

Васильев<sup>1</sup> Г.С., Кузичкин<sup>1</sup> О.Р., Курилов<sup>2</sup> И.А., Суржик<sup>2</sup> Д.И.

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный национальный исследовательский университет"

<sup>2</sup>Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23  
E-mail: vasilievgleb@yandex.ru

### Методика анализа устойчивости формирователей зондирующих сигналов геоэлектрических систем геодинамического мониторинга

Применение многополюсных электроустановок в системах геоэлектрического контроля позволяет осуществлять эффективный геодинамический мониторинг среды в условиях действия промышленных и климатических помех, а также сложной застройки, характерных для большинства промышленных объектов. Для надежности функционирования фазометрических систем геодинамического контроля необходимо обеспечить устойчивость формирователей сигналов данных систем при вариации параметров установки и воздействии мультипликативных помех.

Анализ различных схем формирователей зондирующих сигналов (ФЗС) геоэлектрических систем геодинамического мониторинга удобно проводить на основе обобщенной схемы амплитудно-фазового преобразователя сигналов (АФП) [1-3]. Для анализа конкретного устройства достаточно подставить его коэффициенты в конечные выражения соответствующего варианта АФП. Это позволяет исключить этапы составления уравнений, описывающие устройство, и решения данных уравнений с целью получения аналитических выражений конкретных характеристик. Что существенно упрощает исследование различных радиоустройств.

Параметры цепи регулирования по возмущению не влияют на устойчивость, поэтому анализ может быть проведен для преобразователя с регулированием по отклонению. Такой вариант схемы АФП включает в себя аналогичный ему амплитудно-фазовый преобразователь, управляющее устройство, последовательно соединенные управляющий тракт и весовой распределитель. Управляющее устройство управляет амплитудой и (или) фазой входного сигнала. В состав управляющего тракта входят детектор отклонения амплитуды и (или) фазы сигнала, а также фильтр. Коэффициент регулирования по отклонению  $N_2$  определяется как произведение крутизны и максимального размаха характеристики детектора, крутизны регулировочной характеристики по соответствующему параметру, коэффициента передачи отклонения на выход АФП и соответствующего коэффициента передачи весового распределителя.

В настоящей работе приводятся полученные обобщенные соотношения для анализа абсолютной устойчивости АФП в нелинейном режиме («в целом») на основе критерия Попова и аппроксимации годографа устройства с помощью НКЛФ.

Нижнее  $\tilde{N}_2^H$  и верхнее  $\tilde{N}_2^G$  граничные значения коэффициента регулирования соответствуют

границам устойчивости нелинейного преобразователя:

$$\tilde{N}_2^H = \max \{k_{m,n} [1 - \tilde{q}(k_{m,n})]\}, \quad \tilde{N}_2^G = \min \{k_{m,n} \tilde{q}(k_{m,n})\},$$

где переключающая НКЛФ  $\tilde{q}(\vartheta) = \frac{1}{2\Delta} [|\vartheta + \Delta| - |\vartheta - \Delta|]$  принимает значение 1 при  $\vartheta \geq 0$  и 0 при

$\vartheta < 0$ ,  $\Delta \rightarrow 0$  - малый параметр [2],  $k_{m,n} = -1/b_{m,n} Q_{m,n}(b_{m,n})$ ,  $b_{m,n}$  - абсциссы прямых, аппроксимирующих годограф комплексной передаточной функции фильтра, включающая НКЛФ

$Q_{m,n}(\vartheta) = \frac{1}{2\Delta} \sum_{\lambda=0}^1 \sum_{\gamma=0}^1 (-1)^{\lambda+\gamma} |\vartheta + \vartheta_n - \vartheta_m(1-\gamma) - \Delta\lambda|$  принимает значение 1, если ее аргумент при-

надлежит участку  $[\omega_n; \omega_m]$ , и 0 - в противном случае.

