Keysight Technologies

Улучшение рабочих характеристик РЛС путём оптимизации полного отношения сигнал/шум

Заметки по применению
Серия статей
“Измерение сигналов РЛС”

Более качественные измерения коэффициента шума улучшают определение характеристик избыточного шума в приёмниках

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

Обзор

При разработке радиолокационной системы (РЛС) оптимизация полного отношения сигнал/шум (SNR) улучшает общие рабочие характеристики системы. Обычно это делается одним из двух способов: повышением уровня сигнала или снижением уровня шума. Поскольку РЛС представляет собой приёмо-передающую систему, улучшение SNR может быть достигнуто увеличением передаваемой мощности путём использования более мощных усилителей, антенн большего размера или антенн с более высоким коэффициентом усиления или с помощью комбинации этих мер.

SNR можно также улучшить путём снижения уровня шума, вносимого приёмником, который обычно определяется качеством малошумящего усилителя (LNA), установленного на входе приёмника. Обычно проще и дешевле снизить шум приёмника, добившись лучшего коэффициента шума (NF), чем увеличивать мощность передатчика.

В погоне за лучшим SNR, коэффициент шума (NF) является признаком качества, который характеризует величину избыточного шума, присутствующего в системе. Определение коэффициента шума очень простое. Имеется понятие "шум-фактор" (F), который для электрической цепи определяется как отношение SNR на её входе к SNR на выходе:

$$F = (S_i/N_i)/(S_o/N_o),$$

где

S_i мощность входного сигнала

S_o мощность выходного сигнала

N_i мощность шума на входе

N_o мощность шума на выходе

Коэффициент шума представляет просто значение шум-фактора, выраженное в децибелах: NF = 10 log (F). Это определение справедливо для любой электрической цепи, включая преобразователи частоты входного сигнала на другую частоту выходного сигнала (повышающие и понижающие преобразователи).

Проблема

РЛС должна выделить очень слабые сигналы – те, которые приходят от интересующих целей – в среде, которая может содержать помехи, такие как отражённые эхо-сигналы, преднамеренные активные радиопомехи и ложные дискретные помехи (например, сигналы от других РЛС). Любые внутренние шумы в приёмнике РЛС снижают его способность различать интересующие цели. Шумы, создаваемые компонентами приёмника, неотличимы от полезного сигнала в пределах его частотной полосы и будут равно усиливаться последующими каскадами вместе с полезными сигналами.

Измерение шумов является существенным шагом в процессе минимизации шумов, создаваемых внутри приёмной системы. Приведённое ниже уравнение определяет минимальный уровень сигнала, необходимый для преодоления шума системы в максимальной полосе частот РЛС:

$$S_{min} = kT_oB_nF_n(S_o/N_o)_{min}$$

где

S_{min} минимальный уровень сигнала

k постоянная Больцмана

T_o комнатная температура

B_n шумовая полоса приёмника

F_n шум-фактор

$(S_o/N_o)_{min}$ минимальное отношение сигнал шум (SNR), при котором процессор приёмника может обнаружить сигнал

Подробное исследование этого уравнения показывает, насколько важен коэффициент шума (NF) приёмника. Например, величины k и T_o являются фактически константами, B_n определяется конструкцией РЛС, а SNR не может быть улучшено, когда сигнал уже достиг приёмника. Таким образом, коэффициент шума приёмника становится ключевым элементом для его оптимизации. В реальности это несколько упрощенная модель работы приёмника, поскольку на его рабочие характеристики влияют и другие факторы, такие как потери в системе и интегрирование импульсов. Тем не менее, коэффициент шума схемы приёмника является основным фактором.

Приведённое выше уравнение могло бы создать уверенность, что улучшение коэффициента шума позволит значительно повысить рабочие характеристики системы при умеренной цене. Современные малошумящие усилители могут обеспечить очень низкий коэффициент шума (NF). Когда при разработке архитектуры приёмника используются правильные технические решения, проигрыш в коэффициенте шума будет минимальным. В результате может показаться более экономичным снизить коэффициент шума приёмника на 3 дБ, чем увеличивать на такую же величину мощность передатчика. Однако в реальности не всё так просто. Кроме всего прочего, приёмник должен обеспечить соответствующее усиление, фазовую и амплитудную стабильность, динамический диапазон и быстрое восстановление после перегрузки и воздействия активных радиопомех. Должна быть также обеспечена защита от перегрузки или насыщения и выжигания от воздействия близко расположенных передатчиков. И, наконец, приёмник должен иметь высокую надёжность.

