УДК 681.511.4

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В РЕЖИМЕ КРАТНЫХ ЗАХВАТОВ

Инж. ШИЛИНА А. Л.

Минский институт управления

В предыдущих статьях [1, 2] были рассмотрены математические модели импульсных систем фазовой синхронизации (ИСФС) и методы анализа данных устройств в аналогичных периодических режимах. Эти исследования основывались на оценке NT-периодических режимов и режимов кратных захватов как паразитных, т. е. подлежащих исключению. Однако известны случаи эксплуатации ИСФС на кратных частотах. Такое применение данных систем оправдано при работе на высоких частотах, поскольку исчезает необходимость в проектировании сложного и дорогостоящего делителя с переменным коэффициентом деления, устанавливаемого в цепь обратной связи.

Структурная схема такого ИСФС приведена на рис. 1, а временные диаграммы его работы – на рис. 2, где ГОС – генератор опорного сигнала $y(t)$; ИФД – импульсно-фазовый детектор, вырабатывающий сигнал рассогласования $\varepsilon(t)$; ФНЧ – фильтр нижних частот; УГ – управляемый генератор; $g(t)$ – неуправляемая составляющая частоты УГ; НЛЧ – непрерывная линейная часть. Отметим, что синхронизация устройства производится на частотах, кратных входной, причем коэффициент кратности, а значит, и положение рабочей точки на периодической нелинейной характеристики ИФД задаются либо внешними устройствами, либо выбором параметров самого ИСФС.

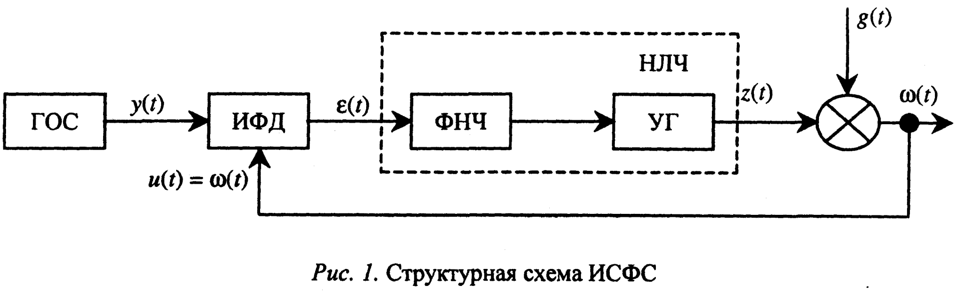

Рис. 1. Структурная схема ИСФС

Построим математическую модель данного устройства с ИФД типа «выборка–запоминание».

ФНЧ такого устройства описывается уравнением

$$W(p)=\frac{Q(p)}{M(p)}=\prod_{i=m+1}^{m+r}(T_i p+1)\Bigg/\prod_{i=1}^{m}(T_i p+1), \qquad (1)$$

где T_i – постоянная времени числителя ($i=\overline{m+1,m+r}$) и знаменателя ($i=\overline{1,m}$), $r \le m$.

Уравнения состояния НЛЧ с передаточной функцией (1) имеют вид:

$$\dot{X}(t) = AX(t) + B\varepsilon(t); \tag{2}$$

$$e(t) = CX(t) + d_0\varepsilon(t), \tag{3}$$

где $X(t)$ – вектор переменных состояния; A – матрица $m \times m$, векторы $B, C \in R^m$, $d_0 = \text{const}$, определяемые передаточной функцией $W(p)$ [3].

