

The operation mechanism of a frequencies synthesizer on the basis of self-oscillators with phase auto-adjust of frequency

Nurullin R.¹, Dolgov A.²

Механизм работы синтезатора частот на основе автогенераторов с фазовой автоподстройкой частоты

Нуруллин Р. Ю.¹, Долгов А. Н.²

¹Нуруллин Роман Юрьевич / Nurullin Roman – студент;

²Долгов Антон Николаевич / Dolgov Anton – студент,
кафедра систем автоматического управления и контроля,
факультет интеллектуальных технических систем,
Национальный исследовательский университет
Московский институт электронной техники, г. Зеленоград

Аннотация: в данной статье рассматриваются основные теоретические сведения о синтезаторах частот, автогенераторах с фазовой автоподстройкой частоты. А также объясняется механизм работы такого синтезатора частот в системах с высокой и сверхвысокой частотой.

Abstract: in this article are considered the main theoretical data on frequencies synthesizers, self-oscillators with phase auto-adjust of frequency. And also the operation mechanism of such frequencies synthesizer in systems with a high and super-high frequency.

Ключевые слова: синтезатор частот, автогенератор, фазовая автоподстройка частоты, генератор, управляемым напряжением.

Keywords: frequencies synthesizer, self-oscillator, phase auto-adjust of frequency, the generator controlled by tension.

Синтезатор частот (СЧ) – это радиоэлектронное устройство, генерирующее электромагнитные колебания высокой стабильности в заданном диапазоне частот $f_{min} - f_{max}$ с заданным шагом дискретной перестройки Δf . В радиопередатчиках синтезаторы частот входят в состав возбuditеля, образуя несущую частоту колебаний.

Принципы работы синтезаторов частот различны, однако в диапазоне СВЧ они выполняются на основе регулируемых по частоте автогенераторов, охваченных цепью фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Выходная частота синтезатора частот определяется генератором, управляемым напряжением (ГУН), а стабильность – низкочастотным эталонным генератором высокой стабильности [2].

При проектировании синтезаторов частот необходимо обеспечить следующие основные технические требования:

- 1) диапазон генерируемых частот $f_{min} - f_{max}$;
- 2) шаг сетки частот (шаг дискретной перестройки) Δf ;
- 3) мощность генерируемых колебаний P_r ;
- 4) относительную нестабильность генерируемой частоты $\Delta f/f$;
- 5) относительный уровень шума выходных колебаний в зависимости от частоты шумовых флуктуаций F :

$$\alpha(F) = 101g \frac{P_{ш}(F)}{P_r} \text{ [дБ/Гц]},$$

где $P_{ш}(F)$ – мощность шума в полосе 1 Гц при отстройке на частоту F относительно генерируемой частоты;

- 6) относительную мощность побочных колебаний:

$$\gamma = 101g \frac{P_{поб}}{P_r} \text{ [дБ]},$$

- 7) время перестройки с одной частоты на другую τ .

Диапазон частот $f_{min} - f_{max}$ создается возможностью электронной перестройки ГУНа, дискрет Δf зависит от схемы и характеристик синтезатора. Относительная нестабильность частоты определяется эталонным генератором, а шумы и мощность побочных составляющих зависят от многих характеристик синтезатора, значимую роль при этом играет фильтр системы ФАПЧ.

Функциональная схема синтезатора частот на основе автогенераторов с ФАПЧ изображена на рис. 1. Частота колебаний выходного напряжения СЧ равна частоте ГУНа, стабилизированной низкочастотным эталонным генератором.

