

7.	Функциональная схема системы управления. Основные законы управления	17-19
8.	Принципы управления: принцип разомкнутого управления, компенсации (управление по возмущению), обратной связи (управление по отклонению).	19-24
9.	Основные виды алгоритмов функционирования САУ: стабилизация, программное управление, системы с поиском экстремума показателя качества.	36-46
10.	Преобразование Лапласа, основные теоремы. Передаточная функция.	53-62
11.	Виды соединения звеньев (передаточные функции видов соединений).	24-31
12.	Формы записи линейных дифференциальных уравнений. Стандартная форма линейных дифференциальных уравнений, определение передаточной функции	58-63
13.	Логарифмические частотные характеристики элементарных звеньев (инерционное, дифференцирующее, интегро-дифференцирующее, колебательное).	63-96
14.	Оценка качества, показатели качества САУ	96-99

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгин В.П. Автоматическое управление техническими и технологическими системами и объектами. Методы анализа систем и объектов / В.П. Долгин. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003. – 404 с.
2. Теория автоматического управления. Ч.1. Теория линейных систем автоматического управления: Учеб. пособие для вузов /Под ред. А.А. Воронова. – М.: Высш. шк., 1977. – 303 с.

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет

АНАЛИЗ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ

Методические указания к практическим занятиям №5-8
по дисциплине "Автоматическое управление системами
автомобиля" для студентов специальности
07.070106 «Автомобильный транспорт»
дневной и заочной форм обучения

Севастополь
2011



УДК 629.113

Анализ подвески автомобиля. Методические указания к практическим занятиям №5-8 по дисциплине "Автоматическое управление системами автомобиля" для студентов специальности 07.070106 «Автомобильный транспорт» дневной и заочной форм обучения /Сост. В.П. Долгин.– Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2011.- 40с.

Методические указания составлены в соответствии с требованиями программы дисциплины «Автоматическое управление системами автомобиля» для студентов специальности 07.070106. Целью настоящих методических указаний является оказание методической помощи при выполнении практических занятий по теме «Исследование подвески автомобиля» для студентов дневной и заочной форм обучения.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры АТ (протокол № 9 от 21.03. 2011 г.).

Допущено учебно-методическим центром университета
в качестве методических указаний

Рецензент: Братан С.М., д-р техн. наук, проф.

2. С увеличением жесткости рессоры резонансная частота подвески ω_r увеличивается.
3. С увеличением сопротивления амортизатора L резонансная частота подвески ω_r уменьшается.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Представить форматы Maple-операторов прямого и обратного преобразований Лапласа
2. Получить передаточную функцию звена 2-го порядка
3. Найти алгебраическую форму частотной передаточной функции
4. Перейти к показательной форме передаточной функции
5. Перечислить частотные характеристики

8. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Титульный лист
2. Теоретическая часть (краткие теоретические сведения)
3. Краткое описание MAPLE-блоков
4. Листинг работы программы
5. Выводы
6. Библиографический список

9. ВОПРОСЫ по ДИСЦИПЛИНЕ

«Автоматическое управление системами автомобиля»

№ п/п	СОДЕРЖАНИЕ ВОПРОСА	Страницы [1]
1.	Структура системы автоматического управления	3-5
2.	Классы операций, реализуемых системой управления	3-5
3.	Определение объекта управления, описание воздействий	7-11
4.	Уравнения динамики и статики	11-14
5.	Принцип линеаризации. Графическая интерпретация линеаризации. Уравнение звена в отклонениях	14-17
6.	Классификация систем управления. Иерархическая структура системы управления	47-51



$$Wr := .003636363636 \sqrt{275.0000000 c - 82717.45570}$$

$$Wr0 := 3.838920087$$

> Зависимость $Wr(L)$ в интервале $L:=L0(0.8..1.2)$

$L0:=L;$ # Номинальное значение

$L:='L'; Kz:=.5; xi:=.2; c:=c0;$

$Wr:=evalf(sqrt((2*c*m-L^2)/2)/m);$

$Wr0:=subs(L=L0,Wr);$

$GL:=plot([i,subs(L=L0*i,Wr),i=0.8..1.2],$
 $style=point,thickness=3,legend='L=var');$

$L0 := 406.7369068$

$c := 4353.550295$

$$Wr := .003636363636 \sqrt{.1197226331 \cdot 10^7 - .5000000000 L^2}$$

$Wr0 := 3.838920087$

> $G0:=plot(Wr0,i=0.8..1.2,linestyle=4,legend="Wr0");$
 $plots[display](GL,GC,G0,GW);$

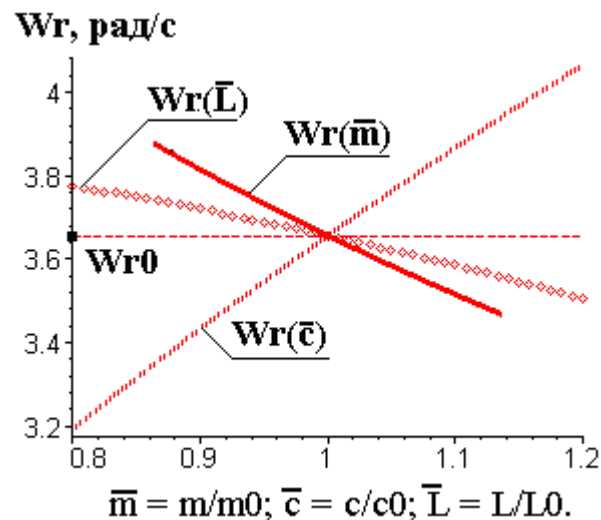


Рисунок 8.5 – Графики изменений резонансной частоты Wr при относительных изменениях параметров подвески

Выводы:

1. С увеличением приведенной массы m при увеличении коэффициента загрузки Kz автомобиля резонансная частота подвески Wr уменьшается.

СОДЕРЖАНИЕ

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....	4
1. ПЕРЕХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЕНЬЕВ.....	5
3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5.....	8
Тема занятия: Переходные характеристики звеньев.....	8
Цель занятия: Анализ переходной характеристики звена 2-го порядка.....	8
4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6.....	14
Тема занятия: Исследование подвески автомобиля.....	14
Цель занятия: Анализ переходной характеристики.....	14
5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7.....	20
Тема занятия: Частотный анализ звеньев.....	20
Цель занятия: Частотные характеристики звена 2-го порядка.....	20
6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8.....	28
Тема занятия: Исследование подвески автомобиля.....	28
Цель занятия: Анализ частотных характеристик.....	28
7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	39
8. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.....	39
9. ВОПРОСЫ по ДИСЦИПЛИНЕ.....	39
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	40



КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Методика получения переходной и частотных характеристик. Для построения частотных характеристик необходимо получить комплексную передаточную функцию звена. Разделив ее на вещественную $\text{Re}(\omega)$ и мнимую $\text{Im}(\omega)$ составляющие, можно построить следующие частотные характеристики:

- $\text{Re}(\omega)$ – вещественную (ВЧХ);
- $\text{Im}(\omega)$ – мнимую (МЧХ);
- $\text{Im}(\text{Re}(\omega))$ – амплитудную фазочастотную (АФЧХ) – годограф;
- $A(\omega)$ – амплитудную (АЧХ);
- $\varphi(\omega)$ – фазовую (ФЧХ).

