



Filter Comparison Сравнение Фильтров

Decisions, decisions, decisions! With all these filters to choose from, how do you know which to use? This chapter is a head-to-head competition between filters; we'll select champions from each side and let them fight it out. In the first match, *digital* filters are pitted against *analog* filters to see which technology is best. In the second round, the windowed-sinc is matched against the Chebyshev to find the king of the *frequency domain* filters. In the final battle, the moving average fights the single pole filter for the *time domain* championship. Enough talk; let the competition begin!

Решения, решения, решения! Выбрать из всех этих фильтров, как узнать, который использовать? Эта глава - соревнование между фильтрами лоб в лоб; мы выберем чемпионов от каждой стороны и заставим их бороться. В первом сопоставлении, *цифровые* фильтры изъедены (о них много сказано в противовес аналоговым фильтрам) против аналоговых фильтров, чтобы видеть, которая из технологий является лучшей. Во втором раунде, windowed-sinc противостоит Чебышеву, чтобы найти короля из фильтров *частотного домена*. В заключительном сражении, фильтр скользящего среднего борется против однополюсного фильтра за первенство в *домене времени*. Достаточно разговоров; позвольте начать соревнование!

Match #1: Analog vs. Digital Filters

Сопоставление(Противостояние) #1: Аналоговые фильтры против Цифровых

Most digital signals originate in analog electronics. If the signal needs to be filtered, is it better to use an analog filter before digitization, or a digital filter after? We will answer this question by letting two of the best contenders deliver their blows.

Больше всего цифровых сигналов происходят из аналоговой электроники. Если сигнал должен быть фильтрован, что лучше? Использовать аналоговый фильтр перед преобразованием в цифровую форму, или цифровой фильтр после преобразования аналогового сигнала в цифровую форму? Ответить на этот вопрос, мы позволим двум из лучших кандидатов, заставив их попынтеть.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ

The goal will be to provide a low-pass filter at 1 kHz. Fighting for the analog side is a six pole Chebyshev filter with 0.5 dB (6%) ripple. As described in Chapter 3, this can be constructed with 3 op amps, 12 resistors, and 6 capacitors. In the digital corner, the windowed-sinc is warming up and ready to fight. The analog signal is digitized at a 10 kHz sampling rate, making the cutoff frequency 0.1 on the digital frequency scale. The length of the windowed-sinc will be chosen to be 129 points, providing the same 90% to 10% roll-off as the analog filter. Fair is fair. Figure 21-1 shows the frequency and step responses for these two filters.

Цель будет состоять в том, чтобы обеспечить фильтр нижних частот в 1 кГц. В борьбе за аналоговую сторону – 6 полюсный фильтр Чебышева с пульсациями 0.5 dB (6 %). Как описано в главе 3, это может быть создано 3 op amps (операционными усилителями), 12 резисторов, и 6 конденсаторов. В цифровом углу, windowed-sinc нагревается и готов бороться. Аналоговый сигнал оцифрован с частотой выборки 10 кГц, делая частоту отсечки 0.1 на цифровой частотной шкале. Длина windowed-sinc выбрана, 129 точек, обеспечивая тем самым спад с 90 % до 10 % как аналоговый фильтр. Торг справедлив. Рисунок 21-1 показывает частоту и отклик на скачок (переходную характеристику) для этих двух фильтров.

Let's compare the two filters blow-by-blow. As shown in (a) and (b), the analog filter has a 6% ripple in the passband, while the digital filter is perfectly flat (within 0.02%). The analog designer might argue that the ripple can be *selected* in the design; however, this misses the point. The flatness achievable with analog filters is limited by the accuracy of their resistors and capacitors. Even if a Butterworth response is designed (i.e., 0% ripple), filters of this complexity will have a residue ripple of, perhaps, 1%. On the other hand, the flatness of digital filters is primarily limited by round-off error, making them *hundreds* of times flatter than their analog counterparts. Score one point for the digital filter.

Давайте сравнивать два фильтра методично. Как показано в (a) и (b), аналоговый фильтр имеет полосу пропускания с пульсациями в 6 %, в то время как цифровой фильтр - совершенно плоскую (в пределах 0.02 %). Аналоговый проектировщик мог бы доказывать, что пульсации могут быть *отобраны (устранены?)* в разработке; однако, это пропускает очко. Пологость, достижимая с аналоговыми фильтрами ограничена точностью их резисторов и конденсаторов. Даже если разработан отклик Буттерворта (то есть, пульсации 0 %), фильтры этой сложности будут иметь остаточные пульсации, возможно, 1 %. С другой стороны, пологость цифровых фильтров, прежде всего, ограничена ошибкой округления, делая их в *сотни* раз привлекательнее (лучше), чем их аналоговые аналоги (двойники). Отметьте одно очко в пользу цифрового фильтра.

Next, look at the frequency response on a log scale, as shown in (c) and (d). Again, the digital filter is clearly the victor in both *roll-off* and *stopband attenuation*. Even if the analog performance is improved by adding additional stages, it still can't compare to the digital filter. For instance, imagine that you need to improve these two parameters by a factor of 100. This can be done with simple modifications to the windowed-sinc, but is virtually impossible for the analog circuit. Score two more for the digital filter.

