

7. Коррекция систем

Коррекция систем

Реальная система электропривода строится следующим образом: исходя из наличия , предприятие выбирает напряжение . Исходя из нагрузочной диаграммы электродвигателя, определяется мощность. В зависимости от требований выбирается силовой преобразователь. Преобразователь снабжён системой импульсно-фазового управления (СИФУ) или преобразователь частоты (ПЧ). Если технологически требуется поддержание скорости, необходима обратная связь (ОС) по скорости. Исходя из оборотов электродвигателя, выбирается тахогенератор. Если требуется поддержка темпа разгона и торможения, то необходима ОС по току (моменту). Если требуется отработка пути – вводится ОС по пути.

Всё это выбирается изначально, исходя из условий технологического процесса. Если проверить данную систему на устойчивость, то она, как правило, неустойчива.

Следует в каждый контур ввести корректирующее устройство (регулятор), которое обеспечивало бы устойчивость системы автоматического управления и нужное качество переходного процесса.

“Желаемый” вид ЛЧХ САУ в разомкнутом состоянии

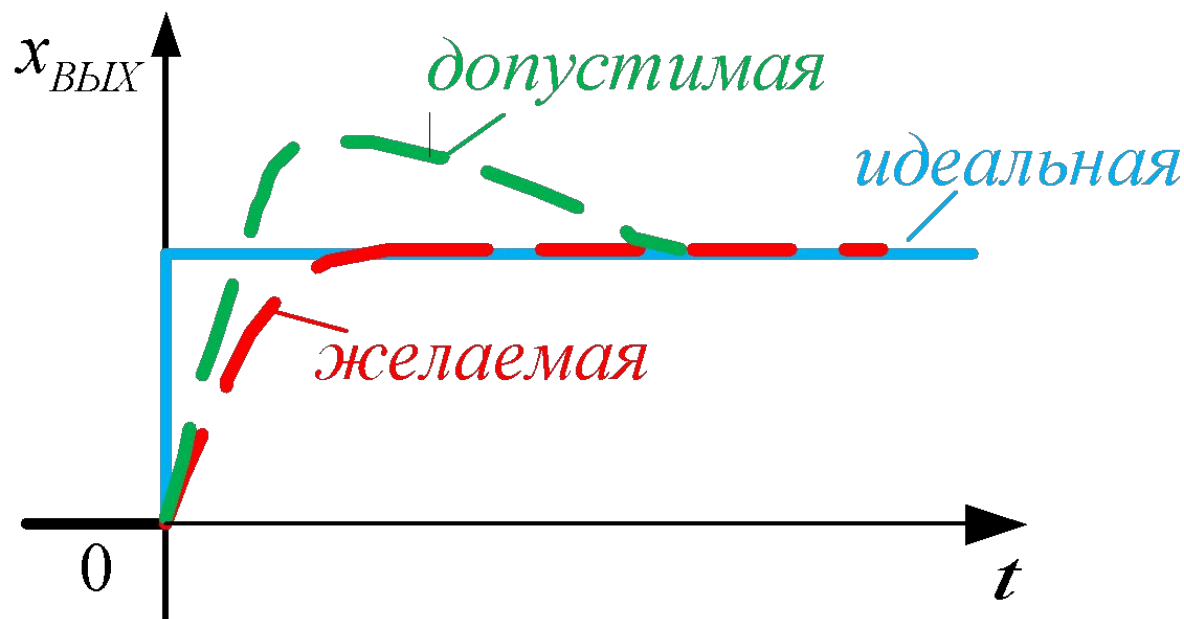
Важным требованием к системе автоматического управления в динамике являются условия, чтобы система отработывала управляющее воздействие в минимально возможное время, **с наименьшей колебательностью и не реагировала на возмущающее воздействия**. Если эти требования рассматривать в частотной области, то это означает, что

- 1) ЛАЧХ замкнутой системы по управляющему воздействию не должна содержать восходящих участков,
- 2) ЛАЧХ по относительно возмущающему воздействию должна быть расположена как можно ниже оси абсцисс.
- 3) Полоса пропускания частот САУ при этом должна

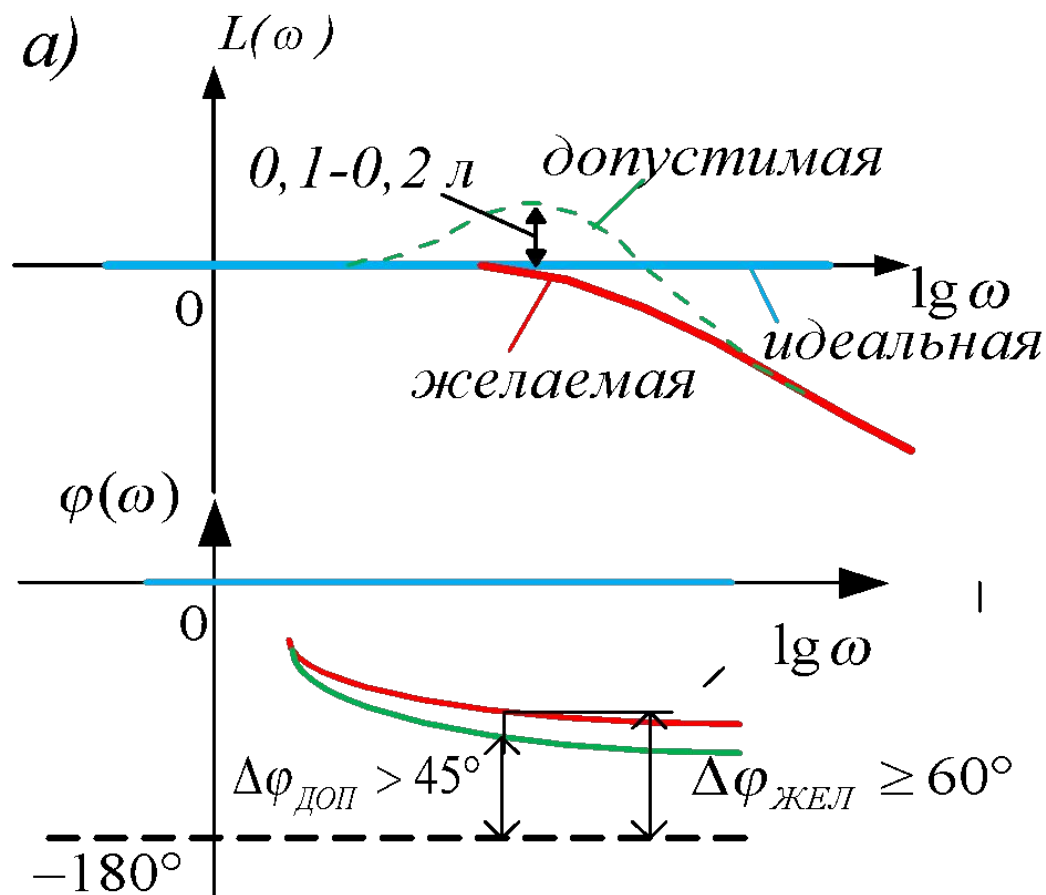
Основным назначением САУ является автоматическое поддержание или изменение по заданному закону регулируемой величины. Отсюда основными требованиями к любой САУ являются следующие условия.

