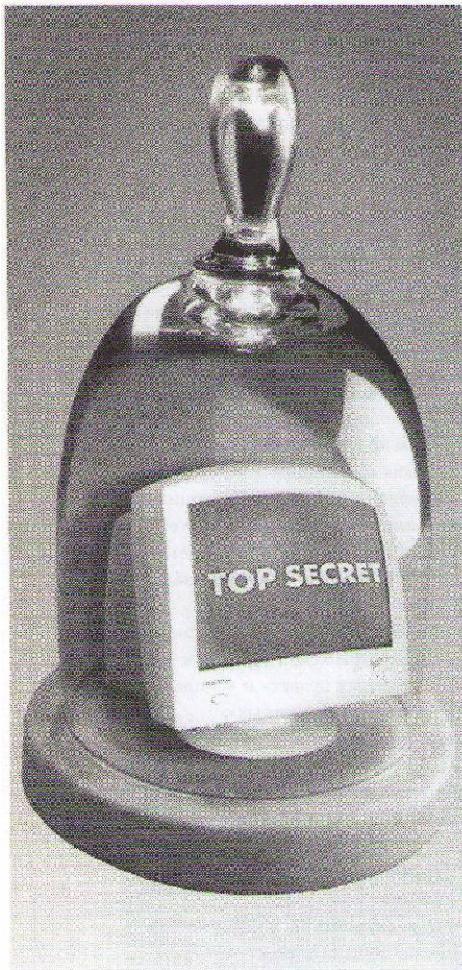


ИСТОРИИ ИЗ ИСТОРИИ

электромагнитных излучений в юношеском возрасте. Он изучал физику и химию в университете Амстердама, но не окончил его. Вместо этого он начал работать в лаборатории по изучению излучения из телевизоров. Там он изучил излучение из телевизоров и изучил спектр излучения. Он также изучил излучение из телевизоров и изучил спектр излучения.

Вим ван Эйк,
руководитель
PTT Dr. Neher Laboratories



ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ВИДЕОДИСПЛЕЙНЫХ МОДУЛЕЙ:

РИСК ПЕРЕХВАТА ИНФОРМАЦИИ?

Окончание статьи (начало см. в № 1'2001)

4. Решения

4.1. Уменьшить уровень излучений

Существуют различные методы уменьшения уровня излучений электронных цепей. В том числе:

- Не использовать при разработке цепей цифровых компонентов с быстродействием большим, чем это необходимо для функционирования цепей. Это ограничит верхнюю частоту возможных излучений.

- Уменьшать настолько, насколько возможно, площади токовых контуров, формируемых электрическими цепями. Это может быть достигнуто, например, размещением на печатной плате возвратных проводников как можно ближе к сигнальным проводникам цепи.

- Делать короткими настолько, насколько возможно, соединительные провода.

Детали упомянутых методов, а также другие методы уменьшения уровня излучений могут быть найдены в различных публикациях, посвященных электромагнитной совместимости (например, [5, 6]).

Вышеупомянутые меры уменьшают уровни излучения печатных плат в оборудовании, но они не могут уменьшить уровень излучения, создаваемого электронным

лучом электронно-лучевой трубы. Таким образом, требуются дополнительные меры.

Если весь видеодисплейный модуль будет электромагнитно экранирован, то излучение может быть сведено практически к нулю. Металлический экран будет удерживать электромагнитную энергию внутри модуля. Эффективность экранирования (дБ) металлического экрана в частотном диапазоне от нескольких сотен килогерц до нескольких сотен мегагерц (зависит от размера видеодисплейного модуля) почти пропорциональна толщине экрана.

Если бы было возможно создать металлический экран вокруг видеодисплейного модуля, то уровень излучения вне этого экрана определялся бы толщиной экрана и уровнем излучения до того, как экран был установлен. К сожалению, использовать такую конструкцию экрана невозможно по следующим причинам:

- часть экрана должна быть оптически прозрачна, чтобы можно было видеть изображение;
- через экран должны проникать кабели, чтобы связывать ВДМ с внешним миром (интерфейс, питание);
- оператор должен иметь доступ к клавиатуре;

- в большинстве случаев для исключения перегрева оборудования необходима вентиляция.

Чтобы сделать доступным все, что было упомянуто выше, рынок предоставляет нам широкий диапазон экранирующих материалов и средств, в том числе:

- металлическое (золотое) покрытие экранов ЭЛТ;
- экраны в виде проволочных сеток, устанавливаемых на ЭЛТ;
- специальные решетки для вентиляции (похожи на медовые соты);
- экранированные кабели для соединения ВДМ и клавиатуры;
- электрические фильтры, предотвращающие излучение от проникающих внутрь кабелей;
- специальный материал для соединения различных частей экрана между собой и т. д.

Стоимость мероприятий по уменьшению уровня излучений довольно велика и может удвоить или даже утроить цену видеодисплейного модуля в зависимости от требуемого уровня.

4.2. Увеличить уровень шума

С точки зрения радиопомех, этот тип решения самый нереальный, но это – возможность. Изготовители уже имеют много проблем с выполнением установленных законом ограничений на радиопомехи и, следовательно, практически невозможно оборудовать ВДМ дополнительным источником шума.

Единственное решение, которое можно было бы придумать, чтобы предотвратить «подслушивание» именно таким образом, состоит в том, чтобы поместить много оборудования (например, большое количество терминалов) в одно помещение. Однако эксперименты показали, что это – нереальное решение. Как было отмечено ранее, «портрет» излучений модуля в значительной степени определяется резонансами на некоторых частотах. Эти резонансные частоты различны даже для двух модулей одного и того же типа. Это означает, что подслушивание в группе видеодисплейных модулей возможно, потому что каждое устройство имеет другие (резонансные)

частоты, уровень излучения на которых является наибольшим.

