Неотъемлемой частью почти любого электронного устройства является генератор гармонических или каких-либо других колебаний. Целью данной работы является проектирование такого генератора.

Работа должна включать следующие разделы:

1. Введение
2. Разработка структурной схемы
3. Расчет основных функциональных блоков

* Расчет интеграторов, дифференциаторов, экспоненциаторов и т.д.
* Расчет усилителей
* Расчет сумматора
* Расчет генератора специальных сигналов
* Расчет блока регулировок
* Расчет блока управления ключами

1. Расчет усилителя мощности
2. Вывод

Приложение 1. Принципиальная схема

Приложение 2. Имитационное моделирование разработанной схемы на ЭВМ

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ

В ходе работы требуется спроектировать генератор, у которого зависимость выходного напряжения во времени имеет некоторую специальную форму.

Как правило, такой сигнал можно разделить на несколько интервалов, на которых он будет подчиняться элементарным законам (например, линейно возрастающая функция, синусоидальная, экспоненциальная и т.п.). Каждому интервалу времени будет соответствовать блок аналоговых устройств, который будет ответствен за исполнение данной формы.

Генераторы сигналов специальной формы – это источники, вырабатывающие стабильные испытательные сигналы с известными параметрами: частотой, напряжением (мощностью и формой). Исходными данными для проектирования генератора напряжения специальной формы являются:

UMAX - амплитуда выходного сигнала;

T - период колебаний выходного сигнала;

t1…tn – моменты времени изменения формы сигнала;

IH MAX – амплитуда тока нагрузки

Для реализации генератора необходимо разработать его структурную схему. Структурная схема определяет основные функциональные части, их назначение и взаимосвязи между ними.

В рамках данного РГЗ предлагаем воспользоваться универсальной структурной схемой генератора сигналов специальных форм, представленной на рисунке 1.



Рис. 1 Универсальная структурная схема

Блок питания – устройство, питающее все элементы схемы.

Блок регулятора – регулируемый источник тока. Его задача - управление токами оптронов.

Блок управления ключами – логическая схема, которая предназначена для управления ключами.

Генератор специальных сигналов – электронное устройство, предназначенное для воспроизведения сигнала специальной формы.

Преобразовательный блок выполняет функцию формирования определенной формы сигнала.

Блок компараторов необходим для отключения соответствующего преобразовательного блока при достижении напряжением нулевого уровня или заданного UMAX.

Сумматор предназначен для получения выходного сигнала из нескольких составляющих.

Усилитель мощности обеспечивает усиление мощности колебаний до заданного значения.

Рекомендуется проверить составленную структурную схему в имитационной среде моделирования (напр., Simulink, Multisim). Результатом правильно спроектированной структурной схемы будет аналогичный исходному выходной сигнал генератора сигнала специальной формы.

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ

РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЕЙ

Для вывода математических соотношений, описывающих работу реальных ОУ в различных режимах, можно использовать характерные свойства идеального ОУ, которые существенно помогают в понимании сути работы устройства.

Для идеального ОУ характерно:

- коэффициент усиления равен бесконечности *К*→∞ (в реальных современных ОУ этот показатель равен *К* = 106);

- входное сопротивление ОУ равно бесконечности RВХ→∞, откуда следует еще одно свойство: ток входа ОУ равен нулю IОУ→0;

- выходное сопротивление ОУ равно нулю RВЫХ→0;

- напряжение смещения и ток смещения на выходе равны нулю UCM→0; ICM→0.

Рассмотрим принцип работы инвертирующего усилителя (рис. 2). В данной схеме входное напряжение UВХ подается на инвертирующий вход ОУ через резистор R1. Цепь обратной связи в этом случае представляет собой единственный резистор RОС, который служит для передачи части выходного сигнала обратно на вход.



Рис. 2 Инвертирующий усилитель



Рис. 3 Статическая характеристика реального ОУ

В зоне усиления реальный ОУ ведет себя близко к идеальному, только в узком диапазоне напряжений ΔUвх (рис.3). В современных ОУ данная величина не велика и имеет порядок микровольт:

.

