

УДК 621.396.96

О ВЛИЯНИИ ПОМЕХ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Е.Г. УНИЧЕНКО

Статья представлена доктором технических наук, профессором Рубцовым В.Д.

Предложена математическая модель для оценки влияния переменной помеховой составляющей на работу радиоэлектронных систем, использование которой позволит предъявить обоснованные требования к допускам на эксплуатационные параметры РЭС с учетом ЭМС.

Ключевые слова: радиоэлектронные системы, помехи.

Для обеспечения работоспособности радиотехнического комплекса (РК) необходимо, чтобы его определяющие параметры поддерживались в заданных пределах. Наличие большого числа функционирующих РЭС на ограниченной территории неизбежно приводит к возникновению взаимных помех, вследствие чего может произойти нарушение работоспособности РК.

Исходя из того, что изменение напряжения на выходе РК по сравнению с тем, которое имело место при функционировании РК в условиях отсутствия мешающего воздействия помех, может иметь место как при их появлении, так и при изменении параметров и характеристик самого РК, а поэтому можно говорить об эквивалентности этих двух факторов. Следствием сказанного является то, что эксплуатационные допуски на параметры РК становятся отличными от тех, которые устанавливаются для систем без учета помех. На практике это приводит к тому, что работоспособное оборудование признается неработоспособным, что, как показывает опыт эксплуатации, характерно для бортовых РЭС, эксплуатация которых происходит в условиях относительно быстрой смены электромагнитной обстановки.

Любой сложный радиотехнический комплекс структурно можно представить совокупностью простейших линейных и нелинейных систем первого порядка, определенным образом соединенных друг с другом. Изменение функционирования одной из систем приводит к изменению функционирования всего комплекса в целом.

Как известно, для выделения полезного сообщения из радиосигнала используется нелинейное инерционное преобразование. Не оговаривая конкретно вид модуляции, *уравнение преобразования* в общем виде можно записать $\dot{U}_{вых} = F(U_{вх}, U_{вых}, \mathbf{A})$, где \mathbf{A} - обобщенный вектор параметров системы; F - произвольная, в общем случае нелинейная функция.

При отсутствии помех, если на вход системы подается напряжение $U_{вх0}$, то (при значении вектора параметров \mathbf{A}) на выходе будет $U_{вых0}$. Если вектор параметров системы будет отличаться от \mathbf{A}_0 на величину $\Delta \mathbf{A}_0$, то выходное напряжение будет отличаться от ожидаемого на ΔU . Заданные требования к точности работы, исходя из назначения системы, определяют допустимые отклонения выходного напряжения $\Delta U_{дон}$. Это, в свою очередь, определяет допустимые отклонения параметра $\Delta \mathbf{A}_{дон}$.

Наличие, кроме полезного сигнала, на входе системы помех приведет к тому, что, даже без изменения параметров, выходное напряжение будет отличаться от $\Delta U_{вых0}$.

Рассмотрим для начала простейший случай, когда собственные шумы приемного устройства оказывают уже заметное влияние на суммарный выходной сигнал.

Собственные шумы по природе близки к белому шуму, поэтому для анализа уравнения преобразования применим аппарат Марковских процессов [1; 2].

Примем, что входное напряжение представляет аддитивную смесь сигнала и белого шума $U_{вх}(t) = U_c(t) + n(t)$.

В этом случае уравнение преобразования будет представлять собой стохастическое дифференциальное уравнение, которому в соответствие может быть поставлено уравнение $\frac{\partial W(U_{вых})}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial U_{вых}} [K_1(U_{вых})W(U_{вых})] + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial U_{вых}^2} [K_2(U_{вых})W(U_{вых})]$, представляющее собой уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова в частных производных [1], где коэффициент сноса

$$K_1(U_{вых}) = \langle F(U_{вх}, U_{вых}, A) \rangle, \text{ а } K_2(U_{вых}) = \int_0^{\infty} K_F(\tau) d\tau - \text{коэффициент диффузии.}$$

Ясно, что процесс эксплуатации можно рассматривать как некоторый стационарный процесс, а поэтому интерес будет представлять стационарная составляющая решения написанного уравнения, т.е. плотность распределения вероятности $W_{ст}(U_{вых})$. поскольку она не зависит от времени $\frac{\partial W_{ст}(U_{вых})}{\partial t} = 0$. В этом случае уравнение Фоккера-Планка переходит в

линейное дифференциальное уравнение для $W_{ст}(U_{вых})$, решение которого известно [3]

$$W_{ст}(U_{вых}) = \frac{C}{K_2(U_{вых})} \exp \left[2 \int \frac{K_1(U_{вых})}{K_2(U_{вых})} dU_{вых} \right], \text{ где } C - \text{коэффициент, определяющийся из}$$

условия нормировки плотности вероятности $W_{ст}(U_{вых})$. При отсутствии шумов плотность вероятности выходного напряжения представляет собой дельта-функцию. Естественно, что неравенство $(U_{вых0} - \Delta U_{дон}) \leq U_{вых} \leq (U_{вых0} + \Delta U_{дон})$ перестает быть строгим.