4.3. Криптографический дисплей

Главный фактор, позволяющий с помощью обычного телевизионного приемника перехватывать информацию, отображаемую видеодисплейным модулем, – это подобие между двумя системами в том, что касается построения изображения на экране. Следовательно, простое и адекватное решение проблемы состоит в том, чтобы изменить последовательность, в которой выводятся на экран дисплея отображаемые строки. Телевизионный приемник ожидает, что построение изображения начнется в верхней строке и закончится в нижней строке в естественной последовательности (1, 2, 3, 4..., k).

Сравнительно просто изменить шаблон последовательности построения цифрового изображения видеодисплейного модуля, сделав его псевдослучайным. Получаемая последовательность построения может быть сделана зависящей от некоторого кода, который можно будет вводить в устройство. Если излучаемый сигнал теперь будет принят ТВ-приемником, информация будет не читаема и очень трудно будет установить, была ли перехвачена информация вообще. Информация может быть выделена из принятого сигнала только тогда, когда известна последовательность построения изображения или когда используется сложное оборудование декодирования. Для предотвращения выделения информации методом «проб и ошибок» (для k отображаемых строк существует только k! вариантов последовательности), вводимый код может псевдослучайным образом изменяться через предварительно установленный интервал времени. Разработать видеодисплейный модуль с таким криптографическим дисплеем относительно несложно, а общая стоимость этих работ может быть оценена приблизительно в 20 \$ дополнительных затрат на модуль.

Подобная система не обеспечивает абсолютную защиту против «подслушивания», но это адекват-

но в большинстве случаев. Это особенно подходит там, где требуется низкий или средний уровень защиты или секретности, например, в домашних приложениях и в большинстве офисных приложений. Стоимость системы реальна для требуемого уровня защиты. Это решение было найдено в результате наших исследований в этой области. Патенты на этот метод оформляются.

5. Методы измерений и требования

5.1. Существующие стандарты

Справедливо предположить, что оборудование для военных и правительства (службы безопасности) проверено согласно строгим стандартам. По-видимому существуют два типа стандартов:

- NACSIM 5100A (TEMPEST стандарт, США);
- AMSG 720B (Стандарт на лабораторные испытания по раскрытию информации, содержащейся в излучениях работающей радиоэлектронной аппаратуры, Compromising Emanations Laboratory Test Standard, НАТО).

Оба стандарта применимы ко всем типам оборудования, а не только для видеодисплейных модулей. Методы измерений и требования, содержащиеся в NACSIM 5100A, неизвестны никому, кроме американцев. Согласно скучным источникам информации [7], доступное оборудование проверяется под наблюдением специального комитета (TQSC). Если испытание пройдено, то оборудование может быть помещено в список предпочтительных с точки зрения TEMPEST изделий (TEMPEST preferred product list, сокращенно PPL). Один раз попав в этот список, оборудование не может быть экспортировано или продано кому-либо без разрешения американского правительства.

Не так давно (1982) НАТО разработал собственный TEMPEST стандарт. Этот стандарт (AMSG) в специальных случаях используется как для военных, так и для правительственные приложений в странах НАТО. Поскольку документы

по этому стандарту классифицированы, то информация о нем не является свободно доступной. Неизвестно как AMSG соотносится с NACSIM, но известно, что процедуры измерений и требования, определенные в AMSG, имеют в основном американское происхождение.

5.2. Применимость

Вышеупомянутые стандарты в чистом виде не очень подходят для невоенных и неправительственных приложений, особенно в случаях, где требуется низкий или средний уровень безопасности. И это не

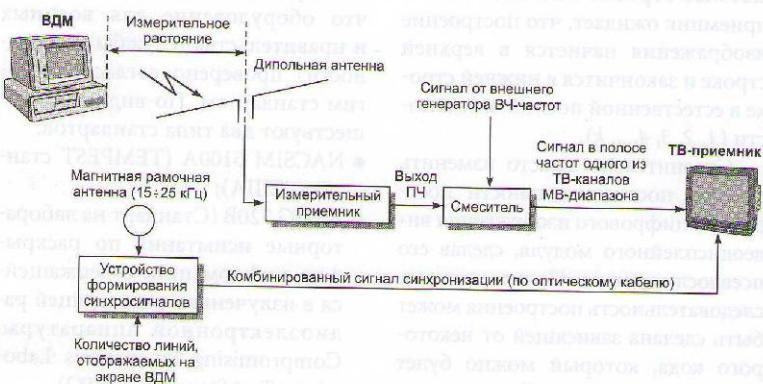


Рис. 2. Измерительная установка

только потому, что методы и требования стандартов не являются свободно доступными, но также и потому, что требования возможно слишком строги для этих приложений и приводят к недопустимым издержкам. Поэтому мы разработали простой метод для тестирования видеодисплейных модулей на предмет возможности перехвата информации.

5.3. Простая измерительная установка

Задача измерительной установки состоит в том, чтобы проверить возможность восстановления информации, отображаемой ВДМ, с помощью обычного телевизионного приемника. Так как встречаются различные источники излучений, то возможность восстановления не определяется только уровнем генерируемых излучений [1]. Следовательно, обычный ТВ-приемник может быть

использован как измерительный прибор. Расстояние от ВДМ, на котором производятся измерения в процессе тестирования, может быть различным в зависимости от строгости испытаний: допустим, требуется, чтобы информация с экрана не могла быть восстановлена с помощью обычного ТВ-приемника на расстоянии более чем d метров, где d – назначается тестирующим. Такой тип измерительной установки имеет следующие недостатки:

- восстановление (прием) возможно только внутри диапазона частот передач широковещательного телевидения;

ним наблюдать, восстанавливается ли информация из принятого сигнала. Если промежуточная частота измерительного приемника не попадает в диапазон частот широковещательного телевидения, то необходимо преобразовать ее в произвольный канал телевизионного вещания метрового диапазона, как показано на рис. 2. Подобное каскадирование двух приемников имеет некоторые преимущества:

- измерения могут быть выполнены во всем частотном диапазоне 30-1000 МГц, так как частоту измерений определяет измерительный приемник;
- измерительный приемник определяет чувствительность всей установки;
- одновременно могут быть выполнены измерения напряженности поля, что позволит сопоставить качество приема изображения и напряженность окружающего поля.

