Влияние устройств USB 3.0 на качество передачи данных по радиоканалу

Предлагаем вашему вниманию перевод статьи, посвящённой проблематике использования интерфейса USB 3.0 с точки зрения возникновения при этом радиочастотных помех, оказывающих влияние на беспроводные устройства.

Введение. Общие сведения о беспроводных устройствах, работающих в диапазоне 2.4 ГГц

Сегодня диапазон 2.4 ГГц является одним из самых загруженных с точки зрения работы в нем различного класса беспроводного оборудования, среди которого встречается и коммутационное оборудование связи (например, беспроводные маршрутизаторы), а также различные периферийные устройства: мышки, клавиатуры, принтеры, наушники и пр. Эти устройства могут использовать стандартные протоколы, такие как IEEE 802.11 b/g/n или Bluetooth, или, в некоторых случаях, собственные закрытые протоколы передачи данных. Встроенные в перечисленные устройства радиопередающие модули могут использовать скачкообразную перестройку частоты, быструю перестройку частоты, или работать на фиксированной частоте.

Ясно, что для корректной передачи данных мощность передаваемого сигнала должна быть больше чувствительности радиоприемника. Предельная чувствительность приемника находится в прямой зависимости от так называемого отношения сигнал-шум (SNR в английский аббревиатуре). Для корректной демодуляции принимаемого сигнала, SNR должен соответствовать минимальному требуемого уровню. На дальность радиосвязи оказывают наиболее существенное влияния такие параметры канала и приемо-передающей аппаратуры как чувствительность приемника, мощность передаваемого радиосигнала, коэффициент усиления антенны, потери в беспроводной линии связи.

Когда расстояние между передатчиком и приемником увеличивается, то это, в связи с потерями в беспроводном канале, приводит к уменьшению мощности принимаемого сигнала на входе приемника. К тому же, чем дольше радиосигнал перемещается в беспроводном пространстве, тем больше в нем появляется так называемого широкополосного шума, и это также влечет за собой снижение уровня SNR в приемнике. Уменьшение требуемого уровня SNR в приемнике требует увлечения уровня сигнала, чтобы преодолеть предел чувствительности приемника.

Тонкости USB 3.0

Стандартом интерфейса USB 3.0 определена скорость передачи данных до 5 Гбит/сек. Для передачи данных по интерфейсу USB 3.0 требуется производить расширение спектра. Спектр данных может быть представлен в виде sinc-функции, как это показано на рисунке 1:

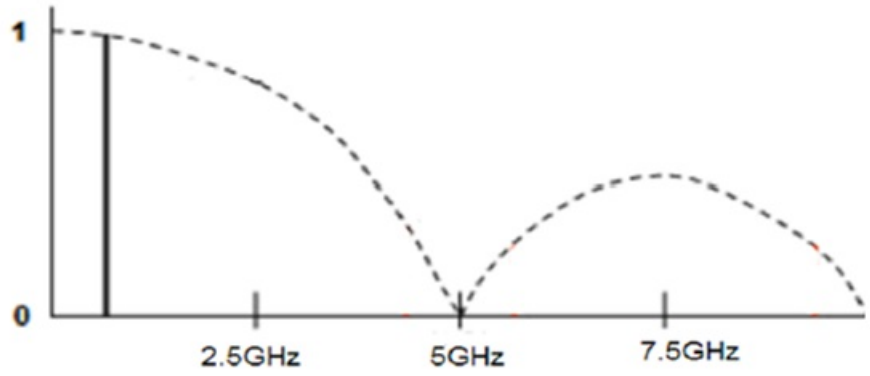

Рисунок 1 – Спектр передаваемых данных по интерфейсу USB 3.0, описанный sinc-функцией

Как видно из приведенного рисунка, спектр данных очень широкополосный, начиная от постоянного тока, до 5 ГГц. На рисунке 2 показан реальный спектр данных, измеренный непосредственного на одном из USB 3.0-входов ноутбука.

