

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
АВТОМАТИЧЕСКИХ ПРИБОРНЫХ УСТРОЙСТВ**

РАЗОМКНУТАЯ СИСТЕМА

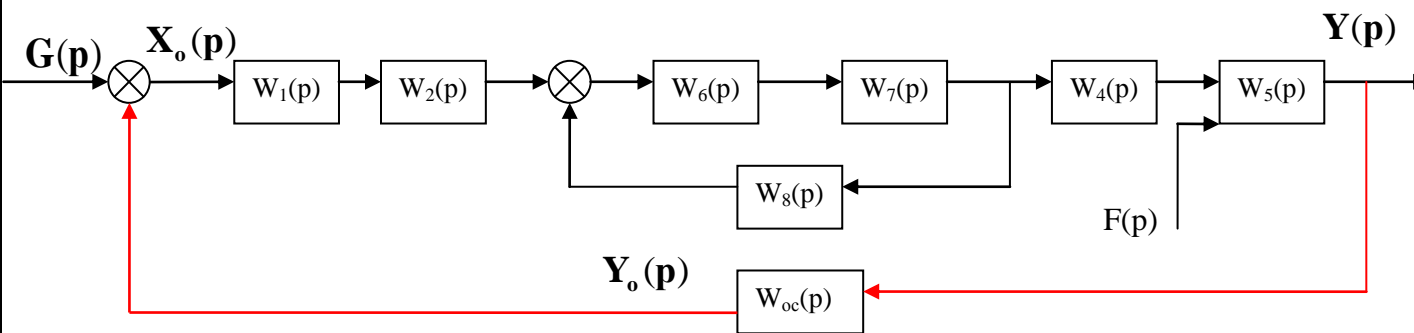
1. Общие цели модуля

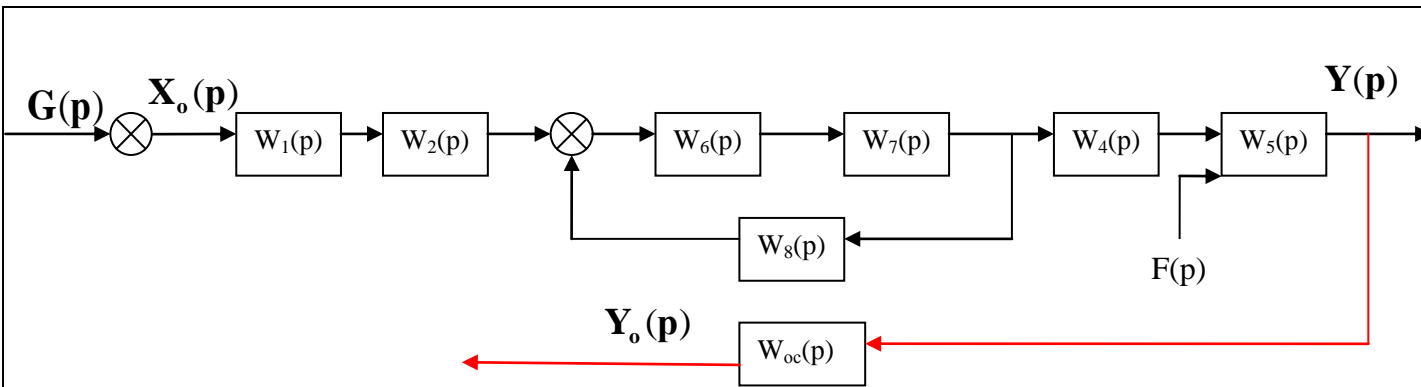
1.1. Изучить методику определения передаточной функции разомкнутой системы и уметь применять её при анализе и синтезе автоматических приборных устройств.

2. Частные цели модуля. Изучив модуль, Вы сможете:

- 2.1. Давать определение разомкнутой системы.
- 2.2. Различать степень астатизма системы.
- 2.3. Сопоставлять степень астатизма системы с видом её передаточной функции.
- 2.4. Находить выражение передаточной функции разомкнутой системы.
- 2.5. Находить выражение передаточной функции прямой цепи.
- 2.6. Различать передаточную функцию разомкнутой и прямой цепи.

Для определения ПФ разомкнутой системы размыкается **главная обратная связь**.



