Коррекция нелинейных систем

При коррекции обычно решаются две основные задачи:

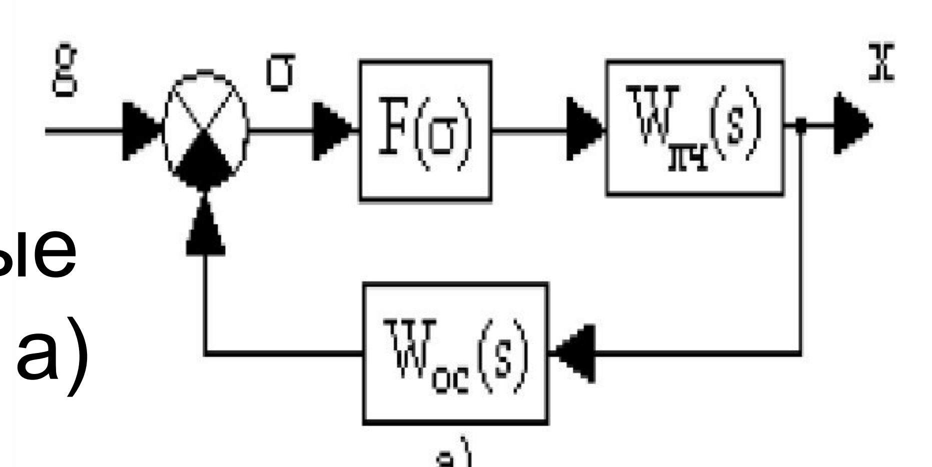
- обеспечение устойчивости системы;
- получение автоколебаний (**АК**) с заданной амплитудой **A_a** и частотой **Ω**.

<u>Коррекция</u> осуществляется с помощью

- ***линейных*** или ***нелинейных*** корректирующих устройств (**КУ**),
- ***путем компенсации влияния нелинейностей.***

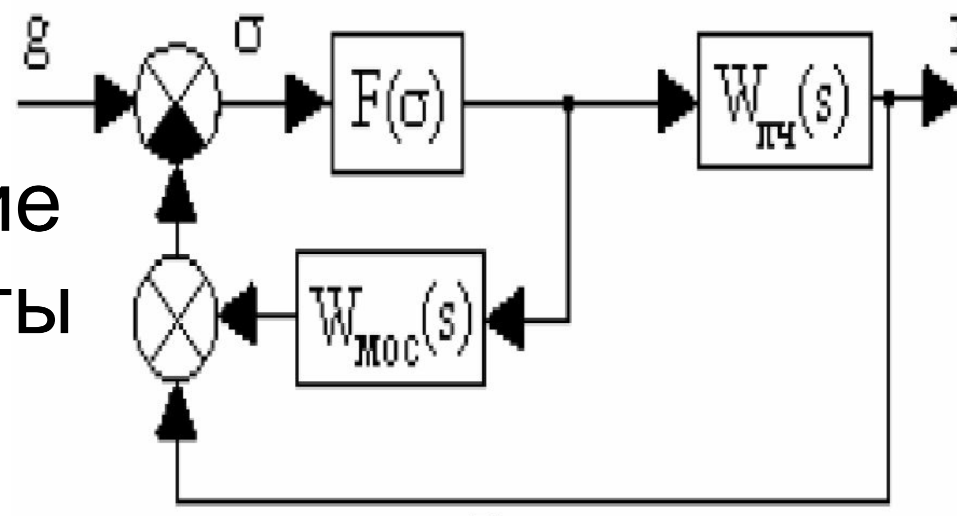
Корректирующие устройства (КУ)

В качестве ***линейных*** **КУ** используются:



а)

- **неединичные** главные обратные связи (рис. а)



б)

- **местные обратные связи**, охватывающие нелинейные элементы (рис. б).

При расчете ***линейного*** **КУ** структурную схему нелинейной АСУ приводят к эквивалентной одноконтурной схеме с **НЭ** и эквивалентной линейной частью, с передаточной функцией:

для схемы на *рис.а*:

$$W^{\circ}_{л}(s) = W_{лч}(s) * W_{oc}(s);$$

для схемы на *рис. б*:

$$W^{\circ}_{л}(s) = W_{лч}(s) + W_{мос}(s)$$

Компенсация влияния нелинейности (нелинейные КУ)

