



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЦЕНТР ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Робототехника и мехатроника»

## **Определение коэффициентов пульсации пульсаций напряжения неуправляемого преобразователя с фильтрами**

Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплинам:

**«Электрические и гидравлические приводы мехатронных и робототехнических систем»**

**«Электронные устройства мехатронных и робототехнических систем»**

**Авторы:**  
**Карнаухов Н.Ф.**  
**Филимонов М.Н.**

Ростов-на-Дону, 2012



Определение коэффициентов пульсации напряжения  
неуправляемого преобразователя с фильтрами

## Авторы:

**Карнаухов Николай Федорович** (р.1938), профессор кафедры «Робототехника и мехатроника» ДГТУ, кандидат технических наук (1984). Окончил Уральский электромеханический институт (1963). Область научных интересов: электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов, полупроводниковые преобразователи частоты промышленных установок и устройств электрохимической защиты подземных металлических сооружений от коррозии.

**Филимонов Максим Николаевич** Заместитель декана факультета «Автоматизация, мехатроника и управление», старший преподаватель кафедры «Робототехника и мехатроника».





## Оглавление

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	4
2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	4
3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	9
4. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПРОРАБОТКИ.....	9
5. ТЕСТЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СТЕПЕНИ УСВОЕНИЯ МАТЕРИАЛА .....	10
ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ .....	12



## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение принципа действия и основных характеристик неуправляемого выпрямителя, а также ознакомление с видами и особенностями построения фильтров, влияющих на коэффициенты пульсаций выпрямленного напряжения.

## 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для питания исполнительных электродвигателей постоянного тока, силовых элементов энергетического канала ЭМ и МС, приводов роботов и устройств различного назначения постоянным током, а также электронных устройств управления требуется постоянное напряжение различной величины. В качестве первичного источника электрической энергии в большинстве случаев используется промышленная сеть переменного напряжения частотой 50 Гц. Для преобразования переменного напряжения в постоянное напряжение заданной величины и допустимой пульсации применяют неуправляемые выпрямители с разными по структуре фильтрами. Обычно в состав источника питания входит трансформатор, выпрямитель, сглаживающий фильтр (электронный стабилизатор постоянного напряжения для цепей управления). В зависимости от назначения и условий работы отдельные элементы преобразовательного устройства могут отсутствовать.

Трансформатор напряжения преобразует переменное напряжение сети до величины, определяемой требованиями нагрузочного устройства и с учетом падения напряжения на промежуточных элементах, функциональных узлах схемы.

Преобразователь (выпрямитель) обеспечивает в нагрузочном устройстве ток одного направления. Существует однополупериодное и двухполупериодное выпрямление переменного многофазного, однофазного напряжения. В настоящей работе используются однополупериодный и мостовой двухполупериодный выпрямители. Принципиальная электрическая схема такого источника питания представлена на рис.1. С помощью переключения тумблером S2 обеспечивается режим работы однополупериодного или мостового двухполупериодного выпрямителя.

При однополупериодном выпрямлении открыты диоды VD1 и VD4, когда ключ S1 замкнут, а ключ S2 разомкнут.

