**СОДЕРЖАНИЕ**

**1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ** **3**

**2. ТЕМЫ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ** **4**

**3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ** **5**

**3.1 НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ** **7**

**3.2 ЛИНЕЙНАЯ ИМПУЛЬСНАЯ САУ** **20**

**ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ ПО КУРСОВОЙ РАБОТЕ** **48**

**ПРИЛОЖЕНИЕ А** **51**

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б** **53**

**ЛИТЕРАТУРА** **57**

2

**1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

**Целью курсовой работы** является анализ нелинейной САУ и линейнойимпульсной САУ. Рассматриваемые САУ, представленные принципиальной схемой, являются различными системами автоматического регулирования (САУ) частоты вращения ДПТ, напряжения ГПТ, температуры электропечи, давления в барокамере и. т.п., и следящие системы.

**В качестве исходных данных** приняты параметры элементов иустройств, входящих в данную систему.

**Основными задачами** курсовой работы являются:

* составление по принципиальной схеме функциональной схемы;
* составление математической модели в форме структурной схемы;
* исследование системы на устойчивость необходимыми критериями;
* построение переходных процессов для анализа качества процесса регулирования системы;
* оценка точности процесса регулирования.

**Нелинейная САУ:**

* Принять, что усилительное устройство в системе является нелинейным элементом (НЭ) и составить структурную схему нелинейной САУ.
* Привести структурную схему нелинейной САУ к типовой и получить передаточную функцию линейной части системы.
* Получить дифференциальное уравнение гармонически линеаризованной нелинейной системы.
* Оценить устойчивость гармонически линеаризованной нелинейной системы методом Гольдфарба.
* Используя критерий абсолютной устойчивости Попова В.М., исследовать устойчивость положения равновесия системы в целом.

**Линейная импульсная САУ:**

* Сформировать схему импульсной системы.
* Получить передаточную функцию непрерывной части импульсной системы *Wнц* ( *s* ) .
* Определить, используя теорему Котельникова, период квантования *T*0 .
* Найти передаточные функции системы в разомкнутом и замкнутом состоянии *Wрс* ( *z* ) и *Wэс* ( *z*) , соответственно.
* Определить устойчивость системы по корням характеристического уравнения.
* Определить устойчивость системы, используя аналог критерия устойчивости Михайлова.
* Приняв начальные условия нулевыми, построить дискретный сигнал системы и определить по ней показатели качества.
* Определить ошибку регулирования по задающему воздействию.

3

* 1. **ТЕМЫ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ**

1. Исследование нелинейной и импульсной системы автоматического управления «Напряжения синхронного генератора».
2. Исследование нелинейной и импульсной системы автоматического управления «Артериального давления при искусственном кровообращении».
3. Исследование нелинейной и импульсной системы автоматического управления «Температуры в теплообменнике».
4. Исследование нелинейной и импульсной системы автоматического управления «Температуры в герметической кабине».
5. Исследование нелинейной и импульсной системы автоматического управления «Вентиляторами метрополитена».
6. Исследование нелинейной и импульсной системы автоматического управления «Частоты вращения двигателя постоянного тока».
7. Исследование нелинейной и импульсной системы автоматического управления «Частоты вращения турбореактивного двигателя».
8. Исследование нелинейной и импульсной системы автоматического управления «Температуры в герметической кабине».
9. Исследование нелинейной и импульсной системы автоматического управления «Температуры в электропечи».

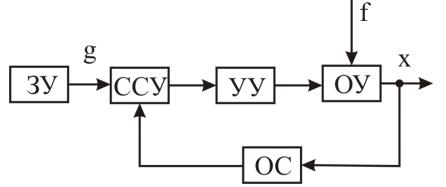
4

**3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Любая функциональная схема САУ по отклонению включает в себя объект управления – *ОУ* с выходной регулируемой величиной *х(t)* и возмущающим воздействием – *f*; устройство управления – *УУ*, обеспечивающее c заданной точностью стабилизацию выходной величины *х* т.е. *x(t)=x0=const*; задающее устройство – *ЗУ*, обеспечивающее необходимое значение *x0*; обратную связь – *ОС*; сравнивающее суммирующее устройство –

*ССУ*

В свою очередь *УУ* может состоять из усилительного элемента, исполнительного устройства и последовательной или параллельной коррекции.



***Функциональная схема САУ***

Кроме того, в САУ возможно дополнительное регулирование по возмущающему фактору *f*, или задающему воздействию *g* либо одновременно по возмущающему фактору и задающему воздействиям (комбинированное управление).

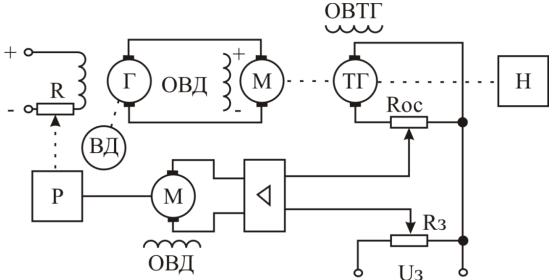
*ССУ* может быть реализовано на операционном либо электронномусилителе, магнитном либо электромашинном усилителе, либо на измерительном устройстве.

