



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.  
Носова»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЭиАС  
В.Р. Храмшин

04.02.2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**ОСНОВЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

Направление подготовки (специальность)  
11.03.04 Электроника и микроэлектроника

Направленность (профиль/специализация) программы  
Интернет вещей в промышленной электронике

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт энергетики и автоматизированных систем
Кафедра	Электроники и микроэлектроники
Курс	3
Семестр	6

Магнитогорск  
2025 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника (приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 927)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Электроники и микроэлектроники

15.01.2025, протокол № 5

Зав. кафедрой



Д.Ю. Усатый

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС

04.02.2025 г. протокол № 3

Председатель



В.Р. Храмшин

Рабочая программа составлена:

проф. кафедры ЭиМЭ, д.т.н., доцент



Петушков М.Ю.

Рецензент:

директор сервисного центра ООО «Техноап-Инжиниринг», к.т.н.



Суспицын Е.С.

## Лист актуализации рабочей программы

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Электроники и микроэлектроники

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Д.Ю. Усатый

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Электроники и микроэлектроники

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Д.Ю. Усатый

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2028 - 2029 учебном году на заседании кафедры Электроники и микроэлектроники

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Д.Ю. Усатый

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2029 - 2030 учебном году на заседании кафедры Электроники и микроэлектроники

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Д.Ю. Усатый

## **1 Цели освоения дисциплины (модуля)**

1. Формирование у обучающихся знаний и умений в области анализа, расчета и практического применения элементов силовых преобразовательных устройств.

2. Формирование навыков проектирования и расчета силовых преобразовательных устройств

Для достижения поставленной цели в курсе «Основы преобразовательной техники» решаются задачи:

- Изучения терминов и величин преобразовательной техники;
- Изучения основных способов получения электрической энергии;
- Изучение и исследование основные типов вторичного преобразования электрической энергии;
- Изучение и исследование ключевых элементов силовых преобразователей: их характеристики, требования к сигналу управления, способы формирования импульса управления.

## **2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина Основы преобразовательной техники входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения курсов «Физические основы электроники», «Теоретические основы электроники», «Электрические машины» и «Схемотехника».

## **3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения**

В результате освоения дисциплины (модуля) «Основы преобразовательной техники» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-4	Способен проводить работы по наладке, настройке, регулировке и испытанию электронных средств и оборудования
ПК-4.1	Разрабатывает мероприятия по улучшению качества обслуживания электронных средств и электронных систем различного назначения.
ПК-4.2	Изучает режимы работы и условия эксплуатации электронного оборудования
ПК-4.3	Контролирует параметры надежности работы электронного оборудования, проводит тестовые проверки
ПК-5	Способен тестировать, обслуживать и обеспечивать бесперебойную работу электронных средств и электронных систем различного назначения
ПК-5.1	Осуществляет организацию и проведение профилактического и текущего ремонта электронного оборудования
ПК-5.2	Решает вопросы контроля полноты и качества проведения ремонтных работ

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц 144 академических часов, в том числе:

- контактная работа – 79,55 академических часов;
- аудиторная – 75 академических часов;
- внеаудиторная – 4,55 академических часов;
- самостоятельная работа – 28,75 академических часов;
- в форме практической подготовки – 0 академических часов;
- подготовка к экзамену – 35,7 академических часов

Форма аттестации - экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в академических часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Основные виды преобразования электрической энергии с помощью вентилялей								
1.1 Основные виды преобразования электрической энергии с помощью вентилялей	6	4	2		10	Изучение презентации по теме	Защита лабораторных работ	ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-5.1
1.2 Идеализированные преобразователи однофазного тока неуправляемые		2	4		8,75	Изучение презентации по теме	Защита лабораторных работ	
1.3 Идеализированные преобразователи однофазного тока управляемые		4	2			Изучение презентации по теме	Защита лабораторных работ	ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-5.1
1.4 Идеализированные преобразователи трехфазного тока неуправляемые		4	2		10	Изучение презентации по теме	Защита лабораторных работ	ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-5.1
1.5 Идеализированные преобразователи трехфазного тока управляемые		3	4			Изучение презентации по теме	Защита лабораторных работ	ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3
1.6 Фильтры используемые в преобразовательных установках		4	4			Изучение презентации по теме	Защита лабораторных работ	ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-5.1, ПК-5.2
1.7 Автономные инверторы тока		6	4			Изучение презентации по теме	Защита лабораторных работ	ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3
1.8 Автономные инверторы напряжения		6	4			Изучение презентации по теме	Защита лабораторных работ	ПК-4.2, ПК-4.3, ПК-5.1, ПК-5.2
1.9 Резонансные инверторы		6	2			Изучение презентации по теме	Защита лабораторных работ	ПК-4.1, ПК-4.2