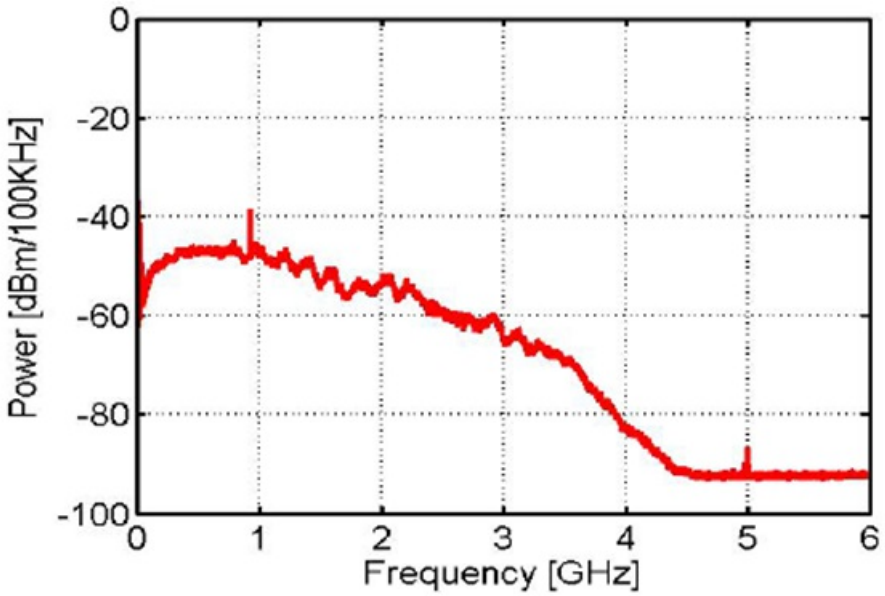

Рисунок 2 – Экспериментально измеренный спектр передаваемых данных по USB 3.0

Воздействие шумов от USB 3.0 на беспроводной канал связи

Как мы видим из рисунка 2, шум спектра сигнала, передаваемого по интерфейсу USB 3.0, может быть довольно широким, затрагивая тем самым диапазон 2.4-2.5 ГГц. Шум может излучать непосредственно сам разъем USB 3.0 на плате персонального компьютера, ноутбука или любого другого периферийного устройства, или же в качестве излучающего элемента может выступать непосредственно USB-кабель. Назовем условно все перечисленные источники – каналами излучения. Если антенна беспроводного адаптера находится в непосредственной близости от вышеупомянутых каналов, то она (антенна) может начать принимать излучаемый устройствами шум. Широкополосный шум из устройства USB 3.0 может оказывать существенное влияние на SNR радиоприемника и ограничить чувствительность любого беспроводного приемника, чья антенна находится вблизи канала излучения. Это, в свою очередь, приведет к падению пропускной способности беспроводного канала связи. Схематично данная ситуация с каналами излучения показана на рисунке 3.

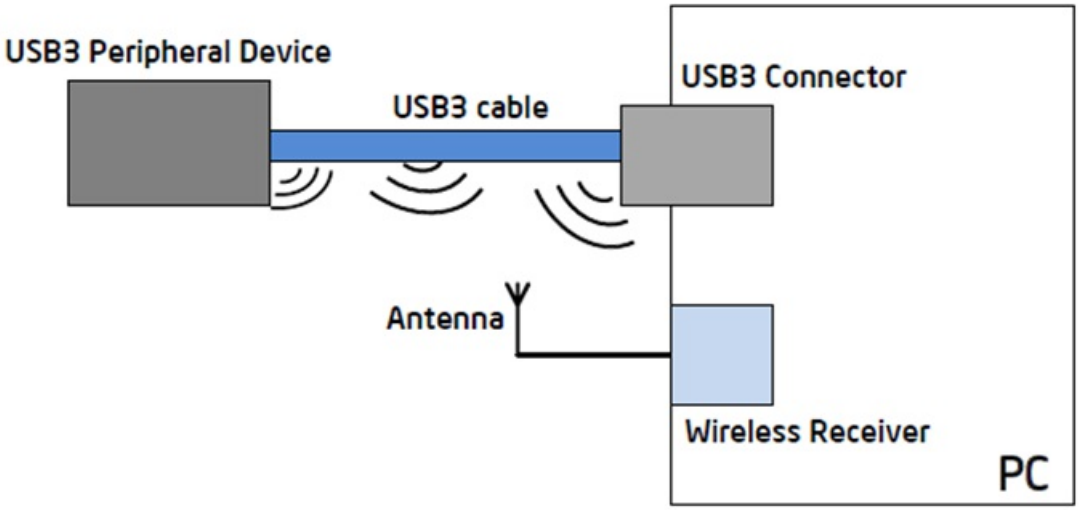

Рисунок 3 – Каналы излучения интерфейса USB 3.0

В качестве экспериментального измерения уровня шума от интерфейса USB 3.0, был рассмотрен случай подключения внешнего жесткого диска (HDD) к USB 3.0-входу ноутбука. Схема установки показана на рисунке 4.

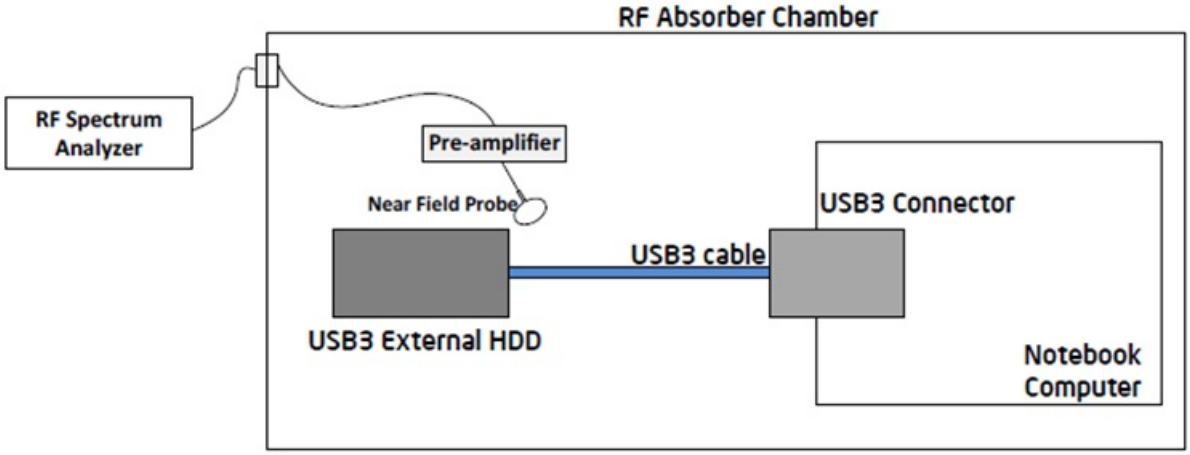

Рисунок 4 – Экспериментальная установка для измерения шума от внешнего USB 3.0 жесткого диска

Измерительный зонд был помещен в непосредственной близости от интерфейса USB 3.0 жесткого диска в поглощающей безэховой камере. Измерение шума производилось с использованием анализатора спектра с подключением и без подключения внешнего HDD. Результаты измерения показаны на рисунке 5.