Всевозможные датчики, преобразующие выходную *х(t)* регулируемую величину *ОУ* в электрический сигнал, составляют главную обратную связь.

Исходная принципиальная схема САУ разбивается на отдельные устройства и узлы с учетом выполняемых ими функций. Выявляется в схеме *ЗУ* и *ОУ*,название которого и его выходная величина,как правило,указаны внаименовании САУ. В следящих системах *ОУ* является двигатель постоянного тока (ДПТ) с редуктором, а регулируемой величиной является угол поворота. Необходимо помнить, что в функциональной схеме САУ, в прямой цепи прохождения задающего воздействия *g* на первом месте располагается *ЗУ*, а *ОУ* – последним.

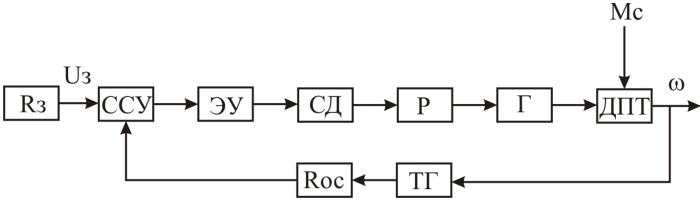
По принципиальной схеме САУ частоты  вращения ДПТ составим функциональную схему.

5



***Принципиальная схема САУ частоты*** ** ***вращения ДПТ***

Задающим устройством для САУ является потенциометр *Rз*, и располагаем его на первом месте в функциональной схем. Согласно названия САУ *ОУ* является ДПТ, а его регулируемой величиной - частота вращения . Поэтому в прямой цепи прохождения *Uз* он располагается последним. Напряжение *Uз* сравнивается с напряжение *Uос* и поочередно по ходу движения сигнала проходит через электронный усилитель *ЭУ*, серводвигатель *СД*, редуктор *Р*, генератор постоянного тока *Г* и поступает на ДПТ. Тахогенератор *ТГ* является датчиком, преобразующим частоту  в напряжение *Uос*, снимаемое с потенциометра *Rос*. Возмущающим фактором *f* в данной САУ является *Мс*.



***Функциональная схема САУ частоты*** ** ***вращения ДПТ***

6

**3.1 НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

Система автоматического регулирования является нелинейной, если хотя бы один элемент системы описывается нелинейным дифференциальным уравнением. Практически все САУ являются нелинейными. Если в системе при замене нелинейной характеристики устройства линейной не изменяются свойства САУ, то такую систему называют линеаризованной. Нелинейности могут быть:

* сопутствующие, если нелинейность входит в состав неизменной части САУ;
* не сопутствующие, если нелинейность входит в синтезируемую часть САУ;
* существенная;
* несущественная нелинейность;
* однозначные нелинейности;
* неоднозначные нелинейности.

Нелинейность считается несущественной, если замена нелинейного элемента линейным звеном не изменяет принципиальных особенностей системы и процессы, протекающие в линеаризованной САУ, качественно не отличаются от процессов в реальной системе.

В структурных схемах нелинейный элемент представляют в виде прямоугольника с внесением в него либо статической характеристики, либо функциональной зависимости выходной величины *y* от входной величины *x*

Для однозначной нелинейной *y*  *F* (*x*) . Для неоднозначных нелинейностей *y* –зависит не только от величины входного сигнала *x* ,но и от направления(т.е. производной) *y*  *F* (*x*, *px*)

Преобразование нелинейных САУ имеют свои особенности. Они обусловлены тем, что для них не выполняется принцип суперпозиции и правило коммутативности, т.е. *yвых*  *yвых*1  *yвых*2 .

Не все правила структурных преобразований выполняются для нелинейных САУ, например:

* сумматор нельзя переносить через нелинейное звено;
* нельзя менять местами линейное и нелинейное звенья и т д . Преобразование нелинейных САУ заключается в преобразовании

линейных звеньев, стоящих с одной стороны и с другой от нелинейного элемента.

**Дифференциальное уравнение нелинейной САУ в неявной форме**

Понятия передаточной функции для замкнутой нелинейной САУ нет. Поэтому методика получения дифференциального уравнения для данного типа систем отличается от метода получения уравнения для линейных САУ. Получим дифференциальное уравнение для замкнутой нелинейной САУ, структурная схема которой представлена на рис. 3.1

7

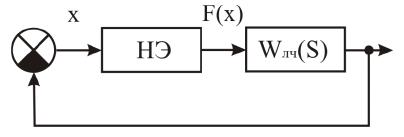


Рис. 3.1 Типовая структурная схема нелинейной САУ Обозначим передаточную функцию линейной части нелинейной САУ *Wлч* ( *s* )

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| как *W* ( *s* )  | *B* ( *s* ) | , тогда дифференциальное уравнение для нее примет вид |  |  |
|  |  |  |
| *лч* | *A*( *s* ) |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  | *A*( *s* )*Y* (*t* ) *B* ( *s* )*U* (*t*). | 3.1 |  |
| Уравнение нелинейного элемента в неявной форме | | |  |  |
|  |  | *Y* (*t*) *F* (*x*, *px*). | 3.2 |  |
| Запишем уравнение для *x*(*t*) | | |  |  |
|  |  | *x*(*t*) *g* (*t*)*U* (*t*). | 3.3 |  |

Подставим (3.3), (3.2) в (3.2) получим дифференциальное уравнение для замкнутой нелинейной САУ относительно *U* (*t*) в неявном виде.

