

# *Автоматика и управление*

## **Тема 7. Синтез линейных стационарных автоматических систем**

**Лекция 9.** Методика расчета последовательных корректирующих устройств. Методика расчета параллельных корректирующих устройств

## 7.5. Синтез последовательного КУ методом ЛЧХ

Постановка задачи синтеза АС

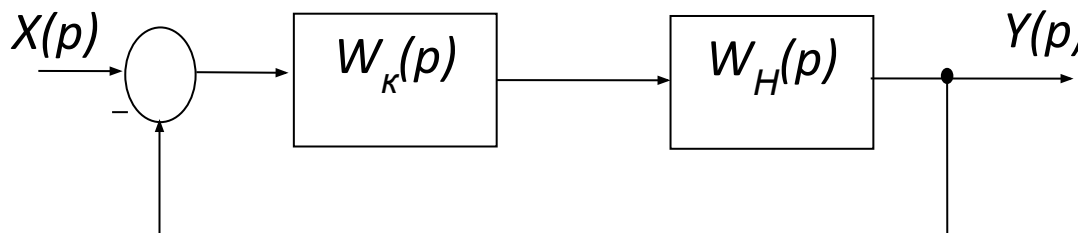
Исходные данные :

1. Требования к качеству АС - времени регулирования  $t_p$ , перерегулированию  $\Delta h_m$ , запасам устойчивости  $\phi_3$  и  $L_3$ , максимально допустимым значениям ошибок в установившемся режиме  $|e_{x_{max}}|, |e_{y_{max}}|$

2. Эксплуатационные ограничения, накладываемые особенностями объекта управления и условиями его функционирования

$$|x_{max}|, |x_{max}|, \dots, |y_{max}|, |y_{max}|, \dots$$

Скорректировать АС с передаточной функцией разомкнутого контура  $W_H(p)$  путем синтеза последовательного КУ таким образом, чтобы удовлетворить требования, предъявляемые к АС. В результате синтеза должны быть определены структура, параметры последовательного КУ и схема технической реализации



$W_H(p)$  - передаточная функция неизменной части корректируемой АС;  
 $W_k(p)$  - передаточная функция последовательного КУ

ПФ разомкнутой скорректированной системы (назовём её желаемой)  
 $W_{ж}(p)$

$$W_{ж}(p) = W_{к}(p)W_{н}(p)$$

$$W_{к}(p) = \frac{W_{жс}(p)}{W_{н}(p)} \longrightarrow \begin{cases} L_{к}(\omega) = L_{ж}(\omega) - L_{н} \\ \phi_{к}(\omega) = \phi_{ж}(\omega) - \phi_{н}(\omega) \end{cases}$$

Для минимально-фазовых АС характерна однозначная связь между  $L(\omega)$  и  $\phi(\omega)$ , поэтому для синтеза КУ можно использовать только одну из ЛЧХ АС, а именно ЛАХ –  $L(\omega)$ . Поскольку для построения ЛАХ требуется минимум расчетов, то данный метод нашел широкое применение на практике.



**Солодовников Владимир Викторович** ([1910](#), Владивосток — [1991](#)) — профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, почетный член РАН, выдающийся кибернетик современности, один из основателей советской автоматики, один из основателей ЦНИИКА, первый заместитель директора института по научной части ([1956](#) — [1965](#) годы).

## Этапы синтеза КУ методом ЛАХ:

1. Построение ЛАХ нескорректированной системы  $L_H(\omega)$ .
2. Построение желаемой ЛАХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$  с учетом требований, предъявляемых к АС.
3. Проверка устойчивости и качества синтезированной АС известными методами. Если заданные требования не выполняются, то изменяется желаемая ЛАХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$ .
4. Определение ЛАХ последовательного КУ  $L_K(\omega)$ .
5. Определение передаточной функции КУ  $W_K(p)$  по виду ЛАХ КУ  $L_K(\omega)$ .
6. Проверка соответствия скорректированной АС с ПФ разомкнутой системы  $W(p) = W_K(p) W_H(p)$  точными методами на соответствие предъявляемым требованиям.
7. Выбор схемы реализации КУ (по таблицам) и расчет её элементов.

**Сложность синтеза состоит в удачном выборе желаемой ЛАХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$**

## Построение желаемой

**ЛАХ**

Необходимо учесть два противоречивых требования:

1. Скорректированная система должна удовлетворить всем заданным требованиям ...
2. КУ, получаемое в результате синтеза, должно быть максимально простым в реализации.

Желаемую ЛАХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$  условно подразделяют на три части:

**низкочастотную, среднечастотную и высокочастотную.**

**Низкочастотная часть  $L_{\text{ж}}(\omega)$  определяет статические свойства системы, т.е. принципиальную точность АС в установившемся режиме: коэффициент усиления  $K$ , астатизм  $\nu$ , ошибку в установившемся режиме  $e(t)$**

**Среднечастотная часть  $L_{ж}(\omega)$  определяет устойчивость, запас устойчивости, время регулирования и перерегулирование АС.**

Основные параметры среднечастотной асимптоты - это ее **наклон, частота среза  $\omega_c$**  и ее **расположение** на оси абсцисс **относительно границ среднечастотной асимптоты.**

Чем больше наклон среднечастотной асимптоты и меньше ее размах по частотам, тем хуже динамические свойства системы.

