

# 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

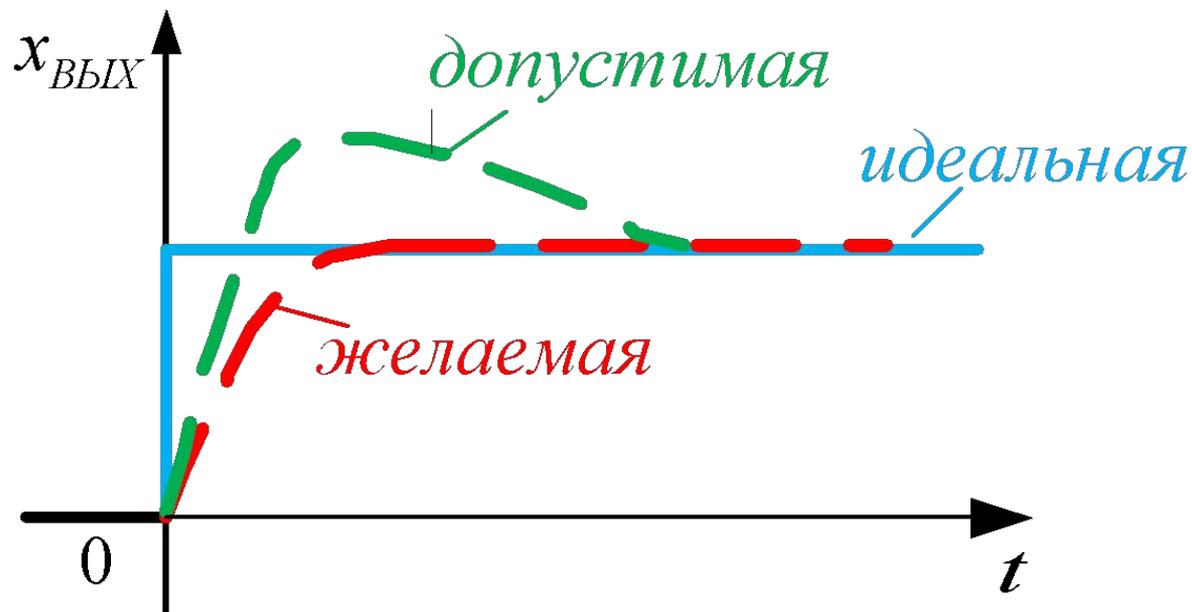
Важным требованием к системе автоматического управления в динамике являются условия, чтобы система обрабатывала управляющее воздействие в минимально возможное время, с наименьшей колебательностью и не реагировала на возмущающее воздействие. Если эти требования рассматривать в частотной области, то это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

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

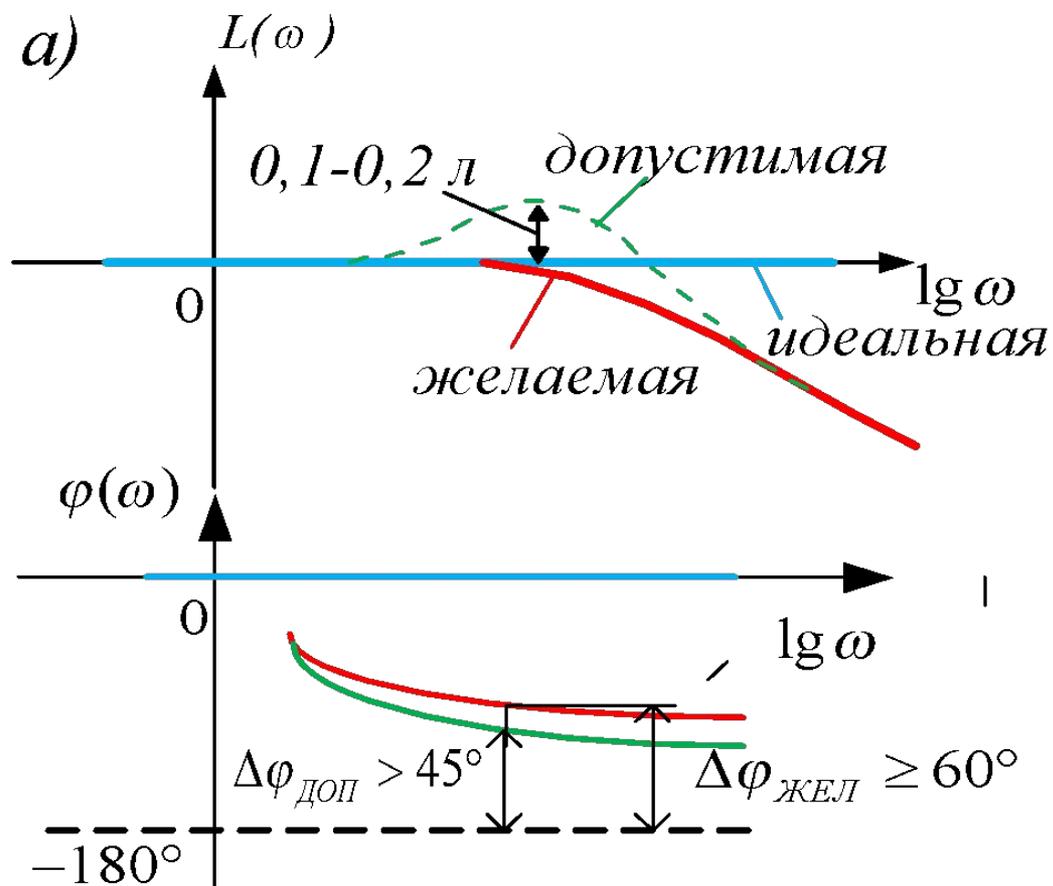
Основным назначением САУ является автоматическое поддержание или изменение по заданному закону регулируемой величины. Отсюда основными требованиями к любой САУ являются следующие условия.