*A*(*s*)*U* (*t*) *F**g*(*t*) *u*(*t*), *s**g*(*t*) *u*(*t*) *B*(*s*)

На практике это уравнение не используют, поэтому получим дифференциальное уравнение относительно *X(t)*. Для этого из (3.3) выразим *U(t)* и подставим в(3.1),получим дифференциальное уравнениеотносительно *X(t)* в неявном виде

|  |  |
| --- | --- |
| *A*( *p*) *x*(*t*) *B*(*x*) *F* (*x*, *sx*) *A*(*s*) *g*(*t*). | 3.4 |

Если задающее воздействие *g(t)*=0, то из (3.4) получим дифференциальное *уравнение свободного движения* нелинейной САУ в

|  |  |
| --- | --- |
| неявном виде. |  |
| *A*( *p*) *x*(*t*) *B*(*x*) *F* (*x*, *sx*)0. | 3.5 |

В связи с тем, что нелинейные САУ не имеют дифференциального уравнения в явном виде, для анализа и синтеза такого класса систем используют следующие подходы.

I-й подход:

* Принимая гипотезу о линейности статической характеристики нелинейного элемента, проводится анализ и синтез линеаризованной САУ.
* Затем, оценивается устойчивость нелинейной САУ, используя метод гармонической линеаризации, критерий устойчивости В.М. Попова

либо Н.И. Цыпкина. II-й подход:

* Составляется математическая модель для каждого участка статической характеристики нелинейного элемента.
* На основании метода пространства состояния системы и с учетом полученных математических моделей выполняется описание

8

нелинейной САУ в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка.

* Анализируя решения систем дифференциальных уравнений первого порядка для каждого участка статической характеристики, оценивается устойчивость нелинейной САУ.

**Использование метода гармонической линеаризации для анализа устойчивость нелинейной САУ**

Исследование нелинейных систем автоматического управления весьма удобно проводить с помощью метода гармонической линеаризации (гармонического баланса) [7]. Метод базируется на использовании частотных характеристик, применяемых в теории линейных систем. Данный метод требует учитывать ряд допущений:

* Структурная схема должна быть типовой (рис. 3.1) .
* Характеристика нелинейного элемента (Н.Э.) должна быть симметричной относительно начала координат.
* В системе должны существовать автоколебания с постоянной амплитудой *an* и частотой *n* .
* Система должна быть автономной, т.е. *g* (*t*)  0 .

Если замкнутую автономную (без внешних воздействий) нелинейную систему удается представить в виде соединений безынерционного нелинейного элемента (Н.Э.) и устойчивой линейной части с передаточной функцией *Wë÷* (*s*) (рис. 3.1), то к ней при определенных условиях можно

применить метод гармонической линеаризации. Основная идея метода состоит в том, что возможные устойчивые колебания на выходе линейной части нелинейной системы приближенно считаются гармоническими (синусоидальными).

Допустим, на вход нелинейного элемента поступает синусоидальный сигнал *x*(*t*)  *a*  sin(**  *t*) . Следовательно, выходной сигнал НЭ *y*(*t*) , является

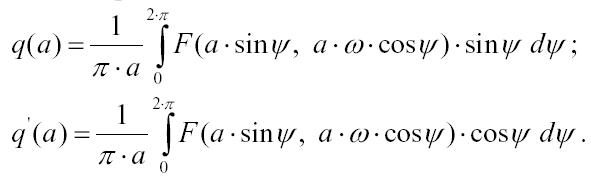
тоже периодическим, который можно разложить в ряд Фурье. Этот ряд содержит гармонические составляющие с частотами, кратными частоте , 2, … входного сигнала *x*(*t*) . Полагая, что этот сигнал, проходя через

линейную часть, фильтруется до такой степени, что высшими гармониками можно пренебречь, запишем уравнение гармонической линеаризации нелинейного элемента:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *y*(*t*) *F* (*x*, *sx*) *F* (*a* sin** , *a* cos** ) *q*(*a*) *x*(*t*) | *g*(*a*) |  *s*  *x*(*t*),. | 3.6 |  |
| ** |  |  |
|  |  |  |  |

где **  **  *t* ; *q*(*a*), *q*(*a*) - коэффициенты гармонической линеаризации нелинейного элемента равны, соответственно:

9



Уравнение (3.6) является уравнением гармонической линеаризации с точностью до высших гармоник для случая, когда НЭ имеет неоднозначную характеристику. Для случая, когда НЭ имеет однозначную характеристику

|  |  |
| --- | --- |
| *y*(*t*) *q*(*a*) *x*(*t*). | 3.7 |

Выражения для определения значений коэффициентов гармонической линеаризации *q*(*a*), *q*(*a*) приведены в [16]

