

# Программируемые аналоговые схемы Anadigm.

## Проекты, примеры применения

Александр ЩЕРБА  
shcherba@prosoft.ru

**Использование программируемых аналоговых схем Anadigm (ПАИС) для обработки аналоговых сигналов имеет ряд преимуществ по сравнению с использованием для этих целей цифровых систем. В статье даны описания нескольких проектов и примеров применения ПАИС в электронных устройствах различного назначения.**

### Программируемые аналоговые микросхемы Anadigm

Компания Anadigm — лидер в области разработки и производства программируемых аналоговых микросхем. Линейка продукции Anadigm состоит из динамически и статически программируемых аналоговых микросхем. В отличие от статически программируемых схем, где конфигурационные данные загружаются при включении ПАИС и остаются неизменными во время ее работы, динамически конфигурируемая схема позволяет изменять полностью или частично функциональную структуру в реальном времени в работающем устройстве. Для этого в ПАИС предусмотрена так называемая тень памяти, в которую во время работы аналоговой структуры можно с помощью микроконтроллера загрузить обновленную конфигурацию, а затем по команде мгновенно ее активизировать [1].

ПАИС Anadigm обладают высокой точностью, надежностью, работают в расширенном температурном диапазоне от 40 до +85 °С без снижения точности и позволяют компактно реализовать аналоговую схему с минимальным количеством внешних компонентов. Все эти достоинства позволяют вновь вернуться к аналоговой обработке аналоговых сигналов, а значит, отказаться от цифровых систем. На нескольких примерах мы покажем читателю преимущества использования аналоговых программируемых микросхем в устройствах различного назначения.

### Программируемые фильтры высокого порядка

Встроенные в САПР AnadigmDesigner2 стандартные библиотеки конфигурируемых аналоговых модулей (КАМ) содержат фильтры первого и второго порядка, в которых пользователь может установить величину частоты среза, усиление и добротность [2]. Эти

библиотеки фильтров могут быть сгруппированы в фильтры более высокого порядка, но для этого нужно использовать дополнительные справочные материалы по разработке фильтров и выполнять необходимые вычисления. В качестве альтернативы выступает инструмент AnadigmFilter, встроенный в САПР AnadigmDesigner2: он полностью автоматизирует процесс разработки и реализации фильтров более высокого порядка.

Доступ к этому инструменту осуществляется путем выбора пункта меню **Tools** → **AnadigmFilter**. В главном окне **AnadigmFilter** расположены все основные элементы управления, представляющие интерес для большинства специалистов. Разработка и реализация фильтров может быть выполнена за четыре шага [3]. Программа позволяет пользователю менять тип фильтра и его па-

раметры, при этом в нижней части окна программы будет выдаваться информация по типу и числу необходимых библиотек КАМ, расчет коэффициентов и параметров КАМ происходит автоматически (рис. 1).

Используя функцию динамического программирования, мы также можем изменять характеристики фильтра (его АЧХ), добавлять новые элементы схемы в устройство, не прерывая его работы [1].

### ПИД-регулятор

Для разработки замкнутых систем с обратной связью применяется ПИД-регулятор (пропорционально-интегрально-дифференциальный). Часто в качестве ПИД-регуляторов используются цифровые системы, однако такие устройства дороги или имеют

