

Уроки по LabVIEW

Трудно себе представить, как можно при проведении научных экспериментов в лаборатории или стендовых испытаниях на производстве обойтись без такой процедуры цифровой обработки сигналов как фильтрация. Вот с нее-то, пожалуй, и следует начать рассмотрение группы функций генерации и обработки сигналов в LabVIEW, которой будут посвящены несколько последующих уроков.

Уместно было бы начать с классификации фильтров, терминов и определений - линейные и нелинейные, БИХ- и КИХ-фильтры (рекурсивные и нерекурсивные), принцип суперпозиции и пропорциональности и т.п. Но это уже было в ВУЗе. Вспомнили? Отлично! Ну а для тех, кто "не знал, не знал и забыл", можно порекомендовать заглянуть в учебник.



Для начала, давайте рассмотрим, какие виды фильтров наиболее часто применяются на практике, а также их основные характеристики:

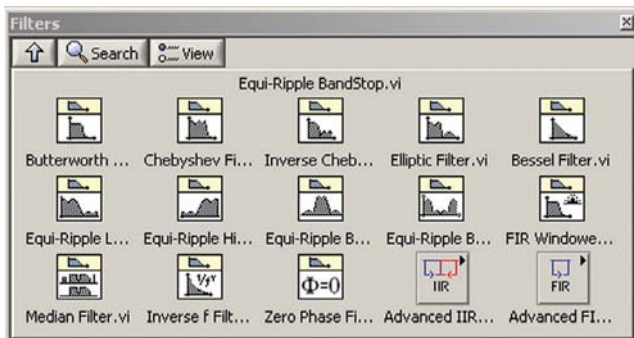
- фильтры Баттерворта характеризуются гладкостью частотной характеристики на всех частотах. Они имеют наиболее плоскую характеристику в полосе пропускания и ноль в полосе заграждения;

- фильтры Чебышева имеют малую амплитуду ошибки в полосе пропускания, большую крутизну спада в переходной полосе (по сравнению с фильтрами Баттерворта), плоскую характеристику в полосе заграждения, а также характеризуются наличием выброса перед переходной полосой;

- инверсные фильтры Чебышева имеют малую амплитуду ошибки в полосе заграждения и наиболее плоскую характеристику в полосе пропускания. Следует также отметить, что, в отличие от обычных фильтров Чебышева, в инверсных фильтрах отсутствует выброс перед переходной полосой. Крутизна характеристики в переходной области такого фильтра значительно превышает крутизну фильтра Баттерворта (при одинаковых порядках);

- эллиптические фильтры характеризуются самой высокой крутизной в переходной полосе.

Конечно же, существуют и другие виды цифровых фильтров, и они также представлены в LabVIEW:



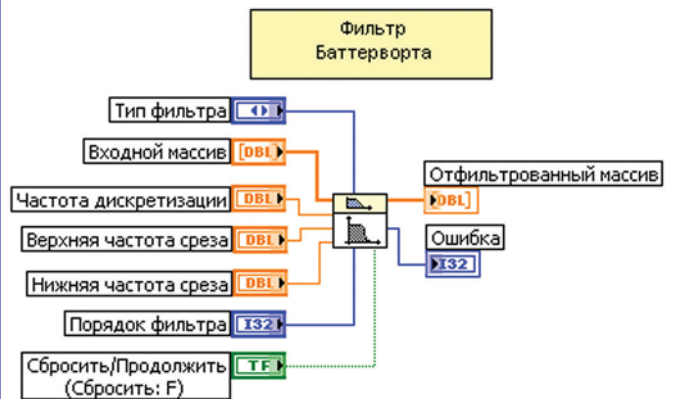
Но давайте двигаться от теории к практике или, как говорится - ближе к теме. Более детально рассмотрим представленные в LabVIEW VI для фильтрации. Итак:

Фильтр Баттерворта (Butterworth Filter.vi)

Интересно, какие в этом VI присутствуют входы, и за что каждый из них отвечает.

