

ЦЕЛЬ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1. Изучить характер переходных процессов в линейных цепях.
2. Закрепить аналитические методы расчета частотных и временных характеристик линейных цепей.
3. Освоить суперпозиционный анализ сигналов.
4. Овладеть суперпозиционным методом расчета реакций линейных цепей.
5. Уяснить влияние параметров цепи на вид ее реакции.

СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Работа посвящена расчету и анализу реакции заданной линейной цепи на известное внешнее воздействие. Расчет осуществляется методом интеграла Дюамеля или операторным методом.

Заданы:

- линейная цепь (приложение 1, электрические цепи);
- сигнал, действующий на вход цепи (приложение 2, сигналы);
- варианты индивидуальных заданий с указанием количественных характеристик цепей и сигналов для каждого из вариантов (приложение 3, табл.1).

1. Рассчитать в общем виде:

- операторную передаточную характеристику цепи;
- комплексную частотную характеристику цепи;
- амплитудно-частотную характеристику цепи;
- фазочастотную характеристику цепи;
- переходную характеристику цепи;
- импульсную характеристику цепи.

2. Выполнить суперпозиционный анализ сигнала.

3. Рассчитать методом интеграла Дюамеля или операторным методом в общем виде частные реакции цепи и результирующую реакцию. Независимые начальные условия – нулевые (цепь пустая).

4. Составить программу по расчету и построению амплитудно-частотной, фазочастотной, переходной и импульсной характеристик цепи при заданных ее параметрах.

5. Составить программу расчета и построения реакции заданной цепи на заданный сигнал.

6. Вычислить характеристики и реакцию цепи, указанные в п.п. 4 и 5, построить их графики.

7. Сделать выводы по работе.

8. Оформить отчет.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Обобщенная схема цепей, указанных в индивидуальных заданиях, изображена на рис.1. По условиям задания известны параметры цепи, внешняя ЭДС $e(t)$ и начальные условия (цепь пустая). Расчету подлежат характеристики цепи от входа $e(t)$ к выходу $u(t)$ и напряжение $u(t)$, при заданной ЭДС $e(t)$.

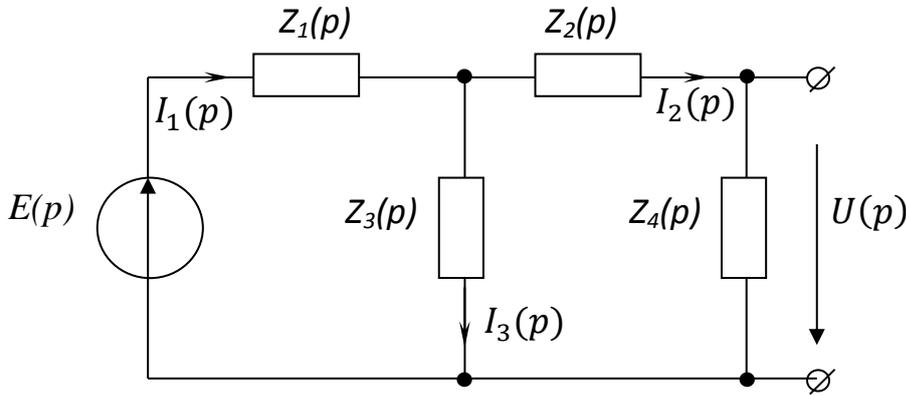


Рис.1

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕПИ

А. Операторная передаточная характеристика.

По определению операторная передаточная характеристика

$$H_{kv}(p) = \frac{S_k(p)}{X_v(p)},$$

где $X_v(p)$ – изображение по Лапласу внешнего воздействия;

$S_k(p)$ – изображение реакции.

Изображение $S_k(p)$ можно выразить через $X_v(p)$, составляя уравнение по методу контурных токов или токов ветвей. Но можно поступить и иначе, исходя из уравнений Кирхгофа. Найдем операторную передаточную характеристику при переходе от ЭДС $e(t)$ к напряжению $u(t)$. Составим уравнения Кирхгофа:

$$\begin{aligned} I_1(p) &= I_2(p) + I_3(p); \\ I_1(p)z_1(p) + U_3(p) &= E(p). \end{aligned}$$

Здесь

$$I_2(p) = \frac{U(p)}{z_4(p)}; \quad I_3(p) = \frac{U_3(p)}{z_3(p)} = \frac{z_2(p) + z_4(p)}{z_3(p)z_4(p)} U(p);$$

$$U_3(p) = [z_2(p) + z_4(p)]I_2(p) = \frac{z_2(p) + z_4(p)}{z_4(p)} U(p).$$

Поэтому:

$$I_1(p) = U(p) \left[\frac{1}{z_4(p)} + \frac{z_2(p) + z_4(p)}{z_3(p)z_4(p)} \right] = \frac{z_2(p) + z_3(p) + z_4(p)}{z_3(p)z_4(p)} U(p);$$

$$E(p) = U(p) \left\{ \frac{[z_2(p) + z_3(p) + z_4(p)]z_1(p)}{z_3(p)z_4(p)} + \frac{[z_2(p) + z_4(p)]z_3(p)}{z_3(p)z_4(p)} \right\} =$$

$$= \frac{z_1(p)z_2(p) + z_1(p)z_3(p) + z_1(p)z_4(p) + z_2(p)z_3(p) + z_3(p)z_4(p)}{z_3(p)z_4(p)} U(p).$$

Отсюда получаем

$$K_{ue} = \frac{z_3(p)z_4(p)}{z_1(p)z_2(p) + z_1(p)z_3(p) + z_1(p)z_4(p) + z_2(p)z_3(p) + z_3(p)z_4(p)}.$$

Так, например, для цепи, изображенной на рис. 2,

$$z_1(p) = z_2(p) = R; \quad z_3(p) = z_4(p) = pL.$$

Следовательно

$$K_{ue}(p) = \frac{(p\theta)^2}{(p\theta)^2 + 3p\theta + 1},$$

где $\theta = \frac{L}{R}$.

