

Схемотехника

Глухих Владимир Иванович

2015-04-09

Общие сведения

Схемотехника

инженерная дисциплина, связанная с разработкой, производством и эксплуатацией устройств на основе интегральных схем.

Интегральная схема

это законченное оптимизированное электронное устройство, выполненное на одном кристалле, в одном технологическом цикле, содержащее большое число транзисторов, диодов, резисторов и конденсаторов и предназначенное для формирования и обработки электрических сигналов.

Сигналы бывают дискретными (цифровыми) или непрерывными (аналоговыми). Соответственно ИС бывают цифровыми, аналоговыми и смешанными (цифроаналоговыми). Цифровые сигналы – это токи или напряжения, которые могут принимать счетное число значений в заданном интервале, предназначенные для передачи информации. Дискретные сигналы могут быть представлены в виде таблицы или диапазона значений.

Сигнал	Напряжение
A	0 - 0,4 V
B	0,5 - 0,7 V
C	0,8 - 1,6 V
D	2,0 - 3,0 V
E	50 - 70 V
F	101,2 - ... V

Дискретные сигналы описываются с помощью набора символов, образующий алфавит сигналов. Число символов в алфавите – основание алфавита (d). Для большинства технически реализуемых приложений, оптимальным основанием кода является 2. На практике наибольшее распространение для реализации с помощью электронных устройств двоичная система счисления. Цифровые сигналы формируют и обрабатывают цифровые интегральные схемы. Аналоговые сигналы – это токи или напряжения, принимающие несчетное количество значений и предназначенные для передачи непрерывной информации.

Аналоговые интегральные схемы предназначены для формирования, обработки и преобразования аналоговых сигналов. В природе не существует цифровых сигналов, хотя их обрабатывать наиболее удобно цифровыми

методами, с помощью цифровых электронно-вычислительных устройств. Чтобы преобразовать в цифровые существуют цифровые аналоговые преобразователи (АЦП, ADC). Обратное преобразование ЦАП (DAC).

Аналоговые сигналы

Аналоговые или непрерывные сигналы описывают с помощью аналитических формул или с помощью графиков. Преобразования Фурье позволяют представлять большинство технически реализуемых сигналов в виде спектра в частотной области.

Для всякого технически реализуемого сигнала существует граничная частота в пределах до которой сосредоточено 90% энергии сигнала. Чем шире полоса пропускания электронного устройства, тем меньше оно вносит искажения в сигнал, тем оно дороже и тем лучше работает вычислительная техника в плане помехоустойчивости и сбоев в работе аппаратуры. | τ | ν | :-----
-----:|:-----:| |1ms| 1 кГц | |1μs| 1 МГц | |1ns| 1 ГГц | |0, 1ns| 10 ГГц |

Кодирование непрерывных сигналов

Для обработки аналоговых сигналов цифровыми методами необходимо эти сигналы оцифровать (дискретизировать), то есть заменить бесконечно близко стоящих друг от друга значений их выборками с постоянным шагом T . Может показаться, что дискретизация приводит к потере части информации.

Теорема Котельникова

Непрерывный сигнал может быть точно воспроизведен по его выборкам, если шаг дискретизации меньше или равен единице деленной на две $F_{гр}$.

$$T \leq \frac{1}{2F_{гр}}$$

Непрерывный сигнал может быть точно воспроизведен по его выборкам, если шаг дискретизации меньше или равен единице деленной на две $F_{гр}$.

Внутреннее содержание четырехполюсника не всегда известно и не всегда важно, а связь между входными и выходными параметрами описывается с помощью различных характеристик.

1. Амплитудно-частотная характеристика – показывает, как через четырехполюсник проходят гармонические колебания. $U_{вх} = A \cos(\omega t)$

$$k = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$$

2. Переходная характеристика
3. Импульсная характеристика

Инвертер преобразует цифровой сигнал с низким уровнем на входе на высокий на выходе, и наоборот. Состояние микросхемы определяется напряжением на ее выходе. Исправные микросхемы в стационарном состоянии

(установившемся состоянии) всегда находятся в одной из разрешенных зон, в запрещенной зоне исправная микросхема находится очень короткий интервал времени переходных процессов.

Особенностью цифровой техники, по сравнению с аналоговой, является то, что она работает всего двумя способами, либо она исправна, либо она не работает вообще. Современная техника отличается предсказуемостью своей работы, что удалось реализовать с помощью цифровых технологий. Сбои в работе исправной цифровой техники приводят ложные срабатывания, вызываемые шумами и помехами. Помехоустойчивость тем выше, чем выше напряжение помехи, вызывающей ложное срабатывание.

