

Нелинейные САУ.
Понятие нелинейной
системы. Типовые
нелинейности.
Описание нелинейных
систем. Особенности
анализа нелинейных
САУ.

- Автоматическую систему управления, в состав которой входит хотя бы один элемент с нелинейной статической характеристикой, называют нелинейной.

Системы, описываемые
линейными
дифференциальными
уравнениями, на практике
встречаются довольно редко.
Нелинейности статических
характеристик отдельных
элементов могут
обуславливаться различными
причинами.

При исследовании рассматриваемых систем стремятся провести линеаризацию статических характеристик, как отдельных элементов, так и систем в целом. Однако встречаются и такие системы, движение которых описать линейным или линеаризованными уравнениями не представляется возможным из-за наличия в них элементов со значительными нелинейностями.

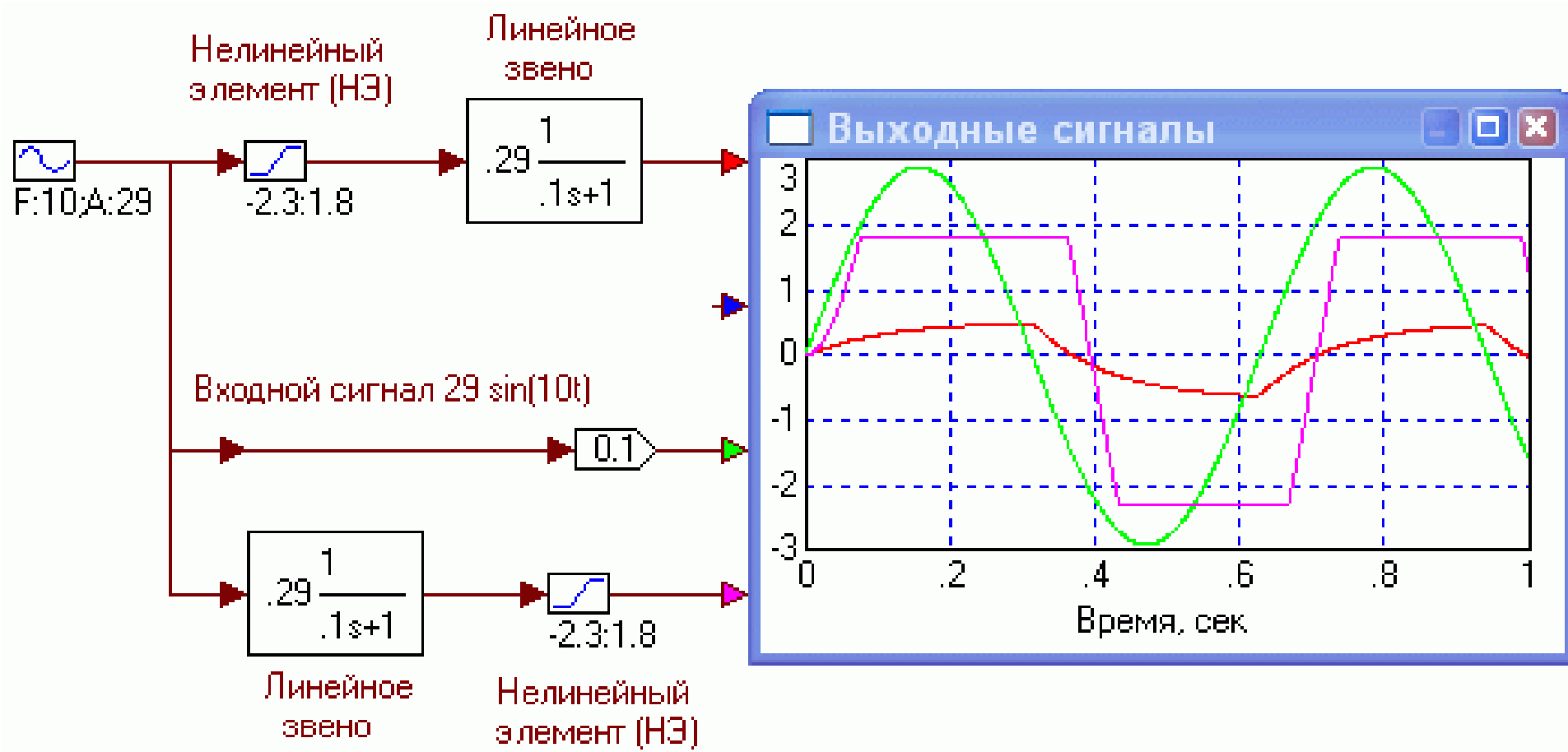
Поэтому применить изложенные ранее методы к анализу нелинейных систем, у которых динамические характеристики описываются нелинейными дифференциальными уравнениями, не удастся, так как нет методов решения этих уравнений.

Нелинейные АСУ в зависимости от начальных условий могут быть устойчивыми, совершать незатухающие колебания или находиться в некотором критическом автоколебательном режиме.

Нелинейная автоматическая система может быть устойчивой при малых отклонениях параметра управления и оказаться неустойчивой при больших отклонениях и в целом быть неустойчивой.

- Особенности нелинейных систем:
- в отличие от линейных систем, для нелинейных не справедлив принцип суперпозиции, т.е. реакция нелинейной системы на сумму воздействий не равна сумме ее реакций на каждое из НИХ;
- - любая неустойчивая линейная САР по мере роста сигналов на ее входе, в ней самой и на ее выходе становится нелинейной, что, например, и ограничивает сигналы в реальных САР;

- - нелинейные САР могут быть устойчивыми в малом (при малых воздействиях), в большом и в целом, и могут быть не устойчивыми;
 - - в нелинейных системах может существовать устойчивый режим автоколебаний (это очень важно при построении генераторов сигналов). В такой режим обычно и выходит неустойчивая в исходном состоянии линейная система;
- - изменение последовательности линейного и нелинейного звеньев изменяет свойства системы:



Методы анализа нелинейных систем:

- - графоаналитические:
- - метод гармонической линеаризации;
- - критерий абсолютной устойчивости Попова;
- - метод фазового портрета;
- - другие.
- - машинное моделирование (аналоговые физические и виртуальные модели).

Математическую модель
нелинейных систем
составляют так же, как и для
линейных. Составляют
принципиальную,
функциональную и
алгоритмическую структурные
схемы АСУ.

Для каждого элемента находят статические и динамические характеристики с последующей их линеаризацией, и выявлением возможного диапазона изменения управляемых параметров. Если нелинейность мало влияет на характер переходного процесса, ее линеаризуют, явно выраженные нелинейности сохраняют.

Таким образом, получают
алгоритмическую
структурную схему с
некоторой нелинейной
передаточной функцией и
нелинейными
характеристиками звеньев.

