

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральского государственного университета (НИУ)»
«Институт естественных и точных наук»
Физический факультет
Кафедра физики наноразмерных систем

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой д.ф-м.н. проф.

_____/Воронцов А. Г.

«___»_____2020г.

Разработка DC/DC преобразователя с возможностью регулировки
выходного напряжения на микроконтроллере Atmega8

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 11.03.04.2020.453 ПЗ ВКР

Руководитель к.т.н., доцент

_____/Колмакова Н.С.

«___»_____2020г.

Автор, студент группы ЕТ-453

_____/ Туранин С.П.

«___»_____2020г.

Нормоконтролер к.т.н., доцент

_____/Колмакова Н.С.

«___»_____2020г.

Челябинск, 2020

Аннотация

Туранин С.П. Разработка DC/DC преобразователя с возможностью регулировки выходного напряжения на микроконтроллере Atmega8. – Челябинск: ЮУрГУ, ЕТ; 2020, 51 с. 25 ил., 0 табл., библиогр. список – 15 наим.

В работе представлен литературный обзор по изучению различных типов DC/DC преобразователей, а именно DC/DC преобразователей с топологией SEPIC, которые являются основой при создании портативных электронных устройств, работающих от автономных источников энергии. Также приведен пример разработки DC/DC преобразователя с возможностью регулировки выходного напряжения на микроконтроллере Atmega8 и показан способ его реализации.

Целью работы – является разработка конструкции устройства преобразователя напряжения, позволяющего регулировать выходное напряжение в диапазоне 3,3-20 В при напряжении питания 5 В.

					ЮУрГУ 11.03.04.2020.453 ПЗ ВКР			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Туранин С.П.			Разработка DC/DC преобразователя с возможностью регулировки выходного напряжения на микроконтроллере Atmega8	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Проверил</i>		Колмакова Н.С.					4	49
<i>Н.конт.</i>		Колмакова Н.С.						
<i>Зав. кафедрой</i>		Воронцов А. Г.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ОБЗОР ОСНОВНЫХ ВИДОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ....	8
1.1. Классификация импульсных преобразователей напряжения	8
1.2. Анализ основных видов DC/DC - преобразователей	11
2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ.....	24
2.1. Анализ принципиальной схемы	24
2.2. Расчет основных компонентов схемы.....	31
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ.....	34
3.1. Выбор САПР для создания условно – графической схемы и физического макета печатной платы.....	34
3.2. Создание условно – графической схемы и физического макета печатной платы	36
3.3. Написание программного кода для микроконтроллера	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	41
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	43

						Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ	

ВВЕДЕНИЕ

Создание надежной и качественной электронной аппаратуры является основной задачей любого электронного производства. Основой любого электронного устройства является источник питания, от надежности и качества функционирования которого во многом зависит работа самого устройства. Для того чтобы правильно его сконструировать, необходимо знать во-первых для каких целей и задач будет использоваться будущее электронное устройство, во-вторых в каких условиях оно будет применяться (учесть влияние климатических, механических и других факторов) и т.д., т.е. необходимо учесть множество параметров, которые учитываются при проектировании. [1]

В настоящее время наука и техника развиваются очень активно, что приводит к усложнению электронной аппаратуры и поэтому часто для питания ее отдельных узлов требуются различные напряжения. Особенно остро данная проблема стоит в портативных электронных устройствах, работающих от автономных источников энергии. Необходимые значения напряжений можно получить только с помощью DC/DC преобразователей. На сегодняшний день известно множество типов преобразователей, таких, как buck converter, boost converter, inverting converter, SEPIC converter. Все они имеют как свои достоинства, так и свои недостатки.

К достоинствам таких устройств можно отнести:

1. Конструкция большинства современных преобразователей напряжения имеет возможность переключения между разным входным и выходным напряжением, в том числе предполагает выполнение подстройки выходного напряжения. Это позволяет подбирать преобразователь под конкретный прибор или подключаемую нагрузку;
2. Малогабаритные характеристики;

									Лист
									6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

3. Экономичность. КПД преобразователей напряжения достигает 90 %, благодаря чему существенно экономится энергия;

4. Удобство и универсальность. Преобразователи позволяют подключать быстро и легко любую электронную аппаратуру.

Среди недостатков можно выделить следующие:

1. Высокая восприимчивость к повышенной влаге;
2. Сравнительно высокая стоимость.

Целью работы – является разработка конструкции устройства преобразователя напряжения, позволяющего регулировать выходное напряжение в диапазоне 3,3-20 В при напряжении питания 5 В.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- 1) рассмотрение основных видов DC/DC преобразователей;
- 2) выбор оптимального варианта реализации разрабатываемого устройства;
- 3) анализ принципиальной электрической схемы;
- 4) расчет основных компонентов;
- 5) проектирование технологического процесса сборки и монтажа РЭА.

В результате выполнения дипломной работы будет разработано готовое устройство, комплект конструкторской и технологической документации.

						Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ	

1. ОБЗОР ОСНОВНЫХ ВИДОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

1.1. Классификация импульсных преобразователей напряжения

Источники вторичного электропитания и DC/DC преобразователи получили широкое распространение в электронной аппаратуре и их число в мировом рынке электроники постоянно увеличивается. Технология преобразователей постоянно развивается и совершенствуется: уменьшаются массогабаритные характеристики, повышается быстродействие, увеличивается КПД, надежность работы и многое другое.

На сегодняшний день наибольшее распространение получили импульсные источники вторичного электропитания. Это обусловлено их хорошими массогабаритными характеристиками и высоким КПД.

Принцип действия таких источников заключается в том, что электрическая энергия первичного источника преобразуется в высокую частоту с помощью электронного инвертора, а затем трансформируется с помощью трансформатора до необходимых значений выходного напряжения и сглаживается фильтром низких частот.

На рис. 1.1. показана структура импульсного источника вторичного электропитания.

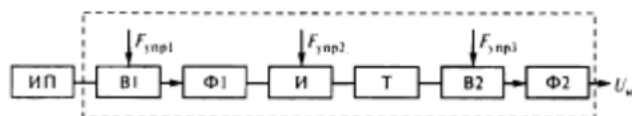


Рис. 1.1. Структура импульсного источника вторичного электропитания.

Напряжение источника питания ИП выпрямляется с помощью выпрямителя В1. Его пульсации уменьшаются с помощью фильтра Ф1. Полученное постоянное напряжение преобразуется высокочастотное переменное напряжение с помощью инвертора И. Оно трансформируется в

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

нужные напряжения трансформатором Т, затем высокочастотные переменные напряжения выпрямляются выпрямителями В2 и пульсации сглаживаются фильтрами Ф2 [2].

Одним из недостатков импульсных преобразователей – это то, что они являются источниками высокочастотных помех, проникающих в первичную сеть электропитания. Это может приводить к нестабильной работе другой электронной аппаратуры, подключенной к первичной сети. Поэтому требуется предпринимать дополнительные меры помехоподавления, зачастую не позволяющие устранить помехи полностью.

По типу входного и выходного напряжений импульсные ИВЭП можно разделить на: АС/АС – преобразователи, АС/DC – преобразователи, DC/АС – преобразователи и DC/DC – преобразователи.

АС/АС – преобразователем является любой двухтактный импульсный преобразователь. В качестве такого преобразователя может выступать, например, электронный трансформатор, преобразующий напряжение сети 50/60 Гц в нестабилизированное низковольтное переменное напряжение для питания электролюминесцентных ламп. Как правило, они построены на базе недорогих двухтактных автогенераторных преобразователей напряжения без схемы (микросхемы) управления.

АС/DC – преобразователи – это преобразователи переменного напряжения в постоянное.

DC/АС – преобразователи – предназначены для получения переменного питающего напряжения из постоянного.

DC/DC - преобразователи используют принцип действия импульсных источников питания, но применяются для того, чтобы преобразовать постоянное нестабилизированное напряжение, получаемое от выпрямителя или батареи, в один или несколько уровней стабилизированного постоянного напряжения.

									Лист
									9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

Интегральные DC/DC - преобразователи широко используются для преобразования и распределения постоянного напряжения питания. Это напряжение питания обычно поступает в систему от сетевого источника питания или батареи. Оно может иметь стандартное значение 5, 12, 24, 48 В или быть любого другого номинала и полярности. Это напряжение может быть нестабилизированным и иметь значительную шумовую компоненту. Другое распространенное применение для DC/DC-конвертеров — это преобразование напряжения батареи в напряжение другого номинала, необходимое для питания различных схем. Типичные значения напряжения батареи обычно равны 1,5; 3; 3,6; 4,5; 6; 9; 12 В, причем каждое используется для определенных применений. Однако напряжение батареи может изменяться в широких пределах. Например, напряжение двенадцати вольтовой аккумуляторной батареи транспортного средства может подниматься до 15 В и выше во время зарядки и опускаться до 6 В при пуске двигателя. В таком случае для питания электронных схем требуется DC/DC - преобразователь, чтобы из изменяющегося входного напряжения произвести устойчивое хорошо стабилизированное выходное напряжение [3].

						Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ	

1.2. Анализ основных видов DC/DC - преобразователей

На сегодняшний день существует множество импульсных преобразователей постоянного напряжения, отличающихся количеством и типом применяемых компонентов, способами преобразования и другими характеристиками. Однако наиболее простыми и наиболее распространенными являются следующие типы DC/DC преобразователей:

- Понижающий преобразователь (step-down или buck);
- Повышающий преобразователь (step-up или boost);
- Инвертирующий преобразователь (inverting converter);
- Обратногоходовой преобразователь (flyback converter);
- Универсальный преобразователь (sepic converter).

На рис. 1.2. представлены принципиальные схемы понижающего, инвертирующего и повышающего преобразователей.

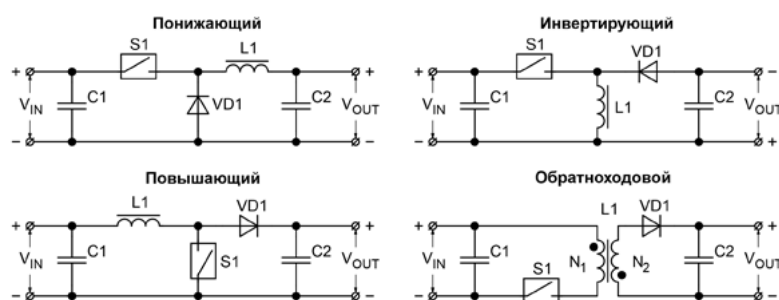


Рис. 1.2. Принципиальные схемы понижающего, инвертирующего, повышающего и обратногоходовой преобразователей.

Данные преобразователи используют одинаковый принцип работы, имеют идентичное количество компонентов и отличаются лишь способом коммутации катушки L_1 , от режима работы которой зависят все характеристики схемы.

