

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЬЦА ИФАП С НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ

Ю. А. Никитин¹, Г. А. Цыганков^{2*}

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

²Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация

*Адрес для переписки: uhbifka1@gmail.com

Аннотация

Рассматривается модель умножающего кольца импульсно-фазовой автоподстройки частоты в среде MicroCap11. При анализе используется нелинейная модель перестраиваемого генератора с характеристикой управления, задаваемой пользователем. В качестве импульсно-фазового детектора применен RS-триггер, счетчик импульсов в цепи отрицательной обратной связи реализован на JK-триггерах. Рассмотрены переходные процессы в кольце, а также спектр выходного колебания в установившемся (стационарном) режиме.

Ключевые слова

Кольцо ИФАП, спектр частот, гетеродин, ИФД, автоподстройка частоты.

Информация о статье

УДК 621.391

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 26.03.2019, принята к печати 30.12.19.

Ссылка для цитирования: Никитин Ю. А., Цыганков Г. А. Моделирование кольца ИФАП с нелинейностью // Информационные технологии и телекоммуникации. 2019. Том 7. № 4. С. 9–14. DOI 10.31854/2307-1303-2019-7-4-9-14.

MODELING PLL LOOP WITH NONLINEARITY

Y. Nikitin¹, G. Tsygankov^{2*}

¹The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

² Saint-Petersburg University, St. Petersburg, 199034, Russian Federation

*Corresponding author: uhbifka1@gmail.com

Abstract—A model of a pulse phase-locked loop multiplying ring in a MicroCap11 medium is considered. The analysis uses a nonlinear model of a voltage-controlled oscillator with a user-defined control characteristic. An RS-trigger is used as a pulse-phase detector, a pulse counter in the negative feedback circuit is implemented on JK-triggers. Transient processes in the ring, as well as the spectrum of the output oscillations in the steady (stationary) mode are considered.

Keywords—PLL loop, oscillations spectrum, voltage-controlled oscillator, pulse-phase detector, phase-locked loop.

Article info

Article in Russian.

Received 26.03.2019, accepted 30.12.19.

For citation: Nikitin Y., Tsygankov G.: Modeling PLL Loop with Nonlinearity // Telecom IT. 2019. Vol. 7. Iss. 4. pp. 9–14 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2019-7-4-9-14.

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

Рассмотрим структурную схему однопетлевого кольца ИФАП [1]. Схема представлена на рис. 1.

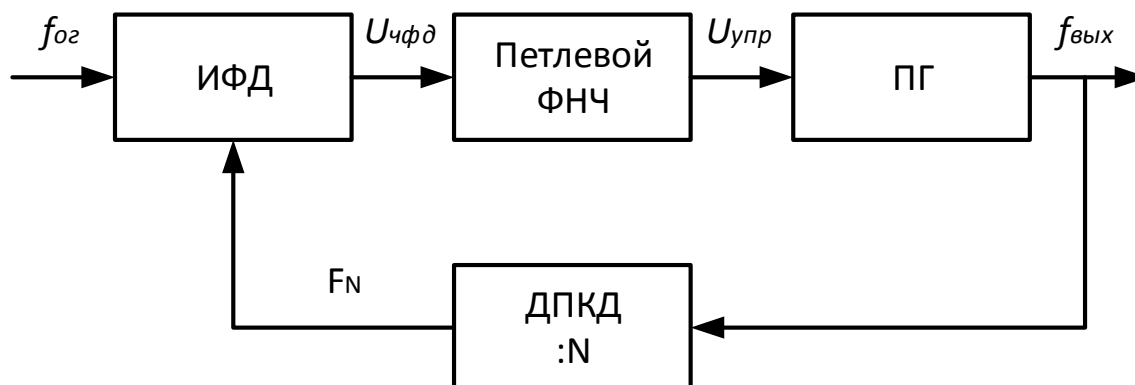


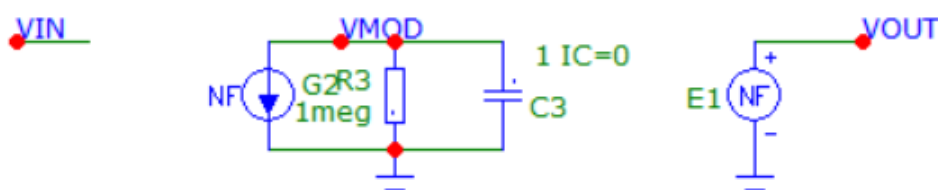
Рис. 1. Структурная схема кольца ИФАП

Поскольку частота на выходе генератора определяется производной по времени от аргумента косинуса, а напряжение на входе является функцией от времени, в схеме ПГ используется идеальный интегратор [2].