Формы комплексной передаточной функции

$W(j\omega) = \text{Re}(\omega) + j \text{Im}(\omega)$ – алгебраическая,

$W(j\omega) = A(\omega) \exp(j\varphi(\omega))$ – показательная,

где $A(\omega) = \sqrt{\text{Re}^2(\omega) + \text{Im}^2(\omega)}$ – амплитуда; $\varphi(\omega) = \arctg\left(\frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)}\right)$ – фаза.

Связь между формами передаточных функций показана на рисунке 1.

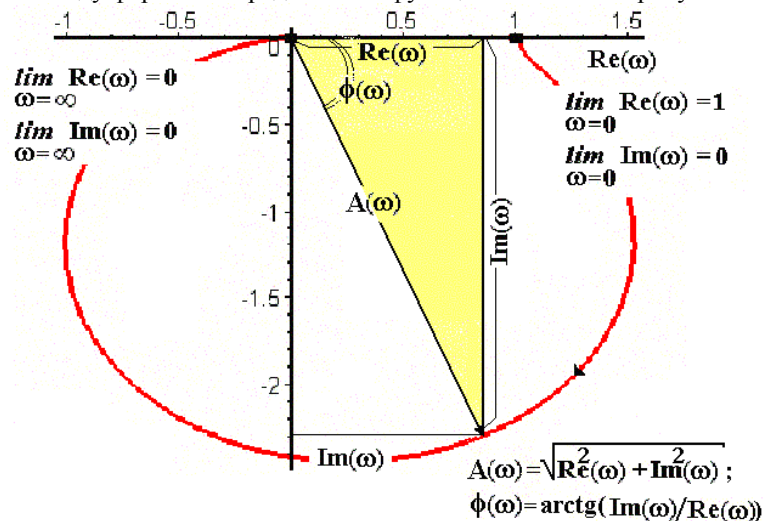


Рисунок 1 – Связь между формами передаточных функций

$$Wr := 2.140720561$$

Начальные значения параметров подвески

$Kz := 0$; $L := 406.7369068$; $c := 4353.550295$; $Wr := 4.106614060$;
 1. $Kz := 1$; $Wr := 3.580063139$;
 2. $c := 2176.775148$; $Wr := 2.903814650$;
 3. $L := 610.1053602$; $Wr := 3.877009831$;

Выводы:

1. С увеличением коэффициента загрузки Kz резонансная частота подвески Wr уменьшается.
2. С увеличением жесткости рессоры c резонансная частота подвески Wr увеличивается.
3. С увеличением сопротивления амортизатора L резонансная частота подвески Wr уменьшается.

ПОСТРОЕНИЕ НЕПРЕРЫВНЫХ ФУНКЦИЙ

> Зависимость $Wr(m)$ в интервале $Kz=0..1$

```
Kz:='Kz':
m := evalf((Ma+Mg*Kz)/4):
Wr:=evalf(sqrt((2*c*m-L^2)/2)/m);
m0:=subs(Kz=0.5,m); # Номинальное значение
Wr0:=subs(Kz=0.5,Wr);
GW:=plot([subs(Kz=i,m)/m0,subs(Kz=i,Wr),i=0..1],
  linestyle=1,thickness=3,legend='Kz=var'):
```

$$Wr := \frac{\sqrt{951250.7393 + 326516.2721 Kz}}{237.5000000 + 75. Kz}$$

$$m0 := 275.0000000$$

$$Wr0 := 3.838920087$$

> Зависимость $Wr(c)$ в интервале $c:=c0(0.8..1.2)$

```
Kz:=.5: L:=L; c:='c':
c0 := evalf(Mg*9.81/Dh)/4; # Номинальное значение
Wr:=evalf(sqrt((2*c*m-L^2)/2)/m);
Wr0:=subs(c=c0,Wr);
GC:=plot([i,subs(c=c0*i,Wr),i=0.8..1.2],
  linestyle=2,thickness=3,legend='c=var'):
```

$$L := 406.7369068$$

$$c0 := 4353.550295$$



```
> # Блок 9
# ГРАФИКИ ЛВЧХ [R(w)] и ЛМЧХ [M(w)]
plots[display]({G1,G2},title='ЛВЧХ и ЛМЧХ');
c:=c;
Wr:=Wr;
```

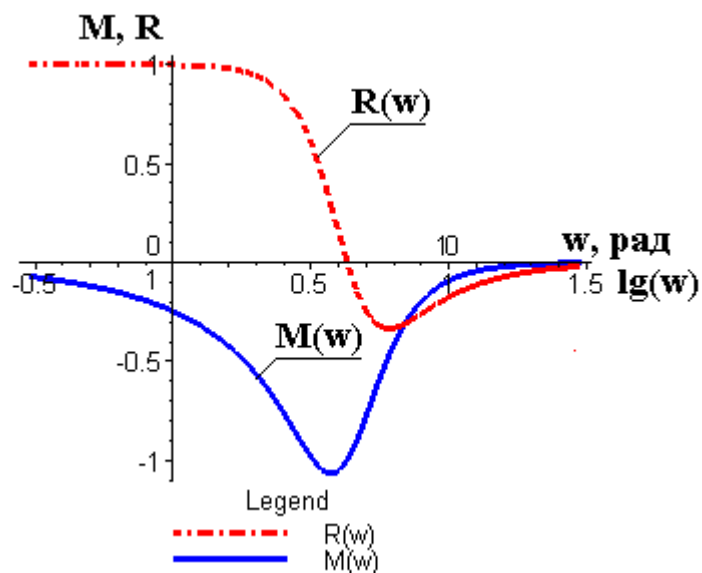


Рисунок 8.4 – Логарифмические характеристики:

– вещественная частотная $R(w)$,

– мнимая частотная $M(w)$

$$c := 4353.550295$$

$$Wr := 3.027436051$$

```
> c := 2176.775148;
```

```
Wr := 2.140720561;
```

$$c := 2176.775148$$

1. ПЕРЕХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЕНЬЕВ

При вычислении операторным методом переходной характеристики звена необходимо выполнить следующие действия.

1) Получить изображение $X(p)$ по Лапласу входного сигнала $X(t)$ в соответствии с определением

$$X(p) = L\{X(t)\},$$

где $L\{\circ\}$ – оператор прямого преобразования Лапласа, что в терминах математического пакета MAPLE

with(inttrans)

имеет вид

Lx:=laplace(X,t,p);

где **Lx** = $X(p)$ – изображение входного сигнала,

x = $X(t)$ – оригинал входного сигнала.

2) Найти изображение выходного сигнала

$$Y(p) = X(p) * W(p).$$

3) Перейти от изображения по Лапласу выходного сигнала $Y(p)$ к оригиналу $Y(t)$ в соответствии с определением

$$Y(t) = L^{-1}\{Y(p)\},$$

где $L^{-1}\{\circ\}$ – оператор обратного преобразования Лапласа, что в терминах математического пакета MAPLE **with(inttrans)** имеет вид

Px:=invlaplace(Lx*W,p,t); (**Px** = $Y(t)$, **W** = $W(p)$),

где $Y(p) = X(p) * W(p)$ – изображение выходного сигнала,

Px = $Y(t)$, – оригинал выходного сигнала.

Для сравнения результата вычисления операторным методом в таблице 1 приведены аналитические решения, представляющие собой переходные функции динамических элементарных звеньев второго порядка колебательного и апериодического типов с операторными передаточными функциями стандартной и произвольной форм.