1. Обеспечение минимальной реакции системы на все возмущения, возникающие как в переходном, так и в установившемся режиме.
2. Обеспечение минимального времени регулирования системы при изменении задающего воздействия.
3. Обеспечение устойчивости (первые два условия включает в себя третье).

Выходные зависимости можно разбить на **идеальные, желаемые** (астатические и статические) и **допустимые** (астатические и статические)



Логарифмические амплитудно-фазовые частотные характеристики должны быть при задающем воздействиях

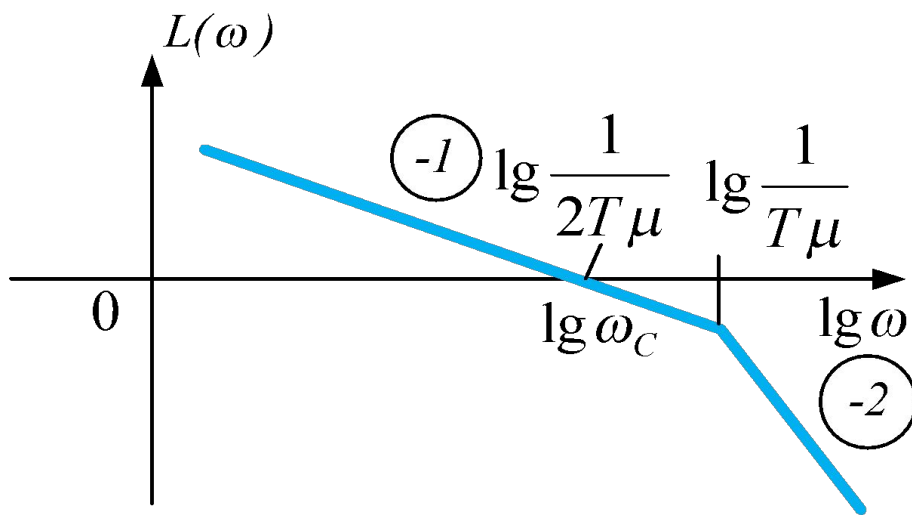


В системах ЭП большое распространение получил **подчинённый принцип регулирования**, где система состоит из нескольких вложенных друг в друга замкнутых контуров и каждый контур на входе имеет свой регулятор. Заданием каждого внутреннего контура является выход регулятора каждого внешнего контура. Было предложено строить желаемые ЛАХ исходя из желательного **среднего наклона в частоте среза** каждого контура. Есть два оптимума.

Оптимум с однократным интегрированием (*betrags* оптимум)

Пусть имеется система с малым T_μ , при чём

$$T_\mu = \sum_{i=2}^n T_i; \quad T_1 > T_\mu.$$



Такая система

имеет $\varphi_P(\omega_c) = \frac{1,7 - 1}{2} \cdot 90^\circ = -121,5^\circ;$

$$\Delta\varphi = 58,5^\circ;$$

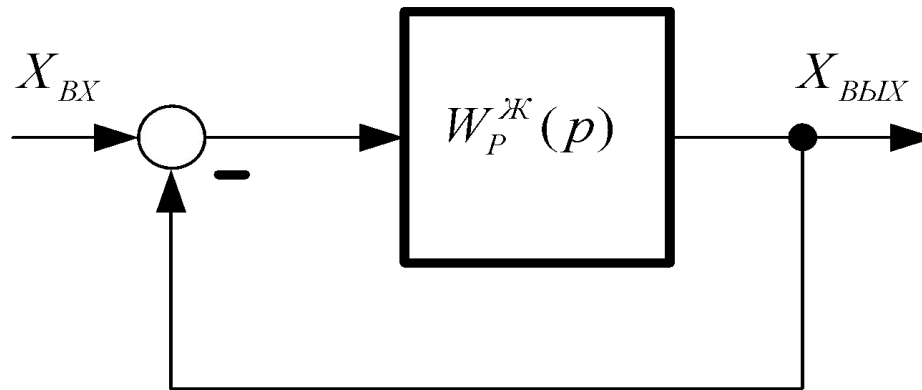
$$\Delta \log \approx 3.$$

$$t_P = (3 \dots 4) \cdot 2 \cdot T_\mu;$$

$$\sigma = (18 \dots 25)\%.$$

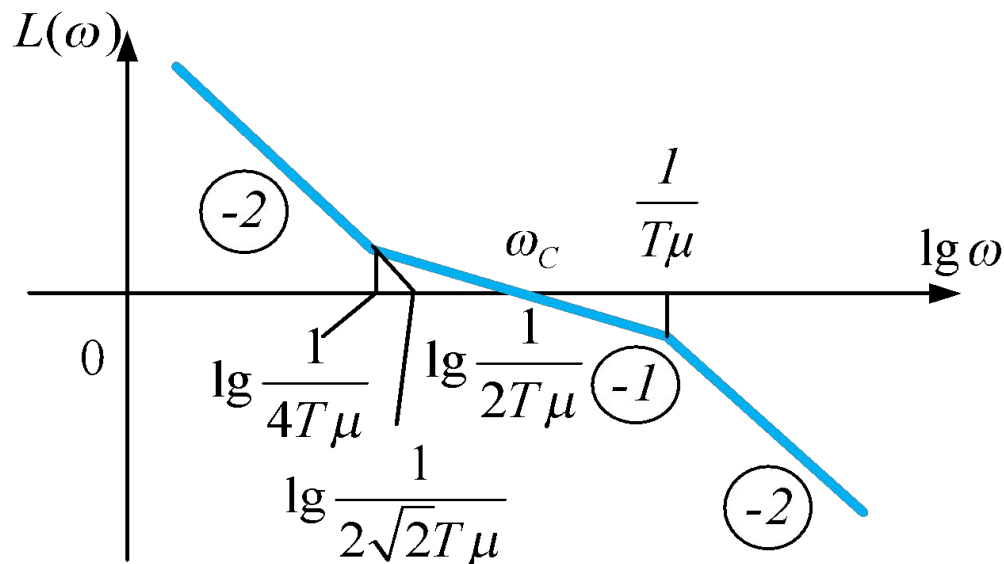
Комплексный коэффициент передачи
равен

$$W_P = \frac{1}{2 \cdot T_\mu \cdot (1 + T_\mu \cdot \delta)}$$



Симметричный оптимум с двукратным интегрированием

Поскольку основную роль играет ЛАЧХ в районе частоты среза, то в некоторых случаях для предварительного выбора L_P ЖЕЛ используется следующая методика. Через $\lg \frac{1}{2 \cdot T_\mu}$ проводится характеристика с углом наклона -1 , влево - до $\lg \frac{1}{4 \cdot T_\mu}$, вправо - до $\lg \frac{1}{T_\mu}$. Затем продолжается влево и вправо с углом наклона -2 .