Существующие нелинейные САР отличаются разнообразием: по своей физической природе, по целевой функции, по принципам действия, по виду нелинейностей, по характеру переходных процессов. Это затрудняет разработку универсального математического аппарата анализа и синтеза подобных САР. Наиболее хорошо изученными являются следующие группы нелинейных систем:

Системы с переключениями

Системы релейного действия

Системы экстремальные

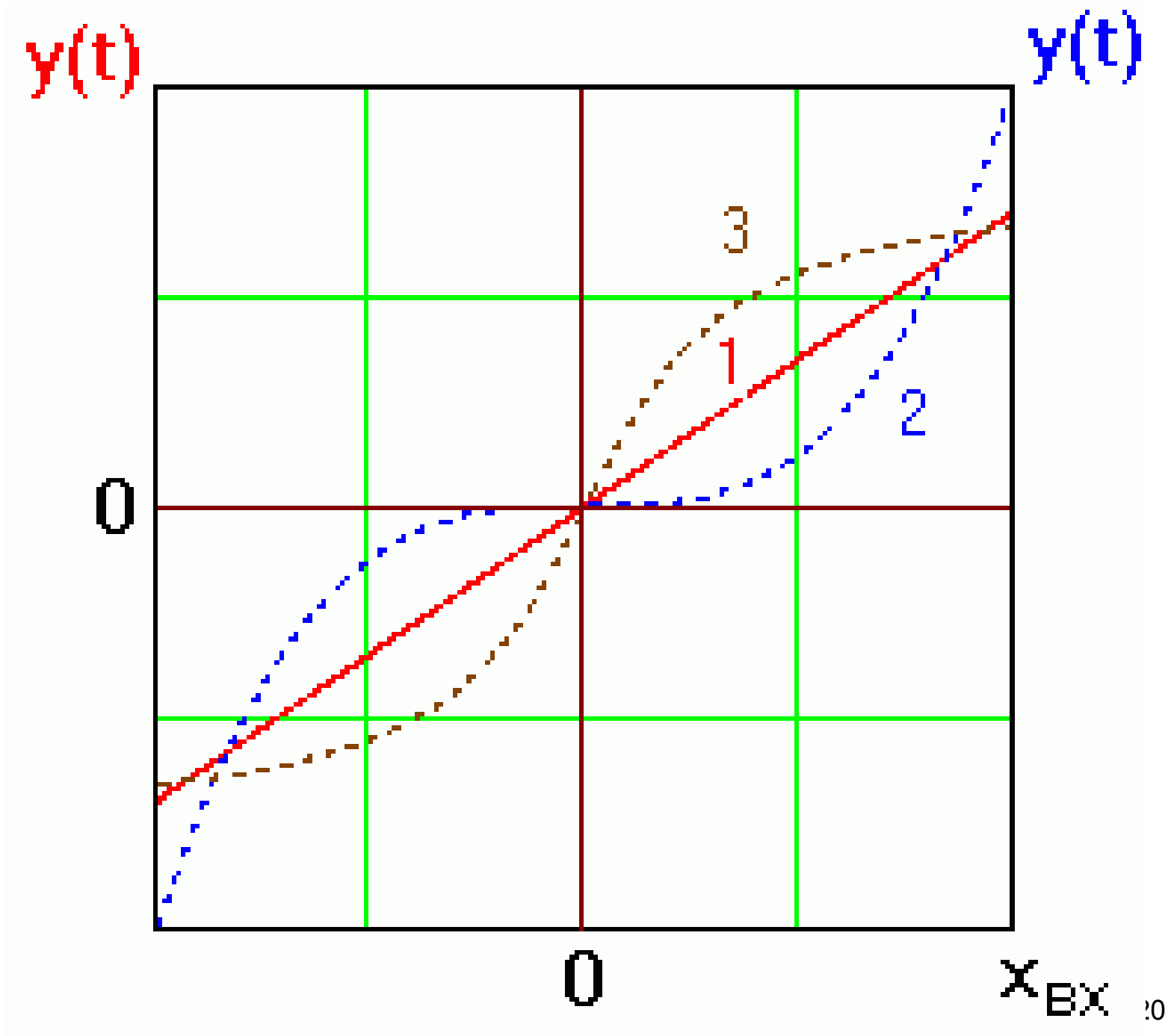
...

Основные характеристики нелинейного объекта

Важнейшей характеристикой
нелинейного объекта (НО)
или его элемента (НЭ)
является статическая
характеристика.

Статическая характеристика - это зависимость величины выходного сигнала нелинейного элемента y от величины входного x , при условии, что его входной сигнал постоянен (не изменяется достаточно длительное время для того, чтобы переходные процессы в нелинейном элементе, если они имеют место, завершились):

Примеры статических характеристик нелинейных объектов и их элементов. 1 - линейная характеристика; 2,3 - нелинейные характеристики



Статическая характеристика показывает, как зависит выходной сигнал нелинейного элемента от входного, когда входной меняется очень медленно, т.е. в условиях, когда инерционные свойства нелинейного элемента практически не проявляются.

Статическая характеристика используется в тех случаях, когда нелинейный элемент является однонаправленным, т.е. он не влияет на режим работы источника воздействия на НЭ и подключенный к нему блок не изменяет его режима работы.

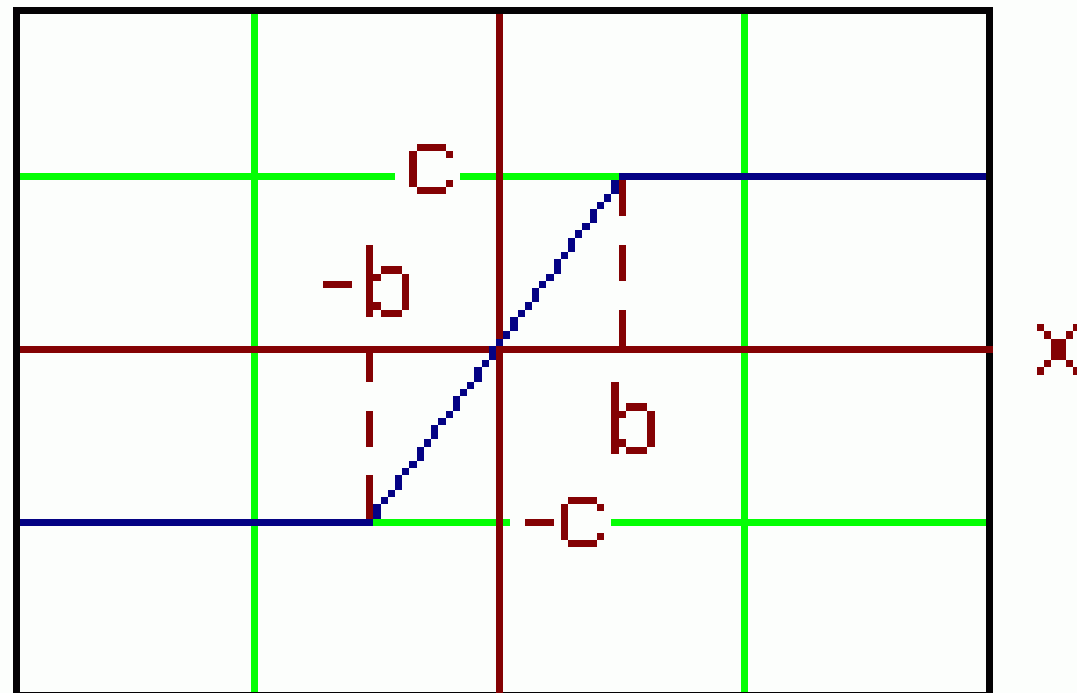
- В инженерных задачах, как правило, в системе рассматривается только один существенно нелинейный элемент. Это объясняется тем, что по мере роста сигналов в линейной модели, какой-то из ее элементов первым начинает проявлять нелинейные свойства, становится существенно нелинейным. И именно следствия этого проявления в первую очередь и следует изучить.