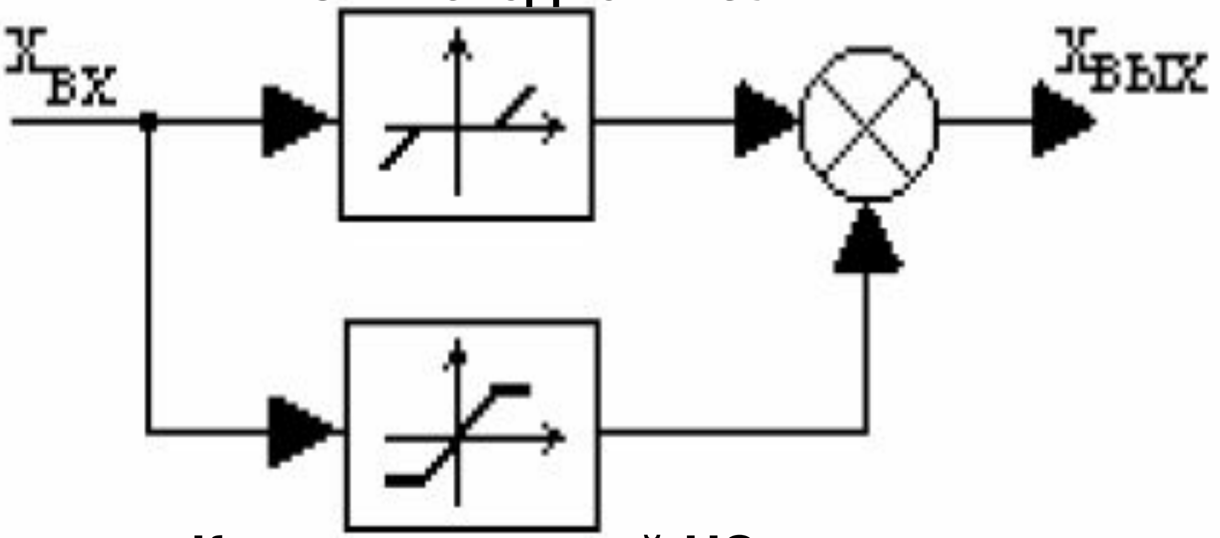
*Позволяет рассматривать нелинейную АСУ как **линейную** **<u>относительно определенных входных воздействий</u>.***

В этом случае линеаризация заключается во ***включении последовательно или параллельно*** заданной нелинейности **F(σ)** ***компенсирующего НЭ*** с обратной нелинейной характеристикой **1/F(σ).** При этом получаем эквивалентный линейный элемент.

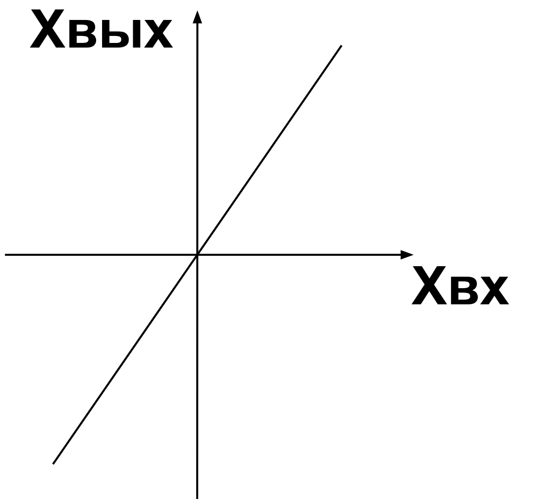
Пример включения компенсирующей нелинейности

Линеаризация усилителя с зоной нечувствительности путем включения параллельно с ним усилителя с насыщением.

