

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИБЛИЖЕННО-ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ПРОГРАММНОГО НАВЕДЕНИЯ АНТЕННОГО УСТРОЙСТВА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Система программного наведения антенного устройства (СПН АУ) космического аппарата (КА) на основании информации, поступающей из бортовой вычислительной сети (БВС), осуществляет ориентацию АУ, при которой его геометрическая ось (ГО) во все время сеанса связи направлена в заданную точку пространства. Точность наведения ГО АУ определяется требованиями к устойчивости самого процесса приема-передачи информации и к ее качеству.

Наведение АУ производится в связанной с корпусом КА системе координат путем поворота АУ вокруг двух взаимно-перпендикулярных осей. Каждый из двух каналов управления СПН представляет собой следящую систему, замкнутую обратной связью по углу поворота, что обеспечивает более высокую точность наведения ГО АУ по сравнению с обратной связью по угловой скорости.

Рассмотрим следящую систему типовой структуры [1] с широтно-импульсным регулированием скорости вращения привода постоянного тока в качестве исполнительного органа. В этом случае регулирование скорости вращения выходного вала привода осуществляется путем широтно-импульсной модуляции (ШИМ) питающего напряжения привода, которая реализуется на основании модуляционной характеристики.

Модуляционная характеристика представляет собой зависимость вида

$$\gamma = f(\delta), \quad (1)$$

где  $\gamma = \tau/T$  - относительная ширина импульса,  $\tau$  - длительность импульса,  $T$  - период генерации импульсов;  $\delta = (\varphi_{\text{БВС}} - \varphi_{\text{ДОС}})$  - ошибка наведения ГО АУ,  $\varphi_{\text{БВС}}$  - заданное значение угла поворота вокруг своей оси,  $\varphi_{\text{ДОС}}$  - измеренное значение угла поворота выходного вала привода той же оси.

Вид модуляционной характеристики  $I$  представлен на рис. 1.

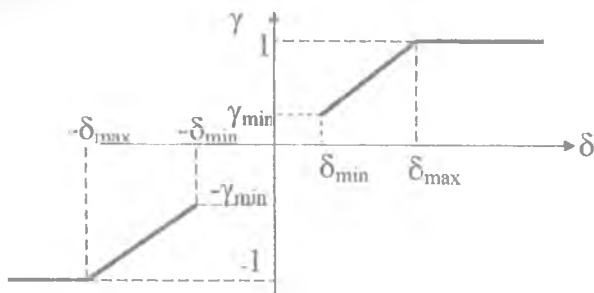


Рис.1 Модуляционная характеристика ШИМ

В аналитическом виде функция, изображенная на рис. 1, запишется как

$$\gamma = \begin{cases} \text{sign} \delta, & \forall |\delta| \geq \delta_{\max}, \\ \text{sign} \delta \cdot \gamma_{\min} + \frac{1 - \gamma_{\min}}{\delta_{\max} - \delta_{\min}} (\delta - \text{sign} \delta \times \delta_{\min}), & \forall |\delta| \in [\delta_{\min}, \delta_{\max}], \\ 0, & \forall |\delta| < \delta_{\min}. \end{cases} \quad (2)$$

Из (2) видно, что модуляционная характеристика задается тремя параметрами:  $\delta_{\max}$  и  $\gamma_{\min}$ . В случае адаптивной следящей системы с ШИМ в число параметров, подлежащих оптимизации, необходимо включить частоту импульсов  $f$  и параметр  $\eta$  [2], характеризующий плавность изменения относительной ширины импульса  $\gamma$  в процессе слежения. Непосредственно привод как динамическое звено можно характеризовать электро-механической постоянной  $T_{ЭМ}$  и величиной питающего напряжения  $U$ . Таким образом, основными параметрами СШИ являются 7 величин:  $T_{ЭМ}, \delta_{\min}, \delta_{\max}, \gamma_{\min}, f, \eta, U$ .

Очевидно, что СШИ АУ представляет собой [1] существенно нелинейную систему, особенно, если учитывать люфт и зону нечувствительности привода. Поэтому непосредственное аналитическое исследование влияния вариаций указанных параметров на точность наведения АУ представляет сложную задачу. Принимая во внимание то, что эти параметры могут изменяться в незначительных пределах, ограниченных проектными решениями, определение приближенно оптимальных значений параметров предлагается осуществлять, применяя теорию планирования эксперимента на основе последовательного симплексного метода (ПСМ). Тогда, следуя [3], выбираем начальную точку в пространстве параметров с координатами, равными средним значениям допустимых диапазонов их изменений, и задаем

допустимыми вариациями (отклонениями) для каждого параметра, равными, например, 1/10 части диапазона его изменения.