Так как частотный диапазон сигнала промежуточной частоты ограничен полосой пропускания измерительного приемника, то должна быть выбрана ширина полосы частот детектирования не менее 1 МГц. Для получения чистого изображения на экране ТВ-приемника ширина полосы частот измерительного приемника должна быть не менее 4 МГц. При полосе пропускания 1 МГц страница текста трудно читается, но будет распознана как таковая. При ширине полосы пропускания менее чем 1 МГц изображение на экране ТВ-приемника будет с трудом распознаваться как страница текста.

В отличие от реальных условий «подслушивания», видеодисплейный модуль доступен в процессе проведения испытаний, что позволяет принимать сигналы синхронизации непосредственно от источника. Это может быть легко достигнуто приемом поблизости от ВДМ магнитного поля высоковольтного трансформатора. Этот трансформатор в большинстве случаев в ВДМ является трансформатором строчной развертки, как и в обычном ТВ-приемнике.

Как описывается в техническом приложении, сигнал принимается,

фильтруется и стабилизируется в цепи захвата фазы. Вертикальная частота синхронизации получается делением горизонтальной частоты синхронизации на число строк, отображаемых ВДМ. Оба сигнала объединены и поданы в селектор сигналов синхронизации ТВ-приемника. Для предотвращения искажений излучаемого ВДМ высокочастотного поля при проведении испытаний комбинированный сигнал синхронизации передается по оптическому кабелю.

6. Выводы

1. Видеодисплейные модули генерируют электромагнитные поля, содержащие гармоники видеосигнала.

сигнала с частотами по УВЧ-диапазон (UHF) включительно.

2. Специально доработанный обычный ТВ-приемник в некоторых случаях может быть использован для восстановления информации, отображаемой видеодисплеевым модулем. В зависимости от типа видеодисплейного модуля при оптимальных условиях восстановление возможно на расстоянии до 1 км.

3. Применение электромагнитных экранов позволяет предотвратить утечку информации из видеодисплейных модулей на таких расстояниях. Адекватное экранирование генерируемых электромагнитных полей может удвоить или даже утроить цену видеодисплейного модуля.

4. Если придать последовательности вывода отображаемых строк видеодисплейного модуля случайный характер, то восстановление информации будет невозможным. Стоимость такого типа защиты данных видеодисплейного модуля, как оценивают, намного ниже, чем издержки на электромагнитное экранирование.

5. Разработанный метод изменения может быть использован для получения информации относительно возможности восстановления данных, отображаемых видеодисплеевым модулем, с заранее оговоренных расстояний. Измерительная установка проста, и измерения не требуют много времени.

Техническое приложение

Принципы телевидения

Построение изображения

Изображение на телевизионном экране формируется последовательно. Движущееся изображение есть результат отображения 50 кадров каждую секунду (Европейский стандарт). Изображение состоит из ряда горизонтальных строк, которые расположены так близко друг к другу, что отдельные строки не различимы при просмотре телевизионных программ с разумного расстояния. Эти горизонтальные строки выводятся на экран ТВ-приемника в определенной последовательности: первая строка располагается в верхней части экрана, а последняя строка – в нижней части. Строки выводятся на экран слева направо.

Построение изображения на экране ТВ-приемника проиллюстрировано на рис. 3. Устройство, используемое для создания изображения, называется электронно-лучевой трубкой (ЭЛТ) (рис. 4).

Если приложить высокое напряжение между (нагретым) электродом (катодом, минус цепи) и проводящим слоем на внутренней поверхности экрана ЭЛТ (анодом, плюс цепи), то возникнет направленное движение электронов от катода до анода.

С помощью магнитного поля электронный поток преобразуется в очень узкий луч. Если приложенное напряжение достаточно высокое, то кинетическая энергия электронов при достижении экрана настолько большая, что экран испустит фотоны видимого света. Таким образом, управляемая напряжением, прикладываемым между катодом и анодом, можно изменять интенсивность свечения пятна на экране. Так как электроны – заряженные частицы, то приложение магнитного или электрического поля перпендикулярно к направлению потока изменит это направление. Если поле, используемое для изменения направления потока электронов как горизонтально так и вертикально, создается посредством приложения напряжения между управляющими электродами, то место освещенного пятна на экране ЭЛТ может быть изменено.

Легко увидеть, что приложение пилообразных напряжений с различными частотами приводит к перемещению пятна на экране ЭЛТ так, как это показано на рис. 3. Таким образом, изображение на телевизионном экране создается модулированием интенсивности свечения пятна, перемещающегося по

поверхности экрана по определенному правилу.

Видеосигнал

Сигнал, используемый для модулирования интенсивности свечения перемещающегося пятна, называется видеосигналом. Телевизионный приемник получает этот сигнал от передатчика.