Затем, посмотрите на частотную характеристику в логарифмическом масштабе, как показано в (c) и (d). Снова, цифровой фильтр - ясно победитель, и в ослаблении полосы задерживания и в спаде. Даже если аналоговая эффективность улучшена, прибавляя дополнительные стадии, она все же не может сравниться с цифровым фильтром. Для образца, вообразите, что Вы должны улучшить эти два параметра фактором 100. Это может быть сделано простыми модификациями к windowed-sinc, но фактически невозможно для аналоговой схемы. Выиграно еще два очка в пользу цифрового фильтра.

(c) АВТЭКС, Санкт-Петербург, <http://www.autex.spb.ru>, e-mail: info@autex.spb.ru

The step response of the two filters is shown in (e) and (f). The digital filter's step response is symmetrical between the lower and upper portions of the step, i.e., it has a linear phase. The analog filter's step response is *not* symmetrical, i.e., it has a nonlinear phase. One more point for the digital filter. Lastly, the analog filter overshoots about 20% on one side of the step. The digital filter overshoots about 10%, but on both sides of the step. Since both are bad, no points are awarded.

Отклик на скачок двух фильтров показывается в (e) и (f). Отклик на скачок цифрового фильтра симметричен между более низкими и верхними частями ступени, то есть, имеет линейную фазу. Реакция на скачок аналогового фильтра *не* симметрическая, то есть, имеет нелинейную фазу. Еще одно очко цифровому фильтру. Наконец, аналоговый фильтр имеет выброс приблизительно 20 % на одной стороне ступени. Цифровой фильтр приблизительно 10 %, но с обеих сторон ступени. Так как оба плохи, никаких очков не присуждено.

In spite of this beating, there are still many applications where analog filters should, or must, be used. This is not related to the actual performance of the filter (i.e., what goes in and what comes out), but to the general advantages that analog circuits have over digital techniques. The first advantage is *speed*: digital is slow; analog is fast. For example, a personal computer can only filter data at about 10,000 samples per second, using FFT convolution. Even simple op amps can operate at 100 kHz to 1 MHz, 10 to 100 times as fast as the digital system!

Несмотря на это избиение, там - все же имеется много приложений, где аналоговые фильтры должны, или обязаны использоваться. Это не связано с фактической эффективностью фильтра (то есть, что входит и что выходит), но с общими преимуществами, которые аналоговые цепи имеют перед цифровыми методами. Первое преимущество - *быстродействие*: цифровое медленно; аналоговое быстро. Например, персональный компьютер, используя свертку БПФ, может фильтровать данные со скоростью приблизительно 10000 выборок в секунду. Даже простой op amp (операционный усилитель) может работать в полосе от 100 кГц до 1 МГц, в 10 - 100 раз быстрее, чем цифровая система!

The second inherent advantage of analog over digital is *dynamic range*. This comes in two flavors. **Amplitude dynamic range** is the ratio between the largest signal that can be passed through a system, and the inherent noise of the system. For instance, a 12 bit ADC has a saturation level of 4095, and an rms quantization noise of 0.29 digital numbers, for a dynamic range of about 14000. In comparison, a standard op amp has a saturation voltage of about 20 volts and an internal noise of about 2 microvolts, for a dynamic range of about *ten million*. Just as before, a simple op amp devastates the digital system.

Второе свойственное преимущество аналогового фильтра перед цифровым - *динамический диапазон*. Сюда входит в две разновидности. Одна из них **Амплитудный динамический диапазон** - отношение между самым большим сигналом, который можно пропускать через систему, и свойственным системе шумом. Например, 12 разрядный АЦП имеет уровень насыщения 4095, и среднеквадратичный шум квантования 0.29 цифровых чисел, для динамического диапазона приблизительно 14000. Для сравнения, стандартный op amp (операционный усилитель) имеет напряжение насыщения приблизительно 20 вольт и внутренний шум приблизительно 2 микровольта, для динамического диапазона приблизительно *десять миллионов*. Так же, как прежде, простой op amp (операционный усилитель) разоряет цифровую систему.

The other flavor is **frequency dynamic range**. For example, it is easy to design an op amp circuit to simultaneously handle frequencies between 0.01 Hz and 100 kHz (seven decades). When

(c) АВТЭКС, Санкт-Петербург, <http://www.autex.spb.ru>, e-mail: info@autex.spb.ru

this is tried with a digital system, the computer becomes swamped with data. For instance, sampling at 200 kHz, it takes 20 million points to capture one complete cycle at 0.01 Hz. You may have noticed that the frequency response of digital filters is almost always plotted on a *linear* frequency scale, while analog filters are usually displayed with a *logarithmic* frequency. This is because digital filters need a linear scale to show their exceptional filter performance, while analog filters need the logarithmic scale to show their huge dynamic range.