НЭ в исходной АСУ

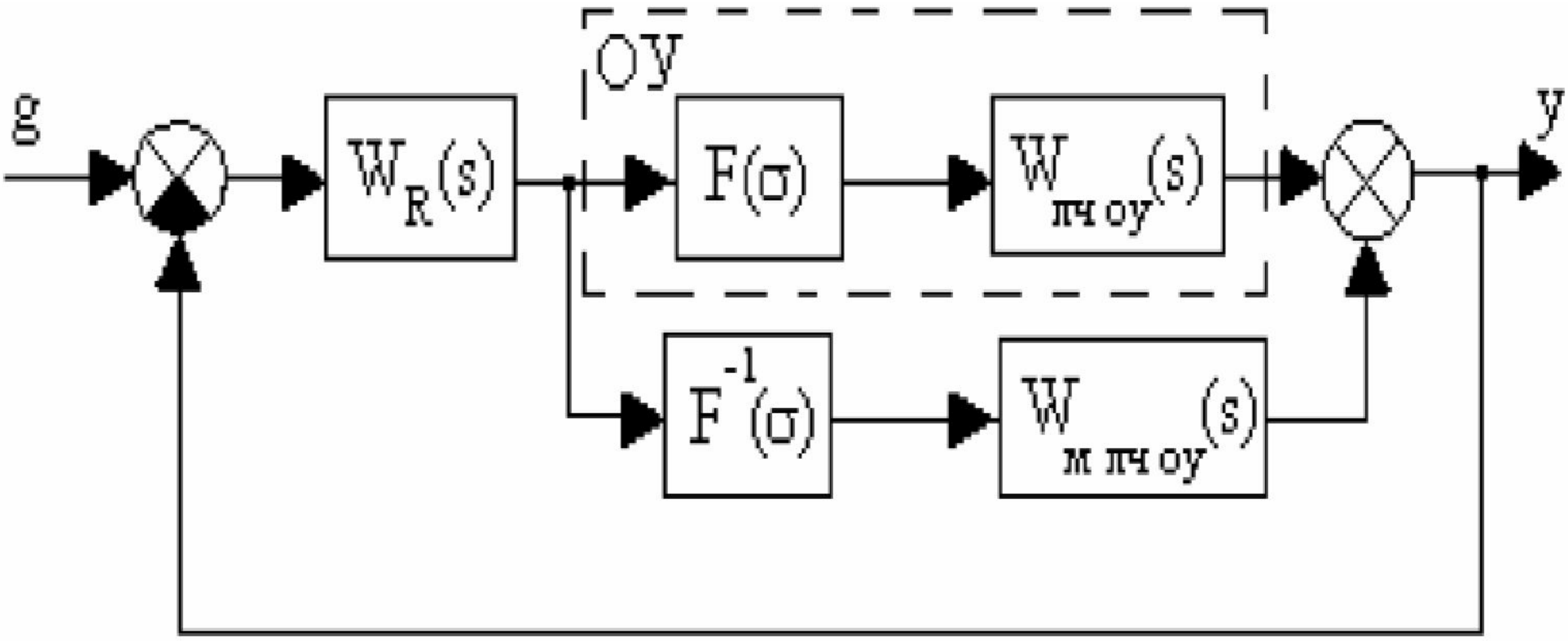


Компенсирующий НЭ



НЭ после компенсации

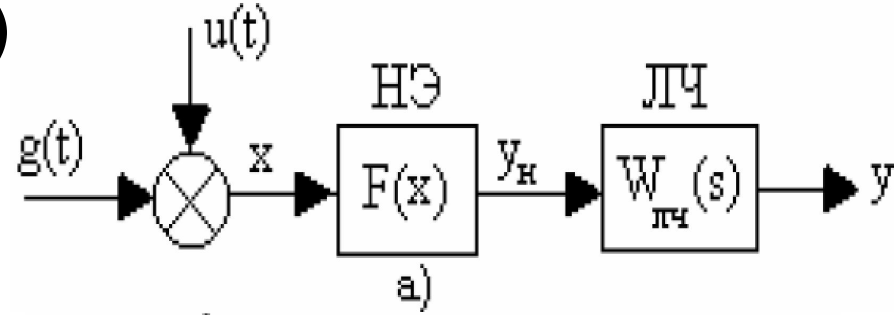
Если нелинейность F(σ) присутствует в объекте управления ОУ, то линеаризация АСУ может быть осуществлена путем включения ***параллельно объекту управле-ния компенсирующей нелинейности 1/F(σ) и модели его***



Вибрационная компенсация нелинейностей

НЭ проявляет себя как линейный, если на его вход вместе с полезным медленно изменяющимся сигналом **g(t)** подается высокочастотная периодическая составляющая **u(t),** такой частоты **ω**, что практически сигнал **g(t)=const** в пределах периода **T = 2π/ω:**

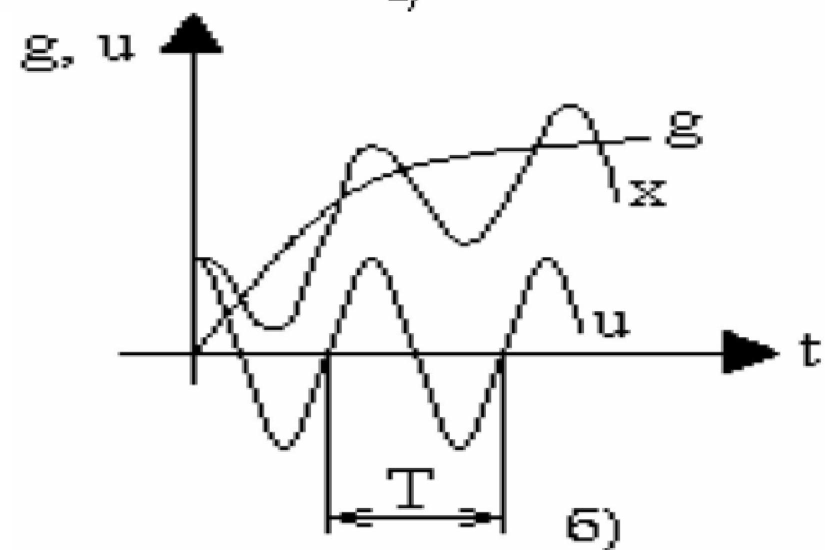
$$x(t) = g(t) + u(t)$$



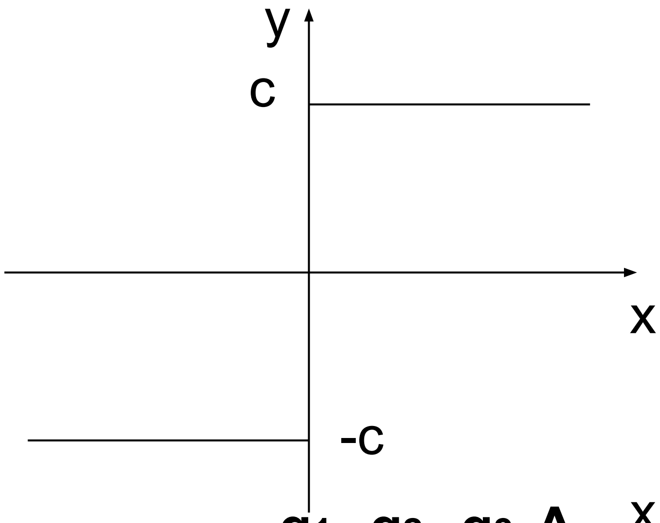
Выходной сигнал также представим в виде суммы средней, медленно изменяющейся составляющей - $F_1(g)$ и колебательной функции - $F_2(u)$, близкой к гармонической с частотой **ω**

$$У_н = F(x) = F[g(t) + u(t)] =$$

$$= F_1(g) + F_2(u).$$



$$F_1[g(t)] \approx \frac{\omega}{2\pi} \int_{t-\pi/\omega}^{t+\pi/\omega} F[g(t)+u(t)]dt$$

