

# Синтез САР

## **Общие сведения о синтезе САУ и синтезе КУ**

Наиболее важным практическим приложением изученных вопроса ТАУ

является синтез САУ.

***Синтез САУ - это задача определения структуры САУ и ее параметров по заданным требованиям к качеству процесса управления.***

Такая постановка задачи синтеза САУ является самой общей. Поэтому она не нашла достаточно широкого применения в практике.

***В инженерной практике обычно решается не задача синтеза САУ в целом, а задача синтеза КУ для нескорректированной САУ.***

При этом, если нескорректированная САУ удовлетворяет требованию точности при типовых воздействиях, то задачей синтеза КУ является определение его схемы и параметров по известным характеристикам нескорректированной системы и требованиям к динамическим свойствам проектируемой системы.

В этом случае основными этапами разработки и расчета САУ могут быть следующие.

***1. Анализ технического задания на проектирование САУ, исследование статических к динамических характеристик заданного ОУ и выбор исходных данных для разработки и расчета САУ, включая как требования к качеству процесса управления, так и общеинженерные требования в отношении надежности, стоимости, массы, габаритных размеров, параметров источников питания и т.п.***

## **2. Выбор для заданного ОУ функционально необходимых элементов УУ, источников питания и других вспомогательных устройств.**

Обычно функционально необходимые элементы УУ выбираются по типовым схемам и каталогам. Выбор осуществляется на основе данных о мощности, необходимой для управления заданным объектом, предельных значений ускорения и скорости управляемой величины, допустимых инструментальных ошибках, надежности, стоимости, массогабаритных размеров и других исходных данных.

Поскольку физическая природа и свойства объекта управления известны, выбор целесообразно начинать с исполнительного элемента. Затем произвести выбор измерительного устройства с тем, чтобы по известным величинам сигналов, проходящих через измерительный и исполнительный элементы, предварительно определить состав усилительного устройства и выбрать усилитель мощности, а также, в случае необходимости, и преобразовательные элементы (модуляторы и демодуляторы).

## **3. Определение передаточных функций и их параметров для выбранных функционально необходимых элементов и составление структурно-динамической схемы исходной САУ.**

Параметры  $K$ ,  $T$ , ... передаточных функций могут быть определены расчетным путем или экспериментально, а некоторые могут быть найдены по каталогам (из справочных материалов). После составления структурно-динамической схемы приступают к расчету САУ, который подразделяется на статический и динамический.

## **4. Проведение статического расчета САУ.**

Основной задачей статического расчета САУ является обеспечение заданной точности в установившихся типовых режимах. Для решения этой задачи надо использовать ранее изученные методы повышения точности.

### **5. Проведение динамического расчета САУ.**

Основной задачей динамического расчета является синтез КУ, обеспечивающих требуемое качество переходного процесса.

Этот этап является весьма ответственным и наиболее трудоемким. Инженерное решение задачи синтеза КУ не всегда приводит к однозначному желаемому результату, так как одни и те же требования к качеству переходного процесса можно удовлетворить при помощи различных КУ.

Поэтому иногда приходится отыскивать несколько вариантов решения задачи синтеза КУ и, сравнивая их, выбирать наилучший.

**6. Заключительным этапом разработки и расчета САУ является установление окончательной структуры скорректированной системы, определение показателей качества переходного процесса и сравнение их с заданными.**

В настоящее время разработан ряд методов, позволяющих определить схему и параметры КУ по заданным показателям качества управления. К ним относятся методы, основанные на использовании частотных характеристик, корневых годографов, интегральных оценок качества и др.

Наиболее простым, наглядным и хорошо разработанным инженерным методом синтеза КУ является **метод логарифмических частотных характеристик.**

## Методика синтеза КУ

При использовании метода ЛЧХ передаточная функция, схема и параметры искомого КУ определяются из сопоставления ЛЧХ  $L_H(\omega)$ ,  $\theta_H(\omega)$  разомкнутой нескорректированной системы с так называемыми желаемыми ЛЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$ ,  $\theta_{\text{ж}}(\omega)$ . Процесс синтеза при этом сводится к выполнению следующих операций.

