

УДК 621.373.42:621.396.8

В.В. Сидоров

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО ЧАСТОТЕ УПРАВЛЯЕМОГО АВТОГЕНЕРАТОРА НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

В статье получены результаты переходных процессов в управляемых автогенераторах на биполярном транзисторе при различных решениях дифференциального уравнения автогенератора. Показаны различия переходных процессов при разных решениях дифференциального уравнения автогенератора. Получена зависимость изменения частоты транзисторного автогенератора в переходном режиме с учетом нелинейной емкости р-п перехода транзистора.

Ключевые слова: автогенератор, транзистор, переходная характеристика.

Введение

Постоянное совершенствование радиотехнических систем и измерительных комплексов требует создания устройств прецизионного формирования сложных сигналов с оперативно изменяемыми па-

раметрами. Это обстоятельство обуславливает более широкое использование цифроаналоговых возбудителей, обеспечивающих формирование радиосигналов с повышенной стабильностью и гибкостью управления параметрами.

Основным элементом аналоговой части цифроаналогового возбудителя является управляемый по частоте генератор, от характеристик которого в значительной степени зависит стабильность частотно-временной структуры формируемых сигналов.

Цель статьи: Объективно оценить характеристики генераторов на базе биполярных транзисторов как объектов управления формирователей сложных сигналов. Показать различие существующих методов оценки различий переходных характеристик управляемых автогенераторов на базе биполярных транзисторов.

Анализ литературы. В большинстве работ, посвященных исследованию автогенераторов, основное внимание уделяется анализу условий самовозбуждения, установления амплитуды колебаний, устойчивости стационарного режима, а также изменений амплитуды и частоты колебаний в стационарном режиме при изменении постоянных напряжений смещений на электродах, параметров эквивалентной колебательной системы и цепи автосмещения [1, 2]. Меньшее внимание уделяется анализу процесса установления частоты и исследованию инерционных свойств управляемых автогенераторов. При этом полученные в [2] соотношения для переходного режима, выведенные при достаточно общих предположениях, весьма полно учитывают влияние изменяющихся в переходном режиме активных составляющих проводимостей и практически не учитывают влияние изменяющихся реактивных составляющих этих проводимостей. Последние же оказывают определяющее влияние на частоту автоколебаний в переходном режиме. Таким образом, необходимо рассмотреть процесс установки частоты с учетом изменяющейся реактивной нелинейной емкости коллекторного р-п-перехода транзистора и эквивалентной реактивной проводимости нелинейного активного элемента (транзистора) как источника реактивной мощности.

Уравнения, полученные в [3] и [4], практически совпадают с известным укороченным уравнением первого приближения для автогенератора томсоновского типа и дают известный аperiodический закон установления амплитуды $a(\epsilon\tau)$ колебаний

$$a(\epsilon\tau) = \frac{a_{ст}}{\sqrt{1 + (n_0^2 - 1)\exp(-\epsilon\tau)}} \quad (1)$$

где $n_0 = a_{ст}/a_0$; $a_{ст} = 2$ – стационарная амплитуда; a_0 – начальное значение амплитуды автоколебаний.

Отличие уравнения [4] от известного укороченного уравнения второго приближения для фазы [3] состоит в наличии дополнительной поправки по фазе первого порядка малости, что объективно отражает более сильное влияние нелинейных емкостей варактора и коллекторного р-п-перехода транзистора на характер установления частоты колебаний и выбеги частоты в переходном режиме. В частности, из [4] (22) вытекает выражение, описывающее процесс установления частоты в переходном режиме

$$\begin{aligned} \omega(\epsilon\tau)/\omega_0 &= \\ &= 1 + \epsilon \frac{3a^3(\gamma_1\beta_1 + \gamma_2\beta_2)}{32} - \epsilon^2 \left(\frac{1}{8} - \frac{a^2}{8} + \frac{7a^4}{256} - \frac{\gamma a^4}{16} \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Изложение основного материала

Изменения частоты в процессе установления колебаний в виде зависимостей $\omega(\epsilon\tau)/\omega_0$, рассчитанных с использованием (2), приведены на рис. 1 (кривые 1, 2 для $g_0R = 2$ и $n_0 = 2; 40$). Здесь же для тех же начальных условий приведены результаты решения дифференциальных уравнений автогенератора на биполярном транзисторе (кривые 3 и 4 рис. 1), полученные в [3].

