

Работа 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО МОСТОВОГО НЕУПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ И СГЛАЖИВАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ

Цель работы: изучение электромагнитных процессов, внешних и энергетических характеристик однофазного мостового неуправляемого выпрямителя и сглаживающих фильтров (емкостной, индуктивный, Г-образный).

Описание компьютерной модели

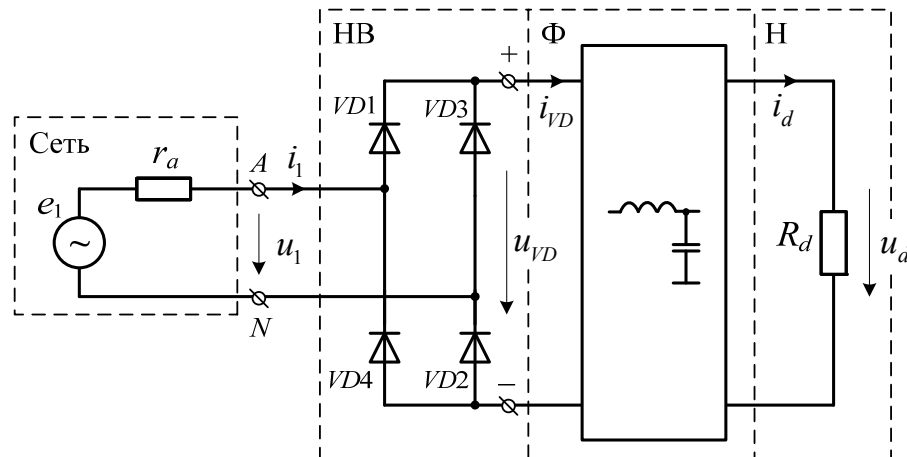


Рис. 1. Силовая схема однофазного мостового неуправляемого выпрямителя со сглаживающими фильтрами

