

Торгаев Станислав Николаевич, доцент каф. промышленной и медицинской электроники ИНК ТПУ, мл. науч. сотр. Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, ст. науч. сотр. ТГУ.
E-mail: torgaev@tpu.ru

Область научных интересов: физика лазеров, физика плазмы, активные оптические системы, электроника.

Евтушенко Геннадий Сергеевич, проф. каф. промышленной и медицинской электроники ИНК ТПУ.
E-mail: torgaev@tpu.ru

Область научных интересов: физика лазеров, физика плазмы, активные оптические системы.

Чертыхина Дарья Сергеевна, студентка каф. промышленной и медицинской электроники ИНК ТПУ.
E-mail: torgaev@tpu.ru

Область научных интересов: физика лазеров, физика плазмы, активные оптические системы.

Мусоров Илья Сергеевич, магистрант каф. промышленной и медицинской электроники ИНК ТПУ.
E-mail: torgaev@tpu.ru

Область научных интересов: системы управления.

Огородников Дмитрий Николаевич, доцент каф. промышленной и медицинской электроники ИНК ТПУ.
E-mail: torgaev@tpu.ru

Область научных интересов: аналоговая схемотехника, источники питания, моделирование электронных схем.

Царева Татьяна Викторовна, студентка каф. промышленной и медицинской электроники ИНК ТПУ.
E-mail: torgaev@tpu.ru

Область научных интересов: физика лазеров, физика плазмы, активные оптические системы.

УДК 681.51

ОСУШИТЕЛЬ ВОЗДУХА НА ЭЛЕМЕНТЕ ПЕЛЬТЬЕ

И.С. Мусоров¹, С.Н. Торгаев^{1,2,3}, Д.С. Чертихина¹,
Г.С. Евтушенко¹, Д.Н. Огородников¹, Т.В. Царева¹

¹Томский политехнический университет

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН,
г. Томск

³Томский государственный университет

E-mail: torgaev@tpu.ru

В работе рассмотрены характеристики и принципы работы существующих на сегодняшний день осушителей воздуха. Представлены результаты разработки осушителя воздуха на элементе Пельтье, а также структурная и принципиальная схемы системы управления осушителем воздуха. Система управления построена на основе микроконтроллера STM32F100 и позволяет осуществлять регулировку и поддержание необходимой влажности. Описан источник питания для элемента Пельтье. Источник питания обеспечивает заданные выходные параметры в достаточно широком диапазоне изменения сопротивления нагрузки. Максимальная мощность нагрузки 60 Вт; выходное напряжения – не более 12 В; выходной постоянный ток – до 5 А; питание осуществляется от однофазной сети 220 В $\pm 10\%$, 50 $\pm 0,5$ Гц. Представлены результаты моделирования и экспериментальных исследований разработанного источника тока.

Ключевые слова:

Осушитель воздуха, элемент Пельтье, система управления.

Под влажностью воздуха понимают количество содержащейся в нем влаги. Влажность не только определяет комфортность атмосферы помещений, но и является важным экологическим показателем. Влажность оказывает серьезное влияние на наше здоровье, общее эмоциональное состояние. Слишком высокая влажность может привести к увеличению биологических загрязнителей, таких как плесень, бактерии, вирусы, грибки и пылевые клещи, которые могут вызвать аллергию и различные респираторные заболевания. Также она может стать причиной артрита, повышения усталости и мигрени. Особенно сильно реагируют на высокую влажность больные гипертонической болезнью, атеросклерозом, люди с различными сердечно-сосудистыми заболеваниями. При сильно влажном воздухе (80...95 %) возможны обострения и приступы. При температуре окружающей среды +25 °С и выше и одновременно влажном воздухе нарушается отдача тепла с поверхности кожи, и организм может перегреться [1].

Такой традиционный способ борьбы с повышенной влажностью, как проветривание, часто не приводит к ощутимому эффекту. Снаружи помещения зачастую бывает не менее влажно, чем внутри, и, наконец, снаружи может быть слишком холодно или, наоборот, слишком жарко. Решить все эти проблемы помогут

осушители воздуха. Приборы, основанные на различных физических принципах, помогут снизить влажность воздуха в помещении, автоматически поддерживать комфортные условия окружающей среды. Осушители воздуха бывают четырех основных типов: адсорбционные, компрессорные, роторные и осушители на элементе Пельтье [1].