Тип фильтра (filter type) определяет полосу пропускания фильтра, возможные значения:

- "0" - Lowpass (фильтр нижних частот), по умолчанию;
- "1" - Highpass (фильтр верхних частот);
- "2" - Bandpass (полосовой фильтр);
- "3" - Bandstop (режекторный фильтр).



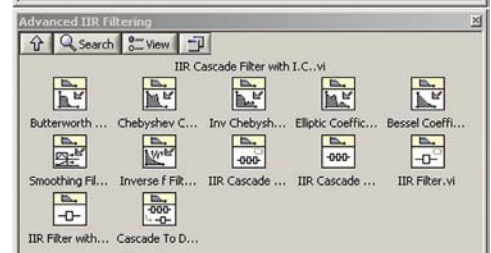
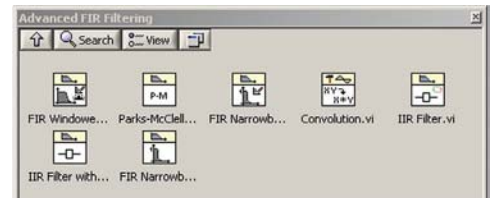
Частота дискретизации (sampling freq) определяет количество выборок в секунду. Частота дискретизации не может быть меньше 0, значение по умолчанию - 1.

Верхняя частота среза (high cutoff freq) используется только для полосовых и режекторных фильтров. Верхняя частота среза должна быть больше нижней, а также отвечать условию Найквиста, значение по умолчанию - 0,45. Для фильтров верхних и нижних частот данный вход игнорируется.

Нижняя частота среза (low cutoff freq) используется для всех типов фильтров, по умолчанию равна 0,125.

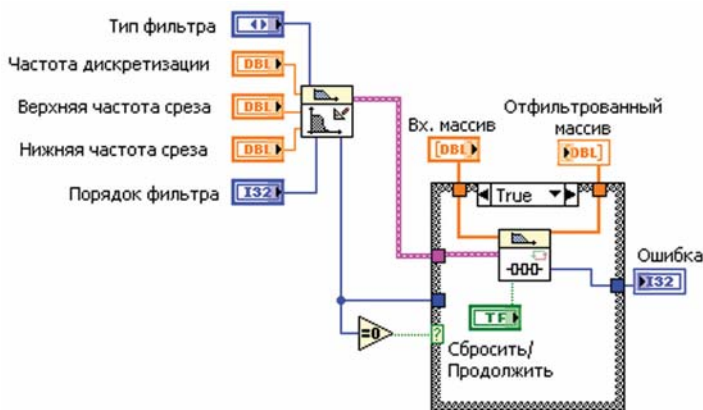
Порядок фильтра (order) устанавливает порядок

фильтра, который обязательно должен быть больше 0. По умолчанию устанавливается второй порядок фильтра.



Вход Сбросить / Продолжить (init / cont) управляет инициализацией внутренних состояний фильтра. Если на входе значение "FALSE" - внутренние состояния сбрасываются в 0. При установке на этот вход значения "TRUE" - текущие внутренние состояния фильтра будут равны состояниям, установленным во время предыдущего использования этого VI. Не очень понятно? Да... Как-то мутновато получилось... Тогда давайте рассмотрим простенький пример: пусть необходимо отфильтровать длинную последовательность. Для этого целесообразно разбить ее на конечное число меньших последовательностей и фильтровать их по очереди. При этом, фильтруя первый блок, нужно устанавливать "FALSE" на данном входе, а при фильтрации последующих - "TRUE". Теперь понятно?

