

Окончание. Начало в № 7'2005.

Система автоматизированного проектирования программируемых аналоговых интегральных схем AnadigmDesigner®2

Часть 2. Особенности разработки проектов в среде программирования ПАИС Anadigm

Александр ПОЛИЩУК
a.polishuk@prosoft.ru
Анна ПОЛИЩУК
anna@vek.ru

Мы заканчиваем серию статей, посвященных новому продукту на российском рынке электронных компонентов — программируемым аналоговым интегральным схемам (ПАИС). В этом цикле мы кратко рассмотрим две подпрограммы, входящие в комплект AnadigmDesigner®2 — системы автоматизированного проектирования фильтров и пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов.

5. САПР фильтров AnadigmFilter

AnadigmFilter — это мощный инструмент, позволяющий разрабатывать более сложно организованные фильтры, чем имеющиеся в базе стандартных конфигурируемых аналоговых модулей. Стандартные библиотеки КАМ содержат лишь фильтры первого и второго порядков, в которых пользователь устанавливает только величины частоты среза, усиление и добротность. Стандартные библиотечные элементы фильтров могут быть сгруппированы в фильтры более высоких порядков, но для того, чтобы сделать это наиболее эффективно, необходимо использовать дополнительные справочные материалы по разработке фильт-

ров и выполнять громоздкие вычисления вручную. В качестве альтернативы выступает инструмент AnadigmFilter, полностью автоматизирующий процесс разработки и реализации фильтров более высоких порядков. Доступ к этому инструменту осуществляется путем выбора пункта меню *Tools* → *AnadigmFilter*.

В главном окне AnadigmFilter расположены все основные элементы управления, представляющие интерес для большинства пользователей. Разработка и реализация фильтров может быть выполнена за четыре шага. На рис. 1 есть цифровые ссылки, соответствующие каждому из этих шагов:

1. Задайте в AnadigmFilter частоту главного генератора синхронизирующих сигналов.

2. Выберите тип разрабатываемого фильтра: ФНЧ (Low Pass), ФВЧ (High Pass), полосовой (Band Pass) или режекторный (Band Stop).

3. Переместите границы предела чувствительности фильтра до необходимых значений частот и усиления.

4. Щелкните по кнопке *To AnadigmDesigner®2*. AnadigmFilter синтезирует фильтр с требуемыми параметрами и экспортирует его в AnadigmDesigner®2. САПР фильтров создаст столько экземпляров ПАИС, сколько необходимо для реализации заданной АЧХ, и заполнит эти экземпляры конфигурируемыми модулями фильтров низкого порядка, удовлетворяющих всему набору параметров и соединений для реализации фильтра более высокого порядка.