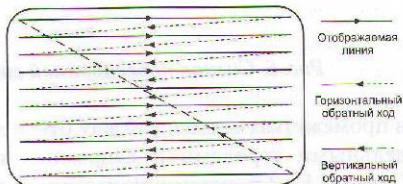


Рис. 3. Последовательность вывода строк кадра изображения

Для того, чтобы приемник мог преобразовывать полученный видеосигнал в читаемое изображение, необходимо «знать», к какой строке кадра относится информация в полученном сигнале. Попытавшись изображение создается согласно описанной выше схемы, то очевидно, что должна быть передана информация относительно начального момента каждой первой строки кадра и всех последующих строк. Сигнал, используемый для передачи этой информации

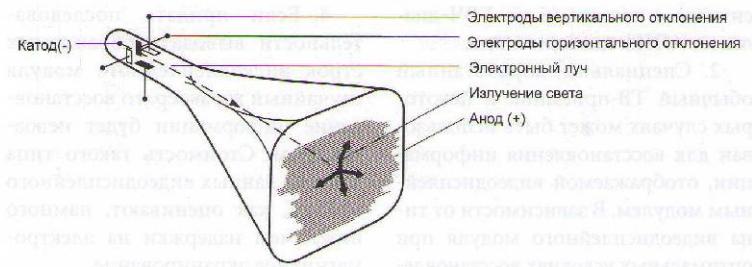


Рис. 4. Электронно-лучевая трубка

телеизионному приемнику, называется сигналом синхронизации. По практическим причинам видеосигнал и сигнал синхронизации объединены в один сигнал — сигнал передаваемой строки (LF). Сигнал LF в ТВ-приемнике состоит из:

- положительной части — видеосигнала;
- отрицательной части — сигнала синхронизации (последовательности импульсов).

Эти сигналы могут быть объединены в один сигнал, потому что сигнал синхронизации передается

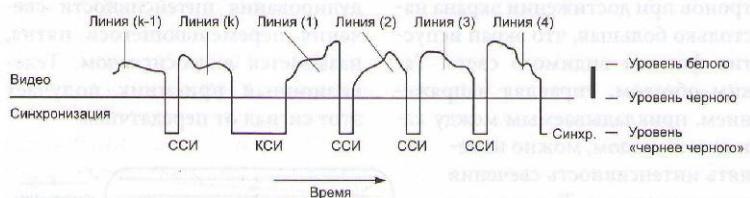


Рис. 5. Сигнал передаваемой строки [LF] в ТВ-приемнике

в промежутках времени между отдельными строками и кадрами. Сигнал LF в ТВ-приемнике частично представлен на рис. 5.

Видеодисплейные модули

Построение изображения

Построение изображения в видеодисплейном модуле происходит

аналогично построению изображения в телевизионном приемнике.

На рис. 6 представлено изображение, отображаемое на экране видеодисплеяного модуля. Рисунок 7 — фотография крупным планом части экрана, которая показывает, что отображаемые символы состоят из малых точек. Эти точки (пиксели) размещаются в горизонтальных строках точно так же, как в обычном ТВ-приемнике.

Видеосигнал

Графическое представление формы видеосигнала, необходимо

пятна. Например, выделенной экранной строке на рис. 8а соответствует видеосигнал, представленный на рис. 8б.

Для достижения требуемой разрешающей способности на экране ВДМ необходимо, чтобы длительность одного бита в видеосигнале была очень мала. Если длительность бита будет такая, как показано на рис. 8б, то пиксель на экране будут искажены: вместо кругов будут овалы («светлое» пятно на экране, создаваемое электронным лучом, имеет конечные размеры и при развертке луча превратится в овал). Поэтому длительность бита уменьшается посредством модуляции начальным видеосигналом (рис. 8б) прямоугольной волны (сигнал задающего генератора видеочастоты — «the video-dot-clock») с периодом, равным длительности бита в начальном видеосигнале. Таким образом, длительность бита уменьшается на 50 процентов от первоначального значения (см. рис. 8б).

Так как сигналы могут принимать только два значения — «0» и «1», то процесс модуляции легко осуществить, применяя к обоим сигналам логическую операцию «И». Очевидно, что ряд соседних пикселов в горизонтальной строке выводится на экран как индивидуальные пиксели, а не как единое целое. Однако оптический размер пикселов настолько большой по сравнению с паузой между ними, что это не замечается при просмотре экрана с приемлемого расстояния. То, что горизонтальные строки отображаются так же, как строка индивидуальных пикселов, важно для возможности выделения информации посредством ТВ-приемника. Это будет показано в разделе, посвященном детектированию информации.

Спектральные компоненты

Если текст, отображаемый на экране ВДМ, не содержит повторений, то видеосигнал в первом приближении можно рассматривать как случайный цифровой сигнал. Спектральная плотность мощности этого сигнала:

$$S_{xx}(f) = A \cdot \left(\frac{\sin \pi f T_b}{\pi f T_b} \right)^2 \left[\frac{B^2}{G \cdot \mu} \right]$$



Рис. 6. Экран ВДМ с текстом



Рис. 7. Увеличенная часть изображения на рис. 6

где A – функция числа пикселов, отображаемых на экране, и амплитуды сигнала в вольтах [2]; T_b – длительность одного бита в конечном видеосигнале.

Спектральная плотность мощности $S_{xx}(f)$ частично приведена на рис. 9.

Поскольку видеосигнал в ВДМ может быть реализован только с конечным временем перехода (T_t), то выражение для реальной спектральной плотности мощности видеосигнала будет выглядеть следующим образом:

$$S'_{xx}(f) = S_{xx}(f) \cdot \frac{1}{(\pi f T_t)^2 + 1} \quad \left[\frac{V^2}{Hz} \right]$$

или

$$S'_{xx}(f) = A \cdot \left[\frac{\sin \pi f T_b}{\pi f T_b} \right]^2 \cdot \frac{1}{(\pi f T_t)^2 + 1} \quad \left[\frac{V^2}{Hz} \right]$$

В приведенном выражении последний коэффициент соответствует характеристике фильтра низких частот первого порядка с частотой среза $f_{cr} = 1/(\pi \cdot T_t)$. Легко заметить, что огибающая спектральной плотности мощности сигнала довольно постоянна до частоты $f_1 = 1/(\pi \cdot T_b)$, начиная с которой она уменьшается со скоростью -20 дБ на декаду до частоты $f_2 = 1/(\pi \cdot T_t)$. На частотах выше чем f_2 огибающая спектральной плотности убывает со скоростью -40 дБ на декаду.

