

ПОКАЗАТЕЛИ
КАЧЕСТВА
РЕГУЛИРОВАНИЯ
И МЕТОДЫ ЕГО
УЛУЧШЕНИЯ

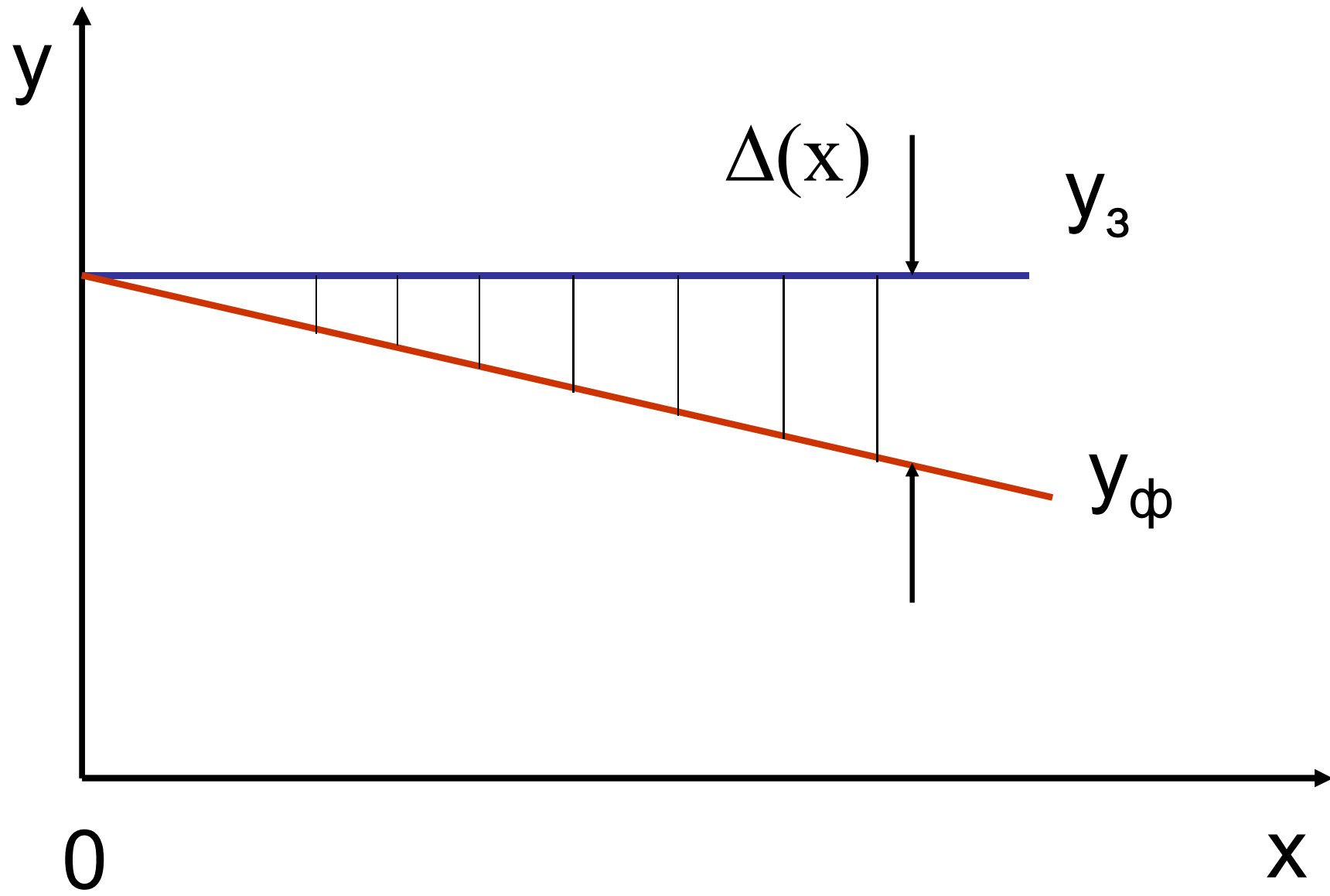
**Методы исследования качества
переходных процессов: по
распределению корней
характеристического уравнения в
плоскости комплексного
переменного, по величине
некоторых определенных
интегралов, частотные.**

Под качеством системы регулирования понимается точность исполнения этой системой предписанного закона изменения регулируемой величины.