Адсорбционные осушители содержат в себе специальное вещество – адсорбент, которое способно поглощать влагу из воздуха. Причем чем выше влажность, тем активнее будет идти этот процесс. Приборы не имеют подвижных частей, не потребляют электроэнергии, абсолютно бесшумны в работе и безопасны в эксплуатации. Но, как обычно, за эти «плюсы» приходится расплачиваться определенными «минусами». Так, количество поглощаемой влаги очень невелико, а сам адсорбент имеет свойство насыщаться влагой, в результате чего его способность поглощать влагу понижается и, наконец, исчезает. В подобных приборах (рис. 1), адсорбент либо заменяют на новый, либо «заряжают», тем или иным способом «выделяя» из него влагу обратно в окружающую среду. Тем не менее подобные приборы широко применяются для небольших помещений.

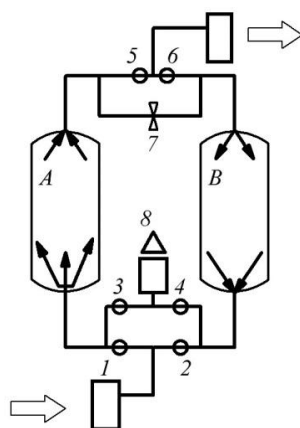


Рис. 1. Адсорбционный осушитель воздуха: *A, B* – емкости; *1–3* – нижний контрольный блок; *5–7* – верхний контрольный блок; *4* – клапан; *8* – глушитель

В компрессорных осушителях влажный воздух из помещения направляется на сильно охлажденную поверхность – испаритель (охлажденный радиатор), на котором влага, содержащаяся в воздухе, конденсируется и впоследствии стекает в специальную емкость (рис. 2). Далее воздух проходит через конденсатор – нагретый радиатор – и поступает обратно в помещение. Это нужно для того, чтобы прибор не охлаждал помещение. Охлаждается испаритель так же, как это происходит в обычном бытовом холодильнике (газ-хладагент сжимается компрессором и направляется в испаритель, где при резком расширении охлаждается).

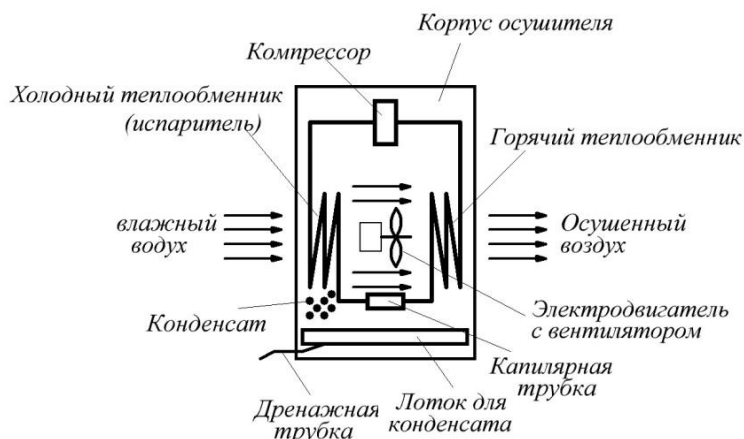


Рис. 2. Компрессорный осушитель воздуха

Такие приборы обычно обладают высокой «мощностью» осушения – до десятков (и даже сотен в промышленных моделях) литров в сутки, часто комплектуются встроенными гигростатами (приборами, управляющими работой осушителя в зависимости от влажности). Но за это приходится «расплачиваться» ощутимыми габаритами, энергопотреблением, некоторым шумом от работающего компрессора.

Роторные адсорбционные осушители (рис. 3) – это достаточно новый класс осушителей, комбинирующий в некотором смысле принципы работы двух предыдущих. Прибор имеет медленно вращающийся ротор, заполненный адсорбентом (веществом, поглощающим влагу из воздуха). Через ротор продувается два потока воздуха. Влажный воздух из помещения проходит через большую часть поверхности ротора (85 %) и отдает влагу адсорбенту, в обратном направлении через меньшую часть поверхности ротора продувается подогретый воздух регенерации, который отбирает влагу у адсорбента. Данные приборы работают несколько тише и потребляют меньше энергии, чем компрессорные.