Считая коэффициент усиления бесконечно большим (*K*→∞), можно предположить, что величина ΔUвх→0.

Предположим, что усилитель работает в линейной зоне. Это означает, что . Как известно, данное устройство усиливает разность потенциалов между входами: . Объединим эти формулы:

.

Учитывая, что на неинвертирующий вход подано напряжение земли и , можно принять потенциал на инвентирующем входе равным потенциалу земли .

Для данной схемы справедливо следующее уравнение, составленное по 1 закону Кирхгофа:

.

Согласно одному из свойств идеального ОУ – ток через операционный усилитель равен нулю. Тогда уравнение 1 закона Кирхгофа примет вид:

.

Входной ток и ток обратной связи по закону Ома для участка цепи определятся из выражений:

;

.

Подставив найденные токи в выражение (), получим уравнение зависимости выходного тока от входного:

;

.

Расчет инвертора состоит в определении сопротивлений R, обеспечивающих необходимое усиление. Регулировать изменение коэффициента усиления в заданных пределах позволяют такие решения как применение полевых транзисторов, реостатов, термосопротивлений, оптопары и др.

Рассмотрим подбор параметров инвертора на основе оптопары. Оптопара представляет собой оптосопротивление в паре со светодиодом (рис. 4).



Рис. 4 Применение оптопары для регулирования коэффициента усиления

Принцип действия оптронов основан на следующем: в светодиоде энергия электрического сигнала преобразуется в световую, в фотоприемнике (фоторезистор), наоборот, световой сигнал вызывает электрический отклик.

Заводскими параметрами, на которые стоит обратить внимание при подборе, являются темновое сопротивление RT (RMAX) и световое RС (RMIN). Зависимость сопротивления резистора от тока, поданного на диод, показано на рис.5. В отсутствие тока через излучатель темновое сопротивление фоторезистора постоянному току составляет порядка единиц МОм - сотен ГОм. Для низкоомных фоторезисторов типичны значения светового сопротивления от 100 Ом до 1 кОм, для высокоомных — от 2 до 20 кОм

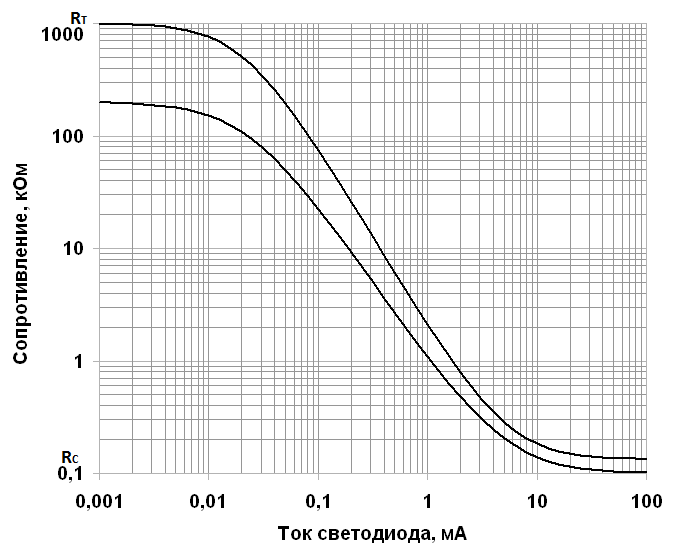


Рис. 5 Верхняя и нижняя границы идеализированной передаточной характеристики оптопары

Примем диапазон изменения KMIN ≤ КУ ≤ KMAX. Как известно, коэффициент усиления инвертирющего усилителя равен . Откуда можно вывести следующие выражения:

;

.

Определим эквивалентное сопротивление для R1 и RОПТ:

.

Введем для удобства еще одну величину:

.

Откуда выразив KМАХ, получим:



Равноценное выражение найдем, заменив коэффициент усиления его определением:

;

.

Подставив () в (), получаем выражение, из которого легко определить R1, зная параметры оптопары:

.

Теперь необходимо рассчитать R2:

.

Если усиление сигнала должно произойти без изменения знака, используют схему неинвертирующего усилителя (рис 6).



Рис. 6 Неинвертирующий усилитель

На линейном участке статической характеристики справедливо:

.

