

**ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ
СВЯЗИ**

Практикум

Практикум по дисциплине «Электропитание устройств и систем связи» составлен в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Автор:

Белоус И.А., доцент кафедры информационных технологий и систем.

Утверждена на заседании кафедры ИТС от 30.03.2016 г.,
протокол № 8

СОДЕРЖАНИЕ	
Введение	
1. Расчёт трансформаторов питания	
1.1 Расчёт однофазного сетевого трансформатора с частотой сети 50 Гц	
1.2 Расчёт однофазного сетевого трансформатора с частотой сети 400 Гц	
Контрольные вопросы	
2. Выпрямители	
2.1 Однополупериодный выпрямитель	
2.2 Двухполупериодный выпрямитель	
2.3 Мостовой выпрямитель	
2.4 Однополупериодный выпрямитель с RC фильтром	
2.5 Двухполупериодный выпрямитель с RC фильтром	
2.6 Мостовой выпрямитель с RC фильтром	
2.7 Мостовой выпрямитель с LC фильтром	
Контрольные вопросы	
3. Стабилизаторы напряжения с непрерывным регулированием	
3.1 Параметрический стабилизатор	
3.2 Двухкаскадный параметрический стабилизатор	
3.3 Компенсационный стабилизатор	
3.4 Расчёт и моделирование компенсационного стабилизатора	
3.5 Интегральный компенсационный стабилизатор	
Контрольные вопросы	
4. Преобразователи и стабилизаторы напряжения с импульсным регулированием	
4.1 Импульсный понижающий преобразователь	
4.2 Импульсный повышающий преобразователь	
4.3 Импульсный стабилизатор напряжения	
4.4 Импульсный инвертирующий преобразователь напряжения	
4.5 Импульсный понижающий стабилизатор переменного напряжения в постоянное	
Контрольные вопросы	
Список рекомендуемой литературы	

ВВЕДЕНИЕ

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА NI MULTISIM

Разработка любого радиоэлектронного устройства включает физическое или математическое моделирование. Физическое моделирование связано с большими материальными затратами, так как требует изготовления макетов и их трудоемкое исследование и иногда просто невозможно из-за сложности радиоэлектронного устройства. В этом случае прибегают к математическому моделированию с использованием средств и методов вычислительной техники [1].

NI Multisim – это программный пакет (рис. 1), позволяющий моделировать электронные схемы и разводить печатные платы. Главная особенность NI Multisim [2] – простой и наглядный интерфейс, мощные средства графического анализа результатов моделирования, наличие виртуальных измерительных приборов, копирующих реальные аналоги. Библиотека элементов содержит более 2000 SPICE-моделей компонентов National Semiconductor, Analog Devices, Phillips, NXP и других производителей. Присутствуют электромеханические модели, импульсные источники питания, преобразователи мощности.

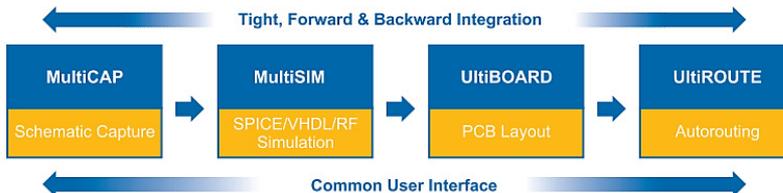


Рис. 1. Взаимосвязь программного обеспечения в NI Multisim.

Multicap – средство создания и описания электрических схем. Программа включает безрежимное редактирование, имеет удобные средства взаимодействия с другими программными продуктами и обширную базу данных.

Multisim – интерактивный эмулятор схем, осуществляющий моделирование и анализ аналоговых и цифровых электрических цепей.

UltiBOARD – программное средство для размещения электрорадиоэлементов и разводки электрических соединений между компонентами.

Ultiroute - программное средство для автоматического размещения и соединения большого количества компонентов на печатной плате.

Мультиметр

Мультиметр (рис.2) предназначен для измерения переменного или постоянного тока или напряжения, сопротивления или затухания между двумя узлами схемы. Диапазон измерений мультиметра задается автоматически. Его внутреннее сопротивление и ток близки к идеальным значениям, но их можно изменить.

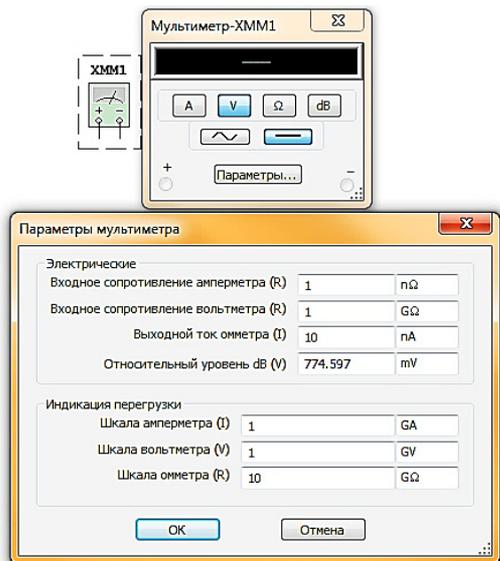


Рис.2. Окно мультиметра.

Осциллограф

Осциллограф (рис.3) имеет два канала (CHANNEL) А и В (в случае двухканального осциллографа; в арсенале приборов Multisim имеется также и 4-х канальный осциллограф, а также виртуальный осциллограф фирмы Agilent) с отдельной регулировкой чувствительности в диапазоне от 10 мкВ/дел (mV/Div) до 5 кВ/дел (kV/Div) и регулировкой смещения по вертикали (YPOS). При этом каждый канал имеет два вывода обозначенные как «+» и «-». Подавая сигнал на один из выводов, другой целесообразно заземлять.

Выбор режима по входу осуществляется нажатием кнопок AC, 0,

DC. Режим AC предназначен для наблюдения только сигналов переменного тока (его еще называют режимом «закрытого входа», поскольку в этом режиме на входе усилителя включается разделительный конденсатор, не пропускающий постоянную составляющую). В режиме 0 входной зажим замыкается на землю. В режиме DC (включен по умолчанию) можно проводить осциллографические измерения как постоянного, так и переменного тока. Этот режим еще называют режимом «открытого входа», поскольку входной сигнал поступает на вход вертикального усилителя непосредственно. С правой стороны от кнопки DC расположен входной зажим.

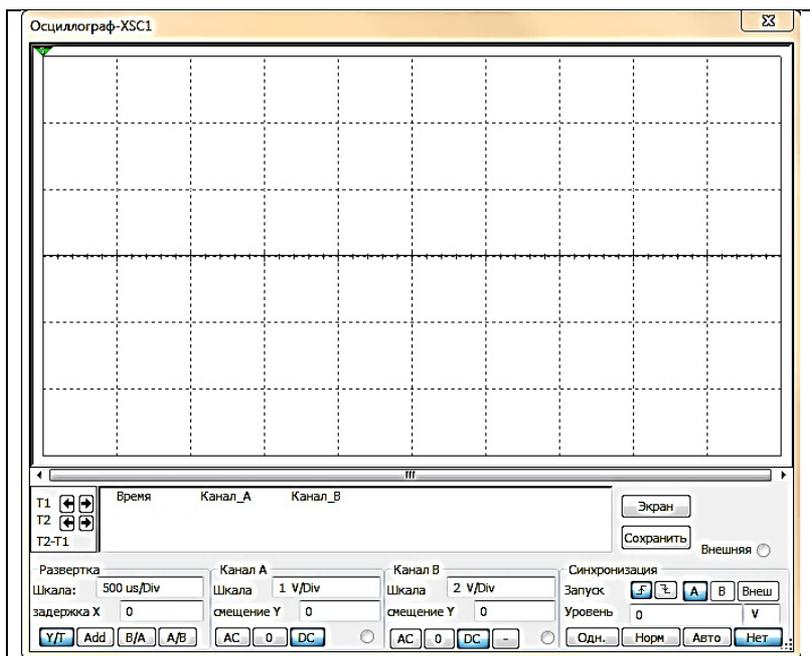


Рис. 3 Окно осциллографа.

Режим развертки выбирается кнопками Y/T, B/A, A/B. В режиме Y/T (обычный режим, включен по умолчанию) реализуются следующие режимы развертки:

- по вертикали - напряжение сигнала, по горизонтали,
- время; в режиме B/A: по вертикали - сигнал канала B, по горизонтали,
- сигнал канала A; в режиме A/B: по вертикали - сигнал канала A, по
- горизонтали - сигнал канала B.

Анализатор спектра

Описание элементов управления и настройки прибора (рис.4)

Анализатор спектра:

а) *Управление частотой.*

Режим «**Узкополосный**» - спектральный анализ сигнала с максимальным разрешением.

Режим «**Весь диапазон**» - спектральный анализ сигнала в пределах полосы частот, реализуемой программным пакетом.

Режим «**Установить**» - ручная установка границ спектрального анализа.

Кнопка **Ввод** – применение введенных значений.

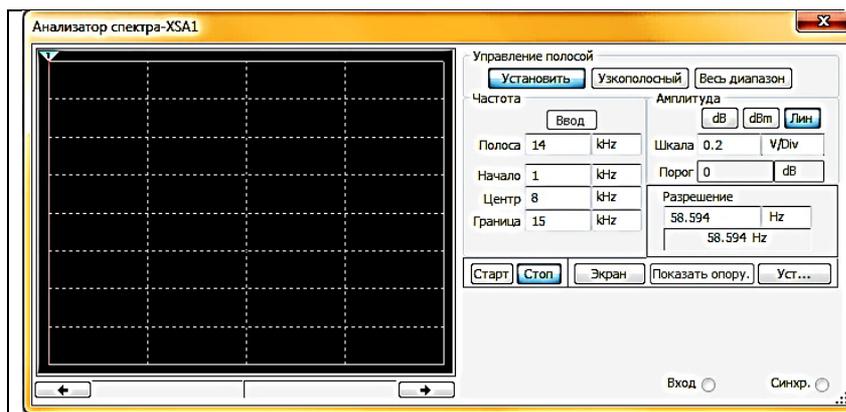


Рис.4. Окно Анализатора спектра.

б) *Частота.*

Полоса – полоса анализируемого спектра,

Начало – начальная частота анализа,

Центр – частота, отображаемая в центре рабочего окна,

Граница – конечная частота анализа.

в) *Амплитуда.*

Установка единиц отображения амплитуды и цены деления.

г) *Разрешение.*

Установка минимального шага анализа. Отображение достигнутого шага анализа при моделировании.

д) *Общие настройки и управление.*

Старт – запуск процесса спектрального анализа сигнала,

Стоп – остановка процесса спектрального анализа сигнала,

Уст... - установки (**рекомендуется установить число точек FFT - 32768**). FFT – Быстрое преобразование Фурье.

4. Анализ «Фурье»

Измерительный пробник

Измерительный пробник (рис. 5) показывает постоянные (dc) и переменные (ac) напряжения (V) и токи (I) на участке цепи, а также частоту сигнала.

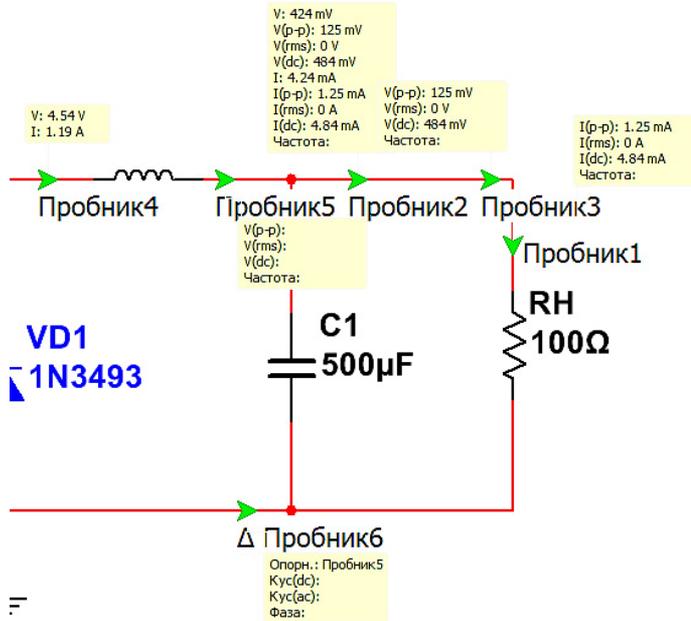


Рис. 5. Измерительные пробники в схеме.

Общие правила моделирования

При моделировании схем необходимо соблюдать следующие общие правила:

- 1) Любая схема должна обязательно содержать хотя бы один символ заземления.
- 2) Любые два конца проводника либо контакта устройства, встречающихся в точке, всегда считаются соединенными. При соединении трех концов (Т-соединение) необходимо использовать символ соединения (узел). Те же правила применяются при соединении четырех и более контактов.
- 3) В схемах должны присутствовать источники сигнала (тока или напряжения), обеспечивающие входной сигнал, и не менее одной контрольной точки (за исключением анализа схем постоянного тока).

Топология схем

- 1) В схеме не должны присутствовать контуры из катушек индуктивности и источников напряжения.
- 2) Источники тока не должны соединяться последовательно
- 3) Не должно присутствовать короткозамкнутых катушек
- 4) Источник напряжения должен соединяться с катушкой индуктивности и трансформатором через последовательно включенный резистор. К конденсатору, подключенному к источнику тока, обязательно должен быть параллельно присоединен резистор.

1. РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПИТАНИЯ

1.1. Расчет однофазного сетевого трансформатора с частотой сети 50 Гц

Исходные данные для расчета однофазного сетевого трансформатора с частотой сети 50 Гц

Для приведенной на рис. 1.1 схемы трансформатора выбрать магнитопровод, рассчитать параметры обмоток и определить массу трансформатора.

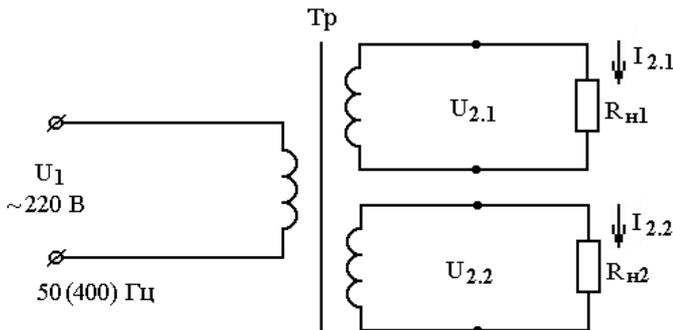


Рис. 1.1. Схема подключения однофазного сетевого трансформатора.

Таблица 1.1

**Исходные данные для расчета
однофазного сетевого трансформатора с частотой сети 50 Гц**

№ варианта (две последние цифры зачетной книжки)	Напряжения на вторичных обмотках, В		Токи в нагрузках, А		Максимальная магнитная индукция B_m , Тл	Средняя плотность тока в обмотках $\gamma_{ср}$, А/мм ²
	$U_{2,1}$	$U_{2,2}$	$I_{2,1}$	$I_{2,2}$		
1	2	3	4	5	6	7
01, 34, 67	5	300	6	0,1	1,3	2,4
02, 35, 68	5	400	8	0,1	1,3	2,3
03, 36, 69	8	350	5	0,2	1,35	2,2
04, 37, 70	10	250	8	0,2	1,35	2,1
05, 38, 71	10	300	7	0,2	1,35	2,1
06, 39, 72	10	400	9	1,1	1,35	2,2
07, 40, 73	12	500	5	0,2	1,35	2,0
08, 41, 74	12	300	6	0,2	1,35	2,0
09, 42, 75	12	400	10	0,15	1,35	1,9
10, 43, 76	15	400	8	0,25	1,35	1,9
11, 44, 77	15	500	10	0,15	1,35	1,9
12, 45, 78	15	300	12	0,2	1,35	1,8
13, 46, 79	20	400	8	0,2	1,35	1,8
14, 47, 80	20	500	10	0,15	1,35	1,7
15, 48, 81	20	450	10	0,3	1,3	1,7
16, 49, 82	25	800	8	0,15	1,3	1,7
17, 50, 83	25	700	10	0,2	1,25	1,65
18, 51, 84	25	600	12	0,15	1,25	1,6
19, 52, 85	30	400	8	0,3	1,25	1,6
20, 53, 86	30	500	10	0,2	1,25	1,6
21, 54, 87	30	600	12	0,15	1,25	1,5
22, 55, 88	40	300	8	0,3	1,25	1,5
23, 56, 89	40	400	10	0,25	1,2	1,5
24, 57, 90	40	500	11	0,2	1,2	1,5
25, 58, 91	50	800	8	0,15	1,2	1,5
26, 59, 92	50	600	10	0,15	1,2	1,45
27, 60, 93	50	700	12	0,1	1,2	1,45
28, 61, 94	60	500	8	0,3	1,2	1,45
29, 62, 95	60	800	10	0,2	1,2	1,4
30, 63, 96	60	700	10	0,1	1,2	1,4
31, 64, 97	20	900	15	0,1	1,3	1,7
32, 65, 98	25	800	20	0,2	1,25	1,5

33, 99, 66, 00	15	700	20	0,1	1,3	1,6
----------------	----	-----	----	-----	-----	-----

Методические указания и пример расчета однофазного сетевого трансформатора с частотой сети 50 Гц

Схема подключения трансформатора приведена на рис. 1.1.

Исходные данные для расчета:

напряжение на вторичных обмотках – $U_{2,1} = 15 \text{ В}$, $U_{2,2} = 400 \text{ В}$;

токи в нагрузках – $I_{2,1} = 10 \text{ А}$, $I_{2,2} = 0,2 \text{ А}$;

максимальная магнитная индукция в магнитопроводе – $B_m = 1,35 \text{ Тл}$;

средняя плотность тока в обмотках – $\gamma_{\text{ср}} = 1,9 \text{ А/мм}^2$;

частота сети – $f_c = 50 \text{ Гц}$.

1. Выбор магнитопровода

Мощность, отдаваемая трансформатором в нагрузку:

$$P_H = U_{2,1} I_{2,1} + U_{2,2} I_{2,2},$$

$$P_H = 15 \cdot 10 + 400 \cdot 0,2 = 230 \text{ Вт}.$$

Размеры магнитопровода, необходимые для получения от трансформатора заданной мощности, могут быть найдены на основании выражения

$$S_c S_{\text{ок}} = \frac{P_H \cdot 10^2}{2,22 f_c B_m \gamma_{\text{ср}} K_{\text{зм}} K_{\text{зс}}}, \text{ см}^4, \quad (1.1)$$

где S_c – геометрическая площадь сечения сердечника (рис. 1.2);

$S_{\text{ок}}$ – геометрическая площадь сечения окна (рис. 1.2);

$K_{\text{зм}}$ – коэффициент заполнения по меди, равный отношению площади сечения меди S_m обмоток к геометрической площади окна магнитопровода $S_{\text{ок}}$, для броневых пластинчатых магнитопроводов,

$K_{\text{зм}} = 0,2 \div 0,4$;

$K_{\text{зс}}$ – коэффициент заполнения по стали, равный отношению площади сечения стали $S_{\text{ст}}$ к геометрической площади сечения сердечника S_c , $K_{\text{зс}} = 0,85 \div 0,95$.

