

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 № 11

# НЕЛИНЕЙНОЕ РЕЗОНАНСНОЕ УСИЛЕНИЕ И УМНОЖЕНИЕ ЧАСТОТЫ

1. Перемножение сигналов. Кольцевой балансный перемножитель.
2. Умножение частоты.
3. Линейное и нелинейное резонансное усиление.

## 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.

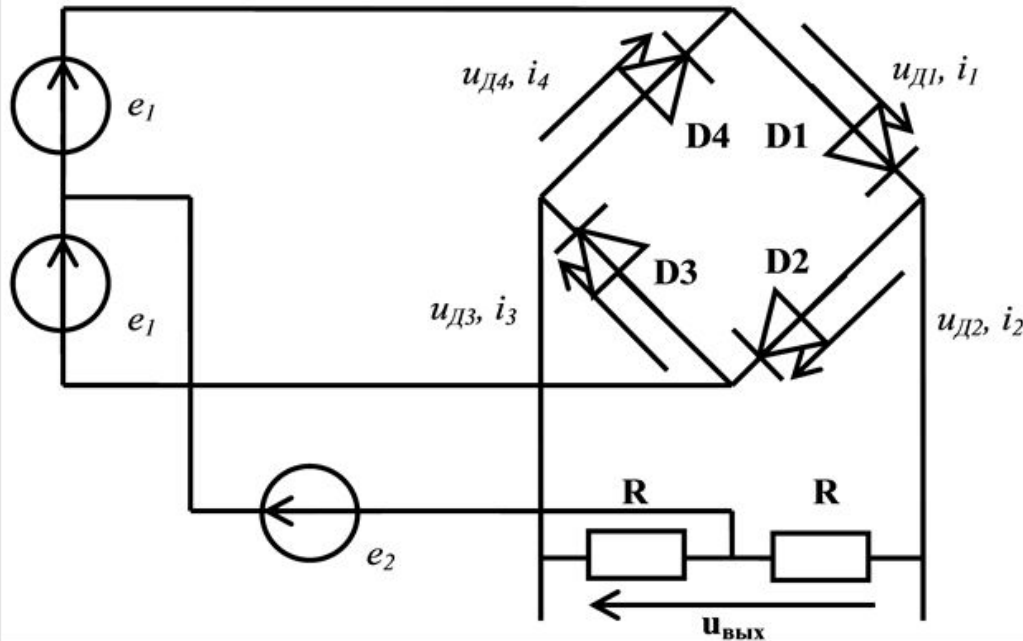
### Дополнительная:

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. Перемножение сигналов. Кольцевой балансный перемножитель**

# КОЛЬЦЕВОЙ БАЛАНСНЫЙ ПЕРЕМНОЖИТЕЛЬ

Схема кольцевого (мостового) перемножителя



## ДОПУЩЕНИЯ

1. Все диоды имеют квадратичные вольтамперные характеристики (режим слабого сигнала) с одинаковыми коэффициентами  $a_0, a_1, a_2$ :

$$i = a_0 + a_1 u_d + a_2 u_d^2.$$

2. Сопротивления нагрузочных резисторов  $R$  одинаковы (симметрия схемы).

3. Один из входных сигналов поступает от двух идентичных источников ( $e_1$ ) (симметрия схемы). Выходное напряжение определяется следующим выражением:  $U_{\text{ВЫХ}} = R(i_1 - i_2 - i_3 + i_4)$ .

Произведем суммирование токов:

$$+i_1 = a_0 + a_1(e_1 + e_2) + a_2(e_1 + e_2) \cdot 2;$$

$$-i_2 = -a_0 - a_1(e_1 - e_2) - a_2(e_1 - e_2) \cdot 2;$$

$$-i_3 = -a_0 - a_1(-e_1 + e_2) - a_2(-e_1 + e_2) \cdot 2;$$

$$+i_4 = a_0 + a_1(-e_1 - e_2) + a_2(-e_1 - e_2) \cdot 2;$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = R(0 + 0 + 0 + 8 \cdot a_2 \cdot e_1 \cdot e_2) = 8 \cdot R \cdot a_2 \cdot e_1 \cdot e_2.$$

## **2. Умножение частоты**

## ПРИНЦИП УМНОЖЕНИЯ ЧАСТОТЫ

Умножение частоты заключается в получении на выходе ФУ колебания, частота которого в целое число раз больше частоты входного сигнала на вход умножителя частоты обычно подаётся синусоидальное напряжение  $u = U \cos \Omega t$ , на выходе получается колебание с частотой  $\omega_{\text{вых}} = n \cdot \Omega$ .

