

Моделирование умножающих колец ИФАП с использованием ДПКД и ДДПКД

Ю.А. Никитин, Г.А. Цыганков

СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Аннотация: рассматриваются модели колец импульсно фазовой автоподстройки частоты с использованием делителя с целочисленным и дробно-переменным коэффициентом деления. Модели построены в среде Мисгосар 12. Делитель с дробно-переменным коэффициентом деления реализован по принципу дельта-сигма модулятора первого порядка. Производится сравнение спектров выходных колебаний в установившемся (стационарном) режиме.

Ключевые слова: ИФАП, гетеродин, ИФД, автоподстройка частоты, циклы фазовой автоподстройки, ЧФД

1. Введение

Для синтеза дискретно перестраиваемой, но стабильной частоты СВЧ диапазона применяются умножающие кольца импульсно-фазовой автоподстройки частоты (ИФАП) [1]. Для того, чтобы облегчить расчеты и исследовать фильтрующие, шумовые и временные характеристики кольца ИФАП удобно иметь его схемотехническую модель с управляющей характеристикой реального перестраиваемого генератора (ПГ).

Структурная схема моделируемого кольца ИФАП представлена на рисунке 1. Она состоит из следующих структурных блоков: импульсно-фазовый детектор (ИФД), петлевой фильтр нижних частот, перестраиваемый генератор и делитель с переменным коэффициентом деления. В качестве импульсно-фазового детектора для моделируемых колец ИФАП используется фазовый детектор на основе двух ЧФД.

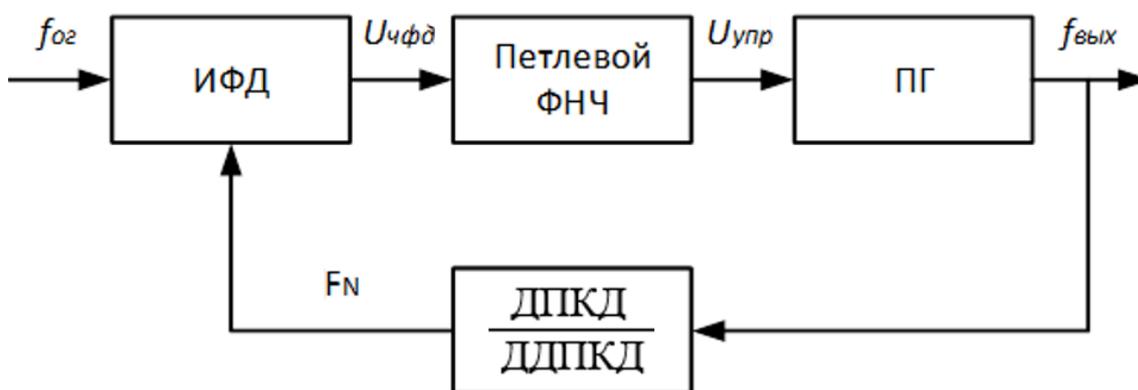


Рисунок 1. Структурная схема кольца ИФАП

2. Описание моделей и результаты моделирования

Делитель с переменным коэффициентом деления обеспечивает шаг сетки частот равный частоте опорного генератора, из-за чего для достижения малого шага сетки требуется большой коэффициент деления, что приводит к увеличению влияния фазовой ошибки. Данных недостатков лишен делитель с дробно-переменным коэффициентом деления. Поскольку в делителе есть дробный коэффициент деления P , для достижения

требуемого шага по сетке частот может быть использован опорный генератор с в P раз большей частотой, чем для ДПКД, благодаря чему в P раз уменьшается умножение фазовой ошибки.

ДДПКД реализован с помощью дельта-сигма модулятора первого порядка на накапливающем сумматоре (НС). Делитель с целочисленным коэффициентом деления генерирует тактовые сигналы НС, к текущему значению которого каждый такт добавляется значение регистра a_3 (дробная часть коэффициента). При переполнении НС, он формирует сигнал, который увеличивает целочисленный коэффициент деления на единицу на одном периоде сравнения частот $f_{опНЧ}$. Таким образом, при 4-битном аккумуляторе достигается дробность коэффициента деления от 0 до $15/16$.

