

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

Кафедра «Промышленная электроника»

**Методические указания для сдачи академической
задолженности по дисциплине:**

ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДГОТОВКА

ПОЗДНОВ М.В.

Тольятти 2025

Содержание

1	Формулировка задания.....	3
2	Варианты заданий	3
3	Правила выполнения и оформления задания.....	3
4	Требования к форме отчета. Содержание пояснительной записки.	4
5	Структура преобразователя	6
6	Расчет выпрямителя с фильтром	6
6.1	Расчет входного емкостного фильтра	7
6.2	Расчет входного LC фильтра	9
6.3	Выбор диодов выпрямителя.....	11
7	Расчет ИППН.....	12
7.1	Необходимое изменение коэффициента преобразования по напряжению ИППН при заданном выходном напряжении $U_{\text{вых}}$	13
7.2	Изменение коэффициента заполнения импульсов ИППН при изменении входного напряжения.	13
7.3	Принципы выбора индуктивности дросселя.....	13
7.4	Минимальный ток транзистора	14
7.5	Диапазон возможных амплитуд тока через транзистор для режима непрерывных токов.....	14
7.6	Выбор параметров элементов ИППН.	15
7.7	Выбор транзистора и диода.	15
7.8	Расчет выходного фильтра для ИППН.	16
7.9	Расчет параметров дросселя.....	17
	Литература	18

1 Формулировка задания

Спроектировать импульсный сетевой блок питания со структурой указанной в методических указаниях.

2 Варианты заданий

Необходимые данные для расчета преобразователя располагаются в Приложении 1.

3 Правила выполнения и оформления задания.

3.1 Проект должен представлять собой законченное описание спроектированного блока питания его отдельных элементов: фильтров, выпрямителя, импульсного преобразователя постоянного напряжения (ИППН), содержать схему электрическую принципиальную всего устройства и перечень элементов к нему.

3.2 Пояснительная записка (ПЗ) должна быть выполнена на стандартных сброшюрованных листах формата А4 со сквозной нумерацией страниц.

3.3 Техническое задание (ТЗ) выданное преподавателем должно быть подшито в ПЗ (Приложение 2), и располагаться сразу за титульным листом. Задание и титульный лист с неподписанным ТЗ на проверку не принимаются.

3.4 Выбор каждого элемента схемы должен сопровождаться обоснованием в соответствии с ТЗ.

3.5 Расчетные формулы должны сопровождаться расшифровкой обозначений. Численные значения должны подставляться в формулы и округляться до второго знака после запятой и иметь общепринятую размерность.

3.6 При использовании сведений из литературного источника в тексте записки необходимо давать ссылку в квадратных скобках.

3.7 Текстовые пояснения в записке должны быть краткими и точными. Выбранные элементы: транзисторы, диоды, конденсаторы, должны иметь документацию копию которой необходимо привести в приложении.

3.8 Полная схема усилителя должна быть выполнена в соответствии с ЕСКД с приложением перечня элементов, согласно ГОСТ 2.701-84 ЕСКД "Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению."

3.9 Пример титульного листа готового отчета приведен в Приложении 3.

3.10 Полная схема усилителя должна быть выполнена в соответствии с ЕСКД с приложением перечня элементов, согласно ГОСТ 2.701-84 ЕСКД "Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению."

4 Требования к форме отчета. Содержание пояснительной записки.

1. **Анализ задания.** В этом разделе необходимо представить структурную схему преобразователя, пояснить основные ее блоки и взаимодействия между ними. Раздел также должен содержать принципиальную схему с пояснением ее элементов и пояснением принципа работы устройства.

2. **Расчет выпрямителя с емкостным фильтром.** Раздел должен содержать расчет параметров выпрямителя и емкостного фильтра с последующим выбором элементов. Выбранные элементы выпрямителя обязательно должны в приложении поясняться копиями документации производителя, достаточной для выбора этих элементов. Расчет должен быть проиллюстрирован диаграммами изменения сетевого напряжения в масштабе при колебании в пределах $\delta_{вх}$, а также диаграммами изменения входного напряжения ИППН при колебаниях в пределах $\delta_{вх.иппн}$.

3. **Расчет импульсного преобразователя напряжения с тепловым расчетом радиатора и расчетом демпфирующей цепочки.** Раздел должен содержать поэлементный расчет каждого элемента ИППН и выходного фильтра. Как и в предыдущем пункте, выбранные элементы обязательно должны в приложении поясняться копиями документации производителя, достаточной для выбора этих элементов. В расчете должна быть диаграмма тока дросселя при выбранных его параметрах для случая $q=q_{min}$, $U_{иппн}=U_{иппн.min}$.

4. **Моделирование работы устройства** (диаграммы работы, сравнение с аналитической методикой, уточнение элементов). Производится моделирование работы устройства в любом пакете моделирования электронных схем (MicroCap, Matlab/Simulink, Microsim) результаты должны содержать диаграммы:

- минимальное и максимальное сетевое напряжение (масштаб по времени должен быть таким, чтобы умещалось 3 – 4 периода сетевого напряжения)
- напряжение на емкостном фильтре при минимальном и максимальном сетевом напряжении $U_{вх}$ (масштаб времени, как и в предыдущем пункте), совместить эти диаграммы с диаграммами из предыдущего пункта на одном графике
- напряжение на выходе ИППН (на выходном емкостном фильтре) при минимальном и максимальном сетевом напряжении (масштаб времени должен быть таким, чтобы на графике было несколько периодов с

частотой ИППН), масштаб по напряжению подобрать так, чтобы отчетливо была видна пульсация напряжения

- Ток дросселя при минимальном и максимальном сетевом напряжении (масштаб времени как в предыдущем пункте).

