

УДК 621.373-022.11

## РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ УСТАНОВКИ ДЕВИАЦИИ ЧАСТОТЫ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ВАРИКАПОМ ГЕНЕРАТОРА

ФЕДОРИНЧИК М. П.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: [fedorinchik@bsuir.by](mailto:fedorinchik@bsuir.by)

**Аннотация.** На основе аппроксимации барьерной емкости варикапа получены выражения для величины девиации и её изменения при перестройке  $LC$  – генератора. Определена величина погрешности девиации и предложен алгоритм её снижения. Приведены результаты расчета погрешности на примере кремниевого варикапа.

**Abstract.** Based on the approximation of the barrier capacitance of the varicap, expressions were obtained for the magnitude of the deviation and its change during the restructuring of the LC generator. The value of the deviation error is determined and an algorithm for its reduction is proposed. The results of calculating the error on the example of a silicon varicap are presented.

### Введение

При создании источников сигналов с частотной модуляцией (ЧМ) обычно применяются генераторы, управляемые напряжением (VCO, Voltage Controlled Oscillator) [1]. Такие модуляторы на базе высокочастотных  $LC$  - генераторов применяются там, где частота несущей должна равняться передаваемой частоте. Управление частотой производится посредством изменения емкости варикапа, включенного в  $LC$  контур. Однако с изменением частоты генератора происходит изменение и величины модуляции. В стандартных генераторах сигналов часто идут путем уменьшения диапазона перестройки, чтобы избавиться от этого недостатка. Поэтому целесообразно рассмотреть связь между величиной девиации частоты и диапазоном перестройки варикапа. На основании этой связи можно найти алгоритм компенсации погрешности девиации и снижения её до необходимой величины.

### Анализ погрешности установки девиации в перестраиваемом по частоте генераторе

Зависимость емкости варикапа  $C$  от величины приложенного напряжения описывается известным [2] выражением:

$$C = \frac{C_0}{(1+U/\varphi)^n}, \quad (1)$$

где  $C_0$  – емкость варикапа при нулевом напряжении  $U$ ;  $\varphi$  – контактная разность потенциалов, равная 0,8 – 0,9 В для кремния и 0,35 – 0,4 В для германия;  $n$  – показатель степени, лежащий в пределах 0,3 – 0,5.

Частота генерации сигнала  $f_0$  в контуре, образованном индуктивностью  $L$  и емкостью  $C$  равна:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} (LC)^{-\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Подставляя (1) в (2) можно получить:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} (LC_0)^{-\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{U}{\varphi}\right)^{\frac{n}{2}}. \quad (3)$$

Для определения величины частотной модуляции, возникающей в контуре с варикапом  $C$  под действием напряжения  $U$  найдем частную производную:

$$\frac{\partial f_0}{\partial U} = \frac{(LC_0)^{-\frac{1}{2}}}{4\pi\varphi} n \left(1 + \frac{U}{\varphi}\right)^{\frac{n}{2}-1}. \quad (4)$$

Переходя к конечным приращениям, можно вычислить величину девиации  $\Delta f_0$  в следующем виде:

$$\Delta f_0 = \frac{(LC_0)^{-\frac{1}{2}}}{4\pi\varphi} n \left(1 + \frac{U}{\varphi}\right)^{\frac{n}{2}-1} \Delta U. \quad (5)$$

С учетом того, что амплитуда модулирующего сигнала  $U_m$  равна величине  $\Delta U$ , можно записать:

$$\Delta f_0 = \frac{(LC_0)^{-\frac{1}{2}}}{4\pi} \cdot \frac{U_m}{\varphi \left(1 + \frac{U}{\varphi}\right)^{1-\frac{n}{2}}}. \quad (6)$$

Последнее выражение показывает, что, для получения постоянной величины девиации частоты  $\Delta f_0$  второй сомножитель в (6) должен при перестройке контура оставаться неизменным.

### Разработка алгоритма снижения погрешности величина девиации

На практике условие постоянства второго сомножителя в (6) можно обеспечить путем аппроксимации нелинейной зависимости второго сомножителя в виде многочлена [3]:

$$\alpha(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_nx^n. \quad (7)$$

Для простоты практической реализации, выражение (6) ограничим двумя первыми слагаемыми. Тогда числитель  $U_m(U)$  и знаменатель должны быть представлены линейными уравнениями относительно напряжения  $U$ :  $K(U) = aU + b$ , где  $a$  и  $b$  – постоянные коэффициенты.

В этом случае идеальное значение девиации частоты будет равно:

$$\Delta f_{0 \text{ ид}} = \frac{n(LC_0)^{-\frac{1}{2}}}{4\pi} \cdot \frac{U_m}{(aU+b)}. \quad (8)$$

Относительная погрешность установки девиации в реальном устройстве равна:

$$\delta = \frac{\Delta f_{0 \text{ ид}} - \Delta f_0}{\Delta f_{0 \text{ ид}}} = 1 - \frac{aU+b}{\varphi \left(1 + \frac{U}{\varphi}\right)^{1-\frac{n}{2}}}. \quad (9)$$

Относительная погрешность установки девиации в диапазоне изменений напряжения  $U$  может быть минимизирована выбором коэффициентов  $a$  и  $b$ , рассчитанных с помощью метода равномерного приближения [3].

В качестве примера, была определена величина погрешности установки девиации в генераторе с варикапом, перестраиваемом напряжением в пределах от 5 до 12 вольт, для трех значений  $n$ , равных 0,3; 0,4; 0,5 и значения  $\varphi = 0,8$  вольт. При  $n = 0,3$ , значения  $a$  и  $b$  равны 0,597 и 1,35 вольт. При  $n = 0,4$ , значения  $a$  и  $b$  равны 0,5 и 1,43 вольт. При  $n = 0,5$ , значения  $a$  и  $b$  равны 0,417 и 1,48 вольт.

Полученные значения относительной погрешности установки уровня частотной модуляции не превысили +0,4% и -1,2%.

### Заключение

В результате анализа математической модели  $LC$  – контура с варикапной перестройкой, получены выражения для расчета величины девиации и её погрешности, как функции параметров варикапа, индуктивности контура, величины модулирующего сигнала и напряжения управления частотой настройки контура. Предложен алгоритм минимизации погрешности величины девиации в диапазоне перестройки варикапа. Рассмотрен пример алгоритма в удобном для практической реализации виде. Приведены количественные результаты полученной погрешности. Приведенный материал можно рекомендовать как для практического применения, так и в учебном процессе как пример методики аналитического расчета аналогичных схем.

### Список использованных источников

1. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника : в 2 т. Т.2. Москва : ДМК Пресс, 2015. – 942 с.
2. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника : в 2 т. Т.1. Москва : ДМК Пресс, 2015. – 828 с.
3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. М.: Наука, 1964. – 608 с.