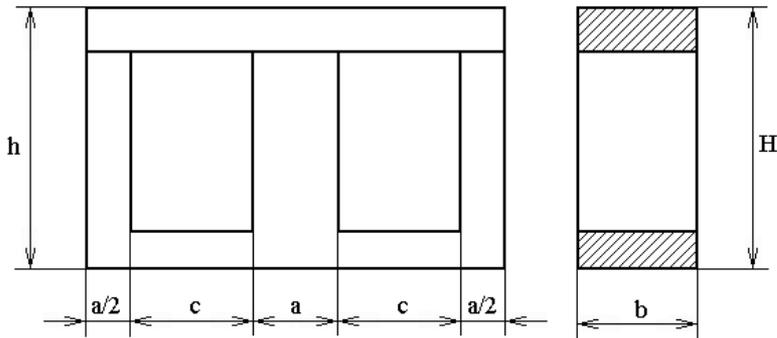


Рис. 1.2. Броневой пластинчатый магнитопровод: $S_{ок} = hc$, $S_{ок} = ab$.

Выбираем $K_{зм} = 0,3$, $K_{зс} = 0,9$.

Подставляем в (2.1) численные значения параметров:

$$S_c S_{ок} = \frac{230 \cdot 10^2}{2,22 \cdot 50 \cdot 1,35 \cdot 1,9 \cdot 0,3 \cdot 0,9} = 299 \text{ см}^4.$$

Из табл. 2.8 выбираем магнитопровод с ближайшим большим значением $S_c S_{ок} = 328 \text{ см}^4$; масса магнитопровода $G_{ст} = 2,53 \text{ кг}$; $S_c = 12,8 \text{ см}^2$; средняя длина магнитной силовой линии $l_c = 27,4 \text{ см}$.

2. Расчет обмоток трансформатора

Действующее значение ЭДС первичной обмотки трансформатора:

$$E_1 = U_1 (1 - \Delta U_1 / 100), \quad (1.2)$$

где ΔU_1 – относительное падение напряжения на первичной обмотке.

Значения ΔU_1 выбираем из табл. 2.2.

Таблица 1.2

Относительные падения напряжений на обмотках трансформаторов

Частота, Гц	Конструкция магнитопровода	Величина	Суммарная мощность вторичных обмоток $\Sigma P_2, \text{ В} \cdot \text{А}$					
			5-15	15-50	50-150	150-300	300-1000	1000-2500
50	Броневая	$\Delta U_1\%$	20–13	13–6	6–4,5	4,5–3	3–1	–
		$\Delta U_2\%$	25–18	18–10	10–8	8–6	6–2	–
	Стержневая	$\Delta U_1\%$	18–12	12–5,5	5,5–4	4–3	3–1	1–0,8
		$\Delta U_2\%$	33–17	17–9	9–6	6–4	4–2	2–1,0
	Броневая	$\Delta U_1\%$	10–8	8–4	4–1,5	1,5–1,0	1,0–0,5	0,5

400		$\Delta U_2\%$	8,5–10	10–5	5–2,0	2,0–1,2	1,2–0,5	0,5
	Стержневая	$\Delta U_1\%$	7–5	5–2	2–1,0	1,0–1,0	1,0–0,5	0,5
		$\Delta U_2\%$	8–6,5	6,5–3	3–1,5	1,5–1,0	1,0–0,5	0,4

Для рассчитанной мощности выбираем $\Delta U_1 = 3,75\%$:

$$E_1 = 220 \cdot (1 - 3,75/100) = 212 \text{ В.}$$

Действующая ЭДС одного витка:

$$e_b = 4K_\phi f_c B_m S_c K_{зс} \cdot 10^{-4}, \quad (1.3)$$

где K_ϕ – коэффициент формы напряжения первичной обмотки, для синусоидального напряжения $K_\phi = 1,11$.

$$e_b = 4 \cdot 1,11 \cdot 50 \cdot 1,35 \cdot 12,8 \cdot 0,9 \cdot 10^{-4} = 0,345 \text{ В.}$$

Число витков первичной обмотки (округляется до целого числа):

$$N_1 = E_1 / e_b = 614, \quad (1.4)$$

Действующая ЭДС вторичных обмоток $E_{2,1}$ и $E_{2,2}$ под нагрузкой

$$E_2 = U_2 (1 + \Delta U_2 / 100), \quad (1.5)$$

где $\Delta U_2 = 7\%$ (см. табл. 2.2):

$$E_{2,1} = 15(1 + 7/100) = 16 \text{ В};$$

$$E_{2,2} = 400(1 + 7/100) = 428 \text{ В.}$$

Число витков вторичных обмоток:

$$N_{2,1} = E_{2,1} / e_b = 16 / 0,345 = 46;$$

$$N_{2,2} = E_{2,2} / e_b = 428 / 0,345 = 1241.$$

Активная составляющая тока первичной обмотки, равная сумме токов нагрузки, пересчитанных на первичную обмотку:

$$I_{1н} = I_{2,1}(U_{2,1}/U_1) + I_{2,2}(U_{2,2}/U_1), \quad (1.6)$$

$$I_{1н} = 10 \cdot (15/220) + 0,2 \cdot (400/220) = 1,454 \text{ А.}$$

Активная составляющая тока первичной обмотки, обусловленная потерями в магнитопроводе:

$$I_{ст} = G_{ст} P_{ст} / U_1, \quad (1.7)$$

где $P_{ст}$ – удельные потери в сердечниках из трансформаторных сталей на частоте 50 Гц. Значение $P_{ст} = 3,7$ Вт/кг выбираем из табл. 1.3:

Таблица 1.3

**Удельные потери в броневых сердечниках
из трансформаторных сталей на частоте 50 Гц**

Магнитная индукция B_m , Тл	1,2	1,25	1,3	1,35
Удельные потери $P_{ст}$, Вт/кг	2,5	2,8	3,2	3,7

$$I_{\text{ст}} = 2,53 \cdot 3,7 / 220 = 0,043 \text{ А} .$$

Реактивная составляющая тока первичной обмотки, равная току намагничивания трансформатора:

$$I_{\mu} = q_{\text{ст}} G_{\text{ст}} / U_1 , \quad (1.8)$$

где $q_{\text{ст}}$ – удельная намагничивающая мощность. Из табл. 2.4 выбираем $q_{\text{ст}} = 50 \text{ В} \cdot \text{А} / \text{кг}$:

Таблица 1.4

Удельная намагничивающая мощность для броневых сердечников из трансформаторных сталей на частоте 50 Гц

Магнитная индукция B_m , Тл	1,2	1,25	1,3	1,35
Удельная намагничивающая мощность $q_{\text{ст}}$, В·А/кг	25	30	40	50

$$I_{\mu} = 50 \cdot 2,53 / 220 = 0,575 \text{ А} .$$

Полный ток первичной обмотки

$$I_1 = \sqrt{(I_{\text{лн}} + I_{\text{ст}})^2 + I_{\mu}^2} , \quad (1.9)$$

$$I_1 = \sqrt{(1,454 + 0,043)^2 + 0,575^2} = 1,604 \text{ А} .$$

Ток холостого хода трансформатора

$$I_x = \sqrt{I_{\text{ст}}^2 + I_{\mu}^2} , \quad (1.10)$$

$$I_x = \sqrt{0,043^2 + 0,575^2} = 0,577 \text{ А} .$$

Сечение проводов обмоток трансформатора

$$S_{\text{пр}i} = I_i / \gamma_{\text{ср}} ; \quad (1.11)$$

$$S_{\text{пр}1} = 1,604 / 1,9 = 0,844 \text{ мм}^2 ,$$

$$S_{\text{пр}2.1} = 10 / 1,9 = 5,263 \text{ мм}^2 ,$$

$$S_{\text{пр}2.2} = 0,2 / 1,9 = 0,105 \text{ мм}^2 .$$

Диаметр проводов обмоток трансформатора:

$$d_{\text{пр}i} = \sqrt{4S_{\text{пр}i} / \pi} ; \quad (1.12)$$

$$d_{\text{пр}1} = \sqrt{4 \cdot 0,844 / 3,14} = 1,037 \text{ мм} ,$$

$$d_{\text{пр}2.1} = \sqrt{4 \cdot 5,263 / 3,14} = 2,589 \text{ мм} ,$$

$$d_{\text{пр}2.2} = \sqrt{4 \cdot 0,105 / 3,14} = 0,366 \text{ мм} .$$

Рассчитанные значения диаметров проводов округляются до ближайшего большего стандартного значения (обычно до сотых долей миллиметра). Тогда $d_{\text{пр}1} = 1,04 \text{ мм}$; $d_{\text{пр}2.1} = 2,59 \text{ мм}$; $d_{\text{пр}2.2} = 0,37 \text{ мм}$.

1.2. Расчет однофазного сетевого трансформатора с частотой сети 400 Гц

Исходные данные для расчета однофазного сетевого трансформатора с частотой сети 400 Гц

Для приведенной на рис. 1.1 схемы трансформатора выбрать магнитопровод и рассчитать параметры обмоток.

Таблица 1.5

Исходные данные для расчета однофазного сетевого трансформатора

№ варианта (две последние цифры зачетной книжки)	Напряжения на вторичных обмотках, В		Токи в нагрузках, А		Максимальная магнитная индукция B_m , Тл	Средняя плотность тока в обмотках $\gamma_{\text{ср}}$, А/мм ²
	$U_{2.1}$	$U_{2.2}$	$I_{2.1}$	$I_{2.2}$		
1	2	3	4	5	6	7
01, 34, 67	5	300	6	0,1	1,2	5,0
02, 35, 68	5	400	8	0,1	1,2	4,5
1	2	3	4	5	6	7
03, 36, 69	8	350	5	0,2	1,15	4,0
04, 37, 70	10	250	8	0,2	1,15	4,2
05, 38, 71	10	300	7	0,2	1,15	4,0
06, 39, 72	10	400	9	1,1	1,15	4,3
07, 40, 73	12	500	5	0,2	1,15	4,0
08, 41, 74	12	300	6	0,2	1,2	4,5
09, 42, 75	12	400	10	0,15	1,1	3,8
10, 43, 76	15	400	8	0,25	1,1	3,5
11, 44, 77	15	500	10	0,15	1,05	3,2
12, 45, 78	15	300	12	0,2	1,05	3,2
13, 46, 79	20	400	8	0,2	1,05	3,1
14, 47, 80	20	500	10	0,15	1,00	3,0
15, 48, 81	20	450	10	0,3	1,00	2,9
16, 49, 82	25	800	8	0,15	1,00	2,8
17, 50, 83	25	700	10	0,2	0,95	2,7
18, 51, 84	25	600	12	0,15	0,95	2,7
19, 52, 85	30	400	8	0,3	0,9	2,6

20, 53, 86	30	500	10	0,2	0,9	2,5
21, 54, 87	30	600	12	0,15	0,9	2,4
22, 55, 88	40	300	8	0,3	0,9	2,4
23, 56, 89	40	400	10	0,25	0,9	2,3
24, 57, 90	40	500	11	0,2	0,85	2,3
25, 58, 91	50	800	8	0,15	0,85	2,2
26, 59, 92	50	600	10	0,15	0,85	2,1
27, 60, 93	50	700	12	0,1	0,85	2,0
28, 61, 94	60	500	8	0,3	0,8	2,0
29, 62, 95	60	800	10	0,2	0,8	1,9
30, 63, 96	60	700	10	0,1	0,8	1,9
31, 64, 97	20	900	15	0,1	0,8	1,9
32, 65, 98	25	800	20	0,2	0,8	1,8
33, 99, 66, 00	15	700	20	0,1	0,8	1,8

Методические указания и пример расчета однофазного сетевого трансформатора с частотой сети 400 Гц

Схема подключения трансформатора приведена на рис. 1.1.

Исходные данные для расчета:

напряжение на вторичных обмотках – $U_{2,1} = 15 \text{ В}$, $U_{2,2} = 400 \text{ В}$;

токи в нагрузках – $I_{2,1} = 10 \text{ А}$, $I_{2,2} = 0,2 \text{ А}$;

максимальная магнитная индукция в магнитопроводе – $B_m = 1,1 \text{ Тл}$;

средняя плотность тока в обмотках – $\gamma_{\text{ср}} = 3,5 \text{ А/мм}^2$;

частота сети – $f_c = 400 \text{ Гц}$.

Очевидно, что мощность, отдаваемая трансформатором в нагрузку, та же, что и в предыдущем примере: $P_n = 230 \text{ Вт}$.

По формуле (1.1) определяем размеры магнитопровода, необходимые для получения от трансформатора заданной мощности:

$$S_c S_{\text{ок}} = \frac{230 \cdot 10^2}{2,22 \cdot 400 \cdot 1,1 \cdot 3,5 \cdot 0,3 \cdot 0,9} = 24,92 \text{ см}^4.$$

Из табл. 1.8 выбираем магнитопровод Ш16×25, у которого $S_c S_{\text{ок}} = 25,6 \text{ см}^4$, масса магнитопровода $G_{\text{ст}} = 0,4 \text{ кг}$; $S_c = 4 \text{ см}^2$; средняя длина магнитной силовой линии $l_c = 13,7 \text{ см}$.

Действующее значение ЭДС первичной обмотки трансформатора определяем по формуле (1.2), значение $\Delta U_1 = 1,25 \%$ выбираем из табл. 1.2:

$$E_1 = 220(1 - 1,25/100) = 217,25 \text{ В}.$$

Действующая ЭДС одного витка (2.3):

$$e_b = 4 \cdot 1,11 \cdot 400 \cdot 1,1 \cdot 4 \cdot 0,9 \cdot 10^{-4} = 0,7 \text{ В}.$$

Число витков первичной обмотки (2.4):

$$N_1 = 217,5/0,7 = 311.$$

Действующие ЭДС вторичных обмоток $E_{2,1}$ и $E_{2,2}$ под нагрузкой определяем по формуле (2.5), значение $\Delta U_2 = 1,6\%$ выбираем из табл. 1.2:

$$E_{2,1} = 15 \cdot (1 + 1,6/100) = 15,24 \text{ В};$$

$$E_{2,2} = 400 \cdot (1 + 1,6/100) = 406,4 \text{ В}.$$

Число витков вторичных обмоток:

$$N_{2,1} = 15,24/0,7 = 22;$$

$$N_{2,2} = 406,4/0,7 = 581.$$

Активная составляющая тока первичной обмотки, равная сумме токов нагрузки, пересчитанных на первичную обмотку (1.6):

$$I_{1н} = 10(15/220) + 0,2(400/220) = 1,454 \text{ А}.$$

Активную составляющую тока первичной обмотки, обусловленную потерями в магнитопроводе, определяем по формуле (1.7), где $P_{ст} = 18,75 \text{ Вт/кг}$ выбираем из табл. 1.6:

Таблица 1.6

**Удельные потери в броневых сердечниках
из трансформаторных сталей на частоте 400 Гц**

Магнитная индукция B_m , Тл	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0	1,05	1,1	1,15	1,2
Удельные потери $P_{ст}$, Вт/кг	10	11,25	12,5	13,75	15	16,25	17,5	18,75	20

$$I_{ст} = 0,4 \cdot 18,75/220 = 0,034 \text{ А}.$$

Реактивную составляющую тока первичной обмотки, равную току намагничивания трансформатора, определяем по формуле (1.8), где

$q_{ст} = 130 \text{ В} \cdot \text{А/кг}$ выбираем из табл. 1.7:

Таблица 1.7

**Удельная намагничивающая мощность для броневых сердечников
из трансформаторных сталей на частоте 400 Гц**

Магнитная индукция B_m , Тл	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0	1,05	1,1	1,15	1,2
Удельная намагничивающая мощность	30	35	40	50	60	80	100	130	160

III09X09	9	22,5	9	36	31,5	9	0,81	7,72	1,62	0,045	2,0	15
III09X12						12	1,08		2,16	0,060	2,5	17
III12X10						10	1,08		4,3	0,090	5,0	30
III12X12						12	1,44		5,2	0,110	5,5	33
III12X16						16	1,92		6,8	0,140	7,0	44
III12X20	12	30	12	48	42	20	2,40	10,03	8,6	0,180	8,5	52
III12X25						25	3,00		10,8	0,230	10,0	60
III12X32						32	3,84		13,7	0,280	12,0	68
III16X10						10	1,44		10,2	0,156	9	55
III16X12						12	1,92		12,1	0,190	12	72
III16X16						16	2,56		16,6	0,260	15	92
III16X20	16	40	16	64	56	20	3,20	13,7	20,5	0,320	18	110
III16X25						25	4,00		25,6	0,400	22	130
III16X32						32	5,12		32,6	0,510	27	150
III16X40						40	6,40		41	0,630	32	170
III20X12						12	2,4		24	0,30	20	125
III20X16						16	3,2		32	0,40	27	160
III20X20						20	4,0		40	0,50	32	185
III20X25	20	50	20	80	70	25	5,0	17,14	50	0,62	40	220
III20X32						32	6,4		64	0,80	48	260
III20X40						40	8,0		80	0,99	58	320
III20X50						50	10,0		100	1,24	70	370
III25X16						16	4,0		62,5	0,62	50	280
III25X20						20	5,0		78	0,77	60	325
III25X25						25	6,25		97,5	0,97	72	385
III25X32	25	62,5	25	100	87,5	32	8,0	21,40	125	1,23	90	480
III25X40						40	10,0		156	1,55	100	525
III25X50						50	12,5		195	1,93	130	655
III25X64						64	16,0		250	2,47	155	730
III32X20						20	6,4		164	1,27	110	600
III32X25						25	8,0		205	1,58	140	740
III32X32						32	10,2		261	2,02	170	900
III32X40	32	80	32	128	112	40	12,8	27,4	328	2,53	210	1 000
III32X50						50	16,0		410	3,17	250	1 160
III32X64						64	20,4		522	4,04	300	1 400
III32X80						80	25,6		656	5,07	360	1 600

Ш40X25						25	10,0		400	2,47	250	1 250
Ш40X32						32	12,6		512	3,16	310	1 550
Ш40X40						40	16,0		640	3,96	375	750
Ш40X50	40	100	40	160	140	50	20,0	34,3	800	4,95	450	2050
Ш40X64						64	25,6		025	6,32	550	2400
Ш40X80						80	32,0		1 280	7,92	600	2650
Ш40X100						100	40,0		1600	9,86	800	3150

Примечания: 1. Масса магнитопровода рассчитана для пластины толщиной 0,35 мм с плотностью 7,55 г/см³ (ГОСТ 802-58). Масса магнитопровода из пластины другой толщины подсчитывается по

формуле $G_{ст} = G_{ст-табл} \frac{k_{ст}}{0,9}$, где $k_{ст}$ - коэффициент заполнения

сталью. 2. Мощность трансформатора рассчитана из условия среднеобъемного превышения температуры, равного 50 °С.