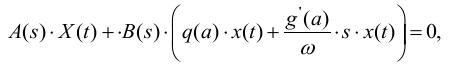
**Дифференциальное и характеристическое уравнения гармонически линеаризованной нелинейной САУ**

Использование метода гармонической линеаризации позволяет получить дифференциальные уравнения нелинейной САУ в явном виде. Для этого подставим уравнение (3.6) либо (3.7) в уравнение (3.4). В результате этого получаем дифференциальные уравнения гармонически линеаризованной нелинейной САУ с неоднозначной и однозначной характеристиками, соответственно:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | 3.8 |  |
|  | *g* ( *a*) |  *A*( *s* ) *g* (*t* ),. |  |
| *A*( *s* ) *X* (*t* ) *B* ( *s* ) | *q* ( *a* ) *x* (*t* ) |  |  *s*  *x* (*t* ) |  |  |
| ** |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| *A*( *s*) *X* (*t* ) *B*( *s*)( *q*( *a*) *x*(*t* )) *A*( *s*) *g* (*t* ) | | | | | 3.9 |  |

И для автономной САУ:

3.10



3.11

Для уравнений (3.8) – (3.11) характеристическими уравнениями для гармонически линеаризованной нелинейной САУ с неоднозначной и однозначной характеристиками являются, соответственно

3.12



3.13

**Получение для нелинейной САУ типовой структурной схемы**

Чтобы структурную схему нелинейной САУ привести к типовой (см. рис. 3.1) , воспользуемся следующими соображениями:

* Так как система должна быть автономной, необходимо в исходной схеме отбросить и задающее воздействие, и возмущающий фактор с прилегающими к ним цепями.
* В связи с тем,что нелинейный элемент должен стоять в типовой схеме сразу же после главного сумматора, необходимо добавить в

10

исходные схемы на входе нелинейного элемента еще один сумматор.

* Если нелинейный элемент имеет инерционность (как, например, тиристорный преобразователь), то коэффициент усиления реализуется в его статической характеристике, а инерционность остается отдельным звеном.
* Типовую схему нужно начинать рисовать с введенного сумматора.
* Дорисовываем за нелинейным элементом все остальные блоки исходной схемы, перемещаясь по ней по ходу движения задающего сигнала до введенного сумматора.
* Если в исходной схеме имеются местные обратные связи или дополнительные каналы регулирования, их тоже необходимо дорисовать.

***Пример.*** Привести структурную схему САУ частотывращения ДПТс нелинейной характеристикой ГПТ к типовой. Получить дифференциальное

и характеристическое уравнения гармонически линеаризованной системы. Нелинейная характеристика ГПТ приведена на рис. 3.2.

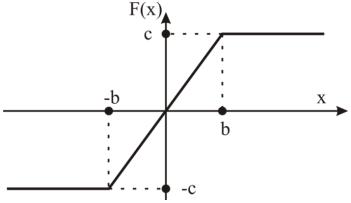
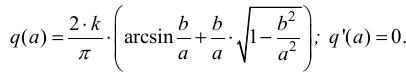


Рис. 3.2. Нелинейная характеристика ГПТ типа «насыщение» Для такой нелинейности коэффициенты линеаризации имеют вид



3.14

***Решение.***

Воспользуемся структурной схемой САУ частоты  вращения ДПТ, представленной на рис. 3.3; отбросим все воздействия; ГПТ представим как нелинейный элемент и инерционное звено с передаточной функцией

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *WГПТ* | ( *s* )  |  | 1 |  | . На входе НЭ добавим дополнительный сумматор (рис. |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  | *TГ* | |  *s* 1 | |  |  |
| 3.4). |  |  |  |  |  |  |

11

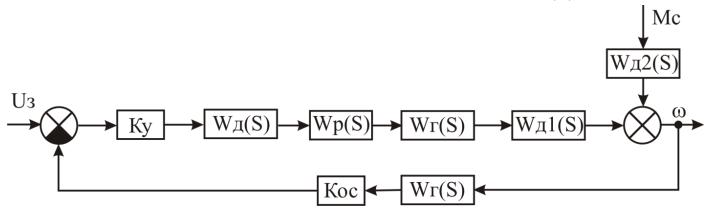


Рис. 3.3. Структурная схема САУ частоты  вращения ДПТ

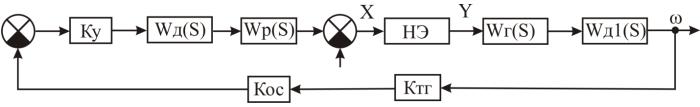


Рис. 3.4. Структурная схема нелинейной САУ частоты  вращения ДПТ Начинаем рисовать структурную схему с введенного сумматора и,

перемещаясь по структурной схеме по ходу движения сигнала, вырисовываем все элементы системы (см. рис. 3.5).

