

УДК 621.385.69

Построение синтезатора частоты с использованием СВЧ коммутатора и расчёт средней мощности выходного сигнала

Грамарчук Ю.А., к.т.н. Кобак Н.Н., ст. пр. Слесаренко С.С.

Рассмотрен способ расчета в спектре выходных колебаний сверхвысокочастотного сигнала синтезатора частоты, управляемого СВЧ-коммутатором. За основу разработки взята модель синтезатора частоты с запоминающими регистрами и процессором, обеспечивающим высокостабильную работу устройства за счет хранения параметров выходных характеристик ГУНа для быстрого установления рабочего режима работы. Синтезатор СВЧ – колебаний управляется малошумящим коммутатором. Предложенный коммутатор является универсальным и перспективными коммутационным устройством для широкого спектра применения в гибридно-интегральном и монолитном исполнении.

1. Введение

В последнее время большое внимание уделяется созданию широкополосных и быстродействующих средств обработки и передачи информации. Важную роль в подобных системах играют коммутационные устройства, основным элементом которых является коммутационное поле, предназначенное для установления

соединения между входными и выходными портами. В общем виде коммутационное поле представляет собой линейное по информационному каналу многополюсное устройство, в котором воздействие управляющего сигнала приводит к попеременному подключению одного из входных портов к определенному выходному.

Параметры устройства определяются характеристиками базовых коммутационных элементов и архитектурой построения топологии.

С точки зрения таких характеристик, как широкополосность, потребляемая мощность и время переключения, коммутационные элементы на GaAs полевых транзисторах с барьером Шоттки (ПТШ) являются более предпочтительными по сравнению с аналогичными устройствами на К-МОП, биполярных транзисторах или *p-i-n* диодах.

2. Цели и задачи

Была разработана усовершенствованная модель синтезатора частоты, который может применяться в широком диапазоне частот. В устройство синтезатора

был введен элемент,увеличивающий быстродействие синтезатора (т.е уменьшается время выхода на рабочий режим и ускоряется построения сетки частот). Выходной тракт синтезатора управляется при помощи малошумящего коммутатора на полевых транзисторах с барьером Шоттки.

Основной задачей является демонстрация работоспособности указанного устройства а также способ расчта средней мощности выходных колебаний устройства. Одним из важнейших вопросов, возникающих при формировании сигналов, является вопрос частотного планирования.

Кроме того к синтезаторам, как к устройствам формирования сетки частот, предъявляются требования к стабильности и спектральному составу колебаний, уровню фазового шума и длительности переходных процессов. В основу разработки был положен синтезатор, представленный в патенте US7609096B1 [1]. Этот синтезатор частоты является универсальным в применении, т. к. захватывает широкий диапазон частот, в котором проявляются его характеристики по спектральной плотности выходных колебаний, установление рабочего диапазона частот, шумовых показателей.

3. Проектирование модели

В целях усовершенствования модели, а именно повышение стабильности выходных колебаний и уменьшение времени установления

выходной частоты, была предложена модель, дополненная устройством, способным упростить сравнение величин сигналов, поступающих из конечного и временного регистров памяти, которые способствуют построению выходных характеристик ГУН. Вообще, идея создания синтезатора с ГУН, имеющим регистры памяти, хранящие данные о предустановленных выходных характеристиках ГУН, существенно увеличивает стабильность системы путем более ускоренного выхода на рабочий режим, нежели используя традиционную схему с ФАПЧ.

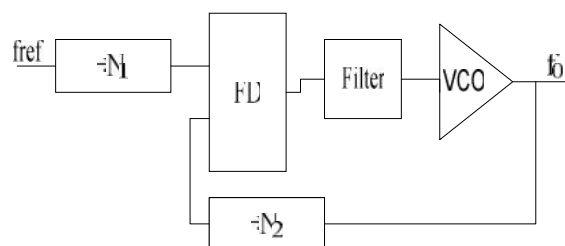


Рис. 1 Структурная схема устройства.

В его состав входят делители N_1 и N_2 , фазовый детектор FD, фильтр нижних частот Filter, генератор управляемый напряжением VCO.

