

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

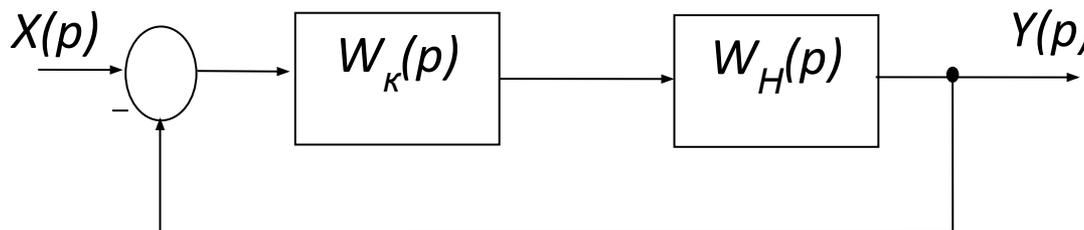
Исходные данные :

1. Требования к качеству АС - времени регулирования t_p , перерегулированию Δh_m , запасам устойчивости ϕ_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)
 $W_{\text{ж}}(p)$

$$W_{\text{ж}}(p) = W_{\text{к}}(p)W_{\text{н}}(p)$$

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

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 ν , 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 ω_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.**

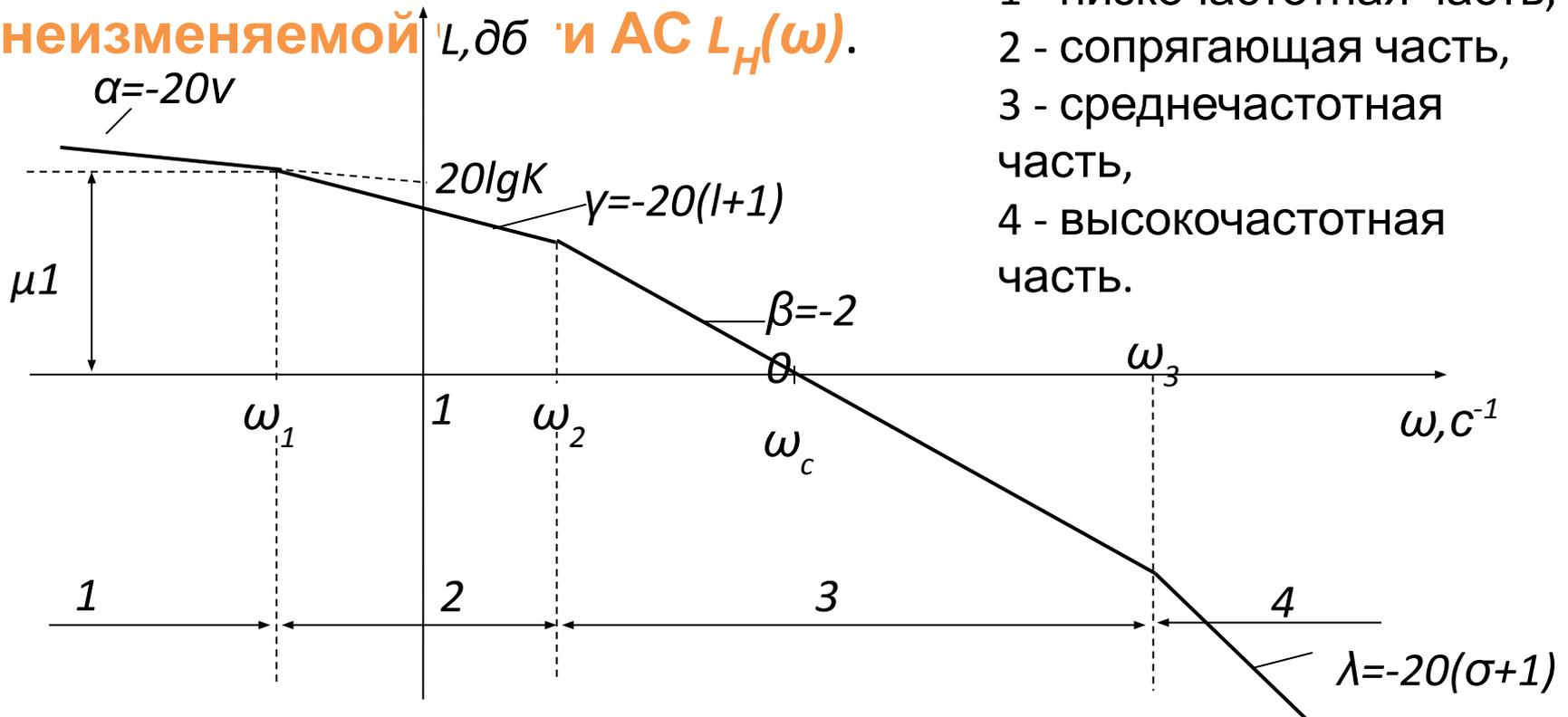
Частота среза ω_c определяет быстродействие системы.