Наличие в составе тока усилителя, работающего в нелинейном режиме, гармоник, кратных основной частоте возбуждения, позволяет использовать его в качестве умножителя частоты. Для этого необходимо настроить нагрузочный колебательный контур на частоту выделяемой гармоники. Амплитуды высших гармоник растут при уменьшении угла отсечки.

$I_n = E \cdot S(1 - \cos \Theta) \alpha_n$ , где  $\alpha_n = I_n / I_m$  – коэффициент Берга,

определяющий  $I_n$  при заданном максимальном токе через прибор  $I_m$ .

Максимум  $n$ -го коэффициента Берга  $\alpha_{n\text{max}}$  достигается при  $\Theta = 2\pi/3n$ .

Для каждой гармоники вводится своя средняя крутизна:  $S_{\text{ср}} = \frac{I_n}{E} \cdot S(1 - \cos \Theta) \alpha_n$ ,

Соответственно, и внутреннее сопротивление электронного прибора приводится к используемой гармонике:

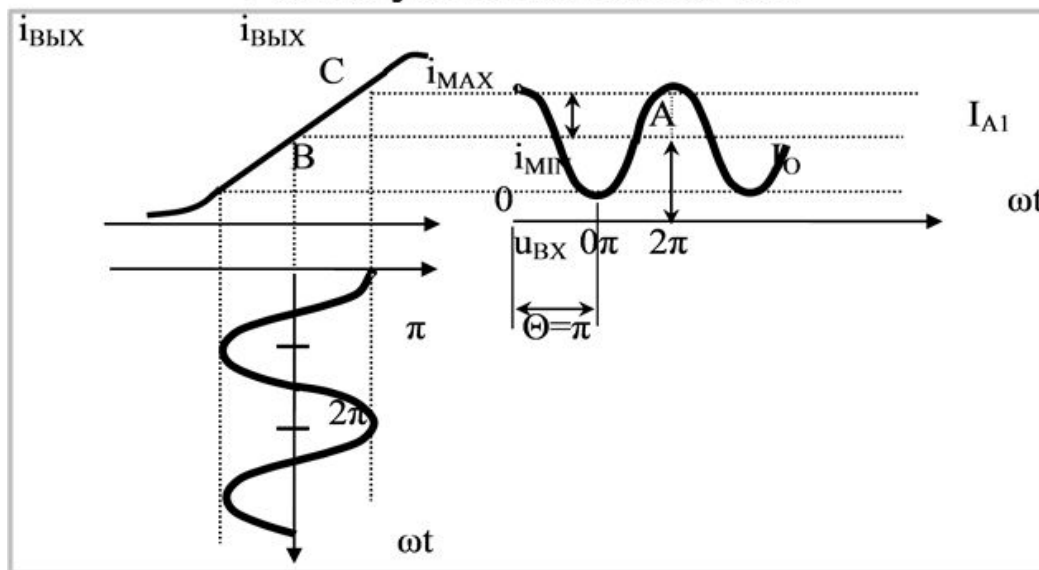
$R_{\text{in}}^* = \frac{R_i}{\alpha_n (1 - \cos \Theta)}$ , коэффициент передачи

$K_E = - \frac{S_{\text{ср}} \cdot Z_{\text{экв}}}{1 + Z_{\text{экв}} / R_i^*}$ .

### **3. Линейное и нелинейное резонансное усиление**

## РЕЖИМ УСИЛЕНИЯ КЛАССА «А»

Режим усиления класса «А»



**РЕЖИМ КЛАССА «А»** уси-  
тельного элемента называется  
режим работы избирательного  
усилителя, при котором угол  
отсечки равен  $\pi$ .