В основном частота f_1 находится в диапазоне от 20 до 50 МГц, а f_2 – в диапазоне 200÷500 МГц в зависимости от типа используемых компонентов и цепей.

Другие сигналы

Видеосигнал – не единственный сигнал в ВДМ. В следующем разделе будет показано, что видеосигнал вносит наиболее мощный широкополосный «вклад» в создаваемое побочное излучение. Это потому, что видеосигнал – единственный сигнал в ВДМ, который усиливается до уровня, намного превышающего уровень ТТЛ-логики. Следовательно, нет необходимости рассматривать другие широкополосные сигналы в ВДМ для достижения цели нашей публикации. Поскольку тактовые сигналы в ВДМ являются периодическими, то их спектр мощности состоит из индивидуальных спектральных линий, представляющих

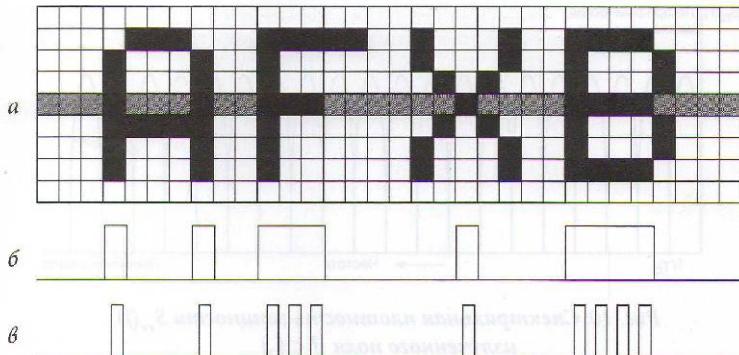


Рис. 8. Построение видеосигнала в ВДМ:

- а) построение на экране изображения из пикселов;
- б) начальный видеосигнал (спектральная интенсивность);
- в) конечный видеосигнал (широкополосный видеосигнал).

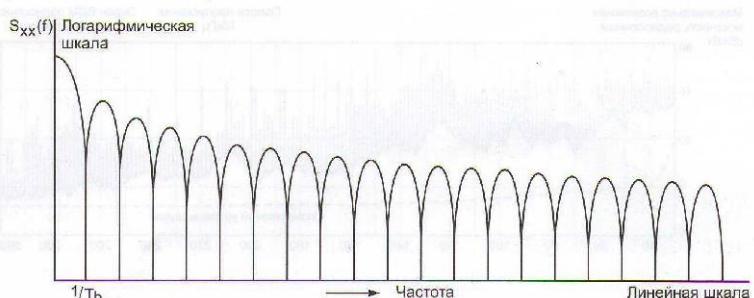
собой гармоники тактовой частоты. Так как эти спектральные линии «удалены» друг от друга, то каждая из них может рассматриваться как независимый узкополосный сигнал для наших целей. Интенсивность этих узкополосных компонентов уменьшается с увеличением частоты, так же как и в случае со спектром мощности видеосигнала. Поскольку спектральная плотность мощности тактовых сигналов сконцентрирована в индивидуальных спектральных линиях, то мощность каждой из этих линий может быть довольно высока по сравнению с плотностью мощности видеосигнала, «размазанной» по всей частотной оси. Это за-

мывает в себе возможность выделения лепестка в спектре видеосигнала. Это явление имеет большое значение для возможности детектирования информации с помощью ТВ-приемника.

Электромагнитное излучение

Принципы

Из уравнений Максвелла следует, что ускорение электрических зарядов вызывает появление электромагнитного поля. Это явление известно, и оно используется нами для осуществления радиосвязи. В токопроводящем проводе (антенне) создается ток (направленное движение электрических зарядов). Этот ток



висит от ширины полосы частот пропускания при измерениях.

Что является более важным, так это то, что тактовые сигналы часто получают из сигнала задающего генератора видеочастоты («video-dot-clock»). Это означает, что большое количество спектральных линий совпадут с цент-

будет генерировать электромагнитное поле, которое может быть принято на большом расстоянии от передающей антенны при использовании другого токопроводящего провода, в котором поле будет генерировать ток. Можно доказать, что этот генерируемый ток является подобным току в передающей антенне.

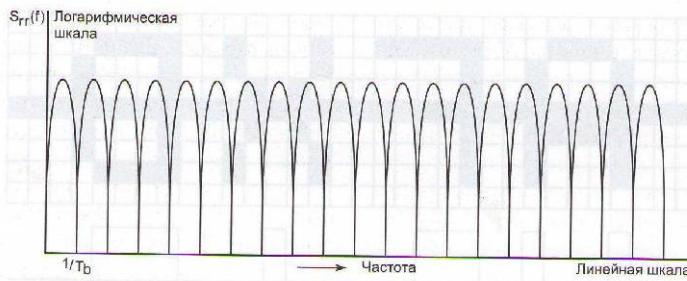


Рис. 10. Спектральная плотность мощности $S_{rr}(f)$ излученного поля ($f < f_2$)

Это означает, что любой проводник, по которому протекает ток с изменяющейся силой (переменный ток), может выступать в качестве передающей антенны. Следовательно, цифровое оборудование генерирует электромагнитные поля, содержащие все частотные компоненты всех сигналов внутри оборудования. Так как электромагнитное поле появляется вследствие ускорения зарядов, то его напряженность зависит скорее от производной тока в цепи, чем от самого тока.

Излучения, порождаемые видеосигналом

Очевидно, что видеосигнал в ВДМ циркулирует только в определенной части оборудования – схема обработки видеосигнала и электронный луч в ЭЛТ. В первом (трубом) приближении эффективность

излучения схемы увеличивается с частотой монотонно со скоростью +20 дБ на декаду до частоты (порядка нескольких сотен мегагерц), которая определяется физическим размером цепей, используемых для обработки видеосигнала [3].

