

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

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»

(кафедра)

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника

(направленность (профиль)/специализация)

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

на тему Проектирование системы управлением доступа автотранспорта

Студент	<u>А.С. Пустовойтов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>М.В. Позднов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультант	<u>О.А. Парфенова</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2019

## **Аннотация**

Объем 66 с., 43 рис., 17 табл., 20 источников, 1 прил.

### **ДВИГАТЕЛЬ, РЕДУКТОР, ЭЛЕКТРОПРИВОД, АВТОМАТИЧЕСКИЙ ШЛАГБАУМ, БЛОК ПИТАНИЯ**

Название бакалаврской работы: «Проектирование системы управлением доступа автотранспорта».

Объектом бакалаврской работы является автоматический шлагбаум, осуществляющий управляемый контроль доступа автотранспорта на какую-либо территорию.

Целью работы является исследование автоматического шлагбаума и его частичная разработка, а именно разработка электропривода с целью уменьшения себестоимости устройства, упрощения конструкции и обслуживания.

Задачи проекта заключались в изучении устройства автоматического шлагбаума, расчете электропривода, по которому подбирался двигатель и редуктор.

Работа включает в себя три главы:

- Обзорную часть
- Проектно-расчетный
- Конструкторско-технологический раздел

В процессе выполнения работы поставленные задачи были выполнены в приведенных выше разделах, а именно подобран двигатель, редуктор, также для двигателя был подобран драйвер. Для драйвера был разработан источник питания. При разработке источника питания исследовались три схемы, их работа была промоделирована в пакете MatLab/Simulink R2014a. Для оформления чертежей использовалась программа Компас-3D V18. Также в работе был произведен экономический анализ разрабатываемого устройства.

## **Abstract**

The title of the given graduation work is Vehicle Access Control System Design.

The object of the work is an automatic barrier exercising an access control of vehicles at any territory.

The aim of the work is to study the automatic barrier and its partial development, namely the development of an electric motor drive in order to reduce the cost of the device, simplify the design and maintenance.

The problems of the graduation work are the study the device of the automatic barrier, the calculation of the electric motor drive, by which the motor and reducer were selected, as well as the development of the connection and fastening of the selected devices.

The work includes four sections:

- Review
- Project-calculation
- Design and technology

In the process of doing the work, the tasks were performed in the sections above, namely, the engine, gearbox were selected, their connection was developed, a driver was also selected for the engine, and a power source was developed for the driver. In developing the power source, three schemes were investigated, their work was modeled in the MatLab / Simulink R2014a package. For the design of drawings, the program Compass-3D V18 was used. The work also produced an economic analysis of the device being developed.

## Содержание

<b>Перечень аббревиатур и сокращений .....</b>	<b>5</b>
<b>Введение .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Обзорная часть .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Анализ существующих автоматических шлагбаумов.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2 Анализ рынка автоматических шлагбаумов .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Проектно-расчетный раздел .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Кинематический расчет привода .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Выбор двигателя с редуктором, определение общей стоимости     выбранных устройств и приведение варианта управления двигателем .</b>	<b>21</b>
<b>3 Конструкторско-технологический раздел.....</b>	<b>62</b>
<b>Заключение.....</b>	<b>64</b>
<b>Список используемой литературы .....</b>	<b>65</b>
<b>Приложение А .....</b>	<b>67</b>

## Перечень аббревиатур и сокращений

### А

АД – асинхронный двигатель

АШ – автоматический шлагбаум

### Б

БП – блок питания

### В

ВД – вентильный двигатель

ВКР – выпускная квалификационная работа

### К

КПД – коэффициент полезного действия

## Введение

Системы, осуществляющие автоматизированный контроль доступа автотранспорта в современном мире изо дня в день становятся все более востребованными, их применяют для автоматизации доступа автотранспорта, например, на парковках бизнес-центров, жилищных комплексов или индивидуальных домов. Но в нашем случае данная система потребовалась для ограничения и контроля доступа въезжающего автотранспорта на территорию двора многоквартирного дома, так как его жильцы и автовладельцы жалуются на то что люди посещающие торговый центр, находящийся рядом с данным домом, не могут найти место для парковки и паркуются у них во дворе, порой оставляя машины под окнами и ограничивая проезд, а также занимая парковочные места жильцов многоквартирного дома которые владеют личным автотранспортом, из-за этого им самим приходится искать место для парковки где-то за пределами двора. В связи с этим возникла идея совместной разработки АШ с более низкой ценой, чем та которая представлена на рынке, а также с сохранением всевозможного функционала.

## **1 Обзорная часть**

### **1.1 Анализ существующих автоматических шлагбаумов**

Автоматические шлагбаумы подразделяются на два типа:

- а) Гидравлические АШ;
- б) Электромеханические АШ.

Гидравлические АШ в данной ВКР рассматриваться не будут, поскольку они используются в основном на объектах с высокой интенсивностью въезда и выезда автотранспорта, стоимость гидравлических АШ примерно в полтора раза выше чем у электромеханических АШ, конечно у гидравлических АШ есть одно серьезное преимущество перед электромеханическими АШ, практически полное отсутствие трущихся механизмов, это продлевает срок службы АШ, но гидравлические АШ по сравнению с электромеханическими АШ, более требовательны к частому обслуживанию и имеют более низкую ремонтпригодность в отличии от электромеханических АШ. Так как целью данной ВКР является исследованием и частичная разработка АШ с невысокой стоимостью и высокой ремонтпригодностью, для применения его в местах с наименьшим потоком автотранспорта, а, следовательно, и интенсивностью использования, для разработки выбрали электромеханический АШ.

Основой конструкции электромеханического АШ являются:

- стойка,
- двигатель,
- редуктор,
- блок управления,
- стрела.

Так же для снижения нагрузки на стойку и провисания стрелы, можно использовать ловитель стрелы, это не обязательное устройство. При выборе АШ необходимо обращать внимание на такие параметры АШ как:

- тип устройства,
- интенсивность использования/работы,
- форма стрелы,
- необходимое время подъема/опускания стрелы,
- управление.

Про тип устройства в общем виде было сказано выше. Интенсивность использования – это количество циклов поднятия и опускания стрелы в сутки:

- до 50% невысокая,
- от 50% до 70% средняя,
- более 70% высокая.

При выборе АШ нужно очень внимательно отнестись именно к этому параметру так как он характеризует работоспособность АШ, например, АШ с заявленной в характеристиках интенсивностью 50% не может работать 24 часа без остановки такое использование приведет к преждевременному выходу АШ из строя.

При выборе АШ, форма стрелы влияет на работоспособность АШ, для обычных условий используют прямоугольные стрелу, для мест с высокими ветровыми нагрузками используют овальную стрелу.

От ширины ограждаемого проезда зависит длина стрелы, длину которой после установки нельзя увеличивать или уменьшать, так как это может привести к поломке АШ.

От времени подъема/опускания стрелы зависит время ожидания владельца автотранспорта при пересечении ограждаемой территории.

Управление АШ осуществляется различными способами:

- дистанционно с помощью пульта,
- с помощью GSM-модуля,
- системой контроля доступа,
- диспетчеризация.

При управлении дистанционно с помощью пульта используется пульт управления, с которого отправляется сигнал на радиоприемник сигнала,



установленный в АШ, отвечающий за распознавание кода ключа. Так же для увеличения дистанции приема сигнала можно установить антенну.

При управлении АШ с помощью GSM-модуля, используется GSM-модуль, позволяющий управлять АШ с помощью мобильного устройства, в GSM-модуль вставляется SIM-карта и заносятся номера в базу тех, кто имеет право доступа на ограждаемую территорию, принцип действия GSM-модуля заключается в следующем, пользователь совершает звонок на номер, SIM-карта которого установлена в GSM-модуле, после получения сигнала происходит проверка права доступа, если проверка проходит успешно, номер телефона звонящего есть в базе, то GSM-модуль автоматически посылает сигнал на привод АШ, и открывается проезд.

При управлении АШ с помощью системы контроля доступа устанавливается целая система устройств, таких как контроллер, магнитный считыватель, картоприемник, вся конструкция управляется единым программным обеспечением.

При управлении способом диспетчеризации предполагается совершение ряда действий:

- вызов диспетчера нажатием кнопки,
- ответ от диспетчера,
- открытие шлагбаума при разрешенном доступе,
- закрытие АШ.

При управлении АШ данным способом рекомендуется устанавливать видеокамеры, которые зафиксируют проезжающий транспорт.

## **1.2 Анализ рынка автоматических шлагбаумов**

Рынок АШ представлен множеством различных компаний производителей, но наиболее популярными являются:

- Came,
- FAAC,

- Nice,
- DoorHan,
- Comunello.

Ниже приведены лучшие и популярные модели АШ каждой из компаний производителей и их ТХ:

1) Came Gard 3750 (рисунок 1)



Рисунок 1 – Автоматический шлагбаум Came 3750 серии Gard

В таблице 1 приведены ТХ Came Gard 3750.

Таблица 1 – Основные технические характеристики Came Gard 3750

Напряжение питания, В	220/50 Гц
Напряжение питания двигателя, В	24
Максимальный потребляемый ток двигателя, А	15
Максимальная мощность, Вт	300
Крутящий момент, Н·м	200
Передаточное отношение	1/202
Длина стрелы, м	4
Время открывания/закрывания, с	2-6
Рабочая температура	-20 °С +50 °С
Класс защиты	IP54

2) FAAC 617/4 (рисунок 2)



Рисунок 2 – Автоматический шлагбаум FAAC серии 617/4

В таблице 2 приведены ТХ FAAC 617/4.

Таблица 2 – Основные технические характеристики FAAC 617/4

Напряжение питания, В	220/50 Гц
Напряжение питания двигателя, В	220
Максимальный потребляемый ток, А	1,1
Максимальная мощность, Вт	315
Крутящий момент, Н·м	100
Длина стрелы, м	4
Время открывания/закрывания, с	4
Рабочая температура	-20 °С +55 °С
Класс защиты	IP54

3) Nice WIDE M4 (рисунок 3)

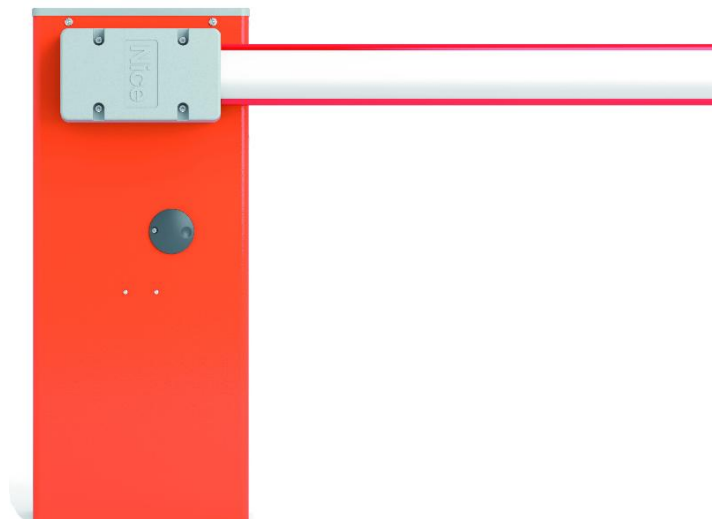


Рисунок 3 – Автоматический шлагбаум Nice серии WIDE M4

В таблице 3 приведены ТХ Nice WIDE M4.

Таблица 3 – Основные технические характеристики Nice WIDE M4

Напряжение питания, В	220/50 Гц
Напряжение питания двигателя, В	24
Номинальный ток, А	1,3
Максимальная мощность, Вт	300
Крутящий момент, Н·м	140
Длина стрелы, м	4
Время открывания/закрывания, с	3,5
Рабочая температура	-20 °С +50 °С
Класс защиты	IP44

#### 4) DoorHan Barrier-PRO 4000 (рисунок 4)



Рисунок 4 – Автоматический шлагбаум DoorHan Barrier-PRO 4000

В таблице 4 приведены ТХ DoorHan Barrier-PRO 4000

Таблица 4 – Основные технические характеристики DoorHan Barrier-PRO 4000

Напряжение питания, В	220/50 Гц
Максимальная мощность, Вт	300
Частота вращения двигателя, об/мин	1400
Интенсивность использования (при 20 °С)	70%
Длина стрелы, м	4
Время открывания/закрывания, с	6/2
Рабочая температура	-40 °С +55 °С
Класс защиты	IP54

5) Comunello Limit 500/4 (рисунок 5)



Рисунок 5 – Автоматический шлагбаум Comunello Limit 500/4

В таблице 5 приведены ТХ Comunello Limit 500/4.

Таблица 5 – Основные технические характеристики Comunello Limit 500/4

Напряжение питания, В	220/50 Гц
Напряжение питания двигателя, В	24
Потребляемая мощность, Вт	150
Крутящий момент, Н·м	300
Интенсивность использования	80%
Длина стрелы, м	4
Время открывания/закрывания, с	5
Рабочая температура	-20 °С +50 °С
Класс защиты	IP44

Поскольку в данной ВКР исследуется и частично разрабатывается привод АШ, в таблицу 6 занесены базовые комплектующие рассмотренных выше АШ с их стоимостью. Для работы АШ необходимы такие устройства как:

- мотор-редуктор
- блок управления приводом
- корпус/тумба
- стрела

Таблица 6 – Базовые комплектующие автоматического шлагбаума

Автоматический шлагбаум	Мотор-редуктор, стоимость в рублях	Блок управления двигателем, стоимость в рублях	Тумба/корпус, стоимость в рублях	Стрела, стоимость в рублях	Общая стоимость, в рублях
Came Gard 3750	119RIG1, 46334	3199ZL37F, 11897	119RIG056, 36192	009G040, 3150	97573
FAAC 617/4	FAAC 63000591, 33705	FAAC 790281, 9058	RAL9006 63000582, 32409	FAAC 428061, 7500	82672
Nice WIDE M4	WA04, 48345	WIA20, 14740	PD1302A00, 32314	RBN4, 6715	102114
DoorHan Barrier-PRO 4000	BR10, 13378	PCB-SL NEW, 5710	B.CASE-WP, 8479	DoorHan BOOM-4, 3980	31547
Comunello Limit 500/4	RG30785, 45456	GCULTHP 2LOG26, 11651	RG21352R, 29488	LTB4, 3026	89621

Стоимость базовых комплектующих рассмотренных выше АШ приведена для дальнейшего сравнения с подобранными в ходе разработки комплектующими.

## 2 Проектно-расчетный раздел

На рисунке 6 изображена ориентировочная структурная схема разрабатываемого устройства.

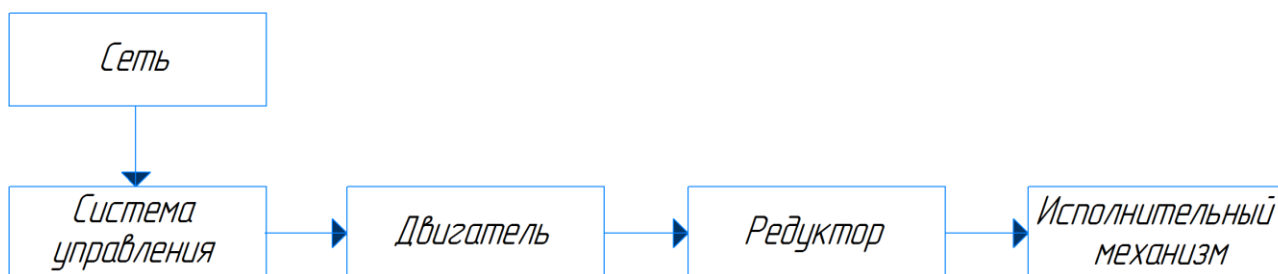


Рисунок 6 – Ориентировочная структурная схема АШ

Из ориентировочной структурной схемы АШ видно, что в данном разделе сначала будет подобран двигатель, редуктор и исполнительный механизм, то есть стрела.

### 2.1 Кинематический расчет привода

Из структурной схемы, изображенной на рисунке 6 видно, что необходимо подобрать драйвер управления, двигатель, редуктор и стрелу АШ. Поэтому подбор данных устройств осуществлю по кинематическому расчёту привода

Кинематический расчет привода начали с его кинематической схемы, изображенной на рисунке 7.

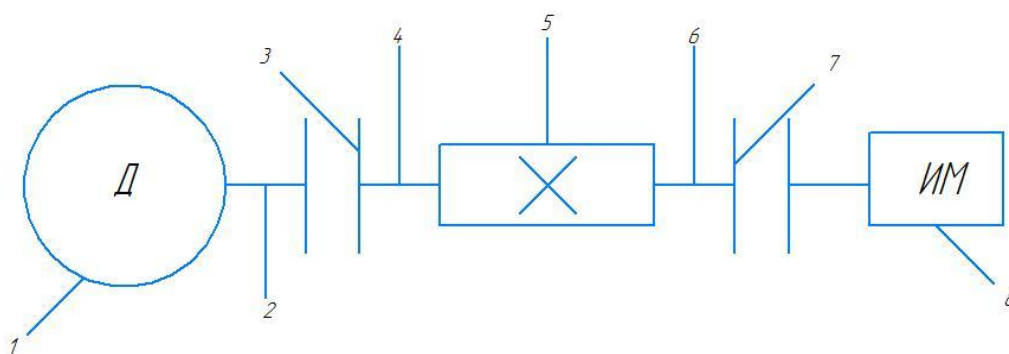


Рисунок 7 – Кинематическая схема привода



Данная схема отображает условные графические изображения главных элементов привода, таких как двигатель изображенный на схеме под номером 1, выходной вал двигателя, изображенный на схеме под номером 2, муфты, изображенные на схеме под номерами 3, 7, входной и выходной валы редуктора, изображенные на схеме под номерами 4, 6, редуктор изображенный на схеме под номером 5 и исполнительного механизма (далее стрела), изображенного на схеме под номером 8. Схема позволяет увидеть, как движение и мощность от двигателя передаются стреле шлагбаума.

### 2.1.2 Расчет количества оборотов на выходном валу $n_{\text{вв}}$ редуктора

Поскольку в данной работе частично проектируется система управлением доступа автотранспорта на примере АШ, задались временем подъема  $t_{\text{п}}$  стрелы АШ от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  равным 3 с, рассчитали время полного оборота  $T$  от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  по формуле:

$$T = 4 \cdot t_{\text{п}} = 4 \cdot 3 = 12 \text{ с} \quad (1)$$

Получив время полного оборота  $T$ , определили количество оборотов выходного вала редуктора  $n_{\text{вв}}$  по формуле:

$$n_{\text{вв}} = \frac{1}{T} = \frac{1}{12} = 0,083 \text{ об/сек} \quad (2)$$

### 2.1.3 Расчет мощности двигателя $P_{\text{дв}}$

Мощность двигателя  $P_{\text{дв}}$  можно определить по формуле:

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{в}}}{\eta_{\text{общ}}}, \quad (3)$$

где  $\eta_{\text{общ}}$  – общее КПД привода,

$P_{\text{в}}$  – мощность на выходном валу привода, [Вт].

Определили общее КПД привода  $\eta_{\text{общ}}$  по формуле:

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{м}}, \quad (4)$$

где  $\eta_{\text{п}}$  – КПД редукторной передачи,

$\eta_{\text{м}}$  – КПД муфт.