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

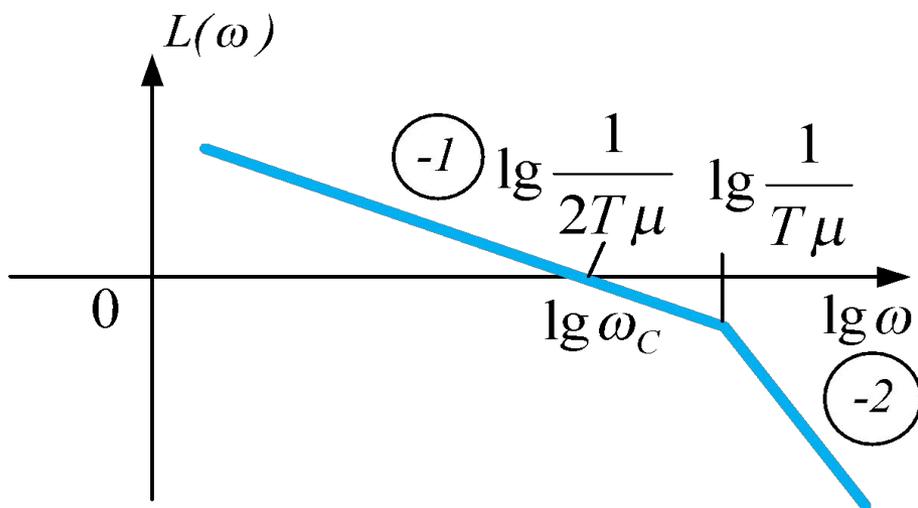


В системах ЭП большое распространение получил **подчинённый принцип регулирования**, где система состоит из нескольких вложенных друг в друга замкнутых контуров и каждый контур на входе имеет свой регулятор. Задаaniem каждого внутреннего контура является выход регулятора каждого внешнего контура. Было 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  $T_\mu$ , при чём