Все диаграммы должны моделироваться с полученными в ходе расчета параметрами ($U_{вх.min}$, $U_{вх.max}$, f , q_{min} , q_{max} , L , C).

5. Заключение

Раздел должен содержать обоснование полученных результатов, на основании диаграмм, полученных в результате моделирования, и доказательства полученного устройства с характеристиками в соответствии с техническим заданием.

6. Отдельную графическую часть. Ее содержание прописано в задании на проект.

5 Структура преобразователя

Структура импульсного блока питания приведена на рисунке 5.1.

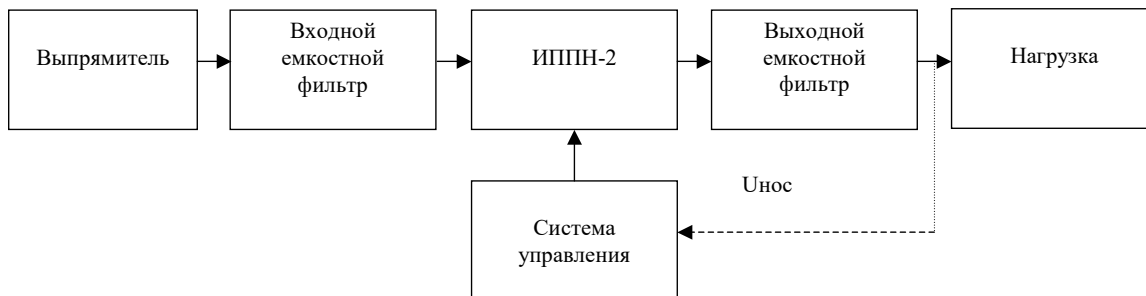


Рисунок 5.1 – Структурная схема преобразователя.

Проектируемый преобразователь предназначен для преобразования сетевого напряжения в стабилизированное постоянное напряжение. Уровень этого напряжения выше амплитудного напряжения сети. Преобразователь структурно состоит из мостового однофазного выпрямителя, осуществляющего выпрямление знакопеременного сетевого напряжения, которое далее сглаживается входным емкостным фильтром. Сглаженное напряжение повышается импульсным преобразователем постоянного напряжения (ИППН-2) и сглаживается на выходе выходным емкостным фильтром. Управление стабилизацией напряжения на нагрузке при изменении сетевого напряжения осуществляется системой управления (СУ) по сигналу обратной связи по напряжению с нагрузки. В данном проекте рассматривается расчет только силовой части, касающийся рассмотрения режимов его работы и выбора элементов и не рассматривается организация СУ и режимов ее работы.

Вариант заданий указан в приложении.

6 Расчет выпрямителя с фильтром

Выходное напряжение выпрямителя обычно сглаживается фильтрами напряжения, по структуре рис.6.1 они устанавливаются на входе ИППН. В силовых схемах чаще всего используют емкостные и индуктивно-емкостные фильтры. Первые используют обычно при небольших мощностях нагрузки (до 200 – 400 Вт), т.к. особенностями работы этих фильтров является импульсное потребление тока из сети, что неблагоприятно отражается на других потребителях сети и уменьшает КПД устройства. Индуктивно – емкостные фильтры имеют сглаженный ток потребления и позволяют добиться большего сглаживания выходного напряжения при тех же

массогабаритных показателях. Поэтому для дальнейшего расчета курсового проекта необходимо определиться с типом используемого фильтра.

6.1 Расчет входного емкостного фильтра

Для расчета емкостного фильтра установленного на выходе однофазного мостового выпрямителя [1], являющегося входным фильтром для ИППН, необходимы параметры:

- эквивалентная нагрузка R_e на выходе фильтра, т.е. нагрузки представляющей ИППН;
- действующее напряжение сети $U_{вх}$;
- амплитуда пульсаций на фильтре $U_{\sim}$.

Все параметры технического задания обозначенные δ , отражающие или относительные колебания напряжения или пульсации напряжения даны в процентах. Для уменьшения громоздкости формул, используемых далее, величины δ подставляются в формулы в долях от единицы.

Выходное напряжение фильтра изменяется от амплитудного U_m сетевого значения до минимального, определяемого допустимым уровнем размаха пульсаций $\delta_{вх.иппн}$ на входе ИППН (входном емкостном фильтре) по отношению к среднему напряжению на выходе U_d . Поэтому связь среднего напряжения U_d фильтра и амплитудного значения U_m входного сетевого напряжения из рисунка 5.1

$$U_d \left(1 + \frac{\delta_{вх.иппн}}{2} \right) = U_m, (1)$$

где $\delta_{вх.иппн}$ - уровень относительной пульсации напряжения на входе ИППН.

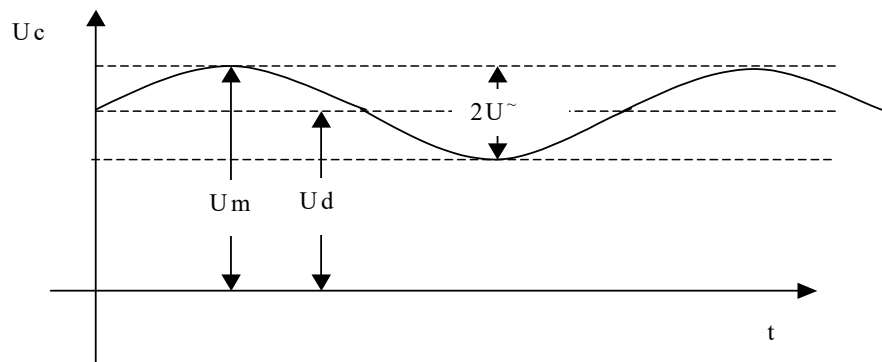


Рисунок 6.1 – Напряжение на емкости входного фильтра.