В качестве редукторной передачи выбрали червячную передачу [1], [2] при червяке однозаходном к. п. д. которой равен  $\eta_{\text{п}} = 0,7$ , выбор червячной передачи обусловлен возможностью получения большего передаточного числа, чем у других видов передач, высокой кинематической точностью и плавностью и бесшумностью работы. Выбрали упругие муфты КПД которых равен  $\eta_{\text{м}} = 0,98$ . Подставив определенные значение  $\eta_{\text{п}}$  и  $\eta_{\text{м}}$  в формулу (3) получили:

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{м}} = 0,7 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,67$$

Мощность на выходном валу редуктора  $P_{\text{в}}$  можно определить по формуле:

$$P_{\text{в}} = M_{\text{в}} \cdot \omega_{\text{в}}, \quad (5)$$

где  $M_{\text{в}}$  – крутящий момент на выходном валу редуктора, [Н·м],

$\omega_{\text{в}}$  – угловая скорость вращения выходного вала редуктора, [рад/с].

Крутящий момент равен произведению силы тяжести на плечо, а плечом силы является половина длины стрелы (рисунок 8).

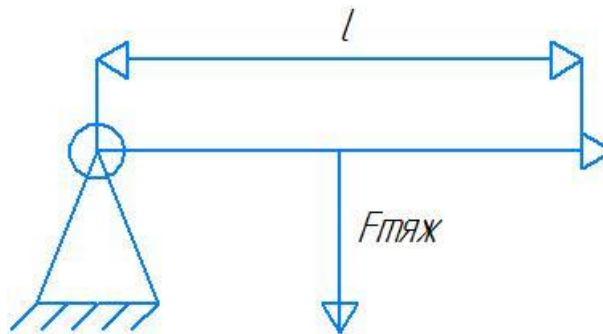


Рисунок 8 – Определение крутящего момента

Из выше сказанного определить необходимый крутящий момент для поднятия стрелы на выходном валу редуктора  $M_{\text{в}}$  можно по формуле:

$$M_{\text{в}} = \frac{F_{\text{ТЯЖ}} \cdot l_c}{2} = \frac{m_c \cdot g \cdot l_c}{2}, \quad (6)$$

где  $F_{\text{тяж}}$  – сила тяжести, [Н],

$l_c$  – длина стрелы, [м],

$m_c$  – масса стрелы, [кг],

$g$  – ускорение свободного падения, [м/с<sup>2</sup>]

Для расчета крутящего момента  $M_B$  выбрали стрелу G0402/3 (рисунок 9).



Рисунок 9 – Стрела G0402/3

В таблице 6 приведены ТХ стрелы G0402/3.

Таблица 6 – Основные технические характеристики стрелы G0402/3

Тип стрелы	Круглая
Длина, м	3
Масса, кг	3,3
Размер, мм	60 x 3000
Цена, руб	3540

По данным из таблицы 6 приняли  $l_c = 3\text{ м}$ ,  $m_c = 3,3\text{ кг}$ ,  $g = 9,8\text{ м/с}^2$  и определили крутящий момент на выходном валу редуктора  $M_B$  по формуле (6):

$$M_B = \frac{F_{\text{тяж}} \cdot l_c}{2} = \frac{m_c \cdot g \cdot l_c}{2} = \frac{3,3 \cdot 9,8 \cdot 3}{2} = 49,5\text{ Н} \cdot \text{м}$$

Затем, определили угловую скорость вращения выходного вала редуктора  $\omega_B$  по формуле:

$$\omega_B = 2 \cdot \pi \cdot n_{BB} = 2 \cdot \pi \cdot 0,083 = 0,522 \text{ рад/с} \quad (7)$$

Подставили определенные выше значения  $M_B$  из формулы (6) и  $\omega_B$  из формулы (7) в формулу (5) и определили  $P_B$ :

$$P_B = M_B \cdot \omega_B = 49,5 \cdot 0,522 = 25,84 \text{ Вт}$$

Подставили определенные выше значения  $\eta_{\text{общ}}$  из формулы (4) и  $P_B$  из формулы (6) в формулу (3) и определили  $P_{\text{дв}}$ :

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_B}{\eta_{\text{общ}}} = \frac{25,84}{0,67} = 39 \text{ Вт}$$

#### 2.1.4 Расчет количества оборотов входного вала редуктора $n_{\text{вх}}$

Количество оборотов входного вала редуктора  $n_{\text{вхв}}$  определили по формуле:

$$n_{\text{вхв}} = n_{\text{вв}} \cdot N, \quad (8)$$

где  $N$  – передаточное число редуктора.

Приняли  $N$  равным 80 и определили  $n_{\text{вхв}}$  по формуле (8):

$$n_{\text{вхв}} = n_{\text{вв}} \cdot N = 0,083 \cdot 80 = 6,64 \text{ об/сек}$$

#### 2.1.5 Расчет крутящего момента двигателя $M_{\text{дв}}$

Крутящий момент двигателя  $M_{\text{дв}}$  связан с мощностью двигателя  $P_{\text{дв}}$  по формуле:

$$P_{\text{дв}} = M_{\text{дв}} \cdot \omega_{\text{вд}}, \quad (9)$$

где  $\omega_{\text{вд}}$  – угловая скорость вращения выходного вала двигателя, [рад/с].

Выразили из формулы (9) крутящий момент двигателя  $M_{\text{дв}}$ , получили формулу:

$$M_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{вд}}} \quad (10)$$

Угловую скорость вращения выходного вала двигателя  $\omega_{\text{вд}}$  определили по формуле:

$$\omega_{\text{вд}} = 2 \cdot \pi \cdot n_{\text{вхв}} = 2 \cdot \pi \cdot 6,64 \approx 42 \text{ рад/с} \quad (11)$$

Подставили определенные выше значение  $P_{\text{дв}}$  из формулы (3) и  $\omega_{\text{вд}}$  из формулы (11) в формулу (10) и определили  $M_{\text{дв}}$ :

$$M_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{вд}}} = \frac{39}{42} = 0,93 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

## **2.2 Выбор двигателя с редуктором, определение общей стоимости выбранных устройств и приведение варианта управления двигателем**

На сегодняшний день существует два основных типа двигателей:

- Бесколлекторные,
- Коллекторные.

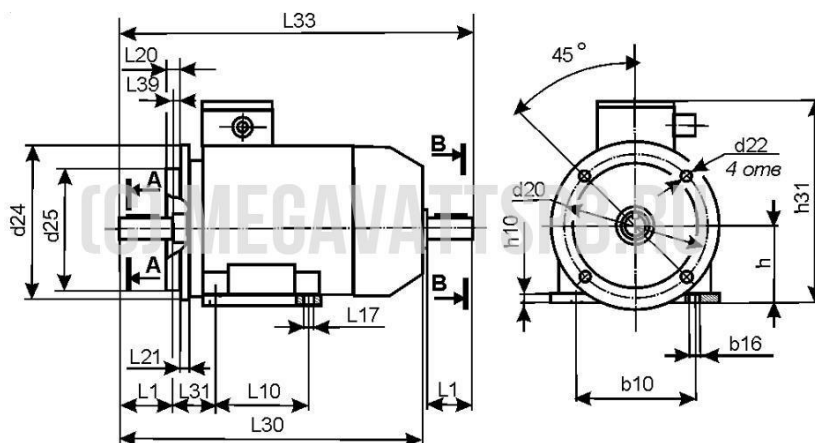
В пункте 2.2 будут рассмотрены только бесколлекторные двигатели, так как их срок службы и эффективность значительно больше, чем у коллекторных аналогов, это обуславливается практически полным отсутствием изнашивающихся деталей. В коллекторных двигателях при высоких оборотах сразу начинают проявлять себя щетки, они находятся в состоянии плотного прилегания к самому коллектору электродвигателя и при высокой скорости работы начинается их быстрый износ, а при длительной работе без обслуживания из-за засорения двигателя, щетки вовсе начинают искрить. Постепенный износ щеток двигателя и всего узла коллектора с щетками способствует снижению общих показателей эффективности работы коллекторного двигателя. В бесколлекторных двигателях также есть изнашивающиеся детали, роторный вал бесколлекторных двигателей устанавливается на подшипники, но их можно легко заменить, поэтому бесколлекторные двигателя не требуют частого обслуживания и ремонта.

Из бесколлекторных двигателей рассмотрим наиболее популярные:

- Асинхронные,
- Вентильные.

### 2.2.1 Асинхронный двигатель

Двигатель [3] выбирается по номинальной скорости обращения входного вала редуктора  $n_{вхв} = 6,64 \frac{\text{об}}{\text{сек}} = 400 \text{ об/мин}$  и номинальному крутящему моменту  $M_{дв} = 0,93 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , таким образом, что номинальный момент выбранного двигателя должен быть больше чем расчетный, потому что это определяет уровень тока, который протекает по обмоткам, а следовательно влияет на тепловые режимы двигателя. Выбрали трехфазный АД с короткозамкнутым ротором АИР71В8 в комбинированном монтажном исполнении IM 2081 изображен на рисунке 10. В таблице 7 приведены основные технические характеристики, необходимые для соединения с редуктором размеры присоединительного фланца и диаметр выходного вала двигателя.



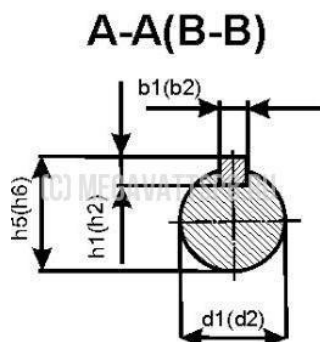


Рисунок 10 - Электродвигатель АИР71В8 монтажное исполнение ИМ 2081

Таблица 7 – Основные технические характеристики АИР71В8 и присоединительные размеры

Номинальная мощность, Вт	250
Номинальное напряжение, В	220
Частота питающей сети, Гц	50
Номинальный ток при напряжении 220/380 В, А	1,9/1,1
Номинальная частота вращения, об/мин	690
Номинальный крутящий момент, Н·м	3,46
КПД, %	58
Сos φ	0,6
Кратность начального пускового тока	4
Кратность начального пускового вращательного момента	1,6
Кратность максимального вращательного момента	1,9
Кратность минимального вращательного момента	1,4
Масса двигателя, кг	9,9

Присоединительные размеры фланца электродвигателя для соединения с фланцем редуктора, мм	
d24	200
d20	165
d25	130

Таблица 7 – Основные технические характеристики АИР71В8 и присоединительные размеры

Диаметр выходного вала электродвигателя d1, мм	19
---	----

По максимальному крутящему моменту на выходном валу редуктора  $M_{\text{в}} = 49,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , передаточному числу  $N = 80$  и частоте вращения выходного вала редуктора  $n_{\text{вв}} = 0,083 \text{ об/сек} = 5 \text{ об/мин}$  подобрали стандартный редуктор NMRV-075-80-9-159 (рисунок 11) под двигатель АИР71В8. Параметры выбранного редуктора, а также размеры присоединительного фланца и диаметр под входной вал двигателя записаны в таблице 2.

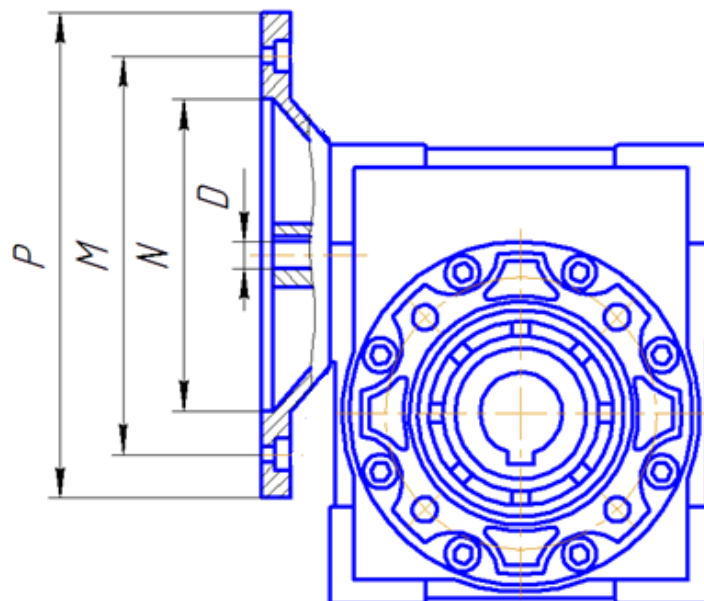




Рисунок 11 – Червячный-редуктор NMRV-075-80-9-159 с обозначениями размеров присоединительного фланца и входного вала

Таблица 8 – Описание параметров червячного-редуктора NMRV-075-80-7-159 и его присоединительных размеров

Серия редуктора	NMRV
Межосевое расстояние, мм	075

Таблица 8 - Описание параметров червячного-редуктора NMRV-075-80-7-159 и его присоединительных размеров

Номинальное передаточное отношение редуктора	80
Число оборотов выходного вала редуктора, об/мин	9
Крутящий момент на выходном валу редуктора, Н·м	159
Присоединительные размеры фланца под электродвигатель, мм	
P	200
M	165
N	130
Диаметр под входной вал двигателя D, мм	19

Подключение к источнику питания АД АИР71В8 осуществляется по распространённым схемам, представленным на рисунке 12 и рисунке 13 [4], [5], [6].

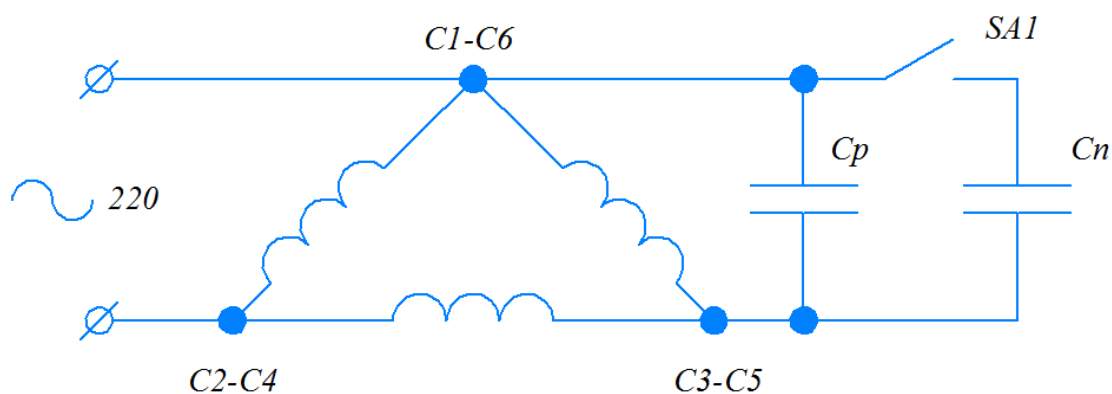


Рисунок 12 – Схемы подключения «Треугольник»

Схема треугольника используется в том случае, если АД требуется подключить к сети 220В вместо 380В. При использовании данной схемы питания, двигатель способен работать на полную паспортную мощность, что позволяет достичь повышенный вращающий момент и большие тяговые усилия, но при этом возрастают значения пусковых токов, что приводит к сильному нагреву электродвигателя.

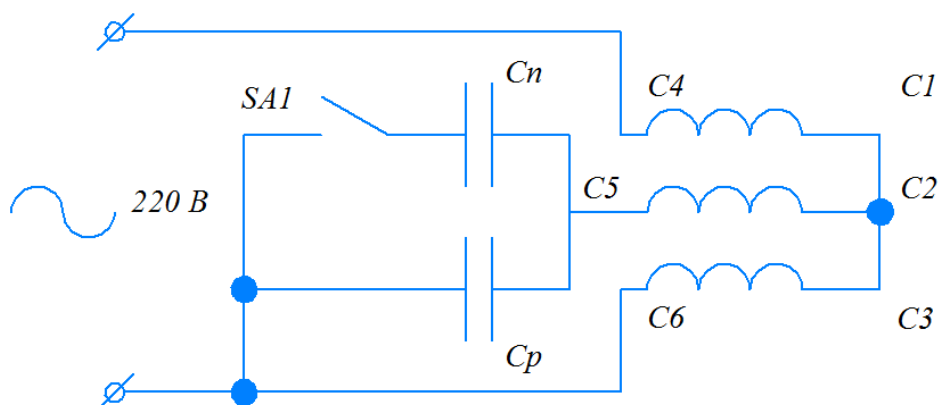


Рисунок 13 - Схема подключения «Звезда»

Схема звезды используется в АД АИР71В8 по умолчанию поэтому его сразу можно подключать в сеть 380В, данное соединение обеспечивает максимальный КПД двигателя, но данная схема не позволяет достичь работы двигателя на полную паспортную мощность.

В схемах приведенных на рисунке 12 и рисунке 13,  $C_p$  это фазосдвигающая емкость, параллельно ей подключается емкость  $C_n$  которая

является пусковой емкостью, она используется для повышения пускового момента и достижения номинального пускового момента.

Указанные выше схемы запуска двигателя, рисунок 12 и рисунок 13, обладают серьезным недостатком, невозможностью запуска двигателя на частотах вращения выходного вала двигателя отличных от сети, то есть нельзя достигнуть номинальной частоты вращения выходного вала двигателя которую необходимо реализовать по кинематическому расчету  $n_{\text{ВХВ}} = 6,64 \text{ об/с} = 400 \text{ об/мин}$ , причем при частоте обращения  $n_{\text{ВХВ}} = 6,64 \text{ об/с} = 400 \text{ об/мин}$  питающее напряжение сети  $U_{\text{НС}}$  должны быть пропорционально ниже, а именно 127 В, его можно определить из пропорции:

$$\frac{U_{\text{НС}}}{n_{\text{ВХВ}}} = \frac{U_{\text{С}}}{n_{\text{д}}},$$

где  $U_{\text{НС}}$  – необходимое номинальное напряжение сети, [В],

$U_{\text{С}} = 220 \text{ В}$  - номинальное напряжение питания двигателя, [В],

$n_{\text{д}} = 690 \text{ об/мин}$  - номинальная частота вращения выходного вала двигателя, [об/мин].

$$\frac{U_{\text{НС}}}{400} = \frac{220}{690}$$

Выразив необходимое номинальное напряжения сети из пропорции, приведенной выше, получили:

$$U_{\text{НС}} = \frac{220 \cdot 400}{690} = 127 \text{ В}$$

Именно поэтому для управления асинхронным выбрали частотный преобразователь, к тому же частотные преобразователи имеют много полезных свойств, таких как:

- плавный пуск и остановка электродвигателя,
- точной регулировкой интенсивности вращения вала электродвигателя,
- необходимый для запуска и работы ток ограничивается номинальными показателями,
- увеличение срока использования оборудования все системы.

Частотные преобразователи подразделяют на:

- Непосредственные частотные преобразователи,
- Частотные преобразователи со звеном постоянного тока.

Частотные преобразователи так же подразделяются по способу управления на частотные

- со скалярным управлением;
- векторным управлением.