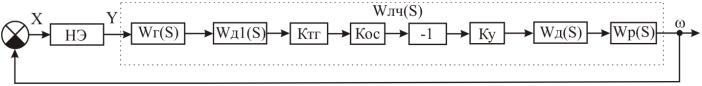
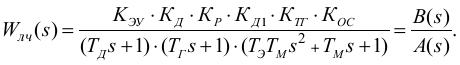
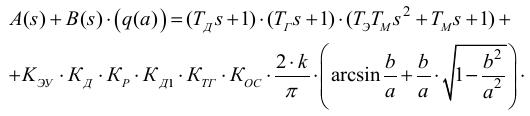
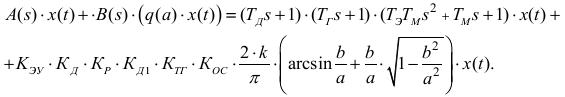


Рис. 3.5. Приведение структурной схемы нелинейной САУ к типовой Получим передаточную функцию линейной части нелинейной системы



Используя уравнения (3.11) и (3.14), запишем дифференциальное и характеристическое уравнения гармонически линеаризованной системы, соответственно

3.15



3.16

12

*G Н* ( *a*)

**Использование метода Гольдфарба для оценки устойчивости нелинейной САУ**

Анализ устойчивости гармонически линеаризованной нелинейной САУ проводится в 2 этапа [3]. На первом этапе принимают гипотезу, что в системе существуют автоколебания и определяют амплитуду *an* и частоту этих

колебаний *n* , а затем, на втором этапе оценивается устойчивость найденного

периодического решения и устойчивость нелинейной САУ. Для этих целей можно использовать либо критерий Михайлова, либо метод Гольдфарба.

Рассмотрим метод Гольдфарба. Основное уравнение метода гармонического баланса (линеаризации) [7] имеет вид



3.17

где *WЛ* ( *j*) – передаточная функция линейной части нелинейной САУ; а

*Wн* ( *a*)–комплексный коэффициент передачи гармоническилинеаризованного нелинейного элемента.

На основании уравнений (3.6), (3.7) можем записать



3.18



3.19

Решая уравнение (3.17) относительно  и *a* ***,*** можно определить параметры автоколебаний. Гольдфарб Л.С. предложил решать его графическим способом, представив это уравнение как



3.20

где *GН* ( *a*)  1*WН* ( *a*) – обратная характеристика НЭ.



На комплексной плоскости строится годограф линейной части *WЛ* ( *j*)

(рис. 3.3) и отрицательная характеристика НЭ *G* *Н* ( *a*) . Точки пересечения

этих характеристик и дают решения уравнения (3.20). По характеристике

определяется амплитуда колебаний *an* , а по годографу *WЛ* ( *j*) –

частоту *n* .

На рис. 3.6 показан случай наличия в системе 2-х периодических решений: точки пересечения графиков 2 ( *an*1 , *н*1 ) и 5 ( *an* 2 , *н* 2 ) . Для

положительных приращений амплитуды *a* *n* *a* , годограф *WЛ* ( *j*) охватывает т.4 и не охватывает т.1, а для отрицательных *a* *n* *a* – охватывает т.3 и не охватывает т.6.

13

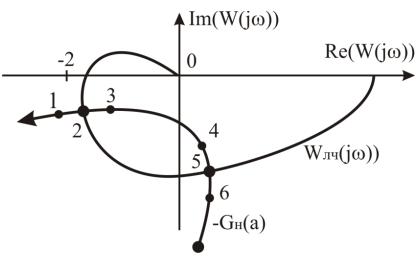


Рис. 3.6. Графическое представление метода Гольдфарба

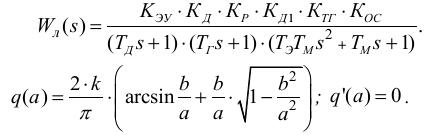
Если годограф *WЛ* ( *j*) не охватывает точку с положительным приращений амплитуды *a* *n* *a* (см. т.1), и охватывает точку с *a* *n* *a* , то

найденное решение будет устойчивым (т.2) и система устойчива в большом. В противном случае (т.5) найденное решение является неустойчивым, а система устойчива в малом.

**Пример**.Используя метода Гольдфарба,оценить устойчивость САУ частоты вращения ДПТ с нелинейной характеристикой ГПТ. Нелинейная характеристика ГПТ приведена на рис. 3.2.

**Решение.**

Воспользуемся передаточной функцией линейной части и коэффициентами гармонической линеаризации из примера 2.13

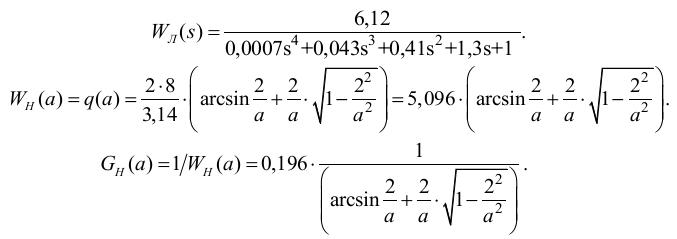


Зададим параметры системы: *TЭ*  0.02*c*.; *TМ*  0.5*c*.; *TД*  0.1*c*.; *TГ*  0.7*с*.;

*K ЭУ* 10*c*.; *K д* 0.6; *K р* 0.2; *K г*18; *K д*18.5; *KТГ* 0.15; *KОС* 0.5; *k*  *K Г* 1; *b* 2.