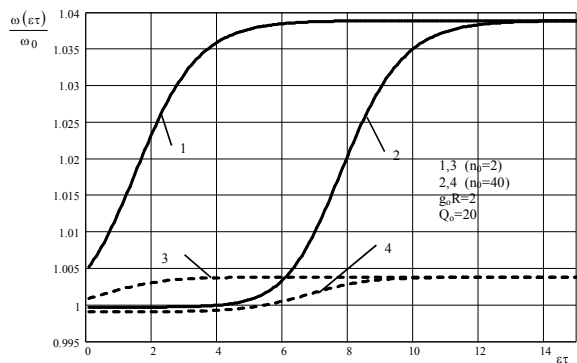


Рис. 1. Графики изменения частоты в переходном режиме

Как видно из сопоставления графиков на рис. 1, выбеги частоты (2) транзисторного автогенератора значительно больше, чем полученные в [3]. Это связано с более полным учетом влияния нелинейных емкостей варактора и коллекторного р-п-перехода биполярного транзистора. В то же время основные закономерности изменений частоты в переходном режиме при изменении начальных условий возбуждения колебаний в целом совпадают.

Для анализа инерционных свойств автогенератора на биполярном транзисторе как объекта управления при частотной модуляции наиболее принципиальным является определение параметров нормированных переходных характеристик H_ω . Несмотря на разнообразие типов автогенераторов их нормированные переходные и импульсные переходные характеристики для частоты достаточно точно аппроксимируются экспонентой с запаздыванием [5]:

$$\begin{aligned} H_\omega(t) &= [1 - \exp\{-\alpha_\omega(t - t_3)\}] \cdot I(t - t_3); \\ h_\omega(t) &= H'_\omega(t) = \alpha_\omega \cdot \exp\{-\alpha_\omega(t - t_3)\} \cdot I(t - t_3), \end{aligned} \quad (3)$$

где $\alpha_\omega = 1/\tau_\omega$, τ_ω и t_3 – постоянная времени установления частоты и эквивалентное время запаздывания, которые находятся в результате аппроксимации.

На рис. 2 для одних и тех же условий ($Q_0 = 20$; $g_0R = 2$ при $n_0 = 2$ и 40) приведены нормированные переходные характеристики по частоте $H_\omega(\epsilon\tau)$ для транзисторного автогенератора, рассчитанные в работе [3] (кривые 3 и 4) и кривые 1,2, полученные автором в результате решения уравнения [4] (16).

Как видно, зависимости $N_{\omega}(\varepsilon\tau)$ для сравниваемых автогенераторов близки по характеру и скорости нарастания. При этом полученные автором зависимости $N_{\omega}(\varepsilon\tau)$ (кривые 1,2 рис. 2), заметно отличаются по величине запаздывания от приведенных в [3]. Они более точно описывают характер и параметры переходного процесса по частоте, поскольку в исходном уравнении [4] (15) адекватно отражен механизм неизохронности управляемых автогенераторов.

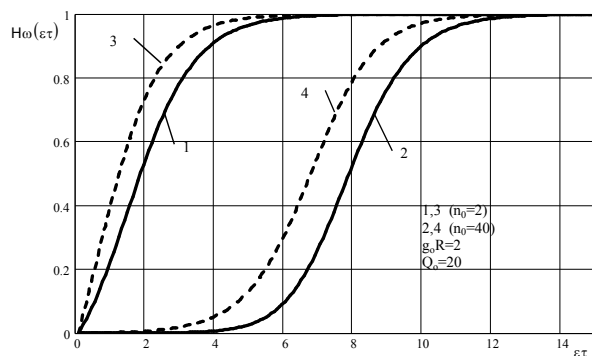


Рис. 2. Нормированные переходные характеристики по частоте

Как видно из графиков, процесс установления частоты автоколебаний имеет аperiodический характер для любых значений n_0 . Начальное запаздывание процесса установления колебаний существенно зависит от начальных условий n_0 и коэффициента регенерации g_0R . Для любых относительных уровней $N_{\omega}(\varepsilon\tau)$ и значений n_0 время установления частоты больше времени установления амплитуды.

Влияние параметров n_0 и g_0R на запаздывание установления частоты по отношению к времени установления амплитуды $\Delta\mu_3 = \frac{\Delta t_3}{t_0} = \mu_{N_{\omega}} - \mu_{N_U}$ для относительного уровня $N_{\omega} = N_U = 0,975$ показано на рис. 3 (для $Q_0 = 20$). Как видно, величина $\Delta\mu_3$ увеличивается с ростом n_0 и уменьшается с возрастанием коэффициента регенерации g_0R .