Тогда из (1) среднее напряжение U_d

$$U_d = \frac{U_m}{1 + \frac{\delta_{вх.иппн}}{2}}. (2)$$

Принимая во внимание связь амплитудного U_m и действующего напряжения сети

$$U_{\text{ex}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}},$$

получим из (2)

$$U_d = \frac{U_{\text{ex}} \sqrt{2}}{1 + \frac{\delta_{\text{ex.иппн}}}{2}}. (3)$$

Действующее напряжение в сети подвержено колебаниям и согласно заданию изменяется в диапазоне от $U_{\text{ex.min}} = U_{\text{ex}}(1 - \delta_{\text{ex}})$ до $U_{\text{ex.max}} = U_{\text{ex}}(1 + \delta_{\text{ex}})$. Следовательно, согласно (3) U_d изменяется в диапазоне от $U_{d.\text{min}}$ до $U_{d.\text{max}}$

$$U_{d.\text{min}} = \frac{\sqrt{2}U_{\text{ex.min}}}{1 + \frac{\delta_{\text{ex.иппн}}}{2}}; U_{d.\text{max}} = \frac{\sqrt{2}U_{\text{ex.max}}}{1 + \frac{\delta_{\text{ex.иппн}}}{2}}. (4)$$

Амплитуда пульсаций на выходе фильтра $U_m^{\sim}$ из определения $\delta_{\text{вх.иппн}}$, с учетом (4)

$$U_m^{\sim} = U_d \cdot \frac{\delta_{\text{ex.иппн}}}{2} = \frac{\sqrt{2}U_{\text{ex}}}{1 + \frac{\delta_{\text{ex.иппн}}}{2}} \cdot \frac{\delta_{\text{ex.иппн}}}{2} = \sqrt{2}U_{\text{ex}} \cdot \frac{\delta_{\text{ex.иппн}}}{2 + \delta_{\text{ex.иппн}}}. (5)$$

Максимально и минимально возможные напряжения на входном фильтре (рисунок 6.2) при колебаниях сети в диапазоне $(U_{\text{вх.min}}; U_{\text{вх.max}})$ и соответствующих колебаниях среднего напряжения $(U_{d.\text{min}}; U_{d.\text{max}})$.

$$U_{\text{иппн.max}} = U_{d.\text{max}} \cdot \left(1 + \frac{\delta_{\text{ex.иппн}}}{2}\right); U_{\text{иппн.min}} = U_{d.\text{min}} \cdot \left(1 - \frac{\delta_{\text{ex.иппн}}}{2}\right). (6)$$

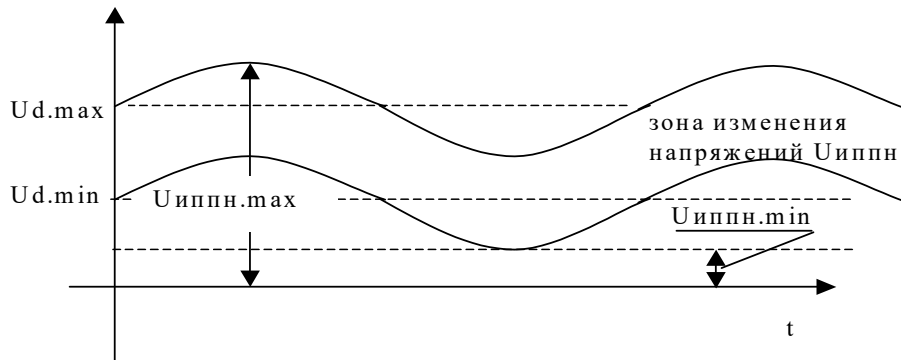


Рисунок 6.2 – Изменения напряжения на входном фильтре при изменении $U_{\text{вх}}$.

Эквивалентное сопротивление нагрузки выпрямителя с емкостным фильтром можно вычислить зная КПД ИППН и мощность нагрузки ИППН P_n

$$R_e = \frac{U_d^2}{\left(\frac{P_n}{\eta_{\text{иппн}}}\right)} (7)$$

где $\eta_{\text{иппн}}$ можно принять $\eta_{\text{иппн}} = 70\%$.

С колебаниями напряжения сети меняются и параметры R_e , U , необходимые для вычисления емкости фильтра C , согласно [1] емкость можно рассчитать:

$$C = \frac{1}{\left[\arccos \left(1 - \frac{2U_m}{\sqrt{2}U_{ex}} \right) \right]^2 f \cdot R_e}, \quad (8)$$

где $f=50$ Гц - частота сетевого напряжения.

Преобразуем это выражение с учетом (7) и (5)

$$C = \frac{P_n}{\left[\arccos \left(\frac{2 - \delta_{ex.мин}}{2 + \delta_{ex.мин}} \right) \right]^2 f \cdot U_d^2 \eta_{ПППН}}, \quad (9).$$

где U_d – среднее напряжение на входном фильтре, которое может изменяться в диапазоне от $U_{d.min}$ до $U_{d.max}$.