TTL - транзисторно-транзисторная логика

Диаграмма логических уровней

Биполярные транзисторы

$$I_{\Sigma} = I_{\text{б}} + I_{\text{к}}$$

Устройство биполярного транзистора

Биполярный транзистор состоит из трех чередующихся полупроводников р и n типа, конструктивно средняя область называемая базой изготавливается очень тонкой, так чтобы ее толщина $d \ll \lambda$ - длины свободного пробега основных носителей тока. В результате оказывается, что в биполярном транзисторе большим током коллектора удается управлять очень маленьким током базы, что формально описывается коэффициентом передачи.

$$K_I = \frac{I_{\text{к}}}{I_{\Sigma}}$$

$$0,999; 0,95 \quad (0,9 - \text{брак})$$

Достоинством является возможность управления очень большими токами за счет большой площади р-п перехода. Рабочий ток коллектора тем больше, чем больше сечение S. Быстродействие тем больше, чем тоньше d базы, но чем тоньше база, тем больше проходная емкость и высокочастотные токи шунтируются базой – ухудшает быстродействие.

Для ррр-транзисторов открывающим является низкий потенциал на базе, относительно эмиттера.

Входная характеристика транзистора

Биполярный транзистор как усилитель может работать в двух крайних режимах: режим А – линейное усиление; режим В – с отсечкой, с большим искажением сигнала. Для высокочастотной звукозаписывающей аппаратуры используют линейный режим. В вычислительной технике (TTL)

используют ключевой режим работы, он вносит большие искажения в сигнал, но почти не потребляет энергии. Транзисторы при этом намного более быстродействующие, чем при другом режиме. Когда транзистор полностью открыт, через него протекает максимальный ток коллектора, при этом сопротивление между эмиттером и коллектором близко к нулю и на транзисторе рассеивается нулевая мощность – транзистор не греется.

$$R_{кэ} \approx 0; P = UI = I^2 R = 0$$

Когда транзистор закрыт, ток коллектора равен нулю, а сопротивление между коллектором и эмиттером бесконечно велико, то есть цепь разорвана, это называется ключевым режимом.

$$P = UI = \frac{U}{R_{эк}} \approx \frac{U}{\infty}$$

Достоинством ключевого режима является низкое потребление энергии. Недостатком – большие времена задержки выключения, что ведет к снижению рабочей частоты транзистора. Самые лучшие биполярные транзисторы (кремниевые) работают при частотах меньше одного гигагерца. GaAs – до 30 ГГц. В линейном режиме с начальным током i_0 удастся поднять рабочую частоту до 10 ГГц – эмиттерно связанная логика.

Элементная база TTL (транзистор-транзисторная логика)

Схема Дарлингтона

Пусть $x_1 = H$; $x_2 = H$ – ток базы T_1 перераспределяется и его часть через эмиттер x_2 уходит на землю, а оставшийся ток коллектора оказывается недостаточным (так сделано технологически) открыть транзистор T_2 . Транзистор T_2 закрыт, падение напряжения равно нулю и T_4 закрыт, на коллекторе T_2 приложено все напряжение питания +5V, которое открывает транзистор T_3 , в итоге выход Y изолирован от земли и накоротко соединен с источником питания, то есть имеет высокий уровень.

x_2	x_1	Y
1	1	0
0	1	1
1	0	1
0	0	1

Граница 0,8 на диаграмме логических уровней обусловлена материалом – кремний, ширина запрещенной зоны для которой 0,8V. Дiode D_1 обеспечивает границу 2,4V на диаграмме.

Логические элементы

$$1. Y = \overline{a \text{ AND } b} = a \text{ NAND } b$$

$$\overline{Y} = a \cdot b$$



NAND element

a	b	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Двухходовой **И-НЕ** является универсальным, т.к. из него могут быть получены все остальные логические элементы.

$$2. Y = \bar{x} = \text{NOT } x$$



NOT element

$$3. Y = a \text{ AND } b$$

$$Y = a \cdot b$$



AND element

$$4. Y = a \text{ OR } b$$

$$Y = a \cdot b$$



OR element

$$5. Y = a \text{ NOR } b$$

$$Y = \overline{a \cdot b}$$



NOR element

$$6. Y = a \text{ XOR } b$$

$$Y = \overline{a \cdot b}$$



Активные уровни

Активным может быть вход или выход, которому соответствует суждение истина, неактивному – ложь. Активные уровни могут быть высокими (1) и низким (0).



Логический элемент И имеет активный выход тогда и только тогда, когда все входы активные.