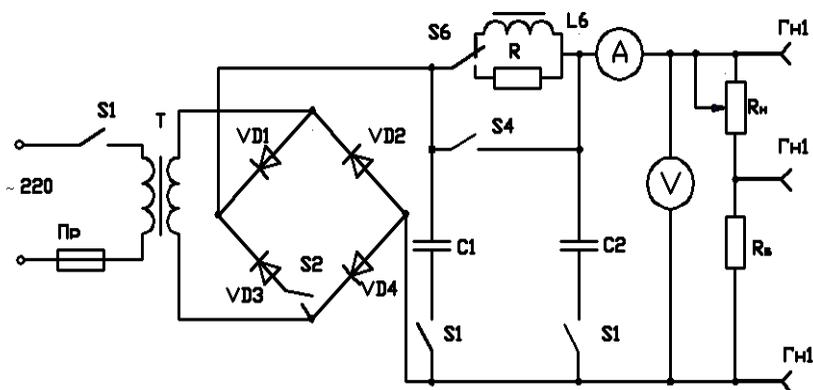


Рис. 1. Электрическая схема выпрямителей с фильтрами

Во второй полупериод полярность напряжения на вторичной обмотке трансформатора изменяется на противоположную, что изменяет (условно) полярность включения диода VD1 при однополупериодном выпрямлении в обратном направлении, то есть все напряжение вторичной обмотки трансформатора будет приложено к закрытому диоду, ток в цепи нагрузки будет отсутствовать. Таким образом, при однополупериодном выпрямлении диоды VD1 и VD4 будут открыты в первый полупериод питающего напряжения со стороны вторичной обмотки трансформатора, а во второй полупериод - диоды VD2 и VD3 закрыты и в нагрузочном резисторе ( $R_n + R_b$ ) ток не протекает.

Выпрямленное напряжение на нагрузочном устройстве имеет пульсирующий характер и для однополупериодного выпрямителя среднее значение такого напряжения при частоте 50 Гц составит

$$U_{н.ср} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} \cdot U_2 \cdot \sin \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2} \cdot U_2}{\pi} \quad (1)$$

При разложении в ряд Фурье выходного напряжения однополупериодного выпрямителя можно записать



$$\sqrt{U_n} = U_{н.ср} \left( 1 + \frac{\pi}{2} \cdot \cos \omega t + \frac{2}{3} \cos 2\omega t - \frac{2}{15} \cos 4\omega t + \dots \right) \quad (2)$$

Коэффициент пульсации однополупериодного выпрямителя определяется отношением амплитуды основной (первой) гармоники к среднему выпрямленному напряжению

$$R_n = \frac{U_{н.ср} \cdot \frac{\pi}{2}}{U_{н.ср}} = \frac{\pi}{2} \approx 1.57 \quad (3)$$

Анализ электрических параметров позволяет сделать вывод о недостатках этого выпрямителя: повышенный коэффициент пульсации, заниженные значения выпрямленных токов и напряжений.

Если замкнуты ключи S1 и S2, то имеет место режим двухполупериодного выпрямления и в нагрузочном резисторе ( $R_n + R_b$ ) протекает постоянный ток с частотой пульсаций 100 Гц. При этом среднее значение выпрямленного напряжения

двухполупериодного выпрямителя составит

$$U_{н.ср} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} \cdot U_2 \cdot \sin \omega t d\omega t = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_2}{\pi} \quad (4)$$

Разложив напряжение  $U_{н.ср}$  в ряд Фурье

$$U_n = U_{н.ср} \left( 1 + \frac{2}{3} \cos 2\omega t - \frac{2}{15} \cos 4\omega t + \dots \right), \quad (5)$$

получим численные значения коэффициента пульсации выпрямителя.

Отношение амплитуды основной гармоники к выпрямленному напряжению определяет коэффициент пульсации для двухполупериодного мостового выпрямителя, значение которого определяют из выражения

$$K_n = \frac{U_{н.ср} \cdot \frac{2}{3}}{U_{н.ср}} - \frac{2}{3} \approx 0.67 \quad (6)$$



Для питания большинства электронных устройств управления напряжение с таким коэффициентом пульсации не используют с целью исключения нестабильности в работе устройства в целом и уменьшения помех. Для снижения пульсаций выпрямленных напряжений и токов в силовых и слаботочных цепях управления преобразователей часто применяют различные сглаживающие фильтры.

В качестве элементов сглаживающих фильтров применяют индуктивные катушки и конденсаторы, сопротивление которых зависит от частоты гармонических составляющих напряжения (тока). В данной работе используются однозвенные и многозвенные фильтры.

К однозвенным относятся индуктивный, резисторный и емкостный фильтры, которые включаются (рис.1.) параллельно нагрузочному резистору  $R_n$ .