К показателям качества САР относятся: **статическая ошибка, динамическая ошибка, величина перерегулирования, время регулирования, колебательность процесса и степень (запас) устойчивости.**

Статическая ошибка
характеризует точность
регулирования в установившемся
режиме, Она равняется разности
между заданным y_3 и фактически
установившимся y_{ϕ} значениями
регулируемой величины (рис.):

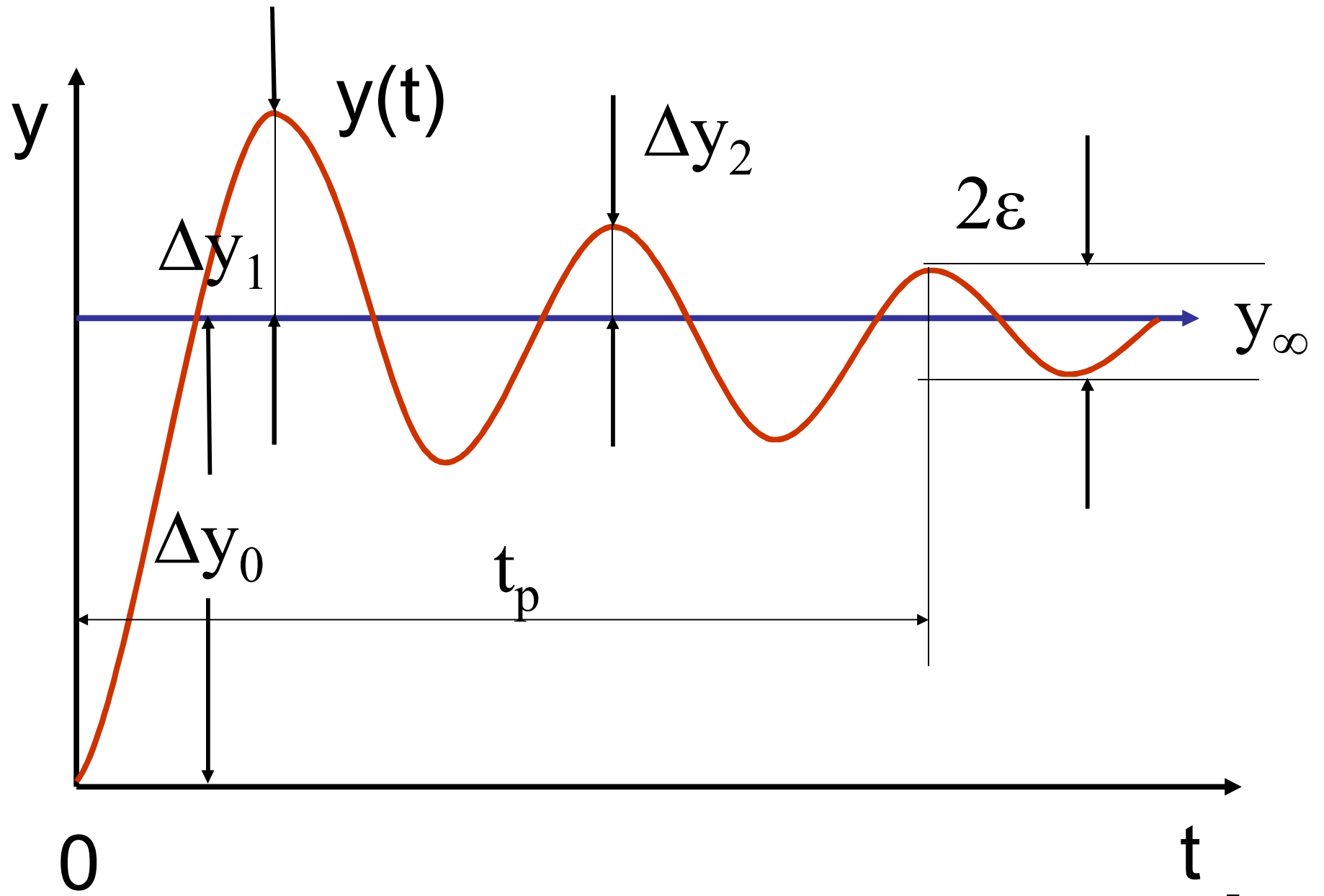
$$\Delta(x) = y_3 - y_{\phi}.$$



Динамическая ошибка (точность) представляет собой отклонение Δy регулируемой величины $y(t)$ от нового установившегося значения y_∞ , во время переходного процесса:

$$\Delta y = y_\infty - y(t)$$

Наибольшее отклонение Δy_1 регулируемой величины в переходном режиме, противоположное по знаку начальному отклонению Δy_0 , называется перерегулированием (рис.).



Величина перерегулирования
характеризует количественно
динамическую ошибку и
определяется коэффициентом
перерегулирования

$$\sigma = \frac{\Delta y_1}{\Delta y_0}$$

Существуют, однако, переходные процессы, при которых регулируемая величина приближается к новому установившемуся значению только с одной стороны, не выходя за пределы, ограниченные новым и старым значениями. В этом случае перерегулирование отсутствует.

Время регулирования характеризует быстродействие системы и представляет собой отрезок времени t_p , в течение которого отклонение регулируемой величины принимает значение, примерно равное нечувствительности регулятора ε . Величина ε обычно принимается 1 - 3%.