Макромодель нелинейного перестраиваемого генератора на основе источника тока, управляемого напряжением (ИТУН) показана на рис. 2.

$$I(VMOD) = -v(VIN)*AV1 - v(VIN)*v(VIN)*AV2 - v(VIN)*v(VIN)*v(VIN)*AV3$$

$$V(VOUT = VP*\text{COS}(2*PI*(F0*T + v(VMOD))))$$



Параметры:

VP - напряжение на выходе ПГ

F0 - начальная частота

AV1 - коэффициент частоты при x (Гц/В)

AV2 - коэффициент частоты при x² (Гц/В²)

AV3 - коэффициент частоты при x³ (Гц/В³)

Рис. 2. Макромодель ПГ

Частота генерации определяется по формуле:

$$F_{\text{ВЫХ}} = F_0 + a * U_{\text{ВХ}}^2 + b * U_{\text{ВХ}}^2 + c * U_{\text{ВХ}}^3,$$

где a, b, c и F_0 – коэффициенты, задаваемые пользователем.

Формулу можно изменять, меняя параметры ИТУН.

Делитель частоты реализован на JK-триггерах и обеспечивает деление частоты ПГ на $N = 64$ или на $N = 128$.

Импульсно-фазовый детектор (ИФД) выполнен на RS-триггере. Данный ИФД обеспечивает крутизну управляющей характеристики $F(\varphi_{\text{СТ}}) = 1/\pi$ [3]. В схеме с использованием ИФД в виде RS триггера фазовый набег до ФНЧ составляет 90°.

Петлевой фильтр нижних частот (ФНЧ) состоит из RC звеньев, пропорционально-интегрирующего и дифференцирующего звена и предназначен для фильтрации помехи с частотой сравнения в кольце ИФАП – рис. 3.

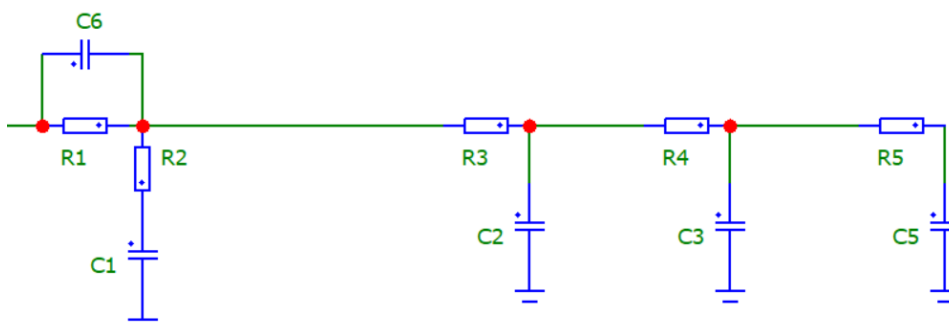


Рис. 3. Схема петлевого ФНЧ

Для примера рассмотрим кольцо со следующими параметрами:

$$F_{\text{ВЫХ}} = 4 \text{ МГц} + 8 \text{ МГц} * U_{\text{ВХ}} - \frac{U_{\text{ВХ}}^2}{8} \text{ МГц},$$

$$F_{\text{ОР}} = 120 \text{ кГц},$$

$$U = [0,2 \dots 3,3] \text{ В},$$

$$F_{\text{min}} = 4 \text{ МГц}, \quad F_{\text{max}} = 30,8 \text{ МГц},$$

$$\Delta F_{\text{ВЫХ}} = 26,8 \text{ МГц},$$

$$N = 64 \dots 128.$$

АЧХ и ФЧХ ФНЧ представлены на рис. 4 и 5 соответственно.