Если предположить, что эта критическая частота выше чем f_2 , излучаемая спектральная плотность мощности $S_{rr}(f)$ может быть оценена:

$$S_{rr}(f) \approx \sin^2(\pi f T_b), \quad [B^2/(m^2 \cdot Гц)]$$

где $f_1 > f > f_2$. Часть этого спектра показана на рис. 10.

Из теории связи известно, что если приемник настроен на один из лепестков спектра, то весь видеосигнал может быть восстановлен. Это становится очевидным, если каждый из излучаемых лепест-

ков спектральной плотности мощности рассматривать как спектр сигнала амплитудно-модулированного частью видеосигнала вплоть до частоты Найквиста $f_N = 1/(2 \cdot T_b)$ [4].

Измерения излучений

Измерения были проведены относительно радиопомех, генерируемых ВДМ. Частота сигнала задающего генератора видеоизлучения выбранного видеодисплеяного модуля была 11,004 МГц. Частота задающего генератора системы была 1,57 МГц, так что узкополосные компоненты могли бы ожидаться в излучаемом спектре с интервалом в 1,57 МГц. Были проведены два типа измерений:

- С использованием поглощающих клещей, удовлетворяющих требованиям CISPR, была измерена максимальная возможная мощность радиопомехи в сетевом шнуре питания.

На расстоянии 1 метр от ВДМ в направлении максимального излучения с помощью биконической антенны согласно MIL-STD-461/462 было измерено электрическое поле, излучаемое модулем. При этих измерениях сетевой шнур питания был экранирован.

Измерения были проведены в частотном диапазоне 30–300 МГц с помощью анализатора спектра HP-8586A при ширине полосы частот детектирования 10 кГц и выбранной функции MAX HOLD (детектор пиковых значений). Результаты измерений приведены на рис. 11 и 12.

Верхние части рис. 11 и 12 иллюстрируют результаты измерений для ВДМ с экраном, полностью заполненным текстом. Нижние части рис. 11 и 12 иллюстрируют результаты измерений для ВДМ с экраном, на котором отображается только курсор. Эти результаты показывают, что:

- уровень широкополосной радиопомехи в значительной степени зависит от числа символов, отображаемых на экране;
- уровень узкополосной радиопомехи не зависит от содержимого изображения на экране ВДМ, а индивидуальные узкополосные со-

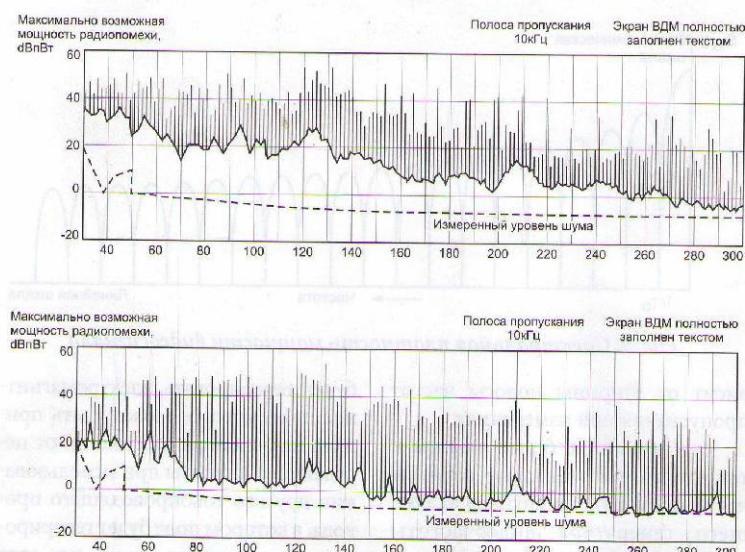


Рис. 11. Максимально возможная мощность радиопомехи в сетевом шнуре питания

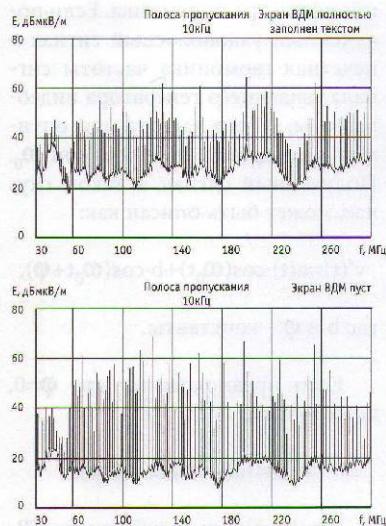


Рис. 12. Напряженность поля в направлении максимального излучения на расстоянии 1 метр (горизонтальная поляризация)

ставляющие спектра определяются задающим генератором системы и задающим генератором видеочастоты.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что видеосигнал является наиболее мощным источником широкополосного излучения, а сигналы синхронизации являются наиболее мощными источниками узкополосного излучения. Измерения ясно показывают, что излучаемый широкополосный спектр не соответствует предполагаемой функции $\sin^2(\pi f T_b)$.

На рис. 11 особенно хорошо видно, что на некоторых частотах (например, вокруг 125 и 210 МГц) возможны резонансы, которые приводят к увеличению излучения на 15 дБ относительно уровня излучения на соседних частотах.

Ограничения на радиопомехи

Измерения напряженности электромагнитного поля, генерируемого различными типами видеодисплейных модулей, были выполнены в условиях, соответствующих Публикации № 16 CISPR. Измерения напряженности поля согласно грядущим рекомендациям CISPR для оборудо-

вания обработки данных и офисного оборудования (DP/OE) показали, что ни один из видеодисплейных модулей, который мы проверили, не генерирует электромагнитную радиопомеху вне предложенных ограничений. Измерения проводились в частотном диапазоне 30-600 МГц.

