

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
(Самарский университет)

ОДНОФАЗНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет) в качестве методических указаний к лабораторной работе для студентов, обучающихся по основной образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 11.03.01 Радиотехника

Составители:
Б.В. Скворцов
А.В. Паршина

САМАРА
Издательство Самарского университета
2017

УДК 621.3 (075)

ББК 32.84я7

О 435

Составители: ***Б.В. Скворцов, А.В. Паршина***

Рецензент: канд. техн. наук, доц. С.А. А к у л о в

Однофазный выпрямитель: метод. указания / сост.: *Б.В. Скворцов, А.В. Паршина*. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 20 с.

Приведены основные теоретические сведения о распространенных схемах выпрямителей, особенностях работы одно– и двухтактного выпрямителей. В описании работы приводятся: целевая установка, краткие теоретические сведения, программа экспериментального исследования и контрольные вопросы для подготовки.

Рекомендованы в качестве методических указаний к лабораторной работе для студентов института информатики, математики и электроники, обучающихся по направлению подготовки 11.03.01 Радиотехника.

УДК 621.3 (075)

ББК 32.84я7

Краткие теоретические сведения

Принцип действия всех схем выпрямителей основан на использовании существенной нелинейности вольтамперных характеристик выпрямительных диодов (вентилей). Выпрямительные схемы подразделяются по фазности на однофазные ($m=1$) и многофазные ($m \geq 2$), а по тактности – на одно- и двухтактные. Фазность схем определяется количеством фазных обмоток трансформатора, связанных с вентилями, а тактность схемы – количеством импульсов тока, проходящих по вторичной обмотке трансформатора за период напряжения питающей сети в противоположных направлениях.

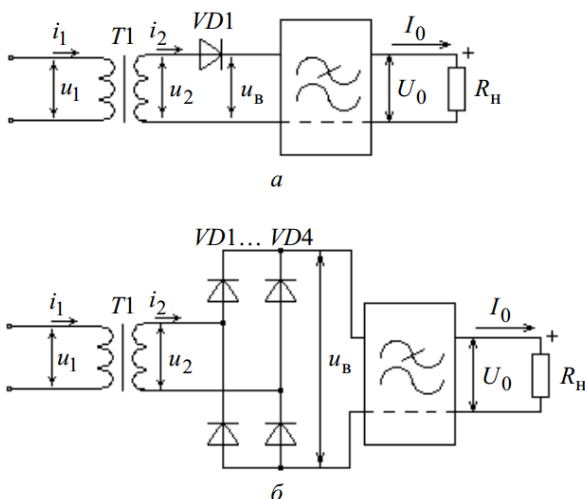


Рис. 1. Наиболее распространенные схемы выпрямителей

В источниках вторичного электропитания (ИВЭП) для радиоэлектронной аппаратуры наибольшее распространение получила однофазная двухтактная (мостовая) схема выпрямителя (рис. 1, б) как имеющая существенные преимущества перед простейшей однофазной однотактной (рис. 1, а).

Выходное напряжение ИВЭП должно соответствовать ряду основных количественных и качественных показателей. К основным параметрам выпрямителей относятся:

– U_0, I_0 – постоянные составляющие выпрямленного напряжения $u_B(\omega t)$ и тока $i_B(\omega t)$, определяемые как

$$U_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_B(\omega t) d\omega t, I_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_B(\omega t) d\omega t,$$

– $k_{II} = (E_{mII}/U_0)$ – коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения (тока), представляющий собой отношение максимального значения переменной составляющей E_{mII} (или чаще всего амплитуды ее первой гармоники E_{m1}) к постоянной составляющей U_0 ;

– $R_{ВЫХ} = \Delta U_0 / \Delta I_0$ – выходное сопротивление, которое определяется из внешней (нагрузочной) характеристики, представляющей зависимость постоянной составляющей выпрямленного напряжения U_0 от тока нагрузки I_0 , т. е. $U_0 = f(I_0)$.

– $P_0 = U_0 I_0$ – мощностью постоянного тока в нагрузке;

– $\eta = P_0 / (P_0 + P_{пот})$ – коэффициентом полезного действия выпрямителя с учетом потерь $P_{пот}$ в элементах выпрямителя, т. е. в диодах P_V , сглаживающем фильтре P_Φ и в сетевом трансформаторе P_T ($P_{пот} = P_V + P_\Phi + P_T$).