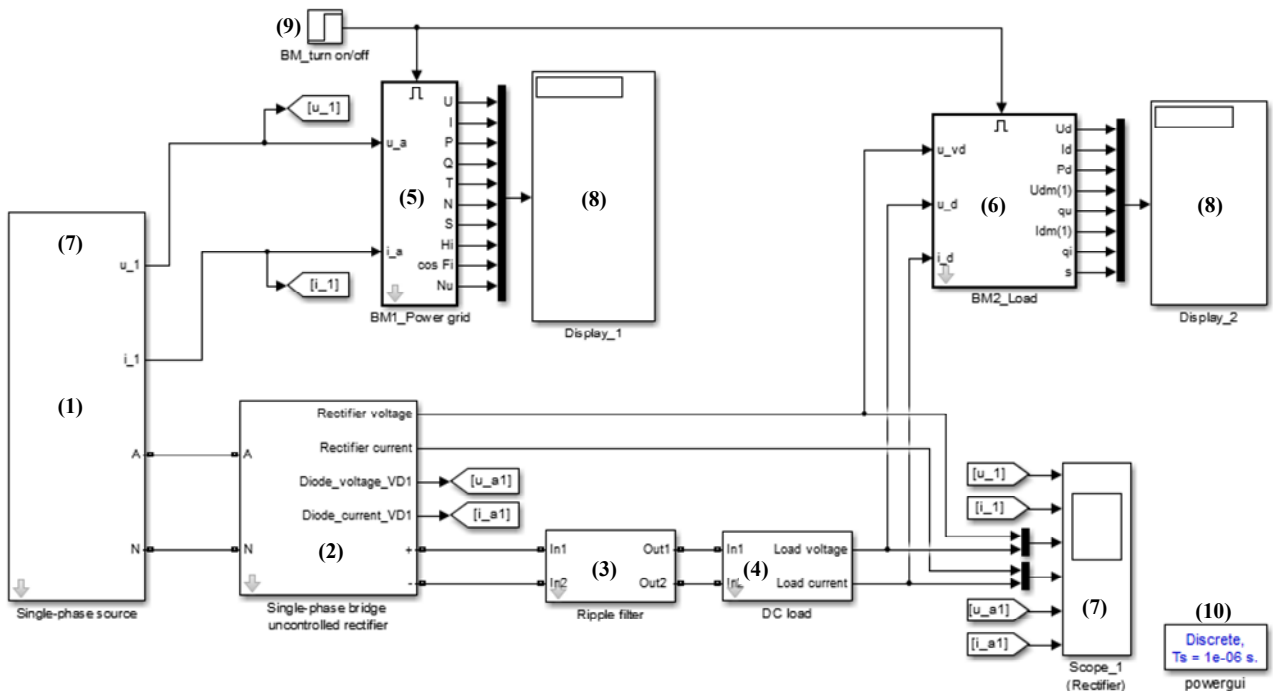


Рис. 2. Компьютерная модель однофазного мостового неуправляемого выпрямителя со сглаживающими фильтрами

(1 – однофазный источник питания; 2 – однофазный мостовой неуправляемый выпрямитель; 3 – сглаживающие фильтры; 4 – нагрузка постоянного тока; 5 – блок измерения параметров электрической сети; 6 – блок измерения параметров нагрузки; 7 – осциллограф; 8 – цифровые дисплеи; 9 – блок управления измерительными приборами; 10 – блок «powergui»)

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса: «Однофазная мостовая схема выпрямления», «Сглаживающие фильтры», «Энергетические показатели выпрямителей тока», содержание данной работы и быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) расчет параметров однофазной мостовой схемы выпрямления и сглаживающих фильтров для заданного варианта.

Среднее значение напряжения на нагрузке для однофазного мостового выпрямителя, работающего на активное сопротивление нагрузки, а также с индуктивным и Г-образными фильтрами

$$U_d \approx U_{d0} = \frac{2\sqrt{2} \cdot E_1}{\pi} \approx 0,9E_1. \quad (1)$$

Здесь E_1 – действующее значение ЭДС на входе выпрямителя согласно табл. вариантов.

Среднее значение тока нагрузки для однофазного мостового выпрямителя, работающего на активное сопротивление нагрузки, а также с индуктивным и Г-образными фильтрами

$$I_d = \frac{U_d}{R_d}, \quad (2)$$

где R_d – сопротивление нагрузки (см. табл. вариантов).

Амплитуда пульсаций первой гармоники напряжения на выходе однофазного мостового выпрямителя без сглаживающего фильтра

$$U_{VDm(1)} = \frac{2}{m^2 - 1} \cdot U_{d0}. \quad (3)$$

Здесь $m = 2$ – пульсность выпрямителя.

Коэффициент пульсаций по напряжению на выходе однофазного мостового выпрямителя без сглаживающего фильтра

$$q_u = \frac{U_{VDm(1)}}{U_{d0}} = \frac{2}{m^2 - 1}. \quad (4)$$

Амплитуда пульсаций первой гармоники тока на выходе однофазного мостового выпрямителя без сглаживающего фильтра

$$I_{VDm(1)} = \frac{U_{VDm(1)}}{R_d}. \quad (5)$$

Коэффициент пульсаций по току на выходе однофазного мостового выпрямителя без сглаживающего фильтра

$$q_i = \frac{I_{VDm(1)}}{I_d}. \quad (6)$$

Требуемая емкость С-фильтра для получения заданного коэффициента пульсаций q_u (см. табл. вариантов)

$$C_\Phi = \frac{1}{m\pi f_1 q_u R_d}, \quad (7)$$

где $f_1 = 50$ Гц – частота входного напряжения на входе выпрямителя.

Напряжение на нагрузке для однофазного мостового выпрямителя с емкостным фильтром примерно принять равным

$$U_d \approx 0,9 \cdot \sqrt{2} \cdot E_1. \quad (8)$$

С учетом выражения (8) найти среднее значение тока нагрузки I_d согласно формуле (2).

