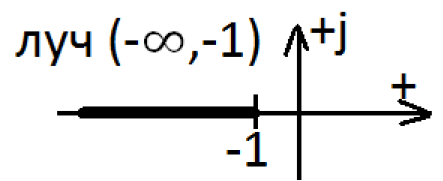
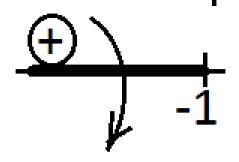
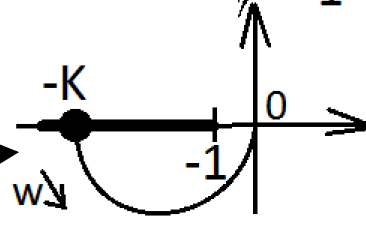
# **39)** Общая формулировка критерия Найквиста для случаев устойчивой, неустойчивой и нейтрально-устойчивой разомкнутой системы.

**Критерий Найквиста** позволяет судить об устойчивости замкнутой системы по виду амплитудно-фазовой характеристики разомкнутой системы.

**Следствие из критерия Найквиста:**

В сложных случаях, когда неясно, охватывает ли годограф 𝑊р(𝑗𝜔) точку (−1, 𝑗0), удобно пользоваться еще одной формулировкой критерия Найквиста.

Если АФХ разомкнутой системы охватывает т. (−1, 𝑗0), то она пересекает луч вещественной оси (−∞, −1). Будем считать такой **переход положительным**, если при возрастании частоты АФХ пересекает луч (−∞, −1) сверху вниз (т.е. в положительном направлении), и **отрицательным**, если пересечение происходит снизу вверх.

На последнем рисунке АФХ охватывает 1/2 раза точку (-1, j0) (**если нет пересечения луча**).

**Общая формулировка критерия Найквиста:**

Для того чтобы **замкнутая система** была **устойчива**, необходимо и достаточно, чтобы **разность между числом положительных и числом отрицательных переходов** АФХ разомкнутой системы **через луч (−∞, −1)** была равны , где k – число правых корней характеристического уравнения разомкнутой системы.

**Замечание**. Если разомкнутая система нейтрально-устойчива, то 𝑘 = 0 и годограф 𝑊р(𝑗𝜔) берется с дополнением в ∞.

**Пример:**

Определить, устойчива ли замкнутая САУ, если у ХУ разомкнутой системы 2 правых корня (𝑘 = 2), а АФХ разомкнутой системы имеет вид:



Решение:

Имеем 2 **положительных** перехода и 1 **отрицательный** переход.

Разность между числом положительных и числом отрицательных переходов равна 1. Т.к. это равняется , то замкнутая система **устойчива**. (k = 2)

# **40)** Запасы устойчивости по амплитуде и по фазе.

При изменении параметров системы она **может стать неустойчивой**, поэтому при проектировании системы стремятся обеспечить ее устойчивость с некоторым запасом, чтобы в процессе эксплуатации (когда параметры могут изменяться в некоторых пределах) система сохранила устойчивость.

**Запасы устойчивости по фазе и амплитуде являются** количественной мерой близости системы к границе устойчивости.

Они вводятся с помощью критерия Найквиста и **определяются по АФХ разомкнутой** системы (характеризуют близость АФХ к т. (−1, 𝑗0)) или по ее логарифмическим частотным характеристикам.

Рассмотрим **определение запасов устойчивости** по АФХ разомкнутой системы.



Пусть АФХ пересекает окружность единичного радиуса при частоте 𝜔ср (частота среза; на частоте среза |𝑊р(𝑗𝜔ср)| = 1).

**Запас устойчивости по фазе** («запас по фазе») – (это угол), – обеспечивает сохранение устойчивости системы при увеличении запаздывания в системе.

Для устойчивых замкнутых систем, для неустойчивых .



**Для неустойчивых систем** (Ищется ближайшая к точке (−1, 𝑗0) точка АФХ разомкнутой системы, где она пересекает окружность единичного радиуса).

**Запас устойчивости по амплитуде (или «запас устойчивости по усилению»**, или **«запас по модулю»**) равен отношению предельного коэффициента усиления системы к ее коэффициенту усиления в исследуемом случае:

Пусть – частота, при которой АФХ разомкнутой САУ пересекает отрицательную действительную полуось (т.е.). согласно критерию Найквиста, отношение , где – длина отрезка ОА. Т.е. запас по модулю 𝛽 обратно пропорционален длине отрезка ОА:

Запас по модулю обеспечивает сохранение устойчивости системы при увеличении коэффициента усиления системы.