Еще раз вернемся к формуле, связывающей габариты и массу трансформатора ($S_c \cdot S_{ок}$) с мощностью, отдаваемой в нагрузку (P_n):

$$S_c \cdot S_{ок} = \frac{P_n \cdot 10^2}{2,22 f_c B_m \gamma_{cp} K_{zm} K_{zc}} \text{ см}^4 .$$

Очевидно, что существенного уменьшения габаритов и массы трансформатора при заданной мощности, отдаваемой в нагрузку, можно добиться только за счет увеличения частоты напряжения, подаваемого на первичную обмотку. В современной аппаратуре, как правило, используют трансформаторы питания с частотой десятки килогерц. Это позволяет уменьшить их габариты в десятки раз по сравнению с классическими трансформаторами, непосредственно подключаемыми к сети переменного тока частотой 50 Гц.

Контрольные вопросы

1. Укажите назначение трансформаторов питания.
2. Как выбирается магнитопровод (сердечник) трансформатора?
3. В чем отличие трансформатора минимальной стоимости от трансформатора минимальной массы?
4. Какие сердечники используются в трансформаторах большой и средней мощности?
5. Какие сердечники используются в трансформаторах малой мощности?
6. Какие сердечники используются в трансформаторах с высокой частотой сети?
7. Как определяется количество витков в обмотках трансформатора?

8. Почему нежелательно уменьшать габариты трансформатора за счет увеличения плотности тока в обмотках?
9. Каким образом можно существенно уменьшить габариты и массу трансформатора?

2. ВЫПРЯМИТЕЛИ

2.1. Однополупериодный выпрямитель

Цель работы: изучение характеристик и измерение параметров однополупериодного выпрямителя.

Выполнение работы:

1. Изучить литературу [2]. Собрать схему для изучения однополупериодного выпрямителя (рис.2.1).
2. Варианты заданий:
 1. VD1, VD2 – 1N4001,
 2. VD1, VD2 – 1N4002,
 3. VD1, VD2 – 1N4003,
 4. VD1, VD2 – 1N4004,
 5. VD1, VD2 – 1N4005,
 6. VD1, VD2 – 1N4006,
 7. VD1, VD2 – 1N4007,
 8. VD1, VD2 – 1N5399,
 9. VD1, VD2 – 1N5408,
 10. VD1, VD2 – BY228,
 11. VD1, VD2 – BAS116.
3. Установить значения источника питания V1:
Напряжение (Pk) – $U_{\text{1макс}} = 10 \text{ В}$,
Частота (F) – $F=50 \text{ Гц}$.

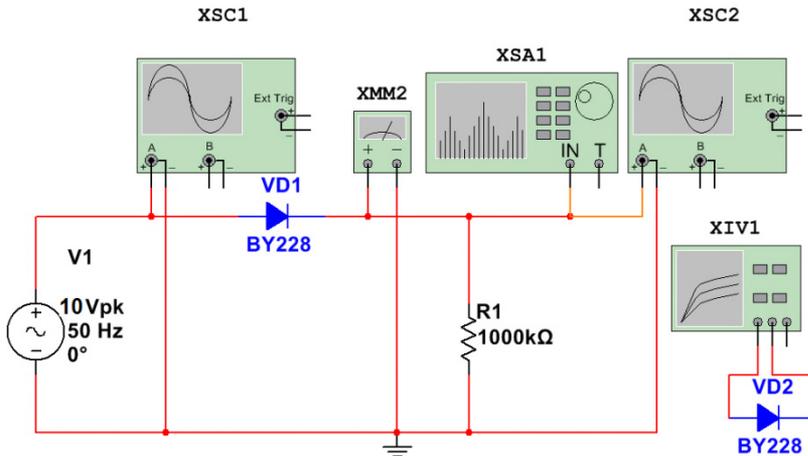


Рис. 2.1. Рабочая схема для исследования однополупериодного выпрямителя.

- С помощью характериографа XIV1 получить вольтамперную характеристику (ВАХ) диода и определить сопротивление диода в прямом включении $R_{пр} = U_{пр} / 2I_{пр}$. $U_{пр} = 1,5 \dots 1,6$ В.

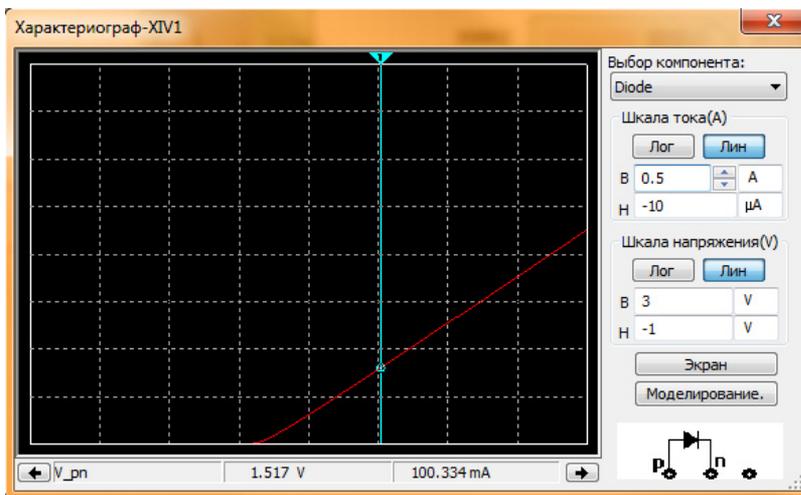


Рис. 2.2. Пример ВАХ полупроводникового диода 1N4009, полученная с помощью характериографа XIV.

- С помощью осциллографа XSC1 определить амплитуду напряжения на выходе трансформатора $U_{2\max}$.

26									
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--

11. Установить напряжение источника V1 равным 10 В. Изменяя сопротивление нагрузки R1 в пределах, указанных в табл.2.2, измерить напряжение $U_{\text{выхпост}}$, максимальную амплитуду $U_{\text{выхмакс}}$, амплитуды первой гармоники $U_{\text{вых1F}}$, второй гармоники $U_{\text{вых2F}}$, третьей гармоники $U_{\text{вых3F}}$ на выходе однополупериодного выпрямителя.

12. Отобразить графические зависимости $U_{\text{выхмакс}}(R1)$, $U_{\text{выхпост}}(R1)$, $K_{\text{пульс1F}}(R1)$, $K_{\text{пульс2F}}(R1)$, $K_{\text{пульс3F}}(R1)$.

13. Рассчитать коэффициент преобразования однополупериодного выпрямителя для каждого значения сопротивления нагрузки.

$$KП = \frac{R1}{R_{np} + R1} \cdot 100\%$$

14. Отобразить графическую зависимость КП от сопротивления нагрузки (R1).

Таблица 2.2

Результаты измерений. Зависимость параметров от сопротивления нагрузки

R1, Ом	$U_{\text{выхмакс}}$	$U_{\text{выхпост}}$, В	$U_{\text{вых1F}}$	$U_{\text{вых2F}}$	$U_{\text{вых3F}}$	$K_{\text{пульс1F}}$	$K_{\text{пульс2F}}$	$K_{\text{пульс3F}}$	КП, %
0,4									
4									
40									
400									
4к									
40к									
400к									

2.2. Двухполупериодный выпрямитель

Цель работы: изучение характеристик и измерение параметров двухполупериодного выпрямителя.

Выполнение работы:

1. Собрать схему для изучения двухполупериодного выпрямителя (рис. 2.3).

2. Варианты заданий:

1. VD1, VD2 – 1N4001,
2. VD1, VD2 – 1N4002,
3. VD1, VD2 – 1N4003,
4. VD1, VD2 – 1N4004,
5. VD1, VD2 – 1N4005,

6. VD1, VD2 – 1N4006,
7. VD1, VD2 – 1N4007,
8. VD1, VD2 – 1N5399,
9. VD1, VD2 – 1N5408,
10. VD1, VD2 – BY228,
11. VD1, VD2 – BAS116.

3. Установить значения источника питания V1:

Напряжение (Pk) – $U_{1\text{ макс}} = 10\text{ В}$,

Частота (F) – $F = 50\text{ Гц}$.

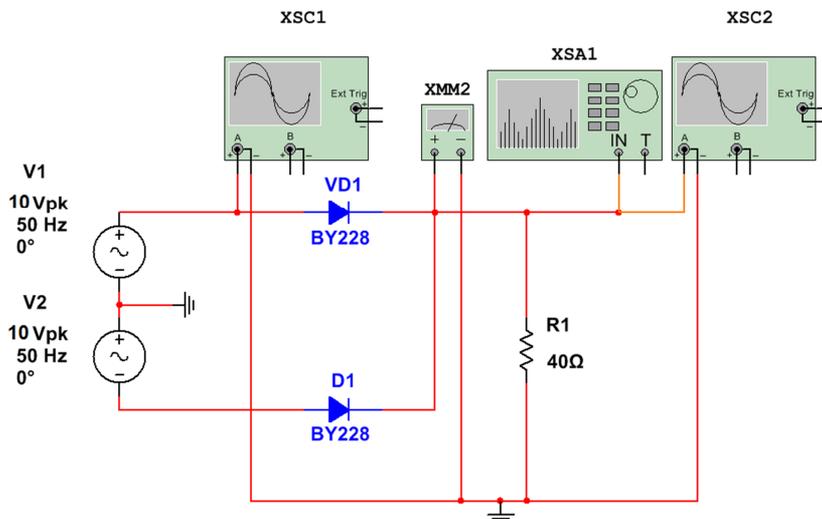


Рис. 2.3. Рабочая схема для исследования двухполупериодного выпрямителя.

4. С помощью осциллографа XSC1 определить амплитуду напряжения на выходе трансформатора $U_{2\text{ макс}}$.

5. По показаниям осциллографа XSC2 определить амплитуду напряжения на нагрузке $U_{\text{вых макс}}$ и период выходного сигнала. С помощью вольтметра XMM2 определить значение выпрямленного постоянного напряжения на нагрузке $U_{\text{вых пост}}$.

6. Проверить правильность выполнения формулы

$$U_{\text{вых пост}} = 2U_{\text{вых макс}} / \pi$$

7. Изменяя напряжение источника V1, в соответствии с табл. 2.3, измерить напряжение $U_{\text{вых пост}}$, максимальную амплитуду $U_{\text{вых макс}}$, амплитуды второй гармоники $U_{\text{вых 2F}}$, четвёртой гармоники $U_{\text{вых 4F}}$.

шестой гармоники $U_{\text{вых}6F}$ на выходе двухполупериодного выпрямителя. Полученные значения занести в таблицу 2.3.

8. Рассчитать коэффициент пульсаций для второй $K_{\text{пульс}2F}$, четвертой $K_{\text{пульс}4F}$ и шестой гармоник $K_{\text{пульс}6F}$

$$K_{\text{пульс}2F} = U_{\text{вых}2F} / U_{\text{выхпост}}$$

$$K_{\text{пульс}4F} = U_{\text{вых}4F} / U_{\text{выхпост}}$$

$$K_{\text{пульс}6F} = U_{\text{вых}6F} / U_{\text{выхпост}}$$

Полученные значения занести в таблицу 2.3.

9. Графически отобразить зависимости $K_{\text{пульс}2F}(U_{2\text{макс}})$, $K_{\text{пульс}4F}(U_{2\text{макс}})$, $K_{\text{пульс}6F}(U_{2\text{макс}})$.

Таблица 2.3

Результаты измерений. Зависимость параметров от входного напряжения

U_1 макс, В	$U_{2\text{макс}}$	$U_{\text{выхмакс}}$	$U_{\text{выхпост}}$ В	$U_{\text{вых}2F}$ В	$U_{\text{вых}4F}$ В	$U_{\text{вых}6F}$ В	$K_{\text{пульс}2F}$	$K_{\text{пульс}4F}$	$K_{\text{пульс}6F}$
0,5									
1									
2									
3									
4									
5									
6									
8									
10									
14									
18									
22									
26									

10. Установить напряжение источника V_1 равным 10 В. Изменяя сопротивление нагрузки R_1 в пределах, указанных в табл. 2.4, измерить напряжение $U_{\text{выхпост}}$, максимальную амплитуду $U_{\text{выхмакс}}$, амплитуды второй гармоники $U_{\text{вых}2F}$, четвертой гармоники $U_{\text{вых}4F}$, шестой гармоники $U_{\text{вых}6F}$ на выходе двухполупериодного выпрямителя.

11. Отобразить графические зависимости $U_{\text{выхмакс}}(R_1)$, $U_{\text{выхпост}}(R_1)$, $K_{\text{пульс}2F}(R_1)$, $K_{\text{пульс}4F}(R_1)$, $K_{\text{пульс}6F}(R_1)$.

12. Рассчитать коэффициент преобразования двухполупериодного выпрямителя для каждого значения сопротивления нагрузки.

$$KП = \frac{R1}{2R_{np} + R1} \cdot 100\%$$

13. Отобразить графическую зависимость КП от сопротивления нагрузки (R1).

Таблица 2.4

Результаты измерений. Зависимость параметров от сопротивления нагрузки

R1, Ом	U _{выхмакс}	U _{выхпост} , В	U _{вых2F} , В	U _{вых4F} , В	U _{вых6F} , В	K _{пульс2F}	K _{пульс4F}	K _{пульс6F}	КП, %
0,4									
4									
40									
400									
4к									
40к									
400к									

2.3. Мостовой выпрямитель

Цель работы: изучение характеристик и измерение параметров мостового выпрямителя.

Выполнение работы:

1. Собрать схему для изучения мостового выпрямителя (рис.2.4).
2. Варианты заданий:
 1. VD1, VD2 – 1N4001,
 2. VD1, VD2 – 1N4002,
 3. VD1, VD2 – 1N4003,
 4. VD1, VD2 – 1N4004,
 5. VD1, VD2 – 1N4005,
 6. VD1, VD2 – 1N4006,
 7. VD1, VD2 – 1N4007,
 8. VD1, VD2 – 1N5399,
 9. VD1, VD2 – 1N5408,
 10. VD1, VD2 – BY228,
 11. VD1, VD2 – BAS116.
3. Установить значения источника питания V1:

Напряжение (Pк) – U_{1макс} = 10 В,

Частота (F) – F=50 Гц.

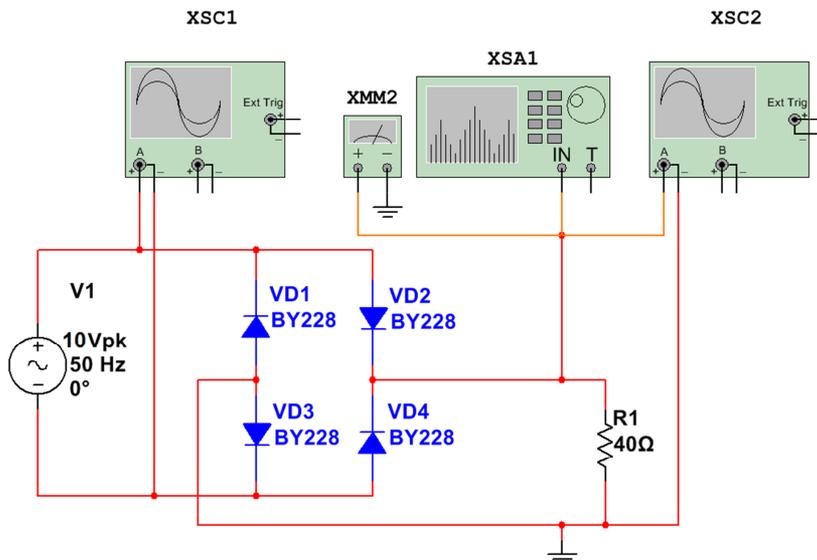


Рис. 2.4. Рабочая схема для исследования мостового выпрямителя.

4. С помощью осциллографа XSC1 определить амплитуду напряжения на выходе трансформатора $U_{2\text{макс}}$.

5. По показаниям осциллографа XSC2 определить амплитуду напряжения на нагрузке $U_{\text{выхмакс}}$ и период выходного сигнала. С помощью вольтметра XMM2 определить значение выпрямленного постоянного напряжения на нагрузке $U_{\text{выхпост}}$.

6. Проверить правильность выполнения формулы

$$U_{\text{вых пост}} = 2U_{\text{выхмакс}} / \pi$$

7. Изменяя напряжение источника V1, в соответствии с табл. 2.5, измерить напряжение $U_{\text{вых пост}}$, максимальную амплитуду $U_{\text{вых макс}}$, амплитуды второй гармоники $U_{\text{вых}2F}$, четвёртой гармоники $U_{\text{вых}4F}$, шестой гармоники $U_{\text{вых}6F}$ на выходе мостового выпрямителя. Полученные значения занести в табл. 2.5.

8. Рассчитать коэффициент пульсаций для второй $K_{\text{пульс}2F}$, четвёртой $K_{\text{пульс}4F}$ и шестой гармоник $K_{\text{пульс}6F}$

$$K_{\text{пульс}2F} = U_{\text{вых}2F} / U_{\text{выхпост}}$$

$$K_{\text{пульс}4F} = U_{\text{вых}4F} / U_{\text{выхпост}}$$

$$K_{\text{пульс}6F} = U_{\text{вых}6F} / U_{\text{выхпост}}$$

Полученные значения занести в таблицу 2.5.

400									
4к									
40к									
400к									

13. Отобразить графическую зависимость КП от сопротивления нагрузки (R1).

2.4. Однополупериодный выпрямитель с RC фильтром

Цель работы: изучение характеристик и измерение параметров однополупериодного выпрямителя с RC фильтром.

Выполнение работы:

1. Собрать схему для изучения однополупериодного выпрямителя с RC фильтром (рис. 2.5).

2. Варианты заданий:

1. VD1– 1N4001,
2. VD1– 1N4002,
3. VD1– 1N4003,
4. VD1– 1N4004,
5. VD1– 1N4005,
6. VD1– 1N4006,
7. VD1– 1N4007,
8. VD1– 1N5399,
9. VD1– 1N5408,
10. VD1– BY228,
11. VD1– BAS116.

3. Установить значения источника питания V1:

Напряжение (Pk) – $U_{\text{макс}} = 50 \text{ В}$,

Частота (F) – $F=50 \text{ Гц}$.

7. Рассчитать коэффициенты сглаживания $K_{сглF}$, $K_{сгл2F}$, $K_{сгл3F}$:

$$K_{сглF} = K_{пульсF} / K_{пульсF}^C,$$

$$K_{сгл2F} = K_{пульс2F} / K_{пульс2F}^C,$$

$$K_{сгл3F} = K_{пульс3F} / K_{пульс3F}^C,$$

где $K_{пульсF}$, $K_{пульс2F}$, $K_{пульс3F}$ – коэффициенты пульсаций для активной нагрузки соответствующего сопротивления (см. компьютерный практикум: Однополупериодный выпрямитель, $R1$ =соответствующее сопротивление $R1$). Результаты занести в табл. 2.8. Отобразить графические зависимости $K_{сглF}(C1)$, $K_{сгл2F}(C1)$, $K_{сгл3F}(C1)$.

Таблица 2.8

Результаты измерений. Зависимости коэффициентов сглаживания от емкости C1.

C1, мкФ	$K_{сгл2F}$	$K_{сгл4F}$	$K_{сгл6F}$
0,1			
1			
6,3			
10			
63			
100			
630			

- Повторить пункты 4-7 для сопротивлений нагрузки $RH=40$ Ом, $RH=400$ Ом, $RH=40$ кОм.
- Отобразить графически зависимости $U_{вых макс}(RH)$, $U_{вых пост}(RH)$, $K_{сглF}(RH)$, $K_{сгл2F}(RH)$, $K_{сгл3F}(RH)$ при $C1=0,1$ мкФ; 1 мкФ; 6,3 мкФ; 10 мкФ; 63 мкФ; 100 мкФ; 630 мкФ.

