www.opprib.ru
e-mail: info@opprib.ru

050102. Исследование переходных процессов в последовательном RLC-контуре.

Цель работы: Экспериментальные и теоретические исследования переходных процессов в последовательном RLC-контуре.

Требуемое оборудование: Модульный учебный комплекс МУК-ЭТ1* или МУК-ЭТ2.

Приборы:

1. Блок генераторов напряжений ГН2; 1 шт.
2. Осциллограф **ОЦЛ2** 1 шт.
3. Стенд с объектами исследования С3-ЭМ01 1 шт.
4. Комплект проводников 1 шт.

* Для обеспечения выполнения лабораторной работы требуется дополнительно осциллограф с полосой пропускания не менее 20 МГц

Краткое теоретическое введение

Коммутация - это включение, отключение, переключение элементов цепи, изменение параметров элементов цепи и т. п. Для большинства реальных процессов можно считать, что коммутация *происходит мгновенно*. *Переходным процессом* в электрической цепи называется процесс изменения во времени токов в ветвях и напряжений на элементах цепи, вызванный коммутацией.

Переходный процесс, протекающий при включении RLC- цепи к источнику постоянного напряжения E (рис. 1), описывается неоднородным обыкновенным дифференциальным уравнением второго порядка, составленным по второму закону Кирхгофа

$$Ri + L\frac{di}{dt} + u_C = E \text{ ,где } i = C\frac{du_C}{dt}. \qquad (1)$$

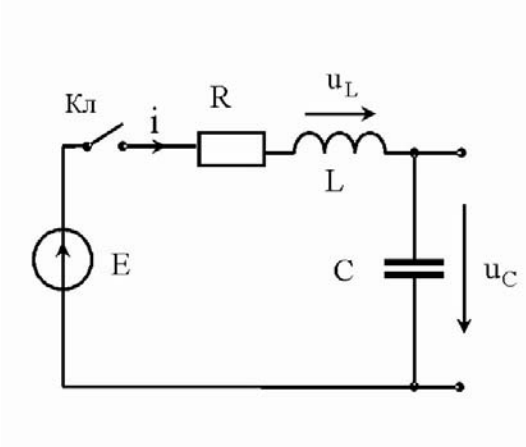


Рис. 1

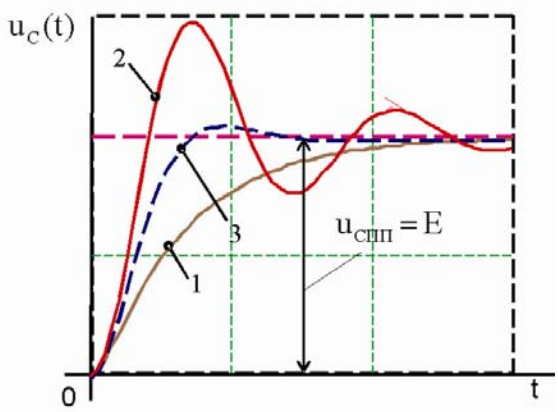


Рис. 2

Объединив два соотношения в (1), получим неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка для напряжения на ёмкости

$$\frac{d^2u_C}{dt^2}+\frac{R}{L}\cdot\frac{du_C}{dt}+\frac{1}{LC}\cdot u_C=E\frac{1}{LC}. \qquad (2)$$

Для решения (2) составим характеристическое уравнение. Для чего в нём заменяется $d/dt \Rightarrow p$, а правую составляющую уравнения примем равной нулю

$$p^2+\frac{R}{L}\cdot p+\frac{1}{LC}=0. \qquad (3)$$

Характер свободной составляющей переходного процесса для всех токов и напряжений одной и той же цепи одинаков, зависит только от параметров R, L и C определяется корнями характеристического уравнения (9.4):

$$p_{1,2}=-\frac{R}{2L}\pm\sqrt{\frac{R^2}{4L^2}-\frac{1}{LC}}=-\frac{R}{2L}\pm\sqrt{D}. \qquad (4)$$

В зависимости от знака подкоренного выражения D решение для свободной составляющей напряжения на емкости имеет три вида:

1. $D > 0$, два действительных отрицательных корня - p_1 и p_2, *процесс апериодический*

$$u_{CB}(t)=A_1e^{p_1t}+A_2e^{p_2t}; \qquad (5)$$

2. $D < 0$, два комплексно сопряженных корня - $p_{1,2}=-\delta\pm j\omega_{CB}$, *процесс колебательный*

$$u_{CB}(t)=Ae^{-\delta\cdot t}\sin(\omega_{CB}t+\Psi); \qquad (6)$$

3. D=0, два равных действительных отрицательных корня - $p_{1,2}=p$, *процесс критический*

$$u_{CB}(t)=(A_1+A_2t)e^{pt}. \qquad (7)$$

В (5)…(7) A, A_1, A_2 и Ψ - постоянные интегрирования, δ - коэффициент затухания колебательного процесса, ω_{CB} - частота собственных затухающих или свободных колебаний цепи.

Для исследуемой схемы можно найти из (4) значение сопротивления R, при котором значение D=0. Такое сопротивление называется критическим R_{KP} и определяется выражением

$$R_{KP}=2\sqrt{L/C}. \qquad (8)$$

Для колебательного процесса коэффициенты δ и ω_{CB} связаны между собой, а также с параметрами цепи следующими соотношениями:

$$\delta=r/2L; \qquad (9)$$

$$\omega_{CB}=\sqrt{\omega_0^2-\delta^2}, \qquad (10)$$

где $\omega_0=1/\sqrt{LC}$ - резонансная угловая частота последовательного колебательного контура.

Постоянные интегрирования определяются из начальных условий для искомого тока или напряжения. Так, для напряжения на емкости в колебательном режиме получаем систему из двух уравнений:

$$\left.\begin{aligned} u_C(0) &= u_{CП}(0) + A\sin\Psi \\ u'_C(0) &= u'_{CП}(0) - A\delta\sin\Psi + A\omega_{CB}\cos\Psi \end{aligned}\right\}. \qquad (11)$$

Положим, что к моменту подключения напряжения E в схеме (рис. 1) нулевые начальные условия $u_C(0)=0$ и $i(0)=0$. Для определения начального значения производной напряжения записывается уравнение по второму закону Кирхгофа для момента времени $t = 0+$:

$$E = R\cdot i(0) + u_L(0) + u_C(0) \qquad (12)$$

Из (12) следует, что

$$u_L(0) = L\cdot i'(0) = E; \quad i(0) = C\cdot u'_C(0) = 0;$$
$$i'(0) = E/L \quad \text{и} \quad u'_C(0) = i(0)/C = 0.$$

Подставив начальные значения в систему уравнений (11) и с учетом $u_{CП}(0)=E$, $u'_{CП}(0)=E$, получим постоянные интегрирования A и Ψ

$$\Psi = arctg\frac{\omega_{CB}}{\delta} \qquad \text{и} \qquad A = -\frac{E}{\sin\Psi}. \qquad (13)$$

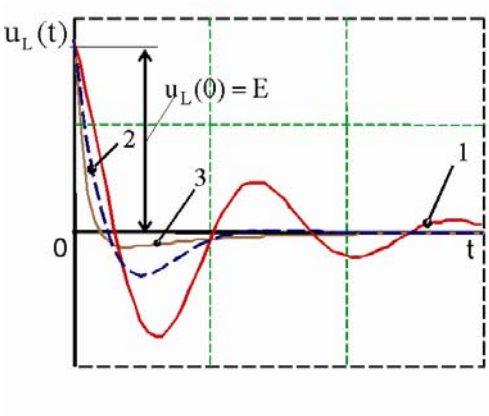


Рис. 3

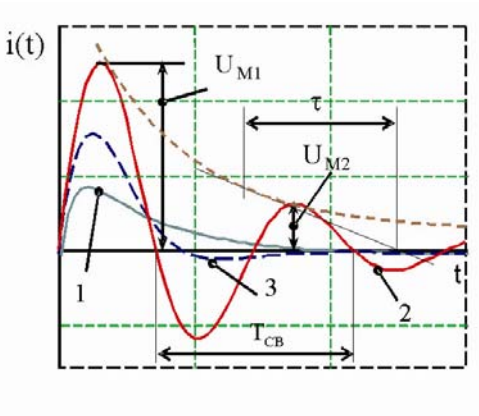


Рис. 4

На рис. 2…4 изображены графики переходных процессов для напряжения на ёмкости $u_C(t)$, напряжения на индуктивности $u_L(t)$ и тока в цепи $i(t)$, где кривые 1 соответствуют апериодическому переходному процессу, кривые 2 соответствуют колебательному переходному процессу, кривые 3 соответствуют критическому переходному процессу.