Другая разновидность - **частотный динамический диапазон**. Например, просто(легко) проектировать схему op amp (операционного усилителя), чтобы одновременно обработать частоты от 0.01 Гц до 100 кГц (семь декад). Когда это испытано(проверено) с цифровой системой, компьютер утопает в данных. Например, для выборки 200 кГц, требуется 20 миллионов точек, чтобы зафиксировать один полный период частотой 0.01 Гц. Вы, возможно, заметили, что график частотной характеристики цифровых фильтров почти всегда составлен в *линейном* частотном масштабе, в то время как аналоговые фильтры обычно отображаются с *логарифмической* частотой. Это потому - что цифровые фильтры нуждаются в линейном масштабе, чтобы показать их исключительную эффективность фильтра, в то время как аналоговые фильтры нуждаются в логарифмическом масштабе, чтобы показать их огромный динамический диапазон.

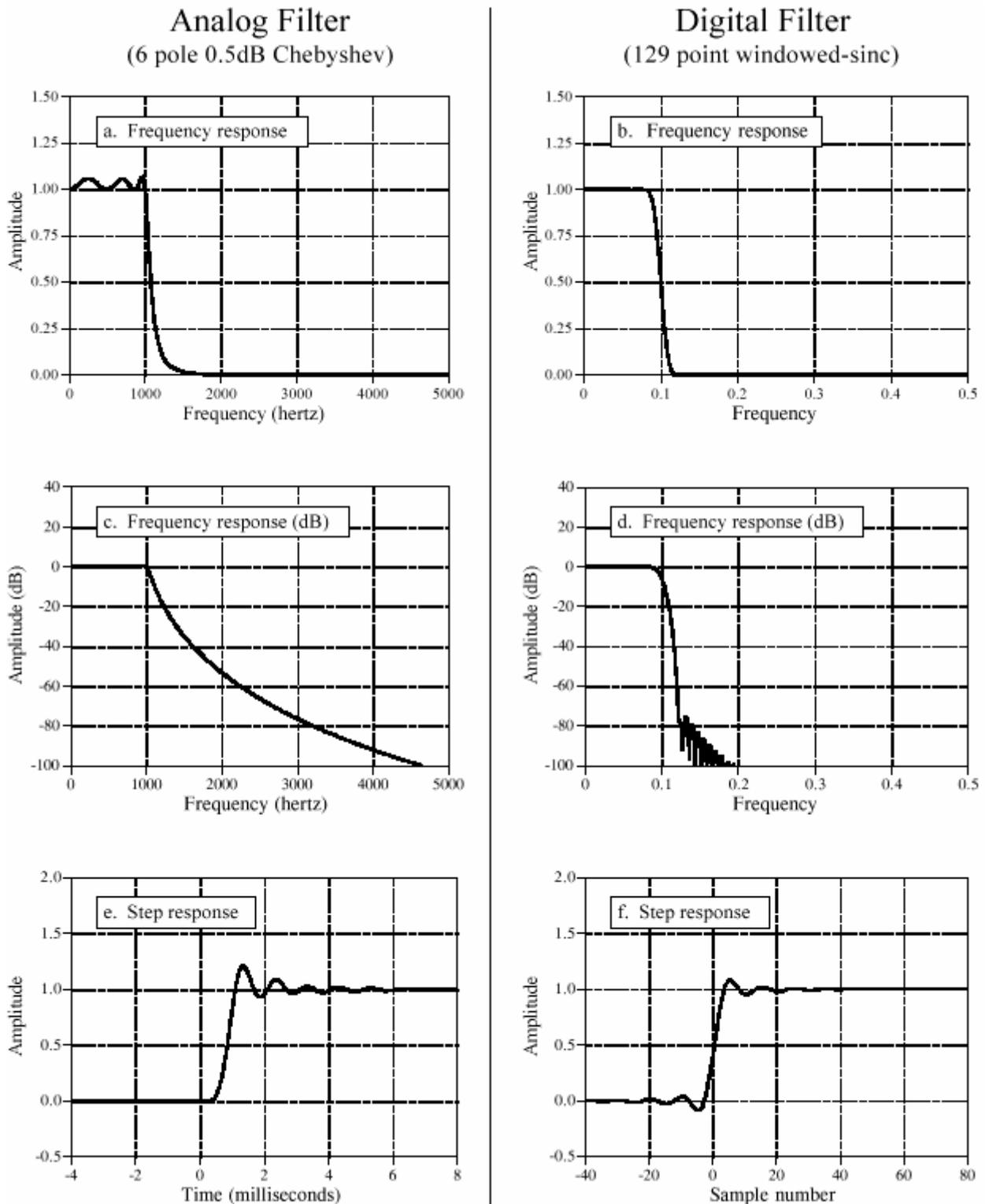


FIGURE 21-1. Comparison of analog and digital filters.

Digital filters have better performance in many areas, such as: passband ripple, (a) vs. (b), roll-off and stopband attenuation, (c) vs. (d), and step response symmetry, (e) vs. (f). The digital filter in this example has a cutoff frequency of 0.1 of the 10 kHz sampling rate. This provides a fair comparison to the 1 kHz cutoff frequency of the analog filter.

РИСУНОК 21-1. Сравнение аналогового и цифрового фильтров.