Опорная частота системы поступает на вход делителя N_1 . Делитель генерирует колебания, поступающие на вход фазового детектора FD. Фазовый детектор сравнивает фазу входного сигнала с фазой цепи обратной связи N_2 синтезатора частоты. Сигнал с фазового детектора (или сигнал

расходимости фазы) поступает на сглаживающий фильтр Filter (фильтр нижних частот). Выделяя необходимую гармонику сигнала, он подается на генератор управляемый напряжением VCO, частота которого строго зависит от напряжения на входе. Как было указано выше, сигнал по цепи обратной связи из ГУН поступает на второй вход фазового детектора, замыкая цепь фазовой автоподстройки частоты [2].

В устройстве присутствует процессор (3) с регистрами памяти (4) (хранящие данные о системе в целом). Фазы данных с регистров поступают в цифровой компаратор (5), после чего сигнал поступает на цифро-аналоговый преобразователь (6), поступает на сумматор (8). Сумматор добавляет к сигналу модуляционную информацию (выполненную на основе малощумящего коммутатора на полевых транзисторах с барьером Шотки).

Результирующий сигнал поступает на вход генератора управляемого напряжением. Выходное напряжение сумматора управляет выходной фазой (частотой) ГУНа.

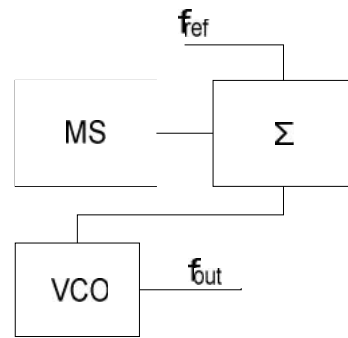


Рис. 2 Структурная схема модели

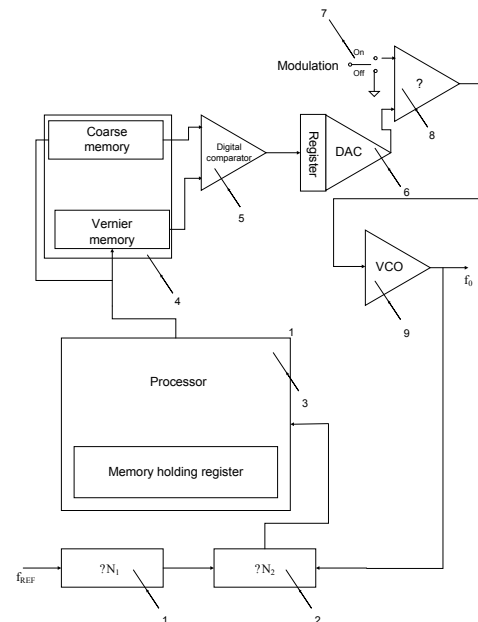


Рис. 3. Структурная схема синтезатора

Для того, чтобы качественно оценить выходные параметры синтезатора, не обязательно проводить моделирование всей схемы в целом.

Для этого достаточно провести моделирование генератора, управляемого напряжением, т. к.

выходные характеристики будут подобны.

В связи с этим, ниже представлена упрощенная структурная схема модели, состоящая из модуляционного коммутатора, сумматора и генератора, управляемого напряжением.

4. Моделирование синтезатора и формула расчета средней мощности

Осциллограмма выходных колебаний демонстрирует работоспособность выбранной нами схемы синтезатора.

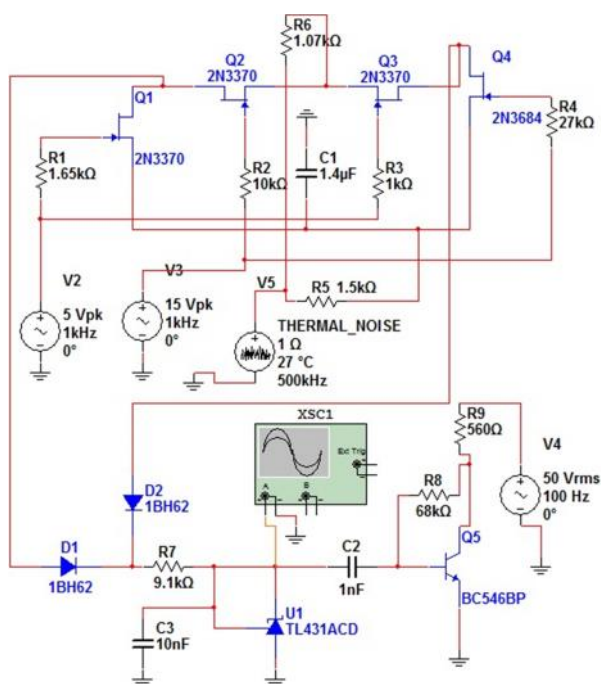


Рис. 4. Принципиальная схема модели.