Произведем сравнение двух одинаковых колец ИФАП при использовании ДПКД и ДДПКД.

Перестраиваемый генератор задан функцией 1:

$$f_{\text{выхВЧ}}, \text{ ГГц} = (0.8083 + 0.8695 * U_{\text{вх}} - 0.2325 * U_{\text{вх}}^2 + 0.02967 * U_{\text{вх}}^3) \quad (1)$$

В таблице 1 указаны основные параметры исследуемых колец: U – диапазон питающего напряжения, $f_{\text{опНЧ}}$ – частота опорного генератора низкой частоты, N – диапазон коэффициентов деления, dN – шаг по сетке коэффициентов деления, $f_{\text{выхВЧ}}$ – диапазон выходной частоты, dF – шаг по сетке частот.

Таблица 1. Основные параметры исследуемых колец ИФАП

Параметр	Кольцо с ДПКД	Кольцо с ДДПКД
$U, \text{ В}$	[0..3]	[0..3]
$f_{\text{опНЧ}} \equiv F_{\text{ог}}$	625 КГц	10 МГц
N	1293...3539	$80 + \frac{14}{16} \dots 221 + \frac{3}{16}$
dN	1	$\frac{1}{16}$
$f_{\text{выхВЧ}}, \text{ ГГц}$	0,80875...2,221875	0,80875...2,221875
$dF, \text{ КГц}$	625	625

При расчете фильтра для обеспечения стабильности колец были введены изодромные звенья, обеспечивающее подавление в 15 дБ для кольца с ДПКД и 39 дБ для кольца с ДДПКД, а также ФНЧ третьего порядка, с постоянной времени $\tau = 0.2$ мкс.

Для кольца с ДПКД моделирование проводилось при коэффициенте деления $N = 1890$, что соответствует выходной частоте $F = 1.18125$ ГГц.

Переходный процесс представлен на рисунке 2.

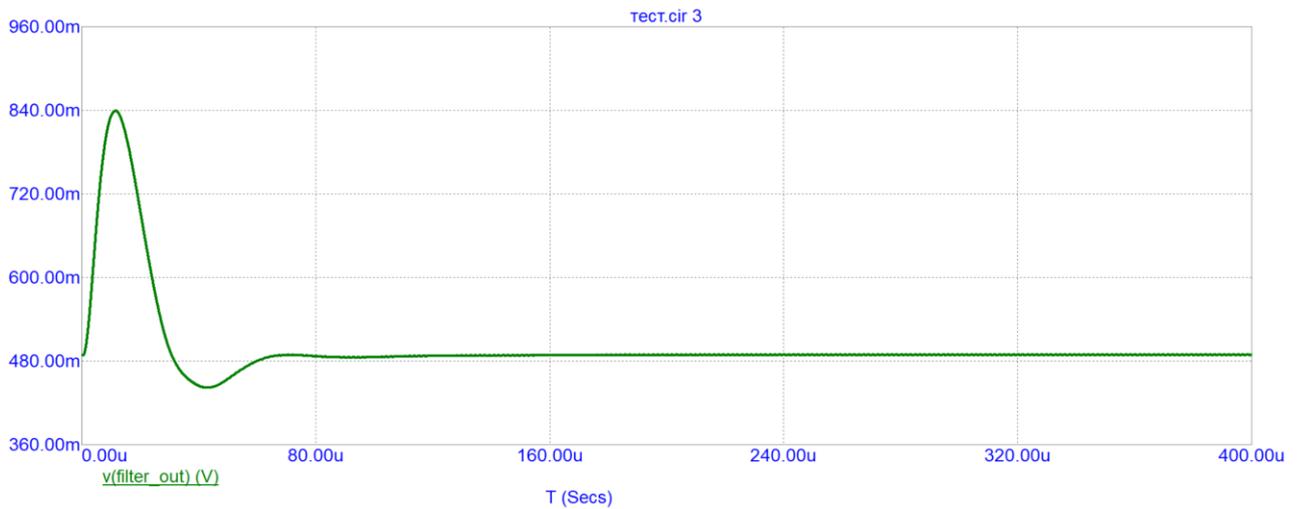


Рисунок 2. Переходный процесс в кольце с ДПКД

Выходной спектр колебаний для кольца с ДПКД представлен на рисунке 3.