Цифровые фильтры имеют лучшую эффективность во многих областях, типа: неравномерность в полосе пропускания, (a) против (b), завала(спада) и ослабления полосы задерживания, (c) против (d), и симметрии реакции на скачок(переходной характеристика), (e) против (f). Цифровой фильтр в этом примере имеет частоту отсечки 0.1 из частоты выборки 10 кГц. Это обеспечивает справедливое сравнение с частотой отсечки 1 кГц аналогового фильтра.

(с) АВТЭКС, Санкт-Петербург, <http://www.autex.spb.ru>, e-mail: info@autex.spb.ru

Match #2: Windowed-Sinc vs. Chebyshev

Сопоставление #2: Windowed-Sinc против Чебышева

Both the windowed-sinc and the Chebyshev filters are designed to separate one band of frequencies from another. The windowed-sinc is an FIR filter implemented by *convolution*, while the Chebyshev is an IIR filter carried out by *recursion*. Which is the best digital filter in the frequency domain? We'll let them fight it out.

И windowed-sinc и Чебышевские фильтры предназначены, чтобы отделить одну полосу частот от другой. Windowed-sinc - КИХ-фильтр, осуществлен *сверткой*, в то время как фильтр Чебышева - БИХ-фильтр, выполнен *рекурсией*. Который из цифровых фильтров является лучшим в частотном домене? Мы позволим им посостязаться в этом.

The recursive filter contender will be a 0.5% ripple, 6 pole Chebyshev low-pass filter. A fair comparison is complicated by the fact that the Chebyshev's frequency response changes with the cutoff frequency. We will use a cutoff frequency of 0.2, and select the windowed-sinc's filter kernel to be 51 points. This makes both filters have the same 90% to 10% roll-off, as shown in Fig. 21-2(a).

Соперник рекурсивного фильтра будет 6 полюсный фильтр нижних частот Чебышева с пульсациями 0.5 %. Справедливое сравнение усложнено фактом, что частотная характеристика Чебышева изменяется с частотой отсечки. Мы будем использовать частоту отсечки 0.2, и выберем ядро фильтра windowed-sinc's, 51 точку. Это заставит оба фильтра иметь тот одинаковый спад 90 % к 10 %, как показано в рис. 21-2 (a).

Now the pushing and shoving begins. The recursive filter has a 0.5% ripple in the passband, while the windowed-sinc is flat. However, we could easily set the recursive filter ripple to 0% if needed. No points. Figure 21-2b shows that the windowed-sinc has a much better stopband attenuation than the Chebyshev. One point for the windowed-sinc.

Теперь начинается толкание и пихание. Рекурсивный фильтр имеет пульсации в полосе пропускания 0.5 %, в то время как windowed-sinc плоский. Однако, мы могли легко установить пульсации рекурсивного фильтра в 0 % если в этом есть необходимость. Нет очков. Рисунок 21-2b показывает, что windowed-sinc имеет намного лучшее ослабление полосы задерживания, чем Чебышев. Одно очко в пользу windowed-sinc.

Figure 21-3 shows the step response of the two filters. Both are bad, as you should expect for frequency domain filters. The recursive filter has a nonlinear phase, but this can be corrected with bidirectional filtering. Since both filters are so ugly in this parameter, we will call this a draw.

Рисунок 21-3 показывает отклик на скачок двух фильтров. Как Вы должны ожидать, оба плохи для фильтров частотного домена. Рекурсивный фильтр имеет нелинейную фазу, но это может быть исправлено двунаправленной фильтрацией. Так как оба фильтра настолько уродливы по этому параметру, мы назовем это ничья.

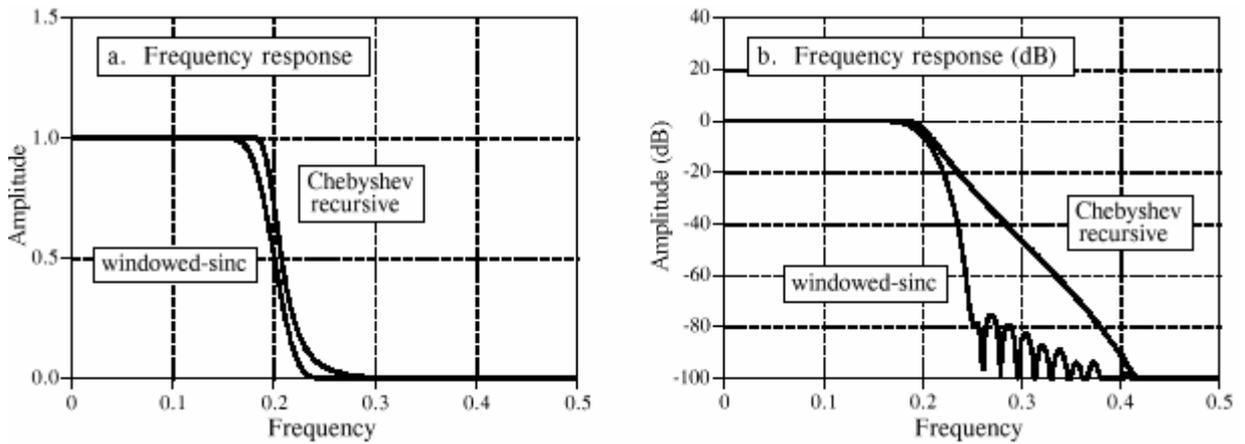


FIGURE 21-2. Windowed-sinc and Chebyshev frequency responses.