На рис. 4 проведены графики тока в цепи $i(t)$ и показано как по графику, соответствующему колебательному переходному процессу (кривая 2), можно определить составляющие корней характеристического уравнения: *коэффициент затухания* $\delta = 1/\tau$, где τ - постоянная времени, равная длине подкасательной к огибающей кривой свободных колебаний; *частота свободных затухающих колебаний* тока или напряжения $\omega_{CB} = 2\pi/T_{CB}$, где T_{CB} - период колебаний. Для оценки скорости затухания процесса вводится *декремент колебания* - α, равный отношению свободной составляющей переходной величины в моменты времени, отличающиеся на период T_{CB}.

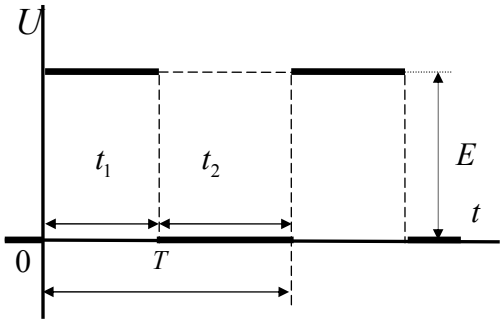
$$\alpha = \frac{u_{CB}(t)}{u_{CB}(t+T_{CB})} = \frac{U_{M1}}{U_{M2}}. \qquad (14)$$

При этом $\Delta = \ln\alpha = \delta \cdot T_{CB}$ - называется *логарифмическим декрементом колебания*, из чего можно определить коэффициент затухания:

$$\delta = \frac{\ln(U_{M1}/U_{M2})}{T_{CB}}. \qquad (15)$$

Методика эксперимента

Переходные процессы в большинстве случаев являются однократными и кратковременными. Их непосредственное наблюдение с помощью обычного осциллографа является невозможным. Поэтому для исследования переходных процессов коммутацию делают многократной и периодической, что достигается питанием цепи от импульсного источника, т. е. источника периодических сигналов прямоугольной формы (рис. 5).



t_1 - длительность импульса $e(t) = E$

t_2 - длительность паузы $u(t) = 0$

$T = \frac{1}{f_Г}$ период сигнала источника.

$f_Г$ - частота источника.

Рис. 5

Чтобы переходный процесс заканчивался за время подачи импульса, его длительность должна быть $t_1 \geq 4\ldots5\tau$. Передний фронт импульса соответствует включению цепи на постоянное напряжение, а задний уменьшению напряжения источника до нуля. В исследуемых схемах начальные условия должны быть нулевыми, поэтому длительность паузы должна быть $t_2 \geq 4\ldots5\tau$. Это обстоятельство позволяет на экране осциллографа или монитора наблюдать реакцию цепи на импульсное воздействие, а также найти установившиеся значения исследуемых кривых до и после коммутации.

Для наблюдения на экране осциллографа одновременно тока и напряжения на двухполюснике Z можно воспользоваться следующей схемой (рис 6).

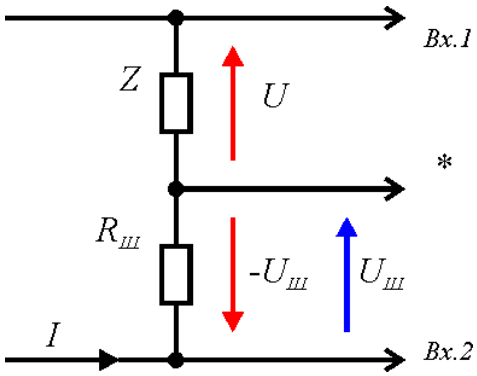


Рис. 6

Напряжение на шунтирующем сопротивлении будет пропорционально току цепи $U_Ш=IR_Ш$. и инвертировано (со знаком «-») по отношению к напряжению на исследуемом участке цепи Z. Для устранения этого недостатка на многих осциллографах предусмотрена функция инвертирования канала и при выполнении лабораторной работы необходимо ей воспользоваться (используя инструкцию по работе с осциллографом).