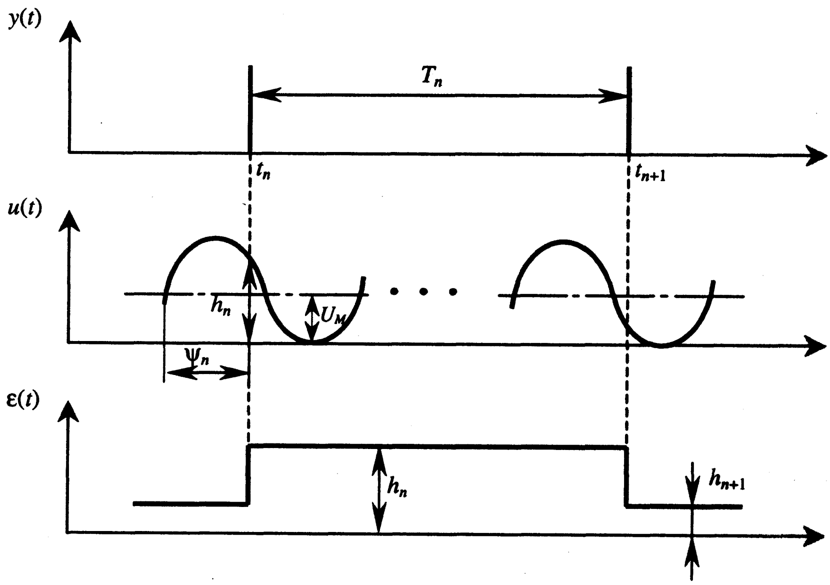

Рис. 2. Временные диаграммы работы ИСФС в режиме кратного захвата

Вектор состояния $X(t)$ на интервале $[t_n; t_{n+1}]$ имеет вид

$$X(t) = \Phi(t - t_n)X(t_n) + \int_{t_n}^{t} \Phi(t - \lambda)Bh_n d\lambda. \tag{4}$$

Положив в (4) $t = t_{n+1}$ и выполнив операцию интегрирования, получим разностное уравнение разомкнутой системы

$$X_{n+1} = \Phi(T_n)X_n + A^{-1}(\Phi(T_n) - 1)Bh_n, \tag{5}$$

где $X_n = X(t_n)$.

Набег фазы выходного сигнала $\omega(t)$ на интервале $[t_n; t_{n+1}]$ с учетом соотношения

$$\varphi_n = \frac{1}{N_Д} \int\limits_{nT+\tau_n}^{nT+kT} \omega(t)dt$$

и (4) вычисляется следующим образом:

$$\varphi_n = \int\limits_{t_n}^{t_{n+1}} \omega(t)dt = KCA^{-1}(\Phi(T_n)-1)(X_n + A^{-1}Bh_n) + (Kh_n + g_n)T_n, \qquad (6)$$

где K – коэффициент усиления НЛЧ.

Сдвиг фазы

$$\psi_{n+1} = \psi_n + \varphi_n - 2\pi j, \qquad (7)$$

где j – отношение выходной частоты к входной в установившемся режиме.

Уравнение импульсного модулятора имеет вид

$$h_{n+1} = U_M(\sin\psi_{n+1} + 1), \qquad (8)$$

где U_M – амплитуда колебаний на выходе УГ; h_{n+1} – напряжение на выходе ИФД на интервале $[t_{n+1}; t_{n+2}]$. Подставив в (8) (6) и (7), получим уравнение замкнутой системы

$$\begin{aligned} h_{n+1} = U_M \sin\big(&\arcsin((h_n / U_M) - 1) + KCA^{-1}(\Phi(T_n) - 1)\times \\ &\times (X_n + ABh_n) + (Kh_n + g_n)T_n - 2\pi j\big) + U_M. \end{aligned} \qquad (9)$$

Уравнения (5), (8) и (9) образуют математическую модель рассматриваемого устройства. Полученную модель представим в следующей форме:

$$h_n = U_M(\sin\psi_n + 1); \qquad (10)$$

$$X_n = \Phi(T_n)X_n + A^{-1}(\Phi(T_n) - 1)BU_M(\sin\psi_n + 1); \qquad (11)$$

$$\begin{aligned} \psi_{n+1} = \psi_n &+ KCA^{-1}(\Phi(T_n) - 1)(X_n + A^{-1}BU_M(\sin\psi_n + 1)) + \\ &+ (KU_M(\sin\psi_n + 1) + g_n)T_n - 2\pi j. \end{aligned} \qquad (12)$$

Координаты установившегося режима получаем из (11) и (12), положив $T_n = T_{n+1} = T^* = \text{const}$; $\psi_n = \psi_{n+1} = \psi^* = \text{const}$; $X_n = X_{n+1} = X^* = \text{const}$; $g_n = g_{n+1} = G = \text{const}$;

$$h^* = \frac{2\pi j}{KT^*} - \frac{G}{K}; \tag{13}$$

$$\psi^* = \arcsin\left(\frac{2\pi j}{KT^* U_M} - \frac{G}{KU_M} - 1\right); \tag{14}$$

$$X^* = -A^{-1}Bh^* = -A^{-1}BU_M(\sin\psi^* - 1). \tag{15}$$

Таким образом, методика моделирования переходного процесса исследуемой ИСФС может быть представлена в следующем виде:

1). Расчет начальных условий по (13)...(15).

2). Расчет X_{n+1} по (11).