Колебательность процесса характеризуется частотой и числом собственных колебаний системы, которые зависят от конструкции и типа регулятора. Колебательность оценивается количественно по логарифмическому декременту затухания, который представляет собой натуральный логарифм отношения двух последовательных амплитуд отклонения регулируемой величины одного направления:

$$d = \ln \frac{\Delta y_1}{\Delta y_2}$$

Чем больше логарифмический декремент затухания, тем быстрее происходит затухание переходного процесса. Значительный практический интерес представляет запас устойчивости. В общем случае под запасом устойчивости понимается величина, характеризующая удаленность системы от границы устойчивости.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Существуют прямые и косвенные
методы оценки качества процесса
регулирования.

Прямые методы основаны на
решении дифференциальных
уравнений, описывающих процессы
регулирования.

В общем виде уравнение переходного процесса регулирования может быть найдено лишь для системы не выше четвертой степени. Практически даже уравнение третьего порядка дает весьма сложные формулы своего решения.

Поэтому для определения показателей качества процесса регулирования чаще пользуются косвенными оценками, или критериями качества, которые позволяют определить значения показателей качества, не решая дифференциальных уравнений системы.

К косвенным критериям относятся:
метод исследования качества по
распределению корней характеристического
уравнения

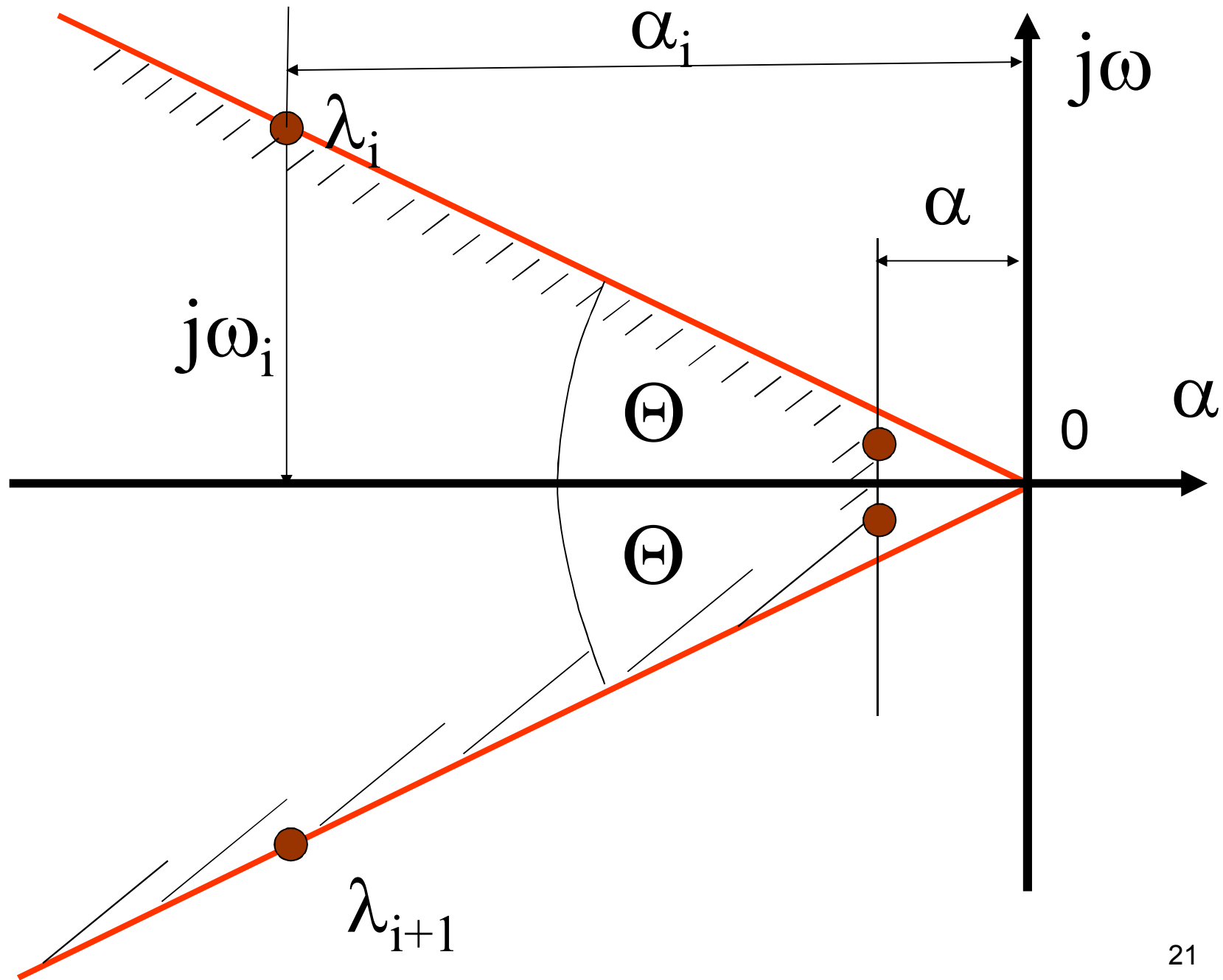
в плоскости комплексного переменного;
метод интегральных оценок по величине
некоторых определенных интегралов;
частотные методы.

