

Система управления двухосным плоттером

Е. С. Сизова, Г. В. Бельский

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
essizova@yandex.ru, gvbelskiy@etu.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается процесс создания модели плоттера и разработки алгоритма управления ею. Перемещение пера плоттера осуществляется по двум направляющим. Для реализации движения по ним применяются шаговые двигатели, каждый из которых отвечает за перемещение вдоль одной из двух осей.

Алгоритм управления системой разработан при помощи среды потокового программирования LabVIEW и многофункционального устройства ввода-вывода NI USB-6211. Программа обеспечивает обработку созданного пользователем рисунка, преобразовывая данные о формирующих его точках в последовательность управляющих импульсов. В результате задания такого вращения двигателей созданный на экране рисунок воспроизводится пером плоттера.

Ключевые слова: плоттер; шаговый двигатель; LabVIEW; движение по траектории; система управления

I. ВВЕДЕНИЕ

Современный мир уже трудно представить без интенсивного развития автоматизации. Автоматизированные системы прочно вошли практически во все сферы нашей жизни, но, несмотря на это, они всё ещё развиваются и совершенствуются.

В данной статье рассматривается разработка системы автоматического управления плоттером – устройством, создающим изображения. Существует большое разнообразие такого оборудования, отличающегося внешним видом, структурой и сферами применения. Сегодня плоттер – это не только одна из разновидностей печатных устройств, на которую передаются данные с компьютера, но и устройство, которое может работать с информацией, задаваемой и выводимой различными способами.

Важно, чтобы графическая информация была выведена точно и в соответствии с ожиданиями пользователя. Кроме того, не менее важен вопрос управления устройством.

Среди многообразия сред и языков программирования, подходящих для создания управляющей плоттером программы, была выбрана среда LabVIEW, программирование в которой осуществляется при помощи графического языка G. Эта среда является инструментом программирования, с помощью которого можно решать практически любые задачи, в частности связанные с управлением внешними устройствами и целыми установками.

II. ПЛОТТЕРЫ

С момента появления первых принтеров идея вывода графической информации вычислительной машиной по сей день является востребованной. Необходимость в том, чтобы изображение, созданное на компьютере, можно было отобразить на бумаге или ином носителе, существует во множестве сфер нашей жизни. Одними из

популярных устройств, реализующих эту идею, являются плоттеры.

Плоттер (или графопостроитель) – это устройство, предназначенное для автоматического вычерчивания рисунков, схем, чертежей, карт и других графических изображений на бумажных или иных носителях.

Сейчас, изучая многообразие этих устройств, мы можем увидеть совершенно различные подходы к исполнению основной функции плоттера – созданию рисунка. Существует огромное количество технологий, обладающих как своими преимуществами, так и недостатками. При использовании одних видов плоттеров мы можем столкнуться с дефицитом и высокой стоимостью материалов, а обратившись к другим – с очень большими габаритами или жёсткими требованиями к внешней среде. Именно поэтому, модель и вид плоттера выбирается, исходя из конкретной задачи. Однако именно благодаря такому разнообразию плоттеры применимы в широком спектре сфер деятельности.

Самый востребованный тип плоттеров – перьевые. «Перьевые плоттеры (ПП) являются электромеханическими устройствами векторного типа и создают изображение при помощи пишущих элементов, обобщенно называемых перьями. <...> Перо крепится в держателе пишущего узла, который имеет одну или две степени свободы перемещения» [1].

Самые простые конструкции перьевых плоттеров не имеют даже корпуса. Они состоят только из платформы, которую нужно установить над листом бумаги, на котором планируется получить изображение. Перемещаясь, перо будет оставлять след, тем самым воспроизводя рисунок на листе. Часто такие плоттеры вместо пера используют резец, который изображение не рисует, а вырезает.

Перьевые плоттеры классифицируются по способу перемещения носителя: рулонные (рис. 1) и планшетные (рис. 2). Как для рулонных, так и для планшетных плоттеров общим является то, что перемещение пера осуществляется либо при помощи шаговых двигателей (ШД), которые вращаются дискретно, либо с применением обратной связи и датчиков положения.