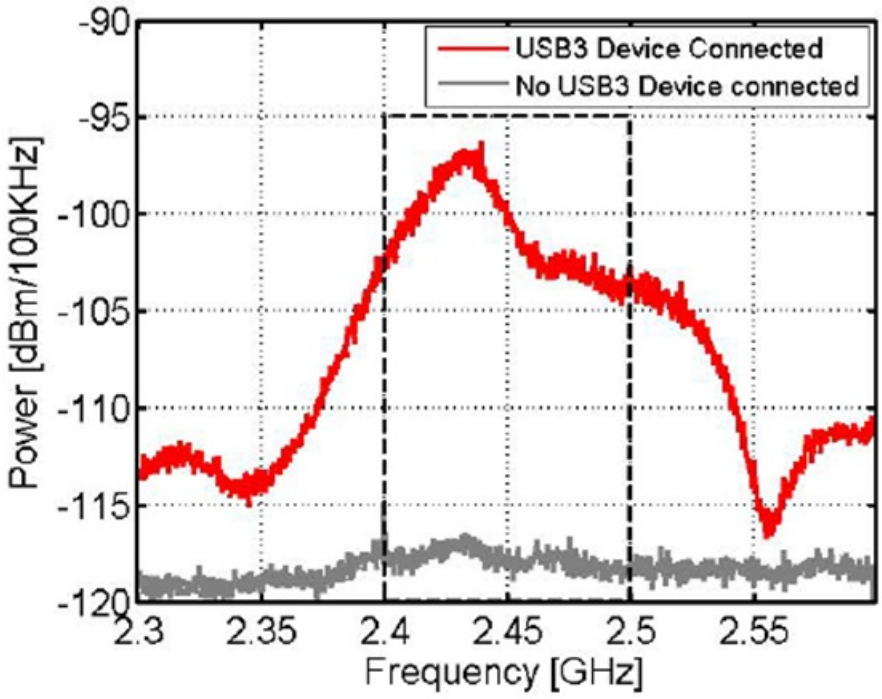

Рисунок 5 – Результаты измерения шума от внешнего USB 3.0 жесткого диска

Красная линия – USB-устройство подключено; серая линия – USB-устройство отключено.

Как видно из графика, с подключенным жестким диском минимальный уровень шума в диапазоне 2.4 ГГц поднимается почти на 20 дБ, что может оказать значительное влияние на чувствительность беспроводного устройства.

Воздействие на производительность устройств беспроводной сети

Ниже мы рассмотрим несколько иной пример, связанный с определением того, как может беспроводная мышь, подключенная к компьютеру через связанный беспроводной адаптер USB 2.0, быть подвержена влиянию от сопряженного USB 3.0-интерфейса. Схема испытания показана на рисунке 6.

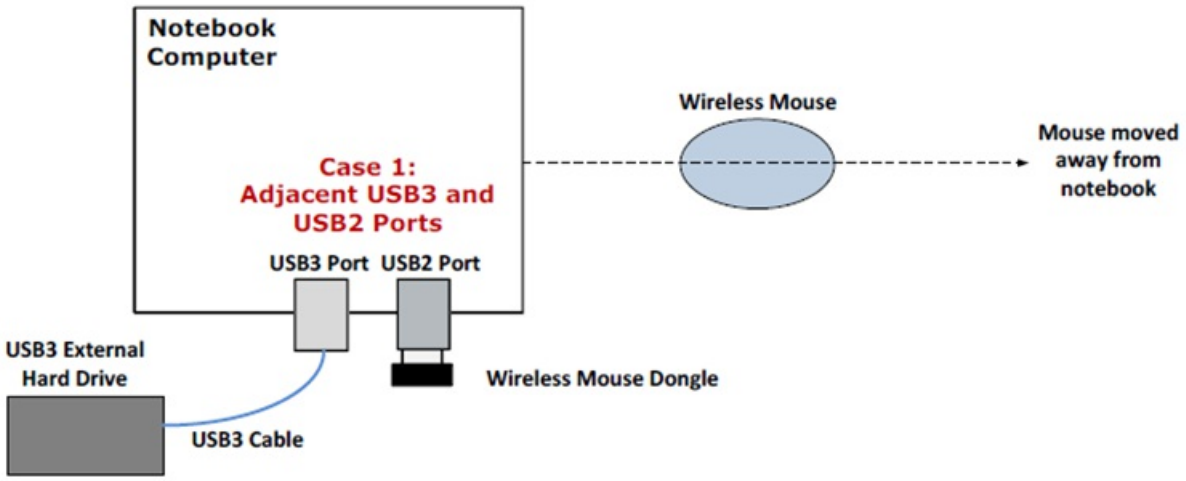

Рисунок 6 – Установка для измерения производительности беспроводной сети при наличии USB 3.0-устройства

Описание эксперимента: беспроводную мышь относили от ноутбука с определенным шагом: 60 см, 90 см, и 150 см. На каждом шаге оценивали качество ее работы, и в качестве критерия указывали: годна такая плавность перемещения курсора для корректной работы или нет (отстающий отклик). Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Таблица ответов беспроводного устройства "Мышь-А" в присутствии USB-3.0 устройства

USB 3.0 Статус	Отклик «Мышь-А» на расстоянии 60, см	Отклик «Мышь-А» на расстоянии 90, см	Отклик «Мышь-А» на расстоянии 150, см
USB 3.0* HDD не подключено	OK	OK	OK
USB 3.0 HDD подключено	OK	Отстающий отклик	Отстающий отклик
USB 3.0 HDD подключено и производится запись данных	OK	Отстающий отклик	Отстающий отклик