Согласно (), отношение величин в правой половине выражения () не велико и может быть принятым равным нулю. Тогда:



Ток обратной связи IОС протекает через точку А, не разветвляясь (т.к. входной ток ОУ IОУ мал, за счет большого входного сопротивления ОУ). Определим IОС:



Определим падение напряжения на R1. Оно же будет соответствовать напряжению на инвертирующем входе:



В соответствии с предположением () можно записать:



Или запишем конечную зависимость выходного напряжения от входного:

.

РАСЧЕТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ БЛОКОВ

Схема интегратора может быть получена из схемы инвертирующего усилителя на основе ОУ путем замены резистора R в цепи обратной связи на конденсатор С (рис. 7). Интегратор служит для получения наклонных участков выходного сигнала генератора.



Рис. 7 Интегратор

До выражения () рассуждения о процессах, протекающих в данной схеме, аналогичны схеме инвертора напряжений. Исключением будет только ток обратной связи, определяющийся выражением:

.

Таким образом, выведем уравнение зависимости Uвых=f(Uвх) для интегратора:

;

;

.

Задачей расчета интегратора состоит в нахождении величины емкости конденсатора C и величины сопротивления R, которые обеспечивали бы необходимое значение времени интегрирования.

Регулировку времени интегрирования произведем так же на основе оптопары. Зададимся необходимым временем интегрирования τMIN ≤ τ ≤ τMAX, где τ = 1/(RC).

Определим отношение максимальных и минимальных значений времени через величину N:

 или .

Подставим выражения для нахождения τ в полученную формулу:

.



Таким образом, полученная формула полностью повторяет выражение () и дальнейший расчет сводится к уже разобранному примеру в предыдущем пункте.

Дифференцирующая схема на основе ОУ напоминает схему интегратора, у которого поменяли местами резистор входной цепи и конденсатор цепи обратной связи (рис. 8)



Рис. 8 Дифференциатор

Соотношение токов в схеме по закону Кирхгофа (с учетом допущений):

;

;



Последнее выражение отражает зависимость выходного и входного напряжений в дифференциаторе.

Для реализации экспоненциальной функции на выходе устройства применяют операционный усилитель, ко входу которого подключается диод (рис. 9).



Рис. 9 Экспоненциатор

Напряжение на диоде определяется разностью потенциалов на его полюсах:

.

Запишем также уравнение Эберса-Молла для диода:



В том случае, если , то  и следует сделать еще одно допущение: .

Запишем уравнение по 1 закону Кирхгофа для точки А:



Пренебрегая сравнительно малым током ОУ, получаем:



По закону Ома падение напряжения на сопротивлении R равно:



Таким образом, зависимость выходного напряжения от входного определяется формулой:

.

Для вычисления логарифмической зависимости выходного напряжения применяют схему логарифмического усилителя (рис. 10):



Рис. 10 Логарифматор

В данной схеме в цепь отрицательной обратной связи включен диод, который обладает экспоненциальной зависимостью тока от приложенного напряжения. В результате действия обратной связи зависимость выходного напряжения от входного становится логарифмической.

По 1 закону Кирхгофа определим соотношение токов в схеме:

.

Ток ОУ сравнительно мал и им можно пренебречь. В результате получим:

,

где входной ток и ток через диод можно определить следующим образом:

.

Выразив из уравнения Эберса-Молла напряжение на диоде и учитывая вышеуказанное соотношение, получим:

.

Также напряжение на диоде можно определить как разницу потенциалов на его полюсах:

.

Объединив полученные формулы, получим логарифмическую зависимость напряжения выхода от напряжения входа:

.

С реализацией функции возведения в степень поможет следующая схема (рис. 11), основанная на свойстве логарифмов - логарифм степени равен произведению показателя степени на логарифм ее основания 



Рис. 11 Аналоговое возведение в степень

Имея представление о работе каждого устройства данной схемы, можно записать:

;

;

.

Объединим полученные уравнения:

;

;

;

.

РАСЧЕТ СУММАТОРА

Функцию сложения можно осуществить с помощью сумматора – устройства, в котором выходное напряжение пропорционально сумме входных напряжений (рис. 12).



