

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 σ_{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 ν системы;
- в) по заданным значениям запаса устойчивости по фазе θ_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 ЛЧХ $L_n(\omega), L_{ж}(\omega)$. Такой метод синтеза КУ называется методом ЛЧХ.

Большинство САУ в разомкнутом состоянии является минимально-фазовыми. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать вопросы, связанные с синтезом КУ методом ЛЧХ. При этом построение желаемой ЛЧХ 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

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

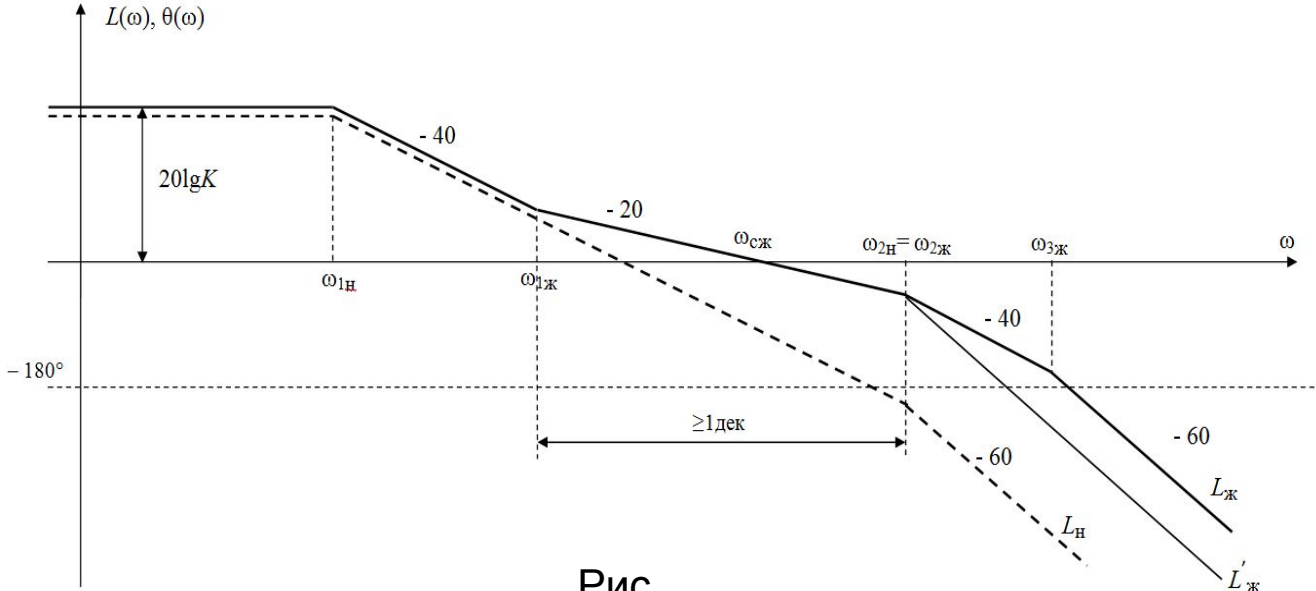


Рис.
1

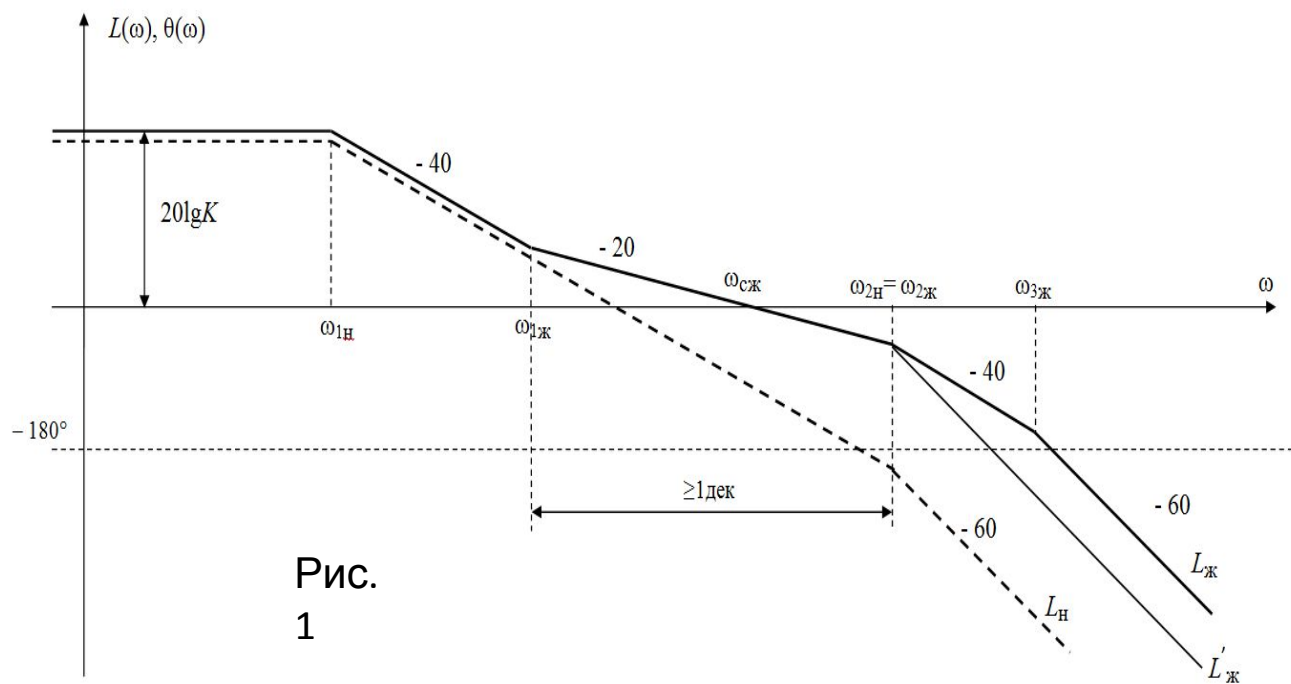


Рис.
1

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 ν ($\nu=0, \nu=1, \dots$) 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 ω , равный -20 дБ/дек, и строится из условия обеспечения заданных значений σ_{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.

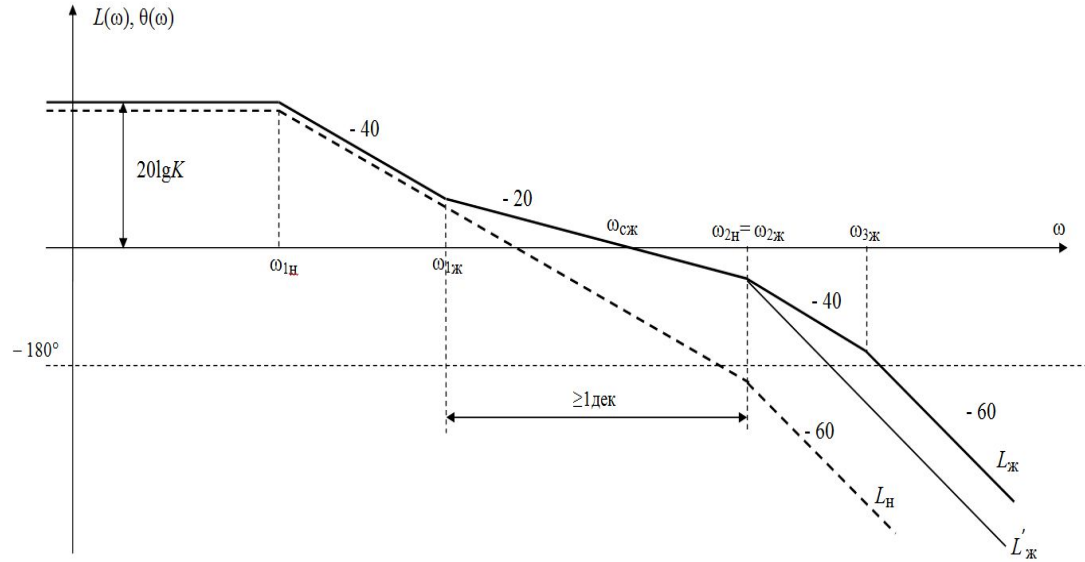
1. Строится ЛАЧХ нескорректированной разомкнутой системы $L_H(\omega)$ с заданным порядком астатизма и найденным значением коэффициента передачи K на этапе статического расчета системы.