Амплитуда пульсаций первой гармоники напряжения на выходе емкостного фильтра

$$U_{dm(1)} = q_u \cdot U_d \approx q_u \cdot 0,9 \cdot \sqrt{2} \cdot E_1. \quad (9)$$

Требуемая индуктивность L -фильтра для получения заданного коэффициента сглаживания s (см. табл. вариантов)

$$L_\phi = \frac{R_d}{m \cdot (2\pi f_1)} \cdot \sqrt{s^2 - 1}. \quad (10)$$

Критическое значение индуктивности $L_{\phi, \text{кр}}$ LC -фильтра, обеспечивающее граничный режим в токе нагрузки, может быть определено по следующей приближенной формуле

$$L_\phi = L_{\phi, \text{кр}} \approx \frac{U_{VDm(1)}}{m \cdot (2\pi f_1) \cdot I_{d, \text{min}}} = \frac{U_{VDm(1)} \cdot R_{d, \text{max}}}{m \cdot (2\pi f_1) \cdot U_d} = \frac{2R_{d, \text{max}}}{(m^2 - 1) \cdot m \cdot (2\pi f_1)}. \quad (11)$$

Здесь $R_{d, \text{max}} = (5 \dots 10) \cdot R_d$ – максимальное сопротивление нагрузки, обеспечивающее режим граничного тока в выпрямителе с Γ -образным фильтром.

Требуемая емкость LC -фильтра для получения заданного коэффициента сглаживания s (см. табл. вариантов)

$$C_\phi = \frac{s + 1}{m^2 \cdot (2\pi f_1)^2 \cdot L_\phi}. \quad (12)$$

Проверка Γ -образного фильтра на условие резонанса

$$\omega_p \ll \omega_n, \quad (13)$$

где $\omega_p = 1/\sqrt{L_\phi C_\phi}$ – собственная частота резонанса фильтра; $\omega_n = m \cdot (2\pi f_1)$ – частота основной гармоники выпрямителя.

Амплитуда пульсаций первой гармоники напряжения на выходе выпрямителя с индуктивным и Γ -образным фильтрами

$$U_{dm(1)} = \frac{U_{VDm(1)}}{s}. \quad (14)$$

Коэффициент пульсаций по напряжению на выходе выпрямителя с индуктивным и Γ -образным фильтрами

$$q_u = \frac{U_{dm(1)}}{U_{d0}}. \quad (15)$$

Амплитуда пульсаций первой гармоники тока на выходе выпрямителя с емкостным, индуктивным и Γ -образным фильтрами

$$I_{dm(1)} = \frac{U_{dm(1)}}{R_d}. \quad (16)$$

Коэффициент пульсаций по току на выходе выпрямителя с емкостным, индуктивным и Г-образным фильтрами

$$q_i = \frac{I_{dm(1)}}{I_d}. \quad (17)$$

Результаты расчетов свести в табл. 1.

Таблица 1

Показатель	Без фильтра		С-фильтр		L-фильтр		LC-фильтр	
	Расчет	Модель	Расчет	Модель	Расчет	Модель	Расчет	Модель
$U_d, \text{В}$								
$I_d, \text{А}$								
$U_{dm(1)}, \text{В}$								
q_u								
$I_{dm(1)}, \text{А}$								
q_i								
s	—	—	—	—				

в) построить **в масштабе** временные диаграммы токов и напряжений однофазного мостового неуправляемого выпрямителя без фильтра, а также с емкостным и индуктивным фильтрами:

- напряжение на входе выпрямителя u_1 ;
- ток на входе выпрямителя i_1 ;
- напряжение на нагрузке u_d с учетом и без учета фильтра;
- ток нагрузки i_d до и после фильтра;
- анодный ток i_a , и напряжение u_a на первом вентиле.

