

УДК 533.5

К.М.Маханов¹, Е.Хуанбай², С.Редько¹, Е.Телман¹

¹Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова;

²Карагандинский государственный технический университет

(E-mail: makanov@inbox.ru)

Разработка электронной схемы коммутации вакуумной системы на базе микросхемы TL494 CN

Разработана электрическая схема управления и коммутации вакуумной системы поста, собранного из комплектующих деталей и частей вышедших из строя установок ВУП-4 и ВУП-5. Показано, что при разработке блоков питания наряду с традиционными деталями могут быть использованы специальные микросхемы серии TL494CN, значительно упрощающие схему. Использование предложенного вакуумного поста в научно-исследовательской работе позволит получить более качественные пленки и покрытия. Тестовые испытания разработанной платы коммутации показали положительные результаты.

Ключевые слова: вакуумный пост, электронная схема коммутации, лазерная абляция, электромагнитные клапаны, твердотельный лазер, вакуумный насос.

Введение

Разработка вакуумных систем для выполнения технологических процессов в условиях вакуума связана с принципами выбора оптимального состава соответствующей вакуумной откачной системы, включающей не только основные средства откачки, но также и вспомогательное оборудование, вакуумную систему трубопроводов, приборы измерений и т. п.

Важнейшим компонентом вакуумной установки является коммутируемая вакуумная система. Как правило, она состоит из различных типов клапанов, которые позволяют отключать необходимые участки системы для их откачки, выполнения необходимых работ и проведения профилактического обслуживания. Ввиду многообразного применения клапанов в вакуумной технике существует множество соответствующих конструкций — от небольших клапанов для напуска воздуха в систему до больших проходных затворов, применяемых, например, в ускорителях для перекрытия рабочей камеры [1, 2].

В рамках подготовки лабораторной установки для осуществления лазерной абляции металлов нами была собрана установка. Основная информация по ней представлена в работе [3]. Также нами был собран вакуумный пост (рис. 1) из имевшихся в лаборатории деталей и частей старого поста. Следующий этап реализуемых работ был связан с разработкой электронной части поста.

В данной работе представлена информация по разработке электронной схемы, обеспечивающей управление и коммутацию вакуумной системы собранного поста. Была поставлена следующая цель — разработать блок питания (БП) для формирования управляющего напряжения для переключения мощных транзисторов преобразователя.

Для достижения поставленной цели рассмотрены и реализованы следующие задачи:

- определены рабочие параметры реализуемого блока питания и коммутируемых электромагнитных клапанов;
- разработана принципиальная электрическая схема с использованием среды SPlan 7.0;
- разработана печатная плата с использованием программы SprintLayout 6;
- осуществлен монтаж изделий электронной техники;
- проведены тестовые испытания коммутирующей системы.

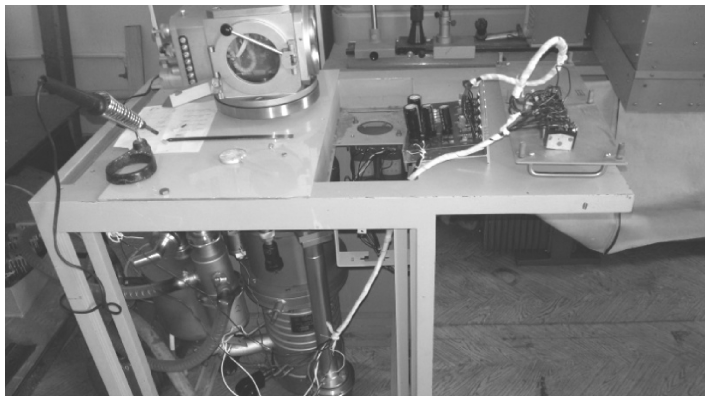


Рисунок 1. Собранный вакуумный пост

Разработка электронной схемы коммутации

Так как мы использовали имеющиеся в наличии электромагнитные клапаны, то, в первую очередь, были определены рабочие параметры (напряжение питания, рабочий режим и т.д.). Результаты измерений позволили определить необходимый перечень и характеристики электронных компонентов, задействованных в реализуемой работе. Предварительно подготовленная принципиальная электрическая схема при помощи редактора SPlan 7.0 [4] была переведена в «удобный» цифровой формат. В последующем на основе данного формата электрической схемы была сформирована печатная плата.