1. Построение ЛЧХ разомкнутой нескорректированной системы  $L_H(\omega)$ ,  $\theta_H(\omega)$  с заданным порядком астатизма и найденным значением коэффициента передачи на этапе статического расчета САУ.
2. Построение желаемых ЛЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$ ,  $\theta_{\text{ж}}(\omega)$ .
3. Сопоставление ЛЧХ нескорректированной системы с желаемыми ЛЧХ, нахождение ЛЧХ искомого КУ.
3. Выбор схемы КУ и расчет конструктивных параметров.
4. Исследование скорректированной схемы на устойчивость и качество переходного процесса.

Из перечисленных операций наиболее ответственной является построение желаемых ЛЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$ ,  $\theta_{\text{ж}}(\omega)$ .

Желаемые ЛЧХ - это ЛЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$ ,  $\theta_{\text{ж}}(\omega)$ , построенные с учетом ЛЧХ  $L_H(\omega)$ ,  $\theta_H(\omega)$  нескорректированной системы и требований к динамическим свойствам проектируемой САУ.

В зависимости от предъявляемых требований к качеству процесса управления различают три основных способа построения желаемых ЛЧХ:

- а) по заданным значениям перерегулирования  $\sigma_{max}$  и времени регулирования  $t_{p\ max}$  при воспроизведении системой ступенчатого воздействия  $x(t) = x_0 1(t)$ , где  $x_0 = \text{const}$ . При этом может быть еще и задано ограничение в виде максимально допустимого ускорения управляемой величины  $\ddot{y}_{max} = \ddot{u}_{max}$  ;
- б) по заданным значениям показателя колебательности  $M$  и порядка астатизма  $\nu$  системы;
- в) по заданным значениям запаса устойчивости по фазе  $\theta_3$  запаса устойчивости по амплитуде  $L_3$  и коэффициентов сшибок  $C_0, C_1, C_2, \dots$  .

**Если нескорректированная САУ в разомкнутом состоянии минимально-фазовая, то для синтеза КУ методом ЛЧХ достаточно построения и рассмотрения одних ЛАЧХ  $L_n(\omega), L_{ж}(\omega)$ . Такой метод синтеза КУ называется методом ЛАЧХ.**

Большинство САУ в разомкнутом состоянии является минимально-фазовыми. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать вопросы, связанные с синтезом КУ методом ЛАЧХ. При этом построение желаемой ЛАЧХ будем производить по заданным значениям  $\sigma_{max}, t_{p\ max}$  при воспроизведении системой  $x(t) = x_0 1(t)$ , где  $x_0 = \text{const}$ .

Желаемая ЛАЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$ , так же как и типовая, строится асимптотической и условно разбивается на низкочастотный, среднечастотный и высокочастотный участки.

Примерный вид  $L_{\text{ж}}(\omega)$  для статической САУ изображен на рис.1. Здесь же пунктирной линией показана ЛАЧХ  $L_{\text{н}}(\omega)$  нескорректированной системы, построенная по

$$W_{\text{н}}(s) = \frac{K}{(T_{1\text{н}}^2 s^2 + 2\xi_{1\text{н}} T_{1\text{н}} s + 1)(T_{2\text{н}} s + 1)} \quad (T_{1\text{н}} > T_{2\text{н}}).$$

