

УДК 519.673

МОДЕЛИ ТЕХНОГЕННЫХ ОПАСНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Д. В. КОМНАТНЫЙ, кандидат технических наук, доцент

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Проведен сравнительный анализ возможных подходов к построению моделей техногенных опасностей электромагнитного происхождения. В качестве характеристики электромагнитных помех выбрана энергия помех. Описаны детерминистская и вероятностная модели воздействия электромагнитных помех на аппаратуру систем управления ответственными технологическими процессами. Показано, что вероятностная модель, учитывающая энергетические соображения, является наиболее адекватной и, следовательно, имеет важное значение для практики.

Ключевые слова: техногенные опасности, системы управления, моделирование, электромагнитные помехи, энергия помех, детерминистская модель, вероятность сбоя, вероятностная модель, адекватность моделирования.

Введение

В настоящее время управление промышленными объектами осуществляется с помощью электронно-вычислительных систем. Среди многообразных технологических процессов, реализуемых на этих объектах, выделяется группа процессов, которые характеризуются высокой степенью опасности в случае сбоя, отказа либо аварии оборудования. К этим ответственным технологическим процессам относятся процессы химического производства, энергетики, транспорта. К системам управления перечисленными процессами предъявляются особенно высокие требования по надежности и безопасности. В частности, указанные системы должны иметь высокий уровень нечувствительности к электромагнитным помехам, так как последствия отказов и сбоев микроэлектронных систем под действием помех сравнимы с последствиями внутриаппаратурных отказов и сбоев. Поэтому можно считать, что для систем управления ответственными технологическими процессами существует вид техногенных опасностей, связанных с электромагнитной обстановкой (ЭМО) в местах эксплуатации аппаратуры этих систем.

Постановка задачи

Для оценки характеристик ЭМО и последствий ее воздействия на технические средства систем управления необходимы соответствующие расчетные методы и модели. Последние должны давать возможность по выбранному параметру, описывающему свойства электромагнитных помех, определять параметры безопасности функционирования устройств и приборов управления под действием этих помех. Особую важность это требование приобретает для разработки и сертификации новых, а также модернизации существующих систем (предиктивное проектирование).

К настоящему времени единый общепринятый подход к построению указанных моделей еще не выработан окончательно. Зачастую для каждой конкретной задачи анализа электромагнитных помех при эксплуатации того или иного оборудования формулируется особая физическая модель и расчетная методика с параметрами помех и помехоустойчивости, какие приняты наиболее целесообразными в данном случае. Подобный разноречивый затрудняет решение проблемы помехоустойчивости микроэлектронных и микропроцессорных систем, которая является комплексной, многофакторной и отличается высокой сложностью объекта исследования.

Исходя из этого, в настоящей статье рассматриваются обобщенные способы построения моделей воздействия электромагнитных помех на технические средства систем управления и контроля. Эти модели должны основываться на едином подходе к выбору параметров помех и помехоустойчивости аппаратуры систем управления и на единых представлениях о механизме воздействия помех на микроэлектронные рецепторы помех. Результаты моделирования должны также иметь форму представления, общую для различных технических систем и различных типов ЭМО.

Основная часть

Представляется, что наиболее адекватной и удобной характеристикой свойств электромагнитных помех является энергия помех, рассеиваемая во входных цепях элементов узлов аппаратуры систем управления. Это следует из формулы для расчета энергии

$$W = \frac{1}{R_{\text{вх}}} \int_0^{\tau} u^2(t) dt, \quad (1)$$

где W – энергия помех, Дж; $R_{\text{вх}}$ – входное сопротивление, Ом; τ – длительность импульса помехи, с; $u(t)$ – выражение формы импульса; t – время, с.

Формула (1) показывает, что энергия помех зависит от формы, амплитуды и длительности импульса, а также от входного сопротивления узла рецептора. Тем самым в (1) учтены все основные факторы, определяющие реакцию рецептора на воздействие этой помехи.