Такая система

имеет $\varphi_P(\omega_c) = \frac{-1,7 - 1,7}{2} \cdot 90^\circ = -153,5^\circ;$

$\Delta\varphi = 26,5^\circ; \Delta L = 0,6 \text{ дБ};$

$t_p = (3 \dots 4) \cdot 2 \cdot T_\mu;$

$\sigma = (60 \dots 70)\%.$

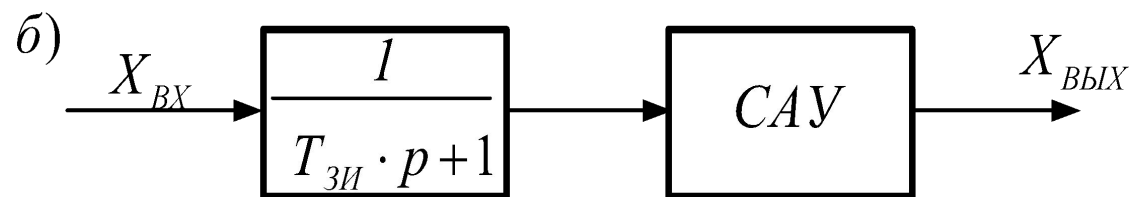
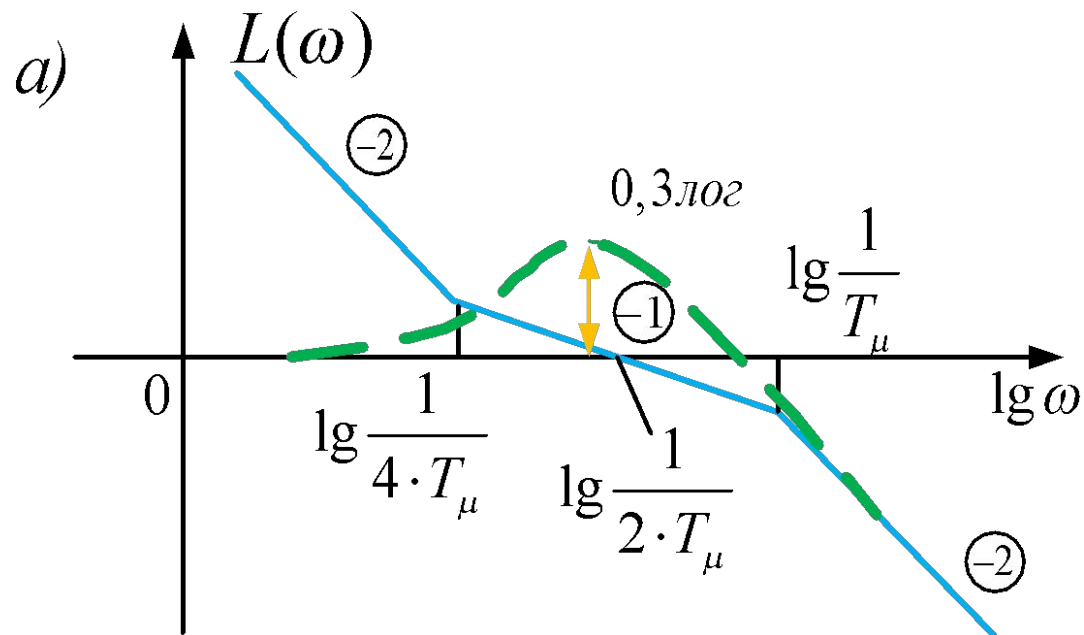
При этом комплексный коэффициент передачи $W_p(p)$ равен

$$W_D(p) = \frac{4 \cdot T_\mu \cdot p + 1}{(2\sqrt{2} \cdot T_\mu)^2 \cdot p^2 \cdot (T_\mu \cdot p + 1)} = \frac{4 \cdot T_\mu p + 1}{8 \cdot T_\mu^2 \cdot p^2 \cdot (T_\mu \cdot p + 1)},$$

где T_μ - сумма малых постоянных времени рассматриваемой САУ.

Пользуясь этим выражением и имея выражение L_{PA3} определяется ЛАХ и параметры корректирующего устройства. Необходимо отметить, что использование этой методики по заданию имеет **перерегулирование** $\sigma = (60...70)\%$. Для уменьшения его вводят **затчик интенсивности**, который уменьшает и позволяет формировать определённый закон нарастания регулируемой величины, причём $T_{3\dot{E}} \approx 4 \cdot T_\mu$

ЛАЧХ системы в замкнутом состоянии а) , включение задатчика интенсивности б)



Синтез корректирующих устройств

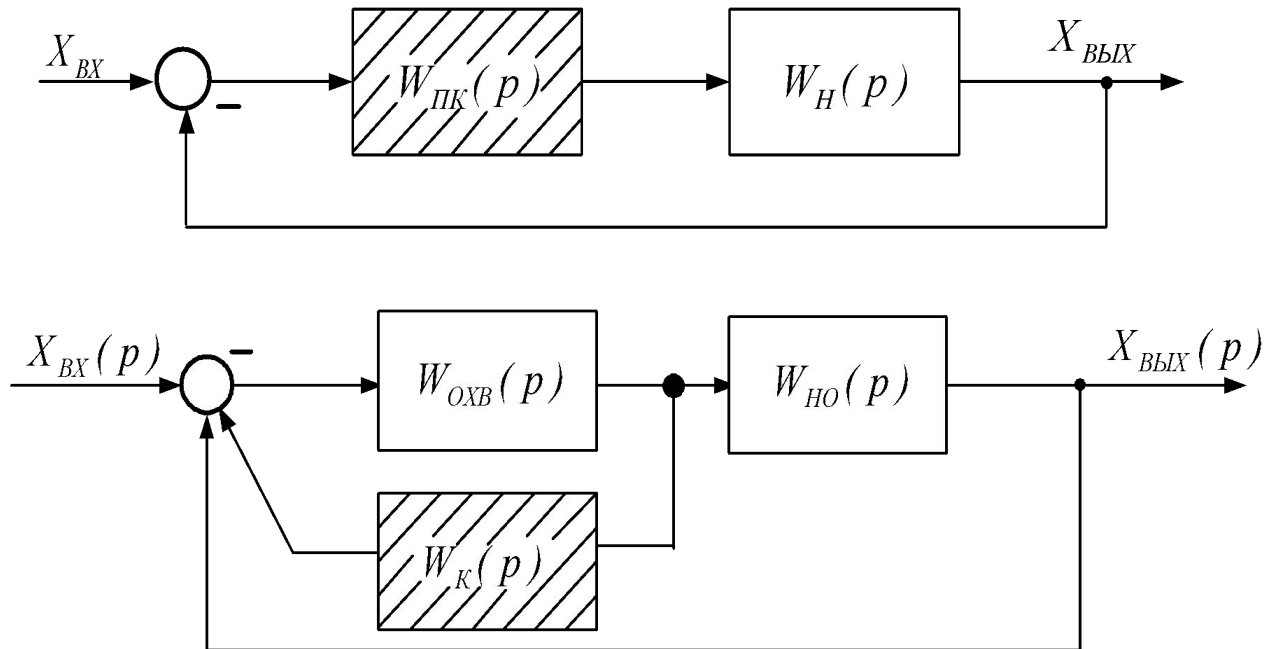
- Синтезом САУ в широком смысле слова называют нахождение структуры и параметров системы (или ее части) по заранее заданным показателям процесса регулирования.
- Решение задачи синтеза не является однозначным. Один и тот же эффект может быть достигнут при разных принципах построения САУ, при различном сочетании ее параметров. Часто при проектировании ставится цель добиться высоких показателей работы САУ при минимальных затратах и использовании наиболее простых и надежных технических средств.

