

# Лабораторная работа №1

## Цепи формирования траектории переключения (ЦФТП) силовых транзисторов

### 1. Описание работы

В лабораторной работе изучаются цепи формирования траектории переключения (или снабберы), обеспечивающие безопасную работу силовых транзисторов в динамических режимах (в процессах включения и выключения нагрузки). Исследуются процессы коммутации электрических цепей с различным характером нагрузки.

Данная работа является виртуальной и выполняется в программе *Internet Explorer*. Для запуска лабораторной работы используется ярлык «Лабораторные работы по ЭЭА», расположенный на «рабочем столе». После запуска в главном окне необходимо войти в раздел «Лабораторные работы» в верхнем меню. Далее в списке работ по электронным аппаратам следует выбрать работу «Цепи формирования траектории переключения силовых транзисторов». В появившемся окне лабораторной работы в меню, расположенном в левой части экрана, необходимо выбрать раздел, соответствующий одной из трех исследуемых в работе схем. В процессе выполнения работы данные сохраняются в текстовый файл-протокол. Для этого в открывшемся окне следует указать имя и путь для сохранения вашего txt-файла.

Затем в соответствии с методическими указаниями выполняются опыты. При переходе к исследованию следующей схемы, необходимо повторить вышеперечисленные действия, начиная с выбора имени и пути для сохранения файла-протокола. Можно сохранять результаты исследования различных схем, как в отдельных файлах, так и в одном и том же файле.

Результаты опытов в работе отображаются в виде осциллограмм, которые сохраняются в текстовом файле-протоколе как таблицы с числовыми значениями. После каждого опыта требуется нажимать на кнопку «Сохранить осциллограммы».

В работе исследуются процессы включения и выключения активной и реактивной нагрузок при наличии и отсутствии ЦФТП транзисторного ключа (рис. 1). В разделе «Схема 1» изучаются траектории включения и выключения транзистора без ЦФТП при коммутации  $R$ -нагрузки. В разделе «Схема 2» рассматривается процесс выключения  $RL$ -нагрузки как без ЦФТП, так и с ЦФТП. Процесс включения нагрузки активно-емкостного характера при наличии и отсутствии ЦФТП рассматривается в разделе «Схема 3».

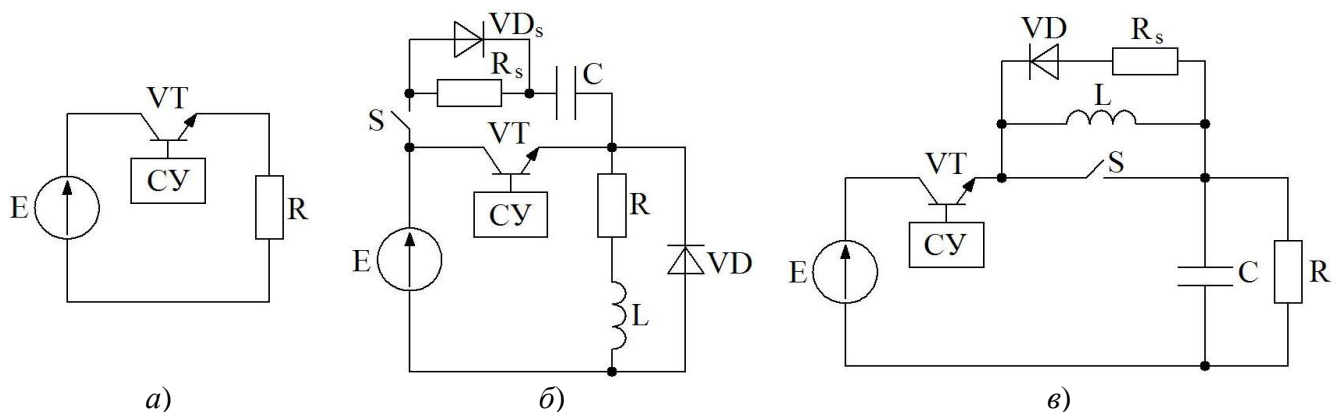


Рис. 1. Исследуемые схемы: а – схема 1; б – схема 2; в – схема 3

При исследовании каждой схемы требуется ввести данные опыта и нажать кнопку «Включение» и/или «Выключение», соответствующие расчету токов и напряжений в процессах коммутации транзистора. Рядом с исходными данными всегда указаны размерности и в отдельных случаях возможные диапазоны значений параметров. Время расчета не превышает одной минуты. После расчета необходимо нажать кнопку «Сохранить осциллограммы», результаты опыта записываются в файл-протокол и кнопка «Сохранить осциллограммы» заменяется кнопкой «Осциллограммы сохранены».