Формула показывает, что колебания напряжения U_d влияют на выбор C .

Выбираем большее значение C при колебаниях входного напряжения для гарантированного получения амплитуды пульсаций на выходе не менее, чем по техническому заданию.

Максимальное напряжение на конденсаторах не превышает амплитудного значения сетевого напряжения, т.е. $\sqrt{2} \cdot U_{ex.max}$.

Для емкостного фильтра выпрямителя обычно используют электролитические конденсаторы, обладающие высокими удельными массогабаритными показателями. При выборе конденсаторов необходимо обратить внимание на максимальное допустимое напряжение, уровень допустимой переменной составляющей и разброс емкости. Все эти показатели должны укладываться в рассчитанные по формулам выше. Обычно, для повышения ресурсности конденсаторов их недогружают по напряжению на 30-40%.

6.2 Расчет входного LC фильтра

LC-фильтры (индуктивно-емкостные фильтры) широко применяются при повышенных мощностях нагрузки, поскольку потребляемый ток от сети при этом сглажен и импульсный ток, протекаемый через вентили выпрямителя уменьшается, что ведет к лучшему их использованию по току и увеличивает надежность работы преобразователя.

Для эффективного сглаживания пульсаций таким фильтром необходимо, чтобы реактивное сопротивление конденсатора C на частоте пульсаций напряжения на нем было во много раз меньше сопротивления нагрузки R_e

$$\frac{1}{\omega_\phi C} \ll R_e,$$

где $\omega_\phi = 4\pi f$ - циклическая частота выходного напряжения пульсаций в мостовом выпрямителе.

Для дальнейшего расчета нужно определить необходимый коэффициент сглаживания фильтра равный отношению амплитуды напряжения на выходе фильтра (на входе ИППН) $U_{\text{ИППН}}$ к амплитуде $U_{\text{выпр.т}}$ на выходе выпрямителя

$$S = \frac{U_{\text{выпр.т}}}{U_m}.$$

Предполагается, что расчет в дальнейшем будет проводиться для режима непрерывных токов дросселя потому $U_{d.\min}$ и $U_{d.\max}$ будет отличаться от найденных по (4) и далее именно эти значения необходимо использовать для расчетов:

$$U_{d.\min} = \frac{\sqrt{2}U_{\text{ex.min}}}{\pi/2}; U_{d.\max} = \frac{\sqrt{2}U_{\text{ex.max}}}{\pi/2}.$$

Связь между средним напряжением U_d на выходе выпрямителя и амплитудой $U_{\text{выпр.т}}$ первой гармоники для двухполупериодных выпрямителей в режиме непрерывного тока

$$U_{\text{выпр.т}} = U_d \cdot 0,67. \quad (10)$$

Таким образом, исходя из (5) и (10), требуемый от LC-фильтра коэффициент сглаживания

$$S = \frac{U_{\text{выпр.т}}}{U_m} = \frac{1,33}{\delta_{\text{ex.ИППН}}}. \quad (11)$$

Обычно для исключения резонансных явлений в фильтре рекомендуется выбирать $S > 3$.

С другой стороны, в теории фильтров в случае пренебрежения активной составляющей дросселя перед реактивной для LC-фильтра

$$S = \frac{U_{\text{выпр.т}}}{U_m} = LC\omega_\phi^2 - 1. \quad (12)$$

Приравняв (11) и (12) можно выразить соотношение LC для необходимого фильтра

$$LC = \frac{1}{\omega_\phi^2} \left(\frac{1,33}{\delta_{\text{ex.ИППН}}} + 1 \right). \quad (13)$$

Выведенное соотношение справедливо, если на протяжении работы выпрямителя ток всегда течет в нагрузку. Для обеспечения этого процесса необходимо выполнение условия непрерывности тока дросселя, которое в случае пренебрежения активной составляющей дросселя для двухполупериодного выпрямителя выражается

$$L > \frac{2R_e}{3\omega_\phi}. \quad (14)$$

где $R_e = \frac{U_{d.\min}^2}{\left(\frac{P_n}{\eta_{\text{ИППН}}} \right)}$, а $U_{d.\min}$ рассчитан выше в данном пункте.

Таким образом, после выбора индуктивности L емкость конденсатора определяется по (13).

Выбор типа конденсатора производят по рекомендациям пункта 5.1.

Для выбора (расчета) дросселя необходимо знать индуктивность L , полученную в (14) и действующее I_d значение тока дросселя.

Ток дросселя состоит из двух основных составляющих: постоянной I_d и тока пульсирующей гармоники с амплитудой I_{dm} .

Очевидно, что действующее значение такого сигнала, представляющего сумму постоянного и синусоидального сигнала можно выразить:

$$I_d = \sqrt{I_d^2 + (I_{dm})^2}, (15)$$

где $I_d = \frac{P_n / \eta_{ПППН}}{U_{d.min}}$ - максимальный средний ток.

Амплитуду тока через дроссель I_{dm} , пренебрегая активной составляющей нагрузки и учитывая (10) можно найти

$$I_{dm} = \frac{U_{выпр.m}}{\omega_\phi L - 1/\omega_\phi C} = \frac{U_{d.max} \cdot 0,67}{\omega_\phi L - 1/\omega_\phi C}.$$

Далее, необходимо выбрать готовый из предлагаемых на рынке дросселей или спроектировать новый.

В случае выбора готового дросселя, очевидно, необходимо будет уточнить по выбранному новому L действующий ток дросселя из (15).