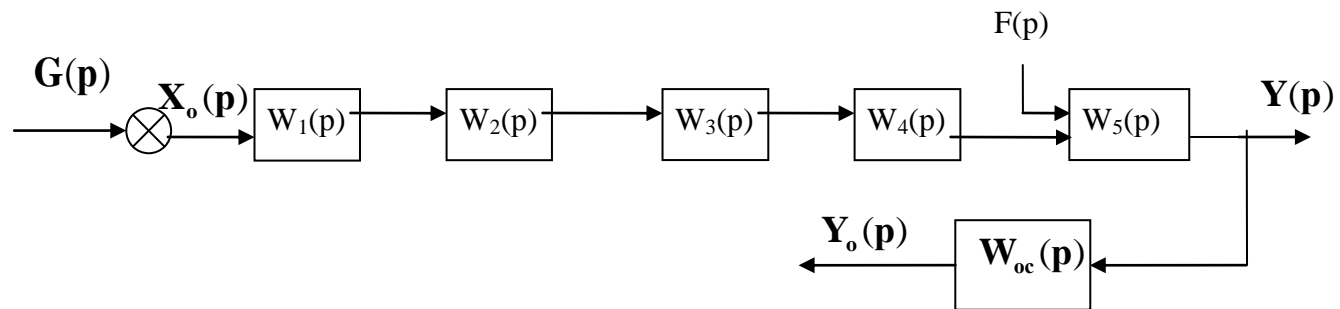


Если полученная разомкнутая система имеет дополнительные замкнутые контуры (в данном случае местная обратная связь с ПФ $W_8(p)$), то сначала необходимо преобразовать её в одноконтурную, используя эквивалентные преобразования, чтобы схема представляла собой последовательное соединение динамических звеньев.

Участок системы, охваченный местной обратной связью, заменяется эквивалентным звеном, передаточная функция которого равна:

$$W_3(p) = \frac{W_6(p) \cdot W_7(p)}{1 + W_6(p) \cdot W_7(p) \cdot W_8(p)}.$$

Схема разомкнутой одноконтурной системы принимает вид



Передаточная функция разомкнутой системы равна произведению передаточных функций всех звеньев системы, то есть:

$$W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p) \cdot W_4(p) \cdot W_5(p) W_{oc}(p)$$

Свойства передаточной функции разомкнутой системы

1. Передаточная функция является правильной рациональной дробью вида:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{G(p)} = \frac{K_r (b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + b_{m-2} p^{m-2} + \dots + b_1 p + b_0)}{p^r (a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + a_{n-2} p^{n-2} + \dots + a_1 p + a_0)}$$

2. Все коэффициенты a_i, b_j являются вещественными числами.
3. По виду передаточной функции разомкнутой системы определяется степень астатизма замкнутой системы:

- Если $\underline{r=1}$, то система является **астатической 1-го порядка**, её ПФ:

$$W(p) = \frac{K_1 (b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + b_{m-2} p^{m-2} + \dots + b_1 p + b_0)}{p (a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + a_{n-2} p^{n-2} + \dots + a_1 p + a_0)}.$$

- Если $\underline{r=2}$, то система является **астатической 2-го порядка**, её ПФ:

- Если $\underline{r=0}$, то система является **статической**, её ПФ имеет вид:

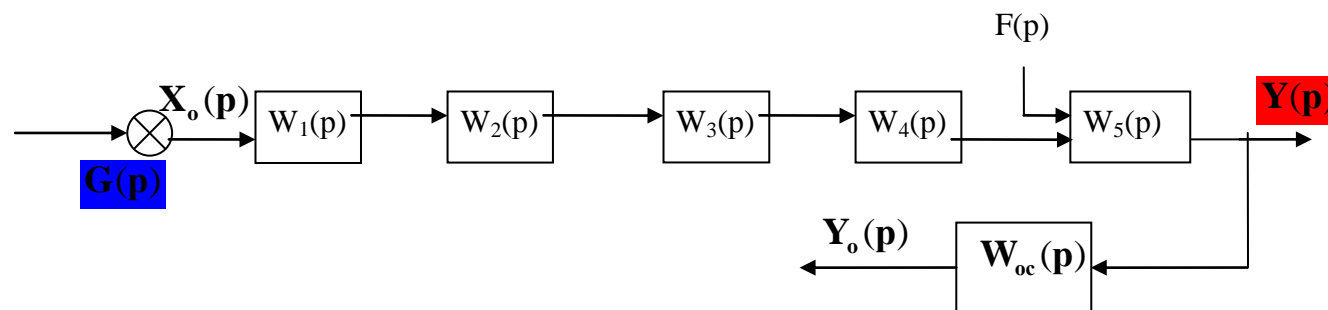
$$W(p) = \frac{K_0 (b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + b_{m-2} p^{m-2} + \dots + b_1 p + b_0)}{(a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + a_{n-2} p^{n-2} + \dots + a_1 p + a_0)}$$

$$W(p) = \frac{K_2 (b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + b_{m-2} p^{m-2} + \dots + b_1 p + b_0)}{p^2 (a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + a_{n-2} p^{n-2} + \dots + a_1 p + a_0)}.$$