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, имеются ухудшения в производительности беспроводной мыши, когда USB 3.0 устройство подключено к ноутбуку. При удалении мыши от ноутбука на расстояние 90 сантиметров и более было замечено значительное отставание в скорости передачи данных от беспроводной мыши. Эффект "отстающего клика" был зафиксирован как в случае пассивного подключения HDD диска (без записи данных), так и при активной записи данных на него. Аналогичное воздействие на производительность беспроводной мыши фиксируется также при подключении не только HDD-диска, но и маломощных флэш-накопителей, а также Bluetooth-устройств, подключенных к интерфейсу USB 3.0. Таким образом, широкополосный интерфейс USB-3.0 потенциально может оказывать влияние на любую радиостанцию, работающую в диапазоне 2.4 ГГц, чья антенна находится рядом с интерфейсом.

Методы уменьшения влияния помех

Есть несколько способов уменьшения влияния шумов от USB 3.0-интерфейса на беспроводную сеть или же устройство сети. Вот три направления, в которых следует производить работу над данной проблемой:

- Экранирование периферийного устройства USB 3.0;
- Экранирование разъема USB 3.0 на плате ноутбука;
- Решение проблемы корректного размещения антенны.

Каждое из этих направлений рассмотрим более подробно.

Экранирование периферийного устройства USB 3.0

Как было сказано ранее, шум от USB 3.0-устройства может излучаться как от самого периферийного устройства, так и от его разъема. Правильное экранирование периферийного устройства может уменьшить количество излучаемого шума в диапазоне 2.4 ГГц. В качестве иллюстрации такого подхода, были экранированы разные области внешнего HDD-диска Испытательная установка для

измерения этого эксперимента была использована такая же как на рисунке 4. На серии рисунков 7-10 ниже показаны различные случаи экранирования USB 3.0 накопителя:



Рисунок 7 – HDD-диск без экранирования (case 1)



Рисунок 8 – Экранирование на HDD-коннекторе и небольшого участка печатной платы вокруг него (case 2)

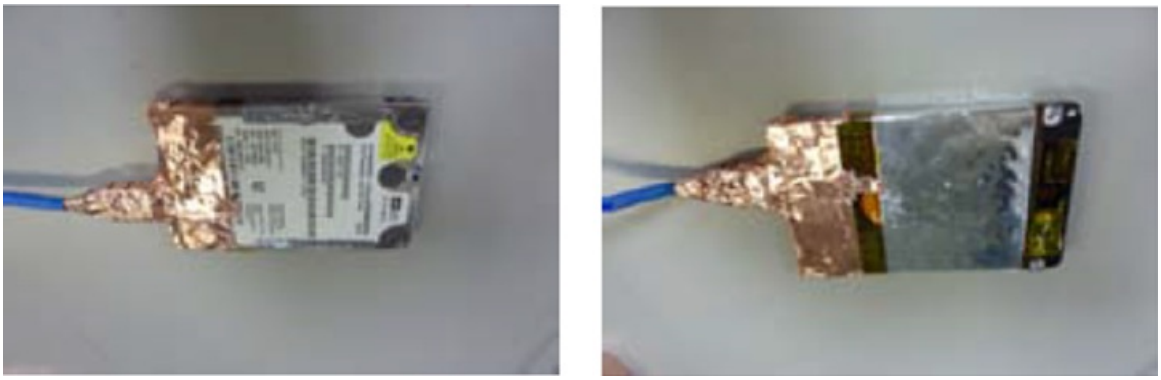

Рисунок 9 – Экранирование на HDD-коннекторе, всех областей печатной платы и частично корпуса (case 3)

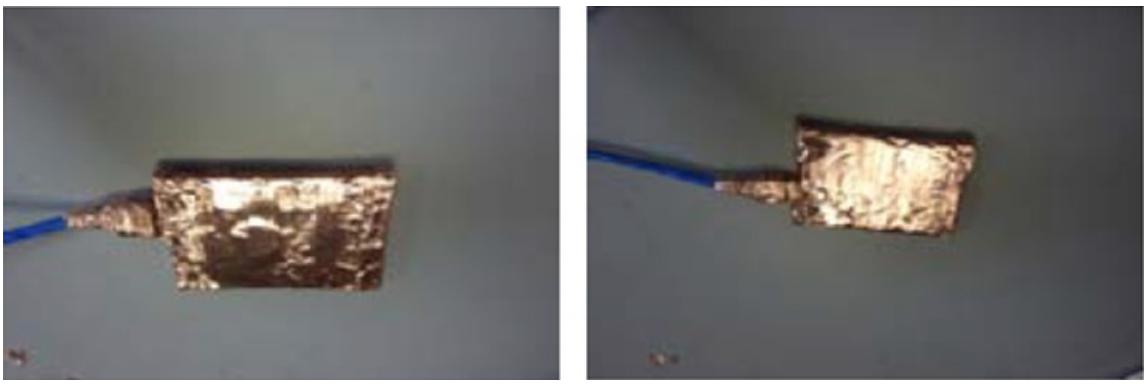

Рисунок 10 – Полное экранирование на HDD-коннекторе, печатной платы, корпуса (case 4)

В каждом из указанных случаев, шум измерялся рядом с разъемом USB 3.0 жесткого диска HDD. Результаты измерений показаны на рисунке 11:

