

Рис. 3. Функциональная модульная структура ПС обработки и анализа

В функциональной модульной структуре ПС анализа и обработки (см. рис. 3) каждый модуль решает задачи, реализуемые в режимах работы с добавлением вспомогательных управляющих ПС накопления массивов входных данных, оценки погрешностей, отображения служебной информации и выбора режима работы.

Математическое моделирование является очень гибким инструментом в частности при проведении автоматизированной настройки ИМП ИДД, но в тоже время, вносит некоторые погрешности в определение настроечных параметров. Не менее важным достоинством математического моделирования процессов проведения автоматизированной настройки ИМП ИДД является, что моделирование позволяет выявить некоторые закономерности изменения параметров ЧЭ и в тоже время проверить алгоритмы и методы функционирования ИМП. Для обеспечения большей точности при функционировании ИМП необходимо проводить полунатурные испытания. В таком случае помогают имитационные испытательные стенды, состоящие из аппаратных и программных средств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Разработка малогабаритного интеллектуального прецизионного датчика абсолютного давления». Этап 1. Разработка математического, алгоритмического, программного и аппаратного обеспечения лабораторного негабаритного макета ИДАД. № 11714. Руководитель темы г.н.с. О.Н. Пьявченко. – Таганрог, 2005. – 272 с.
2. Фрайден Дж. Современные датчики: Справочник. Перевод с английского Ю.А. Заболотной / Под ред. Е.Л. Свинцова. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

УДК 621.396

Ю.А. Геложе, П.П. Клименко, А.В. Максимов

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛОСЫ ПРОПУСКАНИЯ КОНТУРА ФАПЧ ЦСЧ

Требуется максимизировать полосу пропускания контура ФАПЧ ЦСЧ путем выбора порядка n ФНЧ

$$\max_n \{ \gamma_{ок} \} .$$

Задача решена при следующих ограничениях:

- ФНЧ используемый в системе должен быть биномиального типа;
- фильтр должен обеспечивать подавление пульсаций ИФД с частотой дискретизации на 40, 60, 80, 100 и 120 дБ;

- система должна быть устойчива в малом (при этом используется критерий Найквиста, сформулированный для разомкнутых систем);

- система должна иметь запас по фазе равный  $63^\circ$ , что характерно для демпфированных систем, которые обладают максимальным быстродействием при величине перерегулирования, не превышающей 5%, и резонансном «пике» АЧХ, не превышающем 3 дБ. Последнее обстоятельство особенно важно для ЦСЧ рассматриваемого типа, так как фазовый шум управляемого автогенератора при этом не увеличивается автоматической фазовой системой.

**Метод решения**

Данная задача решена для некорректированных систем. Структурная схема математической модели такой системы имеет вид, представленный на рис.1.

Оператор разомкнутой некорректированной системы имеет вид

$$W(p) = \frac{1}{T_c p} \cdot \frac{1}{(T_\phi p + 1)^n}, \tag{1}$$

где  $T_c = M/S_{\Phi Д}$   $S_{УГ}$  – постоянная времени системы,

$T_\phi$  – постоянная времени резистивно-емкостного ФНЧ.

Структурная схема математической модели некорректированной системы представленн на рис.1.

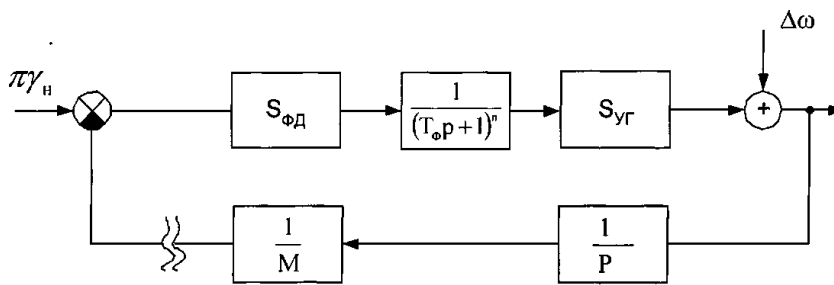


Рис.1. Структурная схема математической модели некорректированной системы

В настоящей работе не рассматриваются скорректированные фазовые контура. Для такого рода ФАПЧ оператор разомкнутой системы имеет вид

$$W_\phi(p) = \frac{1}{T_{ср}} \cdot \frac{T_k p + 1}{(T_\phi p + 1)^n}. \tag{2}$$

Кроме того, как отмечалось выше, задача решена для двух ИФД, типа «выборка-запоминание» и бистабильного.

