

Анализ быстродействия импульсных систем фазовой синхронизации

Шилин Д. Л.; Пучинец В. В.; Шилин Л. Ю.

Кафедра систем управления

Белорусский государственный университет информатики и электроники

Минск, Республика Беларусь

e-mail: {puchinets.viktor, dimashilin}@gmail.com

Аннотация—В данной работе рассматривается процесс проектирования систем фазовой синхронизации

Ключевые слова: импульсные системы фазовой синхронизации; z-преобразование; устойчивость; быстродействие

В настоящее время системы фазовой синхронизации (СФС) нашли широкое применение в радиотехнике, телекоммуникациях и компьютерной технике, что обусловлено их высокой точностью, скоростью, простотой технической реализации, работой в широком диапазоне частот.

В зависимости от используемых в СФС элементов, они делятся на:

- аналоговые, при использовании аналоговых схем фазового детектора;
- импульсные, при использовании в качестве фазового детектора логических цепей;
- цифровые, при реализации структурных элементов в цифровом виде.

Ранее предложен метод проектирования аналоговых СФС основанный на построении областей устойчивости и качества [2].

Для использования данного метода при разработке ИСФС необходимо применение z-преобразования для определения характеристик устройства.

На рисунке 1 изображена обобщенная схема импульсной системы фазовой синхронизации (ИСФС), где ИФД – импульсный фазовый детектор, ЗФК – звенья фильтрации и коррекции, УГ – управляемый генератор, ОС – цепь обратной связи, НЛЧ – непрерывная линейная часть, y – задающее воздействие, ε – ошибка регулирования, ω – сигнал на выходе ИСФС.

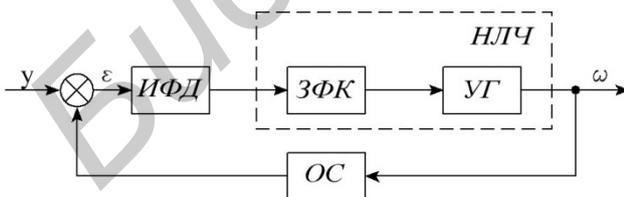


Рис. 1. Обобщенная схема ИСФС

$$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1} \text{ – передаточная функция ЗФК}$$

$$W_2(p) = \frac{k_2}{p} \text{ – передаточная функция УГ}$$

Для определения передаточной функции ИФД, представим его соединением простейшего

импульсного элемента и формирующего элемента (рисунок 2).

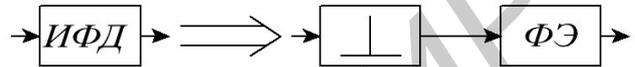


Рис. 2. Представление ИФД в виде соединения простейшего импульсного элемента и формирующего элемента

Так как с выхода ИФД поступают импульсы прямоугольной формы, то передаточную функцию формирующего элемента можно представить следующим образом:

$$W_{ФЭ} = K_p \cdot D \cdot T \quad (1)$$

где: $D = \frac{\tau}{T}$ – коэффициент заполнения

τ – длительность импульса

Тогда передаточная функция приведенной линейной части имеет вид:

$$W(p) = \frac{K \cdot T}{p(T_1 \cdot p + 1)} \quad (2)$$

где: $K = K_p \cdot D \cdot k_1 \cdot k_2$

Для получения дискретной передаточной функции $W(z)$ применим формулу приближенного перехода:

$$p = \frac{z - 1}{T_z} \quad (4)$$

где: T_z – период дискретизации

Положим, что в данной системе $T = T_z$. Тогда дискретную передаточную функцию системы имеет вид:

$$W(z) = \frac{K \cdot T^3}{(z - 1) \cdot (T_1 \cdot z + T - T_1)}$$

Рассмотрим процедуру анализа устойчивости ИСФС на основании методики предложенной в [3]: для устойчивости импульсной системы необходимо и достаточно, чтобы все корни характеристического уравнения z_i лежали внутри окружности единичного радиуса с центром в начале координат, т. е. $|z_i| < 1$.

Характеристическое уравнение имеет вид:

$$W(z) + 1 = 0$$

Для исследуемой системы получим:

$$z \cdot \frac{2}{T^2} \cdot \frac{T_1}{z^2} + z \cdot \frac{T - 2 \cdot T_1}{T^2} + \frac{K \cdot T^3 - T + T_1}{T^2} = 0$$

Решив данное уравнение, получим следующие неравенства определяющие устойчивость системы:

$$\left| \frac{2 \cdot T_1 - T + T \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot K \cdot T \cdot T_1}}{2 \cdot T_1} \right| < 1$$

$$\left| \frac{2 \cdot T_1 - T - T \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot K \cdot T \cdot T_1}}{2 \cdot T_1} \right| < 1$$

$$1 - 4 \cdot K \cdot T \cdot T_1 > 0$$

Область устойчивости соответствующая исследуемой системе изображена на рисунке 3.