Таблица 1 – Аналитические решения

Переходные характеристики		
Тип звена	Передаточная функция	Аналитическое решение [1, с.92], [2, с. 296]
Колебательное $\xi < 1$	$W_6(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}$ $W_6(p) = \frac{b_0}{a_2 p^2 + a_1 p + a_0}$	$Y(t) = k \cdot X \cdot (1 - q \cdot \exp(-at) \times \sin(\omega t + \varphi)); \text{ где}$ $k = \frac{b_0}{a_0}; \quad a = \frac{\xi}{T}; \quad q = \sqrt{1 + \left(\frac{a}{\omega}\right)^2};$ $\xi = \frac{a_1}{2\sqrt{a_0 a_2}}; \quad T = \sqrt{\frac{a_2}{a_0}};$ $\omega = \frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{T}; \quad \varphi = \arctg(\omega/a);$ $T_\omega = \frac{2a_2 \pi}{\sqrt{4a_0 a_2 - a_1^2}}.$
Апериодическое $\xi \geq 1$	$W_6(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}$ $W_6(p) = \frac{b_0}{a_2 p^2 + a_1 p + a_0}$	$Y(t) = X \cdot k \cdot \left(1 + \frac{\beta \exp(-\alpha \cdot t) - \alpha \exp(-\beta \cdot t)}{\alpha - \beta}\right);$ $\alpha = \frac{1}{\tau_1}; \quad \beta = \frac{1}{\tau_2}; \quad T = \sqrt{\frac{a_2}{a_0}}$ $\tau_1 = \frac{T}{\xi - \sqrt{\xi^2 - 1}};$ $\tau_2 = \frac{T}{\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}};$

```
or=black,style=line,thickness=3,legend="F(w)"): #ФЧХ
```

```
> # Блок 8. ГРАФИКИ ЛАЧХ [A(w)] и ЛФЧХ [F(w)]
```

```
g:=1.01:
```

```
Am:=evalf(1/(xi*sqrt(1-xi^2)*2)); # [1, с.117]
```

```
G5:=plot([log10(w),Am,w=Wr/g..Wr*g],style=point,  
symbol=circle,symbolsize=15,legend="Am"):
```

```
G6:=plot([log10(Wr),J,J=0..Am],  
linestyle=2,legend="Wm"):
```

```
G7:=plot([log10(w),-Pi,w=Wmin..Wmax],  
linestyle=4,"Pi"):
```

```
plots[display]({G3,G4,G5,G6,G7},title="ЛАЧХ, ЛФЧХ");
```

$Am := 1.154700538$

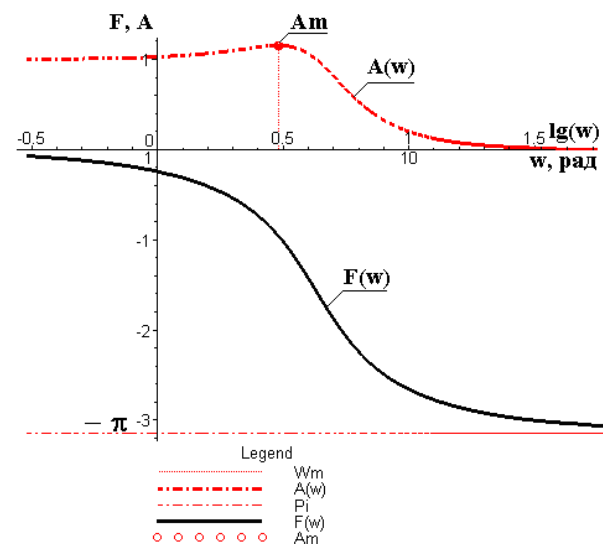


Рисунок 8.3 – Логарифмические характеристики:

– амплитудно-частотная $A(w)$,

– фазочастотная $F(w)$



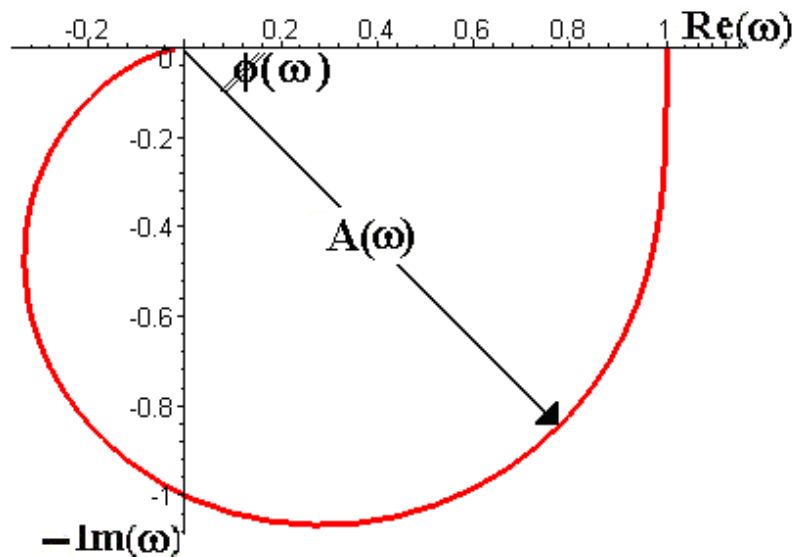


Рисунок 8.2 – Годограф

```
> # Блок 7
# ОПИСАНИЕ ЛОГАРИФМИЧЕСКИХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
G1:=plot([log10(w),R(w), w=Wmin..Wmax],
color=red,linestyle=4,thickness=3,legend="R(w)"):
#ВЧХ
G2:=plot([log10(w),M(w), w=Wmin..Wmax],
color=blue,style=line,thickness=3,legend="M(w)"):
#МЧХ
G3:=plot([log10(w),A(w), w=Wmin..Wmax],
color=red,linestyle=4,thickness=3,legend="A(w)"):
#АЧХ
G4:=plot([log10(w),F(w), w=Wmin..Wmax],
col-
```

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для каждого типа динамического звена необходимо выполнить следующие действия:

1. Описать конфигурацию вычислительной системы

restart: Очистка оперативной памяти

with(inttrans): Подключение библиотеки преобразований Лапласа

with(stats): Подключение библиотеки статистических вычислений

Ввести свои реквизиты (ФИО, № зачетной книжки и порядковый номер по журналу N)

2. Ввести параметры передаточной функции звена в одной из форм

$$W_6(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1} \quad (\text{стандартная форма}), \text{ либо}$$

$$W_6(p) = \frac{b_0}{a_2 p^2 + a_1 p + a_0} \quad (\text{произвольная форма})$$

и вычислить установившееся значение Y_u

$$Y_u := X * \text{limit}(W, p=0);$$

3. Ввести необходимые параметры передаточной функции, для заданного варианта подвески
4. Ввести из таблицы аналитическое решение
5. Задать параметры процесса
t0 - Время переходного процесса
X - Уровень входного сигнала
6. Вычислить переходную характеристику, используя прямое (для входного сигнала X) и обратное (для выходного сигнала Y) преобразование Лапласа

$$Lx := \text{laplace}(X, t, p); \quad \# \text{Изображение сигнала по Лапласу}$$

$$Px := \text{invlaplace}(Lx * W, p, t); \quad \# \text{Обратное преобразование Лапласа}$$

7. Построить переходные характеристики для аналитического решения Y , полученного операторного Px и установившегося значения Y_u .

8. Построить график погрешности

$$Eps := Px - Y_u;$$



9. Сделать выводы.

Задачи занятия – в результате выполнения практического занятия

студент должен знать

- методы решения задачи,

должен уметь

- реализовать алгоритм решения задачи,
- оформить результаты вычислений,
- оценить точность полученного решения.