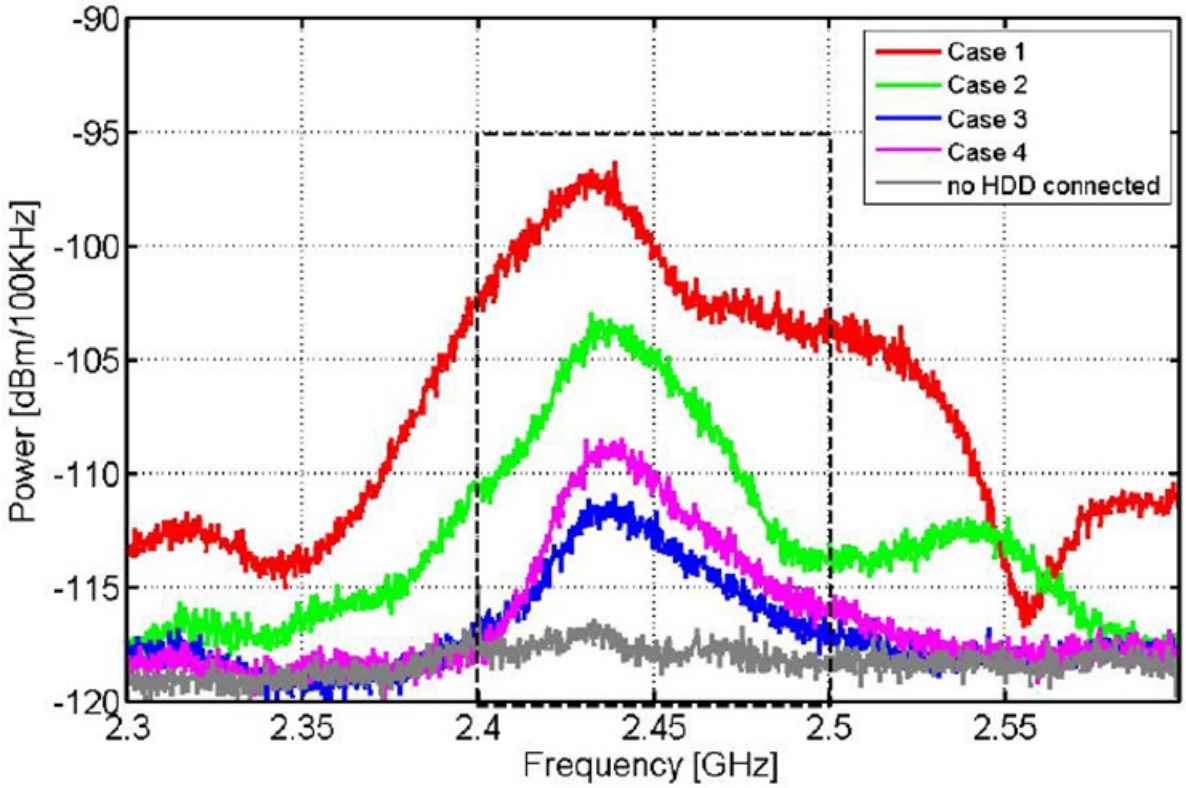

Рисунок 11 – Влияние экранирования USB 3.0-устройства на уровень сигнала

Как показано на графике, экранирование периферийного устройства может оказать существенное влияние на величину шума в диапазоне 2.4 ГГц и приводит к его снижению. Полное экранирование жесткого диска (case 4) может уменьшить количество излучаемого шума на величину до 12 дБ по сравнению с устройством без экранирования (case 1).

Экранирование разъема ноутбука

В дополнении к излучению от периферийного устройства USB 3.0, помехи могут излучаться также от самого разъема на материнской плате ноутбука или компьютера. Рассмотрим подобный случай, схема которого изображена на рисунке 12.

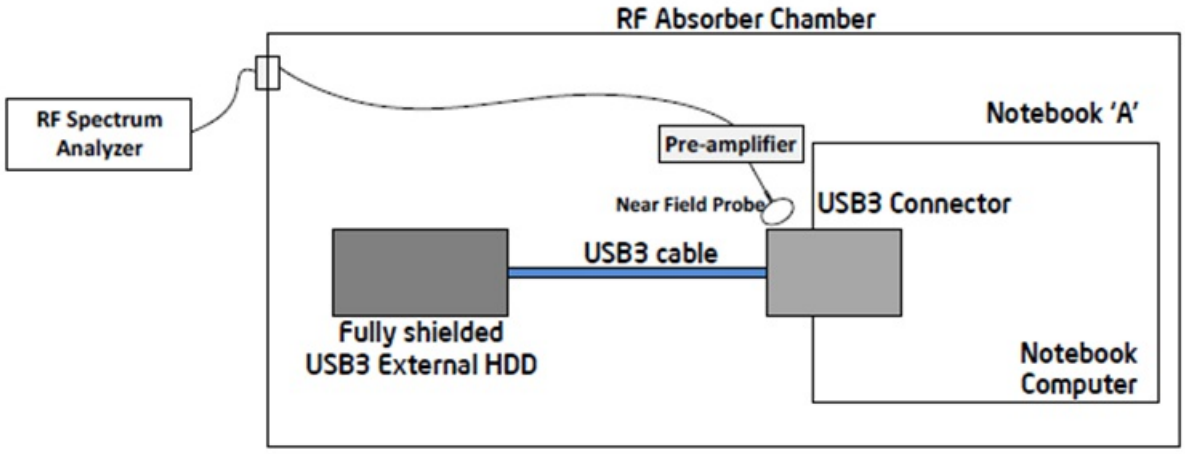

Рисунок 12 – Схема установки для измерения шума от USB-разъема

На рисунке 13 показан уровень шума от USB-разъема ноутбука. Серым цветом показан уровень зафиксированных шумов с отключенным USB-устройством. Из графика видно, что подключение устройства приводит к росту фиксированного уровня шумов на 25 дБ, который может оказывать воздействие на SNR беспроводного приемника.