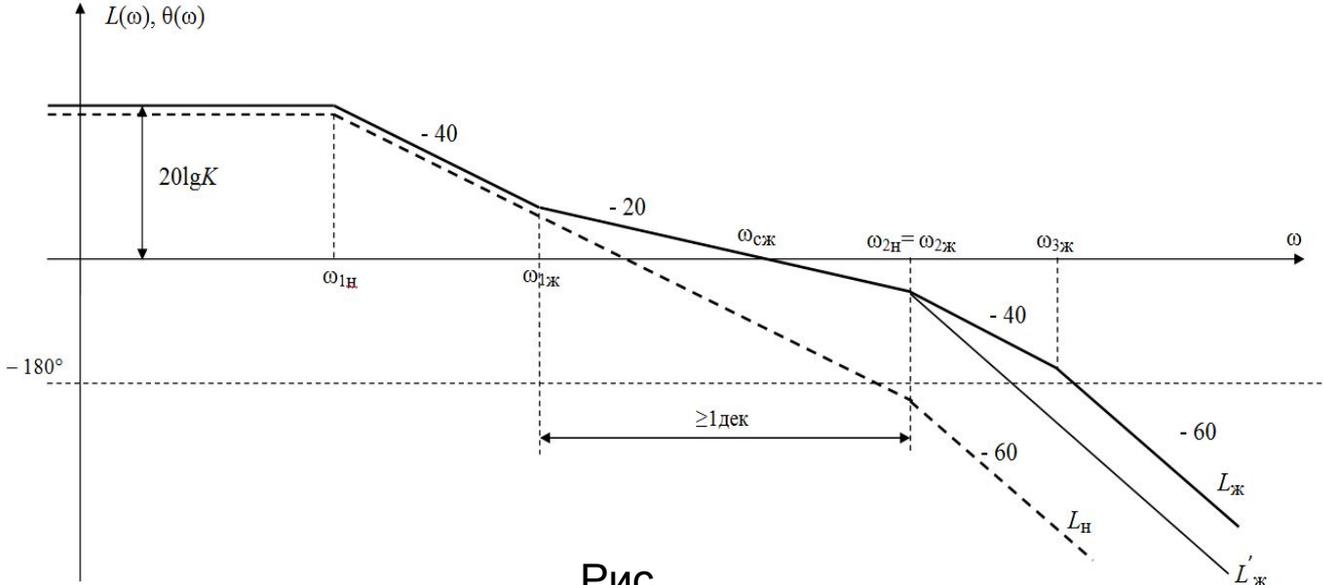


Рис.  
1

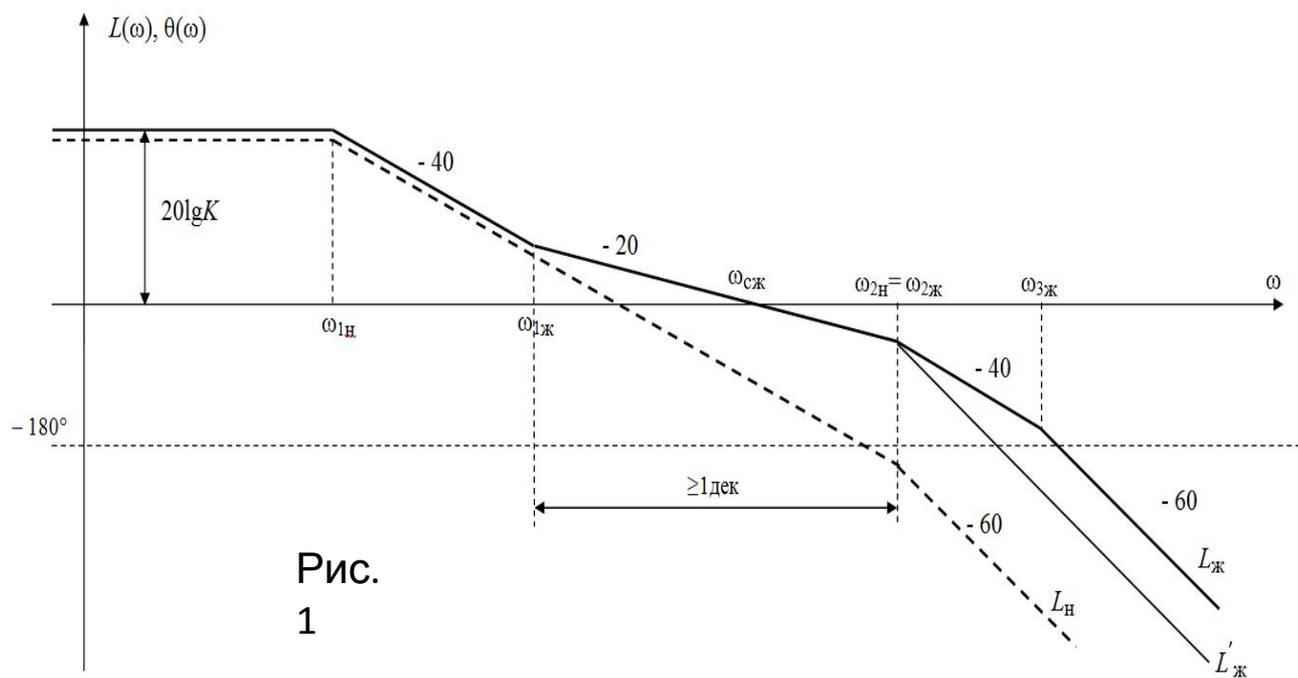


Рис.  
1

Низкочастотный участок  $L_{\text{ж}}(\omega)$  характеризует точность работы САУ в установленном типом режиме. Поэтому, если низкочастотный участок ЛАЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$  построен с учетом заданного порядка астатизма  $\nu$  ( $\nu=0, \nu=1, \dots$ ) и требуемого коэффициента передачи  $K$  разомкнутой системы, то он должен быть и низкочастотным участком  $L_{\text{н}}(\omega)$ , что и показано на рис.16

Среднечастотный участок  $L_{\text{ж}}(\omega)$  определяет устойчивость системы и качество переходного процесса. Поэтому он должен иметь наклон к оси  $\omega$ , равный  $-20$  дБ/дек, и строится из условия обеспечения заданных значений  $\sigma_{\text{max}}$ ,  $t_{\text{p max}}$  и  $\dots$ .