Для исследования переходных процессов используется модульный учебный комплекс МУК-ЭТ2. Для всех электрических схем в качестве источника прямоугольного напряжения используется генератор ГН2. В качестве измерительного прибора используется осциллограф ОЦЛ2. Постоянные резисторы, конденсаторы и индуктивности располагаются в стенде с объектами исследования С3-ЭМ01.

Предварительный расчет

При подготовке к лабораторной работе каждый студент должен сделать предварительный расчет предложенной ниже схемы. При расчете считать:E=3 В, L= 10 мГн, $R_Ш$ = 68 Ом.

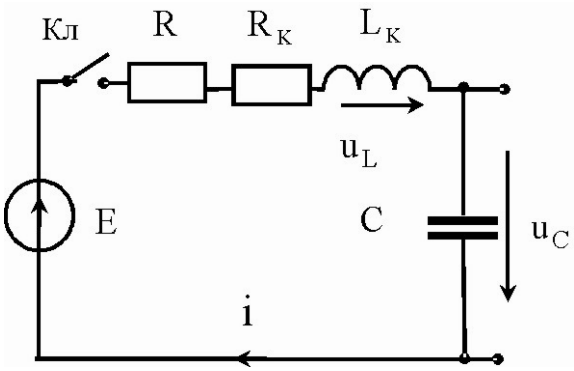


Рис. 7

Таблица. 1

Номер варианта	R_A	$R_П$	C
	Ом	Ом	мкФ
1	1500	150	0.022
2	1400	150	0.033
3	1500	150	
4	1300	0	0.047
5	1400	0	
6	1500	0	

Для исследуемой цепи (рис. 7) и апериодического процесса определить ($R=R_Ш+R_A$):

– начальное - $i(0)$ и установившиеся - $i_{ПР}$ значения тока;
– начальные - $u_L(0)$ и установившиеся - $u_{ПР}$ значения напряжения на индуктивности;
– начальные - $u_C(0)$ и установившиеся - u_C значения напряжения на емкости;
– корни характеристического уравнения - p_1 и p_2;
– критическое сопротивление $R_{КР}$.

Результаты расчетов занести в табл. 2.

Таблица 2

	$i(0)$	$i_{ПР}$	$u_{LП}$	$u_L(0)$	$u_C(0)$	$u_{СП}$	$p1$	$p2$	$R_{КР}$
	мА	*мА*	*В*	*В*	*В*	*В*	c^{-1}	c^{-1}	*Ом*
расчет									
опыт									

Для исследуемой цепи и колебательного процесса определить ($R=R_Ш+R_П$):

– начальное - $i(0)$ и установившиеся - $i_{ПР}$ значения тока;

– начальные - $u_L(0)$ и установившиеся - $u_{ПР}$ значения напряжения на индуктивности;

– начальные - $u_C(0)$ и установившиеся - u_C значения напряжения на емкости;

– величины Δ, δ и $\omega_{СВ}$;

Результаты расчетов занести в табл. 3.

Таблица 9.3

	$i(0)$	$i_{ПР}$	$u_L(0)$	$u_{LП}$	$u_C(0)$	$u_{СП}$	δ	$\omega_{СВ}$	Δ
	мА	*мА*	*В*	*В*	*В*	*В*	c^{-1}	c^{-1}	
расчет									
опыт									

Рекомендуемое задание к работе

Исследование апериодического процесса в последовательном колебательном контуре

Собрать схему по рис. 9.10. Установить значение сопротивления $R=R_A$, $R_Ш$=68 Ом (значение R_A взять из табл. 1). Включить и настроить осциллограф. Частоту генератора задать 400 Гц.