3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

Тема занятия: Переходные характеристики звеньев

Цель занятия: Анализ переходной характеристики звена 2-го порядка

Ст. гр. АВ-52з Фамилия И.О.

Обозначения:

y - выходной сигнал

x - входной сигнал

Y_u - установившееся значение Y

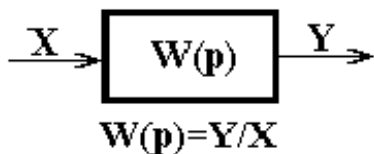


Рисунок 5.1 – Блок – схема звена

Содержание отчета

1. Титульный лист
2. Краткие теоретические сведения

R(w) := evalc (Re (W)) ;

M(w) := evalc (Im (W)) ;

A(w) := abs (W) ;

F(w) := argument (W) ;

$$R(w) := 4353.550295 \frac{4353.550295 - 237.5000000 w^2}{(4353.550295 - 237.5000000 w^2)^2 + .1033968196 10^7 w^2}$$

$$M(w) := -.4426873951 10^7 \frac{w}{(4353.550295 - 237.5000000 w^2)^2 + .1033968196 10^7 w^2}$$

$$A(w) := 4353.550295 \frac{1}{|-4353.550295 - 1016.842267 I w + 237.5000000 w^2|}$$

$$F(w) := \text{argument} \left(\frac{1}{4353.550295 + 1016.842267 I w - 237.5000000 w^2} \right)$$

> # Блок 5

ДИАПАЗОН ЧАСТОТ

T:=sqrt(a2/a0) :

Wr:=evalf(sqrt(1-2*xi^2)/T) ; # [1,стр.117]

Wmax:=Wr*10; Wmin:=Wr*.1;

$$Wr := 3.027436051$$

$$Wmax := 30.27436051$$

$$Wmin := .3027436051$$

> # Блок 6

ГОДОГРАФ

G:=plot([R(w),M(w),

w=0..Wmax],color=red,style=line,thickness=3) :

plots[display]({G},title=`ГОДОГРАФ

`);



```
a0:= c:a1:=L:a2:=m:b0:=c:
Yu:=x*limit(W,p=0);
```

$$W := \frac{b0}{a0 + a1 p + a2 p^2}$$

$$Yu := x$$

```
> # Блок 3
# ПАРАМЕТРЫ ПОДВЕСКИ
Ma:=950: # Масса автомобиля
Mg:=300: # Грузоподъемность
Kz:=0; # Коэффициент загрузки
Dh:=0.169: # Осадка под нагрузкой
xi:=0.5: # Коэффициент демпфирования (комфортности,
xi=0,3..0,8)
m := evalf((Ma+Mg*Kz)/4);
c := evalf(Mg*9.81/Dh)/4;
#c:=c/2;
L := 2*xi*sqrt(m*c);
T:=sqrt(m/c);
```

$$Kz := 0$$

$$m := 237.5000000$$

$$c := 4353.550295$$

$$L := 1016.842267$$

$$T := .2335662155$$

```
> # Блок 4
# ОПИСАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
p:=I*w:
```

2.1. Дифференциальное уравнение

$$y + 2\xi T y' + T^2 y'' = x$$

2.2. Уравнение переходной характеристики

5. Краткое описание MAPLE-блоков

6. Листинг работы программы

7. Выводы

8. Библиографический список

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

1. Описать конфигурацию вычислительной системы

restart: Очистка оперативной памяти

with(inttrans): Подключение библиотеки преобразований Лапласа

with(stats): Подключение библиотеки статистики

Ввести свои реквизиты (ФИО, № зачетной книжки и порядковый номер по журналу N)

2. Ввести описание передаточной функции звена

$$W := b0 / (a0 + a1 * p + a2 * p^2);$$

$$a0:=1: a1:=2*T*xi: a2:=.1: b0:=1:$$

$$xi:=stats[random, uniform](1)/2;$$

$$Yu:=x*limit(W,p=0);$$

3. Ввести из таблицы 1 аналитическое решение

$$Y:=x*k*(1-q*exp(-a*t)*sin(w*t+Fi));$$

$$T:=sqrt(a2/a0):$$

$$xi:=a1/(2*T*a0):$$

$$k:=b0/a0:$$

$$q:=sqrt(1+(a2/w)^2):$$

$$a:=xi/T:$$



w:=sqrt(1-xi^2)/T:

Fi:=arctan(w/a):

4. Вычислить переходную характеристику операторным методом, используя прямое (для входного сигнала X) и обратное (для выходного сигнала Y) преобразование Лапласа

x:=1: # Скачок

Lx:=laplace(x,t,p); # Изображение сигнала по Лапласу

Px:=invlaplace(Lx*W,p,t); # Обратное преобразование Лапласа

5. Построить переходные характеристики для аналитического Y и полученного операторного Px решения

6. Вычислить перерегулирование

Max:=maximize(Y,t=0..t0);

Per:=Max-x;

7. Построить график погрешности

Eps:=Px-Y;

8. Сделать выводы.

ВЕРСИЯ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

> # Блок 1

restart;

with(stats):

with(inttrans):

N:=201679; # НОМЕР ЗАЧЕТНОЙ КНИЖКИ

randomize(N); # ВАРИАНТ ЗАДАНИЯ

8. Построить ГРАФИКИ ЛАЧХ [A(w)] и ЛФЧХ [F(w)]

g:=1.01:

Am:=evalf(1/(xi*sqrt(1-xi^2)*2)); # [1, c.117]

G5:=plot([log10(w),Am,w=Wr/g..Wr*g],style=point,

symbol=circle,symbolsize=15,legend="Am");

G6:=plot([log10(Wr),J,J=0..Am],linestyle=2,legend="Wm");

G7:=plot([log10(w),-Pi,w=Wmin..Wmax],linestyle=4,legend="Pi");

plots[display]({G3,G4,G5,G6,G7},title='ЛАЧХ и ЛФЧХ');

9. Построить ГРАФИКИ ЛВЧХ [R(w)] и ЛМЧХ [M(w)]

plots[display]({G1,G2},title='ЛВЧХ и ЛМЧХ');

10. Сделать выводы относительно влияния параметров элементов подвески (приведенная масса, жесткость рессоры, сопротивление амортизатора) на ее резонансную частоту.

> # Блок 1

restart;

with(stats):

with(inttrans):

N:=201679; # НОМЕР ЗАЧЕТНОЙ КНИЖКИ

randomize(N); # ВАРИАНТ ЗАДАНИЯ

N:=30; # ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР ПО СПИСКУ

t1:=time();

N:= 201679

201679

> # Блок 2

Передаточная функция

W:= b0/(a0+a1*p+a2*p^2);



```
L := 2*xi*sqrt(m*c);
T:=sqrt(m/c);
```

4. Ввести описание частотных характеристик

```
p:=I*w;
R(w):=evalc(Re(W));
M(w):=evalc(Im(W));
A(w):=abs(W);
F(w):=argument(W);
```

5. Задать диапазон частот

```
Wr:=evalf(sqrt((2*c*m-L^2)/2)/m); # [1,ср.117]
Wmax:=Wr*10; Wmin:=Wr*.1;
```

6. Построить ГОДОГРАФ

```
G:=plot([R(w),M(w), w=0..Wmax],color=red,style=line,thickness=3):
plots[display]({G},title='ГОДОГРАФ');
```