1.10 Преобразователи частоты	6	6	2			Защита лабораторных работ	Защита лабораторных работ	ПК-4.1, ПК-4.2, ПК-4.3
Итого по разделу		45	30		28,75			
Итого за семестр		45	30		28,75		экзамен	
Итого по дисциплине		45	30		28,75		экзамен	

## 5 Образовательные технологии

Анализ дефиниций понятия «технология обучения» позволил мне в качестве исходной при изучении курса определить педагогическую технологию как совокупность способов и приемов, а также форм взаимосвязанной деятельности субъектов образовательного процесса, обеспечивающую эффективность функционирования педагогической системы и гарантированное достижение поставленных педагогических целей. При этом мною рассматривается информационная технология как технологический подход, т.е. мною применяются такие основные понятия ИТ, как информация, технология, новые информационные технологии, информационные, компьютерные, образовательные, и педагогические технологии, опираясь на техническую составляющую ИТ, то есть в основе лежат программно-технические средства.

## 6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

## 7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

## 8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) Основная литература:

1. Петушков М.Ю. Основы преобразовательной техники. Учебное пособие / Москва, Издательство Юрайт, 2024. -95 с.( Высшее образование)
2. Петушков М.Ю. Автономные инверторы. Учебное пособие / Москва, Издательство Юрайт, 2024. -125 с. - (Высшее образование)
3. Автономные преобразователи; практикум\ М.Ю. Петушков. Магнитогорск; Изд-во Магнитогорскую гос. техн. ун-та им.Г.И.Носова, 2021. 51с.

### б) Дополнительная литература:

### в) Методические указания:

### г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

#### Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
NI MultiSim Education	К-68-08 от 29.05.2008	бессрочно
NI Developer Suite	К-118-08 от 20.10.2008	бессрочно

#### Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
----------------	--------

Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	<a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	<a href="https://host.megaprolib.net/M/P0109/Web">https://host.megaprolib.net/M/P0109/Web</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>

### 9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

#### *Перечень вопросов для подготовки к зачету*

1. Нарисуйте временные диаграммы работы однофазного однополупериодного выпрямителя однофазного тока при работе на активную нагрузку.
2. Обоснуйте последовательное включение вентиля и назначение параллельно включенных резисторов.
3. Обоснуйте параллельное включение вентиля и назначение анодных реакторов.
4. Особенности работы двухполупериодного выпрямителя с нулевой точкой.
5. Работа однофазного мостового выпрямителя на активно-индуктивную нагрузку. Назначение нулевого диода в схеме.
6. Работа однофазного мостового выпрямителя на активно-емкостную нагрузку. Показать на временных диаграммах.
7. Работа однофазного мостового выпрямителя на против-ЭДС. Показать на временных диаграммах.
8. Особенности работы трехфазного выпрямителя с нулевой точкой. Вынужденное намагничивание трансформатора.
9. Работа трехфазного мостового выпрямителя. Порядок работы вентиля.
10. Виды коммутации вентиля.
11. Коммутационные потери в вентиле. (на примере однофазного двухполупериодного выпрямителя с нулевой точкой).
12. Нарисуйте временную диаграмму выпрямленного напряжения управляемого трехфазного мостового выпрямителя при угле управления  $30^\circ$ . (С учетом угла коммутации  $7^\circ$ ).
13. Нарисуйте временную диаграмму напряжения на вентиле трехфазного мостового выпрямителя при угле управления  $45^\circ$ .
14. Нарисуйте временную диаграмму выпрямленного напряжения трехфазного мостового выпрямителя при угле управления  $70^\circ$  при наличии нулевого диода и активно-индуктивной нагрузки.
15. Определите пульсность однофазного мостового выпрямителя и однофазного выпрямителя с нулевой точкой.
16. Определите пульсность трехфазного мостового выпрямителя и с нулевой точкой.
17. Индуктивность как фильтр. Определить коэффициент сглаживания, зависит ли он от величины нагрузки.
18. Емкость как фильтр. Определить коэффициент сглаживания, зависит ли он от величины нагрузки.
19. Индуктивно-емкостной как фильтр. Определить коэффициент сглаживания, зависит ли он от величины нагрузки.
20. Внешняя характеристика выпрямителя без фильтра с L-фильтром, C-фильтром и LC-фильтром.
21. Многозвенные фильтры. Как определяется коэффициент сглаживания.
22. Фильтр пробка. Назначение и коэффициент сглаживания. ЛАЧХ такого фильтра.
23. Условия перевода управляемого выпрямителя в инверторный режим.
24. Временные диаграммы выпрямленного напряжения инвертора ведомого сетью.
25. Полная внешняя характеристика управляемого выпрямителя.
26. Влияние управляемого выпрямителя на питающую сеть.
27. Ограничительная характеристика управляемого выпрямителя.
28. Классификация датчиков преобразовательных установок.
29. Шунт как датчик тока. Его параметры.
30. Принцип действия усилителя постоянного тока, на примере УПТ-6.
31. Датчики тока на основе эффекта Холла.