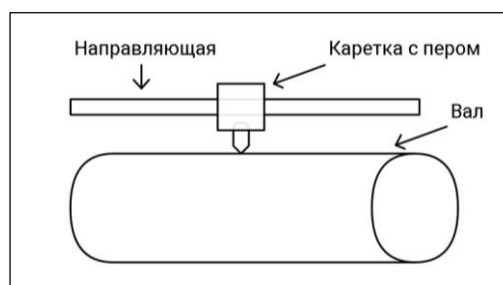


Рис. 1. Схема конструкции рулонного плоттера

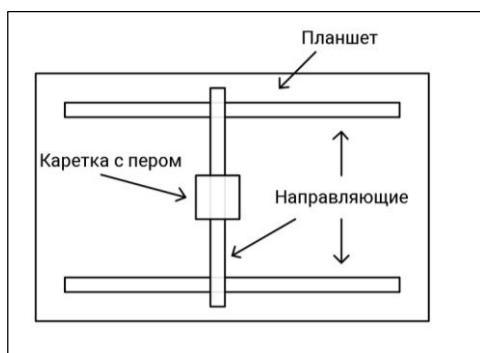


Рис. 2. Схема конструкции планшетного плоттера

В случае рулонного плоттера вдоль одной оси координат перемещается пишущий блок с пером, вдоль другой – бумага, закреплённая на барабане. За счёт этого рулонные плоттеры обладают большей компактностью, так как часть полотна, на которой в данный момент не производится отпечатывание рисунка, свободно свисает, а значит, таким устройствам не требуется большой рабочей поверхности.

У планшетных ПП во время работы лист бумаги остаётся неподвижно закреплённым, но перо, установленное на траверсе, может свободно перемещаться по всей плоскости, то есть по обоим осям.

В данной статье мы ставим перед собой задачу описать принципы работы планшетного плоттера, поэтому рассмотрим подробнее его устройство. Планшетный ПП представляет собой конструкцию, с установленным на ней держателем пера, способным двигаться в двух направлениях под действием электромотора. Его перемещение происходит влево и вправо по одной оси, вверх и вниз – по другой. Кроме этого, держатель может отрывать перо от рабочей поверхности. Такое устройство создаёт рисунок высокого качества, хотя и делает это довольно медленно.

Из сказанного выше следует, что базовыми элементами конструкции такого плоттера должны быть:

- планшет, на котором должна быть закреплена бумага или другой материал, подходящий для нанесения рисунка;
- каретка, перемещающая над ним перо в двух направлениях;
- электродвигатели, благодаря которым каретка двигается.

Мы выбираем плоттер как объект управления, но не готовое устройство, а самостоятельно продуманную и собранную модель. Она должна выполнять основную функцию плоттера – повторять заданный рисунок, а также содержать в себе основные элементы его структуры.

III. КОНСТРУКЦИЯ УСТРОЙСТВА

A. Основные элементы конструкции

В первую очередь при построении модели плоттера определим, что она должна из себя представлять.

Начнём с планшета – основа, на которой размещается носитель, должна быть крепкой, выдерживать всю конструкцию при перемещении и не обладать значительными дефектами поверхности, которые могли бы сказаться на качестве изображения. Мы хотим, чтобы наша модель работала с листами формата A4, и об этом

нужно помнить, так как в отличие от рулонных плоттеров планшетные должны иметь возможность размещения в горизонтальной плоскости носителя целиком.

На планшете необходимо расположить направляющие. Мы используем две металлические направляющие длиной 40 см и диаметром 8 мм. Направляющие фиксируются на планшете в опорах того же диаметра параллельно друг другу. Сохранение параллельности влияет на точность результата работы плоттера, ведь обе направляющие отвечают за одну ось, а именно ось Y. Для движения по этой оси на них располагаются каретки, свободно перемещающиеся по всей длине направляющих.

Каретки служат опорой для второго яруса конструкции, где располагается ещё одна ось, за которую отвечает третья направляющая. Она должна быть перпендикулярна двум предыдущим, так как перпендикулярны оси в декартовой системе координат, на которую мы ориентируемся. В целях облегчения веса подвижной части конструкции третью направляющую берём меньшего размера – 6 мм в диаметре. Эта ось – ось X.