Частотный преобразователь был подобран по таким параметрам как доступность сети, как приоритет однофазная сеть, по номинальному току в обмотках двигателя  $I_n = 1,9$  А и мощности инвертора  $P_{и}$  определенной по формуле:

$$P_{и} = \frac{P_{дв}}{\eta_{дв}}, \quad (12)$$

где  $\eta_{дв} = 0,58$  - к. п. д. двигателя АИР71В8.

$$P_{и} = \frac{P_{дв}}{\eta_{дв}} = \frac{39,3}{0,58} = 69 \text{ Вт}$$

Для электродвигателя АИР71В8 выбрали преобразователь частоты Siemens Micromaster 420 6SE6420-2UC13-7AA1 на рисунке 14 изображены клеммы подключения Micromaster 420 6SE6420-2UC13-7AA1, на рисунке 15 изображена схема подключения 6SE6420-2UC13-7AA1 и двигателя. Основные характеристики выбранного преобразователя приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Основные технические Siemens Micromaster 420 6SE6420-2UC13-7AA1

Параметр	Технические характеристики
Тип сети	Однофазная
Входное напряжение, В	200-240 $\pm$ 10%
Рабочий диапазон входных напряжений, В	198-242

Частота сети, Гц	47/63 ±5
Номинальный ток, А	2,3
Максимальная выходная частота, Гц	650
КПД	97%
Разрешение выходной частоты, Гц	0,01
Торможение	1. Генераторное 2. Динамическое 3. Комбинированное
Рабочая температура	-10°C +50°C

Таблица 9 – Основные ТХ Siemens Micromaster 420 6SE6420-2UC13-7AA1

Степень защиты	IP20
Функции защиты	1. Пониженному напряжению 2. Перенапряжению 3. Перегрузке 4. Включению на землю 5. Короткому замыканию 6. Блокировке двигателя 7. Перегреву двигателя 8. Перегреву преобразователя

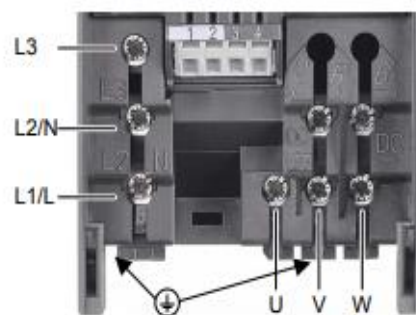


Рисунок 14 – Клеммы подключения Siemens Micromaster 420 6SE6420-2UC13-7AA1

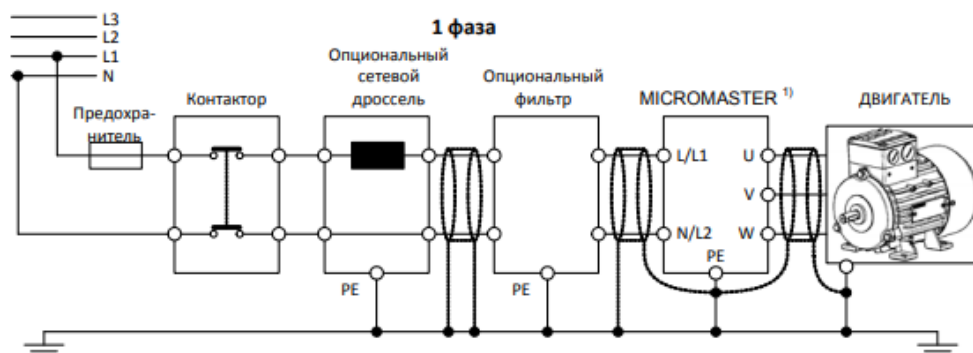


Рисунок 15 – Схема подключения Siemens Micromaster 420 6SE6420-2UC13-7AA1 и двигателя

Стоимость всех выбранных устройств приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Стоимость устройств

Устройство	Цена,руб
АИР71В8	4498
NMRV-075-80-9-159	9051

Общая стоимость выбранных устройств составила 13549 рублей.

### 2.2.2 Вентильный двигатель

В ВД коллекторно-щеточный узел заменен бесконтактным полупроводниковым коммутатором, управляемым датчиком положения. Вентильные двигатели работают от сети постоянного тока. Подбор двигателя проводился аналогично пункту 2.2.1, по номинальному моменту двигателя  $M_{дв} = 0,94 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , по номинальной скорости обращения входного вала редуктора  $n_{вхв} = 6,64 \frac{\text{об}}{\text{сек}} = 400 \text{ об/мин}$ , выбрали двигатель J60BLS120-430A

(рисунок 16) [7]. Технические параметры двигателя J60BLS120-430A приведены в таблице 11.

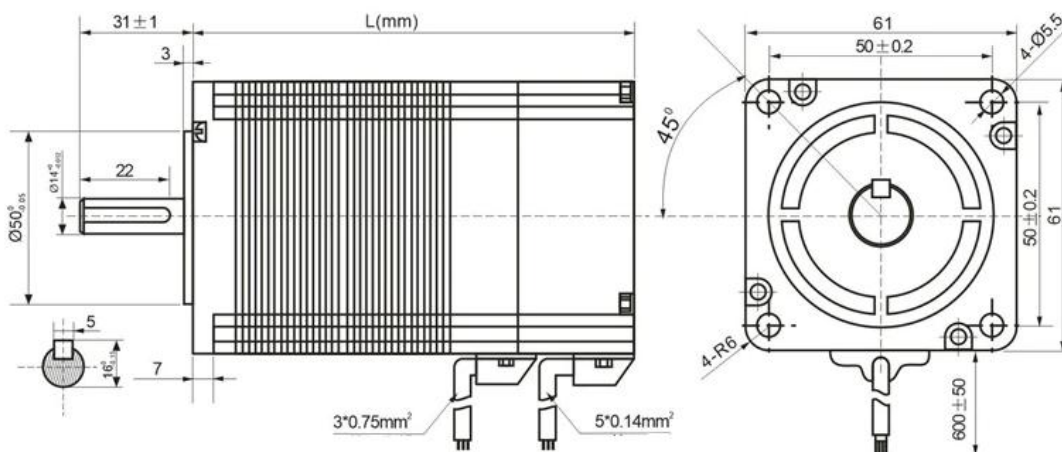


Рисунок 16 – Двигатель J60BLS120-430A

Таблица 11 – Основные технические характеристики двигателя J60BLS120-430A

Напряжение питания, В	48
Схема питания	«Звезда»
Номинальный ток, А	8,8
Мощность, Вт	300
Расположение датчиков холла	120°
Число полюсов	8P
Число фаз	3
Номинальная скорость, об/мин	3000
Номинальный крутящий момент, Н·м	0,95
Максимальный крутящий момент, Н·м	2,85
Индуктивность между линиями, мГн	0,48
Момент инерции ротора, кг·мм <sup>2</sup>	72
ЭДС обратной связи, В/1000об/мин	9,3

Длина двигателя, мм	120
Рабочая температура	-20°C +50°C
Масса двигателя, кг	1,65

Аналогично пункту 2.2.1 по максимальному крутящему моменту на выходном валу редуктора  $M_v = 50,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , передаточному числу  $N = 80$  и частоте вращения выходного вала редуктора  $n_{vv} = 0,083 \text{ об/сек} = 5 \text{ об/мин}$  подобрали червячный редуктор РС-40-80-6,64-75, маркировка выбранного редуктора соответствует ранее выбранному червячному редуктору.



Для управления ВД J60BLS120-430A выбрали драйвер BLD-300B (рисунок 17) [8].

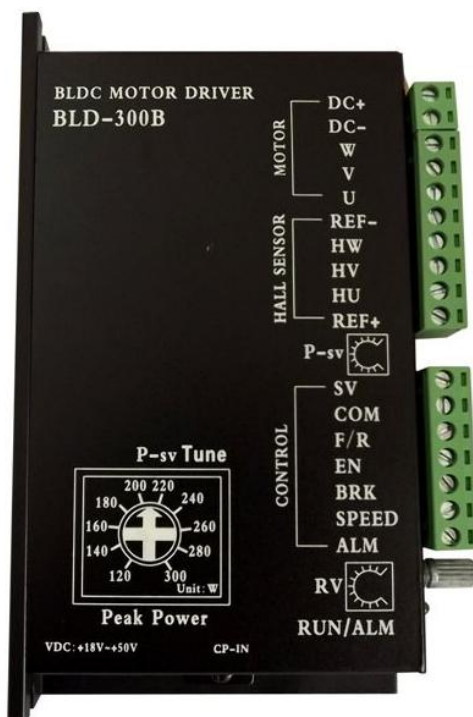


Рисунок 17 – Драйвер BLD-300B

BLD 300 это трехфазный драйвер применяющийся для управления ВД с датчиками Холла, драйвер реализован на современной системе цифровой передачи, обеспечивает высокий крутящий момент, низкий уровень шума, низкий уровень вибрации. Драйвер имеет ПИД-регулятор для контуров скорости и тока. Некоторые модификации BLD-300B поддерживают протокол RS232 для установления времени запуска двигателя, регулирования направления движения, торможения и так далее. Технические и эксплуатационные характеристики драйвера BLD-300 представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Основные технические характеристики драйвера BLD-300

Максимальное напряжение питания, В	56
Номинальное напряжение питания, В	48

Таблица 12 – Основные технические характеристики драйвера BLD-300

Минимально напряжение питания, В	18
Номинальный выходной ток, А	15
Максимальный выходной ток, А	35
Напряжение для датчика холла, В	4,5-5,5
Рабочая температура	-40 °С +80 °С
Скорость вращения, об/мин	от 150 до 20000

На рисунке 18 показано подключение драйвера BLD-300 к двигателю и источнику питания, а также в таблице 13 описаны разъемы драйвера.

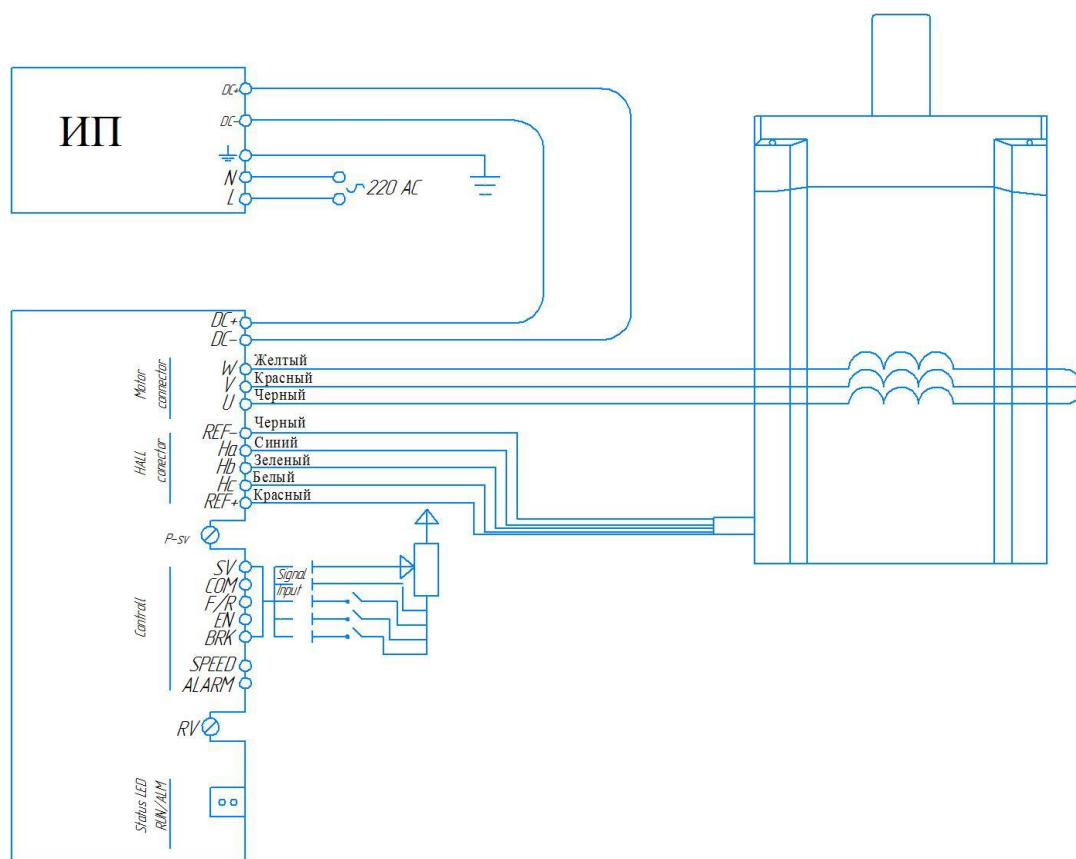


Рисунок 18 – Схема подключения драйвера BLD-300 к двигателю и источнику питания

Таблица 13 – Описание разъемов драйвера BLD-300

Разъем	Определение
DC+/DC-	Вход питания драйвера
W,V,U	Фазы двигателя
Hw,Hv,Hu	Датчик Холла
REF+	Питание датчика Холла
REF-	Питание датчика Холла
R-sv	Внешний потенциометр
COM	Общий порт (опорный уровень 0 В)
F/R	Направление движения двигателя: Высокий Уровень входного сигнала двигатель будет вращаться по часовой стрелке, низкий уровень входного сигнала или когда F/R и COM подключены, двигатель будет вращаться против часовой стрелки
EN	Остановка и запуск двигателя: Высокий уровень входного сигнала двигатель будет медленно останавливаться, низкий уровень входного сигнала или когда EN и COM подключены, двигатель работает
BRK	Тормоз мотора останавливает когда высокий уровень добавлен или подвес порта; Двигатель бежит когда низкий уровень добавлен или EN и BRK соединены

Таблица 13 – Описание разъемов драйвера BLD-300

Speed	Выход скорости-частота импульса, соответствующая ходу двигателя.
ALARM	Выходной сигнал неисправности двигателя или привода 5 В при нормальных обстоятельствах; уровень 0 В при возникновении неисправности.

В таблице 14 приведены цены выбранных устройств.

Таблица 14 – Стоимость устройств

Устройство	Цена,руб
J60BLS120-430A	3256
РС-40-80-6,64-75	4490

Общая стоимость выбранных устройств составила 7746 рублей.

Из рассмотренных в пунктах 2.2.1-2.2.2 двигателей, для электропривода выбрали ВД J60BLS120-430A, данный выбор связан с тем, что цена электропривода с АД АИР71В8 и цена электропривода с ВД J60BLS120-430A отличаются на 5803 рубля, данная разница в стоимости устройств значительна, так же можно отметить массогабаритные показатели, у выбранного ВД J60BLS120-430A массогабаритные показатели в 6 раз меньше, чем у выбранного АД АИР71В8, так же показатели ВД по КПД и коэффициенту мощности  $\cos \varphi$  на всех нагрузках превышает 90%, в то время как у АД КПД на половинных нагрузках может падать до 40%, так же диапазон регулирования по частоте у ВД выше на два порядка чем у АД.

## 2.3 Проектирование источника питания для драйвера двигателя

Определившись с двигателем и устройством управления двигателем в пункте 2.2, дополнили ориентировочную структурную схему, изображенную на рисунке 6 двумя блоками:

- блок питания
- драйвер управления

На рисунке 19 изображена дополненная структурная схема АШ.

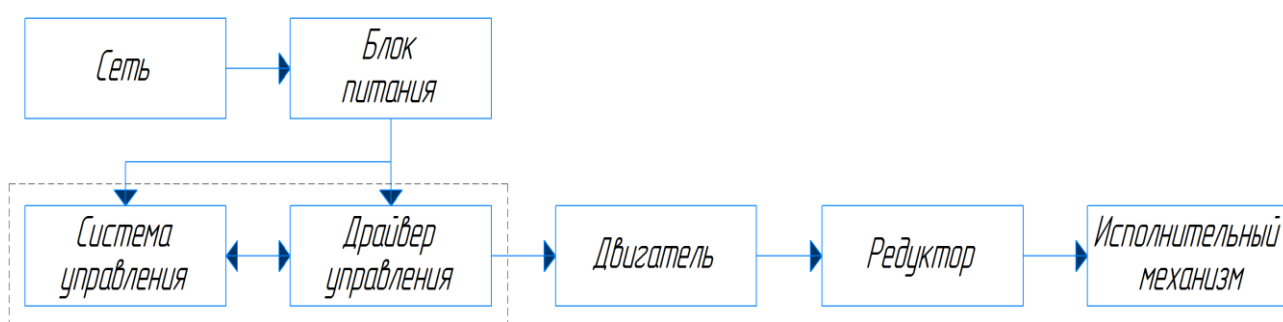


Рисунок 19 – Дополненная структурная схема АШ

Из структурной схемы, изображенной на рисунке 19 видно, что для питания драйвера от которого будет питаться двигатель необходим БП.

Обращая внимание на данные из таблицы 11 видно, что питающее напряжение драйвера находится в диапазоне от +18В до +56В, номинальное напряжение питания составляет +48В, напряжение питания двигателя составляет +48В, но ввиду того что необходимая скорость двигателя  $n_{\text{вхв}} = 400$  об/мин то есть меньше максимальной которая составляет 3000 об/мин в 7,5 раз, все это можно сопроводить уменьшением номинального питающего напряжения также в 7,5 раз, но тогда напряжение питания будет равно +6,4В, и драйвер не будет работать, поэтому было решено понизить номинальное напряжение питания примерно в 2 раза.

Для проектирования БП были рассмотрены три схемы, изображенные на рисунках 20-22.

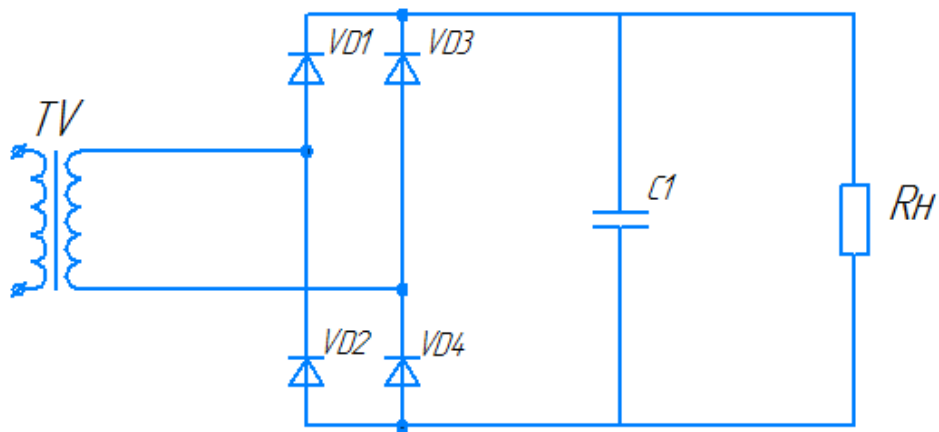


Рисунок 20 – Схема БП с С-фильтром

Принцип работы схемы, следующий [9]:

- напряжение со вторичной обмотки трансформатора выпрямляется диодным мостом VD1-VD4 и на выходе получается пульсирующее напряжение,
- конденсатор C1 заряжается до величины напряжения в цепи, и в момент времени, когда напряжение на C1 становится больше напряжения на выпрямителе конденсатор постепенно разряжается через нагрузку, таким образом, сглаживая огромные скачки уровня напряжения. Разряжается он до момента пока напряжение на выпрямителе не превысит напряжение на конденсаторе и тогда C1 вновь начнет заряжаться.