Наиболее целесообразным является наклон **-20 дБ/дек.**

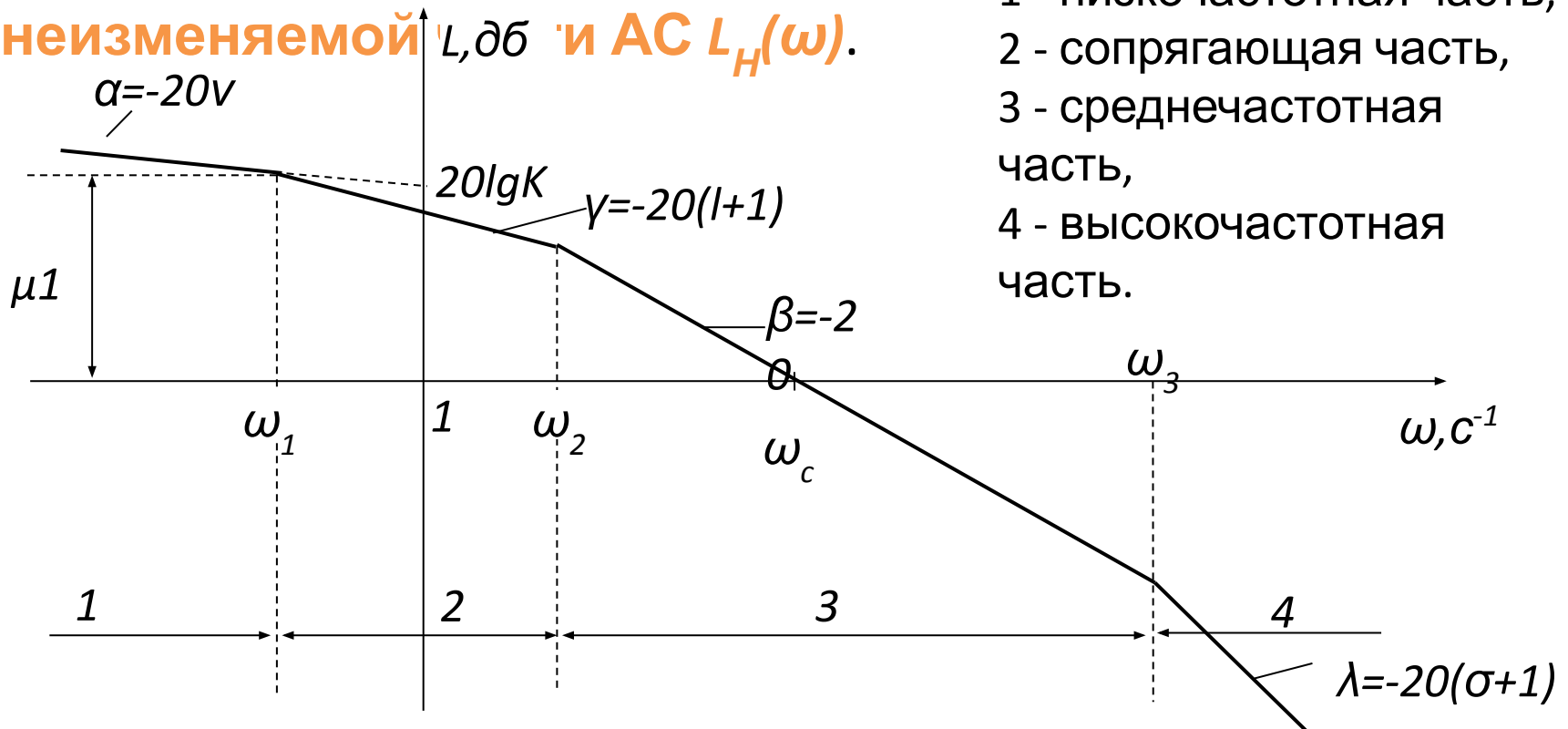
Частота среза  $\omega_c$  определяет быстродействие системы.

Чем больше  $\omega_c$ , тем меньше время регулирования.

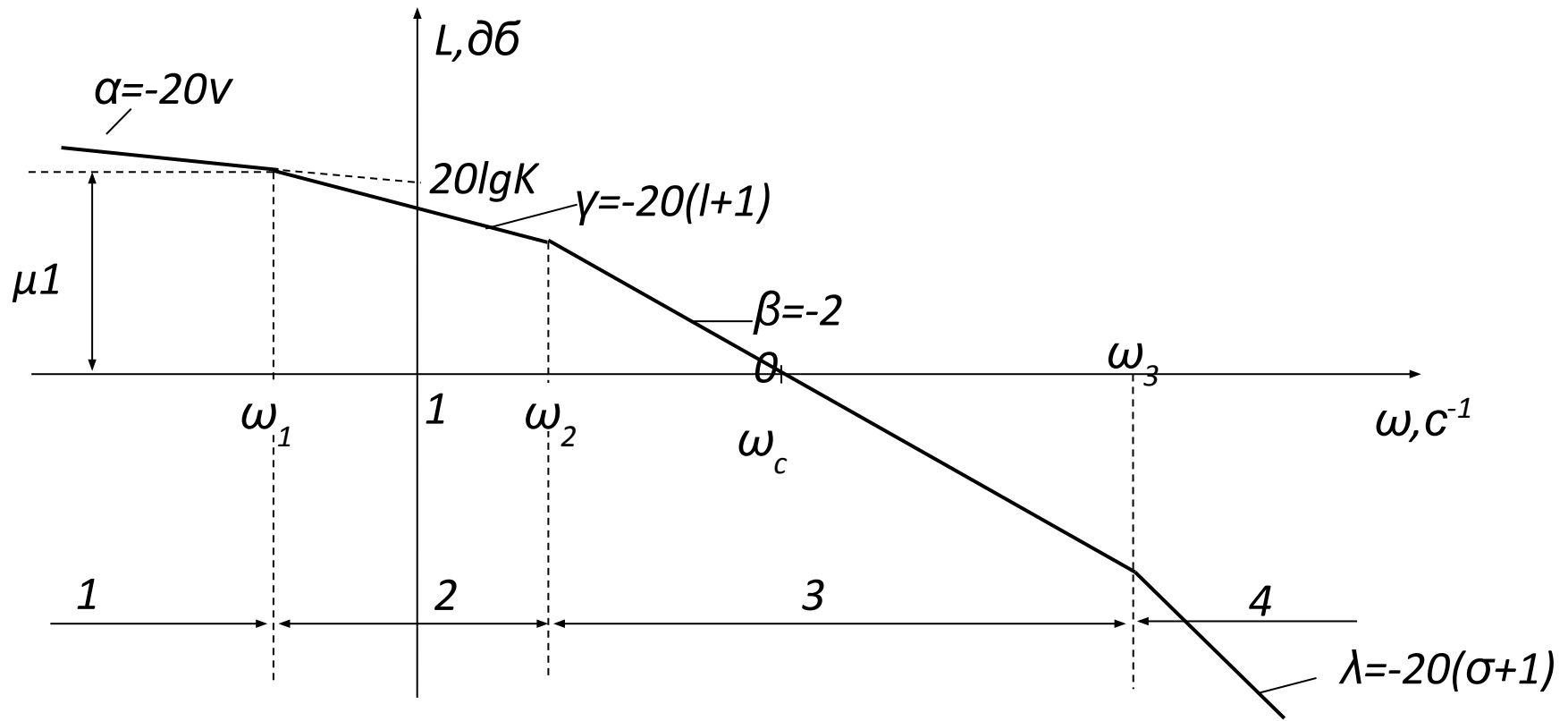
Все выше перечисленные связи и зависимости далеко не так прямолинейны и однозначны, что делает выбор  $L_{ж}(\omega)$  самым ответственным этапом синтеза

**Высокочастотная часть**  $L_{\text{ж}}(\omega)$  незначительно влияет на динамические свойства системы, но **чем больше наклон** ее асимптоты, тем меньше **потребная мощность исполнительного устройства** и влияние **высокочастотных помех**.