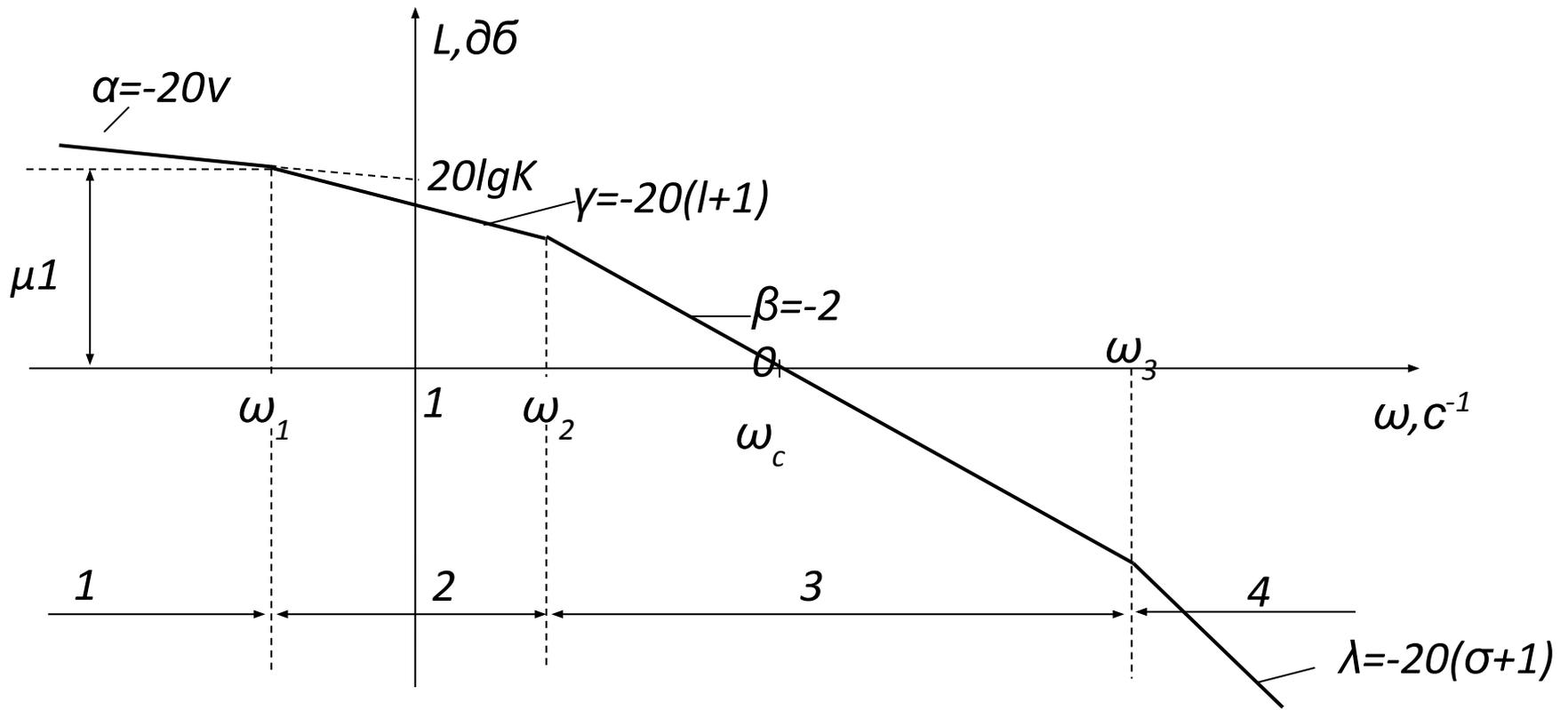
Чем больше ω_c , тем меньше время регулирования.