Frequency responses are shown for a 51 point windowed-sinc filter and a 6 pole, 0.5% ripple Chebyshev recursive filter. The windowed-sinc has better stopband attenuation, but either will work in moderate performance applications. The cutoff frequency of both filters is 0.2, measured at an amplitude of 0.5 for the windowed-sinc, and 0.707 for the recursive.

РИСУНОК 21-2. Частотные характеристики фильтра Windowed-sinc и Чебышевского фильтра.

Частотные характеристики показываються для 51 точки windowed-sinc фильтра и 6 полюсного рекурсивного фильтра Чебышева с 0.5 % пульсаций. Windowed-sinc имеет лучшее ослабление полосы задерживания, но любой из них будет работать в приложениях, требующих умеренной эффективности. Частота отсечки обоих фильтров 0.2, измерена в амплитуде 0.5 для windowed-sinc, и 0.707 для рекурсивного фильтра.

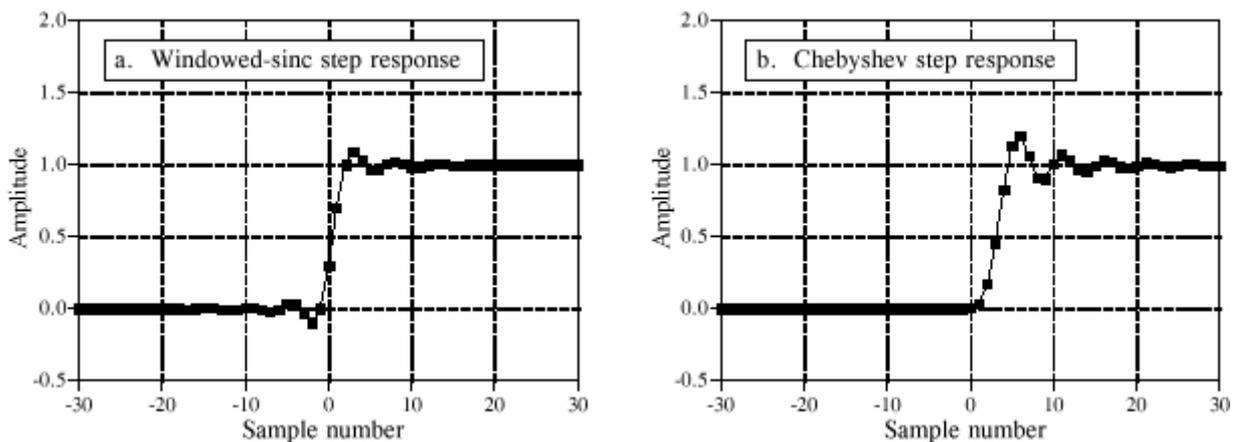


FIGURE 21-3. Windowed-sinc and Chebyshev step responses.

The step responses are shown for a 51 point windowed-sinc filter and a 6 pole, 0.5% ripple Chebyshev recursive filter. Each of these filters has a cutoff frequency of 0.2. The windowed-sinc has a slightly better step response because it has less overshoot and a zero phase.

РИСУНОК 21-3. Windowed - sinc и Чебышевские реакции на скачок(переходная характеристика).

Отклик на скачок(ступень) показываються для 51 точки windowed-sinc фильтра и 6 полюсного рекурсивного фильтра Чебышев с пульсациями 0.5 %. Каждый из этих фильтров имеет частоту отсечки 0.2. Windowed-sinc имеет слегка лучший отклик на скачок, потому что он имеет меньшие переерегулирование и нулевую фазу.

So far, there isn't much difference between these two filters; either will work when moderate performance is needed. The heavy hitting comes over two critical issues: *maximum performance* and *speed*. The windowed-sinc is a powerhouse, while the Chebyshev is quick and agile. Suppose you have a really tough frequency separation problem, say, needing to isolate a 100 millivolt signal at 61 hertz that is riding on a 120 volt power line at 60 hertz. Figure 21-4 shows how these two filters compare when you need maximum performance. The recursive filter is a 6 pole Chebyshev with 0.5% ripple. This is the maximum number of poles that can be used at a 0.05 cutoff frequency with single precision. The windowed-sinc uses a 1001 point filter kernel,

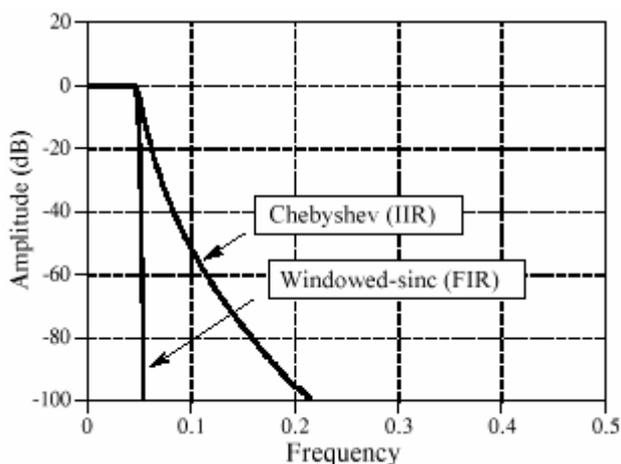
formed by convolving a 501 point windowed-sinc filter kernel with itself. As shown in Chapter 16, this provides greater stopband attenuation.