Преобразование электрической энергии происходит в два этапа. На первом этапе (этап заряда катушки) ключ S_1 замыкается, и к катушке L_1

прикладывается напряжение V_{L1} . Под действием этого напряжения за время t_{on} ток в катушке возрастает на величину dI_1 :

$$dI_1 = \frac{V_{L1}}{L_1} \cdot t_{on} \quad (1)$$

где L_1 – это индуктивность обмотки катушки, активной на первом этапе.

Вместе с тем к диоду VD_1 приложено обратное напряжение, поэтому ток через него не протекает. В конце этого интервала ток катушки достигает максимального значения I_{max1} и в ней накапливается соответствующая энергия:

$$E = \frac{I_{max1}^2 \cdot L_1}{2} \quad (2)$$

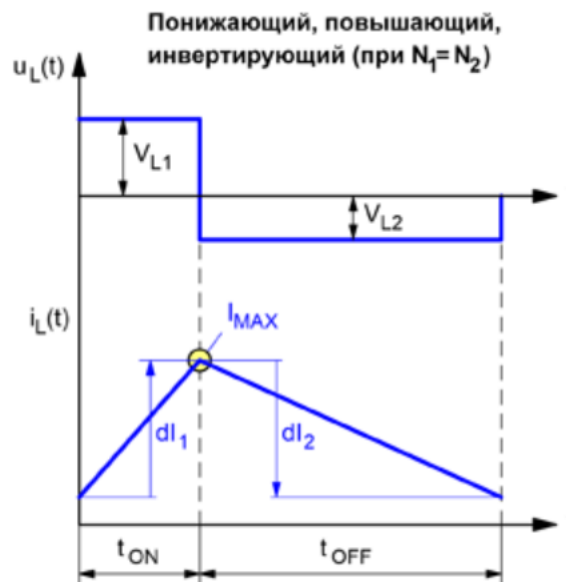


Рис. 1.3. Диаграммы напряжения и тока катушки различных преобразователей.

На втором этапе ключ S_1 размыкается и на выводах всех обмоток катушки формируется ЭДС самоиндукции, противоположная полярности на первом этапе, следовательно, катушка становится не потребителем, а источником энергии. Изменение полярности приводит к открытию диода VD_1 , обеспечивая тем самым протекание тока на втором этапе (разряд катушки).

					Лист
					12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ

Поскольку количество энергии в катушке в момент коммутации ключей не изменяется, то ток в ее активной обмотке сразу после размыкания ключа S_1 также будет максимальным, однако его величина I_{max2} может измениться, так как теперь ток может протекать уже по другому количеству витков

$$E = \frac{I_{max2}^2 \cdot L_2}{2} \quad (3)$$

где L_2 – это индуктивность обмотки катушки, активной на втором этапе.

В случае понижающего, повышающего и инвертирующего преобразователей катушка содержит только одну обмотку, поэтому $L_1 = L_2$, следовательно, $I_{max1} = I_{max2} = I_{max}$.

После открытия диода напряжение на обмотке катушки фиксируется на уровне V_{L2} , под действием которого ток катушки за время t_{off} уменьшится на величину dI_2 :

$$dI_2 = \frac{V_{L2}}{L_2} \cdot t_{off} \quad (4)$$

В квазиустановившемся режиме, когда отсутствуют какие-либо переходные процессы, как в цепях питания, так и в цепях нагрузки, катушка на втором этапе преобразования должна отдать всю энергию, накопленную на первом этапе. Это означает, что к моменту начала следующего цикла его ток должен быть таким же, как и в начале предыдущего. Для повышающего, понижающего и инвертирующего преобразователей:

$$dI_1 = -dI_2 \quad (5)$$

Подставляя выражения (1) и (4) в формулу (5), получим:

$$V_{L1} t_{on} = -V_{L2} t_{off} \quad (6)$$

Формула (6) является основой для получения регулировочной характеристики преобразователя – зависимости выходного напряжения от относительной длительности первого этапа преобразования:

									Лист
									13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

$$D = \frac{t_{on}}{(t_{on} + t_{off})} \quad (7)$$

Для получения этих зависимостей рассмотрим каждую схему в отдельности.

Понижающий преобразователь

Понижающий преобразователь относится к разряду прямоходовых схем. Понижающий DC/DC преобразователь обеспечивает регулирование выходного напряжения в диапазоне от нуля вольт до значения входного напряжения и позволяет получать выходную мощность в несколько киловатт.

На рис. 1.4. показан принцип работы понижающего преобразователя.

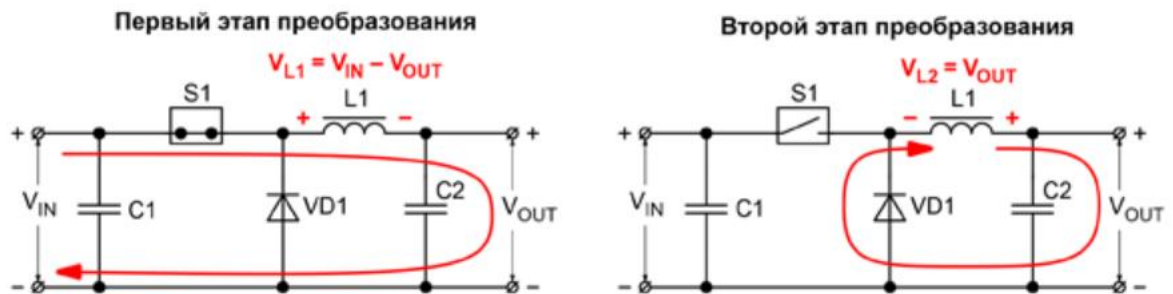


Рис. 1.4. Принцип работы понижающего преобразователя.

Преобразование напряжения происходит в два этапа:

На первом этапе к катушке приложена разница входного и выходного напряжений ($V_{L1} = V_{in} - V_{out}$), а на втором – только выходное напряжение ($V_{L2} = V_{out}$). Подставляя эти значения в формулу (6), получим:

$$(V_{in} - V_{out}) \cdot t_{on} = -V_{out} \cdot t_{off} \quad (8)$$

Следовательно (формула 9):

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = V_{in} \cdot D \quad (9)$$

Из формулы (9) видно, что выходное напряжение V_{out} не может превышать входное V_{in} , так как левая часть уравнения станет отрицательной, к катушке будет приложено однополярное напряжение, и схема работать не будет [4].

									Лист
									14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

Стоит также отметить, что катушка может работать как в режиме непрерывных токов (CCM), так и в прерывистом режиме (DCM). На рис. 1.5 и 1.6. показаны диаграммы напряжения и тока в катушке для CCM и DCM режимов.

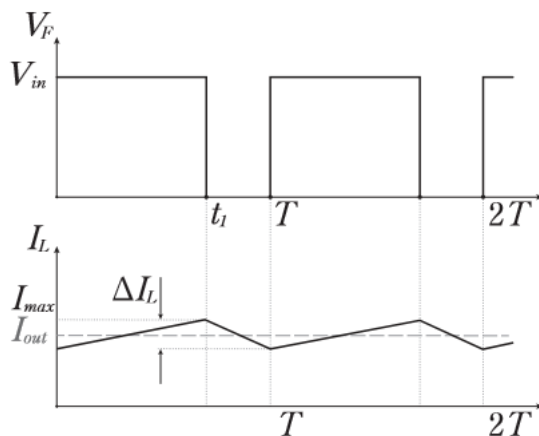


Рис. 1.5. Диаграммы напряжения и тока для режима непрерывного тока в катушке.

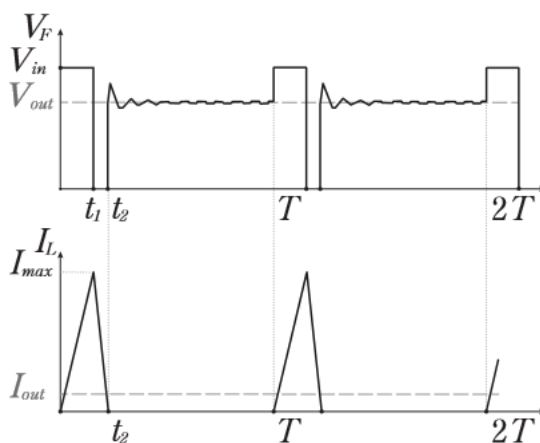


Рис. 1.6. Диаграммы напряжения и тока для прерывистого режима.

Повышающий преобразователь

Повышающий преобразователь относится к типу обратных схем. Повышающий преобразователь используется, когда на выходе необходимо получить напряжение больше входного. Выходная мощность может составлять сотни ватт в прерывистом режиме и до нескольких киловатт в непрерывном режиме [5]. Принцип действия повышающего преобразователя показан на рис.1.7.

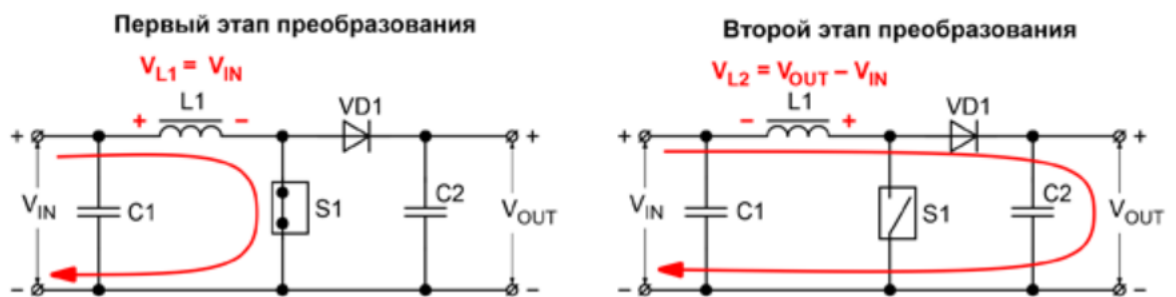


Рис. 1.7. Принцип работы повышающего преобразователя.

На первом этапе преобразования ключ S_1 замкнут и к обмотке катушки приложено напряжение питания $V_{L1} = V_{in}$. На втором этапе ключ S_1 разомкнут и к обмотке катушки приложена разница входного и выходного напряжений $V_{L2} = V_{out} - V_{in}$.

Подставляя эти значения в формулу (6), получим:

$$V_{in} \cdot t_{on} = -(V_{out} - V_{in}) \cdot t_{off} \quad (10)$$

Из формулы (10) можно получить выражение для регулировочной характеристики:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{t_{on} + t_{off}}{t_{off}} = V_{in} \cdot \frac{1}{1-D} \quad (11)$$

Как и в понижающем преобразователе, формула (11) накладывает свои ограничения на соотношения входного и выходного напряжений. При $V_{out} < V_{in}$ правая часть формулы изменит свой знак, и катушка перестанет отдавать

энергию. Поэтому повышающий преобразователь может только увеличивать входное напряжение.