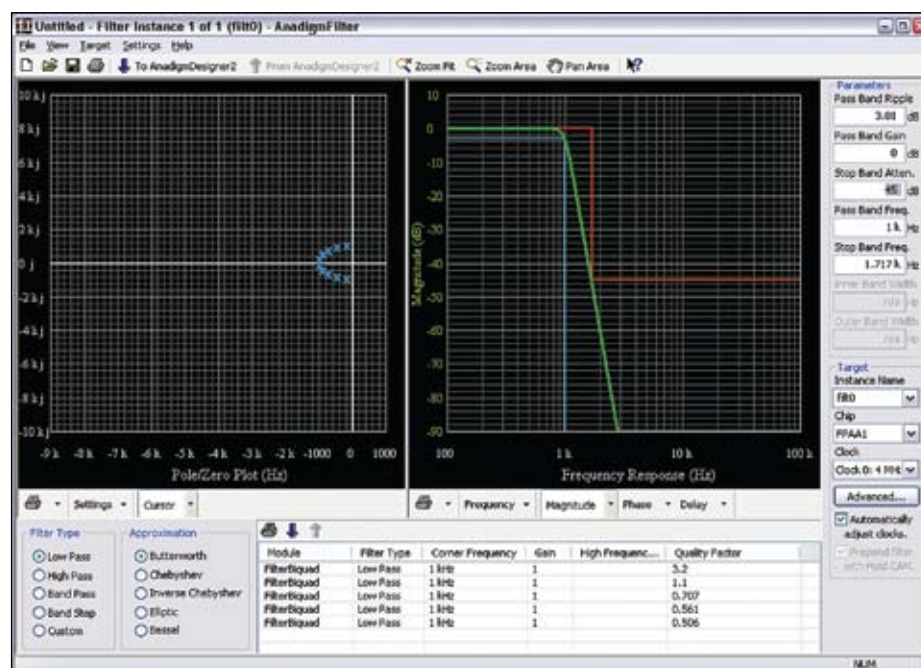


Рис. 1. Окно AnadigmFilter для настройки параметров фильтра

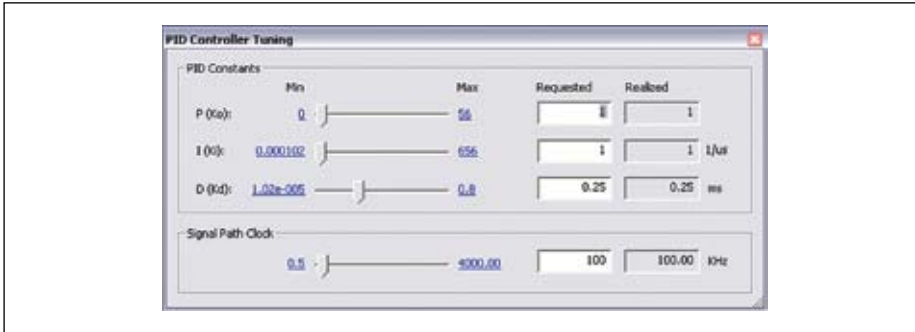


Рис. 2. Окно настройки коэффициентов ПИД-регулятора



Рис. 4. Парящая в воздухе сфера

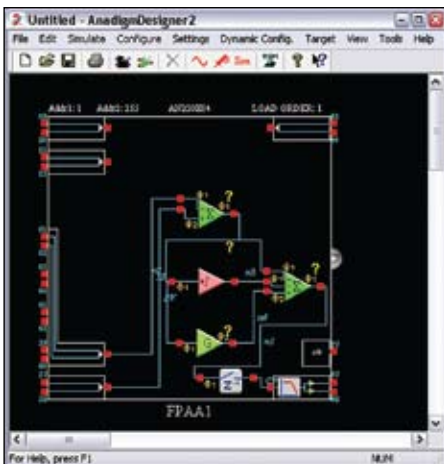


Рис. 3. Построенная в САПР AnadigmDesigner2 схема ПИД-регулятора

существенные недостатки — малый динамический диапазон, низкую точность, ограниченную скорость нарастания, гистерезис и т. п. Встроенный в AnadigmDesigner2 инструмент AnadigmPID позволяет разрабатывать аналоговые ПИД-регуляторы, не имеющие недостатков, свойственных цифровым системам, в любом сочетании, включая формы I, PI, PD и PID. Входными параметрами являются коэффициенты усиления каждого из каналов регулятора (рис. 2). При изменении параметров данные автоматически (и непрерывно) передаются из AnadigmPID в AnadigmDesigner2 (рис. 3) [4].