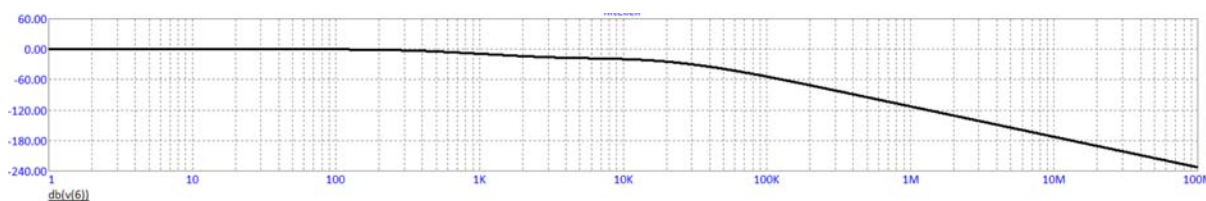


Рис. 4. АЧХ ФНЧ

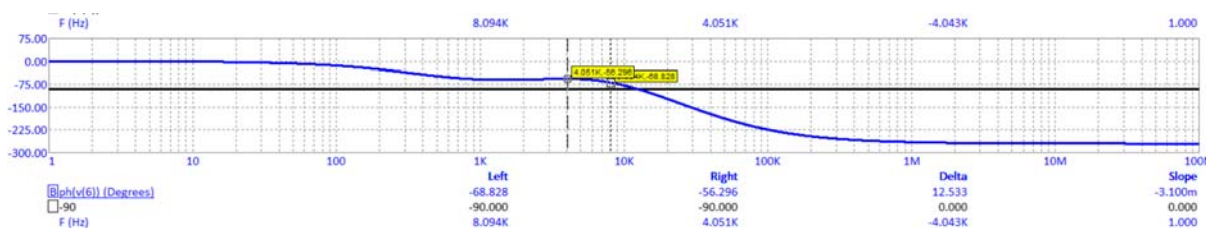


Рис. 5. ФЧХ ФНЧ

Сигнал частоты сравнения подавляется петлевым фильтром на 58 дБ. Запас по фазе фильтра составляет 22° и 34° при коэффициенте делителя $N = 64$ и 128 соответственно.

Сигнал с выхода ФНЧ после окончания переходного процесса представлен на рис. 6. В точке 1 происходит переключение делителя с $N = 64$ на $N = 128$. Время переходного процесса определяется по уровню $U(N \pm 0,5)$. Переходный процесс при переключении коэффициента деления составляет 740 мкс.

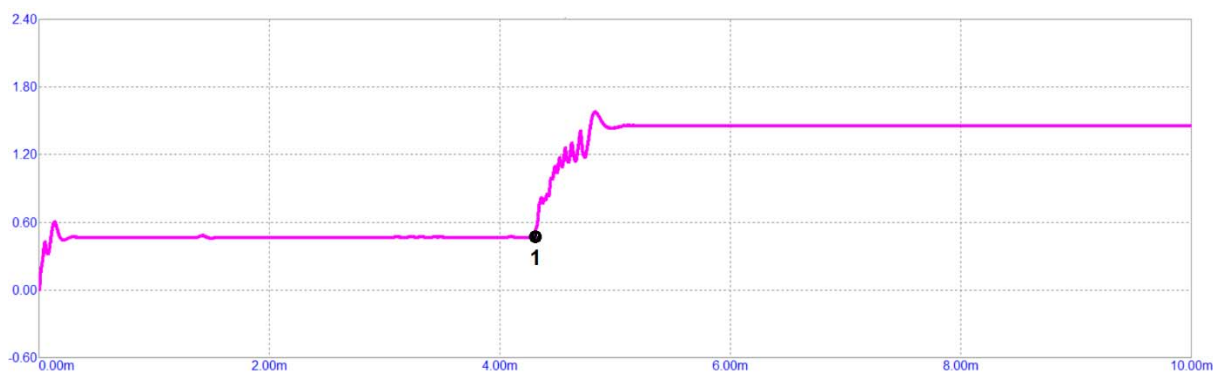
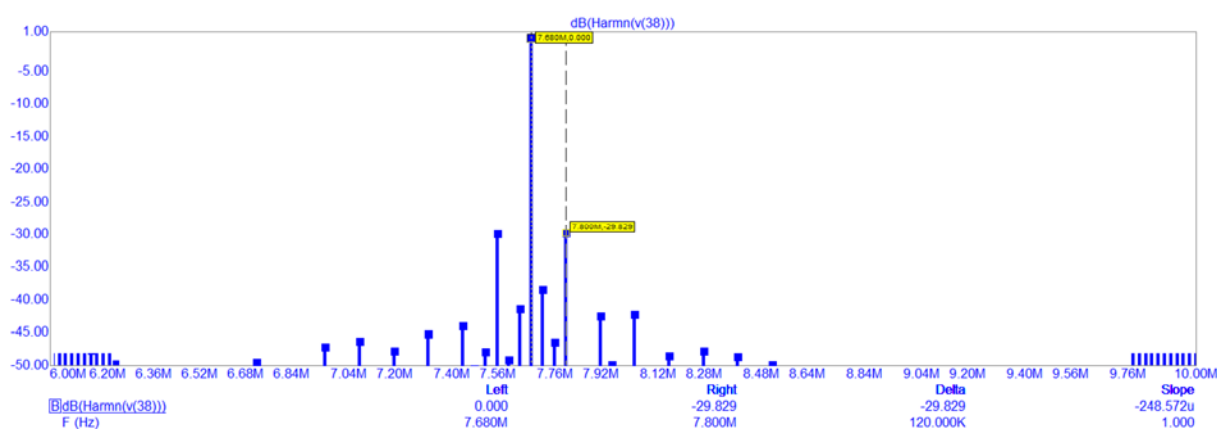
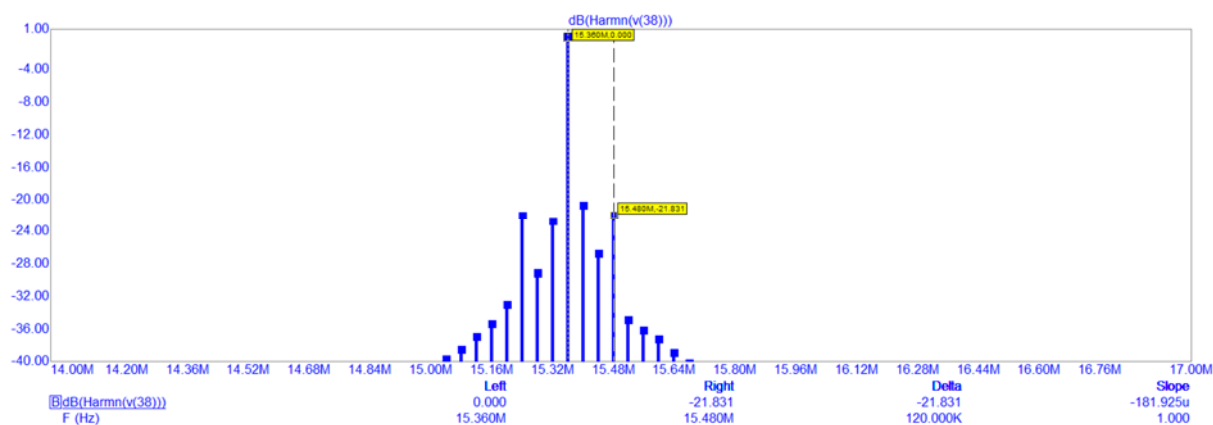


