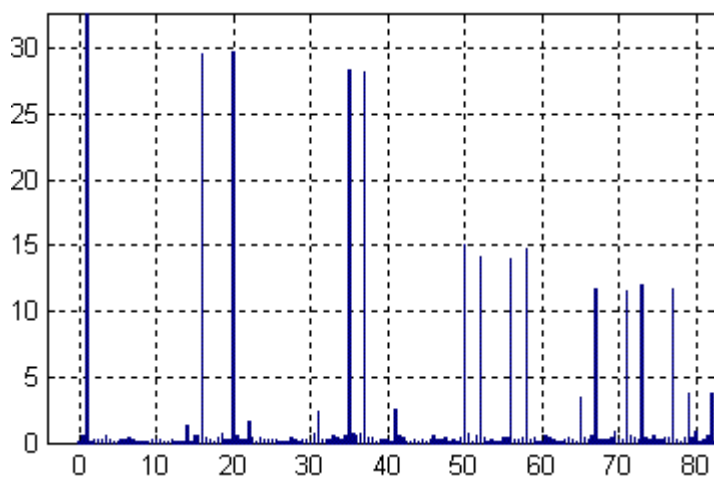


Рисунок 4. Спектр сигнала ШИМ

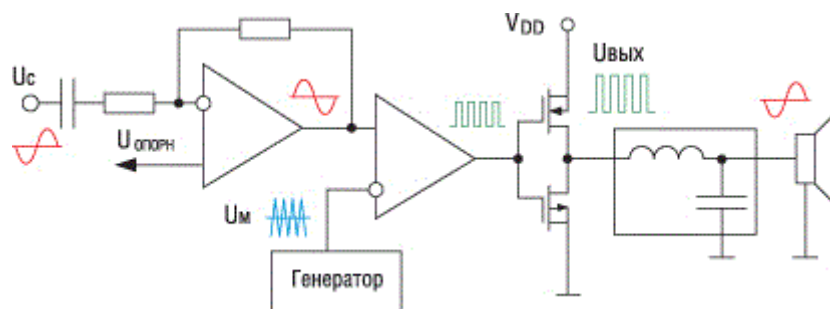


Рисунок 5. Типовая структурная схема усилителя класса D

Данная схема состоит из входного усилителя, обеспечивающего требуемое входное сопротивление, компаратора напряжения, на второй вход которого подается пилообразное напряжение и выходного каскада, собранного на комплементарных полевых транзисторах. Именно эти транзисторы и обеспечивают необходимую выходную мощность. Их быстродействие определяет к.п.д. усилителя. Для оценки коэффициента полезного действия можно воспользоваться зависимостью рассеиваемой мощности от выходной мощности. На



рисунке 6 приведены характеристики микросхем усилителя класса D фирмы Texas Instruments TPA2012D2.

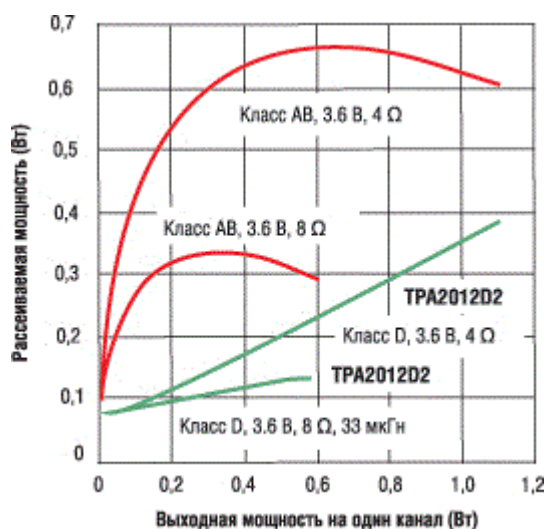


Рисунок 6. Сравнение рассеиваемой мощности усилителей класса AB и D

Практическая часть.

Рассчитать параметры LC-фильтра согласно рекомендации производителя.

Построить в Multisim схему, приведенную Рисунке 5.

Получить для нее осциллограммы работы всех элементов, АЧХ и ФЧХ усилителя.

Рассчитать электрические и тепловые режимы работы элементов схемы.

Задание 4.

Разработать схему усилителя класса D с модуляцией «без фильтра» на основании рекомендаций производителя.

Рассчитать параметры LC-фильтра согласно рекомендации производителя.

Построить разработанную схему в Multisim.

Получить для нее осциллограммы работы всех элементов, АЧХ и ФЧХ усилителя.

