

Моделирование импульсно-фазовых детекторов

Ю.А. Никитин, Г.А. Цыганков

СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Аннотация: исследуются модели фазовых детекторов, построенные в среде Microcap 12. Предложена модель фазового детектора на основе двух частотно-фазовых детекторов, исключая периодичность передаточной характеристики, благодаря чему появляется возможность перестраивать кольца фазовой автоподстройки без ограничений по частоте. Рассматриваются характеристики (статическая передаточная характеристика, величина зоны нелинейности) предложенного фазового детектора, а также фазовых детекторов на основе исключяющего ИЛИ и ЧФД.

Ключевые слова: ИФД, ЧФД, кольцо фазовой автоподстройки, цикл фазовой автоподстройки, фазовый детектор

1. Введение

Одним из основных структурных блоков ИФАП является импульсно-фазовый детектор (ИФД), необходимый для формирования сигнала фазовой ошибки кольца ИФАП. Вкупе с петлевым ФНЧ он формирует выходное напряжение, пропорциональное разности фаз между сигналом, поступающим с выхода перестраиваемого генератора и сигнала опорного генератора. Структурная схема кольца ИФАП представлена на рисунке 1.

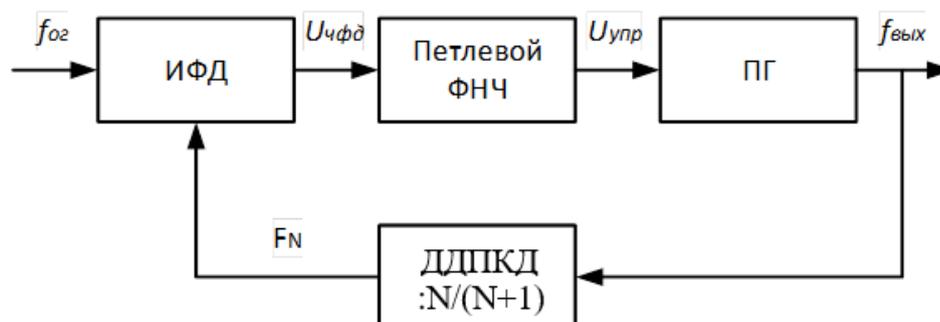


Рисунок 1. Структурная схема кольца ИФАП

2. Описание моделей и результаты моделирования

Одним из простейших фазовых детекторов является детектор на основе ИСКЛ. ИЛИ. При подаче сигналов одновременно на оба входа (фазовая ошибка 0°) на выходе фазового детектора будет постоянный «0». Максимальное же значение достигается при относительном сдвиге сигналов на 180° , тогда на выходе фазового детектора устанавливается постоянная «1». Таким образом, крутизна статической характеристики составляет $F'(\varphi_{ст}) = \frac{1}{\pi}$.

Модель для снятия статической характеристики ФД ИСКЛ. ИЛИ, построенная в Microcap 12 представлена на рисунке 2, в ней используются: два источника сигналов с одинаковой частотой (1000 Гц), но с различной и переменной фазой, ИСКЛ. ИЛИ,

управляющее ключом в цепи накачки заряда, и ФНЧ, предназначенный для усреднения полученного с ИСКЛ. ИЛИ значения.