3). Расчет ψ_{n+1} по (12).

4). Расчет h_{n+1} по (8).

5). Расчет ω_{n+1} по (5).

Проверка сходимости процесса. Если процесс сходится, то переход к шагу 7.

6). $X_n = X_{n+1}$; $\psi_n = \psi_{n+1}$; $h_n = h_{n+1}$; $\omega_n = \omega_{n+1}$.

Переход к шагу 2.

7). Конец.

В соответствии с данной методикой разработана программа моделирования переходного процесса в исследуемой ИСФС. На рис. 3 представлены результаты моделирования ИСФС с передаточной функцией ФНЧ вида:

$$W(p) = \frac{(3{,}0 \cdot 10^{-5} p + 1)}{(4 \cdot 10^{-4} p + 1)(5 \cdot 10^{-6} p + 1)}$$

и следующими параметрами:

- частота сигнала ГОС $y = 1{,}707^8$ Гц;
- коэффициент усиления НЛЧ $K = 2{,}7 \cdot 10^5$;
- амплитуда ИФД $h = 2{,}8$ В.

Переходный процесс в системе получен при переключении ГОС с частоты $y = 0{,}825^8$ Гц на частоту $y = 1{,}707^8$ Гц.

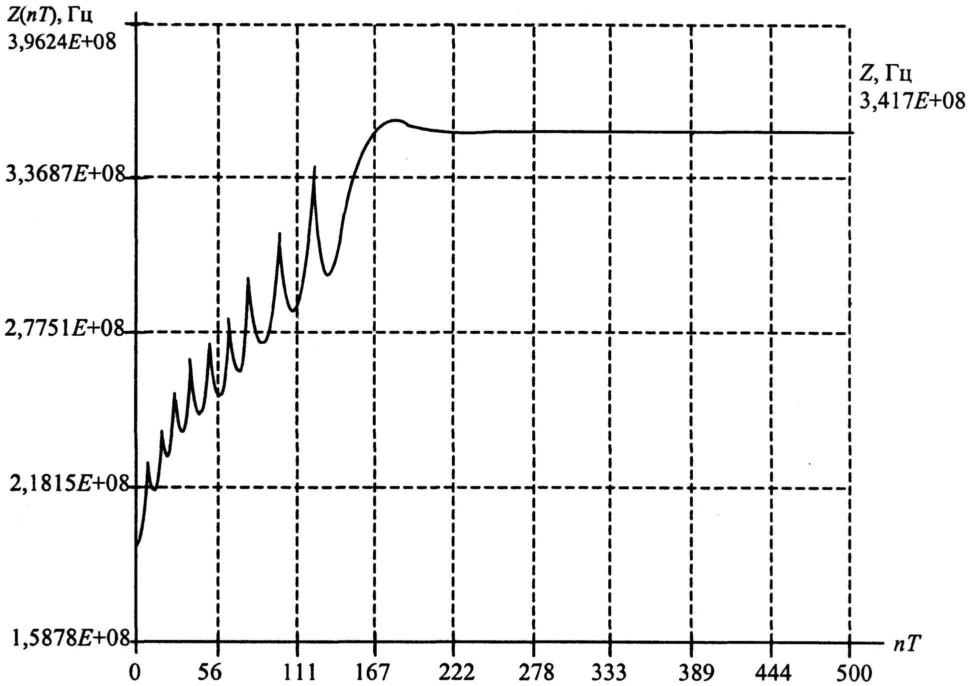

Рис. 3. Переходный процесс в ИСФС с ИФД типа «выборка–запоминание»

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В. П., Шилин Л. Ю., Шилина А. Л. Построение областей кратных захватов ИСФС // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2002. – № 2. – С. 38–44.
2. Шилина А. Л. Построение областей NT-периодических режимов импульсных систем фазовой синхронизации // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2002. – № 5. – С. 43–48.
3. Кузнецов А. П., Батура М. П., Шилин Л. Ю. Анализ и параметрический синтез импульсных систем с фазовым управлением. – Мн.: Навука і тэхніка, 1993.

Представлена кафедрой
математики и информатики

Поступила 12.12.2002

УДК 621.791

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИЛОМОМЕНТНЫХ ДАТЧИКОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ

ЩЕРБАК И. Н.

Белорусский государственный университет

При движении манипулятора в таких операциях, как захват предмета, штабелирование деталей, механообработочных, контрольно-измерительных и других, можно выделить транспортные и рабочие перемещения.