

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт неразрушающего контроля  
Институт международного образования и языковой коммуникации  
Направление подготовки – 11.03.04 Электроника и наноэлектроника  
Кафедра промышленной и медицинской электроники

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Резонансный преобразователь постоянного напряжения</b>

УДК \_\_\_\_ 621.3.015 \_\_\_\_

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151A20	Ван Бо		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ПМЭ ИНК	Буркин Е.Ю.	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менеджмент	Конотопский В.Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. экологии и БЖД	Кырмакова О.С.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н., доцент		

## Результаты обучения по ООП «Электроника и микроэлектроника»

Код результата	Результат обучения
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте высокоэффективной техники
P2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей
P3	Выбирать и использовать на основе базовых и специальных знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной электронной техники с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере биотехнических систем и технологий, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делегированием ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P11	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P12	Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт неразрушающего контроля  
Институт международного образования и языковой коммуникации  
Направление подготовки : 11.03.04 Электроника и наноэлектроника  
Кафедра промышленной и медицинской электроники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Ф.А. Губарев  
(Подпись) \_\_\_\_\_ (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
151A20	Ван Бо

Тема работы:

Резонансный преобразователь постоянного напряжения	
Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><b>Входные параметры:</b> Входное напряжение источника питания постоянного напряжения – 300В</p> <p><b>Выходные параметры:</b> Выходное напряжение – 48В (постоянное напряжение)</p> <p>Коэффициент пульсация – 0,02</p> <p>Выходный ток – 4А;</p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор литературы</p> <p>Выбор и обоснование функциональной схемы устройства</p> <p>Анализ и расчет принципиальной схемы резонансного преобразователя постоянного напряжения.</p> <p>Социальная ответственность</p> <p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>Заключение</p>
--	--

<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
---	--

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Кырмакова О.С.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский В.Ю.

<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	
--	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ПМЭ ИНК	Буркин Е.Ю.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151A20	Ван Бо		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
 высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт неразрушающего контроля  
 Институт международного образования и языковой коммуникации  
 Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника  
 Уровень образования бакалавриат  
 Кафедра промышленной и медицинской электроники  
 Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2013/2014 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы: \_\_\_\_\_

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.10.2015	Обзор литературы	...
15.11.2015	Теоретический расчет силовой части преобразователя	...
15.02.2016	Расчет индуктивностей и трансформатора	
15.03.2016	Создание макета преобразователя	
13.04.2016	Экспериментальное исследование преобразователя	
01.05.2016	Анализ экспериментального результатов	
15.05.2016	Оформление ВКР	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ПМЭ ИНК	Буркин Е.Ю.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ПМЭ	Ф.А. Губарев	к.ф.-м.н., доцент		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа \_\_\_\_\_ 65 \_\_\_\_\_ с., \_\_\_\_\_ 28 \_\_\_\_\_ рис., \_\_\_\_\_ 14 \_\_\_\_\_ табл.,  
\_\_\_\_\_ источников, \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_ прил.

Ключевые слова: резонанс, преобразователь постоянного напряжения, преобразователь высокой частот, резонансный контур, инвертор, выпрямитель.

Объектом исследования является (ются) резонансный преобразователь постоянного напряжения .

Цель работы – теоретическое и экспериментальное исследования резонансного преобразователя постоянного напряжения и проектирования макета по технической задаче.

В процессе исследования проводились обзор литературы, выбор и обоснование унциальной схемы силовой части преобразователя, расчет для силовой части и генератора преобразователя, экспериментальное исследование преобразователя.

В результате исследования получены выражения для расчета силовой части преобразователя, фазированные диаграммы напряжений и токов на основных элементах, частотная характеристика выходного напряжения и зависимость выходного напряжения от входного напряжения.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Входное напряжение источника питания постоянного напряжения –  $(300 \pm 15)$ В. Выходные параметры: выходное напряжение – 48В (постоянное напряжение) коэффициент пульсация – 0,02, Выходный ток – 4А.

Степень внедрения: \_\_\_\_\_ высокая.