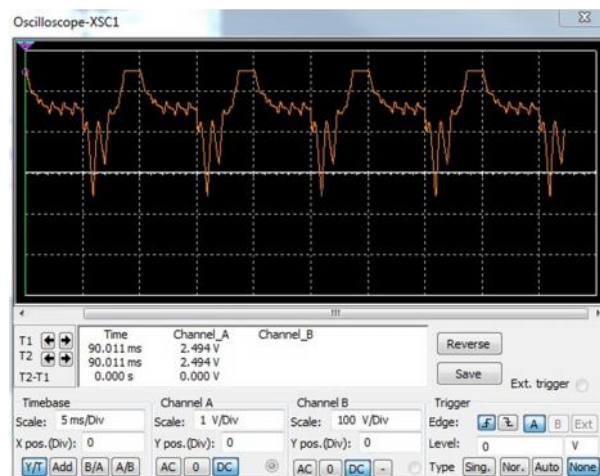


Рис. 5. Осциллограмма выходных колебаний синтезатора частоты

Синтезатор выдает стабильные гармонические колебания, по амплитуде которых есть возможность измерить комплексную среднюю мощность сигнала. Если мощность рассматривается как функция времени, то ее также называют временной. Мощность может быть представлена как функция частоты, в таком случае она именуется частотной или спектральной мощностью.

Приведем алгоритм расчета средней мощности сигнала. Рассматривая произвольный комплексный сигнал

$x(t) = a(t) + jb(t)$, где $a(t), b(t)$ – вещественные функции. Мгновенная мощность $p(t)$ определяется равенством

$$\begin{aligned} p(t) &= a^2(t) + b^2(t) = \\ &= [a(t) + jb(t)] \cdot [a(t) - jb(t)] \\ &= x(t) \cdot x^*(t). \end{aligned}$$

Средняя мощность на промежутке T подсчитывается по формуле

$$P(t_0, T) = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t)x^*(t)dt$$

В случае, если функция $x(t)$ вещественна (для физического сигнала), то формула приобретает вид

$$P(t_0, T) = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} [x(t)]^2 dt$$

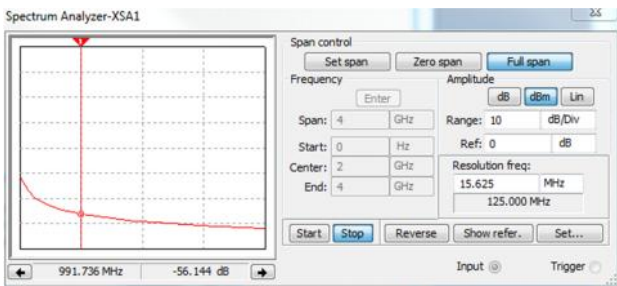


Рис. 6. Спектр выходных частот.

Приведена диаграмма частотного спектра синтезатора частоты. При заданных параметрах указано, что характер выходных колебаний имеет линейную характеристику с достаточно низким уровнем фазовых шумов

($-56,144 \text{ dB/Hz}$) в сравнении с предшествующим этому анализу выходных колебаний с ФАПЧ ($-78,152 \text{ dB/Hz}$).

5. Выводы

Синтезатор частоты, использующий переключение модуляции при помощи малошумящего коммутатора обладает высокостабильными выходными характеристиками, быстродействием и уменьшенным уровнем выходных фазовых шумов, по сравнению с похожей разработкой, представленной в [1].

Литература

1. US7609096B1 – United states patent “Frequency synthesizer and method for constructing the same”, 2009.
2. Mike Curtin and Paul O'Brien. Phase Locked Loops for High-Frequency Receivers and Transmitters-3, Analog Dialogue, Analog Devices (July/August 1999)