При решении этой задачи возможны **два пути**.

1. **Изменение основной (исходной) структуры построения схемы.**
2. Введение в схему **специальных корректирующих устройств** с легко изменяемыми параметрами.

Так как исходная схема выбирается, прежде всего, из условий обеспечения статических режимов, то для улучшения динамических показателей работы САУ целесообразнее избрать **второй путь**, т.е. включить в схему **специальные корректирующие устройства**.

В зависимости от схемы включения корректирующие устройства делятся на **последовательные и параллельные**. В первом случае корректирующее устройство включается **последовательно в цепь основного воздействия**, во втором - в **цепь обратной связи охватывающей одно или несколько звеньев САУ**.



В схемах электропривода находят применение пассивные (не содержащие внутренние источники энергии) **корректирующие устройства** в виде цепей $R - C, R - L - C$, а также дифференциальные трансформаторы, мостовые дифференциальные схемы и т.д.

В динамике такие устройства представляются в виде **идеальных и реальных дифференциальных, интегрирующих и форсирующих** звеньев с передаточной функцией вида:

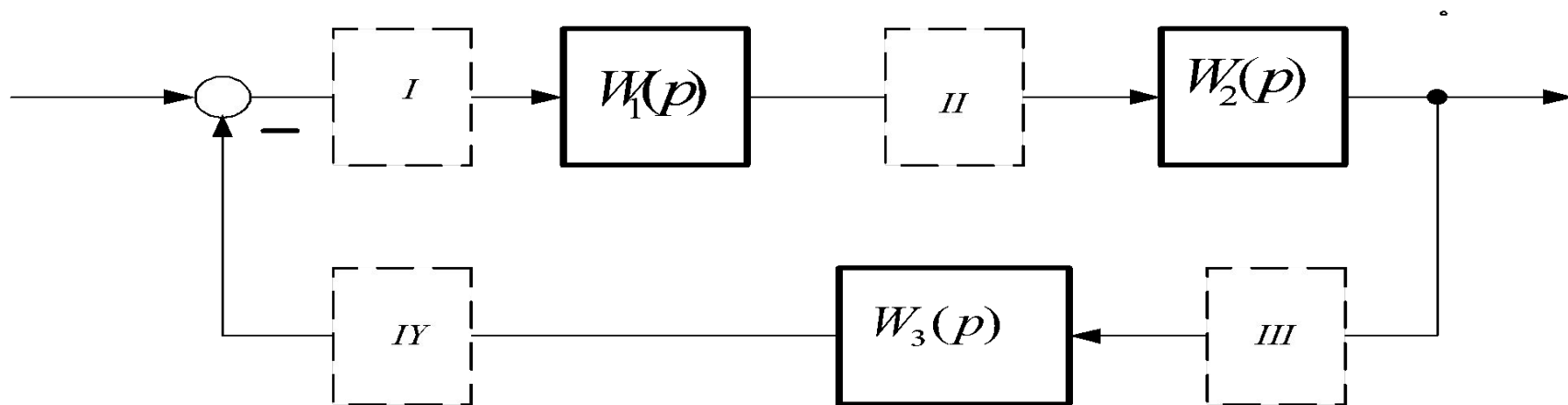
$$W(p) = \frac{k \cdot T \cdot p}{T \cdot \delta + 1}; \quad W(p) = \frac{k \cdot T \cdot p + 1}{T \cdot \delta + 1};$$

$$W(p) = \frac{(\dot{O}_1 \cdot \delta + 1) \cdot (\dot{O}_2 \cdot \delta + 1)}{(\dot{O}_3 \cdot \delta + 1) \cdot (\dot{O}_4 \cdot \delta + 1)}.$$

Последовательная коррекция

Включение последовательной коррекции

- Если корректирующее устройство включается последовательно к звеньям замкнутого контура, его можно поставить на **четыре** места.



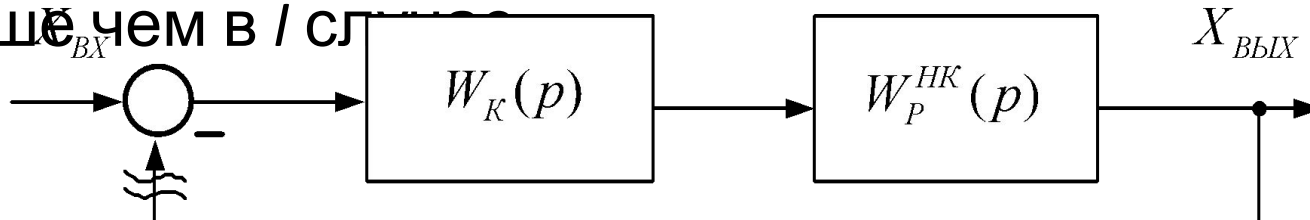
Достоинства и недостатки каждого вида включения коррекции

Достоинства **/** включения: минимальный ток и напряжение; минимальная потребляемая мощность; минимальные габариты.

Недостатки **//** : силовое напряжение равное 220 В; большой ток и мощность; max габариты; уменьшается η привода.

Недостатки **///**: на входе корректирующего устройства механические величины (путь, скорость, момент), их требуется преобразовать в электрические, что неудобно.

