

Построение диаграмм качества цифровых устройств фазовой синхронизации

Кукин Д.П.

Кафедра ТОЭ, ФИТиУ

БГУИР

Минск, Республике Беларусь

e-mail: kukin@bsuir.by

Аннотация — Рассмотрены принципы функционирования цифровых устройств фазовой синхронизации. Разработан метод построения диаграмм качества по точности. Приведен пример получаемых диаграмм.

Ключевые слова: цифровые устройства; фазовая синхронизация; диаграммы качества; точность

I. ВВЕДЕНИЕ

Устройства синхронизации фазы нашли в настоящее время широкое применение во многих областях радиотехники, например, в системах радиопередачи, радионавигации, радиоизмеряющей технике и т.д. В частности в современных цифровых системах радиоприема, в которых посредством устройств фазовой синхронизации решается ряд практических задач. Среди них синхронизация несущих флуктуаций, синхронизация и демодуляция поднесущих и модулирующих колебаний, синхронизация и демодуляция бинарных символов цифровых данных, синхронизация и свертка псевдослучайной последовательности в системах связи с использованием широкополосных сигналов. Как правило, описанные выше системы базируются на цифровых устройствах фазовой синхронизации. Задача увеличения КПД существующих и создаваемых типов систем на основе цифровых устройств фазовой синхронизации (ЦУФС) является достаточно актуальной.

II. ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

В общем случае структурная схема ЦУФС имеет вид, приведенный на рис. 1. На рисунке обозначены: ФД – фазовый дискриминатор; НЭ – нелинейный элемент; ЦФ – цифровой фильтр; ЦНЭ – цифровой нелинейный элемент; УУ – устройство управления; ФУ – формирующее устройство; ОУ – объект управления; ОС – обратная связь; Т – период дискретизации.

Рассмотрим назначение отдельных элементов и физические процессы, происходящие в ЦУФС. На вход ЦУФС поступают синхроимпульсы (СИ), например в виде последовательности коротких импульсов. На второй вход ФД с выхода контура управления по средствам ОС подаются колебания от ОУ. ФД

сравнивает фазы СИ и $U_{oc}(t)$, и на его выходе в соответствии с дискриминационной характеристикой, формируемой взаимодействием НЭ и ЦНЭ, образуется последовательность импульсов, представляющих собой двоичный код которому соответствует величина пропорциональная разности фаз СИ и колебаниям ОУ. В качестве ЦФ используется пропорционально-интегрирующий фильтр первого или второго порядка. Он преобразует сигнал ошибки к форме необходимой

для работы ЦНЭ. Этот фильтр эквивалентен параллельному соединению пропорционального и дискретного интегрирующего звеньев с соответствующими коэффициентами передачи.

В приведенной схеме канал α предназначен непосредственно для выявления фазового рассогласования сравниваемых сигналов, в то время как каналы β и γ используются в рамках определения частот упомянутых колебаний. Двоичный код с выхода ФД, содержащий информацию о выявленном фазовом рассогласовании, поступает на вход УУ, обеспечивающего требуемое качество работы ЦУФС (динамику работы). ФУ осуществляет восстановление непрерывного сигнала из цифрового кода сформированного УУ на основании выявленного фазового рассогласования в соответствии с заложенным алгоритмом управления.

Далее рассмотрим физическую сущность установившейся ошибки. При изменении частоты СИ происходит сдвиг фазы между колебанием СИ и сигналом ОУ. Сдвиг фазы формируется в установившемся режиме из-за изменения частоты СИ на константу или за счет взаимного изменения частот СИ и ОУ. В результате фазового сдвига пропорционально сигналу НЭ и в соответствии с дискриминационной характеристикой образуется управляющее напряжение $\square U$ и частота ОУ становится равной частоте СИ. Фазовый сдвиг между колебаниями СИ и ОУ, образующийся за счет изменения частоты СИ (или взаимного изменения частот СИ и ОУ), и является установившейся ошибкой. При увеличении частотной расстройке необходимо иметь большую величину управляющего напряжения $\square U$ для ее компенсации, а это реализуется увеличением установившейся ошибки. Таким образом, чем больше частотная расстройка, тем больше будет установившаяся ошибка.

III. ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ КАЧЕСТВА

Для оценки влияния периода дискретизации на качественные характеристики ЦУФС воспользуемся приближенной методикой, предложенной в [1].

Согласно предложенной методике рассмотрим колебательные переходные процессы, симметричные относительно оси времени, возникающие в ЦУФС при различных режимах работы. Эти процессы условно могут быть описаны затухающей или расходящейся синусоидой с медленно меняющимися во времени показателями затухания ζ и частотой ω . Переходный процесс в этом случае будет описываться выражением:

$$x = a \cdot \sin \psi,$$

с учетом того, что:

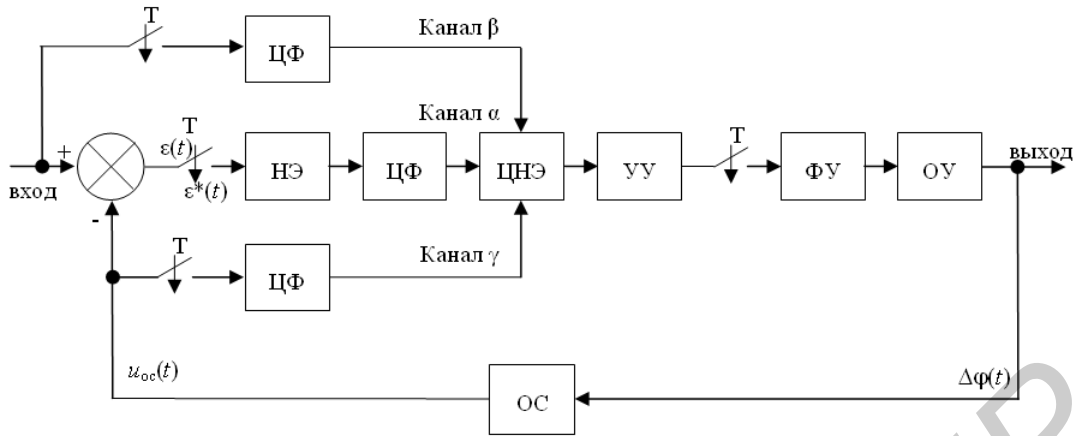


Рис. 1. Структурная схема ЦУФС

$$\frac{da}{dt} = a \cdot \zeta, \quad \omega = \frac{d\psi}{dt}, \quad \psi = \int_0^t \omega dt + \psi_0;$$

где ψ_0 – начальная фаза.
Следовательно,

$$\frac{da}{a} = \zeta \cdot dt, \quad a = a_0 \cdot e^{\int \zeta dt}.$$

Показатель «затухания» ζ в данном случае характеризует как собственно затухание колебаний, так и их расхождение. Это означает, что положительным значениям «показателя затухания» соответствуют расходящиеся колебания.

Далее при расчете искомыми величинами будут являться медленно меняющиеся ζ и ω .

Для анализа качества в рамках настоящей работы предлагается использовать несколько упрощенный вариант структурной схемы ЦУФС, учитывающий две основные нелинейные характеристики системы: дискриминационную характеристику ФД $F_1(e, T_{вх})$; нелинейность объекта управления $F_2(u)$. При этом e – ошибка слежения системы; $T_{вх}$ – период входного колебания устройства; u – управляющий сигнал, непосредственно воздействующий на ОУ.

Дальнейший расчет системы требует применения метода гармонической линеаризации нелинейностей, который по своей сути близок к методу эквивалентной линеаризации или методу гармонического баланса, предложенного Н. М. Крыловым и Н. Н. Боголюбовым [2]. Получаемый в ходе выбранного метода результат близок к методу малого параметра Б. В. Булгакова.

Колебательный процесс в нелинейной системе определяется медленно меняющимися значениями ζ и ω , которые можно находить путем определения пары комплексных корней $z = \zeta \pm j\omega$ характеристического уравнения гармонически линеаризованной системы.

Получено следующее выражение, характеризующее качество ЦУФС относительно периода дискретизации T_d :

$$T_d = -\ln \left[\frac{-1 - 3 \cdot \zeta}{\zeta \cdot (k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot q_1 \cdot q_2 \cdot (k_7 \cdot F_p + k_6) + 1)} + 1 \right] \cdot T.$$

Кроме этого, получено выражение, характеризующее качество устройства относительно коэффициентов усиления АЦП и ЦАП (величины элементарных ступенек) k_1 :

$$k_1 = \frac{2 + e^{\frac{T_d}{T}} + \frac{1}{\zeta}}{k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot q_1 \cdot q_2 \cdot (1 - e^{\frac{T_d}{T}}) \cdot (k_7 \cdot F_p + k_6)}.$$

По полученным выражениям при параметрическом синтезе ЦУФС достаточно легко построить диаграммы качества (пример диаграммы качества приведен на рис. 2). Построенные в результате диаграммы для разных структурных схем ЦУФС являются основанием при выборе наилучших параметров системы.

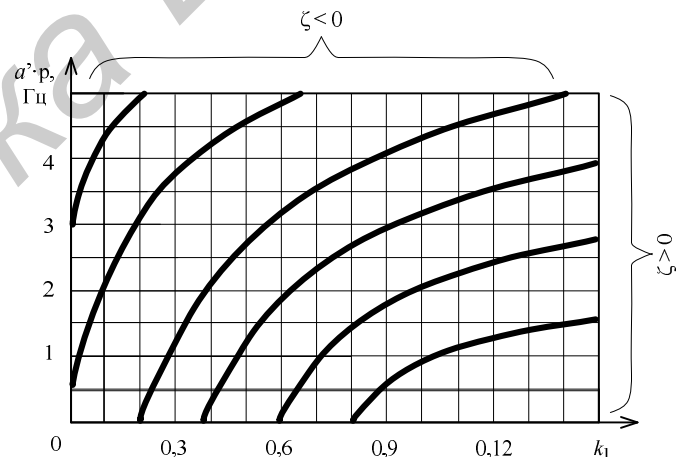


Рис. 2. Пример диаграммы качества ЦСФС

[1] А.Г. Александров. Оптимальные и адаптивные системы. М.: Высш. шк., 1989, 263 с.

[2] В.А. Бесекерский. Динамический синтез систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1970, 576 с.: ил.