Рис. 12 Сумматор

Для схемы дифференциатора запишем закон Кирхгофа для точки В:



Принимая во внимание допущения при рассмотрении идеального ОУ получим:

;

;

;

.

Подключение к данной схеме инвертора позволяет реализовать функцию сложения двух входных сигналов.

Основное уравнение инвертора:

.

Входной величиной в данном случае будет . Тогда конечный сигнал определится формулой:

.

РАСЧЕТ БЛОКА РЕГУЛИРОВОК

Блок регулировок реализуется на базе источника тока. Источник тока преобразует входное напряжение в ток. В данном случае, он необходим для управления током, протекающего через излучатель оптопар.

Приведем несколько типичных схем источников тока (рис. 21).

а) Транзисторный источник тока с одним из способов подачи смещения на базу;

б) Каскадный источник тока, обладающий повышенной устойчивостью к изменениям напряжения на нагрузке;

в) Транзисторный источник тока с использованием UБЭ  в качестве опорного (выходной ток не зависит от напряжения питания);

г) Источник тока Хауленда.

Расчет блока регулировок состоит в выборе и определении параметров элементов схемы источника тока, задающей необходимое управляемое воздействие.



Рис. 21 Источники тока

РАЗРАБОТКА БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ КЛЮЧАМИ

Для получения на выходе генератора сигнала заданной формы необходимо определенное логическое управление работой отдельных функциональных блоков генератора. Эту функцию выполняет логическая схема, которая управляет ключами. Управление производится на основании сигналов от устройств ввода БУК.

Задача устройств ввода БУК - оценивать сигналы в системе и выдавать управляющее воздействие в нужный момент времени.

В качестве таких устройств выступают компараторы. Компаратором называется устройство сравнения двух аналоговых сигналов, один из которых может быть задан как эталонный (рис. 13). При этом на выходе устройства формируются только два значения выходного сигнала: напряжение на выходе будет иметь высокий уровень UОГР+, если разность между входными сигналами положительна и, наоборот, низкий уровень UОГР-, если разностное напряжение отрицательно (рис.14).

На выходе компаратора формируется дискретный сигнал, поэтому можно сказать, что входной сигнал компаратора носит аналоговый характер, а выходной – цифровой. Вследствие этого компараторы часто используются в качестве элементов связи между аналоговыми и цифровыми устройствами.



Рис. 13 Компаратор

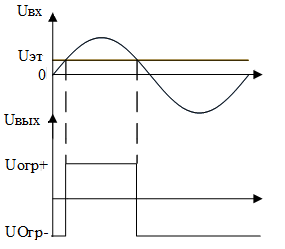


Рис. 14 Временная диаграмма формирования сигнала на компараторе

Однако, при решении определенного рода задач возникает необходимость выполнять включение того или иного функционального блока, ориентируясь только на время. Тактирование по времени могут обеспечить такие устройства как ждущий одновибратор и мультивибратор.

Для разработки БУК целесообразно использовать метод временных диаграмм. Разберем работу блока управления ключами на примере сигнала, изображенного на рис. 16.

Схематично структурная схема для получения такого сигнала будет выглядеть так (рис.15):

Рис. 15 Пример структурной схемы генератора сигнала специальной формы



Рис. 16 Форма сигнала и временная диаграмма работы соответствующего БУК

Тактовый генератор задает начало отсчета каждого периода колебаний, генерируя импульсы определенной длительности. В начальный момент времени t0 вслед за импульсом тактового генератора, задающим цикл сигнала, замыкаются ключи K1 и К5. Входной сигнал будет проходить только по цепям интегратора и компаратора. До времени t1 на выходе устройства будем иметь линейно возрастающую функцию.

В момент времени t1 напряжение на выходе достигнет значения Umax или UОП компаратора, что заставит компаратор подать импульс на ключ К1 для его размыкания и на ключ К6 для замыкания соответствующей цепи, а также привести в работу одновибратор. Замыкание ключа К6 введет в действие генератор специальных сигналов, в данном случае сигналов треугольной формы.