Пока, не имеется большой разницы между этими двумя фильтрами; любой будет работать, в случае когда необходима умеренная эффективность. Тяжелый груз(давление) двух критических противоречий: *максимальная эффективность* и *быстродействие*. Windowed-sinc – электростанция(энергичен), в то время как Чебышев быстр и проворен. Предположите, что Вы имеете действительно жесткую проблему разделения по частоте, скажем, нуждаясь изолировать сигнал 100 милливольт 61 герц, который сидит на линии электропередачи 120 вольт 60 герц. Рисунок 21-4 показывает, как эти два фильтра сравниваются, когда Вы нуждаетесь в максимальной эффективности. Рекурсивный 6 полюсный фильтр Чебышева с пульсациями 0.5 %. Это - максимальное число полюсов, которые могут использоваться с частотой отсечки 0.05 с одинарной прецизионностью. Windowed-sinc использует 1001 точку ядра фильтра, сформированного, свертывая 501 точку ядра windowed-sinc фильтра с собой. Как показано в главе 16, это обеспечивает большее ослабление полосы задерживания.

FIGURE 21-4. Maximum performance of FIR and IIR filters. The frequency response of the windowed-sinc can be virtually any shape needed, while the Chebyshev recursive filter is very limited. This graph compares the frequency response of a six pole Chebyshev recursive filter with a 1001 point windowed-sinc filter.

РИСУНОК 21-4. Максимальная эффективность КИХ и БИХ-ФИЛЬТРОВ.

Частотная характеристика windowed-sinc может быть фактически любой необходимой формы, в то время как Чебышевский рекурсивный фильтр очень ограничен. Эта диаграмма(график) сравнивает частотную характеристику 6 полюсного рекурсивного фильтра Чебышева с 1001 точкой windowed-sinc фильтра.



How do these two filters compare when maximum performance is needed? The windowed-sinc crushes the Chebyshev! Even if the recursive filter were improved (more poles, multistage implementation, double precision, etc.), it is still no match for the FIR performance. This is especially impressive when you consider that the windowed-sinc has only begun to fight. There are strong limits on the maximum performance that recursive filters can provide. The windowed-sinc, in contrast, can be pushed to incredible levels. This is, of course, provided you are willing to wait for the result. Which brings up the second critical issue: *speed*.

Как эти два фильтра сравниваются, когда необходима максимальная эффективность? Windowed-sinc сокрушает Чебышева! Даже если рекурсивный фильтр был улучшен (большим количеством полюсов, многоступенчатым выполнением, двойной прецизионностью, и т.д.), это все еще не соответствие для эффективности КИХ. Это особенно внушительно, когда Вы полагаете, что windowed-sinc только начал бороться. Имеются строгие пределы для максимальной эффективности, которую рекурсивные фильтры могут обеспечить. Windowed-sinc, напротив, может быть помещен в невероятные уровни. Это, конечно, естественно для Вас ждать результат. Который из них решает вторую критическую проблему: *быстродействие*.

Comparing these filters for speed is like racing a Ferrari against a go-cart. Figure 21-5 shows how much longer the windowed-sinc takes to execute, compared to a six pole recursive filter. Since the recursive filter has a faster roll-off at low and high frequencies, the length of the windowed-sinc kernel must be made *longer* to match the performance (i.e., to keep the comparison

fair). This accounts for the increased execution time for the windowed-sinc near frequencies 0 and 0.5. The important point is that FIR filters can be expected to be about an order of magnitude slower than comparable IIR filters (go-cart: 15 mph, Ferrari: 150 mph).

