

РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ  
Кафедра Электротехники

Курсовая работа  
по дисциплине ТОЭ  
Расчет переходных процессов в линейной электрической цепи  
классическим и операторным методом

Работа выполнена

Студентом:	Суворов Р.Е.
Зачетная книжка:	182345
Группа:	АУ-18-5
Отчет принят:	08.11.2019
Преподаватель:	Баймаганов А. С.

Алматы 2019

## Содержание:

Содержание.	2
Введение.	3
Задание.	4
Основная часть.	5
1 Классический метод решения переходных процессов.	5
1.1 Расчет независимых начальных условий.	5
1.2 Расчет принужденных установившихся значений..	5
1.3 Составление характеристического уравнения и нахождение свободной составляющей.	5
1.4 Нахождение постоянных интегрирования и $i_l(t)$ .	6
2 Операторный метод решения переходных процессов.	7
3 График изменения искомой величины.	8
Заключение .	9
Список литературы.	10

## Введение:

Под переходным (динамическим, нестационарным) процессом или режимом в электрических цепях понимается процесс перехода цепи из одного установившегося состояния (режима) в другое. При установившихся, или стационарных, режимах в цепях постоянного тока напряжения и токи неизменны во времени, а в цепях переменного тока они представляют собой периодические функции времени. Установившиеся режимы при заданных или неизменных параметрах цепи полностью определяются только источником энергии. Следовательно, источники переменного напряжения (или тока) создают в цепи постоянный ток, а источники переменного напряжения (или тока) – переменный ток той же частоты, что и частота источника энергии.

Переходные процессы возникают при любых изменениях режима электрической цепи: при подключении и отключении цепи, при изменении нагрузки, при возникновении аварийных режимов (короткое замыкание, обрыв провода и т.д.). Изменения в электрической цепи можно представить в виде тех или иных переключений, называемых в общем случае коммутацией. Физически переходные процессы представляют собой процессы перехода от энергетического состояния, соответствующего до коммутационному режиму, к энергетическому состоянию, соответствующему после коммутационному режиму.

Переходные процессы обычно быстро протекающие: длительность их составляет десятые, сотые, а иногда и миллиардные доли секунда. Сравнительно редко длительность переходных процессов достигает секунд или десятков секунд. Тем не менее, изучение переходных процессов весьма важна, так как позволяет установить, как деформируется по форме и амплитуде сигнал, выявить превышения напряжения на отдельных участках цепи, которые могут оказаться опасными для изоляции установки, увеличения амплитуд токов, которые в десятки раз могут превышать амплитуду тока установившегося периодического процесса, а также определять продолжительность переходного процесса. С другой стороны, работа многих электротехнических устройств, особенно устройств промышленной электроники, основана на переходных процессах. Например, в электрических нагревательных печах качество выпускаемого материала зависит от характера протекания переходного процесса. Чрезмерное быстрое нагревание может стать причиной брака, а чрезмерно медленное отрицательно скажется на качестве материала и приводит к снижению производительности.

Задание:

Дана электрическая цепь (рис. 1.1), в которой в момент времени  $t = 0$  происходит коммутация, переключение ключа из положения 1 в положение 2.

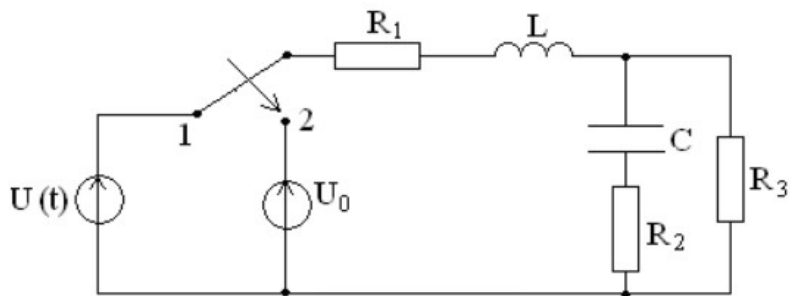


Рис 1.1 Электрическая цепь

Параметры электрической цепи приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

$U_m, B$	$\phi_U, град$	$f, кГц$	$U_0, B$	$L, мГн$	$C, мкФ$	$R1, Ом$	$R2, Ом$	$R3, Ом$
140	45	1.5	50	25	8	40	35	250

Необходимо рассмотреть переходный процесс в цепи второго порядка и определить закон изменения во времени напряжения на конденсаторе ( $U_C(t)$ ), решив задачу двумя методами:

1. классическим;
2. операторным.

На основании полученного аналитического выражения требуется построить график изменения искомой величины от времени.