Тогда

14



Переходим в частотный диапазон и, используя ППП Mathcad, строим годограф АФЧХ *WЛ* ( *j*) и *G* *Н* ( *a*) . Результаты приведены на рис. 3.5.

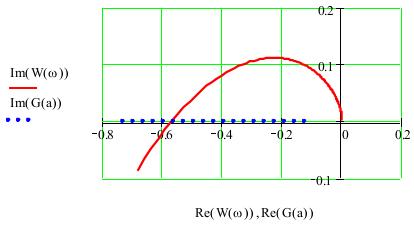


Рис. 3.7. Годограф АФЧХ *WЛ* ( *j*) и *G* *Н* ( *a*)

Вывод. Графики пересекаются, следовательно, есть общее решение уравнения (3.20), и согласно формулировки метода Гольдфарба найденное решение устойчивое и САУ частоты  вращения ДПТ устойчивая в большом.

**Использование критерия устойчивости В.М. Попова для анализа устойчивости нелинейной САУ**

В.М.Поповым в 1959г. предложен весьма удобный частотный критерий исследования абсолютной устойчивости положения равновесия нелинейной САУ. Абсолютной устойчивостью называется асимптотическая устойчивость системы в целом. Использование критерия В.М. Попова требует учитывать следующие ограничения и допущения:

* Структурная схема должна быть типовой.
* Характеристика нелинейного элемента должна быть однозначной.
* Линейная часть нелинейной САУ должна быть устойчивой.
* Характеристика НЭ должна принадлежать сектору [0, *k*] (см. рис. 3.8), т.е. должно выполняться условие: 0  *f* ( *x*)  *k* .

15

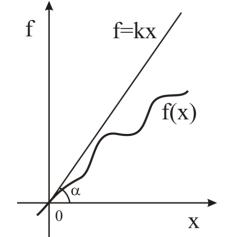


Рис. 3.8. Характеристика нелинейного элемента

*Формулировка*.Для того,чтобы положение равновесия нелинейнойСАУ было абсолютно устойчивым, необходимо выполнение неравенства



3.21

при всех **  0 , где ** произвольное вещественное число.

Другими словами, если можно подобрать конечное вещественное число

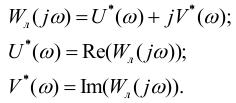
** таким чтобы выполнялось неравенство (3.21) ,то положение равновесия замкнутой САУ будет абсолютно устойчивым.

Как следует из формулировки критерия, он дает лишь необходимое, но не достаточное условие устойчивости, т.е. при несоблюдении критерия система может оказаться и устойчивой.

Неравенство (3.21) называют неравенством Попова, и на практике применяется его графическое решение. Для удобства вводится в

рассмотрение видоизмененная частотная характеристика линейной части

*WЛ* ( *j*).



3.22

Выделим в неравенстве (3.21) из квадратной скобки действительную составляющую:



С учетом уравнений (3.22) запишем неравенство (3.21) как



3.23

16

*WЛ*\*( *j*)

Решение уравнения (3.22) сводиться к следующему (см. рис. 3.14):

* задавая частоту ω от 0 до , строим в комплексной плоскости видоизмененную частотную характеристику линейной части *WЛ* ( *j*) ;
* в данной плоскости проводим прямую под любым наклоном ** и через точку с координатами ( 1/ *k*1 , *j*0) (см. рис. 3.9 а).

***Формулировка критерия Попова.***

Для того, чтобы положение равновесия нелинейной САУ было абсолютно устойчивым, необходимо чтобы весь годограф видоизмененной

частотной характеристики линейной части располагался справа от

прямой, проведенной под любым углом наклона ** , проходящую через точку с координатами ( 1/ *k*1 , *j*0) . Где *k*1 - тангенс угла наклона прямой,

ограничивающей сектор (0, *k*1 ) .