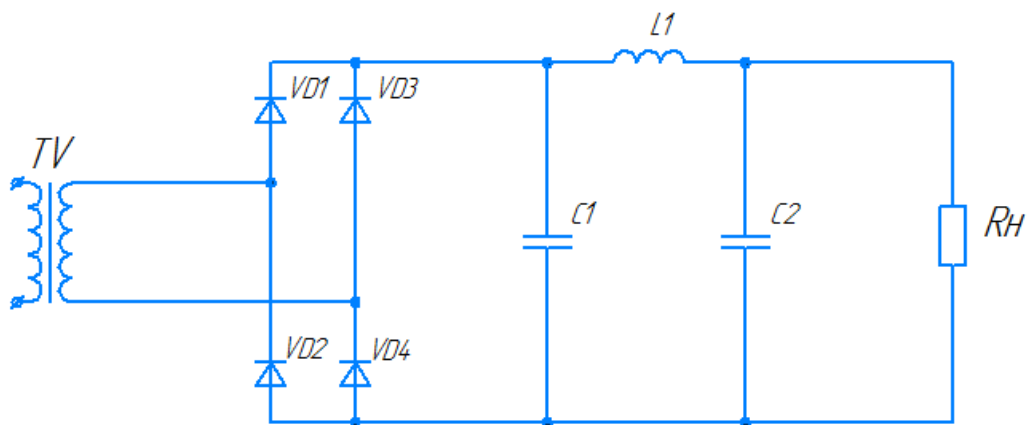


Рисунок 21 - Схема БП с П-фильтром

Принцип работы схемы следующий:

- напряжение со вторичной обмотки трансформатора выпрямляется диодным мостом VD1-VD4 и на выходе получается пульсирующее напряжение,

- с возрастанием выходного напряжения выпрямителя возрастает и заряд на конденсаторах, а также расширяется магнитное поле вокруг катушки индуктивности, когда выходное напряжение достигает наивысшей точки, конденсаторы полностью заряжены, а магнитное поле катушки индуктивности достигает наибольшей силы,

- с падением выходного напряжения выпрямителя конденсаторы начинают разряжаться через нагрузку, а магнитное поле вокруг катушки индуктивности начинает исчезать, пытаясь удержать направление тока. Тем не менее, прежде чем полностью разрядятся конденсаторы и полностью исчезнет магнитное поле, выпрямитель подаст ещё один выходной импульс. Этот новый импульс перезаряжает конденсаторы, а магнитное поле вокруг катушки индуктивности снова расширяется.

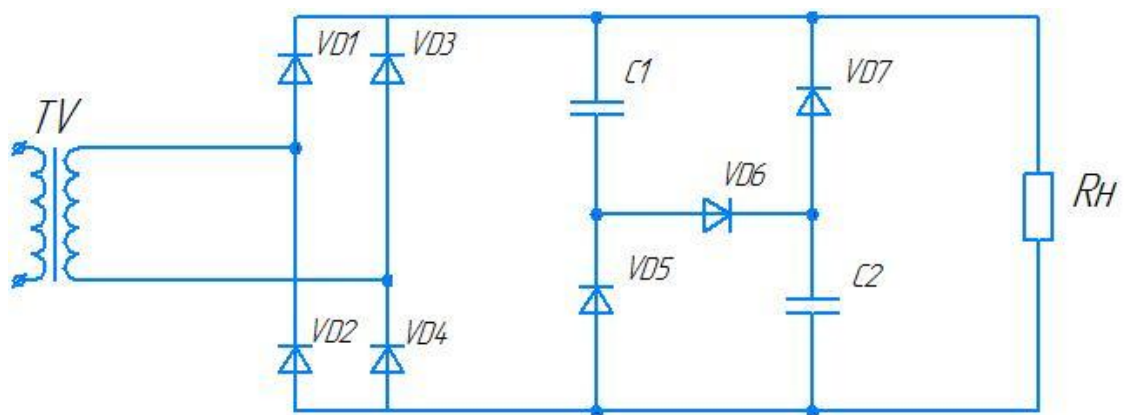


Рисунок 22 – Схема БП с цепью коррекции коэффициента мощности

Принцип работы схемы следующий:

- напряжение со вторичной обмотки трансформатора выпрямляется диодным мостом VD1-VD4 и на выходе получается пульсирующее напряжение,
- затем идет заряд идет через C1-VD6-C2, конденсаторы имеют одинаковую емкость, ток через них протекает одинаковый, значит они заряжаются на одинаковое напряжение, это напряжение равно половине входного амплитудного значения, то есть они заряжаются на  $E/2$ , при этом напряжение с выхода диодного моста также подается на нагрузку, поскольку входное напряжение изменяется по синусоиде оно с амплитудного значения

уменьшается до половины напряжения которое совпадает с напряжением на каждом конденсаторе, то есть с амплитудного падает до половины, а пока оно падает до половины диодный мост питает нагрузку, а конденсаторы остаются заряженными и ток через них больше не течет, когда достигается среднее напряжение конденсаторы подключаются параллельно диодам и при падении напряжения ниже среднего диодный мост запирается, а конденсаторы продолжают питать нагрузку, оставаясь на напряжение примерно равным  $E/2$ .

Работу каждой из схем промоделировали в программном пакете MatLab/Simulink r2014a [10], [11]. Целью моделирование является получить на выходе каждой из схем напряжение примерно равное +24В напряжения и необходимую мощность 39 Вт. Номиналы элементов каждой из схем будут подобраны способом подбора из доступных в ходе моделирования. Модель схемы, изображенной на рисунке 20 в MatLab/Simulink r2014a изображена на рисунке 23.

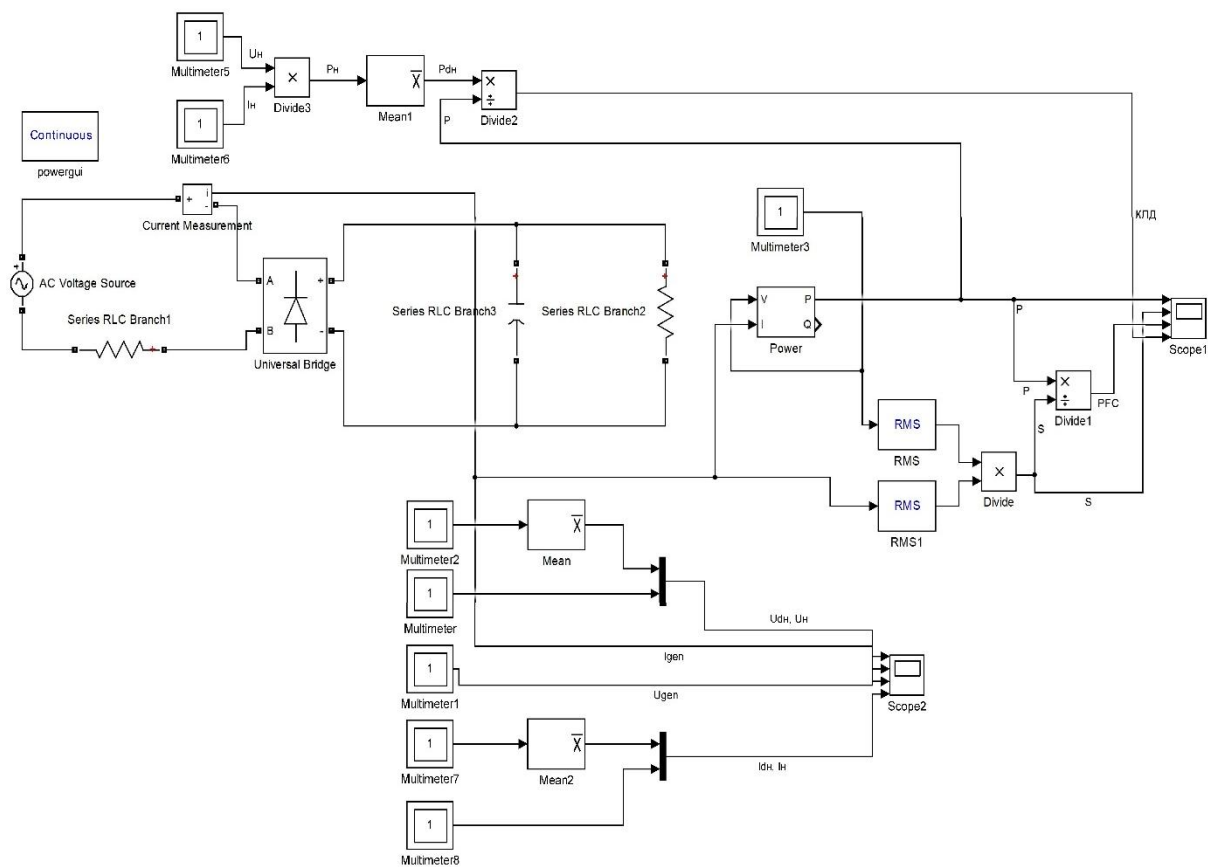


Рисунок 23 - Модель схемы БП с С-фильтром в MatLab/Simulink r2014a



При моделировании работы схемы БП изображенной на рисунке 23, для получения требуемого напряжения и мощности номиналы элементов схемы были подобраны следующие:

- AC Voltage Source вторичная обмотка трансформатора или источник напряжение равный 33,84В это амплитудное напряжение, то есть 24В помноженное на  $\sqrt{2}$ ,

- Series RLC Branch1 сопротивление обмотки трансформатора равно 2,3 Ом,

- Series RLC Branch3 сглаживающий C-фильтр емкость которого равна 10000 мкФ,

- Series RLC Branch2 эквивалентная нагрузка, обеспечивающая необходимую мощность на выходе схемы равна 19 Ом.

В ходе моделирования работы схемы, изображенной на рисунке 23 были получены следующие осциллограммы:

- ток источника питания  $i_{gen}$  и напряжение источника питания  $U_{gen}$  (рисунок 24),

- напряжение нагрузки  $U_n$  и его среднее значение  $U_{срн}$  (рисунок 24),

- ток нагрузки  $I_n$  и его среднее значение  $I_{срн}$  (рисунок 24),

- активная мощность  $P$ , полная мощность  $S$ , коэффициент мощности PFC и КПД (рисунок 25).

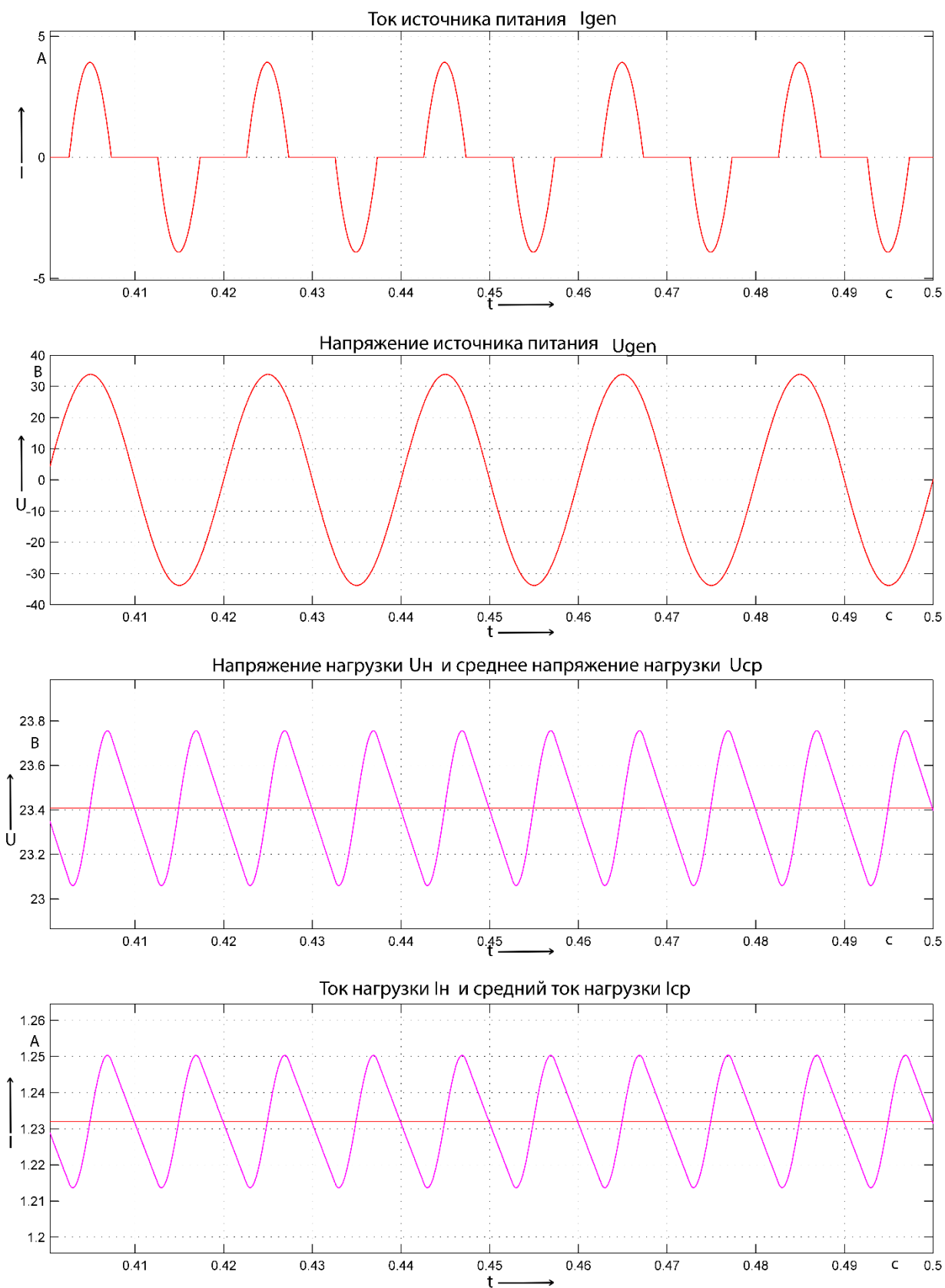


Рисунок 24 – Осциллограммы работы модели с рисунка 23

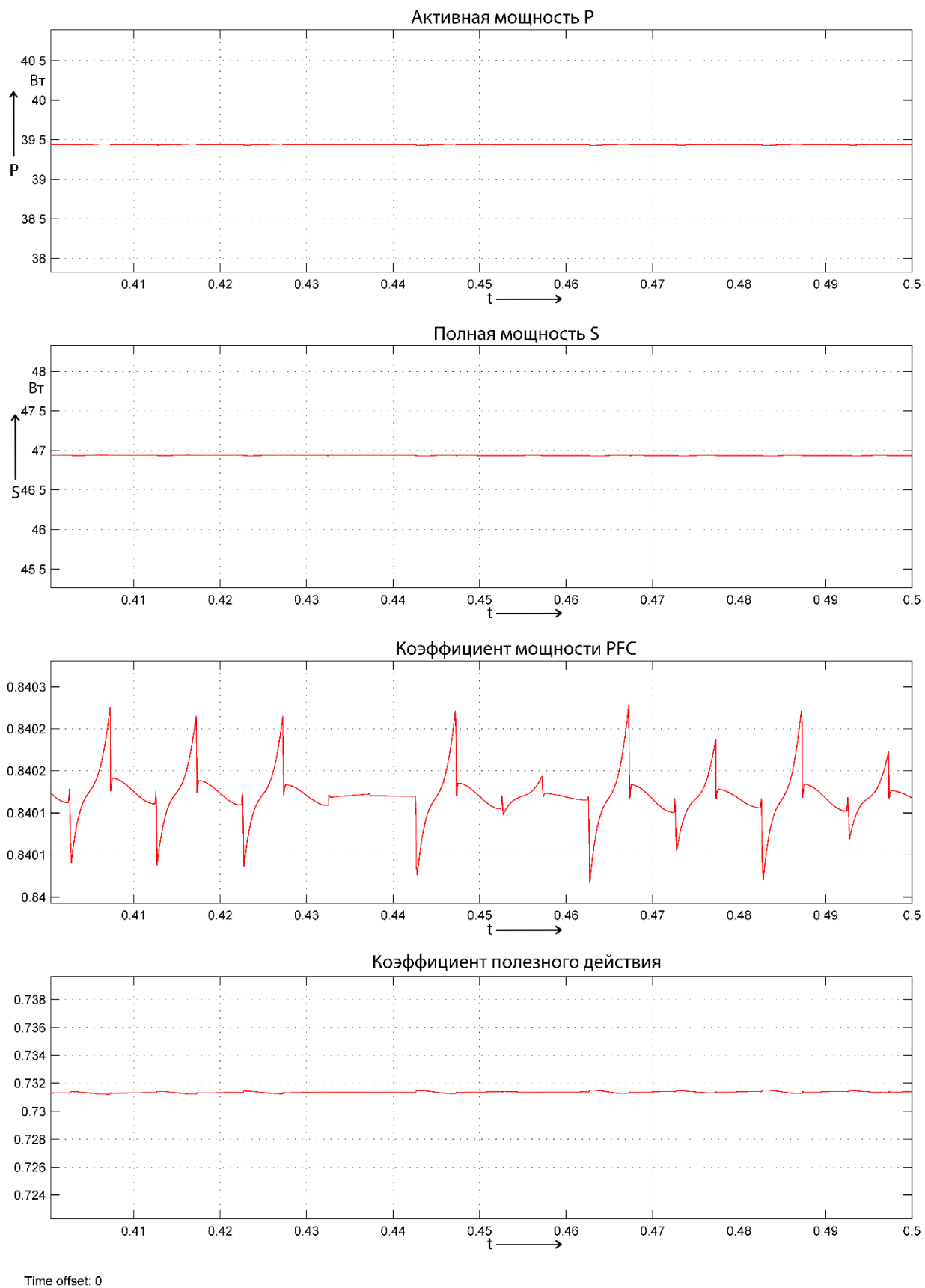


Рисунок 25 – Осциллограммы работы модели с рисунка 23

Модель схемы, изображенной на рисунке 21 в MatLab/Simulink r2014a изображена на рисунке 26.