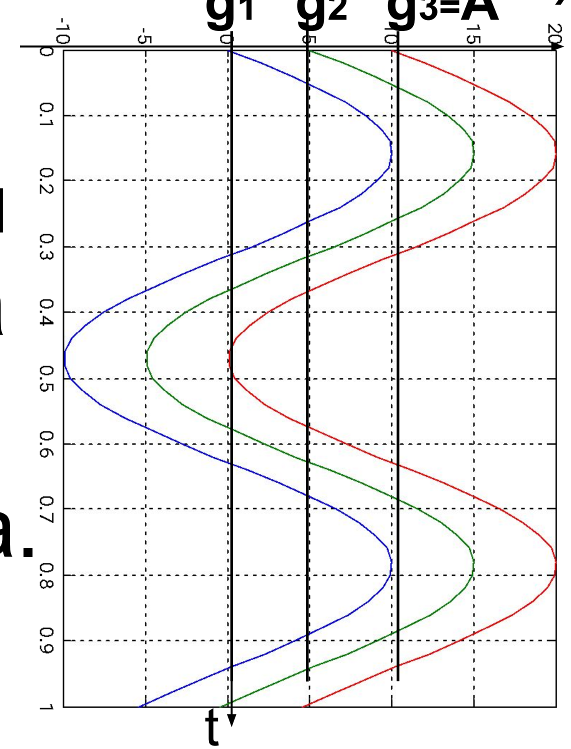


F_1(g) – среднее значение выходного сигнала **НЭ** за период.

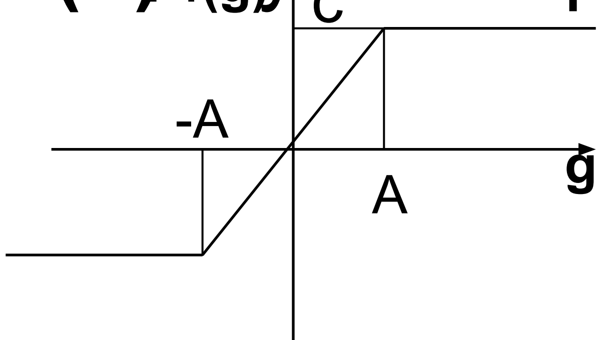
<u>При **g=const**</u> :

F_1(g)- постоянная составляющая ряда Фурье выходного сигнала **НЭ**,

F_2(u)- сумма гармонических ряда.



U(t)=A sin ω t,
g=const



В пределах ±А статическая характеристика $F_1(g)$ линейна с коэффициентом передачи $k_у=c/A$.

Чем больше **А** компенсирующих колебаний **u(t)**, тем шире зона линейности **НЭ**, но $k_у$ уменьшается.

Выходной сигнал **НЭ-** $y_н$ поступает на вход линейной части. При большой частоте **ω** сигнала **u(t)** линейная часть (фильтр) их не пропускает, поэтому составля-ющей $F_2(u)$ можно пренебречь и тогда для разомкну-той АСУ:

$$W_p(s) = y(s)/ g (s) = k_у W_{лч}(s).$$

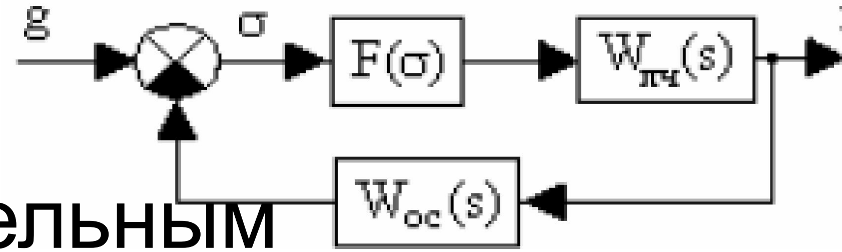
При задающем воздействии **g(t) < A**

на частоте, превышающей частоту среза линейной части $\omega > \omega_{ср}$, нелинейная АСУ ведет себя как линейная.

Для формирования высокочастотного сигнала **u(t)** используется ***специальный генератор*** или ***собственные колебания*** АСУ(скользящий режим).