По структуре сглаживающие фильтры представляют собой фильтры нижних частот с частотой среза ω_Φ много ниже минимальной частоты пульсаций $m\omega_c$, отличающиеся дополнительным требованием – высоким КПД. Эффективность сглаживающего фильтра оценивается коэффициентом сглаживания пульсаций S_{II} определяемым как отношение коэффициентов пульсаций выпрямленного напряжения на входе фильтра и на его выходе (на нагрузке). $S_{II} = k_{II.VX} / k_{II.VYX}$.

Структура сглаживающего фильтра и его параметры существенно влияют не только на коэффициент сглаживания S_{II} , но и на характеристики и энергетические параметры выпрямителя в целом. Даже в идеальном выпрямителе без потерь в трансформаторе и вентилях мощ-

ность P_1 , потребляемая выпрямителем от сети, больше P_0 , что необходимо учитывать при выборе трансформатора.

Габаритная (типовая) мощность трансформатора $P_{\text{габ}}$ определяет его массогабаритные характеристики и связана с расчетными мощностями первичных $P_I = m_1 U_1 I_1$ и вторичных $P_{II} = m_2 U_2 I_2$ обмоток выражением $P_{\text{габ}} = (P_I + P_{II})/2$. При этом трансформатор может содержать несколько первичных (m_1) и вторичных (m_2) обмоток, причем в общем случае $m_1 \neq m_2$. Расчетные мощности измеряются в вольт-амперах [В·А], а не в ваттах [Вт], так как они определяются суммой произведений действующих значений синусоидальных напряжений U_1 и U_2 на действующие (эффективные) значения в общем случае несинусоидальных токов I_1 и I_2 обмоток трансформатора.

Расчетные мощности первичных обмоток P_I в однотактных схемах выпрямителей всегда меньше, чем мощности вторичных P_{II} ($P_I < P_{II}$), так как по каждой вторичной обмотке протекает постоянная составляющая тока I_0/m_2 , не трансформируемая из вторичной обмотки в первичную. В двухтактных схемах без учета потерь они одинаковы ($P_I = P_{II}$).

Основными показателями выпрямительных схем являются соотношения, связывающие действующие значения напряжения и тока вторичной обмотки трансформатора U_2 и I_2 с заданными значениями постоянных составляющих напряжения U_0 и тока I_0 в нагрузке, а также максимальные значения прямого тока I_{mV} и обратного напряжения на выпрямительном диоде $U_{\text{обрт}}$. Эти соотношения не только различны для разных схем выпрямления, но и существенно зависят от характера нагрузки, определяемого типом сглаживающего фильтра.

Временные диаграммы без учета потерь в элементах схемы для однофазной однотактной схемы выпрямления при работе на резистивную нагрузку приведены на рис. 1.2, а. Основные расчетные соотношения приведены далее:

$$U_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi E_{2m} \sin(\omega t) d(\omega t) = E_{2m} / \pi = 0.45U_2 ;$$

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (I_{2m} \sin(\omega t))^2 d(\omega t)} = I_{2m} / 2 = \pi I_0 / 2 ;$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi i_1^2 \sin(\omega t) d(\omega t)} = 1.21nI_0, \text{ где } n = w_2 / w_1 \approx U_2 / U_1 ;$$

$$P_1 = U_1 I_1 \approx 2.7P ; P_2 = U_2 I_2 \approx 3.5P ;$$

$$P_{\text{заб}} = (P_1 + P_2) / 2 = k_{\text{заб}} P_0 \approx 3.1P ; k_{\text{II}} = E_{\text{mII}} / U_0 = 1.57$$

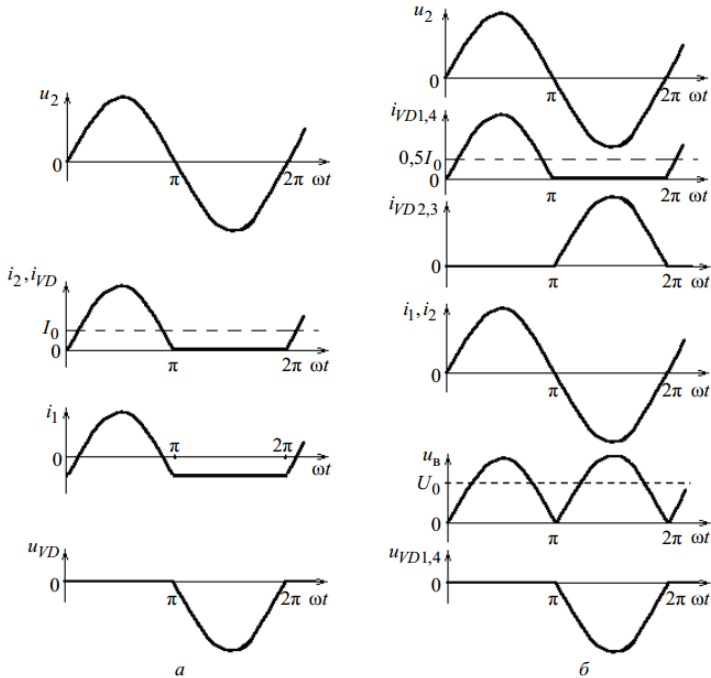


Рис 2. Временные диаграммы для однотактной (а) и двухтактной схемы выпрямителя при работе на резистивную нагрузку