Принимая во внимание эти соображения, некоторые конструкторы предпочитают выполнять первый каскад приёмника смесителем, вместо использования малошумящего ВЧ усилителя. Но даже в этом случае коэффициент шума является важным показателем, который должен быть оптимизирован в пределах других имеющихся ограничений.

Решение: измерение коэффициента шума

Для измерения коэффициента шума обычно используются два метода. Это метод Y-фактора, иногда называемый методом горячего/холодного источника, и второй – метод холодного источника или метод прямого измерения шума. Метод Y-фактора использует анализатор спектра или сигналов и источник шума. Метод холодного источника использует векторный анализатор цепей, что требует более высоких затрат на оборудование, чем метод Y-фактора, но позволяет измерять S-параметры, компрессию и интермодуляционные искажения при одном подключении к испытуемому устройству (ИУ).

В этих заметках дано описание метода Y-фактора и пояснено, в каких случаях следует рассматривать целесообразность использования метода холодного источника. В качестве исходной точки в описанных здесь процедурах предполагается, что пользователю известна представляющая интерес рабочая частота РЛС, и он имеет представление о характеристиках усиления приёмника. Последнее очень важно, поскольку выбор источника шума зависит от усиления.

Необходимо также решить, как организовать доступ к ИУ. В идеальном случае ИУ должно было бы иметь согласованные импедансы на соединителях входа и выхода. Поскольку это редкий случай, необходимо решить, как лучше всего подключить испытательное оборудование. Например, самым удобным может оказаться использование устройств подключения (держателей). Дополнительные соображения можно найти в приведённом ниже подразделе “Советы”.

Примечание. Описанная ниже процедура включает калибровку прибора. Это устраняет основные источники погрешности, создаваемой измерительным прибором, и гарантирует, что измеряется коэффициент шума ИУ, а не измерительного прибора.

Решение: измерение коэффициента шума методом Y-фактора

Метод Y-фактора, или метод горячего/холодного источника – наиболее широко распространённый способ измерения коэффициента шума. Технически этот метод относительно прост в реализации и в большинстве ситуаций обеспечивает хорошую точность измерения, особенно когда источник шума хорошо согласован и может быть непосредственно подключён к ИУ. В дополнение к ИУ потребуются ещё два элемента испытательного оборудования.

- Анализатор сигналов или спектра с возможностью измерения коэффициента шума, перекрывающий соответствующий диапазон частот и имеющий инсталлированную в нём прикладную программу для измерения коэффициента шума (NF).
- Источник шума (см. боковое поле на стр. 4).

Далее следует описание процедуры выполнения измерений методом Y-фактора, в которой используются анализатор сигналов серии X компании Keysight (N9020A MXA или N9030A PXA), прикладная программа измерения коэффициента шума N9069A (запускается в анализаторе) и интеллектуальный источник шума (SNS) серии N4000A. Прикладная программа для измерения коэффициента шума и SNS разработаны с целью упрощения процесса измерения и получения ряда полезных результатов.

Выполнение измерения

Эта процедура предполагает, что прикладная программа измерения коэффициента шума N9069A инсталлирована в анализаторе сигналов, который поддерживает выбранный источник шума в соответствующем диапазоне частот. Для начальной установки необходимо выполнить следующие пять шагов:

1. Выбрать диапазон частот, соответствующий испытуемому устройству (ИУ).
2. Выбрать опцию внутреннего усилителя для данного диапазона частот.
3. Ввести в анализатор сигналов таблицу коэффициентов избыточного шума (ENR) для источника шума серии SNS. Для этого нажать клавишу [Meas Setup], затем программируемые клавиши {ENR}, {SNS setup}, {Noise Source}, установить SNS в состояние (Auto) {Auto Load ENR}.
4. Подключить источник шума к анализатору сигналов с помощью кабеля; источники шума серии SNS используют кабель 11730A. Проверить, что данные ENR переданы в анализатор сигналов.
5. Сохранить таблицу ENR. Для этого нажать клавишу [Save], затем программируемые клавиши {Data}, {ENR Table}, {Meas} Table, {Save As} name [Enter].

