

Название:

Универсальный блок гетеродинов (синтезатор) для радиолюбительской связной аппаратуры с использованием "up conversion".

Автор:

Завидовский Геннадий Владимирович

+7 921740 6321 мобильный

E-mail: mgs2001@pochtamt.ru

Описание

Данная конструкция представляет собой ВЧ блок, управляемый внешним контроллером (это может быть как автономный контроллер, так и настольный компьютер). От управляющего контроллера требуется восемь выходов ТТЛ уровня.

На печатной плате расположены три независимых канала синтезатора, логика управления, стабилизаторы и фильтры питающего напряжения.

Технические характеристики

Габариты	102 мм * 200 мм * 25 мм (4" * 7.8" * 1")
Питание	9 вольт (-5% ... +10%)
Потребляемый ток	150...450 мА (зависит от исполнения)
Выходная мощность	-6 дБм ... + 10 дБм (зависит от исполнения)
Стабильность частоты	Определяется опорным генератором. При использовании JAUCH JT-75-A - 2.5 ppm ($2.5 * 10^{-6}$) во всем диапазоне температур.
Погрешность установки частоты	Меньше точности, обеспечиваемой опорным генератором – около ($1 * 10^{-7}$)
Время установки частоты	Не более 30 мс во всем диапазоне частот. И не менее 2 мс.
Спектральная плотность шумов первого и второго гетеродинов	У опытного экземпляра не хуже -110 дБ/Гц при отстройке 10 кГц, на частоте 65 МГц.
Уровень паразитных дискретных составляющих во всем диапазоне частот (кроме гармоник)	Не более -90 дБ от уровня сигнала
Уровень гармоник сигналов гетеродинов	Не более -40 дБ от уровня сигнала

Исполнения

В зависимости от требований в конкретном применении – от требуемой точности настройки, ограничений на энергопотребление, цену и требований к набору, уровню и качеству выходных сигналов устройство может быть собрано с использованием разных типов комплектующих на одном из двух вариантов печатных плат. Вариантными компонентами являются:

- Типы микросхем прямого синтеза, работающей в первом и третьем гетеродинах – влияет на энергопотребление и качество сигнала.
- Типы буферных усилителей – влияет на выходную мощность и диапазон частот.
- Типы микросхем ФАПЧ – определяет диапазон частот первого и второго гетеродина.
- Тип опорного генератора – стабильность и спектральная чистота выходного сигнала.

- Так же, могут не собираться каналы, не требуемые в конкретном применении.
- При снижении требований к подавлению второй гармоники сигналов, генерируемых блоком гетеродинов, могут не устанавливаться ФНЧ перед буферными усилителями – и быть замененными аттенюаторами или перемычками.

Канал первого гетеродина

Канал первого гетеродина представляет собой однопетлевой синтезатор, выполненный по архитектуре «DDS driven PLL» – кольцо ФАПЧ управляет ГУН, при этом опорная частота формируется с участием микросхемы прямого цифрового синтеза.

В зависимости от применения этот канал гетеродина может формировать сетку частот с шагом один герц в участке с октавным перекрытием в диапазоне от 35 МГц до 150 МГц.

Особенностью схемных решений, примененных в канале первого гетеродина, является:

- Применение относительно узкополосного пьезокерамического фильтра на выходе микросхемы прямого синтеза (около 100 кГц на 10.7 МГц), что уменьшает уровень побочных дискретных составляющих в выходном сигнале гетеродина.
- Пониженная тактовая частота DDS

Формирование опорной частоты для кольца ФАПЧ

Используется побочный выходной сигнал микросхем прямого цифрового синтеза:

Тактовая частота DDS 12.8 МГц, генерируемая частота 2.1 МГц, после фильтрации используется составляющая 10.7 МГц.

Низкая тактовая частота позволяет уменьшить потребляемый микросхемами ток и уменьшить уровень излучений на плате (что актуально при использовании двухсторонних печатных плат и полезно при любой технологии).