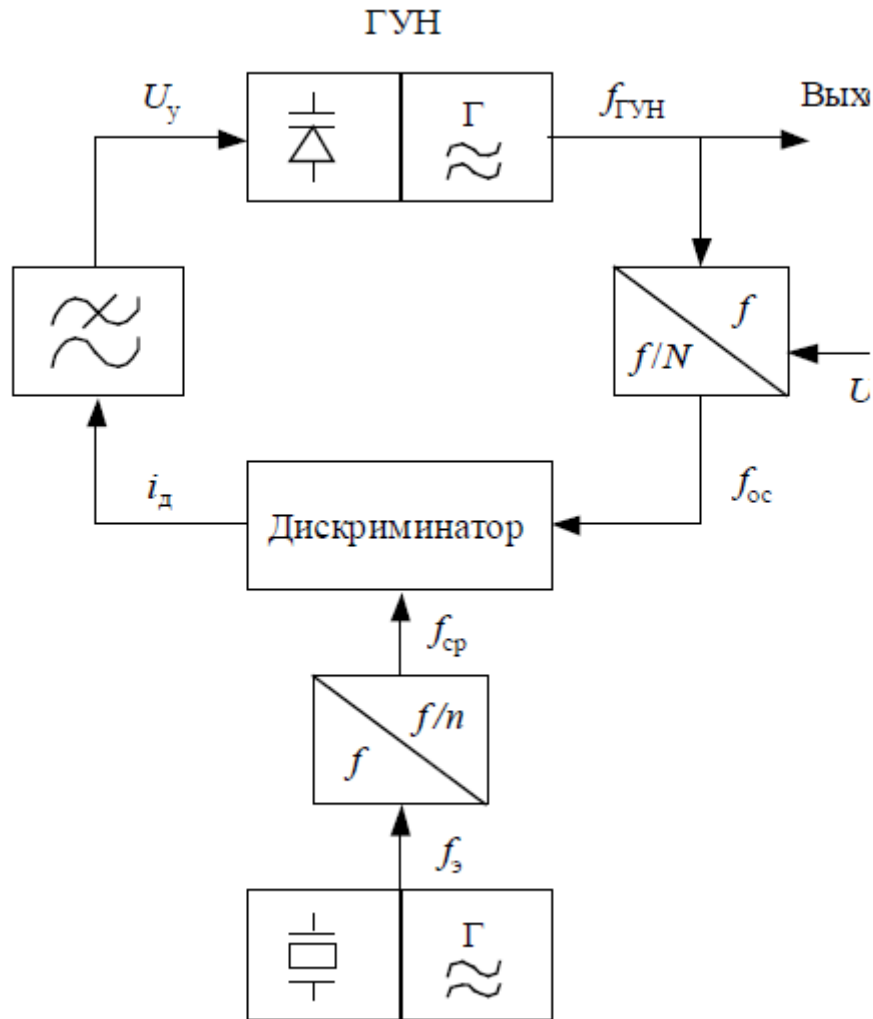


Рис. 1. Функциональная схема синтезатора частот

Обычно ГУН выполняют в виде автогенератора, в колебательный контур которого включен варикап с целью электрической подстройки и перестройки частоты. Частота колебаний ГУНа $f_{ГУН}$ делится в N раз, а частота эталонного генератора $f_{Э}$ может быть поделена в n раз, причем $N > n$.

В режиме синхронизации частоты выполняется равенство:

$$\frac{f_{ГУН}}{N} = \frac{f_{Э}}{n} = f_{ср} \quad (1)$$

На $f_{ср}$, называемой частотой сравнения, происходит сравнение частот и фаз двух колебаний в дискриминаторе. При одних и тех же частотах режим синхронизации остается прежним.

Если имеется различие в частотах двух сравниваемых колебаний, то на выходе дискриминатора возникает ошибка, который на фильтре нижних частот создает управляющее напряжение, которое подводится к варикапу ГУНа. В результате частота изменяется так, чтобы было получено равенство (1), и ошибка исчезнет.

Коэффициент деления N частоты ГУНа существенно выше коэффициента деления n частоты эталонного генератора. В связи с этим высокая частота $f_{ГУН}$ стабилизируется низкой частотой:

$$f_{Э} = \frac{n}{N} f_{ГУН}$$

В качестве эталонных обычно применяют кварцевые генераторы.

В синтезаторах частот делитель частоты на N выполняют на элементах с регулируемым коэффициентом деления – делителях с переменным коэффициентом деления (ДПКД). Для того чтобы изменить выходную частоту, нужно установить другой коэффициент деления. Когда коэффициент деления ДПКД равен N , частота колебаний ГУНа

$$f_{ГУН} = N \cdot f_{ср}$$

Если коэффициент деления $N + 1$, то частоты на обоих входах дискриминатора уже не совпадают:

$$\frac{f_{ГУН}}{N+1} \neq f_{ср}$$

в результате вырабатывается ошибка, которая подстраивает ГУН таким образом, чтобы восстановилось равенство (1.1):

$$\frac{f'_{ГУН}}{N+1} = f_{ср}.$$

Новая частота ГУНа определяется как

$$f'_{ГУН} = N \cdot f_{ср} + f_{ср} = f_{ГУН} + f_{ср}.$$

Таким образом, вновь устанавливается режим синхронизации, но уже при новой выходной частоте синтезатора. Шаг перестройки, следовательно, равен частоте сравнения.

Назначение отдельных элементов синтезатора частот следующее:

- 1) генератор, управляемый напряжением, задает диапазон выходных частот синтезатора;
- 2) эталонный генератор стабилизирует частоту ГУНа;
- 3) дискриминатор вырабатывает ошибку при несовпадении частот и фаз колебаний;
- 4) фильтр нижних частот формирует напряжение, регулирующее частотой ГУНа, и отфильтровывает высокочастотные составляющие этого напряжения, которые могут вызвать появление побочных элементов в спектре выходных колебаний синтезатора;

5) делитель с переменным коэффициентом деления N снижает частоту ГУНа, перемещая ее в тот диапазон, где несложно выполнить автогенератор высокой стабильности частоты и предоставляет возможность для дискретной перестройки выходной частоты синтезатора;

6) делитель с коэффициентом n понижает частоту эталонного генератора с целью уменьшения шага сетки частот синтезатора.

7) В состав синтезатора частот входят два автогенератора: эталонный со стабильной частотой f_3 и перестраиваемый – ГУН с частотой $f_{ГУН}$, зависящей от управляющего напряжения U_y .