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** $L, \text{дБ}$ **и АС** $L_{\text{н}}(\omega)$.





Величина v - определяет порядок астатизма системы и, следовательно, наклон низкочастотной асимптоты желаемой ЛАХ. Величина γ - определяет наклон участка, сопрягающего низкочастотную асимптоту со среднечастотной асимптотой, имеющей наклон -20 дБ/дек. Частота ω_2 , ближайшая слева к частоте среза - граничная частота сопряжения. Частота ω_3 , ближайшая справа к частоте среза - граничная частота сопряжения. Частота ω_1 - первая частота сопряжения. $\mu_1 = L(\omega_1)$ - входная величина для номограмм Чеснота-Майера.

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

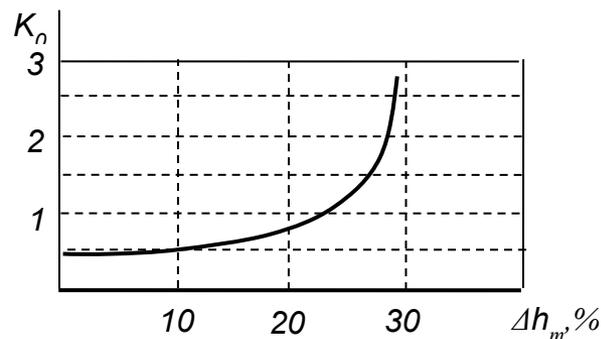
На практике чаще пользуются упрощенным методом

1. Исходя из требований к точности АС в установившемся режиме определяют порядок астатизма ν и коэффициент усиления системы $K_{\text{ж}}$. Для найденных значений ν 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 Δh_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 ω_3 и ω_2 . Хорошие динамические свойства, т.е. ($\Delta h_m < 30\%$) и необходимый запас устойчивости (ϕ_3)
6

обеспечиваются в случае, если выполняются условия:

$$\omega_3 = (2 \div 4) \omega_c$$
$$\omega_2 \leq 0,1 \omega_3$$

длина среднечастотной асимптоты должна быть не менее одной декады.

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

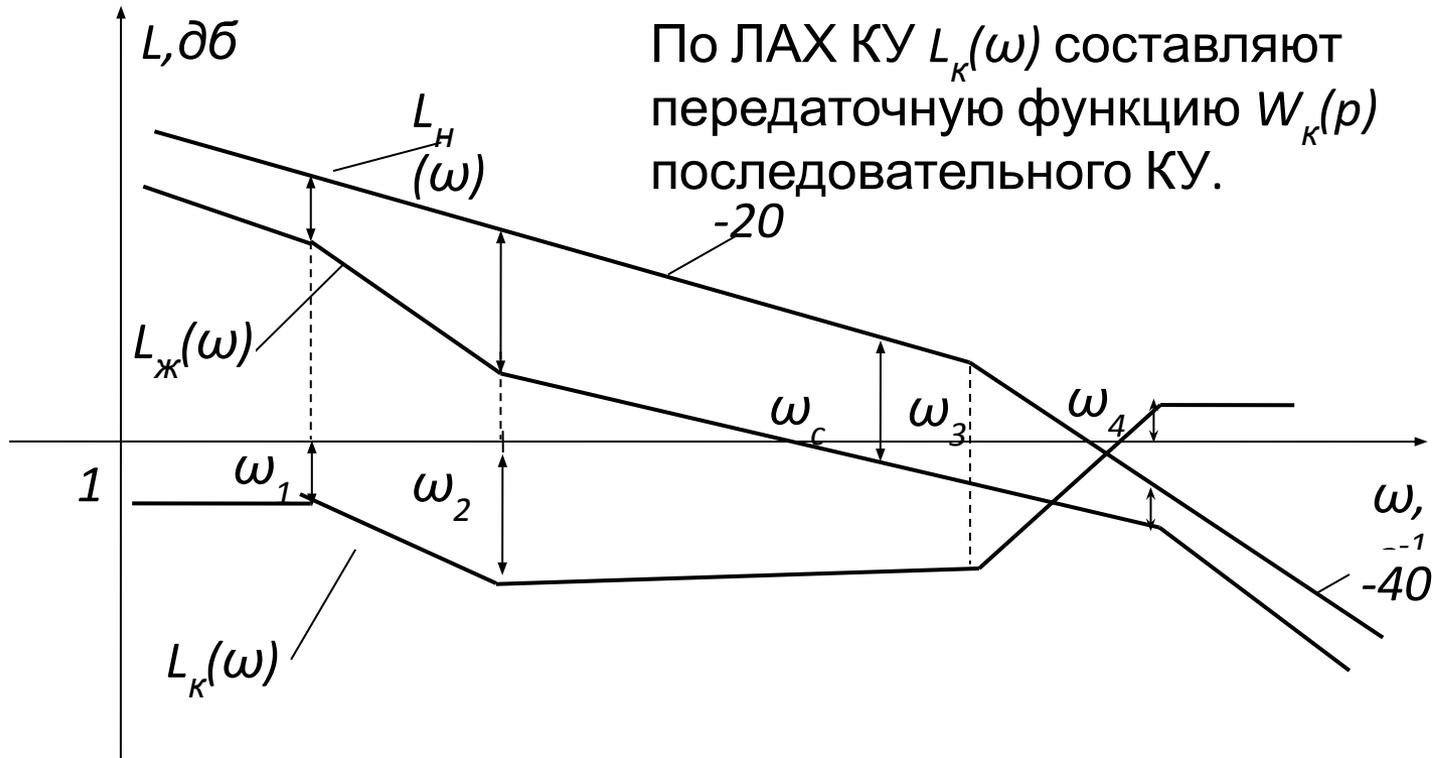
Величину S выбирают из условия обеспечения наибольшего запаса устойчивости по фазе. Чем больше S , тем меньше запас устойчивости. Точка пересечения участков 1 и 2 определяет частоту сопряжения ω_1