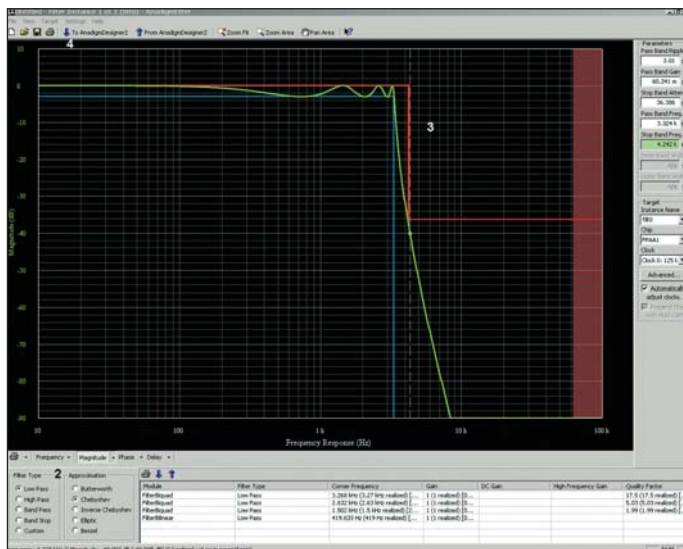


Рис. 1. Главное окно AnadigmFilter

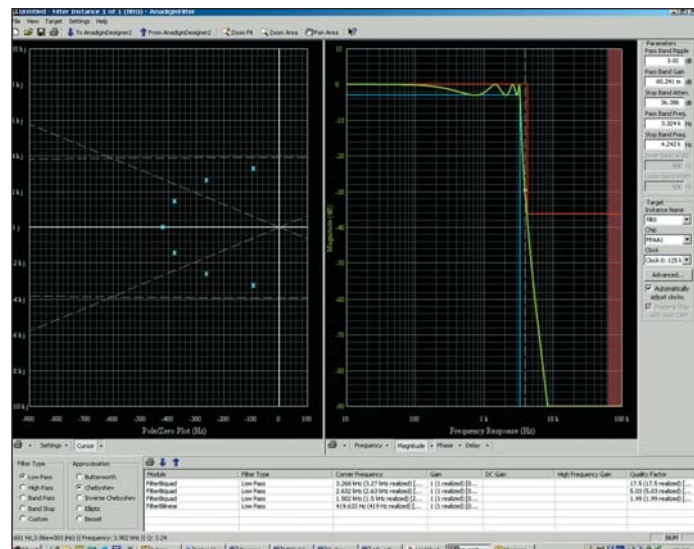
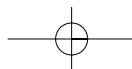


Рис. 2. Главное окно AnadigmFilter с отображением диаграммы Бодэ



Фильтры более высоких порядков могут быть разработаны и реализованы за считанные минуты. В основном окне AnadigmFilter имеются элементы управления для настройки типа аппроксимации (Butterworth, Chebyshev, Inverse Chebyshev, Elliptical и Bessel). Также имеются элементы для ввода текста, позволяющие задавать параметры фильтра не графическим способом, а путем указания точных значений величин. При нажатии кнопки *To AnadigmDesigner®2* информация передается из AnadigmFilter в AnadigmDesigner®2.

В меню *View* можно включить отображение нулей и полюсов фильтра на диаграмме Бодэ (рис. 2).

На рис. 3 показана реализация ФНЧ в AnadigmDesigner®2 с характеристикой Чебышева с параметрами, приведенными на рис. 1.

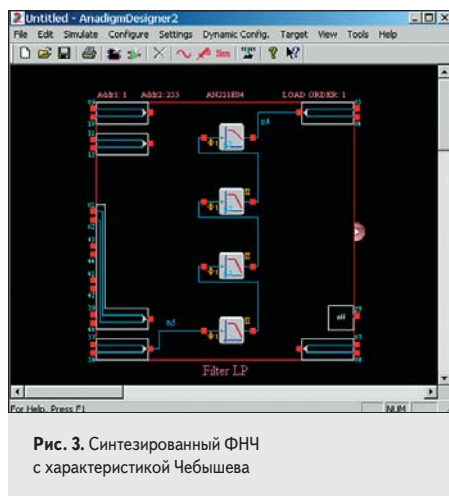


Рис. 3. Синтезированный ФНЧ с характеристикой Чебышева

5.1. Анализ данных

Данные отклика фильтра можно экспортировать для дальнейшего анализа при помощи команды меню *File* → *Export* → *Frequency Response Data (.CSV)*. В файле формата .csv содержатся данные (в виде столбцов) для частоты, амплитуды в дБ и относительных единицах, фазы и групповой задержки.

5.2. Распечатка отчетов

По выбору пункта меню *File* → *Print* формируется распечатка на нескольких листах, аналогичная приведенной на рис. 4.

5.3. Более полное описание возможностей

Справочная система AnadigmFilter содержит исчерпывающую информацию, поэтому детальное рассмотрение возможностей AnadigmFilter можно изучить самостоятельно.

6. САПР PID-регуляторов AnadigmPID

6.1. Несколько слов о PID-регуляторах

Хотя существует много вариантов схемотехнических решений для управления замкнутыми системами с обратной связью, однако все они сводятся к обеспечению одного из методов регулирования: пропорционального (P), пропорционально-интегрального (PI) или пропорционально-интегрально-дифференциального (PID).

Пропорциональный метод регулирования является наиболее простым.