7. Ввести описание логарифмических частотных характеристик

```
G1:=plot([log10(w),R(w), w=Wmin..Wmax],
color=red,linestyle=4,thickness=3,legend="R(w)": # ВЧХ
G2:=plot([log10(w),M(w), w=Wmin..Wmax],
color=blue,style=line,thickness=3,legend="M(w)": # МЧХ
G3:=plot([log10(w),A(w), w=Wmin..Wmax],
color=red,linestyle=4,thickness=3,legend="A(w)": # АЧХ
G4:=plot([log10(w),F(w), w=Wmin..Wmax],
color=black,style=line,thickness=3,legend="F(w)": # ФЧХ
```

```
N:=30: # Порядковый номер по журналу
t1:=time() :
```

№= 201679

201679

```
> # Блок 2
```

```
# Передаточная функция
```

```
W:=b0/(a0+a1*p+a2*p^2);
```

```
a0:=1:a1:=2*T*xi:a2:=.1:b0:=1:
```

```
xi:=stats[random, uniform](1)/2;
```

```
Yu:=x*limit(W,p=0);
```

$$W := \frac{b_0}{a_0 + a_1 p + a_2 p^2}$$

$$\xi := .2857207676$$

```
> # Блок 3
```

```
# Уравнение переходной характеристики
```

```
# (аналитическое решение)
```

```
Y:=x*k*(1-q*exp(-a*t)*sin(w*t+Fi));
```

```
T:=sqrt(a2/a0):
```

```
xi:=a1/(2*T*a0):
```

```
k:=b0/a0:
```

```
q:=sqrt(1+(a2/w)^2):
```

```
a:=xi/T:
```

```
w:=sqrt(1-xi^2)/T:
```

```
Fi:=arctan(w/a):
```

$$Y := x k (1 - q e^{(-a t)} \sin(w t + F_i))$$



```
> # Блок 4
# Переходная характеристика
x:=1: # Скачок
Lx:=laplace(x,t,p); # Изображение входа
Px:=invlaplace(Lx*W,p,t); # Обратное преобразование
```

$$Lx := \frac{1}{p}$$

$$Px := 1 - 1 \cdot e^{(-.9035284005 t)} \cos(3.030451522 t) - .2981497621 e^{(-.9035284005 t)} \sin(3.030451522 t)$$

```
> # Блок 5
# Графики переходной характеристики
t0:=15*T: # Время переходного процесса
tr:=3.3: # Время регулирования
G0:=plot([tr,J,J=0..subs(t=tr,Y)],linestyle=2):
G1:=plot(Y,t=0..t0,color=blue):
G2:=plot(Px,t=0..t0,linestyle=4,thickness=4):
G3:=plot(Yu*1.05,t=0..t0,linestyle=4):
G4:=plot(Yu*0.95,t=0..t0,linestyle=4):
G5:=plot(Yu,t=0..t0,linestyle=4):
plots[display]({G0,G1,G2,G3,G4,G5},title="Переходная
характеристика");
```

M(w)- мнимая частотная характеристика,
A(w)- амплитудная частотная характеристика,
F(w)- фазовая частотная характеристика,
W_г - резонансная частота.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Описать конфигурацию вычислительной системы

restart: Очистка оперативной памяти
with(inttrans): Подключение библиотеки преобразований Лапласа
with(stats): Подключение библиотеки статистики
Ввести свои реквизиты (Фамилия И.О., № зачетной книжки и порядковый номер по журналу N)

2. Ввести описание передаточной функции звена

W:= b0/(a0+a1*p+a2*p^2);
a0:= c:a1:=L:a2:=m:b0:=c:
Yu:=x*limit(W,p=0);

3. Ввести параметры подвески

Ma:=950: # Масса автомобиля
Mg:=300: # Грузоподъемность
Kz:=0; # Коэффициент загрузки
Dh:=0.169: # Осадка под нагрузкой
xi:=0.5: # Коэффициент демпфирования (xi=0,3..0,8)
m := evalf((Ma+Mg*Kz)/4);
c := evalf(Mg*9.81/Dh)/4;
#c:=c/2;



6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8

Тема занятия: Исследование подвески автомобиля

Цель занятия: Анализ частотных характеристик

Для реализации задания необходимо взять параметры автомобиля, рассмотренного в курсовом проекте дисциплины «Автомобили».

Ст. гр. АВ-51з Фамилия И.О.

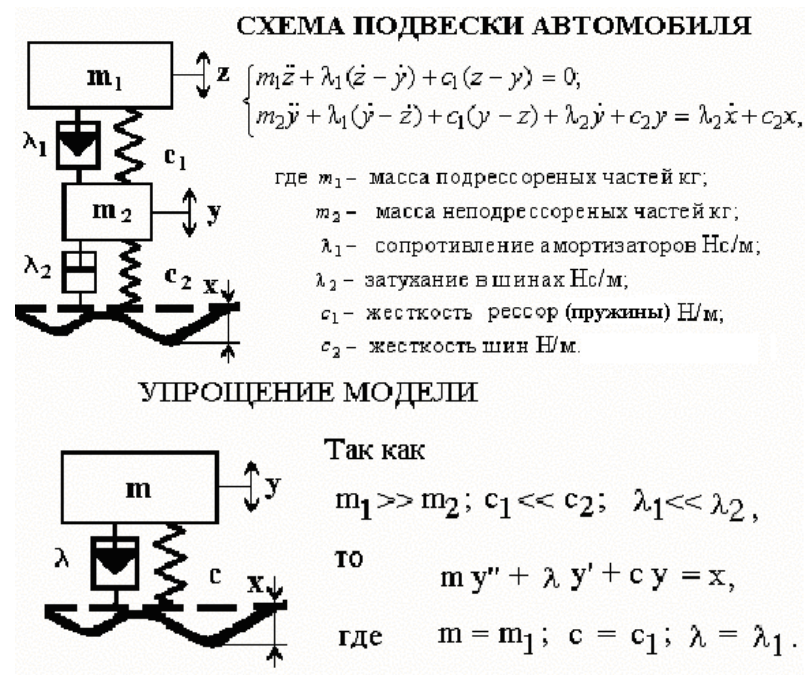


Рисунок 8.1 – Кинематическая схема подвески

Обозначения

W - передаточная функция,

R(w)- вещественная частотная характеристика,

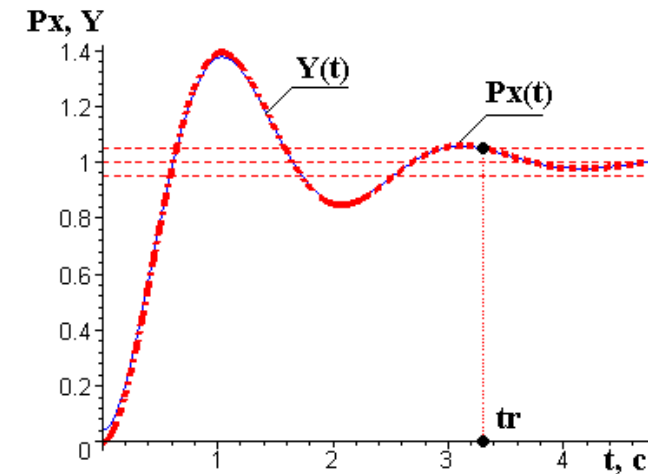


Рисунок 5.1 – Графики переходных характеристик:

Y(t) – аналитическое решение,

Px(t) – операторное решение

> # Блок 6

Перерегулирование

Max:=maximize(Y,t=0..t0);

Per:=Max-x;

Max := 1.375798617

Per := .375798617

> # Блок 7

График погрешности

Digits:=Digits+2;

Eps:= Px-Y;

G1:=plot(Eps,t=0..t0,thickness=4):

plots[display](G1,title="График погрешности");