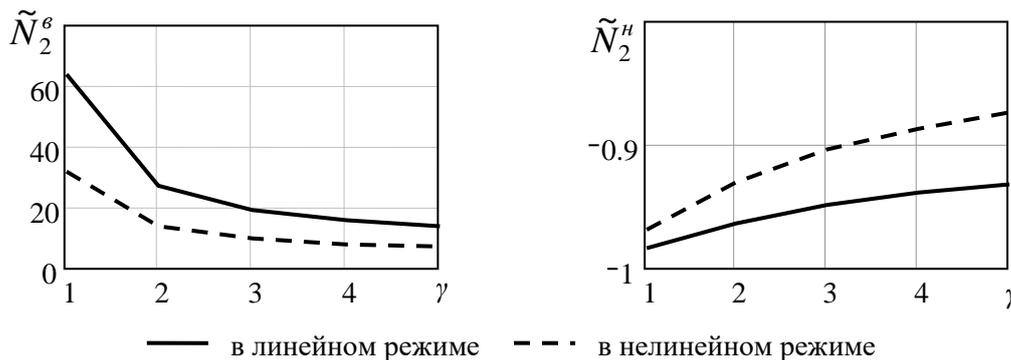
Годограф изменяется наиболее быстро в области малых значений частоты и медленно -

при больших. Для уменьшения погрешности расчета граничных коэффициентов расположение узлов аппроксимации годографа  $\omega_n$  и  $\omega_m$  выполнено по экспоненциальному закону.

Выполнен анализ устойчивости нелинейного ФЗС с четырьмя типами фильтров различного порядка (4, 6, 8, 10-го): нижних частот (ФНЧ), верхних частот (ФВЧ), полосовыми (ПФ) и режекторными (РФ). Каждый ФНЧ и ФВЧ состоит из одинаковых фильтров первого порядка. В состав ПФ и РФ входит равное число звеньев ФНЧ и ФВЧ, отношение постоянных времени звеньев ФВЧ и ФНЧ равно  $\gamma$ .

Полученные зависимости граничных устойчивых коэффициентов  $\tilde{N}_2^{n,6}$  показаны на рис. 1.

При переходе устройства с ПФ в нелинейный режим работы область устойчивости существенно сужается сверху (рис. 1, а), с РФ – снизу (рис. 1, б). Результаты расчета нижней границы абсолютной устойчивости для ПФ совпадают с полученными на основе критерия Найквиста в [3] для линейного режима.



а) верхняя граница для ПФ 6-го порядка

б) нижняя граница для РФ 6-го порядка

Рис. 1 – Зависимости граничных устойчивых коэффициентов ФЗС от  $\gamma$  в линейном и нелинейном режиме

Зависимости абсолютно устойчивых коэффициентов  $N_2$  ФЗС с фильтрами нижних (ФНЧ) и верхних частот (ФВЧ) совпадают с приведенными в [3] для устойчивости «в малом» для любого порядка фильтра до 10-го включительно. Сужение области устойчивости сверху в нелинейном режиме, показанное с использованием разработанного метода, необходимо учитывать при проектировании формирователей зондирующих сигналов геоэлектрических систем геодинимического мониторинга, функционирующих в условиях воздействия сильных дестабилизирующих факторов.

Получены выражения, определяющие граничные значения коэффициента регулирования по отклонению, соответствующего устойчивой работе ФЗС «в целом» (при больших величинах воздействий). Применение АФП и НКЛФ позволяет исследовать на основе обобщенных соотношений абсолютную устойчивость устройств с различным типом и порядком фильтра в цепи обратной связи.

### Литература

1. Курилов И.А. Обобщенная схема амплитудно-фазового преобразования сигналов. – Радиотехника, 2006, № 6.
2. Курилов И.А., Васильев Г.С., Харчук С.М., Суржик Д.И. Исследование устойчивости преобразователя сигналов на основе непрерывных кусочно-линейных функций. – Радиотехнические и телекоммуникационные системы. №1, 2012. – С. 4-7.
3. Исследование устойчивости амплитудно-фазового преобразователя на основе частотного критерия. – Научный потенциал молодежи - будущее России [Электронный ресурс]: IV Всероссийские научные Зворыкинские чтения. Сб. тез. докладов IV Всероссийской молодежной научной конференции. Муром, 12 апреля 2013 г. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2013. –1 электрон. опт. диск (CD-ROM).