

Курилов И.А., Васильев Г.С., Суржик Д.И.  
 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

### Характеристики гибридного синтезатора частот при фазовых искажениях ЦВС

В работе проведено исследование гибридного синтезатора частот (ГСЧ) на основе системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и цифрового вычислительного синтезатора частот (ЦВС) в информационном тракте ФАПЧ. Для подавления собственных искажений ЦВС, он охвачен системой автоматической компенсации фазовых искажений [1-2].

Применение в схеме ГСЧ системы автоматической компенсации фазовых искажений позволило существенно уменьшить, уровень фазовых искажений устройства в целом. Принцип действия автоматического компенсатора фазовых искажений основан на выделении закона паразитного отклонения фазы в блоке, подверженном искажениям и противофазном отклонении фазы сигнала данного блока таким образом, что первоначальное паразитное отклонение фазы компенсируется. В исследуемом синтезаторе системой автокомпенсации охвачен цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) ЦВС.

К факторам, вызывающим рост фазовых искажений выходного сигнала ЦАП, относятся: шумы квантования или дискретизации, фазовые шумы, погрешности преобразования ЦАП, переходные процессы, при смене управляющего кода, джиттер отдельных звеньев синтезатора и интерфейсов между блоками [3].

Разработана структурная модель ГСЧ при Фазовых искажениях выходного сигнала ЦАП (рис.1). Для этого проведена замена блоков схемы электрической структурной ГСЧих моделями. Поскольку фильтр ЦВС достаточно широкополосный для спектра искажений, в модели принято, что его передаточная функция  $M_{\Pi}(p)=1$ , где  $d/dt$  – оператор Лапласа.

На модели параметры блоков системы ФАПЧ обозначены:  $K_d$  – коэффициент передачи фазового детектора,  $M(p)$  – передаточная функция фильтра,  $K_{\Sigma}$  – коэффициент передачи делителя частоты опорного генератора,  $K_{\Gamma/p}$  – передаточная функция управляемого генератора, а для ЦВС, как  $K_{\Sigma}$  – коэффициент передачи ЦАП,  $K_{\varepsilon_{\Sigma}}$  – коэффициент передачи фактора, приводящего к фазовым искажениям сигнала ЦАП. Для блоков автокомпенсатора коэффициенты передачи блоков обозначены, как  $K_{\Sigma}$  – коэффициент передачи управляемого фазовращателя,  $K_{\text{от}}$  – коэффициент передачи опорного тракта,  $K_{\text{ит}}$  – коэффициент передачи информационного тракта,  $K_{\text{да}}$  – коэффициент передачи фазового детектора,  $M_A(p)$  – передаточная функция фильтра,  $N_A$  – коэффициент передачи усилителя постоянного тока. Так же введены следующие обозначения для отклонений фаз сигналов -  $\varphi$  – выходного сигнала формирователя,  $\varphi_{\text{ит}}$  – информационного тракта,  $\varphi_{\text{от}}$  – опорного тракта,  $\varphi_A$  – ЦАП,  $\varphi_{\Sigma}$  – отклонение фазы, как проявление фазовых искажений сигнала ЦАП,  $\varphi_{\text{да}}$  – разность фаз на входах фазового детектора  $\varphi_{\Sigma}$  – отклонение, фазы вносимое управляемым фазовращателем.

На основании разработанной модели записано дифференциальное уравнение формирователя сигналов и получена передаточная функция формирователя, связывающая отклонение фазы выходного сигнала ГСЧ с эквивалентным воздействием  $\varepsilon_{\Sigma}$ , фактора, приводящего к фазовым искажениям сигнала ЦАП

$$H_{\varepsilon_{\Sigma}\varphi} = - \frac{M(p)K_d \frac{K_{\Gamma}}{p} K_{\varepsilon_{\Sigma}}}{\left(1 + \frac{1}{2} N_A M_A(p)\right) \left(1 + \frac{1}{\tau p} M(p)\right)}, \quad (1)$$

где  $\tau$  – постоянная времени синтезатора частот на основе ФАПЧ.

