

## Программирование контроллера робота для реализации технологического процесса лазерной сварки

*А.В. Каляшина<sup>1</sup>, Ю.Н. Смирнов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань, Россия*

<sup>2</sup>*Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия*

**Аннотация:** Шаговый двигатель достаточно часто используется в автоматизированных установках лазерной резки. Схема управления шагового двигателя требует специального электронного устройства – драйвера, который получает на вход логические сигналы и изменяет ток в обмотках двигателя для обеспечения параметров движения. В данном научном исследовании проводилась оценка драйверов шагового двигателя для определения целесообразности их использования – PLDS880, OSM-42RA, OSM-88RA. Для управления системой был написан программный код, который по связующей плате соединялся с контроллером. С каждым драйвером при различных режимах подобраны оптимальные параметры (начальная скорость, конечная скорость и ускорение), то есть движение каретки без срыва на десяти проходах с минимальным временем прохода. Результаты экспериментальных исследований представлены в табличной форме.

**Ключевые слова:** лазер, лазерная резка, автоматизация, технологический процесс, шаговый двигатель, быстродействие, драйвер, контроллер, схема управления, оптимальные параметры.

Одним из самых распространенных технологических процессов в машиностроении является резка — главная операция заготовительного производства. В мелкосерийном и среднесерийном производстве экономически выгодно использовать лазерную резку с быстрым налаживанием оборудования.

Как правило, в комплексе для лазерной резки присутствуют следующие элементы [1-3]: источник излучения, оптическая система, формирующая и транспортирующая испускаемое излучение; автоматизированная система управляющая параметрами комплекса и технологического процесса. Под автоматизацию и управление в лазерном технологическом комплексе подпадают конкретно лазер (стабилизация и регулировка оптических, пространственно-временных и энергетических параметров) и сам процесс резки металлов.

Автоматизированная система управления предназначена для контролирования и управления параметров лазера и для передачи исполнительных команд на механизмы системы генерации излучения и его транспортировки [2].

Параметры процесса лазерной резки зависят от многих факторов, например, от свойств материала, конструкции деталей, энергии, которая затрачивается на разрушение, скорости и характеристик реза, и в целом эти параметры обуславливают требования к лазерному излучению [3,5]. Такие автоматизированные комплексы строятся по двухуровневому принципу:

1 уровень - устройства для измерения или стабилизации параметров лазера, а также средства для перемещения пучка лазера по заданному контуру детали.

2 уровень – автоматизированная система, задача которой – связывать между собой группы устройств.

Современные технологии в области микроэлектроники позволяют использовать микропроцессорные устройства на обоих уровнях [4]. Если рассматривать промышленные технологические комплексы, то в них характеристики излучения лазера устанавливаются в необходимых заданных пределах и могут изменяться в небольших интервалах. К этим характеристикам относят: пространственное распределение излучения и угловая расходимость, режимы работы, мощность лазера, КПД лазера, временные параметры излучения [6-8].

Одним из самых распространенных приводов, которые используются в автоматизированных лазерных комплексах, являются приводы с использованием шагового двигателя. Его основное отличие от остальных видов двигателей состоит в способе вращения [9].

Для работы систем с точным позиционированием использование шаговых электроприводов является самым дешевым и простым решением.

---

Поэтому эти приводы нашли широкое применение в станках ЧПУ и роботизированных системах.

Как известно, шаговый двигатель - это электрический механизм со сложной системой управления. Для работы шагового двигателя необходим драйвер, основная задача которого – наиболее эффективно изменять ток в обмотках, при этом необходимо учитывать, что ротор шагового двигателя и индуктивность обмоток постоянно оказывают влияние на процесс, что приводит к большим отличиям характеристик контроллеров и, как следствие, изменениям качественных показателей получаемого движения [9,10].

Драйверы разделяют по способу закачки тока в обмотки на несколько видов [8-10]:

- 1) Драйверы постоянного напряжения.
- 2) Двухуровневые драйверы.
- 3) Драйверы с ШИМ.

На данный момент ШИМ-драйверы шаговых электродвигателей наиболее популярны, почти все драйверы на рынке – этого типа. Эти контроллеры подают на обмотку шагового двигателя ШИМ-сигнал высокого напряжения, которое отсекается по достижению током соответствующей величины.

Задача данного исследования: выяснить качество получаемого движения различных драйверов шагового двигателя и определить целесообразности их использования.