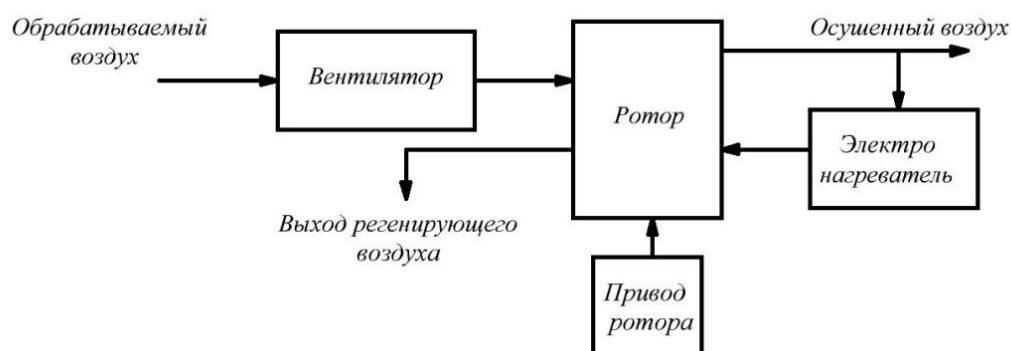


Рис. 3. Роторный адсорбционный осушитель воздуха

Осушители, основанные на технологии Пельтье, – это приборы, аналогичные предыдущим, за тем исключением, что вместо испарителя в них присутствует элемент Пельтье. Это термоэлектрический преобразователь, принцип действия которого базируется на эффекте Пельтье – возникновении разности температур при протекании электрического тока. Приборы существенно тише компрессорных, но обладают несколько меньшей мощностью осушения.

В основе работы элементов Пельтье лежит контакт двух токопроводящих материалов с разными уровнями энергии электронов в зоне проводимости. При протекании тока через контакт таких материалов электрон должен приобрести энергию, чтобы перейти в более высокоэнергетическую зону проводимости другого полупроводника. При поглощении этой энергии происходит охлаждение места контакта полупроводников. При протекании тока в обратном направлении происходит нагревание места контакта полупроводников, дополнительно к обычному тепловому эффекту.

При контакте металлов эффект Пельтье настолько мал, что незаметен на фоне омического нагрева и явлений теплопроводности. Поэтому при практическом применении используются контакт двух полупроводников.

Элемент Пельтье состоит из одной или более пар небольших полупроводниковых параллелепипедов — одного n -типа и одного p -типа в паре, которые попарно соединены при помощи металлических перемычек. Металлические перемычки одновременно служат термическими контактами и изолированы непроводящей пленкой или керамической пластинкой. Пары параллелепипедов соединяются таким образом, что образуется последовательное соединение многих пар полупроводников с разным типом проводимости так, чтобы вверху были одни последовательности соединений ($n \rightarrow p$), а снизу противоположные ($p \rightarrow n$). Электрический ток протекает последовательно через все параллелепипеды. В зависимости от направления тока верхние контакты охлаждаются, а нижние нагреваются, или наоборот. Таким образом, электрический ток переносит тепло с одной стороны элемента Пельтье на противоположную и создаёт разность температур [2].

Если охлаждать нагревающуюся сторону элемента Пельтье, например при помощи радиатора и вентилятора, то температура холодной стороны становится ещё ниже. В одноступенчатых элементах в зависимости от типа элемента и величины тока разность температур может достигать приблизительно 70 К.

Так как в России не производят большого количества осушителей, основанных на технологии Пельтье, то было решено сконструировать данное устройство. На рис. 4 приведена структурная схема осушителя воздуха.

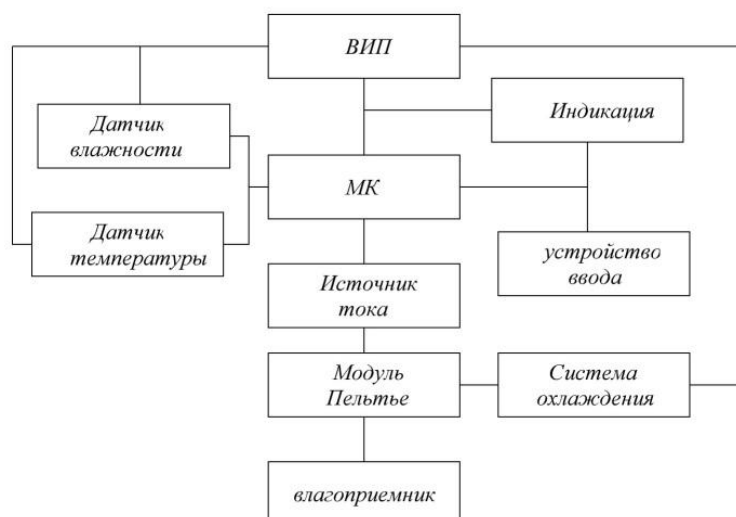


Рис. 4. Структурная схема осушителя воздуха, где ВИП – вспомогательный источник питания, МК – микроконтроллер

