

Компьютерное моделирование устройства для управления временным положением импульсного сигнала с использованием элементной базы позволяющей реализовать временную задержку сигнала в наносекундном диапазоне

А.А. Синичкин, Ю.А. Никитин

СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Аннотация: в работе предложена схемотехническое решение управляемого устройства задержки наносекундного диапазона, задачей которого является управление временным положением импульсного сигнала с использованием доступной элементной базы. Для моделирования был использован SPICE-образный пакет Micro-cap. Для подачи сигнала переполнения на УУЗ используется модель конечного автомата (КА) построенного на основе делителя частоты с дробно-переменным коэффициентом деления и накапливающего сумматора.

Ключевые слова: Управляемое устройство задержки, конечный автомат, накапливающий сумматор, делитель с дробно-переменным коэффициентом деления, Micro-cap

1. Введение

Целью работы было исследование полученных моделей УУЗ наносекундного диапазона, на доступной элементной базе. Необходимо произвести моделирование и расчёт полученных структур в SPICE-образном пакете Micro-cap и сравнить полученные характеристики.

Опираясь на первоначальную модель ГПН [2] ключом напряжения, хранирующей емкостью, идеальным генератором стабильного тока и диодом Шоттки в качестве ограничителя пилообразного напряжения, была предложена модель ГПН на основе реального генератора стабильного тока на биполярном транзисторе – рис.1. Текущая модифицированная ГПН модель имеет достаточно высокий уровень паразитных ёмкость внося критическое влияние на конечную линейность пилообразного напряжения В предложенном виде использовать такую модель ГПН не представляется возможным, так как сигнал будет задержан на неправильную составляющую, тем самым, временная задержка сигнала наносекундного диапазона будет иметь ошибку – рис. 2.

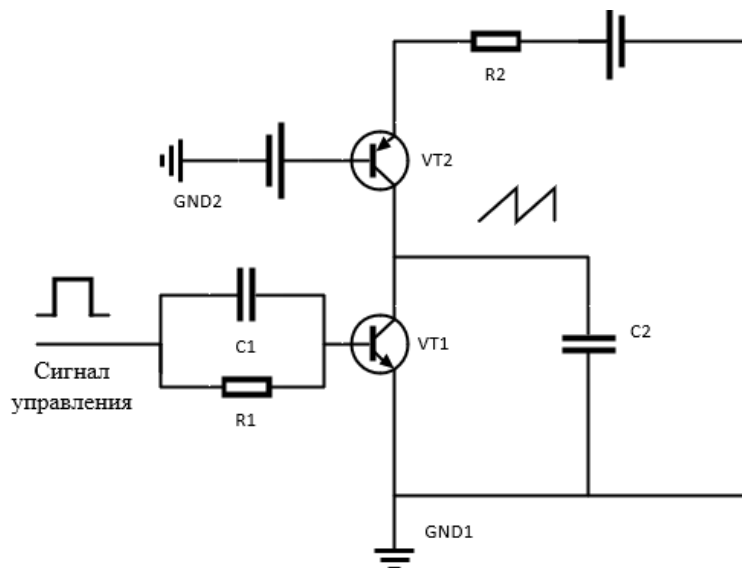


Рисунок 1. Схема генератора пилообразного напряжения, построенного на генераторе стабильного тока, на биполярном транзисторе и ключе напряжения

