

1 Синтез САУ

1.1 Постановка задачи

Синтез САУ является основной стадией проектирования. Сущность – выбор такой структурной схемы системы и ее параметров и таком конструктивном решении, при которых обеспечиваются требуемые показатели качества и точности процессов регулирования, а сама система состоит из наиболее простых устройств регулирования.

В САУ обычно входят объект регулирования и два типа устройств управления. К первому типу относят усилительное устройство, усилитель мощности и измерительное устройство, которые практически невозможно изменять в процессе синтеза САУ. Ко второму типу устройств относят корректирующее устройство и электронный усилитель, т.е. те устройства, которые легко можно изменять в процессе синтеза. В результате САУ можно разделить на две части: неизменяемая и изменяемая части.

Постановка задачи синтеза САУ.

Порядок:

1. На основе технических условий и динамических характеристик объекта регулирования выбирают устройства управления, измерительные устройства, входящие в неизменяемую часть системы.
2. Устанавливают упрощенную схему системы и выбирают схему и место включения корректирующих и усилительных устройств.
3. По критерию качества или требованиям на показатели качества и точности регулирования находят желаемую ЛЧХ разомкнутой системы. Желаемая ЛЧХ должна быть построена таким образом, чтобы корректирующие устройства имели наиболее простую реализацию.
4. Определяют тип и параметры корректирующих и усилительных устройств системы методом синтеза.
5. Находят конструктивное решение корректирующих устройств и устанавливают окончательную структурную схему системы автоматического регулирования.
6. Определяют расчетным путем динамическую характеристику САУ и сравнивают их с соответствующими данными технических условий.

1.2 Корректирующие устройства

Корректирующие устройства (КУ) бывают двух типов (по методу включения):

- последовательные КУ,
- параллельные КУ.

Иногда применяют два типа КУ в одной САУ.

КУ параллельного действия также бывают двух видов: согласно-параллельного и встречно-параллельного включения.

КУ последовательного действия являются наиболее простыми и применяются в таких системах регулирования, в которых практически отсутствуют сигналы шумов или помех. Системы с последовательной коррекцией имеют большую частоту среза, что предъявляет высокие требования к динамическим характеристикам двигателей исполнительных устройств. Последовательные КУ достаточно чувствительны к изменениям их параметров, что требует применения высокостабильных конденсаторов и резисторов. Следует также отметить, что при выходе из строя конденсаторов или резисторов последовательного КУ, как правило, вся система регулирования становится неработоспособной.

Параллельные КУ снижают частоту среза системы и делают ее малочувствительной к помехам и шумам. Существенным преимуществом параллельной коррекции является то, что она уменьшает влияние неустойчивости и нелинейности характеристик устройства управления, стоящих в прямой цепи, на характер переходных процессов всей системы.

КУ делятся также на пассивные и активные. Активные КУ выполняются на базе операционных усилителей ОУ, где в качестве входного сопротивления и сопротивления ОС используются РС цепи.

Активные последовательные КУ чаще всего называют регуляторами.

Параллельные КУ образуют так называемые местные обратные связи. Одним из основных условий использования параллельной коррекции является возможность физической реализации, т.е. необходимо иметь измерительные устройство входной координаты, ОС и измерительные преобразователь, преобразующий данную координату в напряжение или ток.

1.3 Построение желаемой амплитудной характеристики системы регулирования.

Желаемая ЛАЧХ определяется показателями качества и точности процессов регулирования.

Низкочастотная часть этой характеристика обуславливает точность воспроизведения медленно изменяющихся воздействий. По ее виду можно найти добротности по скорости и ускорению и статическую ошибку системы. Диапазон частот низкочастотной части характеристики определяется по точности воспроизведения воздействий. Пусть точность воспроизведения воздействий равна ε . Тогда

$$\varepsilon = 1/(1+K_p), \quad K_p = 1/\varepsilon - 1 \approx 1/\varepsilon.$$

Пусть $\varepsilon = 5\%$, тогда

$$L_{рнч} = 20 \lg (1/\varepsilon) = 26 \text{ дБ.}$$

Таким образом, можно рассмотреть два случая:

1) если САУ является статической, и задана точность воспроизведения ε , то в области низких частот разомкнутая ЛЧХ должна быть не ниже уровня $20 \lg(1/\varepsilon)$.

2) если система является астатической, то разомкнутая ЛЧХ в области низких частот строится следующим образом: если заданы добротности системы по скорости и по ускорению¹, то определяются следующие точки: $\omega_k = D\omega$ и $\omega_1 = \sqrt{D\varepsilon}$. Из первой точки проводим прямую с наклоном -20 дБ/дек, из второй -40 дБ/дек.

За областью низких частот начинается область средних частот. Правая граница области средних частот определяется по точке пересечения желаемой характеристики с уровнем -16 дБ².

