

УДК 681.58:681.32

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ С ПИТАНИЕМ ОТ НИЗКОВОЛЬТНОГО ИСТОЧНИКА

Матвеев Д.А., Мускатиньев А.В.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск

E-mail: [muskatav@mail.ru](mailto:muskatav@mail.ru)

**Аннотация.** В статье обсуждается структура инверторного источника с выходным напряжением  $\sim 250$  В и питанием от аккумуляторной батареи 12 В. Принципиальная схема источника реализована с использованием современных компонентов. Отличительные свойства конструкции обусловлены высокой удельной мощностью, простотой реализации и оригинальностью решения.

**Ключевые понятия:** ШИМ контроллер, двухтактный преобразователь, мостовой каскад.

### Постановка задачи

Преобразователи постоянного тока в переменный (DC-AC) нашли широкое применение в различных отраслях промышленности и быту. Эксплуатация различного телекоммуникационного оборудования, телевизионной и вычислительной техники и др. в большинстве случаев требует компактных преобразователей DC-AC с пиковой мощностью порядка 300 Вт, используемых как автономно, так и в составе источников бесперебойного питания.

На рынке электронной аппаратуры предложен широкий выбор таких преобразователей, различающихся функциональными возможностями, формой выходного напряжения, мощностью на выходе и соответственно ценой.

В статье предлагается и обсуждается принципиальная схема преобразователя напряжения с «модифицированной» синусоидой на выходе. Основными критериями при разработке схемы преобразователя являлись малые габариты при высокой удельной мощности, простота технического решения, надежность и приемлемая цена.

### Метод решения

Общий вид структуры реализованного преобразователя показан на рис. 1. Он реализован в виде двухкаскадной схемы и состоит из повышающего DC-DC преобразователя ( $+12$  В  $\rightarrow$   $+315$  В) и инвертора напряжения ( $+315$  В  $\rightarrow$   $\sim 220$  В).

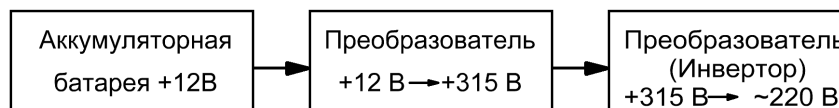


Рис. 1. Структурная схема преобразователя  $+12$  В  $\rightarrow$   $\sim 220$  В

Структурная схема повышающего DC-DC преобразователя показана на рис. 2. Его основной задачей является преобразование напряжения 12В с аккумуляторной батареи в постоянное, равное амплитудному значению напряжения сети 315 В, а также его стабилизацию. Дополнительно, в данном блоке реализуется функция защиты от превышения тока на выходе преобразователя.

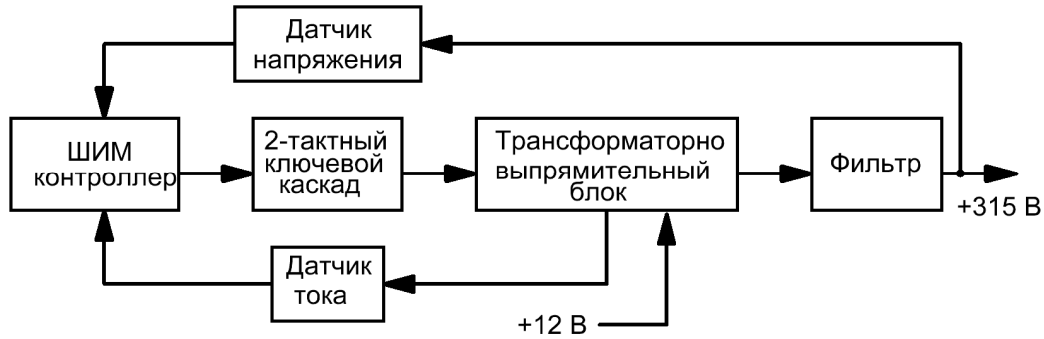


Рис. 2. Структурная схема преобразователя  $+12\text{ В} \rightarrow +315\text{ В}$

Структурная схема инвертора, входящего в состав преобразователя рис. 1, представлена на рис. 3. Силовая часть инвертора реализована по мостовой схеме с системой управления. Форма выходного напряжения близка к прямоугольной, что несколько ухудшает характеристики преобразователя в целом, но позволяет значительно упростить систему управления. Кроме этого выходной фильтр частично сглаживает фронты выходного напряжения, приближая их форму к экспоненциальной.