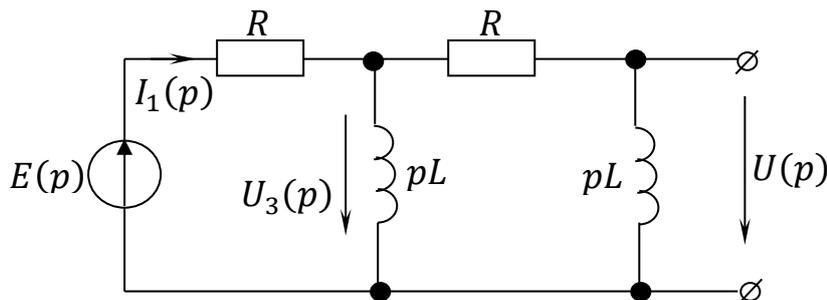


Рис. 2

Подобным же образом определяются передаточные характеристики при переходе от ЭДС $e(t)$ к току $i_1(t)$, к напряжению $u_3(t)$ и т.д.

Б. Комплексная частотная характеристика.

Комплексная частотная характеристика цепи численно равна комплексной амплитуде реакции этой цепи при воздействии на вход стандартного сигнала $e^{j\omega t}$, т.е. гармонического колебания с частотой ω , единичной амплитудой и начальной фазой $\varphi_0 = 0$

$$K_{ue}(j\omega) = \frac{\dot{U}_m}{\dot{E}_m} = |K_{ue}(j\omega)|e^{j\varphi(\omega)}.$$

Комплексная частотная характеристика определяется из соотношения

$$K_{ue}(j\omega) = K_{ue}(p)|_{p=j\omega}.$$

Так, для цепи, приведенной на рис. 2,

$$K_{ue}(j\omega) = \frac{(j\omega\theta)^2}{(j\omega\theta)^2 + 3j\omega\theta + 1} = -\frac{(\omega\theta)^2}{1 - (\omega\theta)^2 + j3\omega\theta}.$$

В. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ).

АЧХ – модуль комплексной частотной характеристики:

$$АЧХ = |K_{ue}(j\omega)|.$$

Для рассматриваемого примера

$$|K_{ue}(j\omega)| = \frac{(\omega\theta)^2}{\sqrt{[1 - (\omega\theta)^2]^2 + 9(\omega\theta)^2}}.$$

Г. Фазочастотная характеристика (ФЧХ).

ФЧХ – аргумент комплексной частотной характеристики:

$$\PhiЧХ = \varphi(\omega) = \arg K_{ue}(j\omega).$$

В рассматриваемом примере

$$\varphi(\omega) = \begin{cases} -\operatorname{arctg} \frac{3\omega\theta}{1 - (\omega\theta)^2} + \pi, & \omega\theta < 1; \\ -\operatorname{arctg} \frac{3\omega\theta}{1 - (\omega\theta)^2}, & \omega\theta > 1. \end{cases}$$

Д. Переходная характеристика.

Переходная характеристика численно выражает реакцию первоначально пустой цепи на внешнее воздействие в виде единичной функции $1(t)$. Она связана с операторной передаточной характеристикой уравнением:

$$G_{ue}(p) = \frac{K_{ue}(p)}{p}.$$

В рассматриваемом примере

$$G_{ue}(p) = \frac{1}{p} \cdot \frac{p^2 \theta^2}{\theta^2(p^2 + \frac{3}{\theta}p + \frac{1}{\theta^2})} = \frac{p}{p^2 + \frac{3}{\theta}p + \frac{1}{\theta^2}}.$$

Для нахождения $g_{ue}(t)$ по ее изображению $G_{ue}(p)$ воспользуемся таблицей оригиналов (приложение 4, табл. 2). В указанной таблице изображение $f(p) = G_{ue}(p)$ представлено в виде $\frac{p}{(p+a)(p+b)}$. Приведем наше изображение $G_{ue}(p)$ к табличному виду, для чего преобразуем трехчлен знаменателя в произведение двухчленов, воспользовавшись соотношением:

$$\chi^2 + b\chi + c = (\chi - \chi_1)(\chi - \chi_2),$$

где χ_1 и χ_2 – корни трехчлена

$$\chi_{1,2} = -\frac{b}{2} \pm \sqrt{\frac{b^2}{4} - c}.$$

Решая уравнение

$$p^2 + \frac{3}{\theta}p + \frac{1}{\theta^2} = 0,$$

находим корни трехчлена

$$p_{1,2} = -\frac{3}{2\theta} \pm \sqrt{\frac{3}{4\theta^2} - \frac{1}{\theta^2}} = -\frac{3}{2\theta} \pm \frac{2,24}{2\theta}$$

или

$$p_1 = -\frac{0,38}{\theta}; \quad p_2 = -\frac{2,62}{\theta}.$$

Отсюда

$$p^2 + \frac{3}{\theta}p + \frac{1}{\theta^2} = (p - p_1)(p - p_2) = \left(p + \frac{0,38}{\theta}\right) \left(p + \frac{2,62}{\theta}\right)$$

и

$$G_{ue}(p) = \frac{p}{\left(p + \frac{0,38}{\theta}\right) \left(p + \frac{2,62}{\theta}\right)}.$$

По таблице оригиналов (приложение 4, табл. 2) находим

$$\frac{p}{(p+a)(p+b)} \rightarrow \frac{1}{b-a} (be^{-bt} - ae^{-at}) 1(t).$$

Для нашего примера

$$g_{ue}(t) = \frac{\theta}{2,62 - 0,38} \left(\frac{2,62}{\theta} e^{-2,62t/\theta} - \frac{0,38}{\theta} e^{-0,38t/\theta} \right) 1(t) =$$

$$= \frac{1}{2,24} \left(2,62 e^{-2,62t/\theta} - 0,38 e^{-0,38t/\theta} \right) 1(t).$$

Окончательно

$$g_{ue}(t) = \left(1,17 e^{-2,62t/\theta} - 0,17 e^{-0,38t/\theta} \right) 1(t).$$

Е. Импульсная характеристика.