На основании работ [1] и [2] можно считать, что сбой в работе микросхем узла микроэлектронной аппаратуры проявляется в снижении энергии полезного сигнала. Также известно, что сбой микросхемы наступает при превышении энергией помех порогового уровня, который практически не имеет разброса в зависимости от свойств единичной микросхемы [3]. Предполагается, что форма и длительность импульсов помех определенного происхождения практически не меняются, а амплитуда – варьируется в широких пределах. Тогда из (1) следует:

$$W = \frac{1}{R_{\text{вх}}} \int_0^{\tau} U^2 f^2(t) dt = \frac{U^2}{R_{\text{вх}}} \int_0^{\tau} f^2(t) dt = kU^2. \quad (2)$$

Согласно результатам монографии [4] можно описывать воздействие помех на микроэлектронную аппаратуру моделью типа «польза–вред», представленной на рисунке 1. Такие модели широко распространены при анализе различных технических задач.

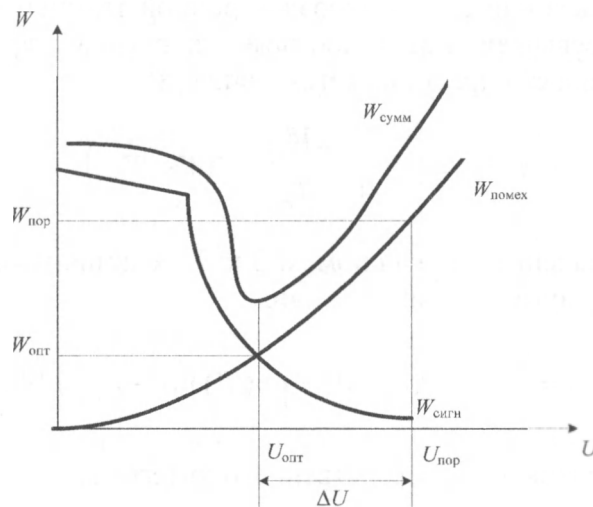


Рисунок 1 – Детерминистская модель помехоустойчивости микроэлектронного технического средства

На рисунке 1 показаны график энергии помех по выражению (2), график энергии полезного сигнала и график суммарной электромагнитной энергии в системе. Из рисунка следует, что имеется некоторое оптимальное значение напряжения помех $U_{\text{опт}}$, а запас помехоустойчивости системы определяется разностью между оптимальным значением напряжения помех и пороговым значением этого напряжения. Оно, в свою очередь, зависит от пороговой энергии помех для данного типа элементной базы. Оптимальное значение напряжения помех определяет границы безопасной ЭМО для данной системы управления и, таким образом, характеризует безопасность функционирования системы.

Тем не менее, описанная модель обладает большим числом недостатков. Во-первых, параметры помех и параметры рецепторов помех являются случайными величинами. Во-вторых, следовательно, оптимальное значение напряжения никогда не будет стабильным, а будут наблюдаться постоянные отклонения от него. В-третьих, описанная модель не находит соответствия среди современных методов анализа надежности и безопасности сложных систем [5], [6]. Эти методы основаны на вероятностных представлениях. Поэтому модели техногенных опасностей электромагнитного происхождения должны строиться на основе аппарата теории вероятности.

В [7] показано, что последствия воздействия помех на микроэлектронные рецепторы следует оценивать вероятностью сбоя устройства системы управления в данной ЭМО. Иными словами, характеристикой безопасности сложной технической системы является вероятность ее сбоя в данной ЭМО. Также показано, что эта вероятность может рассматриваться как вероятность того, что помехозащищенность устройства ниже уровня помех. В этом случае вероятность сбоя [7]:

$$P_{\text{сб}} = \int_0^{\infty} f_N(y) F_R(x) dy, \quad (3)$$

где $f_N(y)$ – плотность вероятности уровня помех; $F_R(x)$ – функция распределения помехоустойчивости.

Пусть плотность распределения энергии помех имеет закон распределения $p(W)$. Исходя из того, что отказ или сбой микроэлектронной техники наступает с вероятностью, равной 1, при превышении энергией помех порогового уровня функция распределения помехоустойчивости представляется в виде [8]:

$$P(W) = \begin{cases} 0 & W < W_{\text{пор}} \\ 1 & W \geq W_{\text{пор}} \end{cases} = 1(W - W_{\text{пор}}), \quad (4)$$

где $W_{\text{пор}}$ – пороговое значение энергии помех, Дж; 1 – единичная функция.