Рис. 3. Структурная схема инвертора  $+315\text{ В} \rightarrow \sim 220\text{ В}$

Рассмотрим принципиальные схемы каждого из узлов преобразователя, а также особенности технической реализации.

Принципиальная схема преобразователя  $+12\text{ В} \rightarrow +315\text{ В}$  показана на рис. 4. Преобразователь построен по двухтактной схеме, основой которого является широко известная микросхема ШИМ контроллера TL494 (DA1). Данная микросхема имеет встроенный задающий генератор, частота которого устанавливается внешней R3C2 цепочкой и в данной схеме выбрана равной 70 кГц. Столь высокая частота преобразования обусловлена необходимостью минимизации габаритов преобразовательного трансформатора. В составе контроллера имеется два операционных усилителя (ОУ) ошибки, а также модуль управления длительностью паузы (вывод Dt). На основе этого модуля и цепочки R1C1 реализована функция плавного запуска, необходимая для устранения перегрузок и кратковременных выбросов перенапряжения в момент включения преобразователя в работу.

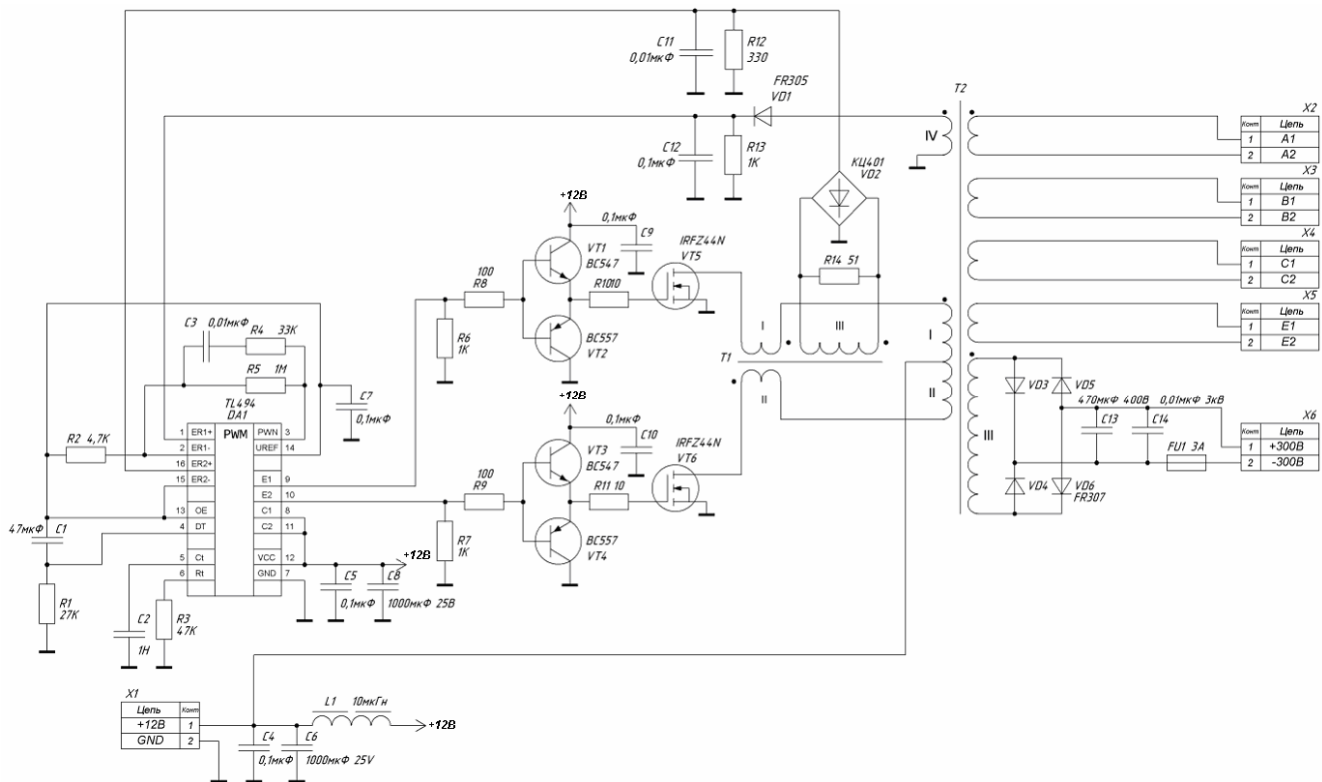


Рис. 4. Принципиальная схема преобразователя +12 В→+315 В

Стабилизация выходного напряжения осуществляется с использованием внутреннего ОУ1 микросхемы DA1. Сигнал обратной связи снимается с дополнительной обмотки 4 трансформатора T2 и поступает на неинвертирующий вход ОУ1 (вывод 1). Такое решение обеспечивает полную гальваническую развязку первичных низковольтных цепей от высоковольтных цепей нагрузки. опорное напряжение на ОУ1 поступает через резистор R2 от внутреннего модуля, формирующего стабильное напряжение +5В. Усилитель ОУ1 охвачен частотнозависимой отрицательной обратной связью R2-R4-R5-C3, что позволяет и реализовать пропорционально интегральный закон регулирования (ПИ регулятор) выходного напряжения.