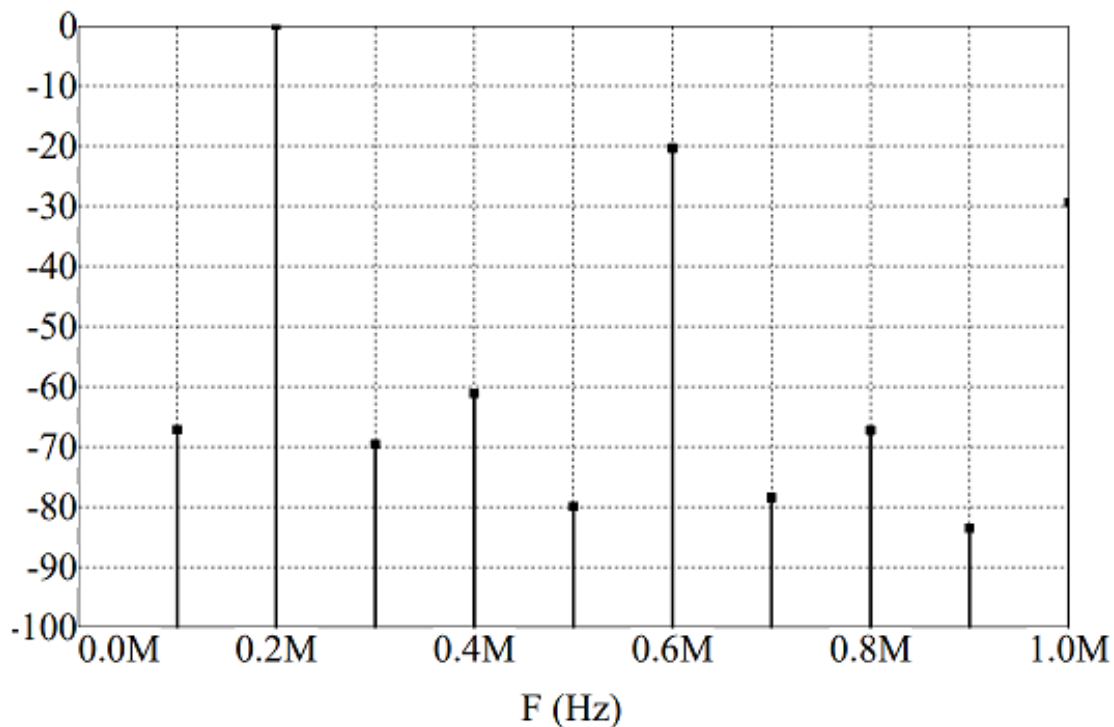


Рисунок 2. Спектр выходного колебания КА с УУЗ при частоте задающего генератора $f_{опВЧ}=17$ МГц.

2. Описание модели и результаты моделирования

Последующие модификация УУЗ с использованием токовых ключей на дифференциальных каскадах – рис.3 позволяет уменьшить влияние паразитных ёмкостей транзисторов на конечный результат.

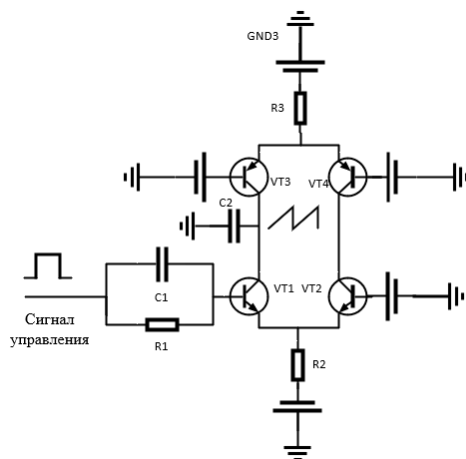


Рисунок 3. Схема ГПН, построенного на токовых ключах

Расчёт $C_{кб}$ производился по формулам [3]:

$$EG(T) = 1.16 - \frac{0.000702 * T^2}{T + 1108}$$

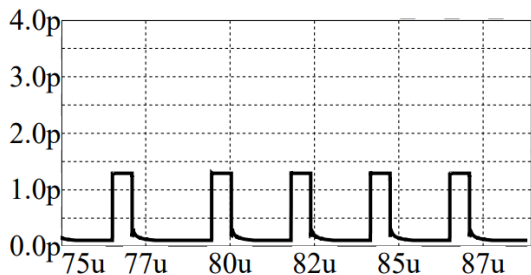
$$CJC(T) = CJT * (1 + MJC * (0.0004 * (T - T_{nom}) + (1 - \frac{VJC(T)}{VJC}))$$

$$VJC(T) = VJC * \frac{T}{T_{nom}} - 3 * VT * \ln\left(\frac{T}{T_{nom}}\right) - EG(T_{nom}) * \frac{T}{T_{nom}} + EG(T)$$