Катушка может также как и в предыдущем случае работать как в режиме непрерывных токов, так и в прерывистом режиме. На рис. 1.8. и 1.9. показаны диаграммы напряжения и тока в катушке для CCM и DCM режимов.

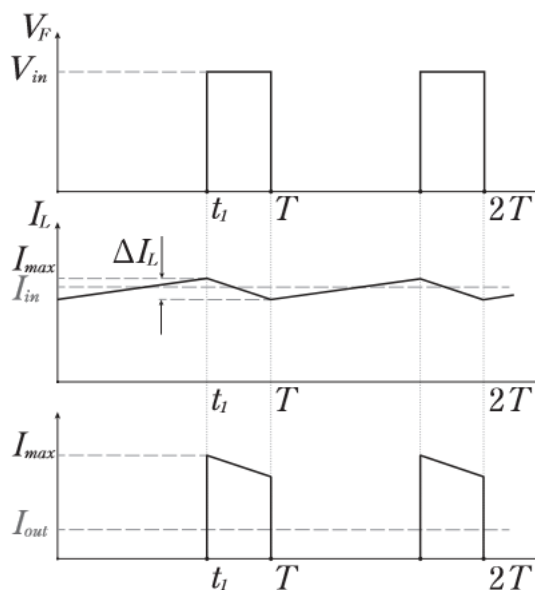


Рис. 1.8. Диаграммы напряжения и тока в непрерывном режиме.

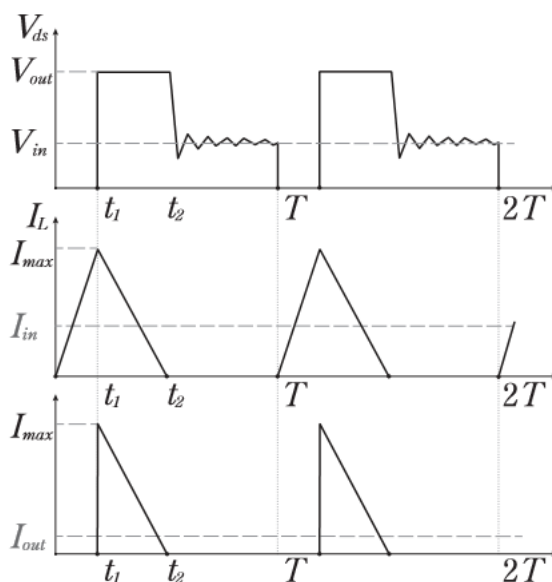


Рис. 1.9. Диаграммы напряжения и тока для прерывистого режима.

Инвертирующий преобразователь

Инвертирующий преобразователь используется, когда на выходе необходимо получить напряжение противоположного знака. Принцип действия инвертирующего преобразователя показан на рис. 1.10.

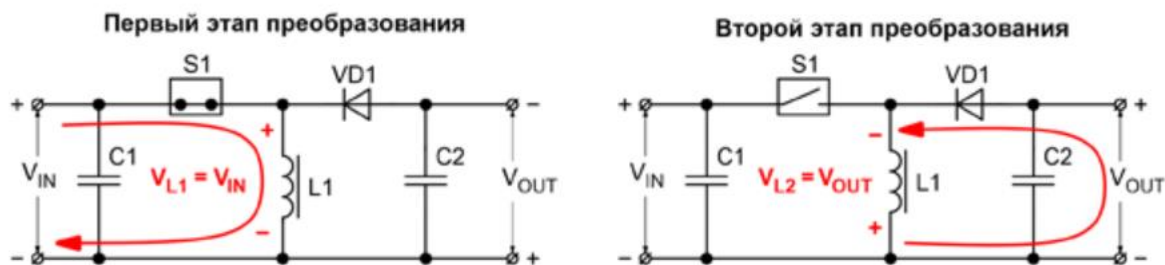


Рис. 1.10. Принцип действия инвертирующего преобразователя.

Преобразование напряжения также происходит в два этапа:

На первом этапе к катушке прикладывается только входное напряжение ($V_{L1} = V_{in}$), а на втором этапе – полное выходное напряжение ($V_{L2} = V_{out}$). Подставляя все это в формулу (5), получим выражение для регулировочной характеристики инвертирующего преобразователя:

$$V_{out} = -V_{in} \cdot \frac{t_{on}}{t_{off}} = -V_{in} \cdot \frac{D}{1-D} \quad (12)$$

Из приведенной формулы видно, что выходное напряжение V_{out} инвертирующего преобразователя может быть как больше, так и меньше входного, но оно обязательно должно быть противоположного знака, так как t_{on} и t_{off} не может быть отрицательным.

									Лист
									18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

Обратноходовой преобразователь

Преобразователь с передачей энергии на обратном ходу можно назвать одной из самых популярных топологий импульсных источников питания. Область его широкого применения ограничена конверторами низкой и средней мощности как стандартного применения, так и эксклюзивных решений. Причем разработчики серийной продукции любят его за предельную простоту и дешевизну, а некоторые его уникальные свойства позволяют решать весьма нестандартные задачи. Но за все надо платить. По своим энергетическим характеристикам обратноходовой преобразователь значительно уступает большинству других топологий. Можно сказать, что оптимизация его невозможна без компромиссов, и разработчикам необходимо хорошо представлять себе все процессы в нем и влияние элементов схемы друг на друга и на характеристики изделия в целом – обратноходовой преобразователь является уникальной топологией в плане взаимосвязанности всех процессов [6]. Принцип действия обратноходового преобразователя показан на рис. 1.11.

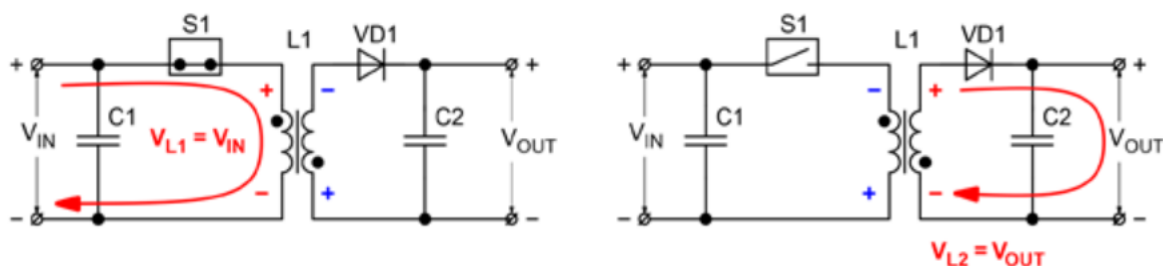


Рис. 1.11. Принцип действия обратноходового преобразователя.

На первом этапе к катушке прикладывается только входное напряжение ($V_{L1} = V_{in}$), а на втором этапе – полное выходное напряжение ($V_{L2} = V_{out}$).

									Лист
									19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

SEPIC Converter

SEPIC Converter (single-ended primary inductance converter, преобразователь с несимметрично нагруженной первичной индуктивностью) – это тип преобразователей, который сочетает в себе свойства как повышающего, так и понижающего преобразователя. Он применяется в тех случаях, когда необходимо получить выходное напряжение, изменяющееся в определенных пределах.

У топологии SEPIC есть следующие преимущества:

- Не требуется расчет и изготовление трансформатора.
- По сравнению с обратноходовым преобразователем SEPIC создает гораздо меньший уровень импульсных помех за счет меньшего размаха и длительности переходных процессов.

Кроме того, топология SEPIC широко применяется в корректорах коэффициента мощности, где ее использование позволяет создавать компактные и эффективные источники, хорошо работающие при больших пиковых входных перегрузках. Источники SEPIC могут отдавать в нагрузку мощность, измеряемую киловаттами, при коэффициенте 0,96–0,99 и суммарных гармонических искажениях менее 5% [7].

На рис. 1.12 показана схема SEPIC преобразователя.

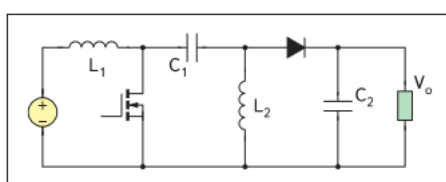


Рис. 1.12. Принципиальная схема преобразователя SEPIC.

В последнее время эта топология стала популярной в устройствах с питанием от батарей, где в зависимости от заряда батареи надо то понижать, то повышать входное напряжение. На выходе сохраняются полярность входного напряжения и потенциал «земли».

						Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ	

Рассмотрим принцип работы SEPIC преобразователя. Преобразование происходит также в два этапа. На рис. 1.13 показан первый этап преобразования (ключ замкнут).

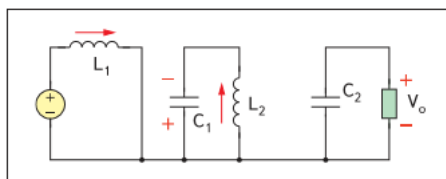


Рис. 1.13. Работа SEPIC преобразователя при замкнутом ключе.

Когда ключ замкнут, первая индуктивность L_1 , в это время заряжается от входного источника напряжения. Вторая индуктивность L_2 принимает энергию из первого конденсатора, а выходной конденсатор обеспечивает ток нагрузки. В это время энергия в нагрузку не поступает; полярности токов в катушках и напряжений на конденсаторах обозначены на рис. 1.12. Тот факт, что обе индуктивности, L_1 и L_2 , при замкнутом ключе отключены от нагрузки, усложняет регулировочные характеристики, как мы увидим далее.

На рис. 1.13 показан второй этап работы преобразователя (ключ разомкнут).

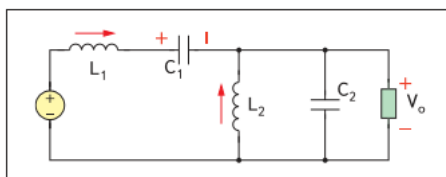


Рис. 1.14. Работа SEPIC преобразователя при разомкнутом ключе.

Когда ключ разомкнут, индуктивность L_1 заряжает конденсатор C_1 , а также поддерживает ток в нагрузке. Индуктивность L_2 в это время также подключена к нагрузке. При размыкании ключа в выходном конденсаторе C_2 возникает импульс тока. Он вызывает специфическую помеху, из-за которой SEPIC преобразователь порождает больший шум, чем повышающий

преобразователь. Входной ток не пульсирует, это дает важное преимущество при работе от батарей.

Анализ преобразователя SEPIC по постоянному току

На рис. 1.15. показана эквивалентная схема преобразователя SEPIC, представляющая собой часть ключевой ШИМ-модели по постоянному току.