Область применения: \_\_\_\_\_ источник питания постоянного напряжения высоких частот.

Экономическая эффективность/значимость работы \_\_\_\_\_ работа \_\_\_\_\_ является конкурентоспособной и экономически выгодной, что подтверждено расчетами.

В будущем планируется создать стабильный источник питание на основе резонансного преобразователя постоянного напряжения.

## **Введение**

Резонансный преобразователь постоянного напряжения имеет широкое применение в области электроники. Резонансный преобразователь постоянного напряжения получает энергию от постоянного напряжения, преобразуя её в энергию переменного или постоянного напряжения[1]. Выходное напряжение на данной работе является постоянным. Отличие резонансного преобразователя постоянного напряжения от других типов преобразователей состоит в том, что частота работы преобразователя управляет выходным напряжением и ток в ключах инвертора стремится к нулю при переключении ключей. Эта особенность позволяет нам снизить потерь энергии в ключах и увеличить КПД преобразователя.

Актуальность данной работы состоит в том, чтобы снизить потерь энергии в ключевых элементах и реализуется гальваническую развязку входной части и входной части.

Целью данной работы являются теоретическое и экспериментальное исследование резонансного преобразователя постоянного напряжения и проектирования макета по технической задаче.

## **1. Обзор литературы**

### **1.1 Основные характеристики резонансного преобразователя постоянного напряжения**

#### **1.1.1 Резонансный преобразователь постоянного напряжения.**

Преобразователь, который преобразует энергию постоянного напряжения или переменного напряжения в энергию постоянного напряжения или переменного напряжения с помощью резонансного контура, называется резонансным. Силовая часть резонансного преобразователя постоянного напряжения состоит из инвертора, резонансного конденсатора, трансформатора, выпрямителя, сглаживающего фильтра и нагрузки. Трансформатор, выпрямитель, даже сглаживающий фильтр могут отсутствовать, когда преобразователь преобразует энергию постоянного напряжения в энергию переменного напряжения.

#### **1.1.2 Динамические потери в полупроводниковых ключах**

Потери мощности в ключах являются одним из важных показателей эффективности преобразовательных систем, который влияет на коэффициент полезного действия системы, габариты и стоимость систем охлаждения ключей, надежность их работы, определяемую температурой полупроводниковых кристаллов (переходов).

Потери мощности состоят из статических и динамических. Статические потери мощности вызваны током, который протекает через ключи в открытом режиме. А динамические потери возникают при переключении.

Динамические потери зависят от частоты преобразования, значения напряжения и тока на ключах при включении и выключении, инерционных свойств транзистора, вида схемы преобразователя и характера нагрузки.

Например, динамические потери в транзисторах преобразователя с учетом отмеченных особенностей определяется по формуле:

$$P_{\text{т,дин}} = I_{\text{к}} U_{\text{кэ}} \tau_{\text{т}} f K_{\text{дин}}, \quad (1.1)$$



Где  $I_k$  и  $U_{кэ}$  – ток и напряжение на транзисторах.

$\tau_T$  – длительность переключения транзистора

$f$  – частота работы транзистора.

$K_{дин}$  – коэффициент динамических потерь, зависящий от вида схемы преобразователя и режимов работы транзисторов. [1]

По составляющим элементам определяем способы снижения динамических потерь:

1. Снижать частоту работы ключевых элементов, чтобы транзистор работает в низки частота.

2. уменьшать значение тока и напряжение на ключевых элементах при включении и выключении транзистора.

3. снижать динамические потери путем разработки различных схем преобразователей.

### **1.1.3 Особенность резонансного преобразователя постоянного напряжения**

В отличие от других типов преобразователей резонансный преобразователь обладает следующими особенностями:

1. резонансный преобразователь работает в высоких частотах.

2. в входном каскаде (инвертор) резонансного преобразователя динамические потери мощности почти отсутствуют, так как использование резонансной схемы, состоящей из конденсатора и индуктивности, делает напряжение и ток через ключи равными нулю перед переключением ключей. Это устраняет большинство потери переключения. Поэтому резонансный преобразователь постоянного напряжения может работать в высокой частоте с низкими потерями в ключевых элементах и высоким КПД.