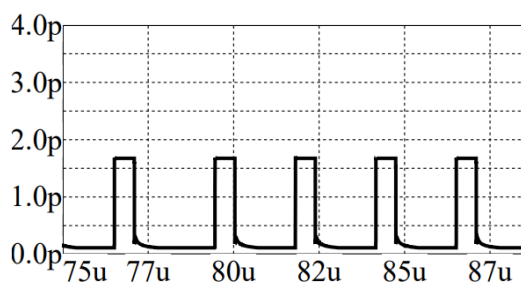
$$C_{кб} = CJC(T)(1 - FC)^{-(1+MJC)} * (1 - FC(1 + MJC) + MJC * \frac{VBC}{VJC(T)})$$

где CJC – ёмкость коллекторного перехода при нулевом смещении, FC – коэффициент нелинейности барьерных емкостей прямосмещенных переходов, MJC – коэффициент, учитывающий плавность коллекторного перехода, T_{nom} – температура, при которой измерены модельные параметры, T – рабочая температура, VBC – напряжение между внутренними узлами базы и коллектора, VJC – контактная разность потенциалов перехода база-коллектор.

Ёмкость $C_{кб}$ может изменяться в зависимости от рабочей температуры схемы – рис 4



а)



б)

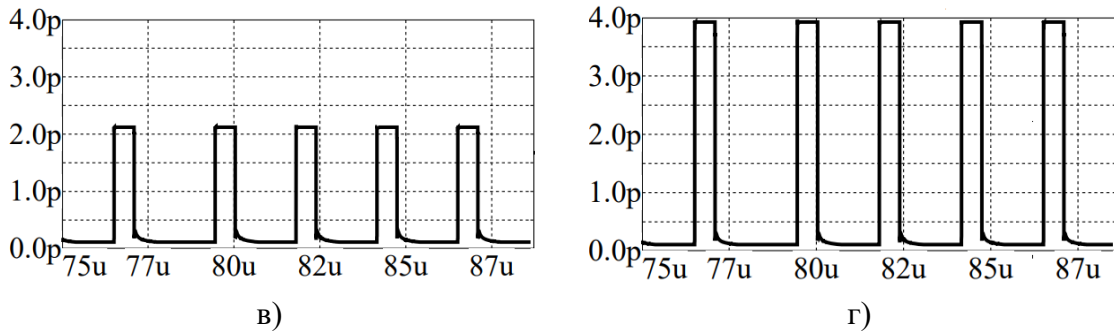


Рисунок 4. Ёмкость $C_{к6}$ $VT1$ при t , °C: а)0, б)15, в)27, г) 50.

Ключевым недостатком предложенной схемы является высокая сложность настройки параметров элементов. При существенном изменении t температуры работы, а также при смене выходной частоты прибора необходимо заново производить настройку хранирующей ёмкости. При достижении высоких рабочих температур значение ёмкости $C_{к6}$ будет существенно влиять на работу всей схемы. При достижении $t > 60^\circ\text{C}$ происходит стремительный рост ёмкости коллектор-база, из-за этого невозможно выполнить корректную временную задержку сигнала в наносекундном диапазоне – рис 5.