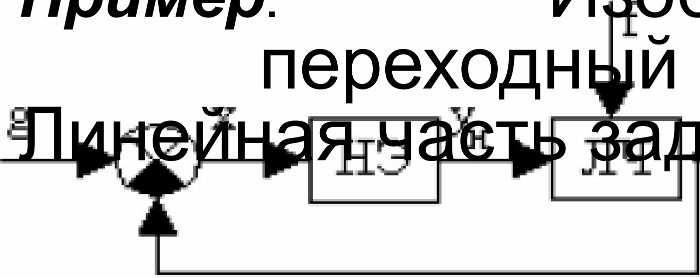
Скользящий режим

это режим работы ***релейной системы***, характеризуется колебательным



движением изображающей точки вдоль линии переключения. Чем сильнее воздействие производной в цепи обратной связи, тем больше поворачиваются линии переключения реле против часовой стрелки. Интенсивность затухания переходного процесса возрастает. ***Скользящий режим возникает, если в точке переключения угол наклона линии переключения равен или меньше угла наклона касательной к фазовой траектории, по которой движется изображающая точка после переключения реле.***

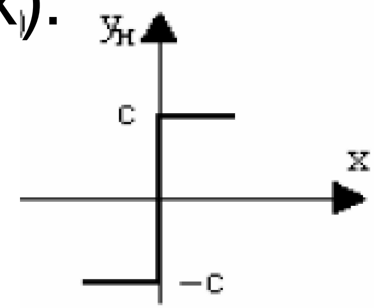
Пример. Изобразим на фазовой плоскости переходный процесс и **АК** в АСУ.



Линейная часть задана:

$$W_{лч}(s) = \frac{k}{s(T\ s+1)}$$

Статическая характеристика **НЭ-** $y_н = F(x)$:



<u>*Решение*.</u> Запишем дифференциальное уравнение системы, описывающее ее свободное движение **(g = 0**, **x = - y)**:

$$T\frac{d^2x(t)}{dt^2} + \frac{dx(t)}{dt} + kF(x) = 0$$

Заменим его системой уравнений первого порядка:

$$\begin{cases} \dfrac{dy}{d\,t} = -\dfrac{1}{T}y - \dfrac{k}{T}F(x); \\ \dfrac{dx}{dt} = y. \end{cases}$$

Разделим первое из уравнений на второе, получим дифференциальное уравнение фазовых траекторий, решение которого определяется нелинейным элементом **НЭ**:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{1}{T} - \frac{k}{T} \times \frac{F(x)}{y} \qquad \textbf{(*)}$$

Для **НЭ** с характеристикой F(x) = c*sign(x) уравнение **(*):**

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{1}{T} - \frac{k}{T} \times \frac{c\,sign(x)}{y}$$

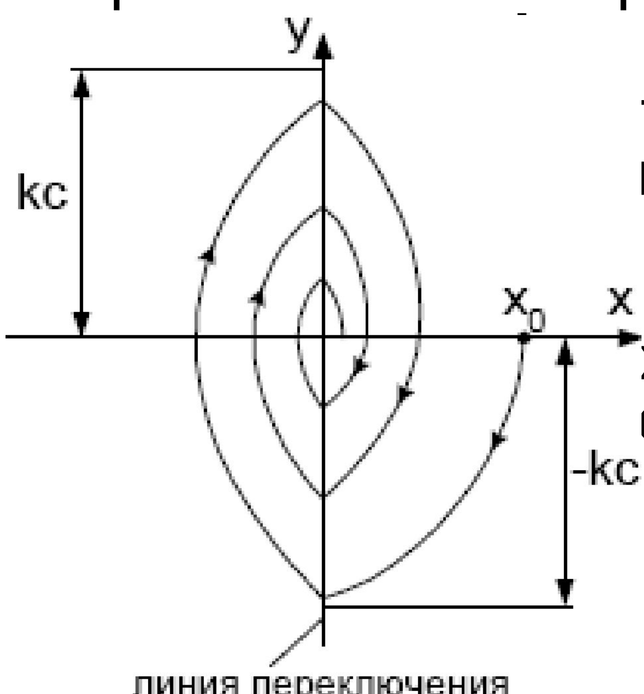
…ение реле происходит при …очения на фазовой плоскости …рдинат. Справа от линии переключения **<u>(x > 0)</u>** уравнение **(*)** будет:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{1}{T} - \frac{kc}{Ty}$$

…егрирование дает уравнение …тории (тип2):

$$x = kcT\,ln\left|y + kc\right| - Ty + c^0$$

…оянная интегрирования, определяемая начальными условиями. Конкретному c_0 соот-ветствует определенная кривая на фазовой плоскости справа от линии переключения. Эти кривые имеют



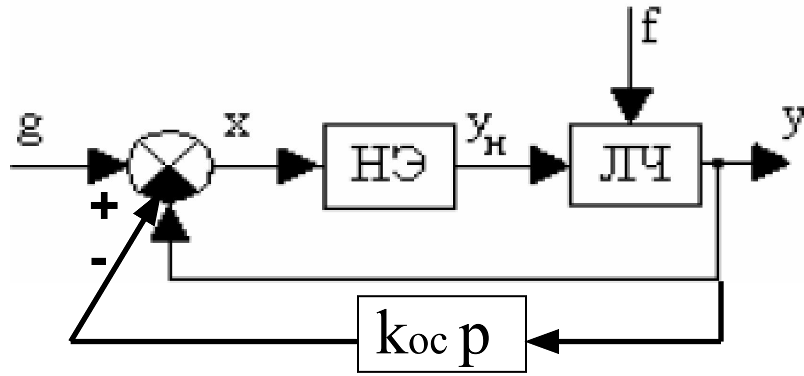
…линии переключения **<u>(x < 0)</u>** …мает вид:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{1}{T} + \frac{kc}{Ty},$$