При разработке различных электронных схем в большинстве случаев возникает необходимость разработать плату к проектируемому устройству для размещения на ней деталей схемы. Для выполнения задач трассировки плат нами была использована программа SprintLayout 6 (рис. 2), простая в освоении и использовании.

Для создания электрической схемы коммутации вакуумной системы собранного вакуумного поста мы разработали печатную плату схемы, представленную на рисунке 3.

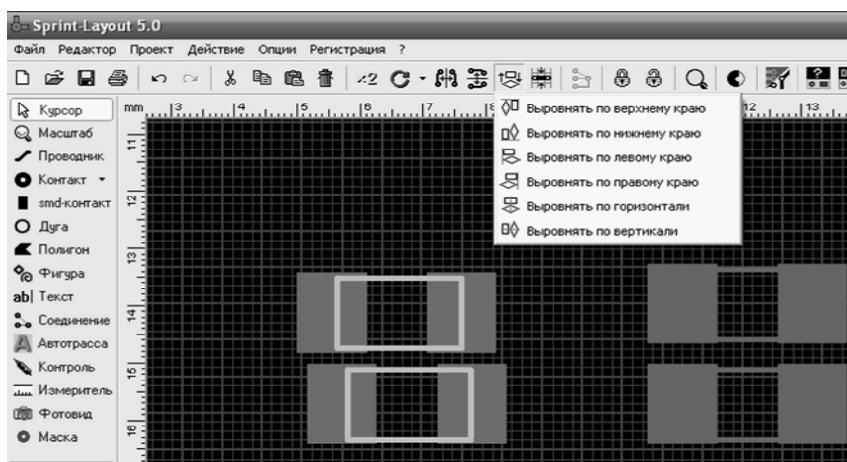


Рисунок 2. Меню программы Sprint-Layout 6

Перевод данной печатной платы на твердую поверхность осуществлен с использованием технологий [5, 6].

Разработанная печатная плата представляет собой плоское изоляционное основание, на обеих сторонах которого расположены токопроводящие полоски металла (проводники) в соответствии с электрической схемой.

Электрическая схема была реализована с использованием следующих компонентов:

- транзисторы — IRFZ40 (5 штук);
- микросхемы — TL494CN (5 штук);
- конденсаторы, резисторы, диоды и т.д.

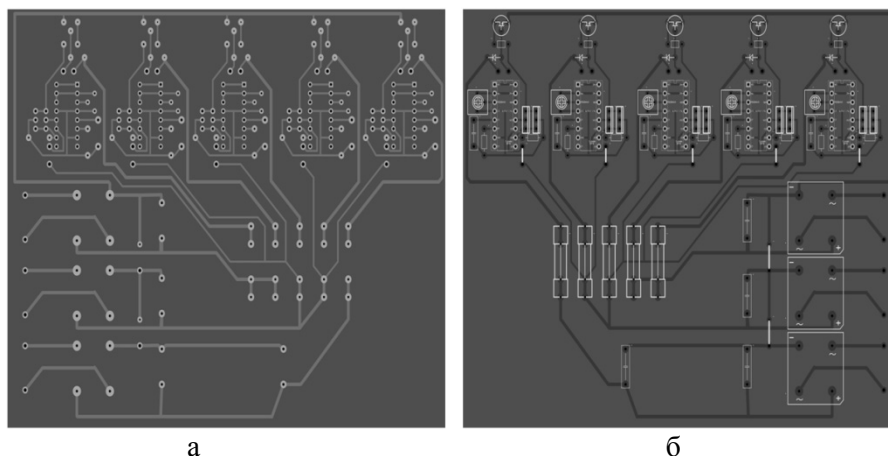


Рисунок 3. Плата для управления, вид снизу (а) и сверху (б)

В современных импульсных блоках питания для формирования управляющего напряжения переключения наиболее часто применяются специализированные интегральные микросхемы (ИМС).