Сигнал опорной частоты формируется следующим образом:

С выхода микросхемы DDS через трансформатор (повышает отношение сигнал/шум) подается на ФНЧ (эллиптический 7-го порядка, частота среза 14 МГц), выполняющий и функцию согласования выхода DDS с пьезокерамическим фильтром. Отфильтрованный сигнал усиливается каскадом на биполярном транзисторе и через Г-образную согласующую цепь – ФВЧ подается на вход опорной частоты микросхемы ФАПЧ (где делится на фиксированный коэффициент) и поступает на фазовый детектор кольца ФАПЧ.

Набор ГУН первого гетеродина

Диапазон требуемых частот перекрывается четырьмя независимыми генераторами (на биполярных транзисторах).

Четыре генератора облегчают настройку. Удаётся обеспечить октавное перекрытие при низком напряжении питания (9 вольт) – без использования повышающих преобразователей, которые без специальных мер по экранированию и развязке являются сильным источником помех, и без ухудшения качества сигнала (из-за изменения параметров петли при большом перекрытии). Выходы генераторов коммутируются PIN-диодами и поступают на делитель мощности (на резисторах) – откуда подается на микросхему ФАПЧ и на ФНЧ (эллиптический фильтр седьмого порядка). За ФНЧ может быть установлен аттенюатор и нерегулируемый буферный усилитель (MAR-2SM, MSA-1105) или регулируемый AD8320 (AD8321). На выходе усилителя также установлен делитель мощности (опциональный) для раздачи выходного на несколько потребителей.

Канал второго гетеродина

Канал второго гетеродина так же является однопетлевым синтезатором с ФАПЧ на фиксированную частоту, с фиксированной опорной частотой. Диапазон частот ограничен возможностями примененных микросхем ФАПЧ и буферного усилителя – и также может быть от 35 до 150 МГц. Формируемая частота выбирается с дискретностью 100 кГц. Выход генератора поступает на делитель мощности (на резисторах) – откуда подается на микросхему ФАПЧ и на ФНЧ (эллиптический фильтр седьмого порядка). За ФНЧ может быть установлен аттенюатор и нерегулируемый буферный усилитель (MAR-2SM, MSA-1105) или регулируемый AD8320 (AD8321). На выходе усилителя также установлен делитель мощности (опциональный) для раздачи выходного на несколько потребителей.

Канал третьего гетеродина

Канал третьего гетеродина предназначен для формирования сигнала на частотах 455 кГц...2 МГц и представляет собой обычный синтезатор прямого синтеза, трансформатор (повышает отношение сигнал/шум), ФНЧ (эллиптический фильтр седьмого порядка). За ФНЧ может быть установлен аттенюатор и нерегулируемый буферный усилитель (MAR-2SM, MSA-1105) или регулируемый AD8320 (AD8321). На выходе усилителя также установлен делитель мощности (опциональный) для раздачи выходного на несколько потребителей.

Опорный генератор

В конструкции может быть применен термокомпенсированный генератор или дешевый TTL-генератор (с соответствующим ухудшением характеристик).

Возможно применение генераторов как в корпусах DIP-8, DIP-14, так и с ленточными выводами (или в безвыводном исполнении). Питание опорного генератора стабилизируется индивидуальным параметрическим стабилизатором – и может быть как +3.3 вольт, так и +5 вольт.

Если применен опорный генератор с выходом синусоидального сигнала, он усиливается каскадом на биполярном транзисторе и распределяется между потребителями – две микросхемы прямого синтеза и микросхема ФАПЧ канала второго гетеродина. В случае использования генератора с TTL выходом усилитель не собирается на плате – и может быть заменен делителем напряжения.

Питание и коммутация

Устройство питается от однополярного источника напряжения 9 вольт (-5% ... +10%) для облегчения использования в аппаратуре с питанием от бортовой сети автомобиля, например. Все узлы блока гетеродинов имеют индивидуальные стабилизаторы или активные фильтры.