Выходной каскад микросхемы DA1 построен в виде одиночных биполярных ключей с максимальной нагрузочной способностью равной 100мА. Этого недостаточно для управления затворами мощных полевых транзисторов, обладающих значительной емкостью затвор-сток. Затягивание фронтов при переключении транзисторов увеличит динамические потери преобразователя и уменьшит КПД. Для решения этой проблемы использованы промежуточные двухтактные каскады (VT1, VT2; VT3, VT4) усиления по току, обеспечивающие быстрый заряд и разряд емкости затвор-сток транзисторов VT5, VT6. Для снижения общих тепловых потерь в ключах и уменьшения габаритов охлаждающих радиаторов были применены транзисторы IRFZ44N с номинальным током сток-исток равным 100А, что в 3 раза превышает пиковый ток первичной цепи при максимальной нагрузке преобразователя.

Оригинальным решением в конструкции узла DC-DC преобразователя является токовая защита. Во многих известных схемотехнических решениях защита такого рода выполняется во вторичных цепях преобразователя с использованием низкоомного резистора в качестве датчика тока. Реже применяют схемы с датчиками Холла, которые не имеют гальванической связи с вторичной цепью, но в виду сложности и дороговизны находят применение только в мощных устройствах. Отличительная особенность предлагаемого решения является применение дифференциального трансформатора тока T1 в качестве датчика тока в первичной низковольтной цепи. Это сохраняет гальваническую развязку и обеспечивает токовую защиту по всем выходным обмоткам трансформатора, т.к. увеличение суммарной мощности во вторичных цепях неминуемо приведет к возрастанию тока протекающего через ключи и

первичную обмотку трансформатора T2. Дифференциальный трансформатор тока T1 выполнен на ферритовом кольце и содержит две первичные обмотки по 2 витка, включенные встречно-последовательно с силовыми ключами VT5, VT6 и первичными полуобмотками трансформатора T2. Выходная измерительная обмотка T1 нагружена на резистор R14 и диодный мост VD2, с которого напряжение, пропорциональное току в первичных цепях, сглаживается и поступает на неинвертирующий вход OY2 DA1, работающего в режиме компаратора. Усилитель блокирует работу ШИМ - контроллера в случае превышения потребляемого преобразователем тока заданного значения.