В качестве схемы управления в большинстве случаев используется микросхема типа TL494CN, выпускаемая фирмой TEXAS INSTRUMENT [7]. Ее основные характеристики удовлетворяют следующим требованиям:

- рабочее напряжение не выше 40В;
- наличие высокостабильного термостабилизированного источника опорного напряжения;
- наличие импульсного управляемого триггера;
- наличие двухканального предоконечного каскада с защитой от короткого замыкания (КЗ);
- наличие средств коррекции симметрии выходных напряжений;
- наличие автоматического управления с прямой передачей;
- обеспечение отключения при понижении напряжения питания;
- обеспечение защиты от перенапряжений; обеспечение совместимости с ТТЛ/КМОП логикой и т.д.

Для более полного представления возможностей используемой микросхемы рассмотрим вкратце устройство и работу этой управляющей микросхемы (рис. 4). Она специально разработана для управления силовой частью блоков питания и содержит в своем составе:

- генератор пилообразного напряжения (ГПН) DA6;
- частота ГПН определяется номиналами резистора и конденсатора;
- источник опорного стабилизированного напряжения 5 В с внешним выходом;
- два выходных транзистора с открытыми коллекторами и эмиттерами;
- динамический двухтактный D-триггер в режиме деления частоты на 2;
- вспомогательные логические элементы 2-ИЛИ, 2-И, 2-ИЛИ-НЕ, НЕ и т.д.

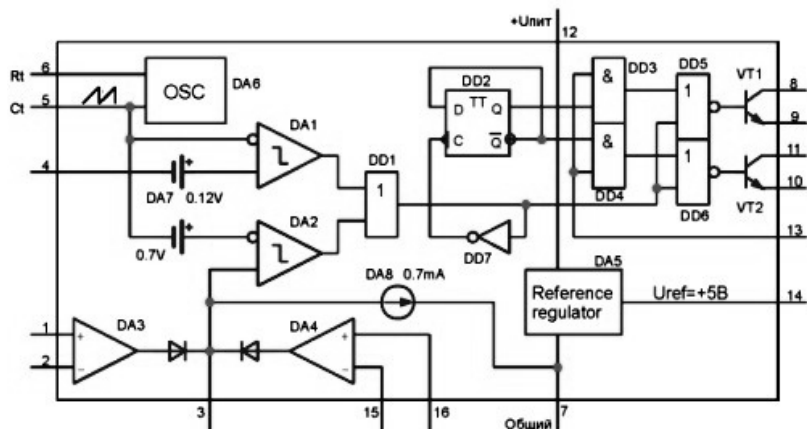


Рисунок 4. Схема микросхемы TL494CN

Если на 12-й вывод подать любое питающее напряжение, уровень которого находится в диапазоне от +7 до +40В, тогда на выводах 8 и 11 появятся последовательности импульсов, что будет свидетельствовать о запуске схемы управления. В целом все узлы, входящие в состав TL494CN, можно условно разделить на цифровую и аналоговую часть.

Более подробно с функциональными возможностями данной микросхемы можно ознакомиться в работе [8].

Используемые нами электромагнитные клапаны (5 штук) работают в режиме постоянных электромагнитов. Напряжение питания катушек клапанов соответствовало следующим значениям — 2,5; 6; 12; 20. Довольно большие значения потребляемого тока (до 5 А) и высокие требования к стабильности работы блока питания требовали использования стабилизированных транзисторов с высоким значением постоянного тока стока.

В качестве силовых ключей нами были использованы мощные КМОП-транзисторы IRF ϕ Z40 (аналог КП723В). Максимальный ток стока, рассчитанный для данного типа транзисторов, составляет 50 А, что вполне удовлетворяет наши потребности. Особенностью данного транзистора является включенный между стоком и истоком защитный стабилитрон. В разработанной схеме стабилитроны, входящие в состав транзистора, ограничивают амплитуду выбросов напряжения на электромагнитные катушки клапанов, что является достаточно нестандартным подходом в решении подобных задач, позволяющем не прибегать к дополнительной схеме ограничения, приводящей к усложнению устройства.