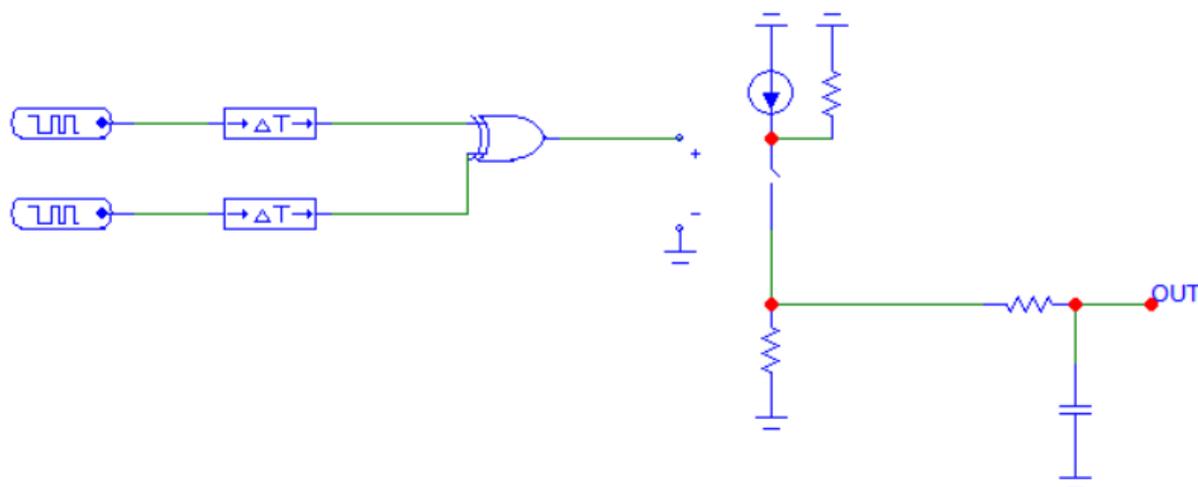


Рисунок 2. Схема снятия статической характеристики ИСКЛ. ИЛИ

Статическая характеристика ФД ИСКЛ. ИЛИ представлена на рисунке 3.

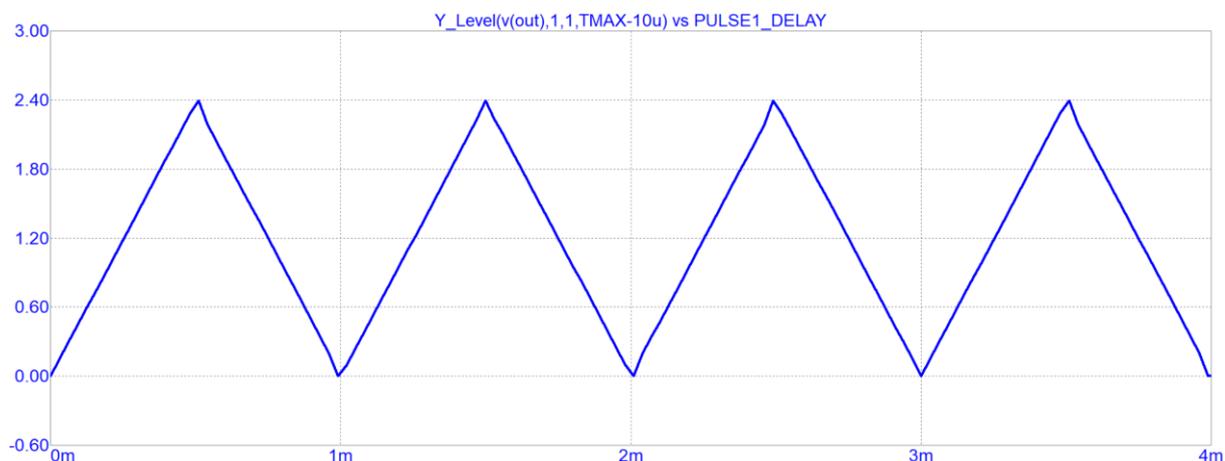


Рисунок 3. Статическая характеристика ИСКЛ. ИЛИ

Как видно, характеристика обладает периодичностью и повторяется каждые 2π периодов задержки сигналов.

Периодичность статической характеристики ведет к ложным синхронизмам, поэтому зачастую применяются схемы на основе двух RS или D триггеров (ЧФД). Два триггера работают в две стороны от центральной точки: если первым приходит сигнал «А», ФД устанавливает на выход «1», а если «В», то «-1», благодаря этому крутизна статической характеристики уменьшается вдвое. $F'(\varphi_{ст}) = \frac{1}{2\pi}$. Модель для снятия статической характеристики представлена на рисунке 4.

