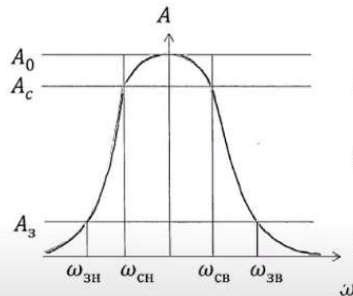


## Пункт 0. Доопределение частот

Задано:  $\omega_{\text{сн}}, \omega_{\text{св}} \Rightarrow A^2(\omega_{\text{с}}) = -3\text{дБ}$   
 $\omega_{\text{зн}}, \omega_{\text{зв}} \Rightarrow A^2(\omega_{\text{з}}) = -40\text{дБ}$

ФП



Выбирают:  $\frac{\omega_{\text{сн}}}{\omega_{\text{зн}}} = \frac{\omega_{\text{св}}}{\omega_{\text{зв}}}$

Достаточно задать три значения  $\omega_{\text{сн}}, \omega_{\text{св}}, \omega_{\text{зв}}$  Тогда  $\omega_{\text{зн}} = \omega_{\text{сн}} * \frac{\omega_{\text{св}}}{\omega_{\text{зв}}}$

1. Определяем порядок  $N_{\text{ф}}$  исходного ФНЧ Баттерворта  $N_{\text{ф}} = -\frac{1}{20} \frac{A^2(\omega_{\text{з}}) \text{дБ}}{\lg \frac{\omega_{\text{зв}} - \omega_{\text{зн}}}{\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}}}}$

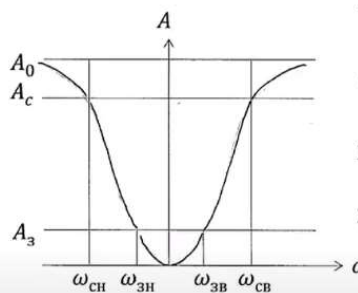
2. Выписываем передаточную функцию единичного ФНЧ  $H_{\text{едн}}(s)_{N_{\text{ф}}}$

3. Делаем подстановку:  $s \Rightarrow \frac{s^2 + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}{s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}})}$  \*\* Порядок удваивается  $M < N_{\text{ф}}$

Например, для  $N_{\text{ф}} = 1$ :  $H_{\text{едн}}(s)_1 = \frac{1}{s+1} \Rightarrow H(s)_2 = \frac{s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}})}{s^2 + s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}}) + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}$   
 —инерционно — колебательное звено 2-го порядка

Задано:  $\omega_{\text{сн}}, \omega_{\text{св}} \Rightarrow A^2(\omega_{\text{с}}) = -3\text{дБ}$   
 $\omega_{\text{зн}}, \omega_{\text{зв}} \Rightarrow A^2(\omega_{\text{з}}) = -40\text{дБ}$

ФР



Выбирают:  $\frac{\omega_{\text{сн}}}{\omega_{\text{зн}}} = \frac{\omega_{\text{св}}}{\omega_{\text{зв}}}$

Достаточно задать три значения  $\omega_{\text{зн}}, \omega_{\text{зв}}, \omega_{\text{св}}$  Тогда  $\omega_{\text{сн}} = \omega_{\text{зн}} * \frac{\omega_{\text{св}}}{\omega_{\text{зв}}}$

1. Определяем порядок  $N_{\text{ф}}$  исходного ФНЧ Баттерворта  $N_{\text{ф}} = -\frac{1}{20} \frac{A^2(\omega_{\text{з}}) \text{дБ}}{\lg \frac{\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}}}{\omega_{\text{зв}} - \omega_{\text{зн}}}}$

2. Выписываем передаточную функцию единичного ФНЧ  $H_{\text{едн}}(s)_{N_{\text{ф}}}$

3. Делаем подстановку:  $s \Rightarrow \frac{s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}})}{s^2 + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}$  \*\* Порядок удваивается  $M = N_{\text{ф}}$

Например, для  $N_{\text{ф}} = 1$ :  $H_{\text{едн}}(s)_1 = \frac{1}{s+1} \Rightarrow H(s)_2 = \frac{s^2 + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}{s^2 + s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}}) + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}$   
 —дифференционно — колебательное звено 2-го порядка