Комбинационные схемы



Комбинация состояний на выходе является однозначной функцией состояний входов в тот же момент времени (с учетом задержки распространения сигнала).

$$Y = \overline{C} \cdot B \cdot \overline{A} + C \cdot \overline{B} \cdot A$$

$$A_1 + A_2$$

Нагрузочная способность логических элементов по входу и выходу

Нагрузочная способность по выходу показывает, сколько входов логических элементов можно подключить к одному выходу.

выход\вход	155	531	555
155	10	8	40
531	12	10	50
555	5	4	20

На каждую серию логических элементов в справочной литературе приводятся номинальные значения входных и выходных токов, значение рассеиваемое мощности, предельные токи на выходе, времена задержек включения и выключения.

Нагрузочная способность логических элементов по входам

Нагрузочная способность по входу показывает, сколько выходов логических элементов можно подключить к одному входу. *Объединение между собой выходов интегральных схем недопустимо.* Объединение нескольких выходов с целью увеличения нагрузочной мощности допустимо, если логические элементы находятся на одном кристалле. Выпускаются специальные микросхемы с «открытым коллектором»

Пусть задана таблица истинности

C	B	A	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

Если комбинационная схема задана логическим уравнением (аналитически), то она реализуется, надлежащим соединением логических примитивов. Если задана таблицей истинности, то реализуется мультиплексором



Multiplexor

Дешифратор

цифровое устройство, имеющее две группы входных сигналов: Output Enable и адресные (Select) и выходные сигналы, определяемые соотношением. Если выходы разрешены, то один из выходов становится активным, а его номер определяется адресной комбинацией.

Семисегментный индикатор предназначен для визуализации цифровой и частично буквенной информации. Обычно сегмент загорается высоким уровнем, а гасится – низким. Отдельные сегменты выполняют в виде светодиодов, либо жидко кристаллические.

Регистр

совокупность триггеров. Хранение и преобразование одного слова информации.

Рис 1 – K555IP8

IP8 – преобразует последовательное представление в параллельное.

Рис 2

Регистр сдвига принимает и выводит из себя информацию либо младшим

битом вперед (LSB), либо старшим битом вперед (MSB). При движении старшим битом вперед сдвиг происходит влево, от младших битов к старшим (Motorola). Направление сдвига задается либо специальным сигналом, либо по умолчанию нужно брать в технической документации. При последовательном представлении, информация передается по одному проводу последовательно бит за битом и удерживается на линии в течение одного периода следования тактового импульса. В нашем случае, передатчик является **мастером** формирования информации. **Мастер** вырабатывает тактовые импульсы и в момент среза (отрицательного перепада уровней) помещает бит на линию связи. **Слейв** – это наш регистр сдвига воспринимает информацию с линии в момент положительного перепада уровня и продвигает биты внутри себя от старшего триггера к младшему. Рис 3

1. На вход PE (Parallel Enable) устанавливается низкий уровень 0.
2. С приходом тактового импульса C, все сигналы зацепляются на внутренние триггеры.
3. На PE помещаем высокий уровень, при этом регистр из режима параллельной загрузки переходит в режим сдвига.
4. С приходом положительного перепада C происходит сдвиг. Рис 4

K155ИР16

K155ИР16 – универсальный триггера сдвига-хранения:

1. Когда PE высокий – это регистр хранения. Если EO высокий, то на выходах Q появляются значения входов D. Если EO низкий, то все выходы в Z состоянии.
2. Если PE низкий, то регистр становится регистром сдвига и выполняет либо преобразование последовательных данных в параллельное, либо наоборот. Дополнительный сигнал D0 и D0< используется для каскадирования нескольких четырехразрядных регистров в многоразрядный регистр. Регистры сдвига применяются:
3. Для преобразования последовательных данных в параллельные.
4. Для преобразования параллельных в последовательные.
5. Как генератор псевдослучайных чисел.
6. Как специальные кодирующие и декодирующие устройства в системе помехоустойчивого кодирования.
7. В первых калькуляторах использовался алгоритм Cordic, который позволял выполнять операции сложения, вычитания, умножения, деления.

Счетчики

Счетчик

цифровое устройство, предназначенное для формирования числа, событий происходящих с тактовыми импульсами.

1. Счетчик пульсаций, счетчик сквозного переноса Рис 5
Рис 6
Асинхронный статический суммирующий счетчик
2. Вычитающий счетчик Рис 7
3. Счетчик с коэффициентом пересчета (Счетчик по модулю) Рис 8

Счетчик по модулю n (или счетчик с коэффициентом пересчета n) имеет n

неповторяющихся состояний. При превышении счета над числом n счетчик начинает считать с начала.

