

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПО НЕКОНТРОЛИРУЕМЫМ ИЗЛУЧЕНИЯМ

к.т.н. С.В. Козелков  
(представил д.т.н., проф. А.И. Стрелков)

Вопрос контроля космического пространства постоянно актуален. Эта актуальность не только обусловлена задачами оборонного характера, но и необходимостью проверки работоспособности космических систем различного назначения, имеющих космические аппараты (КА) в зоне видимости наземного радиотехнического комплекса (РТК). При этом особый интерес представляют такие комплексы, которые обеспечивают определение находящейся в своей зоне видимости КА вне зависимости времени суток, погодных условий и активного излучения КА (работы радиопередающих устройств БА). Радиотехническим комплексом идентификации «молчащих» КА может быть использован РТ-70 [1, 2], выбрав в качестве идентифицированного параметра неконтролируемого излучения БА. Этот комплекс обеспечивает допустимую мощность на входе системы  $10^{-10}$  Вт [1]. В тоже время оценка ожидаемого значения мощности неконтролируемого излучения для основных типов КА составляет порядка  $10^{-8}$  Вт [3].

В качестве идентифицируемых показателей при этом целесообразно использовать результаты постоянно функционирующих блоков бортовой аппаратуры (ББА) КА, выбрав их характеристиками неконтролируемые излучения (НКИ), «просачивающиеся» через антенные системы КА. В частности, в качестве таких блоков могут использоваться гетеродины и задающие генераторы приемного тракта ББК КА.

Проведение идентификации космических аппаратов по НКИ гетеродинов приемного тракта и задающих генераторов подразумевает анализ характера изменения параметров колебаний гетеродинов и выделение признаков, отличающих колебания одного генератора от другого. Поскольку НКИ гетеродинов является гармоническими колебаниями, то параметрами данных сигналов является амплитуда, частота и начальная фаза. Использование для целей идентификации амплитуды сигнала и начальной фазы не представляется возможным, т.к. на данные параметры сильно влияет среда распространения. Наиболее информативной для целей идентификации является частота колебания, а точнее, характер изменения частоты во времени. Такое изменение связано с нестабильностью частоты бортовых задающих генераторов (ЗГ).

Характер изменения частоты зависит от поэкземплярных особенностей каждого бортового генератора [4], что и является основой иденти-

фикации. При этом следует отметить, что процесс идентификации условно можно разделить на два этапа : первый этап связан с решением задачи обоснования моделей и алгоритмов обработки (оценивания), а также второй этап, предполагающий классификацию результатов обработки (оценивания). Рассмотрим характеристики процесса неустойчивости ЗГКА и выделим составляющие процесса с точки зрения идентификации.

Прежде всего, проведем анализ характеристики неустойчивости частоты НКИ. ЗГКА обеспечивает формирование колебаний, которые после умножения являются опорными для гетеродинов приемного тракта. Неустойчивость определяется величиной [4]

$$\varepsilon_f = \frac{f_r(t+T) - f_r(t)}{f_0} = \frac{\Delta f_r(t)}{f_0}, \quad (1)$$

где  $\Delta f_r(t)$  – изменение частоты генератора;

$f_0$  - номинальное значение частоты;

$T$  - интервал времени между моментами измерения частоты;

$r$  – номер интервала усреднения при изменении частоты.

При этом относительную неустойчивость определим через фазу сигнала опорного генератора [4], если принимаемый РТК сигнала представлен в виде

$$S(t) = E \cos[2\pi f_0 t + \varphi(t)],$$

где  $E(t)$  – огибающая, то значение относительной неустойчивости определяется следующим образом:

$$\varepsilon_\varphi = \frac{\varphi(t+T) - \varphi(t)}{2\pi f_0 T}, \quad (2)$$

Величины  $\varepsilon_f$  и  $\varepsilon_\varphi$  связаны следующей зависимостью

$$\varepsilon_\varphi = \int \varepsilon_f dt,$$

На практике применяют спектральное определение неустойчивостей, рассматривая плотность мощностей фазы или частоты сигнала генератора. Спектральная плотность мощностей при этом определяется выражением [4]

$$F_\varepsilon = 4 \int R_\varepsilon(r) \cos(2\pi fr) dr, \quad (3)$$

где  $R_\varepsilon(r)$  – функция автокорреляции.