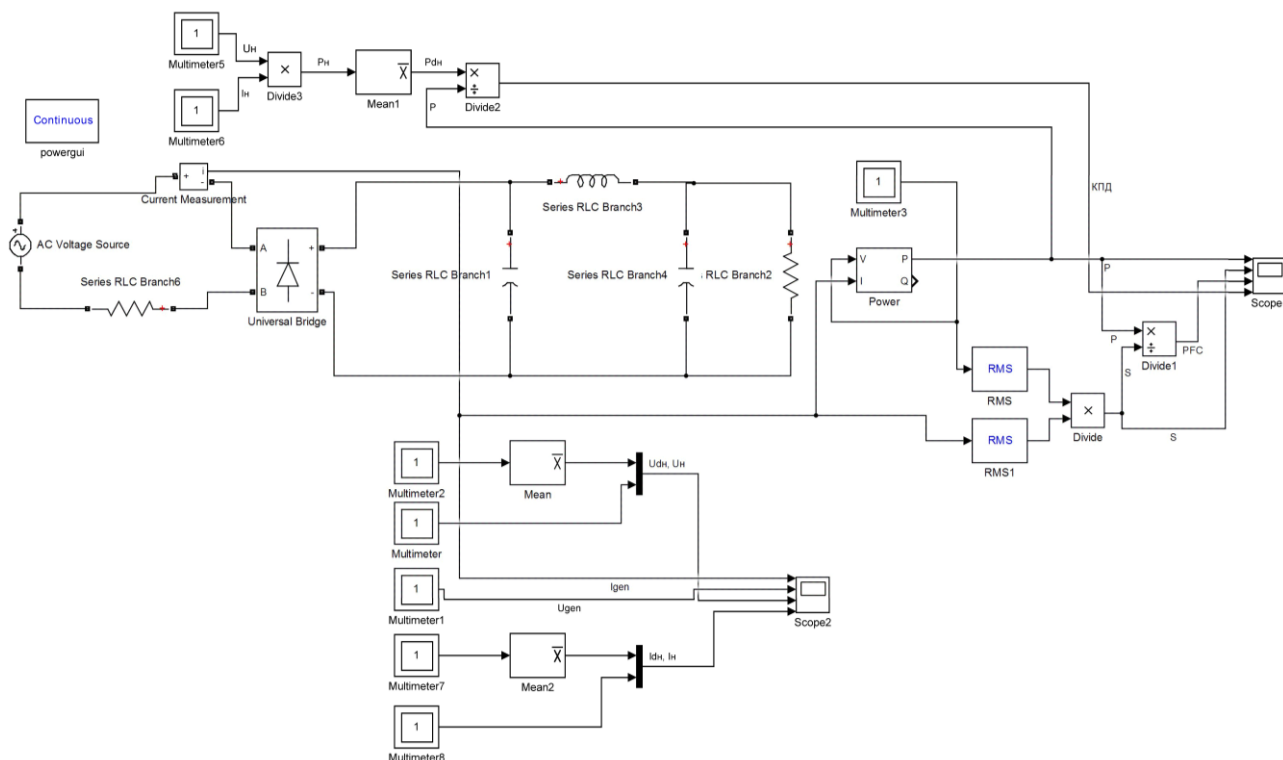


Рисунок 26 - Модель схемы БП с П-фильтром в MatLab/Simulink r2014a

При моделировании работы схемы БП изображенной на рисунке 26, для получения требуемого напряжения и мощности номиналы элементов схемы были подобраны следующие:

- AC Voltage Source вторичная обмотка трансформатора или источник напряжение равный 33,84В это амплитудное напряжение, то есть 24В помноженное на  $\sqrt{2}$ ,

- Series RLC Branch6 сопротивление обмотки трансформатора равно 2,3 Ом,

- Series RLC Branch1 и Series RLC Branch4 сглаживающие конденсаторы П-фильтр емкость которых равна 1000 мкФ,

- Series RLC Branch3 дроссель индуктивность которого равна 1,5 Гн,

- Series RLC Branch2 эквивалентная нагрузка, обеспечивающая необходимую мощность на выходе схемы равна 18 Ом.

В ходе моделирования работы схемы, изображенной на рисунке 26 были получены следующие осциллограммы:

- ток источника питания  $I_{gen}$  и напряжение источника питания  $U_{gen}$  (рисунок 27),
- напряжение нагрузки  $U_n$  и его среднее значение  $U_{dn}$  (рисунок 27),
- ток нагрузки  $I_n$  и его среднее значение  $I_{dn}$  (рисунок 27),
- активная мощность  $P$ , полная мощность  $S$ , коэффициент мощности  $PFC$  и КПД (рисунок 28).

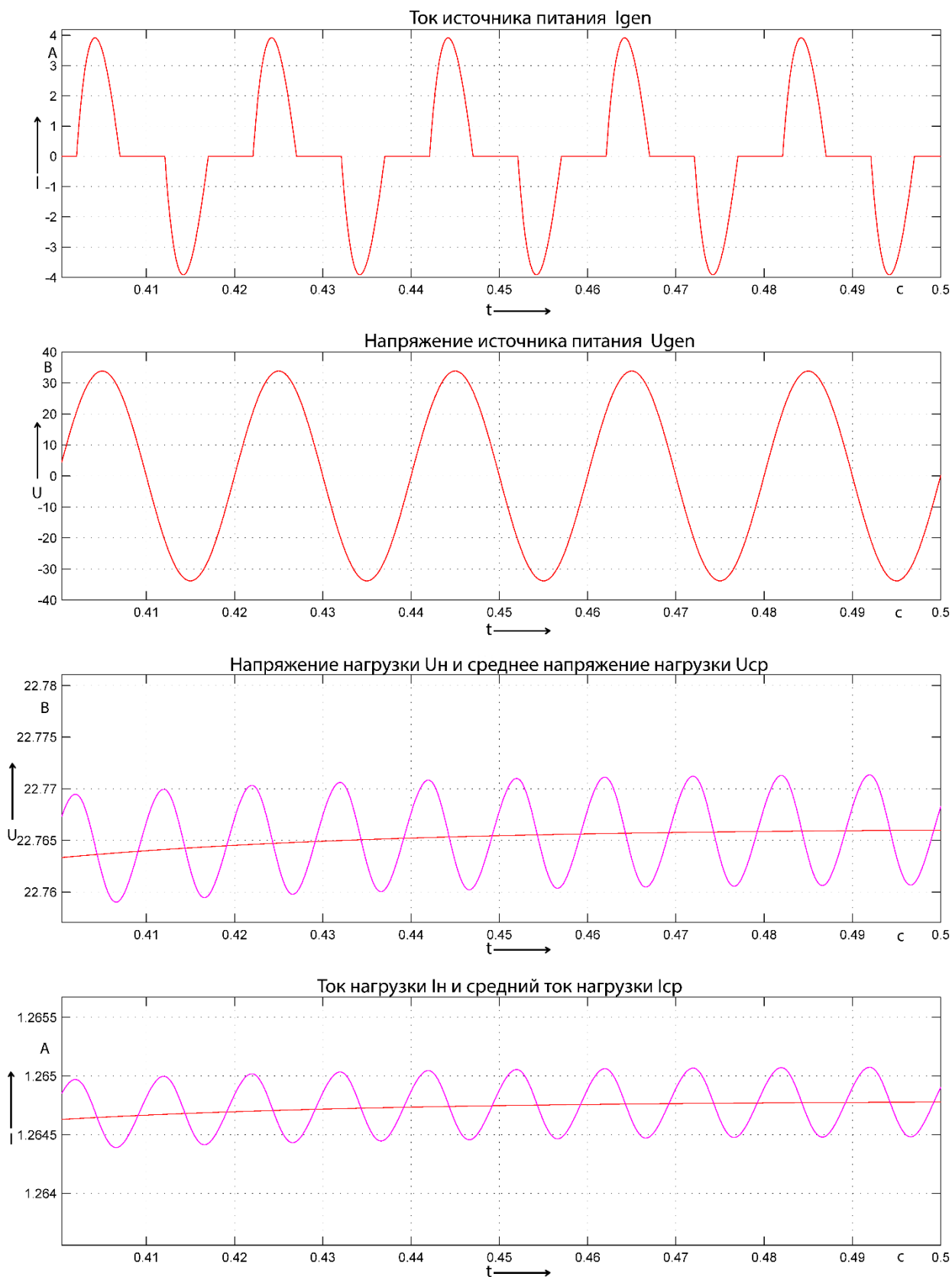
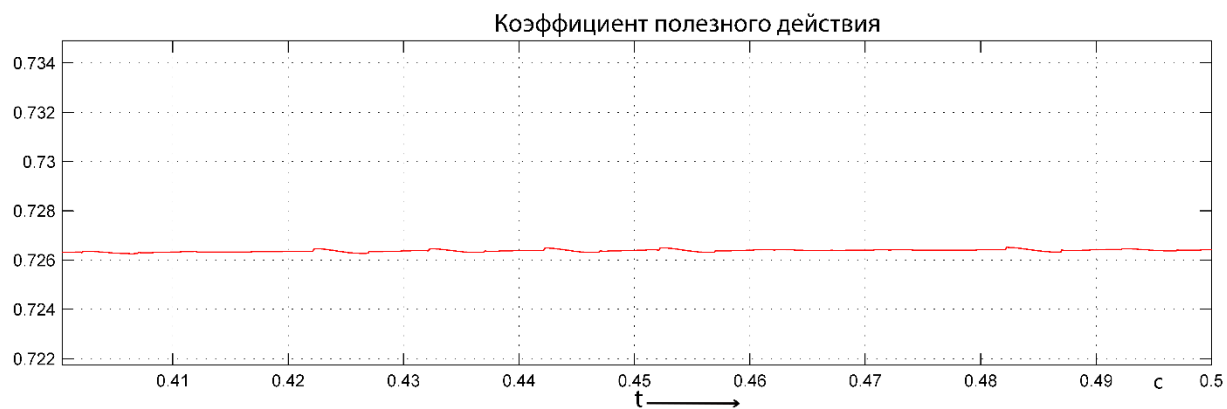
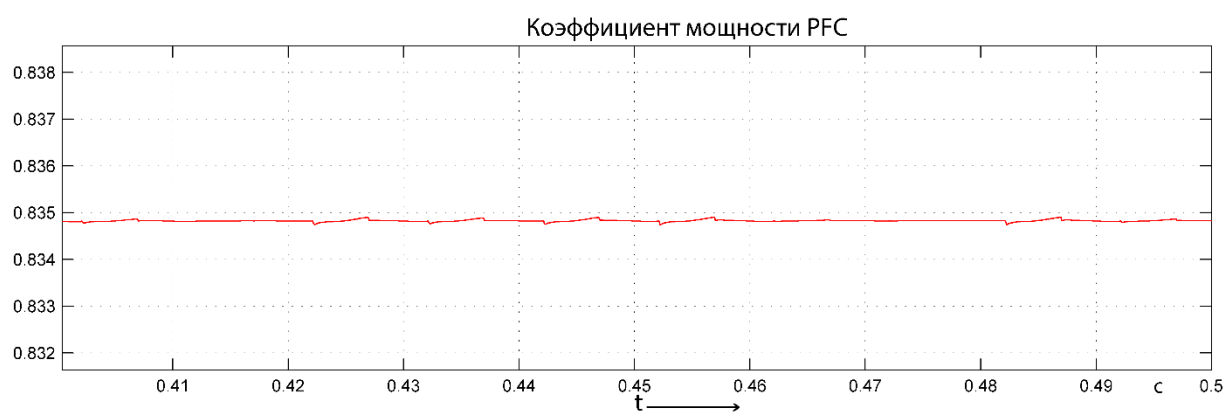
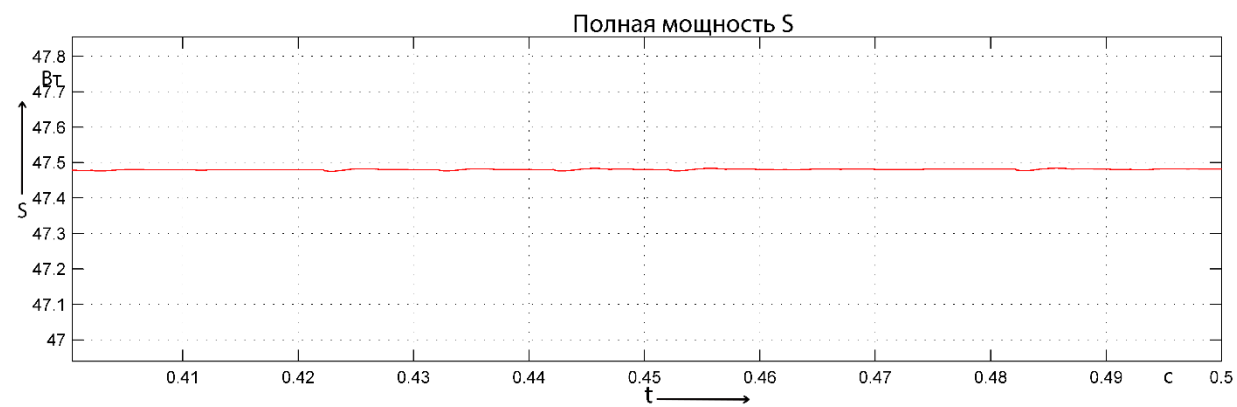
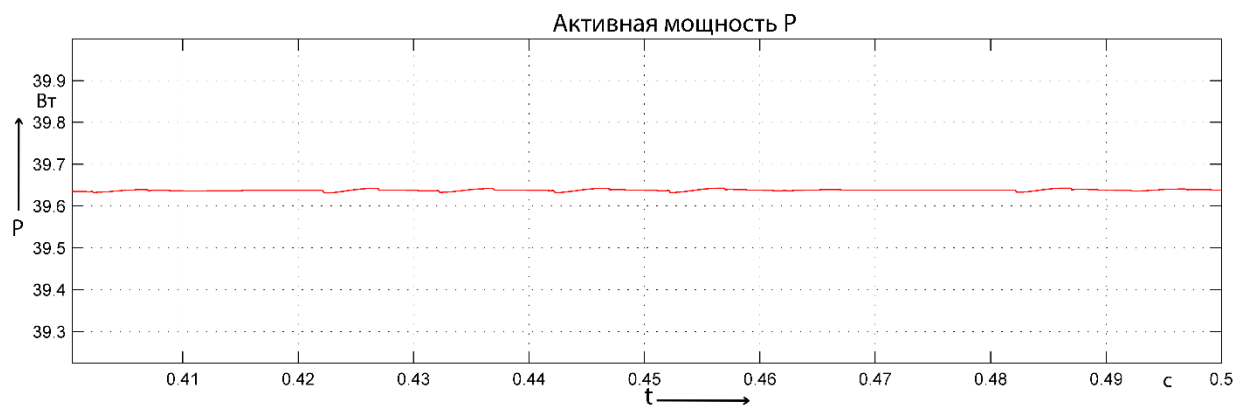


Рисунок 27 – Осциллограммы работы модели с рисунка 26



Time offset: 0

Рисунок 28 – Осциллограммы работы модели с рисунка 26

Модель схемы, изображенной на рисунке 22 в MatLab/Simulink r2014a изображена на рисунке 29.

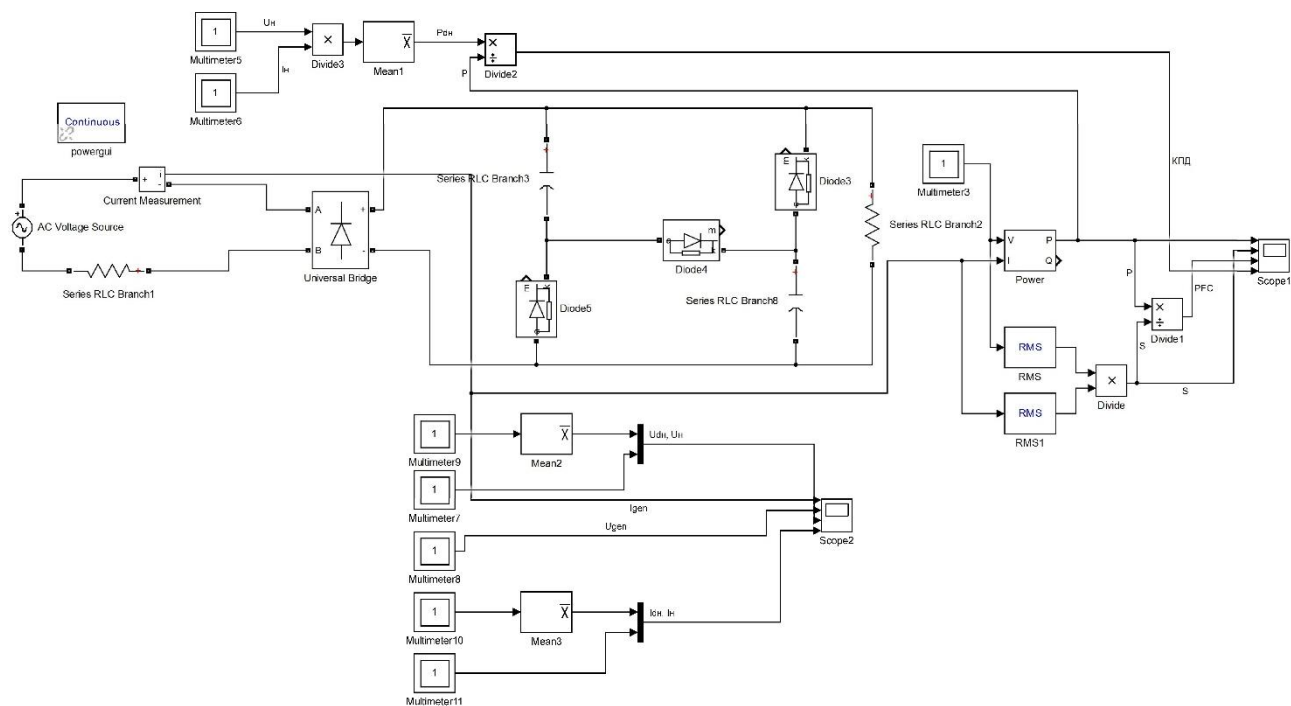


Рисунок 29 - Модель схемы БП с цепью коррекции коэффициента мощности в MatLab/Simulink r2014a

При моделировании работы схемы БП изображенной на рисунке 26, для получения требуемого напряжения и мощности номиналы элементов схемы были подобраны следующие:

- AC Voltage Source вторичная обмотка трансформатора или источник напряжение равный  $33,84\text{В}$  это амплитудное напряжение, то есть  $24\text{В}$  помноженное на  $\sqrt{2}$ ,
- Series RLC Branch1 сопротивление обмотки трансформатора равно  $2,3\text{ Ом}$ ,
- Series RLC Branch5 и Series RLC Branch8 сглаживающие конденсаторы, емкость которых равна  $1000\text{ мкФ}$ ,
- Series RLC Branch2 эквивалентная нагрузка, обеспечивающая необходимую мощность равна  $12\text{ Ом}$ .



В ходе моделирования работы схемы, изображенной на рисунке 29 были получены следующие осциллограммы:

- ток источника питания  $I_{gen}$  и напряжение источника питания  $U_{gen}$  (рисунок 30),
- напряжение нагрузки  $U_n$  и его среднее значение  $U_{dn}$  (рисунок 30),
- ток нагрузки  $I_n$  и его среднее значение  $I_{dn}$  (рисунок 30),
- активная мощность  $P$ , полная мощность  $S$ , коэффициент мощности  $PFC$  и КПД (рисунок 31).