Генерация треугольных сигналов продлится до момента времени t2. С этого времени одновибратор воздействует на размыкание ключа К6 и замыкание ключа К2. До завершения периода на выходе устройства установится ноль.

В некоторый момент времени π завершится цикл одного периода сигнала. Тактовый генератор подаст импульс на размыкание ключей К2 и К5 и для образования нового цикла сигнала введет в действие цепочку устройств, для получения параболического сигнала (замыкание ключей К1, К3, К4).

Ядром БУК является схема, генерирующая воздействие на ключи в зависимости от сигналов на устройства ввода. Как правило, такая схема строится на элементах цифровой логики. Так же для управления ключами удобно использовать устройства памяти (триггеры).

Подбор интегральных схем ключей осуществляется, принимая во внимание совместимость с логикой БУК.

Схема управления К1 приведена на рис.17



Рис. 17 Схема управления ключом К1

Управление производится на основании сигналов от тактового генератора и компаратора в соответствии со следующей таблицей истинности:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| UТГ | ‾UСМР | UК1 | ‾UК1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 |

Таким образом, замыкание ключа К1 задается тактовым генератором, а размыкание – компаратором.

Построение полной схемы аналогично таким же рассуждениям.

Разработанную схему блока управления ключами целесообразно проверить в имитационной среде моделирования (напр., Multisim).

РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

Усилителем мощности называют усилитель, предназначенный для обеспечения заданной мощности нагрузки PН при заданном сопротивлении нагрузки RH.

Усилители мощности должны обеспечивать минимально возможный уровень нелинейных искажений, и в то же время достаточный КПД. Уровень нелинейных искажений и КПД усилителя мощности во многом зависят от начального режима работы транзисторов. Транзисторы, работающие в режиме класса А, позволяют уменьшить уровень нелинейных искажений, а транзисторы классов В и АВ – увеличить КПД.

Усилители мощности бывают однотактные и двухтактные, причем первые работают в режиме класса А, а вторые – в режиме классов В или АВ.

Однотактные схемы выходных каскадов используют только режим усиления класса А. В таких каскадах нагрузка RН включается непосредственно в цепь коллектора или эмиттера транзистора. На рис. 18 изображена типовая схема однотактного каскада с транзистором, включённым по схеме с ОЭ. Данная схема имеет усилительный транзистор (VT) и нагрузку RН, резисторы R1, R2, RЭ и конденсатор СЭ являются элементами цепей питания, а конденсатор СP служит для связи с предыдущим каскадом.

Однотактные усилители мощности применяются при относительно малых выходных мощностях (единицы ватт). Электрический КПД усилительного каскада в режиме усиления класса А практически не превышает 0,25 – 0,475.



Рис.18 Типовая схема однотактного каскада

Максимальный возможный КПД обеспечивают двухтактные усилители мощности, работающие в режиме класса В (рис.19 а). КПД таких усилителей составляет порядка 78%.

При поступлении на вход усилителя положительной полуволны напряжения UВХ транзистор VT1 работает в режиме усиления, а транзистор VT2 – в режиме отсечки. При поступлении отрицательной полуволны транзисторы меняются ролями. Т.к. напряжение между базой и эмиттером открытого транзистора мало (0,7 В), напряжение UВЫХ близко к напряжению UВХ. Однако выходное напряжение оказывается искаженным из-за влияния нелинейности входных характеристик транзисторов.

Рис. 19 Двухтактные усилители мощности на биполярных транзисторах: а) класса В; б) класса АВ

Для уменьшения нелинейных искажений обеспечивают некоторое начальное смещение на входах транзисторов и тем самым переводят их в режим класса АВ (рис. 19 б). При этом КПД несколько уменьшается.

Применение двухтактного усилителя мощности с операционным усилителем (рис.20) позволяет настолько уменьшить нелинейные искажения, что в большинстве случаев даже нет необходимости в дополнительных цепях смещения для каскада на транзисторах VT1 и VT2.

Рис. 20 Двухтактный усилитель мощности с ОУ

Расчет усилителя мощности состоит в определении параметров элементов схемы усилителя, обеспечивающих необходимое усиление.