

ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ СВЯЗИ

Лекция

**по учебной дисциплине «Цифровая схемотехника и
обработка сигналов»**

(Д-0205-1)

**Тема № 9: «Описание ЛДС в частотной области»
Занятие № 29: «Частотные характеристики ЛДС»**

Руководитель занятия – доцент кафедры, к.т.н., доцент,
полковник Филимонов Василий Александрович

г. Санкт-Петербург
2018





Учебные цели:

- 1. Изучить частотные характеристики ЛДС, их свойства и порядок расчёта.**
- 2. Изучить влияние параметров передаточных функций на частотные характеристики.**



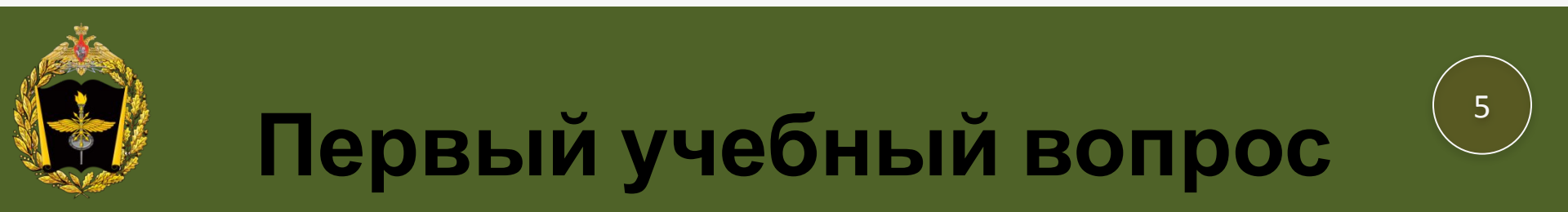
Учебные вопросы:

- 1. Определение и свойства частотных характеристик ЛДС.**
- 2. Вычисление частотных характеристик.**
- 3. Взаимосвязь между характеристиками ЛДС.**



Литература для самостоятельной работы обучаемых:

1. Цифровая обработка сигналов. Краткий курс/ Д. А. Улахович – СПб.: ВАС, 2017. – 408 с. (стр. 88-99).
2. Цифровая обработка сигналов./ Авторы: Д. А. Улахович / Электронное учеб. пособие /– СПб.: ВАС, 2015.



Первый учебный вопрос

Определение и свойства частотных характеристик ЛДС



Первый учебный вопрос

1. Определение частотных характеристик ЛДС

Воздействие – отрезок *дискретного комплексного гармонического сигнала*

$$x(n) = A_x(\hat{\omega})e^{j\hat{\omega}n} = A_x(\hat{\omega})e^{j\varphi_x(\hat{\omega})}, \quad 0 < n < \infty \quad (1)$$

1. Определение частотных характеристик ЛДС

Воздействие – отрезок *дискретного комплексного гармонического сигнала*

$$x(n) = A_x(\hat{\omega})e^{j\hat{\omega}n} = A_x(\hat{\omega})e^{j\varphi_x(\hat{\omega})}, \quad 0 < n < \infty \tag{1}$$

Реакция:

$$y(n) = A_y(\hat{\omega})e^{j\varphi_y(\hat{\omega})} \Rightarrow \sum_{m=0}^{\infty} h(m) x(n-m) \Rightarrow \sum_{m=0}^{\infty} h(m) A_x(\hat{\omega}) e^{j\hat{\omega}(n-m)} =$$

$$= A_x(\hat{\omega}) e^{j\hat{\omega}n} \left[\sum_{m=0}^{\infty} h(m) e^{-j\hat{\omega}m} \right] = A_x(\hat{\omega}) e^{j\varphi_x(\hat{\omega})} H e^{j\hat{\omega}n} \tag{2}$$

Преобразование Фурье
ИХ



Первый учебный вопрос

1. Определение частотных характеристик ЛДС

Воздействие – отрезок *дискретного комплексного гармонического сигнала*

$$x(n) = A_x(\hat{\omega})e^{j\hat{\omega}n} = A_x(\hat{\omega})e^{j\varphi_x(\hat{\omega})}, \quad 0 < n < \infty \tag{1}$$