8) Автогенератор содержит колебательную систему, в которой возбуждаются гармонические колебания, активный элемент (АЭ), преобразующий энергию постоянного электрического поля источника питания в энергию колебаний, цепь обратной связи, служащую для синхронизации поступления энергии в колебательную систему от АЭ с существующими колебаниями, и нагрузку.

9) В качестве АЭ обычно применяют биполярные или полевые транзисторы. Колебательную систему выполняют на элементах с сосредоточенными параметрами (как правило, микрополосковых). В стабильных автогенераторах в колебательную систему включают стабилизирующие резонаторы – кварцевые на ВЧ, диэлектрические на СВЧ. В ГУНах в колебательную систему включают варикап [1].

Классическими являются трехточечные схемы автогенераторов, где три реактивных элемента колебательной системы соединены тремя электродами транзистора треугольником – на ВЧ (рис. 2, а) или звездой – на СВЧ (рис. 2, б).

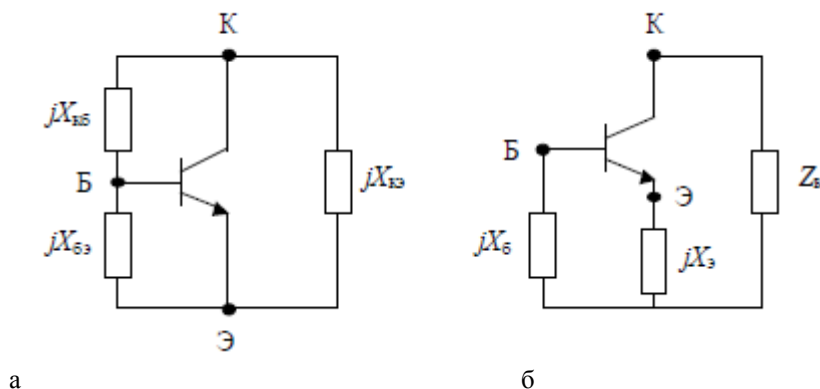


Рис. 2. Трехточечные схемы автогенераторов:
а – треугольная; б – звездообразная

В трехточечных схемах треугольного типа для создания положительной обратной связи, которая приводит к возбуждению колебаний, требуется выполнение следующих условий:

- а) мнимые сопротивления $X_{бэ}$, $X_{кэ}$, должны быть одного знака (оба емкостные или оба индуктивные);
- б) мнимое сопротивление $X_{кб}$, должно быть противоположного знака.

В звездообразных схемах сопротивления $X_э$ и $X_б$ должны быть разных знаков.

Большинство автогенераторов ВЧ выполняют по емкостной трехточечной схеме Колпитца, изображенной на рис. 3. Колебательная система образована емкостями C_1 , C_2 и индуктивностью L ; $R_{кор}$ – корректирующее сопротивление, уменьшающее флуктуации частоты автогенерации, обусловленные фазовым сдвигом между колебаниями напряжения на базе $U_б(t)$ и коллекторного тока $i_k(t)$.

На схеме рис. 3б, сопротивления R_1 , R_2 задают фиксированное смещение на базу, $R_{бл}$ – блокировочное сопротивление, препятствующее протеканию переменного тока через источник питания, $R_{см}$ – сопротивление автосмещения.

Комбинируя схемы с рис. 3, а, б и заземляя один из электродов транзистора по переменному и постоянному токам, можно составлять различные электрические принципиальные схемы автогенераторов [1].

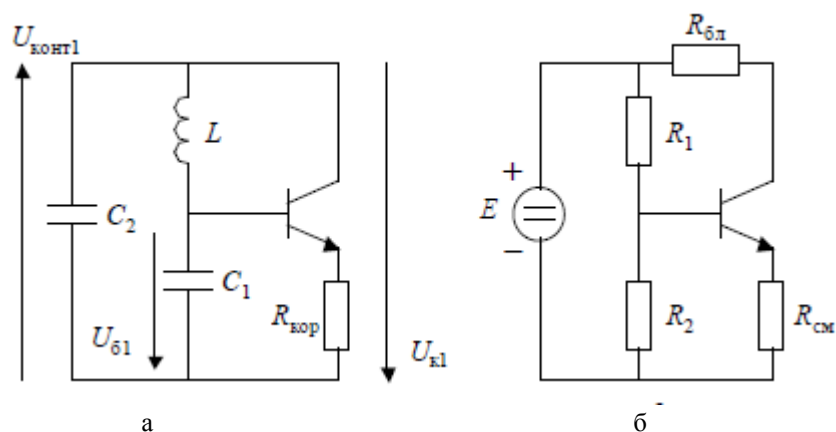


Рис. 3. Схема Колпитца (емкостная трехточечная):
 а – эквивалентная схема по переменному току;
 б – эквивалентная схема по постоянному току

Литература

1. Романюк А. А. Синтезаторы частот на основе автогенераторов с ФАПЧ: уч. пособие. М.: МИЭТ, 2005. 100 с.
2. [Электронный ресурс]: Цифровая техника в радиосвязи. Режим доступа: <http://digteh.ru/WLL/synt.php/> (дата обращения: 13.12.2016).