Зачастую, высокочастотную часть желаемой ЛАХ строят так, чтобы она **совпадала или была параллельной ЛАХ неизменяемой** и АС  $L_{\text{н}}(\omega)$ .



- 1 - низкочастотная часть,
- 2 - сопрягающая часть,
- 3 - среднечастотная часть,
- 4 - высокочастотная часть.



Величина  $v$  - определяет порядок астатизма системы и, следовательно, наклон низкочастотной асимптоты желаемой ЛАХ. Величина  $\gamma$  - определяет наклон участка, сопрягающего низкочастотную асимптоту со среднечастотной асимптотой, имеющей наклон  $-20$  дБ/дек. Частота  $\omega_2$ , ближайшая слева к частоте среза - граничная частота сопряжения. Частота  $\omega_3$ , ближайшая справа к частоте среза - граничная частота сопряжения. Частота  $\omega_1$  - первая частота сопряжения.  $\mu_1 = L(\omega_1)$  - входная величина для номограмм Чеснута-Майера.



Точные методы построения желаемой ЛАХ (методы Солодовникова, Санковского - Сигалова и т.д.).

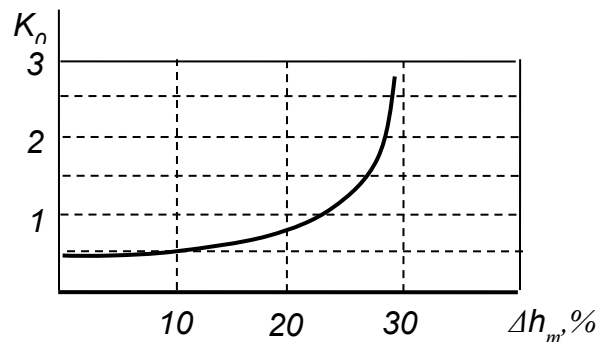
На практике чаще пользуются упрощенным методом

1. Исходя из требований к точности АС в установившемся режиме определяют порядок астатизма  $\nu$  и коэффициент усиления системы  $K_{\text{ж}}$ . Для найденных значений  $\nu$  и  $K_{\text{ж}}$  проводится низкочастотная асимптота желаемой ЛАХ с наклоном  $\alpha = -20 \nu$  дБ/дек. через точку с координатами  $\omega = 1$ ,  $L(1) = 20 \lg K_{\text{ж}}$

2. Для заданных  $t_p$  и  $\Delta h_m$  определяют частоту среза желаемой ЛАХ по формуле:

$$\omega_c = K_0 \frac{\pi}{t_p}$$

где  $K_0$  – коэффициент, определяемый из графика:



3. Для обеспечения  $\Delta h_m < 20 \div 30 \%$  наклон средней асимптоты должен быть  $\beta = -20$  дБ/дек.

4. Определяют граничные частоты  $\omega_3$  и  $\omega_2$ . Хорошие динамические свойства, т.е. ( $\Delta h_m < 30\%$ ) и необходимый запас устойчивости ( $\phi_3$ )

обеспечиваются в случае, если выполняются условия:

$$\begin{aligned}\omega_3 &= (2 \div 4) \omega_c \\ \omega_2 &\leq 0,1 \omega_3\end{aligned}$$

длина среднечастотной асимптоты должна быть не менее одной декады.

5. Участки 1 и 3 сопрягают прямой с наклоном  $\gamma = -20 \cdot S$  дБ/дек.

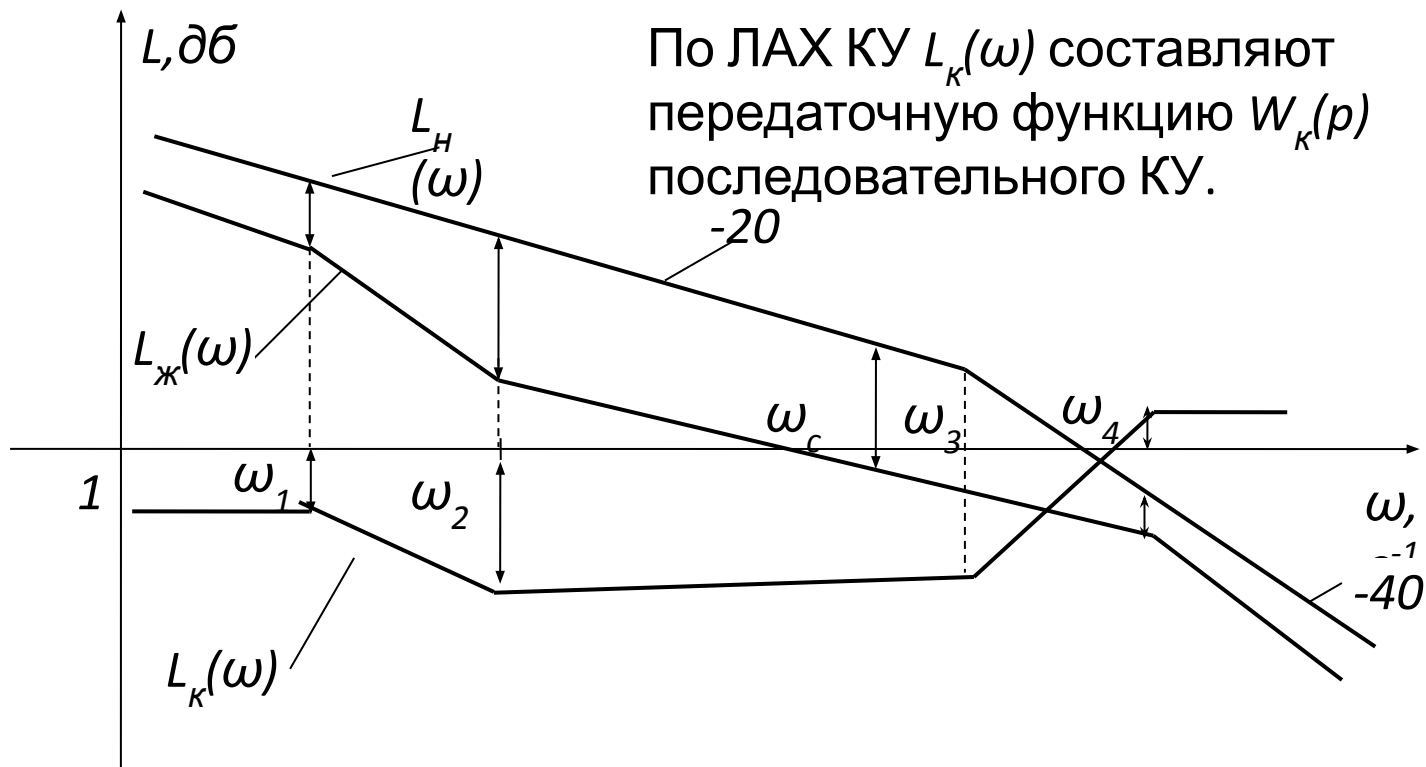
Величину  $S$  выбирают из условия обеспечения наибольшего запаса устойчивости по фазе. Чем больше  $S$ , тем меньше запас устойчивости. Точка пересечения участков 1 и 2 определяет частоту сопряжения  $\omega_1$ .

