

## СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТОРСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЭС ПО ПАРАМЕТРАМ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ И ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ

Условия функционирования РЭС характеризуются значительным уровнем взаимных помех, обусловленных большим числом одновременно функционирующих РЭС, паразитными излучениями и восприимчивостью элементов и узлов. В ряде случаев важными показателями качества являются степень влияния на близлежащие функциональные узлы и устройства, восприимчивость к внешним мешающим воздействиям. В подобных случаях структуру и параметры устройств необходимо выбирать на основе так называемых критериев эффективности, отображающих совокупность требований к качеству РЭС, включающих помехозащищенность и помехоустойчивость с учетом конструктивных и схемотехнических особенностей.

В большинстве работ внимание уделяется частным аспектам борьбы с помехами в отдельных узлах и блоках РЭС. Проблемы помехоустойчивости и помехозащищенности рассматриваются в различных аспектах, с разных позиций, полученные результаты, за редким исключением, разрознены и не составляют единой системы.

Обеспечение помехозащищенности и помехоустойчивости, как комплексная задача обеспечения качества проектируемых РЭС, в своей постановке предусматривает решение задачи оптимизации. В такой постановке задача чрезвычайно сложна и приходится исследовать методы проектирования в целом, в то время как задача помехоустойчивости решается для отдельных блоков, узлов. На этапе проектирования основной методологией является обеспечение помехозащищенности проектируемого изделия с присущей ему помехоустойчивостью. Причем заданная помехоустойчивость определена схемотехническими принципами и способами их схемной реализации, которые заложены разработчиками электрических схем. В связи с этим конструктору представляется, в первую очередь, обеспечение помехозащищенности проектируемой аппаратуры конструктивными средствами, т.е. конструктивного оформления электрических схем. Но реальное конструирование предусматривает использование тех или иных конструктивных решений, характеризующихся массогабаритными и стоимостными параметрами. Также следует сказать и о затратах средств при достижении заданной исходной помехоустойчивости проектируемой аппаратуры (с усложнением схемотехнических решений) представляющей собой решение задачи оптимизации по массогабаритным, стоимостным и т.п. критериям. При этом задача конструктора состоит в варьировании средств и методов, обеспечивающих заданный уровень помехоустойчивости.

Разработка РЭС с учетом электромагнитной совместимости (ЭМС) предусматривает знание помехоустойчивости функциональных узлов, принципов их функционирования, в конструкторской части требует детального анализа конструкции блоков, узлов, электрорадиоэлементов, как в отношении их восприимчивости к электромагнитным воздействиям, так и в равной степени как источников воздействий.

В связи с этим возникает необходимость не только в создании эффективного арсенала средств борьбы с помехами, но и в применении системного подхода к проектированию помехозащищенных РЭС. Совершенно недопустимо, что до последнего времени не существует методологии в области проектирования помехозащищенных РЭС, учитывающей организационно-технические, схмотехнические и конструктивные аспекты проектирования. Таким образом, обеспечение ЭМС РЭС есть ни что иное, как обеспечение качества, которое должно быть задано и обеспечено в ходе разработки или проектирования соответствующих РЭС.

Для оценки качества РЭС в отношении ЭМС представляется необходимым использование понятия помехозащищенности [1,2]. Помехозащищенность некоторого радиоэлектронного средства определяется следующим образом

$$П = h \cdot Н \quad (1)$$

где  $П$  - помехозащищенность радиоэлектронного средства (системы);

$Н$  - эффективность методов повышения помехоустойчивости;

$h$  – параметр, характеризующий эффективность методов защиты.

Повышать помехозащищенность РЭС можно, увеличивая либо эффективность защиты  $h$ , либо помехоустойчивость, либо и то и другое. Параметр  $Н$  обеспечивается схмотехническими методами, параметр  $h$  - конструктивно-технологическими.

Системный подход в проектировании РЭС приводит к комплексности решения задачи обеспечения ЭМС на различных уровнях в двух основных направлениях - повышении помехозащищенности и помехоустойчивости рецепторов и снижении энергии помех в их источниках и среде распространения. При такой постановке введение критериев характеризующих ЭМС является необходимым. Существование определяемого критерия помехозащищенности  $П$ , задаваемого определяющими критериями  $h$  и  $Н$  представляет собой критериальное уравнение характеризующее качество проектируемых РЭС с позиций ЭМС. При этом критериями могут быть как числовые значения, так и некоторые функциональные зависимости.

