**Лабораторная работа №1**

**Исследование характеристик типовых нелинейных элементов**

**Цель работы:** построить статические характеристики нелинейных элементов (НЭ), исследовать процесс прохождения гармонического сигнала через них при различных значениях параметров нелинейностей.

**Описание работы**

Изучаемые в ТАУ линейные системы фактически получаются в результате линеаризации реальных систем (в окрестности рабочей точки процесса), в которых всегда в определенной форме встречаются те или иные нелинейные зависимости. Иногда в одном или нескольких звеньях не удается провести линеаризацию из-за наличия в них существенных нелинейностей, или существенные нелинейности могут вводиться в систему специально для получения желаемых свойств.

Нелинейной системой называется система, в состав которой входит хотя бы одно нелинейное звено, т.е. звено, описываемое нелинейным дифференциальным или алгебраическим уравнением. Изучению статических характеристик типовых нелинейных звеньев посвящена данная работа.

**Порядок выполнения лабораторной работы**

1. Запустите среду **SimInTech**.
2. Создайте новый проект «**Файл → Новый проект → Схема модели общего вида**».
3. Настройте расчетные параметры схемы. Установите *Начальный шаг интегрирования* **startstep=0**, *Конечное время расчета* **endtime=10** (выбирается из соображения того, чтобы переходные процессы успевали завершиться), *Максимальный шаг* **hmax=0.01**.
4. Исследование нелинейности типа «**зона нечувствительности**».

Перенесите на схемное окно SimInTech блоки:

* генератор синусоидального сигнала 1 шт. (вкладка **Источники → Синусоида**);
* зона нечувствительности 1 шт. (вкладка **Нелинейные → Линейное с зоной нечувствительности**);
* усилительное звено 1 шт. (вкладка **Операторы → Усилитель**);
* график 1 шт. (вкладка **Вывод данных → Временной график**);
* фазовый портрет 1 шт. (вкладка **Вывод данных → Фазовый портрет**).

Соберите расчетную схему согласно рисунку 1.1.



**Рисунок 1.1 – Схема № 1**

Зона нечувствительности преобразует входной сигнал по алгоритму:

*y(t) = 0*, если  *a ≤ x(t) ≤ b*,
*y(t) = k·(x(t) – a)*, если *x < a*,

*y(t) = k·(x(t) - b)*, если *x(t) > b*,

где *x(t) –* входной сигнал; *y(t) –* выходной сигнал; *k –* коэффициент усиления; *a, b* *–* левая и правая границы зоны нечувствительности соответственно.

Т.е. блок **Линейное с зоной нечувствительности** выполняет нелинейное преобразование входного сигнала, уменьшая его абсолютную величину на постоянное значение. Так, если абсолютная величина входного сигнала меньше или равна вычитаемой константе, то значение выходного сигнала будет равно нулю. Коэффициент усиления определяет угол наклона характеристики звена.

В свойствах блока **Синусоида** установите *Амплитуду a=1*, *Частоту w=1*, *Фазу f=0*. В свойствах блока **Линейное с зоной нечувствительности** установите *Нижнюю границу аргумента a=-0.3, Верхнюю границу аргумента b=0.3*, *Коэффициент усиления k=0.5*.

Промоделируйте расчетную схему (кнопка  или клавиша F9).

Проанализируйте результаты моделирования и вставьте полученные графики в протокол работы, оформленный в MS Word.

Повторите процесс моделирования при различных параметрах настройки нелинейного элемента (увеличьте или уменьшите ширину зоны нечувствительности, измените коэффициент усиления характеристики), проанализируйте результат. Получившиеся графики также включите в отчет работы.

1. Исследование нелинейности типа «**линейное с насыщением**».

Перенесите на схемное окно SimInTech блоки:

* генератор синусоидального сигнала 1 шт. (вкладка **Источники → Синусоида**);
* насыщение 1 шт. (вкладка **Нелинейные → Линейное с насыщением**);
* график 1 шт. (вкладка **Вывод данных → Временной график**);
* фазовый портрет 1 шт. (вкладка **Вывод данных → Фазовый портрет**).