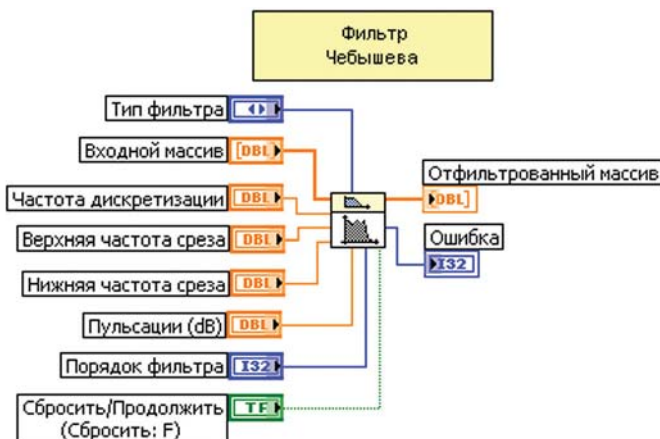
Кстати, если Вы желаете увидеть внутреннее содержание этого VI, Вам достаточно просто дважды щелкнуть на нем левой кнопкой мыши:



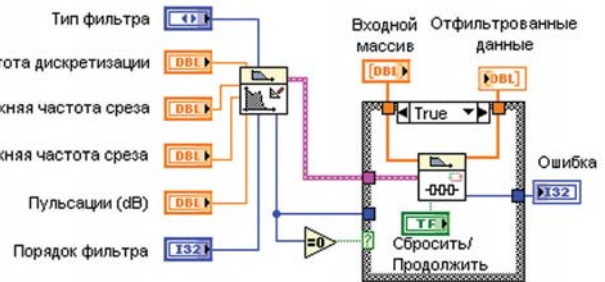
Как видите, "внутри" нашего фильтра находятся также и другие VI - *Butterworth Coefficients.vi* и *IIR Cascade Filter.vi*, которые Вы сможете найти в группе *Advanced IIR Filtering*. Каждый из них, кстати, имеет свое собственное внутреннее строение, но пока так углубляться не будем. Если хотите - взгляните сами. А на очереди следующий фильтр:

Фильтр Чебышева (Chebyshev Filter.vi)

Этот VI имеет такие же входы и выходы, как и рассмотренный выше фильтр Баттерворта, за исключением входа **Пульсации (ripple)**. На данном входе устанавливается уровень пульсации частотной характеристики фильтра в полосе пропускания. Т.е. Вы можете изменять величину выбросов характеристики в данной области. Значение пульсации должно быть больше нуля и задаваться в дБ, по умолчанию это значение для данного входа равно 0,1

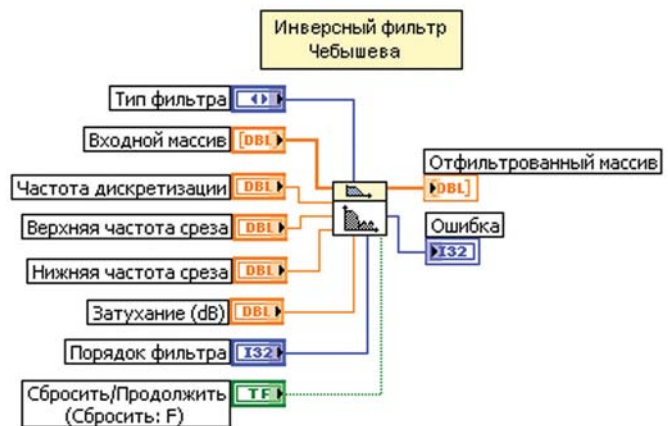


Внутренности *Chebyshev Filter.vi* отличаются от внутренностей *Butterworth Filter.vi* лишь тем, что вместо *Butterworth Coefficients.vi* используется *Chebyshev Coefficients.vi*. Это же справедливо и для других VI из данного раздела, но, естественно, со своими функциями коэффициентов.