Реакция:

$$\begin{aligned} y(n) &= A_y(\hat{\omega})e^{j\varphi_y(\hat{\omega})} \Rightarrow \sum_{m=0}^{\infty} h(m) x(n-m) \Rightarrow \sum_{m=0}^{\infty} h(m) A_x(\hat{\omega}) e^{j\hat{\omega}(n-m)} = \\ &= A_x(\hat{\omega}) e^{j\hat{\omega}n} \left[\sum_{m=0}^{\infty} h(m) e^{-j\hat{\omega}m} \right] = A_x(\hat{\omega}) e^{j\varphi_x(\hat{\omega})} H(e^{j\hat{\omega}}), \end{aligned} \tag{2}$$

Преобразование Фурье

$$A_y(\hat{\omega})e^{j\varphi_y(\hat{\omega})} = A_x(\hat{\omega})e^{j\varphi_x(\hat{\omega})} H(e^{j\hat{\omega}}) \tag{3}$$

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \frac{A_y(\hat{\omega}) e^{j\varphi_y(\hat{\omega})}}{A_x(\hat{\omega}) e^{j\varphi_x(\hat{\omega})}} = \frac{A_y(\hat{\omega})}{A_x(\hat{\omega})} e^{j(\varphi_y(\hat{\omega})-\varphi_x(\hat{\omega}))} \tag{4}$$

Первый учебный вопрос

1. Определение частотных характеристик ЛДС

Воздействие – отрезок *дискретного комплексного гармонического сигнала*

$$x(n) = A_x(\hat{\omega})e^{j\hat{\omega}n} = A_x(\hat{\omega})e^{j\varphi_x(\hat{\omega})}, \quad 0 < n < \infty \quad (1)$$

Реакция:

$$\begin{aligned} y(n) &= A_y(\hat{\omega})e^{j\varphi_y(\hat{\omega})} \Rightarrow \sum_{m=0}^{\infty} h(m) x(n-m) \Rightarrow \sum_{m=0}^{\infty} h(m) A_x(\hat{\omega}) e^{j\hat{\omega}(n-m)} = \\ &= A_x(\hat{\omega}) e^{j\hat{\omega}n} \left[\sum_{m=0}^{\infty} h(m) e^{-j\hat{\omega}m} \right] = A_x(\hat{\omega}) e^{j\varphi_x(\hat{\omega})} \underbrace{H(e^{j\hat{\omega}})}_{\text{Преобразование Фурье}} \end{aligned} \quad (2)$$

$$A_y(\hat{\omega})e^{j\varphi_y(\hat{\omega})} = A_x(\hat{\omega})e^{j\varphi_x(\hat{\omega})} H(e^{j\hat{\omega}}) \quad (3)$$

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \frac{A_y(\hat{\omega}) e^{j\varphi_y(\hat{\omega})}}{A_x(\hat{\omega}) e^{j\varphi_x(\hat{\omega})}} = \frac{A_y(\hat{\omega})}{A_x(\hat{\omega})} e^{j(\varphi_y(\hat{\omega}) - \varphi_x(\hat{\omega}))} \quad (4)$$

Определение 1:

Комплексной частотной характеристикой *линейной дискретной системы называется частотная зависимость отношения реакции к дискретному гармоническому воздействию в установившемся режиме.*

$$H(z) \Big|_{z=e^{j\hat{\omega}}} = H(e^{j\hat{\omega}}) \quad (5)$$



Первый учебный вопрос

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = |H(e^{j\hat{\omega}})| e^{j \arg\{H(e^{j\hat{\omega}})\}} = A(\hat{\omega}) e^{j\phi(\hat{\omega})}$$



Первый учебный вопрос

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \underbrace{\left| H(e^{j\hat{\omega}}) \right|}_{\text{Модуль}} e^{j \underbrace{\arg\{H(e^{j\hat{\omega}})\}}_{\text{Аргумент}}} = \underbrace{A(\hat{\omega})}_{\text{АЧХ}} e^{j \underbrace{\varphi(\hat{\omega})}_{\text{ФЧХ}}} \quad (6)$$