Соберите расчетную схему согласно рисунку 1.2.



**Рисунок 1.2 – Схема № 2**

Насыщение (ограничитель) преобразует входной сигнал по алгоритму:

*y(t)* = *k·x(t)*, если *a* < *x* < *b,*
*y(t)* = *y1*, если *x(t)* ≤ *a,*
*y(t)* = *y2*, если *x(t)* ≥ *b.*

где *x(t) –* входной сигнал; *y(t) –* выходной сигнал; *k=(y2-y1)/(b-a)*; *a, b* *–* нижняя и верхняя границы ограничения соответственно; *y1, y2* *–* нижнее и верхнее значения функции соответственно.

Т.е. блок **Линейное с насыщением** ограничивает сигнал на выходе согласно заданным границам - верхней *b* и нижней *a*. Так, если входной сигнал *x(t)* находится в заданных границах, то блок передает его на выход без преобразований (коэффициент, определяющий наклон равен *k*). Если же входной сигнал *x(t)* выходит за границы, то сигналу на выходе будет присваиваться значение соответствующего предела y1 или y2.

В свойствах блока **Синусоида** установите *Амплитуду a=1*, *Частоту w=1*, *Фазу f=0*. В свойствах блока **Линейное с насыщением** установите *Нижнюю границу аргумента a=-0.5, Верхнюю границу аргумента b=0.5*, *Нижнее значение функции Y1=-0.5*, *Верхнее значение функции Y2=0.5*.

Промоделируйте расчетную схему (кнопка  или клавиша F9).

Проанализируйте результаты моделирования и вставьте полученные графики в протокол работы, оформленный в MS Word.

Повторите процесс моделирования при различных параметрах настройки нелинейного элемента (измените верхний и нижний пределы ограничения, верхнюю и нижнюю границы ограничения), проанализируйте результат. Получившиеся графики также включите в отчет работы.

1. Исследование нелинейности типа «**линейное насыщение с зоной нечувствительности**».

Перенесите на схемное окно SimInTech блоки:

* генератор синусоидального сигнала 1 шт. (вкладка **Источники → Синусоида**);
* насыщение с зоной нечувствительности1 шт. (вкладка **Нелинейные → Линейное с насыщением и зоной нечувствительности**);
* график 1 шт. (вкладка **Вывод данных → Временной график**);
* фазовый портрет 1 шт. (вкладка **Вывод данных → Фазовый портрет**).

Соберите расчетную схему согласно рисунку 1.3.



**Рисунок 1.3 – Схема № 3**

Насыщение (ограничитель) с зоной нечувствительности преобразует входной сигнал по алгоритму:

*y(t)* = *k1·(x(t)-a)*, если *a1* < *x(t)* < *a,*

*y(t)* = *k2·(x(t)-b)*, если *b1* < *x(t)* < *b1,*

*y(t)=0,* если *a* ≤ *x(t)* ≤ *b,*

*y(t)* = *y1*, если *x(t)* ≤ *a1,*

*y(t)* = *y2*, если *x(t)* ≥ *b1.*

где *x(t) –* входной сигнал; *y(t) –* выходной сигнал; *k1=y1/(a1-a); k2=y2/(b1-b)*; *a, b* *–* левая и правая границы зоны нечувствительности соответственно; *a1, b1* *–* нижняя и верхняя границы ограничения соответственно; *y1, y2* *–* нижнее и верхнее значения функции соответственно.

Этот элемент является комбинацией двух предыдущих нелинейностей.

