

УДК 621.316.7

**С.Р. Зиборов, доцент, канд. техн. наук,**

**В.А. Ефремов, магистр**

*Севастопольский национальный технический университет,*

*ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053,*

*E-mail: sergey.ziborov@gmail.com*

## **СТАБИЛИЗАТОР СЕТЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

*Рассмотрены причины, вызывающие необходимость стабилизации напряжения промышленной частоты. Предложен алгоритм управления работой стабилизатора, управляемого микроконтроллером. Приведены результаты экспериментального исследования стабилизатора.*

**Ключевые слова:** стабилизатор сетевого напряжения, микроконтроллер, алгоритм работы, программа.

Расширение ассортимента и усложнения промышленного и бытового технического оборудования, питаемого электроэнергией, требует повышения качества электроснабжения в соответствии с действующими нормами. Завышенное или заниженное напряжение электросети может приводить не только к нарушению режима работы устройств и приборов, но и выходу их из строя. При этом экономические потери из-за отказа технических устройств, обусловленные изменениями напряжения сети, могут многократно превышать стоимость оборудования, используемого для защиты от таких изменений. Низкое качество промышленной сети особенно характерно для сельской местности, а также при использовании автономных источников переменного напряжения (дизель-генераторов, различного рода преобразователей напряжения и т. п.)

Развитие выпрямительной техники достигло сегодня такого уровня, что современные выпрямители имеют достаточно широкий допустимый диапазон изменения входного напряжения и не нуждаются в регуляторах или стабилизаторах напряжения. Однако такие выпрямители критичны к быстрым перепадам напряжения на входе, которые могут вызывать пробой полупроводниковых компонентов [1].

Использование стабилизаторов переменного напряжения промышленной частоты с широким диапазоном изменения входного напряжения позволяет существенно увеличить время безотказной работы питаемого ими оборудования.

Целью статьи является разработка стабилизатора переменного напряжения с микроконтроллерным управлением, предназначенного для энергообеспечения небольшого офиса, частного дома или квартиры, потребляемая мощность которых составляет 10...15 кВт.

Сравнительный анализ принципов построения стабилизаторов переменного напряжения показал, что для такого уровня мощности целесообразно использовать ключевой стабилизатор с дискретной регулировкой выходного напряжения [1].

Для функционирования стабилизатора необходимо контролировать уровень входного сетевого напряжения, который можно определять одним из следующих методов: время-импульсным методом, методом выпрямления сетевого напряжения, методом прямого измерения амплитуды сетевого напряжения [2].

Время-импульсный метод основан на измерении длительности импульса, у которого положения переднего и заднего фронтов соответствуют моментам достижения сетевым напряжением заданного порогового значения. Метод прост в реализации, но требует постоянства частоты сетевого напряжения, что не всегда обеспечивается, если энергоснабжение производится от дизель-генератора. Кроме того, погрешность измерения увеличивается с ростом нелинейных искажений сетевого напряжения. При резком увеличении напряжения, например, вследствие обрыва одного из проводов воздушной линии электропередачи, скорость реакции стабилизатора будет занижена, что может вызвать задержку отключения нагрузки и, как следствие, выход ее из строя.

Метод выпрямления сетевого напряжения имеет преимущества перед время-импульсным, так как значение выпрямленного напряжения практически не зависит от изменения частоты и уровня нелинейных искажений сетевого напряжения. Однако даже незначительные кратковременные броски и провалы сетевого напряжения приводят к изменениям средневывпрямленного значения напряжения, вызывая нежелательные изменения выходного напряжения стабилизатор.

Метод прямого измерения амплитудного значения сетевого напряжения обладает хорошей чувствительностью к изменению амплитуды сетевого напряжения и высокой помехоустойчивостью, так как измерение происходит в течение несколько микросекунд один раз за период сетевого напряжения.

Вероятность ложных срабатываний от импульсных помех можно снизить, включив на входе стабилизатора сглаживающий фильтр нижних частот.

В соответствии с дискретно-ключевым методом стабилизации была разработана структурная схема стабилизатора переменного напряжения (рисунок 1) [3]. Источником входного напряжения  $U_{вх}$  стабилизатора может быть промышленная сеть или дизель-генератор.