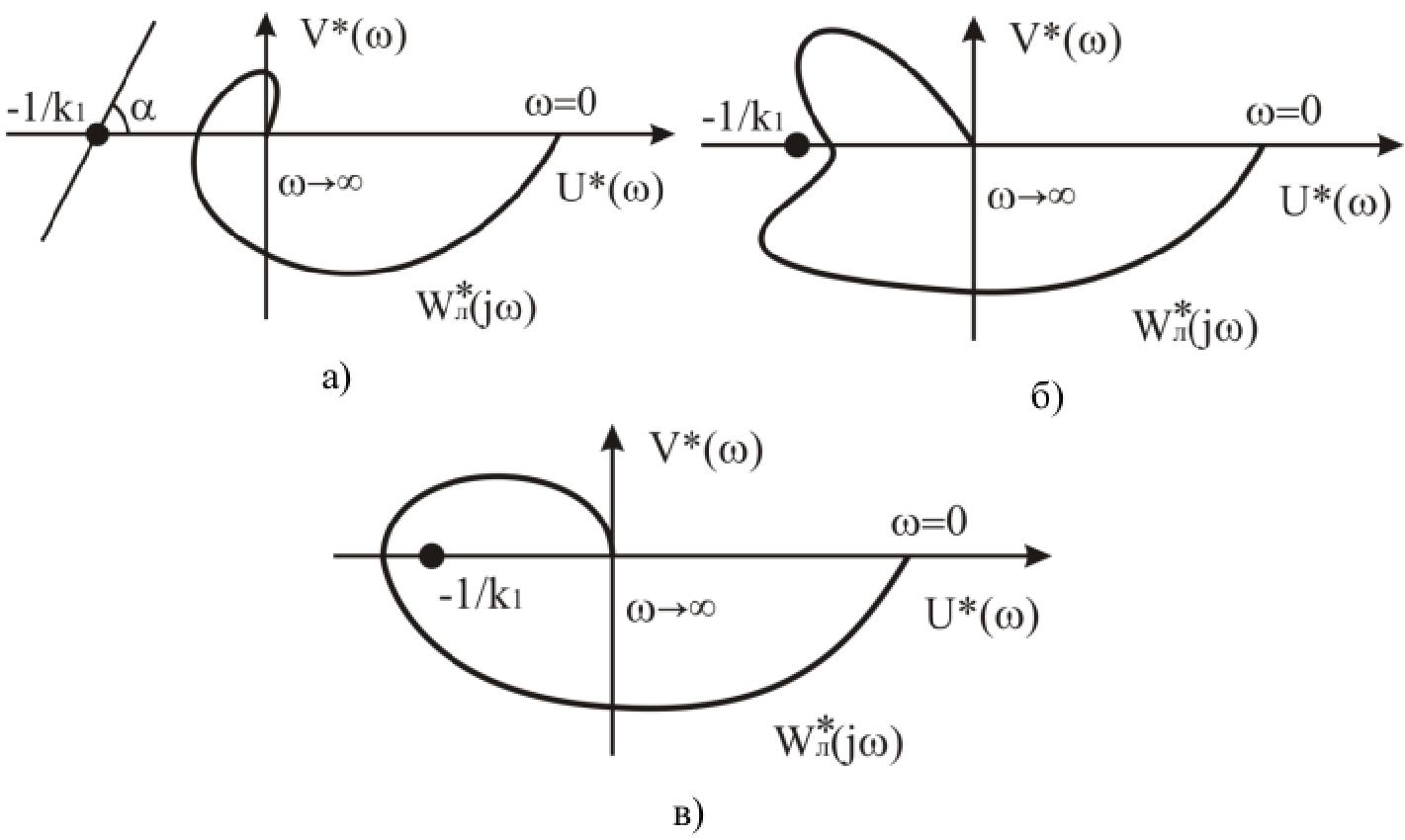


Рис. 3.9. Решение неравенства Попова

Согласно рисунку, для а) – положение равновесия САУ является абсолютно устойчивым; для б) и в ) – не возможно провести прямую, чтобы весь годограф видоизмененной частотной характеристики линейной части *WЛ* ( *j*)располагался справа от нее,следовательно,условие критерия Попова

не выполняется, но система может быть и устойчивой.

***Пример.*** Используя критерий Попова,оценить устойчивость САУ частотывращения ДПТ с нелинейной характеристикой ГПТ.Зададим параметры нелинейной характеристика ГПТ: *K* *Г* 1  8; *b*  4; *m*  0.1.

17

*WЛ*\*( *j*)

***Решение.***

Построим нелинейную характеристику ГПТ с учетом ее параметров

(см. рис. 3.10).

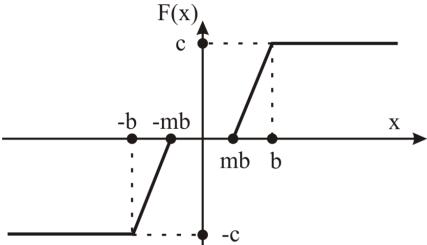


Рис. 3.10 - Нелинейная характеристика ГПТ Воспользуемся передаточной функцией линейной части и параметрами

системы из предыдущего примера



Переходим в частотный диапазон и, используя ППП Mathcad, строим годограф АФЧХ видоизмененной частотной характеристики линейной части *WЛ*\*( *j*)и проставляем точку с координатами[0.139; *j*0].

***Результат:***

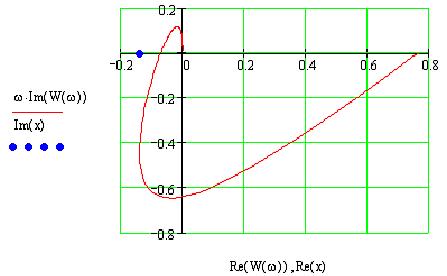


Рис. 3.11 Использование Критерия Попова для оценки устойчивости системы

Вывод. Критерий Попова выполняется, так как через точку можно провести прямую под любым углом наклона, чтобы весь годограф АФЧХ

видоизмененной частотной характеристики линейной части располагался справа от нее.