Высокочастотный участок  $L_{\text{ж}}(\omega)$  не оказывает существенного влияния на динамические свойства системы. Поэтому желаемая ЛАЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$  этой области частот строится из условия получения более простого корректирующего устройства.

Результаты исследований, проведенных В.В. Солодовниковым, позволяют рекомендовать следующий порядок построения желаемой ЛАЧХ.

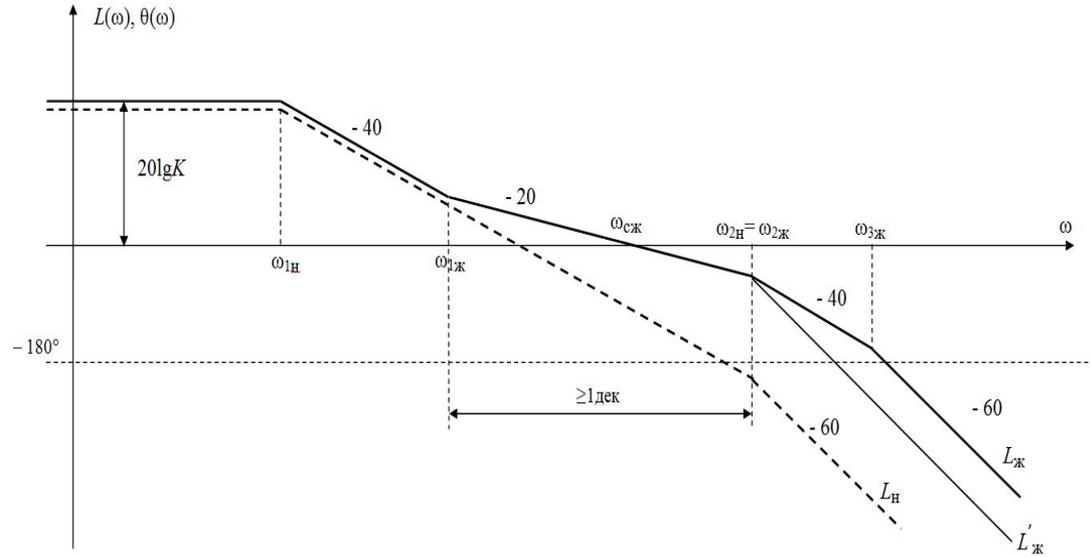
1. Строится ЛАЧХ нескорректированной разомкнутой системы  $L_H(\omega)$  с заданным порядком астатизма и найденным значением коэффициента передачи  $K$  на этапе статического расчета системы.