6.3 Выбор диодов выпрямителя

Выбор диодов выпрямителя производится по двум параметрам:

- Максимальному повторяющемуся напряжению $U_{VD.max}$ в закрытом состоянии
- Среднему току I_{VD} в прямом направлении.

6.3.1 Максимальное повторяющееся напряжение на диодах не превышает для мостовой схемы амплитудного напряжения сети. Поэтому при выборе диодов должно выполняться условие $U_{VD.max} > \sqrt{2} \cdot U_{ex.max}$.

6.3.2 Средний ток I_{VD} через диоды связан со средним током $I_{дн}$ через нагрузку и вычисляется исходя из мощности P_n и среднего напряжения на нагрузке

$$I_{дн} = \frac{P_n / \eta_{ПППН}}{U_d} = \frac{P_n}{U_d \cdot \eta_{ПППН}} (11)$$

Тогда средний ток через каждый диод.

$$I_{VD} = \frac{I_{дн}}{2}.$$

Максимально возможный средний ток через диоды будет при минимальном $U_{d.min}$ по (4). Тогда расчетный средний ток для выбора диодов

$$I_{VD} = \frac{I_{dн}}{2} = \frac{P_n}{2U_{d.min} \cdot \eta_{ИППН}}.$$

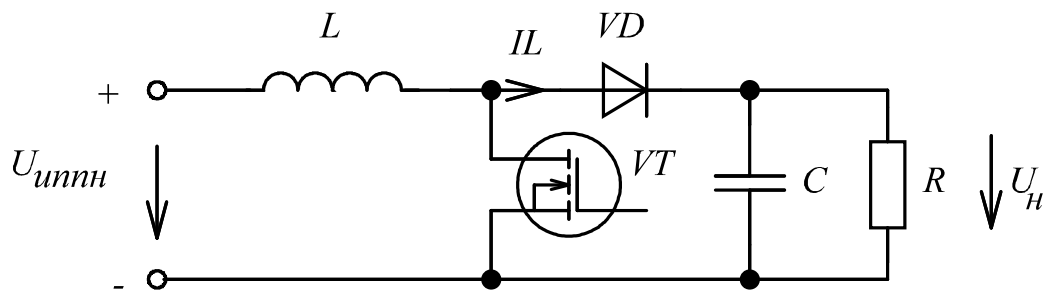
Средний ток по справочнику для диодов не должен превышать I_{VD} . Обычно, для увеличения ресурса работы диодов их недогружают по току и по напряжению на 30–40 %.

7 Расчет ИППН

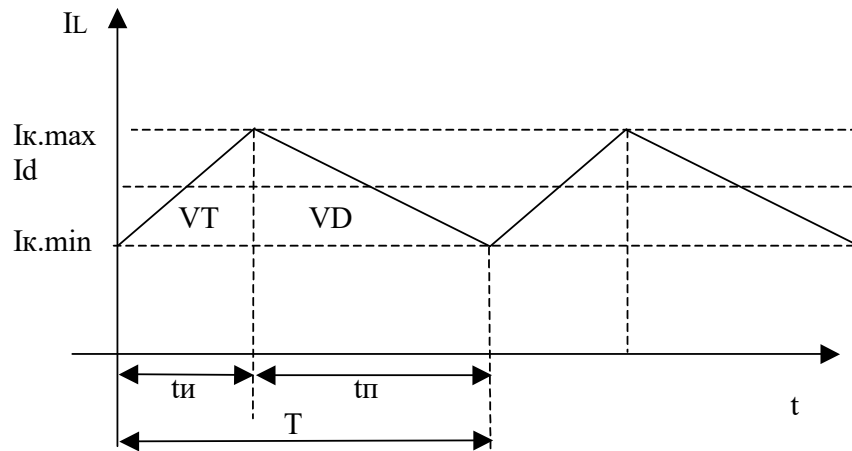
Схема ИППН приведена на рисунке 7.1,а. ИППН содержит последовательно включенный на входе схемы дроссель L , который периодически коммутируется транзисторным ключом VT на источник. В точку соединения дросселя и транзистора, подключен диод VD . Второй вывод, которого соединен с выходным емкостным фильтром C и нагрузкой R_n .

Принцип работы схемы заключается в последовательном включении и выключении транзистора на интервалах $t_{и}$ и $t_{п}$. На первом интервале (рис.3.1б) ток дросселя нарастает от минимального $I_{k.min}$ до максимального значения $I_{k.max}$, при этом в дросселе накапливается энергия, а нагрузка отключена от источника диодом VD и потребляет энергию из выходного емкостного фильтра C . На втором интервале ключ закрывается и ток протекающий через дроссель не может изменить своего значения и направления, при этом образуется новый контур протекания тока плюс источника – дроссель - диод - нагрузка и минус источника. Под действием встречного напряжения нагрузки ток спадает, а энергия из сети и дросселя сбрасывается в нагрузку.

Этот преобразователь осуществляет повышение входного напряжения за счет выделяющейся добавочной противоэдс на дросселе, которая суммируется с входным напряжением и прикладывается к нагрузке. Регулируя интервалы управления можно регулировать выходное напряжение от уровня входного напряжения до бесконечности (теоретически), однако, учитывая потери в элементах схемы регулирование ограничивается сверху этого диапазона.



а)



б)

Рисунок 7.1 – Схема ИППН и диаграмма тока дросселя.