Определение приближенно-оптимальных значений параметров проводится путем последовательного их уточнения, реализуемого с помощью ПСМ. Если число варьируемых параметров  $k=7$ , то начальная матрица планирования в натуральных координатах имеет вид [3], где  $X_k$  – средние значения диапазона изменения  $k$ -го параметра,  $k=1-7$ ;  $\Delta_k$  – принятое приращение  $k$ -го параметра.

Нумерация параметров произвольна. Последний столбец матрицы содержит значения критерия оптимальности, соответствующего данным значениям параметров.

№ опыта	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$V$
1	$X_1 + \Delta_1$	$X_2 - \Delta_2$	$X_3 + \Delta_3$	$X_4 + \Delta_4$	$X_5 + \Delta_5$	$X_6 + \Delta_6$	$X_7 - \Delta_7$	$V_1$
2	$X_1 + \Delta_1$	$X_2 - \Delta_2$	$X_3 - \Delta_3$	$X_4 - \Delta_4$	$X_5 - \Delta_5$	$X_6 + \Delta_6$	$X_7 + \Delta_7$	$V_2$
3	$X_1 - \Delta_1$	$X_2 + \Delta_2$	$X_3 - \Delta_3$	$X_4 - \Delta_4$	$X_5 + \Delta_5$	$X_6 - \Delta_6$	$X_7 + \Delta_7$	$V_3$
4	$X_1 + \Delta_1$	$X_2 + \Delta_2$	$X_3 + \Delta_3$	$X_4 + \Delta_4$	$X_5 - \Delta_5$	$X_6 - \Delta_6$	$X_7 - \Delta_7$	$V_4$
5	$X_1 - \Delta_1$	$X_2 - \Delta_2$	$X_3 + \Delta_3$	$X_4 + \Delta_4$	$X_5 - \Delta_5$	$X_6 - \Delta_6$	$X_7 + \Delta_7$	$V_5$
6	$X_1 - \Delta_1$	$X_2 - \Delta_2$	$X_3 - \Delta_3$	$X_4 - \Delta_4$	$X_5 + \Delta_5$	$X_6 - \Delta_6$	$X_7 - \Delta_7$	$V_6$
7	$X_1 - \Delta_1$	$X_2 - \Delta_2$	$X_3 + \Delta_3$	$X_4 - \Delta_4$	$X_5 - \Delta_5$	$X_6 + \Delta_6$	$X_7 - \Delta_7$	$V_7$
8	$X_1 + \Delta_1$	$X_2 + \Delta_2$	$X_3 - \Delta_3$	$X_4 + \Delta_4$	$X_5 + \Delta_5$	$X_6 + \Delta_6$	$X_7 + \Delta_7$	$V_8$

В качестве критерия оптимальности принимаем величину модуля средней ошибки наведения

$$V = \sqrt{\sum \delta_i^2 / N},$$

где  $\delta_i$  – ошибка наведения на  $i$ -м шаге процесса слежения;  $N$  – число шагов в сеансе связи.

Процедура последовательного уточнения параметров заключается в том, что после проведения  $k+1$  экспериментов отыскивается строка текущей матрицы планирования, содержащая наибольшее значение критерия  $V$ , которая заменяется при проведении следующего эксперимента. Новые значения параметров рассчитываются согласно правилу отражения наихудшей вершины симплекса по формуле

$$X_{i,n+1} = \frac{2}{k} \sum X_{i,m} - X_i^*$$

где  $i=1,2,\dots,k$  – номер параметра,  $n=k+1$  – число вершин в исходном симплексе;  $X_{i,n+1}$  – координаты новой вершины, т.е. новые значения параметров. При этом суммирование ведется по всем точкам  $i$ -го столбца, исключая отбрасываемые  $X_i^*$ .

На каждом шаге уточнения рассматривается матрица размера  $8 \times 8$ . Признаком окончания процедуры уточнения, т.е. достижения  $\min V$ , является заикливание, т.е. получение одних и тех же значений параметров на последующих шагах.

Описанная процедура определения приближенно-оптимальных параметров СПН АУ проводится для всех предусмотренных законов изменения углов поворота по обоим каналам управления. Предлагаемая процедура может использоваться в составе программного обеспечения как при проведении наземных испытаний СПН АУ, так и в составе бортового программного обеспечения при наличии библиотеки параметров СПН и соответствующих эталонных функций, описывающих изменение отслеживаемых величин в виде временных зависимостей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисов К.Н., Нагорский В.Д. Электропривод летательных аппаратов. М., Машиностроение, 1967.
2. Червинский В.И. Адаптивная следящая система с широтно-импульсной модуляцией. Собрание трудов XI Всероссийского научно-технического семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов, Самара 2003, с 118-121.
3. Горский В.И., Адлер Ю.Н. Планирование промышленных экспериментов. М., Наука, 1974.