При его реализации из сигнала обратной связи вычитается опорный сигнал, определяющий рабочую точку системы. Полученный сигнал рассогласования усиливается в K_p раз и подается на выходной усилитель или исполнительное устройство, которое обеспечивает требуемое изменение управляемого параметра. Функция регулирования P-регулятора имеет вид:

$$u(t) = K_p \times x(t) \quad (1)$$

где $x(t)$ — сигнал ошибки, $u(t)$ — сигнал управления, K_p — постоянный коэффициент передачи.

Этот метод может быть использован в простых системах регулирования, не требующих высокой точности.

Однако при его использовании приходится выбирать между точностью и устойчивостью схемы. При низких значениях K_p возникает остаточная ошибка, которая тем выше, чем ниже K_p .

Увеличение усиления сигнала ошибки повышает точность, но приводит к возникновению осцилляций в режиме установления, что неприемлемо в системах, требующих одновременно и высокой скорости и точности.

Частично свободна от указанных недостатков схема, реализующая пропорционально-интегральный метод регулирования.

Она содержит два канала — пропорциональный и интегральный. Сигналы с выходов обоих каналов суммируются, а результирующий сигнал подается на выходной усилитель мощности. Функция регулирования PI-регулятора имеет вид:

$$u(t) = K_p \times x(t) + K_i \times \int_0^t x(t) dt \quad (2)$$

где K_i — постоянный коэффициент передачи интегрального канала. Чем больше сигнал

ошибки, тем больше будет вклад интегрального канала в результирующий сигнал управления. Наличие интегральной составляющей в сигнале управления позволяет значительно снизить остаточную ошибку. В установившемся режиме сигнал ошибки стремится к нулю, соответственно и интегральная составляющая в выходном сигнале также будет стремиться к нулю.

Если в P-регуляторе отклик на изменение входного сигнала линейной пропорционален ошибке, то в PI-регуляторе величина отклика будет изменяться в зависимости от величины ошибки. Хотя остаточная ошибка в такой системе управления значительно ниже, в динамическом режиме работы приходится искать компромисс между скоростью реакции и устойчивостью. Это достигается подбором коэффициентов усиления каналов K_p и K_i . Большое усиление позволяет системе быстрее достичь рабочей точки, но при этом есть опасность возникновения переходных процессов.

Наоборот, низкое усиление приведет к недостаточному быстродействию регулятора. Обычно регулировкой усиления каналов добиваются компромиссного режима с быстрым затуханием переходного процесса.

Добавление к PI-регулятору дополнительного дифференциального канала позволяет повысить запас устойчивости по фазе и увеличить усиление K_p и K_i (снизив время установления), и одновременно устранить переходной процесс, поскольку система начнет «чувствовать» не только наличие ошибки, но и тенденцию к ее изменению.

Функция регулирования PID-регулятора имеет вид:

$$u(t) = K_p \times x(t) + K_i \times \int_0^t x(t) dt + K_d \times \frac{dx(t)}{dt} \quad (3)$$

где K_d — коэффициент передачи дифференциального канала.