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



Такая система

имеет

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

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

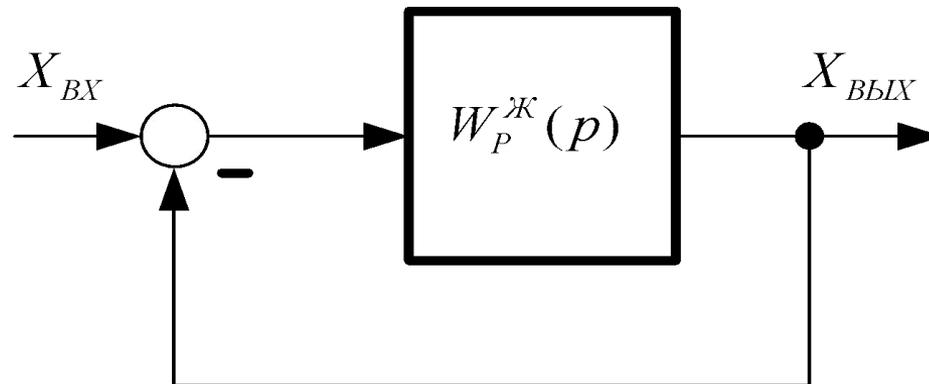
$$\Delta t_{\text{доз}} \approx 3$$

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

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

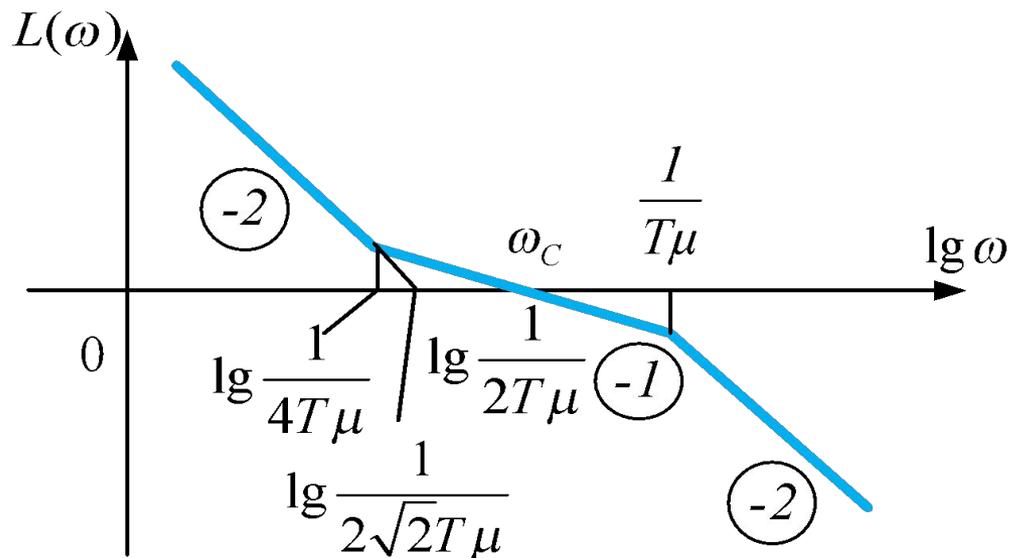
Комплексный коэффициент передачи равен

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



# Симметричный оптимум с двукратным интегрированием

Поскольку основную роль играет ЛАЧХ в районе частоты среза, то в некоторых случаях для предварительного выбора  $L_{P \text{ ЖЕЛ}}$  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  $\varphi_P(\omega_c) = \frac{-1,7 - 1,7}{2} \cdot 90^\circ = -153,5^\circ$ ;

$\Delta\varphi = 26,5^\circ$ ;  $\Delta L = 0,6 \ddot{\varepsilon} \tilde{a}$ ;

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

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

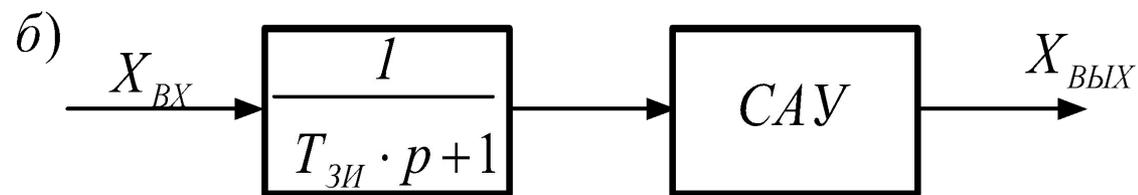
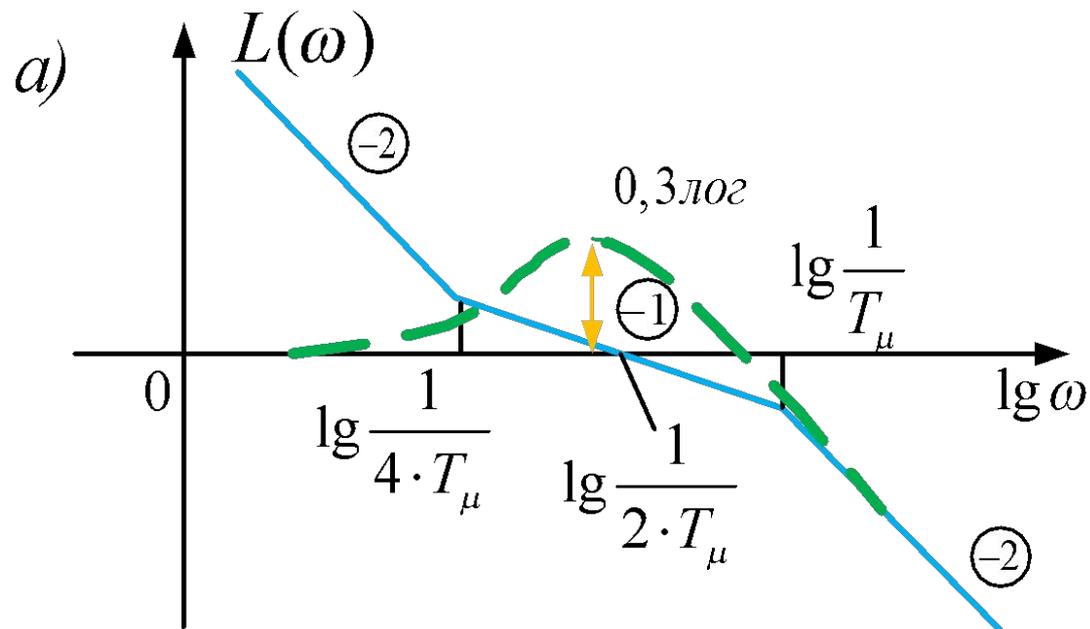
При этом комплексный коэффициент передачи  $W_p(p)$  равен

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

где  $T_\mu$  - 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.