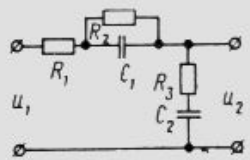
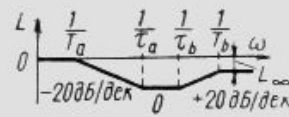
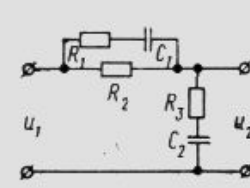
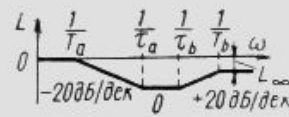
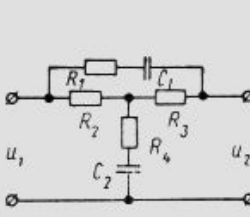
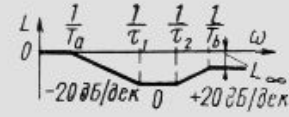
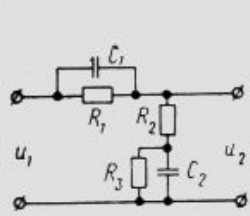

6. Наклон высокочастотной асимптоты желаемой ЛАХ, как правило, совпадает с наклоном ЛАХ нескорректированной АС на этом участке. Невыполнение данного условия существенно усложняет КУ

# Определение ЛАХ и передаточной функции КУ

После построения ЛАХ исходной нескорректированной системы  $L_H(\omega)$  и ЛАХ желаемой  $L_{\text{ж}}(\omega)$  системы, проверки желаемой АС на устойчивость и соответствие требуемым показателям качества, можно определить ЛАХ последовательного КУ

$$L_K(\omega) = L_{\text{ж}}(\omega) - L_H(\omega)$$



№ по пор.	Электрическая схема	Передаточная функция, значения ее параметров и значения амплитуд $A_0 = A(0)$ и $A_\infty = A(\infty)$	Асимптотическая логарифмическая амплитудно-частотная характеристика
47		$W = \frac{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}{a_0 s^2 + a_1 s + 1}; \quad \tau_1 = R_2 C_1; \quad \tau_2 = R_3 C_2; \quad a_0 = (R_1 + R_3) R_2 C_1 C_2;$ $a_1 = R_2 C_1 + (R_1 + R_2 + R_3) C_2; \quad A_0 = 1; \quad A_\infty = \frac{R_3}{R_1 + R_3}$	
48		$W = \frac{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}{a_0 s^2 + a_1 s + 1}; \quad \tau_1 = (R_1 + R_2) C_1; \quad \tau_2 = R_3 C_2;$ $a_0 = (R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1) C_1 C_2; \quad a_1 = (R_1 + R_2) C_1 + (R_2 + R_3) C_2;$ $A_0 = 1; \quad A_\infty = \frac{(R_1 + R_2) R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}$	
49		$W = \frac{b_0 s^2 + b_1 s + 1}{a_0 s^2 + a_1 s + 1}; \quad b_0 = [(R_1 + R_2 + R_3) R_4 + R_2 R_3] C_1 C_2;$ $b_1 = (R_1 + R_2 + R_3) C_1 + R_4 C_2; \quad a_0 = [(R_1 + R_2 + R_3) R_4 + (R_1 + R_3) R_2] C_1 C_2;$ $a_1 = (R_1 + R_2 + R_3) C_1 + (R_2 + R_4) C_2; \quad A_0 = 1;$ $A_\infty = \frac{(R_1 + R_2 + R_3) R_4 + R_2 R_3}{(R_1 + R_2 + R_3) R_4 + (R_1 + R_3) R_2}$	
50		$W = \frac{k(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}{a_0 s^2 + a_1 s + 1}; \quad k = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3};$ $\tau_1 = R_1 C_1; \quad \tau_2 = \frac{R_2 R_3 C_2}{R_2 + R_3}; \quad a_0 = \frac{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2}{R_1 + R_2 + R_3};$ $a_1 = \frac{R_1 (R_2 + R_3) C_1 + R_3 (R_1 + R_2) C_2}{R_1 + R_2 + R_3}; \quad A_0 = k; \quad A_\infty = 1$	

# Синтез АС по заданной

## ТОЧНОСТИ

Исходными данными при синтезе АС по заданной точности являются:

1. Величины максимальных допустимых ошибок

$$e_{x_{max}}, e_{\dot{x}_{max}}, \dots$$

2. Величины максимальных входных воздействий

$$x_{max}, x_{max}^{(1)}, x_{max}^{(2)}, \dots$$

Ошибка АС в установившемся

режиме

$$e(t) = S_0 x(t) + S_1 \dot{x}^{(1)}(t) + \dots = e_{x_{max}} + e_{\dot{x}_{max}} + \dots$$

$$e_{x_{max}} = S_0 x_{max} \quad e_{\dot{x}_{max}} = S_1 x_{max}^{(1)} \quad \dots$$

Зная зависимость коэффициентов ошибки  $S_i$  от параметров  $K_{ж}$  и  $T_i$  желаемой передаточной функции, из равенств можно определить значения этих параметров.