2.5. Двухполупериодный выпрямитель с RC фильтром

Цель работы: изучение характеристик и измерение параметров двухполупериодного выпрямителя с RC фильтром.

Выполнение работы:

- Собрать схему для изучения двухполупериодного выпрямителя с ёмкостным фильтром (рис. 2.6).
- Варианты заданий:
 - VD1, VD2 – 1N4001,
 - VD1, VD2 – 1N4002,
 - VD1, VD2 – 1N4003,
 - VD1, VD2 – 1N4004,
 - VD1, VD2 – 1N4005,

6. VD1, VD2 – 1N4006,
7. VD1, VD2 – 1N4007,
8. VD1, VD2 – 1N5399,
9. VD1, VD2 – 1N5408,
10. VD1, VD2 – BY228,
11. VD1, VD2 – BAS116.

3. Установить значения источника питания V1:
 Напряжение (Pk) – $U_{I\text{макс}} = 50 \text{ В}$,
 Частота (F) – $F=50 \text{ Гц}$,
 Сопротивление нагрузки – $R1 = 40 \text{ Ом}$.

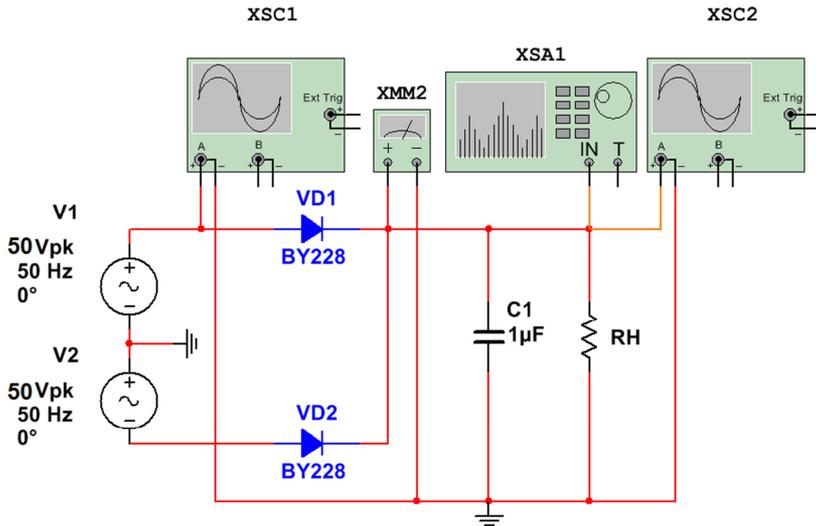


Рис. 2.6. Рабочая схема для исследования двухполупериодного выпрямителя с ёмкостным фильтром.

4. Изменяя ёмкость конденсатора $C1$ в пределах, указанных в табл. 2.9, измерить напряжение $U_{\text{выхпост}}$, максимальную амплитуду $U_{\text{выхмакс}}$, амплитуды второй гармоники $U_{\text{вых}2F}$, четвертой гармоники $U_{\text{вых}4F}$, шестой гармоники $U_{\text{вых}6F}$ на выходе мостового выпрямителя с ёмкостным фильтром.

5. Рассчитать коэффициент пульсаций для второй $K_{\text{пульс}2F}$, четвертой $K_{\text{пульс}4F}$ и шестой гармоник $K_{\text{пульс}6F}$:

$$K_{\text{пульс}2F}^C = U_{\text{вых}2F} / U_{\text{выхпост}}$$

$$K_{\text{пульс}4F}^C = U_{\text{вых}4F} / U_{\text{выхпост}}$$

$$K_{\text{пульс}6F}^C = U_{\text{вых}6F} / U_{\text{выхпост}}$$

Полученные значения занести в табл. 2.9.

6. Отобразить графические зависимости $U_{\text{вых макс}}(C1)$, $U_{\text{вых пост}}(C1)$, $K_{\text{пульс2F}}^C(C1)$, $K_{\text{пульс4F}}^C(C1)$, $K_{\text{пульс6F}}^C(C1)$.

Таблица 2.9

Результаты измерений. Зависимости от емкости C1.

C1, мкФ	U _{вых макс}	U _{вых пост} , В	U _{вых 2F} , В	U _{вых 4F} , В	U _{вых 6F} , В	K ^C _{пульс2F}	K ^C _{пульс4F}	K ^C _{пульс6F}
1								
6,3								
10								
63								
100								
630								
1000								

7. Рассчитать коэффициенты сглаживания $K_{\text{сгл2F}}$, $K_{\text{сгл4F}}$, $K_{\text{сгл6F}}$:

$$K_{\text{сгл}F} = K_{\text{пульс}F} / K_{\text{пульс}F}^C,$$

$$K_{\text{сгл4F}} = K_{\text{пульс4F}} / K_{\text{пульс4F}}^C,$$

$$K_{\text{сгл6F}} = K_{\text{пульс6F}} / K_{\text{пульс6F}}^C,$$

где $K_{\text{пульс2F}}$, $K_{\text{пульс4F}}$, $K_{\text{пульс6F}}$ – коэффициенты пульсаций для активной нагрузки соответствующего сопротивления (см. компьютерный практикум: Двухполупериодный выпрямитель, $R_{\text{H}} =$ соответствующее сопротивление $R1$). Результаты занести в табл. 2.10. Отобразить графические зависимости $K_{\text{сгл2F}}(C1)$, $K_{\text{сгл4F}}(C1)$, $K_{\text{сгл6F}}(C1)$.

Таблица 2.10

Результаты измерений. Зависимости коэффициентов сглаживания от емкости C1.

C1, мкФ	K _{сгл2F}	K _{сгл4F}	K _{сгл6F}
1			
6,3			
10			
63			
100			
630			
1000			

8. Повторить пункты 4-7 для сопротивлений нагрузки $R_{\text{H}}=0,4 \text{ Ом}$, $R_{\text{H}}=4 \text{ Ом}$, $R_{\text{H}}=400 \text{ Ом}$, $R_{\text{H}}=4 \text{ кОм}$.

9. Отобразить графически зависимости $U_{\text{выхмакс}}(R_H)$, $U_{\text{выхпост}}(R_H)$, $K_{\text{сгл}2F}(R_H)$, $K_{\text{сгл}4F}(R_H)$, $K_{\text{сгл}6F}(R_H)$ при $C1=0,1$ мкФ; 1 мкФ; 6,3 мкФ; 10 мкФ; 63 мкФ; 100 мкФ; 630 мкФ.

2.6. Мостовой выпрямитель с RC фильтром

Цель работы: изучение характеристик и измерение параметров мостового выпрямителя с RC.

Выполнение работы:

1. Собрать схему для изучения мостового выпрямителя с RC фильтром (рис. 2.7).
2. Варианты заданий:
 1. VD1, VD2 – 1N4001,
 2. VD1, VD2 – 1N4002,
 3. VD1, VD2 – 1N4003,
 4. VD1, VD2 – 1N4004,
 5. VD1, VD2 – 1N4005,
 6. VD1, VD2 – 1N4006,
 7. VD1, VD2 – 1N4007,
 8. VD1, VD2 – 1N5399,
 9. VD1, VD2 – 1N5408,
 10. VD1, VD2 – BY228,
 11. VD1, VD2 – BAS116.
3. Установить значения источника питания V1:
Напряжение (P_k) – $U_{1\text{макс}} = 50$ В,
Частота (F) – $F=50$ Гц,
Сопrotивление нагрузки – $R1 = 40$ Ом.

63								
100								
630								
1000								

7. Рассчитать коэффициенты сглаживания $K_{сгл2F}$, $K_{сгл4F}$, $K_{сгл6F}$:

$$K_{сглF} = K_{пульсF} / K_{пульсF}^C$$

$$K_{сгл4F} = K_{пульс4F} / K_{пульс4F}^C$$

$$K_{сгл6F} = K_{пульс6F} / K_{пульс6F}^C$$

где $K_{пульс2F}$, $K_{пульс4F}$, $K_{пульс6F}$ – коэффициенты пульсаций для активной нагрузки соответствующего сопротивления (см. компьютерный практикум: Двухполупериодный выпрямитель, $RH =$ соответствующее сопротивление $R1$). Результаты занести в табл. 2.10. Отобразить графические зависимости $K_{сгл2F}(C1)$, $K_{сгл4F}(C1)$, $K_{сгл6F}(C1)$.

Таблица 2.10

Результаты измерений. Зависимости коэффициентов сглаживания от емкости $C1$.

$C1$, мкФ	$K_{сгл2F}$	$K_{сгл4F}$	$K_{сгл6F}$
1			
6,3			
10			
63			
100			
630			
1000			

- Повторить пункты 4-7 для сопротивлений нагрузки $RH=0,4$ Ом, $RH=4$ Ом, $RH=400$ Ом, $RH=4$ кОм.
- Отобразить графически зависимости $U_{вых макс}(RH)$, $U_{вых пост}(RH)$, $K_{сгл2F}(RH)$, $K_{сгл4F}(RH)$, $K_{сгл6F}(RH)$ при $C1=0,1$ мкФ; 1 мкФ; 6,3 мкФ; 10 мкФ; 63 мкФ; 100 мкФ; 630 мкФ.

2.7. Мостовой выпрямитель с LC фильтром

Цель работы: изучение характеристик и измерение параметров мостового выпрямителя с LC фильтром П-типа.

Выполнение работы:

- Собрать схему для изучения мостового выпрямителя LC фильтром П-типа (рис. 2.8).

2. Варианты заданий:
1. VD1-4 – 1N4001,
 2. VD1-4 – 1N4002,
 3. VD1-4 – 1N4003,
 4. VD1-4 – 1N4004,
 5. VD1-4 – 1N4005,
 6. VD1-4 – 1N4006,
 7. VD1-4 – 1N4007,
 8. VD1-4 – 1N5399,
 9. VD1-4 – 1N5408,
 10. VD1-4 – BY228,
 11. VD1-4 – BAS116.

3. Установить значения источника питания V1:

Напряжение (Pк) – $U_{1 \text{ макс}} = 50 \text{ В}$,

Частота (F) – $F = 50 \text{ Гц}$;

Сопротивление нагрузки – $R_H = 40 \text{ Ом}$,

Индуктивность $L1 = 0.5 \text{ H}$ (0,5 Гн).

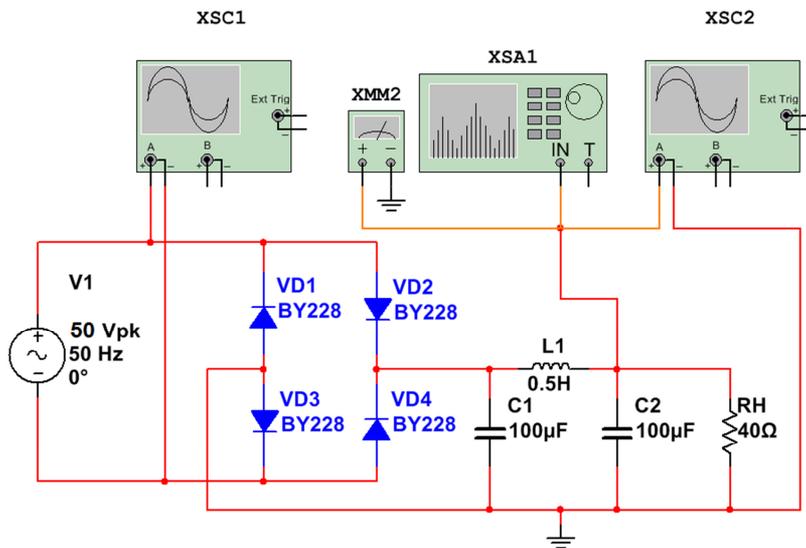


Рис. 2.8. Рабочая схема для изучения мостового выпрямителя LC фильтром II типа.

4. Изменяя ёмкость конденсатора C1, C2 в пределах, указанных в табл.2, измерить напряжение $U_{\text{выхпост}}$, максимальную амплитуду $U_{\text{выхмакс}}$, амплитуды второй гармоники $U_{\text{вых2F}}$, четвертой гармоники $U_{\text{вых4F}}$, шестой гармоники $U_{\text{вых6F}}$ на выходе мостового выпрямителя с LC фильтром П типа.

5. Рассчитать коэффициент пульсаций для второй $K_{\text{пульс2F}}$, четвертой $K_{\text{пульс4F}}$ и шестой гармоник $K_{\text{пульс6F}}$:

$$K_{\text{пульс2F}}^C = U_{\text{вых2F}} / U_{\text{вых пост}}$$

$$K_{\text{пульс4F}}^C = U_{\text{вых4F}} / U_{\text{вых пост}}$$

$$K_{\text{пульс6F}}^C = U_{\text{вых6F}} / U_{\text{вых пост}}$$

Полученные значения занести в табл. 2.11.

6. Отобразить графические зависимости $U_{\text{выхмакс}}(C1=C2)$, $U_{\text{выхпост}}(C1=C2)$, $K_{\text{пульс2F}}^C(C1=C2)$, $K_{\text{пульс4F}}^C(C1=C2)$, $K_{\text{пульс6F}}^C(C1=C2)$.

Таблица 2.11

Результаты измерений. Зависимости от емкости C1.

C1,C2, мкФ	$U_{\text{выхмакс}}$	$U_{\text{выхпост}}$ В	$U_{\text{вых2F}}$ В	$U_{\text{вых4F}}$ В	$U_{\text{вых6F}}$ В	$K_{\text{пульс2F}}^C$	$K_{\text{пульс4F}}^C$	$K_{\text{пульс6F}}^C$
1								
6,3								
10								
63								
100								
630								
1000								

7. Рассчитать коэффициенты сглаживания $K_{\text{сгл2F}}$, $K_{\text{сгл4F}}$, $K_{\text{сгл6F}}$:

$$K_{\text{сгл2F}} = K_{\text{пульс2F}} / K_{\text{пульс6F}}^C$$

$$K_{\text{сгл4F}} = K_{\text{пульс4F}} / K_{\text{пульс6F}}^C$$

$$K_{\text{сгл6F}} = K_{\text{пульс6F}} / K_{\text{пульс6F}}^C$$

где $K_{\text{пульс2F}}$, $K_{\text{пульс4F}}$, $K_{\text{пульс6F}}$ – коэффициенты пульсаций для активной нагрузки соответствующего сопротивления (см. компьютерный практикум: Мостовой выпрямитель, $RH =$ соответствующее сопротивление R1). Результаты занести в табл. 2.12. Отобразить графические зависимости $K_{\text{сгл2F}}(C1=C2)$, $K_{\text{сгл4F}}(C1=C2)$, $K_{\text{сгл6F}}(C1=C2)$.

Таблица 2.12

Результаты измерений. Зависимости коэффициентов сглаживания от емкости C1.

C1,C2, мкФ	$K_{\text{сгл2F}}$	$K_{\text{сгл4F}}$	$K_{\text{сгл6F}}$

1			
6,3			
10			
63			
100			
630			
1000			

8. Повторить пункты 4-7 для сопротивлений нагрузки $RH=0,4 \text{ Ом}$, $RH=4 \text{ Ом}$, $RH=400 \text{ Ом}$, $RH=4 \text{ кОм}$.
9. Отобразить графически зависимости $U_{\text{вых макс}}(RH)$, $U_{\text{вых пост}}(RH)$, $K_{\text{сгл2F}}(RH)$, $K_{\text{сгл4F}}(RH)$, $K_{\text{сгл6F}}(RH)$ при $C1=0,1 \text{ мкФ}$; 1 мкФ ; $6,3 \text{ мкФ}$; 10 мкФ ; 63 мкФ ; 100 мкФ ; 630 мкФ ; 1000 мкФ .

Контрольные вопросы

1. Приведите достоинства и недостатки однополупериодного выпрямителя.
2. В каких случаях обычно применяют однополупериодный выпрямитель?
3. Какие параметры диодов необходимо учитывать при использовании их в выпрямителях?
4. Нарисуйте эпюры тока через диод и напряжения на нагрузке в однополупериодном выпрямителе при работе на активную нагрузку.
5. Нарисуйте эпюры тока через диод и напряжения на нагрузке в однополупериодном выпрямителе при использования емкостного фильтра.
6. Приведите достоинства и недостатки двухполупериодных выпрямителей.
7. В каких случаях применяют двухполупериодный выпрямитель со средней точкой?
8. Дайте сравнительный анализ характеристик мостового двухполупериодного выпрямителя и выпрямителя со средней точкой.
9. Как определяется коэффициент пульсаций?
10. Как определяется коэффициент сглаживания?
11. Как определяется коэффициент фильтрации?
12. Как определяется коэффициент передачи постоянной составляющей?
13. На какой частоте определяется коэффициент пульсаций в двухполупериодном выпрямителе?
14. Почему на выходе двухполупериодного выпрямителя появляются нечетные гармоники частоты сети?
15. В каких случаях используется сглаживающий C-фильтр?
16. В каких случаях используется сглаживающий LC-фильтр?

17. В каких случаях используется сглаживающий RC-фильтр?
 18. Как влияет увеличение частоты сети на параметры выпрямителей?

3. СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ С НЕПРЕРЫВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

3.1. Параметрический стабилизатор

Цель работы: изучение характеристик и измерение параметров параметрического стабилизатора.

Выполнение работы:

1. Собрать схему параметрического стабилизатора напряжения (рис. 3.1), в соответствии с вариантом задания (табл. 3.1).

Напряжение источника постоянного напряжения $V1$

$$UI = 2 \times U_{cm}$$

Сопротивление гасящего резистора $R1$ рассчитать по формуле

$$R1 = (UI - U_{cm}) / (I_{cm} + I_{RH}),$$

где $I_{RH} = I_{ct}$.

Сопротивление нагрузки $RH_{ном}$ рассчитать по формуле

$$RH_{ном} = R_{cm} = U_{cm} / I_{cm}.$$

Таблица 3.1

Варианты. Основные параметры стабилизаторов.

№ варианта	Тип VD1	Напряжение стабилизации номинальное $U_{ct}, В$	Ток стабилизатора номинальный $I_{ct}, мА$
1	1N4728	3,3	76
2	1N4729	3,6	69
3	1N4730	3,9	64
4	1N4731	4,3	58
5	1N4732	4,7	53
6	1N4733	5,1	49
7	1N4734	5,6	45
8	1N4735	6,2	41
9	1N4736	6,8	37
10	1N4737	7,5	34
11	1N4738	8,2	31
12	1N4739	9,1	28
13	1N4740	10	25

14	1N4741	11	23
15	1N4742	12	21
16	1N4743	13	19
17	1N4744	15	17
18	1N4745	16	15,5
19	1N4756	18	14
20	1N4747	20	12,5
21	1N4748	22	11,5
22	1N4749	24	10,5
23	1N4750	27	9,5
24	1N4751	30	8,5
25	1N4752	33	7,5

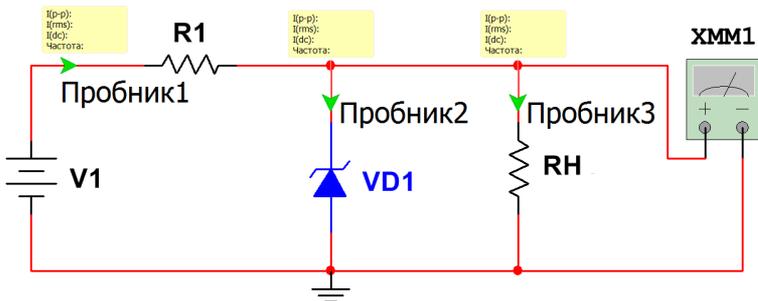


Рис. 3.1. Рабочая схема для исследования параметрического стабилизатора.