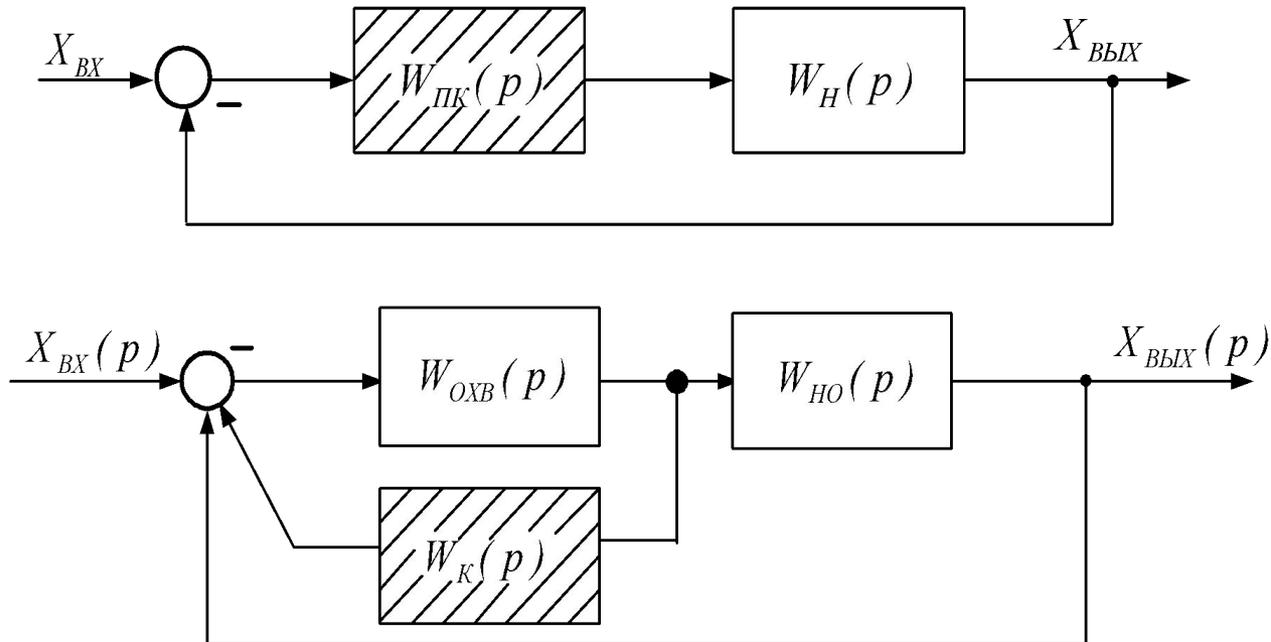
При решении этой задачи возможны **два пути**.

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:

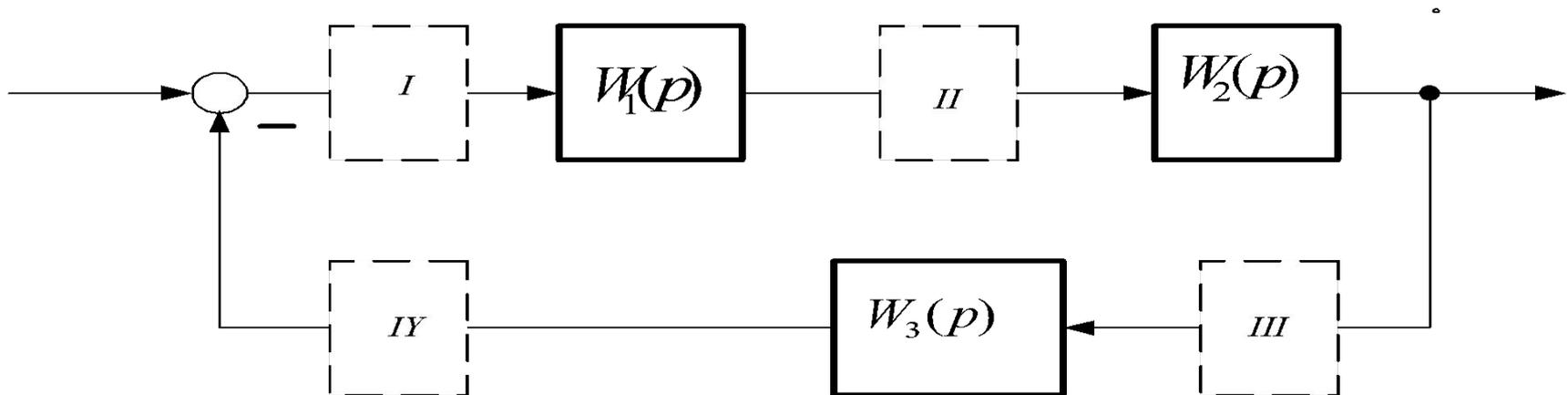
$$W(p) = \frac{k \cdot T \cdot p}{T \cdot \delta + 1}; \quad W(p) = \frac{k \cdot T \cdot p + 1}{T \cdot \delta + 1};$$

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

# Последовательная коррекция

# Включение последовательной коррекции

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



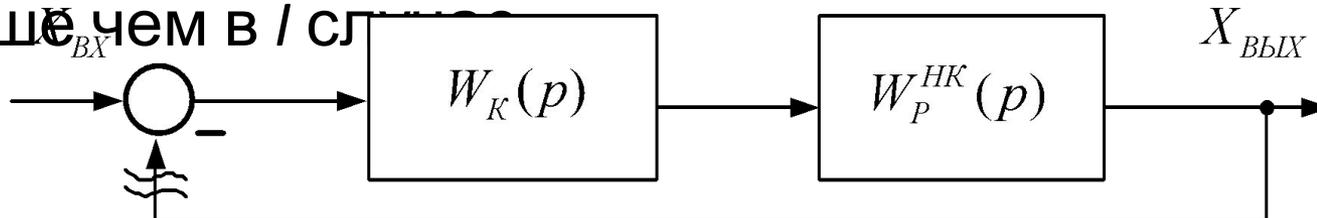
# Достоинства и недостатки каждого вида включения коррекции

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

Недостатки // : силовое напряжение равное 220 В; большой ток и мощность; max габариты; уменьшается  $\eta$  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 / с