Достоинством счетчика сквозного переноса: 1. Простота конструкции 2. Возможность неограниченного наращивания числа разрядов. Недостатки - каждый триггер имеет задержку появления сигнала на выходе относительно момента переключения на входе. Эта задержка составляет 1-10-50 нс в зависимости от элементной базы. TTL – 10нс. Сто разрядов – последний триггер будет переключаться с задержкой 1000нс. Синхронный (динамический) счетчик изменяет все свои состояния (все разряды) одновременно.

Синхронные (динамические) счетчики

У динамических счетчиков все разряды изменяются одновременно.

При одновременной подаче счетных импульсов на тактовые входы триггера происходит одновременное изменение всех разрядов - счетчик считает синхронно, но для получения правильного результата необходимо логическая коррекция передачи сигналов.

Создание синхронных счетчиков возможна, для чего необходимо конструировать корректирующие цепи. Все счетчики в ПО Quartus - синхронные.

K555IE10



K555IE10

Сигналы **СЕР** и **СЕТ** позволяют каскадировать счетчик, чтобы увеличить разрядность счетчика

LPM_COUNTER



LPM Counter

Параметр **MODULUS** задает основание, по достижению которого счетчик начинает считать заново. Величина **MODULUS** численно равна числу состояний счетчика. Если счетчик десятичный, то значение **MODULUS** равняется десяти, а счет производится от нуля, до девяти.

cout становится активным, когда счетчик переполняется - когда все разряды становятся единицами, а если определен **MODULUS**, то достигается верхнее значение счета.

eq[] - выход дешифратор для выходов q . Не более 16 битов. Если разрядность выхода $q[]=16$, то $eq[]=4$; $q[]=32$, то $eq[]=5$;

Арифметические устройства

Двоичный сумматор

Технически сложение выполняется с помощью двух специальных микросхем - полусумматоров, у которых нет входного переноса, и сумматоров, у которых входной перенос есть.

Полусумматор



Half summator

Полный сумматор



Full summator

Cin	A	B	Σ	C0
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

К155ИМ1(74xx80)



74xx80

Трехразрядный параллельный сумматор

Трехразрядный параллельный сумматор
выполняет сложение трехразрядных чисел



Triple summator

2015-04-16

Двоичное вычитание



Minus Summator



Half Minus Summator

Вычитание суммированием



Minus by sum

Двухходовой И-НЕ можно рассматривать как управляемый инвертер, если на один из входов, называемым управляющим, подать 0, то получим повторитель, и инвертор, если подать 1.

2015-04-23



Conversion to auxiliary code

Сложение и вычитание в дополнительном коде

Правила дополнения до двух: 1. положительные числа никак не меняются и записываются в обычном двоичном коде 2. число в дополнительном коде содержит в старшем бите признак знака числа: если число положительное, то 0; если отрицательное - 1 3. отрицательное число формируется из положительного, путем его инверсии, с последующим сложением с единицей в младшем разряде. Возникающая при этом единица в старшем разряде не значима, но несет признак отрицательного знака числа

Для того, чтобы вернуть число из дополнительного в двоичный код, необходимо выполнить операции в обратном порядке.

Десятичное число	4-битный доп. код
+7	0111
+6	0110
+5	0101
+4	0100
+3	0011
+2	0100
+1	0001
0	0000
-1	1111
-2	1110
-3	1101
-4	1100
-5	1010
-6	1010
-7	1001
-8	1000

Сумматор и вычитатель в дополнительном коде



Negative sum by summator

Двоичное умножение

Алгоритм умножения многократным сложением

1. Очистить аккумулятор

Аккумулятор

специальный регистр, в который помещается операнд, а после выполнения операции содержимое аккумулятора замещается результатом операции

2. К аккумулятору прибавить умножаемое число раз равное множителю



Simple multiplier

Получили умножитель, недостатком которого является низкая скорость выполнения

Умножение сложением со сдвигом



Multiply 7 x 5

Алгоритм

1. Очистить аккумулятор
2. Умножить младший разряд умножаемого на множитель
3. Первое частное произведение сдвинуть вправо на один разряд
4. Умножить средний разряд множителя на умножаемое
5. Сдвинуть на разряд вправо
6. Добавить в аккумулятор



Multiplier

Достоинства умножение сложением со сдвигом является высокое быстродействие алгоритма, приводящее к результату за число тактов, равное разрядность множителя.