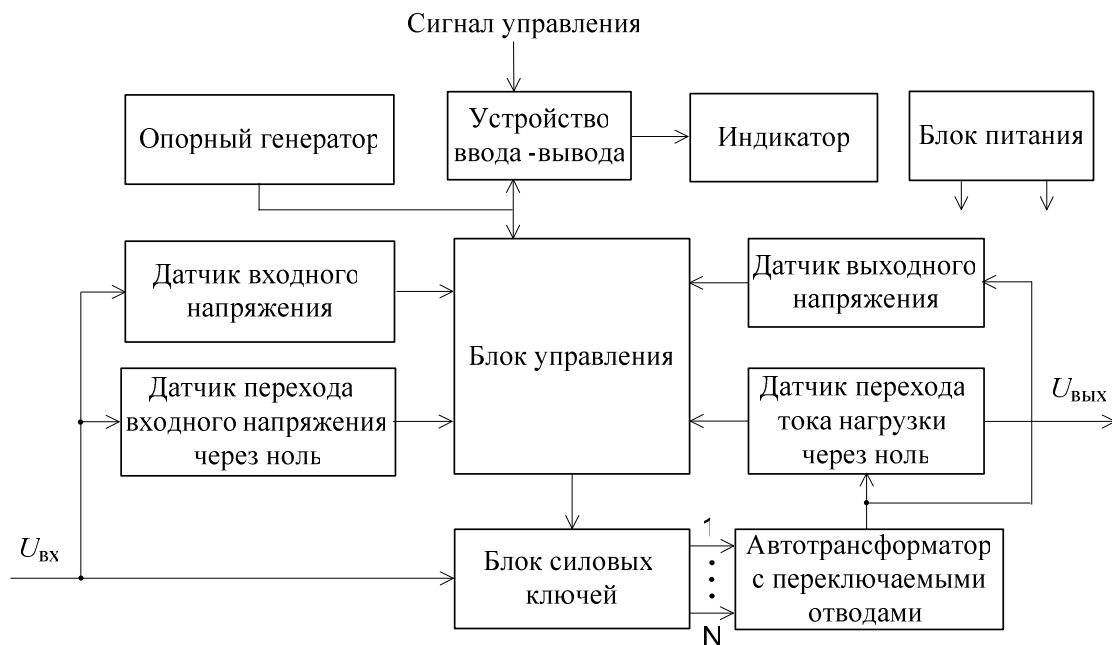


Рисунок 1 — Структурная схема стабилизатора переменного напряжения

Принцип стабилизации заключается в автоматическом дискретном регулировании выходного напряжения  $U_{вых}$  стабилизатора путем переключении отводов автотрансформатора. Управление стабилизатором осуществляется с помощью блока управления, реализованного на микроконтроллере, тактовая частота которого задается опорным кварцевым генератор. В качестве регулирующего элемента используется мощный автотрансформатор с  $N$  отводами, переключаемыми блоком силовых ключей. Входное напряжение стабилизатора подается на автотрансформатор через блок силовых ключей.

Для нормальной работы стабилизатора необходимо, чтобы отношение коэффициентов трансформации  $n_i$  и  $n_{i+1}$ , соответствующих  $i$ -му и  $i+1$ -му отводам автотрансформатора, удовлетворяло условию

$$\frac{n_{i+1}}{n_i} = 1 + \delta,$$

где  $i=1, 2, \dots, N$  — номер отвода автотрансформатора;  $\delta$  — допустимая относительная нестабильность выходного напряжения стабилизатора, которая обычно составляет от 0,05 до 0,1 в зависимости от вида питаемого оборудования.

Датчики входного и выходного напряжений стабилизатора, а также моментов перехода входного напряжения и тока нагрузки через ноль служат источниками данных, которые обрабатываются блоком управления. Коммутация силовых ключей синхронизирована с моментами перехода тока нагрузки через ноль, что позволяет существенно уменьшить уровень переходных процессов, возникающих при переключении отводов автотрансформатора.

Устройство ввода-вывода обеспечивает возможность дистанционного управления стабилизатором с помощью внешнего сигнала управления, а также вывода информации о значениях входного и выходного напряжений стабилизатора и служебных сообщений о его состоянии на алфавитно-цифровой жидкокристаллический индикатор (ЖКИ).