0. Доопределяем частоты  $\omega T = ?$  См. 9.7с3, 9.7с4

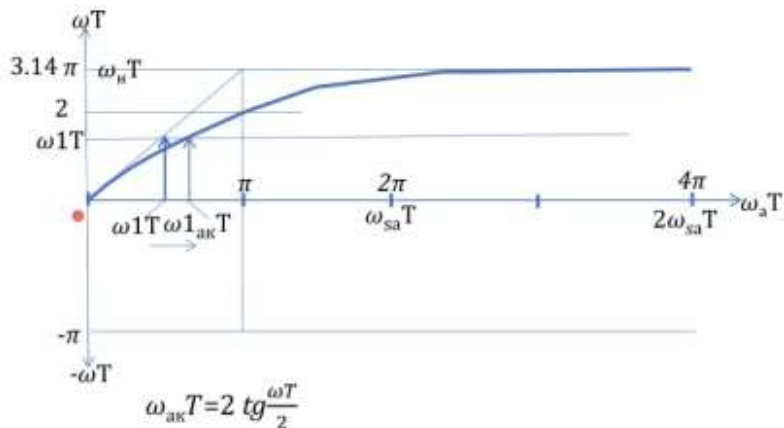
ФП:  $\omega_{\text{зн}} = \omega_{\text{сн}} * \frac{\omega_{\text{св}}}{\omega_{\text{зв}}}$

ФР:  $\omega_{\text{сн}} = \omega_{\text{зн}} * \frac{\omega_{\text{св}}}{\omega_{\text{зв}}}$

## Пункт 1. Коррекция частот для АП

$$\omega T = 2 \arctg \frac{\omega T}{2}$$

Получилась нелинейность преобразования  $\omega_a \Rightarrow \omega$



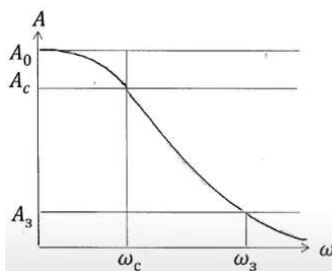
Так потребуется корректировать частоту аналогового прототипа

## Пункт 2. Определение порядка ед. ФНЧ

**Передаточная функция аналогового прототипа ФНЧ, ФВЧ, ФП, ФР.**

ФНЧ

Задано:  $\omega_c \Rightarrow A^2(\omega_c) = -3\text{дБ}$   
 $\omega_3 \Rightarrow A^2(\omega_3) = -40\text{дБ}$



1. Определяем порядок  $N_\phi$  исходного ФНЧ Баттерворта  $N_\phi = -\frac{1}{20} \frac{A^2(\omega_3) \text{дБ}}{\lg \frac{\omega_3}{\omega_c}}$

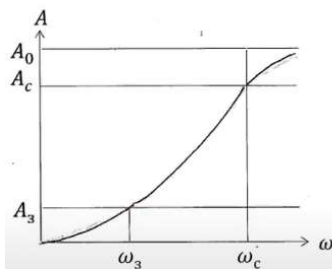
2. Выписываем передаточную функцию единичного ФНЧ  $H_{\text{едн}}(s)_{N_\phi}$

3. Делаем подстановку:  $s \Rightarrow \frac{s}{\omega_c}$  \*\* Порядок не меняется  $M < N_\phi$

Например, для  $N_\phi = 1$ :  $H_{\text{едн}}(s)_1 = \frac{1}{s+1} \Rightarrow H(s)_1 = \frac{1}{\frac{s}{\omega_c} + 1} = \frac{1}{\frac{s}{\omega_c} + 1}$   
 —инерционное звено 1-го порядка

ФВЧ

Задано:  $\omega_c \Rightarrow A^2(\omega_c) = -3\text{дБ}$   
 $\omega_3 \Rightarrow A^2(\omega_3) = -40\text{дБ}$



1. Определяем порядок  $N_\phi$  исходного ФНЧ Баттерворта  $N_\phi = -\frac{1}{20} \frac{A^2(\omega_3) \text{дБ}}{\lg \frac{\omega_c}{\omega_3}}$

2. Выписываем передаточную функцию единичного ФНЧ  $H_{\text{едн}}(s)_{N_\phi}$

3. Делаем подстановку:  $s \Rightarrow \frac{\omega_c}{s}$  \*\* Порядок не меняется  $M = N_\phi$