Рассчитать электрические и тепловые режимы работы элементов схемы.

Задание 5.

Теоретическая часть

Под гальванической развязкой будем понимать передачу информационного сигнала между двумя независимыми электрическими цепями.

### Зачем оно нужно

Существует три основные задачи, которые решаются развязкой цифрового сигнала. Первой приходит в голову защита от высоких напряжений. Действительно, обеспечение гальванической развязки — это требование, которое предъявляет техника безопасности к большинству электроприборов.

Пусть микроконтроллер, который имеет, естественно, небольшое напряжение питания, задает управляющие сигналы для силового транзистора или другого устройства высокого напряжения. Это более чем распространенная задача. Если между драйвером, который увеличивает управляющий сигнал по мощности и напряжению, и управляющим устройством не окажется изоляции, то микроконтроллер рискует попросту сгореть. К тому же, с цепями управления как правило связаны устройства ввода-вывода, а значит и человек, нажимающий кнопку «включить», легко может замкнуть цепь и получить удар в несколько сотен вольт.

Итак, гальваническая развязка сигнала служит для защиты человека и техники.

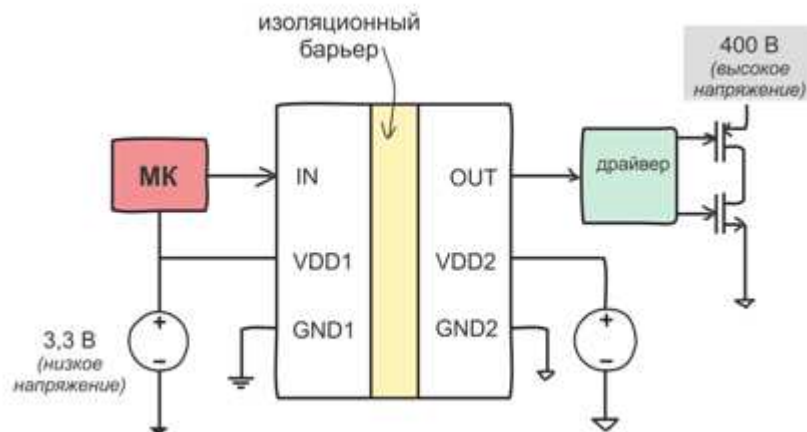


Рисунок 7. Развязка МК и силовых ключей

Не менее популярным является использование микросхем с изоляционным барьером для сопряжения электрических цепей с разными напряжениями питания. Тут всё просто: «электрической связи» между цепями нет, поэтому сигналы логические уровни информационного сигнала на входе и выходе микросхемы будут соответствовать питанию на «входной» и «выходной» цепях соответственно.

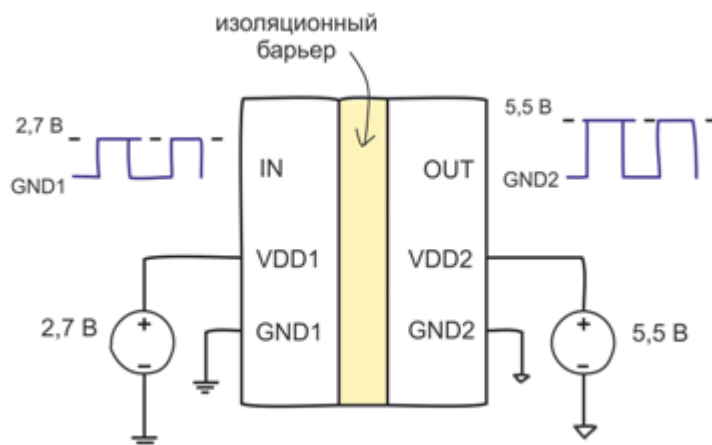


Рисунок 8. Развязка по уровню питания

Гальваническая развязка также используется для повышения помехоустойчивости систем. Одним из основных источников помех в радиоэлектронной аппаратуре является так называемый общий провод, часто это корпус устройства. При передаче информации без гальванической развязки общий провод обеспечивает необходимый для передачи информационного сигнала общий потенциал передатчика и приемника. Поскольку обычно общий провод служит одним из полюсов питания, подключение к нему разных электронных устройств, в особенности силовых, приводит к возникновению кратковременных импульсных помех. Они исключаются при замене «электрического соединения» на соединение через изоляционный барьер.