Импульсная характеристика $h(t)$ численно выражает реакцию первоначально пустой цепи на действие дельта-функции $\delta(t)$. Для $h(t)$ справедливы соотношения

$$H(p) = K(p), \quad h(t) = \frac{dg(t)}{dt}.$$

При известной переходной характеристике $g(t)$ целесообразно для расчета импульсной характеристики воспользоваться вторым соотношением. При этом следует иметь в виду, что дифференцирование осуществляется в классе обобщенных функций, и не упустить в выражении $h(t)$ слагаемого с дельта-функцией, если оно имеется. Записывая переходную характеристику в виде

$$g(t) = G(t)1(t),$$

где $G(t)$ – непрерывная (некоммутируемая) функция, имеем

$$h(t) = G'(t)1(t) + G(0)\delta(t).$$

Во втором слагаемом вместо $G(t)$ взято G при $t=0$, так как $\delta(t) \neq 0$ только при $t=0$. Таким образом, если $G(0) \neq 0$, то в состав импульсной характеристики войдет слагаемое с дельта-функцией. В нашем примере

$$\frac{dg_{ue}(t)}{dt} = \left(1,17 \left(-\frac{2,62}{\theta} e^{-2,62t/\theta} \right) - 0,17 \left(-\frac{0,38}{\theta} e^{-0,38t/\theta} \right) \right) 1(t) +$$

$$+(1,17 - 0,17)\delta(t).$$

Окончательно

$$h_{ue}(t) = \delta(t) + \frac{0,06}{\theta} e^{-0,38t/\theta} - \frac{3,06}{\theta} e^{-2,62t/\theta}, \quad t \geq 0.$$

СУПЕРПОЗИЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ

Суперпозиционный анализ сигнала состоит в представлении его в виде суммы сигналов, включаемых в различные моменты времени и в дальнейшем не коммутируемых. Частную реакцию линейной цепи на каждое такое слагаемое можно рассчитать, воспользовавшись интегралом Дюамеля, а результирующую реакцию получить суммированием частных реакций (принцип суперпозиции).

Суперпозиционный анализ сигнала осуществляется на основании его графического изображения, приведенного в приложении 2. Каждый из частных сигналов изображается графически и записывается в аналитическом виде.

Пример. Произведем суперпозиционный анализ ЭДС, изображенной на рис. 3. Слагаемые, на которые расчленяется заданная ЭДС, изображены на рис. 3 пунктиром. Их аналитические выражения таковы

$$e_1(t) = \frac{2E}{t_u}(t) \cdot 1(t), \quad e_2(t) = -2E \cdot 1\left(t - \frac{t_u}{2}\right);$$

$$e_3(t) = -\frac{2E}{t_u}(t - t_u) \cdot 1(t - t_u).$$

При этом $e(t) = e_1(t) + e_2(t) + e_3(t)$.

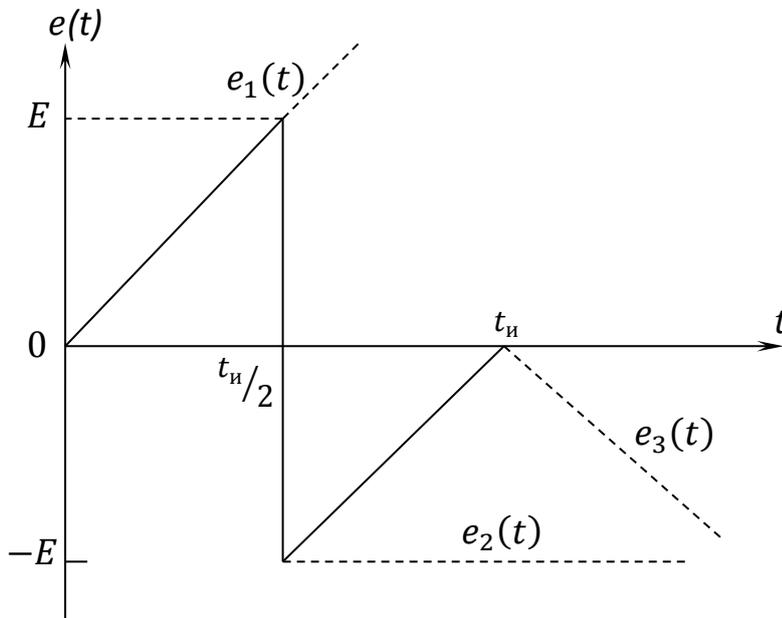


Рис. 3

РАСЧЕТ РЕАКЦИЙ ЦЕПИ

А. Метод интеграла Дюамеля.

Расчет частных реакций. Расчет реакций на внешние воздействия $e_1(t)$, $e_2(t)$, ... можно осуществить методом интеграла Дюамеля. Частная реакция $b(t)$ на воздействие $a(t)$, включаемое в момент времени $t = 0$, выражается для моментов времени $t > 0$ с помощью интеграла Дюамеля следующим образом:

$$b(t) = a(0_+)g(t) + \int_0^t a'(\tau)g(t-\tau)d\tau; \quad (1)$$

$$b(t) = a(0_+)g(t) + \int_0^t a'(t-\tau)g(\tau)d\tau; \quad (2)$$

$$b(t) = g(0_+)a(t) + \int_0^t a(t-\tau)g'(\tau)d\tau; \quad (3)$$

$$b(t) = g(0_+)a(t) + \int_0^t a(\tau)g'(t-\tau)d\tau. \quad (4)$$

Формы для интеграла Дюамеля (3) и (4) предпочтительны для расчетов в тех случаях, когда $g(0_+) = 0$, а формы (1) и (2), когда $a(0_+) = 0$. Реакция $b_3(t)$ на воздействие вида $a(t - t_3)$ получается из реакции на воздействие $a(t)$ путем смещения ее по времени на t_3 в сторону запаздывания $b_3(t) = b(t - t_3)$.

Реакция на воздействие вида $a(t) = A 1(t)$ представляет собой величину, пропорциональную переходной характеристике $b(t) = Ag(t)$.