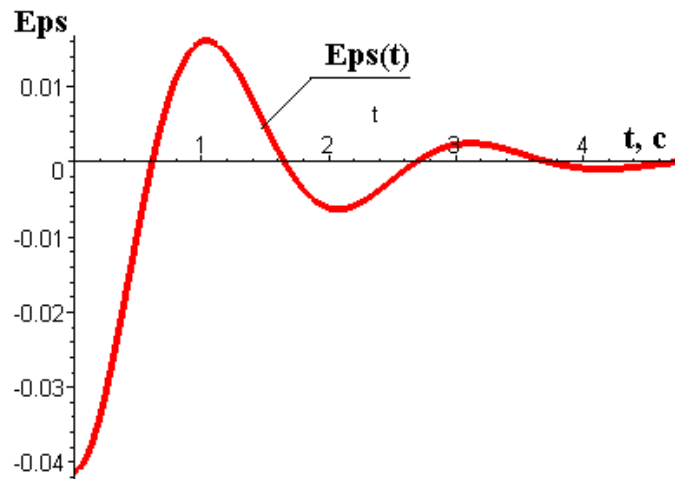


Рисунок 5.2 – График погрешности вычисления операторным методом

ВЫВОДЫ

- Для указанных параметров системы переходный процесс имеет колебательный характер
- Время окончания переходного процесса на уровне $\pm 5\%$ - менее 3,3с.
- Перерегулирование составляет величину менее 0,37

> `t1:=time()-t1;`

$t1 := .582$

4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

Тема занятия: Исследование подвески автомобиля

Цель занятия: Анализ переходной характеристики

Для реализации задания необходимо взять параметры автомобиля, рассмотренного в курсовом проекте дисциплины «Автомобили».

> # Блок 8

ГРАФИКИ ЛВЧХ [R(w)] и ЛМЧХ [M(w)]

plots[display]({G1,G2},title='ЛВЧХ и ЛМЧХ');

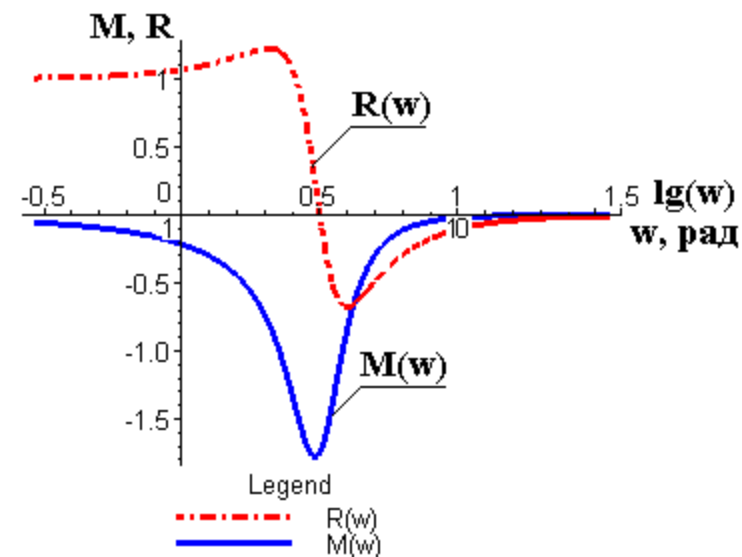


Рисунок 7.4 – Логарифмические характеристики:

– вещественная частотная $R(w)$,

– мнимая частотная $M(w)$

Вывод: Резонансная частота подвески составляет

$Wr := 2.892623871$ рад/с.



```
Am:=evalf(1/(xi*sqrt(1-xi^2)*2)); # [1, c.117]
G5:=plot([log10(w),Am,w=Wr/g..Wr*g],style=point,
        symbol=circle,symbolsize=15,legend="Am"):
G6:=plot([log10(Wr),J,J=0..Am],linestyle=2,legend="W
m"):
G7:=plot([log10(w),-Pi,w=Wmin..Wmax],linestyle=4,
        legend="Pi"):
plots[display]({G3,G4,G5,G6,G7},title='ЛАЧХ,ЛФЧХ');
Am := 1.826084436
```

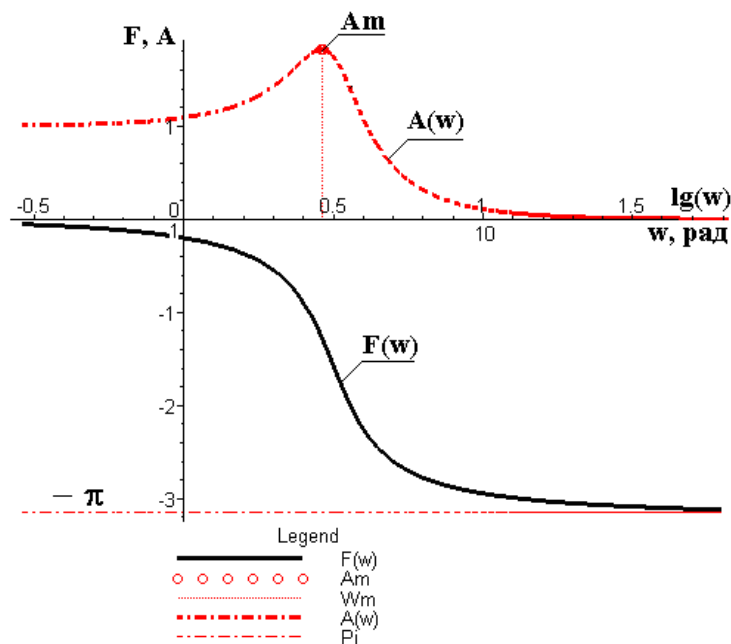


Рисунок 7.3 – Логарифмические характеристики:

- амплитудно-частотная $A(w)$,
- фазочастотная $F(w)$

Ст. гр. АВ-51з Фамилия И.О.

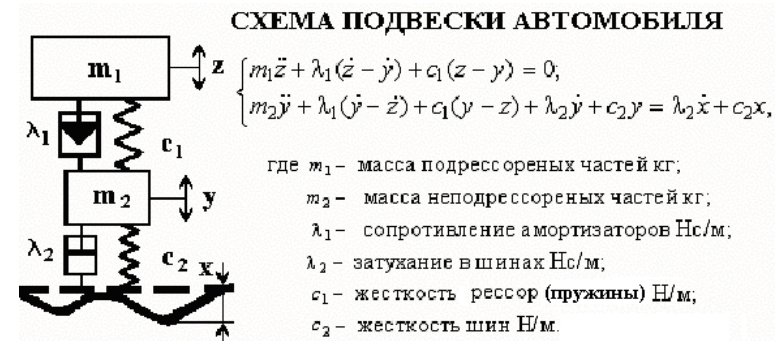


Рисунок 6.1 – Кинематическая схема подвески

Обозначения

- y – выходной сигнал
- x – входной сигнал
- Y_u – установившееся значение

Содержание отчета

1. Титульный лист
2. Краткое описание MAPLE-блоков
3. Листинг работы программы
4. Выводы
5. Библиографический список
6. Параметры автомобиля (приложение)



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Описать конфигурацию вычислительной системы

restart: Очистка оперативной памяти
with(inttrans): Подключение библиотеки преобразований Лапласа
with(stats): Подключение библиотеки статистики
 Ввести свои реквизиты (ФИО, № зачетной книжки и порядковый номер по журналу N)