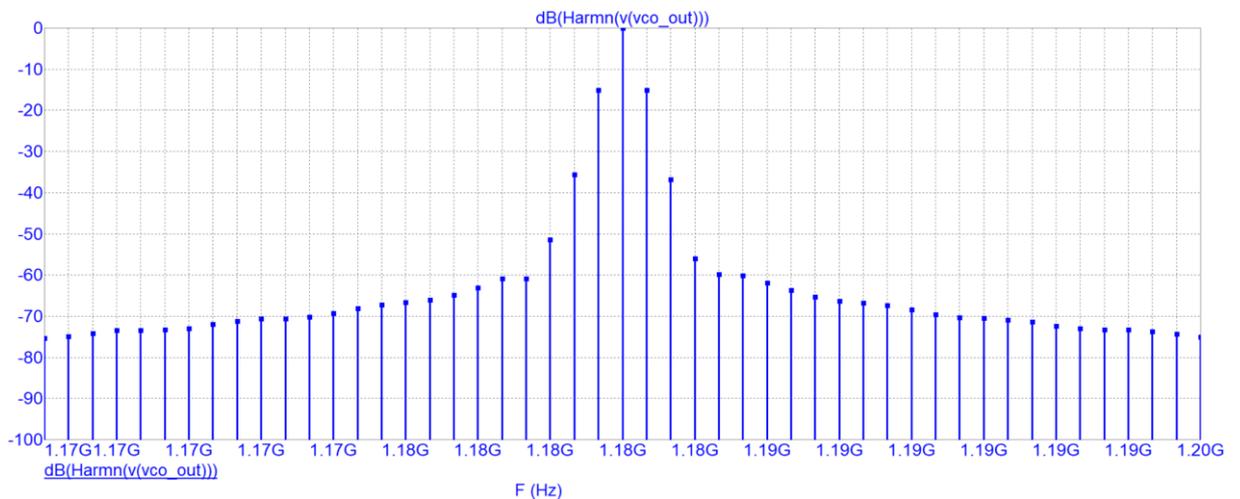


Рисунок 3. Спектр выходных частот в кольце с ДПКД

Основная (синтезируемая) частота совпадает с требуемой. Как видно из графиков, подавление частоты опорного генератора (625 КГц) составляет 15 дБ.

Для кольца с ДДПКД моделирование проводилось при коэффициенте деления $N = 118 + 2/16$, что также соответствует выходной частоте $F = 1.18125$ ГГц.

Переходный процесс представлен на рисунке 4.