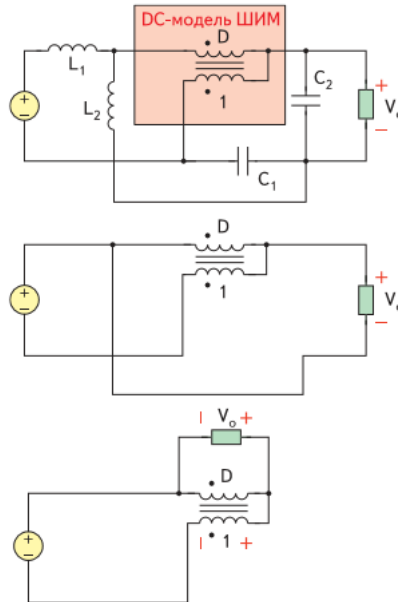


Рис. 1.15. Эквивалентная схема преобразователя SEPIC.

Для анализа по постоянному току источниками малых сигналов пренебрегаем, индуктивности становятся переключками, а конденсаторы — разрывами цепей. Используя данные преобразования для эквивалентной схемы можно написать выражение для внешнего контура схемы, позволяющее вычислить усиление напряжения в преобразователе. Модель по постоянному току — это просто трансформатор с коэффициентом $1/D$. Также в данную схему можно добавить любые паразитные сопротивления.

После преобразования схемы можно записать выражение для внешнего контура преобразователя:

$$V_g + V_o - \frac{1}{D} \cdot V_o = 0 \quad (13)$$

После преобразования получим:

$$V_g = \left(\frac{1}{D} - 1\right) \cdot V_o = \frac{D'}{D} \quad (14)$$

Тогда усиление по постоянному току можно рассчитать по следующей формуле:

$$V_o = \frac{D}{D'} \cdot V_g \quad (15)$$

Эта формула иллюстрирует способность преобразователя как повышать, так и понижать напряжение. При $D = 0,5$ усиление равно единице. В отличие от инвертирующего преобразователя напряжение на выходе не меняет полярность [8].

Таким образом, в результате аналитического обзора, исходя из поставленных задач, выбираем преобразователь с SEPIC топологией.

						Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ	

2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

2.1. Анализ принципиальной схемы

В качестве принципиальной схемы была разработана структурная схема преобразователя, приведенная на рис. 2.1.

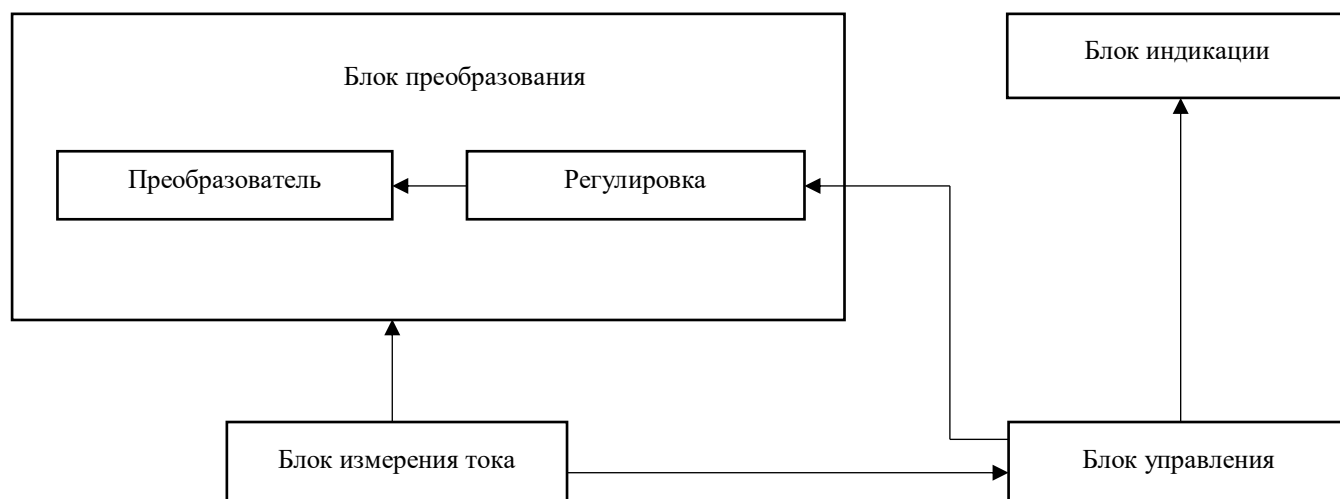


Рис. 2.1. Структурная схема преобразователя

Структурная схема состоит из следующих блоков:

- Блока преобразования напряжения, состоящего из двух подблоков: непосредственно преобразователя и подблока регулировки, для выполнения основной функции устройства;
- Блока индикации, необходимого для отображения значения выходного напряжения и потребляемого выходной цепью тока;
- Блока измерения тока;
- Блока управления, необходимого для организации работы блоков структурной схемы и определяющего алгоритм функционирования всего устройства.

Блок преобразования

Блок преобразователя напряжения представляет собой микросхему. Выбор микросхемы преобразователя зависит от множества требований, предъявляемых к схеме, одним из которых является требование получить минимальные габариты.

При современном уровне миниатюризации полупроводниковых устройств наибольшее влияние на габариты устройства в целом окажут габариты индуктивностей. А они, в свою очередь, обратно пропорциональны частоте работы микросхемы преобразователя - конвертера или контроллера. Следовательно, прежде всего надо ознакомиться с номенклатурой доступных преобразователей, определить максимальные частоты, на которых они могут работать, и выбрать наиболее подходящий тип. При этом следует учитывать и другие параметры преобразователей, определяемые требованиями к устройству: диапазоны входных и выходных напряжений, диапазон рабочих температур, максимально допустимый ток ключа (для конвертера со встроенным ключом), доступность. Также надо учесть специальные требования: возможность внешней синхронизации и выключения.

Часто можно встретить утверждение, что для построения преобразователя с топологией SEPIC можно использовать любую микросхему, предназначенную для использования в повышающих преобразователях. Однако, лучше всего использовать такую микросхему, для которой в справочных данных явно указана возможность работы данной микросхемы в качестве SEPIC преобразователя.

Исходя из исходных данных, выбор пал на две микросхемы LM3488MM фирмы Texas Instruments и ADP1613ARMZ-R7 фирмы Analog Devices. У этих микросхем много общего: они выпускаются в малогабаритных корпусах MSOP-8, многие параметры у них похожи, цены различаются незначительно. Однако для микросхемы ADP1613ARMZ-R7 не

									Лист
									25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

требуется внешний транзистор и максимальная частота работы 1,3МГц, против 1МГц у LM3488MM.

Микросхема ADP1613ARMZ-R7, представляет собой повышающий-понижающий преобразователь с возможностью регулировки. Диапазон входного напряжения от 2 до 5,5В, выходное напряжение может регулироваться в пределах от 3,3 до 20В. Выбрана типовая схема включения топологии SEPIC, приведенная на рис. 2.2.

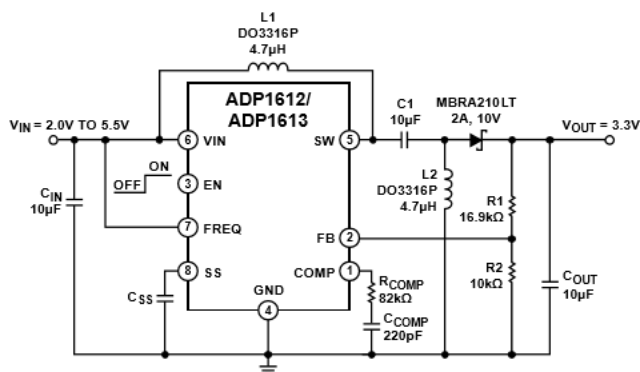


Рис. 2.2. Типовая схема включения ADP1613 в качестве SEPIC преобразователя.

Блок регулировки

Регулировка напряжения осуществляется за счет внесения дополнительного сопротивления в плечо резистора R_2 . Регулироваться дополнительное сопротивление цепи будет с помощью цифрового потенциометра МСР42010 [10] (рис. 2.3), выступающего в роли блока регулировки.

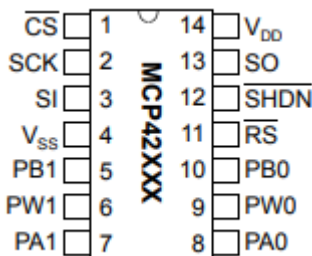


Рис. 2.3. Цифровой потенциометр МСР42010.

МСР42010 может работать как в режиме делителя напряжения, так и в режиме реостата. В данной схеме используется схема работы потенциометра в режиме реостата (рис. 2.4).

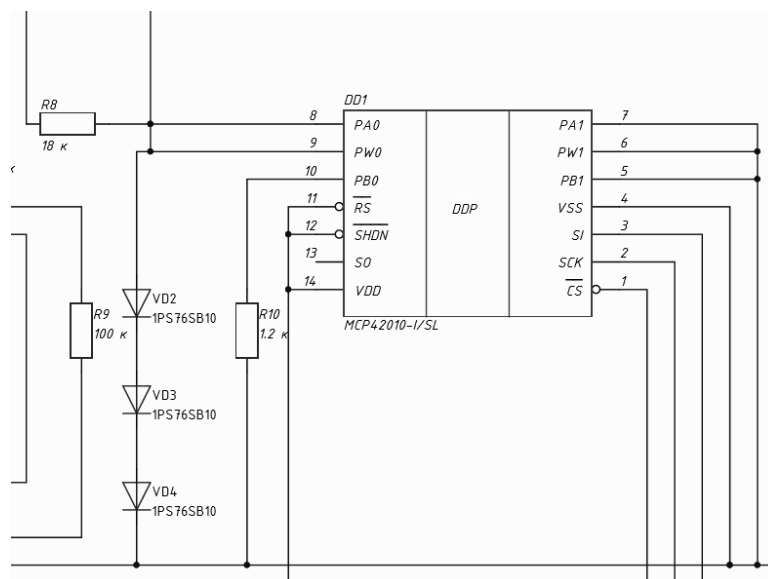


Рис. 2.4. Схема делителя напряжения.

Сопротивление резисторов R_8 , R_{10} постоянное и равно 12 (кОм) и 800 (Ом) соответственно. Сопротивление нижнее плеча делителя МСР42010 - R_{10} будет изменяться согласно необходимому нам выходному напряжению.

На рис. 2.5 представлен цифровой потенциометр МСР42010, работающий в режиме реостата.