3. работа при более высоких частотах значительно уменьшает размер пассивных компонентов, таких как трансформаторы и дроссели. Таким образом габариты блока преобразователя уменьшается и стоимость преобразователя снижается.

## 1.2 вид резонансного преобразователя постоянного напряжения

По методам подключения нагрузки на выходе и тип резонансного контура разделяются разные схемы резонансных преобразователей:

1. DC–DC преобразователи с последовательным подключением нагрузки к резонансному контуру

В данном преобразователе конденсатор, индуктивность и первичная обмотка трансформатора соединяются последовательно. Выпрямитель подключается во вторичной обмотке трансформатора. На выходе выпрямителя подключаются сглаживающий фильтр и нагрузки. Схема данного преобразователя показана в рис. 1.1.

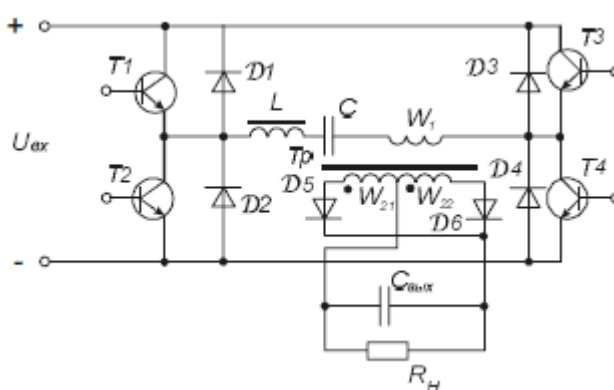


Рис. 1.1 DC–DC преобразователи с последовательным подключением нагрузки к резонансному контуру

2. . DC–DC преобразователи с подключением нагрузки к конденсатору резонансного контура

В данном преобразователе резонансные конденсатор и индуктивность последовательно соединяются на выходе инвертора. Первичная обмотка параллельно соединяется с резонансным конденсатору. Как в предыдущем преобразователе в данном преобразователе на вторично обмотки так же подключаются выпрямитель, сглаживающий фильтр и нагрузка. Схема данного преобразователя показана в рис. 1.2.

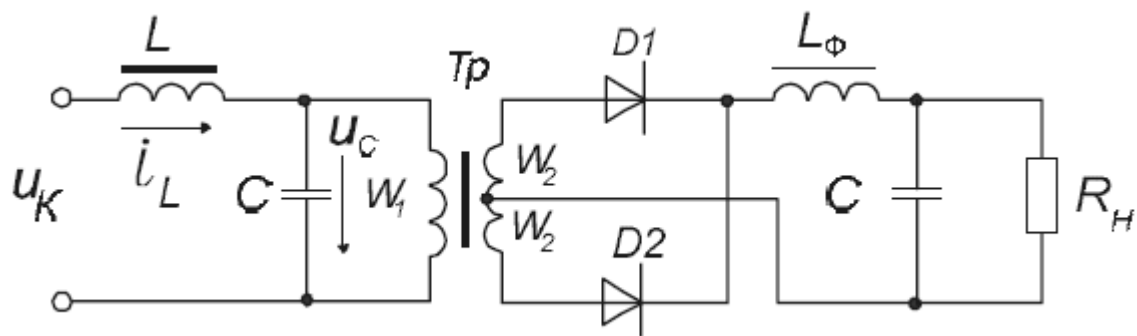


Рис.1. 2 DC–DC преобразователи с подключением нагрузки к конденсатору резонансного контура

## 2. Структурная схема резонансного напряжения постоянного напряжения

Резонансный преобразователь постоянного напряжения состоит из следующих блоков (рис.2.1):

