УДК 621.771

Червинский В.П.

АДАПТИВНАЯ СЛЕДЯЩАЯ СИСТЕМА С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

В практике проектирования прецизионных следящих систем часто применяется управление исполнительными органами с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) питающего напряжения. В этом случае одним из основных параметров системы, существенно влияющих на точность процесса слежения, является вид модуляционной характеристики импульсного элемента (ИЭ).

Под модуляционной характеристикой будем понимать зависимость вида

$$\gamma = f(\delta), \tag{1}$$

где $\gamma = t_u / T$ - относительная ширина импульса, t_u -длительность импульса, T-период генерации импульсов, $\delta = \alpha^{*} - \alpha$ - ошибка наведения. α^* и α - соответственно, заданное и измеренное значения отслеживаемой величины.

В силу произвольного поведения отслеживаемой величины априорное и однозначное определение вида функции (1) представляется весьма проблематичным. Поэтому более перспективным является подход, основанный на оценке величины γ на каждом шаге квантования процесса слежения

Ошибка наведения напрямую зависит от погрешности измерения величины отслеживаемого сигнала, иначе от точностных характеристик датчика обратной связи.

Прецизионное наведение подвижных объектов типа антенных устройств движущихся транспортных средств часто осуществляется системой, замкнутой обратной связью по углу поворота, а не по угловой скорости. В (1) величина δ означает ошибку отработки заданного угла поворота выходного вала привода следящей системы

Величину γ предлагается оценивать следующим образом. Рассмотрим замкнутую систему с ШИМ заднего фронта (рис.1).

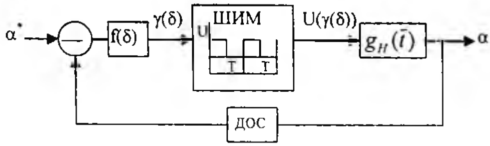

Рис.1 Структурная схема следящей системы

Введем дискретное время

$$\bar{t} = t_н / T = n + \varepsilon \ , \tag{2}$$

где n- целое , $0 \leq \varepsilon \leq 1$

Известно [1], что весовую функцию замкнутой импульсной системы можно определить, зная весовую функцию непрерывной части (привод) и модуляционную характеристику $\gamma = \gamma(\delta[n])$. Пусть весовая функция непрерывной части системы имеет вид

$$g_н(\bar{t}) = \sum_{\nu=1}^{k} c_\nu e^{r_\nu \bar{t}} \ , \tag{3}$$

где c_ν и r_ν - вещественные числа. Зависимость (3) адекватно отражает динамику привода постоянного тока, используемого в качестве объекта управления[2], причем g(t) есть импульсная переходная функция по угловой скорости. Тогда, согласно [1],весовая функция по угловой скорости замкнутой импульсной системы определится как

$$g(\delta[n]) = \begin{cases} \sum\limits_{1}^{K} \dfrac{c_\nu}{r_\nu}(e^{r_\nu \varepsilon} - 1), \forall \varepsilon \in [0, \gamma(\delta[n])], \\ \\ \sum\limits_{1}^{K} \dfrac{c_\nu}{r_\nu} e^{r_\nu \varepsilon}(1 - e^{-r_\nu \gamma(\delta[n])}), \forall \gamma(\delta[n]) \leq \varepsilon \leq 1. \end{cases} \tag{4}$$

Так как рассматривается система, замкнутая обратной связью по углу поворота, то приращение угла поворота за n-й шаг квантования можно определить, зная переходную функцию разомкнутой импульсной системы

$$\mathrm{h}\left[n,\varepsilon\right]=\begin{cases} h_1[n,\varepsilon]=\sum_{m=0}^{n} g_1(\delta[m],\varepsilon), \forall\varepsilon\in[0,\gamma(\delta[n])], \\ h_2[n,\varepsilon]=\sum_{m=0}^{n} g_2(\delta[m],\varepsilon), \forall\gamma(\delta[n])\le\varepsilon\le 1. \end{cases} \tag{5}$$

С учетом (4) выражение (5) можно переписать в виде

$$\mathrm{h}[\mathrm{n},\varepsilon]=\begin{cases} h_1[n,\varepsilon]=\sum_{\nu=1}^{k}\frac{c_\nu}{r_\nu}\left(e^{r_\nu\varepsilon}-1\right)+\sum_{m=1}^{n}\sum_{\nu=1}^{k}\frac{c_\nu}{r_\nu}e^{r_\nu(n+\varepsilon)}\left(1-e^{-r_\nu\gamma(\delta[m])}\right), \forall\varepsilon\in[0,\gamma(\delta[n])], \\ h_2[n,\varepsilon]=\sum_{m=0}^{n}\sum_{\nu=1}^{k}\frac{c_\nu}{r\nu}e^{r_\nu(m+\varepsilon)}\left(1-e^{-r_\nu\gamma(\delta[m])}\right), \forall\gamma(\delta[n])\le\varepsilon\le 1. \end{cases} \tag{6}$$