Методика определения полосы пропускания системы для заданного уровня подавления пульсационных составляющих и для заданного порядка фильтра следующая.

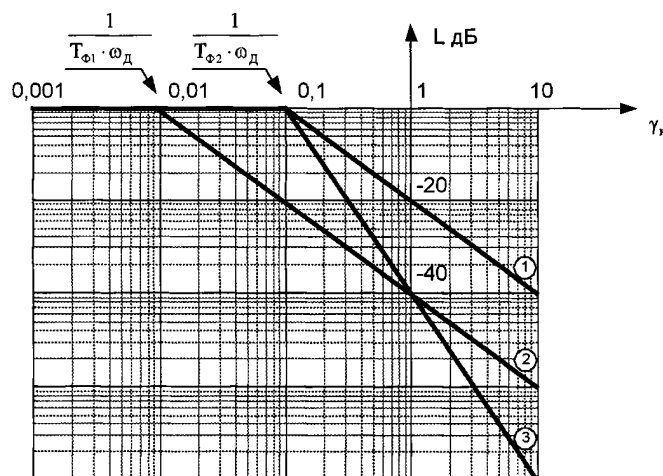


Рис.2. Пример нормированных логарифмических амплитудно-частотных (ЛАЧХ) характеристик

Как говорилось ранее, для заданного уровня подавления пульсационных составляющих, используется RC-фильтр. Пример нормированных логарифмических амплитудно-частотных (ЛАЧХ) характеристик представлен на рис.2.

Первая ЛАЧХ ФНЧ обеспечивает подавление на частоте дискретизации на уровень - 20 дБ, вторая и третья на уровень - 40 дБ. Отличие между второй и третьей ЛАЧХ заключается в том, что приведенные характеристики обладают ФНЧ с разным порядком. Наклон ЛАЧХ зависит от порядка фильтра, так кривая 1 и 2 справедливы для фильтров первого порядка, а кривая 3 для фильтра второго порядка. Повышение порядка фильтра на единицу соответствует изменению наклона ЛАЧХ на 20 дБ/декаду.

$$\text{Величина } \gamma_n = \frac{\omega}{\omega_d} \text{ - нормированная частота; } \gamma_{нф} = \frac{1}{T_\phi \omega_d} \text{ - частота}$$

среза резистивно-емкостного ФНЧ.

Таким образом, зная заданный уровень подавления пульсационных составляющих, можно определить частоту среза и постоянную времени резистивно-емкостного ФНЧ.

Функция, определяющая ФЧХ системы с ИФД типа «выборка запоминание» имеет вид

$$\varphi(\gamma_n) = -\frac{\pi}{2} - n \cdot \arctg\left(\frac{\gamma_n}{\gamma_{нф}}\right) - \pi \cdot \gamma_n, \tag{3}$$

где  $n$  – порядок резистивно-емкостного ФНЧ;

$\gamma_{нф}$  – нормированная частота среза фильтра.

Структурная схема такой системы изображена на рис.3, где ОГ – опорный генератор; ДЧ – делитель частоты; ФД – фазовый дискриминатор; ДПКД – делитель частоты с переменным коэффициентом деления; УГ – управляемый генератор; ФНЧ – фильтр нижних частот.