Рис. 6. Переходный процесс кольца ИФАП

Спектры выходной частоты генератора при разных коэффициентах деления N представлены на рис. 7 и 8.

Рис. 7. Спектр выходного сигнала при $N = 64$ Рис. 8. Спектр выходного сигнала при $N = 128$

На спектре частот выделяются частоты сравнения, отстоящие от основной (синтезируемой) частоты на $\pm F_{ог} = 120$ кГц.

Полученная модель позволяет эмулировать нелинейности разного рода и порядка.

Литература

1. Козлов В. И. Обзорный анализ направлений в частотном синтезе на основе ФАПЧ. 165 с. URL: <https://docplayer.ru/60975696-Obzornyy-analiz-napravleniy-v-chastotnom-sinteze-na-osnove-fapch.html>
2. Риле Ф. Стандарты частоты: принципы и приложения / Ф. Риле; пер. с англ. Н. Н. Колачевского. – М.: Физматлит, 2009. – 511 с.: ил.; ISBN 978-5-9221-1096-9 (в пер.)
3. Никитин Ю. А. Цифроаналоговый синтез частот. Теория и схемотехника, СПбГУТ. – СПб., 2018. 367 с. ISBN 978-5-89160-178-9.
4. Гершенкоп Д. И., Никитин Ю. А. Прецизионный опорный генератор микроволнового диапазона на кольце ИФАП // Электроника и микроэлектроника СВЧ. Сборник статей VI Всероссийской конференции. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2017. Т. 1. С. 260–264.

References

1. Kozlov V. I. Obzornyy analiz napravleniy v chastotnom sinteze na osnove FAPCh. 165 s. URL: <https://docplayer.ru/60975696-Obzornyy-analiz-napravleniy-v-chastotnom-sinteze-na-osnove-fapch.html>
2. Rile F. Standarty chastoty: printsipy i prilozheniya / F. Rile; per. s angl. N. N. Kolachevskogo. – M.: Fizmatlit. 2009. – 511 s.: il.; ISBN 978-5-9221-1096-9 (v per.)
3. Nikitin Yu. A. Tsifroanalogovyy sintez chastot. Teoriya i skhemotekhnika. SPbGUT. – SPb., 2018. 367 s. ISBN 978-5-89160-178-9.
4. Gershenkop D. I., Nikitin Yu. A. Pretsizionnyy opornyy generator mikrovolnovogo dia-pazona na koltse IFAP // Elektronika i mikroelektronika SVCh. Sbornik statey VI Vserossiyskoy konferentsii. SPb.: Izd-vo SPbGETU "LETI". 2017. T. 1. S. 260–264.

**Никитин
Юрий Александрович**

– кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация,
yuriyan@list.ru

**Цыганков
Григорий Антонович**

– студент, СПбГУ, Санкт-Петербург, 199034,
Российская Федерация, uhbifka1@gmail.com

Nikitin Yuri

– Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
SUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation,
yuriyan@list.ru

Tsygankov Gregory

– Student, SPbSU, St. Petersburg, 199034, Russian Federa-
tion, uhbifka1@gmail.com