По направляющей второго яруса также перемещается каретка, на ней уже закреплено само перо плоттера. Пером в нашем случае является гелиевая ручка. Благодаря установленному на той же каретке сервоприводу перо сможет опускаться и подниматься при необходимости (рис. 3). Опускать и поднимать перо нужно для того, чтобы оно касалось бумаги (а значит и оставляло на ней след) тогда и только тогда, когда мы движемся по траектории рисунка, иначе на носителе окажутся лишние линии.

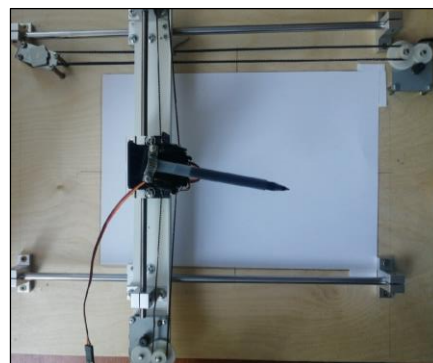


Рис. 3. Конструкция плоттера

Сами по себе все перечисленные элементы двигаться не могут, потому мы добавляем в конструкцию шаговые двигатели, применимые в реальных перьевых плоттерах. У нас они выполняют ту же функцию – передвижение пера по двум осям. Для работы с шаговыми двигателями необходимо изучить их устройство, разновидности и принципы управления.

B. Шаговые двигатели

Шаговый двигатель представляет собой вращающийся электродвигатель, главная особенность которого заключается в том, что за счет импульсных управляющих сигналов угловое перемещение ротора осуществляется дискретно.

Основным достоинством шаговых двигателей является их способность обеспечивать точное угловое позиционирование, по этой причине именно они широко применяются в сканерах, плоттерах и иной подобной

технике. Помимо этого, шаговые двигатели обладают возможностью быстрого старта, остановки, реверса.

Шаговый двигатель, в соответствии с общей структурой электродвигателя, состоит из двух основных частей: ротора (вращающейся части общей конструкции) и статора (её неподвижной части). Определяющим параметром в движении шагового двигателя является шаг ротора – тот угол, на который двигатель повернётся за один управляющий импульс. Шаг может быть разным по величине, так как разной может быть конструкция двигателя: число его обмоток, зубьев и полюсов. Для двигателей, применяемых при проектировании, шаг ротора мы определяем экспериментально.

Используемые шаговые двигатели работают на постоянных магнитах. Их основным преимуществом является обеспечение фиксации ротора при снятии управляющего сигнала.

По виду обмоток шаговые двигатели делятся на два типа:

- униполярные или однополярные;
- биполярные или двухполярные.

У биполярных двигателей на одну фазу приходится одна обмотка (рис. 4). В такой конструкции для изменения полярности магнитных полюсов необходимо изменить направление тока, протекающего по обмотке, на противоположное. Осуществляется это изменение за счёт более сложной схемы управления, чем для униполярного двигателя.

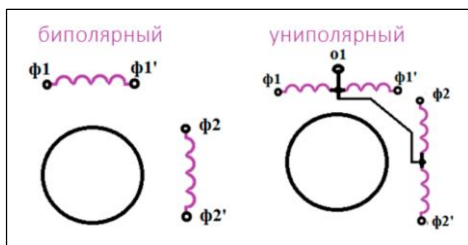


Рис. 4. Схема обмоток ШД

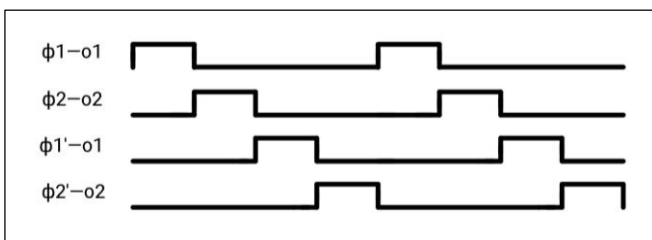


Рис. 5. Осциллограммы волнового управления униполярным шаговым двигателем

В конструкции униполярного шагового двигателя с постоянными магнитами на одну фазу приходится одна обмотка с ответвлением в центре (рис. 4). При этом каждая из секций обмотки может быть включена отдельно. В такой схеме двигателя можно изменить расположение магнитных полюсов, не меняя направления тока.

