

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ, ИЗЛУЧАЕМЫХ ПАССИВНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ЛОКАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Михаил Прокофьев

НТУ Украины “КПИ”, НИЦ “ТЕЗИС”, 03056 Украина, г. Киев, просп. Победы, 37,
e mail: pmi@tesis.kiev.ua

Резюме: При решении задач электромагнитной совместимости и сертификации оценивают параметры сигналов, излучаемых пассивными компонентами (кабельными каналами) локальных вычислительных сетей. Предлагается усовершенствованный метод, предусматривающий использование в качестве тестового при испытаниях гармоничного сигнала, частоты колебаний которого определяют по результатам спектрального анализа сигналов передачи данных в ЛВС в частотном диапазоне, в котором будет эксплуатироваться ЛВС. Начальная частота колебаний тестового сигнала (1 МГц) одинакова для всех кабельных каналов, а его предельная частота зависит от класса кабельного канала. Метод позволяет оценивать результаты испытаний независимо от методов кодирования и сравнивать результаты испытаний изделий разных производителей.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, тестовый сигнал, кабельный канал, оценивание параметров сигналов.

Введение

Параметры сигналов, излучаемых пассивными компонентами локальных вычислительных сетей (ЛВС), оценивают при решении задач электромагнитной совместимости и сертификационных испытаниях кабельных каналов (КК). Излучения КК могут создавать помехи, вызывающие нарушения в работе не только вычислительной системы, но и другого прецизионного оборудования, в составе которого производится цифровая обработка сигналов.

При проведении испытаний в КК создается тестовый режим путем замены реальных информационных потоков ЛВС на достаточно длинные пачки периодических импульсов формы меандра. Периодический сигнал, вызывающий паразитные побочные электромагнитные излучения (ППЭМИ), имеет линейчатый спектр, уровень гармоник которого можно измерить с помощью серийных средств измерительной техники (СИТ). Оценивание значений ППЭМИ обычно производится при условии потенциального кодирования информации в КК, когда «1» кодируется импульсом высокой полярности, а «0» – отсутствием импульса. В современных ЛВС передача сигналов с потенциальным кодированием почти не используется, ибо на смену ей приходит более десятка современных способов кодирования. При этом возникает проблема сопоставления результатов испытаний КК разных производителей и создания испытательных площадок для испытания реальных КК.

1. Метод испытаний КК

С целью повышения эффективности оценивания параметров ППЭМИ ЛВС предлагается усовершенствованный метод, предусматривающий использование такого тестового сигнала, который удовлетворяет следующим требованиям: сходство структуры реального информативного сигнала и тестового; обеспечение максимальной загрузки элемента ЛВС во время обработки им тестового сигнала; обеспечение максимального соотношения «сигнал/шум» для тестового сигнала, что позволяет повысить чувствительность СИТ путем уменьшения полосы его пропускания.

Анализ структуры методов кодирования информации позволяет сделать вывод, что для выполнения первых двух требований нужно создать тестовые сигналы для каждого из существующих методов кодирования. Для этого нужны специальные генераторы, что приводит к значительному росту стоимости испытаний. Реальное конечное и активное коммутационное оборудование не позволяет программным путем создать тестовые сигналы в виде коротких периодических последовательностей, а использование в протоколах обмена данными скремблирования существенно увеличивает длину тестовых последовательностей, что сопровождается уменьшением амплитуды измеряемых гармоник тестового сигнала (от конечного сетевого оборудования и активного коммутационного оборудования ЛВС). Вследствие этого для выполнения третьего требования при проведении испытаний необхо-

димо размещать пассивное оборудование ЛВС на специальных испытательных площадках в экранированном помещении. Поскольку размеры КК составляют сотни метров, то создавать такие экранированные помещения для проведения испытаний очень проблематично. Кроме того, экранированные помещения имеют собственные резонансные частоты, и поэтому результаты измерения на этих частотах будут некорректными [1].