# 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:

$$W^{\text{ЭАЭ}}(p) = W_K(p) \cdot W_P^{\text{HK}}(p).$$

$$W_K(p) = \frac{W^{\text{ЭАЭ}}(p)}{W_P^{\text{HK}}(p)};$$

$$A_K(\omega) = \frac{A^{\text{ЭАЭ}}(\omega)}{A_P^{\text{HK}}(\omega)};$$

$$\varphi_K(\omega) = \varphi^{\text{ЭАЭ}}(\omega) - \varphi_P^{\text{HK}}(\omega).$$

Переходя к **логарифмическому** масштабу,

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

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

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

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

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

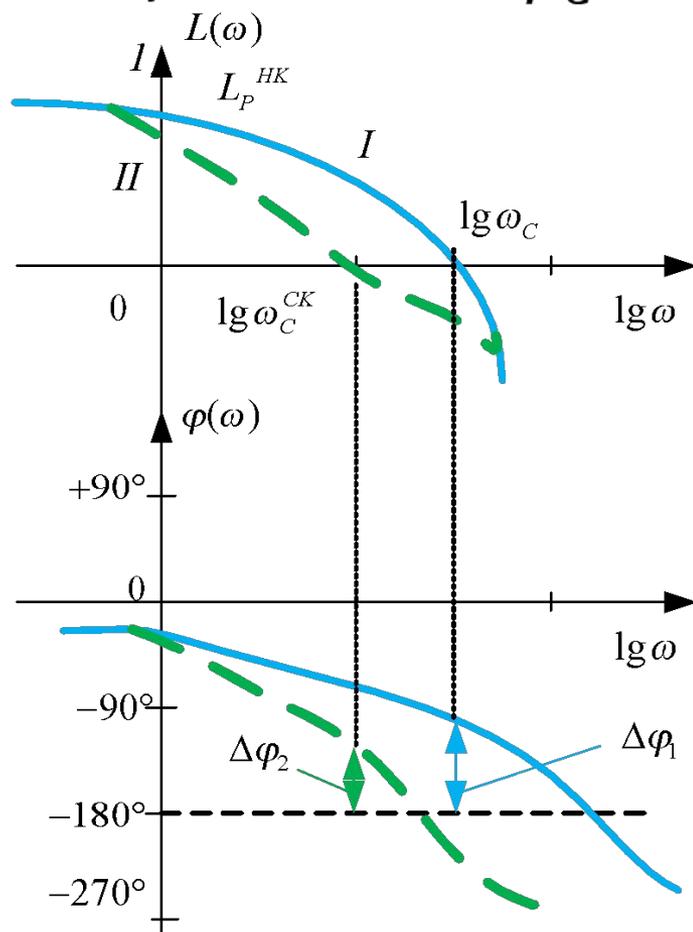
Существенными являются вид ЛАЧХ в районе частоты среза . Выбор наклонов ЛАЧХ в высокочастотной и низкочастотной области определяется таким образом, чтобы получить **корректирующее устройство наиболее простого вида.**

### **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  $\omega_C$  поднять ЛАЧХ, чтобы появился  $\Delta\varphi_1$ .
2. Не меняя ЛАЧХ, уменьшить  $\varphi_C$ , чтобы получить  $\Delta\varphi_2$ .



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

**Достоинства первого** способа.

1. Увеличивается  $\omega_C$ , увеличивается быстродействие.
2. Координата  $L_P$  до  $\omega_C$  не уменьшается - реакция системы на возмущение не ухудшается.

**Недостаток** этого способа.

Трудно реализовать корректирующее устройство, имеющее корни с высоким  $\varphi$ .

**Достоинство второго** способа.

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

**Недостатки** этого способа.

1. Уменьшается  $\omega_C$ , следовательно увеличивается  $t_{ПП}$ .
2. Координата  $L_P$  уменьшается, следовательно реакция системы на возбуждение возрастает.