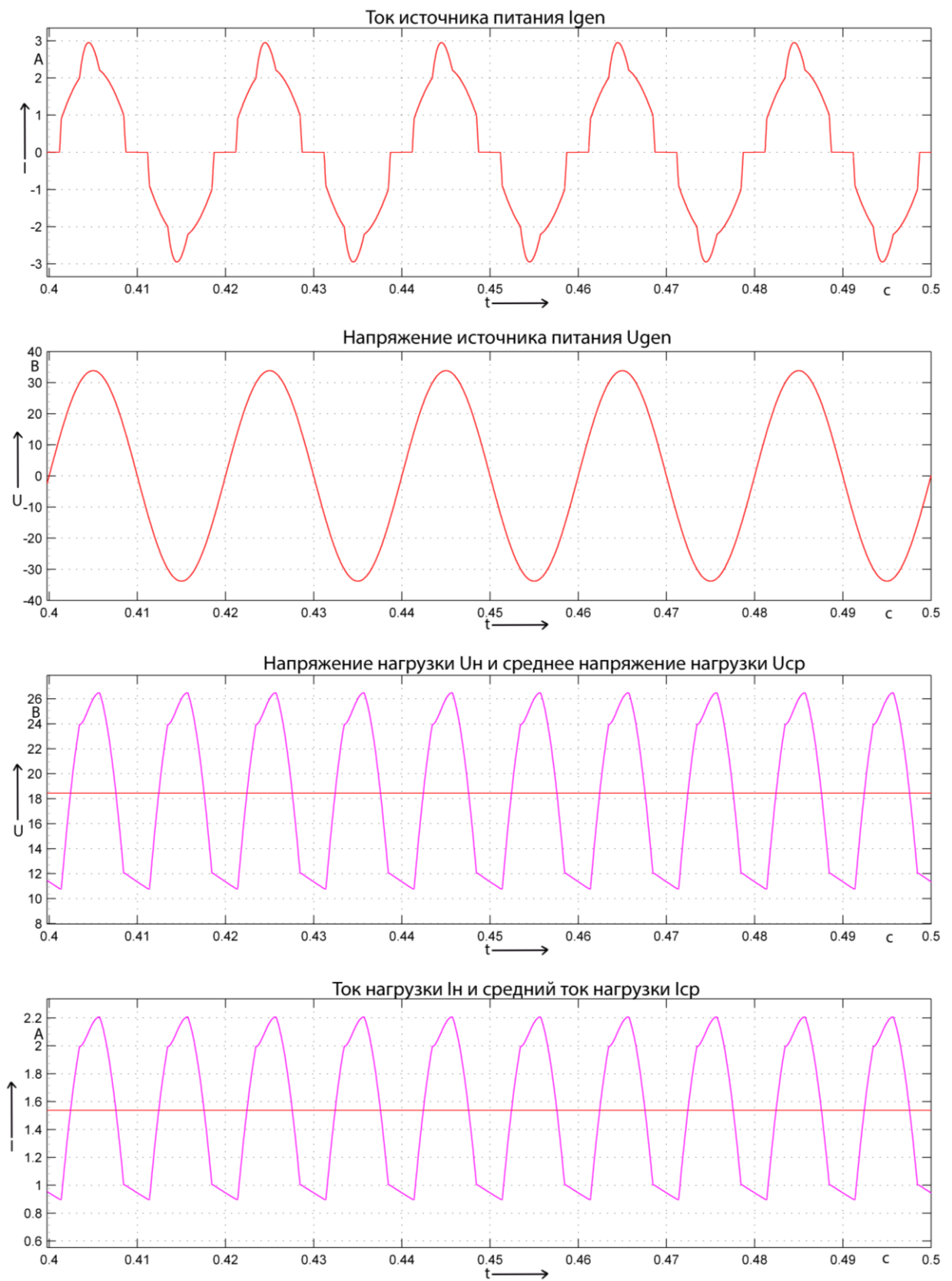
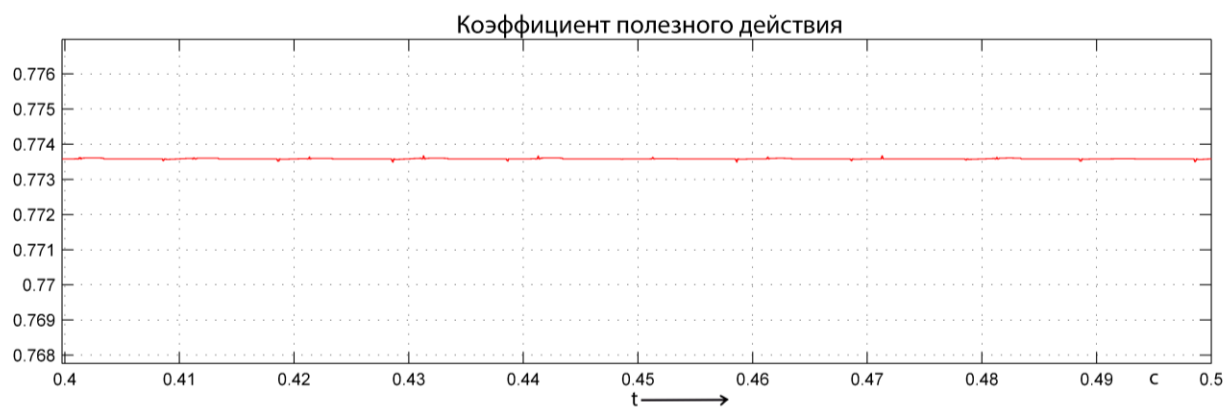
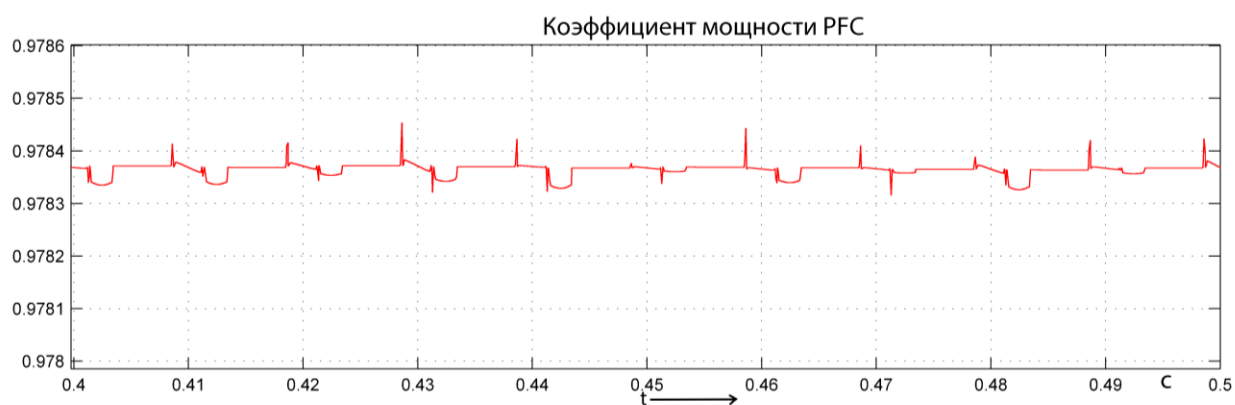
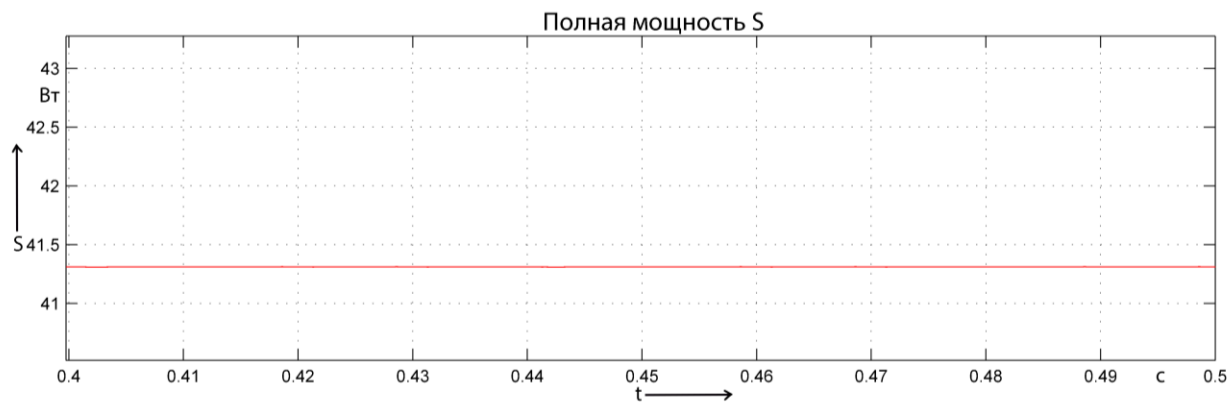
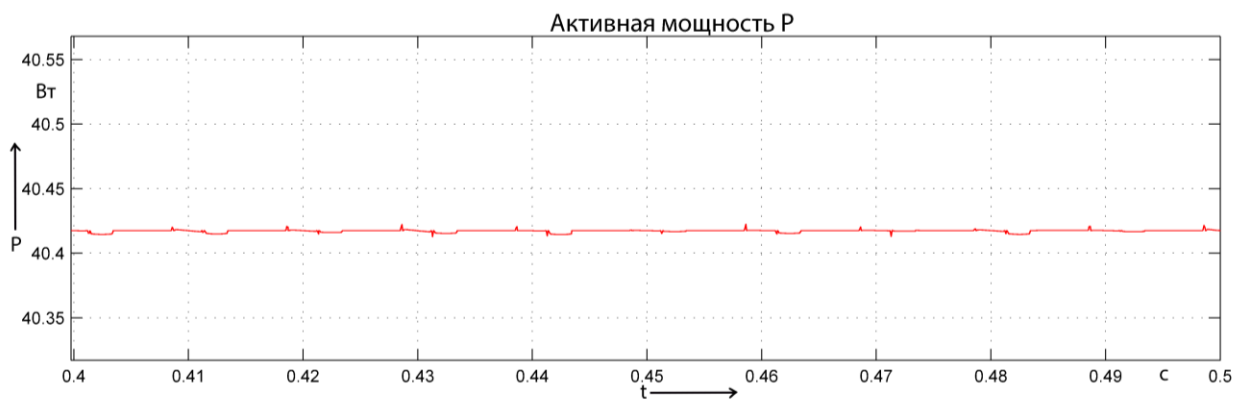


Рисунок 30 – Осциллограммы работы модели с рисунка 29



Time offset: 0

Рисунок 31 – Осциллограммы работы модели с рисунка 29

Сравнив осциллограммы работы каждой из схем между собой можно сказать, что:

- наибольшие пульсации напряжения и тока имеет схема, изображенная на рисунке 22,
- мощность, получаемая от каждой из схем, удовлетворяет требованиям,
- наибольший коэффициент мощности  $\cos \varphi$  имеет схема, изображенная на рисунке 22,
- наибольший КПД имеет схема, изображенная на рисунке 22.

Для схемы блока питания выбрали схему, изображенную на рисунке 22, так как она имеет лучший коэффициент мощности  $\cos \varphi$  и КПД. Составил функциональную схему БП (рисунок 32)

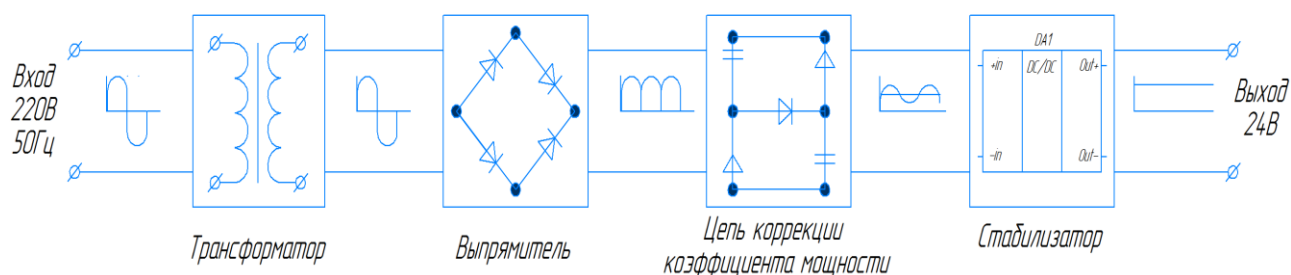


Рисунок 32 – Функциональная схема БП

Последовательность работы, приведенной на рисунке 32 функциональной схемы следующая:

- на первичную обмотку трансформатор подается переменное напряжение 220В 50Гц, на вторичной обмотке трансформатора получаем меньшее необходимое напряжение той же частоты,
- диодный мост выпрямляет подающееся на него напряжение из переменного в пульсирующее напряжение той же величины,
- цепь коррекции корректирует коэффициент мощности  $\cos \varphi$ ,

- стабилизатор напряжения стабилизирует выходное напряжение сглаженное напряжение на необходимую величину напряжения и стабилизирует напряжение делая его постоянным.

По функциональной схеме, изображенной на рисунке 22 необходимо подобрать следующий перечень элементов:

- трансформатор 220/24 В, был выбран заранее, так как иначе не смог бы учесть сопротивление его обмотки при моделировании работы моделируемых схем БП,

- выпрямитель VD1-VD4,
- конденсаторы C1-C2,
- диоды VD5-VD7,
- стабилизатор напряжения.

В качестве трансформатора взял ОСО-0,25 УХЛ 3 [12] изображенный на рисунке 33. Основные ТХ трансформатора ОСО-0,25 УХЛ 3 приведены в таблице 15.



Рисунок 33 – Трансформатор ОСО-0,25 УХЛ 3

Таблица 15 – Основные технические характеристики трансформатора ОСО-0,25 УХЛ 3

Мощность, кВА	0,250
Ток вторичной обмотки при напряжении вторичной обмотки 24В, А	10,4
Сопротивление вторичной обмотки при токе вторичной обмотки 10,4А и напряжении 24В, Ом	
Рабочий температурный диапазон	от -60 °С до +40 °С
Степень защиты	IP00
КПД	91%
Режим работы	продолжительный
Масса, кг	4,2
Стоимость, руб.	991

Выбор диодов выпрямителя VD1-VD4 производился по следующим параметрам [13]:

- максимальному повторяющемуся напряжению на выпрямителе не превышающему для мостовой схемы амплитудного напряжения сети, поэтому при выборе диодов должно выполняться условие  $U_{VD,max} > \sqrt{2} \cdot U_{вх,max}$ ,

- среднему току в прямом направлении, который связан с током нагрузки как  $I_{vdsr} = \frac{I_{dн}}{2}$ .

Так как  $U_{вх,max} = 24В$  умножил его на  $\sqrt{2}$  и получили неравенство  $U_{VD/max} > 34В$ . Значения среднего тока в прямом направлении через выпрямитель  $I_{vdsr}$  определили по осциллограмме среднего тока нагрузки  $I_{dн}$  изображенной на рисунке 30, как  $I_{vdsr} = \frac{I_{dн}}{2} = \frac{1,55}{2} = 0,775 А$ . По рассчитанным параметра выбрали выпрямитель EDF1AS (рисунок 34) [14] с запасом в 40% по максимальному повторяющемуся напряжению на выпрямителе  $U_{VD/max} = 50В$  и

среднему току в прямом направлении  $I_{vdsr} = 1\text{A}$  для повышения ресурса работы диодов. Стоимость выпрямителя составляет 63 рубля.



Рисунок 34 – Выпрямитель EDF1AS

При выборе конденсаторов C1 и C2 обратили внимание на следующие параметры:

- максимальное напряжение через конденсаторы  $U_{C.max}$ ,
- разброс емкости  $C_{cond}$ .

Измерил максимальное напряжение  $U_{C.max}$  на конденсаторах C1 и C2 в программном пакете MatLab/Simulink r2014a по схеме, изображенной на рисунке 35 с помощью блока Voltage Measurement и вывел значение  $U_{C.max}$  конденсаторов C1 и C2 на Scope1 (рисунок 36).