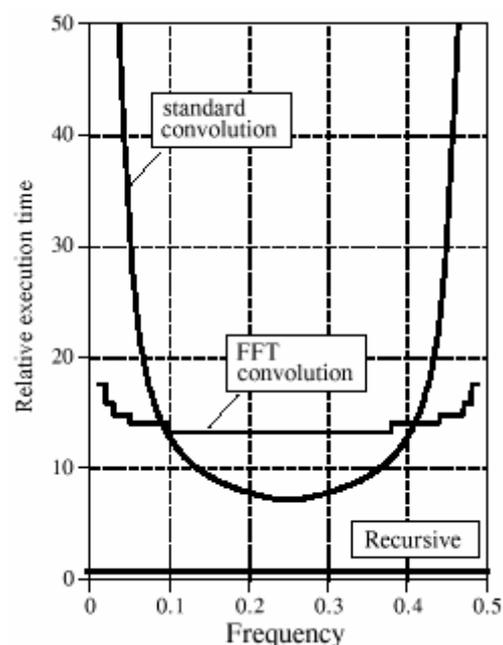
Сравнение быстродействия этих фильтров – подобно сравнению скорости Феррари со скоростью телеги. Рисунок 21-5 показывает, сколько дольше windowed-sinc берет времени, чтобы выполнить, сравнимо с шестью полюсами рекурсивного фильтра. Так как рекурсивный фильтр имеет более быстрый спад в низких и высоких частотах, длина ядра windowed-sinc должна быть сделана длиннее, чтобы соответствовать эффективности (то есть, сохранять торг сравнений). Это объясняет увеличенное время выполнения для windowed-sinc около частот 0 и 0.5. Важный пункт - то, что КИХ-фильтры могут ожидать, чтобы быть на порядок медленнее, чем сопоставимые БИХ-фильтры (шла - телега: 15 миль в час, Ferrari: 150 миль в час).

FIGURE 21-5. Comparing FIR and IIR execution speeds.

These curves shows the relative execution times for a windowed-sinc filter compared with an equivalent six pole Chebyshev recursive filter. Curves are shown for implementing the FIR filter by both the standard and the FFT convolution algorithms. The windowed-sinc execution time rises at low and high frequencies because the filter kernel must be made longer to keep up with the greater performance of the recursive filter at these frequencies. In general, IIR filters are an order of magnitude faster than FIR filters of comparable performance.

РИСУНОК 21-5.

Сравнение скоростей выполнения КИХ и БИХ фильтров. Эти кривые показывают относительные времена выполнения для фильтра windowed-sinc по сравнению с эквивалентным рекурсивным 6 полюсным фильтром Чебышева. Кривые показываются для осуществления КИХ-фильтра обоими, и стандартным и БПФ алгоритмом свертки. Время выполнения Windowed-sinc фильтра повышается в низких и высоких частотах, так как ядро фильтра должно быть сделано длиннее, чтобы не отставать от большой эффективности рекурсивного фильтра в этих частотах. Вообще, БИХ-фильтры на порядок быстрее чем КИХ-фильтры сопоставимой эффективности.



Match #3: Moving Average vs. Single Pole

Сопоставление #3: Скользящее среднее против Однополюсного

Our third competition will be a battle of the time domain filters. The first fighter will be a nine point moving average filter. Its opponent for today's match will be a single pole recursive filter using the bidirectional technique. To achieve a comparable frequency response, the single pole filter will use a sample-to-sample decay of $x = 0.70$. The battle begins in Fig. 21-6 where the frequency response of each filter is shown. Neither one is very impressive, but of course, frequency separation isn't what these filters are used for. No points for either side.

Нашим третьим соревнованием будет сражение фильтров домена времени. Первым борцом будет девяти точечный фильтр скользящего среднего значения. Его противник для сегодняшнего соответствия будет однополюсный рекурсивный фильтр, используя двунаправленную методику. Чтобы достичь сопоставимой частотной характеристики, однополюсный фильтр будет использовать распад(затухание) " выборка к образцу " из $x = 0.70$.

Сражение начинается в рис. 21-6, где показана частотная характеристика каждого фильтра. Ни одна из них не очень внушительна, но конечно, разделение по частоте, это не то, для чего эти фильтры используются. Никаких очков для любой стороны.

Figure 21-7 shows the step responses of the filters. In (a), the moving average step response is a straight line, the most rapid way of moving from one level to another. In (b), the recursive filter's step response is smoother, which may be better for some applications. One point for each side.

Рисунок 21-7 показывает отклик фильтров на скачок(ступень). В (а), реакция на скачок скользящего среднего значения - прямая линия, наиболее быстрый путь перемещения от одного уровня до другого. В (б), реакция на скачок рекурсивного фильтра более сглаженная, которая может быть лучше для некоторых приложений. По одному очку каждой стороне.

These filters are quite equally matched in terms of performance and often the choice between the two is made on personal preference. However, there are two cases where one filter has a slight edge over the other. These are based on the trade-off between *development* time and *execution* time. In the first instance, you want to reduce development time and are willing to accept a slower filter. For example, you might have a one time need to filter a few thousand points. Since the entire program runs in only a few seconds, it is pointless to spend time optimizing the algorithm. Floating point will almost certainly be used. The choice is to use the moving average filter carried out by convolution, or a single pole recursive filter. The winner here is the recursive filter. It will be slightly easier to program and modify, and will execute much faster.

