СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В РАДИОТЕХНИКЕ

Федоров А.Я., Мелентьева Т. А. , Мелентьева М.А.
Институт экономики и информатики
Тульский педагогический университет им. Л.Н. Толстого
Российская музыкальная академия им. Гнессиных
Тула, Россия

SPECTRUM METHODS IN RADIOTHECHNOLODGY

Fedorov A.Yu., Melent'eva T.A., Melent'eva M.A.
Institute of economy and management
Tula state pedagogical university of L.N. Tolstogo
Russian musical academy of Gnessinych
Tula, Russia

Спектральный (частотный) метод исследования процессов в электрических цепях основан на использовании понятий спектров воздействующих импульсов и частотных свойств цепей. Особенно широко его применение в радиотехнике при рассмотрении вопросов прохождения модулированных колебаний через усилители, фильтры и другие устройства, в импульсной технике при рассмотрении вопросов прохождения через четырехполюсники коротких импульсов длительностью порядка нескольких микросекунд, а в некоторых случаях даже нескольких наносекунд. Допускается, чтобы модулированное колебание или соответственно импульс, пройдя через четырехполюсник, изменился по амплитуде, на некоторое время t_0 запоздал во времени, но не допустимо, чтобы существенно изменилась форма импульса (колебания) на выходе по сравнению с формой импульса (колебания) на входе. Недопустимость изменения формы импульса (колебания) следует из того, что именно в форме импульса (колебания) заключена информация, которую он несет.

Положим, что есть несколько однотипных систем (усилители, фильтры и четырехполюсники), находящихся в одинаковых условиях, и в них происходят в принципе одинаковые процессы. В силу влияния на процесс различных случайных факторов, имеющих вероятностный характер, процессы в системах могут несколько отличаться друг от друга.

Для стационарных процессов среднее по множеству - это обозначается $\bar{X}$ - равно среднему по времени – обозначается $\langle x \rangle$, т.е. $\bar{X} = \langle x \rangle$. Это положение называется эргодической теоремой (гипотезой) [1]. Эргодическая теорема служит основанием для того, чтобы, обрабатывая всего одну из временных зависимостей $x(t)$, полученную экспериментально, судить о статистических свойствах всех зависимостей $x(t)$ при стационарном случайном процессе в изучаемой системе. Для характеристики стационарных случайных процессов $x(t)$ вводят автокорреляционную функцию и взаимную корреляционную функции.

Автокорреляционная функция $R(\tau)$ является мерой взаимной связи функции $x(t)$ и функции $x(t+\tau)$ смещенной по отношению к $x(t)$ на время τ :

$$R(\tau) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} x(t)x(t+\tau)\,d\tau\,, \qquad (1)$$

где T – период стохастической функции. Опишем свойства автокорреляционной функции:

1) $R(\tau)$ – функция четная, т.е. $R(-\tau) = R(\tau)$. В этом можно убедится, введя в (1) новую переменную $t_1 = t + \tau$;

2) если $x(t)$ – функция периодическая, то $R(\tau)$ для нее может быть представлена в суммы автокорреляционных функций от постоянной и от синусоидально изменяющихся составляющих;

3) если в $x(t)$ имеются гармонические составляющие, то $R(\tau)$ не содержит информации о начальных фазах гармонических составляющих;

4) для $x(t)$ без постоянной и гармонических составляющих $R(\tau)$ максимальна при $\tau = 0$;

5) для случайных функций времени без постоянной и гармонических составляющих $R(\tau)$ уменьшается с увеличением τ и уже при сравнительно небольших τ стремится к нулю. Объясняется это тем, что для чисто случайного процесса значение $x(t+\tau)$ уже при относительно небольшом τ не зависит от того значения, при котором имела функция $x(t)$ в момент времени t. Такое поведение функции $x(t)$ представляет собой белый шум.

Было установлено, что источники шума в нелинейных динамических системах могут индуцировать принципиально новые режимы функционирования, не реализуемые в отсутствие шума – например, индуцированные шумом незатухающие колебания [2]. Эти эффекты получили название индуцированных шумом переходов. В нелинейных динамических системах шум может играть конструктивную или полезную роль.

Одним из наиболее ярких и относительно простых примеров указанного типа поведения нелинейных систем является эффект стохастического резонанса (СР). Термин стохастический резонанс был введен авторами работ [3] в 1981 – 1982 гг. на основе исследований модели бистабильного осциллятора , предложенной для описания периодичности и наступления ледниковых периодов на Земле. Модель описывает движение частицы в симметричном двухъямном потенциале под действием периодической силы в условиях большого трения. Устойчивые положения частицы соответствовали ледниковому периоду и нормальному климату Земли. В роли периодической силы выступали колебания эксцентриситета орбиты Земли, изменяя энергетический баланс с периодом 10^5 лет.

В последней четверти XX в. началось резное потепление глобального климата, которое в бореальных областях сказывается уменьшением количества морозных зим . Средняя температура приземного слоя воздуха за последние 25 лет возросла на 0.7 ^{0} С. В экстремальной зоне она не изменилась, но чем ближе к полюсам, тем потепление заметнее [4].

Температура подледной воды в районе Северного полюса возросла почти на два градуса, вследствие чего началось подтаивание льда снизу.