В свойствах блока **Синусоида** установите *Амплитуду a=1*, *Частоту w=1*, *Фазу f=0*. В свойствах блока **Линейное с насыщением и зоной нечувствительности** установите *Нижнюю границу зоны нечувствительности a=-0.1, Верхнюю границу зоны нечувствительности b=0.1, Нижнюю границу ограничения a1=-0.6, Верхнюю границу ограничения b1=0.6*, *Нижнее значение функции Y1=-0.6*, *Верхнее значение функции Y2=0.6*.

Промоделируйте расчетную схему (кнопка  или клавиша F9).

Проанализируйте результаты моделирования и вставьте полученные графики в протокол работы, оформленный в MS Word.

Повторите процесс моделирования при различных параметрах настройки нелинейного элемента (увеличьте или уменьшите ширину зоны нечувствительности, измените угол наклона характеристики, измените верхний и нижний пределы ограничения), проанализируйте результат. Получившиеся графики также включите в отчет работы.

1. Исследование нелинейности типа «**квантователь**».

Перенесите на схемное окно SimInTech блоки:

* генератор синусоидального сигнала 1 шт. (вкладка **Источники → Синусоида**);
* квантователь 1 шт. (вкладка **Нелинейные → Квантователь по уровню**);
* график 1 шт. (вкладка **Вывод данных → Временной график**);
* фазовый портрет 1 шт. (вкладка **Вывод данных → Фазовый портрет**).

Соберите расчетную схему согласно рисунку 1.4.



**Рисунок 1.4 – Схема № 4**

Квантователь преобразует входной сигнал по алгоритму:

*y(t)* = *d · sign( x(t) ) · foor( |( x(t) / d) + 0.5| )*,

где: *x*(*t*) – входной сигнал; *d* – шаг квантования по уровню, *floor* – функция округления до меньшего целого числа, *sign* – функция знака, *y*(*t*) – выходной сигнала.

Т.е. блок **Квантователь** квантует сигнал по уровню с заданным шагом *d*. Знак величины шага квантования смещает характеристику квантователя на величину шага.

В свойствах блока **Синусоида** установите *Амплитуду a=1*, *Частоту w=1*, *Фазу f=0*. В свойствах блока **Квантователь** установите *Шаг квантования step=0.3*.

Промоделируйте расчетную схему (кнопка  или клавиша F9).

Проанализируйте результаты моделирования и вставьте полученные графики в протокол работы, оформленный в MS Word.

Повторите процесс моделирования при различных значениях шага квантования, проанализируйте результат. Получившиеся графики также включите в отчет работы.

1. Исследование нелинейности типа «**гистерезис**».

Перенесите на схемное окно SimInTech блоки:

* генератор синусоидального сигнала 1 шт. (вкладка **Источники → Синусоида**);
* реле 1 шт. (вкладка **Нелинейные → Релейное неоднозначное (гистерезис)**);
* график 1 шт. (вкладка **Вывод данных → Временной график**);
* фазовый портрет 1 шт. (вкладка **Вывод данных → Фазовый портрет**).

Соберите расчетную схему согласно рисунку 1.5.

`

**Рисунок 1.5 – Схема № 5**

Гистерезис преобразует входной сигнал по алгоритму:

y*(t)* = *y1*, если x(t) *< a*,

y(t) = *y(t - Δt)*, если a ≤ x(t) ≤ b,

y(t) *= y2*, если x(t) > *b*,

где: *x*(*t*) – входной сигнал; *y*(*t*) – выходной сигнал; *Δt* – предыдущий шаг интегрирования; *a*, *b* – нижняя и верхняя границы переключения (ширина петли); *y1*, *y2* – нижнее и верхнее значения функции.

Т.е. блок **Гистерезис** выполняет нелинейное преобразование входного сигнала, отслеживает величину входного сигнала и устанавливает выход в одно из двух фиксированных состояний с определенным «отставанием». Если входной сигнал попадает в зону неоднозначности, определяемую шириной «петли» гистерезиса, то переключение не происходит и выходной сигнал остается на прежнем уровне.