Область средних частот полностью определяет показатели качества переходного процесса САУ: в этой области находится частота среза и запасы устойчивости по фазе и по амплитуде. Главным условием для ЛАЧХ в этой области является то, что характеристика должна проходить точку среза с наклоном -20 дБ/дек и продолжительность этого участка должна

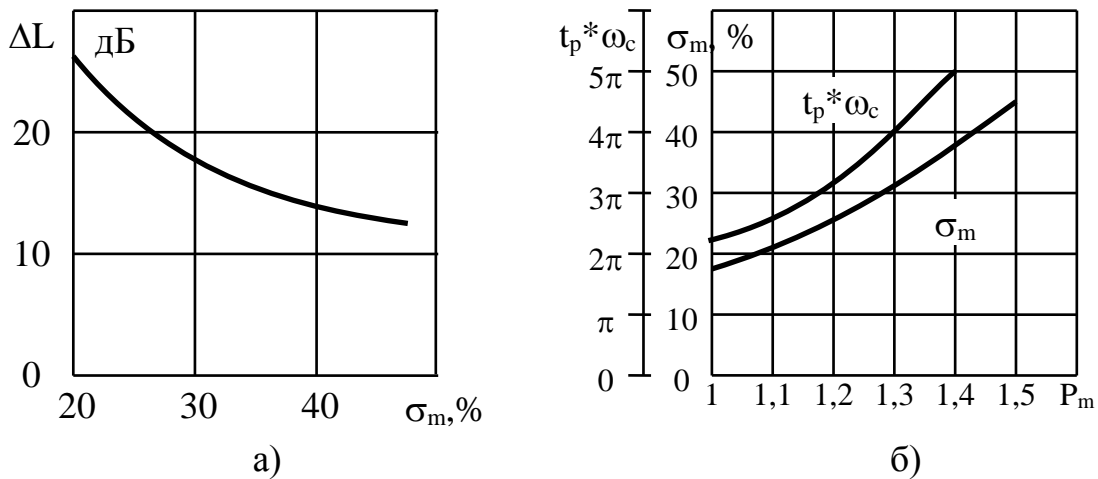


Рисунок 9.1 – Графики для построения желаемой ЛАЧХ

быть как можно больше. Диапазон частот, при котором должен быть наклон -20 дБ/дек определяется из графика на рисунке 9.1а в зависимости от заданного перерегулирования σ_m .

¹ Добротность изучается в теме «точность регулирования»: метод коэффициентов ошибок. Суммарная точности САУ в нашем случае определяется следующим образом: $\varepsilon(t) = \omega_3/D\omega + \varepsilon_3/D\varepsilon$, где ω_3 – скорость изменения выходной координаты системы, ε_3 – ускорение выходной величины САУ.

² -16 дБ – наивысшая норма запаса устойчивости для систем с невысокими показателями качества, для систем с высокими показателями – $H_M \leq 20$ дБ.

Частота среза находится по графикам на рисунке 9.1б следующим образом: по значению перерегулирования определяется максимум ВЧХ P_m , затем по известной P_m определяется зависимость между t_p и ω_c и саму частоту среза САУ по заданному времени регулирования t_p .

В области высоких частот желаемая ЛЧХ должна быть параллельна нескорректированной ЛЧХ для того, чтобы ЛЧХ имело наиболее простую реализацию.

Пример построения желаемой ЛАЧХ показан на рисунке 9.2.

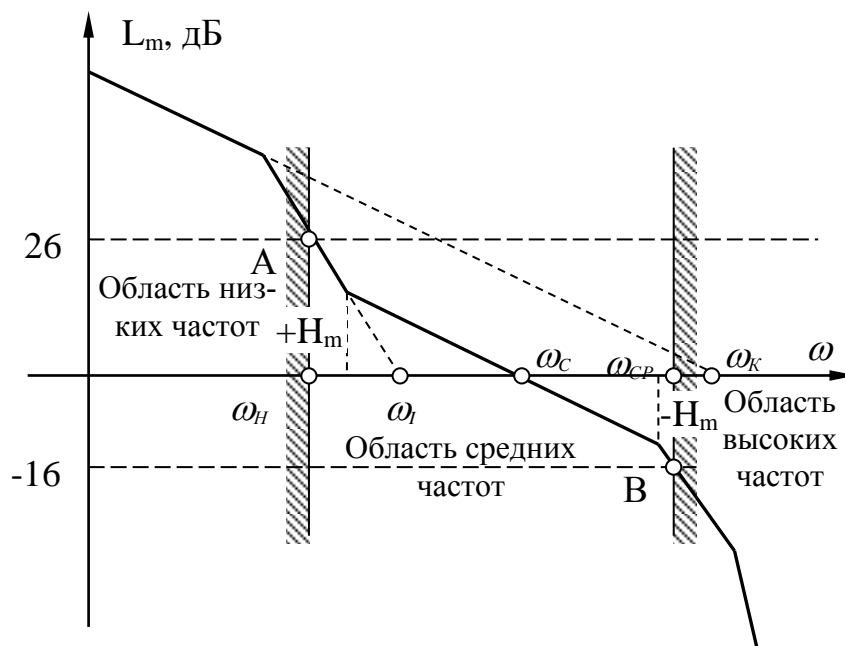


Рисунок 9.2 - Пример построения желаемой ЛАЧХ

1.4 Синтез последовательной коррекции.