В работе исследовали два двигателя PureLogic серии PL57H

Были выбраны следующие драйверы:

- 1) PLDS880
  - 2) OSM-42RA
  - 3) OSM-88RA
-

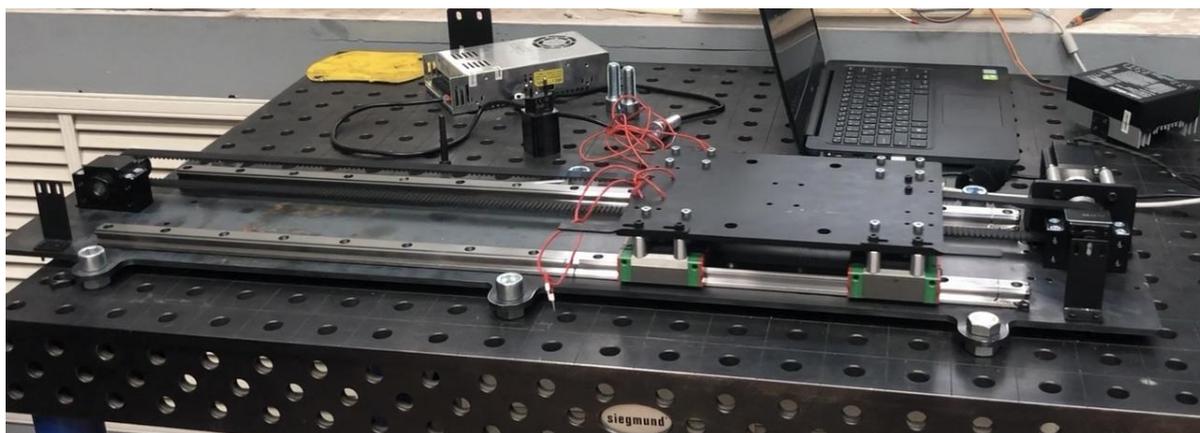


Рис. 1. - Внешний вид установки

Для управления системой был написан программный код (в C++ в среде программирования Visual Studio) который по связующей плате соединен с контроллером.

С каждым драйвером при различных режимах (различная сила тока и дробление шага (1:1, 1:2, 1:4, 1:16)) подобраны оптимальные параметры (начальная скорость, конечная скорость и ускорение), то есть, движение каретки без срыва на десяти проходах с минимальным временем прохода.

Результаты экспериментов представлены в таблицах

Таблица № 1

Результаты тестирования драйверов при подключенном блоке питания на 24 В и 1,6 А

Драйвер ШД	Сила тока на выбранном режиме, [А]	Деление шага	Начальное время между сигналами, [мкс]	Конечное время между сигналами, [мкс]	Инкремент [мкс]	Скорость инкремента, цикл	Время движения одного цикла, [с]
1	2	3	4	5	6	7	8
OSM-88RA	3,3	1	2650	650	11	1	3.64
OSM-88RA	3,3	2	1250	300	2	1	3.59
OSM-88RA	3,3	4	650	140	1	2	3.73

1	2	3	4	5	6	7	8
OSM-88RA	3,3	16	165	70	1	5	5.33
PLDS880	3	4	450	160	3	3	3.00
PLDS880	3	16	125	45	1	6	3.50
OSM-42RA	2,3	1	1950	1600	2	1	6.00
OSM-42RA	2,3	2	925	480	7	1	4.40
OSM-42RA	2,3	4	460	195	1	1	3.65
OSM-42RA	2,3	16	125	100	1	2	7.36
OSM-42RA	3,2	1	2000	500	8	1	2.77
OSM-42RA	3,2	2	980	250	2	1	2.77
OSM-42RA	3,2	4	480	150	1	1	2.93

Таблица № 2

Результаты тестирования драйверов при подключенном блоке питания  
на 70 В и 5 А

Драйвер ШД	Сила тока на выбранном режиме, [А]	Деление шага	Начальное время между сигналами, [мкс]	Конечное время между сигналами, [мкс]	Инкремент [мкс]	Скорость инкремента, цикл	Время движения одного цикла, [с]
1	2	3	4	5	6	7	8
OSM-88RA	3.3	1	2470	600	11	1	3.30
OSM-88RA	3.3	2	1205	275	2	1	3.30
OSM-88RA	3.3	4	660	200	1	1	4.02
OSM-88RA	3.3	16	180	80	1	3	6.00
OSM-88RA	4.2	4	520	120	1	1	2.50
OSM-88RA	4.2	16	140	80	1	3	5.95

1	2	3	4	5	6	7	8
PLDS880	3	4	485	120	3	3	2.45
PLDS880	3	16	130	35	1	9	2.90
PLDS880	4	4	405	110	2	3	2.22
PLDS880	4	16	125	35	1	9	2.90
PLDS880	2.6	4	750	240	1	10	9.50
PLDS880	2.6	16	230	60	1	12	5.20
PLDS880	3	4	740	170	1	2	4.40
PLDS880	3	16	180	45	1	14	3.95

Таблица № 3

Результаты тестирования драйверов с редуктором при подключенном блоке питания на 70 В и 5 А

Драйвер ШД	Сила тока на выбранном режиме, [А]	Деление шага	Начальное время между сигналами, [мкс]	Конечное время между сигналами, [мкс]	Инкремент [мкс]	Скорость инкремента, цикл	Время движения одного цикла, [с]
OSM-88RA	3	4	900	880	1	2	15.00
OSM-88RA	3	16	265	250	1	15	18.00
OSM-88RA	3	2	330	125	1	10	12.20
OSM-88RA	3	4	180	70	1	20	13.50
PLDS880	2.6	4	80	30	1	30	6.20
PLDS880	2.6	16	40	15	1	20	14.00
PLDS880	3	4	80	30	1	20	6.20
PLDS880	3	16	40	15	1	20	14.00

Из таблицы 1 видно, что при первом используемом блоке питания (24 В и 1,6 А) лучшее качество движения создавал драйвер OSM-42RA. Минимальное время прохождения кареткой одного пути в оба направления в режиме дробление шага 1:4 составило 2,7 секунды, что на 1-2 секунды быстрее, чем у остальных.