# Виды последовательного корректирования

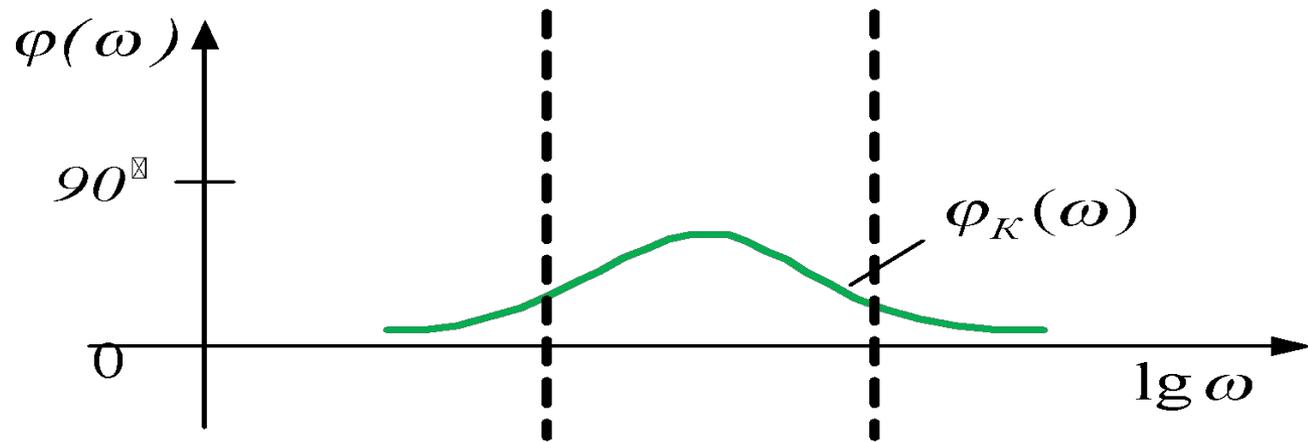
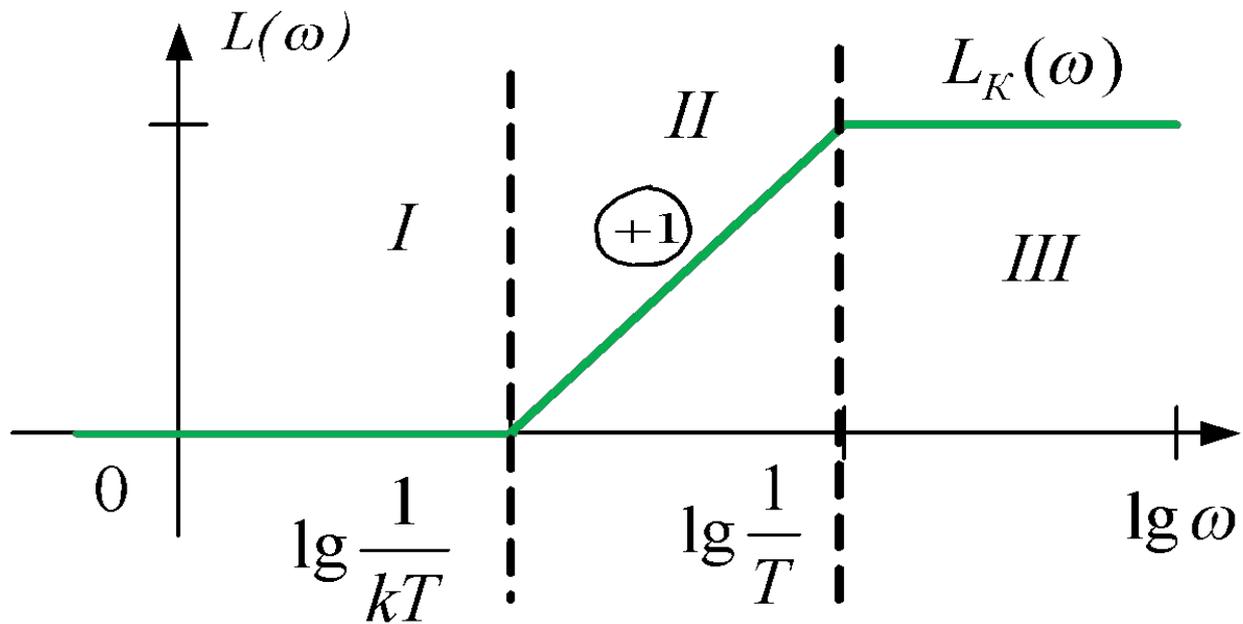
Различают три вида последовательных корректирующих устройств.