Таблица 3.2

Результаты измерений. Зависимость выходного напряжения стабилизатора от напряжения на входе.

U1	0,1U _{ст}	0,25U _{ст}	0,5U _{ст}	U _{ст}	1,5U _{ст}	2U _{ст}	2,5U _{ст}	3U _{ст}	5U _{ст}
U _{вых}									

2. Изменяя напряжение U1 источника V1, в соответствии с табл. 3.2, снять амплитудную характеристику параметрического стабилизатора напряжения. Результаты занести в табл.3.2. Графически отобразить зависимость выходного напряжения стабилизатора от напряжения на его входе U_{вых}(U1).

Выполнение: вызвать окно настройки анализа через

Моделирование\Вид анализа\Изменение параметров....

Настройки - начальное напряжение источника напряжения **Старт** 1В, конечное **Стоп** 4×U_{ст} (рис. 3.2). Выбрать переменную V(2). Нажать **Моделировать**. Пример амплитудной характеристики стабилизатора показан на рис. 3.3.

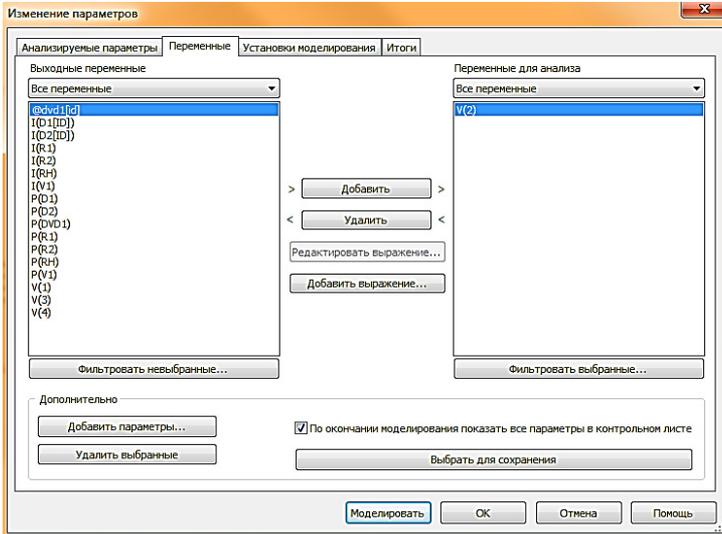
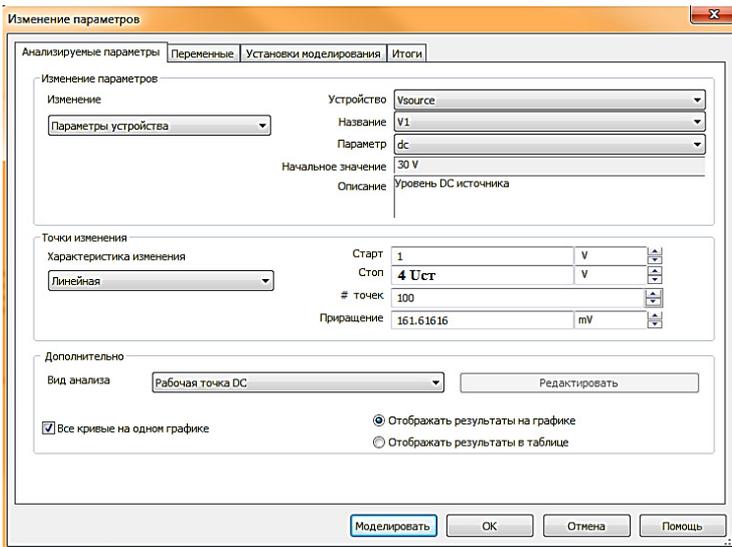


Рис. 3.2. Окна настройки параметров анализа.

$P_{\text{ВЫХ}}$								
$I_{\text{ВХ}}$								
$P_{\text{ВХ}}$								

6. Определить значение тока в нагрузке:

$$I_n = U_{\text{вых}} / RH.$$

7. По формуле

$$P_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}^2 / RH$$

определить мощность на выходе стабилизатора.

8. По формуле

$$I_{\text{вх}} = (U_{\text{вх}} - UI) / RI$$

определить входной ток стабилизатора.

По формуле

$$P_{\text{вх}} = UI \times I_{\text{вх}}$$

определить мощность на входе стабилизатора.

По формуле

$$\eta = P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}}$$

определить коэффициент полезного действия параметрического стабилизатора напряжения. Результаты измерений и расчётов занести в табл. 3.3.

9. Установить величину сопротивления нагрузки $RH = 0,9 R_{H_{\text{ном}}}$. Зафиксировать соответствующую величину $U_{\text{вых}}$.

Определить соответствующий ток нагрузки $I_n = U_{\text{вых}} / RH$.

Определить внутреннее сопротивление стабилизатора:

$$R_{\text{ст}} = \Delta U_{\text{вых}} / \Delta I_n,$$

где $\Delta U_{\text{вых}} = U_{\text{ст0}} - U_{\text{вых}}$; $\Delta I_n = I_{n0} - I_n$.

Изменяя значение сопротивления нагрузки RH в соответствии с табл. 3.3 определить соответствующие значения $R_{\text{ст}}$ (п. 7-9).

3.2. Двухкаскадный параметрический стабилизатор

Цель работы: изучение характеристик и измерение параметров двухкаскадного параметрического стабилизатора.

Выполнение работы:

1. Собрать схему двухкаскадного параметрического стабилизатора напряжения (рис. 3.4), в соответствии с вариантом задания (табл. 3.4).

Напряжение источника постоянного напряжения $V1$

$$UI = 4 \times U_{cm}.$$

Сопротивление нагрузки $RH_{ном}$ рассчитать по формуле

$$RH_{ном} = R_{cm} = U_{cm} / I_{cm}.$$

Сопротивление гасящих резисторов $R1$ и $R2$ рассчитать по формулам

$$R1 = (UI - 2U_{cm}) / (2I_{cm} + I_{RH}),$$

$$R2 = (UI - 3U_{cm}) / (I_{cm} + I_{RH}),$$

где $I_{RH} = I_{ct}$.

Таблица 3.4

Варианты. Основные параметры стабилизаторов.

№ варианта	Тип VD1-VD3	Напряжение стабилизации номинальное U_{ct} , В	Ток стабилизатора номинальный I_{ct} , мА
1	1N4728	3,3	76
2	1N4729	3,6	69
3	1N4730	3,9	64
4	1N4731	4,3	58
5	1N4732	4,7	53
6	1N4733	5,1	49
7	1N4734	5,6	45
8	1N4735	6,2	41
9	1N4736	6,8	37
10	1N4737	7,5	34
11	1N4738	8,2	31
12	1N4739	9,1	28
13	1N4740	10	25
14	1N4741	11	23
15	1N4742	12	21
16	1N4743	13	19
17	1N4744	15	17
18	1N4745	16	15,5
19	1N4756	18	14
20	1N4747	20	12,5
21	1N4748	22	11,5
22	1N4749	24	10,5
23	1N4750	27	9,5

24	1N4751	30	8,5
25	1N4752	33	7,5

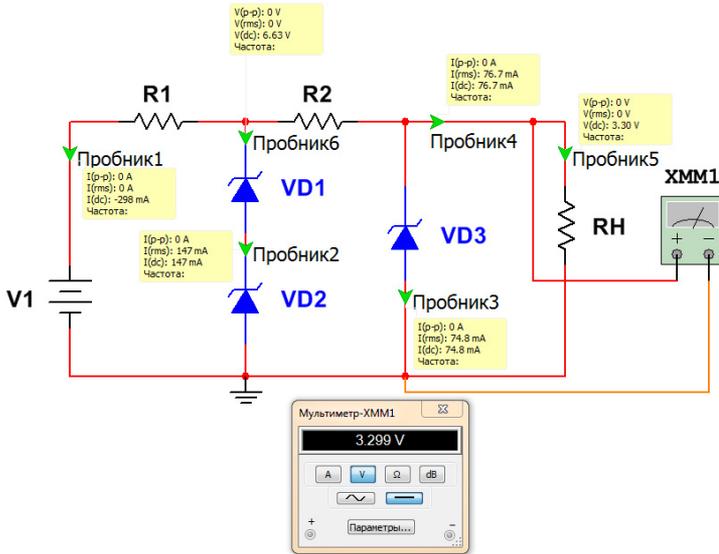


Рис. 3.4. Рабочая схема для исследования двухкаскадного параметрического стабилизатора.

2. Определить напряжение стабилизации $U_{ст0}$ (начало горизонтального участка амплитудной характеристики).

3. Изменяя напряжение на входе стабилизатора, установить на выходе напряжение $U_{ст0}$. Зафиксировать значение $U_{вх0}$. Увеличить напряжение на входе стабилизатора на 1В, измерить $U_{вых}$ и определить

$$\Delta U_{вых} = U_{вых} - U_{ст0}$$

4. Определить значение коэффициента стабилизации:

$$K_{ст} = (\Delta U_{вх} / U_{вх}) / (\Delta U_{вых} / U_{ст0}),$$

где $\Delta U_{вх} = 1В$.

Таблица 3.5

Результаты измерений. Зависимости от сопротивления нагрузки.

RH,	0,5R	0,7R	0,9R	RH	2RH	3RH	5RH	10R
Ом	$H_{НОМ}$	$H_{НОМ}$	$H_{НОМ}$	НОМ	НОМ	НОМ	НОМ	$H_{НОМ}$

$U_{\text{ВЫ}}$ $x, \text{ В}$								
$I_{\text{Н}}$ А								
$\Delta U_{\text{В}}$ В								
$\Delta I_{\text{Н}}$ А								
$R_{\text{СТ2}}$								
$P_{\text{ВЫХ}}$								
$I_{\text{ВХ}}$								
$P_{\text{ВХ}}$								
η $\%$								

5. Используя показания маркеров тока и напряжения по формуле

$$P_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}}^2 / RH = U_{\text{ВЫХ}} \times I_{\text{Н}}$$

определить мощность, потребляемую нагрузкой (выходная мощность стабилизатора).

По формуле

$$P_{\text{ВХ}} = UI \times I_{\text{ВХ}}$$

определить мощность, потребляемую стабилизатором (входная мощность стабилизатора).

По формуле

$$\eta = (P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{ВХ}}) 100\%$$

определить коэффициент полезного действия параметрического стабилизатора напряжения. Результаты измерений и расчётов занести в табл. 3.5.

6. Установить величину сопротивления нагрузки $RH = 0,9 RH_{\text{НОМ}}$. Зафиксировать соответствующую величину $U_{\text{ВЫХ}}$.

Определить соответствующий ток нагрузки $I_{\text{Н}} = U_{\text{ВЫХ}} / RH$.

Определить внутреннее сопротивление стабилизатора:

$$R_{\text{СТ2}} = \Delta U_{\text{ВЫХ}} / \Delta I_{\text{Н}}$$

где $\Delta U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{СТ0}} - U_{\text{ВЫХ}}$; $\Delta I_{\text{Н}} = I_{\text{Н0}} - I_{\text{Н}}$.

Изменяя значение сопротивления нагрузки RH , в соответствии с табл. 3.5, определить соответствующие значения η , R_{ct} (п. 5-6).

3.3. Компенсационный стабилизатор

Цель работы: изучение характеристик и измерение параметров компенсационного стабилизатора.

Выполнение работы:

1. Собрать схему компенсационного транзисторного стабилизатора напряжения (рис. 3.5), в соответствии с вариантом задания (табл. 3.6).

Напряжение источника постоянного напряжения $V1$

$$U1 = 4 \times U_{cm}.$$

Сопротивление стабилитрона $R_{ct} = U_{ct} / I_{ct}$.

Сопротивление нагрузки $RH_{ном}$ рассчитать по формуле

$$RH_{ном} (R2) = 2R_{cm} = 2U_{cm} / I_{cm}.$$

Сопротивление гасящего резистора $R1$ рассчитать по формуле

$$R1 = (U1 - U_{cm}) / I_{cm}.$$

Таблица 3.6

Варианты. Параметры стабилитронов.

№ варианта	Тип VD1-VD3	Напряжение стабилизации номинальное U_{ct} , В	Ток стабилитрона номинальный I_{ct} , мА
1	1N4730	3,9	64
2	1N4731	4,3	58
3	1N4732	4,7	53
4	1N4733	5,1	49
5	1N4734	5,6	45
6	1N4735	6,2	41
7	1N4736	6,8	37
8	1N4737	7,5	34
9	1N4738	8,2	31
10	1N4739	9,1	28
11	1N4740	10	25
12	1N4741	11	23
13	1N4742	12	21

14	1N4743	13	19
15	1N4744	15	17
16	1N4745	16	15,5
17	1N4756	18	14
18	1N4747	20	12,5
19	1N4748	22	11,5
20	1N4749	24	10,5
21	1N4750	27	9,5
22	1N4751	30	8,5
23	1N4752	33	7,5
24	1N4730	3,9	64
25	1N4731	4,3	58

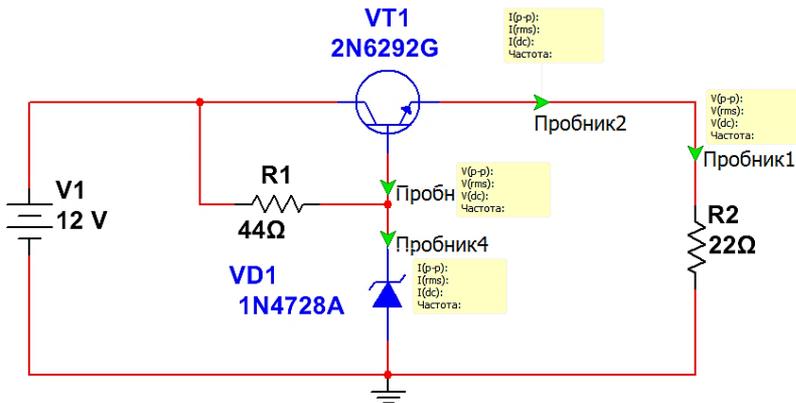


Рис. 3.5. Рабочая схема для исследования компенсационного транзисторного стабилизатора.

$\Delta U_{\text{вых}}$ $x, \text{ В}$									
$\Delta I_{\text{н}}$ А									
$R_{\text{ст2}}$									
$P_{\text{вых}}$									
$I_{\text{вх}}$									
$P_{\text{вх}}$									
$\eta, \%$									

5. Определить внутреннее сопротивление стабилизатора:
- 6.

$$R_{\text{ст2}} = \Delta U_{\text{вых}} / \Delta I_{\text{н}}$$

где $\Delta U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}} - U_{\text{ст}}$; $\Delta I_{\text{н}} = I_{\text{вых}} - I_{\text{ном}}$.

7. Используя показания маркеров тока и напряжения по формуле

$$P_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}^2 / RH = U_{\text{вых}} \times I_{\text{н}}$$

определить мощность, потребляемую нагрузкой (выходная мощность стабилизатора).

По формуле

$$P_{\text{вх}} = UI \times I_{\text{вх}}$$

определить мощность, потребляемую стабилизатором (входная мощность стабилизатора).

По формуле

$$\eta = (P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}}) 100\%$$

определить коэффициент полезного действия параметрического стабилизатора напряжения. Результаты измерений и расчётов занести в табл. 3.7.

8. Установить величину сопротивления нагрузки $RH = 0,9 RH_{\text{ном}}$. Зафиксировать соответствующую величину $U_{\text{вых}}$.

Определить соответствующий ток нагрузки $I_{\text{н}} = U_{\text{вых}} / RH$.

Определить внутреннее сопротивление стабилизатора:

$$R_{\text{ст2}} = \Delta U_{\text{вых}} / \Delta I_{\text{н}}$$

где $\Delta U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}} - U_{\text{ст0}}$; $\Delta I_{\text{н}} = I_{\text{н0}} - I_{\text{н}}$.

Изменяя значение сопротивления нагрузки R_H , в соответствии с табл. 3.7, определить соответствующие значения η , $R_{ст}$ (п. 5-6).

3.4. Расчёт и моделирование компенсационного стабилизатора

Цель работы: изучение характеристик и измерение параметров компенсационного стабилизатора.

Задание: Рассчитать и промоделировать, с соответствием с вариантом (табл.4.8), схему компенсационного стабилизатора (рис. 3.7).

Таблица 3.8

Данные вариантов. Параметры стабилизаторов.

№ варианта	Номинальное выходное напряжение, $U_{вых}$, В	Номинальный выходной ток, $I_{вых}$, А	Тип VD1-VD3	Напряжение стабилизации номинальное $U_{ст}$, В	Ток стабилизатора номинальный $I_{ст}$, мА	Ток стабилизатора минимальный $I_{ст\ мин}$, мА	Ток стабилизатора максимальный $I_{ст\ макс}$, мА
1	7	5	1N4730	3,9	64	0,2 $I_{ст}$	234
2	8	4	1N4731	4,3	58	0,2 $I_{ст}$	217
3	9	3,5	1N4732	4,7	53	0,2 $I_{ст}$	193
4	10	3	1N4733	5,1	49	0,2 $I_{ст}$	178
5	11	3	1N4734	5,6	45	0,2 $I_{ст}$	162
6	12	3	1N4735	6,2	41	0,2 $I_{ст}$	146
7	13	3	1N4736	6,8	37	0,2 $I_{ст}$	133
8	15	2,5	1N4737	7,5	34	0,2 $I_{ст}$	121
9	16	2,5	1N4738	8,2	31	0,2 $I_{ст}$	110
10	18	2	1N4739	9,1	28	0,2 $I_{ст}$	100
11	20	2	1N4740	10	25	0,2 $I_{ст}$	91
12	22	1,5	1N4741	11	23	0,2 $I_{ст}$	83
13	24	1,5	1N4742	12	21	0,2 $I_{ст}$	76
14	25	1,5	1N4743	13	19	0,2 $I_{ст}$	69
15	30	1	1N47	15	17	0,2 $I_{ст}$	61

			44				
16	32	1	1N47 45	16	15,5	0,2 I _{CT}	57
17	36	1	1N47 56	18	14	0,2 I _{CT}	50
18	40	0,75	1N47 47	20	12,5	0,2 I _{CT}	45
19	45	0,75	1N47 48	22	11,5	0,2 I _{CT}	41
20	50	0,75	1N47 49	24	10,5	0,2 I _{CT}	38
			1N47 50	27	9,5	0,2 I _{CT}	34
			1N47 51	30	8,5	0,2 I _{CT}	30
			1N47 52	33	7,5	0,2 I _{CT}	27
			1N47 53	36	7	0,2 I _{CT}	25
			1N47 54	39	6,5	0,2 I _{CT}	23
			1N47 55	43	6,0	0,2 I _{CT}	22
			1N47 56	47	5,5	0,2 I _{CT}	20
			1N47 57	51	5,0	0,2 I _{CT}	18
			1N47 58	56	4,5	0,2 I _{CT}	16
			1N47 59	62	4,0	0,2 I _{CT}	14
			1N47 60	68	3,7	0,2 I _{CT}	13
			1N47 61	75	3,3	0,2 I _{CT}	12
			1N47 62	82	3,0	0,2 I _{CT}	11
			1N47 63	91	2,8	0,2 I _{CT}	10
			1N47 64	100	2,5	0,2 I _{CT}	9

Расчёт стабилизированного блока питания мы будем проводить с использованием конкретной схемы, которую мы сначала изобразим, соблюдая правила построения схем, а потом рассчитаем на основе предъявляемых к ней требований.