Основная часть:

## 1 Класический метод решения переходных процессов

### 1.1 Расчет независимых начальных условий

Составим систему уравнений по законам Киргоффа.

$$\begin{aligned}I_L - I_r - I_C &= 0 \\I_L(R_1 + j\omega L) + I_R R_3 &= U \\I_C(R_2 + \frac{1}{j\omega C}) - I_R R_3 &= 0\end{aligned}$$

Решив систему мы найдем действующее значение тока на катушке.

$$I_L = -0.2732$$

Определим действующее напряжение на конденсаторе.

$$U_C = I_C * \frac{1}{j\omega C} = -6.2469$$

### 1.2 Расчет принужденных установившихся значений.

Установившийся режим цепи после коммутации (ключ находится в положении 2) обусловлен действием источника постоянного напряжения  $U_0$ , поэтому установившуюся составляющую  $i_{lpr}$ ,  $U_{cpr}$  найдем путем составления уравнений Кирхгофа:

$$\begin{aligned}U_L np &= 0 \\I_C np &= 0 \\I_L np - I_r np - I_C np &= 0 \\I_L np R_1 + U_L np + I_R np R_3 &= U_0 \\I_C np R_2 + U_C np - I_R np R_3 &= 0\end{aligned}$$

Решив систему уравнений мы найдем принужденные значения.

$$\begin{aligned}U_C np &= 43.1034 \\I_L np &= 0.1724\end{aligned}$$

### 1.3 Составление характеристического уравнения и нахождение свободной составляющей.

Характеристическое уравнение составляем методом входного сопротивления, соответственно обрываем цепь в точке коммутирующего элемента. Затем  $j\omega$  заменяем на  $p$  и приравниваем к нулю, составляем характеристическое уравнение и находим корни:

$$R_1 + Lp + \left( \frac{1}{\frac{1}{C * p} + R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1} = 0$$

Корни уравнения:  $p_{1,2} = -1633.3 \pm 1555.6i$

Так как корни комплексно сопряженные, то удобнее будет разделить их на две составляющие:  $\lambda = 1633.3, \omega_{св} = 1556.6$

Сразу же можем рассчитать постоянную времени:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = 0.612 \cdot 10^{-3}, \Delta t = 4.6 * \tau = 2.8 * 10^{-3}$$

Теперь можно рассчитать токи и напряжения после коммутации:

$$\begin{aligned} U_C(+0) &= U_C(-0) \\ I_L(+0) &= I_L(-0) \\ I_L(+0) - I_r(+0) - I_C(+0) &= 0 \\ I_L(+0)R_1 + U_L(+0) + I_R(+0)R_3 &= U_0 \\ I_C(+0)R_2 + U_C(+0) - I_R(+0)R_3 &= 0 \end{aligned}$$

Примечание: токи и напряжения до коммутации комплексно сопряженные, по этому мы берем их действующие значения, а именно мнимую часть от комплексно сопряженного числа.

$$\begin{aligned} I_C(+0) &= -0.2178 \\ I_R(+0) &= -0.0555 \\ I_L(+0) &= 0.1724 \\ U_C(+0) &= 43.1034 \\ U_L(+0) &= 74.7987 \end{aligned}$$

## 1.4 Нахождение постоянных интегрирования и $i(t)$

В цепях второго порядка для определения постоянных интегрирования используют начальные условия, причем ННУ, а ЗНУ находятся путем решения уравнений, составленных по законам Кирхгофа для цепи после коммутаций при  $t=0$ .

$$U_C(t) = U_C np + U_C св(t)$$

Так как корни комплексно сопряженные, свободное напряжение находится по формуле:

$$\begin{aligned} U_C(t) &= U_C np + A e^{-\lambda t} \sin(\omega_{св} t + \psi) \\ \frac{dU_C(t)}{dt} &= -\lambda A e^{-\lambda t} \sin(\omega_{св} t + \psi) + \omega_{св} A e^{-\lambda t} \cos(\omega_{св} t + \psi) \end{aligned}$$

система уравнений в момент коммутации  $t=0$

$$U_C(0) = U_{Cnp} + A \sin(\psi)$$

$$\frac{dU_C(0)}{dt} = -\lambda A \sin(\psi) + \omega_{св} A \cos(\psi)$$

Для нахождения постоянных интегрирования осталось найти  $\frac{dU_C(0)}{dt}$

У нас известен ток конденсатора, следовательно мы можем легко найти

производную напряжения:  $\frac{dU_C(0)}{dt} = \frac{I_C(0)}{C}$

Найдем постоянные интегрирования:

$$A = -85.0881$$

$$\omega_{св} = 35.45$$

Ответ:  $U_C(t) = 43.1034 - 85.0881 e^{-1633.3t} \sin(1556.6t + 35.45)$

## 2 Операторный метод решения переходных процессов

Так как ННУ мы нашли в пункте 3.1, то можно приступить к преобразованию схемы для решения операторным методом, а именно:

$$\begin{aligned} U_L &= pL * I_L - Li_L(0) \\ U_C &= \frac{1}{pC} * I_C + \frac{U_C(0)}{p} \\ U_0 &= U_0 / p \end{aligned}$$

Составим систему уравнений по методу контурных токов:

$$\begin{aligned} I_{11}(p)(R_1 + R_3 + Lp) + I_{22}(p)(R_3) &= \frac{U_0}{p} + Li_L(0) \\ I_{11}(p)(R_3) + I_{22}(p)(R_2 + R_3 + \frac{1}{p * C}) &= \frac{U_C(0)}{p} \end{aligned}$$

Нас интересует напряжение на конденсаторе, а значит и ток второго контура:

$$\begin{aligned} I_{22}(p) &= \frac{\Delta_{22}}{\Delta} \\ U_C(p) &= \frac{I_{22}(p)}{pC} - \frac{U_C(0)}{p} = \frac{F_1(p)}{F_2(p)} \\ U_C(t) &= \frac{F_1(0)}{F_2(0)} + 2 \Re \left[ \frac{F_1(p_1)}{p_1 F_2'(p_1)} e^{p_1 t} \right] \end{aligned}$$

Если приравнять знаменатель к нулю  $F_2 = 0$ , то мы получим корни

характеристического уравнения. Они совпадают с корнями, рассчитанными в пункте 3.3.