## 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.

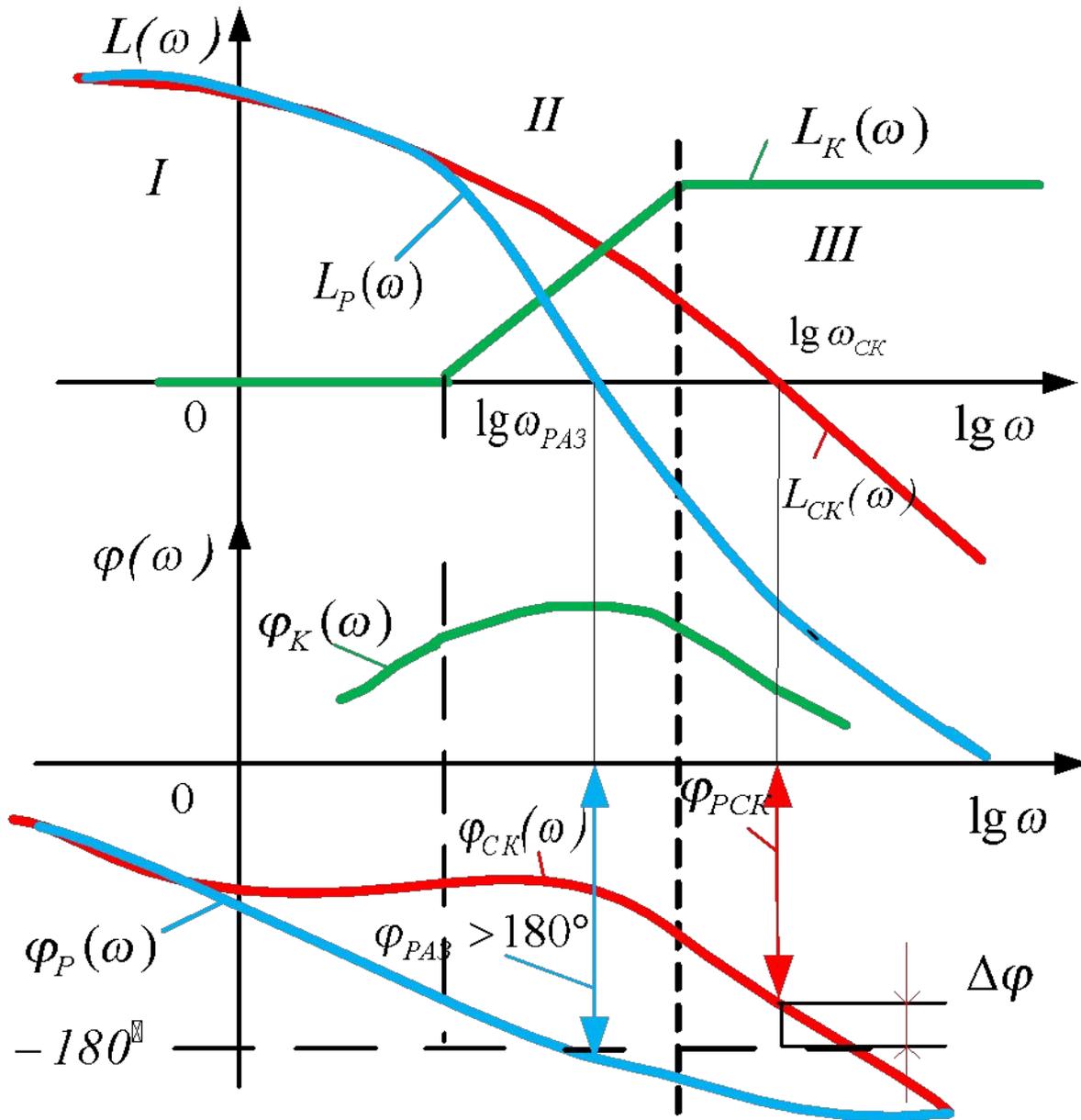
1.  $L_K \approx 0, \quad \varphi_K \rightarrow 0$  **низкочастотная зона** (нулевой эффект коррекции);

2.  $L_K > 0, \quad \varphi_K > 0$  **среднечастотная зона** ( $\omega_C, \varphi_K$  увеличивается - **положительный эффект коррекции**);

3.  $L_K > 0, \quad \varphi_K \rightarrow 0$  **высокочастотная зона** ( $\omega_C$  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 ( $\varphi_K < 0$ ).

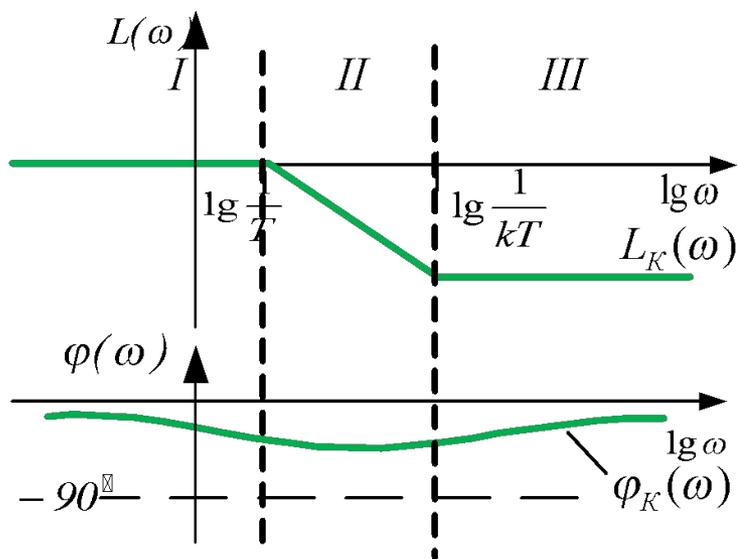
Простейшими звеньями, с помощью которых обеспечивается запаздывающая коррекция САУ, являются звенья с передаточной функцией вида

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

при  $k < 1$ .

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

Видно, что в ЛЧХ можно выделить три зоны.