2. Ввести описание передаточной функции звена

W:= b0/(a0+a1*p+a2*p^2);
a0:= c:a1:=L:a2:=m:b0:=c;
Yu:=x*limit(W,p=0);

3. Ввести параметры подвески для выбранной марки автомобиля

Ma:=950: # Масса автомобиля
Mg:=300: # Грузоподъемность
Kz:=0: # Коэффициент загрузки
Dh:=0.169: # Осадка под нагрузкой
xi:=0.5: # Коэффициент демпфирования (xi=0,3..0,8)
m := evalf((Ma+Mg*Kz)/4);
c := evalf(Mg*9.81/Dh)/4;
L := 2*xi*sqrt(m*c);
T:=sqrt(m/c);

4. Вычислить переходную характеристику, используя

прямое (для входного сигнала) и обратное (для выходного сигнала) преобразование Лапласа

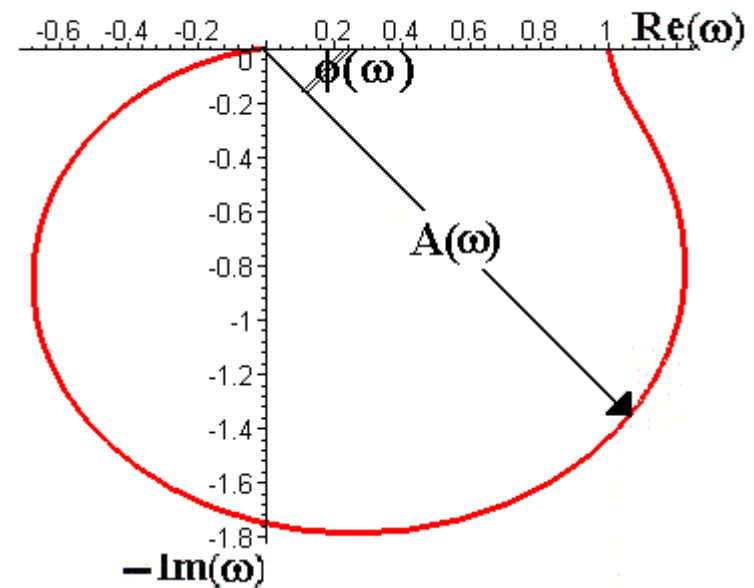


Рисунок 7.2 – Годограф

```
G1:=plot([log10(w),R(w), w=Wmin..Wmax],color=red,
linestyle=4,thickness=3,legend="R(w)"):      #ВЧХ
G2:=plot([log10(w),M(w), w=Wmin..Wmax], color=blue,
style=line,thickness=3,legend="M(w)"):      # МЧХ
G3:=plot([log10(w),A(w), w=Wmin..Wmax], color=red,
linestyle=4,thickness=3,legend="A(w)"):      # АЧХ
G4:=plot([log10(w),F(w), w=Wmin..Wmax], color=black,
style=line,thickness=3,legend="F(w)"):      # ФЧХ
```

> # Блок 7

ГРАФИКИ ЛАЧХ [A(w)] и ЛФЧХ [F(w)]

g:=1.01:



$$R(w) := \frac{1 - .1 w^2}{(1 - .1 w^2)^2 + .3265454282 T^2 w^2}$$

$$M(w) := -.5714415352 \frac{T w}{(1 - .1 w^2)^2 + .3265454282 T^2 w^2}$$

$$A(w) := \frac{1}{|-1 - .5714415352 I T w + .1 w^2|}$$

$$F(w) := \text{argument}\left(\frac{1}{1 + .5714415352 I T w - .1 w^2}\right)$$

```
> # Блок 4
# ДИАПАЗОН ЧАСТОТ
T:=sqrt(a2/a0):
Wr:=evalf(sqrt(1-2*xi^2)/T);          # [1,стр.117]
Wr:=evalf(sqrt((2*a0*a2-a1^2)/2)/a2);
Wmax:=Wr*10; Wmin:=Wr*.1;
```

$Wr := 2.892623871$

$Wr := 2.892623871$

$Wmax := 28.92623871$

$Wmin := .2892623871$

```
> # Блок 5
# ГОДОГРАФ
G:=plot([R(w),M(w),
w=0..Wmax],color=red,style=line,thickness=3):
plots[display]({G},title='ГОДОГРАФ');

> # Блок 6
# ОПИСАНИЕ ЛОГАРИФМИЧЕСКИХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
```

```
x:=1:          # Скачок
Lx:=laplace(x,t,p);          # Изображение сигнала по Лапласу
Px:=invlaplace(Lx*W,p,t);    # Обратное преобразование Лапласа
```

5. Построить переходную характеристику для полученного операторного Px решения
6. Вычислить перерегулирование
 $\text{Max}:=\text{maximize}(Px, t=0..t0);$
 $\text{Per}:=\text{Max}-x;$
7. Сделать выводы относительно влияния параметров элементов подвески (приведенная масса, жесткость рессоры, сопротивление амортизатора) на ее характеристики (перерегулирование, время регулирования).

```
> # Блок 1
restart;
with(stats):
with(intttrans):
№:=201679;          # НОМЕР ЗАЧЕТНОЙ КНИЖКИ
randomize(№);       # ВАРИАНТ ЗАДАНИЯ
N:=30;              # ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР ПО ЖУРНАЛУ
t1:=time():
```

$N= 201679$

201679

```
> # Блок 2
# Передаточная функция
W:= b0/(a0+a1*p+a2*p^2);
a0:= c:a1:=L:a2:=m;b0:=c:
```



```
Yu:=x*limit(W,p=0);
```

$$W := \frac{b0}{a0 + a1 p + a2 p^2}$$

$$Yu := x$$

```
> # Блок 3
```

```
# ПАРАМЕТРЫ ПОДВЕСКИ
```

```
Ma:=950: # Масса автомобиля
```

```
Mg:=300: # Грузоподъемность
```

```
Kz:=0: # Коэффициент загрузки
```

```
Dh:=0.169: # Осадка под нагрузкой
```

```
xi:=0.5: # Коэффициент демпфирования(xi=0,3..0,8)
```

```
m := evalf((Ma+Mg*Kz)/4);
```

```
c := evalf(Mg*9.81/Dh)/4;
```

```
L := 2*xi*sqrt(m*c);
```

```
T:=sqrt(m/c);
```

$$m := 237.5000000$$

$$c := 4353.550295$$

$$L := 1016.842267$$

$$T := .2335662155$$

```
> # Блок 4
```

```
# Переходная характеристика
```

```
x:=1: # Скачок
```

```
Lx:=laplace(x,t,p); # Изображение входа
```

```
Px:=invlaplace(Lx*W,p,t); # Обратное преобразование
```

$$Lx := \frac{1}{p}$$

$$Px := 1. - 1. e^{(-2.140720562 t)} \cos(3.707836777 t) - .5773502697 e^{(-2.140720562 t)} \sin(3.707836777 t)$$

9. Сделать вывод относительно значения резонансной частоты

```
> # Блок 1
```

```
restart;
```

```
with(stats):
```

```
with(intttrans):
```

```
N:=201679; # НОМЕР ЗАЧЕТНОЙ КНИЖКИ
```

```
randomize(N); # ВАРИАНТ ЗАДАНИЯ
```

```
N:=30:
```

```
t1:=time();
```