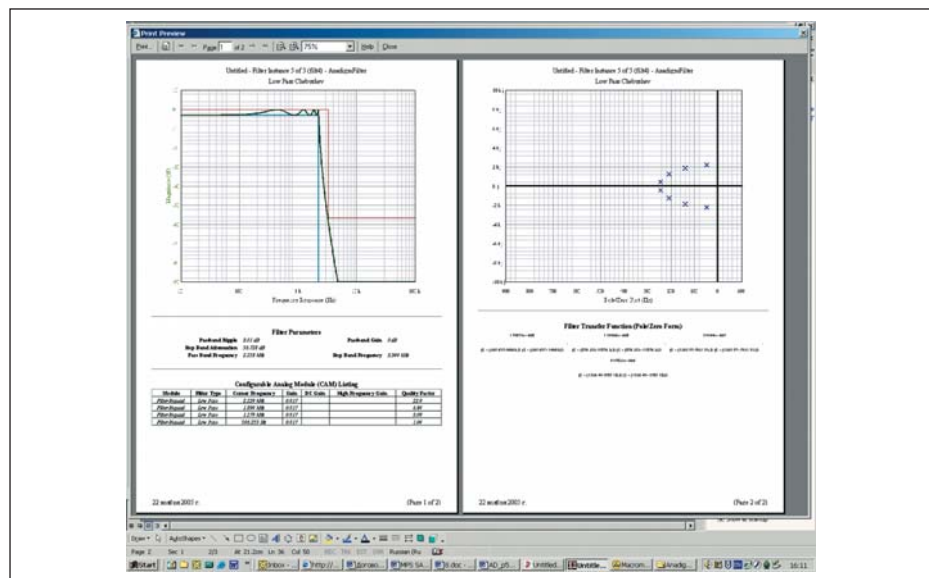


Рис. 4. Пример распечатки отчета AnadigmFilter

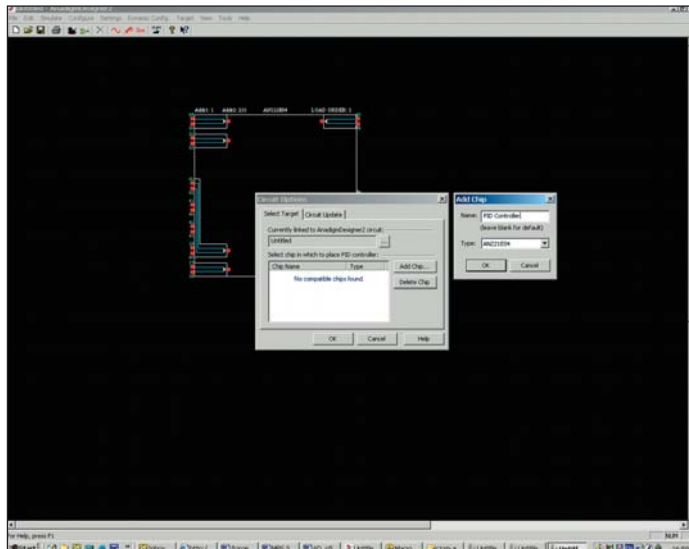


Рис. 5. Выбор ПАИС для разработки

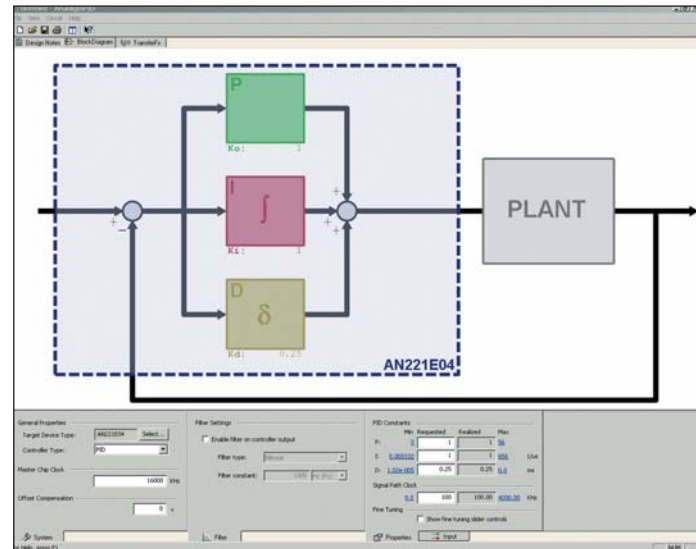


Рис. 6. Главное окно AnadigmPID

Если скорость изменения сигнала обратной связи слишком высока, то это может явиться причиной перерегулирования или возникновения осцилляций, дифференциальный канал уменьшает уровень сигнала на входе сумматора, что приводит к ее снижению.

6.2. Разработка схем регуляторов в САПР AnadigmPID

AnadigmPID — мощное средство для разработки замкнутых систем с обратной связью. Он позволяет разрабатывать регуляторы в любом сочетании, включая формы I, PI, PD и PID. Основные входные параметры разработки — это коэффициенты усиления каждого из каналов регулятора. Данные разработки схемы контроллера автоматически (и непрерывно) передаются из AnadigmPID в AnadigmDesigner®2.

Создание новой разработки замкнутого контура схемы управления начинается с открытия в AnadigmDesigner®2 нового проекта. Хотя в разработке еще нет ни одного экземпляра ПАИС, полезно сразу сохранить экземпляр под каким-либо значащим именем, а также сохранить файл .ad2 с каким-нибудь подходящим именем.