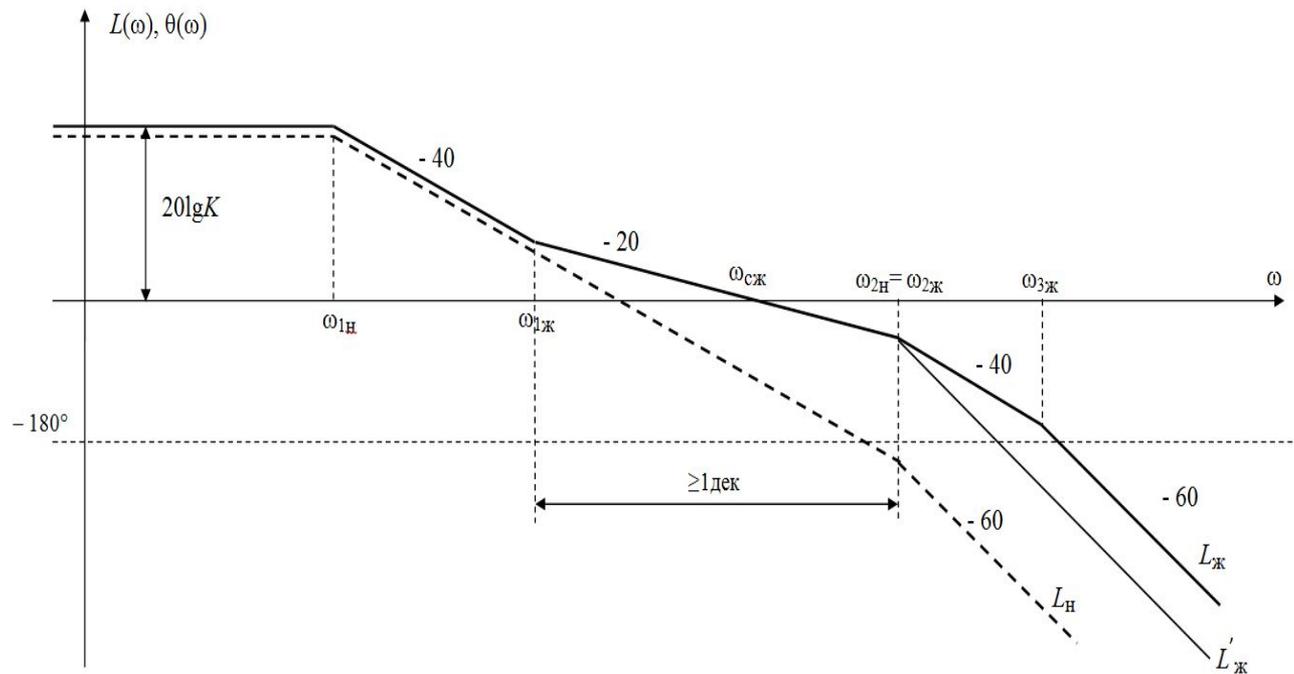
2. Строится среднечастотный участок (СЧУ) желаемой ЛАЧХ, для чего:

а) по значению  $\sigma_{max}$  входят в номограмму наибольших значений перерегулирования и времени регулирования (см.рис.6.8) и определяют  $t_p = n\pi/\omega_p$ , где  $\omega_p$  – полоса положительности ВЧХ.

С учетом заданного времени регулирования  $t_{p max}$  определяют  $\omega_p = n\pi/t_{p max}$  и выбирают частоту среза желаемой ЛАЧХ на основе неравенства  $\omega_{сж} \geq \omega_p$ .