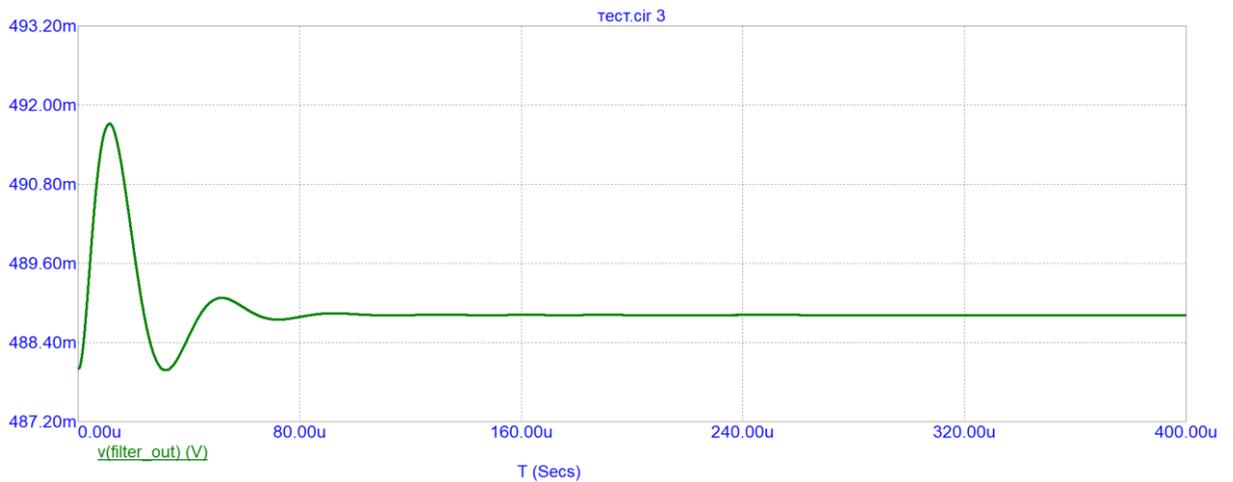


Рисунок 4. Переходный процесс кольца ИФАП с ДДПКД

Выходной спектр колебаний для кольца с ДДПКД представлен на рисунке 5.

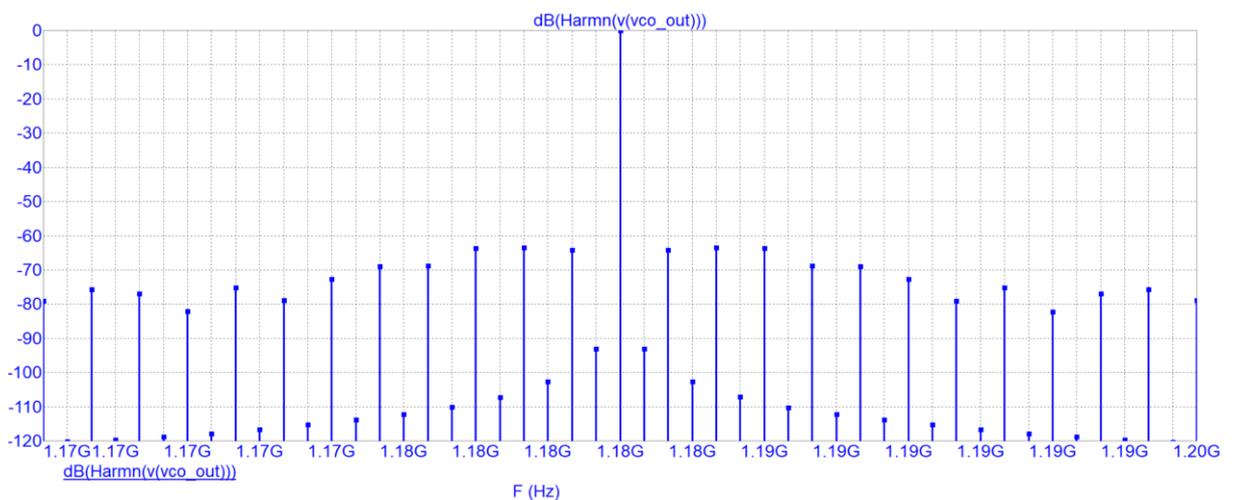


Рисунок 5. Спектр выходных частот в кольце с ДДПКД

Основная частота совпадает с требуемой, при этом частота опорного колебания подавлена на 73 дБ, а частота используемой дробиности 2/16 (125 КГц) подавлена на 63 дБ.

3. Заключение

Созданная модель кольца ИФАП учитывает нелинейности перестраиваемого генератора и фазового детектора, что позволяет проводить схемотехническое моделирование проектируемых устройств.

Список литературы

1. Никитин Ю. А. Цифроаналоговый синтез частот. Теория и схемотехника: [монография] / Ю. А. Никитин. – СПб.: Изд-во СПб ГУТ, 2018. – 367 с.