Выполнить калибровку прикладной программы измерения коэффициента шума N9069A и анализатора.

1. Подключить вход источника шума к соединителю на задней панели анализатора с помощью кабеля 11730A. Подключить выход источника шума к входу анализатора.
2. Установить начальную частоту. Для этого нажать клавишу [Freq Channel], затем программируемую клавишу {Start Freq}, набрать на цифровой клавиатуре число 10 и нажать программируемую клавишу {MHz} (ввод выбранной частоты).
3. Установить конечную частоту. Для этого нажать программируемую клавишу {Stop Freq}, набрать на цифровой клавиатуре число 3 и нажать программируемую клавишу {GHz} (ввод выбранной частоты).
4. Установить число точек. Для этого нажать программируемую клавишу {Points}, набрать на цифровой клавиатуре число 30 и нажать {Enter} (ввод числа точек).
5. Установить функцию усреднения. Для этого нажать клавишу [Meas Setup], затем программируемую клавишу {Average Num} и установить её в состояние ON; набрать на цифровой клавиатуре число 15 и нажать {Enter}.
6. Откалибровать программу N9069A. Для этого нажать клавишу [Meas Setup], программируемую клавишу {Calibrate Now} и [Enter].

Выполнить измерение коэффициента шума (NF).

1. Выбрать прикладную программу измерения коэффициента шума в анализаторе сигналов. Это обычно выполняется с передней панели. Для этого нажать клавишу [Mode], затем программируемую клавишу {More}, пока не будет доступна программируемая клавиша {Noise Figure}.
2. Используя визуальное руководство установкой, начать измерение. Для этого нажать клавишу [Mode Setup], программируемые клавиши {DUT Setup...}, {Amplifier} или выбрать устройство из выпадающего меню с помощью мыши.

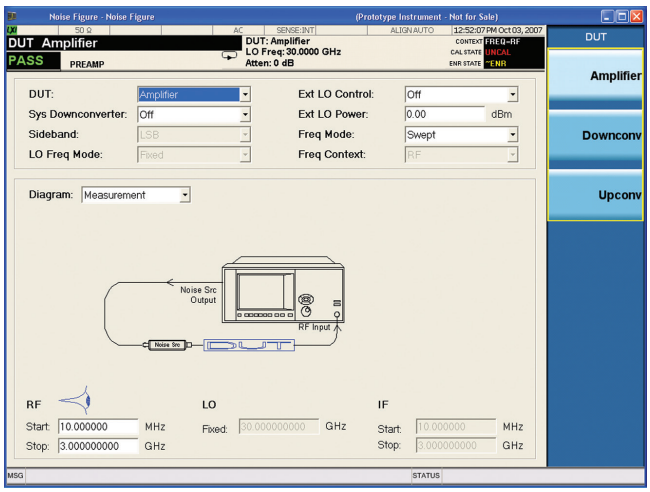

Рисунок 1 – Измерительная установка, включающая анализатор, источник шума и ИУ

3. Отключить источник шума от входа анализатора и подключить его к входу ИУ. Подключить выход ИУ к ВЧ входу (RF input) анализатора (рисунок 1). Чем меньше используется переходов, тем лучше результаты измерения.
4. Ввести соответствующие значения для ИУ в меню установки и запустить процесс измерения.

Выбор источника шума

Качество источника шума влияет на точность и повторяемость результатов измерений. Коэффициент избыточного шума (ENR) источников шума компании Keysight откалиброван с помощью переноса единицы физической величины к Национальному институту стандартов. Обычно доступное номинальное значение ENR 6 и 15 дБ.

Для большинства случаев, когда ожидаемое значение коэффициента шума 15 дБ или более, рекомендуется использовать источник шума с ENR 15 дБ. Источник с ENR 6 дБ рекомендуется в двух случаях.