Наприме

$p$

$$W_{\text{жс}}(p) = \frac{K_{\text{жс}}(T_2 p + 1)}{p(T_1 p + 1) \prod_{i=3}^n (T_i p + 1)}$$

где  $T_1 > T_2 > T_3$

$> \dots > T_n$

Определить коэффициент усиления  $K_{\text{жс}}$  разомкнутой АС при заданных исходных данных

При рассмотрении временных процессов в установившемся режиме малоинерционными звеньями с постоянными времени  $T_3, T_4, \dots, T_n$  можно пренебречь, тогда:

$$W_{\text{жс}}(p) = \frac{K_{\text{жс}}(T_2 p + 1)}{p(T_1 p + 1)}$$

Определим передаточную функцию по ошибке желаемой АС:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{XE}}(p) &= -\frac{1}{1 + W_{\text{жс}}(p)} = -\frac{p(T_1 p + 1)}{p(T_1 p + 1) + K_{\text{жс}}(T_2 p + 1)} = \\ &= -\frac{T_1 p^2 + p}{T_1 p^2 + (T_2 K_{\text{жс}} + 1)p + K_{\text{жс}}} = S_0 + S_1 p + S_2 p^2 + \dots \end{aligned}$$

$$-T_1 p^2 - p = (S_0 + S_1 p + S_2 p^2 + \dots) [T_1 p^2 + (T_2 K_{ж} + 1)p + K_{ж}]$$

$$0 = S_0 K_{ж}, \quad \rightarrow \quad S_0 = 0$$

$$\left. \begin{array}{l} p^0 \\ p^1 \end{array} \right| -1 = S_0 (T_2 K_{ж} + 1) + S_1 K_{ж}, \quad \rightarrow \quad S_1 = -\frac{1}{K_{ж}}$$

⊗   ⊗   ⊗   ⊗   ⊗   ⊗   ⊗   ⊗   ⊗

Используя  $e_{x_{max}} = S_0 x_{max}$     $e_{x_{max}}^{(1)} = S_1 x_{max}^{(1)}$

найдем коэффициент  
усиления

$$K_{ж} = \left| -\frac{x_{max}^{(1)}}{e_{x_{max}}^{(1)}} \right|$$

при необходимости  $T_i$

### Методика синтеза АС по заданной точности:

1. Исходя из заданного порядка астатизма АС определяется вид желаемой передаточной функции по построенной  $L_{ж}(\omega)$
2. Определяется передаточная функция по ошибке и коэффициенты ошибок  $S_i$ .
3. Определяются значения неизвестных параметров.

# Синтез АС по заданному запасу

## УСТОЙЧИВОСТИ

Задача: при заданных времени регулирования, а, следовательно, частоте среза  $\omega_c$ , и порядке астатизма, синтезировать АС, у которой запас устойчивости по фазе был бы не менее  $\pi/6$  (требования авиационных систем)

Передаточная функция типовой желаемой АС

$$W_{\text{жс}}(p) = \frac{K_{\text{жс}} (T_2 p + 1)^{v+S-1}}{p^v (T_1 p + 1)^S (T_3 p + 1) \prod_{i=4}^n (T_i p + 1)} \quad T_1 > T_2 > T_3 > \dots > T_n$$

$v$  - порядок астатизма АС по отношению к задающему воздействию,  
 $S$  - величина, определяющая наклон участка сопрягающего низкочастотную асимптоту со среднечастотной, имеющей наклон  $-20$  дБ/дек.



Определим запас устойчивости по фазе типовой желаемой АС с передаточной функцией

$$W_{жс}(p) = \frac{K_{жс} (T_2 p + 1)^{v+S-1}}{p^v (T_1 p + 1)^S (T_3 p + 1) \prod_{i=4}^n (T_i p + 1)}$$

$$\varphi_3 = \pi + \varphi_{жс}(\omega_c) = \pi + (v + S - 1) \operatorname{arctg} T_2 \omega_c - S \cdot \operatorname{arctg} T_1 \omega_c - v \cdot \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} T_3 \omega_c - \sum_{i=4}^n \operatorname{arctg} T_i \omega_c, \quad \text{где } T_i = \frac{1}{\omega_i}$$

Параметры желаемой ЛАХ обычно выбирают так, чтобы выполнялись неравенства:

$$\frac{\omega_c}{\omega_1} \gg 1 \quad \frac{\omega_c}{\omega_i} \ll 1 \quad i = \overline{3, n}$$

$$\text{тогда } \operatorname{arctg} \frac{\omega_c}{\omega_1} \approx \operatorname{arctg} \infty = \pi/2, \quad \operatorname{arctg} \frac{\omega_c}{\omega_i} \approx \frac{\omega_c}{\omega_i} \quad i = \overline{3, n}$$

Пренебрегая

величинами  $\sum_{i=4}^n \omega_c / \omega_i$

$$\varphi_3 = \pi + (v + S - 1) \operatorname{arctg} \frac{\omega_c}{\omega_2} - v \cdot \frac{\pi}{2} - S \cdot \frac{\pi}{2} - \frac{\omega_c}{\omega_3}.$$

Из  
тригонометрии

$$\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \frac{\omega_c}{\omega_2} = \operatorname{arctg} \frac{\omega_2}{\omega_c}$$