1. Прежде всего, обратите внимание, на то, что большинство блоков питания имеет минус на массе, поэтому мы так же выполняя условие – "минус на массе" изменим полярности диодов и конденсаторов, а кроме того - тип проводимости транзисторов с **p-n-p** на **n-p-n**.

5. Напряжение стабилизации дополнительного источника опорного напряжения, используемого для смещения транзистора регулирующего элемента должно не менее, чем в 1,5 раза превышать значение выходного напряжения стабилизатора. Иначе силовыми транзисторами VT2 и VT3 "нечем будет управлять" - напряжение на эмиттерах будет превышать базовое, и ни о какой стабилизации речи не будет.

6. Предыдущее условие накладывает ограничения на нагрузочные способности стабилизатора потому, что разница входного и выходного напряжения стабилизатора помноженная на выходной ток, будет "падать" в виде рассеиваемой мощности на силовых транзисторах. Поэтому необходимо выбирать транзисторы способные выдерживать такую мощность – повторяется правило - чем мощнее транзистор, тем лучше. Но чем мощнее транзистор, тем меньше у него коэффициент передачи.

Пример расчёта и моделирования компенсационного стабилизатора

Исходные данные:

- номинальное выходное напряжение стабилизатора $U_{\text{вых}} = 11 \text{ В}$;
- номинальный ток нагрузки стабилизатора $I_{\text{вых}} = 3 \text{ А}$;
- используется источник V1 достаточной мощности, с выходным напряжением $U_1 = 2,5 \dots 3,5 \times U_{\text{вых}} = 35 \text{ В}$.
- номинальное сопротивление нагрузки $R_{\text{H}} = U_{\text{вых}} / I_{\text{вых}} = 3,67 \text{ Ом}$.

Выполнение работы:

1. Выберем стабилитрон измерительного моста. Стабилитрон VD1 выбирается со значением напряжения стабилизации $U_{\text{ст}}$, равном половине выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ стабилизатора:

$$U_{\text{ст}} = U_{\text{вых}} / 2 = 11 \text{ В} / 2 = 5,5 \text{ В}.$$

Максимально близкий по напряжению стабилизации – 1N4734, $U_{\text{ст}} = 5,6 \text{ В}$, $I_{\text{ст}} = 45 \text{ мА}$.

2. Найдём резистор R_6 :

На резисторе падает напряжение:

$$U_{R6} = U_{\text{вых}} - U_{\text{ст}} = 11 \text{ В} - 5,6 \text{ В} = 4,4 \text{ В}$$

Зная падение напряжения и ток стабилизации, по закону Ома определяем сопротивление резистора:

$$R_6 = U_{R6} / I_{\text{ст}} = 4,4 \text{ В} / 0,045 \text{ А} = 98 \text{ Ом}$$

Ближайшее значение сопротивления резистора по номинальному ряду - 100 Ом.

Мощность резистора находим из условия $P_{R6} = U_{R6} \times I_{\text{ст}} \times K = 4,4 \text{ В} \times 0,045 \text{ А} \times 2 = 0,396 \text{ Вт}$, где K-коэффициент запаса по мощности.

Ближайшее наибольшее значение мощности резистора по номинальному ряду – 0,5 Вт.

Таким образом, параметры $R_6 = 100 \text{ Ом}$; 0,5 Вт.

3. Определим возможные значения выходного напряжения стабилизатора, при которых происходит стабилизация. Они ограничены предельными токами стабилитрона, стоящего в мостовой измерительной цепи.

а) Определим минимальное (регулируемое) напряжение стабилизации: По справочнику минимальный ток стабилизации 1N4734 $I_{\text{ст мин}} = 0,2 \times I_{\text{ст}} = 0,2 \times 45 \text{ мА} = 9 \text{ мА}$, при этом токе значение выходного напряжения стабилизатора составит:

$$U_{\text{вых мин}} = U_{\text{ст}} + (I_{\text{ст мин}} \times R_6) = 5,6 \text{ В} + (0,009 \text{ А} \times 100 \text{ Ом}) = 6,4 \text{ В}$$

б) Определим максимальное (регулируемое) напряжение стабилизации:

По справочнику максимальный предельный ток стабилизации 1N4734 $I_{\text{ст макс справочник}} = 162 \text{ мА}$. Это большой ток, при котором стабилитрон будет работать в максимальном режиме и нужны дополнительные меры защиты, поэтому ограничимся значением в 2 раза ниже максимального тока стабилизации $I_{\text{ст макс}} = 81 \text{ мА}$. При этом токе значение выходного напряжения стабилизатора составит:

$$U_{\text{вых макс}} = U_{\text{ст}} + (I_{\text{ст макс}} \times R_6) = 5,6 \text{ В} + (0,081 \times 100) = 17,75 \text{ В (далее в расчётах 18 В)}$$

Поскольку мощность, прикладываемая к резистору возросла, для того, чтобы резистор R_6 не вышел из строя от большой рассеиваемой мощности, его мощность следует увеличить до значения:

$$P_{R_6} = I_{\text{ст макс}}^2 \times R_6 \times 2 = 0,081^2 \text{ А} \times 100 \text{ Ом} \times 2 = 1,3322 \text{ Вт}$$

Ближайшее значение 2 Вт.

4. Рассчитаем делитель R_1 , R_2 , R_3 :

Нам известно, что на стабилитроне 1N4734 падает – 5,6 вольт. В режиме стабилизации, транзистор VT1 находится в "рабочей точке", это означает, что на его переходе база-эмиттер "падает" напряжение 0,65 вольт. А это в свою очередь означает, что на базе должно быть всегда $5,6 + 0,65 = 6,25$ вольт относительно корпуса стабилизатора. База соединена с "ползуном" среднего регулировочного резистора, значит, это напряжение 6,25 вольт всегда присутствует на его "ползунке".

Исходя из этого, можно составить, систему уравнений с тремя неизвестными. При максимальном напряжении стабилизации $U_{\text{вых макс}} = 18 \text{ В}$, ползунок находится в нижнем по схеме положении, ток стабилизации $I_{\text{ст макс}} = 81 \text{ мА}$, а ток делителя R_1 , R_2 , R_3 в 10 раз меньше: $I_{\text{цепи}} = 8,1 \text{ мА}$, следовательно:

$$R_3 = 6,25 \text{ В} / I_{\text{цепи}} = 6,25 \text{ В} / 8,1 \text{ мА} = 772 \text{ Ом};$$

$$R_1 + R_2 = (U_{\text{вых макс}} - U_{R_3}) / I_{\text{цепи}} = 18 \text{ В} / 8,1 \text{ мА} = 2222 \text{ Ом}.$$

Суммарное сопротивление $R_1 + R_2 + R_3 = 720 + 2222 = 2942 \text{ Ом}$.

При минимальном напряжении стабилизации $U_{\text{вых мин}} = 6,4 \text{ В}$, ток делителя будет:

$$I_{\text{цепи}} = U_{\text{вых мин}} / (R_1 + R_2 + R_3) = 6,4 \text{ В} / 2942 \text{ Ом} = 2,175 \text{ мА}.$$

Найдём значение $R_1 = (U_{\text{вых мин}} - 6,25) / I_{\text{цепи}} = (6,4 \text{ В} - 6,25 \text{ В}) / 2,175 \text{ мА} = 69 \text{ Ом}$,

отсюда значение $R_2 = 2222 \text{ Ом} - 69 \text{ Ом} = 2153 \text{ Ом}$,

округлим значения резисторов до значений номинального ряда E24:

$R_1 = 68 \text{ Ом}$, $R_2 = 2,2 \text{ кОм}$ (переменный), $R_3 = 750 \text{ Ом}$

5. Рассчитаем второй источник опорного напряжения и смещения VT2. Номинальное напряжение стабилизации стабилитрона VD2 выбираем из условия $U_{\text{ст2}} = 3 \dots 4 U_{\text{ст}}$, где $U_{\text{ст}}$ – номинальное напряжение стабилизации стабилитрона VD1.

В качестве стабилитрона выбираем стабилитрон 1N4747, номинальное напряжение стабилизации которого $U_{\text{ст2}} = 22 \text{ В}$, $I_{\text{ст2}} = 10 \text{ мА}$.

Найдём $R_{\text{см}}$. $R_{\text{см}} = (U_1 - U_{\text{ст2}}) / I_{\text{ст2}} = 35 - 22 / 10 \text{ мА} = 1300 \text{ Ом}$.

Мощность резистора $P_{R_{\text{см}}} = (U_1 - U_{\text{ст2}}) \times I_{\text{ст}} = 13 \text{ В} \times 10 \text{ мА} = 0,13 \text{ Вт}$, ближайшая из номинального ряда - 0,125 Вт.

Для стабильной работы цепи опорного напряжения $R_{\text{см}}$ VD2, необходимо, чтобы R_k не оказывал на эту цепь шунтирующего действия. Поэтому ток R_k должен быть не менее чем в 2 раза меньше тока стабилитрона. Кроме того, на нём падает разность между входным и выходным напряжением: $U_{R_k} = U_1 - U_{\text{вых}} = 35 \text{ В} - 11 \text{ В} = 24 \text{ В}$,

отсюда: $R_k = U_{R_k} / (I_{\text{ст2}}/2) = 24 \text{ В} / 5 \text{ мА} = 4800 \text{ Ом}$.

Мощность $P_{R_k} = U_{R_k} \times I_{\text{ст2}} / 2 = 24 \text{ В} \times 5 \text{ мА} = 0,12 \text{ Вт}$, ближайший 0,125 Вт.

6. В качестве VT1 подойдёт транзистор 2N3501. Он удовлетворяет требованиям:

- достаточно высокий коэффициент усиления (передачи) $h_{21\Omega} = 100$;
- допустимое напряжение коллектор-эмиттер – 160 В,
- максимальный ток коллектора – 0,5 А.

В качестве VT2 подойдёт транзистор 2N3501. Коэффициент передачи $h_{21\Omega} = 100$, что обеспечит усиление тока резистора R_k с 5 мА до 500 мА;

В качестве VT3 выбираем 2N6284. Коэффициент передачи $h_{21\Omega \text{ VT3}} = 750$, максимальная мощность рассеивания – 160 Вт. При выходном напряжении = 11 В и токе 3 А напряжение коллектор-эмиттер VT3 должно будет 35 В - 11 В = 24 В, таким образом, общая мощность рассеивания транзистора составит: $P_{\text{VT3}} = U_{\text{VT3}} \times I_{\text{VT3}} = 24 \text{ В} \times 3 \text{ А} = 72 \text{ Вт}$.

7. $R_{\Omega} = (0,65 / I_{\text{вых}}) \times h_{21\Omega \text{ VT3}} = (0,65 \text{ В} / 3 \text{ А}) \times 750 = 162,5 \text{ Ом}$, где 0,65 В – падение на переходе база-эмиттер, $I_{\text{вых}}$ – номинальный ток нагрузки = (3 А), $h_{21\Omega \text{ VT3}}$ - усреднённое значение коэффициента передачи транзистора (750).

Выбираем $R_{\Omega} = 160 \text{ Ом}$.

8. $R_H = U_{\text{вых}} / I_{\text{вых}}$

9. Собрать схему компенсационного стабилизатора напряжения непрерывного действия, рис. 3.8.

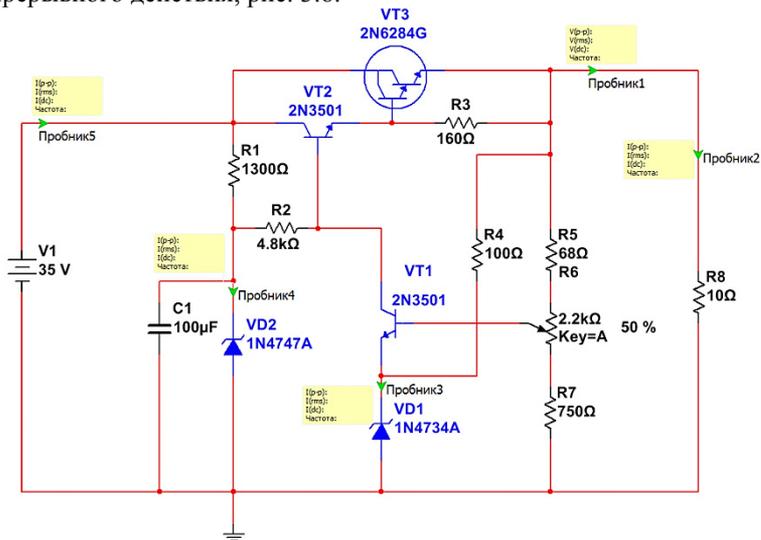


Рис. 3.8. Схема компенсационного стабилизатора напряжения непрерывного действия (пример).

10. Построить амплитудную (передаточную) (пример на рис. 3.9, 3.10) характеристику стабилизатора. Начальное напряжение источника V1 - 1 В, конечное V1 - $1,3 \times U_1$, число точек - 100.

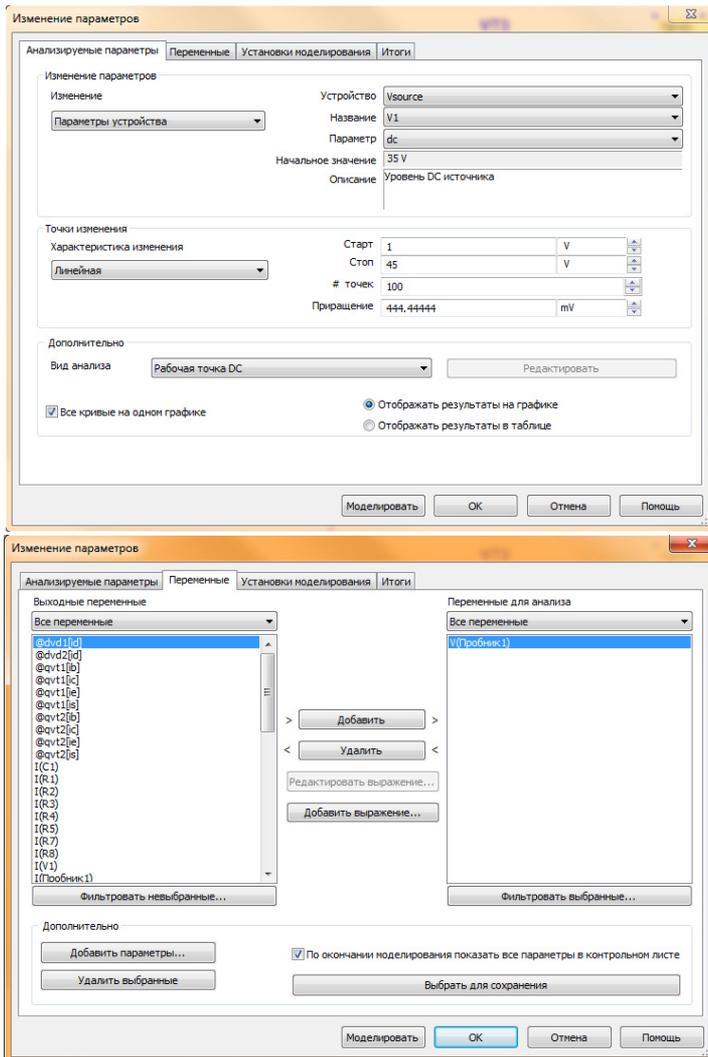


Рис. 3.9. Вид окон настройки анализа по DC.

11. Изменяя напряжение на выходе стабилизатора (ползунком переменного резистора R6) установить на выходе напряжение $U_{\text{вых}}$. Увеличить напряжение на входе стабилизатора на +25%, измерить $U_{\text{вых}}(U_{\text{вх}+25\%})$, уменьшить напряжение на входе стабилизатора на -25%, измерить $U_{\text{вых}}(U_{\text{вх}-25\%})$ и определить

$$\Delta U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}+25\%} - U_{\text{вых}-25\%}$$

$$\Delta U_{\text{вых}} = 11,0531 \text{ В} - 11,0521 \text{ В} = 1 \text{ мВ}$$

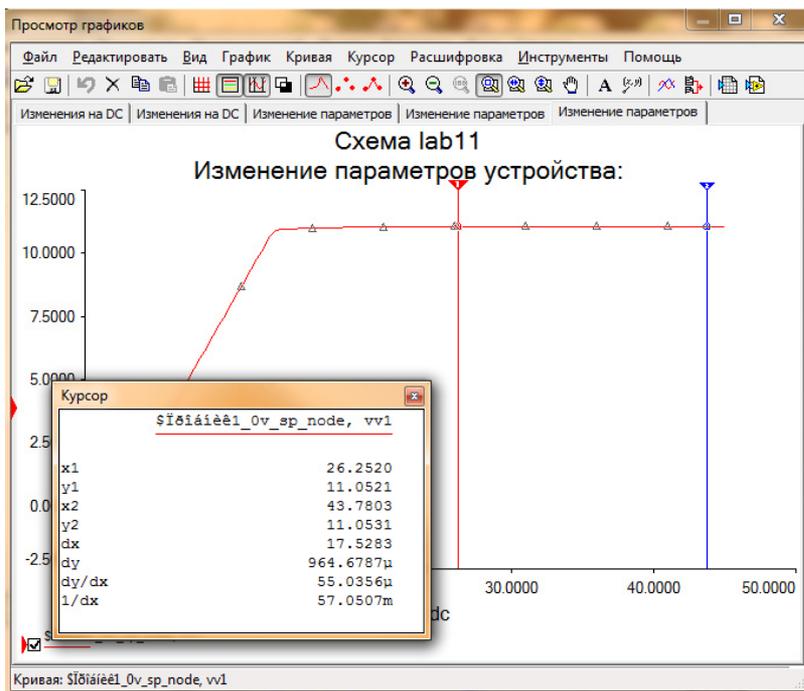


Рис. 3.10. Вид окна с амплитудной (передаточной) характеристикой стабилизатора.

12. Определить значение коэффициента стабилизации:

$$K_{\text{ст}} = (0,5 \times U_{\text{ex}}) / (\Delta U_{\text{вых}} / U_{\text{вых}}),$$

$$K_{\text{ст}} = (0,5 \times 35\text{В}) / (1\text{мВ} / 11\text{В}) = 192519$$

13. Определить КПД стабилизатора при различных значениях сопротивления нагрузки, согласно табл. 3.9.

$$\text{КПД} = P_{\text{вых}} / P_{\text{ex}} = (U1 \times I_{\text{ex}} / U_{\text{вых}} \times I_{\text{вых}}) 100\%$$

Таблица 3.9

Результаты измерений. Зависимости от сопротивления нагрузки.