- При измерении устройства, коэффициент усиления которого особенно чувствителен к изменению импеданса источника.
- Когда ИУ имеет очень низкий коэффициент шума (например, не превышающий 15 дБ).

Компания Keysight предлагает три семейства источников шума. Интеллектуальные источники шума (SNS) серии N4000A наиболее просты в использовании на частотах до 26 ГГц, поскольку они упрощают установку параметров измерения за счёт автоматической загрузки в прибор данных калибровки. Серия 346 расширяет частотный диапазон до 50 ГГц, а серия 347 имеет волноводные соединители для более высоких частот.

Альтернативное решение: измерение методом холодного источника

Метод холодного источника или прямого измерения шума использует векторный анализатор цепей и требует только известную входную нагрузку, которая обычно имеет импеданс 50 Ом при комнатной температуре. Метод холодного источника также требует независимого измерения коэффициента усиления ИУ. Процедура предполагает однократное измерение шумовой мощности, а также коэффициента усиления (оба измерения выполняются анализатором цепей). Для калибровки анализатора цепей требуется источник шума, а также модуль электронной калибровки ECal, используемый в качестве тюнера импеданса.

Когда требуется высокая точность, метод холодного источника может обеспечить самые точные измерения. Кроме того, он лучше приспособлен для компенсации рассогласования источника, которое может иметь место при испытании модулей передачи/ приёма (T/R), использующих микрополосковые линии входа и выхода, или когда переключение отделяет прибор от модуля в автоматизированной испытательной системе (АИС). Поскольку используется векторный анализатор цепей, измерения могут выполняться на многокаскадных устройствах с низким коэффициентом усиления и смесителях (такие измерения особенно проблематичны при использовании метода Y-фактора).

Затронутые здесь различные ситуации слишком сложны, чтобы охватить их в этих кратких заметках по применению. Если пользователь сталкивается с одной или более из описанных здесь ситуаций и для него очень важно выполнить измерения коэффициента шума с высокой точностью (например, несколько десятых децибела), рекомендуется использовать метод холодного источника с векторным анализатором цепей Keysight PNA-X, который может выполнить соответствующие коррекции обычной погрешности источников. На рисунке 2 показаны результаты измерения ИУ, полученные с использованием метода холодного источника и метода Y-фактора в среде АИС.

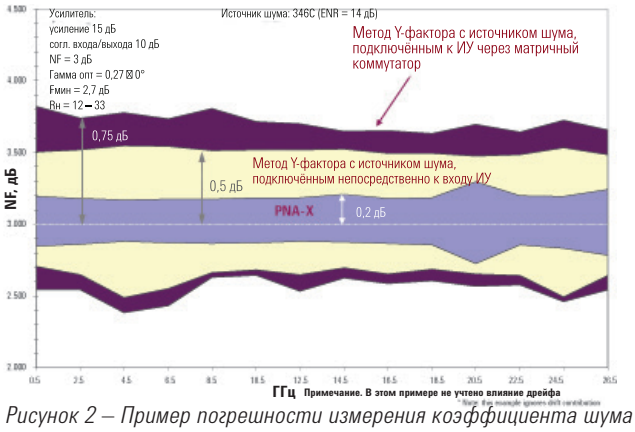

Рисунок 2 – Пример погрешности измерения коэффициента шума в среде АИС

Советы: как избежать обычных трудностей

На результаты измерения коэффициента шума влияют многие факторы. Ниже рассмотрены некоторые наиболее общие из них вместе с приёмами, которые помогут минимизировать или избежать проблем при использовании метода Y-фактора.
В большинстве случаев с этими проблемами можно справиться; однако, если какие-либо из них представляют трудности, или если измерения должны выполняться на преобразователях частоты или устройствах с низким коэффициентом усиления, лучшим выбором может быть метод холодного источника.