Рассматривая многообразие РЭС можно с достаточной степенью допущений выделить два основных класса - аналоговые РЭС и цифровые ЭВС. Механизм искажения и затухания сигналов, а также появление помех в аналоговых узлах такой же, как и в цифровых узлах. Однако, электрически длинные линии имеют место в аналоговых узлах лишь для диапазона СВЧ, а в диапазоне ВЧ преобладают лишь электрически короткие. Процессы происходящие в аналоговых РЭС, как правило, описываются с помощью сигналов представленных в частотной области (характеристика спектральной плотности). Это анализ частотных свойств РЭС, представленных многополюсниками со своими передаточными характеристиками. В цифровых узлах основные процессы, происходящие в них, описываются сигналами во временной области (время переключения, задержка, переотражения и т.д.). В связи с этим при выборе критериев ЭМС для аналоговых и цифровых РЭС целесообразно использовать частотные и временные характеристики.

Любое математическое описание характеристик помехозащищенности является упрощением реальной ситуации (гомоморфизм). Такое упрощение может быть достигнуто путем сосредоточения внимания на наиболее важных обстоятельствах (зависимостях) и исключения остальных, для данного исследования несущественных. Так, в спектральном представлении внимание сосредоточено на частотном составе сигнала, а временные зависимости исключены. Ясно, что отношение между параметром сигнала-оригинала и его гомоморфными моделями не являются равноправными (как при изоморфизме), т.к. они не могут меняться местами (превращаться из модели в оригинал для других). Однако из-за этого упрощения, отбрасывания несущественных сторон, удастся глубже вникнуть в исследуемую сторону явления, используя адекватный математический аппарат. При этом нужно четко оценивать границы применимости принятой модели.

Анализируя общность проблем по обеспечению помехозащищенности как для цифровых, так и для аналоговых устройств, является целесообразным введение критериальных функций для аналоговых РЭС, как

$$П(j\omega)=h(j\omega)\cdot H(j\omega), \quad (2)$$

характеризующих помехозащищенность в частотной области, для цифровых РЭС - во временной

$$П(t)=h(t)\cdot H(t) \quad (3)$$

Функции  $П(j\omega)$  и  $П(t)$  характеризуют потенциальную помехозащищенность аналоговых и цифровых РЭС,  $h(j\omega)$  и  $h(t)$  - эффективность средств защиты со своими частотно-временными характеристиками.

Причины возникновения импульсных помех в цифровых устройствах обусловлены отражениями в сигнальных линиях связи от несогласованных нагрузок и неоднородностей, искажением формы сигнала в линиях связи, состязанием сигналов в логических цепях, искажением формы сигнала в логической схеме и др.

Помехоустойчивость  $H(t)$  цифровых узлов обусловлена физическими процессами происходящими в кристаллах, заданным быстродействием, технологией изготовления, зависимостью импульсных параметров от напряжения питания, температуры, нагрузочной способности. Эффективность методов защиты  $h(t)$  обусловлена качеством конструирования межсоединений, монтажа и компоновки ИС в устройстве, обеспечивающих отсутствие отражений логических сигналов от несогласованных нагрузок и неоднородностей, малым затуханием и искажением полезного сигнала при включении распределенных вдоль линии нагрузок, уменьшением перекрестных помех и паразитных связей между схемами через цепи питания и заземления, уменьшением уровня помех от внешних электромагнитных полей. На этапе технического проектирования анализируются искажения сигналов для оценки помехозащищенности элементов и выполнения требований по быстродействию при реальном конструктивном воплощении схемотехнических решений.

Помехозащищенность РЭС является одним из параметров качества и требует определенной количественной оценки позволяющей объективно сравнивать РЭС различных типов по нормируемым значениям помехозащищенности, но теоретические основы определения характеристик помехозащищенности до настоящего времени не разработаны. В работе [2] характеристики помехозащищенности определены как метрологические характеристики, отражающие метрологические свойства измерительных устройств в условиях действия внешних влияющих факторов, в том числе и помех.

Рассмотрим влияние помех на РЭС, в качестве иллюстрации, с помощью методов теории чувствительности. Воспользуемся этим подходом для определения характеристик помехозащищенности аналогового РЭС. На рис. 1 представлена модель РЭС отражающая воздействие источников помех. Источники помех  $E_1, E_2, \dots, E_k$  воздействуют на элементы входной цепи,  $E_e$  воздействует на цепи питания,  $E_m$  на цепи управления или коррекции.  $X$  и  $Y$  - сигналы на входных и выходных зажимах функционального узла РЭС.