К многозвенным фильтрам относятся Г-образные и П-образные фильтры типа LC и RC. Эффективность работы сглаживающих фильтров определяется двумя показателями:

- коэффициентом пульсации  $K_n$ , равным отношению амплитудного значения основной гармоники выпрямленного напряжения  $U_m$  к постоянной составляющей, равной среднему выпрямленному напряжению  $U_{н.ср}$ , т.е.

$$K_n = \frac{U_m}{U_{н.ср}} \quad (7)$$

-коэффициентом сглаживания  $q$ , равным отношению коэффициентов пульсации на входе  $K_{вх}$  и выходе фильтра  $K_{вых}$

$$q = \frac{K_{вх}}{K_{вых}} \quad (8)$$

При работе выпрямительного устройства с ростом тока нагрузки увеличиваются внутренние потери напряжения на силовых элементах выпрямителя, наблюдается падение выпрямленного напряжения на зажимах преобразователя. Зависимость

$$U_n = f(J_n) \quad (9)$$

называют внешней характеристикой преобразователя, являющейся одной из важнейших характеристик выпрямительного устройства.

Из-за изменений сопротивления нагрузки нагрузочного устройства и изме-



Определение коэффициентов пульсаций напряжения неуправляемого преобразователя с фильтрами

нений напряжения сети выпрямленное напряжение на нагрузочном устройстве может меняться, что, иногда, может оказаться недопустимым для питания электронных устройств. В связи с этим возникает необходимость стабилизации выпрямленного напряжения. Стабилизация осуществляется с помощью дополнительного устройства, называемого стабилизатором, которое включают между фильтром и нагрузкой.

