

1

**БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени И. КАНТА**

## **РАЗДЕЛ III**

# **МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ. МОДУЛЯЦИЯ И ДЕТЕКТИРОВАНИЕ**

**к.т.н. Олег Романович Кивчун**

**Калининград  
2012**

## ЛЕКЦИЯ № 10

### ОСОБЕННОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ В ЛИНЕЙНЫХ, ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ И НЕЛИНЕЙНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛАХ

1. Линейные преобразования сигналов в функциональные узлы.
2. Параметрические преобразования сигналов в функциональные узлы.
3. Нелинейные преобразования сигналов в функциональные узлы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

##### Основная:

1. Теория электрической связи: Учеб. Для вузов / А.Г. Зюко, Д. Д. Кловский, В.И. Коржик, М. В. Назаров; Под ред. Д. Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 1998. – 433 с.

##### Дополнительная:

1. Прокис Дж. Цифровая связь: Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
2. Бернард Скляр. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
3. Сухоруков А.С. Теория электрической связи: Конспект лекций. Часть 1. – М.: МТУСИ, ЦЕНТР ДО, 2002. – 65 с.

# **1. Линейные преобразования сигналов в функциональные узлы**

# ЛИНЕЙНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ В ФУ

Линейные ФУ по определению описываются линейными дифференциальными уравнениями (в том числе нулевого порядка для резистивных цепей) с постоянными коэффициентами. С точки зрения схемотехники это значит, что все элементы ФУ (R,C,L) имеют постоянные параметры. Оператором преобразования воздействия  $x(t)$  в реакцию  $y(t)$  для них может служить одна из форм интеграла наложения (Дюамеля) во временной области:

$$y(t) = \int_0^t x(\tau) \cdot g(t - \tau) d\tau, \text{ или передаточная функция } H(j\omega) \text{ ФУ в частотной области:}$$

$$S_y(j\omega) = S_x(j\omega) \cdot H(j\omega), \text{ а в качестве функциональной характеристики линейного}$$

ФУ можно использовать его импульсную характеристику  $g(t)$  или передаточную функцию  $H(j)$ .

Простым колебанием для линейных цепей является гармоническое  $U \cos(\omega t + \varphi)$ . Его форма не изменяется при прохождении через любую линейную цепь. В линейных цепях действует принцип суперпозиции – реакция цепи на сумму воздействий есть сумма ее реакций на каждое из воздействий в отдельности. Из этих свойств вытекают следующие выводы:

# ЛИНЕЙНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ В ФУ

1. Форма сложного сигнала (с полигармоническим или сплошным спектром) при его прохождении через линейную цепь может изменяться только вследствие изменения соотношения между амплитудами и фазами спектральных составляющих воздействия.

Принципиально важно, что в реакции линейного ФУ не могут возникнуть спектральные компоненты, отсутствующие в спектре воздействия.

2. Из вывода 1 вытекают возможности построения на основе линейных цепей ограниченного класса типовых ФУ:

а) усилителей и аттенюаторов (ФУ для изменения мощности сигналов без искажения их формы), передаточная функция которых в полосе частот, занимаемой спектром воздействия, имеет вид:

$$H(j\omega) = H_0 e^{-j\omega\tau_0}, \text{ где } H_0, \tau_0 - \text{константы.}$$

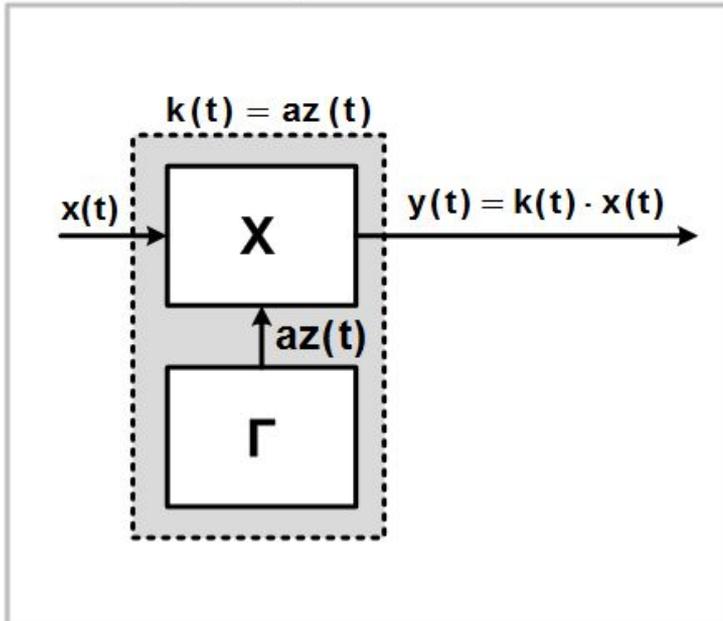
б) фильтров разных типов (ФНЧ, ФВЧ, ПФ, РФ, интеграторов, дифференциаторов, фазовращателей и т. п.), передаточная функция которых в полосе частот, занимаемой спектром воздействия, имеет вид:

$$H(j\omega) = H(\omega) e^{-j\varphi(\omega)}, \text{ где } H(\omega), \varphi(\omega) - \text{А ЧХ и ФЧХ.}$$

## **2. Параметрические преобразования сигналов в функциональные узлы**

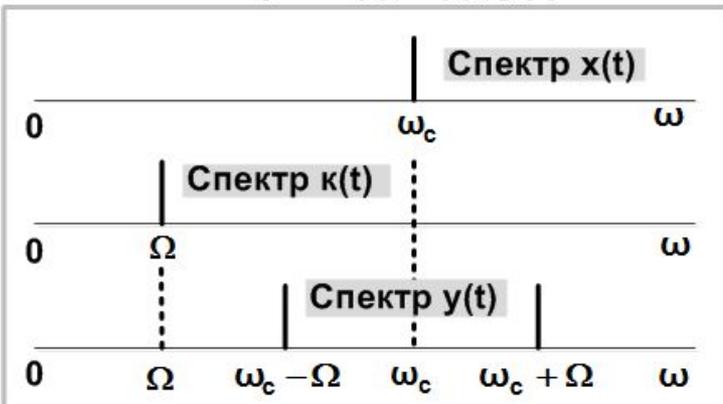
# ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ В

Параметрическое звено



Схемотехнически это означает, что параметрический ФУ содержит хотя бы один элемент, параметр (ы) которого зависит от времени. В подавляющем большинстве случаев параметрические ФУ строятся на использовании перемножителя сигналов. Действительно, если генератор колебания  $Z(t)$  рассматривать как внутренний элемент ФУ («чёрного ящика»), то  $y(t) = az(t) \cdot x(t)$  можно записать в виде:  $y(t) = k(t) \cdot x(t)$ , где  $k(t) = az(t)$  – коэффициент передачи параметрического звена (может служить его функциональной характеристикой)

Спектры  $x(t)$ ,  $k(t)$ ,  $y(t)$



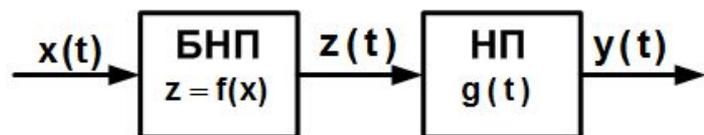
При  $k(t) = K \cos \Omega t$  на воздействие вида  $x(t) = X \cos \omega_c t$ , тогда

$$y(t) = k(t) \cdot x(t) = K \cos \Omega t \cdot X \cos \omega_c t = \\ = \frac{1}{2} KX \cos(\omega_c + \Omega)t + \frac{1}{2} KX \cos(\omega_c - \Omega)t.$$

### **3. Нелинейные преобразования сигналов в функциональные узлы**

# НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИГНАЛОВ В ФУ

Обобщенный нелинейный преобразователь



Анализ нелинейных ФУ в общем случае является сложной задачей, которая существенно упрощается, если возможно разделить ФУ на две независимые части, сосредоточив всю нелинейность в безынерционном нелинейном преобразователе (БНП), а всю инерционность – в линейном (ЛП).

Назовем такую структуру обобщенным нелинейным преобразователем (ОНП). Для анализа ОНП достаточно по известной функциональной характеристике БНП  $z = f(x)$  (для безынерционной цепи это обычная функция, а не оператор) определить его реакцию  $z = f[x(t)]$  на заданное воздействие  $x(t)$ , а затем проанализировать прохождение  $z(t)$  через ЛП одним из вышеуказанных методов.