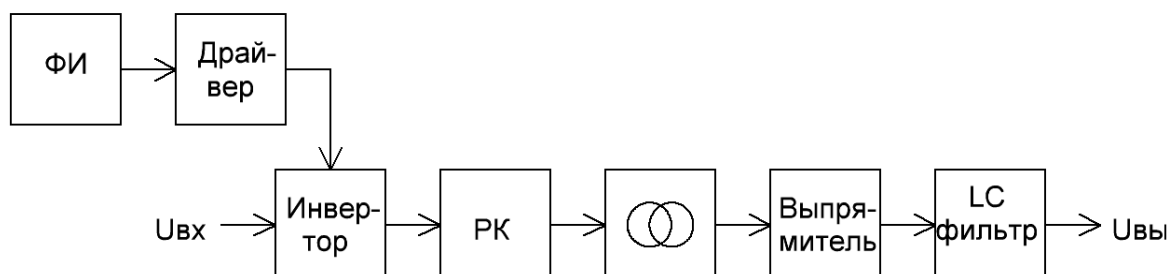


Рис. 2.1 Структурная схема резонансного напряжения  
постоянного напряжения

- 1) ФИ – формирователь импульса. Он формирует управляющий сигнал;
- 2) драйвер служит для изоляции управляющей части и силовой части. так делаем, чтобы силовая часть не влияет на формирователя импульса;
- 3) инвертор инвертирует постоянное напряжение на переменное;
- 4) РК – резонансный контур. Он отбирает первую гармонику из переменного напряжения;
- 5) гальваническая связь реализуется трансформатором;
- 6) выпрямитель состоит из моста диода. он выпрямляет переменное напряжение в положительное переменное напряжение;
- 7) LC фильтр служит для сглаживания выпрямляемого напряжения.

### 3. Принципиальная схема резонансного преобразователя напряжения

Принципиальная схема силовой части показана на рисунке ниже:

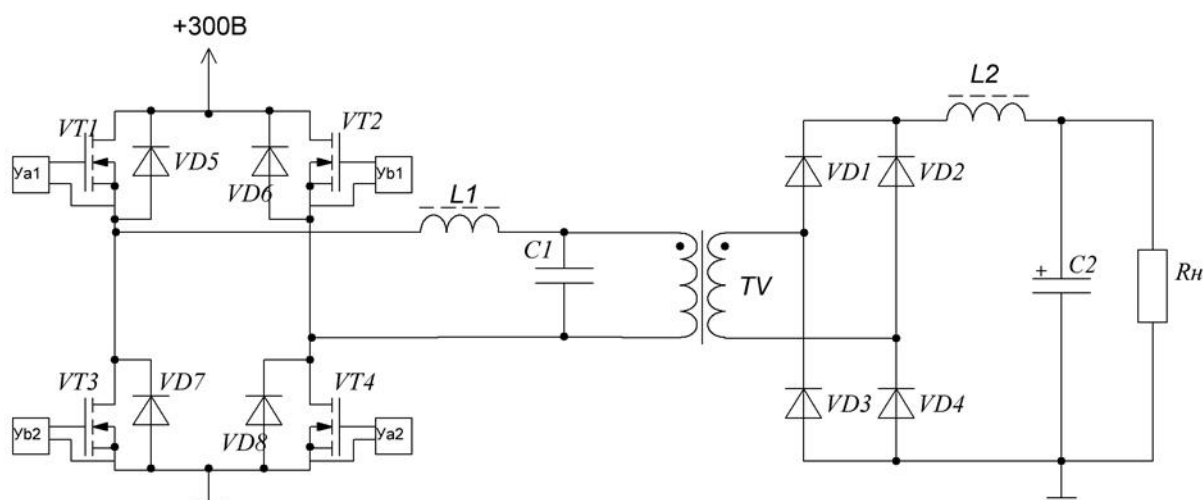


Рис 3.1 Принципиальная схема силовой части

Силовая часть резонансного преобразователя постоянного напряжения состоит из инвертора, резонансных конденсатора и индуктивности, трансформатора, выпрямителя, сглаживающего фильтра и активной нагрузки.