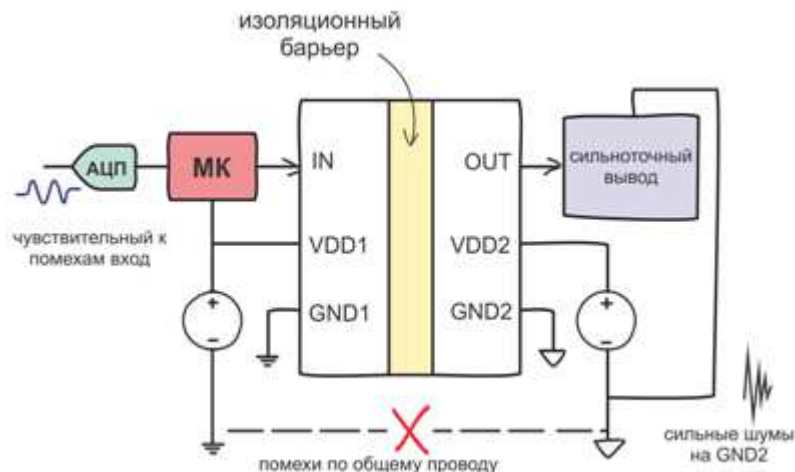


Рисунок 9. Развязка аналоговых и цифровых цепей

### Как оно работает

Традиционно гальваническая развязка строится на двух элементах — трансформаторах и оптронах. Если опустить детали, то первые применяются для аналоговых сигналов, а вторые — для цифровых. Мы рассматриваем только второй случай, поэтому имеет смысл напомнить о том что такое оптрон.

Для передачи сигнала без электрического контакта используется пара из излучателя света (чаще всего светодиод) и фотодетектора. Электрический сигнал на входе преобразуется в «световые импульсы», проходит через светопропускающий слой, принимается фотодетектором и обратно преобразуется в электрический сигнал.

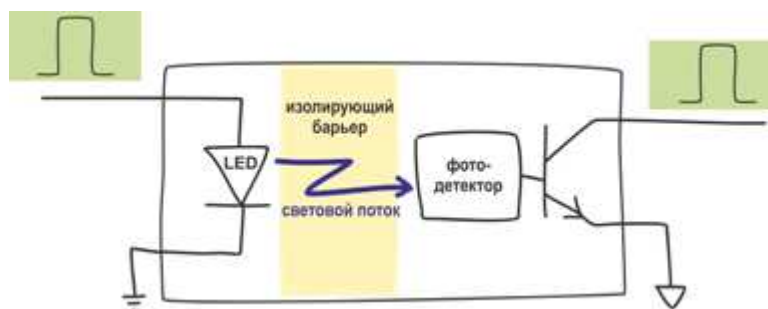


Рисунок 10. Схема оптрона

Оптронная развязка заслужила огромную популярность и несколько десятилетий являлась единственной технологией развязки цифровых сигналов. Однако, с развитием полупроводниковой промышленности, с интеграцией всего и вся, появились микросхемы, реализующие изоляционный барьер за счет других, более современных технологий.

Цифровые изоляторы — это микросхемы, обеспечивающие один или несколько изолированных каналов, каждый из которых «обгоняет» оптрон по скорости и точности передачи сигнала, по уровню устойчивости к помехам и, чаще всего, по стоимости в пересчете на канал.

Изоляционный барьер цифровых изоляторов изготавливается по различным технологиям. Небезызвестная компания **Analog Devices** в цифровых изоляторах ADUM в качестве барьера использует импульсный трансформатор. Внутри корпуса микросхемы расположено два кристалла и, выполненный отдельно на полиимидной пленке, импульсный трансформатор. Кристалл-передатчик по фронту информационного сигнала формирует два коротких

импульса, а по спаду информационного сигнала — один импульс. Импульсный трансформатор позволяет с небольшой задержкой получить на кристалле-передатчике импульсы по которым выполняется обратное преобразование.