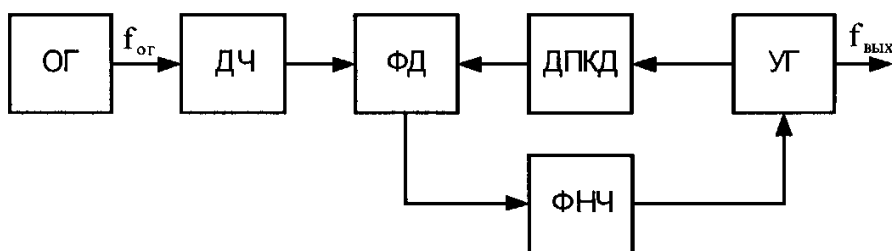


Рис. 3. Структурная схема

Функция, определяющая ФЧХ системы с бистабильным фазовым дискриминатором, основанном на RS триггере, имеет вид

$$\varphi(\gamma_n) = -\frac{\pi}{2} - n \cdot \operatorname{arctg} \left( \frac{\gamma_n}{\gamma_{нф}} \right), \quad (4)$$

Её структурная схема представлена на рис. 4.

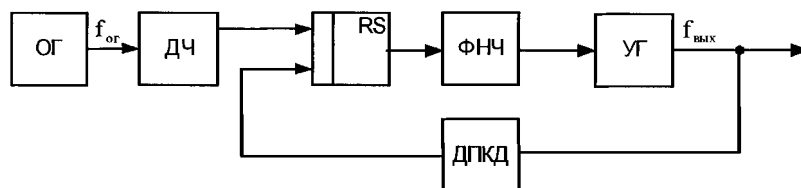


Рис.4. Структурная схема функции, определяющей ФЧХ системы с бистабильным фазовым дискриминатором

Приведем пример расчета полосы пропускания системы с фильтром третьего порядка для подавления пульсационных составляющих на уровень  $-60$  дБ. ЛАЧХ фильтра с третьим порядком представлена на рис. 5 (кривая 1). Из графика видно, что нормированная частота среза фильтра  $\gamma_{нф}$  равна 0,1. Полученное выражение подставляем в формулу для ФЧХ, выражение (4) и (5), и строим график рис.5 (кривые 3 и 4). Определяем значения частот, для двух систем, на которых запас по фазе составляет приблизительно  $63^\circ$ , эти частоты  $\gamma'_{сн}$  и  $\gamma_{сн}$  будут определять значения нормированных полос пропускания систем с разными видами ИФД. Используя полученные значения можно построить ЛАЧХ системы с заданными параметрами (кривая 2). Системы с запасом по фазе равным приблизительно  $63^\circ$ , в теории управления называются демпфированными системами. Их частотная характеристика практически не имеет резонансного пика, что исключает усиление шумов автогенератора. Также такие системы имеют минимальное время переходного процесса, что увеличивает её быстродействие.

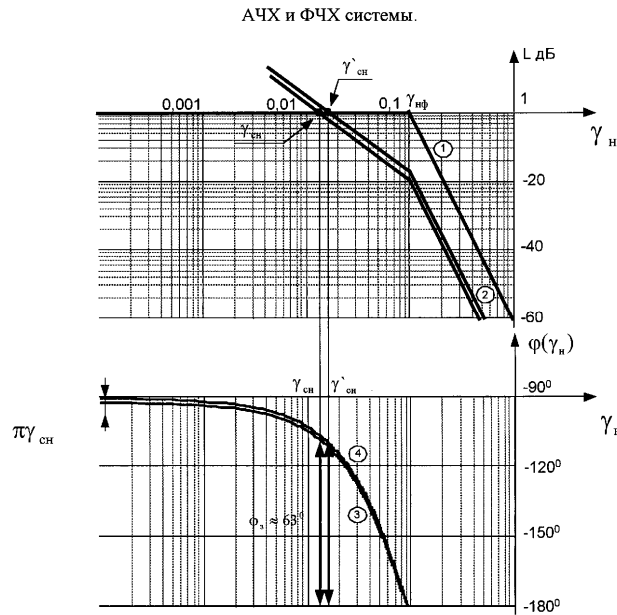


Рис.5. График выражения

Данная задача решена с помощью ЭВМ для случаев подавления пульсационных составляющих на  $-40, -60$ дБ. Результаты вычислений представлены в виде графиков, на которых приведены нормированные величины полос пропускания систем для разных порядков фильтра и разных типов дискриминаторов рис. 6, 7. Из графиков видно, что при увеличении порядка фильтра до некоторого значения полоса пропускания увеличивается, затем уменьшается, т.е. можно говорить о максимизации полосы пропускания системы, путем выбора оптимального порядка фильтра.