Плотность распределения мощности процессе неустойчивости чрезвычайно сложно оценить непосредственными измерениями, т.к. ее со-

ставляющие малы по сравнению с мощностью составляющей основной частоты ЗГ[4].

Для параметрической идентификации НКИ КА проведем обоснования выбора модели процессов неустойчивости частоты. При этом следует учесть, что созданием математической модели процессов неустойчивости осуществляется обычно с целью решения задачи повышения стабильности опорных генераторов посредством прогнозирования отклонений частоты от номинала и формирования управляющих воздействий, компенсирующих эти отклонения. Можно выделить два направления создания математической модели. Первое направление основано на теоретическом рассмотрении элементов схемы опорного генератора. Такая модель должна учитывать вклад отдельных элементов схемы в неустойчивость, описывая шумовые параметры и параметры старения, изменения их под действием внешних условий. При этом модель весьма громоздка, т.к. число факторов и элементов, приводящих к неустойчивости обычно велико.

Второе направление основано на исследовании процесса неустойчивости частоты экспериментальным путем. В этом случае рассматривают генератор как «черный ящик», без детального анализа его внутренней структуры. Исследуемые далее математические модели неустойчивости основаны на этом подходе.

Зависимость среднеквадратичного отклонения неустойчивости частоты  $\sigma_{\varepsilon}$  от времени усреднения содержит две зоны: «кратковременной» и «долговременной» неустойчивости. Основная причина «долговременной» неустойчивости - старение элементов кварцевых генераторов. Уровень шумов, вызванных этим старением, на порядок и более превосходит уровень шумов, вызванных «кратковременной» неустойчивостью, которая обусловлена флуктуационными помехами внутреннего (внутри петли генератора) и внешнего происхождения. К помехам также относят наводки напряжения питания и его гармоник. При этом флуктуационные помехи можно считать распределенными по нормальному закону.

Входной сигнал опорного генератора можно записать в виде

$$S(t) = [E + a(t)] \sin[2\pi f_0 t + \varphi(t)] , \quad (4)$$

где  $a(t)$  – случайный процесс, описывающий флуктуации амплитуды.

В реальных генераторах флуктуацией амплитуды можно пренебречь, т.к. основной вклад в неустойчивость вносят фазовые и частотные составляющие. Тогда выражение (4) можно упростить

$$S(t) = E \sin[2\pi f_0 t + \varphi(t)] ,$$

Предположим, что неустойчивость опорного генератора («долговременная» и «кратковременная») характеризуется функцией  $\varphi(t)$ . Обо-

значим «долговременную» нестабильность  $\varphi_d(t)$ , «кратковременную»  $\varphi_k(t)$ . Тогда

$$\varphi(t) = \varphi_d(t) + \varphi_k(t).$$

Наиболее важно прогнозирование «долговременных» составляющих нестабильностей, т.к. они вносят основной вклад в нестабильность частоты опорного генератора. Поэтому для процесса идентификации «долговременная» составляющая  $\varphi_d(t)$  условно считается «полезной», а «кратковременная»  $\varphi_k(t)$  – «мешающей».

Таким образом, исследование особенностей источников неконтролируемых излучений бортовой аппаратуры КА позволяет идентифицировать эти аппараты. В качестве постоянно действующих источников таких излучений выбраны блоки гетеродинов и задающих генераторов приемного тракта бортовой аппаратуры КА. Указанные обстоятельства показывают на принципиальные возможности создания наземного аппаратно - программного комплекса идентификации КА, что позволит повысить не только эффективность контроля космического пространства и обеспечит получение дополнительных сведений о работе бортовой аппаратуры КА.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Радиосистемы межпланетных космических аппаратов. Под ред. А.С. Винницкого. – М.: Радио и связь, 1993.
2. Положительное решение ВНИИГПЭ от 11.11.90 МКИ Н 04L27/22. Способ проверки работоспособности космических объектов. А.С. Вышков, В.Т. Дурасов, М.А. Иванов, С.В. Козелков. Заявка № 00291 от 17.05.90.
3. Бахшиян Б.Ц., Назиров Р.Р., Эльясберг П.Е. Определение и коррекция движения. – М.: Наука, 1980.
4. Иванов М.А., Козелков С.В. Анализ условий применения антенных устройств СВЧ и КВЧ диапазонов на спутниках. – М.: 1989. – 12 с. – Деп. В ЦИВТИ МО СССР. Вып.10, № 4238, В1384.