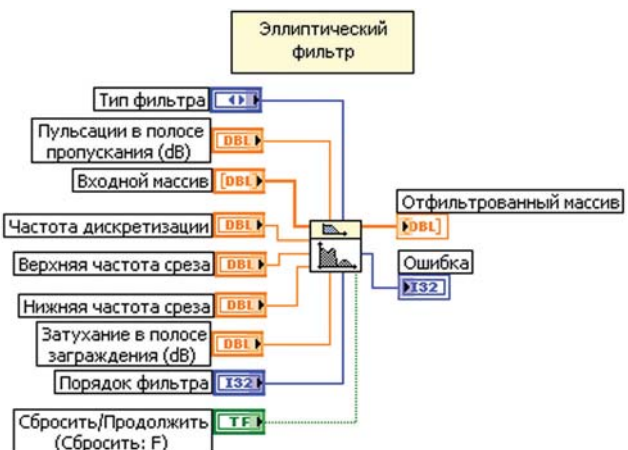
Инверсный фильтр Чебышева (Inverse Chebyshev Filter.vi)

Этот тип VI отличается от рассмотренного тем, что вместо входа **Пульсации** присутствует вход **Затухание (attenuation)**. При помощи данного входа определяется затухание в полосе заграждения частотной характеристики. Значение затухания должно быть больше нуля и задаваться в дБ, по умолчанию - 60.



Эллиптический фильтр (Elliptic Filter.vi)

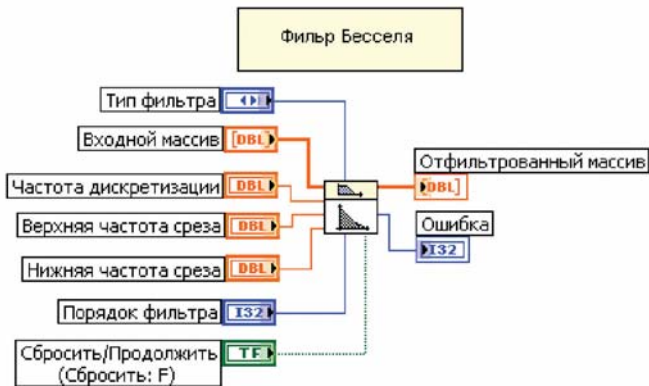
Эллиптический фильтр является своего рода объединением инверсного и обычного фильтров Чебышева. Благодаря входу Пульсации в полосе пропускания (pass-band ripple), Вы управляете величиной выбросов в области пропускания, а вход Затухание в полосе заграждения (stopband attenuation) отвечает за ослабление в области заграждения. Замечательно, не правда ли? Как и в ранее



рассмотренных фильтрах, значения на этих входах должны быть больше нуля и задаваться в дБ.

Фильтр Бесселя (Bessel Filter.vi)

Особенностью фильтра Бесселя является то, что спад его амплитудно-частотной характеристики значительно менее крутой, чем у других линейных фильтров. А вот входы этого VI идентичны входам *Butterworth Filter.vi*:



Следующий номер нашей учебной программы - ряд КИХ-фильтров (фильтры с конечной импульсной характеристикой), т.е. фильтров с равномерными пульсациями АЧХ (амплитудно-частотная характеристика). Поскольку все они функционируют по одному и тому же алгоритму Паркса - Мак-Клеллана, в качестве примера рассмотрим только один из них, но отличия остальных, естественно, будут оговорены.

Фильтр нижних частот с равномерными пульсациями (Equi-Ripple Low-Pass.vi)

Давайте разбираться с входными параметрами этого VI, которые не встречались ранее.



Количество отводов (# of taps). Имеется в виду количество отводов линии задержки (порядок фильтра). Следовательно, отрицательным это значение быть ну никак не может. Чем больше эта величина, тем выше качество подавления помехи. По умолчанию данный параметр равен 32.

Частота пропускания (pass freq). При помощи этого входа определяется полоса пропускания фильтра. Значение должно быть больше нуля и отвечать критерию Найквиста. По умолчанию значение этого параметра равно 0,2.