N= 201679

201679

```
> # Блок 2
```

```
# Передаточная функция
```

```
W:= b0/(a0+a1*p+a2*p^2);
```

```
a0:=1:a1:=2*T*xi:a2:=.1:b0:=1:
```

```
xi:=stats[random, uniform](1)/2;
```

$$W := \frac{b0}{a0 + a1 p + a2 p^2}$$

$$\xi := .2857207676$$

```
> # Блок 3
```

```
# ОПИСАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
```

```
p:=I*w:
```

```
R(w):=evalc(Re(W));
```

```
M(w):=evalc(Im(W));
```

```
A(w):=abs(W);
```

```
F(w):=argument(W);
```



$T:=\sqrt{a2/a0}$:

$Wr:=\text{evalf}(\sqrt{1-2*\xi^2}/T)$; # [1,стр.117]

$Wmax:=Wr*10$; $Wmin:=Wr*1$;

5. Построить ГОДОГРАФ

$G:=\text{plot}([R(w),M(w), w=0..Wmax],\text{color}=\text{red},\text{style}=\text{line},\text{thickness}=3)$:

$\text{plots}[\text{display}](\{G\},\text{title}=\text{'ГОДОГРАФ'})$;

6. Ввести описание логарифмических частотных характеристик

$G1:=\text{plot}([\log_{10}(w),R(w), w=Wmin..Wmax],$

$\text{color}=\text{red},\text{linestyle}=4,\text{thickness}=3,\text{legend}=\text{'R(w)'}):$ # ВЧХ

$G2:=\text{plot}([\log_{10}(w),M(w), w=Wmin..Wmax],$

$\text{color}=\text{blue},\text{style}=\text{line},\text{thickness}=3,\text{legend}=\text{'M(w)'}):$ # МЧХ

$G3:=\text{plot}([\log_{10}(w),A(w), w=Wmin..Wmax],$

$\text{color}=\text{red},\text{linestyle}=4,\text{thickness}=3,\text{legend}=\text{'A(w)'}):$ # АЧХ

$G4:=\text{plot}([\log_{10}(w),F(w), w=Wmin..Wmax],$

$\text{color}=\text{black},\text{style}=\text{line},\text{thickness}=3,\text{legend}=\text{'F(w)'}):$ # ФЧХ

7. Построить ГРАФИКИ ЛАЧХ $[A(w)]$ и ЛФЧХ $[F(w)]$

$g:=1.01$:

$Am:=\text{evalf}(1/(\xi*\sqrt{1-\xi^2*2}))$; # [1, с.117]

$G5:=\text{plot}([\log_{10}(w),Am,w=Wr/g..Wr*g],\text{style}=\text{point},$

$\text{symbol}=\text{circle},\text{symbolsize}=15,\text{legend}=\text{'Am'}):$

$G6:=\text{plot}([\log_{10}(Wr),J,J=0..Am],\text{linestyle}=2,\text{legend}=\text{'Wm'}):$

$G7:=\text{plot}([\log_{10}(w),-\Pi, w=Wmin..Wmax],\text{linestyle}=4,\text{legend}=\text{'Pi'}):$

$\text{plots}[\text{display}](\{G3,G4,G5,G6,G7\},\text{title}=\text{'ЛАЧХ и ЛФЧХ'})$;

8. Построить ГРАФИКИ ЛВЧХ $[R(w)]$ и ЛМЧХ $[M(w)]$

$\text{plots}[\text{display}](\{G1,G2\},\text{title}=\text{'ЛВЧХ и ЛМЧХ'})$;

> # Блок 5. График переходной характеристики

$t0:=10*T$; # Время переходного процесса

$tr:=1.8$; # Время регулирования

$G1:=\text{plot}([tr,J,J=0..subs(t=tr,Px)],\text{linestyle}=2):$

$G2:=\text{plot}(Px,t=0..t0,\text{linestyle}=4,\text{thickness}=4):$

$G3:=\text{plot}(Yu*1.05,t=0..t0,\text{linestyle}=4):$

$G4:=\text{plot}(Yu*0.95,t=0..t0,\text{linestyle}=4):$

$G5:=\text{plot}(Yu,t=0..t0,\text{linestyle}=4):$

$\text{plots}[\text{display}](\{G1,G2,G3,G4,G5\},\text{title}=\text{'Переходная характеристика'})$;

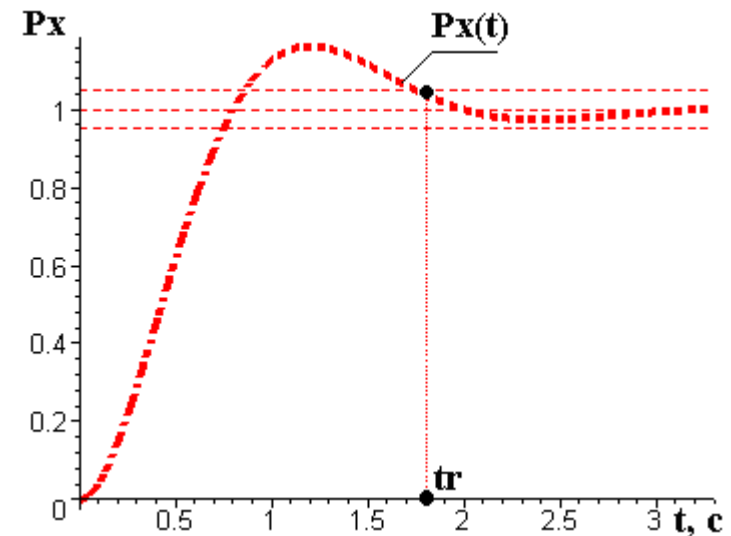


Рисунок 6.2 – График переходной характеристики

Перерегулирование

$Max:=\text{maximize}(Px,t=0..t0):$

$c:=c$;

$Per:=Max-x$;



```
tr:=tr;
```

$$c := 2176.775148$$

$$Per := .163033535$$

$$tr := 1.8$$

$$c := 4353.550295$$

$$Per := .163033535$$

$$tr := 1.2$$

ВЫВОДЫ

С увеличением жесткости рессоры (пружины) подвески улучшается реакция подвески (снижается время регулирования tr).

```
> t1:=time()-t1;
```

$$t1 := .481$$

5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7

Тема занятия: Частотный анализ звеньев

Цель занятия: Частотные характеристики звена 2-го порядка

Ст. гр. АВ-51з Фамилия И.О.

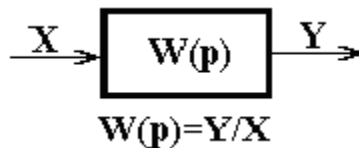


Рисунок 7.1 – Блок-схема звена

Обозначения

W - передаточная функция звена,

$R(w)$ - вещественная частотная характеристика,

$M(w)$ - мнимая частотная характеристика,

$A(w)$ - амплитудная частотная характеристика,

$F(w)$ - фазовая частотная характеристика,

W_r - резонансная частота.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Описать конфигурацию вычислительной системы

restart: Очистка оперативной памяти

with(inttrans): Подключение библиотеки преобразований Лапласа

with(stats): Подключение библиотеки статистики

Ввести свои реквизиты (Фамилия И.О., № зачетной книжки и порядковый номер по журналу N).

2. Ввести описание передаточной функции звена

$$W := b0/(a0+a1*p+a2*p^2);$$

$$a0:=1: a1:=2*T*xi: a2:=.1: b0:=1:$$

$$xi:=stats[random, uniform](1)/2;$$

3. Ввести описание частотных характеристик

$$p:=I*w;$$

$$R(w):=evalc(\text{Re}(W));$$

$$M(w):=evalc(\text{Im}(W));$$

$$A(w):=abs(W);$$

$$F(w):=argument(W);$$

4. Задать диапазон частот

