

Лекция 10.

Усилительные устройства. Классификация усилителей. Параметры и характеристики усилителей, коэффициент усиления, частотные и нелинейные искажения.

The amplifying device. Classification of amplifiers. The parameters and characteristics of amplifiers, gain, frequency response and nonlinear distortion.



Электронные усилители

Electronic amplifiers

- *Усилителем* называют устройство (узел, каскад), предназначенное для повышения уровня мощности входного сигнала с сохранением его формы.
- Принцип действия электронного усилителя основан на управлении энергией мощного источника постоянного напряжения с помощью маломощного источника сигналов.
- *An amplifier is a device (node, stage) designed to increase the power level of the input signal while preserving its shape.*
- *The principle of operation of an electronic amplifier is based on controlling the energy of a powerful DC power source using a low-power signal source.*



Классификация электронных усилителей

Classification of electronic amplifiers:

По выполняемым функциям:

- 1) усилители тока;
- 2) усилители напряжения;
- 3) усилители мощности.

По диапазону усиливаемых частот:

- 1) усилители звуковой (низкой) частоты (УНЧ или УЗЧ) $\sim 1\text{кГц}$
- 2) усилители высокой частоты (УВЧ или УРЧ(радиочастоты)) $\sim 1\text{МГц}$
- 3) видеоусилители – усилители в широком диапазоне частот $\sim 10\text{-}10^7\text{Гц}$

The functions they perform:

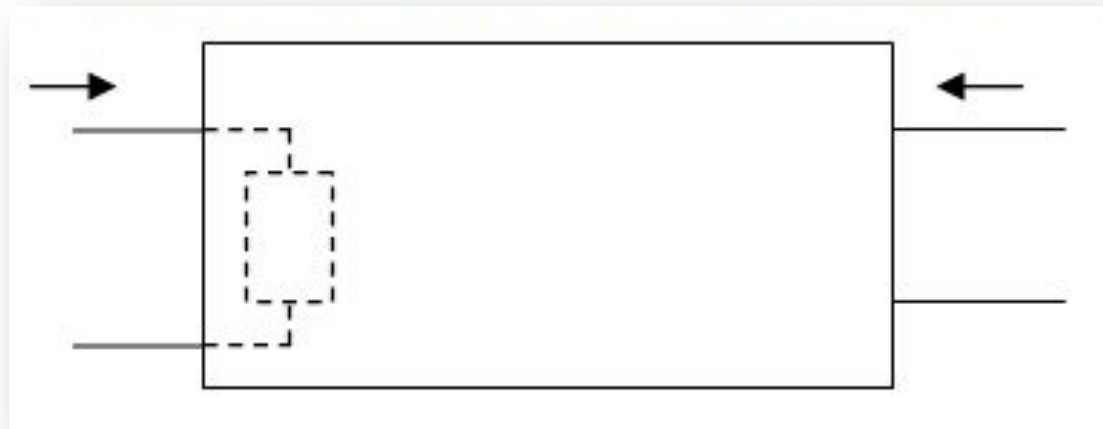
- 1) *current amplifiers;*
- 2) *the voltage amplifier;*
- 3) *power amplifiers.*

By the range of amplified frequencies:

- 1) *audio (low) frequency amplifiers (UHF or UHF) $\sim 1\text{kHz}$*
- 2) *high-frequency amplifiers (UHF or UHF (radio frequencies)) $\sim 1\text{MHz}$*
- 3) *video amplifiers – amplifiers in a wide frequency range $\sim 10\text{-}10^7\text{Hz}$*



- Усилители можно представить в виде активного линейного четырехполюсника.
- *Amplifiers can be represented in the form of a linear active two-port network.*



Входные параметры усилителя

Amplifier input parameters

- **Входные параметры** характеризуют цепь (усилитель), как нагрузку для источника сигнала (генератора), т.е. усилитель представляет собой нагрузку для источника сигнала.
- *The input parameters characterize the circuit (amplifier) as a load for the signal source (generator), i.e. the amplifier is the load for the signal source.*



Входные параметры
усилителя:

- $U_{вх}$ – номинальное входное напряжение;
- $I_{вх}$ – номинальный входной ток;
- $P_{вх}$ – входная мощность сигнала;

Входное сопротивление:

$$\underline{Z} = \frac{U_{вх}}{I_{вх}} = \frac{U_{вх}}{I_{вх}} e^{j(\varphi_{U_{вх}} - \varphi_{I_{вх}})}$$

Input parameters of the amplifier:

- U_{iv} -rated input voltage;
 - I_{iv} -rated input current;
 - R_{iv} -input signal power;
- Input impedance:*



Выходные параметры усилителя

Output parameters of the amplifier

- **Выходные параметры** характеризуют цепь (усилитель) как источник сигнала (генератор) для нагрузки.
- **Output parameters** characterize the circuit (amplifier) as a signal source (generator) for the load.