**УГЛОМ ОТСЕЧКИ** называется  
часть периода гармонического  
сигнала, подводимого к актив-  
ному элементу, уменьшенная в  
два раза и выраженная в угло-  
вых единицах, в течение кото-  
рого через этот элемент  
протекает электрический ток.

Обозначается угол отсечки символом  $\theta$ . В этом режиме форма выходного сигнала практически полностью повторяет форму входного. Для создания такого режима необходимо, чтобы рабочая точка «А» (точка покоя)  $U_{вх} = 0$  находилась в центре линейного участка характеристики усилительного элемента.

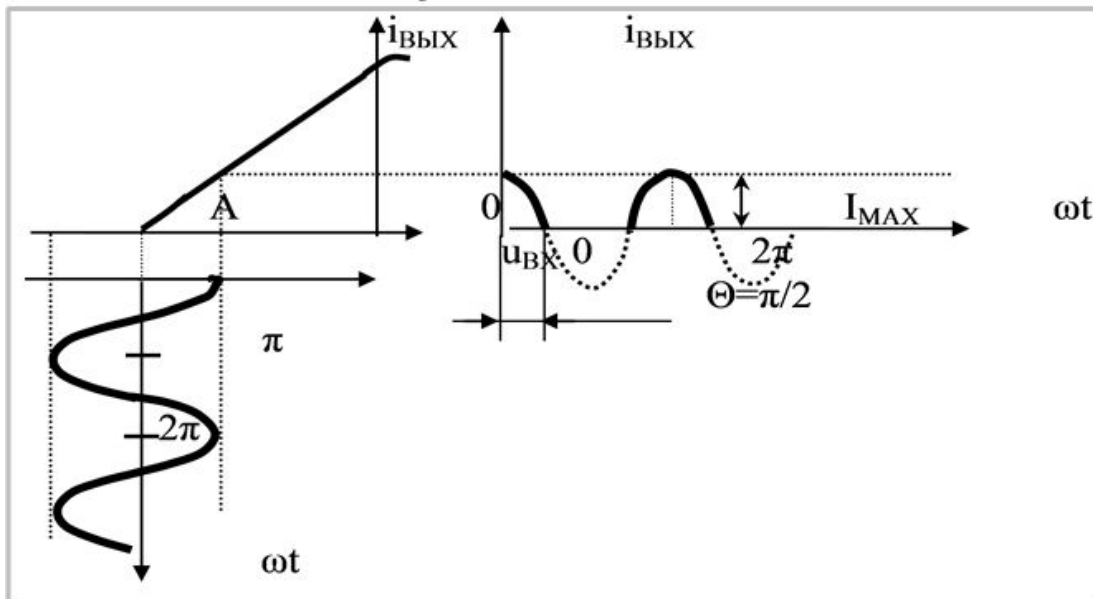
При воздействии входного напряжения его амплитуда не должна выходить за пределы этого линейного участка (крайние точки «В» и «С»). Поэтому этот режим называют **РЕЖИМОМ ЛИНЕЙНОГО УСИЛЕНИЯ**.

На выходе УЭ кроме гармонического сигнала с амплитудой первой гармоники  $I_{A1}$ , присутствует и постоянная составляющая тока  $I_0$ .



## РЕЖИМ УСИЛЕНИЯ КЛАССА «В» и «АВ»

Режим усиления класса «В»



### РЕЖИМОМ КЛАССА «В»

называется режим работы усилительного элемента, при котором угол отсечки  $\theta$  равен  $\pi / 2$ .

Для получения режима класса «В» рабочая точка (точка А) выбирается так, как показано на рисунке.

При синусоидальном входном напряжении выходной ток имеет форму

чередующихся через полупериод синусоидальных импульсов: положительный полупериод пропускается, отрицательный – не проходит.