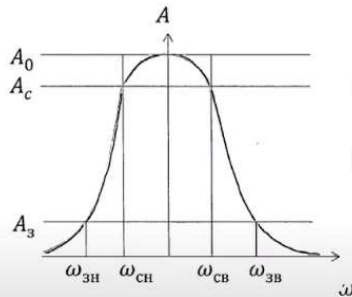
Например, для  $N_\phi = 1$ :  $H_{\text{едн}}(s)_1 = \frac{1}{s+1} \Rightarrow H(s)_1 = \frac{1}{\frac{\omega_c}{s} + 1} = \frac{s}{\frac{\omega_c}{s} + 1}$   
 —дифференцирующее звено 1-го порядка

Задано:  $\omega_{\text{сн}}, \omega_{\text{св}} \Rightarrow A^2(\omega_{\text{с}}) = -3\text{дБ}$   
 $\omega_{\text{зн}}, \omega_{\text{зв}} \Rightarrow A^2(\omega_{\text{з}}) = -40\text{дБ}$

ФП

Выбирают:  $\frac{\omega_{\text{сн}}}{\omega_{\text{зн}}} = \frac{\omega_{\text{зв}}}{\omega_{\text{св}}}$

Достаточно задать три значения  $\omega_{\text{сн}}, \omega_{\text{св}}, \omega_{\text{зв}}$  Тогда  $\omega_{\text{зн}} = \omega_{\text{сн}} * \frac{\omega_{\text{св}}}{\omega_{\text{зв}}}$



1. Определяем порядок  $N_\phi$  исходного ФНЧ Баттерворта  $N_\phi = -\frac{1}{20} \lg \frac{A^2(\omega_{\text{з}}) \text{дБ}}{\omega_{\text{зв}} - \omega_{\text{зн}}}$
2. Выписываем передаточную функцию единичного ФНЧ  $H_{\text{едн}}(s)_{N_\phi}$
3. Делаем подстановку:  $s \Rightarrow \frac{s^2 + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}{s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}})}$  \*\* Порядок удваивается  $M < N_\phi$

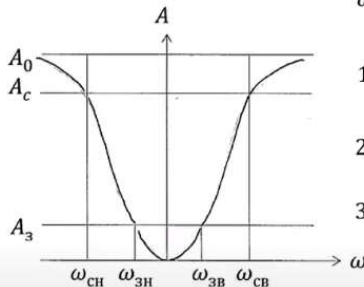
Например, для  $N_\phi = 1$ :  $H_{\text{едн}}(s)_1 = \frac{1}{s+1} \Rightarrow H(s)_2 = \frac{s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}})}{s^2 + s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}}) + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}$   
 –инерционно – колебательное звено 2-го порядка

Задано:  $\omega_{\text{сн}}, \omega_{\text{св}} \Rightarrow A^2(\omega_{\text{с}}) = -3\text{дБ}$   
 $\omega_{\text{зн}}, \omega_{\text{зв}} \Rightarrow A^2(\omega_{\text{з}}) = -40\text{дБ}$

ФР

Выбирают:  $\frac{\omega_{\text{сн}}}{\omega_{\text{зн}}} = \frac{\omega_{\text{зв}}}{\omega_{\text{св}}}$

Достаточно задать три значения  $\omega_{\text{зн}}, \omega_{\text{зв}}, \omega_{\text{св}}$  Тогда  $\omega_{\text{сн}} = \omega_{\text{зн}} * \frac{\omega_{\text{св}}}{\omega_{\text{зв}}}$



1. Определяем порядок  $N_\phi$  исходного ФНЧ Баттерворта  $N_\phi = -\frac{1}{20} \lg \frac{A^2(\omega_{\text{з}}) \text{дБ}}{\omega_{\text{зв}} - \omega_{\text{зн}}}$
2. Выписываем передаточную функцию единичного ФНЧ  $H_{\text{едн}}(s)_{N_\phi}$
3. Делаем подстановку:  $s \Rightarrow \frac{s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}})}{s^2 + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}$  \*\* Порядок удваивается  $M = N_\phi$

Например, для  $N_\phi = 1$ :  $H_{\text{едн}}(s)_1 = \frac{1}{s+1} \Rightarrow H(s)_2 = \frac{s^2 + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}{s^2 + s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}}) + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}$   
 –дифференционно – колебательное звено 2-го порядка