- Существенно нелинейный элемент может присутствовать в объекте, а значит и в схеме модели и с самого начала, т.е. и при сколь угодно малых сигналах.
 - Статические характеристики существенно нелинейных звеньев в инженерных задачах могут быть приближенно заменены, аппроксимированы отрезками прямых (аппроксимация линейно-ломанной линией).

**В практике используют,
например, следующие
типовые аппроксимации
статических характеристик
нелинейных элементов:**

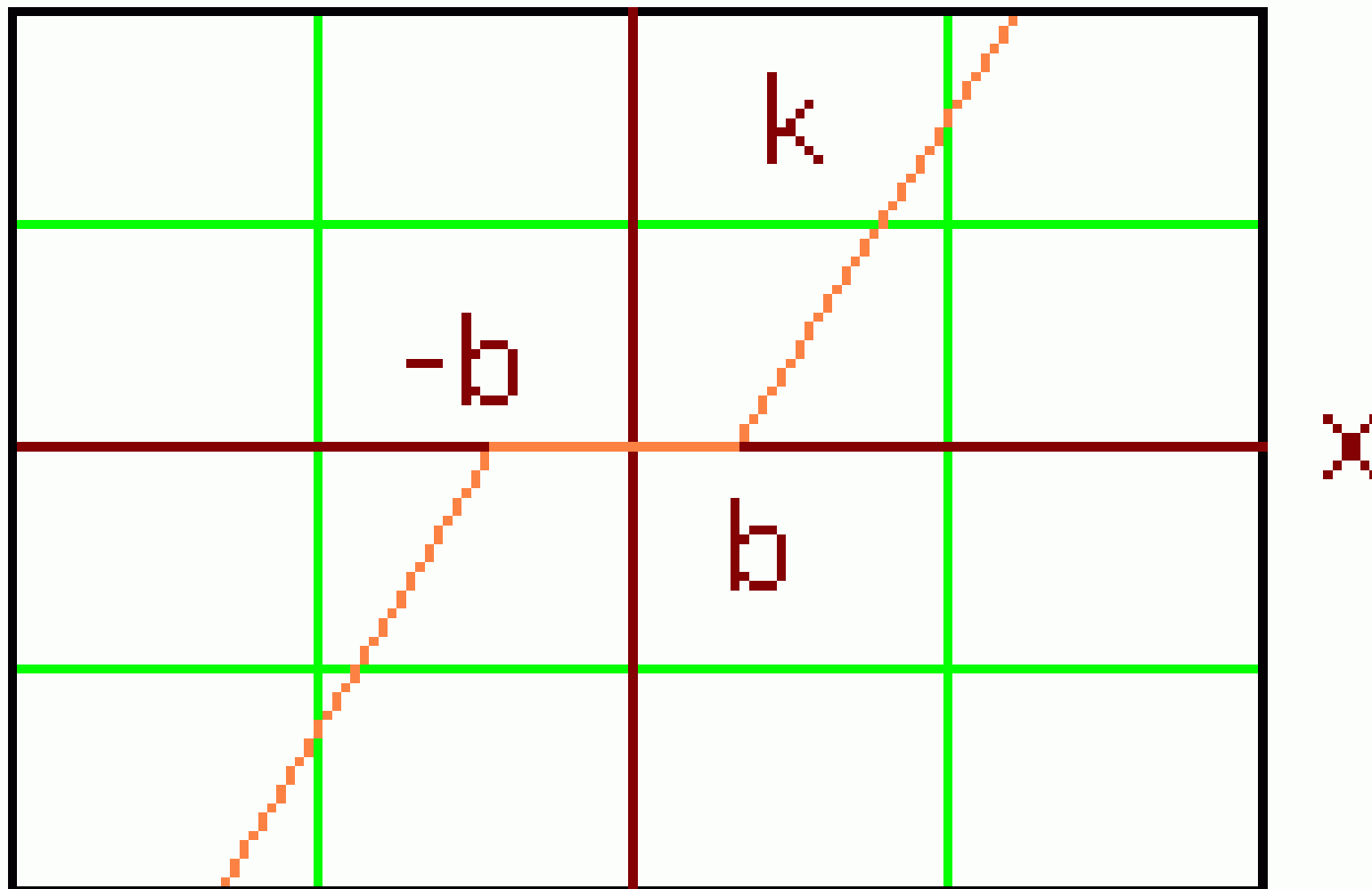
Однозначные (безинерционные) нелинейности

