

Задача 1.1 Составление математических моделей (ММ)

Для корректирующего устройства (КУ) в виде пассивного электрического 4-х полюсника, (см. Приложение 1-А, 1-Е), получить дифференциальное уравнение «вход-выход» и передаточную функцию $W(p)$. Определить зависимости (формулы) начального $h(0)$ и конечного $h(\infty)$ значений *переходной* функции КУ от параметров его электрической схемы.

Задача 1.2 Линеаризация ММ

Используя *метод касательных*, линеаризовать уравнение «вход-выход» нелинейного динамического звена (см. Приложение 1-Б) в точке *статического* режима, соответствующего значению входа u_0 и записать аналитическое выражение для передаточной функции (ПФ) линеаризованного звена.

Задача 1.3 Исследование свойств линейных динамических звеньев и их соединений

Структурная схема *разомкнутой* (по цепи обратной связи) САР представляет собой *последовательное* соединение *трех* линейных динамических звеньев (ЛДЗ) с ПФ $W_1(p)$, $W_2(p)$ и $W_3(p)$, вид которых и значения коэффициентов заданы в варианте задания (см. Приложение 1-В, 1-Г). Требуется:

1. Для *каждого* ЛДЗ:
 - а) записать дифференциальное уравнение "вход-выход" и уравнения состояния;
 - б) привести аналитическое выражение для переходной функции $h(t)$ и построить ее график;
 - в) построить *асимптотические* и точные логарифмические амплитудные (ЛАХ) и фазовые (ЛФХ) частотные характеристики. (**Графики асимптотических ЛАХ и приближенных ЛФХ построить ручным способом на бумаге в клетку или на миллиметровке**).
2. Для *разомкнутой* САР:
 - а) записать выражение для передаточной функции $W(p)$;
 - б) построить *асимптотические* и уточненные ЛЧХ и изобразить *схематично* (т.е. без соблюдения масштаба, но с отметкой координат точек пересечения с осями) вид годографа АФЧХ и его расположение относительно «критической» точки $(-1, j0)$ на комплексной плоскости $W(j\omega)$.

Задача 1.4 Преобразования структурных схем САР

Для САР (структурная схема и выход Y указаны в варианте в Приложении 1-Д), используя метод структурных преобразований, получить передаточную функцию $\Phi_{YF}(W_1, W_2, W_3)$ от входа F до выхода Y *в виде выражения* (формулы) относительно W_1, W_2, W_3 .

Задача 1.5 Исследование устойчивости САР

Для САР с единичной отрицательной обратной связью и исходными данными задачи 1.3:

- получить передаточную функцию *замкнутой* САР по ошибке и ее *характеристический полином*;
- исследовать устойчивость САР *алгебраическим* методом и определить граничное значение коэффициента усиления разомкнутой системы $K_{гр}$, при котором САР находится на *колебательной* границе устойчивости;
- исследовать устойчивость САР *частотным* методом, используя построенные в задаче 1.3 частотные характеристики;
- найти *характеристические корни* *замкнутой* САР и по ним оценить ее устойчивость.

Распределение вариантов заданий

Фамилия (п.п.)	Вариант	Фамилия	Вариант
1. Базавлущий	1	2. Коломиец	8
3. Баркин	2	4. Плескачев	9
5. Богомолов	3	6. Сидоров	10
7. Гришин	4	8. Тухватуллин	11
9. Еремеев	5	10. Шурупов	12
11. Завражнов	6	12. Якшин	13
13. Исаков	7	14.	14

А. Принципиальные схемы корректирующих устройств к задаче 1.1 по вариантам (приведены далее на стр. 4).

Б. Варианты нелинейных дифференциальных уравнений «вход-выход» к задаче 1.2 (в скобках указан порядок производной по времени t):