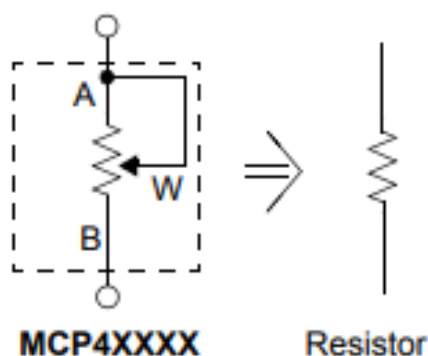


Рис. 2.5. Цифровой потенциометр МСР42010, работающий в режиме реостата.

Положению А скользящего контакта W соответствует минимальное сопротивление потенциометра ($R_{\text{потенц}} = R_W = 52 \text{ (Ом)}$) и, следовательно, максимальному напряжению на выходе цепи.

Положению В скользящего контакта W соответствует максимальное сопротивление потенциометра ($R_{\text{потенц}} = R_A = 10 \text{ (кОм)}$) и, следовательно, минимальному напряжению на выходе цепи.

Блок измерения тока

Блок измерения тока реализован на микросхеме AD823ARZ [11], которая выступает в роли операционного усилителя, подключенного в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 2.6.

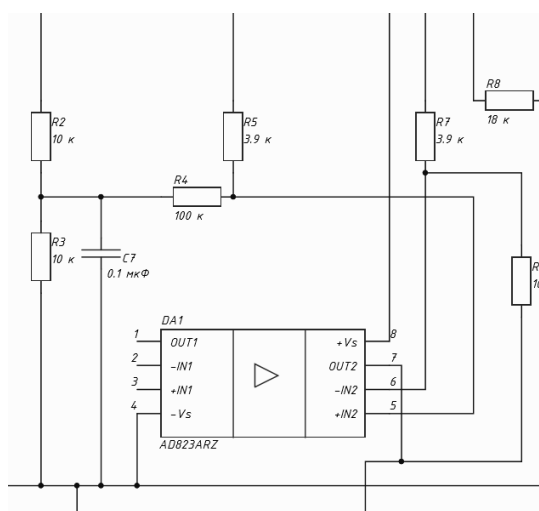


Рис. 2.6. Схема измерения тока.

Операционный усилитель AD823ARZ усиливает падение напряжения на цепочке резисторов для измерения выходного тока и подает его на вход АЦП в составе микроконтроллера.

Блок индикации

Для отображения значений выходного напряжения и тока применяются два четырехразрядных семисегментных индикатора CA04-41SRWA [12] (рис.2.7).

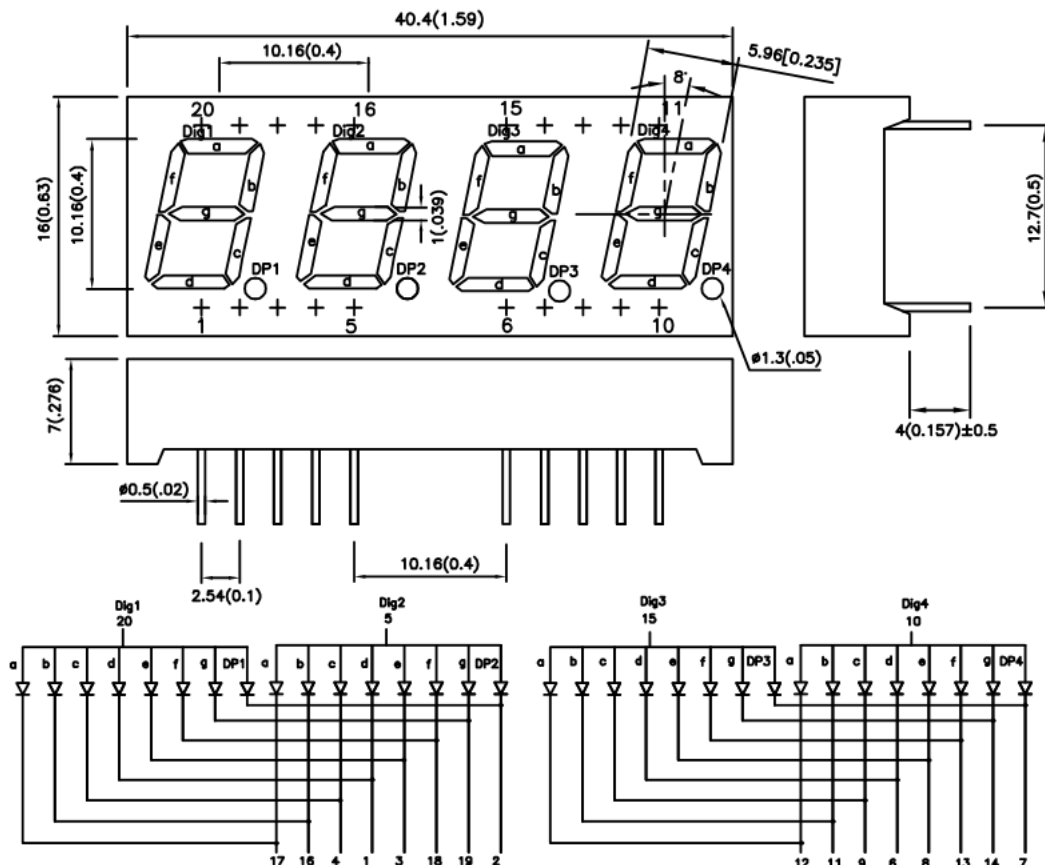


Рис. 2.7. Четырехразрядный семисегментный индикатор CA04-41SRWA

Индикаторы выполнены по схеме с общим анодом и подключаются непосредственно к микроконтроллеру, без дополнительных силовых ключей. Для отображения требуемого числа разрядов используется динамическая индикация.

									Лист
									29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

11.03.04.2020.453 ПЗ

Блок управления

В качестве блока управления выступает микросхема ATmega8L-8PU [13] (рис. 2.8), представляющая собой микроконтроллер с RISC архитектурой. Микроконтроллер обладает достаточной периферией и количеством выводов для координации работы соседних блоков.

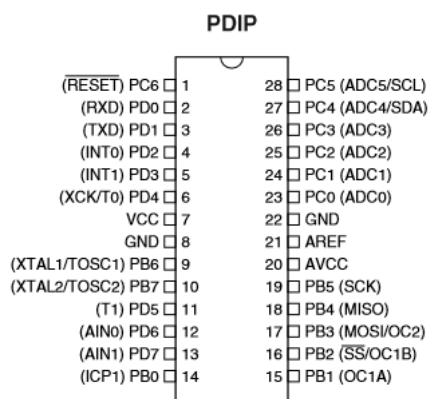


Рис. 2.8. Микроконтроллер ATmega8L.

Измерение сопротивления цифрового потенциометра осуществляется с помощью SPI интерфейса, аппаратно реализованного в микроконтроллере. Двоичный код сопротивления передается по этому интерфейсу на вход потенциометра. Диапазон значений сопротивлений равен 0-255 или разрядность цифрового потенциометра MCP42010 равна 8 битам.

2.2. Расчет основных компонентов схемы

Расчет будем производить на основе справочных данных на микросхему ADP1613ARMZ-R7 [9].

Выбор индуктивностей.

Индуктивность является неотъемлемой частью любого DC/DC преобразователя. Она сохраняет энергию во время включения питания и передает эту энергию на выход через выходной выпрямитель во время выключения. Перед тем как рассчитать необходимое значение индуктивности, определим коэффициент заполнения, который понадобится при ее выборе.

Для преобразователя SEPIC, работающего в режиме непрерывных токов (continuous conduction mode, CCM), коэффициент заполнения (duty cycle) можно рассчитать по формуле:

$$D = \frac{V_{out} - V_{in}}{V_{out}} \cdot 100\%$$

где D – коэффициент заполнения, V_{in} и V_{out} – значения входного и выходного напряжений соответственно.

Подставляя значения входного и выходного напряжений 5В и 20В получаем, что коэффициент заполнения составляет 75%.

Хорошее правило для определения индуктивности состоит в том, чтобы обеспечить размах пульсаций тока от пика до пика приблизительно в 30% от максимального входного тока при минимальном входном напряжении. Пульсации тока при одинаковых величинах индуктивностей L_1 и L_2 можно рассчитать по формуле:

$$\Delta I_L = I_{in} \cdot 30\% = I_{out} \frac{V_{out}}{V_{in}} \cdot 30\%$$

где I_{out} – выходной ток, V_{out} и V_{in} – значения входного и выходного напряжений соответственно.

									Лист
									31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

Подставляя значение выходного тока 2А, входного и выходного напряжений 5В и 20 В, получим, что коэффициент пульсации тока составляет 2,4А.

Значение индуктивности можно вычислить следующим образом:

$$L_1 = L_2 = L = \frac{V_{OUT} - 2 \cdot V_{IN}}{2,7 \cdot f_{sw}} = \frac{20 - 2 \cdot 5}{2,7 \cdot 1,3 \cdot 10^6} = 2,85 \text{ мкГн}$$

где f_{sw} – частота работы преобразователя (1,3 МГц).

Для того чтобы обеспечить с одной стороны малую пульсацию тока катушки индуктивности, а с другой стороны максимальную эффективность рекомендуется использовать значение индуктивности в пределах от 4,7 мкГн до 22 мкГн. Для комбинаций вход-выход, которые приближаются к максимальному коэффициенту заполнения 90%, рекомендуется увеличить значение индуктивности для обеспечения стабильной работы, поэтому выбираем значение индуктивности равное 4,7 мкГн.

Выбор диода.

Диод выбирает исходя из следующих условий:

1. Расчетное обратное напряжение диода должно быть больше, чем $V_{out} + V_{in}$
2. Средний ток диода равен выходному току при полной нагрузке.

Кроме того, для снижения потерь это должен быть диод Шоттки. Из огромного разнообразия предлагаемых различными изготовителями диодов был выбран достаточно небольшой MBRS340T3G фирмы On Semiconductor с максимальным током 3А и обратным напряжением до 40В.

									Лист
									32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

Выбор входного и выходного конденсаторов.

Как и любая другая микросхема ADP1613ARMZ-R7 требует наличия входных и выходных шунтирующих конденсаторов для предотвращения шума на входе и на выходе. Значение емкости выходного конденсатора рассчитывается по формуле:

$$C_{out} \geq \frac{I_{out} \cdot (V_{out} - V_{in})}{f_{sw} \cdot V_{out} \cdot \Delta V_{out}}$$

Расчет для нашей схемы дает значение: $C_{out} \geq 2,307$ мкФ. В результате в качестве входного и выходного конденсаторов были выбраны GRM21BR61E475KA12L конденсаторы фирмы Murata с запасом по емкости 4,7мкФ.

Выбор компенсационного резистора и конденсатора.