32. Герконовые датчики тока. Их настройка.
33. Реле максимального тока. Его работа и настройка.

## Приложение 2

Задание: 1. Обосновать схему преобразователя, работающего на противоЭДС

$$U_d = 450\text{В}, I_d = 10\text{А}, D = 15$$

2. Построить временные диаграммы тока и напряжения нагрузки, первичной обмотки трансформатора и вентиля при угле управления равном 30 градусов.

3. Элементарный расчет схемы, выбор вентиля по току и напряжению, расчет сглаживающего фильтра.

4. Расчет и построение внешней и регулировочной характеристик, зависимости коэффициента полезного действия от тока.

5. Рассчитать массу и габариты устройства.

Решение: Одной из наиболее эффективных схем является трехфазная мостовая схема. Ее применяют в тех случаях, когда  $P_d < 500\text{кВт}$ . Схема применяется в широком диапазоне выпрямленных напряжений и мощностей. И является наиболее универсальной.

Она отличается следующими качествами:

1) Трехфазная мостовая схема обладает лучшим коэффициентом использования мощности трансформатора по сравнению с другими типовыми схемами.

2) увеличение частоты пульсаций в два раза (300 Гц по сравнению со 150 Гц для трехфазной схемы с нулевым выводом) и уменьшение коэффициента пульсаций более чем в четыре раза, что уменьшает габаритные размеры и массу сглаживающего фильтра.

3) значительно лучшее использование вентиля по напряжению, что позволяет получать высокие выпрямленные напряжения.

4) наименьшее обратное напряжение на вентиле.

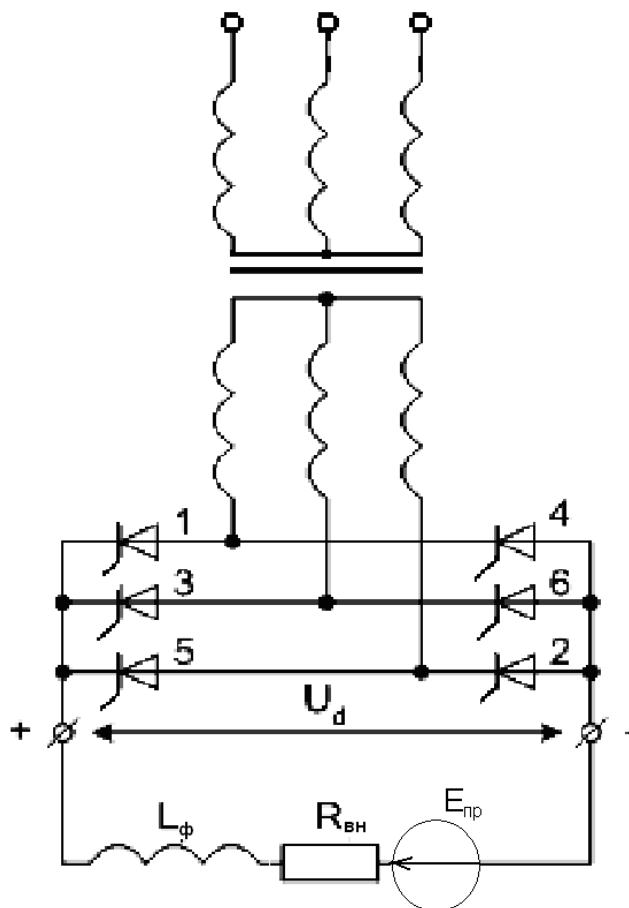


Рисунок 1. Схема трехфазного мостового выпрямителя.

Расчет параметров преобразователя:

$$U_{d0} = \frac{U_d}{\cos \alpha} = \frac{450}{0,867} = 519,6B$$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{d0}}{K_{cx}} = \frac{519,6}{2,34} = 222,06B$$

$$U_{2л} = \sqrt{3} \times U_{2\phi} = 384,62B$$

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot I_d = 8,16 \text{ A}$$

$$S_{\text{НОМ}} = 1,05 \cdot U_{d0} \cdot I_d = 5,5 \text{ кВт}$$

При выборе трансформатора, в первую очередь смотрят на параметры  $S_{\text{НОМ}}$  и  $U_{2л}$ . Исходя из полученных значений выбираем трансформатор ТСЗП-16/0,7-УХЛ4. Трансформаторы серии ТСП, ТСЗП предназначены для питания комплектных тиристорных преобразователей электроприводов по трехфазной мостовой и нулевой схемам выпрямления. Применяются в народном хозяйстве и для поставок на экспорт. Рассчитаны на работу в сетях трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, при поставках на экспорт допускают работу при частоте 60 Гц.