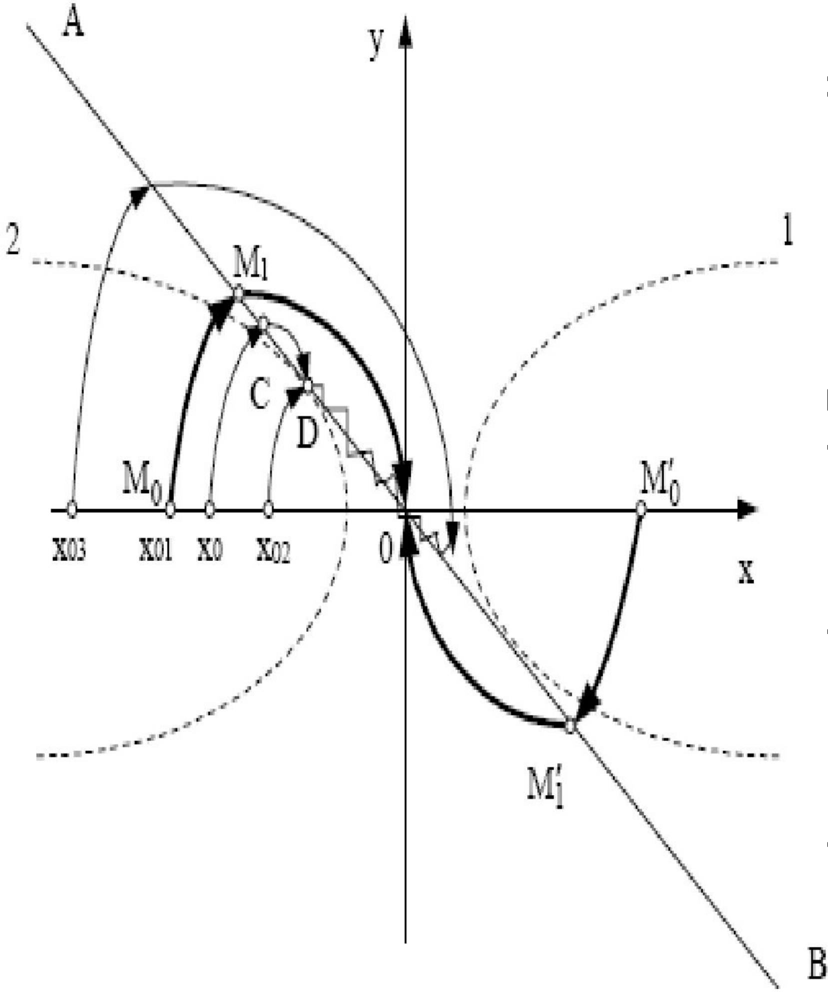
согласно … наносится семей-…х траекторий с асимпто-… той **y** …ой … полуплоскости (тип1).

$$x = -kcT\,ln\left|y - kc\right| - Ty + c^0,$$

Введем в рассматриваемую нелинейную АСУ корректирующую гибкую обратную связь:



.



ı x_0 изоб-
щается по фазовой
т.**C** на линии
Здесь происходит
реле и далее точка движется
›ии типа 2 до т.**D**, где реле
ую сторону, точка
траектории типа 1.
нии суммарного сигнала обратной
ıереключается и точка
ории типа 2 и так
е-реключения на отрезок
щая точка двигается по нему к

В уравнении фазовых траекторий $\frac{dy}{dx} = -\frac{1}{T} - \frac{k}{T} \times \frac{F(x)}{y}$

для рассматриваемой схемы:

$F(x) = F(x \pm k_{oc} y)$,

уравнение линии переключения $\mathbf{x \pm k_{oc} y = 0}$ $\longrightarrow$

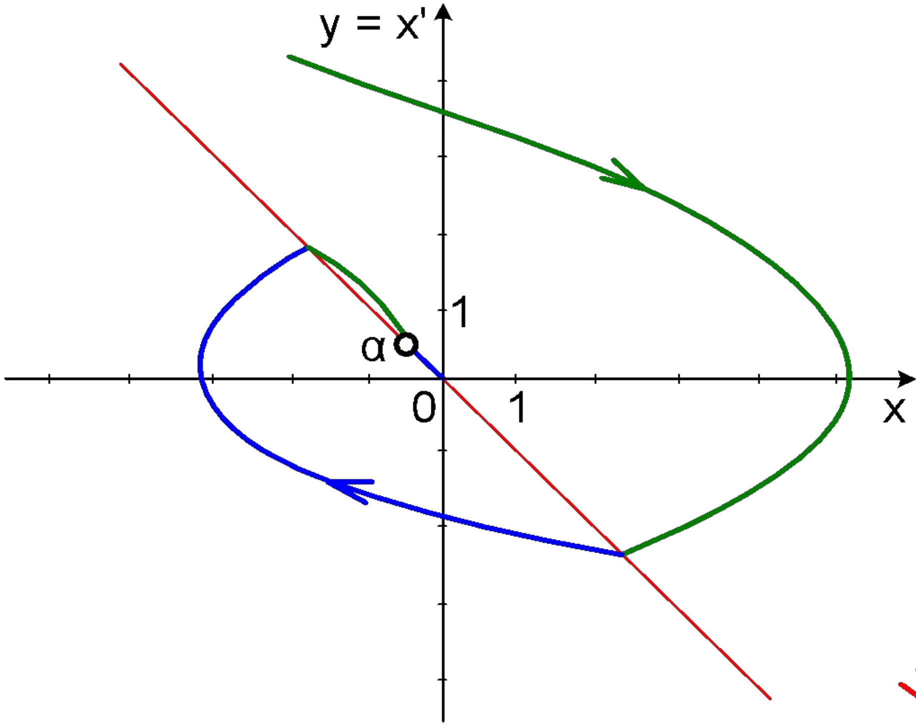
$$\mathbf{y = \pm\, x / k_{oc}.}$$

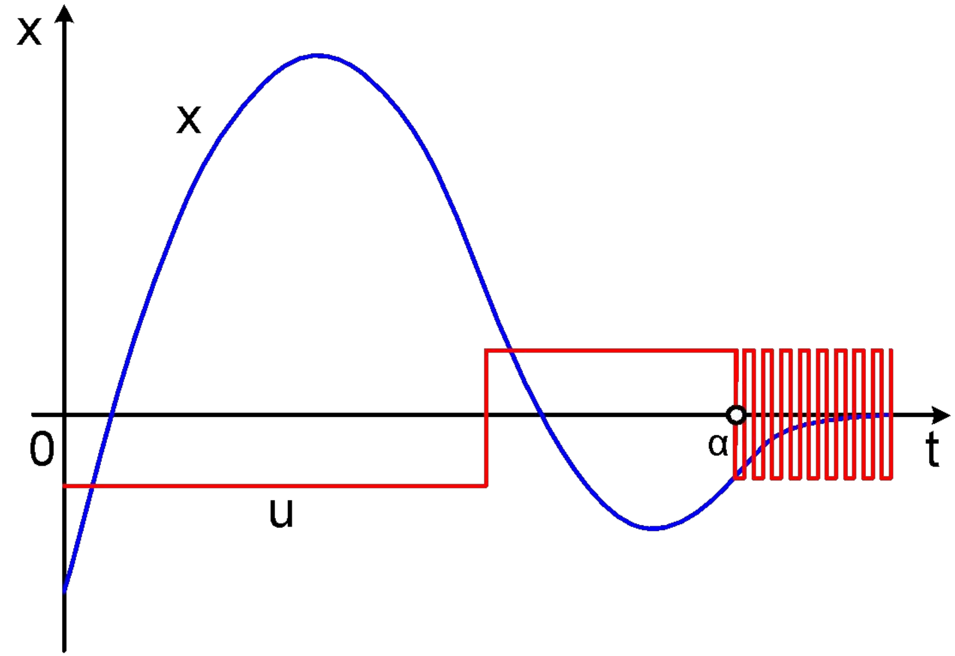
Введение дополнительной о.с. по производной приводит к наклону линии переключения, его направление определяется знаком о. с.

Движение изображающей точки на отрезке скользящего режима описывается уравнением:

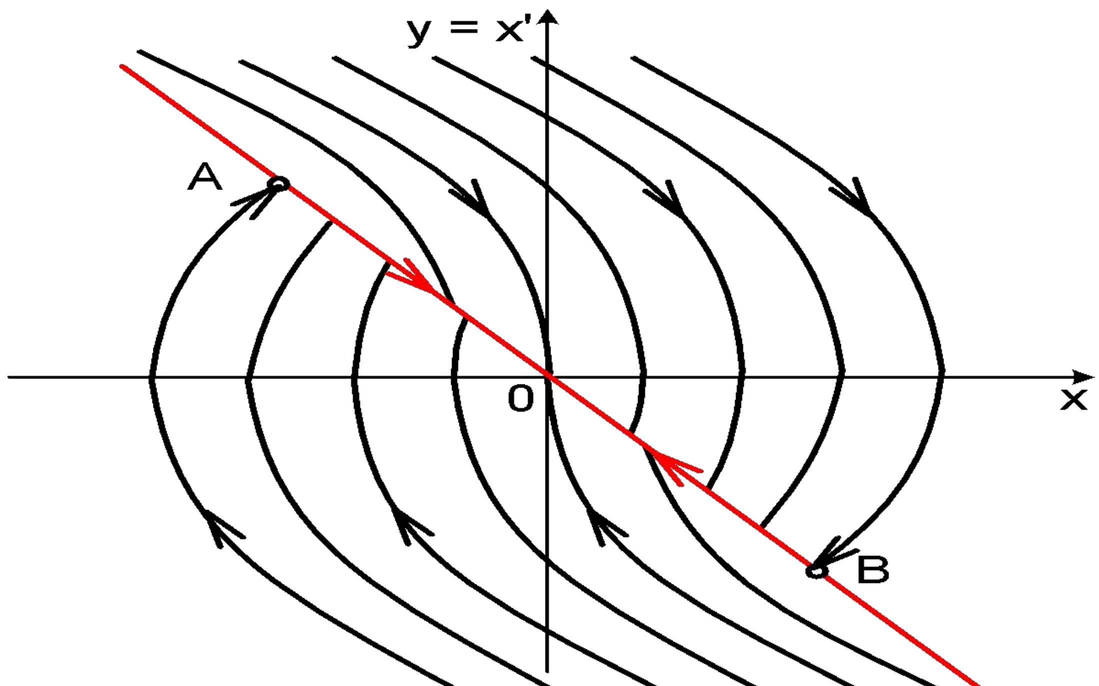
$\mathbf{x = x_0 e^{-1/k_{oc}}}$. Нелинейная АСУ 2-го порядка проявляет себя в скользящем режиме как линейная система 1-го порядка, при этом движение ее не зависит от параметров прямой цепи и определяется только $\mathbf{k_{oc}}$.

Как видно из рис., скользящий режим возможен на тех участках, где фазовая траектория типа 2 проходит ниже линии переключения **AB** (после т. **D**). При начальном положении изображающей точки (x_{02}, 0) после ее прихода по траектории типа 1 в т. **D** на линии переключения сразу начинается скользящий режим. При начальном положении изображающей точки (x_{03}, 0) скользящий режим имеет место после переключения реле, когда изображающая точка скользит по линии переключения **AB** в четвертом квадранте. В последнем случае переходный процесс имеет перерегулирование.





AB – отрезок скольжения на линии переключения
.



Определим координаты отрезка **АВ** скользящего режима на фазовой плоскости из условия равенства наклонов линии переключения **y = ± x/kос**

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{1}{T} - \frac{k}{T}\times\frac{F(x)}{y}$$

фазовой траектории **dy/dx = - 1/kос**

$$\frac{-1}{K_{oc}} = \frac{-1}{T} - \frac{kc}{T\,y_A};\qquad y_A = -\frac{kc\,k_{oc}}{k_{oc} - T}$$

$$\frac{-1}{T} + \frac{kc}{T\,y_B}.\qquad y_B = \frac{kc\,k_{oc}}{k_{oc} - T}$$

Отрезок скользящего режима **АВ** тем больше, чем больше коэффициенты передачи прямой цепи и цепи обратной связи.

В рассматриваемом примере ***переключение реле происходит мгновенно, частота переключений бесконечно велика, а амплитуда колебаний бесконечно мала***.

Это предельный скользящий режим: реле можно заменить эквивалентным пропорциональным звеном с коэффициентом передачи $\mathbf{k_p \to \infty}$.

Тогда эквивалентная передаточная функция АСУ:

$$\mathbf{W_э(s)} = \lim_{k_p \to \infty} \frac{k_p W_{лч}(s)}{1 + k_p W_{лч}(s) W_{oc}(s)} = \frac{1}{W_{oc}(s)} = \frac{1}{T_{oc}s + 1}$$

Релейную АСУ можно представить эквивалентной схемой в виде интегрирующего звена, охваченного обратной связью, или просто в виде апериодического звена первого порядка.

При начальном положении системы x_{01} (т. M_0) после переключения реле в точке M_1 изображающая точка по фазовой траектории типа 2 приходит в начало координат (состояние покоя). При этом переходный процесс будет иметь минимальное время, а режим работы системы будет оптимальным по быстродейст-вию. При заданной постоянной времени корректирующей цепи о.с. $\mathbf{T_{oc}}$ такой режим будет существовать только для определенной группы начальных значений, когда изобража-ющая точка в начальный момент времени оказывается на траектории $M_0\ M_1\ 0\ M'_1\ M'_0$, проходящей через начало координат; во всех других случаях скользящий режим имеет место либо сразу после переключения реле, либо после нескольких переключений.

Чтобы процесс при любых начальных условиях был оптимальным по быстродействию, линией переключения должна быть сама фазовая траектория, проходящая через начало координат. Такая кривая линия переключения свидетельствует о нелинейном характере воздействия корректирующей о.с. Линия переключения не относится к фазовым траекториям. Но можно сделать так, что она будет совпадать с одной из фазовых траекто-рий. Тогда процесс в системе будет состоять из двух частей: подход к линии переключения по одной из траекторий, выбор которой зависит от начальных условий, и движение по линии переключения к положению равновесия.

Фазовый портрет оптимальной по быстродействию системы:

АВ -линия переключения

При синтезе оптимальных по быстродействию систем основная задача: формирование функции управления, характеризующей переключение релейного элемента.

Структурная схема системы с нелинейной о.с..