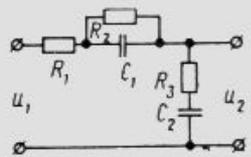
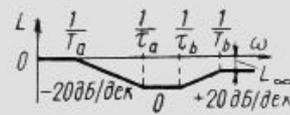
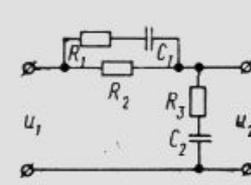
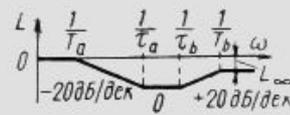
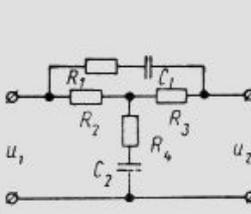
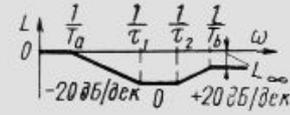
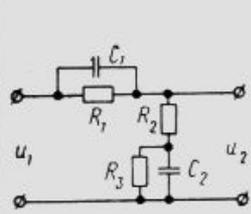
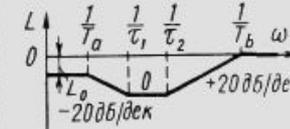
6. Наклон высокочастотной асимптоты желаемой ЛАХ, как правило, совпадает с наклоном ЛАХ нескорректированной АС на этом участке. Невыполнение данного условия существенно усложняет КУ

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 ω_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 ω_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 ω_2 определяется при заданных v и S .

Пример

Положим $v=1$ и $S=1$,
тогда:

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

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

ω_3

На практике применяют более сильное неравенство

$$\omega_2 < 0,1$$

ω_3

Для обеспечения запаса устойчивости по

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

фазе

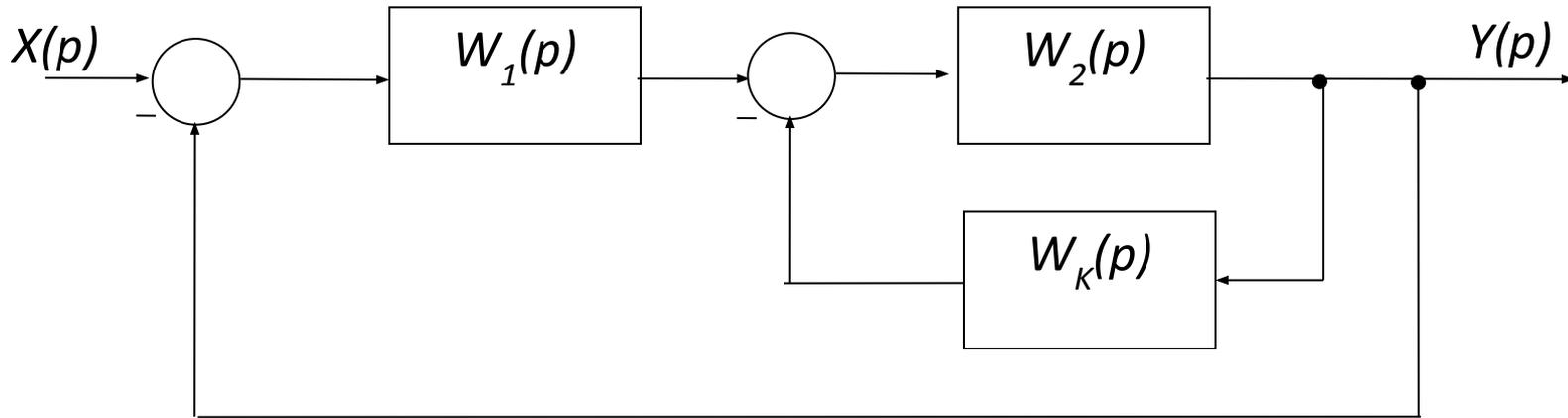
необходимо чтобы протяженность среднечастотной асимптоты желаемой ЛАХ была не менее одной декады при любых возможных v и S

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
 $W_1(p)W_2(p) = W_H(p)$ - передаточная функция неизменяемой части системы;

$W_K(p)$ - передаточная функция параллельного КУ

АФЧХ данной системы

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

$$W(j\omega) = W_H(j\omega) \frac{1}{1 + W_2(j\omega)W_K(j\omega)}$$

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 ϕ_3 и увеличению ошибки АС $e(t)$ в установившемся режиме.

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

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

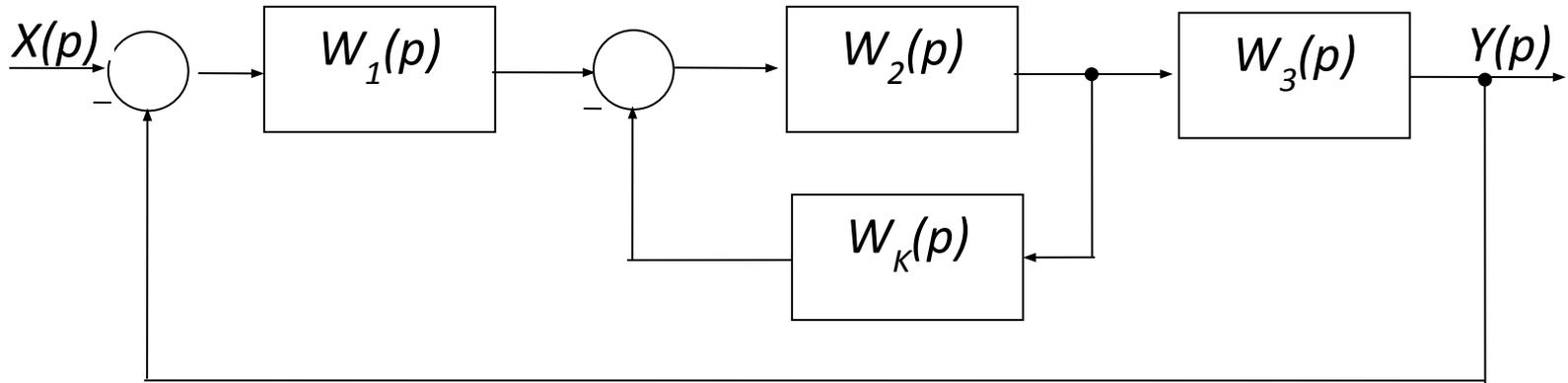
Воздействие ГОС проявляется только в переходных режимах. Поэтому, если необходимо изменить динамические свойства АС без изменения точностных характеристик, применяют ГОС.