Мы используем шаговые двигатели для управления положением пера над поверхностью листа бумаги, то есть его перемещения в двухосной системе координат. Очень важно учитывать тот факт, что двигателям нужно приводить в движение целые объекты системы, а значит,

их работа должна быть чёткой и бесперебойной, потому что от этого напрямую зависит результат.

Чтобы управлять шаговым двигателем, нужно понимать, каким образом подавать на его обмотки управляющие импульсы. Способов управления существует несколько, но мы будем использовать самый экономичный по мощности – волновой.

Волновое управление также является самым простым способом управления за счёт того, что при нём одновременно в возбуждённом состоянии находится лишь одна обмотка. При волновом управлении для создания переменного магнитного поля катушки осуществляется последовательная подача четырёх импульсов на каждую из обмоток в определённом порядке (рис. 5).

Используемые нами двигатели униполярные, для них изменение направления магнитного потока катушки осуществляется за счёт того, что прямоугольный сигнал подаётся сперва на один вывод катушки, а после на противоположный ей относительно центрального провода (питания).

Управляющие импульсы подаются на драйвер через цифровые порты многофункционального устройства ввода-вывода NI USB-6211, основной задачей которого является обеспечение связи программы с внешними устройствами. Сам двигатель подсоединяется его пятью выводами в соответствующий разъём на плате. Питание подключается к источнику 5В.

С. Перемещение пера

Перед нами стоит задача организовать движение по какой-то заданной пользователем траектории. За эту траекторию мы и принимаем ту линию, прямую или кривую, которую требуется нарисовать. Если разбить такую линию на отрезки, то мы получим возможность выполнять задачу не как единое целое, а поэтапно для всех отрезков, каждый из которых представляет собой путь, который должно пройти перо.

Вектор перемещения, проведённый в двухосной системе координат, можно разложить на две проекции: по оси X и по оси Y. Так мы получим расстояние, на которое необходимо передвинуть перо по каждой из осей, чтобы из начальной точки оказаться в конечной. Суммируя вышесказанное, определим, что в первую очередь перед нами стоит задача перевода вращательного движения в поступательное, потому что именно так должно передвигаться перо.

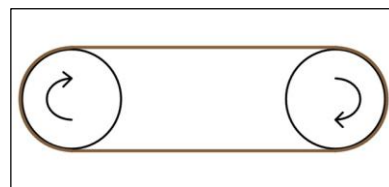


Рис. 6. Ремённая передача

Вращение двигателя преобразуем в движение по прямой посредством ремённой передачи. Ремённая передача используется для передачи энергии от одного движущегося вала другому, находящемуся на значительном расстоянии от него. Она состоит из ведущего и ведомого шкивов, на которые с натяжением надет бесконечный ремень, при этом ведомых шкивов в ремённой передаче может быть несколько. В месте контакта ремня с ведущим шкивом возникают силы

трения или зацепления, благодаря которым при движении ведущего шкива начинает двигаться и ремень. Сам ремень, благодаря тем же силам приводит во вращение ведомый шкив.

К достоинствам ремённой передачи можно отнести её плавность и бесшумность работы, легкость установки, а также низкую стоимость.

На двигателе закреплён редуктор, состоящий из шестерней разного размера, на одной из них установлен шкив, на котором закрепляется ремень. Другой шкив, который будет выполнять функцию ведомого, устанавливается на противоположной стороне планшета таким образом, чтобы ремень между ними был натянут (рис. 6). Это необходимое условие для того, чтобы система работала правильно и предсказуемо.

То есть для преодоления необходимого расстояния пером, перемещаемым при помощи ремённой передачи между двумя валами по оси, нам нужно подать определённое количество импульсов на ШД, тем самым приведя его в движение. Импульсы подаются по уже рассмотренному алгоритму управления, двигатель начинает вращаться, ремень двигается вместе с закреплённым на нём пером. Проходя таким способом точку за точкой, мы будем наблюдать непрерывное формирование рисунка.