В свою очередь монтаж данных транзисторов на плате требует соблюдения определенных условий. К примеру, допускается только одноразовое изгибание выводов с радиусом закругления не менее 1,5 мм на расстоянии не ближе 5 мм от корпуса, причем только в плоскости, перпендикулярной плоскости выводов и проходящей вдоль изгибаемого вывода. Скручивать выводы строго запрещено. Расстояние от корпуса до места лужения и пайки не должно быть менее 5 мм. Температура пайки — не более 265°C.

Учитывая высокое значение рассеиваемой мощности (20 и более Вт), в целях предотвращения перегрева транзисторов монтаж был осуществлен на радиаторных пластинах из алюминиевого материала (см. рис. 5).



Рисунок 5. Крепление транзисторов на радиаторную основу из алюминия

Тестирование готового устройства

Управление клапанами осуществлялось вручную, посредством 5 А переключателей типа ТП1-2. Для удобства использования переключатели расположили на верхней панели поста и подписали для исключения случайных включений клапанов.

Проверка функционирования устройства осуществлялась по следующей схеме:

- включение источника питания поста;
- запускаем форвакуумный насос (ФН). В течение 20–30 минут форвакуумный насос работает «вхолостую», т.е. прогревается и создает вакуум в собственном объеме;
- параллельно включаем питание диффузионного насоса (ДН). ДН также работает «вхолостую», до достижения степени вакуума порядка 10^{-4} мм рт. ст.;
- затем открываем клапан соединяющий рабочий объем (РО) поста с форвакуумным насосом. Манометр ПМТ-4, соединенный с РО, позволяет контролировать давление в РО. Параллельно с РО форвакуумный насос должен создать предварительный вакуум и в диффузионном насосе. Для этого необходимо параллельно открыть клапан, соединяющий ФН с ДН;
- при достижении одинаковых значений давления в РО, ДН и ФН мы перекрываем клапан, соединяющий ФН с РО, и открываем клапаны, последовательно соединяющие РО с диффузионным и форвакуумными насосами.

Из описания характеристик вакуумной установки ВУП-5 известно, что среднее время работы насосов, необходимое для достижения давления 10^{-5} мм рт. ст. во всей вакуумируемой системе, составляет порядка 40–60 минут. В нашем случае давление в 10^{-5} мм рт. ст. в РО было достигнуто в течение 2,5 часа. Несколько большее время, потраченное для достижения требуемой величины давления, может быть связано с тем, что устройство включалось нерегулярно, т.е. длительное время не работало.

После выключения поста показания манометров демонстрировали неравномерное изменение давления в системе. В рабочем объеме и в форвакуумном насосе давление оставалось неизменным в течение ~ 2 часов, в диффузионном насосе — течение ~ 6 часов. Наблюдаемые временные диапазоны свидетельствуют о том, что клапаны функционируют в нормальном режиме. Повышение давления по истечении некоторого времени после выключения может быть связано с множеством других причин, основная из которых — отсутствие герметичности в соединительных узлах самой вакуумной системы.

Внешний вид разработанной платы представлен на рисунке 6.



Рисунок 6. Разработанная плата

Заклучение

Разработанная электрическая схема коммутации вакуумной системы реализована с применением силовых транзисторов TL494CN и специальных микросхем серии IRFZ40. Она позволяет коммутировать электрические цепи и узлы с предельными параметрами до 50 В напряжения и 10 А по току.

Испытания, проведенные в течение двух дней, показали, что схема коммутации работает стабильно. Время срабатывания клапанов соответствует требуемым нормам. Клапаны удерживают требуемое давление в период работы насосов.

Разработанная схема может быть использована при разработке источников питания со стабилизированными выходными параметрами при решении различных технических задач.