Так для фильтра нижних частот первого порядка выражение (1) принимает вид

$$H_{\varepsilon_{\text{Ц}}\varphi} = -K_{\varepsilon_{\text{Ц}}} N_{\text{Ц}} \frac{1}{\left(1 + 0,5N_A \frac{1}{1+T_{\text{АП}}}\right) \left(\tau p + \frac{1}{1+T_{\text{р}}}\right) (1 + T_{\text{р}})}. \quad (2)$$

В работе рассчитаны и построены амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики ГСЧ. Проведено исследование амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик гибридного синтезатора при фазовых искажениях ЦАП, для фильтров нижних частот первого и второго порядков, и для широкополосных трактов управляющих сигналов автокомпенсатора и системы ФАПЧ, при различных значениях постоянных времени используемых фильтров и параметров системы ФАПЧ гибридного синтезатора.

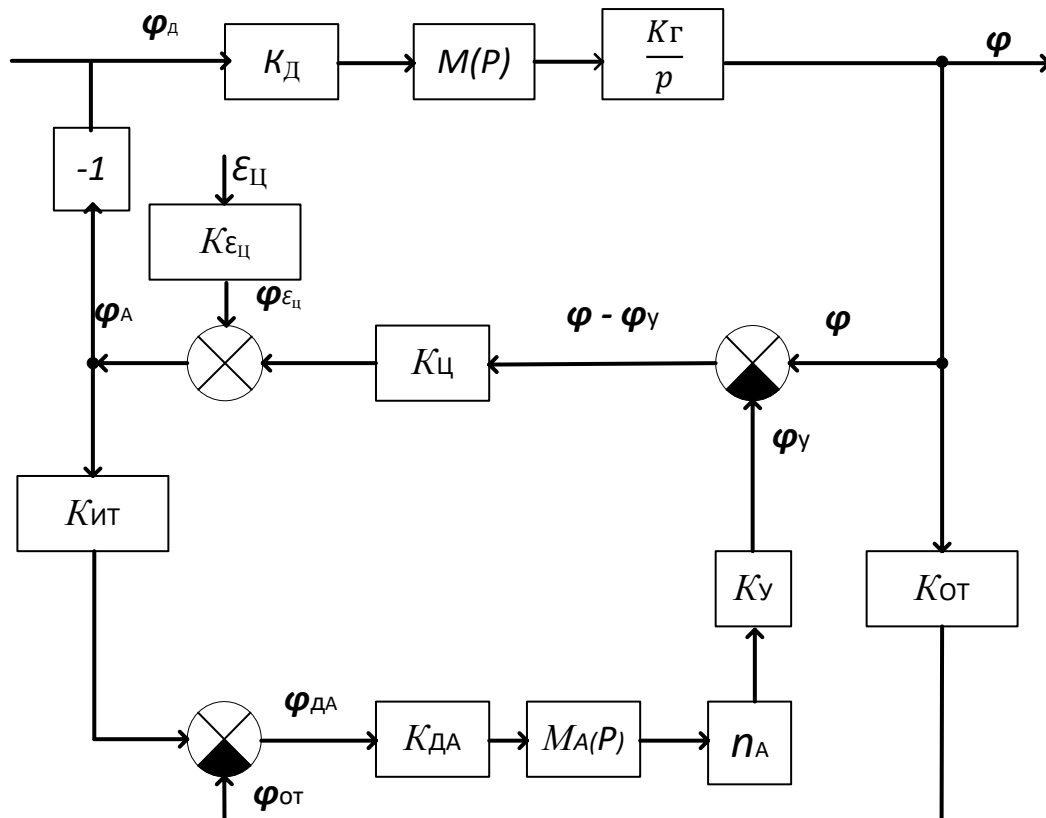


Рис.1. Схема разработанного устройства

### Литература

1. 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.
2. Курилов И.А., Рудаков А.М., Харчук С.М., Романов Д.Н. Математическое моделирование автокомпенсации фазовых искажений на выходе ЦАП прямого цифрового синтезатора частот // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. №2 (10), 2013. - С. 19-25.
3. JonBredeson, MichealParten, JohnBorrelli. DirectDigitalFrequencySynthesis // TexasTechUniversity, ShashikantShrimali, May 2007. - 80 p.