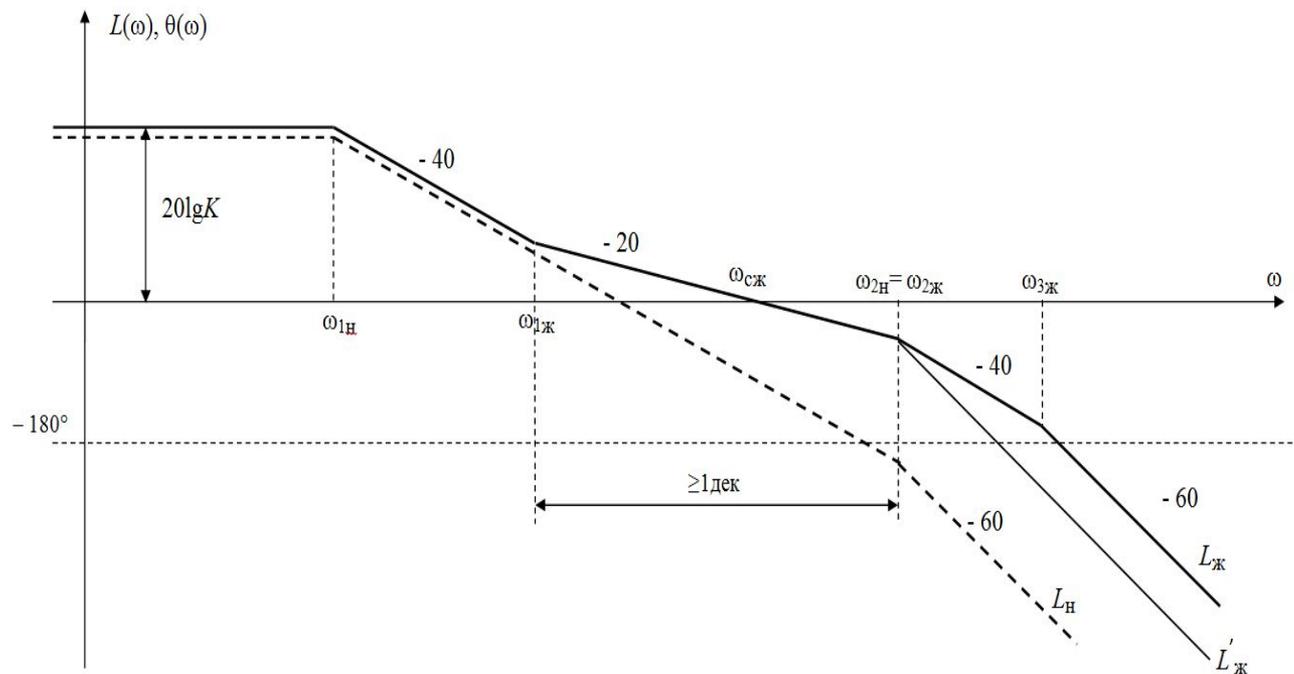
б) через точку  $\omega_{сж}$  проводят СЧУ с наклоном  $-20$  дБ/дек. протяженностью не менее 1 дек., при этом, должно выполняться неравенство  $2 \leq \omega_{2ж} / \omega_{сж} \approx 4$ .





3. Сопрягается среднечастотный участок  $L_{\text{ж}}(\omega)$  с низкочастотным участком нескорректированной системы. Это сопряжение обычно осуществляется с помощью отрезка прямой, наклон которой не должен отличаться от наклона  $L_{\text{н}}(\omega)$  в этой области частот более, чем на  $(20 \div 40)$  дБ/дек. На рис.16 сопряжение произведено с помощью прямой которая имеет наклон  $-40$  дБ/дек.

Следует иметь в виду, что иногда приходится производить сопряжение более, чем одним отрезком, но это заведомо усложняет схему КУ. Однако и в этом случае надо стремиться к тому, чтобы разность наклона между ЛАЧХ  $L_{\text{н}}(\omega)$  и желаемой ЛАЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$  в этой области частот получилась не более  $(20 \div 40)$  дБ/дек.