Частота заграждения (stop freq). Этот вход определяет полосу заграждения используемого фильтра. Вводимое значение, как нетрудно догадаться, должно быть больше значения на входе *Частота пропускания* (для рассматриваемого фильтра нижних частот). По умолчанию устанавливается 0,3.

Фильтр верхних частот с равномерными пульсациями (Equi-Ripple HighPass.vi) отличается от фильтра нижних частот лишь тем, что значение на входе частота пропускания (по умолчанию 0,3) теперь должно быть больше, чем на входе частота заграждения (по умолчанию 0,2).

Полосовой фильтр с равномерными пульсациями (Equi-Ripple BandPass.vi)



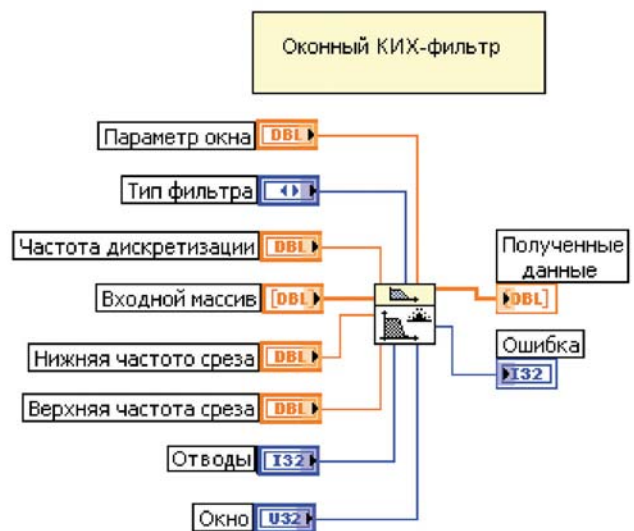
Для полосового фильтра необходимо указывать все четыре предельных значения частот (два верхних и два нижних) на частотной характеристике, причем придерживаясь следующего соотношения: *нижний предел полосы заграждения < нижний предел полосы пропускания < верхний предел полосы пропускания < верхний предел полосы заграждения*. И, конечно же, это все должно быть меньше, чем значение частоты дискретизации, деленное пополам (без критерия Найквиста - ну просто никак). Значения входов по умолчанию:

- нижний предел полосы заграждения - 0,2;
- нижний предел полосы пропускания - 0,25;
- верхний предел полосы пропускания - 0,35;
- верхний предел полосы заграждения - 0,4.

Режекторный фильтр с равномерными пульсациями (Equi-Ripple BandStop.vi) является точным зеркальным отражением полосового фильтра, и этим все сказано.

Оконный КИХ-фильтр (FIR Windowed Filter.vi)

Что же в этом VI новенького? Смотрим.



Вход **параметр окна** (*window parameter*) применим только для нескольких видов фильтров, причем для каждого из них он определяет разные параметры:

- для окна Кайзера - это так называемый бета-параметр;
- для окна Гаусса - это стандартная девиация (максимальное отклонение частоты от среднего значения при частотной модуляции);
- для окна Дольфа-Чебышева - это отношение главного лепестка к боковому;
- для всех остальных типов фильтров рассматриваемый параметр просто игнорируется.

Отводы (taps). Этот вход определяет число КИХ-коэффициентов. Для фильтров верхних частот и режекторных фильтров значение должно быть нечетным. Число КИХ-коэффициентов всегда больше нуля (значение по умолчанию - 25).