В рассматриваемой схеме (рис. 1, *a*) в сердечнике трансформатора за счет постоянной составляющей тока i_2 создается поток вынужденного намагничивания, вызывающий возрастание намагничивающего тока и потерь в магнитопроводе и, как следствие, рост габаритов и массы трансформатора.

Существенное улучшение основных характеристик достигается в однофазной двухтактной (мостовой) схеме выпрямления (рис.1, *б*). Временные диаграммы для этой схемы при резистивной нагрузке приведены на рис. 2, *б*. В этой схеме ток в нагрузке протекает в одном направлении в обоих полупериодах, в то же время по вторичной обмотке протекают 2 импульса тока за период в противоположных направлениях, что определяет схему как двухтактную. Следовательно, постоянная составляющая тока во вторичной обмотке отсутствует.

Особенности работы выпрямителей на нагрузку с индуктивной реакцией

К режиму работы выпрямителей на нагрузку с индуктивной реакцией относят работу на фильтры с индуктивным входным сопротивлением, т. е. с L - или LC -фильтрами, применяемыми при средних и больших мощностях или в низковольтных выпрямителях с большим током нагрузки, причем для LC -фильтров выполняется условие $|X_C| \ll R_H$.

В простейшей схеме однофазного одноктного (однополупериодного) выпрямителя (рис. 3, *a*) форма импульса тока вторичной обмотки, совпадающего с током диода ($i_V = i_2$), определяется алгебраической суммой вынужденной $i_{2в}$ и свободной $i_{2св}$ составляющих, полученных в результате решения уравнения $u_2 = L_\Phi di_2/dt + Ri_2$, т.е. $i_2 = i_{2в} + i_{2св} = I_m \sin(\omega t - \varphi) + I_m \sin \varphi \exp(-t/\tau_H)$ где $u_2 = E_{2m} \sin \omega t$; $\tau_H = L_\Phi/R$; L_Φ – индуктивность дросселя фильтра; $R = R_H + r_T + r_V$; r_T , r_V – резистивные сопротивления обмоток трансформатора и открытого диода.

Временные диаграммы для рассматриваемой схемы, приведенные на рис. 3, *б*, показывают, что ток в цепи нагрузки плавно нарастает после открытия диода и более резко спадает в конце интервала проводи-

мости $\omega t = \lambda$. Характерная особенность этой схемы заключается в том, что при любых постоянных времени $\tau_H = L_\Phi / R$ ток нагрузки i_H остается прерывистым.

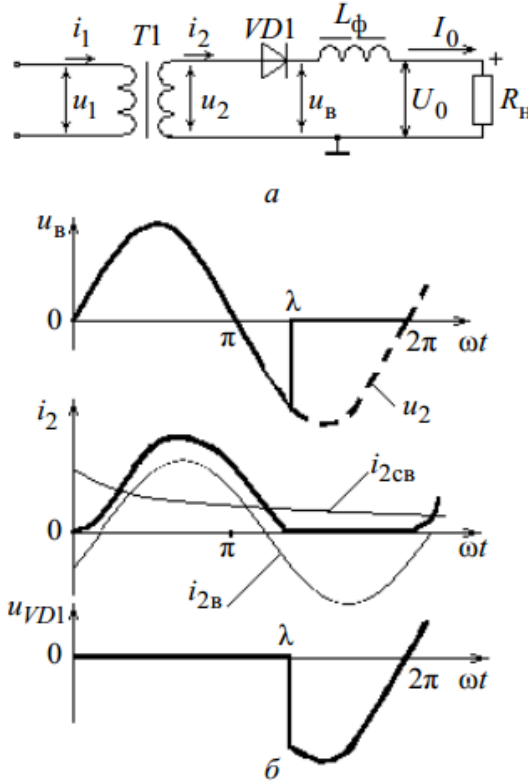


Рис. 3. Принципиальная схема и временные диаграммы однофазного выпрямителя

В режиме, близком к холостому ходу выпрямителя ($R \gg \omega L_\Phi$), влияние фильтра несущественно, импульс тока имеет форму полуволны синусоиды и, следовательно, постоянная составляющая напряжения на нагрузке равна $U_0 = E_{2n} / \pi$, что совпадает со случаем резистивной нагрузки. С увеличением постоянной времени τ_H интервал проводимо-

