

Курилов И.А., Суржик Д.И., Васильев Г.С., Царьков П.Н.  
 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: kh@mivlgu.ru

### Устойчивость формирователя сигналов с ЦВС в информационном тракте

При построении радиотехнических устройств и систем различного назначения, в качестве генераторов стабильных сигналов широкое распространение получили формирователи сигналов на основе системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) с применением цифрового вычислительного синтезатора частот (ЦВС). В исследуемом устройстве вычислительный синтезатор включен в информационный тракт системы ФАПЧ.

Для повышения качественных показателей устройства в схему введен автоматический компенсатор фазовых искажений [1-3]. Что позволило снизить уровень собственных искажений ЦВС и формирователя в целом. Принцип действия автокомпенсатора следующий. Сигналы с входа и выхода цифроаналогового преобразователя (ЦАП) ЦВС пройдя соответственно опорный и информационный тракты, поступают на опорный и информационный входы фазового детектора. На выходе фазового детектора формируется сигнал, пропорциональный паразитному отклонению фазы (фазовым искажениям) сигнала ЦАП. После фильтрации и усиления данный сигнал в управляемом фазовращателе (линии задержки) протифофазно управляет входным (тактовым) сигналом ЦАП, так, что первоначальное отклонение фазы компенсируется.

На основе структурной схемы построена структурная модель линеаризованного формирователя сигналов при воздействии всех заданных возмущений и составлено дифференциальное уравнение формирователя в операторной форме. Найдено решение данного уравнения в виде передаточных функций.

Составляющие передаточных функций по соответствующим воздействиям имеют вид:

$$h_{\varepsilon_0\varphi} = K_{\varepsilon_0} K_{\varphi} K, \quad h_{\varepsilon_{\Gamma}\varphi} = K_{\varepsilon_{\Gamma}}, \quad h_{\varepsilon_{\Upsilon}\varphi} = K_{\varepsilon_{\Upsilon}} K_{\varphi} K, \quad h_{\varepsilon_{\Pi}\varphi} = K_{\varepsilon_{\Pi}} K, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_{\Gamma}$ ,  $\varepsilon_{\Pi}$  и  $\varepsilon_{\Upsilon}$  - возмущения, действующие соответственно на тракт опорного генератора формирователя, на управляемый генератор системы ФАПЧ, на ЦАП ЦВС и на управляемый фазовращатель автокомпенсатора,  $K_{\varepsilon_0}$ ,  $K_{\varepsilon_{\Gamma}}$ ,  $K_{\varepsilon_{\Upsilon}}$ ,  $K_{\varepsilon_{\Pi}}$ , - коэффициенты передачи возмущений, действующих соответственно на тракт опорного генератора формирователя, на управляемый генератор системы ФАПЧ, на ЦАП ЦВС и на управляемый фазовращатель  $K_{\varphi}$  и  $K_{\Pi}$  - коэффициенты передачи делителя частоты опорного генератора и ЦАП,  $K = K_{\Pi} M(p)$   $K_{\Gamma}/p$  - коэффициент,  $K_{\Pi}$  - коэффициент передачи фазового детектора,  $M(p)$ -передаточная функция фильтра системы ФАПЧ,  $p=d/dt$  - оператор Лапласа,  $K_{\Gamma}$  - коэффициент передачи управляемого генератора. При моделировании полагаем, что фильтр ЦВС достаточно широкополосный и его передаточная функция  $M_{\Pi}(p)=1$ . С учетом (1) основное уравнение формирователя для отклонения фазы выходного сигнала принимает вид

$$\left( \varepsilon_0 h_{\varepsilon_0\varphi} + \varepsilon_{\Gamma} h_{\varepsilon_{\Gamma}\varphi} - \left( \varepsilon_{\Upsilon} h_{\varepsilon_{\Upsilon}\varphi} + \varepsilon_{\Pi} h_{\varepsilon_{\Pi}\varphi} \right) \frac{1}{Q} \right) \frac{1}{\beta} = \varphi, \quad (2)$$

где  $\beta = 1 + \frac{1}{\tau p} M(p)$ ,  $\tau$  - постоянная времени синтезатора частот на основе ФАПЧ,  $Q = 1 + 0,5 N_A M_A(p)$ ,  $N_A$  - коэффициент регулирования автокомпенсатора,  $M_A(p)$  - передаточная функция фильтра управляющего тракта автокомпенсатора.