#### Параметры ТСЗП-16/0,7-УХЛ4

Типоисполнение трансформатора	Номинальная мощность, кВт·А	Номинальное напряжение, В			Номинальный ток, А		Напряжение КЗ, %	Ток ХХ, %	Потери, Вт	
		сетевой обмотки	вентильной обмотки	преобразователя	переменный вентильной обмотки	выпрямленный преобразователя			ХХ	КЗ
ТСЗП-16/0,7-УХЛ4	14,6	660	410	460	20,5	25	5,2	8	120	15

$$U_{d0} = U_{2л} \cdot 1,35 = 553,5 \text{ В}$$

$$I_{2л} = I_{2ф} = 20,5 \text{ А}$$

$$K_{\text{тр}} = U_{1л}/U_{2л} = 1,61$$

$$I_{1л} = I_{2л}/K_{\text{тр}} = 12,7 \text{ А}$$

$$U_{2ф} = U_{2л}/\sqrt{3} = 236,7 \text{ В}$$

Индуктивность вторичной обмотки:

$$Z_T = \frac{e_{k\%} \cdot U_{2л}}{100 \cdot I_{2л}} = 1,04 \text{ Ом}$$

$$R_T = \frac{e_{k\%} \cdot U_{2\phi}}{100 \cdot m \cdot I_{2\phi}} = 0,436 \text{ Ом}$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = 1,128 \text{ Ом}$$

$$L_T = \frac{X_T}{2 \cdot \pi \cdot f} = 3,59 \text{ мГн}$$

где  $z_T$  - полное сопротивление фазы трансформатора, приведенное к вторичной обмотке;

$R_T$  - Активное сопротивление фазы трансформатора;

$m$  - число фаз обмотки трансформатора;

$X_T$  - индуктивное сопротивление фазы трансформатора;

$L_T$  - Индуктивность фазы трансформатора.

Для выбора тиристорov, необходимо учитывать номинальные значения выбранного трансформатора. Основными параметрами, по которым выбирают тиристоры, являются максимальное обратное напряжение на тиристоре  $U_{обр.макс} = \sqrt{2} \cdot U_d = 578,4 \text{ В}$  и среднее значение тока в открытом состоянии за период  $I_a = I_d/3 = 3,33 \text{ А}$

В преобразователе используем тиристоры Т115-6.3-7

Средний прямой ток – 6,3 А.

Номинальное амплитудное обратное напряжение – 700 В.

Выбрав тиристоры и определив индуктивность вторичной обмотки трансформатора, необходимо уточнить значение  $U_d$

$$\Delta U_{dy} = \frac{3 \cdot I_d \cdot X_T}{\pi} = \frac{3 \cdot 10 \cdot 1,128}{\pi} = 10,8(B)$$

$$U_d = K_{cx} \cdot U_{2\phi} \cdot \cos \alpha - \Delta U_{dy} = 2,34 \cdot 236,7 \cdot \cos 30 - 10,8 = 468,8(B)$$

Чтобы выпрямленный ток был непрерывным, необходимо включить в цепь нагрузки индуктивность, которая соответствует неравенству:

$$\alpha \leq \arctg \frac{\omega L}{R_d} \text{ - условие, при котором ток } i_d(t) \text{ гранично непрерывен. В}$$

трехфазной мостовой схеме частота пульсаций составляет 300 Гц, угол управления составляет 30 градусов, подставляя исходные данные в условие, получаем минимальную индуктивность L-фильтра

$$L_d = \frac{R_d}{2 \cdot \omega}$$

$$R_d = 3770 \cdot L_d$$

$$Z_d = \sqrt{X_d^2 + R_d^2} = \sqrt{(j \cdot \omega \cdot L_d)^2 + R_d^2} = \sqrt{R_d^2 - (\omega \cdot L_d)^2} = \sqrt{(3770 \cdot L_d)^2 - (1885 \cdot L_d)^2} = 3265 \cdot L_d$$

Определение сопротивление  $Z_d$ .

Зададим значение противоЭДС:

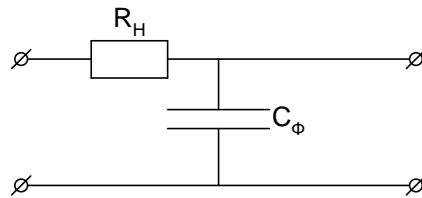
- 1)  $U_d$  должно быть больше противоЭДС
- 2)  $L_d$  не должно быть слишком большим  
противоЭДС  $E_0 = 100(B)$

$$Z_d = 3265 \cdot L_d = \frac{U_d - E_0}{I_d} = \frac{450 - 100}{10} = 45 \text{ Ом}$$

$$L_d = 9,2 \text{ мОм}$$

$$R_d = 3770 \cdot L_d = 34,6 \text{ Ом}$$

Рассчитаем RC фильтр, рассчитанный на 300 Гц:



$$R_H \cdot C_\phi = \frac{K_r}{g \cdot m \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}$$

$$C_\phi = 15,3 \text{ мкФ}$$

Построение временных диаграмм напряжений.