2. Определяем порядок  $N_\phi$  исходного единичного фильтра См. 9.7с1, 9.7с2, 9.7с3, 9.7с4

$$\text{ФНЧ: } N_\phi = -\frac{1}{20} \lg \frac{A^2(\omega_{\text{з}}) \text{дБ}}{\omega_{\text{з}} - \omega_{\text{с}}}$$

$$\text{ФВЧ: } N_\phi = -\frac{1}{20} \lg \frac{A^2(\omega_{\text{з}}) \text{дБ}}{\omega_{\text{с}} - \omega_{\text{з}}}$$

$$\text{ФП: } N_\phi = -\frac{1}{20} \lg \frac{A^2(\omega_{\text{з}}) \text{дБ}}{\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}}}$$

$$\text{ФР: } N_\phi = -\frac{1}{20} \lg \frac{A^2(\omega_{\text{з}}) \text{дБ}}{\omega_{\text{зв}} - \omega_{\text{зн}}}$$

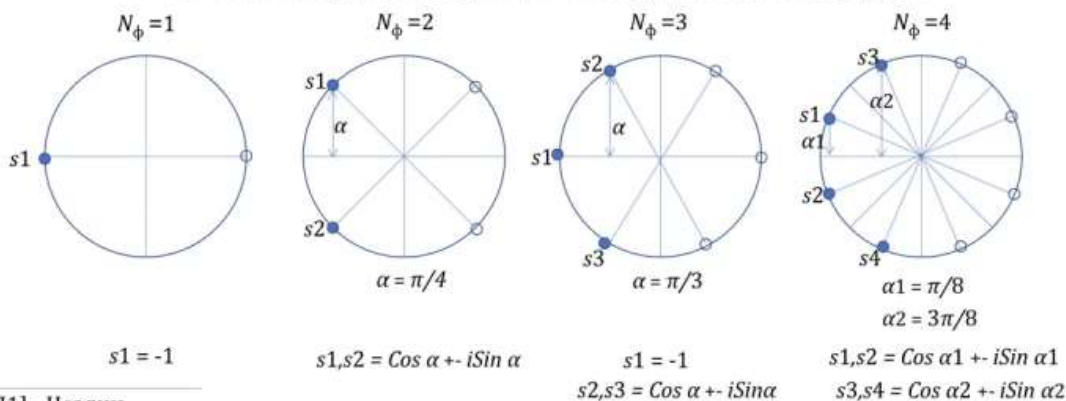
### Пункт 3. ПФ

## 9.6 Передаточная функция единичного ФНЧ Баттерворта

Передаточную функцию заданного фильтра Баттерворта-ФНЦ, ФВЧ, ФП, ФР будем рассчитывать на основе единичного ФНЧ Баттерворта

$$\text{Единичный ФНЧ Баттерворта: } \omega_c = 1 \quad H_{\text{едн}}(s)_{N\phi} = \frac{1}{\prod (s - s_i)} \quad i = 1 \dots N\phi \quad **$$

$s_i$  - полюса передаточной функции - на окружности нулевого радиуса



\*\* См. [Л1]- Незлин

МИЭТ Широ Г.Э. Кузнецов М.С.

$$N_\phi = 1 \quad H_{\text{едн}1}(s) = \frac{1}{s - s_1} = \frac{1}{s - (-1)} = \frac{1}{1 + s}$$

Фильтр 1-го порядка.

При  $\tau = 1$  -инерционное звено

$$N_\phi = 2 \quad H_{\text{едн}2}(s) = \frac{1}{(s - s_1)(s - s_2)} = \frac{1}{[s - (-\cos \alpha + i \sin \alpha)][s - (-\cos \alpha - i \sin \alpha)]} =$$

$$= \frac{1}{s^2 + 2s \cos \alpha + 1} = \frac{1}{s^2 + 2s \cos \pi/4 + 1} = \frac{1}{s^2 + \sqrt{2}s + 1}$$

Фильтр 2-го порядка.

$$N_\phi = 3 \quad H_{\text{едн}3}(s) = \frac{1}{s - s_1} * \frac{1}{(s - s_2)(s - s_3)} =$$

$$= \frac{1}{s - s_1} * \frac{1}{s^2 + 2s \cos \alpha + 1} = \frac{1}{s - (-1)} * \frac{1}{s^2 + 2s \cos \pi/3 + 1} = \frac{1}{s + 1} * \frac{1}{s^2 + s + 1}$$

Фильтр 3-го порядка.