Предохраняйте измерения от сигналов помех

Любые виды ВЧ помех – помехи излучения или проводимости – проявляют себя как мощность шума и влияют на точность измерения. Отсюда настоятельная необходимость исключить эти источники помех. Флюоресцентные светильники, сотовые телефоны, беспроводные маршрутизаторы и местные радиопередатчики – все они создают помехи точным измерениям шумов. Кроме того, близко расположенное силовое оборудование или плохо экранированные кабели (сигнальные или силовые) тоже влияют на измерения. Поэтому следует всегда принимать во внимание диапазоны рабочих частот ИУ и искать возможные источники помех внутри этого диапазона, так как именно они могут повлиять на измерения.

Избегайте использования адаптеров (переходов)

При использовании адаптеров, установленных на входе ИУ, особенно необходимо применение коррекции. Там, где это возможно, всегда следует использовать источник шума, оборудованный соединителем, совместимым со входом ИУ.

Минимизируйте погрешности рассогласования

Любое рассогласование импедансов создаёт отражения мощности шума в трактах измерения и калибровки. Наиболее вероятная проблемная область – это соединение с ИУ. В некоторых случаях может быть использована развязка для поглощения отражённой мощности, но следует иметь ввиду, что развязка работает в ограниченном диапазоне частот.

Используйте усреднение

Усреднение увеличивает время измерения, но уменьшает флуктуации изображения на экране и обеспечивает более состоятельный результат измерения. Флуктуации уменьшаются за счёт извлечения квадратного корня из суммы квадратов ряда отсчётов.

Избегайте нелинейностей

Измерение коэффициента шума предполагает, что вся система работает в линейном режиме и в стабильной области. Убедитесь, что и ИУ и прибор работают в линейном режиме.

Выполните калибровку перед измерением

Самые точные измерения выполняются сразу после калибровки.

Заключение

Процесс снижения коэффициента шума начинается с твёрдого представления о неопределённости в отдельных компонентах, подсистемах, системах и испытательных установках. Количественная оценка этих неопределённостей зависит от гибкости инструментальных средств, которые обеспечивают точные и надёжные результаты измерений. Какой бы метод вы ни использовали – метод Y-фактора или метод холодного источника, набор решений Keysight для измерения коэффициента шума – приборы, прикладные программы и принадлежности – позволяют создать оптимизированные установки, идентифицировать нежелательные источники помех и, в конечном счёте, снизить уровень шума, создаваемый приёмником РЛС.

myKeysight
www.keysight.com/find/mykeysight
Персонализированное отображение интересующей вас информации

www.lxistandard.org
LXI является преемником шины GPIB. Построенная на базе стандарта локальной сети (LAN), LXI обеспечивает более высокое быстродействие и более эффективные возможности подключения. Компания Keysight является членом учредителем консорциума LXI.

Три Года Стандартной Заводской Гарантии
www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty
Keysight обеспечивает высочайшее качество продукции и снижение общей стоимости владения. Единственный производитель контрольно- измерительного оборудования, который предлагает стандартную трехлетнюю гарантию на все свое оборудование.

Планы Технической Поддержки Keysight
www.keysight.com/find/AssurancePlans
До пяти лет поддержки без непредвиденных расходов гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.

www.keysight.com/go/quality
Keysight Electronic Measurement Group
DEKRA Certified ISO 9001:2008
Quality Management System

Торговые партнёры Keysight
www.keysight.com/find/channelpartners
По этому адресу пользователь может получить лучшее из двух миров: глубокие профессиональные знания в области измерительной техники и широкая номенклатура выпускаемой продукции компании Keysight в сочетании с удобствами, предоставляемыми торговыми партнёрами.

Российское отделение
Keysight Technologies
115054, Москва, Космодамианская наб., 52, стр. 3
Тел.: +7 (495) 7973954
8 800 500 9286 (Звонок по России бесплатный)
Факс: +7 (495) 7973902
e-mail: tmo_russia@keysight.com
www.keysight.ru

Сервисный Центр
Keysight Technologies в России
115054, Москва, Космодамианская наб, 52, стр. 3
Тел.: +7 (495) 7973930
Факс: +7 (495) 7973901
e-mail: tmo_russia@keysight.com

(BP-16-10-14)

Информация может быть изменена без уведомления.
© Keysight Technologies, 2013 - 2014
Published in USA, August 1, 2014
5990-7527RURU
www.keysight.com