В ПИД-регуляторе пропорциональная составляющая противодействует изменению контролируемой величины от заданного параметра, а интегральная составляющая позволяет убрать статическую ошибку. Путем добавления дифференциального канала можно повысить запас устойчивости по фазе и увеличить усиление  $K_o$  и  $K_i$  (снизив время установления) и одновременно устранить переходный процесс, поскольку система начнет «чувствовать» не только наличие ошибки, но и тенденцию к ее изменению (прогнозирование).

Функция регулирования ПИД-регулятора имеет вид:

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

Примером применения ПАИС Anadigm в качестве ПИД-регулятора может служить модель парящего в воздухе шарика [5]. Выполненный на микросхеме ПАИС регулятор управляет электромагнитной катушкой, повышая или понижая ток таким образом, чтобы металлический шар не падал и не притягивался к электромагниту, а висел неподвижно в воздухе на одной и той же высоте (рис. 4).

### Симуляция работы нейронной сети

В настоящее время для построения нейронных сетей используются микропроцес-

сорные комплексы. Необходимо отметить, что вычислительная мощность для расчета будет возрастать в геометрической прогрессии при увеличении нейронов и уровней сети, так как при этом необходимо обработать огромный объем вычислений. Еще одним существенным недостатком цифровых нейронных сетей является конвертация входного аналогового сигнала в цифровой и затем обратно в аналоговый, что может отразиться на точности и быстродействии системы. Оптимальным решением для построения аналоговых нейронных сетей является использование нейронов, выполненных