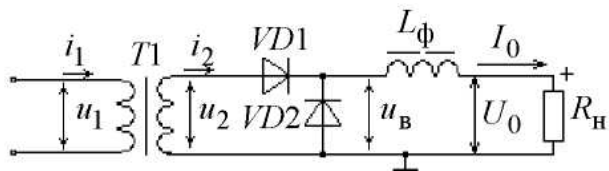
сти возрастает, а в выпрямленном напряжении появляется отрицательный выброс, снижающий постоянную составляющую напряжения на нагрузке.

На практике иногда используется модификация рассмотренной схемы, отличающаяся наличием «обратного» диода (рис. 4, а), шунтирующего цепь нагрузки при появлении на выходе выпрямителя напряжения обратной полярности ($\omega t > \pi$) и обеспечивающего «запирание» основного диода $VD1$ (рис. 3,б, 4,б). Введение «обратного» диода $VD2$ создает разрядный контур, по которому замыкается ток нагрузки во втором полупериоде ($\pi < \omega t < 2\pi$), поддерживаемый за счет энергии, накопленной в магнитном поле индуктивности L_ϕ в течение первого полупериода ($0 < \omega t < \pi$). Прерывистый характер выпрямленного тока, низкий коэффициент мощности $\chi = v_1 \cos \phi_1$ и резко падающая внешняя характеристика являются существенными недостатками рассмотренной схемы, ограничивающими ее применение в радиоэлектронной аппаратуре.

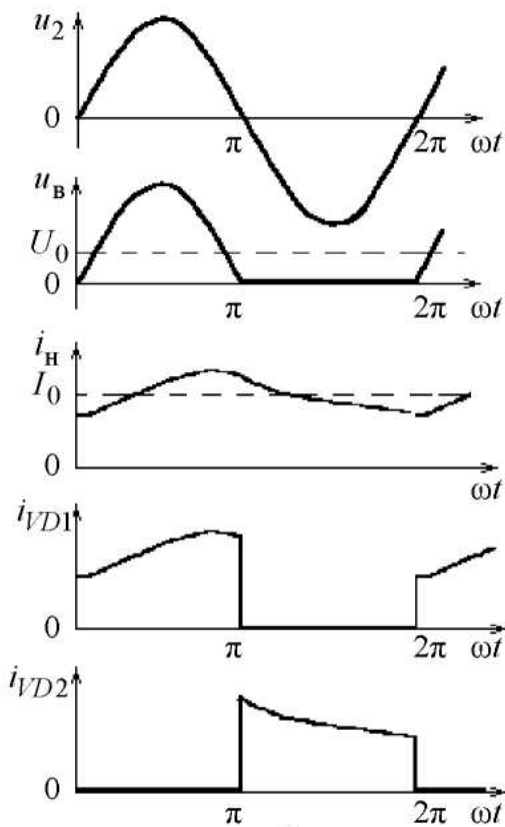
При этом ток нагрузки i_n уже не может стать равным нулю ни в какой момент периода, что приводит к сглаживанию пульсаций тока в нагрузке.

Следует обратить внимание на то, что в данной схеме пульсации тока i_n уменьшаются с ростом $\tau_n = L_\phi / R_n$, а постоянная составляющая тока I_0 остается неизменной. Коэффициент пульсаций выпрямленного тока в рассматриваемой схеме с «обратным» диодом определяется выражением $k_{\Gamma I} \approx \pi / (2\omega \tau_n)$, и при достаточно больших постоянных времени импульсы тока диодов i_{V1} и i_{V2} становятся почти прямоугольными.

В этой схеме сохраняются существенные недостатки однофазной однотактной схемы – большое значение габаритной мощности трансформатора, низкий коэффициент мощности $\chi = v_1 \cos \phi_1$ и вынужденное намагничивание магнитопровода трансформатора, что ограничивает ее применение.



a



б

Рис. 4. Принципиальная схема и временные диаграммы однофазного выпрямителя с индуктивной нагрузкой и обратным диодом