Пример. Найдем частные реакции при воздействии импульса ЭДС (рис. 3) с параметрами: $E = 5 \text{ В}$, $t_u = 6 \text{ мкс}$ на цепь, изображенную на рис. 2 ($R = 0,8 \text{ кОм}$, $L = 2 \text{ мГн}$).

$$1) \quad e_1(t) = \frac{2E}{t_u} t 1(t).$$

Воспользуемся интегралом Дюамеля в форме (2), учитывая, что

$$e_1(0_+) = 0; \quad e'_1(\tau) = \frac{2E}{t_u};$$

$$g_{ue}(t) = (1,17e^{-2,62t/\theta} - 0,17e^{-0,38t/\theta}) 1(t);$$

$$u_1(t) = 0 + \int_0^t \frac{2E}{t_u} (1,17e^{-2,62\tau/\theta} - 0,17e^{-0,38\tau/\theta}) d\tau.$$

Производя интегрирование, находим

$$u_1(t) = \frac{2E\theta}{t_u} \left(-\frac{1,17}{2,62} e^{-2,62\tau/\theta} + \frac{0,17}{0,38} e^{-0,38\tau/\theta} \right) \Big|_0^t,$$

т.е.

$$u_1(t) = \frac{2E\theta}{t_u} \cdot 0,446 \left(e^{-0,38t/\theta} - e^{-2,62t/\theta} \right), \quad t \geq 0.$$

$$2) \quad e_2(t) = -2E 1\left(t - \frac{t_u}{2}\right).$$

Эта ЭДС аналогична $2E \cdot 1(t)$, но запаздывает относительно нее на время $t_u/2$ и отличается знаком. Поэтому

$$u_2(t) = -2E \cdot h\left(t - \frac{t_u}{2}\right), \quad t \geq \frac{t_u}{2},$$

т.е.

$$u_2(t) = -2E \begin{bmatrix} -2,62(t-t_u/2)/\theta & -0,38(t-t_u/2)/\theta \\ 1,17e & -0,17e \end{bmatrix}, \quad t \geq \frac{t_u}{2}.$$

$$3) e_3(t) = -\frac{2E}{t_u}(t - t_u) \cdot 1(t - t_u).$$

Эта ЭДС отличается от ЭДС $e_1(t)$ знаком и запаздывает относительно нее на время t_u . Поэтому

$$u_3(t) = -u_1(t - t_u), \quad t \geq t_u,$$

т.е.

$$u_3(t) = -\frac{2E\theta}{t_u} \cdot 0,446 \left[e^{-0,38(t-t_u)/\theta} - e^{-2,62(t-t_u)/\theta} \right], \quad t \geq t_u.$$

Полная реакция получается суммированием частных реакций в интервалах их существования. Так, в рассматриваемом примере

$$u(t) = \begin{cases} u_1(t), & 0 \leq t \leq \frac{t_u}{2}, \\ u_1(t) + u_2(t), & \frac{t_u}{2} \leq t \leq t_u, \\ u_1(t) + u_2(t) + u_3(t), & t \geq t_u, \end{cases}$$

или

$$u(t) = \frac{2E\theta}{t_u} \cdot 0,446 \left(e^{-0,38t/\theta} - e^{-2,62t/\theta} \right), \quad 0 \leq t \leq \frac{t_u}{2};$$

$$u(t) = \frac{2E\theta}{t_u} \cdot 0,446 \left(e^{-0,38\frac{t}{\theta}} - e^{-2,62\frac{t}{\theta}} \right) - 2E \left[1,17e^{-\frac{2,62(t-t_u/2)}{\theta}} - 0,17 \times \right. \\ \left. \times e^{-\frac{0,38(t-t_u/2)}{\theta}} \right], \quad \frac{t_u}{2} \leq t \leq t_u;$$

$$u(t) = \frac{2E\theta}{t_u} 0,446 \left(e^{-0,38\frac{t}{\theta}} - e^{-2,62\frac{t}{\theta}} \right) - 2E \left[1,17e^{-\frac{2,62(t-t_u/2)}{\theta}} - 0,17 \times \right. \\ \left. \times e^{-\frac{0,38(t-t_u/2)}{\theta}} \right] - \frac{2E\theta}{t_u} 0,446 \left[e^{-0,38(t-t_u)/\theta} - e^{-2,62(t-t_u)/\theta} \right], \quad t \geq t_u.$$

Б. Операторный метод.

Частные реакции можно рассчитать операторным методом, исходя из известного соотношения между изображениями по Лапласу внешнего воздействия $X_v(p)$ и реакции $S_k(p)$

$$S_k(p) = H_{kv}(p)X_v(p),$$

справедливого для пустой линейной цепи. В рассматриваемом примере достаточно рассчитать реакцию цепи на ЭДС $e_1(t) = \frac{2E}{t_u} t 1(t)$.

Для этой реакции

$$U_1(p) = K_{u_1e_1}(p)E_1(p)$$

или, поскольку $E_1(p) = \frac{2E}{t_u} \cdot \frac{1}{p^2}$ (см. приложение 4, табл. 2),

$$U_1(p) = \frac{2E}{t_u} \cdot \frac{(p\theta)^2}{(p\theta)^2 + 3p\theta + 1} \cdot \frac{1}{p^2},$$

т.е.

$$U_1(p) = \frac{2E}{t_u} \cdot \frac{1}{p^2 + \frac{3}{\theta}p + 1},$$

или

$$U_1(p) = \frac{2E}{t_u} \cdot \frac{1}{\left(p + \frac{2,62}{\theta}\right)\left(p + \frac{0,38}{\theta}\right)}.$$

По таблице оригиналов и изображений (приложение 4, табл. 2) находим напряжение $u_1(t)$

$$u_1(t) = \frac{2E}{t_u} \cdot \frac{\theta}{2,62 - 0,38} \left(e^{-0,38t/\theta} - e^{-2,62t/\theta} \right),$$

или окончательно

$$u_1(t) = \frac{2E\theta}{t_u} \cdot 0,446 \left(e^{-0,38t/\theta} - e^{-2,62t/\theta} \right),$$

что тождественно результату, полученному методом интеграла Дюамеля.

Формирование полной реакции осуществляется так же, как в п. А.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

В выводах анализируются изменения формы сигнала в результате преобразования его линейной цепью.

УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа оформляется на отдельных стандартных листах *A4* с полями, сброшюрованных в тетрадь.

В начале работы помещается индивидуальное задание с указанием номера варианта, изображением электрической схемы цепи и заданного сигнала.

При оформлении отчета руководствоваться требованиями ЕСКД. К работе следует приложить построенные графики функций.

Титульный лист оформляется так, как показано на с.14.

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

Кафедра основ радиотехники и защиты информации

КУРСОВАЯ РАБОТА

Анализ характеристик линейных цепей
и линейных преобразований сигналов

Выполнил студент группы БИТ2 - ...