В последнее время для анализа качества
САР применяются аналоговые и цифровые
электронные вычислительные машины.

Метод исследования качества по
распределению корней
характеристического уравнения
устойчивой системы сводится к
определению расстояния α от
ближайшего корня до мнимой оси и
угла θ ; в который вписываются
наиболее удаленные от
вещественной оси комплексные
корни .

Тангенс этого угла определяется отношением мнимой части корня к его вещественной части:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\omega_i}{\alpha_i} = \beta_i$$



Чем больше отрицательное значение вещественной части корня, тем быстрее происходит затухание переходного процесса. Другими словами, чем дальше расположены корни влево от мнимой оси, тем большим запасом устойчивости обладает САР. Это позволяет рассматривать отрицательную вещественную часть корня с наименьшим абсолютным значением как запас устойчивости системы.

Таким образом, в геометрической интерпретации степень устойчивости характеризуется расстоянием α от мнимой оси до ближайшего к ней корня или до ближайшей пары комплексных сопряженных корней с отрицательной вещественной частью (рис.). Эта же величина используется для приближенной оценки быстроты затухания переходного процесса.

Величина угла θ характеризует колебательность процесса. Чем меньше угол θ , тем меньше система склонна к колебаниям.

Отношение

$$\beta_i = \frac{\omega_i}{\alpha_i}$$

принято называть
*колебательностью переходного
процесса.*

Метод интегральных оценок
основан на вычислении
определенных интегралов без
решения дифференциального
уравнения системы:

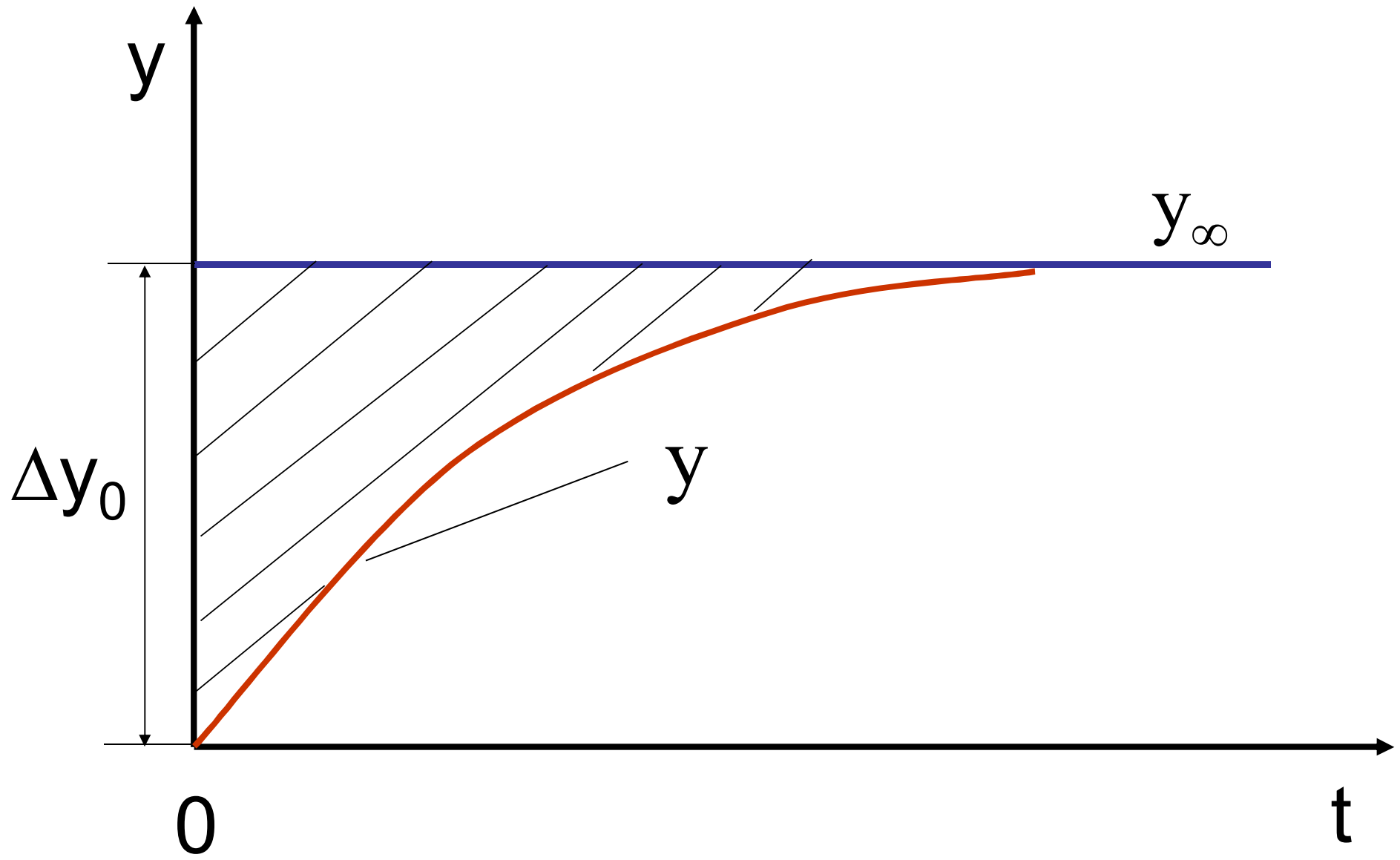
$$I_0 = \int_0^{\infty} \Delta y dt;$$

$$I_1 = \int_0^{\infty} (\Delta y)^2 dt;$$

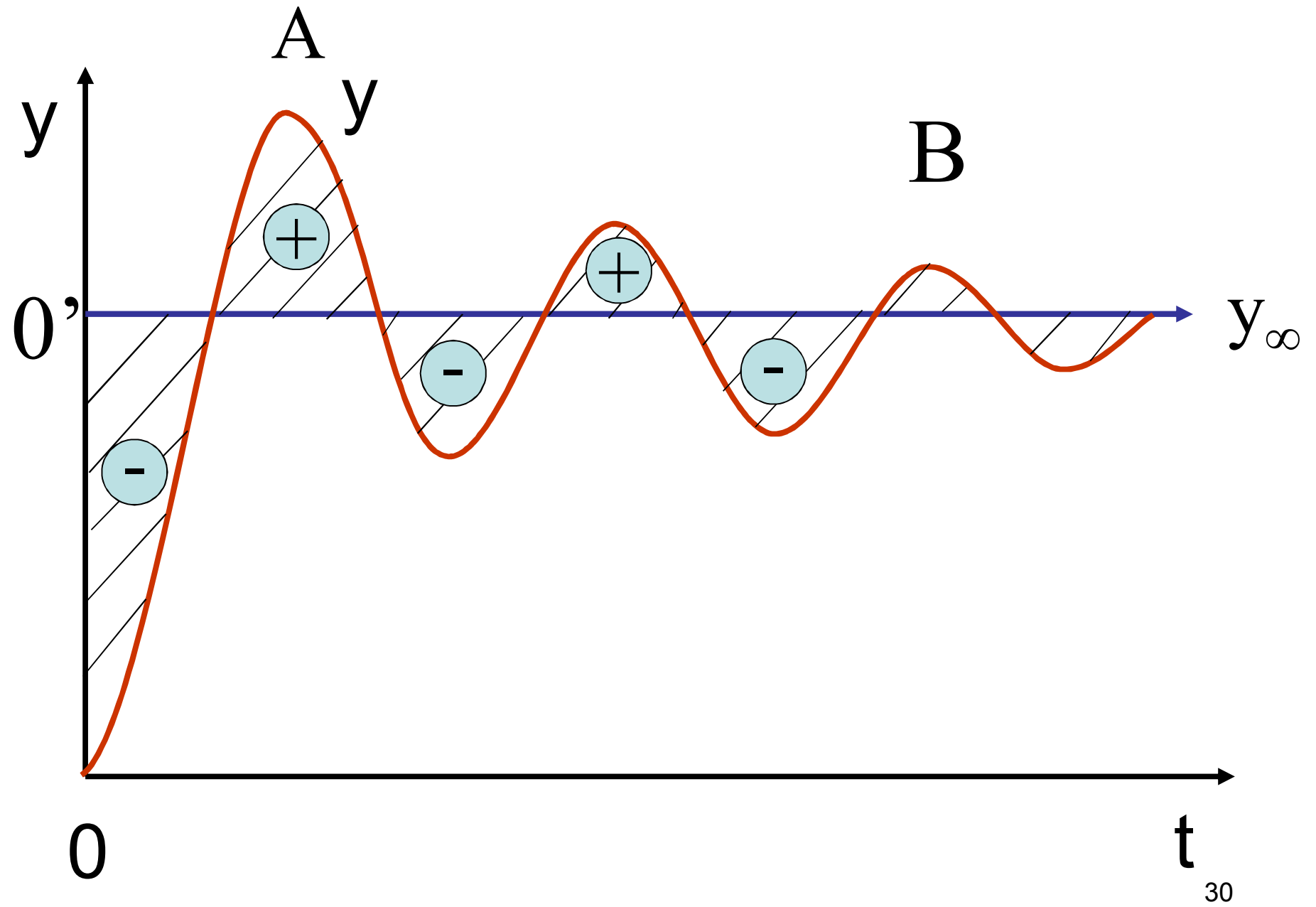
$$I_2 = \int_0^{\infty} [(\Delta y)^2 + T(\Delta y')^2] dt,$$

где Δy — отклонение регулируемого параметра от заданного значения;
 T — постоянная времени.