так как  
 $\omega_2/\omega_c < 1$

$$\operatorname{arctg} \frac{\omega_2}{\omega_c} \cong \frac{\omega_2}{\omega_c} \quad \text{или} \quad \frac{\omega_c}{\omega_2} \cong \frac{\pi}{2} - \frac{\omega_2}{\omega_c}$$

$$\varphi_3 = \pi + (v + S - 1) \operatorname{arctg} \frac{\omega_c}{\omega_2} - v \cdot \frac{\pi}{2} - S \cdot \frac{\pi}{2} - \frac{\omega_c}{\omega_3}$$



$$\varphi_3 = \pi + (v + S - 1) \left[ \frac{\pi}{2} - \frac{\omega_2}{\omega_c} \right] - (v + S) \frac{\pi}{2} - \frac{\omega_c}{\omega_3}$$

$$\varphi_3 = \frac{\pi}{2} - (v + S - 1) \frac{\omega_2}{\omega_c} - \frac{\omega_c}{\omega_3}$$

Для обеспечения хороших динамических свойств АС частота  $\omega_3$  выбирается из условия:

$$\omega_3 = (2 \div 4) \omega_c$$

Принимая во внимание это условие и то, что запас устойчивости АС должен превышать

$$\frac{\pi}{2} - (v + S - 1) \frac{\omega_2}{\omega_c} - \frac{1}{4} > \frac{\pi}{6}$$

величину  $\pi/6$

$$\frac{\pi}{2} - (v + S - 1) \frac{\omega_2}{\omega_c} - \frac{1}{4} > \frac{\pi}{6}$$

Значение частоты сопряжения  $\omega_2$  определяется при заданных  $v$  и  $S$ .

Пример

Положим  $v=1$  и  $S=1$ ,  
тогда:

$$\frac{\pi}{2} - \frac{\omega_2}{\omega_c} - \frac{1}{4} > \frac{\pi}{6} \quad \left[ \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{6} - \frac{1}{4} \right] \omega_c > \omega_2$$

$$0,8 \omega_c > \omega_2 \text{ или } \omega_2 < 0,2$$

$\omega_3$

На практике применяют более сильное неравенство

$$\omega_2 < 0,1$$

$\omega_3$

Для обеспечения запаса устойчивости по фазе

$$\varphi_3 \geq \frac{\pi}{6}$$

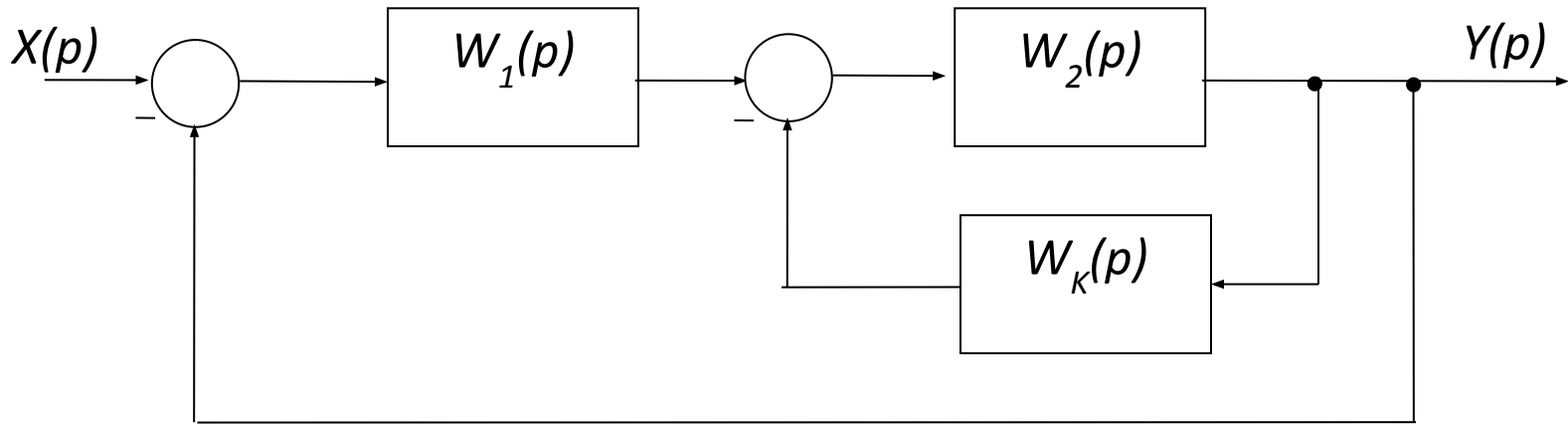
**необходимо чтобы протяженность среднечастотной асимптоты желаемой ЛАХ была не менее одной декады при любых возможных  $v$  и  $S$**

## **Последовательные КУ обладают рядом недостатков:**

1. Требуют дополнительных усилителей мощности по причине ослабления мощности корректируемого сигнала.
2. Предъявляются жесткие требования к стабильности параметров неизменяемой части АС.
3. Наличие форсирующих звеньев в КУ приводит к усилению высокочастотных помех, которые перегружают оконечные каскады.

Перечисленные недостатки последовательных КУ ограничивают их практическое применение в системах средней и большой мощности.

## 7.6. Синтез параллельного КУ методом ЛЧХ



Передаточная функция разомкнутой АС  
 $W_1(p)W_2(p) = W_n(p)$  - передаточная функция неизменяемой части системы;

$W_k(p)$  - передаточная функция параллельного КУ

АФЧХ данной системы

$$W(p) = \frac{W_1(p)W_2(p)}{1 + W_2(p)W_k(p)}$$

$$W(j\omega) = W_n(j\omega) \frac{1}{1 + W_2(j\omega)W_k(j\omega)}$$

Если подобрать параллельное КУ так, чтобы

$$|W_2(j\omega)W_k(j\omega)| \gg 1$$

$$W(j\omega) = W_1(j\omega) \frac{1}{W_k(j\omega)}$$

динамические свойства звена, охваченного обратной связью, определяются динамическими свойствами КУ

## Достоинства

### параллельных КУ

1. Уменьшается зависимость качества корректируемой АС от изменения ее параметров (в нашем случае от параметров  $W_2(p)$ ).

2. Параллельные КУ не требуют дополнительных усилителей мощности.

3. Значительно меньший, по сравнению с последовательным КУ, уровень высокочастотных помех.

## Различают жесткие и гибкие обратные

### связи

*Жесткой обратной связью (ЖОС) называется параллельное КУ с передаточной функцией вида:*

$$W_K(p) = K_K$$

ЖОС действует как в установившемся, так и в переходном режимах. Введение ЖОС приводит к уменьшению коэффициента усиления разомкнутой системы и, следовательно, к незначительному  $\phi_3$  и увеличению ошибки АС  $e(t)$  в установившемся режиме.