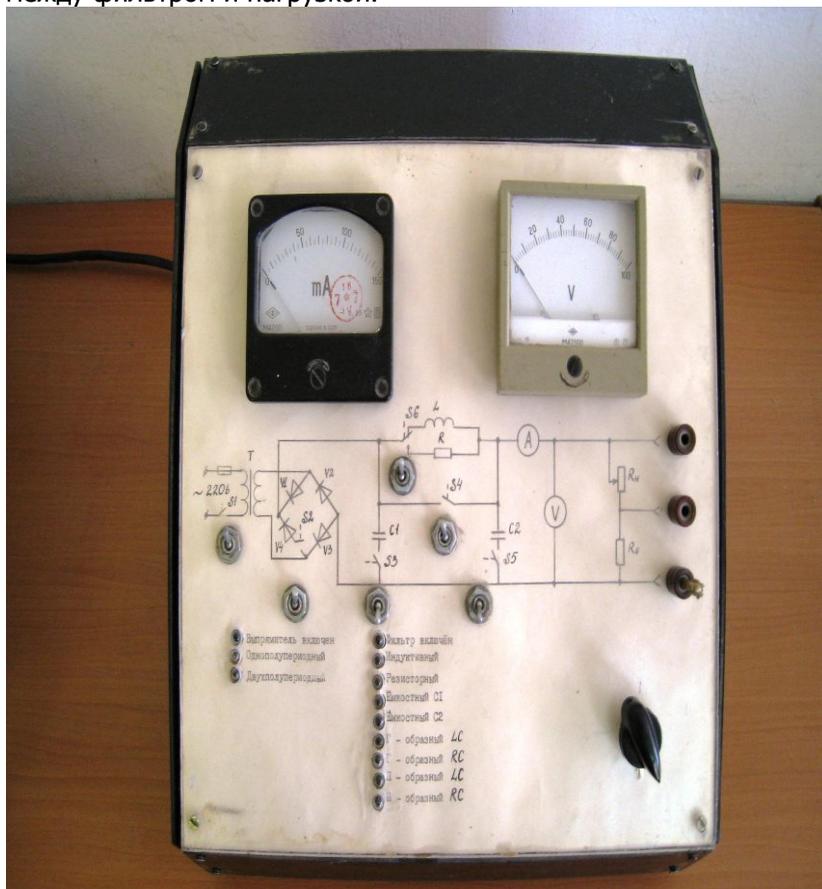


Рис. 2 - Лабораторный стенд для исследования фильтров неуправляемого выпрямителя



### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 3.1. Ознакомиться с методическим указанием для проведения лабораторной работы.
- 3.2. Вычертить принципиальную электрическую схему источника питания в бланк отчета.
- 3.3. Подключить осциллограф к выходным клеммам лабораторного макета и включить сеть питания  $U_c \approx 220 \text{ В}$ .
- 3.4. Ознакомиться с лабораторным макетом и его управлением посредством переключения режимов работы источника питания.
- 3.5. Выполнить исследования энергетических характеристик неуправляемого однополупериодного и двухполупериодного выпрямителя и фильтров.
- 3.6. Результаты исследования занести в таблицу наблюдений.
- 3.7. Зарисовать формы выпрямленных электрических сигналов с экрана осциллографа.
- 3.8. Выполнить расчеты коэффициентов пульсации и сглаживания исследуемых фильтров, используя при этом выражения (7) и (8).
- 3.9. Построить графики внешних характеристик исследуемого источника питания.
- 3.10. Сделать заключение по результатам проделанных исследований преобразователя с качественной оценкой работы фильтров.
- 3.11. Оформить отчет и представить его к защите.

### 4. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПРОРАБОТКИ

1. С какой целью устанавливаются фильтры в силовых цепях ЭМ и МС ?
2. Почему RC-фильтры не используются в силовых цепях преобразователей напряжений, тока ?
3. Какими преимуществами обладают LC- фильтры в сравнении с RC-фильтрами ?
4. С какой целью в LC - фильтрах устанавливают катушки индуктивности с сердечником из электротехнической (трансформаторной) стали ?
5. Почему для дросселей постоянного тока применяют ферромагнитные сердечники с воздушным зазором ?



## 5. ТЕСТЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СТЕПЕНИ УСВОЕНИЯ МАТЕРИАЛА

1. При проектировании энергетического канала приводной системы часто устанавливают Г - или П – образные фильтры в цепи тока питания преобразователя . С какой целью в ферромагнитных сердечниках фильтров (сглаживающих дросселей) вводят воздушный зазор ?

- для увеличения коэффициента пульсации,
- для снижения потерь в сердечнике дросселя;
- для расширения зоны прерывистых токов;
- для расширения зоны линейности изменения индуктивности в цепи силового контура.

2. При эквивалентных активных сопротивлениях обмотки сглаживающего дросселя и добавочного резистора П-образного фильтра коэффициент сглаживания в схеме с L- значительно выше. Поясните, как изменяется входное сопротивление исследуемого фильтра, если подается на вход напряжение с коэффициентом пульсности:

- $k_p = 6$ ,
- $k_p = 3$ ;
- $k_p = 0$ .

3. В схемах преобразователей переменного напряжения в постоянное приводных систем применяют Г-образные LC-фильтры, причем на входе может быть установлена как емкость, так и индуктивность.

Поясните, в каком случае защищенность тиристорov, диодов от бросков токов при включении преобразователя будет выше, когда:

- на входе установлена емкость C,
- на входе установлена индуктивность L;
- на входе установлен LC- или CL- фильтр;
- на входе установлен П – образный CL-фильтр.



Таблица результатов исследования энергетических характеристик неуправляемого  $\frac{\text{одно}}{\text{двух}}$ -полупериодного выпрямителя и фильтров

Фильтры	Энерг. Характерис.	Значения измеренных величин				Форма электр. сигнала	Ко-эф. пульс. с. Кп	Ко-эф. сгла ж. q
Без фильтра	U							
	J							
Индуктивный	U							
	J							
Резисторный	U							
	J							
Емкостный	U							
	J							
Г-образный LC	U							
	J							
Г-образный RC	U							
	J							
П-образный LC	U							
	J							
П-образный RC	U							
	J							



## ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет должен содержать:

1. Название лабораторной работы. Ф.И.О. студента, номер группы.
2. Цель исследования.
3. Принципиальную электрическую схему одно- и двухполупериодного выпрямителя..
4. Нагрузочные (внешние) характеристики преобразователя с различными фильтрами.
5. Расчетные значения коэффициентов пульсаций и коэффициентов сглаживания.
6. Аналитические пояснения к графическим зависимостям.

В отчете необходимо привести выводы по результатам выполненной работы.