Суть усовершенствования метода оценивания ППЭМИ КК состоит в применении в качестве тестового гармонического сигнала с дискретными частотами [2]. Использование такого тестового сигнала вместо импульсного позволяет получить существенное преимущество, поскольку нет необходимости применять оконечное оборудование и активное коммутационное оборудование ЛВС при проведении испытаний. Это обстоятельство исключает возникновение лишних ППЭМИ при испытаниях оборудования в составе ЛВС, позволяет значительно увеличить амплитуду тестового сигнала в КК по сравнению с амплитудой сигналов от конечного и активного коммутационного оборудования ЛВС, что в итоге повышает соотношение "сигнал/шум" и таким образом создает благоприятные условия для проведения испытаний вне экранированных помещений. При этом обеспечивается независимость результатов испытаний от существующих методов кодирования информации и возможность сравнивать результаты испытаний пассивного оборудования ЛВС различных производителей. При внедрении усовершенствованного метода можно использовать серийные генераторы сигналов, дополнительно оснащенных специальными симметрирующими устройствами.

2. Методика пересчета результатов измерений

Поскольку уровень напряжения тестового сигнала при проведении испытаний остается для всех КК постоянным, то результаты измерений требуют пересчета с учетом формы и амплитуды импульсного сигнала, с помощью которого кодируется бит информации, передаваемый КК ЛВС. Основные положения такого пересчета заключаются в следующем: энергия импульса, принимаемого СИТ, определяется его спектром:

$$E = \int_0^{\infty} |S(f)|^2 df, \quad (1)$$

где $S(f)$ – спектр импульса на входе СИТ, а средняя мощность за время повторения этого импульса (T)

определяется как:

$$P = \frac{E}{T} = \frac{1}{T} \int_0^{\infty} |S(f)|^2 df \quad (2)$$

Интеграл с диапазоном интегрирования от 0 до ∞ можно разбить на несколько интегралов со смежными интервалами интегрирования:

$$P \approx \frac{\Delta f}{T} \int_0^{f_1} |S(f)|^2 df + \frac{\Delta f}{T} \int_{f_1}^{f_2} |S(f)|^2 df, \quad (3)$$

где Δf интервал интегрирования, $\Delta f = f_2 - f_1$ разницы между значением верхней и нижней частоты исследуемого диапазона частот.

В свою очередь спектр импульса $S(f)$ в месте его приема зависит от спектра информационного импульса $S_I(f)$, который распространяется КК, и свойств КК как антенны $K_a(f)$:

$$S(f) = S_I(f) K_a(f) \quad (4)$$

Спектр $S_I(f)$ считается известным, а свойства КК ($K_a(f)$) заранее неизвестны. Значения интегралов в (3) можно определить только приблизительно, заменяя интеграл на сумму произведений интервала интегрирования Δf на значение функции на средней частоте этого интервала $f_i = f_n + \Delta f/2$. Для одинаковых интервалов интегрирования Δf формулу (3) можно представить в виде

$$P \approx \frac{\Delta f}{T} \sum_{i=1}^{\infty} |K_a(f_i) S_I(f_i)|^2 \quad (5)$$

Далее записываем

$$P \approx k \sum_{i=1}^{\infty} |K_a(f_i)|^2 P_{1i}(f_i), \quad (6)$$

где $P_{1i} = |S_I(f_i) \Delta f|^2$ - мощность первичного сигнала, который распространяется КК, в частотном интервале Δf со средней частотой f_i , $k = \frac{\Delta f}{T}$.

От ширины частотного интервала Δf зависит неопределенность результатов оценки энергии сигнала (или его мощности на интервале T). В случае уменьшения частотного интервала Δf неопределенность определения мощности сигнала тоже уменьшается, но увеличивается количество частот, на которых необходимо проводить измерения уровня сигнала ППЭМИ. Типичное значение неопределенности параметров электромагнитного поля составляет 2-3дБ. Если последние результаты вычислений отличаются от предыдущих не более, чем на 2 дБ, то дальнейшее уменьшение частотных интервалов не приводит к уменьшению неопределенности результатов оценки мощности.