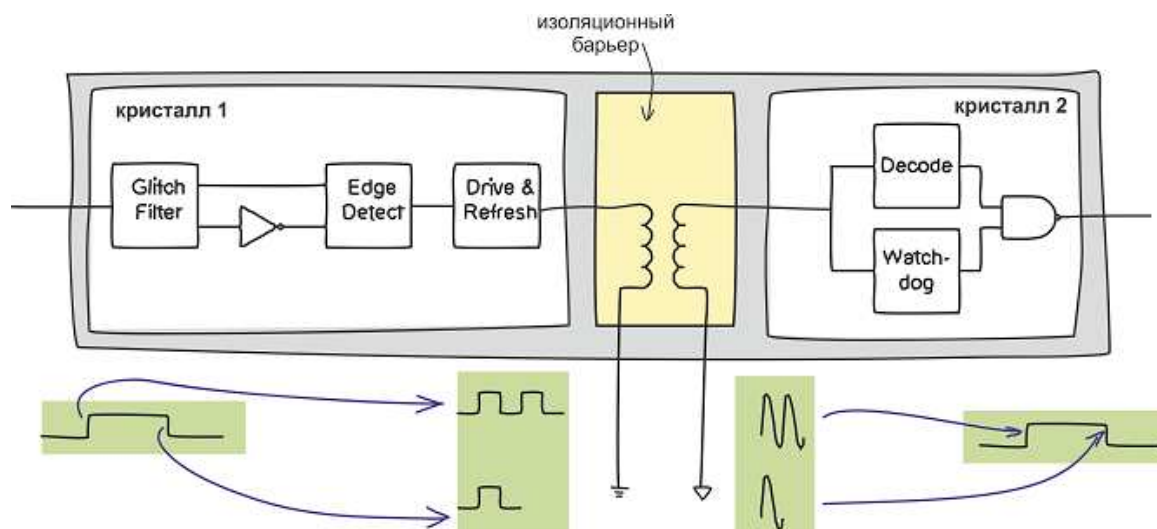


Рисунок 11. Схема с импульсным трансформатором

Описанная технология успешно применяется при реализации гальванической развязки, во многом превосходит оптроны, однако имеет ряд недостатков, связанных с чувствительностью трансформатора к помехам и риску искажений при работе с короткими входными импульсами.

Гораздо более высокий уровень устойчивости к помехам обеспечивается в микросхемах, где изоляционный барьер реализуется на емкостях. Использование конденсаторов позволяет исключить связь по постоянному току между приемником и передатчиком, что в сигнальных цепях эквивалентно гальванической развязке.

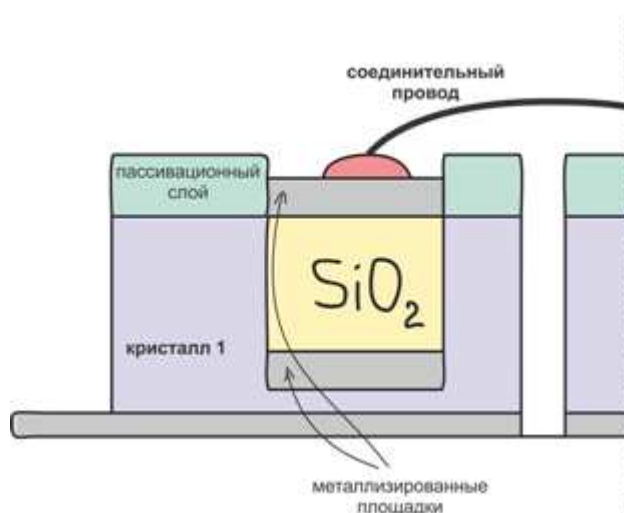


Рисунок 12. Структура гальванической развязки на конденсаторах

Преимущества емкостной развязки заключаются в высокой энергетической эффективности, малых габаритах и устойчивости к внешним магнитным полям. Это позволяет создавать недорогие интегральные изоляторы с высокими показателями надежности. Они выпускаются двумя компаниями — **Texas Instruments** и **Silicon Labs**. Эти фирмы используют различные технологии создания канала, однако в обоих случаях в качестве диэлектрика используется диоксид кремния. Этот материал имеет высокую электрическую прочность и уже несколько десятилетий используется при производстве микросхем. Как следствие, SiO<sub>2</sub> легко интегрируется в кристалл, причем для обеспечения

напряжения изоляции величиной в несколько киловольт достаточно слоя диэлектрика толщиной в несколько микронетров.

На одном (у Texas Instruments) или на обоих (у Silicon Labs) кристаллах, которые находятся в корпусе цифрового изолятора, расположены площадки-конденсаторы. Кристаллы соединяются через эти площадки, таким образом информационный сигнал проходит от приемника к передатчику через изоляционный барьер.

Хотя Texas Instruments и Silicon Labs используют очень похожие технологии интеграции емкостного барьера на кристалл, они используют совершенно разные принципы передачи информационного сигнала.

Каждый изолированный канал у Texas Instruments представляет собой относительно сложную схему, представленную на рисунке 13.