При построении вентили считаются идеальными, емкость фильтра C_Φ и L_Φ считать бесконечно большой. В выпрямителе с емкостным фильтром напряжение на нагрузке принять равным $U_d \approx 0,9 \cdot \sqrt{2} \cdot E_1$, а амплитуду тока на входе выпрямителя $I_{1m} = 5I_d$. Здесь E_1 – действующее значение ЭДС на входе выпрямителя; $I_d = U_d / R_d$ – среднее значение тока нагрузки;

г) рассчитать и построить внешнюю характеристику $U_d = f(I_d)$ однофазного мостового неуправляемого выпрямителя без фильтра, а также с индуктивным и LC-фильтрами.

Уравнения внешней характеристики однофазного мостового выпрямителя без фильтра

$$U_d = U_{d0} - aU_0 - I_d \cdot (ar_d + r_a), \quad (18)$$

а также с индуктивным фильтром и LC-фильтром в непрерывном и граничном режиме

$$U_d = U_{d0} - aU_0 - I_d \cdot (ar_d + r_a + r_L), \quad (19)$$

где $U_{d0} = 0,9E_1$ – идеальное среднее значение напряжения на выходе однофазного мостового выпрямителя; E_1 – действующее значение ЭДС на входе выпрямителя; U_0 и r_d – пороговое напряжение и дифференциальное сопротивление диода; $a = 2$ – коэффициент, который учитывает через сколько диодов одновременно протекает ток в выпрямителе; r_a – внутреннее активное сопротивление ис-

точника переменного напряжения; r_L – активное сопротивление сглаживающего реактора.

Для LC -фильтра величину граничного тока нагрузки оценить по приближенной формуле

$$I_{d.\text{гр}} \approx \frac{U_{d0}}{R_{d.\text{max}}}, \quad (20)$$

а в прерывистом режиме при токе нагрузки $I_d = 0$ принять напряжение на нагрузке

$$U_{d.\text{xx}} = \sqrt{2} \cdot E_1. \quad (21)$$

2. Ввод исходных данных в компьютерную модель

Все необходимые параметры для ввода в компьютерную модель сведены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры и численные значения для ввода в компьютерную модель

Название блока в модели	Параметр	Численное значение или расчетное выражение
Однофазный источник питания « <i>Single-phase source</i> »	Действующее значение фазного напряжения сети « <i>Phase rms voltage, V</i> »	См. табл. вариантов
	Частота сети « <i>Frequency, Hz</i> »	50 Гц
	Активное сопротивление источника питания « <i>Sourse resistance, Ohms</i> »	1,0 Ом
	Индуктивность источника питания « <i>Sourse inductance, H</i> »	0
Однофазный мостовой неуправляемый выпрямитель « <i>Single-phase bridge uncontrolled rectifier</i> »	Пороговое напряжение диода « <i>Diode forward voltage, V</i> »	1,0 В
	Дифференциальное сопротивление диода во включенном состоянии « <i>Diode on-stste resistance, Ohms</i> »	0,05 Ом
	Демпфирующая цепь, состоящая из последовательно включенных активного сопротивления R_s « <i>Snubber resistance, Ohms</i> » и конденсатора C_s « <i>Snubber capacitance, F</i> »	$R_s = 10^4$ Ом, $C_s = \text{inf}$
Сглаживающий фильтр « <i>Ripple filter</i> »	Выбор сглаживающего фильтра « <i>Type of ripple filter</i> »	1 – без фильтра; 2 – C -фильтр; 3 – L -фильтр; 4 – LC -фильтр
	Индуктивность фильтра « <i>Inductance filter, H</i> »	Выражение (10) или (11)
	Активное сопротивление сглаживающего реактора « <i>Resistance of smoothing reactor, Ohms</i> »	См. табл. вариантов
	Емкость фильтра « <i>Capacity filter, F</i> »	Выражение (7) или (12)
Нагрузка постоянно-го тока « <i>DC load</i> »	Активное сопротивление нагрузки « <i>Resistance, Ohms</i> »	См. табл. вариантов

В таблице 3 приняты следующие обозначения:

- R_d – активное сопротивление нагрузки;
- U_1, I_1 – действующие значение напряжения и тока на входе выпрямителя соответственно;
- P_1, Q_1, N_1, S_1 – активная, реактивная, пассивная (неактивная) и полная мощности на входе выпрямителя;
- T_1 – мощность искажения на входе выпрямителя;
- $\chi, \cos \varphi$ – коэффициент мощности и косинус фи выпрямителя;
- v – коэффициент несинусоидальности входного тока выпрямителя;
- U_d, I_d – среднее значение напряжения и тока нагрузки;
- P_d – мощность нагрузки;
- q_u – коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения;
- η – коэффициент полезного действия выпрямителя.

Коэффициент полезного действия (КПД) выпрямителя

$$\eta = P_d / P_1. \quad (22)$$

4. Экспериментальное исследование однофазного мостового неуправляемого выпрямителя с емкостным фильтром

а) снять осциллограммы напряжения $u_1 = f(t)$ и тока $i_1 = f(t)$ на входе выпрямителя, напряжения $u_d = f(t)$ и тока $i_d = f(t)$ на нагрузке, тока на выходе выпрямителя (до фильтра) $i_{VD} = f(t)$, а также анодного напряжения $u_{a1} = f(t)$ и анодного тока $i_{a1} = f(t)$ на диоде VD1 при заданном сопротивлении нагрузки R_d (см. табл. вариантов). Для этого в компьютерной модели в блоке «*Ripple filter*» установит цифру «2» (выпрямитель с емкостным фильтром) в строке «*Type of ripple filter*» и ввести значение емкости фильтра «*Capacity filter*», рассчитанное из выражения (7). Временные диаграммы привести в установившемся режиме для 3 – 4 периодов входного напряжения. Осциллограммы должны быть сняты в максимально крупном масштабе, поэтому перед сохранением диаграмм в осциллографе скорректируйте максимальный и минимальные значения на осях. Обратите внимание на искажение входного напряжения;

б) измерить и записать в таблицу 1 показатели по аналогии с п. 3 б. Сравнить показатели с расчетными значениями и сделать вывод о сходимости или расхождении результатов;

в) снять и построить внешнюю $U_d = f(I_d)$ и энергетические характеристики $P_1, Q_1, T_1, N_1, S_1, P_d = f(I_d); \chi = f(I_d), \cos \varphi = f(I_d), v = f(I_d), \eta = f(I_d), q_u = f(I_d)$ выпрямителя, изменяя сопротивление нагрузки R_d в диапазоне от $(100 \dots 1,0) \cdot R_d$ в блоке «*DC load*». Измеренные показания занести в таблицу 4. В отчете для наглядности построить на одном графике все мощности ($P_1, Q_1, T_1, N_1, S_1, P_d$), а остальные характеристики на отдельных графиках совместно с результатами из п. 3 в. КПД рассчитать в соответствии с выражением (22);

Таблица 4

Экспериментальные данные для построения внешних и энергетических характеристик выпрямителя с емкостным фильтром

R_d , Ом	$100 \cdot R_d$	$10 \cdot R_d$	$5 \cdot R_d$	$4 \cdot R_d$	$3 \cdot R_d$	$2 \cdot R_d$	$1,5 \cdot R_d$	R_d	
I_d , А									
U_1 , В									
I_1 , А									
P_1 , Вт									
Q_1 , вар									
T_1 , ВА									
N_1 , ВА									
S_1 , ВА									
χ									
$\cos \varphi$									
ν									
U_d , В									
P_d , Вт									
q_u									
η									

г) исследовать влияние параметров фильтра на показатели качества выходного напряжения и тока при заданном сопротивлении нагрузки R_d . Для этого установить заданную точку выпрямителя с параметрами, указанными в табл. 5, записать измеренные значения. Затем по отдельности увеличить и уменьшить емкость фильтра в 2 раза. При исследовании одновременно менять только один параметр относительно заданной точки. Измеренные параметры занести в табл. 5. Сделать вывод о влиянии параметра фильтра на показатели качества выходного напряжения и его уровень.