Передаточная функция прямой цепи

Передаточная функция *прямой цепи* равна произведению передаточных функций звеньев, расположенных между точками **входа** $G(p)$ и **выхода** $Y(p)$ системы.

$$W'(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p) \cdot W_4(p) \cdot W_5(p)$$



Для систем с **единичной** отрицательной обратной связью

$$W_{oc}(p) = 1,$$

Следовательно, передаточные функции разомкнутой системы и прямой цепи одинаковы

$$W'(p) = W(p)$$

Если обратная связь не единичная, то

Тест

Правильно ли утверждение, что разомкнутая система имеет главную обратную связь

да

нет $W(p) = W'(p) \cdot W_{oc}(p)$.

ЗАМКНУТАЯ СИСТЕМА

1. Общие цели модуля

1.1. Изучить методику определения передаточной функции замкнутой системы и уметь применять её при анализе и синтезе автоматических приборных устройств.

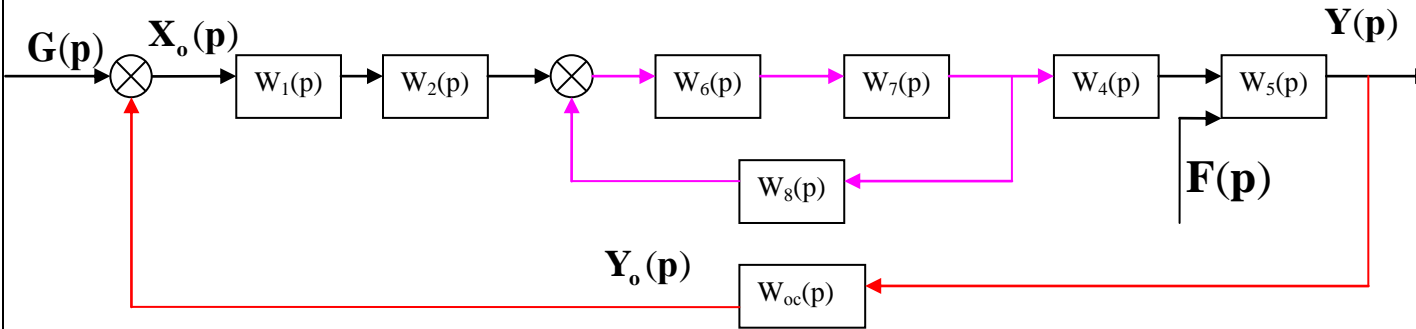
2. Частные цели модуля. Изучив модуль, Вы сможете:

2.1. Давать определение замкнутой системы.

2.2. Различать передаточную функцию разомкнутой, замкнутой системы и прямой цепи

2.2. Находить выражение передаточной функции замкнутой системы в зависимости от точек входа и выхода.

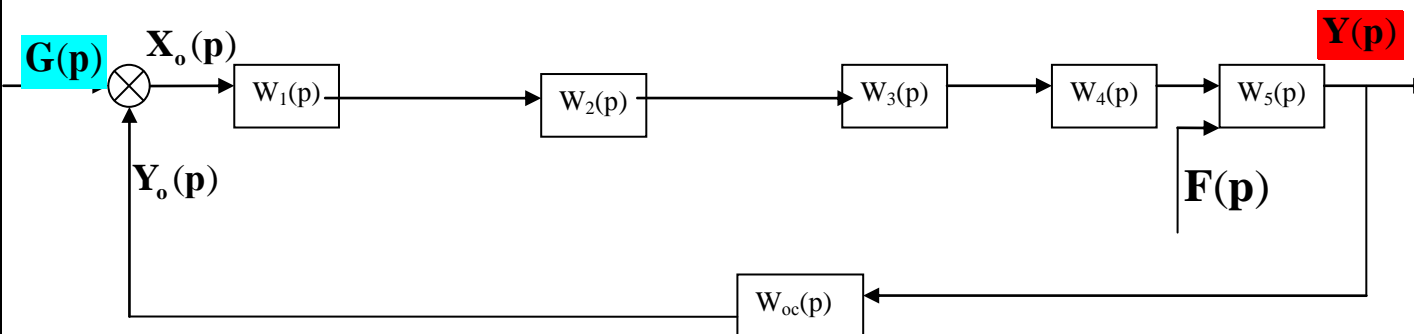
Замкнутая система имеет **главную обратную связь**



Для определения ПФ **замкнутой** системы, **многоконтурную** схему сначала необходимо преобразовать в одноконтурную, используя эквивалентные соотношения

Пример 1.

