

ОТДЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Шилин Л. Ю., Кукин Д. П., Шатилова О. О., Хмыз Д. Д.

Кафедра теоретических основ электротехники, кафедра вычислительных методов и программирования,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {kukin, o.shatilova}@bsuir.by

В статье разобраны методы математического моделирования импульсных систем м устройства фазовой синхронизации на основе метода переменных состояний. Сформулированы математические модели описания процессов в трех режимах работы: количество импульсов из цепи обратной связи и количество импульсов со входа устройства равны, частота выходного сигнала меньше заданной, а также режиме частотного детектирования при значительном превышении частоты сигнала цепи обратной связи. Предложены математические модели исследуемого класса устройств, учитывающие нелинейный характер систем, работающих в режиме частотного фазового детектирования, а при моделировании процессов на электронной вычислительной машине существенно сокращают время расчётов. Описанные модели учитывают нелинейный и дискретный характер импульсных систем, являются удобными для вычислений, требуют небольших временных затрат для построения и высокую точность.

ВВЕДЕНИЕ

Импульсные системы и устройства фазовой синхронизации находят широкое применение в промышленности и различных областях науки и техники, так как обладают высокой точностью и коэффициентом полезного действия, малыми габаритами и весом, простотой схемотехнической реализации, широким диапазоном рабочих частот. Но практическое применение различных модификаций импульсных систем и устройств фазовой синхронизации невозможно без их глубокого и всестороннего исследования на основе использования математических моделей СФС с дискретизацией по времени и уровню, и применении при анализе и синтезе таких методов, в которых эти эффекты учитывались бы в полной мере. Создание таких моделей является сложной задачей, а аналитические исследования их, как правило, либо затруднены, либо вообще невозможны. В связи с этим высокоточные математические модели ориентированы на работу с электронными вычислительными системами, что влечет за собой необходимость создания моделей с различной точностью моделирования и скоростью расчетов.

Предлагается квантование по времени с постоянным периодом, что справедливо при <<малых>> отклонениях частоты выходного сигнала от стационарного значения, и сводит модель СФС к амплитудно-импульсной системе

1. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

<<Точные>> математические модели импульсных систем фазовой синхронизации (ИСФС), учитывающие нелинейности элементов системы, нелинейность модуляции, импульсные свойства системы, требуют применения сложных математических процедур, а, как следствие, значительных временных затрат. Для упрощения математической модели ИСФС можно предполо-

жить, что переходные процессы в системе протекают достаточно «медленно». Условие медленности имеет вид

$$\overline{T}_n = \overline{T}_{n-1} + \Delta\overline{T}_n. \quad (1)$$

где $\overline{T}_n = \frac{\Delta\overline{T}_n}{T_0}$, $\Delta\overline{T}_n \ll T_{n-1}$ и $\lambda_{1m}\Delta\overline{T}_n \ll 1$, λ_{1m} – максимальное собственное значение матрицы A , \overline{T}_0 – период входного сигнала в установленном режиме. Причем (1) не эквивалентно $\frac{\overline{T}_n - \overline{T}_0}{T_0} \ll 1$, т.к. это условие предполагает квантование по времени с постоянным периодом, что справедливо при «малых» отклонениях частоты выходного сигнала от стационарного значения, и сводит модель СФС к амплитудно-импульсной системе, а (1) допускает режимы, связанные с большими изменениями периода выходного сигнала системы.

Авторами предлагаются упрощенные кусочно-непрерывные математические модели систем фазовой синхронизации с использованием метода переменных состояния, которые были получены впервые в [1, 2].

Обобщенная структурная схема импульсной системы фазовой синхронизации представлена на рисунке 1, где ϕ_{vh} – начальная фаза входного сигнала; $\phi_{vh1}(t), \dots, \phi_{vhN}(t)$ – начальная фаза входного сигнала после блока ДФКД; $\phi_{OC1}(t), \dots, \phi_{OCN}(t)$ – начальная фаза сигнала цепи обратной связи; $\phi_{\epsilon 1}(t), \dots, \phi_{\epsilon N}(t)$ – сигнал фазового рассогласования; ϕ_{ω} – начальная фаза выходного сигнала; ϕ_g – начальная фаза возмущающего воздействия, приведенная к выходу устройства; ϕ_Z – начальная фаза выходного сигнала до появления возмущающего воздействия; ДФКД – делитель частоты с фиксированным коэффициентом деления; ДПКД1, ДПКД2, ..., ДПКДN – делитель частоты с переменным коэффициентом деления; M1, M2, ..., MN – модуляторы входного сигнала; ЦФК1, ЦФК2, ..., ЦФKN – цепи фильтра-

ции и коррекции; ДСУ1, ДСУ2, ..., ДСУN – дискретные сравнивающие устройства; С – суммирующее устройство; ОУ – объект управления; ПНЧ – преобразованная непрерывная часть устройства.