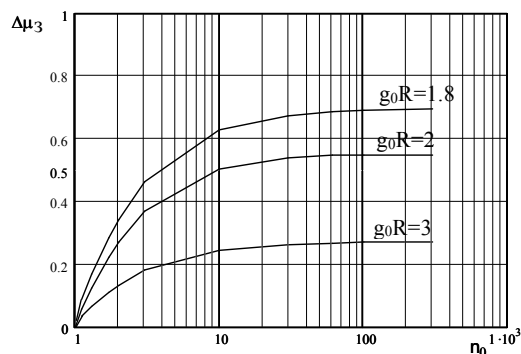


Рис. 3. Графики зависимости запаздывания установления частоты от начальных условий

Зависимости выбега частоты от параметра n_0 для различных значений g_0R , рассчитанные по соотношению [3]

$$W = \frac{\Delta\omega_B}{\omega_0} Q_0^2 = [\delta\omega_{U_{cr}} - \delta\omega_U(0)] Q_0^2,$$

приведены на рис. 4 для $g_0R = 2$ и $g_0R = 3$ соответственно при $Q_0 = 20$ и 50 . Видно, что с ростом g_0R и n_0 выбеги частоты увеличиваются. Однако уже при $n_0 > 4$ величина выбега частоты практически не зависит от параметра n_0 и определяется только значениями g_0R и Q_0 .

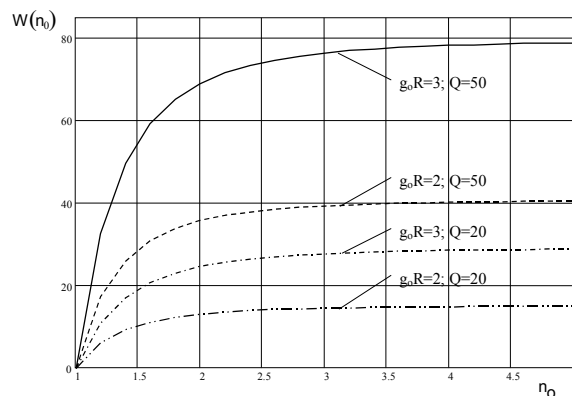


Рис. 4. Графики зависимости выбегов частоты от начальных условий при различных значениях добротности и коэффициента регенерации

Таким образом, для уменьшения $\Delta\mu_3$ значение g_0R необходимо увеличивать, а для уменьшения выбега частоты этот параметр необходимо уменьшать. Компромиссной является величина $g_0R \approx 2$, соответствующая максимуму мощности стационарных колебаний.

Выводы

Проведенный теоретический анализ процесса установления частоты хорошо согласуется с результатами экспериментальных исследований. Использование соотношения, учитывающего изменяющуюся реактивную нелинейную емкость коллекторного р-п-перехода транзистора, позволяет уже на этапе проектирования цифроаналоговых устройств определить потенциальные возможности разрабатываемых формирователей по скорости и диапазону изменения параметров синтезируемых колебаний.

Список литературы

1. Конторович М.И. *Нелинейные колебания в радиотехнике* / М.И. Конторович. – М.: Радио и связь, 1973. – 360 с.
2. Челноков О.А. *Транзисторные генераторы синусоидальных колебаний* / О.А. Челноков. – М.: Радио и связь, 1975. – 260 с.
3. Гомозов В.И. *Нестационарные процессы в автогенераторах (Переходные процессы и флуктуации частоты)* / В.И. Гомозов, В.А. Лошаков, С.В. Вохминцев; под ред. В.И. Гомозова. – Х.: ШТРИХ, 2003. – 260 с.
4. Сидоров В.В. *Уточнение математической модели управляемых генераторов как объектов управления в цифроаналоговых возбудителях сложных сигналов* / В.В. Сидоров // Системы управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НУ, 2009. – Вип. 2 (10). – С. 71-75.

5. Гомозов В.И. К вопросу об установлении частоты автоколебаний / В.И. Гомозов, Н.Д. Колпаков // Республіканський міжвед. сб. «Радиотехніка». – Х.: ХГУ, 1976. – Вип. 38. – С. 37-41.

Поступила в редколлегию 22.07.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.И. Сухаревский, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПО ЧАСТОТІ КЕРОВАНОВОГО АВТОГЕНЕРАТОРА НА БАЗІ БІПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

В.В. Сидоров

В статті отримані результати аналізу перехідних процесів у керованих автогенераторах на біполярному транзисторі на базі різних рішень дифференційного рівняння автогенератора. Показана різниця перехідного процесу при різних рішеннях дифференційного рівняння автогенератора. Отримано залежність зміни частоти транзисторного автогенератора у перехідному режимі з урахуванням нелінійної ємності р-п переходу транзистора.

Ключові слова: автогенератор, транзистор, перехідна характеристика.

ANALYSIS TRANSFER CHARACTERISTIC OF FREQUENCY OF CONTROLLED GENERATOR ON BIPOLAR TRANSISTOR

V.V. Sidorov

In this article to get result transitional process in controlled generator on bipolar transistor autogenerator differentiation equation is given. Display difference transfer characteristic autogenerator differentiation equation is given. Be after dependence overpatching frequency transistor autogenerator in transient behavior taking into account nonlinear capacity p-n diode.

Keywords: autogenerator, transistor, transfer characteristic.