Выходное напряжение DC-DC преобразователя снимается с обмотки 3 трансформатора T2, выпрямляется по мостовой схеме, составленной из ультрабыстродействующих диодов FR307, выпрямляется и фильтруется. На выходе фильтра предусмотрен предохранитель, выполняющий роль элемента защиты для последующих цепей.

Инвертор +315 В → ~220 В, принципиальная схема которого представлена на рис. 5, построен по мостовой схеме с применением в качестве ключей высоковольтных полевых транзисторов серии IRF730 с номинальным напряжением сток-исток 400В и током 5А. Известные трудности управления верхними ключами моста могут быть легко решены использованием специальных микросхем драйверов силовых МОП транзисторов фирмы International Rectifier. На сегодняшний день доступны как одиночные драйверы, так и драйверы для полумостовых схем, например IR2110, IR2111, IR2113 и др. Особенностью всех отмеченных драйверов является наличие «бутстрепного»<sup>1</sup> конденсатора, выполняющего функции плавающего источника напряжения для питания выходного каскада управления верхним ключом полумоста. Естественно, что для мостовой схемы потребуется две такие микросхемы.

В предлагаемой конструкции мостового инвертора используются схемы драйверов собственной конфигурации, что объясняется доступностью примененной элементной базы и приемлемой ценой. Принципиальные схемы драйверов идентичны, поэтому рассмотрим один из четырех, например, используемый для управления транзистором верхнего ключа моста VT7 (рис. 5).

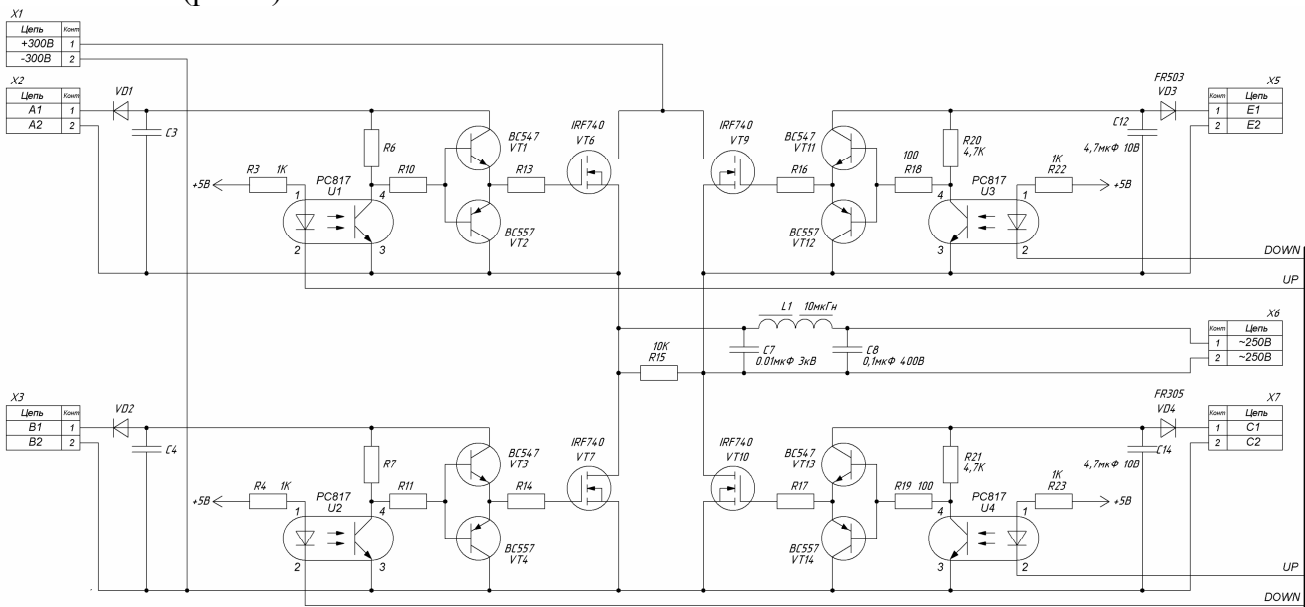


Рис.5. Принципиальная схема инвертора +315 В → ~220 В

Выходной каскад драйвера построен в виде двухтактного с использованием комплементарных биполярных транзисторов VT1 и VT2. Связь драйвера с системой управления осуществляется посредством оптопары U1. Для независимого питания драйвера используется однополупериодная схема выпрямления VD1, C4 и одна из четырех обмоток, размещенная на основном трансформаторе T2 преобразователя. Обмотка состоит из двух витков многожильного провода.