Нормированная полоса пропускания системы с подавлением  $L_{ФЧЧ} = -40$ дБ

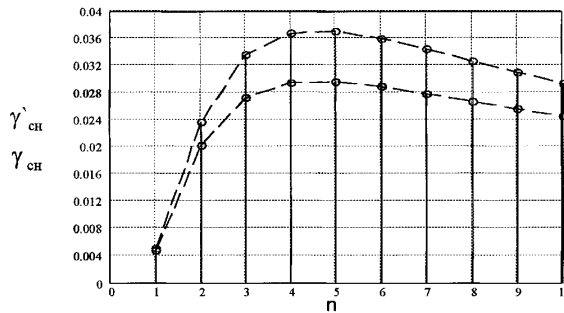


Рис.6. График нормированных величин полос пропускания систем для разных порядков фильтра

Нормированная полоса пропускания системы с подавлением  $L_{ФЦЧ} = -60\text{дБ}$

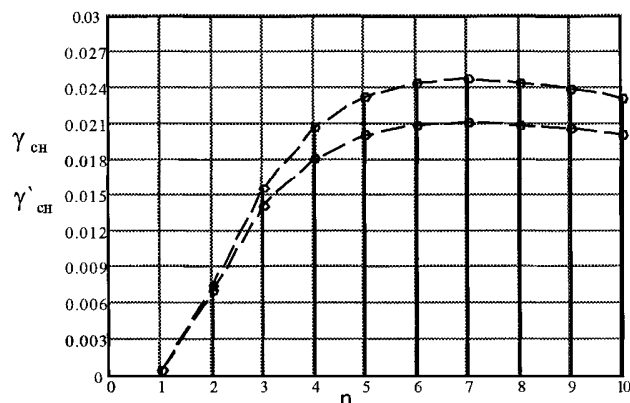


Рис. 7. График разных типов дискриминаторов

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шахильдян В.В., Ляховский А.А. Система фазовой автоподстройки частоты. – М.: Связь, 1972. –447с.
2. Малахов А.Н. Флюктуации в автоколебательных системах. – М.: Наука, 1968. – 660с.
3. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь: Пер. с англ./Под ред. В.В. Маркова. –М.: Связь, 1979. –592с.

УДК 621.039

**В.В. Коробкин**

#### **ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ МЕХАТРОННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

Общеизвестно, что для безопасного функционирования мехатронного комплекса, его управляющая система должна содержать элементы защит и блокировок, позволяющих в случае отказа любого компонента комплекса действовать таким определенным образом, чтобы комплекс оставался в безопасном состоянии или переходил в такое состояние. В настоящее время, сложные защиты и блокировки в управляющих системах реализуются с помощью программного обеспечения (ПО).

Таким образом одной из наиболее важных задач является оценка безопасности ПО, позволяющая доказать – безопасность функционирования ПО адекватно и полно отвечает общей безопасности мехатронного комплекса, функционирующего в конкретной среде.

В отличие от технических средств, ПО имеет ряд важных особенностей, определяющих подход оценке его безопасности, а именно:

- в ПО наблюдаются как систематические, так и случайные ошибки;
- систематические ошибки в ПО могут оставаться скрытыми до тех пор, пока не наступит подходящая комбинация обстоятельств в процессе эксплуатации мехатронного комплекса, что может привести к опасному отказу;
- отказ ПО может не быть нейтрализован даже при наличии резервных каналов управляющей системы в случае, если эти каналы имеют идентичные про-