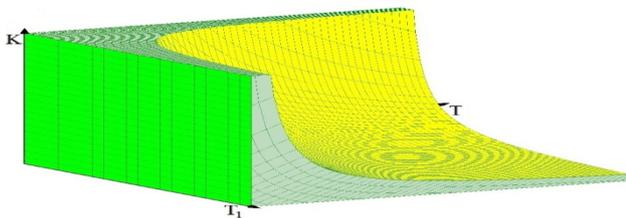


Рис.3. Область устойчивости системы

Качество импульсных систем управления характеризуется такими же показателями, как и качество непрерывных систем: точностью в установившихся режимах, длительностью и перерегулированием переходного процесса.

Длительность и перерегулирование оценивают непосредственно по переходной характеристике. Переходная характеристика импульсной системы строится гораздо проще, чем для непрерывной системы. Для этого записывают z-изображение выходной величины при единичном ступенчатом воздействии.

$$X(z) = \frac{z}{z-1} \Phi(z)$$

где: $\Phi(z) = \frac{W(z)}{1+W(z)}$ – передаточная характеристика замкнутой системы, для исследуемой системы имеет вид:

$$\Phi(z) = \frac{K \cdot T^3}{z^2 \cdot T_1 + z \cdot (T - 2T_1) + T_1 + K \cdot T^3}$$

Тогда:

$$X(z) = \frac{z}{z-1} \cdot \frac{K \cdot T^3}{z^2 \cdot T_1 + z \cdot (T - 2T_1) + T_1 + K \cdot T^3}$$

Разложим полученное выражение на дроби:

$$X(z) = \frac{z \cdot A}{z-1} + \frac{z \cdot B}{T_1 \cdot (z-z_1)} + \frac{z \cdot C}{z-z_2}$$

где: z_1, z_2 – корни характеристического уравнения,

$$A = \frac{K \cdot T^3}{T_1 \cdot (z_1 - 1) \cdot (z_2 - 1)}, B = \frac{K \cdot T^3}{(z_1 - z_2) \cdot (z_1 - 1)},$$

$$C = \frac{-K \cdot T^3}{T_1 \cdot (z_1 - z_2) \cdot (z_2 - 1)}$$

Пользуясь таблицами обратного z-преобразования запишем переходную функцию:

$$x(iT) = A \cdot 1(iT) + B \cdot z_1^i + C \cdot z_2^i$$

где: i – количество интервалов дискретизации

По данному выражению определяется длительность переходных процессов в системе.

Так как для построения областей устойчивости, определения времени переходных процессов использована линеаризованная СФС, границы построенных областей могут быть искажены. Поэтому впоследствии необходимо проверить соответствие системы с параметрами из выбранной области, заданным требованиям цифровым моделированием на имитационной модели.

Для проверки полученных результатов использовался пакет программ Matlab и модель, изображенная на рисунке 4.

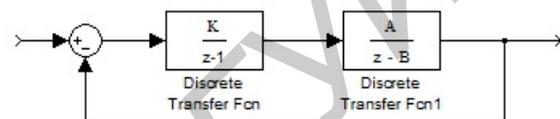


Рис.4. Имитационная модель ИСФС в программе Matlab Simulink

$$A = \frac{T^3}{T_1}, B = 1 - \frac{T}{T_1}$$

В качестве примера исследуем вид переходного процесса в ИСФС при $K = 1, T_1 = 0.5, T = 0.4$. Для этого на вход модели необходимо подать сигнал $1(t)$. Полученные результаты изображены на рисунке 5:

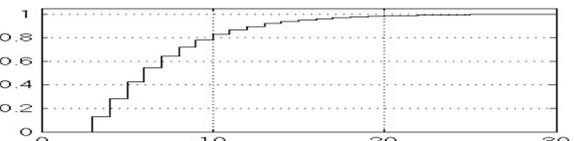


Рис. 5 Переходный процесс в ИСФС

Как видно из графика ИСФС при данных параметрах устойчива и длительность переходного процесса составляет 25 периодов дискретизации.

Авторами расширена предложенная в [2] методика проектирования СФС. Предложен один из вариантов имитационной модели ИСФС, позволяющей проверить соответствие характеристик проектируемой системы требованиям технического задания.

- [1] Романов С.К., Тихомиров Н.М., Леньшин А.В. Системы импульсно-фазовой автоподстройки в устройствах синтеза и стабилизации частот. – М.: Радио и связь, 2010. – 328 с
- [2] Шилин Д. Л., Пучинец В. В., Шилин Л. Ю. Проектирование систем фазовой синхронизации. Информационные технологии и системы 2011 (ИТС 2011): материалы международной научной конференции. — БГУИР, Минск, Беларусь, 26 октября 2011 г. С. 21—22.
- [3] Шилин Д. Л., Пучинец В. В. Проектирование импульсных систем фазовой синхронизации. Информационные технологии и управление. Материалы 48-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов. – Минск: БГУИР, 2012. С. 44