

**Д.Р. Уайт**

**Электромагнитная  
совместимость  
радиоэлектронных средств  
непреднамеренные помехи**

**Выпуск третий**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 030  
ББК 92  
Д11

Д11 **Д.Р. Уайт**  
Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств непреднамеренные помехи: Выпуск третий / Д.Р. Уайт – М.: Книга по Требованию, 2012. – 464 с.

**ISBN 978-5-458-35712-8**

Измерение электромагнитных помех и измерительная аппаратура

**ISBN 978-5-458-35712-8**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2012

© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2012

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

[www.samizday.ru/reprint](http://www.samizday.ru/reprint)





## ПРЕДИСЛОВИЕ

Техника измерения и уменьшения уровня электромагнитных помех (ЭМП), ранее названных радиошумом, электрическим шумом или высокочастотными помехами, быстро развивается. Диапазон этих измерений — от нулевой частоты примерно до 40 ГГц. Электромагнитные помехи являются причиной, мешающей совместной работе средств радиовещания, телевидения, радиосвязи, радиолокации, навигации и множества радиоэлектронных, электрических и электромеханических устройств, аппаратов и систем в условиях общей электромагнитной обстановки. ЭМП могут нарушить радиоприем и функционирование стимуляторов сердечной деятельности, вызвать навигационные ошибки и много других неприятных, а иногда и катастрофических событий. Поэтому проблема «загрязнения» помехами радиочастотного спектра стала международной, и ее следует решать, соблюдая разумное соотношение между достигаемым эффектом и экономическими затратами.

В специальных журналах, трудах симпозиумов и т. д. публикуется много материалов, относящихся к ЭМП. Большинство из них — обзоры по разнообразным, не связанным между собой темам. Это огорчает как тех, кто впервые знакомится с проблемой ЭМП или электромагнитной совместимости (ЭМС), так и тех, кто уже получил в этой области полезные сведения и знает «как это делать». Поэтому одной из главных причин объединения взаимосвязанных сведений по проблеме ЭМС в серию справочников было желание, чтобы читатель не был введен в заблуждение ранее опубликованными, часто противоречивыми, запутанными и неполными материалами. Многое из изложенного в этих справочниках ранее не публиковалось.

Эта серия справочников названа «Электромагнитные помехи и совместимость»<sup>\*</sup>). Том I охватывает вопросы ЭМП

---

<sup>\*</sup>) В русском переводе серия названа «Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи». Название данного выпуска соответствует содержанию томов 2 и 4 английского оригинала. (Прим. ред.)

и нормативно-техническую документацию по ЭМП. В нем приведены перечень организаций и комитетов, занимающихся ЭМП, а также рассмотрены планы измерения и регулирования уровней ЭМП и технические отчеты об измерениях. В томе 2 «Методы и процедуры измерения ЭМП» описаны калибровка измерительной аппаратуры, способы возбуждения и нагрузки испытываемых устройств, методы измерения ЭМП, распространяющихся в проводах и излучаемых в пространство, а также измерения восприимчивости к ним. При этом рассмотрены измерения на уровне узлов и блоков аппаратуры, а также систем. В томе 3 «Методы и техника регулирования уровня ЭМП» рассмотрены методы прогнозирования ЭМП и борьбы с помехами внутри систем, а также устройства и материалы, используемые для подавления ЭМП. Основное внимание здесь обращено на применение заземлений и скрученных проводов, способы экранирования, фильтрации и подавления помех от нестационарных процессов. Том 4 «Приборы и системы для измерения ЭМП» посвящен электромагнитной обстановке, в которой проводятся измерения, экранированным помещением, измерительным приборам и датчикам, а также автоматическим измерительным системам. В томе 5 «Методы прогнозирования и анализа межсистемных ЭМП» рассмотрено математическое моделирование характеристик антенн, передатчиков, приемников и среды распространения радиоволн. В нем приведены исходные данные для расчета и критерии оценки ЭМС, а также ручные и машинные методы расчета, иллюстрируемые большим числом примеров.

Второй том «Методы и процедуры измерения ЭМП» содержит сведения о большом количестве способов измерения. Описания типа «как это делать» иллюстрируются многочисленными рисунками, таблицами и примерами.

В него входит: обзор принципов измерений ЭМП и особенностей соответствующих измерительных приборов; основные определения, идеи, положенные в основу измерений и факторы, влияющие на калибровку измерительных приборов; способы подготовки испытываемых устройств к измерениям, включая их возбуждение и нагрузку; методы измерений ЭМП, распространяющихся в проводах и излучаемых в пространство, в соответствии с MIL-STD-462, а также сведения об используемых приборах. Кроме того, содержится анализ погрешностей измерительных приборов и самих измерений, приведены сведения о методах измерений по некоторым другим MIL-STD, указаны особенности изме-

рений на уровне систем и устройств, используемых в подвижных объектах, и дан обзор электромагнитной обстановки в местах, где проводятся измерения.