4. Сопрягается среднечастотный участок  $L_J(\omega)$  с высокочастотным участком  $L_H(\omega)$  из условия получения наиболее простого КУ. Для этого необходимо, чтобы, начиная с частоты  $\omega_{2H} = 1/T_{2H}$ , частоты сопряжения  $L_J(\omega)$  совпадали с частотами сопряжения  $L_H(\omega)$ .

При этом отрезки сопряжения  $L_J(\omega)$  должны иметь наклоны, равные наклонам отрезков  $L_H(\omega)$  (см.рис.1), или отличаться от них, не более, чем на  $((20 \div 40)$  дБ/дек., а наклоны последних участков должны быть равны.

После построения желаемой ЛАЧХ приступают непосредственно к синтезу КУ, т. е. к выбору корректирующего устройства и расчету его конструктивных параметров. При этом наиболее часто используются последовательные КУ.

Структурно-динамическая схема САУ, коррекция которой выполнена последовательными КУ с передаточной  $W_{\text{пс}}(s)$ , изображена на рис.2.

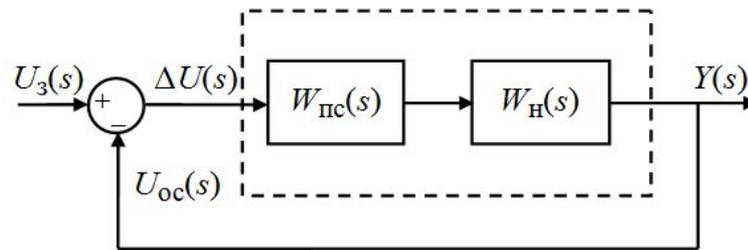


Рис.  
2

Из схемы (рис.2) видно, что передаточная функция разомкнутой скорректированной системы определяется выражением вида

$$W_c(s) = W_{\text{пс}}(s) W_{\text{н}}(s), \quad (1)$$

где  $W_{\text{пс}}(s)$  – передаточная функция разомкнутой нескорректированной системы.

$$W_c(s) = W_{\text{пс}}(s) W_H(s)$$

Подставив  $s=j\omega$  в выражение (15), получим

$$W_c(j\omega) = W_{\text{пс}}(j\omega) W_H(j\omega).$$

Переходя от АФЧХ к ЛАЧХ, будем иметь

$$20\lg |W_c(j\omega)| = 20\lg |W_{\text{пс}}(j\omega)| + 20\lg |W_H(j\omega)|$$

или

$$L_c(\omega) = L_{\text{пс}}(\omega) + L_H(\omega)$$

Отсюда находим, что

$$L_{\text{пс}}(\omega) = L_c(\omega) - L_H(\omega) \quad (2)$$

В формуле (2)  $L_c(\omega)$  – это ЛАЧХ скорректированной системы. Она не должна существенно отличаться от желаемой ЛАЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$ . Поэтому, подставляя в выражение (2) вместо  $L_c(\omega)$  желаемую ЛАЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$ , получим

$$L_{\text{пс}}(\omega) = L_{\text{ж}}(\omega) - L_H(\omega). \quad (3)$$

Формула (17) показывает, что ЛАЧХ последовательного КУ равна разности между желаемой ЛАЧХ и ЛАЧХ нескорректированной системы.

Следовательно, для получения ЛАЧХ последовательного КУ необходимо:

а) построить асимптотическую ЛАЧХ  $L_H(\omega)$  нескорректированной системы;

в) построить на том же бланке желаемую ЛАЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$ ;

в) вычесть из ординат желаемой ЛАЧХ ординаты нескорректированной

системы, получить искомую ЛАЧХ  $L_{\text{пс}}(\omega)$  и по ее виду определить передаточную функцию последовательного КУ  $W_{\text{пс}}(s)$ .

Пример определения ЛАЧХ последовательного КУ путем графического вычитания из желаемой ЛАЧХ - ЛАЧХ нескорректированной системы показан на рис.3.