В настоящее время используются постоянные запоминающие устройства, адреса строк которых - умножаемые, а адреса столбцов - множители, ячейки - произведения.

2015-04-30

Цифровой компаратор



Comparator

LPM_WIDTH

Цифровой компаратор сравнивает значения шин как числа.

Аналоговая схемотехника

Аналоговая схемотехника рассматривает

Аналоговый (непрерывный) сигнал

это ток или напряжение, которые могут принимать несчетное число значений в заданном интервале и отражают состояние объекта с несчетным (бесконечным) числом возможных состояний.

Аналоговые сигналы изображаются в виде графиков во времени.

Из математики известно, что любая технически реализуемая функция может

быть представлена как совокупность или наложение или суперпозиция гармонических колебаний.

Преобразование Фурье

это способ разложения произвольной функции на гармоники. То есть частоты, кратные некоторой минимальной частоте $\omega = n\omega_0$

Спектры бывают линейчатыми

Прямое преобразование Фурье представляет сигналы в частотной области. По оси x откладываются частота (f , Гц), а по y - спектральная плотность (S , В/мкс).



analogsignalplot

Принято считать верхней границей спектра $f_{гр}$ область, где сосредоточено 95 энергии ($f = \frac{5}{\tau}$).

Аналоговые цепи, которые участвуют в формировании, усилении и обработке сигналов вычислительной техники должны быть широкополосными усилителями и формировавателями постоянного тока.

Формирование осуществляется с помощью двух главных элементов: И-НЕ и JK-триггер. Аналоговые цепи строятся на основе операционного усилителя.

Операционный усилитель

Любой усилитель предназначен для переноса энергии источника питания на в энергию сигнала.



Operation amplifier

Условие согласование: $R = Z$, где Z - внутреннее сопротивление, R - сопротивление.



Operation amplifier 2

Энергетика изучает режимы наиболее экономичного потребления мощности установок. Информационная техника рассматривает вопросы минимизации искажений и выделение слабых сигналов из шума.

Все измерительные цепи должны иметь максимальное входное сопротивление.

Требование к операционному усилителю:

1. $R_{BX} \Rightarrow \infty$
2. $R_{ВЫХ} \Rightarrow 0$
3. Частотная характеристика



Frequency

4. $\Delta F \Rightarrow \infty$

5. Переходная характеристика



$$C_{\text{переключения}} = \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

6. Важная роль аналоговых цепей в вычислительной технике связана с передачей информации на расстояния. При передаче сигналов по проводам или другим средам происходит затухание сигнала по амплитуде, искажение его формы за счет чувствительности запаздывания сигнала по частоте и за счет наложения внешних помех.



Помехи распространению сигнала могут иметь характер электростатического поля или магнитного поля. Электрическая составляющая может быть разложена на параллельную и перпендикулярную. Параллельная составляющая вызывает синфазный помехи. Перпендикулярная помех не вызывает. "Лапша" позволяет передавать сигналы до 30 метров.

Операционный усилитель имеет каскад, напряжение на выходе которого пропорционально разности напряжений на дифференциальных входах.



Если на вход операционного усилителя ничего не подавать, то есть подавать случайные тепловые колебания, то усилитель перейдет в состояние насыщения, при этом напряжение на выходе будет равно напряжению одного из источников питания. Поэтому операционные усилители без цепей обратной связи не используются.

Отрицательная обратная связь

Если часть выходного напряжения возвращается на прямой вход, то обратная связь называется положительной, а если на инверсный - отрицательная.

При увеличении напряжения U_1 , напряжение на выходе U_2 начнет уменьшаться. и через сопротивление R_0 будет уменьшать напряжение U_3 , пока не сравняется с напряжением прямого входа.

2015-05-07

Обратная связь - часть выходного напряжения возвращается на вход. Если ОС ведет к уменьшению выходного напряжения, то она называется отрицательной; если к увеличению, то положительной

$$U_{\text{изм}} (20^\circ \text{C}) \approx 3 \text{ мВ}$$

$$K_O = \left(\frac{U_2}{U_1} \right)_{\text{без ОС}} \approx 10^5 \div 10^7$$

$$U_2 = 10^6 \cdot U_{\text{изм}} = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 = 3 \cdot 10^3 = 3 \text{ кВ}$$

Чтобы избежать случайного шумового насыщения включают сопротивление обратной связи.



Feedback

Работа: 1. $U_1 > 0$ 2. $U_2 < 0$ 3. $U' \rightarrow 0$ (GND) 4. В стационарном состоянии U' поддерживается равным 0 ("кажущийся земля")

1. Стационарное состояние.