Алгоритм расчета схем основан на использовании эквивалентных схем замещения транзистора на интервалах включения и выключения. При этом диоды в схемах принимаются идеальными.

## 2. Задание на работу

### 2.1. Исследование процессов коммутации R-нагрузки

Для проведения исследования необходимо открыть раздел «Схема 1» и произвести расчет процессов **включения** и **выключения** при следующих исходных данных: напряжение источника  $E = (10+N)V$  ( $N$  – номер бригады); сопротивление нагрузки  $R = 20\text{ Ом}$ ; время включения и выключения ключа  $t = 4\text{ мкс}$  и  $12\text{ мкс}$ .

После каждого опыта на экран выводятся полученные осциллограммы и значение энергии, выделяющейся в транзисторе (выводится ниже осциллограмм), которое не сохраняется в файле-протоколе. Для сохранения результатов требуется нажать «Сохранить осциллограммы». Полученные значения энергий заносятся в табл. 1, а осциллограммы необходимо сохранить в виде графических файлов (с помощью программы *Paint*).

Табл. 1. Результаты исследования Схемы 1

	включение		выключение	
	$t_{\text{вкл}} = 4\text{ мкс}$	$t_{\text{вкл}} = 12\text{ мкс}$	$t_{\text{выкл}} = 4\text{ мкс}$	$t_{\text{выкл}} = 12\text{ мкс}$
$W, \text{ Дж}$				

### 2.2. Исследование процессов коммутации RL-нагрузки

Для проведения исследования необходимо открыть раздел «Схема 2» и произвести расчет процессов выключения **без ЦФТП** и **при наличии ЦФТП**. Отсутствию ЦФТП в схеме соответствует выключенное состояние ключа  $S$  (ключ  $S$  разомкнут), а положение «Включен» – схеме с ЦФТП (ключ  $S$  замкнут).

Исходные данные для **расчета схемы без ЦФТП**:

$E = (10+N)V$ ;  $R = 20\text{ Ом}$ ;  $L = 500\text{ мкГн}$  и  $1000\text{ мкГн}$ ;

время выключения  $t_{\text{выкл}} = 4\text{ мкс}$  и  $12\text{ мкс}$ .

Исходные данные для **расчета схемы с ЦФТП**:

$E = (10+N)V$ ;  $L = 500\text{ мкГн}$ ; емкость ЦФТП  $C = 0,1\text{ мкФ}$ ,  $0,5\text{ мкФ}$  и  $2\text{ мкФ}$ ;

$R = 20\text{ Ом}$ ,  $50\text{ Ом}$  и  $80\text{ Ом}$ ;  $t_{\text{выкл}} = 4\text{ мкс}$ ,  $8\text{ мкс}$  и  $12\text{ мкс}$ .

Полученные осциллограммы необходимо сохранить в текстовом файле-протоколе и в виде графических файлов. Расчетные значения энергии, выделяющейся в транзисторе, записать в табл. 2 и 3.

Табл. 2. Результаты исследования Схемы 2 (без ЦФТП)

$W, \text{ Дж}$	$t_{\text{выкл}} = 4\text{ мкс}$	$t_{\text{выкл}} = 12\text{ мкс}$
$L = 500\text{ мкГн}$		
$L = 1000\text{ мкГн}$		

Табл. 3. Результаты исследования Схемы 2 (с ЦФТП)

$W, \text{ Дж}$		$t_{\text{выкл}} = 4\text{ мкс}$	$t_{\text{выкл}} = 8\text{ мкс}$	$t_{\text{выкл}} = 12\text{ мкс}$
$C = 0,5\text{ мкФ}$	$R = 20\text{ Ом}$			
$C = 0,1\text{ мкФ}$				
$C = 2\text{ мкФ}$				
$C = 2\text{ мкФ}$	$R = 50\text{ Ом}$			
	$R = 80\text{ Ом}$			

### 2.3. Исследование процессов коммутации RC-нагрузки

Для проведения исследования необходимо открыть раздел «Схема 3» и произвести расчет процессов включения **без ЦФТП** и **при наличии ЦФТП**. Отсутствию ЦФТП в схеме соответствует включенное состояние ключа  $S$  (ключ  $S$  замкнут), а положение «Выключен» – схеме с ЦФТП (ключ  $S$  разомкнут).