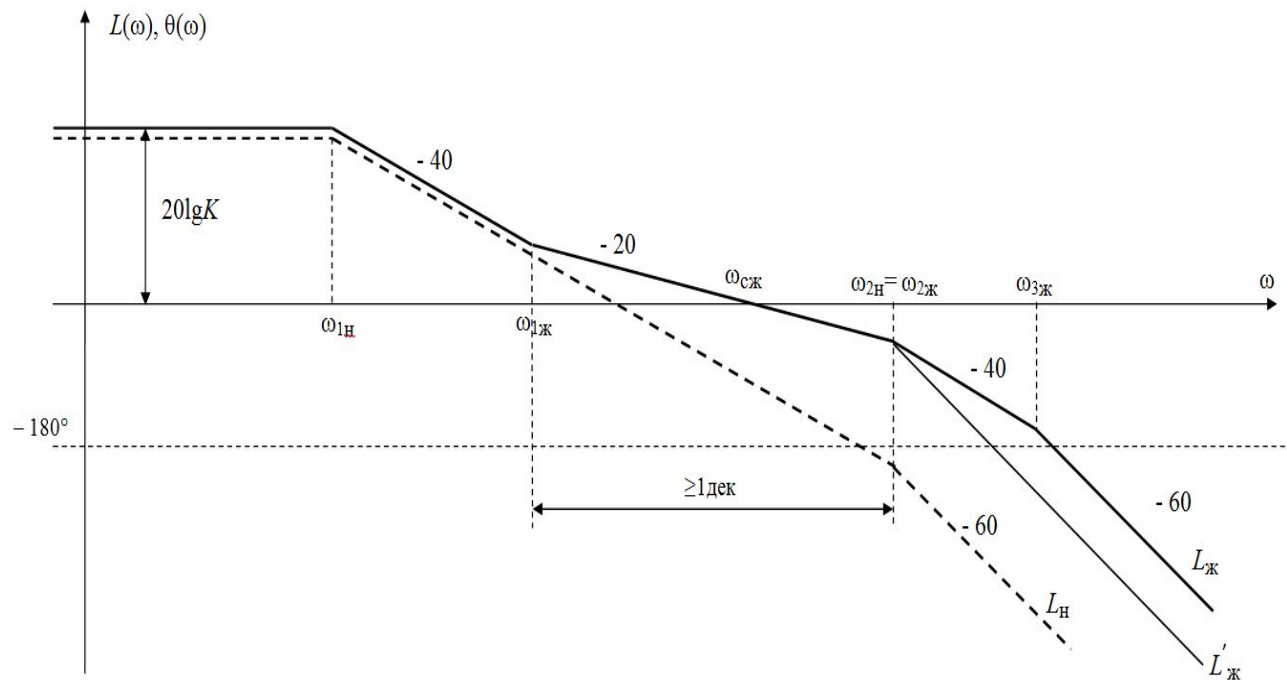
2. Строится среднечастотный участок (СЧУ) желаемой ЛАЧХ, для чего:

а) по значению σ_{max} входят в номограмму наибольших значений перерегулирования и времени регулирования (см.рис.6.8) и определяют $t_p = n\pi/\omega_p$, где ω_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 $\omega_{сж} \geq \omega_p$.

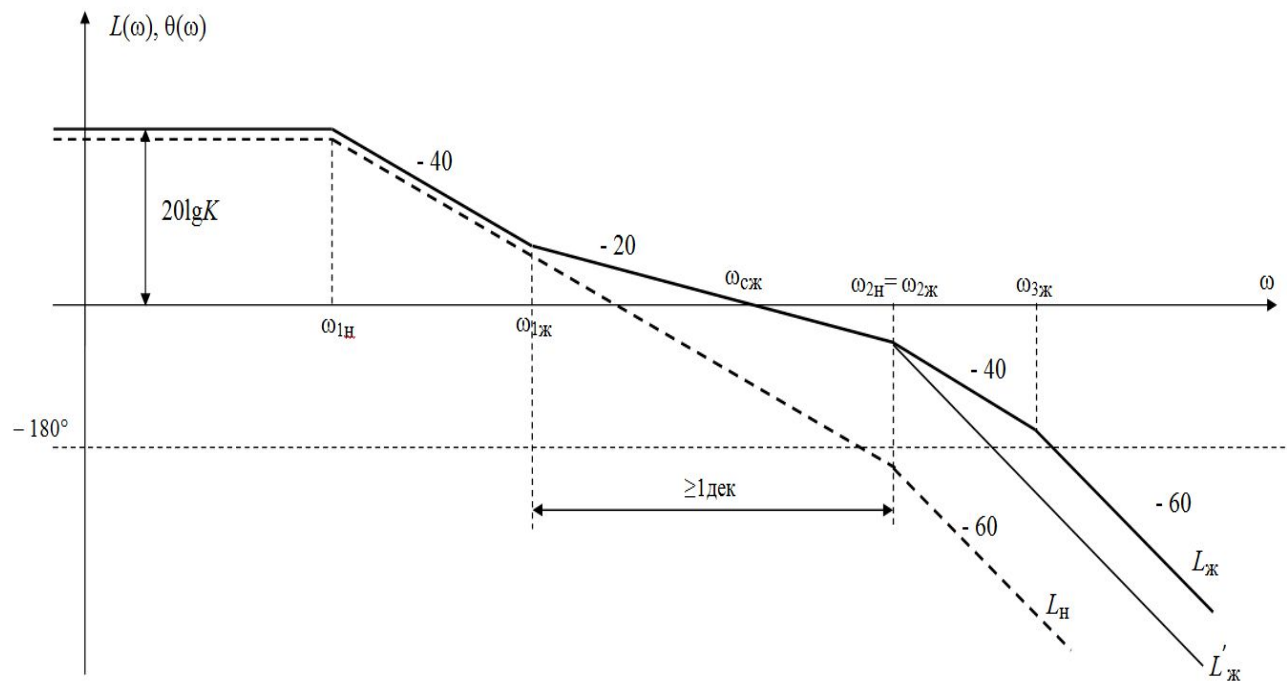
б) через точку $\omega_{сж}$ проводят СЧУ с наклоном -20 дБ/дек. протяженностью не менее 1 дек., при этом, должно выполняться неравенство $2 \leq \omega_{2ж} / \omega_{сж} \approx 4$.