На экране осциллографа должен наблюдаться апериодический переходный процесс, который обеспечивает величина резистора R. Срисовать в масштабе с экрана осциллограммы тока *i(t)* и напряжения $u_C(t)$. Масштабы тока, напряжения и времени записать на осциллограмме. По осциллограммам определить: начальные и установившиеся значения тока и напряжения на ёмкости $i(0), u_C(0), i_{ПР}$ и $u_{СПР}$. Результаты расчетов занести в табл. 2.

Изменяя величину резистора R, экспериментально, определить критическое сопротивление исследуемой цепи $R_{КР}$. Результат занести в табл. 2. Срисовать в масштабе с экрана осциллограммы тока $i\ (t)$ и напряжения $u_C(t)$.

Исследование колебательного процесса в последовательном колебательном контуре

Установить величину резистора $R=R_П$ (табл. 1). Сопротивление шунта задать $R_Ш$ = 69 Ом. На экране осциллографа должен наблюдаться колебательный переходный процесс, который обеспечивает величина резистора R. Срисовать в масштабе с экрана осциллограммы тока *i(t)* и напряжения $u_C(t)$. Масштабы тока, напряжения и времени записать на осциллограмме. По осциллограммам определить: начальные и установившиеся значения тока и напряжения на ёмкости $i(0), u_C(0), i_{ПР}$ и $u_{СПР}$, а также δ, $\omega_{СВ}$ и Δ. Результаты расчетов занести в табл. 3.

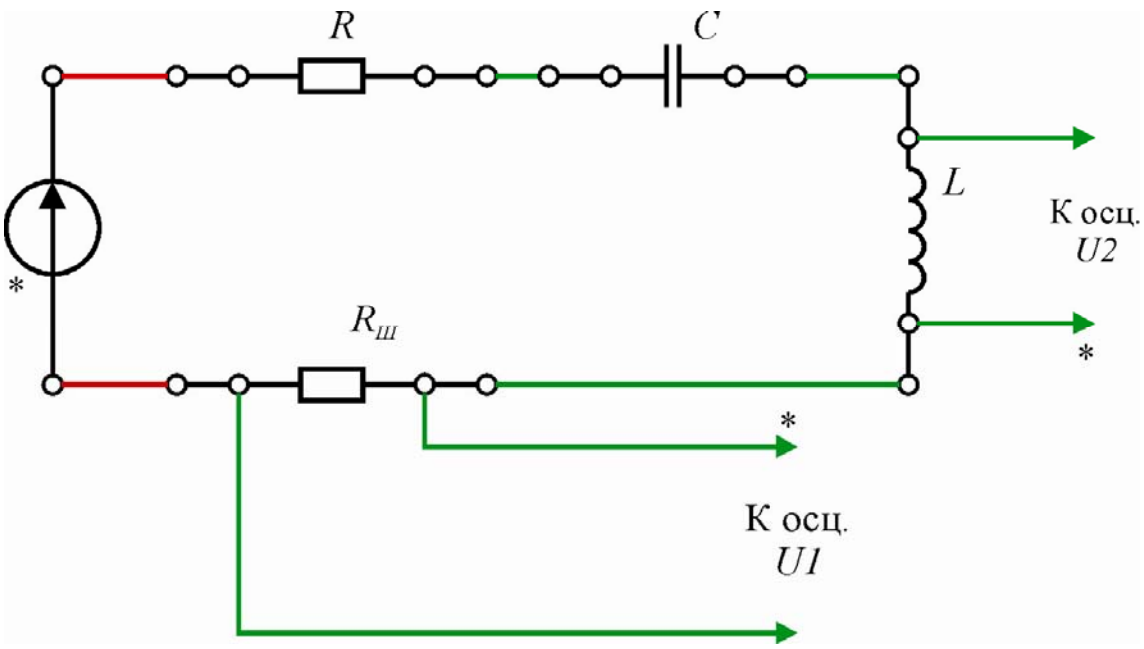


Рис. 8

апрель 2011

НГТУ, НИЛ ТЭ: 630092 г. Новосибирск, пр. К. Маркса 20,
тел./факс (383) 346-06-77
E-mail: info@opprip.ru
Сайт: www.opprib.r