Восстановление информации

Обработка сигнала в ТВ-приемнике

В самой простой форме телевизионный приемник может быть описан согласно блок-схеме на рис. 13. Как может быть замечено из этой блок-схемы, ТВ-приемник может принимать только очень малую часть спектра, излучаемого ВДМ (ширина полосы частот пропускания приблизительно 8 МГц¹ где-нибудь в диапазоне метровых или дециметровых волн).

Полоса частот, отфильтрованная входными цепями ТВ-приемника, показана на этом рисунке как затененный лепесток спектра.

Таким образом, отклик телевизионного приемника на излученный сигнал можно вычислить, если рассматривать весь видеосигнал как входной сигнал приемника. Амплитуда этого сигнала выбирается такой, чтобы спектральная плотность мощности сигнала на частоте, соответствующей частоте настройки приемника, была равна значению спектральной плотности мощности излученного сигнала. Обработка сигнала во временной области в ТВ-приемнике визуально представлена на рис. 15.

Рисунок 15а показывает входной видеосигнал.

Рисунок 15б показывает сигнал промежуточной частоты, получае-

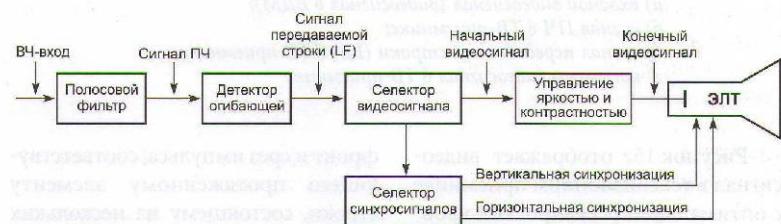


Рис. 13. Упрощенная блок-схема телевизионного приемника

На рис. 14 видно, что ТВ-приемник не заметит разницы между излучаемым сигналом (сплошная линия) и видеосигналом (пунктирная линия), который имеет ту же самую спектральную плотность на частоте настройки телевизионного прием-

мый в ТВ-приемнике в ответ на этот видеосигнал.

На рис. 15б представлен сигнал передаваемой строки в ТВ-приемнике. Он является огибающей сигнала промежуточной частоты и получается благодаря АМ-детектору.

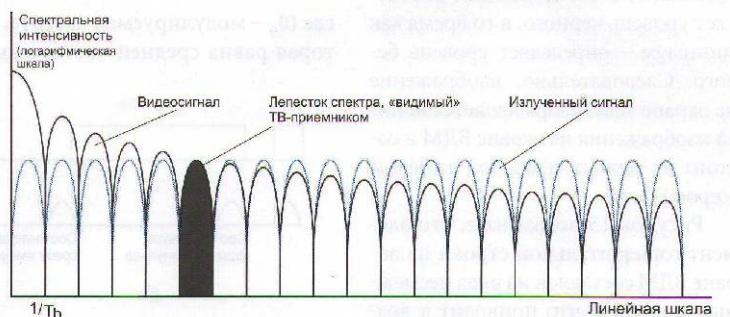


Рис. 14. Видеосигнал и излучаемое электромагнитное поле с равными амплитудами на частотестройки ТВ-приемника

¹ Обычно ТВ-приемник имеет полосу пропускания 4,5 МГц и демодулятор сигнала с частично подавленной боковой полосой, что эквивалентно АМ-демодулятору с полосой пропускания 8 МГц.

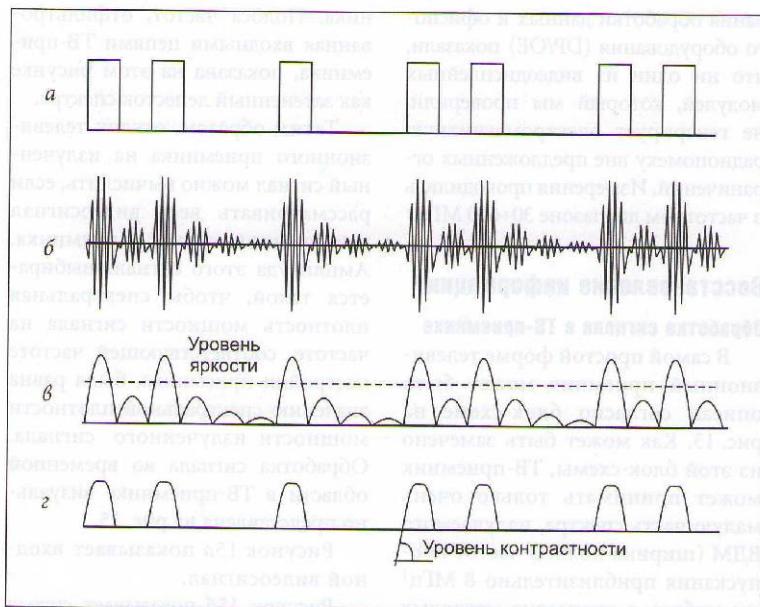


Рис. 15. Обработка сигнала в ТВ-приемнике:

- а) входной видеосигнал (видеосигнал в ВДМ);
 б) сигнал ПЧ в ТВ-приемнике;
 в) сигнал передаваемой строки (LF) в ТВ-приемнике;
 г) конечный видеосигнал в ТВ-приемнике

Рисунок 15г отображает видеосигнал в телевизионном приемнике с оптимальной регулировкой уровней яркости и контрастности.

«Расширение» сигнала передаваемой строки вблизи порога, задаваемого уровнем яркости, зависит от уровня контрастности. В первом приближении уровень контрастности определяет крутизну фронтов в конечном видеосигнале в ТВ-приемнике. В отличие от построения изображения в ВДМ, максимум видеосигнала в ТВ-приемнике определяет уровень черного, в то время как минимум – определяет уровень белого. Следовательно, изображение на экране телевизора является копией изображения на экране ВДМ и состоит из черных символов на белом (сером) фоне.