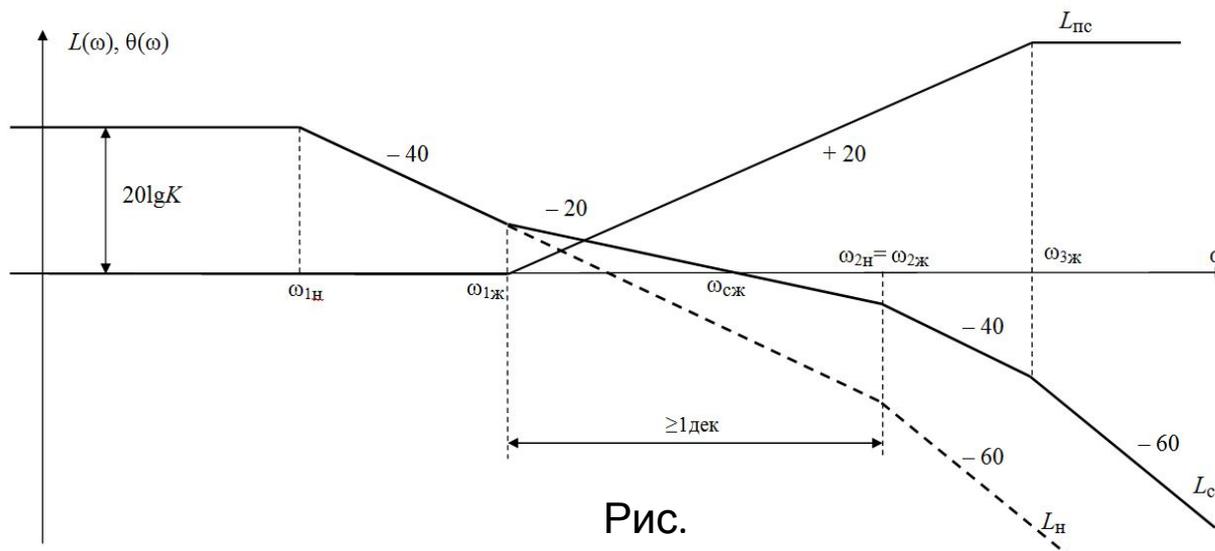


Рис.  
3

Анализ ЛАЧХ  $L_{\text{пс}}(\omega)$  показывает, что

$$W_{\text{пс}}(s) = \frac{(T_1 s + 1)}{(T_2 s + 1)} \quad \text{где } K_{\text{пс}} = 1, T_1 = 1/\omega_{1\text{ж}}, T_2 = 1/\omega_{3\text{ж}}.$$

Далее решается задача технической реализации КУ. Обычно в качестве КУ выбирают электрические  $RC$ -цепи постоянного тока. Поэтому по виду полученной ЛАЧХ  $L_{\text{пс}}(\omega)$  входят в таблицы корректирующих  $RC$ -цепей и выбирают наиболее подходящую схему корректирующего  $RC$ -контура.

Так, например, полученная ЛАЧХ  $L_{\text{пс}}(\omega)$  может быть реализована дифференцирующим  $RC$ -контуром первого порядка.

После выбора схемы корректирующего  $RC$ -контура определяют его параметры  $R_1, R_2, C$  с помощью формульных соотношений. При этом необходимо учитывать параметры ЛАЧХ  $L_{\text{пс}}(\omega)$  и входное сопротивление последующего элемента управляющего устройства, являющееся нагрузкой для корректирующего контура.

Если число формульных соотношений для определения параметров  $R_i, C_i$  меньше числа этих параметров, то, исходя из инженерных соображений, можно задаться каким-либо одним параметром (например, взять конденсатор приемлемой емкости).

Определение параметров контура заканчивается выбором из каталога резисторов и конденсаторов определенных типов, номиналы которых близки к расчетным значениям. На этом этапе синтеза КУ должно быть проверено удовлетворение требований, предъявляемых к проектируемой системе. Для этого целесообразно построить переходную характеристику или получить ее на электронной модели.