ПФ замкнутой системы по отношению к задающему воздействию $G(p)$



$G(p)$ – вход,

$Y(p)$ – выход,

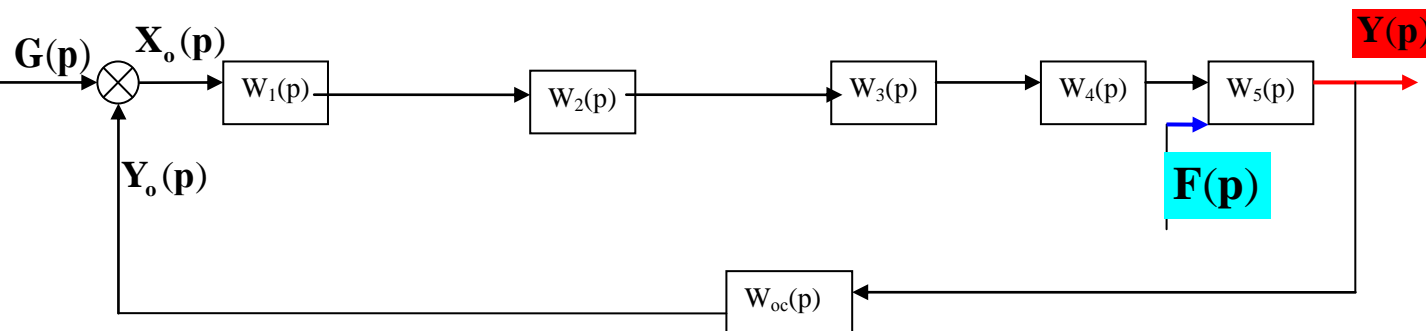
$$\phi_y^g(p) = \frac{W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)W_5(p)}{1 + W(p)},$$

где, $W(p) = W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)W_5(p)W_{oc}(p)$

Пример 2.

ПФ замкнутой системы по отношению к возмущающему воздействию

F(p)



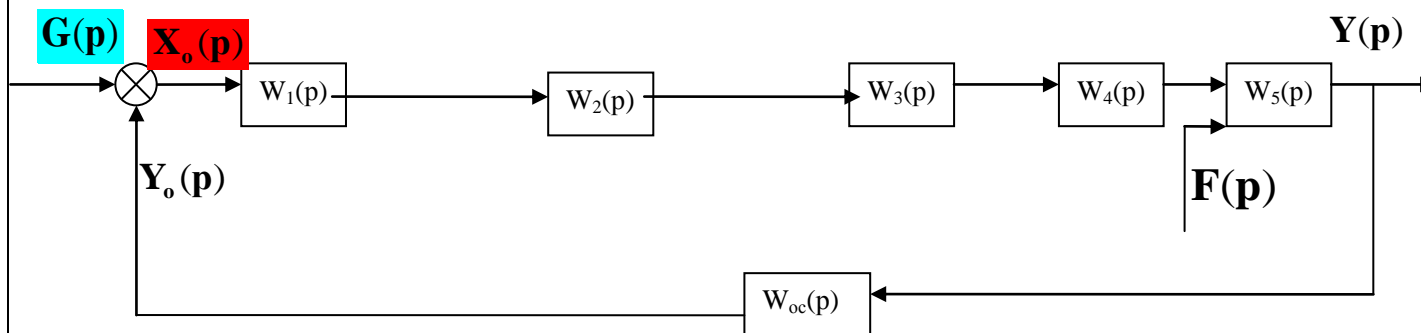
F(p) – вход;

Y(p) – выход.

$$\phi_y^f(p) = \frac{W_5^f(p)}{1 + W(p)}$$

Где $W_5^f(p)$ - передаточная функция звена по отношению к возмущающему воздействию.

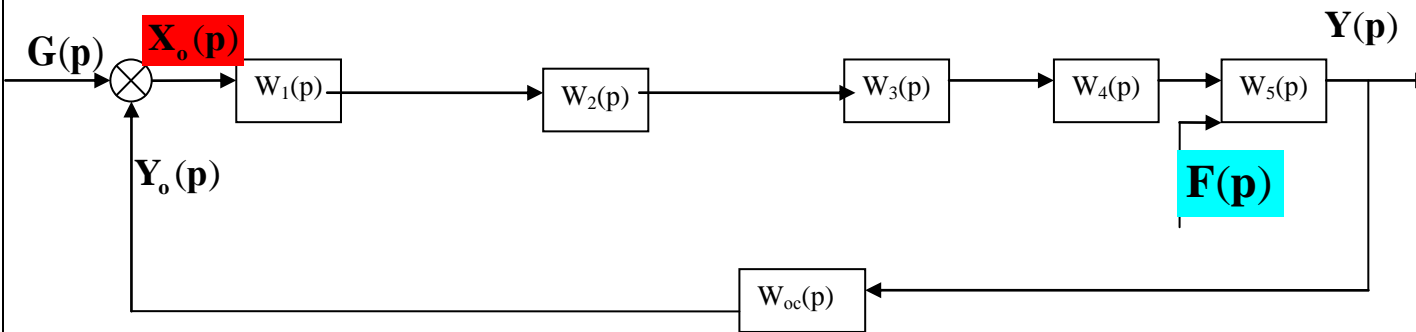
Пример 3. ПФ замкнутой системы для сигнала рассогласования $X_0(p)$ по отношению к задающему воздействию $G(p)$.