Scheme with Kirchhoff's laws

Проанализируем через законы Киргхофа

$$I \cdot R_1 + U' - U_1 = 0$$

$$I \cdot R_0 + U_2 - U' = 0$$

$$I = \frac{U_1 - U'}{R_1} = \frac{U' - U_2}{R_0} = I \Rightarrow \frac{U_1}{R_1} = -\frac{U_2}{R_0}$$

$$K = \frac{U_2}{U_1} = -\frac{R_0}{R_1}$$

Коэффициент передачи операционного усилителя с отрицательной обратной связью не зависит от внешних условий (температура, напряжение источника питания, давления, и т.д.) и равен $-\frac{R_0}{R_1}$. Знак минус показывает, что напряжение на выходе U_2 изменяется в противофазе входного напряжения U_1 . Коэффициент передачи определяется только соотношением $\frac{R_0}{R_1}$. Отрицательная обратная связь делает все системы автоматического управления и регулирования невосприимчивыми к внешним условиям, то есть выступает мощным стабилизирующим фактором. В реальных условиях коэффициент усиления редко превышает тысячу.

Чем больше начальный коэффициент усиления, тем ближе система к идеальной.

$$R_{\text{вх}} \approx R_1 + R_0$$

$$R_{\text{вых}} \approx \frac{r}{K_0} \cdot \frac{R_0}{R_1}$$

$$\Delta F = \frac{F_1}{\frac{R_0}{R_1}}$$

Неинвертирующий усилитель



Non-inversed amplifier



Non-inversed amplifier

Дифференциальный усилитель (разностный)



Differenter

$$U_{\text{вых}} = \frac{R_1 + R_0}{R_2 + R_3} \cdot \frac{R_3}{R_1} U_2 - \frac{R_0}{R_1} U_1$$



Differenter plot

Суммирующий усилитель

pic

$$I = \frac{U}{R_0} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n}$$

$$U = R_0 \cdot \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n} \right)$$

Каждое входное напряжение действует независимо и не влияют друг на друга, т.к. подключаются через кажущуюся землю.

Дифференцирующее устройство (дифференциатор)

Дифференциатор
устройство, выполняющее дифференцирование сигнала.



Differenter

$$u' = 0 \quad i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_{\text{BX}}}{dt}$$



$$U_{\text{ВЫХ}} = RC \frac{dU_{\text{BX}}}{dt}$$

$$RC = \tau, \text{ с}$$

$$U_{\text{ВЫ}} = \tau \frac{dU_{\text{BX}}}{dt}$$



Дифференцирующие цепи присутствуют во всех источниках питания типа DC/DC, в которых осуществляется преобразование низкого напряжения батарейки 1-3В в высокое напряжение 10-220-1000В

Интегратор



Integrator

$$u' = 0 \quad i = \frac{U_{\text{BX}}}{R} = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_{\text{ВЫХ}}}{dt}$$

$$\int_{U_0}^U dU_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{RC} \int_0^t U_{\text{ВХ}} dt$$

$$U - U_0 = \frac{1}{\tau} \int_0^t U_{\text{ВХ}} dt$$

Интегратор используется либо как сумматор , либо как запоминающее устройство для аналоговых сигналов.

2015-05-14

Аналоговые вычислительные машины

Идеальные операционные усилители лежат в основе вычислительных модулей, из которых могут быть построены аналоговые вычислительные машины (АВМ). АВМ оперируют с операндами, представляющими собой аналоговые сигналы, представляемые токами или напряжениями. По сравнению с цифровыми вычислительными машинами, операнды которых имеют конечную разрядность и ограниченную точность равную половине младшего разряда, АВМ оперируют точными значениями величин, разрядность которых в принципе не ограничена. Быстродействие таких машин определяется только скоростью распространения сигналов и обычно в миллионы раз превосходит быстродействие цифровых вычислительных машин.

Основной недостаток АВМ - сложность их программирования и ограниченность вычислительных ресурсов.

Обычно АВМ используются для моделирования сложных динамических систем и для управления быстро текущими процессами в режиме реального времени.