Усиление с ограничением
 y

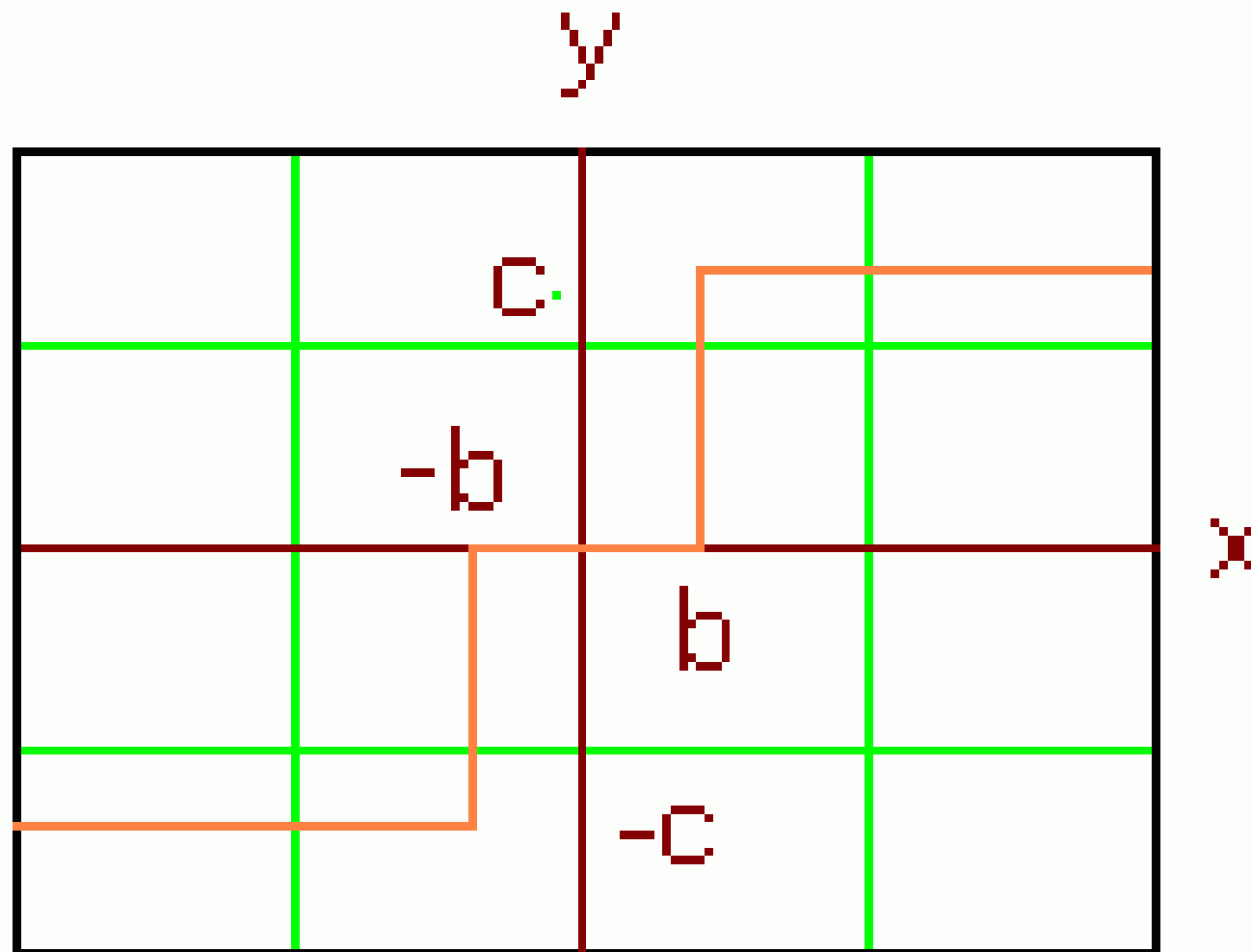


Зона нечувствительности

y

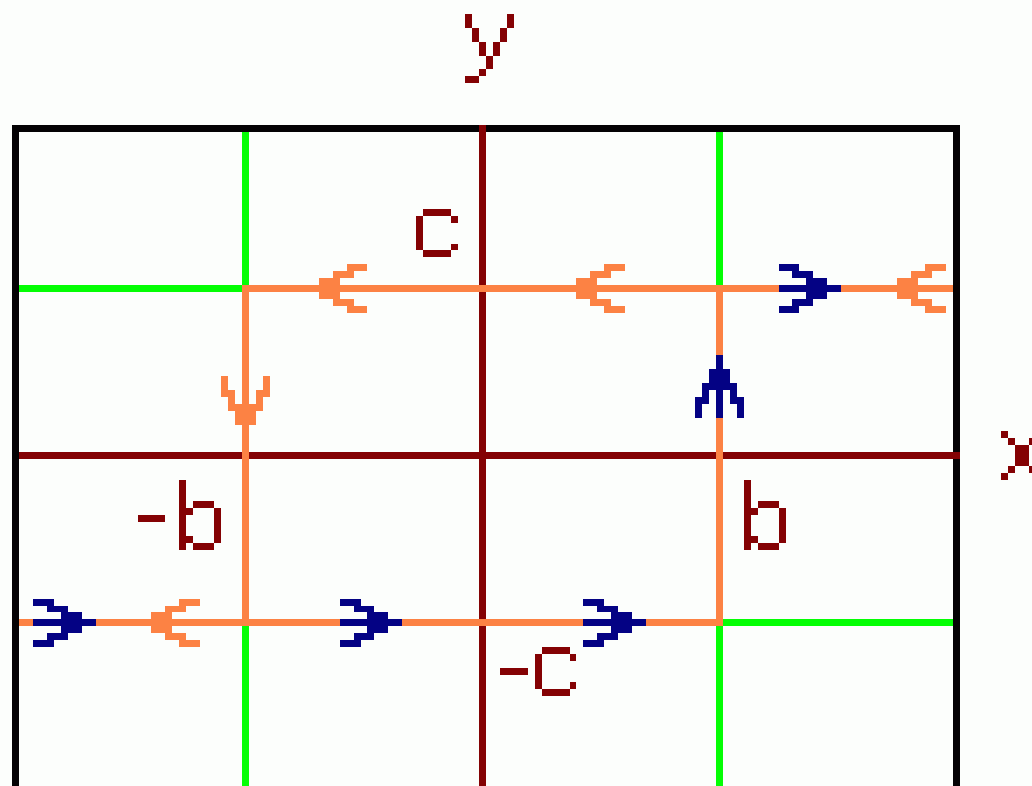


Зона нечувствительности с жестким ограничением (реле без памяти)