Выбор компенсационного резистора и конденсатора осуществляют, исходя из следующих выражений:

$$R_{COMP} = \frac{2\pi \cdot f_{sw} \cdot C_{out} \cdot (V_{out})^2}{V_{FB} \cdot V_{in} \cdot G_{MRA} \cdot G_{CS}}$$
$$C_{COMP} = \frac{2}{\pi \cdot f_c \cdot R_{COMP}}$$

Для обеспечения оптимальных переходных характеристик значения R_{COMP} и C_{COMP} регулируют, наблюдая за переходной выходной характеристикой нагрузки ADP1613. Исходя из параметров схемы, были определены необходимые значения $R_{COMP} = 385$ кОм, $C_{COMP} = 3,3$ нФ.

В качестве компенсационного резистора был выбран резистор SMD 0805 с сопротивлением 390 кОм.

						Лист
					11.03.04.2020.453 ПЗ	33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

3.1. Выбор САПР для создания условно – графической схемы и физического макета печатной платы

Для построения условно-графической схемы и физического макета печатной платы преобразователя будем использовать одну из лучших САПР – Altium Designer.

Altium Designer — это система, позволяющая реализовывать проекты электронных средств на уровне схемы или программного кода с последующей передачей информации проектировщику ПЛИС или печатной платы. Отличительной особенностью программы является проектная структура и сквозная целостность ведения разработки на разных уровнях проектирования. Иными словами изменения в разработке на уровне платы могут мгновенно быть переданы на уровень ПЛИС или схемы и так же обратно. Так же в качестве приоритетного направления разработчиков данной программы стоит отметить интеграцию ECAD и MCAD систем. Теперь разработка печатной платы возможна в трёхмерном виде с двунаправленной передачей информации в механические САПР (Solid Works, Pro/ENGINEER, NX и др.)

Данный пакет состоит из двух продуктов, базирующихся на единой интегрированной платформе DXF, возможность работы с тем или иным из них зависит от типа приобретённой лицензии:

1. Altium Designer Custom Board Front-End Design — Проектирование ПЛИС, схемотехническое проектирование и моделирование.
2. Altium Designer Custom Board Implementation — Проектирование печатных плат и ПЛИС.

									Лист
									34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

В состав программного комплекса Altium Designer входит весь необходимый инструментарий для разработки, редактирования и отладки проектов на базе электрических схем и ПЛИС. Редактор схем позволяет вводить много иерархические и многоканальные схемы любой сложности, а также проводить смешанное цифро-аналоговое моделирование. Библиотеки программы содержат более 90 тысяч готовых компонентов, у многих из которых имеются модели посадочных мест, SPICE и IBIS-модели, а также трёхмерные модели. Любую из вышеперечисленных моделей можно создать внутренними средствами программы.

Редактор печатных плат Altium Designer содержит мощные средства интерактивного размещения компонентов и трассировки проводников, которые совместно с интуитивной и полностью визуализированной системой установки правил проектирования максимально упрощают процесс разработки электроники. Инструменты трассировки учитывают все требования, предъявляемые современными технологиями разработок, например, при трассировке дифференциальных пар или высокочастотных участков плат. В состав программы входит автоматический трассировщик Situs, в котором используются наиболее прогрессивные алгоритмы трассировки печатных проводников. Принципиальным отличием последней версии Altium Designer является поддержка двунаправленной работы с механическими деталями и моделями компонентов в формате STEP, которые могут быть импортированы/экспортированы из механических САПР. Для улучшения функций 3D-моделирования для Altium Designer в 2017 году лицензировано геометрическое ядро C3D.

Работа над всеми частями проекта ведётся в единой управляющей оболочке Design Explorer, что позволяет разработчику контролировать целостность проекта на всех этапах проектирования. Таким образом, изменения, внесённые на любом этапе разработки, автоматически

									Лист
									35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

передаются на все связанные стадии проекта. В дополнение к мощным средствам разработки, Altium Designer имеет широкие возможности импорта и экспорта сторонних систем проектирования и поддерживает практически все стандартные форматы выходных файлов (Gerber, ODB++, DXF и т. д.). Полностью поддерживаются все наработки в виде схем, плат и библиотек, разработанные в последних версиях P-CAD.[14]

3.2. Создание условно – графической схемы и физического макета печатной платы

Перед созданием проекта печатной платы DC/DC преобразователя была создана библиотека необходимых для проекта компонентов, включающая УГО компонентов на схеме (Schematic Library) и их посадочные места на плате (PCB Library). Затем был создан новый проект, в который были добавлены следующие файлы: файл условно-графической схемы, файл проекта печатной платы и файл созданной библиотеки. Далее была создана принципиальная электрическая схема и из схемы был сформирован проект печатной платы. Далее приступили к размещению компонентов на плате. Для оптимального размещения компонентов на плате и удобного в дальнейшем функционального использования было принято решение использовать в качестве базовой несущей конструкции двухстороннюю печатную плату. На задней стороне печатной платы будут размещены SMD элементы. Такие элементы как микроконтроллер, переключатель, разъемы питания и выхода, кнопки и индикаторы будут располагаться на передней стороне печатной платы.

Толщина дорожек платы выбиралась исходя из необходимого класса точности печатной платы. Первый тип дорожек имеет толщину 0,3 мм и необходим для проведения сигналов между элементами. Второй тип дорожек имеет толщину 1 мм и предназначен в основном для питания компонентов цепей.

									Лист
									36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

Разводка земли осуществлялась при помощи полигона, расположенного на обеих сторонах печатной платы.

Диаметры отверстий выбирались также исходя из необходимого класса точности печатной платы. Номинальные значения варьировались в диапазоне 0,2 – 1,5 мм.

Габаритные размеры платы 90X95 мм.

Для визуальной проверки вида печатной платы была создана 3D модель. На рис. 3.1. и 3.2. представлены виды 3D модели печатной платы.

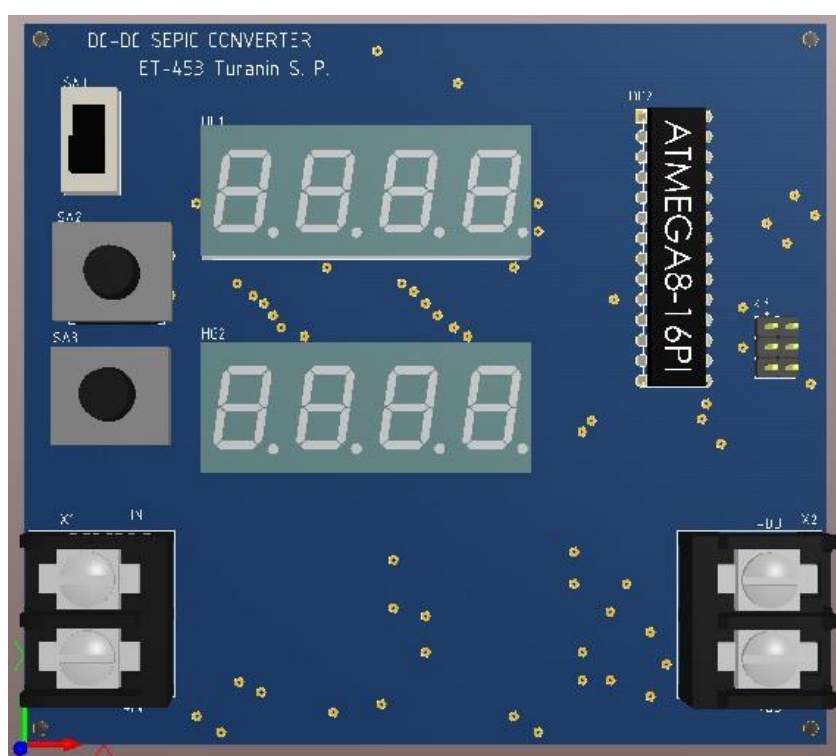


Рис. 3.1. Вид сверху 3D модели печатной платы.

									Лист
									37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

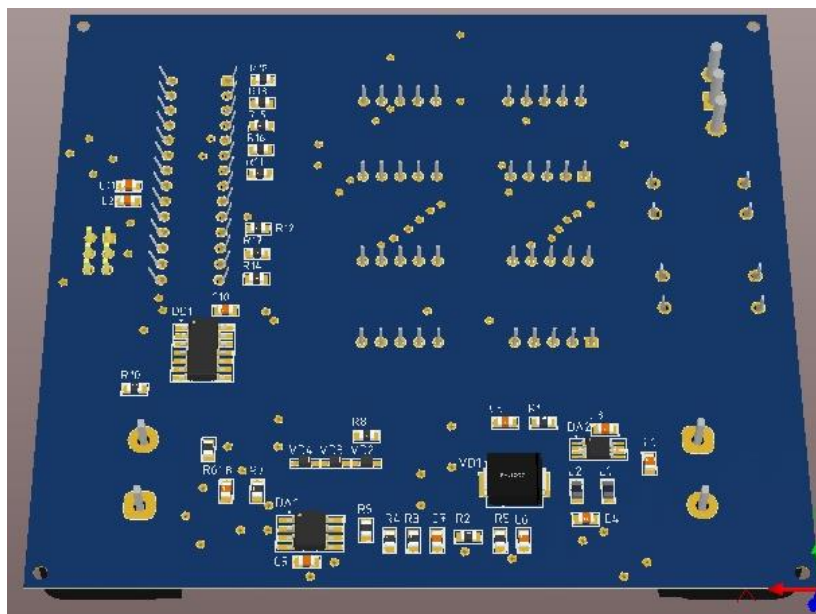


Рис. 3.2. Вид снизу 3D модели печатной платы.

После визуальной проверки предполагаемого вида печатной платы были созданы выходные файлы для отправки на производство – файл сверловки отверстий и Gerber файл.

Сборочный чертеж и вид трассированной печатной платы представлен в приложении 2.

3.3. Написание программного кода для микроконтроллера

В качестве среды для программирования была выбрана программа Atmel Studio 7.0.

Atmel Studio (ранее AVR Studio) — основанная на Visual Studio бесплатная проприетарная интегрированная среда разработки (IDE) для разработки приложений для 8 - и 32-битных микроконтроллеров семейства AVR и 32-битных микроконтроллеров семейства ARM от компании Atmel, работающая в операционных системах Windows NT/2000/XP/Vista/7/8/10. Atmel Studio содержит компилятор GNU C/C++ и эмулятор, позволяющий отладить выполнение программы без загрузки в микроконтроллер.

									Лист
									38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

Ранее среда разработки носила название AVR Studio, но начиная с версии 6.0, вышедшей в 2012 году, в неё была добавлена поддержка разработки для микроконтроллеров архитектуры ARM, также выпускаемых фирмой Atmel, и среда разработки получила новое название Atmel Studio. Текущая версия (Atmel Studio 7) поддерживает все выпускаемые на сегодняшний день фирмой Atmel микроконтроллеры архитектур AVR, AVR32 и ARM и средства разработки.