Инвертор представляет собой мостовую схему. Управляющий импульс формируется на основе микросхемы K1156EY2. Четыре MOSFET с обратным диодом образуют мостовой инвертор. Поскольку транзисторы MOSFET достаточно мощные и максимальное напряжение на транзисторах слишком высокое, используется драйвер для изоляции силовой части и системы управления и обеспечения качества работы транзисторов. Выпрямитель представляет собой тоже мостовую схему. Четыре диода образуют мостовой выпрямителя.

## 4. Анализ и расчет принципиальной схемы резонансного преобразователя постоянного напряжения.

### 4.1 Анализ работы резонансного преобразователя постоянного напряжения

Анализ работы преобразователя проведем при следующих допущениях:

- 1) элементы схемы, показано на Рис. 3.1 а также силовые ключи и замыкающие диоды не имеют потерь и паразитных параметров (**примечания:** На схемы не показаны драйвер и формирователь импульсного сигнала. Силовая часть состоит из мостового инвертора, резонансного контура, силового трансформатора, у которого коэффициент трансформации равен 1 и мостового выпрямителя с сглаживающим фильтром и резистором нагрузки.);
- 2) ток намагничивания транзистора равен нулю;
- 3) ток индуктивности  $L_{\phi}$  сглаживающего фильтра имеет пренебрежимо малые пульсации.[2]

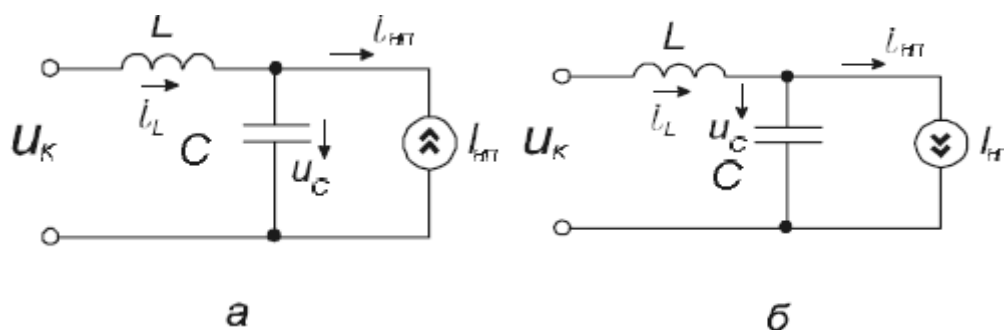
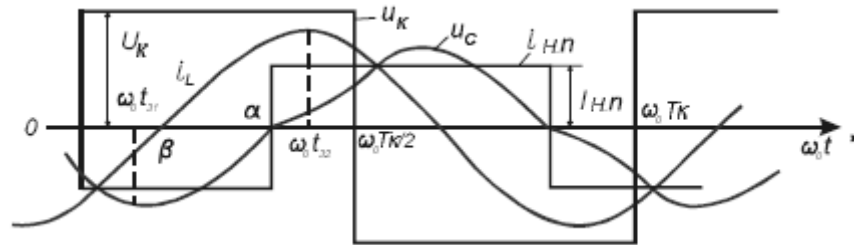


Рис. 4.1. Схема замещения для первого и второго интервалов в полупериоде

Временные диаграммы напряжений на входе контура, на конденсаторе, также тока в дросселе показаны на Рис. 4.1. Так же показан приведенный к первичной обмотке ток нагрузки  $i_{нп}$ . по оси абсцисс на Рис. 2 отложен угол  $\omega_0 t$ , где  $\omega_0$  - резонансная частота контура. переход тока  $i_{нп}$  через нуль обусловлен переключением диодов  $D_1 D_4$  и  $D_2 D_3$  и совпадает с моментом изменения знака напряжения  $u_C$  на конденсаторе. Приведя ток нагрузки к первичной обмотке трансформатора и обозначив его  $I_{нп}$ , получили две схемы замещения для

первого и второго интервалов в полупериоде, которые показаны на Рис. 4 после составления системы дифференциальных уравнений и их решения, определяются начальные условия с учетом симметричности работы в обоих полупериодах.