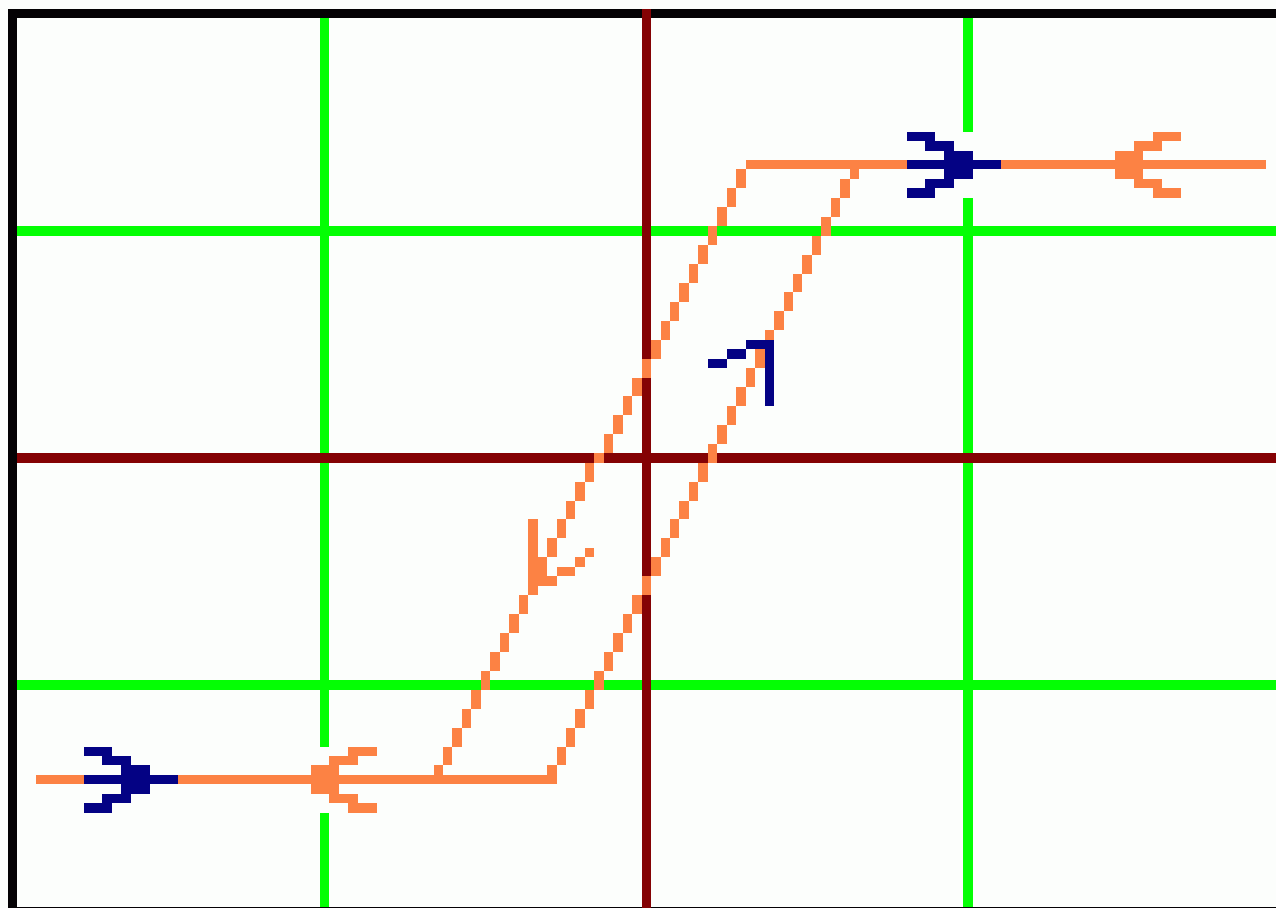
▪ Динамические (неоднозначные) нелинейности

Реле с памятью



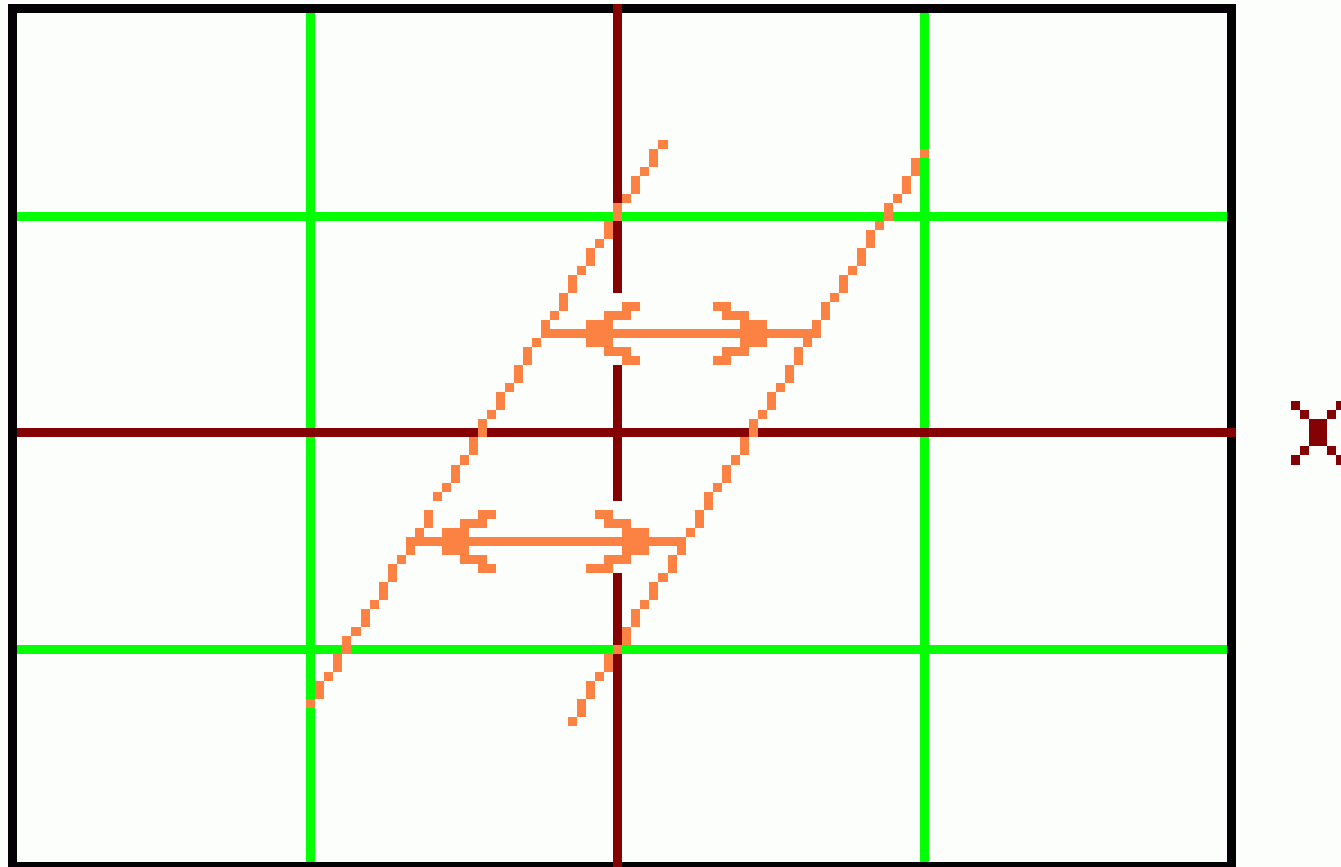
Гистерезис

y



Люфт

y



Выходной сигнал "динамических"
звеньев зависит от предыстории
изменения входного
воздействия. Поэтому такие
неоднозначные нелинейности
называют нелинейностями с
памятью.

- **Быстродействие** (инерционность) - вторая характеристика нелинейного звена. Определяется длительностью переходных процессов звена, если таковые имеют место.
- **Диапазон линейности** - еще одна важная характеристика нелинейного объекта, определяющая диапазон величин входного воздействия, в котором объект обладает линейными свойствами.

- **Крутизна** статической характеристики. Крутизна в общем случае зависит от выбора рабочей точки и определяется как дифференциальный коэффициент усиления, т.е. коэффициент усиления для малых приращений входного сигнала.