Из (6) следует, что

$$\mathrm{h}_1\,[\mathrm{n},\varepsilon]=\mathrm{h}_2\left[n,\varepsilon\right]+\sum_{\nu=1}^{k}\frac{C_\nu}{r_\nu}\left(e^{r_\nu\varepsilon}-1\right)-\sum_{\nu=1}^{k}\frac{C_\nu}{r_\nu}e^{r_\nu\varepsilon}\left(1-e^{r_\nu\gamma_0}\right). \tag{7}$$

Используя (5), можно записать выражение для приращения угла поворота выходного вала привода на n-ом шаге процесса слежения в зависимости от скважности импульса питающего напряжения на этом шаге

$$\Delta\alpha\left[n\right]=\mathrm{U}\int_{0}^{\gamma(\delta[n])}h_1[n,\varepsilon]d\varepsilon+\int_{\gamma(\delta[n])}^{1}h_2[n,\varepsilon]d\varepsilon, \tag{8}$$

где U-амплитуда импульса, которую далее, не нарушая общности, положим равной 1.

Подставляя (6) в (8) и используя (7), получим

$$\begin{aligned}\Delta\alpha[n]&=\sum_{\nu=1}^{n}\frac{C_\nu}{r_\nu}\int_{0}^{\gamma(\delta[n])}\left(e^{r_\nu\varepsilon}-1\right)d\varepsilon+\sum_{m=1}^{n}\sum_{\nu=1}^{k}\frac{C_\nu}{r_\nu}\left(1-e^{r_\nu\gamma(\delta[m])}\right)\int_{0}^{\gamma(\delta[n])}e^{r_\nu(\varepsilon+m)}d\varepsilon+\\&+\sum_{m=1}^{n}\sum_{\nu=1}^{k}\frac{C_\nu}{r_\nu}\left(1-e^{r_\nu\gamma(\delta[m])}\right)\int_{\gamma(\delta[n])}^{1}e^{r_\nu(\varepsilon+m)}d\varepsilon.\end{aligned} \tag{9}$$

Равенство (9) можно рассматривать как уравнение относительно γ(δ[n]), если известно Δα[n],что всегда можно считать выполненным. После интегрирования в (9) и преобразований окончательно получаем уравнение для определения γ(δ[n]):

$$\mathrm{A}\left(\gamma[n]-1\right)-F\left(\gamma[n-1]\right)+B\left(\gamma[n-1]\right)+D=\Delta\alpha[n], \tag{10}$$

где

$$A=\sum_{\nu=1}^{k}\frac{C_\nu}{r_\nu},$$

$$F(\gamma[n]-1)=\sum_{\nu=1}^{k}\frac{c_\nu}{r_\nu}e^{-r_\nu(\gamma[n]-1)},$$

$$B(\gamma[n-1])=\sum_{\nu=1}^{k}\frac{c_\nu}{r_\nu}+\sum_{m=0}^{n-1}\sum_{\nu=1}^{k}\frac{c_\nu}{r_\nu}\left(e^{r_\nu}-1\right)\left(1-e^{-r_\nu\gamma[m]}\right),$$

$$D=\sum_{\nu=1}^{k}\frac{c_\nu}{r_\nu}e^{r_\nu}$$

Чтобы учесть ошибку наведения, положим в (10)

$$\Delta\alpha[n]=\Delta\alpha^*[n]+\delta[n]\ , \qquad (11)$$

где $\Delta\alpha^*[n]$ - приращение заданного значения угла поворота, являющееся известной величиной; $\delta[n]$ - ошибка наведения, спрогнозированная по предыдущим измерениям угла поворота.

Решая численно или аппаратными средствами уравнение (10), получаем расчетное значение относительной ширины импульса $\gamma_{рас}[n]$.

Окончательно система управления на n-ом шаге наведения отрабатывает импульс шириной $|\gamma[n]|$,определяемой по формуле, аналогичной для самообучающихся систем [3]

$$|\gamma[n]|=|\gamma[n-1]+\eta(\gamma_{ра}[n]-\gamma[n-1])|,\quad 0\le\eta\le 1, \qquad (12)$$

где η - параметр, определяемый экспериментально из условия обеспечения заданной точности слежения для выбранного класса входных сигналов.

Очевидно, что $\gamma[n]$ может иметь разные знаки, поэтому отрабатываемый импульс определяется по формуле

$$\gamma\ [n]=sign\delta[n]*|\gamma[n]|. \qquad (13)$$

Полученное уравнение (10) для определения расчетной величины ширины импульса в каждый момент времени позволяет строить модуляционную характеристику ИЭ, адекватную поведению отслеживаемой величины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов В.А., Ющенко А.С.Теория дискретных систем автоматического управления. М.: Наука, 1983.
2. Борисов К.Н., Нагорский В.Д. Электропривод летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1967.
3. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. М.: Наука, 1968.