Автор приглашает читателей этих томов и тех, кто будет использовать имеющуюся в них информацию, поддерживать с ним связь. Он особенно ждет их отзывы, вопросы и пожелания о необходимости дальнейших разъяснений. Поскольку планируются последующие издания этих и дополнительных томов, то любая дополнительная полезная информация, которая может быть доведена до инженеров, работающих в области ЭМС, и тех, кто проводит измерения, будет способствовать повышению уровня знаний и расширению опыта по проблемам ЭМП и ЭМС.

Джрмантаун, Мэриленд, США

Октябрь 1974 г.

Дональд Уайт



## Глава 1

### ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

Дан обзор различных методов измерения электромагнитных помех (ЭМП), характеристик восприимчивости радиотехнической аппаратуры и характеристик электромагнитной совместимости (ЭМС) подсистем и систем. Обзор делится на три части по категориям измерений ЭМП при определении характеристик:

- 1) аппаратуры и подсистем;
- 2) систем и средств подвижных объектов;
- 3) окружающей электромагнитной обстановки (ЭМО), влияющей на работу радиоэлектронных средств (РЭС).

#### 1.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В соответствии с указанными категориями измерения проводятся на трех различных уровнях: 1) низшем, 2) среднем, 3) высшем.

##### 1.1.1. Измерения ЭМП на низшем уровне

Измерениям подвергаются компоненты аппаратуры, аппаратура и подсистемы. Задача измерений — определение уровня ЭМП, чтобы установить, находятся ли они в допустимых пределах и не будут ли мешать работе взаимосвязанных или присоединенных к общему источнику питания устройств. Это дает некоторую уверенность в том, что при измерениях на последующих уровнях не будут возникать проблемы, вызванные наличием ЭМП от компонентов и аппаратуры.

##### 1.1.2. Измерения ЭМП на среднем уровне

Устанавливается наличие или отсутствие ЭМС в системах (к которым относятся также радиосредства подвиж-

ных объектов) без учета влияния окружающей электромагнитной обстановки. Для этого исследуются системы и определяется, существуют ли нарушения (сбои) в их работе, вызванные наличием ЭМП внутри систем.

### **1.1.3. Измерения ЭМП на высшем уровне**

Исследуется влияние ЭМП на системы или радиосредства подвижных объектов в условиях реальной окружающей ЭМО. При этом важно выяснить, вызывает ли эта обстановка нарушение (сбои) работы системы или же излучение ЭМП от данной системы нарушает работу других устройств.

## **1.2. ИЗМЕРЕНИЯ НА УРОВНЕ КОМПОНЕНТОВ И АППАРАТУРЫ**

В настоящем параграфе рассматриваются следующие виды измерений на низшем уровне:

- 1) предварительные измерения на ранней стадии разработки изделия;
- 2) измерения при испытании подсистемы с целью определения соответствия уровня ЭМП требованиям нормативно-технической документации (НТД);
- 3) измерения характеристик фильтров и экранированных помещений.

### **1.2.1. Предварительные измерения в процессе разработки изделия**

Предварительные измерения проводят на таких стадиях разработки и производства компонентов и аппаратуры, когда еще можно принять меры для уменьшения влияния ЭМП. Уровни помех можно быстро измерить с помощью калиброванного анализатора спектра, а восприимчивость — с помощью модулированных свип-генератора или генератора сигналов. Измерения совмещаются с другими испытаниями и проводятся в то время, когда устройство находится на испытательном стенде при минимальном вмешательстве в общий процесс испытания.

## 1.2.2. Измерения на соответствие требованиям НТД на низшем уровне

Такие измерения проводятся в соответствии со стандартами MIL-STD-462, MIL-STD-449C, MIL-STD-704A, SAE J551b, NACSEM 5100 и Правилами FCC (части 15 и 18).

MIL-STD-461A содержит нормы на допустимые уровни помех, а MIL-STD-462 методику их измерений\*).

**Стандарт MIL-STD-449C** «Измерение высокочастотных спектральных характеристик» выпущен министерством обороны США 1 марта 1965 г. взамен MIL-STD-449B. Он устанавливает стандартную методику измерения спектральных характеристик радиолокационных и связанных передатчиков и приемников. Основная цель этих измерений — получение необходимых данных для расчета характеристик систем на стадии разработки и эксплуатации.

Применение методики MIL-STD-449C обязательно для всех устройств и систем, которые излучают или принимают электромагнитную энергию в диапазоне частот 14 кГц—12 ГГц. Диапазон частот будет расширен примерно до 36 ГГц после того, как будут созданы необходимые измерительные приборы, разработана методика измерений и появится необходимость в таких данных.