Посл. включение 1-го и 2-го

$$N_\phi = 4 \quad H_{\text{едн}4}(s) = \frac{1}{(s - s_1)(s - s_2)} * \frac{1}{(s - s_3)(s - s_4)} =$$

$$= \frac{1}{s^2 + 2s \cos \alpha_1 + 1} * \frac{1}{s^2 + 2s \cos \alpha_2 + 1} = \frac{1}{s^2 + 2s \cos \pi/8 + 1} * \frac{1}{s^2 + 2s \cos 3\pi/8 + 1} = \frac{1}{s^2 + 0.92s + 1} * \frac{1}{s^2 + 0.38s + 1}$$

Фильтр 4-го порядка.

Посл. включение 2-го и 2-го

МИЭТ Широ Г.Э. Кузнецов М.С.

3. Выписываем передаточную функцию исходного единичного фильтра  $H_{\text{едн}}(s)_{N\phi}$  См.9.6с2

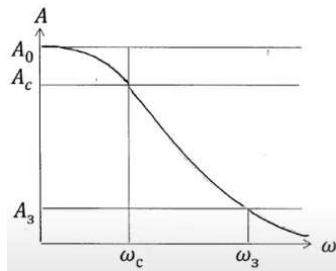
$$H_{\text{едн}N\phi}(s) = H_{\text{едн}1}(s) * \prod H_{\text{едн}2}(s) \quad N_\phi = 1, 3, 5 \dots N\phi \text{ нечётный}$$

$$H_{\text{едн}N\phi}(s) = \prod H_{\text{едн}2}(s) \quad N_\phi = 2, 4, 6 \dots N\phi \text{ чётный}$$

### Пункт 4. Подстановка типа

### ФНЧ

Задано:  $\omega_c \Rightarrow A^2(\omega_c) = -3\text{дБ}$   
 $\omega_3 \Rightarrow A^2(\omega_3) = -40\text{дБ}$



1. Определяем порядок  $N_\Phi$  исходного ФНЧ Баттерворта  $N_\Phi = -\frac{1}{20} \frac{A^2(\omega_3) \text{дБ}}{\lg \frac{\omega_3}{\omega_c}}$

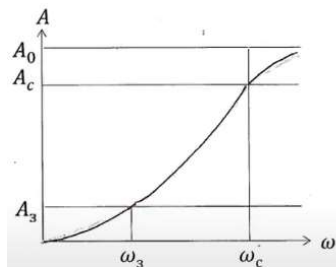
2. Выписываем передаточную функцию единичного ФНЧ  $H_{\text{едн}}(s)_{N_\Phi}$

3. Делаем подстановку:  $s \Rightarrow \frac{s}{\omega_c}$  \*\* Порядок не меняется  $M < N_\Phi$

Например, для  $N_\Phi = 1$ :  $H_{\text{едн}}(s)_1 = \frac{1}{s+1} \Rightarrow H(s)_1 = \frac{1}{\frac{s}{\omega_c} + 1} = \frac{1}{\frac{s}{\omega_c} + 1}$   
 –инерционное звено 1-го порядка

### ФВЧ

Задано:  $\omega_c \Rightarrow A^2(\omega_c) = -3\text{дБ}$   
 $\omega_3 \Rightarrow A^2(\omega_3) = -40\text{дБ}$



1. Определяем порядок  $N_\Phi$  исходного ФНЧ Баттерворта  $N_\Phi = -\frac{1}{20} \frac{A^2(\omega_3) \text{дБ}}{\lg \frac{\omega_c}{\omega_3}}$

2. Выписываем передаточную функцию единичного ФНЧ  $H_{\text{едн}}(s)_{N_\Phi}$

3. Делаем подстановку:  $s \Rightarrow \frac{\omega_c}{s}$  \*\* Порядок не меняется  $M = N_\Phi$