$G(p)$ – вход;
 $X_0(p)$ – выход.

$$\phi_{x_0}^g(p) = \frac{1}{1 + W(p)}$$

Пример 4. ПФ замкнутой системы для сигнала рассогласования $X_0(p)$ отношению к возмущающему воздействию $F(p)$.



$F(p)$ – вход;

$X_0(p)$ – выход.

$$\phi_{x_0}^f(p) = \frac{W_5^f(p)W_{oc}(p)}{1 + W(p)}$$

Тест 1. *Вставьте пропущенное слово*

Признаком замкнутой системы является наличие обратной связи

Тест 2, *Правильно ли утверждение, что:*

Степень астатизма замкнутой САР определяется по виду передаточной функции **замкнутой** системы

Да

Нет

Тест 3. Укажите соответствие между видом ПФ и типом системы

1.
$$W(p) = \frac{K_0(b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b^0)}{(a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0)}$$

2.
$$W(p) = \frac{K_r(b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b^0)}{p^1(a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0)}$$

3.
$$W(p) = \frac{K_r(b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b^0)}{p^2(a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0)}$$

Типы систем:

а) астатическая 1-го порядка;

б) астатическая 2-го порядка;

в) статическая система;

г) астатическая 3-его порядка

1 —

2 —

3 —

Тест 4.

Выберите ПФ астатической системы 2-го порядка

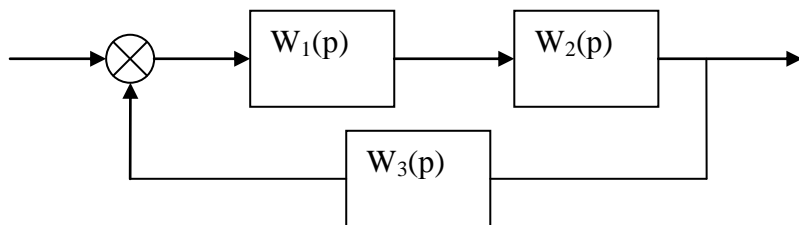
$$W(p) = \frac{K (b_2 p^2 + b_1 p^1 + b^0)}{(a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0)}.$$

$$W(p) = \frac{K (T_1 p^2 + 1)}{p(T_2 p + 1)(T_3 p^2 + T_4 p + 1)}.$$

$$W(p) = \frac{K (T_1 p^2 + T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}{p^2 (T_4 p + 1)^3}.$$

Тест 9.

Укажите передаточную функцию разомкнутой системы, соответствующую данной замкнутой схеме



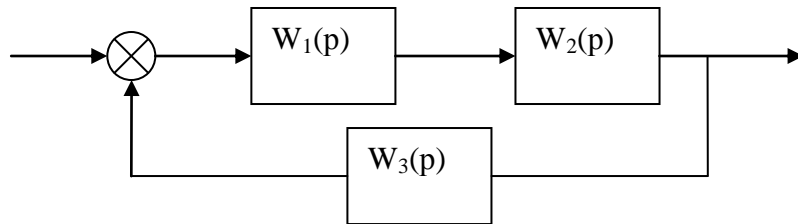
$\mathbf{W(p) = W_1(p)W_2(p)W_3(p)}$

$\mathbf{W(p) = \frac{W_1(p)W_2(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)}}$

$\mathbf{W(p) = W_1(p)W_2(p)}$

Тест 10.

Укажите передаточную функцию замкнутой системы



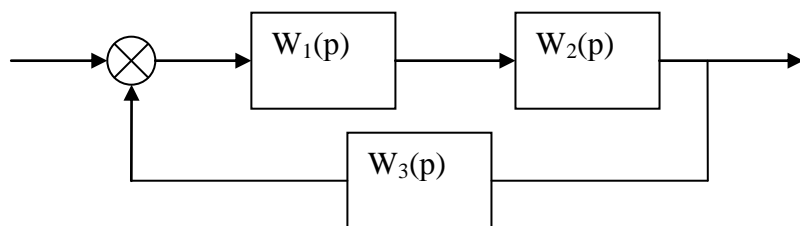
$\mathbf{W(p) = W_1(p)W_2(p)W_3(p)}$

$\mathbf{W(p) = \frac{W_1(p)W_2(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)}}$

$\mathbf{W(p) = W_1(p)W_2(p)}$

Тест 11.