7.1 Необходимое изменение коэффициента преобразования по напряжению ИППН при заданном выходном напряжении $U_{\text{вых}}$

$$k_{\text{max}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{ИППН.min}}}, k_{\text{min}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{ИППН.max}}}, (17)$$

где $U_{\text{ИППН.min}}$, $U_{\text{ИППН.max}}$ - колебания напряжения на входе ИППН вычисленные по (6).

7.2 Изменение коэффициента заполнения импульсов ИППН при изменении входного напряжения.

Для регулирования напряжения в пределах коэффициента по п.7.1.

необходимо изменять скважность q импульсов t_u в периоде T : $q = \frac{T}{t_u}$, которая связана к коэффициентом преобразования напряжения ИППН [1] в режиме непрерывного тока дросселя:

$$q = \frac{k}{k-1}. (18)$$

Тогда для стабилизации выходного среднего напряжения скважность при изменении входного напряжения должна изменяться в пределах

$$q_{\text{min}} = \frac{k_{\text{max}}}{k_{\text{max}}-1}; q_{\text{max}} = \frac{k_{\text{min}}}{k_{\text{min}}-1}. (19)$$

7.3 Принципы выбора индуктивности дросселя.

Полагая на этапе включенного ключа VT линейное нарастание тока (рисунок 7.1) из соотношения напряжения и тока для индуктивности определим L

$$L \frac{di}{dt} = U_{\text{ИППН}} \Rightarrow L \frac{\Delta i}{\Delta t} = U_{\text{ИППН}} \Rightarrow L = \frac{U_{\text{ИППН}} \Delta t}{\Delta i} = \frac{U_{\text{ИППН}} t_u}{\Delta i}, (20)$$

где Δi – изменение тока за время импульса,

$\Delta t = t_u$ - интервал импульса,

$U_{\text{ИППН}}$ – напряжение на входе ИППН.

По рис.3.1 из геометрических принципов и определению среднего значения функции можно определить средний ток I_d ИППН, потребляемый по входу

$$I_d = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt = \frac{1}{T} \left(\frac{I_{k.\max} + I_{k.\min}}{2} t_u + \frac{I_{k.\max} + I_{k.\min}}{2} t_n \right) = \frac{I_{k.\max} + I_{k.\min}}{2T} T = \frac{I_{k.\max} + I_{k.\min}}{2}. (21)$$

Выражая в (20) $I_{k.\min}$ через I_d можно определить изменение тока на периоде Δi

$$\Delta i = I_{k.\max} - I_{k.\min} = I_{k.\max} - (2I_d - I_{k.\max}) = 2(I_{k.\max} - I_d), (22)$$

$I_{k.\max}$ – максимальный ток дросселя (транзистора),

I_d – средний ток ИППН, потребляемый по входу.

Из (20), (21) заменяя I_d через мощность P_n и напряжение $U_{\text{ИППН}}$

$$L = \frac{U_{\text{ИППН}} t_u}{2(I_{k.\max} - I_d)} = \frac{U_{\text{ИППН}} t_u}{2(I_{k.\max} - \frac{P_n}{U_{\text{ИППН}}})} (23)$$

Заменяем t_u в (23) через связь $t_u = T/q$ и $f_{\text{ИППН}} = 1/T$

$$L = \frac{U_{\text{ИППН}}}{2 \cdot f_{\text{ИППН}} \cdot q \cdot (I_{k.\max} - \frac{P_n}{U_{\text{ИППН}}})}. (24)$$

Из соотношения (24) видно, что параметры дросселя: максимальный ток $I_{k.\max}$ и индуктивность L связаны.

Для дальнейших расчетов необходимо принять $U_{\text{ИППН}} = U_{\text{ИППН.min}}$, так как при меньшем входном напряжении ИППН на ту же мощность потребляет больший средний входной ток, именно он определяет в конечном счете габариты дросселя и установленную мощность диода и транзистора, при этом в соответствии с (17) и (19) при $U_{\text{ИППН.min}} k = k_{\max}$, а $q = q_{\min}$.

7.4 Минимальный ток транзистора

$$I_{k.\min} = I_{k.\max} - \frac{U_{\text{ИППН}} \cdot t_u}{L} = I_{k.\max} - \frac{U_{\text{ИППН}}}{L \cdot q \cdot f_{\text{ИППН}}}. (25)$$

7.5 Диапазон возможных амплитуд тока через транзистор для режима непрерывных токов

$$\frac{P_n}{U_{\text{ИППН}}} \leq I_{k.\max} \leq \frac{2P_n}{U_{\text{ИППН}}}. (26)$$

Верхняя граница соотношения (26) определяет режим перехода от режима непрерывного тока дросселя к прерывистому режиму, нижняя – соответствует режиму абсолютно сглаженного тока дросселя [2].

В режиме соответствующим верхней границе амплитудные значения токов транзистора и диода в два раза больше, чем средний потребляемый ток, однако энергия дросселя получится минимальной. В режиме соответствующим нижней границе энергия и индуктивность дросселя будут бесконечно большими, при этом токи транзистора и диода будут минимальными и равными среднему потребляемому схемой току.

7.6 Выбор параметров элементов ИППН.

Подставляя параметры, указанные в диапазоне (26) в (24) получается зависимость $L(I_{k.max})$, которая говорит о возможно построения множества ИППН на указанные в техническом задании параметры с разными $I_{k.max}$ и индуктивностью дросселя L .