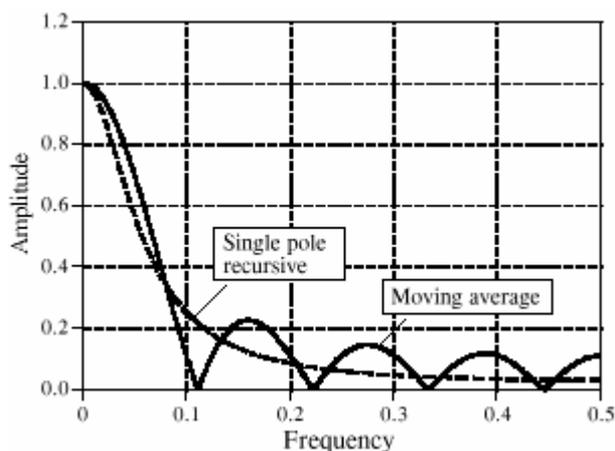
Эти фильтры одинаково соответствуют друг другу, в терминах эффективности и часто выбор между этими двумя делается на персональном предпочтении. Однако, имеются два случая, где один фильтр имеет незначительное преимущество перед другим. Оно основано на обмене между временем на разработку и временем выполнения. В первом случае, Вы хотите привести время на разработку и желаете принимать более медленный фильтр. Например, Вы могли бы иметь одно время, должны фильтровать несколько тысяч точек. Так как полная программа выполняется только несколько секунд, бессмысленно тратить время, оптимизируя алгоритм. Плавающая запятая почти конечно будет использоваться. Выбор должен быть в пользу использования фильтра скользящего среднего, выполненный сверткой, или однополюсным рекурсивным фильтром. Победитель здесь - рекурсивный фильтр. Будет слегка проще программировать и изменять, и выполняться намного быстрее.

FIGURE 21-6. Moving average and single pole frequency responses.

Both of these filters have a poor frequency response, as you should expect for time domain filters.

РИСУНОК 21-6.

Частотные характеристики скользящего среднего и однополюсного рекурсивного фильтра. Оба из этих фильтров имеют плохую частотную характеристику для фильтров домена времени, как Вы должны ожидать.



The second case is just the opposite; your filter must operate as fast as possible and you are willing to spend the extra development time to get it. For instance, this filter might be a part of a commercial product, with the potential to be run *millions* of times. You will probably use integers for the highest possible speed. Your choice of filters will be the moving average carried out by *recursion*, or the single pole recursive filter implemented with look-up tables or integer math. The winner is the moving average filter. It will execute faster and not be susceptible to the development and execution problems of integer arithmetic.

Второй случай - только противоположность первому; ваш фильтр должен работать с такой скоростью как возможно, и Вы не жалеете тратить дополнительное время на разработку, чтобы получить это(скорость). Например, этот фильтр мог бы быть частью коммерческого изделия, с потенциалом, который будет выполнен *миллионы* раз. Вы будете вероятно использовать целые числа для самого высокого возможного быстродействия. Ваши выбором будет фильтр скользящего среднего значения, выполненного *рекурсией*, или однополюсный рекурсивный фильтр, осуществленный с таблицами поиска(справочными таблицами) или целочисленной математикой. Победитель - фильтр скользящего среднего значения. Он выполняется быстрее и не восприимчив к развитию и проблемам выполнения целочисленной арифметики.

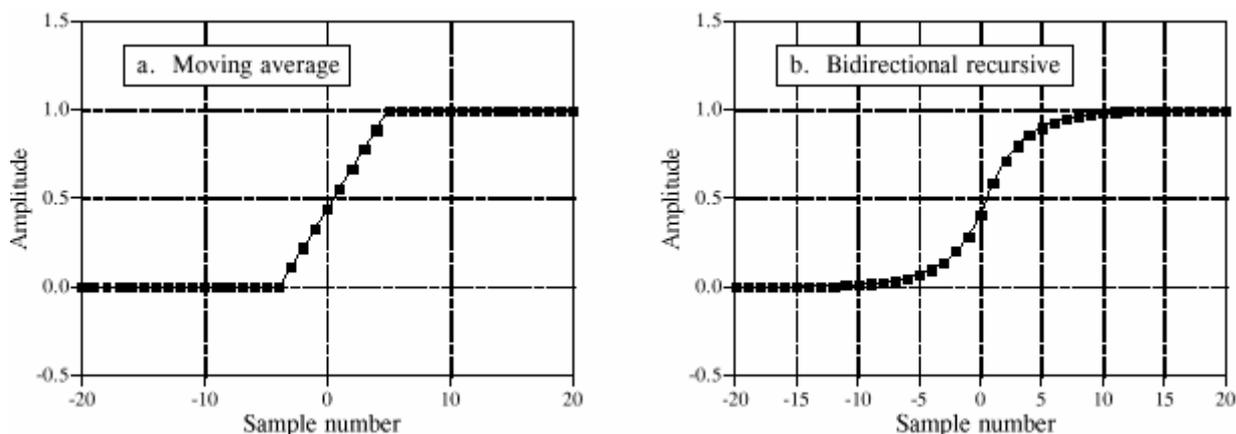


FIGURE 21-7 Step responses of the moving average and the bidirectional single pole filter. The moving average step response occurs over a smaller number of samples, while the single pole filter's step response is smoother.

Рисунок 21-7. Реакция на скачок(ступень) фильтра скользящего среднего значения и двунаправленного однополюсного фильтра.

Отклик на скачок(ступень) фильтра скользящего среднего значения происходит по меньшему числу выборок, в то время как отклик(реакция) на скачок(ступень) однополюсного фильтра более сглаженный.