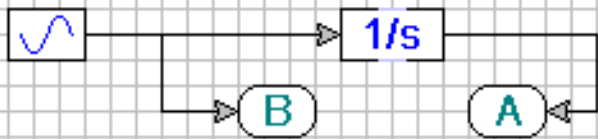
Метод фазовой плоскости

- Состояние автоматической системы может быть охарактеризовано числами, которые допустимо рассматривать как координаты некоторой точки в пространстве: при этом любой точке этого пространства будет соответствовать одно определенное состояние системы. С течением времени параметры изменяются, точно так же изменяются координаты точки в пространстве. Таким образом, по движению точки можно судить о поведении автоматической системы управления.

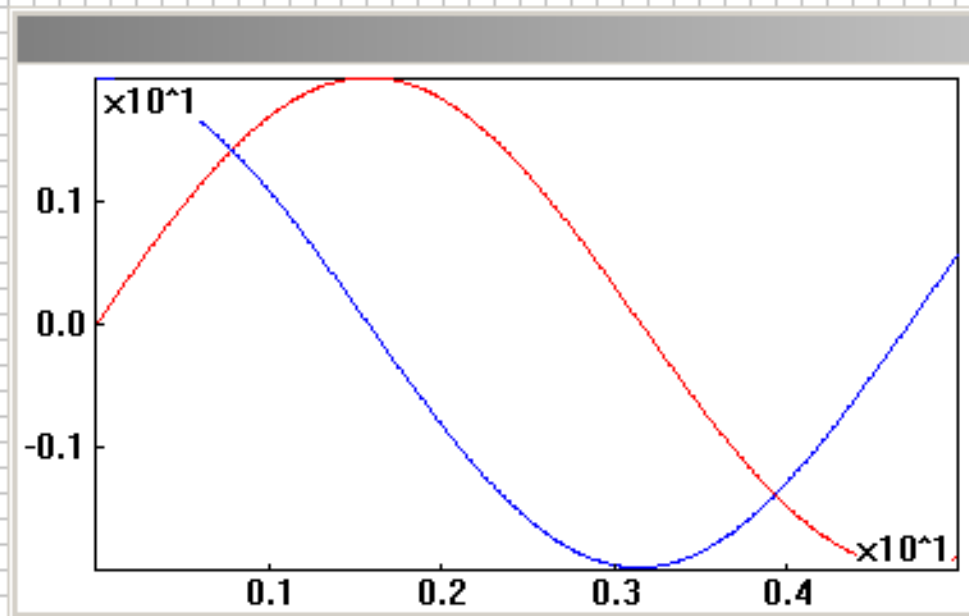
- Точку, описывающую поведение системы, принято называть **изображающей точкой**, ее траекторию — **фазовой траекторией**, а пространство — **фазовым пространством**. Для исследования нелинейных автоматических систем второго порядка фазовое пространство сводится к **фазовой плоскости**.

- фазовые траектории и фазовое пространство дают геометрическое представление о динамике процессов, происходящих в системе. Вместе с тем метод фазовой плоскости не позволяет судить о протекании переходного процесса во времени и служит лишь его качественной характеристикой.

В большинстве случаев траектории изображающей точки узнаваемы (фрагменты спиралей, окружностей, парабол, прямых линий), имеют характеризующие систему особенности и позволяют инженеру принимать решения в соответствии с разработанными методиками.