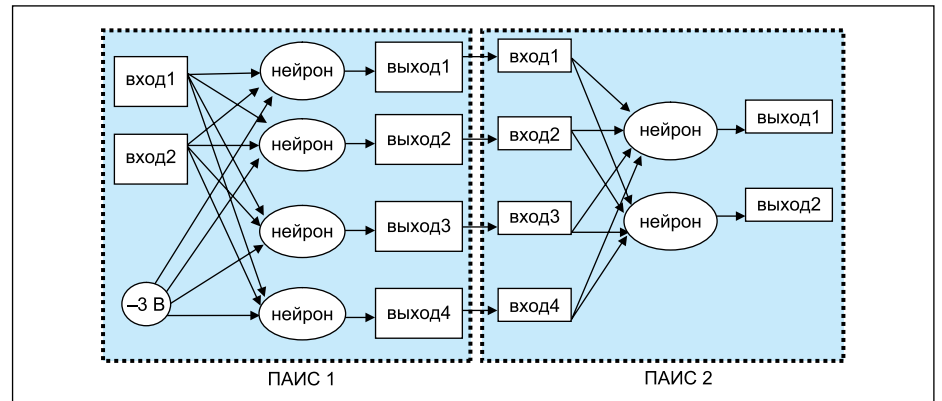


Рис. 5. Блок-схема двухслойной нейронной сети

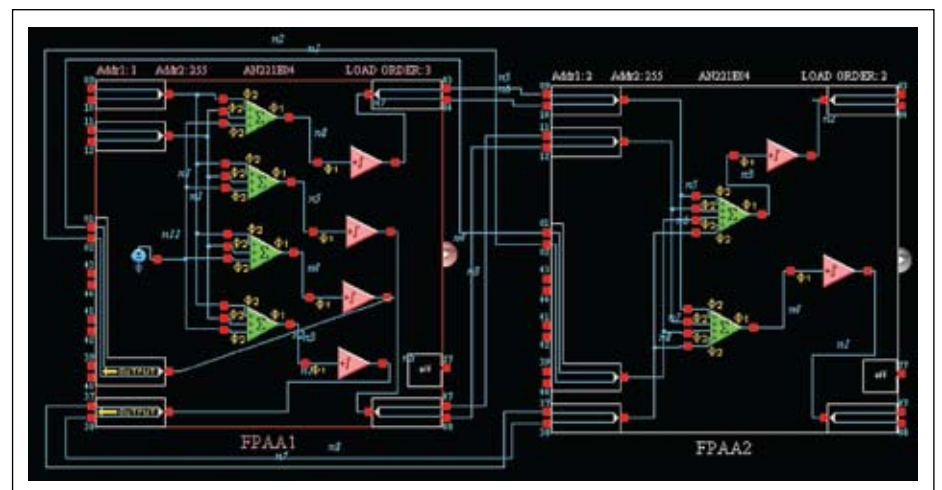


Рис. 6. Нейронная сеть на базе двух микросхем ПАИС Anadigm AN221E04



Рис. 7. Четвероногий робот, управляемый с помощью нейронной сети

не программно, а аппаратно, однако сложность такой реализации состоит в том, что в процессе обучения необходимо менять величину синаптической связи нейронов (весовые коэффициенты).

Для реализации аналоговой нейронной сети могут быть использованы программируемые аналоговые микросхемы [6]. Блок-схема двухслойной аналоговой нейронной сети представлена на рис. 5. Сеть выполнена на базе двух ПАИС AN221E04 (рис. 6). Управление и обучение нейронной сети осуществляется с помощью компьютера через последовательный цифровой интерфейс. Такая концепция была применена исследователями из университета Корнелла (Cornell University, USA) для управления четвероногим роботом (рис. 7) [7].

### Медицинское оборудование. Миограф и QRS-детектор

В некоторых медицинских приборах, таких как искусственное сердце, дефибрилляторы и кардиостимуляторы, устройства должны быть синхронизированы к соответствующей фазе сердечного цикла. Как правило, для выполнения этого требования применяются специальные QRS-детекторы (детектор процесса деполяризации желудочков сердца). При этом QRS-комплексы должны быть обнаружены с небольшой задержкой, так, например, для искусственного сердца задержка должна быть менее 50 мс. Используя цифровые устройства, можно создать компактные QRS-детекторы, однако применение в них цифровых фильтров вносит существенные задержки, которые могут достигать долей секунд. Применение аналоговых детекторов позволяет избежать этого недостатка [8].

Классическая аналоговая схема QRS-детектора (рис. 8) состоит из множества фильтров, усилителей, пик-детекторов и компараторов, которые могут существенно увеличить габариты устройства, а кроме того, изменение ряда параметров в аппаратно реализованном детекторе может привести к трудностям.

Используя программируемые аналоговые микросхемы Anadigm, можно реализовать схему QRS-детектора на одной микросхеме (рис. 9), значительно уменьшив габариты

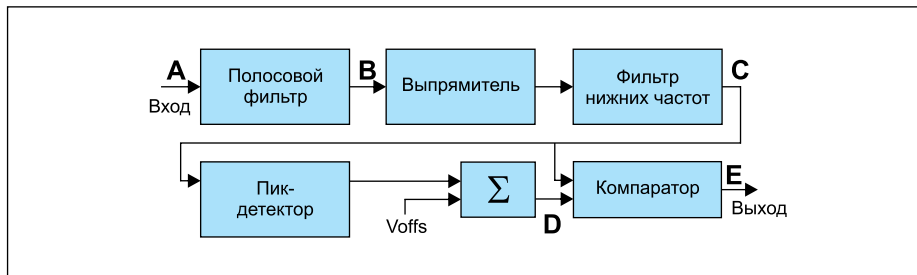


Рис. 8. Блок-диаграмма классического QRS-детектора

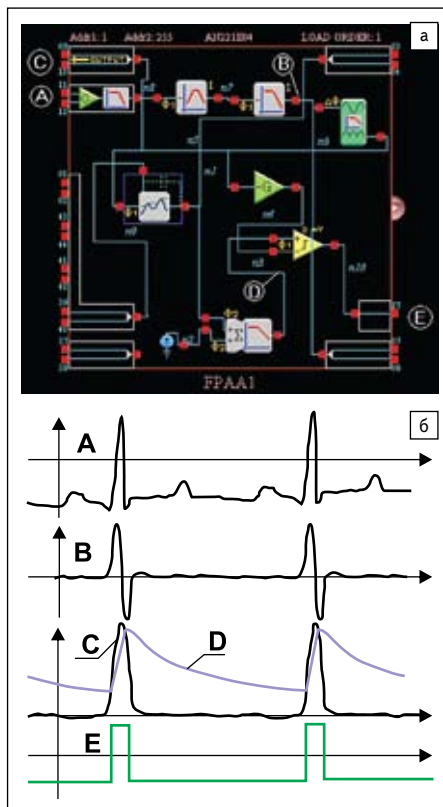


Рис. 9. а) Реализация QRS-детектора на ПАИС Anadigm; б) диаграмма работы

устройства, при этом параметры схемы мы можем изменять во время работы.