Цифровая часть	LDO стабилизатор +3.3 вольт
DDS канала первого гетеродина	LDO стабилизатор +1.8 вольт
DDS канала второго гетеродина	LDO стабилизатор +1.8 вольт
Фазовый детектор петли ФАПЧ канала первого гетеродина	Параметрический стабилизатор +5 вольт
Гунны и усилители канала первого гетеродина	Активный фильтр
Фазовый детектор петли ФАПЧ канала второго гетеродина	Параметрический стабилизатор +5 вольт
Гунны и усилители канала второго гетеродина	Активный фильтр

Для коммутации питания между генераторами (ГУН) первого гетеродина используются малогабаритные силовые полевые транзисторы – что уменьшает флуктуации напряжения питания генераторов.

При подаче напряжения на плату гарантируется отсутствие выходных сигналов гетеродинов – до завершения программирования микросхем усилителей. В случае использования нерегулируемых усилителей на них просто не подается питание.

Управление и интерфейсная часть

Управляющие сигналы подаются на блок гетеродинов от внешнего контроллера через разъем, помехозащитные резисторы включены в каждую сигнальную цепь. При сборке в случае необходимости эти резисторы можно заменить помехозащитными дросселями (EMI protection inductors).

Логические уровни внешнего контроллера преобразуются в LVTTTL (+3.3 вольта) буферной микросхемой и распределяются между потребителями в блоке гетеродинов. В устройстве используются микросхемы, программируемые последовательным кодом (по интерфейсу SPI), по этому приняты меры для исключения паразитного влияния управляющих сигналов на аналоговые цепи (и на некоторые микросхемы ФАПЧ, восприимчивые к фронтам на своих управляющих входах, даже если они не затронуты управлением). Эти меры – помехопоглощающие резисторы на выходах LVTTTL формирователя и входах всех управляемых микросхем, отсутствие соединения «daisy chain» - все соединения выполнены «звездой», дополнительные вентили на управляющих сигналах, которые поступают на регулируемые буферные усилители. Это обеспечило отсутствие просачивания управляющих сигналов в сигналы, генерируемые блоком гетеродинов и эффекта «срыва синхронизации» при перестройке частоты в пределах диапазона, перекрываемого DDS без переключения умножения в петле ФАПЧ первого гетеродина.

Комплектующие и технологии

При разработке использовались продающиеся в магазинах Санкт-Петербурга импортные комплектующие. При этом исключались из применения:

- советского производства или не имеющие импортных аналогов,
- снятые с производства,
- узлы от старой техники.

Единственным самодельным узлом блока гетеродинов являются катушки индуктивности в ГУН-ах, но сложности их ручного изготовления в любительских условиях меньше сложностей их массовой закупки.

Печатные платы – двухсторонняя (не многослойная) плата. Для улучшения экранировки между узлами и уменьшения уровня электромагнитных излучений от блока синтезаторов функциональные блоки разделены участками фольги, часть конструкции может быть экранирована экраном из латуни или жести, припаиваемым к специально предназначенным для этого участкам платы.

Алгоритмы и программы

Обычно применяемые в таких синтезаторах (DDS driven PLL) алгоритмы управления предполагают формирование требуемой частоты как сетки частот с шагом, уменьшенным на столько, на сколько умножается частота DDS. В структуре с узкополосным фильтром на выходе ДДС коэффициент умножения частоты DDS меняется в зависимости от выходной частоты. По этому, был разработан алгоритм аппроксимации требуемой выходной частоты при заданных ограничениях – и известном коэффициенте деления за узкополосным фильтром. Это усложнило алгоритмы (незначительно), но позволило на любой частоте диапазона обеспечивать минимально возможную погрешность установки частоты от заданной.

(описания алгоритмов в других файлах заявки).

Для настройки синтезатора – настройки, заключающейся в «укладке» диапазона перестройки ГУН-ов в заданные пределы при требуемом изменении управляющего напряжения – используется программа для Windows-XP (windows/95).

Все алгоритмы управления написаны на языке «С» и могут быть реализованы на любом микропроцессоре, вне зависимости от того, поддерживается ли арифметика с длинными целыми компилятором или не поддерживается. Вычисления с плавающей точкой в алгоритмах не используются. Как пример, полный расчет одного комплекта управляющих слов при переходе на заданную частоту (или при смене режима работы) на контроллере с микропроцессором AT Mega16-16 занимает около 20 мс.