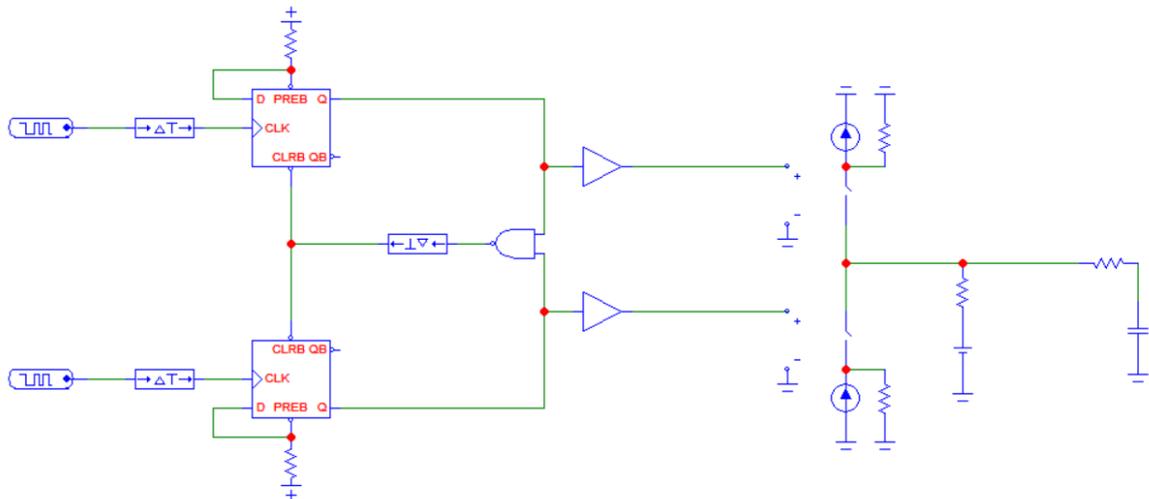


Рисунок 4. Схема снятия статической характеристики ЧФД

Статическая характеристика ЧФД представлена на рисунке 5.