Плюсы и минусы **/Y**: напряжение и ток малы, но все-таки больше чем в / случае



Последовательные корректирующие устройства включаются в неизменяемую часть САУ

Обычно они включаются после элемента сравнения в цепь основного воздействия и служат для формирования сигнала управления, пропорциональна производной, или интегралу от сигнала ошибки. Передаточная функция системы в разомкнутом состоянии с последовательным корректирующим устройством имеет вид:

$$W^{\mathcal{E}\mathcal{A}\mathcal{E}}(p) = W_K(p) \cdot W_P^{HK}(p).$$

$$W_K(p) = \frac{W^{\mathcal{E}\mathcal{A}\mathcal{E}}(p)}{W_P^{HK}(p)};$$

$$A_K(\omega) = \frac{A^{\mathcal{E}\mathcal{A}\mathcal{E}}(\omega)}{A_P^{HK}(\omega)};$$

$$\varphi_K(\omega) = \varphi^{\mathcal{E}\mathcal{A}\mathcal{E}}(\omega) - \varphi_P^{HK}(\omega).$$

Переходя к **логарифмическому** масштабу,

получим.
$$\begin{cases} L^{\mathcal{A}\hat{A}\ddot{E}}(\omega) = L_{\hat{E}}(\omega) + L_{\mathcal{D}}^{\dot{I}\hat{E}}(\omega), \\ \varphi^{\mathcal{A}\hat{A}\ddot{E}}(\omega) = \varphi_{\hat{E}}(\omega) + \varphi_{\mathcal{D}}^{\dot{I}\hat{E}}(\omega). \end{cases}$$

Если задаться желаемым видом ЛЧХ системы в разомкнутом состоянии, то из выражения

можно найти **ЛЧХ последовательно кор**
ректирующего устройства:

$$\begin{aligned} L_{\hat{E}}(\omega) &= L^{\mathcal{A}\hat{A}\ddot{E}}(\omega) - L_{\mathcal{D}}^{\dot{I}\hat{E}}(\omega), \\ \varphi_{\hat{E}}(\omega) &= \varphi^{\mathcal{A}\hat{A}\ddot{E}}(\omega) - \varphi_{\mathcal{D}}^{\dot{I}\hat{E}}(\omega). \end{aligned}$$

Иными словами, задача синтеза последовательного корректирующего устройства методом ЛЧХ заключается в том, чтобы **максимально приблизить ЛЧХ скорректированной системы к "желаемой"**.

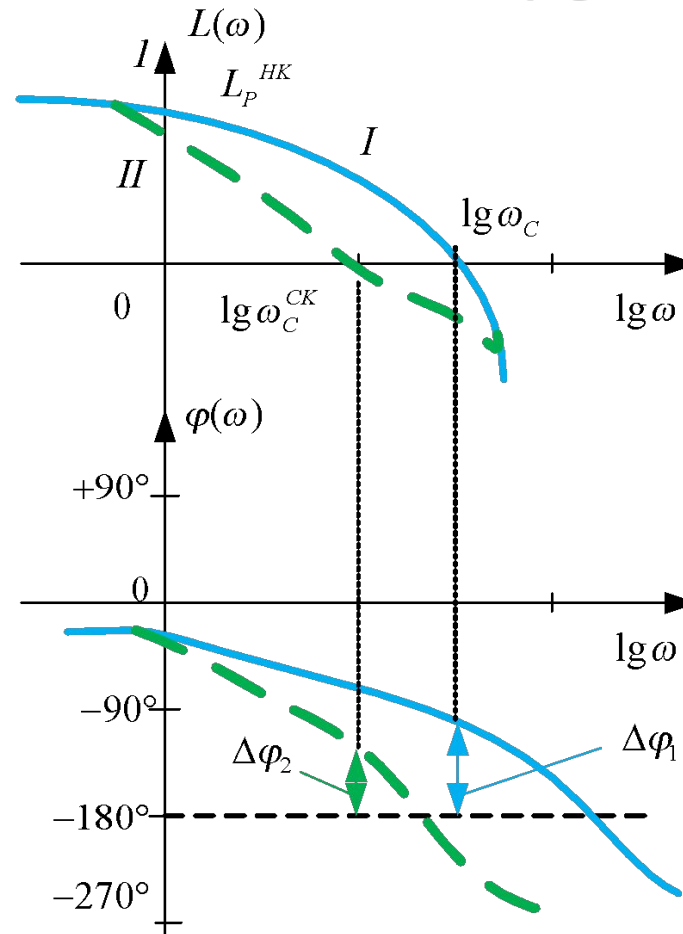
Существенными являются вид ЛАЧХ в районе частоты среза . Выбор наклонов ЛАЧХ в высокочастотной и низкочастотной области определяется таким образом, чтобы получить **корректирующее устройство наиболее простого вида.**

Порядок синтеза последовательного корректирующего устройства.

1. Строится ЛЧХ нескорректированной САУ в разомкнутом состоянии.
2. Строится желаемая ЛАЧХ САУ.
3. Определяется ЛЧХ корректирующего устройства.
4. Подбираются электрические звенья, обеспечивающие наиболее приближенное к ЛЧХ корректирующее устройство.

Рассмотрим два способа построения различных видов корректирующих устройств. Неустойчивую систему можно скорректировать следующим образом:

1. Не меняя ω_c поднять ЛАЧХ, чтобы появился $\Delta\varphi_1$.
2. Не меняя ЛАЧХ, уменьшить φ_c , чтобы получить $\Delta\varphi_2$.



Рассмотрим **достоинства** и **недостатки** каждого из них.

Достоинства первого способа.

1. Увеличивается ω_c , увеличивается быстродействие.
2. Координата L_p до ω_c не уменьшается - реакция системы на возмущение не ухудшается.

Недостаток этого способа.

Трудно реализовать корректирующее устройство, имеющее корни с высоким φ .

Достоинство второго способа.

Легко реализуется, можно получить большой запас по амплитуде ΔL и по фазе $\Delta\varphi$ (практически любой).

Недостатки этого способа.

1. Уменьшается ω_c , следовательно увеличивается $t_{пп}$.
2. Координата L_p уменьшается, следовательно реакция системы на возбуждение возрастает.