Интеграл I_0 определяет величину площади над кривой переходного процесса, если отклонение Δu отсчитывать от нового установившегося значения u_∞ , (рис.). Уменьшение величины интеграла I_0 характеризует ускорение процесса регулирования. По величине этого интеграла оценивается быстродействие системы, имеющей временную характеристику без перерегулирования.



Для переходного процесса с перерегулированием применяется оценка по величине интеграла I_1 . Этот интеграл определяет качество процесса по квадратичной сумме площадей, заключенных между кривой переходного процесса и прямой нового установившегося значения u_∞



Чем меньше величина интеграла I_1 ,
тем ближе кривая переходного
процесса OAB к идеальной кривой
 $OO'V$ изображающей мгновенный
переход системы из прежнего
установившегося состояния к
НОВОМУ.

Колебательность процесса определяется интегралом I_2 , который учитывает отклонение Δy регулируемой величины от его установившегося значения и скорость изменения $\Delta y'$ этого отклонения. При известной постоянной T интеграл I_2 имеет минимум при $T\Delta y' + \Delta y = 0$.

Следовательно, наилучшие показатели, согласно последнему выражению, имеет система, переходный процесс в которой описывается формулой

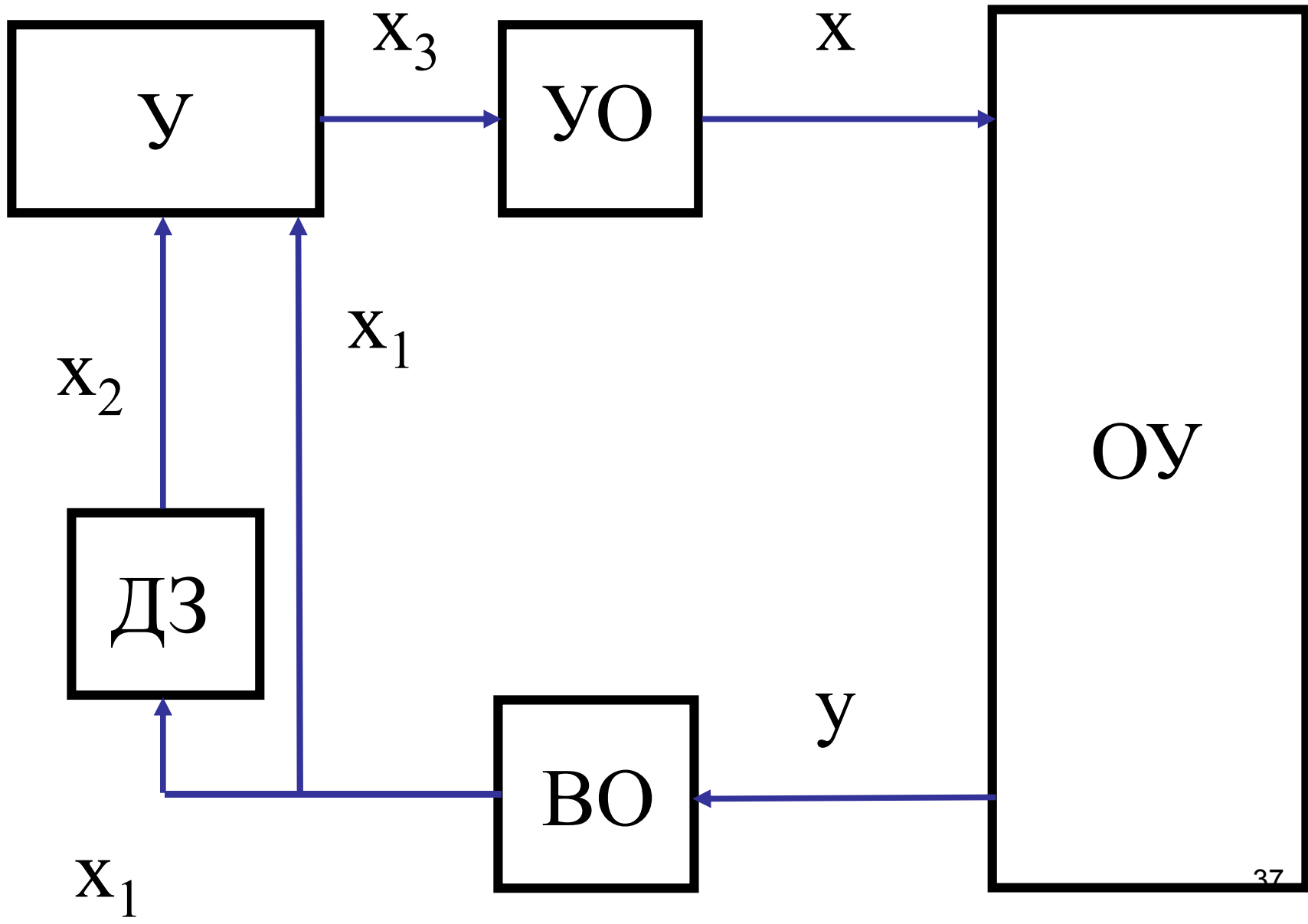
$$\Delta y = \Delta y_0 e^{-\frac{t}{T}}.$$

Частотные методы допускают совместное исследование качества и устойчивости системы и обладают достаточной точностью.

