**Образец выполнения практического задания 2**

**Запишем исходные данные расчетной электрической цепи постоянного тока.**

Источник входного напряжения (рис. 3):

*E*

*e(t)*

1

2

*S*

Рис. 3. Источник входного напряжения

Нагрузка (рис. 4):

*R*

1

*C*

*L*

Рис. 4. Нагрузка

Сопротивление резистора: Ом, мкФ, L = 0,01 Гн. Значения источника электрической энергии: В, В, 0,  рад/с.

Объединим схемы на рисунках 3 и 4 в одну (рис. 5).

*R*

1

*C*

*E*

*e(t)*

1

2

*S*

*L*

Рис. 5. Исходная схема для расчета цепи

Проанализируем исходную схему (рис. 5). До коммутации к нагрузке было подключено переменное напряжение *e(t)*. В момент коммутации ключ из положения *1* переключается в положение *2* на источник постоянного напряжения *Е*. Через нагрузку начинает протекать постоянный ток.

Найдем докоммутационные значения токов и напряжений. До коммутации источник постоянного напряжения отключен от цепи, поэтому можно его временно удалить из схемы (рис. 6).

*R*

1

*C*

*e(t)*

*S*

+

*L*

*i(t)*

Рис. 6. Докоммутационная схема для расчета цепи

Анализ схемы (рис. 6) показывает, что электрическая цепь содержит всего 1 контур. В этом контуре присутствуют источник переменного напряжения *e(t)*, активное сопротивление *R1*, индуктивность *L* и емкость *С*. Рассчитаем емкостное сопротивление (формула 1) и индуктивное (формула 2) на переменном токе:

(Ом), (1)

(Ом). (2)

Запишем амплитудное комплексное значение напряжения источника ЭДС (формула 3):

(В). (3)

Запишем уравнение по 2 закону Кирхгофа и выразим из него амплитудное значение комплексного тока в цепи (формула 4):

 (А). (4)

Найдем амплитудное комплексное значение напряжения на сопротивлениях по закону Ома до коммутации (формулы 5–7):

 (В), (5)

 (В) , (6)

 (В). (7)

Запишем данные в таблицу 4.

Таблица 4

Значения токов и напряжений до коммутации

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Комплексные значения токов и напряжений до коммутации | | | |
| *Im* | *UmR1* | *UmC* | *UmL* |
|  |  |  |  |
| Мгновенные значения токов и напряжений до коммутации | | | |
| *i(t)* |  | | |
| *uR1(t)* |  | | |
| *uC(t)* |  | | |
| *uL(t)* |  | | |
| Значения в момент коммутации *t*=0- | | | |
| *i(0-)* | *uR1(0-)* | *uC(0-)* | *uL(0-)* |
| 0,277 | 1,385 | 48,59 | -4.837 |

Согласно законам коммутации, в момент коммутации ток через катушку и напряжение на конденсаторе скачком измениться не могут (формулы 8 –9):

 (А), (8)

 (В). (9)

При выполнении расчетов электрической цепи после коммутации переменные *i(t)*, *u(t)* замещаются их операторными изображениями *I(p)*, *U(p)*. При переходе от оригинала к изображению источник постоянного напряжения *E* заменили на его изображение . Индуктивность заменили на последовательное соединение операторного сопротивления *p*∙*L* и источник внутренней ЭДС *L∙i*(0+). Внутреннюю ЭДС *L∙i*(0+) направили в ту же сторону, куда и ток *i*(*t*), протекающий через эту индуктивность. Ёмкость заменили на последовательное соединение операторного сопротивления  и на источник внутренней ЭДС . Направление внутренней ЭДС  противоположно направлению тока через конденсатор.

В результате таких преобразований получилась операторная электрическая схема (рис. 7).

*R*

1

*1*

*pC*

*E*

p

*pL*

*I(p)*

*Li(0+)*

*Uc(0+)*

*p*

Рис. 7. Операторная схема для расчета цепи

Для получившейся схемы составляем уравнение по 2-му закону Кирхгофа (формула 10):

. (10)

Из уравнения 10 выражаем ток  (формула 11)

 . (11)

Анализируя формулу 11, видим, что степень числителя *N(p)* ниже степени знаменателя *M(p)* относительно *p*. Найдем корни знаменателя формулы 11. Для этого знаменатель приравняем к нулю и найдем его корни (формулы 12–14):

, (12)

, (13)

. (14)

Корни характеристического уравнения получились комплексно-сопряженные , тогда оригинал можно найти по формуле (формула 15):

, (15)

где  можно определить по формуле 16:

. (16)

Найдем значение числителя при подстановке первого корня (формула 17):

 (17)

Найдем значение производной знаменателя при подстановке первого корня (формула 18):

 (18)

Рассчитаем фазовый сдвиг  (формула 19).  (19)

Находим конечный результат для тока в цепи формула (20):

 (20)

По закону Ома можно найти напряжение на активном сопротивлении (формула 21):

 (21)

Найдем напряжение на индуктивности (формула 22):

(22)

Рассчитаем напряжение на конденсаторе (формула 23):

 (23) Найдем оригинал от изображения (формула 23) аналогично предыдущему решению формулы 11. Корни уравнения: , p3=0. Для комплексно-сопряженных корней оригинал напряжения на конденсаторе описывается формулой 24:

, (24)

где  можно определить по формуле 25:

. (25)

Найдем значение числителя при подстановке первого корня (формула 17):

 (26)

Найдем значение производной знаменателя при подстановке первого корня (формула 27):

 (27)

Рассчитаем фазовый сдвиг  (формула 28):  (28)

Находим оригинал напряжения на конденсаторе для первого комплексно-сопряженного корня (29):

 (29)

Находим оригинал напряжения на конденсаторе для нулевого корня (30):

 (30)

Объединяем формулу 29 и 30. Получаем конечное выражение для напряжения на конденсаторе (формула 31):

 (31)

С учетом докоммутационных значений получаем конечные зависимости напряжений и тока от времени (формулы 32–35):

 (32)

 (33)

 (34)

 (35)

Построим получившиеся графики. Форма тока через все элементы совпадает с напряжением на резисторе, поэтому график тока строить не будем, он в *R1* меньше по амплитуде, чем  (рис. 8).



Рис. 8. Графики напряжений на элементах

Проанализируем графики. Напряжение на конденсаторе в момент коммутации не изменяется скачком. После окончания переходного процесса напряжение на конденсаторе стремится к напряжению, равному 60 В.

Напряжение на резисторе совпадает по форме с током согласно закону Ома. Этот же ток протекает через катушку индуктивности. Ток через индуктивность в момент коммутации не изменяется скачком. В принужденном режиме ток стремится к нулю.

Напряжение на индуктивности в момент коммутации изменяется скачком, т. к. оно не подпадает по законы коммутации. В установившемся режиме напряжение стремится к нулю.