*Гибкой обратной связью (ГОС) называется параллельное КУ с передаточной функцией вида:*

$$W_K(p) = K_1 p + K_2 p^2 + K_3 p^3 + \dots$$

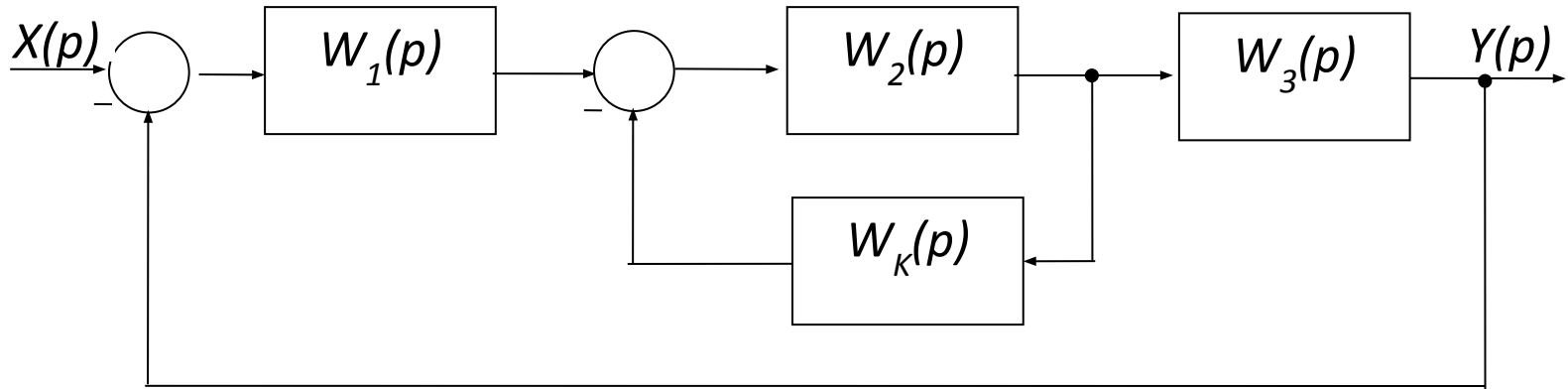
Воздействие ГОС проявляется только в переходных режимах. Поэтому, если необходимо изменить динамические свойства АС без изменения точностных характеристик, применяют ГОС.

В силу того, что дифференцирующие звенья относятся к технически нереализуемым звеньям, на практике вместо ГОС используется изодромная обратная связь.

*Изодромной обратной связью (ИОС) называется параллельное КУ с передаточной функцией вида:*

$$W_K(p) = \frac{K_K p}{T p + 1}$$

# Синтез параллельного КУ методом ЛАХ



Передаточная функция разомкнутой желаемой АС

$$W_{\text{жс}}(p) = \frac{W_1(p)W_2(p)W_3(p)}{1 + W_2(p)W_k(p)} = W_H(p) \frac{1}{1 + W_2(p)W_k(p)}$$

$W_H(p) = W_1(p)W_2(p)W_3(p)$  - передаточная функция неизменной части АС

АФЧХ разомкнутой желаемой АС

$$W_{\text{жс}}(j\omega) = W_H(j\omega) \frac{1}{1 + W_2(j\omega)W_k(j\omega)}$$



$$W_{\text{жс}}(j\omega) = W_H(j\omega) \frac{1}{1 + W_2(j\omega)W_K(j\omega)}$$

Ось частот разбивается на два диапазона. На первом из них выполняется условие:

$$|W_2(j\omega)W_K(j\omega)| \ll 1$$

тогда  
а

$$W_{\text{ж}}(j\omega) \approx W_H(j\omega)$$

$$L_2(\omega) + L_K(\omega) < 0 \text{ или } L_K(\omega) < -L_2(\omega)$$

$$L_{\text{ж}}(\omega) \approx L_H(\omega)$$

На втором диапазоне выполняется условие:

$$|W_2(j\omega)W_K(j\omega)| \gg 1$$

тогда  
а

$$W_{\text{жс}}(j\omega) = \frac{W_1(j\omega)W_3(j\omega)}{W_K(j\omega)}$$

или

$$L_{\text{ж}}(\omega) = L_1(\omega) + L_3(\omega) - L_K(\omega) = L_{1,3}(\omega) - L_K(\omega)$$

$$L_{\text{ж}}(\omega) < L_H(\omega)$$

для всего  
диапазона частот  
справедливо  
неравенство:

$$L_{\text{ж}}(\omega) \leq L_H(\omega)$$

$$L_{1,3}(\omega) = L_1(\omega) + L_3(\omega)$$

Неравенство  $L_{\text{ж}}(\omega) \leq L_{\text{н}}(\omega)$  говорит о том, что  $W_{\text{ж}}(p)$  выбирают из энергетических соображений таким образом, чтобы коэффициент усиления  $K_{\text{ж}}$  по возможности, не превышал коэффициент усиления разомкнутой нескорректированной АС  $K_{\text{н}}$ . В этом случае для скорректированной АС не потребуются дополнительные источники энергии.

### **Основные правила построения ЛАХ параллельного КУ $L_{\text{к}}(\omega)$ :**

1. В диапазоне частот, где  $L_{\text{ж}}(\omega) = L_{\text{н}}(\omega)$  на ЛАХ КУ не накладывается никаких ограничений, кроме простоты технической реализации и условия

$$L_{\text{к}}(\omega) < -L_{\text{н}}(\omega)$$

2. В диапазоне частот, где  $L_{\text{ж}}(\omega) < L_{\text{н}}(\omega)$  ЛАХ КУ должна строиться так, чтобы выполнялось условие