САПР AnadigmPID вызывается путем выбора пункта меню *Tools* → *AnadigmPID*.

При первом вызове AnadigmPID требуется указать экземпляр ПАИС, в который в дальнейшем будут экспортированы данные разработки (рис. 5). Обычно бывает открыт для редактирования только один экземпляр ПАИС, если же в AnadigmDesigner®2 открыто несколько схем, то в окне *Circuits Options* можно выбрать необходимый экземпляр.

Как только это окно будет закрыто, откроется основное окно AnadigmPID (рис. 6).

В верхней части основного окна AnadigmPID расположены вкладки *Design Notes*, *Block Diagram* и *TransferFx* (Transfer Function). Ниже будет рассмотрена только вкладка *Block Diagram*. В нижней части основного окна

AnadigmPID также расположены вкладки: *System*, *Filter*, *Properties* и *Input*.

Вкладка System

На вкладке *System* показан тип ПАИС, в приведенном примере это AN221E04. При нажатии кнопки *Select* открывается окно *Circuits options*, рассмотренное выше.

В элементе ввода *Master Chip Clock* указывается ожидаемая частота основного генератора синхросигнала.

Controller type: элемент управления с выпадающим списком, содержащим значения P, PI, PD и PID топологии контроллера (Proportional, Integral and Differential).

Элемент ввода *Offset Compensation* добавляет смещение постоянной составляющей на выход схемы контроллера.

Вкладка Filter

На вкладке *Filter* указывается, будет ли использован фильтр НЧ на выходе контроллера, и устанавливаются значения параметров для этого фильтра. Доступные типы фильтров — это билинейный или биквадратный более высоких порядков. Величина константы фильтра обычно указывает частоту среза в герцах. Также эту величину можно указать в рад/с или в виде постоянной времени в секундах.

Вкладка Properties

На вкладке *Properties* указываются значения констант для всех каналов схемы кон-

троллера. Есть элементы ввода для K_p , K_i и K_d . Необходимые величины вводятся в столбец *Requested Column*. В столбце *Realized* отображаются значения, которые могут быть достигнуты в AnadigmPID.

Диапазоны достижимых значений не являются полностью независимыми друг от друга. В частности, значение частоты, установленное в элементе ввода *Signal Path Clock*, означает значение частоты, подаваемое на каждый из КАМ на пути прохождения сигнала. Изменение этого значения влечет за собой изменения на всем пути прохождения сигнала, а также изменение диапазонов достижимых значений для каждого КАМ. При нажатии на любую из гиперссылок в этом окне откроется окно с подробной справочной информацией по выбранной величине.

Последний элемент управления, расположенный на этой вкладке — это «флажок» *Show fine tuning slider controls*. При выборе этого элемента управления открывается окно, аналогичное изображенному на рис. 7. Использование этого элемента наиболее полезно в сочетании с функциями меню *Circuit* → *Continuous Download to Board*. Использование «бегунков» во время непрерывной загрузки конфигурационных данных в систему позволяет производить настройку схем контроллера, созданных при помощи AnadigmPID, в реальном масштабе времени.



Рис. 7. «Бегунки» для точной настройки — удобный инструмент для настройки систем в реальном масштабе времени