Рассмотрим её «нижнюю половину». Информационный сигнал подается на RC-цепочки, с которых снимаются короткие импульсы по фронту и спаду входного сигнала, по этим импульсам сигнал восстанавливается. Такой способ прохождения емкостного барьера не подходит для медленноменяющихся (низкочастотных) сигналов. Производитель решает эту проблему дублированием каналов — «нижняя половина» схемы является высокочастотным каналом и предназначается для сигналов от 100 Кбит/сек.

Сигналы с частотой ниже 100 Кбит/сек обрабатываются на «верхней половине» схемы. Входной сигнал подвергается предварительной ШИМ-модуляции с большой тактовой частотой, модулированный сигнал подается на изоляционный барьер, по импульсам с RC-цепочек сигнал восстанавливается и в дальнейшем демодулируется.

Схема принятия решения на выходе изолированного канала «решает» с какой «половины» следует подавать сигнал на выход микросхемы.

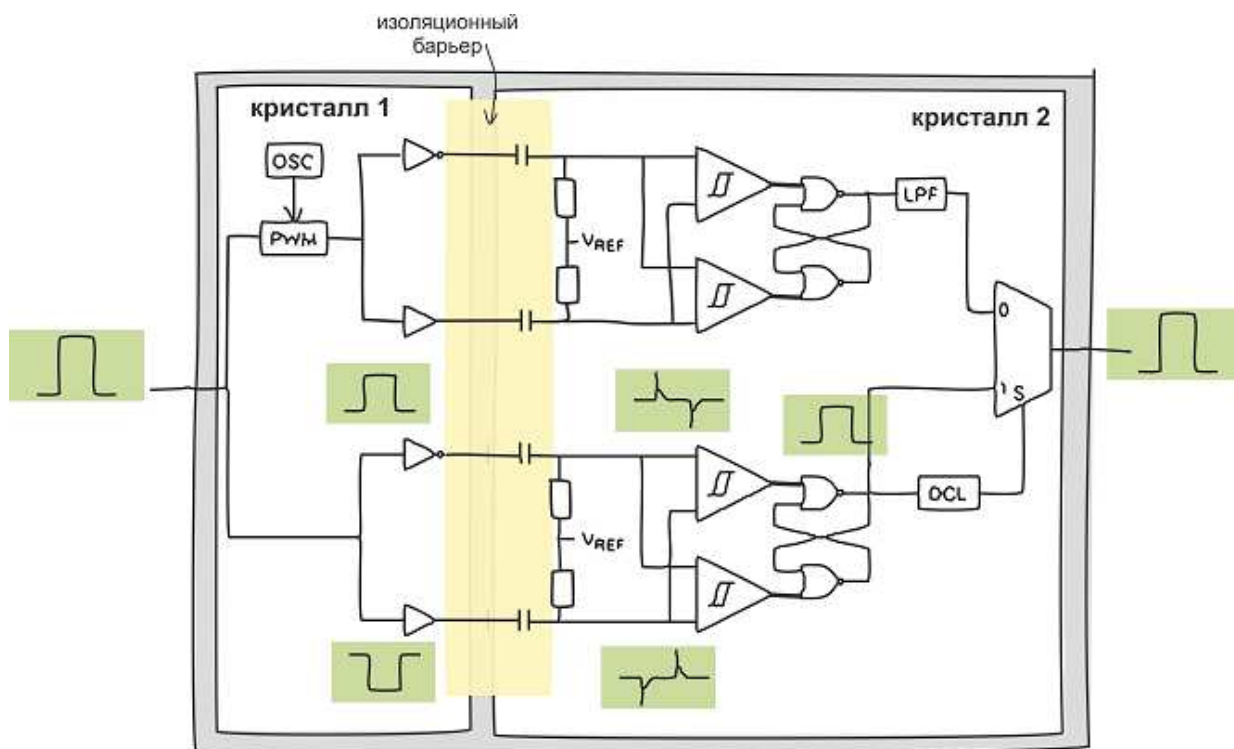


Рисунок 13. Схема изолированный канал Texas Instruments

Как видно на схеме канала изолятора Texas Instruments, и в низкочастотном, и в высокочастотном каналах используется дифференциальная передача сигнала. Напомню читателю её суть.

Дифференциальная передача — это простой и действенный способ защиты от синфазных помех. Входной сигнал на стороне передатчика «разделяется» на два инверсных друг-другу сигнала  $V+$  и  $V-$ , на которые синфазные помехи разной природы влияют одинаково. Приемник осуществляет вычитание сигналов и в результате помеха  $V_{сп}$  исключается (Рисунок 14).