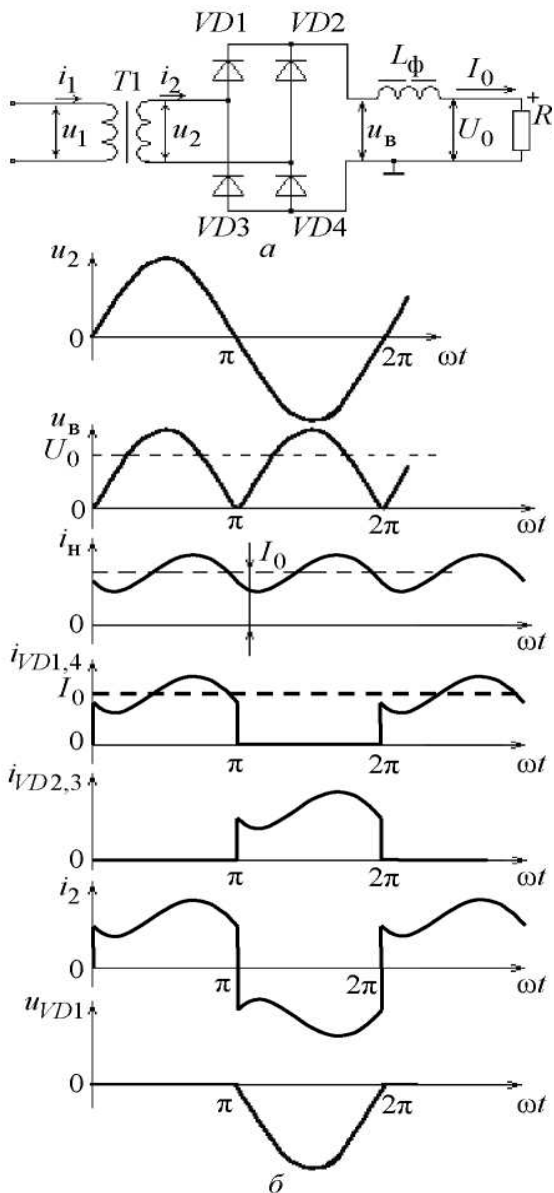


Рис. 5. Принципиальная схема и временные диаграммы двухтактного выпрямителя

От указанных недостатков свободна двухтактная (мостовая) схема выпрямителя (рис. 5, а). Временные диаграммы токов и напряжений в характерных точках этой схемы без учета потерь показаны на рис. 5, б. Значение индуктивности L_ϕ в данном случае определяет только уровень пульсаций напряжения на нагрузке и не влияет на его постоянную составляющую и интервал проводимости диодов, что характерно для всех схем с $m \geq 2$. Основные расчетные соотношения для рассматриваемой схемы приведены далее:

$$U_0 = 0.9U_2; U_2 = 1.1U_0; I_2 = I_0; f_{II} = 2f_C; k_{II} = E_{mII} / U_0 = 0,67;$$

$$P_1 = U_1 I_1 \approx 1.1P_0; P_2 = U_2 I_2 \approx 1.1P; P_{заб} = (P_1 + P_2) / 2 \approx 3.1P_0;$$

$$k_1 = P_1 / P_0; k_2 = P_2 / P_0; k_{заб} = (k_1 + k_2) / 2 \approx 1,1.$$

Особенности работы выпрямителей на резистивно-емкостную нагрузку

Режим работы на резистивно-емкостную нагрузку является наиболее распространенным в маломощных выпрямителях. В этом режиме параллельно сопротивлению нагрузки подключается конденсатор (рис. 6, а), что приводит к существенным изменениям форм тока диода и выпрямленного напряжения, а также энергетических соотношений.

Временные диаграммы токов и напряжений в однофазной одно-тактной схеме выпрямления с резистивно-емкостной нагрузкой (без учета индуктивностей рассеяния L_s) в установившемся режиме приведены на рис. 6, б. В этом случае момент возникновения тока диода i_V будет сдвинут по отношению к началу положительной полуволны напряжения u_2 на угол $\varphi_0 < \pi/2$.

Ток диода при $\varphi_0 < \omega t < \omega t_3$ определится суммой токов конденсатора и нагрузки $i_V(\omega t) = i_C + i_H \approx E_{2m}(\omega \tau_H \cos \omega t + \sin \omega t) / R_H$, где $\tau_H = R_H C_1$.

Для обеспечения малого $k_{II} = E_{mII} / U_0$ должно выполняться условие $\omega \tau_H \gg 1$.