Укажите передаточную функцию прямой цепи



$\mathbf{W(p) = W_1(p)W_2(p)W_3(p)}$

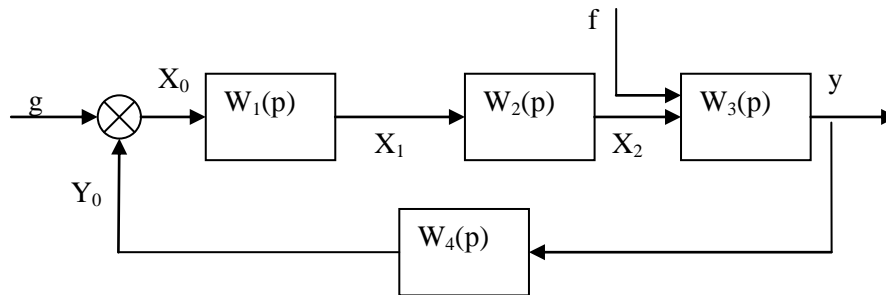
$\mathbf{W(p) = \frac{W_1(p)W_2(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)}}$

$\mathbf{W(p) = W_1(p)W_2(p)}$

Тест 13.

Укажите соответствие между входом и выходом системы, передаточная функция которой имеет вид:

$$W(p) = \frac{W_1(p)W_2(p)W_3(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)}$$

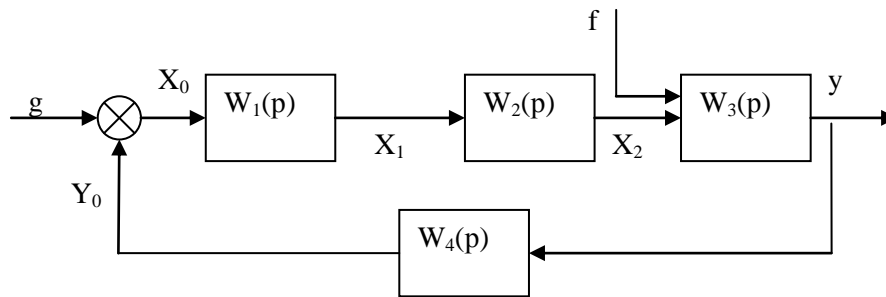


ВХОД	ВЫХОД
g	g
X ₀	X ₀
Y ₀	Y ₀
X ₁	X ₁
f	f
X ₂	X ₂
y	y

Тест 14

Укажите соответствие между входом и выходом системы, передаточная функция которой имеет вид:

$$W(p) = \frac{1}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)}$$

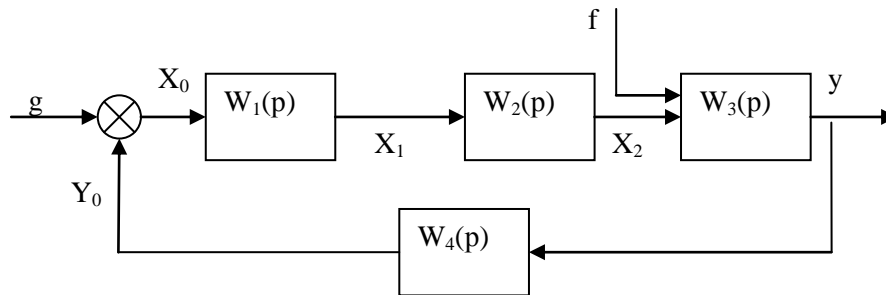


ВХОД	ВЫХОД
g	g
X ₀	X₀
Y ₀	Y ₀
X ₁	X ₁
f	f
X ₂	X ₂
y	y

Тест 15.

Укажите соответствие между входом и выходом системы, передаточная функция которой имеет вид:

$$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)}$$

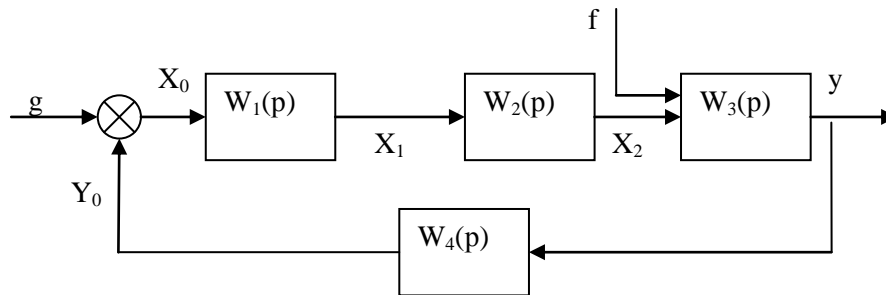


ВХОД	ВЫХОД
g	g
X₀	X ₀
Y ₀	Y ₀
X ₁	X₁
f	f
X ₂	X ₂
y	y

Тест 16

Укажите соответствие между входом и выходом системы, передаточная функция которой имеет вид:

$$W(p) = \frac{W_2(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)}$$

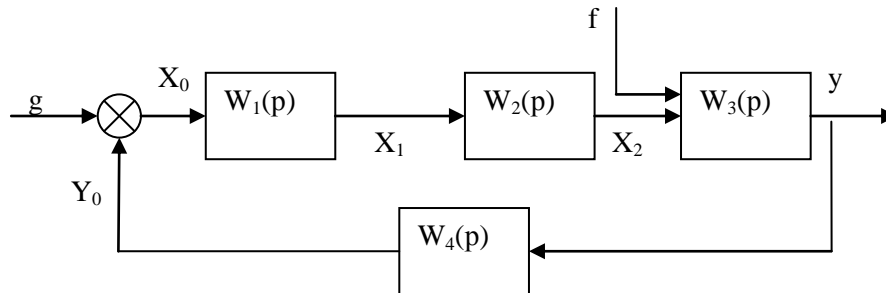


ВХОД	ВЫХОД
g	g
X ₀	X ₀
Y ₀	Y ₀
X ₁	X ₁
f	f
X ₂	X ₂
y	y

Тест 17.

Укажите соответствие между входом и выходом системы, передаточная функция которой имеет вид:

$$W(p) = \frac{W_3(p)W_2(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)}$$

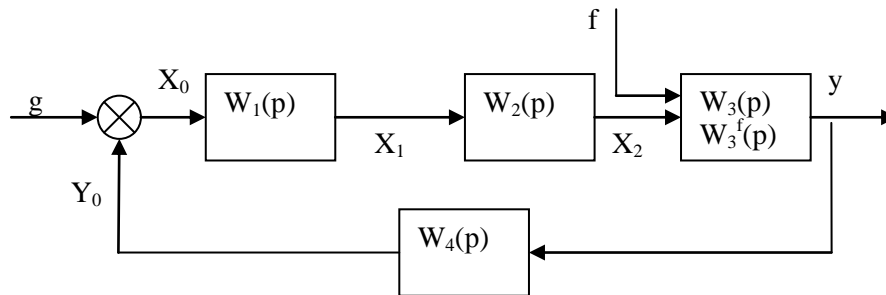


ВХОД	ВЫХОД
g	g
X ₀	X ₀
Y ₀	Y ₀
X ₁	X ₁
f	f
X ₂	X ₂
y	y

Тест 18

Укажите соответствие между входом и выходом системы, передаточная функция которой имеет вид:

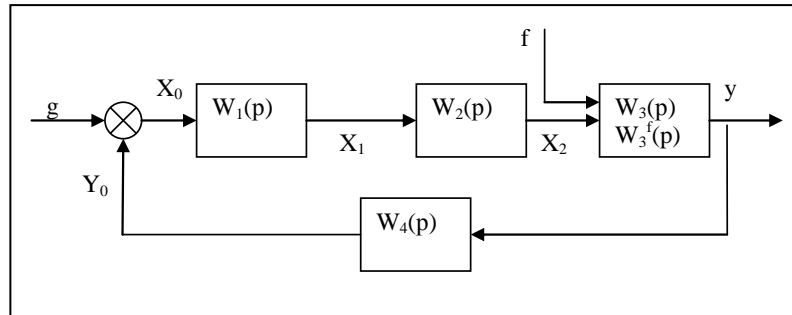
$$W(p) = \frac{W_3^f(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)}$$



ВХОД	ВЫХОД
g	g
X ₀	X₀
Y ₀	Y ₀
X₁	X ₁
f	f
X ₂	X ₂
y	y

Тест 19 Укажите соответствие между входом, выходом и соответствующей им передаточной функцией системы

ВХОДЫ
g
X_0
Y_0
X_1
f
X_2
y



ВЫХОДЫ
g
X_0
Y_0
X_1
f
X_2
y

Передаточные функции системы
$W(p) = \frac{W_3^f(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)}$
$W(p) = \frac{W_3(p)W_2(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)}$
$W(p) = \frac{W_2(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)}$
$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)}$
$W(p) = \frac{1}{1 + W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p)}$
$\phi_x^g(p) = \frac{1 + W'(p)[W_{oc}(p) - 1]}{1 + W(p)}$

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АПУ

ЦЕЛИ МОДУЛЯ

1. Общие цели модуля

1.1. Изучить частотные характеристики АПУ и уметь использовать их при проектировании конкретных приборных устройств.