С учетом (4) формула (3) принимает вид:

$$P_{\text{сб}} = \int_0^{\infty} p(W)P(W)dW = \int_0^{\infty} p(W)1(W - W_{\text{пор}})dW.$$

По свойству аддитивности несобственного интеграла

$$P_{\text{сб}} = \int_0^{W_{\text{пор}}} p(W)e(W - W_{\text{пор}})dW + \int_{W_{\text{пор}}}^{\infty} p(W)e(W - W_{\text{пор}})dW. \quad (5)$$

На промежутке $[0, W_{\text{пор}}]$ $P(W) = 0$; на промежутке $[W_{\text{пор}}, \infty)$ $P(W) = 1$. Следовательно, из (5) получается

$$P_{\text{сб}} = \int_{W_{\text{пор}}}^{\infty} p(W)dW. \quad (6)$$

Формула (6) иллюстрируется рисунком 2.

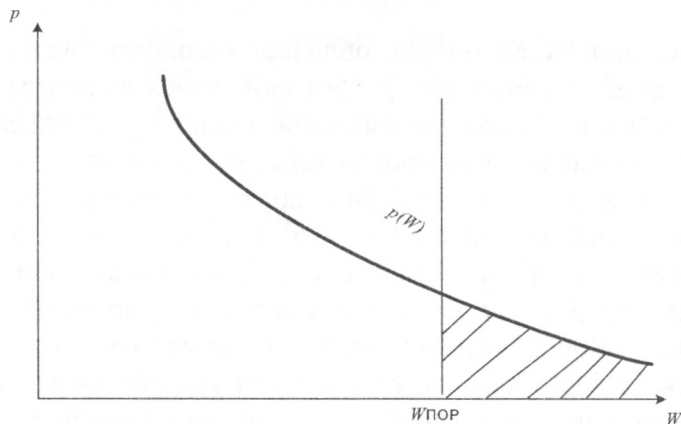


Рисунок 2 – Вероятностная модель помехоустойчивости микроэлектронных устройств

Модель, основанная на вероятностных представлениях, является более адекватной, нежели детерминистская модель, так как учитывает все свойства помех и все факторы, определяющие уровень помехозащищенности микроэлектронных систем управления.

Расчитанные по (6) значения вероятности сбоя электронной аппаратуры могут применяться для анализа надежности и безопасности эксплуатации систем управления ответственными технологическими процессами на основе современных методов. В ча-

стности, при расчете показателей надежности технических систем методом структурных схем необходимо знать вероятности безотказной работы элементов системы. Для систем управления эта вероятность определяется с учетом как деградации элементов в процессе эксплуатации, так и воздействия электромагнитных помех [3].

Предполагается, что за время наработки на отказ по причине деградации электромагнитная обстановка не меняется существенным образом. Поэтому вероятность сбоя под ее влиянием определяется по формуле (6). Вероятность безотказной работы элемента по его конструктивным особенностям вычисляется в предположении, что интенсивность отказов распределена по экспоненциальному закону:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (7)$$

где λ – интенсивность отказов, с^{-1} .

Вероятность безотказной работы с учетом обеих причин отказов может быть рассчитана по формуле [9]:

$$P = P(t)(1 - P_{сб}) = e^{-\lambda t} \left(1 - \int_{W_{пор}}^{\infty} p(W) dW \right). \quad (8)$$

Таким образом, формула (8) учитывает снижение вероятности безотказной работы с деградацией элемента при работе в одинаковой ЭМО.

Для реализации вероятностного метода моделирования необходимо знать вид и параметры закона распределения плотности вероятности энергии помех. Эти законы могут быть определены путем расчетных оценок на основе методов теории вероятности и путем натурных измерений в местах эксплуатации электронных технических средств. Комплексы для измерения параметров помех предложены в [7]; таким образом, затруднений с решением этой научно-технической задачи не предвидится.