Первый учебный вопрос

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \underbrace{\left| H(e^{j\hat{\omega}}) \right|}_{\text{Модуль}} e^{j \underbrace{\arg\{H(e^{j\hat{\omega}})\}}_{\text{Аргумент}}} = \underbrace{A(\hat{\omega})}_{\text{АЧХ}} e^{j \underbrace{\varphi(\hat{\omega})}_{\text{ФЧХ}}} \quad (6)$$

Определение 2:

Амплитудно-частотной характеристикой линейной дискретной системы называется частотная зависимость отношения амплитуды реакции к амплитуде дискретного гармонического воздействия в установившемся режиме: (7)

$$\left| H(e^{j\hat{\omega}}) \right| = A(\hat{\omega}) = \frac{A_y(\hat{\omega})}{A_x(\hat{\omega})}$$

Первый учебный вопрос

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \underbrace{|H(e^{j\hat{\omega}})|}_{\text{Модуль}} e^{j \underbrace{\arg\{H(e^{j\hat{\omega}})\}}_{\text{Аргумент}}} = \underbrace{A(\hat{\omega})}_{\text{АЧХ}} e^{j \underbrace{\varphi(\hat{\omega})}_{\text{ФЧХ}}} \quad (6)$$

Определение 2:

Амплитудно-частотной характеристикой линейной дискретной системы называется частотная зависимость отношения амплитуды реакции к амплитуде дискретного гармонического воздействия в установившемся режиме: (7)

$$|H(e^{j\hat{\omega}})| = A(\hat{\omega}) = \frac{A_y(\hat{\omega})}{A_x(\hat{\omega})}$$

Определение 3:

Фазочастотной характеристикой линейной дискретной системы называется частотная зависимость разности начальных фаз реакции и дискретного гармонического воздействия в установившемся режиме: (8)

$$\varphi(\hat{\omega}) = \varphi_y(\hat{\omega}) - \varphi_x(\hat{\omega}).$$

Первый учебный вопрос

Связь ЧАСТОТНОЙ характеристики с передаточной функцией :

Частотная
характеристика
рекурсивной цепи

$$H(z)\Big|_{z=e^{j\hat{\omega}}} = H(e^{j\hat{\omega}}) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} b_i e^{-j\hat{\omega}i}}{1 + \sum_{k=1}^{M-1} b_k e^{-j\hat{\omega}k}} = \frac{Y(e^{j\hat{\omega}})}{X(e^{j\hat{\omega}})} \quad (9)$$

Частотная
характеристика
нерекурсивной цепи

$$H(z)\Big|_{z=e^{j\hat{\omega}}} = H(e^{j\hat{\omega}}) = \sum_{i=0}^{N-1} b_i e^{-j\hat{\omega}i} = \frac{Y(e^{j\hat{\omega}})}{X(e^{j\hat{\omega}})} \quad (9,a)$$



Первый учебный вопрос

2.Свойства частотных характеристик ЛДС

Свойства частотных характеристик определяются свойствами комплексной экспоненты $e^{j\omega T}$ и тригонометрических функций: sin, cos, tg и arctg.



Первый учебный вопрос

2. Свойства частотных характеристик ЛДС

Свойства частотных характеристик определяются свойствами комплексной экспоненты $e^{j\omega T}$ и тригонометрических функций: \sin , \cos , tg и arctg .

1. *Непрерывность*: КЧХ, АЧХ и ФЧХ — непрерывные (или кусочно-непрерывные) функции частоты по определению.



Первый учебный вопрос

2. Свойства частотных характеристик ЛДС

Свойства частотных характеристик определяются свойствами комплексной экспоненты $e^{j\omega T}$ и тригонометрических функций: \sin , \cos , tg и arctg .

1. *Непрерывность*: КЧХ, АЧХ и ФЧХ — непрерывные (или кусочно-непрерывные) функции частоты по определению.

2. *Периодичность*: ЧХ, АЧХ и ФЧХ — периодические функции частоты с периодом, равным частоте дискретизации

$$\omega_{\text{д}} = \frac{2\pi}{T} \quad (10)$$



Первый учебный вопрос

2. Свойства частотных характеристик ЛДС

Свойства частотных характеристик определяются свойствами комплексной экспоненты $e^{j\omega T}$ и тригонометрических функций: \sin , \cos , tg и arctg .