Выходные параметры усилителя:

- $U_{\text{вых}}$ – номинальное выходное напряжение;
- $I_{\text{вых}}$ – номинальный выходной ток;
- $P_{\text{вых}} = P_{\text{н}}$ – номинальная выходная мощность, отдаваемая усилителем в нагрузку;

Входное сопротивление:

The output parameters of the amplifier:

- V_{out} is the nominal output voltage;
- I_{out} is the nominal output current;
- $R_{\text{out}} = P_{\text{ld}}$ – rated output power given by the amplifier to the load;

Input impedance:

$$\underline{Z} = \frac{U_{\text{вых XX}}}{I_{\text{вых KЗ}}}$$



Коэффициенты усиления (передачи)

Gain (transmission) factors

1) Коэффициент усиления по напряжению

1) *Voltage gain*

$$K \overset{\boxtimes}{=} \frac{U_{\text{вых}} \overset{\boxtimes}{\bullet}}{\dot{U}_{\text{вх}}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} e^{j(\varphi_{U_{\text{вых}}} - \varphi_{U_{\text{вх}}})} = K_U e^{j\varphi_{K_U}}$$

$$K_U = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{U_{m \text{ вых}}}{U_{m \text{ вх}}}$$



2) Коэффициент усиления по току

2) *Current gain*

$$K_I = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} e^{j(\varphi_{I_{\text{вых}}} - \varphi_{I_{\text{вх}}})} = K_I e^{j\varphi_{K_I}}$$

$$K_I = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} = \frac{I_{m \text{ вых}}}{I_{m \text{ вх}}}$$



3) Коэффициент усиления по мощности

3) *The gain in power*

$$K_P = \frac{P_H}{P_{\text{вх}}} = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} > 1$$

$$K_P = \frac{P_H}{P_{\text{вх}}} = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} \cdot \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = K_I \cdot K_U$$

$$K_P = K_I \cdot K_U = K_I^2 \frac{R_H}{R_{\text{вх}}} = K_U^2 \frac{R_{\text{вх}}}{R_H}$$



4) Сквозной коэффициент усиления

4) *End-to-End gain*

$$K_U^* = \frac{U_{\text{вых}}}{E_r} = K_U \frac{Z_{\text{ex}}}{(Z_{\text{ex}} + Z_r)} = K_U \frac{R_{\text{ex}}}{R_{\text{ex}} + R_r}$$

$$\eta = \frac{P_u}{P_0} < 1$$



Линейные искажения

Linear distortion

Линейные искажения оценивают с помощью амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) или просто частотной характеристики, которая представляет собой зависимость модуля коэффициента от частоты:

Nonlinear distortions are evaluated using the amplitude-frequency response (AFR) or simply the frequency response, which is the dependence of the coefficient modulus on the frequency:

$$K_U = f(\omega)$$



- Искажения формы выходного сигнала, вызываемые неодинаковым усилением гармоник различных частот, называют *частотными искажениями*.
- Искажения формы выходного сигнала, вызываемые разными фазовыми сдвигами гармоник усиливаемого сигнала, называют *фазовыми искажениями*.
- *Distortion of the output waveform caused by unequal amplification of harmonics of different frequencies is called frequency distortion.*
- *Distortion of the output waveform caused by different phase shifts of the harmonic of the amplified signal is called phase distortion.*



Фазо-частотная характеристика

Phase frequency response

Фазо-частотная характеристика (ФЧХ) – зависимость фазового сдвига между входным и выходным сигналами от частоты:

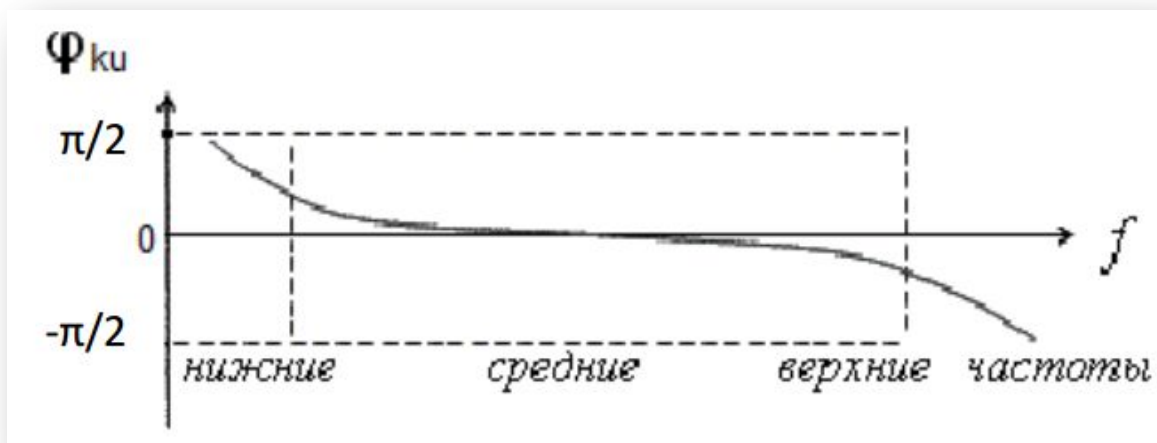
Phase-frequency response (FFR) - the dependence of the phase shift between the input and output signals on the frequency:

$$\varphi_{KU} = f(\omega)$$

$$\varphi_{KU} = \varphi_{U_{вых}} - \varphi_{U_{вх}}$$



- Фазовые сдвиги проявляются на низких и верхних частотах, на средних частотах фазовый сдвиг практически отсутствует. Наличие фазового сдвига является искажением.
- *Phase shifts occur at low and high frequencies, and there is almost no phase shift at medium frequencies. The presence of a phase shift is a distortion.*