При последовательной коррекции передаточная функция разомкнутой САУ имеет вид:

$$W_p(p) = W_{НС}(p) * W_к(p) = W_ж(p), \quad (1.1)$$

где $W_p(p)$ – передаточная функция разомкнутой САУ;
 $W_{НС}(p)$ – передаточная функция нескорректированной САУ;
 $W_к(p)$ – передаточная функция корректирующего звена;
 $W_ж(p)$ – желаемая передаточная функция, обеспечивающая заданные параметры САУ.

Перейдя к логарифмическим характеристикам уравнение (9.1) примет вид:

$$L_p(\omega) = L_ж(\omega) = L_{НС}(\omega) + L_к(\omega), \quad (1.2)$$

$$\varphi_p(\omega) = \varphi_ж(\omega) = \varphi_{НС}(\omega) + \varphi_к(\omega). \quad (1.3)$$

Отсюда

$$L_K(\omega) = L_{\text{ж}}(\omega) - L_{\text{НС}}(\omega), \quad (1.4)$$

$$\varphi_K(\omega) = \varphi_{\text{ж}}(\omega) - \varphi_{\text{НС}}(\omega). \quad (1.5)$$

Порядок расчета желаемой ЛАФЧХ и выбор последовательного корректирующего устройства:

1. Строится нескорректированная ЛАФЧХ системы.
2. Исходя из требований к показателям качества (σ_m и t_p), определяется частота среза ω_c желаемой ЛАЧХ (рисунок 9.1б).
3. Откладывается частота среза ω_c и проводится ЛАЧХ с наклоном -20 дБ/дек в области частоты среза.
4. Строится ЛАЧХ в области низких частот (исходя из требований к точности САУ).
5. Определяется ЛАЧХ в области высоких частот (совпадает с нескорректированной или идет параллельно ей).
6. Сопрягаются различные участки ЛАЧХ и определяется желаемая ЛАЧХ $L_{\text{ж}}(\omega)$.
7. Вычитается из желаемой ЛАЧХ $L_{\text{ж}}(\omega)$ нескорректированная $L_{\text{НС}}(\omega)$. В результате получается ЛАЧХ последовательного корректирующего устройства $L_K(\omega)$.
8. Определяется передаточная функция корректирующего звена и ее параметры.
9. Выбираются типовые звенья, обеспечивающие заданную реализацию последовательного корректирующего устройства.
10. Строится ЛФЧХ корректирующего устройства.
11. Строится желаемая ЛФЧХ, как сумма ЛФЧХ нескорректированной САУ и ЛФЧХ корректирующего устройства.

Следует отметить, что из-за ограничений физической реализации корректирующего звена его расчетная ЛАФЧХ может не совпадать с действительной. Тогда следует уточнить желаемую ЛАФЧХ.

Для проверки расчета необходимо построить одним из методов переходную характеристику скорректированной САУ и сравнить показатели качества переходного процесса с заданными.

1.5 Синтез параллельной коррекции.

При использовании в качестве коррекции параллельного корректирующего устройства, систему можно представить как неохватываемую часть $W_{\text{НО}}(p)$ и часть схемы, охваченную обратной связью $W_{\text{ВК}}(p)$, т.е. параллельным корректирующим устройством (рисунок 9.3).

Передаточная функция разомкнутой САУ $W_p(p)$ записывается в виде:

$$W_p(p) = W_{HO}(p) \cdot W_{BK}(p) = W_{HO}(p) \frac{W_o(p)}{1 + W_o(p) \cdot W_K(p)}, \quad (1.6)$$

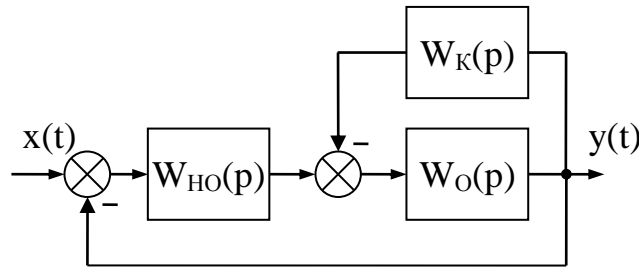


Рисунок 9.3

где $W_{BK}(p)$ – передаточная функция части схемы, охваченная параллельным корректирующим устройством;

$W_O(p)$ – передаточная функция той части схемы, которая охватывается параллельной коррекцией;

$W_K(p)$ – передаточная функция параллельного корректирующего устройства.