**Рис. 4.2** Диаграммы процессов в двухинтервальном режиме работы

Дифференциальные уравнения:

- 1) в интервале  $0 \leq \omega_0 t \leq \alpha$ :

$$\frac{di_{L1}}{dt} = \frac{1}{L}(U_k - u_{C1}), \quad (4.1)$$

$$\frac{du_{C1}}{dt} = \frac{1}{C}(i_{нп} - i_{L1}), \quad (4.2)$$

- 2) в интервале  $0 \leq \omega_0 t' \leq \frac{\omega_0 T_k}{2} - \alpha$ :

$$\frac{di_{L2}}{dt} = \frac{1}{L}(-U_k - u_{C2}), \quad (4.3)$$

$$\frac{du_{C2}}{dt} = \frac{1}{C}(-i_{нп} - i_{L2}), \quad (4.4)$$

В результате мгновенное напряжение на конденсаторе и ток в дросселе в первом и втором интервалах в относительном виде записываются следующим образом:

$$\frac{u_{C1}(\omega_0 t)}{U_{нп}} = \frac{1}{U_{нп}} + \frac{1}{\cos \frac{\pi}{2\mu}} \left\{ \left[ q \cos \left( \frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right) - \frac{\sin \frac{\pi}{2\mu}}{U_{нп}} \right] \sin \omega_0 t + \left[ q \sin \left( \frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right) - \frac{\cos \frac{\pi}{2\mu}}{U_{нп}} \right] \cos \omega_0 t \right\}, \quad (4.5)$$

$$\frac{i_{L1}(\omega_0 t)}{I_{н.п}} = \frac{1}{I_{нп}} + \frac{1}{\cos \frac{\pi}{2\mu}} \left\{ \left[ \frac{\cos \frac{\pi}{2\mu}}{U_{нп} q} - \sin \left( \frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right) \right] \sin \omega_0 t + \left[ -\frac{\sin \frac{\pi}{2\mu}}{U_{нп} q} + \cos \left( \frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right) \right] \cos \omega_0 t \right\}, (4.6)$$

$$\frac{u_{C2}(\omega_0 t')}{U_{н.п}} = \frac{1}{U_{нп}} + \frac{1}{\cos \frac{\pi}{2\mu}} \left\{ \left[ -q \cos \frac{\pi}{2\mu} - \frac{\sin \left( \frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right)}{U_{нп}} \right] \sin \omega_0 t' + \left[ q \sin \frac{\pi}{2\mu} - \frac{\cos \left( \frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right)}{U_{нп}} \right] \cos \omega_0 t' \right\}, (4.7)$$

$$\frac{i_{L2}(\omega_0 t')}{I_{н.п}} = \frac{1}{I_{нп}} + \frac{1}{\cos \frac{\pi}{2\mu}} \left\{ \left[ \frac{\cos \left( \frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right)}{U_{нп} q} - \sin \frac{\pi}{2\mu} \right] \sin \omega_0 t' + \left[ -\frac{\sin \left( \frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right)}{U_{нп} q} + \cos \frac{\pi}{2\mu} \right] \cos \omega_0 t' \right\}, (4.8)$$

В соотношениях (5)-(8) приняты следующие обозначения:  $u_{C1}, i_{L1}, u_{C2}, i_{L2}$  – напряжение и ток в первом (индекс 1) и во втором (индекс 2) интервалах;  $U_{н.п} = U_{\text{вых}}/n$  – приведенное к первичной обмотке трансформатора выходное напряжение ( $n$  – коэффициент трансформации.);  $I_{н.п} = n I_n$  – приведенный к первичной обмотке трансформатора ток нагрузки;  $U_{нп} = U_{н.п} / U_k$  – нормированное приведенное выходное напряжение;  $\mu = f / f_0$  – относительная частота;  $q = \sqrt{L/C}/R_{нп}$  – параметр, характеризующий нагрузку преобразователя ( $R_{нп} = R_n/n^2$  – приведенное к первичной обмотке трансформатора сопротивление нагрузки). [2]