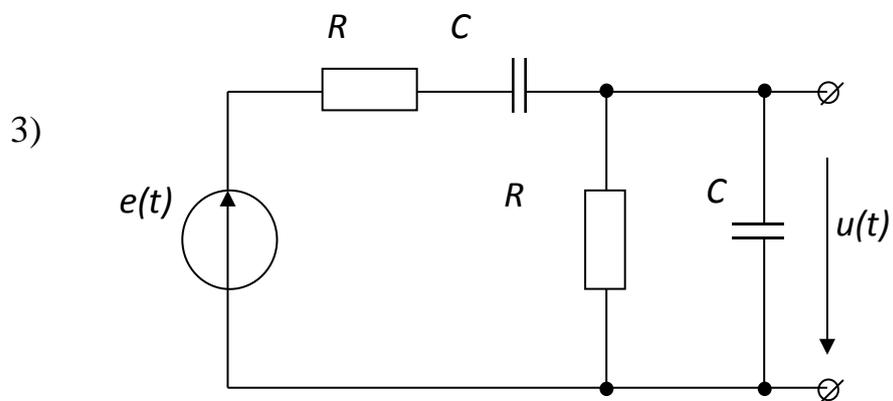
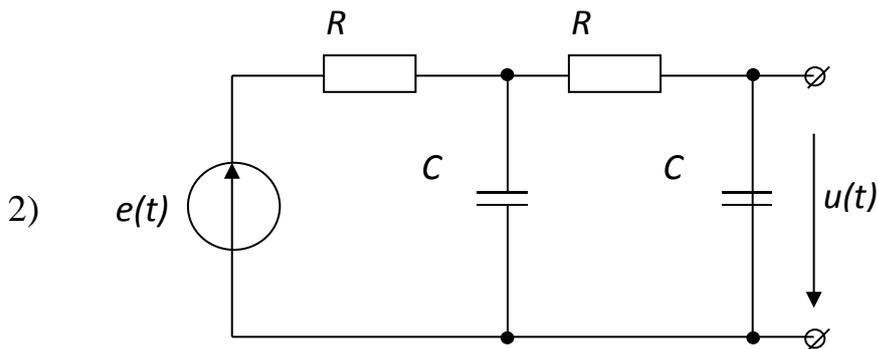
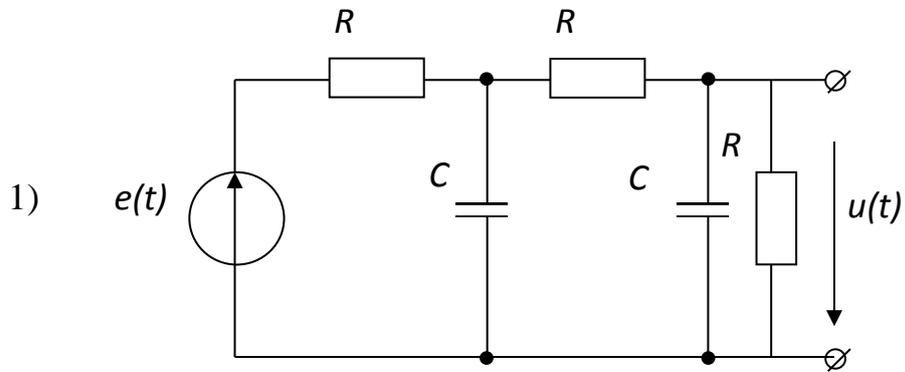
.....
(ФИО)

Руководитель:

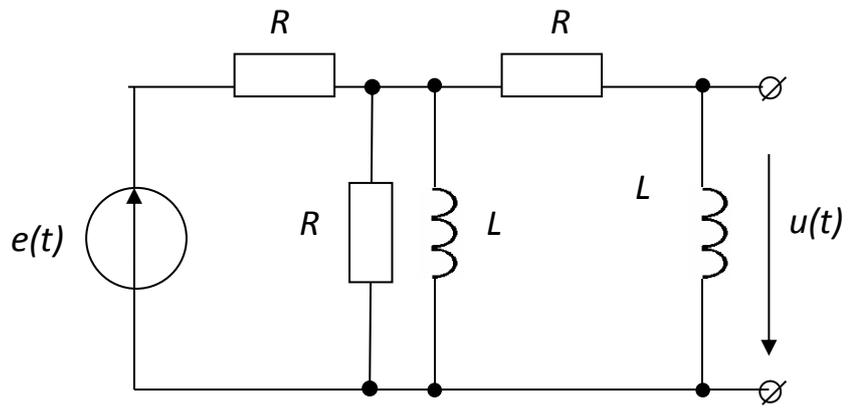
.....
(должность, ФИО)

Москва 2013

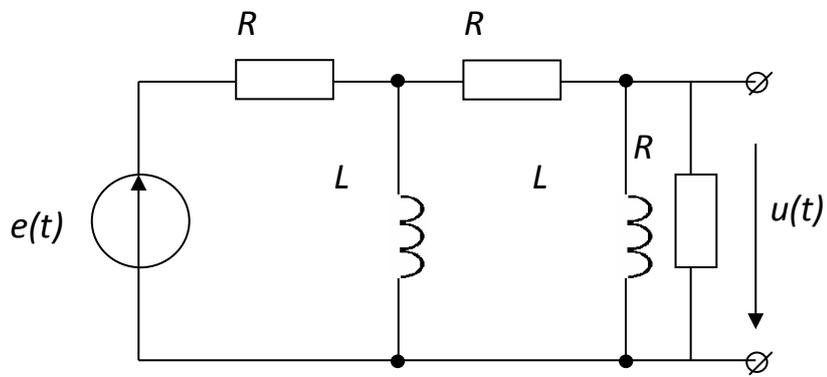
Электрические цепи



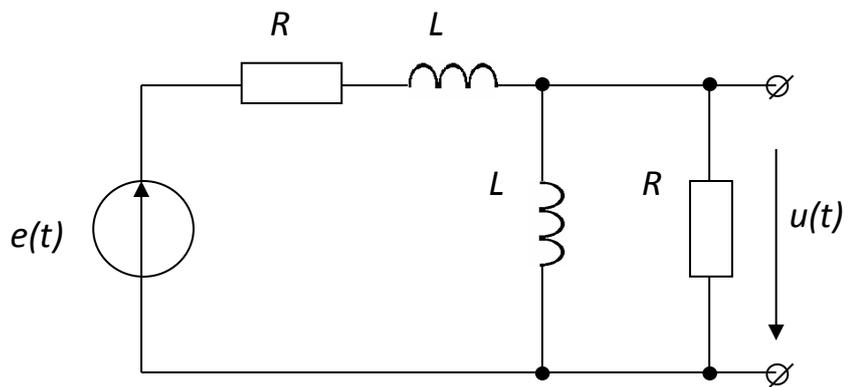
4)