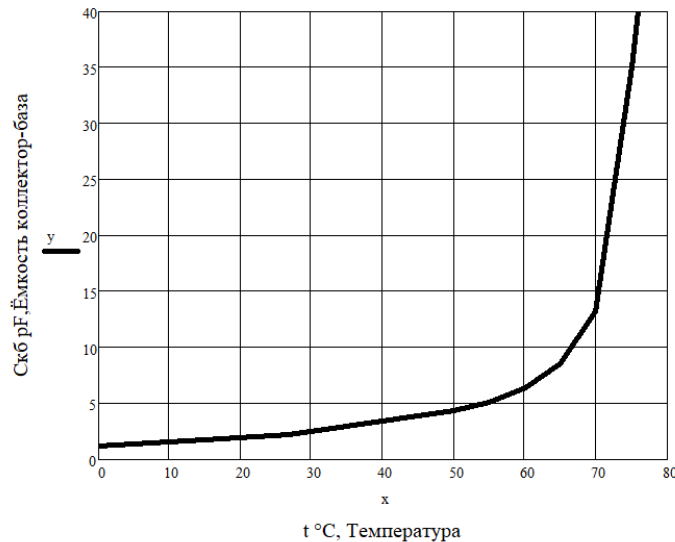


Рисунок 5. Зависимость ёмкости $C_{к6}$ $VT1$ от температуры $t^\circ\text{C}$

Однако, при правильной настройке всей элементной базы используя предложенный вариант схемы ГПН, построенного на токовых ключах на биполярных транзисторах, позволит уменьшить влияние паразитных ёмкостей транзисторов и повысить линейность преобразования цифрового кода управления во временной интервал. Максимальная линейзация пилообразного напряжения ГПН позволила уменьшить функциональную фазоимпульсную модуляцию синтезируемого колебаний на 60дБ –рис 5(Б), относительно побочных спектральных составляющих выходного колебания КА без УУЗ -рис 5(А), при рабочей температуре прибора $t=27^\circ\text{C}$.

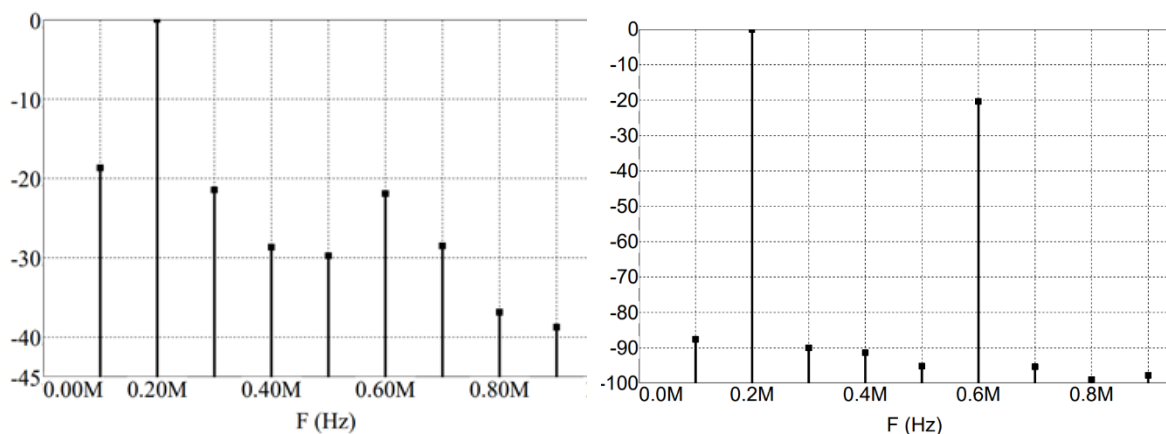


Рисунок 5. А) Спектр выходного колебания КА без УУЗ при частоте задающего генератора $f_{опвч}=17$ МГц, $t=27^{\circ}\text{C}$; Б) Спектр выходного колебания КА с УУЗ при частоте задающего генератора $f_{опвч}=17$ МГц, $t=27^{\circ}\text{C}$.

3. Заключение

По результатам моделирования реализация УУЗ на основе ГПН, построенного на токовых ключах на биполярных транзисторах позволяет значительно уменьшить функциональную фазоимпульсную модуляцию синтезируемого колебания на 88 дБ, однако для получения такого порядка необходима точная настройка всей схемы, и высокоточная настройка хранирующей ёмкости, любое отклонение равное 1 пФ внесёт существенное искажение синтезируемого колебания. При изменении рабочей температуры необходима повторная перенастройка хранирующей ёмкости.

Список используемых источников:

1. Никитин Ю.А. Цифроаналоговый синтез частот. Теория и схемотехника: [монография] /; СПбГУТ. – СПб., 2018. – 367с.
2. Синичкин А. А. Никитин Ю.А. Анализ структур конечных автоматов на основе накапливающего сумматора и делителя частоты с дробно-переменным коэффициентом деления для управляемого устройства задержки. // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3 т. СПб. : СПбГУТ, 2020. С. 490–494
3. Micro-Cap 10 Electronic Circuit Analysis Program Reference Manual 1982-2010 // Spectrum Software. –South Wolfe Road Sunnyvale, CA 94086., Pp. 444-447