Основные спектральные характеристики, указанные в MIL-STD-449C:

1) высокочастотные характеристики, измеренные на антенном разъеме радиоаппаратуры, предназначенной для передачи или приема;

2) уровни высокочастотного излучения антенн в открытом пространстве, включающие уровни излучения передающей линии и излучения антенн в соответствии с диаграммой направленности (ДН) в трех плоскостях;

3) восприимчивость приемников, т. е. их реакция на излучения, имеющие частоты, отличные от желательных; при этих измерениях определяются характеристики избирательности приемников такие, как нежелательный отклик, восприимчивость приемника, помехозащищенность приемника и избирательность по зеркальному каналу, по побочным каналам приема, по промежуточной частоте, по соседнему каналу.

---

\*) Подробные сведения об этих стандартах приведены в гл. 6—10. (Прим. ред.)

Некоторые измерения, рекомендованные IL-STD-449C, аналогичны измерениям, предусмотренным MIL-STD-461A/462.

**Стандарт MIL-STD-704A** «Характеристики и использование авиационных электрических источников питания» выпущен 9 октября 1966 г. Этот стандарт содержит:

1) характеристики источников электрических силовых систем авиационной аппаратуры, измеряемые на разъемах питания;

2) требования к условиям использования таких источников.

Назначение этого стандарта — содействовать обеспечению ЭМС всех электрических силовых систем самолета или предстартового комплекса и самолетной аппаратуры. Для этого вводятся ограничительные нормы на самолетные и предстартовые электрические силовые системы и самолетную аппаратуру.

MIL-STD-704A, значительная часть которого относится к помехам от нестационарных процессов в сети питания, охватывает три категории используемой аппаратуры:

**А** — аппаратура, при работе которой падение напряжения в силовой линии питания ограничено 2 В (сеть переменного тока) и 1 В (сеть постоянного тока);

**В** — аппаратура, для которой допустимо падение указанных напряжений до 4 и 2 В соответственно; к этой категории относится большая часть аппаратуры, устанавливаемой на самолете, а кроме того, аппаратура, в технических характеристиках которой не указаны допустимые значения падения напряжения питания;

**С** — кратковременно включаемая аппаратура, при работе которой допустимы падения напряжения до 8 и 3 В соответственно.

Силовая система переменного тока должна быть трехфазной, четырехпроводной, с соединением «звездой», при номинальном напряжении 115/200 В и номинальной частоте 400 Гц. Средняя точка источника соединяется с корпусом самолета, и корпус («земля») используется в качестве четвертого провода.

Силовая система постоянного тока должна быть двухпроводной, с номинальным напряжением 28 В. Отрицательный полюс источника соединяется с корпусом самолета, и корпус («земля») используется в качестве второго провода.

Испытаниям на соответствие MIL-STD-704A подлежат электрические силовые системы переменного тока мощностью не менее 1500 ВА и постоянного тока, отдающие ток не менее 50 А. Точность поддержания баланса фаз в системе переменного тока, т. е. разница в нагрузке каждой фазы, должна быть не более 15%.

Требования MIL-STD-704A относятся к следующим силовым источникам:

а) генераторам переменного и постоянного тока, приводимым в действие: двигателями с постоянными оборотами, турбинами с постоянными оборотами, двигателями с оборотами, изменяющимися в небольших пределах;

б) генераторам постоянного тока, приводимым в действие двигателями с оборотами, изменяющимися в широких пределах;

в) преобразователям;

г) трансформаторам-выпрямителям;

д) батареям.

В MIL-STD-704A приведено большое число определений понятий, относящихся к корпусу (земле) самолета, переходным процессам, дрейфу частоты, фазированию, пульсациям и другим факторам, связанным с измерением ЭМП в самолетных электрических питающих системах. В стандарте указаны также ограничительные нормы на переходные процессы и другие параметры.

**Правила FCC, части 15 и 18.** Часть 15 относится к слабوتочным высокочастотным устройствам. В соответствии с этими правилами запрещается использовать аппаратуру для передачи энергии, радиосвязи и т. д., если она мешает работе устройств аналогичного назначения. Часть 15 охватывает радиовещательные приемники, устройства слаботочной телеметрии и радиоконтроля дверей гаражей, радиоуправляемые устройства, игрушки и др. При продаже таких устройств должно быть подтверждено, что по уровням излучаемых помех они соответствуют закону 90-379.

Правила FCC, часть 18 обуславливают порядок контроля промышленной, научной и медицинской аппаратуры, к которой относится:

а) медицинская диатермическая аппаратура, в которой имеется генератор ВЧ, используемый для целей терапии;

б) аппаратура промышленного нагрева с ВЧ генераторами;

в) разнообразная аппаратура, не вошедшая в пп. а и б, ВЧ энергия которой используется для физической,