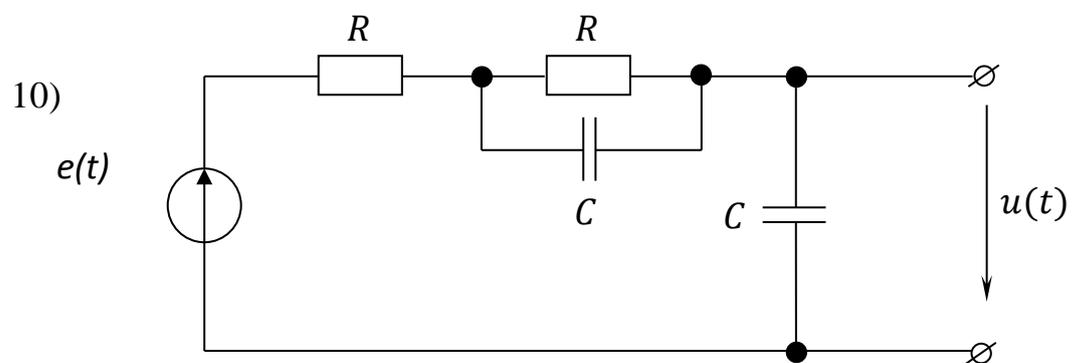
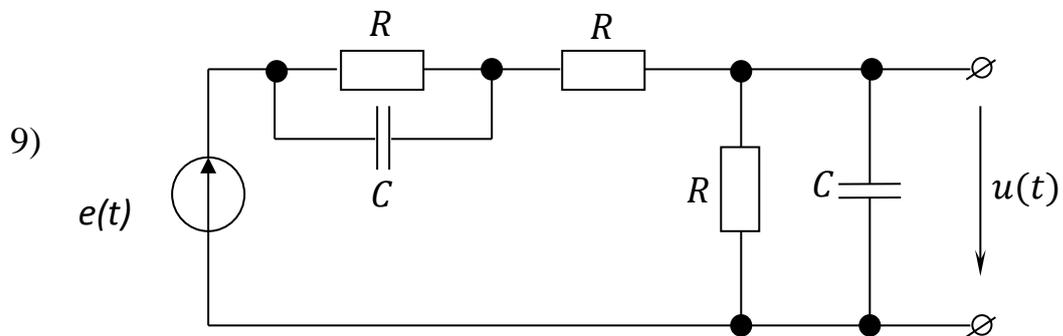
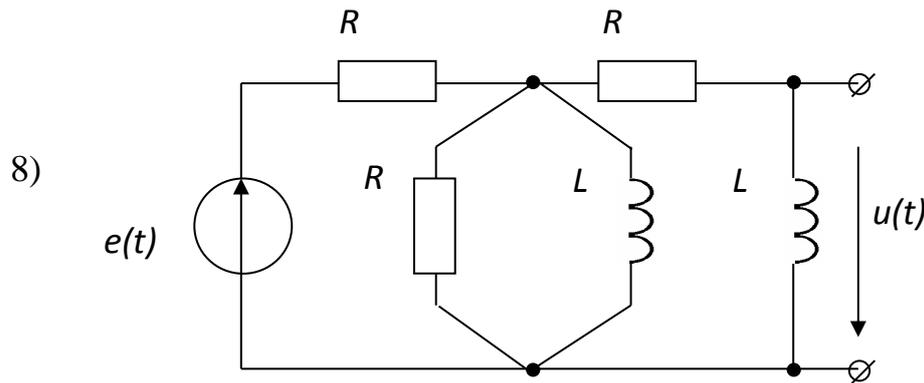
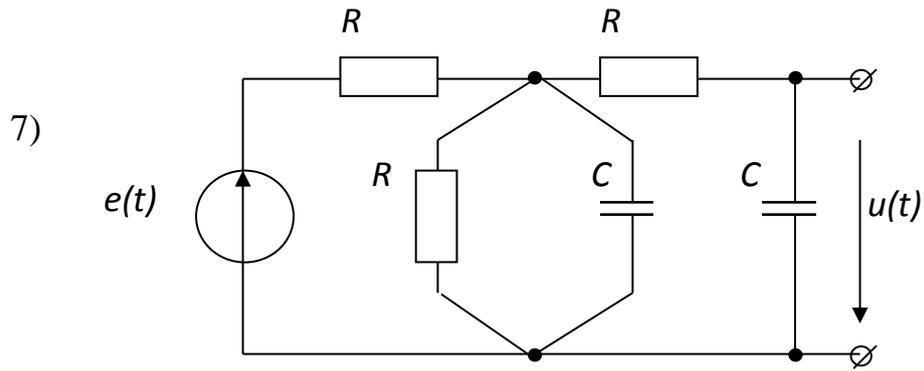


5)