Использование АВМ рассмотрим на примере решения неоднородного дифференциального уравнения. Это очень сложная задача для цифровых вычислительных машин, которые могут решать только некоторые из них и требует больших затрат машинвремени.

$$\underbrace{\frac{d^3x}{dt^3}}_{u_4} + a_1 \underbrace{\frac{d^2x}{dt^2}}_{u_3} + a_2 \underbrace{x}_{u_1} = \underbrace{bt}_{u_0}$$

$$\frac{d}{dt} \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{du_3}{dt} = u_4; \quad \frac{dU_3}{dt} = U_4 \uparrow$$

$$d \left(\frac{d^2x}{dt^2} \right) = dU_3 = U_4 \cdot dt$$

$$d\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right) = \int dU_3 = \int U_4 \cdot dt; \int U_4 \cdot dt = U_3$$

$$\frac{d^3x}{dt^3} = -a_1U_3 - a_2U_1 + U_0$$



Output differential equation

Передача аналогового сигнала

При передаче на большие расстояния партнеры имеют автономные источники питания, которые могут находиться под разным статическим напряжением, различающиеся на сотни и тысячи вольт, если система гальванически связана, то это приведет к взаимному выходу из строя аппаратуры. Чтобы этого избежать, используют гальваническую развязку, путем использования трансформатора, либо оптической развязки. В оптической развязке используют оптопары - светодиод и фотозлемент.

Оптопара: pic

Генераторы

Генератор

устройство, вырабатывающее сигналы заданной формы и периодичности из энергии источника питания.

Условие самовозбуждения - генератор образуется путем соединения в замкнутый контур усилителя и цепей обратной связи, входной сигнал может отсутствовать, его роль выполняет шумовое сопротивление. Для возникновения в устройстве незатухающих колебаний, при обходе замкнутого контура, коэффициент передачи по модулю должен быть не меньше 1. А сдвиг по фазе должен быть кратен четному числу π . То есть сигнал с выхода должен поступать на вход в той же фазе. Если коэффициент передачи меньше 1, то колебания будут затухающими, то есть генерации не произойдет. Если коэффициент равен 1, то возникнут стационарные незатухающие колебания. Обычно обратная связь представляет собой частотно-зависимые цепи и условие самовозбуждения выполняется только на одной частоте. Для обеспечения стабильности работы, коэффициент передачи используют много больше 1, а сам усилитель при этом попадает в состояние насыщения и это насыщение углубляется до тех пор, пока коэффициент усиления (передачи) автоматически не снизится до 1. Усилитель в режиме насыщения сильно искажает форму сигналов, поэтому необходимо вводить специальные корректирующие фильтры.

$$|k| \geq 1; \quad \Delta\phi = -k2\pi$$

Простейший генератор гармонических колебаний

$$\Phi = A \cdot \sin(\omega_0 t + \phi)$$

$$K = \frac{A}{A_0}$$

$$K_{\text{прям}} = \frac{\Delta f_n}{\Delta f_1}$$

2015-05-21

При создании малогабаритных генераторов низкой частоты, требуется выполнить баланс фаз, не используя индуктивность, т.к. она имеет огромные геометрические размеры. Поэтому используют RC-генераторы.

Необходимый сдвиг по фазу 360° , набирается за счет 180° сдвиг по фазе усилителя каскада, остальные 180 за счет последовательного подключения RC-цепочек, каждая из которых сдвигает фазу $\approx 10^\circ$.

Стабилизация частоты генератора. Кварцевый резонатор.

Добротность

Отношение реактивной мощности к мощности потерь $Q = \frac{P_{\text{реакт}}}{P_{\text{потерь}}}$

Добротность

Отношение энергии, запасаемой в контуре, к энергии потерь, за время одного периода.

В колебательном контуре происходит попеременный переток энергии из магнитного поля, создаваемого индуктивностью, в емкость конденсатора.

Чем круче график изменения фазы и коэффициента передачи, тем выше стабильность частоты генератора, которая оценивается отношением $\frac{\Delta F}{F_0} \frac{1}{Q}$ - обратна добротности. Нестабильность частоты обозначается **ppm**. Самый лучший контур имеет добротность, не превышающую 100. Механические колебания имеют добротность порядка миллиона.

Некоторые минералы обладают пьезоэлектрическим эффектом. Прямой пьезоэффект переводит механические колебания в электрические, а обратный электрические в механические.

Устройство, состоящее из колебательного контура, у которого в качестве диэлектрика используется кварц, называется кварцевый резонатор.

Использование кварца в цепях обратной связи генератора, стабилизирует частоту генератора тысячи раз и делает ее невосприимчивой к температуре.