Atmel Studio содержит в себе менеджер проектов, редактор исходного кода, инструменты виртуальной симуляции и внутрисхемной отладки, позволяет писать программы на ассемблере или на C/C++ [15].

Программная разработка проводилась на языке высокого уровня C++. Реализованы обработчики нажатия кнопок на печатной плате, динамическое отображение напряжений и токов, инициализирована работа аппаратного SPI интерфейса и АЦП. Код программы представлен в приложении 1.

						Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения дипломной работы

1) была разработана принципиальная электрическая схема DC/DC преобразователя на микроконтроллере Atmega8 с возможностью регулировки выходного напряжения в диапазоне от 3,3 до 20 В при напряжении питания 5 В.

2) Предложена практическая реализация DC/DC преобразователя на основе SEPIC топологии и выполнены расчеты основных компонентов схемы;

3) Разработана программная часть и 3D модель устройства.

						Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ	

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А. Образцов, С. Образцов. Схемотехника DC/DC преобразователей. – Современная электроника №3 – 8 с. (2005)
2. S. Maniktala. Switching Power Supplies A to Z – Newnes, ISBN: 0750679700 – 523 с. (2006)
3. Микросхемы для импульсных источников питания и их применение. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2001. – 608 с.
4. <https://www.compel.ru/lib/134297> АО Компэл. DC/DC преобразователи: принципы работы и уникальные решения Maxim Integrated
5. <https://www.symmetron.ru/articles/brochures/SMPS.pdf> Компоненты для построения источников питания
6. Д. Макашов. Обратногоходовой преобразователь, г. Москва – 46 с. (2006)
7. Д. Иоффе. Разработка импульсного преобразователя напряжения с топологией SEPIC. – Силовая электроника. Компоненты и технологии №9 – 7 с. (2006)
8. Д. Иоффе. Перевод статьи «Analyzing the SEPIC Converter», Power Systems Design Europe, November, 2006
9. https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/ADP1612_1613.pdf Analog Devices Datasheet ADP1613
10. <https://www.farnell.com/datasheets/12247.pdf> Microchip Datasheet MCP42010
11. <https://static6.arrow.com/aropdfconversion/b1409adb059d8b16475eccf47cde082859d0632/ad823.pdf> Analog Devices Datasheet AD823ARZ
12. <https://static.chipdip.ru/lib/151/DOC00151610.pdf> Kingbright Datasheet CA04-41SRWA

									Лист
									41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

13. <https://www.farnell.com/datasheets/1693897.pdf> Atmel Datasheet
Atmega8L-8PU

14. https://ru.wikipedia.org/wiki/Altium_Designer

15. https://ru.wikipedia.org/wiki/Atmel_Studio

						Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ	

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Код программы для микроконтроллера Atmega8

```
/*
 * Created: 22.08.2019 11:10:33
 * Author : Turanin Semen
 */

#include <ioavr.h>
#include "intrinsics.h"
#define SS 2
#define MOSI 3
#define MISO 4
#define SCK 5

#define digit1 4 // PORTB
#define digit2 3 // PORTC
#define digit3 7 // PORTB
#define digit4 1 // PORTB
#define digit5 0 // PORTB
#define digit6 6 // PORTB

#define dcdc_en 1
#define up 4
#define down 5

#define all_digits_off \
    { \
        PORTB&=~((1<<digit1)|(1<<digit3)|(1<<digit4)|(1<<digit5)|(1<<digit6)); \
        PORTC&=~(1<<digit2); \
    } \

unsigned char wiper_code=0;
unsigned char digit=1;
unsigned char segment=0;
unsigned char voltage, current =0;
unsigned char seven_segments[10]={0xBE, 0x22, 0xF4, 0xF2, 0x6A, 0xDA, 0xDE, 0x32, 0xFE,
0xFA};
__flash unsigned int arrive[110]={
    330,331,333,334,336,337,339,341,343,344,
    347,349,351,354,356,358,360,362,365,367,
    369,371,373,376,378,380,382,385,387,390,
    392,395,397,400,403,406,409,412,415,418,
    421,424,428,431,435,438,442,446,450,454,
    458,460,466,471,476,481,486,491,496,502,
    507,513,519,525,531,538,545,552,560,567,
    575,583,592,601,610,620,630,641,652,664,
    676,689,702,716,731,746,763,780,799,818,
    839,862,885,911,938,967,998,1032,1069,1109,
    1153,1201,1252,1310,1374,1446,1526,1617,1720,1839
};

unsigned char i1, i2, i3 =0;
unsigned char u1, u2, u3 =0;
unsigned int i,u,r=0;

void init (void)
{
    DDRB=0xFF;

```

						Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ	

```

PORTB|=(1<<SS);
DDRC|=(1<<digit2)|(1<<dcdc_en);
PORTC=0;
PORTC|=(1<<up)|(1<<down);
DDRD=0xFF;
PORTD=0xFF;
asm("SEI");
TIMSK=1;
TCNT0=99;
TCCR0=3;
}

void spi_data(unsigned char data)
{
    all_digits_off;
    DDRB&=~(1<<MISO);
    SPCR=(1<<SPE)|(1<<MSTR);
    PORTB&=~(1<<SS);
    SPDR=0x11;
    while(!(SPSR & (1<<SPIF)));
    SPDR=data;
    while(!(SPSR & (1<<SPIF)));
    PORTB|=(1<<SS);
    SPCR=~((1<<SPE)|(1<<MSTR));
    DDRB|=(1<<MISO);
}

void display_segment (void)
{
    all_digits_off;
    switch (digit)
    {
    case 1 :
        PORTB|=(1<<digit1);
        if (seven_segments[u1] & (1<<segment)) PORTD=~(1<<segment);
        else PORTD=0xFF;
        break;
    case 2 :
        PORTC|=(1<<digit2);
        if (segment==0) PORTD=~(1<<segment);
        else
        {
            if (seven_segments[u2] & (1<<segment)) PORTD=~(1<<segment);
            else PORTD=0xFF;
        }
        break;
    case 3 :
        PORTB|=(1<<digit3);
        if (seven_segments[u3] & (1<<segment)) PORTD=~(1<<segment);
        else PORTD=0xFF;
        break;
    case 4 :
        PORTB|=(1<<digit4);
        if (segment==0) PORTD=~(1<<segment);
        else
        {
            if (seven_segments[i1] & (1<<segment)) PORTD=~(1<<segment);
            else PORTD=0xFF;
        }
    }
}

```

						Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ	

```

        break;
    case 5 :
        PORTB|=(1<<digit5);
        if (seven_segments[i2] & (1<<segment)) PORTD=~(1<<segment);
        else PORTD=0xFF;
        break;
    case 6 :
        PORTB|=(1<<digit6);
        if (seven_segments[i3] & (1<<segment)) PORTD=~(1<<segment);
        else PORTD=0xFF;
        break;
    }
    if (segment==7)
    {
        segment=0;
        if (digit==6) digit=1;
        else digit++;
    }
    else segment++;
}

void increase_voltage (void)
{
    PORTB&=~(1<<SS);
    SPDR=0;
}

void decrease_voltage (void)
{
    voltage--;
}

#pragma vector = TIMER0_OVF_vect
__interrupt void tc0_overflow_interrupt(void)
{
    TCCR0=0;
    display_segment();
    TCNT0=225;
    TCCR0=2;
}

int main(void)
{
    init();
    PORTC|=(1<<dcdc_en);
    while (1)
    {
        u=arrive[(218-wiper_code)/2];
        u1=u/1000;
        u2=(u-u1*1000)/100;
        u3=(u-u1*1000-u2*100)/10;
        i1=wiper_code/100;
        i2=(wiper_code-i1*100)/10;
        i3=(wiper_code-i1*100-i2*10);
        if (!(PINC & 1<<up))
        {
            __delay_cycles(30000);
            while(!(PINC & 1<<up));
            wiper_code=wiper_code-2;
        }
    }
}

```

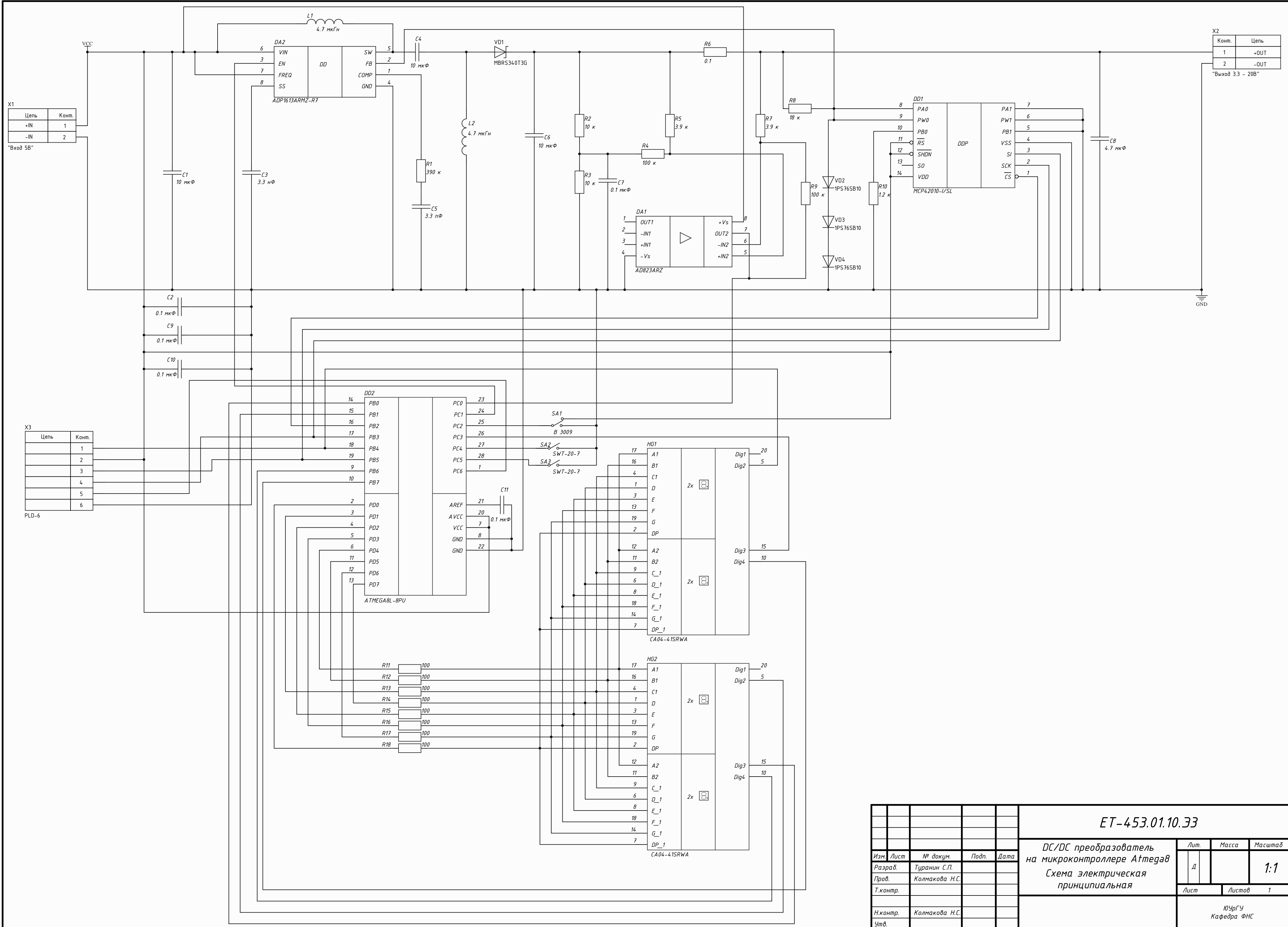
									Лист
									45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

```
        spi_data(wiper_code);
        __delay_cycles(30000);;
    }
    if (!(PINC & 1<<down))
    {
        __delay_cycles(30000);
        while(!(PINC & 1<<down));
        wiper_code=wiper_code+2;
        spi_data(wiper_code);
        __delay_cycles(30000);;
        decrease_voltage();
    }
}
}
```

						Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ	

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
A3			ET-453.10.01.000.СБ	Сборочный чертеж		
A3			ET-453.10.01.000.ЭЭ	Принципиальная схема		
A4			ET-453.10.01.000.ПЭ	Перечень элементов		
				<u>Детали</u>		
		1	ET-453.10.01.000.001	Плата	1	
				<u>Стандартные изделия</u>		
				Резисторы SMD 0805		
				ГОСТ 294071-91		
		2		SMD-0,125-390кОм±5%	1	R1
		3		SMD-0,125-10кОм±1%	2	R2,R3
		4		SMD-0,125-100кОм±5%	2	R4,R9
		5		SMD-0,125-3,9кОм±1%	2	R5,R7
		6		SMD-0,125-0,1 Ом±1%	1	R6
		7		SMD-0,125-18кОм±1%	1	R8
		8		SMD-0,125-1,2кОм±1%	1	R10
		9		SMD-0,125-100 Ом±1%	8	R11-R18
ET-353.01.10.000.СП						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
Разраб.	Туранин				Лит.	Лист
Провер.	Колмакова				Д	1
Н. контр.					Листов	
Утв.					3	
DC/DC преобразователь напряжения на микроконтроллере Atmega8 Спецификация					ЮУрГУ Кафедра ФНС	

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Прочие изделия</u>		
				Конденсаторы SMD 0805		
				ГОСТ Р 50296-92		
		9		SMD-25B-10мкФ±10%	3	C1,C4,C6
		10		SMD-50B-0,1мкФ±10%	3	C2,C7,C11
				SMD-50B-0,1мкФ±10%	2	C9,C10
		11		SMD-50B-3,3нФ±5%	1	C3
		12		SMD-50B-3,3нФ±0,25%	1	C5
		13		SMD-25B-4,7мкФ±10%	1	C8
				Микросхемы		
		14		AD823ARZ	1	DA1
		15		ADP1613ARMZ-R7	1	DA2
		16		MCP42010-I/SL	1	DD1
		17		Atmega8L-8PU	1	DD2
				Диоды полупроводниковые		
		18		MBRS340T3G	1	VD1
		19		1PS76SB10,115	3	VD2-VD4
				Индуктивности		
		20		MLF2012A4R7KT000	2	L1,L2
				Индикатор светодиодный		
		21		CA04-41SRWA	2	HG1,HG2
				Переключатель		
		22		B-3009	1	SA1
				ET-453.01.10.000.СП		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист 2	



Цель	Конт.
+IN	1
-IN	2

"Вход 5В"

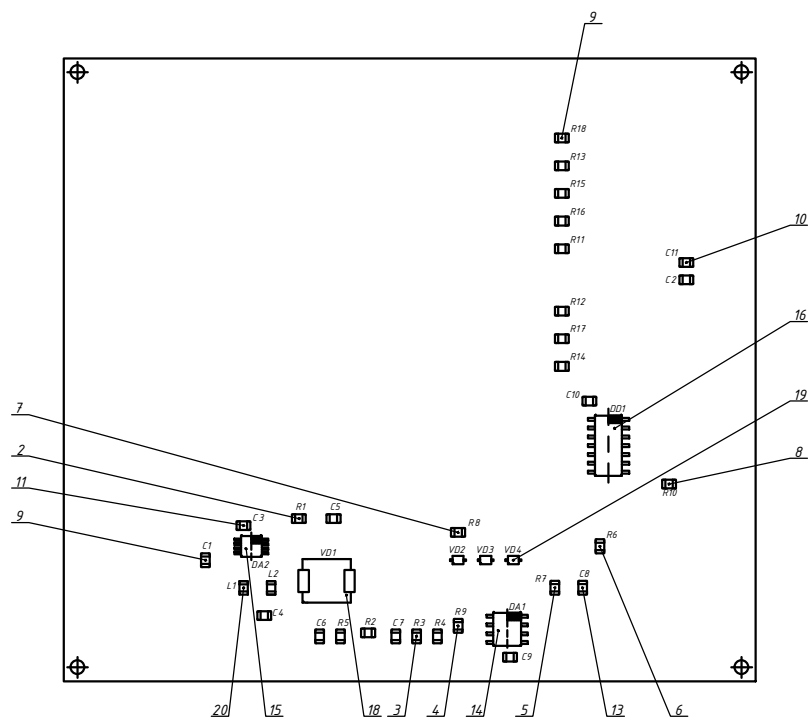
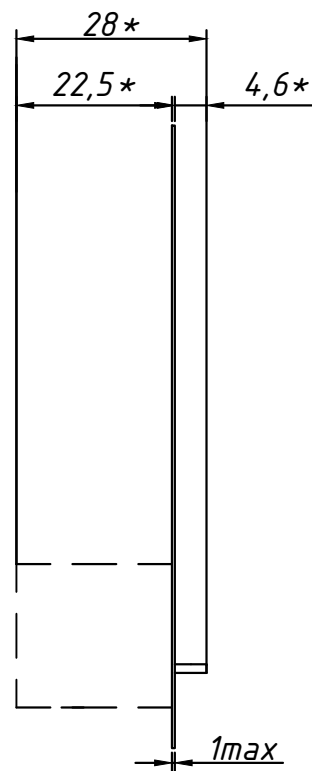
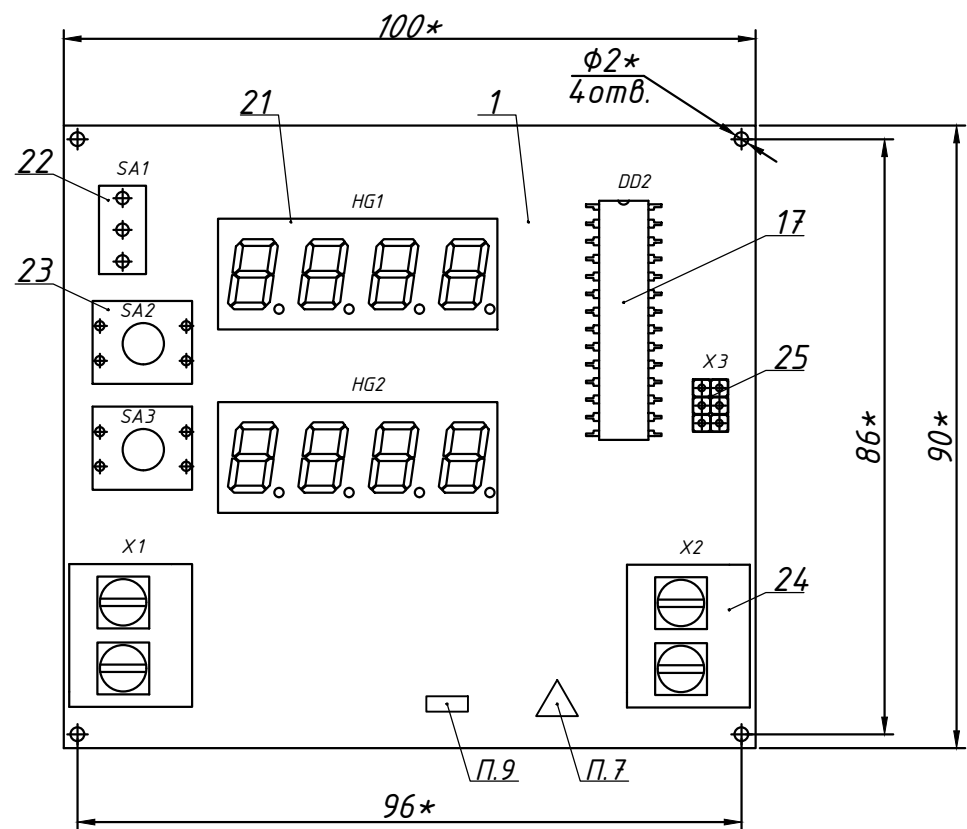
Конт.	Цель
1	+OUT
2	-OUT

"Выход 3.3 - 20В"

Цель	Конт.
1	
2	
3	
4	
5	
6	

PLD-6

				ET-453.01.10.33			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	DC/DC преобразователь на микроконтроллере Atmega8 Схема электрическая принципиальная		
Разраб.	Турачин С.П.						
Пров.	Колмакова Н.С.						
Т.контр.							
Н.контр.	Колмакова Н.С.				Лист	Листов	1
Утв.					ЮУрГУ Кафедра ФНС		



1. * Размеры для справок
2. Паять припоем ПОС-61 Гост-21931-76
3. Установку элементов производить по ГОСТ29137-91 и ОСТ 4.010.030-81
4. Высота выступающих концов выводов 0,5...1,6 мм
5. Высота выступающих элементов не выше 40 мм
6. Плату покрыть лаком УР-231 ТУ6-10-863-84.
7. Клеймо ОТК
8. Печатные проводники и монтажные отверстия условно не показаны
9. Заводской номер маркировать краской ЧМ, черный, ТУ 029-02-859-78. Шрифт 2,5 по НО.010.007
10. Остальные технические требования по ОСТ4.ГО.070.015

					ЕТ-453.01.10.000СБ		
					DC/DC преобразователь напряжения на микроконтроллере Atmega8		
					Сборочный чертеж		
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
					Д		1:1
Разраб.	Туралин						
Провер.	Колмакова						
Т.контр.					Лист	Листов 1	
Н.контр	Колмакова				ЮУрГУ Кафедра ФНС		
Утв.							