При замене блока питания на следующий (70 В и 5 А) лучшим стал драйвер PLDS880 с дроблением шага 1:4 (таблица 2). Это связано с тем, что у этого драйвер выше диапазон напряжение питания. Его время составило 2,2 секунды.

После замены двигателя на менее мощный и монтаже редуктора (таблица 3) с передаточным отношением 1 к 10, частота вращения выходного вала редуктора была уменьшена, а частота вращения двигателя была увеличена.

При высокой частоте вращения вала лучше всего справился драйвер PLDS880.

Максимальная скорость проезда каретки составила 45 см/с. Такая скорость перемещения позволит резать углеродистую сталь и алюминий шириной 1 мм лазерами мощностью до 2 кВт, нержавеющую сталь шириной 1 мм лазерами мощностью до 1,5 кВт, медь толщиной 1 мм лазерами мощностью до 4 кВт. Для металлов толщиной от 2 мм эта скорость достаточна.

### Литература

1. Смирнов, Ю. Н., Каляшина А.В. Роль математического моделирования при цифровизации технологических процессов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 12. – Сс. 116-119. – EDN IZFMIQ.

2. Каляшина, А. В., Евдокимова Т. С., Смирнов Ю. Н. Моделирование роботизированного процесса лазерной сварки // Вестник МГТУ "Станкин". – 2022. – № 4(63). – Сс. 64-69. – EDN PUKAZN.

3. Сергеев М. Б., Татарникова Т. М., Сергеев А. М., Боженко В. В. Метод обеспечения конфиденциальности данных с применением ортогональных матриц // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8967](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8967)

4. Нуриев М. Г., Белашова Е. С., Барабаш К. А. Конвертер Markdown-файлов в LaTeX-документ // Программные системы и вычислительные методы. – 2023. – № 1. – Сс. 1-12.

5. Нуриев М. Г., Белашова Е. С., Барабаш К. А. Конвертер Markdown-файлов в LaTeX-документ // Программные системы и вычислительные методы. – 2023. – № 1. – Сс. 1-12.

6. Gorunov A. I., Kalyashina A. V., Gabitov A. A. Robot-Assisted Laser Strengthening: Mathematical Aspects // Russian Engineering Research. – 2019. – Vol. 39, No. 7. – Pp. 571-574. – DOI 10.3103/S1068798X19070086

7. Игнатьева О. В., Сокирка А. Д., Журавлев Д. С. Применение методов машинного зрения на встраиваемых системах // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 1(109). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8918](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8918)

8. SEW-EURODRIVE “Drive Engineering – Practical Implementation. Volume 7. Servo Drives. Basics, Characteristics, Project planning”, 2022, 09224610 / 1196.

9. Старостина Я. К., Кукушкин В. А. Микропроцессорное управление шаговым двигателем на основе микросхемы STM32 // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2023. – № 12. – Сс. 41-45. – DOI 10.25791/asu.12.2023.1477.

10. Иванов В. М. Алгоритмы управления шаговым электроприводом для контроллера движения // Интеллектуальная электротехника. – 2023. – № 4(24). – С. 65-77.

---

## References

1. Smirnov, Yu. N. Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzhya. 2023. № 12. pp. 116-119.
2. Kalyashina, A. V., Evdokimova T. S., Smirnov Yu. N. Vestnik MGTU "Stankin". 2022. № 4(63). Pp. 64-69.
3. Sergeev M. B., Tatarnikova T. M., Sergeev A. M., Bozhenko V.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. № 1. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8967>
4. Nuriev M. G. Programmnye sistemy i vychislitelnye metody. 2023. № 1. Pp. 1-12.
5. Nuriev M. G. Belashova E. S., Barabash K. A. Programmnye sistemy i vychislitelnye metody. 2023. № 1. Pp. 1-12.
6. Gorunov, A. I., Kalyashina A. V., Gabitov A. A. Russian Engineering Research. 2019. Vol. 39, No. 7. Pp. 571-574.
7. Ignateva, O. V., Sokirka A. D., Zhuravlev D. S. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8918](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8918)
8. Drive Engineering – Practical Implementation. Volume 7. Servo Drives. Basics, Charasterics, Project planning, 2022. 092246101196.
9. Starostina Ya. K., Kukushkin V. A. Promyshlennye ASU i kontrollery. 2023. № 12. Pp. 41-45. DOI 10.25791/asu.12.2023.1477.
10. Ivanov V. M. Intellektualnaya elektrotehnika. 2023. № 4(24). Pp. 65-77.

**Дата поступления: 13.02.2024**

**Дата публикации: 26.03.2024**