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

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

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

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

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

$$L_{\text{к}}(\omega) < -L_2(\omega)$$

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

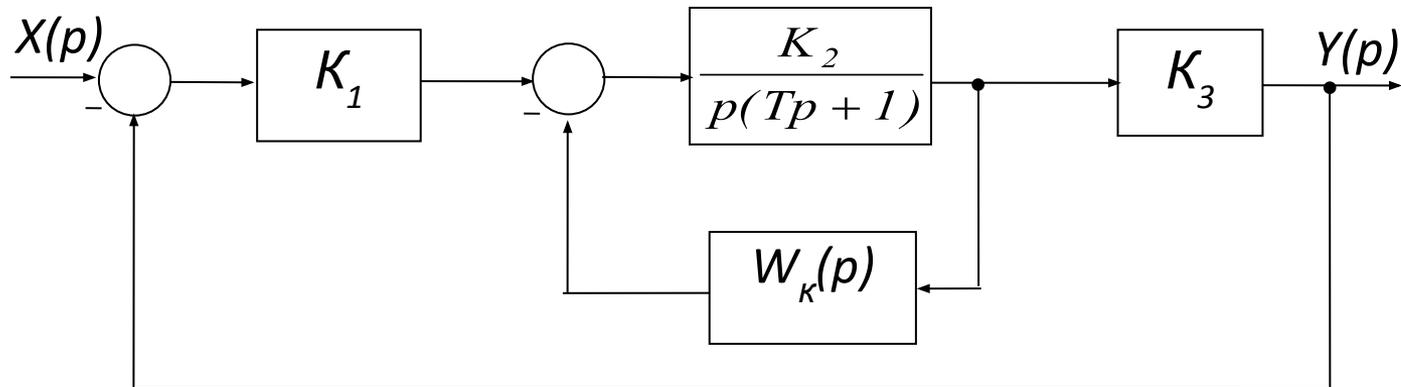
$$L_{\text{к}}(\omega) = L_{1,3}(\omega) - L_{\text{ж}}(\omega)$$

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

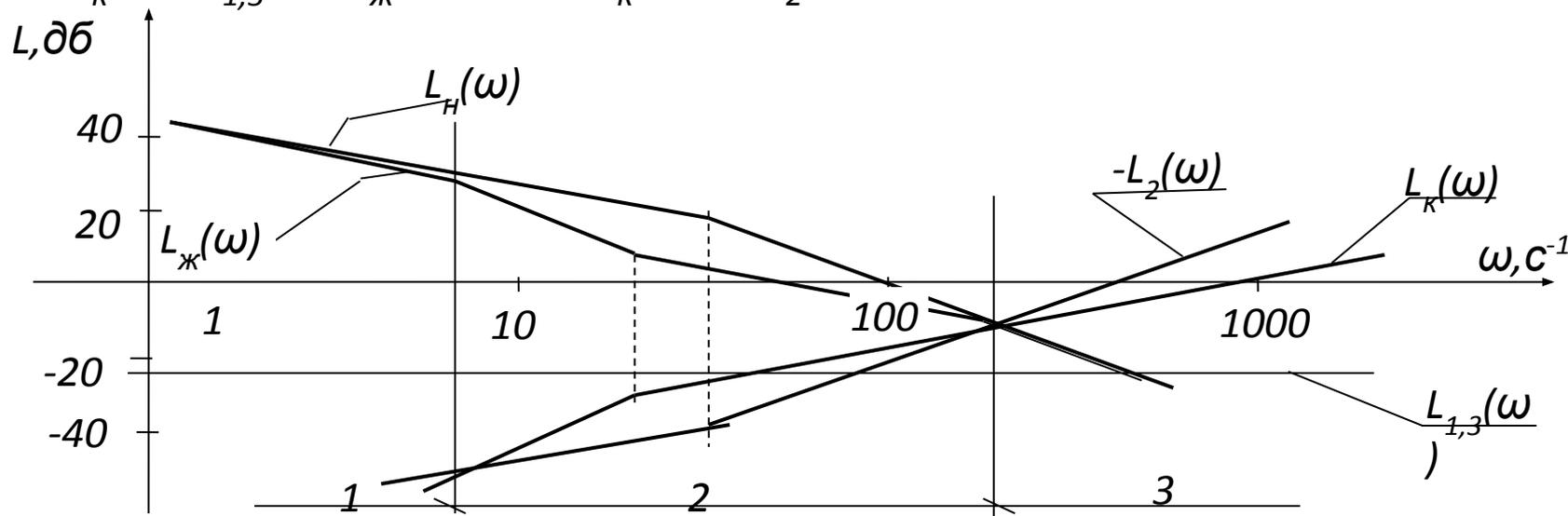
Порядок синтеза АС с параллельным КУ :

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.