Для упрощения построений примем, что  $L_H \rightarrow \infty$

Расчет угла коммутации:

$$\gamma = -\alpha + \arccos\left(\frac{1}{9} \cdot \frac{(9 \cdot \cos \alpha \cdot U_{2\delta} - \Delta U_{d\gamma} \cdot \pi \cdot \sqrt{6})}{U_{2\delta}}\right) = -30^\circ - \arccos\left(\frac{1}{9} \cdot \frac{(9 \cdot \cos 30^\circ \cdot 236,7 - 10,8 \cdot \pi \cdot \sqrt{6})}{236,7}\right) = 4^\circ$$

Т.к. в нагрузке имеется индуктивность, то происходит длительное протекание тока на угол  $\phi$ :

$$\text{tg } \phi = X_d / R_d$$

$$\phi = 26 \text{ градусов}$$

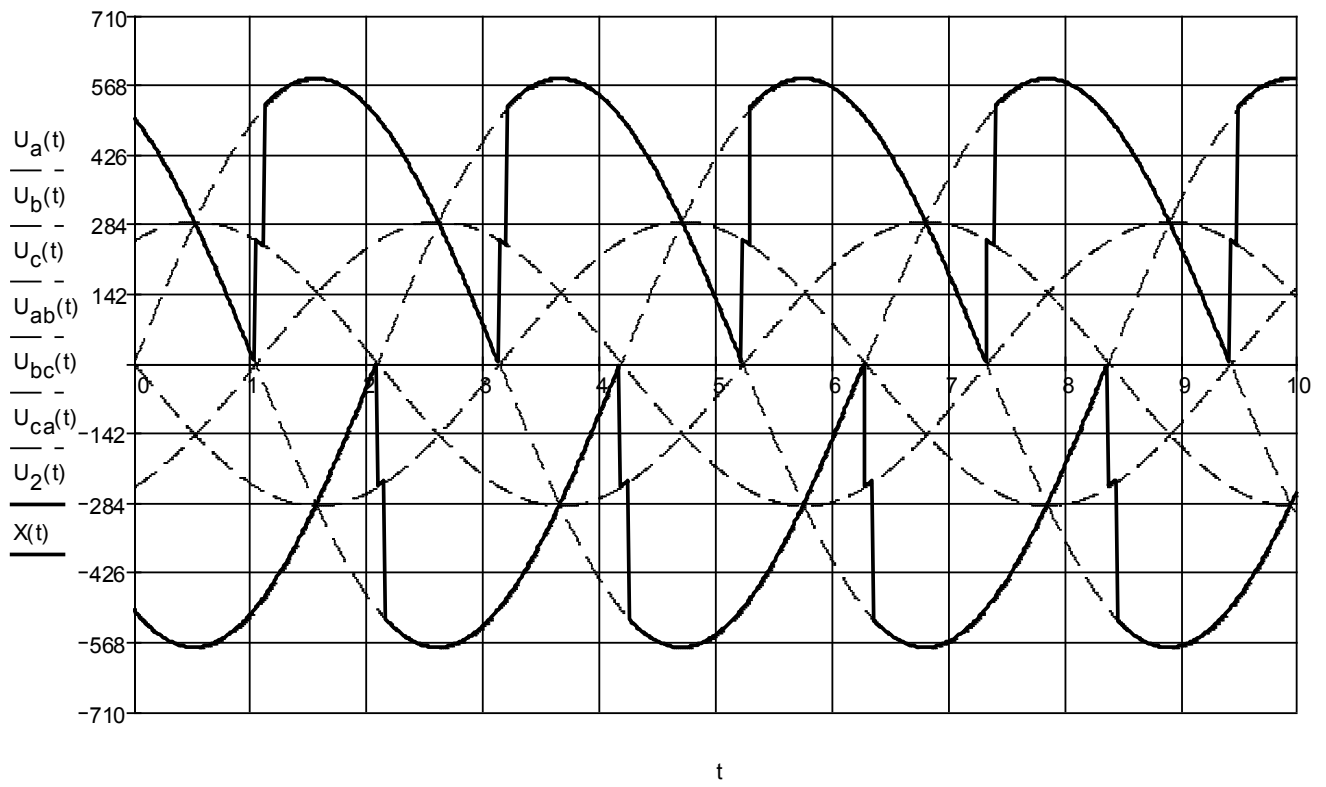


Рисунок 2. Временная диаграмма U2.