Применение микроконтроллерного блока управления позволяет уменьшить габариты и повысить надежность стабилизатора, автоматически корректировать моменты переключения отводов автотрансформатора при изменении нагрузки, управлять работой ЖКИ и при необходимости модифицировать алгоритм работы стабилизатора.

Блок автономного питания вырабатывает постоянные напряжения, необходимые для нормального функционирования стабилизатора.

Алгоритм управления стабилизатором показан на рисунке 2. При включении питания происходит начальный сброс микроконтроллера, настройка его портов и АЦП, инициализация таймера и прерываний, объявляются переменные и инициализируются периферийные устройства. На стадии инициализации микроконтроллер определяет величину входного напряжения в течение 128 периодов, вычисляет среднее значение и принимает решение о возможности включения стабилизатора. При этом на индикатор выводится сообщение «Анализ сети». Программный цикл «Анализ сети» также включает в себя слежение за текущим значением выходного напряжения стабилизатора, определение моментов выхода этого значения за допустимые пределы и вывод на ЖКИ служебных сообщений. Если выходное напряжение стабилизатора выходит за заданные пределы, то микроконтроллер вырабатывает команду, по которой силовые ключи отключают стабилизатор от источника электроснабжения в течение времени не более 10 мс, защищая нагрузку от перенапряжения. Затем программа переходит к выполнению основного цикла работы, в начале которого значение входного напряжения и характеристика состояния стабилизатора отображаются на ЖКИ в виде одного из следующих служебных сообщений: «Рабочий режим», «Авария  $U > U_{\max}$ », «Авария  $U < U_{\min}$ », «Бросок сети».

Если входное напряжение стабилизатора находится в допустимых пределах, то микроконтроллер переходит к подпрограмме «Напряжение в норме», которая на основании полученного значения напряжения определяет номер отвода автотрансформатора и силового ключа, подключающего этот отвод. Повторные нажатия кнопки управления позволяют при необходимости контролировать как входное, так и выходное напряжения стабилизатора.

Кроме того, был разработан ряд вспомогательных подпрограмм: подпрограмма обработки прерываний, подпрограммы измерения входного и выходного напряжений за один период входного напряжения, подпрограмма начального измерения, подпрограмма расчета «скользящего среднего» и подпрограмма «Напряжение не в норме».

Подпрограмма обработки прерываний синхронизирует работу микроконтроллера и обеспечивает временные задержки, необходимые для правильного функционирования основной программы. Данная подпрограмма определяет и запоминает состояния, соответствующие моменту минимального тока в нагрузке для исключения возможности одновременного открытия двух силовых ключей. Кроме того, подпрограмма используется для обеспечения заданного числа повторных измерений входного напряжения, в случае его выхода за допустимые пределы. Если число превышений входным напряжением предельно допустимого значения больше заданного, то подпрограмма обработки прерываний выводит на дисплей сообщение «Отказ сети».

Подпрограмма начального измерения входного напряжения обеспечивает накопление суммы ста двадцати восьми результатов измерений этого напряжения и вычисление среднего значения, на основании которого принимается решение о переходе к подпрограмме основного цикла регулирования.

Подпрограмма расчета «скользящего среднего» рассчитывает текущее среднее значение входного напряжения, при котором массив усредняемых значений напряжения постоянно обновляется. Однако использование среднего значения выходного напряжения, может снизить надёжность стабилизатора в целом, так как при скачкообразном увеличении входного напряжения, например, вследствие перекося фаз или обрыва одной из фаз, усреднённое значение выходного напряжения достигнет порога отключения за несколько периодов сетевого напряжения, что может вызвать выход из строя оборудования, подключенного к выходу стабилизатора в данный момент. Для исключения такой ситуации необходимо отслеживать величину выходного напряжения в каждом периоде, анализировать его значение и реагировать без задержки, на критические изменения выходного напряжения, как в сторону его увеличения, так и уменьшения.

Разработанная программа позволяет на основании информации о типе нагрузки стабилизатора выбрать автоматический или ручной режим его запуска. Если нагрузкой стабилизатор являются бытовые приборы (холодильник, миксер, радиоаппаратура и пр.), то обычно выбирается режим автоматического запуска. Если нагрузкой стабилизатор является оборудование, чувствительное к перепадам напряжения, то выбирается режима ручного запуска, при котором решение о включении стабилизатора принимается оператором, обслуживающим оборудование.