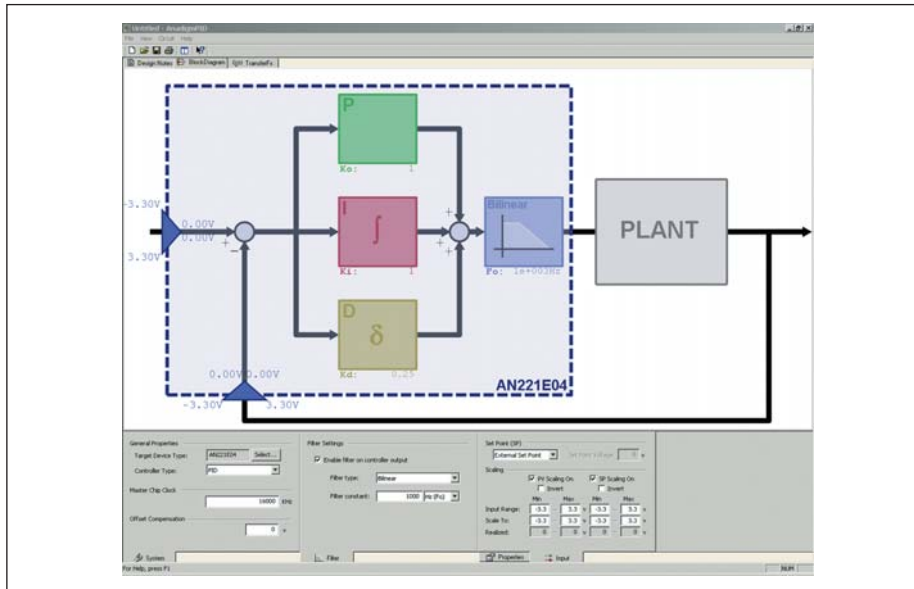


Рис. 8. Установка вариантов конфигурации входов регулятора

Вкладка *Input*

На вкладке *Input* (рис. 8) расположены элементы управления некоторыми аспектами входов схемы контроллера. Масштабирование или инвертирование могут быть применены к сигналу обратной связи PV от датчика исполнительного устройства.

Аналогично масштабирование или инвертирование можно применить и к сигналу установки рабочей точки Set Point (SP).

Выбор масштабирования сигнала добавляет усилитель на блок-схему, как показано на рис. 8. Аналогично выбор инвертирования добавляет иконку на блок-схему для визуального напоминания о выбранной настройке.

Internal Set Point — это один из вариантов установки рабочей точки, доступных в элементе с выпадающим списком *Set Point (SP)*. При выборе этого варианта в ПАИС добавляется источник опорного напряжения Set Point. Это полезно для приложений, в которых рабочая точка инвариантна, или же ее значение должно меняться при динамическом переконфигурировании с помощью управляющего процессора.

6.3. Автоматическая передача разработанных данных

Схемы, разработанные при помощи AnadigmPID, передаются в режиме реального времени на тот экземпляр ПАИС в AnadigmDesigner[®]2, который был указан в начале разработки. Соединения помечены метками SP, PV и CV, соответствующими Set Point, Plant Feedback и Controller Output (рис. 9).

По окончании разработки контроллера PID (PI, PD или P), дальнейшая его модификация может осуществляться стандартными средствами AnadigmDesigner[®]2.

Справочная система AnadigmPID содержит исчерпывающую информацию, поэтому возможности AnadigmFilter можно изучить самостоятельно.

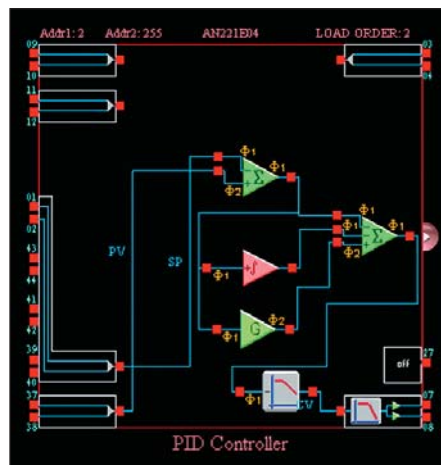


Рис. 9. Автоматически синтезированный регулятор

Заключение к циклу статей

На протяжении всего года мы публиковали цикл статей, посвященный уникальному для нашего рынка продукту — программируемым аналоговым интегральным схемам. Несмотря на ограниченные пока ресурсы, эти приборы открывают большие возможности при создании комбинированных аналого-цифровых систем обработки сигналов.

За истекший год количество пользователей продукции Anadigm перевалило за сотню, многие проекты доведены до серийного производства. Уже сейчас по имеющимся отзывам можно отметить, что ПАИС в целом обеспечивают заявленные характеристики, а простота разработки проектов значительно сокращает время на изучение САПР.

Мы надеемся, что этот цикл публикаций поможет начинающим пользователям не только разобраться в принципах построения и работе с ПАИС, но и сократить время до начала разработки проектов. ■