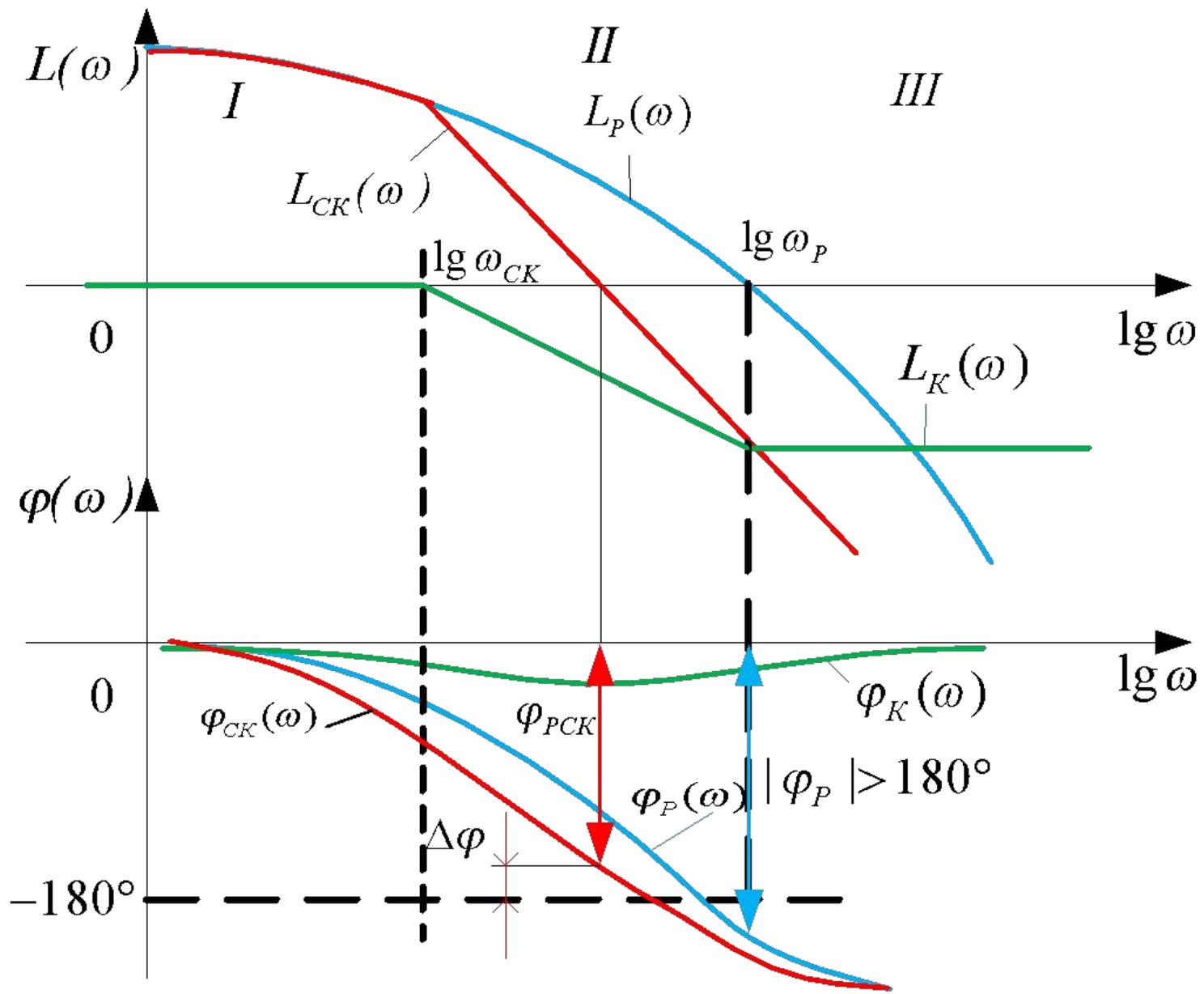


- 1 - **низкочастотная** зона (эффект коррекции нулевой);
- 2 - **среднечастотная** зона ( $L_K$  - уменьшается,  $\varphi_K$  - уменьшается, эффект коррекции под знаком вопроса).
3. **высокочастотная** зона ( $L_K$  уменьшается,  $\omega_C$  уменьшается – эффект коррекции **положительный**).

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.

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

В этом случае достигается наибольшее уменьшение ординат ЛАЧХ нескорректированной системы до  $\varphi(\omega)$ ; частота среза смещается влево, то есть в ту область частот, где  $\omega_C^{HK}$ , 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  $\omega_{CP}$ ,  $t_{ПП}$  увеличивается, быстродействие ухудшается.

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

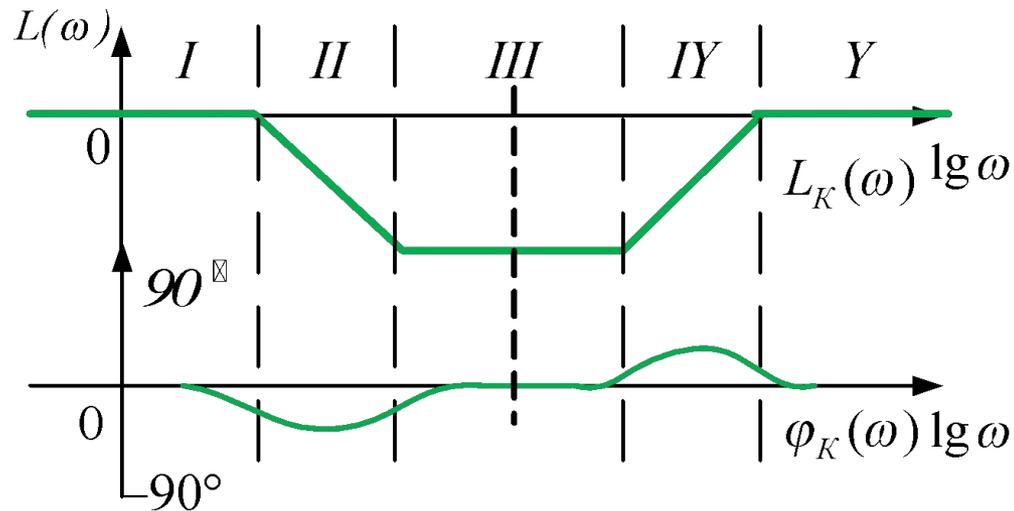
# Комбинированная

## 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.