Устройство основано на модуле Пельтье TEC1-12706. Регулируемый источник тока управляется с помощью микроконтроллера семейства STM32F100 [3]. Величина выходного тока задает градиент температур на модуле Пельтье. Для эффекта осушения воздуха необходимо добиться достижения на холодной стороне модуля температуры, которой соответствует точка росы. Температура, при которой влага будет конденсироваться и стекать во влагоприемник, зависит от температуры окружающей среды и влажности воздуха в помещении. Для отслеживания этих параметров используются датчик температуры DS18B20 [4] и датчик влажности НН-4000 [5], показания датчиков выводятся на дисплей. По обеим сторонам модуля Пельтье будут также расположены датчики температуры. Таким образом, можно будет предотвратить перегревание горячей стороны модуля Пельтье и охлаждение холодной стороны модуля ниже необходимой температуры, что, в свою очередь, поможет увеличить энергоэффективность прибора. Контролировать температуру холодной стороны можно с помощью градиента температур между двумя сторонами модуля, изменяя величину тока, протекающего через элемент Пельтье, либо регулируя интенсивность охлаждения горячей стороны.

На рис. 5 представлена принципиальная схема системы управления осушителем воздуха, построенная на микроконтроллере семейства STM32F100. Система управления рассчитывает температуру точки росы с помощью датчика температуры DS18B20 и датчика относительной влажности НН-4000. Температура точки росы отображается на дисплее. Также система управления содержит датчики температуры для контроля температуры горячей стороны элемента Пельтье и температуры на конденсирующем радиаторе.