В свойствах блока **Синусоида** установите *Амплитуду a=1*, *Частоту w=1*, *Фазу f=0*. В свойствах блока **Гистерезис** установите *Нижнюю границу переключения a=-0.5, Верхнюю границу переключения b=0.5*, *Нижнее значение функции Y1=-1, Верхнее значение функции Y2=1*, *Начальные условия (1;0) y0=1*. Остальные параметры оставьте по умолчанию.

Промоделируйте расчетную схему (кнопка  или клавиша F9).

Проанализируйте результаты моделирования и вставьте полученные графики в протокол работы, оформленный в MS Word.

Повторите процесс моделирования при различных параметрах настройки нелинейного элемента (измените верхнее и нижнее значения функции, нижнюю и верхнюю границы переключения), проанализируйте результат. Получившиеся графики также включите в отчет работы.

Если в блоке **Гистерезис** приравнять нижнюю и верхнюю границы переключения нулю, то получим нелинейность типа «**идеальное двухпозиционное реле**». Повторите процесс моделирования, выставив *Нижнюю границу переключения a=0, Верхнюю границу переключения b=0*, *Нижнее значение функции Y1=-0.3, Верхнее значение функции Y2=0.3*. Проанализируйте результат. Получившийся график также включите в отчет работы.

1. Исследование нелинейности типа «**релейное с зоной нечувствительности**».

Перенесите на схемное окно SimInTech блоки:

* генератор синусоидального сигнала 1 шт. (вкладка **Источники → Синусоида**);
* реле 1 шт. (вкладка **Нелинейные → Релейное с зоной нечувствительности**);
* график 1 шт. (вкладка **Вывод данных → Временной график**);
* фазовый портрет 1 шт. (вкладка **Вывод данных → Фазовый портрет**).

Соберите расчетную схему согласно рисунку 1.6.



**Рисунок 1.6 – Схема № 6**

Данное реле преобразует входной сигнал по алгоритму:

y*(t)* = *y1*, если x(t) *< a*,

*y(t)=0*, если *a* < x(t) < *b*,

y(t) = *y(t - Δt)*, если *a1* ≤ x(t) ≤ *a*, или *b* ≤ x(t) ≤ *b1*,

y(t) *= y2*, если x(t) > *b1*,

где: *x*(*t*) – входной сигнал; *y*(*t*) – выходной сигнал; *Δt* – предыдущий шаг интегрирования; *a*, *b* – нижняя и верхняя границы зоны нечувствительности; *a1*, *b1* – нижняя и верхняя границы переключения (ширина петли); *y1*, *y2* – нижнее и верхнее значения функции.

Т.е. блок **Релейное с зоной нечувствительности** совмещает в себе нелинейности типа гистерезис и зона нечувствительности, отслеживает величину входного сигнала и, в зависимости от заданного значения «зоны нечувствительности», устанавливает выход в одно из трех фиксированных состояний. Так, если *a=b=a1=b1=0*, то получаем нелинейность «**идеальное двухпозиционное реле**». Если же *a≠0*, *b≠0*, *a1=a*, *b1=b*, то получаем нелинейность «**идеальное трехпозиционное реле**».

В свойствах блока **Синусоида** установите *Амплитуду a=1*, *Частоту w=1*, *Фазу f=0*. В свойствах блока **Релейное с зоной нечувствительности** установите *Нижнюю границу зоны нечувствительности a=-0.5*, *Нижнюю границу переключения a=-0.5*, *Верхнюю границу зоны нечувствительности b1=0.5*, *Верхнюю границу переключения b=0.5*, *Нижнее значение функции Y1=-0.6*, *Верхнее значение функции Y2=0.6*. Остальные параметры оставьте по умолчанию.

Промоделируйте расчетную схему (кнопка  или клавиша F9).

Проанализируйте результаты моделирования и вставьте полученные графики в протокол работы, оформленный в MS Word.

