

Анализ динамических характеристик нелинейного амплитудно-фазового преобразователя с регулированием по отклонению с фильтром произвольного порядка

И.А. Курилов, Д.Н. Романов, Г.С. Васильев

Муромский институт Владимирского государственного университета
602264, г Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23
E-mail: rt@mivlgu.ru

На основе спектрального метода получены аналитические выражения динамических характеристик преобразователя. Они позволяют исследовать процессы при различных типах фильтров и видах нелинейности детектора управляющего тракта.

On the basis of spectral method analytical expressions for dynamic characteristics of the converter are obtained. They allow to research processes with various types of filters and sorts of nonlinearity of the control path detector

Вариантами схемы амплитудно-фазового преобразователя (АФП), могут быть эквивалентно представлены радиопередатчик сигналов, ряд схем автоматических компенсаторов фазовых и амплитудных помех, и др.

В состав преобразователя с регулированием по отклонению (РО) (рис. 1) входят: аналогичный ему АФП*, управляющее устройство (УУ), управляющий тракт (УТ) и весовой распределитель (ВР). В управляющем устройстве (УУ) осуществляется управление амплитудой и (или) фазой входного сигнала. УТ состоит из детектора отклонения амплитуды и (или) фазы сигнала (Д), а также фильтра (Ф).

На схеме обозначено U_1, u_1 и U_2, u_2 - входные (основной, дополнительный) и выходные сигналы, u - управляющий сигнал.

Для вывода аналитического выражения динамической характеристики нелинейного АФП с РО аппроксимируем нелинейную характеристику Д на основе непрерывных кусочно-линейных функций (НКЛФ) [1], в виде суммы $M-1$ линейных участков, где M - максимальный номер узла аппроксимации. Уравнение аппроксимирующего отрезка прямой для узла m : $f=K_m(y - Y_m)+ F_m$, где K_m - крутизна прямой, y - параметр (амплитуда или фаза) выходного сигнала преобразователя, Y_m, F_m - значения y и f в m -м узле. Коэффициент передачи АФП* принят равным 1, $u_1=u_2=0$.

Обозначим x - параметр (амплитуда или фаза) входного сигнала, $M(p)$ - коэффициент передачи Ф, где $p = d/dt$ - оператор, t - время, K_y - коэффициент передачи УУ, n_p - коэффициент передачи ВР, $N_m = K_y n_p K_m$ - коэффициент регулирования, $B_m^* = K_y n_p (F_m - K_m Y_m)$. Тогда, при скачкообразном отклонении x ($x=X_n/p$, где X_n величина отклонения), изображение по Лапласу выходного параметра на участке m [$Y_m; Y_{m+1}$] примет вид

$$y_n(p) = X_n - B_n^* M(p) / p[1 + N_n M(p)]. \quad (1)$$

Заменим в (1) p на $j\omega$ и применим к полученному выражению обратное преобразование Фурье для перехода к временному представлению сигнала. Аналитическое решение интеграла Фурье при

больших порядках фильтра затруднено. Удобно применить аппроксимацию $y_{1m}(\omega) = \text{Re}[y_m(j\omega)]$ и $y_{2m}(\omega) = -\text{Im}[y_m(j\omega)]$ суммой НКЛФ в виде логарифмических трапеций, что позволяет получить обобщенное выражение ДХ

$$y_m(t) = \sum_{n=0}^{N-1} y_{1n,m}(t) = s_{\text{вх}}(t) H_T(0) + \frac{2}{\pi} \sum_{n=0}^{N-1} \frac{a_{0n,m}}{\Delta_n} \cdot [Si(\omega_{kn}t) - Si(\omega_{нn}t)], \quad (2)$$

где $Si(x)$ - интегральный синус; n - текущий номер аппроксимирующей трапецеидальной НКЛФ, $n=0 \dots N-1$, N - общее число трапеций; $a_{0n,m}$ - высота n -й трапеции $y_{1n,m}(\omega)$ для m -го участка характеристики Д; $\omega_{нn}$, ω_{kn} и Δ_n - начальная, конечная частота и полоса n -й трапеции ($\Delta_n = \ln(\omega_{нn}) - \ln(\omega_{kn})$), $H_T(0)$ - коэффициент передачи Ф по постоянному току на участке m характеристики детектора.