Таблица 5

Исследование влияния фильтров на показатели качества выпрямителя

Параметр	Емкостной фильтр			Индуктивный фильтр		
	Заданная точка	Изменяемый параметр		Заданная точка	Изменяемый параметр	
		$2,0 \cdot C_\Phi$	$0,5 \cdot C_\Phi$		$2,0 \cdot L_\Phi$	$0,5 \cdot L_\Phi$
C_Φ , мкФ	Выражение (7)			—	—	—
L_Φ , Гн	—	—	—	Выражение (10)		
U_d , В						
I_d , А						
$U_{dm(1)}$, В						
q_u						
$I_{dm(1)}$, А						
q_i						
s	—	—	—			

5. Экспериментальное исследование однофазного мостового неуправляемого выпрямителя с индуктивным фильтром

г) исследовать влияние параметров фильтра на показатели качества выходного напряжения и тока при заданном сопротивлении нагрузки R_d . Для этого установить заданную точку выпрямителя с параметрами, указанными в табл. 5, записать измеренные значения. Затем по отдельности увеличить и уменьшить индуктивность фильтра в 2 раза. При исследовании одновременно менять только один параметр относительно заданной точки. Измеренные параметры занести в табл. 5. Сделать вывод о влиянии параметра фильтра на показатели качества выходного напряжения и его уровень.

6. Экспериментальное исследование однофазного мостового неуправляемого выпрямителя с Г-образным фильтром

а) снять осциллограммы напряжения $u_1 = f(t)$ и тока $i_1 = f(t)$ на входе выпрямителя, напряжения $u_d = f(t)$ и тока $i_d = f(t)$ на нагрузке, напряжения $u_{VD} = f(t)$ и тока $i_{VD} = f(t)$ на выходе выпрямителя (до фильтра), а также анодного напряжения $u_{a1} = f(t)$ и анодного тока $i_{a1} = f(t)$ на диоде $VD1$ при заданном сопротивлении нагрузки R_d (см. табл. вариантов). Для этого в компьютерной модели в блоке «*Ripple filter*» установит цифру «4» (выпрямитель с Г-образным фильтром) в строке «*Type of ripple filter*» и ввести значение индуктивности фильтра «*Inductance filter*» и емкости фильтра «*Capacity filter*», рассчитанные из выражений (11) и (12) соответственно. Временные диаграммы привести в установившемся режиме для 3 – 4 периодов входного напряжения. Осциллограммы должны быть сняты в максимально крупном масштабе, поэтому перед сохранением диаграмм в осциллографе скорректируйте максимальный и минимальные значения на осях;

б) измерить и записать в таблицу 1 показатели по аналогии с п. 3 б. Сравнить показатели с расчетными значениями и сделать вывод о сходимости или расхождении результатов;

в) снять и построить внешнюю $U_d = f(I_d)$ и энергетические характеристики $P_1, Q_1, T_1, N_1, S_1, P_d = f(I_d); \chi = f(I_d), \cos \varphi = f(I_d), v = f(I_d), \eta = f(I_d), q_u = f(I_d)$ выпрямителя, изменяя сопротивление нагрузки R_d в диапазоне от $(100 \dots 1,0) \cdot R_d$ в блоке «*DC load*». Измеренные показания занести в таблицу 7. При снятии характеристик обязательно зафиксировать граничный режим работы, когда ток на выходе выпрямителя (до фильтра) следует без пауз и снижается до нуля. Снять осциллограммы в граничном и прерывистом режимах. В отчете для наглядности построить на одном графике все мощности ($P_1, Q_1, T_1, N_1, S_1, P_d$), а остальные характеристики на отдельных графиках совместно с результатами из п. 3 в, 4 в и 5 в. КПД рассчитать в соответствии с выражением (22);