В (4.5) - (4.8) параметры  $\mu$  и  $q$  считаются известными, а  $U_{нп}$  и  $\alpha$  определяются из системы уравнений:

$$\begin{cases} \cos \left( \frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right) - \cos \frac{\pi}{2\mu} = U_{нп} q \sin \frac{\pi}{2\mu} \\ 1 - 2\alpha \frac{\mu}{\pi} + 2 \frac{\mu}{\pi} \frac{\sin \left( \frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right)}{\cos \frac{\pi}{2\mu}} = U_{нп} \end{cases} (9)$$



Первое уравнение в (4.9) получено из условия равенства нулю напряжения  $u_C$  в момент  $\alpha$ , а второе – интегрированием (4.5) и (4.7) в целях определения нормированного и приведенного к первичной выходного напряжения. Исключая из  $U_{\text{нп}}$ , получим уравнение относительно угла  $\alpha$ :

$$\cos\left(\frac{\pi}{2\mu} - \alpha\right) - \cos\frac{\pi}{2\mu} - q \sin\left(1 - 2\alpha\frac{\mu}{\pi}\right) - 2\alpha\frac{\mu}{\pi} q \operatorname{tg}\left(\alpha - \frac{\pi}{2\mu}\right) = 0, (10)$$

Значение  $U_{\text{нп}}$  находят после подстановки  $\alpha$  в любое из уравнений (9).[2]

Резонанс в двухинтервальном режиме

Выражение для мгновенных значений напряжения  $u_C$  и тока  $i_L$  при резонансе можно получить, предварительно определив предел уравнений системы (4.9) при  $\mu \rightarrow 1$ .

Из второго уравнения этой системы имеет при  $\mu \rightarrow 1$ :

$$\alpha = \frac{\pi}{2}.$$

Первое уравнение системы приводится к виду:

$$\sin\alpha = U_{\text{нп}} q.$$

Откуда получим

$$U_{\text{нп}} q = 1, (4.11)$$

Из второго уравнения этой системы (9) следует:

$$\lim_{\mu \rightarrow 1} \frac{\sin\left(\alpha - \frac{\pi}{2\mu}\right)}{\cos\frac{\pi}{2\mu}} = U_{\text{нп}} \frac{\pi}{2}$$

Используя предельные переходы в соотношениях (5) – (8), получаем:

$$\frac{u_{C1}(\omega_0 t)}{U_{\text{нп}}} = q \left[ 1 - \sin\omega_0 t - \left[ \frac{\pi}{2q} + 1 \right] \cos\omega_0 t \right], (4.12)$$

$$\frac{i_{L1}(\omega_0 t)}{I_{\text{нп}}} = -1 + \left[ \frac{\pi}{2q} + 1 \right] \sin\omega_0 t - \cos\omega_0 t, (4.13)$$

$$\frac{u_{C2}(\omega_0 t')}{U_{\text{нп}}} = q \left[ 1 + \left[ \frac{\pi}{2q} - 1 \right] \sin\omega_0 t' - \cos\omega_0 t' \right], (4.14)$$

$$\frac{i_{L2}(\omega_0 t')}{I_{\text{нп}}} = 1 + \sin\omega_0 t' + \left[ \frac{\pi}{2q} - 1 \right] \cos\omega_0 t', (4.15)$$

Границу между двух- и трехинтервальным режимами можно определить, дифференцируя (14) и приравнявая полученное выражение к нулю при  $\omega_0 t' = 0$ .

В результате получим уравнение:

$$q_{\Gamma} \left[ \frac{\pi}{2q_{\Gamma}} - 1 \right] = 0$$

Откуда  $q_{\Gamma} = \frac{\pi}{2}$ .