Расчеты показали, что реальная амплитуда периодической силы оказалась малой и не обеспечивала переключений системы из одного состояния в другое. Возможность переключений была достигнута введением дополнительной случайной силы (флуктуации атмосферы). Подобно прыжкам броуновских частиц в двухъямном силовом поле из одного устойчивого состояния в другое, атмосферные флуктуации индуцировали климатические изменения (переходы) от устойчивого холодного периода к теплому и наоборот. Фундаментальным результатом при исследовании данной модели явилось то, что нам удалось найти последовательность упорядоченных во времени переходов. Климат практически следовал за чрезвычайно малым внешним периодическим возмущением при конечной интенсивности шума в атмосфере.

Общая схема стохастического резонанса показана на рис. 1. этот эффект определяет группу явлений, при котором упорядоченный отклик нелинейной системы на слабые внешние сигналы заметно усиливается при оптимальной (отличной от нуля) интенсивности шума. Интегральные характеристики процесса – такие, как коэффициент усиления, отношение сигнал/шум или значение входной/выходной взаимной корреляции на выходе системы имеют в этом случае отчетливо выраженный максимум. В тоже время энтропия как мера степени беспорядка достигает минимума, свидетельствуя о возрастании степени индуцированного шумом порядка [5].

В настоящее время эффект СР можно рассматривать как хорошо известную особенность поведения нелинейных стохастических систем [6]. Он был обнаружен и исследован во многих бистабильных системах: триггере Шмидта , кольцевом лазере [7 - 8], магнитных системах, пассивных оптических бистабильных системах, системах с электронным пара-

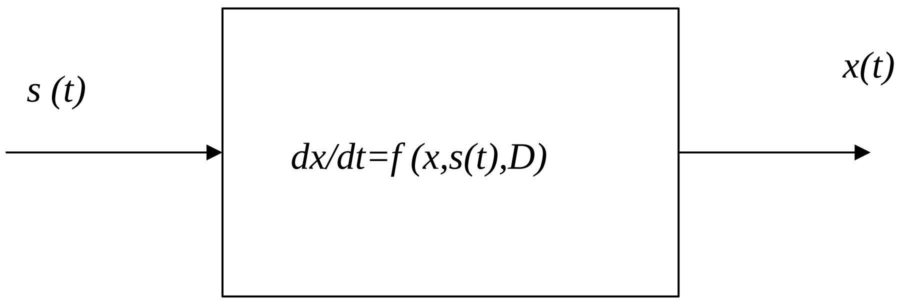

Рис.1. Общая схема стохастического резонатора : нелинейная зашумленная с временным масштабом, определяемым интенсивностью шума *D* под воздействием упорядоченного сигнала *s(t)*. Отклик системы управляется входным сигналом при оптимальном выбранном уровнем шума.

магнитном резонансом , экспериментом с броуновскими частицами. Кроме того, он исследован в следующих системах: магнитно-эластичной, туннельном диоде, сверхпроводящих квантовых интерферометрах (SCUID) ферромагнетиках и сегнетоэлектриках.

Рассмотрим качественно движение броуновской частицы в системе с симметричным бистабильном потенциалом $U(x) = -0{,}5x^2 + 0{,}25x^4$ в условиях действия слабого периодического возмущения $A \sin\omega t$. Система имеет два временных масштаба. Один обусловлен случайным блужданием частицы в окрестности одного из состояний равновесия, которые называются внутриямной или локальной динамикой. В случае глубоких потенциальных ям и не слишком большого шума этот временной масштаб не зависит от уровня шума.

Второй временной масштаб характеризует среднее время перехода через потенциальный барьер (глобальная динамика). В частотной области ему отвечает средняя скорость (или частота) выхода из метастабильного состояния – скорость Крамерса.

Для случая белого шума, параболических потенциальных ям и относительно высоких потенциальных барьеров скорость Крамерса задается законом Аррениуса:

$$r = v \exp\left(-\Delta U_0 / D\right), \qquad (2)$$

где v - коэффициент, определяемый кривизной потенциальных ям и барьеров, ΔU_0 - высота потенциального барьера. Формула (2) определяет скорость релаксации в линейном режиме в окрестности одного из состояний равновесия. Из этого следует, что в сравнении с глобальной динамикой время релаксации всегда оказывается меньше. Разделение двух временных масштабов и, как следствие, нелинейный режим, который строго зависит от уровня шума, достигаются при условии, что высота потенциального барьера больше интенсивности шума.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Николис Г, Пригожин И. Познание сложного./.М.: из – во «Мир». 1990. С. 197.
2. Horsthemke W., Lefever R. Noise - induced Transitions..//Theory and Applications in Physics, Chemistry and Biology. 1981. P. 673 – 682,
3. Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е., Нейман А.Б., Стрелкова Г.И., Шиманский – Гайер Л. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах./М – И.: из – во «Институт компьютерных исследований».2003. С.352 – 355.
4. Яншин А.Л. Потепление климата и другие глобальные экологические проблемы на пороге XXI века.//Экология и жизнь. 2001. № 1. С.43 .
5. Анищенко В.С., Нейман А.Б., Мосс Ф., Шиманский – Гайер Л. Стохастический резонанс в нелинейных системах.// УФН. 1999. т. вып. 7. С.1345 – 1386.
6. Moss F., McClintock P.V.E. Noise in Nonlinear Dynamical Systems./ C.: eds. «Cambridge University Press». 1990. 143 p.

7. Квантовая радиофизика./Под ред. В.И. Чижика, из – во «СПбУ». 2004. 688 с.
8. Хакен Г. Синергетика./ М.: из – во «Мир». 1980. 404 с.