2. Частные цели модуля. Изучив модуль, Вы сможете:

2.1. Давать определение:

- Амплитудной частотной характеристики;
- Фазовой частотной характеристики;
- Логарифмических частотных характеристик.

2.2. Находить выражения:

- Амплитудной частотной характеристики;
- Фазовой частотной характеристики;
- Логарифмических частотных характеристик.

2.3. Различать амплитудные и логарифмические частотные характеристики.

Частотные характеристики определяют реакцию системы (или звена) на гармоническое входное воздействие.

Частотные методы анализа и синтеза широко распространены в теории автоматического управления.

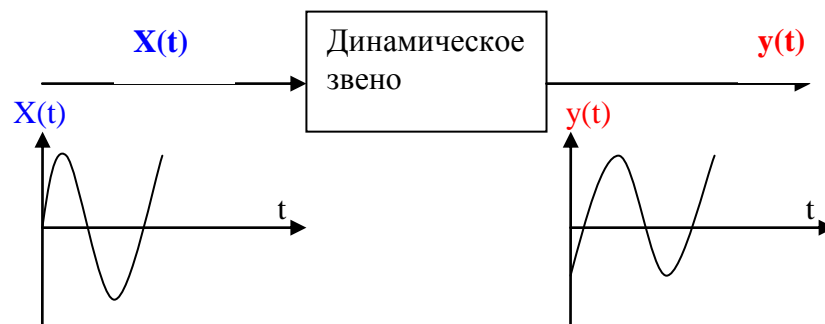
Если на вход системы (или звена) подаётся гармоническое воздействие с постоянной амплитудой и частотой

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}_m \sin \omega t ,$$

То на выходе также будут гармонические колебания с той же частотой, но с другой амплитудой и сдвинутые по фазе относительно входного сигнала, то есть

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{y}_m \sin(\omega t + \varphi),$$

Где x_m , y_m – амплитуды входного и выходного сигналов, φ - сдвиг фаз между ними.



Преобразующие свойства линейной системы (или звена) определяются:

- Отношением амплитуд $\frac{y_m}{x_m}$;
- Сдвигом фаз $\varphi(\omega)$;

Эти величины изменяются с изменением частоты ω .

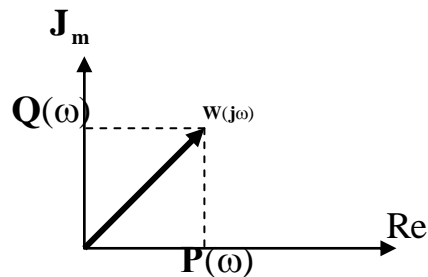
Амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) называется зависимость от частоты отношения амплитуд выходного и входного сигналов.

$$A(\omega) = \frac{y_m(\omega)}{x_m(\omega)}$$

АЧХ показывает, как с изменением частоты ω от нуля до бесконечности, изменяется амплитуда выходного сигнала при постоянной амплитуде входного. **Фазо-частотной характеристикой (ФЧХ)** $\varphi(\omega)$ называется зависимость от частоты ω разности фаз входного и выходного сигналов.

ФЧХ показывает, как с изменением частоты ω от нуля до бесконечности, изменяется сдвиг фаз между входным и выходным гармоническими сигналами.

На комплексной плоскости комплексная частотная характеристика $W(j\omega)$ представляется вектором



Таким образом:

$$A(\omega) = |W(j\omega)| = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)};$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{Q(\omega)}{P(\omega)}$$

Методы определения частотных характеристик

1. Экспериментальный:

- На вход системы (звена) подаётся гармонический синусоидальный сигнал, частота ω_1 которого изменяется в заданном диапазоне;
- Измеряются – амплитуда y_{m1} , фаза φ_1 , соответствующие частотам ω_1 ;
- Находят соотношение $A_1(\omega_1) = \frac{y_{m1}(\omega_1)}{x_{m1}(\omega_1)}$;
- Строят графики - $A_1(\omega_1)$; $\varphi_1(\omega_1)$

2. Аналитический:

- Определяют передаточную функцию системы (звена) $W(p)$;
- Заменяют в выражении ПФ оператор $p = j\omega$, получают **комплексную амплитудно- фазовую частотную характеристику** (комплексный коэффициент передачи)

$$W(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)} = P(\omega) + jQ(\omega),$$

Где $P(\omega)$ - вещественная частотная характеристика;

$Q(\omega)$ - мнимая частотная характеристика.

Эти характеристики не имеют физического смысла и не могут быть получены экспериментально, но они используются для определения $A(\omega)$, $\varphi(\omega)$.