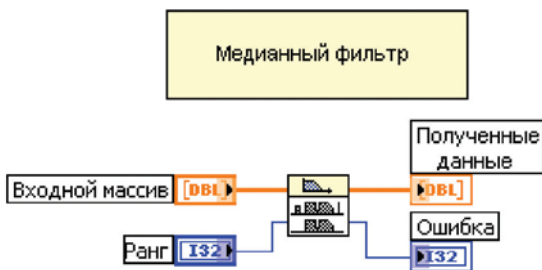
Вход окна (window), нетрудно догадаться, определяет тип используемого окна. Рассмотрим все возможные варианты для этого входа:

- 0 - прямоугольное окно (Rectangular); устанавливается по умолчанию;
- 1 - окно Хэннинга (Hanning);
- 2 - окно Хэмминга (Hamming);
- 3 - окно Блэкмана-Харриса (Blackman-Harris);
- 4 - точное Блэкмана (Exact Blackman);
- 5 - окно Блэкмана (Blackman);
- 6 - плоскововершинное окно (Flat Top);
- 7 - четырехзвенное окно Блэкмана-Харриса (4Term B-Harris);
- 8 - семизвенное окно Блэкмана-Харриса (7 Term B-Harris);
- 9 - окно с низким уровнем боковых лепестков (Low Sidelobe);
- 11 - окно Блэкмана-Нуттала (Blackman Nuttall);
- 30 - треугольное окно (Triangle);
- 60 - окно Кайзера (Kaiser);
- 61 - окно Дольфа-Чебышева (Dolph-Chebyshev);
- 62 - окно Гаусса (Gaussian).

Да... Интересная закономерность в порядке следования номеров, а точнее - ее отсутствие. Вряд ли кто-то будет пытаться запомнить, какое окно устанавливается каким числом. А этого и не нужно делать, ведь всегда можно подсмотреть в находящемся под рукой уроке №13 по LabVIEW.

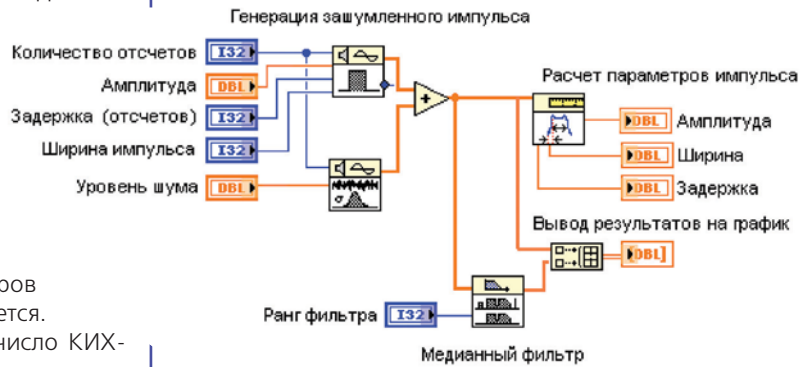
Медианный фильтр (Median Filter.vi)

У этого фильтра подозрительно мало входов, не так ли? И тем не менее, один из них Вам еще не знаком.

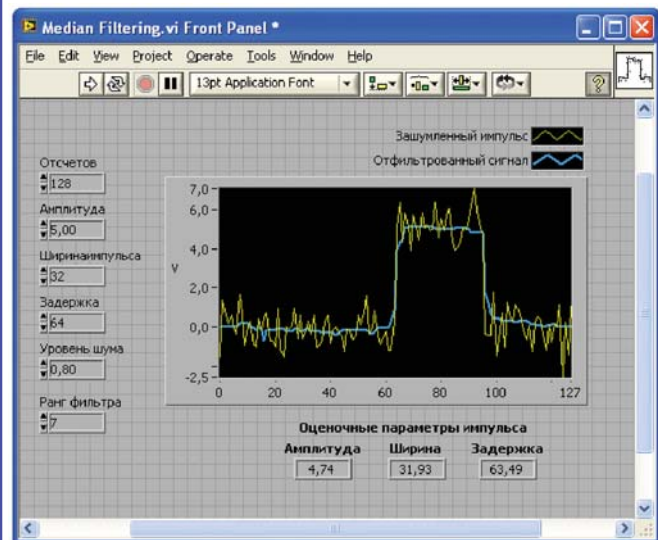


Ранг (rank). Устанавливая значение на данном входе, необходимо помнить, что число элементов входного массива должно быть строго больше, чем ранг медианного фильтра, который, в свою очередь, должен быть больше нуля. Ранг по умолчанию равен 2. А давайте-ка рас-