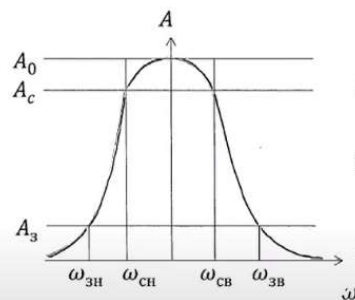
Например, для  $N_\Phi = 1$ :  $H_{\text{едн}}(s)_1 = \frac{1}{s+1} \Rightarrow H(s)_1 = \frac{1}{\frac{\omega_c}{s} + 1} = \frac{s}{\frac{\omega_c}{s} + 1}$   
 –дифференцирующее звено 1-го порядка

Задано:  $\omega_{\text{сн}}, \omega_{\text{св}} \Rightarrow A^2(\omega_c) = -3\text{дБ}$   
 $\omega_{\text{зн}}, \omega_{\text{зв}} \Rightarrow A^2(\omega_3) = -40\text{дБ}$

### ФП

Выбирают:  $\frac{\omega_{\text{сн}}}{\omega_{\text{зн}}} = \frac{\omega_{\text{зн}}}{\omega_{\text{св}}}$

Достаточно задать три значения  $\omega_{\text{сн}}, \omega_{\text{св}}, \omega_{\text{зв}}$  Тогда  $\omega_{\text{зн}} = \omega_{\text{сн}} * \frac{\omega_{\text{св}}}{\omega_{\text{зв}}}$



1. Определяем порядок  $N_\Phi$  исходного ФНЧ Баттерворта  $N_\Phi = -\frac{1}{20} \frac{A^2(\omega_3) \text{дБ}}{\lg \frac{\omega_{\text{зв}} - \omega_{\text{зн}}}{\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}}}}$

2. Выписываем передаточную функцию единичного ФНЧ  $H_{\text{едн}}(s)_{N_\Phi}$

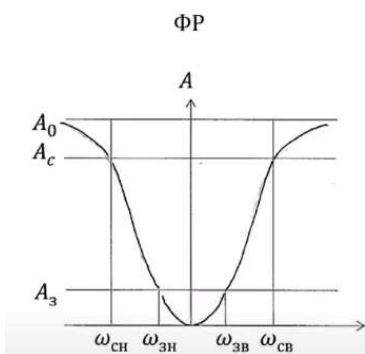
3. Делаем подстановку:  $s \Rightarrow \frac{s^2 + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}{s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}})}$  \*\* Порядок удваивается  $M < N_\Phi$

Например, для  $N_\Phi = 1$ :  $H_{\text{едн}}(s)_1 = \frac{1}{s+1} \Rightarrow H(s)_2 = \frac{s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}})}{s^2 + s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}}) + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}$   
 –инерционно – колебательное звено 2-го порядка



Задано:  $\omega_{\text{сн}}, \omega_{\text{св}} \Rightarrow A^2(\omega_c) = -3\text{дБ}$   
 $\omega_{\text{зн}}, \omega_{\text{зв}} \Rightarrow A^2(\omega_3) = -40\text{дБ}$

Выбирают:  $\frac{\omega_{\text{сн}}}{\omega_{\text{зн}}} = \frac{\omega_{\text{зв}}}{\omega_{\text{св}}}$



Достаточно задать три значения  $\omega_{\text{зн}}, \omega_{\text{зв}}, \omega_{\text{св}}$ . Тогда  $\omega_{\text{сн}} = \omega_{\text{зн}} * \frac{\omega_{\text{св}}}{\omega_{\text{зв}}}$

1. Определяем порядок  $N_\phi$  исходного ФНЧ Баттерворта  $N_\phi = -\frac{1}{20 \lg} \frac{A^2(\omega_3) \text{дБ}}{\frac{\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}}}{\omega_{\text{зв}} - \omega_{\text{зн}}}}$

2. Выписываем передаточную функцию единичного ФНЧ  $H_{\text{едн}}(s)_{N_\phi}$

3. Делаем подстановку:  $s \Rightarrow \frac{s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}})}{s^2 + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}$  \*\* Порядок удваивается  $M = N_\phi$

Например, для  $N_\phi = 1$ :  $H_{\text{едн}}(s)_1 = \frac{1}{s+1} \Rightarrow H(s)_2 = \frac{s^2 + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}{s^2 + s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}}) + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}$   
 – дифференциально – колебательное звено 2-го порядка