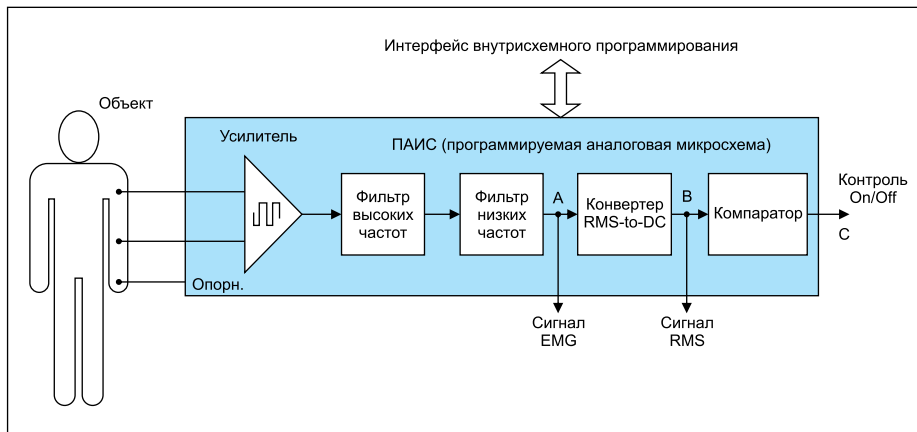


Рис. 10. Блок-схема электромиографа

Вторым возможным применением ПАИС Anadigm в медицине может стать устройство электромиографии. Электромиографы исследуют биоэлектрические потенциалы, возникающие в скелетных мышцах человека или животного при возбуждении мышечных волокон, или иными словами — регистрируют электрическую активность мышц. Такие устройства применяются для диагностирования различных нервно-мышечных заболеваний человека, кроме того, электромиографы могут использоваться для управления компьютером, машинами, роботами (экзоскелетами) или мобильными устройствами.

Как правило, регистрируемые сигналы имеют амплитуду от 10 мкВ до 1 мВ, а их спектр лежит в диапазоне частот от 50 до 350 Гц. Кроме того, в фиксируемом сигнале может присутствовать паразитная синфазная помеха с частотой 50 Гц, вызываемая работой сети переменного тока.

На рис. 10 представлена блок-схема электромиографа, а на рис. 11 — ее реализация на базе микросхемы Anadigm AN221E04 [9]. Сигнал снимается электродами, закрепленными у основания мышцы, и поступает на дифференциальный вход ПАИС. Здесь сигнал усиливается и из него удаляется синфазный паразитный сигнал сети переменного тока (подавление синфазной составляющей CMRR 102 дБ). Далее из сигнала выделяется нужный спектр (фильтр Чебышева второго порядка), который поступает на преобразователь среднеквадратичного значения сигнала (RMS-to-DC). Сигнал на выходе ком-

паратора может служить индикатором для внешних устройств момента иннервации исследуемой мышцы.

**Заключение**

Программируемые аналоговые микросхемы могут стать незаменимым инструментом в приложениях, для которых необходимо низкое время отклика при обработке аналоговых сигналов с высокой точностью: это PID-регуляторы, аналоговые фильтры высокого порядка, аналоговые нейронные сети и т. п. Сложные аналоговые устройства, требующие точной обработки аналогового сигнала, можно полностью реализовать на одной микросхеме ПАИС Anadigm. Причем параметры схемы мы можем менять (в том числе в реальном времени) программно, без изменения топологии печатной платы.