IV. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

A. Решение задач в программной среде

В настоящее время процесс разработки и проектирования систем управления значительно облегчается благодаря тому, что создаются программные системы автоматизации проектирования, разного профиля и функционала, каждая из которых подходит для своей конкретной задачи и области применения. Они используются как при проектировании узкоспециализированных систем автоматизации и управления, так и для класса систем, обладающих широким и разнообразным функционалом, порой неограниченным одной предметной областью.

Одной из систем автоматизированного проектирования является разработанный компанией National Instruments (NI) пакет программ LabVIEW, название которого расшифровывается как Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench.

LabVIEW представляет собой среду графического программирования на языке G, получившую широкое распространение благодаря своей высокой эффективности, многофункциональности, а также простому в восприятии интерфейсу пользователя.

Основными задачами создаваемой нами программы являются: предоставление пользователю возможности создать рисунок и последующее управление шаговыми двигателями. А их решение состоит в следующем:

- для формирования рисунка необходимо выделить на экране специальную область. Элемент интерфейса, который является аналогом листа, должен быть пропорционален этим размерам, чтобы пользователь мог соотнести свой рисунок на экране с полученным результатом на бумажном носителе. У каждой точки на декартовой плоскости есть две координаты, x и y , а значит, раз рисунок можно представить как множество точек, мы можем построить по ним

график, сохраняя их последовательность. Таким образом, будет отображён весь рисунок.

- управление шаговыми двигателями заключается в передаче через дискретные выходы устройства NI USB-6211 массива переменных. Для того чтобы привести двигатели во вращение, мы должны подавать на обмотки управляющие импульсы. Длительность импульсов определяет скорость вращения. А количество импульсов – величину поворота.

B. Пошаговое выполнение

Работа устройства поэтапна. Сначала пользователю необходимо создать в программе то изображение, которое он хочет получить. Для этого выполняются следующие шаги:

- работа программы начинается с того, что пользователь наводит курсор на область для рисунка, устанавливая его в точку, из которой начнёт вырисовываться траекторию;
- далее нажимается левая клавиша мыши, и начинается считывание точек;
- пользователь перемещает курсор по «листу», и за курсором остаётся видимый след. Этот след будет впоследствии преобразован в траекторию движения пера;
- когда пользователь захочет завершить рисунок, он повторно нажимает клавишу, и программа переходит на следующий этап.

Рисование на экране происходит благодаря структуре события и цикла. Событием, на которое реагирует система, выступает движение курсора по области графика. Как только событие фиксируется, программа запоминает положение курсора в декартовых координатах. Таким образом, мы получаем точку за точкой. Важно заметить, что движение курсора будет считываться только в поле графика, потому что именно оно иллюстрирует наш лист A4. Если вывести курсор за границу, то новая точка будет записана, только когда он снова вернётся на «лист».

Следующим этапом идёт обработка полученных в ходе рисования данных. Так как точек в созданном рисунке может быть любое количество, их координаты, а также другие параметры мы будем хранить в массивах. Они обрабатываются программно, и этот процесс не

требует от пользователя никакого вмешательства. Программа самостоятельно рассчитывает значения, необходимые для осуществления управления шаговыми двигателями и сервоприводом. Автоматически подбираются параметры для перемещения пера от точки к точке таким образом, чтобы траектория сохранялась такой же, какой её видит на экране пользователь.

Как только сформированы все необходимые для управления массивы, начинается взаимодействие программной части системы с моделью. Связь обеспечивает многофункциональное устройство NI USB-6211, подключённое портами дискретного вывода к драйверу ШД.

Сформированные последовательности импульсов, при правильной подаче их на обмотки двигателей, начинают работу модели.

Следом в работу включается ремённая передача. Двигатель, приведённый в движение управляющей программой, вращает ведущий шкив, а тот приводит в движение ремень, а за ним и ведомый шкив – начинает происходить перемещение вдоль оси.