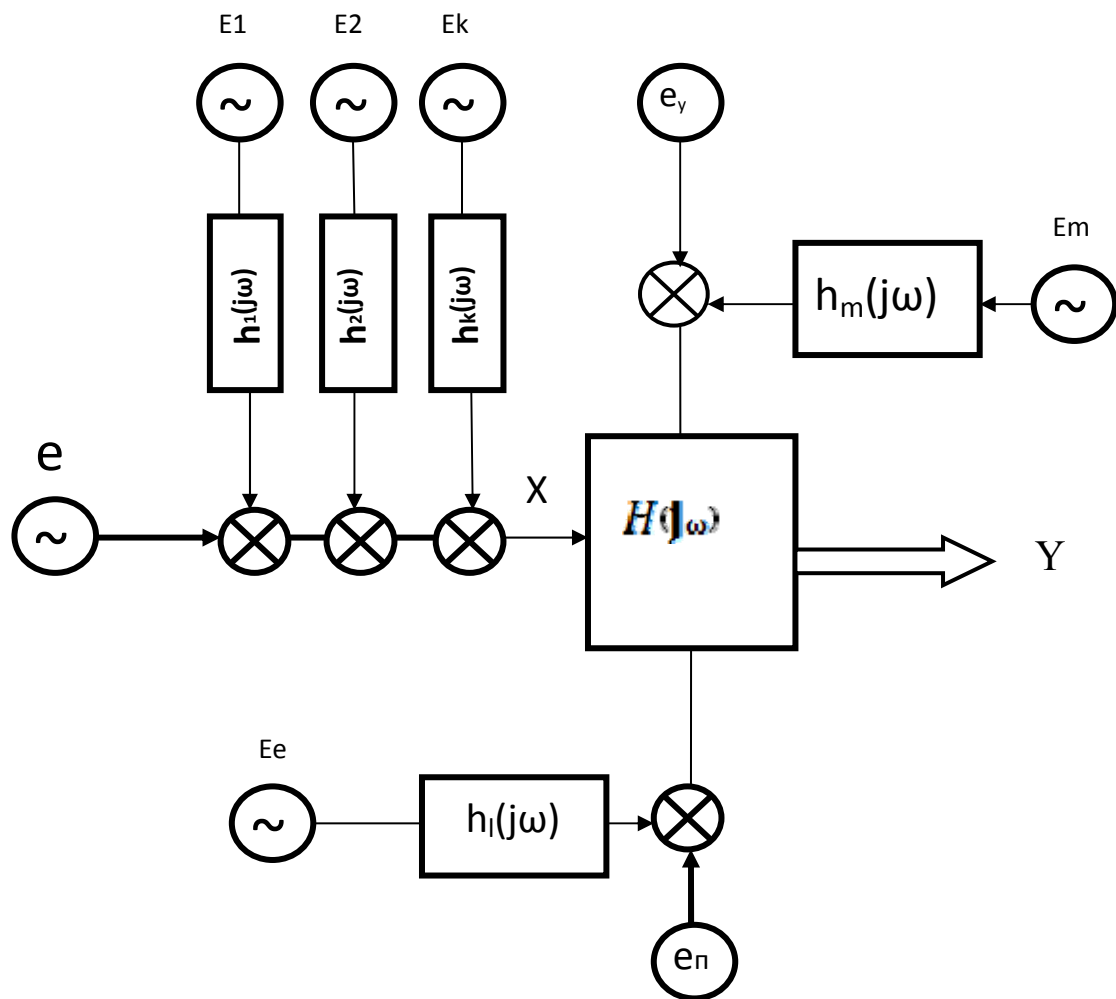


Рис.1 Модель РЭС отражающая воздействие источников помех

Пусть сигнал на входных зажимах узла РЭС

$$X = f(\alpha, e, E1, E2, \dots, Ek) \quad (4)$$

где  $\alpha$  - совокупность параметров  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$  соединительной линии (цепи), определяющих влияние  $e, E1, E2, \dots, En$  на входной сигнал  $X$ .

Результат влияния помех  $E1, E2, \dots, En$  приближенно может быть представлен выражением

$$\Delta X = \frac{\partial f}{\partial E1} E1 + \frac{\partial f}{\partial E2} E2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial Ek} Ek, \quad (5)$$

где  $\frac{\partial f}{\partial E1} = \varphi_1(\alpha); \frac{\partial f}{\partial E2} = \varphi_2(\alpha); \dots; \frac{\partial f}{\partial Ek} = \varphi_k(\alpha)$  (6)

- функции влияния помех  $E1, E2, \dots, Ek$  на входной сигнал.