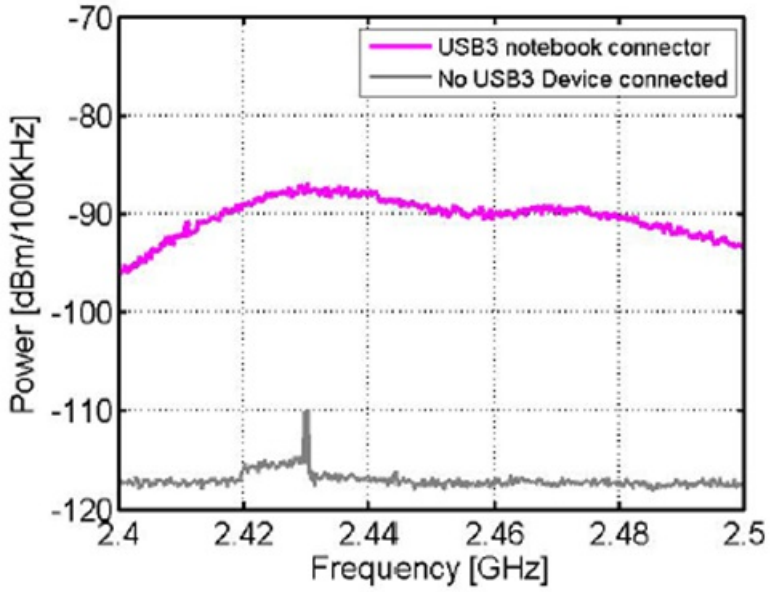

Рисунок 13 – Вклад уровня шумов от разъема USB 3.0

Сам по себе разъем USB 3.0 имеет экранирование сигнальных контактов, но, тем не менее, можно сделать несколько дополнительных улучшений для уменьшения уровня излучения от разъема.

Для уменьшения уровня шумов корпус USB-входа должен иметь хороший контакт с заземлением на печатной плате компьютера. Иногда это делается через шасси в виде металлических вкладок или винтов. Подключенное в USB-порт периферийное устройство также должно иметь хороший контакт с землей, поэтому рекомендуется наличие на USB-порте дополнительных фиксаторов в виде пружин, способных крепко прижимать выход устройства к USB-входу ноутбука, либо наличие подмагниченных элементов.

Перечисленные доработки, указанные выше, были сделаны для USB-разъема ноутбука, а именно: был организован хороший контакт порта ноутбука с периферийным устройством и с шиной заземления. После этого уровень шумов был измерен в той же точке, рисунок 14:

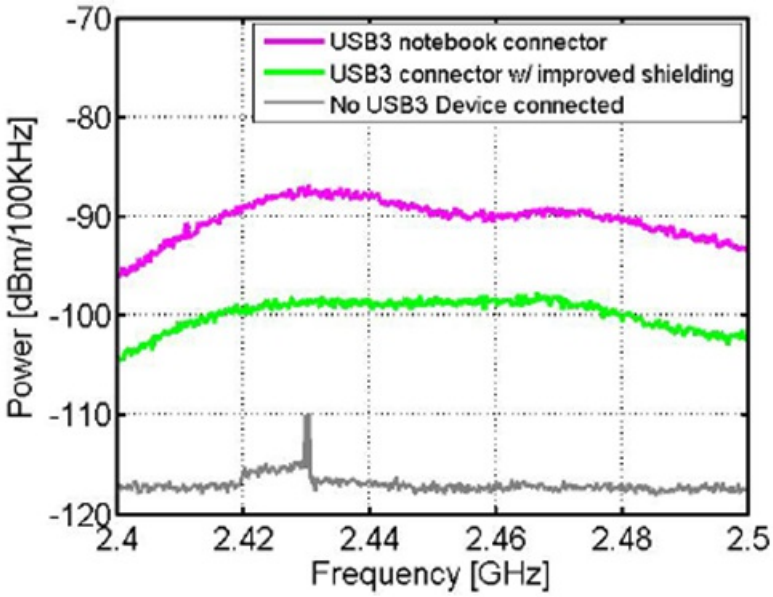

Рисунок 14 – Уровень шумов от USB-разъема с улучшенным экранированием

Как видно из рисунка, после всех произведенных улучшений уровень шумов в полосе частот 2.4 ГГц падает, по меньшей мере, на 10 дБ. Следует отметить, что наиболее качественным с точки зрения экранирования является "закрытый" USB-порт, имеющий металлический экран в задней части корпуса. Его внешний вид показан на рисунке 15.