Для подавления высших гармоник выходного напряжения инвертора используется П-образный LC- фильтр на элементах C7, C8, L1.

Система управления ключами мостового инвертора представлена на рис. 6 и реализована на 4х элемента И-НЕ и 2х RS триггерах, что составляет два

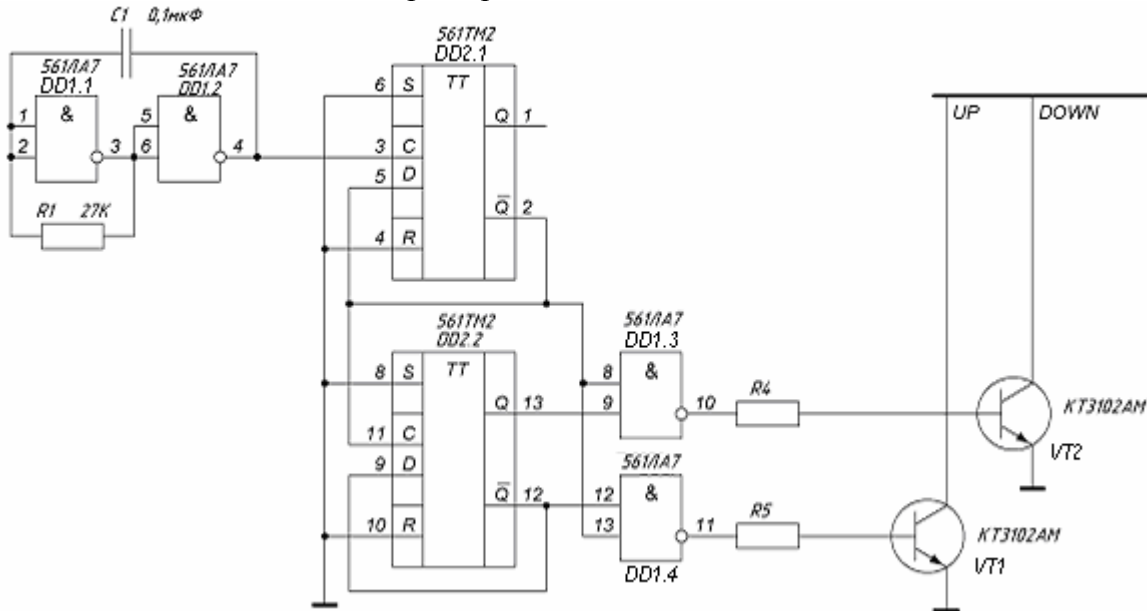
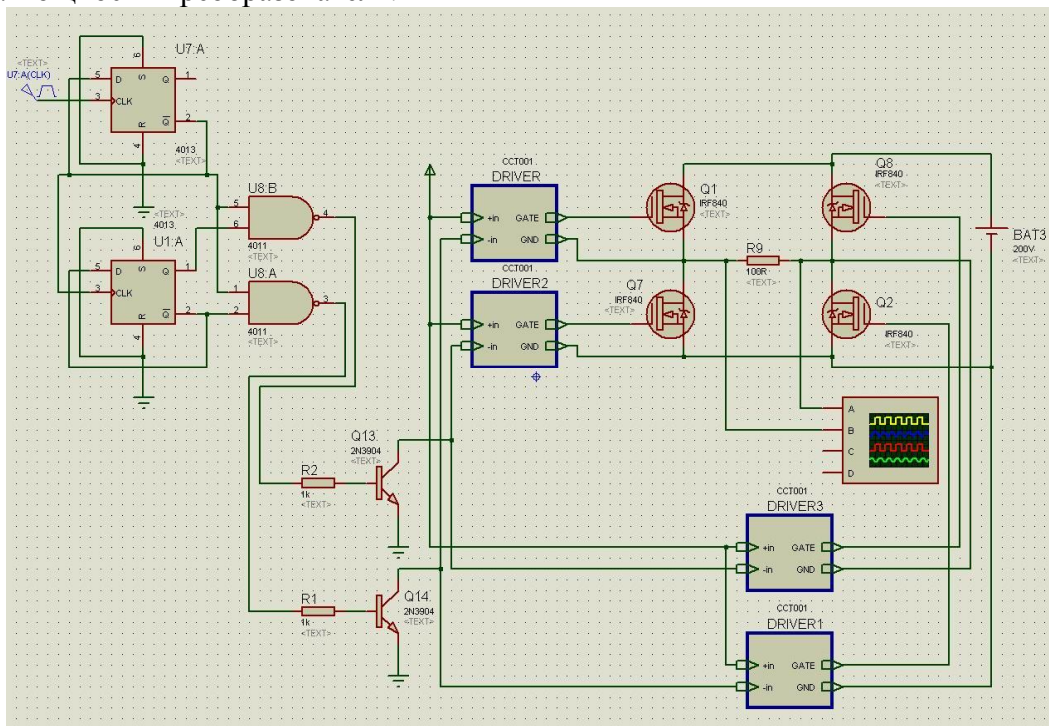