Рисунок 15 показывает, что элемент горизонтальной строки на экране ВДМ составлен из ряда несмежных пикселов, что приводит к возможности восстановления видеосигнала для элементов строки. Так как генерируемое электромагнитное поле связано с производной видеосигнала, то на экране ТВ-приемника отображаются как точки только

фронт и срез импульса, соответствующего протяженному элементу строки, состоящему из нескольких смежных пикселов. Этот эффект продемонстрирован на рис. 16.

Влияние узкополосных компонент

Сигнал промежуточной частоты в ТВ-приемнике, изображенный на рис. 17б, может быть определен количественно как:

$$v(t)=a(t)\cdot\cos(\Omega_0 t)+b\cdot\cos(\Omega_0 t+\Phi)$$

где Ω_0 – модулируемая частота, которая равна средней частоте вход-

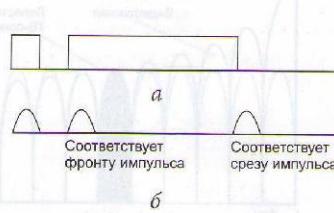


Рис. 16. Восстановление элементов строки:

- а) видеосигнал в ВДМ;
 б) видеосигнал в ТВ-приемнике

ного фильтра приемника. Если полученный узкополосный сигнал – нечетная гармоника частоты сигнала задающего генератора видео-частоты, то его частота при оптимальном приеме будет равной Ω_0 . Полученный сигнал, в таком случае, может быть описан как:

$$v'(t)=a(t)\cdot\cos(\Omega_0 t)+b\cdot\cos(\Omega_0 t+\Phi),$$

где b и Φ – константы.

Если предположить, что $\Phi=0$, то получаем:

$$v'(t)=[a(t)+b]\cdot\cos(\Omega_0 t).$$

Детектирование огибающей в ТВ-приемнике приводит к следующему:

$$e(t)=|a(t)+b|.$$

Если предположить, что $|a(t)| > b$, то мы получаем:

$$e(t)=a(t)+b.$$

Демодуляция этого типа сигнала показана на рис. 17. По сравнению с приемом при отсутствии узкополосной компоненты имеются два преимущества:

1. Общая мощность сигнала, принимаемого телевизионным приемником, определяется суммой $a(t)$ и b .

2. Качество восстановления информации будет лучше, так как динамический диапазон $e(t)$ несколько увеличился.

Первые измерения

Первые измерения показали, что телевизионный приемник действительно восстанавливает видеосигнал ВДМ, хотя изображение не появляется на экране из-за отсутствия в полученном сигнале информации о синхронизации. Это становится очевидным при сравнении рис. 17г и рис. 15г с рис. 5.

Сигналы синхронизации отделяются от видеосигнала в селекторе видеосигнала. Когда ТВ-приемник настроен на частоту телевизионной широковещательной станции, сигналы синхронизации передаются в явном виде, поэтому приемник может восстановить синхро-

низацию полученной информации. Обычно ВДМ не излучает такой «интеллектуальный» сигнал. Таким образом, телевизионный приемник, принимающий сигнал, излучаемый ВДМ, не может быть засинхронизирован полученным сигналом. ■

ЛИТЕРАТУРА:

1. W van Eck, I. Neessen and P. Rijssdijk: *On the electromagfields generated by video display units*. Proc. symp. EMC Zurich, March 1985.
2. A. Papoulis: *Probability, random variables and stochastic processes*. McGraw Hill, 1965.
3. D. White: *EMI control methodology and procedures*. Don White Consultants inc., Gainesville, USA, 1982.
4. K. Shanmugam: *Digital and analog communication systems*. Wiley and Sons, 1979.
5. R. Freeman and M.Sachs: *Electromagnetic compatibility design guide*. Artech House (ISBN 0-890006-1149), 1982.
6. H. W. Ott: *Noise reduction techniques in electronic systems*. Wiley and Sons, 1976.
7. A. Mauriello: *Loin a governement program to gain Tempest expertise*. EMC Technology, Vol.3, July 1984.

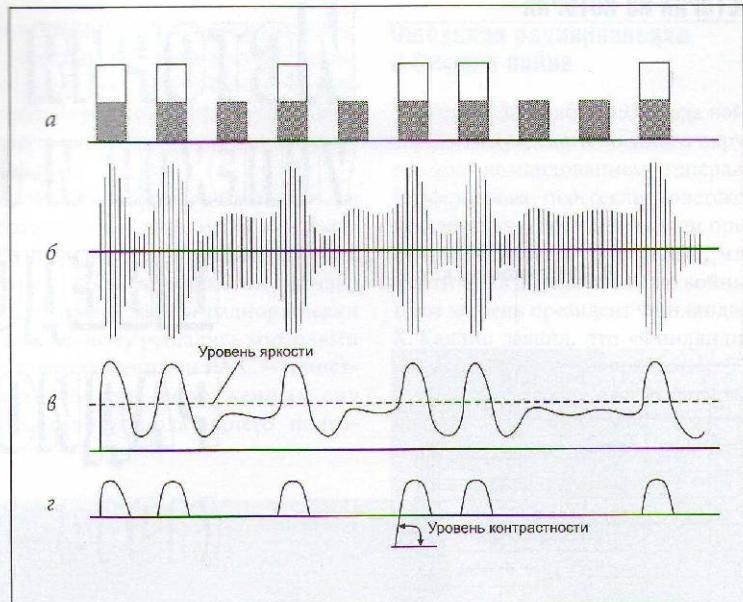


Рис.17. Обработка сигнала в ТВ-приемнике с доступной когерентной узкополосной компонентой.

- а) Видеосигнал и тактовый сигнал
- б) Сигнал ПЧ в ТВ-приемнике
- в) Сигнал передаваемой строки
- г) Конечный видеосигнал