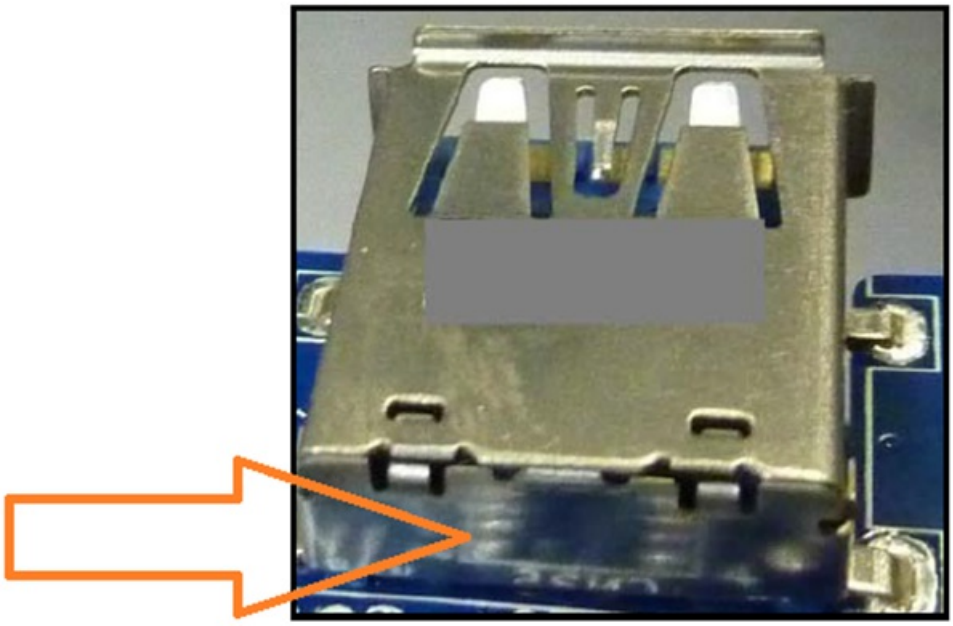

Рисунок 15 – USB-разъем с экраном в задней части корпуса

Размещение антенны устройства

Для того чтобы оценить влияние расположения антенны беспроводного адаптера по отношению к порту и устройству USB 3.0, была смоделирована следующая ситуация, изображенная на рисунке 16.

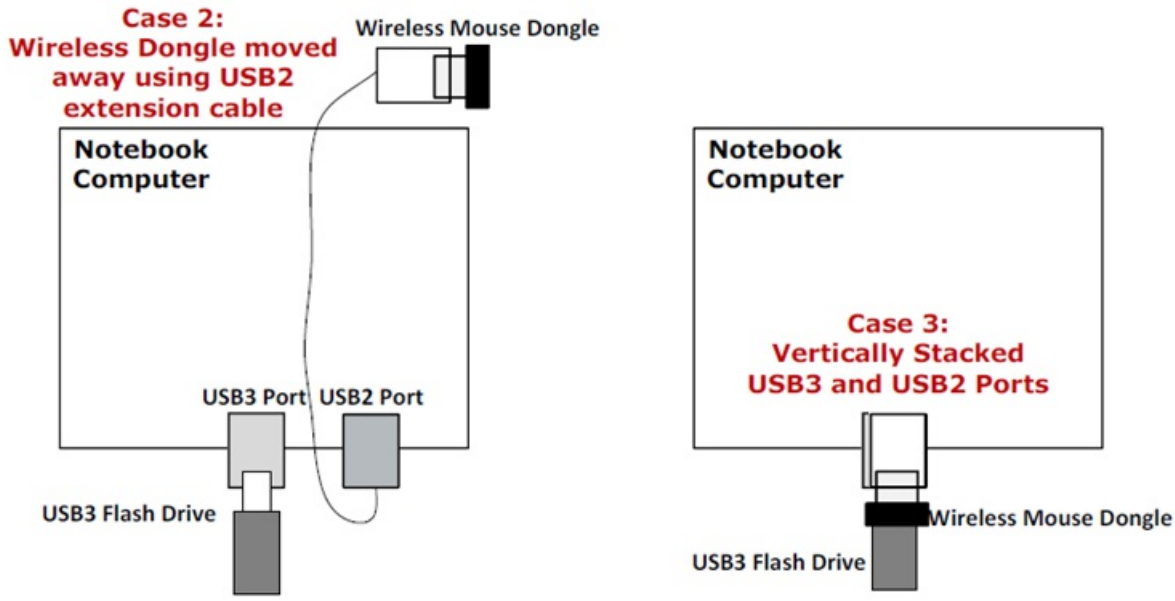

Рисунок 16 – Влияние расположения USB-устройства на антенну радиоприемника

В примере "case 2" беспроводной адаптер был перенесен от USB 3.0 устройства и порта, с помощью удлинителя на противоположную сторону ноутбука. В другом случае ("case 3") беспроводной адаптер подключается к USB 2.0-порту, расположенному выше USB-3.0 порта. В обоих случаях в качестве периферийного устройства, создающего помехи, использовался Flash-накопитель. Производительность беспроводной мышки в этих двух случаях приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Статистика ответов мыши для разных местоположений устройства.

USB 3.0 Статус	Отклик «Мышь-А» на расстоянии 60, см	Отклик «Мышь-А» на расстоянии 90, см	Отклик «Мышь-А» на расстоянии 150, см
Случай 2: Беспроводной адаптер расположен на противоположной стороне USB 3.0 порта	OK	OK	OK
Случай 3: Беспроводной адаптер расположен вертикально над USB 3.0 портом	Нет ответа	Нет ответа	Нет ответа

Таким образом, расположение беспроводной антенны приемника по отношению к порту USB 3.0 устройства может оказывать также значительное влияние на производительность беспроводного устройства. Размещение антенны вдали от USB 3.0 порта может уменьшить воздействие шума, даже если он не устраняет его полностью. На основании характеристик приемника, для него должно быть найдено оптимальное местоположение. И ни в коем случае не следует размещать беспроводной адаптер компьютерной мыши рядом с гнездом, в котором работает USB-3.0 устройство.