3. Сопрягается среднечастотный участок $L_J(\omega)$ с низкочастотным участком нескорректированной системы. Это сопряжение обычно осуществляется с помощью отрезка прямой, наклон которой не должен отличаться от наклона $L_H(\omega)$ 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 $L_H(\omega)$ и желаемой ЛАЧХ $L_J(\omega)$ 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.

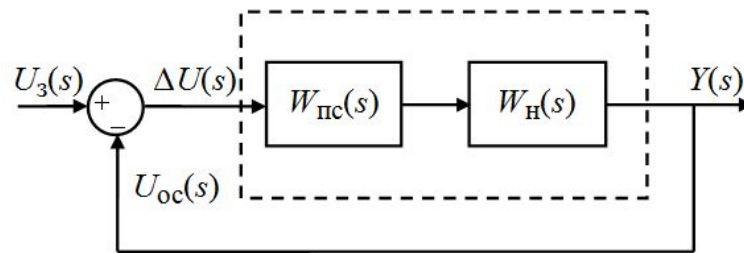


Рис.
2

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.

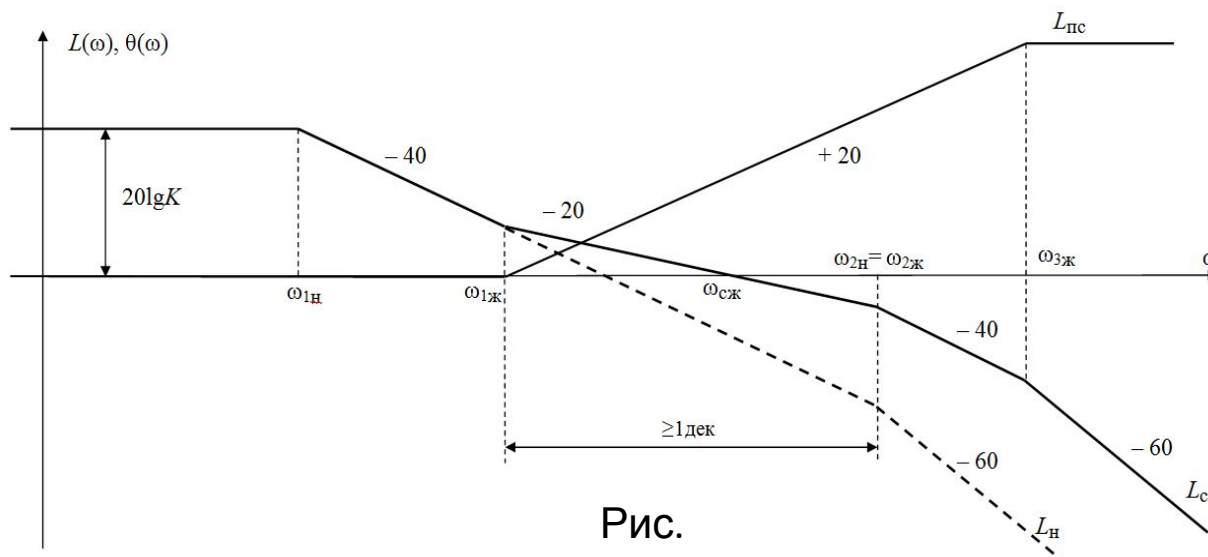


Рис.
3

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.