Повторите процесс моделирования при различных параметрах настройки нелинейного элемента (измените ширину «зоны нечувствительности», задайте границы переключения (введите гистерезис), измените амплитуду срабатывания реле, получите идеализированный случай двухпозиционного реле), проанализируйте результат. Получившиеся графики также включите в отчет работы.

1. Исследование нелинейности типа «**зазор**».

Перенесите на схемное окно SimInTech блоки:

* генератор синусоидального сигнала 1 шт. (вкладка **Источники → Синусоида**);
* зазор 1 шт. (вкладка **Нелинейные → Зазор**);
* график 1 шт. (вкладка **Вывод данных → Временной график**);
* фазовый портрет 1 шт. (вкладка **Вывод данных → Фазовый портрет**).

Соберите расчетную схему согласно рисунку 1.7.



**Рисунок 1.7 – Схема № 7**

Зазор преобразует входной сигнал по алгоритму:

*y(t)* = *k · ( x(t) – b )*, если *x(t) >( y(t - Δt) / k )+ b,*

*y(t)* = *k · ( x(t) - b )*, если *x(t)* < *( y(t - Δt) / k ) - b,*

*y(t) = y(t - Δt),* если *( y(t - Δt) / k ) - b ≤ x(t) ≤ ( y(t - Δt) / k) + b*

где: *x*(*t*) – входной сигнал; *y*(*t*) – выходной сигнала*; Δt* – предыдущий шаг интегрирования, *b* – половина ширины зоны зазора; *k* – коэффициент усиления.

Блок **Зазор** характеризуется величиной перемещения одного из сопряженных элементов соеди­нения, не вызывающего перемещения другого, ведомого элемента (имеет место почти во всех механических соединениях).

В свойствах блока **Синусоида** установите *Амплитуду a=1*, *Частоту w=1*, *Фазу f=0*. В свойствах блока **Зазор** установите *Половину ширины зоны зазора b=0.2*, *Коэффициент усиления k=1*. Остальные параметры оставьте по умолчанию.

Промоделируйте расчетную схему (кнопка  или клавиша F9).

Проанализируйте результаты моделирования и вставьте полученные графики в протокол работы, оформленный в MS Word.

Повторите процесс моделирования при различных значениях ширины зоны зазора и коэффициента усиления, проанализируйте результат. Получившиеся графики также включите в отчет работы.

1. Сохраните расчетную схему с выполненной лабораторной работой. Для этого в **Главном меню Главного окна SimInTech** выбрать пункт «**Файл → Сохранить проект как...**» и далее, используя стандартный диалог, сохранить файл, указав соответствующий путь и имя файла – «**Работа ТАУ2\_1.prt**».
2. Оформите протокол лабораторной работы, который должен содержать:
* цель работы;
* распечатанные графики с переходными характеристиками типовых нелинейных элементов и их статическими характеристиками;
* выводы о том, как влияют основные параметры звеньев на их характеристики.

**Контрольные вопросы**

1. Какие звенья относятся к нелинейным.
2. Что такое статическая характеристика нелинейного элемента.
3. Однозначные статические характеристики.
4. Неоднозначные статические характеристики.
5. Симметричные статические характеристики.
6. Несимметричные статические характеристики.
7. Нелинейность типа «зона нечувствительности».
8. Нелинейность типа «ограничение (насыщение)».
9. Нелинейность типа «гистерезис».
10. Назовите типы релейных характеристик.
11. Нелинейность типа «идеальное реле».
12. Нелинейность типа «реле с гистерезисом».
13. Нелинейность типа «реле с зоной нечувствительности».
14. Нелинейность типа «реле с зоной нечувствительности и гистерезисом».
15. Нелинейность типа «зазор».
16. Дайте определение нелинейной системы.
17. Отличительные особенности нелинейных систем.
18. Нарисуйте упрощенную структурную схему замкнутой нелинейной САР.
19. Что такое линеаризация?
20. Методы линеаризации нелинейных систем.