## МЕТОДЫ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА РЕАКЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА АППРОКСИМАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ БНП

1. Метод кратных дуг при полиномиальной аппроксимации:

$$z = f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n = \sum_{k=0}^n a_k x^k.$$

2. Метод угла отсечки (коэффициентов Берга) – при кусочно-линейной аппроксимации.

$$\begin{aligned} \cos \omega_1 t \cdot \cos \omega_2 t &= \frac{1}{2} \cos(\omega_1 - \omega_2)t + \\ &+ \frac{1}{2} \cos(\omega_1 + \omega_2)t \end{aligned}$$

$Z =$	Спектральный состав $z(t)$ при	
	$x(t) = X \cos \omega_0 t$	$x(t) = X_1 \cos \omega_1 t + X_2 \cos \omega_2 t$
$a_0 +$	0	0
$+ a_1 x$	$\omega_0$	$\omega_1, \omega_2$
$+ a_2 x^2$	0, $2\omega_0$	0, $2\omega_1, 2\omega_2, \omega_1 + \omega_2, \omega_1 - \omega_2$
$+ a_3 x^3$	$\omega_0, 3\omega_0$	$\omega_1, \omega_2, 3\omega_1, 3\omega_2, 2\omega_1 + \omega_2, \omega_1 + 2\omega_2,$ $2\omega_1 - \omega_2, 2\omega_2 - \omega_1$
$+ \dots$		
$+ a_k x^k$	0, $2\omega_0, 4\omega_0, \dots,$ $k\omega_0$ при $k = 2q,$ $\omega_0, 3\omega_0, \dots, k\omega_0$ при $k = 2q+1,$ $q = 1, 2, 3, \dots$	$l\omega_1 + m\omega_2; l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm k,$ $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm k,$ $p =  l  +  m  = 2q \leq k$ при $k = 2q,$ $p =  l  +  m  = 2q + 1 \leq k$ при $k = 2q + 1, q = 1, 2, 3, \dots$
$+ \dots$		
$+ a_n x^n$	0, $2\omega_0, 4\omega_0, \dots,$ $n\omega_0$ при $n = 2q,$ $\omega_0, 3\omega_0, \dots,$ $n\omega_0$ при $n = 2q+1,$ $q = 1, 2, 3, \dots$	$l\omega_1 + m\omega_2; l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n,$ $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n,$ $p =  l  +  m  = 2q \leq n$ при $n = 2q,$ $p =  l  +  m  = 2q + 1 \leq n$ при $n = 2q + 1$ $q = 1, 2, 3, \dots$

**Таким образом, в результате изучения лекции № 10 удалось сделать следующие выводы:**

- в реакции линейного ФУ не могут возникнуть спектральные компоненты, отсутствующие в спектре воздействия;**
- параметрические ФУ обогащают спектр воздействия новыми спектральными составляющими;**
- частоты новых спектральных составляющих в реакции параметрических ФУ определяются частотами спектральных составляющих воздействия и частотами изменения параметров ФУ;**
- нелинейные ФУ обогащают спектр воздействия новыми спектральными компонентами.**

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокис Дж. Цифровая связь: Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
2. Бернард Скляр. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
3. Сухоруков А.С. Теория электрической связи: Конспект лекций. Часть 1. – М.: МТУСИ, ЦЕНТР ДО, 2002. – 65 с.
4. Сухоруков А.С. Теория цифровой связи: Учебное пособие. Часть 2. – М.: МТУСИ, 2008. – 53 с.
5. Аджемов А.С. Мир информационной реальности. – М.: ИРИАС, 2006. – 296 с.
6. Каганов В.И., Битюков В.К. Основы радиоэлектроники и связи: Учеб. пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 542 с.
7. Стеценко О.А. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник. – М.: Высш. шк., 2007. – 432 с.
8. Санников В.Г. Сборник задач по курсу «Теория электрической связи»: Учеб. пособие. Часть 1. – М.: МТУСИ, 1992. – 62 с.
9. Санников В.Г. Сборник задач по курсу «Теория электрической связи»: Учеб. пособие. Часть 2. – М.: МТУСИ, 2001. – 65 с.
10. Санников В.Г. Дифференциальная импульсно-кодовая модуляция: Учеб. пособие. – М.: МТУСИ, 2006. – 56 с.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**