1. $uy^{(2)}+3u^{(1)}y-4uy^{(3)}+2y-3u^2=0; u_0=2;$
2. $4uy^{(3)}-2u^{(2)}-3u+uy+3y^{(2)}=0; u_0=1;$
3. $3u^2y^{(4)}+2u^{(3)}-3u+uy-3uy^{(2)}=0; u_0=2;$
4. $3uy^{(3)}+2u^{(1)}-3u+2u^2y-3uy^{(2)}=0; u_0=3;$
5. $-uy^{(1)}+2u^3-4u^{(2)}+2u^2y-3u^2y^{(2)}=0; u_0=1;$
6. $uy^{(2)}-2u^3+3u^{(2)}+2u^3y-3uy^{(3)}=0; u_0=-1;$
7. $u^3y^{(3)}-4u^{(2)}+3u^3+2uy-3uy^{(1)}=0; u_0=2;$
8. $uy^{(2)}+3u^{(1)}-3u^2+u^3y-3uy^{(1)}=0; u_0=-3;$
9. $uy^{(4)}+2yu+3u^2+u^3y-y^{(1)}=0; u_0=1;$
10. $-u^3y^{(1)}+2u^{(1)}-4u^2+2u^2y-3u^2y^{(2)}=0; u_0=-1;$
11. $uy^{(3)}+3u^{(1)}-3u^2+u^3y-4uy^{(1)}=0; u_0=-3;$
12. $5uy^{(3)}+3u^{(1)}-3u+2u^2y-4uy^{(2)}=0; u_0=3;$
13. $3uy^{(3)}-2u^{(2)}-3u+uy+2y^{(2)}=0; u_0=1;$
14. $uy^{(2)}+3u^{(1)}y-4uy^{(3)}+2y-4u^2=0; u_0=2;$
15. $u^3y^{(3)}+2u^2-3u^{(1)}+uy+3y^{(2)}=0; u_0=1;$
16. $uy^{(3)}+u^{(1)}-4u+2u^2y-3uy^{(2)}=0; u_0=2;$
17. $2uy^{(1)}+2u^{(2)}-3u+2u^2y-3uy^{(2)}=0; u_0=1;$
18. $u^3y^{(1)}+2u^{(2)}-4u^2+u^2y-3u^2y^{(2)}=0; u_0=1;$
19. $2uy^{(2)}-2u^3+3u^{(2)}-2u^3y-3uy^{(3)}=0; u_0=-1;$
20. $uy^{(3)}-4u^{(1)}+3u^3+2uy-3uy^{(1)}=0; u_0=2;$
21. $uy^{(2)}+3u-3u^2+u^3y-3y^{(1)}=0; u_0=-2;$
22. $3u^{(1)}y^{(4)}+2u+3u^2+u^3y-y^{(1)}=0; u_0=-1;$
23. $u^2y^{(1)}-2yu^{(1)}-4u^2+2u^2y-3u^2y^{(2)}=0; u_0=-1;$
24. $uy^{(2)}+3u-3u^2+u^3y-6y^{(1)}=0; u_0=-2;$
25. $4uy^{(1)}+3u^{(2)}-3u+2u^2y-2uy^{(2)}=0; u_0=1;$
26. $2u^3y^{(3)}+2u^2-3u^{(1)}+uy+5y^{(2)}=0; u_0=1;$

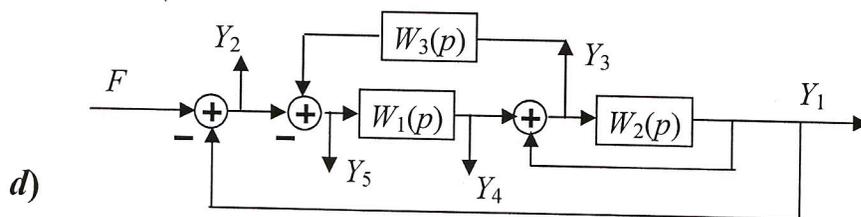
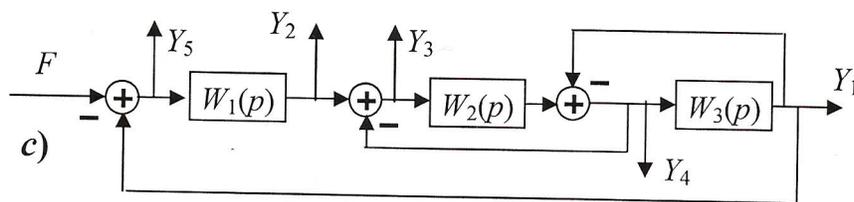
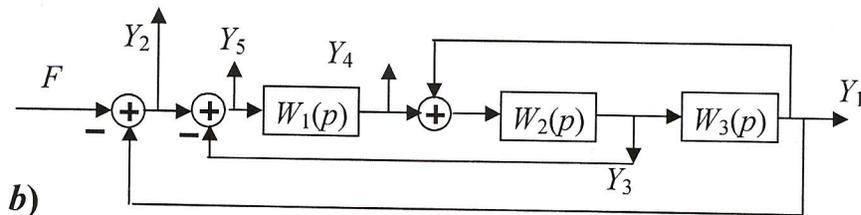
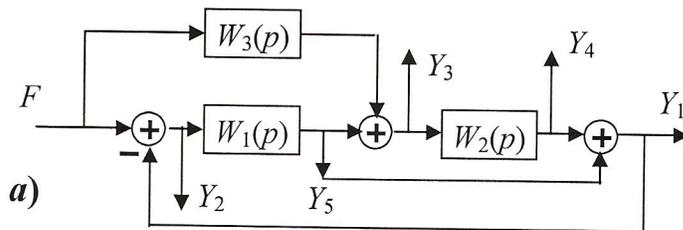
В. Таблица вариантов к задачам 1.3 и 1.4