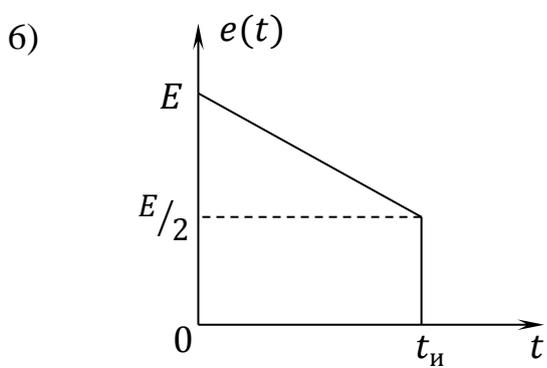
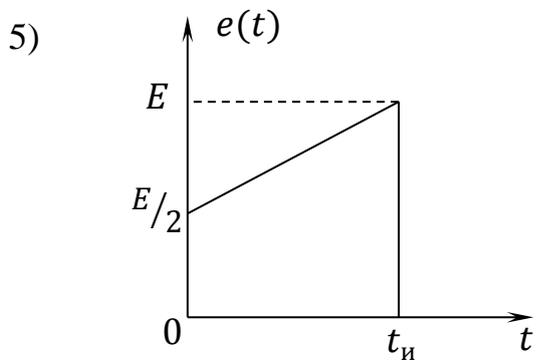
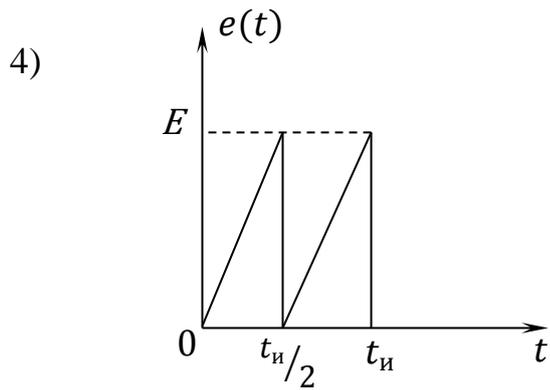
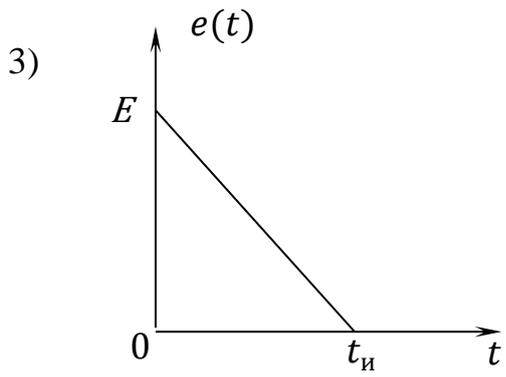
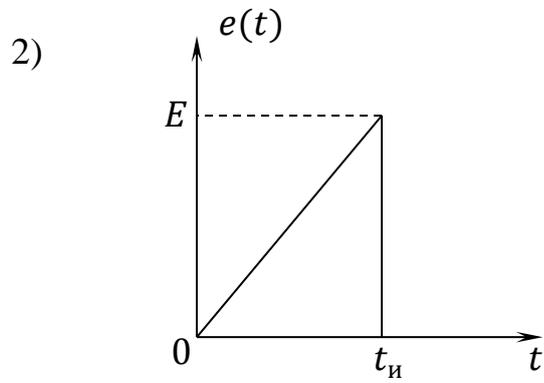
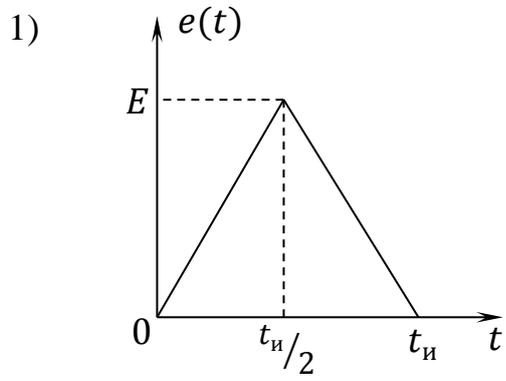


6)

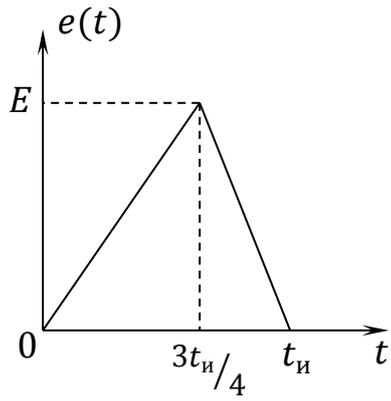




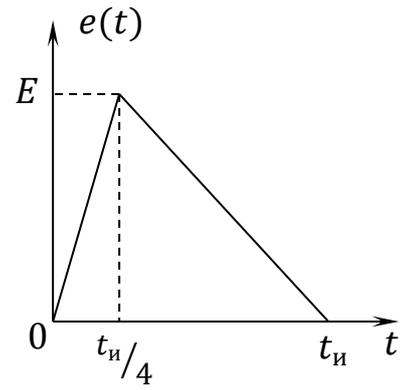
Сигналы



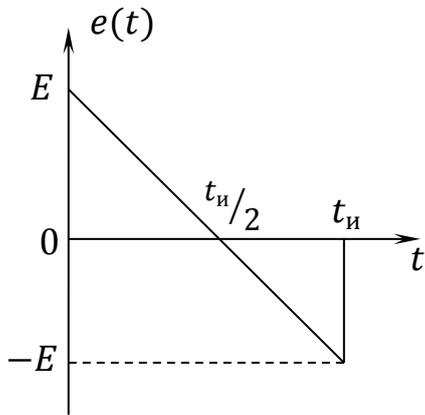
7)



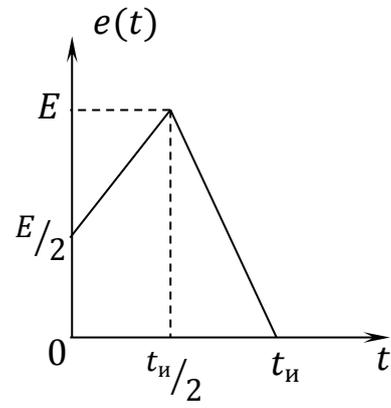
8)



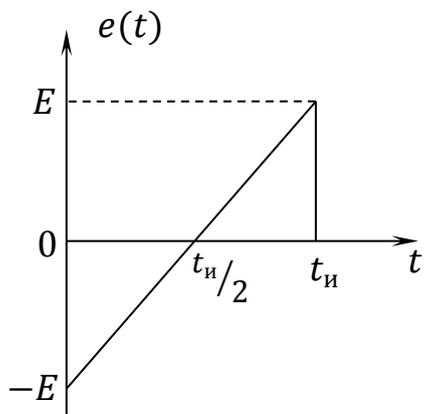
9)