1. *Непрерывность*: КЧХ, АЧХ и ФЧХ — непрерывные (или кусочно-непрерывные) функции частоты по определению.

2. *Периодичность*: ЧХ, АЧХ и ФЧХ — периодические функции частоты с периодом, равным частоте дискретизации

$$\omega_d = \frac{2\pi}{T} \quad (10)$$

$$e^{j(\omega T \pm 2\pi k)} = e^{j\omega T} e^{\pm j2\pi k}$$



Первый учебный вопрос

2. Свойства частотных характеристик ЛДС

Свойства частотных характеристик определяются свойствами комплексной экспоненты $e^{j\omega T}$ и тригонометрических функций: \sin , \cos , tg и arctg .

1. *Непрерывность*: КЧХ, АЧХ и ФЧХ — непрерывные (или кусочно-непрерывные) функции частоты по определению.

2. *Периодичность*: ЧХ, АЧХ и ФЧХ — периодические функции частоты с периодом, равным частоте дискретизации

$$\omega_d = \frac{2\pi}{T} \quad (10)$$

$$e^{j(\omega T \pm 2\pi k)} = e^{j\omega T} \underbrace{e^{\pm j2\pi k}}_1 = e^{j\omega T}, \quad k = 0, 1, \dots$$

Первый учебный вопрос

2. Свойства частотных характеристик ЛДС

Свойства частотных характеристик определяются свойствами комплексной экспоненты $e^{j\omega T}$ и тригонометрических функций: \sin , \cos , tg и arctg .

1. *Непрерывность*: КЧХ, АЧХ и ФЧХ — непрерывные (или кусочно-непрерывные) функции частоты по определению.

2. *Периодичность*: ЧХ, АЧХ и ФЧХ — периодические функции частоты с периодом, равным частоте дискретизации

$$\omega_d = \frac{2\pi}{T} \quad (10)$$

$$e^{j(\omega T \pm 2\pi k)} = e^{j\omega T} \underbrace{e^{\pm j2\pi k}}_1 = e^{j\omega T}, \quad k = 0, 1, \dots$$

В зависимости от используемой шкалы частот период равен:

$$f \Rightarrow f_d \quad \hat{f} \Rightarrow 1; \quad \omega \Rightarrow 2\pi \quad \hat{\omega} \Rightarrow$$



Первый учебный вопрос

3. Чётность и нечётность частотных характеристик (коэффициенты ПФ вещественные):



Первый учебный вопрос

3. Чётность и нечётность частотных характеристик (коэффициенты ПФ вещественные):

АЧХ $\left| H(e^{j\omega T}) \right| = \left| H(e^{-j\omega T}) \right|$ - чётная функция частоты



Первый учебный вопрос

3. Чётность и нечётность частотных характеристик (коэффициенты ПФ вещественные):

АЧХ $\left| H(e^{j\omega T}) \right| = \left| H(e^{-j\omega T}) \right|$ - чётная функция частоты

ФЧХ $\arg \left\{ H(e^{j\omega T}) \right\} = -\arg \left\{ H(e^{-j\omega T}) \right\}$ - нечётная функция частоты



Второй учебный вопрос

Вычисление частотных характеристик ЛДС



Второй учебный вопрос

1. Получить КЧХ

$$H(z)|_{z=e^{j\hat{\omega}}} = H(e^{j\hat{\omega}}) \quad (12)$$



Второй учебный вопрос

1. Получить КЧХ

$$H(z)|_{z=e^{j\hat{\omega}}} = H(e^{j\hat{\omega}}) \quad (12)$$

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} b_i e^{-j(i)\hat{\omega}}}{1 + \sum_{k=1}^{M-1} a_k e^{-j(k)\hat{\omega}}} \quad (13)$$



Второй учебный вопрос

1. Получить КЧХ

$$H(z)|_{z=e^{j\hat{\omega}}} = H(e^{j\hat{\omega}}) \quad (12)$$

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} b_i e^{-j(i)\hat{\omega}}}{1 + \sum_{k=1}^{M-1} a_k e^{-j(k)\hat{\omega}}} \quad (13)$$

2. Разложить экспоненты: $e^{-jk\hat{\omega}} = \cos(k\hat{\omega}) - j\sin(k\hat{\omega}); e^{-ji\hat{\omega}} = \cos(i\hat{\omega}) - j\sin(i\hat{\omega})$ (14)