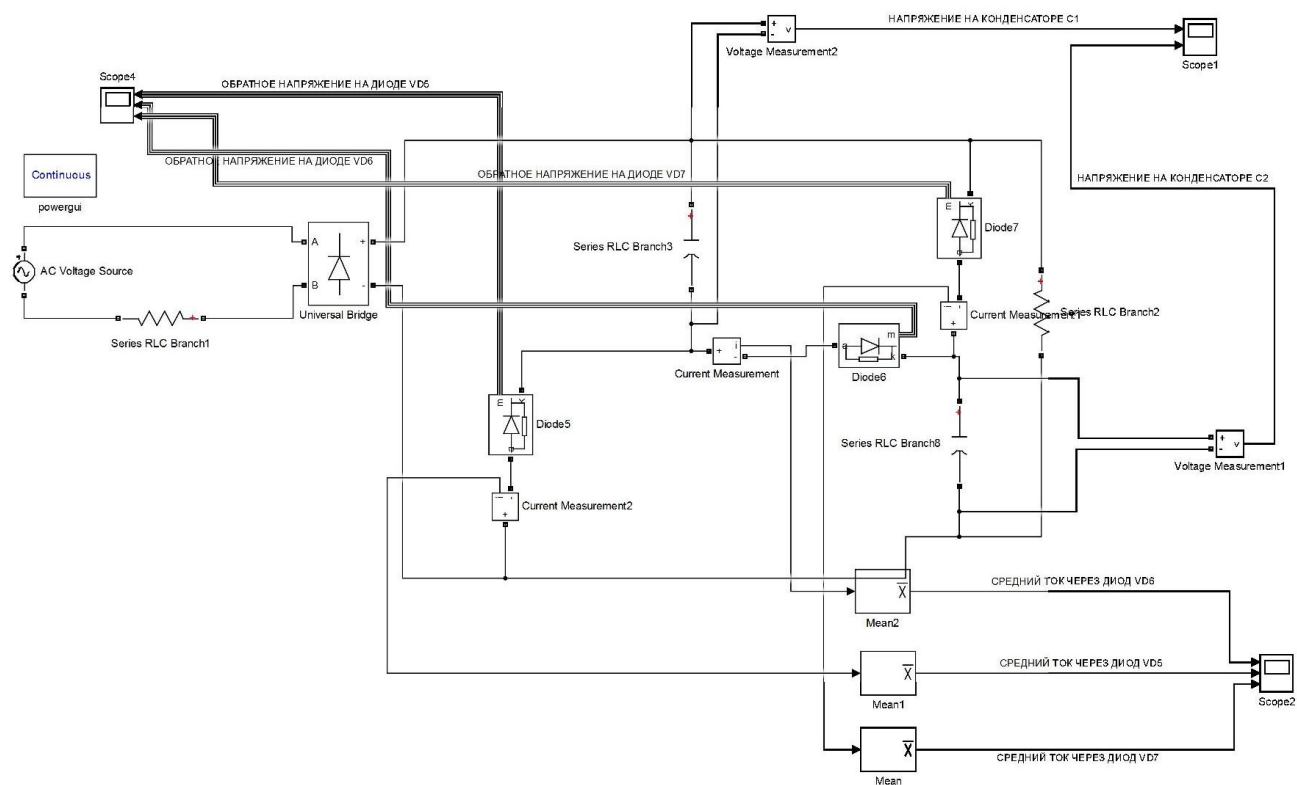
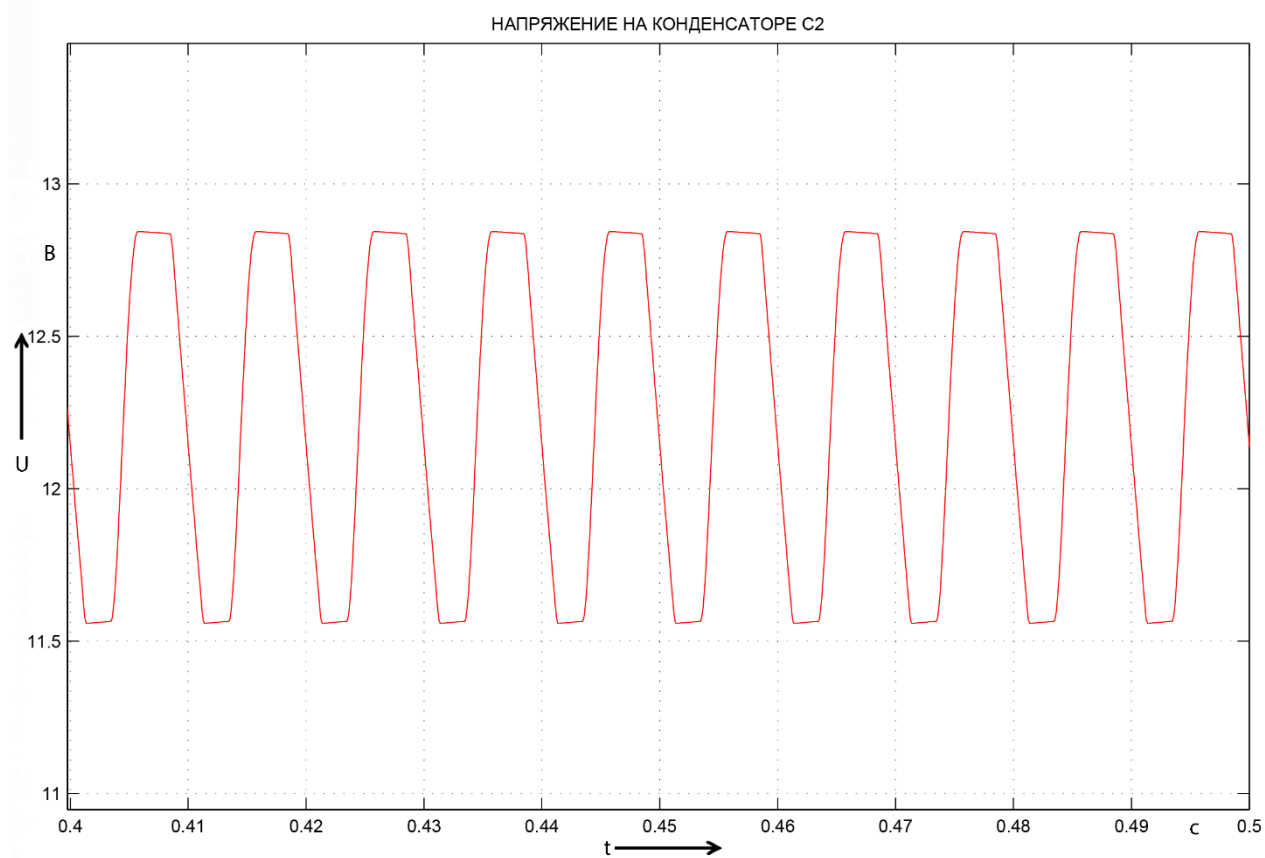
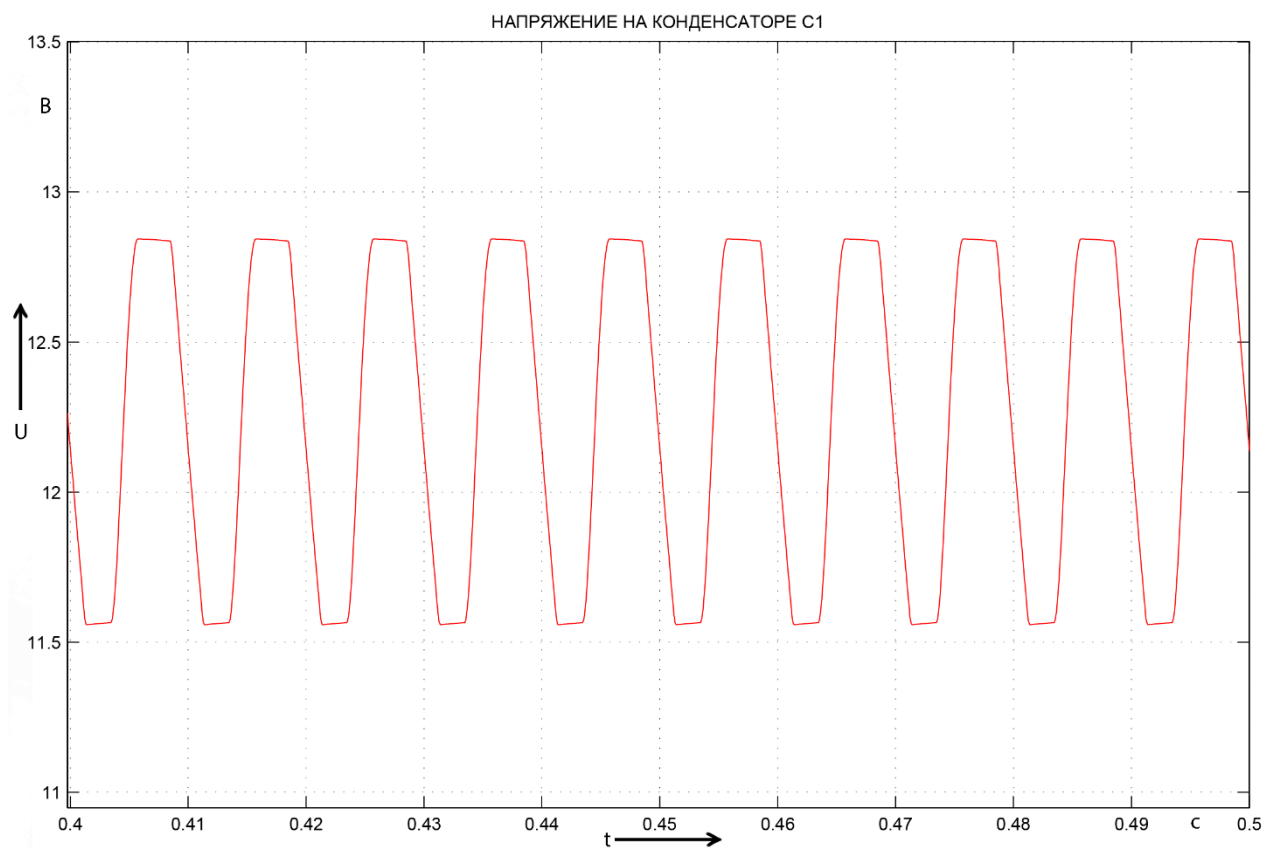


Рисунок 35 – Модель схемы БП для снятия параметров элементов



Time offset: 0

Рисунок 36 – Осциллограммы максимального напряжения  $U_{C,max}$  на конденсаторах C1 и C2



По осциллограмме, изображенной на рисунке 36 определили значение  $U_{C,max}$ , которое равно примерно 12,8 В, то есть  $U_{C,max} = 12,8$  В, емкость конденсаторов была задана выше и равна  $C_{cond} = 1000$  мкФ. Для повышения ресурса работы конденсаторов взял максимальное напряжение через конденсаторы  $U_{C,max}$  на 40% больше. В качестве конденсаторов С1 и С2 выбрали конденсатор 30D128M025EH2A (рисунок 37) [15], максимальное напряжение которого  $U_{C,max} = 20$ В, емкость конденсатора имеет допуск  $\pm 20\%$  поэтому емкость конденсатора  $C_{cond}$  взял 1200 мкФ. Стоимость выбранного конденсатора 145 рублей, поскольку их требуется два их общая стоимость равна 290 рублей.

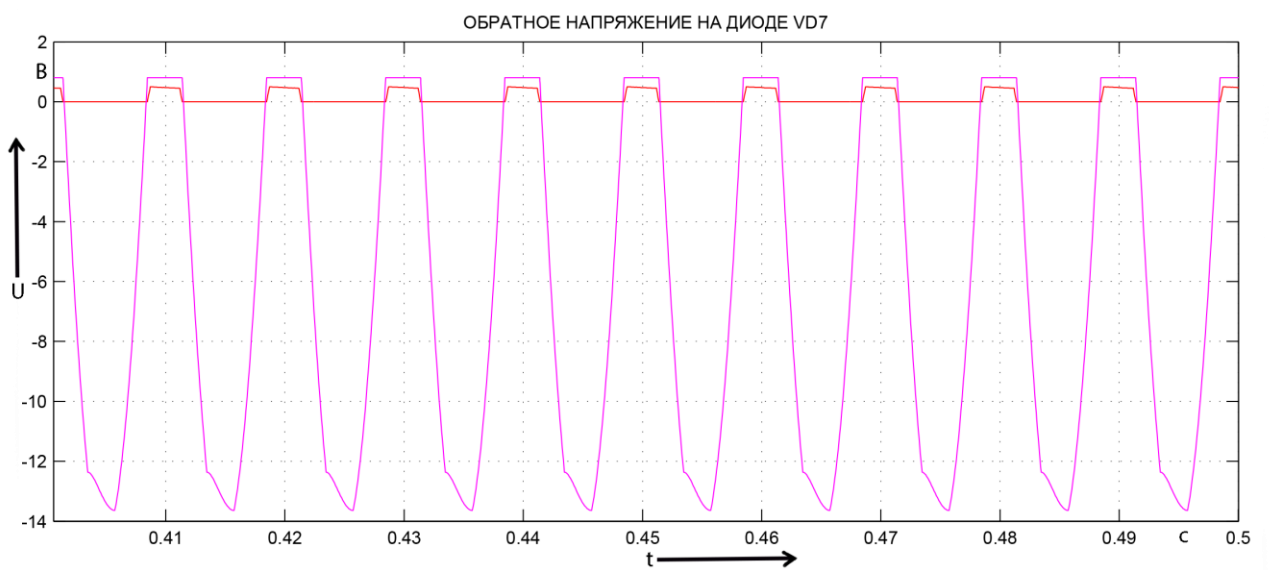
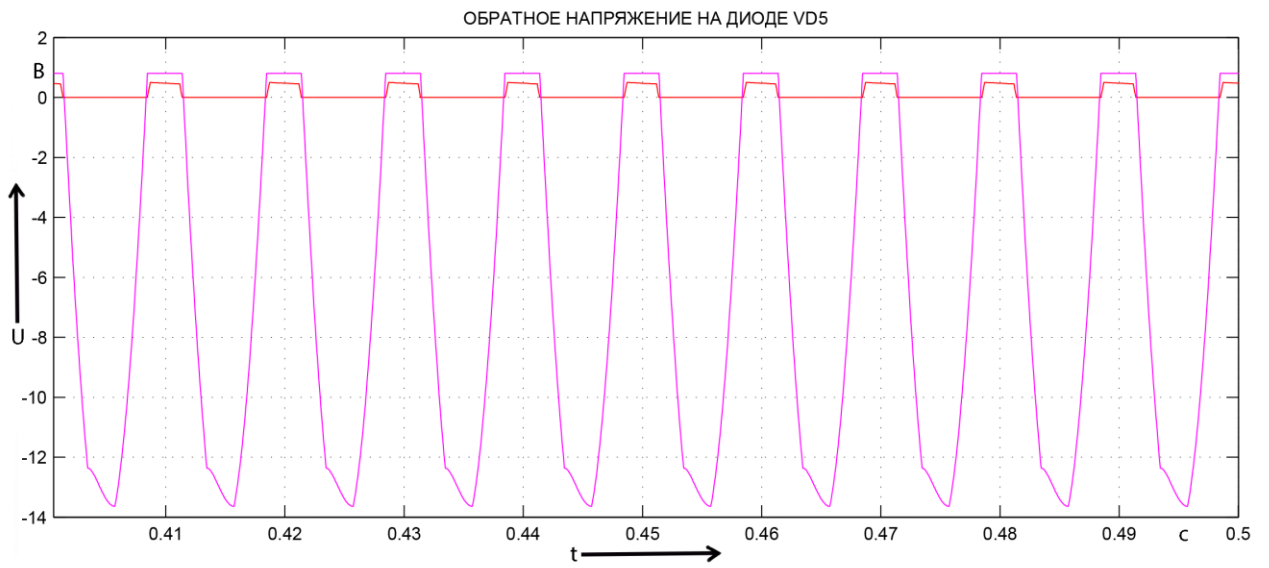
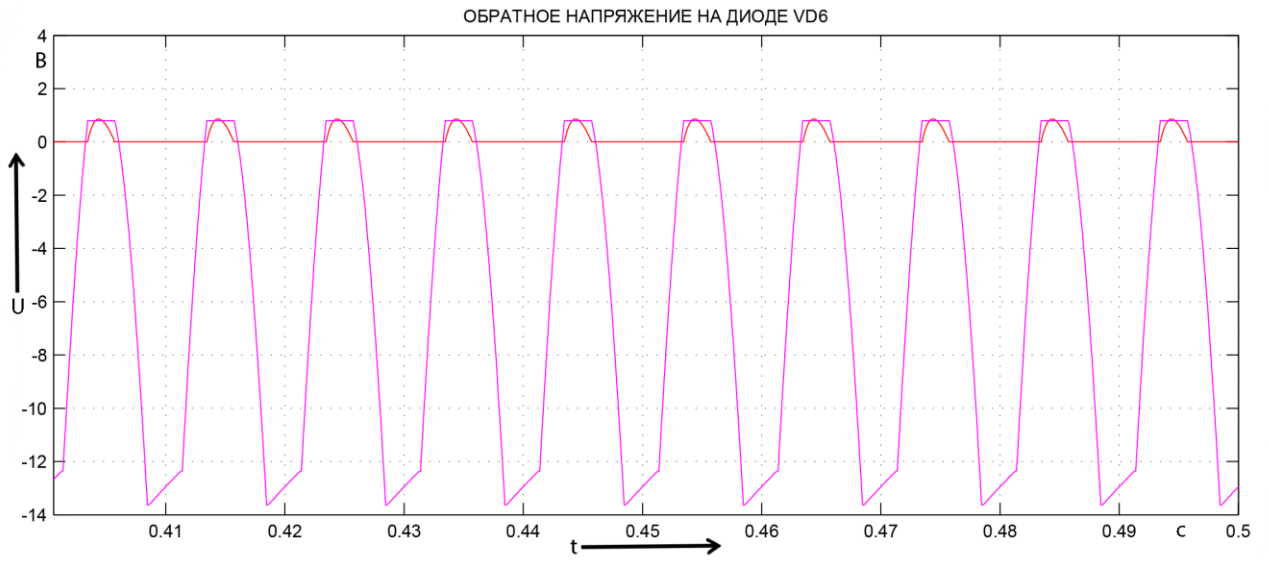


Рисунок 35 – Конденсатор 30D128M025EH2A

Выбор диодов VD5-VD7 проводился по следующим параметрам:

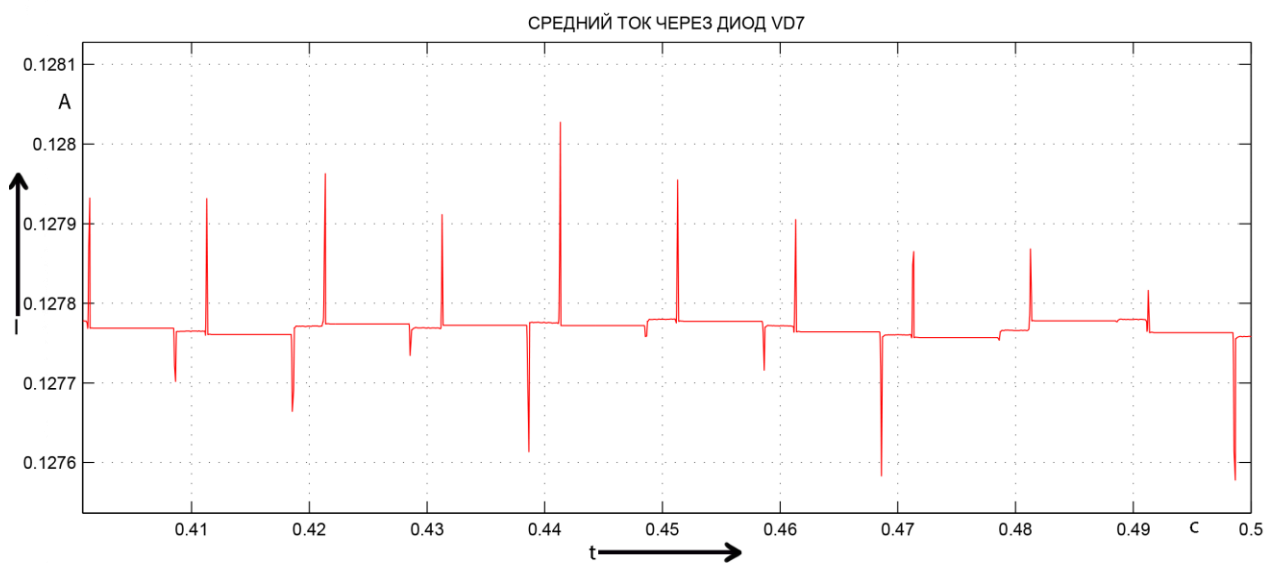
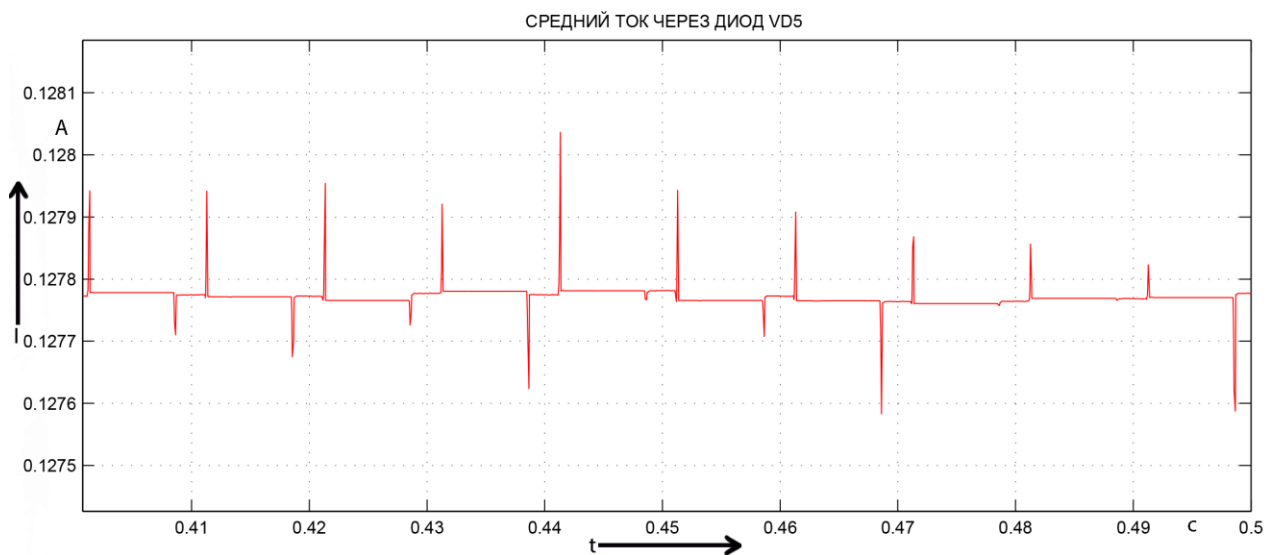
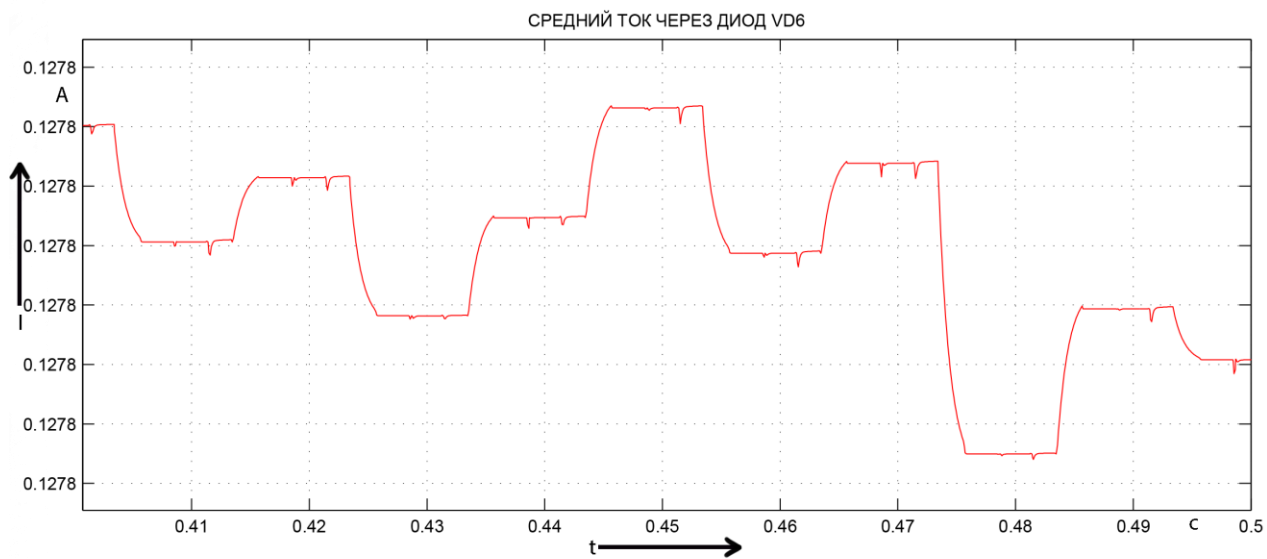
- максимальному обратному напряжению прикладываемого к диодам  $U_{VD,обр}$ ,
- среднему току в прямом направлении, который связан с током нагрузки как  $I_{vdsr}$ .