Таблица 7

Экспериментальные данные для построения внешних и энергетических характеристик выпрямителя с Г-образным фильтром

R_d , Ом	$100 \cdot R_d$	$10 \cdot R_d$	$5 \cdot R_d$	$4 \cdot R_d$	$3 \cdot R_d$	$2 \cdot R_d$	$1,5 \cdot R_d$	R_d	$R_{d.гр}$
I_d , А									
U_1 , В									
I_1 , А									
P_1 , Вт									
Q_1 , вар									
T_1 , ВА									
N_1 , ВА									
S_1 , ВА									
χ									
$\cos\varphi$									
ν									
U_d , В									
P_d , Вт									
q_u									
s									
η									

г) исследовать влияние параметров фильтра на показатели качества выходного напряжения и тока при заданном сопротивлении нагрузки R_d . Для этого установить заданную точку выпрямителя с параметрами, указанными в табл. 8, записать измеренные значения. Затем по отдельности увеличить и уменьшить емкость и индуктивность фильтра в 2 раза. При исследовании одновременно менять только один параметр относительно заданной точки. Измеренные параметры занести в табл. 8. Сделать вывод о влиянии параметров фильтра на показатели качества выходного напряжения.

Таблица 8

Исследование влияния Г-образного фильтра на показатели качества выпрямителя

Параметр	Заданная точка	Изменяемый параметр			
		$2,0 \cdot C_\Phi$	$0,5 \cdot C_\Phi$	$2,0 \cdot L_\Phi$	$0,5 \cdot L_\Phi$
C_Φ , мкФ	Выражение (11)				
L_Φ , Гн	Выражение (12)				
U_d , В					
I_d , А					
$U_{dm(1)}$, В					
q_u					
$I_{dm(1)}$, А					
q_i					
s					

Содержание отчета

Отчет должен содержать следующие пункты:

а) наименование и цель работы;

- б) предварительные расчеты и домашнее задание;
 - в) силовую схему преобразователя;
 - г) временные диаграммы;
 - д) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
 - е) экспериментально снятые и построенные характеристики;
 - д) выводы по работе.
1. Сравнение массогабаритных показателей Г-образного фильтра с емкостным и индуктивным фильтрами по параметрам L_{ϕ} , C_{ϕ} .
 2. О влиянии параметров L_{ϕ} , C_{ϕ} емкостного, индуктивного и Г-образного фильтров на показатели качества выпрямителя (q_u , s).
 3. О влиянии тока нагрузки на показатели качества q_u , s выпрямителя со сглаживающими фильтрами (индуктивный, емкостной и Г-образный).
 4. Сравнение жесткости внешних характеристик выпрямителя без фильтра и при наличии сглаживающих фильтров (емкостного, индуктивного и Г-образного). Что влияет на жесткость внешних характеристик в этих системах?
 5. О влиянии емкости C_{ϕ} на выходное напряжение выпрямителя с емкостным фильтром. Причина изменения напряжения.
 6. Объяснение, почему в области малых токов нагрузки в выпрямителе с Г-образным фильтром наблюдается резкое увеличение напряжения на выходе.
 7. Сравнение энергетических характеристик χ , $\cos\phi$ выпрямителя без фильтра и при наличии сглаживающих фильтров (емкостного, индуктивного и Г-образного). Почему коэффициент мощности χ всегда меньше в выпрямителях со сглаживающими фильтрами?