Прежде чем начать вырисовывать траекторию плоттеру нужно переместить перо из фиксированного исходного положения в начальную точку рисунка. Этот участок пути плоттер проходит с поднятым от поверхности листа пером, чтобы не оставить на нём ненужных следов. Как только перо оказывается в нужной точке, программа подаёт на сервопривод сигнал определённой скважности, чтобы перо опустилось.

Преодолевая точку за точкой, опущенное перо оставляет за собой след, повторяющий рисунок, который на первом этапе создал пользователь.

Как только программа доходит до финальной точки, завершая изображение, перо снова отрывается от бумаги и перемещается в исходное положение. Так устройство будет готово для обработки новой задачи.

На рис. 7 приведён результаты испытания системы. На нём для сравнения представлены как рисунок, созданный пользователем на экране, так и изображение, полученное в результате работы модели плоттера.

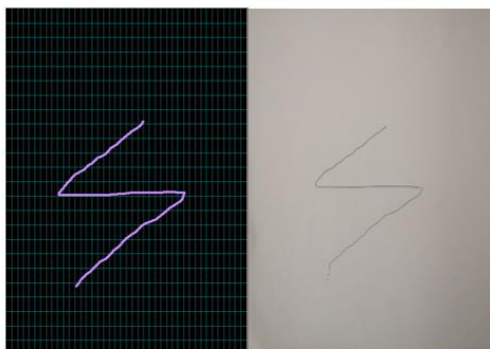


Рис. 7. Демонстрация работы

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая сказанное, в создании модели перьевого планшетного плоттера можно выделить два основных этапа:

- этап разработки: определение конструкции двухосного плоттера на основе шаговых двигателей и алгоритма управления им в среде потокового программирования LabVIEW;
- этап реализации: сборка действующей модели двухосного плоттера на основе разработанной схемы и алгоритма.

В результате мы имеем:

- модель плоттера, в которой реализовано перемещение пера по двум направляющим за счет использования в конструкции шаговых двигателей, каждый из которых отвечает за перемещение вдоль одной из двух осей. Движение пера «вверх-вниз» обеспечивается дополняющим конструкцией сервоприводом;
- программу в среде потокового программирования LabVIEW, реализующую автоматическое управление перемещением пера плоттера при помощи многофункционального устройства ввода-вывода NI USB-6211;
- пользовательский интерфейс, соответствующий национальному стандарту ГОСТ Р ИСО 9241-110-2016 «Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 110. Принципы организации диалога», который идентичен международному стандарту;
- ряд изображений на бумажных носителях, нарисованных моделью, с достаточной степенью точности соответствующих рисункам, созданным в программе.

Кроме того, работа над данной моделью плоттера может быть в дальнейшем продолжена, в частности можно предусмотреть использование более мощных двигателей, что повлечет за собой ряд конструктивных изменений, но в результате будет увеличена скорость создания и качество изображения, а также возможна доработка модели с целью реализации графики с использованием нескольких цветов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Информационный ресурс ресурс // LargeFormat [Электронный ресурс] URL:http://www.largeformat.ru/article_info.php?articles_id=2
- [2] Словари и энциклопедии // Академик [Электронный ресурс] URL:<https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/169401>
- [3] Информационно-познавательный сайт // ТЕХ.ПРИБОРЫ.РУ [Электронный ресурс] URL:<https://tehpribory.ru/glavnaia/elektronika/plotter.html>
- [4] ГОСТ Р ИСО 9241 Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 110. Принципы организации диалога.
- [5] Джеффри Тревис. LabVIEW для всех / Пер. с англ. Н.А. Клушин. М.: ДМК Пресс, 2005. 544 с.
- [6] Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе Lab VIEW / под ред. П.А. Бутырина. М.: ДМК Пресс, 2005. 264 с.
- [7] Суранов А.Я. LabVIEW 7: справочник по функциям. М.: ДМК Пресс, 2005. 512 с.
- [8] Волков Н.И., Милловзоров В.П. Электромашинные устройства автоматики: Учебник для вузов по спец. "Автоматика и телемеханика". 2-е изд. М.:Высш.шк., 1986. 335 с.