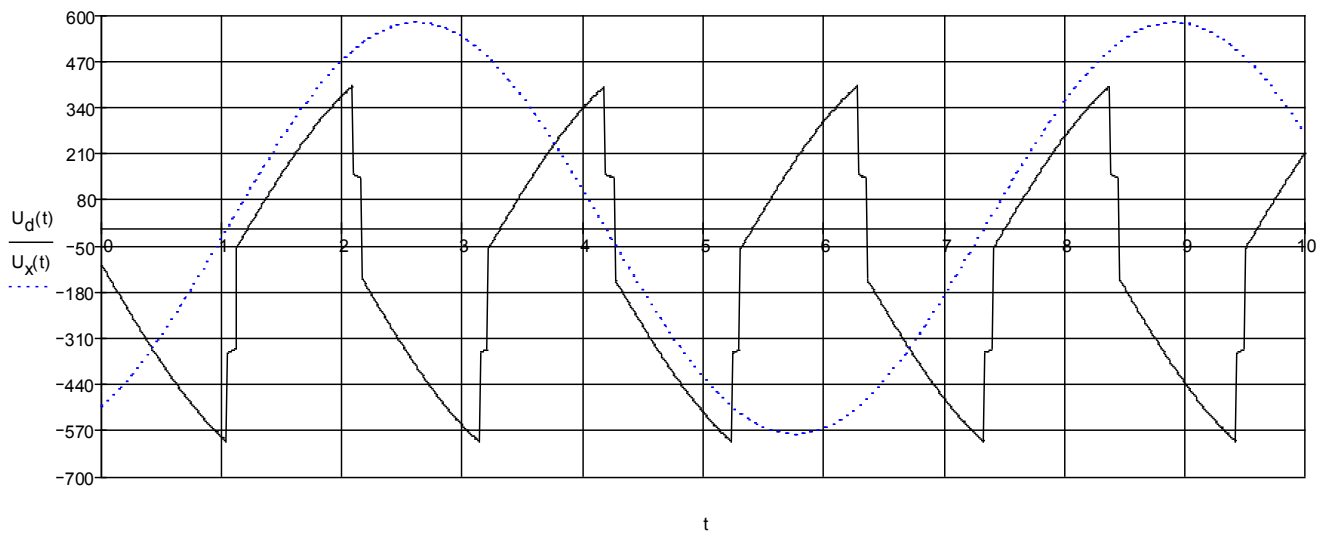


Рисунок 3. Временная диаграмма Ud.