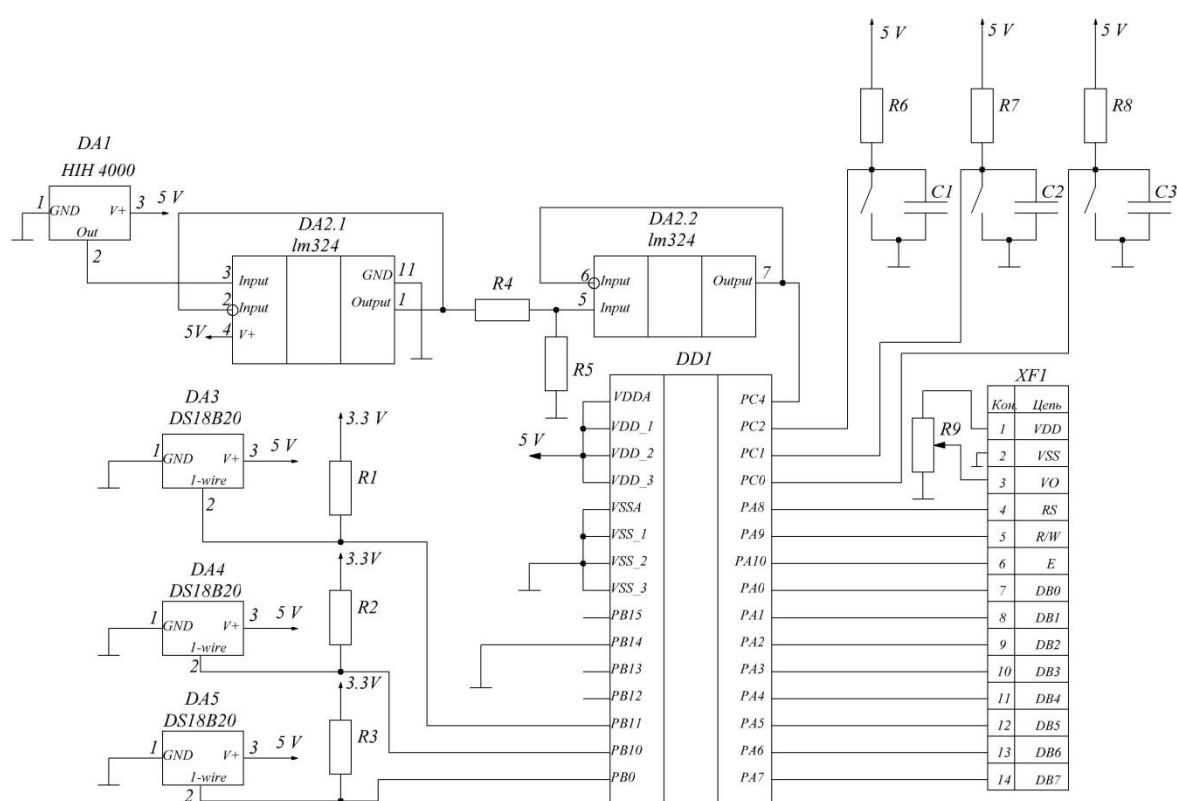


Рис. 5. Принципиальная схема системы управления осушителем воздуха

К источнику питания элемента Пельтье предъявляются следующие требования: потенциальная развязка с питающей сетью, наличие выхода с уровнем напряжения не более 15 В и постоянным током, регулируемым в диапазоне 2–5 А. Пульсация выходного тока – не более 5 %. Первичная сеть – однофазная, 220 В $\pm 10\%$, 50 $\pm 0,5$ Гц.

Разработанное и описанное ниже устройство имеет на выходе регулируемое постоянное напряжение до 12 В и постоянный ток до 5 А. На рис. 6 приведена структурная схема данного устройства.



Рис. 6. Структурная схема устройства питания

Здесь ППН (преобразователь постоянного напряжения) необходим для понижения относительно высокого напряжения, полученного после выпрямления и сглаживания входной сети. В качестве преобразователя постоянного напряжения использован обратноходовой преобразователь.

Источник тока, являющийся линейным стабилизатором, обеспечивает требуемый диапазон регулирования выходного тока [6, 7]. На рис. 7 представлена принципиальная схема источника тока.