Для поддержания хорошего отношения сигнал/шум в приемнике, нужно обеспечить максимально возможный уровень передаваемого сигнала. Самый простой пример ослабления радиосигнала от компьютерной мыши – это наличие руки человека на пути распространения сигнала. В таблице 3 показано сравнение производительности разных моделей беспроводных мышей, которые отличались местоположением приемопередающей антенны в корпусе мышки. Для исследования этого виляния использовалась схема, изображенная на рисунке 16 (case 2). Результаты испытаний изображены в таблице ниже:

Таблица 3 – Сравнение производительности различных моделей беспроводных мышек.

Дистанция от ноутбука	Конфигурация мыши			
	Mouse 'A'	Mouse 'B'	Mouse 'C'	Mouse'D'
30 см	Нет ответа	OK	OK	OK
60 см	Нет ответа	OK	OK	OK
90 см	Нет ответа	Отстающий клик	OK	OK
120 см	Нет ответа	Отстающий клик	OK	Отстающий клик

Модели беспроводных мышек указаны не были, чтобы не дискредитировать их производителей. Суть эксперимента заключалась не в том, чтобы сравнить производительность разных беспроводных мышек, а показать тот факт, что разное расположение антенны в корпусе устройства может давать разные результаты. В общем случае, при разработке беспроводных устройств, производителям нужно придерживаться следующих рекомендаций по расположению приемопередающего устройства в корпусе мышки:

Расположение антенны: антенна устройства должна свободно излучать радиосигнал, когда устройство находится в использовании. Для обеспечения этой рекомендации следует размещать ее как можно дальше от объектов, способных оказать на нее влияние: это различные металлические или хорошо проводящие предметы, рука человека или другие подобные препятствия. В идеале нужно обеспечить такое условие, чтобы приемник и передатчик находились на расстоянии прямой видимости друг от друга.

Заземление: антенна беспроводного устройство должна быть хорошо заземлена. Это условие редко соблюдается, особенно в малобюджетных моделях, в то время, как заземление играет отнюдь немаловажную роль, ведь качество заземления влияет на: усиление антенны, ее резонансную частоту, импеданс и является опорным узлом для всех схем устройства. В идеале поверхность заземления должна быть диаметром в четверть длины волны вокруг точки запитки антенны.

Тюнинг: нужно тонко подходить к выбору материалов корпуса для беспроводного устройства, ведь разные материалы имеют разную радиопрозрачность, и будет досадно терять пару децибел на потери при прохождении через усиленный диэлектрик. Производители должны придерживаться оптимальных параметров при проектировании печатной платы, подбирая требуемую толщину ее дорожек, размер плоскости заземления. Эти факторы в конечном итоге напрямую влияют на дизайн и внешний вид продукта. При контроле выходных параметров должны отдельно быть взяты под контроль: выходная мощность устройства и сопротивление антенны.

Улучшение производительности

В предыдущем разделе были рассмотрены стратегии снижения общего уровня шума и способы смягчения их последствий. Шум, излучаемый из USB 3.0 устройства, можно уменьшить путем эффективного экранирования, позволяющего поддерживать хороший SNR в беспроводном устройстве. В этом разделе будет подробно рассмотрена производительность устройства, полученная после применения одного из перечисленных способов уменьшения шумов.

В таблице 4 показаны различные варианты качества ответов беспроводного устройства "Mouse A" при обмене данными с ноутбуков "Notebook A". Схема для тестирования показана на том же рисунке 16. Периферийным устройством, создающим помехи, является Flash-накопитель USB 3.0.

Таблица 4 – Качество ответа беспроводной мыши с улучшенным экранированием.

USB 3.0* Периферийное устройство	Notebook 'A' коннектор	Удаленность устройства Mouse 'A'			
		60 см	90 см	180 см	210 см
Не экранированный	Без модификаций	Нет ответа	Нет ответа	Нет ответа	Нет ответа
экранированный	Без модификаций	OK	Отстающий клик	Нет ответа	Нет ответа
Не экранированный	Улучшенное экранирование	OK	Прерывистый клик	Отстающий клик	Нет ответа
экранированный	Улучшенное экранирование	OK	OK	OK	OK

Как показано в таблице 4, когда экранирование применяется только к устройству "Notebook A" для разъема USB 3.0, ответ мышки является хорошим на расстоянии до 180 см. Когда периферийное устройств (Flash-диск) также полностью экранировано, то никаких уменьшений качества передаваемого радиосигнала не наблюдается на расстоянии до 2-х метров.

Заключение

Шум, созданный за счет широкополосности спектра данных, создаваемых устройством с интерфейсом USB 3.0, может оказывать существенное влияние на радиоприемники, антенны которых расположены достаточно близко к входам USB 3.0 или к самим устройствам. Создаваемый шум является довольно широкополосным и не может быть отфильтрован, так как он попадает в полосы рабочих частот беспроводного оборудования, работающего в диапазоне 2.4 ГГц. Генерируемый шум ухудшает отношения сигнал-шум до такой степени, что беспроводное устройство вынуждено ограничивать чувствительность (SNR). Это приводит к уменьшению эффективного радиуса действия беспроводного устройства.

Экранирование может уменьшить негативные последствия шумового воздействия, излучаемого устройством и его разъемом в диапазоне 2.4 ГГц. Это особенно важно для периферийных устройств, расположенных близко к плате персонального компьютера или ноутбука. В идеале антенны беспроводных устройств должны быть отнесены как можно дальше как от разъема USB 3.0, так и от самого устройства.