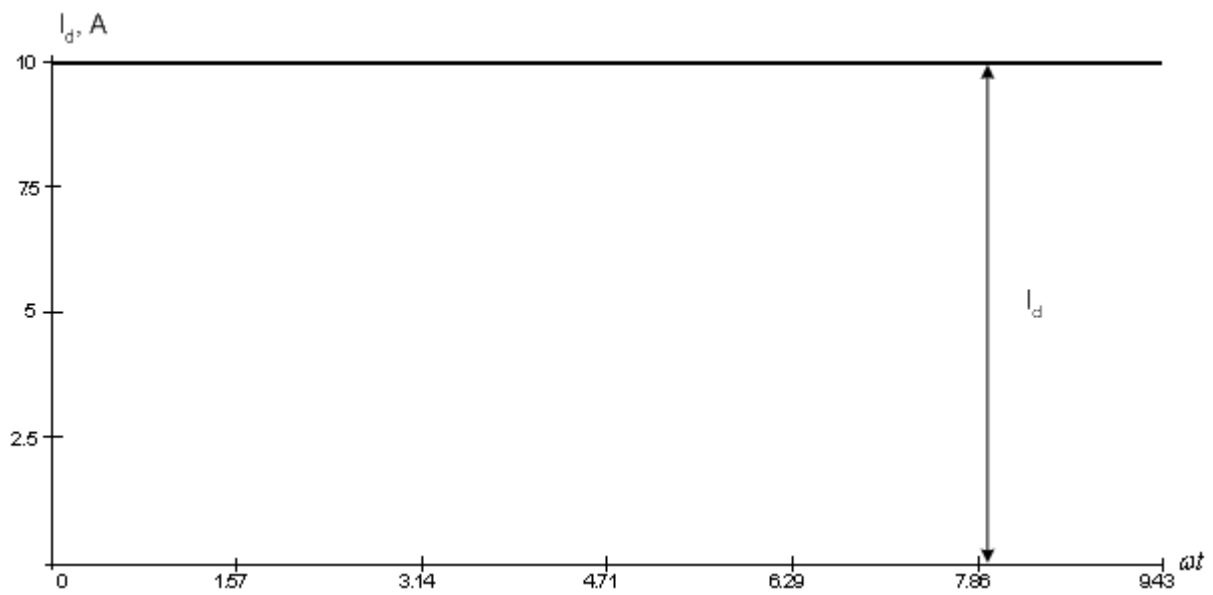


Рисунок 4. Временная диаграмма тока  $I_d$

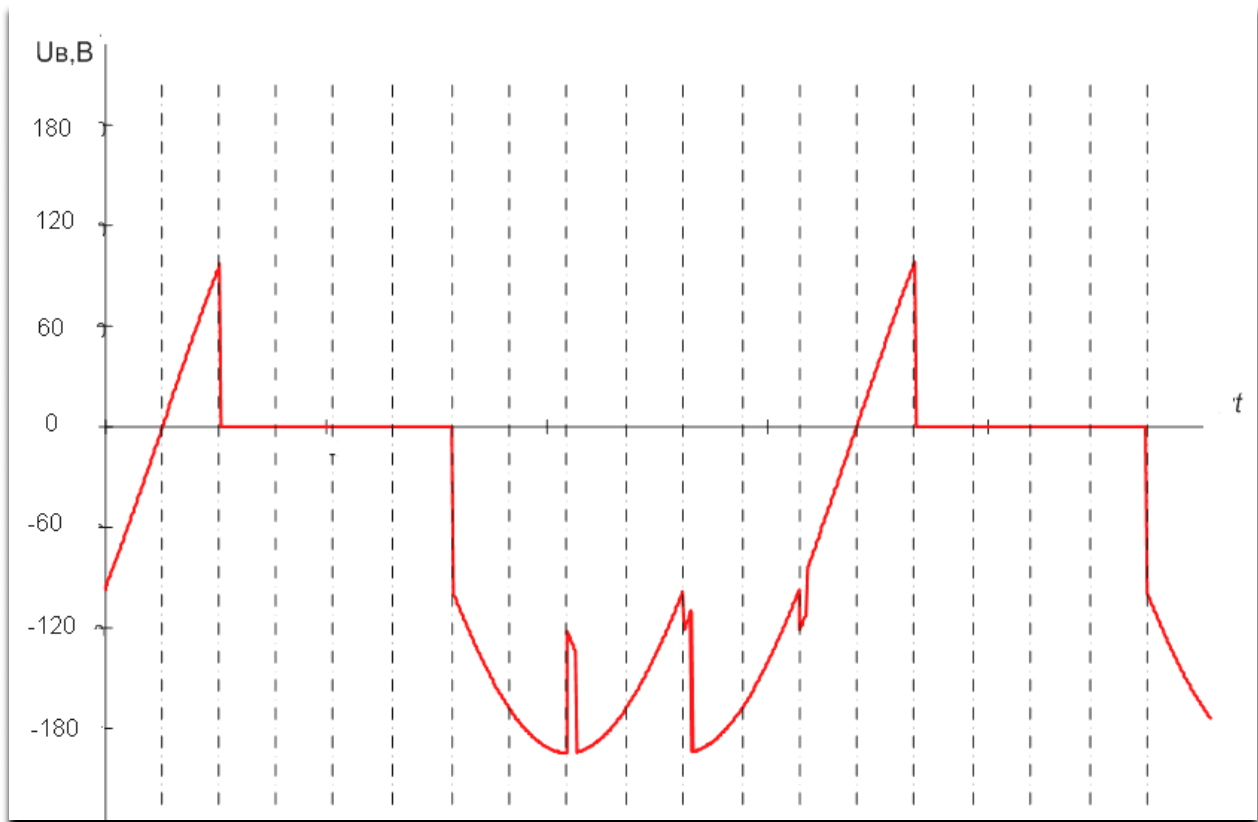


Рисунок 5. Временная диаграмма  $U_b$ .

Построение характеристик:

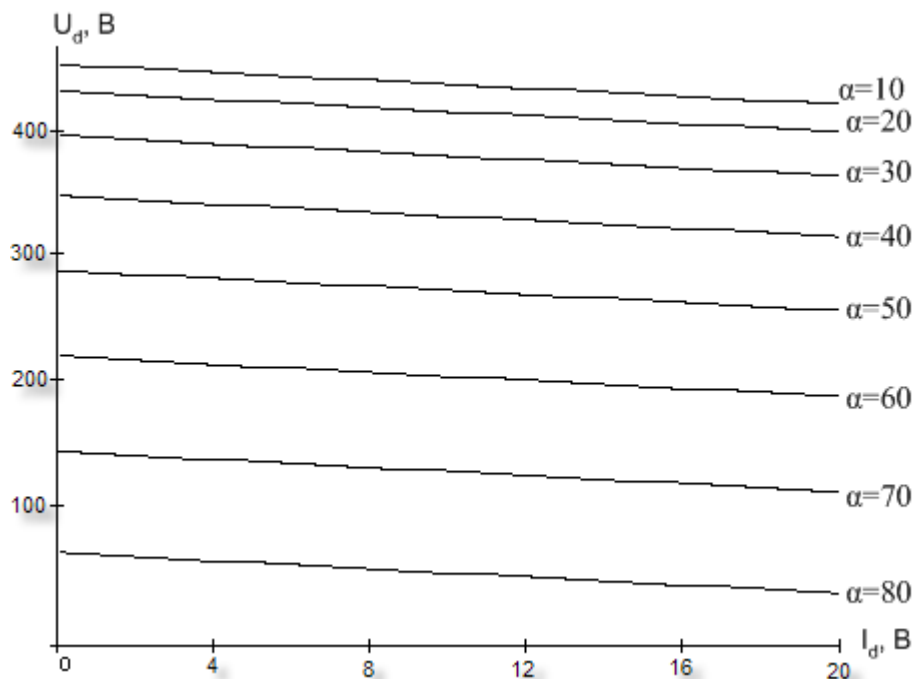


Рисунок 6. Внешняя характеристика  $U_d = f(I_d)$  при различных значениях углов управления.