Эти методы были разработаны В.В. Солодовниковым и основаны на общих свойствах амплитудно-фазовых и вещественных частотных характеристик. Пользуясь вещественной характеристикой, можно построить сравнительно простым способом приближенную кривую переходного процесса.

МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Улучшение динамических качеств системы регулирования может быть достигнуто с помощью корректирующих звеньев, действие которых аналогично введению в закон регулирования производных или интегралов.



Производную в закон
регулирования можно ввести,
включив дифференцирующее звено
ДЗ между воспринимающим
органом *ВО* и усилителем *У*.
Определим закон регулирования
такой системы.

Сигнал на выходе дифференцирующего звена

$$x_2 = k \frac{dx_1}{dt}$$

Воспринимающий орган подает на входы дифференцирующего звена и усилителя сигнал $x_1 = k_1 y$. В целом на усилитель поступает воздействие

$$x_1 + x_2 = k_1 \left(y + k \frac{dy}{dt} \right),$$

Управляющий орган УО оказывает воздействие $x=k_3x_3$ на объект управления ОУ. Из трех последних выражений получаем закон регулирования

$$x = k_p \left(y + k \frac{dy}{dy} \right),$$

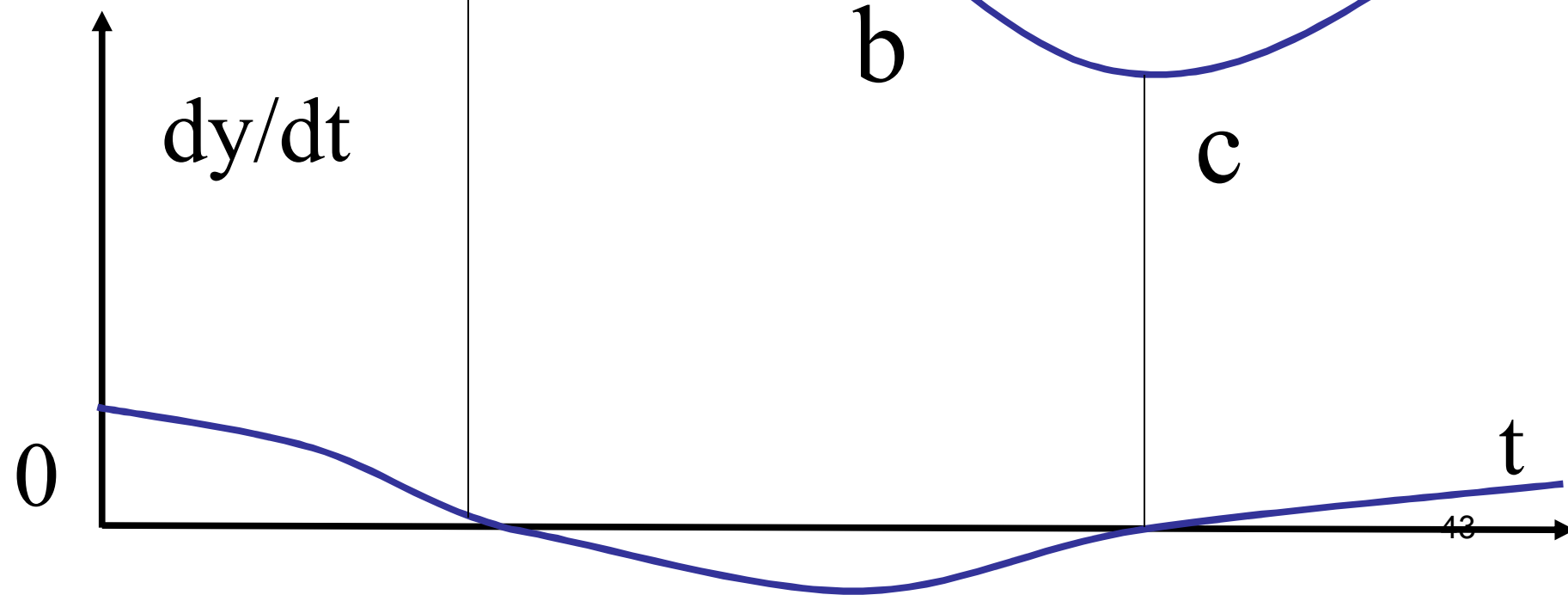
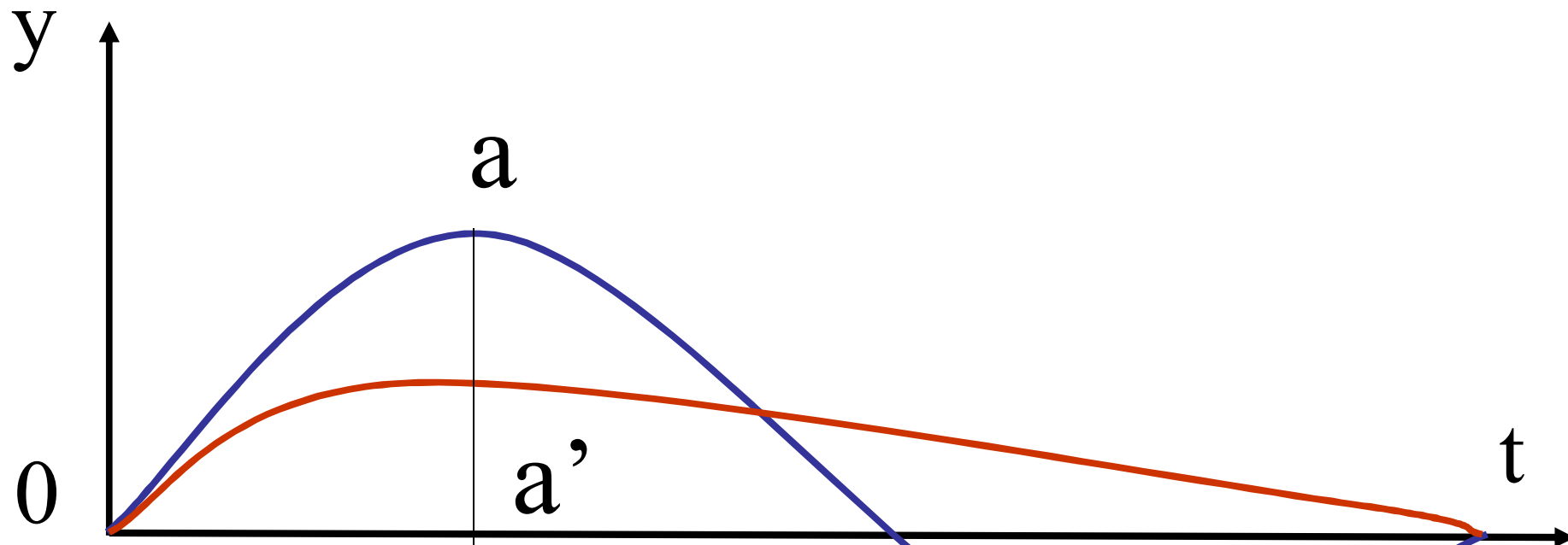
где $k_p = k_1 k_2 k_3$ — общий передаточный коэффициент