3. Особенности пространственной конфигурации при испытаниях КК

Коммуникационные тестеры используют тоже гармоничный тестовый сигнал. Но особенность предлагаемого метода состоит в том, что пространственная конфигурация КК ЛВС рассматривается как совокупность прямолинейных отрезков разной длины. В предельном случае – это один большой прямолинейный отрезок, проложенный прямолинейно. При этом возникают вопросы относительно частот, на которых и количества точек вдоль КК ЛВС, в которых, следует проводить измерения. Измерение уровня ППЭМИ проводят путем приема составляющих электромагнитного поля, излучаемых КК при распространении по нему гармоничного тестового сигнала. Частота колебаний тестового сигнала определяются по результатам спектрального анализа сигналов передачи данных в ЛВС на скорости 100 Мбит/с в частотном диапазоне Δf , в котором будет эксплуатироваться КК. Начальная (нижняя) частота колебаний тестового сигнала f_n одинакова для всех КК и равна 1 МГц. Предельная (верхняя) частота колебаний тестового сигнала f_g зависит от класса КК. Например, для класса D - 150 МГц, а для класса E - 300 МГц. При испытаниях измерения целесообразно проводить на четырех участках КК, длина которых составляет 2,5 м. Благодаря этому возможно сравнение КК, заключенного в короб, с обычным КК. При измерениях в пределах каждого участка для поиска максимума сигнала возможен сдвиг антенны вдоль КК. В реальных условиях прокладки пассивного оборудования КК ЛВС существует отраженная волна от неоднородностей (стен, пола, потолка), что создает "флуктуации" электромагнитного поля КК. Благодаря этим флуктуациям нельзя однозначно априори определить, в какой точке пассивного оборудования КК ЛВС и на какой частоте будет находиться минимум излучения от КК.

Результаты измерений уровня излучения нескольких КК для ЛВС различных классов, проведенных на одном стенде с применением гармоничного тестового сигнала, приведены на рисунке.

По результатам измерений можно сделать вывод, что с ростом частоты качество экранирования КК растет, но влияние неоднородностей вносит существенные искажения, особенно это заметно на низких частотах. Величина излучения зависит не только от типа кабеля КК, а еще от многих факторов (в частности, величины сопротивления заземления), которые трудно учесть при

проведении оценивания параметров сигналов, излучаемых КК. Это заметно, если испытания одного и того же КК провести несколько раз.

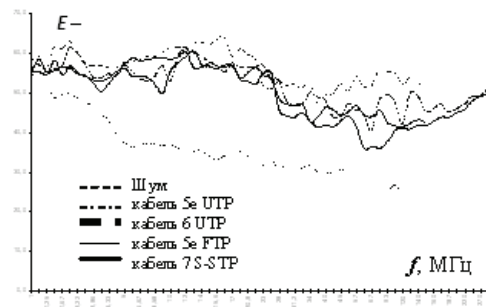


Рис. - Результаты измерения уровней излучения кабельных каналов

Заключение

Применение усовершенствованного метода с использованием гармоничного тестового сигнала с дискретными частотами, значение которых вычислено по результатам спектрального анализа частот сигналов, применяемых для обмена данными в ЛВС, позволяет оценивать результаты испытаний независимо от методов кодирования и иметь возможность сравнивать результаты испытаний для КК ЛВС разных производителей. Для гармоничного тестового сигнала определен критерий изменения частоты тестового сигнала Δf и предоставлены формулы для пересчета результатов измерения с гармоничным тестовым сигналом по отношению к параметрам импульса, с помощью которого передается бит информации. Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что с ростом частоты качество экранирования кабеля возрастает. Однако влияние неоднородностей вносит существенные искажения в результаты измерений, особенно это заметно на низких частотах.