Ответ:  $U_c(t) = -43.1034 - 5.07 \cdot 10^4 e^{-1663t}$

### 3 График изменения искомой величины

На основании полученного выражения, которое мы получили классическим и операторным методом, строим график изменения величины в функции времени в интервале  $t=0:\Delta t$

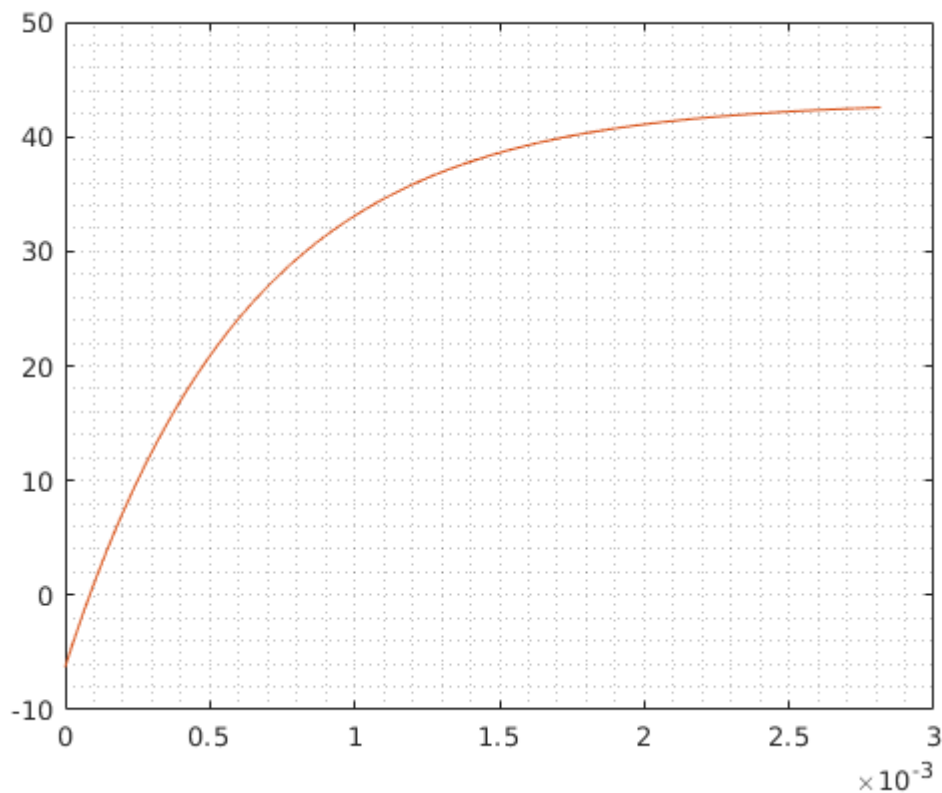


Рис 1.2 График зависимости напряжения конденсатора от времени



### Заключение:

В данной работе был проведен анализ переходных процессов в цепях постоянного и переменного тока, содержащих реактивные элементы.

Был рассмотрен переходной процесс в цепи второго порядка и определен закон изменения во времени напряжения на активном сопротивлении  $1$  после коммутации, используя классический и операторный метод:

1. Сначала были найдены независимые начальные условия:
2. Затем для нахождения искомой величины в классическом методе мы использовали законы Кирхгофа, а операторном использовали метод контурных токов:
3. В заключении построили график изменения искомой величины от времени в интервале  $t$ .

В итоге можно отметить, что данная работа дает обобщенное представление о переходных процессах, что является большим плюсом, для будущих специалистов, которые, встретившись на производстве с данными процессами, будут понимать их назначение, их преимущества и недостатки.

### Список литературы:

1. Сборник задач по теоретическим основам электротехники/ Л.Д.Бессонов, И.Г.Демидова, М.Е.Заруди и др.-М.: Высшая школа,2003. -52с.
2. Бессонов Л.А. Теоретическое основы электротехники. -М.:Гардарики, 1999.-638 с.
3. Шебес М.Р., Каблукова М.В. Задачник по теории линейных электрических цепей. -М.: Высшая школа,1990.-544 с.
4. ЗевекеГ.В.,Ионин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей.-М.:Энергоатоммиздат,1989.-528с.
5. С. Ю. Креслина , А.Т. Аршабекова. Теоретические основы электротехники. Методические указания и задания к курсовой работе для студентов специальности 5В070200-Автоматизация и управление.- Алматы: АУЭС, 2013.-12 с.