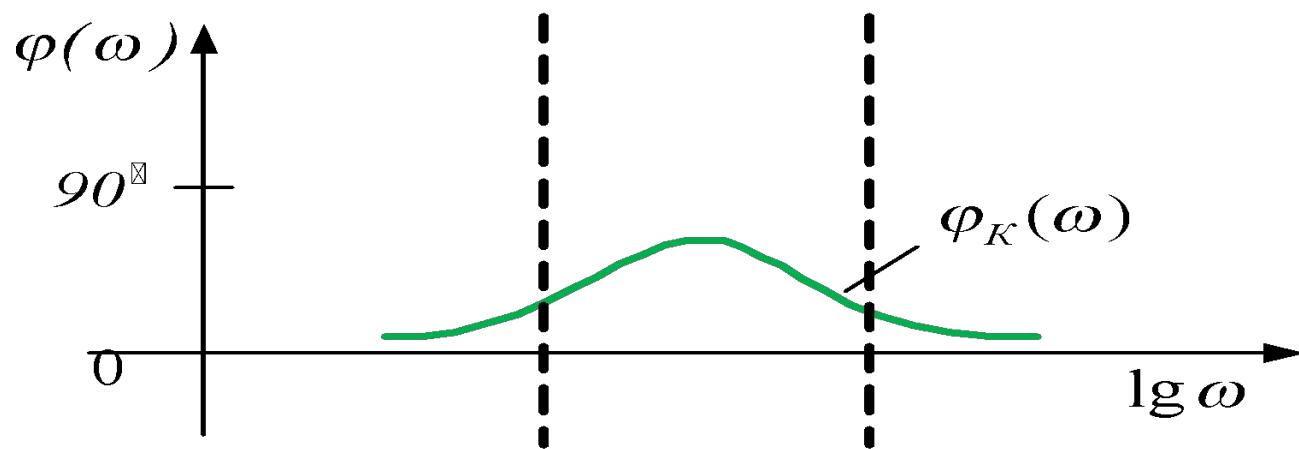
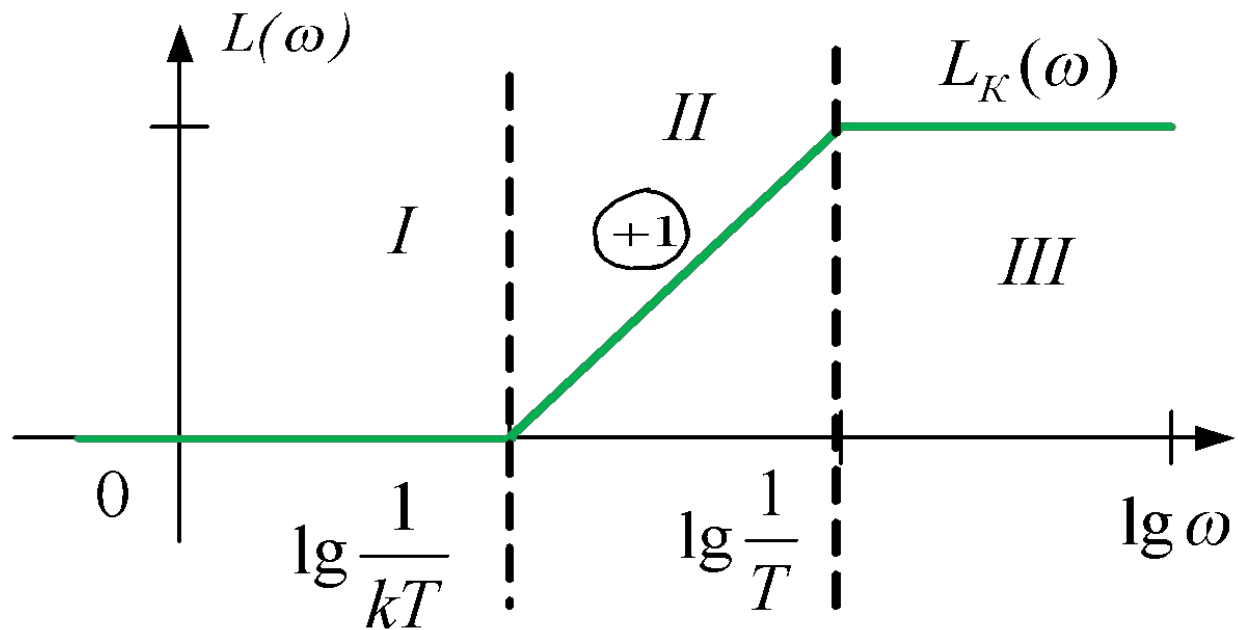
Виды последовательного корректирования

Различают три вида последовательных корректирующих устройств.

Опережающая коррекция

Опережающей коррекцией называется коррекция, создающая **положительный опережающий сдвиг по фазе** синусоидального сигнала в определенном диапазоне частот ($\varphi_{\hat{E}} > 0$).

Простейшими звеньями, с помощью которых обеспечивается опережающая коррекция САУ, являются звенья с передаточными функциями типа: $W_{\hat{E}}(p) = \frac{k \cdot T \cdot p + 1}{T \cdot p + 1}$, при $k > 1$.