При критических изменениях входного напряжения стабилизатора подпрограмма «Напряжение не в норме» прекращает подачу управляющих сигналов на электронные ключи, вызывая отключение стабилизатора как от источника входного напряжения, так и от нагрузки. При критических провалах и подъемах входного напряжения, длительность которых не превышает 5 секунд, стабилизатор не отключает нагрузку, предотвращая нежелательные переходные процессы при включении, но, если это условие не выполняется, то стабилизатор отключает нагрузку.

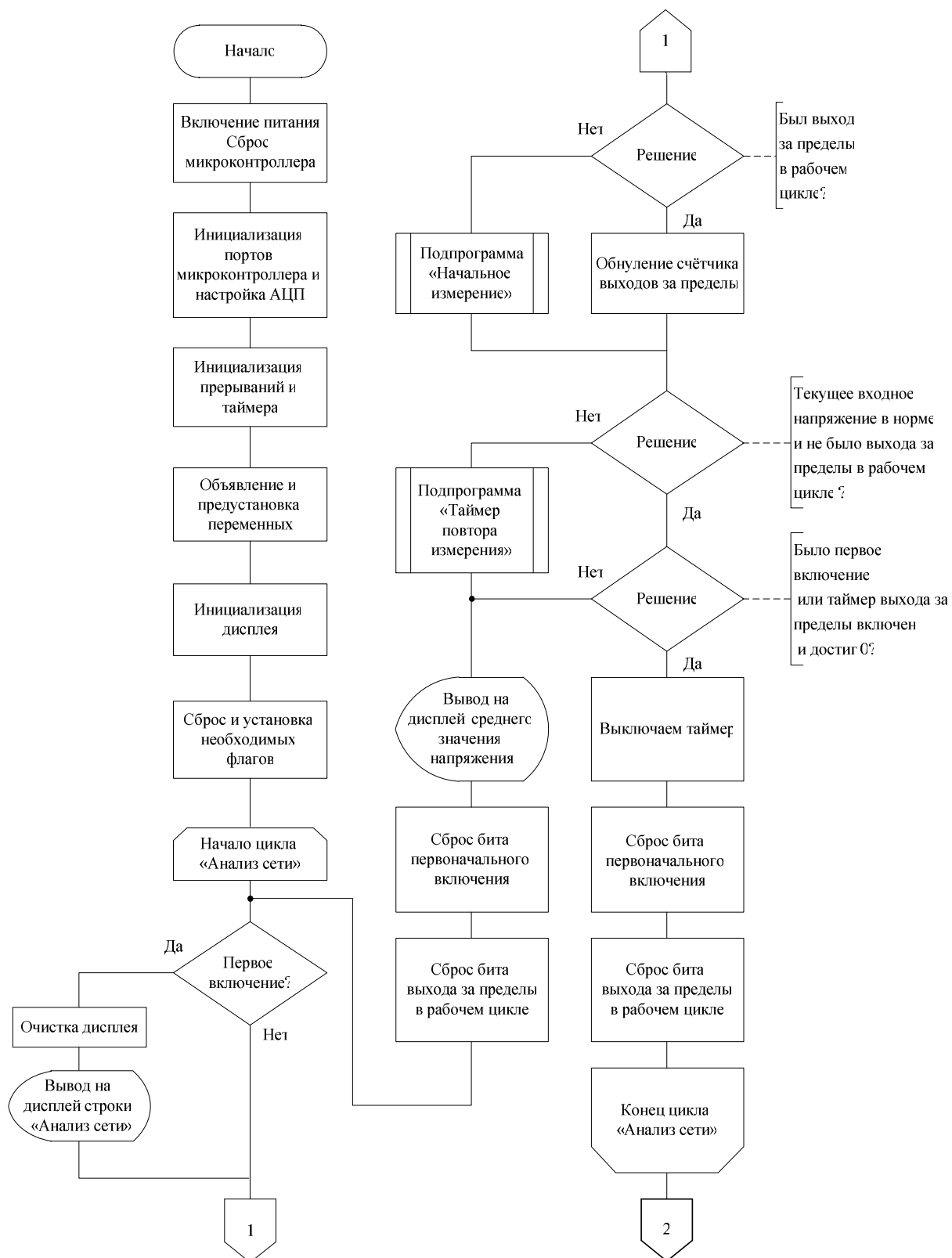
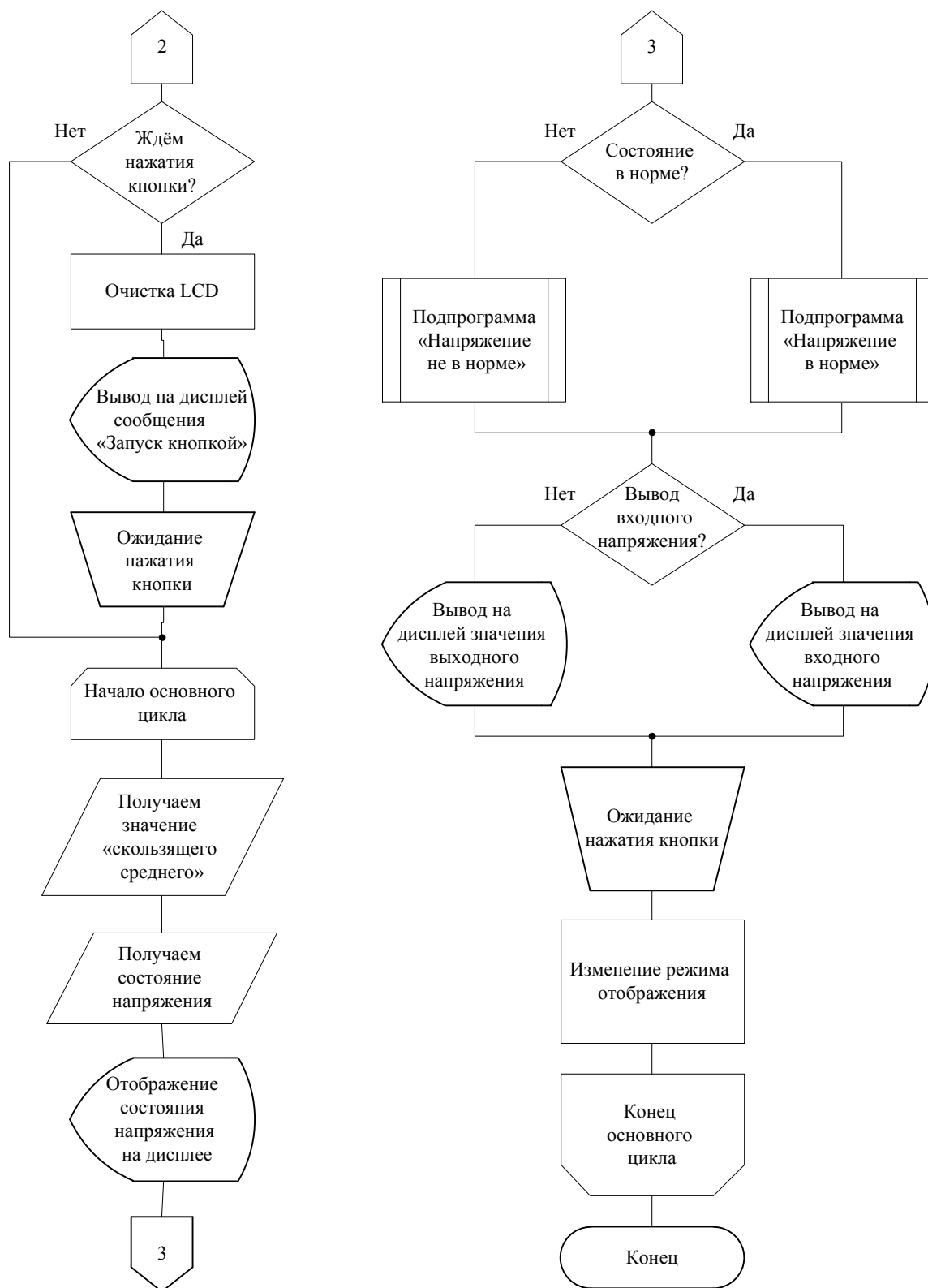


Рисунок 2 – Алгоритм работы микроконтроллера



Продолжение рисунка 2

Предварительное моделирование основных силовых узлов стабилизатор с помощью программы *Microcap* подтвердило правильность выбранных схмотехнических решений.