Сопротивление	0,1RH	0,5	RH	5 RH	10RH	100RH
---------------	-------	-----	----	------	------	-------

нагрузки, R8, Ом		RH				
U1, В						
I _{ВХ} , В						
U _{ВЫХ} , В						
I _{ВЫХ} , В						
P _{ВХ} , Вт						
P _{ВЫХ} , Вт						
КПД, %						

3.5. Интегральный компенсационный стабилизатор

Цель работы: изучение характеристик и измерение параметров интегрального компенсационного стабилизатора.

1. Собрать схему компенсационного интегрального стабилизатора напряжения (рис. 3.11), в соответствии с вариантом задания (табл. 3.10).

Напряжение источника постоянного напряжения V1

$$UI = 2 \times U_{ст.}$$

Сопротивление нагрузки RH_{ном} рассчитать по формуле

$$RH = UI / I_{ном.}$$

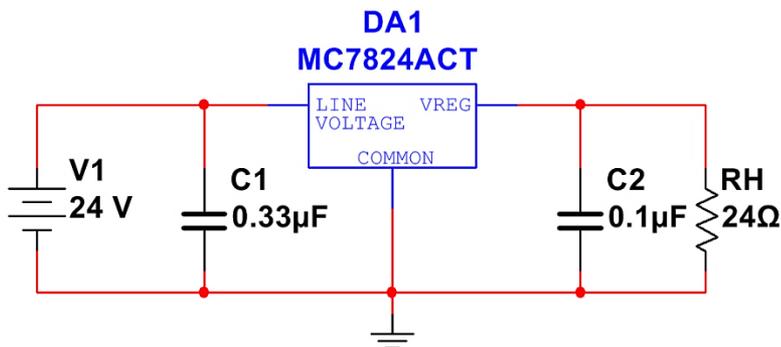


Рис. 3.11. Схема интегрального компенсационного стабилизатора напряжения (пример).

Таблица 3.10.

Варианты заданий. Параметры интегральных стабилизаторов.

№ варианта	Тип интегрального стабилизатора DA1	Напряжение стабилизации номинальное $U_{ст}, В$	Номинальный ток, $I_{ном}$
1	LM340AT-5	5	1
2	LM340AT-12	12	1
3	LM340AT-15	15	1
4	LM340T-6	6	1
5	LM340T-8	8	1
6	LM340T-18	18	1
7	LM7805KC	5	0,5
8	LM7806KC	6	0,5
9	LM7808KC	8	0,5
10	LM7809CT	9	0,5
11	LM78012CT	12	0,5
12	LM78015CT	15	0,5
13	LM78018KC	18	0,5
14	LM78024CT	24	0,5
15	LM340AT-5	5	1,5
16	LM340AT-12	12	1,5
17	LM340AT-15	15	1,5
18	LM340T-6	6	1,5
19	LM340T-8	8	1,5
20	LM340T-18	18	1,5
21	LM7805KC	5	0,25
22	LM7806KC	6	0,25
23	LM7808KC	8	0,25
24	LM7809CT	9	0,25
25	LM78012CT	12	0,25

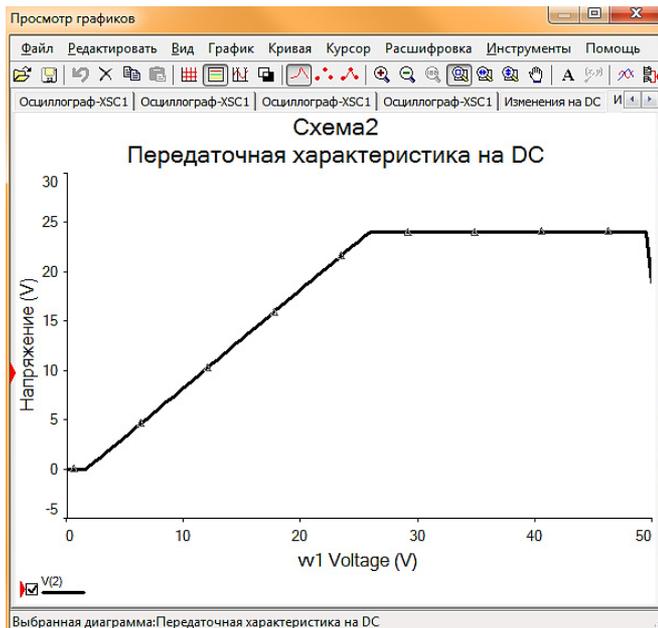


Рис. 3.12. Вид окна с амплитудной (передаточной) характеристикой интегрального компенсационного стабилизатора (пример).

2. Построить амплитудную (передаточную), рис. 3.12, характеристику интегрального компенсационного стабилизатора.

3. Изменяя напряжение на входе стабилизатора, установить на выходе напряжение $U_{ст}$. Зафиксировать значение $U_{вх0}$. Увеличить напряжение на входе стабилизатора на 1 В, измерить $U_{вых}$ и $I_{вых}$ определить

$$\Delta U_{вых} = U_{вых} - U_{ст},$$

$$\Delta I_n = I_{вых} - I_{ном}$$

4. Определить значение коэффициента стабилизации:

$$K_{ст} = (\Delta U_{вх} / U_{вх}) / (\Delta U_{вых} / U_{ст}),$$

где $\Delta U_{вх} = 1$ В.

Таблица 3.11

Результаты измерений. Зависимости от сопротивления нагрузки

R H, OM	0,5R H _{НОМ}	0,7R H _{НОМ}	0,9R H _{НОМ}	R H _Н OM	2R H _{НО} M	3R H _{НО} M	5R H _{НО} M	10R H _{НОМ}	20R H _{НОМ}
U _{ВЫ} x, В									
I _Н , А									
ΔU ВЫХ, В									
ΔI _Н , А									
P _{ВЫ} x, Вт									
I _{ВХ} , А									
P _{ВХ} , Вт									
R _{СТ} , OM									
η, %									

5. Определить внутреннее сопротивление стабилизатора:

$$R_{ст} = \Delta U_{вых} / \Delta I_{н}$$

где $\Delta U_{вых} = U_{вых} - U_{ст}$ (изменение выходного напряжения при изменении входного напряжения на 1В); $\Delta I_{н} = I_{вых} - I_{ном}$ (изменение выходного тока при изменении входного напряжения на 1 В).

6. Используя показания маркеров тока и напряжения по формуле

$$P_{вых} = U_{вых}^2 / RH = U_{вых} \times I_{ном}$$

определить мощность, потребляемую нагрузкой (выходная мощность стабилизатора).

По формуле

$$P_{вх} = UI \times I_{вх}$$

определить мощность, потребляемую стабилизатором (входная мощность стабилизатора).

По формуле

$$\eta = (P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}}) 100\%$$

определить коэффициент полезного действия параметрического стабилизатора напряжения. Результаты измерений и расчётов занести в табл. 3.11.

7. Установить величину сопротивления нагрузки $R_H = 0,9 R_{H_{\text{ном}}}$. Зафиксировать соответствующую величину $U_{\text{вых}}$.

Определить соответствующий ток нагрузки $I_H = U_{\text{вых}} / R_H$.

Определить внутреннее сопротивление стабилизатора:

$$R_{\text{ст}} = \Delta U_{\text{вых}} / \Delta I_H$$

где $\Delta U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}} - U_{\text{ст}}$ (изменение выходного напряжения при изменении входного напряжения на 1 В); $\Delta I_H = I_{\text{вых}} - I_{\text{ном}}$ (изменение выходного тока при изменении входного напряжения на 1 В).

Изменяя значение сопротивления нагрузки R_H , в соответствии с табл. 3.11, определить соответствующие значения η , $R_{\text{ст}}$ (п. 5-6).

Контрольные вопросы

1. Как определяется коэффициент стабилизации?
2. Как определяется дифференциальное сопротивление стабилизатора напряжения?
3. Укажите достоинства и недостатки простейшего параметрического стабилизатора напряжения.
4. Для чего используется последовательное соединение стабилитронов?
5. Почему не допускается параллельное соединение стабилитронов?
6. Как строятся многокаскадные схемы параметрических стабилизаторов напряжения?
7. Дайте функциональную схему компенсационного стабилизатора напряжения с непрерывным регулированием.
8. Объясните работу принципиальной схемы компенсационного стабилизатора напряжения с последовательным включением регулирующего элемента.
9. Чем определяется коэффициент стабилизации в компенсационном стабилизаторе напряжения?
10. Укажите недостатки компенсационного стабилизатора напряжения с непрерывным регулированием.
11. Как строятся схемы защиты компенсационных стабилизаторов напряжения от перегрузки по току?

4. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПЯЖЕНИЯ С ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

4.1. Импульсный понижающий преобразователь

Цель работы: изучение импульсного понижающего преобразователя постоянного напряжения в постоянное напряжение.

Краткие сведения: импульсного понижающего преобразователя постоянного напряжения представлена на рис. 4.2. На вход регулирующего транзистора (ключ S1) подается импульсный сигнал от схемы управления. Изменение скважности управляющих импульсов (отношения периода следования импульсов к длительности импульса) приводит к изменению значения выходного напряжения. Дроссель L и конденсатор C преобразуют однополярные импульсы переменной скважности, поступающие с коллектора регулирующего транзистора, в напряжение постоянного тока. Диод VD обеспечивает протекание тока в дросселе, когда регулирующий транзистор находится в закрытом состоянии.

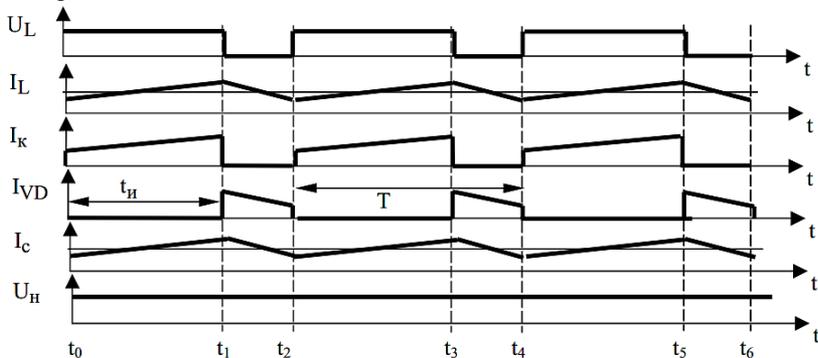


Рис. 4.1. Временные диаграммы работы понижающего стабилизатора.

Работа стабилизатора поясняется временными диаграммами (рис. 4.1). В промежутки времени, когда регулирующий транзистор открыт (t_0-t_1 , t_2-t_3 , t_4-t_5), на вход фильтра LC-типа прикладывается напряжение питания. Диод VD при этом закрыт. Ток в дросселе в эти промежутки времени I_L возрастает по линейному закону, достигая своего максимального значения к моменту выключения транзистора. В промежутки времени, когда регулирующий транзистор закрыт (t_1-t_2 , t_3-t_4 , t_5-t_6), энергия, накопленная в элементах фильтра, передается в нагрузку. Ток дросселя I_L протекает через открытый диод VD.

Уровень пульсаций выходного напряжения во многом определяется

индуктивностью дросселя и емкостью конденсатора фильтра. При уменьшении индуктивности дросселя фильтра в нем увеличиваются пульсации тока. При весьма малой индуктивности L в схеме стабилизатора может наступить режим прерывистого тока в дросселе фильтра, при котором ухудшается нагрузочная характеристика стабилизатора.

Выполнение работы:

1. Собрать схему импульсного понижающего преобразователя постоянного напряжения в постоянное напряжение (рис. 4.2). Компонент **S1** (Ключ) находится – **База данных: Основная; Раздел: Power; Семейство: SWITCHES; Компонент: TRANSISTOR_DIODE**.

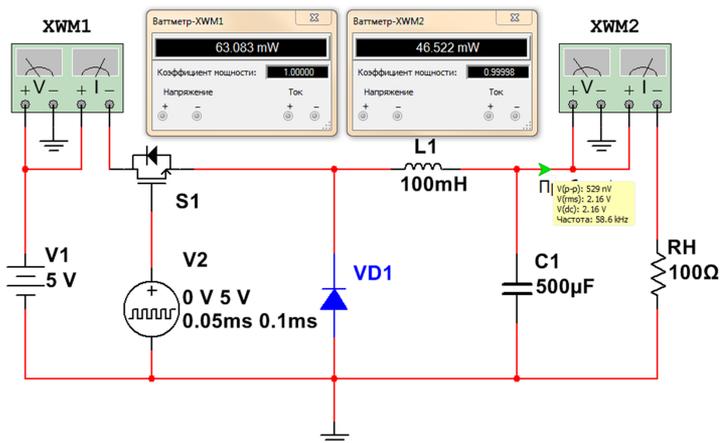


Рис. 4.2. Рабочая схема для изучения импульсного понижающего преобразователя постоянного напряжения в постоянное напряжение.

2. По формуле $U_{вых} = K_3 U_{вх}$ и в соответствии с вариантом задания (табл. 4.11) рассчитать значения выходного напряжения $U_{вых}$ для различных значений коэффициента заполнения K_3 . Результаты занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Варианты заданий. Значения напряжения источника V1

№ вар.	U1, В	№ вар.	U1, В	№ вар.	U1, В
1	55	8	14	15	30
2	65	9	15	16	35
3	75	10	18	17	40
4	80	11	20	18	45
5	85	12	22	19	50
6	90	13	24	20	60

7	95	14	25	21	70
---	----	----	----	----	----

3. Установить значение источника V1 в соответствии с вариантом задания, табл. 4.1.

4. Установить параметры источника V2:

Начальное значение – 0 V (0 В);

Амплитуда импульса (U1) – 5V (5 В);

Длительность – в соответствии с коэффициентом заполнения, табл.

4.2;

Период – 0.1ms;

Остальные параметры по умолчанию.

Таблица 4.2

Результаты расчетов и измерений. Зависимость выходного напряжения от коэффициента заполнения

K _з	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
U _{вых} (расчёт)									
U _{вых}									
P _{вх} , мВт									
P _{вых} , мВт									
η, %									

5. Произвести измерения уровня постоянного напряжения на выходе схемы для различных значений коэффициента заполнения K_з. Результаты занести в табл. 4.2.

6. Измерить мощность, отдаваемую источником V1 (P_{вх}), используя ваттметр ХWM1. Измерить мощность, потребляемую активной нагрузкой RН (P_{вых}), используя ваттметр ХWM2.

7. Для различных значений коэффициента заполнения K_з (табл. 4.2), рассчитать КПД импульсного повышающего преобразователя постоянного напряжения по формуле

$$\eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} 100\% .$$

Результаты занести в табл. 4.2.

8. Построить зависимости уровня выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ и КПД η от коэффициента заполнения K_3 .

4.2. Импульсный повышающий преобразователь

Цель работы: изучение импульсного повышающего преобразователя постоянного напряжения в постоянное напряжение.

Краткие сведения: В рассматриваемом преобразователе регулирующий транзистор (ключ S1) отделен от нагрузки диодом. При открывании транзистора через дроссель протекает коллекторный ток, который увеличивается по линейному закону, достигая своего максимального значения к моменту закрытия транзистора. Дроссель при этом запасает электромагнитную энергию, диод VD закрыт (на его катоде положительный потенциал). После закрытия регулирующего транзистора электромагнитная энергия, накопленная в дросселе на предыдущем интервале времени, через открывшийся диод передается в нагрузку и частично сообщается конденсатору. По сравнению с ранее рассмотренной схемой (рис. 4.2) в повышающем преобразователе выходное напряжение может превышать входное.

Выполнение работы:

1. Собрать схему импульсного повышающего преобразователя постоянного напряжения в постоянное напряжение (рис. 4.3). Компонент S1 (Ключ) находится – **База данных:** Основная; **Раздел:** Power; **Семейство:** SWITCHES; **Компонент:** TRANSISTOR_DIODE. Напряжение источника постоянного напряжения V1 определяется вариантом задания, табл. 4.3.

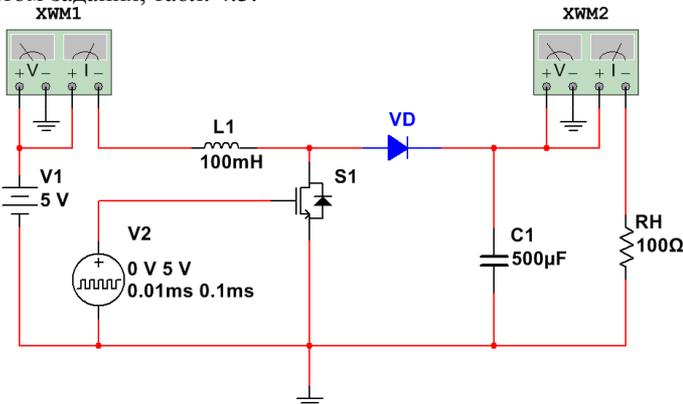


Рис. 4.3. Рабочая схема для изучения импульсного повышающего преобразователя постоянного напряжения в постоянное напряжение.

$\eta, \%$									
------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

5. Произвести измерения уровня постоянного напряжения на выходе схемы для различных значений коэффициента заполнения K_3 . Результаты занести в табл. 4.4.

6. Измерить мощность, отдаваемую источником $V1$ ($P_{вх}$), используя ваттметр XWM1. Измерить мощность, потребляемую активной нагрузкой RH ($P_{вых}$), используя ваттметр XWM2.

7. Для различных значений коэффициента заполнения K_3 (табл. 4.4), рассчитать КПД импульсного повышающего преобразователя постоянного напряжения по формуле

$$\eta = \frac{P_{вых}}{P_{вх}} 100\% .$$

Результаты занести в табл. 4.4.

8. Построить зависимости уровня выходного напряжения $U_{вых}$ и КПД η от коэффициента заполнения K_3 .

9. Собрать схему импульсного повышающего преобразователя постоянного напряжения в постоянное напряжение (рис. 4.4) на основе функционального компонента BOOST NI Multisim. Компонент **BOOST** находится – **База данных:** Основная; **Раздел:** Выбрать все разделы; **Семейство:** BOOST_CONVERTER; **Компонент:** BOOST_CONVERTER. Напряжение источника постоянного напряжения $V1$ определяется вариантом задания, табл. 4.3.