Литература

- [1] **Е. Зайцев.** Резонанс экранированных систем. *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні*, № 5, 2002, С. 207–210.
- [2] **М. Прокофьев, А. Тодоренко, В. Свірський.** Оцінка захищеності інформації, що циркулює в пасивних елементах локальних обчислювальних мереж. *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*, №. 7, 2003, С. 167–172.

Данные об авторе:

Михаил Иванович Прокофьев. КПИ – радиоинженер (1972); к.т.н. (2014); директор научно-исследовательского центра "ТЕЗИС" НТУУ

"КПИ", Научные интересы: разработка методик и проведение испытаний радиоэлектронной аппаратуры.

IMPROVED METHOD FOR ESTIMATING THE PARAMETERS OF THE SIGNALS RADIATED BY THE PASSIVE COMPONENTS OF LOCAL AREA NETWORKS

Mikhail Prokofiev

NTU Ukraine "KPI", SIC "TESIS", 03056 Ukraine, Kyiv, Pobedy av., 37, e-mail: pmi@tesis.kiev.ua

Abstract: Estimation of the parameters of signals emitted by the passive components (cable channels) of local area networks takes special position in solving problems of electromagnetic compatibility tasks and certification. The given improved method presented here provides the use of harmonic signal as a test one which oscillation frequency is determined by the results of spectral analysis of the signal data to the LAN in the frequency band which it will be operated. Starting oscillation frequency of the test signal (1 MHz) is the same for all cable channels and its limit frequency depends on the class of the cable channel. This method allows to evaluate the results of tests irrespective of the coding methods and to compare test results of the products from different manufacturers.

Key-Words: electromagnetic compatibility, test signal, cable channel, parameter estimation signals.

References

- [1]. **E. Zajcev**, Rezonans ekranirovannyh system. *Pravove, normativne ta metrologichne zabezpechenja system zahistu informaciji v Ukraini*, № 5, 2002, S. 207–210.
- [2] **M. Prokofiev, A. Todorenko, V. Svirs'kij.** Ocinka zahishhennosti informaciji, shho cirkuljuje v pasivnih elementah lokal'nih obchisljuval'nih mrezh. *Pravove, normativne ta metrologichne zabezpechenja system zahistu informaciji v Ukraini*, № 7, 2003, S. 167–172.

УСЪВЪРШЕНСТВАН МЕТОД ЗА ОЦЕНЯВАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА СИГНАЛИТЕ, ИЗЛЪЧВАНИ ОТ ПАСИВНИ КОМПОНЕНТИ НА ЛОКАЛНИТЕ ИЗЧИСЛИТЕЛНИ МРЕЖИ

Михаил Прокофиев

НТУ України "КПИ", НИЦ "ТЕЗИС", 03056 Україна, г. Київ, просп. Перемоги, 37, e-mail: pmi@tesis.kiev.ua

Резюме: При решаването на задачите на електромагнитната съвместимост и сертифициране се оценяват параметрите на сигналите, излъчвани от пасивните компоненти (кабелните канали) на локални мрежи. Предлага се усъвършенстван метод, предвиждащ използване на хармоничен сигнал като изпитателен сигнал, чиято честота се определя от резултатите от спектралния анализ на сигнала на предаваните данни в локалната изчислителна мрежа и в честотния диапазон, в които ще бъде експлоатирана локалната мрежа. Началната честота на изпитателния сигнал (1 MHz) е еднаква за всички кабелни канали, а неговата гранична честота зависи от класа на кабелния канал. Методът позволява да се оценят резултатите от изпитването, независимо от методите за кодиране и да се сравняват резултатите от изпитването на изделия от различни производители.

Ключови думи: електромагнитна съвместимост, изпитателен сигнал, кабелен канал, оценяване на параметрите на сигнали.