Для **устойчивой** замкнутой системы **𝛽 > 1** (𝐾 < 𝐾пред) (точка А находится справа от т. (−1, 𝑗0)), для **неустойчивой**: **𝛽 < 1** .

# **41)** Показатели качества линейных непрерывных САУ в установившемся режиме: статическая, кинетическая и динамическая ошибки (определения). Нахождение статической ошибки для статической и астатической систем.

**Статическая ошибка** – ошибка системы в установившемся режиме при постоянном (или скачкообразном) входном воздействии:

**

**Кинетическая ошибка** – это ошибка системы в установившемся режиме при линейно изменяющемся входном воздействии (т.е. при отработке сигнала постоянной скорости):

**Динамическая ошибка** – это ошибка системы в установившемся режиме при

гармоническом входном воздействии ():

**Нахождение статической ошибки:**

**1)** Разомкнутая система **не содержит интегрирующих звеньев** (**статическая**)

приведена к виду:

(свободные члены полиномов A(p) и B(p) = 1)

Тогда

\* - По теореме о конечном значении функции

*–* передаточная функция ошибки по задающему воздействию (относительно входа x(t) и выхода ).

Как видно, **статическую ошибку можно уменьшить**, увеличивая

коэффициент усиления разомкнутой системы.

**2)** Разомкнутая система **содержит интегрирующие звенья** (**астатическая**).

приведена к виду:

**D – добротность** – коэффициент усиления разомкнутой астатической системы.

Тогда

\* - По теореме о конечном значении функции

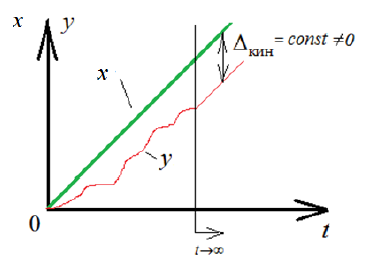
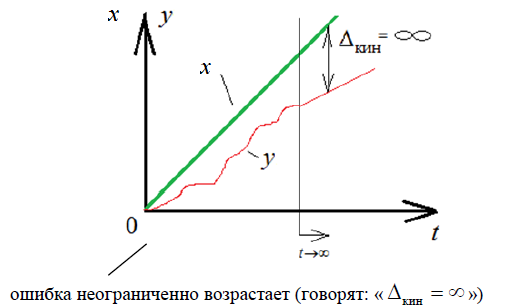
**Классификация** системы как статической или астатической производится по отношению к конкретному воздействию на систему.

**Система**, в которой **статическая ошибка** от какого-либо воздействия (задающего или возмущающего) **отлична от нуля**, **называется статической** по отношению к данному воздействию.

**Система**, в которой **статическая ошибка** от какого-либо воздействия **равна нулю**, **называется астатической** по отношению к данному воздействию.

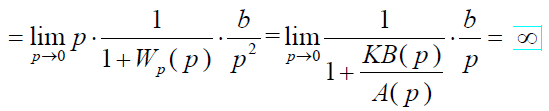
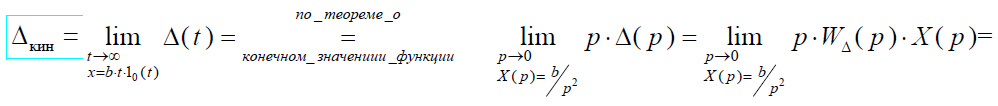
# **42)** Нахождение кинетической ошибки для статической и астатической систем. Динамическая ошибка и ее нахождение.

**Кинетическая ошибка** – это ошибка системы в установившемся режиме при линейно изменяющемся входном воздействии (т.е. при отработке сигнала постоянной скорости):

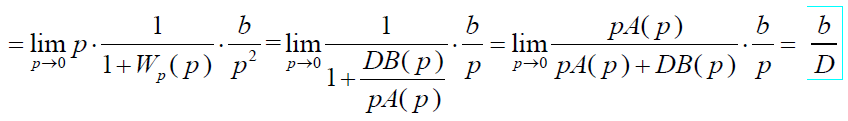
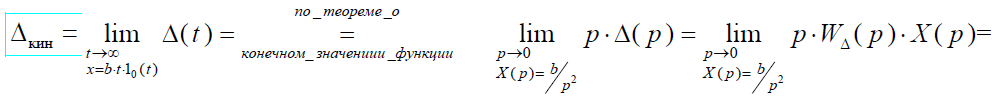
**Нахождение кинетической ошибки:**

**1)** Статическая система:

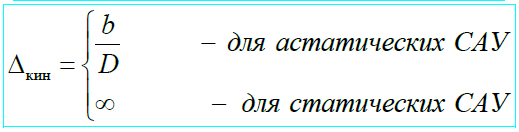


Кинетическая ошибка **статической** системы **неограниченно возрастает**.