Второй учебный вопрос

1. Получить КЧХ

$$H(z)|_{z=e^{j\hat{\omega}}} = H(e^{j\hat{\omega}}) \quad (12)$$

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} b_i e^{-j(i)\hat{\omega}}}{1 + \sum_{k=1}^{M-1} a_k e^{-j(k)\hat{\omega}}} \quad (13)$$

2. Разложить экспоненты: $e^{-jk\hat{\omega}} = \cos(k\hat{\omega}) - j\sin(k\hat{\omega}); e^{-ji\hat{\omega}} = \cos(i\hat{\omega}) - j\sin(i\hat{\omega})$ (14)

3. Выделить вещественные и мнимые части в числителе и знаменателе КЧХ:

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \frac{\text{Re}_q + j \text{Im}_q}{\text{Re}_3 + j \text{Im}_3}$$

Второй учебный вопрос

1. Получить КЧХ

$$H(z)|_{z=e^{j\hat{\omega}}} = H(e^{j\hat{\omega}}) \quad (12)$$

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} b_i e^{-j(i\hat{\omega})}}{1 + \sum_{k=1}^{M-1} a_k e^{-j(k\hat{\omega})}} \quad (13)$$

2. Разложить экспоненты: $e^{-jk\hat{\omega}} = \cos(k\hat{\omega}) - j \sin(k\hat{\omega})$; $e^{-ji\hat{\omega}} = \cos(i\hat{\omega}) - j \sin(i\hat{\omega})$ (14)

3. Выделить вещественные и мнимые части в числителе и знаменателе КЧХ:

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \frac{\text{Re}_q + j \text{Im}_q}{\text{Re}_3 + j \text{Im}_3} = \frac{\left[b_0 + \sum_{i=1}^{N-1} b_i \cos(i\hat{\omega}) \right] - j \sum_{i=1}^{N-1} b_i \sin(i\hat{\omega})}{\left[1 + \sum_{k=1}^{M-1} a_k \cos(k\hat{\omega}) \right] - j \sum_{k=1}^{M-1} a_k \sin(k\hat{\omega})} \quad (15)$$

Второй учебный вопрос

4. Записать АЧХ и ФЧХ согласно их определениям:

$$A(\hat{\omega}) = \left| H(e^{j\hat{\omega}}) \right| = \sqrt{\frac{\text{Re}_{\text{ч}}^2 + \text{Im}_{\text{ч}}^2}{\text{Re}_{\text{з}}^2 + \text{Im}_{\text{з}}^2}} = \sqrt{\frac{\left[b_0 + \sum_{i=1}^{N-1} b_i \cos(i\hat{\omega}) \right]^2 + \left[\sum_{i=1}^{N-1} b_i \sin(i\hat{\omega}) \right]^2}{\left[\sum_{k=1}^{M-1} a_k \cos(k\hat{\omega}) \right]^2 + \left[\sum_{k=1}^{M-1} a_k \sin(k\hat{\omega}) \right]^2}} \quad (16)$$

Второй учебный вопрос

4. Записать АЧХ и ФЧХ согласно их определениям:

$$A(\hat{\omega}) = \left| H(e^{j\hat{\omega}}) \right| = \sqrt{\frac{\text{Re}_u^2 + \text{Im}_u^2}{\text{Re}_3^2 + \text{Im}_3^2}} = \sqrt{\frac{\left[b_0 + \sum_{i=1}^{N-1} b_i \cos(i\hat{\omega}) \right]^2 + \left[\sum_{i=1}^{N-1} b_i \sin(i\hat{\omega}) \right]^2}{\left[\sum_{k=1}^{M-1} a_k \cos(k\hat{\omega}) \right]^2 + \left[\sum_{k=1}^{M-1} a_k \sin(k\hat{\omega}) \right]^2}} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \varphi(\hat{\omega}) &= \arg \{ H(e^{j\hat{\omega}}) \} = \arctg \left(\frac{\text{Im}_u}{\text{Re}_u} \right) - \arctg \left(\frac{\text{Im}_3}{\text{Re}_3} \right) = \\ &= -\arctg \frac{\sum_{i=1}^{N-1} b_i \sin(i\hat{\omega})}{b_0 + \sum_{i=1}^{N-1} b_i \cos(i\hat{\omega})} - \arctg \frac{-\sum_{k=1}^{M-1} a_k \sin(k\hat{\omega})}{1 + \sum_{k=1}^{M-1} a_k \cos(k\hat{\omega})} = \arctg \frac{\sum_{k=1}^{M-1} a_k \sin(k\hat{\omega})}{1 + \sum_{k=1}^{M-1} a_k \cos(k\hat{\omega})} - \arctg \frac{\sum_{i=1}^{N-1} b_i \sin(i\hat{\omega})}{b_0 + \sum_{i=1}^{N-1} b_i \cos(i\hat{\omega})}. \end{aligned} \quad (17)$$