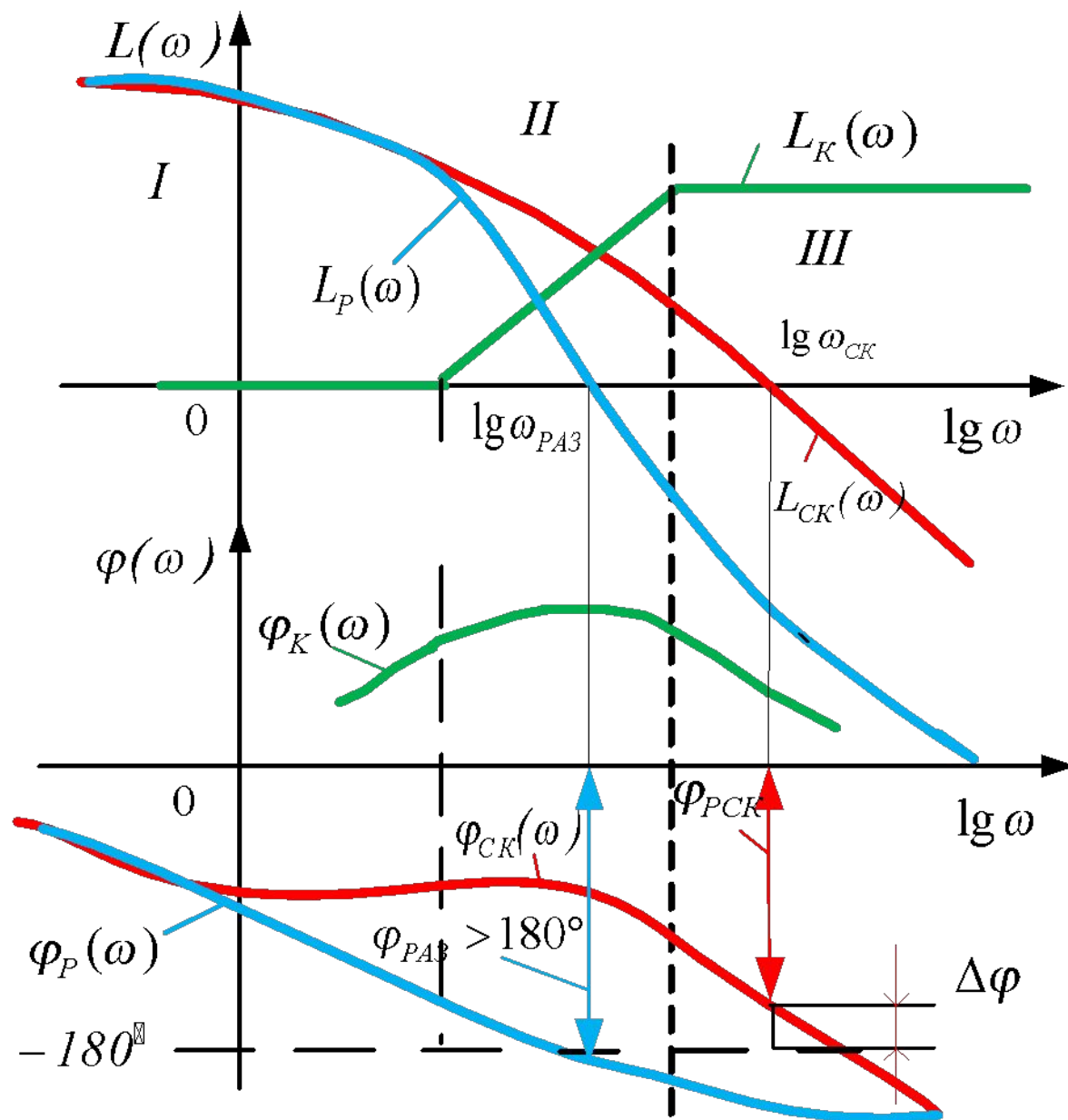


Из ЛЧХ видно, что можно выделить три основных зоны.

1. $L_K \approx 0, \quad \varphi_K \rightarrow 0$ **низкочастотная зона** (нулевой эффект коррекции);
2. $L_K > 0, \quad \varphi_K > 0$ **среднечастотная зона** (ω_C, φ_K увеличивается - **положительный эффект коррекции**);
3. $L_K > 0, \quad \varphi_K \rightarrow 0$ **высокочастотная зона** (ω_C увеличивается - отрицательный эффект коррекции).

Очевидно, что наибольший эффект коррекции от введения такого корректирующего звена может быть получен в том случае, если **частота среза нескорректированной системы находится в среднечастотной зоне** влияния этого устройства, когда

$$\frac{1}{k \cdot T} \geq \omega_C^{HK}, \quad \text{ò.ä.} \quad k \cdot T \leq \frac{1}{\omega_C^{HK}}.$$



Недостатки опережающей коррекции.

- 1) Чувствительность опережающей коррекции к радиопомехам (к помехам высокой частоты).
- 2) Небольшие возможности получить достаточно большие запасы по фазе.
- 3) Плохая реализация.

Достоинства опережающей коррекции.

- 1) Высокое быстродействие системы.
- 2) Поскольку не уменьшается координата до частоты среза , то реакция системы на возмущение мала.

Запаздывающая коррекция

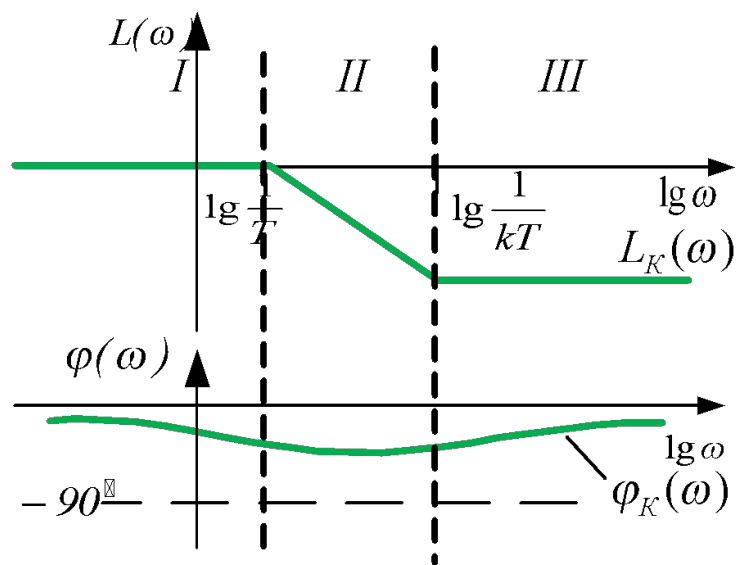
Обладают такие корректирующие устройства, у которых синусоидальный сигнал на выходе отстаёт от синусоидального сигнала на входе ($\varphi_K < 0$).

Простейшими звеньями, с помощью которых обеспечивается запаздывающая коррекция САУ, являются звенья с передаточной функцией вида

$$W_{\hat{E}}(p) = \frac{k \cdot T \cdot p + 1}{T \cdot p + 1},$$

при $k < 1$.

Логарифмические амплитудно-фазовые характеристики таких звеньев может быть представлена следующим образом



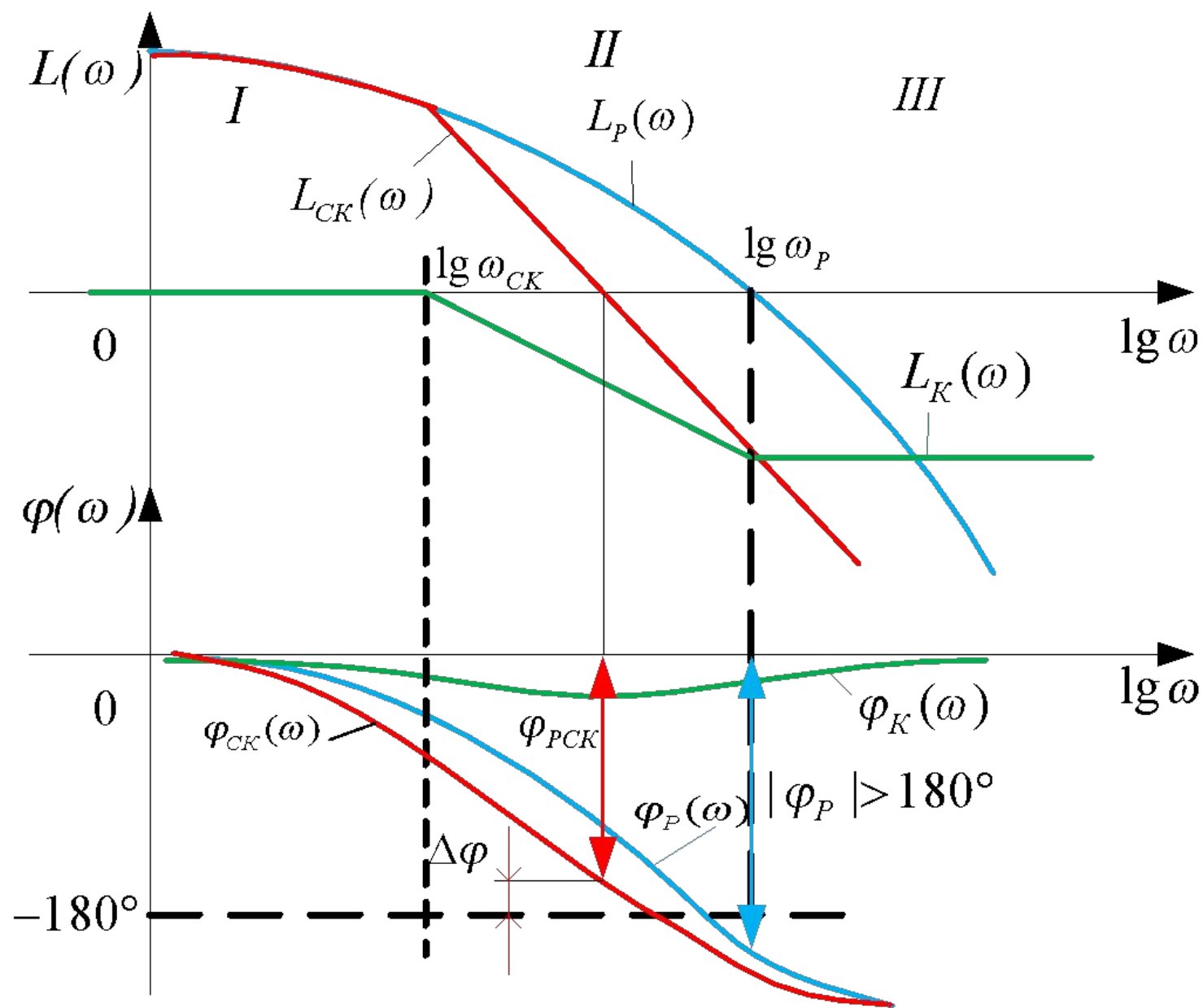
Видно, что в ЛЧХ можно выделить три зоны.