Таким образом, изменение регулирующего воздействия x на объект управления ОУ зависит не только от отклонения регулируемой величины, но и от скорости этого отклонения

$$\frac{dy}{dt}$$

то есть в закон регулирования введена производная.

Введение производных
способствует уменьшению
амплитуды и длительности
колебаний переходного процесса.
Это можно условно показать
графически.



Если регулятор пропорционального регулирования $y=k_p x$, то до тех пор пока $y>0$, регулятор воздействует на объект управления в направлении, уменьшающем положительное отклонение. Регулятор будет действовать в обратном направлении, когда изменится знак отклонения: $y<0$.

Из-за инерционности системы
направление воздействия
регулятора изменяется не в
точке b минимального
отклонения, а при некотором
значении отрицательного
отклонения y , то есть на участке
 bc

Вследствие этого может наблюдаться раскачивание системы, которое будет тем больше, чем больше коэффициент усиления системы. Если в систему регулирования введено дифференцирующее звено, то при возрастании положительного отклонения y производная

$$\frac{dy}{dt}$$

(рис.) также имеет положительный знак. Суммарное воздействие двух величин $x_1 + x_2$ увеличивает воздействие регулятора, направленное на уменьшение отклонения y .

Благодаря этому происходит
форсировка действия
регулятора на участке
возрастания отклонения
регулируемой величины и
вследствие этого
максимальное ее отклонение
 a' будет меньше .

На участке ab сигнал по производной будет отрицательным, что уменьшает суммарное воздействие данного регулятора на объект. Следовательно, колебательный процесс подавляется и может быть сведен к апериодическому.

Сигнал по производной

$$\frac{dy}{dt}$$

увеличивает затухание колебаний, а сигнал по отклонению y уменьшает статическую ошибку.

Введение интеграла в закон регулирования позволяет получить астатическую систему, не обладающую по принципу своего действия статической ошибкой. Закон регулирования с введением в систему интегрального звена получим аналогично

$$x = k_p \left(y + k \int y dt \right)$$

Постоянный коэффициент k_p в уравнениях) показывает интенсивность введения соответственно производной или интеграла в закон регулирования

Интеграл определяется площадью под кривой изменения отклонения регулируемой величины (рис.). Эта площадь становится наибольшей к концу процесса регулирования. Поэтому корректирующее интегрирующее звено оказывает влияние главным образом в конце переходного процесса. Следовательно, интегрирующее звено ликвидирует статическую ошибку в установившемся режиме.