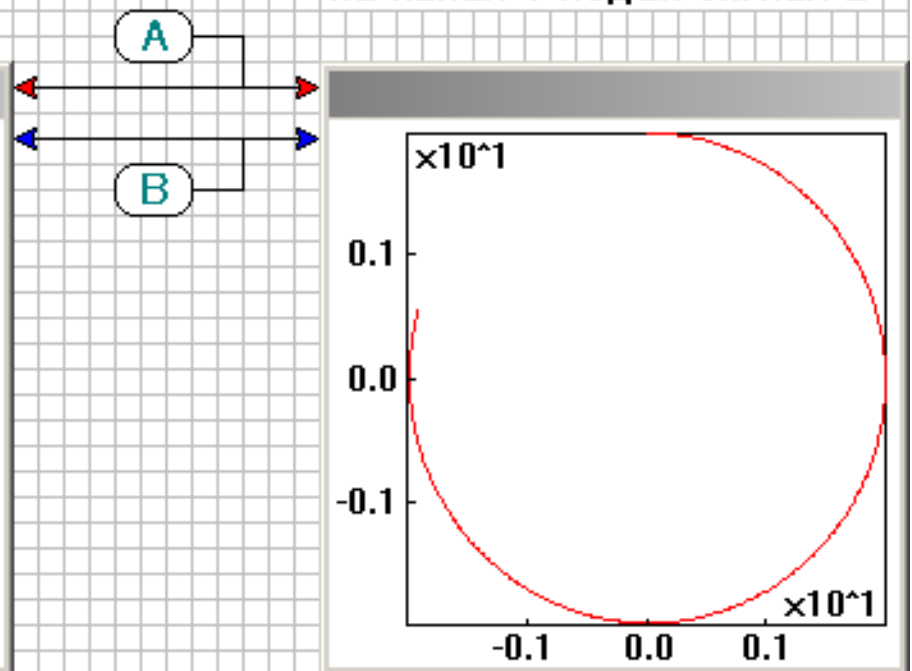


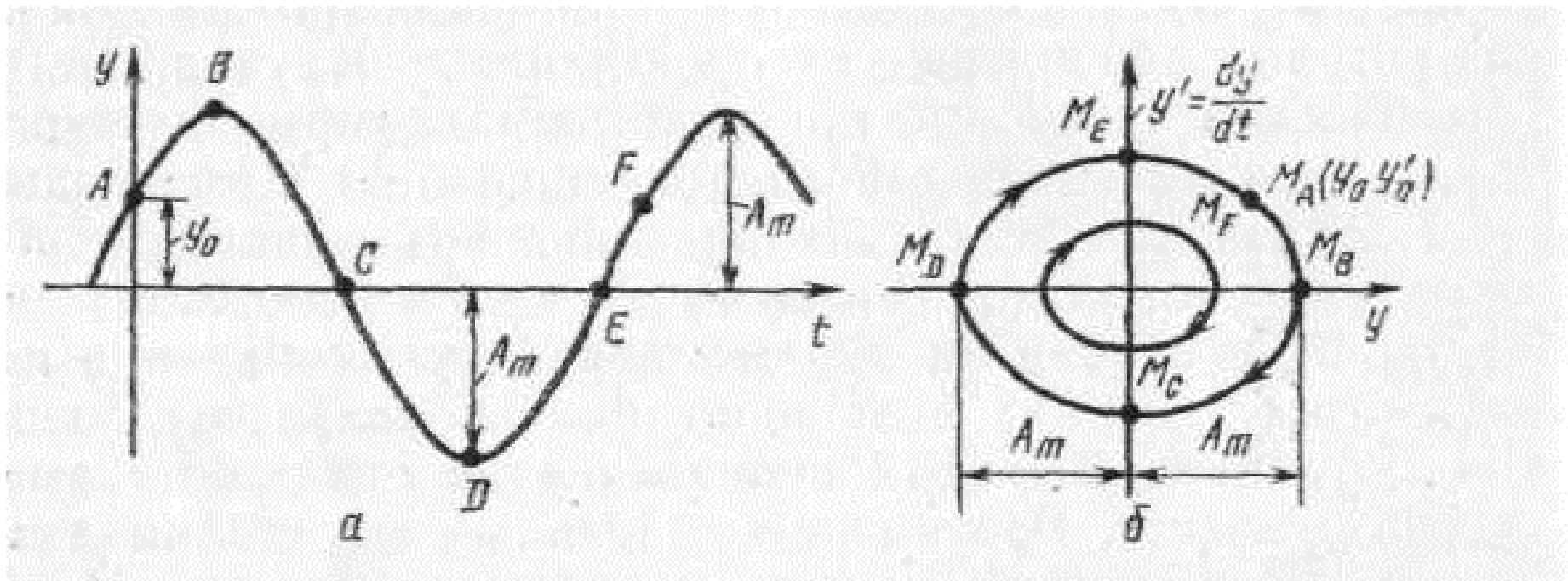
Временная развертка сигналов А и В



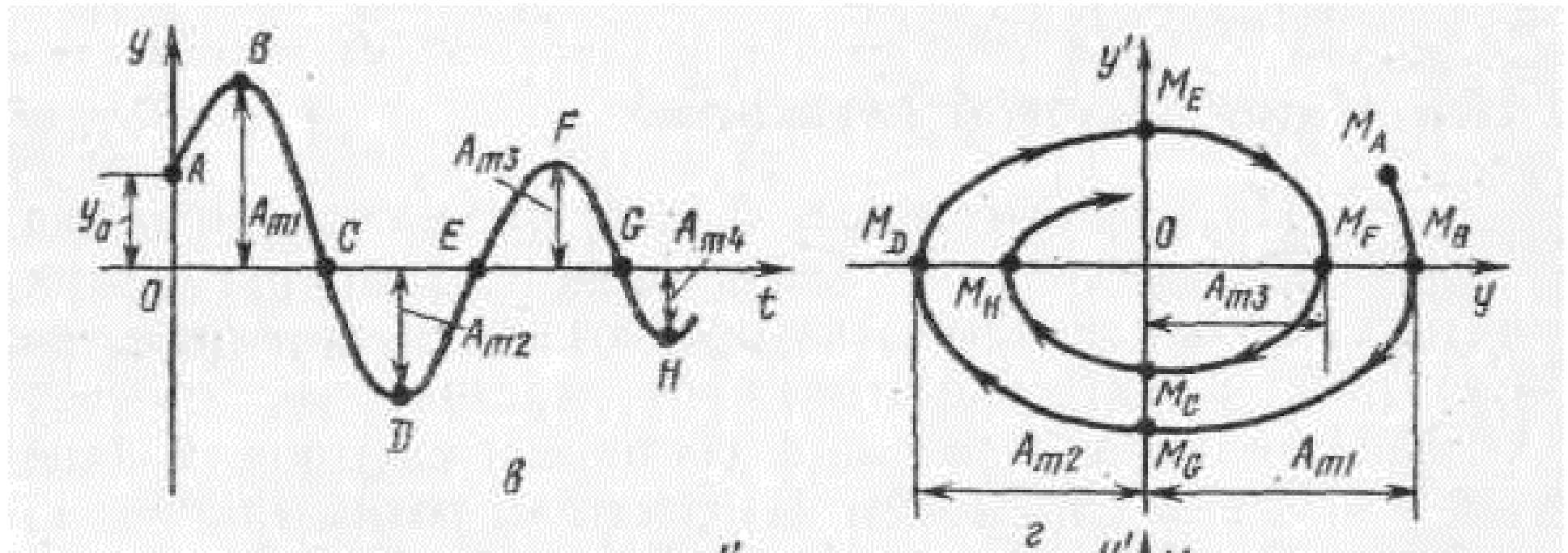
Фазовая плоскость

на канал X подан сигнал А
на канал Y подан сигнал В

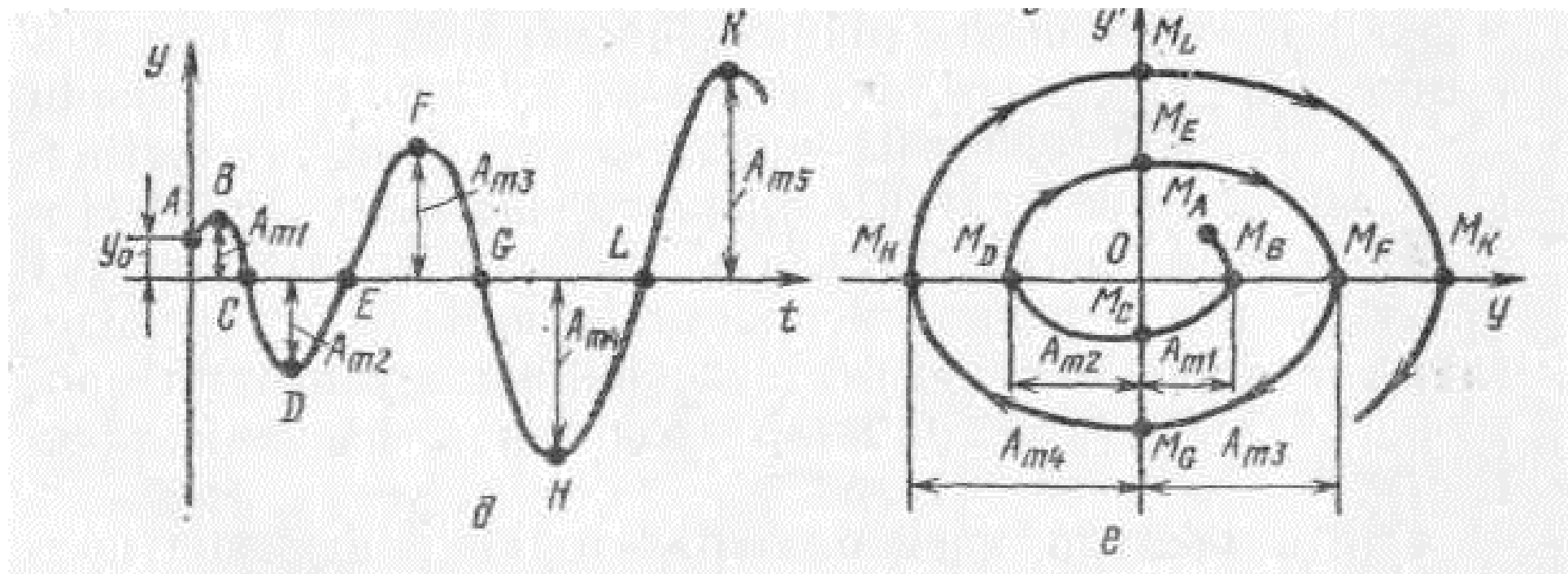




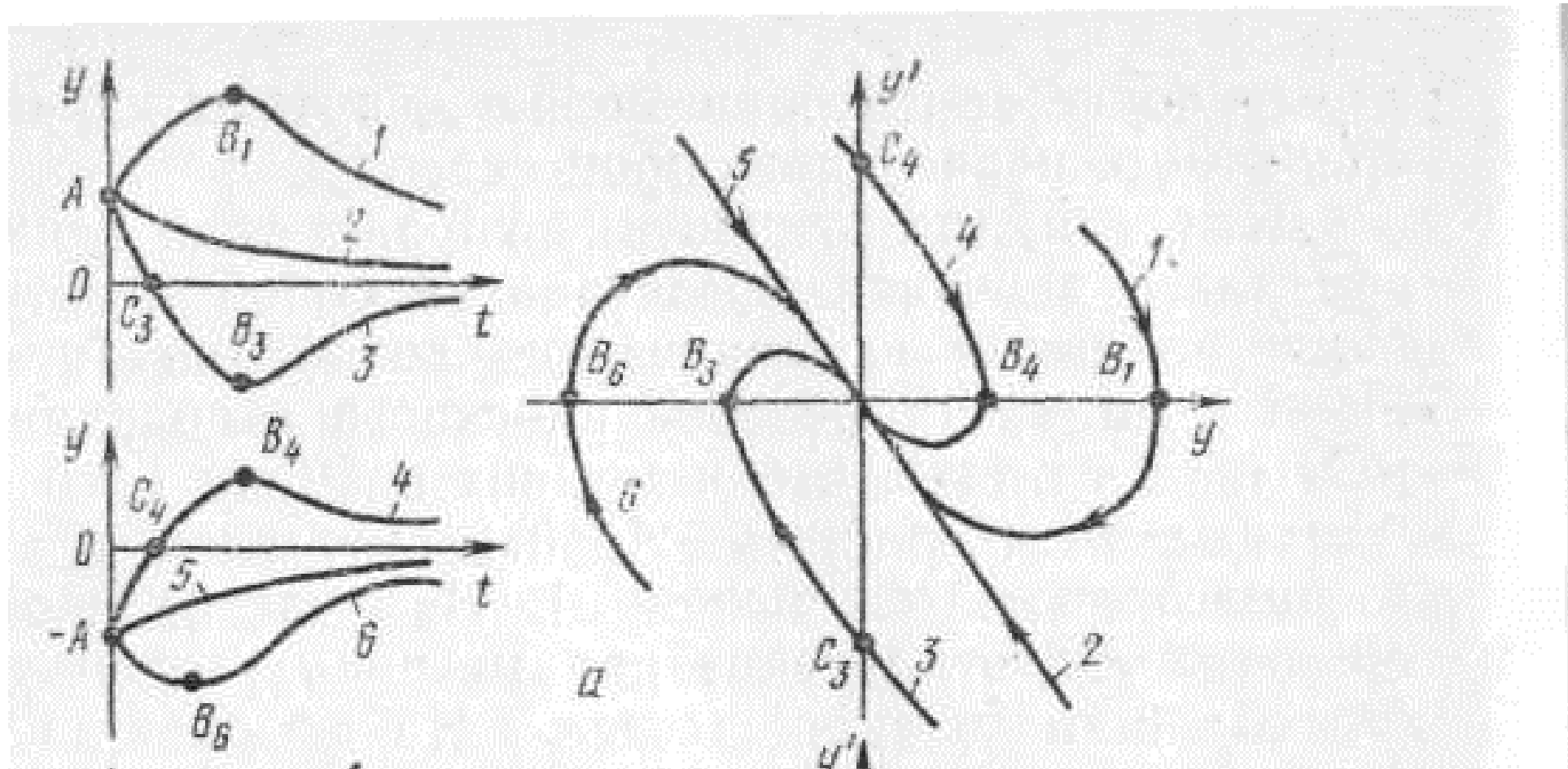
- Фазовая траектория *затухающего гармонического колебательного процесса* представляет собой спиралевидную кривую, постепенно приближающуюся к началу координат фазовой плоскости, так как амплитуда отклонения регулируемой величины и скорость его изменения постепенно уменьшаются.
- ***Точка равновесия в начале координат называется устойчивым фокусом.***



- Для гармонического колебательного расходящегося (неустойчивого) процесса фазовая траектория изобразится в виде спиралевидной кривой, удаляющейся от начала координат, так как амплитуда отклонения управляемой величины и скорость его изменения постепенно увеличиваются. В этом случае точка равновесия — центр координат называется неустойчивым фокусом.



- У апериодического затухающего переходного процесса, изображенного на рисунке (система устойчива), фазовые траектории стремятся к началу координат. Точка равновесия в этом случае называется устойчивым узлом.



- Для *апериодического расходящегося процесса* фазовые траектории удаляются от начала координат фазовой плоскости. Точка равновесия теперь будет неустойчивым узлом.