- 1 - **низкочастотная** зона (эффект коррекции нулевой);
- 2 - **среднечастотная** зона (L_K - уменьшается, φ_K - уменьшается, эффект коррекции под знаком вопроса).
3. **высокочастотная** зона (L_K уменьшается, ω_c уменьшается – эффект коррекции положительный).

Очевидно, что наибольший эффект коррекции от введения такого звена может быть достигнут в том случае, если частота среза нескорректированной системы будет находиться в высокочастотной зоне влияния этого устройства, т.е.

$$\frac{1}{k \cdot T} \leq \omega_C^{i\hat{E}}, \text{ и } k \cdot T \geq \frac{1}{\omega_C^{i\hat{E}}}; \quad k \leq 0,2 \div 0,1$$

В этом случае достигается наибольшее уменьшение ординат ЛАЧХ нескорректированной системы до $\varphi(\omega)$; частота среза смещается влево, то есть в ту область частот, где ω_C^{HK} , как правило, меньше. Уменьшение ординат свидетельствует об уменьшении эффекта подавления возмущения прикладываемого за корректирующим устройством. Это является существенным минусом такой коррекции.



Достоинство запаздывающей коррекции

- лёгкое осуществление такой коррекции, с необходимым запасом устойчивости.

Недостатки запаздывающей коррекции.

1). Уменьшается ω_{CP} , $t_{ПП}$ увеличивается, быстродействие ухудшается.

2). Уменьшается координата L до
реакция системы на возмущение будет сильнее.

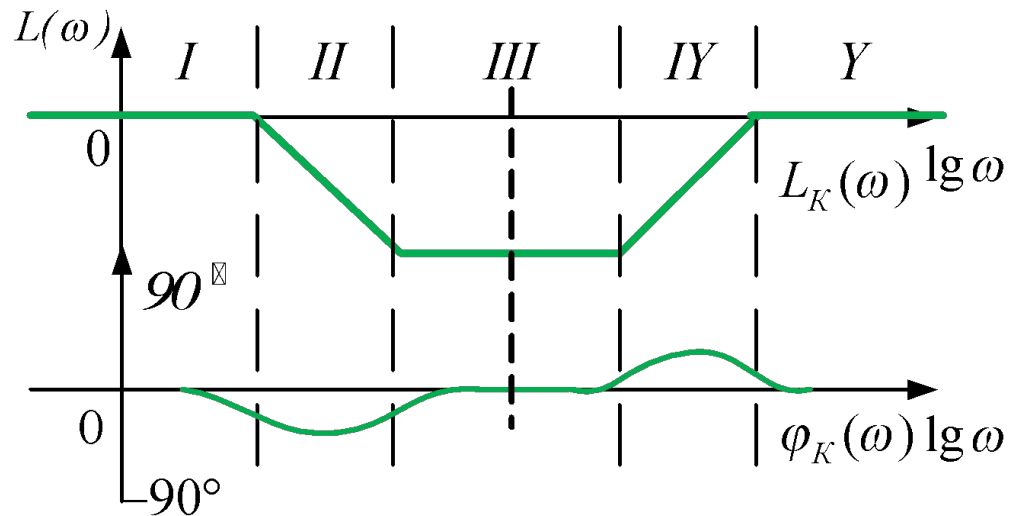
Комбинированная

коррекция

Это такие корректирующие устройства, у которых на некотором участке частоты синусоидальный сигнал на выходе отстаёт ($\varphi_k < 0$), а на некотором участке частоты – опережает ($\varphi_k > 0$) синусоидальный сигнал на входе.

Простыми звеньями, с помощью которых обеспечивается комбинированная коррекция САУ, являются звенья с передаточной функцией вида

$$W_{\hat{E}}(p) = \frac{(T_1 \cdot p + 1) \cdot (T_2 \cdot p + 1)}{(T_3 \cdot p + 1) \cdot (T_4 \cdot p + 1)}; \quad \text{äää} \quad T_3 > T_1 > T_2 > T_4.$$



Логарифмическая амплитудно-фазовая характеристика имеет пять зон.

1. - **низкочастотная** зона (эффект коррекции нулевой);
2. - **среднечастотная** зона (эффект коррекции находится под вопросом).
3. - **среднечастотная** зона (эффект коррекции **положительный**).
4. - **среднечастотная** зона (эффект коррекции **дважды положительный**).
5. - **высокочастотная** зона (эффект коррекции

Очевидно, что наиболее целесообразной с точки зрения корректирования является четвёртая зона. Наибольший эффект от применения такой коррекции может быть получен, если

$$\frac{1}{T_2} \geq \omega_C^{HK}, \quad T_1 \geq (5 \div 10)T_2.$$

Комбинированная коррекция сочетает в себе достоинства и недостатки как опережающей, так и запаздывающей коррекции. Поскольку при комбинированной коррекции уменьшаются ординаты ЛАЧХ до частоты среза, то, следовательно, ей присущи недостатки запаздывающей коррекции.

Достоинства последовательной коррекции

1. Простота выполнения устройства.
2. Относительная легкость выбора параметров коррекции.

Недостатки последовательной коррекции

1. При применении последовательной коррекции, как правило, происходит потеря мощности сигнала управления. Стремление уменьшить потери мощности приводит к тому, что требуемые величины емкостей или индуктивностей возрастают так, что их становится трудно выполнить конструктивно.
2. Введение последовательной коррекции не уменьшает чувствительности САУ к изменению параметров неизменяемой части.
3. Схемы с последовательной коррекцией оказываются более чувствительны к помехам в главном контуре регулирования.