Нелинейные искажения

Harmonic distortion

Нелинейные искажения оценивают с помощью коэффициента гармоник:

Nonlinear distortions are evaluated using the harmonic coefficient:

$$K_r = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n I_i^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n U_i^2}}{U_1}$$

Коэффициент гармоник всегда находится при подаче на вход усилителя чистого гармонического сигнала и активном сопротивлении нагрузки.

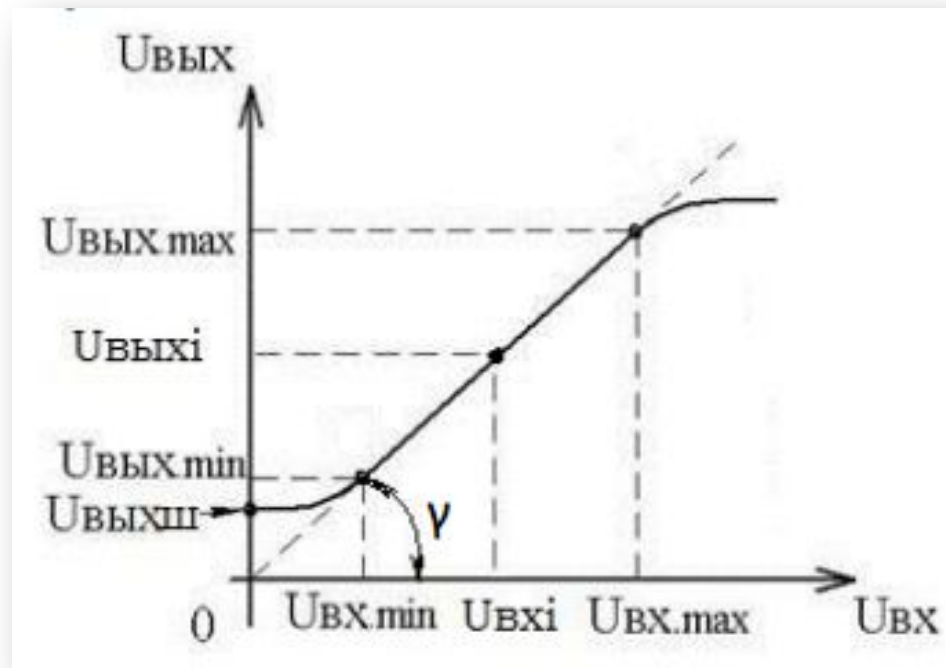
The harmonic coefficient is always found when a pure harmonic signal is applied to the input of the amplifier and the load resistance is active.



Амплитудная характеристика — зависимость установившегося значения выходного напряжения от входного:

Amplitude characteristic-dependence of the steady-state value of the output voltage on the input one:

$$U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$$



Источники шумов в усилителе

Sources of noise in the amplifier

- **Внешние шумы**, которые образуются из-за помех: промышленные, атмосферные, космические.
- **Внутренние шумы**:
 - а) тепловые шумы — это шумы, возникающие из-за хаотического движения свободных электронов в проводниках;
 - б) дробовые шумы — возникают из-за случайного характера вылета электронов с катода лампы или рекомбинации пары «электрон-дырка».
- *External noise that is generated due to interference: industrial, atmospheric, space.*
- *Internal noise:*
 - a) *thermal noise is noise that occurs due to the chaotic movement of free electrons in conductors;*
 - b) *shot noise-occurs due to the random nature of the departure of electrons from the cathodolamp or recombination of the electron-hole pair.*



Слово	Транскрипция	Перевод
переход	'dʒʌŋkʃn	junction
полупроводник	'semɪkəndʌktər	semiconductor
проводимость	kən'dʌkʃn	conduction
вольт-амперная характеристика	vəʊlt-'am,pɪr ,kærəktə'rɪstɪk	volt-ampere characteristic
электрон	ɪ'lektɹɑ:n	electron
запирающий слой	'bæɪəɹ 'leɪəɹ	barrier layer
область	fi:ld	field
обратное напряжение	ɪ'vɜ:rs 'vəʊltɪdʒ	reverse voltage
прямое напряжение	'fɔ:rwərd 'vəʊltɪdʒ	forward voltage
дырки	həʊls	holes
направление	ru:t	route
замыкание	'lɑ:kɪŋ	locking
интегральная микросхема	'ɪntɪgreɪtɪd 'sɜ:rkɪt	integrated circuit
цепь транзистора	træn'zɪstər tʃeɪn	transistor chain
концентрация	,kɑ:nsn'treɪʃn	concentration