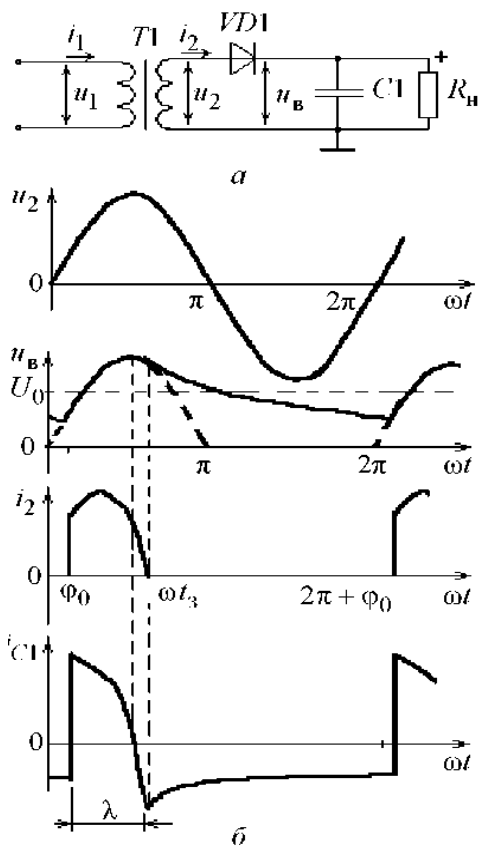


Рис. 6. Однофазный однопulse выпрямитель с резистивно-емкостной нагрузкой: *a* – принципиальная схема, *б* – временные диаграммы

Если в первом приближении пренебречь падением напряжения на диоде, то можно принять, что к моменту перехода u_2 через максимум конденсатор C_1 оказывается заряженным до амплитудного значения напряжения на вторичной обмотке, т. е. E_{2m} . Начиная с этого момента конденсатор C_1 будет разряжаться на сопротивление нагрузки R_H , а ток i_C изменит направление на обратное. В некоторый момент времени, определяемый углом закрывания $\omega t_3 = \Phi_0 + \lambda$, ток через диод прекратится,

а напряжение на нагрузке будет поддерживаться лишь разрядным током конденсатора:

$$u_H(t) = u_C(t) = E_{2m} \sin(\omega t_3) \exp[-(t-t_3)\tau_H].$$

Угол закрывания диода определяется выражением $\omega t_3 = \arctg(-\omega\tau_H)$, показывающим, что значения этого угла будут изменяться от π при $\tau_H=0$ до $\pi/2$ при $\tau_H \rightarrow \infty$. Поскольку для выполнения условия малости коэффициента пульсаций постоянная времени разряда $\tau_H = R_H C_I \gg 1/\omega$, диод останется закрытым к началу следующей положительной полуволны напряжения и откроется в установившемся режиме лишь при выполнении условия

$$u_2(\omega t) = E_{2m} \sin\varphi_0 \approx E_{2m} \exp[-(0,75\pi + \varphi_0)/\tau_H].$$

Увеличение емкости фильтра C_I (или постоянной $\tau_H = R_H C_I$) приводит не только к уменьшению коэффициента пульсаций, но и к увеличению постоянной составляющей выпрямленного напряжения. Уменьшение сопротивления нагрузки R_H приводит к уменьшению постоянной времени цепи разряда τ_H , поэтому внешняя характеристика выпрямителя с емкостной нагрузкой крутопадающая, что определяет высокое выходное сопротивление и ограничения при использовании переменной нагрузки.

При использовании П-образного фильтра, представляющего собой каскадное соединение емкостного и Г-образного фильтров, формы тока диода и напряжения на первой емкости фильтра близки к рассмотренным ранее.

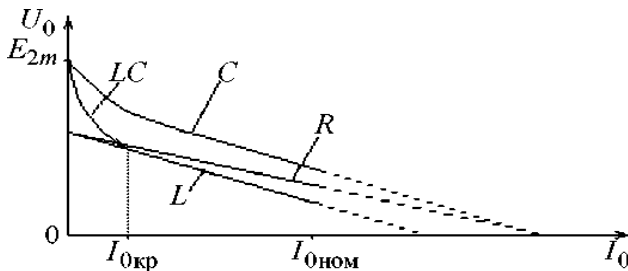


Рис. 7 Внешние характеристики выпрямителя при использовании различных сглаживающих фильтров

Аналогичные процессы наблюдаются в двухтактной схеме выпрямителя, а также в других схемах выпрямления ($m \geq 1$) с емкостной нагрузкой, при этом отличие заключается лишь в периодичности процессов заряда и разряда конденсатора. Внешние характеристики выпрямителя при использовании различных сглаживающих фильтров представлены на рис. 7.

Описание лабораторного макета

Лабораторная установка предназначена для выполнения следующих экспериментальных исследований:

- Исследование процессов в однофазных схемах выпрямления.
- Исследование влияния сглаживающего фильтра на основные характеристики и параметры выпрямителей.
- Исследование основных характеристик сглаживающих фильтров.
- Приобретение навыков экспериментального исследования выпрямителей и сглаживающих фильтров

Лицевая панель макета (рис. 8) содержит упрощенную принципиальную схему установки (рис. 9), органы управления, индикации и измерения.