Измерил максимальное обратное напряжение  $U_{VD,обр}$ , прикладываемое к диодам VD5-VD7 в программном пакете MatLab/Simulink r2014a по модели схемы, изображенной на рисунке 35 с помощью блока Voltage Measurement и вывел значение  $U_{VD,обр}$  диодов VD5-VD7 на Scope4 (рисунок 37) и средний ток в прямом направлении  $I_{vdsr}$  блоком Current Measurement и вывел значение  $I_{vdsr}$  диодов VD5-VD7 на Scope2 (рисунок 38).



Time offset: 0

Рисунок 37 – Осциллограммы максимального обратного напряжения  $U_{VD.обр}$ , прикладываемого к диодам VD5-VD7



Time offset: 0

Рисунок 38 – Осциллограммы среднего тока в прямом направлении  $I_{vdsr}$ , через диоды VD5-VD7

По осциллограмме, изображенной на рисунке 37 определили значение  $U_{VD.обр}$ , которое равно примерно 13,6 В, то есть  $U_{VD.обр} = 13,6$  В, средний ток в прямом направлении  $I_{vdsr}$  диодов VD5-VD7 определили по осциллограмме изображенной на рисунке 38,  $I_{vdsr} = 128$  мА. Выбрали диод SD103C-TAP (рисунок 38) [16] с запасом в 40% по максимальному обратному напряжению  $U_{VD.обр} = 20$  В и среднему току в прямом направлении  $I_{vdsr} = 1$  А для повышения ресурса работы диода. Стоимость диода составляет 3 рублей, поскольку их требуется три их общая стоимость равна 9 рублей.



Рисунок 39 – Диод SD103C-TAP

Для получения на выходе стабилизированного напряжения подобрали повышающий стабилизатор напряжения, изображенный на рисунке 40. Описание и ТХ на данный стабилизатор приведены в приложении А. Цена выбранного стабилизатора составляет 274 рубля.

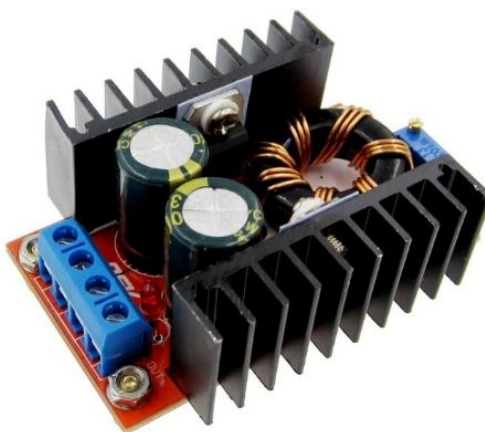


Рисунок 40 – Повышающий стабилизатор напряжения

Схема электрическая принципиальная проектируемого БП изображена на рисунке 41. Общая стоимость выбранных компонентов БП приведена в таблице 16.

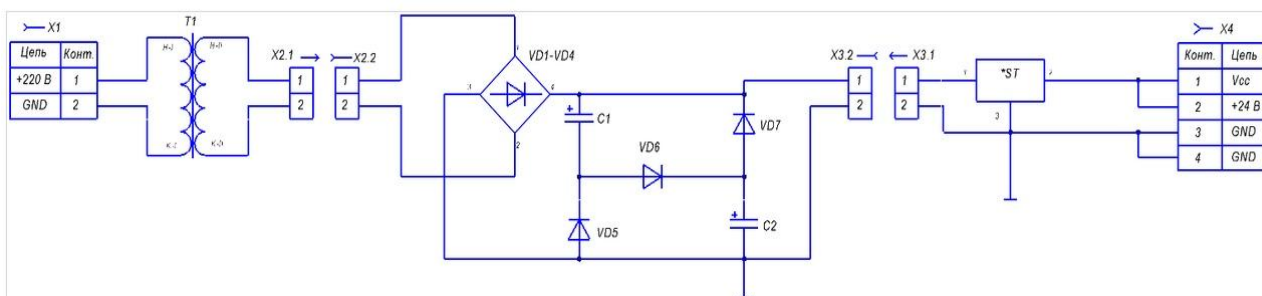


Рисунок 41 – Схема электрическая принципиальная проектируемого БП

Таблица 16 – Стоимость компонентов

Наименование	Количество штук	Стоимость, руб.
ОСО-0,25 УХЛ 3	1	991
EDF1AS	1	63
30D128M025EH2A	2	290
SD103C-TAP	3	9
Повышающий стабилизатор напряжения	1	274
<b>Итого:</b>		<b>1627</b>

### 3 Конструкторско-технологический раздел

Для блока питания была разработана печатная плата (рисунок 42) [17], [18], [19]. На рисунке 43 изображены обозначения диаметров отверстий для впайки элементов.

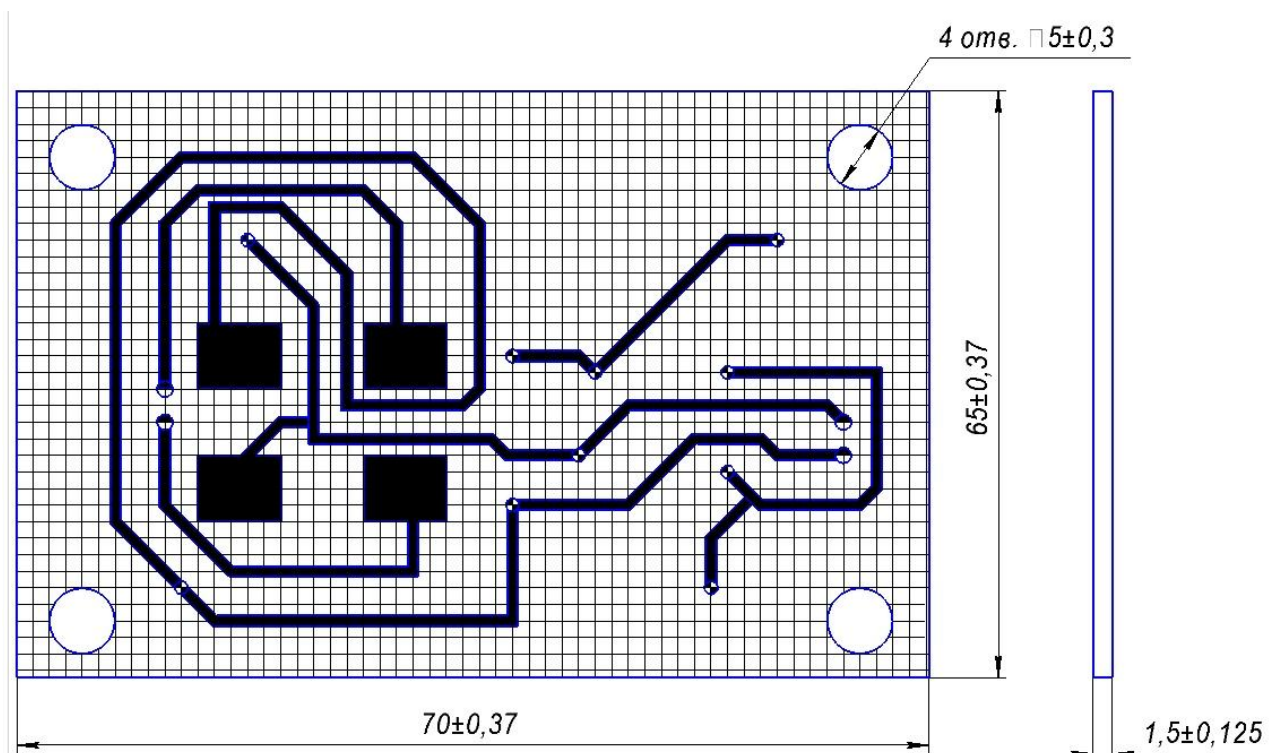


Рисунок 42 – Печатная плата блока питания

Обозначение	Диаметр, мм	Наличие металлизации	Количество
	1	есть	9
	1.2	есть	4

Рисунок 43 – Обозначения диаметров отверстий под впапку элементов

По изготовлению печатной платы блока питания необходимо выделить следующие моменты:

- плату изготовить химическим методом [20],
- плата должна соответствовать требованиям ГОСТ 23752-79,
- шаг координатной сетки 1,27 мм,

- допускается скругление контактных площадок и проводников,
- минимальная ширина проводника 0,8 мм,
- минимальное расстояние между проводниками 0,3 мм,
- все отверстия выполняются по узлам сетки
- для крепления платы к корпусу предусмотрено четыре отверстия диаметром 5 мм. Плата крепится к корпусу на пластиковые или резиновые ножки с помощью гаечно-болтового соединения.

## Заключение

В данной бакалаврской работе был произведен расчет электропривода в ходе которого был выбран редуктор и двигатель. Себестоимость мотор-редуктора в сборе составляет 7746 рублей сравнивая данную стоимость на мотор-редуктор со стоимостью мотор-редукторов, приведенных в таблице 6, можно сделать вывод что, спроектированный мотор-редуктор существенно выигрывает в цене у представленных на рынке аналогов. В таблице 17 приведено процентное соотношение на сколько дешевле спроектированный мотор редуктор по сравнению с существующими аналогами.

Таблица 17 – Сравнение стоимости мотор-редукторов

Модель	Цена мотор-редуктора представленной модели, руб.	Спроектированный мотор-редуктор дешевле на, %
Came Gard 3750	46334	83
FAAC 617/4	33705	77
Nice WIDE M4	48345	84
DoorHan Barrier-PRO 4000	13378	42
Comunello Limit 500/4	45456	83

Также при выполнении работы была промоделирована работа блока питания на примере трех схем, из которых выбрали одну, подобрали под нее элементы и выполнили печатную плату (рисунок 42).



## Список используемой литературы

1. Grozin A. G, Using REDUCE in high energy physics/ A. G. Grozin – Cambridge University Press, January 1997 hardback, ISBN 0521560020, 384 pages
2. **Анфимов М. И**, Редукторы. Конструкции и расчет. Изд. 4-е перераб. и доп. М.: «Машиностроение», 1993., 463 с.
3. Umakanta Nanda, Sushant Kumar Pattanaik, Universal Asynchronous Receiver and Transmitter [Text] - 2016 3rd International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, India - 2016
4. Saber, K. FPGA-Based Implementation Direct Torque Control of Induction Motor [Text] / Saber, K. Soufien, G. Abdellatif, M. Mohamed Faouzi, M. // International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS). Vol. 5. - 2015. - No. 3. - PP. 293-304. ISSN: 2088-8694
5. Prathap Reddy, B. Novel Single Phase Full Bridge Inverter Formed by Floating Capacitors [Text] / B. Prathap Reddy, K. Sreekanth Reddy, B. Samba Siva Reddy // International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS). Vol. 7. - 2016. - No. 1. - PP. 193-201. ISSN: 2088-8694
6. Shalchi Alishah, R. Design of New Single-phase Multilevel Voltage Source Inverter [Text] / R. Shalchi Alishah, D. Nazarpour, S. Hossein Hosseini, M. Sabahi // International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS). Vol. 5. - 2014. - No. 1. - PP. 45-55. ISSN: 2088-869
7. Srinivasan, K. Power Quality Analysis of Vienna Rectifier for BLDC Motor Drive Application [Text] / K. Srinivasan, S. Vijayan, S. Paramasivam, K. Sundaramoorthi // International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS). Vol. 7. - 2016. - No. 1. - PP. 7-16. ISSN: 2088-869
8. BLD-300B [Электронный ресурс]: документация. – режим доступа: [https://www.zizith.ru/articles/electronics/motor\\_wheel/doc/1549585842bld-300B.pdf](https://www.zizith.ru/articles/electronics/motor_wheel/doc/1549585842bld-300B.pdf), свободный.

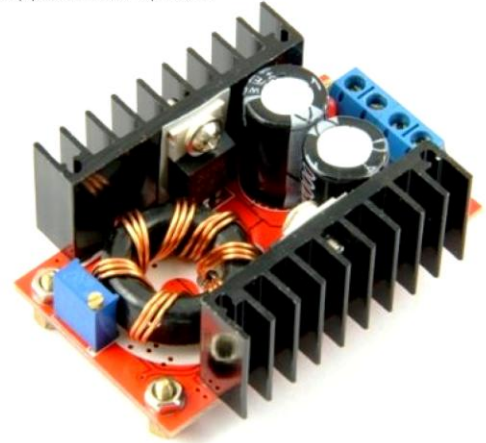
9. **Осадченко, В. Х.** Электротехника: фильтры высоких и низких частот: учеб. пособие для СПО / В. Х. Осадченко, Я. Ю. Волкова, Ю. А. Кандрина. – М.: Издательство Юрайт, 2017 ; Екатеринбург ; Изд-во Урал. Ун-та. – 80 с. – (Серия : Профессиональное образование).
10. **Джэндубаев, А.-З. Р.** MATLAB, Simulink и SimPowerSystems в электроэнергетике: учебное пособие для студентов / Джэндубаев А.-З. Р., Алиев И.И. – Черкесск: БИЦ СевКавГГТА, 2014. - 136 с.
11. **Дьяконов, В.П.** MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.: ил.
12. ОСО-0,25 УХЛ 3 [Электронный ресурс]: документация. – режим доступа: [http://www.elektrotehnik.ru/pdf/OSO\\_Elektrotehnik.pdf](http://www.elektrotehnik.ru/pdf/OSO_Elektrotehnik.pdf), свободный.
13. **Позднов, М.В.** Основы преобразовательной техники: Методическое пособие по проведению курсового проектирования – Тольятти: ТГУ, 2017. -32 с.
14. EDF1AS [Электронный ресурс]: документация. – режим доступа: <https://www.vishay.com/docs/88578/edf1as.pdf>, свободный.
15. 30D128M025EH2A [Электронный ресурс]: документация. – режим доступа: <http://www.vishay.com/docs/42041/30d.pdf>, свободный.
16. SD103C-TAP [Электронный ресурс]: документация. – режим доступа: <http://www.vishay.com/docs/85754/sd103a.pdf>, свободный.
17. **Александров, А.А.** Электротехнические чертежи и схемы / Александров К.К., Кузьмина Е.Г.- М.: Энергоатомиздат, 1990. - 288с
18. ГОСТ 2.104-2006. Единая система конструкторской документации. Основные надписи [Текст]/ - Введ. 1971-01-01. - М.: Госстандарт СССР: Издательство стандартов, 2011.-22с.:ил.
19. ГОСТ 2.702-2011. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения схем.- Введ. 2012-01-01. - М.: Стандартинформ: Изд-во стандартов, 2011.- 22с.: ил.
20. Технология производства печатных плат [Электронный ресурс]: статья. – режим доступа: [https://zctc.ru/sections/pechayniye\\_plati](https://zctc.ru/sections/pechayniye_plati), свободный

## Приложение А

# Модуль DC-DC повышающий, 150Вт с 10-32В до 12 - 35В

Модуль можно использовать для повышения напряжения для автомобильных усилителей, для зарядки аккумуляторов 12-34В, в солнечной энергетике и для иных целей.

- Максимальная мощность с охлаждением: **150 Вт**
- Максимальный входной ток: **10 А**
- Максимальный выходной ток: **6 А**
- Входное напряжение: **10 - 32 В**
- Выходное напряжение: **12 - 35 В**
- Ток холостого хода: **25 мА**
- Рабочая температура: **- 40 °С + 85 °С**
- Вес: **70 гр.**
- Размер: **65 \* 57 \* 23 мм**
- Защита короткого замыкания: **нет**
- Защита по входу: **нет**



При длительной работе на выходной мощности более 100Вт, окружающей температуре свыше 40°С или при входном токе более 10А - рекомендуется принудительное воздушное охлаждение радиаторов.

Входное напряжение: DC 10 В-32 В.

Выходное напряжение: DC 12 В-35 В (регулируемое).

Выходной ток: 6А (макс).

Входной ток: 10А (макс.) (при токе более 10А установите дополнительный радиатор).

Выходная мощность: естественное охлаждение 100 Вт (макс), с дополнительным охлаждением 150 Вт (макс.)

Эффективность преобразования: 94% (когда выход 19В, Вход 16В 2.5А).

Пульсация выходного сигнала: 2% (макс).

Рабочая температура: промышленная (-40 °С до + 85 °С) (если температура окружающей среды более 40 градусов максимальная мощность уменьшается).

При полной нагрузке температура: 45 градусов.

Погрешность регулирования напряжения: ± 0.5%.

Изменение напряжения при изменении тока нагрузки: ± 0.5%.

Динамическая скорость отклика: 200uS 5%.

Защита от короткого замыкания на выходе: нет (просьба устанавливать предохранитель от замыкания на выходе, ток 6А).

Входная защита: нет (просьба соблюдать полярность или защитить от обратного подключения диодом на входной части.)