Список литературы

- 1 Хаблянян М.Х., Саксаганский Г.Л., Бурмистров А.В. и др. Вакуумная техника. Оборудование, проектирование, технологии, эксплуатация. Ч.1. Инженерно-физические основы: учеб. пособие. — Казань: Изд-во КНИТУ, 2013. — 237 с.
- 2 Кожитов Л.В., Чиченев Н.А., Демин В.А., Златин П.А., Емельянов С.Г., Пархоменко Ю.Н., Курбатов О.К. Технологическое вакуумное оборудование. Часть 1: Вакуумные системы технологического оборудования: учебник. — М.: МГИУ, 2010. — 444 с.
- 3 Khuanbay Ye., Makhanov K.M. The study of the structural and superconducting properties of YBaCuO films produced by laser ablation method. *Materials Science and Engineering* 81 (2015). — P. 1–5.
- 4 [ЭР]. Режим доступа: http://vprl.ru/publ/tehnologii/nachinajushhim/splan_7_0_podrobnoe_rukovodstvo/9-1-0-35.
- 5 Федулова А.А., Котов Е.П., Явич Э.Р. Химические процессы в технологии изготовления печатных плат. — М.: Радио и связь, 1981. — 133 с.
- 6 [ЭР]. Режим доступа: <http://radiokot.ru/lab/hardwork/06/>.
- 7 Головкин А.В., Любичкий В.Б. Блоки питания для системных модулей типа IBM PC-XT/AT. — М.: «ЛАД и Н», 1995.
- 8 Казначеев В.А., Кирюхин И.С., Перебаскин А.В. Микросхемы для импульсных источников питания и их применение. — М.: Изд. дом «Додэка-XXI». — 608 с.

К.М.Маханов, Е.Хуанбай, С.Редько, Е.Телман

TL494 CN микросхемасының негізінде вакуумдық жүйені коммутациялау үшін электрондық сұлбаны өңдеу

Істен шыққан ВУП-4 және ВУП-5 қондырғылардың бөліктері мен бөлшектерінен құрастырылған, вакуумдық постты басқару және коммутациялау үшін қажетті электрлік сұлба өңделді. Қоректендіру көздерін қолдан құрастыру кезінде дәстүрлі бөліктермен қатар, TL494CN сериялы арнайы микросхемаларын пайдалану мүмкіндігі көрсетілген. Ұсынылған вакуумдық құралды ғылыми-зерттеу жұмыстарында кеңінен қолдану сапасы жоғары қабыршақтарды алуға мүмкіндік береді. Өңделген коммутациялық платаны тестілік сынау нәтижелері оң нәтижелер көрсетті.

К.М.Makhanov, E.Khuanbay, S.Redko, E.Telman

Development of an electronic switching circuit of the vacuum system based on the chip TL494 CN

Designed electric circuit control and switching of the vacuum system of fasting, assembled from a kit of parts and pieces of failed installations VUP-4 and VUP-5. It was shown that the development of power supplies along with the traditional items can be used special chip series TL494CN. Using the data chip greatly simplifies the circuit. Using the vacuum post proposed in the scientific-research work will provide better films and coatings. Test developed by switching board showed positive results.

References

- 1 Hablanian M.H., Saksagansky G.L., Burmistrov A.V. et al. *Vacuum technique. Equipment, design, technology, operation.* Part 1. Engineering physics fundamentals: study guide. Kazan: Publ. house of KAZAN national research technological University, 2013, 237 p.

- 2 Kozhitov L.V., Chichenev N.A., Demin V.A., Zlatin P.A., Emel'yanov S.G., Parkhomenko Y.N., Kurbatov O.K. *Vacuum technological equipment*. Part 1: Vacuum systems of technological equipment: a textbook, Moscow: MSIU, 2010, 444 p.
- 3 Khuanbay Ye., Makhanov K.M. *The study of the structural and superconducting properties of YBaCuO films produced by laser ablation method*. Materials Science and Engineering 81 (2015), p. 1–5.
- 4 [ER]. Access mode: http://vprl.ru/publ/tekhnologii/nachinajushhim/splan_7_0_podrobnoe_rukovodstvo/9-1-0-35.
- 5 Fedulova A.A., Kotoy E.P., Yavich E.R. *Chemical processes in the technology of manufacturing printed circuit boards*, Moscow: Radio and communication, 1981, 133 p.
- 6 [ER]. Access mode: <http://radiokot.ru/lab/hardwork/06/>.
- 7 Golovkov V.A., Lubitsky V.B. *Power supplies for system modules such as the IBM PC-XT/AT*, Moscow: «Mr. TWIST», 1995, 90 p.
- 8 Kaznacheev V.A., Kiryukhin S.I., Barebackin A.V. *Circuits for switching power supplies and their application*, Moscow: Publ. house «Dodeca-XXI», 608 p.