Переходя к логарифмическим характеристикам, уравнение (9.6) примет вид

$$L_p(\omega) = L_{HO}(\omega) + L_O(\omega) - L\{1 + W_K(p) * W_O(p)\} \quad (1.7)$$

$$\varphi_p(\omega) = \varphi_{HO}(\omega) + \varphi_O(\omega) - \varphi\{1 + W_K(p) * W_O(p)\}. \quad (1.8)$$

Итак, если разомкнутая логарифмическая амплитудно-частотная характеристика будет обладать желаемым видом (желаемая ЛАЧХ L_J), то передаточная функция корректирующего звена определяется из решения уравнения

$$L\{1 + W_K(p) * W_O(p)\} = L_{HO}(\omega) + L_O(\omega) - L_J(\omega), \quad (1.9)$$

Задача отыскания вида передаточной функции параллельного корректирующего устройства или его ЛАФЧХ разбивается на два этапа.

1-й этап. Определяется диапазон существенных частот, в котором

$$L_{HO}(\omega) + L_O(\omega) - L_J(\omega) = L_{HC}(\omega) - L_J(\omega) \gg 0, \quad (1.10)$$

тогда

$$L\{1 + W_K(p) * W_O(p)\} \approx L\{W_K(p) * W_O(p)\} = L_K(\omega) + L_O(\omega), \quad (1.11)$$

и на основании (9.9)

$$L_K(\omega) = L_{HO}(\omega) - L_J(\omega). \quad (1.12)$$

2-й этап. В диапазоне несущественных частот

$$L_{HC}(\omega) - L_J(\omega) \ll 0, \quad (1.13)$$

тогда

$$\begin{aligned} L\{1 + W_K(p) * W_O(p)\} &\approx 1, \\ L_J(\omega) &\approx L_{HO}(\omega) + L_O(\omega), \end{aligned} \quad (1.14)$$

и в этом диапазоне частот вид корректирующего устройства не играет существенной роли и может быть любым.

Поэтому в диапазоне несущественных частот, передаточная функция корректирующего устройства должна иметь или самый простой вид, или являться продолжением передаточной функции из области существенных частот.

После определения передаточной функции корректирующего устройства и ее параметров определяется окончательный вид желаемой ЛАФЧХ.

Порядок расчета параллельного корректирующего устройства:

1. Строится ЛАФЧХ неохватываемой $L_{HO}(\omega)$, $\varphi_{HO}(\omega)$ и охватываемой $L_O(\omega)$, $\varphi_O(\omega)$ части схемы. Строится ЛАФЧХ нескорректированной САУ $L_{HC}(\omega) = L_O(\omega) + L_{HO}(\omega)$, $\varphi_{HC}(\omega) = \varphi_O(\omega) + \varphi_{HO}(\omega)$.

2. Строится желаемая ЛАЧХ, удовлетворяющая заданным показателям качества.

3. Строится ЛАЧХ передаточной функции

$$L_1(\omega) = L_{HO}(\omega) + L_O(\omega) - L_J(\omega) = L_{HC}(\omega) - L_J(\omega).$$

4. Определяется область существенных частот, т.е. диапазон частот, в котором выполняется условия

$$L_1(\omega) = L_{HC}(\omega) - L_J(\omega) > 0. \quad (1.15)$$

В этом диапазоне частот логарифмическая характеристика параллельного корректирующего устройства равна

$$L_K(\omega) = L_1(\omega) - L_O(\omega) = L_{HO}(\omega) - L_J(\omega).$$

5. В диапазоне несущественных частот, где

$$L_1(\omega) = L_{HC}(\omega) - L_J(\omega) < 0,$$

логарифмическая характеристика параллельного корректирующего устройства должна иметь наиболее простой вид, и, чаще всего, является продолжением из области существенных частот.

6. Принимается окончательный вид ЛАЧХ параллельного корректирующего устройства и уточняется желаемая ЛАЧХ.

7. Для построения уточненной желаемой ЛАФЧХ $L_{\text{ж}}(p)$, $\varphi_{\text{ж}}(\omega)$ необходимо:

- одним из методов построить замкнутую ЛАФЧХ части схемы, охваченной обратной связью $L_{\text{вк}}(p)$, $\varphi_{\text{вк}}(\omega)$;

- построить желаемую ЛАФЧХ по уравнениям:

$$\begin{aligned}L_{\text{ж}}(\omega) &= L_{\text{но}}(\omega) + L_{\text{вк}}(\omega), \\ \varphi_{\text{ж}}(\omega) &= \varphi_{\text{но}}(\omega) + \varphi_{\text{вк}}(\omega).\end{aligned}$$