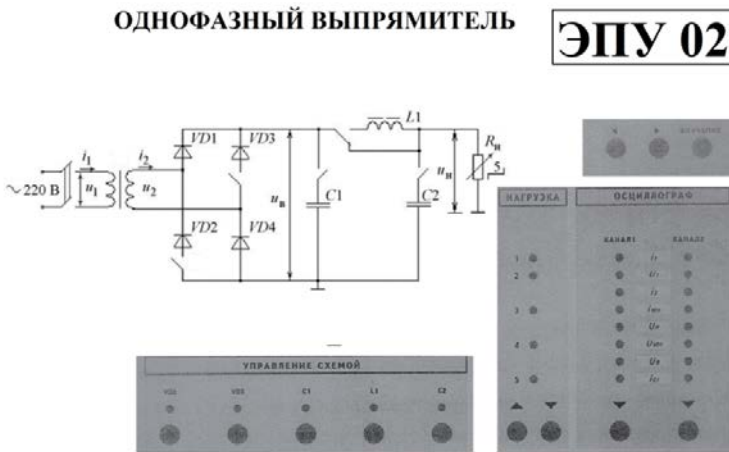


Рис. 8. Лицевая панель лабораторной установки

Лабораторный макет помимо исследуемого выпрямителя содержит встроенный мультиметр для измерения тока первичной обмотки трансформатора I_1 , тока вторичной обмотки трансформатора I_2 , напряжения на вторичной обмотке трансформатора U_2 , выпрямленного напряжения до сглаживающего фильтра U_B , напряжения на нагрузке U_H и тока в цепи нагрузки I_H .

Выбор измеряемой величины и измеряемого параметра (амплитуда, действующее значение, постоянная составляющая) осуществляется соответствующими кнопками, расположенными снизу от дисплея. (Под амплитудой понимается половина размаха переменной составляющей измеряемого параметра.)

В макете предусмотрена возможность дискретного изменения сопротивления нагрузки выпрямителя, схемы выпрямителя и вида сглаживающего фильтра. Ключи $S1$ и $S2$ позволяют реализовать однофазные однотактную и двухтактную схемы, а также однофазную схему с обратным диодом. При этом функцию обратного диода выполняют последовательно включенные диоды $VD3$ и $VD4$. Состояние ключей индицируется соответствующими светодиодами.

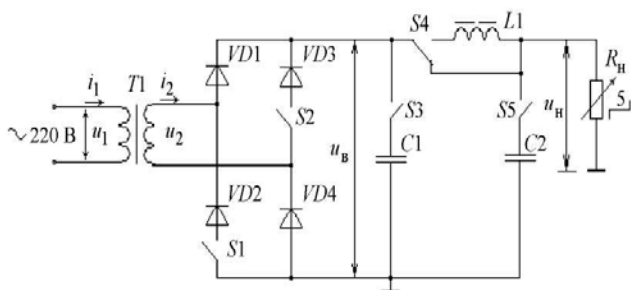


Рис. 9 Упрощенная принципиальная схема установки

Наличие двух выходов на внешний осциллограф позволяет одновременно наблюдать формы токов и напряжений в различных точках схемы: i_1 , u_2 , i_2 , i_{VD1} , i_{VD3} , u_{VD1} , u_B , i_{C1} , u_H . Для исследования взаимосвязи сигналов во времени рекомендуется на один из каналов двухлучевого осциллографа постоянно подавать опорный сигнал (например, напря-

жение на вторичной обмотке трансформатора) и этим сигналом синхронизировать развертку осциллографа.

Программа выполнения работы

Ознакомиться со схемой лабораторного макета, с размещением органов управления макетом. Включить лабораторный макет и осциллограф.

1. Исследование однотактного выпрямителя (переключатели S1, S2 в положении «Выкл», светодиоды не светятся).

1.1. При максимальном токе нагрузки (положение «5») зарисовать осциллограммы токов и напряжений при работе без фильтра, с емкостным фильтром, с индуктивным фильтром, с индуктивным фильтром и обратным диодом (в последнем случае включить S2). См. табл. 1.