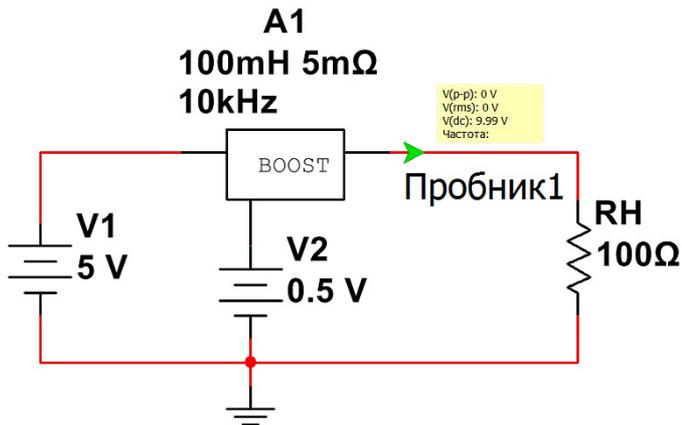


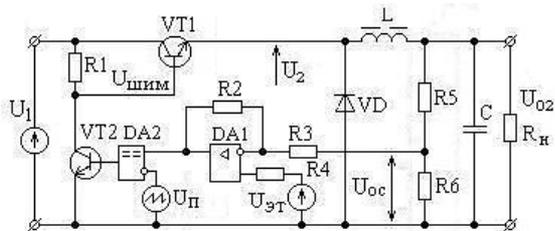
Рис. 4.4. Рабочая схема для изучения импульсного повышающего преобразователя постоянного напряжения в постоянное напряжение BOOST_CONVERTER NI Multisim.

10. Произвести измерения уровня постоянного напряжения на выходе схемы для различных значений коэффициента заполнения K_3 . Коэффициент заполнения K_3 численно равен напряжению на управляющем входе функционального компонента BOOST, задаваемым источником V2. Результаты занести в табл. 4.4.

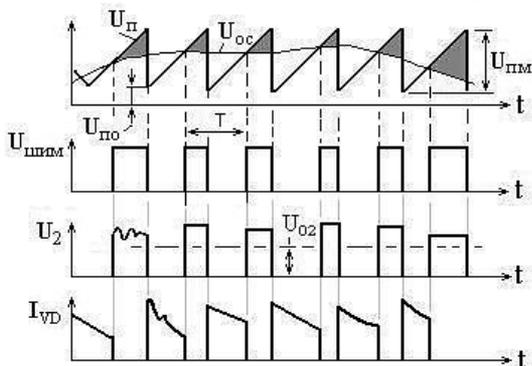
4.3. Импульсный стабилизатор напряжения

Цель работы: изучение импульсного стабилизатора постоянного напряжения.

Краткие сведения: Функциональная схема импульсного стабилизатора постоянного напряжения показана на рис. 4.5. Импульсный стабилизатор напряжения включает в себя регулировочный элемент (РЭ, VT1), сглаживающий фильтр (индуктивность-ёмкость-диод, LCD), следящий делитель (R5, R6), усилительный элемент (DA1) и широтно-импульсный модулятор (ШИМ-DA2). Силовой контур импульсного стабилизатора имеет два состояния. При подаче управляющего импульса ($U_{\text{ШИМ}}$) на силовой ключ VT1 происходит передача напряжения источника питания U_1 через открытый транзистор в нагрузку. Накапливается энергия в дросселе фильтра L. При размыкании ключа энергия дросселя передается через обратный диод VD в нагрузку. Если на интервале паузы ток дросселя падает до нуля, то возникает режим прерывистого тока дросселя, при котором только конденсатор разряжается в нагрузку.



а)



б)

Рисунок 4.5. Импульсный стабилизатор постоянного напряжения (а) и эпюры, поясняющие его работу (б).

Схема управления включает в себя: делитель напряжения ($R5, R6$) с коэффициентом передачи $K_d = R6/(R5+R6)$; усилитель сигнала рассогласования $DA1$ с коэффициентом передачи $K_u = R2/R3$ ($U_\varepsilon = U_{OC} - U_{\varepsilon T}$); компаратор напряжения $DA2$, который формирует ШИМ- сигнал. Он равен “1”, если уровень пилообразного напряжения больше уровня напряжения U_{OC} . При возрастании входного напряжения U_1 уменьшается площадь между уровнем напряжения “пило” и U_{OC} , что приводит к уменьшению по длительности ШИМ-сигнала. Среднее значение напряжения на выходе при этом уменьшается, т.е. U_{02} восстанавливается.

Выполнение работы:

1. Собрать схему импульсного стабилизатора постоянного напряжения, рис. 4.6. Установки функционального генератора: Форма сигнала – треугольник, Амплитуда – 0,5 В, Частота – 10 кГц, Длительность – 50%.
2. Построить амплитудную (передаточную) характеристику импульсного стабилизатора постоянного напряжения. Определить

минимальное входное напряжение, при котором обеспечивается рабочий режим стабилизатора.

3. Подключить осциллограф к базе транзистора VT2 и эмиттеру транзистора VT1.

4. Изменяя напряжение источника V1, в пределах, указанных в табл. 4.5, определить, по показаниям осциллографа, коэффициенты заполнения K_3 . Результаты занести в табл. 4.5.

Таблица 4.5.

Результаты измерений и расчётов. Зависимости от входного напряжения

$U_{вх}, В$	25	30	35	40	45	50	55	60
$U_{вых}, В$								
K_3								
$K_3(\text{расчёт})$								
$\eta, \% (\text{имп. стаб.})$								
$\eta, \% (\text{интегр. стаб.})$								

5. Сравнить полученные значения K_3 с расчётными, $K_3(\text{расчёт}) = U_{вых} / U_{вх}$.

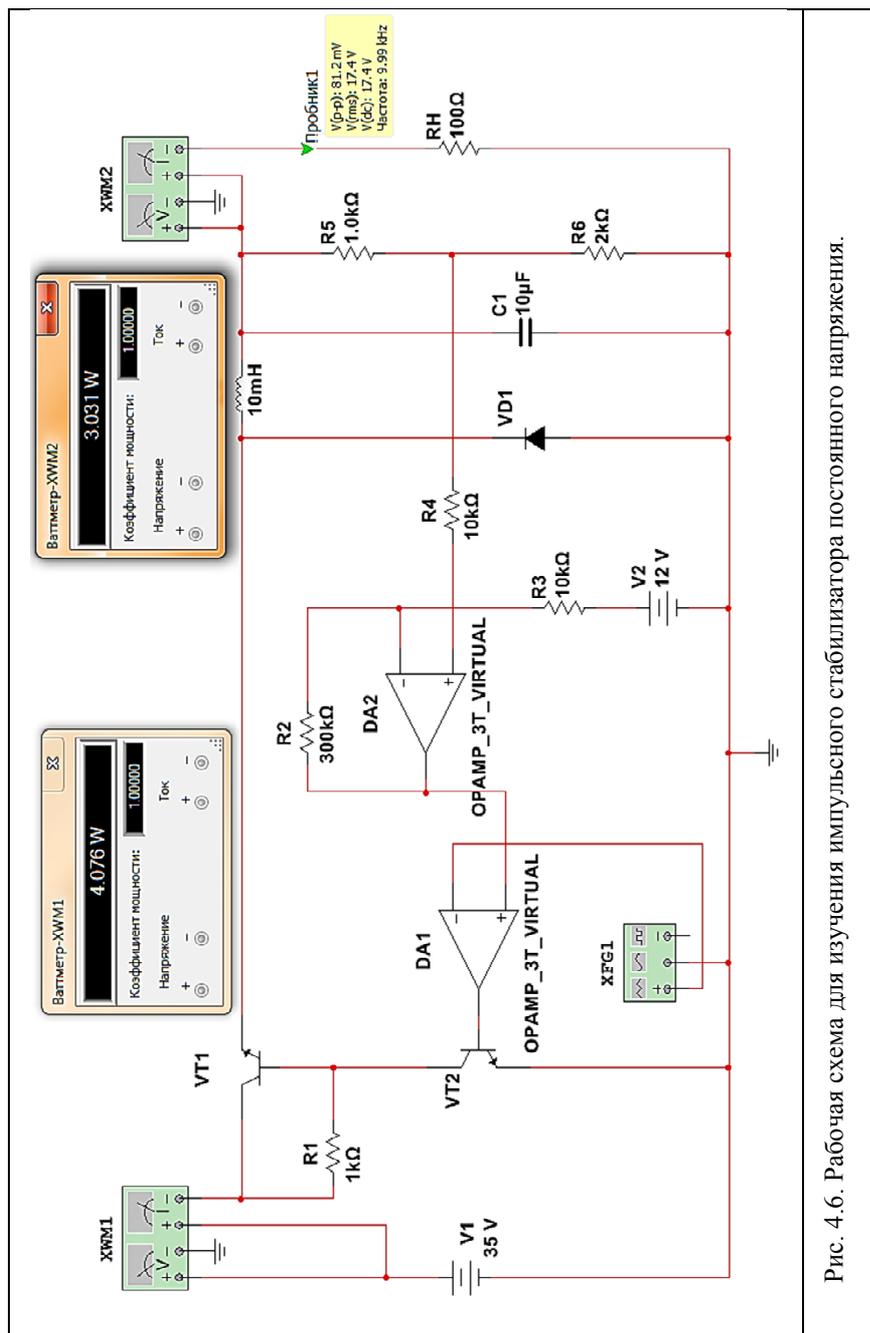


Рис. 4.6. Рабочая схема для изучения импульсного стабилизатора постоянного напряжения.

6. Измерить мощность, отдаваемую источником V1 ($P_{вх}$), используя ваттметр XWM1. Измерить мощность, потребляемую активной нагрузкой RH ($P_{вых}$), используя ваттметр XWM2.

7. Рассчитать КПД импульсного стабилизатора постоянного напряжения

$$\eta = \frac{P_{вых}}{P_{вх}} 100\% .$$

Повторить измерения для значений $U_{вх}$, указанных в табл. 4.5. Построить зависимость $\eta(U_{вх})$. Результат занести в табл. 4.5.

8. Собрать схему интегрального компенсационного стабилизатора напряжения непрерывного действия, рис. 4.7.

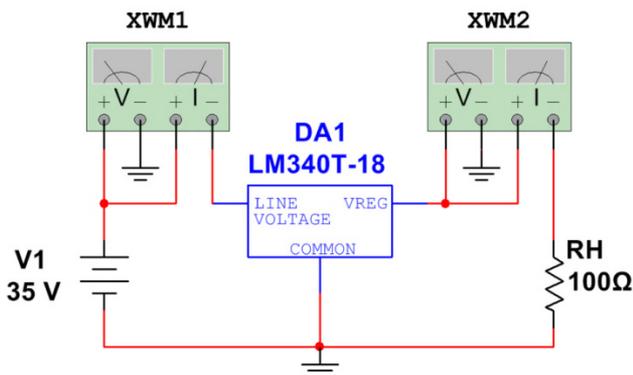


Рис. 4.7. Рабочая схема для изучения интегрального компенсационного стабилизатора напряжения непрерывного действия.

9. Измерить мощность, отдаваемую источником V1 ($P_{вх}$), используя ваттметр XWM1. Измерить мощность, потребляемую активной нагрузкой RH ($P_{вых}$), используя ваттметр XWM2.

10. Рассчитать КПД интегрального компенсационного стабилизатора напряжения непрерывного действия.

$$\eta = \frac{P_{вых}}{P_{вх}} 100\% .$$

Повторить измерения для значений $U_{вх}$, указанных в табл. 4.5. Построить зависимость $\eta(U_{вх})$. Результат занести в табл. 4.5.

11. Сравнить КПД импульсного стабилизатора и стабилизатора непрерывного действия.

4.4. Импульсный инвертирующий преобразователь напряжения

Цель работы: изучение импульсного инвертирующего преобразователя полярности постоянного напряжения.

Краткие сведения: На рис. 4.8. представлена схема преобразователя, который изменяет полярность входного напряжения. При этом, как в схеме (рис. 4.3.), выходное напряжение может превысить по величине напряжение на входе стабилизатора.

При открытом состоянии регулирующего транзистора дроссель накапливает электромагнитную энергию. Диод VD при этом закрыт, нагрузка вместе с конденсатором фильтра отключена от источника питания. Переключение регулирующего транзистора в закрытое состояние сопровождается открыванием диода VD и переходом энергии, накопленной в дросселе, в конденсатор фильтра C1 и нагрузку. Полярность выходного напряжения при этом оказывается противоположной полярности входного напряжения.

Выполнение работы:

1. Собрать схему импульсного инвертирующего преобразователя полярности постоянного напряжения (рис. 4.8).

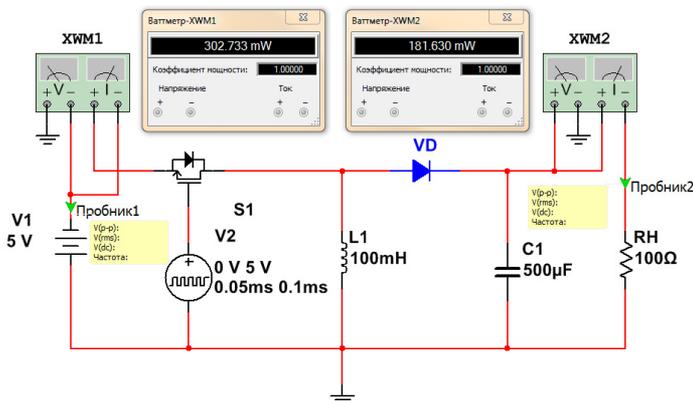


Рис. 4.8. Рабочая схема для изучения импульсного инвертирующего преобразователя полярности постоянного напряжения.

Таблица 4.6

Варианты заданий. Значения напряжения источника V1.

№ вар.	U1, В	№ вар.	U1, В	№ вар.	U1, В
1	25	8	11	15	18
2	30	9	12	16	19
6	35	10	13	17	20
4	7	11	14	18	21
5	8	12	15	19	22
6	9	13	16	20	23
7	10	14	17	21	24

2. Установить значение источника V1 в соответствии с вариантом задания, табл. 4.6.

3. Установить параметры источника V2:

Начальное значение – 0 В (0 В);

Амплитуда импульса (U1) – 5 В (5 В);

Длительность – в соответствии с коэффициентом заполнения, табл.

4.7;

Период – 0.1ms;

Остальные параметры по умолчанию.

Таблица 4.7

Результаты расчетов и измерений. Зависимость выходного напряжения от коэффициента заполнения

K _з	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
U _{вых}									
P _{вх} , мВт									
P _{вых} , мВт									
η, %									

4. Произвести измерения уровня постоянного напряжения на выходе схемы для различных значений коэффициента заполнения K_з. Результаты занести в табл. 4.7.

5. Измерить мощность, отдаваемую источником V1 (P_{вх}), используя ваттметр XWM1. Измерить мощность, потребляемую активной нагрузкой RH (P_{вых}), используя ваттметр XWM2.

6. Для различных значений коэффициента заполнения K_з (табл. 4.7), рассчитать КПД импульсного инвертирующего преобразователя полярности постоянного напряжения по формуле

$$\eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{ex}}} 100\% .$$

Результаты занести в табл. 4.7.

7. Построить зависимости уровня выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ и КПД η от коэффициента заполнения K_3 .

4.5. Импульсный понижающий стабилизатор переменного напряжения в постоянное

Цель работы: изучение понижающий стабилизатор переменного напряжения в постоянное.

Выполнение работы:

1. Собрать рабочую схему для изучения понижающего стабилизатора переменного напряжения в постоянное, (рис. 4.9).

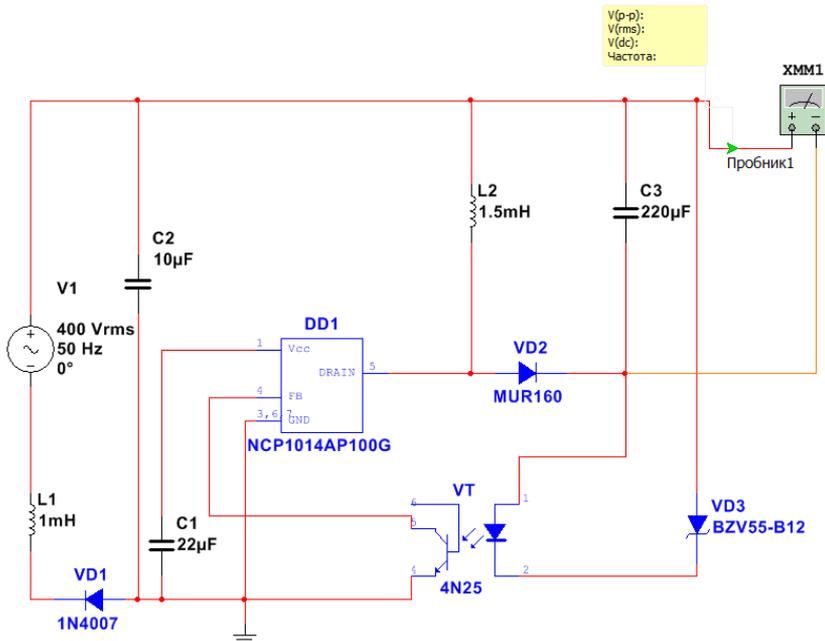


Рис. 4.9. Рабочая схема для изучения понижающего стабилизатора переменного напряжения в постоянное.

2. Изменяя значение переменного входного напряжения (см. табл. 4.8), задаваемое источником переменного напряжения $V1$, измерить уровень постоянной составляющей на выходе схемы. Заполнить табл.

4.8. Построить зависимость уровня постоянной составляющей на выходе схемы $U_{\text{вых пост}}$ от значения переменного напряжения на входе схемы $U_{\text{вх}}$.

Табл. 4.8.

Результаты измерений. Значения уровней на входе и выходе понижающего стабилизатора переменного напряжения в постоянное

$U_{\text{вх}}, \text{ В}$	90	120	160		220	240	280	320	400
$U_{\text{вых пост}}, \text{ В}$									

Контрольные вопросы

1. Какие характеристики стабилизатора напряжения улучшаются при переходе от непрерывного регулирования к импульсному?
2. Какие характеристики стабилизатора напряжения ухудшаются при переходе от непрерывного регулирования к импульсному?
3. Какие способы изменения коэффициента заполнения используются в стабилизаторах с импульсным регулированием?
4. Какой стабилизатор называется релейным?
5. Перечислите достоинства и недостатки релейного стабилизатора напряжения.
6. Какой способ управления регулирующим транзистором называется широтно-импульсным?
7. Перечислите достоинства и недостатки импульсных стабилизаторов с ШИМ.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Введение в Multisim. Трёхчасовой курс [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ni.com/russia>
2. Шестеркин А. Н. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10 / А. Н. Шестеркин. - М.: Пресс, 2015. – 360 с.
3. Москатов Е.А. Источники питания / Е.А. Москатов. - Киев.: МК-Пресс СПб, КОРОНА-ВЕК, 2011. – 208 с., ил.
4. Радиоежегодник-2013 // Схемотехническое моделирование. – 2013. Вып. 23. - С. 141.
5. Резников Б.Л. Программный комплекс Multisim 10 в учебном процессе / Б. Л. Резников. – М.: МГТУ ГА, 2010.

6. Марк Е. Хернигер. Multisim. Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств / Марк Е. Хернигер. – М.: ДМК. Пресс, 2006. – 492 с.

7. Левашов Ю.А. Электротехника и электроника / Ю.А. Левашов, Е.В. Аксенюк. – Владивосток : Изд-во ВГУЭС, 2010. – 192 с.

8. Калугин Н.Г. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций: учебник для студентов вузов / Н. Г. Калугин; под ред. Е. Е. Чаплыгина. - М. : Академия, 2011. – 192 с.

9. Бушуев В.М. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций / В.М. Бушуев, В.А. Деминский, Л.Ф. Захаров и др. – М. : Горячая линия-Телеком, 2011. – 384 с.: ил.