Второй учебный вопрос

Пример 1.

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1}}$$

Второй учебный вопрос

Пример 1.

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1}}$$

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \frac{[b_0] + b_1 \cos(\hat{\omega}) - j b_1 \sin(\hat{\omega})}{[1] + a_1 \cos(\hat{\omega}) - j a_1 \sin(\hat{\omega})}$$

Второй учебный вопрос

Пример 1.

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1}}$$

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \frac{[b_0] + b_1 \cos(\hat{\omega}) - j b_1 \sin(\hat{\omega})}{[1] + a_1 \cos(\hat{\omega}) - j a_1 \sin(\hat{\omega})}$$

$$A(\hat{\omega}) = \sqrt{\frac{[b_0]^2 + b_1^2 \cos^2(\hat{\omega}) + b_1^2 \sin^2(\hat{\omega})}{[1]^2 + a_1^2 \cos^2(\hat{\omega}) + a_1^2 \sin^2(\hat{\omega})}}$$

$$\varphi(\hat{\omega}) = \arctg \frac{a_1 \sin(\hat{\omega})}{[1] + a_1 \cos(\hat{\omega})} - \arctg \frac{\sin(\hat{\omega})}{\cos(\hat{\omega}) + b_1}$$

Второй учебный вопрос

Пример 1.

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1}}$$

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \frac{[b_0] + b_1 \cos(\hat{\omega}) - j b_1 \sin(\hat{\omega})}{[1] + a_1 \cos(\hat{\omega}) - j a_1 \sin(\hat{\omega})}$$

$$A(\hat{\omega}) = \sqrt{\frac{[b_0]^2 + b_1^2 \cos^2(\hat{\omega}) + b_1^2 \sin^2(\hat{\omega})}{[1]^2 + a_1^2 \cos^2(\hat{\omega}) + a_1^2 \sin^2(\hat{\omega})}}$$

$$\varphi(\hat{\omega}) = \arctg \frac{a_1 \sin(\hat{\omega})}{[1] + a_1 \cos(\hat{\omega})} - \arctg \frac{\sin(\hat{\omega})}{\cos(\hat{\omega}) + b_1}$$

Пример 2.

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \frac{[b_0] + b_1 \cos(2\hat{\omega}) + b_2 \sin^2(\hat{\omega}) + j [b_1 \sin(2\hat{\omega}) + b_2 \sin(\hat{\omega})]}{[1] + a_1 \cos(2\hat{\omega}) + a_2 \sin^2(\hat{\omega}) + j [a_1 \sin(2\hat{\omega}) + a_2 \sin(\hat{\omega})]}$$

$$A(\hat{\omega}) = \sqrt{\frac{[b_0]^2 + b_1^2 \cos^2(2\hat{\omega}) + b_2^2 [\sin^2(\hat{\omega}) + b_1 \sin(2\hat{\omega})] + b_2^2 \sin^2(\hat{\omega})}{[1]^2 + a_1^2 \cos^2(2\hat{\omega}) + a_2^2 [\sin^2(\hat{\omega}) + a_1 \sin(2\hat{\omega})] + a_2^2 \sin^2(\hat{\omega})}}$$

$$\varphi(\hat{\omega}) = \arctg \frac{a_1 \sin(\hat{\omega}) + \sin(2\hat{\omega})}{[1] + a_1 \cos(2\hat{\omega}) + a_2 \sin^2(\hat{\omega})} - \arctg \frac{\sin(\hat{\omega}) + \sin(2\hat{\omega})}{\cos(\hat{\omega}) + b_1 \cos(2\hat{\omega}) + b_2}$$