Рис. 6. Принципиальная схема системы управления инвертором

14 выводных корпуса DIP. На элементах DD1.1 и DD1.2 реализован задающий генератор, частота импульсов которого в 4 раза выше частоты работы инвертора. Элементы DD1.3 и DD1.4 выполняют роль логических вентилях для организации паузы, необходимой для исключения сквозных токов в плечах моста инвертор. Два RS-триггера, работающие в режиме делителей на 2, формируют симметричный меандр и стробируют вентили DD1.3 и DD1.4. Однако результаты моделирования данной схемы в системе ISIS7 показывают (рис. 7), что длительность паузы слишком велика (5 мс). Это приводит к существенному снижению коэффициента мощности преобразователя.



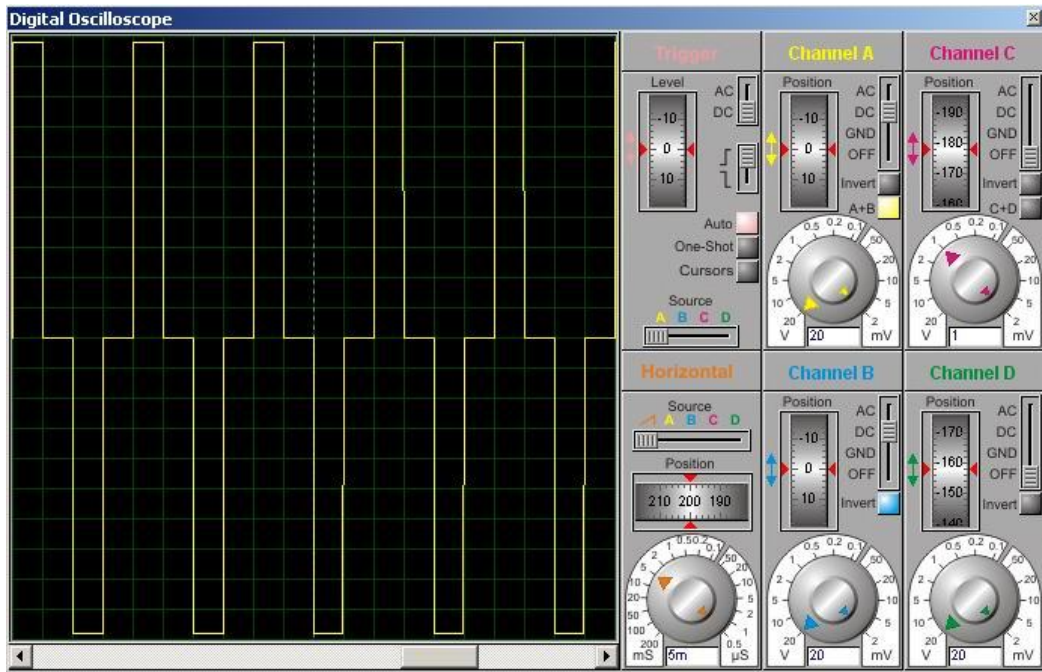


Рис. 7. Результаты моделирования системы управления инвертором

Если в качестве задающего генератора использовать таймер NE555 (рис. 8), а на элементах DD2.1, DD2.2 построить одновибратор, который, запускается

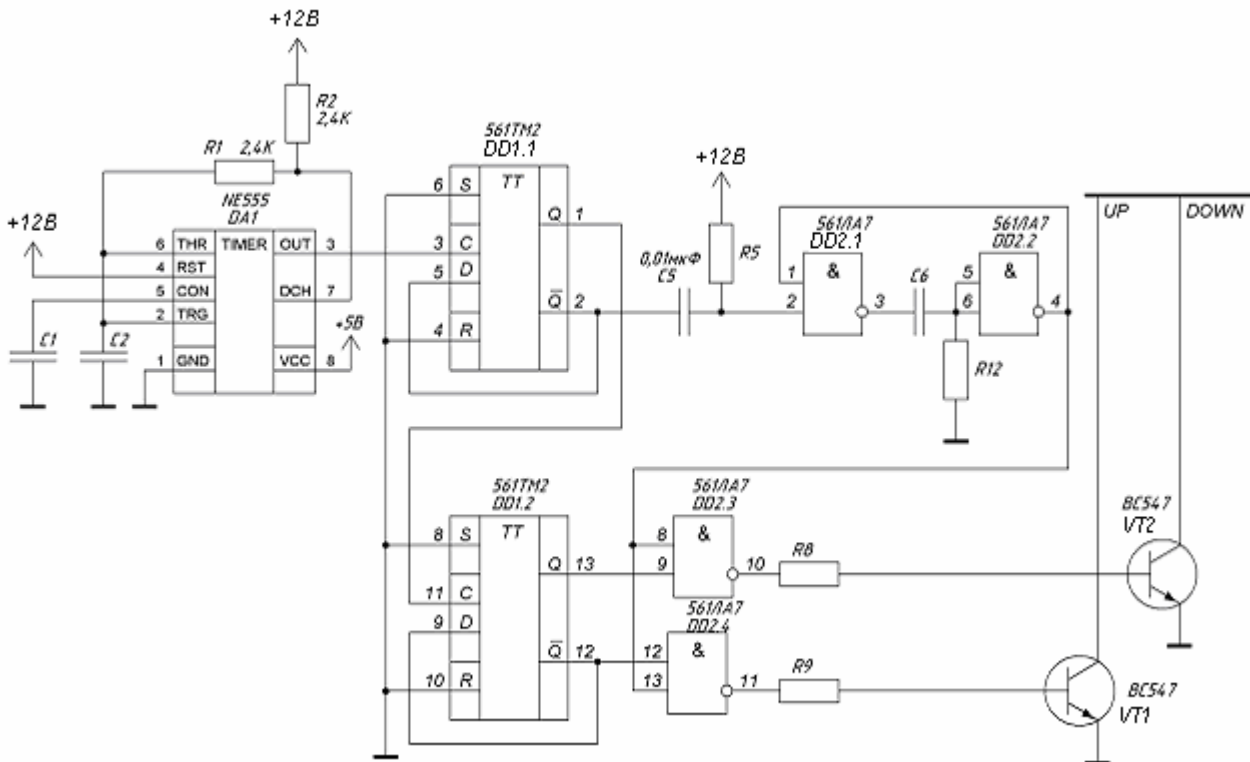


Рис. 8. Принципиальная схема системы управления с одновибратором

по фронту с выхода триггера DD1.1, то длительность паузы можно установить в любых пределах времязадающей цепочкой C6, R12, что подтверждается результатами моделирования на рис. 9.