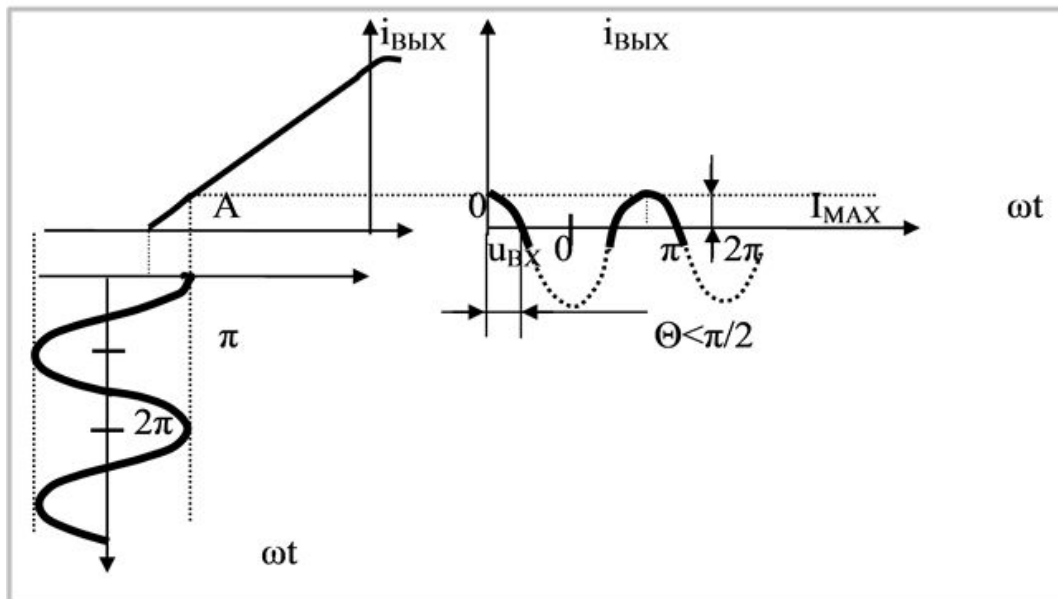
### РЕЖИМ КЛАССА «АВ»

Режим класса «АВ» – режим работы УЭ, при котором угол отсечки находится в пределах  $(\pi / 2 \div \pi)$ .

В этом режиме КПД ниже, чем в режиме класса В, но значительно выше, чем в режиме класса А. Недостатком режима являются сильные искажения формы сигнала. Этот режим применяется в выходных каскадах даже при относительно малых уровнях выходной мощности.

## РЕЖИМ УСИЛЕНИЯ КЛАССА «С» и «D»

Режим класса «С»



РЕЖИМ КЛАССА «С» – режим работы УЭ, при котором угол отсечки менее  $\pi / 2$ .

Для создания такого режима рабочая точка А должна находиться левее нижнего сгиба входной характеристики.

Этот режим самый экономичный:  $\eta = 70 - 90 \%$ . Вместе с тем усилители, работающие в режиме класса «С», вносят наибольшие искажения.

### РЕЖИМ КЛАССА D

В режиме класса «D» усилительный элемент поочерёдно, как правило транзистор, находится в одном из двух состояниях: «полностью открыт» или «полностью закрыт». Переход из одного состояния в другое происходит практически мгновенно, что уменьшает потери энергии и резко увеличивает КПД.

Самым экономным режимом работы является режим класса «С» с углом отсечки менее градусов. При  $\theta \rightarrow 1$  КПД  $\eta \rightarrow 1$ , но при этом полезная мощность стремится к нулю. Это связано с тем, что с уменьшением угла отсечки  $\theta$  и увеличением длительности паузы средняя мощность потерь уменьшается:

$$P_a = \frac{1}{T} \int_0^T i_a U_a dt.$$

## **Таким образом, в результате изучения лекции № 11 удалось сделать следующие выводы:**

- ФУ является «чистым» перемножителем произвольных сигналов. «Чистота» операции перемножения достигнута методом фазовой компенсации;**
- более эффективными, но и более сложными умножителями частоты большой кратности являются радиоимпульсные умножители частоты, в которых полезная гармоника выделяется фильтром из последовательности радиоимпульсов;**
- наличие колебательного контура, в качестве нагрузки, в резонансном усилителе позволяет использовать его как в линейном, так и в нелинейных режимах работы. Аперiodические усилители, для сравнения, могут работать только в линейном режиме;**
- для получения минимальных искажений используют линейный режим, для получения максимального КПД – нелинейные.**

## 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!**