Контрольные вопросы

1. Покажите путь протекания тока в однофазном мостовом выпрямителе.
2. Назовите основные величины токов, напряжений и мощностей, используемые при описании работы выпрямителей.
3. Какова частота пульсации в изучаемых схемах? На что она влияет?
4. Что такое коэффициент пульсаций? Что он показывает? Чему он равен для однофазного неуправляемого мостового выпрямителя?
5. Какие виды сглаживающих фильтров вы знаете? Их назначение. Область применения.
6. Назовите преимущества и недостатки выпрямителя с емкостным, индуктивным и Г-образными фильтрами?
7. В каких режимах работает выпрямитель с емкостным, индуктивным и Г-образными фильтрами? Какая разница между ними?
8. Объясните форму входного тока в неуправляемом выпрямителе с емкостным фильтром.
9. Как выбирается емкость конденсатора в выпрямителе с емкостным фильтром?
10. От каких параметров зависит коэффициент пульсаций выпрямителя с емкостной фильтр? Как изменяется коэффициент пульсаций при увеличении тока нагрузки и почему?
11. Перечислите меры, позволяющие снизить бросок тока при первоначальном включении неуправляемого выпрямителя с емкостным фильтром.
12. Что такое коэффициент сглаживания? Что он показывает? В каких фильтрах его можно определить?
13. Как выбирается индуктивность реактора в выпрямителе с индуктивным фильтром?
14. Какие условия должны обязательно выполняться в Г-образном фильтре при выборе его элементов схемы?
15. Как выбираются индуктивность реактора и емкость конденсатора в выпрямителе с Г-образным фильтром?
16. Что такое внешняя характеристика выпрямителя?
17. Как выглядят внешние характеристики для однофазного мостового выпрямителя без фильтра и со сглаживающими фильтрами (емкостной, индуктивный и Г-образный)?
18. Какие параметры влияют на жесткость внешних характеристик в однофазном мостовом выпрямителе без фильтра и со сглаживающими фильтрами (емкостной, индуктивный и Г-образный)?
19. Что такое граничный ток $I_{d,гр}$? Что влияет на величину граничного тока в однофазном мостовом выпрямителе с Г-образным фильтром?
20. Перечислить основные энергетические показатели выпрямителей. Что они показывают и от чего зависят?
21. Что такое коэффициент мощности выпрямителя? Как он определяется и от чего зависит?
22. Что такое КПД выпрямителя? Как его найти?

23. Какие номера высших гармоник формируются во входном токе однофазного мостового выпрямителя с индуктивным и емкостным фильтрами?

24. Какое вредное влияние на питающую сеть оказывает неуправляемый выпрямитель с емкостным фильтром?

Таблица вариантов

№ варианта	$E_1, \text{В}$	С-фильтр	L и LC -фильтры	$R_d, \text{Ом}$	$r_L, \text{Ом}$
		q_u	s		
1	220	0,04	17	200	20
2	220	0,05	16	150	15
3	220	0,06	15	100	8
4	220	0,07	14	75	6
5	220	0,08	13	50	4
6	220	0,09	12	40	3
7	220	0,1	11	200	13,0
8	220	0,11	10	150	12,5
9	220	0,12	9	100	12,0
10	220	0,13	8	75	11,5
11	110	0,04	17	100	11,0
12	110	0,05	16	75	10,5
13	110	0,06	15	50	13,0
14	110	0,07	14	37,5	12,5
15	110	0,08	13	25	12,0
16	110	0,09	12	20	11,5
17	110	0,1	11	100	11,0
18	110	0,11	10	75	10,5
19	110	0,12	9	50	13,0
20	110	0,13	8	37,5	12,5
21	110	0,14	7	25	12,0
22	110	0,15	6	20	11,5
23	220	0,14	7	50	11,0
24	220	0,15	6	40	10,5

Примечания:

1. Студенты, получившие подвариант А, выполняют пункты 1 а, б, в, г (п. 1 в – для емкостного фильтра; п. 1 г – для Г-образного фильтра); подвариант Б – пункты 1 а, б, в, г (п. 1 в, г – для индуктивного фильтра); подвариант В – пункты 1 а, б, в, г (п. 1 в, г – для мостового выпрямителя без фильтра).

2. При расчетах принять: пороговое напряжение диода $U_0 = 1,0 \text{ В}$; дифференциальное сопротивление диода $r_d = 0,05 \text{ Ом}$; внутреннее активное сопротивление источника переменного напряжения $r_a = 1,0 \text{ Ом}$.