10.3с

4 ФНЧ, ФВЧ. Делаем подстановку:  $s \Rightarrow \frac{s}{\omega_{\text{акс}}}$ ,  $s \Rightarrow \frac{\omega_{\text{акс}}}{s}$  См. 9.7с1, 9.7с2

Порядок  $N_\phi$  не увеличивается:

$$H_{N_\phi}(s) = H_1(s) * \Pi H_2(s) \quad N_\phi = 1, 3, 5 \dots$$

$$H_{N_\phi}(s) = \Pi H_2(s) \quad N_\phi = 2, 4, 6 \dots$$

5 ФП, ФР. Делаем подстановку:  $s \Rightarrow \frac{s^2 + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}{s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}})}$ ,  $s \Rightarrow \frac{s^2 + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}{s^2 + s(\omega_{\text{св}} - \omega_{\text{сн}}) + \omega_{\text{сн}} * \omega_{\text{св}}}$  См. 9.7с3, 9.7с4

Порядок  $N_\phi$  удваивается:

$$H_{N_\phi}(s) = H_2(s) * \Pi H_4(s) \quad N_\phi = 2, 6, 10 \dots$$

$$H_{N_\phi}(s) = \Pi H_4(s) \quad N_\phi = 4, 8, 12 \dots$$

## Пункт 5. Подстановка Z

ФНЧ, ФВЧ, ФП, ФР. Делаем подстановку:  $s = \frac{2}{T} \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}$

## Пункт 6. Функциональная схема

Билинейное Z-преобразование произведения равно произведению Z-преобразований сомножителей

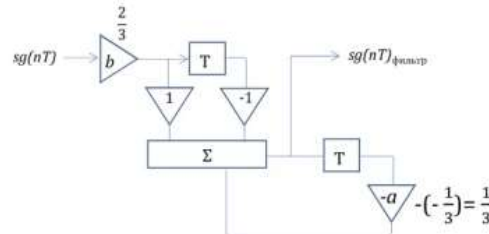
Значит, каждую  $H(s)$  сомножителей можно отдельно превращать в  $H(z)$   
 и затем полученные фильтры включать последовательно!

5. Преобразование  $s = \frac{2}{T} \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}$

$$H(s) = \frac{s}{\omega_{аск} + s} \Rightarrow H(z) = \frac{\frac{2}{T} \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}}{\omega_{аск} + \frac{2}{T} \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}} = \frac{2(1-z^{-1})}{2(1-z^{-1}) + \omega_{аск}T(1+z^{-1})} = \frac{2(1-z^{-1})}{(2+\omega_{аск}T) + (-2+\omega_{аск}T)z^{-1}} = \frac{2}{2+\omega_{аск}T} \cdot \frac{1-z^{-1}}{1 + \frac{-2+\omega_{аск}T}{2+\omega_{аск}T}z^{-1}} = b \frac{1-z^{-1}}{1+a z^{-1}}^{**}$$

В примере:  $\omega_{аск}T=1$   $b = \frac{2}{2+\omega_{аск}T} = \frac{2}{2+1} = \frac{2}{3}$   $a = \frac{-2+\omega_{аск}T}{2+\omega_{аск}T} = \frac{-2+1}{2+1} = -\frac{1}{3}$   $H(z) = \frac{2}{3} \frac{1-z^{-1}}{1-\frac{1}{3}z^{-1}}$   $H(z) = \frac{1}{3} \frac{1+z^{-1}}{1-\frac{1}{3}z^{-1}}$  Сравним с ФНЧ

6. Функциональная схема



$$^{**} \frac{b_0 + b_1 z^{-1}}{1 + a z^{-1}}$$

МИЭТ Широ Г.Э. Кузнецов М.С.

## Пункт 7. Проверка АЧХ

## Расчёт АЧХ для $\omega T_i$ , $\omega a T_i$ – сравнение точек

Исследуем АЧХ

$$A(\omega T) = \frac{\sqrt{(\cos \omega T + 1)^2 + 4 \sin^2 \omega T}}{-3 \cos \omega T + 5}$$

1.  $\omega T = 0$   $A(0) = \frac{\sqrt{(1+1)^2 + 0}}{-3+5} = \frac{2}{2} = 1$   
 $A'(0) = 0^{**}$  В обоих слагаемых производной содержится  $\sin(0)=0$