При заданной высокой вероятности выполнения этого неравенства допуски на параметры должны быть жестче, чем это требуется для ситуации отсутствия помех.

Отсюда следует, что $W_{ст}(U_{вых}) = W_{ст}(U_{вых}, U_c + n(t), A)$, а вероятность P_3 того, что $U_{вых}$ находится в указанных пределах $P_3 = \int_{U_{вых0} - \Delta U_{дон}}^{U_{вых0} + \Delta U_{дон}} W_{ст}(U_{вых}, U_c + n(t), A) dU_{вых}$.

Как видно, одно и то же изменение выходного напряжения можно получить за счет любого из входящих в подынтегральное выражение компонента. Флуктуационный характер выходного напряжения можно получить даже и тогда, когда $n(t) = 0$, для чего вектор A необходимо менять соответствующим образом. Сказанное еще раз подтверждает, что с позиции оценки выходного сигнала имеет место эквивалентность воздействия помех на РЭС изменению его параметров.

В условиях сложной электромагнитной обстановки входное напряжение может быть представлено суммой полезного сигнала, собственных шумов и различных взаимных помех

$$U_{вх}(t) = U_c(t) + n(t) + \sum_{i=1}^m U_{ni}(t). \text{ Уравнение преобразования } \dot{U}_{вых}(t) = F \left[U_{вых}, U_c, n(t), \sum_{i=1}^m U_{ni}(t) \right].$$

Если каждую из помех $U_{ni}(t)$ можно представить марковскими случайными процессами, то в этом случае для выходного напряжения может быть найдена его плотность распределения вероятности $W(U_{вых})$. Правомерность представления радиосигнала как марковского процесса можно оправдать тем, что практически любую спектральную модель сигнала можно получить, пропустив белый шум через линейную цепь с соответствующей дробно рациональной передаточной функцией [2]. Если $U_{ni}(t)$ – импульсный случайный процесс, то, чтобы он был марковским, необходимо, чтобы плотность вероятности перехода была бы цепью Маркова. В этом

случае каждому $U_{ni}(t)$ можно поставить в соответствие i -ю модель (i -е уравнение) системы из m стохастических дифференциальных уравнений $U_{ni}(t) = f(U_{ni}) + g_1(U_{ni})n_{ni}(t)$, где $i = \overline{1, m}$.

В этом случае нахождение $W(U_{вых})$ требует совместного решения приведенных уравнений, что в общем случае представляет весьма сложную задачу.

В [1] получено решение для совместной плотности вероятности при воздействии белого шума и хаотичной импульсной помехи, в [2] - обобщение уравнения Фоккера–Планка–Колмогорова на немарковские процессы. Это открывает широкую перспективу расчета $W(U_{вых})$ для большого класса входных воздействий, что, в свою очередь, позволит предъявить обоснованные требования к допускам на параметры с учетом ЭМС.

Параметры, характеризующие систему при отсутствии помех, при воздействии последних либо изменяются, либо теряют свою определенность. Действительно, если рассмотреть правую часть уравнения преобразования, то в ней можно выделить постоянную и переменную составляющие, т.е. представить ее в виде суммы математического ожидания и центрированного случайного процесса $F(U_{вх}, U_{вых}, \mathbf{A}) = \langle F(U_{вх}, U_{вых}, \mathbf{A}) \rangle + F^0(U_{вх}, U_{вых}, \mathbf{A})$.

Обе составляющие при наличии случайных помех будут также носить случайный характер. Это, в свою очередь, эквивалентно тому, что вектор параметров \mathbf{A} становится случайным процессом и его также можно представить в виде аналогичной суммы двух составляющих $\mathbf{A} = \langle \mathbf{A} \rangle + \mathbf{A}^0$. Следовательно, о значении параметра в фиксированный момент времени можно говорить лишь с указанием соответствующего интервала значений вероятности.

Как уже упоминалось выше, на практике, кроме собственных шумов, наиболее часто присутствует всего лишь одна помеха. Это позволяет с помощью представленной выше математической модели получить конкретные результаты практически для любого класса радиоэлектронных систем и учесть их в конкретных условиях эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. - М.: Радио и связь, 1982.
2. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы. - М.: Советское радио, 1987.
3. Степанов В.В. Курс дифференциальных уравнений. - М.: Физматгиз, 1959.

EFFECTIVENESS OF AIR TRAFFIC CONTROL IN UNRELIABLE CHANNELS OF INFORMATION EXCHANGE BETWEEN AIR TRAFFIC CONTROLLERS AND FLIGHT CREW

Unichenko E.G.

The article considers the possibility of dangerous approaches of aircraft and the magnitude of risk of collision with the direct ATC.

Keywords: risk of collision aircraft, potentially conflict situation, influencing factors.

Сведения об авторе

Униченко Егор Григорьевич, 1982 г.р., окончил МГТУ ГА (2004), кандидат технических наук, начальник сектора анализа безопасности полетов ФАУ «Государственный центр «Безопасность полетов на воздушном транспорте», автор 15 научных работ, область научных интересов – управление составляющими безопасности полетов.