смотрим работу этого фильтра на простом примере:



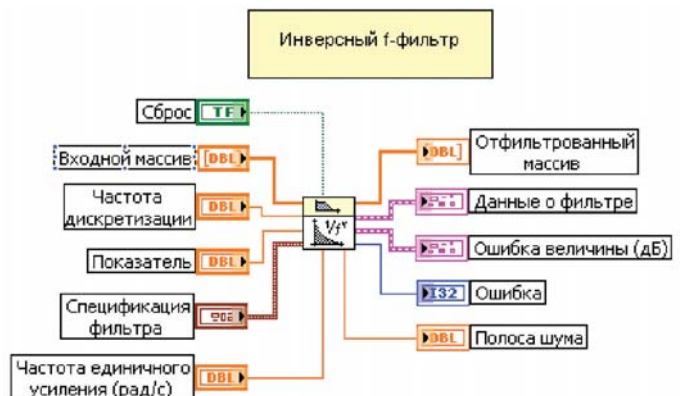
Комментарии на диаграмме говорят сами за себя, поэтому долгих объяснений по поводу работы программы не последует. Запускаем программу на выполнение и на экране видим вот такую "красоту":



На осциллограмме видно, насколько хорошо фильтр справляется с шумом. Следует учесть, что рассмотренный фильтр имеет всего-навсего седьмой ранг. А установите этот параметр на уровне 15-25. И Вы убедитесь в том, что данный фильтр является достаточно эффективным.

Инверсный f-фильтр (Inverse f filter.vi)

Начнем рассмотрение возможностей этого VI с входных параметров.



Сброс (Reset) инициирует пересчет коэффициентов фильтра и сброс его внутреннего состояния в начальное

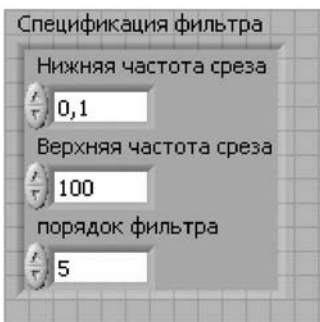
при установке на нем значения "TRUE". По умолчанию, на входе установлено "FALSE".

Показатель (Exponent) определяет степень в выражении для расчета квадрата частотной характеристики фильтра: $1/(f^{\text{показатель}})$. По умолчанию значение показателя равно 1.

Спецификация фильтра (filter specification). Этот вход является кластером; с его помощью задается диапазон рабочих частот и порядок фильтра.

В кластер входят ранее рассмотренные параметры, новым является только форма их представления. Значения по умолчанию:

- нижняя частота среза - 0,1;
- верхняя частота среза - 100.



Вход **Порядок Фильтра** в данном случае устанавливает количество секций первого порядка. Увеличение этого числа приводит к улучшению формы частотной характеристики фильтра. Платой за это является большая сложность вычислительных операций.

Частота единичного усиления (unity gain freq) определяет частоту (в рад/с), при которой идеальный инверсный f-фильтр имеет коэффициент усиления равный 1. Реальный инверсный фильтр создается попыткой аппроксимации идеального фильтра в диапазоне частот, заданном в спецификации. Следовательно, реальный коэффициент усиления фильтра будет находиться в окрестности единицы.



ного сигнала, также можно найти кое-что интересное.