Для проведения экспериментальных исследований был изготовлен упрощённый макет стабилизатора, внешний вид микроконтроллерного блока управления которого изображен на рисунке 3.

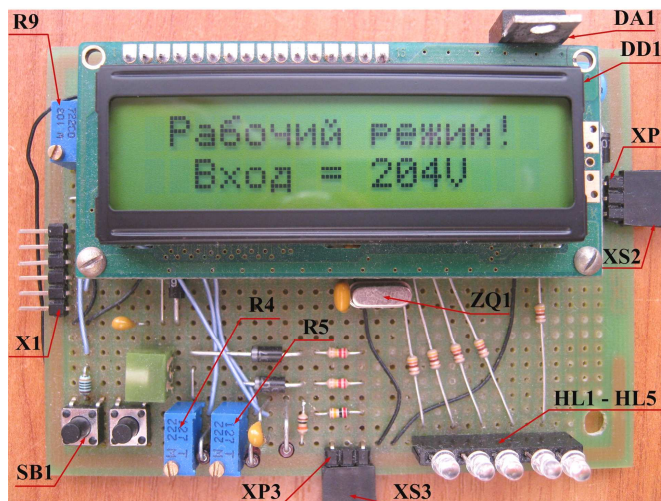


Рисунок 3 — Макет блока управления

Макет забезпечував п'ять ступеней регулювання вихідного напруги стабілізатора. В якості джерела входної напруги був використаний мережевий лабораторний автотрансформатор з плавною регулюванням напруги від 170 до 250 В. Для імітації бросків мережевої напруги використовувалося «реверсивне» включення автотрансформатора.

На основі запропонованого алгоритму (рисунок 2) була написана програма на мові Сі, а потім транскрибована в машинні коди мікроконтролера PIC16F887 фірми *Microchip*.

В якості силових ключів використовувалися симістори BTA40-800A фірми *Thomson Microelectronics*, розраховані на максимальний ток 40 А. Управління силовими ключами здійснювалося з допомогою твердотільних реле MOC3021 фірми *Fairchild Semiconductor*.

В процесі експериментів були досліджені два режими роботи блоку управління, в першому з яких тактова частота роботи мікроконтролера задавалася генератором, вбудованим в мікроконтролер, а в другому — окремим опорним генератором. Було знайдено, що другий режим роботи є більш стійким до перешкодам промислової мережі.

Експериментальна перевірка макета стабілізатора показала його придатність, правильність виконання команд розробленого алгоритму і відображення значень входної і вихідної напруг, а також службових повідомлень на ЖКІ.

В подальшому передбачається удосконалення розробленого алгоритму в напрямку розширення функціональних можливостей стабілізатора і покращення його технічних і експлуатаційних характеристик.

#### Бібліографічний список використаної літератури

1. Розанов Ю.К. Основи силових електроніки / Ю.К. Розанов. — М.: Енергоатомиздат, 1992. — 296 с.
2. Bentley J. P. Principles of measurement systems / J. P. Bentley. — London: Longman, 1995. — 435 p.
3. Ефремов В.А. Стабілізатор мережевої напруги / В.А. Ефремов, С.Р. Зіборов // Сучасні проблеми радіотехніки і телекомунікацій (РТ-2009): матеріали 5-ї міжнарод. молодіжної наук.-техн. конф., Севастополь, 20-25 апр. 2009 г. — Севастополь, 2009. — С. 296.

Поступила в редакцію 09.12.2010 г.

#### Зіборов С.Р., Ефремов В.А. Стабілізатор мережевої напруги з мікроконтролерним управлінням

Розглянуті принципи побудови і алгоритм роботи стабілізатора змінної напруги з мікропроцесорним управлінням. Приведені результати експериментального дослідження макету блоку управління стабілізатором.

**Ключові слова:** стабілізатор мережевої напруги, мікроконтролер, алгоритм роботи, програма.

#### Ziborov S.R., Efremov V.A. A line voltage stabilizer controlled with microcontroller

The operating algorithm of line voltage stabilizer controlled with microcontroller is considered. The results of tests of stabilizer control model are discussed.

**Keywords:** voltage stabilizer, microcontroller, algorithm, program.