Заключение

Сравнительное рассмотрение двух обобщенных методов моделирования техногенных опасностей электромагнитного характера позволяет сделать следующие выводы:

1 Модели таких опасностей могут быть разработаны на базе детерминистского подхода «польза–вред» и на базе вероятностного подхода.

2 В качестве основного параметра, описывающего свойства электромагнитных помех в обоих типах моделей, следует использовать энергию помех.

3 Энергетический и вероятностный подходы к моделированию разнообразных сложных механизмов влияния вредных факторов на технические системы находят в настоящее время широкое применение [4], [6]. Таким образом, применение этих подходов к анализу электромагнитных помех соответствует современным представлениям о методиках строгого описания опасных явлений и влияний.

4 Построение наиболее адекватных моделей воздействия электромагнитных помех на рецепторы помех может быть выполнено на основе вероятностного подхода с учетом энергетических соображений. Детерминистские модели недостаточны для анализа данного типа опасностей.

Таким образом, в статье обоснован выбор общей методики моделирования технологических опасностей электромагнитного характера, обеспечивающий адекватность полученных моделей. Так как по указанным моделям осуществляется оценка надежности и безопасности систем управления ответственными технологическими процессами, то высокая адекватность позволяет избежать различных ошибок и просчетов в проек-

тировании и эксплуатации указанных систем. Что, в свою очередь, снижает до приемлемого риск возникновения чрезвычайных ситуаций с участием опасных технологических процессов. Хорошо известно, что такие чрезвычайные ситуации требуют особенно больших затрат на их ликвидацию и отличаются особенно тяжелыми последствиями. Следовательно, методы, позволяющие избежать подобных происшествий, имеют важное практическое значение в современных условиях развития промышленности и транспорта.

Литература

- 1 Ключник, А. В. Обратимые отказы интегральных микросхем в полях радиоизлучения / А. В. Ключник, Ю. А. Пирогов, А. В. Солодов // Журн. радиоэлектроники. – 2013. – № 1. – С. 8–12.
- 2 Пирогов, Ю. А. Повреждения интегральных схем в полях радиоизлучения / Ю. А. Пирогов, А. В. Солодов // Журн. радиоэлектроники. – 2013. – № 6. – С. 10–15.
- 3 Аполлонский, С. М. Расчеты электромагнитных полей / С. М. Аполлонский, А. Н. Горский. – М. : Маршрут, 2006. – 992 с.
- 4 Сосновский, Л. А. Сюрпризы трибофатики / Л. А. Сосновский, С. С. Щербаков. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 194 с.
- 5 Острейковский, В. А. Безопасность атомных станций. Вероятностный подход / В. А. Острейковский, Ю. В. Швыряев. – М. : Физматлит, 2008. – 352 с.
- 6 Лисенков, В. М. Безопасность технических средств в системах управления безопасностью движением поездов / В. М. Лисенков. – М. : ВИНТИ АН, 1999. – 332 с.
- 7 Бочков, К. А. Теория и методы контроля электромагнитной совместимости микроэлектронных систем обеспечения безопасности движения поездов : дис. ... д-ра техн. наук 05.22.08 / Моск. ин-т инженеров трансп. – М, 1993. – 379 с. : ил.
- 8 Бочков, К. А. Элементы моделирования электромагнитной совместимости устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / К. А. Бочков, Д. В. Комнатный. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 185 с.
- 9 Малкин, В. С. Надежность технических систем и техногенный риск / В. С. Малкин. – Ростов н/Д : Феникс, 2010. – 432 с.

Поступила в редакцию 26.11.2013

D. V. Komnatny

MODELS OF ELECTROMAGNETIC NATURE TECHNOLOGY-PRODUCED DANGERS IN CRITICAL TECHNOLOGY PROCESSES CONTROL SYSTEMS

The comparative analysis of possible approaches for models of electromagnetic nature technology-produced dangers building was carried out. The energy of disturbances was chosen, as a characteristic of disturbances properties. The deterministic and probabilistic models of electromagnetic disturbances influence on the critical technology processes control systems instrumentation are described. It is shown, that probabilistic model with energy considerations is most adequate, and, therefore, have a great importance for practice.