Таблица 1. Осциллограммы

Тип фильтра	Ток первичной обмотки	Ток вторичной обмотки (ток диода)	Напряжение на диоде	Напряжение	
				u_B	u_H
Без фильтра	+	+	+	+	
Емкостный	+	+		+	
Индуктивный	+				
Индуктивный с обратным диодом	+	+	+	+	+
Г-образный (L_2C_2)	+	+	+	+	+
П-образный ($C_1L_1C_2$)	+	+	+	+	+

1.2. Изменяя сопротивление нагрузки, снять внешнюю (нагрузочную) характеристику выпрямителя, т.е. зависимость постоянной составляющей напряжения на нагрузке от постоянной составляющей тока нагрузки $U_0=f(I_H)$ при работе выпрямителя без фильтра, с индуктивным фильтром (при наличии и отсутствии обратного диода), с емкостным, Г-образным и П-образным фильтрами.

Все характеристики построить на одном графике в одном масштабе. Определить по двум крайним точкам для каждой снятой характеристики внутреннее сопротивление выпрямителя $R_{\text{вых}} = -\Delta U_H / \Delta I_H$.

2. Исследование двухтактного выпрямителя.

Переключатели $S1, S2$ установить в положение «Вкл».

Провести исследования по программе, аналогичной пп. 1.1 и 1.2.

3. Исследование сглаживающих фильтров.

3.1. Для двухтактного выпрямителя снять зависимости коэффициента пульсаций напряжения на нагрузке от постоянной составляющей тока в нагрузке при работе с емкостным и индуктивным фильтрами.

3.2. При максимальном токе нагрузки определить коэффициент сглаживания пульсаций индуктивного и Г-образного фильтров.

Содержание отчета

1. Принципиальная схема макета.
2. Таблицы экспериментальных данных и временные диаграммы.
3. Графики экспериментальных зависимостей.
4. Краткие выводы.

Контрольные вопросы

1. Какими показателями характеризуется работа выпрямителя?
2. Классификация и характеристики основных схем выпрямления. Чем определяется фазность и тактность схем выпрямления?
3. Нарисовать и объяснить работу исследуемых схем выпрямителей, а также временные диаграммы токов и напряжений в основных цепях при различных нагрузках: а) резистивной R_H ; б) резистивно-индуктивной $L_\phi R_H$; в) резистивно-емкостной $R_H C$.
4. Как изменяются амплитуда и время протекания тока диода при подключении конденсатора к резистивной нагрузке?
5. Объяснить ход внешних характеристик выпрямителя при различных сглаживающих фильтрах.

6. Как изменится форма импульса тока диода: а) при изменении значений индуктивности L_ϕ в цепи нагрузки; б) при изменении емкости C_I фильтра для исследуемых схем выпрямителей?

7. Дать сравнительную оценку зависимости коэффициента сглаживания фильтров от тока нагрузки I_0 для выпрямителей с индуктивным и емкостным фильтрами.

8. Что такое габаритная (типовая) мощность трансформатора в выпрямителе и коэффициент мощности выпрямителя, как они зависят от схемы и от характера нагрузки выпрямителя? Почему значение $P_{\text{габ}} > P_0$?

9. Что такое вынужденное намагничивание сердечника трансформатора и как оно влияет на характеристики выпрямителя? Каковы способы устранения вынужденного намагничивания?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Скворцов, Б.В.* Элементы и устройства электропитания радиоэлектронной аппаратуры / *Б.В. Скворцов, Г.А. Конюхов.* – Самара: Изд-во СГАУ, 2011. – 132 с.

2. *Ефимов, И.П.* Источники питания РЭА : учеб. пособие / *И.П. Ефимов.* – 2-е изд., испр. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2002. – 136 с.

3. *Белкин, А.В.* Справочник радиолюбителя-конструктора / *А.В. Белкин.* – М.: Радио и связь, 2003. – 560 с.

4. Проектирование источников электропитания электронной аппаратуры : учеб. пособие / *О.К. Березин, В.Г. Костиков, Е.М. Парфенов [и др.] ; под ред. В. А. Шахнова.* – 4-е изд. – М.: КНОРУС, 2010. – 568 с.

5. *Готлиб, И.М.* Источники питания. Инверторы, конверторы, линейные и импульсные стабилизаторы / *И.М. Готлиб.* – М.: Постмаркет, 2000. – 552 с.

6. *Браун, М.* Источники питания. Расчёт и конструирование / *М. Браун.* – Киев: МК-Пресс, 2005. – 288 с.

Учебное издание

ОДНОФАЗНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Методические указания

Составители:

***Скворцов Борис Владимирович,
Паршина Александра Валерьевна***

Редактор И.И. Спиридонова
Доверстка И.И. Спиридонова

Подписано в печать 9.06.2017. Формат 60 × 84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 1,25.

Тираж 25 экз. Заказ . Арт. 66/2017.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика С.П. КОРОЛЕВА (САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Издательство Самарского университета. 443086 Самара, Московское шоссе, 34.