**2)** Астатическая система

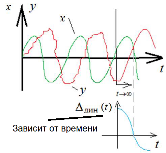
****

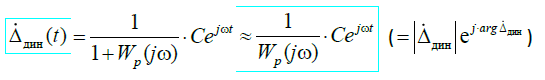
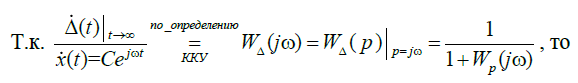
Кинетическая ошибка **астатической** системы **прямо пропорциональна скорости** и **обратно пропорциональна добротности**.



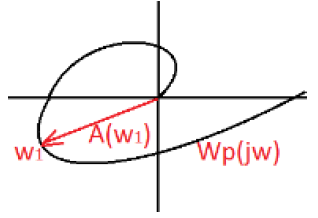
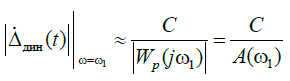
**Динамическая ошибка** – это ошибка системы в установившемся режиме при

гармоническом входном воздействии ():

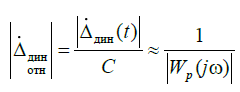




**Динамическая** ошибка всегда определяется только для какой-то частоты.

**Относительная** динамическая ошибка:

****

Для **статических и астатических** систем динамическая ошибка существует и .

# **43)** Показатели качества линейных непрерывных САУ в переходном режиме. Прямые показатели качества.

**Прямые показатели** качества системы определяются **непосредственно** по переходной характеристике, т.е. по графику переходной функции (реакции системы на единичное ступенчатое воздействие) – функция Хевисайда.

Переходная характеристика строится теоретически или экспериментально.



**Основные показатели качества**

**1)** **Установившаяся ошибка** (статическая ошибка) системы –

(равна отклонению действительного значения переменной на выходе системы от заданного после окончания переходного процесса)

– **характеризует точность** системы (т.е. точность воспроизведения заданного движения).

**2) Время регулирования** – основная характеристика быстродействия системы – это время от начала переходного процесса до момента, когда отклонение функции h(t) (от установившегося значения не выходит за пределы некоторой заданной зоны , где обычно задается в пределах (5 - 10)% от .

(т.е. это время до момента, когда кривая h(t) войдет в заданный коридор от )

**3) Перерегулирование** –

*–* **относительная величина максимального отклонения** h(t) от установившегося значения (в процентах). Обычно допустимое перерегулирование 10-30 %, иногда – недопустимо вовсе.

**Неосновные показатели качества**

**4) Число колебаний N за время регулирования** – число выбросов переходной характеристики h(t) относительно в интервале .

**5) Частота свободных колебаний**

где сред Т – средний период колебаний переходной характеристики (для негармонической функции периоды не одинаковые, поэтому находят мгновенные периоды переходной характеристики, а потом берут среднее значение).

**6) Время достижения первого максимума** (предполагается, что первый максимум кривой h(t) является наибольшим из всех).

**7) Время нарастания переходного процесса** (это время до момента первого пересечения кривой переходной характеристики линии установившегося значения)

**8) Скорость затухания переходного процесса** (приближенно определяется как

показатель экспоненты, мажорирующий кривую h(t)).

**Существуют** 3 вида переходных процессов:

**а) монотонные** ( не изменяет знак)

**б) апериодические** (меняет знак не более одного раза)

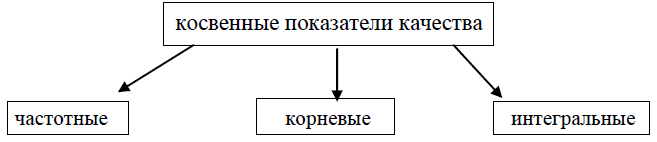
**в) колебательные** (меняет знак более одного раза)



# **44)** Косвенные показатели качества, их виды. Корневые показатели качества.

**Косвенные показатели** позволяют судить о качестве замкнутой системы по некоторым параметрам других характеристик САУ, не прибегая к построению переходных характеристик. Косвенными показателями являются некоторые величины, характеризующие удаленность замкнутой системы от границы устойчивости.