**Исходные данные для расчета схемы без ЦФТП:**

$E = (10+N) В$ ;  $R = 2 Ом$  и  $5 Ом$ ;  $C = 5 мкФ$  и  $10 мкФ$ ;

время включения  $t_{вкл} = 4 мкс$  и  $12 мкс$ .

**Исходные данные для расчета схемы с ЦФТП:**

$E = (10+N) В$ ;  $R = 2 Ом$ ; индуктивность ЦФТП  $L = 5 мкГн$  и  $10 мкГн$ ;

$C = 10 мкФ$  и  $50 мкФ$ ;  $t_{вкл} = 4 мкс$ ,  $8 мкс$  и  $12 мкс$ .

Полученные осциллограммы необходимо сохранить в текстовом файле-протоколе и в виде графических файлов. Расчетные значения энергии, выделяющейся в транзисторе, заносятся в табл. 4 и 5.

Табл. 4. Результаты исследования Схемы 3 (без ЦФТП)

$W, Дж$		$t_{вкл} = 4 мкс$	$t_{вкл} = 12 мкс$
$C = 5 мкФ$	$R = 5 Ом$	X	
	$R = 2 Ом$		
$C = 10 мкФ$	$R = 2 Ом$		X

Табл. 5. Результаты исследования Схемы 3 (с ЦФТП)

$W, Дж$		$t_{вкл} = 4 мкс$	$t_{вкл} = 8 мкс$	$t_{вкл} = 12 мкс$
$L = 10 мкГн$	$C = 10 мкФ$			
	$C = 50 мкФ$	X		X
$L = 5 мкГн$	$C = 10 мкФ$		X	X

### 3. Подготовка отчета

По результатам выполнения лабораторной работы каждая бригада должна подготовить отчет. После проверки отчета преподавателем бригада допускается к защите работы. На титульном листе отчета должны быть указаны: название выполненной работы; номер бригады; фамилии студентов и преподавателя. Отчет должен содержать: цель работы; краткое содержание работы и описание исследуемых схем; данные для каждого выполненного опыта и результаты его выполнения в соответствии с заданием; выводы по выполненной работе.

Результаты опытов необходимо представить в виде осциллограмм. Для этого сохраненные в текстовом файле-протоколе числовые данные необходимо графически обработать в любой из подходящих программ. Например, для построения осциллограмм в программе *Microsoft Excel* следует выбрать и скопировать необходимые данные из txt-файла в *Excel* и воспользоваться функцией построения диаграмм (рекомендуется выбрать «точечную» диаграмму). Осциллограммы токов в элементах исследуемой схемы необходимо построить на одной диаграмме. Аналогично – с осциллограммами напряжений на различных элементах схемы. При этом объединять осциллограммы следует только в тех случаях, когда время переключения транзистора совпадает в различных опытах. Каждая осциллограмма на диаграмме должна быть подписана (в *Excel* это можно сделать при помощи инструмента «легенда диаграммы», указав необходимое «имя ряда» для каждого графика). Диаграммы, представленные в отчете, должны иметь размер, соответствующий ширине страницы. Числовые значения на диаграммах должны быть читаемы.

Отчеты, оформленные без учета указанных требований, не принимаются.

### 4. Контрольные вопросы

1. Что такое динамические потери и как они рассчитываются?
2. Что показывает траектория переключения (динамическая ВАХ) ключа?
3. Что такое область безопасной работы транзистора?
4. Объясните полученные в работе диаграммы.
5. Объясните принцип работы ЦФТП при выключении активно-индуктивной нагрузки.
6. Объясните принцип работы ЦФТП при включении активно-емкостной нагрузки.
7. Как влияют параметры ЦФТП и быстродействие транзисторов на процессы коммутации и величину динамических потерь?