На приведенных в статье примерах читатель может оценить преимущества использования программируемых аналоговых микросхем, а также САПР AnadigmDesigner2 с понятным и дружелюбным интерфейсом, который имеет в своем составе полный набор библиотек и инструментов для проектирования аналоговых схем.

**Литература**

1. Щерба А. Динамическое программирование аналоговых схем Anadigm управляющим методом // Компоненты и технологии. 2010. № 12.
2. Щерба А. Программируемые аналоговые ИС Anadigm: применение конфигурируемых аналоговых модулей в составе программы AnadigmDesigner2 // Компоненты и технологии. 2007. № 12.

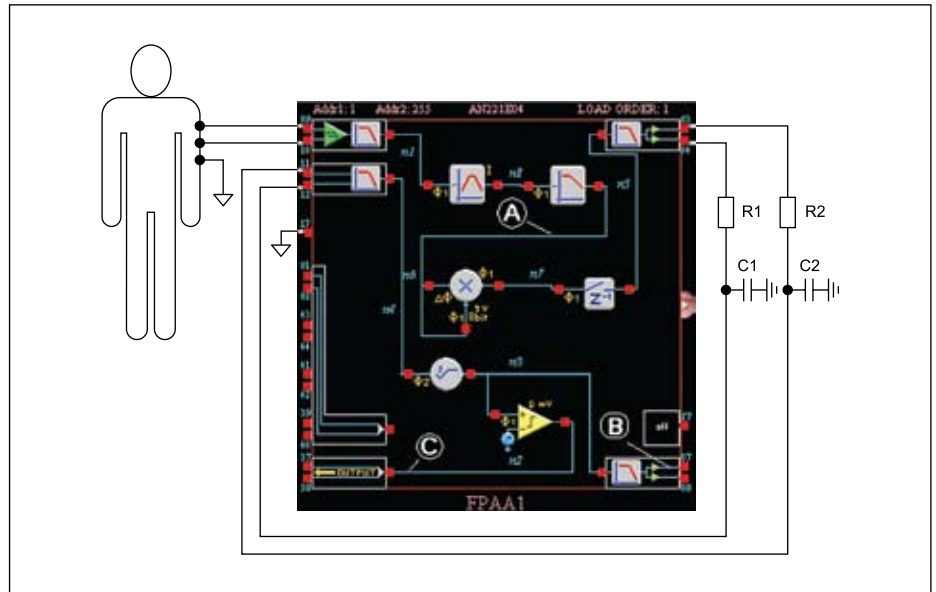


Рис. 11. Схема электромиографа, выполненная на базе микросхемы Anadigm AN221E04

3. Полищук Ал., Полищук А. Система автоматизированного проектирования программируемых аналоговых интегральных схем AnadigmDesigner2. Ч. 2. Особенности разработки проектов в среде программирования ПАИС Anadigm // Электронные компоненты. 2005. № 8.
4. Полищук Ал. Применение программируемых аналоговых интегральных схем (ПАИС) в устройствах управления системами термостатирования // Электронные компоненты. 2005. № 4.
5. Pilat A. Programmable analog hardware for control systems exemplified by magnetic suspension. Computer Methods and Systems. 14–16 Nov. 2005. Kraków, Poland.
6. Manolov E., Lyubenov B, Design and investigation of two-parameter space classification circuits using FPAA // Dept. of Electronics. Technical University, Sofia. Electronics'2005.
7. Berenson D., Lipson H. Hardware Evolution of Analog Circuits for In-situ Robotic Fault-Recovery. Cornell Computational Synthesis Lab. Cornell University, Ithaca, New York.
8. Malcher A., Pietraszek S., Przybyła T., Kidoń Z. Real time QRS detector based on field programmable analog array // Journal of medical informatics & technologies. 2009. No. 13.
9. Analog reconfigurable technologies for EMG signal processing // Revista Brasileira de Engenharia Biomédica. Apr. 2007. Vol. 23. No. 1.