

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ - 031

Расширенная теорема отсчетов Найквиста

ВВЕДЕНИЕ

При возрастающем количестве измерительных устройств, использующих методы цифровой обработки сигналов вместо аналоговых методов, использовавшихся ранее, неизбежно увеличивается и количество аргументов относительно превосходства того или иного подхода при цифровой обработке сигнала.

В данном документе рассматривается подход, разработанный компанией N4L, который преодолевает трудности, связанные с измерением величины на основе цифровой обработки сигнала и, объясняя суть метода, делается попытка рассеять некоторые распространенные заблуждения, связанные с теоремой отсчетов.

ЧАСТОТА ВЫБОРКИ И ТОЧНОСТЬ ОТСЧЕТА

Перед рассмотрением теоремы Найквиста, необходимо обратить внимание на вопрос отношения частоты выборки и точности отсчета. При обсуждении вопросов цифровой обработки сигналов, такие параметры, как частота дискретизации, разрешение (бит), линейность, подавление шума, полоса частот и т.д., совместно с математическими алгоритмами и теоремой дискретизации, часто используются для аргументации в пользу того или иного цифрового схемотехнического решения. Хотя в реальности, разные подходы соответствуют разным решениям и применениям, и будет неправильным утверждение, что некоторые параметры в цифровой обработке сигнала всегда важнее, чем все остальные. И, тем не менее, необходимо помнить и двух важных фактах:

- 1. Для любого ценового диапазона, устройства АЦП с более высокой частотой дискретизации всегда имеют худшие показатели по разрешению/точности.**

Хорошим примером служат цифровые осциллографы, у которых битовое разрешение и линейность по высокоскоростному входу никогда не достигает точности, соответствующей низкочастотным измерительным приборам.

- 2. Точность любого широкополосного измерительного прибора в первую очередь определяется аналоговой схемотехникой и калибровкой.**

В то время как цифровая схемотехника любого цифрового устройства, очевидно, имеет важное значение, точность всего устройства определяется его аналоговой частью (схемотехникой) и калибровкой. Такие параметры, как частота дискретизации или разрешение в битах, в основном, не имеют смысла в отношении точности прибора, так как правильность или целостность цифровых данных полностью зависит от параметров аналогового аттенюатора или шунта. Таким образом, для всех измерительных приборов, основным подтверждением точности является процедура калибровки прибора, а не точность, основанная на методах цифровой обработки сигнала.

ТЕОРЕМА ОТСЧЕТОВ НАЙКВИСТА-ШЕННОНА

Большинство инженеров, работающих в области разработки устройств с переменными сигналами, знакомы с теоремой Найквиста или более точно, теоремой Найквиста-Шеннона. Поэтому данная теорема регулярно упоминается по отношению к устройствам цифровой дискретизации. Причем считается, что компонента наложения (алиасинг) можно избежать, если использовать частоту дискретизации минимум в 2 раза превышающую интересующую частоту сигнала. В действительности,

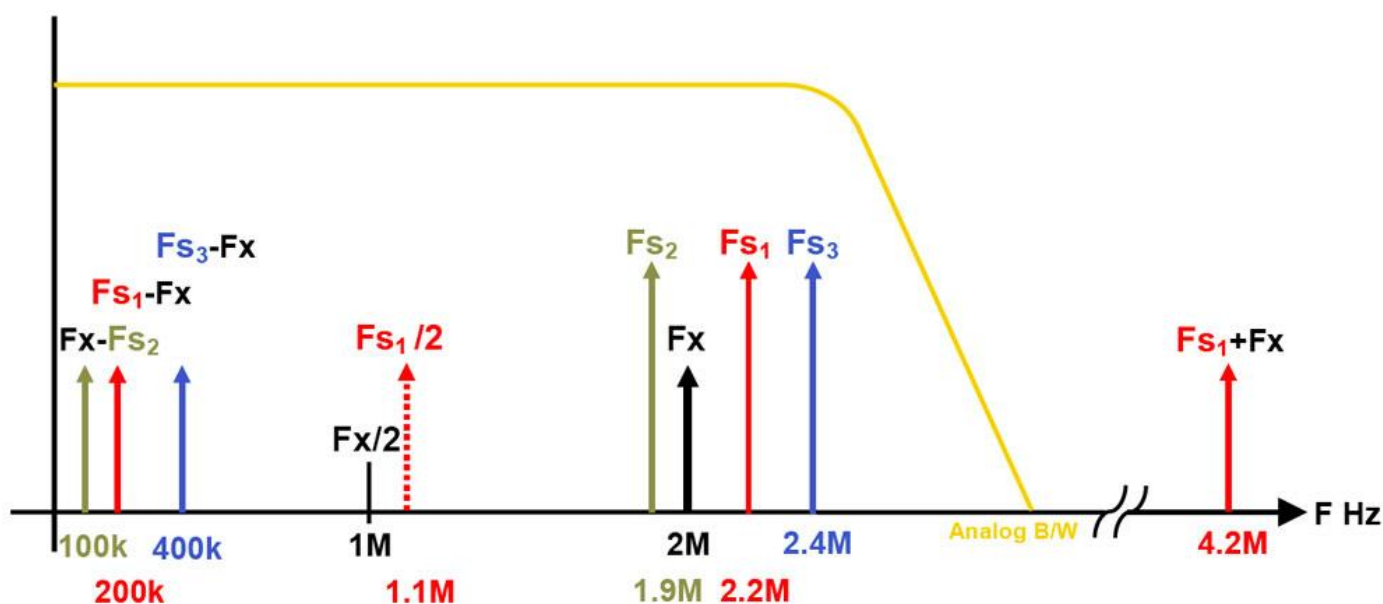
Расширенная теорема отсчетов Найквиста

это распространенное заблуждение в отношении данной теоремы, так как теорема ссылается не на частоту, а полосу частот. Таким образом, если частота находится внутри полосы, составляющей половину частоты дискретизации, то такая частота может быть корректно измерена.