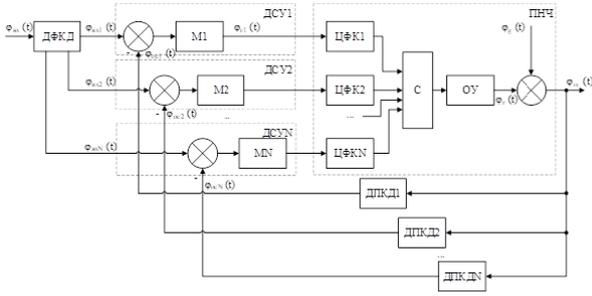


Рис. 1 – Обобщенная структурная схема ИСФС

В результате моделирования авторами были получены уравнения (2–7), описывающие математическую модель СФС с триггерным фазовым детектором и астатизмом второго порядка. Эта модель позволяет исследовать динамику ИСФС, определять устойчивость процессов, находить ширину полос удержания и захвата, и т.п., а также является удобной для параметрического синтеза, т.к. отсутствие трансцендентного уравнения замыкания дает возможность производить расчеты на ЭВМ с экономией машинного времени от 80% до 60% в моделях с высоким порядком передаточной функции НЛЧ.

$$\begin{cases} X_{1,n+1} = X_{1,n} + 2K_1\tau_n h_{nN} \\ X_{k,n+1} = X_{k,n} e^{-\frac{T_n}{T_k}} + C_2 h_{nN} T_k e^{-\frac{T_n}{T_k}} (2e^{\frac{T_n}{T_k}} - e^{\frac{T_n}{T_k}} - 1) \end{cases} \quad (2)$$

где $C_2 - C_k$ определяются из передаточной функции НЛЧ системы вида следующим образом:

$$W_p = \frac{K_1(T_1 p + 1)}{p(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) \dots (T_k p + 1)},$$

$$C_k = \frac{Q(p)}{M'(p)}, k = \overline{1, m}.$$

Выходная координата определяется по формуле

$$w_{n+1} = z_{n+1} + g_{n+1} = X_{1,n+1} + \sum_{k=1}^m X_{k,n+1} + g_{n+1} \quad (3)$$

На интервале $t \in [nT; nT + \tau_n]$ рассчитывается величина набега фазы выходного сигнала по формуле:

$$\phi_{Hn} = \frac{1}{N\Delta} T_n \left(X_{1,n} + 2K_1\tau_n h_{nN} - \sum_{k=1}^m C_k h_{nN} T_k \right) - \begin{cases} \frac{K_1 h_{nN} T_n^2}{2} - \sum_{k=1}^m (T_k (e^{\frac{T_n}{T_k}} - 1)) \\ (C_k h_{nN} T_k (2e^{\frac{T_n}{T_k}} - 1) + X_{k,n}) + \frac{g T_n}{N\Delta} \end{cases} \quad (4)$$

Зная начальную фазу сигнала ϕ_n и набег фазы на периоде T_n (24) определим начальную фазу

сигнала обратной связи как $\phi_{n+1} = \phi_n + \frac{\phi_{Hn}}{N\Delta}$. Установившийся режим характеризуется постоянством выходной координаты w_{n+1} , неизменностью длительности импульсов τ_{n+1} , набег фазы ϕ_{Hn} и т.д. Таким образом, в установившемся режиме имеем:

$$\dot{\tau}_n = \frac{T_n^*}{2}, \quad (5)$$

$$\dot{X}_k = \frac{C_k h_{nN} T_k (2e^{\frac{T_n}{T_k}} - 1)}{1 - e^{\frac{T_n}{T_k}}}, \quad (6)$$

$$\phi_H = \pi. \quad (7)$$

К достоинствам приведенной модели необходимо отнести и тот фактор, что для создания ММ ИСФС с фазовым детектором «выборка – запоминание», необходимо существующую модель дополнить всего лишь одним алгебраическим уравнением.

II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом авторами предложены математические модели импульсных систем фазовой синхронизации, которые учитывают, в том числе, нелинейный и дискретный характер систем, работающих в режиме частотного фазового детектирования, а при моделировании процессов на ЭВМ существенно сокращают время расчётов и варьировать точность.

III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шилин, Л. Ю. Автоматическое регулирование скорости двигателя с помощью системы импульсно-фазовой автоподстройки частоты. // Комплексная автоматизация и механизация-основа повышения эффективности производства и качества работы предприятий радиоэлектроники, связи и телевидения: Тез. докл. Конф. – Минск; 1980. – с. 53–54.
2. Шилин, Л. Ю. Анализ устойчивости широтно-импульсной системы регулирования скорости при введении интегратора в цепь управления / Л. Ю. Шилин, А. П. Кузнецов // Автоматика и вычислительная техника. – Минск: – Выш. школа. – 1982. – Вып.12. – с. 25–27.
3. Batura, M. P. Principles of constructing mathematical models of phase-locked loop systems / M. P. Batura, A. P. Kuznetsov, L. Yu. Shilin, D. P. Kukin // Reports of BSUIR. – 2014. – No. 2 (80). – P. 177–185.
4. Шилин, Д.Л. Анализ быстродействия импульсных систем фазовой синхронизации / Д. Л. Шилин, В. В. Пучинец, Л. Ю. Шилин // Информационные технологии и системы 2012 (ИТС 2012) : материалы международной научной конференции, БГУИР, Минск, Беларусь, 24 октября 2012 г. = Information Technologies and Systems 2012 (ITS 2012) : Proceeding of The International Conference, BSUIR, Minsk, 24th October 2012 / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2012. – С. 102–103.
5. Кунцевич В. М., Нелинейные системы управления с частотно- и широтно-импульсной модуляцией / В. М. Кунцевич, Ю. Н. Чеховой / – Киев : Техника, 1970. – 340 с.