Принимая $q=q_{min}$, $U_{ИППН}=U_{ИППН.min}$ как было отмечено в п.3.3 и изменяя $I_{k.max}$ в диапазоне (26), необходимо просчитать L , а по (25) $I_{k.min}$ и заполнить таблицу 3.1 для окончательного выбора параметров ИППН [2].

Таблица 7.1– Варианты выбора параметров.

Максимальный ток транзистора $I_{k.max}$, А	Минимальный ток транзистора $I_{k.min}$, А	Индуктивность дросселя L , Гн	Максимальная энергия дросселя W , Дж

Выбор окончательного варианта производится из конкретной, имеющейся в наличии разработчика элементной базы (транзисторов, диодов, комплектующих для дросселя).

7.7 Выбор транзистора и диода.

7.7.1 При выборе транзистора и диода в ИППН необходимо обратить внимание на их быстродействие.

Время включения и выключения транзистора должно быть много меньшим (минимум на два порядка), чем период T коммутаций ИППН.

Время обратного восстановления диода также должно быть много меньше периода коммутаций.

7.7.2 Обратное напряжение на диоде и транзисторе не превышает $U_{н.max}$. Обычно на небольшие - менее 600 В напряжения, применяют полевые транзисторы, при большем напряжении используют IGBT транзисторы.

На небольшие рабочие обратные напряжения используют диоды Шоттки, на большие, в основном, быстродействующие диоды на основе кремния.

7.7.3 Выбор полупроводниковых приборов также осуществляется по классификационному току, указываемому для диодов и транзисторов, который должен быть не менее выбранного в п.7.6. $I_{k.max}$. Для увеличения ресурса работы по напряжению и по току необходимо недогружать приборы на 30-40%.

7.8 Расчет выходного фильтра для ИППН.

7.8.1 Емкость конденсатора фильтра

Максимальное напряжение на выходе ИППН

$$U_{н. max} = U_{вых} \left(1 + \frac{\delta_{вых}}{2}\right).$$

На интервале t_u закрытого транзистора идет разряд выходного конденсатора на нагрузку по закону:

$$U_c(t) = U_{н. max} e^{-t/RC}. \quad (29)$$

За время t_u , конденсатор разрядится на $\Delta U_n = U_{н. max} (1 - e^{-t_u/RC})$

Значит пульсации выходного напряжения, через параметры выходной емкости C и нагрузки R :

$$\delta_{вых} = \frac{\Delta U_n}{U_n} = \frac{U_{н. max} (1 - e^{-t_u/RC})}{U_{н. max} - \frac{\Delta U_n}{2}} = \frac{U_{н. max} (1 - e^{-t_u/RC})}{U_{н. max} - \frac{U_{н. max} (1 - e^{-t_u/RC})}{2}} = \frac{2 \cdot (1 - e^{-t_u/RC})}{1 + e^{-t_u/RC}}, \quad (30)$$

где U_n – среднее значение выходного напряжения,

$U_{н. max}$ – максимальное значение выходного напряжения.

Отсюда можно найти C

$$C = - \frac{t_u}{\ln \left[\frac{2 - \delta_{вых}}{2 + \delta_{вых}} \right] \cdot R_n}, \quad (31)$$

учитывая, что $R_H = \frac{U^2}{P_H}$

$$C = - \frac{t_u \cdot P_n}{\ln \left[\frac{2 - \delta_{вых}}{2 + \delta_{вых}} \right] \cdot U_{вых}^2}. \quad (32)$$

Так как режим ИППН меняется в зависимости q , то для обеспечения пульсаций на выходе ИППН не превышающих указанных в техническом задании необходимо, чтобы C была максимальной. Как видно из (32) это достигается при наибольшей t_u .

Время t_u можно определить

$$t_u = \frac{T}{q_{min}}. \quad (33)$$

Окончательно для определения емкости C необходимо t_u по (33) подставить в (32).

7.8.2 Максимальное напряжение на емкости выходного фильтра равно $U_{н. max}$.

7.8.3 Рекомендации по выбору конденсаторов.

По выходной емкости, устанавливаемой на выход ИППН, протекают импульсные токи с частотой коммутаций равной частоте работы ИППН. Эта частота составляет десятки – сотни килогерц. Использование компактных оксидных однополярных конденсаторов непредпочтительно, в связи с повышенной индуктивностью конденсаторов и большими потерями в них на

этих частотах. Для уменьшения потерь от высокочастотной составляющей тока к основному – электролитическому конденсатору параллельно подключают высокочастотный, например, керамический. При небольшой емкости возможна установка только высокочастотного конденсатора. По документации необходимо убедиться, что данный конденсатор (сочетание параметров тип-номинал напряжения-емкость) **допускает заданную амплитуду переменной составляющей** напряжения $\Delta U_{\text{н}}$ при данной частоте.

7.9 Расчет параметров дросселя.

Для расчета (выбора) дросселя необходимы:

- максимальный ток через дроссель численно равный $I_{k.\text{max}}$ и выбранный по таблице 7.1
- индуктивность L , выбранная по таблице 7.1
- действующий ток I_L .

7.9.1 Действующий ток I_L через дроссель можно определить исходя из диаграммы тока дросселя (см.рисунок 7.1).

Так как ток всюду непрерывен и состоит из линейных участков, то по определению действующего значения тока можно записать

$$I_L = \sqrt{\frac{1}{T} \left[\int_0^{t_u} \left(I_{k.\text{min}} + \frac{I_{k.\text{max}} - I_{k.\text{min}}}{t_u} t \right)^2 dt + \int_0^{T-t_u} \left(I_{k.\text{max}} - \frac{I_{k.\text{max}} - I_{k.\text{min}}}{T-t_u} t \right)^2 dt \right]} \quad (21).$$

Выбор параметров дросселя необходимо провести по методике [1, с.76-85].