На основании корректного понимания теоремы об отсчетах Найквиста-Шеннона, инженеры компании N4L разработали уникальный метод дискретизации сигнала и назвали его «Расширенной теоремой отсчетов Найквиста».

Для объяснения принципа метода дискретизации N4L, рассмотрим диаграмму, представленную ниже. На ней указана интересующая частота 'F_x' равная 2МГц, и являющаяся максимальной частотой анализаторов серии ПРИЗМА-450/550, указанной в технических спецификациях. Данные анализаторы мощности имеют «номинальную» частоту дискретизации, равную 2.2Мвыб/с. И хотя данная частота дискретизации выше, чем у анализаторов подобного класса от других производителей, любой, кто принимает во внимание теорему отсчетов Найквиста, может спросить, каким образом можно обеспечить измерения на частоте 2МГц без риска наложения спектра?

Компонента наложения можно избежать, если известна интересующая частота и частота дискретизации для анализа сигнала. Отсюда также следует, что компонента наложения можно избежать, если использовать такую частоту дискретизации сигнала, на при которой наложения спектра не происходит. По своему схемотехническому дизайну, все анализаторы мощности ПРИЗМА компании N4L имеют возможность подстройки частоты дискретизации АЦП в режиме реального времени. Таким образом, задачей является точное определение интересующей частоты сигнала и последующий выбор такой частоты дискретизации, при которой не будет происходить наложение спектра для интересующей частоты.



Принцип действия:

1. Нам известно из теоремы отсчетов, что составляющая сигнала на частоте $< F_x/2$ (в данном случае 1МГц) может быть точно восстановлена при частоте дискретизации F_x (в данном случае 2Мвыб/с). Отсюда также следует, что для всех составляющих с частотами ниже 1МГц, никогда не будет эффекта наложения спектра.
2. Из корректного понимания теоремы Найквиста (относящейся к полосе частот, а не к отдельной частоте) следует, что составляющие сигнала в диапазоне от $F_x - (F_x/2)$ [1МГц] до $F_x + (F_x/2)$ [3МГц] также могут быть восстановлены.

3. Для полного подавления составляющих сигнала на частотах, превышающих диапазон частот Найквиста, может быть применен аналоговый фильтр.
4. Множественные частоты дискретизации (**F_{s1}**, **F_{s2}** и **F_{s3}**) поблизости номинальной частоты дискретизации, равной 2.2Мвыб/с, образуют боковые составляющие (**F_{s1/2/3} +/- F_x**), причем некоторые из них значительно ниже частоты **F_x/2**.
5. Уникальный алгоритм, разработанный компанией N4L, применяется к боковым составляющим и обеспечивает получение значения частоты **F_x**, а также определяет, на какой из трех частот дискретизации проявляется эффект наложения спектра.
6. После того как было определено значение частоты **F_x** и значение частоты дискретизации, при которой не происходит наложения спектра для частоты **F_x**, анализатор ПРИЗМА отслеживает изменения частоты **F_x** и использует только ту частоту дискретизации, при которой не происходит наложения спектра.

Примечания:

1. Данный метод используется только для определения основной частоты и выбора частоты дискретизации без эффекта наложения спектра в тех случаях, когда основная частота сигнала при измерении мощности превышает 1МГц.
2. Если значение основной частоты сигнала при измерении мощности ниже 1МГц, то комбинация частоты дискретизации 2.2Мвыб/с, аналоговой полосы пропускания и асинхронной природы шумов, обеспечивают либо нулевой, либо минимальный уровень компонент с наложением спектра.
3. Единственный анализатор мощности, представленный на рынке (не производства N4L), с частотой дискретизации, превышающей 2.2Мвыб/с (как у анализаторов ПРИЗМА), обеспечивает такую частоту дискретизации только в ограниченных режимах работы. Дополнительно, данный анализатор имеет ошибку измерений на высоких частотах, существенно превышающую величину влияния на точность измерения, связанную с возможным эффектом наложения спектра у анализаторов ПРИЗМА.
4. Приборы, являющиеся конкурентами для анализаторов ПРИЗМА, используют алгоритм отношения частоты дискретизации к полосе пропускания, что ведет к ограничению полосы частот Найквиста. Таким образом, даже если бы патентованные алгоритмы компании N4L были в открытом доступе, они не могли бы быть эффективно использованы другими производителями анализаторов мощности.

Дополнительную информацию по прецизионным анализаторам мощности серии ПРИЗМА вы можете найти на сайтах www.n4l.ru, www.newtons4th.com