18

**Использование критерия устойчивости В.М. Попова для случая нейтральной либо неустойчивой линейной части**

В случае, если линейная часть нейтральная или неустойчивая, то критерий Попова неприменим. Для обобщения критерия Попова для данного случая проводится преобразование структурной схемы таким образом, чтобы линейная часть стала устойчивой. Для этого, в структурной схеме параллельно нелинейному элементу вводится пропорциональное звено с коэффициентом передачи - ***r***, а линейная часть охватывается отрицательной ОС с коэффициентом передачи ***r*** (см. рис. 3.12).

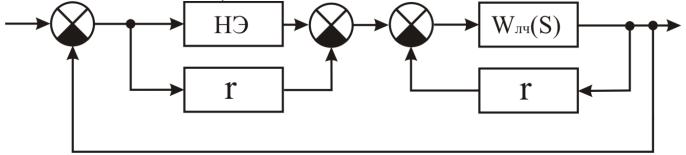


Рис. 3.12. Преобразование структурной схемы Запишем передаточную функцию преобразованной линейной части

нелинейной САУ



Значение r выбирается таким образом, чтобы преобразованная линейная часть нелинейной САУ стала устойчивой.

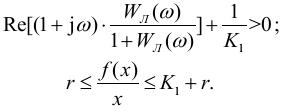
Согласно формулировки критерия Попова: положение равновесия системы абсолютно устойчиво, если будет выполняется следующее неравенство



и характеристика НЭ *f*1 ( *x*) должна лежать в секторе [0, *k*1] , то есть



Оба выражения можно свести к исходным:



Характеристика НЭ должна лежать в секторе [ *r* , *k*1  *r*] . Если линейной части

нелинейной САУ является нейтральной, то r выбирается предельно малой величиной.

19

* + - 1. **ЛИНЕЙНАЯ ИМПУЛЬСНАЯ САУ**
* зависимости от способов передачи и преобразования сигналов системы автоматического управления можно разделить на:
  + - непрерывные САУ;
    - дискретные САУ.
  + непрерывных системах сигналы в процессе преобразования не прерываются. В дискретных системах имеются элементы или звенья, превращающие непрерывные сигналы в последовательность импульсов или в ряд квантованных сигналов, или в цифровой код. Во многих современных САУ используются дискретные устройства и цифровые процессоры.

Дискретный способ передачи и преобразования сигналов предусматривает их квантования по уровню либо времени, либо по уровню и времени. Различают 3 вида квантования и, соответственно, 3 класса дискретных САУ:

1. Квантование по уровню. В этом случае происходит фиксация дискретных уровней сигнала в определенные моменты времени. Для квантования по уровню используется многопозиционный релейный элемент (МРЭ), представленный на рис. 3.13, а его статическая характеристика – на рис. 3.14:



Рис. 3.13. Многопозиционный релейный элемент

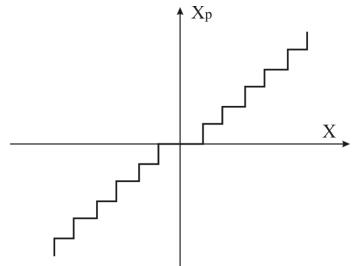


Рис. 3.14. Характеристика многопозиционного релейного элемента

Результаты квантования по уровню изображены на рис. 3.15, где *X* *p* – квантованный сигнал.

20

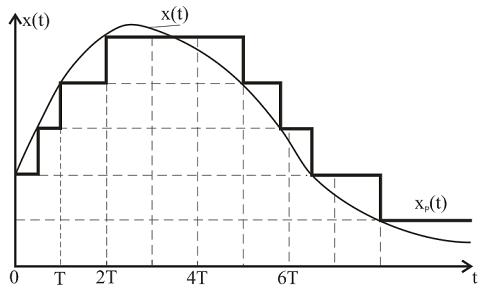


Рис. 3.15. Квантование по уровню

Так как в качестве квантователя непрерывного сигнала *Х(t)* используется релейный элемент, то дискретные САУ называются релейными. Такой класс дискретных систем относят к классу нелинейных САУ, а для анализа и синтеза релейных систем используют теорию нелинейных систем.

1. Квантование по времени. В этом случае происходит фиксация непрерывного сигнала в дискретные моменты времени: *0, T, 2T, 3T* и т.д. Квантование непрерывного сигнала можно получить, пропуская непрерывный сигнал через ключ (см. рис. 3.16), который периодически с тактом квантования *Т* замыкается на время *h*. В дискретных САУ этот элемент называют импульсным элементом. Результат квантования изображен на рис. 3.17.

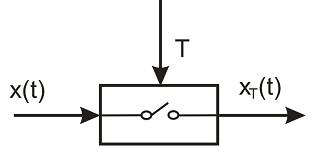


Рис. 3.16. Импульсный элемент

21