Дополнительно для реальных конструкций надо учитывать, что расчет размера сечения проводника определяет дополнительные потери на вихревые токи и может существенно увеличивать потери в дросселе в целом. Поэтому часто обмотку наматывают из нескольких изолированных друг от друга проводников меньшего сечения, так чтобы сечение такого провода было равно расчетному. Рациональный выбор этого числа приведен в методике [4].

Литература

1. Мелешин, В.И. Особенности работы выпрямителя на емкостной фильтр / В.И. Мелешин // Транзисторная преобразовательная техника.- М.: Техносфера, 2006 . – С.203-208.

2. Ненахов, С.А. Инженерные расчеты импульсных регуляторов напряжения / С.А. Ненахов, А.Н. Кукаев // Электрическое питание .- 2005 .- №4 .- С.25 – 28.

3. Уильямс, Б. Силовая электроника: приборы, применение, управление. Справ.пособ: Пер. с англ.-М.: Энергоатомиздат, 1993.-240с.

4. Семенов, Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов .-М: СОЛОН-3, 2001.-327с.

Варианты

Частота сети $f=50$ Гц, действующее входное напряжение $U_{вх}=220$ В,

Вар. №	P_n , Вт	$U_{вых}$, В	$f_{ишпн}$, кГц	$\delta_{вых}$, %	$\delta_{вх}$, %	$\delta_{вх.ишпн}$, %
А	50	500	10	1	5	0,5
Ба-Бл	50	800	50	5	1	1
Бм-Бя	50	1000	40	5	5	2
Ва-Вж	50	1000	50	1	3	3
Вз-Вл	100	500	50	3	2	8
Вм-Вя	100	800	70	4	1	10
Га-Гл	100	1000	40	5	5	0,5
Гм-Гя	100	1000	10	1	5	1
Да-Дл	500	500	10	2	10	2
Дм-Дя	500	800	50	3	10	3
Е	500	1000	20	5	5	8
З	500	1000	10	1	1	10
И	1000	500	10	5	20	0,5
Ка-Рж	1000	800	50	3	30	1
Кз-Кл	2000	1000	10	2	10	2
Км-Кя	2000	1000	20	1	10	3
Ла-Лж	2000	1000	20	5	1	8
Лз-Лл	10000	1000	100	5	10	10
Лм-Ля	10000	1000	100	10	5	0,5
Ма-Мж	10000	1000	10	10	1	1
Мз-Мл	400	1000	10	1	2	2
Мм-Мя	800	600	10	5	3	3
Н	300	700	50	1	8	8
О	900	900	20	3	10	10
Па-Пж	200	1500	100	1	10	0,5
Пз-Пл	100	500	10	0,5	10	1
Пм-Пя	1000	700	20	1	5	2
Р	3000	1000	10	0,2	1	3
Са-Сж	4000	400	50	3	20	8
Сз-Сл	5000	1000	20	8	3	10
См-Ся	5000	1000	100	10	8	0,5
Та-Тл	5000	1000	100	1	10	1
Тм-Тя	5000	1000	100	10	1	2
У	100	500	1	2	10	2
Ф	200	600	5	1	10	3
Х	300	700	10	5	1	8
Ц	400	800	20	5	10	10
Ч	500	900	50	1	2	2
Ш-Щ	600	1000	10	5	3	3
Э-Я	700	800	5	1	8	8

Бланк технического задания

ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТ
ПО “ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКЕ”

ВАРИАНТ № _____

Студенту _____ Группа _____

1. Тема проекта: Импульсный блок питания.

2. Исходные данные: мощность нагрузки $P_n = \text{_____}$ кВт, частота сети $f = 50$ Гц, действующее входное напряжение $U_{вх} = 220$ В, колебания входного напряжения $\delta_{вх} = \text{_____}$ %, выходное среднее напряжение $U_{вых} = \text{_____}$ В, пульсации напряжения на входе ИППН $\delta_{вх.иппн} < \text{_____}$ %, частота работы ИППН $f_{иппн} = \text{_____}$ кГц, пульсации напряжения на выходе иппн $\delta_{вых} < \text{_____}$ %.

3. Содержание расчетно-пояснительной записки: 1. Анализ задания (структурная схема, принцип работы). 2. Расчет выпрямителя с емкостным фильтром (методика, выбор элементов). 3. Расчет импульсного преобразователя напряжения (методика, выбор элементов). 4. Моделирование работы устройства (диаграммы работы, сравнение с аналитической методикой, уточнение элементов). 5. Заключение.

4. Перечень обязательного графического материала необходимого для отражения в пояснительной записке :

1. Структурная и уточненная принципиальная схемы устройства

2. Диаграммы моделирования работы устройства

5. Срок сдачи законченного проекта _____ 20 ____ г.

Задание выдано _____ 20 ____ г. Руководитель _____

Принял к исполнению _____ 20 ____ г. Студент _____

Бланк титульного листа

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

Кафедра «Промышленная электроника»

ОТЧЕТ

ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДГОТОВКА

ОБУЧАЮЩЕГОСЯ А.С. Шестова

(подпись)

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

ГРУППА ЭЛБ-2001a

**РУКОВОДИТЕЛЬ
ПРОЕКТА** М.В. ПОЗДНОВ

ОЦЕНКА _____