Общее решение $y(t)$, получаем суммированием частных решений $y_{1m}(t)$

$$y(t) = \sum_{m=m_H}^{m_{\text{уст}}} y_m(t-t_m) Q_m[y_m(t-t_m)], \quad (3)$$

где $m_{н,уст}$ - номера узлов аппроксимации, соответствующих начальному и установившемуся значениям выходного параметра $Y_{н,уст}$, t_m - временной сдвиг, Q_m - НКЛФ включения принимающая значения 1 или 0.

Для расчета t_m определим абсциссы точек пересечения $y_m(t)$ с прямой Y_m , представив $y_m(t)$ линейной зависимостью в диапазоне $[t_k; t_{k+1}]$, где $k = 0 \dots K-1$, K - число линейных участков аппроксимации характеристики $y_m(t)$ в диапазоне $[t_0; t_{K-1}]$.

Исключение «ложных», не принадлежащих диапазону $[t_k; t_{k+1}]$ решений выполняется с помощью НКЛФ включения $Q_k(t_{m,k})$: $t_m = \sum_{k=0}^{K-1} t_{m,k} Q_k(t_{m,k})$.

Выражение (3) позволяет рассчитать ДХ преобразователя. На рис. 2 показаны характеристики АФП с ФНЧ 1,2,3-го порядков (f_2, f_3) для $K_y=1$, $n_p=2$, $T_\Phi=1$ с; $X_n=1$, $M=3$, где T_Φ - постоянная времени одного звена фильтра УТ.

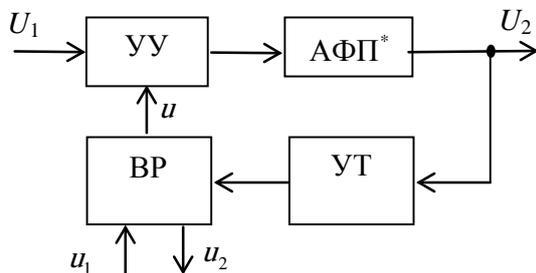


Рис. 1

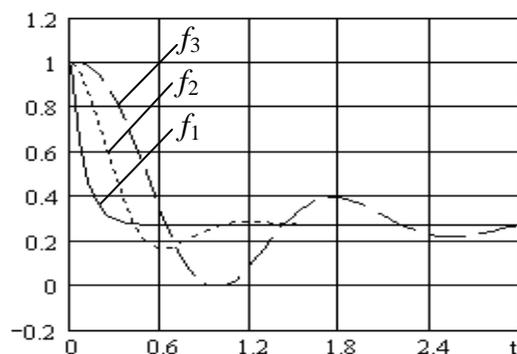


Рис. 2

Аналитическое выражение ДХ для исследования конкретного нелинейного преобразователя может быть получено подстановкой параметров АФП в (3). Характеристики линейного АФП являются частным случаем общего выражения при $m_n = m_{уст}$.

На основе спектрального метода получены выражения и построены графики ДХ нелинейного АФП для трех участков аппроксимации. Выражения позволяют исследовать переходные процессы преобразователя при произвольном порядке фильтра и для произвольного характера нелинейности Д. При анализе динамических режимов конкретного радиоустройства, аппроксимированного АФП с РО, его характеристики могут быть получены подстановкой соответствующих числовых коэффициентов устройства в общие выражения ДХ.

Литература

1. Курилов И.А., Васильев Г.С. Динамические характеристики нелинейного амплитудно-фазового преобразователя с регулированием по отклонению. – Радиотехника, 2009, № 5, С 3-8.