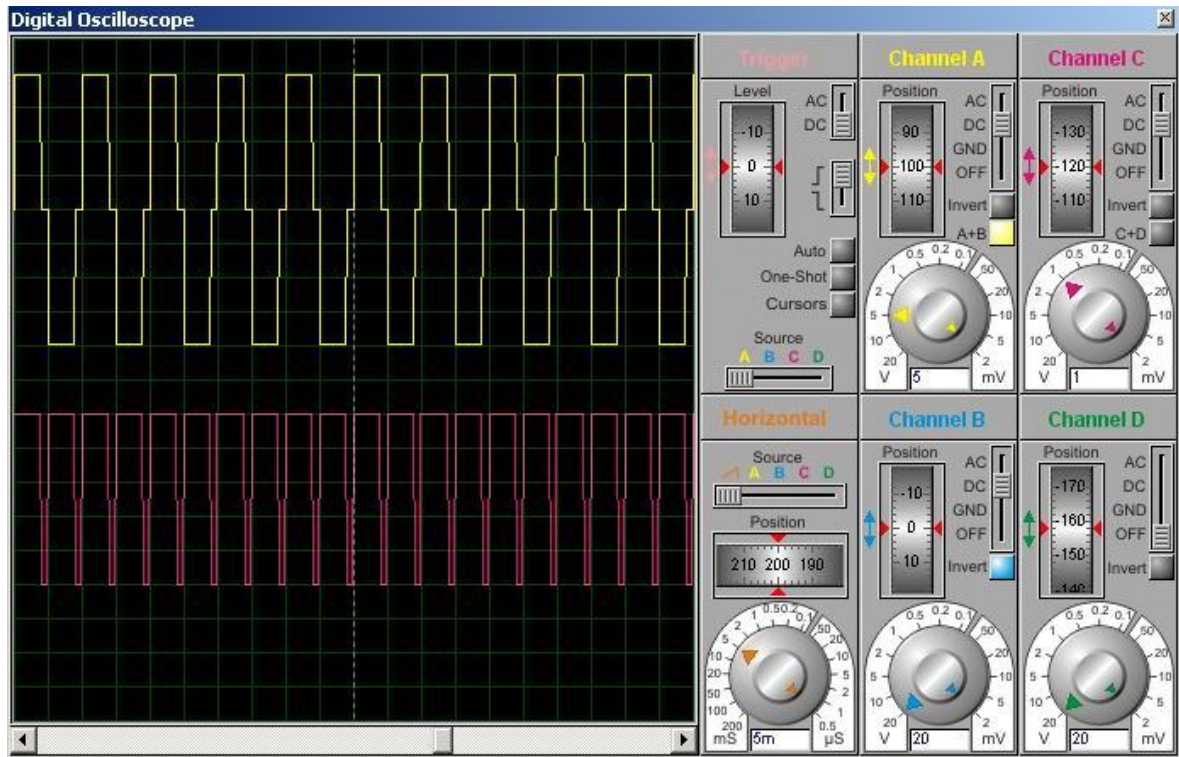


Рис. 9. Результаты моделирования системы управления с одновибратором

### Заключение

Разработанный малогабаритный источник переменного напряжения промышленной частоты с питанием от аккумуляторной батареи 12 В предназначен для аварийного электропитания различного оборудования небольшой мощности (до 300 Вт), некритичного к форме питающего напряжения. Схема преобразователя отличается надежностью, простотой и набором недорогих и доступных элементов.

### ПРИМЕЧАНИЯ

<sup>1</sup> Семенов, Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов / Б. Ю. Семенов. – М. : СОЛОН-Р, 2001. – 327 с.