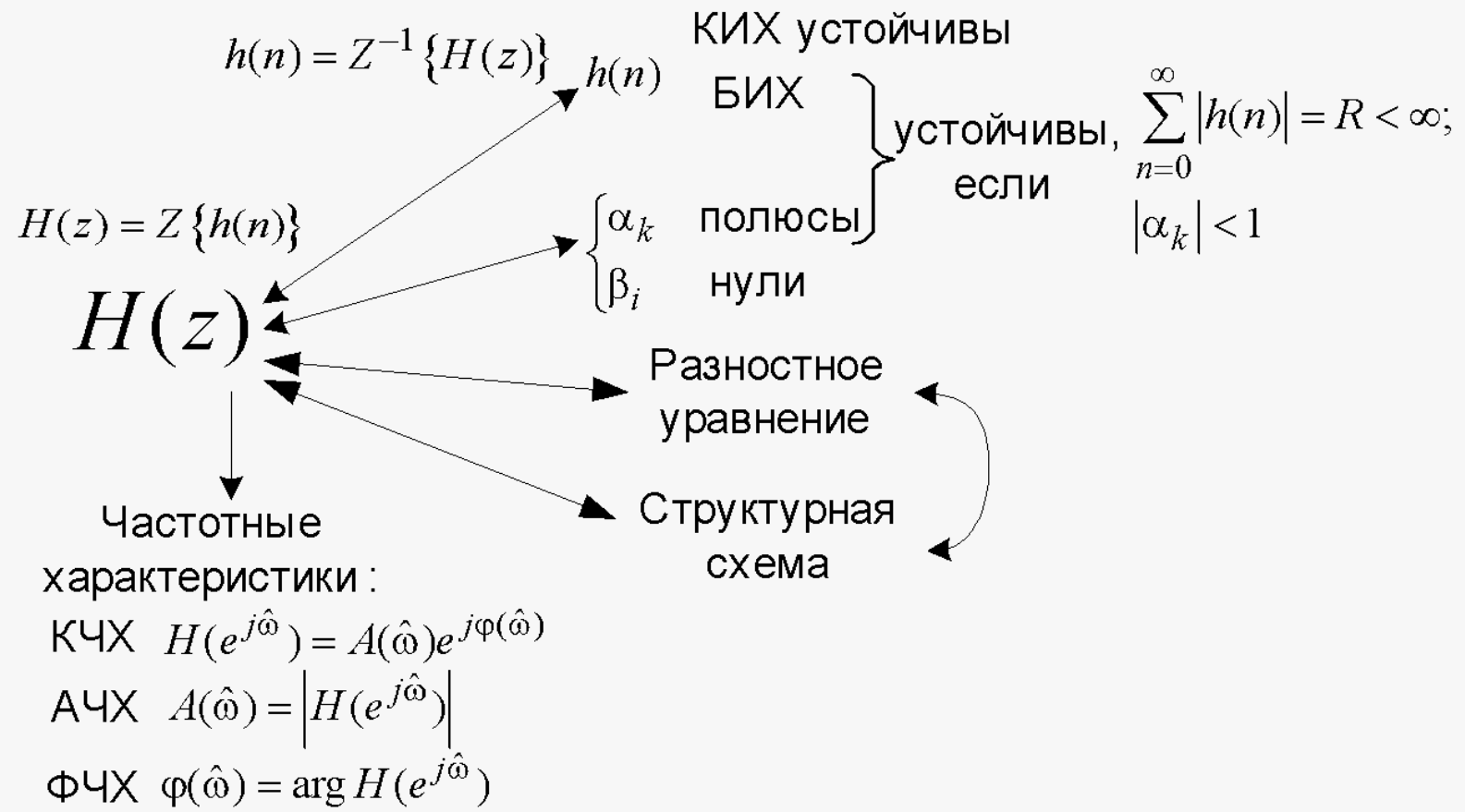


Третий учебный вопрос

Обобщающая схема связей характеристик ЛДС



Третий учебный вопрос





ЛЕКЦИЯ ЗАВЕРШЕНА!