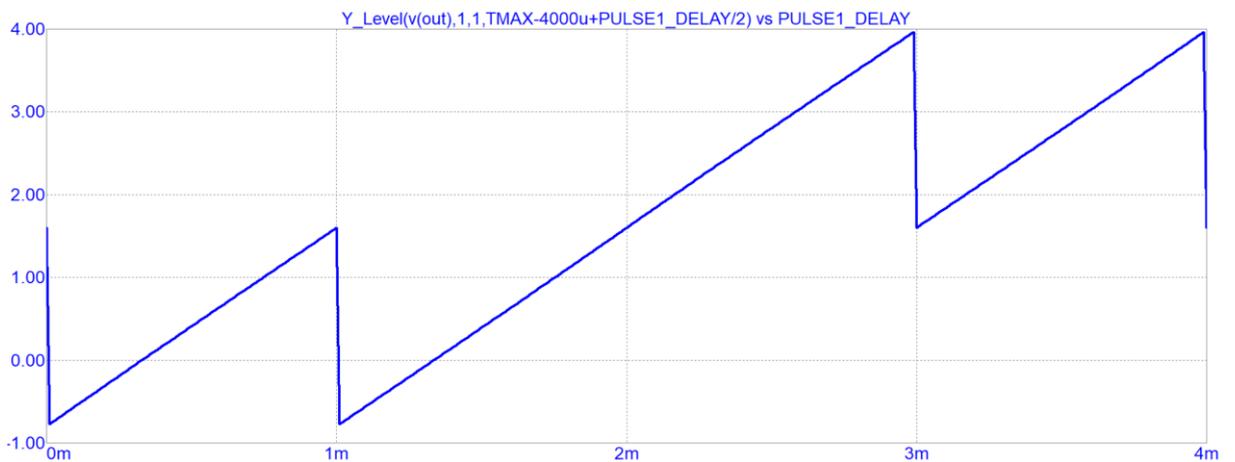


Рисунок 5. Статическая характеристика ЧФД

При синхронизации кольца фазовой автоподстройки возможна ситуация, когда один из сигналов обладает значительно большей частотой, из-за чего фазовый детектор работает вдали от центрального линейного участка, ограниченного 4π периодами опорного сигнала. В таком случае из-за повторяемой характеристики фазового детектора возможно появление в кольце ложного синхронизма, когда частоты сигналов не совпадают, однако фазовая ошибка, воспринимаемая детектором, постоянна. Одним из методов избегания ложных синхронизмов является избавление от повторяемости характеристики фазового детектора.

Фазовый детектор без повторяемости статической характеристики можно реализовать, добавив к схеме ЧФД дополнительные триггеры. Добавленные боковые триггеры отслеживают, приходит ли во время одного периода сигнала «А» два сигнала со входа «Б» и наоборот, фиксируя, частота какого сигнала выше. Компаратор на основе кодов триггеров определяет сигнал с большей частотой и выставляет логические «1» или «-1» на протяжении всего периода. Когда же сигналы равны по частоте, боковые триггеры не участвуют в работе фазового детектора. Модель схемы детектора вместе с обвязкой для снятия переходной характеристики представлена на рисунке 6. На схеме отмечены исходный ЧФД и компаратор.

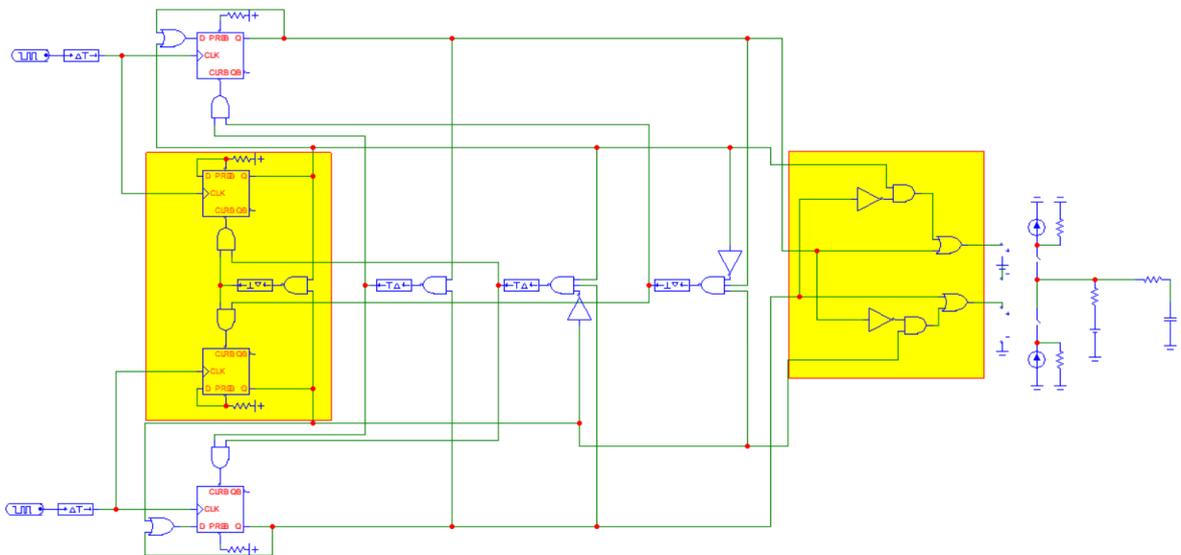


Рисунок 6. Схема фазового детектора на основе двух ЧФД

Статическая характеристика представлена на рисунке 5.