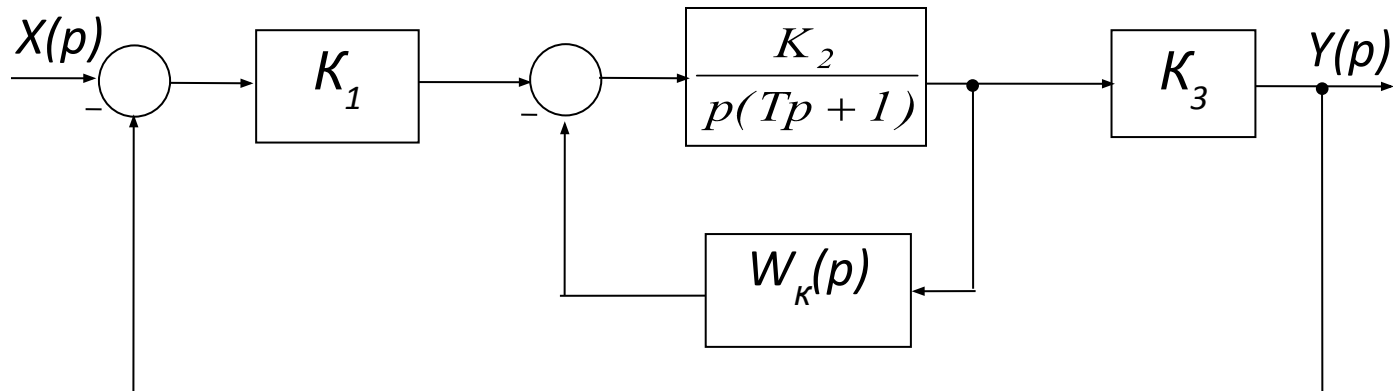
$$L_{\text{к}}(\omega) = L_{1,3}(\omega) - L_{\text{ж}}(\omega)$$

и достигением максимального количества совпадений частот сопряжений  $\omega_i$  для  $L_{\text{ж}}(\omega)$  и  $L_{1,3}(\omega)$

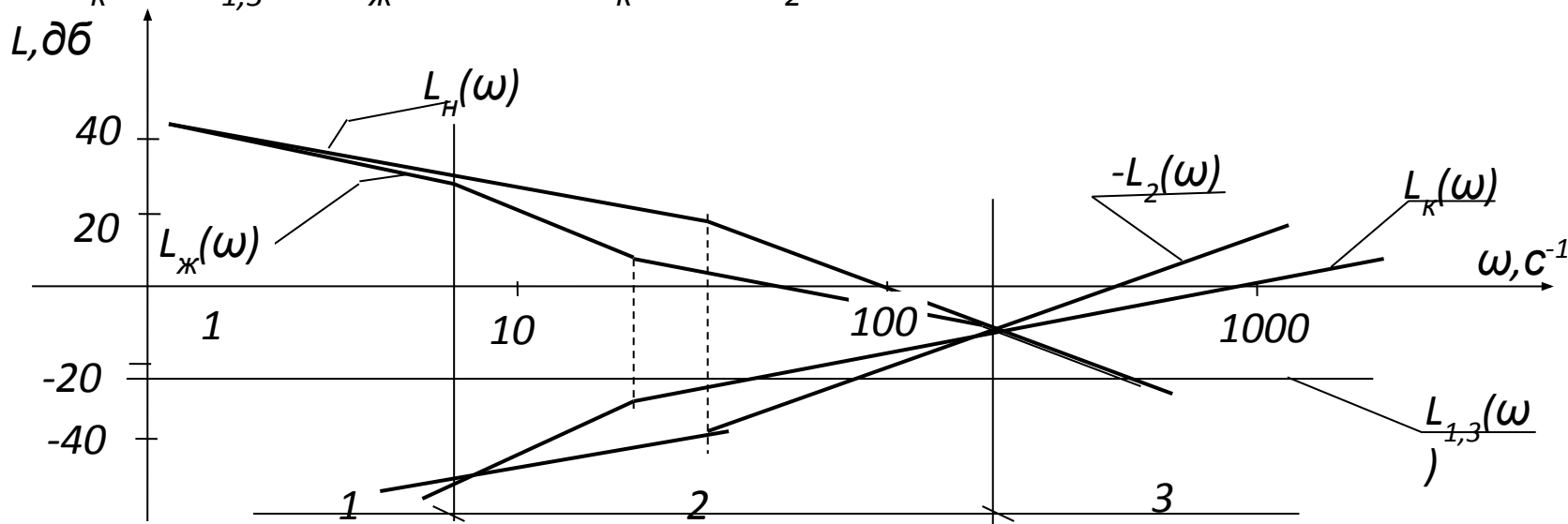
## Порядок синтеза АС с параллельным КУ :

1. Построить ЛАХ неизменной части системы  $L_H(\omega)$ , и  $L_{\text{ж}}(\omega)$ .
  2. Проверить устойчивость и качество желаемой АС.
  3. Построить ЛАХ звеньев, не охваченных КУ  $L_{1,3}(\omega)$ .
  4. Построить ЛАХ звеньев, охваченных КУ  $L_2(\omega)$  и определить  $-L_2(\omega)$ .
  5. Определить ЛАХ  $L_K(\omega)$  и передаточную функцию параллельного КУ  $W_K(p)$ , исходя из соображений:
    - для областей частот где  $L_{\text{ж}}(\omega) = L_H(\omega)$ ,  $L_K(\omega)$  строится произвольно, но с учетом условий  $L_K(\omega) < -L_2(\omega)$  и простоты реализации КУ;
    - для области частот где  $L_{\text{ж}}(\omega) < L_H(\omega)$ ,  $L_K(\omega)$  определяется графическим решением уравнения
$$L_K(\omega) = L_{1,3}(\omega) - L_{\text{ж}}(\omega).$$
- По виду полученной  $L_K(\omega)$  находится  $W_K(p)$ .
6. Проверить точными методами выполнение требований по качеству синтезированной АС
  7. С помощью таблиц определить и рассчитать схему технической реализации параллельного КУ.

Пример



Для участков 1 и 3 выполняется равенство  $L_{ж}(\omega) = L_H(\omega)$ , следовательно,  $L_K(\omega) < -L_2(\omega)$ , а для участка 2  $L_{ж}(\omega) < L_H(\omega)$ , следовательно,  $L_K(\omega) = L_{1,3}(\omega) - L_{ж}(\omega)$ , т.е.  $L_K(\omega) > -L_2(\omega)$ .



Построение ЛАХ КУ  $L_K(\omega)$  начинается со второго участка. На участках 1 и 3, с целью простоты реализации КУ, ЛАХ КУ  $L_K(\omega)$  получают простым продолжением асимптот  $L_K(\omega)$  второго участка.