Принимая  $E1, E2, \dots, Ek=0$ , кроме  $Ek \neq 0$ , получаем из (5) для  $i$ -го источника помехи  $Ei$

$$\varphi_i(\alpha) = \frac{\Delta x_i}{E_i} \quad (7)$$

где  $\Delta x_i$  - аддитивная помеха на входе, возникающая под действием источника помехи  $E_i$ . Совокупность функций  $\varphi_1(\alpha)$ ,  $\varphi_2(\alpha)$ ,  $\varphi_3(\alpha)$ , ...  $\varphi_n(\alpha)$  представляет достаточно полную характеристику эффективности защиты РЭС от соответствующих источников помех. С помощью функций влияния можно определить аддитивную помеху на входе узла РЭС от любого источника помехи  $E_i$

$$\Delta x_i = \Delta x_i = E_i \varphi_i(\alpha) \quad (8)$$

Влияние помехи  $\xi$  на выходной сигнал  $Y = F(\beta, e, \xi)$ , где  $\beta$  - совокупность параметров  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$  РЭС определяющих влияние  $e$  и  $\xi$  на выходной сигнал;  $\xi$  - аддитивная помеха на входе РЭС определяемая выражением (8), можно приближенно представить следующим образом

$$\Delta Y = \xi \frac{\partial F}{\partial \xi} \quad (9)$$

где  $\frac{\partial F}{\partial \xi} = \frac{\Delta Y}{\xi} = \Psi(\beta)$  функция влияния аддитивной помехи  $\xi$  на выходной сигнал  $Y$ . Таким образом, влияние  $i$ -го источника помехи  $E_i$  на выходной сигнал  $Y$  с учетом (8) определяется выражением

$$\Delta Y_i = \Psi(\beta) \varphi_i(\alpha) E_i, \quad (10)$$

а влияние всех источников помехи  $E_1, E_2, \dots, E_m$

$$\Delta Y_i = \Psi(\beta) \sum_{i=1}^n \varphi_i(\alpha) E_i. \quad (11)$$

Помехозащищенность узла РЭС от влияния  $i$ -го источника помехи согласно (10) определяется так

$$\Pi_i = \frac{\Delta Y_i}{E_i} = \varphi_i(\alpha) \Psi(\beta) \quad (12)$$

Помехи  $E_1, E_2, \dots, E_m$  являются функциями времени и в общем случае их следует рассматривать как случайные процессы. Следовательно  $\Delta x$ ,  $\xi$ , и  $\Delta Y$  также являются случайными процессами. Поэтому, при исследовании случайных процессов, при определении функций влияния перейдем от временных представлений сигналов к спектральным. Если воспользоваться преобразованием Фурье, то

$$\varphi_i(\alpha) = \frac{\Delta X_i(j\omega)}{E_i(j\omega)} = h_i(j\omega); \quad \Psi(\beta) = \frac{\Delta Y(j\omega)}{\xi(j\omega)} = H(j\omega); \quad \Pi_i = h_i(j\omega) H(j\omega) \quad (13)$$

где –  $h_i(j\omega)$  частотная характеристика паразитной связи источника помехи  $E_i$  с входной цепью;  $H(j\omega)$  частотная характеристика узла ЭЭС.

Аналогичным образом можно определить помехозащищенность по цепям питания и управления, при этом частотные характеристики  $H(j\omega)_m$  и  $H(j\omega)_l$  определены по соответствующим цепям. В некоторых случаях удобно применять логарифмические передаточные функции (например, при оценке характеристик помехозащищенности в децибелах).

Рассмотренные выше критерии помехозащищенности и помехоустойчивости с успехом могут быть использованы для оценки устойчивости усилительных устройств при их конструктивной реализации. Рассмотренный выше подход позволяет сформулировать алгоритм проектирования помехозащищенных РЭС с заданным критерием помехозащищенности:

- определение критериев помехоустойчивости функциональных узлов РЭС при воздействии помех по входным цепям, цепям питания и управления;
- определение критериев характеризующих эффективность методов защиты и обусловленных электрофизическими параметрами выбранной конструктивной реализацией устройства (монтажа);
- обеспечение заданного критерия помехозащищенности путем соответствующего выбора схемотехнического решения (со своим критерием помехоустойчивости) и выбираемым видом конструктивной реализации.

В некоторых случаях электрофизические параметры конструкций могут улучшать помехоустойчивость.

#### Литература

1. Левин Г.А. Помехозащищенность. - В кн.: Энциклопедия современной техники. Автоматизация производства и промышленная электроника.- М.: Советская энциклопедия, 1964, т.3. - с. 45-46.
2. Михайлов Е.В. Помехозащищенность информационно-измерительных систем. – М.: Энеогия, 1975.-104 с.
3. ГОСТ 30372-95. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения.
4. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. Учебн. пособие / Под. ред. д.т.н., проф. М.А. Быховекого. М.: Эко-Трендз, 2006. 376 с.
5. Василенко Г.О., Милютин Е.Р. Расчет показателей качества и готовности цифровых линий связи. - СПб.: Изд-во "Линк", 2007. - 192 с.