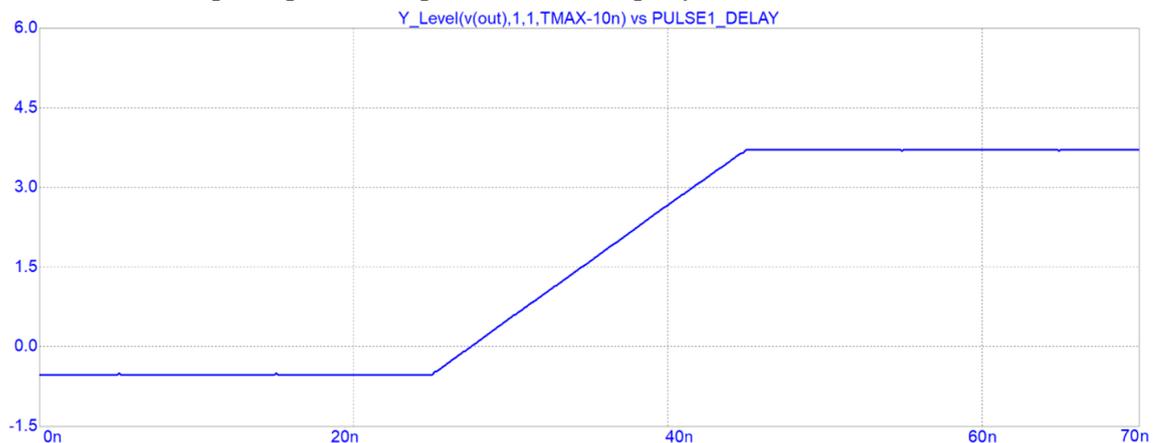


Рисунок 7. Статическая характеристика ИФД на основе двух

Зона нелинейности в окрестностях нулевого фазового сдвига для ИФД на основе двух ЧФД, как и в обычном ЧФД, определяется длительностью перепадов управляющих импульсов. При этом ее можно уменьшить вплоть до нуля при помощи устройства задержки сброса триггеров.

Зона нелинейности в окрестностях нулевого фазового сдвига представлена на рисунке 8.

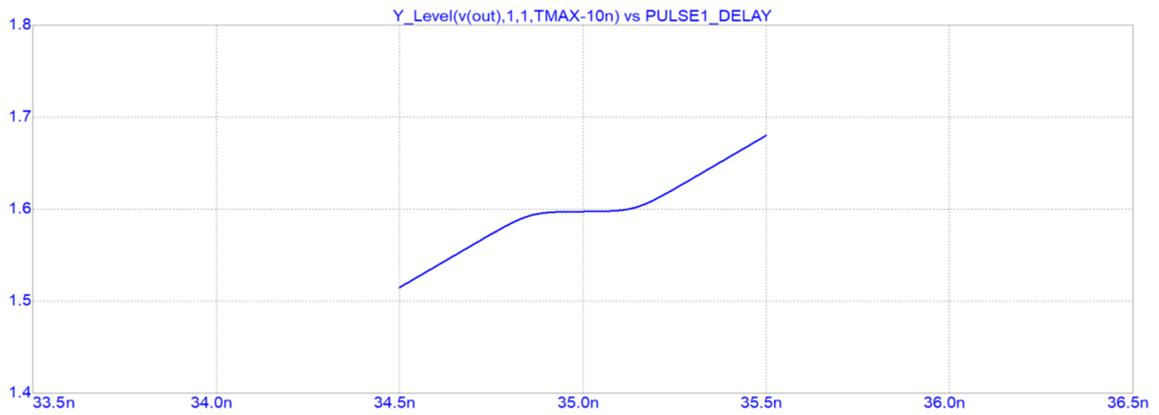


Рисунок 8. Зона нелинейности в окрестностях нулевого фазового сдвига.

3. Заключение

Предложенная схема фазового детектора на основе двух ЧФД обладает основным преимуществом ЧФД – линейной крутизной управляющей характеристики, при этом в ней устранен один из существенных недостатков – повторяемость биений статической характеристики.

Список литературы

1. Никитин Ю. А. Цифроаналоговый синтез частот. Теория и схемотехника: [монография] / Ю. А. Никитин. – СПб.: Изд-во СПб ГУТ, 2018. – 367 с.