Для построения внешней характеристики использовалась упрощенная формула, не учитывающая нелинейности:

$$U_d = U_{d0} \cdot \cos \alpha - \alpha_B \cdot \Delta U_B - \alpha_B \cdot \left( R_T + \frac{X_T \cdot m}{2 \cdot \pi} \right) \cdot I_d + E_0$$

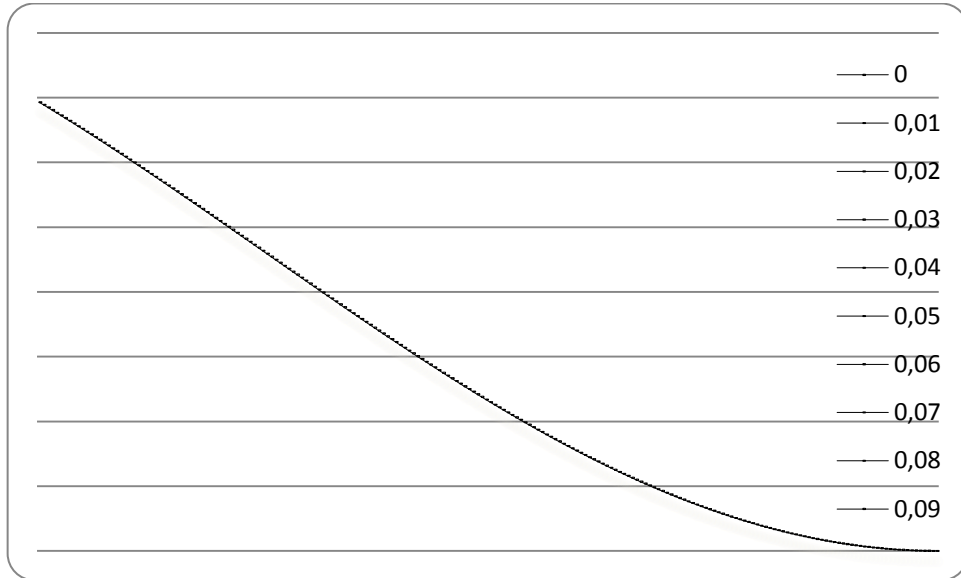


Рисунок 7. Регулировочная характеристика  $U_d = f(\alpha)$

Для построения регулировочной характеристики использовалась формула:

$$U_d = U_{d0} \left[ 1 + \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right]$$

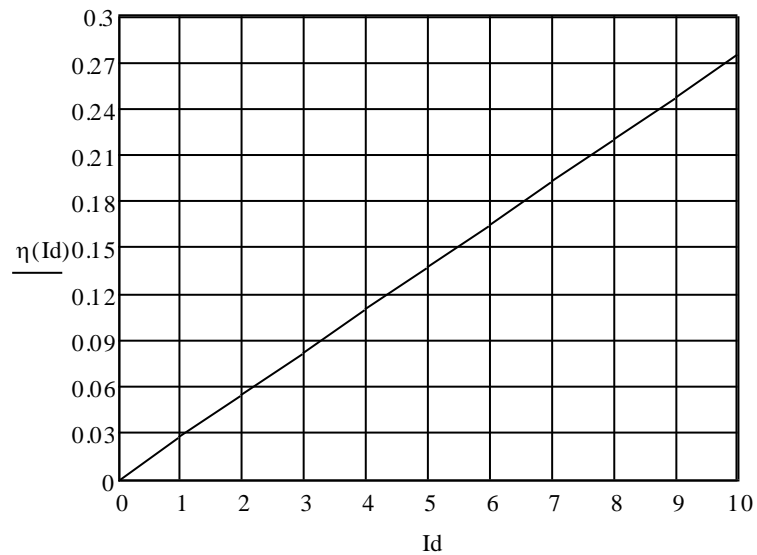


Рисунок 8. Коэффициент полезного действия  $\eta = f(I_d)$ , при  $\alpha = 30^\circ$ .

Расчеты для построения графика осуществляются по формуле:

$$\eta = \frac{U_{d0} I_d \cos \alpha - a_e \Delta U_B I_d - I_d^2 a_e (R_T + \frac{X_T m}{2\pi})}{3U_{1\phi} I_{1\phi} \cos \alpha}$$

**Таблица 1. Определение массогабаритных показателей:**

Наименование	Вес, кг	Количество
Трансформатор	135	1
Тиристоры	0,12	6
Преобразователь*	136	

\*вес преобразователя вместе с каркасом и всеми элементами (трансформатор поставляется в защитном корпусе).

Размер трансформатора длина 665 мм, ширина 430 мм, высота 400 мм

Объём, который займёт разработанный преобразователь, будет меньше 1кубометра.