Модель формирователя сигналов, построенная по выражению (2) представлена на рис.1. Возбуждение возможно в двух блоках. Выражения для петлевого усиления данных блоков

$$K_Q(p) = 0,5 N_A M_A(p), \quad (3)$$

$$K_{\beta}(p) = \frac{1}{\tau p} M(p). \quad (4)$$

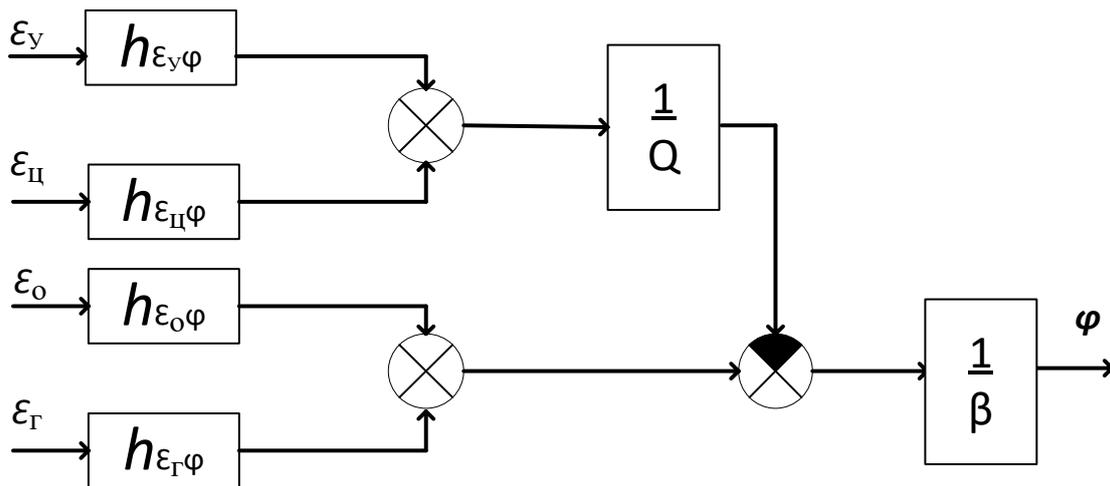


Рис.1. Модель формирователя сигналов

В работе рассчитаны и построены годографы формирователя сигнала для различных параметров устройства. Параметры блока автокомпенсатора представлены в табл.1. Здесь  $T_A$  - постоянная времени фильтра управляющего тракта автокомпенсатора.

Таблица 1 – Параметры блока автокомпенсатора

$M_A(p)$	$T_A$	$N_A$				
$M_A(p) = 1$	0	0	0,1	1	10	100
$\frac{1}{1 + T_A p}$	1		0,1	1	10	100
	10		0,1	1	10	100
	100		0,1	1	10	100
$\frac{1}{(1 + T_A p)(1 + T_A p)}$	1		0,1	1	10	100
	10		0,1	1	10	100
	100		0,1	1	10	100

Исследование устойчивости формирователя сигнала проведено для фильтров нижних частот первого и второго порядков, и для широкополосного тракта управляющего сигнала, как автокомпенсатора, так и системы ФАПЧ формирователя. Исследована зависимость устойчивости формирователя при изменениях постоянных времени применяемых фильтров и параметров устройства.

### Литература

1. Курилов И.А., Васильев Г.С., Харчук Д.И., Суржик Д.И. Исследование устойчивости преобразователя сигналов на основе непрерывных кусочно-линейных функций // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2012. – №1. – С. 4-7.
2. Суржик Д. И., Курилов И. А., Васильев Г. С. Компенсация искажений ЦВС в гибридных синтезаторах частот // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. - 2015. – № 4(20). - С. 13-19
3. Васильев Г.С., Курилов И.А., Харчук С.М. Моделирование нелинейного автокомпенсатора фазовых искажений ЦАП прямого цифрового синтезатора частот // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. №2, 2014. – С. 30-38.