- Приведенные примеры подтверждают, что перемещение изображающей точки на фазовой плоскости по той или иной фазовой траектории дает возможность судить о характере исследуемого переходного процесса.

Метод припасовывания

- Сущность метода припасовывания (метод точечного преобразования) состоит в том, что нелинейную характеристику заменяют рядом линейных участков, для которых составляют линейные дифференциальные уравнения, приближенно описывающие поведение системы.

- Затем на основании условия непрерывности решения полученные результаты для каждого участка припасовывают в точках соединения. Существуют различные варианты этого метода.

Метод гармонического баланса

- Метод гармонического баланса (частотно-амплитудный метод) исследования нелинейных систем любого порядка является приближенным, так как не учитывает влияние высших гармоник. Основан он на сравнении входного гармонического колебания и первой гармоники на выходе нелинейного элемента.

Метод математического моделирования

**Метод моделирования, который
может быть физическим и
математическим, универсален и
прост и поэтому широко
применяется для исследования
систем автоматического
управления.**

- **Физическое моделирование** предполагает, что процессы, происходящие в натуральном объекте, воспроизводятся в модели, имеющей меньшие размеры, но одинаковой по физической природе с оригиналом.

Математическое моделирование основано на аналогии уравнений, которыми описываются натуральный объект и модель как в статике, так и в динамике. Такое моделирование реализуют на аналоговых или цифровых вычислительных машинах

THE END