Вариант	Структ. схема	Вид $W_1(p)$	Вид $W_2(p)$	Вид $W_3(p)$	Y	K_1	T_1, c	T_2, c	K_2	K_3	T_3, c
1	a	a	b	в	Y ₁	2	1	0.5	3	4	0.02
2	b	b	в	a	Y ₁	3	0.5	1.2	4	3	0.04
3	c	в	b	a	Y ₁	4	0.5	2	4	3	0.05
4	d	a	b	в	Y ₁	5	0.6	1.3	4	1	0.06
5	a	b	в	a	Y ₂	2	0.7	1.4	8	2	0.04
6	b	в	b	a	Y ₂	3	1	2	2	3	0.08
7	c	b	a	в	Y ₂	6	0.8	3	2	2	0.1
8	d	b	в	a	Y ₂	1	0.6	1.5	5	4	0.06
9	a	в	b	a	Y ₃	5	0.2	2	4	3	0.06
10	b	b	в	a	Y ₃	4	0.3	3	3	4	0.03
11	c	a	в	b	Y ₃	2	0.2	2	5	4	0.02
12	d	в	a	b	Y ₃	7	0.4	2.5	4	3	0.04
13	a	a	b	в	Y ₄	3	0.5	2	3	4	0.07
14	b	b	в	a	Y ₄	4	0.6	1.3	5	1	0.07
15	c	в	b	a	Y ₄	2	0.7	1.3	4	4	0.05
16	d	a	b	в	Y ₄	3	0.9	2	3	2	0.06
17	a	b	в	a	Y ₅	5	0.8	3	3	2	0.08
18	b	в	b	a	Y ₅	6	0.6	1.6	4	1	0.07
19	c	b	a	в	Y ₅	3	0.3	4	4	3	0.04
20	d	b	в	a	Y ₅	8	0.3	3	3	2	0.04
21	a	b	в	a	Y ₃	5	0.6	1.5	4	1	0.06
22	b	в	b	a	Y ₄	4	0.2	2	3	5	0.06
23	c	b	в	a	Y ₅	3	0.3	3	4	4	0.02
24	d	a	в	b	Y ₄	5	0.2	2	2	7	0.04
25	a	в	a	b	Y ₂	6	0.4	2.5	2	7	0.04
26	c	a	в	b	Y ₁	3	0.2	2	2	7	0.02

Г. Варианты передаточных функций ЛДЗ к задаче 1.3:

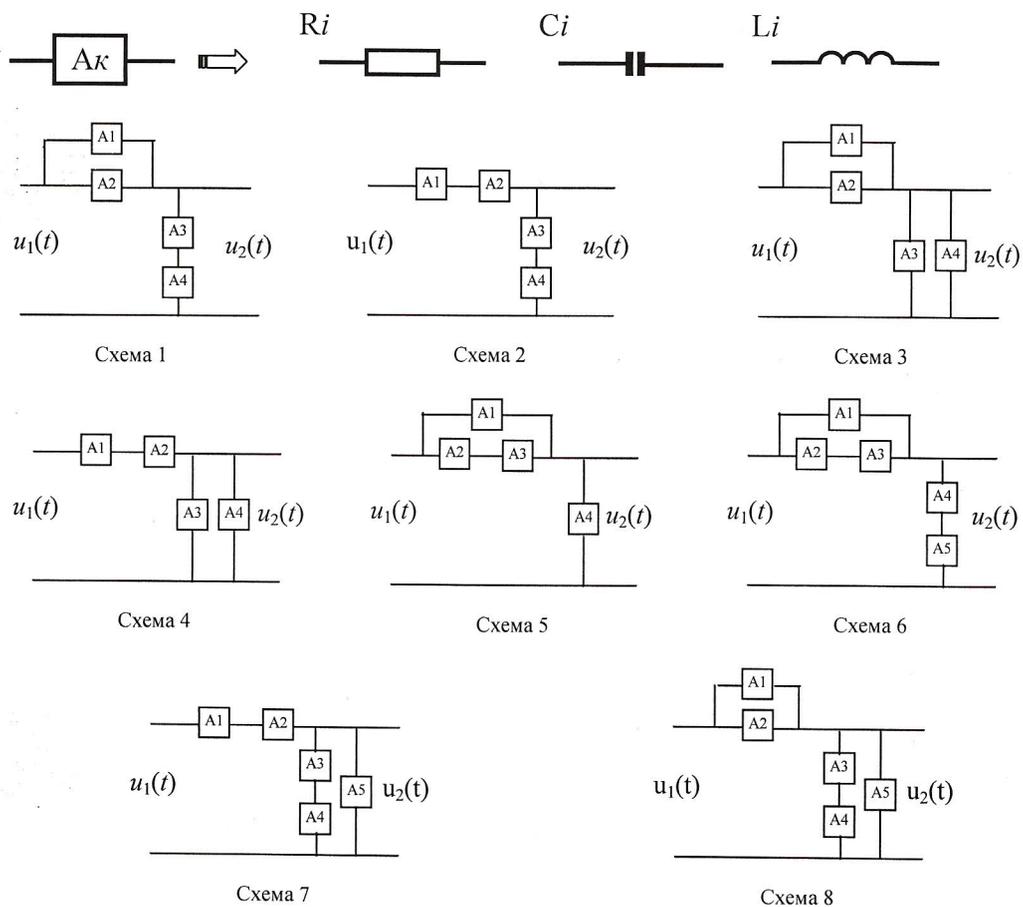
$$a) \frac{K_1(1+pT_1)}{1+pT_2}; \quad б) \frac{K_2}{p}; \quad в) \frac{K_3}{(1+pT_3)^2}.$$

Д. Варианты структурных схем САР к задаче 1.4:



Е. Схемы корректирующих устройств к задаче 1.1

Условные обозначения на схемах: A1, A2, A3, A4, A5 – пассивные электрические элементы, каждый из которых, в зависимости от варианта и его модификации, может быть резистором R , ёмкостью C или индуктивностью L :



Ж. Таблица вариантов к задаче 1.1

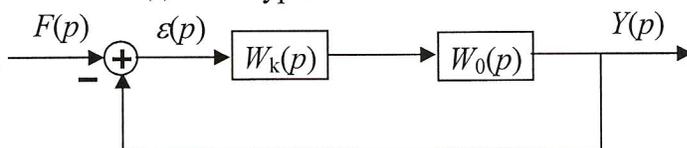
Вариант	№ схемы	A1	A2	A3	A4	A5	Модификация варианта
1	1	C1	R1	R2	C2	-	C2 → L2
2	2	R1	C1	R2	C2	-	C1 → L1
3	3	C1	R1	R2	C2	-	C2 → L2
4	4	R1	C1	R2	C2	-	C1 → L1
5	5	C1	C2	R1	R2	-	C2 → L2
6	5	R1	C1	R2	C2	-	C1 → L1
7	6	R1	C1	R2	C2	R3	C2 → L2
8	7	C1	R1	R2	C2	R3	C1 → L1
9	8	R1	C1	R2	C2	R3	C2 → L2
10	7	C1	R1	R2	C2	R3	C1 → L1
11	1	L1	R1	R2	L2	-	L2 → C2
12	2	R1	L1	R2	L2	-	L1 → C1
13	3	L1	R1	R2	L2	-	L2 → C2
14	4	R1	L1	R2	L2	-	L1 → C1
15	5	L1	L2	R1	R2	-	L2 → C2
16	5	R1	L1	R2	L2	-	L1 → C1
17	6	R1	L1	R2	L2	R3	L2 → C2
18	7	L1	R1	R2	L2	R3	L1 → C1
19	8	R1	L1	R2	L2	R3	L2 → C2
20	6	L1	R1	R2	L2	R3	L1 → C1
21	7	C2	R1	R2	C2	R3	C2 → L2
22	8	C1	R1	R2	C1	R3	C1 → L1
23	4	C2	R1	R2	C1	-	C2 → L2
24	5	R1	C1	R2	C2	-	C1 → L1
25	6	R2	L1	R1	C1	R3	L1 → C2
26	7	L1	R1	R2	C2	R3	L1 → C1

Внимание!

В этой задаче необходимо рассмотреть основной вариант и модифицированный вариант схемы, получаемый заменой емкости C на индуктивность L (или наоборот)!