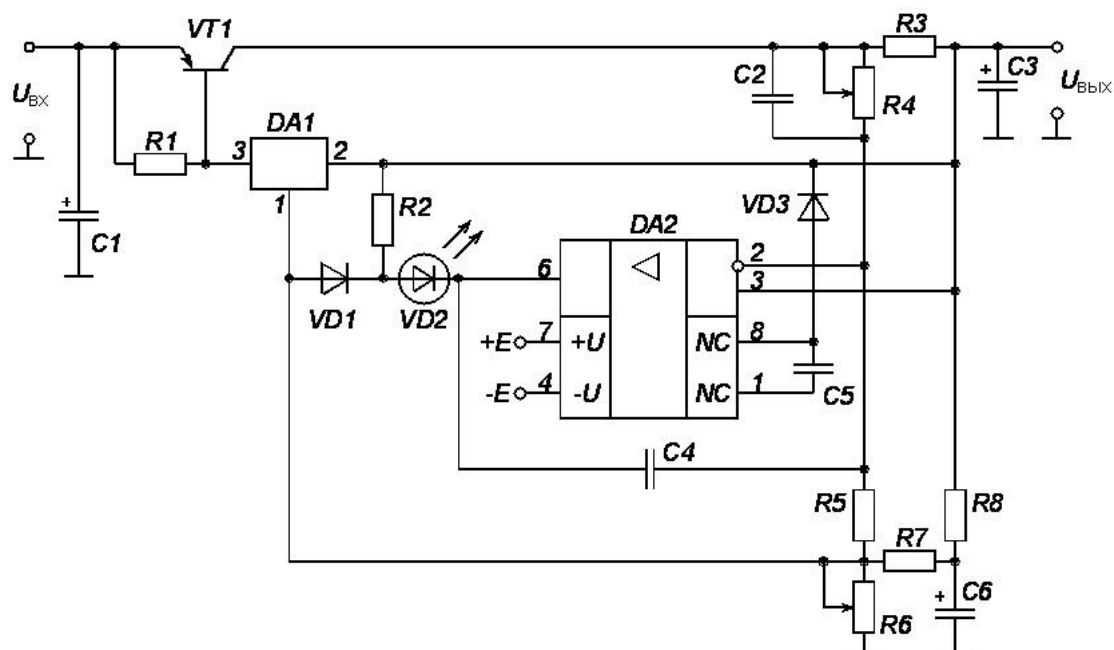


Рис. 7. Принципиальная схема источника тока

Входное напряжение источника тока составляло 18 В. Выходное напряжение в схеме источника может изменяться в диапазоне от 1,2 до 15 В, а выходной ток может достигать 5 А. Регулировка выходных параметров схемы происходит с помощью двух резисторов: $R4$ отвечает за регулировку тока, $R6$ – регулятор напряжения. При малой нагрузке схема стабилизирует выходное напряжение, при увеличении нагрузки переходит в режим стабилизации выходного тока. Силовая часть регулятора представлена транзистором VT1 (TIP34C). Основным элементом схемы является интегральный стабилизатор напряжения с возможностью регулирования LM317 (DA1). Сигнал об ограничении выходного тока снимается с шунта $R3$ и поступает на усилитель LM301A (DA2). В данной схеме визуальная индикация перехода в режим постоянного тока обеспечена с помощью светодиода VD2. К входу и выходу источника тока подключены фильтрующие конденсаторы $C1$ и $C3$ соответственно.

Для исследования источника тока в программной среде OrCAD была собрана модель этой схемы. При моделировании подтверждена корректность проведенных расчетов, проверена адекватность поведения модели. Полученные результаты представлены на рис. 8 и в табл. 1.

Таблица 1. Результаты моделирования источника тока

R _H , Ом	8	6	4	3,5	3	2
U _{ВЫХ} , В	10,91	10,91	10,85	10,7	9,11	3,04
I _{ВЫХ} , А	1,305	1,73	2,58	2,88	2,88	2,88

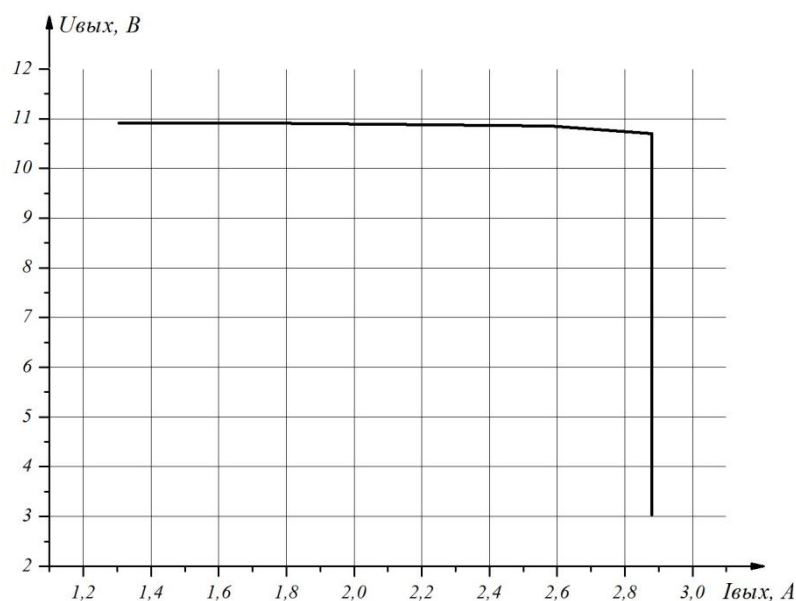


Рис. 8. Результаты моделирования: выходная характеристика

На выходной характеристике явно выражены участки стабилизации тока и напряжения. Видно, что пока выходной ток не достиг заданного значения, происходит стабилизация напряжения. При достижении же им этого уровня схема переходит в режим стабилизации тока. В модели схемы удалось получить необходимые выходные параметры.

После моделирования схемы в OrCAD был собран макет источника тока, показанный на рис. 9.