Таким образом, при резонансе и  $q < \frac{\pi}{2}$  имеет место двухинтервальный режим.[2]

Приведем полученные в результате преобразований параметры работы элементов для двухинтервального режима и резонанса.

$$U_{C \max \Pi} = q \left( \sqrt{\left[ \frac{\pi}{2q} + 1 \right]^2 + 1} - 1 \right);$$

$$I_{L \max \Pi} = 1 + \sqrt{\left[ \frac{\pi}{2q} - 1 \right]^2 + 1};$$

$$I_{L \Pi} = \sqrt{2 - \frac{2}{\pi} + \frac{1}{8} \left( \frac{\pi}{q} \right)^2};$$

$$U_{L \Pi} = \frac{2}{\pi} q \sqrt{\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{4} \left[ \frac{\pi}{2q} + 1 \right]^2 + 1};$$

$$U_{C \Pi} = \sqrt{q^2 \left( 2 - \frac{6}{\pi} \right) + \frac{\pi^2}{8}};$$

$$I_{C \Pi} = \sqrt{\frac{1}{8} \left[ \frac{\pi}{q} \right]^2 - \frac{2}{\pi} + 1}$$

Граничный режим при  $\mu \neq 1$

Граничный угол  $\alpha_{\Gamma}$ , соответствующий переходу от двухинтервального режима к трехинтервальному, можно определить из (4.7), приравняв к нулю производную напряжения  $u_{C2}(\omega_0 t')$  при  $\omega_0 t' = 0$ . В результате получим соотношение:

$$qU_{\text{н.п}} = - \frac{\sin \left( \frac{\pi}{2\mu} - \alpha \right)}{\cos \frac{\pi}{2\mu}}$$

Решая полученное уравнение совместно с первым уравнением системы (4.9), определяем угол  $\alpha_{\Gamma}$ :

$$\alpha_{\Gamma} = \arccos\left(\cos^2 \frac{\pi}{2\mu}\right), (4.16)$$

Из (10) выразим значение  $q$  при  $\alpha = \alpha_{\Gamma}$ :

$$q_{\Gamma} = \frac{\cos\left(\alpha_{\Gamma} - \frac{\pi}{2\mu}\right) - \cos\left(\frac{\pi}{2\mu}\right)}{\left(1 - \alpha_{\Gamma} \frac{2\mu}{\pi}\right) \sin\left(\frac{\pi}{2\mu}\right) + \tan\left(\frac{\pi}{2\mu}\right) \sin\left(\alpha_{\Gamma} - \frac{\pi}{2\mu}\right)}, (4.17)$$

Для известных значений  $\mu$  из (4.17) с учетом (4.16) определяется  $q_{\Gamma}$ . при  $q < q_{\Gamma}$  имеет место двухинтервальный режим.[2]

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
150A20	Ван Бо

<b>Институт</b>	<b>ИНК/ИМОЯК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ПМЭ</b>
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	...
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	...

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	...
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	...
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	...

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Альтернативы проведения НИ
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

--	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент кафедры менеджмента	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
150A20	Ван Бо		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
151A20	Ван Бо

<b>Институт</b>	<b>ИМОЯК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ПМЭ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><i>Объектом исследования является резонансного преобразователя постоянного напряжения (РППН). РППН служит источником питания постоянного напряжения. На входе подключается напряжение 300В и на выходе источника 48В. Данный резонансный преобразователь постоянного напряжения применяется в бытовой технике, или в электронных устройствах, в которых требуются большая мощность и высокий коэффициент полезного действия.</i></p>
---	---

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p><i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;</li> <li>– повышенная или пониженная влажность воздуха;</li> <li>– повышенная или пониженная подвижность воздуха;</li> <li>– отсутствие или недостаток естественного света;</li> <li>– повышенный уровень шума на рабочем месте.</li> </ul> <p><i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность</li> <li>– пожаровзрывобезопасность</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul>	<p><i>Воздействие на окружающую среду сводится к минимуму, за счет отсутствия загрязняющих веществ, за исключением бытовых отходов, которые систематически утилизуются.</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p><i>Возможные ЧС на объекте:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– наводнение</li> </ul> <p><i>Меры по предупреждению последствий наводнения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Сооружение водосточных каналов.</li> <li>– Сооружение дамб.</li> </ul>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p><i>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– компоновка рабочей зоны.</li> <li>– режимы труда и отдыха</li> </ul>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кырмакова О.С			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
151A20	Ван Бо		