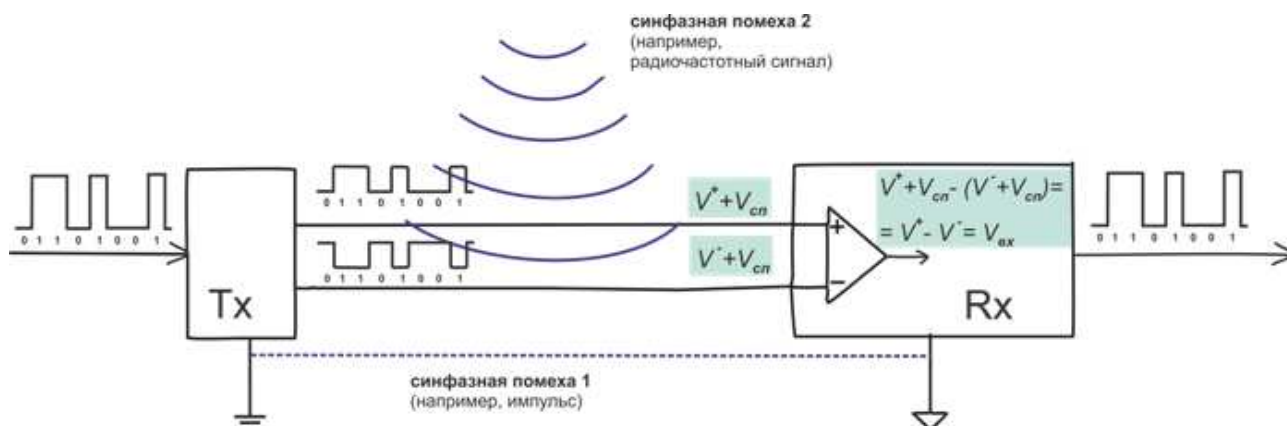


Рисунок 14. Схема борьбы с синфазной помехой

Дифференциальная передача также используется в цифровых изоляторах от Silicon Labs. Эти микросхемы имеют более простую и надежную структуру. Для прохождения через емкостный барьер входной сигнал подвергается высокочастотной OOK (On-Off Keying) модуляции. Другими словами, «единица» информационного сигнала кодируется наличием высокочастотного сигнала, а «ноль» — отсутствием высокочастотного сигнала. Модулированный сигнал проходит без искажений через пару емкостей и восстанавливается на стороне передатчика.

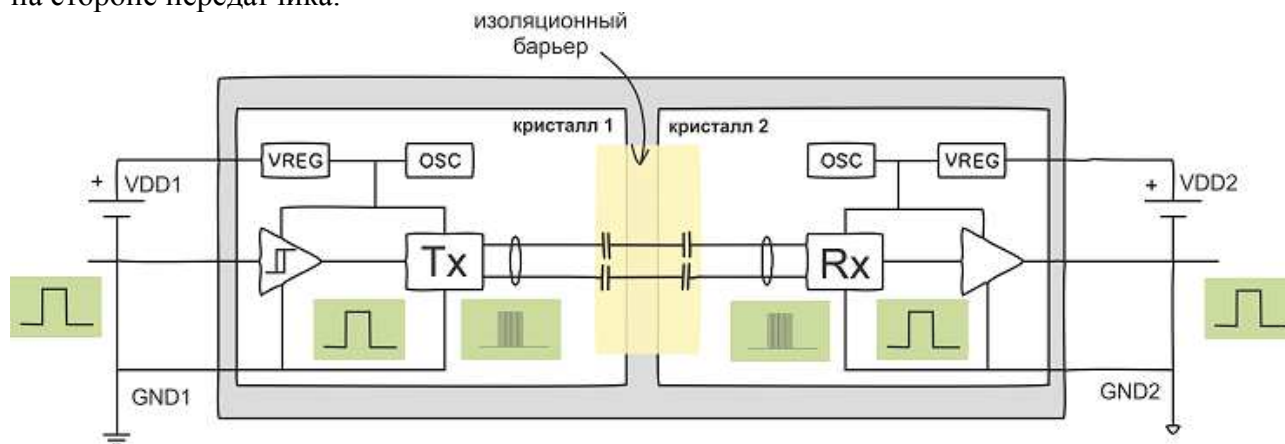


Рисунок 15. Схема с дифференциальной передачей сигнала

#### Практическая часть

Встроить в схемы задания 2 и 3 схемы оптической развязки силовых ключей.

Для оптической развязки применить оптрон и схему с дифференциальной передачей сигнала.