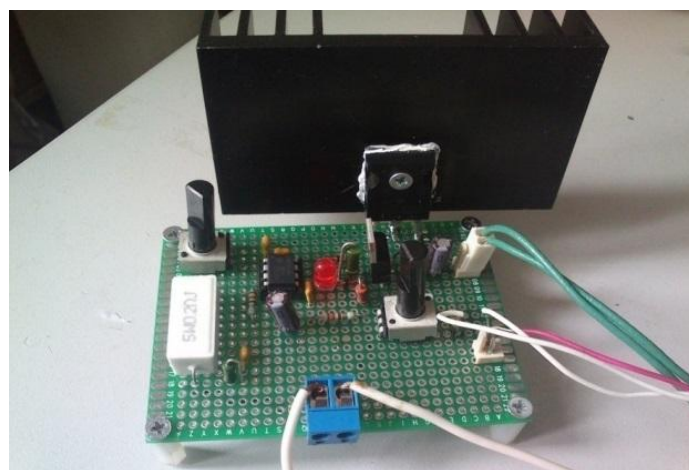


Рис. 9. Макет источника тока

На вход схемы подавалось постоянное напряжение 18 В с источника питания постоянного тока Б5-47. Операционный усилитель LM301A обеспечен разнополярным напряжением с помощью лабораторного блока питания. Для измерения выходных параметров (тока, напряжения и сопротивления нагрузки) был использован цифровой мультиметр. Выходное напряжение измерялось на нагрузочном сопротивлении, а выходной ток измерялся на шунте (0,2 Ом). В ходе исследования проверена способность схемы по регулированию выходных тока и напряжения. На рис. 10 представлены выходные характеристики, снятые при различных уровнях стабилизации тока и напряжения.

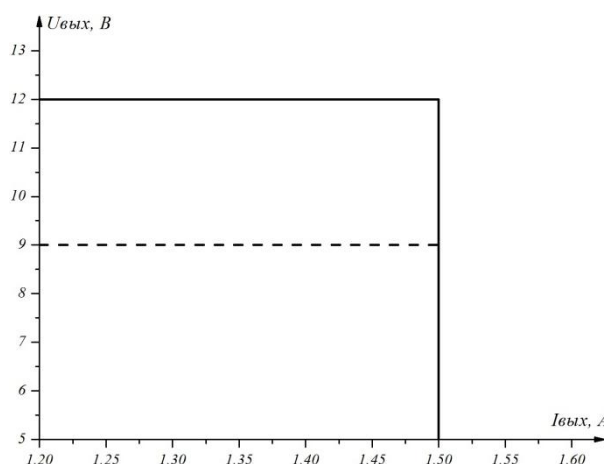


Рис. 10. Семейство выходных характеристик источника тока: сплошная линия – уставка по напряжению 12 В, прерывистая линия – уставка по напряжению 9 В

Параметры для расчета коэффициентов стабилизации, полученные экспериментально, приедены в табл. 2.

Таблица 2. Экспериментальные результаты работы источника тока

U _{вх} , В	18	17	16	15	14
U _н , В	10,347	10,347	10,346	10,345	10,345
I _н , А	1,135	1,134	1,134	1,133	1,132

Таким образом, коэффициент стабилизации напряжения

$$K_{стU} = \frac{\Delta U_{вх}}{U_{вх}} \times \frac{U_{н}}{\Delta U_{н}} = \frac{4 \cdot 10,347}{18 \cdot 0,002} = 1149,7.$$

Коэффициент стабилизации тока

$$K_{стI} = \frac{\Delta U_{вх}}{U_{вх}} \times \frac{I_{н}}{\Delta I_{н}} = \frac{4 \cdot 1,135}{18 \cdot 0,003} = 84,077.$$

В целях экономии осушителю можно задать величину относительной влажности, по достижению которой основная энергопотребляющая часть будет отключена, и устройство будет находиться в режиме мониторинга окружающей среды. В случае превышения заданной влажности на 5 % (либо 10 %) устройство возобновит работу с целью снижения влажности в помещении.

Таким образом, использование элемента Пельтье в качестве основного элемента осушителя воздуха не позволяет добиться большой производительности прибора, но позволяет эффективно осушать помещения малого объема. Использование осушителя воздуха совместно с системой управления позволяет достигать максимальной энергоэффективности прибора.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-00175).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вишневский Е.П. Анализ использования основных методов осушения воздуха // Технический бюллетень. – 2003. – № 1. – С. 4–6.
2. Иоффе, А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы. – М: Изд-во АН СССР, 1960. – 188 с.
3. STM32F100xB / ST life.augmented. – URL: <http://www.st.com/stui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00251700.pdf>
4. DS18B20 / Maxim Integrated. – URL: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
5. HIH-4000/ Honeywell. – URL: <http://www.phanderson.com/hih-4000>

6. Огородников Д.Н., Ярославцев Е.В., Гребенников В.В. Источник питания формирователя асимметричного тока // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 4. – С. 117–119.
7. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств: учебное пособие— 3-е изд. — М.: Додэка-XXI, 2011. — 528 с.

Поступила 28.01.2015 г.