2.  $\omega T = \omega_c T = 0.927$   $A(0.927) = \frac{\sqrt{(\cos 0.927 + 1)^2 + 4 \sin^2 0.927}}{-3 \cos 0.927 + 5} = 0.7$

2.  $\omega T = \omega_3 T = 1.75$   $A(1.75) = \frac{\sqrt{(\cos 1.75 + 1)^2 + 4 \sin^2 1.75}}{-3 \cos 1.75 + 5} = 0.4$

3.  $\omega T = \pi$   $A(\pi) = \frac{\sqrt{(-1+1)^2 + 0}}{3+5} = 0$   
 $A'(\pi) = 0^{**}$  В обоих слагаемых производной содержится  $\sin(\pi)=0$

4.  $\omega T > \pi$  Кривая  $A(\omega T)$  симметрична относительно  $\omega T = \pi$ : в  $A(\omega T)$  содержится  $\cos$  и  $\sin^2$

$^{**} \left[ \frac{f(x)}{g(x)} \right]' = \frac{1}{g^2(x)} [f'(x) \cdot g(x) - f(x) \cdot g'(x)]$  производная дроби

МИЭТ Широ Г.Э. Кузнецов М.С.

Сравним с АЧХ аналогового прототипа - инерционного звена

См 9.1с2

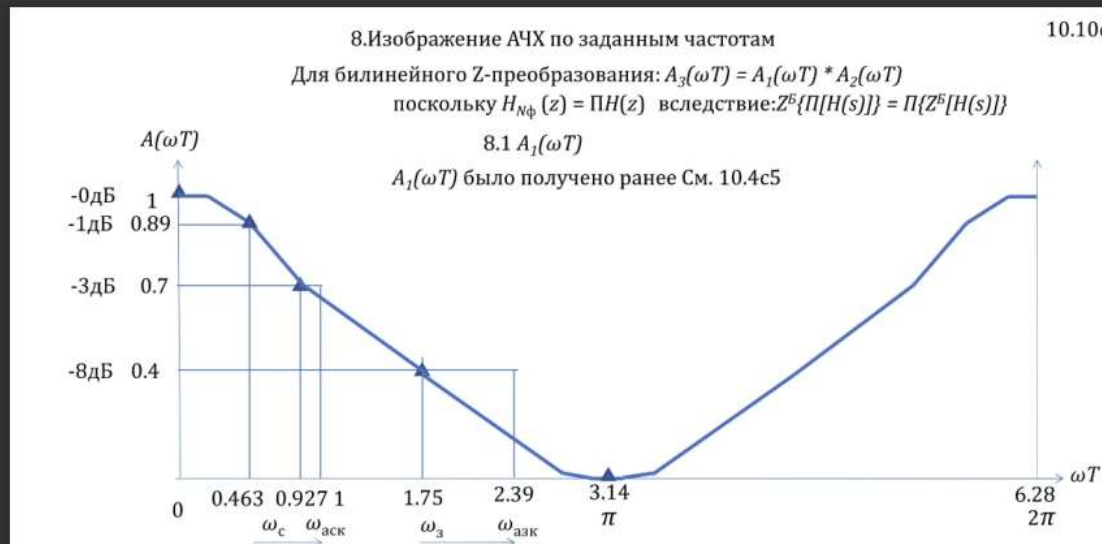
$$A(\omega_a) = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega_a^2 T^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\omega_a^2}{\omega_{ac}^2} * T^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega_a^2 T^2}} = A(\omega_a T)$$

В нашем примере  $\omega_{ac} * T = 1$ 

1.  $\omega_a T = 0$        $A(0) = 1$
2.  $\omega_{ac} T = 1$        $A(1) = 0.7$
3.  $\omega_{az} T = 2.39$        $A(2.39) = \frac{1}{\sqrt{1 + 2.39^2}} = 0.4$
4.  $\omega_a T = \pi$        $A(\pi) = \frac{1}{\sqrt{1 + \pi^2}} = \frac{1}{\pi} = 0.32$
5.  $\omega_a T = 2\pi$        $A(2\pi) = \frac{1}{\sqrt{1 + 4\pi^2}} = \frac{1}{2\pi} = 0.16$

## Пункт 8. Изображение АЧХ

МИЭТ Широ Г. Э. Кузнецов М. С.



МИЭТ Широ Г. Э. Кузнецов М. С.