Задача 2.1

Структурная схема одноконтурной линейной САР имеет следующий вид:



Здесь $W_0(p)$ и $W_k(p)$ - передаточные функции *неизменяемой* части системы (объекта управления ОУ) и *корректирующего* звена (КЗ):

$$W_0(p) = \frac{K}{p(1 + pT_a)(1 + pT_b)}; \quad W_k(p) = \frac{(1 + pT_1)(1 + pT_2)}{(1 + pT_3)(1 + pT_4)}$$

Значения параметров приведены в таблице вариантов (см. Приложение 2)

Требуется: Исследование характеристик скорректированной САР

- 1) исследовать устойчивость не скорректированной САР (при $W_k(p) = 1$) любым алгебраическим методом и по частотному критерию Найквиста;
- 2) построить ЛЧХ корректирующего звена (КЗ) и **разомкнутой скорректированной** системы. Оценить влияние **КЗ** на устойчивость системы и определить запасы ее устойчивости по фазе φ_3 и по коэффициенту усиления (по модулю) L_3 ;
- 3) по значению L_3 определить значение $K=K_{гр}$, при котором САР находится на колебательной границе устойчивости;
- 4) получить и сравнить графики переходных функций для замкнутых не скорректированной и скорректированной САР.

Задача 2.2 Анализ качества САР

Для САР с исходными данными задачи 2.1 требуется:

- а) определить значения коэффициентов ошибок C_0 , C_1 и C_2 (т.е. коэффициенты разложения ПФ по ошибке $\Phi_\varepsilon(p) = C_0 + C_1p + C_2p^2 + \dots$);
- б) по графику переходной функции скорректированной САР, построенному в задаче 2.1, определить прямые показатели качества переходного процесса (перерегулирование $\sigma\%$, время затухания переходного процесса t_p , число колебаний, период колебаний, коэффициент затухания (демпфирования));
- в) построить график амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) для замкнутой скорректированной САР и определить частотные показатели качества переходного процесса (значение показателя колебательности M , частоту амплитудного резонанса ω_p и граничную частоту полосы пропускания $\omega_{пр.}$);
- г) используя коэффициенты C_0 , C_1 и C_2 , определить закон изменения во времени вынужденной составляющей ошибки $\varepsilon_B(t)$ при входном сигнале вида $F(t) = 1 + 9t - 7t^2$.

А. Таблица вариантов значений параметров к задаче 2.1

Вариант	K, c^{-1}	T_a, c	T_b, c	T_1, c	T_2, c	T_3, c	T_4, c
1	109	0.08	0.009	0.177	0.08	0.65	0.013
2	120	0.1	0.008	0.134	0.1	0.562	0.01
3	101	0.12	0.01	0.156	0.12	0.636	0.014
4	140	0.11	0.009	0.11	0.11	0.48	0.007
5	100	0.1	0.008	0.125	0.1	0.425	0.0072
6	118	0.08	0.009	0.11	0.08	0.37	0.005
7	132	0.11	0.009	0.143	0.11	0.533	0.005
8	133	0.11	0.009	0.11	0.11	0.32	0.0032
9	118	0.08	0.009	0.14	0.08	0.61	0.01
10	120	0.1	0.01	0.12	0.1	0.8	0.015
11	90	0.08	0.01	0.18	0.08	0.65	0.013
12	100	0.1	0.01	0.14	0.1	0.5	0.01
13	80	0.12	0.01	0.156	0.12	0.64	0.015
14	110	0.11	0.01	0.1	0.11	0.4	0.02
15	100	0.1	0.008	0.1	0.1	0.46	0.008
16	125	0.08	0.009	0.11	0.08	0.42	0.009
17	132	0.11	0.007	0.17	0.11	0.7	0.015
18	133	0.11	0.012	0.11	0.11	0.32	0.007
19	125	0.08	0.012	0.16	0.08	0.8	0.02
20	120	0.12	0.02	0.12	0.12	0.8	0.015
21	116	0.1	0.008	0.134	0.1	0.56	0.01
22	120	0.14	0.009	0.11	0.14	0.48	0.007
23	130	0.11	0.009	0.143	0.11	0.53	0.005
24	124	0.15	0.01	0.12	0.15	0.78	0.015
25	116	0.13	0.01	0.1	0.13	0.35	0.02
26	135	0.11	0.012	0.11	0.11	0.3	0.007

Рекомендуемые программные средства для выполнения расчетов:

1. Программный пакет VisSim;
2. Программный пакет Mathcad.

Примечание: Выполнение заданий является необходимым условием для получения зачета!