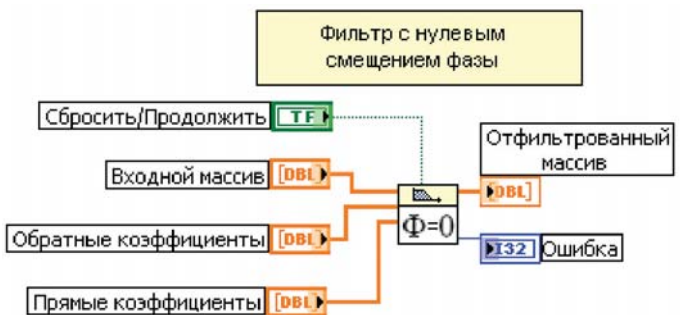
Выход **данные о фильтре (filter information)** является кластером, который включает в себя два подкластера (**Значение (magnitude)** и **Фаза (phase)**). А те, в свою очередь, следующие характеристики:

- **Частота (frequency)**, возвращает частоты передаточной характеристики фильтра в Гц;
- **Значение (magnitude)**, возвращает значения передаточной характеристики фильтра в дБ;
- **Фаза (phase)**, возвращает значения фаз передаточной характеристики используемого фильтра в градусах.

Выход **Ошибка величины (magnitude error)** возвращает значение девиации (отклонения) передаточной характеристики реального фильтра от идеального (на выбранной частоте). Этот выход также является кластером, но очень простым.

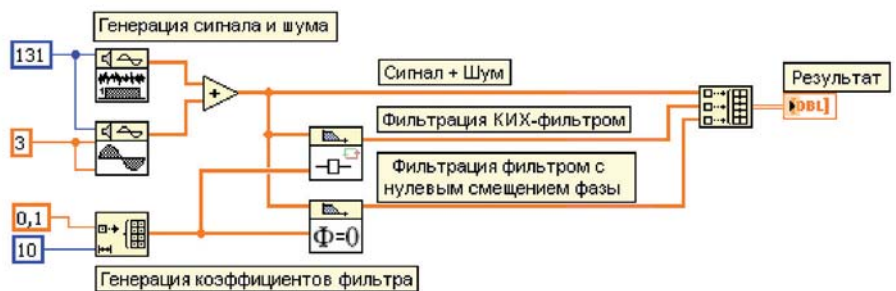
Выход **Полоса шума (noise bandwidth)**, возвращает ожидаемую шумовую полосу реального фильтра.

Фильтр с нулевым смещением фазы (Zero Phase Filter.vi)

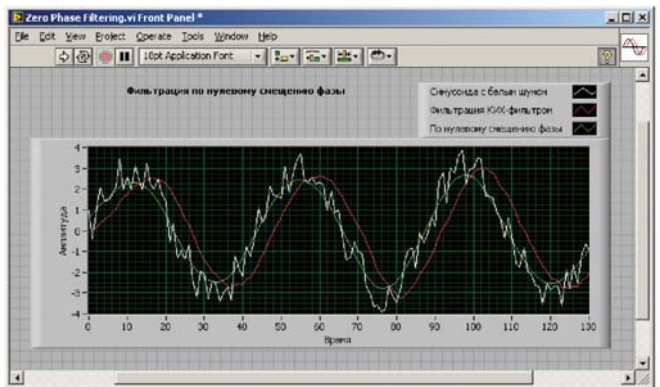


В этом VI входы **Обратные коэффициенты (Reverse Coefficients)** и **Прямые коэффициенты (Forward Coefficients)** устанавливают соответствующие коэффициенты фильтра с нулевым смещением фазы.

Ну и в завершение урока - интересный пример, иллюстрирующий эффективность работы **Zero Phase Filter.vi**:



При рассмотрении этого VI не стоит ограничиваться только указанием его входов. На выходе, кроме, естественно, отфильтрованного



Используя приведенный пример, поэкспериментируйте с различными типами фильтров. Это в качестве домашнего задания, практическая его часть. А на следующих уроках - обработка сигналов во временной и частотных областях, т.е. спектры, кепстры, корреляционные функции и все такое прочее. К таким занятиям следует подготовиться теоретически.

Материал урока подготовлен сотрудниками "ХОЛИТ Дэйта систем", г.Киев