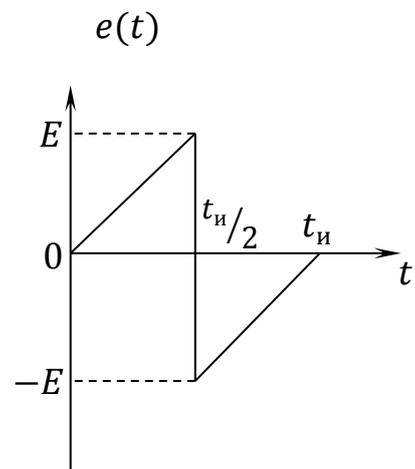
10)



11)



12)



Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Сигнал			Электрическая цепь			
	Номер сигнала	E , В	t_w , мкс	Номер цепи	R , кОм	C , пФ	L , мГн
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	2	4	1	2	2000	-
2	2	4	6	2	4	1000	-
3	3	6	8	3	6	500	-
4	4	8	10	4	1	-	4
5	5	10	2	5	0,5	-	2
6	6	12	4	6	3	-	5
7	7	10	8	7	4	1000	-
8	8	8	6	8	6	-	3
9	9	6	10	9	10	500	-
10	10	4	8	10	5	1000	-
11	11	2	4	1	2	500	-
12	12	4	2	2	1	1000	-
13	1	6	4	3	0,5	600	-
14	2	8	8	4	4	-	5
15	3	10	6	5	3	-	8
16	4	12	2	6	5	-	4
17	5	10	5	7	2	500	-
18	6	8	4	8	1	-	5
19	7	3	2	9	2	500	-
20	8	5	3	10	10	400	-
21	9	10	4	1	4	800	-
22	10	8	5	2	5	1000	-
23	11	4	6	3	8	200	-
24	12	1	7	4	2	-	5
25	1	4	8	5	1	-	4
26	2	6	9	6	10	-	2
27	3	2	10	7	4	1000	-
28	4	4	2	8	3	-	4
29	5	8	4	9	8	500	-
30	6	10	6	10	6	400	-
31	7	1	8	1	4	300	-

1	2	3	4	5	6	7	8
32	8	5	4	2	2	600	-
33	9	3	3	3	1	400	-
34	10	7	2	4	4	-	2
35	11	2	4	5	3	-	3
36	12	4	5	6	5	-	5
37	1	10	6	7	6	500	-
38	2	12	8	8	8	-	4
39	3	2	10	9	2	1000	-
40	4	5	4	10	4	1000	-
41	5	4	2	1	10	200	-
42	6	6	4	2	20	200	-
43	7	2	6	3	15	200	-
44	8	10	8	4	10	-	50
45	9	1	10	5	12	-	60
46	10	5	9	6	6	-	30
47	11	3	7	7	8	400	-
48	12	4	5	8	4	-	10
49	1	4	3	9	5	800	-
50	2	2	2	10	10	400	-
51	3	10	1	1	20	200	-
52	4	8	8	2	12	300	-
53	5	6	10	3	16	500	-
54	6	7	4	4	10	-	40
55	7	2	3	5	5	-	20
56	8	5	5	6	4	-	10
57	9	1	6	7	2	800	-
58	10	10	8	8	1	-	4
59	11	5	2	9	10	400	-
60	12	3	4	10	15	300	-
61	1	2	5	1	20	200	-
62	2	4	3	2	12	200	-
63	3	4	2	3	4	500	1
64	4	6	4	4	1	-	10
65	5	10	8	5	3	-	12
66	6	8	6	6	2	-	8
67	7	5	5	7	5	400	-
68	8	4	4	8	8	-	6

1	2	3	4	5	6	7	8
69	9	2	2	9	6	500	-
70	10	1	6	10	7	800	-
71	11	10	8	1	10	1000	-
72	12	8	4	2	8	500	-
73	1	6	2	3	5	200	-
74	2	4	2	4	4	-	-
75	3	2	3	5	2	-	4
76	4	4	7	6	3	-	8
77	5	5	4	7	1	1000	5
78	6	7	2	8	4	-	-
79	7	9	5	9	6	300	-
80	8	4	5	10	9	200	-
81	9	3	3	1	10	300	-
82	10	6	7	2	8	400	-
83	11	5	2	3	4	600	-
84	12	1	4	4	3	-	4
85	1	10	5	1	4	1000	-
86	2	12	6	2	2	800	-
87	3	6	8	3	1	800	-
88	4	5	4	4	3	-	6
89	5	8	10	5	6	-	10
90	6	4	6	6	5	-	8
91	7	10	8	7	10	1200	-
92	8	20	4	8	8	-	4
93	9	15	5	9	4	1000	-
94	10	6	3	10	3	500	-
95	11	8	10	1	2	2000	-
96	12	10	6	2	2	1000	-
97	1	4	8	3	4	800	-
98	2	5	4	4	6	-	5
99	3	8	10	5	8	-	6

Таблица 2

Изображения по Лапласу некоторых функций

№	Изображение	Оригинал, $t > 0$
1	2	3
1	$\frac{1}{p(p+a)}$	$\frac{1}{a}(1 - e^{-at})$
2	$\frac{1}{(p+a)(p+b)}$	$\frac{1}{b-a}(e^{-at} - e^{-bt})$
3	$\frac{p}{(p+a)(p+b)}$	$\frac{1}{b-a}(be^{-bt} - ae^{-at})$
4	$\frac{1}{p(p+a)(p+b)}$	$\frac{1}{ab} + \frac{1}{b-a}(\frac{1}{b}e^{-bt} - \frac{1}{a}e^{-at})$
5	$\frac{p+a}{p+b}$	$\delta(t) + (a-b)e^{-bt}$
6	$\frac{p+a}{p(p+b)}$	$\frac{a}{b}[1 - (1 - \frac{b}{a})e^{-bt}]$
7	$\frac{p(p+a)}{(p+b)(p+c)}$	$\delta(t) + \frac{1}{b-c}[b(a-b)e^{-bt} - c(a-c)e^{-ct}]$
8	$\frac{1}{p^2}$	t
9	$\frac{1}{p}$	1
10	$\frac{1}{p+a}$	e^{-at}

Продолжение табл. 2

11	$\frac{p}{p+a}$	$\delta(t) - ae^{-at}$
12	$\frac{1}{(p+a)^2}$	te^{-at}