Импульсные генераторы

Мультивибратор

Мультивибратор

генератор последовательных импульсов

Работа мультивибратора 1. В момент включения питания, напряжение на емкости равняется нулю. А напряжение на выходе отрицательное, равное

напряжению $U_2 - U_{\text{ВЫХ}}$. 2. По мере заряда конденсатора C отрицательным напряжением по экспоненте, напряжение вектора U' уменьшается и при достижении напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$, скачком переходит на напряжение U_1 . 3. Конденсатор C начинает перезаряжаться положительным напряжением выхода по экспоненте. Будет заряжаться до тех пор, пока не достигнет опорного напряжения. Скачком перейдет $U_{\text{ВЫХ}}$ на U_2 . 4. Конденсатор C начнет перезаряжаться отрицательным напряжением и так далее.

Моновибратор

рис Транзистор Т1 низким уровнем на затворе имеет открытый канал, который шунтирует конденсатор. рис plot

Синхроимпульс запускает генерацию одиночного импульса

Генератор, управляемый напряжением

В современных цифровых устройствах используется сложная система синхроимпульсов разных частот, причем эти частоты должны изменяться согласованно относительно друг друга, чтобы не вносить фазовых искажений в работу устройства.

Фазовый компаратор вырабатывает напряжение в начале равное или пропорциональное разности частот, а когда частоты сравниваются пропорциональной разности фаз. И так, пока не

$$\frac{F_x}{M} = \frac{F_0}{N}; \quad F_x = F_0 \cdot \frac{M}{N}$$

Синтезатор вырабатывает сетку дискретных частот, привязанных к частоте одного высокостабильного кварцевого генератора.

Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП, DAC)

Преобразует цифровой код (последовательность бинарных единиц) в аналоговый сигнал (ток или напряжение).

Псевдоаналоговое напряжение представляет собой ступенчатое напряжение, число ступеней которого определяется разрядностью преобразователя. Чем выше разрядность, тем ближе псевдоаналоговое напряжение ближе к аналоговому.

ЦАП с двойным резистором

Достоинства: почти не ограниченная разрядность.

Недостатки: требуется большое количество прецизионных резисторов, точность которых и определяет качество ЦАП.

$$U_{\text{ан}} = \frac{U_0 + 2U_1 + 4U_2 + \dots}{1 + 2 + 4 + \dots}$$

ЦАП с резистивной матрицей

При условии высокоточного изготовления резистивной матрицы, дальнейшая точность преобразования определяется условиями работы источника опорного напряжения. Он будет выдавать высокостабильное опорное напряжение, если вырабатываемый им ток не будет зависеть от нагрузки или разрядности преобразования.

Аналоговый цифровой преобразователь (АЦП, ADC)

Преобразует аналоговый сигнал (ток или напряжение) в цифровой код.

АЦП характеризуются: 1. диапазоном входных напряжений; 2. разрядностью выходного кода; 3. шагом квантования; 4. временем преобразования.

Различают два типа: - параллельный; - последовательный.

АЦП параллельного типа

Дешифратор - комбинационная схема, которая находит границу между нулями и единицами на выходах компаратора и преобразует в выходной цифровой код.

Достоинства: простота конструкции и высокое быстродействие.
 $\tau \approx 7\text{нс}$, $P_{\text{аз}} = 6, 7, 8, 9$

Основная сложность конструкции: необходимость большого числа аналоговых компараторов внутри одной микросхемы. Компаратор на выходе может принимать ноль или единицу, после чего он попадает в состояние насыщения из которого выходит с трудом, если на входе нет сигнала. Поэтому входные опорные сигналы поступают на вход в течение очень короткого времени, одиночного запускающего импульса, после чего опорные сигналы отключаются, пока компараторы не станут снова активными.

Достоинства: простота конструкции, неограниченная разрядность.

Для преобразования видеосигнала требуется 8 разрядов, для автоматизации производства - 10-12 разрядов, звук - 16.

Время преобразования зависит от величины входного сигнала: если сигнал маленький, преобразование быстрое, если большой сигнал, ждем, пока счетчик заполнит все разряды.

АЦП последовательных приближений

Работа:

—

регистр РПП реализует алгоритм бинарного поиска;

—

Сброс - переводим регистр РПП в напряжение в половину старшего разряда.

— если напряжение в первом такте было ноль, то РПП выработает напряжение в половину разницы между U_{ref} и

В результате 12-разрядный код подбирается за 12 тактов

Такой вид АЦП позволяет совместно с устройствами аналоговой памяти (интегратор) организовать конвейер, в котором на первом шаге запоминается напряжение и вычисляется с помощью первого АЦП последовательных приближений, на втором шаге запоминается второе напряжение и также запускается второй АЦП; и так происходит до 12 шагов, при этом не вырабатывается выходной код. После того, как будут заряжены все АЦП, будут выданы все сигналы АЦП. Конвейер позволяет вырабатывать код после зарядки конвейера каждый следующий такт.