**Виды:**



**Частотные показатели качества (Необязательно вроде, смотри дальше)**

**1)** **Оценка** качества регулирования замкнутой САУ по АФХ **разомкнутой** САУ.

**1.1)** Запасы устойчивости по фазе и амплитуде. Характеризуют близость замкнутой системы к границе устойчивости. Вводятся с помощью критерия Найквиста.

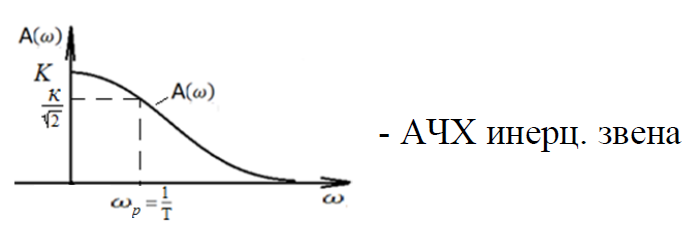
**2)** **Оценка** качества регулирования по АЧХ **замкнутой** САУ.

**2.1) Показатель колебательности М** – это отношение максимального значения АЧХ замкнутой САУ к начальному значению:



– характеризует склонность системы к колебаниям. Чем выше М, тем менее качественна система при прочих равных условиях. Желательно: Иногда требуется, чтобы M = 1. – **резонансная частота**.

**2.2) Полоса пропускания системы –** это интервал частот от 0 до ωп, где ωп – это частота, при которой . (Не желательно, чтобы полоса пропускания была слишком большой, иначе система будет воспроизводить высокочастотные помехи.)



**3) Оценка по ВЧХ.**

**Корневые показатели:**

– позволяют судить о качестве системы по расположению корней характеристического уравнения на комплексной плоскости.

**1) Степень устойчивости** – это расстояние от мнимой оси до ближайшего корня (или пары комплексно-сопряженных корней) ее характеристического уравнения:



Степень устойчивости, помимо близости системы к границе устойчивости, **характеризует** еще и **быстродействие** САУ. Это связано с тем, что быстрота затухания переходного процесса в линейной САУ в значительной мере определяется вещественной частью корня, наиболее близко расположенного к мнимой оси.

2) **Степень колебательности**  - это тангенс угла, образованного отрицательной вещественной полуосью и прямой, проведенной из начала координат к корню, у которого отношение мнимой части к действительно максимально

– **характеризует колебательность** системы. Если , то процесс апериодический. По можно оценить перерегулирование:

# **45)** Частотные показатели качества, определяемые по АЧХ замкнутой системы и по АФХ разомкнутой системы.

**Частотные показатели качества**

**1)** **Оценка** качества регулирования замкнутой САУ по АФХ **разомкнутой** САУ.

**1.1)** Запасы устойчивости по фазе и амплитуде. Характеризуют близость замкнутой системы к границе устойчивости. Вводятся с помощью критерия Найквиста.

Рассмотрим **определение запасов устойчивости** по АФХ разомкнутой системы.



Пусть АФХ пересекает окружность единичного радиуса при частоте 𝜔ср (частота среза; на частоте среза |𝑊р(𝑗𝜔ср)| = 1).

**Запас устойчивости по фазе** («запас по фазе») – (это угол), – обеспечивает сохранение устойчивости системы при увеличении запаздывания в системе.

Для устойчивых замкнутых систем, для неустойчивых .

**2)** **Оценка** качества регулирования по АЧХ **замкнутой** САУ.

**2.1) Показатель колебательности М** – это отношение максимального значения АЧХ замкнутой САУ к начальному значению:



– характеризует склонность системы к колебаниям. Чем выше М, тем менее качественна система при прочих равных условиях. Желательно: Иногда требуется, чтобы M = 1. – **резонансная частота**.

**2.2) Полоса пропускания системы –** это интервал частот от 0 до ωп, где ωп – это частота, при которой . (Не желательно, чтобы полоса пропускания была слишком большой, иначе система будет воспроизводить высокочастотные помехи.)

